

2012—2013

学科发展报告

综合卷

COMPREHENSIVE REPORT ON
ADVANCES IN SCIENCES

中国科学技术协会 主编

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

2012—2013 学科发展报告综合卷 / 中国科学技术协会主编. —北京: 中国科学技术出版社, 2014.3

(中国科协学科发展研究系列报告)

ISBN 978-7-5046-6558-4

I. ① 2… II. ① 中… III. ① 科学技术—技术发展—研究报告—中国—2012—2013 IV. ① N12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 032572 号

策划编辑 吕建华 赵 晖
责任编辑 赵 晖 李 红
责任校对 刘洪岩
责任印制 王 沛
装帧设计 中文天地

出 版 中国科学技术出版社
发 行 科学普及出版社发行部
地 址 北京市海淀区中关村南大街 16 号
邮 编 100081
发行电话 010-62103354
传 真 010-62179148
网 址 <http://www.cspbooks.com.cn>

开 本 787mm × 1092mm 1/16
字 数 470 千字
印 张 21
版 次 2014 年 4 月第 1 版
印 次 2014 年 4 月第 1 次印刷
印 刷 北京市凯鑫彩色印刷有限公司
书 号 ISBN 978-7-5046-6558-4/N · 187
定 价 68.00 元

(凡购买本社图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换)

2012—2013

学科发展报告综合卷

COMPREHENSIVE REPORT ON
ADVANCES IN SCIENCES

专 家 组

组 长 李静海

副组长 冯长根 谢克昌 沈 岩 沈爱民

成 员 (按姓氏笔画排序)

王恩哥 史培军 刘嘉麒 朱 明 朱立国

严纯华 苏 青 陈运泰 范维澄 钱七虎

高 福 游苏宁 颜 帅

编 写 组 (按姓氏笔画排序)

王 堃 王飞跃 王哲明 王崑声 孔昭君

朱 荻 朱立平 刘木清 刘兴平 刘国权

江孙芳 李建平 杨玉芳 吴 凯 何华康

宋 军 张聚恩 陈广仁 陈艾荣 邵 涛

昌增益 周成虎 信乃詮 洪及鄙 袁亚湘

倪汉祥 徐群渊 高卫东 郭 勇 崔晓峰

隋 军 葛 颂 童秉枢 潘仁明

学 术 秘 书 夏 震 王安宁 胡春华 吕 潇 吴晓丽

赵 晖 褚倩倩 巩玲君 王小越

序

科技自主创新不仅是我国经济社会发展的核心支撑，也是实现中国梦的动力源泉。要在科技自主创新中赢得先机，科学选择科技发展的重点领域和方向、夯实科学发展的学科基础至关重要。

中国科协立足科学共同体自身优势，动员组织所属全国学会持续开展学科发展研究，自2006年至2012年，共有104个全国学会开展了188次学科发展研究，编辑出版系列学科发展报告155卷，力图集成全国科技界的智慧，通过把握我国相关学科在研究规模、发展态势、学术影响、代表性成果、国际合作等方面的最新进展和发展趋势，为有关决策部门正确安排科技创新战略布局、制定科技创新路线图提供参考。同时因涉及学科众多、内容丰富、信息权威，系列学科发展报告不仅得到我国科技界的关注，得到有关政府部门的重视，也逐步被世界科学界和主要研究机构所关注，显现出持久的学术影响力。

2012年，中国科协组织30个全国学会，分别就本学科或研究领域的发展状况进行系统研究，编写了30卷系列学科发展报告（2012—2013）以及1卷学科发展报告综合卷。从本次出版的学科发展报告可以看出，当前的学科发展更加重视基础理论研究进展和高新技术、创新技术在产业中的应用，更加关注科研体制创新、管理方式创新以及学科人才队伍建设、基础条件建设。学科发展对于提升自主创新能力、营造科技创新环境、激发科技创新活力正在发挥出越来越重要的作用。

此次学科发展研究顺利完成，得益于有关全国学会的高度重视和精心组织，得益于首席科学家的潜心谋划、亲力亲为，得益于各学科研究团队的认真研究、群策群力。在此次学科发展报告付梓之际，我谨向所有参与工作的专家学者表示衷心感谢，对他们严谨的科学态度和甘于奉献的敬业精神致以崇高的敬意！

是为序。

A handwritten signature in black ink, reading '李书金' (Li Shujin). The characters are written in a cursive, flowing style.

2014年2月5日

前 言

学科建设是一项提升自主创新能力、建设创新型国家的具有根本意义的基础工程。研究学科发展的特点、规律是一个重要而紧迫的课题，关系到我国如何更好地持续推动科技进步与创新、实现重点突破与跨越。为发挥中国科协及所属全国学会作为科学共同体在完善学术建制、增强自主创新中的重要作用，推动学科快速发展，促进学科交叉融合，中国科协从2006年起建立了学科发展研究及发布制度。

2012—2013年度是《国家“十二五”规划纲要》承前启后、深入推进的关键年，中国科协组织30个全国学会，分别就化学、地理学（地图学与地理信息系统）、植物学、生物化学与分子生物学、植物生物学、心理学、管理科学与工程、青藏高原研究、运筹学、晶体学、机械工程（特种加工与微纳制造）、电气工程、工程热物理、控制科学与工程、图学、电子信息、道路工程、航空科学技术、航天科学技术、兵器科学技术（含能材料）、冶金工程技术、纺织科学技术、食品科学技术、照明科学与技术、体视学、基础农学、植物保护学、草业科学、全科医学、人体解剖与组织胚胎学30个学科的发展状况进行了系统研究，编辑出版中国科协学科发展系列报告（2012—2013）。在此基础上，《2012—2013学科发展报告综合卷》（以下简称《综合卷》）着重分析化学等30个学科的发展概貌，总结学科发展成果，研究学科发展规律，梳理学科发展脉络，预测学科未来的发展趋势。

《综合卷》分4个部分：第一部分重点以化学等30个学科突出进展为基础，分析近两年来我国自然科学技术领域学科发展的总体情况、发展特点和规律，评析发展最突出学科的进展状况，指出未来我国学科发展的重点方向和总体趋势，思考学科发展面临的困难与挑战，提出促进学科发展的对策与建议；第二部分简要综述了30个学科发展报告的主要内容，介绍了各学科近年的研究进展、国内外发展水平比较、各学科的发展方向与对策建议等；第三部分为30个学科发展报告主要内容的英文介绍；第四部分（即附件）为我国2012、2013年度与学科进展有关的主要科技成果资料的介绍。

受中国科协学会学术部委托，《综合卷》由中国科协学会服务中心组织有关专家编写完成。为顺利开展学科发展研究工作，组织成立了《综合卷》专家组与编写组，专家组由中国科协学会与学术工作专门委员会委员组成，编写组由30个全国学会选派的专家学者等组成。同时，为提高《综合卷》第一章综述部分的研究力度，中国科协学会服务中心与科技导报社联合，与北京理工大学管理与经济学院合作，组织成立“2012—2013学科发展综合评述”课题组。课题组开展了学科发展研究文献的调研工作，并于2012年9月对30个相关学科提交的材料进行认真研究、分析与总结，实施了广泛深入的咨询和调研，

先后组织专家召开5次研讨及审稿会议，对《综合卷》进行了反复切磋与研讨，经多次修改、调整与完善于2014年2月底定稿，博观而约取，希望能较准确、科学地反映自然科学领域尤其是30个学科的发展趋势和共性特点。

需说明的是，限于资料和时间，《综合卷》主要是在30个学科发展报告的基础上综合、抽象而成，只能概括部分学科的重要进展和总体态势，尚不能完整、准确地反映我国自然科学与技术学科发展的全貌。《综合卷》学科排序按中国科协所属全国学会代码顺序排列。

为完成《综合卷》的编写工作，相关学科及专家投入了很大热情和精力，其中汇聚了集体智慧和真知灼见，感谢所有为《综合卷》编写奉献智慧的专家学者！受中国科协学会学术部委托，中国科协学会服务中心承担了《综合卷》相关资料的收集整理、相应文稿的起草、修订及组织协调等工作，科技导报社承担了课题研讨与会议组织等工作，中国科学技术出版社为《综合卷》的出版付出了辛勤的劳动，感谢相关部门和单位对《综合卷》编写工作的大力支持！

由于《综合卷》涉及的学科面广，编写时间仓促，对有些问题的分析尚不够全面和深入，加之学科发展调研工作有一定难度，虽经多方努力，其中仍难免存在挂一漏万等问题或遗憾，敬请读者指正。

《2012—2013 学科发展报告综合卷》编写组

2014年3月

目 录

序	韩启德
前言	《2012—2013 学科发展报告综合卷》编写组
第一章 学科发展综述	
一、引言	3
二、学科发展取得重大进展	5
三、学科发展方向与趋势更加明确	26
四、学科发展面临一定困难与挑战	32
五、促进学科发展的建议	34
参考文献	36
第二章 相关学科进展与趋势	
第一节 化学	43
第二节 地理学（地图学与地理信息系统）	49
第三节 植物学	55
第四节 生物化学与分子生物学	60
第五节 植物生物学	68
第六节 心理学	74
第七节 管理科学与工程	80
第八节 青藏高原研究	85
第九节 运筹学	89
第十节 晶体学	94
第十一节 机械工程（特种加工与微纳制造）	100
第十二节 电气工程	105

第十三节	工程热物理	111
第十四节	控制科学与工程	116
第十五节	图学	120
第十六节	电子信息	125
第十七节	道路工程	131
第十八节	航空科学技术	136
第十九节	航天科学技术	141
第二十节	兵器科学技术 (含能材料)	146
第二十一节	冶金工程技术	152
第二十二节	纺织科学技术	158
第二十三节	食品科学技术	164
第二十四节	照明科学与技术	170
第二十五节	体视学	174
第二十六节	基础农学	179
第二十七节	植物保护学	184
第二十八节	草业科学	191
第二十九节	全科医学	196
第三十节	人体解剖与组织胚胎学	203

第三章 学科发展研究报告 (2012—2013) 简介 (英文)

1. Chemistry	211
2. Geography (Cartography and Geographical Information System)	218
3. Plant Science	222
4. Biochemistry and Molecular Biology	227
5. Plant Biology	232
6. Psychology	233
7. Management Science and Engineering	236
8. Tibetan Plateau Research	238
9. Operations Research	240
10. Crystallography	244
11. Mechanical Engineering (Non-traditional Machining and Micro & Nano Manufacturing)	247
12. Electrical Engineering	249

13. Engineering Thermophysics	253
14. Control Science and Engineering	256
15. Graphics	260
16. Electronics and Information Science	263
17. Highway Engineering	266
18. Aeronautical Science and Technology	268
19. Space Science and Technology	274
20. Ordnance Science and Technology (Energetic Materials)	275
21. Metallurgical Engineering and Technology	277
22. Textile Science and Technology	280
23. Food Science and Technology	282
24. Lighting Science and Technology	284
25. Stereology	285
26. Basic Agronomy	288
27. Plant Protection	292
28. Pratacultural Science	297
29. General Practice	298
30. Human Anatomy, Histology and Embryology	302

附件 2012—2013 年度与学科进展相关的主要科技成果

附件 1 2012 年度国家自然科学奖获奖项目目录	307
附件 2 2012 年度国家技术发明奖获奖项目目录 (通用项目)	308
附件 3 2012 年度国家科学技术进步奖获奖项目目录 (通用项目)	310
附件 4 2012 年度 “中国科学十大进展”	315
附件 5 2013 年度国家自然科学奖获奖项目目录	316
附件 6 2013 年度国家技术发明奖获奖项目目录 (通用项目)	317
附件 7 2013 年度国家科学技术进步奖获奖项目目录 (通用项目)	319
附件 8 2013 年度 “中国科学十大进展”	324

第一章

学科发展综述

一、引言

学科是针对特定领域、一类方法或思维逻辑进行科学研究、学术交流、技术应用、教育培训的相对独立的学术体系，学科的形成是科学知识体系发展的方式和成熟的标志^[1-6]。学科是一个动态范畴，只要人类的科研和知识体系在发展，学科就必然在发展和调整中。不同历史阶段的学科都会打上时代的烙印，体现时代的特色，满足时代的要求。在现代，学科呈现高度分化又高度综合，显现出结构性的整体化趋势，成为包括基础研究、应用研究、前沿技术的丰富知识体系。在知识经济时代，随科学技术的飞快发展，学科成为科技创新的基础性背景，学科建设成为创新型国家建设的重要途径之一，学科也因此获得了前所未有的发展机遇。也正是知识经济时代的雄厚基础和迫切需求，基础学科的重点领域、热点方向及科技领域的新兴学科、特色学科不断涌现。

《国家“十二五”科学和技术发展规划》明确要求，基础研究方向的战略布局应依据国家重大战略需求和世界科技发展趋势予以部署，推动基础学科协调均衡发展，促进学科交叉融合；继续深化基础学科前沿研究；坚持以需求为导向，着力解决制约经济社会发展的重大科学问题；集中优势力量，推进重大科学研究计划实施；持续加强学科积累，夯实科技基础。这为各个学科的快速高质发展提供了更好的机遇。

现代科学革命促成了已有学科的日新月异发展，高技术时代催生了数不胜数的新兴学科，知识经济对各个学科提出了新的要求和挑战。时代前行与学科发展交相辉映，相得益彰，不断谱写出现代科技发展的新篇章。

中国科协组织中国化学会等 30 个全国学会研究、撰写 2012—2013 年度学科发展报告。本综述以中国化学会等 30 个全国学会提供的学科发展报告为基础，力求概览化学等 30 个学科的总体发展情况和成果，把握学科发展的整体态势，分析学科发展面临的困难与挑战，提出促进学科发展的建议。

综合来看，在 2012—2013 年度，学科发展取得了重大进展：①我国基础研究发展势头良好，已经形成了比较完整的学科布局，部分学科已进入世界先进行列；建成了一批高水平的国家重点实验室和国家重大科学工程等基础研究实验基地；在一些领域涌现出一批世界水平的创新团队和国际知名的科学家。学科发展中，通过强化基础研究增强了我国的科技实力。②在应用研究领域，科学与技术的相互结合、相互促进和相互转化变得更加迅速，日臻完善。研究成果转化为生产力的周期越来越短，技术更新速度加快。一些领域在中间阶段的研究成果就申请了专利，有些甚至直接转化为产品走进了人们生活。通过重视应用研究，使学科发展更好地服务于国家重大战略需求。③我国学科发展更加注重科学探索性，学科前沿技术研究获得稳步推进。相当一部分新兴研究方向、热点分支学科与国际同步发展，并涌现出了若干引领国际的课题；学术交流更广泛，学术论文的数量和质量有了大幅度的提升。学科发展中，通过推进前沿研究强化了我国的自主创新能力。④更加重

视扶持新兴学科，引领学科深度交叉融合。国家部委发布重大科技规划、启动大型科研项目和重点研究课题，中国科协发挥自身优势、采取多种措施推动学术交流，促进了各个学科之间的交流，使各学科的联系越来越紧密，加快了学科之间的综合、交叉、融合，新兴科学问题、研究方法、技术仪器和新兴学科、重点领域、热点方向及不断涌现，催生许多重大科技创新和突破。⑤学科发展中，更加重视培育创新团队、创新人才队伍建设机制。培育了具有国际科学视野和学术影响的科技研发队伍，支撑了世界一流学科的建设，还为国家重点单位培养了大批高层次人才。创新团队已成为推动科技发展的重要力量，也成为科学研究组织的主要形式，为学科发展和科技创新提供了强有力的支撑。⑥在建设学科平台、改善基础条件等方面取得了显著成绩。国家重大科研基础设施和大科学工程项目陆续建成并投入使用，形成面向基础研究、涵盖多学科和交叉学科的综合研究基地，增加了各学科之间的交流合作，为开展重大科研活动、解决重要科学问题创造了良好条件。

目前学科发展的方向与趋势更加明确。中共“十八大”确立的宏观战略指导方针、中共中央关于全面深化改革的决定、国家中长期科技规划，已经指明了当前和今后一个时期的学科发展方向，也是各个学科努力奋斗的目标。①继续强化学科基础、完善重大科技基础设施。今后要瞄准科技前沿研究和国家重大战略需求，根据重大科技基础设施发展的国际趋势和国内基础，以能源、生命、地球系统与环境、材料、粒子物理和核物理、空间和天文、工程技术等学科领域为重点，优先安排重大科技基础设施建设，从预研、新建、推进和提升4个层面逐步完善重大科技基础设施体系。②把握学科发展方向、支撑战略新兴产业发展。在进行前瞻性战略思考和布局时，充分关注促进和培育战略性新兴产业发展的要素，围绕经济社会发展重大需求，结合国家科技计划、知识创新工程和自然科学基金项目等的实施，集中力量突破一批支撑战略性新兴产业发展的关键共性技术。在生物、信息、空天、海洋、地球深部等基础性和前沿性技术领域超前部署，加强交叉领域的技术和产品研发，提高基础技术研究水平。③解决重大科学问题、努力突破社会发展瓶颈。围绕国家战略需求，重点部署农业生物遗传改良和农业可持续发展、能源可持续发展、信息科学技术、地球和环境系统、人类健康与疾病、材料科学、制造与工程、空间科学和航空航天等事关经济社会发展的基础科学、重大问题、关键技术的研发和应用。④强化自主创新后劲、继续加强前沿技术研究。加大信息技术、生物和医药技术、新材料技术、先进制造技术、先进能源技术、资源环境技术、海洋技术、现代农业技术、现代交通技术、地球观测与导航技术等代表世界高技术发展方向、对国家未来新兴产业的形成和发展具有引领作用的前沿技术的前瞻部署和研发力度，积极抢占前沿技术发展的制高点。对有利于重点产业技术更新换代、实现跨越发展的前沿技术，要集中力量予以攻克，力争形成一批重大产品和技术系统。

当前还面临学科发展不协调、多重因素制约着学科交叉融合、学科文化和制度环境建设亟待改善等困难和挑战。为此，在学科建设和发展过程中，应更加重视顶层设计、统筹规划和开拓创新，促进学科体系协调发展，造就勇于创新学科队伍，加强学科软环境建设，切实提升科技开放与合作水平，推动学科发展跨上新台阶。

二、学科发展取得重大进展

经过长期的建设、积累和发展，各学科基本建成了包括基础研究与应用研究的较完善的体系，不断地为社会贡献科技成果。同时，学科体系也在社会需求和学科发展推动下不断演进。在一些前沿研究方向和新兴学科领域，学科间交叉融合的趋势日益彰显，协同攻关的创新团队成为大科学时代科研组织的主导形式，学科平台建设体现了大科学时代的特征，所有这些推进着学科建设和科学研究的快速发展。

（一）强化基础研究，努力增强国家科技实力

各学科的基础研究，其实就是人们在认识与学习自然的过程中获取新知识、新原理和新方法的研究活动。进入 21 世纪以来，知识经济快速发展，科学技术的持续创新成为增强综合国力的主要驱动力。丰硕的科研成果和大量创新人才的储备是一个国家跻身世界强国的根本保障。在积聚科研成果、培育创新人才这两个方面，学科的基础研究扮演着举足轻重的角色，因而具有十分重要的战略意义。实际上，加强基础研究已成为当今世界各国科学技术发展的战略重点。

加强基础研究既可以提高原始创新能力，也可以积累宝贵的知识资本和智力资源，是推动我国科技进步和创新的源泉，是建设创新型国家的强力保障。《国家“十二五”科学和技术发展规划》明确指出：坚持把实现创新驱动发展作为根本任务，坚定不移地把增强自主创新能力作为科技发展的战略基点，以创新促转型，以转型促发展，推进科技创新与绿色发展、协调发展、和谐发展和扩大内需紧密结合，推动经济社会发展尽快走上创新驱动、内生增长的轨道。

我国基础研究发展势头良好，已经形成了比较完整的学科布局，部分学科已进入世界先进行列；建成了一批高水平的国家重点实验室和国家重大科学工程等基础研究实验基地；在一些领域涌现出一批世界水平的创新团队和国际知名的科学家。

从科研经费看，我国对科研的财政投入持续稳定增长。例如，国家自然科学基金 2012 年资助基础研究项目共 7106 项，经费总计 54.7506 亿元；2013 年资助基础研究项目 6778 项，经费总计 52.3334 亿元^[7]。

从科技论文数量看，在 2012 年，《中国科技论文与引文数据库》收录的 1994 种中国科技期刊共发表以中国作者为第一作者的论文 52.77 万篇；《科学引文索引》(SCI) 收录中国科技论文为 19.01 万篇，占世界论文份额的 12.08%，居第 2 位；《工程索引》(EI) 收录中国科技论文 12.44 万篇，占世界论文总数的 27.9%，居第 1 位。根据《科学引文索引》(SCI) 统计，至 2013 年 9 月 1 日，2003 年我国科技人员共发表国际论文 114.30 万篇，居世界第 2 位；论文共被引用 709.88 万次，排在世界第 5 位，提前完成了《国家“十二五”

科学和技术发展规划》中规定的到 2015 年“国际科技论文被引用次数进入世界前 5 位”的目标^[8]。

从科技论文的学科分布看, 2012 年国内论文数最多的 10 个学科是临床医学, 电子、通讯与自动控制, 计算技术, 中医学, 农学, 基础医学, 预防医学与卫生学, 材料科学, 土木建筑, 化工。2012 年发表 SCI 论文较多的 10 个学科是化学, 临床医学, 物理学, 生物学, 材料科学, 基础医学, 数学, 计算技术, 电子、通讯与自动控制, 地学; 我国有 15 个学科的论文被引用次数进入世界前 10 位, 其中化学、材料科学、工程技术、数学、计算机科学 5 个领域的论文被引用次数排名世界第 2 位, 农业科学、物理学列第 3 位, 地学、药学与毒物学进入前 5 位; 与 2011 年相比, 有 12 个学科领域的论文被引用频次排位有所上升, 其中农业科学跃升 5 位^[8]。

我国科研水平快速提升。在 2012 年国家科学技术奖励大会上, 国家自然科学基金推荐项目的水平普遍提高。2012 年自然科学奖获奖项目较 2011 年增加了 5 项, 增幅达 13.9%, 在生命科学和物理天文等领域涌现出一大批优秀成果^[9]。2013 年度, 基础研究取得突破性进展。国家自然科学基金一等奖在连续 3 年空缺后终于取得突破, “40K 以上铁基高温超导体的发现及若干基本物理性质研究” 成果荣获 2013 年国家自然科学基金一等奖。该项目确立了铁基超导体是新一类的非常规超导体, 在国际学术界引起强烈反响, 在全球激发了新一轮探索和研究铁基高温超导体的热潮^[10]。

从具体学科发展看, 各学科在基础研究方面取得了显著进步。

中国数学正在走向世界, 在国际数学界有一定的地位, 在一些研究方向上已达到国际先进水平。中国数学家不断参与国际数学会议、担任国际数学杂志编委和成为国际数学组织成员, 这都标志着中国数学的迅速崛起^[11]。

我国天文学领域也获得了快速发展。通常的恒星演化理论无法解释现代高精度、高分辨率和大样本的观测结果。我国科学家完成的“大样本恒星演化和特殊恒星的形成”项目获得 2013 年国家自然科学基金二等奖。该项目开创并系统发展了大样本恒星演化理论, 成功地解决了这个难题, 并将恒星研究与星系研究紧密结合起来, 对恒星演化理论进行了重要拓展。以此为基础, 该项目完成了特殊恒星形成理论的一系列奠基性工作, 先后建立了热亚矮星、Ia 型超新星前身星和双白矮星等重要天体的形成模型, 使特殊恒星的研究获得突破性进展^[12]。

生物学的应用及影响已突破农学和医学等传统领域, 扩展到人口、食物、环境、能源等新兴领域, 成为与人类未来发展息息相关的前沿与交叉学科。生物学作为一门基础性科学, 最近在理论研究与实际应用方面均取得了进展。

近年来, 中国植物学研究发展极为迅速, 不仅在植物学基础研究方面有重大发现, 一些研究成果还推动了整个生物学科的发展。我国学者结合全球气候变化和植被固碳的现状、速率、潜力和机理的碳专项研究, 开展了规模空前的全国森林、灌丛、草地不同植被类型碳普查, 这在植被调查数据积累方面具有非常重要的意义; 我国科学家在解析高等植物光合膜蛋白——菠菜次要捕光复合物 CP29 三维晶体结构研究方面取得了突破性进展,

为深入研究高等植物次要捕光复合物的高效捕光和能量传递,尤其是光保护等能量调节机制提供了结构基础;我国科学家成功分离鉴定了控制水稻理想株型的主效基因IPA1,揭示了调控理想株型形成的一个重要的分子机制,为培育理想株型的超级水稻品种奠定了坚实的基础^[13]。

植物资源的调查、收集、研究和保护具有重要战略意义,是植物学研究和植物资源开发利用的基础,关系到国家的资源安全和社会发展。植物学学科针对我国主要濒危物种,采用各种分子标记技术开展了大量遗传多样性检测、种群遗传结构分析和时空变化的研究,提出了保护生物学的一些新概念。

我国植物保护学科的植物病毒学科研究团队率先合作完成了南方水稻黑条矮缩病毒(SRBSDV)中国分离物的全基因组序列的测定,确认SRBSDV是斐济病毒属的一个新成员,为开展病害检测和防治提供了重要的理论依据;同时,我国学者在双生病毒、水稻病毒致病机制、寄主抗性机制和昆虫介体的传毒机制等研究方面取得了显著进展,诠释了作物通过甲基化体系抵御双生病毒侵染及双生病毒通过多种途径逃避作物防御的分子新机制,阐明了水稻矮缩病毒在介体叶蝉体内的传导扩散过程,加深了对病害发生机制以及寄主抗性机制的理解,为利用相关途径开发植物抗病毒新理论和新策略奠定了基础^[14]。

我国科学家开发了利用第二代测序技术进行基因分型的方法,构建了精确的水稻高密度基因型图谱,并先后对籼稻的14个农艺性状以及水稻抽穗期和产量相关性状进行了全基因组关联分析(GWAS);构建了水稻全基因组遗传变异的精细图谱,分析了水稻的遗传多样性并研究了水稻的驯化过程,分析了亚洲栽培稻的起源历史。在玉米基因组学领域,建立了我国重要玉米杂交组合骨干亲本的高密度分子标记图谱,研究了玉米自交系基因组的遗传变异,剖析了高油玉米籽粒油分合成的遗传结构。在大豆基因组学领域,中国科学家对17个野生大豆品种和14个栽培大豆品种进行了重测序,分析了大豆全基因组遗传变异的模式^[15]。

人体解剖学和组织胚胎学是医学中历史最悠久的经典学科,也是其最重要的起源和基础学科。随着科学技术的不断进步,人体形态结构的研究手段也不断提升,人类社会进入了“智能化”、“信息化”和“数字化”的知识经济时代,对人体形态结构的研究亦随之进入了数字、纳米、分子和基因水平。在人体解剖学和组织胚胎学领域内,数字解剖学(Digital Anatomy)、分子解剖学(Molecular Anatomy)和基因解剖学(Gene Anatomy)应运而生;计算机断层扫描(CT)和正电子断层扫描(PET)技术更是促进了对人体断面或器官内部结构的研究,产生了断面解剖学(Sectional Anatomy);随着当代“转化医学”(Translational Medicine)不断发展,人体解剖学、人体组织学和人体胚胎学不断涌现出新的学科增长点和发展方向,与医学其他各学科互相渗透,互相推动,相互促进势头更加强劲;学科的研究内容不断地超越传统范围,取得了可持续和长足的进步。在数字解剖学领域,我国的发展速度远远超过了美国和韩国,目前拥有例数最多的数字化人体数据集。第三军医大学绘制出了人体内主要肌肉、骨骼、关节、神经、血管和主要内脏器官的三维图像,出版了《人体数字解剖学图谱》并实现了成果转化^[16]。

人类学 (Anthropology) 学科群在理论、方法系统及应用方面均获得迅速发展, 交叉人类学的跨学科研究态势十分明显。中国科学院院士吴新智提出了“多地区进化学说”, 成为世界上关于人类起源最具影响力的两大学说之一^[17]。

中医学发轫于我国古代, 此其独特的理论和现实的疗效生存并发展至今, 保障了中华民族几千年繁衍昌盛。《中华人民共和国国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》中将“支持中医药事业发展”作为“完善基本医疗卫生制度”的6项重点任务之一, 力度空前^[18]。

中医药学的继承与创新取得一系列新成果。例如, 上海药物研究所完成了“若干重要中草药的化学与生物活性成分的研究”项目, 其研究成果对认识中草药主要化学成分、药效物质基础及创新药物的研究具有重要的科学意义和应用价值。该项目对我国55种中草药进行了较系统的化学研究, 分离鉴定了生物碱和萜类化合物1506个, 其中新结构507个, 特别是发现新骨架化合物38个。该项目发现62个化合物具有抗肿瘤、抗感染和离子通道抑制等活性, 确定了其中的11个化合物为药物先导物, 为创新药物研究提供了重要基础, 对推动我国自主知识产权的创新药物研究具有重要的作用。该项目发现的15个新骨架化合物被该领域权威杂志 *Natural Product Reports* 选为研究热点, 多个新骨架化合物被国内外科学家作为目标分子进行全合成, 推动了先导化合物研究的相关学科的发展^[19]。

在人类社会发展的历程中, 材料的发展水平始终是时代进步和社会文明的标志。20世纪60年代以来, 随着材料工程技术的迅猛发展, 材料不仅在种类上得到拓展, 而且在包括光、声、电、磁、超导、高塑, 以及超强、超硬、耐高温等机能与性能上获得了极大发展和深度发掘。

我国材料学科非常活跃, 新概念、新构想和新方法不断出现。新材料在理论和技术两方面取得了长足进步: 在各类材料多样化基础上, 实现合成—结构—性质—加工—实用性能五位一体, 成为现代材料科学与工程的主要内涵; 材料科学与工程相互融合, 两者间的相互影响和作用增强; 多学科和跨学科的交流和合作成为现代材料科学与工程主要发展模式; 各种新材料、新工艺、新技术和新理论大量涌现, 学术活动极为活跃^[20]。

在材料学科, 中国科学院化学研究所完成的“高分子复合材料微加工制备及其物理与化学问题”项目的基础研究引起国内外学者的高度关注, 荣获2013年度国家自然科学奖二等奖。该项目主要涉及高分子复合材料的微加工制备方法学, 其中包括两个关键科学问题, 即多组分多尺度空间分布和形态精细控制方法及其物理与化学。该项目首次提出高分子凝胶模板制备复合中空微球新方法, 并拓展到阵列体系; 以微球形态为研究对象, 进一步实现了多组分空间位点的精确控制和功能严格分区; 以多孔膜形态为研究对象, 首次报道了介孔复合膜材料^[21]。

在冶金工程技术领域的基础研究方面提出了一些创新性的理论、观点及应用成果。例如, 提出了描述硅铝酸盐熔体结构, 计算其中氧离子含量, 根据复杂熔渣体系黏度和电导率的新模型, 建立了电导率和黏度的定量关系; 在冶金反应过程动力学上, 提出气固相反应动力学新模型, 对于描述材料 (如镁碳砖、AlN 等) 高温氧化动力学具有普适性; 将熔

盐电解和碳热还原结合,有效地改进了金属钛及合金制备技术;提出了以亚熔盐态的碱金属高浓度离子介质处理钒渣,可提高钒回收率,并同步提取钒和铬^[22]。

我国环境化学学科的研究工作大多已与国际先进水平同步。自2010年起,我国在 *Environmental Science and Technology* 上发表的论文数稳居第二;有关持久性有机污染物(POPs)研究的论文不仅发表量占据世界第二,而且论文引用率也已跃升为第二。我国科研人员在新型持久性有机污染物方面的研究取得一定进展后,又从混合污染暴露中成功甄别了具有神经毒性的新型溴代阻燃剂四溴双酚A丙烯基醚;继青藏高原环境介质污染物归趋行为研究之后开展的极地环境科学考察表明我国已经将研究视野扩大到全球尺度环境问题的解决上;溶解有机质影响金离子和银离子环境光还原生成金属纳米颗粒等工作,表明我国在纳米污染物的形成、转化和环境归趋行为研究上取得了重要突破。在污染生态化学研究方面,从辅因子招募的化学结构选择性出发揭示了全氟化合物雌激素受体 α -亚型结合导致其构象变化及由此引发的生物效应的分子机制^[23]。

在基础研究的若干重要前沿领域,已具有深厚的积累,也孕育着新的突破,如暗物质、新粒子发现和河内巡天,有望深化人类对宇宙的认知;在高温超导与拓扑绝缘体、量子存储器、量子调控、介尺度科学等领域,有望探索发现新的物理和化学原理并产生应用价值;在合成生物学和脑科学等研究领域,探索生命的起源和创新科学思维方法成为可能;在青藏高原形成演化及其资源环境效应研究方面,将在地球系统科学理论上产生新的突破;在数学与交叉科学等研究领域的突破将极大推动其他学科领域的发展^[24]。

(二) 注重应用研究,服务国家重大战略需求

学科发展的动力源于学科本身不断发展和深入的内在驱动,学科之间日益交叉与融合的迫切需要,以及经济社会快速进步与发展的社会需求。社会经济发展的强烈需求是推进科技发展的强大动力,也是学科发展的引擎,因此,国家重大战略需求是学科发展的重要推手。

服务于国家经济和社会发展的重大需求,瞄准国家重要战略目标,攻克对影响社会进步、国家安全、经济发展、人类健康的战略性、基础性、前瞻性和关键性科技难题,及时纠正技术应用中的苗头性和倾向性偏差,是学科的基础研究获得社会支持和赢得发展机遇的关键。

应用研究旨在将基础研究成果应用于社会生产和日常生活,促进基础研究成果迅速转化为生产力,从而产生经济效益和社会效益。近年来,科学与技术的相互结合、相互促进和相互转化变得更加迅速,日臻完善。基础研究成果转化为生产力的周期越来越短,技术更新速度加快。一些领域在中间阶段的研究成果就申请了专利,有些甚至直接转化为产品走进了人们生活。

根据德温特世界专利索引数据库统计,2012年中国获得授权发明专利21.75万件,较2011年增长24.76%。其中中国机构(个人)获得授权的发明专利数约为141544件^[8]。

从具体学科发展看,各学科在应用研究方面均取得了显著成果。

我国应用数学学科发展较快。运筹学作为应用数学的一个分支,注重将数学规划、博弈论、随机优化、排序论、供应链管理和计算系统生物学等理论成果应用到社会生产和生活实践。例如,我国学者利用运筹学的优化模型和方法设计了双网融合无线网络规划方法,有助于电信运营商精细化管理无线网络,有利于避免靠人工凭经验优化基站的不可靠性,提高基站优化效率。该项目的研究成果在移动网络规划建设中发挥了重要作用,取得了较好的经济效益和社会效益;东北大学物流优化与控制研究所唐立新领导的团队建立了多个原创性的运筹学模型,提出了三层次优化方案及智能优化方法,克服了现有优化方法难以有效地解决复杂工业问题的难点^[25]。

地球科学整合了很多原有学科,形成了分支众多的学科群,涵盖了地质学、地理学、海洋学、气象学等领域。我国地球科学一直在快速发展。例如,地理科学的地图学与地理信息系统两个二级学科相互交叉、融合与渗透,在国家科技计划和市场需求双重动力的推动下,地图学和地理信息系统取得了一系列重要的应用成果;国产化软件的研发进入新阶段,通过关键计划的协同攻关和系统集成,催生出了我国第一代地理信息系统(Geographic Information System, GIS)软件,如 MapGIS、SuperMap、GeoStar、InterReal 等。目前,自主品牌的 GIS 基础软件 SuperMap 和 MapGIS 已经占据了国内市场的 60% 以上,并开始走向国际市场。在行业应用与地理信息服务方面,我国 GIS 的应用与世界同步,进入了地理信息服务的时代。我国的“百度”、“腾讯”等大型互联网公司,均提供免费的地图服务;国家大剧院和首都国际机场等大型公共场所将室内定位与 GIS 结合,推出了室内地理信息服务。可以预见,在未来的 5 年,我国 GIS 发展将与国际水平同步,实现室内外一体化的地理信息服务体系,进入以知识化服务为核心的发展阶段^[26]。

现代农学发展迅速,有力地促进了我国农业进步和社会经济发展。自 2004 年以来,“三农”问题一直是中央“一号文件”的主题,其中 2012 年中央“一号文件”专门强调要“把农业科技摆在更加突出位置,明确农业科技是确保国家粮食安全的基础支撑,是突破资源环境约束的必然选择,是加快现代农业建设的决定力量,具有显著的公共性、基础性、社会性”,进一步明确了农业科技发展的战略定位。

基础农学学科是农业科技进步和创新的原动力,它在遗传育种、灌溉排水、病虫害防控近、农业信息、植物保护等领域实现了理论与应用的重大突破,取得了良好的经济效益、社会效益和生态效益。首次创立了符合国际标准的中国小麦品种品质评价体系。发现小麦新基因和新标记 26 个,育成优质小麦品种中优 9507、中作 8131-1 和临汾 5064,已成为全国优质麦育种的骨干亲本,以此作亲本育成的优质品种 23 个,累计推广 1.8 亿亩,经济效益达 30 亿元。另外,小麦条锈病菌源区勘界、异地测报以及菌源基地生态治理技术取得重大创新,在大规模推广应用中防病保产效果极其显著,2009—2011 年累计推广应用 23067.2 万亩,有效控制了条锈病的暴发流行,增收节支 93.32 亿元^[27]。

林学学科当前更加关注林业生态建设,围绕中国林业重大工程中的重要基础科学问题展开了深入探索,通过促进源头创新,使林学研究真正成为林业科技发展的引擎。林学学

科的“与森林资源调查相结合的森林生物量测算技术”项目，首次提出了非线性模型联合估计方法，解决了生物量模型的相容性问题，建立的 11 个树种（组）的生物量模型属世界首创；该项目对树木平均密度和干物质率估计、自适应树高模型的应用等内容的研究结论，规范了森林生物量建模中的数据采集处理、模型研建和评价等方法；该项目提出了基于连续清查样地的加权 BEF 法，从而解决了与森林资源清查体系相结合的大区域森林生物量估算问题。同时，该项目成果为我国应对全球气候变化谈判提供了基础数据支持，总体达国际先进水平，取得了良好的社会效益^[28]。

作为新兴学科，草学近几十年来所支撑的草业发展迅速，展现出良好的前景。草业关系到国家生态和粮食安全，是农业可持续发展的重要环节，其对社会进步和经济发展具有重要意义。随着国家对草学的重视及草业工作者的不懈努力，草学已在牧草新品种选育、人工草地建设、草原改良、病虫害防治、草产品加工、家畜饲养、生态恢复等方面取得了众多科研成果，并在实践中产生了较好的经济效益和社会效益。2011 年草学晋升为国家一级学科，也是农业领域唯一晋升的学科，标志着草学的学科地位得到了社会认可。随着《中华人民共和国草原法》等相关法规的制定为草业发展提供了法律保障，国家科学发展观的提出为草业发展奠定了思想基础，国家高度重视粮食安全和能源安全为草业发展提供了广阔空间，全社会生态保护意识不断增强为草业发展创造了良好的社会环境。国家 863 计划、973 计划和国家自然科学基金项目等在重大科技创新和高新技术应用领域的项目支持，使得一大批具有国际影响力的成果产生。尤其是牧草生物技术取得了重要进展，我国设有草学教学点的高校和科研机构在功能基因的克隆方面已与国际知名的研究机构处于同等水平。面临 90% 草原退化的局面，我国在草原生态保护建设方面做了大量工作，投资力度逐年增加，也取得了令世界瞩目的科技成果。

自动化学科已经成为衡量一个国家科技发展水平和综合国力的重要标志之一。以自动控制和信息处理为核心的自动化技术也已经成为推动生产力发展、改善人类生活以及促进社会前进的原动力之一。在控制理论与控制工程方面，国内学者在多智能体协作、极值搜索、网络化系统资源优化、事件驱动控制和智能控制等几个方面都取得了较大进展，尤其在网络控制系统方面取得了一系列突破性成果；在模式识别理论方面，研究热点集中在无线传感器网络、物联网、图像分割和人脸识别等方面。

浙江大学现代控制工程研究所完成了“高端控制装备及系统的设计开发平台研究与应用”项目，并获得了 2013 年度国家科技进步奖一等奖。该项目彻底解决了高端控制装备及系统的高安全性、高可靠性、高适应性、大规模化等四大难题，研制成功高端控制装备及系统的设计开发平台，形成了拥有自主知识产权的完整技术体系。该成果成功应用于特大型高炉 TRT 装置、特大型空气分离装置、特大型超临界火电机组以及其他重大工程 2500 余套，其中大型高炉 TRT 装置优化控制系统市场占有率 90% 以上，技术性能指标全面优于国外主流控制系统，达到同类技术的领先水平，产品已出口美国、德国、日本、韩国等多个国家，具有国际市场竞争优势^[29]。

为满足我国产业发展需求，冶金学科在关键品种开发上实现了重大突破。在电力工业

方面,超超临界火电机组采用的耐热(600℃)、耐高压管,核电机组采用的高性能不锈钢、合金钢管、耐蚀合金U型管等过去都要依靠进口,现在已经可立足国内生产。采用低温工艺生产高牌号取向硅钢(HiB)铁损低于0.80W/kg,已成功用于500kV大型变压器制造。400系铁素体不锈钢和双相不锈钢的质量达国际先进水平,不仅满足了国内需要,还开拓了国外市场。石油开发用各种强度级别和特殊扣的无缝管材生产技术方面也实现了重大突破^[22]。

机械工程学科近年取得了令人瞩目的成就,尤其是在特种加工技术、微纳制造技术领域。前者主要以电火花成形加工、电火花线切割加工、电化学加工、激光加工和增材制造为代表;后者主要表现为微机电系统(Micro Electro Mechanical Systems, MEMS)和纳机电系统(Nano Electro Mechanical Systems, NEMS)。这些成果已被广泛应用于各个制造领域,特别是航空航天、能源动力装备、汽车、微电子和生物医疗等高端制造领域,为国民经济的健康发展做出了重要贡献。

在增材制造技术方面,我国科研人员研发出了难加工金属大型结构件直接成形的系列化激光直接制造成套装备,制备出了大尺寸、复杂结构的钛合金及超高强度钢等高性能关键整体构件,已经在7种型号飞机研制和生产中得到工程应用。我国科研人员研制的大台面选区激光烧结装备已获得实际工程应用,为传统铸造产业升级提供了技术支撑^[30]。

近年来,国家大力促进电力工业可持续发展,实施国家能源战略。“特高压交流输电关键技术、成套设备及工程应用”项目使得我国在世界电力工业领域实现了中国创造和中国引领。特高压交流输电代表国际高压输电的最高水平。我国研发特高压交流输电技术,既面临高电压、强电流的电磁与绝缘技术世界级挑战,又面临重污秽和高海拔的严酷自然环境影响,创新难度极大。该项目涉及180项关键课题攻关和9大类40余种关键设备研制,通过“产、学、研、用”的协同攻关,在电压控制、外绝缘配置、电磁环境控制、成套设备研制、系统集成和试验能力6大方面实现了创新突破,获得发明专利96项,掌握了特高压交流输电核心技术,研制成功了全套关键设备^[31]。

我国食品科学与技术研究不断深入,在食品安全检测与风险评估技术、功能性物质和微生物等领域均取得了重要突破和显著成效。食品学科的最新研究进展不仅拓宽了科学研究的广度和深度,而且在产业中得以运用,产生了良好的经济效益。例如,农产品高值化挤压加工与装备关键技术,以挤压技术为出发点,研究了分流冷却、整流控压的稳态化物料成型技术,在国内首次完成了配合营养米和速溶首乌颗粒的工业化生产,并形成了多条高品质全脂大豆的挤压生产线,建立了挤压与酶反应生物转化或化学催化相结合的加工技术,实现了工业化生产;高效节能小麦加工新技术,包括高效节能小麦加工技术、蒸煮类小麦专用粉生产新技术和高效节能挂面生产新技术等在全国600多条生产线应用,大幅度提高了面粉产出率,累计节电数十亿度^[32]。

经过多年的科研和实践,道路工程学科逐步建立和充实了公路环境与可持续发展的相关理论,从环境保护与可持续发展的角度出发,在公路网规划、设计和建设过程中丰富和发展了公路建设理念。将环保理念融入了公路网规划以及公路工程设计过程,基于“安

全、高效、舒适、环保”的指导思想和基本原则，提出了灵活性设计、宽容性设计和关联性设计等新理念，促进公路可持续发展^[26]。例如，由废旧轮胎制备橡胶粉的改性沥青技术实现了工业废料的循环利用，沥青、水泥路面材料通过现场或场地冷、热工艺实现了路面材料的再生利用等技术均在北京长安街改造等重大工程中得到应用，取得了明显的经济与社会效益。

道路工程学科关于灾害控制和安全的研究成果广泛应用于公路检测技术与设备、道路安全保障技术体系、大型桥梁与隧道工程风险评估与管理、桥梁与隧道抗震及减震、水下隧道设计与施工技术、长大隧道防灾减灾及安全运营以及地质灾害勘察与评价技术等方面。例如，“厦门翔安海底隧道（东通道）建设与运营成套技术”项目研究开发了针对海域各种不良地质的注浆设备工艺，首次提出了海底隧道注浆效果评价标准，为施工安全和防止涌水提供了保障；首次建立了海底隧道结构安全长期监测体系，为隧道安全运营创造了条件。该项目研究成果对我国海底隧道建设和发展起到重要的示范和推动作用，总体上达到国际领先水平^[33]。

中国体视学学会已建有生物医学、材料科学和图像分析、CT理论与应用、仿真与虚拟现实、金相与显微分析共6个分会，还成立了学术委员会和会员工作委员会，现为国际体视学学会的团体会员。生物医学体视学研究不断建立并完善生物医学体视学方法，不断加强体视学方法在实验病理学研究和临床病理诊断中的应用；材料体视学研究在材料学科由定性走向定量的历史过程中功不可没；图像分析研究不断发展的图像分析技术与方法，研究发展了多种适合图像自动理解与分类识别的理论方法，在分子影像领域提出了分子影像非匀质重建新方法，建立了针对黄色人种的偏振光皮肤镜图像分析诊断方法和系统，建立了基于全自动控制显微镜的数字病理切片及其DICOM（Digital Imaging and Communications in Medicine）图像管理系统，提出了基于数字病理切片的病理图像检索与辅助诊断方法，在三维获取和三维重建方面获得重大研究进展；CT技术研究在CT的基本理论方法研究上取得切实进展，在CT系统相关的关键部件研究上完成了高水平成果，成像目标向微尺度和大尺度继续延伸，我国科研人员研发的“大型装备缺陷辐射检测技术”在—批重点型号装备的研制生产、重要试验和延寿中发挥了不可替代的作用，广泛应用到航天、航空、兵器、铁路等领域^[34]。

（三）推进前沿研究，着力强化自主创新能力

自主创新是科技发展的灵魂，是人类发展的不竭动力，是支撑国家崛起的筋骨，也是自立于世界民族之林的重要资本。因此，自主创新能力是国家竞争力的核心，也是我国应对未来挑战的重大选择，是统领未来科技发展的战略主线，是调整产业结构与转变增长方式的中心环节，是我国实现建设创新型国家目标的根本途径。

在自主创新中，最重要的竞争集中在前沿技术领域。发展水平高、进展速度快、科学影响超前的前沿技术学科，将向其他领域传递其概念、理论和方法，进而影响其他学科的

发展规模和水准。

近两年，我国学科发展更加注重科学探索性，学科前沿技术研究获得稳步推进。

化学学科相当一部分新兴、热点分支学科与国际同步发展，并涌现出了若干引领国际的课题；更加重视把科研成果转化为生产力并取得了一些突破；学术交流更广泛，学术论文的数量和质量有了大幅度的提升。化学学科正处于高速发展期，我国从化学大国向化学强国奋进的步伐越来越快^[23]。我国科学家成功制备出了具有可见光全光谱吸收的红色二氧化钛光催化材料。该材料实现了可见光全谱强吸收，将二氧化钛光电解水产氢的火星光响应范围拓展至 700 nm。该研究意味着人类有可能利用二氧化钛基光催化剂材料实现高效可见分解水制氢，对推动太阳能的大范围高效利用具有重要意义。聚合物科学领域，序列精确控制聚合取得重要进展；光电功能高分子研究在各方面与国际同步，继续保持快速发展，并一直处于世界前沿。聚合物太阳电池研究中，由我国率先提出并实现的无需透明电极的柔性可编织纤维太阳电池的光电转换效率的提高、大尺寸化与模块化、纤维电极材料的开发、低成本的纤维电池以及其他类型纤维电子器件研制等方面有了新的突破；研究出了同时具有光电转换和储能的纤维状功能材料——取向碳纳米管纤维，并由其研制出一种新型、柔性的纤维状能源集成器件^[35]。

生物学一直是国际科学界关注的热点领域。例如，细胞生物学学科的“干细胞多能性与重编程机理研究”项目，围绕干细胞多能性的维持与调控、解决干细胞来源瓶颈的诱导多能干细胞（IPS）重编程机理这两大关键问题，建立了新的干细胞多能性调控和重建的理论框架，在国内率先开发出具有创新特点的 IPS 技术平台并加以推广，同时还发现了能够极大提高 IPS 效率的方法。这一系列原创性研究成果，推动了国际干细胞研究发展^[36]。

我国电子信息学科在密码学和安全协议领域前沿研究实现了重大突破，从序列密码、分组密码、Hash 函数、公钥密码到安全协议 5 个方面，均取得了长足进展。我国学者自主设计了祖冲之序列密码算法，在序列密码相关学术领域中取得了一系列具有国际先进水平的理论成果；随着数字化技术的发展，通信传输在向高速大容量长距离发展，光纤传输速率越来越高，波长从 1.3 μm 发展到 1.55 μm 并已经获得广泛应用。单个波长段上用多个信道的波分复用技术已进入实用阶段；光放大器代替光电转换中继器已经投入实际应用；相干光通信和光孤子通信已取得重大进展等^[37]。

材料是当前世界新技术革命的重要支柱，与信息技术、生物技术一起构成了 21 世纪世界最重要和最具发展潜力的三大领域。前沿技术的突破使得新兴材料产业不断涌现，材料科学与工程与其他学科交叉领域和规模都在不断扩大，推动了本领域的技术创新能力的提高和发展，取得了一系列研究成果。有机发光显示技术（OLED）在国际上被视为继液晶显示技术（LCD）之后最有发展前景的新型显示技术。“有机发光显示材料、器件与工艺集成技术和应用”项目历经十余年自主研发，攻克了电子注入、电子传输、器件可靠性和大规模生产工艺技术等关键难题，整体技术达到国际领先水平；开发了具有高可靠性和高耐候性的显示器；完成了工艺技术集成，并实现了产业化^[23]。

在自主创新政策的驱动下，我国冶金学科在大型化、自动化、智能化冶金装备的自主

设计和制造方面取得了较大进步。我国自主研发的 5000 m³ 特大型高炉及配套的特大型焦炉、烧结机和球团设备,在大型化、自动化和智能化方面达到国际先进水平。我国自主研发的 200 吨级电炉成套设备,世界最大断面圆坯连铸机,特大方矩形连铸机,特厚板坯连铸机,400 吨矿用汽车,大型模锻设备,2000 mm 以下宽带钢连轧机组和 4000 mm 以下中厚板生产机组全部实现国产化。冷连轧机组国产化已从单机架向连轧机推进,从普冷板轧机向汽车板、镀锡板、不锈钢板和硅钢板轧机推进,从中宽带钢向宽带轧机推进^[22]。

能源的过度使用严重地威胁着人类的生存和发展,能源技术发展的主要方向是经济、高效、清洁地利用常规能源和新型能源开发。近年来,我国能源学科在太阳能热发电的前沿研究和工程试验方面稳步发展。2013 年底建成了我国第一个太阳能热发电站以及定日镜光学性能试验平台,研制成功了我国第一台太阳能热发电站仿真机。能源领域开发的“多喷嘴对置式水煤浆气化技术”在伊泰能源有限公司 540 万吨煤制油项目(在建)中得到应用,实现了该项技术大型化的目标。

我国成功研制了“KD-90”超级计算机。这是我国首台采用自主设计的“龙芯 3B”8 核处理器及超多端口千兆以太网交换芯片的万亿次高性能计算机,是高性能计算机国产化中的又一次重要突破,在编程模型和互联网络等关键技术达到了世界先进水平^[38]。

国防科技大学研制的天河二号超级计算机系统,以峰值计算速度为每秒 5.49 亿亿次和持续计算速度达每秒 3.39 亿亿次双精度浮点运算的优异性能,成为全球最快的超级计算机。天河二号超级计算机系统具有 5 大特点:一是高性能,峰值速度和持续速度都创造了新的世界纪录;二是低能耗,能效比为每瓦特 19 亿次,达到了世界先进水平;三是应用广,主打科学工程计算,兼顾了云计算;四是易使用,创新发展了异构融合体系结构,提高了软件兼容性和易编程性;五是性价比高。它是“十二五”期间 863 计划“高效能计算机研制”重大项目一期工程取得的标志性成果,对提升我国综合国力具有十分重要的战略意义,为解决经济社会和科技发展重大挑战性问题提供了更为先进的手段^[39]。

清华大学软件学院完全自主研发了三维图形核心系统——Ti3DCore 图形核心系统。此系统实现了“可定制”的集成框架,已经成功嵌入到建筑等多个行业的应用软件之中。中国建筑科学研究院与清华大学软件学院合作,开发了基于 Ti3DCore 核心的建筑行业系列三维设计系统,这些系统面向实际应用,功能明确,操作简便,体现了 Ti3DCore 核心系统嵌入建筑行业应用的发展优势。这些系列软件已经成功地应用于北京奥运会城区改建、北京奥林匹克森林公园景观设计、四川汶川地震灾后重建规划、深圳平安国际金融中心以及苏州东方之门等重大工程^[26]。

智能化是信息科学技术发展的主流趋势之一,机器学习是实现智能化的关键,并在众多领域发挥日益重要的作用。“基于不充分信息的机器学习理论与方法研究”项目获得了 2013 年国家自然科学奖二等奖,该项目针对机器学习中信息不充分问题开展了研究,针对采样、标记、关系和目标类等方面的不充分性,分别通过挖掘数据分布信息、利用未标记数据、利用邻域关系及度量学习、利用非目标类数据来展开研究,建立了多学习器集成的理论和方法、协同训练理论与方法、不平衡样本集的学习理论与方法。该项目还将其方

法应用医疗诊断和刑事侦查等领域，充分表明该项目构成了完整的体系，有重要发现与创新。该项目推动了基于不充分信息的机器学习问题的研究，有重要的学术意义及实际应用价值^[40]。

无线网络领域，在异构多域无线网络安全方面取得受到国内外同行认可的原创性科研成果，增强了无线网络异构互联的安全性，为下一代无线网络的发展及其广泛应用奠定了基础，具有重要的科学价值^[41]。

传感和识别技术旨在扩展人类获取信息的感觉器官功能，包括信息识别、信息提取和信息检测等技术。随着信息技术的迅速发展，通信技术和传感技术的紧密集合，我国以遥感卫星为代表的遥感技术广泛应用到勘探、气象、海洋开发、环境监测、测绘、土地利用和防火等各个应用领域，取得了长足进步。

随着材料科学、纳米技术的发展和微纳加工技术的进步，传感器呈现出小型化、微型化的趋势，伴随着微电子技术的进步和计算机技术的发展，集成化、智能化、网络化和多传感器融合也成为传感器发展的趋势。

在交互控制方面，无论是人机之间的语音交互控制、手势交互控制和以电容屏为代表的多点触屏控制技术，还是以智能拟人机器人为代表的机器与机器、机器与环境之间的交互控制技术，都得到了长足的进步和发展。此外，最近几年国内兴起的基于传感和识别技术的“物联网”热潮，未来发展前景可期^[37]。

兵器科学与技术是多学科交叉、备受关注的高技术领域。近年来我国兵器装备在提高远程发射、精确打击和高效毁伤性能方面取得了长足进展。作为兵器能源的含能材料，获得了一系列重大突破，低温感全等模块装药、先进高能量密度化合物合成与工程应用、温压炸药、新型高能推进剂等重大研究成果，有力地推动和引领了先进大口径火炮、远程战术火箭、高威力毁伤弹药等兵器装备的发展。

航空航天技术是涉及多种学科的高技术领域，也是世界各先进国家非常重视的领域。

我国在飞机和直升机技术方面取得了重大突破，军用飞机“歼-20”已经开始定型试飞，“歼-31”完成首次飞行；标志着中国成为除美国外第二个同时研制两种第五代战斗机的国家。“运-20”重型军用运输机是有史以来中国研制的最大型军用飞机，已首飞成功。首架“歼-15”原型机在辽宁号航空母舰上成功进行着舰测试和起飞测试，标志着我国舰载机技术获得重大突破^[42]。

我国政府一直把航天事业作为国家整体发展战略的重要组成部分，始终坚持为了和平目的探索和利用外层空间。经过多年的发展，特别是近年来的快速发展，我国航天事业取得了以载人航天和月球探测等为代表的一系列举世瞩目的成就，在若干重要技术领域跻身世界先进行列。

单从应用研究领域的重要进展看，“北斗”卫星导航区域系统建设顺利完成，正式向亚太地区提供连续无源定位、导航和授时等服务；多颗“实践”系列卫星和微小卫星的成功发射，为空间环境探测、空间科学实验和新技术验证提供了支撑平台；“风云”系列卫星实现了对台风、雨涝、森林火灾、干旱和沙尘暴等灾害的有效监测。历经十余年，中国

航天科技集团六院研发出了中国首型拥有自主知识产权的 120 吨级液氧煤油高压补燃循环发动机，这是新一代无毒无污染、高性能、高可靠的大推力动力装置，将是今后探月工程、空间实验室乃至深太空探索等的动力基础，也是目前中国推力最大的火箭发动机^[43]。

2012 年 1 月，我国成功发射首颗自主研发的高分辨率光学立体测绘卫星——“资源三号”，在完成轨测试工作后，7 月由研制单位中国航天科技集团正式交付主用户国家测绘地理信息局。“资源三号”卫星第一次实现了我国遥感卫星多角度、多光谱综合立体成像，使我国卫星遥感图像质量达到国际先进水平，实现我国超高码速率遥感数据传输及实现低轨遥感卫星 5 年设计寿命。“资源三号”卫星可以完成对我国西部空白区的测绘，还可进行国家海岸带海岛地理环境的高精度、全覆盖的地理信息测绘、监测与更新，为城市建设、农林水利和生态环境监测提供稳定的卫星遥感资料。“资源三号”卫星正式投入使用，标志着我国资源遥感卫星技术达到国际先进水平，标志着我国掌握了高分辨率卫星影像数据的自主权，也标志着我国从测绘地理信息大国向测绘地理信息强国迈出了坚实的步伐，增强了我国在国际相关领域的话语权，必将对我国提升自主创新能力和科技综合能力产生深远的影响^[44]。

我国成为继美国和俄罗斯之后第三个掌握载人空间交会对接技术的国家，载人空间运动控制、交会对接技术、组合飞行技术、组合体载人环境保证及整个飞船作为天地往返运输系统的性能得到验证^[45]。2012 年 6 月 18 日，我国首次实现载人空间交会对接。在距地面高度为 343 千米的轨道上，“神舟九号”与“天宫一号”成功实现自动交会对接，形成组合体。随后，“神舟九号”与“天宫一号”分离，转为手动控制，在航天员的配合下再次与“天宫一号”成功对接。2013 年 6 月 13 日，“神舟十号”飞船与“天宫一号”顺利完成了自动交会对接。

2012 年 7 月，“天链一号 03 星”被成功送入太空预定轨道，标志着我国第一代中继卫星系统正式建成。“天链一号 03 星”是我国发射的第三颗地球同步轨道数据中继卫星，将与 2008 年发射的“天链一号 01 星”和 2011 年发射的“天链一号 02 星”实现全球组网运行，建成比较完备的中继卫星系统。中继卫星系统将进一步提供中国载人航天飞行任务的测控覆盖率，为“神舟飞船”及未来的空间实验室、空间站建设提供数据中继和测控服务；同时，还将为我国中低轨道资源卫星提供数据中继服务，为航天器发射提供测控支持。我国中继传输技术研究中心面临“长期卫星管理、长期执行任务”的双长工作模式以及“系统建设、任务准备”两线作战态势，始终坚持用技术创新促进卫星管理的自动化、智能化^[46]。

“北斗”卫星导航系统是我国独立发展、自主运行，并与世界其他卫星导航系统兼容互用的全球卫星导航系统，除了能提供高精度、高可靠的定位、导航和授时服务外，还具备短报文通信、差分服务和完好性服务特色，是我国国家安全、经济和社会发展不可或缺的重大空间信息基础设施。目前在我国及周边地区，“北斗”系统的位置精度达到平面 10 m、高程 10 m，测速精度每秒 0.2 m，授时精度单向 50 ns，还可提供双向高精度授时的短报文通信服务，总体性能与美国的 GPS 相当^[47]。

2013年12月2日1时30分,我国在西昌卫星发射中心用“长征三号乙”运载火箭,成功将“嫦娥三号”探测器发射升空。“嫦娥三号”将首次实现月球软着陆和月面巡视勘察,开启我国探月工程开的新阶段。

“嫦娥三号”探测器是中国发射的第一个地外软着陆探测器和巡视器(月球车),也是美国阿波罗计划结束后重返月球的第一个软着陆探测器,是我国探月工程第二阶段的关键任务,起着承上启下的作用。“嫦娥三号”探测器突破了月球软着陆、月面巡视勘察、月面生存、深空探测通信与遥控操作、运载火箭直接进入地月转移轨道等关键技术,同时入选2013年“中国航天十大新闻”和“世界航天十大新闻”^[48]。习近平总书记高度评价了“嫦娥三号”发射成功,指出这既是落实创新驱动发展战略的重要成果,又为加快实施这一战略提供了有益经验^[49]。

(四) 扶持新兴学科, 引领学科深度交叉融合

学科交叉融合是指两门或两门以上的学科渗透融合而形成的一种新的综合理论或系统知识,其实质是知识体系的融合,是知识、技术和方法的集成,是不同思维、观点和理论的碰撞。

人类社会面临重大科技问题愈来愈趋向综合化、复杂化,多学科的联合攻关、跨学科的融合创新成为解决重大科技问题行之有效的方法和途径。学科与学科之间、科学与技术之间、自然科学与人文社会科学之间的交叉、渗透、融合,成为学科发展的必然趋势。当代科学技术的发展越来越呈现出多学科相互交叉、相互渗透、高度综合以及系统化、整体化的发展态势。学科交叉在促进传统学科发展的同时,已经成为产生科学新前沿的一个主要来源。

从2012—2013年的学科进展情况看,许多重大科技新突破均源自于学科之间的综合交叉融合。例如,空间科学涉及天文学、物理学、化学、生命科学、气象学、大气科学和材料科学等众多学科领域。例如“嫦娥三号”探测器获得重要科技成果、“神舟九号”与“天宫一号”成功交会对接,这些成果无一不是基于涉及空间天文学、空间物理学、空间生命科学、微重力科学、遥感研究等基础研究和应用研究方面取得的重大进展,得益于众多学科的综合进步。

数学、物理学、生物学和化学等基础学科的理论、方法及其与其他学科的结合,依然是交叉学科发展的主要方向;信息科学与其他各门学科的交叉,正在改变着各学科的科研范式。

网络科学以复杂网络为主要研究对象,通过对复杂网络特性的提取和刻画,探究其所反映的复杂系统的普遍规律;运筹学的各个分支,特别是最优化方法和图论已在网络科学中发挥了重要作用;今后10年内网络科学预期在网络生成模型和网络演化特征的刻画方面将有重大的突破,并成为应用科学的主流性分支。

化学信息学(计算机化学)在物质的结构、性质、相互作用及其机理的分子模拟、蛋

白质结构和功能预测、复杂体系分析、近红外光谱学、软件和数据库的开发等方面取得了较大进展。例如,发展了能精确预测小分子-蛋白质结合自由能理论计算及药物-受体结合自由能全景图的方法,构建了国际上第一个精确的抗阿尔茨海默病天然药物石杉碱甲和乙酰胆碱酯酶相互结合的自由能全景图;构建了基于新颖的结构位置特异得分矩阵 SPSSM、包含 900 万序列的 SPSSMPred 网络服务器;建立了国际上首个基于 GPU 的化学反应分子动力学程序 GMD-Reax,单节点计算性能比国际知名的 LAMMPS 平台的 CPU 程序有大幅提升,为在桌面机上开展煤热解等复杂体系化学反应的快速模拟提供了可能;建立的基于化学深层网数据提取方法化合物数据信息搜索引擎 ChemDB Portal 已上网运行^[23]。

电气工程学科以电能生产、传输、变换、使用、控制和管理等为主要对象,与信息科学、计算机技术、电子技术、自动控制、系统工程和新能源新材料应用等领域紧密结合。从学科自身发展来看,电气工程学科研究和行业发展力度并未随着时间推移而弱化,而是成为一个含有众多分支的学科,扎根于数学、物理学和化学等基础学科,交融于材料、信息、生命和环保等其他学科领域。电机与电器是电能输送和使用的重要电气设备,电机和电器的发展与我国电力系统及用户配电控制使用紧密相关,智能电网涵盖发电、输电、配电、调度、变电和用电等各个环节,需要智能化电器和先进传感技术支持。随着计算机技术、电力电子技术及控制技术的发展,其学科内涵与外延都发生了很大的变化。电机与电器的研究和逐渐从传统电机和电器转变为以电机电器为核心,包括电力电子、数字控制和一些特殊关键应用在内的电机与电器系统,乃至机电能量与信息变换的集成系统,电机与电器学科已与电子信息技术和计算机技术交叉融合,密不可分^[50]。

在学科交叉融合发展的大背景下,新兴的交叉学科也不断涌现。前基因组学与蛋白质组学、生物信息学、神经系统科学、纳米科学、NBIC 会聚技术、生物天体物理学和合成生物学等受到更多关注。随着基因组学和生物信息学在生物技术领域研究的巨大进展,营养基因组学(Nutrigenomics)应运而生,并迅速成为营养学研究的新前沿。营养基因组学研究主要集中于营养素作用机制、膳食健康效应以及营养干预的有益作用和营养素功能^[32]。

在生物医学体视学领域,新的交叉学科正在形成。随着分子生物学的发展以及计算机和图像分析技术的广泛应用,一方面,生物医学领域的形态学科正由简单的形态描述向量化方面发展,进而产生了生物医学体视学和远程生物医学;另一方面,分子生物学、生物化学、免疫学和分子遗传学与形态学科交叉渗透,产生了分子形态学。

地球科学正由过去单个学科独立发展向多学科交叉的“地球系统科学”过渡,这种过渡与融合并不仅仅局限于传统的地质学及其各分支,而是包括了与大气科学、地理学、海洋学、生物学等学科的交叉发展。

青藏高原具有最复杂的形成机制、最高的海拔、最大的面积、最重要的环境效应、最脆弱的生态环境,地球各个圈层在这里相互作用,彼此产生敏感和明显的影响。青藏高原研究成为地球系统科学在区域尺度的代表,正在成为交叉研究的前沿,是我国地球系统科

学研究取得重大突破，占据国际学术制高点的关键领域，有望对国际地球系统科学研究起到引领作用^[51]。

应用矿物学是矿物科学与工程的重要组成部分，是在现代测试分析方法迅速发展以及现代生产和科技要求矿物学进行实际应用的基础上发展起来的学科；是矿物学与工艺矿物学和材料学相结合相互渗透的科学；是矿物学与矿物资源综合利用之间的桥梁和纽带，它的兴起与发展是现代科学理论和技术进步的必然产物。

由香港特别行政区学者完成的“燃料电池中多相能质传递与反应动力学的相互作用机理”项目获得了2013年度国家自然科学基金二等奖。该项目开辟了工程热物理与电化学学科交叉的新方向，揭示了以前单相流动假设的不合理性，发现了温度对燃料电池性能影响的关系，推动了燃料电池温控改进性能的工作，建立了多尺度能、质模型，以及发现自析氢现象等，并以此理论为指导由国际著名燃料电池生产商研制出高性能直接甲醇燃料电池样机，对我国在燃料电池领域的发展有推动作用^[52]。

在照明科学与技术学科领域，中国科学院长春应用化学研究所等联合研发了寿命可控交流LED稀土发光材料，其发光余辉寿命与交流电频率匹配，这样当LED芯片不发光时发光粉仍然发光，就可以减少交流LED电流波动导致的频闪。该方法充分利用了发光材料的寿命特性，将其与交流供电周期性相结合，利用具有特定寿命的发光材料补偿了交流供电带给芯片的发光波动性，从而使交流LED照明光源在交流周期的光输出稳定性有了极大提高。此项成果实现了从基础研究到产业化的跨越，达到国际领先水平，使中国成为世界上唯一掌握通过稀土荧光粉生产低频闪交流LED产品的国家^[53]。

服务科学是近年来引起人们普遍关注的新兴交叉学科。在信息技术和现代管理理论高度发展的背景下，它融合了计算机科学、运筹学、经济学、工业工程、商务战略、管理科学、社会学和认知科学以及法律等诸多科学，研究发展以服务为主导的经济活动所需理论和技术。服务科学是社会和技术共同演进的交叉学科，实用性强，与社会、经济、科技、教育和文化等发展息息相关^[54]。

目前，国家和各学会不断启动新的研究课题与项目，促进了各个学科之间的交流，使各学科的联系越来越紧密，加快了学科之间的融合交叉。例如，关于灾害控制的研究，涉及了管理学、物理学、生物学、心理学和信息科学等多个学科，融合了各个学科的研究对象和方法技术。近年来，我国自然灾害非常严重，灾害种类多、分布广、频次高，每年都对国民经济与生活造成巨大的损失。政府及民众对危害公众安全的灾害事故日益重视，国家自然科学基金推出“非常规突发事件应急管理研究”项目的重大研究计划，这促进了各个学科之间的交叉融合，满足我国抗灾救灾的需要，维护社会的稳定发展，保障人民的生命安全。

中国科协发挥自身优势，顺应学科交叉融合的潮流，采取多种措施推动学术交流、促进学科交叉。

中国科协针对制约我国经济社会发展的重大科学问题，为搭建产学研政优势互补的高层次交流平台，组织“中国科技论坛”，强调组织跨学科、跨专业、跨部门、跨行业、跨

地域，产学研政相结合的学术交流，同时致力彰显科学家的社会责任，为重大科学问题的解决提供理论依据和科学支撑，增强学术成果服务经济社会发展的能力。

中国科协以科学家关注的热点问题、尚未获得主流认可的学术观点为议题，举办跨学科、跨行业、跨地域的“新观点新学说学术沙龙”，为科技工作者营造多学科交叉并自由探讨学术问题的良好学术氛围。

（五）培育创新团队，创新人才队伍建设机制

建设创新人才团队是在国际竞争中赢得主动的重大战略选择，创新人才是新知识的创造者、新技术的发明者、新学科的创建者、新产业的开拓者，是国家竞争力的决定性因素。创新人才在推动科学发展和促进经济发展方式转变进程中的地位与作用日益突出。

近年来，创新团队已成为推动科技发展的重要力量，也成为科学研究组织的主要形式，为学科发展提供了强有力的支撑。科技工作要实现可持续地创新和发展，不仅需要杰出的拔尖人才，而且还需要由拔尖人才主导的优秀的人才群体。这是现代科技发展趋向综合化和整体化的需要，也是学科可持续发展的需要。

根据教育部学位与研究生教育发展中心 2012 年学科评估结果，北京大学、南京大学、中国科学技术大学、清华大学、复旦大学是国内物理学科整体水平排名前 5 位的高校；在参加 2012 年学科评估的 28 个科研院所（含党校）中，中国工程物理研究院、中国原子能科学研究院位列前 2 名^[55]。2013 年度国家科技进步奖创新团队奖颁发给了清华大学辐射成像创新团队。该团队始创于 1995 年，目前已经汇聚了加速器物理及应用、辐射探测、核电子学、成像方法、核系统控制和辐射防护等方向的 49 名学者。团队建成了包括中国锦屏极深地下实验室在内的一批世界一流的科学实验平台，面向学科前沿开展探索研究，得到国际学术界的高度评价。团队倡导集体创新，形成了先进的文化理念和制度保障。团队坚持把“顶天”的学术探索与“立地”的转化应用密切结合，鼓励为国家社会产业创造实实在在的效益。团队成功实践了“带土移植、回报苗圃”等创新的体制机制，为我国开展产学研合作提供了范例，既培育了国际领先的民族高科技企业，又支撑了世界一流学科的建设，还为国家重点单位培养了大批高层次人才^[56]。

中国科学院超导托卡马克创新团队长期从事磁约束核聚变研究。自 20 世纪 90 年代起，该团队率先在国内开展超导磁约束核聚变研究，克服了国际缺乏全超导托卡马克建设经验的困难，先后改造建成了能够实现长脉冲物理实验的科学研究装置 HT-7，自主研发了世界上首台全超导托卡马克核聚变实验装置 EAST 和 16 个国际领先或国际先进的实验系统，成功实现了大于 400 s 和中心电子温度大于 2×10^7 °C 的高温等离子体放电，使我国超导托卡马克研究走到世界前沿。团队已成为国际上先进水平的托卡马克创新团队，多人在国际聚变领域担任领衔或重要的职位。自主建造的 EAST 平台已成为重要的国际交流合作和核聚变研究基地。团队开展的广泛产学研合作、社会服务和公益活动，取得了显著的经济和社会效益。该团队荣获 2013 年度国家科技进步奖创新团队奖^[57]。

我国基础医学研究主要集中于肿瘤防治研究、免疫学研究、转化医学研究、生物安全学科、寄生虫学、医学生物学新技术、医学基因组等领域^[58]。

根据教育部学位与研究生教育发展中心 2012 年学科评估结果，北京大学、复旦大学、北京协和医学院、上海交通大学、中南大学是国内基础医学学科整体水平排名前 5 位的高校；在参加 2012 年学科评估的 28 个科研院所（含党校）中，北京市结核病胸部肿瘤研究所、江苏省血吸虫病防治研究所、浙江省医学科学院位列前 3 名^[55]。

军事医学科学院是继中国科学院之后中华人民共和国建立的第 2 个科学院，是中国人民解放军的最高医学研究机构。该科学院的蛋白质组学创新团队获得了 2013 年度国家科技进步奖创新团队奖。该团队始终瞄准国际前沿，以大视野开拓大事业、大旗帜汇聚大团队、大胸怀催生大协作，从刚开始的不足 10 人队伍、设备不过百万迅速发展拥有包括 2 名院士、2 名何梁何利基金奖获得者、11 名国家“杰青”和中国青年科技奖获得者、10 名总后“三星”人才在内的 300 多名科研人才队伍，以及超过 2 亿元的科研设备、12600m² 实验场地的国际大型实验室。先后承担人类肝脏蛋白质组计划，国家 973 计划、863 计划和国家及军队科技攻关计划等近百项重大科研课题，获得国家和军队高等级科技进步成果奖励几十项^[59]。

根据教育部学位与研究生教育发展中心 2012 年学科评估结果，上海交通大学、北京大学、复旦大学、北京协和医学院、中山大学是国内临床医学学科整体水平排名前 5 位的高校；在参加 2012 年学科评估的 28 个科研院所（含党校）中，首都儿科研究所、北京市结核病胸部肿瘤研究所、北京市心肺血管疾病研究所位列前 3 名^[55]。

第二军医大学肝癌临床与基础集成化研究创新团队获得了首届（2012 年度）国家科技进步奖创新团队奖。该团队以肝癌综合诊治及重要分子机制的集成化研究为目标，实行院士领衔，带头人设计组织管理，研究骨干分工协作的科研学术工作与交流的运行管理模式，取得一系列重大突破和标志性成果。团队一直坚持“临床上发现的问题进行科研攻关，攻关出创新成果再转化运用到临床进行验证，推动临床医学发展”的原则，这种方法令其走出一条“螺旋式”创新之路，突破了肝脏外科的多个“禁区”^[60]。

我国机械工程技术发展的五大趋势是绿色、智能、超常、融合、服务。我国机械工程 11 个领域面临 8 大机械工程技术问题，即复杂系统的创意、建模、优化设计技术，零件精确成形技术，大型结构件成形技术，高速精密加工技术，微纳器件与系统，智能制造装备，智能化集成化传动技术，数字化工厂。这些技术的突破将提升我国重大装备发展的基础、关键、核心技术创新和重大集成创新能力，提升我国制造业的国际竞争力^[61]。

根据教育部学位与研究生教育发展中心 2012 年学科评估结果，上海交通大学、华中科技大学、清华大学、西安交通大学、哈尔滨工业大学是国内机械工程专业整体水平排名前 5 位的高校^[55]。此外，北京航空航天大学完成的“飞机钛合金大型复杂整体构件激光成形技术”项目获得了 2012 年度国家技术发明奖一等奖，该技术采用激光直接制造多种钛合金等大型复杂关键金属零件，已在目前研制的新型战机、大型运输机、C919 大型客机等新机中应用，使我国成为继美国之后世界上第 2 个掌握飞机钛合金结构件激光快速成

形技术并实现工程应用的国家。该团队注重产学研紧密结合,注重成果的应用,一直与沈阳飞机设计研究所、第一飞机设计研究院、沈阳飞机工业(集团)有限公司、西安飞机国际航空制造股份有限公司、成都飞机工业(集团)有限责任公司和中航商用发动机公司等单位保持紧密合作^[62]。

我国计算机科学技术研究的热点在于国产通用处理器芯片、高性能计算、海量存储系统及技术、新一代互联网体系结构可演进性、物联网研究进展、大型数据中心的关键技术、信息安全、不确定数据管理技术、计算机图形学和软件中间件等领域^[63]。

根据教育部学位与研究生教育发展中心2012年学科评估结果,清华大学、国防科学技术大学、北京大学、北京航空航天大学、哈尔滨工业大学是国内计算机科学技术学科整体水平排名前5位的高校^[55]。国防科技大学计算机学院的“高性能计算创新团队”获得了首届(2012年度)国家科技进步奖创新团队奖。该团队始终紧扣国家和军队的战略需求,始终瞄准国际前沿,走自主创新之路,不断攻克核心关键技术,努力在高科技领域占有一席之地。该团队所研制的“天河二号”是2012年度全球最快超级计算机^[64]。

进入21世纪,航空航天科学技术继续保持高科技的重要地位,在推动原始创新,促进学科交叉与学科融合方面依然扮演着重要角色。

中国航天科工“巡航导弹先进突防”科技创新团队荣获了2012年度国家科技进步奖创新团队奖。该团队是一支以博士和硕士等青年科技骨干为主体的研究队伍,成立十余年来,紧密结合多个国家重点型号开展研究与研制工作,在巡航导弹先进突防总体技术等8个方面取得了大量具有世界先进水平的创新成果,部分成果国际领先,有力地推动了我国巡航导弹武器装备体系从无到有、从有到优的快速发展^[65]。

(六) 提升学科平台,改善学科发展基础条件

20世纪以来,科学社会化、社会科学化日趋深入,科学活动由“小科学”转变为“大科学”,科技研发更加依赖于强大的物质基础、科技投入和仪器设备。加强学科平台建设、优化科技支撑条件、推进科技资源共享是学科快速发展的重要途径。

一流的科学研究基地是学科发展的物质基础和平台,可以为学科发展提供良好的实验、研究环境和条件。应着重在建设上,坚持高起点、高标准、高水平,确保能为从事前沿性、基础性、应用性较强的高、大、精、深、新的课题研究提供有效的支撑^[66]。

近年来,国家重大科研基础设施和大科学工程项目陆续建成并投入使用,既对多学科支撑提出了需求,又为新兴学科发展创造了条件。这些设施建设本身需要来自不同学科背景的研究者共同协作、联合攻关,以达到设施设计和建设的先进性、科学性和有效性。设施建成后将形成面向基础研究,涵盖多学科和交叉学科的综合研究基地,增加了各学科之间的交流,为产生新兴学科创造条件^[67]。

物理学是一门以实验为基础的学科,完善和提升实验平台、实验条件,是开展大型物理课题研究、进行提高物理实验水平的首要条件。中国近年在物理学实验平台建设和设

备完善方面取得了显著进展，相关研究中也取得了具有国际领先水平的研究成果。例如，2013年3月，北京正负电子对撞机（BEPC II）上的北京谱仪Ⅲ（BESⅢ）实验国际合作组宣布发现了一个新的共振结构 $Z_c(3900)$ ，此项发现入选2013年物理学重要成果之首^[68]。北京正负电子对撞机的运行使我国的高能物理研究取得了突破性进展，也促进了相关学科的发展。它的同步辐射装置（BSRF）成为开展凝聚态物理、材料科学、生命科学、资源环境及微电子技术等多学科交叉前沿研究的大科学平台。它也有力地促进了包括高频、微波、高精度磁铁与电源、精密机械、超高真空、核探测器、快电子学、自动控制、计算机和网络技术、核成像和核医疗等相关领域高技术的发展^[69]。

上海光源重大科学工程荣获了2013年度国家科学技术进步奖一等奖。上海光源工程由国家发改委、上海市政府和中国科学院共同投资建设，是我国迄今为止建成的规模最大的大科学装置和多学科研究平台。该工程汇集并发展了高能加速器和高热负载精密光学工程等相关技术领域的新方法、新技术和新工艺，成功实现了世界第三代同步辐射光源众多先进技术的高度集成^[70]。自向用户开放以来，在推进我国生命科学、化学与催化、材料科学、环境科学、生物医学和地质考古等学科的发展上，发挥了重要作用；已开始在高技术研发方面显现潜力，表现出对科学研究与技术发展的强力支撑作用，成为多个学科领域前沿研究和高技术发展不可或缺的实验平台^[71]。

强磁场、极低温和超高压等极端条件下物质性质的研究是世界科学前沿。强磁场是半导体、超导、特殊功能材料和器件研究不可缺少的条件，同时强磁场下的核磁共振，又是生命科学、医学和脑科学研究的必要工具。强磁场装置是我国在生命科学、医学、功能材料和器件研究方面达到世界先进水平的必要手段。强磁场实验装置分为稳态强磁场和脉冲强磁场两个部分，即在中国科学院合肥物质科学研究院建设稳态强磁场实验装置（SHMFF），在华中科技大学建设脉冲强磁场实验装置（PHMFF）^[72]。目前，计划中的10台稳态强磁场实验装置已建成9台^[73]，先期投入试运行的磁体和系统运行状况良好，为30多家单位近200个课题提供了实验测量条件，用户利用这些条件取得了一系列重要的研究成果，在*Nature*杂志发表2篇论文，*Nature*子刊发表3篇论文；中国脉冲强磁场实验装置已跻身世界最好的脉冲场之列，在电源设计和磁体技术方面取得的成就名列世界顶级，2013年8月，该中心成功实现了90.6特斯拉的峰值磁场，刷新中国脉冲磁场最高强度记录，成为世界上继美、德之后第3个突破90特斯拉大关的国家^[74]。华中科技大学通过脉冲强磁场设施建设，为物质结构领域研究提供重要手段，将促进我国半导体物理、强关联电子系统、自旋化学、复杂流体、生命科学、磁共振和光谱学等新兴学科的发展。

天文学研究的对象有极大的尺度，极长的时间，极端的物理特性，地面试验室很难模拟。天文学的研究方法主要依靠观测，而观测结果的质量很大程度上取决于观测设备的精密程度和先进程度。我国自主创新研制的大天区面积多目标光纤光谱望远镜（LAMOST，后被命名为郭守敬望远镜），瞄准了涉及天文和天体物理学中诸多前沿问题的大视场天文学，被应用于星系、类星体等河外天体的光谱巡天，恒星等河内天体的光谱巡天，以及红外、射电、X射线、 γ 射线巡天的大量天体光谱观测^[75]。2012年9月LAMOST开启了

正式光谱巡天的新篇章,2013年6月18日,在M31、M33及其邻近区域内,新发现500多颗背景类星体,这是目前中国天文学家利用自主设备,在该天区发现的世界上数目最大的类星体样本^[76]。2013年9月16日,中国科学院国家天文台将LAMOST巡天所观测到的数据对外公布,供国内用户和国外合作者使用,光谱数共计220万条^[77]。

2012年9月29日,完全由我国自主设计建造的国家重大科技基础设施建设项目海洋科学综合考察船——“科学”号在青岛正式交付使用,标志着我国海洋科学考察能力实现新的突破,迈入国际先进行列^[78]。考察船配备了先进的探测与调查设备,具备高精度长周期的动力环境、地质环境、生态环境、生物和化学等综合海洋观测与调查能力,还具备同步进行现场取样和实验分析能力,能够满足现代海洋科学多学科交叉研究需要,是名副其实的“海上移动实验室”。“科学”号将成为我国深远海重大基础科学研究与探测的支撑平台与共享平台,将显著提升我国海洋综合探测能力与研究水平,为开展远洋综合科学考察研究,提供强有力的能力支撑^[79]。

2012年3月2日,由中国地震局、总参测绘导航局、中国科学院、国家测绘地理信息局、中国气象局、教育部联合建设的中国大陆构造环境监测网络(简称陆态网络),按计划、按指标、高质量地完成了工程建设任务,顺利通过国家验收。陆态网络正式运行以来,已提供了大量的观测数据,这些观测数据已在地震监测与预测预报、国家测绘基准建立与维护、国防测绘、近地空间大气圈动态监测、气象预报和地球科学研究应用等多领域得到广泛应用,利用陆态网络观测资料公开发表了大量研究成果,在国内外产生了广泛影响。陆态网络的建设运行进一步提高了我国地球科学相关领域的研究水平和国民经济建设、国防建设等多领域的服务能力,同时为我国北斗导航系统自主研发及其产业化发展提供了基础,进一步提升了我国在相关领域的国际影响力和竞争力^[80]。

2012年10月23日,“东半球空间环境地基综合检测子午链”(简称“子午工程”)在北京通过国家验收。“子午工程”的23种95台套监测设备,分布在全国北起漠河南至南极中山站,东起上海西至拉萨的15个综合性观测站,运用地磁(电)、无线电、光学和探空火箭等多种探测手段,连续监测地球表面20~30 km以上直到几百千米的中高层大气、电离层和磁层,以及十几个地球半径以外的行星际的空间环境参数,为开展国际前沿科学问题——灾害性空间天气研究,取得重大自主原创性科学发现提供了观测基础。“子午工程”利用探测数据开展的空间天气预报、现报或警报工作,为“天宫一号”、“神舟八号”和“神舟九号”等国家重大航天任务的成功发射提供了大量自主观测数据。此外,“子午工程”在我国区域空间环境变化特征、空间天气子午线扰动和地球空间不同层次的耦合研究等方面也取得了若干项原创性成果,为航天、通信和导航等领域提供了有效的数据与保障服务^[81]。到2013年10月,“子午工程”正式运行1年,相关科研人员在国内外著名期刊上发表论文103篇,获得3项省部级和国家级奖项^[82]。

生物技术和生命科学是21世纪引发新科技革命的重要推动力量,一直受到国际科学界的密切关注。在药物与生物医学工程方面,针对若干传统常用中药活性成分,“药物分子毒理学研究及新药安全性评价关键技术”从分子、细胞和动物水平上进行了深入系统的

分子毒理学机制研究，首次揭示了多个常用中药的肾脏、肝脏、生殖毒性作用机制和靶点，为安全使用中药提供了依据；完成了 300 余种先导化合物的早期毒性筛选，提高了新药研发的成功率；率先实现了安评平台与国际接轨，成为我国首个通过瑞典、比利时 2 个 OECD 成员国 GLP 认证和英国药监权威机构（MHRA）实验审计的安评中心，成为国家“重大新药创制”科技重大专项平台建设取得的标志性成果^[83]。

由于经济社会的快速发展、气候环境的迅速变化，生物种类减少等问题成为全人类的重大挑战。为此，我国已建立 2640 个自然保护区中，国家级自然保护区 335 个，保护了绝大多数生态系统类型。中国现已建成 200 余个各类植物园，《全国极小种群野生植物拯救保护工程规划（2011—2015 年）》公布了我国极小种群濒危植物 120 种。作为珍稀濒危植物野外回归研究的重要基地，我国植物园在物种濒危机制、繁殖策略和方法、野外回归的理论和技術等方面开展了众多研究并取得了长足进展^[13]。

农业生物安全主要涉及危险性外来入侵生物、高致害性变异生物以及转基因生物潜在风险的预防与控制。农业生物安全科技水平的高低直接反映一个国家综合国力和国际竞争力的强弱，加强农业生物安全国家基础设施和能力体系建设，是新的历史条件下确保我国粮食安全、生态安全、经济安全、公共安全以及建设和谐社会的重大战略需求。坐落在中国农业科学院植物保护研究所的国家农业生物安全科学中心已于 2013 年开始投入使用^[84]。该国家重大科技设施将采用系统生物学、分子生物学、分子生态学、生态遗传学和生物信息学等多学科交叉的理论和方法，深入开展高危农业致灾生物的预防预警、检测监测和安全控制的新理论、新方法和新技术研究，重点突破农业生物安全的三大科学问题：危险性高致变农业有害生物致害与灾变的内在机制与灾变规律，危险性外来有害生物入侵的早期预警与生态适应，农业转基因生物安全性的分子机制与环境效应^[85]。

近年的全国性雾霾天气，清楚地揭露了中国环境污染的严重程度和生态的极端脆弱性。近年来我国已经建立了 2389 个各级环境监测站、36 个生态系统定位站，并陆续建成了较为完整的环境监测体系。这些监测台站正在开展生物多样性的监测，其中特别是中国森林生态系统定位研究网络（CRFRN）、中国森林生物多样性监测网络受到了国内外同行的肯定^[13]。

三、学科发展方向与趋势更加明确

中共“十八大”提出实施创新驱动发展战略，对加快转变经济发展方式具有重要意义；中共十八届三中全会明确提出，要“健全技术创新市场导向机制，发挥市场对技术研发方向、路线选择、要素价格、各类创新要素配置的导向作用”。由此可见，未来科技体制改革的关键在于有效地发挥市场配置科技创新资源的决定性作用，打通从科技强到产业强、经济强、国家强的发展通道，这是事关创新驱动发展战略能否落实、事关国家前途命运的大事。

2013年11月15日,《中共中央关于全面深化改革若干重大问题的决定》发布,强调整合科技规划和资源,完善政府对基础性、战略性、前沿性科学研究和共性技术研究的支持机制。国家重大科研基础设施依照规定应该开放的一律对社会开放。建立创新调查制度和创新报告制度,构建公开透明的国家科研资源管理和项目评价机制。

同时,《国家重大科技基础设施建设中长期规划(2012—2030年)》和《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》等已经对未来学科发展做出了重大战略部署。

中共“十八大”确立的宏观战略指导方针、中共中央关于全面深化改革的决定、国家中长期科技规划,都已经指明了当前和今后一个时期的学科发展方向,也是各个学科努力奋斗的目标。

(一) 继续强化学科基础,完善重大科技基础设施

按照国家科技部的有关规划,今后要瞄准科技前沿研究和国家重大战略需求,根据重大科技基础设施发展的国际趋势和国内基础,以能源、生命、地球系统与环境、材料、粒子物理和核物理、空间和天文、工程技术等学科领域为重点,优先安排重大科技基础设施建设,从预研、新建、推进和提升4个层面逐步完善重大科技基础设施体系。

(1) 能源科学领域以解决社会可持续利用能源的科学问题为目标,面向我国中长期核能开发与安全运行、化石能源高效洁净利用与转化,以及可再生能源规模化利用等方向,以核能和高效化石能源研究设施建设为重点,注重新能源、新材料和网络技术相结合,逐步完善相关领域重大科技基础设施布局,为能源科学的新突破和节能减排技术变革提供支撑^[86]。

(2) 生命科学领域以探索生命奥秘和解决人类健康、农业可持续发展的重大科技问题为目标,面向综合解析复杂生命系统运动规律、生物学和医学基础研究向临床应用转化、种质资源保护开发与现代化育种等方向,重点建设以大型装置为核心、多种仪器设备集成的综合研究设施,完善规模数据资源为主的公益性服务设施,支撑生命科学向复杂宏观和微观两极发展并实现有机统一,突破生命健康、普惠医疗和生物育种中的重大科技瓶颈^[86]。

(3) 地球系统与环境科学领域以实现人类与自然和谐发展为目标,面向地球结构演化与变化过程、地壳物质组成和精细结构、地球系统各圈层间复杂作用及其耦合过程、太阳及其活动控制下各圈层的响应与耦合、人类活动影响环境的过程和机理等方向,重点建设海底观测、地球模拟器和基准研究设施,逐步形成观测、探测和模拟相互补充的地球系统与环境科学研究体系^[86]。

(4) 材料科学领域适应材料科学研究从经验摸索阶段到人工设计调控阶段转变的趋势,面向量子物质演生现象、纳米尺度量子结构、极端条件下材料物性与物质演变、重要工程材料服役性能等方向,以材料表征与调控、工程材料实验等为研究重点,布局和完善相关领域重大科技基础设施,推动材料科学技术向功能化、复合化、智能化、微型化及与环境相协调方向发展^[86]。

(5) 粒子物理和核物理科学领域以揭示物质最小单元及其相互作用规律为目标, 面向超越标准模型新粒子和新物理探索、暗物质和暗能量探测、中低能核物理与核天体物理研究等方向, 建设相关大型研究设施, 提高微观世界探索能力和自然界基本规律认知水平^[86]。

(6) 空间和天文科学领域以揭示宇宙奥秘和解释物质运动规律为目标。面向宇宙天体起源及演化、太阳活动及对地球的影响、空间环境与物质作用等方向, 按宇宙、星系以及太阳系等不同空间尺度布局设施建设, 提升我国天文观测研究能力、空间天气和灾害应对能力以及空间科学实验基础能力^[86]。

(7) 工程技术科学领域瞄准未来信息技术发展的基础和前沿、岩土地质体的动力特性及地质灾害过程等工程技术中的重大科技问题, 以产生变革性技术为主要目标, 以信息技术、岩土工程和空气动力学为研究重点, 探索和逐步推进相关设施建设, 为保障国家重点任务的实施、引领未来产业发展提供基础支撑^[86]。

(二) 把握学科发展方向, 支撑战略新兴产业发展

学科发展和学科基础研究的重大突破, 往往具有普适性强、影响深远的特点。这些成果的广泛应用就可能引发深刻的技术变革, 从而孕育出具有广泛市场需求前景, 具备资源能耗低、带动系数大、就业机会多、综合效益好等特点的战略新兴产业。这就要求学科发展在进行前瞻性战略思考和布局时, 充分关注促进和培育战略性新兴产业发展的要素。

今后应该围绕经济社会发展重大需求, 结合国家科技计划、知识创新工程和自然科学基金项目等的实施, 集中力量突破一批支撑战略性新兴产业发展的关键共性技术。在生物、信息、空天、海洋、地球深部等基础性和前沿性技术领域超前部署, 加强交叉领域的技术和产品研发, 提高基础技术研究水平。

以新能源、新材料、生物技术、信息技术、高端装备制造和节能环保等为代表的战略性新兴产业是新兴科技和产业技术的深度融合, 以重大技术突破为发展基础, 具有知识技术密集、多学科交叉融合的特征, 对经济社会的可持续发展具有重大引领带动作用, 加快发展战略性新兴产业已成为世界主要国家抢占未来经济和科技发展制高点的重大战略^[87]。

为支撑战略性新兴产业的发展, 应进一步加强数学、物理、化学、生物和计算机等基础性学科。基础学科是应用型学科发展的基石, 是催生和促进新的学科领域特别是交叉新兴学科发展的源泉。例如, 化学与物理学科促进了新型高分子材料、光电材料以及纳米材料等新材料学科的发展, 物理学科在电子学和电磁学等方面突破促成了集成电路和通信技术等电子信息学科的大发展; 计算机学科与生物学的交叉融合产生了生物信息学和基因组学等新兴学科; 计算机学科的应用使机械装备与制造、数控机床、汽车设计与制造等学科发生脱胎换骨的变化; 物理、化学和生物等学科与相关应用学科的整合有力地推动了光伏、核能、生物质能以及燃料电池等新能源学科的发展; 等等, 不一而足^[88]。

目前, 依据各自的学科优势和特色, 已经形成了一些与战略性新兴产业密切相关学科领域^[88]。包括:

(1) 新能源产业相关领域, 如新能源科学与工程、新能源材料与器件、能源经济、智能电网信息工程、能源化学工程、核安全工程等。

(2) 海洋油气工程、海洋资源开发技术、水声工程等与海洋产业相关领域。

(3) 环境保护和节能相关领域, 如资源循环科学与工程、环保设备工程、建筑节能技术与工程等。

(4) 信息网络产业相关领域, 如物联网工程、传感网技术、数字电影技术、新媒体与信息网络等。

(5) 新材料产业相关领域, 如功能材料、微电子材料与器件、光电子材料与器件、纳米材料与技术等。

(6) 新药创制相关领域, 如中药制药、生物制药、药物化学、药物分析等。

这些领域因战略性新兴产业的发展需要而生, 必将在今后一个时期成为支撑战略性新兴产业发展的重要支撑, 因此, 也是学科发展的重点领域。

(三) 解决重大科学问题, 努力突破社会发展瓶颈

围绕国家战略需求, 重点部署农业生物遗传改良和农业可持续发展中的基础研究、能源可持续发展中的关键科学问题、信息科学技术基础、地球和环境系统关键过程和规律、人类健康与疾病的基础研究、基础材料改性优化和新材料设计探索及服役失效机理、制造与工程的科学基础、多学科综合交叉的基础研究、空间科学和航空航天重大科学问题等事关经济社会发展的重大科学问题研究。

(1) 农业科学领域重点支持农作物高产、抗逆、优质、高效、安全研究, 构建覆盖多品种、多市场、多区域的国家农产品监测预警系统研究, 农业动物高产、优质、抗病基础研究, 农业资源高效利用研究, 农林牧综合农业系统的可持续发展, 有害生物控制、生物安全及食品安全等方向^[89]。

(2) 能源科学领域重点支持油气资源勘探与开发的新理论和新方法研究, 煤炭资源精细探测、绿色开采、高效洁净转换、环境污染控制及灾害防治研究, 低品位能源高效热功转换的基础研究, 节能的新理论与新方法, 新能源和可再生能源规模化利用的基础研究, 智能电网的基础研究, 支撑核能发展的基础研究等方向^[89]。

(3) 信息科学领域重点支持后摩尔时代电子系统集成的基础理论, 新型光电子器件、传感器及其应用, 太赫兹源、波调制、控制、传输与接收器件, 太赫兹辐射与物质的相互作用及其应用技术, 能源效率优先和资源优化的通信与网络理论, 软件理论与方法, 信息内容安全计算基础理论, 密码基础理论, 安全协议理论与方法, 海量信息表示、存储与高效处理, 信息科学与系统科学的交叉等^[89]。

(4) 资源环境科学领域重点支持影响我国的高影响天气发生发展的规律、机制和预测, 气候多尺度变化特征及其检测、预测和预估, 影响气候的重要过程参数化和模式发展研究, 重要成矿带、我国短缺支柱性矿产及优势矿产、海洋矿产成矿规律, 地震、火山等

地质灾害基础研究,生态与环境演变、环境污染的机理与控制,城市化的资源环境效应,海洋动力过程及其在气候系统中的作用,我国近海环境及生态的关键过程,海陆气相互作用与东亚季风的季度-年际预测理论,中国典型陆地、海洋生态系统-大气碳、氮气体交换规律与调控理论研究^[89]。

(5) 人口与健康科学领域重点支持非传染性慢性复杂疾病机理及其防治、传染性疾病致病机理及其防治、计划生育与生殖健康、灾害医学、我国不同民族疾病易感性、衰老与衰老相关疾病、中医药、人与环境相互作用等领域的基础研究^[89]。

(6) 材料科学领域重点支持基础材料产业升级与改造的工艺,先进材料制备科学,复杂服役条件下材料的使用行为与失效,从需求出发的多组元、多层次材料设计与性能模拟,组织结构与性能的高效、高分辨、智能化表征系统研究^[89]。

(7) 制造与工程科学领域重点支持极端服役装备设计与强场制造,高速铁路安全监控与保障,信息器件与微纳制造,能源装备制造制造,高性能构件跨尺度制造,数字制造与智能制造,生物制造与仿生制造,超精密、超高速和超常能量条件下的极端制造,以及重大工程自然灾害灾变机理和风险研究,重大工程的减灾和安全设计,重大工程健康状态的检测、监测以及诊断和处置,重大工程对自然环境的干扰及控制,大型工程的关键生态效应和生态调度基础理论研究等方向^[89]。

(8) 综合交叉领域重点支持航空航天中重大力学问题,空间探测与对地观测新原理与技术,灾害形成演变规律和防灾减灾理论与方法,城市发展过程中生态环境、交通以及安全问题的调控与设计,科学、工程与社会问题的建模与计算,合成生物学与生物制造,绿色化学工程,生命科学与多学科的交叉与融合,基于大科学装置和新原理的科学实验方法、技术、仪器与设备等方向^[89]。

(四) 强化自主创新后劲, 继续加强前沿技术研究

前沿技术是高技术领域中具有前瞻性、先导性和探索性的重大技术,是未来高技术更新换代和新兴产业发展的重要基础。加大对代表世界高技术发展方向、对国家未来新兴产业的形成和发展具有引领作用的前沿技术的前瞻部署和研发力度,积极抢占前沿技术发展的制高点。对有利于重点产业技术更新换代、实现跨越发展的前沿技术,要集中力量予以攻克,力争形成一批重大产品和技术系统。

(1) 信息技术——突破光子信息处理、量子通信、量子计算、太赫兹通信、新型计算系统体系、网构软件、海量数据处理、智能感知与交互等重点技术,攻克普适服务和人机物交互等核心关键技术。研发未来网络/未来互联网、下一代广播电视、卫星移动通信、绿色通信与融合接入、高性能计算与服务环境、高端服务器、海量存储与服务环境、高可信软件与服务、虚拟现实与智能表达等重大技术系统和战略产品^[89]。

(2) 生物和医药技术——重点研发基因组学及新一代测序技术、蛋白质组学技术、干细胞技术、生物合成技术、生物治疗技术、分子诊断和分子影像技术、生物信息技术、药

靶发现与药物分子设计技术。大力开发诊断试剂、疫苗、抗体药物、灵长类疾病动物模型及血液制品、组织工程技术和产品、工业生物技术、生物能源技术、生物医学工程关键部件和生物医学应用材料。发展生物资源开发保护、生物安全监测防控技术及装备。建立基因测序、蛋白质组学和转化医学等研发平台、抗体库和疫苗研发基地^[89]。

(3) 新材料技术——抢占微电子/光电子/磁电子材料与器件、新型功能与智能材料、高性能结构材料、先进复合材料、纳米材料和器件、超导材料、高效能源材料、生态环境材料、低碳排放材料等前沿制高点。开展材料设计制备加工与评价、材料高效利用、材料服役行为和工程化等关键技术的研发。攻克稀缺材料替代与高效利用、生物医用新材料及表面改性、高性能光电子材料与器件集成、先进晶体与全固态激光材料深紫外非线性光学晶体及其全固态激光器、国家重大工程用关键材料等核心关键技术^[89]。

(4) 先进制造技术——围绕绿色制造和智能制造，在微纳制造技术、重大装备技术、智能机器人技术、系统控制技术和制造服务技术等五个方向进行前沿及核心技术攻关。重点研发面向制造业的核心软件、精密工作母机设计制造基础技术、面向全生命周期的复杂装备监测与服务支持系统、现代制造物联网服务平台、控制系统的安全防范与安全系统、工程机械装备、矿山机械装备、人工器官制造、基于微纳制造的绿色印刷技术与装备和远洋渔业装备等^[89]。

(5) 先进能源技术——重点探索面向第四代核能、氢能与燃料电池、海洋能、地热能、二氧化碳捕集、利用与封存等方向的前沿技术。围绕节能减排、能源材料和装备、生物质能以及储能等战略必争领域和产业核心竞争力的提升，突破核心关键技术。针对可再生能源、节能技术等重大战略技术方向进行重点部署，开发一批重大战略产品和技术系统^[89]。

(6) 资源环境技术——攻克一批矿产资源与油气资源高效勘探开发与集约化利用核心关键技术与装备，提升重大关键装备的研发能力和行业核心竞争力，大幅提升我国战略性资源勘探与开发利用效率。加强新型污染物治理技术与装备开发，加快推进清洁空气技术与土壤修复技术研发，强化环境事件应急技术与装备开发。大力发展先进环境监测仪器与智能化生态环境监测技术，强化环境污染风险识别与阻断技术开发，提升生态环境监测技术水平^[89]。

(7) 海洋技术——以形成海上高技术作业能力为目标，强化核心技术开发和装备研制，推进海洋技术由近浅海向深远海的战略转移。围绕海洋环境监测、海洋油气与矿产资源开发、海洋生物资源利用、深海运载与作业等方面，大力发展深水油气勘探开发、深海潜水器、深远海海洋环境监测和海底观测网等核心技术，研制一批海洋开发重大装备，初步具备深水油气勘探开发重大装备的设计与制造能力，推动国家深海公共试验场建设^[89]。

(8) 现代农业技术——重点攻克农业生物功能基因组学、动物干细胞、靶标发现与药物分子设计、食品营养品质靶向设计和农业物联网等前沿技术。着力突破分子设计育种、食品加工与生物制造、海洋农业、数字农业与智能装备制造以及农产品生境控制等核心关键技术。创制优良动植物新品种、液体生物燃料、生物反应器、新型生物农药、基因工程疫苗和药物、农业智能装备、健康食品以及海水养殖等重大产品^[89]。

(9) 现代交通技术——重点发展大运量高速载运、新能源载运、一体化交通系统安全等技术与装备,实现高效运输服务。重点突破汽车动力系统、重型直升机和船用中速柴油机制约交通装备发展的重大技术。重点发展交通系统信息化、智能化技术和安全高速的交通运输技术,提高运网协同能力和运输效率。突破交通运输安全保障、资源节约与环境保护、智能化养护等方面的关键技术^[89]。

(10) 地球观测与导航技术——大力开展先进遥感、地理信息系统、导航定位、深空探测等前沿技术研究。重点建立全球二氧化碳监测、遥感知网、全球空间信息主动服务、导航定位与位置服务等重大技术系统,培育以授时、导航与位置服务为核心的空间信息产业,形成遥感信息、导航定位和移动通信卫星新兴产业增长点^[89]。

综上所述,信息技术、生物和医药技术、新材料技术、先进制造技术、先进能源技术、资源环境技术、海洋技术、现代农业技术、现代交通技术和地球观测与导航技术,这十项技术是未来我国重点关注、支持和发展的前沿技术,这些技术的研究成果是未来高技术更新换代和新兴产业发展的重要基础,是国家高技术创新能力的综合体现。

四、学科发展面临一定困难与挑战

在全面总结学科进展,深入分析学科发展特点的同时,我们也不能忽视学科发展存在的一些问题,甚至有些是深层次的问题。这些问题将制约,或者严重影响学科的发展。

(一) 学科发展不协调

学科协调发展包含两层含义:其一是每个学科既各自独立发展又在整体上协调、相互呼应;其二是学科和人才队伍建设、地域分布、国家战略需求以及社会影响等方面相协调。

近年来,我国学科间的发展不协调。一些具有基础性的学科未得到足够的重视,有些需要长期积累、难以短期出成果的学科缺少稳定支持;有些对我国长远发展有战略意义、而当前没有明确应用目标的学科缺少前瞻部署;有些在学科体系知识传承中不可或缺的“冷门”学科受到严重冲击。有些人才培养机构过度追求就业率,学科设置和调整更多考虑市场导向,而较少考虑学科发展和学科体系建设;有的研究机构把任务带学科异化为任务“代”学科。

资源环境科学是一个新兴学科群,长期未能得到足够的重视,很多人尚未认识到它的重要性,往往错误地认为,对各种资源,尤其是自然资源,如矿产资源、气候资源、土壤资源、生物资源、地表水资源与地下水资源等,已有很多相应的学科进行了多年研究,资源环境科学的存在纯属重复研究。此外,完整的学科体系迟迟未能形成,造成资源环境科学教育和人才培养的落后,难以摆脱传统学科与思维的束缚,难以适应生态文明和新经济

发展的需要。但现代社会发展的大量实践表明,诸多属于资源开发利用与环境保护管理方面的问题,虽分别与若干相关的传统学科有关,它们也直接或间接地进行过研究,但均难以得到满意的结果。所以,一个具有整体性观念与现代学科多源性特点的综合性学科群——资源环境科学的发展是客观存在的必然^[90]。

在医学学科领域,医学重点学科在专业分布、地域分布、省际分布等方面不均衡。在我国东部地区分布较为集中,而中西部偏远地区明显偏少。占全国面积24%的东部地区拥有超过70%的医学国家重点学科。从省际分布状况看,尚有15个省市医学重点学科为空白^[91]。

在植物学方面,其各个子学科的支持力度不平衡,发展不均衡,重微观轻宏观,重分子生化轻细胞形态,重实验科学轻计算科学。在科研队伍方面,我国植物生物学人才还远远不够,并且人才分布极不平衡,而且我国缺少高水平、具有国际影响力的专家,植物学科研和教学队伍中优秀青年人才也显不足^[13]。

(二) 多重因素制约着学科交叉融合

当今世界,科学前沿的重大突破,重大原创性科研成果的产生,大多是多学科交叉融合的结果,学科交叉融合已经成为现代科研的大趋势。交叉学科的前景非常广阔,然而,鉴于我国目前的情况,仍然有很多因素在很大程度上制约着学科的交叉融合^[92]。

首先,学科设置的局限。在目前我国高等教育的教学和科研管理体制下,交叉学科经常被置于边缘化的境界,得不到相应的政策制度保障,新兴交叉学科创新也就无从谈起。

其次,交叉平台的缺失。我国通常按照既成的学科设置设立科研机构,也通常按此划分高等教育机构的专业。而交叉学科是不同学科和不同专业渗透融合的产物,往往缺乏有效的学科建设平台支撑。目前,这种情况虽然已经有所改变,但尚未从根本上解决交叉学科建设平台缺失的问题。

第三,科研评价的困扰。我国的科研评估体系普遍是以量化评价为主,交叉学科评估对同行专家的要求不同于其他学科,专家往往由于知识背景和研究领域的局限,对新兴交叉学科的真正价值和科学意义缺乏共识,难以做出客观公正的判断。

第四,人才培养的障碍。跨学科设置交叉学科专业,是发展新兴交叉学科、培养创新型人才的重要途径。然而,多年来高等教育机构大多仍是沿袭基础课、专业课的程序设置教学课程,在这种人才培养理念的惯性支配下,不利于培养学生的科学兴趣与爱好,不利于营造独立思考、自由探索和勇于创新的良好氛围。

(三) 学科文化和制度环境建设亟待改善

学科的文化和制度是学科建设体系中不可缺少的、重要的有机组成部分,是知识产生和知识创新的基础。在学科文化和制度结构的构建过程中,社会行动者的研究者和学科培

养制度（学生）、学科评价制度（出版物）以及学科基金制度（研究基金）四者之间，构成密切关联的知识生产和知识创新的动态网络^[93]。

然而，我国学科的文化 and 制度环境仍然存在一些问题亟待解决，突出表现在学术监督审查力度和学科道德建设方面。

近年来，各类学术不端行为频频遭到媒体曝光。论文抄袭、成果剽窃、篡改伪造数据、捏造事实、不当署名以及腐败作风等学术不端行为，败坏了学术道德，污染了学术空气，学术尊严遭到践踏。学术不端行为使学术界陷入诚信危机。造假者损害的不仅是自身的名誉，更是所在院校学术团体的名誉；影响的不仅是国内的学术风气，更是败坏了中国学术在国际科学界的声誉^[94]。

学术监督审查制度不健全是频频发生学术不端行为的原因之一。目前，我国已有《著作权法》《专利法》《科学技术进步法》等法规对学术不端行为进行规范，但对防范和惩治学术不端行为惩罚的内容不尽翔实，缺乏可操作性；在不端行为的认定和处理方面还存在认识标准比较模糊等问题，无法有效规制学术不端者的行为^[95, 96]。

五、促进学科发展的建议

（一）统筹规划，努力推动学科体系的协调发展

学科协调发展是学科体系内部各分支学科相互支持、相互促进、共同发展，学科平衡发展是各学科之间保持适当的安排和比例，以保持学科整体的和谐，避免个别“短板”制约学科体系的整体发展。尤其是针对重大科学问题，必须正确处理学科体系内的关系，强化个体与个体、个体与整体的协调。

具体而言，应继续保持在国际上有优势地位的学科，如数学、材料科学、工程科学等学科；加大对弱势学科的扶持，如空间科学、动植物分类学、流行病学、工程海洋学等；重点支持代数数论与代数几何、材料科学基础理论、深部资源绿色开发和绿色冶金理论与技术的研究；加强基础学科之间、基础学科与应用学科、科学与技术、自然科学与人文社会科学的交叉融合；支持医学、纳米、生物信息学等综合交叉学科的发展，积极扶持新兴学科，推动学科整体水平的提高。

（二）开拓创新，发展支撑新兴产业的学科体系

推进学科发展要特别注意促进和培育战略性新兴产业发展的要素。

一是优先支持与国家“十二五”规划确定的战略性新兴产业相关的学科。围绕国家培育战略新兴产业的部署，切实加强科学用能与高效节能技术、资源循环利用、污染防治和环境修复、煤炭清洁利用、海水综合利用、新一代移动通信、下一代互联网、物联网、云

计算和集成电路等相关学科的建设；同时，要鼓励和支持这些学科交叉、融合，并分化产生的新领域和新技术，力争在这些领域做出原始科学创新。

二是重点推进在未来 20 年左右可能催生战略性新兴产业的相关学科。前瞻部署与我国实现现代化相关的基础和先导学科；切实加强对相关基础性研究的支持力度，迎接可能发生的基本理论突破和产业技术革命；尤其应该关注知识经济时代社会可持续发展的新需求，在生物质能源和资源高值化利用、大容量低耗输电与智能电网、成矿理论与矿床深部探测、材料设备加工的绿色化智能化、网络信息及相关理论、空间和海洋科学与探测等方面着力加强学科研究，侧重基础和机理探索，为可能的产业应用并形成战略性新兴产业夯实基础。

三是进一步面向 21 世纪中叶我国基本实现现代化需求，前瞻部署经济社会基础和战略体系相关的基础和先导学科。

（三）人才为本，培养造就勇于创新的学科队伍

人才资源是第一资源。规模宏大的创新型科技人才队伍是加快我国科技进步和创新的根本保障。把科技人才队伍建设摆在科技工作的突出位置，以培养、引进和用好高层次创新型科技人才为核心，创新人才培养体制机制，营造人才成长良好环境，造就规模宏大、结构合理和素质优良的创新型科技人才队伍，为学科建设提供强大的人才保障和智力支持。

培养造就勇于创新的学科队伍，需要壮大和优化创新型科技人才队伍，调整和优化人才布局，形成人才衔接有序、梯次配备的人才队伍结构；需要以高端人才为引领，坚持整体推进与重点突破相结合，组织实施创新人才推进计划，造就一批高层次科技领军人才和创新团队；需要改革完善创新型人才的教育培养模式，着力完善适应国家科技发展需求的人才培养模式。

（四）优化环境，继续加强学科发展软环境建设

学科发展的软环境首先体现在学科体系内部，要建立学科间交叉、渗透的学术氛围；完善学科制度建设，包括组织制度、计划制度、资源分配制度、执行制度、检查评估制度和奖惩制度等。

完善的制度建设能够促进学科快速发展，良好的学科文化则有利于学科的健康发展。要突显学科文化培育的主导性，在继承和总结优良传统的同时，融入时代精神，从学科特点出发提炼学科理念，通过多种形式和途径，使之成为群体意识。要注重人文精神和科学精神的塑造，使平等、民主、自由和创新等理性精神渗透和融入到教育教学、科研、管理及社会服务中^[97]。

加强学科发展软环境建设，还要注重资源的整合，加强学科、教学团队建设，加大学

科带头人的培养力度,形成良好的学术梯队,锻造学科专业等事业平台,为学科发展提供良好的基础。

(五) 深化改革,切实提升科技开放与合作水平

提升科技开放与合作水平是适应国内外学科发展和新形势、深化学科建设改革开放的重要内容。

以全球视野搭建合作创新平台,营造开放创新环境,将为我国的科技创新注入强大的动力。要加强国际、国内科学研究机构之间的学术交流关系,切实开展学术交流,活跃学术氛围,开展广泛、深入的合作研究,从而为学科建设和发展打下坚实的基础。

提升科技开放与合作水平,要通过加强顶层设计和战略管理,缩小与世界顶尖水平的差距。对传统学科、优势学科、基础学科、新兴学科进一步整合、优化、布局,构建良好的学科生态;着力提升各学科的国际竞争力,在人才培养、师资队伍和科研合作等方面提升国际核心竞争力;大幅提高科研活动国际化程度,鼓励研发机构与世界一流科研机构建立稳定合作伙伴关系,支持国内外高水平研究人员开展合作研究;进一步完善政府间科技合作机制,积极参与国际科技组织与国际大科学计划,加强与发展中国家的科技合作,加强与港澳台地区的科技合作。

参 考 文 献

- [1] 中国科学技术协会. 2006—2007 学科发展报告综合卷 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2007.
- [2] 中国科学技术协会. 2007—2008 学科发展报告综合卷 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2008.
- [3] 中国科学技术协会. 2008—2009 学科发展报告综合卷 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2009.
- [4] 中国科学技术协会. 2009—2010 学科发展报告综合卷 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2010.
- [5] 中国科学技术协会. 2010—2011 学科发展报告综合卷 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2011.
- [6] 中国科学技术协会. 2011—2012 学科发展报告综合卷 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2012.
- [7] 国家自然科学基金委员会. 国家自然科学基金资助项目统计 [EB/OL] [2014-02-06]. <http://www.nsf.gov.cn/publish/portal0/tab104>.
- [8] 中国科学技术信息研究所. 中国科技论文统计结果 [R]. 北京: 中国科学技术信息研究所, 2013.
- [9] 科学技术部. 基础研究领域项目研究水平显著提高 [EB/OL] (2013-01-16). http://www.most.gov.cn/ztzl/gjksjshdh/jldh2012/2012jlgzts/201301/t20130116_99154.htm.
- [10] 科学技术部. 基础研究取得突破性进展 [EB/OL] (2013-01-06). http://www.most.gov.cn/ztzl/gjksjshdh/jldh2013/2013jlgzts/2013jltstd/201401/t20140106_111197.htm.
- [11] 马志明. 我们与数学强国的差距 [J]. 数学通报, 2010, 49 (11): 1-6.
- [12] 人民网. 大样本恒星演化和特殊恒星的形成 [EB/OL] (2014-01-10). <http://scitech.people.com.cn/n/2014/0110/e1057-24081650.html>.
- [13] 中国植物学会. 2012—2013 植物学学科发展报告 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2014.
- [14] 中国植物保护学会. 2012—2013 植物保护学学科发展报告 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2014.
- [15] 中国植物生理与植物分子生物学学会. 2012—2013 植物生物学学科发展报告 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2014.

- 出版社, 2014.
- [16] 中国解剖学会. 2012—2013 人体解剖与组织胚胎学学科发展报告 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2014.
- [17] 庄孔韶, 兰林友. 我国人类学研究的现状与前瞻 [J]. 中国人民大学学报, 2009 (3): 144-150.
- [18] 国家食品药品监督管理总局. 国家中医药管理局关于印发中医药事业发展“十二五”规划的通知 [EB/OL]. (2012.07.10). <http://www.sda.gov.cn/WS01/CL0900/73285.html>.
- [19] 人民网-教育频道. 若干重要中草药的化学与生物活性成分的研究 [EB/OL] (2014-01-10). <http://scitech.people.com.cn/n/2014/0110/c1057-24081712.html>.
- [20] 教育部高等学校材料科学与工程教学指导委员会. 材料科学与工程专业发展战略研究 [EB/OL] (2010-06-01). http://www.edu.cn/yjbg_10009/20100601/t20100601_481172.shtml.
- [21] 北京市科学技术委员会. 2013 年度国家科学技术奖励大会 [EB/OL] (2014-01-04). <http://www.bjkw.gov.cn/n8785584/n8904761/n8904900/n9875476/n9875510/9875760.html>.
- [22] 中国金属学会. 2012—2013 冶金工程技术学科发展报告 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2014.
- [23] 中国化学会. 2012—2013 化学学科发展报告 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2014.
- [24] 白春礼. 抓住新科技革命机遇 加快创新驱动发展 [N]. 新闻晚报, 2013-11-01.
- [25] 中国运筹学会. 2012—2013 运筹学学科发展报告 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2014.
- [26] 中国图学学会. 2012—2013 图学学科发展报告 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2014.
- [27] 中国农学会. 2012—2013 基础农学学科发展报告 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2014.
- [28] 中国林业科技网. 国家科技进步奖项目简介 [EB/OL] (2013-07-04). <http://www.forestry.gov.cn/portal/lykj/s/1715/content-613830.html>.
- [29] 中国自动化学会. 2012—2013 控制科学与工程学科发展报告 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2014.
- [30] 中国机械工程学会. 2012—2013 机械工程学科发展报告 (特种加工与微纳制造) [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2014.
- [31] 国家电网公司. “特高压交流输电关键技术、成套设备及工程应用”获国家科技进步奖特等奖 [EB/OL] (2013-01-19). <http://www.sgcc.com.cn/shouye/tbxw/286873.shtml>.
- [32] 中国食品学会. 2012—2013 食品科学技术学科发展报告 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2014.
- [33] 中国公路学会. 2012—2013 道路工程学科发展报告 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2014.
- [34] 中国体视学学会. 2012—2013 体视学学科发展报告 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2014.
- [35] 中国科学院. 金属所制备出能全谱吸收可见光的红色二氧化钛光催化材料 [EB/OL] (2012-10-16). http://www.cas.cn/ky/kyjz/201210/t20121016_3659588.shtml.
- [36] 中国科学院广州生物医药与健康研究院干细胞所. 广州生物院《干细胞多能性与重编程机理研究》项目获国家自然科学基金二等奖 [EB/OL] (2014-01-10). http://www.gibh.cas.cn/xwdt/zxhw/201401/t20140110_4021426.html.
- [37] 中国电子学会. 2012—2013 电子信息学科发展报告 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2014.
- [38] 新华网. 我国首台基于“龙芯 3B”高性能计算机研制成功 [EB/OL] (2012-12-29). http://news.xinhuanet.com/politics/2012-12/29/c_114200202.htm.
- [39] 人民网. 我“天河二号”计算机采用国产 CPU, 运算速度全球最快 [EB/OL] (2013-06-17). <http://military.people.com.cn/n/2013/0617/c364869-21869328.html>.
- [40] 人民网-科技频道. 基于不充分信息的机器学习理论与方法研究 [EB/OL] (2014-01-10). <http://scitech.people.com.cn/n/2014/0110/c1057-24081784.html>.
- [41] 西安电子科技大学. 异构多域无线网络协同安全关键技术 [EB/OL] (2014-01-10). <http://info.xidian.edu.cn/info/1010/2833.htm>.
- [42] 中国航空学会. 2012—2013 航空科学技术学科发展报告 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2014.
- [43] 朱宇, 陈广仁, 苏青. 2012 年度中国重大科学、技术和工程进展 [J]. 科技导报, 2013, 31 (3): 20, 21, 23.
- [44] 中华人民共和国中央人民政府. 我国首颗立体测绘卫星资源三号在轨交付仪式举行 [EB/OL] (2012-07-31). http://www.gov.cn/gzdt/2012-07/31/content_2195777.htm.

- [45] 新华网. 天宫一号与神舟九号载人交会对接成功: 建设创新型国家取得新成就 [EB/OL] (2012-09-25). http://news.xinhuanet.com/mil/2012-09/25/c_123757540.htm.
- [46] 新华网. 我国成功发射“天链一号03星”, 中继卫星系统将实现全球组网运行 [EB/OL] (2012-07-26). http://news.xinhuanet.com/2012-07/26/c_123469243.htm.
- [47] 人民日报海外版. 中国北斗, 与美国GPS比肩而立 [EB/OL] (2013-03-02). http://paper.people.com.cn/rmrbhwb/html/2013-03/02/content_1205532.htm?div=-1.
- [48] 人民网: “嫦娥三号”卫星将实现三大创新 [EB/OL] (2010-06-25). <http://scitech.people.com.cn/GB/11965565.html>.
- [49] 人民网: 习近平在会见嫦娥三号任务参研参试人员代表时强调, 坚持走中国特色自主创新道路不断在攻坚克难中追求卓越 [EB/OL] (2014-01-07). <http://politics.people.com.cn/n/2014/0107/c1024-24039899.html>.
- [50] 中国电工技术学会. 2012—2013 电气工程学科发展报告 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2014.
- [51] 中国青藏高原研究会. 2012—2013 青藏高原研究学科发展报告 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2014.
- [52] 人民网-科技频道. 燃料电池中多相能质传递与反应动力学的相互作用机理 [EB/OL] (2014-01-10). <http://scitech.people.com.cn/n/2014/0110/c1057-24081841.html>.
- [53] 中国照明学会. 2012—2013 照明科学与技术学科发展报告 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2014.
- [54] 中国优选法统筹法与经济数学研究会. 2012—2013 管理科学与工程学科发展报告 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2014.
- [55] 教育部学位中心. 2012 学科评估结果公布 [EB/OL] (2013-10-08). <http://www.cdgdc.edu.cn/xwyyjsjyxx/xxsbdxz/mtjip/index.shtml>.
- [56] 人民网-科技频道. 清华大学辐射成像创新团队 [EB/OL] (2013-01-10). <http://scitech.people.com.cn/n/2014/0110/c373487-24083004.html>.
- [57] 人民网-科技频道. 中国科学院合肥物质科学研究院超导托卡马克创新团队 [EB/OL] (2013-01-10). <http://scitech.people.com.cn/n/2014/0110/c373487-24083026.html>.
- [58] 程书均, 方福德. 基础医学发展现状及前沿发展方向 [M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [59] 吴志军, 沈基飞. 唱响东方红再揽九天月——走进军事医学科学院蛋白质组学国家重点实验室 [EB/OL] (2011-10-08). <http://www.bmi.ac.cn/contents/3/1451.html>.
- [60] 俞陶然. 上海获奖总数占 15.1% 首次设立创新团队奖 [N]. 新闻晚报, 2013-01-18.
- [61] 中国机械工程学会. 中国机械工程路线图 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2011.
- [62] 李姝, 廖行. 立足国家战略需求巧制飞机大型关键构件——记 2012 年国家技术发明一等奖获得者北航王华明教授及其团队 [J]. 中国高校科技, 2013 (3): 70-71.
- [63] 中国计算机学会. 2010 年中国计算机科学技术发展报告 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.
- [64] 王握文. 引领“银河”向未来——国防科大“高性能计算创新团队”发展启示录 [N]. 解放军报, 2006-04-03.
- [65] 中国航天科工集团公司. 航天科工巡航导弹突防技术团队获国家科技进步首批创新团队奖 [EB/OL] (2013-01-23). <http://www.sasac.gov.cn/n1180/n1226/n2410/n314319/15094890.html>.
- [66] 陈锡坚. 学科文化的培育 [J]. 教育评论, 2008 (3): 80-82.
- [67] 教育部科技司. 协同创新建设重大科技基础设施支撑世界一流大学建设 [EB/OL] (2013-07-08). http://www.moe.gov.cn/publicfiles/business/htmlfiles/moe/moe_789/201307/153908.html.
- [68] 中国科学院. 北京谱仪国际合作组发现四夸克物质 $Z_c(3900)$ 入选 2013 年物理学重要成果 [EB/OL] (2013-12-30). http://lssf.cas.cn/ywdt/201401/t20140102_4009627.html.
- [69] 国家发展与改革委员会高技术产业司. 北京正负电子对撞机 [EB/OL] (2013-09-26). http://gjss.ndrc.gov.cn/extx/cxlt/t20130926_560482.htm.
- [70] 中国科学院. 上海光源大科学工程荣获国家科学技术进步奖一等奖 [EB/OL] (2014-01-10). http://lssf.cas.cn/ywdt/201401/t20140114_4022891.html.
- [71] 国家发展与改革委员会高技术产业司. 上海光源 [EB/OL] (2013-09-30). http://gjss.ndrc.gov.cn/extx/cxlt/t20130930_561246.htm.

- [72] 国家发展与改革委员会高技术产业司. 强磁场实验装置 [EB/OL] (2013-09-30). http://gjss.ndrc.gov.cn/extx/cxlt/t20130930_561248.htm.
- [73] 中国新闻网. 中国建设 10 台强磁场实验装置, 创多项世界纪录 [EB/OL] (2013-11-08). <http://www.chinanews.com/gn/2013/11-08/5480116.shtml>.
- [74] 俞俭, 黎昌政. 中国脉冲强磁场实验装置跻身世界“最好”之列 [EB/OL] (2013-10-08). http://news.xinhuanet.com/fortune/2013-10/08/c_117626210.htm.
- [75] 国家发展与改革委员会高技术产业司. 大天区面积多目标光纤光谱望远镜 [EB/OL] (2013-9-30). http://gjss.ndrc.gov.cn/extx/cxlt/t20130930_561245.htm.
- [76] 科技新闻媒体关注指数排行榜. 科技导报, 2013, 31 (18): 8.
- [77] 科技新闻媒体关注指数排行榜. 科技导报, 2013, 31 (27): 8.
- [78] 中国科学院. 海洋科学综合考察船“科学”号正式交付使用 [EB/OL] (2012-09-29). http://www.cas.cn/xw/zyxw/ttxw/201209/t20120930_3654973.shtml.
- [79] 中国科学院. “科学”号背景资料 [EB/OL] (2012-10-01). http://www.cas.cn/xw/zyxw/201210/t20121001_3654991.shtml.
- [80] 国家发展与改革委员会高技术产业司. 中国大陆构造环境监测网络 [EB/OL] (2013-09-30). http://gjss.ndrc.gov.cn/extx/cxlt/t20130930_561255.htm.
- [81] 范全林. 子午工程监测空间天气 [N]. 北京日报, 2012-11-7 (21).
- [82] 王子骞. 开辟科研体制创新试验田 [N]. 中国科学报, 2013-10-25 (1).
- [83] 中国科学院上海药物研究所. 上海药物所两科研项目获国家二等奖 [EB/OL] (2014-01-10). http://www.simm.ac.cn/xwz/zhxw/201401/t20140113_4021643.html.
- [84] 国家发展与改革委员会高技术产业司. 国家农业生物安全科学中心 [EB/OL] (2013-09-30). http://gjss.ndrc.gov.cn/extx/cxlt/t20130930_561251.htm.
- [85] 中国农业科学植物保护研究所. 国家农业生物安全科学中心 [EB/OL] (2013-04-12). http://www.ipccaas.cn/Html/2013_04_12/2585_10202_2013_04_12_59481.html.
- [86] 国务院. 国家重大科技基础设施建设中长期规划 (2012—2030 年) [R]. 2013-02-23.
- [87] 李兴华. 战略性新兴产业基础知识 [M]. 广州: 广东科技出版社, 2010: 1-5.
- [88] 向兴华. 研究型大学学科建设主动适应战略性新兴产业发展的对策 [J]. 研究生教育研究, 2012 (2): 62-65.
- [89] 科学技术部. 国家“十二五”科学和技术发展规划 [R]. 2011-07-18.
- [90] 沈长江. 资源科学的学科体系——关于资源科学学科建设的研讨 [J]. 自然资源学报, 2001 (2): 172-177.
- [91] 蔡竹, 邵淑娟, 王涛. 我国医学国家重点学科分布状况剖析 [J]. 现代教育管理, 2012 (7): 33-36.
- [92] 郑文涛. 略论高等学校交叉学科建设的制约因素 [J]. 科技创新导报, 2013 (8): 193-195.
- [93] 孟宪范. 学科制度建设研讨会综述 [EB/OL] 2014-01-20. <http://rec.snnu.edu.cn/show.asp?id=399>.
- [94] 梁凤英. 学术不端行为的危害及其防范措施 [J]. 衡阳师范学院学报, 2010, 31 (2): 165-167.
- [95] 石幸利. 学术不端及学术腐败行为的防范于治理 [J]. 重庆科技学院学报: 社会科学版, 2012 (1): 159-202.
- [96] 孙永刚, 李俊吉. 关于学术不端问题的深层思考 [J]. 山西农业大学学报, 2011, 10 (4): 417-420.
- [97] 陈锡坚. 学科文化的培育 [J]. 教育评论, 2008 (3): 80-82.

第二章

相关学科进展与趋势

第一节 化学

一、引言

进入 21 世纪，世界正孕育着第六次科技革命，“大化学革命”是这一波科技革命的核心组成之一。从近三年的进展来看，我国化学学科总体呈现出基础研究更扎实深入，更注重绿色和可持续发展的趋势，相当一部分新兴与热点分支学科与国际同步发展，涌现出若干引领国际的课题。此外，学科发展更加重视把科研成果转化为生产力，并取得了一些突破，学术交流更为广泛，学术论文的数量已经跃居世界第一并且质量也有大幅度的提升。可以说，我国的化学学科正处于高速发展期，从化学大国向化学强国迈进的步伐越来越快、越来越稳。

二、本学科近年的最新研究进展

大量统计数据表明，化学学科获得的国家科技奖励项目数继续在国内各学科中处于领先地位，在国内外发表的有关化学的学术论文的总数已经位居世界第一。据汤森路透发布的“期刊引证报告（JCR）”，2012 年我国发表的论文总数共 40210 篇，占世界总数的 24.1%，与 2007 年相比数量几乎翻番，总被引频次已经跃居世界第二。2012 年，在国际上 33 种化学类综合或各分支学科名列前五位的高端期刊上发表的论文数已经达到 3244 篇，五年间年均增长率达到 18.6%。9 种国内的化学学术期刊的影响因子超过 1，《纳米研究》达到 7.392，进入高端期刊行列。此外，2012 年还有 3 位科学家进入 Science Watch 评选的年度最热门科学家的榜单，国内外学术交流频繁并与多个先进国家建立了合作机制。按照学科分类更为具体地阐释本学科进展情况。

（一）无机化学领域

本领域包括一系列无机材料的制备、结构和性能研究方面的进展。这些材料包括：

①贵金属/稀土纳米结构材料,金属氧化物、量子点材料、石墨烯及其修饰物、窄带光子晶体等无机纳米材料;②多孔配位聚合物材料;③活化碳氟键和同时活化不活泼的硼氢键和碳氢键的催化剂材料;④超分子配合物。其次,报告还总结了具有新型结构的微孔、具有特殊功能的分子筛材料、功能化介孔材料、金属有机骨架(MOF)材料,以及具有特殊功能的多孔聚合物的合成、结构、性能和应用方面的进展。例如,已经成功开发出了包括三种已被国际分子筛协会结构委员会确认为新型分子筛结构的多种类的微孔分子筛、对大分子的氧化反应具有良好催化性能 of 分子筛 TS-1、对 CO₂ 具有显著吸附特性的功能化 MOF 材料、新型仿生大分子纳米器件、用作疾病探测的生物标记物的薄的纳米颗粒材料等。此外,报告也对俘获 CO₂ 和储氢的多孔配位聚合物材料的应用、类似于金属酶的催化剂及其与 G- 四连体 DNA 的相互作用规律的生物无机化学研究,以及治疗疫苗的开发等作了介绍。

(二) 有机化学领域

在金属催化或有机小分子催化的不对称反应、碳碳键偶联反应、碳氢键活化反应、碳氟键的形成和活化以及含氟化合物合成方法学等方面取得进展,通过列举的大量例子表明我国对有机反应和合成方法学的研究继续保持着高度关注和高速发展的态势。

近年,我国化学家成功全合成复杂天然产物,在集成合成(Collective Synthesis)、规模性、多样化合成天然产物家族化合物及其类似物、功能导向合成(Function-oriented Synthesis)等方面取得进展,例如,中药五味子中提取的具有良好的免疫调节作用等的生物活性的(\pm)-schindilactone A 和显示最好抗癌活性的典型海洋甾醇化合物 Cephalostatin 1 的全合成等。从天然产物中,发现了数百种新化合物和新骨架化合物,其中数十种显示重要生物活性。这将在传统中药的机理探索和新药设计中起到重要的作用。

(三) 物理化学

1. 化学热力学和热分析领域

在“绿色”溶剂体系、材料、生物、胶体等的热力学以及新型热分析仪器的研制方面,特别是对于包括离子液体、超临界流体、超临界流体/离子液体的复杂体系的相行为和分子间相互作用的热力学方面的研究取得了重要进展。建立了国际上最精确的 Al 合金热力学和扩散数据库和硬质合金热力学和动力学数据库。

2. 催化研究领域

在催化研究方面,通过对纳米尺度上催化活性位的结构与化学配位环境的设计与控制、催化剂的纳米结构的形成与性质的分子水平认识、新催化剂材料的设计与构建以及新催化反应的发现与新研究方法和技术的开发,一些传统的概念被突破,一些催化剂设计和

机理研究的新思想和新方法被提出。例如，发现了在多相催化中将起重要作用的催化剂碳管内的限域效应、催化剂材料的表面形貌效应和复杂体系的界面效应等；提出了“界面限域催化”、“纳米反应器中的催化”、给催化剂“穿上铠甲”、“表面异相结增强 TiO₂ 体系光催化活性”等新概念。此外，报告还介绍了把 CO₂ 转化为甲醇的新途径、生物质原材料的催化转化、表面缺陷位的催化以及室温下甲醛催化氧化催化剂的改进等新结果。尤其值得提及的是，以金属有机钳型钌络合物为催化剂实现了较温和条件（低于 140℃ 和 50atm）下碳酸乙烯酯的氢化，此新反应被国外专家形象地描述为“一石两鸟”，指出其是朝着二氧化碳的高效化学利用的一个重要进展。

3. 电化学研究领域

在高能量密度和高功率可充电电池、超级电容器、燃料电池和电催化等方面的研究都取得了重要进展。开发了多种高效组装方法，构筑出多种稳定的高性能微纳复合结构正、负极材料；发明了一种能够调变 α -NaFeO₂ 型层状结构纳米片晶体生长习性的方法；发展了把高指数晶面拓展到各种形状 / 表面结构金属纳米催化剂和合金纳米催化剂的纳米材料结构控制合成方法。

4. 胶体与界面化学领域

提出基于超分子相互作用构筑“超分子表面活性剂”的思想，包括两亲分子、杂化超分子反胶束、表面图案化有序聚集态材料等新型有序分子组装体的构建与应用，具有特殊形貌的无机化合物、有机 / 无机杂化组装材料、贵金属纳米材料以及小分子和大分子凝胶等微纳米功能材料的合成，生物传感器的应用，胶体与界面研究的新方法等方面取得进展。

5. 生物物理化学领域

生物物理化学研究取得了一些具有国际先进水平和产生重要影响的成果。例如：联合完成了基于单个精子细胞全基因组测序的精子基因突变规律的研究，发展了一系列可很好地用于超高分辨光学成像研究的可逆光激活新型荧光蛋白和性能优异的新型光转换荧光蛋白，蛋白质的折叠和相互作用以及其机理研究取得重要进展，发展了高效分子力学模拟方法。

（四）分析化学

分析化学学科在与生命科学的学科交叉研究方面取得重要进展，包括：形式多样的生物传感器制备与应用、核酸适配体与分子识别、蛋白质组学、微流控技术与生物样品分析、分子信标和荧光探针、质谱新技术及质谱仪的研发、实用性分析方法的研究与开发等。例如，建立了核酸研究用新型信号放大荧光传感平台，可用于多标记探针分子，研制

出了在很大程度上降低背景信号的探测多态核苷电致发光传感器；建立了探测细胞中的RNA的微芯片电致发光方法并已经用于乳腺癌细胞中的c-Myc mRNA探测，建立了规模化的中国人肝脏组织样品数据库和国际上第一个系统的健康人类肝脏蛋白质数据库，发现了一些在生理和病理上具有重要意义的功能性蛋白质，发展和改进了一系列用于蛋白质组学研究的新技术和新方法。

色谱学在分离、分析新方法和新技术的探索、用于样品预处理的新色谱柱和材料的开发、代谢组学、蛋白质组学、药物、环境、食品分析等的应用方面取得快速发展。例如，建立了基于亲水相互作用色谱的微反应系统，构建了全在线的反相蛋白分离-有机溶剂置换-在线酶解-反相多肽分离-质谱检测的集成化分析平台，建立了“拟”靶向代谢组学分析技术等。此外，SCI论文发表数量自2010年首次超过美国居第一位后继续保持领先。

（五）聚合物科学领域

在聚合物科学领域，序列精确控制聚合取得重要进展，光电功能高分子研究在各方面与国际同步，继续保持快速发展并一直处于世界前沿。众多报道中聚合物太阳能电池研究取得较好结果。由我国率先提出并实现的无需透明电极的柔性可编织纤维太阳能电池的光电转换效率的提高、大尺寸化与模块化、纤维电极材料的开发、低成本的纤维电池以及其他类型纤维电子器件研制等方面有了新的突破。制备出兼具光电转换和储能的纤维状功能材料——取向碳纳米管纤维，由此研制出一种新型、柔性的纤维状能源集成器件。对诸如聚合物给药体系、大分子组装和超分子聚合物等的研究取得系列进展。稀土催化剂催化生产聚丁二烯和聚异戊二烯技术开发与规模化试验获得重要进展。聚合物科学领域发表的论文总量持续增长，对世界增量的贡献率达87%，总量已居世界第一，被引用总量也已位居世界第二。

（六）核化学与放射化学领域

在核化学与放射化学领域中，对新型核能资源的开发、乏燃料后处理、放射性废物处理与处置等核燃料循环化学研究非常活跃。核安全、环境放射化学、放射分析化学、放射性药物与标记化合物等的研究成果对于国防建设、核能发展、核技术应用等方面发挥重要的支撑作用。例如，研制出1台可用于样品中ppm级元素分析的全反射X射线荧光装置，建立了燃耗测量中U、Pu、Mo、Nd的快速的分离方法并研制出自动化分离系统，对国内外的一些核参数的测量（如 ^{32}Si 和 ^{88}Kr 的半衰期）等。

（七）环境化学领域

环境化学领域的研究工作大多已与国际先进水平同步。自2010年起，我国在

Environmental Science and Technology 上发表的论文数稳居世界第二；有关持久性有机污染物 (POPs) 研究的论文不仅发表量占据世界第二，而且论文引用率也已跃升为第二。继报道了发现新型持久性有机污染物 (POPs) 全氟碘烷的存在之后，又从混合污染暴露中成功甄别了具有神经毒性的新型溴代阻燃剂四溴双酚 A 丙烯基醚，这标志着我国在污染物的研究方面已开始从全面跟踪国外研究向引领方向转化。其次，青藏高原环境介质污染物归趋行为研究之后开展的极地环境科学考察表明，我国已经将研究视野着眼于全球尺度环境问题的解决上；得益于陆续建成的上海光源等一批大科学装置，成功解析了环境中磷酸盐对 ZnO 纳米颗粒的赋存形态、微观结构以及转化过程的影响等，使得对污染物环境界面行为探索进入了分子水平。另外，溶解有机质影响金离子和银离子环境光还原生成金属纳米颗粒等方面研究表明我国在纳米污染物的形成、转化和环境归趋行为研究上取得了重要突破。在污染生态化学研究方面，从辅因子招募的化学结构选择性出发，揭示了全氟化合物雌激素受体 α -亚型结合导致其构象变化以及由此引发的生物效应的分子机制。

(八) 交叉与其他学科

1. 化学信息学领域

化学信息学 (计算机化学) 在物质的结构、性质、相互作用及其机理的分子模拟、蛋白质结构和功能预测、复杂体系分析、近红外光谱学、软件和数据库的开发等方面取得较大进展。例如，发展了能精确预测小分子-蛋白质结合自由能理论计算及药物-受体结合自由能全景图的方法，构建了国际上第一个精确的抗阿尔茨海默病天然药物——石杉碱甲和乙酰胆碱酯酶相互结合的自由能全景图，相应的动力学参数预测与实验测定结果完全一致；构建了基于新颖的结构位置特异得分矩阵 SPSSM、包含 900 万序列的 SPSSMPred 网络服务器，测试结果优于已有的预测器并已成为 15 个国家的用户完成数千个预测任务；建立了国际上首个基于 GPU 的化学反应分子动力学程序 GMD-Reax，单节点计算性能比国际知名的 LAMMPS 平台的 CPU 程序有大幅提升，为在桌面机上开展煤热解等复杂体系化学反应的快速模拟提供了可能；提出了用于复杂体系分析全新的四维数据解析方法，包括交替加权残差约束四线性分解算法、正则化自加权交替四线性分解算法等；建立了近红外光谱分析的定量温度-光谱关系多元校正模型及基于此模型的新定量分析方法，用于变量选择和模型评价、非线性压缩方法及用于子宫内膜癌组织切片近红外光谱分析的模型集群分析新思路；建立的基于化学深层网数据提取方法化合物数据信息搜索引擎 ChemDB Portal 已上网运行。

2. 化学生物学领域

以细胞信号转导为主线的化学生物学研究，在 G 蛋白偶联受体、TGF- β 受体、Wnt、NF- κ B 等信号转导途径的分子机理及其与细胞增殖、分化、凋亡及迁移等生命活动关系的

研究方面取得突破性进展。对细胞自噬与肿瘤关系、急性髓系白血病细胞凋亡机制和治疗手段、新的 Wnt 信号通路的小分子激动剂、肠道病原菌的抗酸机制、RIP3 介导的细胞坏死过程的下游路径的发现和抑制、孤核受体 Nur77 参与调控 LKB1 的定位和 AMPK 激活并降低血糖、干细胞多能性的维持机制相应的诱导因子的发现以及胆固醇代谢负反馈调控的信号转导机制等方面的研究均取得突破。

3. 农药化学领域

在农药分子设计方法学、作用靶标研究、新机制研究方面取得系列重要进展。设计发现一系列具有良好潜力的先导化合物和候选农药，其中病毒星是我国第一个具有完全自主知识产权的抗植物病毒新农药，环氧虫啉是我国第一个被跨国农药集团企业认可并步入全球市场开发的自主创新品种。

(九) 产学研领域

我国在将实验室成果转化为生产力方面也取得了重要成就。例如，有机发光材料与器件、绿色印刷制版技术、采用新型分子筛载体的第二代润滑油基础油异构脱蜡催化剂 (PIC812) 工业应用以及甲醇制烯烃技术许可装置的烯烃产能扩大等就是成功的范例。

三、本学科国外研究进展

根据“科学探视 (Science Watch)”数据库的有关资讯，近两年来国际上化学科学领域的一些热点课题主要包括：太阳能电池、石墨烯、碳氢键活化反应与聚集诱导发光 (ATE) 现象等方面。

四、本学科发展趋势与展望

中国科学家必须抓住第六次科技革命带来的机遇，大力推进“大化学革命”。正如徐光宪院士曾两次阐述，“大化学革命”的推进主要包括：①把有机化学的基础从碳氢化合物变为碳水化合物；②加强绿色、原子经济性和循环化学的开发；③更加注重新药和人造器官、新能源、新型低成本高效率催化剂的开发；④加快化学生物学和分子生物学的发展等。基于现有的研究基础和快速发展趋势，我们对通过全国化学工作者的辛苦努力逐步达到上述目标充满信心。

第二节 地理学

(地图学与地理信息系统)

一、引言

地理信息系统(GIS)是一门获取、处理和分析地理空间信息的科学技术领域,是跨越地理科学、测绘科学、信息科学等学科领域的交叉学科。作为GIS的重要学科基础的地图学,既是一门有着几乎和世界文化同样悠久历史的古老科学,又是一门永远充满生机与活力的科学。

在我国的学科布局中,特别是地理科学的学科布局中,将地图学与地理信息系统设置为地理学的二级学科。本报告重点介绍近两年我国地图学与地理信息系统的研究进展与整体状况,部分内容适当概述为近五年的进展。鉴于地图学与地理信息系统之间相互交叉融合与渗透,本报告将二者视为一个学科的两个方面进行共同分析和介绍。

二、本学科近两年的最新研究进展

我国地图学与地理信息系统的研究和发展是在国家科技计划 and 市场需求双重动力的推动下成长起来的。在国家自然科学基金委员会、中国科学院、教育部等部门的支持下,我国地理信息科学的基础理论研究取得较大的发展,在地理空间采样与内插、地理格网系统分析等方面,取得了原创性成果;在科技部、发改委、中国科学院等部门的支持下,我国自主知识产权的地理信息系统基础软件发展良好,国产化软件平台技术不断提高,品牌GIS软件得到市场的认同;在各行业和部门的推动和带动下,我国地理信息系统的应用不断深化,应用领域不断拓展,地理信息产业蓬勃发展;全国GIS的高等教育规模大,学科面广,为科学研究和产业发展提供了一大批专业人才。

（一）地理信息表达与组织管理

地理信息的表达与数据模型是地理信息系统的基础研究问题。近两年最为突出的是三维空间的表达与数据模型研究，特别是朱庆研究团队和闰国年研究团队的工作。刘刚等提出了一种兼顾空间关系与语义关系的地上下一体化的三维空间数据库模型，支持文件系统与数据库管理系统及其并行管理系统等多种存储环境。在一般三维空间数据模型研究的基础上，袁林旺等将共形几何代数引入 GIS 三维空间数据模型，利用共形几何代数多维表达的统一性、几何意义的明确性及运算的坐标无关性等优势，构建了基于其上的 GIS 三维空间数据模型，有效解决了空间数据模型多维表达与分析框架不统一的问题，形成新的思路。

有效地组织和管理海量、非结构化的地理空间信息是 GIS 研究的基础性方向。陈荣国团队等在系统解析关系数据库管理系统基础上，提出在关系空间数据库内核中拓展空间数据模型的方式，解决了高可信空间数据库系统空间类型定义、空间数据存储、空间索引、空间算子、空间事务、空间查询优化、空间分布式处理以及空间安全访问八大关键核心技术问题，研制成功我国首款高安全级地理空间数据库管理系统 BeyonDB。吴立新等提出了地球系统空间格网（ESSG）的概念和构建普适性 ESSG 的八项基本要求，并基于球体退化八叉树格网（SDOG）设计并实现了一种满足八项基本要求的 SDOG-ESSG 模型。

（二）地理信息分析与模拟

地理模拟系统是在计算机软、硬件支持下，通过自下而上的虚拟模拟实验，对复杂系统进行模拟、预测、优化和显示的技术。黎夏等在对地理模拟系统研究的基础上，构建了可以对地理格局进行模拟、预测、优化分析的地理模拟优化系统（GeoSOS）平台。

在数字地形分析方面，汤国安团队提出地形纹理等新概念，探讨了地形指数的尺度效应与尺度推演、数字高程模型的地形信息量、地形尺度相似性度量方法等，构建了基于并行计算的分析平台。

空间采样与内插是 GIS 的基本的科学问题之一。王劲峰等发展并初步建立了针对异质陆表的空间抽样理论体系，提出了揭示陆表类型、抽样方案和统计推断三者交互作用的空间抽样 Trinity 原理，包括异质表面抽样 MSN 模型、有偏样点纠正 B-SHADE 模型、单点推断区域的 SPA 模型和异质表面插值的 Sandwich 模型。

针对空间数据内插与建模这一经典的问题，岳天祥团队根据曲面论基本定理，结合高斯-科达齐方程，对所模拟的区域进行均匀正交剖分建立数值方程，构建了高精度曲面建模理论（HASM）。

海洋地理信息建模和分析是海洋地理系统的核心内容。周成虎、苏奋振等根据海

洋数据的时空特性,提出基于过程对象分级抽象的时空过程建模思路,设计了基于栅格的时空层次聚合模型,并成功应用于海洋时空过程数据库系统和分析。

在空间数据挖掘与知识发现领域,裴韬、周成虎等系统建立了针对任意时空点过程数据实施多尺度分解的理论模型和方法,王树良等提出数据场的概念及其空间数据挖掘方法并出版了系列专著。

(三) 地图与地理信息可视化

地图自适应可视化是当前地图研究的热点。王英杰、陈毓芬、艾廷华等探索了地图自适应可视化的原理,提出了可变比例尺设计和地图内容表达和细节层次配置在小屏幕和导航应用中的自适应可视化方法,研发了网络自适应制图软件等。

虚拟地理环境旨在实现地理环境的模拟分析与表达,改变传统的空间知识表达与获取方式。龚建华、林琿、游雄等提出了虚拟地理环境研究的一个理论研究框架,研制虚拟战场分析系统等;闰国年等探讨了面向地理分析的虚拟地理环境的整体框架与结构功能,将其分为数据环境、建模环境、表达环境与协同环境四个子环境;李德仁、龚键雅等从基本原理、技术内涵及表现形式三方面,提出基于图形与影像信息的地球空间信息三维可视化技术,并研发大型三维可视化软件 GeoGlobal。

在地图的新概念、新方法方面,王光霞等开展了全息地图研究,并对室内地图展开示范试验。高俊等提出了面向智能地理空间应用的机器地图的概念,指出在三元空间世界的地图研究。

(四) 地理信息系统技术与软件

基础软件和应用软件是支撑地理信息系统应用和产业化发展的重要基础,也是 GIS 发展的基石。自 1987 年第一套国际 GIS 软件 ArcInfo 引进中国以来,我国的地理信息系统技术得到了快速发展,国产 GIS 软件走过了引进、消化、吸收和再创新的发展道路,以 SuperMap、MapGIS、GeoBeans、GeoGlobe 等为代表的国产 GIS 基础软件和应用软件已经形成品牌,在国土资源、测绘、环保、基础设施管理等行业与部门得到广泛的应用,并逐步进入国际市场。国产 GIS 平台软件的成功研发和广泛应用,提升了我国 GIS 软件研发和应用水平,并进入国际先进行列。

(五) 地理信息服务与应用

我国资源与环境信息系统的研究是地理信息系统应用最早的领域,也是发展相对成熟的领域。全国水资源信息系统、全国土壤环境质量信息系统、全国国土资源“一张图”工程等均进入了业务化运行服务的阶段。地理国情监测、智慧城市、公共卫生与健康等成为

新的应用增长点。

在公众地理信息服务方面，位置服务、汽车导航、教育、娱乐、咨询等信息服务业正在启动；百度地图、腾讯地图已提供较为完善的地图服务，天地图公共平台不仅服务于大众地理信息服务，而且通过公用接口，为部门和行业的地理信息应用提供了支撑，实现了一种云服务体系。

三、本学科国内外研究进展比较

地理信息系统是 20 世纪 60 年代起源于美国、80 年代初引进中国的一项技术，经历了初期的技术主导、科学引导、服务牵引的三个不同的发展时期，当今以发展成为融科学、技术与服务于一体的综合科学技术领域。综合当前国内外研究进展和发展态势，我国地图学与地理信息系统总体发展进入国际先进行列，中美两国将主导国际地理信息系统的发展。

（一）基础理论研究方面

美国率先在国际上开展地理信息系统基础理论研究，倡导了地理本体论、空间关系语言、空间大数据库、空间数据质量可视化等基础理论研究，特别是在 1992 年提出了地理信息科学发展的基本思路。ESRI 为了促进其软件的发展，与美国多个大学合作，部署了一系列的关于地理空间分析的项目，有效地提升了地理空间分析算法的效率等。

与美国相比，我国地理信息系统的基础理论研究起步较晚，早期的研究主要侧重于基本的空间数据模型和空间分析、空间数据质量与地图综合等方面。近期在国家的支持下，有效地开展空间抽样与内插、空间分析与数据挖掘、系统建模与综合模拟、空间数据不确定性与可信度理论等研究。特别是黎夏等地理元胞自动机与智能体的结合、裴韬等时空点过程异常模式的识别与提取、王劲峰等空间无偏估计、岳天祥等高曲面建模、史文中及童小华等空间数据不确定性模型与可信度理论、王树良等数据场的空间数据挖掘等方面，取得了重大突破，得到国际同行的高度认可。

中美两国的 GIS 基础理论方法研究均在 GIS 的前沿方向上共同发展。同时，我们认识到在高质量的论文发表等方面，还存在一定的差距；国家的基础研究的科研考核体系有待进一步改进，促进周期长的核心基础理论研究的重大突破。

（二）核心技术与软件系统方面

我国地理信息系统技术走过了引进、消化、吸收和再创新的发展过程。在国家科技计划的支持下，国产化软件的研发进入一个新的阶段，通过关键计划的协同攻关和综

合集成等，催生出我国第一代 GIS 软件，如 MapGIS、SuperMap、GeoStar、InterReal 等，SuperMap 和 MapGIS 自主品牌的 GIS 基础软件已经占据了国内市场的 60% 以上，并开始走向国际市场。与国际先进的 GIS 基础软件 ArcGIS 相比，我国的 GIS 基础软件在可靠性、稳定性等方面，还存在一定的差距，对于超大型应用系统的支持能力还不能全部满足要求，国际市场的竞争力还比较薄弱。

在云计算、物联网等兴起和发展的新时期，我国 GIS 迎来了跨越发展的机会，与美国同步启动了面向大数据和云服务的新一代 GIS 软件的研发，并在关键技术取得突破。例如，成功研发出我国首款高安全级的空间数据管理系统 BeyonDB，高性能 GIS 平台 gDOS 和 HiGIS 也已初步成型。

（三）行业应用与地理信息服务方面

我国 GIS 的应用与世界同步，进入了地理信息服务的时代。我国的百度、腾讯等大型互联网公司均提供免费的地图服务；国家大剧院、首都国际机场等大型公共场所将室内定位与 GIS 结合，推出了室内地理信息服务。可以预见，在未来的五年，GIS 将实现室内外一体化的地理信息服务体系，与国际处于同步发展阶段，并处于以知识化服务为核心的发展起点。

四、本学科发展趋势和展望

经过五十多年的发展，地图学与地理信息系统进入了一个以地理信息服务为核心的发展阶段。海量数据动态接入、综合管理、融合处理、智能分析、个性化制图与知识共享等成为研究的重点与热点，经济社会发展、公共卫生与健康、社交网络与虚拟空间混合等成为新的应用领域，以地理信息为核心、牵动遥感与导航定位的地理空间信息产业正处于蓬勃发展的新时期。

（一）新地理信息时代与泛在空间信息体系

运用空间与位置的观点将各种信息基于空间化进行集成并在统一的时空域内对信息进行处理、加工和分析等，为解决复杂的空间决策等问题提供新的视角和途径，共同构成了一个泛空间信息体系。

（二）GIS 体系向过程化、网络化和集成化方向发展

GIS 的体系将从“数据 + 空间格局”向“模型 + 空间过程”方向发展，“数据编码 +

数据集成管理”将和“模型库+空间过程模拟”有机结合，实现数据、模型、系统的一体化和智能化。新型的计算机硬件、软件体系、网络技术等的的发展，推动着当代 GIS 技术的快速更新和发展，WebGIS、云 GIS 是 GIS 的重要发展方向，以服务为理念的 GIS 将成为未来地理信息应用的重要方式。

（三）分布式海量空间数据管理系统为重要基石

针对分布式海量空间数据的数据库管理技术开始出现并迅速发展，并成为大型 GIS 平台空间数据管理的基础。当前分布式海量空间数据管理系统要求能够对空间数据实现一体化存储、组织与管理，而面对新型计算机硬件体系结构下出现的新问题，对传统的空间数据管理技术提出了新的挑战。

（四）地理信息服务成为发展趋势

通过地理信息服务来实现地理信息、地理信息处理与分析功能模型、地理信息系统软件等的资源化利用是地理信息应用的发展潮流，也是新一代 GIS 技术发展的必然趋势。基于 GeoWeb 的各种地理信息服务正在成为 Web 环境的基础性组成设施，下一代互联网提供了强大、可伸缩的网络基础环境，将改变很多基于互联网的应用，为解决地理信息服务在处理能力和性能方面的瓶颈提供了新的机遇。

（五）地理信息云计算占据前沿

在云计算技术的支持下，用户可以实现按需使用 GIS。用户不需要知道数据、软件来自何处，可随时、随地获得计算能力（资源、信息、服务、知识），用户可以把各种资源如地理数据、应用软件、硬件设备都放在云计算平台的统一管理中，进一步强化地理分析、处理能力。同时，云计算服务可靠、安全，每个地理信息应用部署都与物理平台无关，通过虚拟平台进行管理，以及对地理信息应用进行扩展、迁移和备份等各种操作。云计算平台对全球化的地理空间信息存储、检索、分析和操作提出了新的机遇和挑战。

第三节 植物学

一、引言

植物学或植物科学以绿色植物为主要研究对象，是生命科学中主要的基础分支学科之一，以阐明植物界所有生命现象和过程的客观规律为其宗旨。作为一门古老的基础学科，植物学的发展史可以追溯到旧石器时代人类对植物的采集和利用、进而对植物的认识。植物学包括植物形态结构，植物起源、分类和进化，植物区系和地理，植物生理、遗传和发育、植物生态和植被环境等多个分支学科，为农学、林学、园艺学和药学等相关学科提供了丰富的知识和理论基础，直接推动关系到人类生存与健康的领域（如农业、医药、生物能源、生物新材料和环境保护等）的发展。中国的现代植物学研究开始于20世纪30年代，随着70年代改革开放带来的经济全面发展，植物学研究也同其他科学领域一样得到了迅猛发展。

进入21世纪，在中国综合国力快速增强的大背景下，随着国家对科研项目资金的持续性投入和科研人才引进力度的加大以及国内外学术交流和联合项目合作的日益频繁，中国植物科学研究得到突飞猛进的发展，取得众多令世人瞩目的成绩，在国际植物学研究领域最前沿占据了一席之地。尤其值得一提的是，经过中国植物学家几代人的不懈努力，在与多个国家竞争中，中国获得2017年第十九届国际植物学大会的主办权，使得每六年一次的国际植物学大会有史以来第一次在发展中国家召开，也实现了中国广大植物学工作者几代人的夙愿。在此，我们重点回顾和总结我国植物学近五年来的发展状况，对植物学研究取得重要进展和重大成果进行了评述，并展望了植物学的发展趋势。

二、本学科近年的最新研究进展

近五年来，中国植物学研究发展极为迅速，不仅在基础理论研究方面取得了重大发现，同时一些研究成果也推动了整个生物学的发展，推动了研究成果的产业化。

（一）系统与进化植物学

系统与进化植物学是一门高度综合、理论性很强的学科之一，重点探讨植物的起源、分类和进化机制，具体包括植物的起源、分类、系统发育重建和进化机制等研究。近年来一系列的重要成果，如《中国植物志》获得国家自然科学奖一等奖，《中国高等植物》和 *Flora of China* 等植物分类学巨著相继完成；植物数字化工作取得了新进展，植物区系研究也取得了可喜的进展；被子植物目、科级水平的“生命之树”已基本建立。将分子标记直接应用于植物分类的重要进展就是 DNA 条形码技术。谱系生物地理学作为生物地理学的一个新兴分支，将种内谱系的分布格局及其成因作为研究对象，大大扩展了生物地理学的研究内涵，也是当今生物地理学研究中空前活跃的领域之一。在植物比较基因组学和进化发育生物学研究领域取得了很大进步，特别是在重要粮食作物中一些关键基因的分子进化式样、重复基因分化和新基因形成的分子机制、基因组进化式样和花对称性进化以及花部器官多样化形成机制等方面取得了重大突破。在古植物学研究方面，一项令世人瞩目的成果是首次发现距今约 1.24 亿年迄今最早的真双子叶被子植物大化石——“李氏果 (Leefructus)”，该发现不仅丰富了我国著名的“热河生物群”早期被子植物的组成内容，而且进一步证实真双子叶植物的基部分支在距今至少 1.24 亿年前的早白垩世已经出现，对深入研究被子植物的早期分异及多样性的发生等具有十分重要的意义。

（二）植物生态和植被环境

植物生态学是研究植物与环境之间相互关系的植物学分支学科，包括植物分子生态学、植物生理生态学、植物个体生态学、植物种群生态学、植物群落生态学和植被生态学等。中华人民共和国植被图 (1:100 万) 和中国植被区划图 (1:600 万) 及其数字化获得国家自然科学奖二等奖；该植被图是世界上首部最大、最完备和最先进的植被图件，无论在工作规模上，还是在完整的数字化程度上，水平都处在世界的前沿。我国学者结合全球变化和植被固碳的现状、速率、潜力和机理开展碳专项研究，在全国范围进行森林、灌丛、草地不同植被类型的碳普查，这项工作对于植被调查数据的积累意义很大，其规模前所未有。生态安全也是国内外关注度很高的科学主题。在生态系统层面的植物生态学研究也取得很多进展，包括开发模型模拟最优密度和生产力的关系，用实测数据进行检验；提出生产力与密度的关系由资源竞争和促进作用共同决定；发现土壤微生物对我国亚热带森林生态系统的组成和功能具有重要调节作用以及物种多样性与生态系统稳定性的关系不随刈割和氮添加而发生变化等现象；揭示出入侵植物对地上部分和地下部分草食动物的生态学和进化学反应存在明显分化作用。

（三）植物形态、结构和生殖生物学

植物形态、结构与生殖生物学是植物学中发展较早的基础分支学科，随着学科的发展已成为一门交叉性和综合性学科。中国植物结构与生殖生物学领域的研究快速发展，取得大量的原创性研究成果，尤其是近年来显微成像技术的快速发展以及生物化学、分子生物学研究手段的广泛应用，植物形态、结构和生殖生物学研究已不再仅仅是描述性的形态学和解剖学工作，更多的研究成果体现在植物细胞结构动态与细胞分化、植物结构的发育及功能等方面，从而推动了植物科学基础理论研究的快速发展。在高等植物光合膜蛋白研究方面取得突破性成果，为深入研究高等植物次要捕光复合物的高效捕光和能量传递，尤其是光保护等能量调节机制提供了结构基础。对叶绿体超微结构、生理生化功能等方面开展深入研究；发现线粒体运动速率依赖于肌球蛋白活性与微丝的动态，微丝在线粒体表面的解聚参与线粒体在细胞中的定位，为阐明植物细胞线粒体的动态提供了重要的理论依据，也为活体细胞中细胞器运动的观察提供了重要借鉴。在植物学与结构生物学交叉研究中取得突破，解析了拟南芥感受紫外线 B 波段的光受体 UVR8 的晶体结构，并对其感光机理做出解释，该成果为研究人员在分子水平上理解植物感光机理提供了帮助，也为进一步的计算机模拟和生物物理学研究奠定了基础。

（四）植物生理、遗传和发育

随着植物各分支学科的发展，尤其是 DNA 测序技术的迅速发展大大加快了对植物性状尤其是作物农艺性状的研究；同时基因组学的进步和转基因技术也大大促进了反向遗传学的发展，使更多的基因功能得以阐明。近年来我国学者在植物功能基因组研究方面取得了令人瞩目的成绩，尤其是以水稻（*Oryza sativa*）为代表的功能基因组学取得多点突破，植物基础科学研究的重心从完全的基本理论探索开始转向围绕重大应用价值性状的机制解析并应用于生产。例如，成功分离鉴定了控制水稻理想株型的主效基因 IPA1，揭示了调控理想株型形成的一个重要的分子机制，为培育理想株型的超级水稻品种奠定了坚实的基础。不同机构的学者克隆控制水稻分蘖特性、株型、产量和抗性基因，并在水稻杂种优势机制方面取得重要进展。我国科学家证实了一条不依赖于色氨酸的生长素生物合成途径的存在，同时在激素受体分离鉴定、激素间相互作用以及激素调控植物生长发育的分子机理等方面取得了一系列突破性进展。继 2002 年水稻全基因组和四号染色体测序完成之后，我国科学家在重要经济作物及模式作物的全基因组序列测定方面取得了一系列重大突破，已由我国学者独立或为主合作完成了水稻、黄瓜、谷子、棉花、甜橙以及拟南芥近缘种——小盐芥的全基因组测序，为进一步开展不同类群的比较和功能基因组研究奠定了重要基础，同时为开发和挖掘这些物种的基因资源、关键生物特性研究和重要农艺性状解析提供了十分有价值的基因组信息。

（五）植物资源保护、研究和利用

植物是人类赖以生存的重要物质基础，承载着野生核心种质资源、基因资源及代谢产物的功能活性物质。中国地大物博，是世界上植物物种资源最丰富的国家之一，同时也是野生植物利用历史最长、强度最大的国家，包括我国传统医药和文化都离不开野生植物资源。因此，植物资源的调查、收集、研究和保护是植物学研究和植物开发资源利用的基础，关系到植物学相关的研究、国家的资源安全和社会发展，具有重要的战略意义。近年来我国已经建立各级环境监测站 2389 个，建设 36 个生态系统定位站，并陆续建成较为完整的环境监测体系。这些监测台站正在开展生物多样性的监测，其中特别是中国森林生态系统定位研究网络（CRFRN）、中国森林生物多样性监测网络受到国内外同行的肯定。采用各种分子标记对中国的主要濒危物种开展大量遗传多样性检测、种群遗传结构分析和时空变化的研究，提出了保护生物学的一些新概念。在已建立的 2640 个自然保护区中，国家级自然保护区 335 个，保护了绝大多数生态系统类型。中国现已建成 200 余个各类植物园，启动的《全国极小种群野生植物拯救保护工程规划（2011—2015 年）》公布了我国极小种群濒危植物 120 种。作为珍稀濒危植物野外回归研究的重要基地，我国植物园在物种濒危机制、繁殖策略和方法、野外回归的理论和技術等方面开展了众多研究并取得长足进展。

三、本学科国内外研究进展比较

中国地大物博，具有众多类型的生态环境，是世界上植物物种资源最丰富的国家之一。中国又是一个农业大国，粮食安全始终是我国国民经济发展与社会稳定的核心和关键问题。与国外研究相比，国内植物学研究在原创性方面仍有明显差距，跟踪甚至模仿国外较多，自主创新少，有中国特色的研究还很缺乏；其次，研究缺乏系统性；再者，各学科的支持力度不平衡，重微观轻宏观，重分子生化轻细胞形态，重实验科学轻计算科学。

在科研队伍方面，我国植物生物学人才还远远不够，人才分布极不平衡，而且我国缺少高水平、具有国际影响力的专家，植物学科研和教学队伍中优秀青年人才也显不足。

在科研体制方面，国内大多数现有的考核体系，重视容易量化的标准（如 SCI 论文的篇数和影响因子），明显不利于学科的整体发展和研究水平的提高。我们更需要的是根据学科特点，重视原创性的研究，鼓励科研人员脚踏实地、埋头苦干、潜心钻研；支持探索性研究，对其作阶段性评估总结，如有问题可以修正研究设计，以致最后取得突破性成果；在突出重点的同时，需要有足够的资金支持，以支持科学家们独创性地开展研究。

四、本学科发展趋势及展望

植物学发展的总体布局需要兼顾宏观与微观领域，建立有利于植物学发展的新技术、新方法。一方面，植物学的发展布局应该继续支持我国在自然资源、基础科研上建立国际领先地位；另一方面，也应该重视新兴的热点，集中力量扶持和推动这些领域的建设和发展。在均衡发展各个领域的前提下，植物学要瞄准国际上进展迅速的前沿领域，关注有突破性的研究热点，重视原创性和前瞻性，扶植富有潜力的新生长点和暂时还处于弱势但又是很重要的领域，发展具有我国特色的植物学研究。

（一）植物形态、结构和生殖生物学

植物器官决定、重要器官的形态建成和器官大小的调控均是当前植物发育生物学研究的重要领域。未来植物形态、结构和生殖生物学主要包括：①植物细胞壁组分的生物学功能和产生机制；②细胞器基因组与核基因组之间的互作机制；③根茎叶及其重要组织的生长发育机制；④植物细胞增殖和极性生长的分子调控以及特殊细胞分化机制；⑤减数分裂调控与无融合生殖的遗传基础；⑥自交不亲和以及种间生殖障碍的分子机制；⑦植物性细胞发生与受精的分子机理。

（二）植物起源、分类、系统发育和进化

植物多样性的起源和进化机制是植物学研究的重大问题之一，也是可持续利用植物多样性的基础。系统与进化生物学未来的主要研究方向：①植物系统发育与“生命之树”的构建；②植物多样性式样、形成过程和适应机制研究；③植物区系或植物多样性历史和现代分布规律及其成因的研究；④植物物种变异式样、分布格局和物种形成机制；⑤植物基因和基因组进化的规律与机制研究；⑥植物发育过程和代谢途径的分子进化研究以及关键形态学和生理、生化性状的起源和演化研究。

（三）植物生理、遗传和发育

植物的一个重要特征是它们不能逃避复杂的环境胁迫，只能通过调节自身的生理生化和发育过程以适应环境的变化。该领域的重要研究方向以及可能的突破点包括：①植物抗病分子机制与病原微生物效应蛋白的相互作用；②抗病反应的信号转导网络与信号交流；③植物抗病反应与其他重要农艺性状信号途径之间的交叉；④植物激素调控网络及不同激素间的互作分析；⑤表观遗传修饰及其维持机制；⑥表观遗传学调控对于维持基因组稳定

性和转座元件稳定性的机制；⑦各种表观遗传学修饰之间的相互作用及其机制；⑧植物蛋白的亚细胞分布及其相互作用。

（四）植物生态和植被环境

随着国际上预测生态学的快速发展，越来越多的研究将某个层次的植物特征与其他层次的特征联系起来。植物生态和植被环境研究的未来发展趋势可概括为：①围绕全球变化这一环境主题，在继续开展单因子条件下实验研究的同时，进一步开展多因子耦合作用下的实验研究；②通过学科交叉并利用多维度方法，针对该领域的基本问题开展整合研究；③开展紧密结合中国环境特点、生态需求、生物资源和能源需求的应用基础研究；④开展植物群落长期原位实验和观测同步研究，以及多因子条件下植物性状谱进化研究。在多种环境因子组合的状况下探讨植物多个性状谱的时空格局及其驱动机制；⑤植物功能性状与群落维持机制的实验和植物预测生态学研究，重点关注植物群落稳定性及其变异对全球变化关键驱动因子的反馈与调节机制。

（五）植物资源保护、研究和利用

植物资源的研究、保护和利用涉及对植物多样性从宏观到微观的全面认识，包括遗传多样性、物种多样性和生态系统多样性。在植物多样性保护策略上，珍稀、濒危、特有以及具有重要经济价值的物种通常是优先保护的對象。未来的重点研究方向主要包括：①植物多样性的现状以及变化趋势研究；②野生种质资源收集、整理和保存的理论与实践以及重要和潜在野生重要经济植物的引种驯化的研究；③珍稀濒危物种的生物学特性及其致濒原因研究；④全球变化对生物多样性的影响及其分子机制；⑤野生植物中重要基因资源的评价、挖掘和保护以及植物天然活性产物的发现与作用机制研究。

第四节 生物化学与分子生物学

一、引言

生物化学与分子生物学既是生命科学的基础又是生命科学的前沿，它旨在分子水平探讨生命的本质。它不仅涉及物理、化学、数学等学科与生物学的交叉，也渗透于生物学的

其他分支学科。它侧重研究生命体内的生物分子如糖、脂类、蛋白质和核酸等的结构、功能及代谢,以及基因的结构、复制、表达以及调控等规律。该学科的发展,为人类破译生命的奥秘、认识生命现象的本质带来前所未有的机会,也为人类利用生物技术,促进现代医学、农业和工业的发展创造了广阔的前景。

我国科学家早在 20 世纪六七十年代就取得了人工全合成牛胰岛素和人工合成酵母丙氨酸转移核糖核酸等辉煌成绩。最近十年,国家在科研教育方面的投入大幅度增长,《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020 年)》将蛋白质研究列为国家重大科学研究计划之一,同时将基因语言及调控、功能基因组学、表观遗传学及非编码核糖核酸、生命体结构功能及其调控网络等列为对我国基础科学发展具有带动作用的前沿问题。在蛋白质研究国家重大科学研究计划的支持下,我国在生物化学与分子生物学研究领域取得了一系列重要成果。

二、本学科近几年研究进展

(一) 蛋白质研究

蛋白质存在于所有生物体内,是结构和功能最为多样化的一类生命分子,几乎参与生命活动的所有过程。对蛋白质复杂多样的结构功能、相互作用和动态变化的深入研究将在分子、细胞和生物体等多个层次上全面揭示生命现象的本质,是后基因组时代的主要任务之一。同时,其研究成果将催生一系列新的生物技术,带动医药、农业和绿色产业的发展,引领未来生物经济。

近年来,蛋白质研究逐步从分子水平向细胞、个体等更高维度发展,并注重对蛋白质在活细胞和活生物体中的功能机制及调控的“在体”研究。特别是近年在国家重大科学研究计划之蛋白质研究计划的支持下,我国蛋白质研究取得了一系列重要成果。代表性成果包括:利用 X 射线衍射技术等解析了一批具有重要生物学功能的蛋白质及复合物,特别是涉及呼吸链及植物光合作用等能量代谢过程的蛋白质复合物、细胞膜上的转运蛋白和激素受体、调控染色质结构的蛋白质、与 RNA 结合的蛋白质复合体等的空间结构;建立了国际上最大的人类正常肝组织、肝病和肝癌系列的蛋白质表达谱和相互作用网络图;发现了蛋白质乙酰化修饰对代谢酶的广泛调控,丰富了对代谢调控的经典认识;发现了致病菌蛋白质对宿主蛋白进行修饰而减弱宿主抵抗能力的新机制;发现了细胞自噬等过程中发生的蛋白质降解的新机制等。

(二) 多肽研究

多肽是生命体中广泛存在的由两个到几十个氨基酸单位之间脱水缩合而成的一类有机

分子。根据其生物功能可以分为多肽激素、神经肽、多肽毒素、抗菌肽、抗肿瘤多肽、抗病毒多肽、免疫调节多肽、肽类载体和自组装多肽等一系列的生物活性肽。

近年来，随着多肽化学及其相关技术的飞速发展，如：分离纯化技术、结构确证手段、计算机辅助设计技术、计算机分子动力学模拟技术、高效缩合剂及自动化技术的不断进步，使得更多天然活性多肽分子被发现，并发展了许多以天然多肽分子为基础的合成肽类先导化合物，推动了活性多肽分子的成药性研究。

神经肽泛指存在于神经系统并参与神经功能调节的内源性肽类物质。我国科学家证明了针刺可促进神经系统中内啡肽以及其他神经肽的释放，并基于针灸原理的研究开发了穴位神经刺激仪以用于镇痛、海洛因成瘾的戒毒等。多肽毒素是由动物毒器分泌的一类能够作用于各种动物细胞膜通道及受体的多肽分子。近些年，我国学者对于从蝎子、芋螺、蜘蛛等毒素中分离鉴定多肽成分、分析其结构和功能以及开发成药物方面开展了大量研究，成果丰硕。抗菌肽是生物进化过程中保留下来的重要分子防御机制的一部分。我国学者从昆虫、两栖动物、蝎子、蚯蚓，蜗牛以及海洋鱼类中分离出多种抗菌肽，从中筛选出具有潜在临床应用价值的抗菌肽。

（三）非编码基因研究

非编码 RNA（即不编码蛋白质的 RNA）研究是当今生命科学发展迅速的前沿领域之一。“非编码基因生物学”研究主要包括三大内容：RNA 信息学、RNA 生物学，以及非编码基因资源及转化技术。

长期以来，我国科学家对非编码 RNA 的研究主要集中在 tRNA 和 rRNA 的结构与功能方面，在 tRNA 的人工合成方面曾有过辉煌的成就。20 世纪 90 年代中期，我国学者在“新的核仁小 RNA 结构与功能研究”方面取得了一系列进展。十多年来，国内非编码 RNA 研究在 RNA 结构与功能、RNA 与疾病、生物防治等多个领域取得了一系列突出的研究成果。例如，开发了非编码 RNA 综合数据平台、长非编码 RNA 的功能注释在线分析平台，非编码 RNA 疾病的数据库、非编码 RNA 识别和预测程序等。

我国在 RNA 生物与医学方面取得了一系列国际瞩目的成果。例如：发现特异性小 RNA 可以影响心律；小分子 RNA 在 DNA 双链断裂修复中的作用；小分子 RNA 在精子发生后触发小鼠蛋白降解的现象；只要对细胞中一种 RNA 结合蛋白进行抑制，就可以诱导各种非神经细胞、包括肿瘤细胞向神经元样细胞和功能神经元方向转分化等。我国在 RNA 技术及基因资源方面也打下了良好基础，如：发明一种有效、特异性抑制昆虫单氧酶基因 P450 表达的植物介导 RNA 干扰技术；发现水稻的 miR-156 及其相关基因能使水稻向秆壮穗大的理想株型发展；发掘出第一个可以正调控水稻产量的小分子非编码 RNA 基因等。

(四) 糖复合物研究

全树糖复合物研究旨在搞清糖复合物及其中的糖链的结构,生物合成、代谢以及生物功能等。我国糖化学家在糖类化合物的化学合成上获得了一系列重要的研究成果。特别在糖苷的合成方法学、糖类化合物的组装策略和复杂糖类化合物的合成方面做出了有影响的贡献。

从20世纪90年代开始,N-糖基化蛋白在肿瘤发生发展中的研究已经在我国开展,目前已经取得了显著的成果。例如,发现 β -1,4-半乳糖基转移酶I、N-乙酰氨基葡萄糖转移酶V、Lewis聚糖及其合成相关的糖基转移酶在肿瘤细胞生长和转移中起重要作用;发现了催化O连接的N-乙酰氨基半乳糖糖基化定位于内质网的酶的新成员,发现其具有促进其他糖基转移酶活性并调控细胞生长的功能等。

糖脂作为细胞膜不可缺少的组成部分,其生物学功能非常复杂,在细胞发育、免疫应答、细胞识别及分化中都发挥重要的作用。近年来,我国在糖脂结构方面发展了一系列稳定、可靠、具有可操作性的糖脂分离方法和定性定量技术,并且利用已有的或新开发的方法技术在糖脂的分离分析及定性定量表征中取得了一定成果。我国学者发展了一系列基于硼酸修饰功能化的纳米材料用于糖基化蛋白质的高选择性富集和质谱鉴定方法;在利用磁性纳米材料的基础上,结合生物正交性标记和点击化学等方法,开发了具有选择性富集叠氮标记O-糖基化多肽及蛋白的炔基修饰纳米磁珠,建立了从复杂生物样品中分离富集糖基化蛋白的新方法。

(五) 脂质与脂蛋白研究

脂质结构复杂、功能多样,在生命活动和疾病发生发展中具有独特的作用。国内外已经展现出新的发展趋势,横向正在从异常脂血症扩展到动脉粥样硬化、心脑血管病、肥胖、代谢性疾病、阿尔茨海默病乃至肿瘤;纵向正在从整体深入到细胞和分子水平,脂质在细胞内合成、分解、转化及其调节等。脂类是生物体内重要的能量储存形式,从原核生物细菌到高等动物(如人)都有脂滴的存在。近年来,我国建立了脂滴纯化方法,完成了动物细胞脂滴脂质组学分析,发现并命名了细菌脂滴骨架蛋白,发现了线虫脂滴标记蛋白DHS-3,解决了一直争议的线虫中性脂的存储形式及检测手段问题;建立了从产油菌中快速高效分离纯化脂滴的实验技术方案;发现了全新的脂滴融合分子机制;对胆固醇、脂肪酸和甘油三酯等脂质的生物合成过程的生物和人工调节及其与疾病发生关系方面获得了重要发现;在外源胆固醇吸收这一研究领域取得了一系列原创性的成果。我国学者发现了肝脏X受体转录激活过程的正负调控因子可以作为干预肝脏甘油三酯过度积累的一个潜在药物靶点;蛋白质乙酰化酶在脂代谢中发挥重要作用;肝脏脂肪合成通路的关键酶ATP-柠檬酸裂合酶是介导瘦素(Leptin)调节糖脂代谢平衡的关键效应基因之一。

（六）表观遗传学研究

表观遗传研究主要关注在 DNA 序列不发生改变的情况下发生的可遗传的基因表达与功能的改变，目前它主要涉及 DNA 甲基化、组蛋白修饰以及非编码 RNA 等内容。如果说基因是 DNA 转录翻译为蛋白质的模板，那么表观遗传就是通过 DNA 甲基化、组蛋白修饰、非编码 RNA 来决定在何时、何地、以何种方式表达这些信息。在细胞中，由 DNA 甲基转移酶将甲基化基团转移到胞嘧啶第五位碳原子上。我国学者在此方面的研究成果包括：发现 5-甲基胞嘧啶和 5-羟甲基胞嘧啶可以被氧化形成 5-醛基胞嘧啶和 5-羧基胞嘧啶；对同一人体细胞内两个单倍体中存在 DNA 序列差异的区域进行了等位基因特异的甲基化相关分析；发现转录终止区的甲基化也与基因的转录成负相关关系；拟南芥植物中亲本之间存在甲基化差别的小 RNA 基因在杂交子代中的甲基化水平明显升高，提示 RNA 指导的 DNA 甲基化可能在植物杂交优势性状获得中发挥作用。

组蛋白修饰包括组蛋白的乙酰化、甲基化、磷酸化、ADP-糖基化、泛素化和 SUMO 化等。我国在此领域的代表性成果包括：组蛋白乙酰化酶复合物 NuA4 能够被招募到端粒异染色质区，并特异性地乙酰化组蛋白 H4 第 12 位赖氨酸，进而对端粒异染色质的基本 DNA 代谢过程起调控作用；在缺乏血清时，组蛋白去乙酰化酶 Sirt2 与 FoxO1 结合减弱，使后者的乙酰化水平升高，并与自噬相关分子结合增强导致细胞自噬，抑制肿瘤细胞生长；组蛋白去甲基化酶可以和去乙酰化酶复合物相互作用，抑制肿瘤转移相关基因的表达；鉴定了新的组蛋白乙酰化酶 HAT4；描绘了拟南芥全基因组组蛋白 H3 第 9 位赖氨酸乙酰化和甲基化修饰的图谱。

（七）系统生物学研究

系统生物学的核心任务是整合经典的分子生物学、细胞生物学和组学等不同研究策略和技术，围绕着生物复杂系统的生理和病理活动的分子机制进行研究。其重要特点是采用计算机模拟和理论分析方法，对生物复杂系统的行为进行分析和预测，并建立相关的数学模型。系统生物学使生命科学由描述式的科学转变为定量描述和预测的科学。

我国有关系统生物学的研究和相关研究机构的建立在 2000 年年初就已经开始，并在近些年有了迅速的发展。代表性成果包括有：P53 分子网络的动力学和功能调控研究；复杂性疾病的网络标志物理论及其应用；肿瘤发生发展的内源性网络假说；人群的分子多态性研究；分子影像技术的发展；传统中医学的系统生物学研究等。

（八）生物技术产业

生物技术产业方面，我国取得的重要进展包括：建立了高通量、自动化、规模化的重

大新药创制技术；在计算机辅助药物设计研究方面，发展了一批具有自身特点的新技术和新方法，提高了药物设计的准确性和实用性；在药物新靶点、新机制研究领域，发现了一批具有药物靶点特征的功能蛋白，证明了一些生物大分子作为药物靶点的可能性；开发了微型生物反应器细胞培养系统；建立了国际领先水平的植物细胞大规模培养技术和产品平台；建立了昆虫生物反应器制药技术体系；发布了世界上首个药用植物基因组框架图——“丹参基因组框架图”；在药用植物 DNA 条形码序列的筛选研究方面做了大量研究；在疫苗研制方面，我国已经初步形成符合国际规范的技术和监管体系；在抗体药物规模化制备技术上取得突破，抗体制备已经由百升级达到千升级规模；在微生物药物发酵工程改造、发酵罐设计、发酵过程控制等一系列关键技术上亦有突破；在多肽类药物的结构设计、规模合成与给药技术上进展明显；新一代工业微生物高通量筛选技术方面取得新进展。

我国有数十种基因工程药物和疫苗上市、数百种生物技术药物和疫苗处于临床研究阶段。重组戊型肝炎疫苗、手足口病疫苗、青蒿素的高效合成等技术居国际领先水平；超级稻、抗虫棉的推广应用和产业规模上领先于世界；体细胞克隆羊、转基因试管牛以及重大疾病的基因测序和诊断治疗技术均取得突破性进展；维生素、抗生素、谷氨酸等多个发酵产品产量居世界第一。

三、本学科国内外研究进展比较

未来几年中，蛋白质领域的研究还将快速发展，在重要生物体蛋白质组的构成、翻译后修饰、蛋白质相互作用网络的构建和动态调控、蛋白质时空动态性分析、研究数据整合并在系统水平上理解各种复杂生命活动规律等方面将取得重要进展。蛋白质研究将与医学临床实践密切相关，并推动后者的发展。

针对多肽及药物研发，我们需要关注以下问题：具有生物活性的天然多肽分子的结构和功能鉴定；多肽分子的新活性和作用机制的深入研究；多肽合成工艺的优化；多肽药物设计理念和技术创新；基于结构和功能研究的多肽药物设计；基于肽库的多肽药物设计；提高多肽药物的长效性；提高多肽药物的生物利用度等。

在 RNA 转化医学方面，我国在 RNA 生物标志物、RNA 干扰技术和基于 RNA 技术的新药筛选平台的建立上取得了一系列进展，例如：发现母体血液中有胎儿的 DNA 与 RNA；发现血清微 RNA 可以作为癌症分子标志物；开发了一系列核酸药物和非编码 RNA 技术等相关专利。随着对非编码 RNA 功能研究的深入和拓展，人们发现在高等生物中非编码 RNA 几乎参与了包括从干细胞维持、胚胎发育、细胞分化、凋亡、代谢、信号传导、感染以及免疫应答等所有生理或病理过程的调控。因此，非编码 RNA 基因的研究不仅是 RNA 科学研究的前沿，而且也是细胞生物学、遗传与发育生物学、神经生物学、免疫学等几乎所有现代生命学科的研究热点和前沿。

定量糖组学则致力于研究不同生理病理条件下的复杂样本中糖链在结构类型、组成以及连接、构象精细结构上的相对量的变化。与定量蛋白质组学类似，基于质谱的稳定同位素标记也是定量糖组学研究的有效手段和发展方向。糖链改变和疾病发生发展的关系的研究，近年来也取得了一定进展。通过研究血清中糖链的变化，以期寻找潜在肿瘤诊断生物标志物。基于国内糖复合物学科的近年主要进展，参考国际糖生物学领域的发展趋势，根据我国的实际情况可考虑未来5年学科主要发展方向如下：模式微生物的糖组学研究；糖复合物在医疗健康领域的应用开发；糖复合物在材料和能源领域的应用开发；糖链合成生物学；大规模糖蛋白质/糖链结构研究；糖复合物生物信息学工具开发等。

鉴于脂质、脂蛋白及其代谢异常与多种疾病密切相关，将来的研究应该注重阐述脂质与脂蛋白的异常与疾病发生发展与防治中作用和作用机制，结合系统生物医学观念和手段，寻找它们参与疾病的共性和个性作用规律。重点开展以下方面的研究：发现新脂质与进一步发展脂质分离和鉴定技术；脂质与脂蛋白代谢调控途径以及与疾病的关系的研究；发展脂质组学；进行脂质和脂蛋白的转化医学研究；新的药物靶点与新药研发。

表观遗传学现象较为复杂又与肿瘤等重大疾病密切相关，因此这一领域是未来生命科学的重要发展方向。未来可望取得突破的方面包括：大片染色质区域性DNA甲基化与器官/组织进化、发育，细胞分化的关系；DNA甲基化和去甲基化状态的动态维持及控制；细胞分化相关性与环境适应相关性DNA甲基化等表观遗传修饰的分类和维持机制；DNA修饰异常在复杂疾病发生发展中的作用；组蛋白密码的分析与解释；组蛋白修饰参与信号通路的过程；组蛋白修饰与其他表观遗传学修饰之间的相互作用；组蛋白修饰与疾病的发生发展和治疗的关系；功能性长非编码RNA的系统研究。

面对系统生物学的迅速发展形势，我们需要顺势而上，进一步推动系统生物学在中国生命科学研究领域的发展。需要加强分子层面的系统生物学研究；开展基于生物学大数据的系统生物学研究；发展系统生物学相关研究技术；发展基于系统生物学的转化医学研究。随着人类疾病谱从传染病为主变成肿瘤、代谢性疾病和神经退行性疾病等复杂的慢性非传染性疾病为主，研究者面临的主要挑战是，怎么样才能深刻地揭示并有效地应对这些复杂性疾病，系统生物学正是未来抗击复杂性疾病的一种新思路。我们应该建立以高通量、规模化关键技术和大型仪器/设备为核心的系统生物学大科学研究设施，为抗击慢性病的转化型研究提供重要的技术支撑平台。在一定意义上，系统生物学的基本思路与中医整体观相一致。因此，我们需要在系统生物学的理论基础上推进我国传统医学的现代化。我们要采用系统生物学的理论和技术进行中药复方的药理机制的定性和定量研究；要使系统生物学的理论和技术成为中药复方现代化的重要理论基础和研究工具。我们需要利用系统生物学的研究方法重新认识中医理论和实践。

未来5—10年，中国生物技术的重点将放在发展基础生物学、医药生物技术、农业生物技术、环境生物技术、生物多样性、生物安全等领域。我国的生命科学工作者正在以

基因组学、干细胞及其相关领域为主要突破口，在功能基因组学、蛋白质组学、结构基因组学、生物信息学、生物进化及其 RNA 与基因打靶等方面的研究中取得长足的进展。目前，我们已经在某些国际生物技术基础研究的领域中占据有利的位置，正在不断冲击国际前沿水平，与发达国家争夺有关领域的学科“制高点”。通过原始创新性的工作，全面提升我国生物技术和生物产业经济的发展速度，为我国的国民经济发展做出应有的贡献。

四、本学科发展趋势和展望

蛋白质科学与技术的快速发展大大提升了蛋白质研究的能力，极大地推动了生命科学的进步，带动了大量相关学科领域的发展。通过蛋白质科学与技术的重大突破将可能更加全面、系统地揭示生命活动的规律和本质、人类重大疾患（及其病原体）致病的物质基础以及发生与发展的病理分子机制，并通过其跨领域的集成融合，直接推动分析科学与技术、信息科学与技术、材料科学与技术等学科的爆发式的发展及其深层次的应用。

“十二五”期间，蛋白质复合物的研究目标是揭示一批膜蛋白和重要蛋白质复合体的空间结构及其生物学作用机制，产出一批具有长远影响的标志性成果。重点任务针对两方面，一是结构生物学方面，对参与基因表达调控、能量转换和信号转导等重要生命活动的蛋白质及其复合物的结构以及作用机制进行研究；二是蛋白质生物学功能方面，研究重要的蛋白质复合体以及蛋白质相互作用网络的功能。

未来我国一方面要加大对研究稳态或动态的生物大分子复合体，如染色体、细胞骨架、蛋白酶体、病毒转录复制及与宿主相互作用的复合体以及其他具有重要生理功能的蛋白质的结构与功能关系的研究；另一方面研究具有重要生理和药理功能的生物大分子复合体（含 RNA-蛋白质复合体）的三维结构，以及研究具有重要生理和药理功能的膜蛋白（特别是真核膜蛋白）及其与配体和下游调控蛋白复合物的三维结构。

未来我国的糖生物学研究需要：构建统一的糖生物学数据库与交流平台；各相关研究机构需要加强合作，优势互补，进一步提高研究质量和国际影响力；加强人才培养；加强糖科学领域的研究工具与技术的开发，如凝集素微阵列和质谱技术，在凝集素微阵列方面，尤其需要利用合成方法构建稳定的重组凝集素，而不是目前的以自然凝集素（其中大部分是植物来源的）为主；加强跨学科合作，尤其是与化学家的合作。

表观遗传学已成为生命科学研究的焦点之一，它弥补了经典遗传学的不足，为人类疾病的治疗提供了新的研究方向。尽管今天的表观遗传学研究已在全球范围内受到重视，而且也取得了重要的进展，但是科学家对表观遗传调控的了解依然是十分有限。另外，表观遗传学的研究成果与人类健康以及农业生产具有密切的联系，既能满足国家国民经济发展中的重大需求，又能举一而牵百地带动生命科学领域的基础研究。

第五节 植物生物学

一、引言

植物生物学的研究与人类的日常生活和未来发展密切相关。自 2008 年以来，国际和国内植物生物学的研究均处于快速发展时期，以二代测序技术和各种组学手段为代表的技术发展大大地促进了植物生物学的研究。科学家测定了多种植物的全基因组序列，启动了拟南芥、水稻等植物的功能基因组计划，从水稻等作物中克隆了多个农艺性状相关的重要基因；以拟南芥等为材料在植物激素代谢、受体鉴定以及信号转导机理的研究取得了丰硕成果，在植物小分子 RNA 作用机理、DNA 甲基化和去甲基化机制等方面的研究取得一系列突破。

我国植物生物学的研究得益于政府科研投入的增加和研究队伍的壮大，在多个研究领域取得了重要进展，研究水平大幅提高、国际影响力和学术地位显著提升。为及时较为全面地了解本学科领域的重要进展，为我国植物生物学的更好发展提供更多借鉴，本报告总结了过去两三年来国内外植物生物学研究的重要进展。

二、本学科近两年最新研究进展

（一）植物基因组序列测定方兴未艾，基因组学研究蓬勃发展

国外科学家主导或独立完成了玉米、大豆、番茄、高粱、草莓、可可、大麦、棉花等作物以及小立碗藓、二穗短柄草、盐芥等植物的全基因组序列分析。中国科学家牵头组织或主导完成了包括黄瓜、白菜、马铃薯、谷子、二倍体棉花、西瓜、甜橙等重要农作物或经济作物的全基因组序列分析，以及小麦 A 和 D 基因组的序列分析；还开展了一些独特资源植物如小盐芥、毛竹等基因组序列的测定及基因注释工作，参与了玉米、番茄、高粱等植物基因组的序列测定和基因注释等工作。

在水稻基因组学方面，我国科学家开发出利用第二代测序技术进行基因分型的方法，构建了精确的水稻高密度基因型图谱，并对水稻重要农艺性状进行了全基因组关联分析

(GWAS), 构建了一张水稻全基因组遗传变异的精细图谱, 分析了水稻的遗传多样性并研究了水稻的驯化过程以及亚洲栽培稻的起源历史。在玉米基因组学方面, 国外科学家构建了第一代和第二代玉米单体型图谱 (HapMap1) 并分析了品系遗传变异和遗传多样性, 系统研究了玉米的驯化和改良; 中国科学家建立了我国重要玉米杂交组合骨干亲本的高密的分子标记图谱, 研究了玉米自交系基因组的遗传变异, 剖析了高油玉米籽粒油分合成的遗传结构。在大豆基因组学方面, 中国科学家对 17 个野生大豆和 14 个栽培大豆品种进行了重测序, 分析了大豆全基因组遗传变异的模式。

(二) 作物重要农艺性状基因的克隆和功能研究获得一系列重要成果

欧美科学家主要以玉米、麦类、大豆等作物为对象, 分离控制产量、品质、株型发育、抗性和含油量等农艺性状的重要基因并进行遗传调控机理的研究。从玉米中克隆了控制高含油量的 QTL-qHO6、控制种子数量的基因 FASCIATED EAR2, 从小麦中克隆广谱抗病基因 Lr34, 克隆了大豆抗根结线虫基因 Rhg4 和 Rhg1-b 等, 并研究了它们的作用机理。

以中国和日本为代表的亚洲水稻种植国重点以水稻为研究对象, 克隆了多个控制重要农艺性状的重要基因。在水稻株型方面, 我国科学家克隆了控制水稻株高、抽穗期和每穗粒数的数量性状位点 (QTL) Ghd7, 控制野生稻匍匐生长习性的关键基因 PROG1 以及控制水稻理想株型的 IPA1 基因 (编码转录因子 OsSPL14)。日本科学家也独立克隆了水稻 OsSPL14 基因。在水稻籽粒大小、灌浆、粒型和穗形态等性状方面, 日本和我国科学家分别克隆了控制水稻粒宽和粒重的 qSW5/GW5 基因, 我国科学家克隆了控制谷粒大小的基因 GS3、GS5 以及 GL3.1/qGL3, 控制水稻产量和品质的 GW8 以及多效基因 DEP1 基因、水稻直立密穗的 DEP2 基因以及水稻灌浆的关键调控基因 GIF1、MADS29 等。在水稻育性分子机理方面, 我国科学家克隆了控制水稻亚种间杂交不育的位点 S5、雄性杂种核不育的 Sa 位点、控制野败型细胞质雄性不育基因 WA352、控制水稻光敏感核不育的 PMS3 位点, 并揭示了它们的作用机理。克隆并研究了 REP1、CSA、DPW、CYP704B2、MTR1、EAT1 等水稻花药发育相关基因。在水稻抗性分子机制方面, 日本科学家克隆了控制深水稻节间伸长的基因 SNORKEL1 和 SNORKEL2 及水稻抗稻瘟病持久抗性基因 Pi21。我国科学家克隆了一个水稻抗逆基因 DST 并揭示了调控水稻抗旱、耐盐能力的机制, 克隆了水稻抗褐飞虱基因 Bph14, 发现水稻耐盐相关基因 OsHAL3 介导了一个与普通光受体模式不同的光控发育机制。

(三) 植物激素的生物合成和信号转导机理研究取得重要突破

吲哚-3-乙酸 (IAA) 是天然植物生长素的主要活性成分, 3-吲哚丙酮酸 (IPA) 途径是植物体内一条最主要的 IAA 合成途径。2009 年, 美国两个独立的研究组通过遗传筛选鉴定了一个氨基转移酶 TAA1 在 IPA 途径催化合成 IAA 的第 1 步反应, 将色氨酸转变为吲哚丙酮; 此后国外几个研究组都有报道类胡萝卜素单加氧酶 YUCCA 也在 IPA 途径催化吲哚

丙酮酸直接转变成 IAA，将 IAA 的主要生物合成途径归结为一个简单的两步过程。

脱落酸 (ABA) 调控多个植物生长发育过程以及生物与非生物胁迫反应。2009 年，国际上三个研究组分别独立鉴定 PYR/PYL/RCAR 家族蛋白为 ABA 的受体，此后解析了 ABA 受体 PYR/PYL/RCAR 与 ABA 结合的晶体结构。我国科学家解析了 ABA 信号途径 SnRK2.6 激酶域的结构，揭示了 PP2C 蛋白磷酸酶 ABI1 识别并抑制蛋白激酶 SnRK2.6 的分子机制。国外科学家解析了 SnRK2.3 和 SnRK2.6 以及 SnRK2-PP2C 复合体的晶体结构，揭示了 SnRK2 被抑制或激活的分子机理。此外，建立了从 ABA 受体 PYR/PYL/RCAR 到蛋白磷酸酶 PP2Cs，再到蛋白激酶 SnRK2s 的 ABA 信号转导的基本模型。我国科学家继报道拟南芥镁-原卟啉螯合酶 H 亚基 (ABAR/CHLH) 是 ABA 受体后，提供新的遗传和生化实验进行了证实并解析了 ABAR/CHLH 介导的 ABA 信号通路。

油菜素内酯 (BR) 和赤霉素 (GA) 调控植物的多个生长发育过程。以国外科学家为主，利用分子遗传学、生化和蛋白质组学方法鉴定了 BR 信号途径的多个关键成员，解析出一个基本的 BR 信号转导通路。我国和美国科学家分别解析了 BR 受体 BRI1 的晶体结构，揭示了 BRI1 与 BR 结合并被诱导激活的分子机制。我国科学家还研究了 BKI1 和 14-3-3 蛋白在 BR 信号转导中的作用。日本科学家继鉴定了水稻 F-box 蛋白 GID1 为 GA 受体后，解析了水稻 GID1 与赤霉素 GA4 相结合的晶体结构，以及拟南芥 AtGIDa、GA 和 DELLA 蛋白 GAI N 端组成的三元复合体的晶体结构，阐明了 GID1 识别 GA 分子以及介导 DELLA 泛素化的机制。新加坡科学家发现 DELLA 蛋白通过与 JA 信号的转录抑制因子 JAZ1 竞争性互作，抑制 MYC2 激活 JA 反应基因的表达，揭示了 GA 通过 DELLA_s 调控 JA 反应的分子机制。我国科学家发现 DELLA 蛋白通过与光信号途径转录因子 PIF3 互作调控植物的光形态建成反应，水稻酪蛋白激酶 EL1 是 GA 信号通路的负调控因子，通过磷酸化水稻 DELLA 蛋白 SLR1 蛋白维持其稳定性和活性。

独角金内酯 (SLs) 是新近发现的一类植物激素。国外科学家最先报道 SLs 是抑制植物分枝的新型激素，鉴定了其生物合成途径的多个基因，提出 SLs 的合成源于类胡萝卜素合成途径。我国科学家发现定位于叶绿体的水稻 D27 蛋白是 SL 生物合成的一个新成员，国外科学家此后证实 D27 是一个 β -胡萝卜素异构酶 isomerase，将类胡萝卜素与 SLs 的生物合成联系起来。国外科学家发现矮牵牛 DAD2 所编码的 α/β -水解酶催化人工合成的 SL 类似物 GR24 可能是 SLs 的受体。我国科学家解析了受体 DAD2/D14 与 SL 复合物的晶体结构及 Karrikin 信号途径同源蛋白 KAI2 的结构。此后，美国科学家报道了 KAI2 的结构并通过生化手段研究了 KAI2 识别 Karrikin 分子的机制。国外科学家还发现矮牵牛 ABC 转运蛋白 PDR1 是 SL 的细胞内输出载体，调控植物的分枝和与丛枝菌根的共生。

茉莉酸 (JA) 调控植物的性、根的生长、花青素积累、衰老以及对病菌和害虫的抗性等过程。我国科学家通过同源结构建模和生化方法证明了 F-box 蛋白 COI1 是 JA 的受体。国外科学家通过晶体结构解析确定 COI1 与 JAZ 蛋白作为共受体形式共同感受 JA 信号。此外，还发现水杨酸 (SA) 可诱导植物产生系统获得抗性。调控 SAR 建立的关键因子 NPR1 的降解充当分子开关的作用，调节 SAR 的发生和植物的免疫反应。国外科学家

研究发现 NPR1 的旁系同源物 NPR3 和 NPR4 是 SA 的受体, 响应不同水平的 SA 信号而调控 NPR1 的降解。

(四) 植物小分子 RNA 作用机理和表观遗传学研究取得重要进展

非编码小分子 RNA (nc-sRNA) 是近年来生物学领域的重要发现, sRNA 介导的 RNA 干扰 (RNAi) 是基因表达调控的一种重要方式。我国科学家对 RNAi 效应复合体 RISC 中 AGO 蛋白结合的 sRNA 进行了研究, 揭示了不同 AGO 结合的 sRNA 的生物学规律和功能的重要性。同期, 国外科学家的研究也得出了相同的结论。我国科学家还在水稻中发现了一类长度为 24nt 的长 miRNAs (lmiRNAs), 可与 AGO4 亚家族蛋白形成 RISC, 通过介导靶标基因 DNA 的甲基化在转录水平抑制靶基因的表达, 揭示了 miRNA 调控靶基因表达的一种新方式; 发现了一类新的 sRNA-diRNAs, 在 DNA 双链断裂 (DSB) 修复中起重要作用且具有保守的功能, 为理解 DSB 修复机理提供了新认识。此外, 还揭示了双链 miRNA 的 3' - 末端核苷酸的甲基化起稳定 miRNA 的作用。国外科学家解析了 HEN1 蛋白与 miRNA 分子复合物晶体结构, 证实了 HEN1 甲基化 miRNA 的作用机理; 发现由核苷转移酶 HESO1 介导的 miRNA 3' 末端尿苷化可以促进一类核酸外切酶 SDNs 特异降解单链 miRNA 来调节体内 miRNA 的水平。

DNA 甲基化是一种保守的表观遗传修饰, 对于维持基因组稳定性、调控基因表达和介导转基因沉默等起重要作用。RNA 介导的 DNA 甲基化 (RdDM) 是植物中从头建立 DNA 甲基化的重要途径。以国外科学家为主, 鉴定了多个参与 RdDM 的重要因子, 解析出一个基本的 RdDM 过程, 并鉴定了多个参与植物 DNA 去甲基化因子, 在 DNA 去甲基化机理方面取得了重要进展。在组蛋白修饰和去修饰方面, 国外科学家发现 SET 结构域蛋白 ATXR5 和 ATXR6 是组蛋白 H3 第 27 位赖氨酸 (H3K27) 单甲基化酶, 具有防止异染色质区域的基因组 DNA 重复的作用。我国科学家证明拟南芥 REF6 基因编码一个重要的 H3K27me3 去甲基化酶。美国科学家研究了杂交优势的表观遗传学基础, 发现生物钟节律关键调控基因的表观遗传修饰在异源多倍体中调控光合作用及淀粉代谢途径相关基因的表达, 使得在杂种优势分子机理方面有了新认识。

(五) 植物抗病及与病原菌互作的机理研究深入开展、成果斐然

在植物抗病机理方面, 国外科学家发现细胞内氧化还原状态调控 NPR1 蛋白的构象和 SAR 反应, 发现 S-亚硝基谷胱甘肽 (GSNO) 介导的 NPR1 寡聚化, 而硫氧还蛋白催化 NPR1 的多聚体向单体转换。NPR1 在细胞核中定位是防卫基因诱导表达的前提, 当 SA 诱导时, NPR1 蛋白从寡聚体转变为单体进入细胞核内激活 SAR 相关基因的表达; 发现 Ca^{2+} /钙调素通过 AtSR1 转录因子调控 SA 介导的 SAR, AtSR1 能结合 Ca^{2+} /钙调素并通过直接结合在 EDS1 基因的启动子上抑制其表达来负调控 SAR; EDS1 是调控植物基础抗性

和效应因子激发免疫反应的关键因子，可与抗性蛋白 RPS4 和 RPS6 在质膜上互作，而细菌效应因子 AvrRps4 和 HopA1 通过使 EDS1 复合体解聚，形成 AvrRPS4-EDS1 复合体在细胞质或核中来激活防卫反应。另外，还发现甘油-3-磷酸也是诱导植物 SAR 的可移动的信号分子，细胞自噬在植物免疫反应中具有重要作用，植物介子油葑（Glucosinolate）代谢产物或代谢途径介导植物抗细菌或广谱抗真菌防卫反应。

在植物-病菌互作机制方面，我国科学家对细菌丁香假单胞杆菌效应因子蛋白与寄主植物互作机理开展了深入的研究。鉴定了多个效应因子蛋白的寄主靶点，弄清了它们的致病机理；解析了野油菜黄单胞菌野油菜致病变种的效应因子 AvrAC 的致病机制，发现 AvrAC 一个尿苷单磷酸转移酶；解析了几丁质的受体 AtCERK1-ECD 结构域与几丁质五聚体复合物的晶体结构，揭示了几丁质激活 AtCERK1 以及下游防卫反应信号转导通路的机理；解析了植物免疫受体 FLS2-细菌鞭毛蛋白 flg22-BAK1 的晶体结构，发现 flg22 通过诱导 FLS2 与 BAK1 形成异源二聚化来识别 flg22 并激活下游防卫反应信号通路；揭示了 FLS2 识别细菌运动所必需的鞭毛蛋白的分子机制。

（六）植物营养和代谢领域的研究取得新进展

在植物营养元素吸收方面，我国科学家证明拟南芥硝酸转运蛋白 NRT1.1 是高等植物的硝酸感受器。国外的研究进一步发现 NRT1.1 可能通过促进生长素从侧根中转运出去抑制侧根在低硝酸盐情况下的生长，这可能是植物营养元素感受的一种新机制。在糖转运方面，国外科学家鉴定了植物和动物中保守的糖转运蛋白家族 SWEETs，发现一些 SWEET 蛋白可与植物病原细菌的效应因子互作，充当细菌致病的靶标，而其中一个亚家族的 SWEET 蛋白为蔗糖转运子（AtSEET11/12），介导蔗糖从栅栏组织细胞到韧皮部的转运。

在植物次生代谢方面，国外科学家解析了丙二烯氧化物合成酶（AOS）的结构，利用生物信息学和生化方法对植物氧合脂类代谢途径进行了进化分析；解析了与植物二萜合成酶-内部柯巴基二磷酸合酶的晶体结构并分析催化活性位点；发现了预苯酸氨基转移酶指导碳从预苯酸（prephenate）流向 arogenate，使 arogenate 途径成为植物苯丙氨酸合成的主要途径。此外，还发现了植物苯丙烷类代谢途径是产生类黄酮、木质素等次生代谢物的重要途径。我国科学家解析了毛白杨苯丙烷类代谢途径的一个关键酶——4-香豆酰：辅酶 A 连接酶（4CL）的晶体结构，确定了 4CL1 中催化活性和底物结合的关键位点，解释了 4CL 酶的底物特异性和催化机理。

（七）植物生物技术研究和应用硕果累累

在植物生物技术方面，近年来国际上先后报道将锌指核酸酶（ZFN）、TALE、TALEN 及 CRISPR/CAS9 技术用于植物基因组的精确修饰。ZFN 技术已在玉米、烟草、拟南芥等植物中得到应用；TALE 及 TALEN 技术已在拟南芥、玉米、水稻等植物中进行了应用并

获得了抗白叶枯病菌转基因水稻；CRISPR/Cas9 技术已在拟南芥、烟草、水稻等作物上得到应用。我国科学家也已将这些技术应用于水稻、麦类等作用的改良，可望成为基因工程改造植物性状的有力工具。2010 年，美国科学家报道通过对拟南芥着丝点特异性组蛋白 CENH3 进行改造和遗传杂交可产生单倍体子代植株。由于 CENH3 是真核细胞着丝点上保守的组蛋白，原理上该方法可以推广到作物上用来杂交育种。在此基础上，国外科学家还建立了一种反向育种方法从杂种植物来产生纯合的母亲本，为作物杂交育种工作提供了新的方法。

转基因生物技术发展迅猛，多种转基因作物已得到商业化种植，包括：棉花、大豆、玉米、油菜、南瓜、番木瓜、苜蓿和甜菜等，主要为转基因抗虫、抗除草剂、抗病和营养品质改良等转基因作物。2011 年，全球转基因作物种植面积已超过 1.6 亿 hm^2 ，主要种植国家包括美国、巴西、阿根廷、印度、加拿大、中国等。一些发达国家的跨国公司，正大力开展新基因挖掘、新的转基因作物和新转基因技术研发等工作，包括利用转基因植物开发生物能源等。我国于 2008 年启动“转基因生物新品种培育科技重大专项”，部分资助转基因植物研究，包括克隆具有知识产权的重要基因，推进转基因作物研发和产业化步伐。2009 年我国依法批准发放了转植酸酶基因玉米和转基因抗虫水稻“华恢 1 号”及杂交种“Bt 汕优 63”的生产应用安全证书，为大宗粮食作物转基因品种的商业化进行了战略储备。

三、本学科国内外研究进展比较

在植物基因组测定和组学研究方面，我国科学家贡献突出。欧美科学家主要以玉米、麦类、大豆等作物为对象，分离控制农艺性状的重要基因并进行遗传调控机理的研究；我国科学家在水稻基因组学研究以及水稻重要农艺性状基因克隆和功能研究方面取得了重要进展。在其他一些研究领域也有重要贡献，特别是我国科学家受邀在国际植物科学权威综述性期刊 *Annual Review of Plant Biology* 上发表了十多篇综述文章，表明中国科学家的研究工作得到国际植物生物学界的认可和肯定。

但总体看，我国在植物生物学基础理论，如：植物激素受体和信号转导、植物代谢、植物基因工程策略等方面的研究较为薄弱，在植物生物技术的研发和应用方面还跟发达国家有较大差距，学科交叉和合作研究成果较少。

四、本学科发展趋势和展望

当前国际上植物生物学的研究已解决人类面临的重要难题为目标，包括应对粮食供给的需要不断加大，农业可持续发展的挑战，生态环境的不断恶化，以及清洁能源的日益减少等。在植物生物学基础理论研究方面，国际上不断加大利用高通量测定技术和组学手段进行植物重要性状如产量、抗逆等方面的研究，利用分子遗传学结合生物物理成像、生物

信息学和合成生物学等方法探究植物生长发育过程中的基本生物学问题，学科交叉和合作特征越来越明显。近年来，国际上启动了“C4”水稻计划，希望通过全球科学家的努力弄清 C4 植物光合机理并鉴定 C4 途径的关键基因，通过基因工程或分子育种手段将 C4 途径导入水稻（C3 植物）中来提高水稻的光合效率和最终产量。国外科学家也在通过研究豆科植物与固氮根瘤菌的共生以及非豆科植物与丛枝菌根真菌的互惠共生机理，希望能改良非豆科植物使之具有与根瘤菌共生的能力而提高固氮效率，或者利用共生真菌改良作物的营养吸收、抗逆等方面的能力。大力研究植物细胞壁合成和生物乙醇，开发新的能源植物以及利用转基因植物开发生物能源。此外，国外大公司正投巨资大力开展新的转基因作物的研发以及新基因挖掘和新的转基因技术的开发。

我国应在充分考虑国情的基础上，紧密跟踪国际前沿，加强植物生物学研究的宏观布局，有目的地拓展研究领域，特别是加强植物生物技术基础和应用研究。应大力鼓励合作创新和学科交叉研究，以期通过强 - 强联合将来在植物生物学领域取得更多重大突破性成果，更好地服务国家粮食安全、生态环境改善等战略性需要。

第六节 心理学

一、引言

人的心理与行为是心理学的基本研究主题。心理与行为既有生理和生物的基础，又受到社会、经济和文化等环境因素的影响。这决定了心理学具有自然科学与社会科学的双重属性。由于研究对象的复杂性，心理学对心理行为的研究是多层次和多角度并存，对心理行为的生物学基础与环境因素的研究涵盖了心理学的主要内容。围绕这个主题，本报告将介绍近年来国内外的主要进展，阐述国内外研究状况比较和未来发展趋势，并对我国心理行为研究与发展提出建议。

二、本学科近年来主要研究进展

（一）心理行为及其生物学基础

人们对各种复杂心理行为过程及其生物学基础的认识正在经历着一个从局部和孤立到

总体和统一的历程。从以下 10 个方面阐述心理行为与生物学基础之间的关系，反映这一学科发展的趋势。

(1) 在中枢唤醒基础上所出现的意识为整合复杂信息输入以及触发适应性行为提供了一个统一的信息表达平台。

(2) 在神经元的时间动态动作电位基础上的神经元信息交流集合的时空模式。

(3) 心理行为的神经生理学机制需要基于自下而上加工与自上而下加工之间交互作用的中枢门控体系来维持。

(4) 记忆和学习过程与情绪过程的整合。

(5) 从原始情绪体验到艺术审美在神经机制上的统一性。

(6) 语言的起源与运动系统的进化以及言语过程中的多维度信息交流。

(7) 在脑 - 行为 - 基因 - 环境之间复杂交互作用中的个体发展。

(8) 脑功能异常的动物模型。

(9) 信息科学的发展和实验研究成果的积累可以促成理论生理心理学的建立。

(10) 心理行为活动和神经活动之间的交互作用蕴藏着宇宙的基本法则，也将成为哲学研究的重要课题。

(二) 社会文化环境对人的心理行为的影响与塑造

心理与环境的关系一直是心理学研究的基础领域之一。网络、社会阶层和文化构成了影响人的心理行为的不同层面上的环境因素。

网络作为虚拟环境，影响着人们交往和学习方式等诸多方面。研究者将网络作为一种新的环境变量和获取、管理和分析心理学数据的新平台加以研究和应用，微博、搜索界面等网络环境对心理行为的影响已经成为重要的研究主题；网络作为学习者的新环境和新平台，网络学习的偏好、效率及其影响因素成为教育心理学的重要领域，网络学习方面的基础研究与应用研究已经成为教育心理学的迫切任务。

对社会阶层的研究是从社会认知的角度进行的。已有研究发现，由于共享的经历，不同阶层的人形成了相对稳定的认知倾向，进一步影响其感知自我、他人和社会的方式。

创造力不仅是一种个体特征和个体现象，受到个体智力和动力系统的影响，而且是一种复杂的文化现象，文化决定着个体创造力的发展和表达。文化也影响人们的决策行为，在合作竞争、过分自信、风险寻求、风险沟通、欺骗 - 腐败等诸多方面均存在跨文化差异。中西方文化在多个方面存在着共性和差异，可以从文化对个体终身发展的规定、文化传播与相应的经济政治实践等予以探讨，尤其应该从历史、文化比较的角度来考虑心理学的发展。

(三) 心理学的应用

心理学的理论与方法广泛应用于社会生活的各个领域，由此形成的应用心理学分支学

科群成为心理学学科体系的重要组成部分。以下着重介绍社会心理学的发展趋势、当前热点问题,以及这个领域的学者针对我国国情开展的系统研究及其取得的成果。

欧美社会心理学发展的根本特征在于,从重大社会现实问题中发现科学问题,在探讨和解决特定社会文化背景中的重大问题的过程中提出科学理论,通过研究成果回应社会问题,进而形成具有普遍科学意义和全球视角的理论。这种与社会的持续“对话”毫无疑问是使社会心理学一直保有旺盛生命力的重要源泉。我国已经进入了社会发展的特殊阶段,社会改革也进入到一个关键时期。面向世界科学前沿,在聚焦重大现实问题过程中提炼科学问题,发挥心理学在社会经济发展中的不可替代的作用,是中国社会心理学面临的发展机遇与挑战。

社会发展中产生的很多问题归根结底都是人的问题。社会的快速变迁对人的心理适应提出了严峻考验,也是很多社会问题爆发的根源。要解决这些问题就必须要先了解社会变迁过程中的社会心态,以及心理在这些环节中的作用。心理学研究应服务于社会发展,为解决社会矛盾建言献策。

(四) 心理学研究方法的进展

心智、认知、智力已经成为多学科科学家关心的概念,寻找心理学现象的物质基础是多学科共同努力的目标。认知神经科学的高度跨学科性以及与高新技术发展的密切相关,促进了科学家对科学问题的思考、对因果关系研究的探索以及将实验设计与多技术途径的结合。近年来研究者开始从神经网络的角度重新思考大脑的认知神经机制,重视脑区之间的功能和有效联结机制、刺激和任务对脑区动态激活的调节、认知脑区与其他脑区的分工协作机制。

2005年,著名脑网络专家 Olaf Sporns 革命性地提出基于复杂网络和图论研究大脑的系统神经科学框架——人脑连接组,并于2008年第一次绘制出大脑高精度纤维连接图谱,革新了人们对于大脑结构连接图谱的认识。中国是较早开展人脑连接组学计算方法学研究的国家之一,杭州师范大学认知与脑疾病研究中心臧玉峰教授是国际 FCP 核心组委之一,在此领域获得了很高国际声誉。

个体差异法能够动态地考察基因和环境对人的认知能力及神经基础的调控,了解认知障碍与认知能力超常者的原因,并由此建立认知结构的神经模型。研究者已经逐渐深刻地认识到,任何个体都有自己独特的遗传特质,都有自己独特的成长环境。因此个体差异反映的不仅仅是测量误差,还体现了遗传和环境对认知能力的调控,所以个体差异应该成为研究人的认知能力及神经基础的核心考察变量。

自从世界上第一个心理测验量表诞生以来,心理测量学已经走过了100年左右的历史,随着心理学的发展,人们将蓬勃兴起的认知心理学与测量理论相结合。心理软测量和软识别统称为心理软计算,它是智能计算和心理测量学相结合的产物。近年来,统计方法的应用呈现出不断整合的趋势,使用回归方程去替代 t -检验及方差/协方差的人越来越多。

结构方程模型、多层回归模式及增长模型和反应时分析是三种新近发展的心理统计方法，代表了心理统计的新方法。

三、本学科国内外研究进展比较

进入 21 世纪以来，中国心理学取得快速发展。目前，国内已经拥有三百多个心理学研究和教学机构，分布在全国各省市。在国家、省市（部委）等层次建立了一批心理学重点实验室。这些机构为心理学在科学研究和人才培养方面的持久稳定发展提供重要基础和支撑。我国学者围绕心理行为这个主题进行了大量研究。在一些基础研究领域，产生了不少优秀的科研成果，在国际顶级刊物上发表的论文数量不断增加。在应用领域，心理学为国家的社会建设与服务经济发展做出了积极贡献。

揭示心理行为的神经生物学基础不仅是科学心理学的核心问题，也是当代世界科学的前沿和可能孕育重大突破的领域之一。近 20 年来，针对这一重大科学问题，国际上提出了一系列大科学计划，投入大量的财力物力，组织不同领域的科学家共同攻关。我国在这个领域也做了一些重要部署，建立脑与认知国家重点实验室，设立相关的 973 项目、自然科学基金重大项目等。我国学者在感知觉、社会文化认知神经科学和脑功能连接组等领域的研究已经达到或者接近国际水平。

在西方国家，社会阶层的心理学研究主要采取社会认知视角。国内学者在社会阶层的测量、主观社会阶层的控制感与归因倾向等方面进行了研究。国内研究尽管起步较晚，但是已经得到了我国研究者的极大重视。在国际上，网络对心理行为的影响已经成为一个重要研究领域，并已取得了不少可喜的成果。在国内，把网络大数据和信息科学技术应用于心理学研究还刚刚起步，但是越来越多的研究机构和研究者开始涉足这一领域。在欧美国家，网络学习已经得到了深入研究，而国内的研究正在兴起之中。结合中国教育实际，研究网络学习过程中的认知、情绪、动机规律以及相关的教育对策已经成为国内教育心理学研究的新问题。

在西方，创造力的概念、测量以及影响因素等都得到了广泛而充分的研究。研究者认为家庭教养方式、学校教育是影响创造力培养的重要因素，企业或组织的管理等是创造力发挥的重要因素，文化也是影响创造力的培养和发挥的深层次因素。国内研究者施建农等人对于天才儿童以及创造力进行了系统研究，得出了一些中国文化条件下创造力发展的研究结果。在文化对决策的影响方面，李纾等人在合作与竞争、过分自信、风险寻求行为、风险沟通、中西方沟通方式的偏爱、欺骗—腐败决策问题等方面的文化差异做了深入的研究，发现了一些很有意义的中西文化条件下决策差异。在毕生发展方面，西方心理学家对身、心、灵三个层面的关注比较平衡。中国心理学应该看到西方心理学背后的文化内涵，在借鉴西方科学哲学、相关理论与方法的基础上，结合中国传统文化，构建中国人自己的心理科学与心理学实践。

近年来,国内建立了一批大型心理学研究平台,配备了核磁共振成像、脑电、近红外、眼动等高端心理学实验设备。这些研究平台为开展高水平的研究工作,吸引国内外优秀人才,组建有特色的研究队伍,建立跨学科合作,开展团队攻关,提供了重要基础。然而,与美国、澳大利亚等发达国家相比,我国的研究设备总体水平还相对落后,需要得到国家进一步的重视和支持。在一些新兴发展的研究领域,我国心理学家还需要实行更大范围的跨学科合作,例如,认知分子生物学、认知神经生物学、行为遗传学、分子遗传学、基因与脑成像结合等被认为是今后10年重要的研究发展方向,心理学与生物学、神经科学、医学、计算机科学等不同学科的研究者建立的广泛跨学科合作,将为中国心理学基础和应用研究的发展发挥重要作用。目前,学习前沿的统计方法的重要性已经被广泛认识,各高校、研究所设置了丰富的研究方法和统计课程,方法学、统计学教科书大量出版,中国心理学会、香港中文大学等单位及国际专家进行的方法学和统计培训,为青年教师、研究生队伍提供了更加专业化的研究训练。

四、本学科发展趋势及展望

(一) 心理行为及其生物学机制研究的新突破

随着对心理行为和其生物学机制之间交互作用的认识不断提高,在不远的将来,会在以下几方面取得新的突破。

(1) 探索大脑意识的“起搏”机制将在植物人的唤醒研究、动物感觉运动门控及其调节机制的研究中取得进展。

(2) 有关知觉神经机制的“捆绑问题”是一个目前未解、但有望取得进展的难题。

(3) 门控过程在脑科学中占据了核心地位,它涉及意识的进化、信息编码的实现以及与遗传过程之间的交互作用。特别是一些重大精神疾病的根源出自门控过程的缺失,因此门控过程的基本机制问题很值得重视。

(4) 情绪及其习得性调节一直是一个重要的研究课题。今后的一个研究主题是探索这种基本的适应环境的主观体验如何引发人类高端的心理过程(如与文化、宗教、艺术以及政治等方面相关的心理过程)以及与人格之间的关系。

(5) 人和计算机之间直接的语言交流标志着新一轮的工业革命,但人脑对复杂场景的适应能力为计算机(人工智能系统)所不具备。因此,人脑仿生学的出现不但是仿生学的一个重要的新发展,也会带动有关语言神经机制研究的发展。

(6) 如何综合多基因的效应来对脑与心理行为发展的遗传性进行解释,如何解释脑发育状态本身与心理行为的关系因特定基因型不同而存在人群以及环境的差异等都是今后要回答的重要问题。

（二）心理行为与社会文化的相互作用

在社会阶层的心理与行为研究中，要注重动态性、群体性和文化特异性。在动态性方面，可以研究社会阶层流动中的心理与行为规律以及导致社会阶层流动中的个体心理因素和社会制度因素；在群体性方面，可以研究特定阶层的群体内部、群体之间的心理与行为，研究特定阶层的常规性和突发性的群体心理现象；在文化特异性方面，可以探讨中国文化背景下个体性和群体性社会阶层流动背后的文化根源，以及中国文化背景下特定阶层的常规性和突发性群体心理现象及其影响因素。

文化对创造力的影响是当前创造力研究的重点。针对中国人的实际情况，应该在创造力培养和创造力表达上下工夫。在创造力培养方面，从宏观的文化传统到微观的家庭教养方式、学校课程的设置、教育评价方式，都需要仔细考察；在创造力表达方面，从宏观的文化传统到微观的科研院所或公司的人才管理制度，都值得研究。只有这样，我们才能发挥中国文化特有的优势、克服中国文化固有的局限，在文化、制度、教育方面进行调整，在创造力培养和表达方面有所突破，为中国的科技发展和经济社会发展做出贡献。

文化对行为决策的影响正逐渐成为研究者的关注焦点。Proctor 等（2012）总结散布于各个学科中的决策跨文化研究，指出越来越多的组织全球化和来自不同文化的人们进行交往，对理解文化因素怎样影响决策和行动是一件必要的事情。对于文化之于决策的影响，有两个问题值得注意：一是要研究文化影响决策的内在机制，而不只是描述各种文化差异；二是跨文化研究的最终目标是探究中国人不同年龄阶段、不同教育背景、不同阶层等的个体与群体在各种情境下的决策规律，为中国人的决策和各种组织、各种形式的跨文化合作提供建议。

（三）引入政治心理学，解读与探查社会现实问题

中国目前正处于社会转型阶段，不同社会阶层的利益相互碰撞，社会矛盾潜滋暗长，引入政治心理学来解读与探查当今中国的社会现实问题已成为必然。政治心理学的前沿问题主要包括国际政治、意识形态与系统合理化、情绪对政治行为的影响等。意识形态与系统合理化的研究主要关注在特定社会中存在的意识形态类型、意识形态之间如何相互影响、意识形态如何影响人们对社会公正的感知以及如何影响政权的合法性等方面。

目前，我国政治心理学的研究刚刚起步，未来的发展首先要建立政治心理学的研究团队，广泛开展相关研究；然后是推进政治心理研究问题的中国化以及理论的本土化。这项工作任重而道远，但是对国计民生的益处也是不可估量的。

第七节 管理科学与工程

一、引言

管理科学与工程学科是研究管理活动规律及其应用理论和方法的学科，侧重于管理科学的基础与前沿，综合运用数学、统计科学、系统科学、行为科学以及信息科学等学科的方法研究各种制约因素下的管理问题，研究成果为专业人员进行管理研究或实践活动提供有效的科学理论、方法与技术支持。近年来，我国管理科学与工程学科发展迅速，有的研究成果跻身国际学术前沿，在国际顶级期刊上发表；有的成果立足中国管理实践，对国民经济和社会发展产生了重要的积极影响。

新的发展形势下，有必要在前期学科发展态势总结的基础上对我国管理科学与工程学科的发展态势重新进行一次总结，分析其中的研究现状与研究热点，并对本学科的国内外进展进行比较研究，提出未来几年学科的发展趋势，这对于管理科学与工程的学科发展将具有重要意义。本报告主要是对2010—2012年我国管理科学与工程学科的发展态势进行一次总结，分为综合报告和专题报告两个部分：综合报告主要从学科最新研究进展、学科的国内外研究进展比较、学科的发展趋势及展望三个方面着手，系统分析近年来我国管理科学与工程学科的发展态势；专题报告部分分别总结了计算实验金融、城市交通管理、智能知识管理、服务科学、低碳发展管理和项目管理六个专题的研究进展和发展趋势。

二、本学科近两年最新研究进展

（一）学科研究热点

通过对我国内地管理科学与工程领域学者发表的高水平论文进行统计分析，利用论文中的关键词形成共词矩阵，并将其可视化形成我国管理科学与工程领域热点研究图谱。在此基础上，总结近年来我国管理科学与工程领域的研究热点，具体为以下五个领域。

1. 运营管理 / 工业工程

本领域研究热点主要集中在作业车间生产调度、移动吊车调度、项目调度以及其他一些调度问题。在作业车间的调度方面，主要研究如何提出创新性的方法来实现完工时间的最小化，从而提高生产效率；对于移动吊车调度问题，学者们的研究热点主要集中在基于目标规划、整数规划等规划模型的基础上，提出多种调度模型，并通过启发式算法来对模型进行求解；而项目调度问题则关注的是项目进行过程中包括时间、人力等资源的调度统筹。除了以上这些研究较多的领域外，还涉及其他一些领域，如机器人时间处理窗的最优循环调度问题等。

2. 决策理论与方法

我国学者对决策理论与方法领域的研究主要集中在构建新的决策模型方面。其中，如何刻画决策者的偏好成为主要研究方向，如利用偏好参数更为确定的仿真方法解决了对多个目标的偏好排序问题、项目组合选择问题中选择标准和决策者偏好的异样性问题。此外，通过主客观方法求得决策模型的权重也是一个重要方向。另外，也有较多偏应用型的研究成果，主要是决策模型应用于不同的领域，如测度我国中小上市公司的信用风险、消费者购买与消费决策模型、个人信用风险分析、寻找与用户需求最为相关的网页、车辆分配和路径规划问题等。

3. 商务智能

在商务智能领域，学者们的研究主要集中在不同商务智能方法的构建与应用上，如支持向量机、遗传算法、人工神经网络、禁忌搜索等模型。较多的研究成果集中在优化和改进现有的支持向量机方法。此外，遗传算法也是商务智能领域的一个研究热点，学者们在传统遗传算法的基础上进行相应的改进，并运用到多个领域。

4. 质量管理

质量管理领域的研究主要集中在自启动控制表研究、统计过程监测和产品质量控制三个方面。如对CUSUM法的改进，把CUSUM法与自适应变更参考值的特征结合识别未知参数进程的变动范围。此外，合格的累积计数图作为一个主要的统计过程控制工具管理高质量的流程图已被广泛研究。相关学者提出基于利用贝叶斯框架的参数估计，利用神经网络辨识模型来监测在相关的过程均值和方差的变化。在产品质量控制方面，如何控制产品质量及如何设计质量合同得到较多的关注。

5. 服务管理

随着服务行业的快速发展，宾馆、铁路、航空运输等行业中的超额订购策略、收入管理、动态定价策略成为越来越多学者们关注的焦点。学者们研究了不同起飞时间的航班的

最佳传输量、多票单资源问题下的超订模型和票价分配、多阶段超订模型等超额订购策略问题，取得了很好的效果。此外，收入管理方面的动态定价策略研究也是服务管理领域的一个热点。

（二）若干重点研究领域

我国管理科学与工程学科重要领域中，除了上述的热点领域外还有一些新兴的研究领域，也逐渐成为学者们关注的焦点，如计算实验金融、城市交通管理、智能知识管理、服务科学、低碳发展管理。这些新兴的领域也是相关基金重点部署的领域。此外，一些管理科学与工程学科的传统领域，如项目管理也是学者们关注的重点。

1. 计算实验金融

计算实验金融学将金融市场视为包含多个具有适应性的异质主体所组成的系统。它在既定的市场结构下，运用智能信息技术对这些主体的适应和学习行为及其交互作用进行微观建模从而形成模拟金融市场（如模拟股票市场、外汇市场、期货市场等），通过在这种模拟市场中进行微观层次的实验（如异质主体的生态群落演变、个体学习特征、市场交易规则变化等）来揭示市场的动态特性及其成因。计算实验金融中的几个关键科学问题主要有：个体学习对金融市场的影响、“种群转换”对金融市场的影响、金融市场中的复杂网络的机制与影响以及“情景-应对”思想的风险管理手段等。

2. 城市交通管理

国内外专家学者在交通方式选择、出发时间决策、出行目的地选择和路径选择方面做了深入研究，取得了大量研究成果。在交通需求引导方法方面做了大量研究，包括：土地使用与网络规划、财政补贴、拥挤收费、停车管理、交通信息诱导以及信号控制等。公共交通作为一种运载能力大、运送效率高、运输成本低、环境污染小的交通方式，受到了学者的广泛关注。此外，公共交通的协同组织主要从常规公交与轨道交通的客流均衡、轨道交通末端衔接的可达性和小汽车交通向公共交通转移等方面进行了初步研究。面对复杂多变的交通系统，交通学者将可靠性概念引入交通研究，形成了一系列研究成果。

3. 智能知识管理

智能知识管理作为数据挖掘与知识管理的交叉学科，近年来已经引起学术界的重视。目前智能知识管理相关研究可以分为领域驱动的数据挖掘和二次挖掘两个领域。领域驱动的数据挖掘研究主要集中于领域知识的提取和表示以及领域驱动的数据挖掘方法。二次挖掘主要是以“衍生原始知识”为对象的深层知识发现的研究，包括兴趣度评价与排序、规则提取以及可视化、可转化挖掘等方面。

4. 服务科学

由于信息通讯技术的迅猛发展与广泛应用,服务业内部结构升级趋势明显,并带动现代服务业爆发式增长,人类的生活和工作方式发生了巨大的改变。因而对服务提出了更多更新的要求,于是服务科学领域的问题得到了社会各界日益广泛的关注。学者们对新服务开发/设计过程的研究更加专业化,主要基于不同视角提出具有高度适用性的模型,并着重强调资源在新服务开发/设计过程中的作用。一些学者研究了面向服务链(如物流服务供应链、服务外包链等)的服务组织协调与优化。此外,学者们大多围绕信息服务中的数据与信息质量展开许多研究。

5. 低碳发展管理

低碳发展是一种经济的发展方式,它不仅仅会改变我们的能源结构,改变我们的产品结构,而且更进一步改变人类的生产方式和消费方式,受到学者们广泛的关注。近年来,该领域主要研究热点集中在低碳发展模式方面,认为低碳发展模式是针对化石能源利用高碳排放问题,实施低碳发展模式是一项复杂的系统工程,提出通过构筑低碳均衡达到“社会-经济-生态”的可持续发展。此外,学者还对低碳发展水平测度方面进行深入的研究。与此同时,减排的市场机制与政策等问题也成为学者们的重点研究对象。

6. 项目管理

学者们近年来对于项目的研究主要集中在项目隐性工作、项目管理中的奇异现象和关键链项目缓冲管理上。为了控制工期和成本,人们开展了对“隐性工序”的研究,通过考虑各种人文因素的仿真,找出设计之初丢掉的时间——隐性工序的工期。另一个新方向是人们开始研究项目管理中的奇异现象,如“机动时间会越用越多”,从源头上弄清工期误差产生的原因。此外,对那些研究重大项目的工期和成本控制有重大作用的老方法如关键链法、矩阵法仍然是研究重点。随着国民经济发展的需要,对重大工程项目和复杂的工程设计项目的研究越来越成为人们关注的热点。

(三) 重要成果举例

近年来,我国管理科学与工程领域涌现出一批重要成果,对国民经济和社会发展产生了重要的积极影响。由北京交通大学高自友教授和北京航空航天大学黄海军教授为课题第一、第二负责人主持完成的“基于行为的城市交通流时空分布规律与数值计算”荣获2011年度国家自然科学奖二等奖,在城市交通流的时空分布规律方面取得了一批原创性的基础研究成果,突破了传统理论的限制。项目成果提升了人们对城市交通流时空分布规律的认识,对建立现代交通科学理论体系具有重要的指导意义。由合肥工业大学杨善林教授及其团队完成的“轿车整车自主开发系统的关键技术研究及其工程应用”荣获2008年

国家科技进步奖二等奖。项目组在深刻认识轿车整车开发工程特征和详细分析开发工程管理复杂性的基础上,与企业技术人员密切合作,取得了一批重要研究成果。某汽车公司将该成果运用于多系列车型的整车开发中,取得了显著效果。

三、本学科国内外研究进展比较

在统计我国大陆管理科学与工程领域国际主流期刊发表论文的基础上,选择美国、加拿大、日本、韩国等国家和中国台湾、中国香港地区作为对象,做研究进展的对比分析。从发文数量来看,我国大陆在管理科学与工程领域的发文量近年来一直保持着稳定增长的趋势,从2007年的554篇增长到了2012年的1368篇,与发文量世界第一的美国的差距不断缩小,2010年开始发文数量已经超过加拿大、日本、韩国等国家和中国香港、中国台湾地区,成为世界上发文量第二的国家。

在通过分析高被引论文反映学科成果影响力的过程中,发现我国内地影响力强(被引用次数大于等于10)的论文数占我国大陆总论文数的2.96%,说明我国管理科学领域已经出现了一些有较大影响的科研成果。但是在对比的六个国家或地区中仅高于韩国,和其他国家或地区还有一定差距。同时中国大陆被引次数为0的论文却在总论文数中占到了较大的比例,占到了52.06%,仅略优于韩国。

通过对管理科学与工程领域高水平论文中的关键词进行对比,分析了我国与其他主要发达国家或地区的管理科学与工程学科重点研究领域的异同点。国家或地区之间的关键词都有所不同。但是像调度(Scheduling)不仅在中国出现的频率高,在其他六个国家或地区出现的频率也排在前10。另外,优化(Optimization)在其他国家或地区(除日本外)也都排进了前10。博弈论(Game Theory)除了韩国和中国台湾地区,也都排进了前10。

四、本学科发展趋势和展望

未来10年是我国科学技术发展的重大战略机遇期,经济与社会快速发展对管理科学与工程学科研究提出了许多新的需求,管理科学与工程学科未来发展趋势包括以下几个方面。

首先,研究工作要适应新的技术发展需求。信息技术和知识资本的发展,不仅丰富了管理科学的研究内容,而且给管理科学研究提出了许多新课题。其次,学科交叉研究成为一种趋势。管理科学与工程学科与其他学科的交叉、融合,为其他学科的发展增添活力和动力,同时也为本学科的发展提供理论、方法、实践等多方面的有力支持。再次,研究要立足于中国管理实践。只有立足于我国管理实践,才能创造出适应未来发展特点、具有中国特色的管理科学与工程研究成果,才能更好地推动管理科学与工程学科的发展。最后,要开展广泛的国际合作。研究过程中广泛吸收国外先进理论与方法,广泛开展国际合作和

学术交流，充分利用国际资源才能切实提升我国管理科学与工程的研究水平。

报告在采纳现有研究成果的基础上，提出了管理科学与工程学科未来重点研究方向应该包括如下几个方面：①基于中国实践的管理理论；②复杂管理系统的研究方法及方法论；③具有行为复杂性的管理问题；④后金融危机时代的风险与危机管理；⑤新兴信息技术下的服务科学；⑥网络信息环境下的决策与知识管理等。为促进我国管理科学与工程学科的发展，提出以下措施：①注重管理科学的研究与国家社会经济发展目标的紧密结合；②扩大资助渠道，改善资助结构；③加强人才队伍建设；④加强学科交叉，努力开创新学科方向；⑤推进国际学术交流与合作；⑥发挥各学术团体的积极作用。

第八节 青藏高原研究

一、引言

进入 21 世纪，国际地质学界正在经历着一场新的变革，即由过去单一的学科研究发展向多学科交叉的“地球系统科学”发展，而且这样的融合并不仅仅局限于地质学的各分支学科，而是包括与大气科学、地理学、海洋学、生物学等众多学科的交叉发展。事实上，发生在地球上的许多重大地质或气候事件，特别是新生代以来青藏高原的隆升，更是与岩石圈、水圈、大气圈、生物圈的圈层相互作用密切相关。

青藏高原以其最复杂的形成机制、最高的海拔、最大的面积、最重要的环境效应、最脆弱的生态环境成为全球地学关注的焦点，也是开展地球系统科学研究最理想的实验室。新生代以来印度板块的北向俯冲导致新特提斯洋的消亡以及印度板块与欧亚板块的碰撞。这一岩石圈的构造变动进一步影响了北半球乃至全球尺度的大气环流，同时高原浅表层的剥蚀风化、地貌分异、水系调整、动植物演替也影响到矿产资源的形成演化。因此，青藏高原是开展新生代岩石圈 - 水圈 - 大气圈 - 生物圈各圈层相互作用研究的关键地区。

在基础理论层面上，青藏高原研究是我国地球系统科学研究取得的重大突破，占据国际学术制高点的关键领域，有望对国际地球系统科学研究起到引领作用。在国家需求层面上，针对青藏高原隆升与资源环境关系的研究有助于理解人类面临的气候变化问题中的诸多不确定性，并对青藏地区资源合理利用与社会可持续发展发挥重要的科学支撑作用。

二、本学科近两年最新研究进展

近年来,青藏高原研究在大陆碰撞、高原隆起与变形、资源形成与环境效应方面取得一系列进展,主要概括为以下几个方面。

印度与欧亚大陆的碰撞是青藏高原最基础、最重大的科学问题。在特提斯喜马拉雅带的北部亚带萨嘎地区识别出一期周缘前陆盆地沉积,结合蛇绿岩仰冲时间,将板块碰撞时间限制在沉积环境发生明显改变的白垩纪/第三纪界限(65Ma)。

青藏高原岩石圈构造、性质及热状态认识是探讨高原形成演化动力学的深部观测约束证据。通过对青藏高原中北部和东部40Ma以来的新生代钾质岩浆岩研究,认为确实存在岩石圈减薄,在青藏高原(南部:~15km;北部:20~50km)发现有低速高导层。这些低速高导层对理解青藏高原的隆起模式具有非常重要的意义。

在青藏高原成矿理论模式研究上,近年来伴随着增生造山和地壳生长而发生的流体活动与成矿作用得到了详细研究。聚焦于青藏高原碰撞造山带,目前发现的大规模成矿作用主要形成于后碰撞时期,发育在地壳伸展环境。

青藏高原的古高度变化是讨论高原隆起过程及其气候、环境效应的关键。近年来,利用动植物化石、同位素高度计等对高原不同时期的高度进行广泛的研究,尽管目前仍存在较大争论,但无疑为厘清其变化提供明确的思路与方向。

青藏高原的隆升过程存在明显的区域分异,高原南部的喜马拉雅山在碰撞初期(50Ma)就已隆起,东南部外围的水系与高山变化反映该地区的隆起可能不晚于22Ma,而北部则在5~6Ma时仍表现出明显的抬升。

以青藏高原为主体的我国西部新生代的剥蚀风化强度和过程不仅与全球变化和亚洲季风气候演化密切相关,也对全球气候产生重要的影响,而后者反过来又作用于亚洲季风。青藏高原的隆升可能是其中多个链接的驱动力。

青藏高原的隆升和副特体斯海共同影响了东亚季风的形成,且副特体斯海的作用甚至比青藏高原的隆升更为显著。除了上述的构造因素,新生代的全球气候变冷同样会影响到环境空间格局的改变。

青藏高原的过去气候环境变化研究得以不断深化。以树轮、冰芯和湖芯为载体的过去环境变化,在重建的时间精度和定量程度方面取得了较大进展。在短时间尺度上,为恢复青藏高原地区的气候环境变化提供了高分辨率的连续记录,在较长时间尺度的环境重建研究中,探讨了季风西风两大环流系统的发展及其相互作用。

青藏高原地区大气降水具有季风型、过渡型和西风型的三种模态,在季风减弱和西风增强的趋势下,高原不同圈层间的水体相态转化过程加剧。冰川变化存在明显的空间分异,表现为:高原东南部和南部冰川退缩程度最强,中部冰川退缩程度稍弱,喀喇昆仑山地区冰川略有前进。高原的湖泊整体表现为扩张的趋势,但是尽管冰川退缩与湖泊扩张在

时间上是同步的,其相互关系仍需要进一步的研究。

青藏高原的气候变暖、生长季延长有利于植被生产力的提高,温暖化效应使落叶灌木和草本的高度和盖度增加,垫状植物、苔藓和地衣的盖度减小,物种多样性和均匀度减少。高原森林和农田生态系统为碳汇,高寒草甸和高寒草原生态系统为弱碳汇。但降水格局的潜在变化也会不可避免地对生态系统生产力和碳交换量产生影响。人类不合理的土地利用方式,尤其是过度放牧等是导致高原目前草地退化等重要土地覆被变化的主要原因。人类活动排放的重金属和有机污染物可以通过大气环流跨境乃至全球传输,在青藏高原地区发现了印迹。

三、本学科国内外研究进展比较

通过对全球青藏高原研究的论文发表量和内容统计分析发现,2009—2012年全球青藏高原论文发表量为2350篇/年,大大高于2003—2008年和1982—2002年的年均发表量(1068篇/年和275篇/年),体现了青藏高原研究在国际上越来越得到关注的事实。

在国际青藏高原研究的发文国家中,从发文总量和总被引频次看,中国均位居第一,继续显示了中国作为青藏高原研究大国的地位。从篇均引用次数看,中国的排名已经明显上升,代表了青藏高原研究整体水平得到不断提升。从高被引论文的发表情况分析,在58篇高被引论文中,有60%都有中国参与,其中中国作为第一发文国家的占43%,显示了中国已经初具引领国际青藏高原研究的态势。从研究的热点和主题看,青藏高原的形成演化模式与气候环境变化是目前两大研究热点。

四、本学科发展趋势和展望

根据对国内外青藏高原研究的基础、成果和迫切需要解决的理论与实际应用问题分析,青藏高原研究目前的科学前沿与社会需求主要集中在以下领域。

(1) 印度与欧亚大陆碰撞时限的时空特征。大陆初始碰撞及封闭过程是青藏高原地区海陆格局大转换的起点,是正确认识高原古高程变化的前提,是研究大陆岩石圈变形过程及机制的先决条件,是正确开展高原气候环境影响研究的首要因素,是评价和寻找大陆俯冲成矿及碰撞成矿的基础。在印度与欧亚大陆长达2500km的碰撞带上,要回答碰撞是否存在均一性,不同地区碰撞的时间和特点是什么等问题。

(2) 高原深部结构与隆升机制的关系。青藏高原南北部的岩石圈厚度与结构具有明显差异,但地表均表现为平坦的高原。青藏高原的岩石圈是最年轻而成分富集的高温岩石圈,这也是青藏高原变形、隆升和成矿的基础,也与高原边界扩展隆升机制密切相关。

(3) 陆内俯冲与大陆变形的理论。从板块汇聚的形式来看,陆陆碰撞带是解决板块构

造“如何登陆”的理想场所。应加强不同类型地貌区深部岩石圈结构对比,如羌塘-可可西里岩石圈深部结构探测,青藏高原-伊朗高原深部过程对比,以及青藏高原-印缅碰撞侧向造山带深部过程对比等。

(4) 巨型岛弧与造山后斑岩 Cu-Mo 矿的联系。通过冈底斯弧岩浆-构造-成矿作用的研究,查明具有世界特色的俯冲碰撞造山带叠加成矿的特色。建立造山带中与大洋俯冲相联系的斑岩 Cu-Mo 矿床的成矿理论,完善后碰撞斑岩型矿床的成矿模型,并指导这类矿床的找矿勘探。

(5) 青藏高原何时达到其隆升的最大高度。青藏高原的隆升高度是评价其环境效应及其剥蚀风化的关键,更是联系深部岩石圈地球动力学与浅表层演化的纽带,只有准确重建古高度才能正确评价高原隆升与扩展过程对区域与全球气候的影响。

(6) 高原隆升的远程变形效应。印度与亚洲板块的碰撞效应,不仅使靠近板块碰撞边界的喜马拉雅山系剧烈抬升,成为全球海拔最高的造山带,同样导致了其周缘造山带的复活,特别是高原东北缘在新生代的快速隆升。

(7) 高原隆升对亚洲宏观地貌格局与水系演化的影响。中国大陆的地貌格局在高原隆升前后有重大差异,自印度和亚洲板块发生陆-陆碰撞以来,中国大陆原来东高西低的地形逐渐演变为向东倾斜,而源自青藏高原的长江、黄河的形成与演化历史是探讨这一巨型地貌演变的关键。

(8) 高原隆升对风化剥蚀速率的影响。新生代青藏高原的隆升和扩展是地球上最为显著的构造运动,隆起后的高原其浅表层经历了剥蚀风化。因此,定量估算高原周边新生代剥蚀量以及剥蚀速率的变化对于正确评价高原的隆升幅度与历史是十分重要的。

(9) 高原隆升对亚洲腹地干旱化和季风演化的影响。中国东部及西南地区为季风区,而西北内陆盆地则为西风环流控制下的干旱区,这显然不同于高原隆起前行星风系控制下的纬向环流。解释这个变化的关键在于了解高原隆升如何影响亚洲腹地干旱化,以及亚洲季风演化与高原隆升和全球变化存在怎样的动力学关联。

(10) 高原地表各个圈层对全球气候变化的响应。冰冻圈是受气候变化影响最为直接与显著的圈层,冰冻圈的变化改变了地表下垫面状况和水热交换条件,地表温度与水分的变化又进一步影响了区域的生态环境,通过大气环流影响到周边地区的气候与环境。

(11) 青藏高原生态系统对气候变暖的响应过程与机理。青藏高原是我国乃至全球气候变暖最为强烈的地区之一,生态系统对气候变暖的响应是否也更为强烈、更为敏感;反过来生态系统的变化又进一步影响气候。研究全球变化条件下青藏高原生态系统变化,将有助于进一步理解青藏高原-东亚区域气候系统的相互影响,也为国家实施大型生态工程、构建青藏高原生态安全屏障提供理论基础。

(12) 全球变暖和人类活动对高原生态安全屏障的影响。青藏高原是土地利用/土地覆被类型多样的地区,也是国家生态安全屏障建设的重要地区。青藏高原的草地退化十分严重,气候环境变率的增加导致了自然灾害的频发。了解人类土地利用活动与气候变暖对地表景观和灾害发生的影响,将为青藏高原的环境保护提供科学依据和对策建议。

第九节 运筹学

一、引言

运筹学是自 20 世纪三四十年代发展起来的一门新兴交叉学科。它主要研究人类对各种资源的运用及筹划活动，以期通过了解和发展这种运用及筹划活动的基本规律和方法，发挥有限资源的最大效益，达到总体最优的目标。运筹学的学科体系主要包含模型、理论和算法三大部分。从问题的形成开始到构造模型、理论分析、提出解案、进行检验、建立控制，直至付诸实施为止的所有环节构成了运筹学研究的全过程。运筹学的应用范围遍及工农业生产、经济管理、工程技术、国防安全、自然科学等各个方面和领域。

经过七十多年的发展，运筹学已经逐步形成了一套系统的研究和解决实际问题的方法，它可以概括为以下五个阶段：

- (1) 构建所关心问题的数学模型，将一个实际问题表示为一个运筹学问题。
- (2) 分析问题（最优）解的性质和求解问题的难易程度，寻求合适的求解方案。
- (3) 设计求解相应问题的算法，并对算法的性能进行理论分析。
- (4) 编程实现算法，并分析模拟数值结果。
- (5) 判断模型和解法的有效性，提出解决原始实际问题的具体实施方案。

二、本学科发展历程

1937 年，英国物理学家 E.C. Williams 研究雷达在实战军事行动中的使用，给出了“运筹学”这一名词。第二次世界大战期间，英国军方为了有效地运用新研制的雷达系统来对付德国飞机的空袭，从政府研究部门和高校抽调了一批科学家，进行新战术试验和战术效率的研究，这标志着现代运筹学的诞生。之后，美国和加拿大的军事部门也相继成立了若干运筹学研究小组。

现代运筹学被引入中国是在 20 世纪 50 年代后期。1956 年，钱学森在中国科学院力

学研究所成立了中国第一个运筹学小组。当时，运筹学在中国的应用集中在运输问题上，其中代表性工作有“打麦场的选址问题”和“中国邮路问题”。在“文化大革命”期间，华罗庚亲自率领“小分队”到农村、工厂讲解基本的优化技术和统筹方法，足迹遍布二十余个省，促进了运筹学在我国的普及和推广。

20世纪六七十年代，许国志和越民义等中国运筹学的开拓者在排队论的瞬时概率性态问题、非线性规划梯度算法收敛问题、组合优化中的排序问题等取得了一批重要成果，得到了国外同行的关注和好评。相关成果在1978年全国科学大会上获得大会奖，也为中国运筹学的发展打下了坚实的基础，同时培养了一批运筹学的学科带头人和研究骨干。

自20世纪80年代以来，随着改革开放，国内外学术交流不断增加。中国运筹学有了快速发展，取得了一批有国际影响的理论和应用成果。特别是运筹学研究者因在组合优化、生产系统优化、图论、非线性规划和城市交通领域的突出贡献，曾先后获得国家自然科学奖二等奖5项；因在经济信息系统评估和粮食产量预测方面取得突出成绩，曾先后获得国际运筹学会联合会运筹学进展奖一等奖2项。与此同时，中国运筹学在国际上的影响日益增强。1982年，中国运筹学会成为国际运筹学会联合会的成员国；1999年，中国运筹学会在北京成功举办了国际运筹学会联合会第十五届大会。

三、本学科近年来突出成果

近五年以来，中国运筹学研究者在数学规划、博弈论、随机优化、排序论、供应链管理和计算系统生物学等运筹学的主要研究领域和方向开展了大量的研究工作，取得了一批具有国际影响的理论成果。与此同时，他们还积极与企业密切合作，开展了一系列运筹学方法的应用项目与实践活动。在移动通信、钢铁制造、医疗服务和航空客运等领域推动了相关行业的技术革新与进步，形成了多项具有自主知识产权的优化技术和系统，产生了良好的经济与社会效益。

中国科学院研究生院郭田德领导的团队与广州移动通信公司合作，利用运筹学的优化模型和方法为其提供了一整套一种双网融合无线网络规划方法，为电信运营商的无线网络精细化管理服务，避免现在靠人工经验进行基站优化的不可靠性及低效率。2009年始该项目的成果已经在全国3个城市推广应用，系统已经在中国移动集团广东、北京和河北等公司得到了应用，并在亚运场馆移动网络规划建设中发挥重要作用，取得了较好的经济效益和社会效益。

东北大学唐立新领导的团队与上海宝山股份有限公司合作，针对钢铁企业降低生产及物流成本的迫切需求和钢铁企业生产与物流调度问题的特征，建立了多个原创性的运筹学模型，提出了多层次优化方案及智能优化方法，解决了现有优化方法难以有效解决复杂工业问题的难点。该项目已获得国家发明专利十余项，国家软件著作权登记近20项。与宝钢

等大型企业合作，开发了多个具有我国自主知识产权的决策支持系统，其中一些系统已在上海宝山钢铁股份有限公司及上海梅山钢铁股份有限公司成功应用。

近年来，中国运筹学界在国际运筹学界的地位也不断加强。中国运筹学会的两位前任理事长章祥荪、袁亚湘先后代表亚太运筹学会出任国际运筹学会联合会副主席，此外，在2014年第27届国际数学家大会上，袁亚湘将做邀请报告。

四、本学科国内外发展的比较及思考

目前，相当多的运筹学研究者都有很强的数学背景或者在数学系任职。因为数学理论和方法是运筹学最主要的方法和工具，所以他们中的很多人对运筹学的发展做出了重要贡献。然而，一些在数学系任职的运筹学研究者，他们的研究渐渐地脱离了现实。这对运筹学的健康发展尤其不利，特别是在中国，大多数从事运筹学研究的人在数学系任教。如何消除不良的学术氛围的影响，做出对运筹学的发展有实质性贡献的工作，这是中国运筹学界面临的一个挑战。

随着运筹学的快速发展和学科体系的建立，管理科学与运筹学之间的差异逐渐显现。例如，美国运筹学会和管理科学学会分别于1952年和1953年成立。他们在意识到管理科学与运筹学之间这些差异的同时，也清楚地认识到两者之间的密切联系，更重要的是强化联系比强调差异能更好地促进这两个学科的共同发展。两个学会在各自成立四十多年以后，于1995年合并为美国运筹学与管理科学学会。目前，在中国的学科体系下，运筹学与控制论是作为一级学科数学下的一个二级学科，管理科学与工程是管理学门类下的一个一级学科。而在国家自然科学基金委员会的学部体制下，运筹学相关的项目主要是由数理学部受理，而管理科学相关的项目主要是由管理科学部受理，它是与数理学部平级的（这与美国自然基金委员会的设置不同）。由此可以看出，在某种程度上管理科学更具有相对独立性，也更受到重视，而运筹学涉及的范围更加广泛，是更具有交叉性的一个二级学科。如何看待和处理运筹学与管理科学之间的联系与区别，使得运筹学和管理科学都能更好地协调发展，这是中国运筹学界今后面临的另一个挑战。

运筹学在二次世界大战时期逐渐形成，期间许多运筹学研究者的出色工作，使得运筹学产生了巨大的影响。第二次世界大战结束以后，他们中的许多人转到高校，纷纷建立运筹或相关的系，也有不少到民用领域服务。这些运筹学前辈在各自的新岗位上继续从事着运筹学方面的教育、研究和实践推广。最近十几年，中国运筹学实践和推广方面的工作开展得不多，大多数运筹学研究者的重心在理论研究方面。造成这种现象的原因包括：①运筹学研究者对运筹学发展的认知问题，没有充分意识到实践和推广工作的重要性；②实践和推广工作非常繁复，甚至艰苦，特别是与各行各业具有不同知识层次和结构的人沟通时的困难。③国家和单位的学术及科研评价、奖励机制下实践和推广工作未得到应用的认可

和承认。如何协调运筹学研究和教学与推广和实践的关系，广泛和深入地开展运筹学实践和推广工作，这是中国运筹学界今后面临的又一个挑战。

困扰运筹学发展的一个问题是，如何评价一项运筹学的成果。运筹学学术研究的目标与实际应用的目标有着根本的差别，只有身处它们各自所服务的组织、奖励体系和生活方式中才能体会得到。不容置疑，仅仅以否能在顶级杂志上发表论文及发表论文的篇数的多少衡量一项运筹学成果的意义的大小和研究者的水平的高低，不仅是十分不恰当的而且是非常有害的。特别是在中国近年来过分强调 SCI 论文的学术环境下，无法对运筹学应用方面的成果做出公正的评价。如何尽最大可能地摆脱目前不科学的科研成果评价体系，是中国运筹学界所面临的再一个挑战。

运筹学经过几十年的发展，现在分支越来越多，方向越分越细，理论越来越艰深，运筹学研究者之间的合作变得越来越难。对某一个具体问题，不同的运筹学研究者建立了不同的模型，使用了不同的方法。这就更需要合作，从不同的角度处理同一个问题，才能给出完整的解答。如何形成团队，并开展有效的合作，是中国运筹学界所面临的第五个挑战。

我国现行的教育和科研体制不利于运筹学这样一个具有交叉性的、应用基础性的学科发展。从谷歌、脸书等例子来看，信息服务产业中许多最有创造的想法都来自于年轻人。而我们国家中学里的应试式教育和大学里的灌输式教育都极大地抑制了年轻人的创造性。我国许多运筹学研究者还没有认识到自己研究领域的作用在不断扩大，从而限制了他们培养学生和吸引更多学生的能力。我国整个运筹学界需要共同努力，积极参与和推动重新设计大学数学科学课程，改进目前数学界与外界保持联系的形式，吸引更多的学生们到运筹学领域，储备更多的高端人才，满足未来运筹学发展的需求。如何实现这个目标，是中国运筹学界面临的第六大挑战。

五、本学科发展趋势

遵循大多数学科发展的一般规律，数学的发展和进步通常是由内部因素和外部因素共同驱动的。21 世纪，随着科学技术的日新月异的发展，经济的全球化，可以预测在探索生命和社会发展规律的过程中将形成崭新的数学，而运筹学将在这一过程中起到重要作用，并形成新的交叉领域与学科增长点。

20 世纪中期，随着蛋白质空间结构的解析和 DNA 双螺旋结构的发现，形成了以遗传信息载体核酸和生命功能执行者蛋白质为主要研究对象的分子生物学。而 21 世纪初人类基因组计划的完成，标志着生命科学研究进入了一个崭新的后基因组时代。运筹学已经逐步应用到生物信息学和系统生物学等诸多新兴的生命科学研究领域，并且发挥着重要的作用。一方面，线性规划、非线性规划和整数规划在蛋白质结构比对和结构预测中作为重要工具经常使用；另一方面，现代生命科学对运筹学理论和方法提

出了新的需求和巨大的挑战。当然，系统生物学要成为一门独立的分支学问需建立自己的“公理系统”、“基本理论”以及实验和算法体系，运筹学将在这一过程中起到其独特的作用。

网络科学是21世纪刚刚兴起的一个新的交叉学科。它以复杂网络为主要研究对象，通过对复杂网络特性的提取和刻画，探究其所反映的复杂系统的普遍规律。运筹学的各个分支，特别是最优化方法和图论已在网络科学中发挥了重要作用。今后十年内，网络科学预期在网络生成模型和网络演化特征的刻画方面将有重大的突破，并成为应用科学的主流性分支。网络科学目前尚处于实证研究为主的阶段，它要真正成为一门独立的科学分支，必须建立其基础理论、运算理论，以及从目前的实证地从实际世界中提炼网络模型，发展到应用网络理论去建立自然界的或技术性的系统，使其具有特定的性质。在这一过程中，运筹学可以成为一个主要的工具。

管理科学从其一开始就与运筹学有着密切的关系，其早期的重点是用运筹学的方法来研究有管理背景的实际问题。管理科学不仅为运筹学的研究和实践提供了一个很好的应用领域，而且它也为运筹学的发展提供了很多挑战性的课题。未来几个具有代表性的研究方向包括：①管理科学中的一些实证研究；②风险管理问题；③一些经典的随机存储问题；④多服务台随机排队模型广泛应用于银行的顾客服务。

服务科学近年来在国内引起人们普遍关注。它基于服务经济的管理理念，是一门研究管理与被管理关系的、旨在形成二者良性互动和谐关系的新学科方向。服务中最关键的要素是人的行为。对于不含人的“机械”系统，系统的行为是“完全理性”的。运用经典的运筹学、统计学和信息学对这类系统可以进行比较令人满意的理论分析，并相应地提出较理想的解决策略。但对于涉及人的系统，人的行为表现出一些特有的现象，人们并不总是追求“效用最大”，而是会根据对环境的认知和自己有限的思维，做出“让自己满意的选择”，亦即人的行为的一个最基本特征是“有限理性”。因此，经典的运筹学、统计学和信息学不能被直接应用于以人为中心的服务系统。为此，未来需要研究的重要课题是：如何将行为科学与经典的运筹学相结合，建立“行为运筹学”的理论体系，为以人为中心的服务系统的性能分析、最优设计和最优控制奠定理论基础。

大数据是指无法在一定时间内用常规软件工具对其内容进行抓取、管理和处理的数据集合。数据成本的下降助推了数据量的增长，新的数据源和数据采集技术的出现大大增加了数据的类型，数据间复杂的相互联系使大数据的处理变得异常困难。大数据的分析和研究不应停留在获得概率分布结果，也不应满足于对细节问题的数据挖掘，而是应争取从大数据中获得新知识，实现社会科学的“变革式”进步。数据分析的主要手段就是给数据建立起数学结构，这种数学结构可以是多方面的：拓扑的、几何的或代数的。所以，数据科学给数学也带来了许多根本性的问题。数据和数、方程以及图形一样，也将成为数学研究的基本元素之一。

第十节 晶体学

一、引言

百年来，X 射线晶体学及随后建立和发展的电子显微学、电子衍射和中子衍射使人们得以了解物质在分子、原子尺度的微观结构，极大地推动了结构化学、固体物理、材料科学、分子 / 结构生物学、药物研发等重要现代科学领域的快速发展。2012 年，晶体学家们在世界范围内纪念 X 射线晶体学的百年华诞，缅怀马克斯·冯·劳厄、威廉·亨利·布拉格和威廉·劳伦斯·布拉格父子等先贤们创立 X 射线晶体学的伟大贡献。2012 年 7 月 3 日，联合国大会第 66/284 号决议，宣布 2014 年为国际晶体学年（International Year of Crystallography, IYCr2014），并由联合国教育、科学及文化组织与国际晶体学联合会负责主导，推动开展国际晶体学年活动。

值此盛事，《2012—2013 晶体学学科研究发展报告》回顾、总结和科学评价 2010—2013 年我国晶体学学科的发展，着重介绍我国学者在大分子晶体学、功能分子晶体学、非线性光学晶体和激光晶体材料、多晶衍射、电子显微学、药物晶体学、晶体学研究相关仪器设备等几个方面所获得的重要成果和进展，和国际相关研究领域进展的比较，以及对本学科发展的趋势及展望。

二、本学科近几年最新研究进展

（一）基于大型装置的大分子晶体学

同步辐射光源在蛋白质晶体学中的发展和应用有着不可替代的作用。上海光源 SSRF 生物大分子晶体学线站的建立和投入使用，为我国结构生物学研究提供了必要的技术支持，极大地提升我国结构生物学的整体实力和国际竞争力。

近年来，我国学者在膜蛋白晶体结构与功能研究、表观遗传的结构机理研究、免疫与疾病相关的结构生物学研究、生物大分子机器的构造与组装的研究、细胞凋亡与信号传导

通路中分子结构与机制的研究、病毒与病原菌相关结构及药物设计与优化、蛋白质与核酸的相互作用的结构与功能研究等领域获得很多重要成果，并在众多著名国际期刊上发表了 100 多篇高水平学术论文。

（二）功能分子晶体学研究

近年来，随着相关研究手段和条件的迅速改善和提高，一大批中青年学者获得成长。我国在功能分子晶体相关领域如多孔配位聚合物、高核簇合物、铁电材料等方面取得了非常突出的成绩，已经在国际上形成一定的特色。

多核金属簇合物的合成与结构、结构与性能关系一直是功能分子材料的研究热点和化学家们面临的挑战。特别是我国学者获得的多个系列的高核稀土-过渡金属簇合物 $Gd_{36}Ni_{12}$ 、 $Gd_{42}M_{10}$ ($M = Ni, Co$) 等，具有高的磁热效应，这些富勒烯型的高核金属簇合物引起国内外的广泛关注。

分子铁电晶体的研究，对应于纯无机体系如钛酸钡等，具有重要的科学意义和应用前景。我国学者在系统研究分子基铁电性机理的基础上，通过分析晶体学数据库，发现了若干个系列的分子基铁电化合物。

（三）非线性光学晶体研究

近年来，我国学者继续在紫外、深紫外、中远红外等波段的非线性光学晶体方面获得重要成果。KBBF 是目前国际上唯一在深紫外激光实际应用的晶体，我国学者解决了 KBBF 的晶体生长和相位匹配等关键技术问题，成功研制了 177.3nm 固定波长和 170 ~ 230nm 宽调谐波长两个系列共 8 种实用化、精密化深紫外全固态激光源，其输出功率的长期稳定性满足了深紫外科学装置的实用需求，成功应用于国际首创的 9 种深紫外先进科学装备，中国是目前唯一能够研制此种晶体的国家（见图 1）。

磷化锗锌晶体（ $ZnGeP_2$, ZGP）是综合性能最好的中远红外非线性光学晶体，在军事和民用领域具有非常重要和迫切的需求。但是长期以来，国际上主要是美、俄两国掌握 ZGP 晶体生长和元件制作技术，并控制我国进口。我国学者在近年来终于自主掌握了 ZGP 的

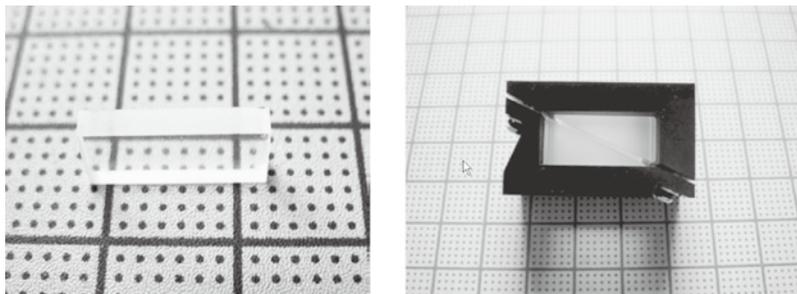


图 1 优质 KBBF 晶体和晶体光胶棱镜耦合器件

晶体生长技术，获得最大尺寸的 ZGP 单晶体，并建立了从多晶合成、单晶生长到元件制作的全流程工艺和生产平台，形成年产数千块 ZGP 晶体元件的生产能力（见图 2），适于各种波段位相匹配和 OPO 器件需求，填补了国内空白，实现关键装备核心元件国产化，解决了急需。

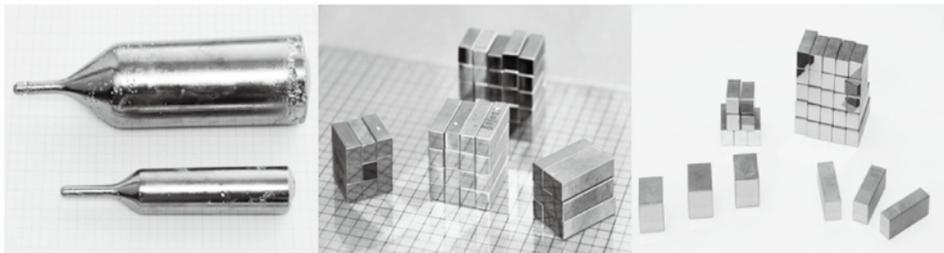


图 2 ZGP 晶体和 ZGP 晶体器件

（四）激光晶体研究

激光晶体是获得激光的源头，是激光技术的核心，激光晶体的尺寸大型化、高功率、短脉冲、复合化、小 / 微型化是研发的方向。对比国外的激光晶体研制和发展，我国在一些方面保持和国外的同步发展：Yb:YAG 晶体获得了千瓦级的激光输出；生产的 Nd:YLF 晶体直径达到 35mm，长度达 100mm 以上，获得数十千瓦的高能激光输出，实现高能固体激光器小型化；国内钛宝石（Ti:Al₂O₃）晶体生长直径尺寸达 120mm；直径 200mm 钛宝石晶体的生长也已经获得较大进展，可望应用于我国超强、超快激光系统中；我国 Nd:YVO₄ 晶体批量生产技术的突破促进了 Nd:YVO₄ / KTP 光胶技术的发展和小型全固态倍频激光器产业化及其广泛应用等等。这些晶体在相当大程度上能够满足国内军民品激光装备的需求。

（五）多晶衍射研究

近几年来，我国学者运用多晶衍射研究方法，在铁基超导体、功能材料超弹性、新型负膨胀材料等研究中获得重要成果。

我国学者在结构设计的基础上，发现具有体心四方（I4/mmm）结构、超导转变温度为 30K 的新型铁硒基超导体 K_xFe₂Se₂，改变了人们对于上述铁基超导体电子结构的认识，引领了国际上铁基超导研究。

（六）电子显微学研究

我国学者利用电子显微镜在固体物理学、材料科学、表面物理学以及纳米科学开展了多方面的工作，取得了丰硕的研究成果。在生物医学电镜方面，北京大学翟中和院士和丁明孝教授利用电子显微镜开展了多年的细胞生物学研究工作，也取得了卓越的成绩。

最近五年,中国的冷冻电子显微三维重构的研究得到了快速发展。在人才队伍方面,出现了众多以青年学者为带头人的冷冻电镜研究团队;在学术研究方面,产出了众多出色的研究成果,这包括二十面体病毒的高分辨率结构、核糖体组装中间态的结构、分子伴侣的高分辨率结构、囊泡转运 SNARE 复合体解离因子的高分辨率结构以及三维重构算法的研究;在冷冻电镜三维重构技术研究平台的建设方面,中国科学院生物物理研究所的生物成像中心走了最前列,重点发展了生物显微三维成像技术,建成了具有国际一流水平的生物成像中心。

(七) 药物晶体学研究

药物晶体学是近年来国际上发展的新兴学科,旨在揭示临床应用中由晶型物质状态变化引起药品的有效、安全与质量变化的科学问题,引起了药学领域广泛重视。中国晶体学会于 2011 年成立了药物晶体学专业委员会,以促进我国药物晶体学的研究和发展。近年来,我国学者出版了我国第一本药物晶体学专著《晶型药物》;我国学者开展了对药典收载药物、仿制药物和创新药物的多晶型的发现及其疗效、临床作用、药物晶型标准、药物质量控制标准等的研究和建立工作,并开展了创新药物晶体学新技术新方法研究等。努力使我国药物晶型研究的水平得到提高,并与国际接轨。

(八) 晶体学研究相关仪器设备

我国近年来最重要的进展是 2009 年竣工的上海同步辐射光源(见图 3)和其上各个线站的建立。一期建设的光束线和实验站已经取得一批重要的科学成果,特别是极大地推进了我国结构生物学研究的发展;二期线站工程已获国家批准。

我国已新建成反应堆中子源两座,即中国原子能研究院承建的中国先进研究堆(CARR)和中国工程物理研究院承建的 CAEPR。中国科学院承建的中国散裂中子源(CSNS)正在建设。



图 3 上海同步辐射光源

三、本学科国内外研究进展比较

(一) 基于大型装置的大分子晶体学国内外研究进展比较

蛋白质晶体学的发展已经对新一代光源提出了更高的要求,目前世界上正在运行的第三代同步辐射光源,光斑在 $5\mu\text{m}$ 左右,发射度在几 nmrad 。但是结构生物学的发展需要更小的聚焦光斑,目前国际上发达国家都在发展光斑 $1\mu\text{m}$ 左右、发射度小于 1nmrad 的光源。中国科学院也提出了在北京地区建设发射度在 0.5nmrad 并可进一步可升级到 0.1nmrad 的北京先进光源的计划。

(二) 国内外功能分子晶体研究进展比较

最近几年我国在多孔配位聚合物的研究中,与国际发展趋势相一致,进一步突出功能化、结构与功能关系研究。我国学者已经取得了一系列创新性、处于国际前沿的研究成果。就非线性光学晶体而言,我国在这一领域的研究具有一定的传统和优势,在国际上已经占据一定的地位。在配位聚合物、金属簇合物、磁性分子晶体、非线性光学晶体、分子铁电晶体、有机分子晶体和金属有机晶体化学等研究中,均取得了具有一定特色和比较明显的进展。

总体上,我国在功能晶体化合物及其材料的设计、合成与组装研究中,已经有比较扎实的基础和较大的研究队伍。同时也应当注意到,我国在结构与性能关系的深层次研究方面与国际发达国家相比仍然有一些差距。

(三) 国内外非线性光学晶体研究进展比较

深紫外非线性光学晶体及其全固态激光器已成功用于系列深紫外科学仪器的研制,已初步形成新产品系列,有可能在科学仪器及其相关产业获得重大突破。另外,我国还将在紫外深紫外非线性光学晶体的研发优势转换为产业优势,并使大尺寸优质非线性光学晶体,如LBO、GTR-KTP、KDP、磷酸二氟钾(DKDP)等晶体产业化居于国际领先水平。

(四) 国内外激光晶体研究进展比较

对比国际上的激光晶体研制和发展,我国在一些方面可以保持和国外的同步发展,在相当大程度上能够满足国内军民品激光装备的需求。但是相当一部分特殊的、高性能激光材料仍然需要从国外进口;在新波段和新概念材料方面,缺乏自主创新,与美、德、日、法、俄等国家在新材料制备技术存在较大差距。

（五）国内外多晶衍射研究进展比较

我国在粉末 X 射线方面的研究已取得了长足进步，在大多数研究领域已经接近或达到了国际先进水平，部分领域甚至达到国际领先水平。但是，目前国内从事如薄膜粉末射线分析的新方法、新技术等深层次研究人员偏少，并且我国在粉末射线研究领域具有自主知识产权的新成果少之又少；对纳米薄膜以及超薄薄膜（几个原子或一个原子层厚）新材料可以进行表征的新技术、新方法几乎处于空白，严重制约了我国在这些新材料领域研究的进展和水平；我国矿物 X 射线衍射研究相对落后，人力、物力投入不足；在分析软件方面，国内的发展亦严重落后于国外。

（六）国内外电子显微学研究进展比较

由于历史和经济的原因，我国在整体水平上较国际发达国家尚有不少差距。目前，我国已经具备开展世界一流的冷冻电镜结构生物学研究的新契机。集中优势力量发展基于冷冻电子显微术的生物大分子分子机器的结构与功能的研究，有望使我国的结构生物学水平达到国际领先地位。

（七）国内外药物晶型研究发展比较

我国的药物晶型研究起步晚，发达国家的知名制药企业从 20 世纪 80 年代即开始药物的多晶型研究，并从 90 年代开始将晶型物质状态控制作为企业对药品质量的内控标准和核心机密技术，以保证药品的最佳临床治疗作用，使药品在市场具有最高质量水平。我国对晶型药物研究重视不过十来年，目前上市的 90% 以上的晶型药物没有晶型标准，缺乏晶型质量控制。

（八）国内外 X 射线衍射仪研究进展比较

目前，我国国产粉末衍射仪的发展有很大的进步，但国产粉末衍射仪所占比例仍然很小，大部分国内运行的 X 射线粉末衍射仪还是依靠进口；此外，我国单晶衍射仪完全依仗进口。国产仪器的各个部分都和国外产品有很大的差距，现代 X 射线探测器和光学器件无国产产品。

四、本学科发展趋势和展望

未来五到十年，晶体学的发展包括以下几个方面。

（1）大分子晶体学领域的发展已经对新一代光源提出了更高的要求，光斑 $1\mu\text{m}$ 左右、发散度小于 1mrad 的同步辐射光源是目前国际上发达国家都在发展的方向。X 射线自由

电子激光应用于结构生物学的可行性已被证明。我国的同步辐射、自由电子激光建设滞后，应该推动新一代北京先进光源的建设计划，并且积极推动瑞士自由电子激光合作建设的计划，同时致力于发展在这些新一代光源上开展结构解析的方法学研究。只有如此，我们才能够在未来的研究中占有一席之地。

(2) 在功能分子晶体领域，进一步加强功能导向的设计，深入结构与性能关系的研究，为实现此类材料的实用化打下基础；并且发展金属有机晶体化学和有机晶体工程方面的研究。

(3) 重视和发展红外至太赫兹波段的非线性光学晶体，将我国在紫外深紫外非线性光学晶体的研发优势转换为产业优势，使我国大尺寸优质非线性光学晶体的产业化居于国际领先水平；关注电光晶体、复合功能晶体的开发和产业化；同时努力发展一些特殊的、高性能激光材料。

(4) 在多晶衍射领域，倡导和鼓励在新方法、新技术、新程序等方面深入钻研和攻关；促进多晶衍射仪器设备的国产化；开展极端条件下（如高温、高压、薄膜）的物质状态与变化的研究；推动多晶衍射定性和定量方法的研究和工业应用；将 X 射线衍射和中子衍射、电子衍射技术相结合，开展晶体结构到磁结构、平均结构到微结构的深入研究；积极发展我国同步辐射源和中子源等大科学装置上多晶衍射和能谱的研究与技术开发。

(5) 拓展高分辨电子显微学在材料晶体结构和显微结构的研究；在电子显微镜中集成各类探针和其他显微技术，以期在纳米尺度材料和器件研究领域做出更多的创新结果，发展基于冷冻电子显微术的生物大分子分子机器的结构与功能的研究。

(6) 在晶型药物的研发、国家政策的不断完善、药物晶型标准的提高、晶型关键技术普及、提高晶型创新能力、专业技术队伍的扩充等方面开展工作，提高我国药物晶型的研究水平。

(7) 在已建设的大型科学装置上发展和完善相关设施和研究方法；积极推动在北京地区建设新的同步辐射装置（北京先进光源）和中国散裂中子源的建设；推进我国国产品体学研究的相关仪器和软件的研发。

第十一节 机械工程 (特殊加工与微纳制造)

一、引言

以电火花成形加工、电火花线切割加工、电化学加工、激光加工、增材制造为代表

的特种加工技术和以微机电系统（Micro Electro Mechanical Systems, MEMS）、纳机电系统（Nano Electro Mechanical Systems, NEMS）为主要表现形式的微纳制造技术在过去几十年的发展中取得了令人瞩目的成就。它们已被广泛应用于各个制造领域，特别是航空航天、能源动力装备、汽车、微电子、生物医疗等高端制造领域，为国民经济的健康发展做出了重要贡献。未来 20 年将是我国特种加工和微纳制造技术持续发展提高并走向世界前列的重要时期。这一时期将不仅是学术研究及产业能力与水平的不断提升过程，也是我国自主创新技术加速涌现与发展的过程。

二、本学科近年来最新研究进展

近年来，在国家航空航天等战略产业飞速发展的需求牵引下，特种加工技术取得了长足的进步，涌现了众多高水平的科研成果，缩短了与国外技术水平之间的差距。一批具有自主知识产权的原创技术也引起了国内外的广泛关注。

在电火花加工方面，突破了五轴联动电火花加工机床、数控系统及 CAD/CAM 系统，高效放电铣削加工机床和多轴数控电火花小孔加工技术与装备等一系列关键技术，解决了一些航空航天发动机研制过程中的关键制造问题，成果已成功应用于多家航空、航天发动机生产企业。此外，工艺创新方面研究活跃，陆续涌现出集束电极电火花加工、高速电弧放电加工、放电诱导可控烧蚀加工、引弧微爆炸加工等具有自主知识产权的创新工艺，为我国电火花加工技术的持续发展奠定了良好的基础。

电火花线切割加工以提升往复走丝电火花线切割加工精度、加工表面质量和自动化水平作为产品发展的主攻目标。在数控系统及自动化控制、脉冲电源、工作液性能和多次切割工艺等方面取得了重要突破，推出了更高性能的往复走丝电火花线切割机床。单向走丝电火花线切割和微细电火花线切割技术在数控系统及其自动化控制、脉冲电源等方面也取得了一批新的研究成果。

电化学加工在创新方法和装备研制方面取得突破，研制出国内首台套整体叶盘面电解加工机床，实现了叶片电解精加工和整体叶盘电解加工。具有自主知识产权的游离粒子摩擦辅助电铸新技术实现了高产品质量、高生产效率、高材料性能的精密电铸。在微细工具制备、加工产物快速运输、加工间隙控制等微细电化学加工核心关键技术方面取得突破，使得微细加工能力、加工稳定性及加工速度等方面得到较大幅度提高。

国内研发的薄壁钛合金激光焊接技术已在航空航天、化工机械等工业领域获得应用。用于民用飞机整体壁板的铝合金激光焊接也取得重要进展，基本解决了激光焊接工艺中焊接过程稳定性、焊缝成形、焊接气孔、裂纹等问题，掌握了整体壁板激光焊接变形的基本规律。此外，还独立自主发展了可以满足典型工况条件下技术要求的两个材料体系，已成功应用于轮机装备、工模具、汽车零部件以及化工装备等部分关键部件的激光表面强化。在激光刻蚀的创新方法、工艺和设备方面也取得了重要进展。

国内在航空航天领域的增材制造技术方面取得了显著进展：研发出难加工金属大型结构件直接成形的系列化激光直接制造成套装备，制备出大尺寸、复杂结构的钛合金及超高强度钢等高性能关键整体构件，已在7种型号飞机研制和生产中得到工程应用；建立了激光立体成形及修复的优化工艺规范，实现了综合力学性能高于锻件技术标准的钛合金和镍基高温合金零件的精确自由成形及修复；研制出大台面选区激光烧结装备，并已获得实际工程应用，为传统铸造产业升级提供了技术支撑。另外，增材制造技术在生物组织制造方面也具有很大发展潜力，已制备出人耳再造聚氨酯多孔植入体、骨/软骨支架、肝组织支架等生物组织。

经过近30年的发展，微纳制造技术中的微机电系统（MEMS）技术已经取得了巨大的成功，大量基于MEMS技术的产品已经走出实验室实现产业化。MEMS产品虽然具有批量化、低成本、微型化等优点，但是由于受到基本原理、微细加工技术精度等因素的制约，相当一部分MEMS产品的性能提高到传统仪器的水平具有较大的难度。尽管面临重重困难，MEMS研究者仍然迎难而上，研究提高传统MEMS器件性能的方法，使得在低端领域取得巨大成功的传统MEMS器件在高端应用领域进展迅速，其中典型代表就是惯性MEMS领域。另外，MEMS技术与生物、化学、能源等学科结合产生了生物MEMS、能源MEMS等新兴领域。可以说，成熟的MEMS技术为这些新兴领域的快速发展提供基础的同时，新兴MEMS领域也反过来拓展了MEMS的应用范围。

微纳制造技术中不断涌现的新器件、新工艺、新应用等促使了微纳设计技术不断革新与发展，尤其是MEMS设计技术最具代表性。首先，MEMS器件结构与IC（Integrated Circuit）电路共同设计与仿真问题是MEMS研究者一直关注的研究热点。近年来出现的MEMS+等设计软件为此问题提供了有效的解决方案，并满足了MEMS器件与接口电路的单芯片集成的设计需求；其次，MEMS的三维结构特性决定了直观的三维设计更符合其特点。三维工艺仿真、系统级三维建模与结果显示等MEMS三维设计技术的研究与完善，使MEMS设计者可以更直观、有效地进行设计；再次，MEMS中的新器件、新应用、新工艺等对传统的严重依赖组件库的结构化设计方法产生了巨大的冲击和挑战。“泛结构化微机电系统集成设计方法”的提出及设计工具的建立，弥补了结构化设计方法的缺点，有利于提高MEMS设计效率。在纳尺度设计方面，研究人员已在建模与仿真方法上开展了大量工作，第一原理、分子动力学模拟、基于连续介质力学的数值模拟等方法被应用于纳尺度器件设计中。

微纳加工是衡量国家尖端制造业水平的重要标记，世界主要发达国家都非常重视其发展。国外近期在微纳加工等领域取得了如下突出进展：①纳米压印、原子力微纳制造法、针尖定位等微纳制造方法的研究提升了微纳加工的分辨力、可批量化、可控性，促进了微纳光学、微纳流控、微纳传感等领域的发展；②微纳加工技术与纳米材料科学结合日益紧密，石墨烯等纳米材料在微纳制造中的应用产生了高敏场效应管等优良微纳器件，并在生物和医药领域展现了较好的应用前景；③在生化和医疗领域，微纳加工技术为生物制造赋予了尺度与精度上的跨越，并重点应用于生化传感器、药物、功能器官植入、受损神经恢复等方面。在我国，一直备受重视的微纳加工技术在微纳图形化、模塑成形、高能束刻蚀等方面进行了深入研究，并且近年来微纳加工的能力得到显著提升，具备了从实验室到中试的加工能力。

封装成本一直是微纳器件实用化的一个重要制约因素，因此，微纳封装在微纳制造领域极具挑战性和重要性。随着微纳制造技术的发展，具有批量化、低成本的圆片级封装成为主流封装技术并应用于各种各样的商业化微纳传感器。在圆片级封装基础上形成的垂直堆叠集成封装技术已成为国外研究发展的重要方向，它实现了垂直互联并且降低了系统寄生效应和功耗，有利于微纳器件体积的进一步减小和性能的提高。正处于研发阶段的纳米封装有效利用了纳米材料良好的导热、导电以及低熔点特点，可实现微纳系统的低热阻封装、纳米互联以及低温封装，有利于传感器性能的提高和满足特殊传感器的封装要求。目前，国内已掌握了圆片级封装技术与真空封装技术，并应用于陀螺仪、加速度计的批量化生产，有力促进了我国 MEMS 的产业化。

微纳测量与测试技术要能够一如既往地测量接近或达到原子尺度的尺寸，同时实现高效、高精度、无破坏的测量与测试。当前的微纳测量与测试技术的研究成果已达到纳米级别精度，并在动态性能测试、高深宽比测量方面实现了无损测量与测试。这为促进测量测试设备的进步、提高微纳制造工艺控制水平、降低生产成本、提高产量、缩短新产品投入市场的周期奠定了基础。但是随着特征尺寸不断减小，器件参数控制要求越来越高，基于 3D 结构的新微纳器件的出现和新光刻技术的产生，微纳测量与测试技术将面临更多的挑战。

三、本学科国内外研究进展比较

我国特种加工技术研究已经由跟踪为主导的模式逐渐向以自主创新为主导的模式发展，部分研究成果已处于国际先进水平，并已成为全球特种加工研究与生产的中心之一。譬如：我国在电火花加工机理的研究方面落后于国外，但应用基础方面的研究已逐步赶上国外先进水平；在电化学制造的科学研究方面，国内外各具特色，但国内在工程应用层面还有很多不足，特别是高端制造装备研发相对滞后；激光加工的研究紧跟国际发展步伐，并取得了长足的进步，但与国际先进水平相比还存在工程应用研究偏弱、加工机理的研究相对薄弱等问题，特别是高端制造装备的研发严重滞后，长期依赖国外进口；此外，我国在激光金属沉积制造方面处于先进水平，但在增材制造的装备关键器件、成形材料、智能化控制、技术标准和应用范围等方面落后于国外先进水平。

在微纳制造领域，我国掌握了设计、加工、测试、封装等相关技术，部分成果达到世界先进水平，在产业化方面也不乏亮点，科技成果转化成为生产力的效能逐步增强，并制造出了一系列典型的 MEMS 器件。但不可否认，与世界工业发达国家相比我们还存在明显差距，相关研究仍然主要以跟踪为主，具有自主知识产权的成果较少，产业化进程缓慢。例如：在微纳设计方面，存在 MEMS 设计软件的仿真数据库匮乏、微纳设计相对薄弱等问题；在微纳加工方面，加工工艺及其影响机制的研究尚显不足，高端加工装备的研制和发展严重滞后，大量高端微纳加工设备及配套耗材仍需依赖进口；在微纳封装方面，国内多数还是采用微电子中传统的器件级封装技术，虽然在圆片级封装技术与真空封装技术方面开始了初步

研究,但在基础研究、技术创新、产业化等方面与国外还有相当大的差距;在微纳测量与测试方面,测试理论研究、检定规程和标准制定、测试装备研制等方面与国外有较大差距。

四、本学科发展趋势及展望

本学科未来发展方向将体现在如下几方面。

(1) 航空发动机和燃气轮机、核电装备等具有战略意义的高端装备中的关键部件将涉及更高的性能、更难加工的材料和更复杂的结构,这将对特种加工技术提出更高的要求,特种加工技术需要在加工精度、加工效率、自动化与智能化程度、稳定性与可靠性等方面有大幅度提升。

(2) 难切削材料、复合材料以及复合冷却结构的高效、高速放电加工新方法是电火花加工技术的主要发展方向。此外,微细结构的放电加工技术也是重要发展方向。

(3) 电火花线切割技术本身将趋于多学科、系统化集成的发展方向,其发展趋势主要表现为:精密化、高效化、微细化、智能化及绿色环保、安全、节能等。

(4) 提高复杂结构的加工精度是电解加工未来的发展趋势。此外,进一步挖掘微细电化学加工的潜能,提高微细电化学加工的效率也是微细电化学加工的重要发展趋势。

(5) 激光加工技术的主要发展趋势将向对激光与物质相互作用机制的揭示不断深入、激光制造工艺技术不断完善、材料制约和加工尺度制约不断突破、各种复合制造新技术不断涌现等方面转变。

(6) 增材制造技术的发展趋势主要表现为向日常消费品制造方向发展、向功能零件制造发展、向智能化装备发展、向组织与结构一体化制造发展。

(7) 微纳基础理论研究、跨微纳尺度的加工及建模方法研究、新原理的微纳器件研究、新装备制造研究等将是微纳制造技术未来发展研究中必须长期关注并重点研究的方向。同时,政府必须在微纳制造产业中在前期起到推动与引导的作用,促进技术的产业化。

(8) 微机电系统方面,面向细分市场的 MEMS 研发将是一个主要发展方向,尤其是面向高端应用的 MEMS。目前,纳机电系统处于研究发展的初期,单纯的纳机电系统在加工、应用等方面有其局限性。在短期内,纳米结构与微机电系统结合的混合机电系统会首先得到发展。

(9) 微纳设计技术是伴随着微纳器件及应用的需求而发展,通过近年来微纳设计领域的发展,可以预测微纳设计领域的主要发展趋势为三维化设计、网络化设计和定制化设计。

(10) 对于微纳加工技术中,纳米尺度制造与跨尺度制造中基础理论问题,微纳跨尺度集成制造新方法与新工艺,原理性和原创性的微纳制造装备研制是研究的热点和难点。

(11) 目前在微纳系统封装方面研究热点是圆片级封装技术,总的研究趋势是多层垂直堆叠的圆片级封装技术。另外,由于多种微纳器件或系统都需要真空封装,因此真空封装技术也是一个研究热点。随着封装技术与纳米技术的结合,纳米封装技术已成为重要的发展方向。

(12) 微纳测量与测试技术和装置不仅是微纳制造技术实用化过程的焦点,而且是计

量测试领域的研究重点。微纳测量与测试技术的发展重点将主要集中在提高检测系统的性价比以及实现在线监测，并且通过一系列相关技术的研究，使微纳测量与测试技术向实用化方向发展。另外，纳米测量与测试技术与计算机通信及网络技术的结合将是其发展的一个新趋势。

第十二节 电气工程

一、引言

电气工程学科是研究电磁场及其变化规律、电磁能量转换与控制、电磁场与物质及生命相互作用的学科，与信息科学、系统工程、自动控制与智能科学、材料科学、生命科学、新能源应用等领域结合紧密，是一门历史悠久、积淀深厚的科学。在美国工程院与30多家美国专业工程协会历时半年共同评出的20世纪对人类社会生活影响最大的20项最伟大的工程技术中，“电气化”位列首位。没有电气化，一切科技成果和经济成就皆无从谈起。

近年来，我国电气工程领域的科研工作者积极适应学科布局、科研体制和行业发展方面的新变化，努力探索电气工程学科与其他学科交叉融合的发展之路，在高速铁路、特高压输电、可再生能源综合利用、电工新材料、电磁新技术、节能新技术等方面攻克了诸多关键核心技术，取得了一大批重要乃至具有战略性意义的科研成果。但相比国际一流水平，特别在原创性技术方面，还存在明显差距，在应对新的能源革命和科技革命方面还没有足够的技术储备。我们的原始创新能力和核心技术突破不足，跟踪模仿较多，引领性的创新贡献偏少；多学科交叉研究和基础前瞻性研究布局不够；在国际上有重大影响的尖端人才和研究团队偏少；先进的试验研究平台缺少，科学仪器自主创新研发能力薄弱，还缺乏对某些盲从性跟踪研究的判断力。

下面从电气工程学科下设的五个二级学科，即电机与电器、电力系统及其自动化、高电压与绝缘技术、电力电子与电力传动和电工理论与新技术等五个方面，简要总结我国电气工程领域近五年的新观点、新理论、新方法、新技术、新成果，以及国际上电气工程学科最新研究热点、前沿和趋势，对国内外学科的发展状态进行比较评析，并据此提出未来5年我国电气工程学科的战略需求、发展趋势及发展策略。

二、本学科近年来最新研究进展

(一) 电机与电器

电机与电器学科的发展历史非常悠久，随着计算机技术、电力电子技术及控制技术的发展，其学科内涵与外延都发生了很大的变化。电机与电器的研究和发展逐渐从传统电机和电器转变为以电机电器为核心；包括电力电子、数字控制和一些特殊关键应用在内的电机与电器系统，乃至机电能量与信息变换的集成系统，电机与电器学科已与电子信息技术和计算机技术交叉融合，密不可分。

近年来电力电子技术、计算机与现代控制技术的发展推动了电机技术的进步。直流电机正逐渐被采用电子换向器的无刷直流电机所取代，变频调速装置与矢量控制技术的应用从根本上改变了感应电机的特性，而稀土永磁材料、电力电子器件与现代控制技术的应用对于同步电机的发展影响更为显著，出现一系列新型特种同步电机。现代电机技术的发展特点是电机与控制系统的紧密结合，电机已经由传统的单机装置拓展成为电机系统，决定电机运行性能的控制方式也成为电机系统的重要组成部分。

特高压、超大容量电力变压器符合我国能源格局及电网建设的需要，近五年我国在变压器设计分析技术、绝缘设计技术、主要材料性能研究等主要方面加大科研投入，取得了一批科研成果，支撑了国内变压器技术的升级。我国的特高压、超大容量电力变压器一直在世界变压器行业处于引领地位，代表了电力变压器在超大容量方面的国际最高水平。

电器是电能输送和使用的重要电气设备，电器学科的发展和我国电力系统及用户配电网控制使用紧密相关，智能电网涵盖发电、输电、配电、调度、变电、用电等各个环节，需要智能化电器和先进传感技术支持。智能电网建设以及用电总体水平的提高，为智能电器带来很好的发展机会，有力推进智能电器的技术发展和应用，同时也带来了巨大的挑战。电器学科近年主要研究内容有开关电弧、电接触、退化机理和寿命分析、电器运行控制和状态信息融合等相关技术，传统电器向着节能、小型、高可靠性等方面不断发展。

(二) 电力系统及其自动化

作为能源产业链的重要环节，电力系统已成为国家能源综合运输体系的重要组成部分，也是实现国家能源战略思路和布局的重要平台。新能源革命正在引起电源结构的重大变化，一方面火电努力实现清洁化高效发电，另一方面大力发展可再生能源发电等安全、清洁替代能源。由于风能和太阳能等可再生能源发电具有随机性和间歇性特点，可变电源

的大规模并网运行，对电气设备产生巨大影响，甚至引起了整个电力系统规划和运行的革命性变化。现有电网尚不能满足接纳大规模风能和太阳能发电的技术要求，这已成为制约我国可再生能源大规模快速发展的主要瓶颈。提高电网对大规模新能源接入的适应性和安全保障能力，已成为日益紧迫的任务。

（三）高电压与绝缘技术

高电压与绝缘技术学科既是一个有着良好基础的传统学科，又是一个有活力的交叉学科。近年来，随着国家特高压输电工程和智能电网的建设以及国防技术的发展，高电压与绝缘技术学科在电力设备绝缘和结构设计，电力设备智能化、交直流线路电磁环境影响和极端条件下电力设备相关技术方面取得了一系列的成果。基于高电压技术的应用研究，拓展形成了脉冲功率技术在Z箍缩、脉冲放电技术等新的研究方向；建设和发展高电压技术在环保、生物及医学等领域中的应用这一全新的研究方向，采用高电压技术解决环保和生物及医学等领域的重大问题。

（四）电力电子与电力传动

电力电子与电力传动学科是电气工程学科的一门新兴学科，也是一门交叉型很强的学科，它与半导体器件、绝缘材料、信号处理以及控制技术的发展紧密相关。电力电子技术产业覆盖了几乎所有关系国民经济发展和国家长久安全的国家关键技术领域，如材料、装备制造、信息和通讯、航空和运输、能源和环境等，已经成为社会发展和国民经济建设中的关键基础性技术之一。近年来，我国电力电子学科有了长足的发展，相应的电力电子元器件研制和生产、装置拓扑和结构以及在其主要的应用领域，如电机变频调速、工业供电电源、新能源发电、电力牵引、电力输配电和绿色照明等方面都取得了飞跃发展。

（五）电工理论与新技术

作为电气工程学科中的基础性学科，电工理论与新技术学科没有明确的学科界限。从电工理论来讲，主要包含电磁场理论及应用、电路（电网络）理论及应用等；从电工新技术来讲，主要包括超导应用、电磁发射、磁悬浮、等离子体、现代电磁测量等非常广泛的学科方向。交叉学科是电气工程学科发展的一个重要特色，也是未来电气工程学科发展的主要方面。近年来，我国在电工理论与新技术学科的科研成果主要体现在电路与电磁场、超导电工学、生物电磁学、电力储能技术、其他电工新技术、超磁致伸缩材料应用技术、磁性液体应用技术、电磁声发射技术和无线电能传输技术等几个方面。

三、本学科国内外研究进展比较

纵观我国电气工程学科近年来的发展，虽然取得了很大的进步，特别是在电气工程学科的传统领域取得了一大批重要乃至战略性的研究开发成果，有力地支撑了国民经济建设和发展，但与国际一流水平还存在明显的差距，特别是在应对新的能源革命和新的科技革命方面显得没有足够的准备，突出表现在以下几个方面：原始创新能力和核心技术突破不足，跟踪模仿较多，引领性创新贡献偏少；多学科交叉研究和基础前瞻性研究布局不够；在国际上有重大影响的尖端人才和研究团队偏少；先进的研究试验平台缺少，科学仪器自主创新研发能力薄弱。

（一）电机与电器

近年来，我国电机学科在能源、交通、装备和国防领域，以及前沿技术方面取得了长足进步，但相比发达国家，依然存在诸多不足：跟踪性研究居多，高水平原创性研究较少；重复性研究较多，有特色的深入研究不足；理论性分析较多，系统性试验研究不够，产学研结合不够。另一方面，攻克工业领域的电机节能关键技术、提高我国电机能效指标迫在眉睫。目前，我国电机效率平均比国外低3~5个百分点，系统效率比国外先进水平低10~20个百分点。近年来，我国变压器行业立足自主创新，并借鉴国外先进技术，技术创新能力及产品设计制造水平不断实现超越。我国已成为世界上变压器种类最齐全、产量最大的国家，变压器类产品的技术性能和质量均处于世界领先水平。

我国电器学科整体实力得到了跨越式发展，产品质量得到大幅提升，缩小了与国外先进水平的差距，具有广阔的发展前景。但同时我们也应看到，我国在相关领域的基础研究与国外先进水平相比还存在较大差距，自主创新能力还有待提高，研发高性能、高可靠性、小型化、智能化，功能齐全且适应智能电力系统发展要求的新一代电器产品必要且迫切。

（二）电力系统及其自动化

目前，世界范围内新能源革命方兴未艾。作为新能源发展的关键支撑技术——智能电力系统引起了世界各国的高度关注，各国纷纷结合自身国情制定了战略发展框架，提出了相关的技术标准和战略规划，并搭建相关研究平台，力争掌握主动权。针对智能电力系统技术，美国和欧洲已经形成强大的研究群体，研究内容覆盖发电、输电、配电和用电等环节，通过技术与具体业务的有效结合使智能电力系统建设切实发挥作用，最终达到提高运营绩效的目的。与发达国家相比，我国的电网线损率水平近年来一直存在着一定的差距，

说明我国输、配电网的运行经济性仍有待提高。从供电可靠性来看,我国供电可靠性水平与发达国家尚有较大差距。

(三) 高电压与绝缘技术

近些年来,通过发展特高压输电技术,有力地促进了我国高电压与绝缘技术的发展,在交直流输电的电磁干扰和防护、有机绝缘子和恶劣环境下输电线路故障形成机理和防护措施、大容量开断技术和关键电力设备结构设计等方面达到国际先进水平。在高能量脉冲功率技术、高参数脉冲磁体技术和加速器复杂电磁场设计等方面,取得了快速进步,部分研究成果打破了国外垄断,达到国际先进水平。在新型绝缘材料研究方面,我国紧跟国际热点,取得了系列科研成果。在纳米复合电介质的大规模制备与应用、环境友好固体绝缘材料和新型智能材料方面,与国外相比还存在差距。在电力设备状态诊断和维护方面,设备智能化的研究及推广应用方法处于国际的领先水平,但在检测方法上缺少原创。

(四) 电力电子与电力传动

我国电力电子技术与国际发达国家相比,无论在器件和装置的设计水平和产品质量,还是器件及装置的生产力形成和国家产业扶持都有很大不同。在电力电子器件方面,国内大部分生产企业还停留在中低端器件的制造上,与发达国家有竞争力的厂家不多,距离国际先进水平还有很长的路要走。在电力电子装置和应用方面,有很多应用电力电子的重大装备在我国尚不掌握关键或核心技术,甚至整个装备的设计和制造能力为空白,我国因此不可避免地处于受制于人的境地。近五年来,我国电力电子学科及技术虽发展非常快速,但依然落后于国际先进水平,也跟不上我国国民经济发展的需要,特别是还面临着国外产品冲击的严峻形势。

(五) 电工理论与新技术

电工理论与新技术广泛涉及电路与电磁场的基础理论以及电气工程学科与其他学科的交叉领域和极端电磁环境等,不仅内容丰富,也是电气工程学科最具活力的研究方向。我国电路和电磁场基础理论研究整体水平在国际上大约处于中上游位置,与国际先进水平相比,我们最大的差距是缺乏有重要影响的原始创新。超导电工学方面,目前我国超导电力技术的研究开发及其产业化链的雏形已经初步形成,总体上处于世界先进水平。生物电磁学方面,国际上的相关研究重视多领域专家的共同协商探讨,我国从事相关研究的单位不少,但未充分组织起来,知识背景相对单薄,研究未取得突破性进展。电力储能技术方面,大规模储能技术在全球还处在发展初期,发达国家和我国都在探索各类储能技术适宜的应用场合,以及进一步改进技术方向和技术路线。电动汽车方面,我国在电机本体、驱

动器和控制策略等关键技术研发方面与国外基本同步，自主研发的各类电机系统关键技术指标均在相同功率等级下达到国际先进水平，但在科研生产方面与国外先进水平仍存在一定的差距。

四、本学科发展趋势及应对策略

（一）学科发展趋势

根据学科和产业的发展与需求，电机与电器学科重点发展趋势包括高效节能电机系统、电气牵引电机系统、用于新能源发电电机系统、特殊应用的电机系统、特种电机的发展、智能电器的发展和智能变压器等几个方面。

目前，电力系统呈现两种发展趋势，一是以“特高压”技术为代表，建设新一代超大规模系统，先进输电与电网安全、电力系统稳定控制与信息化，以及柔性输电技术成为核心研究方向；二是以新能源和微电网技术为代表，构建就地发电就地消费的智能化供电单元。

高电压与绝缘技术学科领域的发展趋势主要包括：直流输电设备的绝缘结构设计、状态检测和寿命诊断、高压输电与电磁环境兼容技术、脉冲功率及等离子体技术和高电压技术新应用等方面。

电力电子与电力传动发展的总体趋势是半导体开关器件芯片将向大容量、高耐压、高频化、低损耗方向发展；系统装置向高可靠性、高性能、集成化、绿色化方向发展；系统控制向数字化、零电磁污染和强电磁兼容方向发展。

电工理论与新技术的主要发展趋势是：电路与电磁场方面需要研究更加复杂的电磁场理论问题；超导电力技术向更高电压等级和更大容量以及原理多样化和功能集成化方向发展；生物电磁效应研究方面值得深入研究复杂电磁环境的检测技术和对环境与健康的影响；储能技术方面值得关注的前沿储能电池类型（主要有钠离子电池、锂硫电池、锂空气电池、镁基电池等多价态离子电池）。

（二）应对策略

电气工程学科是国民经济和工业发展的基础学科，也是我国装备制造行业发展的关键。电气工程学科及其技术已日益广泛地应用或渗透到能源、环境、制造业、交通运输业中，特别是与国家安全和国防有关的先进能源技术、激光技术、空天技术、高档数控机床与基础制造技术等许多重要领域。

当前面临本学科的快速发展和行业加速更新换代、国际竞争激烈的发展形势，建议在电气工程学科及其行业发展布局、支持原则、优先发展重点以及实施措施方面加强电气工

程学科应用基础研究,建立公共的电气标准及装置检测试验平台,产业化中的关键技术问题研究,电气学科专用应用标准研究,围绕国家重点需求开展重点研究和加强产学研的紧密合作。电气工程学科是一个多学科、多行业的集合体,各个方面必须有一个很好的协调和合作,建议组织高层次学科和产业的协调机构,加强沟通、密切合作。

第十三节 工程热物理

一、引言

工程热物理学科是一门研究能量和物质在转化、传递及其利用过程中基本规律和技术理论的应用基础学科,也是节能减排的主要基础学科。

第三次工业革命引发的能源生产和消费方式变革,给工程热物理学科的发展带来新的机遇与挑战。为落实中国科协关于学科发展战略研究工作的有关部署,制定我国工程热物理学科的发展战略,从学科发展和国家重大需求的战略层面出发,重新审视工程热物理学科的发展,建立能源、资源和环境一体化的可持续能源体系,使能源的发展与资源的开发利用相协调,是我国工程热物理学科的研究前沿。并且,还通过对国内外学科发展动态的比较分析,凝练工程热物理学科的前沿增长点。

二、本学科近年来最新研究进展

(一) 节能原理与科学用能

科学用能从能的梯级利用、清洁生产、资源再循环等基本科学原理出发,寻求用能系统的合理配置,深入研究用能过程中物质与能量转化的规律以及它们的应用,达到提高能源利用率和减少污染,最终减少能源消耗的目的。我国学者拓展能的梯级利用原理,基于燃料化学能释放新机理的揭示,阐明了化学能与物理能的综合梯级利用原理,从而将能量利用在热能领域的卡诺循环原理扩展到燃料化学能领域的梯级利用,大幅度提高了化石燃料的利用水平。近年来,针对可再生能源与化石燃料多能源互补、电冷热等多

产品输出的集成能源系统，开展不同形式能的品位表征，已取得初步成果。开展了微/纳尺度热传递机理、复杂结构与超常条件下热传递规律、热传递过程优化及调控等热传递基础问题研究，建立了传热过程优化的最小热阻原理，提出了描述物体换热能力的新物理量火积（Entransy）等新概念，为实现换热节能奠定了理论基础并提供了方法指导。

（二）化石燃料的清洁利用

深入研究了洁净煤发电技术，围绕燃煤联合循环（CFCC）开展工作，其中整体煤气化联合循环（IGCC）已建成一批示范工程并试运成功，验证了其技术的可行性，使IGCC从技术验证阶段跨入商业应用阶段。开拓了化工-动力多联产系统，即通过系统集成把化工生产过程和动力系统有机地耦合在一起，在完成发电、供热等能量转换利用功能的同时，生产替代燃料或化工产品，从而同时满足能源、化工以及环境等多功能、多目标综合的能源利用系统；探索了PM2.5的形成与控制机理，研究指出煤中矿物质是燃煤排放颗粒物的主要来源，柴油机是移动源碳质细颗粒物的主要来源。

（三）先进动力技术研究

1. 燃气轮机

通过先进燃气轮机项目的实施，系统地建设了测量技术先进的机理性实验平台，开展了燃气轮机相关基础研究，获得了一批基础实验研究数据，在多级轴流压气机、燃烧室和空气冷却透平的内部流动以及燃气轮机设计理论等方面解决了大批关键科学问题，缩短了与国际先进水平的差距。这些研究包括：①压气机，发展高性能、高压比压气机，开展压气机的非定常流动研究；②燃烧室，目的是实现高效、稳定和低排放燃烧，同时开展多燃料的适应性研究；③透平，开展了高负荷跨音速透平的研究，尤其是高温升发动机一级透平叶片的冷却和结构优化设计；④二次空气系统，这方面工作还须加强，目前多以航空发动机的二次空气系统为主，重型燃气轮机典型单元的基础研究和基础数据库严重不足。

2. 内燃机

内燃机工业是实现全社会节约石油的基础和节能减排的重要环节，加快推进节能减排，是当前内燃机工业面临的一项艰巨而紧迫的任务，对保障我国石油能源安全、实现节能减排目标意义重大。这方面的研究包括：①均质压燃技术。均质压燃发动机的研究已从最初的柴油、汽油燃料扩展到天然气、二甲醚、醇类燃料和混合燃料等；②燃烧方式。分缸工作模式克服了均质压燃混合气准备的困难，不仅可以实现全负荷运行，而且可以在一台发动机上运行不同的燃料，实现多元燃料燃烧。

(四) 可再生能源

我国太阳能、风能、生物质能资源丰富,具备大规模开发的有利条件。在风能研究方面,目前我国风力机主要形式是水平轴风力机。在水平轴风力机的研制和开发过程中,还有许多基本理论问题没有解决,其中最重要也是最关键的问题有两个,一是风轮的气动设计,二是风力机的控制。另外,在太阳能热发电关键技术研究方面,开展了MW级塔式太阳能热发电系统工程示范,并对槽式和塔式太阳能热发电系统的聚光与集热技术,高吸收低辐射的吸收器,熔融盐、导热油、陶瓷颗粒、水/水蒸气、液态金属、石英砂等传热和储热介质,以及系统集成等方面取得了新的进展。

(五) 温室气体控制战略

能源动力系统是CO₂排放的主要来源,针对燃煤火电系统降低大气中温室气体浓度的途径开展研究,指出通过节能增效提高能源利用率,降低CO₂排放强度;通过调整能源结构,发展绿色替代能源减少碳排放,以及通过CO₂捕集与封存(CCS)技术,实现直接碳减排。在能源动力系统CO₂分离与捕集的能耗最小化原理等基础科学问题研究取得了较大进展。

三、本学科国内外进展比较

(一) 国内外发展趋势

能源和环境问题在世界各国受到高度重视,特别是发达国家,将能源问题提高到国家安全和解决气候变化问题的高度。许多发达国家在完善提高能源效率法律框架、依靠科技创新等方面积累了丰富的经验。这些国家的做法的共同特征是:将能源效率作为国家能源政策的基本工具;在法律层面上制定节能的量化目标;为推广能效措施提供资金与组织结构上的支持;发展各类综合性能效项目。

发达国家近年来能源科技投入稳步增加,可再生能源研发投入持续增加。能源领域中的CO₂减排成为气候变化研究领域的热点之一。

(二) 学科优势与差距分析

1. 工程热力学与能源利用分学科

近年来分布式能源和温室气体控制成为发展迅速的两个方向,我国与世界先进水平的

差距正在缩小。开展了多能源互补、能的综合梯级利用,以及分布式能源系统理论研究,提高分布式能源系统性能的潜力。在温室气体控制方面,提出了燃料源头捕集 CO_2 原理,这一原理打破传统分离思路,强调在 CO_2 生成的源头,亦即化学能的释放、转换与利用过程中寻找低能耗,甚至无能耗分离 CO_2 的突破口。在温室气体减排的技术路线研究方面,认为欧美等发达国家提出的均不适合我国以煤为主、能耗总量大的基本国情,正在研究提出适合我国国情的新的温室气体减排路线。

2. 热机气动热力学与流体机械分学科

在燃气轮机内流气动热力学方面进行了卓有成效的工作。在涡轮喷水推进理论与技术研发方面,研究成果已在国内外全面使用;对喷水推进器部件、推进系统以及与船体集成在一起的“船-泵”系统流场进行深入研究;海上发电是近年来国际风力发电产业发展的新领域,海上风力发电风力机及系统技术研究是我国近年来气动与流体机械的研究热点。

3. 传热传质分学科

在远场辐射领域,高温介质以及弥散系统的非平衡辐射特性研究,特别是高温等离子体微观能量输运机制及其辐射特性、高温粒子及团聚物辐射的微观机制和规律的研究已成为国际上的一个热点问题,形成了局部学科优势,缩小了国际先进水平的差距。

4. 燃烧学分学科

燃烧学在燃料的高效、稳定和清洁利用以及多燃料适应性等方面进行了卓有成效的工作。与此同时,近年来实施了973项目“燃烧源可吸入颗粒物形成与控制技术基础研究”,针对我国特有的能源消费结构,集中开展了颗粒物 PM_{10} 形成与控制机理的研究,目前更是关注脱除难度更高、危害性更大的细颗粒物 $\text{PM}_{2.5}$,这方面研究已与国际先进水平接轨。

5. 多相流分学科

除了传统的多相流理论和实验研究外,近年来在先进及新型反应堆热工水力特性的研究方面建立了超临界水堆与快堆结合的新型堆(超临界快堆)的堆芯物理热工耦合分析方法,并研制了相应的计算软件,在此基础上通过优化设计提出了压力管式超临界水堆堆芯方案。从机理上揭示了影响超临界快堆空泡反应性的根本因素,并给出了克服这一困难的具体办法,为超临界水冷快堆的研究扫清了一个突出的障碍。

从总体上看,尽管我国在化石燃料能量释放新机理、新原理发动机等方面做出了国际领先的成果,但我国工程热物理学科研究水平与世界先进水平还有较大差距,主要体现在技术开发落后于理论研究,实验设备、测试手段落后,温室气体控制等能源、环境交叉领域基础理论和关键技术研究薄弱。

四、本学科发展趋势和展望

我国能源科学发展的指导思想是：从支撑国家可持续发展的高度出发，紧密结合我国能源资源特点和需求，关注全球气候变化，立足能源科学与能源技术的学科基础，丰富和发展能源科学的内涵，加强基础研究与人才培养，构筑面向未来的能源科学学科体系，形成布局合理的基础研究队伍，为我国社会、经济、环境的和谐发展提供能源科学技术的支撑。

我国能源科学技术发展的总体目标是：到2020年，突破能源科学与技术中的若干基础科学问题和关键技术，建立一支高水平的研究队伍，使我国能源科技自主创新能力显著增强，形成比较完善的能源科学体系。

为实现能源科学的发展目标，应该将系统布局和重点发展有效结合，重点发展领域的遴选应该遵循以下原则：

(1) 加强基础研究。离开了基础科学的发展，就不可能有积累和创新，也就不可能改变被动跟踪的技术现状。只有加强理论基础研究和应用基础研究，才能构筑强大的学科基础，增强创新能力。

(2) 持续支持创新性高风险的研究。只要是创新的研究就具有不确定性，重点发展的领域应该向新的有风险的方向倾斜，鼓励创新，允许失败，营造勇攀能源科技高峰的氛围，使得少数创新的研究成果脱颖而出。

(3) 始终保持系统布局。能源科学的综合性和交叉性特点要求各学科领域的协调发展，在重要的学科领域不能有空白，因此我们应该始终将系统布局作为一项工作目标，在一些欠发达的领域要保持持续的支持和有计划的扶持。

(4) 把能力建设作为重中之重。基础研究能力是创新的基础，而人才、设施条件和机制体制是能力的载体。我们应该注重能源专业人才梯队的建设，培育集中的设施领先的能源科学重大研究设施和研究中心，建设开放共享的管理机制，切实提高能源科学技术的研究能力。

(5) 鼓励面向应用的集成研究。能源基础研究成果的转化也体现出很强的综合性，因此要提高集成创新的能力，鼓励面向应用的交叉研究，促进能源科学研究成果尽快地应用于生产实践，促进技术装备的进步和工艺水平的提高。

(6) 注重扶持具有特色的研究。对一些具有地域特点、资源特点的研究要注意扶持，对于与特定条件密切相关的分布式能源利用、转化、传输的研究，应该重点支持，稳定队伍，争取在一些特色方向上有所创新。

根据以上遴选原则，分析确定了工程热物理学科近期和中期的重要研究方向，主要包括：

(1) 节能减排，提高能效领域。主要包括高能耗行业节能，工业节能与污染物控制，建筑节能，交通运输节能，新型节能技术等方面。

(2) 煤与化石能源领域。主要包括洁净煤能源利用与转换, 清洁石油资源化工与能源转化利用, 燃油动力节约与洁净转换, 分布式能源系统等方面。

(3) 可再生能源与新能源领域。包括太阳能、风能、生物质能、氢能、水能、海洋能、地热、核能和可再生能源储存、转换与多能互补系统等方面。

(4) 温室气体控制与无碳-低碳能源系统领域。包括: 能源动力系统的减排科学与技术、无碳-低碳能源系统的科技、低碳能源化工与工业以及低碳型生态工业系统等方面。

第十四节 控制科学与工程

一、引言

自动化科学已经成为衡量一个国家科技发展水平和综合国力的重要标准之一, 而以自动控制和信息处理为核心的自动化技术也已经成为推动生产力发展、改善人类生活以及促进社会前进的原动力之一。“控制科学与工程学科”或“自动化学科”作为一级学科共包括五个二级学科, 即: ①控制理论与控制工程; ②模式识别与智能系统; ③系统工程; ④检测技术与自动化装置; ⑤导航、制导与控制。

我们利用 iCAN (integrated China Automation Network) 研究解析系统, 完成了对过去两年国内自动化领域的主要研究成果和未来发展方向的分析, 从研究热点、研究人员、研究机构三个方面分析了国内进展情况, 并且对比了国内外的研究进展。

二、本学科近两年最新研究进展

通过对控制理论与控制工程领域国内文章的分析, 线性矩阵不等式相关论文的发文数量大幅领先于其他研究方向的发文数量。东北大学、中南大学、空军工程大学各有 2 位学者位列国内控制理论与控制工程领域作者发文量前十名。

国内学者在多智能体协作、集值系统辨识与适应控制、极值搜索、网络化系统资源优化、事件驱动控制、智能控制等几个方面都取得了较大进展, 尤其在网络控制系统方面取得了一系列突破性成果。

事件驱动的方法近年来得到越来越多的关注,不仅在无线传感器网络、机器人、智能电网、智能楼宇等领域中有越来越多的应用,而且在控制器设计、稳定性分析、优化与分析的理论和方法上均取得了较大的发展。在事件驱动控制的稳定性分析方面,我国学者率先使用微分几何方法分析事件驱动控制系统的能控性与能观性。

学术建制方面,各高校补充了与多智能体系统协同控制相关的课程,如“分布式控制系统”、“代数图论”、“非光滑系统控制理论”与“分布式滤波与估计理论”等;人才培养方面,北京大学工学院李忠奎的博士论文《多智能体系统的一致性区域与一致性控制》获得全国优秀博士学位论文;研究平台和团队方面,哈尔滨工业大学“机器人技术与系统国家重点实验室”、“中国科学院系统控制重点实验室”、北京大学“湍流与复杂系统”国家重点实验室、北京理工大学“复杂系统智能控制与决策”教育部重点实验室、上海交通大学“复杂网络动态系统的性能分析与控制”教育部创新团队都取得了一定的研究成果。

中国科学院程代展研究员及其课题组利用他们自己提出的矩阵半张量积矩阵乘法工具,发展出一套代数状态空间方法来处理布尔网络与布尔控制网络逻辑动态系统,得到国内外同行的重视。

通过对模式识别理论领域国内文章的分析,国内期刊的文章热点集中在无线传感器网络、物联网、图像分割、人脸识别等几个方面。西安电子科技大学、清华大学和中国科学院自动化研究所是三家主要的国内期刊论文产出机构,中国科学技术大学、中国科学院大学、吉林大学等单位在本领域也有相当多的论文产出。

在生物特征识别方面,我国的科研人员在国际前沿领域取得了令人瞩目的成绩。《科学》(*Science*)杂志 337 卷 6101 期(2012 年 9 月 21 日发行)在目录页以首要位置图片导读的方式,刊登一篇题为《中国聚焦生物特征识别》(*China's Sharp Focus on Biometrics*)的文章,报道了中国科学院自动化所的生物识别团队在智能视频监控、虹膜识别和人脸识别上的技术创新和高端应用,以及对国家公共安全的影响力。

在数据挖掘方面,清华大学在 2013 年数据挖掘领域的顶级国际会议——国际数据挖掘与知识发现大会(KDD)有 8 篇论文被录用,这在国际上也是十分突出的成绩。

通过对检测技术与自动化装置领域国内文章的分析,以无线传感器网络为关键词的发文数量远超其他关键词。中北大学的 2 位学者位列国内检测技术与自动化装置领域作者发文量的前两名;西北工业大学有 4 位学者位列国内检测技术与自动化装置领域作者发文量前十名之内。近两年,我国检测技术与自动化装置研究领域发文最多的 10 个研究机构中,有 8 个来自于军工类研究机构。

通过对导航、制导与控制领域国内文章的分析发现,以航天器为关键词的文章大幅领先于其他关键词。从国内文章的发文数量上来看,北京航空航天大学、北京控制工程研究所、南京航空航天大学、西北工业大学、国防科学技术大学、哈尔滨工业大学的研究优势比较明显,这些单位在该领域国内期刊上的发文数量要明显多于其他研究机构,国内期刊上发文较多的作者也主要来源于这些单位。国内学者在导航、制导与控制领域做出了具有特色的成果,尤其在精确制导、磁浮控制、导航、航天器自主导航、空间操作自主控制、

智能自主控制、飞行控制等几个方向取得较大进展。在惯性导航方面,我国研制出高精度微机械加速度计和高精度微机械陀螺仪样机,微机械加速度计的精度达到 1mg ,真空封装下微机械陀螺的精度优于 $30^\circ/\text{h}$,激光陀螺在船用惯导系统中得到应用。我国基于光学敏感器的天文导航技术取得突破,首次实现了基于红外地球敏感器和星敏感器的自主导航,在高精度定姿定位紫外导航敏感器研制和相关导航算法方面开展了大量工作。

通过对系统工程领域国内文章的分析,以遗传算法、线性矩阵不等式为关键词的发文数量明显超过其他方向。国内系统工程领域发文量排名前十的单位发文量比较接近。系统工程领域的国内学者在大数据时代的网络科学、生产计划调度技术及其应用、体系工程与体系结构、系统仿真技术及应用等几个方面取得了较大进展。

三、本学科国内外研究进展比较

对比国内外控制理论与控制工程领域的热点关键词情况,排在前十的热点关键词有4个是一致的,前3名的热点关键词国内外相同(顺序略有不同)。同时“multi-agent systems”、“optimal control”等已经成为国外研究热点,而国内相关文献并不多见,体现出国内期刊的研究前沿与国际上相比仍旧有所滞后。近年来,在国际控制理论与控制工程研究领域发文章量排在前十名的作者中有8人是华人,其中有4人来自国内研究机构,3人在国内兼职。在论文发表前十位的机构中,我国科研院校占7席,发文数量排名前两位的均是我国科研机构。哈尔滨工业大学在总发文量方面超过国际其他科研机构。

在多智能体方面,我国学者已在部分理论课题研究上处于国际领先地位,但整体态势还是处于跟踪的情形,缺少引起国际领域关注并积极跟踪的新概念和新方法,理论成果与实际应用的结合还有很大的距离。

在极值搜索方面,国外研究极值搜索的学者主要考虑确定性的极值搜索方法,目前主要关注极值搜索算法的改进;国内学者主要考虑极值搜索算法的应用。在国内,对随机极值搜索方法也有学者开展了探索性的研究,但目前随机极值搜索不论算法设计还是收敛性分析都有本质的难度,包括理论分析工具缺乏,已有的相关理论所要求的条件或者太强或者不易验证等。

在智能控制方面,国内外的差距并不明显,国内外学者的研究都非常重视智能优化控制方法的实际应用,方法的提出往往结合了特定应用背景。

对比模式识别理论领域国内外的热点关键词情况看来,国内研究杂志中排在前十的研究热点中只有3个和国际上的研究热点是一致的,说明国内外研究的侧重点有所不同。近年来在国际模式识别理论领域,发文章量排在前十名的作者都是华人,而且其中有6人都来自于中国大陆的研究机构;国内机构在国际模式识别理论领域的研究中已经占有相当重要的位置,在论文发表前十位的机构中,我国的机构占6席。

模式识别基础理论方面,国内学者在特征降维(包括参数方法和非参数方法、流形学

习等)、分类器集成、多示例多标签学习等方面处于国际前沿水平,但在模式识别基础研究方面整体实力仍然偏弱,尤其在数据表示和大数据处理的体系架构、模式特征学习和结构学习等方面有影响的原创性成果很少。

计算机视觉方面,国内学者在计算机视觉和立体视觉理论、图像分类与目标检测、行为识别和事件分析等方面处于国际前沿水平。但在视觉理论研究方面,国内仍旧缺少原创性理论以及有影响力的研究工作,大部分工作属于跟踪性研究。

网络多媒体方面,国内研究起步较早,在很多方面处于国际先进甚至领先地位;但在多媒体应用、经典问题研究和理论方法上的研究方面,国内与国外先进水平相比仍有较大差距。

对比检测技术与自动化装置领域国内外期刊研究热点前10个关键词中,仅有3个是一致的,说明该领域我国国内期刊和国际前沿热点方向存在一定的差别。同时,“Biosensors”等关键词已经成为国外研究热点,而此方向的论文在国内却并不多见。在国际检测技术与自动化装置的研究领域,发文章量排在前十名的作者中有两人是国内研究机构的学者,这两位学者均来自于北京航空航天大学。在论文发表前十位的机构中,我国大陆的科研机构占4席,并且位置都比较靠前,说明我国科研机构的发文数量已经进入世界前列。

当前间歇故障的基于图论的方法、基于Petri网的方法、基于离散事件系统的方法受到了国内外学者的广泛重视,并取得了大量成果。另一方面,基于解析模型的方法、基于统计模型的方法、基于特征分析的方法、基于决策优化的方法、基于实验研究的方法已在国际间歇故障诊断研究中兴起,而国内学者在此领域相对发表成果不多。

根据导航、制导与控制领域的关键词分析结果发现,国内和国际的研究热点差异较大,排在前十名的关键词除了卡尔曼滤波和遗传算法外,其他的都不相同,说明国内外研究与应用的侧重点有所不同。我国只有西安电子科技大学的一名学者进入导航、制导与控制领域国际期刊发文量的前十。在国际发文前十名的研究机构中,我国占了3个,其国防科技大学和北京航空航天大学分别占据前两位,这说明国内研究机构作为一个整体在发文数量上已经走在了国际前列。

美、俄两国在卫星自主导航和自主控制领域的研究处于领先地位,我国在工程化的导航方案、导航敏感器样机研制、原始数据处理方法,以及地面和在轨验证等方面与国外先进水平相比存在差距。

对比国内外系统工程领域的研究热点发现,国内外排名靠前的关键词有很大不同,相比之下国内期刊文章排名前十的关键词和系统工程的关系不是很密切。目前没有中国大陆研究机构的全职学者进入系统工程领域国际期刊发文量的前十名,这说明国内学者在该领域的国际期刊发表文章较少。

从具体方向上来说,体系工程与体系结构技术的研究才刚刚开始,国外和国内的研究起步时间相差不多,国外体系工程研究的范围较广,而国内研究主要集中在国防建设领域;国外体系工程研究的单位比较多,涉及多个大学和研究中心,国内开展体系工程研究的单位比较少,主要集中在和国防建设相关的单位和机构。

四、本学科发展趋势和展望

控制理论与控制工程是控制学科的基础，在未来五年中仍将发挥不可替代的作用，是整个学科发展的重中之重。运作的网络化、功能的多样化、系统的复杂化依然是控制理论与控制工程未来发展的主要趋势。大规模网络化系统在国防、军事和社会经济中扮演着越来越重要的角色，事件驱动的系统控制与优化对提升这类系统的稳定性和总体性能将发挥重要作用。随着网络规模的不断扩大，系统性能优化的要求会更加迫切，人的心理与社会因素将逐渐进入系统，传感、计算、控制的界限开始模糊，需要综合考虑和综合设计。

网络控制未来值得研究的方向包括：网络控制中的信息传输理论、量化性能控制、多自主主体系统的网络拓扑结构和通信数据率、网络安全与容错控制、网络控制系统的应用等方面。其未来的发展趋势将更加依赖控制、通信、信号处理、网络等多学科的通力合作。

模式识别和计算机视觉的深入研究是提高国内相关领域前沿创新能力的重要需要，是构建面向海量庞杂、异质多源、大范围时空关联的社会感知数据智能处理系统的核心基石。当前应用需求主要包括如下几个方面：①国家安全的需要；②公共安全的需要；③先进视听觉信息理解技术的需要；④多源跨时段海量遥感图像内容理解、空天情报实时智能化处理的需要；⑤智能医学对大规模医学图像自动处理的需要等。

第十五节 图学

一、概述

（一）图学的产生

图是人类获得知识的重要来源，也是人类描述思想与交流知识的重要工具，图样更是科学技术界的语言，用于传递设计与加工的构想。近年来图与计算机技术和信息技术紧密结合，使图的理论、技术和应用获得了快速发展，形成了一门新的学科——图学，并在工农业生产、科学研究、国防、教育、文化产业中得到了广泛的应用。

（二）图学的研究对象

图学的研究对象是图，主要研究图与形的关系。这里“形”是指形体或形状，形存在于客观世界（如自然界的物体、人造的物体、自然现象等），也存在于虚拟世界（如动画、游戏等），它的本质是“表示”。图是形的视觉表现，由具有颜色等属性信息的线、点构成画面，它的本质是“表现”。因此，形是图之源。

（三）图学的定义

图学是以图为核心，研究将形演绎到图，由图构造形的过程中图的表达、产生、处理与传播的理论及其应用的科学。

（四）图学的学科体系

图学的学科体系由图学基础层、应用支撑层、图学应用层三层结构和图学教育与图学标准两个支撑组成，如图 1 所示。图学基础层包括图学公共基础、图学计算基础和图学理论。应用支撑层包括图形应用基础软件、图形库等。图学应用层包括广泛的应用领域，例如：工程和产品设计制作、图形设计、图形创意、地理图学、信息可视化等。

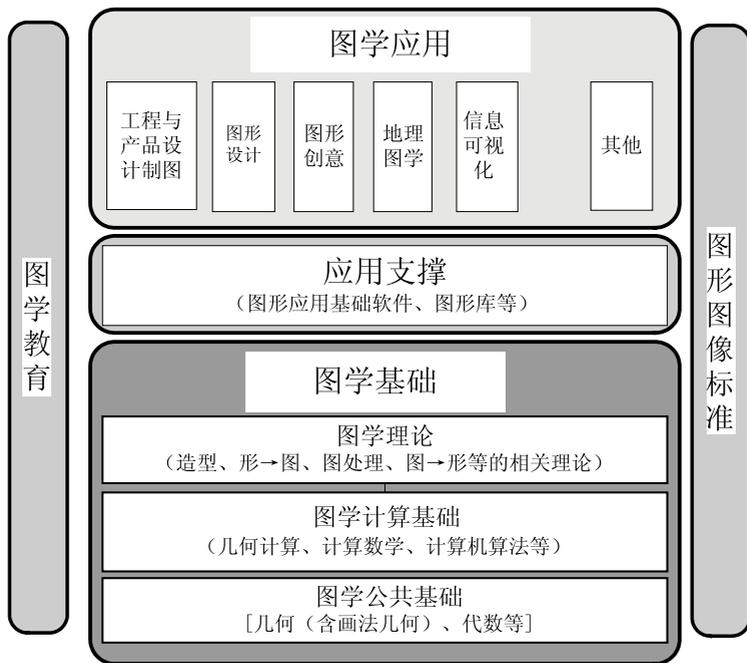


图 1 图学学科体系

（五）图学学科的地位

在我国的《学科分类与代码 GB/T 13754-72》中，有关图的理论、技术和应用分散在许多学科中，因此，有必要适时建立一个图学新学科来改变这种分散的状态。报告论述的这个“图学”新学科具有“大图学”的概念，“大”体现在其理论和技术研究涉及各种各样的图，其应用覆盖到各行各业。由此认为，图学与文学和数学一起共同支撑着科学与工程的发展。

二、本学科近年来的研究进展

（一）图学理论的研究进展

（1）在图学基础理论方面。图学基础理论包括形构建理论、将形变成图的理论、图处理理论，以及由图构造形的理论等。报告选择立体线图的计算机理解是因为它是近几年国内外研究的热点。计算机理解立体线图的研究内容包括草图识别、立体线图标记、不完整立体线图的完整、面识别、从立体线图恢复三维实体的结构形状信息、基于模型从立体线图识别三维实体、三维实体美化等问题。我国在这方面取得了以下成果：①自主研发了一个在线手绘图识别系统，其创新包括笔画分割、单笔画识别、多笔画识别和手绘三维物体投影图的端点融合的机理和算法等；②提出了一种新的三面顶点流形曲面立体画隐线图的标记方法；③给出了从画隐立体线图搜索所有简单回路和识别面的递归算法；④提出了计算机理解立体线图的方法，定义了一种称为弦高点的特征点，基于该特征点构造了一种曲线局部描述符，并将其用于曲线匹配。

此外，在图形变换方面取得了如下三项重要研究成果：①提出了一种图形变换几何化表示的方法；②修正了“投影”与“投影变换”理论；③较好地解决了透视参数的定量定值问题。

（2）在图学计算基础方面。基于“形是表示，是输入，图是展现、是输出”的基本认识，指出形与图的基本元素是几何，形的构造与图的形成本质是几何定义、构造、度量和显示。因此，图学计算的对象是几何，图学计算的本质是几何计算。剖析了图形计算的矛盾，找出了图形计算的关键，构造了图学计算的公共基础。提出了一个基于“几何问题几何化”的几何计算理论体系与实施框架。在几何计算理论、形计算机制以及几何计算稳定性理论方面取得了具有中国特色的重要研究成果。

（二）图学应用的研究进展

（1）图学应用模式方面。我国在图学应用模式研究上取得了两项进展，一是面向产品

生命周期的集成应用模式，二是面向行业的“嵌入式图形核心”模式。另外，解决了面向产品生命周期集成应用模式的相关技术，如：工程语义特征的存储与提取、三维模型的装配与展示以及集成技术等；分析了面向行业的“嵌入式图形核心”模式及其技术，并以国产 Ti3DCore 图形核心系统为例，阐述了该系统在建筑行业体纹理真实感渲染和布尔运算库中的应用，叙述了我国在图学应用方面取得的成绩和存在的问题，指出图学应用的平台化、集成化、知识化、服务化和全球化发展方向，并提出了相应对策。

(2) 图学的基于模型定义技术方面。基于模型定义 (MBD) 技术是图学技术应用的最新阶段，它是一种面向计算机将与产品相关的设计定义、工艺描述、制造信息和管理信息等附着在产品三维模型上的先进的数字化定义方法。此外，报告叙述了我国在 MBD 数据集内容的完整性、MBD 数据的组织和管理、MBD 数据集的传输等方面取得的进展。我国企业如中国商用飞机有限责任公司、沈阳飞机工业 (集团) 有限公司、中国南车股份有限公司、中国北车股份有限公司等都分别进行了 MBD 技术的实施应用，取得了很好的效果。

(3) 图学在土木建筑中的应用方面。报告指出了土木建筑行业应用建筑信息模型 (BIM) 技术是 CAD 技术应用的深化和必然发展的结果；从计算机辅助土木建筑设计、建筑信息模型 (BIM)、可视化和虚拟现实、科学计算可视化四个方面详细说明了它们在土木建筑行业中的应用情况。虚拟现实技术目前主要应用在设计、施工和装修三个领域中对大型复杂工程项目的规划、投标、报批和管理；用于建筑小区三维导航、户型展示、全景鸟瞰、园林景观展示等方面。科学计算可视化主要应用在建筑声光热分析、计算流体力学、结构有限元分析、地震等方面实现分析结果数据的可视化。报告中还展示了我国几个复杂建筑工程项目应用上述技术的实例。

(4) 图学在可视媒体中的应用方面。报告介绍了图学与可视媒体技术之间的关系及可视媒体技术的重要性。指出可视媒体最新的研究热点有三个，它们是：①媒体内容的处理、检索与合成；②三维高效逼真建模；③虚实融合场景生成与交互。报告还说明了最近五年来我国在上述三个关键技术问题上所取得的成果，并用实例和图片加以展示。

(三) 图学学科两个支撑的研究进展

(1) 图学教育方面。图学教育是图学学科的支撑，其作用是为图学学科设置完整的教育体系，以及为图学学科的发展培养各类图学人才。报告界定了图学教育的范畴，认为凡是“关于图的表达、产生、处理与传播的理论、技术与应用”都属于图学教育的范畴，并着重指出传统的工程图学教育是图学教育的重要组成部分；指出了图学基础教育的地位如同数理化、外语、计算机一样，共同构成了学校教育的公共基础平台，共同担负着培养学生基本素质的重任；展示了近年来图学教育研究所取得的四个进展，分别是：图学教育思想方面、工程图学课程内容与体系的改革方面、图学教育为社会服务方面、图学课程建设获得的奖励和荣誉方面等；此外，还叙述了图学教育在图学数字化建设中取得的进展，例如网络和多媒体系统、考试系统、虚拟实验室、模拟演示与训练系统等。

(2) 图学标准方面。报告中的图学标准主要指机械制图、建筑制图、土木制图、电气制图、船舶制图等各类技术图样、技术文件和图形符号的标准,以及图形交换、产品几何技术规范等的标准。图学标准为改进产品设计、防止技术贸易壁垒、促进技术进步提供了技术规范保证。

自 2009—2011 年我国先后发布和实施了 17 项三维数字化设计标准,填补了我国三维图学标准化空白,标志着我国在“计算机辅助设计和制图”标准化技术领域达到了与国际同步。此外,由我国主持制定并已发布的国际标准有 3 个,主持制定和立项的国际标准有 5 个,参与制定的国际标准有 6 个,标志着我国标准化研究水平达到了国际先进水平。

三、本学科国内外研究进展比较

(一) 图学学科内涵的研究进展比较

图学学科内涵的研究包括图学的产生、研究对象、定义、学科体系、学科地位等问题,对此,国外尚无系统的论述,而我国学者则有比较系统的研究和清晰的认识。

(二) 图学基础理论与技术研究进展比较

图学重要的基础理论与技术有图元生成、图形生成与显示、造型等,国外已有成熟技术,我国也已掌握了这些理论与技术。我国有效跟踪国际图学最新的研究方向,包括科学计算可视化、虚拟现实和增强现实、计算机动画、数码艺术等;发表了许多具有国际先进水平的论文,也取得了许多应用成果。我国存在的问题是:①理论研究在国际上的地位还不高;②应用仍存在着照搬国外的模式、技术和软件的问题;③研究缺乏来自我国企业的强大需求刺激与支持,导致研究动力不足,基础不厚。

(三) 图学计算基础研究进展比较

我国学者认为图的本质是几何,图学的计算基础是几何计算。与国际上通用的几何代数化方法不同,我们已经建立了“几何问题几何化”的几何计算的全新理论框架及整套实用算法,用来处理几何表示、几何创建和几何计算中的各种问题。

(四) 图学应用基础研究进展比较

图学高新技术的应用进入我国晚了约 20 年。因此,我国在工程和产品设计领域、地理信息领域、艺术领域、动漫与娱乐领域中,图学的应用与国外先进国家相比还有较大差

距。但改革开放以来，国内经济蓬勃发展，以图形高科技为核心，我国几个大的图形产业市场正在形成，有二、三维 CAD 软件市场、地理信息软件市场、动漫产业市场等。

四、本学科的发展展望

在新的社会需求和科技进步的推动下，图学发展展望如下。

(1) 图形和图像的结合将更为紧密。图形图像融合的绘制方法以及图像特征抽取以及图形要素综合处理的技术，将在交叉应用需求驱动下结合更为密切，这也将为多学科交叉及融合提供最为重要的载体。

(2) 动画和视频将实现无缝的虚实融合。视觉层面的虚拟世界和物理世界的界限将会消失，多维视频处理将逐步发展到覆盖虚实信息结合的综合处理方式，大数据将成为信息处理方面的重要技术。

(3) 基于增强虚拟现实的人机交互方式将更为自然。通过手势、语音、力触感等多模式的自然交互方式将得到广泛应用，多通道交互手段的综合协调将成为重要研究问题，带来人类手足的触及的延伸，认识自然的能力进一步增强。

(4) 信息可视化方式将在大数据处理模式的支持下走向更多实际应用。大数据处理模式的发展将直接推动可视化技术的发展和扩展，而大数据与云计算、物联网以及它们的结合将成为大型系统构造的主要形式，面向多维数据融合的信息可视化将成为应用构造及表现的常规手段。

(5) 3D 打印对制造业带来巨大的机遇和挑战。3D 打印将改变传统产品研发的模式和周期，加快产品创新节奏，概念层面的竞争将会加剧，覆盖完整产品生命周期的现代工业设计应用将得到更多重视和发展。

第十六节 电子信息

一、引言

当今，随着电子信息技术的发展及应用，电子信息学科越来越受关注。电子信息学

科理论和技术发展快，派生新学科或分支、融合产生新学科的能力强，与产业发展相关性大，研究方向大量来自产业发展的需要，不少研究成果工程特色鲜明，直接应用于产业，学术和工程、产业结合紧密。电子信息产业是发达国家和中、印等发展中国家公认的战略新兴高科技产业，最近半个多世纪以来始终处于高速发展之中，在各国国民经济中所占的比重不断攀升。如今世界进入了信息时代，而信息时代的科学和技术基础就是电子信息学科。微电子、光电子和软件技术造就了集成电路、光纤通信、互联网、移动通信、平板显示等一个又一个对国计民生至关重要的产业，更有意义的是，电子信息技术（涵盖了信息科技 IT 和信息通信科技 ICT）的渗透性和融合性还让许多传统产业增添了新的活力。

今天，我们很难界定一些新兴学科究竟是属于传统技术领域还是电子信息学科领域。计算机、自动化、智能仪表、人工智能、中文信息处理、医疗电子、航空航天电子等等，或是历史上由电子信息学科派生、分蘖，或是正在迅速发展成为一门未来前景不可量的新兴学科。这个问题也困扰了我们多年：究竟该如何定义电子信息学科？

正因为电子信息学科（在中国工程院的分类中称为“信息与电子工程”学部）涵盖的领域面太广，各个领域研究水平各异，全面评价学科研究的发展情况比较困难，给出一个统一结论的可能性几乎不存在。因此，在历次学科发展报告的编写过程中，我们只能选取一些近两年中进步较快、受到关注较多的一些领域或分支组织编写专题报告，希望能够以它们为代表反映电子信息学科的发展情况、与产业的结合情况以及借此来预测学科发展可能的重点及趋势。

二、本学科近两年最新研究进展及国内外比较

电子信息学科，顾名思义，包括了电子和信息两大分支。“信息”包含传统意义的计算机、软件、外围设备、人工智能、控制技术、系统工程相关科技领域，也包括近年发展极为迅速的数据通信网络、无线通信网络以及自动控制相关学科；“电子”则以微电子、纳电子、光电子、激光通信技术、大功率激光、功率电子器件、传感技术、电子发光、电真空、平板显示等为代表，覆盖领域极为广泛。随着学科发展，过去未被突出的与“信息内容”相关的技术，诸如与信息表现形式相关的多媒体技术、与内容处理相关的大数据技术、与内容传播相关的互联网、移动互联网和移动通信、社交计算技术、与信息消费和信息服务相关的云计算技术，与信息采集利用相关的物联网技术等，影响力和知晓度大大增加，技术研究与应用不断深入。

根据工业和信息化部相关研究分析，当前电子信息产业正处于技术转型升级时期，很多传统技术已经处于成熟时期，而新的技术形态尚处于发育阶段；由于其在产业地位中的基础性、渗透性特点，电子信息技术已经覆盖到许多传统工业领域，也影响到农业、医药、生物和社会发展各个领域；因此，“十二五”时期是我国电子信息产业发展的关键时期。人们日益普遍使用各种信息技术成果来生产、处理、交换、传播和消费、利用各种形

式的信息。信息技术体系已成为一个为达成战略目标而采用和发展的综合技术结构，从最初主要偏向科学与工程应用发展成为当今科学与工程与数据信息混合应用的阶段。电子信息技术在社会经济生活和普通人日常生活之中“无处不在”。也许正是由于电子信息学科的活跃和持续不断的快速发展，电子信息学科领域始终显得“庞杂”和“边界模糊”。下面仅从一些学科分支（不是完整分类）的“片言只语”，来“窥探”整个学科的进展。

（一）微电子与光电子

微电子技术相关行业主要是集成电路行业和半导体制造行业。集成电路产品的发展趋势是芯片面积越来越大，集成度越来越高，特征尺寸越来越小，片上系统日益完善。微电子技术与其他学科的结合，产生了或正在产生一系列崭新的学科和经济增长点，除了系统级芯片外，量子器件、生物芯片、真空微电子技术、纳米技术、微电子机械系统等可能成为未来各个相应技术领域的主角。

同时，需要看到我国内地的微电子技术行业与世界先进水平相比还有很大的差距。从制造方面说，国外的芯片生产技术已达到 12 ~ 18 英寸（1 英寸 = 0.0254 米，下同）0.13 ~ 0.1 微米及以下水平，而我们仅停留在 8 英寸 0.25 ~ 0.13 微米水平；从设计方面说，国内多数是仿制的低水平 IC，很少企业拥有自主知识产权的集成电路芯核（IP）技术。比如，我国内地 90% 的芯片是消费类，而国外 75% 的芯片是通信类；从人才方面说，我国内地人才中搞半导体的占 75%，而发达国家正好相反，是高层次系统设计人员占 75%。因此，要提高我国内地的微电子技术整体水平，还需要长期的艰苦的努力。

光电子技术主要包括的内容为：作为光子产生、控制的激光技术；作为光子传输的波导技术；作为光子探测和分析的光子检测技术；光计算和信息处理技术；作为光子存储信息的光存储技术；光子显示技术；利用光子加工与物质相互作用的光子加工与光子生物技术等。由以上技术形成光电子行业的五大类产业格局，即：光电子材料与元件产业、光信息（资讯）产业、传统光学（光学器材）产业、光通信产业、激光器与激光应用（能量、医疗）产业等。

近年来，许多国家，特别是工业发达国家都在大力发展光电子技术和产业，应用领域包括了计算、通信、娱乐、教育、电子商务、公共卫生和交通运输，以及军事领域的指挥和控制系统、照相、雷达、飞行传感器和光制导武器等。光电子技术行业的主要产品包括：激光器、光盘、成像传感器、光纤以及关键部位使用光电子元器件的所有仪器和系统。我国与欧美和日本无论在技术水平还是产业发展上都还有较大差距。

（二）现代通信技术

随着数字化技术的发展，通信传输在向高速大容量长距离发展，光纤传输速率越来越高，波长从 1.3 μm 发展到 1.55 μm 并已大量采用。一个波长段上用多个信道的波分复用技

术已进入实用阶段；光放大器代替光电转换中继器已经实用；相干光通信，光孤子通信已取得重大进展，这将使无中继传输距离延长到几百甚至几千千米。无线通信和基于无线通信技术的移动互联网近年发展异常迅速，移动互联网成为 ICT 领域五大热点词汇之一，它的发展和普及将极大影响人们的社交、工作和生活方式，带来革命性的变化。

（三）感测与识别技术

感测与识别技术的作用是扩展人获取信息的感觉器官功能，它包括信息识别、信息提取、信息检测等技术。这类技术的总称为“传感技术”，它几乎可以扩展人类所有感觉器官的传感功能，甚至进入对思维、思想的“感知”。传感技术、测量技术与通信技术相结合而产生的遥感技术，使人感知信息的能力得到更进一步的加强。随着信息技术的迅速发展，我国以遥感卫星为代表的遥感技术广泛应用到勘探、气象、海洋开发、环境监测、测绘、土地利用和防火等各个应用领域，并取得了长足进步。最近几年国内兴起的“物联网”热也是基于传感和识别技术，未来发展前景可期。

随着材料科学、纳米技术的发展和微纳加工技术的进步，传感器呈现出小型化、微型化的趋势，伴随着微电子技术的进步和计算机技术的发展，集成化、智能化、网络化和多传感器融合也成为传感器发展的趋势。在交互控制方面，无论是人机之间的语音交互控制、手势交互控制和以电容屏为代表的多点触屏控制技术，还是以智能拟人机器人为代表机器与机器、机器与环境之间的交互控制技术，都得到了长足的进步和发展。相比这些方面的进展，基于脑-机接口的交互控制方式无疑是近年来最有代表性的交互控制范式之一，除了可以完成人机之间的信息交流，广义的脑-机接口技术还可以用来进行神经性疾病的治疗或进行受损功能修复。

（四）信息安全技术

信息安全关乎国家的经济安全、政治安全、社会安全、文化安全和国防安全，已经成为国家安全的重要组成部分。2006年我国政府公布了自己的商用密码算法，这是我国密码发展史上的一件大事，公开算法必将促进我国密码研究和应用的繁荣。

近几年，我国密码学和安全协议领域取得长足进展，从序列密码、分组密码、Hash 函数、公钥密码到安全协议五个方面，我国的研究均取得了长足进展。如：我国自主设计的祖冲之序列密码算法、在序列密码相关学术领域中我国学者取得了一系列具有国际先进水平的理论成果；对作为诸多密码系统的核心要素，保障信息保密性和完整性的重要技术之一的分组密码，主要集中在对经典模式的改进上，在已被广泛应用的公钥密码方面也有不少进展；而在密码协议的理论和应用方面，我国学者做了大量有意义的工作，在密码协议设计的思想和方法上都有所创新，推进了密码协议研究的发展。

总的来说，在以密码技术为基础的信息安全领域，我国学者起步较晚，进展不少，但

除了个别突破之外，总体水平与世界先进水平还有差距。目前在业界关注的云计算、移动互联网、物联网等领域的信息安全也是专家学者正在努力研究和关注的。

（五）大数据和数据挖掘

大数据是目前信息领域中五个大热门名词之一，之所以热不仅仅是因为炒作，而是如今虚拟世界的重要性已经被越来越多的人所认识，数据多到无法处理，数据中隐藏的价值确实吸引人。大数据不同于其他学科分支的一点是，它更偏重于实用技术，是一种多学科、多种技术的综合。与许多其他技术一样，大数据技术也是“舶来品”，由于新，我们还有相当大的差距。但最近一段时间，我国学者在所涉及的数据模型、处理模型、计算理论，与之相关的分布计算、分布存储技术，数据清洗和挖掘技术，流式计算、增量处理技术，数据质量控制等方面还是有所建树。我国在互联网应用上用户基数大，物联网应用上不落后，大数据伴随它们的发展得到快速成长应该可以预期。

数据挖掘概念虽先于大数据，但与大数据不可分。数据挖掘涉及数据预处理、数据分类、数据聚类、序列模式挖掘等四个方面，对数据库中的知识发现非常有用，是知识发现过程中的一个核心步骤。我国研究者关注以数据平滑、维度约简、数据离散化及样例约简为例的数据预处理，决策树、贝叶斯、k-最近邻法、支持向量机、粗糙集以及模糊逻辑等典型的分类方法，以及聚类模型、序列模式挖掘。今后一段时间会关注大数据的快速计算、多模态信息融合、大数据的特征降维等技术方向。

（六）新一代网络

以互联网为代表的信息网络对现代经济发展和生活不可或缺，但也面临着地址空间匮乏、带宽瓶颈、网络安全、移动性支持等一系列问题。为了解决这些问题，新一代网络呼之欲出。新一代网络必须解决新信息网络的体系理论、异质异构网络的一体化、新网络体系的服务普适、新网络体系下的可信与移动问题等四个关键科学问题。美国、欧洲、日本等世界各国都投入大量精力进行研究，一种方法是继续采用以IP协议为核心的网络体系结构构建下一代互联网，兼容现有各种通信网络，支撑用户开发创新应用。另一种方法则是建立全新体系结构，例如“一体化标识网络”等成果所体现的体系结构。两种技术路线都有许多成果，有的还进行了规模化实验，国内外基本上站在同一起跑线上。今后的研究可能聚焦于解决网络安全、移动性能、可扩展性、节能、资源利用率等方面。

（七）音视频编解码技术

数字图像/视频自20世纪50年代随着信息的数字化发展而出现并兴起，但随之而来的问题是数字化以后更高清晰度图像/视频的数据量急剧增加，远远超过了存储空间和传

输带宽的承受能力，给数字视频应用带来了很大的限制。因此，视频压缩成为数字视频领域的核心问题之一，几十年来学术界和工业界都对其进行了长期而又深入的研究，并取得重要进展。视频编码技术近期主要发展方向包括以 HEVC/H.265 为代表的混合框架编码技术、3DV 立体视频编码技术、基于视觉特性的编码，以及监控视频压缩、屏幕视频压缩等新兴与应用相关的视频编码技术。

三、本学科发展趋势和展望

当前，电子信息技术发展的总趋势是从典型的技术驱动发展模式向技术驱动与应用驱动相结合的模式转变，发展趋势主要包括以下五个方面。

(1) 高速度大容量。在现在海量信息四处充斥的状态下，处理高速、传输和存储要求大容量就成为必然趋势。从器件到系统，从处理、存储到传输、交换，电子信息技术正向着几乎无限的高速度大容量方向发展。

(2) 综合化集成化。信息采集、处理、存储与传输的结合，信息生产与信息利用的结合，各种媒体形式的结合，各种业务和内容的综合，都体现了综合和集成的理念。

(3) 平台化。云计算风起云涌，大大拓宽了信息服务提交模式，平台因此而更加普遍化。信息技术和信息的普及促进了平台化的发展。人们需要得到信息、得到服务，但不必理会技术细节；需要各种服务灵活部署、信息更加容易共享，业务协同方便；希望个性化的需求得到更大程度的满足。

(4) 智能化。“智慧 × ×”遍地开花，反映了其背后的各种技术越来越智能化。各行各业应用电子信息技术的结果，归结到本行业技术和业务的飞跃甚至革命，智能化给我们带来了无限的遐想空间，电子信息学科为智能化作出了最大贡献。

(5) 人文化。信息最终为人所用，人与外界交互的方法有多少种，信息表现和操作的方式就有多少种。信息表达形式早就超越了传统的文字、声音、图形图像、视频，机器视觉、听觉、触觉、语言、姿态甚至思维等，并且处理技术发展方兴未艾。人已经在信息领域成为真正的主人。

展望新电子信息技术未来发展方向，微电子、纳电子和设计集成技术，面向下一代的智能检索技术、无线通信和网络技术、电子信息技术与生命、医疗科学的结合等将可能成为未来信息技术学科发展的重点。

长期以来，电子信息技术“普及”程度一直未能达到“阈值”，其影响尚不足以大到导致人类生活和行为方式改变的地步，只有“信息”借助“电子”的载体走进几乎每个人的生活，让你须臾不能摆脱它们的存在和影响，一代人又一代人的行为方式与上一代产生巨大的“代沟”，社会就真的变了。想要实现这一目标，需要微电子、光电子、计算、网络通信、软件、传感等几乎涉及电子信息学科所有领域，而且超越电子信息学科的共同进步；反过来，社会变革也将极大推动电子信息学科的发展。

第十七节 道路工程

一、引言

道路工程是现代化经济建设的重要基础设施，在国民经济发展过程中发挥着十分重要的作用。改革开放 30 年以来，我国公路建设抓住历史机遇，历经了快速的发展阶段。至 2012 年，公路总里程达 423.75 万千米，公路密度为 44.14 千米 / 百平方千米，高速公路达 9.62 万千米，总里程位居世界第一。

公路的飞速发展，为沿线公路桥梁与隧道节点工程建设的繁荣提供了难得的机遇。至 2012 年底，我国公路桥梁总数已达 71.34 万座，主跨 400、600、800、1000 米以上的桥梁各有 93、37、20、11 座。在世界上主跨最大的 10 座斜拉桥与 10 座钢拱桥中，我国均占据 7 座，这一数据对悬索桥与跨海长桥而言分别为 5 位和 6 位。由此可见，我国已建成的各类现代化桥梁在世界跨径排名录上都进入了重要名次，甚至是名列前茅。

截至 2011 年底，全国公路隧道为 10022 处、8052.7 千米，其中特长隧道 441 处、1984.8 千米，长隧道 1944 处、3304.4 千米。建成了以秦岭终南山隧道、上海崇明长江隧道、厦门翔安海底隧道等为代表的 1830 座长或特长隧道。

高效高速的公路建设引导了道路工程学科的蓬勃发展，我国道路工程学科研究已在多个领域内得到了长足的发展，取得了多项令人瞩目的成就。2008 年至 2012 年间，共获得国家科技进步奖一等奖两项，分别为“千米级斜拉桥设计施工关键技术”与“秦岭终南山公路隧道建设与运营管理关键技术”；获得国家科技进步奖二等奖与国家技术发明奖二等奖 3 项，以及多项中国公路学会科学进步奖特等奖、一等奖及二等奖，充分体现了我国道路工程学科近年来繁荣发展的态势。

近年来，在道路工程学科基础研究实验室的建立方面，我国交通运输部为解决重大交通科技问题，获取具有自主知识产权科研成果，聚集和培养优秀科技人才，并开展交通领域高层次学术交流和促进科技成果实用转化，在现有制度与基础科研项目的支持下，支持建立了 32 座交通行业重点实验室，并在学科研究中取得了多项重要科研成果，培养了一批具备国际视野和水平的道路工程领域人才。

随着学科不断发展与创新，其涵盖的研究领域与内容也逐渐增加。本学科研究报告针

对道路（公路）工程、公路桥梁工程、公路隧道建养技术等 10 个分学科，从可持续发展、灾害控制与安全以及智能化三个方面出发，总结归纳了道路工程学科近年来的创新研究，对比了本学科国内与国外的学科发展情况，并在此基础上提出了学科未来发展趋势与方向。

二、近年来本学科研究进展概况

在历经了我国公路建设热潮以及热潮引发的反思之后，我国道路工程学科针对多方内容开展了深入研究与探索，近年来的研究进展主要集中在可持续发展、灾害控制与安全以及智能化三个大的方向，下面将从这三个方向出发对道路工程学科近年来研究进展进行归纳总结。

（一）可持续发展研究系统展开

可持续发展的概念于 20 世纪 80 年代首次提出，其要求发展过程既满足当前需要又不削弱后代发展能力，使社会、经济与生态、环境的发展目标相协调。自可持续发展提出以来，在全世界各个行业内都得到了充分的推广，其表征的发展理念得到了各国政府和民众的一致认可，我国于 1994 年批准了第一个国家级可持续发展战略。经过近 20 年的发展，可持续发展已成为了我国国家发展战略的中心，国家发展和改革委员会于 2012 年颁布了《中华人民共和国可持续发展国家报告》，进一步明确了我国深入推进可持续发展战略的总体思路。

我国道路工程学科在近年来的发展过程中，面对当前严峻的资源、生态和环境问题，坚持贯彻可持续发展的理念，结合学科发展情况，在资源能源结构调整、环境污染整治、生态环境改善、产业结构调整以及生产工艺优化等多个方面开展了积极的研究，取得一定的研究成果，为我国道路工程学科可持续发展的推广应用做出了显著的贡献。

近年来，本学科在可持续发展领域内所取得的主要研究成果包括：道路工程环境与可持续发展理论、道路建设可持续发展、勘察设计新理念及理论支撑体系、基于给定结构寿命的桥梁设计过程、预防性养护技术、路域生态保护及水土保持、隧道附属设施节能技术、节能客车动力系统研发以及路面铺设机械优化研究等。学科在可持续发展领域内获得诸多项目支持，如：交通运输部西部交通建设科技项目“神农架木鱼坪至兴山昭君桥旅游公路环境工程技术研究与示范”、安徽省交通运输厅 2004 年科技计划项目“公路沥青路面再生技术研究”、湖南省科技项目、湖南省交通建设科技项目“南方多雨潮湿地区高速公路水泥混凝土路面预防性养护技术研究”以及山东省交通科技计划“济青高速路域植被建植技术与生态功能研究”等，并且针对道路工程学科在具体项目实施过程中的可持续发展战略开展了深入研究，节约了大量的社会资源，减少项目投资上亿元。

（二）灾害控制与安全研究深入开展

我国自然灾害非常严重，灾害种类多、分布广、频次高，每年都对国民经济与生活造成巨大损失。随着我国经济社会的飞速发展，社会生活水平普遍得到极大提升，政府及民众对危害公众安全的灾害事故日益重视，相应地灾害控制措施与安全保证措施研究也提上了日程，并于2009年设置了“全国防灾减灾日”。

由于道路工程学科涉及的建设区域非常广泛，覆盖了全国各地多类自然灾害区域，因此近年来对灾害控制和安全保障的研究也得到了日益广泛的关注。在道路工程的发展过程中，需要同时关注工程结构与工程系统抵御地域自然灾害和人为灾害的能力，在研发提升工程防灾抗灾能力的过程中，需要从设计理论、设计方法和工程措施等多个方向着手，研究防止灾害出现、减轻灾害损失、提高工程安全性能的相关理论与措施。

近年来，道路工程学科在灾害控制和安全方面的研究成果主要体现在公路检测技术与设备、道路安全保障技术体系、大型桥梁与隧道工程风险评估与管理、桥梁与隧道抗震及减震、水下隧道设计与施工技术、长大隧道防灾减灾及安全运营以及地质灾害勘察与评价技术等方面。学科针对道路工程在建设过程与运营过程中可能出现的灾害问题开展了多项研究，如：交通运输部行业联合科技攻关项目“厦门翔安海底隧道（东通道）建设与运营成套技术”、陕西省交通运输厅科技计划项目“长大隧道运营安全评价与安全运营管理研究”、交通运输部西部交通建设科技项目“西部地区公路地质灾害监测预报技术研究”（2003-318-802-01）等。研究在我国各个相关地区得到了广泛的实际工程应用，取得了巨大的经济效应，节约费用超过10亿元，并取得了良好的社会影响。

（三）智能化设计与技术全面应用

近年来道路工程学科得到了长足的发展，但在现有的传统工作模式下，设计资源被大量地消耗在重复性工作上，工作效率无法达到预期要求。为优化传统工作模式，设计研究人员基于计算机技术、计算机网络技术、智能控制技术与信息技术，对学科工作建设提出了智能化的构想与方案。

近年来，道路工程学科针对高效便捷的智能化交通、智能化设计、施工与管理开展了初步的研究。在智能化研究过程中，道路工程学科主要依托自动计算机辅助设计（Computer Aided Design, CAD）与GPS卫星定位及成像技术，结合学科自身特点开发了具备鲜明学科特色、适用于学科直接应用的智能化工具，并在具体应用中取得了良好效果。

道路工程学科近年来在智能化方面的新进展主要体现在交通监控与智能交通、运输系统信息智能化、数字化地形测量、信息化地质勘察、桥梁智能化设计技术、数字化勘察设计以及客车行驶网络化研究等方面。学科紧跟科技发展步伐，针对大量科技应用开展了深入研究，如：交通运输部西部交通建设科技项目“公路智能交通系统信息标准化研

究”、云南省交通建设科技项目“快速勘探技术在公路工程地质勘察中的应用研究”、交通运输部西部交通建设科技项目“高分辨率卫星数字化勘察设计在困难复杂地区的研究与应用示范”等，为行业发展提供了巨大便利的同时，提高了行业工作效率，创造了显著经济效益。

三、本学科国内外研究进展比较

近年来，我国道路工程学科取得了飞速的发展和长足的进步，与国外研究的差距也日益减小。目前，国外道路工程学科更倾向于开展设计理论与方法的研究，构建了具备前瞻性的宏观学科建设框架，国内在该领域内的研究还处于起步阶段。受国内建设热潮的影响，我国道路工程学科近年来的研究主要集中在具备显著工程实际效用的工具、手段与方法上，为应对我国复杂多灾的自然条件而展开的具体研究解决了一大批世界级的工程建设难题，为我国道路工程学科建设添加了浓墨重彩的一笔。下面将根据道路工程学科各个分类学科的实际研究进展情况，以学科基础研究、产业创新建设、新技术开发及应用、人性化与安全设计四个方向为立足点，通过横向对比总结归纳国内外学科研究的差异及趋势。

自20世纪90年代初欧美发达国家将交通运输的可持续发展列入了国家发展战略，并长期支持进行相关的基础研究和技术开发后，可持续发展已成为道路工程学科至关重要的基础类型学科，为社会可持续发展做出了重要贡献。众多国际知名的研究机构设立了可持续交通的研究中心，分别针对城市与交通的一体化，资源的再生利用，以环境保护为标准的新材料、新工艺等方面开展了重点研究。目前，我国道路工程学科针对可持续发展的基础研究尚处于起步阶段，整体发展状况与国外现有研究水平相比较为滞后。

近年来我国道路建设规模逐年增大，相关基础设施工程的建设覆盖国内各类地形地貌、气象条件，提出了众多世界级道路工程建设难题。为解决这些建设过程中不断出现的挑战，道路工程学科积极开展研究，大力实施学科创新建设，有效提高了学科产业创新能力，开发了多类建设材料、设备和工艺。但与发达国家在道路工程学科内的产业创新研究相比，我国对创新产业的投入还存在不足，支持产业创新的资金项目还不够全面，教育机制中的重视程度也没达到应有的水平，对已有创新成果的应用过程较为缓慢，目前与国际领先水平仍存在一定的差距。

近年来，科学技术的发展为道路工程学科建设注入了新的活力。在传统设计、建设、运营与管理方法的基础上，我国道路工程学科加强了对计算机技术、计算机网络技术、智能控制技术与信息技术等在学科中的应用研究，开发了大量智能化技术，有效地提高了道路工程学科建设的效率与科技含量。我国道路工程学科智能化的研究开展较晚，发展前期主要依托于国外已有技术手段，在技术引进的基础上参考国内学科实际做出了重要探讨。但在智能化发展中至关重要的基础软件与体系优化方面，我国目前尚存在显著的差距，另外对已有高科技资源的整合集成程度上也落后于欧美发达国家。

随着国家经济实力不断增强，国民生活水平不断提升，道路工程学科建设开始对项目经济性能做出深入的思考，并在建设过程中越来越注重人性化的设计与安全性能的提升。道路工程作为国家重要运输动脉，其建设过程与运营过程均对保证国家经济正常运作有重要的意义，保证两个过程的经济性与安全性也得到了极大的关注。近年来，在我国道路工程学科重大项目与高难项目的建设运营过程中，针对特定环境下建设的基础设施的防灾减灾及安全性能开展了大量研究，并提出了非常具有针对性的解决方案并形成体系。然而，针对灾害控制与安全的道路工程研究不具备广泛的适用性，与国外发展情况相比，目前在研究体系的归纳和建立方面尚存在一定差距。

四、本学科发展趋势及展望

我国道路工程在改革开放以来取得了举世瞩目的发展，建立了覆盖全国的高速公路网络，建设了多座世界级大跨径公路桥梁与长大公路隧道，构建了我国国内公路交通的运输动脉，积极有效地促进了我国经济的快速腾飞。在道路工程飞速建设的带动下，我国道路工程学科也得到了长足的发展，近年来在多个方面取得了多项研究成果。但与国外先进技术相比，我国道路工程学科在某些方面依然存在进步的空间和必要，在今后的研究过程中，应在已有研究成果的基础上增加建设力量投入，优化学科资源分配，贯彻可持续发展理念，增强创新性研究手段。具体而言，需深化面向需求的道路工程基础研究，加强集约绿色的建设和营运技术研发，加快设施安全及长寿命保障技术发展，优化趋向集成智能的设计技术研究，进一步促进道路工程学科的飞越发展。

道路工程学科的研究对象与成果往往直接面向用户，用户体验与学科发展的层次息息相关。道路工程学科工程实用性非常显著，工程实际需求的重要性不言而喻，在学科今后的研究过程中，需要积极开展面向工程实际需求的道路工程基础研究，取得更多原创性研究成果，进一步促进学科的整体发展与腾飞。

道路工程学科的研究与工程实践联合紧密，道路的建设与营运技术对学科发展有重要的影响，完备高效的建设与营运技术不仅可以节约建设管理资源，还可以有效促进学科的发展。可持续发展作为道路工程学科发展的重要指导方针，将在学科未来发展中指引其开展集约、绿色的建设和营运技术研究。在发展过程中深化可持续发展的精神内核，始终贯彻资源优化配置的思想，为建设能源节约型社会做出更大的贡献。

社会民众服务意识的逐渐提高使得道路工程设施的安全性能受到越来越多的关注，具备重要社会服务功能的道路工程学科也需要做出相应反馈，应研究开发具备更加稳定、可靠、安全的服务设施来满足日益增长的社会安全需求。另一方面，可持续发展理念的贯彻实施则对道路工程设施的服役寿命提出了更高的要求，在可接受的安全条件下，需开展相应的研究以提高道路工程设施的寿命，减少重复建设和维修过程中造成的资源浪费。

设计体系对工程建设本身以及最终工程结果的质量、可靠度以及安全性有着至关重要

的影响。先进的设计体系不仅可以保证工程结果达到预期的性能目标，还能优化工程建设过程更为迅捷有效，起到节约资源、加快进度的作用。道路工程学科目前已在集成化、智能化的设计技术方面开展了初步研究，在将来的学科发展中，趋向集成、智能的设计技术将成为至关重要的研究方向。

第十八节 航空科学技术

一、引言

随着创新型国家建设进程的不断深入，航空科技的战略性地位更加突出。2012—2013年期间，我国航空科学技术蓬勃发展，一大批航空新产品的研制也取得重要进展。航空科学技术是工程性很强的学科，其进展与工程技术成就紧密相连，其成果应用特别是集成性应用往往通过工程技术成就体现。本报告力求从学科进展的视角对航空科学技术的发展进行分析研究，通过对我国航空科学技术的新进展、新成果、新见解、新方法、新技术及时总结并与国际先进水平进行比较研究，分析航空科学技术学科发展动态、总趋势及前沿热点；对照国家经济社会发展战略需求，分析我国航空科学技术发展前景，提出重点研究方向的建议。

二、本学科近年来最新研究进展

（一）飞机和直升机技术方面

2012—2013年，我国在飞机和直升机技术方面取得了重大突破。军用飞机方面，歼-20已经开始在阎良试飞中心进行定型试飞；歼-31于2012年10月31日完成首次飞行测试，标志中国成为除美国外第二个同时开展两种五代机研制的国家；由中国西安飞机工业集团研发的运××重型军用运输机是有史以来中国研制的最大型军用飞机；首架歼-15原型机在辽宁号航空母舰上成功进行着舰测试和起飞测试，标志着我国舰载机技术获得重大突破。民机方面，C919客机研发工作稳步推进，已获得380架订单。直升机研

制、生产能力取得长足进步。武直-10和武直-19的研制成功和先后列装，结束了我国没有专用武装直升机的局面，是陆军航空兵装备建设的重大成就；绝影-8型高速无人直升机也正在加速研制。民用直升机方面，中欧联合研制的直-15和AC313型直升机都取得重要进展；其中AC313是我国自行研制生产的唯一大型直升机，将填补我国大型民用直升机生产的空白，预计2013年将完成所有适航试飞项目，获得型号合格证，投入商业化运营。

上述内容标志着我国飞机、直升机、无人机等航空专业领域的科学研究取得了较为全面的新突破。

（二）航空动力方面

航空动力是制造业中高新技术最集中的领域，整个制造过程对材料、工艺、加工手段、试验测试等都有极高的要求，而航空发动机技术则是高新技术中的尖端代表。近年来，我国发动机事业在过去50年技术积累基础上取得了较大的突破性进展。

目前，我国新一代战斗机开始装备部队，与此相对应的采用进口俄罗斯发动机配套的局面正在改变。太行发动机是我国自主研制的大推力涡轮风扇发动机，20世纪80年代开始立项研制，2005年完成定型。已部分列装歼-10、歼-11，其多型改型正在用于新战斗机的动力国产化；为第四代战斗机及舰载机等配套的发动机也在研制之中。用于配套高级教练机的岷山发动机，用于配套通用飞机的九寨发动机均在研制中；秦岭发动机是70年代引进英国斯贝发动机的国产衍生型，经历材料、附件等的国产化，同时吸取了更多的先进技术对其进行改进、提升性能，已形成新的技术状态，并于2003年开始批量生产。昆仑发动机是我国自行研制的第一台具有全部知识产权的中等推力加力涡轮喷气发动机，80年代开始研制，经过259项严格考核于2002年7月通过国家设计定型。

（三）飞行力学方面

近年来，我国针对先进飞行器设计的需要，在消化、吸收国外先进技术成果的基础上，通过自主创新、发展，在飞行力学理论、方法和技术研究中都取得了新的突破。

非线性飞行动力学研究方面，近年来国内外在非定常气动力机理、实验研究方面开展了大量的工作，取得了一定的进展。尤其在风洞实验中，建立了模拟飞机单自由度运动、两自由度耦合运动的大振幅动态实验装置，获得了部分非定常以及耦合的气动数据，揭示出一些新的非定常非线性气动特性。研究表明，传统的气动模型已不再完全适用于描述大迎角过失速机动气动力。随着现代控制理论、智能控制的发展，非线性、非定常、多变量系统的辨识与控制的方法得到了极大的丰富。其中的理论成果也被从事风洞试验与飞行力学研究的工作者们引入了飞机大迎角状态气动建模领域。模糊逻辑、神经网络等新的方法在飞机大迎角状态气动建模中都得到了成功运用，获得了许多有益的成果。

弹性飞行动力学研究方面，我国在弹性飞行器非定常气动力预测技术、弹性飞行器

飞行动力学理论等方面开展了深入研究。如：发展了在时间域求解流场和结构耦合控制方程，从而精确预测结构做任意运动和变形下的非线性非定常气动力的 CFD/CSD 耦合计算方法；在弹性飞行器建模、耦合机理、稳定性、动响应等方面取得了具有国际水平的创造性研究成果，并形成了较为完善的理论和方法体系。

非定常气动建模技术研究方面，为了使飞机在大攻角多自由度耦合运动中依然可控，具有争夺空战优势的能力，对飞机的大攻角及非定常动态气动特性进行了深入的研究。在大攻角大振幅非定常空气动力风洞试验的基础上开展了非定常气动力建模及空气动力数学模型构建。随着计算机水平的大幅提高，CFD 技术已经被广泛地在各种工程中运用。近年来的气动弹性计算中也都逐渐采用了以跨音速小扰动方程、NS 方程或 Euler 方程为基础的 CFD 技术来计算非定常气动力。

此外，随着国内大型飞机和通用航空器的迅猛发展，民机飞行品质和适航性研究成为国内飞行力学的重要研究内容。我国多所研究机构开展了此方面的研究，系统地总结了飞机大迎角时的一些重要的非线性现象，研究了飞机非线性动态特性的各种方法以及近年来应用这些方法研究非线性动态特性方面所取得的成果；应用鲁棒控制技术解决了飞行中的一些控制问题；对于飞机在风切变中近地平飞情况，计算了最优闭环极点区；对于飞机在风切变中下滑着陆鲁棒控制系统，采用了改变加权阵法，在时域内进行了设计探索；对于多输入多输出系统也从理论上做了研究。

（四）飞行试验方面

我国对军用飞机新研型号设计定型试飞项目日益扩展，经多年积累和近年来大规模基础条件建设，已形成可承担与完成以下定型试飞项目的较为完善的试飞技术体系，包括：结构验证试验、飞行品质验证试验、飞行性能验证试验和阻力测量、推进系统验证试验、武器火控系统验证试验、设备系统验证试验、航空电子系统验证试验、电气系统验证试验、飞行控制系统验证试验、生存力/易损性验证试验、可靠性维修性测试性和保障性验证试验、直升机设计定型/鉴定试飞、新型号发动机设计定型/鉴定试飞，以及新研航空二级产品设计定型/鉴定试飞等。

我国飞行试验机构已经可以进行空气动力学、飞行力学、结构完整性、动力装置和机载系统设备一般性的专题研究试飞和型号研制中所需的特定项目科研攻关试飞。在外部参数测量方面，我国已经基本能满足飞机起飞性能、着陆性能的测量和一般飞行轨迹及姿态的测量，且具有较高的测量精度。在机载测试系统方面，我国机载测试系统的性能指标已接近当今的世界先进水平。

（五）制造技术方面

中国“大飞机”项目的关键设备——我国自主研发的世界最大吨位模锻压机试生产成

功,标志着我国金属材料制造技术有了新的突破。我国科研人员在吸收国外技术经验的基础上,针对我国航空飞行器复合材料的需求,完善和发展复合材料先进制造技术。此外,我国学者还开展了先进树脂基复合材料制造技术、非热压罐预浸料成型技术研究、复合材料热固化变形与补偿技术研究、航空用热压罐外固化预浸料复合材料的应用等研究,并取得一定的进展,为我国航空器需要的复合材料的制造加工提供了技术支持。在有些飞机的研制过程中,飞机制造厂充分发挥数字化异地设计/制造的优势,开展了设计/制造并行工程,全机设计100%采用CATIA三维数字化定义、数字化预装配和数字化样机技术;飞机的导管研制中也应用了数字化制造技术。

目前,国家正大力推动航空发动机制造业的数字化进程,在关键零部件工艺设计、工装设计及数控加工中取得了明显的成效,推动了航空发动机制造业由传统的研制与生产模式向精益模式的转变。此外,2013年国务院向“飞机钛合金大型复杂整体构件激光成形技术”研发团队颁发了国家技术发明奖一等奖,这一技术在我国已经投入工业化应用,采用激光直接制造多种钛合金等大型复杂关键金属零件,已在目前研制的新型战机、大型运输机、C919大型客机等新机中应用;使我国成为继美国之后世界上第二个掌握飞机钛合金结构件激光快速成形技术并实现工程应用的国家。

(六) 材料方面

我国针对飞行器用钛合金材料开展了TC4、TC16、TC18、TC27、TB5、TB6、Ti55531、TC21、TC4-DT、TB8、Ti45Nb、TA15等钛合金材料研制及应用研究工作;开展了钛合金成分优化及大型铸锭熔炼、大规格棒材制备、锻坯组织及均匀性控制、大型整体锻件成形及热处理工艺、超声波探伤等研究工作;突破了高合金化铸锭成分均匀性控制、棒材及锻件组织性能均匀性控制、锻件批次稳定性控制等关键技术。针对发动机钛合金材料开展了Ti60、Ti6246、Ti6242、650℃钛合金和Ti40阻燃钛合金锻件的制坯、模锻成形、热处理、无损检测、机械加工、表面强化等应用研究,突破了锻件组织性能均匀性控制、零件机械加工及表面强化等关键技术,研制出高质量的发动机用高温钛合金锻件和关键部件。

在特种/功能钛合金及特种工艺方面,主要开展了新型紧固件用钛合金材料、钛合金蜂窝材料、新型弹簧用钛合金材料、超低模量功能钛合金材料、SiC纤维增强钛基复合材料及其技术的研究;在先进树脂基复合材料方面,对先进热固性和热塑性树脂体系及复合材料、先进复合材料液态成型技术、非热压罐成型技术、结构/功能一体化复合材料和复合材料自动化技术等开展了研究;在金属基复合材料方面,对高性能连续纤维及其复合材料、结构/功能一体化的铝基复合材料和搅拌法制备的颗粒增强铝基复合材料及其精密铸造工艺技术等开展了研究;在陶瓷基复合材料方面,对功能复合陶瓷粉体的合成方法、自增韧氮化硅高温结构陶瓷材料、宽频透波陶瓷天线罩材料、陶瓷零件的凝胶注模精密成型技术和多用途薄壁形蜂窝陶瓷的挤出成型与制备技术等开展了研究;在材料性能测试与评价方面,对材料物理、化学性能表征,材料微观结构、性能与失效的理论和实验分析,以

及液态成型工艺的数值模拟和在线检测开展了研究,并取得一定的进展。无机非金属材料在我国发展迅速,其新技术与新工艺不断得以应用与推广。尤其在高技术陶瓷材料、纳米材料、复合氧化物与化学传感器材料、特精细化学品材料和功能化合物材料,以及固体电解质方面发展迅速,无机非金属材料的产量也得到突破,无机非金属材料已经应用于我国航空航天领域,并在提升质量档次、精化品种规格的同时呈现出加速及扩展应用的良好前景。

(七) 机电系统方面

我国飞机机电系统目前正向综合化、多电化和智能化方向发展,目标是实现功能、能量、控制和物理四个方面的全综合。我国正瞄准新一代飞机的需求,加快航空机电系统综合化控制和管理的研究,通过减少机电系统的互联方式和信息共享程度,提高综合化管理与诊断的能力,提升和完善其可靠性和可维修性。此外,我国在多电飞机先进供电技术、电气系统关键技术、多电系统故障诊断、电气负载管理研究、电源系统负载稳定性等方面开展了一系列研究,也开展了部分地面试验和飞行试验,验证了部分技术的成熟程度和可用性,证实了机电作动器取代液压作动器对飞机整体性能提升的贡献,为我国新一代飞行器多电化提供了初步基础。

三、本学科国内外研究进展比较

虽然我国在总体、气动、结构、航空电子、航空机电等专业技术领域取得了长足进步。但是,与国外先进水平相比,我国航空科技仍然存在比较大的差距。

与国外发达国家相比,我国的军民机发展不均衡,民用飞机具有市场竞争力的产品少,没有形成产品系列,绝大多数仅仅出口到亚非拉等第三世界国家。我国只掌握了中小型运输机技术,在掌握大型和超大型运输机技术方面还处于研发阶段,飞机的经济性、舒适性、环保性、使用保障性等方面还存在比较大的差距,综合技术还比较落后,动力系统方面的差距尤其明显。我国在飞行力学基础理论、技术方法方面,与欧、美等航空发达国家相比,预先研究力量较薄弱,飞行力学顶层设计牵引作用欠缺,飞行力学大系统仿真与试验研究不够。飞行实验技术方面,缺乏前瞻性研究所需的试飞方法和手段,试飞技术创新能力明显不足。我国航空工业和发达国家相比起步晚、科技实力弱,在部分领域尤其是民用航空器制造方面差距明显。材料方面,目前我国前沿材料研究滞后,新材料储备少,第三代、第四代航空产品所需的一些关键材料严重制约我国航空工业的发展。在航空机载系统领域,与国外相比我国在信息获取系统、航空通信系统、无线电导航等方面仍存在较大的差距。

四、本学科发展趋势及展望

我国航空科技的发展具有良好的政治经济环境，但同时也面临严峻的国际竞争态势。为了加快航空工业的发展，促进创新型国家建设，发展航空科学技术工作必须立足于高新技术的战略布局，增强创新能力，带动技术进步，进而支持型号发展；应以市场可大规模应用的航空新产品研制为主线，统筹研发、产业化、市场开发与服务体系的协调发展；加快推进大型飞机研制，大力发展系列支线飞机、通用飞机和直升机；重点突破航空发动机瓶颈项目与技术，以及重要机载系统和关键设备，提高航空大部件、空中交通管理系统等的专业化生产能力，建立具有可持续发展能力的航空产业体系。

此外，还应重点发展绿色航空技术、新航空系统技术、新一代直升机技术、先进气动布局技术、主动结构技术、自主控制与决策技术、高推重比/高功重比发动机技术、高性能复合材料技术、纳米材料与航空应用技术、故障预测和健康管理等技术。

第十九节 航天科学技术

一、引言

外层空间是人类共同的财富，探索外层空间是人类共同的追求。21世纪以来，人类步入了探索与开发利用外层空间的新纪元，随着经济社会发展需求的日益迫切，越来越多的国家积极参与航天活动。航天科学技术已经成为现代社会最具影响力的高技术之一，并能大地促进了生产力的发展和人类文明进步。

我国政府一直把航天事业作为国家整体发展战略的重要组成部分，始终坚持为了和平目的探索和利用外层空间。经过多年发展，特别是近年来的快速发展，我国航天事业取得了以载人航天、月球探测等为代表的一系列举世瞩目的成就，在若干重要技术领域跻身世界先进行列。

二、本学科近年的最新研究进展

航天科学技术是一门探索、开发和利用太空以及地球以外天体的综合性科学技术，是开展航天活动的重要物质技术基础。

2008年以来，以重大科技专项工程为牵引，我国航天科学技术获得了快速发展。月球探测工程顺利实施，“嫦娥一号”成功实现“精确变轨、成功绕月”的预定目标，“嫦娥二号”成功开展环绕拉格朗日L2点、飞越图塔蒂斯小行星等多项拓展性试验，标志着我国已经跨入具有深空探测能力的国家行列。载人航天工程取得新进展，成功研制并发射了神舟七号飞船、神舟八号飞船、神舟九号飞船、神舟十号飞船和天宫一号目标飞行器共五艘载人航天器，并且取得了航天员出舱活动、自动和载人交会对接等里程碑性的重大突破，标志着我国已经实现了载人航天工程第二步第一阶段战略目标。“北斗”卫星导航区域系统建设顺利完成，正式向亚太地区提供连续无源定位、导航、授时等服务。高分辨率对地观测系统重大科技专项全面启动实施，系统首颗卫星——“高分一号”卫星成功发射。“长征”系列运载火箭共完成70次发射任务，把航天器成功送入预定轨道，运载火箭可靠性显著增强，型谱进一步完善，高密度发射能力明显提高，新一代运载火箭工程研制取得重大进展。

人造地球卫星基本形成了气象、海洋、资源、通信广播、导航定位、空间科学、技术试验等卫星系列和环境减灾卫星星座，性能和业务服务能力明显提升。其中，风云三号卫星性能达到世界先进水平并成功实现业务化运行；海洋动力环境卫星具备全天候、全天时的微波观测能力；“天链一号”系列数据中继卫星的成功发射，使中国初步具备天基数据传输能力和对航天器的天基测控服务能力；多颗“实践”系列卫星和微小卫星的成功发射，为空间环境探测、空间科学实验和新技术验证提供了支撑平台；航天产品高可靠、长寿命工程稳步推进，卫星设计寿命明显提高，业务服务能力得到了进一步提升。

航天技术应用水平和效益大幅提高。“风云”系列卫星实现了对台风、雨涝、森林火灾、干旱、沙尘暴等灾害的有效监测；海洋卫星对海冰、海温、风场等的预报精度和灾害性海况的监测时效显著提高；资源卫星广泛应用于国土、农业、林业、矿产等资源的监测与管理以及城市规划；环境与灾害监测预报小卫星星座为重大自然灾害救援提供了支撑；通信广播卫星应用初具规模，在广播电视传输、远程医疗、远程教育、抢险救灾、重大突发事件处置等方面发挥了重要作用；导航定位卫星应用步入产业化发展轨道，“北斗”卫星导航系统已在交通运输、海洋渔业、通信授时和减灾救灾等领域得到初步应用。

此外，制导与测控技术、航天推进技术、航天发射与测控、航天材料技术、航天医学、航天空气动力学、航天制造工艺技术、航天电子信息技术、航天质量与可靠性技术、航天计量与测量技术、航天试验技术等诸多专业技术领域进展显著，为我国航天科学技术的整体发展奠定了坚实的基础。

三、本学科国内外研究进展比较

在看到成绩的同时还必须清醒地认识到，与先进国家相比，我国在航天科学技术发展上还存在一定的差距。主要体现在以下几方面：

(1) 航天运载器技术方面。现有运载火箭运载能力和快速响应能力较低，不能满足大型有效载荷以及各类小卫星快速、廉价进入空间的要求。

(2) 航天器技术方面。遥感卫星新型观测手段缺乏；通信卫星平台在有效载荷功率输出、有效载荷重量、有效载荷干比重等重要指标上差距显著。

(3) 载人航天器技术方面。载人天地往返运输系统飞船乘员人数少且不能重复使用，载人空间服务技术尚属空白；载人登月技术能力和储备还存在差距。

(4) 深空探测技术方面。以美国为代表的西方国家已经基本具备了到达太阳系内绝大部分区域的能力，而我国深空探测的对象仍主要聚焦于月球，其他探测器尚停留在论证和预研阶段。

(5) 航天发射与测控技术方面。基础技术的研究应用有待深化，发射平台单一；专业化的搜救与回收保障体系尚未形成；Ka 频段测控等测控关键技术有待突破。

(6) 航天空气动力学方面。综合分析能力和集成创新能力欠缺，对学科认知的深度、广度与先进国家存在较大差距。

(7) 航天推进技术方面。液体发动机推力量级小，推质比低，比冲低；固体火箭发动机系列化、产品化发展格局尚未形成；吸气式发动机关键技术尚未完全突破；核推进、太阳帆等特种推进技术尚处于跟踪分析阶段。

(8) 航天制导、导航与控制技术方面。尚未掌握月球轨道交会对接技术；星座 / 编队飞行制导与控制技术差距较大。

(9) 航天电子技术方面。空间有效载荷、空间计算机与微电子、空间机电组件、航天通信技术、航天电源等与国外均有较大差距。

(10) 航天材料技术方面。纳米复合材料、杂化复合材料以及基于物理化学效应的智能复合材料的研究欠缺；高强、中高模碳纤维复合材料的研究和应用不足。

(11) 航天制造工艺方面。快速响应制造技术、精密超精密加工技术、特种加工技术、热加工和精密成形技术、先进连接技术、表面工程技术、电气互联技术等都存在较大差距。

(12) 航天质量与可靠性方面。数字化背景下的质量管理刚刚起步；可靠性基础理论研究与应用存在一定差距。

(13) 航天应用产业发展方面。我国卫星导航、卫星通信、卫星遥感等产业在全球所占比重仍然较小。

(14) 航天试验技术方面。无论是强度试验、结构动力学试验、力学环境试验、热环境试验，还是磁试验、可靠性试验、虚拟试验，与国外先进水平相比仍存在较大差距。

(15) 航天计量与测试技术方面。电源输出阻抗、微波毫米波小功率校准技术、星载辐射计地面定标技术、太赫兹电脉冲产生与测量技术、卫星双向时间比对技术等急需突破。

(16) 航天医学工程方面。需要尽快验证完善长期空间驻留的航天员医学监督和医学保障体系,提高航天服的活动功能、系统安全可靠性和出舱活动时间,建立具有一定规模且相对集中的受控生态生保系统研究基地。

四、本学科发展趋势及展望

面向未来,中国航天事业将遵循既定的宗旨,坚持“科学发展、自主发展、和平发展、创新发展、开放发展”的基本原则,推动空间技术、空间应用、空间科学全面协调发展。当前及未来一段时期,我国航天科学技术发展的重点方向如下。

(1) 航天运载器技术方面。完成新一代运载火箭的首飞,实现运载火箭能力升级;推进重型运载火箭研制,满足未来载人登月和深空探测需求;加强航天运载器的大直径箭体结构设计、制造与试验、大推力发动机、火箭在轨组装、先进测试发射、运载火箭重复使用、故障诊断与健康检测以及上面级等关键技术的研究。

(2) 航天器技术方面。开展新一代遥感卫星系统验证,形成以高分辨率数据为核心的观测能力;完成区域移动通信卫星系统的建设,提升移动通信业务能力;启动东五平台工程化研制;围绕服务范围拓展、服务精度提升、新技术开发应用等开展研究和试验验证工作,建成北斗全球导航卫星系统;研制发射硬 X 射线调制望远镜卫星;启动量子科学实验和暗物质探测等科学卫星系列研制。

(3) 载人航天技术方面。适时开展新一代载人飞船的研究;突破和掌握载人空间长期飞行技术、乘员健康保障技术和低消耗环控生保技术;突破推进剂补加技术,满足空间站货物运输需求;结合新一代飞船的验证需求,实现一定规模的货物返回功能;通过空间机械臂的研制,积极推进空间机器人技术的发展。

(4) 深空探测技术方面。研制嫦娥三号着陆器和巡视器,突破无大气天体的软着陆、月面巡视、遥操作、地面大口径深空测控、月球表面长期生存等关键技术;研制嫦娥五号探测器系统,突破月球表面起飞、月球轨道交会对接、地球大气高速再入等关键技术;开展火星探测、小行星探测、太阳和其他行星探测等深空探测的技术研究。

(5) 航天制导、导航与控制技术方面。重点发展大型空间组合体控制与在轨维护技术、全天时全方位多形式交会对接技术、再入返回制导、导航与控制(GNC)技术;发展探月二期、三期和深空探测的 GNC 技术;突破行星大气减速及软着陆 GNC 技术、基于自主测量一体化敏感器的自主导航与控制技术;突破复杂卫星甚高精度控制技术、敏捷卫星控制技术、卫星自主导航与自主控制技术;突破运载火箭电气系统综合设计与集成技术、运载火箭测发控技术。

(6) 航天推进技术方面。改进现役长征系列火箭发动机;攻克整体式固体发动机、分

段式固体发动机以及固液混合火箭发动机的关键技术；突破火箭基组合动力技术、复合预冷组合动力技术及相关的亚燃冲压、超燃冲压动力技术；发展基于核电的大功率霍尔电推进技术、氙离子推进技术、大推力磁等离子体推进技术。

(7) 发射与测控技术方面。发展测控和发射领域的总体设计、测试、发射、组织指挥、勤务保障、评估评定和基础支持等技术，以及测控领域的地球轨道航天器测控、月球与深空测控、测量与导航、空间信息网络、任务操作、测控安全等技术。

(8) 航天材料技术方面。建立由非/微烧蚀耐热复合材料、高温热密封与温控材料等构成的临近空间材料系列；构建由轻质高效结构材料、柔性隔热材料与结构功能一体化材料等组成的空间材料系列；提升由高性能铝合金、钛合金、铜合金及难熔合金构成的航天金属结构系列性能；开展高性能碳纤维、陶瓷纤维、大尺寸铝锂合金、特种粉体、橡胶等工程化制备研究。

(9) 航天医学技术方面。重点发展航天员健康保障、航天服工程、航天环境控制与生命保障、航天环境医学、航天医学基础等方面的技术；研究长期飞行中航天员健康监测和保障的医监医保技术、航天服工程的空间站舱外服技术；完善空间站再生生保系统功能；开展人因工程基础研究。

(10) 航天空气动力学技术方面。研究临近空间飞行热环境预测、热防护和热管理技术，热管理、热结构、热气动弹性相关的分析和试验技术以及气动力/热/结构一体化设计技术、高超声速飞行器飞行稳定特性和操纵控制特性技术、真实空气动力学特性计算和试验的模拟技术；完成高空、高超声速流场条件下的气动光学效应预测、航天空气动力学领域的测试、试验和检测。

(11) 航天制造工艺技术方面。突破数字化制造的共性关键技术和标准规范、数据资源等基础支撑技术；开展精密超精密加工的基本理论和工艺研究；加强特种加工技术机理的研究并实现工程化；发展高效、智能、自动化的先进焊接技术，机械化、柔性化、自动化的铆接技术，以及绿色、功能化的胶接技术；突破航天电气互联技术向更深层次发展的瓶颈。

(12) 航天电子信息技术方面。发展大型宽带有源相控阵雷达技术、W波段精密跟踪成像雷达技术、宽带目标成像与识别技术、数字化雷达与软件无线电技术、空间目标定轨与数据滤波技术；突破纳米级互补金属氧化物半导体(CMOS)集成电路抗辐射加固技术、抗辐照大容量存储器技术、抗辐照数字信号处理(DSP)技术等；发展宽带信号处理及高速调制解调技术、通信卫星天线技术以及激光通信、太赫兹通信、量子通信等技术；加快下一代惯性器件原理探索与技术积累并向工程应用转化。

(13) 质量与可靠性技术方面。开展零缺陷系统管理理论体系研究与推广；开展航天可靠性基础理论研究和工程应用；推动质量分析工具、信息系统开发和质量信息知识挖掘；加快数字化制造、异地协同设计和并行工程背景下质量管理研究，开展技术风险识别与分析方法以及航天产品化工程的研究与应用。

(14) 航天技术应用方面。推动“北斗”兼容型导航芯片组的产品化、系列化；加大

国产甚小口径卫星通信终端系统（VSAT）技术攻关和产品升级力度；开发遥感信息处理平台（RSIP2）、多源遥感数据处理软件以及各类新型小型化兼容接收终端产品；完成民用高分辨率对地观测系统、资源三号等型号数据处理系统建设。

（15）航天计量与测量技术方面。发展电源母线监测技术与数据分析技术、基于电阻矩阵的航天器地线系统测量技术、航天用标准太阳能电池搭载标定技术、特殊环境下计量校准技术、面向微电子机械系统的无线电参数计量技术、面向特殊军事装备的计量测试技术、真空溯源和量传技术。

（16）航天试验技术方面。研究空间失重环境中的分离过程模拟技术、地面大气环境对分离参数影响的修正技术、分离部件安全回收的模拟技术；发展全频段动力学环境预示技术、多维振动试验技术、冲击环境试验模拟方法；研究高热、深冷环境下的薄膜测试技术和高温光纤、光学非接触式测试技术，突破高温应变测试技术和大型复杂结构空间变形测量技术。

第二十章 兵器科学技术 (含能材料)

一、引言

含能材料包括应用于常规武器装备的发射药、推进剂、炸药以及火工烟火药剂。下面将比较详细地阐述我国在含能材料基础理论、药剂组分配方、制造工艺、装药应用、测试与评估技术等方面的最新研究和技术进展，与国外该学科领域的发展现状进行分析比较，展望含能材料学科的发展趋势，提出我国含能材料重点发展的方向及其策略。

二、本学科最新研究进展

（一）含能材料相关理论和计算机模拟仿真技术

注意采用量子化学方法和 QSPR 模型通过对关注的芳烃类、唑类、富氮类、噁类等高

能量密度化合物 (HEDC) 的密度、生成热、能量、稳定性、爆速、爆压等关键性能参数进行预估和分析, 以此指导其合成。开发了基于配方组分数据库的发射药和固体推进剂专家系统, 便于进行其能量示性数的准确计算和配方的优化设计。建立了低温感组合装药的弹道模型, 开发了可逆的装药设计仿真软件, 从而促进低温感装药技术在各类型号中的应用。

基于有限元技术开发了熔铸炸药凝固过程数值模拟方法, 该法可用于预测装药缩孔、裂纹、疏松等缺陷, 指导熔铸炸药配方和工艺的优化设计。在混合炸药能量设计方法上, 由过去单纯从化学热力学角度开展设计发展至兼顾化学热力学和化学动力学的设计思路, 重视炸药能量输出结构与应用环境的匹配, 形成针对空中爆炸、密闭空间爆炸及密实介质中爆炸等的设计方法。

(二) 高性能含能材料组分配方

开展了高能、高强度、低敏感、高燃速等发射药配方研究, 开发了相应的优化配方。基于 NG/DIANP 为混合含能增塑剂、RDX 为高能氧化剂开发的高能发射药, 在爆温 $\leq 3500\text{K}$ 时火药力达 1275kJ/kg , 在 30mm 火炮的常、低温内弹道试验时, 膛内燃烧稳定、正常; 开发的硝化棉 (NC) 基低敏感发射药和含能热塑性弹性体 (ETPE) 基低敏感发射药, 火药力分别达到 1205kJ/kg 和 1250kJ/kg , 各项感度指标明显优于传统三基发射药; 采用添加高燃速功能材料使发射药的正比式燃速系数达到了 $3\text{mm}/(\text{s} \cdot \text{MPa})$ 以上, 是传统高能发射药的三倍左右, 高、低、常温燃烧稳定。开展了提高螺压 CMDB 推进剂、交联改性双基 (XLDB) 推进剂、HTPB 推进剂、硝酸酯增塑聚醚 (NEPE) 推进剂研究, 开发的螺压 CMDB 推进剂的 RDX 含量达到 50% 以上, 有效提高了 CMDB 推进剂的密度与能量, 而燃烧压力指数仍维持在 $n < 0.5$; 开发的含 CL-20 的 CMDB 推进剂配方, 在适度控制金属铝粉含量时, 可获得 $19.6 \sim 39.2\text{N} \cdot \text{s/kg}$ 的比冲增益。

在抗过载炸药、温压炸药、燃料空气炸药、水下炸药、不敏感炸药、基于新型高能材料的炸药和金属化炸药等 7 类混合炸药配方设计上取得较大进展。例如, 开发的新型含铝温压炸药, 其毁伤作用包含了较强的爆炸冲击波和持续高温的双重效应。开发的含黑索今的复合浇注 PBX 炸药, 密度 1.82g/cm^3 , 爆速 5400m/s , 爆热在 8200kJ/kg 以上, 作为水下武器系统主装药时, 其水下爆炸总能量比 TNT 提高了一倍以上, 比 RS211 提高了 35% 以上, 综合性能优良, 能够满足易损性要求。

火工烟火药剂设计研究, 重点关注了新型单质起爆药、复合起爆药、点火药、高精度延期药及其性能改进技术。开发的以 TiHP/KClO₄ (28/72, 氟橡胶为黏合剂) 为组分的新式高能点火药, 机械和静电火花感度低、点火稳定、反应较完全; 开发的基于锆和高氯酸钾的新型点火药, 具有良好的耐高温能力; 改良后的黑火药, 解决了传统黑火药能量低、输出不稳定、产物腐蚀性强、易潮解失效、静电安全性差等缺陷; 研制的自燃箔条诱饵剂, 燃烧时可实现与平台相似的光谱辐射特征, 大面积布撒时, 引燃率可达 100% , 燃温

低于 1000℃, 对 3 ~ 5μm 和 8 ~ 14μm 两波段探测系统具有明显干扰效果; 研发了多种新型烟幕剂, 形成了从可见光至近红外、中红外、远红外直至毫米波范围具有遮蔽作用的“多频谱”烟幕剂系列。

(三) 含能材料合成和制备加工新工艺、新方法和相关新装备

发射药制造工艺方面, 开发了自动化喷射吸收、剪切压延、双螺杆挤出成型等新工艺, 其中剪切压延新工艺实现了吸收药脱水、混合、预塑化以及造粒工艺过程的连续化和自动化; 在传统球形药内容法工艺基础上, 研制了基于“包容水”和“溶解水”成孔原理和超临界流体发泡原理的高燃速发射药成型新工艺, 利用新工艺制备的内部呈泡沫结构的发射药, 其表观燃速大幅提高。

在推进剂装药工艺技术方面, 发展了加压插管浇注与真空浇注相结合的技术, 初步解决了固含量 ≥ 88% 时药浆浇注困难的问题, 有效提高了装药密度。成功研制了连续压延造粒的双螺旋剪切压延机, 解决了高固含量改性双基推进剂生产过程中压延塑化困难、易着火燃爆等诸多难题。采用“点击”化学方法进行了 GAP 和 ADN 基固体推进剂的制备研究, 得到了固含量为 72% 的推进剂药柱, 力学性能较好, 证实了“点击”化学在复合固体推进剂中的应用可行性。

在炸药工艺技术方面, 我国十分重视高能炸药, 特别是 HEDC 的低成本制造技术, 取得了不少成果。如在 N_2O_5 - HNO_3 体系中硝解乌洛托品制备 RDX, 产率从 59.5% 提高到至 72.6%; 开发的 CL-20 无氢解合成路线, 降低了 CL-20 的制备成本, 为规模化生产奠定了技术基础; 开展了两步法合成 CL-20 的研究, 制备了多种新型异伍兹烷衍生物, 相关研究与国际同步; 在 RDX 球形化、NQ 球形化等方面取得长足进展, 已形成 10 ~ 50 kg 级生产能力。攻克了 RDX 和 HMX 晶体形貌、内部缺陷、颗粒密度和粒径大小的控制技术, 掌握了高品质 RDX 和 HMX 的公斤级制备技术。

在 HEDC 合成方面, 我国高度重视嗪类、呋啉类、唑类、胍类等非杂环、富氮含能盐类等化合物的合成研究, 成功合成了数十种 HEDC。其中成功合成的 3, 3'-二硝基-4, 4'-偶氮二氧化呋啉 (DNAFO), 其密度达 2.002 g/cm^3 , 生成焓为 667 kJ/mol, 实测爆速为 10 km/s。

此外, 含能材料绿色、安全生产技术的研究与开发也相当活跃, 在节能减排、回收利用、污染控制与治理技术、工艺与装备等方面取得了不少成果。

(四) 含能材料装药和应用技术

近五年来, 发射药装药技术研究保持活跃, 成果丰硕。在突破驱溶、非均等弧厚等关键工艺技术难题基础上, 设计并成功制备了具有高增面性的 37 孔粒状发射药, 与现有 19 孔发射药相比, 燃烧增面性提高了 5% ~ 12%, 配合混合装药技术, 明显提高大口径火炮弹道效率和炮口动能。基于同材质包覆技术设计的组合装药, 具有优异的低温感效应, 应

用于大口径火炮时,实现了在不增加、甚至降低最大膛压的工况下明显增加炮口动能,提高了射程和威力。特别是新开发的高渐增性、低温感单元模块装药技术,解决了兼顾小号装药燃尽性和大号装药膛压限制的世界性技术难题。依托这种单元模块组成的变装药,实现了与国外先进的双模块装药相同的覆盖全射程的弹道效果;而由其组成的远程装药,在不使用加长身管和提高膛压的手段的条件下提高火炮射程,性能优于国外最先进的高膛压远程火炮。

在推进剂装药技术方面,我国已掌握了单室多推力装药技术,实现了单室双推力、单室三推力和单室四推力装药设计和应用技术。单室多推力装药技术的应用,可在发动机结构不变条件下总冲提高 15% 以上。

在混合炸药装药技术方面,近五年成功开发了几十种造型粉的制备方法,并对相关工艺流程和装备进行了技术升级。在混合炸药装药压制工艺中,新开发的等静压工艺技术,实现了复杂形状炸药件的净成型,从而减少了原材料的损耗。成功研发的精密压装装药技术、爆炸网络装药的浇注工艺、微型爆炸逻辑网络装药的微注射工艺等传爆药装药新方法,满足了新型武器对传爆药装药要求。

为适应微小型火工器件的结构要求,在研究气相沉积、原位制造、纳米自组装等技术的基础上,开发了含能薄膜、内嵌复合物、多孔含能基材等火工药剂装药新技术,其成品性能明显优于常规装药。

(五) 含能材料测试方法和技术

基于密闭爆发器燃烧实验,选择恒面燃烧的发射药试样,采用精确的压力测试手段和分段数据处理方法,建立了发射药燃速的精确测试方法,可获得压力指数(n)随压力(p)的变化曲线。开发了测量发射药动态力学性能的动态挤压试验装置和模拟膛内力学环境的多次撞击试验装置,为发射药及其装药的高压动态力学强度和高膛压发射安全性研究提供了新手段。

基于老化试验及理论模拟计算,建立了 NEPE 高能固体推进剂的贮存寿命的预测方法。利用固体火箭发动机离心试验,初步建立了高铝粉含量的低燃速 HTPB 复合推进剂在过载情况下的燃烧加速度敏感性测试方法。利用高压反应釜实时监测系统,原位研究了铝/水反应的放热过程,建立了铝/水体系应用于固体推进剂的评价体系。在研究 HTPB 推进剂静电放电危险性基础上,建立了固体推进剂静电感度精确测试装置。建立了推进剂燃烧或爆炸产物的内阻和电导率测试方法,为推进剂燃烧产物电学性能表征和等离子体推进剂的研制提供了关键测试手段(也适用炸药瞬态电学性能表征)。建立了推进剂羽流特性的微波干涉测试方法,实现推进剂尾焰尾焰电子云密度分布的测试。研究了改性双基、富燃料等推进剂标准物质的能量特性,建立了其特征信号测试标准方法。

在单质炸药性能测试与评估方面,基于动态真空安定性试验法,初步建立了预测 CL-20 有效贮存寿命的方法。

建立了较完善的固体推进剂和炸药钝感性能评价测试装置及其安全性分级方法。

在火工烟火药剂性能测试与评估方面,研究并完善了火工药剂高压电阻率、 $\pm 50\text{kV}$ 静电火花感度和静电积累三参量的连续自动测试方法,建立了火工药剂激光感度、等离子体感度的测试新方法。

由上可看出,近五年我国含能材料学科领域内取得了一批重要成果,有力推动了我军武器装备的改造和升级换代。其中具有完全自主知识产权的高增面、低温感发射装药和全等单元模块装药两项技术已处于国际领先水平,标志着我国已掌握了设计和制造射程更远、膛压更低、机动性能更好和战场生存能力更强的新一代大口径火炮所必需的发射能源关键技术。CL-20 等高能密度化合物的工程化规模制备技术也已达到国际先进水平,为我国发展能量性能更高、综合性能更加优良的发射药、推进剂和弹药战斗部装药提供了重要的技术和物质条件,进而为推动我国武器装备向弹药远程发射、高效毁伤和精确打击的目标发展注入了强大动力。

三、本学科国内外研究进展比较

(一) 含能材料设计

与国外先进水平相比,我国含能材料基础较为薄弱,设计与研究仍然主要依靠实验,模拟仿真技术应用较少。我国的发射药能量水平已与国外相当,但品种少,综合性能尚有距离。与发达国家一样,我国高度重视 HEDC 设计与合成技术,并成功合成了 30 多个 HEDC,但大多为跟踪或改进国外合成方法得到产品,自主设计和合成的品种很少。国外积极将 HEDC 和高能低感度化合物用于高能低感发射药、推进剂与炸药的配方设计,其中 CL-20、DNTF 已成功应用于高能混合炸药和不敏感炸药。国外已将高效能氧化剂 ADN 和 AN 应用于新型高能低特征信号推进剂中,而我国尚在开展这些新型氧化剂的应用基础研究。在火工药剂技术方面,我国的设计水平与品种,与国外先进水平相比差距较大,表现在新型火工药剂品种少,在新型火工系统设计时基础药剂的选用范围十分有限。

(二) 含能材料工艺技术

近年来,我国十分重视含能材料制造工艺技术,研究重点在于连续化、自动化和柔性化,与国外先进工艺技术之间的差距正在缩小,但目前我国在含能材料生产时仍需较多的人工干预,制造工艺和装备水平均较落后。新型基础原材料 HEDC、高效氧化剂、高能低感化合物的合成或制备方面,国外发达国家大多已完成工艺放大,部分已具备批量生产能力,但我国开展工程化研究的品种较少,制约了我国高能低感发射药、推进剂和炸药的开发。利用结晶技术制备高品质单质炸药方面,国外已开展了 RDX、HMX 等多种高品质单

质炸药研发,其中D-RDX、D-HMX、NGu、NTO炸药晶体已经完成工程化放大,我国制得的D-RDX和D-HMX性能与国外相应产品相当,但品种少,工程化研究刚刚开始。我国一直重视基础原材料超细化技术研究,目前的技术水平与俄、美相当。对于火工药剂类含能材料,发达国家已完成起爆药的柔性自动合成,起爆药的新型微反应器制备技术也已进入实用化阶段,我国在火工药剂制备的关键工序也实现了自动化控制,而微反应器合成工艺还处于基础研究阶段。我国投入大量经费用于含能材料生产废水、废气的治理,开发的技术已开始推广应用,相关企业的有害物排放已大幅削减,但与国外先进的绿色生产技术相比,差距仍然显著。

(三) 装药技术与应用技术

与发达国家相比,我国的发射药装药技术并不落后,有多项技术处于国际先进或者领先,但因基础研究不够深入,影响了部分装药新技术的推广应用。在火工药剂应用于火工品技术上,国外已深入研究了油墨打印、真空镀膜技术和原位装药等火工药剂装药技术,部分技术已用于生产,而相关研究在我国大多刚刚起步。

(四) 测试技术与性能评估

发达国家已建立了炸药性能的测试和评价方法,考察的性能参数系统全面,而我国则侧重宏观性能的特征,微观结构与炸药材料静态、动态性能之间的关联考虑较少,建立的性能表征方法尚不够全面。国外的炸药性能综合评估模型是基于物理、化学、力学学科的研究基础和相关专业领域的先进技术,其性能预估值准确性较高,而我国在炸药性能预估时,采用了国外的计算模型,因缺乏基础参数,其结果难以准确可靠地反映我国炸药的性能。

四、本学科发展趋势及展望

(一) 含能材料重点发展方向

基于我国国情、世界新军事变革和含能材料应用属性的考量,在近中期我国含能材料技术发展过程中应把握的重点发展方向包括:火炮发射药应重点发展高能、高强度、低敏感度、高能量利用率及其装药;固体推进剂应重点发展高能、钝感、低特征信号推进剂;炸药则应重点关注高能、低感品种的发展;火工烟火药剂应把发展重点放在安全、环境友好、高端和个性化品种上。在含能材料设计时,需协调好高能量与低敏感度的关系,以及使用时含能材料与其所处环境的耦合关系。含能材料工艺技术的发展重点应放在安全、绿

色环保、高效和精密制造，即在提高产品质量和生产效率、降低生产成本的同时，注重生产过程的本质安全，减少或消除环境污染。

（二）含能材料发展策略

为更好地推动本学科的发展，近中期必须加强基础研究，以拓展自主创新思路；在倡导技术创新的同时鼓励技术集成；加快高层次人才培养的同时，充分发挥领军人才在科技创新活动中的作用；重视科研平台建设，优化资源配置；进一步改革科研管理体制，完善管理制度。

第二十一节 冶金工程技术

一、引言

冶金工程技术学科是工程技术学科中的重要学科，它是推动冶金行业发展的基础和保证。尤其是 2008 年世界金融危机出现以来，冶金工程技术学科的新发展已经成为中国钢铁工业战胜困难、优化结构、节能降耗，与国民经济其他部分一起实现持续稳定发展的最重要动力。

钢铁是 21 世纪最具创新潜力和可持续发展的材料之一，为机械、能源、化工、交通、建筑、航空航天、国防军工等各行各业提供所需的材料产品。随着冶金新技术、新设备、新工艺的出现以及冶金工程流理论和实践的推广应用，钢铁产品将向更洁净和更高性能方向发展，达到资源、能源的高效利用和钢铁行业的绿色发展和可持续发展。

近些年，我国冶金工程学科发展很快，尤其是冶金工艺流程优化、产品开发和冶金装备制造在理论和工程技术上都有长足的进步，部分研究成果已达到国际先进或领先水平。人才培养也同步发展，中国已成为世界钢铁冶金研发的重点国家之一。

二、本学科近四年最新研究进展

中国学者在冶金工程技术学科基础科学研究上提出一些创新理论、观点及应用成果，

例如：①提出描述硅铝酸盐熔体结构，计算其中氧离子含量，预报复杂熔渣体系黏度和电导率的新模型，建立了电导率和黏度的定量关系；②在冶金反应过程动力学上，提出气固相反应动力学新模型，该模型描述材料（如镁碳砖、AlN 等）高温氧化动力学预报具有普适性；③将熔盐电解和碳热还原结合，有效改进金属钛及合金制备技术；④提出了以亚熔盐态的碱金属高浓度离子介质处理钒渣，可提高钒回收率，并同步提取钒和铬。

在冶金技术学科上，既重视单工序、单体设备、单项技术的技术开发和应用研究，更重视系统集成和交叉学科集成的技术研发。综合利用选矿各种新工艺、新设备，解决了我国低品位、难选矿的综合利用水平。大中型高炉利用自主创新技术在高风温、长寿化取得长足进步。在冶金设备大型化、自动化和智能化上取得新的进展。提出了高效、低成本、转炉洁净钢生产的系统概念和技术。我国自主研发的新一代控轧控冷技术达到国际先进水平。采用现代装备及自动化控制技术在量大面广的产品上普遍提高了钢材的洁净度、均匀性、质量稳定性、强度和韧性的综合性能，在关键高品质特殊钢品种开发上，基本满足了新兴产业发展的需要。利用系统节能理论和能量流网络优化技术，推广“三千三利用”等关键共性技术，我国吨钢综合能耗、吨钢耗新水、污染物综合排放水平大幅度下降。

进入 21 世纪以来，冶金热能工程学科在工业领域率先开展了工业生态学的研究，提出“源头治理”是治本，“末端治理”是治标，要求从产品设计、原燃料供应、产品生产、产品使用，一直到产品报废后回收等各个环节，都要符合保护生态环境的要求。

近几年来，冶金工程技术创新不断取得的新成果中，理论与生产技术相结合取得的最重要进展有以下三个方面。

（一）冶金流程工程学理论的进一步完善，并形成冶金流程工程学学科

1993 年，由中国工程院院士殷瑞钰提出了“冶金流程工程学”，2004 年出版了《冶金流程工程学》专著，2011 年出版了英文版，2012 年该书日译本出版，2013 年出版了《冶金流程集成理论与方法》。这两篇著作是我国独创的关于冶金流程工程理论的重要著作，把钢铁生产流程中相关的物质流、能量流及循环过程所涉及有关“功能-结构-效率”问题上升到工程学角度来认识、研究和分析，形成新的系统的冶金流程工程学体系。研究了节能、清洁生产和钢铁工业绿色制造问题，提出了钢厂环境问题要通过节能、清洁生产-绿色制造过程逐步实现环境友好，展望了钢铁企业有关生态工业链及未来在循环经济社会中的角色，指导了新一代钢铁制造流程实现产业化。

新一代钢铁制造流程实现了产品制造、能源高效利用和转化、消纳社会废弃物三大功能，高效集成了国内外行业先进技术，采用新的全三脱工艺（脱硅、脱硫、脱磷）、快速 RH 真空精炼、高效连铸和高效轧制的低成本高效洁净钢生产技术，实现节能减排，使产

品质量达到世界先进水平。新一代钢铁制造流程实质是一个流程工程学与技术集成和优化的命题，京唐钢铁公司和重庆钢铁公司等新一代大型生产流程的设计、建设和投产后运行，以及江苏沙钢集团、唐钢铁集团等原有钢铁生产流程中的局部优化、改造都是冶金工程流程学研究成果的应用结晶。新一代钢铁厂“动态—精准”设计理论和方法对冶金厂设计理念、理论和方法提出新的认识，并将最新的研究成果应用于工程实践，推动了钢铁厂结构调整和优化，为钢铁厂节省工程投资，实现生产集约化、工艺现代化、装备大型化、调控信息化、产品洁净化、资源循环化、环境友好化、效益最佳化和社会和谐发展。

（二）钢铁产品升级换代，促进品种结构优化取得重大成绩

利用我国自主开发的高效低成本转炉洁净钢生产系统技术、新一代控轧控冷技术、细晶钢轧制理论、组织控制和相变控制新技术，有力地促进了钢铁产品升级换代。

首先，在量大面广的产品升级和质量稳定性控制上取得较好的成效。如： $\geq 400\text{MPa}$ 和 $\geq 500\text{MPa}$ 螺纹钢已达55%，抗震钢筋、高强度硬线、耐火耐候钢板、H型钢、造船用耐蚀钢板、大型液化天然气（LNG）低温压力容器板、汽车用高强度钢板（700 ~ 1500MPa），汽车高质量表面板、家电用薄规格防指纹镀锌铝板、厚规格管线钢 X80 等多数钢材品种质量接近或达到国际先进水平。

此外，在关键品种开发上取得重大突破，基本满足我国新兴产业发展需求。如电力工业用超超临界火电机组用耐热、耐高压管（600℃）、核电机组用高性能不锈钢、合金钢管、耐蚀合金 U 型管等高品质特殊钢过去靠进口，现在已可立足国内；采用低温工艺生产高牌号取向硅钢（HiB）铁损低于 0.80 瓦 / 千克，已成功用于 500 kV 大型变压器制造；400 系铁素体不锈钢和双相不锈钢、实物质量达国际先进水平，得到广泛应用，不仅满足国内需要还开拓了国外市场。

（三）我国大型化、自动化、智能化冶金装备的自主设计、制造取得较大进步

我国自主研发的 5000 m³ 特大型高炉及配套特大型焦炉、烧结机、球团设备，其自动化、智能化达国际先进水平。自主研发了 200 吨级电炉成套设备、世界最大断面圆坯连铸机、特大方矩型连铸机、特厚板坯连铸机、400 吨矿用汽车、大型模锻设备，2000 mm 以下宽带钢连轧机组和 4000 mm 以下中厚板生产机组全部实现国产化。冷连轧机组国产化已从单机架向连轧机推进，从普冷板轧机向汽车板、镀锡板、不锈钢板、硅钢板轧机推进，从中宽带钢向宽带轧机推进。

上海宝钢集团公司自主开发的“特薄带钢高速酸轧工艺与成套装备研究开发”、“低温高磁感取向硅钢制造技术的开发和产业化”、“先进高强度薄带钢制造技术与产业化”分别获冶金科技奖 2011、2012、2013 年度特等奖。不仅解决了冷连轧宽带钢轧机、高取

向硅钢片和高强度薄规格冷轧板成套设备制造、自动化和智能化控制装备技术，还创新开发了新工艺技术。

以上三项重大研究进展与成果代表了冶金工程技术学科近几年来主要发展方向，同时也带动了冶金原料与预处理、冶金反应工程学、钢铁冶金、轧制等分学科全面的技术进步。如：钢铁冶金分学科中的高炉高风温、高炉长寿、高温高压干熄焦、转炉少渣炼钢、特大型高炉与转炉干法除尘、机械真空泵系统真空精炼、电炉集束氧枪与顶底复合冶炼、电磁冶金，轧制分学科的新一代控轧控冷、薄板坯连铸——半无头轧制等众多自主创新的技术成果，迅速达到国际先进或领先水平，为钢铁工业的结构优化做出了贡献。

冶金工程技术学科的进步还反映在冶金科技进步奖和中国金属学会冶金青年科技奖等奖项的评审中。例如：2010—2013年评出3项冶金科学技术奖特等奖，并有306项成果分获冶金科学技术奖一、二、三等奖；2010—2012年有25项获国家发明奖和国家科技进步奖，4人获中国青年科技奖，2人获光华工程科技奖；2010年和2012年评出中国金属学会冶金青年科技奖26人，冶金先进青年科技工作者36人。

冶金企业、科研院所和高校重视自主创新能力的提升，既重视国外专利、专有技术的引进、消化、吸收、再创新，更重视自主专利技术的研发和申报以及创新方法的推广应用。此外，学科人才培养机制也有新进展，例如：以冶金工程技术学科为主要专业的重点高校实施“211”工程三期、“985”工程、“优秀学科创新平台”建设等；企业、高校和科研院所创建国家工程技术中心、国家工程研究中心、国家工程实验室等都有较大进展。

三、本学科国内外研究进展比较

我国冶金工程技术学科总体上达到国际先进水平，部分领域处于国际领先水平。最突出的成果——冶金流程工程学是我国学者独创的理论，经过近几年发展，不仅实现了新一代钢铁制造流程的产业化，并已形成了冶金工程技术学科其他分学科中两个新的内容，即：冶金流程工程学和冶金厂设计。这两个新的崭新的研究内容和成果正逐渐列入多个冶金高等学校教学内容，并成为冶金设计的新内容、新准则，在理论和实际应用上达国际领先水平。

(1) 冶金熔体热力学及物理性质模型方面。我国继续处于国际前沿地位，将熔盐电解与碳热还原结合，改进金属钛及合金制备技术，在亚熔盐法清洁生产铬盐和综合利用钒渣以及处理红土铬矿等研究与应用方面处于国际先进水平。但在冶金热力学、动力学实验研究领域与国际先进水平相比仍有较大差距。

(2) 冶金反应工程方面。充分吸收计算流体力学的最新成果，应用于冶金反应器内流体流动的数值模拟；开发特大型钢锭凝固过程数值模拟优化工艺等方面都有较好的进展。

但在开展高效、节能、减排再资源化中，工艺理论研究和生产工艺研究结合不够。

(3) 露天矿采矿和选矿技术方面。露天陡坡开采和露天转地下联合采矿工艺等都保持国际先进水平。我国选矿工艺的创新已达到国际先进（某些方面国际领先）水平，特别在开发高效选矿设备和选矿浮选药剂上已取得突破。但针对一定强度岩石的切割采矿技术，国外已达到开采大型化、生产连续化、装备现代化，我国还处于研发阶段。国外智能矿山的研究与开发向液压化、联动化、自动化发展，我国这方面刚起步。

(4) 冶金热能工程学方面。工业炉窑热工理论与控制技术应用于节能型加热炉，使炉子的装备水平、热效率及计算机控制等均达国际先进水平。但钢铁生产过程余热余能回收利用与国外相比仍有差距，基础理论研究滞后，能量系统分析方法及评价指标尚不完善。

(5) 钢铁冶金炼铁方面。高炉煤气干法除尘技术和设备，配合高炉煤气余压透平发电装置（TRT）发电，取得了节能、减少污染的好效果，并已得到较好普及。一些先进企业的高炉高效长寿技术、高炉高风温技术已达到国际先进水平。但我国高炉炉渣显热基本没回收，部分高炉仍存在燃料比高、装备水平低、环保投入少、环境治理差等问题。

(6) 钢铁冶金炼钢方面。具有中国特色的高效率、低成本转炉洁净钢生产技术已达到国际先进水平。钢中非金属夹杂物控制技术、薄板坯连铸连轧技术、常规板坯的恒拉速技术、炼钢工艺过程系统模拟和优化技术等达到国际先进水平。但在电炉炼钢的研发上大体仍处于跟踪状态，对凝固过程理论和连铸技术缺乏原始创新研究。

(7) 轧制分学科方面。新一代热机械控制工艺（TMCP）技术在理论开发和实际应用上处于国际领先水平，薄板坯半无头轧制技术处于国际先进水平。应用高效低成本的洁净钢生产技术、细晶钢轧制理论及工艺控制技术，在部分量大面广产品的升级和一些关键品种的开发上达国际先进水平。但板材无头轧制技术在国际上已商业应用，我国还处于研发状态。钢材组织性能精确预报及柔性轧制与国外相比仍有差距。此外，学科交叉融合不够、创新能力不足。

(8) 冶金机械与自动化方面。板带表面缺陷在线监测方法与系统达到国际先进水平。大型冶金设备集成创新在大型化、智能化上已达国际先进水平。但目前超宽带热-冷连轧机组、薄板坯连铸连轧机组等还需从国外引进。冶金装备技术研发中知识产权申报意识不强，冶金装备缺乏品牌，自主创新不足。在冶金自动化方面，迫切需要研究开发数据驱动和知识驱动相结合的生产过程智能控制软件。在生产管理和能源管控方面，需研究开发综合业务模型、动态调度、智能优化等技术。

四、本学科发展趋势和展望

（一）今后本学科的发展趋势和重点

(1) 钢铁行业的绿色发展。钢铁是 21 世纪最具创新潜力和可持续发展的材料之一。

钢铁冶金的绿色发展，不仅在支撑我国国民经济快速发展和满足人民群众消费需求具有重大作用，而且对推动我国经济绿色发展将发挥重要作用。

钢铁冶金企业绿色发展必须实现两个“转变”，即在发展模式上从单纯追求数量扩张的粗放型向注重节能减排、清洁生产、低碳发展的科学发展模式转变；在企业功能上从单纯的钢铁产品制造向产品制造、能源转换和消纳社会废弃物的生态型钢铁企业转变。钢铁企业应重视环境经营，在产品开发上既要重视节能、环保新功能材料的开发，更要重视质量和质量稳定性的提高；既要重视产品本身生产的节能减排，更要关注新产品给其他行业使用过程中所带来的节能减排效果，要把设计、采购、生产、运输、营销和产品回收利用等有机结合起来，尽量减少对环境的影响。

(2) 应重点抓好冶金工程流程学与冶金工厂设计、生产运行的结合。以动态-精准设计的理念，构建我国冶金工厂设计的创新理论和创新设计方法，既重视在新厂建设中的应用，更重视现有工厂改造和指导日常生产中的应用。

(3) 重视信息学科和云计算的快速发展给冶金工程和冶金工程技术学科带来的新机遇和挑战，充分发挥信息学科和冶金工程学科交叉、优势叠加、互相促进的作用，带动整个冶金工程和冶金工程学再上新台阶。

(4) 重视资源开发和利用，特别是低品位难选共生矿、锰矿、镍矿的开发利用和废钢资源的合理利用。

(5) 关注国际冶金工程学科在各领域的研究热点和重点。集中财力、物力加大对重点发展项目的投入强度，支撑优势团队，力争在重点方向上有较快发展和突破。

(6) 加强行业和学科创新支撑体系建设，包括政策支撑体系、技术服务体系、投融资服务体系、法律（知识产权）服务体系、人才培养和激励体系等。加强以企业为主体的产学研用之间协同创新能力建设，提高冶金行业和企业综合竞争力。

(二) 本学科今后的重点工作

(1) 提高行业和学科自主创新能力，完善行业科技创新支撑体系建设。

(2) 抓好新一代钢铁制造流程工艺技术知识的普及和宣传，抓好钢厂生态文明建设的好典型和关键共性技术的推广。

(3) 利用国家新环保标准和节能减排的新要求，淘汰落后产能，研发和推广节能减排的新工艺、新设备、新技术。

(4) 加大国内铁矿、锰矿和煤炭资源科学勘探力度，提高资源综合利用水平。

(5) 加大对学科基础理论研究的支持，特别是学科前沿和重点关键领域以及学科综合性研究的支持，力争尽快取得突破。

(6) 加强对领军人才和骨干科技人才的培养、培训和激励，提倡创新方法、创新文化，鼓励不同学术见解的争鸣，培育宽松的学术气氛。

第二十二节 纺织科学技术

一、引言

纺织工业是我国国民经济传统支柱产业、重要的民生产业、国际竞争优势明显的产业。2012年全国规模以上纺织企业实现工业总产值57800多亿元，同比增长12.29%。我国已经是名副其实的纺织生产大国、消费大国和出口大国，我国纺织纤维加工总量占全球的比重近55%，纺织品和服装出口贸易额占全球的比重超过35%。

近年来，我国纤维材料生产技术和装备的开发应用能力显著提升，高新技术纤维材料产业化继续取得突破；先进的技术装备提升了纺织生产加工水平，自动化程度和劳动生产率显著提高；纺织工业节能减排、绿色环保工作取得明显进展。2011年和2012年两年间纺织科学技术学科荣获国家技术发明奖二等奖4项、国家科学技术进步二等奖6项。目前，我国建有与纺织密切相关的国家级研发平台8个，其中国家重点实验室有2个、国家工程技术研究中心有5个、国家工程实验室1个。在学术交流方面，中国纺织工程学会于2011年和2012年都举办了“中国纺织学术年会”，并主办了三期“纺织科技新见解学术沙龙”，分别以“阻燃纤维发展方向”、“经编技术的研究与应用”、“环锭纺新技术及其应用”展开前沿交流。

在纺织人才培养方面，全国共有81所高校设置了纺织类本科专业，5所高校具有纺织科学与工程一级学科博士学位授予权，15所高校具有纺织科学与工程一级学科硕士点，另外全国还有25所高校具有纺织科学与工程一级学科下的二级学科硕士学位授予权。

二、近年来本学科国内发展情况

（一）纤维材料工程

在生物质纤维方面，千吨级Lyocell纤维产业化成套技术的研究和开发项目已建成示范线，年产30000吨PTT短纤维和PTT聚合纤维工厂已建成投产，年产5000吨可降解聚乳酸生产线和年产4000吨聚乳酸熔体直纺纤维厂开始生产。在常规合成纤维方面，“高品

质熔体直纺超细旦涤纶长丝关键技术开发”、“大容量聚酰胺 6 聚合及细旦锦纶 6 纤维生产关键技术及装备”分别获得 2012 年国家科技进步奖二等奖。“超仿棉合成纤维及其纺织品产业化技术开发”获得国家科技支撑计划立项。在高性能纤维方面,多项有关聚酰亚胺、碳纤维、芳纶、超高分子量聚乙烯纤维的研究获得 2011 年和 2012 年国家自然科学基金资助。2012 年,“碳/碳复合材料工艺技术装备及应用”获得国家科学技术进步奖二等奖。“高性能聚偏氟乙烯中空纤维膜制备及在污水资源化应用中的关键技术”项目成果获得 2012 年国家技术发明奖二等奖。“耐高温相变材料微胶囊、高储热量储热调温纤维及其制备技术”项目成果获得 2011 年国家技术发明奖二等奖。

(二) 纺纱工程

《纤维/高速气流两相流体动力学及其应用基础研究》获得 2012 年中国纺织工业联合会科学技术奖一等奖。集聚纺技术应用到 2012 年底已超过 1000 万锭。窄槽式负压空心罗拉集聚系统实现了真正意义的“全程集聚”。聚纺技术提出了“负压集聚、稳定握持和梯次牵伸”的新型牵伸技术,改善了纱线条干均匀度、粗细节和毛羽等指标。“普适性柔顺光洁纺纱技术及其应用”有效消除成纱毛羽,提高了成纱的柔软度。

(三) 机织工程

“新型改性淀粉浆料生产与替代 PVA 应用关键技术”、“伺服驱动节能挠性剑杆织机”、“GA311 型三浆槽浆纱机”获得了 2012 年纺织协会科学技术奖。国产织机进一步高速化、宽幅化。丝普兰喷气织机采用副喷嘴一拖二方式,优化主、副喷嘴安装及电磁阀控制工艺,有效地降低气耗。“基于黎曼流形的织物建模与仿真研究”获得了 2011 年国家自然科学基金的立项。

(四) 针织工程

针织数字提花技术通过提花数据输入接口、机上修改花型和压电陶瓷电子选针器或电磁电子选针器进行单针选针,实现成圈、集圈、浮线三工位编织,电脑大圆机实现了多种花色功能的复合,多个无缝内衣机生产厂家推出了带哈夫针盘的有头机型。经编机上广泛应用碳纤维增强材料,使经编机转速步上新台阶,伺服驱动的电子横移装置广泛用于多梳拉舍尔经编机的花梳和地梳横移,并将横移提花与贾卡提花相结合,双针床贾卡提花无缝经编机也已研发成功并推向市场。

(五) 染整工程

前处理技术在节能降耗和减少排放上取得进展,低盐、低碱、低温染色技术等到广泛

重视。以双氰胺作为双氧水活化剂开发出了双氧水-双氰胺活化体系低温练漂工艺,低盐低碱节能减排染色技术、无盐染色清洁生产关键技术、轻薄面料的泡沫整理技术等分别获2012年中国纺织工业联合会科学技术奖。筒子纱数字化自动染色成套技术与装备和以染整专家系统为核心的印染企业生产执行信息平台分别获得2012年中国纺织工业联合会科学技术奖。“棉冷轧堆染色关键技术的研究与产业化”获2011年国家科技进步奖二等奖。

(六) 纺织化学品

国内研究人员制备了马来酸酯淀粉、交联淀粉等浆料,还研究了不同原料对淀粉浆料的增塑作用、玉米淀粉浆料共混改性、接枝丙烯酸浆料等。“染料废水处理及回收利用新技术开发”列入国家科技支撑计划项目。“双氧水低温漂白体系新技术的研究”、“新型改性淀粉浆料生产与替代PVA应用关键技术”等分别获得纺织工业联合会科学技术奖,“棉织物前处理关键酶制剂的发酵生产和应用技术”获得了2012年国家技术发明奖。

(七) 非织造材料与工程

上海市纺织科学研究院产业化项目“双组分复合纺粘法非织造布工艺和设备”已建设成一个规模为年产3000吨的示范生产线。“多头纺绒复合非织造布设备及工艺技术”于2012年获中国纺织工业联合会科技进步奖二等奖。在静电纺丝技术方面,国内学者开发了全封闭式离心静电纺丝技术、螺纹静电纺丝技术、“火山口”状泰勒锥静电纺丝技术、气泡静电纺丝技术、溶液溅射式静电纺丝技术、静电梭纺丝技术、盘式旋转电极静电纺丝技术等。

(八) 产业用纺织品

2012年,“生物医用柞蚕丝素蛋白材料的关键技术研发”、“航天器用半刚性电池帆板玻璃纤维经编网格材料开发”获得中国纺织工业联合会科技进步奖二等奖。在过滤与分离用纺织品方面,“功能吸附纤维的制备及其在工业有机废水处置中的关键技术”和“孔径可由温度调节的PVDF中空纤维智能膜”分别获2012年中国纺织工业联合会科技进步奖一等奖和二等奖。“碳纤维织物制备与应用关键技术研究”项目被列入国家863计划重点项目。

(九) 服装设计与工程

服装CAD技术向三维和网络化发展,缝制设备技术向着光、电等多学科集成方向发展。自动化立体仓库能够提高服装企业仓库的响应速度、配送效率。以RFID为信息载体,

从服装裁片、缝制加工、熨烫管理、仓储配送一直到市场销售、洗涤维护均可实现信息化管理。民族服饰文化研究多个项目获得国家社会科学基金项目和教育部分社会科学基金支持，两项相关研究成果获 2013 年教育部第六届高等学校科学研究优秀成果奖（人文社会科学）三等奖。

三、本学科国内外研究进展比较

（一）纤维材料工程

熔体直纺聚酯短纤维国际上实现单线生产能力达到 300 吨 / 日，而我国聚酯纤维单线产能为 150 吨 / 日；国外高速卷绕头的卷绕速度已达到 8000 米 / 分钟，而国内达到 6000 米 / 分钟；我国涤纶长丝的差别化率约为 60%，而国外达到 80% 以上。我国已能规模化生产 T300 级别的碳纤维产品，T700 和 T800 级别碳纤维生产已经起步。芳纶 1313 的产能已居世界第二；芳纶 1414 千吨级生产线已经建成。我国超高分子量聚乙烯纤维生产能力已超过世界总生产能力的一半。聚苯硫醚纤维的产能居世界首位。

（二）纺纱工程

国外纺纱新技术新设备主要体现在短流程、高速高产高质、自动化等方面，占据喷气涡流纺和转杯纺的高端。国内低扭矩环锭纺纱、全聚纺、柔洁纺、聚纤纺等具有自主知识产权的新技术不断涌现。精梳毛纺占领了国际高端，独创出毛半精纺技术，苧麻纺纱发展较快，亚麻、大麻在湿法纺纱继续发展，绢纺也有了新发展。

（三）机织工程

在机织工程领域，我国与国外的差距主要表现在自动化装备技术和织机的高速化方面，主要包括自动络筒机、全自动整经机和全自动穿经机。国外喷气织机在机构优化、适应高速运转、引纬控制技术精确化、降低能耗及提高织造效率、织物品质和织机控制系统等方面均有所研究。英国诺丁汉大学设计开发了织物几何结构模拟软件 TexGen，可准确模拟任何一种纱线的结构，美国奥本大学的学者将虚拟现实技术应用到机织物三维仿真技术之中。

（四）针织工程

在圆纬编技术方面，超细及细针距代表了针织装备高端精细加工织造的技术水平。织

针局部镀铬技术,有效延长了织针寿命。国产圆纬机机械功效性和质量稳定性方面有了长足提高,形成了较大规模的大圆机生产基地。在横编的嵌花技术方面,日本岛精和德国斯托尔处于领先水平。在全成型技术方面,岛精“X”系列横机可以生产出全成形服装。国产电脑横机在嵌花、全成型等方面仍有不小差距。国内经编机企业不仅提高了机器转速和运行的平稳性,可以生产几乎所有机型,但在高速、高机号和高性能纤维多轴向织物特别是碳纤维的加工技术方面仍存在较大差距。

(五) 染整工程

美国棉花公司将生物酶技术应用于棉织物前处理、染色和后整理过程中。日本成功实现了“零排放数字印染系统”实用机的商品化。韩国 INKECO 公司推出纺织直喷活性墨水,可降低印染对环境的破坏程度,提升印花质量。伊朗在墨水中加入有机盐,省去织物预处理工序。

(六) 纺织化学品

近两年国外对纺织浆料研究主要集中在对淀粉进行改性以提高淀粉浆料的性能及开发高性能、易生物降解的浆料以取代难以生物降解的聚乙烯醇浆料等方面。在后整理助剂方面,国外注重产品的生态和环保,在防水拒油和抗污整理剂的开发领域中,不含全氟辛烷基磺酰化物和全氟辛酸的整理剂是研究热点。生态和环保型抗菌剂是当前纺织品抗菌领域研究热点。

(七) 非织造材料与工程

国外在过滤材料、土工建筑材料等领域的研究均较国内活跃。基于静电纺的纳米纤维在环境工程、生物医学等领域已成为国内外非织造领域研究的热点。国内外对废弃聚酯瓶片纤维等的化学和物理法回收、熔融纺丝以及非织造加工方面进行了大量的研究;国内外对 PLA、PTT 等资源可再生、环境友好型纤维和非织造材料的开发也是研究热点。在非织造设备方面,我国仍以对国外设备的仿造和改造为主。

(八) 产业用纺织品

瑞士 Jacob Holm 公司重点开发了特轻水刺非织造产品, Hollingsworth & Vose 公司展示了 NanoWave 空气净化系统袋式过滤材料和 Inviscint 液压过滤材料。美国莱斯大学的研究人员于 2012 年研制出一种新型聚氨酯纳米材料,它不仅能阻挡子弹的射击,还能进行自我修复。在结构增强用纺织品方面,维斯塔斯公司、歌美飒公司、丹麦 LM 风电公司等都

开发了用于风电系统叶片材料。

（九）服装设计与工程

在可持续发展服装方面，英国时装学院和中央圣马丁设计学院的研究处于领先地位。在智能服装方面，美国和韩国研究处于研究前沿。在功能防护服装方面，加拿大阿尔伯特大学研究处于国际领先。在服装市场营销与产品开发方面，美国爱荷华州立大学主要研究消费者行为学与生活仪态的关系，北卡罗来纳州立大学研究纺织服装产业从生产、分销、销售等环节的营销策略，美国堪萨斯州立大学主要研究探索消费者的环保意识与服装购买。

四、本学科发展趋势及展望

在纤维材料工程学科领域，我国各类高性能纤维、生物质纤维、超仿真功能化差别化纤维及环保型绿色纤维素纤维等生产技术将进入国际先进水平行列，进一步实现常规纤维品种生产装备的高效化、柔性化，常规产品的优质化，加快发展差别化纤维。此外，还将进一步突破纤维高性能化的关键技术，加强节能减排技术、新装备的产业化研发与应用，加大废水和废气的治理、回收等技术应用。

纺纱工程要把纺纱机械、器材的创新发展放到重要位置，要加强原料精细管理和计算机自动配棉，提升纺纱过程质量控制和分析技术，重点推广集聚纺、低扭矩环锭纺、喷气涡流纺等新型纺纱等工艺技术。毛纺领域要重点推广复合纺、赛络纺、嵌入纺等新型毛纺技术。

机织工程将在国产织造设备方面取得跨越式发展，在生产速度、产品适应性、运行效率、能耗、自动化智能化水平等方面将得到进一步提升。我国应加大自动穿经机和机织CAD设计系统的研制。

针织工程将实现针织装备的生产高速化和精密化，研究集成控制的快速响应性，突破控制技术方面的瓶颈，通过解决停车横条难题，实现针织产品的高效优质生产。在针织生产过程的各个环节中应用人工智能技术，实现生产过程的智能化及针织设备的机电一体化，组成柔性针织生产系统。

染整工程应进一步加强低温前处理技术的开发和推广，形成比较完整的加工体系。进一步开发和完善短流程、低能耗染色印花加工技术。研究高性能纤维、生物质纤维等的染整加工技术以及纺织品特殊功能整理技术。加强研究高效环保印染装备及其配套工艺技术。推广气流染色机等低浴比染色设备和技术的应用，减少水资源的使用和废水排放。

在纺织化学品方面，纺织浆料继续开发高性能浆料，减少甚至完全取代难以生物降解

的 PVA 浆料，而变性淀粉浆料仍然是开发重点。染料重点发展用于纤维素纤维、聚酯纤维、聚酰胺纤维和羊毛染色与印花的分散、活性、酸性染料上，印染助剂更加突出环保和高效性能，同时开发适应新的纺织纤维和印染技术高效专用助剂。纺织品后整理助剂开发将继续以多功能、高效、环保和长效为重点。

在非织造材料与工程学科领域，加工工艺与装备研究是关键，结构性能与表征研究是核心，产品设计与应用研究是根本。今后的重点研究内容是非织造专用聚合物树脂、纤维、黏合剂，双组分或多组分纺黏、熔喷成型技术、复合加工技术、非织造新型成型技术和废弃非织造材料回用技术。未来几年非织造材料重点应用领域包括：医疗卫生用、过滤与分离、土工与建筑、交通工具和安全与防护用等。

产业用纺织品学科将加快人体组织器官替换材料以及透析材料等生物医用纤维和制品的开发研究；开发推广具有分离精度高、抗菌、高导湿等性能的滤料；开发高强定伸长土工布，发展生物可降解天然纤维土工布、生态型垃圾填埋用复合土工布膜；开发防渗、排水土工合成材料。采用高性能纤维开发骨架材料，进一步提高骨架与基材的结合性能。

今后几年，服装设计与工程学科将加强服装号型及服装人体测量等方法、标准的研究。通过整合国际化资源，以市场为导向，提升品牌的核心竞争力；通过工业化与信息化融合，提高企业快速反应能力和产品质量；通过科技创新与文化创意的结合，提高文化软实力；通过利用先进网络技术，完成服装产品的制造和服务。服装产业向高级定制和功能性服装的开发两个不同的方向发展。此外，服装仿生学、多功能防护、可持续设计与产品研发等也是未来研究的重点。

第二十三章 食品科学技术

一、引言

2012—2013 年，我国食品工业依旧保持快速发展，经济效益进一步提高，融合带动了农业、流通服务业和相关制造业的发展。科学技术进步是食品工业发展的动力和源泉，大力推进科技创新，提升食品科学技术水平，是培养创新人才、开拓创新知识、储备创新技术、转化创新成果，支撑和引导食品产业向可持续方向发展的必然选择。因此，加快提

升我国食品科学技术水平，不仅是推进食品工业现代化进程、提高产业竞争力的迫切需要，也是转变发展方式、实现食品工业和谐、快速发展的迫切需要，更是维护食品安全、保障人民群众身体健康的迫切需要。

为归纳我国食品科学与技术领域取得的新进展，分析当前食品科技工作中存在的问题，提出未来食品科学技术的发展趋势，并为制定今后我国食品科学技术相关政策提供依据，本学科报告从最新研究进展、国内外研究进展对比、趋势与展望三个方面对当前我国食品科学与技术发展水平与趋势进行全面分析。

二、本学科近年来最新研究进展

（一）食品科学与技术研究逐步深入

随着我国食品科学与技术研究的不断深入，在食品安全检测与风险评估技术、功能物质、微生物等领域均取得了重要突破和显著成效。

（1）食品安全检测与风险评估技术取得新突破。食品安全检测在保障食品安全中发挥着越来越重要的作用，如传感器法和免疫速测法等简单快速的检测技术已成为广大学者关注的热点。目前，酶传感器、免疫传感器、基于适配体的传感器、组织传感器等都已应用于纳米生物传感器方面的研究。免疫速测法又出现了大量新的免疫分析技术，如流动注射免疫层析等。与此同时，近年来食品安全风险评估技术不断改进，并且食品中重金属污染风险评估研究和农药暴露研究也引起了人们的高度重视。

（2）功能性成分与功能性食品的研究集中于多酚物质、抗氧化肽和多糖。随着人们生活水平的不断提高，营养、安全、健康已经成为食品开发的主题，研究食物功能性成分、开发功能性食品已成为国内外食品研究的热点。目前，功能性成分研究集中于多酚物质、抗氧化肽和多糖。多酚物质的研究集中于各个植物中酚类物质的种类、含量、结构，并且它们的代谢途径、互作方式、基因调控模式等方面的研究正在全面进行和逐步深入。此外，随着现代提取工艺技术的不断改进，多酚物质的提取效率和纯度也不断提高；抗氧化肽方面的研究主要集中于抗氧化肽的活性及抗氧化机制、抗氧化肽的结构与其功能的相关性、抗氧化肽与食品其他成分的相互作用等方面。目前为止，大部分对于蛋白水解物或者抗氧化肽的研究仅止步于体外化学测定法，并不能证实这些肽究竟在人体中是否也有着抗氧化活性；以多糖为重点的糖工程研究是本学科的科学前沿之一。天然多糖的活性及构效关系方面的研究主要集中于多糖对于增强机体免疫功能及抗病能力、抗氧化降血糖、调血脂、抗病毒等方面作用，以及多糖结构与抗肿瘤活性、抗病毒活性、降血糖活性、抗尿路结石活性之间的关系。

（3）食品微生物制造将进入后基因组时代。食品微生物制造过程优化原理与技术是食品微生物制造领域的研究热点之一，主要体现为食品制造微生物生理机制的解析、食品制

造微生物代谢功能的阐释、食品微生物制造过程优化控制技术等。随着重要食品微生物全基因组序列的公布或即将公布以及高通量数据的不断积聚,食品微生物制造将进入后基因组时代。此外,益生菌高效筛选、功能解析与应用是目前微生物领域的另一研究热点,该方面的研究主要集中于功能性益生菌的高效筛选与功能评价、益生菌微生物学性质和功能特性的解析、益生菌生物加工关键理论与技术等。

(4) 营养基因组学成为营养学研究的新前沿。近年来,随着基因组学、生物信息学在生物技术领域研究取得的巨大进展,营养基因组学(Nutrigenomics)应运而生,并迅速成为营养学研究的新前沿。营养基因组学研究主要集中于营养素作用机制、膳食健康效应以及营养干预的有益作用、营养素功能等方面。

(5) 高分子材料制造的研究集中于多糖和蛋白质材料。生物大分子具有低毒性、生物可降解性、可循环再生等优点,被广泛运用于医用、食品包装以及工程塑料等行业。目前,大分子材料方面的研究主要集中于多糖和蛋白质材料。与此同时,复合膜(纤维素和玉米蛋白、纤维素和大豆蛋白)也逐渐被应用到生物医学的研究中。

(二) 学科发展速度与科研水平双向提升

近几年食品学科的规模和科研水平进一步提升,为食品工业发展提供了坚实的创新动力和支持。

(1) 人才培养的规模和质量不断提高。我国食品学科发展迅猛,设置食品专业的高校数量也迅猛增加,由20世纪80年代的几十所高校迅速增加到2010年的235所。我国食品学科的毕业生人数由2007年的633744人增长为2011年的884542人,增长了39.6%;招生人数由2007年的890510人增长为2011年的1134270人,增长了27.4%。同时,从学位论文质量、教学与教材质量和优秀学生情况看,我国食品学科人才培养的质量水平得到显著提高。

(2) 科学研究水平逐渐提升。2012年,国内食品科学与工程学科具有“博士一级”、“博士二级”和硕士授权的共51所高等院校参加了新一轮的学科评估。评估结果表明食品高校的代表性学术论文、科研获奖、专利转化和科研项目研究等科学研究水平进一步提升。

(三) 本学科最新进展在产业发展中取得重大应用

食品学科在科学与技术领域取得的最新研究进展不仅拓宽了科学研究的广度和深度,而且在产业中得以运用并取得了重大进展,产生了良好的经济效益。

(1) 农产品高值化挤压加工与装备关键技术。以挤压技术为出发点,研究了分流冷却和整流控压的稳态化物料成型技术,在国内首次完成了配合营养米和速溶首乌颗粒的工业化生产,并形成了多条高品质全脂大豆的挤压生产线,建立了挤压与酶反应生物转化或化

学催化相结合的加工技术，实现了工业化生产。

(2) 大豆精深加工关键技术的创新与应用。突破了大豆蛋白生物改性、醇法连续浸提大豆浓缩蛋白、可控酶解制备大豆功能肽等大豆精深加工共性关键技术，申请国家专利 32 项，研发新技术装备在全国 18 家企业得到推广应用，建立生产线 45 条，累计创经济效益 64 亿元。

(3) 稻米深加工高效转化与副产物综合利用。构建了高活力、超高耐高温复合酶制剂和酶助剂，显著提高酶活力 30% 以上，淀粉转化率 97% 以上；以米渣为原料，提制蛋白含量 95% 以上的高纯度、高水溶性米蛋白，申报了 73 项专利，发表论文 325 篇，技术先后在 30 多家企业推广应用。

(4) 高效节能小麦加工新技术。主要包括高效节能小麦加工技术、蒸煮类小麦专用粉生产新技术、高效节能挂面生产新技术等内容，在全国 600 多条生产线应用，大幅度提高了面粉出率，累计节电数十亿度。

(5) L-乳酸产业化关键技术研究与应用。开发了高产乳酸生产菌株 JD-076L 的选育、L-乳酸高浓度发酵工艺的应用与优化、L-乳酸的耦合分离提纯新技术的发明与应用等关键技术，应用于工业化生产后，玉米原粮效益提高 3 倍，彻底改变了我国 L-乳酸生产技术被国外垄断的状况。

(6) 食品安全危害因子可视化快速检测技术。实现了多目标菌的高通量同时检测和现场快速检测，开发了 7 项具有自主知识产权的可视化快速检测核心技术和 70 余种食品中有害物可视化快速检测产品，技术指标达到了国际先进水平，获得国家发明专利 13 项。

(7) 果蔬食品的高品质干燥关键技术。由真空脱水、冻干及其联合干燥、热风及其联合干燥、特种脱水等四大类果蔬干燥技术组成，获得授权国家发明专利 33 项，发表 SCI 论文 78 篇，成果通过在 10 家行业或地方龙头企业的实际应用，显著提高了企业竞争力。

三、本学科国内外研究进展比较

尽管我国食品学科发展迅猛，但与发达国家相比依然有一定的差距。本报告从研究热点、发表论文、科学和技术水平三方面差异分析食品学科的国内外研究进展，为确定我国食品学科未来发展方向提供借鉴。

(一) 学科国际研究热点集中在食品营养、食品安全和食品加工三大领域

在食品营养方面，国际研究的焦点已逐步从提供基本能量和物质的一般性食品转向富含生物活性成分的功能食品，相关研究拟解决以下几方面的问题：益生菌筛选和非乳品

益生菌饮料的开发、生物活性物质的来源、活性分析与作用机制、提高益生菌和生物活性物质的生物利用率。同时食品安全研究的重要性日益凸显，主要包括食品中危害因子的评估，如合成化学品与重金属对食品的污染、病原菌污染与益生菌潜在危害等；食品中危害因子的先进检测技术，如合成化合物与金属离子的检测、食品中危害因子的消除等。而食品加工方面的研究主要集中在：食品组分与功能性质的分析，包括食品原产地分析、组分对食品功能性质的影响、物理加工对食品功能性质的影响等；食品加工过程控制，包括提取技术、干燥技术、在线检测技术等；食品保藏技术，包括食品包装技术、高静水压等非热保藏技术等。

（二）国内外食品领域高质量论文各有优势

从发表论文的数量来看，美国在食品领域发表论文数在世界遥遥领先；中国与日本的发文量相当，但中国发文量占世界的比例呈上升趋势。从发表高质量论文的情况来看，美国在 *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 上的发文量高于中国和日本，而中国在 *Food Chemistry* 上的发文量在各年度均高于美国和日本。从不同子学科的情况看，中国、美国和日本均在生物化学与分子生物学（Biochemistry Molecular Biology）和药理药剂学（Pharmacology Pharmacy）两个子学科有较高的研究水平，而中国和美国则分别在化学（Chemistry）和营养学（Nutrition Dietetics）这两个子学科具有显著的优势。

（三）中美食品工业科学与技术发展水平尚存在较大差异

美国食品工业的研发经费投入强度远高于我国，2011年的研发经费投入强度是我国食品工业的2.5倍。从2009—2011年3年间，美国平均每个食品工业企业的专利申请数和授权数分别为0.74%和0.29%，远远超过我国的0.39%和0.10%。不仅如此，我国食品科技进步对食品工业增长的贡献整体小于美国。

四、本学科发展趋势及展望

（一）全球食品学科发展前景

未来食品学科的国际发展前景将主要集中在：①深入解析生物活物质的作用机制，提高生物利用率；②加强食品功能性质研究，促进功能性质与营养价值有机整合；③开发和应用以快速、准确、非破坏性为特点的食品检测新技术；④加快以低营养损失为特点的食品加工新技术的工业化；⑤开发和应用以环保、高强度、高抑菌活性为特点的新型食品包装技术；⑥进一步拓展组学技术在食品科学研究中的应用；⑦更加关注环境变化对食品安

全带来的重要影响；⑧开发可持续性食品，确保食品供给安全。

（二）本学科在我国未来的发展趋势

未来食品学科在我国的发展趋势将表现在：①学科领域以食品为中心，向功能营养发展，基于现有对食品组分的了解，融合生物科学的最新进展，探究食品成分在人体内的变化及产生的各种效果；②基础研究以健康为目标，向学科交叉发展，营养健康相关研究已经成为学术界、产业界和政府的共识，并且越来越强调与生命科学、医学、营养科学、生物学、先进材料等学科的交叉与合作；③技术开发以创新为驱动，向可持续发展。可持续发展是食品产业发展的不变方向，因此采用高新技术改造现有工艺技术，实现质量安全、高效利用、节能生产、清洁环保，是食品技术创新研发的指导方针；④成果转化以效益为主导，向高性价比发展，在同样的研发投入下，要进一步提高成果转化率、形成批量生产和产业化规模；⑤人才培养以学以致用为宗旨，向多元化变化，学术研究型人员、应用研究型人员、工程化技术人员、产品设计与营销人员等专门人才将是培养的典型目标；⑥平台队伍以高端人才为领军，向优、专、精建设，继续实施创新团队和人才推进计划，培养一批科技领军人才、优秀专业技术人才和青年科技人才。

（三）未来研究方向

基于上述研究进展的分析，未来食品科学与技术的研究方向应该集中在：①以满足加工要求和市场需求为特性的新食品资源的开发，针对目前高新技术应用频繁，以营养、方便、新颖为特征的新食品需求旺盛，开发寻找能满足加工和市场要求的新食品资源是值得重点发展的方向之一；②以营养健康和方便快捷为导向的新食品设计开发，针对国家在人口与健康方面的重大需求，开展基于我国居民特点的营养设计与健康调控研究，控制慢性病，提高人群素质和健康水平；③以生命科学和生物科学技术为核心的新食品技术，生物加工技术具有清洁、安全、节能的优点，是食品制造可持续发展的重要内容，以生物加工为核心的系统新食品技术体系，将是我国食品技术升级的核心趋势；④以智能集成和核心成套技术为目标的食物装备研发制造，针对我国食品加工装备水平较低、创新能力不足、低水平重复、产品结构不合理等问题，运用现代高新技术，促进食品装备技术升级，开发新型的食品装备产品；⑤以主动保障和全程控制为核心的食品安全体系建设，揭示食品生境和加工过程中危害因子迁移、转化和交互作用本质，开拓基于健康保障为目的的食品安全研究新领域，建立食源性危害因子主动干预体系和控制策略；⑥以电子平台和通讯技术为支撑的食品物流系统升级，构建智能食品物流技术及装备、食品物流交易平台。

第二十四节 照明科学与技术

一、引言

人类的生活离不开光，光照射物体使人类通过眼睛的感光细胞以感知世界，这就是照明的概念。照明的物质基础是光源，用于照明的光源主要有荧光灯、白炽灯、金卤灯、高压钠灯、卤钨灯及发光二极管（Light Emitting Diode, LED）等。LED 以外的其他光源均已数十年的发展历史，并且技术相对成熟，因而目前占据了市场的大多数。但 LED 以其潜在的节能、易控制等优点受到了全世界的关注。以 LED 为代表的固态照明是近年来照明学科快速发展的技术，这也是《2012—2013 照明科学与技术学科发展报告》（以下简称《报告》）的主要内容。

由于 LED 具有体积小、光谱窄、开关时间短等显著优点，可以在体积、光谱空间自由组合满足许多传统光源无法实现的应用，这也造就了 LED 无限的应用可能及未来作为主流光源的可能性。

二、本学科近两年最新研究进展

随着 LED 材料芯片、工艺的发展，其发光效率也逐年提升。2011 年 5 月，Cree 开发的新款 LED 在 350 mA（其芯片面积比通常大得多）注入电流下的光通量为 2311 m，发光效率高达 231 lm/W。但是相对于氮化物蓝光 LED 与磷化物红光 LED，绿光波段的发光效率低下，国际上称作“green gap”。金属有机化合物化学气相沉淀（metal-organic chemical vapor depositio, MOCVD）是 LED 外延的最关键设备，目前我国生产型 MOCVD 设备完全依赖进口。在 863 计划等的大力支持下，国内多家单位在此领域进行研究，并已经在进行样机的生产试验，如中科院半导体所研制出了一次可以生长 48 片 2 英寸 LED 外延片的 MOCVD 生产型样机，生长的外延片各项指标均较好，目前正朝产业化发展。芯片的蓝宝石、SiC、Si 三种衬底技术路线中，前两者为国外大公司垄断，而我国南昌大学的研究团队在 Si 衬底上，近年来获得较大的进展，目前已经在 6 英尺 Si 衬底上研制成功高效蓝光

LED, 1W 的电功率输出 610 mW 蓝光, 封装成白光 LED 光效达到 140 lm/W。在封装技术方面, 为更好散热, 板上封装 (chip on board, COB) 被广泛采用。主要是这样做利于与应用技术相结合, 并缩短散热路径, 降低热阻。为进一步改善封装结构而发展出的远程荧光粉技术具有热稳定性好、光源的表面亮度低而眩光较小等优点。在荧光粉技术上, 国内四川新力光源股份有限公司和中国科学院长春应用化学研究所联合研发了寿命可控交流 LED 稀土发光材料, 其发光余辉寿命与交流电频率匹配, 这样当 LED 芯片不发光时发光粉仍然发光。采用这种技术制作的 LED 可以简化 LED 驱动电路。

随着封装和应用系统技术的发展, 发光效率不再是制约其应用的主要因素, 目前的发展方向是在尽可能降低成本的同时, 提供比传统照明更好的光色品质和舒适度。此外, 智能化和功能拓展也是半导体照明的重要发展方向。光学设计、散热技术、驱动及控制技术作为半导体照明系统技术的三个主要方面, 在国家与地方项目的支持下进行了深入的研究。特别是在自由曲面光学设计技术方面, 清华大学、复旦大学、浙江大学等都获得较大进展; 其中清华大学建立了基于分离变量和光能守恒映射的三维自由光学曲面构建方法以及基于实际需求的反馈修正方法, 实现了 LED 光线行为的高效均匀调控, 在大功率 LED 灯具设计获得良好的效果。各种散热技术与散热材料也在研发之中, 并受到很大重视; 而在驱动技术方面, 由于其与 LED 系统的总体寿命关系密切, 因此逐步转为重视效率与可靠性等指标。

LED 应用技术包括视觉应用与非视觉应用。在视觉应用领域, LED 应用与显示、信号等领域已经具备明显优势, 成为市场的主流; 在包括室内、室外等普通照明的应用上也进展较快。复旦大学电光源研究所团队依托上海长江隧道开展 LED 用于隧道照明的技术研究, 提出了一套用于 LED 隧道灯具性能及其用于隧道照明效果的分析与评估方法。随后, 在青岛胶州湾隧道和杭州钱江通道隧道中研究了 LED 隧道灯的控制技术及节电效果。而在道路照明、室内照明等方面, 通过科技部、发展改革委员会等方面的支持, 已经逐步完善了技术研究并获得了一定的市场应用。在非视觉应用领域, 半导体照明技术也已在植物生长、家禽养殖、医疗、可见光通信等非视觉应用领域取得了突破。例如, 中国农业科学院通过研究探明了植物组培、育苗与叶菜栽培 LED 光环境优化参数, 开发出以红蓝 (R/B) 为主要成分、光环境智能可调的柔性灯带、灯管、灯板等 LED 植物光源。而南京农业大学半导体植物照明应用团队从植物生理学和设施高效优质栽培角度研究 LED 光对植物生长发育的影响, 被试植物涉及蔬菜、花卉、中药材及大田作物, 在优化植物其他生长环境要素条件下, 初步探明了菠菜、小青菜、生菜、番茄、樱桃番茄等蔬菜设施栽培生长健壮及提高品质的光控标准。复旦大学电光源研究所的研究团队已经在云南等地进行 LED 用于铁皮石斛的补光大面积试验。针对我国优质鸡种的生态养殖需求, 浙江大学研究团队等设计了肉鸡养殖白天自然光与夜晚 LED 光源相结合的节能补光新模式, 得到适应于白天高光强自然光的夜用 LED 光谱, 优化了 LED 光源在夜间的补光照度与时长, 形成具有显著节能效果的光环境多因子综合调控工艺。实验室小型试验及现场中试结果表明该工艺显著提高了肉鸡对饲料营养的利用率, 促进肉鸡健康生长, 提高疫病抵抗力, 降低死亡率,

经济效益显著提高。在利用半导体照明灯的通信功能方面，中科院半导体所等已研制出无线总线型的半导体照明智能家居系统，复旦大学也已经成功开发 LIFI，即通过 1 瓦的 LED 灯可以实现两台电脑的无线上网，网速达 150M。

此外，随着 LED 技术的不断突破及产业的深入发展，LED 照明相关标准的制定、标准体系的建立也进入快速发展阶段。我国在国家相关机构的组织协调下，相继出台了一系列国家、行业和联盟标准。截至 2012 年底，国家标准技术委员会已发布至少 27 个适用于 LED 的照明产品标准，包括 LED 光源、LED 控制装置、LED 连接件与 LED 灯具等标准。工信部、国家半导体照明工程研发及产业联盟以及各省市企业也都制定了 LED 相关的一系列地方和行业标准。LED 照明产品的模组化和通用接口标准化是未来半导体照明标准发展的一个重点，并受到越来越多人的关注。另一方面，行业也越来越注重专利战略，但中国的专利主要集中于 LED 的中下游，一批专利已经取得了实际的效果。如国家电光源质量监督检验中心（上海）等的发明专利“LED 正向电压降和结温曲线的测量装置”中发明的检测方法是采用温度上升时的测量方法，该项专利已被用于美国 Labsphere 公司的新一代“LED 光、色、电及热特性的检测”系统中，该系统不仅具有 LED 在各不同的结温条件下 LED 光、色、电参数的检测功能，而且还将具有 LED 正向电压降与结温的关系曲线标定和 LED 模块的封装热阻的测量功能。

三、本学科国内外研究进展比较

在 LED 上游产业中，我们与国外发达国家的技术与研究有一定的差距。在外延与芯片的主要技术中，我国与国际上仍有一定距离，尤其在核心专利技术方面受制于国外。国外发达国家的 MOCVD 研制和应用历史悠久，技术发展相对成熟，制造商主要集中在欧洲、美国和日本。其中，德国 AIXTRON、美国 VEECO 这两家公司占据了国际市场 90% 以上的份额，而国内目前生产用 MOCVD 全部依靠进口。目前，在半导体照明技术上游技术层面，美国 Cree 公司等是世界领先，2013 年 2 月该公司已经在 350 mA 的注入电流下实现了 276 lm/W 的实验室芯片效率，其量产瓦级芯片的效率也宣称达到 200 lm/W 的水平。国内方面，在“国家半导体照明工程”的推动下，经过“十五”、“十一五”10 年的发展，半导体照明关键技术成果显著。目前，国内蓝宝石衬底上 GaN 基 LED 取得突破性进展。功率型白光 LED 封装后超过 150 lm/W；产业化功率型芯片封装后光效达 130 lm/W。国内 2 英寸硅衬底量产芯片色温为 5000 K 时，350 mA 下普遍光效超过 130 lm/W，6 英寸硅衬底芯片研发取得进展，性能和 2 寸片相当。硅衬底的产业化功率型芯片封装后的蓝光输出光功率达 590 mW（电流密度 35 A/cm²）。

在封装技术方面，国内外仍然有一定的差距。这主要体现在重要的关键专利技术主要掌握在国际大公司手中，高性能关键封装材料还没有完全国产化。在半导体照明应用与系统集成方面，国内外差距不大，但我国的原创性核心专利较少，还有待提高。发达国家

在 LED 测试研究与标准制定等方面投入了大量人力、物力，纷纷建立起自己的 LED 标准体系。我国在国家相关机构的组织协调下开展了大量的研究工作，也相继出台了一系列国家、行业和联盟标准。但是，在国内标准的制定中存在内容重复矛盾、相同产品重复制定标准等问题。同时，在已制定的标准中，缺乏固态照明产品色度指标和 LED 产品可靠性的基础标准。经过近几年的发展，我国半导体照明综合标准化技术体系基本完善，虽然行业标准和国家标准的制定工作目前处于起步和发展阶段，但与产业发展的基本需求还是相适应的。

四、本学科发展趋势和展望

目前 LED 半导体照明技术处于尚未成熟阶段，LED 技术一直在快速发展。在器件层面，LED 的技术进步主要围绕光效的上升与价格的下降。作为外延的关键设备 MOCVD 短期内将不会有大的变化，主要向增大反应室体积以增大产能发展，温度控制将更加精密，使得外延薄膜材料成分控制更准确。未来蓝宝石图形衬底的发展将向图案尺寸更小的方向发展。绿光 LED 的技术路线有待创新，或许半极性 / 非极性 LED 是一个技术方向。然而，半极性 / 非极性 LED 往往需要 GaN 同质衬底，这在成本上是个极大挑战，且大规模量产 GaN 单晶衬底困难，因而技术路线有待进一步研究。另外，研究工作和产业发展将还需致力于更合适的衬底技术，如克服 ZnO 和 LiAlO₂ 高温分解的弱点等，使 GaN 材料与衬底晶格失配更小，极性可以随意调节。如果上述可以达成，GaN 基 LED 将极大扩展应用范围，不再主要局限于蓝绿光波段，将发展到绿光、黄光、红光甚至红外，覆盖整个可见光波段，那时很多现在困扰业界的问题将迎刃而解，比如 RGB 三色量子阱组合的白光 LED 芯片技术将大力发展，颜色更加丰富。伴随衬底技术的发展，LED 芯片制造技术也将得到重要改进。现今最常见的正装芯片技术是基于蓝宝石衬底不导电而制备的，伴随着其他衬底的应用，垂直芯片结构技术将极大降低成本，芯片制造工艺大为简化，使整个 LED 上端制造技术的成本极大降低，促进整个产业发展。在具体技术层面，绿光 LED 光效的大幅提升及解决 LED 的 Droop 效应将成为未来最重要的突破。

而应用层面的发展主要是伴随着 LED 器件的进步而不断拓展出新的应用。半导体照明灯具的照明效果和品质包括显色性、色品一致性、人眼舒适度等有待进一步提高。同时，LED 灯具系统的功能性发展也是重要的发展方向，比如将 LED 灯具系统与监控、人体健康等结合。此外，用于功能性照明的大功率灯具结构主要的发展方向将以采用类似于高压钠灯的“灯泡 + 镇流器 + 灯壳”的模组化形式出现；LED 在植物、家禽养殖、医疗、光通信上的应用领域也将逐渐扩大。“智慧照明”是半导体照明应用发展的趋势，以传感器技术、自动控制技术为核心的智能照明系统将具有很大的应用前景。LED 的特性决定了可以实现“智能照明”的优势，因为 LED 易于控制及调光；电子电路可增加内置传感器、根据环境光来调整亮度来省电、无线接口无须改变开关或线缆等多种新功能。在照明节能控制的同时，能较好地保证照明效果的均匀性、延长灯具的使用寿命和节约能源。在节能

减排的大背景下，“智能照明”越来越受到消费者的青睐。

随着 LED 衬底、外延，工艺制程等核心元器件成本的下降，如何系统化降低 LED 照明产品的生产成本和日后维护显得非常重要。如果缺乏统一的通用接口标准，导致市场上不同厂商之间的产品不能互换，互不兼容，将严重阻碍 LED 照明产业的发展。因此，LED 照明产品的模组化和通用接口标准化是未来半导体照明标准发展的一个重点，并受到越来越多的关注。因此，未来我国半导体照明应用还需要继续开发能够满足人们视觉需要，且具有较高稳定性的半导体照明产品；建立完善的半导体照明产品及应用标准体系，规范和引导产业健康发展；基于光环境对于人的工效、主观舒适性以及生理指标影响，并结合半导体照明产品特征，实现照明设计的创新发展。

在检测市场方面，需要依靠标准化机构、检测机构、研究机构和生产企业的共同努力，逐步建立系统、完善的半导体照明标准体系，建立规范的照明 LED 评价与测试中心为产品的测试、评价以及产业发展提供服务和支撑，引导和规范我国半导体照明产业的发展，加速照明 LED 的技术进步及其推广应用。

第二十五章 体视学

一、引言

体视学 (Stereology) 形成于 20 世纪 60 年代，是一门研究三维结构 (高维结构) 的科学，其重点是结构表征的方法学研究。本报告选择体视学的定义研究、生物医学体视学、材料体视学、图像分析、CT 理论与应用等专题，重点反映近五年来我国体视学学科的发展现状、与国外先进水平的差距，以及体视学学科的发展趋势。

二、本学科近年来研究进展

(一) 对体视学 “stereology” 的再认识

自 “stereology” 一词 (中文统一译作 “体视学”) 于 1961 年问世以来，在国内外不同

场合不同应用领域，其定义常常不一，直接影响了人们对体视学学科的准确理解和了解。中国体视学学会组织了跨材料、生物医学、图像分析、计算机断层成像（CT）和仿真与虚拟现实等多领域逾百名专家就此进行了国内外首次相关学术大讨论，并对如下问题获得了共识：体视学一词（英文为 stereology, stereo- + -logy）的核心含义为“研究三维结构的科学”；由投影数据重建三维 CT 图像的学科分支属于体视学学科范畴；体视学研究的重点是三维结构表征的方法学研究。

（二）生物医学体视学研究进展

（1）不断建立并完善生物医学体视学方法。例如，建立了定量研究大脑皮质、海马、胼胝体等结构及其内有髓神经纤维的无偏体视学方法、虚拟组织切片的体视学模型、可用于定量检测转录因子活性的免疫化学染色的图像分析方法、急性放射病外周血细胞计数与照射剂量和照后时间的定量关系的分析模型和程序，阐明了光衍射现象、滤光片、不同染色方法及组织切片厚度对细胞核 DNA 含量检测的影响规律等。

（2）不断加强体视学方法在实验病理学研究和临床病理诊断中的应用。例如：体视框在生物医学研究中的应用；体视学方法应用在放射病理学研究、电磁辐射损伤研究、正常组织结构或各种疾病动物模型的研究中，应用在肿瘤病理、红外热像定量分析、皮肤镜图像分析、骨形态计量等临床病理的诊断中，以及在糖尿病分子发病机理研究、肝病发病机制及临床对策研究中的应用等等。

（三）材料体视学研究进展

体视学在材料学科由定性走向定量并形成材料科学与工程学科的历史过程中功不可没，被称为“20世纪中量化革命为金属学与后继的材料科学带来深刻变化的绝好例子”。近年来的进展包括以下几个方面。

（1）电子背散射衍射（EBSD）技术将材料组织信息的内涵从组织的几何形貌拓展到包含相与组织组成物的形状、尺寸、含量、分布、取向、取向差、取向关系、晶体缺陷密度等广义的组织信息，为体视学学科增加了新的研究内容。

（2）EBSD 技术有力地促进了我国晶界工程中的晶界特征及其分布（grain boundary character distribution, GBCD）的研究水平，其中一个重要突破是关于晶界面特征分布的五参数分析法的发明。

（3）提出的大体积多晶体材料显微组织的三维重建与可视化的最优集成方法被美国科学出版社 2013 年出版的 *Materials Express* 杂志作为封面论文重点推介；提出了新的三维晶粒长大速率理论模型和新的三维晶粒尺寸与拓扑学参数的定量关系；将体视学实验测定方法与计算材料学相结合，极大地提高了体视学的应用效果与效率。

（4）近年来完成的应用自动图像分析测定钢和其他金属中金相组织、夹杂物含量和级

别的标准试验方法系列，平均晶粒度的标准测量方法以及定量金相测定方法等多种国家标准的编制、发布与修订工作，有力地推动了我国材料显微组织与夹杂物的定量表征领域的标准化和自动化进程。

（四）图像分析研究进展

（1）不断发展的图像分析技术与方法包括：将各种数学理论及模型引入图像分割中，研究发展了一系列适合医学、材料领域图像分析的精准图像分割方法；针对生物体视学领域最新出现的皮肤镜图像技术，提出了一套精准的分割方法和方案。

（2）研究发展了多种适合图像自动理解与分类识别的理论方法。

（3）在分子影像领域，提出了分子影像非匀质重建新方法，形成了系列应用与产业化。由中国体视学学会常务理事田捷教授领衔完成的“小动物多模态光学分子影像成像方法与系统”荣获 2010 年度国家技术发明奖二等奖。

（4）建立了针对黄色人种的偏振光皮肤镜图像分析诊断方法和系统，提出了多光谱皮肤成像及医学图像辅助诊断机理的研究方法，填补了黄色人种多光谱成像早期诊断在国际上的研究空白。

（5）建立了基于全自动控制显微镜的数字病理切片及其 DICOM（Digital Imaging and Communications in Medicine）图像管理系统，开展了我国病理数字切片图像的 DICOM 标准的研究与探索。

（6）提出了基于数字病理切片的病理图像检索与辅助诊断方法，解决了图像检索过程中普遍存在的“语义鸿沟”问题。

（7）在三维获取方面，提出了一种新的立体匹配算法，在精度和效率方面均获得了优异的结果。

（8）在三维重建方面，在数据分割、物体识别和场景表示、数据缺失严重情况下的重建和基于多种传感器数据的植物重建和快速建模等方面取得了一系列重要成果。

（9）田捷教授领衔完成的“基于大形变和低质量的指纹加密方法与应用”荣获 2012 年度国家技术发明奖二等奖。

（五）CT 技术研究进展

近年来，计算机断层影像（computed tomography, CT）技术取得了显著进展，包括以下几方面。

（1）在 CT 的基本理论方法研究上，CT 成像从二维全面向三维发展，体成像成为一种趋势。基于 PI 线的重建是三维重建的一个重要新理论，它成为解析重建方法的一个重要突破性工作。基于目标优化的迭代重建，尤其是基于压缩感知思想和全变差最小化的方法在解决稀疏采样和数据缺失问题上取得了重要的进展。在 CT 成像的模式上，已从传统的

衰减成像扩展到相衬成像和暗场成像,从传统的单能谱成像扩展到了双能/多能/能谱 CT 成像,并已在实验系统甚至实际系统取得良好的成像效果。在过程 CT 等非 X 光 CT 上提出了小波交叉熵图像重建、聚类算法等一系列新方法。

(2) 在 CT 系统相关的关键部件研究上,碳纳米管冷光源、结构光源、像素化高计数率光子技术探测器等新技术的出现和发展很大程度上给 CT 整个领域带来了新的活力和方向,也赋予了 CT 作为一种重要成像技术更大的潜力。近年来发表的几何伪影、非理想器件伪影等的校正方法与实际系统和工程项目特点结合紧密,获得了切实的良好校正效果,是 CT 成像质量大幅度提高的一个重要保障。

(3) 成像目标向微尺度和大尺度继续延伸,显微 CT 的分辨率已可达到几十纳米,对大型工件的成像则可覆盖至几米的直径范围。

(4) 由中国体视学学会理事长康克军教授领衔研发的“大型装备缺陷辐射检测技术”荣获 2010 年度国家技术发明奖一等奖,并在一批重点型号装备的研制生产、重要试验和延寿中发挥了不可替代的作用,广泛应用到航天、航空、兵器、铁路等单位;其另一成果“液体安全检查系统”获得 2008 年度信息产业部重大技术发明奖和 2009 年度教育部高等学校科学研究优秀成果奖技术发明奖一等奖,已应用于国内民航机场、北京地铁、人民大会堂等重要场所以及 2008 年北京奥运会的安全保障当中,并先后在多国试用或使用;“产生具有不同能量的 X 射线的设备、方法及材料识别系统”则获得 2012 年国家知识产权局与世界知识产权组织颁发的第十四届中国专利奖金奖,出口到 30 多个国家和地区,全面覆盖了现有双能集装箱/车辆检查系统的新兴市场,引领了国际安检领域高能双能产品的新需求。

(六) 学术建制与学科建设进展

中国体视学学会 1987 年成立,现为中国科协的团体会员、国际体视学学会的团体会员,已建有生物医学、材料科学、图像分析、CT 理论与应用、仿真与虚拟现实、金相与显微分析共 6 个分会,2009 年又成立了学术委员会和会员工作委员会。

1996 年,学会创办了会刊《中国体视学与图像分析》,并设有“CT 和三维成像科技新进展奖”(2004—2010 年评奖 4 届)和“中国体视学学会科技进步奖”(2012 年首届)。2011 年,承办了第 13 届国际体视学大会和体视学发展 50 周年回顾的国际纪念性学术活动,并合作举办了首届国际大学生材料显微结构摄影大赛。至 2013 年,已成功举办了共 13 届中国体视学与图像分析学术会议。

学会各分会举办有全国生物医学体视学学术会议系列、全国射线数字成像与 CT 新技术研讨会系列、全国信号与信息处理联合学术会议系列、全国材料科学与图像科技学术会议系列、全国金相与显微分析学术年会系列等。2012 年,中国体视学学会协办首届全国大学生金相技能大赛;2013 年,金相与显微分析分会举办了“蔡司·金相学会杯”全国高校大学生金相大赛。中国体视学学会或其分会还举办国际数学形态学培训班(2011 北京)和中美体视学和定量分子病理培训班(已办 4 届),以及丰富多样的培训活动和体视

学课程教学,受益者计达数千人。中国体视学学科快速发展已经引起国际学术界的高度重视,我国科学家已连续3届当选国际体视学学会副主席(刘国权,2004—2007;唐勇,2008—2011,2012—2015)。

三、本学科发展的国内外对比

在生物医学体视学领域,国内研究人员建立了定量研究大脑皮质、白质、海马、胼胝体等结构及其内的有髓神经纤维的体视学方法,并重点用于脑衰老领域的研究;运用现代体视学原理和方法开展生殖系统和肾脏定量研究。然而目前,我国在现代体视学方法应用方面与欧美国家尚有较大差距。

材料体视学与电子背散射衍射(EBSD)技术交叉应用方面,在实验测试应用水平上国内外差异较小,但国内在制样水平、应用范围和晶体学理论等方面与国际先进水平有一定差距。在材料体视学与晶界工程(GBE)交叉领域,国外研究起步较早,国内真正意义上的GBE研究始于2005年,尽管在奥氏体不锈钢和镍基高温合金GBE研究等方面已申请了几项国家发明专利,但GBE技术在实际工程中的应用明显滞后。另外,体视学与图像分析方面的国家标准的制定与修订上也缺少原创性的重大突破。

我国体视学图像分析技术在理论和应用方面发展迅速,相关研究热点问题与国际基本同步。体视学中所用到的图像处理、图像分割、特征提取、图像定量测量、三维重建、可视化等方法已达到国际先进水平。然而,在体视学相关的图像分析仪器的研制上与发达国家还有一定差距,在把新的图像分析理论及时与实用的仪器系统结合上存在很大欠缺。

我国在CT基础研究方面与发达国家的差距在快速缩小,在数据处理、图像重建等方面与国际前沿基本同步;在医学CT设备研制方面国内也取得较大进展,但与国际水平差距依然很大;在非医学CT设备研制方面,如无损检测CT、安检CT发展较快,已跻身国际先进行列;显微CT在许多领域的应用也在逐步展开。但是,我国CT设备关键器件仍然依赖进口,这成为国产CT研发的瓶颈。

总体上讲,我国体视学与欧美国家的主要差距表现在:①现代体视学方法在我国的原创新研究与应用显著不足,缺乏系统性的体视学原创性理论;②无论是理论还是设备,在将体视学运用于医学研究时,我国科研领域的普及度较国外明显不足,研究者对体视学学科的了解掌握程度参差不齐;③将其他先进技术应用于体视学研究尚处于起步阶段;④与欧美国家相比,我国科技工作者采用体视学方法在国际性杂志上公开发表的论文数量所占比例较低。

四、本学科发展趋势和对策

本学科未来发展方向主要包括以下几方面。

(1) 在生物医学体视学领域, 新的交叉学科正在形成。随着分子生物学的发展以及计算机和图像分析技术的广泛应用, 生物医学领域的形态学科正由简单的形态描述向量化方面发展, 进而产生了生物医学体视学和远程生物医学; 另一方面, 分子生物学、生物化学、免疫学和分子遗传学与形态学科交叉、渗透, 产生了分子形态学。

(2) 将已有体视学原理、方法、技术和仪器设备的创新应用与计算材料学、材料的快速表征乃至高通量表征的思路紧密结合, 可望成为材料体视学的另一个重要研究方向。体视学在晶界特征及其分布表征方面的应用还有相当大的发展空间。提高显微 CT 的分辨率并应用于材料显微组织表征分析极可能是另一个潜在的新研究发展领域。

(3) 图像分析方法、图像分析应用、含时变参数的四维医学图像分析、利用计算机对图像进行理解和目标自动识别等, 是当前图像分析领域的研究热点和趋势。越来越多的图像分析辅助诊断系统将进入医学临床诊断和治疗领域, 有助于充分利用以往的病例数据库信息和有经验医生的临床诊断经验和方法, 通过机器学习和图像识别技术帮助医生快速准确地确诊病情。

针对本学科未来发展, 建议做好以下几方面工作。

(1) 充分发挥中国体视学学会的作用, 大力促进产学研用结合, 不断推动我国体视学学科、图像分析技术、CT 技术的快速健康发展与推广应用。

(2) 重视基础研究, 加强原始创新与协同创新, 提高我国 CT 设备以及体视学与图像分析仪器的自主研发水平和市场综合竞争能力, 打破少数外国公司对高端市场的垄断。

(3) 通过与不同学科领域的重大需求及其新思路、新技术有机结合, 发展体视学新技术、新方法与创新应用, 致力于体视学为自主创新性国家建设做出更大的贡献。

(4) 在体视学与相关技术推广应用于不同领域的过程中, 均应高度重视相关的标准化建设。同时, 应当鼓励公益性的体视学共性技术研究与更便于推广普及的软硬件开发, 并建议国家给予适当资助与支持。

第二十六节 基础农学

一、引言

农业与粮食安全、生态安全、经济社会发展关系重大, 作为战略性基础产业, 农业的

快速健康发展是国民经济持续、稳定和协调发展的重要保证。在“四化同步”、创新驱动发展的新时期，农业科技对农业增长的贡献率已超过 50%，而基础农学学科发展又是农业科技进步和创新的原动力，在发展现代农业、建设中国特色农业现代化中的重要作用日益凸显，为保障粮食安全、农产品的有效供给和实现农业可持续发展奠定科学基础。2012 年，中央“一号”文件指出要“把农业科技摆在更加突出位置”，进一步明确了农业科技发展的战略定位，指出“农业科技的创新重点包括稳定支持基础性、前沿性、公益性科技研究”，包括“大力加强农业基础研究，突破一批重大理论和方法”，“加快推进前沿技术研究，抢占现代农业科技制高点”，为农业科学研究驱动创新发展指明了方向。

基础农学学科是认识与农业有关的自然现象、揭示农业客观规律及其原理，研究农业生产体系中的自然现象及其现象本质的学科。其目的是为充分开发利用和保护农业自然资源，协调作物与环境之间的关系，防止有害生物和不良环境对农业的破坏，以期获得农业生产的最佳组合，提高农产品的产量和品质及其生产效率，促进高产、优质、高效、生态、安全农业的发展，有效保障国家食物安全、生态安全，持续增加农民收入，提高农产品的国际竞争力。

基础农学学科概念是一个综合、动态、发展的概念，经济和科学技术的快速发展，在不同历史时期有着不同的内涵。人类生产、生活实践，催生了基础农学的形成与发展。进入 19 世纪，受物理学、化学、地学、生物学等基础科学的影响，特别是受现代生物技术、信息技术的影响，基础农学及其相关分支领域得到了迅速发展，已跨入现代科学的行列。20 世纪 90 年代以后，随着现代科学技术的迅猛发展，特别是数、理、化、天、地、生等基础科学对农业科学的渗透，以及物联网、云计算技术等信息技术手段的应用，基础农学学科出现了新特点、新趋势。进入 21 世纪以来，随着新一轮科技革命和产业变革的孕育兴起，一些重要科学问题和关键技术、核心技术呈现出革命性突破的先兆，带动了现代科学技术交叉融合、综合发展，变革突破的能量正在不断积累，成为推动基础农学创新发展的强大潜力。一方面，基础科学对农业基础研究的推动日趋明显，不断产生新的边缘学科、交叉学科和综合学科，带动了基础农学学科的快速进展；另一方面，基础农学研究与农业科技和生产结合越来越密切，正在走向一体化、集成化和综合化，加速了新兴产业升级。

基础农学研究向微观和宏观两个方向发展，既结合又促进，加快了科研进展与突破；基础农学研究借助现代实验工具和理论方法，实现了试验研究手段的现代化；基础农学研究国际间竞争与合作、交流与限制并存，形成了十分复杂的态势。基础农学研究驱动创新发展及其成果转移、转化与推广，必将在新一轮的科技革命浪潮中为解决全球人口高峰期的食物安全问题做出重要贡献。

二、本学科近两年最新研究进展

《2012—2013 年基础农学学科发展报告》(以下简称“报告”)是在 2006—2007 年、2008—2009 年和 2010—2011 年三轮基础农学学科发展研究的基础上形成的，是近年来

基础农学学科发展研究进展与成果的综合体现。持续开展三轮基础农学学科发展研究，一方面表明基础农学在我国农业科技中具有基础性、创新性、前瞻性的重要作用，反映了基础农学学科发展研究备受重视、学术活跃和快速发展的状况；另一方面，也表明基础农学学科发展研究内涵丰富与博大精深，需要我们不断地去研究、探索和创新。本报告根据基础农学学科及其分支学科（领域）的进展以及未来发展的引领作用，确定了作物遗传育种、农业土壤、植物营养、农田灌溉与排水、作物病虫害、作物栽培、耕作学与农作制度、农产品加工与保鲜、农产品质量安全、农业信息、农业环境、农业资源与区划等12个分支学科（领域）进行专题研究，基本覆盖了基础农学主要分支学科（领域），强化了研究广度和深度。从2006—2007年、2008—2009年、2010—2011年以及2012—2013年这四个年度的基础农学学科发展研究来看，随着农业科技和基础农学分支学科（领域）的发展变化，选择的专题在深度和广度上也随之有所调整。其中，作物遗传育种、植物营养、农业信息、农业环境、农业资源与区划等是较为活跃、进展快、急待加强研究的分支学科（领域）；而农产品加工与保鲜、农产品质量安全、农业土壤等是当前城乡居民和全社会广泛关注的热点、难点和焦点问题；农田灌溉排水、作物栽培、作物病虫害防治、耕作学与农作制度等既是传统的研究领域，也是一个持续的科研方向，在新的历史时期赋予了新的内容、新的使命。

（一）作物遗传育种研究领域

作物遗传育种是当代农业科学发展的前沿学科之一，是基础农学研究的核心和重要组成部分。近年来，作物遗传育种研究取得了重要进展，我国水稻杂交优势利用一直处于国际领先地位，并不断取得新的突破。超级稻育种形成了以“理想株型塑造与籼粳亚种间杂种优势利用相结合”的超级稻育种的理论和方法。光（温）敏核不育基因、广亲和基因发现和利用是超级稻育种取得成功的重要因素，我国科学家发现的水稻光（温）敏核不育基因可使杂交水稻免除保持系，使杂交水稻由“三系法”发展为“二系法”，不仅简化繁种制种程序、降低杂交种子生产成本，而且两系杂交稻的配组较自由，选配到优良组合的机率提高。从分子标记—生化标记—籽粒和面粉性状—食品加工品质四个层次首次创立了符合国际标准的中国小麦品种品质评价体系。发现小麦新基因和新标记26个，发掘并验证可用于育种的分子标记13个；育成优质小麦品种中优9507、中作8131-1和临汾5064，已成为全国优质麦育种的骨干亲本，以此作亲本育成的优质品种23个，累计推广1.8亿亩，2008年获得国家科技进步奖一等奖。矮败小麦及其高效育种方法的创建与应用，在国际上首创了将显性核不育基因Ms2与显性矮秆基因Rht10紧密连锁于4D染色体短臂的重组体，即矮败小麦特异种质资源。创建了基于矮败小麦的轮回选择技术，构建完成了矮败小麦高效育种平台和全国矮败小麦育种协作网。利用矮败小麦高效育种方法育成国家或省级审定新品种42个，累计推广1.85亿亩，2010年获得国家科技进步奖一等奖。广适高产优质大豆新品种中黄13的选育与应用研究，提出了不同纬度与遗传远缘的亲本杂交培育广适大豆的育种新方法，创建了广适高产大豆育种技术体系，培育出大豆新品种中

黄 13, 实现了大豆育种新突破, 2012 年获国家科技进步奖一等奖; 在棉花转基因优质纤维品种培育及材料创制方面获得突破, 将拥有自主知识产权的来源于油菜 FCA 基因中编码 RRM2 结构域的 cDNA 片段构建了转基因载体, 获得一批产量性状有明显改良 T4 代转基因棉花植株, 其棉铃增大非常明显, 平均单铃重较受体品种中棉所 12 最高增加 49.9%。同时, 转基因植株能显著增加棉纤维的长度和提高棉纤维强度。这个转基因材料已经通过农业部环境释放。研究绘制了二倍体棉花 - 雷蒙德氏棉的全基因组草图, 创制出第二代优质纤维、优质大铃转基因棉花种质新材料, 加快了优良棉花新品种的培育进程; 创新了棉花黄萎病抗性鉴定和选择技术, 创立了“六棱塑料钵定量注菌液”抗病性苗期鉴定技术, 育成五个棉花新品种, 实现了抗病、丰产、优质同步改良和突破。此外, 在一些粮食、经济作物全基因组精细序列分析、基因组图谱构建等方面取得了重要进展。

(二) 作物病虫害防治研究领域

利用代谢组技术和基因干涉技术, 并结合行为学测定, 研究飞蝗两型转变调控机制, 为控制蝗灾提供了理论依据。研究论文发表于 2012 年的《美国科学院院报》杂志上。与美国科学家合作, 发现放牧活动会降低植物的含氮量, 蝗虫取食这样的植物有利于蝗虫种群的生长和发育, 从而导致草原蝗灾的形成, 相关研究发表在 2012 年的 *Science* 杂志上。

研究阐明了种植 Bt 作物对农业生态系统的显著生防功能。这是国际上首次从景观生态学尺度对 Bt 作物生态服务功能和机制进行系统研究, 对发展利用 Bt 植物可持续控制重大害虫区域性灾变的理论与方法有重要科学意义。论文 2012 年发表于 *Nature* 杂志; 深入研究发现棉铃虫田间种群对 Bt 棉花的抗性基因存在遗传多样性, 首次发现并证实非隐性抗性基因在 Bt 作物抗性演化中具有关键性作用。该论文 2008 年发表于 *Science* 杂志封面文章; 成功破译重大农业害虫小菜蛾基因组, 完全拥有自主知识产权, 宣告世界上首个鳞翅目昆虫原始类型基因组的完成, 同时也是第一个世界性鳞翅目害虫的基因组。研究论文 2013 年发表在《自然·遗传学》杂志。

小麦条锈病菌源基地综合治理技术研究取得重大创新, 在大规模推广应用中防病增产效果极其显著。2009—2011 年累计推广应用 23067.2 万亩, 有效控制了条锈病的暴发流行, 增收节支 93.32 亿元。该成果获 2012 年度国家科技进步奖一等奖。建立并优化了 7 种柑橘病毒类和检疫类病害的分子快速检测技术, 创新了柑橘分子检测微量取样制备技术和柑橘茎尖脱毒微量快速评价技术。新建柑橘无病毒良种示范基地 44 万亩, 实现企业和农民增收 15351 万元。该成果获 2012 年度国家科技进步奖二等奖。

(三) 作物水调控技术与气候变化研究领域

植物应答干旱胁迫的气孔调节机制研究, 从提高植物水分利用效率的重大需求和植物抗旱生物学研究前沿出发, 以提高作物水分利用效率为目标, 研究作物干旱反应机理的

相关重大科学问题,创造性地探讨植物干旱反应调节的基因表达分子机制,为基因工程技术提高植物的水分利用效率开辟了新途径。该成果获得 2012 年度国家自然科学奖二等奖。研制了智能化植物需水诊断平台,提出了都市灌溉型植物 SPAC 水分传输关系方法,揭示了灌溉型植物耗水规律及其与土壤水分环境的响应关系,明晰了灌溉型植物土壤水分-产量/品质-根冠发育交互作用机制,提出了滴灌土壤水氮调控技术与方法以及基于目标耗水量的农业用水管理方法,构建了设施农业水肥一体化高效节水技术集成模式、果园智能化精量灌溉技术集成模式和都市绿地“清水零消耗”生态节水技术集成模式。获 2012 年度国家科技进步奖二等奖。

干旱内陆河流域生态的水资源配置理论与调控技术及其应用研究,以黑河下游的民勤县为基地,系统研究了干旱区内陆河流域水资源循环规律、作物需水过程及调控技术、生态植被需水及演变规律,在考虑区域生态用水需求的基础上,以保证区域农业可持续发展为目标,提出了有限水资源的合理配置理论及调控技术,并在生产实践中取得显著节水、增效、促生态的作用,2013 年获国家科技进步奖二等奖。

全球气候变化规律和观测技术研究,揭示了全球气候变化对我国农业及产量的影响,中国高纬度地区作物生育期延长,喜温作物界限北移,作物种植结构发生了调整。与 20 世纪 60 年代相比,中国东北地区的生长期增加了 10 天左右。东北地区增温已使冬小麦的种植北界北移西延,水稻种植面积大幅增加,其种植北界已移至约北纬 52 度。玉米晚熟品种种植区域向北推移了约 4 个纬度,双季稻栽培已经由北纬 28 度北移至北纬 30 度。全国复种指数由 1980 年的 109.4% 增加到 2006 年的 128.9%。模拟预测结果,如果不采取适应性措施,未来气候变化将导致中国水稻、玉米和小麦等主要粮食作物的减产。2050 年,若不考虑二氧化碳的肥效作用,则粮食总产量最大可下降 20% 左右,若考虑二氧化碳肥效作用,粮食总产量最大将下降 5%。在未来气候变化的背景下,水资源因素将成为粮食总产量提高的最主要限制因子。

(四) 农业信息研究领域

近年来,农产品市场监测预警理论、方法、技术、设备、系统等方面取得了突破性进展,包括:初步构建了覆盖多品种、多市场、多区域的“中国农产品监测预警系统”(简称“CAMES”);制定并实施了《农产品全息市场信息采集规范》和《农产品市场信息分类与计算机编码》两个行业标准;开发了便携式农产品全息市场信息采集器(简称“农信采”),为我国农产品市场信息采集和监测预警工作带来革命性的变化。首次建立了农作物信息天(遥感)地(地面)网(无线传感网)一体化获取技术,在国内率先研制了面向农作物遥感监测的光谱响应诊断技术,创建了多源多尺度农作物遥感监测技术体系,制订了系列标准规范,建成了国内首个唯一稳定运行超过 10 年的国家农作物遥感监测系统。创造性地提出农业物联网的“三全”发展理念,即“全要素、全系统、全过程”的系统论观点;在上海、江苏等地建立了“智慧农业综合应用示范区”,自主研发了“田间环境综

合感知站”，实现水稻全产业链的智慧生产和管理；天津市集成示范物联网感知、传输、决策及应用相关技术和设备，形成农业物联网应用技术体系，探索农业物联网建设模式和高效试验机制；安徽省以大宗农作物“四情”（苗情、墒情、病虫害情、灾情）监测服务为重点，通过物联网技术的集成应用实现了大田作物全生育期动态监测预警和生产调度。

三、本学科发展趋势和展望

目前，随着我国基础农学学科及分支学科（领域）的快速发展，已初步形成了门类比较齐全的学科体系，并产生了相关的新理论、新方法、新技术，涌现出一些新思路、新观点、新亮点，在一些领域接近或达到世界先进水平。但是，从基础农学学科研究整体水平来看，我国同欧美发达国家比较还有较大差距。

面向未来，我国基础农学学科呈现出新的快速驱动创新发展之势，其主要表现：作为社会基础性、公益性事业，国家公共财政投入大幅增加；微观与宏观研究结合，加快了科研进展与新的突破；现代生物技术、信息化技术等将成为现代农业新的生长点；研究成果转移、转化与推广速度明显提升，推动现代农业可持续发展；国际间的合作与交流进一步得到加强等。

我们要以科学发展观为指导，在“自主创新，重点跨越，支撑发展，引领未来”方针指引下，通过深化科研体制改革，培养精干、高效的创新队伍，加快重点实验室和基地平台建设，积极推进国际间双边和多边的交流与合作，创造有利于基础农学研究持续稳定发展的社会环境等政策措施，实现跨越式发展，为我国现代农业和社会主义新农村建设奠定坚实的技术基础。

第二十七节 植物保护学

一、引言

2012—2013年是我国科技、经济和社会发展的战略机遇期，也是落实《国家中长期科学和技术发展规划纲要》的关键时期，我国植物保护领域广大科技工作者在植物保护学科基础和应用基础研究、高新技术研发、关键防御技术开发等方面取得了一系列研究成

果，为保障粮食生产实现“十连增”做出了突出贡献。

二、本学科主要研究进展

(一) 基础研究取得重大进展

1. 植物病毒学

我国植物病毒学科研究团队率先合作完成了南方水稻黑条矮缩病毒中国分离物 SRBSDV 的全基因组序列，并明确 SRBSDV 是斐济病毒属的一个新成员的结论，为开展病害检测、防治提供了重要的理论依据；同时在双生病毒和水稻病毒致病机制、寄主抗性机制、昆虫介体的传毒机制研究上取得显著进展，诠释了作物通过甲基化体系抵御双生病毒侵染及双生病毒通过多种途径逃避作物防御的分子新机制；阐明了水稻矮缩病毒在介体叶蝉体内的传导扩散过程，加深了对病害发生机制以及寄主抗性机制的理解，为利用相关途径开发植物抗病毒新理论和新策略奠定了基础。

2. 植物抗病虫功能基因组学

在植物抗病机理研究方面，分离和鉴定了一系列水稻白叶枯病、稻瘟病抗病关键基因，为抗病及高产协调的农作物设计育种和病害防控策略提供新思路；深入研究了植物激素、泛素化途径相关蛋白和锌指类蛋白与稻瘟病、水稻白叶枯病抗性的关系、植物基础防卫反应和系统获得性抗性的调控机制、植物表观遗传抗病机制等，为探索抗病品种多样性和合理布局，控制作物重大病害提供新理论和新途径；发掘了植物抗褐飞虱基因、寄生蜂源抗虫基因、苏云金芽孢杆菌杀虫基因资源等，为抗虫转基因作物的研发提供了新资源，通过应用高通量测序技术，为获得充足的 *Bt* 杀虫基因资源奠定了基础；完成了麦类锈病、作物枯萎病等重要病害病原物及东亚飞蝗、菜蛾、棉蚜等重要害虫的基因组测序工作；分析了小菜蛾的进化地位、感觉相关基因及解毒作用相关基因，揭示了逆转录转座子和复杂的新陈代谢系统在小菜蛾抗药性发展过程中起关键性作用。

3. 昆虫化学生态学

探明了东亚飞蝗的感受器类型和分布及其超微结构；对棉铃虫和烟青虫雌性成虫前足第五跗节上的毛状化学感器按照化学感受特征进行了分类，共发现了 14 个味觉感器；鉴定了多种昆虫的化学感受（包括嗅觉和味觉）蛋白基因序列，分析了部分化学感受蛋白的表达特征，鉴定了其功能；对小麦长管蚜气味结合蛋白 OBPs 及气味受体 OR 基因进行克隆，获得 7 种 *OBP* 基因，一个 *Orco* 基因；首次揭示了果蝇兴奋性嗅觉中间神经元的电生理特性以及它们与其他神经元的突触连接和作用机制，对深入理解嗅觉编码的神经环路机制具有重要的基础理论意义。

4. 入侵生物学

探明了入侵亚热带地区的 MEAM1 烟粉虱能正常生存, 可能与其体内超氧化物歧化酶能高效去除高温环境下产生的过多氧自由基密切相关, 发现温度和寄主植物发育状态在入侵型烟粉虱与土著种竞争排斥中起重要作用, 明确了 B 烟粉虱对噻虫嗪产生抗性与细胞色素 P450s、谷胱甘肽转移酶 GSTs 和羧酸酯酶过量表达有关; 表明 *Nardonella*、*Wolbachia* 等的内生菌变化极有可能影响到稻水象甲的生殖, 从而影响其入侵和种群扩张能力; 分析鉴定出紫茎泽兰的化感作用物质, 对一些农业病原微生物显示较明显的抑制作用; 揭示了松材线虫 RxLR 效应子及其在寄主-病原菌互作中的作用, 推测松材线虫在入侵寄主松树的过程中, 首先分泌 RxLR effectors 蛋白, 通过抑制寄主的防御反应有利于线虫的入侵; 利用真菌介导松材线虫 RNAi 功能基因分析技术, 揭示了 *daf-3* 等滞育调控基因对松材线虫发育、繁殖量、脂肪积累等性状的影响效应, 为进一步解析松材线虫繁殖-扩散转换的分子机制提供了依据。

(二) 高新技术取得长足发展

1. 植物病毒检测技术

建立的基于单克隆抗体的 20 种病毒检测体系在全国多地广泛使用; 针对我国马铃薯生产上主要 6 种病毒利用免疫技术制备病毒抗血清, 在国内首家研制成拥有自主知识产权的试剂盒, 实现了批量生产和大面积推广应用; 针对柑橘病毒病害, 建立了微量快速核酸模板制备技术和茎尖脱毒效果早期评价技术, 解决了短时隔监测果树病毒技术难题, 脱毒进程由以往的 3 年缩短为 1 年; 建立了全套柑橘病毒类病害分子检测技术体系, 同时构建了柑橘无病毒三级良繁技术体系, 研究成果获 2012 年度国家科技进步奖二等奖。

2. 植物抗病虫基因工程

获得了对黄瓜花叶病毒 CMV 和烟草花叶病毒 TMV 免疫的转基因烟草, 以及能同时抵抗马铃薯 Y 和 X 病毒的转基因烟草; 通过表达植物的抗病相关基因, 提高了植株对禾谷镰孢菌和禾谷丝核菌的抗性; 将 BoDFN 转化花椰菜, 表现出对寄生霜霉抗性的增加; 过量表达番茄的 ERF1 基因能够显著地增加番茄果实对黑根霉菌的抗性等。在植物抗虫基因工程方面, 农业部依法批准发放了转植酸酶基因玉米“BVLA430101”、转基因抗虫水稻“华恢 1 号”及杂交种“Bt 汕优 63”的生产应用安全证书; 转 *cry1Ah* 基因玉米已进入生产性实验阶段; 抗蛴螬转 *cry8Ha* 基因玉米已完成中间试验阶段; 抗线虫转基因大豆也进入转基因安全评价的环境释放阶段。

3. 昆虫化学生态学

我国已经鉴定近 100 种农林昆虫信息素; 发现了茉莉酸介导的植物直接和间接防御存

在生态适应的平衡现象；首次揭示了茉莉酸信号转导途径在水稻防御不同为害习性害虫中发挥着不同作用，并鉴定了能诱导水稻产生抗虫性的化学激发子。在昆虫与植物互作化合物的开发利用方面，明确了蚜虫报警信息素的主要成分（反）- β -法尼烯在小麦和蔬菜蚜虫控制中已取得很好的效果。

4. 生物防治学

克隆得到了几种昆虫消化酶抑制剂新基因，表达的蛋白能抑制蚜虫繁殖和生长，转基因烟草植株表现了较好的抗蚜性；已开发出一批生防作用优良的枯草芽孢杆菌菌株，如Bs-916、B908等。Bs-916菌株对多种病原真菌有显著抑制作用，对水稻纹枯病田间防效稳定在60%~81%，已进行农药登记，年使用面积达6.7万hm²；发现壳寡糖可以诱导植物活性氧的暴发，上调茉莉酸合成途径的相关基因，诱导烟草、油菜等植物中的一氧化氮和过氧化氢积累参与抗病信号转导，并且这两者之间具有协同作用；从极细链格孢、稻瘟菌、灰葡萄孢菌、大丽轮枝菌病原真菌中发现了4个激活蛋白PebC1、MoHrip1、PevD1和Hrip1，并对其诱抗机理进行了初步研究；筛选出1株具有较强杀线虫活性的枯草芽孢杆菌新种B16，发现了一批结构多样的天然杀线虫小分子化合物，并开展了部分代谢调控和作用机制研究。

5. 病虫害监测预警技术

充分利用遥感、地理信息系统和全球定位系统等“3S”技术、分子定量技术、生态环境建模分析和计算机网络信息交换技术，结合各种地理数据，开展系统和科学的分析，在稻飞虱、稻纵卷叶螟、黏虫、蚜虫和马铃薯晚疫病监测预警等方面取得可喜进展。

（三）关键技术取得重大突破

1. 小麦条锈病菌源区勘界和异地测报技术

全国小麦锈病和白粉病研究协作组，明确了全国小麦条锈病大区流行的关键因素；系统揭示了条锈菌毒性变异的主要途径，病菌毒性小种的产生和发展是导致品种抗锈性“丧失”的关键；构建了以条锈病菌源基地秋季菌源数量为基础、结合小麦品种布局和气候发生趋势分析的病害发生趋势中长期异地测报技术体系；首次提出“重点治理越夏易变区、持续控制冬季繁殖区和全面预防春季流行区”的分区治理策略，创建了小麦条锈病菌源基地综合治理技术体系。获得了2012年国家科技进步奖一等奖。

2. 植物病毒病控制技术

在南方水稻黑条矮缩病、水稻锯齿叶矮缩病、水稻黑条矮缩病和玉米粗缩病防控技术开发和集成研究方面，将物理和生态防治技术、种子处理技术、秧田阻断虫源技术等单项技术与水稻全程免疫防控技术进行有机组装和集成，总结出“虫病兼治、免疫激活、区域治理”的水稻病毒病防控技术。

3. 生物防治技术

近几年来, 获得一批以生物防治技术为核心的研究成果, 如: 鱼藤酮生物农药产业体系的构建及关键技术集成、细菌农药新资源及产业化新技术新工艺研究、芽孢杆菌生物杀菌剂的研制与应用、十字花科蔬菜主要害虫灾变机理及其持续控制关键技术、水田杂草安全高效防控技术研究与应用等, 在植保防灾减灾中发挥了重要作用, 并获国家科学技术进步奖二等奖。

4. 重大入侵生物的检测监测新技术

研究开发了重要入侵生物监测新技术和基于 PDA 的入侵生物野外数据和图像自动采集仪及实时远程传输软件系统; 建立了适用于田间调查的入侵生物野外数据采集软件系统; 针对局部发生的毁灭性重大入侵害虫苹果蠹蛾、柑橘大实蝇, 建立了实时远程监控的信息采集、处理与发布技术体系。

5. 农业生物多样性控制病虫害技术

构建了品种混栽的技术参数和推广操作技术规程, 建立了利用水稻遗传多样性持续控制稻瘟病的理论和技术体系, 探索出一条简单易行的控制稻瘟病的新途径; 探明了小麦不同近等基因系品种混合种植有利于降低优势生理小种的出现频率, 促进小麦条锈病菌生理小种的稳定性进化; 明确了多样性种植控制马铃薯块茎蛾、斑潜蝇、麦长管蚜、甘蔗蓟马及玉米螟的有效种植模式。

三、本学科国内外主要研究进展比较

(一) 植物病毒学

国内科学家在病毒分子检测、运动蛋白的功能鉴定、功能基因研究、介体传病毒的作用机制、病毒致病机制等方面的研究水平与国际持平。但在解析病毒基因、病毒小 RNA、蛋白及病毒粒子本身如何导致植物病害发生的研究工作方面与国际前沿仍有一定差距。

(二) 植物抗病虫功能基因组学

我国在抗虫基因工程、病原细菌及卵菌效应蛋白调控植物生理代谢、植物基础防卫反应和系统获得性抗性的调控机制、昆虫基因组学研究等多个领域做出了一流研究成果, 多篇论文在 *Science*、*Nature* 等高水平杂志上发表。但与欧美等发达国家相比, 在植物抗病虫功能基因组学的整体水平上仍存在较大差距。

(三) 昆虫化学生态学

在昆虫化学感受特性及分子机理、昆虫信息素的分离和鉴定、植物信息化合物作用机理、行为影响研究等方面,我国与国际差距不大。但在植物信息化合物的调控机理方面与国外研究还存在较大差距。

(四) 生物防治学

我国天敌昆虫生防技术的集成和大规模应用配套技术整体水平基本达到国际先进水平,但应用的天敌种类和广度较北欧和北美低得多。国际几家大的农化公司已经相继开发出了诱抗剂产品,但我国尚处在开辟市场阶段,还需在应用基础研究和高效制剂创制上加大力度。

(五) 入侵生物学

我国生物入侵研究在入侵物种种群形成与扩张机制、生态适应与进化机制以及重要入侵物种对土著种的竞争排斥机制与置换效应、预警和监控技术基础等方面取得了突破性的进展和成果。但我国入侵生物的检测和监测手段及其自动化水平尚有待提高,利用转基因技术控制入侵害虫的研究刚刚起步,与国外研究还存在相当大的差距。

(六) 植物病虫害监测预警学

国际上在农作物生物灾害监测方面,“3S”技术、生态环境建模分析和计算机网络信息交换技术的应用开展了较为深入的研究,并已初步应用于农作物病虫害的监测与治理。我国起步较晚,迫切需要进一步加强这方面的研究工作。

(七) 农业生物多样性控制病虫害技术

国际上在生态系统服务功能的理论框架、评估技术与方法和案例研究等方面做了较为全面的探索,并已经开始进行生态系统服务功能形成和变化机制及其驱动力的研究。我国在作物多样性控制病虫害基本原理、构建技术体系方面,具有显著的理论和技术创新特色,为解决作物品种单一化造成的病虫害流行难题探索了新途径。

四、本学科未来发展趋势

(一) 植物病毒学

结合高通量测序的小 RNA 分析技术、转录组分析技术、蛋白质组质谱分析技术等新技术,开展介体昆虫-病毒-寄主植物三者间互作关系研究,将是未来植物病毒学科研究的重要内容。

(二) 植物抗病虫功能基因组学

将以水稻、小麦等重要农作物的病虫害为主要研究对象,综合运用基因组学、转录组学、蛋白质组学、生物信息学等现代生命科学理论,系统开展其基因组与功能基因解析研究,系统深入研究重要农业病虫害的免疫防御、生长发育、抗逆性等生命活动本质的机制。

(三) 昆虫化学生态学

以家蚕和棉铃虫等为研究对象,系统开展嗅觉和味觉基因挖掘和功能鉴定工作,并深入揭示嗅觉和味觉识别机制,应用转基因技术研究植物与昆虫相互作用的机理,为深入开发重要资源昆虫和控制重要农业害虫的猖獗为害提供理论基础。

(四) 生物防治学

加强天敌与害虫的互作机制、农田食物网作物-害虫-天敌间的信息网与通讯机制、天敌控害作用的评价方法、寄生蜂的寄生生理生化机理等基础研究;深入开展捕食螨的营养生理与生殖生理研究、人工饲料配方和高效率饲养猎物等规模化生产技术以及大面积释放简易技术等研究;重视植物免疫诱抗剂生物药物的研究与创制,推动生物农药升级换代和推动行业的发展。

(五) 入侵生物学

建立完整的数据库系统及其信息共享平台,提升我国入侵物种预防、控制与管理水平,逐步开展入侵生物的自动化检测和监测,利用转基因植物有效控制外来入侵生物的为害与传播。

（六）植物病虫害监测预警学

利用遥感技术、地理信息系统、全球定位系统、图像识别及分子生物学等技术，实现对植物病虫害整体的、实时的和动态监测和分析，提高我国植物病虫害监测和预警的水平。

（七）农业生物多样性控制病虫害技术

从基因、群体、生态到景观四个不同层面进行生物多样性变化与生态系统功能的分析，促进农业生物多样性理论的发展，形成具有中国特色的研发体系。

第二十八节 草业科学

一、引言

草业科学是一个新兴学科，近几十年来，其支撑的草业发展迅速，展现出良好的前景。草业关系到国家生态和粮食安全，是农业可持续发展的重要环节，对社会进步和经济发展具有重要意义。随着国家对草业科学的重视及草业工作者的不懈努力，草业科学已在牧草新品种选育、人工草地建设、草原改良、病虫害防治、草产品加工、家畜饲养、生态恢复等方面取得了众多科研成果，并在实践中产生了较好的经济效益和社会效益。2011年草业科学晋升为国家一级学科，也是农业领域唯一晋升的学科，标志着草业科学的学科地位得到了社会认可。

本文就学科所包括的牧草遗传育种、饲草栽培、饲草加工、草地植物保护、草地资源与生态、草地经营与管理等方面，研究分析了本学科的发展现状、动态和趋势，以及我国的草业科学学科与国际水平的比较。立足于我国社会、经济、生态等方面对学科的战略需求，跟进、借鉴交叉学科的发展前沿，展望草业科学学科的发展前景和目标，最后提出草业科学在我国今后的研究重点和发展方向。

二、本学科近两年最新研究进展

近年来，随着《中华人民共和国草原法》等相关法规的制定为草业发展提供了法律保障，国家科学发展观的提出为草业发展奠定了思想基础，国家高度重视粮食安全和能源安全为草业发展提供了广阔空间，全社会生态保护意识不断增强为草业发展创造了良好的社会环境。国家 863 计划和 973 计划以及国家自然科学基金项目等在重大科技创新和高新技术应用领域的项目支持使得一大批具有国际影响力的成果产生。

牧草生物技术取得了重要进展。随着第二代基因组测序技术的发展，分析与植物重要农艺性状相关的功能基因变得较为简单。我国设有草学教学点的高校和科研机构在功能基因的克隆方面已与国际知名的研究机构处于同等水平。中国农业大学王涛教授团队通过基因克隆、遗传转化和功能分析发现几个在苜蓿抗逆中起重要作用的功能基因 (Li et al., 2011)。目前，已经证明抗旱相关基因 MtCAS31 与植物的抗旱性和气孔发育相关 (Xian et al., 2012)。另外，王涛课题组建立了多基因转化载体构建技术平台，为实现牧草多性状遗传改良奠定了基础 (Ma et al., 2011)。华南农业大学郭振飞课题组以黄花苜蓿为试材，通过 RNA 抑制性差显杂交技术筛选出黄花苜蓿与不耐寒紫花苜蓿品种响应低温胁迫表达差异的基因；并研究与苜蓿耐寒性相关联的基因在冷和其他胁迫因子处理下的表达特性，在一定程度上揭示了黄花苜蓿耐寒性分子机理，为牧草耐寒分子育种提供了可选择的功能基因和遗传标记基因 (Zuo et al., 2013)。中科院植物所张文浩课题组 (2011) 比较了黄花苜蓿和蒺藜苜蓿的抗冻反应，发现 CBF3 (转录因子) 和 CAS (冷特异表达基因) 的表达量与植物可溶性糖含量和抗冻性呈正相关。此外，兰州大学、甘肃农业大学、内蒙古农业大学等也进行了牧草遗传改良，从苜蓿、偃麦草、柠条、霸王、高羊茅、野牛草中利用基因同源克隆的方法，挖掘与抗逆、品质、熟性等相关的基因上百个，并进行了遗传转化等研究。目前，紫花苜蓿、鸭茅、高丹草等草种的遗传图谱绘制工作已经启动。

在草种质资源方面，至今我国已建成 1 个中心库——全国畜牧总站牧草种质资源保存利用中心 (北京)，2 个备份库——温带草种质备份库 (中国农业科学院草原研究所，呼和浩特)、热带草种质备份库 (中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所，儋州)；17 个资源圃，10 个生态区域技术协作组，覆盖了全国 31 个省 (自治区、直辖市) 的国家级草种质资源保护利用体系。截至 2012 年，已完成农艺性状评价的牧草种质 2.289 万份，抗性评价鉴定 6000 余份。这些优良性状的获得为优异基因的挖掘、种质资源创新和牧草遗传育种奠定了坚实的基础。

在牧草生产方面，长期以来，我国在牧草栽培利用方面经费投入严重不足，以至对饲草生产实践难以形成强有力的科技支撑。尽管环境条件不利，我国的饲草栽培科技工作者依然在牧草种植、推广等方面取得了显著的研究成果。国内众多的研究机构对饲草生长发育和环境的关系、饲草种植技术、饲草养分管理等进行了研究，这些理论和研究的深入促

进了我国的牧草种植。就苜蓿而言, 2011 年我国苜蓿的种植面积已经达到 377.493 万 hm^2 , 比 2001 年的种植面积增加了 85.6% (全国畜牧总站, 2011 年)。我国牧草种植区划和研究站网点的形成为今后信息收集、共享及提高牧草生产力提供了有力保障。

在饲草加工方面, 已建立了不同类型草种的加工、青贮技术流程, 颁布了有关行业标准如《NY/T728-2003 禾本科牧草干草质量分级》《NYT 1574-2007 豆科牧草干草质量分级》《NYT 1575-2007 草颗粒质量检验与分级》, 以及地方标准《DB51 T 684-2007 紫花苜蓿草颗粒加工技术规程》等。这些标准和技术规程将使我国草产品的质量评价和安全生产更加规范。目前, 苜蓿干草和草颗粒在国内大型奶牛场已经推广利用, 以玉米秸秆为原料的青贮饲料在华北、东北、中原、西北等奶业传统优势区都占有主要地位。

在草地植物保护方面, 我国已建立系统的草地病害、虫害、鼠害、毒草等防治技术体系, 在草原病、虫、鼠害及毒草为害特点、防治方法等方面均取得了一定进展。另外, 对草地资源调查、草地生态恢复和重建、草地碳贮量、生物多样性、放牧管理等研究为合理利用草地、解决饲料安全和供应、促进国民经济和社会全面协调可持续发展等方面发挥重要作用。

根据学科发展和社会需求, 草业科学科已成为本科教育一级学科。据统计, 目前我国已有 31 个科研院所招收草业科学专业本科生、硕士生或博士生, 草业科研队伍不断壮大, 草业科学人才培养体系已形成, 草业科学理论得到丰富和发展, 相关标准和规程的日益完善, 国际合作和交流也明显加强。2008 年, 在我国内蒙古呼和浩特成功地举办国际草地与草原大会, 让世界了解了中国的草原, 提升了中国草业科学的国际地位。2013 年 9 月, 国内 90 多位专家学者参加了在澳大利亚召开的第 22 届国际草原大会 (International Grassland Congress), 张英俊教授受邀做了“繁荣草原, 和谐社会”的大会主题报告, 这充分体现了我国草业科学的进步和国际声誉的提高。

三、本学科国内外研究进展比较

草业科学基础理论方面的进展主要表现为功能基因的研究体系的建立, 目前的模式植物都属草类。如, 拟南芥在其测序和突变体库建立后便被视为大多数植物基因功能研究的基础。近两年, 大量有关与苜蓿抗逆相关的功能基因、苜蓿形态发育及其与微生物共生固氮等方面的论文不断被报道。豆科植物和根瘤菌共生固氮与微生物进化的关系也被揭示 (Young et al., 2011, Nature)。此外, 谷子 (豫谷 1 号) 和狗尾草因为其基因组相对较小、单株种子量大的特点而被美国科学家提出作为 C4 植物的模式植物, 目前这两种植物的基因组测序已经完成, 遗传转化和再生已有成功的报道。这些模式植物的研究体系的建立将大大加快今后功能基因克隆、遗传学研究和育种的速度, 培育抗逆性好、品质优良的牧草新品种是牧草育种的主要方向。另外, 由美国、法国、匈牙利、德国等国多家研究机构参加的蒺藜苜蓿基因组测序项目到 2008 年已全部完成测序工作, 但相关的基因注释和功能

验证的研究仍在继续。美国能源部 Joint 基因研究所又将二穗短柄草测序，目前其再生和遗传转化体系已经建立，作为温带禾本科植物的模式植物的研究报道不断增加。

目前，苜蓿抗逆境胁迫的研究较为深入，大量与抗逆相关的转录因子以及可产生使细胞免受胁迫伤害的物质的基因已经被克隆并经过功能验证 (Suzuki et al., 2012)。提高苜蓿体内的 CT 含量是苜蓿品质改良的一项重要研究内容。已有研究证明，CT 的表达由一个单一的显性基因控制，许多苜蓿品种不含 CT，还有一些一年生的苜蓿属植物叶片中均不产生单宁 (王妍君, 2011)。二氢黄酮醇还原酶 (DFR) 是缩合单宁形成的关键酶，已在烟草等植物中进行了遗传转化和功能研究。在抗除草剂方面，美国孟山都公司与牧草遗传国际公司合作研发的抗草甘膦除草剂的紫花苜蓿新品种于 2010 年批准释放，这标志着转基因苜蓿将和转基因棉花、大豆、玉米等农作物一样，会在全球迅速发展推广。

牧草的品质改良研究主要集中在营养品质及其可消化性，提高蛋白质含量和降低木质素含量。美国已经通过基因工程的方法获得了木质素含量降低、消化率提高的转基因苜蓿品种。在苜蓿中，Dixon 实验室克隆、鉴定了一个与花青素合成相关的单宁合成酶基因 LAMP1 (2009)。在苜蓿中的过量表达显示，苜蓿合成大量的色素物质，胁迫条件下花青素的合成的增加尤为显著。此外在遗传图谱研究方面，美国、英国、法国、日本等对禾本科冰草属、披碱草属、羊茅属、黑麦草属、大麦属等以及豆科苜蓿属等草种 (品种) 间的远缘杂交进行了大量研究，特别是利用 RFLP、SSR 等多种分子标记进行的遗传作图、DNA 指纹品种识别、分子标记辅助选择、图谱克隆等方面取得较好的成果。

我国在草类植物遗传育种新技术应用方面取得了较大进展，我国草业科学研究人员利用 SRAP 和 EST-SSR 分子标记研究了扁穗牛鞭草的遗传多样性、群体遗传关系等。针对暖季型草坪草结缕草属植物抗寒性差的特性，通过关联分析法对与结缕属植物抗寒性和青绿期相关联的分子标记 (SSR 和 SRAP) 进行了研究，并构建高密度 SSR 遗传连锁图谱，为进一步解析结缕草属植物抗寒性或抗旱的遗传变异规律和机制奠定基础。随着分子生物技术的兴起，转基因技术也已成为草育种的有效手段。

利用 RAPD、ISSR、SRAP、SSR 分子标记系统研究了来自世界四大洲七个国家共 45 份鸭茅种质资源的遗传多样性，发现鸭茅种质间具有丰富的遗传变异，还能快速准确鉴定各个品种。采用 SSR、AFLP、EST-CAPS 和 RGA-CAPS 分子标记构建了高密度多花黑麦草遗传连锁图。通过 SSR 分子标记对野生扁蓿豆、紫花苜蓿和黄花苜蓿种质资源的遗传多样性进行了分析，并构建了遗传连锁图谱。筛选出了与高羊茅耐热性和越夏性相关的 ISSR 分子标记，探明了高羊茅耐热性的遗传基础，为耐热高羊茅新品种选育提供了依据。利用 ISSR 和 AFLP 分子标记技术分别研究了根茎型羊草和偃麦草的遗传多样性。通过体细胞杂交的方法，将禾本科小麦族近缘种偃麦草属植物 (中间偃麦草、长穗偃麦草) 导入小麦，并利用 SSR 分子标记对来自偃麦草属植物基抗病、耐盐等基因进行遗传定位和分析，明确了其抗逆机制，获得一批抗病、耐盐的偃麦草属 - 小麦附加系。此外，通过对控制产量、品质和抗逆性等多个目标性状的基因进行聚合和选择，培育综合性状优良的新品种。例如，将荒漠植物旱生霸王中抗旱耐盐 NHX 和 VP 功能基因聚合导入百脉根中，获

得了抗旱耐盐碱和耐贫瘠能力显著增强的转基因百脉根新品系。Hua 等人（2012 东北农业大学朱延明实验室）将野生大豆（*Glycine soja*）S-腺苷甲硫氨酸合成酶基因 GsSAMS2 导入苜蓿，使转基因苜蓿耐盐性校对照材料显著提高。Song 等人（2012，张文浩课题组）研究发现蒺藜苜蓿基因 HD-Zip 基因 MtHB2 和植物的抗非生物胁迫（冷、旱、盐）性相关，通过转基因拟南芥的研究推测该基因的表达与植物的抗逆性负相关。截止 2011 年，已通过审定登记的苜蓿品种有 75 个（紫花苜蓿 *Medicago sativa* L.54 个，黄花苜蓿 *M. falcata* L.2 个，多变（杂花）苜蓿 *M. varia* Martin14 个，远缘杂交苜蓿 3 个，南苜蓿 *M. hispida* Gaertn.1 个，天蓝苜蓿 *M. lupulina* L.1 个），其中 50% 以上为地方品种和引进品种，育成品种少、综合性状不突出，与国外苜蓿育成品种的数量和质量相比，我国苜蓿育种工作还相对落后。

总体而言，本学科已经初步构建起我国草遗传育种研究体系，牧草种质资源保护体系已渐成熟。近年来，我国草地管理学、植物保护学、草地资源与生态科学、草地经济学等已有很大发展，有的研究、技术或分支学科已达到国际先进水平和国际领先水平，但总体上与国际先进水平比较仍有差距。

四、本学科发展趋势和展望

中国草业作为一个新兴的朝阳产业、绿色产业，必将受到社会的高度重视，必将更加充满活力，必将在实现生产发展、生活富裕、生态良好的和谐社会的建设中发挥越来越重要的作用。我国是一个草原大国，拥有各类天然草原近 4 亿公顷的草原资源丰富，但是由于人为活动等原因，草原退化、沙化、盐碱化严重，生物多样性受到破坏，草原病虫害危害加剧，要进行生态恢复和重建，势必对优良牧草品种的需求增大，这也对草业科学的发展指出了方向。

（1）草遗传育种学方面。①加强草种质资源收集保存与共享利用；②加强草种质资源评价鉴定与创新利用；③加强草种质资源重要抗逆品质等基因克隆与功能鉴定；④加强现代生物技术（分子标记辅助育种、转基因技术育种等）与航天育种技术、倍性育种技术的利用，开展草遗传育种研究，加速优质、高产、高抗等优良生物学性状的草新品种选育进程；⑤加强草遗传育种研发团队的建设；⑥加强高效饲草产品添加剂的筛选与创制，推进饲草产品的高效利用技术；⑦加强政策引导和投资力度。

（2）饲草栽培学科方面。应当重视栽培区域主栽草种的品种筛选、重视障碍土壤改良和耕作措施、豆科牧草根瘤菌剂研发、播种技术及苗期杂草控制技术，对以土壤养分丰缺指标为核心的测土施肥系统和施肥模式、以饲草需水规律和自然供水规律为基础的灌溉模式等也要加以重视。

（3）饲草加工学方面。应加强抑制饲草产品养分劣变的调控技术，研究与探索不同原料、不同调制措施饲草产品加工贮藏时养分的动态变化过程，高效阻留可供动物利用的养

分。科学制定符合中国特色的饲草产品质量评价标准，加强广谱性、复合型饲草生物性添加剂的筛选与创制，加强我国南方地区青贮饲料生产与利用技术。

(4) 草地植物保护学方面。应加强建立牧草病虫害监测预报网络，制定适当的经济阈值（即防治指标），加大政策扶持与资金投入，专题立项研究、建立可持续发展的草地病虫害防控体系，密切关注国外草地病害的发生动态，预防危险病害的传入；培育出一批具有我国知识产权的牧草抗病新品种，从种子源头提高牧草产量和品种；利用生物制剂防治病虫害，利用天敌的同时合理使用化学农药。

(5) 草地资源与生态方面。应加强草地植被恢复与重建研究，主要集中在放牧对植被的影响方面；加强草、畜间的正负反馈调节机制研究、放牧生态理论指导下的草地管理模式等基础与应用基础研究；加强全球气候变化下的草地生态系统碳氮循环研究，注重草地资源的合理配置与生态优化。

(6) 草地经营与管理方面。主要任务是防止草原灾害的大规模发生，巩固现有可利用草原资源，加大草原恢复治理的力度，加快人工草地建设步伐，提高草原产草量，高度重视草原资源的合理利用，缓解草畜矛盾，解决农牧矛盾，促进农业和畜牧业协调稳定的可持续发展。

第二十九节 全科医学

一、引言

全科医学是临床二级学科，是一个面向社区与家庭，整合临床医学、预防医学、康复医学以及人文社会学科相关内容于一体的综合性医学专业学科。其范围涵盖了各种年龄、性别及各个器官系统以及各类疾病，其主旨是强调以人为中心、以家庭为单位、以社区为范围、以整体健康的维护与促进为方向的长期综合性、负责式照顾，并将个体与群体健康融为一体。

二、本学科的发展历程

我国传统中医的游方“郎中”走村串巷、内外妇儿有病就看的整体诊治，可谓中国全

科医学的“先行者”，被世界卫生组织和世界银行誉为“以最少的投入获得了最大的健康收益”的“中国模式”，“赤脚医生”成为新中国历史上“全民医疗”的第一次伟大尝试。

改革开放后，西方发达国家的全科医学理念和全民医疗制度被介绍到中国。1989年，首都医科大学率先成立了全科医师培训中心；1993年，中华医学会全科医学分会成立。1994年，复旦大学附属中山医院（原上海医科大学附属中山医院）全科医学科成立，成为我国第一个在三级医院设立全科医学科的综合教学医院，开辟了我国在临床医学领域探索全科医学学科发展和全科医生培养的先河。2002年复旦大学上海医学院建立了国内首个临床医学专业中的全科医学系。此后，首都医科大学、原浙江医科大学等医科院校先后开始培养本科、大专等各层次全科医生。

1997年，《中共中央、国务院关于卫生改革与发展的决定》作出“加快发展全科医学，培养全科医生”的决策，与之相配套的《关于发展城市社区卫生服务的若干意见》等关于全科医生的政策相继出台。1998年，卫生部颁布医疗职称序列，“全科医师”亦被纳入序列，它在我国医疗体系中的地位得以确立。

2000年，卫生部印发《发展全科医学教育的意见》，确定了全科医学专业为临床专业学科之一，全科医学教育以毕业后教育为核心。2001年，全科医学纳入临床专业资格考试和评审系列。

2011年颁布的《国务院关于建立全科医生制度的指导意见》提出全科医生制度建设目标是：到2020年，使每个城市社区卫生服务机构和农村乡镇卫生院都有合格的全科医生；再经过几年努力，基本形成统一规范的全科医生培养模式，即先接受5年的临床医学（含中医学）专业本科教育，再接受3年的全科医生规范化培养的“5+3”模式；基本建立首诊在基层的服务模式，基本实现城乡每万名居民有2~3名合格的全科医生，更好地为群众提供连续协调、方便可及的基本医疗卫生服务。我国的全科医学迎来了发展的春天，全科医学的发展为深化“医改”开拓了一条破解“看病难”、“看病贵”的道路。

三、本学科的发展现状

（一）我国全科医学服务模式

目前，随着国家医改的深入，卫生服务站布局、全科医生服务签约、居民健康管理等与全科医学相关的改革试验相继出现。

社区（乡村）卫生服务中心（站）是提供基本医疗和公共卫生服务为主的基层卫生机构，以辖区内的居民为服务对象，以妇女、儿童、老年人、慢性病人、残疾人和贫困居民等为服务重点，提供基本医疗服务和公共卫生服务。

全科医生签约服务是建立“契约服务关系”的全科医生制度，推行家庭医生式保健服务，以“户户拥有家庭医生、人人享有卫生保健”为目标，将是未来社区卫生服务的主要模式。

全科团队居民健康管理是指由全科医师、全科护士、公卫医师等组成的全科团队，利用社区健康促进平台，将预防保健、健康教育、慢性病管理与防治结合在一起。

（二）我国全科医学教育和培训

自 20 世纪 80 年代末，全科医学开始在我国医科院校试点，全科医学教育始终紧随国家医改步伐，积极探索一条适合中国国情的发展道路。目前，我国已经初步建立了高等医学院校学历教育、毕业后医学教育和在职继续医学教育三个阶段构成的全科医学教育培养体系，以及适合当前卫生国情，以提高基层医疗队伍职业能力、转变社区卫生服务观念为目的的两项全国性培训，即全科医学岗位培训和师资培训。

1. 探索全科医学学历教育体制

据卫生部全科医师培训中心 2010 年调查显示，全国 128 所设有临床医学专业本科的高校，有 63 所院校开授全科医学课程。2011 年 8 月，全国医学专业学位研究生教育指导委员提请国务院学位办增设临床医学（全科医学领域）专业学位，建议有条件的高校开展全科医学研究生培养。而后，根据国务院学位办的规定，复旦大学、浙江大学、重庆医科大学等院校相继自主设置了全科医学硕士、博士研究生教育。

2. 建立全科医生规范化培养模式

2000 年复旦大学附属中山医院在全国率先开展了全科医学毕业后医学教育（即全科医生规范化培训模式）的探索。在此基础上，2006 年上海全面开展全科医生规范化培训。2001 年，复旦大学全科医生规范化培训学员在参加全科医生规范化培训的同时完成研究生学位课程学习，开创了“临床医学硕士学位教育与全科医生规范化培训”相衔接的全科医学高级人才培养模式之先河。2010 年，上海率先全面实行医学毕业后住院医师规范化培训，创设了全科住院医师培训与全科专业硕士培养相结合的专业技能合一途径。2011 年，国务院《关于建立全科医生制度的指导意见》明确统一规范的全科医生培养模式是“5+3”模式。

教育部进一步阐明“毕业后医学教育是全科医学教育的核心是全科医师培训的主渠道”。2012 年，卫生部、教育部公布《全科医生规范化培训标准（试行）》和《助理全科医生培训标准（试行）》，对全科医生及助理全科医生的培养提出了规范化的国际要求。

3. 开展全科医学岗位培训和转岗培训

卫生部总结各地基层医务人员全科医学理念改造和业务培训的做法、经验，制订了全国性的计划性的全科医生岗位培训和转岗培训计划，目前各省市自治区的第一轮培训已基本结束。

为配合全科医生岗位培训和转岗培训计划，卫生部组织了专家学者编写全科医生岗位

培训和转岗培训教材、培训大纲、考核标准。截至 2012 年，人民卫生出版社已出版全科医生转岗培训系列规划教材，全科医生规范化培训系列教材已基本成稿，并于 2013 年正式出版。

（三）我国全科医学学科建设

全科医学发展的根基在于学科建设和进步。我国的全科医学由大学引进，从大学推广，目前已成为医科院校的新兴学科。国内主要大学或医学院校建立了全科医学系或全科医学教研室，并衍生设立全科医师规范化培训和全科师资培训的核心基地。

国内中华医学会系列学术期刊和著名大学学报为全科医学学科创造了良好的学术交流平台 and 全科医师继续教育的资源。中华医学会全科医学分会承担了组织全国全科医学同仁学术交流和继续教育培训。

国内部分著名大学附属医院在全科医学学科建设过程中，积极探索建立全科医学专科，如：复旦大学医学院附属中山医院和浙江大学医学院附属邵逸夫医院相继建立了专门的全科医学科，已成为全科医生培养和全科医疗服务的教研环节和示范平台。

四、本学科发展趋势分析

（一）医疗卫生改革为全科医学带来强劲发展推动力

我国长期以来以医院专科化服务为主的医疗体制，形成了“看病难、看病贵”现状，建立完善的基层卫生服务体系，是保障和改善居民健康、降低国家卫生负担的迫切需要。某种意义上讲，发展全科医学、培养全科医生已关系到医改全局的成败，今后国家仍将发展全科医学提高到国家战略的高度来加以重视和执行。

1. 确立全科医生制度

全科医生制度在 2011 年国务院常务会议上通过建立，这是我国全科医学事业的一个转折点和里程碑。全科医生制度提出了包括建立统一规范的全科医生培养制度、培养合格的全科医生、改革执业方式、创新激励政策等全科医生制度。全科医生制度将依靠医疗保障体系，实施社区守门人战略，构建双向转诊体系，开通信息网络服务资源。全科医生制度能否成功的关键取决于今后全科医生人才的培养规范化，以及全科医生制度的法制化。

2. 建立社区卫生服务首诊、分诊及双向转诊制

国家医改措施通过增强服务能力、降低收费标准、提高报销比例，将社区卫生服务纳入城镇职工基本医疗保险，使一般诊疗下沉到基层，逐步实现社区首诊制。通过构建以大

型医院为依托、社区卫生服务机构为基础的卫生服务网络体系，目的是使社区医疗机构借助大医院的名牌效应和技术支持，充分发挥自身的服务职能，充分利用医疗资源，实现区域内医疗需求的分诊分流，形成“小病在社区、大病到医院、康复回社区”的新格局。

3. 健全全科医学官方管理体制和非官方行业自治机制

建立行政区域内全科医学和基础医疗保健的管理机构，建立和完善一个综合性的、人性化的、平等的、可持续发展的医疗卫生保健体系，提高全科医生及其它基层医疗保健人员的专业水平和服务质量。同时，倡导行业组织在全科医学管理上发挥更大的作用，进一步发挥在专业发展、行业规范、人才培养、标准制定和业内管理中的作用，成为政府决策智库、人才培训基地、行业协调平台，有力地促进全科医学发展，有效地提供优质全科医疗服务。

4. 探索公民参与监督社区卫生和全科医学服务

关注社区卫生服务是公民社会民主发展的重要平台，也是提高公民健康科学水平的有效途径。农村建立社区卫生委员会作为基层卫生服务管理的一种公众参与机制，通过建立自下而上的卫生社情民意沟通管道和社区卫生监督体系，让村民参与基层卫生的决策和管理，改变自上而下的传统卫生管理模式，改善基层医疗服务，提高政府的治理能力。

（二）医学教育改革为全科医学发展奠定人才基础

在全科医学教育体系的学校教育、毕业后教育和继续教育三个阶段中，毕业后全科医学教育、培训是全科医学教育的重点与核心，主要指全科医生规范化培训和专业型研究生教育。

1. 加强全科医学的学科建设

建立全科医学系和临床全科医学专科，建设一流的全科医学学科是确保培养合格全科医师的体制、机制条件。目前，我国医学院校充分借鉴学科建设和人才梯队培养方面的经验，整合有效的教学资源 and 临床资源，建立了一支专职的全科医学系师资队伍。只有拥有一支专职的、经过全科医学系统化培养的师资队伍，才能保证学生受到的是面向社区和家庭提供全科医学服务的系统知识和适宜技术，而不是临床各科的大杂烩。

2. 改革高等院校医学教育的模式

医学本科生培养是包括全科医师在内未来临床医生的主要来源，在总结过去全科医学发展经验基础上，重新设计、修正、实施新型全科医学教育模式是全科医学工作者的一项重要使命。新型全科医学教育在服务居民和病人方面，要着重培养全科医疗的人性化，建立全科医生与患者互信、长期的紧密合作关系；在职业能力方面，要重点培养团队精神和领导技能以及研究分析和决策能力。

3. 完善全科医生的规范化培训

《国务院关于建立全科医生制度的指导意见》明确提出规范全科医生培养模式，逐步实现“5+3”模式培养。“5+3”模式将是我国全科医生培养的主流模式。而全科医生培养需要完整的培养体系，需要建立临床教学基地和社区教学基地，临床师资和社区师资队伍。临床和社区教学基地主要承担全科医生的临床培训、基层实践与职业素养训练，师资队伍主要是承担上述教学基地的临床、基层实践的教学任务。

4. 建立全科医学的终身教育体系

借鉴国外全科医生的职业化教育模式，全科医生在完成住院医师规范化培训后，要有完整的、贯穿整个职业生涯的继续教育计划。政府部门或行业组织要按全科医学学科技术层次和学科发展水平，建立一个相应的、全面的终身学习计划和考核标准。全科医生继续教育相当重要，一是调动全科医生个人的工作积极性，二是提高全科医生的业务能力，三是改善居民享受医疗保健服务的资源条件。

（三）数据网络建设为全科医学搭建信息化发展平台

进入 21 世纪，信息技术的飞速发展使得现代医学信息化程度也越来越高。而医疗卫生信息是最庞大、最复杂的资源，也是信息化体系建设中最有应用前景和开发价值的领域。我国医疗卫生信息化建设虽然起步晚但发展快，许多省市已将卫生信息化建设同步纳入基层医疗服务体系建设之中，这将对社区卫生服务、疾病预防控制、家庭健康保健和基本医疗服务产生革命性的变化，全科医学将增加实现全时空、全数字的新特点。

国家正在推广建立统一居民健康档案，将通过居民健康档案数据库与互联网信息信道的结合，开展相关疾病筛查、健康指标预警、高危人群跟踪、健康干预和针对性医疗服务，由过去“发病管理”向现在“发现管理”转变，实现三级预防向二级、一级预防的提升。

互联网还可以构建声像数据远程传输系统，实现基层全科医生与上级医院专家教授的实时临床会诊、手术指导、影像切片数据的辅助诊断。电子化病例病案的数据库建设，使得全科医生依靠循证医学方法进行疾病诊治成为可能。社区居民也可以通过网络系统查阅健康档案信息，实施自我健康管理和健康促进。

五、本学科发展亟待研究的问题

（一）全科医疗及社区卫生服务设计的研究

服务设计的理念来源于工程和制造设计，虽然全科医学服务基础是社区卫生服务，

但全科服务具体内容的概念并不清晰。在社区卫生服务中包括很多服务，首先需要理清服务的概念；服务概念界定后，提供与之匹配的人力、物质、技术等众多资源的整合和时序构成的服务系统。最后，患者与服务项目契合形成服务过程，通过“蓝图法”（Blueprinting）制定每项服务所用时间、可能出现误差的环节，以规范达到提高效率和保证质量。

（二）社区卫生服务绩效评价体系的研究

卫生服务的绩效评价是一个世界性的难题，我国医改尚在继续，社区卫生服务绩效评价成为推进全科医生岗位设置和收入分配的关键性政策。我们亟待借鉴国际上社区卫生服务绩效考核的思路和经验、技术和指标，构建符合中国实际的社区卫生服务绩效评价理论，从以往粗放式的社区卫生服务评估转为新型社区卫生服务的目标、指针及标准的评价。社区卫生服务只有量化了绩效，才能量化工作量，才能量化全科医生的岗位数，才能形成与社区卫生服务绩效相一致的全科医生分配激励机制。

（三）社区卫生服务质控与安全体系的研究

安全和质量是医疗卫生服务永恒的主题，要在量大、面广、管理水平相对薄弱的基层社区做到社区卫生全科医疗既安全、又有质量，关键是确保社区卫生服务中心运作和全科医生服务的技术质量和功能质量都标准化、规范化和制度化。因此，需要研究社区卫生服务质控与安全的质量标准体系和评估规范，建立持续监督和反复评估的社区卫生服务安全质控制度，确保患者安全第一，服务质量不断提升。

（四）全科医学教育的适宜性和系统化研究

我国的全科医学教育的三段模式是否能适合国情，是否符合全科医生职业成长需要，是否具备承前启后的系统性和规律性都成为全科医学教育需要研究的实际问题。因此，在开展全科教育三阶段重点研究同时，还需要关注全科医学教育需求和布局的关系，研究全科医学学校教育、毕业后培训和继续教育之间衔接的连续性和统筹的系统化。

第三十节 人体解剖与组织胚胎学

一、引言

人体解剖学和组织胚胎学属于广义的“解剖学”，主要关注人体的形态和结构，是医学门类中历史最悠久的经典学科，也是其最重要的起源和基础学科。随着世界科学技术水平的不断进步，研究人体形态结构的手段也不断跃升，人们对自身结构的认识逐渐从器官、系统水平向组织、细胞、分子水平发展，使得“解剖学”研究不断地从宏观深入到微观，从“经典”到现代，继续成为支撑当代最有活力的生命科学腾飞的重要一翼。

随着人类社会进入“智能化”、“信息化”和“数字化”的知识经济时代，研究人体形态结构亦步入数字、纳米、分子和基因水平。例如，在人体解剖学领域内，数字解剖学（Digital Anatomy）、分子解剖学（Molecular Anatomy）和基因解剖学（Gene Anatomy）应运而生；计算机断层扫描（CT）和正电子断层扫描（PET）技术则促进了对人体断面或器官内部结构的研究，产生了断面解剖学（Sectional Anatomy）；当代“转化医学（Translational Medicine）”的发展使得人体解剖学、人体组织学和人体胚胎学不断涌现出新的学科增长点和发展方向，与医学其他各学科互相渗透，互相推动，相互促进的势头更加强劲。学科的研究内容因此不断地超越着传统范围，取得了可持续和长足的进步。近几年来，本学科还涌现出了一批在国际上有影响力的学者，推出了一批被 *Nature*、*Science* 和 *Cell* 等知名杂志刊载的高水平研究论文，获得了一批包括国家科技进步奖在内的高水平成果。

二、本学科近年来最新研究进展

（一）人体解剖学

人体解剖学具有系统解剖学和局部解剖学两个传统分支。

系统解剖学的研究进展主要集中在对神经结构的新认识，特别涉及神经系统内的纤维联系和神经活性物质的分布和定位。我们初步阐明了大脑皮层内参与神经活动信息整合、

基底神经节内参与躯体运动调控、脊髓背角内参与痛信息传递和调控等有关的局部联系通路；还进一步诠释了参与上述各项机能活动的神经活性物质及其受体的分布。我们还从形态学角度对神经变性疾病（如帕金森病、阿尔兹海默病、亨廷顿病、脊髓侧索硬化症）和中枢神经损伤修复进行了有影响力的研究，在周围神经损伤修复、神经发育、胶质细胞和触液神经元等方面的研究也取得了一系列成果。我们的研究结果对于揭示脑的奥秘或神经系统功能、查明难治性神经疾病的病因及其诊断、治疗具有重要意义。第四军医大学李云庆和费舟等关于镇痛机制神经学基础的研究和颅脑创伤后继发性脑损害发生机理与诊治新技术的研究分别荣获2009年国家科技进步奖一等奖和2010年度国家科技进步奖二等奖。

局部解剖学具有很强的临床实用性。为了推进临床工作中新出现的各项诊疗技术（包括微创介入治疗技术和组织工程技术）的进步，我们充分发挥传统大体解剖的优势，理论密切联系实际、基础积极联系临床，广泛开展了与各项诊疗技术相关的局部结构、手术入路、显微解剖、断层解剖等研究，在推动解剖学本身发展基础上，大大促进了临床显微外科解剖学、人体器官移植、组织工程等学科日新月异的发展。

（二）断层解剖学

断层解剖学能够在原位保持机体结构的状态下准确显示人体断面形态变化、位置关系并便于计算机二维和三维重塑，在影像诊断学和介入放射学等临床工作中具有重要应用价值和很大的发展动力。我们的断层解剖学研究结果决定了中国人断层解剖学图谱的编制以及对重要器官和局部的断层解剖结构的新认识，丰富和完善国人有关CT、MRI、PET等影像的断层解剖学资料，初步改变了国人断层解剖学活体数据缺乏的现状。此外，还从个体发生角度探索了人体不同发育时期结构和生化成分的系列变化；从不同水平揭示了各种介入技术引起的组织、细胞形态与机能变化规律，揭示了介入技术治疗疾病和引起并发症的机制及防治措施。研究结果对多种疾病的影像诊断、介入治疗、人体信息的数字化和虚拟化技术的发展，有重要的理论意义和实用价值。

（三）人体组织学

对人体组织和细胞（特别是生殖系统和生殖细胞）的研究已经从细胞水平深入到对DNA、mRNA、蛋白质及其他生物小分子的独立和多层次综合研究；已采用多种手段对生殖系统和生殖细胞的特定基因、蛋白展开立体研究。这些研究以临床需求为导向，具有临床应用前景并便于实现转化，推动了我国生殖医学和计划生育工作的开展。此外，在神经系统疾病的发病、预防、诊断与治疗以及涉及肿瘤、感染、移植、自身免疫性疾病的机体免疫特点关系（包括疫苗制备）研究方面成果喜人。对干细胞的基本分子生物学特性、开发和解决临床应用中的问题等的研究方面，也取得令人鼓舞的成绩。

（四）人体胚胎学

该领域的研究主要集中在生殖细胞受精、胚胎发育过程、胚胎与母体关系和先天性畸形成因等方面。研究不仅促进了医学教育、辅助生殖、预防先天性疾病的发展，还为胚胎学在医学和社会实践中的应用如细胞迁移、肿瘤分类、优生优育和计划生育等创造了有利条件。随着生命科学的迅速发展、先进实验设备的大量出现和新型技术方法的不断成熟，我们已经能够在分子水平探索胚胎细胞的成分及发育机制。此外，我们还已能将表观遗传学技术应用于胚胎发育研究，在胚胎发育中的基因调控作用、胚胎发育与肿瘤形成的关系、先天畸形与胚胎发育的关系等方面都取得了有应用前景的研究成果。

（五）人类学

针对人类起源的重要命题，吴新智院士提出的“多地区进化学说”已经成为世界上最具影响的两大学说之一。此外，我们在全中国大部分省区开展了汉族容貌特征的多指标系统调查。在个体识别方面，我们引进了分子生物学技术，促进了个体识别和法医人类学的发展。我们对人体成分研究更是密切结合临床实际，由浅入深，为临床治疗和人工工效学等领域提供了有力的指导。此外，我们还找到了西藏藏族特殊的高原缺氧耐受基因，为查明其起源和维护祖国统一提供了科学依据。

（六）数字解剖学

我国与美国、韩国同属世界上系统开展数字解剖学研究的主要国家，而且我们的发展速度远远超过了美国、韩国，走在了世界前列。基于我们已经拥有的例数最多的数字化人体数据集，在钟世镇院士带领下，张绍祥等绘制出了人体内主要肌肉、骨骼、关节、神经、血管和主要内脏器官的三维图像，出版了《人体数字解剖学图谱》并实现了成果转化，初步实现了虚拟人体解剖操作，在国内外专业期刊上发表了大量研究论文，培养了一大批专业人才，为我国数字解剖学和数字医学的基础研究和迅速发展奠定了坚实的基础。为此，张绍祥等的“中国数字化人体数据集的建立”项目于2007年获得国家科技进步奖二等奖。

（七）医学发育生物学

该领域的研究包括干细胞和衰老方面的基础研究成果在临床实践中的应用，以及生殖和优生方面的理论研究对临床实践的指导。根据我国辅助生育以及计划生育基本国策的重大需求，遵循转化医学的原则，从解决人类生殖的基本起源——配子发生发育的分子机

制这一重大科学命题入手，围绕配子水平的生育调控、环境干扰、生殖障碍、相关疾病等主题，探索生殖医学的基本规律。有关研究成果对于揭示人类生殖繁衍及其相关疾病的奥秘奠定了实验基础，为国家制定人口健康计划和生育调控政策提供了理论依据，为临床生殖相关疾病提供了治疗和防控对策，对于落实国家优生优育的和谐发展战略、保障人民健康、提高生命质量具有重要意义。

（八）再生医学

随着近年来干细胞技术研究的深入发展，我们采用干细胞与再生医学技术策略在治疗多种组织和器官的损伤和疾病方面取得较大进展。我们发明了壳聚糖神经导管内嵌聚乙醇酸纤维支架的人工神经移植物和仿生型丝素神经移植物，并通过创新工艺制备成管壁多微孔、抗拉强度好、生物相容性佳、血管生长良好、降解速度可控的神经导管，解决了无交联剂壳聚糖成型加工、跨管壁物质交换和血管化、移植物降解与神经再生速度相适应等难题。用该神经移植物修复坐骨神经缺损，术后半年移植物完全降解，功能恢复良好。该移植物已经获得国家、省食品药品监督管理部门许可进入临床试验，初步结果显示借助它能够修复人神经干缺损，恢复受损的神经功能。2012年获国家技术发明奖二等奖，*Science*杂志撰文对这一成果进行了重点报道。

在干细胞研究领域，在国际上首次从胎儿及成体组织分离到亚全能干细胞，经培养诱导证实具三胚层多组织分化潜能，并在建立实验动物模型基础上，实现了造血、心血管、肝脏、肺、肌肉等组织损伤再生修复。首次建立了干细胞规模化制备工艺、功能评价体系、产品质控标准和 SOP 规程；研制了国内第一个干细胞新药，并开展治疗恶性血液病等安全性、有效性临床试验取得良好效果；创建了国内同行业集基础理论研究、技术工艺开发和临床应用一体化的成体干细胞综合技术体系，形成了我国在成体干细胞研究领域的特色和优势。2009年该项目荣获国家技术发明奖二等奖。

（九）脑网络组学

我国学者蒋田仔教授在6年前就在世界上首次提出了“脑网络组学”的研究体系。中国解剖学会也在美国国立卫生研究院（NIH）最近宣布启动的“通过推动创新性神经技术进行脑研究”的计划（brain research through advancing innovative neurotechnologies, BRAIN；简称“脑研究计划”）之前，就通过各个主管部门审批，成立了中国解剖学会脑网络组学分会，建立了多个具有国际影响力的脑网络组研究团队，使得我国在脑网络组的计算理论和方法方面处于国际先进水平。我们的研究团队目前主要利用神经影像（多模态磁共振影像）进行宏观水平的脑网络研究，在正常人类脑区分、脑内网络的发生和发育、精神性疾病状态下脑网络的变化等方面，取得了该领域国际领先的研究结果。此外，我们利用华中科技大学研发的 MOST 平台，在世界上首次实现小鼠全脑光镜显微图像的自动三维重

建,空间分辨率达到微米级,可使神经突起在三维空间内清晰可见。以上结果不仅为从脑网络的连接模式及其演变规律方面阐明脑的工作机理及脑疾病的发生和发展机制、制作仿真脑奠定了基础,也为研究脑的信息处理、组织模式和高级功能,揭示脑的奥秘提供了有效途径。

三、本学科国内外研究进展比较

基于规模和学术成就,中国解剖学会在世界同类学会中具有较强的影响力。但也要充分认识到,我国的研究水平在很多方面与国际最高水平还有较大差距,地区、单位之间差距显著,总体水平还不够高。例如,我们还缺少更多的、国际领先的研究团队和原创性基础研究成果;我们的研究技术和手段还相对落后,研究深度不够;跨学科、单位和地区的协作攻关尚较不足,还没有形成集中攻关优势;在成果转化方面亦很欠缺;在一些诸如组织工程、体视学、脑网络组学等新兴领域方面的研究则尚处于起步阶段,研究队伍亟待加强。

四、本学科发展趋势及展望

今后,人体解剖学科的研究工作和学科发展要注重从以下几个方面凝聚目标和任务:

(1) 人体解剖学应在充分发挥传统大体解剖优势的基础上,努力适应和紧跟形势,从理论联系实际、基础研究解决临床实际问题出发,强调研究成果的实用性和及时转化,将研究成果应用于临床医学诸领域。同时,要组建跨学科的研究队伍,组织多学科联合攻关,进行系统、细致、深入的探索人体奥秘(如揭示神经系统的结构和功能)的研究。

(2) 断层解剖学研究应尽快丰富和完善活体(如CT、MRI)断层解剖学资料,进一步发展发育断层解剖学、介入放射解剖学方向的研究。同时,大力推广普及生物塑化技术,建立现代化解剖学教学环境,开发具有自主知识产权的新一代高分子生物固定材料,建立高技术含量的生物塑化材料产业,标准化生物塑化制作工艺。

(3) 人体组织学的研究应该跟踪本学科的热点和难点问题,特别是针对生殖医学和再生医学开展研究。进一步加强基础研究与临床应用的结合,针对临床工作中存在的问题选择研究课题,尽快实现成果转化。

(4) 人体胚胎学应加强与医学发育生物学和生殖生物学研究领域的联合,紧密围绕医学教育、产科学、计划生育、优生优育、先天性缺陷或先天性畸形疾病等的发病机制和防治展开深入研究,力争掌握胚胎发育过程及生殖机理,在分子水平探索胚胎细胞的成分及发育机制。对于表观遗传学在胚胎发育中的调控作用、胚胎发育与肿瘤形成的关系等也应是今后胚胎学研究的重要方向。应当根据我国人口健康的重大需求,遵循转化医学的原则,从解决重大科学难题——配子发生发育的分子机制入手,围绕配子水平的生育调控、

环境干扰、生殖障碍、相关疾病等主题，探索生殖医学的基本规律，揭示人类生殖繁衍及其相关疾病的奥秘。

(5) 人类学应在进一步扩展人类化石收集渠道的同时，开展多学科、多地区的合作，运用不同的方法和手段，从不同的层面和视角构建理论框架，形成更加充实、完善、成熟的理论体系。将人像资料的研究和鉴定作为人类学研究成果在应用方面的重要课题，重点开发计算机图像转换技术，运用人类学的资料进行人面相比较鉴定。开展体成分普查，对亚健康人群提前进行健康干预，对糖尿病、心脑血管疾病、肿瘤的防治具有重要意义。

(6) 干细胞与再生医学研究要深入探讨胚胎干细胞移植与受体畸胎瘤发生相关的分子机制、胚胎干细胞体内免疫调控与受体排异的机制、移植的干细胞在受体组织的转归和长期命运及体内功能与作用的机制。建立有效检测干细胞在体外培养和诱导分化过程中出现的各种遗传和表观遗传变异，并建立有效的评估各种变异临床意义检测体系。以应用为导向开展再生医学研究，促进再生医学的转化研究，加速实现研究成果产业化的进程。同时，还应加强生物材料、细胞治疗、生长因子、细胞因子等基础方面的研究。

(7) 脑网络组学研究应加大人员和资金的投入，重点发展磁共振序列研究，开发提高时空分辨率的新技术、采用新成像机制获得正常和不同疾病条件下更清晰和更准确的脑网络结构和功能图像，鼓励不同领域的研究人员开展合作和协作研究，最终达到“认识脑、开发脑、改造脑”的目的。

第三章

学科发展研究报告 (2012—2013)简介(英文)

1. Chemistry

In the last two years a great progress in the chemical research in mainland of China has been achieved. This report organized and edited by the Chinese Chemical Society summarizes the achievements attained by Chinese chemists briefly and it consists of a comprehensive report, eight special topic reports and a supplement. There are more than 1100 references cited.

There are four sections in the comprehensive report: ① introduction; ② the international hottest research topics in chemistry in the last two years; ③ the important progresses of Chinese chemistry in the last three years, including the development of Chinese chemistry viewed from statistical data and the main progresses of Chinese chemistry; and ④ prospects and suggestions.

It has been pointed out emphatically in introduction that the world will welcome the coming of the sixth scientific and technological revolution in 21st century and “the revolution of the giant chemistry” will be one of the most important core contents of this scientific and technological revolution.

Based on the information searched from “Science Watch”, the second section of the comprehensive report describes some hottest research topics in chemistry field in the world in the last two years, helping the readers to understand the developing trend of chemistry. These topics involve new energy sources, new materials, new reactions and phenomena and relative subjects.

The third section of the comprehensive report gives out the statistical data about the winners of national scientific and technologic prizes and the academic articles published by chemists at home. These data indicates that chemistry is lying in the speedy development period undoubtedly. Its main features can be described as following in briefly, that is, basic research is more solid and deep, the thought of green and sustainable development is concerned emphatically, some growing and hot subjects and issues are developing as same steps with international chemical society and parts of issues are playing the role of leading the development of the subject, the transformation of the achievements obtained in laboratory to the power of the production is being paid more and more attention and making some breakthroughs, the academic exchange both in international and domestic areas are more wider, the amounts of the published papers have positioned the first place in the chemistry world and the qualities have raised greatly.

In this section of the comprehensive report, the main achievements and breakthroughs in the chemistry researches and developments attained by chemists domestically are reviewed according to the traditional classification of the subjects in brief. The main contents and some examples are described simply as follows.

In the part of inorganic chemistry, the progresses of fabrications, structures and properties of a series of inorganic materials are reviewed. These materials include ① the inorganic nano materials including noble metal/rear earth nano structural materials, metal-oxides, quantum dot materials, graphene and its modified materials, photonic crystals with narrow gap, and so on; ② the porous coordination polymer materials; ③ coordination catalysis for the activation of C-F bond and the activation of inactive B-H bond and C-H bond at the same time; and ④ coordination supramolecules. The progresses on the syntheses, structures, properties and applications of the microporous molecular sieves with novel structures, the molecular sieves materials with special functions, functional mesoporous materials, metal-organic-frame materials and porous polymers with special functions are summarized, too. For example, the three kinds of synthesized microporous molecular sieves which have been recognized as new type structural molecular sieves by the Structure Committee of International Associate of Molecular Sieves, the molecular sieve TS-1 with good catalytic performance for oxidation of macromolecules, the functional FOM material with obvious absorptive property for carbon dioxide, a novel biomimetic macromolecular nano device and the tiny, brightly glowing nanoparticles as detecting disease biomarkers etc. have been developed successfully. In addition, the applications of the porous coordination polymer materials on catching of carbon dioxide and storing of the hydrogen, the bioinorganic chemistry research on metalloenzyme analogous catalysts and its interaction rule with G-quadruplex DNA and development of therapeutic vaccines and so forth are introduced, too.

In part of organic chemistry of the report, the progresses on the asymmetric reactions catalyzed by metal or organic small molecules, C-C coupling reactions, C-H bond activation reactions, formation and activation of C-F bond and methodology for synthesis of fluorine-containing compounds are reviewed. Numbers of examples indicate that the study on organic reactions and synthetic methodologies in China keeps continually the strong and speedy developing situation in these years.

The complicated natural compounds which have been all-synthesized successfully by Chinese chemists recently are listed out, too. For instance, the all-syntheses of (±)-schindilactone A with good activity for adjustment of immunization extracted from traditional Chinese medicine Wu-Wei-Zi and typical oceanic sterols compound Cephalostatin 1 with the best antitumor activity have been accomplished successfully. The collective synthesis, scale- and multi-synthesis of natural product family and analogues, and function-oriented synthesis are the key points being concerned by the organists in the field of synthesis of the natural products, and they will still be the trend in

the future. Some good results are introduced in the report.

The hundreds of new compounds and new types of frame structures have been found from natural products. At the same time various important bioactivities have been found from tens of compounds among these compounds. They will play the very important roles to explore the mechanisms of the traditional Chinese medicines and design new drugs.

For chemical thermodynamics and thermal analysis, the important progresses on the fields of thermodynamics of green solvent systems, material thermodynamics, bio-thermodynamics, colloids thermodynamics and new type thermo-analytical instruments, especially in the thermodynamics of phase behaviors and intermolecular interaction of complicated systems including ionic liquids, supercritical fluids, supercritical fluids/ionic liquids, have been achieved. The thermodynamic and diffusion data bases of the aluminum alloy with the highest accuracy in the world and thermodynamic and kinetic data base of hard alloys have been set up.

For catalytic sciences, the traditional concepts have been broken through exploring in the directions including ① to design and control the structures of catalytic active sites and the environments of chemical coordination on the nano scale; ② to understand and explain the formation of nano structures and properties of catalysts on the molecular level; ③ to design and construct new catalyst materials; ④ to find the new catalytic reaction and develop new research methods and techniques. Based on these researches some new thoughts and methods for designing catalysts and researching catalytic mechanisms are presented. For example, it has been found that the effects of confinement inside carbon nanotubes of catalysis, the surface morphologic effect of catalytic materials, and the interface effect in complicated systems etc. will play the key role in the multi-phase catalysis, and some new concepts, such as the threshold-limited catalysis in interface, catalysis in nanoreactors, “chainmail for catalyst” and a photocatalytic activity enhanced by a surface-phase junction for TiO_2 system have been presented. In addition, some new results, such as a new route for transforming the carbon dioxide to methanol, catalytic transformation of biomass raw materials, catalysis of surface defect sites, and improvement of catalyst for catalytic oxidation of methaldehyde at room temperature etc. have been described in the report, too. It is worth to mention, the accomplishment of the catalytic hydrogenation of vinyl carbonate with high selectivity would offer a new scheme for transferring carbon dioxide to methanol with high efficiency and selectivity if combining it with Shell Omega process which is the synthetic procedure of vinyl carbonate. This achievement has been described as “two birds with one stone” and commented as an important step on the road forward chemical utilization of carbon dioxide with high efficiency.

In the studies on electrochemistry, great progresses have been made in high energy density and high power density batteries, supercapacitors, fuel cells and electrocatalysis. By rational structural design of electrode materials with three dimensional nanocarbon conducting network, Chinese scientists have developed many stable and high performance anode and cathode materials with

micro/nano complex structure. Layer-structured nano-plate cathode material of $\text{Li}(\text{Li}_{0.17}\text{Ni}_{0.25}\text{Mn}_{0.58})\text{O}_2$ with high charge/discharge activity has been prepared by modulating the nature of crystal growth of layered $\alpha\text{-NaFeO}_2$ nano-plates. Structure-controlled synthesis method of nano-materials has been further developed, and high index crystal surface has been realized for various metal and alloyed nano-catalysts.

The progresses on colloids and interface chemistry are reviewed. It involves the presentation of the thought about building the supramolecular surfactants based on the supramolecular interaction, the constructions and applications of novel ordered molecular assembly including amphipathic molecules, hybrid supramolecular reverse micelles, surface pattern ordered aggregated materials, the applications to syntheses of micro and nano functional materials involving inorganic compounds with special morphology, organic/inorganic hybrid assembly materials, noble metal nano materials and gels of small molecules and macromolecules, the applications to biosensors, and the new methods for studying the colloids and interface chemistry.

Some achievements with international advanced level and influence have been attained in the field of biophysical chemistry. They include, for instance, whole genome sequence of single human sperm, development of novel revised photo-excited fluorescence proteins, studies on protein folding and interaction and their mechanisms, development of highly efficient molecular dynamics simulations methods, etc.

The interdisciplinary research between analytical chemistry and life science is very active. The report focuses on the new analytic methods and techniques of proteomics, metabolomics, metallomics, for example, nano biotechnology, biosensors, microfluidic system and chip technology etc. Chinese scientists have occupied the outstanding position in international analysis commune and displayed the important influence in the aspects of proteomics, metabolomics, traditional Chinese medicines, eco-environment, biosensors, and microfluidics. In addition, many new techniques and methods in view of food security, ecological environment monitoring, drug testing, emergency response for epidemic disease and other hot topics are developed; and gratifying progress on the development of large-sized analytic instruments have been achieved. For example, a new type fluorescence sensor plateau with signal amplified for using in nucleic acids has been established, and it can be used for various multi-marked probe molecules, and the limit of detection has declined two orders of magnitudes than that original one. A sensor for detecting nucleotides with multi-state by electroluminescence has been fabricated. It can reduce the background signal in great degree. The established new microchip electroluminescence method for detecting RNA in cells has been used to detect c-Myc mRNA in cell of breast cancer. A normal base of Chinese liver organization samples and international first systemic protein group base of healthful human's liver have been set up, the numbers of the functional proteins with important and significant means in physiology and pathology have been found undergoing the systemic and deep

biological analyses, and a series of new techniques and methods for use in the research of proteomics have been developed and improved.

The chromatography has obtained fast development in the exploration of methods and techniques of the separation and analysis, new chromatographic column and materials for pre-treating of samples, and applications to metabolomics, proteomics, drugs, environment, food analysis etc. For instance, the system of micro reaction based on the hydrophilic interaction chromatography and an all-on-line integrated analytical platform of reversed phase protein separation-organic solvent replacement-enzymolysis on line-reversed polypeptide separation-mass spectrum detection, and the analytic technique of quasi target-directed metabolomics based on RTL-GC-MS SIM and so on are established and developed. The amount of papers published in the journals collected by SCI has kept the first place in the world continually since exceeding USA in number at 2010, and some achievements have attracted the great attentions.

For polymer science, the important progresses of the polymerization with monomers sequence precisely controlled copolymer have been obtained. The research of optical-electrical functional polymers has been developing fast as the same step with international polymer community in the front of the world. For example, the best results on published date are often achieved in the research of polymeric solar cell. Since Chinese chemist suggested and accomplished the flexible, textile fibrous solar cell without transparent electrode firstly, the new breakthroughs have been reached. A novel and flexible fibrous energy source integrated device combining solar cell and energy storage has been prepared successfully. In addition, the series progresses have been attained on the researches of the issues, such as, polymeric drug-given systems, macromolecular assemblies and supramolecular polymers. The important progresses on the technique for production of polybutadiene and polyisoprene catalysis by rare earth catalysts and its scale tests have been obtained. The total amount of papers published by chemists in Mainland China increase with high ratio year by year and the increment per year is 87% of the total increment in the world. Now total numbers of published papers have ranked the first place in the world and total cited numbers on the second place.

For nuclear chemistry and radiochemistry, the researches on the chemistry of nuclear fuel cycle including the development of new type of nuclear energy source, the pre-treatments of the poor fuel and the treatments and managements of the radioactive waste are very active recently. The research achievements in the fields of nuclear security, environmental radiochemistry, radio analysis chemistry, radioactive drugs and marked compounds display the important supported action in the building of the national defense, developing of nuclear energy and applying of nuclear technology. For example, a total reflection X-ray fluorescence spectrometer for using in elemental analysis with ppm grade has been set up; the method for separation of U, Pu, Mo, Nd rapidly in burn up analysis and automatic separation system has been built; some nuclear parameters obtained abroad have been corrected, such as the half-life periods of ^{32}Si and ^{88}Kr .

Many research results have reached or even surpassed advanced world level in the field of environmental chemistry in recent 3 years. The number of papers published by Chinese researchers on Environmental Science and Technology, Top one journal in the field of environmental study, has listed second position since 2010. Moreover, not only POPs-related SCI publications of Chinese scientists but also their citations have already positioned at second place in the world. After reporting presence and partitioning behavior of polyfluorinated iodine alkanes in environmental matrices around a fluorochemical manufacturing plant in 2010, Chinese scientists successfully identified tetrabromobisphenol A diallyl ether, a new persistent organic pollutant or potential precursor, as an emerging neuronal toxicant in environmental samples by bioassay directed analysis, which marked the beginning of a new era in which Chinese scientists play the leading role in the study of emerging contaminants. Active involvement in polar science and environmental exploration in Tibet helped extending our research to global scale. Establishment of large-scale scientific facilities such as Shanghai Synchrotron Radiation Facility made it possible to carry out mechanism study on micro-interfacial environment. Elucidation of dissolution and microstructural transformation of ZnO nanoparticles under the influence of phosphate is a typical example. Besides, breakthroughs have also been made in elucidating environmental formation, behavior and fate of nanoparticles. For example, the work about sunlight-induced reduction of ionic Ag and Au to metallic nanoparticles by dissolved organic matter has been published on ACS Nano. Various advanced methods such as surface plasma resonance and theoretical simulation have been adopted to resolve the molecular interaction between pollutants and biomacromolecules. Assessment of estrogenic activity of perfluoroalkyl acids based on ligand-induced conformation state of human estrogen receptor has been made based on structure specificity of coactivator recruitment. Such has enriched the content of the discipline and built a solid foundation for further development.

The progresses of chemoinformatics (computational chemistry) attained recently involve molecular mimicry of structures, properties, interactions and mechanisms of the matters, prediction of structures and functions of proteins, analysis of complicated systems and near infrared spectra, and development of soft and databases and so on. For example, structural position-specific scoring matrix (SPSSM), Hallmark Pattern, SPSSMPred, DSP and BS-align, AWRCQLD and RSWAQLD, the multi-corrected QSTR model of temperature-spectrum and new quantitative method based on this model, new ideas of Model Population Analysis (MPA) and the nonlinear pressure methods etc. Now, the level of predicting second structure of protein has been the best in the world.

The reports introduce in brief the progresses and the breakthroughs in the study on the signal transduction of chembiology, the developments of synthetic methods of bio-active molecules, modern analysis techniques and methods, and applications of the technique for imaging and controlling the molecular process and metabolism in cells etc. For example, the research on

the rule of gene mutation in human sperm based on the whole-genome sequencing of single sperm cells has been accomplished, the new mono-molecular techniques for detecting proteins and nuclear acids based on chemical antibody-nuclear acid aptamers have been established successfully.

Some important progresses for the application of achievements obtained in laboratory into the practical and industrial line have been described in the report, too. For example, organic light emitting materials, the technology for fabricating the green nano printing plate, and clean coal conversion and utilization technologies, and so on. There are great progresses on the transfer of the laboratory results of catalytic science to production in plants in recent years. For example, the test of industrial application of second generation catalysis loaded on novel molecular sieve for isomerizes dewaxing of basic oil of lubricant oils PIC812 has been operated successfully; the ability of alkenes well reach 12 ~ 15 million tons per year produced by allowed sets by DMTO technique, which will occupy about 30% ~ 50% of the total amount of producing in Mainland China, which will help to reduce the pressure from requirements of the market greatly.

The more information about the progresses in Chinese chemistry during 1983—2012 please refer to the book “Speedy Developing Chinese Chemistry (1983—2012)” edited by Chinese Chemical Society and published by Science Press, Beijing at 2012.

In the last section of the report, it is pointed out emphatically that Chinese scientists must catch the chance brought by the coming sixth scientific and technologic revolution and drive to the proceedings of “the revolution of the giant chemistry” doing everyone’s best. As professor Xu Guangxian has pointed out twice, the revolution should be proceeded including changing the base of organic chemistry from hydrocarbon and derivatives to carbohydrates, developing the green chemistry and atomic economy chemistry and cyclic chemistry, paying more attention to develop the new medicines and artificial organizations, new energy sources, novel catalysts with cheap and high efficiency, strengthening to proceed the development of chemical and molecular biology, etc. We are full of believe in attaining the final goal step and step due to that better progresses have been achieved in above mentioned fields.

At last, the future trends and possible research directions for the subjects involved in report are prospected simply.

There are eight special reports attached to the back: “Rare Earth Materials and Chemistry” “Recent Advances in Li-Ion Batteries and Solar Cells” “Recent Advances in Organic Light-Emitting Materials and Devices” “Progress in Environmental Catalysis (2012—2013)” “Research Progress of Pesticide Chemistry” “Chemical Transformation and Utilization of Carbon Dioxide” “Progress in the Clean Coal Conversion and Utilization Technologies” and “The development of the Education of Basic Chemistry” .

2. Geography (Cartography and Geographical Information System)

2.1 Preface

Geographical Information System (GIS) was enlightened in the 1960s. It is developed to acquire, process, and analyze geospatial information and data; an interdiscipline combining geographical science, survey science, information science and other disciplines. As the foundation of GIS, cartography is a long lasting subject that has almost equal history of human culture. Cartography and GIS have been categorized as the subordinate of Geography in China. This report focuses on the research development and the overall situation of Cartography and GIS in the last two years, and includes their summarized development for the past five years. With close relation and deep penetration, Cartography and GIS can be taken as the two aspects of one discipline which will be further introduced and discussed in this report.

2.2 Recent Progress

As a frontier subject, the development of Cartography and GIS is driven by the science and technology planning and market demand. With the support from National Natural Science Fund Committee, Chinese Academy of Sciences, the Ministry of Education and others, the theoretical research of Geographical Information Science has made considerable developments. Also with support from Ministry of Science, the Development and Reform Commission, the Chinese Academy of Sciences and others, our domestic GIS software platform is improving and the brand recognition of GIS software is increasing, indicating a booming in the GIS industry. The GIS education in China has successively provided professionals to scientific research and industry.

2.2.1 Geographic information expression and management

Geographic Information Expression is the basic subject of GIS research. The most outstanding research focuses on three dimensional (3D) representation and modeling, especially represented by Zhu Qing's and Lv Guonian's research team. Liu Gang etc. have presented a 3D spatial database model combining the spatial and the semantic relationship for the integrated management of aboveground and underground features. It supports various storage environments. Based on the ordinary 3D spatial model research, Yuan Linwang etc. have introduced the conformal geometric algebra (CGA) into GIS 3D spatial modeling, and effectively solve the inconsistency between the multi-expression of spatial data models and the analyzing frameworks, creating a new methodology.

Effectively manage large volumes of unstructured geospatial information is the basic direction of GIS research. Chen Rongguo and his research team, based on a systematically analysis of the relational database management system, have proposed a method to expand spatial data model inside the relational database kernel. This solves the eight kernel technical problems: high accuracy spatial database system space identification; spatial data storage; spatial indexing; spatial operators; space affairs; spatial query optimization; spatially distributed processing; and secured data space access. They have successfully built the first high security geospatial database management system in China. Wu Lixin etc. have promoted the concept of Earth System Spatial Grid (ESSG). Meanwhile, based on the Sphere Degenerated-Octree Grid (SDOG), they have designed a SDOG-ESSG model that satisfies the eight basic requirements.

2.2.2 Geographical information analysis and simulation

Geographical simulation system is a technology used to simulate, predict, optimize and display complex systems. Li Xia etc. have designed the Geographical Simulation and Optimization System (GeoSOS) to simulate, predict, and optimize geography patterns. In digital terrain analysis, Tang Guoan and his team have proposed new concepts and discussed the terrain index scale effect and scale deduction, the terrain information of digital elevation model, terrain scale similarity measurement methods, and built the parallel computing analysis platform Spatial sampling and interpolation is a basic feature of GIS. Wang Jinfeng etc. have developed the spatial sampling theory system for heterogeneous land surface, and proposed the Trinity Theory for spatial sampling. The theory includes the Modeling Spatial Means of Surfaces (MSN), the Biased Sentinel Hospital based Area Disease Estimation Model (B-SHADE), the Single Point Area Estimation (SPA) Model, and the Sandwich Model for heterogeneous surface interpolation. For typical spatial data interpolation and modeling, Yue Tianxiang and his team, based on the fundamental theorem of surfaces and combined with Gauss-Codazzi equations, have generated numerical methods by applying uniform orthogonal mesh on the simulation region, and build the High Accuracy Surface

Model(HASM) .

Marine geographic information modeling and analysis is fundamental in marine geographic information system. Zhou Chenghu, Su Zhenfen etc., have proposed a spatial and temporal modeling strategy based on the classification and abstraction of processing object, and designed a raster-based spatio-temporal hierarchical data model. They successfully applied it in marine spatio-temporal process database system analysis.

In spatial data mining and knowledge discovery, Pei Tao, Zhou Chenghu etc. have established the theoretical model and methodology to apply multi-scaling decomposition for any spatio-temporal point process data.

2.2.3 Map and geospatial visualization

Adaptive visualization is fundamental in mapping research. Wang Yingjie, Chen Yufen, Ai Tinghua etc. have explored the theory of adaptive visualization mapping, and proposed a method for applying variable scaled design, map features and layered details on small screen and navigation. The virtual geographic environment aims to achieve the simulation and expression of the geographical environment, and change the traditional methodology. Gong Jianhua, Lin Hui, You Xiong etc. have proposed a theoretical framework for virtual geographic environment research, and developed the virtual battlefield analysis system. Lv Guonian etc. have discussed the overall framework and function for geographic analysis based virtual geographic environment. Li Deren, Gong Jianya etc., analyzing from three different aspects: the basic principle, the technical content, and the expression form, have proposed the geospatial information 3D visualization technology based on graphics and image information. They have also developed the massive visualization software GeoGlobal.

2.2.4 GIS technology and software

The fundamental application software is important for GIS industry. Since 1987 the first international version of ArcInfo was introduced to China, the GIS technology has made rapid progress. Experienced the import, digestion, absorption and re-innovation, the domestic GIS software have gradually turned into strong brands. They are widely applied in national resources, surveying, environmental protection, infrastructure management, and other industries, and entered into the international market. The success of domestic GIS software platform strengthen the GIS software research and development level in China, making it comparatively equal to the international standard, and help to enhance the national strategic security.

2.2.5 Geographical information services and applications

GIS is firstly applied in the resources and environmental information system in China, making

it relatively mature. The National Water Information System, the National Soil Environmental Quality Information System, the National Land and Resources Map have been put into services. Geographical conditions monitoring, smart city, public health and hygiene have become new focuses. The location service, navigation, education, entertainment, consulting and more information service industries are emerging. The Baidu Map and Tencent Map have been providing the public with comprehensive services. In a new era of big data and cloud services, building a new GIS system for the integrated “data-model-software”, promoting personalized map services and the application of spatial knowledge, give us the opportunity to interactively develop cartography and GIS.

2.3 Comparative Study

GIS emerged during the 1960s in the United States (US), and was introduced into China in the 1980s. The US led in the fundamental theory studies in GIS. The US has carried out GIS basic theoretical research, advocacy geographical ontology, spatial relational language, large spatial database, and spatial data quality visualization. ESRI has cooperated with several universities to establish a variety of geospatial analysis programs. Compared with the US, the GIS theoretical research started late in China. We have effectively started GIS researches in recent years, including spatial sampling and interpolation, spatial analysis and data mining, system modeling and simulation, spatial data uncertainty and accuracy analysis. Now, the GIS research in China and US are all focusing on the frontier subjects.

The GIS software and technology in China are moving on a new stage. The SuperMap and MapGIS series have occupied 60% of domestic market and entered into international market. GIS in China is facing opportunities to expand. We have synchronized with the US to create new generations of GIS software for big data and cloud service. The establishment of the first high security spatial database management system BeyonDB, the initialization of two high performance GIS platforms gDOS and HiGIS, shows that GIS has successfully developed in China.

2.4 Further Development and Perspective

After 50 years of development, Cartography and GIS have entered into a development stage focusing on geographical information service. Massive dynamic data access, integrated management, integration processing, intelligent analysis, personalized graphics and knowledge sharing become popular research directions. The emerging of a new era of GIS and spatial information system, the development of GIS

towards processing, networking and integration, the development of distributive massive spatial data management system, the geographical information services, and the cloud based geographical information calculation, have become the frontier and trend of GIS development in China.

3. Plant Science

3.1 Introduction

Plant Science is a major and fundamental subject in Biology, with the aim to study and understand all aspect of plants, from molecular, subcellular, cellular, tissue, organ, individual, population to ecosystem. Plant Science consists of many different research areas, including the followings: plant morphology, structure and anatomy; plant origin, systematics and evolution; plant physiology, genetics, and development; plant ecology and vegetations, etc. In the long history of evolution, plants appeared as early as more 400 million years ago, while human have inhabited the earth for only two to five million years. The development of modern civilization since the industrial revolution has been an extraordinarily short period of a few hundred years. The plant world represents the cradle of the human race and the foundation for their existence. Therefore, plant science or plant biology is not only related to many other subjects in biology, but also provides an important basis and framework for utilization of plant resources as well as agriculture, energy, medicine, and environment, and eventually for the survival of human.

During recent five years, plant science in China has developed expanded rapidly with the steady support of various funding agencies. Chinese scientists have made significant contributions to the research field of plant science, with many original and novel findings in various aspects of plant biology. For example, as a plant encyclopedia, the *Flora Reipublicae Popularis Sinicae* (FRPS, Chinese edition of *Flora of China*) was completed by the great efforts of more than four generations of plant taxonomists and 80 years in preparation and writing. It is the pioneer achievement of innovative, systematic, and fundamental work for China's half-century research in plant science and won the first prize in the State Natural Science Awards in 2009. Its completion

will make a magnificent contribution to the study of biodiversity in China. The Compilation and Digitization of the Vegetation Map of the People's Republic of China (1 : 1,000,000) was also completed with the efforts of three generations of scientist, which won the second prize in the State Natural Science Awards in 2011. These basic researches have laid very important foundation for understanding the national inventory of plants and sustainable use of plant resources. In addition, numerous breakthroughs and progresses have been reported, including the protein structure of photosynthesis, plant (particularly crop) genome sequencing, signaling pathways of plant innate immune resistance, identification of important functional genes in rice and other crops, mechanism of DNA methylation and DNA repairs in plants, signal transduction of plant hormone, ecological safety and industrialization of transgenic crops.

In recent years, plant science community has taken great steps in attracting young talents and training students. The country has also made a great effort to create a fair competition mechanism and to invest largely on improving the infrastructure and research facilities across institutions and universities. To date, China has established 2300 natural reserves and has more than 200 botanic gardens. In addition, international cooperation and exchange have been taken in all areas and at different levels, between Chinese scientists and those from well-known research organizations and universities in the world. An important issue worthwhile mentioning is that China has successfully won the bid of holding 19th International Botanical Congress (IBC) for 2017. This congress takes place every six years and is a major convention of scientists from around the world to discuss new research in the plant sciences. The winning of the right to host IBC reflects the significant progresses and great impact of Chinese plant science community and will benefit to the development of plant science both for China and the world.

This report aims to provide an overall picture of plant research in China and highlights some of the important findings during recent five years and provide prospect for development of plant science in China.

3.2 Major Achievements

Plant science consists of many different subjects or disciplines and is related to many other biological sciences. During recent five years, Chinese scientists have made substantial achievements and progresses in numerous research areas of plant biology. In the following, some major findings and breakthrough in different subjects of plant science are summarized.

3.2.1 Plant structural reproductive biology

Chinese scientists in this area have made significant achievements involving studies on plant

cell structure, plant structure and development, plant structure and environment, molecular mechanisms of meiosis, gametophyte development, cell-cell communication during reproductive process, rice fertility and reproductive isolation. Particularly significant progresses have been obtained in dynamic imaging in vivo, mechanisms of mitochondrial movement, organization and function of cytoskeleton, cell wall formation, plant reproductive cell development, cell recognition in fertilization, mechanisms of reproductive isolation. Chinese researchers have also made great progress in the studies of pollination mechanism, self fertilization evolution and plant and flower interaction. Remarkable diversity of mating patterns and pollination in flowering plants has fascinated evolutionary biologists for more than a century. In addition, new techniques like single molecule microscopy have been applied successfully in some research areas, and provide advanced tools in studies of this field.

3.2.2 Plant taxonomy, phylogeny and evolution

Molecular technologies, bioinformatics and genomics have evolved rapidly and promoted greatly the development of plant evolutionary biology. First, taxonomic knowledge has important implications in various ways. The Flora Reipublicae Popularis Sinicae was completed by the great efforts of more than four generations of plant taxonomists and 80 years in preparation and writing. It is the pioneer achievement for China's half-century research in botany and won the first prize in the State Natural Science Awards in 2009. Second, plant molecular phylogenetics has progressed from the sequencing of individual genes for a few taxa to routine sequencing of complete plastid and even nuclear genomes. Third, plant biogeography has been extensively investigated with the aims to document and understand spatial patterns of plant biodiversity, deal with the questions of scale and time, and understand the processes and factors involved in species distributions. Finally, great achievements have been made in the area of plant comparative genomics and evo-devo genetics. The significant breakthroughs include the evolutionary patterns of important genes in food crops, molecular mechanisms of divergence of duplicate genes and origin of new genes, patterns of plant genome evolution, and molecular basis of floral evo-devo genetics.

3.2.3 Plant molecular genetics and development

Of various fields of plant sciences, studies in rice gene function and agronomic traits were immensely significant, which have made great contributions to our current understanding on rice seed morphology, seed weight and size, rice architecture, reproduction isolation, hybrid vigor and domestication, etc. The research in rice tillering and hybrid vigor is especially systemic and enlightening. It is noted that the genome sequencing projects of important crops, vegetables, and fruits, like maize, millet, cucumber, cotton, and orange have been completed, which provides important and critical genome background for future studies on these economic species. Chinese

scientists have also applied state-of-art technologies like RNA-seq, GWAS, and whole genome re-sequencing to improve our knowledge on the transcriptome and natural variation of these important plants. These large-scale studies have provided new information on notoriously difficult problems like hybrid vigor, and laid a solid foundation for future functional genomic studies and agro-biotechnologies.

3.2.4 Plant ecology and vegetation

Many ecological advances have been made in China involving the following areas: plant molecular ecology, plant physiological ecology, plant individual ecology, plant population ecology, plant community ecology, vegetation ecology, global change ecology, and biodiversity and conservation. Particularly, the Compilation and Digitization of the Vegetation Map of the People's Republic of China (1: 1,000,000) won the second prize in the State Natural Science Awards in 2011. It was completed with the efforts of three generations of scientist, more than 200 people. In addition, many young outstanding scientists in this area have emerged in recent years and a series of important platforms have been set up across the country.

3.2.5 Plant resources and their conservation and utilizations

Chinese scientists in this area have made great contributions to progresses in this areas, covering various theoretic and practical aspects such as genetic diversity and endangered mechanisms, life history and population ecology, germplasm conservation and management, laws and policies, nature reserve management and community protection (ex-situ and in-situ conservations), and so on. Particularly, many important insights into the understanding of rare and endangered plants have been made. Progress has also been achieved in studies of natural resource conservation, molecular biology, and chemistry of medicinal plants, the quality control of herbal medicines as well as the modernization and globalization of traditional Chinese medicines. A number of these novel compounds have been proved to show significant bioactivities, and are under development as potential new drugs in preclinical or clinical phases.

3.3 Trends and Prospects

Past five years have witnessed significant progresses of plant science in China, from basic research on all aspects of plants, conservation and utilization of plant resources, and capacity building in plant science to student training and public education. Particularly, some important policies programs have been implemented in the past to advance many areas of plant science in China. A notable example is the Knowledge Innovation Program, which began at the Chinese Academy

of Sciences in 1998 with the aim of boosting research and education capacity in the natural sciences. Numerous plans and projects have been undertaken, including different programs such as supporting long-term and interdisciplinary research, capacity building, expanding research support facilities and infrastructure, and fostering international cooperation. Meanwhile, many young talents have grown to be active and began to play critical roles in research and education across the country.

Despite these, there is still a large gap between China and the developed countries in many disciplines in this area and we are confronted with many challenges. For example, novel and original researches are not many and scientific breakthrough and milestone findings are rare. Also, there is sharp decline of the number of scientists in basic and traditional fields like plant taxonomists. Compared with foreign counterparts in this area, Chinese scientists should attach great importance to the interdisciplinary studies, and to integrate the macro-fields and micro-fields and encourage collaborative research between scientists from different field. In plant systematics and evolution, comparative and evolutionary genomics, evo-devo genetics should be encouraged in addition to maintaining high-quality teams in traditional fields. As the importance of the ecological civilization has been recognized gradually, more efforts have to be paid to ecological research. Chinese ecologists will face new opportunities and challenges. The following directions should be highlighted in the near future: ① hierarchical responses of plants to global change; ② integrative studies on ecological issues based on multiple-dimension and across-discipline approaches; ③ basic and applied research on energy plants and crop plants; ④ comprehensive studies linking in situ studies and field observations; ⑤ plant trait spectra under multiple factor conditions, ⑥ long-term controlled experiments on plant diversity and community maintenance. While the demand for plant resources is increasing rapidly, especially for herbal medicine resources, China is currently facing the problem of supply shortage. Extensive studies have to be conducted in the areas of introduction and domestication of rare and endangered plant species, selection of elite cultivars, and conservation of germplasm resources to guarantee sustainable utilization of plant resources. On the other hands, China needs to keep up with the world in the studies of plant molecular genetics and development. New technologies like genomics, metabolomics and proteomics have to be used in all research fields. In the future, the most interesting topics for seed biology include the development event involving storage characteristic and germination behavior of seeds after maturation, dormancy release, maturation drying, and pre-treatment technology. Research capacity will be built and expanded continuously, which would improve the overall research level and international impact.

In conclusion, plant science has grown rapidly, with significant progresses and achievements obtained in the past five years. We are confident that in near future, Chinese plant scientists will play critical roles in the study of plant biology and become more active on the stages of international scientific community.

4. Biochemistry and Molecular Biology

Biochemistry and molecular biology explore the essence of life at the molecular level and are considered as the basis and the frontier of life sciences. It focuses on structure, function and metabolism of biological molecules such as protein, nucleic acid, sugar and lipids, as well as the storage, expression and regulation of the genetic information.

The development of biochemistry and molecular biology, from the unveiling of the DNA double helix structure to the technology of genetic engineering, from genomics to proteomics, not only provides people the chance to understand the mysteries of life, but also creates broad prospects for humans to utilize and change life, thus to promote the development of modern medicine, agriculture and industry.

As early as the 1960s and 1970s, Chinese scientists had made great achievements in the fields of chemical synthesis of crystalline bovine insulin and yeast alanine tRNA. The “National medium- and long-term program for science and technology development (2006—2020)” has listed such subjects as gene language and regulation, functional genomics, epigenetics, non-coding nucleic acid, structure and function of biomolecules, and the regulation network in the living systems as the frontiers in life sciences. Remarkably, protein research was listed as one of the four national key research fields in basic sciences.

4.1 Proteins

Following the completion of the Human Genome Project, biological / biomedical research has entered the post-genomic era. Protein is the fundamental and core component of all biological processes and its structural and functional diversity generates the complexity and diversity of life. Understanding the processes of protein synthesis, folding, modification and degradation and their underlying mechanism is the basis and cornerstone of life science research. In the past few years, China has made many important progresses in Human Liver Proteome, including the profiling

of the expressed genes, systematically analyzing posttranslational modifications, identifying disease biomarkers and establishing new proteomics technologies. Protein researches and chemical biologists in China have been very active in the emerging field of optogenetics. This report is aimed to summarize the important research progresses for Chinese protein scientists in the past few years and also discuss the possible challenges and trends in future protein science research.

4.2 Peptides

Peptides Science is an integrated subject that concerns the structure and function of biologically active peptides, including peptide hormones, neuropeptides, peptide toxins, antimicrobial peptides, anti-tumor peptides, antiviral peptides, immunoregulation peptides, as well as peptide carriers and peptide self-assembly. Peptides research is an important subject in modern life sciences.

Many biologically active peptides that play such important roles in the modulation of endocrine, immune, neural systems, tumors, and infection, can be amenable for usage in diagnosis and treatment. Peptide drug in therapy has multiple benefits, such as high efficacy, low medicinal dose, limited side effects, and easy application.

The chemical synthesis and crystallization of bovine insulin in the 1960s indicated that peptide research in China was advanced to a high level. In the past 30 years, Chinese scientists has been focusing on the following fields: isolation and characterization of natural biological active peptides, structure and functional studies of neuropeptides and antimicrobial peptides, peptide self-assembly, and the research and development of peptide vaccines and peptide drugs for a series of diseases. And in China, peptide research is becoming even more active.

4.3 Non-coding RNA

The non-protein-coding RNA (ncRNA) research is one of the most rapidly developing frontiers in today's life sciences. After life originated from the "primitive RNA world", there still exists a large number of ncRNAs in the modern forms of life, with a huge and incompletely discovered "Modern RNA world". "The biology of ncRNA genes" is a new gene research field arising from this era of big data in recent years, which mainly includes three aspects: ① RNA informatics; ② RNA biology; ③ Non-coding gene resources and technologies. "The biology of ncRNA genes" will demonstrate that life depends on the RNA molecules for playing critical center roles of regulation. It will also allow annotating the structure and function of genomes in the manner of integration coding

and non-coding genes, and thus clarifying the origin and evolution of modern life. At the same time, this novel new field will help to elucidate the mechanism of many severe human diseases from new angles, and in turn provide new theories and technologies for the prevention and treatment of these diseases.

4.4 Glycoconjugates

Glycoconjugate research focuses on the structure, synthesis, metabolism and biological function of sugar complexes and sugar chain. Due to their involvement in physiological and pathological process, sugar complex and sugar chain are explored for early diagnosis of diseases and the development of vaccine, anti-virus drugs and antibody drugs.

Researches have been focused on the development of carbohydrate-based drugs in recent years. There are more than 500 carbohydrate drugs in use, including a variety of antibiotics. Because of the heterogeneity of sugar chains, the derived products are usually a mixture with different compounds of various glycoforms, which brings a great challenge in their quality and safety control. In addition, the difficulty in obtaining compounds with high purity and determinant structure also influences the research on the titer of glycan-related drugs. Given that, the chemical synthesis of carbohydrates becomes important. China has made a series of important achievements in the chemical synthesis of carbohydrate compounds.

Research on the characteristic alteration of glycans in the process of the development of tumor provides important information for early diagnosis, process monitoring, prognosis evaluation and therapeutic targets exploration of tumors. Meanwhile, study on the alteration of glycosylation in tumor development will help to reveal the regulation mechanism of proteins in tumor cells. Glycan structure research technology has become the prior technical problem in glycomics research, which has been in vigorous development in recent years.

4.5 Lipids and Lipoproteins

Lipid research in China has been focusing on their storage and transport, the signaling network they participate, and the pathological basis of the related diseases with many remarkable achievements. For example, research on lipid droplets, the molecular mechanisms of lipid metabolism and metabolic diseases such as obesity and diabetes, cholesterol homeostasis and the role of Sirtuin 1 in the function of antiatherosclerosis.

Remarkable achievements have been made, include the following: lipid metabolism, lipid

related diseases, novel treatment development of lipid metabolism disorders, and the influence of environmental factors on lipid metabolism. In addition, the relationships between lipid metabolism and inflammatory pathways become clearer based on the findings including the newly reported anti-inflammatory effects of HDL, IL-5 expression induction by liver X receptor (LXR), and the regulation of lipid levels by the microRNAs. The relationship of lipids with diseases is further consolidated by the reports about the role of ApoE in the pathogenesis of Alzheimer disease, inflammatory factors in the process of atherosclerosis, and domestic researches focusing on the relationship between diabetes mellitus and abnormality of lipid metabolism, pro-atherosclerosis effects of high plasma triglyceride. The impact of environmental factors on lipid metabolism is currently an international frontier, in which considerable successes have achieved in China.

Future focus on lipid and lipoprotein research can be expected to happen in the following aspects: isolation and identification of new lipids, regulation of lipid and lipoprotein metabolism and its association with diseases; developing lipidomics and translational medicine in lipid; development of new therapeutic drugs and drug targets.

4.6 Epigenetics

Epigenetics studies heritable changes in gene expression or cellular phenotype, caused by mechanisms other than changes in the underlying DNA sequence. Epigenetics mainly concerns three aspects: DNA methylation, histone modification and non-coding RNA.

In recent years, Chinese scientists have made several important contributions in epigenetics research. In basic theory study field, Chinese scientists raised several novel viewpoints about biological function of epigenetics modification, which have been published in world-class scientific journals, such as Science, Nature, Cell, etc. In translational medicine field, some abnormal DNA methylation sites have been identified, and cancer diagnostic kit is being developed.

In the next five years, our understanding about epigenetics will continue to be expanded, and some critical questions in this field should be answered. With the development of epigenetics, advancements to diagnosis and treatment of illness are widely expected.

4.7 Systems Biology

Systems biology is a new biological field that focuses on the systematic study of an organism, being viewed as an integrated and interacting network of genes, proteins and biochemical reactions which

give rise to life. In particular, systems biologists consider that the whole is greater than the sum of the parts. From the year 2000, research teams or institutes on systems biology have been gradually increased in China, and now many of the major research institutions establish systems biology related research groups, and the various terms related to systems biology are also used widely in China. Based on such an essence, significant advances of systems biology on understanding complex biological/medical phenomena have been achieved in recent years in China.

Several recent achievements on systems biology are described as follows: ① How the p53 pulses regulates the cell fate decisions; ② Identification of the dynamical network biomarkers for early diagnosis of complex diseases; ③ the novel prostate cancer associated pathways based on integrative microarray data analysis; ④ Proposal of a hypothesis on the mechanism of cancer development; ⑤ the Proposal of a new concept of single amino-acid polymorphisms; ⑥ Development of a new 3-D geometric co-calibration method for a combined system of fluorescence molecular tomography and micro-computed tomography; ⑦ Development of a optical-resolution photoacoustic microscopy based on two-dimensional scanning galvanometer to measure cellular dynamics; ⑧ The application of systems biology study on traditional Chinese Medicine.

To promote its further development in China, we need to ① strengthen the related studies at the molecular level; ② initiate the systems biology studies based on biological big data; ③ develop new technologies for systems biology; ④ promote the translational medicine based on systems biology.

4.8 Biotechnology Industry

Generally, the modern biotechnology industry mainly includes the biological medicine, biological agriculture, bioenergy, biological manufacturing and biological environmental protection industry. Since 2006, China promulgated the “national long-term science and technology development plan (2006—2020)”. Under such a background of policy support, China’s life science and biotechnology industry have made great progresses. Both of the number and quality of papers and patents have improved constantly, and a number of key technologies have made major breakthroughs, stimulating the rapid growth of biotechnology industry, making important contributions to economic and social development. This article has reviewed the development of the biotechnology industry in China in recent years, citing a large number of statistical data to describe China’s biotechnology industry output value, industrial structure and investment and financing conditions, and made analysis and prospect of the trend of development of the biotechnology industry.

5. Plant Biology

During the past five years (2008—2013), plant biology has been rapidly evolved with nearly day-to-day innovations. Many important advances in various fields of plant biology have been obtained by both the domestic and abroad scientists. In the field of plant genomics, the genome sequences of maize, soybean, tomato, Sorghum, barley, cotton, cucumber, Chinese cabbage, potato, Setaria, watermelon, Citrus, Phyllostachy, Theilungiella as well as A and D chromosomes of wheat have been determined. Genomic studies on genetic variation and evolution, origin and domestication, genome-wide association study of key agronomic traits have been conducted widely. Remarkably, a dozen of genes controlling important agronomic traits in crop plants including rice, maize, wheat and soybean have been cloned and their functional mechanisms have been extensively studied. In particular, some important genes, such as Ghd7, PROG1, IPA1/OsSPL14, GS3, GS5, GW8, DEP1, GIF1, and DST, which regulate plant architecture, seed size, grain yield and quality, have been cloned from rice. Progresses were also made in the understanding of the molecular mechanisms controlling rice Indica-Japonica intersubspecific hybrid sterility, hybrid male nuclear sterility, cytoplasmic male sterility and photoperiod-sensitive male sterility. Moreover, it has been firstly reported that strigolactones (SLs) are new plant hormones and key ABA receptors are the PYR/PYL/RCAR family proteins. Important findings were documented in the studies of the biosynthetic pathways of auxin, SLs and cytokinins. The basic working models of ABA, BR and JA signal transduction pathways have been established in recent years. The regulatory mechanisms of non-coding small RNA have been thoroughly studied in plants. A new type of miRNA, long miRNAs with 24 nt, has been found to repress target gene expression at the transcriptional level through mediating target DNA methylation, while another new type of sRNA, diRNAs, being uncovered to be involved in the repair of double-strand DNA breaks. A couple of factors regulating plant DNA methylation and demethylation have been identified, and the mechanism of RNA-mediated DNA methylation has been largely elucidated. Using Arabidopsis as research system, the molecular mechanisms of systemic acquired resistance have been dissected in-depth, and the host targets of a number of bacterial effectors identified and their pathogenic mechanisms in plants clarified. In

the fields of plant nutrition and metabolism, plant biologists have also achieved many progresses, especially plant nitrate transporter proteins being identified as nitrate sensor in the N sensing and absorb. In the development of plant biotechnology, Zinc-finger nuclease, TALE, TALEN and CRISPR/Cas9 technologies have been successively adapted to engineer plant genomes and applied to the rice, maize, tobacco and cereal plants. Additionally, a new approach to generate the haploid plants by modifying centromeric histone H3 and a novel “reverse” breeding procedure by silencing meiosis-related DMC1 gene have been developed, providing novel ways for hybrid-breeding practices.

6. Psychology

The human mind and behavior are the basic research topics of psychological science. Mind and behavior are not only based on physical and biological foundations, but also influenced by social, economic and cultural, and environmental factors. Focusing on this subject, the present report will introduce the recent major progresses both at home and abroad, narrate the comparison between domestic and foreign research situations and future development trends, and give some suggestions for the research and development of psychology in our country.

6.1 Research Progress

People's knowledge of various complicated process and the relevant biologic foundation of mind and behavior are going through a process from locality and isolation to overallness and unification. The research progress made in different fields has reflected the major trend of this discipline, such as progress in the roles of consciousness based on center awakening, space-time mode of neuron information communication and collection, central gating system, integration of memory and learning process and emotion process, unification in neuromechanism from primitive emotion to artistic aesthetics, evolution of language source and sports system, individual development in the complicated interaction among brain-behavior-gene-environment, animal models on brain function abnormality, etc.

The relationship between mind and environment has always been a basis research filed in psychological sphere. Network, social class and culture are environmental factors influencing people's mind and behavior. Internet community, as a virtual environment, has impact on various aspects of human life, such as socializing and learning and its influence on mind and behavior has been an important research subject. Social classes have been widely researched from the perspective of social cognition, finding a relatively stable cognitive disposition among the same social class that can further influence the way how a man percept himself, others and the society. Creativity is not just a personal feature and individual phenomenon, but rather a complicated cultural phenomenon. Culture decides the development and expression of individual creativity. Behavior decision reveals some cross-cultural differences in cooperation, self-assertiveness, risk seeking, risk communication, deception and corruption. Both similarities and differences exist between western and Chinese cultures in many perspectives. The present research intends to explore from the cultural provisions on individual lifelong development, cultural communication and relevant economic and political practices, influence of the development of psychology particularly from the visual angle of history and cultural comparison.

Theories and methodologies of psychology have been widely applied to all fields of social life, accordingly forming psychology-related sub-disciplines that are important components of psychology discipline. As our country enters the special stage of social development, the social reform is also in a critical stage. It can bring both opportunities and challenges to the development of psychology in China by standing at the world frontier of science and extracting scientific issues through focusing on major problems in practices and reality.

Cognitive neuroscience, a highly interdisciplinary subject, is closely correlated to high-tech development. In recent years, researchers began to reconsider the cerebral cognitive neural mechanism from a neural network angle, and attach importance to the functions of encephalic regions and the effective linking mechanism, regulation of encephalic region dynamic activation by stimulus and tasks, collaboration mechanism of cognitive encephalic region and other regions, etc. Studies of brain neurosciences frame-human brain connection group based on complex networks and graph theory have updated people's knowledge on brain structural connection graph. Individual differences should be the core variable in studying human cognitive ability and neural basis.

Cognitive diagnostic model, as the core of the new generation test theory, pushes psychometrics to an era of soft measurement. The statistical methods applied also show a trend of consolidation. Structural equation model, multi-level regression model and growth model plus response time analysis are three newly developed psychological statistical methods representing the latest progress of psychological statistics.

6.2 Comparisons

To disclose the neurobiological foundation of mind and behavior is not only a critical issue in psychology, but also the world scientific frontier and one of the fields possibly conceiving major breakthrough. Over the recent two decades, the international community has come up with a series of scientific plans, invested massive financial and material sources, and organized scientists from different domains to jointly conquer this major difficulty. Our country has also made some important deployment in this field, including the establishment of National Key Laboratory of Brain and Cognition, related project 973 and natural science funds, etc. Researches by Chinese scholars in certain fields of study has reached, or almost approached the international level, such as the researches on sensory perception, social cultural cognitive neuron science and branch function connection and so on.

Psychological researches in the western society mainly employ a social cognitive visual angle. Domestic scholars, by contrast, mainly focus on researches on measurement of social class, controllability of subjective social class and attribution preference, etc. The domestic web-based learning researches, combining the reality of China's education, investigated the cognition, emotion and motive rules as well as relevant education countermeasures, all of which have been new issues of researches on domestic education psychology. In the West, the concepts of creativity, measurement and influential factors have been widely and adequately studied. Shi Jiannong et al. have been engaged in researches on genius children and creativity for many years and come up with the research result on the creativity development in the context of Chinese culture. Li Yu et al. have performed in-depth researches on the influence of culture on decision making, and found differences in decision making between Chinese and western cultures. With respect to lifelong development, the western psychology pays equal attention to the three perspectives of physics, psychology and spirit. Chinese psychology should perceive the cultural connotation hidden behind western psychology and construct psychological science and practices suitable to Chinese people.

6.3 Prospects

With the increasing knowledge on the interaction between the biological mechanism and mind and behavior, the future researches may make new breakthroughs in brain “pacemaker” mechanism, “binding issues” of perception neuromechanism, door control process, emotion

and learned regulation as well as direct language communication between human beings and computers. Influences of social and cultural environments on mind and behavior will be studied more detailedly and deeply. Researches on social psychology and behaviors should attach more importance to dynamics, groups and cultural specificity. Moreover, the influences of culture on creativity, decision-making and lifelong development will receive more attentions from scholars. The present China is in a transformation stage, and the introduction of political psychology for interpretation and investigation of the social problems in China has been an inevitable trend. The frontier issues of political psychology mainly include international politics, ideological and system rationalization, influences of emotion on political behaviors and so on. At present the political psychology in our country is in a developing stage. As for the future development, it is mainly about the sinicization of political psychological researches and the localization of related theories.

7. Management Science and Engineering

Management science and engineering is a discipline that involves the study of theories and methods of management activities. The research results can provide professionals with scientific, methodological and technological support both practically and theoretically. In recent years, China has witnessed an unprecedented development in the field of management science and engineering. On one hand, quite a few research results gain international reputation and are published on top journals. On the other hand, the research is based on domestic management practice and contributes to economic and social development significantly. This report attempts to analyze the trend of domestic management science and engineering in recent years by the following three aspects: the latest research progress in management science and engineering, a comparison between domestic research progress and abroad research progress, trend and prospect of this discipline.

This report performs a statistical analysis on high quality papers in the field of management

science and engineering. A co-word matrix, visualized as a graph indicating the hot spots in management science and engineering, is obtained based on keywords in these papers. Combining this graph with expert opinions, we identify the hot spots as: operational management, industrial engineering, theory and method of decision, business intelligence, quality management and service management.

Apart from the hot spots mentioned above, some emerging fields along with traditional fields are attracting more and more attention. This report chooses the following fields for more detailed analyses: agent-based computational finance, urban traffic management, intelligent knowledge management, service science, low carbon development management, project control.

This report conducts a comparison between America, Canada, Japan, Korea and China's Hong Kong, Taiwan in terms of research progress, based on the statistical results of papers published in major journals of management science and engineering. It turns out that mainland China has published the second most papers among all investigated countries since 2010. According to the principle that a country with more most-cited papers is more influential in the related discipline, China has achieved significant influence in management science and engineering, yet the gap between China and other countries still exists. By analyzing keywords of high quality papers, we identify the differences and similarities between China and other countries/regions in terms of key research areas. The comparison indicates that each country differs from one another, while scheduling, optimization and the game theory are common to all.

The next decade is a critical period of strategic opportunities for domestic scientific and technological development; the rapid economic and social development makes numerous new requests for management science and engineering. This report summarizes the future trend of management science and engineering, and proposes the key areas, namely management theory based on China's actual conditions, methodology of complex management system, management issues with behavioral complexity, risk management and crisis management in the post-financial crisis era, service science under new information technology, decision and knowledge management under network information environment. Finally, we end with suggestions to promote domestic development of management science and engineering.

8. Tibetan Plateau Research

The Tibetan Plateau is a focus and an ideal natural laboratory of earth system sciences researches in the world, due to its complex formation mechanism, the highest elevation, the largest area, the most important environmental effect and the most fragile ecological system. It is a key region for multi-spheres interaction researches, including lithosphere, hydrosphere, and atmosphere.

The basic theory research of the Tibetan Plateau is a platform for China to obtain research breakthroughs and occupy international academic dominant height in earth system science, and further more become a leadership. For national strategy, from the researches on the relations between the Tibetan Plateau uplift and resource and environment, it helps to understand many uncertainties faced by human beings in climatic changes, and play an important role in supporting resources rational utilization and sustainable development of society.

Recently, some academic developments are achieved from the following points.

The collision of India and Eurasia plates is a basic and important scientific question for the Tibetan Plateau research. From the sediments in the foreland basin near Saga of the Tethys-Himalaya, and combined with the evidence of the ophiolite obduction time, the collision time between the two plates is defined as 65Ma, when the sedimentary environment performed apparent changes.

Lithosphere structure, properties and thermal state of the Tibetan Plateau provide observational evidence in deep processes to explore the dynamics of the formation and evolution of the Plateau. Studies on Cenozoic potassic magmatic rock in the north, central and eastern Tibetan Plateau since 40 Ma confirmed the existence of lithospheric thinning. In addition, the discoveries of low-speed and high-conductivity layer in the Tibetan Plateau (southern part: ~ 15 km; northern part: 20~50 km) has a very important significance for understanding the uplift model of the Plateau.

In recent years, the theoretical models of mineralization in the Tibet areas have been achieved. Fluid activity and mineralization resulting from orogenic activities and crustal growth have been studied in detail. Focusing the orogeny belts on the Tibetan Plateau, large-scale mineralization has been found mainly to be formed in the post collision period and developed in crustal extension conditions.

The paleo-elevation of the Plateau is a key point for discussing the uplift process and its climatic and environmental effects. Along with debate, the Plateau elevations in different periods are estimated by using animal and plant fossils and isotope altimeter, providing a clear route and direction for understanding its changes.

There are obvious regional differences of the uplift processes of the Tibetan Plateau. The Himalayas in the southern part uplifted in the early collision period (50 Ma) . The uplift of the southeastern part was probably not later than 22 Ma, which was revealed by the changes of the surrounding drainages and mountains. The northern part possessed significant uplift around 5~6 Ma.

The intensity and process of Cenozoic weathering and erosion in Western China (mainly on the Tibetan Plateau) is not only closely related to global change and Asian monsoon evolution, but also deeply influence the global climate. The latter, in turn, affects the Asian monsoon. Thus, the uplift of the Tibetan Plateau is probably the driving factor of many processes.

Both the uplift of the Tibetan Plateau and the Paratethys Ocean have affected the formation of the East Asia monsoon, and the influence derived from the latter should be more intensive than the former. Beside these tectonic factors, the Cenozoic global cooling had also influenced the change of environmental spatial pattern.

Researches of the past environmental changes on the Tibetan Plateau have been deepened continuously. Significant progresses have been made in the temporal resolution and quantitative study when reconstructing the environmental change history using the proxies of tree-ring, ice core and lacustrine core. This provides continuous high resolution records for the reconstruction of environmental change in Tibetan Plateau in short time scales, and is also significant in discussing the change of monsoon and the westerlies systems and their interactions in long time scales.

There are three patterns of precipitation in the Tibetan Plateau, which are monsoonal, transitional and westerlies patterns. Water phase transformation among different spheres of the plateau is being intensified, along the tendency of the weakening monsoon and strengthening westerlies. The changes of glaciers are showing obvious spatial differentiation, e.g. the intensive retreating in the southeastern and southern parts, less retreating in the central part, and stable or light advancing in the Karakoram region. Lakes on the Plateau have generally expanded, however, despite the glacier retreat and lake expansion are temporally synchronized, their relationship still needs to be clarified in further study.

Climatic warming on the Tibetan Plateau is propitious to the extension of growing season and increasing of vegetation productivity. This also increases the height and coverage of deciduous shrubs and herbs, decreases the coverage of cushion plants, mosses and lichens, and reduces the biodiversity and species evenness. Forest and farmland ecosystems on the Tibetan Plateau are carbon sinks, and alpine meadow and alpine grassland ecosystems are weaker carbon sinks. However, the potential change of precipitation pattern will definitely influence the productivity and

carbon exchange of the ecosystem.

Irrational land use, especially overgrazing, has been the main reason for the major vegetation cover changes on the Plateau, such as grassland degradation. Heavy metals and organic pollutants emitted by human activities could be transported cross-border even globally through the atmospheric circulation. This has disturbed the environmental background values in the polar areas, and has also been found in the Tibetan Plateau.

According to the amount and subject analyses of the publications related to the Tibetan Plateau research, China is undoubtedly a big country on the Tibetan Plateau studies, because it possesses the first position in the total publications' amount and their total citations. According to the numbers of citations per paper and highly-cited papers, the status of China has significantly risen, which means a continuous improvement of the Tibetan Plateau research. The formation and evolution model and environmental changes of the Tibetan Plateau are hot issues according to the research focuses and themes.

9. Operations Research

9.1 Overview of Operations Research

Operations Research (OR) is an interdisciplinary subject emerged in 1930s. As a formal discipline, OR originated in the efforts of military planners during World War II. In the World War II era, OR was defined as a scientific method of providing executive departments with a quantitative basis for decisions regarding the operations under their control. Other names for it included operational analysis and quantitative management. In the decades after the war, with expanded techniques and growing awareness of the field at the close of the war, OR was no longer limited to only operational, but was extended to encompass equipment procurement, training, logistics and infrastructure. OR also grew in many areas other than the military once scientists learned to apply its principles to the civilian sector. With the development of the simplex algorithm for linear programming in 1947 and the development of computers over the next three decades, OR can now solve problems with hundreds of thousands of variables and constraints. Moreover, the large volumes of data required for

such problems can be stored and manipulated very efficiently. Today OR is used by virtually every business and government throughout the world and remains an active area of academic research.

OR mainly studies how to find optimal or satisfactory solutions through mathematical and computational theories and methods for social and engineering systems. Sometimes the term management science is used as synonyms for operations research. Employing techniques from other mathematical sciences, such as mathematical modeling, statistical analysis, and mathematical optimization, OR arrives at optimal or near-optimal solutions to complex decision-making problems. In a nutshell, OR is the discipline of applying advanced analytical methods to help make better decisions. To achieve these results, OR professionals draw upon the latest analytical technologies, including ① simulation that enables people to try out approaches and test ideas for improvement; ② optimization that narrows people's choices to the very best when there are virtually innumerable feasible options and comparing them is difficult; ③ probability and statistics that help people to measure risk, mine data to find valuable connections and insights, test conclusions, and make reliable forecasts.

A typical methodology of OR could be summarized as following phases: ① define and formulate a mathematical model for the problem of interest; ② study the properties of the solutions to the resulting mathematical problem and hardness to find them; ③ develop an algorithm for deriving solutions to the problem and analyze the performance of the proposed algorithm in terms of time efficiency and solution accuracy; ④ implement the algorithm in simulated environment and study the results obtained in simulations; ⑤ determine the effectiveness of the proposed model and algorithm and give a practical method for solving the original problem. It needs to emphasize that those phases are not independent and carried out sequentially; sometimes some of them have to be repeated many times before the problem is solved.

The major sub-disciplines in modern OR include mathematical programming, queuing theory, game theory, inventory theory, logistics and stochastic models / processes. Typical problems that OR professionals are interested include the problems of allocation, facility location, assignment, project planning, routing, scheduling, supply chain management and so on.

OR overlaps with other disciplines, notably industrial engineering and operations management. It is often concerned with determining a maximum (such as profit, performance, or yield) or minimum (such as loss, risk, or cost). OR encompasses a wide range of problem-solving techniques and methods applied in the pursuit of improved decision-making and efficiency, such as simulation, mathematical optimization, queuing theory, Markov decision processes, economic methods, data analysis, statistics, neural networks, expert systems, and decision analysis. Nearly all of these techniques involve the construction of mathematical models that attempt to describe the system.

Because of the computational and statistical nature of most of these fields, OR also has strong

ties to computer science. OR professionals faced with a new problem must determine which of these techniques are most appropriate given the nature of the system, the goals for improvement, and constraints on time and computing power.

9.2 Development of Operations Research in China

In 1955 Hsue-shen Tsien and Guo-zhi Xu gave the initial drive to the OR development in China after they returned China from the United States of America and in 1956 they established the first OR group in the institute of mechanics within Chinese Academy of Science. In late 1950s OR professionals in China focused on transportation and facility location problems. The world-wide famous Chinese postman problem was proposed by Mei-gu Guan in 1961. In 1960s Loo-keng Hua traveled around more than twenty provinces in China promoting the optimization and critical path methods in numerous factories and country sides. His hard work and unremitting efforts exerted great impact in China and even received praise from Tse-tung Mao. In 1970s OR group in the institute of mathematics within Chinese Academy of Sciences obtained many important results in the study of queuing theory, nonlinear programming and combinatorial optimization and trained many young teachers and students in these fields. They laid a solid foundation for OR development in China.

After China adopted the famous policy of reforming and opening to the outside world in 1978, OR development in China became faster as the international academic exchanges increased. Five important results were achieved in combinatorial optimization, the optimization of production system, graph theory, nonlinear programming and traffic management in cities and awarded the second-class prizes of national natural science, respectively. In addition, two Chinese OR groups won the first-class Prizes for OR in development of IFORS (International Federation of Operations Research Societies) in the evaluation of economic information system and the forecast of grain yields. At the same time Chinese impact in international OR community increased significantly. In 1982 OR society of China (ORSC) became one of the members of IFORS, and in 1985 became one for the founding members of APORS (the Association of Asia-Pacific Operational Research Society) . Even more, in 1992 Guang-hui Hsu was elected as the vice-president of IFORS. In 1999 ORSC successfully conducted the fifteenth conference of IFORS at Beijing.

In recent five years, Chinese OR professionals have made lots of progresses in the main fields of OR including, mathematical programming, game theory, stochastic optimization, scheduling theory, supply chain management, computational system biology and so on, and some of them have already exert considerable impact in international OR community. In addition to that, Chinese OR professionals have put lots of effort in OR application by closely working with enterprises

under some joint projects including, mobile network optimization, steel production and logistics, operating room scheduling and market forecasting of airline companies. The methods / techniques of independent intellectual property rights have been achieved, which greatly speeds up the innovation pace of enterprises involved. During this period, two ex-presidents of ORSC, Xiang-sun Zhang and Ya-xiang Yuan, were elected as the vice-presidents of IFORS representing APORS, respectively. Moreover, Ya-xiang Yuan, who is the academician of Chinese Academy of Sciences, will give an invited talk in the International Congress of Mathematicians at Korea in 2014.

9.3 Operations Research Development in Future

In addition to ascertaining that the internal vitality of the mathematical sciences is very impressive, the current study has found a striking expansion in their impact on other fields, as well as an expansion in the number of mathematical sciences subfields, such as OR, that are being applied to challenges outside of the discipline. This expansion has been ongoing for decades, but it has accelerated greatly over the past 10 ~ 20 years and will keep the same pace in the future. Some of these links develop naturally because so much of science and engineering now builds on mathematical modeling, computation and simulation for which the mathematical sciences are the natural language. In addition, data-collection capabilities achieved in recent years have expanded enormously and will continue to do so in the future, and the mathematical sciences are innately involved in distilling knowledge from all those data. However, mechanisms to facilitate linkages between mathematical scientists and researchers including OR professionals in other disciplines must be improved. This is particularly urgent in China where prevailing SCI journals / papers oriented research have prevented most of OR experts or graduate students to work with professionals in other areas focusing on some key problems of real importance and potential applications.

The impacts of mathematical science research can spread very rapidly in some cases, because a new insight can quickly be embodied in software without the extensive translation steps that exist between, say, basic research in biology and the use of a collected data. When mathematical sciences research produces a new way to compress or analyze data, value financial products, process a signal from a medical device or military system, or solve the equations behind an engineering simulation, the benefit can be realized quickly. For that reason, even government agencies or industrial sectors that seem disconnected from the mathematical sciences have a vested interest in the maintenance of a strong mathematical sciences enterprise for the technology innovation. And because that enterprise must be healthy in order to contribute to the supply of well-trained individuals in science, technology, engineering, and mathematical fields, it is clear that everyone should be aware of the vitality of the mathematical sciences including OR.

In the future, OR will develop rapidly and fruitfully in some interdisciplinary areas including life science, network science, management science, behavior OR and service science, economics as well as big data science and technology. OR professionals will play a more important role not only helping solve some concrete scientific or technical problems but also establishing some new subjects of OR and enriching the tank of OR methods and techniques. In summary, OR will have another golden age when facing so many challenges and exciting opportunities in the next 10 ~ 20 years.

10. Crystallography

One hundred years ago, in 1912, Max von Laue discovered X-ray diffraction by crystal. This revealed the wave nature of X-ray, the periodicity of crystal structure, and the similarity of the wavelength of X-ray to the lattice period of crystal. In 1913 and later, the Braggs determined the crystal structures of NaCl, diamond, etc., making the great advancement for people to understand the microscopic (at atomic and molecular level) structure of matter. These great achievements started the era of modern X-ray crystallography. Since then, X-ray crystallography, together with the subsequently developed electron diffraction and electron microscopy, and neutron diffraction, by determining the precise spatial arrangements of all atoms in the crystalline state, give scientists to access a large range of information, including connectivity, conformation, accurate bond lengths and angles, the stoichiometry, the density, the symmetry and the three dimensional packing of the atoms in the solids, and so on. All these provide us the base for the understanding of every physical, chemical and biological property of the molecule and the solid. The great development of crystallography over the past century has not only provided us deepest insights into the arrangement of atoms in the solid state and in molecule, but also advanced the sciences of chemistry, solid-state physics and, more importantly and surprisingly, biology and medicine. Crystallography has become the very core of sciences, showing us the structure of protein and DNA, and how proteins are created in cells, allowing us to understand and fabricate computer memories and helping us to design powerful new materials and drugs. In 2012, the General Assembly of the United Nations adopted the resolution that 2014 should be the International Year of Crystallography, IYCr2014.

This is a good time and opportunity to issue and to publish this volume of “Advances in Crystallography”, to report the recent development achieved by Chinese scientists working on

crystallography, as well as to bring the beautiful and useful crystallography to public. This volume consists of the following eight parts.

(1) Biomacromolecular crystallography based on the synchrotron X-ray radiations and the future X-ray free electron laser. Biomacromolecular crystallography is extremely dependent on the advanced high brilliant X-ray source thus synchrotron X-ray radiation facilities. China has recently (since 2009) operated its well-praised third generation synchrotron X-ray radiation facility known as Shanghai Synchrotron Radiation Facilities (SSRF). Supported by SSRF, together with the old Beijing Synchrotron Radiation Facilities, Chinese structural biologists have made great advances in quite wide range of biological macromolecular systems, such as several membrane proteins and their related transport mechanisms, structural insights or bases for histone methylation or acetylation, structures and receptor binding of hemagglutinins or neuraminidase from human-infecting influenza viruses, protein-DNA complexes, and so on. Some emphases on the perspective outlook for future trends and Chinese status in this exciting field, and the further promising future structural determination perspectives on nano-crystals or even single or few molecule clusters by using X-ray free electron laser are given.

(2) Advances in functional molecular crystals. The molecular crystal materials, such as organic molecular crystals, coordination complexes or metal-organic compounds, are the main research subjects of crystal engineering. More and more attentions are attracted by the functions of these molecular crystal materials concerning their optical, electric, and magnetic properties, chemical functions of adsorption, separation, catalysis and chirality, biological functions concerning polymorphism and controlled-release of drugs, as well as other functions concerning sensors and switches. The recent developments, achieved by Chinese researchers, in the fields of microporous coordination polymers, metal clusters, molecular magnetic materials, non-linear optical crystals, molecule-based ferroelectric crystals, as well as metal-organic compounds, are reviewed.

(3) Advances in Nonlinear Optical Crystals. The present status and the development of nonlinear optical (NLO) crystals in China have been reviewed in this report, including deep ultra-violet (DUV) and infra-red (IR) NLO crystals. $\text{KBe}_2\text{BO}_3\text{F}_2$ is the only crystal for DUV and it has been successfully used to manufacture all solid state lasers in DUV region by prism technology. Large size ZnGeP_2 with optical quality can be grown and different types of IR SHG devices can be made to meet the requirements for laser in 3~5 μm 和 8~12 μm . The explorations have also resulted in several new compounds and crystals available for UV and IR NLO.

(4) Advances in Laser Crystals. Laser crystal is the basis for the development of all solid state lasers and their market request. High quality Nd: YAG crystal up to 100mm in diameter 200mm in length was successfully grown, and the laser output above 10 kW power was achieved for Nd: YAG planar structure laser, kW level output for Yb: YAG and 3W mode locking emitted from Yb: YAG, with the shortest pulse width of 136 fs are available. Nd: YLF crystals and Titanium

doped sapphire crystals of large size have been grown. Raman active double tungstate $KRE(WO_4)_2$ crystals ($RE = Y, Gd$ and Lu) of high efficiencies of Raman outputs are under research and development.

(5) Advances in Powder Diffraction. This part summarized the advances of the field with an emphasis of the following branches, powder diffraction instrument, phase identifications of minerals, thin film diffraction, strains and textures, phase transitions and phase diagram, crystal structure refinement and determination, hard X-ray free electron laser, software and database, with several important progress in the study of Fe-based superconductors, giant elastic alloy and perovskite materials for negative thermal expansion.

(6) Advances in Electron Microscopy. Integrating diffraction, imaging, and spectroscopy, the modern electron microscope is a comprehensive platform for structural analysis and an indispensable tool for non-periodic structures in nanometer scale, such as lattice defects in inorganic crystals, protein molecules that are difficult to crystallize, and individual nanostructures in electronic devices. The spatial resolution of modern electron microscope to the sub-Angstrom level allows the successful characterization and study of the atomic-resolution structures of surface, domain and defect of solids and related properties. The combination of the electron microscope and scanning probe microscope makes the new possibility and opportunity to observe and manipulate individual nanostructures within the electron microscope in-situ, and to measure the electrical, mechanical, and optical properties of single nano-structure or device. In electron crystallography, high-resolution transmission electron microscope images, as well as electron diffraction (combined with X-ray diffraction methods) have been applied to determine the complicated crystal structures of oxides, intermetallic compounds and zeolites, by using their nano-sized crystals, even mesoporous silica and mesoporous carbon materials. The three-dimensional cryo-EM reconstruction techniques can be used to study the three-dimensional structures from biological macromolecules, large molecular complexes, virus, and so on. The combination of ultrahigh-resolution visible light microscopy and high-resolution electron tomography three-dimensional reconstruction will eventually realize the dynamic structural analysis of complex biological macromolecular complexes in the cell environment.

(7) Advances in Drug Crystallography. The status and future of drug crystallography in China are provided, focusing on the basic theory, national policy, and researches of polymorphic drugs including polymorphic drug varieties, polymorphous certified reference materials, new technology and new methods for quality control, and so on.

(8) Advances in Crystallographic Instrument. The recent developments for laboratory X-ray sources, X-ray detector devices, synchrotron radiation facilities, X-ray free electron laser and neutron sources, all are important for the crystallography, are reviewed briefly, and a comparison in the manufacture and development of crystallographic instrument between China and other

developed countries is given.

In all above parts, the domestic and international developments are analyzed and compared, and the perspectives in coming years are given.

11. Mechanical Engineering (Non-traditional Machining and Micro & Nano Manufacturing)

In the past three decades, nontraditional machining technologies and micro&nano manufacturing technologies have made remarkable achievements, and have been widely used in aviation and space flight, energy power, automobiles, biomedicine, communications, consumer electronics and other fields.

In the field of electro discharge machining (EDM), five axes CNC EDM sinking machine and high performance high speed travelling wire EDM machine have been developed. Meanwhile, some new EDM methods, such as blasting erosion arc machining, controllable combustion induced by EDM, micro-detonation of striking arc machining, have been proposed to efficiently prepare the so called difficult-to-cut materials especially the refractory alloys. In the field of electrochemical machining (ECM), some new methods, such as three-electrode feeding ECM, an active distributary electrolyte flow mode, W-shaped electrolyte flow mode, high performance electroforming, have been developed to improve the machining precision and surface qualify. The ECM machine for shaping blade profiles of blisk has also been successfully developed in China. In laser machining, a series of important progresses have achieved in thin-walled titanium alloy laser welding, laser surface hardening material system and laser etching. In the area of additive manufacturing, the world's largest laser direct manufacturing equipments for high-activity difficult-to-machine metals such as titanium alloy structure and the high performance key integral components with the largest size and the most complicated structure of titanium alloy or high strength steel have been successfully fabricated. It indicates China is in the world leading level in some aspects of additive manufacturing.

In the field of micro&nano design technologies, the device design cycle has been effectively shortened for emerging of MEMS pan-structured design method, three-dimensional design software, and the research of structure and circuit co-design technologies, which meet the MEMS design requirements. In area of micro&nano fabrication technologies, researches have greatly improved resolution, mass production and controllability of micro&nano fabrication. Applications of nano materials in micro&nano fabrication technologies have showed promising prospect in biological and medical areas. After years of efforts in China, micro&nano fabrication technologies have been enhanced significantly, and have possessed the capability from laboratory to pilot scale experiment. In micro&nano packaging technologies, wafer level packaging technologies and vertically stacked integrated packaging technologies gradually become the mainstreams. Nano packaging technologies can effectively make use of good physical characteristics of nano materials. In recent years, wafer level packaging technologies and vacuum packaging technologies have been used in mass production of MEMS gyroscopes and accelerometers in China. Currently, achievements of micro&nano measurement and testing technologies have reached accuracy of nanometer level, and realized non-destructive measurement and testing. But with the development of micro&nano manufacturing technologies, micro&nano measurement and testing technologies will encounter more challenges.

With the demand drawing from national strategic industries such as aeronautics and astronautics, as well as financial support provided by “National High Technology Research and Development Program of China” and “High-Grade CNC Machine Tools and Basic Manufacturing Equipments-Key National Science and Technology Special Project”, nontraditional machining technical gaps with the foreign countries have been shorten with numerous high-level scientific achievements. Original techniques that possess independent intellectual property have attracted extensive attention worldwide. Research on nontraditional machining technologies in China has developed from tracking imitation to independent innovation, and some achievements are at the leading level worldwide. Although a wide gap exists in high-end equipments of nontraditional machining, China has been one of the global research and production centers for nontraditional machining technologies.

In field of micro&nano manufacturing technologies, China has mastered related technologies of design, fabrication, measurement and testing, packaging, and so on. A series of typical MEMS devices have been created and some of achievements have reached the international advanced level. There are also bright spots in aspect of commercialization. The transforming performance of scientific and technological achievements to productivity has gradually increased. However, the following research and application are still the main directions. There are few achievements with innovation and independent intellectual property rights. High-end equipment of fabrication, measurement and testing, and packaging relies heavily on imports, and related research and

development are badly lagged behind.

With the developing of modern aerospace, energy, medical and automobile industries and the applying of more and more new engineering materials, nontraditional machining will be applied more and more widely in processing difficult-to-cut material, acquiring complex shape and machining micro parts. The great progresses should be made in machining precision, machining efficiency, machining stability, automatic machining, and intelligent machining in the future.

The directions of micro&nano manufacturing technologies, which should be paid long term attention and researched extensively, are research of basic micro&nano theories, micro&nano cross-scale research of fabrication and modeling, research of micro&nano devices with new principles, research of new manufacturing equipment, and so on. Meanwhile, the Chinese government must play a driving and guiding role in micro&nano manufacturing industry to promote its commercialization.

12. Electrical Engineering

Electrical engineering discipline considers the generation of electrical energy, transmission, transformation, use, control, management and so on as the main object, closely combined with information science, computer technology, electronic technology, automatic control, system engineering, new energy and new materials application, which is a science with a long history and deep accumulation. As the national first-level discipline, the electrical engineering is one of the core subjects in the field of modern science and technology, and an indispensable key discipline in the modern high-tech fields.

Seen from the self-development of electrical engineering discipline, the subject research and the development of the industry dynamics have not been weakened over time. The electrical disciplines run to today, which has become a root of many branch disciplines in the basic subjects of math, physics, chemistry and so on, and blend in the field of materials, information, life and other disciplines. As the global gradually formed the dominate field as the center of the environment, energy, material, biological and information. The development direction of electrical engineering disciplines has reflected the main characteristics by the diversification of the primary energy,

the flexibility of the energy conversion and the informatization of power transmission control, as well as the miniaturization of the large equipment. The electrical engineering has five secondary disciplines, namely, Electric Machine and Electrical Appliances, High Voltage and Insulation Technology, Power Electronics and Power Drives as well as Theory and New Technology of Electrical Engineering. In recent years, our country scientific workers in various fields actively explore the integration development ways of the electrical engineering discipline and emerging discipline, interdiscipline, overcome a number of key core technology, and achieve the fruitful research results.

12.1 The latest Research Progress for Electrical Engineering Discipline in Recent Years

With the development of the computer technology, power electronic technology and control technology, the connotation and denotation electric of machines and electric apparatus disciplines have changed a lot. The research and development of electric machines and electric apparatus gradually translate from the traditional electric machines and electric apparatus to the core, including electric machines and electric apparatus system inner power electronics, digital control and some special key applications, and even the integration system of electromechanical energy and information conversion, the electric machines and electric apparatus disciplines has inseparably intersected with the electronic information technology and computer technology.

As an important part of the energy industry chain, the electrical power system has become an important part of national energy integrated transport system. New energy revolution causes a major change in the power structure, and the existing power system can't get enough for the technical requirements of the large scale wind power and solar power generation, which has become the main bottleneck of restricting our country large-scale renewable energy rapid development. The smart power grids is the important platform of implementing the new energy strategy and optimizing energy resources allocation, and the security, economy and environmental friendliness are three main themes for the development of Power System and Automation.

High Voltage and Insulation Technology discipline is not only a good fundamental tradition disciplines, but also a vibrantly interdisciplinary discipline. In recent years, around the national ultra-high voltage power transmission project and smart grid construction and national defense technology development put forward higher requirements to the power equipment, High Voltage and Insulation Technology subject carries out the extensive research, and has made a series of high-end scientific research achievements in power equipment insulation and structure design, intelligent power equipment, AC/DC electromagnetic environment influence, and the related power equipment

technology under extreme conditions.

Power electronics and power drives discipline is an emerging discipline of electrical engineering, also a strong chiasmotypy discipline. Power electronic technology industry covers almost all of the related national key technology between the national economic development and national security for a long time, and has become one of the key basic technology in social development and national economic construction. In recent years, our country's power electronics disciplines has made considerable development, the corresponding power electronic technology has made the leap development in the development and production of the components and parts, device topology and structure and the main application field.

As the basic disciplines in the electrical engineering discipline, electrical theory and new technology have no clear disciplinary boundaries. The electrician theory mainly includes the theory and application of electromagnetic field, the theory and application of circuit (electric network), etc. The new electrician technique mainly includes a wide range of subjects direction of superconducting application, electromagnetic emission, magnetic levitation, plasma, the modern electromagnetic measurement etc. In recent years, our country's scientific research results in Theory and New Technology of Electrical Engineering subject mainly reflects in the electric circuit and electromagnetic field, superconductivity electrotechnics, bioelectromagnetics, electricity energy storage technology, other new technology of electrical engineering, the application technology of ultra-magnetostriction material, the application technology of magnetic liquid, the electromagnetic acoustic emission technology and wireless transmission technology.

12.2 The Comparison of Research Progress for the Electrical Engineering Discipline at Home and Abroad

Throughout the development of electrical engineering discipline in China in recent years, although it has made a number of the important and strategic significance research and development, effectively support the national economic construction and development, it exists obvious disparity compared with the international first-class level. It is especially not enough prepare to deal with the new energy revolution and the revolution of science and technology, outstanding performance in the following aspects: the original innovation ability and the lack of core technology breakthrough, more tracking imitate, fewer of the innovative contribution; multidisciplinary cross research and prospective study layout is not enough; less cutting-edge talent and the team of having a significant impact on the international; lack of advanced research experimental platform, weak scientific instruments for independent innovation ability.

12.3 The Development Tendency and Coping Strategy of Electrical Engineering Subjects

According to the development and the demand of the discipline and industry, the prioritized development direction of the electrical machines and electronic apparatus disciplines in the future time is Energy-efficient electric machine system, electric machine system in the electric traction, electric machine system using new energy power generation system, the electric machine system of the special application, the development of special electric machine, smart appliances and intelligent transformer, etc.

The power system appears two growing trends: one is in behalf of extra-high voltage technology, building a new generation of very large scale system, the advanced transmission and grid safety, the stability control and informatization of the power system, as well as the flexible electric power transmission technology are turn to the core research direction; second is in behalf of new energy and micro grid technology, building the intelligent power supply unit of local electricity generation and local consumption.

Development trend in the field of High Voltage and Insulation Technology subject mainly includes the insulation structure design of the DC transmission equipment, state detection and life diagnosis, high voltage power transmission and electromagnetic environment research, impulse power and plasma technology, the state diagnosis maintenance of electric power equipment and the new application of high voltage technology and so on several aspects.

The overall trend in the development of power electronics and power drives is that the power electronics device chip will work on the large capacity, high voltage, high frequency, low loss direction development, System device work on the high reliability, high performance, integration, green development direction; System control will work on digital, zero electromagnetic pollution and high electromagnetic compatibility development direction.

The main development trends in Theory and New Technology of Electrical Engineering are researching some new and more sophisticated electromagnetic theory problems, the superconducting power technology work on a higher voltage levels and greater capacity, the principle diversification and functional integration.

In bioelectricity magnetic effect research, it further studies the detesting technology of AC/DC transmission lines, maglev train and so on other related complex electromagnetic environment, and the influence on environment and health. In energy storage technology, it develops the next generation all solid state lithium ion batteries and carbon nanotube battery, focusing on sodium ion batteries and other frontier batteries.

Electrical engineering discipline and technology has been increasingly widely used or infiltrated in energy and environment, manufacturing, transportation, especially in many important areas related to national security and defense. Suggestions in electrical engineering and its industry layout, the support principle, the priority development emphasis and implementing measures, considering the following aspects: strengthening the application basic research of the electrical engineering discipline, establishing public electrical standards and device test platform, the key technical problems research in the industrialization and the standard research of electrical disciplines special application, carrying out the key research according to national needs key requirements and strengthening the close cooperation of industry–university–research. Electrical engineering is a multidisciplinary, the collection of the multi–industry, various aspects must have a very good coordination and cooperation, advising to organize high–level disciplines and coordination mechanism of the industry, strengthen communication and close cooperation.

13. Engineering Thermophysics

13.1 A Sustainable Energy System

The reform of the energy production and consumption patterns triggered by the third industrial revolution, offers new opportunities and challenges to the discipline development. It is China's research frontier in the disciplines of engineering thermophysics to establish the energy, resources and environment integration of sustainable energy systems, and to coordinate energy development and utilization of resources. These research interests include: ① Clean utilization of traditional fossil fuels, implement efficient and cleaner use of fossil fuels, and actively explore sustainable development of green energy technologies and systems with pollution–free or zero–emission; ② Accelerate the development of green energy, including the development and application of renewable energy and clean energy in nature, such as hydropower, nuclear power with massive industrialization value, and the need to develop wind, solar and biomass energy; ③ Realize the integration of energy, resources and environment, by pioneering new ways of chemical energy use or release to explore an effective way to separate pollutants from the chemical energy in the process of transfer and release,

enabling the effective utilization of chemical energy and pollutants recovery. Achieve a new resource, energy and environmentally compatible development models by getting rid of the traditional “chain-line” mode.

13.2 Energy-Saving and Scientific Energy Efficiency

Energy-saving can be divided into “save” and “scientific energy efficiency”. Scientific energy efficiency emphasizes on relying on science and technology to achieve energy-saving and improving the energy efficiency, designed to comprehensively and effectively promote the development of circular economy. It is the fundamental way to save energy and the inevitable result of the energy technology.

“Scientific energy efficiency” mainly includes three meanings: the first is by “allocation properly, requirement distribution, and temperature counterpart, and cascade energy use” way, constantly improving energy and the various resources comprehensive utilization efficiency, reducing environment resources cost; the second is by resolving energy and environment coordination compatible problem, closely combination energy conversion process together with the material conversion process, special focus on control the formation, migration and conversion of the waste and pollutants, organic combination of the energy conversion process together with the separation pollutants process, reducing and even avoiding the additional energy consumption during the separation process, implementation of the separation, and recovery of the pollutants during the energy use; the third is to change the traditional patterns of energy use, developing the resources, energy, environmental integration mode, achieving the resource recycling, minimizing the “waste” and “waste energy”.

13.3 The Cleaner Use of Fossil Fuels

Clean use of coal is most prominent in China. You must open up a new type of high efficiency, clean coal utilization technologies. At present the clean coal power generation technology is built around the main development direction of coal-fired combined-cycle (CFCC). CFCC is an advanced coal-fired combined cycle power generation system formed by combination of the transformation of clean coal or coal technologies and efficient combined-cycle. Among them, the integrated gasification combined cycle (IGCC) has completed a number of demonstration projects and trial operation successful, verifying the technical feasibility, making the IGCC from technical validation phase to the business application. On the basis of IGCC, another important direction

of clean coal technology development is chemical-powered cogeneration systems. Chemical-powered cogeneration system refers to the chemical process through system integration and power systems coupled together organically. It is a versatile, comprehensive energy utilization system upon completion of the energy conversion such as power generation, heating, at the same time, the production of alternative fuel or chemical products, to meet the energy, chemicals and the environment requirements.

13.4 Renewable Energy

China's solar, wind and biomass energy resource is very rich, with substantial favourable conditions for development. Large-scale renewable energy technology and industrial development should be an important measure for China's transition to a sustainable energy system.

In the area of hydropower development, in 2010, the total installed capacity of hydropower reached 216.06 million-kilowatt and electricity 686.736 billion kWh, accounting for 16.2 of national output.

In terms of wind energy, in the end of 2010 the total installed capacity of wind power 31 million-kilowatt, during the "Eleven-Five", the annual growth rate of 89.8 percent. The generating capacity is 49.4 billion-kilowatt-hours, 1.2 percent of national electricity production. The Grid-connected sizes ranks second in the world's.

The total amount of solar thermal utilization has been a world leader, the national scale photovoltaic power generation machine reached 800,000-kilowatt in 2010, installed with 168 million square meters of solar water heaters; in addition, solar air conditioning, solar cookers, solar architecture, has also developed into industry scales and is booming. China has a completed demonstration of solar thermal power technology.

As for Bio-energy, the widening scope of the application of biogas in China, the technologies get breakthroughs to produce liquid fuel from biomass such as cassava, sweet sorghum grain. Thousands of tons of straw cellulose ethanol are in the pilot stage of industrialization demonstration project. By the end of 2010, various types of biomass power generation capacity is around 5.5 million-kilowatt. It has already achieved preliminary results in the countryside in clean use of energy.

Geothermal energy and marine energy use technology is continue developing. The shallow layer geothermal energy used in building areas is of fast development. At the end of 2010, source hot pump heating refrigeration area had reached 140 million square meters. The tidal utilization technology is more and more mature. The wave energy, trend energy technology research and development as well as small scale application have made progress. The development and utilization

work is in a starting stage. It has great potential in the future, with much better technology reserve.

13.5 Greenhouse Gas Control Strategy

China needs new idea and new technologies for greenhouse gas control to satisfy the economic development and its energy structure.

The strategic planning to reduce CO₂ emissions needs carrying out in stages. The recent objectives are to improve the energy efficiency by “shut-downing and recapping” to eliminate backward productive forces, and to develop and promote the energy-saving technologies. The medium and long term objectives are focused on renewable energy and other green alternatives. The future objective is to develop CO₂ control emissions integrated system.

The integration ideas refer to that in the West such as resources-rich area construction recovered CO₂ alternative fuel-power co-production system. It will transfer coal in Hang Hau into power, F-T fuel or methanol, and DME and alternative fuels. At the same time most of the CO₂ will be separated and recovered and in-place buried. The power and alternative fuel can be transported to the economic developed area with big energy demand. In the economic developed area, alternative fuel can be used as traffic transport fuel and advanced clean power generation system fuel.

This approach conforms particularity to China’s energy structure that “rich in coal, relative shortage of oil and natural gas resources”, resource distribution that “energy base is relatively concentrated, consumer terminal relatively fragmented”, and status quo that “between the East-West economic development existing a big gap”, The greenhouse gas control technique is suited to China’s national conditions.

14. Control Science and Engineering

Using iCAN research analysis system, hot topics, authors and facilities of the past 2 years in China are analyzed, and compared with the international development.

14.1 Control Theory and Control Engineering

In the fields of multi-agent, the convergence of the multi-agent control systems with communication constraints has attracted many attentions. The foundation is established for studying the relationships between the communication mechanisms, network dynamic constraints and control objectives and performance of complex information networks. In the fields of the identification of set-valued system, two-set-valued output system identification methods are proposed for the output identification of linear systems in stochastic and deterministic environments, respectively. In the fields of adaptive control, two-scale adaptive control law design method is proposed to solve the periodic target tracking problem in linear system. In the fields of control-oriented recursive algorithm, an effective recursive algorithm is constructed based on the value set in parameter estimation data and its conditional expectation.

Network control system research has made a series of breakthrough in recent years, especially in information-based theory, network-based theory and graph-based theory. In the fields of intelligent control, fuzzy control, neural network control, and genetic algorithms are extensively studied.

14.2 Pattern Recognition

In the fields of fundamental theory, computer vision and application technology, in recent years, the Chinese academia has contributed significantly to dimensionality reduction, feature selection, large-margin-based classification, stereo matching, object detection and recognition, image classification, and application technology (particularly, handwriting recognition, document analysis in image and video, biometrics such as face and iris recognition, etc.). Increasing articles have been published in prestigious journals and conferences such as IEEE TPAMI, IJCV, Pattern Recognition, NIPS, ICML, ICCV, CVPR, and ECCV. However, except a few research directions highlighted with academic originality, most works are still following the international frontiers. But it should be noticed that, compared to the weakness in fundamental research, Chinese researchers have shown high visibility in some application fields, typically including biometrics, visual object detection/recognition, and handwriting recognition. Now, researchers have been aware of the importance of fundamental research, and are putting increasing efforts on mathematical foundation of pattern classification, biologically-inspired vision, spatial context understanding, etc.

In the fields of brain imaging and cognition, the Chinese academia has also made significant contributions. Cognition aims at unraveling the neural mechanisms that underlie mental activity,

such as perception, motor control, attention and language, decision making, and so on. Brain imaging is a powerful technology for the study of brain cognition. Functional magnetic resonance imaging (fMRI) makes it possible to observe real-time brain activity of the cognitive process, such as, during sensory, motor and cognitive tasks. Great progress has been made in China in development of computational methodologies for analysis of fMRI datasets. The representative achievements are to research into spontaneous activity of brain with fMRI, and computational neuroanatomy. In cognitive science, main contributions made by Chinese scientists include the global-first theory of visual perception, Chinese language cognition, and cultural difference in numeric and language cognition. Chinese scientists have also played a leading role in study of cognitive disorders with brain imaging. The feature progress is the study of cognitive disorders caused by various brain diseases, such as Alzheimer's disease, schizophrenia, depression, ADHD, PTSD, blind, deaf, etc. under the framework of Brainnetome. These findings are very promising as imaging biomarkers for prediction and diagnosis of these disorders.

In the fields of data mining, Chinese institutions have made significant contributions to the research frontier of the data mining community. Data mining is concerned with the process of discovering novel, non-trivial, and potentially useful knowledge from large-scale data sets. We highlight recent publications by Chinese research groups in the top venues of data mining research. Compared to the developments of international research, which emphasize on theoretical and interdisciplinary research, data mining research in China principally focuses on practical real world applications. In general, there is a significant trend of data mining research towards social networks and big data, which provides a considerable opportunity for Chinese researchers to establish novel research directions and to make a broader impact.

Web multimedia analysis is a relative new research area, which researches towards analyzing web multimedia characteristics, understanding web multimedia content, developing web multimedia applications, to meet the daily needs of information service. Along with the development of multimedia compression technology and the popularity of portable digital devices, we have witnessed the explosive growth of multimedia data. It is the mature streaming media technology and web development standard like HTML5 that has recently made Internet the biggest sharing and propagation platform for multimedia data. Thanks to the rich information captured in multimedia and the propagation efficiency of Internet, web multimedia, the marriage between multimedia and Internet, has become the primary access to information for more and more people.

14.3 Detection Technology and Automation Devices

The concept of fault table based on graph theory is proposed to classify the results of each test and

detect intermittent faults by comparing to the table. Other methods, such as discrete event system methods, are also used for qualitative analysis. Quantitative analysis methods for intermittent fault diagnosis include analytical model method, statistical model method, feature analysis method, experimental research method and so on. Statistical models are proposed as a kind of probabilistic methods to diagnose intermittent faults in WSN nodes. The models are implemented by repeated testing to determine the occurrence of intermittent faulty of sensor nodes. In feature analysis method, intermittent fault signal variation can be analyzed using continuous wavelet transform and Hilbert spectral analysis method. Experimental research methods are studied for the detection of intermittent arc fault, auto gearbox gear crack fault, analog device for circuit system, etc.

14.4 Navigation, Guidance and Control

Tsinghua University, National University of Defense Technology, Southeastern University and Xidian University have gained rich achievements in the terminal equipment of satellite navigation. National University of Defense Technology, Beihang University and Chinese Academy of Sciences studies the GNSS/INS integrated navigation. Zhejiang University, Beihang University, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, National University of Defense Technology, Harbin Institute of Technology have applied the vision / inertial integrated navigation system into the robots navigation, UAV autonomous landing, lunar exploration, space docking and relative navigation. Beijing University, National University of Defense Technology, Northwestern Ploytechnical University, Harbin University of Technology, Chinese Academy of Sciences, Information Engineering University of the People's Liberation Army, Beihang University, Huazhong University of Science and Technology and Southeastern University studies geomagnetic aided navigation. Breakthrough progress has been made in celestial navigation based on optical sensor. Beijing Institute of Control Engineering, Beihang University, Chinese Academy of Sciences, Chinese Academy of Space Technology, Institute of Command and Technology of Equipment developed precise ultraviolet navigation sensor and studied the navigation algorithms.

14.5 System Engineering

In the fields of production planning and scheduling, the following problems are studied: the scheduling problem based on group intelligence optimization, production planning and scheduling in the intelligent decision-making supporting perspective, the new production planning and scheduling methods orienting new production mode and new production equipment, energy

consumption co-optimization, data driving production planning and scheduling, and so on.

In the fields of architecture engineering and architecture structure, under the background of weapon equipment architecture, National University of Defense Technology has proposed the architecture demand development process, which includes 4 stages and 12 steps. Chen has proposed an architecture optimization method based on knowledge heuristic search. Zhao has proposed an evolution-oriented design and optimization method for architecture.

15. Graphics

Graph is not only an important source of knowledge for human being, but also an important tool for describing thought and communicating knowledge among people. Some kind of graph, like engineering drawing, is seemed as a language to the science and technology community expressing the idea of design and manufacturing. In recent yeas, because of the closely connecting with computer and information technology, the theory, technology and applications of Graph are developed rapidly, thus a new discipline named Graphics is formed, and it gets widely applications in industry, agriculture, scientific research, defense, education and culture, etc.

GRAPHICS is a science which takes GRAPH as object to research the theory, technique and applications about graphic representation, generation, treatment and transfer during the process of producing graph from shapes, or constructing shapes from graph.

The object of GRAPHICS research is GRAPH, and the work of research is to find out the relationship between graph and shapes. Here, the “SHAPES” refer to the form or object, which exists in the objective world (such as natural objects, man-made objects, natural phenomena, etc.), and virtual world (such as animation, game, etc.), and the essence of SHAPES is “presence” . GRAPH is a visual representation of SHAPES, which is consisted of dots and lines with their own attributes like color, line width, etc. , and the essence of GRAPH is “representation”. Therefore, it can be said SHAPES is the source of GRAPH.

The disciplinary frame of GRAPHICS is consisted of three layers and two supporting components. The three layers are base layer, application support layer and application layer. The two supporting components are graphics education and graphics standard. The base layer contains graphics common base, graphics calculation base and graphics theory. The application supporting layer includes

graphics basic application software, graphics libraries, etc. The application layer contains a wide range of applications, such as engineering and product design drawings, graphic design, creative graphics, geographical graphics, information visualization, etc.

Owing to the introduction of computers, the original boundaries between the two subjects “Graphics” and “Image” have been increasingly blurred, also the contents of both subjects have been more and more merged together, so it is possible using GRAPHICS to unify both subjects. In addition, in China’s “Discipline Classification and Code” (GB/T 13754-72), the information about graphic theory, technique and applications spreads across in many disciplines, which is not benefit to develop graphic theory and technology, therefore, timely to establish a new discipline of GRAPHICS is necessary. For this new discipline, the report presents a concept of “Big GRAPHICS”, and here the “Big” means that the research of graphics theory involves various graphs, and applications of graphics cover a wide range of fields. Therefore, the role of this “Big GRAPHICS” could be recognized as same as Literature and Mathematics to support the development of science and engineering together.

In recent years, many progresses have been made in graphic theory, technology and applications as follows.

15.1 The Foundation of Graphics Theory

The progress has been made in understanding line drawings by computer, which includes transferring sketches into line drawings, labeling nodes and line type of line drawings, recognizing surfaces of line drawings, and using quantitative method for understanding line drawings. Moreover, three important research achievements have been obtained in graphic transformation, i.e. presenting a geometric representation method for graphic transformation, amending the theory of “projection” and “projection transformation”, and solving the parameter setting problem for perspective drawings.

15.2 The Foundation of Graphics Computing

Based on the cognition “Shapes is present and input; Graph is representation and output”, it can be pointed that the basic element of Shapes and Graph is geometry, and then the essence of Shape’s construction and Graph’s formation are geometry definition, geometry structure, geometry measurement and geometry display, therefore the object of graphics is geometry, and the essence of graphics computing is geometric calculation. It is also noted that the graphics computing involves “numerical calculation” and “shape calculation”. In addition, other progresses have been made

in geometric calculation theory, mechanism of shape calculation and stability theory for geometric calculation.

15.3 The Application Modes of Graphics

Two application modes of graphics have put forward. The first one is integrated application mode in product life cycle, and the second one is the system embedded with graphic core system for certain application. Meanwhile, some examples of two modes used in industry are showed.

15.4 Graphics Application

The new progresses have been made in following applications: digital design and manufacturing, building information mode (BIM), geographic information technology, visual media technology, etc. Two practical cases are given. One is to show the use of graphics in the whole life cycle of ship building including ship hull design, performance calculation, process design, manufacturing, inspection and maintenance. Another is to show the effect of using BIM in architectural industry.

15.5 Graphics Education

The new progresses in graphics education are obtained in graphics thinking, reform of curriculum contents and system, digital teaching, simulation training, social graphics education, team teaching, etc.

15.6 Graphics Standardization

Seventeen items of standards for digital design had issued and implemented from 2009 to 2011 in China. This fills the gaps of 3D graphics standards in China, and marks the country has reached international level in standardized technique for “computer aided design and drafting” . In recent years, three international standards formulated under the auspices of China have issued, five topics international standards decided to formulate have also been under the auspices of China, and other six international standards will be formulated with China’s being member country . The above shows that China has reached international advanced level in standardized research.

The progresses of graphics research at home and abroad are compared at four aspects, namely research on the discipline connotation of graphics, research on the basic theory and technology of graphics, research on the calculation basis of graphics, research on the application basis of graphics.

Finally, the report puts forward five aspects of future trends for graphics development, which include graphics and animation, image and video, virtual reality and augmented reality, visualization, 3D printing. The corresponding countermeasures are proposed also.

16. Electronics and Information Science

16.1 Introduction

The industry of the electronic and information is universally regarded as a strategic emerging industry, which takes a great proportion in the national economy and it is raising year after year. Now we are in the information society, and the science and technology basement is the electronic and information discipline. For example, the development and application of the integrated circuit, optical fiber communication, internet and the mobile internet is contributed to the microelectronics, optoelectronic and software technology and so on. Electronic and information technology includes information technology (IT), information communication technology (ICT) or infiltrating and combing with both. With the help of the electronic and information technology, the traditional industry gets renewed. At present, it is difficult to distinguish the class for some new disciplines between the traditional technology and electronic information technology, such as, computer, automation, intelligent instrument, artificial intelligence and information processing, medical electronics, aerospace and so on.

16.2 Current Research Development

The boundary and the scope are hard to be defined since the rapid development speed for the electronic and information discipline. As a result, the discipline development is only organized by

some sub discipline rather than the complete classification.

16.2.1 Microelectronics and optoelectronics

Microelectronics industry mainly includes integrated circuit industry and semiconductor industry. The development trend of the integrated circuit area is that the chip square is bigger and bigger, the integration level is higher and higher, the feature sizes is smaller and smaller and the system on chip (SOC) is more and more perfect. The main content of the optoelectronic technology is as follows: as photons produce, controlling of laser technology and its related application technology; as a photon transmission waveguide technology; as a photon detection and analysis of photon detection technology; optical computing and information processing technology; as the information stored in the photon optical storage technology; the photon display technology; using photon machining and material interactions of photons and photon biological technology.

16.2.2 Modern communication technology

With the development of digital technology, the transmission communication is moving in the high speed and large capacity and for long distances. A wavelength section with multiple channel WDM technology has entered the stage of practical for tens of years; optical amplifier instead of the photoelectric conversion repeater is practical; coherent optical communication, optical soliton communication has also made significant progress. This will make the transmission length without repeater extend to hundreds or even thousands of kilometers. Wireless communication and mobile Internet based on wireless communication technology make rapid development exceptionally in recent years and mobile Internet become one of the five hot words in ICT.

16.2.3 Remote sensing and sensing

The role of sensor and the recognition is extended to people's sense. It includes information identification, information extraction, information detection technology, etc. All these kinds of technology are called "sensor technology". With the development of the materials science, nanotechnology and micro-nano processing technology, sensor presents the trend of miniaturization, micromation. In an interactive controlling, whether the man-machine voice interaction control, gesture interaction controlling and the typical multi-point touch screen control technology, or the machine to machine represented by intelligent anthropomorphic robot, machine and environment interactions control technology, has made great progress and development.

16.2.4 Information security technology

In recent years, it has made rapid progress in the domestic field of cryptography and security protocols, from the sequence codes, block cipher, a Hash function, public key cryptography

and security agreement. In the field of information security based on cryptography, scholars in our country started later, and in individual breakthrough, the overall level has a great gap between the world. At present, cloud computing, mobile Internet, Internet of things, and other fields are being concerned. The scientists and technicians are working together for the information security, and the trusted cloud computing as well as other general trusted computing can be expected.

16.2.5 Big data and data mining

Big data is one of the most popular nouns in the information field, the reason lies in not only the hype, but also the importance of the virtual world, which has been known by more and more people. Big data is more focus on practical techniques; it is a comprehensive multidisciplinary, multiple technology processing object. Data mining includes data preprocessing, data classification, clustering, sequential pattern and so on, which is useful for knowledge discovery in database. In future, it will focus on big data fast calculation, multimodal information fusion, the dimension reduction of the characteristics of the large data and other technical direction.

16.2.6 New generation network

The Internet information network plays important and indispensable role in the modern economic development and our daily life, while it also faces the lack of address space, bandwidth bottlenecks, network security, mobility support and other problems. In order to solve these problems, a new generation of network is highly desirable. The United States, Europe, Japan and other countries around the world have spent a lot of energy and time in investigating the new information network system theory, the heterogeneity of heterogeneous network integration, the new network system of universal service, credibility and mobility under the new network system and so on. One way is to build next generation Internet based on the IP protocol, which is compatible with the existing various communication networks and supports the user to develop innovative applications. Another method is to establish a new architecture, such as the “integrated identification network”. Future research may focus on the solution to network security, mobile performance, scalability, energy saving, resource utilization, etc.

16.2.7 Audio video coding technology

Video compression, therefore, becomes one of core issues in the field of digital video. For decades, both in academia and industry, people have taken lots of researches and made important progresses. The recent major development direction of the video coding technology mainly includes the hybrid coding technology which is represented by HEVC/H.265, 3DV stereoscopic video coding technology, encoding based on visual feature, and monitoring video compression, compression of the screen video and so on.

16.3 Development Tendency

Electronic information technology influences the people's way of thinking, social communication, production and way of life. But for a long time, "universal" degree of electronic information technology has not been able to achieve the "threshold"; its influence is not big enough to lead to human life and behavior change. Only the carrier of "information" with "electronic" walks into the life of almost everybody. You can't get rid of their existence and influence of surroundings, and the society has really changed. In order to achieve this goal, microelectronics, optoelectronics, calculation, network communications, software, sensor and other areas related to electronic information subject, will be beyond the common progress of electronic information discipline.

16.4 Summary and Prospects

Electronic information technology is like a vast sea, we can't understand the whole sea from a drop or a puddle of water. When we choose the topic and write the book this year, we try to avoid computer science in the software discipline, communication disciplines, automatic control and other potential overlap premise. This study focuses on several more active areas: next generation of networks, digital video encoding and decoding technology, big data and data mining, sensor technology, semiconductors and microelectronics, information security etc. Indeed, these areas do not reflect the whole picture of electronic information science; we just hope that, through the development of research report, electronic information can ultimately be the main subject areas. We can see hard work of our scientific and technological workers results, our gap with the world advanced level, hot issues raised and possible breakthrough in the direction. We can complete the "great mission" by the ongoing efforts.

17.Highway Engineering

Highway construction is believed to be one of the most fundamental approach to stimulate national

economic development in modern times. Since the reform and opening-up, China highway construction has made a magnificent improvement in the 30 years. During the historical development tide, highway in China started from scratch and now is the second largest national highway transportation network in the world. Mileage of China highway reached 4.11 million kilometers by the end of 2011 and is still growing.

China highway construction with both efficiency and quality has led to a prosperous evolvement of the highway engineering discipline. Academic research regarding this discipline has been well developed and obtained recognized world-leading levels in many areas. Outstanding achievements and medals have been recognized and awarded in various related research fields. For the fundamental development of the highway engineering discipline, important laboratories in different research fields were built and assisted the scholars with the emergences of appealing academic achievements. Based on the construction of the laboratories, professional faculty members are trained to expand their international academic view in highway engineering discipline.

China Highway and Transportation Society organized the compilation of The Development Report on China Highway Discipline for the first time in 2012. This academic event was supported by society branches, social agencies and government administrations. The Report has received extensive attention and satisfying feedback from the whole national highway industry. Ministry of Transport of P.R.C. puts a premium on this Report compilation work. Meanwhile China Association for Science and Technology has enlisted this work as the annual financial support project in 2012.

With continuous evolution and innovation, highway discipline is now covering more and more research fields and contents. This Report is based on the original discipline report last year and expands the contents to ten different and related subjects, respectively road engineering, bridge engineering, tunnel engineering, transportation engineering, informatization of highway prospective design, road transportation and modern logistic, highway maintenance and management, highway environment and sustainable development, bus technology and construction and maintenance machinery. This Report provides the audience with an outline of the recent magnificent evolution and crucial research accomplishments in China highway transportation discipline, aiming at demonstrating the prospects and scientific researches in highway discipline development.

An overview on the recent development in all ten disciplines indicates that there are obvious evolution directions for the discipline research. It is indicated that sustainable development for the discipline has attracted more and more attention in recent years. Systematic research regarding sustainable development has been performed in many sub disciplines. Further research in the hazard control and safety emerges for a more secured and reliable discipline development process. Also intelligent design and technology are extensively applied in the discipline for more efficient research. Together the three novel academic research directions in highway engineering discipline

have greatly improved the academic research level of the discipline on the whole scale, providing the highway construction, even the comprehensive economic improvement, in China with strong and important supports.

Great progress has highway engineering discipline in China made during the rapid development in recent years, yet there is obvious research gap between China and developed countries. To recognize the research gap, a comprehensive and thorough contrast of highway engineering discipline between China and developed countries is introduced. It is realized that certain shortcomings in discipline fundamental research, industrial innovation construction, development and application of novel technologies, and humanization and safety design exist in the highway engineering discipline of China. It is very essential that practical involvement requirements of the highway engineering discipline of China should be taken into consideration during the deepening research process. By this way can research in the highway engineering discipline of China achieve the international advanced level.

In the future development of the highway engineering discipline of China, more emphasis should be put on strengthening discipline construction and optimizing discipline resource distribution. Conception of sustainable development should be implemented thoroughly in every possible direction. Innovative research approaches should be introduced widely during the discipline development. In specific, fundamental research for highway engineering should be deepened based the discipline development requirements, intensive and environment-friendly construction and operation technologies should be explored and applied more, development in facility safety and long-term service life guarantee should be strengthened, and intelligent design and application should be integrated and optimized. By this way, highway engineering discipline of China is expected to achieve another great soar in the coming future.

18. Aeronautical Science and Technology

Aviation science and technology is a discipline with strong engineering characteristics. Its progress is closely linked with engineering achievements, and application particularly integrated ones

are often reflected through them. This study analyzed progress in China's aeronautical science and technology. The prospect, general trend and frontier in this field were presented through summarizing China's aviation science and technology's new progress, results, ideas, methods, technologies and comparing them with international advanced levels. Furthermore, suggestion on development direction was put forward.

18.1 Aircraft, Helicopters and UAV

As for military aircrafts, the J-20 carried out validation flight test at Yanliang test center and the J-31 completed its maiden test flight on October 31, 2012, marking that China has become the second country which develops two kinds of fifth-generation aircraft at the same time after the United States. A heavy military transport aircraft developed by AVIC Xi'an Aircraft Industry (Group) Company is the largest military aircraft China has ever developed. The first J-15 prototype aircraft successfully went through landing and take-off tests on the Liaoning aircraft carrier, demonstrating breakthroughs in carrier-borne aircraft technology. As for civil aircrafts, C919 aircraft is developed steadily and has received 380 orders. As for military helicopters, great progress has been made in R&D and production capacity. WZ-10 and WZ-19 have been successfully developed and fielded, ending our embarrassment of lacking dedicated armed helicopters. It is a significant achievement in army aviation equipment. The development of JY-8, an unmanned high-speed helicopter, is accelerated. For civil helicopters, there are Z-15 jointly developed by China and EU and AC313. AC313 is the only large helicopter developed by China on its own so far. It's expected that AC313 will complete all airworthiness flight tests, obtain type certification and be put into commercial operation in 2013.

18.2 Aerospace Power

China continues to increase investment and has made steady progress and breakthroughs in aerospace power in 2013. As China's troops began to equip with our own new generation fighters, the situation of using imported Russian engines is changing. Taihang engine, a high-thrust turbofan engine developed independently by China, was started in 1980s and finalized in 2005. It has been partially fitted out in the J-10 and J-11. Its polymorphic variants are being used for the localization of China's new fighters. Engines for the 4th generation fighter aircraft and the carrier-borne aircraft are under development. The Minshan engine for the advanced trainer and Jiuzhai Engine for the general aviation aircraft are also under development. Qinling engine is a domestic derivate

from the British-made Spey engine introduced in 1970s. It has reached a new technological level through localizing its materials, accessories, etc. and drawing more advanced technology. The mass production of it has begun in 2003. Kunlun engine is the first medium afterburner thrust turbojet in accordance with military standards developed by the Shenyang Engine Design and Research Institute independently. The institute owns full intellectual property right over it. Kunlun Engine Project was started in 1980s and got design finalization in July, 2002 after passing 259 rigorous assessments. It can meet the increasing thrust requirement of the improved J-7 and J-8.

18.3 Flight Mechanics

In the field of nonlinear flight dynamics, many mechanism researches and experiments on unsteady aerodynamic were carried out both at home and abroad. Progress was made, especially in wind tunnel test. The experimental apparatus to simulate the large amplitude dynamic of the SDOF movement and two DOF coupled motion of the airplane were established, through which, some unsteady and coupling aerodynamic data were derived and some new nonlinear unsteady aerodynamic characteristics were found. With the development of modern control theory and intelligent control, the identification and control of nonlinear unsteady multivariable system has been greatly enriched. In the field of elastic flight dynamics research, our country has carried out profound researches on elastic aircraft unsteady aerodynamic prediction techniques and flight dynamics theory. In the field of unsteady aerodynamic modeling, in order to make the aircraft still be controllable in the large angle of attack state and DOF coupled motion so that it can gain advantage in an air war, we have carried out in-depth studies. With the substantial improvement of computer technology, CFD technology has been widely applied in a variety of projects. In addition, with rapid development of the domestic large aircraft and the general aviation aircraft, civil aircraft flying qualities and airworthiness have become an important part in flight dynamics research.

18.4 Flight Test

The design finalization flight test program for newly-developed military aircrafts is expanding. We are now able to carry out the following items thanks to years of accumulation and large-scale infrastructure construction: structure verification tests, flying quality verification tests, flight performance verification and resistance measurements tests, the propulsion system verification tests, weapons fire control system verification tests, equipment system verification test, avionics system verification tests, electrical system verification tests, flight control system verification tests,

survivability and vulnerability verification tests, reliability, maintainability and supportability verification tests, helicopter design styling and identification tests, the new model engine design styling and identification tests, the new research aviation two product design styling and identification tests and so on. A relatively complete flight test system has been formed. Our flight test agencies are competent for implementing not only flights to test general subjects like aerodynamics, flight mechanics, structural integrity, power plant equipment and airborne systems but also flights to test specific items required by scientific researches. In the aspect of external parameter measurements, our country has basically met the requirement for measuring the performance during takeoff and landing and general flight path and attitude with high precision. Besides, our airborne test system performance is close to today's world advanced level.

18.5 Manufacturing Technology

The world's largest tonnage forging presses, which was independently developed by China and serves as China's "large aircraft" project's critical equipment, was successfully produced by China National Erzhong Group Co., at its Deyang base, marking that China's metal materials technology has made a new breakthrough. Researches on advanced polymer composites manufacturing technology, non-autoclave prepreg molding technology, deformation and thermal curing composites compensation technology, aerospace prepreg autoclave cured composite outer application were launched and progress has been achieved already. During the development of the new regional jet ARJ21, aircraft factories have made full advantage of the digitized offsite design and manufacturing. The whole machine design is with 100% CATIA three-dimensional digital definition, and digital pre-assembly and digital prototyping. Digital manufacturing technology has been applied in ARJ21's pipe. Currently, the national aero-engine manufacturing industry is vigorously promoting the digitization process and has achieved a lot in the key components process design, tooling design and CNC machining. It helps facilitate the transfer from traditional development and production model to lean model. In addition, in 2013 the State Council has conferred first prize of State Technological Invention Award on the research team who has developed aircraft alloy integral member of large and complex laser forming technology. The technology has been put into industrial manufacturing in our country. Manufacturing a variety of titanium and other large and complex key metal parts directly through laser has been applied to new fighters, large transport aircrafts, large aircraft like C919, etc. which makes our country the second in the world that masters titanium aircraft structural parts laser rapid prototyping technology and realizes engineering application after the United States.

18.6 Materials

The development and application research of titanium alloys for aircrafts such as TC4, TC16, TC18, TC27, TB5, TB6, Ti55531, TC21, TC4-DT, TB8, Ti45Nb, TA15 were carried out. Key technology breakthroughs were made in high-alloyed ingot compositional uniformity control rods, forgings organizational performance uniformity control and stability control batch forgings. For the use of engine, the application researches of the forging, die forging, heat treatment, nondestructive testing, machining, surface hardening of Titanium alloy such as Ti60, Ti6246, Ti6242, 650°C titanium and Ti40 Alloys were implemented. Key technologies of organization performance uniformity control, parts machining and surface hardening were derived. High-quality and high-temperature engine-use titanium alloy forgings and key components were developed. Special-function titanium and special technique, advanced polymer composites, metal matrix composites, the ceramic matrix composite materials, the material performance testing and evaluation were studied and progress have been achieved. The inorganic non-metallic materials are in rapid development and its new technology and technique are continuously applied and promoted

18.7 Aviation Electromechanical Systems

Our aviation electromechanical systems are moving towards integration, multilevel and intelligence. The goal is to achieve full integration of function, energy, control, and physics. To fulfill the requirement of China's new generation aircrafts, China has accelerated researches on the aviation electromechanical systems integrated control and management, improved the comprehensive management and diagnostic capabilities by reducing the electromechanical system interconnect and information sharing, as well as enhanced its reliability and maintainability. In addition, China has carried out a series of studies on advanced more electric aircraft power supply technology, key electrical system technologies, multi-system fault diagnosis, electrical load management study, the stability of the power system load. China has also carried out some ground tests and flight tests to verify the technical maturity and usability of some technology and confirmed that the overall performance of the aircraft can be enhanced by replacing hydraulic actuators with electromechanical ones, which provides a preliminary basis for China's new generation of more electric aircraft.

Although we have made considerable progress in aircraft overall design, aerodynamics,

structure, avionics, and aviation electromechanical systems, we still lag behind the world advanced level. The development of China's military and commercial aircraft is imbalanced. There are a few civil aircrafts with competitive edge, and no product family is formed yet. Most products are only exported to Asia, Africa and other Third World countries. China only masters the technology of medium and small transport planes. The technology of large and ultra-large transport aircraft is still in development stage. There are still large gaps in the aspect of aircrafts' economy, comfort, environmental protection and supportability. The integrated technology is still backward, especially in power systems. In the field of flight mechanics, our preliminary research is weak, top-level design is insufficient, simulation and experimental study of large-scale systems is not enough comparing with Europe, America, Russia and other aviation developed countries. In the aspect of flight test technology, there is a lack of innovation and flight test means for prospective studies. Our aviation industry started very late with weak scientific and technological strength. There are too many backward areas, especially in the civil aviation manufacturing industry. In the aspect of materials, China's research on cutting-edge materials lags behind and reserve of new materials is insufficient. The lack of some key materials for the third and fourth generation aviation products has seriously hampered the development of China's aviation industry. In the field of aviation airborne systems, the gap between us and the foreign advanced level is large in terms of information retrieval system, aeronautical communication system, radio navigation and so on.

China's aeronautical science and technology are faced with good domestic political and economic environment, but severe international challenges. In order to accelerate our aviation industry, construct China into an innovative country, develop aeronautical science and technology, China should adopt the pattern of driving sci-tech progress through model development to enhance innovation capability. It shall plan aeronautical technology R&D, industrialization, and market as a whole with largely-applied key products as the main line. It should also focus on accelerating the development of large aircrafts, regional jets series, general aviation aircrafts and helicopters. Breakthroughs shall be made in engine, important airborne systems and key equipments. Professional productivity for aviation large parts, air traffic management systems shall be improved. A sustainable aviation industry system shall be established. Furthermore, priorities should be given to the development of green aviation technology, new air system technology, new generation helicopter technology, advanced aerodynamic layout, active construction techniques, self-control and decision-making technology, high thrust to weight ratio and weight ratio engine technology, high power, high-performance composite materials technology, nano materials and aerospace applications technology, failure prediction and health management technologies.

19. Space Science and Technology

China's space science and technology has been developing rapidly since 2008. Chang'e-1 successfully realized the predetermined targets of accurate orbit maneuver and successful lunar orbiting, and Chang'e-2 successfully carried out many extended experiments such as orbiting Lagrange point L2 and asteroid Toutatis fly-by. Shenzhou-7, 8, 9 and 10 spaceships and Tiangong-1 target vehicle have been successfully launched, and significant breakthroughs have been made in such areas as astronaut extravehicular activities (EVA) as well as automatic and manned rendezvous and docking. The regional Beidou Satellite Navigation System has been smoothly established and formally began to provide continuous passive positioning, navigation and timing services for the Asia-Pacific Region. The High-Resolution Earth Observation System, one of China's major scientific and technical projects, has been initiated in a full scale. China's Long March series launch vehicles have greatly improved their reliability and enhanced their intensive launch capability. China's man-made satellites have basically formed satellite series including meteorological satellites, ocean satellites, resources satellites, communications and broadcasting satellites, navigation and positioning satellites, space science satellites and technical test satellites as well as the environment and disaster reduction satellite constellation. The benefits of space technology applications have been increased greatly. Moreover, both the subsystem technologies and supporting technologies have made significant progress, thus laying a solid foundation for the overall development of China's space science and technology.

We must clearly recognize that the development of China's space science and technology with so many achievements still has certain gaps compared with the advanced countries. In the future, China's space science and technology will make breakthroughs focusing on the following areas.

China will develop heavy launch vehicle, reusable launcher and advanced upper stage; build the regional mobile communications satellite system and the global Beidou Satellite Navigation System; carry out research on technologies such as manned Earth-orbit transportation and long-duration manned spaceflight; make breakthroughs in technologies including soft landing on a celestial body without atmosphere and roving on lunar surface; carry out research on technologies such as complicated satellite high-accuracy autonomous control and satellite networking as well as

guidance, navigation and control technology for launch vehicle; make breakthroughs in technologies such as liquid rocket engine, solid rocket motor, air-breathing engine and special propulsion; conduct research on technologies such as Earth-orbit spacecraft TT&C as well as lunar and deep space TT&C; develop near-space materials, space materials and metal materials; conduct research on space environment control and life support as well as space environment medicine; carry out research on technologies such as near-space aerodynamics, aerodynamic characteristic calculation and test simulation; develop technologies such as rapid response manufacturing technology, precision / ultra-precision machining and advanced connection; develop the technologies such as space target detection, tracking and identification, space computer and microelectronics; carry out research on zero-defect systems engineering management and basic theory of space reliability; develop satellite applications, new energy and new materials as well as space special technical equipment; make breakthroughs in technologies such as metrological calibration under the special environment; and develop the specialized technologies such as strength test and structural dynamics.

20. Ordnance Science and Technology (Energetic Materials)

The status of the development in the discipline of energetic materials of China in recent years is summarized in this report. The term, “energetic materials” in this report refers to propellants, explosives and pyrotechnics that were applied in conventional weapons. According to the function and purpose in weapons, the status of technical development of energetic materials is introduced as gun propellants, rocket propellants, single compound explosives, composite explosives and pyrotechnics in this report successively.

The content of the report covers the most recent researches and/or technical developments of energetic materials at home in the following aspects: relevant theoretical research and computer simulation; design and research on the compositions of energetic materials with higher performances; new process, technology and equipments for the preparation and/or manufacture of energetic materials; charge design and application technology; measuring and testing technology

related to energetic materials. Among the above - mentioned aspects, the most representative research achievements are the gun propellant charge technology with highly progressive burning and low temperature sensitivity, uni-modular gun propellant charge technology, the synthesis and engineering scale preparation technology of the high energy density compounds (HEDC) represented by CL-20, thermobaric and fuel-air explosives technology, the processing and manufacturing technology for higher energy NEPE propellants and high solid content HTPB and CMDB propellants, the design and application technology for array infrared decoy compositions and multi-frequency spectrum smoke series compositions, etc.

The theoretical and technical progress in the field of energetic materials of China has effectively accelerated the modification and upgrading of the weapons equipped in the Chinese People's Liberation Army. The two technologies, the gun propellant charge with highly progressive burning and low temperature sensitivity, as well as the uni-modular gun propellant charge, which have completely independent intellectual property, are at the leading level in the world. This indicates that China has already mastered the key technology in launch energy required by the design and manufacturing of the new large caliber guns with longer firing range, lower chamber pressure, better mobility and stronger survivability. The technology for the engineering scale preparation and/or manufacturing of HEDC such as CL-20 has also reached the world's advanced technological level. It could provide important technical and physical foundations for developing gun powders, rocket propellants, and ammunition warheads with higher energy performance and better comprehensive characteristics, and would then add powerful driving force in the cause of promoting the development of conventional weapon ammunitions in China towards the goals of long range launching, high efficiency damage and precision striking.

In this report, the technology of energetic materials of China is generally compared with the development of foreign developed countries. It would be seen that large gaps still exist in some main areas of energetic materials, although technology of energetic materials of China has improved greatly and reached the advanced level in the world in a few aspects.

Based on China's national conditions as well as the current military transformation in the world, the strategic trends and key directions which should be seized for the development of China's energetic materials technology in short and medium terms are presented. For gun propellants, more attention should be paid to the development of propellants with higher energy and mechanical strength, lower sensitivity, high efficiency of energy usage, as well as the corresponding propellant charges. As to solid rocket propellants, research should be focused on the development of higher energy, lower sensitivity and lower signature propellants. The main point of the development of explosives should be the higher energy and lower sensitivity ones. As to pyrotechnics, emphasis should be put on the development of safe, eco-friendly, high-end and individual compositions. The developing trends of the process technology of energetic materials are safety, green, high efficiency

and precision. This is to guarantee the quality of products and to lower the cost of production while guaranteeing the inherent safety of the process and decreasing and/or eliminating the contamination of the environment. In the design of energetic materials, the relation between high energy and low sensitivity should be seriously coordinated. And the coupling relationship between energetic materials and their working environment should be taken into account during their application.

Some suggestions are also presented. They are mainly as follows: strengthening relevant fundamental research to raise up the ability of self-dependent innovation; emphasizing technology innovation as well as encouraging technology integration; accelerating the cultivation of high level talents and giving full play to leaders in their innovation activity; paying attention to the construction of scientific research platform and optimizing the allocation of necessary resources; reforming the management system for scientific research and improving management regulations.

A brief introduction to the organizational structure, technical force and talent cultivation of the discipline of energetic materials of China is also given in the report.

Taking a panoramic view of the fast development as well as the fruitful achievements which have made by the discipline of energetic materials in China, it reflects that China's ordnance science and technology circle has made great contributions to the construction of modernization of the national defense, accompanying the enhancement of the actual strength, advancement of the technical level and boosting of the vitality.

21. Metallurgical Engineering and Technology

The Chinese researchers put forward some innovative theories, perspectives and application results with respect to the fundamental scientific research for metallurgical engineering technology, such as: ① The Chinese researchers make descriptions for alumino-silicate melt structure, calculate oxygen ions of such structure, set up new models for forecasting viscosity and conductivity of complex slag systems, and establish quantitative relationship between conductivity and viscosity; ② Gas-solid Phase Reaction Kinetics Model is proposed; ③ Molten salt electrolysis is combined with carbon thermal reduction so as to improve preparation techniques for titanium and alloys

effectively; ④ High-concentration ion media of alkali metal under sub-molten salt state is proposed for the disposal of vanadium slag, which can improve the recycling rate of vanadium. Vanadium and chromium can be extracted simultaneously.

In terms of metallurgical technology, various new techniques and new equipments of beneficiation are comprehensively utilized to upgrade the low comprehensive utilization level which features low grade and great difficulty in beneficiation. Self-developed innovative technologies are applied in large-sized and medium-sized blast furnaces which witness new advancements in terms of high blast temperature and long service life. New progress is made for large scale, automatization and intelligentization of metallurgical equipment. Efficient, low-cost and clean BOF steel production system concepts and technologies are proposed. New-generation TMCP Technology, independently developed by China, has come up to the international advanced level. The applications of modern equipment and automation control technology in wide range of steel products in large quantity generally improve overall performance of steel (i.e., cleanliness, uniformity, quality stability, strength and toughness). The development of key high-quality special steel varieties basically meets the development needs of emerging industries. Systematic energy conservation theory and energy flow network optimization technology are applied to push forward “Three Dry and Three Utilizations (Dry Quenching of Coke, Dry Dedusting of Blast Furnace Gas and Dry Dedusting of Converter Gas; Comprehensive Utilization of Water, Utilization of Secondary Energy (represented by byproduct gases) and Utilization of Solid Waste (represented by blast furnace slag and converter slag))” and other key generic technologies. In China, comprehensive energy consumption per ton of steel, fresh water consumption per ton of steel and comprehensive emission level of pollutants have dropped significantly.

In 1993, Yin Ruiyu (Academician of the Chinese Academy of Engineering) launched the theoretical research on “Metallurgical Process Engineering Science”. He published the monograph entitled *Metallurgical Process Engineering Science* in 2004 and published the English version of this monograph in 2011. Afterwards, he has published another monograph entitled *Metallurgical Process Integration Theory and Methodology* in 2013. As important works independently authored by this Chinese scientist with respect to metallurgical process engineering science theory, both of such monographs achieve understanding, research and analysis for material flow and energy flow in steel production process and Element—Function—Structure—Efficiency involved in circulation process from the perspective of engineering science, put forward a number of new concepts, new methods and new theories, and form metallurgical process engineering science. Applications of these theories steer the industrialization of new-generation steel processes, and continue to witness satisfying results, for example, design, construction and operation of production processes in Jingtang Iron and Steel, new base of Chongqing Iron and Steel and other steel enterprises. Modernization and expansion of some existing plants and optimization of production and operation

are also achieved under the guidance of these theories. New-generation steel processes embody three functions (i.e., manufacturing of steel products, efficient use and conversion of energy and society-wide waste digestion), and achieve efficient integration of advanced technology, energy saving and emission reduction. The innovative Interface Technology (Turnkey Solution), Technologies of Desulfurization, Desilicication and Dephosphorylation, Rapid RH Vacuum Refining, High-Speed Continuous Casting and Efficient Rolling greatly upgrade the cleanliness of products and help achieve the world-class level of quality.

The upgrading of steel products and accelerated optimization of product mix also witness significant achievements, particularly significant progress is made for oriented silicon steel sheet, pipeline steel, automotive steel sheet and other key products. Upgrades and quality stability of wide range of steel products in large quantity harvest plentiful results.

Great progress is made for large scale, automatization and intelligentization of metallurgical equipment designed and manufactured by China independently, such as large-scale blast furnace (with capacity of over 5,000m³) and cold-rolled wide strip mill.

The appraisal events of Metallurgical Science and Technology Progress Award and Youth Metallurgical Science and Technology Award of the Chinese Society for Metals push forward the scientific and technological advancements in the whole industry. China Metallurgical Science and Technology Award (Special Award) has been grandly presented in 2011, 2012 and 2013 consecutively.

In China, however, innovation level still needs to be improved, innovative environment needs to be improved, and the steel industry innovation support system should be further improved and strengthened. The funding and human resources inputs for R & D efforts of cutting-edge steel technology should be further reinforced. For China, gaps still exist in corporate environmental protection, ecological civilization construction, energy consumption and core competitiveness of enterprises by comparison with such indicators in foreign countries.

With outlook on the bright future, Key Development Tasks of Metallurgical Engineering Technology are specified as follows:

(1) Green Development of steel industry. Steel is one of materials with the most innovative potential and sustainable development in the 21st century. Green Development of Steel Metallurgy not only will support the rapid development of China's national economy and meet the people's upgraded consumer demand, but also will play an important role in boosting Green Development of the Chinese economy.

(2) It is necessary to perfectly combine metallurgical process engineering science with design, production and operation of metallurgical plants. With Dynamic-Accurate Design Philosophy, it is necessary to set up innovative theories and innovative design approaches for design of metallurgical plants. In other words, it is necessary to focus on applications in the construction of new plants, and

pay more attention to transforming the existing plants and giving guidance for applications in the routine production.

(3) It is necessary to emphasize new opportunities and challenges brought by the rapid development of information science and cloud computing to metallurgical engineering and metallurgical engineering science, give full play to the role of interdisciplinary disciplines which link up information science and metallurgical engineering science, integrate strengths and promote each other, and push metallurgical engineering and metallurgical engineering science to a new peak.

(4) It is necessary to attach great importance to the exploitation and utilization of resources, especially the exploitation and utilization of low-grade refractory intergrown ore, manganese ore and nickel ore and rational use of steel scrap resources.

(5) It is necessary to pay close attention to research highlights and emphases in various fields of international metallurgical engineering disciplines. Financial and material resources should be invested so as to increase the inputs for key development projects, support strong teams, and strive to achieve rapid development and make breakthroughs at focused directions.

(6) It is necessary to strengthen the innovation support system for the relevant industry and disciplines, including policy support system, technical service system, investment and financing service system, legal service (intellectual property rights) system, personnel training and incentive system, etc.

22. Textile Science and Technology

As one of the traditional pillar industries, an important livelihood industry, an international competitive industry, textile industry plays an important role in China's economic system, and it contributes to flourishing market, expanding export, absorbing employees, enhancing rural income and promoting urbanization. In 2012, the gross value of domestic textile industrial output was over 5,780,000 million RMB with the year on year growth 12.9%. Textile industry of China ranks the first in the world in production scale and export trade with the world's most complete industrial chain, the highest level of processing facilities. The total quantity of textile fibers processing in China is 55% of that in the world, and 35% of textiles and garment export are from China.

Recent years, the fiber material engineering has improved significantly with the increasing investments of the technology and equipment of fiber material manufacturer, and the high tech

fiber materials have achieved breakthrough progress for the industrialize process; the advanced equipments have been provided in the manufacture of the textile with the significant increase of the production level, the degree of automation, and labor productivity; the technologies for the energy-saving and the environmental friendly process have been developing greatly with the efforts of scholars and enterprises. From 2011 to 2012, four projects were bestowed the Second-class Awards of National Technological Invention, and six projects achieved the Second-class Awards of National Science and Technology Advance. There were eight national research and development platforms for the textile industry: two of them are the State Laboratory; five of them are the National Engineering Technology Research Center; the other one is the National Engineering Laboratory. There were many academic activities for textile science and industry: the China Textile Academic annual meeting was held by the China Textile Engineering Society twice; three Academic Salons were held with three topics, the fire resistant fiber development, warp knitting technology and application, and the new ringing-spinning technology and application.

Textile talent development is composed by multilayered structure. There are 81 colleges or universities with the bachelor degree belonging to textile subjects: five of them obtain the first level textile discipline doctoral degree to grant authority and the postdoctoral research station; 15 of them have the first level textile discipline master's degree to grant authority, and 25 of them have the second level one.

In this report, the main purpose is to summarize the current situation and achievements of textile science, and to forecast the future development direction. In the first part, the achievements of the domestic textile industry and textile science and technology development are summarized. In the second part, the domestic current situation of textile are discussed within nine sections: the fiber material engineering, the spinning engineering, the weaving engineering, the knitting engineering, the finish and dyeing engineering, the textile chemicals, the nonwoven material and engineering, the industrial textiles, and the fashion design and engineering. In the fiber material engineering, the biomass fiber, the high performance fiber and the functional fibers are developing in the spinning engineering, the new technology for ringing spinning process is the focus, and the development of new yarn design is very active; in the weaving engineering, the focuses are on the automatic winding, automatic drawing in, environmental friendly sizing, while the key technology for high speed weaving requires more primary research; in the knitting engineering, high speed performance of the knitting equipment, the seamless technology, as well as the jacquard technology increase greatly; in the finishing and dyeing engineering, low-temperature pretreatment, energy-saving dyeing, and printing technology, functional finishing are the mainly researching direction; in the textile chemicals, environmental friendly technology is the permanent requirement, while the sizing material, the dyeing and printing pigment and auxiliary, functional finishing auxiliary are developed for that requirement; in the nonwoven material and engineering, the structure and property of nonwoven material, the environmental friendly technology for the manufacture of

compound nonwoven material are the research priorities; in the industrial textile, the researches and applications on the medical material, the filtration material, the structure material, the protective material, and the transportation material are in the rapid development of the stage; in the fashion design and engineering, the new researches and technologies are applied mainly on the 3-D body measurement, automatic garment manufacture, and functional garment development. In the third part, the report makes a comparison between the domestic and foreign research and manufacture situation. Then, in the end of the report, some advices and developing directions are provided for the improvement of textile science technology discipline based on the former analyses.

23. Food Science and Technology

From 2012 to 2013 years, China's food industry still maintains a rapid development. The economic efficiency of food industry improves. Food industry promotes the development of agriculture integration, circulation service industry and relative manufacturing industry. The progress of science and technology is the power and source for the development of food industry, and will cultivate innovative talents, develop innovation knowledge, reserve innovation technology, transfer innovation achievements, support and guide the development of food industry to the sustainable direction. Therefore, it is the urgent need to improve the level of China's food science technology, not only to improve the process of modernization and industrial competitiveness, but also change the mode of development, realize the rapid development of food industry, safeguard food safety, and protect the people's physical health.

The report analyzes development level and trend of China's current food science and technology from three aspects namely the latest research progress, comparison of research progress at home and abroad, and trends and prospects of China's food science and technology. The report sums up new progress of food science and technology in China, analyzes the existing problems in the work of food science and technology, puts forward the future development trend of food science and technology, and provides the basis for the formulation of policies related to food science and technology in China in the future.

In the recent 5 years, some research areas have achieved new breakthroughs, such as China's food safety testing and risk assessment techniques, polyphenols and highly efficient separation,

physiological activity and antioxidant mechanism and functional peptide preparation research, optimization theory and technology of microorganisms in food manufacturing, efficient screening probiotics, analysis and application, the function of natural polysaccharides and their structure activity relationship, and macromolecular materials research.

The scale and the level of scientific research of food subject are further enhanced, providing a solid innovation impetus and support for the development of food industry. Food Science subject develops rapidly in China, the number of university with food major increased rapidly from dozens of universities in the last century eighty's to 235 in 2010. The number of graduates of Food Science in China increased from 633744 in 2007 to 884542 in 2011, up 39.6%. The number of enrollment grew from 890510 in 2007 to 1134270 in 2011, up 27.4%. At the same time, in the aspect of the quality of graduation theses, teaching material and teaching quality and outstanding student, the quality and level of talent cultivation in food science have been improved. In 2012, the domestic academic evaluation results showed that the level of scientific research like representative academic papers of Food Science College, scientific research award, patents, and scientific research project has further improved.

The new progress and breakthrough in the study of food science and technology of our country not only expand the breadth and depth of scientific research, but also can be used in the industry, and has good economic benefits. For example, agricultural products of high value application of extrusion process and the key technology, innovation and application of key technologies of deep processing of soybean, transformation of rice deep processing and comprehensive utilization of by-products, application of high efficiency and energy saving of wheat processing technology, key technology research and application of L- lactic acid industry, visual quick detection technology and application of hazards factors in food safety.

However, compared with developed countries like the United States, China's development of food science and technology level is still fall behind. Judging from the number of published papers, the United States of America published papers in the field of food is ahead in the world and the paper published by China and Japan is almost the same, but the proportion of paper published by China accounting on the world is on the rise. In the aspect of the publication of high quality papers, the number of paper published in Journal of Agricultural and Food Chemistry by the United States of America is higher than that of China and Japan. From the highly cited essays, high cited papers published by Cornell University and University of California, Davis are more, which means that the innovation ability in food research is higher in the USA. From the level of development of science and technology of food industry, in 2011, the R&D investment intensity of food industry in the United States is 2.5 times of that in our country. The number of patent applications and authorization of average food industry enterprises in the USA were 0.74 and 0.29, far more than 0.39 and 0.10 of ours. Not only that, the contribution of progress of food science and technology to the growth of food

industry in our country is less than that of the USA.

International development prospect of food subject in the future will focus on: in-depth analysis of mechanism of biological activity material, and raise the utilization rate of biology; to strengthen the study on the properties of functional food, and promote the integration of functional properties and nutritional value; develop and apply new food detection technology with fast, accurate, non-destructive characteristics; speed up the industrialization of new food processing technology with low nutrient losses; develop and apply new food packaging technology with characteristics of environmental protection, high strength, high antibacterial activity; further extend the application of proteomic technologies in food science research; pay more attention to the important impact of change of environment on food safety; explore sustainable food, to ensure food safety.

The future research direction of food science and technology in our country should focus on: develop new food resource to meet the processing requirements and market demand; new food design and development oriented by the nutritional health and convenience; new food technology with the core of life science and biological science; R&D and manufacture of food equipment in order to develop intelligent integration and sets of key technology; developed system guarantee food safety and full-range control; upgrade the food logistics support system supported by electronic platform and communication technology.

24. Lighting Science and Technology

Lighting is very important to human's life. In the last ten years, Solid-State-Lighting technology has made great improvement, and LED has been widely used in many application areas. This report mainly introduces the recent status, domestic and international situations and development trends of the Solid-State-Lighting technology, in seven parts: materials and chips, packaging, lighting systems, lighting applications, non-lighting applications, metrology and standards. The report is divided into two parts: general report for summary and special reports for details.

The luminous efficacy is no longer a limitation to the applications of LEDs, since the technology of materials and chips, packaging and application systems has made great improvement. Nowadays, Solid-State-Lighting industry is trying to reduce the cost, while offering more comfortable and higher quality of lighting. Intelligent and multi-functional lighting are also important. Solid-State-

Lighting technology has also been used in agriculture, poultry breeding, medical applications and communications. Besides, in terms of metrology and standards, fundamental research on lighting standards is in urgent needs. Standardization of LED modules and universal interfaces has received more and more attentions.

25. Stereology

25.1 Re-understanding of “Stereology”

Since the word “stereology” first coined in 1961, the definition of stereology, in different application fields domestically and internationally, including authoritative dictionaries and other descriptions, is usually various and even misinterpreted, which directly impact the correct understanding of the stereology discipline. In 2012 and 2013, the Chinese Society for Stereology have for the first time organized hundreds of domestic and foreign specialists in several fields to hold an academic discussion about stereology discipline and the definition of stereology. The specialists reached a consensus on the following aspects. Firstly, the core content of the definition of stereology is to deal with the three-dimensional structures. Secondly, 3D CT imaging on the projection data belongs to stereology category. At the same time, we accept that the theory and technology of three-dimensional CT image reconstruction are one of the organic components of the theoretical method system of stereology.

25.2 Biomedical Stereological Research Progress

① The biomedical stereological methods have been established and improved. For example, the unbiased stereological methods for the quantitative researches on the structures and myelinated fibers in cerebral cortex, hippocampus and corpus callosum have been established; ② The applications of stereological methods in experimental pathology and clinical pathology diagnosis have been strengthened. The application fields include radiopathology, electromagnetic radiation damage

studies, normal tissue structure or in animal models of various diseases, as well as in tumor pathology, quantitative analysis of infrared thermography, dermoscopy image analysis, histomorphometry and other clinical pathological diagnosis, diabetes molecule pathogenesis studies, liver disease pathogenesis and clinical countermeasures applications and so on.

25.3 Material Stereological Research Progress

① Electron Back Scattering Diffraction (EBSD) technology makes material connotation from the geometrical morphology of microstructures, expanding to the broad microstructural information of the phases and the compositions. ② As one of breakthroughs in the research field of Grain Boundary Character Distribution, the five-parameters analysis methodology has been invented. ③ An optimal approach of 3D reconstruction and visualization of large volumes of grain structures have been introduced by Materials Express (ISSN: 2158-5849) as the cover paper highlights in 2013. Moreover, the combination of the stereology experiment method and the computational materials science has greatly improved the effect of the application of stereology and efficiency. ④ In recent years, the establishment of new Chinese National Standards and the revision of the existing ones on stereology and image analysis have vigorously promoted the process of standardization and automation on quantitative characterization of materials microstructure and nonmetallic inclusions in China.

25.4 Image Analysis Research Progress

① Various mathematical theories and models have been introduced into image segmentation. A series of precise image segmentation methods, suitable for the image analysis in medical field and material field have been developed. ② A variety of theoretical methods which suitable for automatic image understanding and classification have been developed. ③ A new method to rebuild non uniformity molecular imaging has been proposed. Tian Jie et al. completed “Small animal multimodality optical molecular imaging method and system” and won the Second Prize of State Technological Invention awards in 2010. ④ The methods and system for analyzing and diagnosing the polarized light dermoscopy image of yellow race have been established. The methods to research the diagnosis mechanism of skin cancer based on multispectral imaging have been put forward. The research filled in the gap of early diagnosis with multi-spectral imaging for yellow race in the world. ⑤ Based on microscope of automatic control, digital pathological and the image management system of DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) have been established, and the exploration for

the standard DICOM of pathologic slice digital images has been carried out. ⑥ Based on the digital pathology biopsy, the methods for pathological image retrieval and auxiliary diagnosis have been proposed, which eliminates “semantic gap” generally existed in the process of image retrieval. ⑦ A new stereo matching algorithm with high precision and high efficiency has been proposed for the 3D access. ⑧ In 2012, “The encryption method and application based on the large deformation and low quality fingerprint”, completed by Tian Jie et al. won the Second Prize of State Technological Invention awards.

25.5 CT Technological Research Progress

① Based on the CT basic theory in the study, CT imaging, from two-dimensional (2D) to three-dimensional (3D), has become a trend. Recently, a new theory of 3D reconstruction based on PI-lines is an important progress in 3D reconstruction; ② On the CT system’s development and application, imaging target is on micro-scale and large-scale. On the one hand, it adapts to the imaging demands from biological and material science. On the other hand, it provides reliable 3D perspective “eye” for the aerospace, shipbuilding, weapons and other industries. In addition, the CT systems of flexible configurations have been developed to accommodate the modern applications; ③ The scientists in the Chinese Society for Stereology led by Professor Kejun Kang developed the “Large equipment defects radiation detection technology” and won the First Prize of 2010 State Technological Invention Awards. The detection technology has played an irreplaceable role on the research and production of a large number of key equipments. Another achievement “Liquid safety inspection system” won the Major Technological Invention Award of Ministry of Information Industry in 2008, the First Prize of the Ministry of Higher Education and Scientific Research Technological Invention Award for Outstanding Achievement in 2009, and it serves in important places such as the domestic civil aviation airport, Beijing subways, the Great Hall of the People, and etc. Moreover, it has been used for the security of the Olympic Village and the Olympic venues in 2008 Beijing Olympic Games. It has also been successfully used for trial or formal installation in the UK, France, Austria, Australia, Mozambique airports and so on. “The apparatus, method and material identification system generating X-rays with different energy levels” won the Gold Award of the 14th China Patent Award awarded by The People’s Republic of China State Intellectual Property Office and the World Intellectual Property Organization. The system has been exported to over 30 countries and regions, which comprehensively covering the emerging markets for the existing dual-energy Container / Vehicle Inspection System, promoting new demands for dual energy products in international security field.

25.6 Academic Institution and Discipline Construction Progress

Since the Chinese Society for Stereology (CSS) established in 1987, 6 branches have been set up, including the Biomedicine, the Materials Science, the Image Analysis, the CT Theory and Application, the Virtual Reality and Simulation, the Metallography and Microscopic Analysis Branches. Now, the CSS is the member of the China Association for Science and Technology and the member of the International Society for Stereology (ISS). *Chinese Journal of Stereology and Image Analysis*, as the official journal of the CSS, had been established in 1996. The CSS had also instituted the Award for Scientific and Technological Progress about CT and Three-dimensional Imaging (2004—2010, for 4 terms) and the Award for Scientific and Technological Advancement of the CSS (2012). In 2011, the CSS held the 13th International Congress of Stereology (ICS-13) and the international commemorative academic activity for 50th anniversary of the ISS and jointly hosted the first International Undergraduates' Material Microstructure Photo Contest. From 1981 to 2013, 13 Chinese Stereology and Image Analysis Conferences have been held. The significant advances of stereology in China has been the increasing concern from the ISS, which is reflected in the permission of undertaking the ICS-13, as well as in the fact that three term vice presidents of the ISS are the members of the CSS (Guoquan Liu, 2004—2007; Yong Tang, 2008—2011; 2012—2015).

26. Basic Agronomy

Agriculture, as a strategic industry, has played an important role in food security, resource and environmental safety, and social development. The healthy agricultural development is also an important safety guarantee to sustainable, stable and coordinated development. In the era of the sync of "Four modernizations" and innovation-driven, the contribution of agricultural science and technology to agricultural growth has reached more than half. The development of basic agronomy discipline is the driver of the progress of agricultural scientific and technology, and its role in

the agricultural modernization with Chinese characteristics is prominent, providing scientific foundation to improve people's livelihood and achieving sustainable development. The No.1 Central Document issued by the Central Committee focused on "SANNONG" (farmer, rural and agricultural) issues for 10 consecutive years, of which in 2012 stressed that "to put agricultural science and technology to a more prominent position", and further defined the strategy of agricultural science and technology development, underlining that "the highlights of agricultural science and technology innovation include the stable supports for the basic, pioneering and non-profit science and technology research", and clarified the key tasks of agricultural science and technology innovation, including "to strengthen basic agricultural research, and to make breakthroughs in a number of major theories and methods" "to accelerate the research of cutting-edge technology, and to take up the high points in modern agricultural science and technology".

Basic agronomy is the subject for understanding natural phenomena related to agriculture, revealing objective laws and principles of agriculture, and researching natural phenomena and its nature in agricultural production systems. The research aims at fully developing and protecting agricultural native resources, coordinating the relationship between crops and environment, preventing pest and poor environment from damaging agriculture sector, in order to obtain the best combination of agricultural production, to enhance the yield and quality of farm products, to accelerate the development of high-yield, high quality, efficient, eco-friendly, and safe agriculture, to effectively ensure national food security and ecological security, to increase the income of farmers, and to improve the international competitiveness of farm products.

The subject of basic agronomy is characterized by integration, dynamics, and development. With the development of economy and technology, it has various connotations in different historical periods. In the new era, with the gestation of a new round of science revolution and industrial revolution, some important scientific problems and the core technologies have presented a revolutionary breakthrough harbinger, which have driven the key scientific and technological to cross and fusion and to leap in groups. The energy of breakthrough innovation is accumulated, which is going to be the strong potential to promote the development of basic agronomy.

According to the overall plan of China Association for Science and Technology, the basic agronomy project development 2012—2013 has been researched by Chinese Association of Agricultural Science Societies in purpose of changing the way of agricultural development, developing modern agriculture, and building agricultural modernization with Chinese characteristics. The research project consists of 12 subjects, including crop genetics and breeding, crop cultivation, plant nutrition, cropping system & soil management, agricultural soil science, agricultural storage & processing technology, agricultural entomology & plant pathology, agro-product quality & safety, agricultural resources & regional planning, agricultural information science, agricultural environmental science and irrigation & drainage technology. The research

project analyzes recent progresses, significant achievements, and applications in basic agronomy and its branches, grasps status and the development of the subject, compares the research and its application in China with the whole world, estimates the strategic needs and trends of the subject, and puts forward the policy suggestions to accelerate the development of basic agronomy.

In recent years, the construction of basic agronomy has been paid much attention in China, and great achievements have been made in the research and its application of basic agronomy.

In the field of crop genetics and breeding, the crop high-yielding and fine quality breeding, germplasm innovation, biotechnology applications and genomic research have made significant progress in 2012—2013, which made the production potential increasing and that the research and application of the genomic resource exploration and the disease-resistant / quality molecular breeding both have been developing at a rapid speed. The super rice breeding theory and method of “combined ideal plant type shaping and Indica / Japonica inter-subspecific heterosis” have formed and a group of flagship species has cultivated. Rice plant height and flower organs epigenetic genetic regulation research has made significant progress, which laid the foundation for further study in mechanism of epigenetic modification on rice development regulating. Sequenced and assembled the draft genome of diploid cotton *Gossypium raimondii*, created a second generation of super quality fiber and high quality big-boll transgenic cotton germplasm. Innovated the resistance identification and selection technology of cotton verticillium wilt, and developed a new seedling disease resistance identification technique, have bred five new varieties of cotton, achieved disease resistance, high yield and high quality sync improvements and breakthroughs. Participated in and completed the genome sequence fined analysis of cultivated tomato. Finished the cucumber genome atlas laid the foundation for the genome-wide “breeding by design”. The world’s largest tobacco mutant library and screening method have been built.

In the field of plant protection, agricultural entomology has made significant progress. By using the metabolomics technology and genetic interference technology, combined with behavioral assays, the regulatory mechanism of migratory locust two-type-transformation was found, which provides a theoretical basis for locusts plague control and a good animal model for human metabolic disease study. Systematic study clarified planting Bt crops has significantly biocontrol function on agricultural ecosystems, which is the first time in the world to study the Bt crop ecosystem services and mechanisms from the landscape ecology scale, and has important scientific significance in developing the theory and method of Sustainable control of major insects regional catastrophe by using Bt plants. Discovering that the genetic diversity of the resistant genes of cotton bollworm field populations to Bt cotton exists, and for the first time, discovering and confirming the non-recessive resistance gene has a key role in the resistance evolution of Bt crops. Successfully decoding the genome of the major agricultural insects *plutella xylostella* with independent intellectual property rights completely, first declared to the world’s that primitive Lepidoptera genome completed. In the

field of plant pathology, significant innovations have been made in the comprehensive management technology of wheat stripe rust pathogen. These innovations have been applied in the large-scale and achieved significant impacts in controlling disease and ensuring production. During 2009—2011, accumulated application area reached 230.672 million mu, effectively bringing the stripe rust outbreaks under control, and increasing revenue / saving expenditure of 9.332 billion yuan. The new fungicide for wheat scaboriginal control, JS399-19, was developed, which is the best fungicide for both preventing wheat Fusarium Head Blight and reducing fungus toxin contamination. Temperature control of rice seed pregermination and the farming operation techniques during pregermination to grin has been registered 8 national new products / varieties, with accumulated application of 5.1 million, preventing grain losses of 16.45 million tons, and increasing social benefits of 12.8 billion yuan, of which 3.12 billion yuan have been accrued in the last three years. 7 kinds of citrus viral diseases and quarantine category rapid molecular detection techniques have been established and optimized, and 440,000 mu of demonstration bases for the new virus-free citrus seed has been developed, increasing 153.51 million yuan for enterprises and farmers.

Technology on crop water requirement and control has made significant progress. In the field of stomatal regulation mechanism on drought-affected crop, the molecular gene expression mechanism of drought-affected plant's response modifier has been developed creatively, proceeding from the significant demand for enhancing plant water-use efficiency, as well as the biological research frontier of drought-tolerance plant, which has also opened up new avenues in the area of improving crop water-use efficiency via genetic engineering technology. In the field of the principles and integrated technology of high-efficient water use in urban modern agriculture, intelligent diagnostic platform for water requirements has been developed. Technology and methodology of soil water and nitrogen through drip irrigation, as well as water use management methods based on water consumption target, have been proposed. Three water-saving technical integration models have been constructed: high efficient water saving of water and fertilizer integration in agricultural facilities; intelligent precision irrigation in orchards; ecological water saving in metropolitan Greenfield. In the field of "water resources allocation and control technique in dry inland river basin considering ecological theory and its applications", a theory of rational allocation of limited water resources and control technology has been put forward, playing a significant role in conserving water, improving efficiency, and promoting ecological effect.

Critical technological advances have been achieved in the discipline of Agricultural Information. In the field of agricultural monitoring and early-warning: Agricultural Information Analytics has been gradually improved; China Agricultural Monitoring and Early-warning System (GAMES) has been preliminary constructed; 2 national industrial standards have been drafted and implemented; and Portable Agricultural Product Holographic Market Information Terminal (Agricultural Information Collector) has been developed. In the field of Internet of Things (IOT) in agriculture,

China has achieved critical technological advances in various areas of IOT in agriculture, such as agricultural sensors, RFID, data acquisition and transmission, data-based decision-making and management, application of IOT, and has nudged into the world's leading country. Major research achievements include: establishing nearly 300,000 mu of the "Comprehensive Application and Demonstration Zone in Wisdom Agriculture"; developing technical system of the application of IOT in agriculture, which integrating relevant technology and equipments with respect to sensors, transmission, decision-making and application; fulfilling monitoring / early-warning and production scheduling of the whole growth period of field crops via IOT technology, mainly focusing on the situation of seedling, soil moisture, pest and disaster. In the field of intelligent information services in agriculture, breakthroughs have been made in some key technologies, including specification on agricultural information acquisition, intelligent processing and personalized precise services.

At present, the branches of the discipline of basic agronomy in China have developed gradually, forming a relatively complete system of academic disciplines. Breakthroughs have been achieved, new theories, methods and technologies have been produced, new ideas and insights have emerged, and some subjects are close to or have reached the advanced world level. However, since the subjects of basic agronomy in China have started late, and their development has lagged behind, there is still a wide gap between them and those in developed countries. By means of following the "being independent in innovation, focusing on spanning, sustaining development, and taking lead in the future" requirements, we must closely relate to the reality of our agriculture, rural areas and peasants, fully understand the basis for the development of the strategic needs of agriculture, and accelerate the reform and development. We must also improve the institutional mechanisms, increase investment efforts, and strengthen international exchanges and cooperation. What's more, we should train men of abilities, organize prudent and efficient research teams, choose international frontier of basic and advantageous subjects, key areas with overall focuses which affect the national economy, the "three rural" and theoretical and technical issues, in order to develop by leaps and bounds, and lay a solid technical foundation for the development of modern agriculture.

27. Plant Protection

In the recent two years, under the challenge of crop pests' outbreak very seriously in the agriculture of

China, through large-scale science and technology staffs collaboration research by all sorts of national S&T research programs funds, the discipline of Plant Protection has made a series research progress, new achievements, new approaches, new methodologies and technologies in the theoretical research of basic and applied areas, hi-tech S&D, key forecast and control techniques. The mentioned advancements in plant protection have played an important role in the disaster prevention and mitigation in agriculture, made a tremendous contribution to ensure the grain output increased for the ninth consecutive year, and promoted the development in the discipline of Plant Protection.

27.1 A Great Progress Has Been Achieved in the Basic Research

The development of the modern bio-sciences, for example, molecular biology and genomics, etc. brought an exuberant vitality to plant protection for the basic research. Focusing on plant virology, plant functional genomics for disease and insect resistance, insect chemical ecology, invasive biology, etc, a significant improvement has been made in basic research capacity of Plant Protection, which has hold a space in the related research area in the world.

27.1.1 Plant virology

Through collaborated research, the genome of southern rice black-streaked dwarf virus (SRBSDV) was firstly sequenced, and a conclusion was proven that SRBSDV to be a new specie in Feijin viral family. For geminivirus and rice virus, significant progresses have been made in research of viral pathogenesis, the mechanism of host plant resistance to the virus, and the mechanism of virus transmission by insect vector. A new molecular mechanism was uncovered that the host plant defense to geminivirus through DNA methylation-mediated system, whereas geminivirus escape from the host plant defense through various approaches. The biological process of RDV spreading in body of leafhoppers was illustrated, which is the virus intaken by insect stylet, through food channels (esophagus) to reach the duct of filter chamber, then spreading to neighboring cells, and the other organs of foregut, midgut and hindgut. Several plant antiviral pathways were found to be involved in the virus infection processes.

27.1.2 Plant functional genomics for disease and insect resistance

Important and initial achievements have made in the research areas of plant important genes cloning for disease and insect resistance, and the mechanism of plant resistance to diseases and insects. In the mean time, using genomics approach, the genomes data for a series of important plant pathogens and insect pests have been collected, which are basic materials for further research

and discovery of the pathogenic or insect caused damage genes.

27.1.3 Insect chemical ecology

In insect chemical perception mechanisms research field, the types, distribution and ultra-structures of chemosensory sensilla have been verified in *Locusta migratoria manilensis*, an important migratory pest insect. 14 gustatory sensilla were found locating on the 5th tarsus in the forefoot of female adult of cotton bollworm, *Helicoverpa armigera*, and the oriental tobacco budworm, *Helicoverpa assulta*. Many genes encoding chemosensory (including gustatory and olfactory) proteins from various insect groups were identified and some functions of which were verified. 7 odorant binding proteins (OBPs) genes and 1 olfactory co-receptor (Orco) gene were isolated from grain aphid, *Sitobion avenae*. The electrophysiologic character of the excitatory local interneurons (eLNs) was firstly revealed in fruit fly, *Drosophila melanogaster*, and as along with their linkage with the axon of other neurons, and functional mechanisms.

27.1.4 Invasive biology

Significant progresses and achievements have been made in the following aspects: population formation and spreading, suitability and evolution of the important invasive species, the competition exclusion mechanism of invasive species to native species and the effect of substitution, the impact of biologic invasions on ecosystem structure and function.

27.2 A Rapidly Development Has Been Made in Hi-tech

27.2.1 Plant viral detection technology

In recent years, viral detection technique systems mainly based on immunological technique, Multiple PCR method, LAMP technology, have been developed rapidly. 20 viruses detection technique systems based on monoclonal antibody, have been widely used in many regions of China, which promote the pathogen rapid detection. Armed at 6 main kinds of viruses (PVX, PVY, PVS, PLRV, PVA, PVM) in potato production in China, the detection kits for potato viruses were developed successfully, which is China's first independent intellectual property rights in the field. For Citrus virus disease detection, a micro-scale and rapid DNA template preparation technology and stem tip virus-free early effect evaluation techniques were established.

27.2.2 Plant for disease and insect resistance genetic engineering

Using genomics, the functional genomics data have been acquired for a series of important plant

pathogens and insect pests, which laid the foundations for further exploration of the pathogenic or insect caused damage genes.

Holding a series of independent intellectual property rights and higher activity insecticidal genes, then armed at the important insect pests of major grain and cash crops, then the new varieties of cotton, maize and rice resistant to insects have been developed.

27.2.3 Insect chemical ecology

In the field of identification and application of insect pheromones, so far, nearly 100 kinds of insect pheromones of agricultural and forestry insect were identified in China, which laid a foundation for the practical utilization of the insect pheromones. In the field of plant infochemicals mediating plant-insect (insect pest and beneficial) interactions, a phenomenon was found that an ecological adaptation balance existed in the jasmonic acid (JA) mediated direct and indirect defense. It was the first reveal that JA mediated pathway played the different effects on rice defense system to the different feeding behavior insect pests, and some chemical elicitors have been identified with inducing rice for insect resistance. Using slow releaser techniques, the utilization of plant infochemicals and aphid alarm pheromone E- β -Farnesene to control wheat and vegetable aphids, have achieved very repelled effect.

27.2.4 Biological Control

4 new immune proteins, PevD1, MoHrip1, PeaT1 and Hrip1, have been discovered from pathogenic fungus, *Verticillium dahliae*, *Magnaporthe oryzae* and *Alternaria tenuissima*, and the elicitor proteins induce the plant immune system, promote plant resistance to the diseases and improve plant healthy growth.

27.2.5 Monitoring and forecasting of plant diseases and insect pests

Taking full advantage of "3S" techniques, including remote sensing-RS, geographic information systems-GIS, and global positioning system-GPS, along with molecular quantitative techniques, ecological environment modeling and computer-based informatics network techniques, and in combination with all sorts of field survey data, such as the historical data of the plant diseases and insect pests, crop composition and distribution, meteorological factors, etc, and also employing spatial analysis, artificial intelligences and simulation models for forecasting and control decision-making of plant diseases and insect pests, the capability of monitoring and forecasting for plant disease and insect pests have been improved to a higher level. A good progress has been made on monitoring and forecasting the outbreak of the rice migratory insect pests (plant hopper, leaf roller), armyworm, wheat disease and insect pests.

27.3 A Great Breakthrough Has Been Made in Some Key Technologies

27.3.1 Wheat strip rust disease forecast technology in remote area

Some important achievements in wheat strip rust disease (WSRD) forecast technology are as follows: having made clear on the key factors for WSRD epidemiology in large areas; based on the pathogenic population in wheat seedling in autumn in the WSRD pathogenic resource areas, in combination with wheat cultivars distribution and the climatic trend, a long-term monitoring and forecasting technology system for the trend of the disease outbreak in remote area has been constructed. The acquired achievement, titled “Integrated Management of Wheat Stripe Rust”, won the first prize of National Prize for Progress in Science and Technology in 2012.

27.3.2 Plant virus disease control technology

Through the control and prevent technologies developing and integrated research on southern rice black-streaked dwarf virus disease, Rice ragged-stunt dwarf virus disease, rice black-streaked dwarf virus disease, maize rough dwarf virus disease, strategies and techniques for viruses management were proposed, integrated with treating both vector-insect and disease, immune activation, regional IPM, and resulted in good control effects.

27.3.3 Biological control technology

In recent years, some important achievements have been achieved in the following aspects of biological control, for example, “Establishment industrial system of rotenone bio-pesticide and integration of key techniques” “New resources of bacterial pesticide and its new industrial production techniques” “Study and application of bio-fungicide of Bacillus” “The outbreak mechanism of major insect pests to cruciferous vegetables and their key technology for sustainable management” “The research and application of safe and efficient control technology on weeds in paddy field”, all of which won the National Science and Technological Prize, respectively.

27.3.4 Some important invasive insect pests detection and monitoring technology

DNA barcoding technique, and remote comparative analysis system for important invasive insects have been created, which greatly shortened the invasive species monitoring time. Information platform for early warning and detection and monitoring of invasive species has been constructed, thus, indicating the formation of an equipment fitting for large area remote identification and monitoring automatically.

On generally, in the coming years, the new technologies, based on high-throughput sequencing

micro-RNA analysis which accompanied with high-throughput sequencing technology, transcriptome analysis, proteomic and mass spectrometry, will add some new energy into the development of plant protection basic research.

28. Pratacultural Science

Pratacultural science is an emerging discipline in China which developed rapidly in the past decades and have revealed good development prospect. This report studies and analyzes the research progresses, achievements, new technologies and new methods in discipline development and personnel training in the following aspects: genetic breeding of leguminous forage grasses, forage grass cultivation and forage grass processing, to expound the application effects and contributions of the newest achieved research progresses and important scientific and technological achievements in sustainable agriculture promoting, ecological security guaranteeing and farmer-herdsmen income promoting, and then to put forward the future study emphases and development directions.

The gene cloning level of the universities and scientific research institutes has already caught up with those internationally renowned institutes. The Tao Wang team (China Agricultural University) (Li et al., 2011), Zhenfei Guo team (South China Agricultural University) (Zuo et al., 2013), and Wenhao Zhang team (the plant industry of Chinese academy of sciences, 2013) all have done researches on resistant gene of alfalfa, and have made significant achievements. Additionally, Lanzhou University, Gansu Agricultural University and Inner Mongolia Agricultural University have also conducted the genetic improvement of forage grasses.

As for the germplasm resources, there are currently one central library, two back-up libraries, 17 germplasm repositories and 10 technological cooperative groups in ecological area, which have already covered the protection and utilization system of the national grass germplasm resources of 31 provinces (municipality cities and direct-controlled municipality cities). Up to 2012, 22989 forage germplasm have been evaluated the agronomic characteristics and more than 6000 have been evaluated and identified the resistant capability.

Although the founding used on forage grass cultivation and utilization was far from enough, but has a significant effect. For alfalfa, the planting area had already reached 3774.93 thousand hm^2 in 2011, which had increased 85.6% times compared with that of 2001 (the national animal husbandry station, 2011). And, which formed the forage planting regionalization and research station branches.

As for forage grass processing, the processing and ensiling technique flows have already been established for different forage grasses, as expressed in the issued industrial standards like NY/T728-2003 grass hay quality grading, and totally more than five industrial standards. Currently, alfalfa hay and granules have been generalized and utilized in some large-scale dairy farms. For grassland protection, grass diseases diagnosis method, information technology, disease damage evaluation, prevention and control technology, and so on, have been established. Certain progresses have been acquired in damage traits and control methods based on the above damages.

At present, pratacultural science has become the first-level discipline of undergraduate education, up to 31 scientific research institutes recruit undergraduate, postgraduate and PhD students majoring in pratacultural science. The team keeps growing and the personnel training system of pratacultural science has been established, which accelerated the enrichment and development of pratacultural science theories, and the related standards and regulations have been consummated, along with the conspicuously enhanced international cooperation and exchange. Nowadays, some grasslands are degenerating, desertificating or being salinized, damaged the biological diversity or injured by diseases, pests and rats due to human activities. To restore and re-establish the ecology, the demand for excellent forage grass varieties is increasing, which points out directions for the development of pratacultural science.

29. General Practice

General Practice is a specialty within clinical medicine, based on family and community medicine, as well as integrating knowledge and skills from clinical medicine, preventive medicine, rehabilitation medicine and the humanities. Its scope covers people of all ages and ethnicities, and encompasses all organ systems and types of diseases. General Practice which emphasizes patient-centeredness, families as whole systems, is community-based, health maintenance and promotion directed, long-term, comprehensive, and responsible care which integrates individual and population health care together.

29.1 The Development Process of General Practice in China

After the reform and opening-up, General Practice and the national health system approach of

western developed countries was introduced into China. Capital Medical University took the lead in founding a general practitioner training center in 1989. The General Practice Chapter of the Chinese Medical Association was founded in 1993.

In 1997, the national health reforms and development regulation clearly directed “speeding up the development of General Practice and general practitioner training”. In 2000, General Practice has been established as a sub-specialty in clinical medicine, with postgraduate medical education as the core of General Practice education. In 2011, it was proposed to build the primary health care system, with the objective of featuring 2 to 3 qualified general practitioners providing primary health service as gatekeeper for every 10,000 residents.

29.2 The Current Development of General Practice in China

29.2.1 The service mode of General Practice

Community (rural) health service centers (stations) is a grass-roots health institution, providing basic medical services and public health services, which service objects are the residents in jurisdictions and the service targets are women, children, the elderly, and people with chronic diseases or disabled. In the future, the contracted services provided by General Practitioners will be the main mode of community health services, with the goal of “family doctor for every household, health care for all people, to establish General Practitioner system with contractual service relationship and implement the family physicians health services”.

29.2.2 The education and training of General Practice

Today, 128 colleges and universities have undergraduate clinical medicine programs and 63 colleges and universities offer General Practice courses. Some universities have set up General Practice Master and Doctor Programs gradually. And on-the-job training and job-transfer training for general practitioners all over the country improve primary health care technology and quality of primary care.

29.2.3 The disciplinary construction of General Practice

Family practice divisions were set in general hospital experimentally to improve its academic level, accessibility of education resources and general practitioners' practical experiences; also the family practice divisions in general hospital were encouraged to collaborate with community health service centers.

29.3 The Development Trend of General Practice in China

29.3.1 New medical reform brings strong impetus for the development of General Practice

General Practitioner system has been established through the State Council executive meeting in 2011, which means the turning point and milestones of the discipline of General Practice in China. Building up the general practitioner system will depend on the health insurance system, gatekeeper strategy, two-way referral system, and information technology resources.

The primary care initial diagnosis and two-way referral system will be built up through enhancing service capability, reducing charging rate, increasing reimbursement ratio, and community health service covered by basic health insurance for urban employees.

29.3.2 Medical education reform lays the foundation of the development of General Practice

In the three stages of General Practice education system, the education and training after graduate is the focus and core of General Practice education, which mainly refers to the standardized training and professional graduate education of General Practitioners.

General Practice education should focus on training: the humanization of family practice, and long-term, mutual trust and close cooperation between general practitioners and patients. General practitioners' practice should comply with principles of evidence-based medicine. General practitioners keep up with new medical knowledge and appropriate technology in a timely manner so as to provide better care to patients.

29.3.3 Construction of data network builds an information development platform for General Practice

In the 21st century, with the rapid development of information technology, the degree of information technology in modern medicine has become more sophisticated. The medical and health information is the largest and most complicated resource, and also the most promising and development valued field in the information system construction. Many provinces and cities have incorporated the health information construction into the primary health care service system. This will create a revolutionary change in community health service, and General Practice will have the spatiotemporal and digital features. The capability of using information technology is also very important and necessary for general practitioners.

29.4 The Urgent Research Issues of the Development of General Practice

29.4.1 Research design in community health service

The specific content of General Practice services is not clear. Community health services include many services, so at first we need to clarify the concept of each service. After defining the concept of service, integration of numerous resources of manpower, material and technical constitute a service system. After that, the time spending of each service should be made by the way of Blueprinting, to improve efficiency and guarantee the quality.

29.4.2 Research on performance assessment of community health service

Performance evaluation of health services is a worldwide problem. Performance evaluation of community health services is the key policy to promote the job setting and income distribution of General Practitioners. We need to build the community health service performance evaluation theory, complying with the actual situation of China, from the previous extensive evaluation into a new evaluation based on objectives, indicators and standards of community health service.

29.4.3 Research on quality control and patient safety of community health service

Safety and quality are the eternal themes of health services. To ensure the safety and quality of services in primary community, it needs to achieve the standard, normalized and institutionalized quality in both technical and functional fields of community health service center operations. Therefore, we should build the standard system and assessment specification of quality control in community health services, to ensure patient safety and continuously improve service quality.

29.4.4 Research on suitable and systematic General Practice education

Whether the three-stage model general of General Practice education suits the national circumstances or not? Whether the model meets the requirement of career growth of General Practitioners? Whether the model has the feature of systematic and regularity? These questions become the practical issues of General Practice education needed to be researched. In carrying out the study on the three stages of General Practice education, it also needs to focus on the relation between needs and layout of General Practice education, and also research the continuity and systematic among the school education, training after graduate and continuing education of General Practice.

30. Human Anatomy, Histology and Embryology

Human anatomy is the study of the structure of human body belonging to morphology in the life science, and the morphology is a win for supporting the life science to take off properly. Human anatomy is an old and classic discipline in the taxon of medicine and life science, but now it is also a modern one, developing very rapidly in China. Progress in anatomical research and teaching is tightly related to the development of science and technology, especially in the field of life science. Today, the techniques used for exploring the human structure are with multiple aspects or levels. The most advanced means has been introduced to further investigate the complex construction of the body, from various high-resolution microscopes to restriction endonucleases. What is more, the rapid advancement of digital and imaging technology has promoted the development of modern anatomy here. For promoting the progress, the Chinese Society of Anatomical Sciences (CSAS) has made great efforts to push the advance of research and teaching in China. A series of specialized committees under the CSAS has been set up to meet the development of life science and technology. Therefore, certain new branches of anatomical disciplines, such as digital anatomy, molecular anatomy, gene anatomy and sectional anatomy, are developed and advanced fast in China. Importantly, research achievements of anatomy in China have made more contributions to clinical practice, since the concept of “translational medicine” is now the guiding ideology of the CSAS, in addition that there have been several research papers published in the world journals with high impacts, like “Nature”, “Science” and “Cell”. Together with owning a batch of scholars with versed scientific attainments who have several high national awards given by the central government, the discipline of anatomy currently has had a high influence on the progress of life science in China, and the CSAS have become a most active member in the International Federation of Associations of Anatomists (IFAA).

The main contributions or achievements made by Chinese anatomists in the last 5 years involve various aspects of anatomical sciences. For instance, the theory of “multiregional evolution hypothesis” that modern human origin in anthropology becomes the one of two influential theories

in the world, besides that the characteristics of different peoples in China are refined. A data set of “Digital Chinese Human Body” got national awards after setting up the program of “Chinese Virtual Human Body” at the beginning of the century. Big achievements have been made in many aspects of neuroanatomical research, including pain and analgesia, learning and memory, immune-neuroendocrine network, neural development, neural restoration, as well as brain injury and prevention. The study on brain network is developing quite fast in China, although it begins rather late. The concept of “brainnetome” has been first raised by Chinese scholar, since the theory and methods for calculation in brainnetome are relatively in a high level in the world. In different fields related with histology, a big progress has been made just by the application of new techniques, such as photoactivated localization microscopy and MOCT system. With regard to sectional image anatomy, the section of human body is getting thinner, and the study has been changed towards imaging modalities for in vivo detection and mapping for exploring relationship between brain structure and function. A significant breakthrough has been made in several aspects, including regulation of pluripotency of stem cells, mechanism of cell reprogramming, cell transformation and tumorigenesis, development of productive cells, and etiology of ovary diseases, etc., having got a succession of national awards from different ministries of China. Detailed information of many precise or fine structures in different organs has been further explored by significant progress of quantitative morphometry and stereology in China. Certain aspects in restoration medicine are developed, approaching or being the world’s top level. The achievements of restoration medicine in China were highly evaluated by the special issue of “Science” in 2012. It is the leading role internationally in studying on the formation of gametes by filtering controlling genes via a high flux approach. The assisted reproductive technology is progressed fundamentally and becomes an important method for curing infertility or sterility in China. A novel subset of mesenchymal stem cells has been cultured and this cell, licensed by the Food and Drug Administration in China, can be widely used for tissue restoration and immune regulation. It is the leading role internationally in studying on research and clinical application of perforator flaps in China, and the construction of theory of minimally invasive surgery has benefited from research progress in minimally invasive anatomy. Also, quite a few achievements have been made in the relation of biomechanics, which support improvements in the surgery, the finite element simulation of crash experiments, the medical device performance evaluation, and the laser rapid prototyping modeling. In addition, the study with biological plasticization has grown fast, although it starts relatively late. By means of progress, the 16th International Conference for Biological Plasticization was held in Beijing, China.

It is no doubt therefore, that a great leap forward has been made in development of anatomy in China in the last 5 years. Chinese anatomists together with their society, CSAS, are growing in magnitude and increasing their impact in the world. The 18th IFAA Congress 2014, a biggest get-together with the highest academic level for world anatomists, will be held in Beijing, China, and

this is a landmark proving the progress. It can be seen, beyond doubt, a brilliant prospect opens before us, and we know clearly that more tasks and creations are waiting for us to accomplish. We should do more regarding: ① strengthening the hard-nut topics in anatomical science through interdisciplinary efforts; ② intensifying the idea of translational research; ③ according with the key requirements of national development of science and technology; ④ speeding up to be at the cutting edge of world science and technology.

附 件

2012—2013年度与学科进展 相关的主要科技成果

附件 1 2012 年度国家自然科学奖获奖项目目录

一等奖（空缺）

二等奖

序号	项 目 名 称	主要完成人
01	模空间退化和向量丛的稳定性	孙笑涛
02	大维随机矩阵理论及其应用	白志东
03	守恒律组和玻尔兹曼方程的一些数学理论	杨 彤
04	低维强关联电子系统中的奇异自旋性质理论研究	王玉鹏, 曹俊鹏, 张 平, 等
05	金笼子与外场下纳米结构转变的研究	龚新高, 孙得彦, 刘志锋, 等
06	基于核自旋的量子计算研究	杜江峰
07	“高能电子宇宙射线能谱超出”的发现	常 进
08	基于边臂策略的立体化学控制与催化反应研究	唐 勇, 孙秀丽, 叶 松, 等
09	特定结构无机多孔晶体的设计与合成	于吉红, 庞文琴, 李激扬, 等
10	含氮手性催化剂的设计合成及其不对称催化有机反应研究	冯小明, 刘小华, 林丽丽
11	纳米材料的安全性研究	赵宇亮, 陈春英, 王海芳, 等
12	基于天然高分子的环境友好功能材料构建及其构效关系	张俐娜, 杜予民, 蔡 杰, 等
13	复杂生物样品的高效分离与表征	邹汉法, 张丽华, 叶明亮, 等
14	金属酶的化学模拟及其构效关系研究	毛宗万, 计亮年, 巢 晖, 等
15	黄土和粉尘等气溶胶的理化特征、形成过程与气候环境变化	安芷生, 张小曳, 曹军骥, 等
16	中亚增生造山作用及其环境效应	肖文交, 孙继敏, 高 俊, 等
17	中国大气污染物气溶胶的形成机制及其对城市空气质量的影响	庄国顺, 郭志刚, 黄 侃, 等
18	过去 2000 年中国气候变化研究	葛全胜, 邵雪梅, 等
19	水稻复杂数量性状的分子遗传调控机理	林鸿宣, 高继平, 任仲海, 等
20	年轻新基因起源和遗传进化的机制研究	王 文, 杨 爽, 周 琦, 等
21	脊椎动物免疫的起源与演化研究	徐安龙, 黄盛丰, 元少春, 等
22	植物应答干旱胁迫的气孔调节机制	宋纯鹏, 张 骁, 苗雨晨, 等
23	纳米材料若干新功能的发现及应用	阎锡蕴, 梁 伟, 汪尔康, 等
24	凹耳蛙声通讯行为与听觉基础研究	沈钧贤, 徐智敏, 余祖林
25	中药复杂体系活性成分系统分析方法及其在质量标准中的应用研究	果德安, 叶 敏, 吴婉莹, 等
26	TGF- β /Smad 信号通路维持组织稳态的生理功能和机制	杨 晓, 滕 艳, 王 剑, 等
27	小檗碱纠正高血脂的分子机理, 化学基础及临床特点	蒋建东, 宋丹青, 魏 敬, 等
28	无线多媒体协同通信模型及性能优化	陆建华, 朱文武, 张 黔, 等
29	控制系统实时故障检测、分离与估计理论和方法	周东华, 叶 昊, 钟麦英, 等

续表

序号	项 目 名 称	主要完成人
30	全生命周期软件体系结构建模理论与方法	梅 宏, 黄 罡, 张 路, 等
31	若干新型非线性电路与系统的基础理论及其应用	吕金虎, 陈关荣, 禹思敏
32	神经生物信息模式识别与时空分析	胡德文, 王正志, 周宗潭, 等
33	氧化锌薄膜微结构与性能调控中的若干基础问题	潘 峰, 曾 飞, 宋 成, 等
34	特征结构导向构筑无机纳米功能材料	谢 毅, 吴长征, 熊宇杰
35	新型磁热效应材料的发现和相关科学问题研究	沈保根, 胡凤霞, 孙继荣, 等
36	复杂构件不均匀变形机理与精确塑性成形规律	杨 合, 詹 梅, 郭良刚, 等
37	复杂曲面数字化制造的几何推理理论和方法	丁 汉, 朱向阳, 尹周平, 等
38	多尺度多物理场耦合的复杂系统中流动与传热传质机理研究	何雅玲, 唐桂华, 赵天寿, 等
39	低维纳米功能材料与器件原理的物理力学研究	郭万林, 胡海岩, 张田忠, 等
40	压电和电磁机敏材料及结构力学行为的基础研究	沈亚鹏, 陈常青, 田晓耕, 等
41	非线性应力波传播理论进展及应用	王礼立, 任辉启, 虞吉林, 等

附件 2 2012 年度国家技术发明奖获奖项目目录 (通用项目)

一等奖

序号	项 目 名 称	主要完成人
01	立体视频重建与显示技术及装置	戴琼海, 季向阳, 刘烨斌, 等
02	大跨建筑钢-混凝土组合结构新技术及其应用	聂建国, 樊健生, 陶慕轩, 等

二等奖

序号	项 目 名 称	主要完成人
01	小麦-簇毛麦远缘新种质创制及应用	陈佩度, 王秀娥, 刘大钧, 等
02	猪产肉性状相关重要基因发掘、分子标记开发及其育种应用	李 奎, 刘 榜, 赵书红, 等
03	水稻两用核不育系 C815S 选育及种子生产新技术	陈立云, 唐文帮, 肖应辉, 等
04	基于胺鲜酯的玉米大豆新调节剂研制与应用	段留生, 李召虎, 吴少宁, 等
05	修复周围神经缺损的新技术及其应用	顾晓松, 卢世璧, 赵 庆, 等
06	马来酸左旋氨氯地平原料与制剂及产业化应用	王金戌, 郭卫芹, 张宏武, 等
07	细胞膜色谱技术及其在中药筛选中的应用	贺浪冲, 王嗣岑, 杨广德, 等
08	微生物基因工程可溶性表达及产物后加工新技术	华子春, 张红霞, 孙启明, 等
09	异种(猪)皮肤替代物的研发与临床应用	柴家科, 杨红明, 梁黎明, 等
10	输注与介入类医用耗材制备新技术及其大规模应用	殷敬华, 栾世方, 李忠志, 等

续表		
序号	项 目 名 称	主要完成人
11	人脑动态建模、定位与功能保护新技术及其在神经导航中的应用	宋志坚, 王满宁, 刘允才, 等
12	综合机械化固体废弃物密实充填与采煤一体化技术	缪协兴, 张吉雄, 黄艳利, 等
13	水力喷砂射孔与分段压裂联作技术及工业化应用	李根生, 黄中伟, 牛继磊, 等
14	防治煤自燃的高效阻化方法与关键技术	王德明, 秦波涛, 陆 伟, 等
15	轻小型组合宽角航空相机研制及低空 UAV 航测应用	林宗坚, 苏国中, 洪志刚, 等
16	复极感应电化学水处理技术	曲久辉, 刘会娟, 赵 旭, 等
17	多功能复合的河流综合治理与水质改善技术及其应用	王 超, 王沛芳, 侯 俊, 等
18	高水头大流量泄水建筑物分级防冲防蚀成套技术	许唯临, 周 钟, 张建民, 等
19	棉织物染整前处理关键酶制剂的发酵生产和应用技术	陈 坚, 堵国成, 李江华, 等
20	秸秆清洁制浆及其废液肥料资源化利用新技术	李洪法, 宋明信, 刘荣乐, 等
21	旋转填充床反应器强化新技术	陈建峰, 邹海魁, 丁建生, 等
22	微结构化工传质设备及其工业应用	骆广生, 吕阳成, 王玉军, 等
23	高效节能的新型紧凑型换热器及工业化应用	凌 祥, 涂善东, 缪志先, 等
24	全有机溶剂中化学 - 酶法高效制备手性菊酯关键技术及产业化	杨立荣, 吴坚平, 徐 刚, 等
25	聚丙烯分子链结构调控新技术及应用	宋文波, 乔金樑, 郭梅芳, 等
26	HFCs 气相氟化催化剂制备及其工业应用技术	吕 剑, 张 伟, 寇联岗, 等
27	高强韧新型钛合金设计、制备及其在空间活动构件上的应用	刘日平, 王文魁, 马明臻, 等
28	结构 / 功能复合化新型导电陶瓷的设计、成套制备技术与应用	傅正义, 王为民, 王 皓, 等
29	先进高强度薄带钢柔性制造技术和装备	李 俊, 王 利, 胡广魁, 等
30	硼酸盐激光自倍频晶体制备技术及其小功率绿光激光器商品化应用	王继扬, 张怀金, 许祖彦, 等
31	液固高压成形轻质合金及其复合材料工艺与控制技术	齐乐华, 李贺军, 罗守靖, 等
32	高性能聚偏氟乙烯中空纤维膜制备及在污水资源化应用中的关键技术	张宏伟, 刘建立, 吕晓龙, 等
33	大型铝电解连续稳定运行工艺技术及装备开发	梁学民, 吕定雄, 王有山, 等
34	非皂化萃取分离稀土新工艺	黄小卫, 龙志奇, 彭新林, 等
35	高性能复相碳化硅陶瓷内加热器关键技术及应用	乔冠军, 金海云, 金志浩, 等
36	汽车玻璃深加工的关键制造技术及应用	陈文哲, 曹 晖, 白照华, 等
37	高品质耐火材料制备过程微结构控制技术与工业应用	李 楠, 李亚伟, 孙加林, 等
38	含超薄金属内衬轻量化复合材料压力容器设计与制备技术	赫晓东, 王荣国, 刘文博, 等
39	纳米精度多自由度运动系统关键技术及其应用	陈学东, 袁志扬, 周云飞, 等
40	混凝土泵车超长臂架技术及应用	易小刚, 周 翔, 谭凌群, 等
41	超精密光学零件可控柔体抛光技术与装备	李圣怡, 戴一帆, 彭小强, 等
42	交流电机系统的多回路分析技术及应用	王祥珩, 王维俭, 王善铭, 等
43	复杂工况下磁性液体密封关键技术与应用	李德才, 李 建, 何新智, 等
44	船舶动力装置磨损状态在线监测与远程故障诊断技术及应用	严新平, 袁成清, 董光能, 等
45	基于广域电压行波的复杂电网故障精确定位技术及应用	尹项根, 曾祥君, 张 哲, 等

续表

序号	项目名称	主要完成人
46	微型构件微成形技术与装备	单德彬, 郭斌, 王春举, 等
47	大电网安全域综合计算分析技术及其工程应用	王成山, 贾宏杰, 余贻鑫, 等
48	大尺寸电子级硅单晶炉关键技术及其应用	刘丁, 周旗钢, 赵跃, 等
49	面向海量用户的新型视频分发网络	尹浩, 邱锋, 林闯, 等
50	光电交叉联动与跨层灵活疏导的光传送技术及设备	纪越峰, 张杰, 赵勇, 等
51	多维精细超光谱遥感成像探测技术	王建宇, 舒嵘, 胡以华, 等
52	基于大形变和低质量的指纹加密方法与应用	田捷, 杨鑫, 梁继民, 等
53	基于工艺选择性的 MEMS 三维制造关键技术与设计方法	王跃林, 鲍敏杭, 李昕欣, 等
54	星载微处理器系统验证 - 测试 - 恢复技术及应用	李晓维, 李华伟, 韩银和, 等
55	高精度高动态视觉测量技术与系统	张广军, 魏振忠, 孙军华, 等
56	先进空间光学姿态敏感器技术	尤政, 邢飞, 张高飞, 等
57	基于拉曼散射的新型分布式光纤温度传感技术与工程安全监测应用	张在宣, 金尚忠, 王剑锋, 等
58	高速分布反馈半导体激光器及其与电吸收调制器单片集成光源	罗毅, 孙长征, 熊兵, 等
59	钉形双向搅拌桩和排水粉喷桩复合地基新技术与应用	刘松玉, 朱志铎, 杜广印, 等
60	高性能沥青路面新材料及制备技术	曹东伟, 王仕峰, 刘清泉, 等
61	大型水电工程地下洞室热湿环境调控关键技术、系列产品研发及应用	李安桂, 刘雄, 陈华, 等

附件 3 2012 年度国家科学技术进步奖获奖项目目录 (通用项目)

特等奖

序号	项目名称	主要完成人或主要完成单位
01	特高压交流输电关键技术、成套设备及工程应用	刘振亚, 陈维江, 宓传龙, 等
02	特大型超深高含硫气田安全高效开发技术及工业化应用	曹耀峰, 孔凡群, 王寿平, 等

一等奖

序号	项目名称	主要完成人或主要完成单位
01	盾构装备自主设计制造关键技术及产业化	杨华勇, 洪开荣, 张闵庆, 等
02	前列腺癌诊疗体系的创新及其关键技术的应用	孙颖浩, 高新, 叶定伟, 等
03	水平井钻完井多段压裂增产关键技术及规模化工业应用	刘乃震, 刘玉章, 兰中孝, 等
04	复杂难处理镍钴资源高效利用关键技术与应用	杨志强, 万爱东, 王华, 等
05	京津城际铁路工程	何华武, 郑健, 孙树礼, 等
06	肿瘤血管生成机制及其在抗血管生成治疗中的应用	卞修武, 关新元, 寿成超, 等

续表

序号	项 目 名 称	主要完成人或主要完成单位
07	重要动物病毒病防控关键技术研究与应用	金宁一, 廖 明, 程世鹏, 等
08	中国小麦条锈病菌源基地综合治理技术体系的构建与应用	陈万权, 康振生, 马占鸿, 等
09	低纬高原地区天然药物资源野外调查与研究开发	朱兆云, 高 丽, 戚育芳, 等
10	中国生态系统研究网络的创建及其观测研究和试验示范	孙鸿烈, 陈宜瑜, 沈善敏, 等
11	TD-SCDMA 关键工程技术研究及产业化应用	真才基, 李 跃, 曹淑敏, 等
12	新一代电视台网络化制播系统及重大应用	丁文华, 宋宜纯, 刘万铭, 等
13	广适高产优质大豆新品种中黄 13 的选育与应用	王连铮, 赵荣娟, 王 岚, 等

创新团队

序号	团 队 名 称	推荐单位
01	国防科学技术大学高性能计算创新团队	总装备部
02	第二军医大学肝癌临床与基础集成化研究创新团队	总后勤部
03	中国航天科工飞航技术研究院巡航导弹先进突防技术创新团队	国防科技工业局

二等奖

序号	项 目 名 称	主要完成人或主要完成单位
01	特色热带作物种质资源收集评价与创新利用	王庆煌, 陈业渊, 黄国弟, 等
02	杂交水稻恢复系的广适强优势异种质明恢 63	谢华安, 张受刚, 郑家团, 等
03	抗除草剂谷子新种质的创制与利用	王天宇, 程汝宏, 赵治海, 等
04	优质早籼高效育种技术研创及新品种选育应用	胡培松, 赵正洪, 唐绍清, 等
05	苹果矮化砧木新品种选育与应用及砧木铁高效机理研究	韩振海, 杨廷桢, 张冰冰, 等
06	高产抗病优质杂交棉品种 GS 豫杂 35、豫杂 37 的选育及其应用	房卫平, 王家典, 谢德意, 等
07	热带、亚热带优质、高产玉米种质创新及利用	番兴明, 张述宽, 谭 静, 等
08	双孢蘑菇育种新技术的建立与新品种 As2796 等的选育及推广	王泽生, 廖剑华, 曾 辉, 等
09	超高产稳产多抗广适小麦新品种济麦 22 的选育与应用	刘建军, 赵振东, 宋健民, 等
10	超低甲醛释放农林剩余物人造板制造关键技术与应用	时君友, 顾继友, 郭西强, 等
11	与森林资源调查相结合的森林生物量测算技术	唐守正, 张会儒, 曾伟生, 等
12	天然林保护与生态恢复技术	刘世荣, 臧润国, 代力民, 等
13	林木育苗新技术	张建国, 许 洋, 王军辉, 等
14	木塑复合材料挤出成型制造技术及应用	王清文, 秦特夫, 李大纲, 等
15	竹木复合结构理论的创新与应用	张齐生, 陶仁中, 孙丰文, 等
16	优质乳生产的奶牛营养调控与规范化饲养关键技术及应用	王加启, 刘建新, 卜登攀, 等
17	海水池塘高效清洁养殖技术研究与应用	董双林, 田相利, 王 芳, 等
18	禽用浓缩灭活联苗的研究与应用	王泽霖, 张许科, 王川庆, 等
19	猪鸡病原细菌耐药性研究及其在安全高效新兽药研制中的应用	王红宁, 王建华, 曹 薇, 等

续表

序号	项 目 名 称	主要完成人或主要完成单位
20	“天”生与“人”生：生殖与克隆	杨焕明, 李 敏
21	中华鳖良种选育及推广	龚金泉
22	热镀锌钢表渣自动清理装置的研发及应用	曹雁来
23	中核集团先进核能技术创新工程	中国核工业集团公司
24	基于大型工程机械自主创新的徐工科技创新体系工程	徐州工程机械集团有限公司
25	创新药物与制药工艺关键技术及产业化平台	中国医药工业研究总院
26	缓控释肥技术创新平台建设	山东金正大生态工程股份有限公司
27	海上绥中 36-1 油田丛式井网整体加密开发关键技术	周守为, 张凤久, 孙福街, 等
28	超高温钻井流体技术及工业化应用	孙金声, 刘绪全, 杨智光, 等
29	高应力强水敏深层井筒稳定关键技术及工业化应用	曾义金, 陈 勉, 金 衍, 等
30	变质岩内幕油气重大发现与高效开发技术	孟卫工, 任芳祥, 刘喜林, 等
31	食品安全危害因子可视化快速检测技术	王 硕, 陈 颖, 郑文杰, 等
32	高含油油料加工关键新技术产业化开发及标准化安全生产	王兴国, 孙东伟, 刘元法, 等
33	碳 / 碳复合材料工艺技术装备及应用	孙晋良, 任慕苏, 张家宝, 等
34	竹浆纤维及其制品加工关键技术和产业化应用	俞建勇, 宋德武, 唐人成, 等
35	大容量聚酰胺 6 聚合及细旦锦纶 6 纤维生产关键技术及装备	刘 迪, 李德和, 张建仁, 等
36	高危险性化工装置重大事故预防与控制技术装备及其工程应用	蒋军成, 王志荣, 王三明, 等
37	大通量高效立体传质塔板技术及其在化工节能降耗中的应用	李春利, 李柏春, 刘继东, 等
38	高档系列内燃机油复合剂研制及工业化应用	廖国勤, 汤仲平, 李桂云, 等
39	多晶硅冷氢化生产核心专用加热合成反应器成套工艺装备	丁建宁, 谭 克, 董国俊, 等
40	低钙水泥体系及其在重点工程中防治碱集料反应的应用	许仲梓, 邓 敏, 沈晓冬, 等
41	汽车用高性能环保聚丙烯材料关键技术的开发与应用	黄险波, 罗忠富, 李建军, 等
42	面向材料生产流程的环境负荷定量评价技术及应用	崔素萍, 聂祚仁, 龚先政, 等
43	熔融钢渣热闷处理及金属回收技术与应用	杨景玲, 朱桂林, 苏兴文, 等
44	高可靠、超小型化钽电解电容器用关键材料生产技术与应用	何季麟, 郑爱国, 陈 林, 等
45	难造块铁矿资源制备优质炼铁炉料的关键技术	姜 涛, 范晓慧, 李光辉, 等
46	大型合金钢锭及铸锻件缺陷与组织控制	李殿中, 李依依, 王宝忠, 等
47	多晶硅高效节能环保生产新技术、装备与产业化	严大洲, 宗绍兴, 毋克力, 等
48	现代轧制技术、装备和产品研发创新平台	王国栋, 李建平, 刘万山, 等
49	大倾角煤层综采综放工作面成套装备关键技术	曾庆良, 王国法, 张 鑫, 等
50	水泥窑纯低温余热发电成套工艺技术及装备	彭 岩, 任沁新, 戴义平, 等
51	微锡高强韧性球墨铸铁关键技术及动力机械核心部件产业化	孙海涛, 丛建臣, 杨思一, 等
52	激光表面复合强化与再制造关键技术及其应用	姚建华, 楼程华, 叶 钟, 等
53	节能环保型柴油机关键技术及产业化	沈 捷, 冯 静, 卓 斌, 等
54	数控七轴五联动螺旋桨加工重型车铣复合机床	桂 林, 李 斌, 张文桥, 等

续表		
序号	项 目 名 称	主要完成人或主要完成单位
55	兰州重离子加速器冷却储存环(HIRFL-CSR)工程	中国科学院近代物理研究所
56	湿法高效脱硫及硝汞控制一体化关键技术与应用	高翔, 骆仲洪, 倪明江, 等
57	开关电器大容量开断关键技术及应用	贾申利, 李兴文, 史宗谦, 等
58	重型高速柴油发动机关键技术及产业化	孙少军, 佟德辉, 张纪元, 等
59	电力系统广域监测分析与控制系统的研发及应用	薛禹胜, 徐泰山, 李碧君, 等
60	宽带微波毫米波频谱分析仪	许建华, 张超, 王峰, 等
61	射频电子系统的三维高密度封装技术及其应用	毛军发, 孙晓玮, 吴洪江, 等
62	数字视频编解码技术标准 AVS 与产业化应用	高文, 黄铁军, 虞露, 等
63	大规模网络信息监测与服务系统关键技术及应用	程学旗, 王丽宏, 余智华, 等
64	炼油化工重大工程自动化控制与优化一体化系统关键技术研究	褚健, 金建祥, 苏宏业, 等
65	面向互联网计算的虚拟计算环境	王怀民, 卢锡城, 王戟, 等
66	地下工程开挖诱发灾害防控关键技术开发及应用	吴顺川, 张怀静, 高永涛, 等
67	城市固体废弃物填埋场环境土力学机理与灾害防控关键技术及应用	陈云敏, 詹良通, 柯瀚, 等
68	建(构)筑物拆除定向爆破关键控制技术与工程应用	谢先启, 钟冬望, 池恩安, 等
69	上海环球金融中心工程建造关键技术	张琨, 龚剑, 黄刚, 等
70	纤维增强复合材料的高性能化及结构性能提升关键技术与应用	吴智深, 吴刚, 崔毅, 等
71	短线匹配法节段预制拼装体外预应力桥梁关键技术	张鸿, 张喜刚, 丁峰, 等
72	重要建筑抗爆理论与关键技术	李忠献, 方秦, 杜修力, 等
73	国家体育场(鸟巢)工程建造技术创新与应用	李久林, 范重, 徐贱云, 等
74	工业建筑混凝土结构诊治关键技术与应用	惠云玲, 岳清瑞, 牛荻涛, 等
75	水利水电工程渗流多层次控制理论与应用	周创兵, 周志芳, 温彦锋, 等
76	高坝动静力超载破损机理与安全评价方法	张楚汉, 金峰, 王进廷, 等
77	高坝泄洪消能防护和雾化安全技术与应用	练继建, 吴时强, 张宗亮, 等
78	高土石坝抗震设计理论研究与工程应用	孔宪京, 陈生水, 迟世春, 等
79	国家防汛抗旱指挥系统工程技术研究与应用	张志彤, 蔡阳, 张建云, 等
80	高精度三维工程环境构建理论、方法及公路勘察设计成套技术	王国锋, 李建成, 杜震洪, 等
81	3500米深海观测和取样型ROV系统	朱继懋, 任平, 葛彤, 等
82	国家高等级航道网通航枢纽与船闸水力学创新研究及实践	胡亚安, 李云, 宣国祥, 等
83	全工况高精度轮胎动力学体系创建及应用	郭孔辉, 卢荡, 刘蕴博, 等
84	沥青路面状态设计法与结构性能提升技术及工程应用	郑健龙, 周志刚, 钱国平, 等
85	P3和P4实验室生物安全技术与应用	宋桂兰, 吕京, 祁建城, 等
86	文物出土现场保护移动实验室研发与应用	苏伯民, 铁付德, 范宇权, 等
87	竞技体育对抗性项目制胜关键技术系统研究与应用	虞丽娟, 张辉, 凌培亮, 等
88	低C/N比城市污水连续流脱氮除磷工艺与过程控制技术及应用	彭永臻, 霍明昕, 王淑莹, 等
89	城市及区域生态过程模拟与安全调控技术体系创建和应用	杨志峰, 陈国谦, 徐琳瑜, 等

续表

序号	项 目 名 称	主要完成人或主要完成单位
90	全国生态功能区划	欧阳志云, 傅伯杰, 高吉喜, 等
91	中国遥感卫星辐射校正场技术系统	卢乃锰, 顾行发, 乔延利, 等
92	西安地裂缝成因与减灾关键技术	彭建兵, 张 勤, 黄强兵, 等
93	Argo 大洋观测与资料同化及其对我国短期气候预测的改进	张人禾, 许建平, 朱 江, 等
94	肿瘤分子生物治疗新靶位、新策略、新药物的研究和临床应用	药立波, 杨安钢, 张英起, 等
95	中国人群肝病谱构建与 HBV 相关肝病集成防治策略的建立及应用	赵景民, 于 君, 沈祖尧, 等
96	类固醇激素与肾上腺疾病发病机制新发现与诊治关键技术建立和应用	宁 光, 王卫庆, 王继光, 等
97	心肌梗死后心肌组织修复和功能重建的机制研究及临床应用	王建安, 陈绍良, 戴建武, 等
98	肿瘤转移的分子靶向治疗应用	马 丁, 周剑峰, 李 宁, 等
99	抗关节炎中药制剂质量控制与药效评价方法的创新及产品研发	刘 良, 吴飞驰, 周 华, 等
100	补肾活血理论在治疗帕金森病中的应用	杨明会, 陈建宗, 李绍旦, 等
101	经穴效应特异性循证评价及生物学基础研究	梁繁荣, 朱 兵, 丁光宏, 等
102	肺病哮喘异病同治方法的研究与应用	李友林, 王 伟, 倪 健, 等
103	老年社区获得性肺炎诊治规律与疗效评价研究及应用	李建生, 李素云, 余学庆, 等
104	补肾化痰法治疗阿尔茨海默病及其应用技术	田金洲, 时 晶, 毕 齐, 等
105	榄香烯脂质体系列靶向抗癌天然药物产业化技术及其应用	谢 恬, 秦叔逵, 孙 燕, 等
106	病证结合动物模型的制备方法与应用	王 伟, 王庆国, 郭淑贞, 等
107	多靶点抗肿瘤药物培美曲塞二钠的研制与应用	范传文, 林 栋, 王晶翼, 等
108	增效减毒抗癌新药替吉奥产业化关键技术与应用	赵志全, 张贵民, 姚庆强, 等
109	深空通信压缩与传输技术及应用	李云松, 吴成柯, 李 立, 等
110	高性能、跨网络的多媒体通信技术创新及产业化	顾炯炯, 马海寅, 王伟杰, 等
111	新一代无源光网络 EPON/10G-EPON 关键技术与应用创新	许 明, 王作强, 贝劲松, 等
112	基于 ASP/SaaS 的制造业产业价值链协同平台	孙林夫, 王淑营, 韩 敏, 等
113	都市型现代农业高效用水原理与集成技术研究	刘洪祿, 吴文勇, 杨培岭, 等
114	果蔬食品的高品质干燥关键技术研究及应用	张 魁, 张卫明, 孙金才, 等
115	柑橘良种无病毒三级繁育体系构建与应用	周常勇, 熊 伟, 白先进, 等
116	主要农作物遥感监测关键技术研究及业务化应用	唐华俊, 王长耀, 周清波, 等
117	畜禽粪便沼气处理清洁发展机制方法学和技术开发与应用	董红敏, 李玉娥, 董泰丽, 等
118	重要作物病原菌抗药性机制及监测与治理关键技术	周明国, 倪珏萍, 邵振润, 等
119	水田杂草安全高效防控技术研究与应用	柏连阳, 周小毛, 王义成, 等
120	大同矿区复杂开采条件煤炭火灾防治关键技术	王继仁, 于 斌, 邓存宝, 等
121	千万吨矿井群资源与环境协调开发技术	张喜武, 凌 文, 顾大钊, 等
122	成矿系统理论创立与华北古陆找矿实践	翟裕生, 邓 军, 燕长海, 等
123	露天煤矿高台阶抛掷爆破与吊斗铲倒堆工艺技术及应用	郭昭华, 马 军, 顾大钊, 等
124	海底大型金属矿床高效开采与安全保障关键技术	陈玉民, 李夕兵, 刘 钦, 等

续表

序号	项 目 名 称	主要完成人或主要完成单位
125	浮选机大型化关键技术研究及工业化应用	沈政昌, 卢世杰, 刘方云, 等
126	煤矿井下随钻测控千米定向钻进技术与装备	石智军, 董书宁, 姚宁平, 等
127	“一扩成井”快速钻井法凿井关键技术及装备研究	陈远坤, 刘志强, 王 新, 等
128	中国东部中生代隐伏金属矿找矿理论技术创新与重大突破	毛景文, 王学求, 张宗恒, 等
129	天地一体化对地观测数据处理技术创新及在国家应急响应中的应用	李德仁, 王 密, 眭海刚, 等
130	全数字化土地资源评价关键技术与工程应用	刘耀林, 王 静, 唐新明, 等
131	煤矿通风瓦斯超限预控与监管技术及系统	金智新, 孙继平, 马 平, 等
132	大倾角煤层长壁工作面综合机械化开采技术和装备	伍永平, 周邦远, 王 丽, 等
133	金川镍矿高应力特大型矿床连续开采综合技术	王永前, 姚维信, 吴爱祥, 等
134	大面阵数字航空影像获取关键技术及装备	刘先林, 邹友峰, 郭增长, 等
135	中国肺癌微创综合诊疗体系的建立、临床基础研究和应用推广	王 俊, 许 林, 刘 军, 等
136	脊髓与周围神经损伤关键修复机制及临床救治新策略	罗卓荆, 朱 辉, 吴武田, 等
137	肾脏移植排斥反应防治关键技术体系的建立与应用	石炳毅, 钱叶勇, 蔡 明, 等
138	功能性单心室外科治疗的基础与临床	王辉山, 汪曾炜, 尹宗涛, 等
139	肝脏移植关键技术的创新研究和临床应用	董家鸿, 杨占宇, 别 平, 等
140	肝癌肝移植术后复发转移的防治新策略及关键机制	樊 嘉, 周 俭, 黄晓武, 等
141	头颈部鳞状细胞癌治疗后复发救治技术平台和策略的建立及应用	李晓明, 韦 霖, 邸 斌, 等
142	涎腺肿瘤治疗新技术的研究及应用	俞光岩, 马大权, 李龙江, 等
143	基于通信的城轨列车运行控制系统关键技术及其应用	宁 滨, 唐 涛, 丁树奎, 等
144	牵引供电关键设备安全运行检测技术与应用	吴广宁, 高仕斌, 王保国, 等

附件 4 2012 年度“中国科学十大进展”

1. 神舟九号和天宫一号成功实现载人交会对接。
2. 可扩展量子信息处理取得系列重要进展。
3. 阐明二叠 - 三叠纪之交生物大灭绝及其复苏模式和原因。
4. 大亚湾中微子实验发现新的中微子振荡模式。
5. 揭示两种天然产物靶向特异蛋白治疗白血病的机制。
6. 证实单倍体孤雄干细胞具有可替代精子和快速传递基因修饰的能力。
7. 生态学试验证实 Bt 转基因棉花种植可促进对害虫的生物控制。
8. 解析出 TAL 效应蛋白特异性识别 DNA 的结构基础。
9. 揭示营养匮乏引发细胞自噬的分子机制。
10. 发现利用倒置结构可提高聚合物太阳能电池的能量转换效率。

附件5 2013年度国家自然科学奖获奖项目目录

一等奖

序号	项目名称	主要完成人
01	40K以上铁基高温超导体的发现及若干基本物理性质研究	赵忠贤, 陈仙辉, 王楠林, 等

二等奖

序号	项目名称	主要完成人
01	若干重要的可压缩欧拉方程整体解研究	黄飞敏, 王振
02	凯勒几何中的典则度和里奇流	朱小华
03	回归中的模型检验和降维	朱力行
04	无限维控制系统的结构理论	张旭
05	大样本恒星演化与特殊恒星的形成	韩占文, 陈雪飞, 孟祥存, 等
06	北京谱仪II实验发现新粒子	金山, 李卫国, 房双世, 等
07	量子通信与量子算法的物理基础研究	龙桂鲁, 邓富国, 仝殿民, 等
08	量子几何相位及其相关问题研究	朱诗亮, 汪子丹
09	荧光染料识别与响应调控的理论与应用基础研究	彭孝军, 段春迎, 樊江莉, 等
10	有机小分子和金属不对称催化体系及其协同效应研究	龚流柱, 蒋耀忠, 吴云东, 等
11	电催化剂的表面结构效应、设计合成和反应机理研究	孙世刚, 周志有, 田娜, 等
12	纳微配位空间的金属-有机超分子组装行为及构效关系	苏成勇, 康北笙, 鲁统部, 等
13	高分子复合材料微加工制备及其物理与化学问题	杨振忠, 徐坚, 陈永明
14	基于碳氢键活化的氧化偶联	施章杰, 李必杰, 万小兵, 等
15	基于手性膦氮配体的不对称催化	侯雪龙, 戴立信, 游书力, 等
16	硬骨鱼纲起源与早期演化研究	朱敏, 赵文金, 贾连涛, 等
17	典型有机污染物多介质界面行为与调控原理	朱利中, 陈宝梁, 杨坤, 等
18	华北克拉通早期陆壳形成与演化	翟明国, 郭敬辉, 彭澎
19	沙尘对我国西北干旱气候影响机理的研究	黄建平, 王式功, 王天河, 等
20	黄土区土壤-植物系统水动力学与调控机制	邵明安, 张建华, 上官周平, 等
21	水稻质量抗性和数量抗性的基因基础与调控机理	王石平, 储昭晖, 丁新华, 等
22	被子植物有性生殖的分子机理研究	杨维才, 石东乔, 刘洁, 等
23	TNF诱导的细胞坏死分子机制的研究	韩家淮, 张端午, 谢昌传, 等
24	禽流感病毒进化、跨种感染及致病力分子机制研究	陈化兰, 于康震, 邓国华, 等
25	干细胞多能性与重编程机理研究	裴端卿, 潘光锦, 秦宝明, 等
26	DC细胞活化调控与Th细胞分化机制在免疫相关疾病中的研究	孙兵, 施木德, 邓位文, 等

续表		
序号	项 目 名 称	主要完成人
27	日本血吸虫寄生和致病分子基础的系统生物学研究	韩泽广, 胡 薇, 刘 锋, 等
28	若干重要中草药的化学与生物活性成分的研究	岳建民, 丁 健, 杨升平, 等
29	寡糖的合成及某些基于糖类的药物发现	叶新山, 熊德彩, 耿铁群, 等
30	热休克蛋白和 DNA 损伤修复基因在环境应激和疾病中的作用	邬堂春, 沈洪兵, 胡志斌, 等
31	有机半导体的设计原理、高效制备与光电器件	黄 维, 赖文勇, 解令海, 等
32	时滞系统鲁棒控制的自由权矩阵方法	吴 敏, 何 勇, 张先明
33	生物计算中数据编码与模型构建理论方法研究	许 进, 魏小鹏, 张 强, 等
34	基于不充分信息的机器学习理论与方法研究	周志华, 陈松灿, 张敏灵, 等
35	多源干扰系统的建模、分析与控制理论研究	郭 雷, 孙长银, 吴淮宁, 等
36	复杂对象的几何表示和计算理论与方法	鲍虎军, 周 昆, 刘利刚, 等
37	基于自然智能的学习与优化基础理论研究	焦李成, 刘 芳, 刘 静, 等
38	高效光 / 电转换的新型有机光功能材料	张晓宏, 李述汤, 张秀娟, 等
39	热电材料的多尺度微观结构调控与性能优化	陈立东, 张文清, 史 迅, 等
40	多功能金属有机聚合物 / 磷光材料及其在新兴领域的应用研究	黄维扬, 周桂江, 何卓琳, 等
41	纳米电催化能源材料的功能定向制备和协同效应机理研究	沈培康, 徐常威, 孟 辉, 等
42	过渡金属及其化合物纳米材料的可控合成、微结构及相关特性	郭 林, 杨世和, 王荣明, 等
43	一维纳米半导体材料的可控生长及其机理	杨德仁, 张 辉, 杜 宁, 等
44	燃料设计理论及其控制内燃机燃烧与排放的基础研究	黄 震, 吕兴才
45	机械早期故障瞬态信息的小波熵检测与自适应提取理论	林 京, 屈梁生, 邱 海, 等
46	高性能纤维增强复合材料加固混凝土结构的力学性能及设计理论	滕锦光, 陆新征, 林 力, 等
47	并联机器人机构拓扑与尺度设计理论	高 峰, 刘辛军, 赵现朝, 等
48	面向再制造的表面工程技术基础	徐滨士, 王海斗, 张显程, 等
49	燃料电池中多相能质传递与反应动力学的相互作用机理	赵天寿, 杨 浩, 陈 蓉, 等
50	广义协调与新型自然坐标法主导的高性能有限元及结构分析系列研究	龙驭球, 岑 松, 龙志飞, 等
51	纳米结构金属力学行为尺度效应的微观机理研究	武晓雷, 魏悦广, 洪友士
52	功能材料与结构的多场效应与破坏理论	王铁军, 申胜平, 匡震邦, 等
53	昆虫飞行的空气动力学和飞行力学	孙 茂, 吴江浩, 杜 刚, 等

附件 6 2013 年度国家技术发明奖获奖项目目录 (通用项目)

一等奖

序号	项 目 名 称	主要完成人
01	大型结构与土体接触面力学试验系统研制及应用	张建民, 张 嘎, 胡黎明, 等

二等奖

序号	项 目 名 称	主要完成人
01	鸭传染性浆膜炎灭活疫苗	程安春, 汪铭书, 朱德康, 等
02	高产高油酸花生种质创制和新品种培育	禹山林, 杨庆利, 王晶珊, 等
03	传染性法氏囊病的防控新技术构建及其应用	周继勇, 于 涟, 荣 俊, 等
04	果实采后绿色防病保鲜关键技术的创制及应用	田世平, 蒋跃明, 秦国政, 等
05	油菜联合收割机关键技术与装备	李耀明, 徐立章, 陈 进, 等
06	水稻胚乳细胞生物反应器及其应用	杨代常, 谢婷婷, 何 洋, 等
07	低成本易降解肥料用缓释材料创制与应用	张夫道, 张建峰, 杨俊诚, 等
08	水稻抗旱基因资源挖掘和节水抗旱稻创制	罗利军, 梅捍卫, 熊立仲, 等
09	1.1 类原创新药——口服重组幽门螺杆菌疫苗	邹全明, 童文德, 毛旭虎, 等
10	基于生物生存策略的有毒动物中药功能成分定向挖掘技术体系	赖 仞, 熊郁良, 张 云, 等
11	一类单体中药新药参一胶囊创制的关键技术及应用	富 力, 弓晓杰, 刘基巍, 等
12	碳酸盐岩油气藏转向酸压技术与工业化应用	周福建, 刘玉章, 张福祥, 等
13	硫化矿新型高效捕收剂的合成技术与浮选应用	钟 宏, 刘广义, 覃文庆, 等
14	岸船空基海上油膜探测传感识别技术及应用	李 颖, 刘 瑀, 陈 澎, 等
15	厌氧-微藻联合资源化处理高浓度有机废水新工艺	张亚雷, 赵建夫, 席北斗, 等
16	工业钒铬废渣与含重金属氨氮废水资源化关键技术和应用	曹宏斌, 李鑫钢, 林 晓, 等
17	高效微生物及其固定化脱氮技术	倪晋仁, 叶正芳, 籍国东, 等
18	污染物微生物净化增强技术新方法及应用	任洪强, 郑 俊, 孙珮石, 等
19	高性能二次电池新型电极、电解质材料与相关技术	吴 锋, 杨汉西, 艾新平, 等
20	重大淀粉酶品的创制、绿色制造及其应用	王正祥, 路福平, 郭庆文, 等
21	基于风味导向的固态发酵白酒生产新技术及应用	徐 岩, 范文来, 吴 群, 等
22	类人胶原蛋白生物材料的创制及应用	范代娣, 马晓轩, 朱晨辉, 等
23	全结晶复合孔分子筛催化新材料的创制与工业应用	谢在库, 滕加伟, 赵国良, 等
24	新型甲醇羰基化催化剂的结构设计及工业应用	袁国卿, 宋勤华, 钱庆利, 等
25	生物法生产富马酸及其衍生物的关键技术及应用	黄 和, 李 霜, 徐 晴, 等
26	含空间位阻的大分子硫化物脱除关键技术及相关催化材料创制	郭 蓉, 方向晨, 彭绍忠, 等
27	高性能钼合金材料制备关键技术及其应用	孙 军, 孙院军, 张国君, 等
28	KBBF 族晶体深紫外非线性光学特性的发现、晶体生长与激光应用	陈创天, 许祖彦, 王继扬, 等
29	磷酸钙类生物活性陶瓷和骨修复体模板法仿生制备新技术及临床应用	王迎军, 陈晓峰, 卢建熙, 等
30	现代混凝土流动性调控与超早强关键技术及应用	刘加平, 冉千平, 洪锦祥, 等
31	钕铁硼晶界组织重构及低成本高性能磁体生产关键技术	严 密, 罗 伟, 马天宇, 等
32	冶金高频液压控制伺服元件关键技术及应用	陈奎生, 陈新元, 傅连东, 等
33	高能射线探测器用碲锌镉晶体材料及制备技术	介万奇, 王 涛, 查钢强, 等
34	复杂工况三维全场动态变形检测技术	梁 晋, 赵 宏, 洪 军, 等

续表

序号	项 目 名 称	主要完成人
35	仿生耦合多功能表面构建原理与关键技术	任露泉, 周 宏, 张志辉, 等
36	大行程、高精度、快响应直线压电电机	赵淳生, 姚志远, 时运来, 等
37	飞机大型整体结构件测量 / 加工一体化关键技术及应用	赵慧洁, 周富强, 姜宏志, 等
38	飞机数字化装配若干关键技术及装备	柯映林, 李江雄, 蒋君侠, 等
39	高性能无线射频识别 (RFID) 标签制造核心装备	尹周平, 王瑜辉, 熊有伦, 等
40	复杂工况下电机系统高效能运行与控制关键技术及其应用	夏长亮, 何湘宁, 李瑞来, 等
41	夏热冬冷地区建筑冷热湿一体化高效处理技术与装备	张小松, 殷勇高, 梁彩华, 等
42	基于行驶环境感知与控制协同的汽车智能安全新技术及应用	李克强, 王建强, 罗禹贡, 等
43	异构多域无线网络协同安全关键技术及应用	马建峰, 郑志彬, 裴庆祺, 等
44	下一代互联网 4over6 过渡技术及其应用	吴建平, 崔 勇, 李 星, 等
45	耗能设备智能运行反馈控制技术	柴天佑, 丁进良, 吴永建, 等
46	信息密度非均匀下的异构无线组网新技术	张 平, 陶小峰, 张建华, 等
47	基于生物敏感膜的便携式传感器关键技术及应用	蔡新霞, 崔大付, 赖平安, 等
48	高精度微纳结构掩模制造核心技术	刘 明, 谢常青, 叶甜春, 等
49	高速半导体激光器制备、测试与耦合封装技术	祝宁华, 余向红, 朱洪亮, 等
50	高场静磁装备设计理论和关键技术及应用	王秋良, 胡新宁, 戴银明, 等
51	高性能谐振式传感器关键技术及其应用	樊尚春, 郑德智, 王 帅, 等
52	宽带复杂信号实时捕获与合成技术	田书林, 王厚军, 叶 芑, 等
53	新型自密实混凝土设计与制备技术及应用	余志武, 谢友均, 田 倩, 等
54	基于吸收式换热的集中供热技术	付 林, 张世钢, 罗 勇, 等

附件 7 2013 年度国家科学技术进步奖获奖项目目录 (通用项目)

特等奖

序号	项 目 名 称	主要完成人或主要完成单位
01	两系法杂交水稻技术研究与推广	袁隆平, 石明松, 邓华凤, 等

一等奖

序号	项 目 名 称	主要完成人或主要完成单位
01	上海光源国家重大科学工程	中国科学院上海应用物理研究所, 中国科学院高能物理研究所, 中国科学技术大学, 等
02	矮秆高产多抗广适小麦新品种矮抗 58 选育及应用	茹振钢, 赵 虹, 李友勇, 等
03	低温高磁取向硅钢制造技术的开发与产业化	徐乐江, 李国保, 张丕军, 等

续表

序号	项目名称	主要完成人或主要完成单位
04	离岸深水港建设关键技术与工程应用	谢世楞, 孙子宇, 赵冲久, 等
05	罗布泊盐湖 120 万吨 / 年硫酸钾成套技术开发	李浩, 唐中凡, 尹新斌, 等
06	三索面三主桁公铁两用斜拉桥建造技术	高宗余, 潘东发, 秦顺全, 等
07	重症肝病诊治的理论创新与技术突破	李兰娟, 郑树森, 陈智, 等
08	高端控制装备及系统的设计开发平台研究与应用	孙优贤, 王文海, 杨春节, 等
09	电网大范围冰冻灾害预防与治理关键技术及成套装备	陆佳政, 蒋兴良, 鲁先龙, 等
10	食管癌规范化治疗关键技术的研究及应用推广	赫捷, 王贵齐, 乔友林, 等
11	以创建国际一流船舶集团为目标的军民融合科技创新工程	中国船舶重工集团公司
12	国产民用高分辨率立体测图卫星测绘和应用关键技术	唐新明, 孙承志, 龚健雅, 等
13	中药安全性关键技术研究与应用	高月, 杨明会, 范晓辉, 等

创新团队

序号	团队名称	推荐单位
01	中国科学院合肥物质科学研究院超导托卡马克创新团队	李建刚, 万宝年, 万元熙, 等
02	清华大学辐射成像创新团队	康克军, 陈志强, 唐传祥, 等
03	军事医学科学院蛋白质组学创新团队	贺福初, 杨晓明, 张学敏, 等

二等奖

序号	项目名称	主要完成人或主要完成单位
01	棉花种质创新及强优势杂交棉新品种选育与应用	张献龙, 聂以春, 朱龙付, 等
02	桃优异种质发掘、优质广适新品种培育与利用	王力荣, 王志强, 朱更瑞, 等
03	南方葡萄根域限制与避雨栽培关键技术研究及示范	王世平, 杨国顺, 李世诚, 等
04	辽单系列玉米种质与育种技术创新及应用	王延波, 陶承光, 李新海, 等
05	杨梅枇杷果实贮藏物流核心技术研发及其集成应用	陈昆松, 徐昌杰, 孙钧, 等
06	紫胶资源高效培育与精加工技术体系创新集成	陈晓鸣, 李昆, 陈又清, 等
07	农林剩余物多途径热解气化联产炭材料关键技术开发	蒋剑春, 应浩, 张锴, 等
08	森林资源综合监测技术体系	鞠洪波, 张怀清, 唐小明, 等
09	北京鸭新品种培育与养殖技术研究应用	侯水生, 胡胜强, 刘小林, 等
10	建鲤健康养殖的系统营养技术及其在淡水鱼上的应用	周小秋, 邝声耀, 戈贤平, 等
11	高致病性猪蓝耳病病因确诊及防控关键技术研究与应用	田克恭, 遇秀玲, 徐百万, 等
12	巴美肉羊新品种培育及关键技术研究及示范	荣威恒, 赵存发, 李金泉, 等
13	南阳牛种质创新与夏南牛新品种培育及其产业化	白跃宇, 高腾云, 陈宏, 等
14	保护性耕作技术	李洪文, 李问盈, 蒋和平, 等
15	基因的故事——解读生命的密码	陈润生, 刘夙, 范春萍, 等

续表

序号	项 目 名 称	主要完成人或主要完成单位
16	冷轧机乳液分区自动吹扫装置的研发和应用	李 超
17	柠檬果综合利用关键技术、产品研发及产业化	刘 群
18	兖矿集团煤炭安全高效开采与洁净利用技术创新工程	兖矿集团有限公司
19	中国南车轨道交通装备三大技术平台建设技术创新工程	中国南车集团公司
20	基于先进聚合物材料自主创新的创新体系工程	金发科技股份有限公司
21	中国石油科技创新体系建设工程	中国石油天然气集团公司
22	输变电装备技术创新平台建设	特变电工股份有限公司
23	油藏地球物理技术突破及老油田高效开发应用	李 阳, 王延光, 张永刚, 等
24	海上油田超大型平台浮托技术创建及应用	金晓剑, 周守为, 李新仲, 等
25	油气煤铀同益共存富集成藏理论技术创新与多种能源矿产协同勘探	刘池阳, 任战利, 李子颖, 等
26	超大型复杂油气地质目标地震资料处理解释系统及重大成效	刘超颖, 赵 波, 张 玮, 等
27	鄂尔多斯盆地中部延长组下组合找油突破的勘探理论与关键技术	王香增, 赵金洲, 罗晓容, 等
28	低温冰箱系列化产品关键技术及产业化	刘占杰, 张 华, 张江涛, 等
29	发酵与代谢调控关键技术及产业化应用	赵谋明, 张五九, 赵海锋, 等
30	冷却肉品质控制关键技术及装备创新与应用	周光宏, 祝义亮, 徐幸莲, 等
31	干酪制造与副产物综合利用技术集成创新与产业化应用	任发政, 郭本恒, 陈历俊, 等
32	功能吸附纤维的制备及其在工业有机废水处置中的关键技术	肖长发, 路建美, 李 华, 等
33	超大容量高效柔性差别化聚酯长丝成套工程技术开发	王朝生, 陈士良, 庄奎龙, 等
34	丝胶回收与综合利用关键技术及产业化	陈国强, 邢铁玲, 孙道权, 等
35	高温过程装备结构完整性关键技术及应用	涂善东, 轩福贞, 陈学东, 等
36	土木工程用高性能纤维复合材料制备及应用关键技术	岳清瑞, 张继文, 薛忠民, 等
37	宽温、宽频高模量压电阻尼复合材料成套制备技术及其典型工程应用	张联盟, 黄志雄, 秦 岩, 等
38	混凝土裂缝分龄期防治新材料和新技术及其应用	钱春香, 钱觉时, 蒋亚清, 等
39	浮法玻璃微缺陷控制与节能关键技术及产业化应用	彭 寿, 马立云, 王宗伟, 等
40	聚氯乙烯专用树脂系列产品的开发与产业化示范	张新力, 宋晓玲, 包永忠, 等
41	钢铁企业低压余热蒸汽发电和钢渣改性气淬处理技术及示范	于 勇, 张玉柱, 王新东, 等
42	高钒高耐磨合金及复合技术的工程化应用	魏世忠, 袁海伦, 徐流杰, 等
43	特厚钢板生产关键技术研发与创新	王义芳, 贾国生, 谢良法, 等
44	超强化旋浮铜冶炼和无氧化还原精炼工艺研发及产业化应用	周松林, 姚素平, 刘卫东, 等
45	一水硬铝石矿高效强化拜耳法生产技术的开发与产业化应用	顾松青, 刘保伟, 武建强, 等
46	7000系铝合金强韧化热处理技术创新与工业应用	熊柏青, 周 江, 张永安, 等
47	石材高效加工用金刚石磨粒工具关键技术及应用	徐西鹏, 黄 辉, 李 远, 等
48	大型高效柔性全自动冲压生产线	张志刚, 张世顺, 黄 宁, 等

续表

序号	项 目 名 称	主要完成人或主要完成单位
49	复杂装备数字化设计中的关键共性技术及其应用	韩旭, 文桂林, 姜潮, 等
50	超大型塔式起重机关键技术及应用	喻乐康, 阳云华, 李桂芳, 等
51	螺旋锥齿轮数控加工关键技术与成套装备	王树新, 柴宝连, 郭晓东, 等
52	高端控制阀关键技术自主创新和产业化	马玉山, 高强, 常占东, 等
53	大吨位系列履带式起重机关键技术及应用	刘金江, 徐格宁, 李明奇, 等
54	特大电网一体化调度控制系统关键技术及规模化应用	辛耀中, 翟明玉, 周京阳, 等
55	大型风电并网运行与试验检测关键技术及应用	郭剑波, 王伟胜, 刘纯, 等
56	高效低耗流化床燃煤工业设备关键技术及应用	陈汉平, 张世红, 刘德昌, 等
57	内燃机全工况高增压关键技术及工程应用	张扬军, 郑新前, 刘凤虎, 等
58	神光Ⅱ多功能高能激光系统	朱健强, 朱俭, 朱宝强, 等
59	环境与灾害监测预报小卫星星座 A、B 卫星	白照广, 代守仑, 沈中, 等
60	超大规模集成电路 65-40 纳米成套产品工艺研发与产业化	吴汉明, 居建华, 倪百兵, 等
61	高性能嵌入式非易失性存储器片载芯片制造关键技术	徐伟, 陈寿面, 桑浚之, 等
62	面向数字化采矿的软件关键技术及应用	卢新明, 彭延军, 夏士雄, 等
63	曙光高效能计算机系统关键技术及应用	孙凝晖, 张佩珩, 聂华, 等
64	城市交通智能路网的关键技术及应用	蒋昌俊, 丁志军, 方钰, 等
65	结构振动控制与应用	欧进萍, 李惠, 吴斌, 等
66	桥建合一及功能可视化立体疏解客流铁路车站设计建造技术	郑健, 盛晖, 张琨, 等
67	超高及复杂高层建筑结构关键技术及应用	肖从真, 徐培福, 王翠坤, 等
68	长期循环动载下饱和和软弱土地基灾变控制技术及应用	蔡袁强, 高玉峰, 王军, 等
69	软土深基坑工程安全与环境控制新技术及应用	王卫东, 王建华, 李耀良, 等
70	巨型机组水电站建筑结构关键技术	钮新强, 杨清, 伍鹤皋, 等
71	高混凝土面板堆石坝安全关键技术研究及工程应用	贾金生, 酆能惠, 徐泽平, 等
72	黄河小浪底工程关键技术与实践	水利部小浪底水利枢纽建设管理局, 黄河勘测规划设计有限公司, 中国水利水电科学研究院, 等
73	环保型路面建造技术与工程应用	沙爱民, 裴建中, 谭忆秋, 等
74	长大跨桥梁结构状态评估关键技术及应用	李爱群, 郭彤, 张宇峰, 等
75	盐渍土地地区公路建设成套技术及工程应用	李志农, 房建宏, 李勇, 等
76	国家直流大电流计量标准研究建立与应用	邵海明, 林飞鹏, 屈凯峰, 等
77	湖泊底泥污染控制理论与应用	吴丰昌, 王沛芳, 范成新, 等
78	生活垃圾能源化与资源化关键技术及应用	赵由才, 陈泽智, 赵爱华, 等
79	基于演化过程的滑坡地质灾害防控技术与应用	唐辉明, 胡新丽, 廖声银, 等
80	中国西北干旱气象灾害监测预警及减灾技术	张强, 张书余, 李耀辉, 等

续表		
序号	项 目 名 称	主要完成人或主要完成单位
81	重大胰腺疾病诊疗体系创新及关键技术的应用	李兆申, 胡先贵, 杜奕奇, 等
82	痴呆与轻度认知障碍的流行病学、发病机制和诊治应用研究	贾建平, 李 林, 盛树力, 等
83	支气管哮喘分子发病机制及诊治新技术应用	沈华浩, 钟南山, 郑劲平, 等
84	新生儿脑损伤预防、诊断和治疗技术的研究与应用	封志纯, 刘 敬, 母得志, 等
85	心脑血管病关键 CT 技术的应用与创新	卢光明, 金征宇, 张兆琪, 等
86	参附注射液品质控制与产业化关键技术应用	彭 成, 赵军宁, 林瑞超, 等
87	灸法治疗肠腑病症的技术与临床应用	吴焕淦, 刘慧荣, 施 茵, 等
88	中药药性理论研究模式的构建及应用	匡海学, 杨炳友, 王秋红, 等
89	冠心病病证结合证治体系的建立及应用	王 阶, 姚魁武, 朱明军, 等
90	抗肿瘤新药盐酸吉西他滨及制剂的研制和产业化	林国强, 岑均达, 吕爱锋, 等
91	药物分子毒理学研究及新药安全性评价关键技术的应用和国际认可	任 进, 宫丽崑, 戚新明, 等
92	正电子发射断层扫描 (PET) 核医学装备系统的研制及产业化	孙启银, 黄 钢, 曾 骏, 等
93	面向高端训练和体验服务的全景互动视觉合成技术与应用	游志胜, 杨红雨, 宋万忠, 等
94	大型星载可展开天线设计理论与关键技术及应用	段宝岩, 李团结, 黄 进, 等
95	无线接入网多制式融合 (SingleRAN) 技术创新与产业化	朱浩冰, 吕劲松, 吴旺军, 等
96	移动互联网业务数据平台与分析监测系统	张智江, 黄文良, 王志军, 等
97	医联工程——区域医疗信息共享及协同服务系统研发与规模应用	陈建平, 高解春, 于广军, 等
98	滨海盐碱地棉花丰产栽培技术体系的创建与应用	董合忠, 李维江, 辛承松, 等
99	苹果贮藏保鲜与综合加工关键技术研究及应用	胡小松, 吴茂玉, 廖小军, 等
100	主要农业入侵生物的预警与监控技术	万方浩, 张润志, 王福祥, 等
101	旱作农业关键技术与集成应用	梅旭荣, 张燕卿, 孙占祥, 等
102	长江中下游东南部双季稻丰产高效关键技术及应用	谢金水, 石庆华, 王 海, 等
103	干旱内陆河流域考虑生态的水资源配置理论与调控技术及其应用	康绍忠, 杜太生, 粟晓玲, 等
104	农业废弃物成型燃料清洁生产技术与整套设备	雷廷宙, 石书田, 张全国, 等
105	秸秆成型燃料高效清洁生产与燃烧关键技术装备	赵立欣, 田宜水, 孟海波, 等
106	机载多波段多极化干涉 SAR 测图系统	张继贤, 黄国满, 燕 琴, 等
107	非线性矿产预测理论方法创立与应用	成秋明, 李文昌, 夏庆霖, 等
108	近海复杂水体环境的卫星遥感关键技术研究及应用	潘德炉, 毛志华, 蒋兴伟, 等
109	煤矿岩巷全断面高效掘进关键技术与装备	杨仁树, 闫振东, 李 清, 等
110	煤与瓦斯突出矿井深部动力灾害一体化预测与防治关键技术	潘一山, 梁铁山, 张宏伟, 等
111	多流态梯级强化浮选技术开发及应用	刘炯天, 曹亦俊, 李晓东, 等
112	硬岩高应力灾害孕育过程的机制、预警与动态调控关键技术	冯夏庭, 吴世勇, 陈炳瑞, 等
113	0.6m ~ 1.3m 复杂薄煤层自动化综采成套技术与装备	王国法, 陈亚杰, 张步勤, 等
114	肾脏移植关键技术创新及临床应用	薛武军, 田普训, 丁小明, 等

续表

序号	项 目 名 称	主要完成人或主要完成单位
115	肾上腺疾病的微创外科治疗及相关基础研究	张 旭, 马 鑫, 李宏召, 等
116	微创治疗骨盆髌臼骨折脱位的研究与临床应用	张英泽, 吴新宝, 潘进社, 等
117	原发性闭角型青光眼发病机制与防治体系的建立及应用	王宁利, 赵家良, 徐 亮, 等
118	重度感音神经性耳聋致病机制及出生缺陷干预研究与应用	戴 朴, 冯 永, 袁慧军, 等
119	湿陷性黄土地区高速铁路修建关键技术	王争鸣, 魏周春, 彭文盛, 等
120	高速铁路供电综合监控技术与装备	高仕斌, 陈奇志, 陈维荣, 等

附件 8 2013 年度“中国科学十大进展”

1. 中国科学家积极应对新发 H7N9 禽流感病毒取得重要进展。
2. 在磁性拓扑绝缘体中观测到量子反常霍尔效应。
3. 利用原子力显微镜直接观测到分子间氢键。
4. 北京谱仪 III 观测到一种包含至少 4 个夸克的带电粒子。
5. 小麦 A 基因组和 D 基因组草图绘制完成。
6. 利用小分子化合物将小鼠体细胞诱导转化为多能干细胞。
7. 合成出超硬纳米双晶立方氮化硼。
8. 研发出一种兼具大弹性应变、低模量和高强度的相变金属纳米复合材料。
9. 基于等离子增强拉曼散射实现单分子化学成像。
10. 发现星形胶质细胞多巴胺 D2 受体通过 α B 晶状体球蛋白抑制神经炎症。