



5G+ 煤矿智能化白皮书

2021.11



指导单位

中国煤炭工业协会
煤矿智能化创新联盟

中国煤炭学会

编写单位

国家能源投资集团有限责任公司
中国中煤能源集团有限公司
中国煤炭科工集团有限公司
晋能控股集团有限公司
陕西煤业化工集团有限责任公司
山东能源集团有限公司
华阳新材料科技集团有限公司
中国平煤神马能源化工集团有限责任公司
陕西延长石油（集团）有限责任公司
潞安化工集团有限公司
内蒙古智能煤炭有限责任公司
中国矿业大学
中国矿业大学（北京）
西安科技大学
中国煤矿机械装备有限责任公司
天地（常州）自动化股份有限公司
中煤科工集团信息技术有限公司
北京天地玛珂电液控制系统有限公司
煤炭科学技术研究院有限公司
郑州煤矿机械集团股份有限公司
中煤信息技术（北京）有限公司

中国移动通信集团有限公司
华为技术有限公司
上海山源电子科技股份有限公司
宁波和利时智能科技有限公司
华洋通信科技股份有限公司
中煤电气有限公司
北斗天地股份有限公司
深信服科技股份有限公司
北京中电拓方科技股份有限公司
南京北路智控科技股份有限公司
宇祺（山东）智能装备有限公司
天津华宁电子有限公司
阳泉华越八达矿用电气有限公司
霍州煤电集团亿能电气股份公司
上海创力集团股份有限公司
常州科研试制中心有限公司
航天重型工程装备有限公司
合肥工大高科信息科技股份有限公司
北京华电力拓能源科技有限公司
山西科达自控股份有限公司
北京国力矿安科技有限公司



引言

2020年2月，国家发展改革委、国家能源局、应急管理部、国家煤矿安全监察局、工业和信息化部、财政部、科技部、教育部等八部门联合印发《关于加快煤矿智能化发展的指导意见》，明确了我国煤矿智能化建设的目标任务。2021年6月，国家能源局、国家矿山安全监察局联合印发《煤矿智能化建设指南（2021年版）》，引导全行业科学有序地开展煤矿智能化建设。当前，全国主要产煤省区、大型煤炭生产企业均已启动了智能化示范煤矿建设，煤矿智能化已从被动建设转为主动建设。

为贯彻落实习近平总书记关于加快5G发展的重要指示精神和党中央、国务院决策部署，2021年6月，国家发展改革委、国家能源局、中央网信办、工业和信息化部联合印发《能源领域5G应用实施方案》，拓展能源领域5G应用场景，探索5G应用新模式、新业态，支撑能源产业高质量发展。2021年7月5日，工业和信息化部等十部门联合印发《5G应用“扬帆”行动计划（2021-2023年）》，大力推动5G融合应用和全面协同发展。

目前，我国已经完成100万个5G站点部署，5G用户超过4亿。5G具有高速率、低时延、大连接等特征，是煤矿智能化建设的重要支撑技术，其在煤炭领域的广泛应用和深度融合，将有效推动煤炭生产、加工、利用和消费模式变革。作为“扬帆”行动计划中十五个5G应用重点领域之一，“5G+智能采矿”率先在煤矿领域取得成功应用。经过广大煤炭生产企业、系统集成商、网络运营商、网络设备供应商、煤机装备厂家以及科研院所、高等学校的协力合作，一年来在应用场景拓展、专网建设能力提升、专用技术与设备研发、重要标准制定、与工业互联网融合等方面取得重要进展。

2020年10月，我们组织发布了第一版《5G+煤矿智能化白皮书》。《5G+煤矿智能化白皮书（2021版）》是第一版的更新和延续，重点介绍了一年来煤矿5G技术在技术研发、实践应用、标准制定等方面取得的进展情况，阐述了煤矿5G应用现存的突出问题和下一步发展方向，旨在推动煤矿5G从“可用”走向“实用”、“好用”，加快新一代信息技术和煤炭开发利用的深度融合，促进我国煤炭工业绿色低碳转型和高质量发展。

目 录 Contents

第一部分 煤矿5G进展	1
一、煤矿5G应用场景拓展	1
(一) 采煤工作面远程操控	1
(二) 综采工作面视频拼接	2
(三) 掘进设备远程操控	3
(四) 露天煤矿无人驾驶	4
(五) 5G+AR巡检与远程诊断	5
二、煤矿5G专网建设能力提升	6
(一) 井工煤矿5G专网建设	6
(二) 露天煤矿5G专网建设	7
(三) 5G核心网部署更加灵活	7
(四) 煤矿5G专网运维	8
三、煤矿5G专用技术与设备研发	8
(一) 5G多频段融合组网系统	8
(二) 本质安全型5G系统	10
(三) 煤矿专用5G模组	10
(四) 5G终端设备开发	12
四、煤矿5G标准制定	12
第二部分 煤矿5G与工业互联网融合	14
一、工业互联网平台	14
二、云边协同	15
三、矿山鸿蒙操作系统	16
四、AI视频识别	17
五、5G融合	21
第三部分 典型应用案例	22
一、潞安化工集团新元煤矿混合虚拟专网架构	22
二、中煤集团大海则煤矿700MHz+2.6GHz融合	23
三、内蒙古智能煤炭公司麻地梁煤矿端到端采煤控制	24
四、国家能源集团老石旦煤矿全景工作面	25





五、国家能源集团乌兰木伦煤矿基于pRRU+漏缆组网应用	26
六、国家能源集团上湾煤矿5G+UWB融合应用	27
七、国家能源集团宝日希勒露天煤矿无人驾驶	28
八、山东能源集团鲍店煤矿掘进工作面远程操控	29
九、吕梁东义集团煤气化公司鑫岩煤矿电机车辅助运输	30
十、山西陆合集团基安达煤矿无极绳绞车远程控制应用	31
十一、蒙发能源控股集团窝兔沟煤矿5G+矿山工业互联网平台应用...	32
十二、中煤集团门克庆煤矿工业互联网平台应用	33
十三、国家电投集团白音华煤矿工业互联网平台应用	34
十四、中煤集团王家岭煤矿智能监管视频AI应用	35
十五、山东能源集团鲍店煤矿主煤流系统视频AI应用	36
十六、山东能源集团东滩煤矿提升系统视频AI应用	38

第四部分 展望 39

一、存在问题	39
二、发展目标	39
三、煤矿5G网络保障能力	39
四、5G R16关键技术赋能	40
五、井下无线发射设备射频功率研究	41
六、煤矿5G装备研发与技术验证	42

附录 43

一、规范性引用文件	43
二、术语、定义和缩略语	44

第一部分 煤矿 5G 进展

一年来，煤矿 5G 融合应用取得了明显的进展。煤矿 5G 应用场景由视频传输进一步拓展至远程操控、虚拟交互；极寒气候 5G 专用基站、“固定基站+移动基站”多类型混合组网在露天煤矿成功部署；矿用 5G 通信系统安标认证达 30 余套，其中本质安全型 5G 基站 3 款；煤矿专用 5G 模组及多种矿用 5G 终端成功开发；一批 5G 重要标准获得行业立项。

一、煤矿 5G 应用场景拓展

（一）采煤工作面远程操控

目前采煤机远程操控多采用现场总线、工业以太网或区域无线模式，尤其是在工作面进行有线敷设比较困难且维护工作量大，难以满足地面远程操控对时延及传输可靠性的要求。

为了更好地实现远程操控，从前端数据采集到传输网络再到顺槽控制中心及地面调度控制中心，可采用全 5G 传输技术，即“5G+ 环网”，利用其大带宽、低时延、高可靠、硬隔离的特性，将“UPF+MEC+ 应用”直接下沉到工作面，从而搭建起稳定可靠的端到端综采工作方式。

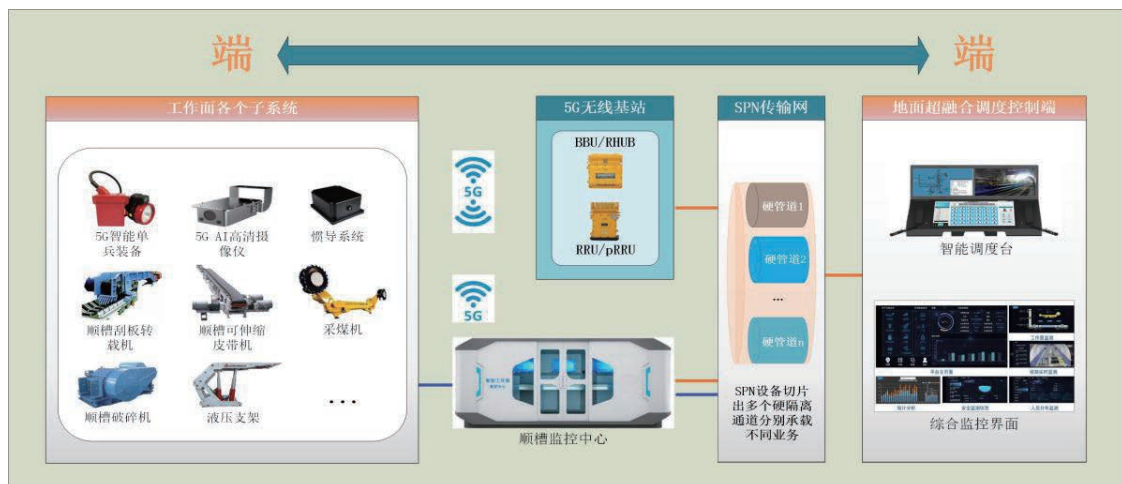


图 1-1 采煤工作面远程操控示意图

当前，综采工作面采煤机远程操控的数据传输主要通过矿用无线转发器（5G CPE）来实现，具体为：

- 在综采工作面部署 2-3 台 5G 基站，实现工作面 5G 信号的覆盖；
- 采煤机信号（包括机载高清视频、传感数据、控制信号）通过 5G 网络传输至地面控制室和列车控制室。
- 采煤机、井下集控中心和地面调度中心配置 5G CPE，实现地面调度中心（采煤机操作台）与井下集控中心、井下集控中心和采煤机的 5G 通讯。

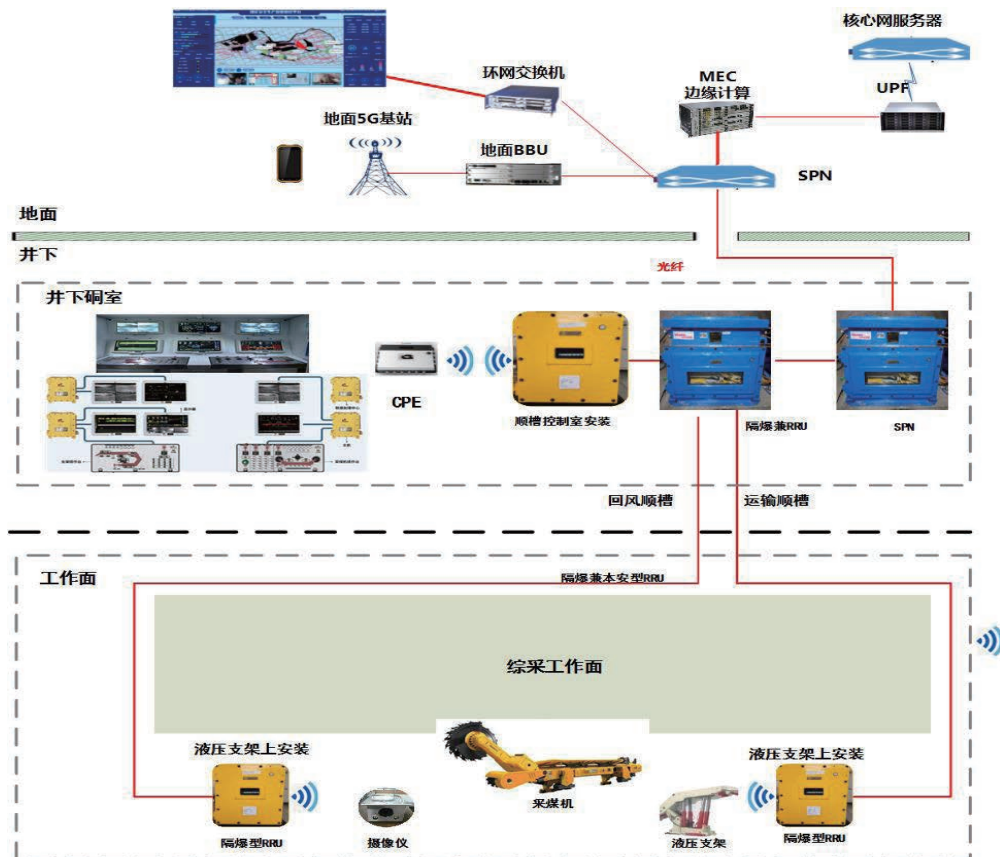


图 1-2 采煤机远程控制拓扑示意图

刮板输送机机头、机尾、转载机、破碎机安装相关传感器、5G CPE，通过 5G 网络实现电机绕组温度、减速器油温、减速器轴温、冷却水流量、冷却水温度等多种数据的交互。

（二）综采工作面视频拼接

通过引入“5G+视频云+人工智能训练/推理”等技术，实现综采面煤壁视频+煤机截割视角视频拼接，实现大视野、无盲区的工作面全景监视，达到采煤工作面看得全、看得清、看得准。



图 1-3 综采面视频拼接示意图

工作面视频拼接系统分为感知、联接、平台、应用四个层次：

- 感知层主要包括安装在液压支架上、覆盖整个综采工作面的本安型摄像仪，以及部署在煤机等特殊点位的摄像仪。
- 联接层主要包括 5G 通信系统、数通交换机，具备 5G 和有线双网备份功能，保障视频传输的可靠性。
- 平台层主要涵盖视频云平台、视频拼接节点、AI 推理节点，产生及存储上层应用所需的视频、图片、结构化数据。
- 应用层主要涵盖全景监控的呈现终端，包括 IOC 调度大屏、远程控制台，实现全景拼接后的视频呈现、信息显示、远程操控等多个功能。

（三）掘进设备远程操控

掘进工作面生产设备移动频繁、电缆（光缆）布设困难且易受损伤，致使掘进机至顺槽监控中心有线通信信道无法长期稳定通信。

在掘进工作面部署矿用 5G 网元设备实现掘进巷道和掘进迎头等生产工作区域 5G 网络稳定覆盖，在掘进机电控箱内或机身安装 5G CPE，利用 5G 网络可实现掘进机（综掘机、连采机、掘锚一体机）运行状态数据、机载传感器数据、机载工业视频数据等信息可靠传输至掘进工作面监控中心及地面调度信息中心。

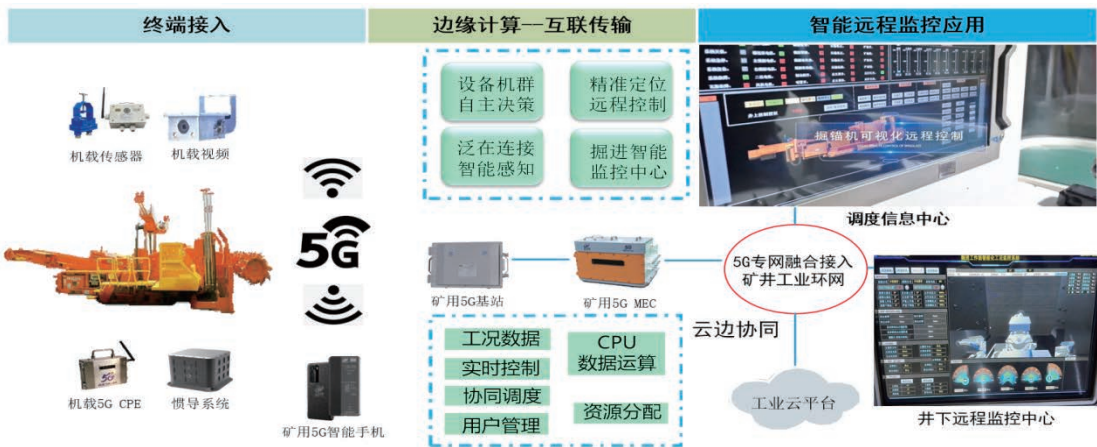


图 1-4 掘进设备 5G 远程监控拓扑示意图

通过矿用 5G 系统与矿井工业环网的融合对接，实现工业监控主机基于 5G 的掘进机远程集控。工作人员可以使用 5G 手持智能终端，通过 5G 网络实现对掘进工作面工业控制主机、工控网终端设备、5G 入网设备等进行数据通信和信息查询等多种操作。

（四）露天煤矿无人驾驶

露天煤矿无人驾驶运输系统可分为设备层、传输层、应用层。设备层主要实现矿用卡车的智能化和无人化；应用层实现对无人化后的矿用卡车装备进行监控、调度、编组运行等业务处理；设备层与应用层通过基于 5G 技术的传输层进行数据交互，从而形成一个有机结合的露天煤矿无人驾驶运输系统。

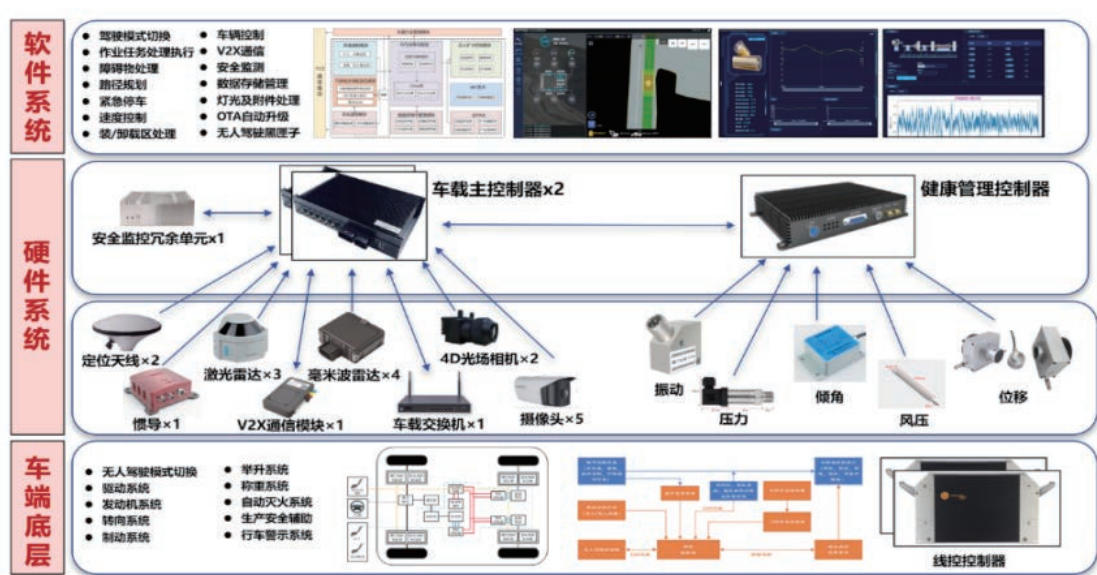


图 1-5 露天矿无人驾驶运输系统架构图

无人驾驶车载控制系统，从下到上可以分为车端底层系统、车载硬件系统、车载软件系统。

- 车端底层系统主要包含车辆的转向、油门、制动、举升、挡位等，接收来自车载软件系统的指令并进行相应操作。
- 车载硬件系统可划分为车载计算单元和车载传感器，其中核心部件包括感知、定位、通讯、健康监测等设备。
- 车载软件系统是整个车端自动驾驶系统的核心，各个模块分工合作，通过信息交互实现矿卡的自动驾驶功能。
- 无人驾驶矿卡接收管控中心发送的指令，结合自身位置、周围环境等多种信息，完成装载、运输、卸载的自动驾驶循环作业。远程接管系统基于 5G 网络实现无人驾驶矿卡在紧急情况下的远程作业、安全监控和应急接管。

(五) 5G+AR 巡检与远程诊断

煤矿井下场地狭窄、环境较差，井下设备的巡检、维修工作量大。针对煤矿井下故障维护效率低下、巡检流程标准化难度高等问题，行业开发了 5G+AR 巡检与远程诊断系统，具备实时巡检、实时采集、实时定位、实时互联、远程诊断、近感探测、语音视频通话、人机交互等功能，并可实现人岗匹配的生物特征识别，对边缘死角单岗作业人员进行定位监控与预报警联动等功能。

矿用本安型辅助显示终端通过 USB 数据线插入具有 USB 通讯接口的 5G 手机或终端，并安装相应适配程序，可以接收并处理图像、声音和其他数据，进行解放双手第一视角的新型人机交互。

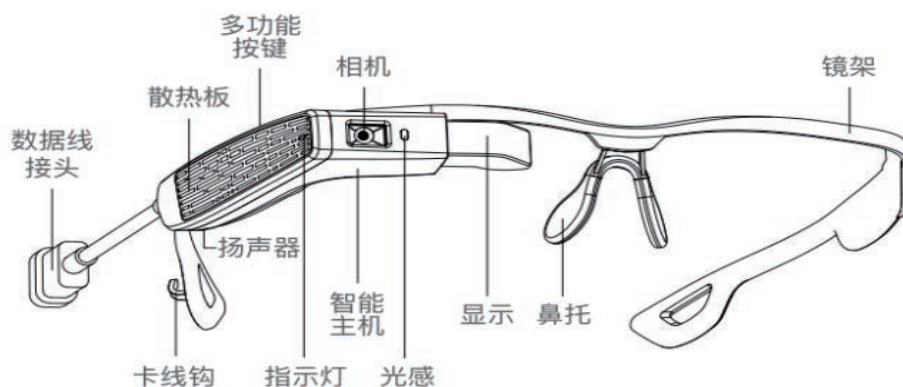


图 1-6 AR 辅助显示终端示意图



图 1-7 5G+AR 巡检与远程诊断系统现场应用

二、煤矿 5G 专网建设能力提升

（一）井工煤矿 5G 专网建设

煤矿井下环境复杂，5G 网络部署困难，需不断提升井下 5G 专网建设能力。目前井下 5G 隔爆基站重量已从最初的 100 千克减少到 25 千克左右，便于移动和部署，5G 通信系统逐步与原有的网络、系统进行融合，有效提升了对井下人员通信、传感信息采集、视频监控、远程控制等多种场景的适应性。

1. 井下大上行容量超千兆

在不改变 5G 基站硬件的情况下，将 TDD 时隙调整为 2:3，实现超千兆上行回传，满足井下工作面视频回传等场景的上行大容量需求；创新性采用分布式大规模 MIMO 方式，即在小区交叠区域分集接收，变干扰为增益，在非交叠区域实现空分复用，提升 MIMO 的流数，实现 5G 网络容量与体验的进一步提升；通过 5G 超级上行技术实现上行全时隙调度，大幅提升了 5G 网络的上行容量。

2. 井下广连接部署更简化

煤矿井下采集数据种类多、采集点位多，开发了融合 4G、5G 和 NB-IoT 的多模一体化矿用 5G 基站，在无线通信的同时可实现 NB-IoT 接入，简化了井下 5G 通信网络的建设难度，降低了井下网络运维复杂度。

3. 网络可靠性和可用性持续加强

通过在 5G 终端侧引入 AR 路由器，引入双发选收机制，在煤机设备与无线网络之间建立双链路连接，降低由于丢包带来的偶发时延抖动，使得井下设备远程操控更为可靠。

4. 井下 5G 基站部署方式多样化

多频段井工 5G 基站试点部署。在煤矿井下阈值功率不能超过 6W 的要求下，低频段 5G 基

站有着更大的覆盖，但 5G 低频段频谱带宽很小，故容量不够的缺陷也很明显。因此，在 5G 低频段基站的基础上，额外部署 5G 中高频段基站，有效解决井下特殊环境下扩大覆盖距离和增加容量的问题。

部署射频漏缆解决 5G 信号无法打穿薄煤层综采工作面的难题。薄煤层综采工作面因采高低、不平直导致 5G 天线部署困难，5G 传统面板天线容易被遮挡，5G 信号难以打穿整个综采工作面。在薄煤层综采工作面部署射频漏缆，有效实现了综采工作面 5G 信号全覆盖，并达成随时随地 100Mbit/s 以上的上行传输速率。

（二）露天煤矿 5G 专网建设

露天煤矿面积广、纵深大、设备移动频繁，需不断提升露天煤矿 5G 专网建设能力，部署大功率基站且部分基站做到可移动，以支持对不断延伸的露天矿坑的信号全覆盖。目前，已成功开发面向极寒气候零下 50 摄氏度的 5G 专用基站，可移动基站可抗 8 级大风，有效提升了对矿用卡车精准停靠、自动装卸、停车避让以及采剥设备的远程操控等多种场景的适应性。

1. 多类型基站混合组网提升覆盖和容量

露天煤矿已具备“固定基站+移动基站”多类型 5G 基站混合组网能力，移动基站支持 4G/5G 网络、宽带网络、卫星网络等多种回传方式，并通过拖曳式智能升降塔实现一键式升降和便捷搬迁，通过智能微波实时监控天线姿态、调整波束方向，天线晃动场景下仍可对准回传。基于本地智简分流架构实现网业一体化，保障开采作业区域的覆盖和容量，满足坑下业务的移动性覆盖需求。

2. 多频段协同提升可靠性

露天煤矿已具备 5G 多频段协同组网能力，中低频保障覆盖，中高频补充容量，通过双频双连接提升网络可靠性，确保业务不中断，满足对露天钻机等设备的远程操控以及矿用卡车无人驾驶等场景需求。

3. 基站定位技术

通过 5G+ 卫星，如北斗卫星定位系统的组合，露天定位精度达到亚米级，能够满足露天煤矿矿用卡车无人驾驶和编组作业等场景定位需求。

（三）5G 核心网部署更加灵活

将 UPF 和 MEC 就近部署在煤矿园区，一方面可保证数据不出园，另一方面 MEC 就近部署降低了数据的传送时延。

将应急控制面部署在园区，通过中心与边缘容灾协同，在园区入驻专网与中心网络失联时，能够自动切回到入驻专网的应急控制面，提升 5G 园区专网的可靠性，从而保证网断业务不断。

（四）煤矿 5G 专网运维

面向煤矿的 5G 专网运营平台，可实现 SLA 分级配置、网络监控和闭环保障的本地化 SLA 保障，实现网络可管、可视、可控。

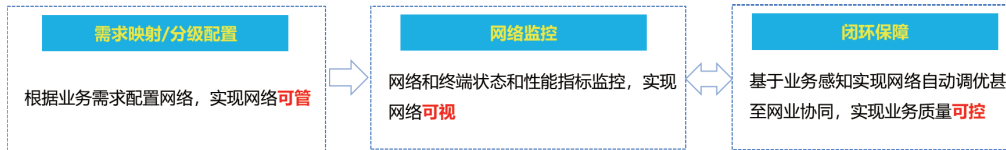


图 1-8 本地化 SLA 业务保障流程

对于 SLA 网络监控，专网运营平台能够通过关键指标采集监控网络状态和业务状态，实现网络和业务“可视”，具体包含服务指标监控、性能指标监控、业务体验监控以及告警监控等功能。

对于 SLA 闭环保障，可基于本地监控实现网络层和业务层的双向调节。一方面根据业务感知和需求变更，实现网络的敏捷调优，保障业务体验，达到网络适配业务；另一方面，基于网络覆盖质量或可用带宽预测等信息向上层业务开放网络能力，实现业务层对网络的能力调用和业务层调优，达到业务适配网络，如在矿山安防监控场景中，当出现网络质量波动以及带宽资源紧张时，业务层可根据可用带宽和信道质量信息，将视频监控由 1080P 自动适配为 720P，保证画面流畅，从而达到网业协同的效果，保障业务质量“可控”。

三、煤矿 5G 专用技术与设备研发

（一）5G 多频段融合组网系统

煤矿 5G 多频段融合组网系统主要包括融合平台、承载网平台、无线网平台等，总体架构如下图所示：

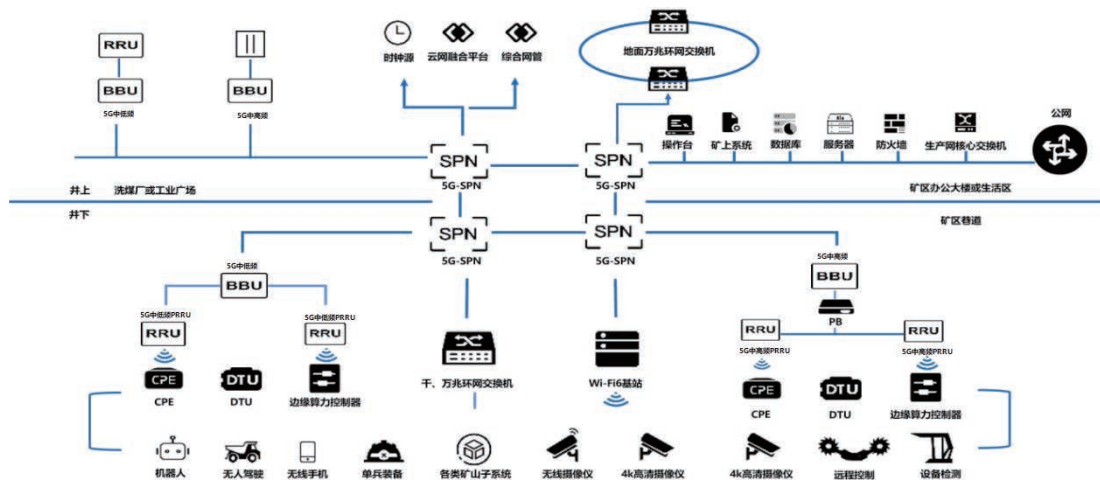


图 1-9 煤矿 5G 多频段融合组网系统总体架构

1. 核心层主要功能

- 融合平台（包含UPF、SMF、AMF、UDM等5G专网及IMS多媒体部署），同时5G时钟源、综合网管按需下沉到矿区。5G专网满足煤矿业务及安全需求，同时向行业用户提供部分网络管理、监测及独立运维等能力。

- 具备煤矿应用系统平台的能力。煤矿部分应用系统可部署在云网融合平台上，支持煤矿应用的生命周期管理；云网融合平台提供安全管理功能，包括煤矿应用系统认证和鉴权服务、组网安全防护，以及保证数据安全，包含数据管理、数据加密、数据隔离、数据防篡改、数据访问控制、数据防泄露等。

- 支持网络能力的开放，用户精确位置、带宽管理、应用管理、模型算法管理、设备管理、数据管理等连接能力可被煤矿应用系统调用。

- 提供计算能力：编解码转换、加解密、GPU、AI等计算能力被煤矿应用系统调用。

- 提供NAT功能：可将分流用户的源地址按分配的煤矿专网地址池进行转换。隐藏了内部网络结构，通过终端与煤矿服务端构建L2-LAN专线，方便煤矿应用对终端的操控管理。

2. 承载网主要功能

- 支持基于SDN管控融合架构，支持业务部署和运维的自动化能力，以及感知网络状态并进行实时优化的网络自优化能力。

- 支持基于灵活以太“FlexE”的切片技术，采用时分复用方式基于以太网物理层提供硬管道隔离及监视；切片带宽调整时业务无损。可支持丰富的切片颗粒度比如10Mbit/s、1Gbit/s、5Gbit/s等。

- 支持电信级故障检测和性能管理。

- 支持路径保护和节点保护，在发生故障时能进行电信级快速保护倒换。

- 网络设备支持同步以太网功能，实现稳定可靠的频率同步；支持1588v2等时间同步协议，实现高精度时间同步。

3. 无线网主要功能

- 无线接入设备具备5G多频多模硬件能力，以及eMBB、URLLC、mMTC业务能力。

- 5G终端接入支持蜂窝终端和IoT模组的接入认证、访问和数据处理。

- 支持数据路由功能，终端、基站到网络的数据路由配置管理。

- 支持将工业应用映射为相应的服务等级，管道能力具备差异化SLA控制，能为不同业务如数据传输类、远程控制类、视频类提供差异化服务等级。

（二）本质安全型 5G 系统

矿用本质安全型 5G 系统专网专建、专网专用，所有业务面应用及控制面信息直接在矿区内闭环，保障数据不出矿区，通过安全网关与公共网络进行互联互通。采用本质安全型 5G 融合基站、本质安全型 5G 数传终端、本质安全型 5G 手机，满足在井下任何地点、任何时间的使用需求。支持全矿井 5G、4G、有线通信调度融合，支持 UWB 人员精确定位、矿用应急广播。系统典型架构如下图所示：

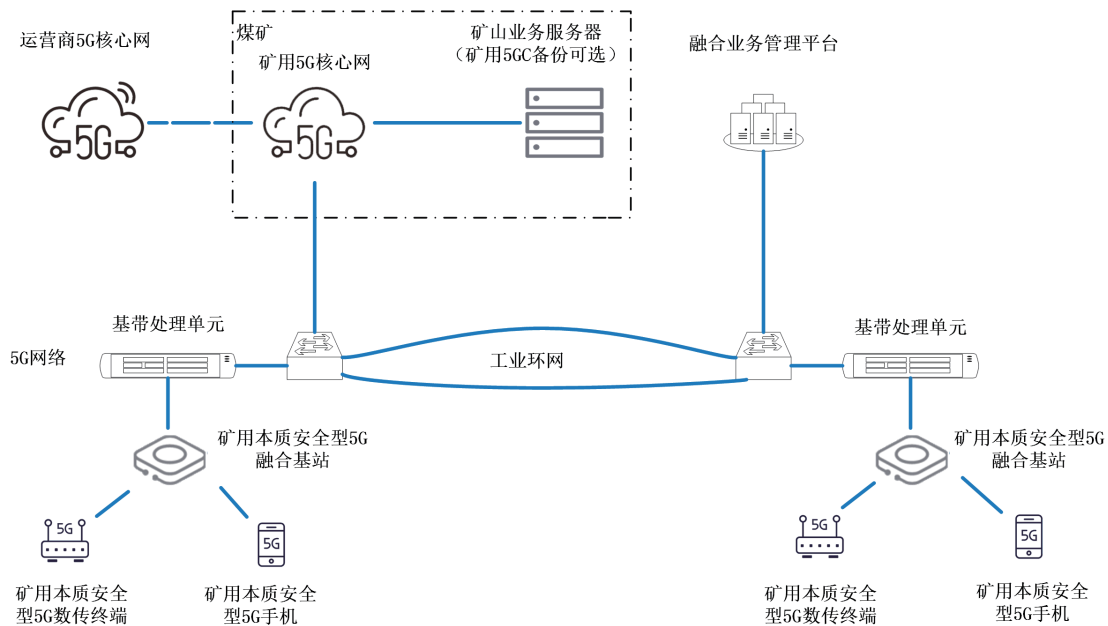


图 1-10 矿用本质安全型 5G 系统典型架构

1. 核心网络：基于煤矿企业运营 5GC 专用核心网，满足煤矿业务及安全需求，提供网络管理、监测功能，控制面遵循 3GPP 标准，具备全套的 5G/4G 核心网系统功能，高度集成的一体化设计，确保全矿井上井下建设为统一的一张矿用移动通信网络。

2. 无线接入网：采用本质安全型 5G 融合基站，支持 5G/4G 无线网络、UWB 精确定位、应急广播接入，减少系统重复建设，支持 5G VoNR 语音视频功能，支持独立传输及复用井下工业以太网。

（三）煤矿专用 5G 模组

目前，煤矿设备主要通过 5G CPE 接入 5G 网络，严重限制了 5G 系统低时延、大带宽、广连接性能，因此急需开发煤矿专用 5G 模组，实现各种主机装备及网络设备的接入。行业内现已开发出煤矿专用 5G 模组。为保证数据传输质量，5G 模组除了应符合煤安认证要求外，还应进行必要的性能认证。煤矿专用 5G 模组硬件设计如下：

- 采用本质安全型设计；

- 采用全网通设计，支持各个运营商的 5G、4G 网络；
- 可集成 Wi-Fi/Wi-Fi 6 芯片；
- 采用 PCBA 形式，方便各种终端设备集成；
- 支持的接口包括 SIM 卡插槽、TF 卡插槽、天线接口、LAN/WAN、RS232/RS485 等。

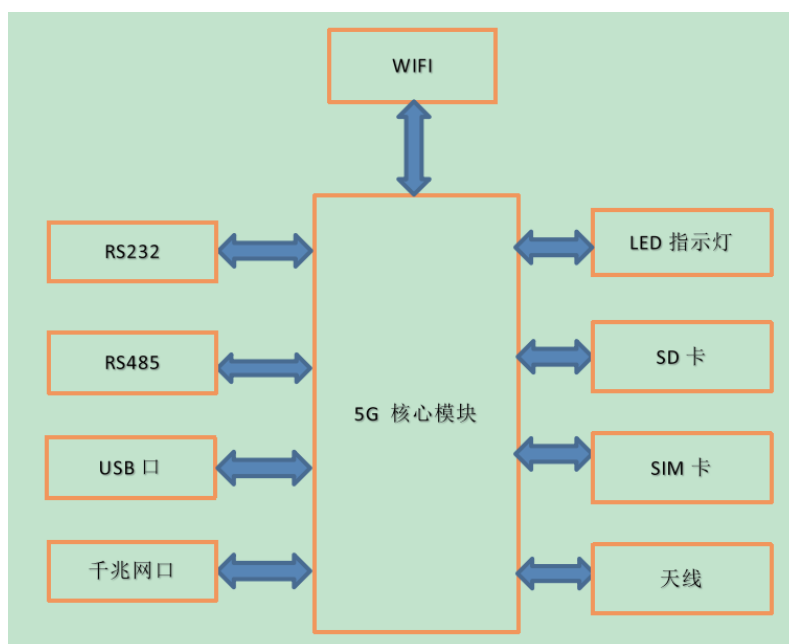


图 1-11 煤矿专用 5G 模组硬件示意框图

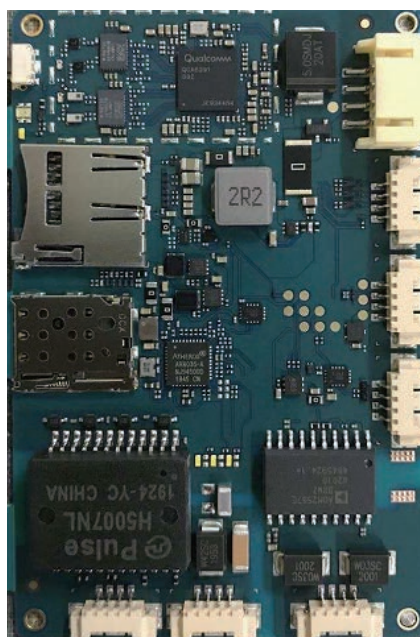


图 1-12 煤矿专用 5G 模组

功能特点如下：

- 5G 信号转换为标准以太网信号，实现有线终端接入；
- 采用标准千兆以太网电口，通过有线方式连接各类设备；
- 支持 RS485 接口以及工业协议；
- 可选 5G 信号转换为 Wi-Fi 信号，实现无线终端接入；
- 支持 2 层、3 层 VPN 协议；
- 兼容各种工业通讯协议；
- 支持 WebUI 进行软件设置，提供支持 VPN、NAT 等各种路由功能；
- 可提供 IoT 平台，实现模组的 FOTA 升级、维护、告警等功能；
- 可支持实时监测，随时掌握网络信号质量及数据传输情况。

（四）5G 终端设备开发

通过应用煤矿专用 5G 模组，已开发出具备 5G 通信能力的矿用摄像机、矿用陀螺仪、矿用测距传感器等多种终端设备，丰富煤矿 5G 终端设备形态。

矿用摄像机（5G）：具备煤矿井下视频采集功能，并将视频数据通过 5G 网络上传，可根据不同场景选择对应规格参数，部分产品还配备了 AI 智能分析模块。

矿用陀螺仪（5G）：具备测量载体角度、角速度、加速度及经纬度的功能，并将测量数据通过 5G 网络上传。

矿用测距传感器（5G）：具备红外视觉传感检测、激光测距、倾角测量等功能，能够准确监测刮板机上窜下滑量并通过 5G 网络进行数据上传，结合集控系统实现预警、报警。

四、煤矿 5G 标准制定

加快制定煤矿 5G 的设备要求、网络平台、数据接口、安全架构、场景应用等相关标准，建立涵盖纵向（终端、网络、平台）、横向（技术、测试、规划、建设、运维）两方面的煤矿 5G 应用技术标准体系，有助于规范煤矿 5G 技术的推广应用，推动 5G 应用场景与解决方案的标准化。

下表列出已立项的煤矿 5G 相关标准，目前正在制定过程中。下一步，将加强在 5G 通信模组、规划建设、设备安全、网络融合等方面的标准制定。

表1-1 已立项的煤矿5G相关标准

序号	内容	状态
1	煤矿用5G通信系统通用技术条件	国家能源局行业标准立项
2	煤矿用5G通信基站	国家能源局行业标准立项
3	煤矿用5G通信基站控制器	国家能源局行业标准立项
4	煤矿5G通信系统用通信终端	国家能源局行业标准立项
5	矿用5G通信系统使用及管理规范	国家能源局行业标准立项
6	煤矿5G通信网络设备接入通用技术条件	中国煤炭学会团体标准立项

第二部分 煤矿 5G 与工业互联网融合

煤矿工业互联网以打造“平台+服务+应用”新型业务支撑体系为目标，推动物联网、云计算、大数据、智能化、移动APP等信息技术在煤炭行业的应用、渗透和融合，助力煤矿实现“生产装备互联化、生产作业平台化、安全风险预警化、决策服务智能化”。煤矿工业互联网建设应充分考虑企业规模、生产条件、IT/OT系统建设情况，通过打通煤矿采、掘、机、运、通，煤炭产运销以及上下游各环节，实现煤矿子系统、整体生产、矿业集团经营管理的多级优化。

一、工业互联网平台

煤矿工业互联网平台包括边缘感知层、基础设施层、煤矿 PaaS 层和煤矿 APP 层。



图 2-1 煤矿工业互联网平台典型架构

- 边缘感知层提供多源异构数据采集能力。通过设备接入、协议转换连接矿井开采、掘进、运输、通风等种类众多的设备，实现设备状态可视、分析、预测、报警等，以及设备之间的联动控制，达到业务和控制智能闭环。

- 基础设施层 (IaaS) 提供海量数据处理能力。通过计算、网络、存储等资源的虚拟化，提供高速信息网络、位置服务、计算资源等信息基础设施。

- 煤矿 PaaS 层提供机理模型和 Knowhow 模型沉淀能力。积累煤矿工业算法、机理模型、专家经验，形成煤矿可复用的知识库，并提供煤矿 APP 创建、测试和部署的开发环境，向下调用设备、系统等资源，向上承载煤矿 APP 应用；提供数据存储、数据治理、信息模型、机理模型、AI 人工智能以及 OT/IT 快速开发工具等。

- 煤矿 APP 层提供智能化应用。使用平台快速开发工具调用 PaaS 层的机理模型、AI 模型、信息模型，面向个性化场景实现煤矿工业 APP 应用；提供生产管控、安全生产、设备管理、数字孪生、智能决策等服务，以及 PC 桌面、大屏展示、移动端等多种展示方式。

二、云边协同

考虑多数大型煤炭生产企业的组织管理架构，煤矿可作为“生产中心”，选择轻量级云或者应用级平台，对生产资源进行优化配置，积累煤矿生产工艺、设备预测性维护、安全态势感知、安全隐患预测、风险预警等机理模型；集团总部或二级（区域）公司可作为“能力中心+运营中心”，建设全栈云平台，承载数字化运营业务。云平台运维能力可构建在云上，实现所属煤矿的生产管理、安全管理、经营管理等，在平台上不断积累知识模型，在煤矿复用，不断提高生产经营效率，降低运维成本。

以下图所示的工业互联网云边协同典型架构为例：

- 1) 云侧可提供应用统一管理 with 数据统一展示分析功能，汇聚海量多源异构数据，基于模型和算法挖掘数据价值，使数据服务化，赋能行业应用；

- 2) 边侧对接云平台将生产相关各类应用下发至本地，提供数据清洗、数据脱敏、安全隔离等功能，满足云边数据协同与数据安全要求；

- 3) 网络侧针对生产系统、监控系统等实时性要求高的应用，进一步下沉至现场边缘智能网关，提供联动功能，同时对接云端网络管理平台，提供云一边一端一体化管理方式。

面对智能化煤矿应用的多元化需求，基础架构可向云化演进。采用软件定义数据中心架构，将网络功能、计算功能、存储功能和安全功能全部软件化，并以服务的形式实现传统数据中心完成的功能。

- 计算资源规划设计。在资源池的基础上，通过安装计算虚拟化软件，将 CPU、内存、I/O 等服务器物理资源转化为一组可统一管理、调度和分配的逻辑资源，构建多个同时运行、相

互隔离的云主机执行环境，在提高资源利用效率的同时满足更加灵活的资源动态分配需求。

- 存储资源规划设计。在基础设施云架构下，按照软件定义存储思路，构建存储基础架构，消除软件对专有硬件的依赖性，提高存储系统的可靠性、可用性和存取效率。
- 网络虚拟化资源规划设计。利用网络虚拟化在一个物理网络上模拟出多个虚拟网络，包括网卡的虚拟化、物理网络设备的虚拟化、租户网络的虚拟化以及网络功能的虚拟化。



图 2-2 工业互联网云边协同典型架构

三、矿山鸿蒙操作系统

矿山鸿蒙操作系统是面向物联网设计的操作系统，能够实现装备的信息统一，推动装备智能化；具备分布式架构、分布式的软总线、分布式的数据管理以及分布式的安全能力，具备对近场以及物联网装备进行统一管理的能力；100%的国产化实现煤矿行业的安全可信、供应连续保障。

矿山鸿蒙操作系统提供统一的数据格式，统一的装备“语言”，为数据高效收集和流动提供基础，可从底层解决配接设备标准化问题：支持上层业务弹性部署，满足所有设备需求；硬件资源可共享，设备在系统层面融为一体，形成超级终端；一次开发多端部署，即一次逻辑代码支持开发跨端无缝流转的服务，使传感器等非智能向智能化升级，从而支撑近控、多系统井下融合等业务创新。

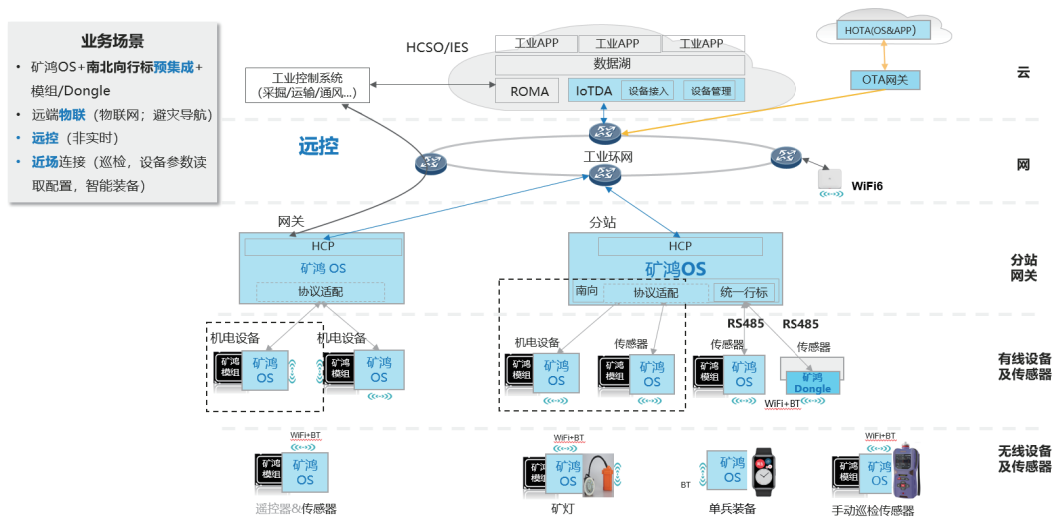


图 2-3 矿山鸿蒙操作系统应用架构

目前矿山鸿蒙操作系统已经在国家能源集团神东煤炭公司 4 个矿厂、6 个场景成功应用了 20 种 398 台设备，应用效果显著。

- 利用矿山鸿蒙操作系统的软总线近场功能，支架及各传感器自动近场连接至作业人员的手机上，工作人员在移动过程中，距离最近的支架控制器信息会自动切换，实现了“无屏变有屏、小屏变大屏、固定按键操作变手机移动操作”的新操作模式。

- 支架检修工可以手持手机，通过鸿蒙操作系统的软总线近场发现功能，自动切换显示附近已连接支架的信息，如查看支架立柱的压力、推移行程等，发现问题后，操作人员通过权限认证，可通过手机对支架进行控制。

- 工作面巡检及三维激光扫描机器人通过矿山鸿蒙一碰连功能对巡检机器人的参数进行查看、修改及控制，手机贴近该设备识别卡，即可以与井下设备连接。

四、AI 视频识别

AI 技术可用于对煤矿生产各个环节的视频进行采集、传输、识别和分析处理，助力煤矿智能化建设。煤矿 AI 视频识别平台建设应用应遵循安全性、可靠性、实用性、一矿一策原则。

煤矿 AI 视频识别平台主要由前端视频识别分析系统、网络传输系统、后端管理系统等组成。前端视频识别分析系统通过部署 AI 摄像头与 AI 视频分析装置，就地实现数据采集、分析、存储与上传，并与煤矿通信联络系统、生产自动化系统、安全监控系统联动协同。

网络传输系统包括工业环网和 4G /5G/Wi-Fi 高速传输网络，集团级主干网络带宽应在万兆级，分公司汇聚层网络带宽应在千兆级，矿区监控网络带宽应在百兆级。各级平台的互联

服务质量等级应满足网络时延不大于 150ms、丢包率不大于 1×10^{-3} 的要求。

后端管理系统由AI视频分析装置、视频管理服务器、视频分析管理平台和事件资源库、业务应用等组成，负责数据的汇聚、处理、存储和管理。

目前AI视频识别应用场景主要包括人员行为分析与监管、皮带柔性控制、工作面监管、巡检监管、重点目标监管和设备检测六大方向，典型应用场景如下：

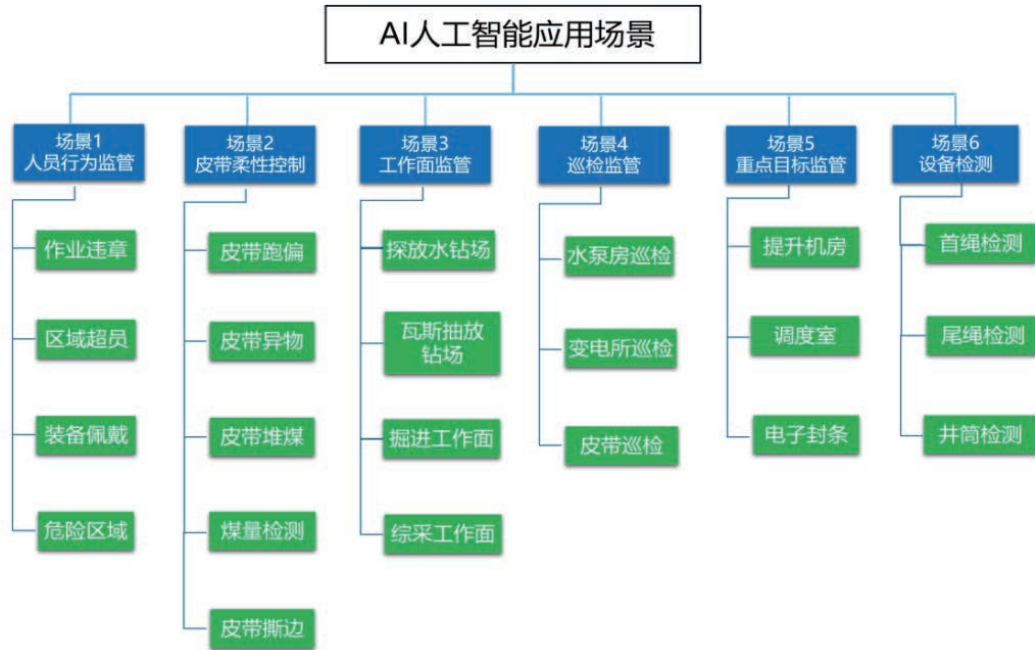


图 2-4 煤矿 AI 视频识别主要应用场景

1. 综采工作面AI视频识别

- 建立综采工作面视频图像可视化系统，实现采煤机图像跟机监控。
- 具备采煤机状态识别与跟踪功能，实时识别煤机滚筒位置，且滚筒位置与支护距离超过设定值时自动预警。
- 具备液压支架支护状态监控功能，识别液压支架支护展开和收起状态，支护状态异常时发出联动指令，控制采煤机停车。
- 具备危险区域人员禁入功能，在工作面上隅角、下隅角、刮板输送机内、液压支架架前区域、刮板输送机机头和机尾附近等区域实现人员识别、行为预警和语音提醒。
- 具备刮板输送机大块煤识别功能，可自主设定尺寸，对刮板输送机内的大块煤进行识别。

- 具备刮板输送机断链、拉斜的识别报警功能。

2. 掘进工作面AI视频识别

● 具备掘进工作面关键作业工艺过程监管功能，对敲帮问顶、前探梁安装、背板结顶等作业工艺过程进行智能识别监管，对违规行为抓拍报警。统计掘进区域人员数量，实现超员报警并闭锁设备。

● 具备掘进机危险区域人员入侵识别和联动控制功能，在掘进机工作区划定危险区域，人员闯入时掘进机禁止启动或控制停机，同时现场音频告警。

3. 智能主煤流运输AI视频识别

● 具备煤流煤量识别功能，可按小时、天、周、月、年对煤量进行统计和查询。

● 具备皮带大块煤检测功能，可进行尺寸分级和统计、实时检测并抓拍。

● 具备皮带异物检测功能，可实时抓拍异物、锚杆等，根据报警级别进行分类统计。

● 具备转载点堆煤、皮带跑偏、皮带纵撕、皮带表面损伤、驱动轴超温、巷道发火等检测功能，自动报警并抓拍取证检测，同时可输出信号控制皮带停车。

4. 智能通风AI视频识别

● 识别行人、车辆，风门开启/关闭状态，自动开启/关闭对应风门。

● 识别车辆顶撞风门、行人通行走大风门、同时开启两道风门等违规行为。

● 具备自动风门的防夹功能。

● 具备地面监控、远程控制调节风门功能。

5. 智能排水与供电AI视频识别

● 具备泵房和变电站硐室的人员识别、违章识别、语音预警、巡检任务确认等功能。

6. 智能辅助运输AI视频识别

● 对无极绳、斜巷绞车等系统的挂车进行识别并统计，对超挂车进行报警。

● 识别通过路口车辆类型，根据重载、载人、上坡车辆优先通过等规则，智能控制路口信号灯；实时识别井下信号灯的异常状态并报警。

● 识别行人经过路口，路口声光报警器语音提示行人和司机。

● 识别行人、车辆违章闯红灯行为，语音提示行人、司机违章行为，同时将违章信息上

传地面。

- 具备车辆超速抓拍、区域测速等功能。

7. 智能提升AI视频识别

- 具备尾绳监测功能，检测尾绳运行状态，对摆动异常、尾绳散股、尾绳缠绕、尾绳脱落等进行报警。

- 具备首绳检测功能，可实时检测每根钢丝绳直径、捻距、断丝、变形、磨损等外观缺陷并预警，可按周、月、季度、年查询钢丝绳全生命周期状态趋势。

- 具备井底落煤堆煤检测功能，检测到堆煤高度达到设定的阈值时自动报警，同时输出联动信号给提升系统，控制提升机停钩。

- 具备箕斗残留检测功能，箕斗卸载残留达到设定阈值时自动报警、抓拍照片及录像、生成报警记录。同时输出联动信号给提升系统，控制提升机停钩。

8. 钻场智能管理AI视频识别

- 具备视频识别计数验钻功能，可按打钻过程自动进行视频存储，并实现打钻视频与钻孔台账关联，可将打钻参数与视频实时叠加。

9. 三违管理AI视频识别

- 周界识别：进入盲巷或栅栏内；斜巷提升时信号工、把钩工未进入躲避硐；无极绳绞车（卡轨车）钢丝绳牵引运输时，在封闭区域内作业或行人；不经“过桥”，直接跨越运行中的带式输送机或未封闭段转载机；采煤机滚筒上、下3m机道范围内有人而启动采煤机；采煤机运行时，人员进入机道范围内；综掘机、综采机、耙矸机运行时，人员进入规程措施规定的警戒范围内；擅闯各类警戒区域（变电所、井口）。

- 人员行为识别：入井时通过人脸识别比对进行入井统计；特殊岗位班中脱岗或睡岗、地面瓦斯抽放站内吸烟；井下变电所、地面变电所操作人员不戴绝缘手套，不穿电工绝缘靴；井下不带安全帽、未戴口罩进入采掘面；向运行皮带上铲煤或杂物；未按时进行主副井验绳；变电所内巡检人员没有按计划路线巡检；机车异轨抵车或拉车、用机车或矿车顶开风门；在风锤、锚杆机、单体、钻机、综掘机炮头、矿（叉）车车沿、耙斗上作业；钻机正在钻进时，跨越、低头钻过钻具或从后方通过；钻机运转时操作人员离开操作台；钻杆运行时，打钻人员站在钻杆的正后方；打钻出水时起钻操作；使用风锤打眼时，人员从钻杆下方通过；采煤机割煤时，滚筒上、下5架范围内，支架前立柱与电缆槽间行走或逗留；斜巷提升车场内车辆未停稳进行摘挂钩、掩（锁）车。

- 物体识别：斜巷提升超挂车、不挂保险绳、不插销（链）；掘进工作面迎面需挂网临时防护，作业时未挂网；打钻作业，可识别出钻孔工作的次数，实现钻孔数目的自动计数；落煤

□或转载点煤炭堆积。

10. 选煤厂 AI 视频识别

● 具备人员行为管理、定时巡检、设备不安全状态识别、振动筛检测识别、破碎机磨损检测识别、压滤机检测识别等功能。

11. 露天煤矿 AI 视频识别

● 具备司机违章行为、作业半径及危险区域检测、车辆待装无序、坡道停车、车距过近、举斗行车、采高超高、狭窄道路并排行驶、重车超车、弯道超车、超装偏装、未避让通勤车、车辆未做支护、三废未回收、炸药车辆无引领、炸药车行车无秩序、排土线安全挡墙不连续、没有反坡等智能识别功能。

五、5G 融合

利用 5G 高可靠、高带宽、低时延的特性，可有效解决传统工业网络中大规模数据视频采集、无线感知、精准操控、无线远控等难题。

MEC 和 5G 与工业互联网的融合为煤矿智能化改造提供了空间，MEC 可以实现对业务数据的近端处理，进一步降低业务时延，提升远程控制、远程协作等能力。5G 可为 AI 应用提供低时延、超大规模连接，并且将 AI 应用延伸到网络边缘。

工业互联网也为 5G 应用开辟了广阔空间，是 5G 最主要的应用场景，“5G + MEC + 工业互联网”将是新一代信息技术与煤炭开发利用深度融合发展的重要方向之一，可有效促进各生产要素间的高效协同，助力煤矿智能化建设。

第三部分 典型应用案例

一、潞安化工集团新元煤矿混合虚拟专网架构

潞安化工集团新元公司开通全国首个 5G 井下业务，覆盖关键场所，进行了网络性能测试和网络优化，形成了增强型煤矿 5G 专网。同时，搭建 SPN 融合网络，将 5G 和煤矿原有网络进行统一管理，利用切片技术实现业务有效隔离。开展基于 5G 网络的智能化采掘工作面、巡检机器人、窄带物联网、视频 AI 识别、数字化流程作业的研究与应用。另外，开展煤矿工业互联网平台的探索试验，汇聚矿井海量数据进行智能分析决策。

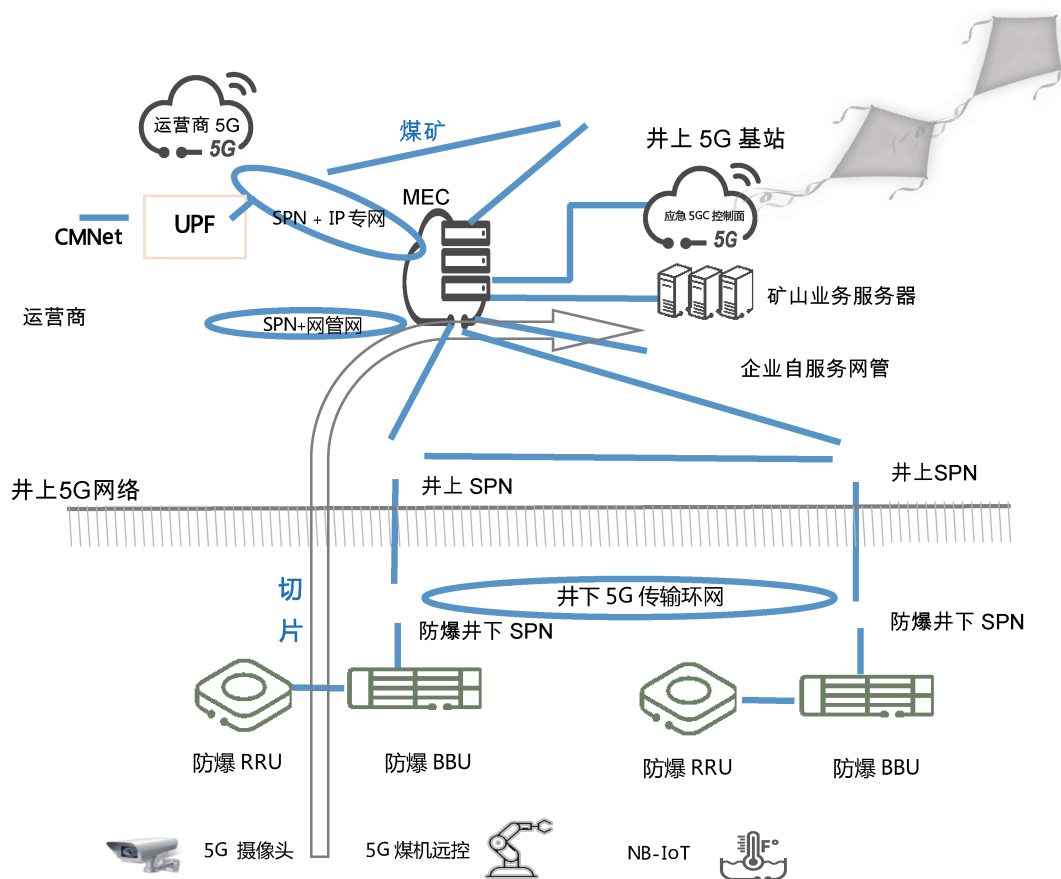


图3-1 混合虚拟专网架构

1.完成公网专用+边缘计算部署，实现主数据处理不出矿，确保数据安全，降低数据传输时延。

2.实现5G网络灵活时隙配比在井下应用部署，研发完成上行峰值速率1100Mbit/s，下行峰值速率300Mbit/s的时隙配比为2：3的典型5G网络。

3.完成“UPF+”方案部署，保证在核心网中断的情况下，园区业务不中断。

4.完成SPN切片分组网络建设，实现控制、视频切片数据传输，满足井下不同业务传输的要求，将已有的矿用工业环网、视频PON、瓦斯抽采监测网等进行融合统一管理，解决井下多张网络重复投资、维护量大、升级困难等难题，同时提供50GHz的通信带宽，为智能化煤矿提供传输基础保障。

5.完成MEP应用部署，实现MEC边缘计算平台应用。

二、中煤集团大海则煤矿700MHz+2.6GHz融合

中煤陕西公司大海则煤矿通过构建矿山有线无线一张网，为未来无人驾驶和自主导航运输、无人采掘、远程工业控制、煤矿机器人、矿用无人机等应用，提供低时延、广连接、大带宽的技术保障。建设轻量级5GC核心网，采用700MHz+2.6GHz频段混合组网方式，实现了大海则煤矿井下全区域5G无线网络覆盖，满足煤矿井下生产高可靠、数据不出园、业务安全隔离、低时延、大带宽等诉求。在智能采煤方面，通过云网融合平台实现人员位置信息、设备位置信息、设备状态信息的实时监测。运用云网融合技术将5G、Wi-Fi、有线网络等多频、多网进行融合，满足矿区多网段多协议组网。



图 3-2 多频段混合组网

1. 煤炭行业首次采用 5G 700MHz 频段，单基站覆盖(直径 1300~1800 米)，平均吞吐率满足上行 160Mbit/s，边缘上行吞吐率大于 10Mbit/s/用户。控制类业务网络时延小于 50ms，可靠性 99.99%，具有覆盖能力强、组网成本低、信号绕射和穿透能力强、信号传输效率高等优势。
2. 煤矿采掘工作面复杂场景无死角覆盖。700MHz+2.6GHz 混合频段组网解决在煤矿采掘工作面、拐弯、上山/下山、起伏、死角等复杂场景下覆盖问题。
3. MOCN 首次赋能煤矿融合通信。一套无线网络可以同时连接到多个核心网节点，实现专网+公网无缝衔接，5G 通话与地面公网对接互通。

三、内蒙古智能煤炭公司麻地梁煤矿端到端采煤控制

麻地梁煤矿完成煤矿井上井下 5G 网络覆盖，并实现了 5G 网络与工业互联网数据互通，打破了 5G 专网的访问限制，形成了多元化网络，满足 5G 通讯多种应用场景中的需求。麻地梁煤矿采煤机 5G 端到端远控技术已落地使用，服务于煤矿日常安全生产并取消了井下采煤工作面顺槽集控仓，基于 AR 双发选收技术的采煤机 5G 控制达到商用、推广能力。

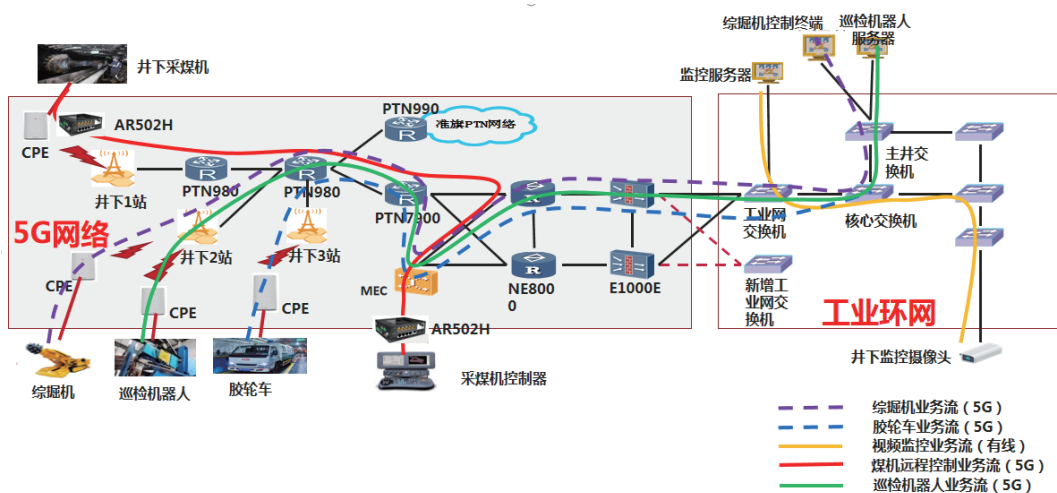


图 3-3 麻地梁煤矿网络架构

1. 双 CPE 链路实现煤机 5G 远控

通过地面煤机集控上位机 - CPE (地面) - MEC - CPE (井下) - 交换机 (采煤机控制) 的双 CPE 连接方式，打通了采煤机二层专有协议传输，成功实现采煤机端到端 5G 控制。

2. 有线/无线冗余备用网络控制

通过安装冗余网络控制装置，建立了采煤机 5G 空口传输网络及光纤有线传输网络双链路通讯。冗余网络控制装置配套煤机专用冗余网络控制模块，嵌入 L2 冗余链路状态监测算法、链路切换广播风暴抑制算法、L4 信标链路状态监测算法、网络流量监控算法、煤机远控数据

参数监控算法等，通过定时发送网络检测报文，实现在煤机 5G 通讯网络异常时，自动切换至光纤有线链路，保障采煤机地面远控可靠性。

3. AR 双发选收技术

由于工作面环境复杂，垂直于 5G 网络覆盖方向的金属物太多（支架等），“镜子效应”干扰严重，导致采煤机 5G 网络延时抖动频繁，通过应用 AR 双发选收技术成功解决该问题。在煤机终端与地面调度集控室均部署 1 台 AR 双发选收交换机，煤机或地面煤机集控上位机发出的数据通过 AR 双发选收交换机复制成 2 组数据包，通过 AR 交换机、CPE 两路 5G 空口链路进行传输，至另一段 AR 交换机时，从两组数据包择优选择延时低的数据包收取组合。

四、国家能源集团老石旦煤矿全景工作面

老石旦煤矿“5G+全景工作面”采用无线传感器、无线摄像仪，基于 5G 网络的高带宽、高可靠性实现传感数据、视频信息、参数控制信号的高速传输，最终实现工作面全景漫游和跟机、跟人、跟架。

工作面部分：摄像仪与工作面平行，照向支架、刮板、溜槽。采用 5G 模组的 4K 高清摄像仪，通过 5G 网络实现数据传输，有效解决需要高清画质且光线复杂场所的监控需求。以 200 米综采面为例：每 5-6 架部署 1 台 4K 高清摄像头共 35 台，通过全景工作面拼接软件实现整个工作面的展示。

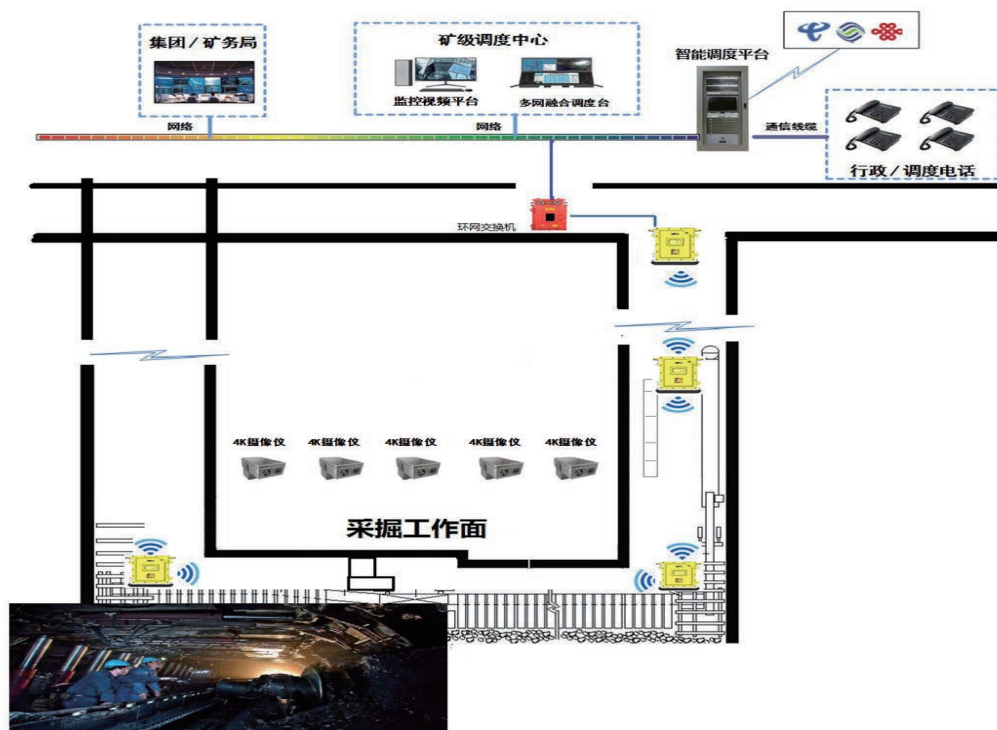


图 3-4 全景工作面系统架构

地面部分：安装全景图像拼接软件及流媒体传输软件，通过坐标变换技术、图像智能矫正技术、多路大视频流的并发处理技术、低时延融合技术、AI视觉感知算法等实现全景漫游和实时跟踪。

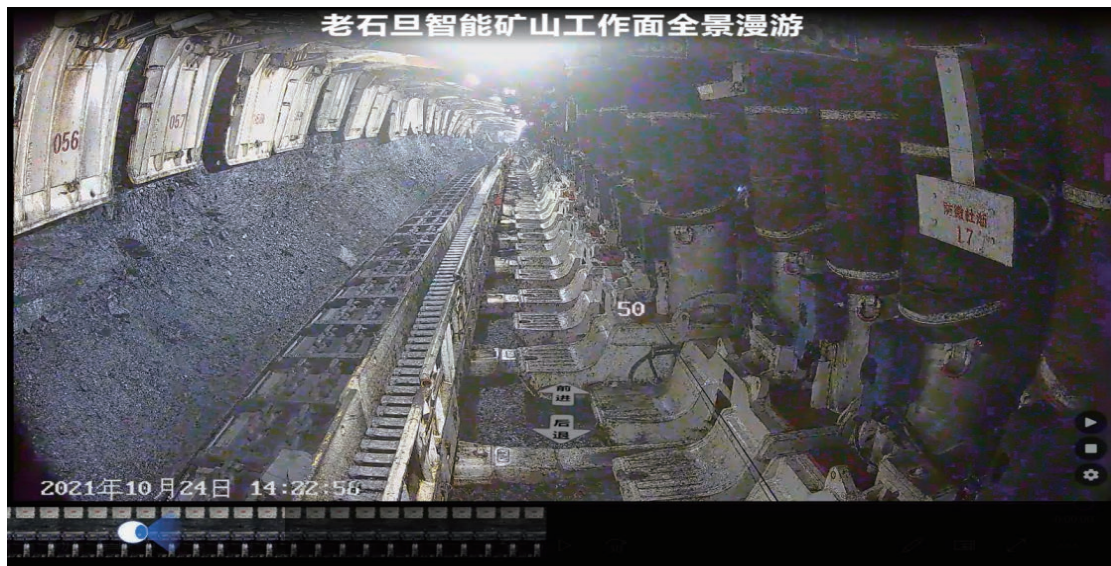


图 3-5 工作面全景漫游

五、国家能源集团乌兰木伦煤矿基于 pRRU+ 漏缆组网应用

首套基于 pRRU+ 漏缆组网的 5G 技术在神东乌兰木伦煤矿综采工作面测试成功，实现综采工作面 5G 信号全覆盖。

通过在工作面电缆槽内铺设两条漏缆，用两台 5G pRRU 连接，共同组成一个 2T2R 单一小区，实测达成综采面上行传输 100Mbit/s，有效避免综采面中部区域小区切换带来的丢包和时延抖动，大幅提高采煤机数据传输的可靠性。此外，无线信号的传输损耗明显小于在空气中的传播损耗，实现 5G 信号无缝全覆盖。

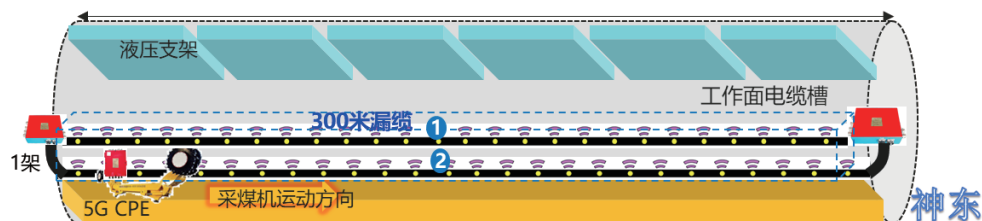


图 3-6 基于 pRRU+ 漏缆组网技术方案示意图

该技术尤其适合薄煤层综采工作面，能有效克服薄煤层因采高高低、不平直导致 5G 天线部署困难，以及 5G 天线易被采煤机或工作人员遮挡、NLOS 传输环境难以打穿整个综采面等问

题。应用该技术能高效捕捉到煤机在割煤作业时的动态情景，可实现煤机上搭载的 4K 高清摄像头视频数据实时回传，具有可移动、低时延、高可靠等特点，让整个采煤作业看得见、看得清、看得流畅，为煤矿井下安防、危险场所作业、虚拟现实、高清视频回传、高精度实时定位、远程控制、无人驾驶、协同运维等提供新途径。

六、国家能源集团上湾煤矿 5G+UWB 融合应用

上湾煤矿将 100G 承载网应用于全矿井，在副斜井、辅运大巷、中央变电所、采煤工作面以及掘进工作面等应用场景覆盖 5G 网络，并实现井下 5G+UWB 技术融合，提供大带宽、低时延“高速公路”和井下精准的“定位导航”。通过“切片+MEC+虚拟无线专网”方案构建了 5G 智慧矿井，提升井下安全生产智能化水平，增强矿区数据安全性及网络可靠性，为井下无人驾驶、高清视频传输、综采及掘进工作面透明监测、井下工业控制、机器人智能巡检、AR 增强培训等应用，打下坚实的技术及平台基础。

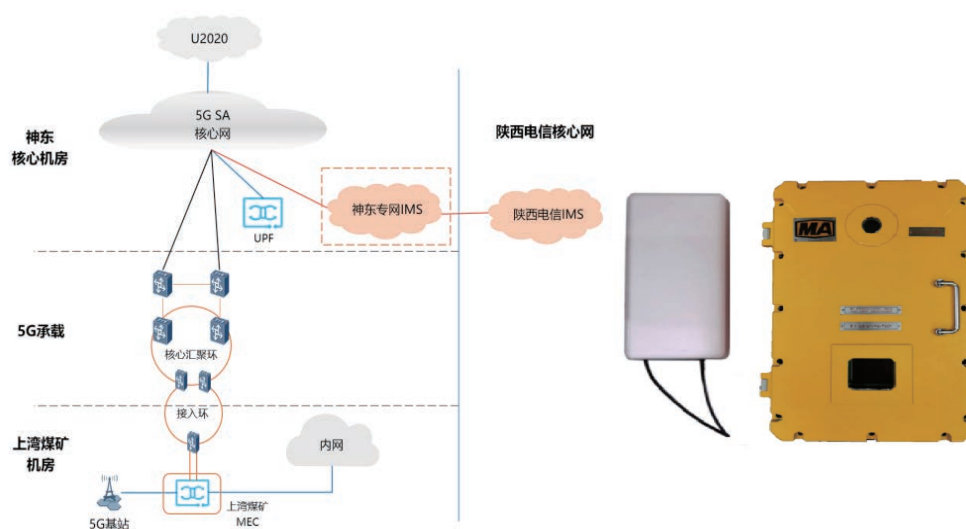


图 3-7 上湾煤矿 5G+UWB 融合应用

七、国家能源集团宝日希勒露天煤矿无人驾驶

宝日希勒露天煤矿基于移动 5G SA 网络架构，采用宏基站组网方式，实现整个露天煤矿无人驾驶车辆的自主作业、视频回传、远程控制和应急接管等业务需求。建设的 6 处 5G 基站均采用移动基站车建站方式，实现了“业动网随”的灵活建设模式，将两套主备 MEC 下沉至矿区机房，满足数据安全和低时延条件。

1. 极寒气候环境露天矿 5G+ 无人驾驶卡车编组。基于 5G 网络对 5 台 220 吨矿卡升级改造，与一台遥控推土机、一台电铲及洒水车、平路机等辅助作业车辆形成一套完整的露天矿无人运输作业系统。先后完成矿卡改造、5G 网络建设、封闭场地测试、作业现场试验、冬季极寒验证等，5 台无人矿用卡车累计运行 5 万余公里、累计运输土方量 60 余万立方米。



图 3-8 无人驾驶卡车编组

2. 极寒气候 5G 智能遥控推土机。通过 5G 网络将现场的工作状态、视频画面等实时回传至遥控驾驶舱，在国产大马力推土机 SD90-5E 的基础上，将各类传感器、视频采集以及控制器等全部进行耐低温化改造，采用一人控三机技术，通过先进的力反馈仿真系统和全息裸眼 3D 技术呈现现场级效果，结合智能控制技术，让操作者远离施工现场，提升生产作业效率、减少人力成本，增强作业安全性和可持续性。



图 3-9 智能遥控推土机

八、山东能源集团鲍店煤矿掘进工作面远程操控

鲍店煤矿胶轮车副巷掘进面掘进迎头和远程监控中心通过部署 5G+ 智能掘进成套装备，利用高速率、低时延的煤矿 5G 专网实现工作面环境状态实时监测，实现掘进机一键启停、远程实时监控、自动化截割等智能化掘进作业的常态化运行。



图 3-10 掘进工作面 5G 基站现场安装图

通过在掘进机机身安装内置 5G 通信模块的矿用高精度惯导装置，实现了掘进机自主定位、定姿、定向功能，矿用高精度惯导装置实时采集掘进机三维位置、姿态信息，通过 5G 专网传输至工作面监控中心控制主机，实现机身相对巷道的位置、姿态偏移量的监测和显示，通过联控对接掘进机控制系统，实现掘进机航向偏差的修正和补偿，目前鲍店煤矿胶轮车副巷掘进工作面已实现机载惯导系统位姿监测功能的常态化应用。



图 3-11 惯导系统装置现场安装图

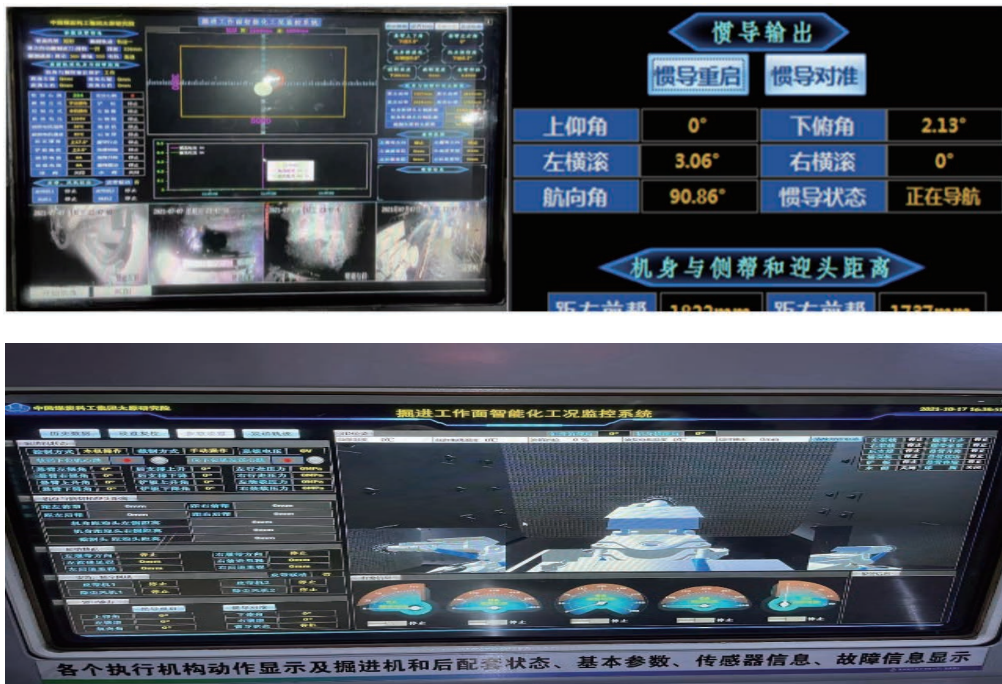


图 3-12 掘进工作面智能远程控制主机惯导数据显示

九、吕梁东义集团煤气化公司鑫岩煤矿电机车辅助运输

鑫岩煤矿围绕建设智能化辅助运输系统，以实现井下车辆远程驾驶为目标，建设井下车联网智能调度系统，利用无线网络实现车辆音频调度、语音通话，实现车辆定位、超速告警、机车信息实时显示、远程监控等。

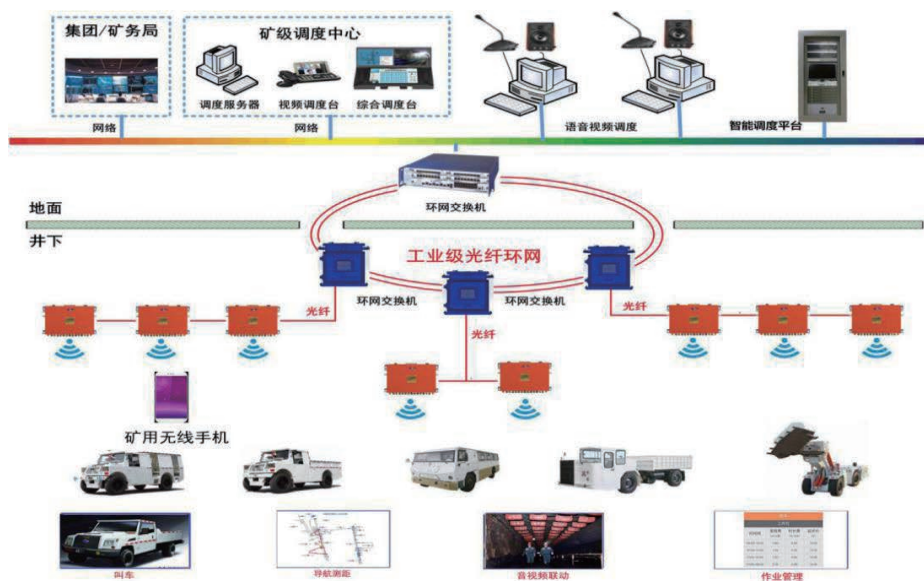


图 3-13 井下车联网智能调度系统

在建设车联网智能调度的基础上采用 5G+MEC+AI 技术，建设井下车辆远程驾驶系统，融合车辆线控控制、定位、5G 通讯、防碰撞等技术，具有劳动强度低、运输效率高、安全系数高等特点，可有效避免人为误操作、疲劳驾驶、违章作业等造成的运输事故，并可实现运输车辆、路线、时间的统一调度，促使井下运输效率成倍提升。

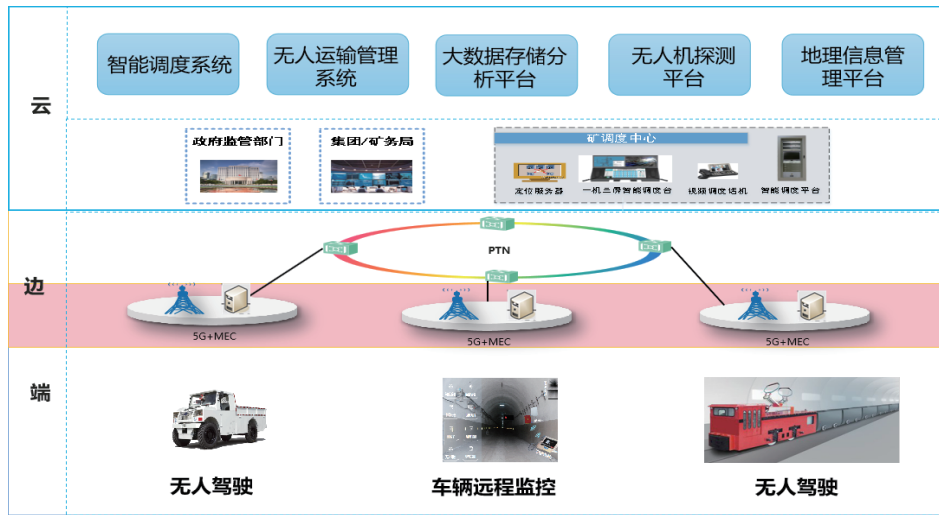


图 3-14 井下车辆远程驾驶系统架构图

十、山西陆合集团基安达煤矿无极绳绞车远程控制应用

基安达煤矿研发应用无极绳绞车 5G 电控系统，实现了无极绳绞车的本地/远程控制、高清移动视频回传和手机端 APP 远程打点、远程急停控制，解决了人工操作的效率问题。

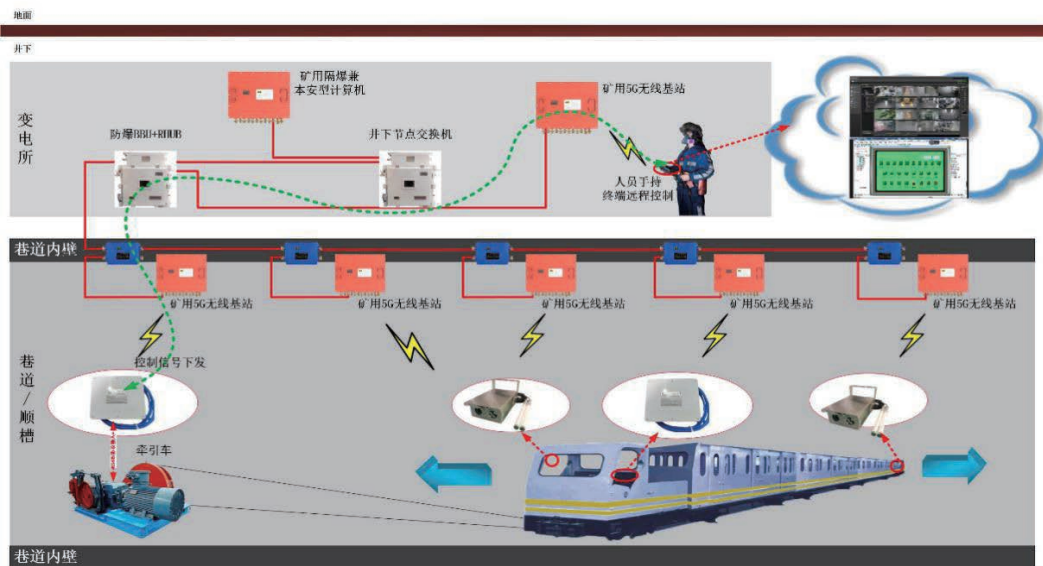


图 3-15 无极绳绞车远程控制示意图

十一、蒙发能源控股集团窝兔沟煤矿 5G+ 矿山工业互联网平台应用

窝兔沟煤矿采用智慧矿山“1+1+1+N”整体解决方案，在园区内提供整体 5G 专网覆盖服务，搭建移动边缘云，建设智慧矿山工业互联网平台和 5G 应用场景，实现“5G+云+平台+应用”智慧矿山一体化解决方案落地，完成 5G+AICDE 的全面融合。



图 3-16 窝兔沟煤矿一体化解决方案架构

1. 网：井上井下 5G 网络全覆盖，赋能前端应用。SA 独立组网架构，采用双路由组网，保障网络安全可靠性；5G+MEC，精细化分流，实现低时延控制；灵活时隙配比，提供超级网络上行。

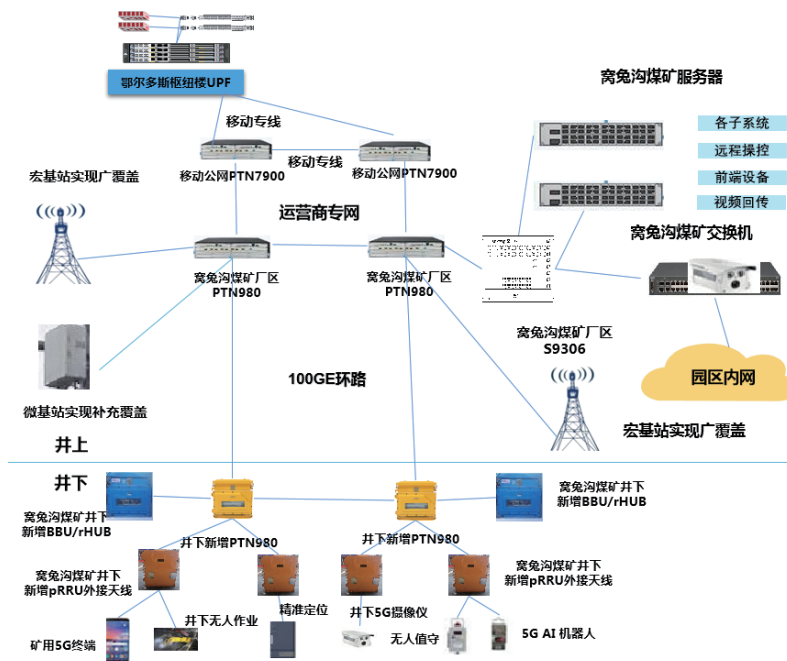


图 3-17 窝兔沟煤矿网络拓扑图

2.云：部署矿山边缘云，助推各子系统高效运行。新建移动云边缘节点，实现电信级运营，数据、设备安全有保障；煤矿无须新建DC机房，无后期维护压力，实现数据IP化、调度室设备简洁化。

3.平台：建设煤矿工业互联网平台，实现子系统的融合贯通、智能联动，融合大数据分析、数字孪生等技术打造三维GIS一张图应用，真正实现智能矿山融合管控。

4.应用：落地5G创新应用，助力煤矿“少人化”。基于5G网络支撑，依托矿山工业互联网平台，打造5G煤流集控、机电硐室无人值守、AI人员管理、人员车辆精确定位等创新应用。

十二、中煤集团门克庆煤矿工业互联网平台应用

门克庆煤矿工业互联网平台利用大数据和人工智能技术，以“深度融合、智能分析”为主线，在自动化监控系统数据采集的基础上，通过在工作面、顺槽皮带、排水、通风、压风等系统的电机等设备上加装无线振动温度传感器，以物联网方式采集数据，结合大数据分析技术，实现对设备整体健康评估，包括运行状态的全面感知、运行分析、故障诊断、预测预警，同时实现煤矿生产运营可视化展示、安全风险主题可视化展示等应用。



图 3-18 门克庆煤矿工业互联网平台主界面



图 3-19 门克庆煤矿工业互联网平台综采工作面界面

十三、国家电投集团白音华煤矿工业互联网平台应用

白音华煤矿采用工业互联网平台技术，通过平台连接煤矿生产设备、传感器和 20 余个 IT、OT 子系统，融合人、机、环、管的安全生产全要素，建立安全生产信息模型，开发应用了区域安全准入 APP、爆破作业综合监控 APP、车辆综合预警 APP、智能无人值守 APP、应急管理 APP 等，实现多系统集成联动、多维业务创新应用和安全生产业务闭环管理。

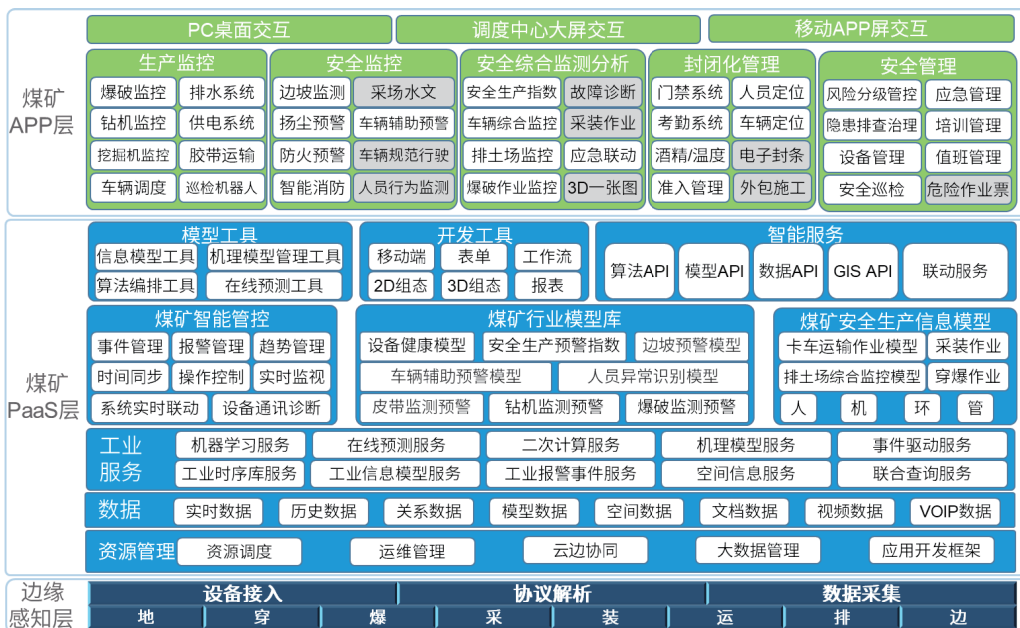


图 3-20 白音华煤矿工业互联网平台架构

区域安全准入APP设计作业区域廊道、驱动站、矿口等重点区域许可式安全模型，实现人员身份认证、岗位权限、考勤校验、培训合格证书检查、值班安排对照的“四位一体”动态指标评价准入功能。

爆破作业综合监控APP针对爆破作业场景，建立人、机、环、管的安全生产信息模型，实现危险作业全过程管理、爆破范围设置、警戒区域准入报警、人员不安全行为识别、环境边坡预警和一爆三联预警等信息监控，实现爆破作业相关多维信息综合监控预警。

车辆综合预警APP汇聚矿井各类安全相关子系统报警数据，统一管理和联动，实现司机本人、车辆自身、司机与车辆、车辆与环境的安全状态综合监测预警分析，实现车辆超速报警、前向碰撞预警、人车验证、行驶过程人员不安全行为和车辆不安全状态、周边环境状态等预警功能，预防和减少车辆运输事故的发生。

十四、中煤集团王家岭煤矿智能监管视频 AI 应用

王家岭煤矿AI服务平台通过多维度、多角度的视频识别、分析及统计，可及时发现隐患，保障煤矿安全生产制度落实，为安全生产提供决策支撑。系统由主控计算机、视频智能识别分析装置、AI服务器、数字高清摄像机、AI智能识别摄像机和工业环网等部分组成。

1. 隐患识别。实现皮带上的大块、锚杆的识别及报警，识别工作面支架护帮不到位、风窗风门未关、岔道红绿灯不亮等安全隐患，并进行广播告警。



图 3-21 岗位工脱岗识别

2. 煤流量检测。精确识别计算皮带煤量并统计，发出信号进行自动调速，减少设备磨损、降低能耗。

3. 人员行为识别。通过对井下人员各种常见违章及标准化作业规范的智能识别，实现自动识别报警、图像抓拍、延时录像等功能。



图 3-22 无轨胶轮车超速及闯红灯识别

4. 联动控制。根据联动规则识别出异常后，通过通信接口发出控制命令，实现对自动化系统、广播通信系统等的联动控制。



图 3-23 液压支架支护状态检测

十五、山东能源集团鲍店煤矿主煤流系统视频 AI 应用

鲍店煤矿利用 AI 图像分析技术，对主煤流运输系统的皮带煤量、异物、堆煤及跑偏进行识别和分析，进行智能调速和运量统计，对危险区域闯入、皮带轴承超温进行监测，实现全煤流管控区域的视频监控、智能报警闭锁，提高系统响应速度，提升煤矿安全管理水平。



图 3-24 危险区域闯入识别



图 3-25 主运皮带跑偏监测

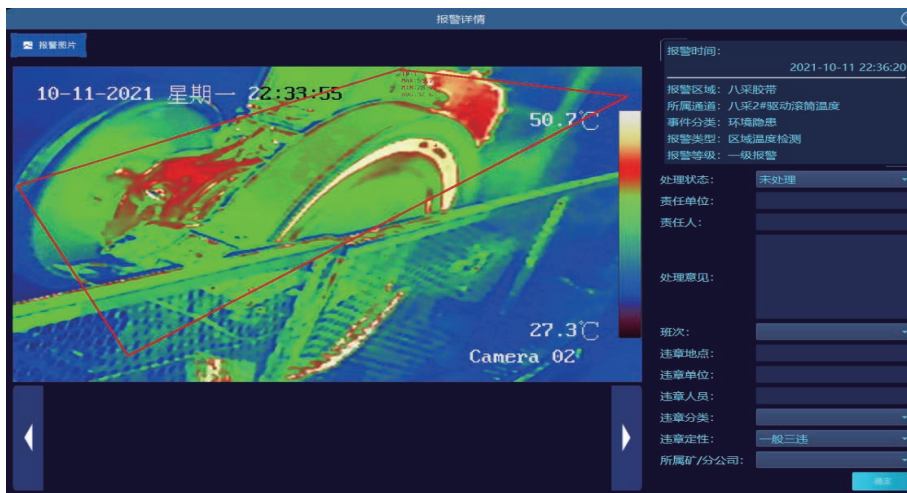


图 3-26 皮带轴承温度检测

十六、山东能源集团东滩煤矿提升系统视频 AI 应用

东滩煤矿基于机器学习和计算机视觉技术，研发应用提升系统首尾绳AI图像智能检测系统，可完成提升机首绳、尾绳各种状态分析、检测及预警，替代人工查绳。首绳损伤检测包括：直径变化、捻距变化，钢丝绳外部损伤（断丝、磨损、锈蚀等）。尾绳状态监控包括：尾绳摆动异常、尾绳散股、尾绳缠绕、尾绳脱落。系统投入后，实现了提升机首尾绳全生命周期分析、存档及管理，大幅改善提升系统查绳效率和质量，降低职工劳动强度。系统主要由移动巡检装置、精密轨道、图像处理工作站和工程师操作站等组成。移动巡检装置通过预设位置，自动/手动运行到待检测位置，进行智能检测和分析。

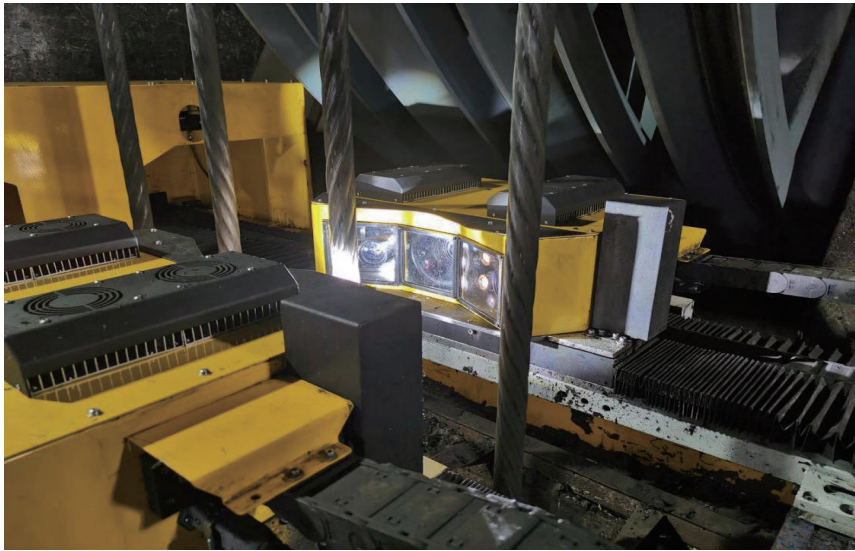


图 3-27 提升机首尾绳监测示意图

第四部分 展望

一、存在问题

目前，煤矿 5G 大规模推广应用仍面临着如下问题亟待解决：

1. 由于煤矿井下通信设备需要进行防爆设计，考虑发射功率限制及井下现场特殊环境要求，矿用 5G 基站覆盖距离有限，基站数量大幅增加，网络建设成本偏高。

2. 煤矿 5G 应用仍集中在视频传输、无人驾驶等领域，受融合应用相关技术限制，能够解决煤矿智能化建设痛点的 5G 突破性应用尚未完全实现。

3. 5G 技术在垂直行业的融合应用仍处于探索阶段，在煤矿应用的投资与收益尚未明朗化，未形成易规模复制推广应用的商业模式。

二、发展目标

“十四五”期间，在煤矿形成智能采掘及生产控制、环境监测与安全防护、无人驾驶、虚拟交互等一批 5G 典型应用场景，建设一批煤矿 5G 专网或虚拟专网，研制高适配能力的煤矿 5G 专用技术和配套产品，建立煤矿 5G 应用技术标准体系，探索形成可复制、易推广的有竞争力的商业模式，建设煤矿 5G 应用技术测试验证平台和技术创新平台，完善创新协同、开放合作的煤矿 5G 应用生态，有力提升煤矿数字化与智能化发展水平。

三、煤矿 5G 网络保障能力

1. 提升煤矿 5G 网络的可用性和确定性保障能力

针对煤矿 5G 网络的业务连续不间断、井下安全高可用的需求，未来通过单板级备份、网元节点级备份、网络级互备等手段提升网络可用性等级，将网络可用度由基础 99.9% 提升至 99.999%。

针对煤矿高清视频回传等业务场景的最低稳定速率刚性需求，可基于多种确定性保障技术

实现关键业务的安全保护。采用资源预留方案，按需配置相对优先级，优化资源分配。此外，可通过为特定业务配置保障速率，实现业务速率的确定性保障。

2. 探索网业协同，实现网云业一体

现阶段煤矿通信网络的动态保障与网络可视通过 5G SLA 实现。未来可通过网业协同实现，一方面达到网络适配业务；另一方面，实现业务层对网络的能力调用和业务层调优，达到业务适配网络。

推动网云业一体化技术发展，基于集成本地分流及轻量化算力，真正实现“网随业动”、“业随网动”，满足矿山业务数据不出场、低成本、敏捷部署、灵活定制、性能精确等需求。推动验证基于网云业一体化解决方案打造的网云业一体游牧式方案，基于支持 4G/5G 网络、宽带网络、卫星网络等多种回传方式，打造灵活移动的 5G 网络和云，满足矿山场景下“网随业动”的诉求。

3. 可视化统一网管

目前无线、核心网、承载 3 个域的多个网元需要分别管理，至少需部署 3 套独立的网管，部署周期、部署成本和运维复杂度较高。由于煤矿技术人员的专业能力限制，网络管理难度非常大。因此，急需开发矿用级的可视化统一网管，实现全链路设备及终端的统一监测与管理，将网络连接数据与应用数据融合，并提供数字孪生、专网自服务、网络自运维与自开发等核心能力，实现网业协同（连接状态+业务状态）。

网管平台除传统管理功能外，还需实现快速定障、AI 预测预防、无线信号质量监测等功能，配合 5G 终端设备可以到达即插、即连、即管的水平。需尽快开发适用于煤矿特殊场景的高效、自动化 5G 网络规划和 5G 网络优化工具和软件。

四、5G R16 关键技术赋能

1. 5G LAN

5G 是一个三层网络，但煤矿内部大多为二层网络，因此使用 5G 时不仅增加了网络的复杂程度，同时增加了工程实施与维护难度，并且业务适应性也存在一定的问题。因此，需要采用 5G LAN 技术实现二层网络传输，将各种设备便捷接入 5G 网络。

5G LAN 技术支持在一组接入终端间构建二层转发网络，并通过 5G SMF 与 UPF 的交互实现终端组内数据交换和用户面路径选择，即用 UPF 来充当二层交换机，完成二层交换。

2. 5G+TSN

5G 网络与 TSN（时间敏感网络）共存，可充分发挥 5G 的灵活性和 TSN 的极低时延性，解决生产点对点控制所需的无缝连接和高稳定性需求。因此，可将传感器、采煤机等工业设备以 5G 无线方式连接到 TSN，集成 5G 和 TSN 提供最优的解决方案。

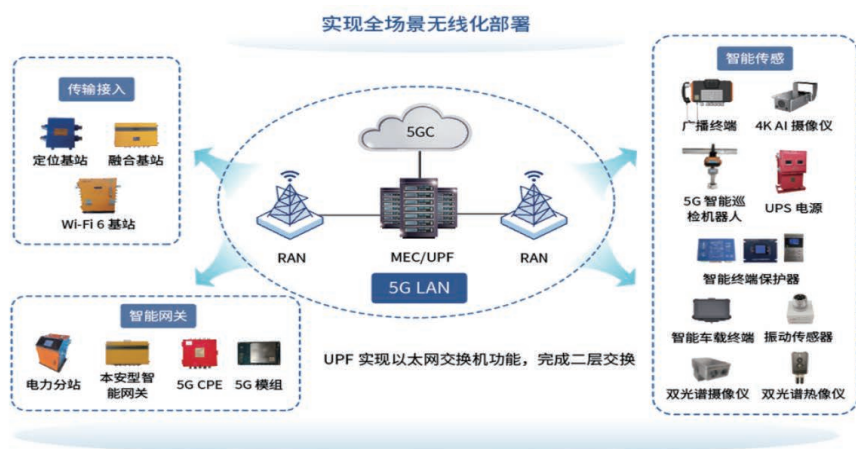


图 4-1 采用 5G LAN 实现全场景无线化部署

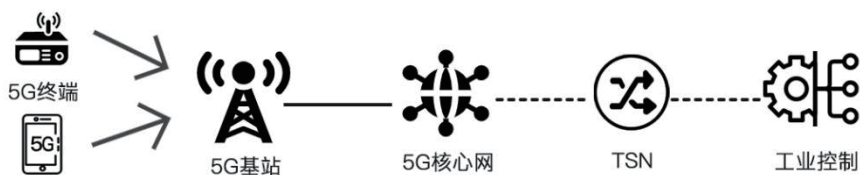


图 4-2 5G+TSN 示意图

五、井下无线发射设备射频阈功率研究

5G 设备采用多天线传输，基础设施密集部署，由此导致井下有限空间内电磁能量密度大幅提升，超过《爆炸性气体环境用电气设备（GB3836）》所规定的发射机最大功率 6W 要求。因此，研究井下无线发射设备射频阈功率，确保爆炸条件下无线通信的本质安全性，是煤矿 5G 专用技术开发中亟待解决的重要问题。

井下射频功率的安全性研究应结合井下受限空间的特点，从近场和远场两方面入手，分析电磁辐射产生的热能、感应电能及金属结构放电等因素诱发瓦斯爆炸的机理。

1. 井下电磁环境下的类天线金属结构体放电机理，包括类天线金属结构类型与电磁感应模型，类天线金属结构体的放电机理，类天线金属结构电火花形成的机制及能量等级评估方法等。

2. 天线近场耦合诱发瓦斯爆炸机理，包括介质吸收电磁能量的热效应规律，金属结构涡流热效应规律，金属热效应诱发瓦斯爆炸的射频阈功率，感应电压导致空气电离击穿诱发瓦斯爆炸的的射频阈功率，防止瓦斯爆炸的电磁耦合场防护的安全距离等。

3. 天线远场辐射规律，包括煤矿井下受限空间下 MIMO 天线能量聚集特性，多发射机条件下电磁能量传输规律，远场条件下天线特性，金属对电磁能量传输规律的影响等。

4. 天线远场辐射诱发瓦斯爆炸机理，包括类天线金属结构体与电磁波信号之间的匹配模型，类天线金属结构体与电磁波能量耦合规律，类天线金属结构体电磁感应特性，类天线金属结构引起瓦斯爆炸的射频阈功率，防止瓦斯爆炸的电磁场辐射防护安全距离等。

六、煤矿 5G 装备研发与技术验证

加快研制高适配能力的煤矿专用 5G 基站和定制化定制核心网，基于 5G 专用模组的工业网关以及开采、掘进、运输、巡检、机器人等设备，丰富 5G 设备产品形态，构建面向差异化场景需求的矿用 5G 产品体系。推动条件好的煤矿按照需求导向部署 5G 网络，加快 5G 网络与原有工业网络的融合，形成信息网络与生产控制网络的融合部署模式。

建设煤矿 5G 应用标准测试评估认证体系，开展矿井特殊环境下 5G 网络性能、网络切片、定制化专网、网络安全、业务安全以及业务综合承载性能的适应性、安全性和可靠性验证。对于 5G 专用模组由获得许可的行业内联合实验室等机构进行测试并授予认证证书。

附录

一、规范性引用文件

本白皮书引用并参考下列文件；凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本白皮书。

序号	文件名称	发布单位
1	《关于加快煤矿智能化发展的指导意见》	国家发展改革委、国家能源局、应急管理部、国家煤矿安全监察局、工业和信息化部、财政部、科技部、教育部
2	《煤矿智能化建设指南（2021年版）》	国家能源局、国家矿山安全监察局
3	《能源领域5G应用实施方案》	国家发展改革委、国家能源局、中央网信办、工业和信息化部
4	《5G应用“扬帆”行动计划（2021-2023年）》	工业和信息化部、中央网信办、国家发展改革委、教育部、财政部、住房和城乡建设部、文化和旅游部、国家卫健委、国务院国资委、国家能源局
5	GB3836.1爆炸性气体环境用电气设备第1部分：通用要求	国家质量监督检验检疫总局
6	GB3836.2爆炸性气体环境用电气设备第1部分：隔爆型“d”	国家质量监督检验检疫总局
7	GB3836.4 爆炸性气体环境用电气设备第4部分：本质安全型“i”	国家质量监督检验检疫总局
8	3GPP TS 33.501 5G系统安全架构和过程	3GPP
9	3GPP TS 36.104 接入设备技术规范	3GPP
10	3GPP TS 36104 接入设备一致性测试规范	3GPP
11	3GPP TS 38.141 5G基站技术规范	3GPP
12	3GPP TS 38.141 5G基站一致性测试规范	3GPP

二、术语、定义和缩略语

英文缩写	英文全称	中文释义
3GPP	The 3rd Generation Partnership Project	第三代合作伙伴计划
5G	5th Generation Cellular Telecommunication Technologies	第五代蜂窝通信技术
AI	Artificial Intelligence	人工智能
eMBB	enhance Mobile Broadband	增强移动宽带
mMTC	massive Machine-Type Communication	海量机器通讯
URLLC	Ultra-Reliable Low Latency Communications	超高可靠低时延通讯
5G RAN	5G Radio Access Network	5G 无线接入网络
5GC	5G Core	5G 核心网
UPF	User Plane Function	用户面功能
MEC	Multi-Access Edge Computing or Mobile Edge Computing	多接入边缘计算
NR	New Radio	新空口
LTE	Long Term Evolution	长期演进
BBU	Baseband Unit	基带单元
RRU	Remote Radio Unit	远端射频单元
SLA	Service Level Agreement	服务等级协议
DL	Down Link	下行链路
UL	Up Link	上行链路
GPS	Global Position System	全球定位系统
FlexE	Flexible Ethernet	灵活以太网
SDN	Software-Defined Network	软件定义网络
OIF	Optical Internetworking Forum	光互联网论坛
NMS	Network Management System	网络管理系统
NAT	Network Address Translation	网络地址转换
LAN	Local Area Network	局域网
NB	Narrow Band	窄带
CPE	Customer Premise Equipment	客户前置设备
IOC	Inversion of Control	控制反转

续表

英文缩写	英文全称	中文释义
AR	Augmented Reality	增强现实
TDD	Time Division Duplexing	时分双工
MIMO	Multi-Input Multi-Output	多输入多输出
Mbit/s	megabits per second	每秒传输比特数
IT	Information Technology	信息技术
OT	Operational Technology	运营技术
IoT	Internet of Things	物联网
SMF	Session Management Function	会话管理功能
AMF	Access and Mobility Management Function	接入和移动性管理功能
UDM	Unified Data Management	统一数据管理功能
IMS	Interactive Multimedia Service	交互式多媒体服务
UWB	Ultra Wideband	超宽带
VoNR	Voice over NR	一种5G通话解决方案
Wi-Fi	Wireless Fidelity	无线网络
PCBA	Printed Circuit Board Assembly	装配印刷电路板
WAN	Wide Area Network	广域网
RS232	Serial information232	串行信息232
RS485	Serial information485	串行信息484
WebUI	Web user interface	网站用户界面设计
VPN	Virtual Private Network	虚拟私人网络
FOTA	Firmware Over The Air	空中固件升级
APP	Application	应用程序
GIS	Geographic Information System	地理信息系统
PaaS	Platform as a Service	平台即服务
IaaS	Infrastructure as a Service	基础设施即服务
SPN	Splicing Packet Network	切片分组网络
PON	Passive Optical Network	无源光纤网
MHz	Mega Hertz	兆赫兹
GHz	Giga Hertz	千兆/赫兹
MEP	Multi-access Edge Computing Platform	多接入边缘计算平台

续表

英文缩写	英文全称	中文释义
MOCN	Multi-Operator Core Network	多运营商核心网络
4K	4,000 pixels	4000像素
p RRU	pico Remote Radio Unit	远端汇聚单元
2T2R	Two Transmit and Two Receive	2个发射2个接收
NLOS	Non-Line-of-Sight	非视距
SA	Stand Alone	独立组网模式
3D	Three Dimensional	三维
AICDE	AI、IoT、Cloud Computing、Big Data、Edge Computing	人工智能、物联网、云计算、大数据、边缘计算
DC	Direct Current	直流电
IP	Internet Protocol	网络之间互连的协议
R16	Rel-16	R16版本
TSN	Time-Sensitive Networking	时间敏感网络

联系方式：010-64464146

本白皮书可在中国煤炭工业协会网（www.coalchina.org.cn）

中国煤炭学会网（www.chinacs.org.cn）

和智能煤矿网（www.chinamai.org.cn）下载。