

文章编号:0253-9993(2013)07-1174-05

煤与瓦斯突出地质控制机理探讨

闫江伟^{1,2}, 张小兵^{1,2}, 张子敏^{1,2,3}

(1. 河南省瓦斯地质与瓦斯治理重点实验室—省部共建国家重点实验室培育基地, 河南 焦作 454003; 2. 河南理工大学 瓦斯地质研究所, 河南 焦作 454003; 3. 中国煤炭学会 瓦斯地质专业委员会, 河南 焦作 454003)

摘要:在综合考察国内外煤与瓦斯突出研究基础上,从瓦斯地质角度深入分析构造煤体、高压瓦斯和构造作用等影响突出生成的关键因素,初步提出以瓦斯突出煤体为核心的煤与瓦斯突出地质控制机理。认为地质构造控制着煤层瓦斯的赋存和构造煤分层破坏程度以及厚度分布,控制着煤与瓦斯突出;煤与瓦斯突出动力现象是一定规模的瓦斯突出煤体在临近采掘工作面煤壁时,卸载引起煤体拉张向深部扩展破坏,煤层透气性高倍增加,同时煤体内大量瓦斯因降压而快速解吸,靠近煤壁的煤体内瞬间形成高动能的气、煤颗粒混合物,类似点爆炸药包,造成煤层严重崩塌破坏,发生煤与瓦斯突出。以郑煤集团大平煤矿“10·20”特大型煤与瓦斯突出为基础,进行地质控制煤与瓦斯突出实例分析,结合新疆维吾尔自治区煤矿瓦斯地质特征揭示了瓦斯突出煤体发育和分布规律。

关键词:瓦斯地质;煤与瓦斯突出;地质控制;瓦斯突出煤体

中图分类号:TD713 **文献标志码:**A

Research on geological control mechanism of coal-gas outburst

YAN Jiang-wei^{1,2}, ZHANG Xiao-bing^{1,2}, ZHANG Zi-min^{1,2,3}

(1. State Key Laboratory Cultivation Base for Gas Geology and Gas Control (HPU), Jiaozuo 454003, China; 2. Institute of Gas-geology, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454003, China; 3. Gas-geology Division, China Coal Society, Jiaozuo 454003, China)

Abstract: Overall investigating into the current coal-gas outburst mechanisms at home and abroad, we analyzed the key factors influencing coal-gas outburst from the perspective of gas geology, such as deformed coal, gas and tectonism. Based on those results, the geological control mechanism of coal-gas outburst centering on gas outburst coal is tentatively proposed. It is pointed out the coal-gas outburst being as follows: in the face of coal wall, gas outburst coal with a certain thickness is extended to expansion and failure due to unloading mining, and permeability of coal seam increases; because of abundant coal bed methane (CBM) desorbing fast, a mixture of CBM and coal particles with higher kinetic energy has been formed instantly in front of the coal wall, like an explosives, and it results in avalanche damage of coal body. Taken the “10·20” mining calamity for example, the geological-control case for coal-gas outburst had been analyzed, and revealed the distribution of gas outburst coal based on gas-geological characteristics of coal mines in China’s Xinjiang Uighur Autonomous Region.

Key words: gas-geology; coal-gas outburst; geological control; gas outburst coal

煤与瓦斯突出(简称“突出”),是煤矿井下含瓦斯煤岩体多以碎粉状由煤层向采掘部位急剧运动并伴随大量瓦斯喷出的一种强烈动力过程^[1],是极为复杂的煤矿自然灾害,严重威胁着煤矿安全生产。世

界各主要产煤国都不同程度地发生过煤与瓦斯突出。在同煤矿瓦斯灾害长期斗争中,世界各国都投入了大量的人力、物力,试图揭示煤与瓦斯突出本质,查明影响因素在突出发生和发展中的作用^[2-6]。研究者通

收稿日期:2013-03-01 责任编辑:许书阁

基金项目:国家科技重大专项资助项目(2011ZX05040-005);国家自然科学基金资助项目(41102094);中国博士后科学基金资助项目(20090450928)

作者简介:闫江伟(1979—),男,河南商丘人,讲师,博士研究生。Tel:0391-3987897, E-mail: gisyjw@hpu.edu.cn。通讯作者:张小兵(1978—),男,陕西宝鸡人,副教授,博士后。Tel:0391-3986566, E-mail: xiaobingzhang@hpu.edu.cn

过开展突出实例分析、实验模拟研究及大量现场调查,对煤与瓦斯突出提出过多种假说,主要可归为4类观点:瓦斯主导作用假说、地压主导作用假说、化学本质作用假说和综合作用假说^[7]。然而,这些假说只能对某些突出现象给予解释,构建完整、一致的煤与瓦斯突出认知仍然是学术界、工业界值得探索的重要命题。本文结合工程实践与理论预测成果,试提出以瓦斯突出媒体为核心的煤与瓦斯突出地质控制机理。认识难免有片面性、甚至错误,现提出供讨论。

1 背景分析

我国能源消费结构中煤炭占67%,预计到2050年仍占50%以上,且煤炭开采60%以上矿井采掘的是形成地质时期早、演化历史复杂、地质条件复杂多变的石炭-二叠系煤层,煤与瓦斯突出灾害极为严重。自1843年法国鲁尔煤田伊萨克矿井发生世界上第1次有记载的煤与瓦斯突出以来,世界各地累计发生超过4万次突出事故,其中我国在突出矿井对数、年突出次数、突出平均强度等方面都高居世界第一,突出总次数更是占到全世界的近一半,近20年平均每年新增突出矿井37对、发生突出280余次^[8]。近年来,我国煤矿发生煤与瓦斯突出事故的强度、规模和复杂程度不断升级,随着煤矿开采深度增加,这种情况将愈加明显。

煤与瓦斯突出研究备受关注。一方面,突出发生时常伴有瓦斯爆炸,是威胁煤矿安全生产的主要灾害,典型如:2004年10月20日发生在郑州煤炭工业集团大平煤矿的“10·20”事故,2009年11月21日发生在黑龙江鹤岗新兴煤矿的“11·21”事故,均是由特大型煤与瓦斯突出引发的瓦斯爆炸事故,造成了不可弥补的损失。上述矿区、矿井大都经历了规模不等的构造挤压剪切作用,瓦斯、媒体、地质构造及其复合可能构成突出发生的重要条件。另一方面,煤与瓦斯突出研究挑战性大:人们既无法在现场观测到突出发生、发展的全过程,也很难在实验室确切再现突出动力现象。瓦斯地质研究强调构造煤、瓦斯和构造作用对突出的控制;地质构造复杂区构造应力分布不均衡,往往存在局部应力集中,有利于媒体弹性潜能的增加,增大了发生突出的几率;构造复杂区媒体结构破坏严重,往往伴生着构造煤,媒体强度低,抵抗突出的能力下降;地质构造可能引起瓦斯聚集,形成高压瓦斯,并使瓦斯分布不均衡,媒体内存在高的瓦斯压力梯度。

在笔者以前的研究中,注意到构造煤和高压瓦斯是发生突出的物质基础,构造作用、特别是地应力是

发生突出的动力基础。瓦斯突出媒体作为构造煤与高压瓦斯的复合体,其形成和分布受构造作用控制。综合考察目前煤与瓦斯突出研究实际,认为从瓦斯地质角度出发,借助瓦斯突出媒体这一载体来研究突出,或许能够厘清突出发生条件,为有效防治瓦斯灾害和探讨突出机理提供借鉴。

2 以瓦斯突出媒体为核心的煤与瓦斯突出机理

2.1 构造煤与瓦斯突出媒体

我国古生代煤田经历了中生代以来不同规模构造挤压、剪切作用,煤层中一个或若干个分层可能被破坏。在构造应力作用下,煤层易发生破碎、韧塑性变形及流变迁移,从而煤层内部的某些分层,甚至全煤层成为片状、鳞片状或糜棱状,煤地质人员称其为“构造煤”。构造煤虽是瓦斯地质界的常用术语,但尚无确切定义。媒体结构四类划分方案参照构造岩分类原则,按照媒体在不同变形机制下的破碎程度,划分为:原生结构煤、碎裂煤、碎粒煤和糜棱煤,其中后三者统称为构造煤。然而,大量测试和突出实例表明,碎裂煤一般不具突出危险性。由此可见,诱发煤与瓦斯突出的固体介质更强调受到严重破坏的构造煤,即碎粒煤和糜棱煤。

瓦斯突出媒体是突出煤层中含有高能瓦斯且以强烈韧性破坏为主的构造媒体,满足煤分层具有突出危险性的介质条件^[9-11]。笔者从地质学角度长期从事煤矿瓦斯预测与治理研究,结合从现场获得的大量事实证据,深刻认识到:煤与瓦斯突出与地质因素关系密切,大多数突出都发生在地质构造破坏带,即强烈挤压、剪切作用形成的瓦斯突出媒体发育区段。

2.2 高能瓦斯和构造煤对突出的控制

如前所述,瓦斯突出媒体兼具严重破坏的构造煤分层和高能瓦斯,是诱发煤与瓦斯突出的必要条件。煤层瓦斯的赋存,构造煤分层破坏程度和厚度分布均受地质构造控制。

煤与瓦斯突出危险区分布规律研究发现:深层构造陡变带、深层断裂带、推覆构造带、强变形带控制着我国为数众多的突出矿区和矿井的分布^[12]。例如:沿华北盆地南缘龙首山—固始深层活动断裂带上分布有靖远、宜洛、平顶山、淮南等高突矿区;豫西强变形带内新密、禹州、登封、临汝、荥巩等矿区。其中豫西强变形带,较长时期受到秦岭造山带对华北板块南缘的推挤作用,并在燕山早、中期叠加NNE向褶皱断裂构造,先期挤压、剪切,燕山末期至古近纪表现为拉张断陷,发生大规模滑动构造(图1)^[13],形成豫西

“三软”煤层发育区,煤层厚度变化剧烈,全层发育构造煤。该区新密煤田长期受 SW-NE 向推挤作用,主体为 NW-NWW 向构造,其次是 NNE-NE 向构造,控制煤与瓦斯突出的主要因素是小断层(尤其是 NW

向逆断层)和滑动构造。由此可见,这些都是区域构造挤压、剪切应力集中带和构造变形最强烈的地带,它们常常也是煤层瓦斯富集带和严重破坏构造煤发育的部位。

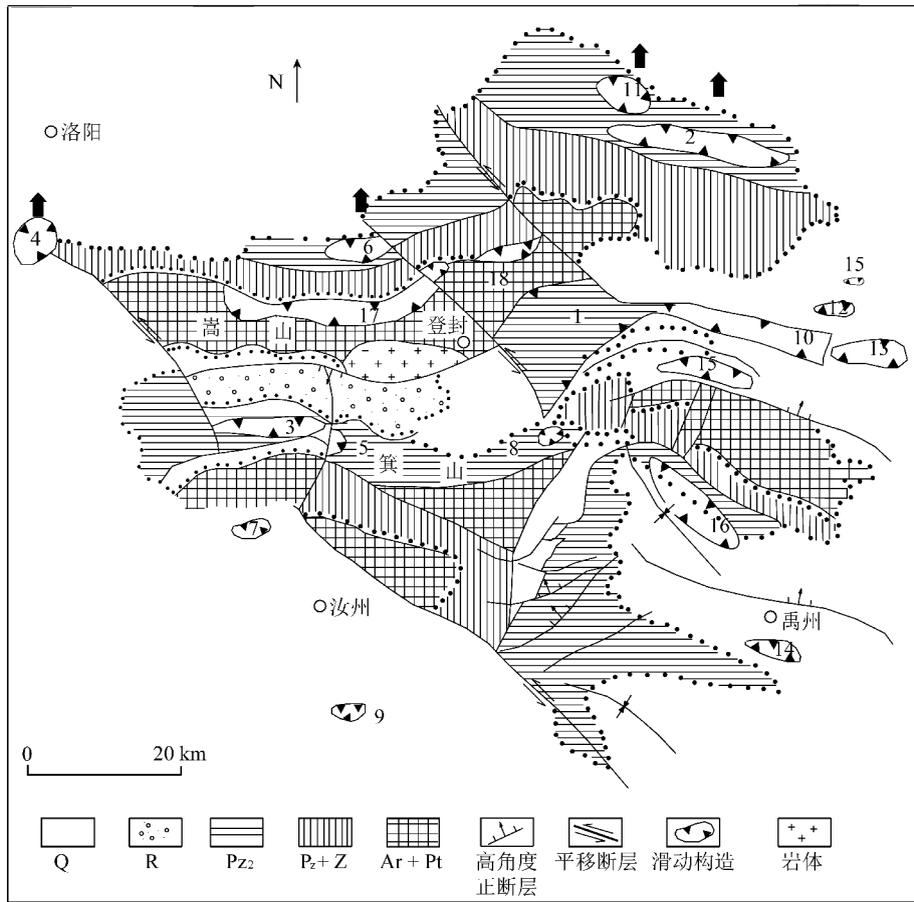


图 1 嵩箕煤田中重力滑动构造分布^[13]

Fig. 1 Distribution of gravitational gliding tectonics in the Songshan-Jishan area^[13]

- 1—芦店滑动构造;2—米河-贾峪滑动构造;3—暴马滑动构造;4—龙门滑动构造;5—龙泉寺滑动构造;6—夹沟滑动构造;
7—底山滑动构造;8—白坪滑动构造;9—朝川滑动构造;10—平陌滑动构造;11—石坡滑动构造;12—杨家洼滑动构造;13—曲梁滑动构造;
14—梁北滑动构造;15—任岗滑动构造;16—蔡寺-白沙滑动构造;17—五佛山滑动构造;18—林台山滑动构造

郑哲敏院士指出,瓦斯能量大和煤层强度低是形成煤与瓦斯突出的根本原因。本研究团队长期从事煤矿瓦斯地质规律研究和突出危险性区域预测,深刻认识到:高瓦斯突出矿区、煤与瓦斯突出矿井的分布受瓦斯形成和瓦斯赋存的控制,煤层中严重破坏的构造煤体控制着瓦斯灾害的发生和治理。基于煤与瓦斯突出综合假说,笔者提出以瓦斯突出煤体为核心的煤与瓦斯突出地质控制机理。认为煤与瓦斯突出动力现象是一定规模的瓦斯突出煤体在临近采掘工作面煤壁时,卸载引起煤体拉张向深部扩展破坏,煤层透气性高倍增加,同时煤体内大量瓦斯因降压快速解吸,靠近煤壁的煤体内瞬间形成高动能的气、煤颗粒混合物,类似点爆炸药包,造成煤层严重崩塌破坏,发生煤与瓦斯突出。直到煤、岩体平衡拱(突出过程也

是平衡拱形成过程)形成可以抵挡煤体因卸压引起的拉断间断面不再向深部扩展,以及瓦斯压力趋于平衡、解吸不再向深部扩展时,煤与瓦斯突出动力才会终止。

2.3 地质构造控制煤与瓦斯突出实例分析

河南省新密煤田在区域构造上位于秦岭造山带北缘边界断裂和洛南-栾川-方城断裂之间,先期受到秦岭造山带隆起推挤作用,形成了 NW-NWW 向展布的主体构造。燕山早、中期又受到 SE-NW 向推挤作用,在原有 NW-NWW 向构造基础上叠加了 NNE-NE 向构造。两个方向的强烈挤压作用使得新密煤田构造复杂,构造煤普遍发育。尤其是 NNE-NE 向构造发育部位,构造变形最为强烈,控制了新密煤田的煤与瓦斯突出危险区,如大平、告成等突出矿井就位

于井田 NWW 与 NNE 向构造叠加区。

大平井田受控于 NE 向的大冶向斜和落差百米左右的吴庄逆断层、周山逆断层等,属于 NE 向叠加于 NW 向的复合挤压构造带,构造煤成层发育,煤的坚固性系数 f 值约为 0.12、瓦斯放散初速度 ΔP 值大于 30。井田位于新密矿区 NE 向的向斜和逆断层地段,21 岩石下山处于井田东南端 NE 向 NW 的构造转折部位,地质构造复杂多变,这些地质因素为煤与瓦斯突出的发生创造了“有利条件”。2004-10-20,大平煤矿 21 岩石下山标高 -282.4 m 处,因揭露一条落差 10 m 左右、倾向 SW 的逆断层,下盘煤层距巷顶约 5 m 处发生特大型煤与瓦斯突出引发爆炸事故(即郑煤集团大平煤矿“10·20”事故),突出煤岩量 1 894 t、瓦斯总量 25 万 m^3 (图 2)。

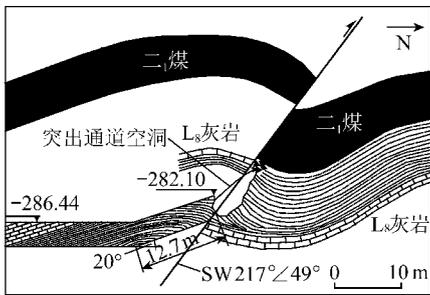


图 2 21 岩石下山煤与瓦斯突出位置与逆断层关系剖面图^[14]

Fig. 2 Cross-section showing reverse fault and coal-gas-outburst location in working face of the 21th rocky dip entry^[14]

运用瓦斯地质理论分析“10·20”煤与瓦斯突出事故的成因,认为重要原因有二:一是新密矿区受老第三纪始新世至渐新世的重力滑动构造影响,煤层进一步遭受剪切破坏,矿区二₁煤层全层为严重破坏的构造煤;二是断层阻隔瓦斯流动,封闭条件好,构造应力场以挤压为主,形成高能瓦斯带。两者相结合形成含高能瓦斯的严重破坏构造煤体,即瓦斯突出煤体,促成本次煤与瓦斯突出事故的发生。

3 区域瓦斯地质与瓦斯突出煤体

2009 年国家能源局组织开展了新一轮全国煤矿瓦斯地质图编制工作,张子敏任技术组组长,领导完成“1:250 万中国煤矿瓦斯地质图”原创性成果,编制了全国 22 省(区、市)、173 个矿区、2 792 对矿井瓦斯地质图和相应的研究报告,揭示了全国 22 省(区、市)及其矿区、矿井瓦斯地质特征。在此,结合新疆维吾尔自治区瓦斯地质特征,扼要介绍瓦斯突出煤体发育和分布规律。

新疆维吾尔自治区煤田幅员辽阔,2 000 m 以浅煤炭资源总量 1.9 万亿 t,占全国总量的 42%,同时赋存着

丰富的煤层气资源,是中国能源发展的重要基地。新疆煤田 95% 以上为中、下侏罗统煤层,新生代盖层沉积厚度大,受剧烈造山运动影响,煤层变形破坏强烈。尤其是新生代以来青藏高原的快速隆起,强烈的构造应力作用使得煤层具有突出危险性。新疆煤炭资源大规模开发是全国起步最晚的,但目前已突现严重的煤与瓦斯突出问题,短短几年淮南、吐哈、塔里木北 3 个煤田已发生 6 次突出事故,最小始突深度 170 m 左右。

新疆煤田极其复杂的瓦斯地质特征源于复杂的大地构造及其演化背景。从三叠纪开始,我国西部地区进入陆内演化阶段。侏罗纪正是在大区域古特提斯封闭之后、新特提斯打开之时,中国西部和中亚地区(包括新疆维吾尔自治区)最为广泛的一个扩展沉陷期和成煤期。中生代以来,特提斯构造域几经开启和闭合,并不断向古亚洲大陆俯冲、碰撞和拼合,相关主要事件有:三叠纪末羌塘地体与欧亚大陆的碰撞拼贴,侏罗纪末拉萨地体与欧亚大陆的碰撞拼贴和古近纪以来的印度/亚洲碰撞,形成青藏高原连同昆仑山断裂带最终的大幅度隆升和阿尔金走滑断裂带的强烈左行走滑活动。其中印度/亚洲板块碰撞中陆内俯冲作用,使得早期形成的中亚造山带(如天山、阿尔泰造山带)在整修后又一次崛起。这些新生代的造山带快速挤压隆起并向盆地逆冲、推覆,使盆地全面进入挤压反转阶段:一方面,准噶尔、伊犁、吐哈、塔里木、柴达木以及天山、昆仑山间中小型盆地载荷下沉接受沉积,形成巨厚的新生界盖层,对煤层瓦斯起到封闭保存作用;另一方面,这些盆地广泛发育逆冲构造,如逆冲断裂、叠瓦构造以及推覆构造,盆地煤层受到强烈地挤压、剪切变形破坏。

通过编制新疆维吾尔自治区煤矿瓦斯地质图,预测了 8 个高突瓦斯带和 1 个瓦斯带,分别是:准西北逆冲推覆叠置高突瓦斯带、准东北逆冲推覆滑脱高突瓦斯带、伊犁盆地逆冲推覆高突瓦斯带、吐哈盆地高突瓦斯带、塔里木北缘高突瓦斯带、塔里木南缘高突瓦斯带、柴达木高突瓦斯带、淮南逆冲推覆高突瓦斯带以及准东隆起瓦斯带。其中,准西北逆冲推覆叠置高突瓦斯带、准东北逆冲推覆滑脱高突瓦斯带、伊犁盆地逆冲推覆高突瓦斯带、吐哈盆地高突瓦斯带、塔里木北缘高突瓦斯带、淮南逆冲推覆高突瓦斯带位于天山-兴蒙造山系内,受挤压、逆冲推覆作用影响,煤层遭到破坏而形成复杂的瓦斯突出煤体。淮南、艾维尔沟、库拜等煤田均分布在天山中段南、北麓高突煤矿区,其中:淮南煤田大黄山煤矿 7 号井的一次中型突出,突出煤量 373 t、瓦斯量 46 000 m^3 ;艾维尔沟煤产

地新疆焦煤 2130 矿井的一次中型突出,突出煤量 879 t、瓦斯量 26 496 m³。准噶尔东缘在整体隆升背景下,形成了 EW 向准东隆起瓦斯带。塔里木南缘受西昆仑造山带和阿尔金造山带强烈左行走滑的影响,东段发育走滑冲断构造,使煤层遭到严重破坏,形成瓦斯突出煤体,从而形成塔里木南缘高突瓦斯带。受逆冲、推覆作用影响,柴达木盆地发育了大量 NWW 和近 EW 向逆冲构造,煤层遭到破坏而形成复杂的瓦斯突出煤体,从而形成柴达木高突瓦斯带。

4 结 论

参考煤与瓦斯突出综合假说,从瓦斯地质角度深入分析构造煤体、高压瓦斯和构造作用等影响突出发生的关键因素,提出以瓦斯突出煤体为核心的煤与瓦斯突出地质控制机理。认为煤层瓦斯含量高是发生突出的基础;一定厚度的构造煤是发生突出的必要条件;构造应力相对集中地带是突出发生的主要位置;压性、压扭性构造是发生突出的有利地带。证实了深层构造陡变带、深层活动断裂带、推覆构造带和强变形带是发生煤与瓦斯突出的敏感地带。

参考文献:

- [1] 何学秋. 含瓦斯煤岩流变动力学[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,1995.
- [2] Díaz Aguado M B, González Nicieza C. Control and prevention of gas outbursts in coal mines, Riosa-Olloniego coalfield, Spain[J]. International Journal of Coal Geology, 2007, 69(4): 253-266.
- [3] Wold M B, Connell L D, Choi S K. The role of spatial variability in coal seam parameters on gas outburst behaviour during coal mining[J]. International Journal of Coal Geology, 2008, 75(1): 1-14.
- [4] 富 向, 王魁军, 杨天鸿. 构造煤的瓦斯放散特征[J]. 煤炭学报, 2008, 33(7): 775-779.
Fu Xiang, Wang Kuijun, Yang Tianhong. Gas irradiation feature of tectonic coal[J]. Journal of China Coal Society, 2008, 33(7): 775-779.
- [5] 汪吉林, 姜 波, 陈 飞. 构造煤与应力场耦合作用对煤与瓦斯突出的控制[J]. 煤矿安全, 2009, 40(11): 94-97.
Wang Jilin, Jiang Bo, Chen Fei. Controlling effect of the interaction of tectonic coal with stress field to coal-gas outburst[J]. Safety in Coal Mines, 2009, 40(11): 94-97.
- [6] 张子敏. 瓦斯地质学[M]. 徐州:中国矿业大学出版社, 2009.
- [7] 国家安全生产监督管理总局, 国家煤矿安全监察局. 防治煤与瓦斯突出规定[M]. 北京:煤炭工业出版社, 2009.
- [8] 吴 吟, 张子敏, 方君实, 等. 中国煤矿瓦斯地质图及全国矿井矿区省区瓦斯地质图编制[R]. 国家能源局, 河南理工大学, 等, 2011.
- [9] Cao Y, Davis A, Liu R, et al. The influence of tectonic deformation on some geochemical properties of coals—a possible indicator of outburst potential[J]. International Journal of Coal Geology, 2003, 53(2): 69-79.
- [10] 张玉贵, 张子敏, 曹运兴. 构造煤结构与瓦斯突出[J]. 煤炭学报, 2007, 32(3): 281-284.
Zhang Yugui, Zhang Zimin, Cao Yunxing. Deformed-coal structure and control to coal-gas outburst[J]. Journal of China Coal Society, 2007, 32(3): 281-284.
- [11] 张小兵, 张子敏, 张玉贵. 力化学作用与构造煤结构[J]. 中国煤炭地质, 2009, 21(2): 10-14.
Zhang Xiaobing, Zhang Zimin, Zhang Yugui. Mechanochemical action and deformed coal structure[J]. Coal Geology of China, 2009, 21(2): 10-14.
- [12] 张子敏, 张玉贵. 瓦斯地质规律与瓦斯预测[M]. 北京:煤炭工业出版社, 2005.
- [13] 孙锦屏, 李万程. 一个重力滑动构造的范例——介绍河南芦店滑动构造[J]. 中国煤炭地质, 2009, 21(4): 9-15.
Sun Jinping, Li Wancheng. A model gravitational gliding tectonics—An introduction to Ludian gliding tectonics in Henan[J]. Coal Geology of China, 2009, 21(4): 9-15.
- [14] 张子敏, 张玉贵. 大平煤矿特大型煤与瓦斯突出瓦斯地质分析[J]. 煤炭学报, 2005, 30(2): 137-140.
Zhang Zimin, Zhang Yugui. Investigation into coal-gas outburst occurred in Daping Coal Mine, by using theories of gas-geology[J]. Journal of China Coal Society, 2005, 30(2): 137-140.