



推荐阅读:

[综采工作面上隅角瓦斯流动活跃区形成机理研究](#)

[高瓦斯突出煤层综采工作面注水降尘技术应用研究](#)

[超大直径钻孔采空区瓦斯抽采技术研究](#)

[风速对近距离煤层采空区漏风及煤自燃影响研究](#)

[深部高瓦斯矿井大采高工作面立体抽采瓦斯技术](#)

[水力冲孔压裂卸压增透抽采瓦斯技术研究](#)

[巷道火灾时期流场及瓦斯浓度变化规律数值模拟研究](#)

[高突低渗透煤层超高压水力割缝卸压增透研究](#)

[高瓦斯综采工作面定向高位钻孔瓦斯抽采技术研究](#)

[寺河井田煤层气产能分布特征及影响因素分析](#)

[我国煤矿覆岩采动裂隙带卸压瓦斯抽采技术研究进展](#)

[基于高位定向长钻孔的上隅角瓦斯治理研究](#)

[松软突出煤层瓦斯抽采钻孔施工技术及发展趋势](#)

[综采工作面煤层注水防尘优化及效果研究](#)

[我国煤层气钻井技术及装备现状与展望](#)

[高瓦斯矿井高抽巷合理布置及终巷位置确定研究](#)

[原生结构煤与构造煤孔隙结构与瓦斯扩散特性研究](#)

[不同孔间距抽采孔对深孔预裂爆破增透效果影响研究](#)

[顺层瓦斯抽采钻孔封隔一体化封孔工艺研究](#)

[煤层瓦斯赋存特征及其关键地质因素影响研究](#)



移动扫码阅读

王亮,郑思文,赵伟,等.淮北煤田煤与瓦斯突出灾害差异性和控制因素研究[J].煤炭科学技术,2020,48(10):75-83. doi:10.13199/j.cnki.cst.2020.10.008

WANG Liang, ZHENG Siwen, ZHAO Wei, et al. Study on difference and control factors of coal and gas outburst disasters in Huaibei Coalfield [J]. Coal Science and Technology, 2020, 48(10): 75-83. doi: 10.13199/j.cnki.cst.2020.10.008

淮北煤田煤与瓦斯突出灾害差异性和控制因素研究

王亮^{1,2},郑思文^{1,2},赵伟³,陈大鹏^{1,2},朱子斌^{1,2}

(1.中国矿业大学 煤矿瓦斯与火灾防治教育部重点实验室,江苏 徐州 221116;

2.中国矿业大学 安全工程学院,江苏 徐州 221116;3.中国矿业大学(北京) 应急管理与安全工程学院,北京 100083)

摘要:淮北煤田是我国重要的煤炭资源开发基地,也是我国煤矿瓦斯灾害最严重的矿区之一。为了掌握淮北煤田瓦斯赋存和灾害特点,通过突出灾害案例分析、瓦斯地质参数统计和理论研究的方法,对淮北煤田瓦斯地质特征、突出灾害差异性和主控因素进行了系统研究。结果表明:淮北煤田处于徐宿弧形构造圈内,煤田内网状断裂构造纵横交错,构造密度最大可达 51 条/km²,最大煤层瓦斯压力接近 6 MPa,部分矿井岩浆侵入现象严重,煤田煤层及瓦斯赋存呈现“两极性”分布。淮北煤田发生的煤与瓦斯突出动力现象多集中在处于高瓦斯带的宿县矿区,事故占比达到 57%,煤田整体呈现“南高北低、东高西低、东南最高”的瓦斯赋存分布及瓦斯灾害分布特征。煤田内经历多期构造运动,局部区域构造分布十分复杂,地应力分布异常;岩浆侵入的热演化使得煤的微孔发育、吸附瓦斯能力增强,岩浆岩的圈闭作用为下伏煤体中的瓦斯保存提供了良好条件,使得该区域煤层易于发生煤与瓦斯突出,海孜和卧龙湖煤矿共计 15 起事故发生在岩浆岩下伏煤体的热演化区;煤田内部分煤层厚度大,如芦岭特厚松软煤层厚度大于 10 m;煤层顶底板多为透气性较差的泥岩或粉砂岩,有效抑制了煤体中瓦斯的逸散;Ⅲ—Ⅴ类构造煤广泛分布,有利于煤层瓦斯的赋存;部分矿井已延伸至-900—-1 000 m,具有开采深度大、地应力大的特点。研究结果为淮北煤田瓦斯灾害的精准防治及安全高效开采提供了支撑。

关键词:淮北煤田;煤与瓦斯突出;瓦斯地质;灾害差异性;控制因素

中图分类号:TD713

文献标识码:A

文章编号:0253-2336(2020)10-0075-08

Study on difference and control factors of coal and gas outburst disasters in Huaibei Coalfield

WANG Liang^{1,2}, ZHENG Siwen^{1,2}, ZHAO Wei³, CHEN Dapeng^{1,2}, ZHU Zibin^{1,2}

(1. Key Laboratory of Gas and Fire Control for Coal Mines, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221116, China;

2. School of Safety Engineering, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221116, China;

3. School of Emergency Management and Safety Engineering, China University of Mining & Technology-Beijing, Beijing 100083, China)

Abstract: Huaibei coalfield is an important coal resource development base in China, and it is also one of the most serious coal mine gas disasters in China. In order to master the gas occurrence and disaster characteristics of Huaibei coalfield, the gas geological characteristics, outburst disaster differences and the main controlling factors of Huaibei Coalfield were systematically studied through the methods of outburst disaster case analysis, gas geological parameter statistics and theoretical research. The results showed that Huaibei Coalfield is located in Xusu arc-shaped structure circle, the network fracture structure is Crisscross in the coalfield, the maximum structure density can reach up to 51 bars/km², the maximum coal seam gas pressure is close to 6 MPa. Some mines have serious magmatic intrusion, and the occurrence of gas presents a “bipolar” distribution. Coal and gas outburst accidents occurred in Huaibei coalfield were mostly concentrated

收稿日期:2020-04-18;责任编辑:王晓珍

基金项目:国家自然科学基金面上基金资助项目(51974300,51674252);江苏省六大人才高峰资助项目(GDZB-027);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2020ZDPY0224)

作者简介:王亮(1982—),男,江苏东海人,教授,博士生导师。E-mail:liangw1982@126.com

通讯作者:郑思文(1996—),男,辽宁朝阳人,硕士研究生。E-mail:zhengsiwen@163.com

in the Suxian Mining Area in the high gas zone, accounting for 57% of the accidents. The coalfield as a whole shows a gas occurrence of “high in the south, low in the east, low in the west, and highest in the southeast” distribution characteristics of gas disasters. The coalfield experienced multi-stage tectonic movement, the local regional structure distribution is very complex, and the in-situ stress distribution is abnormal. The thermal evolution of magmatic intrusion makes the micropores development of coal and the ability to absorb gas is enhanced. The trap effect of magmatic rock is the underlying coal body. The gas preservation provides good conditions, making the coal seams in this area prone to coal and gas outbursts. A total of 15 accidents in the Haizi and Wolonghu Coal Mines occurred in the thermal evolution area under the magmatic rock. Some coal seams in the coalfield are thick, such as Luling extra thick soft coal seams with a thickness of more than 10 m. The roof and floor of coal seam are mostly mudstone or siltstone with poor permeability, which effectively inhibits the escape of gas in the coal; the wide distribution of III—V tectonic coals is conducive to the generation of gas in coal seams; some mines have been extended to -900—-1 000 m, with the characteristics of large mining depth and large in-situ stress. Research results provides support for accurate prevention and control of gas disaster and safe and efficient mining in Huaibei Coalfield.

Keywords: Huaibei Coalfield; coal and gas outburst; gas geology; disaster difference; control factor

0 引言

在地质学上,煤层瓦斯是在复杂的地质条件下形成的气态碳氢化合物,其赋存特征主要受产气系统和封存系统的控制,与矿区的煤层地质条件紧密相关^[1]。我国地下开采的煤层地质条件复杂,瓦斯灾害程度不一,煤田的地质构造、煤层赋存特征、围岩渗透率、煤体变质程度和水文地质条件等因素展现出不同的控制作用^[2-5]。随着煤炭资源开采向深部的延深,煤与瓦斯突出(简称突出)危险性逐渐增大,突出灾害的事故越发严重,目前瓦斯已成为煤矿安全生产的“第一大杀手”^[6-7]。国内外学者对煤与瓦斯突出的控制作用进行了系统研究,认为煤与瓦斯突出仅发生在利于储气且构造应力异常的区域^[8]。褶曲构造、断裂构造、岩浆岩侵蚀及构造煤演化等诸多地质因素都有利于煤与瓦斯突出事故的发生^[9-11],其中地应力在突出灾害中起主导作用^[12],上述研究成果对煤与瓦斯突出事故防治做出了巨大贡献。我国煤层呈现多期成藏特征,不同矿区影响煤与瓦斯突出灾害的地质因素各异,导致针对性的瓦斯治理技术和工程存在较大差异,需要系统梳理不同矿区的灾害特征与主控因素,以便于实现煤矿瓦斯灾害的精准防治。因此,充分了解和掌握煤层瓦斯赋存和灾害特点及其控制因素是保障煤层安全、经济、高效开采的重要前提。

淮北煤田是我国重要的煤炭资源开发基地,煤田内地质条件十分复杂,岩浆岩侵蚀严重,构造煤广泛分布,煤层稳定性差,煤层原始煤体透气性低,多数矿井已经开采至-800 m水平以下,煤层相对瓦斯含量最高达到 25 m³/t,瓦斯压力最大接近 6 MPa^[13],导致瓦斯灾害治理难度大,安全生产面临的瓦斯风险高。笔者以淮北煤田地质特征和突出灾害事故案例为着眼点,通过采用突出灾害案例分析、

瓦斯地质参数统计和理论研究的方法,系统探讨了淮北煤田煤与瓦斯突出灾害发生的差异性,寻找控制瓦斯突出灾害特征和煤田瓦斯赋存的关键因素,为煤矿瓦斯灾害治理和安全高效开采提供理论支撑。

1 淮北煤田瓦斯地质特征

淮北煤田位于华北板块东南缘,豫淮坳陷的东部;西起夏邑-阜阳断裂,东至郟庐断裂与扬子板块为界;北起丰沛断裂与丰沛隆起相邻,南至太和-固镇断裂与蚌埠隆起为邻。区内构造复杂,受板块内部构造和板块边缘构造演化的影响,以东西向和北北东向构造为主要格局。由于多期构造运动相互叠加,北北东向构造改造早期的东西向构造,形成了纵横交错的网状断裂构造(图1)。在后期的改造过程

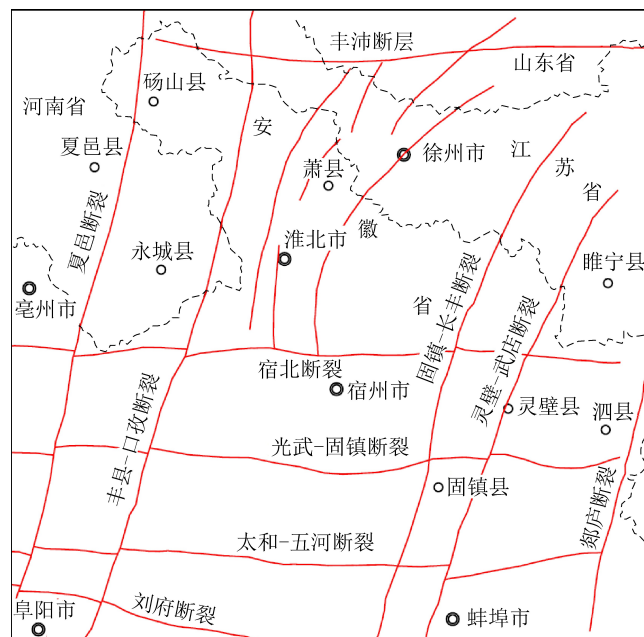


图1 淮北煤田主要构造示意

Fig.1 Main structure of Huaibei Coalfield

中,出现了较为集中的小褶曲,轴向以北北东向和近南北向为主,背斜、向斜分布平行,且一般向斜宽度大于背斜。

淮北煤田下辖濉萧、宿县、临涣、涡阳 4 个矿区,其中宿县矿区和临涣矿区位于徐淮前陆褶冲高瓦斯带,涡阳矿区位于蚌埠隆起北缘的皖西北裂陷低瓦斯带,濉萧矿区主要位于鲁西南断隆低瓦斯带(图 2)。煤田主要含煤地层位于华北石炭—二叠纪聚煤盆地东南边缘,可采煤层主要是下石盒子组的 4、6、7、8、9 煤层和山西组的 10 煤层,上石河子组少部分煤层可采,主要可采煤层为 3 煤层,煤种以煤化程度较高的气煤、肥煤、1/3 焦煤、焦煤等中等变质煤为主。根据矿井瓦斯等级划分,目前煤田范围内共有 26 对生产矿井,其中突出矿井 16 对,高瓦斯矿井 7 对,突出煤层为 3、7、8、9、10 煤层。煤田下辖 4 个矿区煤层和瓦斯储量总计分别为 117.64 亿 t、994.66 亿 m^3 ,煤层气储量丰度为 $0.423\ 3 \times 10^8\ m^3/km^2$,东南部的宿县矿区是淮北煤田煤层气储量丰度最高的矿区 ($0.624\ 2 \times 10^8\ m^3/km^2$),此后依次为临涣 ($0.687\ 4 \times 10^8\ m^3/km^2$)、涡阳 ($0.166\ 2 \times 10^8\ m^3/km^2$) 和濉萧矿区 ($0.065\ 5 \times 10^8\ m^3/km^2$)。根据生产期间实测瓦斯压力梯度的统计数据可以看出(表 1)处于高瓦斯带的矿井煤层瓦斯压力梯度明显高于低瓦斯带同一煤层瓦斯压力梯度,宿县矿区、临涣矿区各矿井主采煤层瓦斯压力梯度均在 1 MPa/hm 左右,而濉萧、涡阳矿区的主采煤层瓦斯压力梯度平均为 0.26 MPa/hm。值得注意的是,部分矿井由于存在特殊的地质条件(如海孜煤矿部分区域煤层位于厚硬岩浆岩下),导致煤层的瓦斯压力梯度显著增大。

2 淮北煤田煤与瓦斯突出灾害特征

2.1 瓦斯动力现象分布特征

淮北煤田煤炭开发至今 62 年期间共发生过不同等级的突出事故及动力现象 115 起(表 2),宿县矿区发生最多,共计 66 起,占比 57%,其中特大型突出 1 次;濉萧矿区发生的突出动力现象次数居第 2 位,共计 33 起,占比 29%;临涣矿区共发生 6 起突出动力现象,占比 14%,其中大型突出 1 次。

分析各种动力灾害空间分布规律发现,淮北煤田突出动力现象主要集中发生在宿县矿区东部及南部、濉萧矿区南部、临涣矿区中部(图 2)。在众多的突出动力现象中,发生动力现象最多的矿井为宿县矿区的祁东和芦岭煤矿,最大的突出动力现象发生

在芦岭煤矿(2003 年 4 月 7 日),突出事故中共抛出 10 500 t 煤体,喷出瓦斯量 123 万 m^3 。

表 1 淮北煤田部分矿井瓦斯压力梯度变化规律^[14]

Table 1 Variation law of gas pressure gradient in some coal mines of Huaibei Coalfield^[14]

矿区	矿井	煤层	瓦斯压力梯度/(MPa·hm ⁻¹)
濉肖矿区	石台煤矿	3 煤	0.07~1.00
		10 煤	0.19
	杨庄煤矿	5 煤	0.08~0.12
		6 煤	0.08
	袁庄煤矿	4 煤	0.235
		6 煤	0.08
	朱庄煤矿	4 煤	0.11
		5 煤	0.03
		6 煤	0.09
	宿县矿区	祁南煤矿	3 ₂ 煤
7 ₂ 煤			1.94
朱仙庄煤矿		8 煤	1.00~1.10
		10 煤	0.13
桃园煤矿	7 ₂ 煤	1.14	
	8 ₂ 煤	1.18	
	10 煤	0.19	
芦岭煤矿	8 煤	0.62~0.93	
	10 煤	0.71	
	海孜煤矿	7 煤	1.10
临涣矿区	海孜煤矿	10 煤	1.74~3.69
		童亭煤矿	7 煤
	临涣煤矿	7 煤	0.120~0.246
		9 煤	0.090~0.142
		10 煤	0.31
	孙疃煤矿	7 ₂ 煤	0.32
		8 煤	0.32
		10 煤	0.35~0.42
	许疃煤矿	3 煤	0.62
		7 煤	0.31
8 煤		0.31	
涡阳矿区	刘店煤矿	7 煤	0.34
		10 煤	0.28
涡北煤矿	7 煤	0.38	
	10 煤	0.42	

注:瓦斯压力梯度统计资料来源于对现有不同地质单元生产采区瓦斯压力实测统计结果,采用安全线法对结果进行处理^[14];石台煤矿、杨庄煤矿、海孜煤矿、刘店煤矿现在已经关闭。

表2 淮北煤田突出动力现象统计

Table 2 Statistics of outburst dynamic phenomenon in Huaibei Coalfield

矿区	矿井	动力现象起数	最大突出煤岩量/t	最大喷出瓦斯量/m ³	最大突出地点标高/m
涡阳	涡阳	0	—	—	—
濉萧	孟庄	8	70	1 429	-602
	石台	2	11	480	-155
	卧龙湖	3	92	10 000	-490/-555
	前岭	20	237	9 480	-295
临涣	海孜	12	656	13 210	-643
	童亭	4	200	—	-533
宿县	祁东	29	104	11 617	-495
	祁南	6	96	11 500	-550
	朱仙庄	5	42	200	-330
	芦岭	26	10 500	1 230 000	-590

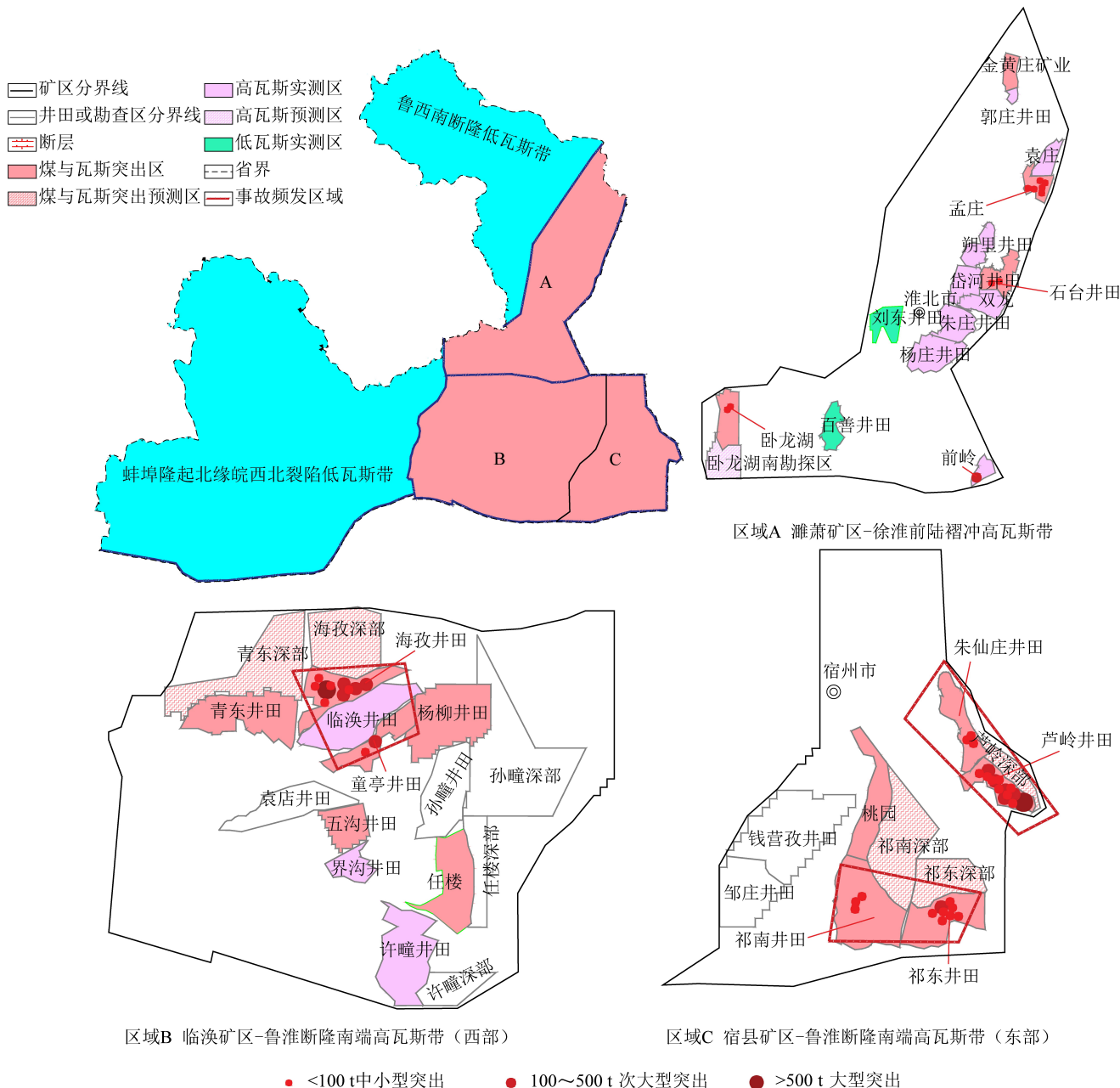


图2 淮北煤田瓦斯分带及主要突出事故分布示意

Fig.2 Gas zoning and main outburst accident distribution in Huaibei Coalfield

此外,对比突出动力现象发生的频次和年份可以发现,大部分突出动力现象发生在2000年以前(共计84次),主要由于煤层开采期间未大规模采用瓦斯抽采措施;2000年以后的突出动力现象集中在宿县和临涣矿区,且事故规模较大,突出煤量和瓦斯量有明显的增大,突出动力现象发生地点的埋深明显增加,主要与煤层开采深度、瓦斯治理技术和管理水平有关(图3)。进入2010年以后,随着相关瓦斯治理技术、装备和管理水平的提升,煤田内基本未发生突出动力现象。

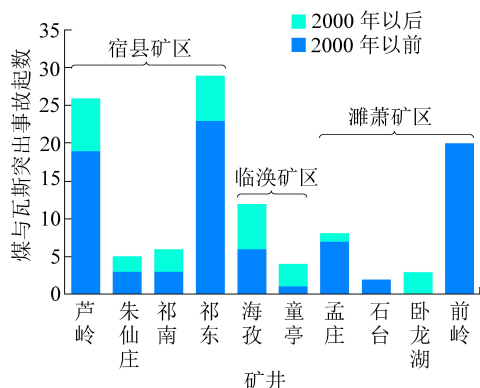


图3 淮北煤田瓦斯突出动力现象对比

Fig.3 Comparison of dynamic phenomena of gas outburst in Huaibei coalfield

通过对比瓦斯地质特征和瓦斯动力灾害案例统计分析可以发现,淮北煤田的动力灾害发生具有典型的分布特征,与煤田内的煤层地质条件密切相关,整体呈现出“南高北低、东高西低、东南最高”的瓦斯分布及煤层突出危险性分布特征。

2.2 淮北煤田煤与瓦斯突出灾害差异性特征

由于多期构造演化,使得淮北煤田煤体与瓦斯赋存存在显著的“两极化”特征(表3),其中复杂地质条件、岩浆岩侵入、围岩渗透性、构造煤特征等使得部分矿井煤层瓦斯灾害异常严重(如芦岭煤矿、海孜煤矿等),而部分矿井开采地质条件简单,瓦斯灾害风险较小。

结合突出事故案例发生数据和煤田内煤层“两极化”特征分析,可以发现淮北煤田发生的动力灾害事故基本都具有以下特征:

1)突出动力现象多发生在地质构造变化带、褶曲轴部地段和岩浆岩热演化区,其中断层带、褶曲带最为明显,如芦岭煤矿发生的26起事故中有8起发生在地质构造带附近;祁南煤矿发生的6起事故中有5起发生在地质构造带附近;海孜和卧龙湖煤矿的突出事故均发生在岩浆岩的热演化和应力影响区内。

2)突出事故发生处的煤层厚度较大或煤层厚度发生突变,突出煤体普遍变质程度较高,突出煤体较软,坚固性系数 f 值普遍在0.2~0.4,最小值仅为0.1。

3)突出煤层顶、底板以泥岩、粉砂岩为主,顶板多为透气性较低的岩体。

4)突出事故多发生在石门揭煤过程中,突出地点的垂深范围在150~700 m,多集中在450~650 m,其中8、9煤层发生的事故最为严重。

表3 煤层赋存“两极化”特征对比

Table 3 Comparison of "two polarization" characteristics of coal seam occurrence

影响因素		突出风险高极	突出风险低极
地质构造	断层密度	51条/km ² (芦岭)	—
	岩浆岩	侵入严重(海孜、杨柳、石台等)	无火成岩
瓦斯赋存	瓦斯压力	实测达5.31 MPa(桃园)	0.10 MPa左右
	煤层顶板	泥岩(透气性差,芦岭8煤)	中砂岩(透气性好,芦岭10煤)
煤体结构	煤层厚度	>10.0 m(芦岭8煤)	<1.0 m
	煤层坚固性系数	0.1左右	>1.0
	煤变质程度	无烟煤(海孜、卧龙湖)	气煤、肥煤
突出等级	万吨级突出(芦岭)	无突出	

3 煤与瓦斯突出控制因素

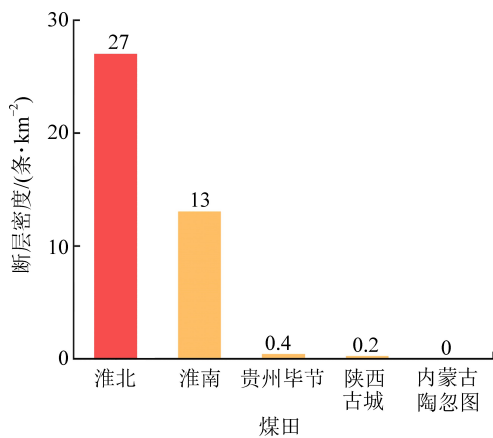
煤层瓦斯的赋存主要受地质构造、埋藏深度、围岩渗透率、煤体结构、变质程度等因素控制,而突出灾害往往发生在煤层瓦斯赋存良好的区域。目前“煤与瓦斯突出的综合假说”被大多数学者接受,即认为突出是地应力、瓦斯赋存和煤体结构综合作用的结果^[15]。突出假说中的“三因素”与控制煤层瓦斯赋存的条件息息相关,一般认为地质构造是产生构造应力、形成“构造煤”的必要条件^[16],煤层和围岩特征对煤层瓦斯存储起到关键作用,而埋藏深度的增加使得同一地质条件下煤层瓦斯灾害的程度逐渐增大。

3.1 地质构造复杂

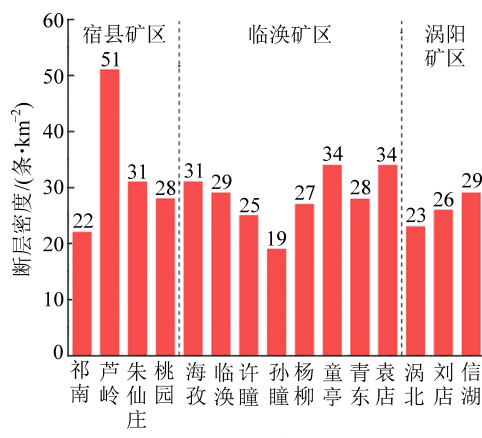
地质构造是控制煤与瓦斯突出的主导性因素之一。构造的产生导致了构造煤的发育和地应力的分布异常,提供了突出发生的必要条件,特别是构造所在的局部区域地应力为挤压应力,围岩封闭性较强,

易形成煤与瓦斯突出发生的优势区域^[17]。淮北煤田处于徐宿弧形构造圈内,弧形构造的凹侧遭受挤压而成为应力集中带,集中带有利于瓦斯的聚集和储存,区内断层密度与复杂程度显著,特别是位于徐宿弧形构造的侧弧弧顶位置的芦岭煤矿,井田内部压扭性断层较为发育,构造应力较为集中,构造附近的煤层会因受到应力挤压使得透气性降低,出现局部的瓦斯增高异常区域(图4)。

喜马拉雅期伸展环境下的不均匀沉降,使宿北断裂以南,丰涡断裂以东的临涣和宿县矿区沉积地层下降,为瓦斯的储存提供了条件;而宿北断裂以北



(a) 我国主要煤田



(b) 淮北煤田

图4 我国主要煤田构造密度统计

Fig.4 Structural density statistics of major coalfields in China

地应力场中的水平主应力由构造应力产生,水平构造应力对淮北煤田煤与瓦斯突出起着主导控制作用,其中芦岭煤矿实测最大主水平应力(SE方向)为垂直应力的2.5倍^[19],突出事故多发生于水平应力挤压作用强烈区域,高构造应力决定了高瓦斯压力的存在,构造带的煤层瓦斯压力变化梯度往往大于静水压力梯度。

3.2 岩浆侵蚀严重

淮北煤田内二叠系含煤地层受印支运动和燕山运动的影响经历了复杂的构造演化,特别是燕山期煤田区内岩浆活动频繁,导致在宿临拗断褶带的北部和中部分别沿宿北断裂及宿州-南坪断裂走向有岩浆岩体分布,为各级烟煤和无烟煤、天然焦分布地区。多起煤与瓦斯突出事故案例表明,岩浆侵入的区域是煤与瓦斯突出的危险区域之一^[20-21]。岩浆的侵入改造了煤层的应力、温度和压力环境,其热力作用、挤压作用破坏了煤的原始裂隙系统,使得热演化区煤层变质程度增加、煤层微孔发育、煤体吸附性能增大,煤与瓦斯突出灾害程度加大^[20-23]。岩浆岩对煤层控制作用如图5所示。卧龙湖煤矿发生的3

的濉肖矿区和丰涡断裂以西的涡阳矿区则相对上升,遭受剥蚀,瓦斯易于散逸。印支末期至燕山早期的北西西向的逆冲推覆,后期又经燕山中晚期和喜马拉雅期构造运动的改造,宿县矿区以压性的断裂构造为主,而临涣矿区则主要发育张性断裂,最终致使淮北矿区东南部的宿县矿区瓦斯含量最高^[18]。此外,部分矿区褶曲构造发育,如祁南煤矿中南部受贯穿煤层的王楼背斜和张学屋向斜的影响,煤层局部抬高或降低,衍生了大量的断层,煤层赋存及瓦斯赋存条件复杂,易形成瓦斯富集和突出灾害多发区。

起突出事故均位于岩浆岩的30 m的热演化区内^[23];海孜煤矿发生的12次煤与瓦斯突出均发生在平均厚度为120 m的巨厚岩床下^[20]。此外,当煤层较薄或岩体较大时,与岩体接触的煤层大多被吞蚀,残留的煤多形成天然焦或石墨^[24],此时煤层中瓦斯含量小,煤体开采时瓦斯涌出量也很小。

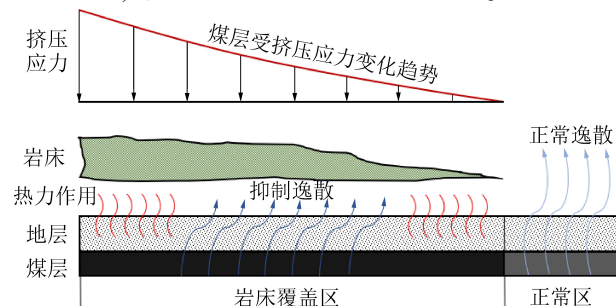


图5 岩浆岩对煤层控制作用示意

Fig.5 Magmatic rock controlling coal seam

3.3 开采深度大

目前,我国有约50对矿井开拓深度达到1000 m以下,预计在未来20年我国很多煤矿将进入1000~1500 m的深度^[25-28]。随着矿井采掘深度的增加,煤层赋存环境存在高地应力、高地温和高孔隙

水压的特点,一系列工程灾害如冲击地压、煤与瓦斯突出、底板突水、高地温等日益严重^[28]。淮北煤田经过多年的开采,深度越来越大,芦岭煤矿、海孜煤矿等突出严重的矿井延深水平达-900~-1 000 m,大部分突出矿井均进入到了突出危险区内开采(图6)。

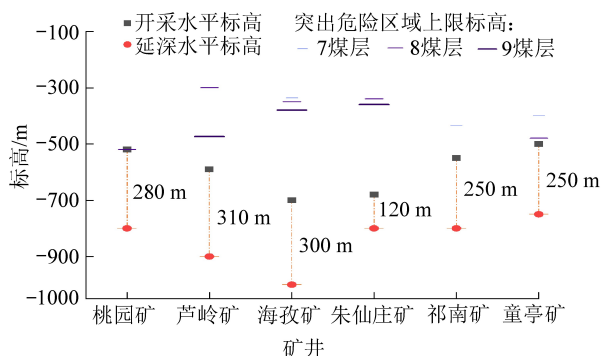


图6 矿井延深水平及突出危险区上限标高示意

Fig.6 Mine extension level and upper limit elevation of outburst risk area

随着开采深度的增加,煤层瓦斯压力、瓦斯含量、地应力等不断增大,原有的突出矿井的突出危险性越来越严重,突出频度增加,突出强度增大,大型、特大型突出所占的比例越来越大,突出造成的人员伤亡事故明显增加。

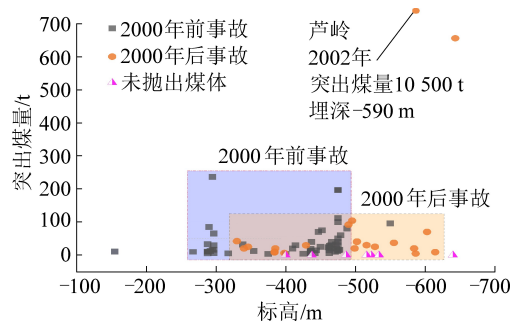
对淮北煤田发生的瓦斯动力现象的标高与突出煤量分析发现,2000年以前的事故集中发生在-500 m以浅,随着开采深度的增加,突出点逐渐向深部发展,且突出煤量的上限也在不断升高(图7a)。芦岭煤矿8、9煤层随着开采深度的增加,突出事故的突出煤量和突出瓦斯量也逐渐增大(图7b)。

3.4 围岩透气性差

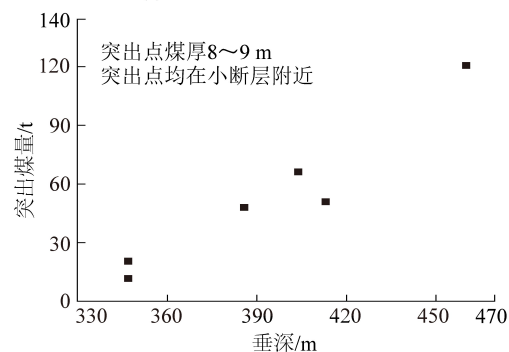
淮北煤田各煤层顶底板性质,大多为透气性较差的泥岩或粉砂岩,泥岩顶透气性较差不宜瓦斯逸散,为瓦斯的封存提供了良好的环境。以芦岭煤矿8、9、10煤层为例,8煤层与9煤层间距较近(部分区域合层),煤层之间为破碎泥岩,瓦斯可以互相渗透,8煤层顶板岩性为厚泥岩、砂质泥岩,透气性差,形成了致密的天然盖层,为8、9煤层的瓦斯储存提供了条件。而10煤层顶板中砂岩由于岩石粒度大、透气性好,是10煤层瓦斯逸散的主要通道,经过漫长的地质演化,10煤层内瓦斯向上逸散至8、9煤层中(图8),导致了区内8、9煤层瓦斯含量高,突出危险性大于10煤层。

3.5 构造煤分布广泛

淮北煤田内煤层顶底板多为泥岩、粉砂岩等强度较低的岩体,不利于煤层完整性的保护,因此被泥



(a) 突出煤量与突出点埋深分布



(b) 相似地质条件垂深与突出煤量关系

图7 瓦斯赋存与埋深关系示意

Fig.7 Relationship between gas occurrence and buried depth

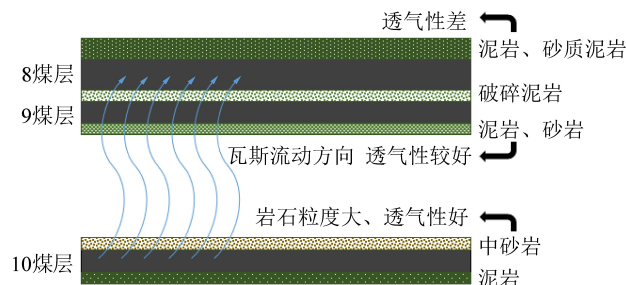


图8 芦岭煤矿煤层顶底板岩性差异示意

Fig.8 Differences of roof and floor slate in Luling coal mine

岩和粉砂岩包围的煤体很容易遭受构造破坏形成“构造煤”。借鉴前苏联矿业研究所的分类标准,《防治煤与瓦斯突出细则》将煤体的破坏类型分为5类,其中Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ类破坏类型煤体的煤层有突出危险性^[29]。研究表明,煤与瓦斯突出位置都有不同程度的煤体破坏发育。在构造作用影响下,随着煤体破坏类型的升高,煤体的孔隙结构越发育,孔隙容积增大、比表面积增大,因此煤体对瓦斯的吸附能力增强^[30]。淮北煤田经历过多次强烈的构造运动,煤层受揉搓而破碎,海孜煤矿86采区7煤层叠加岩浆岩侵入产生的构造应力影响,7煤层软分层煤样和发生煤与瓦斯突出时喷出的煤粉极其相似(图9),局部放大后发现煤颗粒大多是松散鳞片状、不规则透镜状碎片和碎块以及较小粒度的碎粒和碎粉,层理和内生裂隙难以辨认;放大2 400倍后可以发现,煤样破断面非常粗糙,上面附着有大量破碎的煤屑等

微小颗粒且发育有不规则的裂隙^[31]。呈现粉化特征的煤体能够快速解吸大量的瓦斯,极易导致瓦斯灾害发生。

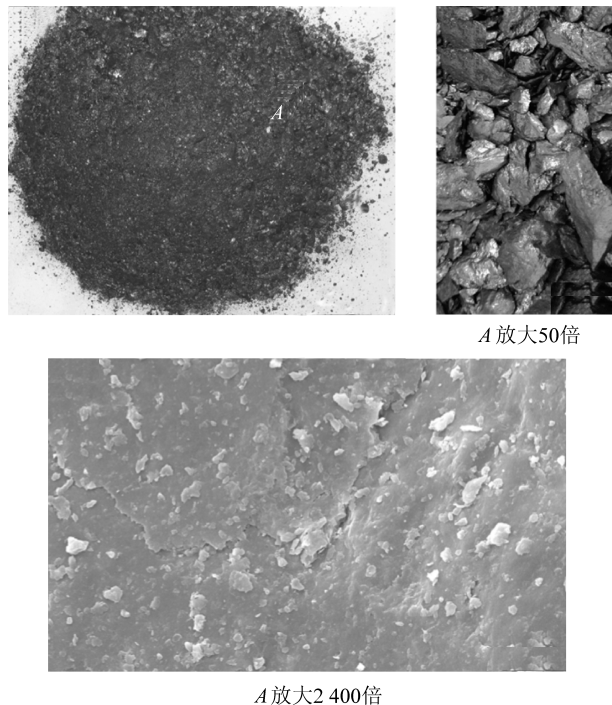


图9 海孜矿86采区7煤层煤样及电镜扫描示意

Fig.9 Picture of electron microscope of No.7 coal samples in No.86 mining area in Haizi Coal Mine

4 结 论

1) 淮北煤田处于徐宿弧形构造圈内,煤田内构造复杂,岩浆侵蚀严重。受构造作用的影响,煤田内部瓦斯赋存呈现出“南高北低、东高西低、东南部最高”的格局,突出矿井及突出事故也发生在高瓦斯带的构造集中区。

2) 淮北煤田发生的瓦斯动力灾害主要分布在宿县矿区、临涣矿区以及濉萧矿区东南部,其中宿县矿区发生的煤与瓦斯突出动力现象占比高达57%,其灾害的分布特征与瓦斯赋存分布特征相吻合;瓦斯突出灾害的差异性与煤层赋存两极化有关,煤层越靠近突出风险高极特征,突出危险性越高。

3) 淮北煤田断层密布、褶曲构造发育,整个淮北煤田的断层密度为27条/km²,其中芦岭煤矿断层密度达到51条/km²,复杂地质构造所产生的构造应力集中区对突出灾害起到控制作用;煤田内岩浆侵蚀严重,热演化区内煤体微孔发育,吸附能力增强,结合岩浆岩的圈闭作用,使其成为瓦斯灾害易发区域之一;开采深度增加,部分矿井延深水平已经达-900—-1 000 m,导致灾害发生的次数和强度显著增加;煤层顶板多以泥岩为主,对瓦斯起到封闭作

用;多期构造运动导致煤田内Ⅲ—V类构造煤广泛分布。上述诸多现象导致了淮北煤田各矿区瓦斯赋存和煤与瓦斯突出灾害特征存在较大的差异性。

参考文献 (References) :

- [1] CAI Y, LIU D, YAO Y, *et al.* Geological controls on prediction of coalbed methane of No. 3 coal seam in Southern Qinshui Basin, North China[J]. *International Journal of Coal Geology*, 2011, 88(2-3): 101-112.
- [2] PASHIN J C. Hydrodynamics of coalbed methane reservoirs in the Black Warrior Basin; Key to understanding reservoir performance and environmental issues [J]. *Applied Geochemistry*, 2007, 22(10): 2257-2272.
- [3] KARACAN C Ö, RUIZ F A, COTE M, *et al.* Coal mine methane: A review of capture and utilization practices with benefits to mining safety and to greenhouse gas reduction[J]. *International Journal of Coal Geology*. 2011, 86(2/3): 121-156.
- [4] ZHU G, GU L, SU J, *et al.* Sedimentary association of alternated mudstones and tight sandstones in China's oil and gas bearing basins and its natural gas accumulation[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2012, 50: 88-104.
- [5] ZHENG G, MA X, GUO Z, *et al.* Gas geochemistry and methane emission from Dushanzi mud volcanoes in the southern Junggar Basin, NW China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2017, 149(6): 184-190.
- [6] 程远平, 王海锋, 周红星, 等. 煤矿瓦斯防治理论与工程应用[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2010.
- [7] WANG L, CHENG Y P, LIU H Y. An analysis of fatal gas accidents in Chinese coal mines[J]. *Safety Science*, 2014, 62: 107-113.
- [8] CAO Y, HE D, GLICK D C. Coal and gas outbursts in footwalls of reverse faults[J]. *International Journal of Coal Geology*, 2001, 48(1/2): 47-63.
- [9] 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.
- [10] 舒龙勇, 程远平, 王亮, 等. 地质因素对煤层瓦斯赋存影响的研究[J]. *中国安全科学学报*, 2011, 21(2): 121-125.
SHU Longyong, CHENG Yuanping, WANG Liang, *et al.* Research on influence of geological factors on gas storage in coal seam[J]. *China Safety Science Journal*, 2011, 21(2): 121-125.
- [11] 韩军, 张宏伟. 构造演化对煤与瓦斯突出的控制作用[J]. *煤炭学报*, 2010, 35(7): 1125-1130.
HAN Jun, ZHANG Hongwei. The controlling of tectonic evolution to coal and gas outburst[J]. *Journal of China Coal Society*, 2010, 35(7): 1125-1130.
- [12] 程远平, 张晓磊, 王亮. 地应力对瓦斯压力及突出灾害的控制作用研究[J]. *采矿与安全工程学报*, 2013, 30(3): 408-414.
CHENG Yuanping, ZHANG Xiaolei, WANG Liang. Controlling effect of ground stress on gas pressure and outburst disaster[J]. *Journal of Mining & Safety Engineering*, 2013, 30(3): 408-414.

- [13] 李伟,连昌宝. 淮北煤田煤与瓦斯突出地质因素分析与防治[J]. 煤炭科学技术,2007,35(1):19-22.
LI Wei, LIAN Changbao. Geological factors analysis and prevention of coal and gas outburst in Huaibei Coal Field[J]. Mining Science and Technology,2007,35(1):19-22.
- [14] WANG L, CHENG Y P, WANG L, *et al.* Safety line method for the prediction of deep coal-seam gas pressure and its application in coal mines[J]. Safety Science,2012,50(3):523-529.
- [15] 周世宁,何学秋. 煤和瓦斯突出机理的流变假说[J]. 中国矿业大学学报,1990,19(2):4-11.
ZHOU Shining, HE Xueqiu. Rheological hypothesis of coal and gas outburst mechanism[J]. China University of Mining & Technology,1990,19(2):4-11.
- [16] 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.
- [17] 何俊,陈新生. 地质构造对煤与瓦斯突出控制作用的研究现状与发展趋势[J]. 河南理工大学学报(自然科学版),2009,28(1):1-7.
HE Jun, CHEN Xinsheng. Research state and its development trends for control function of geological structure to coal and gas outburst[J]. Journal of Henan Polytechnic University (Natural Science),2009,28(1):1-7.
- [18] 屈争辉,姜波,汪吉林,等. 淮北地区构造演化及其对煤与瓦斯的控制作用[J]. 中国煤炭地质,2008,20(10):34-37.
QU Zhenghui, JIANG Bo, WANG Jilin, *et al.* Characteristics of tectonic evolution and its controlling effects on coal and gas in Huaibei area[J]. Coal Geology of China,2008,20(10):34-37.
- [19] 朱兴珊. 特大型煤和瓦斯突出的地质条件及其成因[J]. 中国安全科学学报,1997,7(6):18-24.
ZHU Xinshan. Geological conditions and cause of formation of the especially big coal and gas outbursts[J]. China Safety Science Journal,1997,7(6):18-24.
- [20] 王亮,程远平,聂政,等. 巨厚火成岩对煤层瓦斯赋存及突出灾害的影响[J]. 中国矿业大学学报,2011,40(1):29-34.
WANG Liang, CHENG Yuanping, NIE Zheng, *et al.* Effects of an extremely thick igneous rock on gas occurrence and outburst disasters in a coal seam[J]. China University of Mining & Technology,2011,40(1):29-34.
- [21] 蔡春城,程远平,王亮,等. 前岭煤矿岩浆侵蚀区域瓦斯赋存规律研究[J]. 煤矿安全,2012,43(12):15-19.
CAI Chuncheng, CHENG Yuanping, WANG Liang, *et al.* Study on Gas Occurrence Law in Magma Erosion Area of Qianling Coal Mine[J]. Safety in Coal Mines,2012,43(12):15-19.
- [22] WANG L, CHENG Y, YANG Y, *et al.* Controlling the effect of an distant extremely thick igneous rock in overlying strata on coal mine disasters[J]. Mining Science and Technology,2010,20(4):510-511.
- [23] JIANG J, CHENG Y, WANG L, *et al.* Effect of magma intrusion on the occurrence of coal gas in the Wolonghu coalfield[J]. Mining Science and Technology,2011,21(5):737-741.
- [24] 杨起,吴冲龙. 中国煤变质作用[J]. 地球科学,1996,21(3):311-319.
YANG Qi, WU Chonglong. Coal metamorphism in China[J]. Earth Science,1996,21(3):311-319.
- [25] 谢和平,周宏伟,薛东杰,等. 煤炭深部开采与极限开采深度的研究与思考[J]. 煤炭学报,2012,37(4):535-542.
XIE Heping, ZHOU Hongwei, XUE Dongjie, *et al.* Research and consideration on deep coal mining and critical mining depth[J]. Journal of China Coal Society,2012,37(4):535-542.
- [26] 于景邨,刘志新,岳建华,等. 煤矿深部开采中的地球物理技术现状及展望[J]. 地球物理学进展,2007,27(2):586-592.
YU Jingcun, LIU Zhixin, YUE Jianhua, *et al.* Development and prospect of geophysical technology in deep mining[J]. Progress in Geophysics,2007,27(2):586-592.
- [27] 何满潮,谢和平,彭苏萍,等. 深部开采岩体力学研究[J]. 岩石力学与工程学报,2005,24(16):2803-2813.
HE Manchao, XIE Heping, PENG Suping, *et al.* Study on rock mechanics in deep mining engineering[J]. Journal of Rock Mechanics & Engineering,2005,24(16):2803-2813.
- [28] 周宏伟,谢和平,左建平. 深部高地应力下岩石力行为研究进展[J]. 力学进展,2005,35(1):91-99.
ZHOU Hongwei, XIE Heping, ZUO Jianping, *et al.* Developments in researches on mechanical behaviors of rocks under the condition of high ground pressure in the depths[J]. Advances in Mechanics,2005,35(1):91-99.
- [29] 国家煤矿安监局. 防治煤与瓦斯突出细则[M]. 北京:煤炭工业出版社,2019.
- [30] 蒋雨辰. 海孜井田岩浆构造演化区应力分布特征及其对瓦斯动力灾害控制作用[D]. 徐州:中国矿业大学,2015.
- [31] GUO H, CHENG Y, REN T, *et al.* Pulverization characteristics of coal from a strong outburst-prone coal seam and their impact on gas desorption and diffusion properties[J]. Journal of Natural Gas Science & Engineering,2016,33:867-878.