

高压水射流割缝增强瓦斯抽采及防喷孔技术研究

黄春明 代志旭 郭明功

(平顶山天安煤业股份有限公司 河南 平顶山 467099)

摘要:针对平顶山矿区地质构造复杂、瓦斯含量高及煤层透气性系数低等赋存特性,提出利用高压水射流割缝实施钻孔割缝,使煤体卸压、增透,以达到增强瓦斯抽采能力的目的。结果表明,水力割孔比普通孔抽采瓦斯量大幅提高,割缝后邻近的普通孔的瓦斯抽采浓度分别为割缝前的1.1倍和1.9倍,可见采用高压水射流割缝时瓦斯抽采平均浓度较割缝前急剧上升,且割缝还“激活”了邻近的普通瓦斯抽采钻孔,致使瓦斯抽采浓度发生突跃。另外为抑制水力割缝诱发的喷孔现象,避免施工巷道瓦斯超限,还提出一种防喷孔装置,该防喷孔装置使巷道内最高瓦斯体积分数由0.61%降至0.3%以下,全尘质量浓度由75 mg/m³降至8 mg/m³左右,呼吸性粉尘质量浓度由20 mg/m³降至2 mg/m³以下,可见此装置不仅大幅降低了巷道内瓦斯浓度,还起到了显著的降尘效果。

关键词:高压水射流;割缝;瓦斯浓度;防喷孔

中图分类号:TD712 文献标志码:A 文章编号:0253-2336(2015)04-0063-04

Study on enhanced gas drainage and borehole outburst prevention technology with high pressurized water jet slotting

HUANG Chun-ming, DAI Zhi-xu, GUO Ming-gong

(Pingdingshan Tianan Coal Mining Company Limited, Pingdingshan 467099, China)

Abstract: According to the complicated geological structure, high gas content, low seam permeability coefficient and other occurrence features of Pingdingshan Mining Area, a high pressurized oscillation pulsed water jet was applied to implement the borehole slotting and thus the seam pressure could be released and the seam permeability could be increased in order to enhance the gas drainage capacity purpose. The results showed that the gas drainage volume with the hydraulic slotting borehole could be improved much higher than the conventional borehole. After the slotting conducted, the gas drainage concentration of the neighboring conventional boreholes was increased by 1.1 times and 1.9 times higher than the slotting conducted before. When the high pressurized water jet was applied to the slotting, the average concentration of the gas drainage was seriously increased than the slotting conducted before, borehole slotting conducted could “activate” the neighboring conventional gas drainage boreholes and could cause a jumping of the gas drainage concentration. Meanwhile, in order to restrict the borehole outburst phenomenon caused by the hydraulic slotting and to eliminate the gas overlimit during the mine gateway construction, a borehole outburst prevention device was provided, after the borehole outburst prevention device applied, the highest gas concentration within the mine gateway was reduced from 0.61% to below 0.3%, the total dust concentration was reduced from 75 mg/m³ to about 8 mg/m³ and the respirable dust concentration was reduced from 20 mg/m³ to below 2 mg/m³. Thus, the device could not only highly reduce the gas concentration within the mine gateway and could have an obvious dust control effect.

Key words: high pressurized water jet; slotting; gas concentration; borehole outburst prevention

0 引言

在不具备保护层开采条件下,高瓦斯低透气性煤层的瓦斯预抽是矿井瓦斯治理的难题,主要表现

在抽采流量小、浓度低、工程量大,难以满足安全生产、资源开发和环境保护的需要。利用高压水射流进行钻孔内割缝可以克服钻孔周围的瓶颈效应,卸除煤岩体应力,减弱瓦斯内能,扩大孔内裂隙网,对

收稿日期:2014-10-16;责任编辑:王晓珍 DOI:10.13199/j.cnki.est.2015.04.015

作者简介:黄春明(1965—),男,河南信阳人,高级工程师,硕士。Tel:13903757620, E-mail:gmg666@163.com

引用格式:黄春明,代志旭,郭明功.高压水射流割缝增强瓦斯抽采及防喷孔技术研究[J].煤炭科学技术,2015,43(4):63-66,109.

HUANG Chun-ming, DAI Zhi-xu, GUO Ming-gong. Study on enhanced gas drainage and borehole outburst prevention technology with high pressurized water jet slotting[J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(4): 63-66, 109.

提高低透气性煤层的采前预抽效果非常显著^[1-2]。文献[3-4]通过水力冲割煤层卸压抽采瓦斯技术的试验研究,发现该方案对煤层卸压显著,改变了原始煤层裂隙状态,从而增大煤层透气性能,提高了瓦斯抽采量。在相同煤质条件下,水力割孔比普通孔抽采瓦斯量提高约70%。文献[5-7]对此进行了继续研究,进一步确认了高压水射流技术对煤层卸压增透的有效性,并对其相关机理展开了探索。文献[8-9]则提出一种高压旋转射流割缝增透防突技术,使瓦斯抽采量数倍于割缝前。为进一步加强煤层卸压、增透,提高瓦斯抽采效率。文献[10-11]提出利用自激振荡脉冲水射流实施煤层割缝,不仅大幅提高了瓦斯的解吸率,还获得了较高的钻进速度。由此可见,高压水射流割缝技术在煤层割缝卸压增透方面凸具潜力^[12-14]。由于不同矿区地质构造差异大、煤层赋存特性相异,该新技术及新工艺的推广必须应先开展适应性研究。因此笔者结合平煤矿区煤层瓦斯赋存特性,通过实际测试高压水射流割缝技术穿层割缝对割缝孔及其邻近普通孔瓦斯浓度的影响规律,总结其特点,以期寻求适用于平顶山矿区的高效、可靠的煤与瓦斯突出治理方法,并为后续开采提供重要的技术参数。此外,为避免割缝过程中钻孔内的瓦斯、煤、水混合物冲出封闭空间,导致巷道内瓦斯浓度升高,形成安全隐患,提出一种防喷孔装置并验证其效果。

1 平煤矿区煤与瓦斯突出概况

平煤矿区煤层赋存条件复杂,瓦斯含量高(深部区域超过30 m³/t),煤层孔隙小(<10 nm)、渗透系数低(0.000 1~0.022 8 m/d),突出危险性大,是严重的瓦斯灾害矿区之一。

目前,矿区在浅部开采时,受局部防突措施作用,煤与瓦斯突出已得到了有效防范及遏制,特别是大型突出的发生频率急剧衰减。但随着矿井向深部开采发展,地质构造情况越来越复杂,局部防突措施的局限性也逐渐显现出来,面对“三高、一复杂”(地应力高、瓦斯压力高、瓦斯含量高,地质构造复杂)的局面,突出次数虽然逐年减少,但突出强度却越来越大。截至2014年9月,已发生的157次煤与瓦斯突出中,每次突出煤量均在1 000 t以上。因而,采取切实可行的区域瓦斯治理措施防治煤与瓦斯突出,成为矿井实现安全、高效生产的首要问题。

2 高压水射流割缝原理

高压水射流割缝的基本原理为:运用高压水射流割缝对钻孔内周围煤体进行切割,受钻杆旋转及抽拉运动影响在其表层画出一系列具有一定深度的螺旋缝槽,利用水流将切割下来的煤体驱出孔外。孔内则因割缝产生一定的空间,引起煤体卸压、增透,瓶颈效应随之消失,从而使得煤层中的瓦斯充分释放,以达到提高割缝孔及邻近普通孔瓦斯流量与浓度的目的^[15-16]。

自振脉冲水射流产生的脉冲水锤压力效应使得煤岩结构应力呈现交变特征,导致煤体弹性模量、强度和渗透率等结构特性发生改变,从而影响割缝煤体内瓦斯的流动及压力分布状态^[17]。同时,射流中漩涡运动的解耦会加剧其径向振荡,在冲击试件表面时形成强烈的切应力和交变剪应力,引发煤体新生裂隙并使之连通,孔隙率增加,透气性提高,导致水力割缝钻孔与周围抽采钻孔之间的连通,实现整体卸压增透。

3 高压水射流割缝增强瓦斯抽采效果分析

3.1 高压水射流割缝试验系统

高压水射流割缝试验系统如图1所示。将该系统安装在己_{15,17}-13031回风巷750 m处。

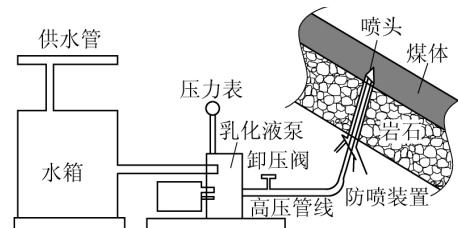


图1 高压水射流割缝试验系统

为减弱射流割缝反冲力,起始割缝压力设定在5 MPa以下,在割缝过程中视出煤情况缓慢加压,最高不超过30 MPa。泵压稳定一段时间后,压力会下降,若持续加压时其压力仍无明显变化,或者观测孔附近瓦斯浓度明显升高则说明割缝已完成。

3.2 瓦斯排放动力特性

钻孔割缝时的瓦斯动力特性是反映自振脉冲水射流割缝处理煤层瓦斯效果的重要指标之一。高瓦斯突出煤层由于水射流的切割、冲击作用,必然引起钻孔内瓦斯大量排放,甚至出现喷孔现象,导致出现多峰值浓度。因此,有自喷特性的煤层可以采取水力割缝技术,既有利于水力诱导钻孔内煤体发生小

型可控突出,造成钻孔一定范围内卸压,又有助于射流向钻孔两侧深部煤体切割、破碎,形成较宽的卸压缝槽,进一步扩大钻孔两侧的卸压源。

为分析割缝作业时孔内瓦斯动力特性,利用瓦斯探头测量各钻孔内瓦斯浓度演变特性,由实际观测可知其变化特征均相异,较为复杂。但就整体而言,可以按探头监测到的最大峰值将瓦斯排放现象分为以下3类(图2):

第1类:瓦斯动力现象尤为显著,多次发生间歇喷孔。排出煤渣细小,呈粉末状。如钻割抽采孔G20-2-1。此情况下,应降低泵压,减弱射流对煤体的冲击强度。同时,钻杆应来回转动、抽拉,疏通钻孔,以免大股瓦斯及煤渣瞬间喷出。

第2类:瓦斯动力现象较为明显,间歇喷孔次数及强度较第一类有所减弱,产生较多的块状煤渣。如钻割抽采孔G20-2-2。此情况下,可以采用定点旋转的圆盘式冲孔或边转边退的螺旋式冲孔。

第3类:几乎无瓦斯动力现象,煤渣顺畅排出,返水量较大,巷道瓦斯浓度出现小幅波动,最大峰值小于0.2,煤渣仍然呈块状。此时,可适当升高泵压,增强射流对煤体的冲击,提高排渣效率。同时,应来回旋转抽拉钻杆,以疏通钻孔。

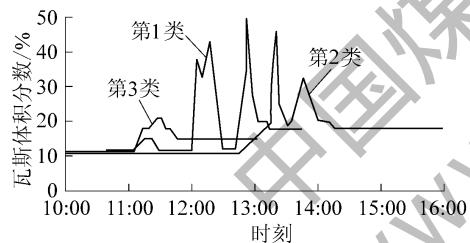


图2 瓦斯排放动力特性曲线

3.3 瓦斯抽采效果分析

为考察高压水射流割缝增强瓦斯抽采的效果,对割缝孔内瓦斯抽采浓度变化规律及割缝影响邻近普通孔的特性进行了研究。

1) 割缝孔抽采瓦斯浓度变化规律。统计割缝孔G20-2-1、G20-2-2和普通孔G20-5-1、G20-5-2在抽采43 d内的浓度,如图3所示。割缝孔与普通孔瓦斯抽采浓度在起始时间相差并不明显,之后随时间推移两者差异显著增加。这说明自振脉冲水射流对煤层的影响颇为明显,射流割缝不仅增大了瓦斯溢流空间,且由于射流的振荡冲击效应,在割缝的周围形成较大范围的高渗透裂隙区,因而引发深部煤层发生卸压(地应力减小)、变形、膨胀,大幅提高了煤体透气性,从而大幅扩展了瓦斯的

运移通道,这使得抽采中期仍呈现高瓦斯浓度。在抽采后期,由于煤层内瓦斯排放已近尾声,因而两者抽采瓦斯浓度趋于一致。

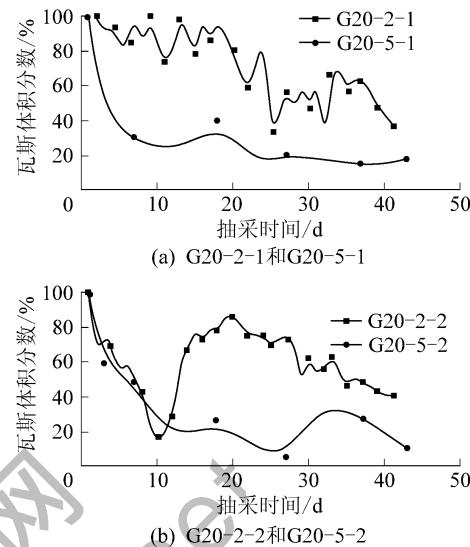


图3 割缝孔和普通孔抽采瓦斯浓度比较

为了定量分析割缝孔与普通孔浓度的差异,计算了两者在统计时间内的平均浓度,图3a中G20-2-1与G20-5-1的瓦斯抽采体积分数分别为71.6%与30.3%,而图3b所对应值则分别是59.4%和32.1%。可见割缝孔所对应的瓦斯抽采平均浓度远大于普通孔。

2) 割缝对邻近普通孔抽采瓦斯浓度的影响。割缝过程中,自激振荡射流作用于割缝孔壁,应力波以球面形式向煤层深部传播,当应力波传播至预先施工的普通孔时,传播介质发生突变,引发波的反射,形成拉应力。当反射拉应力大于煤体抗拉强度时,煤体发生断裂,出现层裂现象,这有助于改善煤体渗透性及增强抽采瓦斯浓度。为了考察割缝对邻近普通孔抽采瓦斯浓度的影响,统计了割缝孔邻近的普通孔(G20-5-1和G20-5-2)在割缝前后的浓度变化情况,结果如图4所示。

由图4可知,邻近的普通孔在抽采初期由于钻孔刚结束出现了极高的瓦斯浓度,但随时间发展却迅速衰减,随后由于割缝孔对煤层的增透影响而被激活,瓦斯浓度出现突跃。对于此现象,可做如下解释:当割缝孔中高效射流振荡冲击所形成的应力波传至邻近的普通孔时,会导致此处煤体因拉应力的作用而出现裂隙,甚至崩落,大量瓦斯便得以释放。由此可计算出割缝后邻近的普通孔G20-5-1与G20-5-2的瓦斯抽采浓度分别为割缝前的1.1倍

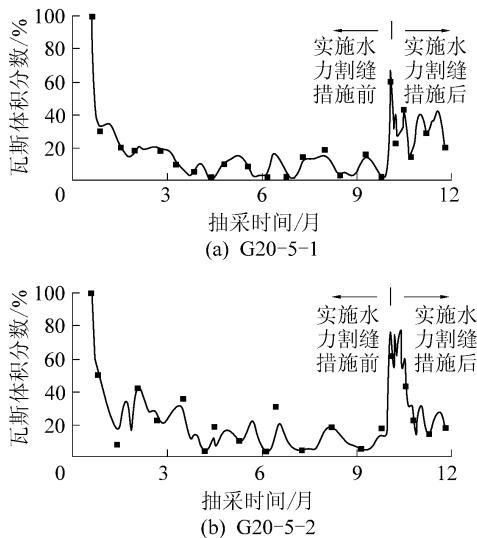


图4 割缝对邻近普通孔瓦斯抽采浓度的影响

和1.9倍。这说明自振脉冲水射流割缝不仅增强了割缝孔的瓦斯抽采浓度,还激活了邻近普通孔。

4 防喷装置设计及应用效果分析

为避免割缝过程中钻孔内的瓦斯、煤、水混合物冲出封闭空间,导致巷道内瓦斯浓度升高,形成安全隐患,为此提出一种防喷孔装置并验证其效果。

1) 防喷孔装置主要包括接收、吸气和放水排渣3个部分。

2) 防喷孔装置应用效果分析。割缝作业时,选择4个距离接近的割缝孔,其中2个使用防喷孔装置,记作SY1、SY2;余下不使用,记作WSY1、WSY2。测量距割缝孔不同位置处的瓦斯浓度变化,取观测段内瓦斯浓度最大值绘图(图5),由图5中可知,使用防喷孔装置后,周边巷道瓦斯浓度大幅受抑,基本控制在0.3%以下,未出现瓦斯超限现象。而未使用时瓦斯浓度较大,最高达0.61%。显然,该装置对巷道瓦斯抑制明显,可以保证现场施工的安全性。

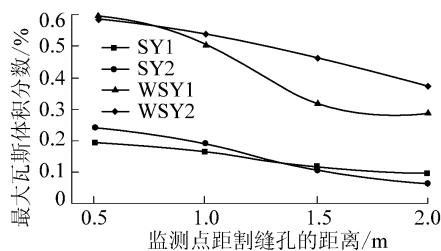


图5 防喷孔装置对巷道瓦斯浓度的影响

为考察该装置的降尘特性,采用CCHZ-1000全自动粉尘测定仪对距割缝孔不同距离处(测点布置间距为1 m)的全尘及呼吸性粉尘浓度进行分析,

并比较SY(使用防喷孔装置)与WSY(未使用防喷孔装置)2种情况下的测试结果,如图6所示。

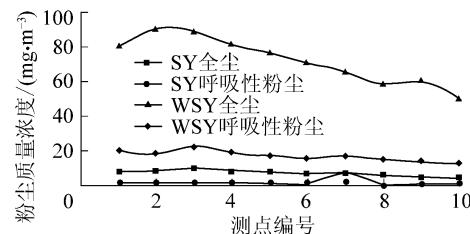


图6 防喷孔装置降尘效果

由图6可见,未使用防喷孔装置进行割缝孔施工时其粉尘量大,全尘浓度约为75 mg/m³,呼吸性粉尘浓度大致为20 mg/m³,属于危险工况。使用防喷孔装置后,全尘浓度降至8 mg/m³左右,呼吸性粉尘浓度多在2 mg/m³以下,甚至达到0.8 mg/m³。显然,防喷孔装置有效降低了粉尘,大幅减弱了对作业人员健康及设备运行的不良影响。

5 结论

1) 割缝孔的平均抽采瓦斯浓度远高于邻近普通孔,表明高压水射流割缝可以较好地解决平煤矿区高瓦斯抽采难的问题,割缝可以有效对煤体卸压、增透,促进煤体瓦斯解吸,大幅提高瓦斯抽采浓度及抽采总量,降低抽采时间。

2) 割缝孔与邻近普通孔瓦斯浓度在抽采初期与尾期相差不大,但是在抽采中期两者表现出显著差异。在采样时间段,前者平均浓度远高于后者。这说明采用自振脉冲水射流在提高瓦斯抽采率方面具有发展潜力。

3) 与割缝孔邻近的普通孔在抽采初期具有极高的瓦斯浓度,但随时间推移却迅速减弱,之后由于割缝孔对煤层的增透影响发生突变,邻近孔瓦斯抽采浓度明显提升,表明割缝可以激活邻近的普通孔。

4) 设计了一种新式防喷孔装置,避免割缝过程中钻孔内的瓦斯、煤、水混合物冲出封闭空间,导致巷道内瓦斯浓度升高,形成安全隐患。

参考文献:

- [1] TANG Shu-heng, WANG Yan-bin, ZHANG Dai-sheng. A comprehensive appraisal on the characteristics of coal-bed methane reservoir in turpan-hami basin[J]. Journal of China University of Mining & Technology 2007, 17(4): 521-525.

(下转第109页)

提供了物质基础。

2) 根据扫描电镜和背散射电镜结果,笔石体轴部或翼部碳含量较高,其他部位矿物质含量高,说明了笔石体演化向着增碳发展。C元素是构造笔石体壁的固有成分;Fe元素在笔石体上含量高,亦有可能与生物体富集或其有机质吸附有关;其他元素由于变化较大,有待进一步的探索研究。

3) 围岩中草莓状黄铁矿的存在说明沉积水体为缺氧静水环境,是笔石软体在细菌作用下分解的证据。 $\delta^{13}\text{C}$ 同位素最轻说明富含类脂质有机物,水体的极度缺氧使有川南地区志留系龙马溪组黑色笔石页岩的有机质丰度高,有机质类型以I型(腐泥型)为主,有机质成熟度高。

4) 笔石硬体基本上由碳元素组成,结合有机质成熟度达到过成熟阶段的事实以及有机质丰富恢复结果,可间接说明页岩气的生成与笔石化石可能存在有某种成因上的联系。

致谢:兰州大学资源与环境学院张同伟教授提供本文研究所需样品,特此致谢!

参考文献:

- [1] 刘大锰,李俊乾,李紫楠.我国页岩气富集成藏机理及其形成条件研究[J].煤炭科学技术,2013,41(9):66-70,74.
- [2] 张金川,金之钧,袁明生.页岩气成藏机理和分布[J].天然气工业,2004,24(7):15-18.
- [3] 杨宁,唐书恒,张松航,等.湘西北龙马溪组页岩气地质条件及有利区优选[J].煤炭科学技术,2014,42(8):104-108.
- [4] 郭英海,李壮福,李大华,等.四川地区早志留世岩相古地理
- [5] [J].古地理学报,2004,6(1):20-29.
- [6] 罗跃,朱炎铭,陈尚斌.四川省文兴县志留系龙马溪组页岩有机质特征[J].黑龙江科技学院学报,2010,20(1):32-34,39.
- [7] 张小龙,李艳芳,吕海刚,等.四川盆地志留系龙马溪组有机质特征与沉积环境的关系[J].煤炭学报,2013,38(5):851-856.
- [8] 陈波,皮定成.中上扬子地区志留系龙马溪组页岩气资源潜力评价[J].中国石油勘探,2009(3):15-19.
- [9] 方俊华,朱炎铭,魏伟,等.蜀南地区龙马溪组页岩气成藏基础分析[J].特种油气藏,2010,17(6):46-49.
- [10] 李贤庆,赵佩孙,杰,等.川南地区下古生界页岩气成藏条件研究[J].煤炭学报,2013,38(5):864-869.
- [11] 张永铭,刘冠邦,边立曾.古生物学:上册[M].北京:地质出版社,1988:343.
- [12] Müller K J. Phosphatocopine ostracodes with preserved appendages from the Upper Cambrian of Sweden[J]. Lethaia,1979,12(1):1-27.
- [13] Rickards R B,Partridge P L,Banks M R. Psigraptus jacksoni Rickards and Stait - Systematics, reconstruction, distribution and preservation[J]. Alcheringa,1991,15:243-254.
- [14] 刘大锰,侯孝强,蒋金鹏,等.笔石组成与结构的微区分析[J].矿物学报,1996,16(1):53-57.
- [15] 刘大锰,艾天杰,汤达祯.动物碎屑的光性变化及研究意义[J].地学前缘,2000,7(3):291-296.
- [16] 严德天,王清晨,陈代钊,等.扬子及周缘地区上奥陶统-下志留统烃源岩发育环境及其控制因素[J].地质学报,2008,82(3):321-327.
- [17] 苏文博,李志明,Frank R. Ettensohn,等.华南五峰组-龙马溪组黑色岩系时空展布的主控因素及其启示[J].地球科学:中国地质大学学报,2007,32(6):819-827.
- [18] 秦建中,郑伦举,腾格尔.海相高演化烃源岩总有机碳恢复系数研究[J].地球科学:中国地质大学学报,2007,32(6):853-860.
- [19] (上接第66页)
- [20] 张萌博,张海宾,林柏泉,等.穿层钻割一体化卸压增透技术数值模拟分析及应用[J].煤炭工程,2010(10):66-68.
- [21] 邹忠有,白铁刚,姜文忠,等.水力冲割煤层卸压抽采瓦斯技术的研究[J].煤矿安全,2000,31(1):34-36.
- [22] 段康廉,冯增朝,赵阳升,等.低渗透煤层钻孔与水力割缝瓦斯排放的实验研究[J].煤炭学报,2002,27(1):50-53.
- [23] 杨栋,冯增朝,赵阳升.大煤样瓦斯抽采试验研究及尺寸效应现象[J].岩石力学与工程学报,2004,23(2):4912-4915.
- [24] 林柏泉,孟凡伟,张海宾.基于区域瓦斯治理的钻割抽一体化技术研究及应用[J].煤炭学报,2011,36(1):75-80.
- [25] 沈春明,林柏泉,吴海进.高压水射流割缝及其对煤体透气性的影响[J].煤炭学报,2011,36(12):2058-2063.
- [26] 张建国,林柏泉,翟成.穿层钻孔高压旋转水射流割缝增透防突技术研究与应用[J].采矿与安全工程学报,2012,29(3):411-415.
- [27] 袁波,康勇,李晓红,等.煤层水力割缝系统性能瞬变特性研究[J].煤炭学报,2013,38(12):2153-2157.
- [28] 李晓红,卢义玉,赵瑜,等.高压脉冲水射流提高松软煤层透气性的研究[J].煤炭学报,2008,33(3):1386-1390.
- [29] 卢义玉,葛兆龙,李晓红,等.脉冲射流割缝技术在石门揭煤中的应用研究[J].中国矿业大学学报,2010,39(1):55-58.
- [30] 刘永胜,傅洪贤,王梦恕,等.水耦合定向断裂装药结构试验及机理分析[J].北京交通大学学报,2009,33(1):109-112.
- [31] 韩迎龙,李进贤,曹琪,等.高压水射流撞击推进剂壁面稳态流场的数值模拟[J].火炸药学报,2010,33(5):56-60.
- [32] 杨清文,王晓敏.前混合磨料水射流切割钢板和混凝土的实验研究[J].兵工学报,2005,26(1):133-135.
- [33] 马飞,张文明.淹没水射流土层扩孔方程[J].北京科技大学学报,2005,27(3):268-271.
- [34] 刘力红,张东速.高压水射流除锈技术[J].材料保护,1997,30(6):16-17.
- [35] 张东速.前混合磨料射流除锈技术的试验研究[J].材料保护,1995,8(28):4-6.