

天池矿 102 综放孤岛工作面以风治火技术

周西华^{1,2}, 聂荣山^{1,2}, 宋东平^{1,2}, 白刚^{1,2}, 刘振岭³, 张树岭⁴

1. 辽宁工程技术大学安全科学与工程学院, 阜新 123000
2. 矿山热动力灾害与防治教育部重点实验室, 阜新 123000
3. 中国石化长城能源化工有限公司煤炭资源部, 北京 100012
4. 阜新市新邱区煤炭工业管理局, 阜新 123005

摘要 为了防治天池煤矿 15#煤层 102 综放孤岛工作面采空区煤炭自燃发火, 基于采空区自燃“三带”划分标准和数值模拟的方法, 采用流体力学 COMSOL 计算软件, 研究了工作面不同进风量时采空区氧化升温带的变化规律, 确定了氧化升温带的范围, 得到工作面供风量与氧化升温带宽度的拟合曲线。通过现场实践, 研究了加强封堵和均压等以风治火技术对 103 回风闭墙采空区 CO 体积分数的影响。研究结果表明, U+I 型 102 工作面采空区自燃发火主要是由采空区漏风引起; 氧化升温带宽度随着工作面供风量的增加而增加; 均压后, 103 回风闭墙采空区的 CO 体积分数由最开始的超过 20×10^{-6} 降至 5×10^{-6} 。在 102 综放孤岛工作面的现场实践表明, 运用以风治火技术防治天池煤矿采空区遗煤自燃是可行的, 对于类似综放孤岛工作面防止遗煤自燃有一定借鉴意义。

关键词 综放孤岛工作面; 数值模拟; 采空区漏风; 以风治火技术

中图分类号 TD75*2.2

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2015.22.013

Wind preventing fire technology in the 102 full mechanized isolated island caving face of Tianchi coal mine

ZHOU Xihua^{1,2}, NIE Rongshan^{1,2}, SONG Dongping^{1,2}, BAI Gang^{1,2}, LIU Zhenling³, ZHANG Shuling⁴

1. College of Safety Science and Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China
2. Key Laboratory of Mine Thermodynamic Disasters and Control of Ministry of Education, Fuxin 123000, China
3. Ministry of Coal Resources of the Great Wall Energy Chemical Industry Co., Ltd., of Sinopec, Beijing 100012, China
4. Coal Industry Admins Bureau of Xinqiu District of Fuxin, Fuxin 123005, China

Abstract In order to prevent coal spontaneous combustion in goaf of the 102 fully mechanized caving island coal face located in 15# coal seam of Tianchi coal mine, the change law of oxygenation heating-up zone in goaf under different air supply volumes was studied according to the division standard of spontaneous combustion "three zones" in goaf, using the computational fluid dynamics software COMSOL. The scopes of oxygenation heating-up zone was determined, the fitting curve between air supply volume of working face and the width of oxygenation heating-up zone was obtained. The results showed that air leakage in goaf is the main reason for spontaneous combustion in goaf of U+I 102 caving face. The width of oxygenation heating-up zone increased with the increase of air supply volume of the working face. The concentration of CO in the 103 return air closed wall of goaf reduced from more than 20×10^{-6}

收稿日期: 2015-03-09; 修回日期: 2015-04-20

基金项目: 国家自然科学基金项目 (51274115, 51274113)

作者简介: 周西华, 教授, 研究方向为煤矿火灾防治、瓦斯防治等, 电子信箱: xihua_zhou68@163.com; 聂荣山 (共同第一作者), 硕士研究生, 研究方向为矿井火灾防治等, 电子信箱: 912403130@qq.com

引用格式: 周西华, 聂荣山, 宋东平, 等. 天池矿 102 综放孤岛工作面以风治火技术[J]. 科技导报, 2015, 33(22): 78-82.

at the beginning to 5×10^{-6} after equalizing. The field practice on the 102 fully mechanized caving island coal face showed that it is feasible to prevent spontaneous combustion of residual coal in goaf of Tianchi coal mine with the wind preventing fire technology.

Keywords full-mechanized island caving face; numerical simulation; goaf air leaking; wind preventing fire technology

采用综放技术开采煤层时,由于井下复杂的环境,采空区遗煤较多,遗煤与漏入采空区中氧气发生氧化反应,致使煤炭自燃发火,从而威胁矿井的安全生产^[1]。尤其随着煤矿开采深度和强度的增加,矿井需风量加大,导致通风网络更加复杂、漏风强度和风流控制难度增大,更易诱发矿井火灾以及由火灾诱发的瓦斯爆炸等事故。所以采取有效的防火措施成为当前亟待解决的问题。目前,国内外研究人员进行了阻化泡沫防灭火、三相泡沫防灭火、注惰防灭火、注浆防灭火等方面的研究^[2-4]。但这些研究基本上前期准备材料耗时较长,人员需求量较大,操作工序比较复杂,所需成本较高^[5]。究其根本原因火灾的发生主要是因风致火,只要合理调整井下风流和改变巷道风压分布、均衡采空区两侧的压差,避免火区内气体的流动与交换,便可达到抑制煤炭自燃的目的。为此,本文基于CFD理论,利用COMSOL软件对天池矿102工作面不同供风量下采空区自燃“三带”变化规律进行数值模拟。

1 102工作面概况

天池煤矿102工作面位于1150水平15#煤层一采区,在101与103工作面中间,由于101及103工作面均已采完,102形成孤岛工作面。102工作面走向长900 m,倾斜长159 m,采高2.6 m,采用厚煤层综放顶煤开采,放顶煤高度2.7 m,采放比为1.00:1.04,现开采的15#煤层厚度平均是5.3 m,倾角平均为7°,煤层含一层平均厚度为0.01 m的夹矸。15#煤层属于自燃煤层,自燃发火期为71 d。102工作面瓦斯绝对涌出总量66.6 m³/min,相对涌出量20.95 m³/t,属于高瓦斯工作面。为解决放顶煤开采瓦斯超限问题,天池矿在102工作面布置时采取了U+I型一进两回通风方式,工作面巷道布置如图1所示。

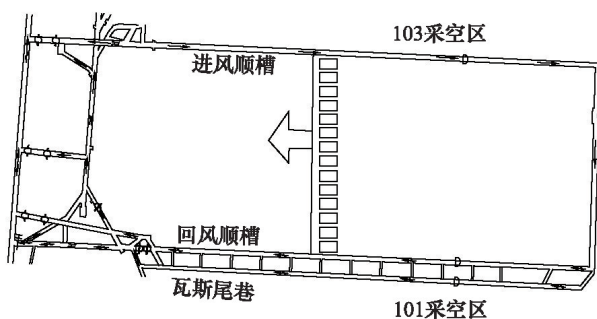


图1 102工作面巷道布置

Fig. 1 Roadway layout of the 102 working face

2 采空区漏风分析及遗煤分布状态

大量统计资料^[6]表明,采空区是井下遗煤最易自燃的地方。一般情况下,发火位置大多在“两道两线”附近,这与采空区漏风以及遗煤分布状态有关。

2.1 采空区漏风分析

文献[7]-[9]表明:煤层开采后,由于岩层的移动和破断,产生了采动裂隙,随着工作面的推进,当到一定距离时,离层裂隙和破断裂隙相互贯通,形成一个在空间上动态变化的采动裂隙椭抛带,椭抛带煤体与岩体间的孔隙互相连通,为采空区漏风创造了条件。101采空区相邻于102工作面回风侧,103采空区相邻于102工作面进风侧。102采空区后方两道的煤柱受到很大的矿山压力,导致煤柱压酥,使得102采空区与101、103采空区连成一片,形成复杂的采空区漏风网络,加快了采空区遗煤的氧化生热速度,给采空区煤炭自燃创造了有利条件。

2.2 采空区遗煤分布状态

102孤岛工作面两侧均为采空区,由于集中应力的作用,采空区两道煤柱破碎严重且支护难度大,遗煤较多。而正常情况下,位于卸压区的采空区中部,遗煤较少^[10]。另外,在工作面切眼和停采线都不放顶煤,由于煤壁受采动应力作用较大,导致破碎和片帮严重,也成为了浮煤易于积聚的地点。因此,“两道两线”附近采空区煤炭自燃危险性较大。

3 采空区自然发火与供风量关系的数值模拟

3.1 102工作面需风量计算

102综放孤岛工作面需风量计算标准是依据《煤矿安全规程》和《102综放工作面作业规程》,按照“四算一校核”的标准计算,得102综放孤岛工作面需风量 $Q=Q_i=2400$ m³/min ($Q_i=1300$ m³/min, $Q_g=1100$ m³/min, Q_i 、 Q_r 、 Q_g 分别为进风巷、回风巷、瓦斯尾巷需风量)。在102工作面进风联络巷与回风巷交叉的位置,回风巷与瓦斯尾巷之间,通过调节风门保证两条巷道的风量配置保持在一定范围内。

3.2 数值模拟的边界条件及计算参数设置

为了有效防治采空区遗煤自燃,本文利用COMSOL软件对采空区流场进行数值模拟。模拟条件及参数按现场实际选取,根据102工作面风流参数测试结果见表1,计算区域长107.5 m(工作面宽7.5 m、采空区走向长100 m),宽170 m(工作面倾斜长160 m)。工作面进风顺槽:风流温度19.6℃,氧气体积分数20.8%。

由多孔介质Carman公式,得渗透率表达式为

$$K = \frac{D_m^2 n^3}{180(1-n)^2} \quad (1)$$

式中, D_m 为多孔介质骨架的平均粒径, m ; n 为孔隙率, $n = 1 - 1/K_p$ 。

表 1 102 工作面风流参数

Table 1 Airflow parameters of the 102 working face

测点	断面形状	宽/m	高/m	断面/m ²	风速/(m·s ⁻¹)	$\varphi_{CH_4}/\%$	密度/(kg·m ⁻³)
进风顺槽	矩形	4.5	3.0	13.50	2.963	0.04	1.089
回风顺槽	矩形	4.5	2.7	12.15	1.793	0.44	1.078
尾巷	矩形	3.5	2.7	9.45	1.981	2.33	1.084

计算参数设置: $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$; u_0 为运输顺槽风速, m/s ; η 常温下取 $1.7894 \times 10^{-5} \text{ kg/ms}$; K 为采空区渗透率, 自然堆积状态下渗透率 $K_1 = 5.388 \times 10^{-6} \text{ m}^2$, 受载荷影响的区域岩体渗透率 $K_2 = 3.55 \times 10^{-6} \text{ m}^2$; 压实稳定区岩体渗透率 $K_3 = 1.48 \times 10^{-6} \text{ m}^2$; D 取 $2.88 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$; R 为反应率:

$$R = -\frac{C\gamma_0(1-n)}{C_0n} e^{bt} \quad (2)$$

式中, $C_0 = 9.375 \text{ mol/m}^3$; 新鲜风流中 $\gamma_0 = 1.28 \times 10^{-5} \text{ kg/(m}^3 \cdot \text{s)}$; b 为实验常数, 取 0.0235。

渗透率呈指数递减趋势, 102 综放工作面渗透率 K 拟合曲线为

$$K = (0.107 + 0.187e^{-\frac{x}{13.076}})(0.726 - 1.56e^{-4}y + 1.09e^{-4}y^2)\eta \quad (3)$$

3.3 数值模拟及结果分析

为了寻求供风量变化对 102 工作面采空区自然“三带”的影响规律, 在进风量分别为 33.3、40.0、46.7 及 53.3 m^3/s 时, 对采空区氧化升温带的变化规律进行数值模拟。

对采空区自燃“三带”的划分, 国内广泛采用氧浓度划分法、漏风风速划分法和升温速率划分法^[11,12]。3 种划分方法对应的采空区氧化升温带指标分别是氧体积分数在 8%~18%、漏风风速在 0.0016~0.004 m/s 和采空区内升温速率 $K > 1 \text{ } ^\circ\text{C/d}$ 的区域。

鉴于 102 工作面采空区瓦斯涌出量较大, 采用氧浓度和

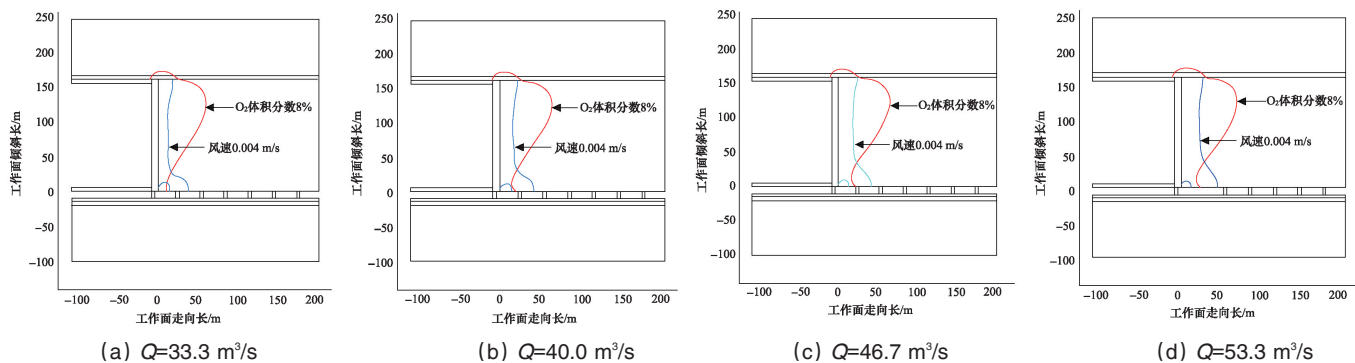


图 3 不同工作面风量时采空区氧化升温带范围数值模拟

Fig. 3 Numerical simulation of goaf oxidation heating zone scopes with different air flows in working face

从图 3 可以看出, 随着风量的增大采空区氧化升温带的最大宽度变化很小, 但是最大漏风风速等值线和最低氧浓度等值线均有所变化。具体表现: 最大漏风风速等值线 0.004

漏风风速相结合的方法划分采空区自燃“三带”更为合理。即散热带与氧化带的界限以风速 0.004 m/s 为限, 氧化带与窒息带以氧气体积分数 8% 为界限。在工作面供风量不同时, 结合两种划分方法, 通过模拟计算的采空区氧化升温带范围如表 2。表 2 中的数据呈非线性递增关系, 可采用二次多项式拟合的方式对不同风量 (x) 时氧化升温带宽度 (y) 进行拟合, 拟合结果如图 2 所示。

表 2 不同风量时采空区氧化升温带范围对比

Table 2 Contrast table of goaf oxidation heating zone scopes with different air flows

风量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	氧化升温带范围/m		
	最前	最远	宽
33.3	10.7	59	48.3
40.0	13.0	62	49.0
46.7	15.5	65	49.5
53.3	18.0	68	50.0

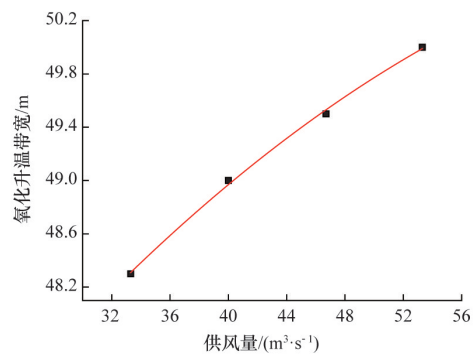


图 2 不同风量时氧化升温带宽度拟合曲线

Fig. 2 Fitting curve of oxidation temperature width at different air volumes

由图 2 曲线可看出, 氧化升温带宽度随着工作面供风量的增加逐渐变宽, 但变宽的幅度逐渐减小, 因此, 在现场应用时可以根据工作面供风量宏观地预测氧化升温带的宽度。采空区自燃“三带”变化规律如图 3 所示。

m/s 随着供风量的增加向采空区深部移动, 但移动距离较小; 自然最低氧气体积分数等值线 8% 随着进风量的增加向后移动, 氧化升温带宽度也随着进风量的增加而增加。

4 以风治火技术在天池矿的应用分析

102工作面进风巷与103尾巷邻近,受采动影响102工作面进风巷与103尾巷之间的煤柱产生裂缝,导致102采空区漏风严重。同时由数值模拟结果,工作面供风量越大,自燃“三带”越大,遗煤越易自燃。由此可见,煤炭自燃主要是工作面风量过大导致采空区漏风强度增大引起的。为此,笔者提出以风治火技术。均压作为“以风治火”技术之一,方法简单,操作容易,深受煤矿企业欢迎^[3]。为了防止102工作面煤炭自燃发生,对103工作面采用均压和固体泡沫加固103采空区进、回风闭墙的方法。

4.1 102工作面及103采空区通风参数测试

102工作面开采时,103采空区始终有CO,且浓度较高,超过 20×10^{-6} 。为了及时掌握102工作面及103采空区的压能分布,对102工作面进回风巷、103密闭内外压力进行测试,测试记录及结果见表3。

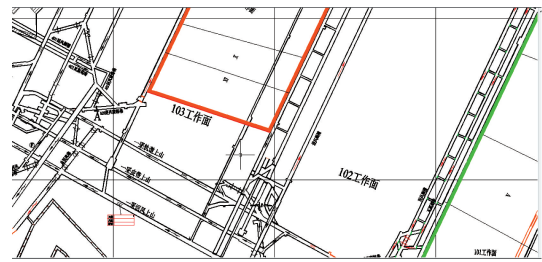
表3 天池煤矿一采区各点压差测试结果

Table 3 Pressure test results of differential points in the first mining area for Tianchi coal mine

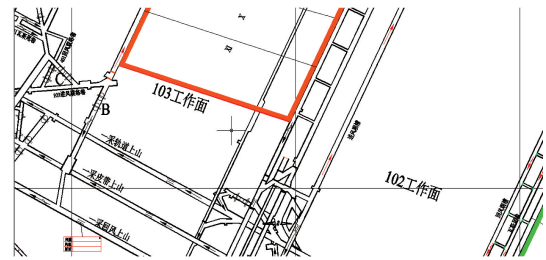
测点位置	差压/Pa	静压差/Pa
102进风下隅角	-129.4	280.5
102回风上隅角	-409.9	
102回风联络巷风门前	118.7	
102回风联络巷风门后	-689.4	808.1
401回风联络巷风门前	689.4	
401回风联络巷风门后	-199.1	888.5
103进风调风墙前	660.0	
103进风调风墙后	-259.9	919.9

4.2 103工作面采空区均压措施

在103工作面开采期间,因各种原因推进速度过慢,曾出现过CO浓度超限,此后103采空区CO一直存在,故102工作面开采期间对103采空区一直进行CO浓度监测。根据对102工作面及其相邻的101、103工作面封闭墙外的通风状况进行的测试结果可知,103采空区进回风两侧的压差超过103进风调风墙的压差920 Pa,造成103采空区漏风较大,出现CO,其体积分数始终在 20×10^{-6} 以上。为了降低103采空区两侧的压差,减少漏风,采取均压措施,将103进风调风墙A拆除,移到103工作面进风密闭墙通回风道的B处,将调压风墙改为两道调节风门,同时将103进风联络巷通总回风道的联络巷C处设置两道风门,如图4所示。这样103进风密闭墙外处于进风,提高了此处的压力,减小了103工作面采空区进回风两侧的压差,实现了均压。均压前后103工作面回风密闭墙内采空区CO浓度变化如图5。



(a) 均压措施前



(b) 均压措施后

图4 103采空区均压措施位置

Fig. 4 Location of equalizing measure in the 103 goaf

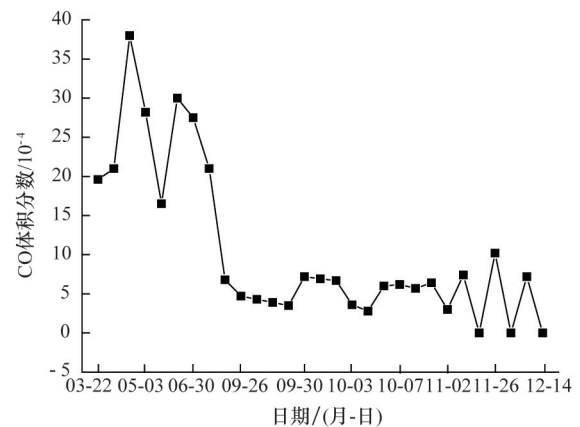


图5 102工作面开采期间103回风闭墙里CO浓度监测结果

Fig. 5 Monitoring results of CO concentrations in the 103 return air closed wall during the 102 working face mining

从图5中可以看出,均压后,103采空区进、回风压差降低了920 Pa,103采空区的CO浓度大大降低,维持在 5×10^{-6} 。以风治火技术的实施有效预防了102孤岛工作面采空区浮煤自燃发火,实现了102综放工作面的安全、高效回采。

5 结论

1) 通过理论分析和数值模拟得出采空区漏风是引起煤炭自燃发火的主要因素。

2) 由工作面不同供风量时采空区自燃“三带”数值模拟,得出工作面风量由 $2000 \text{ m}^3/\text{min}$ 增至 $3200 \text{ m}^3/\text{min}$ 时,氧化升温带宽度由48.3 m增至50 m,并利用回归分析方法得到了工作面供风量与采空区氧化升温带宽度近似成二次函数关系。

3) 通过对与 102 工作面相连的 103 工作面采空区的密闭进行气体监测、加强封堵和均压等以风治火技术, 103 采空区进、回风两侧的压差大大降低, 减少了邻近采空区的漏风, 有效防止了 102 采空区的自燃发火。

参考文献 (References)

- [1] 王德明. 矿井火灾学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2011.
Wang Deming. Mine fires[M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 2011.
- [2] 曹鹏. 天池煤矿高瓦斯自燃煤层孤岛工作面防灭火研究[D]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2010.
Cao Peng. Research of fire prevention and extinguishing on high gas spontaneous combustion coal seam and island face of Tianchi coal mining[D]. Fuxin: Liaoning Technical University, 2010.
- [3] 秦波涛, 王德明, 毕强, 等. 三相泡沫防治采空区煤炭自燃研究[J]. 中国矿业大学学报, 2006, 35(2): 162-166.
Qin Botao, Wang Deming, Bi Qiang, et al. Three phase foam for preventing spontaneous combustion of coal in goaf[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2006, 35(2): 162-166.
- [4] 柏发松, 方昌才, 陈宿, 等. 综采工作面架间高位插管注浆防灭火应用研究[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(5): 45-47.
Bai Fasong, Fang Changcai, Chen Su, et al. Study on application of grouting fire prevention and control with high level tube in goaf between hydraulic powered supports of fully-mechanized coal mining face[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(5): 45-47
- [5] 秦波涛, 王德明. 矿井防灭火技术现状及研究进展[J]. 中国安全科学学报, 2007, 17(12): 80-85.
Qin Botao, Wang Deming. Present situation and development of mine fire control technology [J]. China Safety Science Journal, 2007, 17(2): 80-85.
- [6] 毕波. 古山矿易自燃特厚煤层综放面采空区防灭火数值模拟[D]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2010.
Bi Bo. Numerical simulation of fire prevention and control at goaf of fully mechanized top coal caving workforce in inflammable extra-thick coal seam of gushan mine [D]. Fuxin: Liaoning Technical University, 2010.
- [7] 李树刚, 石平五, 钱鸣高. 覆岩采动裂隙椭抛带动态分布特征研究[J]. 矿山压力与顶板管理, 1999(3-4): 44-46.
Li Shugang, Shi Pingwu, Qian Minggao. Distribution features of mining fissure elliptic paraboloid zone[J]. Ground Pressure and Strata Control, 1999(3-4) : 44-46.
- [8] 李树刚, 林海飞. 采动裂隙椭抛带分布特征的相似模拟实验分析[J]. 煤, 2008, 17(2): 19-21.
Li Shugang, Lin Haifei. Model experiment analysis of distribution features of mining fissure elliptic paraboloid zone[J]. Coal, 2008, 17(2): 19-21.
- [9] 许家林, 钱鸣高. 岩层采动裂隙分布在绿色开采中的应用[J]. 中国矿业大学学报, 2004, 33(2): 141-144.
Xu Jialin, Qian Minggao. Study and application of mining-induced fracture distribution in mining[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2004, 33(2): 141-144.
- [10] 杨胜强, 张人伟, 邸志前, 等. 综采面采空区自燃“三带的分布规律”[J]. 中国矿业大学学报, 2000, 29(1): 93-96.
Yang Shengqiang, Zhang Renwei, Di Zhiqian, et al. Distribution regularity of spontaneous combustion “ythree-zone” in goaf of fully-mechanized coal faces[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2000, 29(1): 93-96.
- [11] Ren T X, Richards M J. Computerised system for the study of the spontaneous combustion of coal[J]. Mining Engineer, 1994, 154(398): 121-127.
- [12] 郝朝瑜, 王继仁, 廉振山, 等. 综放采空区特性与氧浓度分布关系研究[J]. 防灾减灾工程学报, 2011, 6(3): 95-100.
Hao Chaoyu, Wang Jiren, Lian Zhenshan, et al. Research on the relations between the goaf characteristic of fully mechanized sublevel caving mining and distribution of the oxygen concentration[J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2011, 6(3): 95-100.
- [13] Pan R, Cheng Y, Yu M, et al. New technological partition for "three zones" spontaneous coal combustion in goaf[J]. International Journal of Mining Science and Technology, 2013, 23(4): 489-493.

(责任编辑 赵业玲)