

陈殿赋,孙炳兴.安全高效高瓦斯工作面下行通风技术研究与应用[J].矿业安全与环保,2019,46(3):57-60.

文章编号:1008-4495(2019)03-0057-04

安全高效高瓦斯工作面下行通风技术研究与应用

陈殿赋¹,孙炳兴^{2,3}

(1. 中国神华能源股份有限公司保德煤矿,山西 保德 036600; 2. 瓦斯灾害监控与应急技术国家重点实验室,重庆 400037;
3. 中煤科工集团重庆研究院有限公司,重庆 400037)

摘要:为解决上行通风引起的上隅角瓦斯积聚及采空区抽采管路无法回收等技术难题,将采煤工作面通风方式改为下行通风方式。采用数值模拟的方法,分别对保德煤矿回采工作面采用上行、下行通风方式的采空区瓦斯分布规律进行模拟,确定了下行通风技术参数,并在保德煤矿 81505 工作面试验采用下行通风方式。结果表明:应用下行通风方式解决了回风隅角瓦斯积聚问题,实现了采空区主要抽采管路的安全回收,解决了采空区遗留金属管路的安全隐患,且工作面巷道优化布置后可减少掘进一条巷道,单个采煤工作面同比节约成本超过 5 000 万元。

关键词:瓦斯治理;下行通风;瓦斯运移;数值模拟;安全高效

中图分类号:TD712;TD72

文献标志码:B

Research and Application of Downward Ventilation Technology for Safe and Efficient Working Face with High Gas Content

CHEN Dianfu¹, SUN Bingxing^{2,3}

(1. Baode Coal Mine, China Shenhua Energy Co., Ltd., Baode 036600, China;

2. State Key Laboratory of the Gas Disaster Detecting, Preventing and Emergency Controlling, Chongqing 400037, China;

3. CCTEG Chongqing Research Institute, Chongqing 400037, China)

Abstract: In order to solve the technical problems such as gas accumulation in upper corner caused by upward ventilation and unrecoverable extraction pipe in goaf, it is proposed that the coal mining face adopts downward ventilation. By means of numerical simulation, the gas distribution laws in goaf with upward and downward ventilation methods on the stope face of Baode Coal Mine were simulated respectively. The technical parameters of downward ventilation were determined, and the downward ventilation method was adopted in 81505 working face of Baode Coal Mine. The practical results show that the downward ventilation method solves the problem of gas accumulation in the return air corner, realizes the safe recovery of the main extraction pipeline in goaf, solves the safety hazard of the remaining metal pipeline in the goaf, optimizes the roadway layout and lessens a roadway. The comprehensive economic benefit of single coal mining face exceeds 50 million yuan.

Keywords: gas control; downward ventilation; gas migration; digital simulation; safety and efficiency

随着矿井逐步向深部区开采,煤层瓦斯含量不断增大,工作面瓦斯涌出量也随之升高,易造成工作面回风巷和上隅角瓦斯超限,对安全生产带来严重威胁^[1-2]。工作面采用下行通风在国内外一些矿井都有应用,下行通风可有效降低工作面瓦斯涌出量,解决回风隅角瓦斯超限问题,在防尘防灭火方面也

有诸多优势^[3]。

1 工作面概况

保德煤矿 81505 工作面位于北部区下部,工作面长度 240 m,推进长度 2 856 m,地面标高 877 ~ 1 054 m,底板标高 620 ~ 683 m,西为设计的 81506 工作面,东为 81504 采空区,南为五盘区集中辅运大巷,北为未开发实体煤。煤层结构复杂,宏观煤岩类型以半亮—半暗煤为主,煤层平均厚度为 7.6 m,倾角 0° ~ 6°,煤层平均夹矸 4 ~ 5 层,煤种为气煤。

81505 工作面瓦斯地质储量 2 800 万 m³,工作

收稿日期:2018-07-02;2019-05-21 修订

作者简介:陈殿赋(1968—),男,黑龙江富裕人,教授级高工,主要从事煤矿生产技术及管理工作。E-mail: cdf1686@163.com。

面煤层原始瓦斯含量平均为 $5.62 \text{ m}^3/\text{t}$, 工作面风量 $2100 \text{ m}^3/\text{min}$, 回风流平均瓦斯浓度(甲烷体积分数)为 0.24% , 工作面绝对瓦斯涌出量约为 $18 \text{ m}^3/\text{min}$ 。沿毗邻的 81506 备用工作面上巷布置采空区埋管抽采管路, 主管为 $\Phi 820 \text{ mm}$ 钢管, 支管为 $\Phi 508 \text{ mm}$ 钢管, 混合抽采流量平均为 $430 \text{ m}^3/\text{min}$, 抽采瓦斯浓度为 3% 左右。

81505 工作面巷道布置如图 1 所示。

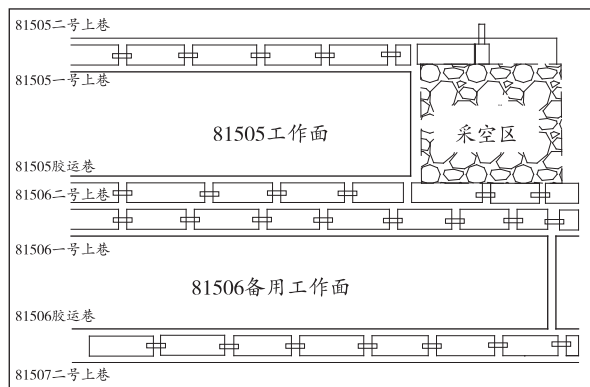


图 1 81505 工作面巷道布置示意图

2 采用下行通风合理性分析

2.1 工作面瓦斯运移规律

针对采煤工作面和采空区气体流动特性的差异, 以及瓦斯扩散运移特性创建瓦斯流动模型, 利用 Fluent 数值模拟软件对采空区瓦斯运移规律进行数值模拟^[4-6]。

2.1.1 工作面气体流动模型

1) 工作面气体流动方程

煤矿巷道和工作面通风可以被视为管道流动^[7], 采用 Navier-Stokes 方程作为工作面气体流动控制方程:

$$-\nabla \cdot \eta (\nabla u + (\nabla u)') + \rho u \cdot \nabla u + \nabla p = 0 \quad (1)$$

$$\nabla \cdot u = 0 \quad (2)$$

式中: η 为黏性参数, $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$; u 为速度, m/s ; ρ 为溶质密度, kg/m^3 ; p 为压力, Pa ; 速度 (u) 与压力 (p) 是 Navier-Stokes 公式的 2 个因变量; t 为时间, s 。

2) 采空区气体流动方程

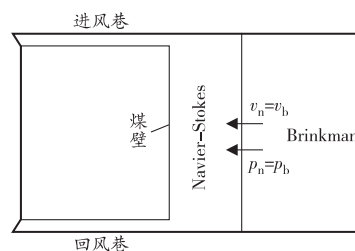
气体在采空区内的流动规律是介于 Darcy 渗流和 Navier-Stokes 管道流动之间的过渡流动, Brinkman 方程描述的孔隙介质中流体快速流动适用于采空区^[8-9]:

$$-\nabla \cdot \frac{\eta}{\varepsilon} (\nabla u + (\nabla u)') - \left(\frac{\eta}{\varepsilon} u + \nabla p \right) = 0 \quad (3)$$

式中 ε 为孔隙率, $\%$ 。

3) 气体流动模型

利用 Navier-Stokes 方程和 Brinkman 方程构建出采煤工作面气体流动模型, 得出工作面和采空区速度和压力分布情况。N-S 模型的边界条件约束如下: 在巷道壁上速度为 0, 对应无滑移边界条件, 进风巷风量是已知的, 巷道的中心线应用对称边界条件, 回风巷道的出口压力已知^[10-11]。气体流动模型如图 2 所示。



注: v_n 、 v_b 、 p_n 、 p_b 分别为 N-S 与 Brinkman 流动区域的速度和压力。

图 2 气体流动模型示意图

2.1.2 瓦斯扩散运移模型

瓦斯在采场的运移遵守流体动力弥散定律, 溶质在流场中的运移规律可用平移-扩散方程来描述^[12]:

$$\theta_s \frac{\partial c}{\partial t} + \nabla \cdot (-\theta_s D_L \nabla c + uc) = S_c \quad (4)$$

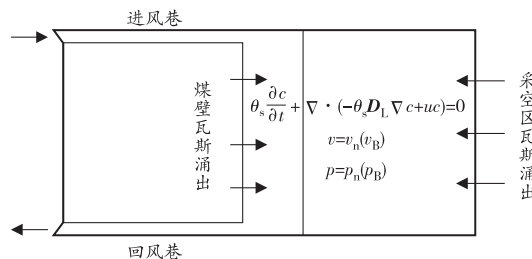
式中: θ_s 为流体体积膨胀率, $\%$; c 为溶解浓度, kg/m^3 ; D_L 为压力扩散张量, m^2/d ; S_c 为每单位时间单位体积多孔介质中溶质的增加量, kg 。

在扩散过程尚未达到稳定状态前, c 随时间 t 和位置而变化的关系, 服从 Fick 扩散定理:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial c}{\partial r} \right) \quad (5)$$

式中: r 为极坐标半径, m ; D 为“扩散系数”。

由上述公式可计算得出瓦斯涌出过程中工作面和采空区各点瓦斯浓度、气体流动速度、压力分布结果。瓦斯扩散模型如图 3 所示。



注: v_b 、 p_b 分别为采空区速度和压力; v_n 、 p_n 分别为工作面速度和压力。

图 3 瓦斯扩散模型示意图

2.1.3 数值模拟

在上、下行通风状态下, 工作面采空区瓦斯三维空间分布图如图 4、图 5 所示, 可以看出, 采用下行通

风后,采空区瓦斯涌出量明显减少,回风隅角附近瓦斯浓度明显降低。

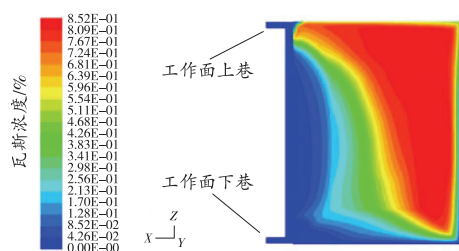


图4 上行通风瓦斯浓度分布俯视云图

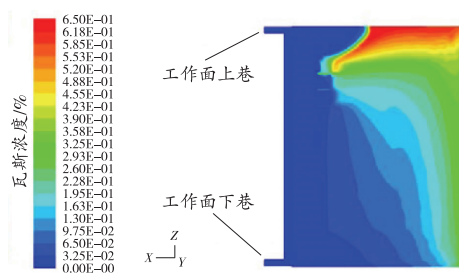


图5 下行通风瓦斯浓度分布俯视云图

2.2 工作面下行通风合理性分析

1) 瓦斯治理方面

由图4和图5可看出,采用上行通风时采空区瓦斯在工作面上巷附近高度聚积并涌向回风隅角。采用下行通风后,工作面上巷和下巷(胶运巷)两侧靠近工作面附近的瓦斯浓度均有非常明显的降低,虽然采空区瓦斯依然在工作面上巷一侧聚积,但高浓度瓦斯区域明显向采空区方向后移,采空区瓦斯涌出得到明显抑制。

2) 防灭火方面

采用下行通风后,工作面上巷进风,温度较低而位置较高,下巷则反之。这样可减少因自然风压产生的漏风量,抵消一部分采空区内部的自下而上的自然风压,有利于预防采空区浮煤自然发火。

3) 分析结果

保德煤矿工作面使用下行通风有利于瓦斯防治和采空区防灭火,在克服下行通风造成的煤尘较大等方面缺点的情况下,回采工作面适合使用下行通风。

3 下行通风应用情况

3.1 通风及抽采系统

1) 工作面通风系统

保德煤矿81505工作面确定采用下行通风技术,计划风量 $2\,100\text{ m}^3/\text{min}$ 。81505工作面通风系统示意图如图6所示。

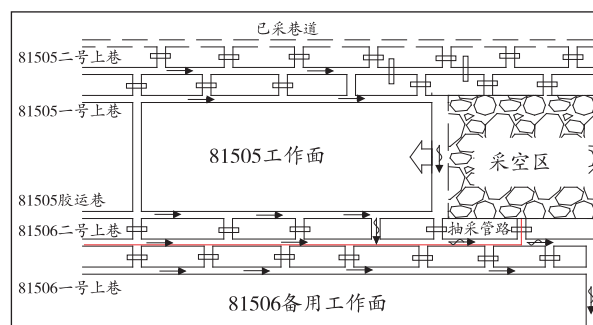


图6 81505工作面通风系统示意图

2) 工作面抽采系统

在81506二号上巷布置一趟 $\Phi 820\text{ mm}$ 采空区抽采管路,每一个联络巷布置一趟支管并设置控制阀门,抽采泵为2BEC120多级变频水循环泵,额定抽采流量为 $1\,400\text{ m}^3/\text{min}$ 。回采期间井下主管路抽采流量为 $400\sim 500\text{ m}^3/\text{min}$,负压 $0.01\sim 0.02\text{ MPa}$,抽采瓦斯浓度为3%。

3.2 应用效果

81505工作面2017年1月开始回采,2017年8月回采结束,日均产量1.4万t,采用下行通风配合采空区埋管抽采的瓦斯治理方式。回采期间工作面瓦斯浓度为 $0.08\%\sim 0.20\%$,平均瓦斯浓度为 0.12% ;回风隅角(下隅角)瓦斯浓度为 $0.10\%\sim 0.60\%$,平均瓦斯浓度为 0.38% ;进风隅角(上隅角)瓦斯浓度始终维持在 0.10% 以下。

81505与81504工作面为相邻工作面,地质及瓦斯情况相似,81504工作面回采期间采用传统的上行通风。81505与81504面初采至末采期间工作面和回风隅角瓦斯浓度分布情况对比分析如图7和图8所示。

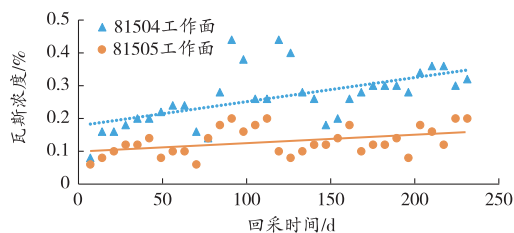


图7 81505与81504工作面初采至末采工作面瓦斯浓度对比图

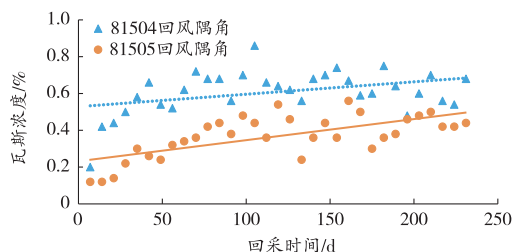


图8 81505与81504工作面初采至末采回风隅角瓦斯浓度对比图

由图7和图8可知,相较于采用上行通风的81504工作面,采用下行通风的81505工作面平均瓦斯浓度降低了40%左右,回风隅角平均瓦斯浓度降低了33%左右,回采全过程未发生瓦斯超限事故,安全生产形势明显好转。

3.3 优化巷道布置

工作面采用下行通风方式,回风经下邻近备用工作面上巷流向盘区总回风大巷。在确保通风系统安全、稳定的前提下,利用下邻近备用工作面上巷作为回风巷,可将回采工作面由上双巷、下单巷的巷道布置方式优化为上、下各一条巷道,可少掘进一条巷道。优化采面巷道布置已在三盘区81310工作面推广应用,如图9所示。

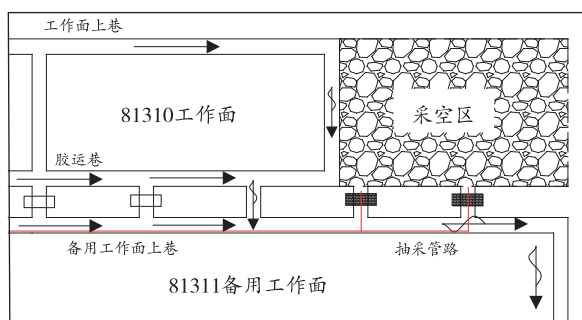


图9 采面巷道优化布置图

3.4 安全及经济效益

1)降低瓦斯治理难度,实现安全高效生产。每个工作面可少掘进一条巷道,提前约8个月形成备用工作面,有效增加工作面超前预抽时间,降低工作面回采前煤层瓦斯含量。回采期间,下行通风可有效抑制采空区瓦斯涌出,81505工作面回采全过程未发生任何瓦斯事故,实现了安全高效生产。

2)消除安全隐患。工作面采用下行通风,采空区抽采管路沿下邻近备用工作面上巷布置,巷道保存良好,可以实现抽采主管安全回收,解决了采空区遗留大量金属管材的安全隐患。

3)经济效益显著。采用下行通风,工作面上巷由双巷变单巷,少掘进一条巷道,从而减少煤柱损失。按照保德煤矿标准工作面回采长度3 000 m计算,可以减少掘进巷道3 000 m,减少煤柱损失22万t,节约巷道掘进费用2 700万元,增加采煤利润2 200万元。另外,工作面采空区抽采管材可回收利用,节约材料费用700万元左右。

4 下行通风应用技术分析

1)抑制采空区瓦斯涌出,有利于瓦斯防治。81505综放工作面采用下行通风后,解决了工作面回

风隅角瓦斯超限和采空区抽采管材回收问题,另外还减少了采空区瓦斯涌出量和采空区漏风量。通过瓦斯分布规律模拟可以看出,采用下行通风后,靠近工作面附近的采空区瓦斯浓度明显降低,解决了回风隅角瓦斯超限的问题,瓦斯治理压力得到有效缓解。

2)减少采空区漏风量,有助于防火。工作面采用下行通风后,工作面风压与采空区自然风压相反,相互抵消,有利于抑制采空区漏风。经测定81505工作面下巷采空区防火密闭漏风压平均为292 Pa,而采用上行通风的81504工作面下巷防火密闭平均漏风压高达431 Pa。在工作面供风量基本相同的情况下,采空区漏风压大幅降低,漏风量也随之大幅减少,有利于采空区防火。而且,如果温度升高,自然风压增大,压差进一步降低,采空区漏风量也随之减少,形成负反馈,从而使漏风点温度基本保持稳定。

3)应用下行通风面临的问题。在生产技术和通风系统条件合适的情况下,高产高效工作面应用下行通风可有效处理采空区瓦斯过量涌出。但是由于机械通风与自然风压相反,工作面风速不应过低,否则会产生顶板层流从而形成瓦斯积聚。应杜绝无计划停风,矿井反风期间工作面应提前断电撤人,采用下行通风的工作面,停风后及反风期间瓦斯涌出速率明显更快,易造成瓦斯事故。

5 结语

保德煤矿81505工作面采用下行通风后,解决了采空区瓦斯涌出造成的工作面风流瓦斯浓度升高,回风隅角瓦斯积聚的问题,回采工作面瓦斯问题得到有效解决,为此后工作面瓦斯治理提供了科学有效的瓦斯治理技术。该回采工作面月均进度220 m,月均产量70万t,回采全过程未发生瓦斯超限及其他安全事故,实现了安全高效生产。另外,通过使用下行通风技术可以优化巷道布置,进而减少巷道掘进量和煤柱损失,实现采空区抽采管材回收,单一回采工作面综合经济效益达5 600万元,经济效益非常显著。

参考文献:

- [1] 陈殿斌,鲁义.工作面上隅角瓦斯综合治理技术的研究及应用[J].煤炭科学技术,2013,41(10):57-59.
- [2] 陈殿斌.高产高效综放工作面瓦斯治理技术与实践[J].矿业安全与环保,2015,42(3):66-70.

(下转第65页)

6 结论

1) 针对采煤机割煤时的粉尘污染问题,遵循“先抑、后控、再降”治理思路,采用组合抑尘喷雾、采煤机控降尘喷雾和机载喷雾引射除尘等技术措施进行综合治理,可实现快速湿润破碎煤体、控制含尘气流和高效沉降粉尘的效果,可使采煤机司机处和机身下风侧 10 m 处的总体降尘效率分别达到 98.30% 和 97.59%。

2) 设计的新型旋流雾化喷嘴,采用不同喷嘴孔径和不同旋流角度的喷嘴内芯进行组合,在横向 2 m/s 风速条件下,喷雾有效射程 1.2~5.2 m,雾流覆盖范围直径 0~0.8 m,可为不同粉尘浓度、供风风速、粉尘粒度、采高条件的采煤工作面抑尘组合喷嘴的选取提供一定的参考。

3) 设计的 2 种喷雾控降尘装置,一种利用组合式喷雾引射筒直接引射含尘气流,另一种利用内置式文丘里喷雾管引射含尘气流,前者在喷雾压力为 6 MPa 条件下,布置 4 个 SD312 喷嘴时引射风量最大,能够达到 62 m³/min,后者在喷雾压力为 6 MPa 条件下,布置 1 个 SD314 喷嘴时引射风量最大,能够达到 28 m³/min。

4) 设计的机载喷雾引射除尘器,布置 3 个 SD312 喷嘴比较合理,在 4~8 MPa 喷雾压力条件下,喷雾流量为 38.7~53.1 L/min,引射风量为 63.3~78.8 m³/min,引射负压为 360~560 Pa。

参考文献:

[1] 李德文,郭胜均.中国煤矿粉尘防治的现状与发展方向[C]//第八届全国采矿学术会议论文集,2009.

- [2] 时训先,蒋仲安,褚燕燕.煤矿综采工作面防尘技术研究现状及趋势[J].中国安全生产科学技术,2005(1):41-43.
- [3] 马威.基于引射喷雾和挡尘帘的采煤机含尘气流控制技术[J].矿业安全与环保,2017,44(1):21-24.
- [4] 刘勇,张设计,吴国友,等.采煤机含尘气流控制及喷雾降尘技术的研究与应用[J].矿业安全与环保,2011,38(4):15-17.
- [5] 周刚.综放工作面喷雾降尘理论及工艺技术研究[D].青岛:山东科技大学,2009.
- [6] 刘荣华.综采工作面隔尘理论及应用研究[D].长沙:中南大学,2010.
- [7] 王海桥,施式亮,刘荣华,等.综采工作面司机处粉尘隔离技术的研究及实践[J].煤炭学报,2000,25(2):176-179.
- [8] 杨桐,杨俊磊.采煤机割煤喷雾降尘技术参数研究及应用[J].矿业安全与环保,2017,44(2):53-56.
- [9] 吴琼.综采工作面喷雾降尘机理及高效降尘喷嘴改进研究[D].阜新:辽宁工程技术大学,2007.
- [10] 李高正.采煤机高压引流喷射降尘技术研究[J].河南理工大学学报(自然科学版),2008,27(1):75-81.
- [11] 邵化振,张广军,李政,等.高压喷雾引射降尘装置的理论及实验研究[J].煤炭学报,2001,26(3):299-302.
- [12] 梁彤.综采工作面喷雾降尘技术研究[D].太原:太原理工大学,2003.
- [13] 邹常富.采煤机割煤产尘特性及防治技术研究[J].煤炭工程,2016,48(2):62-68.
- [14] 陈玉涛.采煤机含尘气流控制及喷雾降尘技术在新景矿的研究与应用[J].矿业安全与环保,2012,39(3):33-39.
- [15] 马威,刘勇.阳煤集团一矿高风速采煤工作面粉尘综合治理[J].煤炭工程,2015,47(2):76-78.

(责任编辑:陈玉涛)

(上接第 60 页)

[3] 丰安祥.采用下行通风的方法处理采空区的瓦斯[J].煤矿安全,2000,31(4):30-35.

[4] 高建良,郭飞鹏,张学博.工作面通风方式对采空区风流流场和瓦斯运移的影响[J].安全与环境学报,2011(5):168-171.

[5] 梁栋,周西华.回采工作面瓦斯运移规律的数值模拟[J].辽宁工程技术大学学报,1999,18(4):337-341.

[6] 秦跃平,朱建芳,陈永权,等.综放开采采空区瓦斯运移规律的模拟试验研究[J].煤炭科学技术,2003,31(11):13-16.

[7] 李树刚,张伟,邹银先,等.综放采空区瓦斯渗流规律数值模拟研究[J].矿业安全与环保,2008,35(2):1-7.

[8] 梁冰,刘建军,范厚彬,等.非等温条件下煤层中瓦斯流

动的数学模型及数值解法[J].岩石力学与工程学报,2000,19(1):1-5.

- [9] 俞启香,王凯,杨胜强.中国采煤工作面瓦斯涌出规律及其控制研究[J].中国矿业大学学报,2000,29(1):9-14.
- [10] 李宗翔,海国治,秦书玉.采空区风流移动规律的数值模拟与可视化显示[J].煤炭学报,2001,26(1):76-80.
- [11] 余明高,赵志军,褚廷湘,等.瓦斯抽采对采空区浮煤自燃影响及防治措施[J].河南理工大学学报,2011(10):505-509.
- [12] 赵楠,李增华,杨永良,等.下行通风瓦斯运移规律及瓦斯抽放技术研究[J].煤炭技术,2012,31(2):84-86.

(责任编辑:李琴)