

近距离煤层同时开采巷道布置优化研究

张春雷 张 勇

(中国矿业大学(北京)资源与安全工程学院 北京 100083)

摘 要: 为确定某煤矿3和4号近距离煤层同采时下煤层回采巷道布置方式,结合煤层地质条件,采用理论分析确定下煤层巷道采用外错式布置方式,运用FLAC^{3D}数值模拟软件确定下煤层回采巷道的合理外错距离为20 m,通过现场对4号煤层3409工作面材料巷顶底板及两帮变形进行观测分析,巷道在距工作面60 m以内顶板最大位移为150 mm,两帮最大位移为120 mm,超前工作面60 m以外,巷道变形量趋于稳定。结果表明2层煤同时开采,工作面巷道外错20 m,在加固条件及合理的锚杆锚网支护作用下,巷道稳定性良好,巷道围岩变形得到了有效控制,能够满足工作面正常推进的要求。

关键词: 近距离煤层; 同时开采; 回采巷道错距; 优化布置

中图分类号: TD822

文献标志码: A

文章编号: 0253-2336(2014)10-0053-04

Study on Optimal Roadways Layout of Contiguous Seams by Simultaneous Mining

ZHANG Chun-lei, ZHANG Yong

(School of Resources and Safety Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract: In order to determine No. 3 and No. 4 coal seam roadway layout of one mine during simultaneous mining, combining with the geological condition of coal seam firstly, by the theoretical analysis, the roadways of the mining face mined simultaneously were arranged outward staggered. Then the numerical simulation FLAC^{3D} was adopted to optimize the distance between roadways of contiguous seams by mining simultaneously, and the rational separation distance of roadways was 20 m. Finally, through the coal mine practice, the roof-to-floor convergence was 150 mm, and the convergence of two side walls was 120 mm in the lower roadway of No. 3409 working face. The influence scope was limited in the range of 60 m in front of working face. The layout of roadways in contiguous seams by simultaneous mining was rational and the deformation of the surrounding rock of roadways was controlled effectively.

Key words: contiguous seams; mining simultaneously; rational gateway separation distance; optimal layout

0 引 言

近距离煤层是指煤层间距小,开采过程中会产生相互影响的煤层。如果采用分层下行式开采,由于煤层间距离很近,下煤层的开采将会受到上煤层采空区积水、瓦斯等的威胁,且造成下煤层顶板破碎,工作面和回采巷道不易支护^[1-2]。某煤矿首采3号和4号煤层,属高瓦斯矿井,平均煤层间距12.0 m,层间岩层裂隙发育且强度较低,因此决定2煤层同采。这就使得下煤层回采巷道的合理布置成为一个急需解决的难题。首先通过理论分析,确定下煤层采用外错式布置方式,然后采用FLAC^{3D}数值模拟软件

件分析了煤层开采时采空区煤壁处的侧向支承压力集中区域,并在此基础上对下煤层不同巷道错距时巷道两帮位移量、垂直应力等进行了模拟分析,最终确定了合理的巷道布置位置。

1 煤层概况

某煤矿主采煤层为3号、4号煤层,井田内地质构造简单,基本构造形态为走向北西、倾向南西的单斜构造,倾角一般3°~5°,地质构造简单,综合评价构造属简单类型。4号煤层厚度3.45~4.59 m,平均4.06 m,为主采煤层,倾角2°~4°,平均4°,顶板多为砂质泥岩、泥岩,底板多为粉砂岩、泥岩。3号

收稿日期: 2014-01-11; 责任编辑: 曾康生 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2014.10.013

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973计划)资助项目(2011CB201204)

作者简介: 张春雷(1989—),男,山东泰安人,博士研究生。Tel: 15652940306 E-mail: fangyuanleihua@126.com

引用格式: 张春雷,张 勇. 近距离煤层同时开采巷道布置优化研究[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(10): 53-56, 78.

ZHANG Chun-lei, ZHANG Yong. Study on Optimal Roadways Layout of Contiguous Seams by Simultaneous Mining[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(10): 53-56, 78.

煤层厚度 1.55~2.71 m, 平均 1.91 m, 为配采煤层, 倾角为 1° ~ 7° , 平均 3° , 顶板为砂质泥岩、砂岩, 底板多为砂质泥岩、泥岩, 局部为砂岩。2 层煤间距为 3.57~19.66 m, 平均 12.0 m, 局部地区仅 4.0 m。

2 近距离煤层同时开采巷道布置方式

煤层开采时采空区的形成使得原岩应力重新分布, 在工作面煤壁以及采空区遗留煤柱形成应力集中是不可避免的, 但同时也存在应力降低区, 如将巷道布置在应力降低区或避开应力集中区可以达到巷道容易维护的目的^[3-5]。近距离下煤层回采巷道的布置方式主要有垂直式、内错式、外错式 3 种^[6-10]。这 3 种巷道布置的优缺点比较如下。

1) 垂直式。优点为工作面长度一定, 掘进方向易于掌握, 煤柱损失少。缺点是对于极近距离煤层群, 巷道顶板受应力集中影响大, 又处于煤柱底板剪应力峰值范围, 矿压显现剧烈, 造成巷道围岩变形严重, 巷道服务期间围岩容易通透漏风, 难以维护。

2) 内错式。优点为下煤层回采巷道位于上煤层采空区下减压区, 下煤层巷道可以避开上煤柱的应力影响带, 易于巷道掘进和维护。缺点是下煤层区段煤柱大, 工作面短, 煤层采出率低; 同采时上煤层的回采对下煤层巷道扰动大, 间距不足时不利于锚杆锚索支护, 维护困难。

3) 外错式。优点为上下煤层间距适当时, 煤层同采时相邻巷道影响不大; 煤层间距小时, 利于锚杆支护; 下煤层厚, 煤柱尺寸小, 下煤层采出率高。缺点是下煤层巷道偏移量大, 所需上煤层煤柱尺寸大, 上煤层采出率低。

结合该煤矿近距离同采煤层条件, 4 号为主采煤层, 从煤矿安全开采和资源利用率角度来看, 应选用外错式布置, 既能保证下煤层回采巷道易于维护, 也能提高 4 号厚煤层的采出率。同采煤层回采巷道外错式布置最重要的参数就是确定回采巷道的间距, 这是回采巷道布置成功的关键。

3 FLAC^{3D} 数值模拟试验

为了对 4 号煤层和 3 号煤层同时开采回采巷道的合理错距进行量化, 采用 FLAC^{3D} 数值模拟软件进行模拟试验。

3.1 模型建立

为消除边界效应影响, 将整个模型的尺寸设为 $x \times y \times z = 210 \text{ m} \times 200 \text{ m} \times 109 \text{ m}$, 计算模型共划分

为 347 024 个单元, 362 793 个网格节点; 采用摩尔-库仑屈服准则判断岩体的破坏; 模型前后、左右 4 个面只约束其法向自由度, 底面约束 x 、 y 、 z 三个方向的自由度, 顶面无约束, 在上表面施加 3.75 MPa 的力代表上覆岩层和表土层的作用, 按照 3 号和 4 号煤层间距为 12 m 建立模型。煤岩力学参数见表 1, 3、4 号煤层工作面巷道布置如图 1 所示。

表 1 煤岩力学参数

岩层	密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	体积模 量/GPa	剪切模 量/GPa	内摩擦 角/($^{\circ}$)	黏聚 力/MPa	抗拉强 度/MPa
3 号煤层	1 380	1.73	1.71	16	0.89	1.11
砂质泥岩	2 610	4.25	5.13	30	10.70	1.98
中粒砂岩	2 539	3.56	2.30	32	11.80	2.56
泥岩	2 510	3.51	2.30	30	5.90	1.86
4 号煤层	1 380	1.74	1.71	21	0.69	1.43
泥岩	2 525	3.52	2.30	29	6.10	1.92

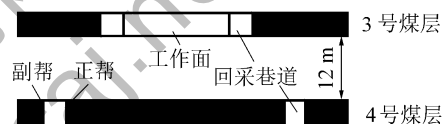


图 1 3、4 号煤层工作面巷道布置

3.2 模拟试验内容及结果分析

按照 4、8、12、16、20、24、28 m 的不同回采巷道错距进行模拟试验, 主要观测下煤层回采巷道煤壁水平位移、顶板位移、顶板支承压力状况等, 从而确定合理的回采巷道错距。在模型试验中, 开挖后, 在上煤层工作面的前后方, 对下煤层回采巷道不同位置应力和位移进行监测。

1) 不同错距巷道两帮及底板垂直应力模拟分析。单层开采及 2 层煤同采不同外错距离时巷道两帮垂直应力分布云图及其分布规律如图 2 所示。由图 2a 可知, 当下煤层 4 号煤层单独开采时, 其回采巷道围岩垂直应力分布呈现一般巷道的应力分布规律, 巷道顶底板卸压, 出现应力降低区, 两帮正帮应力增高, 形成巷道侧向支承压力, 且左右两帮应力规律基本呈对称分布。图 2b—图 2f 所示为不同错距时巷道围岩垂直应力分布, 从图中可以直观地看出, 当错距较小时, 上煤层回采的采空区一侧煤体边缘和下煤层巷道边缘都形成了类似工作面前方的支承压力集中带, 随着错距的增大, 上煤层采空区支承压力集中区域越来越大, 下煤层回采巷道支承压力集中区域越来越小, 错距较小时, 上煤层回采在采空区煤体边缘形成的支承压力与下煤层回采巷道形成的

支承压力相互叠加影响, 错距达到 16 m 以后, 影响变弱。图 2b 为 2 层煤同采时上层煤采空区后方与下层巷道外错 4 m 时的应力图, 此时巷道两帮应力分布呈现明显的不对称性, 远离上层煤采空区一侧的副帮(采空区侧)内呈现一般侧向支承压力的应力分布规律, 应力峰值为 8.41 MPa, 应力集中系数 1.35; 而靠近上层煤采空区一侧的正帮内应力分布出现降低现象, 除应力峰值及附近外均小于原岩应

力, 最大应力为 5.0 MPa, 低于原岩应力, 主要原因是受到上煤层回采的采动影响, 其工作面回采后底板侧向在一定范围内处于应力增高区, 与下煤层巷道正帮内侧向支承压力应力增高区相互叠加共同作用, 最终超过了煤岩体的屈服极限和承载能力, 发生破碎卸压, 出现应力降低现象。由此可知若采用 4 m 的错距, 巷道正帮侧会出现明显的应力扰动, 变形破坏严重。

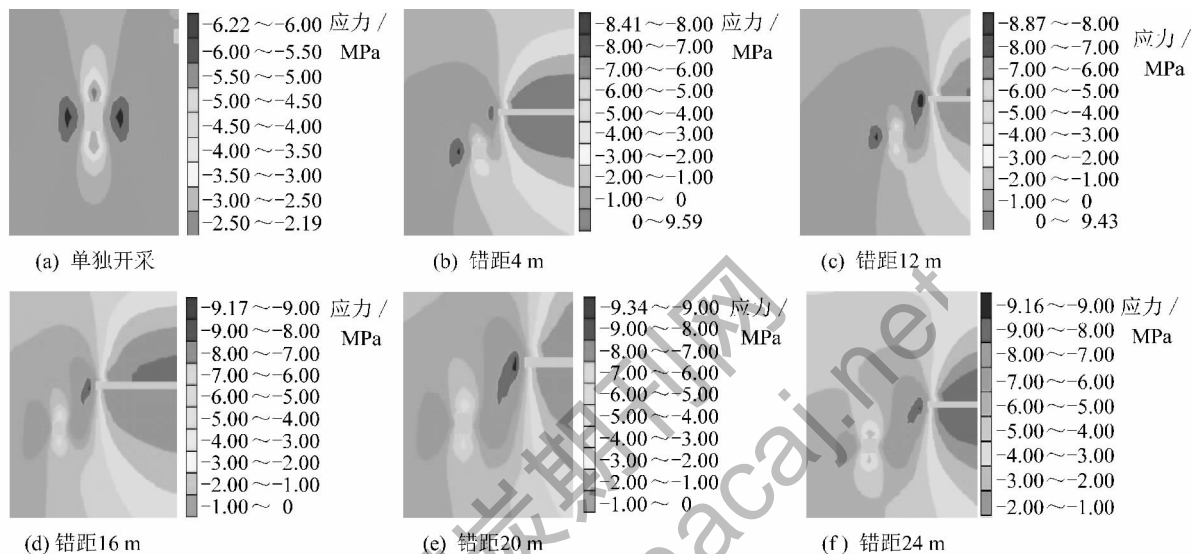


图 2 不同错距时巷道处的垂直应力分布

由图 2c—图 2f 可知, 随着错距的增大, 下煤层巷道副帮侧仍符合一般侧向支承压力分布特点, 侧向支承压力峰值呈减小趋势, 但相差不大; 如图 2d 所示, 当错距达到 16 m 时巷道正帮受上煤层回采的采动影响逐渐减弱, 应力出现降低卸压现象逐渐消失, 应力峰值逐渐增大, 但整体仍小于副帮侧应力, 可见上层煤回采对下煤层巷道的应力扰动一直存在。

上煤层工作面推进 50 m, 下煤层回采巷道 25 m

处两帮的垂直应力如图 3 所示, 从图 3a 可以看出:

- ①相同巷道错距时, 距巷道正帮越远, 上煤层采空区越近, 垂直支承压力越小, 说明巷道正帮以内煤层处于上煤层采空区一侧煤壁侧向支承压力减小区;
- ②不同错距时, 距巷道正帮相同位置, 错距越大, 垂直应力越大, 说明巷道受上煤层的回采影响越小, 支承压力相互叠加的影响越弱。从图 3b 可以看出: 不同错距时, 距巷道副帮相同距离处, 垂直应力变化不大, 说明巷道副帮受上煤层采动影响较小。

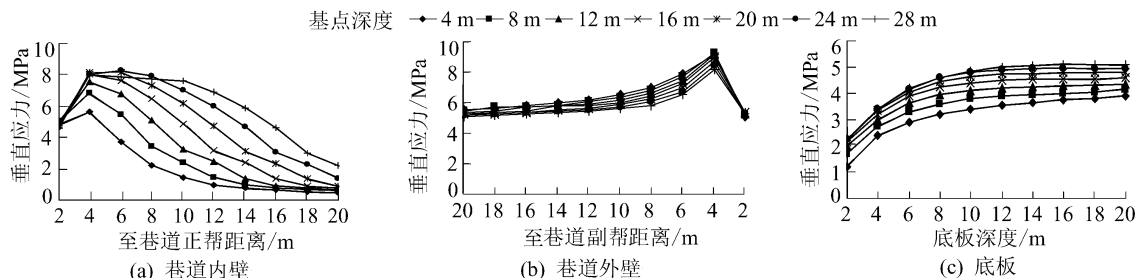


图 3 巷道围岩垂直应力

回采巷道 25 m 处底板应力如图 3c 所示, 相同错距时随着深度的增加, 垂直应力增加, 符合原岩应力规律; 但不同错距时, 相同深度, 垂直应力不同, 且

错距越小, 垂直应力越小, 错距达到 16 m 以后, 变化趋势变缓, 说明错距小时, 巷道底板有一定程度的底鼓趋势, 表明错距小时受上煤层采动影响大, 当错距

达到 16 m 以后,影响变弱,错距大于 20 m 以后垂直应力趋于稳定。

2) 下煤层回采巷道顶板及两帮位移分析。不同巷道错距下煤层回采巷道两帮位移量如图 4 所示。通过图 4a 可以看出,在下煤层回采期间,上下煤层回采巷道间距不同时,巷道两帮的位移也不相同,随着错距的增加,两帮的位移逐渐减小,当间距达到 16 m 时位移变化曲线变缓,20 m 以后,几乎成为水平线,说明错距越大,下煤层回采巷道受上煤层采动影响越小;从图 4 还可以看出回采巷道错距相同时,正帮位移大于副帮位移,说明巷道正帮受上煤层回采所形成的侧向支承压力影响明显。图 4 为不同错距时,上煤层回采时下煤层回采巷道顶板位移曲线,从图中可以看出下煤层回采巷道错距越大,顶板位移越小,且错距达到 16 m 以后,位移变化趋势趋于缓和;对图 4 比较还可以看出巷道错距相同时顶板位移大于巷道两帮位移。

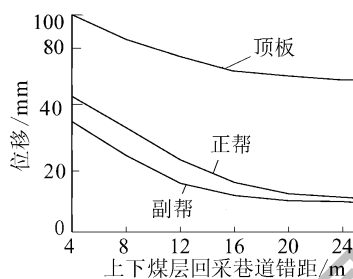


图4 不同错距煤层回采巷道位移量

综上所述,错距不同时,上煤层的回采对下煤层回采巷道的两帮位移、底板等都有不同程度的影响,间距越小,巷道变形越大,巷道越不稳定,越不容易维护。通过分析可知,错距越大,上煤层回采对下煤层回采巷道的的影响越小,但错距太大,会造成下煤层工作面长度的增加,结合巷道位移和避开应力集中带分析,错距应在 20 m 左右。

4 工程应用实践

某煤矿上下煤层同采时,造成下煤层巷道围岩破碎,对下煤层回采巷道支护初步定为锚杆+铺网+锚索支护,并用马丽散材料加强支护,以提高围岩整体性,保证锚固效果。

针对该矿近距离煤层下回采巷道的合理布置,对其围岩位移进行监测,通过现场数据判断,回采巷道的加固支护方式是合理性的。试验针对 4 号煤层 3409 工作面材料巷顶底板及两帮位移进行观测,测点布置平面如图 5 所示。

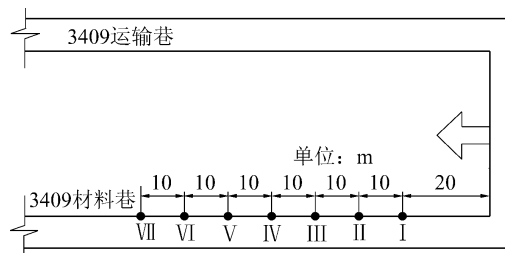


图5 测点布置平面示意图

材料巷超前支护约 40 m,变形观测时间 70 d,共获得了 300 多个观测数据,对这些观测数据进行了整理分析,绘出了巷道围岩位移曲线如图 6 所示。从图 6 中可知,3409 工作面材料巷道围岩表面在回采期间在超前支护的作用下,邻近工作面顶底板及两帮移近量大,随着距离增大,当接近 60 m 时采动影响已经很弱,当距离工作面 80 m 时,巷道围岩位移不明显,移近速度已经很小,说明巷道已经处于稳定状态。对 3409 回采巷道围岩位移变化进行监测结果表明:巷道外错 20 m,在加固条件及合理的锚杆锚网支护作用下,巷道稳定性良好,能够满足工作面正常推进的要求。

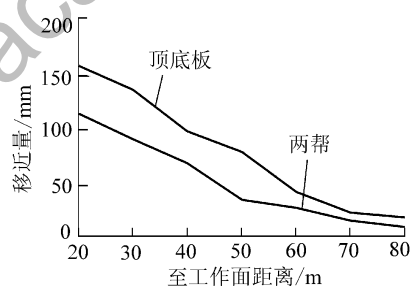


图6 巷道围岩位移

5 结 论

近距离煤层同采时,下煤层巷道外错式布置可提高下煤层采出率,尤其适用于下煤层较厚的煤层。通过理论分析和数值模拟确定 3 号和 4 号煤层回采巷道合理外错距为 20 m,在此错距下上煤层对下煤层采动影响较小。通过现场实践,4 号煤层回采巷道采用锚杆+铺网+锚索支护效果较好,实现了安全生产。结论可为其他类似地质条件矿井提供参考。

参考文献:

- [1] 钱鸣高,石平五. 矿山压力与岩层控制[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003: 280-281.
- [2] 徐永圻. 煤矿开采学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1999: 432-433.

(下转第 78 页)

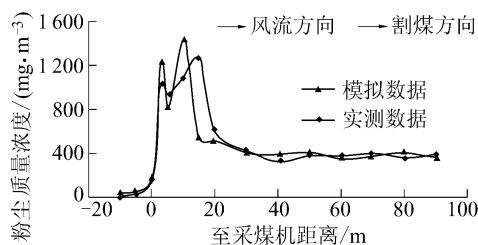


图4 模拟与实测粉尘质量浓度对比

所差异。主要原因为:一方面数值模拟建立的模型是工作面简化的理想模型,和实际的工作面有所差别;另一方面在实际测量粉尘质量浓度时,由于井下条件所限,测量数据时会存在一定的误差。综合考虑,两者之间的误差是可以接受的,说明数值模拟的结果是可信的,即根据风速对综采工作面粉尘运移规律的影响,可以将 2 m/s 的风速作为工作面的最优风速,从而降低粉尘质量浓度,改善工作环境。

4 结 论

1) 综采工作面的风流在采煤机附近会产生紊流,其他区域的风流比较稳定,符合层流特性,机道附近的风流明显大于液压支架后方空间的风流。

2) 综采工作面中的粉尘质量浓度会在采煤机下风侧大概 10 m 位置达到最大值,之后逐渐降低,在 $25\sim 30\text{ m}$ 位置达到一个比较稳定的状态;机道附近的粉尘质量浓度大于液压支架后方空间的粉尘质量浓度,在风流稳定区域两者之间的差距比较小。

3) 不同的风速条件下,综采工作面的粉尘运移规律在总体上是-致的,随着风速的逐渐增大,粉尘质量浓度会逐渐降低,风速达到 2 m/s 以上时,由于尘源的产尘量增大,粉尘质量浓度的降低效果不是很明显,因此可以将 2 m/s 的进风口风速作为综采工作面的最优风速。

4) 综采工作面的粉尘质量浓度居高不下,对工作环境 and 工人健康造成了不良影响,因此需要对粉尘问题进行综合治理,经过相关研究确定了风速对综采工作面沿程粉尘质量浓度分布规律的影响,对粉尘的防治具有指导意义,再结合其他粉尘防治措施(如喷雾降尘等)进行综合治理,能够有效改善综采工作面的工作环境。

参考文献:

- [1] 刘毅,蒋仲安,蔡卫.综采工作面粉尘浓度分布的现场实测与数值模拟研究[J].煤炭科学技术,2006,34(4):80-82.
- [2] 牛伟,蒋仲安,刘毅.综采工作面粉尘运动规律数值模拟

及应用[J].辽宁工程技术大学学报:自然科学版,2010,29(3):358-360.

- [3] 谢耀社,姜学云.负压降尘技术及其应用[J].中国矿业大学学报,2003,32(5):567-570.
- [4] 杨胜来.综采工作面粉尘运移和粉尘浓度三维分布的数值模拟研究[J].中国安全科学学报,2001,11(4):61-64.
- [5] 苗飞,赵磊磊.综放工作面粉尘运动规律数值模拟及现场实测[J].中州煤炭,2011(5):11-13.
- [6] 时训先,蒋仲安,周妹娟.等.综采工作面粉尘分布规律的实验研究[J].煤炭学报,2008,33(10):1117-1121.
- [7] 王晓珍,蒋仲安,王善文.等.煤巷掘进过程中粉尘浓度分布的数值模拟[J].煤炭学报,2007,32(4):386-390.
- [8] Mohammad Masroor Mlam. An Integrated Approach to Dust Control in Coal Mining Face Areas of a Continuous Miner and Its Computational Fluid Dynamics Modeling[D]. America: Southern Illinois University Carbondale, 2006: 30.
- [9] 蒋仲安,陈举师,王晶晶.等.胶带输送巷道粉尘运动规律的数值模拟[J].煤炭学报,2012,37(4):559-563.
- [10] 杜翠凤,王辉,蒋仲安.等.长压短抽式通风综掘工作面粉尘分布规律的数值模拟[J].北京科技大学学报,2010,32(8):957-962.
- [11] 陈举师,蒋仲安,杨斌.等.破碎硐室粉尘浓度空间分布规律的数值模拟[J].煤炭学报,2012,37(11):1865-1870.
- [12] 蒋仲安,姜兰,陈举师.露天矿潜孔打钻粉尘浓度分布规律数值模拟[J].深圳大学学报:理工版,2013,30(3):313-318.
- [13] 蒋仲安,万善福,孙佳.基于粒子系统的爆破烟尘运动的模型研究[J].北京科技大学学报,2007,29(2):25-29.
- [14] 秦跃平,张苗苗,崔丽洁.等.综掘工作面粉尘运移的数值模拟及压风分风降尘方式研究[J].北京科技大学学报,2011,33(7):790-794.
- [15] 周江.西石门铁矿皮带运输粉尘运动规律数值模拟及控制的研究[D].北京:北京科技大学,2010:54-60.

(上接第56页)

- [3] 张百胜,杨双锁,康立勋.等.极近距离煤层回采巷道合理位置确定方法探讨[J].岩石力学与工程学报,2008,27(1):97-101.
- [4] 周启为.王村矿极近距离煤层开采技术[J].煤炭科学技术,2006,34(3):6-10.
- [5] 武忠,李日官.极近距离煤层回采巷道布置研究[J].煤矿开采,2002,7(4):14-15,18.
- [6] 鲁岩,高杰,刘长友.等.近距煤层同采巷道优化布置研究[J].采矿与安全工程学报,2012,29(6):798-801.
- [7] 张炜,张东升,陈建本.等.极近距离煤层回采巷道合理位置确定[J].中国矿业大学学报,2012,41(2):183-187.
- [8] 李化敏,刘明举,康全玉.下分层及近距离煤层回采巷道布置问题研究[J].煤矿设计,1998(6):7-8.
- [9] 黄艳利,张吉雄,范军.等.近距离煤层回采巷道合理布置方案[J].煤矿安全,2009,40(9):66-67.
- [10] 马全礼,李洪,白景志.极近距离下位煤层工作面巷道布置及其支护方式[J].煤炭科学技术,2006,34(9):37-39.