



文章编号:1671-251X(2017)08-0019-06

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2017.08.005

采区轨道运输大巷支护技术研究

林娜¹, 孙珞²

(1. 河南工业贸易职业学院 信息工程系, 河南 郑州 450012;

2. 北京工业职业技术学院 文法与管理学院, 北京 100042)

摘要:针对现行锚杆支护设计方法存在指标选取简单、计算误差较大、测试过程复杂等局限性,以某煤矿3号煤北翼准采区轨道运输大巷为研究背景,通过现场调查、实验室力学试验确定巷道围岩稳定性等级,以此为依据提出了不同的支护方案。通过数值模拟分析不同支护方案的支护效果,得出如下结论:巷道采用“锚索+锚杆+网+钢带”的支护方式时,巷道围岩塑性变形范围最小,巷道顶底板及两帮位移量也最小,该方案是所有支护方案中最合理的。现场实测结果表明,采用“锚索+锚杆+网+钢带”支护方式时,巷道围岩变形较小,支护控制效果较好。

关键词:煤炭开采;轨道运输;围岩稳定性;顶板支护;位移量;FLAC3D

中图分类号:TD35 文献标志码:A 网络出版时间:2017-07-27 09:38

网络出版地址:<http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20170727.0938.005.html>

Research on support technology of rail haulage roadway of mining area

LIN Na¹, SUN Luo²

(1. Department of Information Engineering, Henan Industry and Trade Vocational College, Zhengzhou 450012, China;

2. School of Law and Management, Beijing Polytechnic College, Beijing 100042, China)

Abstract: In view of problems of simple indicator selection, big calculation error, complicated testing process existed in current bolt support design methods, stability classification of surrounding rock of roadway was determined by field investigation and laboratory mechanical test taking rail haulage roadway of No. 3 north wing quasi mining area coal seam in a coal mine as research background, and different support schemes were put forward. Supporting effect of different support schemes were analyzed through numerical simulation analysis, and conclusions were obtained that supporting method of "anchor cable + anchor bolt + anchor net + steel strip" is the most reasonable supporting scheme of all, it has the minimum scope of plastic deformation of roadway surrounding rock, roof and floor of roadway and displacement of two side coal-walls are the minimum. The field test results also indicated that the surrounding rock deformation is small, the supporting control effect is better when use the supporting method of "anchor cable + anchor bolt + anchor net + steel strip".

收稿日期:2017-03-25;修回日期:2017-05-14;责任编辑:张强。

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAB13B04)。

作者简介:林娜(1977—),女,河南信阳人,讲师,硕士,研究方向为计算机网络技术、物联网技术,E-mail:jailulu16@163.com。

引用格式:林娜,孙珞.采区轨道运输大巷支护技术研究[J].工矿自动化,2017,43(8):19-24.

LIN Na, SUN Luo. Research on support technology of rail haulage roadway of mining area[J]. Industry and Mine Automation, 2017, 43(8): 19-24.

Key words: coal mining; rail haulage; stability of surrounding rock; roof support; displacement; FLAC3D

0 引言

目前,国内外锚杆支护设计方法大体上分为工程类比法、理论计算法、有限元数值模拟分析法、地质力学评估法等^[1-4]。工程类比法的指标选取简单,但是较单一,不能完全达到类比的实际效果,且已有的经验性知识涉及范围有限,遇到工程技术新问题可能判断失误^[5]。理论计算法只是针对巷道已有参数进行定量计算,无法考虑实际现场中的复杂情况,且遇到复杂情况时无法在理论计算中计算折减,计算误差可能较大^[6]。单纯的有限元数值模拟分析法无法将巷道的复杂情况融入到模拟计算之中,容易造成计算结果不精确^[7]。地质力学评估法需要对巷道围岩各类特性进行全面测试,才能获得工程的所有信息,因此,实现过程复杂且费用较高^[8]。

针对现行锚杆支护设计方法存在的局限性,本文以某煤矿3号煤北翼准采区轨道运输大巷为研究背景,通过现场调查、实验室力学试验确定巷道围岩稳定性等级,以此为依据提出不同支护方案,结合数值模拟比较不同支护方案的支护效果,选出最合理的支护方案对巷道进行支护,并通过现场实测对支护方案进行评价。本文通过现场调查获得了一定的工程信息,通过实验室力学试验获得了巷道围岩的各类参数特性,而后采用数值模拟方法进行数值模拟分析,弥补了单纯采用某单一方法所存在的对实际工程情况考虑不全面的情况,且所需费用较低^[9],为相似采矿条件下巷道支护提供一定参考依据。

1 工程地质概况

某煤矿3号煤北翼准采区轨道运输大巷所在区域地面标高为+1 495~+1 685 m,井下标高为+1 180~+1 200 m,埋深为300~500 m,断面为长方形,尺寸为4 000 mm×3 000 mm(宽×高)。预计北翼准采区轨道大巷掘进至320~660 m段、1 268 m后可能遇见地下古河冲刷式构造。影响轨道运输大巷工作面安全生产的主要为砂岩含水层水,该层水补给条件差,水头较高,流量小,属多年贮存下来的水。某煤矿3号煤北翼准采区轨道运输大巷工作面位于井田东北部,在有构造裂隙沟通或揭露含水层的情况下,将发生涌水现象,是北翼准采区轨道运输大巷工作面主要充水因素。巷道布置如图1所示。

2 煤岩体物理力学参数测试

为测试煤矿煤岩体物理力学参数,采用ZLJ-400型钻机,运用 $\phi 50$ mm钻头在3号煤顶底板处钻孔取芯,共布置2个钻孔,1号钻孔位于轨道大巷最南处,2号钻孔位于轨道大巷最北处,即布置在北翼准采区轨道运输大巷的起点处,钻孔钻取顶板岩芯为20 m,底板岩芯为10 m,2个钻孔位置布置如图1所示。1号、2号钻孔岩芯如图2所示。

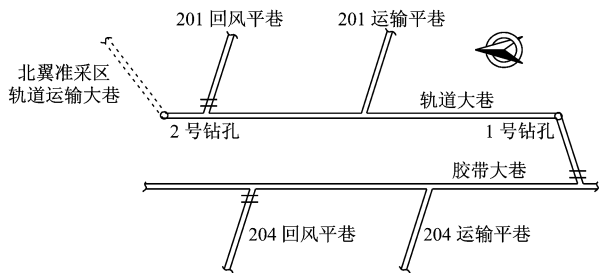


图1 巷道布置

Fig. 1 Roadway layout

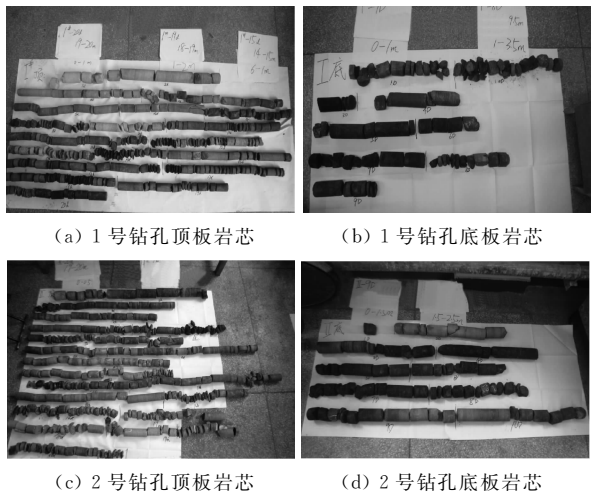


图2 钻孔取芯

Fig. 2 Drilling core

将钻孔取得的岩芯磨成尺寸为 $\phi 50$ mm×100 mm的岩石力学标准试件,运用WED-50压力试验机对试件进行加载,压力试验机与加载后试件如图3所示,试验测定的3号煤及顶底板岩石力学参数见表1。

3 巷道围岩稳定性分类及支护参数选择

为给3号煤北翼准采区轨道运输大巷选择合理的锚固支护参数,需对围岩稳定性进行分类,通过现场调查、实验室力学试验获得分类所需的相关的

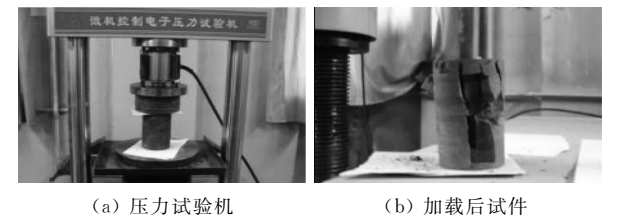


图 3 压力试验机及加载后试件

Fig. 3 Pressure testing machine and post-loading specimen

7 个指标,指标相关数据见表 2。

表 1 煤及顶底板岩石力学参数

Table 1 Mechanical parameters of coal and roof and bottom rock

岩性	抗拉强度/MPa	抗压强度/MPa	弹性模量/GPa	泊松比	内聚力/MPa	内摩擦角/(°)
中砂岩	14.61	31.14	5.67	0.23	9.98	36
砂质泥岩	3.78	9.41	2.85	0.24	2.89	34
细砂岩	7.66	23.35	2.83	0.19	3.88	32
3 号煤	0.78	4.96	1.41	0.22	1.36	26
泥岩	1.61	7.98	1.81	0.21	0.16	24
粉砂岩	3.66	11.69	2.65	0.28	1.21	28

表 2 轨道运输大巷围岩稳定性分类相关指标
Table 2 The correlation classification index of surrounding rock stability of rail haulage roadway

分类参数	参数值	分类参数	参数值
顶板岩石单轴抗压强度/MPa	26.0	巷道埋深/m	300~500
底板岩石单轴抗压强度/MPa	19.8	采动影响系数	1.76
巷帮煤层单轴抗压强度/MPa	22.0	围岩完整性指数	16
护巷煤柱宽度/m	30~60		

根据围岩稳定性分类指标^[10]得到轨道运输大巷的围岩稳定性分类结果:当巷道沿 3 号煤底板掘进,煤柱尺寸为 40~60 m,采深为 300~500 m 时,为Ⅱ类中等稳定围岩;当煤柱尺寸为 20~40 m,采深为 300~500 m 时,为Ⅲ类中等稳定围岩。根据锚杆支护技术规范推荐的Ⅱ、Ⅲ类巷道锚杆支护基本形式如下^[11-12]:锚杆+网+锚索+钢带或锚杆+网+锚索+桁架。推荐的锚杆支护主要参数:锚杆直径为 20~24 mm,锚杆长度为 2.0~2.4 m,锚杆的排间距为 0.8~1.0 m。

4 巷道支护方案模拟研究

为研究巷道在不同支护方案下的支护效果,运用 FLAC3D 数值模拟软件进行仿真分析^[13]。所建立的数值计算模型共划分为 26 600 个单元,包含

30 182个节点,模型四周采用位移边界,模型底部采用位移边界并且限制 X、Y、Z 方向位移,模型顶部为自由边界,将模型上部岩层质量以载荷的形式加到模型上部边界上^[14]。模型模拟所需岩石力学参数见表 1,建立的数值模型如图 4 所示。

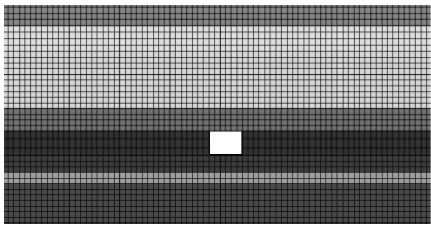


图 4 数值模型

Fig. 4 Numerical model

根据已知的施工巷道所在地质概况及巷道围岩稳定性分类及锚杆支护技术规范推荐的基本支护形式,共提出 16 种巷道支护方案,通过与相似地质条件下巷道支护方案相对比^[15],排除其中不合理的 12 种支护方案,最终确定其中 4 种方案作为支护效果对比用,其中方案 1 为未做任何支护,4 种方案的具体支护参数见表 3。

表 3 轨道运输大巷 4 种方案的具体支护参数

Table 3 Specific support parameters of four schemes of rail haulage roadway

方案	锚索排间距/m	顶锚杆长/m	顶锚杆直 径/mm	顶锚杆排 间距/m	帮锚杆长/m	帮锚杆直 径/mm	帮锚杆排间 距/m
1	—	—	—	—	—	—	—
2	3.2 (隔排布置)	2.0	20	0.8×0.8	1.6	16	0.8×0.8
3	1.6 (隔排布置)	2.2	22	0.8×0.8	2.2	22	0.8×0.8
4	1.6×1.6 (五花布置)	2.2	22	0.8×0.8	2.2	22	0.8×0.8

巷道采用不同支护方案时巷道围岩破坏情况如图 5 所示。从图 5 可看出,4 种支护方案下巷道两帮破坏范围大致相同,除方案 1 外,其他方案中巷道顶板均未出现明显破坏;方案 1、方案 2 中巷道底板较方案 3、方案 4 破坏范围大。因此,从巷道围岩破坏情况来看,方案 3、方案 4 的支护方式比较合适。

巷道采用不同支护方案时巷道围岩垂直应力分布云图如图 6 所示。从图 6 可看出,当巷道未支护时,顶板最大垂直应力为 9 MPa 左右;采用方案 2 时,虽然巷道顶板支护范围内应力得到一定控制,支护范围内顶板垂直应力峰值为 7 MPa 左右,仍为未支护时的 80%左右;采用方案 3、方案 4 时,巷道顶

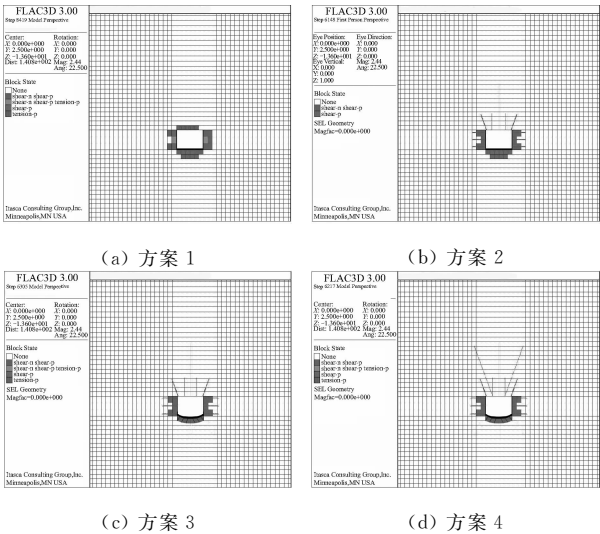


图 5 不同支护方案下巷道围岩破坏情况
Fig. 5 Damage of roadway surrounding under different support schemes

板支护范围内围岩垂直应力较方案 1、方案 2 明显变小,应力峰值为 3 MPa 左右,仅为巷道未支护时的 30%左右;而方案 4 中顶板支护范围内的围岩应力比方案 3 中更小。因此,从巷道垂直应力的分布结果可以得知,方案 4 所采用的巷道支护方式更为合适。

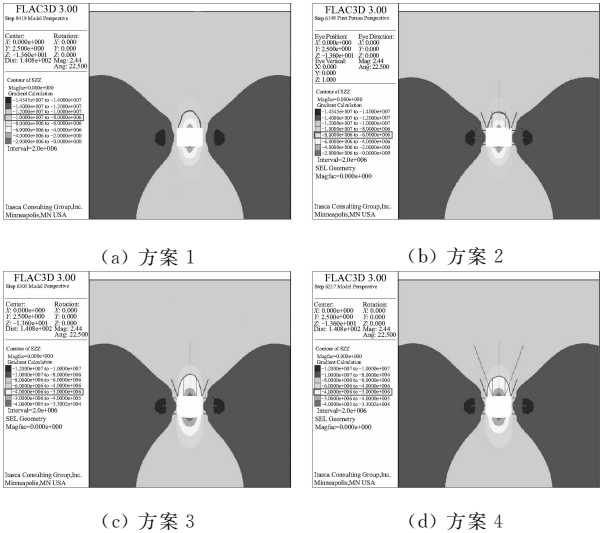


图 6 不同支护方案下巷道垂直应力分布云图
Fig. 6 Vertical stress nephogram of roadway under different support schemes

巷道采用不同支护方案时巷道围岩垂直方向位移云图如图 7 所示。在模拟计算过程中,监测不同支护方案下的巷道围岩顶底板、两帮移近量及锚杆锚固端离层量,监测结果见表 4。

从图 7 及表 4 可看出,当采取方案 4 的支护方式时,巷道顶底板及两帮移近量最小,分别为

113.98 mm和 92.38 mm,锚杆锚固端离层量仅为 9.44 mm,说明方案 4 支护效果明显,满足巷道支护要求。综合巷道围岩破坏范围、巷道支护范围内围岩应力情况、巷道顶底板及两帮移近量,选择方案 4 支护方式较为合理。

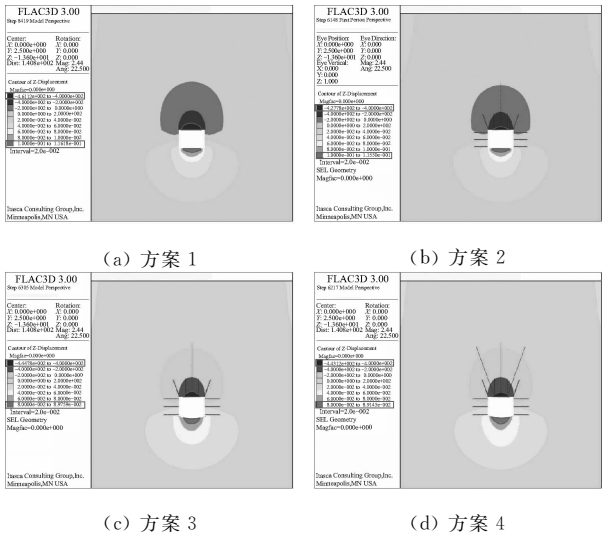


图 7 不同支护方案下巷道垂直方向位移云图

Fig. 7 Vertical displacement nephogram of roadway under different support schemes

表 4 不同支护方案下巷道变形情况

Table 4 Roadway deformation under different support schemes

方案	顶底板移近量/mm	两帮移近量/mm	锚杆锚固端离层量/mm
方案 1	169.82	127.15	—
方案 2	139.78	109.86	26.99
方案 3	126.13	101.11	16.17
方案 4	113.98	92.38	9.44

5 巷道锚杆支护设计

某煤矿 3 号煤北翼准采区轨道运输大巷沿煤层底板掘进,断面为长方形,4 000 mm×3 000 mm (宽×高),支护方式为锚索+锚杆+网+钢带。

根据方案 4 设计巷道锚杆支护方案,3 号煤北翼准采区轨道运输大巷支护设计如图 8 所示。

顶板锚索:直径为 21.6 mm,长度为 7 500 mm;锚固长度为 1.8 m;锚固力和预紧力分别为 150, 50 kN;锚索排间距为 1.6 m×1.6 m,布置方式为“二一二”五花布置^[1],钢托盘尺寸为 200 mm×200 mm×10 mm。

顶板锚杆:直径为 22 mm,长度为 2 200 mm;锚固长度为 1.2 m,锚固力和预紧力分别为 150,

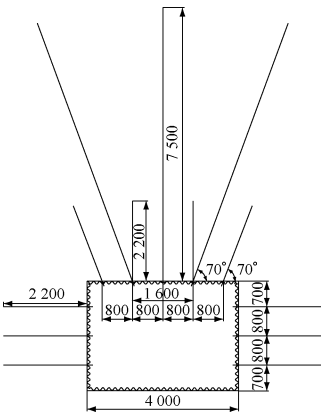


图8 轨道运输大巷支护设计

Fig. 8 Support design of rail haulage roadway

50 kN;锚杆排间距为0.8 m×0.8 m;钢托盘尺寸为150 mm×150 mm×10 mm。

两帮锚杆:直径为22 mm,长度为2 200 mm;锚固长度为1.2 m;锚固力和预紧力分别为150, 50 kN;锚杆排间距为0.8 m×0.8 m;钢托盘尺寸为150 mm×150 mm×10 mm。

6 巷道支护效果分析

为检验所选支护方式对巷道的支护效果,在巷道掘进施工期及巷道稳定期(共计40 d)对巷道顶底板及两帮移近量进行监测,监测效果如图9、图10所示。

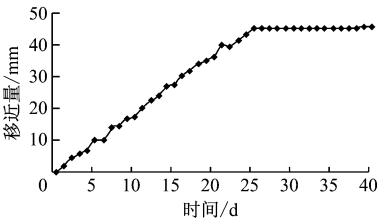


图9 巷道顶底板移近量监测效果

Fig. 9 Monitoring result of roadway displacement of roof and bottom

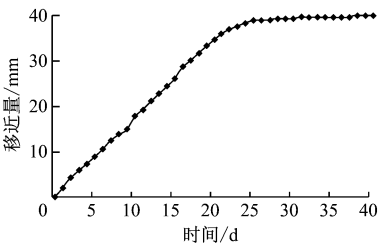


图10 巷道两帮移近量监测效果

Fig. 10 Monitoring result of roadway displacement of two sides

由图9、图10分析可以得出,0~25 d内巷道顶底板及两帮位移处于急剧变化期,巷道顶底板及两

帮移近量急剧增大;25 d以后,巷道围岩进入稳定期,巷道顶底板及两帮移近量变化不大,巷道变形趋于稳定,处于稳定期时的巷道顶底板及两帮移近量分别为45 mm和40 mm,巷道支护控制效果较好。

7 结论

- (1) 通过对某煤矿3号煤北翼准采区轨道运输大巷所在地质概况进行分析并对其顶底板岩石物理力学参数进行测试,根据围岩稳定性分类指标,将巷道围岩定为Ⅱ、Ⅲ类围岩。
- (2) 通过数值模拟分析不同支护方案的支护效果,得出巷道采取“锚索+锚杆+网+钢带”的支护方式时,巷道围岩塑性变形范围最小,巷道顶底板及两帮移近量也最小,该方案是所有支护方案中最合理的。
- (3) 通过分析现场实测巷道顶底板及两帮移近量表明,巷道围岩变形较小,支护控制效果较好,说明所选支护方式及支护参数较为合理。

参考文献(References):

[1] 王庄.西合煤矿采准巷道锚杆支护技术研究[D].青岛:山东科技大学,2013.

[2] 曾聚子.大断面特软煤层巷道支护方案数值模拟研究[J].陕西煤炭,2013,32(2):22-24.

ZENG Juzi. Numerical simulation study on support program of large section roadway in special soft seam [J]. Shaanxi Meitan,2013,32(2):22-24.

[3] 孙小岩,韩反子,王素娜.大断面拱形巷道锚杆支护参数数值模拟研究[J].中州煤炭,2016(12):69-72.

SUN Xiaoyan, HAN Fanzi, WANG Suna. Numerical simulation research on bolt supporting parameters of large section arch roadway [J]. Zhongzhou Coal, 2016(12):69-72.

[4] 杨树军.深部巷道围岩地质力学测试及支护方式设计[J].中国煤炭,2015,41(4):77-80.

YANG Shujun. Geomechanics testing and support method design of rock mass around deep roadway [J]. China Coal,2015,41(4): 77-80.

[5] 马鑫民,杨仁树,王茂源,等.基于工程类比煤巷支护智能预测系统与应用[J].中国矿业,2016,25(2):85-90.

MA Xinmin, YANG Shuren, WANG Maoyuan, et al. Intelligent forecast system of roadway support and it's application based on engineering analogy [J]. China Mining Magazine,2016,25(2):85-90.

[6] 任德斌,常思萌,王国业.扩大头锚杆结构参数优化研

- 究[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2016, 32(3):466-475.
- REN Debin, CHANG Simeng, WANG Guoye. Optimization study on structural parameters of the bit expanded anchor[J]. Journal of Shengyang Jianzhu University(Natural Science), 2016, 32(3):466-475.
- [7] 许梦国, 王明旭, 王平, 等. 不同巷道支护方式的数值模拟分析[J]. 矿冶工程, 2013, 33(6):19-23.
- XU Mengguo, WANG Mingxu, WANG Ping, et al. Numerical simulation and analysis of different roadway supporting method [J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2013, 33(6):19-23.
- [8] 刘钦节, 杨科, 史厚桃, 等. 朱仙庄矿 10 煤地质力学评估及其回采巷道分类支护[J]. 中国安全科学学报, 2016, 26(2):114-120.
- LIU Qinjie, YANG Ke, SHI Houtao, et al. Geological mechanics evaluations of Zhuxianzhuang Coal Mine and classified supporting technology for roadway in it [J]. China Safety Science Journal, 2016, 26(2):114-120.
- [9] 刘洋, 唐开敏, 范丰良, 等. 深部厚煤层沿空掘巷预留煤柱宽度及支护技术研究[J]. 中州煤炭, 2015(11):85-87.
- LIU Yyang, TANG Huimin, FAN Fengliang, et al. Study on reservation width of narrow pillar and supporting technology of roadway in gob side entry driving in deep thickness coal seam[J]. Zhongzhou Coal, 2015(11):85-87.
- [10] 蔡美峰. 岩石力学与工程[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [11] 张斌川, 卢辉, 刘路, 等. 深井高应力巷道锚杆支护参数优化研究[J]. 煤矿开采, 2014, 19(6):116-119.
- ZHANG Binchuan, LU Hui, LIU Lu, et al. Optimization of anchored bolt supporting parameter for roadway with high stress in deep mine [J]. Coal Mining Technology, 2014, 19(6):116-119.
- [12] 高杰, 韩立军, 孟庆彬, 等. 基于软岩巷道围岩分类的支护方案优化[J]. 煤矿安全, 2016, 47(8):126-129.
- GAO Jie, HAN Lijun, MENG Qingbin, et al. Optimization of support scheme based on classification of surrounding rock in soft rock roadway [J]. Safety in Coal Mines, 2016, 47(8):126-129.
- [13] 徐青云, 张磊, 鲁杰, 等. 高瓦斯松散煤体复合顶煤巷支护参数优化分析[J]. 中国煤炭, 2014, 40(12):42-45.
- XU Qingyun, ZHANG Lei, LU Jie, et al. Analysis on supporting parameters for coal roadway with compound roof and high-gas loose coal seam [J]. China Coal, 2014, 40(12):42-45.
- [14] 侯晓志. 回采巷道支护方案数值模拟及可行性研究[J]. 中国煤炭, 2016, 42(2):51-54.
- HOU Xiaozhi. Numerical simulation and feasibility research on supporting scheme of mining roadway [J]. China Coal, 2016, 42(2):51-54.
- [15] 王宇鹏, 宋刚. 晋普山煤矿孤岛工作面锚杆支护技术研究[J]. 山西煤炭, 2015, 35(2):43-46.
- WANG Yupeng, SONG Gang. Bolt support technology on island mining face in Jinpushan Mine [J]. Shanxi Coal, 2015, 35(2):43-46.