

文章编号:0253-9993(2013)04-0566-06

深井软岩破碎巷道底臃原因及处置技术研究

刘泉声^{1,2}, 刘学伟¹, 黄 兴¹, 刘 滨¹

(1. 中国科学院武汉岩土力学研究所 岩土力学与工程国家重点实验室, 湖北 武汉 430071; 2. 武汉大学 水工岩石力学教育部重点实验室, 湖北 武汉 430072)

摘 要:根据顾北煤矿南翼(11-2)胶带机巷道工程实际,依据长期的现场调查和变形监测,对顾北矿区深井软岩破碎巷道底臃影响因素、特性进行了分析,得出了底臃主要原因,认为底臃主要是由于巷道底板处于敞开状态而成为巷道变形和应力释放的主要场所,软弱破碎的围岩在地应力作用下挤压流入到巷道内,形成较大的挤压流动性底臃。在此基础上,提出了采用混凝土反拱地坪、深浅孔注浆、高预应力组合锚索的针对深井软岩破碎巷道底臃综合处置技术,同时研制开发底板锚索钻机,解决了底板组合锚索孔施工的困难。现场的跟踪监测表明,该技术能有效治理底臃还能加强两帮稳定性。

关键词:岩石力学;深部开采;软岩破碎巷道;底臃;支护技术

中图分类号:TD325 **文献标志码:**A

Research on the floor heave reasons and supporting measures of deep soft-fractured rock roadway

LIU Quan-sheng^{1,2}, LIU Xue-wei¹, HUANG Xing¹, LIU Bin¹

(1. State Key Laboratory of Geomechanics and Geotechnical Engineering, Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China; 2. Key laboratory of Rock Mechanics in Hydraulic structural Engineering, Ministry of Education, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: The south wing (11-2) conveyor roadway at Gubei Coal Mine is in a fault zone. The influence factors and characteristics of floor heave in this fractured roadway were analyzed through site investigations and deformation monitoring. The study indicates that the main causes of floor heave are the squeezing and flowing of fractured rock mass, which means the floor becomes the area for releasing stress and deformation because of no support. As a result, the soft-fractured surrounding rock feeds into the roadway under high stress and causes floor heave. Therefore, a technique, which uses reverse arch concrete floor, grouting, and high pre-stressed combined cable to control floor heave, is proposed. In addition, a floor cable drilling machine has been developed to overcome the difficulty in drilling the cable holes. The site monitoring and observations indicates that the technique can not only improve the floor stability permanently, but also effectively enhance the stability of roadway walls.

Key words: rock mechanics; deep mining; soft-fractured roadway; floor heave; supporting technique

随着国内大多数煤矿相继进入深部开采,巷道埋深逐年增加,地质条件日趋复杂化,深部巷道较多的出现了稳定性问题,特别是在深部软岩破碎巷道中,碎胀、扩容等大变形破坏现象严重,巷道维护十分困难。同时,研究表明^[1-2],进入深部开采后,底臃量已

占据巷道变形量的主要部分。

在深部开采理论与实践过程中,不同学者对于软岩巷道底臃机理提出了很多理论,康红普^[3-4]、姜耀东等^[5]认为底臃包括底板岩层挠曲、泥岩遇水膨胀、底板岩层在偏应力的作用下扩容、流变等机理。康红

普^[3]针对不同的底臌机理建立了相应的底板薄板计算模型,并对底臌原因进行相应的分析。针对煤矿软岩巷道底臌的控制技术,国内外专家提出了不同的底臌控制实用技术,包括J. C. Stankus等^[6]提出的底角锚杆支护技术,谢广祥等^[7]研究了超挖锚注回填技术,Sun Jin等^[8]提出的软岩巷道底角切槽卸压技术等。另外,侯朝炯等^[9]提出加固帮角控制底臌技术,王卫军等^[10-11]提出加固两帮控制底臌,高明中^[12]提出带底拱的U型钢可缩性支架、混凝土碇和弧板等全断面支护法以及底板锚杆、底板注浆和锚注结合的方法治理底板。这些方法都能在一定程度上控制底臌,但是在深井软岩破碎巷道中,巷道围岩性质、应力赋存状态及地质环境的极其复杂,容易导致对软岩巷道底臌机理认识不清,以及现阶段底板锚索施工工艺的问题,因而在采取防治措施时存在一定局限性。

本文结合顾北煤矿南翼(11-2)胶带机巷工程实际,开展深井软岩破碎巷道支护研究,根据现场监测和调查对底臌原因和特性进行了分析探讨,基于自行研制的底板锚索钻机,提出了采用混凝土反拱地坪、注浆、深孔高预应力组合锚索对底板进行综合处置的技术。现场监测数据表明,该技术能对底臌及两帮进行有效控制。

1 工程概况

顾北煤矿南翼(11-2)胶带机巷为南翼(11-2)采区的主要运煤系统,设计断面为直墙半圆拱形,净宽×净高=5.4 m×4.3 m,底板标高-580 m。巷道东侧为待掘进的南翼(11-2)采区回风大巷,西侧为待掘进的南翼(11-2)轨道巷,3条巷道之间水平距离为20~30 m(图1),两条巷道开挖扰动加剧了胶带机巷围岩的应力集中及其破裂变形,对巷道稳定形成二次冲击。巷道围岩主要岩性为砂质泥岩,受断层和褶曲影响,地层产状变化大,滑面发育。根据套孔应力解除法对顾北煤矿(6-2)轨道石门附近的地应力测试,该区最大水平主应力为19.65 MPa,方向335°,与巷道斜交,侧压系数平均达到1.11,因此巷道处于较高水平地应力。同时已探明的众多断层相互交叉切割,导致围岩破碎、抗压强度降低、整体稳定性差。

本文研究巷道位于胶带机巷中自南翼胶带机斜巷与南翼(11-2)胶带机巷交叉点起往里100 m止的断层破碎带内,是典型的深井软岩破碎巷道。

巷道原支护形式及工序为:首先在掘进工作面的顶拱施作一排长度3 m、间距1.2 m、排距1 m的超前注浆锚杆,通过超前锚杆进行硫酸铝水泥注浆;爆破开挖一个循环进尺后在掘进工作面采用高强预应力锚

网(锚杆、钢筋网)+U型钢支架+初喷进行掘进工作面一次支护。具体工序为:施作初喷找平层,厚度50 mm,打高强预应力锚杆(间排距800 mm×1 000 mm,长度2 800 mm)、挂钢筋网、架U型棚(棚距500 mm);紧跟扒矸机后进行帮顶复喷,复喷层100 mm;复喷以后立即进行浅孔注浆,孔深1.5 m;浅孔注浆后施作预应力锚索二次支护,拱顶和两帮合计每排5根,直径22 mm,长度6 300 mm,排距1 500 mm。滞后浅孔注浆5 m进行深孔注浆,孔深3~4 m。底板支护包括底角注浆锚管和底板锚索,其中底板锚索每断面2根,长度6 300 mm,排距1 500 mm。

由于技术及人力原因,该巷道实际掘进后仅采用了36U型棚+预应力锚杆+钢筋网+帮部浅孔注浆护帮顶,超前锚杆、顶板及两拱肩3根预应力锚索护顶,混泥土地坪护底,两帮及底板二次支护没有及时跟进。同时,巷道掘进后由于经过3次卧底,底板围岩反复遭受切割与应力重分布,变得软弱破碎,巷道两帮和底臌变形严重,巷道整体稳定性差。

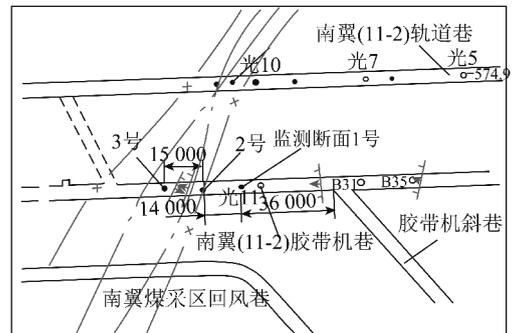


图1 巷道平面布置

Fig. 1 The plane figure of roadways

为了确保试验巷道的稳定性,同时对支护技术进行研究。在巷道掘进后,在胶带机斜巷与(11-2)胶带机巷交点往里36,50和65 m处分别布置表面位移监测断面1,2,3,三处监测点均处于断层带和其影响带内(图1)。表面位移监测点主要进行两帮收敛、顶板下沉、底臌的监测。在每个监测断面的拱顶、两腰、底板中间各设置1个由测杆和球头组成的测定,测杆锚入围岩的深度 ≥ 0.5 m,表面位移监测断面量测利用中科院武汉岩土所WRM-3型收敛仪,精度可达0.01 mm(图2)。

根据长期的现场监测,绘制累计收敛-时间图(图3,4)。根据图3,4可知,在该段巷道内,3个监测断面显示两帮累计收敛量平均在500 mm左右,前两个监测断面平均底臌量在500 mm以上。在现有的支护形式下,巷道围岩极不稳定,底板及两帮均有失稳趋势。由于胶带机巷是顾北煤矿南区的主要运



图2 胶带机巷内两帮累计收敛图

Fig. 2 Total side deformation in tape machine roadway

煤通道,底臃将会对胶带机及运煤系统产生严重影响,因此巷道底板的治理是亟需解决的问题。

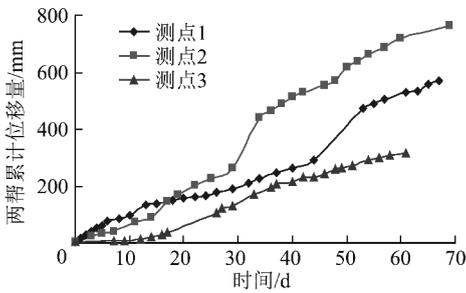


图3 现场监测

Fig. 3 In-suit monitor

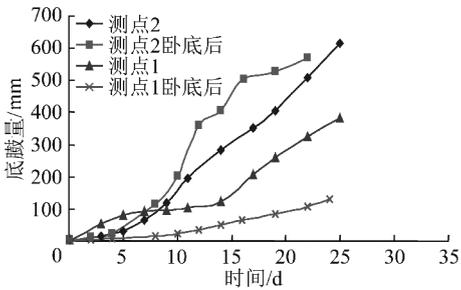


图4 胶带机巷内底臃量统计

Fig. 4 Floor heaves cartogram in tape machine roadway

2 底臃原因及底臃特性探讨

2.1 底臃影响因素分析

研究表明^[3-5,13],影响底臃的因素很多,其中主要有底板岩层性质、围岩应力状态、水理作用和支护强度等,针对顾北煤矿及淮南矿区具体情况,底臃具体影响因素分析如下:

(1)底板围岩状况。巷道底板岩层的强度和结构状态(破碎结构、薄层结构、厚层结构)对底臃起着决定性的作用。主要表现为:底板岩层的结构状态决定着巷道底臃的类型;底板岩层的强度、分层厚度和破碎程度决定着底臃量的大小。淮南矿区大多数巷道底板围岩以泥岩和砂质泥岩为主,以顾北煤矿、顾

桥煤矿为代表的多数南区巷道又处于 F104, FD104 密集断层及次生断层之内,岩性极为破碎,属于大规模松散破碎围岩,在这种条件下巷道极易产生底臃。

(2)围岩应力。当围岩应力达到一定条件时,巷道底板破坏。围岩应力越大,底臃也越严重。根据套孔应力解除法对顾北煤矿(6-2)轨道石门附近的地应力测试结果,顾北矿区处于高水平应力。同时对淮南矿区-500~-1 000 m 范围内的 12 个矿区进行的地应力测试表明,淮南矿区地应力场以水平应力为主,属于典型构造应力场类型,这种应力类型使得底臃更加难以控制。

(3)水理作用。浸水后的巷道底板往往产生严重的底臃,一般表现为 2 个方面:①底板岩层浸水后,其强度降低,从而更容易破坏。②泥质胶结的岩层,浸水后易破碎、泥化、崩解,甚至强度完全丧失。室内岩石物化分析表明,顾北矿区内围岩成分为:伊利石含量 11%,高岭石含量 51%,绿泥石、石英、长石含量共计 38%。该矿区围岩容易遇水软化,而膨胀性较弱。另外,根据现场地质资料,南翼(11-2)胶带机内巷道涌水量为正常 3~5 m³/h,最大涌水量 10 m³/h。在掘进初期由于喷浆及底板支护的不到位,容易导致围岩弱化,大大降低围岩强度,导致底板破坏形成底臃。

(4)支护强度与支护形式。目前淮南矿区大多数巷道底板通常处于敞开不支护状态,处理巷道底臃的主要方法是卧底,因此底臃问题始终无法彻底解决。试验巷道原支护设计中使用了底板锚索及底板注浆,但由于技术原因,底锚注浆控制及锚索没有及时跟进,使得支护无法达到很好的效果,因此巷道底板成为巷道支护体系的薄弱环节,围岩压力更多地通过巷道底板体现出来,底臃速率比顶板和两帮收敛速率大得多。

2.2 底臃特性分析

顾北煤矿南翼 11-2 胶带机巷道、南翼 11-2 轨道巷、南翼 11-2 岩石回风巷、南翼轨道大巷、Y 形边界回风巷、Y 形边界轨道巷等 6 条巷道先后通过 F104 地质异常带。这些巷道理深均在 -550 m 以下,且处于断层破碎带内,是典型的深井软岩破碎巷道。通过对顾北矿区上述巷道的现场工程地质调查和监测分析,顾北矿区深井软岩破碎巷道底臃有如下基本特征。

(1)所有巷道均出现不同程度的底臃,这是顾北矿区软岩巷道的共同特性。例如,Y 形边界回风巷、轨道巷采用地面注浆手段通过断层带后,仍然需要经常卧底以缓解底臃压力。另外,这些巷道中底臃量占

巷道围岩变形量的主要部分,如研究巷道内测点1和测点2在底板治理之前的底臃量与两帮累计收敛量的比值分别为1.2和1.65。

(2)顾北矿区软岩破碎巷道通常容易形成倒立三角形或圆弧形底臃。围岩岩性、巷道所处地应力对底臃的形式起着控制作用。顾北矿区地应力场中水平地应力均大于垂直地应力,同时底板岩性主要是泥岩和砂质泥岩,比较破碎。在这种地应力和岩性的条件下,底臃多数为中间集中隆起并产生裂缝,使得轨道倾斜;或中间部分不对称上升,靠近帮角处产生裂缝,挤压排水沟和胶带机。这2种情况均严重影响运输和生产。

2.3 底臃原因探讨

现有研究将底臃机理分为挤压流动型、挠曲褶皱型、剪切错动型和遇水膨胀型4种形式。

根据现场工程实际调查,每次卧底后,该段巷道底臃总是呈现倒三角或者梯形形式。在底板施工有混凝土地坪时,在底臃的作用下,混凝土底板的破坏一般由中间开始,两边随后也出现裂缝,并且底臃量不对称于巷道中轴线,出现一定的偏向现象。由于巷道周围围岩较为松散破碎,同时底板围岩膨胀性较弱,由于围岩膨胀造成的底臃量相对较小,因此不会出现后3种底臃形式。通过对比现场的底板破坏及底臃形式,认为顾北矿区深井软岩破碎巷道的底臃的主要原因为:由于底板没有进行主动支护,底板成为巷道的应力和变形的释放场所,加之围岩的软弱破碎和深井的高地应力作用,巷道破碎围岩会发生挤压流动,缓慢的进入到巷道内并造成底板的破坏,属于挤压流动型底臃。

3 底板处置技术及治理效果

3.1 底板处置技术

根据对深井软岩破碎巷道底臃影响因素、底臃特性和底臃原因的分析研究,结合相关理论与工程实践^[14-16],对顾北煤矿南翼(11-2)胶带机巷提出如下的底板治理方案总体施工工艺:卧底→施工反拱地坪→施工组合锚索孔(深部注浆孔)→安装锚索→预张拉→利用组合锚索孔进行深部注浆→二次张拉→施工二次地坪→施工底板浅部注浆孔→注浆。具体为

(1)对于断层破碎带的底板松散围岩,首先要卧底至巷道断面设计底板高度向下250~400 mm,去除表面松散围岩,并且施工反拱地坪防止两帮渗水和巷道内喷雾对底板造成的软化作用。底板地坪混凝土强度应为C30,普通硅酸盐水泥,反拱地坪两边厚100 mm,中间厚300 mm,二次地坪厚度不低于

150 mm。

(2)施工锚索孔。巷道底板锚索孔施工采用自行研制的ZQJ-300气动架柱式底板锚索钻机(图5),配用 $\phi 80$ mm的冲击钻头施工。该钻机能适应不同施工环境特别是在巷道中,施工成孔质量好,速度较快,每米进尺大约需10 min。如发现塌孔或不成孔,下1根内径15 mm的注浆管,进行预注浆,然后再施工直至成孔。



图5 底板锚索钻机

Fig. 5 Floor cable drilling machine

(3)施工组合锚索。深孔高预应力组合锚索将作用力深入到底板岩性较好的地层中。组合锚索施工间距1.5 m,排距3 m,采用交错布置,每排4组,左右两侧两组各上一道钢梁,两梁错开1.5 m。为了降低底脚处应力集中以及两帮的挤压流动作用,同时防止两帮围岩向巷道内的滑动以及扩大承载圈,在巷道底板施工的组合锚索中,巷道中间两组垂直底板,两边外摆 15° (图6)。

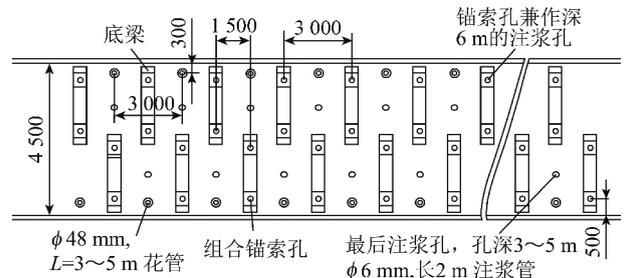


图6 底板锚索注浆孔布置平面

Fig. 6 The plane figure of floor cables and grouting holes

现场组合锚索选用3根长10 m直径17.8 mm钢绞线作为一束大锚索,由3根锚索在一端头部3 m内编制成串珠状组合而成(图7)。在组合锚索的组合一端装上导向帽,送入到锚索孔中直至孔底,然后灌入42.5普通硅酸盐水泥配制的水泥浆(浆液水灰比0.6:1.0左右)约40 L。养护2 d后下2根连接的内径为15 mm,长3 m的注浆管,用棉丝或水泥袋缠绕在锚索上,用钻杆将其推至距孔口2.0 m处,将深部

注浆管引到孔外。

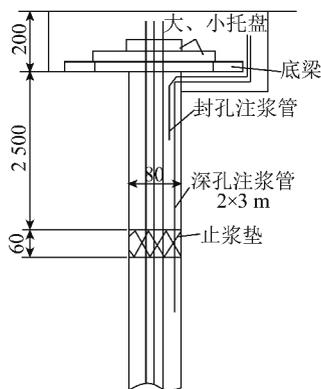


图7 组合锚索示意

Fig. 7 Combined cable

在张拉底板组合锚索时,具体步骤为:首先下底梁,底梁选用槽钢,尺寸为2 400 mm×400 mm,随后上由普通钢板制作的方形大、小托盘,对锚索进行预张拉,单根显示压力10 MPa;接着通过预埋的封孔注浆管(图7)对封孔段进行封孔;然后通过预埋的深部注浆管对锚索孔深部进行注浆,注浆压力6~8 MPa;最后在深部高压注浆3 d后,安装锁具,将3根锚索逐根进行二次张拉,指示表显示压力达到20 MPa时停止张拉,卸下千斤顶,并用液压剪切断多余的钢绞线。

(4)底板浅部注浆。在组合锚索施工过程中已利用锚索孔进行了深孔注浆,在二次地坪施工后接着施工浅部注浆孔,具体参数为:间隔3 m布置一排,每排两个注浆孔(图6),孔深3~5 m,孔直径80 mm,采用内径为20 mm,长2 m的注浆管进行注浆,注浆压力6 MPa。另外,在底角布置 $\phi 48$ mm, $L=3\sim 5$ m的注浆花管,外倾 30° ,距帮300 mm,一排两根,排距3 m,注浆压力2 MPa。

注浆机具为ZBQ-15/5型风动双液注浆泵,注浆材料均选用42.5普通硅酸盐水泥。同时,注浆压力也取决于围岩裂隙发育程度,围岩中有裂隙水时注浆压力需大于水压1~2 MPa,水灰比0.6~0.8,注浆要饱满充实。

巷道最终支护方案如图8所示。

3.2 现场监测结果

在实验巷道采用底板治理方案后,继续对巷道进行变形监测,得到监测数据如图9所示。监测表明,底板在治理之后经过一个月左右的时间底脚速率下降到0.05 mm/d以下,底板逐渐达到稳定状态。

同时根据两帮位移的监测,发现底板治理之后两帮的稳定性也有显著的改善,变形速率由之前的10 mm/d逐渐降至0.5 mm/d以下,围岩变形逐渐趋于稳定(图10)。

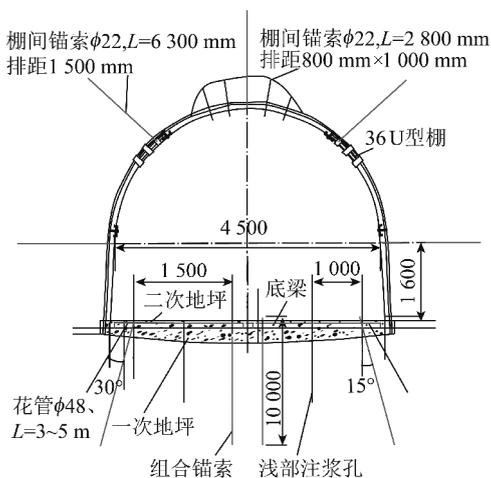


图8 底板治理后巷道最终支护

Fig. 8 The last supporting figure of the roadway

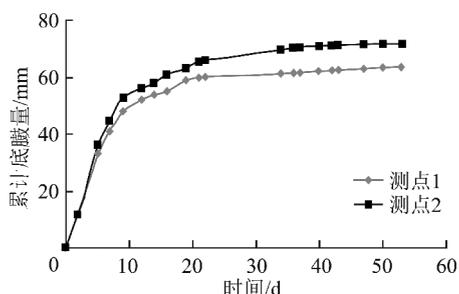


图9 胶带机巷测点底板治理后底脚量累计

Fig. 9 Total floor heave deformation of the roadway after construction

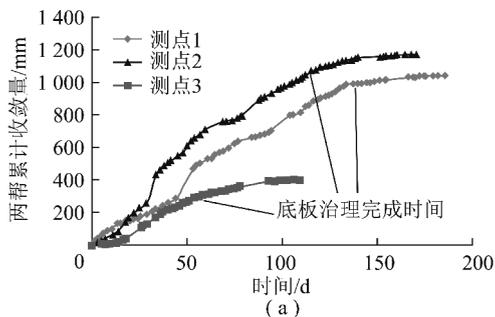


图9(a) 胶带机巷监测点两帮累计收敛

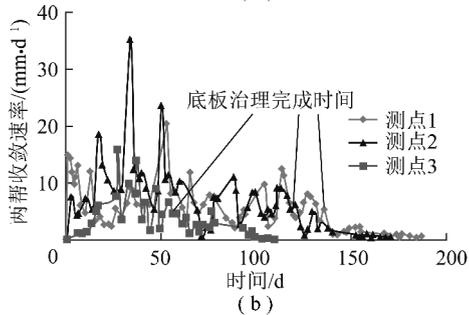


图9(b) 胶带机巷监测点两帮收敛速率

图10 胶带机巷监测点两帮累计收敛和收敛速率
Fig. 10 Total side deformation and side deformation rate of monitoring points in tape machine roadway

4 结 论

(1)深井软岩破碎巷道由于其高地应力和低围

岩强度的特点,使得巷道整体稳定性较差,底臃问题严重。

(2)顾北煤矿软岩破碎巷道底臃原因主要是,在前期只进行两帮和顶板一次支护的情况下,底板处于敞开状态并成为巷道应力释放和主要的变形场所,因此软弱破碎的巷道围岩在地应力作用下挤压流入到巷道内,形成较大的挤压流动性底臃。

(3)采用混凝土反拱地坪、注浆、深孔高预应力组合锚索的底臃综合治理技术,不仅能够有效控制底臃,还能显著改善两帮围岩的力学性能,降低两帮围岩收敛速率。同时,配用自行研发的风动底板锚索钻机施工,能够解决巷道底板锚索施工工艺问题。

参考文献:

- [1] 何满潮,谢和平,彭苏萍,等.深部开采岩体力学研究[J].岩石力学与工程学报,2005,24(16):2803-2813.
He Manchao, Xie Heping, Peng Suping, et al. Study on rock mechanics in deep mining engineering[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(16): 2803-2813.
- [2] 陈宗基,康文法.地下巷道长期稳定性的力学问题[J].岩石力学与工程学报,1982,1(1):1-19.
Chen Zongji, Kang Wenfa. Mechanical problems of long-term stability in roadway [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 1982, 1(1): 1-19.
- [3] 康红普,陆士良.巷道底臃机理的分析[J].岩石力学与工程学报,1991,2(4):362-373.
Kang Hongpu, Lu Shiliang. Research on mechanism of floor heave of roadway [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 1991, 2(4): 362-373.
- [4] 康红普.软岩巷道和硐室的底臃机理及卸压技术的研究[D].徐州:中国矿业大学,1991.
Kang Hongpu. Research on mechanism of floor heave of soft rock tunnel and roadway and pressure relief technology [D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 1991.
- [5] 姜耀东,陆士良.巷道底臃机理的研究[J].煤炭学报,1994,19(4):343-351.
Jiang Yaodong, Lu Shiliang. Investigation of mechanism of floor heave of roadway[J]. Journal of China Coal Society, 1994, 19(4): 343-351.
- [6] Stankus J C, Peng S S. Floor bolting for control of mine floor heave [J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts, 1994, 46(9): 1099-1102.
- [7] 谢广祥,常聚才.超挖锚注回填控制深部巷道底臃研究[J].煤炭学报,2010,35(8):1242-1246.
Xie Guangxiang, Chang Jucai. Study on overcutting-bolting & grouting-backfilling concrete to control the floor heave of deep mine roadway [J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(8): 1242-1246.
- [8] Sun Jin, Wang Lianguo. Numerical simulation of grooving method for floor heave control in soft rock roadway [J]. Mining Science and Technology (China), 2011, 21: 49-56.
- [9] 侯朝炯,何亚南,李 晓,等.加固巷道帮、角控制底臃的研究[J].煤炭学报,1995,20(3):229-234.
Hou Chaojiong, He Yanan, Li Xiao, et al. Reinforcing sidewalls and corners of gateway to control floor heave [J]. Journal of China Coal Society, 1995, 20(3): 229-234.
- [10] 王卫军,冯 涛.加固两帮控制深井巷道底臃的机理研究[J].岩石力学与工程学报,2005,24(5):808-811.
Wang Weijun, Feng Tao. Study on mechanism of reinforcing sides to control floor heave of extraction opening [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(5): 808-811.
- [11] 王卫军,彭 刚,黄 俊.高应力极软破碎岩层巷道高强度耦合支护技术研究[J].煤炭学报,2011,36(2):223-228.
Wang Weijun, Peng Gang, Huang Jun. Research on high-strength coupling support technology of high stress extremely soft rock roadway [J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(2): 223-228.
- [12] 高明中.巷道压曲性底臃的机理与控制[J].安徽理工大学学报(自然科学版),2008,28(1):20-24.
Gao Mingzhong. Mechanism of roadway floor heave by bending under pressure and its control [J]. Journal of Anhui University of Science and Technology (Natural Science), 2008, 28(1): 20-24.
- [13] 孙玉福.水平应力对巷道围岩稳定性的影响[J].煤炭学报,2010,35(6):891-895.
Sun Yufu. Effects of in-situ horizontal stress on stability of surrounding rock roadway [J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(6): 891-895.
- [14] 袁 亮,薛俊华,刘泉声,等.煤矿深部岩巷围岩控制理论与支护技术[J].煤炭学报,2011,36(4):535-543.
Yuan Liang, Xue Junhua, Liu Quansheng, et al. Surrounding rock stability control theory and support technique in deep rock roadway for coal mine [J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(4): 535-543.
- [15] 刘泉声,高 玮,袁 亮.煤矿深部岩巷稳定性控制理论与支护技术及应用[M].北京:科学出版社,2010.
Liu Quansheng, Gao Wei, Yuan Liang. Study on control theory and supporting technology of deep rock roadways in coal mine and their applications [M]. Beijing: Science Press, 2010.
- [16] 康红普,王金华,林 健.煤矿巷道支护技术的研究与应用[J].煤炭学报,2010,35(11):1809-1814.
Kang Hongpu, Wang Jinhua, Lin Jian. Study and application of roadway support techniques for coal mines [J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(11): 1809-1814.