

锚栓网带矸石袋墙沿空留巷技术及其应用

林东才, 贾传洋, 栾恒杰, 王冠赵

(山东科技大学 矿业与安全工程学院, 山东 青岛 266590)

摘要: 针对矸石袋墙沿空留巷技术存在矸石袋压缩空间大、沿空留巷后围岩变形大等问题, 建立沿空留巷围岩力学模型, 结合无煤柱沿空留巷“大、小结构”理论, 提出锚栓网带矸石袋墙沿空留巷技术。利用矸石袋相互重叠垒砌形成整面的墙体, 墙体外侧铺设金属网, 锚栓与防护钢带双向紧固墙体, 使得墙体受力均匀、紧凑性强, 提高矸石袋墙的抗压能力和整体支护性能, 从而解决原有矸石袋墙沿空留巷技术所存在的问题。王楼煤矿现场应用表明, 该技术缓解了煤矿采掘接替紧张局面, 延长了矿山服务年限, 经济效益和社会效益显著。

关键词: 沿空留巷; 锚栓; 矸石袋; 支护阻力

中图分类号: TD325

文献标志码: A

文章编号: 1672-3767(2015)02-0001-06

Gob-side Entry Retaining Technology of Gangue Bags Wall with Anchor Bolt Net and Its Application

Lin Dongcai, Jia Chuanyang, Luan Hengjie, Wang Guanzhao

(College of Mining and Safety Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China)

Abstract: To solve problems in gob-side entry retaining technology of gangue bag wall such as the large compression space of gangue bags and the serious surrounding rock deformation after the gob-side entry retaining, a mechanical model for surrounding rock of gob-side entry retaining was established, and gob-side entry retaining technology of gangue bag wall with anchor bolt was put forward based on the “large-small structure” theory. Gangue bags were overlapped to form a whole wall and metal meshes were laid outside the wall to guarantee the uniform stress and the high compactness of the wall. In this way the existing problems discussed above could be solved by improving the anti-compression capacity and overall support performance of the gangue bag wall. The field application of this technology in Wanglou Mine indicates that this technology can alleviate the tense situation of coal mining and development replacement, extend coal mine’s length of service and bring remarkable economic and social benefits.

Key words: gob-side entry retaining; anchor bolt; gangue bags; support resistance

沿空留巷作为无煤柱开采的核心技术^[1], 对提高煤炭回收率, 缩短工作面准备时间, 降低巷道掘进率, 缓解采掘接替的紧张状况都具有重要意义^[2-3]。国内外沿空留巷的巷旁支护方式主要有木垛、密集支柱和墙体。墙体根据材料和结构又分为很多种, 比如矸石块垒墙、矸石块混凝土墙、高水材料墙以及其他各种材料的墙体^[4-5]。其中用矸石充填砌墙留巷的方法是我国最早应用的一种巷旁支护形式^[6]。矸石充填砌墙的运用可减少地面矸石排放量, 降低巷道掘进率, 实现矿井绿色开采。但矸石块残余空间大, 过大的压缩特性及较低的抗轴压及侧压能力导致沿空留巷围岩产生大变形, 严重影响沿空留巷的重复使用, 同时带来该支护材

收稿日期: 2014-07-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(51109124)

作者简介: 林东才(1957—), 男, 山东滨州人, 教授, 主要从事采煤方法与工艺和矿山压力与岩层控制方面的研究。

E-mail: 6057170@163.com

贾传洋(1988—), 男, 山东济宁人, 硕士研究生, 主要研究方向为采煤方法与工艺和矿山压力与岩层控制, 本文通信作者。E-mail: jackjia1988@126.com

料的浪费和损失,限制了沿空留巷技术在煤矿的推广^[7-8]。

王楼煤矿位于山东省济宁市喻屯镇,原煤设计年产量 90 万 t,于 2007 年建成投产。井田内基本为向北西方向倾伏的单斜构造,地层产状一般 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}$,局部受构造影响地层倾角变陡,可达 20° 。为了保证矿井产量,需要 2 个综采工作面同时开采,工作面接续任务十分艰巨,加之地质条件复杂,掘进速度缓慢,常常造成接续紧张;另外该煤矿掘进矸石量大,矿井提升能力紧张,而且矿井周围的生态环境也会因煤矸石的堆积而受到影响,因此决定采用矸石袋墙作为巷旁支护体进行留巷。为了使构筑的矸石袋墙满足沿空留巷所需的强度要求,且具有足够的抗变形能力,提出锚栓网带矸石袋墙沿空留巷技术,降低支护材料成本的同时,实现墙体整体稳定抗压、横向抗侧压,为沿空留巷的发展提供新的技术途径。

1 工作面概况

王楼煤矿 11307 综采工作面地面标高 +33.4 m,工作面标高 -600~-648 m。所采 3_{\pm} 煤层以亮、镜、暗煤为主,层状条带结构,参差状断口,玻璃状光泽,内生裂隙发育,属半亮型煤。

11307 工作面上下平巷采用锚(索)网+钢带联合支护。巷道顶部使用 $\Phi 20\text{ mm}\times 2\ 300\text{ mm}$ 等强树脂锚杆,帮部使用 $\Phi 18\text{ mm}\times 1\ 800\text{ mm}$ 右旋全螺纹钢树脂锚杆,每根锚杆配一卷 K2370 树脂锚固剂。两帮上部锚杆距顶板 800 mm,下部锚杆距底板不得超过 700 mm。顶部锚杆间排距为 $760\text{ mm}\times 800\text{ mm}$,帮部锚杆间排距 $800\text{ mm}\times 800\text{ mm}$ 。

2 沿空留巷技术围岩力学模型

2.1 “大、小结构”模型

沿空留巷巷道围岩大结构是指“应力拱”内岩梁;小结构是指巷旁充填体、顶煤、煤帮、直接顶、底板等锚固结构^[9]。“大、小结构”力学模型如图 1 所示。

老顶岩块的“大结构”形成之前,巷旁支护体应具备一定的可缩量,通过支护体下缩让压适应老顶的回转以及基本顶的运动,减少对支护体的压力,实现控顶载荷向实煤体及采空区冒落矸石转移,使得实体煤帮、充填体和采空区冒落矸石共同承载留巷上方的顶板载荷;同时,巷旁支护体应具备早强、快速增阻的力学特性,可保持直接顶的完整性与自承能力,足够的支护阻力参与顶板运动及平衡,避免留巷侧顶板产生过大的下沉量;另外巷旁支护体快速增阻特性使充填体在顶板下沉、来压步距之前达到切顶阻力,沿支护体外边缘切落足够高度的顶板,以减小巷旁支护体载荷,使得垮落的矸石碎胀后填充采空区,及早促使关键块运动稳定。

老顶岩块的“大结构”形成之后,巷旁支护的作用是维持老顶“大结构”的稳定。研究表明,当巷旁支护体具备较高的承载能力,能够适应“硬支多载”的顶板下沉倾向时,使得侧向顶板及时冒落,从而形成有利于巷道维护的外部结构环境。因此,构筑早撑、早强、大刚度的保留巷道采空区侧巷旁支护墙体是沿空留巷的关键技术。

2.2 巷旁支护强度计算

在研究巷道“支护-围岩”相互作用关系时,应考虑到巷帮煤体对维护巷道的的作用以及沿空留巷侧采空区顶板活动的影响。图 2 所示为考虑巷帮煤体作用的顶板载荷条带分割法模型(为四边支承, L_1 、 L_{II} 分别为工作面长度和顶板来压步距)。在图 2 中取一单位宽度的板条,研究采空区顶板在过渡期活动阶段的沿空留巷巷旁支护阻力,其力学模型求解如图 3 所示。

设顶板均布载荷为 q ,按条带分割后,分割到 ADEF 板条上载荷只在 AD 和 EF 两段上。由于沿空留巷巷道顶板发生的主动垮落的机会多,而被动垮落一般出现在工作面顶板,因此,仅分析主动垮落情况下巷旁

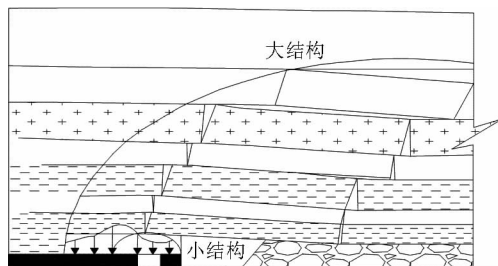


图 1 无煤柱开采“大、小结构”力学模型

Fig. 1 Mechanical model of “large-small structure” without section pillar

支护切顶阻力。另外,在初始阶段,由于岩层下沉变形很小,层面内应力引起的弯矩可忽略不计,因此,求解支护切顶阻力 F 时只考虑岩层自重载荷和采动引起的应力增高系数 k 的作用。图 2 中, AB 段为煤体松动区, BC 段为巷道宽度, CD 段为岩梁破断距离。

用平衡法对图 3 中各段求解,从沿空留巷上方第 1 层顶板开始分析。第 1 层情况,解得巷旁支护阻力 F_1 为:

$$F_1(a+x_0) = k[M_{P1} + q_1(a+x_0)^2/2 + F_{N1}(a+x_0) - M_{A1} - Qx_0] \quad (1)$$

第 2 层以上顶板支护切顶阻力计算不同于第 1 层,第 1 层的切顶阻力主要是人工支护提供的,而第 2 层以上的岩层所需的切顶阻力是人工支护和已垮岩层残留边界共同作用的结果。对于第 m 层情况,可以求得巷旁支护切顶阻力为:

$$F_m(a+x_0) = k[\sum_{i=1}^m \gamma_i h_i (a+x_0 + \sum_{j=0}^{i-1} h_j \tan(g\alpha_j))/2 + \sum_{i=1}^m F_{Ni} (a+x_0 + \sum_{j=0}^{i-1} h_j \tan(g\alpha_j)) + M_{pm} - \sum_{i=1}^m M_{Ai} - Qx_0] \quad (2)$$

其中: i —第 i 层顶板岩层; j —第 j 层顶板岩层; k —应力增高系数; F_{N1} —第一层 C 点岩层破断产生的向下剪力, kN , $F_{N1} = q_1 L_1$; L_1 —岩层破断尺寸, m ; γ_1 —岩层容重, kN/m^3 ; h_1 —岩层厚度, m ; M_{Ai} —第 i 层岩层抗弯弯矩, $kN \cdot m$; M_{P1} —第一层岩层极限弯矩, $kN \cdot m$,在极限条件下, $M_{A1} = M_{P1}$; a —巷道宽度, m ; x_0 —煤体松动区宽度, m ; x_0 —松动区中心至 A 点距离,其值为 $x_0/2$; Q —巷旁煤体对顶板的支承力,符号中的“1”表示第 1 层。

巷帮煤体对顶板岩层的支承力所产生的总弯矩,其计算较为复杂,从简化计算和安全角度考虑,可假设松动区内煤体以均布载荷的形式作用于顶板岩层,均布载荷的大小可选用煤体的残余抗压强度 σ_c^* ,则

$$Qx_0 = \sigma_c^* x_0^2/2 \quad (3)$$

综合以上分析,沿空留巷的巷旁支护阻力 F_m 可以为:

$$F_m(a+x_0) = k[\sum_{i=1}^m \gamma_i h_i (a+x_0 + \sum_{j=0}^{i-1} h_j \tan(g\alpha_j))/2 + \sum_{i=1}^m F_{Ni} (a+x_0 + \sum_{j=0}^{i-1} h_j \tan(g\alpha_j)) + M_{pm} - \sum_{i=1}^m M_{Ai} - \sigma_c^* x_0^2/2] \quad (4)$$

3 锚栓网矸石袋墙留巷技术

3.1 墙体垒砌工艺

锚栓网矸石袋墙沿空留巷技术中的矸石来源于矿井现场的掘进矸石或煤矸分离,通过井上粉碎机将矸石粉碎至颗粒状(直径 $< 0.1 m$)。采用普通或专用塑料编织袋(优选长度为 $0.8 m$),将加工好标准规格的固体颗粒装于袋体中,同时要求装料长度不大于 $0.6 m$,以保证可以稳固地封闭矸石袋的袋口,由此制作成大量相互呈单元体的矸石袋。

在需要支护的工作面上,将若干单元体的矸石袋首先沿横向和纵向逐一整齐平铺,由此形成具有多层的墙体厚度和墙体长度,同理沿竖直方向整齐垒置形成若干层高度。为了保证墙体的稳定,每上下叠置的相邻两矸石袋具有相互重叠的压茬部,且压茬部的宽度不少于 $0.15 m$;同理平层每相邻的两矸石袋之间也可具

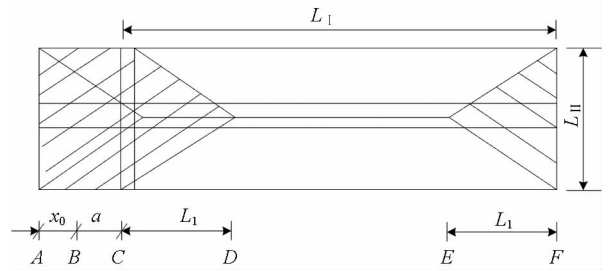


图 2 巷帮煤体作用的顶板载荷条带分割法模型
Fig. 2 Roof load band segmentation model under the action of the roadside coal mass

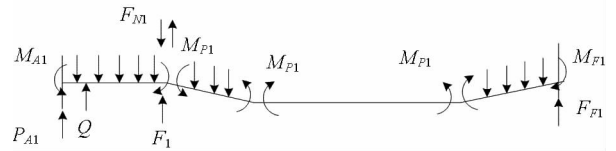


图 3 沿空留巷巷旁支护阻力计算模型
Fig. 3 Calculation model of gob-side entry retaining roadside support resistance

有压茬部,该压茬部使每上层矸石袋的底部均能嵌入承载其下层矸石袋顶部内,或者平层两相邻矸石袋的侧部进行相互嵌入,形成上下或左右部分的重叠交错,显著提高了层与层之间的紧密固连程度,增强整面墙体的稳定性与支护刚度。

通过垒砌后形成整面的墙体,利用金属网对墙体整体进行外周包设,包设过程中应做到封底封帮;所选用的金属网具有高度韧性,网孔规格远小于矸石袋尺寸;通过金属网形成锚栓网对墙体进行外周的紧固,使得整体墙壁紧固一体,网面不易破损,防止单体矸石袋在墙体内脱落。锚栓网的外侧竖直铺设若干条相互平行成排的防护钢带,且位于上述墙体两侧面的防护钢带呈一一对应设置或巷内单侧布设。

在上述锚栓网带矸石袋墙中,所述的每两两正对的防护钢带上穿设有 3 根锚栓,分别位于其顶部、中部和下部。锚栓材质使用 $\Phi 20$ mm 的螺纹钢,锚栓结构示意图如图 4。锚栓垂直穿设两对夹持墙体侧壁的防护钢带,且锚栓贯穿墙体厚度,两端处紧固,整体形成锚栓与防护钢带共同作用,双向紧固墙体。每对防护钢带上穿设的 3 根锚栓等分均布,从而其所施加的双向夹持力均等分布,使墙体受力均匀,紧凑性强,支护承受力高。锚栓网带矸石袋墙布置图如图 5 所示。

3.2 沿空留巷加强支护

1) 巷内顶板加强支护

为加强支护,在运输顺槽超前支护段提前 30 m 进行补强支护,在原来锚网支护的基础上,另打锚索支护,由于原来运输顺槽在掘进中已按 $1\ 700\text{ mm} \times 3\ 000\text{ mm}$ 间排距打 $\Phi 18\text{ mm} \times 8\ 000\text{ m}$ 锚索两排(图 6),补强支护时,靠近巷旁充填体侧补打一排同规格锚索,补打的锚索和巷道中部的原锚索形成三花形。

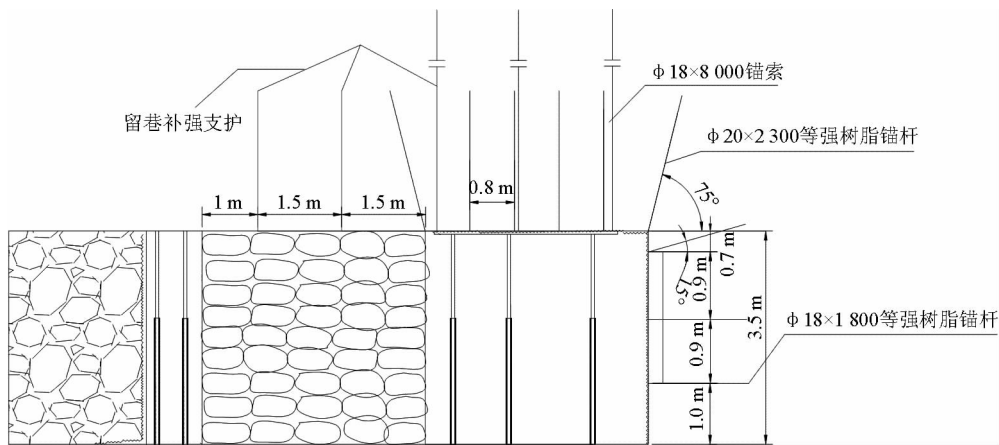


图 6 墙体与巷道剖面位置示意图(A-A)

Fig. 6 Schematic diagram of the wall and the roadway section location (A-A)

2) 矸石袋墙体上方顶板加强支护

为了更好地保护墙体,保持墙体上方顶板的稳定和完整,在墙体上方顶板中补打锚杆加强支护。采用

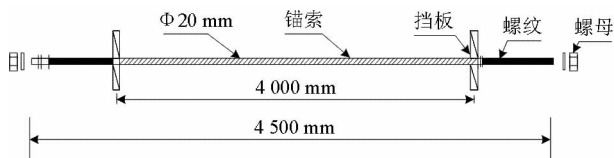
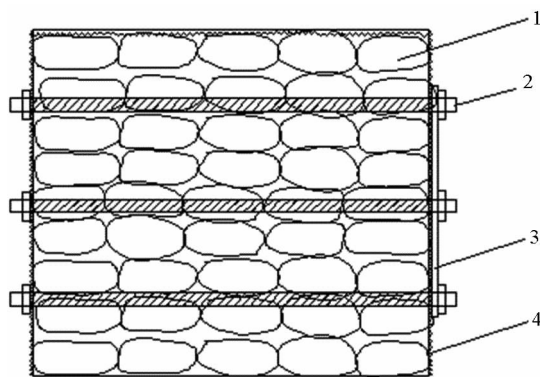


图 4 锚栓结构示意图

Fig. 4 Schematic diagram of anchor bolt structure



1-矸石袋; 2-锚索; 3-防护钢带; 4-金属网

图 5 锚栓网带矸石袋墙布置图

Fig. 5 Schematic diagram of gangue bag wall with anchor bolt mesh

Φ20 mm 单向左旋无纵筋螺纹钢树脂锚杆,规格为 Φ20 mm×2 300 mm。矸石袋墙体上方布置两排锚杆,第一排锚杆距巷 1 500 mm,第二排锚杆距第一排锚杆 1 500 mm。锚杆与顶板轮廓线垂直布置,误差不超过 ±5°。当遇到断层破碎带、压力异常区、顶板泥岩且有淋水等复杂地质条件时的特殊地点,加密锚杆布置,如图 7 所示。

4 沿空留巷效果分析

4.1 沿空留巷变形分析

11307 综采工作面从 2012 年 5 月 12 日开始留巷,截止到 2012 年 12 月 16 日,巷道顶底板最大移近量 1 050 mm,两帮最大移近量 630 mm;巷道断面最大收缩率 48%;顶底板平均移近量 452 mm,两帮平均移近量 265 mm,平均断面收缩率 22%。墙体最大受力 5~7 MPa,袋-网-锚矸石墙能够承受上覆岩层结构施加的载荷,留巷能够保持稳定,在下区段工作面复采时,能满足生产使用要求,留巷获得成功。沿空留巷效果如图 8 所示。

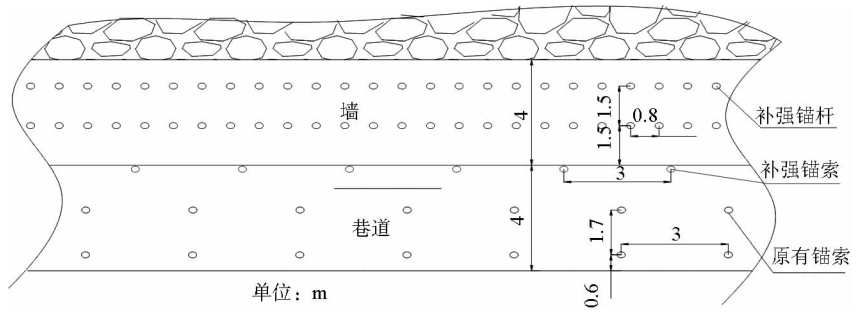


图 7 墙体上方加强支护示意图

Fig. 7 Schematic diagram of the strengthening support above the wall

沿空留巷效果如图 8 所示。



(a) 沿巷墙体及支护

(b) 留巷施工位置及临时支护

(c) 墙体上方金属网铺设

图 8 沿空留巷现场

Fig. 8 Gob-side entry retaining field

4.2 沿空留巷墙体受力分析

从表 1 应力计监测的墙体受力情况可以看出,各应力计受力并不稳定,随着矸石墙体的逐渐压实,应力值逐步升高,达到最大值后逐步趋于稳定。各应力计受力大多为 5~7 MPa,说明矸石墙完全能够承受巷道顶板结构施加于墙体的载荷。

4.3 经济效益分析

王楼煤矿 11307 综采工作面采用锚栓网矸石墙沿空留巷技术进行试验研究,成功留巷 475 m。与木垛支护相比提高了沿空留巷抗侧压能力,减少了矿井排矸量,相应减少了地面占用和环境污染;与正常开采重新开掘巷道相比较节省资金近 699 万

表 1 沿空留巷墙体应力计最大观测值

Tab. 1 Maximum stress meter observation value of gob-side entry retaining wall

应力计编号	观测日期	应力值最大读数/MPa
1	2012-05-21—2012-09-04	5.75
2	2012-05-21—2012-09-04	6.64
3	2012-05-21—2012-09-04	8.90
4	2012-05-21—2012-09-04	5.75
5	2012-05-21—2012-08-28	7.94
6	2012-05-21—2012-09-04	35.03
7	2012-08-22—2012-09-04	2.28
8	2012-08-22—2012-09-04	0
9	2012-08-22—2012-09-04	0.75

元,缓解了煤矿采掘接替紧张局面,提高了煤炭资源回收率,延长了矿山服务年限。

5 结论

提出了一种具有变形量小,支护强度高等优点的锚栓网带矸石袋墙沿空留巷技术。该技术结合锚栓、钢带、金属网的使用,使得矸石袋墙墙体受力均匀,紧凑性强,实现留巷墙体具有整体稳定抗压、让压、横向抗侧压能力。通过现场监测效果分析,锚栓网矸石袋墙沿空留巷技术能满足生产使用要求。

参考文献:

- [1] 华心祝. 我国沿空留巷支护技术发展现状及改进建议[J]. 煤炭科学技术, 2006, 34(12): 78-81.
Hua Xinzhu. China's gob-side roadway supporting technology development status and improvement suggestions[J]. Coal Science and Technology, 2006, 34(12): 78-81.
- [2] 华心祝, 马俊枫, 许庭教. 锚杆支护巷道巷旁锚索加强支护沿空留巷围岩控制机理研究及应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(12): 2107-2112.
Hua Xinzhu, Ma Junfeng, Xu Tingjiao. Bolting support roadway and roadside anchor reinforced support in mechanism and application of gob-side entry retaining[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(12): 2107-2112.
- [3] 华心祝, 赵少华, 朱昊, 等. 沿空留巷综合支护技术研究[J]. 岩土力学, 2006, 27(12): 2225-2228.
Hua Xinzhu, Zhao Shaohua, Zhu Hao, et al. Research on combined support technique of gob-side entry retaining[J]. Rock and Soil Mechanics, 2006, 27(12): 2225-2228.
- [4] 孙锐克, 林东才. 混凝土砌块墙沿空留巷技术[J]. 煤矿安全, 2014, 45(5): 82-84.
Sun Ruike, Lin Dongcai. Gob-side entry retaining technology of concrete block walls[J]. Safety in Coal Mines, 2014, 45(5): 82-84.
- [5] 张国锋, 何满潮, 俞学平, 等. 白皎矿保护层沿空切顶成巷无煤柱开采技术研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2011, 28(4): 511-516.
Zhang Guofeng, He Manchao, Yu Xueping, et al. Research on the technique of no-pillar mining with gob-side entry formed by advanced roof caving in the protective seam in Baijiao coal mine[J]. Journal of Mining and Safety Engineering, 2011, 28(4): 511-516.
- [6] 周宏伟, 刘听成. 我国无煤柱护巷技术的应用[J]. 矿山压力与顶板管理, 1993, 10(3/4): 165-169.
Zhou Hongwei, Liu Tingcheng. China's pillarless mining technology application[J]. Ground Pressure and Strata Control, 1993, 10(3/4): 165-169.
- [7] 李化敏. 沿空留巷顶板岩层控制设计[J]. 岩石力学与工程学报, 2000, 19(5): 651-654.
Li Huamin. Control design of roof rocks for gob-side entry[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2000, 19(5): 651-654.
- [8] 栾恒杰, 林东才, 贾传洋, 等. 沿空留巷矿压显现周期性机制研究[J]. 山东科技大学学报: 自然科学版, 2014, 33(3): 60-64.
Luan Hengjie, Lin Dongcai, Jia Chuanyang, et al. Mechanisms of strata behaviors periodicity for gob-side entry retaining[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology: Natural Science, 2014, 33(3): 60-64.
- [9] 华心祝, 马俊枫, 许庭教. 沿空留巷巷旁锚索加强支护与参数优化[J]. 煤炭科学技术, 2004, 32(8): 60-64.
Hua Xinzhu, Ma Junfeng, Xu Tingjiao. Anchor reinforced support and parameter optimization for side wall of mine roadway retained for next sublevel[J]. Coal Science and Technology, 2004, 32(8): 60-64.

(责任编辑: 吕海亮)