

文章编号: 1673-3363-(2012)03-0322-06

“三软”薄煤层群沿空留巷区段上行式开采研究

曹树刚¹, 邹德均¹, 白燕杰², 文德才³, 杨义刚³, 何平均³

(1. 重庆大学煤矿灾害动力学与控制国家重点实验室, 重庆 400044; 2. 中国煤炭科工集团重庆设计研究院, 重庆 400016; 3. 四川省威达煤业有限责任公司, 四川 叙永 646400)

摘要 为了研究“三软”薄煤层群沿空留巷条件下区段开采顺序对回采巷道的影 响, 在结合前期现场调查分析、支护研究、室内岩石物理力学参数测定的基础上, 利用有限差分法对四川南部地区某煤矿的极近距离“三软”薄煤层群区段下行式或上行式开采顺序进行了数值模拟。研究表明, 采用区段下行式开采顺序时, 巷道顶板及高帮上侧顶板易发生挤压、剪切破坏, 高帮充填带稳定性相对较差, 而上行式开采较下行式开采的垂直应力在巷道矮帮 0.5 m 范围内至少减小 1 MPa, 剪应力减小 1 MPa, 产生的水平应力能阻止矮帮充填带向采空区侧滑移, 也有利于提高充填带的初期强度。

关键词 薄煤层群; 沿空留巷; 区段; 开采顺序

中图分类号 TD 322

文献标识码 A

Study on Upward Mining of Sublevels for Gob-Side Entry Retaining in Three-Soft Thin Coal Seam Group

CAO Shu-gang¹, ZOU De-jun¹, BAI Yan-jie², WEN De-cai³, YANG Yi-gang³, HE Ping-jun³

(1. State Key Laboratory of Coal Mine Disaster Dynamics and Control, Chongqing University, Chongqing 400044, China;
2. China Coal Technology & Engineering Group, Chongqing Design & Research Institute, Chongqing 400016, China;
3. Sichuan Weida Coal Industry Limited Company, Xuyong, Sichuan 646400, China)

Abstract In this paper, to investigate the influence of different mining sequence of sublevels on gateways in conditions of gob-side entry retaining in three-soft thin coal seam group, we carried out numerical simulation study on the upward and downward mining sequences of sublevels respectively in the three-soft thin coal seam group with ultra-close distance in one coal mine of Southern Sichuan, based on the previous field investigation and analysis, shield supporting study and experimental determination of rock mechanics parameters. The results show that extrusion and shear failures are occurred easily in the roadway roof and roof of higher side when the downward mining sequence of sublevels is used, and the rock packing of higher side has poor stability, while the vertical stress and shear stress of lower side in the range of 0.5m decrease 1 MPa at least during upward mining, compared with the former mining sequence, and the produced horizontal stress can prevent the rock packing of lower side slip towards the gob side, which is beneficial to increase the initial strength of the rock packing.

Key words thin coal seam group; gob-side entry retaining; sublevel; mining sequence

收稿日期: 2011-12-27

基金项目: 国家自然科学基金项目 (51074197)

作者简介: 曹树刚 (1955-), 男, 重庆市璧山县人, 教授, 博导, 从事采矿与安全工程方面的研究。

E-mail: caosg@cqu.edu.cn

Tel: 023-65111706

四川省南部某矿井的 3 层可采薄煤层之间的平均层间距在 12 m 以下, 最小为 3.29 m。煤层顶板、底板和煤层松软(以下简称“三软”)。沿空留巷回采期间, 巷道支护困难。

国内外大多数地下开采矿山采用下行式开采顺序, 采用上行式开采顺序的较少。然而, 随着社会的不断进步与发展, 上行式开采在环境保护、降低生产成本、提高企业经济效益等方面有着显著的优点。部分学者^[1-4]研究表明, 在金属矿山采用上行式开采对矿井安全生产、地面构筑物稳定、减小巷道两帮变形、实现无废开采等具有重要意义。对煤矿而言, 在一层煤且煤层顶底板较坚硬条件下, 采用上行式开采得到成功应用^[5-6]; 对两层及两层以上煤层采用上行式开采也有文献报道^[7-11], 但其层间距均大于 10 m, 煤及顶底板岩性不属于“三软”岩层。文献[12]研究了煤层赋存极不稳定且属煤与瓦斯突出矿井采用上行开采获得成功, 取得较好的经济效益。但是, 关于极近距离“三软”薄煤层群区段上行式开采的研究甚少。因此, 通过有限差分数值软件并结合现场实施情况, 分析了极近距离“三软”薄煤层群在沿空留巷条件下, 采用区段上行式开采的可行性。

1 工程概况

四川省南部地区某煤矿含煤地层为二叠系上统龙潭组(P2L), 共含煤 6~15 层, 其中全区可采的从上到下为 C19, C20, C24 等 3 个薄煤层, 平均层间距分别为 3.29, 11.93 m。平均倾角 16°, 为半亮型煤~光亮型煤, 属低中灰~中高灰。煤系地层如图 1 所示。

该矿+930~+1100 m 阶段 S11 采区的区段巷道均属异形断面的半煤岩巷道, 主要采用锚网索联合支护。其中, 顶板锚杆规格为 $\Phi 20\text{ mm}\times 2\ 200\text{ mm}$ 高强度左旋螺纹钢, 采用加长锚固, 预紧力为 90 kN; 两帮锚杆采用可回收锚杆, 其规格为 $\Phi 16\text{ mm}\times 1\ 600\text{ mm}$ 高强度钢, 预紧力为 60 kN; $\Phi 8\text{ mm}$ 的菱形金属网。顶板及两帮锚杆间排距均为 800 mm, 顶板锚索规格为 $\Phi 12.54\text{ mm}\times 6\ 300\text{ mm}$, 间排距 $3\ 200\text{ mm}\times 1\ 200\text{ mm}$, 预紧力为 200 kN。在遇较大地质构造时, 添加钢带或架棚支护。在现有支护参数下, 能满足该矿的生产需求。

工作面采用走向长壁式布置。C20 煤层采用爆破落煤, C24, C19 煤层使用割煤机落煤, 均使用单体液压支柱控制顶板, 垮落法处理采空区。

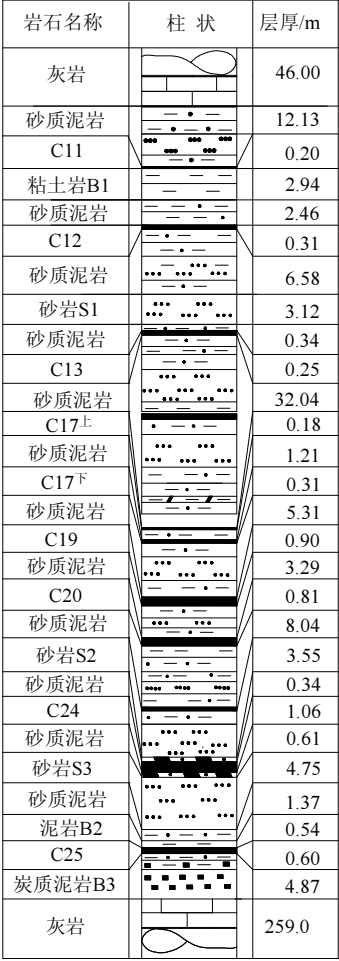


图 1 煤系地层综合柱状图

Fig.1 The geologicalsnthesis column map of coal seam

2 数值分析模型及模拟开采过程

2.1 数值分析模型

采用有限差分法数值分析软件, 探讨了极近距离“三软”薄煤层群沿空留巷条件下, 采区内区段之间分别采用下行式和上行式开采顺序的应力分布、变形破坏规律。

数值模拟采用平面应变模型, 材料破坏采用 Mohr-Coulomb 破坏准则。模型尺寸为 115 m×60 m, 共划分为 11 500 个单元。坐标系以水平方向向右为 X 轴正方向, 垂直方向向上为 Y 轴正方向。采空区垮落矸石利用强度、变形软化的充填材料进行模拟。

2.2 模拟开采过程

针对 C24 煤层沿空留巷开采进行数值模拟分析。采用区段下行式开采时, 在区段运输巷道高帮一侧采空区设置宽 5 m 充填带; 采用区段上行式开采时, 在区段回风巷道矮帮一侧采空区设置宽 5 m 的充填带。

3 计算结果与探讨

顺序的数值计算结果见图 2~4。

区段之间采用下行式开采顺序和上行式开采

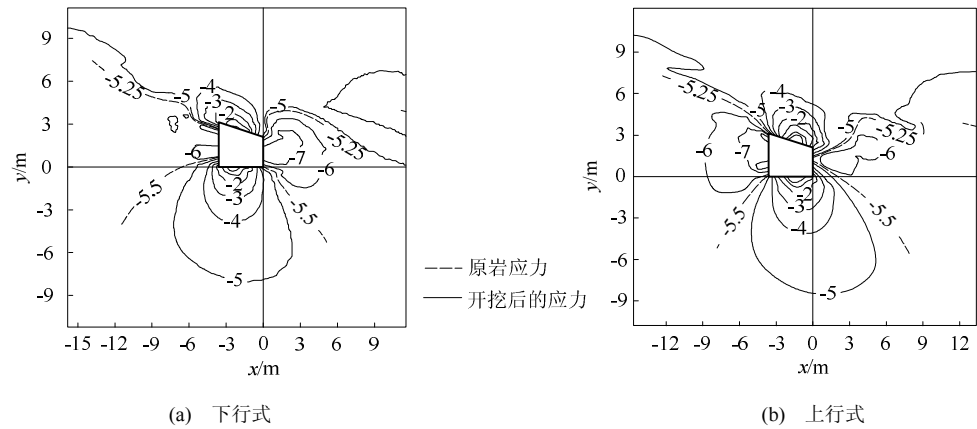


图 2 不同开采方式垂直应力变化等值线图 (MPa)

Fig.2 Contour map of vertical stress changes in different ways to mining

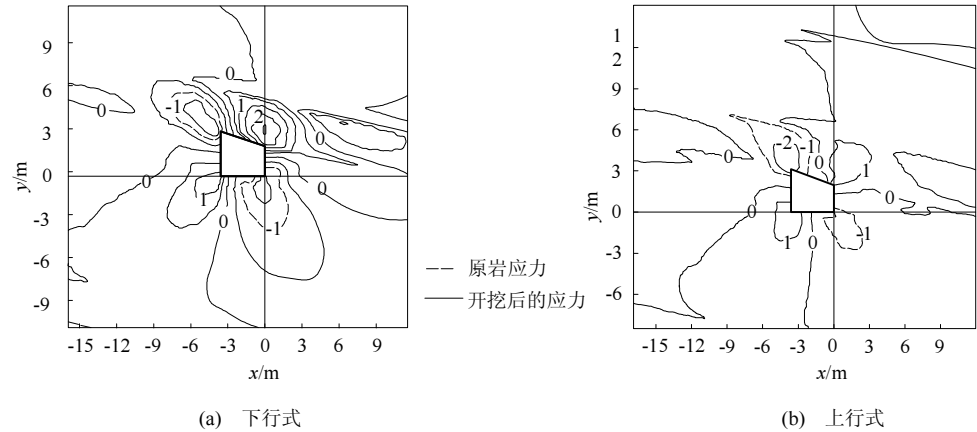


图 3 不同开采方式剪应力变化等值线图 (MPa)

Fig.3 Contour map of shear stress changes in different ways to mining

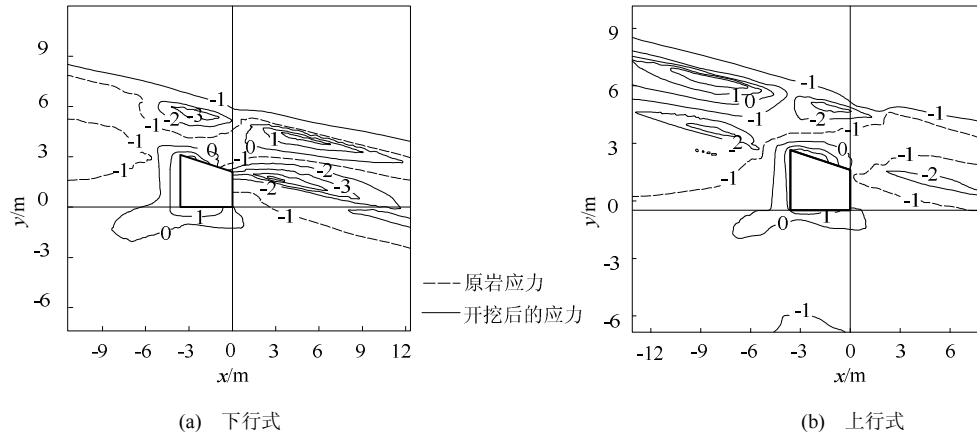


图 4 不同开采方式水平应力变化等值线图 (MPa)

Fig.4 Contour map of vertical stress changes in different ways to mining

3.1 垂直应力变化特征分析

沿空留巷周边垂直应力分布见图 2。下行式开采时,机巷顶板及两帮应力集中程度高,尤其是顶

板靠矮帮侧应力变化梯度大,高帮充填带承受的垂直应力大;上行式开采时,应力集中情况类似于下行式开采的情况,但高帮煤体承受的垂直应力大,

距巷道约3 m范围内超过7 MPa,而矮帮充填带0.5 m范围内垂直应力小于5 MPa,当距离大于0.5 m时,垂直应力达到6 MPa。由此可以认为,在垂直应力作用下,下行式开采时,软弱顶板易在靠矮帮处开始破坏,进而引起巷道中、上部顶板破坏,高帮充填带承受的压应力大,由于充填材料强度较低,不易保持稳定;上行式开采时,矮帮充填带靠巷道部分承受应力小,有利于充填带的稳定。

3.2 剪应力变化特征分析

沿空留巷周边剪应力分布见图3。下行式开采时,顶板剪应力集中程度高,尤其是巷道顶板两端部,极易发生剪切破坏;上行式开采时,顶板剪应力集中程度相对较低。

巷道两帮剪应力分布表明,下行式开采时,高帮(充填侧)上端,最大剪应力为-2 MPa(剪应力增加区),下端剪应力为1 MPa;上行式开采时,矮帮(充填侧)上端,最大剪应力为1 MPa(剪应力降低区),下端为-1 MPa,两帮剪应力较下行式开采减少约1 MPa。

3.3 水平应力变化特征分析

沿空留巷周边水平应力分布见图4。下行式开采时,水平应力集中区主要在顶板上部和下侧煤体及其顶板区域,而上行式开采时,应力集中区主要在巷道顶板上部和上侧煤体及其顶板,但集中程度低。由于煤层及顶底板松软,在巷道高帮及顶板邻近的小范围内形成水平拉应力区,但是,相对于上行式开采而言,下行式开采时顶板上方约2 m以上水平压应力集中程度高,易引起松软顶板岩层的压裂破坏,并在高帮(充填侧)内侧1.5 m处产生向巷道一侧的水平压应力,使高帮充填带具有向下滑移的趋势,而上行式开采时,在矮帮侧充填带产生向巷道一侧移动的水平应力,该应力可以有效地阻止充填带向下滑移。因此,下行式开采时,巷道顶板上方较高的集中水平应力和高帮较高水平压应力共同作用,将使高帮一侧的充填带易向巷道内滑移;上行式开采时,在矮帮上部同样产生向巷道一侧的水平压应力,有利于巷道矮帮充填带的稳定。

3.4 综合分析

根据前面的数值模拟,综合分析表明,极近距离“三软”薄煤层群沿空留巷区段之间不同开采顺序,具有如下差异:

1) 采用区段下行式开采时,在集中垂直、水平应力和剪应力作用下,巷道顶板易从两端破坏,

且在高帮(充填侧)产生的集中垂直应力和水平应力,使巷旁充填带有向下滑移的趋势;当采用区段上行式开采时,在一定程度上有利于保持巷道松软顶板的完整性和充填带的稳定性。

2) 见图5。采用区段下行式开采时,高帮充填带上方顶板存在塑性破坏区,顶板易形成冒落漏斗,而采用区段上行式开采时,巷道周边塑性破坏不明显,仅在巷道矮帮斜上方顶板临近塑性变形,但从巷道整体受力结构而言,该区域在矮帮充填带及下侧采空区上方,对沿空留巷的稳定性影响小。

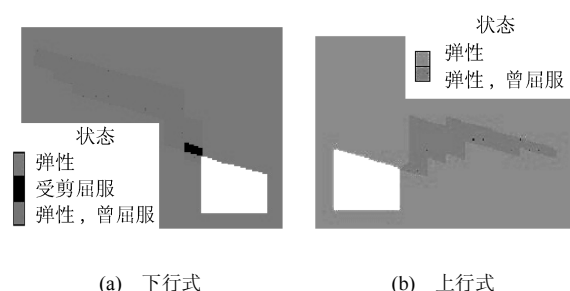


图5 塑性破坏区特征图

Fig.5 Contour map of plastic fractured region

综合而言,针对松软薄煤层沿空留巷的矿山压力控制,采用区段上行式开采时,巷道顶板及两帮产生的应力分布和变形破坏比区段下行式开采小,也有利于充填带保持稳定。

4 研究结果的工程应用

4.1 开采接替顺序

结合数值模拟分析,针对极近距离“三软”薄煤层群沿空留巷区段开采过程中存在的问题,提出了以下对策措施:

1) 煤层之间的开采顺序,应坚持从上到下的开采顺序,即先采C19煤,再采C20煤,最后采C24煤。

2) 由于采场支撑压力影响和采空区软弱顶板垮落、压实形成再生顶需要一定时间,下部煤层的开采应滞后上部煤层一定距离。通过分析可知^[13],C19煤开采约150 m后可采C20煤;C20煤开采约210 m后可采C24煤。

3) 沿空留巷开采同一煤层时,在同一采区内,区段之间的接替顺序宜改为区段上行式开采,并利用矮帮充填带隔离下侧的采空区。

4.2 现场实施结果

根据矿井生产接替现状,对+930~+1 100 m阶段S11采区C24煤层采取了区段上行式开采的现

场试验。首先,进行最下区段的 S1136 运输平巷、S1134 风巷和开切眼的掘进和回采工作,巷道均采用锚网索联合支护。其间,采取沿空留巷方式,保留 S1134 风巷作为上区段的运输平巷。在上区段准备时,仅掘 S1132 风巷和开切眼。目前, S1136 风巷与 S1134 巷道形成的工作面已回采完毕,正进行 S1134 风巷与 S1132 风巷形成的工作面的回采工作。其中, S1134 巷道在回采以后用宽 5 m 的矸石充填带保留下来。

在下区段回采期间,采场前方巷道顶底板相对移近量如图 6 所示, S1136, S1134 巷道的顶底移近量分别为 14.04, 10.4 mm。S1134 巷道顶底板相对移近量较 S1136 巷道减少了约 28%。现场试验表明,在采用上行式开采过程中,沿空留下来的巷道变形量较下行式开采小。回采期间锚杆锚固力检测如图 7 所示。

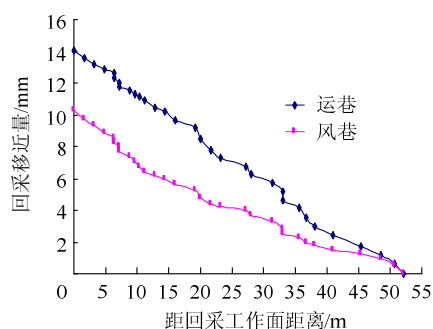


图 6 回采期间巷道顶底移近量曲线

Fig.6 Roadway roof and floor convergence curve during mining

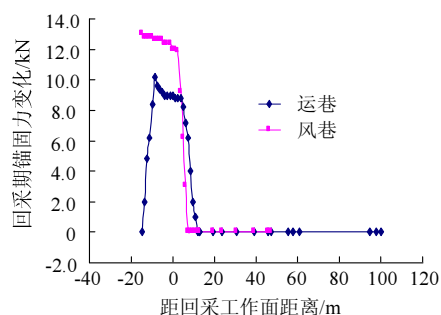


图 7 回采期间锚杆锚固力变化曲线

Fig.7 Blot anchoring force changing curve during mining

锚杆的锚固力随着工作面的不断移进,呈增加态势。S1136, S1134 风巷锚固力最大值分别为 13.0 kN 和 10.2 kN, S1134 风巷较 S1136 风巷锚固力减少了约 19%。说明在区段上行式开采过程中,巷道应力较下行式小,这与数值模拟分析结果相符合。

另外,在区段上行式开采期间,可以利用沿空留下的巷道通过矮帮充填带,将工作面的淋水排向下侧的采空区,也有效地避免了区段下行式开采时,本区段及其上侧的采空区积水对下部巷道底板的侵蚀和软化,有利于保持巷道的稳定。

5 结 论

通过对极近距离“三软”薄煤层群区段接替顺序的数值模拟分析和现场工程试验研究,得到如下的主要研究结论:

1) 采用区段下行式开采时,巷道顶板及两帮受力情况复杂,高帮充填带上方的顶板易形成冒落漏斗,进而引起巷道上方的顶板离层破坏,增加了巷道支护难度;采用区段上行式开采时,在矮帮附近的垂直应力和剪应力小于下行开采,有利于保持巷道邻近顶板和两帮的稳定性。

2) 采用区段下行式开采时,巷道顶板易从两端破坏,且在高帮的集中垂直应力和水平应力共同作用下,使巷旁充填带有向下滑移的趋势;采用区段上行式开采时,顶板及两帮产生的应力比区段下行式开采小,矮帮的水平应力能有效地阻止充填带向下侧采空区滑移,且在垂直应力作用下,矮帮顶板的下沉有利于增加充填带的初期强度。

3) 现场试验表明,采用上行式开采引起的巷道顶底板移近量及锚固力的变化较下行式开采时要小,且能有效地解决下行式开采时上侧采空区积水对巷道的不利影响,为巷旁支护和控制软弱底板浸水软化创造了有利条件。

参考文献:

- [1] 李元辉, 刘炜, 解世俊. 矿体阶段开采顺序的选择及数值模拟[J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2006, 27(1): 88-91.
LI Yuan-hui, LIU Wei, XIE Shi-jun. Selection and numerical simulation of stepwise mining sequence[J]. Journal of Northeastern University: Natural Science, 2006, 27 (1): 88-91.
- [2] GIHOWICZ S J. Seismicity induced by mining[J]. Advances in Geophysics, 1990, 32(2): 71-74.
- [3] BLAKE W, LEIGHTON L. Microseismic techniques for monitoring the behavior of rock structures[M]. San Diego: Bumines B655, 1974: 325-328.
- [4] 刘炜, 陈勇. 深埋矿体开采顺序浅探[J]. 金属矿山, 2009(7): 20-23.

- LIU Wei, CHEN Yong. Study on the mining sequence of deep-buried orebodies[J]. Metal Mine, 2009(7): 20-23.
- [5] 刘锋, 陈勇. 济三煤矿上行开采实验工作面安全开采技术研究[J]. 中国煤炭, 2007, 33(7): 37-39.
- LIU Feng, CHEN Yong. Study on overhead mining experimental and mining face safety mining technology in Jisan mine [J]. China Coal, 2007, 33(7): 37-39.
- [6] 俞志新, 丛振, 朱学军. 矿井防治水安全技术探讨[J]. 辽宁工程技术大学学报: 自然科学版, 2002, 21(3): 284-285.
- YU Zhi-xin, CHONG Zhen, ZHU Xue-jun. Safety measures against water hazard of a coal mine[J]. Journal of Liaoning Technical University: Natural Science, 2002, 21(3): 284-285.
- [7] 闰志海, 宋选民, 付玉平, 等. 寸草塔矿上行开采可行性研究[J]. 太原科技大学学报, 2009, 30(1): 84-87.
- YAN Zhi-hai, SONG Xuan-min, FU Yu-ping, et al. Feasibility research on ascending mining in cun cao ta coal mine[J]. Journal of Taiyuan University of Science and Technology, 2009, 30(1): 84-87.
- [8] 杨蕾, 戴俊, 贾磊华. 煤矿上行式开采可行性分析[J]. 煤炭工程, 2007 (10): 7-9.
- YANG Lei, DAI Jun, JIA Lei-hua. Feasibility analysis of overhead mining in coal[J]. Coal Engineering, 2007(10): 7-9.
- [9] 赵斌. 唐煤公司上行式采煤可行性的探讨[J]. 煤炭技术, 2009, 28(3): 176-177.
- ZHAO Bin. Dyadic up tang coal company coal mining feasibility investigation and discussion[J]. Coal Technology, 2009, 28(3): 176-177.
- [10] 韩万林, 汪理全, 周劲锋. 平顶山四矿上行开采的观测与研究[J]. 煤炭学报, 1998, 23(3): 267-270.
- HAN Wan-lin, WANG Li-quan, ZHOU Jin-feng. Observation and investigation of ascending mining of seams in pin dingshan No. 4 mine[J]. Journal of China Coal Society, 1998, 23(3): 267-270.
- [11] 汪理全, 蔡鸿坡. 城子河煤矿上行开采的研究[J]. 煤炭学报, 1988, 13(4): 52-59.
- WANG Li-quan, CAI Hong-po. Research on ascending mining in cheng zhi he coal mine[J]. Journal of China Coal Society, 1988, 13(4): 52-59.
- [12] 程新明. 复杂地质条件下上行开采的研究与实践[J]. 煤炭科学技术, 2004, 32(1): 44-46.
- CHENG Xin-ming. Research and practice on ascending mining under complicated geological conditions[J]. Coal Science and Technology, 2004, 32(1): 44-46.
- [13] 曹树刚, 邹德均, 白燕杰, 等. 近距离“三软”薄煤层群回采巷道围岩控制[J]. 采矿与安全工程学报, 2011, 28(4): 524-529.
- CAO Shu-gang, ZOU De-jun, BAI Yan-jie, et al. Surrounding rock control of mining roadway in the thin coal seam group with shot distance and “three soft” [J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2011, 28(4): 524-529.