

文章编号: 1673-3363-(2015)01-0014-06

大倾角煤层大采高综采围岩运移 与支架相互作用规律

解盘石, 伍永平, 王红伟, 任世广

(西安科技大学能源学院, 西部矿井开采及灾害防治教育部重点实验室, 陕西 西安 710054)

摘要 为了研究大倾角厚煤层大采高综采围岩运移规律, 采用现场实测、数值模拟和相似材料模拟实验相结合的方法, 分析了大倾角大采高采场围岩运移、顶板结构和“支架-围岩”相互作用特征。结果表明: 其采场围岩运移规律与一般采高大倾角煤层相似, 具有明显非对称性; 但大采高采场围岩的运移特征更为活跃, 初次来压和周期性来压步距均明显减小, 来压强度增大, 并伴有煤壁片帮现象。采空区垮落顶板的滚滑、充填空间增大, 破断基本顶易形成反倾向堆砌结构, 工作面下部充填压实程度增加, 导致工作面顶板受力非均衡性更明显, 采场覆岩易形成多级梯阶岩体结构。顶板与支架的接触及施载特征更为复杂, 支架载荷变化幅度增大, 架间相互作用明显, 工作面装备防倒、防滑难度加大。

关键词 大倾角煤层; 大采高开采; 运移规律; 梯阶岩体结构; “支架-围岩”系统稳定性

中图分类号 TD 325 **文献标志码** A **DOI** 10.13545/j.cnki.jmse.2015.01.003

Interaction characteristics between strata movement and support system around large mining height fully-mechanized face in steeply inclined seam

XIE Panshi, WU Yongping, WANG Hongwei, REN Shiguang

(School of Mineral Engineering, China Key Laboratory of Western Mine Exploitation and Hazard Prevention, Ministry of Education, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an, Shaanxi 710054, China)

Abstract To research the overlying strata movement around large mining height fully-mechanized face in steeply inclined thick seam, the field measurement, numerical simulation and similar material simulation methods were used to analyze the strata movement, roof structure and rock-support interaction characteristics in this paper. The results indicate that strata movement of large mining height face is similar to general mining height face in steeply inclined seam, which has asymmetry characteristic along the inclined direction of coal face, but the deformation, failure and movement of surrounding rock is more active, roof weighting step decreases obviously and weighting strength increases, while accompanying with rib fall of coal wall. In addition, the space size of slipping, rolling and filling of caving roof increases, and the anti-dip pile structure is easily formed after the fracturing of main roof, while the filling and compacting degree of failure roof increases at the lower part of coal face, which inducing

收稿日期: 2013-09-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(51074120); 国家自然科学基金青年基金项目(51204132)

作者简介: 解盘石(1981—), 男, 陕西省三原县人, 工程师, 博士, 从事复杂难采煤层开采方面的研究。

E-mail: tay584@qq.com

Tel: 13571821898

more significant unbalance mechanics features between the upper and lower part of coal face, and the multilevel ladder strata structure is easily formed in overlying strata above the face. Moreover, the characteristics of contacting and loading of roof-support system is more complex, the change range of support load and interaction between supports increase obviously, while the anti-toppling and anti-skid of coal face equipment is more difficult.

Key words steeply inclined coal seam; large mining height; strata movement; ladder strata structure; stability of “rock-support” system

大倾角煤层是指埋藏倾角为 $35^{\circ}\sim 55^{\circ}$ 的煤层。我国大倾角煤层约占有 15%~20% 的储量, 50% 以上的大倾角煤层为优质焦煤和无烟煤, 是我国保护性开采的稀缺煤种。大采高(厚度 3.5~5.0 m)开采方法可大大提高该类煤炭资源的采出效率。一般来说, 大倾角煤层综采(放)工作面最大采高在 3 m 以内, 如新疆 2130 煤矿综采工作面最大采高为 2.5 m^[1], 甘肃东峡煤矿综放最大采高为 2.3 m^[2]等。文献资料检索表明^[3-11], 国内外缺乏大倾角煤层大采高开采岩层控制的相关研究。结合以往大倾角煤层机械化开采研究与实践^[12-13], 认为大倾角煤层大采高开采与大倾角煤层综放开采支架和围岩特征存在明显的不同, 主要有 3 个关键问题: ① 大倾角煤层长壁大采高开采过程中, 随着采高的增加, 支架的重心偏移量也随之增加, 支架的倾倒倾向加剧; ② 顶板变形、破坏和运移特征更为活跃, 特别是处于工作面倾斜中上部区域的顶板岩层, 因此, 该范围顶板与支架的接触及施载特征更为复杂, 支护系统的稳定性控制难度更大; ③ 采空区的空间增大, 因而, 垮落顶板的下滑、充填空间增大, 破坏岩块运移充填特征更为复杂, 造成沿工作面长度方向顶板受载不均, 从而导致支架的受载程度不均衡。因此, 采用“物理相似材料模拟实验+数值模拟+工程实践”综合研究方法, 系统研究大倾角煤层长壁大采高开采不同采高条件下采场围岩空间非对称应力场形成与演化机制、顶板变形破坏作用下工作面“支架-围岩”系统动态稳定控制等科学问题, 为解决大倾角大采高工作面“顶板-支架”系统动态稳定性控制、围岩变形破坏与大范围运动控制等关键技术提供依据, 且丰富了大倾角煤层开采理论。

1 工程背景

新疆焦煤集团 2130 矿井目前主要开采下侏罗系八道湾组地层 1950 水平以上的部分, 煤层结构简单。其中 5#煤层平均厚度为 5 m, 局部最大厚度为 7 m, 煤层倾角 $42^{\circ}\sim 51^{\circ}$, 平均 45° 。煤层软弱松

散, 煤的硬度系数 $f=0.3\sim 0.5$ 。煤层基本顶坚硬, 由含砾中砂岩、含砾粗砂岩等组成, 单向抗压强度为 79.9~100.2 MPa; 底板一般为炭质粉砂岩、炭质泥岩等, 底板较软, 岩石单向抗压强度为 9.14~12.76 MPa。25221 工作面布置于 5#煤层中, 工作面倾斜长度 105 m 左右, 走向长度 1 766 m, 采用综合机械化大采高方法开采, 最大采高 4.5 m 左右。

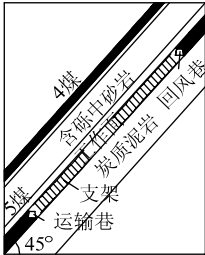
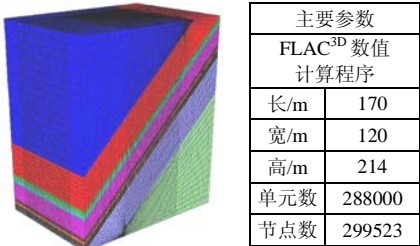


图 1 大倾角煤层大采高工作面布置示意图
Fig.1 Layout of large mining height working face in steeply dipping seam

2 采场围岩变形、破坏和运移规律

基于工程背景建立了数值模拟计算模型和相似材料模拟实验模型, 见图 2。



(a) 数值模拟模型



(b) 相似材料模拟模型

图 2 数值模拟与相似材料模拟模型
Fig.2 Model of numerical and physical simulation

2.1 采场围岩力学演化规律

1) 围岩应力分布特征

大采高开采过程中,工作面顶、底板形成应力释放区,上、下端形成应力集中区,其应力分布均呈现出明显的非对称特征。受煤层倾角的影响,工作面中上部区域顶板应力释放区范围大于下部区域,应力值小于下部区域,工作面下端最大集中应力明显大于上端。不同采高条件下,工作面应力分布特征基本相同,但随着采高的增大,顶底板的应力释放区和工作面下端应力集中区的应力值随之减小;这主要是由于不同采高条件下工作面下端矸石充填程度不同所致,上端的应力集中区则随采高的增加而增大,见图 3。

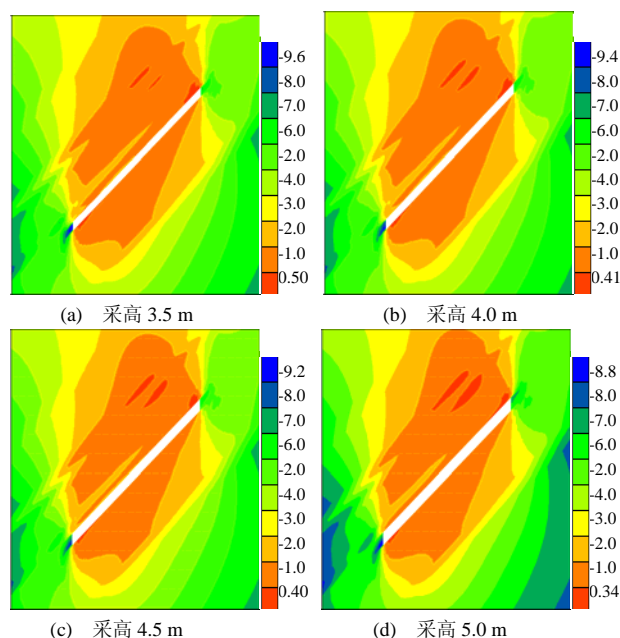


图 3 不同采高条件下工作面倾向垂直应力分布 (MPa)

Fig.3 Vertical stress of incline section of working face in different mining height

沿工作面走向方向,顶、底板出现拱形应力释放区,顶板应力释放区的范围大于底板;不同采高条件下,工作面应力分布特征相同,但随着采高的增大,释放区应力值有所增加,采高 5 m 时,释放区最大应力值为 0.14 MPa,见图 4。与一般采高(<3.5 m)大倾角综采工作面相比,大采高采场围岩的应力分布特征相同;但大采高开采时,围岩应力释放范围明显增大,集中应力则具有工作面下端减小、上端增大的特征。

2) 围岩塑性区分布特征

工作面顶、底板塑性破坏范围较大,且以拉伸破坏为主;工作面上、下端塑性破坏的范围较小,

以剪切破坏为主,其中上端破坏范围大于下端。不同采高条件下,工作面塑性破坏场特征基本相同,顶板最大塑性区高度为 35.4 m,底板达到 20.4 m;但随着采高增加,工作面下端煤岩体剪切破坏范围有所增加,见图 5。

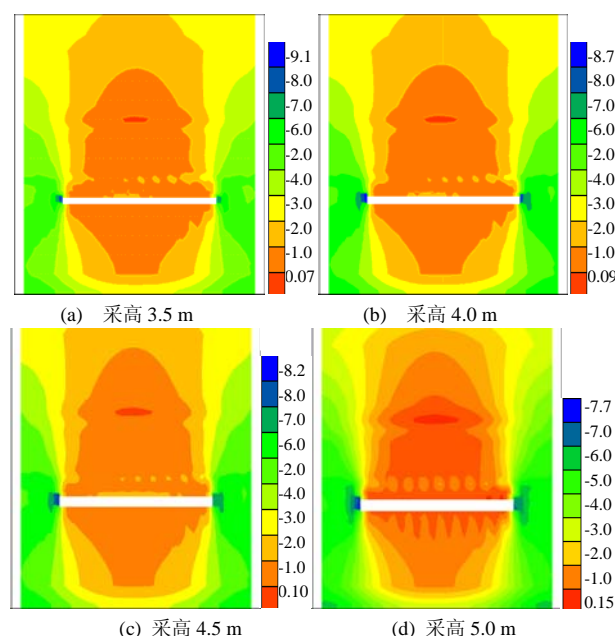


图 4 不同采高条件下工作面走向垂直应力分布 (MPa)

Fig.4 Vertical stress on the strike of working face in different mining height

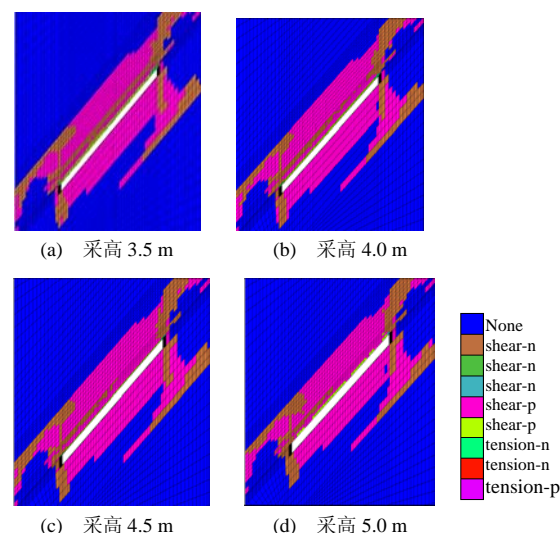


图 5 不同采高条件下工作面倾向塑性区

Fig.5 Plastic zone of incline section of working face in different mining height

3) 煤壁支承压力分布特征

工作面煤壁出现小范围的应力集中区,随着采高增大,最大集中应力减小,但集中应力影响范围明显增加,采高 5 m 时,最大集中应力为 7.66 MPa,集中系数为 2.04。

初次来压时, 支承压力峰值为 5.28 MPa, 位于工作面煤壁前 2.5 m 处, 集中系数为 1.54; 周期来压时, 支承压力峰值为 7.71 MPa, 集中系数为 2.25, 支承压力峰值一般在工作面煤壁前 2~5 m 范围。

2.2 采场围岩变形、破坏和运移规律

1) 围岩变形、破坏和运移特征

大采高工作面推进过程中, 顶板位移最大, 工作面上、下端口位移次之, 底板位移最小; 在工作面长度方向, 中部直接顶位移最大, 下部直接顶位移最小; 不同采高条件下, 围岩位移特征相似, 但随采高的增大, 围岩位移不断增加。

采高 3 m 时, 基本顶初次垮落步距 52.5 m, 周期来压步距 13.5 m, 低位岩层垮落完整性较好; 采高 4 m 时, 基本顶初次垮落步距 48 m, 周期来压步距 11.5 m, 低位岩层垮落块度变小; 采高 5 m 时, 基本顶初次垮落步距 40 m, 周期来压步距 10 m。可看出, 随着采高增加, 顶板周期来压步距有减小趋势。5 m 采高时, 顶板易沿煤壁切落, 低位垮落岩层较为破碎, 高位顶板岩层落块度较大, 对支架有一定冲击作用, 见图 6。



图6 工作面推进过程周期来压特征

Fig.6 Characteristic of weighting during working face advance

与一般大倾角综采工作面相比, 在大倾角大采高开采过程中, 由于顶板垮落运移空间增加, 工作面倾斜上方岩层垮落高度增加, 垮落后岩块下滑充填至工作面下方, 导致顶板沿工作面长度方向的垮落轮廓呈现明显的阶梯状, 即形成了工作面下部层位低、中上部层位高的多级梯阶状顶板结构。该结构的周期性失稳对工作面支架和煤壁稳定性具重要影响, 可称该结构为“梯阶关键层”结构, 其为大倾角煤层大采高采场特有的结构, 见图 7。

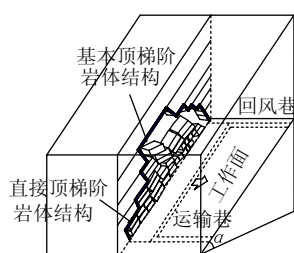


图7 大倾角煤层大采高采场梯阶岩体结构

Fig.7 Ladder strata structure above the working face

根据顶板岩性、厚度及采高等的不同, 梯阶关键层可形成二级、三级梯阶等。其分布特征为: 第一梯阶一般处于工作面下部, 层位较低, 影响区域占整个工作面长度的 40%~50%; 第二、三梯阶则处于工作面中上部区域, 层位较高, 影响区域占整个工作面长度的 50%~60%。同时, 不同梯阶范围的工作面来压周期、步距和强度均不相同, 一般呈现出以下特征: 第二、三梯阶关键层来压周期短、步距小、强度大、有冲击性, 第一梯阶关键层来压周期长、步距大、强度小。第一梯阶关键层失稳可诱发第二梯阶关键层及更高层位梯阶的失稳, 影响整个工作面“支架-围岩”系统稳定性。

2) “支架-围岩”相互作用特征

大倾角大采高工作面支架载荷具有分区特点, 即工作面中部和下部区域载荷较大, 上部区域载荷变化大, 部分支架载荷接近零值, 即空载现象; 随着采高的增加, 支架平均载荷降低, 这主要是由于采高过大导致部分支架发生下滑倾倒、空载等现象频发所致。

支架的工作阻力一般处于 6 000~6 500 kN; 支架底座侧向载荷最大为 460 kN, 平均 114 kN; 掩护梁侧向载荷最大为 615 kN, 平均 97 kN; 顶梁侧向载荷最大为 348 kN, 平均 79 kN。侧向载荷特征呈现出工作面中上部变化较大、中部和下部相对较稳定的特征, 与一般采高的大倾角煤层开采时相比, 支架侧向载荷明显增加, 见图 8。

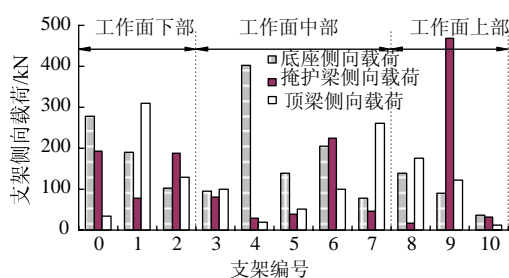


图8 工作面不同支架侧向载荷分布曲线

Fig.8 Lateral load of supports in working face

支架反倾向倾倒^[5]趋势明显, 随着采高的增加, 支架倾倒幅度也随之增加, 5 m 采高时, 整个工作面支架倾倒趋势最为明显。相似材料模拟实验中, 升、降架时, 支架影响范围一般为其上、下各 3 副支架, 较一般采高大倾角煤层开采时(上、下各 1~2 副支架)明显增大。

沿工作面走向, 破断基本顶与未垮顶板铰接, 并作用于支架, 形成“砌体梁”结构; 工作面长度

方向上则具有其特有的特征,基本顶以倾斜砌体^[13]形式存在,破断岩块之间相互铰接、挤压保持稳定;同时,基本顶对支架的施载形式也不同,工作面下部,基本顶以直接顶为传力媒介对支架进行作用,而中上部则可能形成基本顶与支架直接相互作用,在该范围内,岩块运移空间较一般采高的大倾角煤层开采时明显增大,基本顶破断后不仅发生下滑,亦可能发生翻滚,从而形成反倾向堆砌结构^[5],极易对该范围的支架造成影响。

采空区矸石的滚滑、充填是改变大倾角大采高采场围岩及其与支架的受载状态的关键因素。采高增大后,矸石对工作面下端的充填程度远大于一般采高大倾角煤层开采时,工作面上部与下部区域支架受力不均衡性明显增加。其中,下部区域的支架载荷明显降低,而中上部区域,采空区空顶范围较大,支架受载多变,支架调架、防倒难度增大,见图 9。



图 9 采空区矸石下滑充填特征

Fig.9 Characteristic of failure roof slipping and filling

3 矿山压力显现规律

25221 大采高综采工作面矿压监测结果表明:工作面具有初次来压和周期性来压特征,基本顶初次来压步距 40 m,周期来压步距 13 m,来压持续时间 2~3 d;沿工作面长度方向,矿压显现分区特征明显,支架阻力呈现出中部较大、上部和下部较小的特征,来压期间中,上部区域煤壁片帮次数和范围明显增加。与一般采高大倾角煤层工作面相比,初次来压与周期来压步距均明显减小,来压强度则明显增大,见图 10。

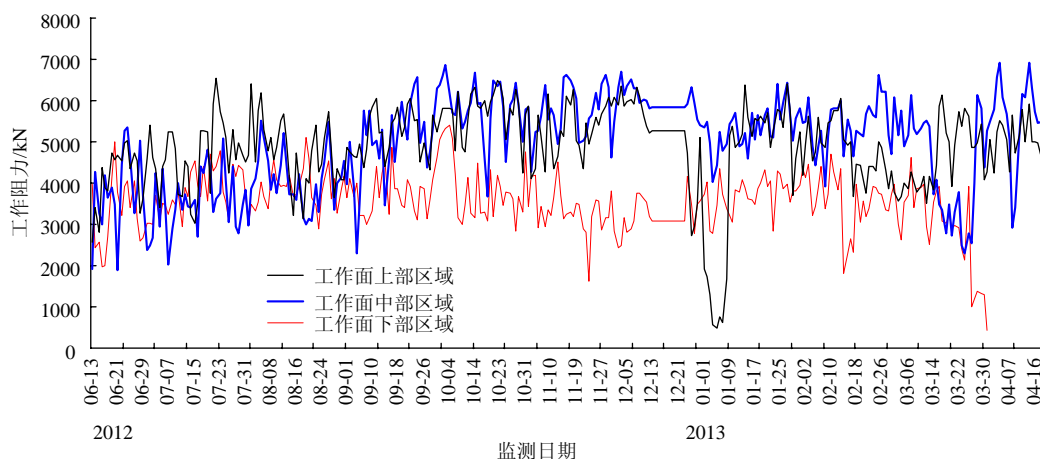


图 10 工作面不同区域工作阻力特征

Fig.10 Characteristic of working resistance in different area of working face

同时,支架受载“非均衡性”明显,前柱载荷大于后柱的比率高于 70%。工作面中上部区域,支架受载状态多变且幅度较大,部分支架工作面阻力很小,甚至为零,导致“支架-围岩”系统构成元素缺失或形成“伪系统”^[7]。同时,个别支架载荷超过额定工作阻力,架间相互挤压作用明显,“支架-围岩”系统受载特征复杂,其失稳倾向远高于一般采高大倾角煤层开采时。

4 结 论

1) 大倾角煤层长壁大采高开采过程中,采场围

岩运移较一般采高大倾角煤层开采时更为活跃,采场中上部易形成反倾向堆砌结构,倾斜下部充填压实程度增大。

2) 采场顶板易形成倾斜下部位低、中上部层位高的多级梯阶岩体结构,该结构的周期性失稳对支架和煤壁的稳定性的影响有重要影响,其为大倾角煤层大采高采场特有的结构。

3) 初次来压与周期来压步距减小明显,来压强度增大,并伴有强烈的煤壁片帮现象。顶板与支架的接触及施载特征更为复杂,工作面中、上部区域,支架受载状态多变,架间相互作用明显增加。

参考文献:

- [1] 黄国春, 伍永平, 李如明, 等. 大倾角煤层走向长壁大采高综采技术研究[R]. 西安: 西安科技大学, 2013.
- [2] 刘斌, 伍永平. 大倾角特厚易燃煤层群综放开采技术研究[R]. 西安: 西安科技大学, 2006.
- [3] 伍永平, 负东风, 周邦远. 大倾角煤层综采基本问题研究[J]. 煤炭学报, 2000, 25(5): 465-468.
WU Yongping, YUN Dongfeng, ZHOU Bangyuan. Study on the elementary problems of full-mechanized coal mining in greater pitching seam[J]. Journal of China Coal Society, 2000, 25(5): 465-468.
- [4] 石平五. 急斜煤层基本顶破断运动的复杂性[J]. 矿山压力与顶板管理, 1999, 16(3): 26-28.
SHI Pingwu. The complexity of movement of broken overlying strata in steep coal seam mining[J]. Journal of Ground Pressure and Strata Control, 1999, 16(3): 26-28.
- [5] 伍永平, 解盘石, 王红伟, 等. 大倾角煤层开采覆岩空间倾斜砌体结构[J]. 煤炭学报, 2010, 35(8): 1252-1256.
WU Yongping, XIE Panshi, WANG Hongwei, et al. Incline masonry structure around the coal face of steeply dipping seam mining[J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(8): 1252-1256.
- [6] 尹光志, 鲜学福, 代高飞, 等. 大倾角煤层开采岩移基本规律研究[J]. 岩土工程学报, 2001, 23(4): 450-453.
YIN Guangzhi, XIAN Xuefu, DAI Gaofei, et al. Basic behaviors of strata movement in seam with deep dip angle[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2001, 23(4): 450-453.
- [7] 伍永平, 解盘石, 杨永刚, 等. 大倾角煤层群开采岩移规律数值模拟及复杂性分析[J]. 采矿与安全工程学报, 2007, 24(4): 391-395.
WU Yongping, XIE Panshi, YANG Yonggang, et al. Numerical simulation and complexity analysis of strata movement in exploiting steep coal seams group[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2007, 24(4): 392-395.
- [8] 黄建功. 大倾角煤层采场顶板运动结构分析[J]. 中国矿业大学学报, 2002, 31(5): 411-414.
HUANG Jiangong. Structural analysis for roof movement for steep coal seams[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2002, 31(5): 411-414.
- [9] WU Yongping, XIE Panshi, YUN Dongfeng, et al. Theory and practice of fully mechanized longwall mining in steeply dipping coal seams[J]. Mining Engineering, 2013, 65(1): 35-41.
- [10] 赵元放, 张向阳, 涂敏. 大倾角煤层开采顶板垮落特征及矿压显现规律[J]. 采矿与安全工程学报, 2007, 24(2): 231-234.
ZHAO Yuanfang, ZHANG Xiangyang, TU Min. Roof caving characteristic and strata behavior in exploiting steep coal seams[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2007, 24(2): 231-234.
- [11] 程文东, 王军, 负东风, 等. 大倾角特厚煤层综采放顶煤技术研究[R]. 西安: 西安科技学院, 2003.
- [12] 解盘石. 大倾角煤层长壁覆岩结构特征及其稳定性研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2011.
- [13] 解盘石, 伍永平, 王红伟, 等. 大倾角煤层长壁采场倾斜砌体结构与支架稳定性分析[J]. 煤炭学报, 2012, 37(8): 1275-1280.
XIE Panshi, WU Yongping, WANG Hongwei, et al. Stability analysis of incline masonry structure and support around longwall mining face area in steeply dipping seam[J]. Journal of China Coal Society, 2012, 37(8): 1275-1280.