

doi:10.11835/j.issn.1000-582X.2015.03.017

# 露天矿过断层开采方式及生产能力接续分析

刘光伟, 李 鹏, 白润才

(辽宁工程技术大学 矿业学院, 辽宁 阜新 123000)

**摘 要:**在露天开采过程中遇到断层时,由于煤层突然错位,造成剥采比剧变,工程接续困难。因此,过断层期间剥采比合理控制和矿山工程平稳过渡接续是露天开采的技术难题之一。笔者通过建立剥采比与断层落差、产状及煤层厚度数学模型,研究不同煤柱留设宽度对边坡稳定的影响;分析了矿山工程发展速度与同时采煤台阶数的关系,计算确定了过断层期间确保矿山工程平稳过渡接续的动态降深速度和生产能力接续方式。结合胜利东二号露天矿过 F<sub>61</sub> 断层进行实例研究。结果表明:过断层开采方式和生产能力接续方法可有效均衡生产剥采比,保证产量稳定,提高矿山经济效益。

**关键词:**露天矿;断层;剥采比;生产能力;接续

**中图分类号:**TD824

**文献标志码:**A

**文章编号:**1000-582X(2015)03-0124-07

## Analysis on mining method and production capacity succession during surface mining through fault

LIU Guangwei, LI Peng, BAI Runcai

(College of Mining and Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin, Liaoning 123000, P. R. China)

**Abstract:** Coal seam appears dislocated when mining encounters a fault, and stripping ratio will drastically change, then mining engineering is difficult to be continued. In order to maintain the stability of stripping and mining, mine engineering transition succession and stripping ratio should be controlled when mining through faults. Mathematic models of mining stripping ratio and coal seam thickness, fault angle and fault throw are built to analyze the impact of different unexploited coal pillar widths on slope stability. The relationship between the pace of development and simultaneous coal mining beach is analyzed and the dynamic drawdown speed is determined to ensure a smooth transition succession in mining engineering. Combing with the surface mine problems that occur in fault area, this paper takes Shengli East No.2 Surface Mine mining through F<sub>61</sub> fault as a case study. The results show that the stripping ratio is balanced and the production keeps stability, moreover, the economic benefit is improved with the method of mining through faults and production capacity succession.

**Key words:** surface mine; fault; stripping ratio; production capacity; succession

**收稿日期:**2015-01-06

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(51304104);辽宁省教育厅科学技术研究项目(L2011051);中国煤炭工业协会指导性计划项目(MTKJ 2012-306).

Supported by National Natural Science Foundation of China(51304104), Science and Technology Research Project of Department of Education of Liaoning Province(L2011051), and Guiding Project of China National Coal Association(MTKJ 2012-306).

**作者简介:**刘光伟(1981-),男,辽宁工程技术大学讲师,博士,主要从事露天开采理论与技术、数字采矿技术领域的研究和技术开发工作,(E-mail) liu\_guangwei@yeah.net.

目前,已开发的大型露天矿山在采场范围内均不同程度的存在复杂的地质构造,尤其是断层的出现,露天矿在推进至其影响区域时煤层厚度、倾角及上覆剥离物厚度剧烈变化,生产剥采比剧烈震荡,生产接续困难。面对如此复杂的地质条件,若开采方式选择不当,会造成资源浪费、煤炭裸露自燃,污染环境,影响边坡稳定,且与露天煤矿绿色开采相违背。因此,过断层开采应尽可能多地回收受断层影响的资源,对提高矿山资源回收率、增加经济效益、保护矿山环境具有重要意义。

近年来,针对复杂地质构造条件下采区划分及生产能力接续已成为不少学者研究的热点,并取得了一定的研究成果。2012年曹博等<sup>[1]</sup>针对逆断层、背斜等复杂地质构造条件建立三维模型,研究采区转向过渡方式的优化选择并通过安家岭露天矿进行实例验证。2014年,赵洪泽等<sup>[2,7]</sup>提出采用双坑配采动态调整生产剥采比的方法,并进行了相应的理论与实例分析。目前,已有的研究侧重于采用改变开采程序或开采参数来调整剥采比,针对过断层区域的开采方式优化选择及生产能力接续定量分析尚未涉及<sup>[1-4]</sup>。因此,笔者主要研究露天矿过断层期间开采方式优化选择、剥采比控制及生产能力接续等一系列问题,即通过建立剥采比与断层落差、产状及煤层厚度数学模型,研究不同煤柱留设宽度对边坡稳定的影响;分析矿山工程发展速度与同时采煤台阶数的关系;计算确定过断层期间保证矿山工程平稳过渡接续的动态降深速度和生产能力接续方式等问题。

## 1 过断层开采方式

露天矿过断层开采期间,在保证边坡稳定的前提下,以开采断层煤的生产剥采比不大于经济剥采比为原则,最大限度回收受断层影响的煤炭,使经济效益最大化。过断层开采方式有两种:一是将受断层影响的煤炭全部采出,此时需多剥离一部分岩石,称为多剥离方式,如图 1(a,b)所示。二是留一部分断层煤柱,称为留煤柱方式,如图 2(a,b)所示。多剥离方式有利于提高矿田内资源回收率,留煤柱方式可减少境界内剥离量。

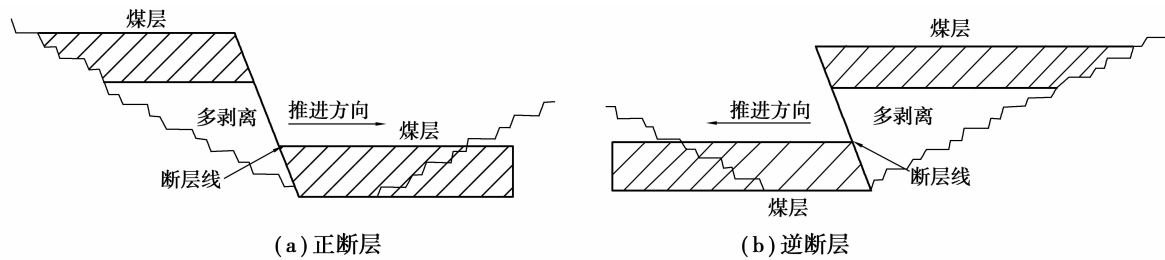


图 1 多剥离方式

Fig.1 Multi-stripping scheme

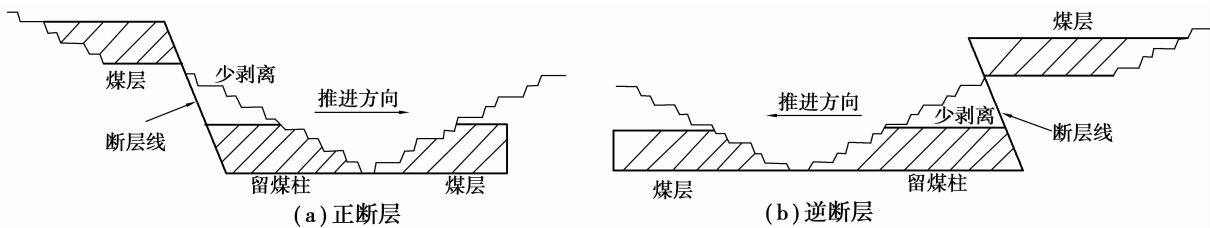


图 2 留煤柱方式

Fig.2 Mining in different unexploited coal pillar widths

## 2 过断层剥采比数学模型构建

为了尽可能多的回收受断层影响的煤炭,以开采断层煤的生产剥采比不大于经济剥采比为原则<sup>[5-7]</sup>,确定合理的过断层开采方式。因此,首要研究多剥离方式下,生产剥采比与断层倾角、台阶坡面角、最终帮坡角的关系,建立数学模型,分别计算开采正、逆断层煤产生的多剥离量及煤量。

## 2.1 多剥离量计算

1) 正断层:若断层倾角大于台阶坡面角,如图 3(a)所示,则多剥离量为

$$\Delta V_1 = \sum_{i=1}^n A_i, \quad (1)$$

式中:  $A_0 = \frac{H^2}{2}(\cot \gamma - \cot \beta)$ ;  $A_1 = \frac{1}{2}H^2[\cot \beta - \cot \alpha]$ ;  $A_2 = [B + H(\cot \beta - \cot \alpha)]H + \frac{1}{2}H^2(\cot \beta - \cot \alpha)$ ;  $A_3 = 2[B + H(\cot \beta - \cot \alpha)]H + \frac{1}{2}H^2(\cot \beta - \cot \alpha)$ ;  $A_n = (n-1)[B + H(\cot \beta - \cot \alpha)]H + \frac{1}{2}H^2(\cot \beta - \cot \alpha)$ 。

$$\text{则: } \Delta V_1 = \sum_{i=0}^n A_i = \frac{1}{2}n(n-1)[B + H(\cot \beta - \cot \alpha)]H + \frac{1}{2}nH^2(\cot \beta - \cot \alpha) + \frac{H^2}{2}(\cot \gamma - \cot \beta) (n=0, 1, 2, \dots)。 \quad (2)$$

2) 正断层,若断层倾角小于台阶坡面角大于最终帮坡角,如图 3(b)所示,则多剥离量为

$$\Delta V_2 = \sum_{i=1}^n A_i, \quad (3)$$

式中:  $A_0 = \frac{H^2}{2}(\cot \gamma - \cot \beta)$ ;  $A_1 = \frac{1}{2}H[2B + (\cot \beta - \cot \alpha)H]$ ;  $A_2 = \frac{1}{2}H[4B + 3(\cot \beta - \cot \alpha)H]$ 。

$$\text{则: } \Delta V_2 = \sum_{i=0}^n A_i = \frac{1}{2}H[n(n+1)B + n^2(\cot \beta - \cot \alpha)H] + \frac{H^2}{2}(\cot \gamma - \cot \beta) (n=0, 1, 2, \dots)。 \quad (4)$$

3) 正断层:若断层倾角小于最终帮坡角,多剥离量计算结果与 2) 相同。

4) 逆断层:如图 3(c)所示,则多剥离量为

$$\Delta V_3 = \sum_{i=1}^n A_i, \quad (5)$$

式中:  $A_0 = \frac{H^2}{2}(\cot \gamma - \cot \beta)$ ;  $A_1 = \frac{H^2}{2}(\cot \alpha + \cot \beta)$ ;  $A_2 = [B + H(\cot \alpha + \cot \beta)]H + \frac{H^2}{2}(\cot \alpha + \cot \beta)$ ;  $A_3 = 2[B + H(\cot \alpha + \cot \beta)]H + \frac{H^2}{2}(\cot \alpha + \cot \beta)$ ;  $A_n = (n-1)[B + H(\cot \alpha + \cot \beta)]H + \frac{H^2}{2}(\cot \alpha + \cot \beta)$ 。

$$\text{则: } \Delta V_3 = \sum_{i=0}^n A_i = \frac{n(n-1)}{2}[B + (\cot \beta + \cot \alpha)H]H + \frac{n}{2}H^2(\cot \alpha + \cot \beta) + \frac{H^2}{2}(\cot \gamma - \cot \beta) (n=0, 1, 2, \dots)。 \quad (6)$$

## 2.2 煤量计算

多剥离方式下,过正断层与逆断层,回收煤量为一定值  $\Delta P_{\text{煤}}$ ,如图 3(d)所示。

$$\Delta P_{\text{煤}} = (n-1)[B + H(\cot \beta - \cot \alpha)]H + \frac{m}{2}H^2(\cot \beta - \cot \alpha) + \frac{H^2}{2}(\cot \gamma - \cot \beta) (n=0, 1, 2, \dots, m=1, 2, 3, \dots)。 \quad (7)$$

## 2.3 过断层剥采比

通过上述分析可知,过断层剥采比与断层落差、台阶坡面角、煤层倾角成正比,与煤层厚度、断层倾角成反比。当开采断层煤时:

若  $n = (V + \Delta V_{\text{断层岩}}) / (P + \Delta P_{\text{断层煤}}) \leq n_j$ , 保证过断层期间边坡稳定的前提下,采用多剥离方式;

若  $n = (V + \Delta V_{\text{断层岩}}) / (P + \Delta P_{\text{断层煤}}) \geq n_j$ , 需根据不同位置的落差与煤层厚度关系,确定出合理的煤柱留设宽度。

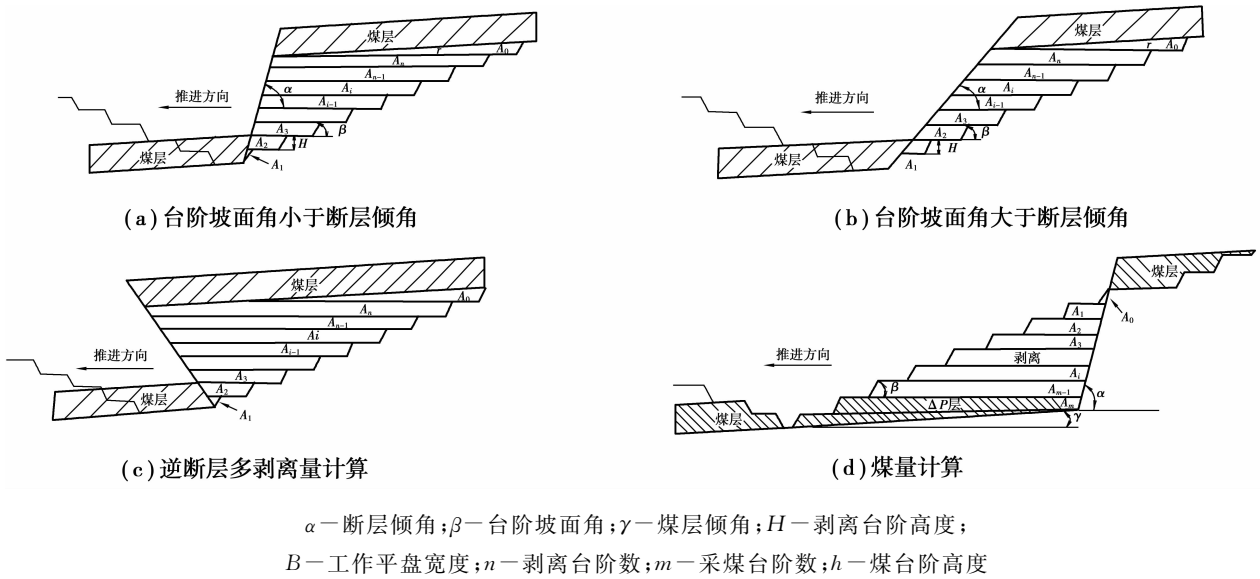


图 3 多剥离量与煤量示意图  
 Fig.3 Amount of coal and rock in multi-stripping method

### 3 实例研究

胜利东二号露天矿开采境界内主采煤层为 4 煤、5 煤和 6 煤，平均厚度分别为 10.51、30.66 和 61.43 m，属于厚煤层，煤层倾角 5~8°，局部 12°。目前，剥离采用单斗-卡车间断工艺，采煤采用单斗-卡车-半固定破碎站半连续工艺。首采区在向西向北推进过程中，进入 F<sub>61</sub> 正断层影响区域，该断层落差 30~72 m，倾角 57°，如图 4 所示。受断层影响，煤层上覆剥离物厚度增大，采深增大，剥采比增大，运距增加，生产成本急剧增加。因此，过断层期间边坡稳定、剥采比控制及生产能力接续是该矿亟待解决的问题。

#### 3.1 南帮边坡稳定性分析

由于南帮 F<sub>61</sub> 正断层落差较大，不利于边坡稳定，并且其边坡角度直接影响过断层开采方式的选取。因此，有必要对过断层期间南帮边坡的稳定性进行研究，确定其合理、稳定的边坡角度<sup>[8]</sup>。应用 FLAC 软件，计算了不同煤柱留设宽度、不同边坡角度情况下的南帮边坡稳定性，计算结果如图 5 所示。

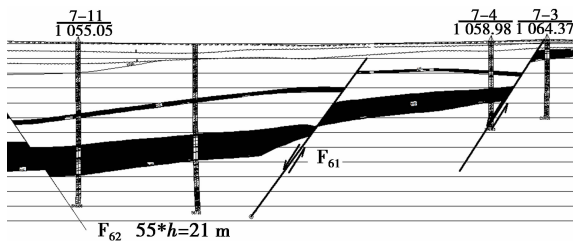


图 4 F<sub>61</sub> 断层  
 Fig.4 F<sub>61</sub> fault

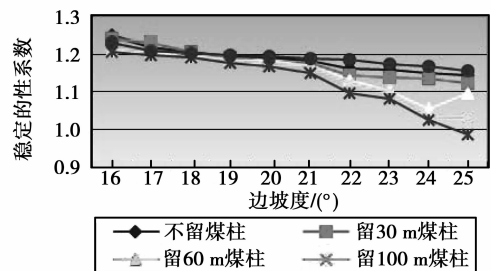


图 5 南帮边坡稳定计算结果  
 Fig.5 South slope stability

由图 5 可知：将断层煤全部采出时，由于断层被大部分清理掉且煤层顶板的软弱岩层范围较小，稳定帮坡角为 18°。当煤柱宽度范围在 100~150 m 时，南帮边坡受断层和弱层的影响较大，稳定帮坡角降低到 16°。当煤柱宽度大于 150 m 时，断层对边坡稳定性影响较小。

#### 3.2 过断层开采方式的确定

为了尽可能多的回收断层煤，优先考虑采用多剥离方式回收受断层影响的煤炭。多剥离方式下的多剥

离量和煤量可根据公式(3)、(7)计算,具体参数选取及计算结果如表1所示。

表1 多剥离方式参数及结果表  
Table 1 Multi-stripping parameters

	项 目	数 值
计算参数	台阶坡面角/(°)	65
	煤层倾角/(°)	8
	断层倾角/(°)	57
	南帮边坡角/(°)	18
	到界平盘宽度/m	45
	台阶高度/m	16
	回采率/%	98
	煤层容重/(t·m <sup>-3</sup> )	1.31
计算结果	剥离量/m <sup>3</sup>	2.079×10 <sup>6</sup>
	煤量/t	3.157×10 <sup>6</sup>

按照纯剥离成本 15.7 元/m<sup>3</sup>、纯采煤成本 16.5 元/t、煤炭销售价格 85 元/t 计算,多剥离方式下的纯剥离成本 3 264.03 万元,纯采煤成本 5 209.05 万元,煤炭销售 26 834.50 万元。多剥离方式盈利 18 361.42 万元。因此,过断层期间采用多剥离方式。

### 3.3 过断层期间生产能力接续

露天矿生产能力取决于矿山工程的水平推进速度、垂直延深速度及可能同时布置的采矿工作面数,而三者之间又存在着相互制约关系<sup>[9-13]</sup>。

#### 3.3.1 延深速度与水平推进速度的关系

矿山工程的垂直延深速度  $v_y$  与工作台阶水平推进速度  $v_t$  成正比,其关系式为

$$v_y = \frac{v_t}{\cot \alpha + \cot \beta}, \quad (8)$$

式中: $\alpha$  为工作帮坡角,12°; $\beta$  为延深方向与水平面夹角,18°。

按工作帮水平推进速度 200 m/a 计算,胜利东二号露天矿降深速度为 25.7 m/a。

#### 3.3.2 延深速度与同时布置采矿工作面数的关系

露天矿生产能力也取决于可能同时布置的采矿工作面数,对于单一煤层而言(图6),可能同时工作的采煤台阶数可按式(9)计算<sup>[14]</sup>

$$n = \frac{N}{b + h_t \cot \alpha_t} = \frac{m}{(1 + \tan \varphi \cot \alpha)(b + h_t \cot \alpha_t)} \quad (9)$$

过断层期间,为保证露天矿产量要求,其降深速度取相邻两年同时作业台阶的高差与  $v_y$  之间的最大值,即两者间存在如下关系

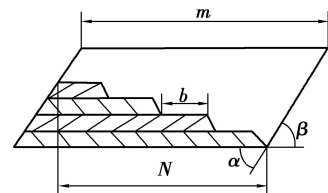
$$v'_y = \max(\Delta n \cdot h_t, v_y), \quad (10)$$

式中: $v'_y$  为露天矿过断层期间垂直降深速度。

胜利东二号露天矿 2014 年、2015 年计划产量分别为 8.0 Mt 和 12.0 Mt,通过计算,同时工作的采煤台阶数分别为 3 个和 5.5 个。因此,2015 年需增加 2.5 个采煤台阶,降深 37.5 m。根据式(10)可知,2015 年需要超前降深 11.8 m。

#### 3.3.3 超前降深方式优化

实现超前降深,有两种途径:一是采用超前剥离方式<sup>[15-16]</sup>,准备出新水平开拓条件;二是采用组合台阶方



$N$ —矿体工作帮坡线的水平投影, m;  
 $\varphi$ —工作帮坡角, (°);  $b$ —工作平盘宽度, m;  
 $h_t$ —采矿台阶高度, m;  $\alpha_t$ —台阶坡面角, (°);  
 $\beta$ —矿体倾角, (°);  $\alpha$ —采矿工程延深角, (°);  
 $m$ —矿体水平厚度, m。

图6 同时作业采矿台阶数  
Fig.6 Numbers of steps mining

式,提高工作帮坡角,达到超前降深条件。两开采方式如图 7 所示。

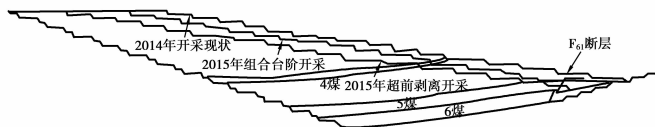


图 7 两开采方式示意图

Fig.7 Two mining schematic plans

1)超前剥离方式。为满足生产能力接续要求,采用超前剥离方式,为实现降深 37.5 m,水平推进速度应达到 250 m,工作帮坡角  $12^\circ$ ,生产剥采比为  $6.83 \text{ m}^3/\text{t}$ 。

2)组合台阶方式。采用组合台阶开采方式时,工作帮煤台阶采用 3 组 70、40 m 组合形式,采煤台阶工作帮坡角  $15^\circ$ ,整体工作帮坡角  $13^\circ$ ,水平推进速度 200 m,生产剥采比  $5.5 \text{ m}^3/\text{t}$ 。

表 2 两方式煤岩量对比表

Table 2 Coal and rock amount comparison of the two plans

项 目	组 合 台 阶 方 式	超 前 剥 离 方 式	
煤量/t	4 煤	3.77	5.40
	5 煤	5.20	3.60
	6 煤	3.03	3.00
	合计	12.00	12.00
剥离量/( $\text{Mm}^3$ )	4 煤顶板岩石	46	57
	5 煤顶板岩石	20	25
	合计	66	82
生产剥采比/( $\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ )	5.5	6.83	

通过表 2 的煤岩量及生产剥采比对比分析,胜利东二号露天矿在过  $F_{61}$  断层期间,采用组合台阶提高采煤台阶工作帮坡角,实现超前降深方式,保证了生产能力接续,并有效降低了生产剥采比。

## 4 结 论

1)露天煤矿过断层开采可采用多剥离方式与留煤柱方式;过断层期间,在确保边坡稳定的前提下,应尽可能多地回收断层煤,提高矿山资源回收率。

2)厚煤层露天矿过断层开采,剥采比与断层落差、台阶坡面角、煤层倾角成正比;与煤层厚度、断层倾角成反比,并以剥采比不大于经济剥采比为原则,确保经济效益。

3)以胜利东二号露天矿过  $F_{61}$  断层为例,分析了南帮边坡的稳定性。随着断层煤柱留设宽度的增加,边坡稳定性逐渐降低,合理帮坡角由  $18^\circ$  降低到  $16^\circ$ 。当煤柱宽度超过 150 m 时,断层对边坡稳定性影响较小。

4)胜利东二号露天矿过  $F_{61}$  断层期间采用多剥离方式,多回收煤炭  $3.157 \times 10^6 \text{ t}$ ,盈利 18 361.42 万元,经济效益显著。采用组合台阶方式提高工作帮坡角,有效地控制了剥离洪峰的提前到来,保证了过断层期间生产能力的接续。

### 参考文献:

- [1] 曹博. 复杂条件露天矿采区转向及运排系统工程优化研究与应用[D]. 北京:中国矿业大学,2012.  
CAO Bo. The optimization research and application of surface mine transition alternative mode of mining area and transportation dumping engineering under complicated geological conditions[D]. Beijing: China University of Mining & Technology, Beijing, 2012.
- [2] 赵红泽. 近水平转倾斜煤层露天开采关键技术研究与应用[D]. 北京:中国矿业大学,2012.  
ZHAO Hongze. Key mining technology research and application in surface mine from flat seam to inclined seam[D]. Beijing: China University of Mining & Technology, Beijing, 2012.

- [3] 赵浩,白润才,曲业明. 露天煤矿绿色开采技术[J]. 矿业工程研究,2011,26(3):19-22.  
ZHAO Hao, BAI Runcai, QU Yeming. On green mining technology of surface coal mine[J]. Mineral Engineering Research, 2011, 26(3):19-22.
- [4] 钱鸣高,许家林,缪协兴. 煤矿绿色开采技术[J]. 中国矿业大学学报,2003,32(4):343-348.  
QIAN Minggao, XU Jialin, MIAO Xiexing. Green technique in coal mining[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2003, 32(4): 343-348.
- [5] 骆中州. 露天采矿学(下)[M]. 徐州:中国矿业学院出版社,1986.  
LUO Zhongzhou. Opencast mining science(II)[M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 1986.
- [6] 才庆祥,周伟,车兆学,等. 近水平露天煤矿端帮靠帮开采方式与剥采比研究[J]. 中国矿业大学学报,2007,36(6):743-746.  
CAI Qingxiang, ZHOU Wei, CHE Zhaoxue, et al. Research on the mining method and stripping ratio and steep end-slope mining in surface coal mines with flat coal deposit[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2007,36(6): 743-746.
- [7] 赵红泽,张瑞新,刘宪权,等. 露天煤矿双坑动态剥采调节新方法[J]. 煤炭学报,2014,39(5):855-860.  
ZHAO Hongze, ZHANG Ruixin, LIU Xianquan, et al. New double pits dynamic regulating mode for stripping and mining in surface coal mine[J]. Journal of China Coal Society, 2014,39(5):855-860.
- [8] 范军富,王秀兰. 灵泉煤矿过 $F_4$ 断层煤壁回采方案[J]. 黑龙江科技学院学报,2008,18(5):341-343.  
FAN Junfu, WANG Xiulan. Research on plan through  $F_4$  fault coal wall mining in Lingquan open coal mine[J]. Journal of Heilongjiang Institute of Science & Technology, 2008,18(5):341-343.
- [9] 张智明,才庆祥,周伟,等. 露天矿生产规模的确定模型[J]. 金属矿山,2011(11):5-8.  
ZHANG Zhiming, CAI Qingxiang, ZHOU Wei, et al. Scale model to determine the open pit production[J]. Metal Mining, 2011(11):5-8.
- [10] 赵红泽,张瑞新,甄选,等. 近水平转倾斜煤层煤矿生产能力约束指标研究[J]. 金属矿山,2012(9):16-20.  
ZHAO Hongze, ZHANG Ruixin, ZHEN Xuan, et al. Study of production capacity constraint index in coal mine from flat seam to inclined seam[J]. Metal Mining, 2012(9):16-20.
- [11] 姬长生,张幼蒂. 露天矿生产能力的优化[J]. 煤炭学报,1998,23(5):550-554.  
JI Changsheng, ZHANG Youdi. Optimization of productive of capacity of surface mine[J]. Journal of China Coal Society, 1998, 23(5):550-554.
- [12] 李秀春. 基于最大推进度的露天矿生产能力研究[J]. 煤炭工程,2012(1):84-86.  
LI Xiuchun. Research on capacity of surface mine based on max promotion[J]. Coal Mining Engineering, 2012(1): 84-86.
- [13] 姬长生,张幼蒂. 露天矿生产能力及储量优化[J]. 中国矿业大学学报,1998,27(3):250-253.  
JI Changsheng, ZHANG Youdi. Optimization of surface mine production rate and reserves[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 1998, 27(3):250-253.
- [14] 高永涛,吴顺川. 露天采矿学[M]. 长沙:中南大学出版社,2010.  
GAO Yongtao, WU Shunchuan. Open-pit mining engineering[M]. Changsha: Central South University Press, 2010.
- [15] 孙宽,邓有燃,刘如成,等. 安家岭露天矿超前剥离方案优化研究[J]. 露天采矿技术,2012(5):1-4.  
SUN Kuan, DENG Youran, LIU Rucheng, et al. Project optimization research on advanced stripping[J]. Opencast Mining Technology, 2012(5): 1-4.
- [16] Ercelebi S G. Optimization of shovel-truck system for surface mining[J]. SIAMM-Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, 2009, 109(7): 433-439.