

大安山矿倾斜近距离煤层群上行开采可行性研究

梁冰¹, 单龙辉¹, 李刚¹, 金佳旭²

1. 辽宁工程技术大学, 辽宁阜新 123000

2. 东北大学, 沈阳 110000

摘要 针对大安山煤矿煤层群上行开采回采巷道围岩控制、开采滞后、水平接替困难及单一工作面回采率不高等实际问题, 分别运用理论推导和数值模拟分析方法对倾斜近距离煤层群上行开采的顶板运移及矿山压力变化规律进行了研究演算。为确定大安山矿煤层群开采顺序, 根据大安山具体地质条件并结合现场实践对大安山煤矿各煤层进行分析, 运用数值模拟分析的方法进行模拟研究。分析结果表明, 煤层间的间距对能否采用上行开采具有决定性作用, 模拟结果显示当依次开采 3、4、5 号煤层后, 5 号煤层顶板剪切破坏高度为 18m, 远小于 6 号与 5 号的间距 35.98m。因此, 大安山煤矿近距离煤层群采用上行式开采是可行的, 结合现有开采技术条件, 最终确定采用先对 3、4、5、6 号煤层进行上行开采, 然后开采 2 号煤层的开采方案。

关键词 上行式开采; 煤层群; 开采顺序; 数值模拟

中图分类号 TD824

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2012.33.008

Feasibility Study of Upward Mining of Close Distance and Inclined Coal Seam Group in Daanshan Mining Area

LIANG Bing¹, SHAN Longhui¹, LI Gang¹, JIN Jiayu²

1. Liaoning Technical University, Fuxin 123000, Liaoning Province, China

2. Northeastern University, Shenyang 110000, China

Abstract This paper deals with the practical problems of Daanshan mine coal seam group, including the upward mining tunnel surrounding rock control, the mining lag, the link difficulties and how to increase a single face recovery rate. The theoretical analysis and the numerical simulation are used to study the roof movement of the upward mining and the mining pressure variation in inclined seams. In order to determine the mining sequence of Daanshan mine, the Daanshan mine coal seam group is analyzed according to geological conditions. Numerical analysis shows that the spacing between seams is adequate for the upward mining, which can be applied to seams 3, 4, 5 and 6, and then to seam 2.

Keywords upward mining; coal seam; mining sequence; numerical simulation

0 引言

随着开采条件的发展, 煤炭开采越来越多地转向煤层群开采^[1]。但目前中国针对煤层开采程序的研究相对较少。陈勇等^[2]研究了济宁三号煤矿厚煤层放顶煤条件下的上行开采问

题。蒋金泉等^[3]以新汶矿区为工程背景, 深入研究了采动覆岩裂隙亚分带特征、覆岩运动与结构分带特征、上行卸压开采作用效应, 建立了上行卸压开采可行程度的评价方法, 为上行卸压开采的可行程度判别、区域划分、开采部署提供了决

收稿日期: 2012-07-20; 修回日期: 2012-09-17

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2011CB201206)

作者简介: 梁冰, 教授, 研究方向为煤层瓦斯渗流理论及应用, 电子信箱: lbwqx@163.com

策依据。但就目前国内外上行开采研究现状而言,在上行开采的采动机理、覆岩运动规律和三带(垮落带、断裂带和弯曲下沉带)高度实测技术方面仍缺乏深入研究。因此,针对多次受下部采动影响的上煤层开采可行性进行研究具有重要的理论研究价值和现实意义。研究确定多煤层开采程序^[4-6],进行上下煤层合理有序的开采,对减少资源浪费、延长矿井寿命及矿井的安全持续发展具有重要的意义。本文对大安山煤矿煤层群进行研究,得出上行式开采的开采方案。

1 工程地质概况

大安山矿煤层产状良好,煤质优良,地层倾角 11°—28°,平均倾角 19°,共有 5 层煤;6 号煤煤质中等—较差,平均煤厚 2.23m,全区可采,含瓦斯较大且顶板坚硬,应作为被保护层开采;5 号煤煤质较好,平均煤厚 2.33m,全区可采,为主采煤层;4 号煤煤质良好,平均煤厚 2.32m,全区可采,为主采煤层;3 号煤煤质中等,平均煤厚 1.71m,全区可采,为主采煤层;2 号煤层煤质中等,平均煤厚 3.89,全区局部可采,不作为主采煤层。4、5 号煤层赋存稳定,煤质良好,首先开采可保证矿井年产量,提高矿井经济效益,并作为保护层开采。煤层间具体岩性及厚度见综合柱状图,如图 1 所示。

岩层柱状图	岩层	层厚/m
	碳质粉砂岩、粉砂岩	10
	6 号煤层	2.23
	粉细砂岩	8
	中细砂岩	27.98
	5 号煤层	2.33
	粉细砂岩	10
	中细砂岩	15.92
	4 号煤层	2.32
	粉细砂岩	8
	细砂岩	12.91
	3 号煤层	1.71
	粉砂岩	6
	碳质粉砂岩	3.41
	2 号煤层	3.89
	凝灰岩	15

图 1 煤层柱状图
Fig. 1 Coal column

2 上行开采理论分析

2.1 煤层群上行开采机理及影响因素

采用上行式开采煤层时,下部煤层采出后必然破坏采场

上覆岩层的原始应力平衡状态,应力重新分布,最后达到二次平衡状态。在这过程中必然引起上覆岩层的横向及纵向的变形与破坏,同时上覆岩层的横向及纵向离层变形产生大量的采动裂隙,破坏煤层。随着时间的推移,采动裂隙会逐渐闭合压实,但是纵向的剪切变形表现在煤层发生台阶错动,破坏煤层的整体性,可见,剪切变形是影响上行开采的最大障碍。因此,控制岩层的台阶错动才是主要问题。

在煤层采出后,采场围岩沿走向可分为原始应力区 A、煤壁支撑区 B、高层区 C、重新压实区 D 及稳定区 E,垂直方向可分为垮落带 I、断裂带 II 及弯曲下沉带 III,划分情况如图 2 所示。在上覆岩层垮落过程中,岩层发生断裂,岩层自身可形成不发生台阶错动的平衡岩层结构。而且在支架作用下,可形成支架与围岩相互平衡体系,这种结构能够阻止上覆岩层大范围内的台阶错动,使平衡结构以上的岩层保持一定的整体性。一般认为,回采工程中能够形成不发生台阶错动的岩层成为平衡岩层,当上煤层位于距离下煤层最近的平衡岩层之上时,就可以进行上行开采。

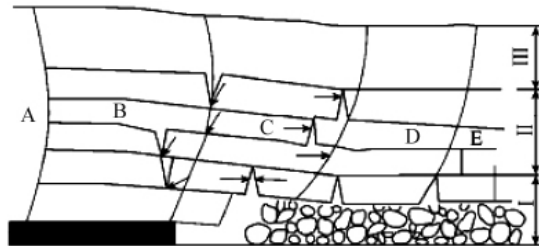


图 2 采场上覆岩层结构
Fig. 2 Structure of the overlying rock in mining stope

本文所涉及的开采煤层包括大安山 2、3、4、5、6 号煤层。由于 6 号煤层顶板坚硬^[7-8],煤质劣而坚硬,是采用上行式开采^[9]的一个重要因素。6 号煤层煤质赋存条件差但下部煤层条件相对较好,采用上行开采主要是为保证矿井年产量,尽快回收投资成本,提高煤矿经济效益。另外,煤层瓦斯含量是影响近距离煤层上行开采的一个主要因素,通过开采保护层(5 号煤层),对被保护层的 6 号煤层产生卸压效果,在开采后被保护层经历原岩应力平衡破坏、岩体移动、膨胀、卸压等一系列变化,产生了层内裂隙和层内破断,煤层的透气性大大增加,瓦斯得到释放,防止瓦斯突出事故的发生。

2.2 煤层群上行开采理论分析

上下煤层层间距大小是影响上行开采的主要技术因素之一。迄今为止,已积累了许多上行开采的实践经验及研究方法,但基本原则是应该保证上覆煤层保持一定的整体性,煤层不应该产生较大范围的错动。以下主要采用比值分析法、“三带”分析法、围岩平衡法等方法进行分析。

2.2.1 比值分析法

当下部开采一个煤层时,用比值 K 的大小判别。可按式

(1) 计算^[10], 即:

$$K = \frac{H}{M} \quad (1)$$

式中, H 为上下煤层之间的垂距, m ; M 为下煤层采高, m 。

中国上行开采的生产实践及研究证明, 当比值 $K > 7.5$ 时, 先采下部煤层一般不影响在上煤层内进行正常准备和回采; 综合比值 $K' > 6.3$ 时, 可正常进行上行式开采。根据图 1 中 5、6 煤层间距及 5 号煤层煤厚得出比值 K 为 15.44。因此, 对大安山 5 号煤层上行开采不会对其上的 6 号煤层造成影响。

当下部开采多个煤层时, 可用综合比值 K' 来判别^[10], 见式(2)。

$$K' = \frac{1}{\frac{1}{K} + \frac{1}{K_2} + \dots + \frac{1}{K_n}} \quad (2)$$

其中 $K_1 = \frac{H_1}{M_2}$, $K_2 = \frac{H_2}{M_3}$, $K_n = \frac{H_n}{M_{n+1}}$; 式中, H_1, H_2, \dots, H_n 分别为 m_2, m_3, \dots, m_{n+1} 至 m_1 煤层的垂距, m ; M_2, M_3, \dots, M_{n+1} 分别为下部各煤层的采高, m 。

通过计算得出各煤层上行开采综合比值判别, 结果见表 1。

表 1 上行开采综合比值判别
Table 1 Comprehensive ratio in upward mining

编号	煤层	煤层厚度/m	至最上层煤距离/m	K	K'
1	6	2.23	0	0	0
2	5	2.33	35.98	15.44	15.44
3	4	2.32	64.23	27.69	9.91
4	3	1.71	87.46	51.15	8.30
5	2	3.89	98.58	25.34	6.25

可以看出, 对 3、4、5 号煤层进行上行开采不会对 6 号煤层造成影响, 但不包括 2 号煤层。

2.2.2 “三带”分析法

根据煤矿开采矿压理论可知^[10], 采场覆岩垮落后形成“竖三带”分布特征, 即垮落带、裂隙带和弯曲下沉带, 根据此三带理论判别上行开采应该遵循以下原则。

(1) 当上下煤层的层间距小于或等于下煤层的垮落带高度时, 上煤层整体性将遭到严重破坏, 无法进行上行开采。

(2) 当上下煤层间距小于或等于裂隙带高度时, 上煤层整体性只发生中等程度的破坏, 采取一定安全措施后, 可正常进行上行开采。

(3) 当上下煤层的层间距大于下煤层的断裂带高度时, 上煤层只发生整体移动, 整体性不受破坏, 可正常进行上行开采。

根据煤层中硬顶板、缓倾斜煤层地质条件, 垮落带 H_m 、裂隙带 H_i 高度可按式(3)和式(4)计算

$$H_m = \frac{100 \sum N}{4.7 \sum N + 19} \pm 2.2 \quad (3)$$

$$H_i = \frac{100 \sum N}{1.6 \sum N + 3.6} \pm 5.6 \quad (4)$$

式中 N 为累计采厚, 单层采厚 1—3m, 累计采厚不超过 15m, \pm 号项为中误差。通过计算得出垮落带、裂隙带高度见表 2。

综上理论分析可知, 3、4、5 号煤层间距大于垮落带高度但小于断裂带高度, 2 号与 3 号煤层间距小于 2 号煤层开采后的煤层间距。因此可在一定安全措施下对 3、4、5、6 号煤层进行上行开采, 但不能包括 2 号煤层。

表 2 上行开采三带计算

Table 2 Upward mining calculations based on the method of three zones

煤层号	垮落带高度/m		导水裂隙带高度/m		与上层间距/m
	上限	下限	上限	下限	
5	5.58	9.98	26.20	37.40	35.98
4	9.18	13.58	26.13	37.33	25.92
3	10.81	15.21	21.39	32.59	20.91
2	13.06	17.46	34.00	45.20	9.41

2.2.3 围岩平衡法

回采过程中, 下煤层开采引起上覆煤岩层发生横向及纵向变形, 产生采动裂隙和台阶错动, 而采场上覆岩层具有一定强度能够形成不发生台阶错动的平衡岩层结构。围岩平衡法认为上下煤层间距大于下煤层最近的平衡岩层是上行开采的必要条件, 据此层间距可按式(5)计算:

$$H > \frac{M}{K_1 - 1} + h \quad (5)$$

式中, K_1 为岩石的碎胀系数, h 为平衡岩层自身的厚度, m 。

根据图 1 中煤层厚度和煤层间岩性, K_1 取值 1.2, 根据现场实况, 将垮落带上方 6m 岩层作为平衡岩层厚度, 则得出各煤层间距应为 $H_{5-6} > 17.65$ 、 $H_{4-5} > 17.60$ 、 $H_{3-4} > 14.55$ 、 $H_{2-3} > 25.45$ 。根据煤层间距可知 2 号煤层不符合条件。

综上所述, 可采用先对 3、4、5、6 号煤层上行开采, 然后再采 2 号煤层的开采方法。

3 FLAC^{3D} 数值模拟

3.1 建立模型

根据采场围岩分布规律, 下煤层采动后, 影响上煤层的主要因素是上覆岩层发生剪切破坏产生台阶错动。运用 FLAC 模拟软件对采场开采过程进行模拟, 通过观察塑性区

范围内发生的剪切破坏来判断岩层是否发生台阶错动是可行的,并以此来判断上行开采是否可行。

根据大安山煤矿煤层赋存特征和地应力分布规律,按照平面应变问题建立深部水平采场模型,模型长度 200m,高度 193m,煤层倾角 20°,如图 3 所示。模型参数根据现场取样实验室实测的结果选取,见表 4。

3.2 煤层群开采模拟

根据前面的研究结果表明,先开采 3 号、4 号和 5 号煤层,不会影响到 6 号煤层的完整性,故针对此工况进行模拟分析。单独开采 3、4、5 号煤层时剪切破坏范围均小于煤层间距,图 4 和图 5 为 3、4、5 号煤层开采后的塑性区分布和位移响应云图,可见开采该组煤层后,5 号顶板剪切破坏高度为 18m,远小于 6 号与 5 号的间距 35.98m,模拟结果与理论计算基本相符,但是当 2 号煤层开采后上部塑性区剪切破坏高度

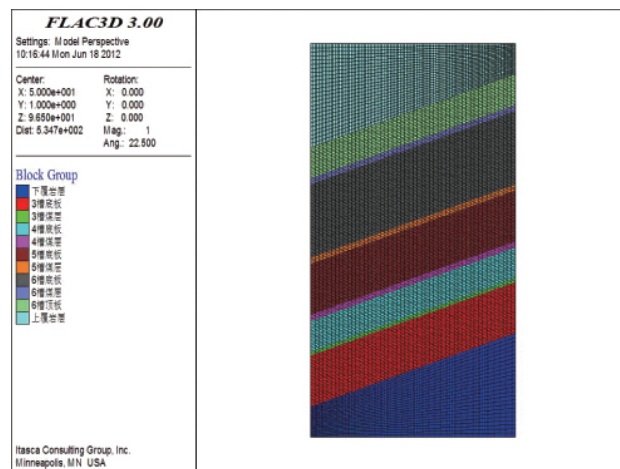


图 3 数值模型

Fig. 3 Numerical model

表 4 岩石物理力学测试结果总表
Table 4 The results of rock mechanics teses

岩石层位	岩石视密度 $d_i/(g \cdot cm^{-3})$	岩石抗拉强度 R/MPa	岩石抗压强度 T/MPa	岩石凝聚力 C/MPa	内摩擦角 $\Phi/(^\circ)$	弹性模量 $E_i/10^4 MPa$	泊松比 μ
6 号顶板	2.75	8.53	168.46	16.64	32.76	5.94	0.22
5 号顶板	2.72	7.95	152.53	15.32	33.17	5.67	0.21
4 号顶板	2.67	7.46	146.72	14.85	33.56	5.37	0.20
3 号顶板	2.62	8.93	175.47	17.12	33.06	6.08	0.23
2 号顶板	2.56	7.31	140.35	14.23	33.26	5.15	0.23

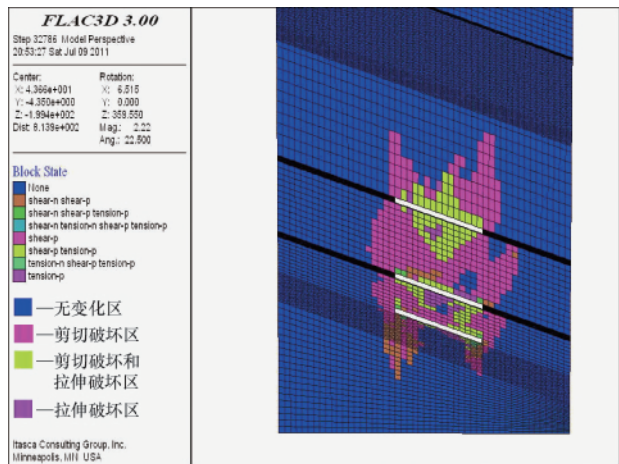


图 4 塑性区分布云图
Fig. 4 The plastic zone

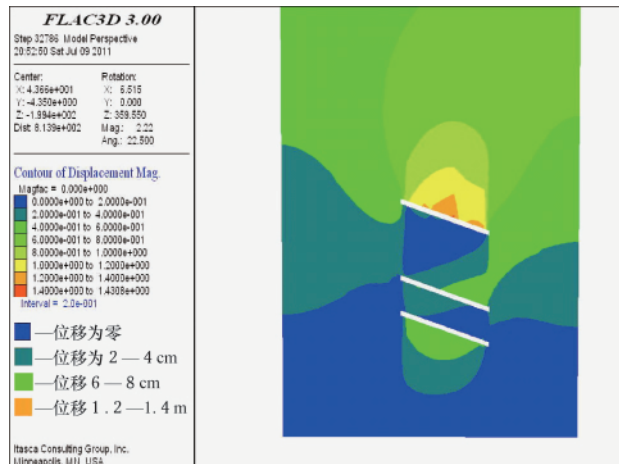


图 5 位移分布云图
Fig. 5 The displacement distribution

达到 30m,破坏了 3 号煤层的稳定性。因此上行开采不可包括 2 号煤层。

4 结论

针对大安山煤层群的地质特征,运用理论计算、现场实

践及数值模拟 3 种方法对 2、3、4、5、6 号煤层进行分析,得出上行开采的可行性方案,3、4、5、6 号煤层采用上行式开采是可行、合理的,但 2 号煤层应留待最后开采。

(1) 利用比值判别法得出了 6 号煤层下部煤层开采单层时 K 值为 15.44 和多层不含 (2 号煤层) 综合比值 K' 值为

8.30;通过三带法经验公式得出了各煤层的垮落带高度;裂隙带高度。从理论上验证了煤层群采用上行开采是可行的。

(2) 运用 FLAC^{3D} 有限差分软件对大安山煤层群进行了数字仿真研究,得出了各煤层的塑性区范围,尤其得出了当 3、4、5 煤层都开采后,5 号煤层顶板的剪切破坏高度为 18m,远小于距 6 号煤层距离。

(3) 通过理论计算与数值模拟研究得出二者结果基本相符,得出对 3、4、5、6 号煤层采用上行开采是可行的,确定了先采 3、4、5、6 号煤层然后再采 2 号煤层的开采顺序。

(4) 大安山煤矿煤层群地质条件复杂,煤层瓦斯大,采用上行开采不仅可以提高煤矿生产效益,并且保护层开采有利于瓦斯防治,实现煤矿高效安全生产。

参考文献 (References)

- [1] Singh A K, Singh R, Sarkar M, *et al.* Inclined slicing of a thick coal seam in ascending order: A case study[J]. *CIM Bulletin*, 2002, 95(3): 124-128.
- [2] 陈勇, 王红胜, 郭念波, 等. 厚煤层上行开采放顶煤技术研究与应用[J]. 煤炭科学技术, 2009, 37(6): 9-13.
Chen Yong, Wang Hongsheng, Guo Nianbo, *et al.* *Coal Science and Technology*, 2009, 37(6): 9-13.
- [3] 蒋金泉, 孙春江, 尹增德, 等. 深井高应力难采煤层上行卸压开采的研究与实践[J]. 煤炭学报, 2004, 29(1): 1-6.
Jiang Jinquan, Sun Chunjiang, Yin Zengde, *et al.* *Journal of China Coal Society*, 2004, 29(1): 1-6.

- [4] 杜计平, 汪理全. 煤矿特殊开采方法 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003.
Du Jiping, Wang Liqun. *Special mining method of coal mine* [M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 2003.
- [5] 张恩强, 李军. 赵家梁煤矿上行开采可行性研究 [J]. 西安科技大学学报, 2010, 30(1): 39-42.
Zhang Enqiang, Li Jun. *Journal of Xi'an University of Science and Technology*, 2010, 30(1): 39-42.
- [6] 钱鸣高, 石平五. 矿山压力与岩层控制 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003.
Qian Minggao, Shi Pingwu. *Mine pressure and ground control* [M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 2003.
- [7] 钱鸣高, 缪协兴, 许家林, 等. 岩层控制的关键层理论 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2000.
Qian Minggao, Miu Xiexing, Xu Jialin, *et al.* *Key strata theory in ground control* [M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 2000.
- [8] 姜福兴. 采场覆岩空间结构观点及其应用研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2006, 23(1): 30-33.
Jiang Fuxing. *Journal of Mining & Safety Engineering*, 2006, 23(1): 30-33.
- [9] 张金海. 钱家营矿采煤工作面上行开采可行性分析 [J]. 煤炭科学技术, 2009, 37(1): 62-64.
Zhang Jinhai. *Coal Science and Technology*, 2009, 37(1): 62-64.
- [10] 徐永圻. 煤矿开采学 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1993.
Xu Yongqi. *Coal mining* [M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 1993.

(责任编辑 岳臣)

·学术动态·

“2012 年全国通信新理论与新技术学术大会 第六届(CTC2012)”征文

中国电子学会通信学分会、《通信市场》杂志和北京信息产业协会将于 2013 年 1 月份在北京市召开“2012 年第六届全国通信新理论与新技术学术大会(CTC2012)”。

征文范围:(1) 通信领域:包括宽带交换技术、三网融合、移动通信、数字信号处理、光纤通信、智能通信与智能计算、军事通信等;(2) 计算机领域:包括计算机技术与应用、信息技术与数据挖掘、智能卡技术与应用、计算机软件与理论等;(3) 网络领域:包括计算机通信与 WLAN、下一代网络技术、网络理论与技术、光互联网结构及交换技术等;(4) 信息安全领域:包括密码学、通信安全、计算机安全、网络安全与网络管理等;(5) 其他有关科学和技术。

征文截止日期:2012 年 12 月 30 日。

联系电话:010-68207726,68207724。

电子信箱:kuang@ctm.com.cn。

通信地址:北京市海淀区复兴路 49 号《通信市场》编辑部(100036)。

大会网站:www.ctm.com.cn。