

文章编号: 1673-3363(2009)02-0212-05

# 厚煤层大采高全厚开采工艺研究与应用

王学军<sup>1</sup>, 钱学森<sup>2,3</sup>, 马立强<sup>2</sup>, 张 炜<sup>2</sup>

(1. 大同煤矿集团公司, 山西 大同 037000; 2. 中国矿业大学 矿业工程学院, 煤炭资源与安全开采  
国家重点实验室, 江苏 徐州 221008; 3. 皖北煤电集团公司, 安徽 宿州 234000)

**摘要:** 为解决厚煤层开采过程中资源浪费难题, 实现安全高效生产, 采用国产设备进行了厚煤层大采高全厚开采工艺研究与应用. 在分析目前应用于厚煤层开采的几种采煤法的优缺点及适用条件基础上, 确定了厚煤层大采高一次全厚综采的采煤方法; 首次应用模糊综合评价模型和层次分析法对厚煤层大采高综采工作面进行了模糊综合评价. 研究确定了厚煤层大采高工作面采用双向割煤、端部斜切进刀的工艺方式. 分析大采高工作面初次来压、周期来压步距及对应矿压显现特点, 为采用国产大采高工作面液压支架及其配套设备提供了可行性依据. 实现工作面平均日产达 6 300 t, 最高日产过 1.1 万 t, 达到了国产厚煤层大采高综采机械在生产实践中实现安全、优质、文明和高效的目标. 研究成果可为类似条件下厚煤层开采提供借鉴.

**关键词:** 大采高; 厚煤层; 模糊综合评价; 综采工艺; 国产设备

**中图分类号:** TD 823.97 **文献标识码:** A

## Research on Large Mining Height Technique for Thick Coal Seams

WANG Xue-jun<sup>1</sup>, QIAN Xue-sen<sup>2,3</sup>, MA Li-qiang<sup>2</sup>, ZHANG Wei<sup>2</sup>

(1. Datong Coal Mine Group, Datong, Shanxi 037000, China; 2. School of Mines, State Key  
Laboratory of Coal Resources and Mines Safety, China University of Mining & Technology, Xuzhou,  
Jiangsu 221008, China; 3. Wanbei Coal & Electricity Group Co., Ltd., Suzhou, Anhui 234000, China)

**Abstract:** In order to solve resource waste problem in the process of mining thick coal seam and to realize safe and high efficiency production, we studied large mining height technique for thick coal seam. Firstly we analyzed advantages and disadvantages of some commonly used mining techniques and select the fully mechanized mining method for thick coal seam. Then we used the fuzzy assessing model and hierarchy analysis, for the first time, to assess the fully mechanized mining working face and to select the mining method of two-ways cutting. In addition, we analyzed the characteristics of first weighting and the pace of periodic weighting, which provided feasible basis for hydraulic support and its matching equipment of the large mining height working face. As a result, the average daily output of the working face reaches 6 300 t. The achievement can be taken as a reference for working faces with similar conditions.

**Key words:** large mining height; thick coal seam; fuzzy comprehensive evaluation; fully-mechanized process; domestic equipment

收稿日期: 2008-09-17

基金项目: 煤炭资源与安全开采国家重点实验室开放基金项目(07KF09)

作者简介: 王学军 (1964-), 男, 山西省怀仁县人, 高级工程师, 硕士, 从事生产技术管理方面的研究.

E-mail: W.xj.2000@163.com Tel: 0352-7019888

据有关资料统计,我国目前已探明的煤炭地质储量约 10 000 多亿 t,而厚煤层储量占 45%左右,同时厚煤层产量约占总产量的 40%~50%,厚煤层的合理开采对我国煤炭行业的生产和经济发展有举足轻重的影响.特别是各矿区在投产初期,一般优先开采厚煤层,造成生产接续和资源平衡开采之间的矛盾日益突出,厚煤层的开采速度和采出率已成为制约企业发展的一大难题<sup>[1]</sup>.某矿大采高综采面立足国产设备,综合运用采矿地质条件评价、计算机数值计算及现场实测等多种研究方法,系统地研究了厚煤层全厚综采的可行性、综采工艺参数及覆岩活动规律,并成功进行了工业性试验.

### 1 采矿地质条件

该工作面煤层埋深为 167~392 m,煤层总体呈单斜构造,煤层走向 266°~336°,倾向 356°~66°,倾角 5.5°~14°,平均 9°.煤厚 5.19~5.57 m,平均 5.37 m,厚度稳定,可采性好. $f=1.5\sim2.2$ ,属中硬煤层.工作面倾斜长 156 m,走向长平均 1 250 m.煤层顶底板条件如表 1 所示.

表 1 煤层顶底板岩性 Table 1 Roof-floor lithology of coal seam			
顶底板	岩石	厚度/m	岩性特征
基本顶	细砂岩	3.50	以石英为主,钙泥质胶结, $f=6\sim8$
直接顶	砂质泥岩	1.50	致密,泥质结构,性脆, $f=4\sim6$
直接底	砂质泥岩	1.30	$f=4\sim6$ .
老底	细砂岩	6.93	硅质胶结,成分以石英为主, $f=6\sim8$

### 2 采煤方法确定

目前,我国对厚煤层的开采大部分煤矿仍采用倾斜分层或放顶煤工艺进行回采,较少煤矿采用国外进口的成套设备进行大采高综采工艺回采.采用倾斜分层下行垮落采煤方法与一次采全高及放顶煤开采比较,其掘进量大,增加了费用,工艺也较复杂.特别是网下开采,顶板破碎,上下出口处难以维护,产量小,效率低.煤炭回收率较低,煤炭易自然发火.因其成本高,存在安全隐患较多,灾害频繁,厚煤层的资源优势未能充分发挥,不利于煤炭行业的发展<sup>[2]</sup>.

综采放顶煤的适应性远比倾斜分层强,但采面煤尘大、回采率偏低、易自然发火,且瓦斯涌出量大,易局部积聚<sup>[3]</sup>.

采用大采高综采回采厚煤层,能取得较好的经济效益.但设备大多需要进口,初期投资较大.目前,装备一个大采高综采工作面,初期投资至少需 2~3 亿人民币,相当于装备同等规模综采面初期

投资的 10 倍,庞大的投资制约着大采高综采工艺在我国厚煤层开采中的应用.因而只要解决厚煤层综采设备配套及回采工艺方面的技术难点,厚煤层综合机械化回采尤其是一次采全高将对提高我国厚煤层的安全生产水平和资源回收率起到重要的作用.

依靠国内现有煤机制造能力,该面采用全套国产化的大功率、高强度、高产高效大采高综采生产设备进行大采高一次全厚开采.通过三机配套计算,确定主要配套设备及关键参数见表 2.

表 2 综采面主要配套设备及主要参数 Table 2 Main mating equipments & its parameters of the fully-mechanized coalface		
名 称	型 号	能 力
采煤机	MG650/1480-WGD	
液压支架	ZY6400-25/53	6 400 kN
刮板输送机	SGZ-1000/1400	2 200 t/h
液压泵站	WRB315/31.5	200 L/min
破碎机	PCM-250	3 300 t/h
转载机	SZZ-1000/375	2 600 t/h
胶带机	SSJ1000/2×125 (3 部)	830 t/h

### 3 工作面开采条件工艺性评价

在研究地质条件对开采影响一般规律的基础上,首次采用模糊综合评价模型和层次分析法对厚煤层工作面地质条件开采工艺性进行了综合评价,为采用一次全厚大采高综采工艺提供理论根据<sup>[4]</sup>.

煤层地质条件开采工艺性评价是在寻求地质条件诸因素对开采影响一般规律的基础上,对地质条件优劣程度进行客观评价;在寻求地质条件优劣程度与开采效果一般关系的基础上进行开采效果的预测和辅助技术决策.其实质就是从采矿的角度对具体煤层适合于开采工艺的程度进行定性分析与定量评价,以此作为开采技术决策、设计规划、生产管理的依据.

采用模糊综合评价方法,从工作面开采的总体方面进行的整体综合评价,为此必须确定评价因素结构隶属函数及权重.

根据上述评价,结合该工作面的具体情况,可将大采高综采工作面分成 4 个等级,如表 3.

表 3 综采工作面评价等级分类 Table 3 Evaluation rank classification of fully-mechanized coalface		
评价等级	评价结果	开采条件
I	$>0.85$	好
II	$0.70\sim0.85$	较好
III	$0.60\sim0.70$	一般
IV	$<0.60$	较差

通过层次分析法,得出厚煤层大采高综采各因素权重计算结果,见表 4.

表 4 厚煤层一次全厚综采各因素权重计算结果  
Table 4 Weight calculated results of elements in thick coal seam

复合因素权重		部分子因素权重	
1. 地质构造复杂程度	0.481 0	断层影响	0.481 0
2. 煤层稳定性程度	0.084 0	煤层可采煤厚变异性	0.084 0
3. 煤层采厚	0.119 0	煤层开采厚度	0.119 0
4. 煤层倾角	0.086 1	煤层倾角 ( $C_4$ )	0.086 1
5. 煤层坚硬性	0.055 0	煤层坚硬性 ( $C_5$ )	0.055 0
		(1) 直接顶强度	0.020 9
6. 煤层顶底板条件	0.046 7	(2) 基本顶支撑性	0.012 0
		(3) 伪顶影响	0.009 4
		(4) 底板影响	0.004 4
7. 工作面块段	0.128 9	(1) 工作面长	0.128 9
合计	1.0	合计	1.0

将煤层块段采后评价价值与同块段的采前评价价值之比作为衡量采前评价可靠性的指标值,对采前评价价值加以修正,结合对应的隶属度函数,可得工作面最后的综合评价值为 0.753. 综上所述,对于该厚煤层工作面的综合评价属于Ⅱ级,宜采用大采高一次全厚综采工艺开采.

4 综采工艺方式的确定

4.1 综采工作面工序实测

由该综采面工序实测数据的统计发现:采煤机割煤速度服从正态分布,可用平均速度  $V_c=4.8$  m/min, 方差  $\delta=0.86$  m/min 描述;采煤机割顶煤时,  $V_下=3.83$  m/min,  $\delta=0.345$  m/min;上行清浮煤时,  $V_上=6.86$  m/min,  $\delta=0.96$  m/min;采煤机下行时,  $V_空=8.2$  m/min,  $\delta=0.54$  m/min.

支架移架速度服从正态分布,可用均值  $\mu=1.82$  m/min,  $\delta=0.92$  m/min 来描述.

端头等待时间服从负指数分布. 可用均值  $\lambda=15.15$  min 表示.

刮板输送机的推移速度均服从正态分布,  $\mu=8.02$  m/min,  $\delta=0.78$  m/min.

工作面主要故障分布直方图如图 1 所示.

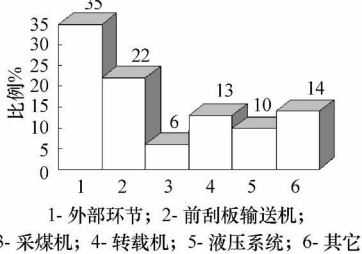


图 1 工作面主要故障分布图

Fig. 1 Main troubles distribution of coalface

4.2 综采工作面合理工艺参数的确定

综采工作面工艺参数,必须根据工作面的不同生产能力来合理确定.

1) 割煤循环时间

$$T_{es} = 3T_d + \frac{L+L_s}{V_c} + \frac{L_s+L_m}{V_k}, \tag{1}$$

式中:  $T_{es}$  为割煤时间, min;  $T_d$  为返回时间, min;  $L$  为工作面长度, m;  $L_s$  为刮板输送机弯曲段长度, m;  $L_m$  为采煤机长度, m;  $V_c$  为采煤机平均割煤速度, m/min;  $V_k$  为采煤机空刀运行速度, m/min.

2) 平均割煤流量

$$q = 60BV_c\gamma HC_1, \tag{2}$$

式中:  $q$  为平均割煤量, t/h;  $B$  为截深, m;  $\gamma$  为煤的密度, t/m<sup>3</sup>;  $H$  为采高, m;  $C_1$  为工作面采煤机割煤回收率.

3) 日进刀数

在已知日产量要求时,日进刀数可按式确定.

$$N = \frac{Q_d}{LHBCY}, \tag{3}$$

式中:  $N$  为日进刀数;  $Q_d$  为日产量, t/d;

4) 根据日进刀数确定循环割煤时间

$$T_{cmax} = \frac{60KT}{N}, \tag{4}$$

式中:  $T_{cmax}$  为最大割煤循环时间, min;  $T$  为每天实际生产时间, h;  $K$  为采煤班有效开机率.

实际割煤时间应小于或等于最大割煤时间,即  $T_c \leq T_{cmax}$ .

5) 采煤机最小割煤速度

由上述可知,采煤机最小割煤速度为

$$V_{cmin} = \frac{L+L_s}{T_{cmax} - 3T_d - \frac{L_s+L_m}{V_k}}, \tag{5}$$

式中:  $V_{cmin}$  为采煤机最小割煤速度, m/min.

为满足工作面生产能力要求,采煤机实际平均割煤速度应大于最小割煤速度,即  $V_c \geq V_{cmin}$ .

6) 合理工艺参数

根据工作面工序实测数据,不同日产量所对应的最少刀数  $N_{min}$ 、最大循环时间  $T_{cmax}$  见表 5.

表 5 与日产量对应的  $N_{max}$  和  $T_{max}$   
Table 5  $N_{max}$  &  $T_{max}$  corresponding daily products

$Q_d/(t \cdot d^{-1})$	5 000	5 500	6 000	6 500
$N_{min}/\text{个}$	4.09	4.50	4.91	5.32
$I_{cmax}/\text{min}$	156.3	144.2	133.1	122.2
$Q_d/(t \cdot d^{-1})$	7 000	7 500	8 000	10 000
$N_{min}/\text{个}$	5.73	6.14	6.55	8.19
$I_{cmax}/\text{min}$	110.5	101.3	94.6	87.8

从上述计算可知,工作面在采用双向割煤,端头斜切进刀,如日进八刀可使日产量达到 1 万 t,年产 300 万 t.可是由于受到大采高工作面外部系统的运输环节等瓶颈限制,工作面一般只能日进 5 刀,日产量为 6 189 t.

## 5 国产工作面设备的可行性分析

### 5.1 覆岩活动规律 RFPA 模拟及分析

为分析国产设备对大采高综采面覆岩活动的

适应性,采用 RFPA<sup>2D</sup>对覆岩活动规律进行了模拟分析<sup>[5-7]</sup>.

岩石破裂全过程分析系统 RFPA<sup>2D</sup>基于有限元理论和全新的材料破裂过程算法思想,通过考虑材料的非均匀性来模拟材料的非线性,通过单元的弱化来模拟材料变形、破坏的非连续行为,可用于研究岩石(岩体)材料从细观损伤到宏观破坏的全过程.图 2 为工作面推进过程中上覆岩层的垮落情况.

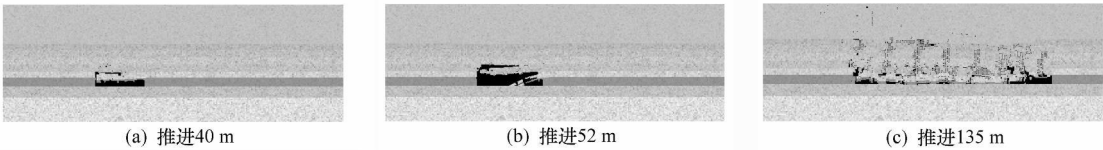


图 2 工作面推进过程中覆岩垮落情况  
Fig.2 Overlying strata caving and roof vertical stress distribution in the course of coalface digging

模拟得出工作面初次、周期来压时的矿压显现基本规律,工作面初次来压步距约 40 m,周期来压不小于 12 m;垂直应力明显影响范围为 20 m 左右,动载系数约为 2.0;工作面推进过程中,煤层上方厚 3.5 m 的细砂岩基本顶能形成有承载能力的岩体结构,对上覆岩层的运动起主要控制作用.证实了 MG650/1480~WG004 型采煤机、ZY6400-2.5/5.3 液压支架及其配套设备可较好地适应大采高综采工作面的要求(沿顶开采,采高 5.1 m).图 3 为工作面推进过程中顶板垂直应力分布特征.

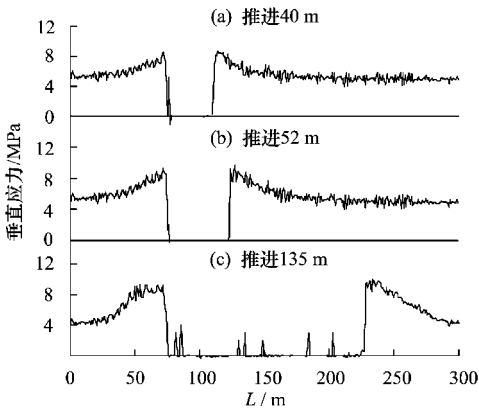


图 3 工作面推进过程中顶板垂直应力分布特征  
Fig.3 Overlying strata caving and roof vertical stress distribution in the course of coalface digging

### 5.2 技术措施

1) 片帮防治  
采用两柱式液压支架可有效防止工作面片帮,同时采取以下防片帮措施:① 液压支架设护帮装置,护帮高度不小于 800 mm,必要时可设置二级护帮板,最大护帮高度可达 2.2 m 以上;② 采煤机上方设 45°挡煤板;③ 在支架后侧设抬高的行人通

道;④ 采煤机采用遥控操作;⑤ 刮板机设侧帮挡板;⑥ 液压支架遥控操作.

#### 2) 支架下扎防治

针对大采高综采面液压支架较重,支架底部受力集中,留底煤时易造成支架下扎的问题,采取以下技术措施:① 加长液压支架底梁;② 在液压支架与刮板输送机之间设调节油缸;③ 在液压支架后上方设有小油缸改善支架受力条件等.

表 6 为工作面支护条件与支架适应条件对照.

表 6 工作面支护条件与支架适应条件对照 Table 6 Comparison between coalface and self-advanced hydraulic supporter condition		
项目	工作面条件	支架适应条件
采高/m	5.1	2.5~5.3
倾角/(°)	5.5°~14°	0~15
煤厚/m	5.19~5.57	2.5~5.3
煤硬度(f)	1.5~2.2	最大 3~4
底板比压/MPa	1.79	1.6~3.0
支护强度/(kN·m <sup>-2</sup> )	402.5	649.6
基本顶级别	Ⅱ	Ⅲ

## 6 工业性试验

根据现场实测,工作面的初次来压步距为 45 m,周期来压步距为 15 m.采场初次来压期间,顶底移近量和顶板压力都有所增加,初次来压期间采场顶板下沉局部放大,顶板略呈现台阶状下沉,但即使在这种情况下,顶板仍能保持稳定,进一步说明只要支架设计选型配套,初次来压时,大采高综采面顶板是可以控制住的,不会产生台阶错动等顶板灾害.在现有的条件下,采场所用支护技术能满足老顶破断对采场的影响.值得说明的是,在工作

面生产过程中未出现突水、瓦斯突出、冒顶事故。

大采高综采面周期来压的强度有所增大, 支架载荷增大, 动载系数增大。大采高工作面的矿压显现表明, 直接顶岩层受损伤后, 由于其残余强度较煤层大得多, 传压性能较好, 使大采高综采工作面的矿压显现更加显著, 实测液压支架的最大工作阻力达 6 400 kN, 最小工作阻力达 5 067 kN, 平均工作阻力为 6 000 kN, 初次来压时工作阻力达 5 067 kN, 周期来压时工作阻力达 6 000 kN, 正常工作期间平均工作阻力为 5 500 kN, 超前影响距离为 20 m 左右, 但设备工作正常无损坏, 工作面未出现端冒、片帮等事故, 两端头支护, 未出现异常情况。

工作面投产后, 13 个月内安全采煤 224 万 t, 最高日产 1.1 万 t, 产生直接经济效益 5 706.6 万元。厚煤层综采工艺及其配套设备的成功应用, 大幅度提高了厚煤层工作面的单产, 简化了生产环节, 减少了施工人员, 同时从技术上也为厚煤层综采创造了安全的生产环境。

7 结 论

1) 分析目前应用于厚煤层开采的几种采煤法的优缺点及适用条件, 确定了厚煤层大采高一次全厚综采的采煤方法; 首次应用模糊综合评价模型和层次分析法对厚煤层大采高综采工作面的煤层地质条件开采工艺性进行了综合评价。

2) 工作面采用双向割煤、端部斜切进刀方式等工艺方式, 不但降低了工人的劳动强度, 而且减少了循环作业时间。

3) 研究了大采高工作面初次来压、周期来压步距及对应矿压显现特点, 为大采高工作面液压支架及其配套设备的设计提供了依据。

4) 实践证明, 在厚煤层中采用大采高综采工艺, 工作面平均日产达 6 300 t, 最高日产 1.1 万 t, 实现了国产厚煤层大采高综采设备在生产实践中安全、高效生产的目标。

参考文献:

[1] 崔广心. 21 世纪前期我国煤炭工业研究的新领域探讨[J]. 采矿与安全工程学报, 2006, 23(2): 133-136.

CUI Guang-xin. New fields of development of china coal industry at early stage of 21st century[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2006, 23(2): 133-136.

[2] 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.

[3] 方焕明, 王金城, 杨中东. 特厚煤层综放开采瓦斯综合防治技术分析[J]. 采矿与安全工程学报, 2006, 23(2): 236-240.

FANG Huan-ming, WANG Jin-cheng, YANG Zhong-dong. Analysis of comprehensive prevention technology of gas burst in top-coal caving mining of extremely thick coal seam[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2006, 23(2): 236-240.

[4] 高峰, 周科平, 胡建华. 采场稳定性的模糊物元评价模型及应用研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2006, 23(2): 164-168.

GAO Feng, ZHOU Ke-ping, HU Jian-hua. Fuzzy matter-element evaluation model for the stability of stope and its application[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2006, 23(2): 164-168.

[5] 余忠林, 涂敏. 大采高工作面沿空掘巷合理位置模拟与应用[J]. 采矿与安全工程学报, 2006, 23(2): 197-200.

YU Zhong-lin, TU Min. Simulation and application of suitable position of gob-side driving entry in large mining height face[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2006, 23(2): 197-200.

[6] 陈晓祥, 谢文兵, 荆升国, 等. 数值模拟研究中采动岩体力学参数的确定[J]. 采矿与安全工程学报, 2006, 23(3): 341-345.

CHEN Xiao-xiang, XIE Wen-bing, JING Sheng-guo, et al. Determination of mechanics parameters of mining induced rock mass for numerical simulation[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2006, 23(3): 341-345.

[7] 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 Fu-xing. Viewpoint of spatial structures of overlying strata and its application in coal mine[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2006, 23(1): 30-33.