# 综放 20 m 特厚煤层合理工艺参数数值试验研究

杨永康,柴肇云,康天合

(太原理工大学采矿工艺研究所, 山西太原 030024)

摘 要:根据酸刺沟煤矿 6-1 号煤层的赋存条件,运用 FLAC<sup>2D</sup>显式有限差分法程序,研究综放开采 20 m 特厚煤层 合理工艺参数。结果表明:5 个开采技术因素与顶煤破坏性 影响显著相关,影响程度主次排序为:支架合力作用点位置  $\rightarrow$ 支架支护阻力 $\rightarrow$ 控顶距 $\rightarrow$ 放煤步距 $\rightarrow$ 采高,确定的合理工 艺参数为:支架阻力 7500 kN/架,控顶距 6.0 m,采高 4.5 m, 放煤步距 0.6 m,支架合力作用点距煤壁 4.2 m。 关键词:特厚煤层;综放开采;FLAC<sup>2D</sup>;开采工艺 中图分类号:TD823.25 文献标识码:A 文章编号:1005-2763(2009)01-0003-04

# Numerical Simulation of Reasonable Technologic Parameters for the Fully – Mechanized Top – Coal Caving of a 20 m Thick Coal Seam

Yang Yongkang, Chai Zhaoyun, Kang Tianhe (Institute of Mining Technology, Taiyuan University of Technology, Taiyuan, Shanxi 030024, China)

Abstract: Based on the occurrence condition of No. 6 - 1 coal seam in Suancigou colliery, the reasonable technologic parameters for the fully – mechanized top – coal caving of the 20 m thick coal seam is studied by use of the program FLAC<sup>2D</sup> of explicit finite difference method. Some conclusions were drawn as follows: there are significant relationships between the five factors in mining technology and the devastating effect of top coal, according to the magnitude of influence degree on the stability of top coal, the position of effect point of support's composite force ranks first, followed by support's working resistance, face width, coal caving distance and mining height, the reasonable mining technologic parameters of coal caving are: 7500 kN support's working resistance, 6.0 m face width, 4.5 m mining height, 0.6 m coal caving distance, and 4.2 m distance from the position of effect point of support's composite force to the coal wall.

Key Words: Extra - thick coal seam, fully mechanized top - coal caving, FLAC<sup>2D</sup>, Mining technology

从提高顶煤冒放性角度来考虑,影响综放开采的主要技术因素有工作面控顶距、采放比(底层采

高和放顶煤高度比)、放煤步距、支架工作载荷和支架合力作用点位置等<sup>[1-3]</sup>。合理选择这些参数,将 会实现顶煤冒放性达到最佳的控制目的。由于开采 技术参数只有与煤层赋存条件相适应,才能取得好 的技术经济效果,因此煤层赋存的地质条件处于主 导地位,开采技术参数的选择处于从属地位。本文 在酸刺沟煤矿 6-1号煤层地质条件的基础上,进行 了该煤层综放开采工艺参数优化的 FLAC<sup>2D</sup>数值试 验研究,研究各工艺参数及匹配与工作面顶煤破坏 效果的相关性,从而确定各工艺参数对放顶煤效果 的影响规律及其最佳组合,提出酸刺沟矿 6-1号煤 层高产高效综放开采的合理工艺。

# 1 煤层条件

6-1 号煤层的开采深度为最小 145 m,最大 365 m,平均 245 m。煤厚为最小 5.5 m,最大 33 m,平均 20 m。煤的单轴抗压强度为上部煤 17.36 MPa,中部 煤 20.49 MPa,下部煤 8.56 MPa,平均 16 MPa,属于中 硬煤层。煤的夹矸为 2~29 层,夹矸总厚度 2.88 m, 最大夹矸层厚度 0.7 m,平均 0.1 m,属于结构复杂煤 层。夹矸的抗拉强度  $R_t = 2.55$  MPa,单轴抗压强度  $R_c = 21.29$  MPa。煤体裂隙分布的分形维数 D = 1.65,1 m<sup>2</sup> 煤表面上的贯通裂隙条数  $N_{1m} = 7.1$ 条, 裂隙分布指标  $D_{N_{1m}} = 11.7$ ,属裂隙较发育煤层<sup>[4]</sup>。煤的顶板多为泥质胶结的泥岩、砂质泥岩、粗砂岩和 砾岩,强度较低,遇水极易软化。

2 试验方案与结果分析

正交试验设计法是研究与处理多因素试验的常 用试验设计法,它能够通过少量的试验次数,找到较 好的实验结果,同时还能方便地对实验结果进行进

收稿日期:2008-02-28

基金项目:山西高校科技研究开发项目(20061107);太原理工大学校科技发展基金项目(12901203).

作者简介:杨永康(1981-),男,山西运城人,在读博士,从事采矿工程及其数值计算方面的研究工作,Email:yongkang8396@163.com。

一步的分析[5,6]。

## 2.1 试验方案

根据国内外放顶煤开采理论与技术的发展现 状,结合酸刺沟矿 6-1 号煤层的赋存条件,选择本 次试验的工艺参数有:底层采高、工作面控顶距、支 架工作载荷、放煤步距和支架合力作用点位置等 5 个因素,对每个因素确定 4 个试验水平(见表 1),组 成 16 个正交试验方案(见表 2)。

水平	因素							
	采高 M (m)	控顶距 L(m)	支架阻力 P (KN・架 <sup>-1</sup> )	放煤步距 S(m)	合力作用点至煤 壁距离 X(m)			
1	3.5	5.4	6500	0.6	3			
2	4	6	7500	0.8	3.6			
3	4.5	6.6	8500	1.2	4.2			
4	5	7	9000	1.6	4.8			

表2 试验方案

表1 试验因素与水平

方案	组合水平								
序号	M(m) = L(m)		P(kN・架 <sup>-1</sup> )	S(m)	<i>X</i> (m)				
1	3.5	5.4	6500	0.6	3				
2	3.5	6	7500	0.8	3.6				
3	3.5	5.2	8500	1.2	4.2				
4	3.5	6	9000	1.6	4.8				
5	4	5.4	7500	1.2	4.8				
6	4	6	6500	1.6	4.2				
7	4	5.2	9000	0.6	3.6				
8	4	6	8500	0.8	3				
9	4.5	5.4	8500	1.6	3.6				
10	4.5	6	9000	1.2	3				
11	4.5	5.2	6500	0.8	4.8				
12	4.5	6	7500	0.6	4.2				
13	5	5.4	9000	0.8	4.2				
14	5	6	8500	0.6	4.8				
15	5	5.2	7500	1.6	3				
16	5	6	6500	1.2	3.6				

## 2.2 试验模型

运用 FLAC<sup>2D</sup> 显式有限差分法程序,选用库仑 – 摩尔模型。根据地质条件,取模型的相关尺寸为:顶 煤垮落角 71.24°;模型长度 100 m,即模型两端煤柱 尺寸各 20 m,采空区 30 m,工作面前方实体煤 20 m,工作面控顶区及顶煤顶板悬伸区 30 m;模型高度 95 m,即底板厚度 30 m,煤层厚度 20 m,直接顶粗砂 岩 5 m,基本顶中砂岩 15 m,泥岩 5 m,粗砂岩 6 m, 泥岩 14 m。其余上覆岩层重量按均布载荷加在模 型的上部边界<sup>[7,8]</sup>。

## 2.3 评价指标

数值计算的结果是以单元应力、单元应变、结点

位移等形式给出,如果对每个单元进行正交分析,不 仅计算工作量大,而且计算结果也是一些离散的点, 用这些点分析不同因素对顶煤冒放性的影响是困难 的,因此需要找出一个综合量来反映该方案的计算 结果,将数值计算结果与顶煤破坏程度通过综合量 直接联系起来。

在工作面推进过程中,顶煤逐步进入塑性状态, 其承载能力也逐步降低。考虑顶煤单元破坏程度越高,其承载能力越低,单元应力也越小这一事实,定 义原岩垂直应力和计算所得支架控顶区域单元垂直 应力的比值为顶煤单元破坏系数 Z<sub>i</sub>,即:

$$Z_i = \sigma_H / \sigma_i \tag{1}$$

式中, $\sigma_H$  为原岩垂直应力; $\sigma_i$  为顶煤单元计算应力;i 为单元编号。

由于单元面积的大小不等,故不能将单元破坏 系数简单相加,而采用下式处理:

$$Y_i = \sum_{i=1}^n Z_i A_i / \sum_{i=1}^n A_i$$
 (2)

式中, $Z_i$ 为顶煤单元的破坏系数; $A_i$ 为单元面积; $Y_i$ 为各方案顶煤破坏综合指标。

2.4 试验结果及其分析

#### 2.4.1 试验结果

图1示出了计算方案1工作面推进到60m时 的顶煤塑性单元分布。表3为依据式(2)计算出的 16个方案顶煤破坏综合指标 Y<sub>i</sub>值。



图1 方案1顶煤塑性单元分布

表3 各方案顶煤破坏综合指标计算结果

方案	Y <sub>i</sub>						
1	1.513	5	3.407	9	1.824	13	3.82
2	1.279	6	3.913	10	3.039	14	3.382
3	1.026	7	2.064	11	3.139	15	2.825
4	6.7	8	2.149	12	4.256	16	2.012

2.4.2 各因素对顶煤破坏综合指标 Y 的影响规律 为了分析各因素对顶煤破坏综合指标 Y<sub>i</sub> 的影响程度,对表3 所示的16 个方案的 Y<sub>i</sub> 值按各因素的 不同水平进行分组,求出各组综合指标  $Y_i$  的平均值 Y(见表4)。

表4 各因素不同水平顶煤破坏综合指标平均值

水平	因素								
	<i>M</i> (m)	<i>L</i> (m)	P(kN・架 <sup>-1</sup> )	S(m)	X(m)				
Ι	2.629	2.641	2.644	2.804	2.382				
П	2.883	2.903	2.942	2.597	1.795				
Ш	3.064	2.264	2.095	2.371	3.254				
IV	3.010	3.779	3.906	3.815	4.157				

按各因素作一元回归分析,得出各因素对顶煤 破坏指标的影响规律(见图 2)。



图 2 顶煤破坏综合指标与不同工艺参数的关系曲线

由图 2 可以看出,随着底层采高 M 的增大,顶 煤破坏综合指标 Y 值缓慢上升,但当采高为 4.5 m 时,Y 取得最大值 3.064;随控顶距 L 的增大,Y 值总 体趋于增大,考虑现行支架参数和放顶煤工作面多 因素的条件,将控顶距取为 6.0 m 较为合适;随着支. 架阻力的增加,Y 值呈跳跃性变化,但当支架阻力为 7500 kN/架时,Y 值较大;随着放煤步距的增大,Y 值先降后升,在 0.6 m 和 1.6 m 时,顶煤破坏较好, 但为防止特厚煤层支架后方大量垮落的顶煤堆积, 在放煤时形成结构,以及设备与工艺条件,取0.6 m 较为合理;支架合力作用点位置对 Y 值的影响规律 是先降后升,综合考虑取4.2 m 较为合理。

2.4.3 合理工艺参数的确定

根据各因素对顶煤破坏综合指标 Y 的影响规 律和综采放顶煤开采技术的发展现状,确定酸刺沟 矿 6<sup>#</sup>煤层综放开采的合理工艺参数为:底层采高 4.5 m,控顶距 6.0 m,支架工作阻力 7500 kN/架,放 煤步距 0.6 m,支架合力作用点距煤壁 4.2 m。 2.4.4 各因素对顶煤破坏指标影响的主次排序

用表4中各因素在不同水平下的顶煤破坏综合 指标 Y 的最大值减去最小值,可以得出各因素对 Y 值影响的极差,其结果为:采高 0.44,控顶距 1.52, 支架阻力 1.81,放煤步距 1.44,合力作用点位置 2.36。

根据各因素极差大小,得出一次采全厚条件下 不同因素对顶煤破坏综合指标 Y 影响程度的主次 排序为:支架合力作用点位置 > 支架支护阻力 > 控 顶距 > 放煤步距 > 采高。

# 3 结 论

通过对控顶区内顶煤破坏综合指标有显著影响 的5个主要开采技术因素:控顶距、采放比(底层采 高)、放煤步距、支架阻力和支架合力作用点位置等 的正交数值试验研究,可以得出以下几点主要结论:

(1)综放开采 20 m 特厚煤层时,5 种开采技术 因素对顶煤破坏综合指标影响程度的主次排序为: 支架合力作用点位置→支架支护阻力→控顶距→放 煤步距→采高;

(2)合理的开采工艺参数为:支架阻力 7500
 kN/架,控顶距 6.0 m,采高 4.5 m,放煤步距 0.6 m,
 液压支架合力作用点距煤壁 4.2 m;

(3)通过多元回归分析,得出5个开采技术因 素对顶煤破坏综合指标影响的相关关系为:

Y = 0.26455M + 0.462375L + 0.000262P +

0.920742S + 1.130958X - 8.57838

该式的复相关系数为 0.686, F = 14.11 > F<sub>0.05</sub> = 5.86, 显著相关。

参考文献:

- [1] 王金华. 我国大采高综采技术与装备的现状及发展趋势[J].煤炭科学技术,2006,34(1):4~7.
- [2] 靳钟铭. 放顶煤开采理论与技术[M]. 北京:煤炭工业出版社, 2001.

- [3] 王金华. 我国大采高综采技术与装备的现状及发展趋势[J]. 煤炭科学技术,2006,(1):4~7.
- [4] 康天合,赵阳升,靳钟铭.煤体裂隙尺度分布的分形研究[J]. 煤炭学报,1995,20(4):393~398.
- [5] 赵选民,徐 伟,师义民.数理统计[M].北京:科学出版社, 2002.

## (上接第2页)

斯富集区)表现出了明显的"低频能量增强、高频能量衰减"现象。



图 2 模型合成叠加记录



3 结 论

通过以上模拟分析,可总结出瓦斯富集区的反 射波有以下几个特点:

(1) 地震波在穿过双相介质后各个频率成分的

- [6] 王益萍,周荣超.基于正交试验的边坡稳定性参数敏感性分析 [J].盐城工学院学报,2007,20(4).
- [7] 赵洪亮,袁 永,张 琳.大倾角松软煤层综放面矿压规律及 控制[J].采矿与安全工程学报,2007,24(3).
- [8] 梁兴旺,王连国,何兴华.沿空掘巷窄煤柱合理宽度的确定
  [J].矿业研究与开发,2007,27(2):29~31.

#### 能量会重新分配;

(2)利用三角滤波器可任意提取所需频率成分的信息,说明这种能量的重新分配是可以采用本文的最大能量扫描方法检测出来的;

(3) 瓦斯富集区的形态特征表现为反射将同相 轴下凹,时间延迟(如图 2,200 ~ 300 道之间的反射 波特性),反射波的连续性比较好;频率特性在高瓦 斯区反射波的频率较低;能量特性为瓦斯富集区的 能量明显增强,表现为低频能量增强,高频能量衰减 特性。

#### 参考文献:

- [1] 张志呈,胡 健,等.爆破地震波在地层介质中产生的能量集 中效应[J].矿业研究与开发,2004,24(5):71~72.
- [2] Li Gang, Ning Shunian. A Method for Forecast of Coalbed Methane Enrichment [C]. 北京:第 23 届国际有机岩石学年会, 2006.
- [3] 杨双安,宁书年,张会星.基于双相介质理论的煤层甲烷预测 技术[J].煤炭学报,2005,30(S):66~68.
- [4] 张会星,何兵寿,宁书年.双相介质中纵波方程的高阶有限差 分法[J].物探与化探,2004,28(4):307~309.
- [5] 轩义华,何樵登,孟庆生,等.双相各向异性介质中的拟慢纵 波研究[J].石油天然气学报,2006,28(4):58~60.
- [6] 王德利,何樵登.双相各向异性介质中孔隙度和渗透率反演
  [C].长春:中国地球物理学会第21届年会,2005:554~
  554.
- [7] 轩义华,何樵登,林 炎,等.双相各向异性介质的波场研究
  [C].成都:中国地球物理学会第22届年会,2006:569~
  569.
- [8] 张会星,何兵寿,梁秀文.双相介质中地震波动方程正演模拟
  [C].北京: CPS/SEG2004 国际地球物理会议,2004:174~
  176.
- [9] 韩 华,章梓茂,魏培君. 二维双相介质多参数反演的同伦法 [J]. 岩石力学与工程学报,2004,23(18):3144~3145.
- [10] 田迎春. 层状黏弹性双相介质的动力响应与物性参数反演研 究[D]. 北京:北京交通大学,2007.