

文章编号:0253-9993(2009)04-0478-04

急斜厚煤层分层与分段放顶煤岩层移动对比

程文东¹, 谢俊文², 王更雨³, 解盘石¹

(1. 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; 2. 甘肃省煤炭工业局, 甘肃 兰州 730000; 3. 甘肃窑街煤电集团有限公司, 甘肃 窑街 730084)

摘要: 运用相似材料模拟和数值计算的方法, 对水平分段和倾斜分层放顶煤开采引起的围岩移动特征进行了比较. 倾斜分层开采引起的地表下沉盆地倾向主断面水平宽度大, 而垂直移动和水平移动量小, 水平分段开采则相反; 倾斜分层开采时, 上覆岩层先弯曲离层, 再断裂垮落, 易形成铰接结构; 水平分段开采时, 上覆煤岩易发生巨型块滑动式垮落; 倾斜分层开采时, 采空区垮落带高度小, 水平分段开采时垮落带高度大. 倾斜分层开采可以减轻围岩垮落和地表移动的程度.

关键词: 急倾斜煤层; 倾斜分层; 水平分段; 放顶煤; 岩层移动

中图分类号: TD823 文献标识码: A

Comparison of strata movement between section and slicing of top coal mining in steep and thick seams

CHENG Wen-dong¹, XIE Jun-wen², WANG Geng-yu³, XIE Pan-shi¹

(1. School of Energy Engineering, Key Laboratory of Western Mine Exploitation and Hazard Prevention with Ministry of Education, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China; 2. Gansu Provincial Coal Industry Bureau, Lanzhou 730000, China; 3. Yaojie Coal Electricity Group Co. Ltd., Yaojie 730084, China)

Abstract: During characterization, a materials similarity test and numerical simulation method were used. The rock movement between the horizontal section of the top coal caving and inclined slicing of the top coal caving was analyzed. According to the analysis, the horizontal scale of the main section in the subsidence basin, which was induced by inclined slicing, is larger, and small displacement in the vertical and horizontal direction occurred, and vice versa to the horizontal section mining. When using the inclined slicing method, the overlying strata first bent, then the roof layer separated and collapsed, and strata structure formed easily. However, a huge block of the overlying strata frequently collapsed when using the horizontal sectioning method. The height of caving zone in mined area, which is induced by the inclined slicing top coal caving, is less than using the horizontal section top coal caving, and the surrounding rock collapse and surface subsidence are reduced.

Key words: steep coal seam; incline slicing; horizontal section; top coal mining; strata movement

开采急斜煤层时, 矿山压力显现的某些规律与缓斜和倾斜煤层是相同的^[1]. 然而, 急斜煤层倾角大, 岩石重力在岩层倾斜线上的分力大于法线上的分力; 同时, 因岩石的各向异性力学性质, 使围岩移动和垮落形态产生了与开采缓斜煤层时不同的一系列特点^[1-2]. 对于急倾斜特厚煤层, 在目前的综采技术条件

收稿日期: 2008-06-05 责任编辑: 柴海涛

基金项目: 教育部新世纪优秀人才支持计划资助项目 (CET-04-0972)

作者简介: 程文东 (1958—), 男, 河南巩义人, 副教授, 博士研究生. Tel: 029-85583141, E-mail: xkdewd@sina.com

下,可有2种选择:①水平分段综放开采^[2-4];②走向长壁综放开采(一次采全厚或倾斜分层)^[5].窑街三矿为了优化采煤方法,对2种方法各自所引起的岩层与地表移动进行了比较.5521区段标高1450~1500 m,垂高50 m,地面标高为1858~1955 m.煤层倾角45~60°,煤层平均厚度50 m,硬度系数 $f=2.5\sim 3.0$,密度 1400 kg/m^3 .伪顶为泥岩,厚度1 m左右, $f=2$;直接顶为细沙岩,厚度2~3 m, $f=6$;基本顶为油页岩和铝质泥岩等.

1 实验模型设计

为了使不同采煤方法所引起的岩层垮落特征有可比性,模型设计遵循以下原则:模型参数相同,开采范围相同.

(1)模型原始参数.煤层厚度取50 m,煤层倾角取45°,阶段高度50 m.当采用倾斜分层放顶煤开采时,分4层开采,分层厚度均为12.5 m,采高2.5 m,放煤高度10 m;当工作面按水平分段方式布置时,亦分4层开采,分层垂高均为12.5 m,采高2.5 m,放煤高度10 m.煤岩体力学参数见表1.

表1 煤岩体力学参数

Table 1 The mechanical parameters of rock and coal

序号	岩石名称	密度/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	弹性模量/MPa	泊松比	抗拉强度/MPa	黏结力/MPa	内摩擦角/(°)
1	粉砂岩	2400	3240.0	0.18	0.900	1.725	41
2	粉油互层	2350	4269.0	0.19	1.000	1.250	36
3	油页岩	2100	3400.0	0.26	1.000	1.900	33
4	黏土岩	2500	4810.0	0.23	0.850	2.825	37
5	细砂岩	2617	4034.0	0.24	0.226	2.610	42
6	含砾砂岩	2450	5427.5	0.16	1.200	1.750	40
7	煤层	1328	1443.0	0.17	3.750	2.850	29
8	中砂岩	2400	6634.0	0.15	0.500	2.375	39
9	粗砂岩	2200	3167.0	0.18	1.200	1.750	40
10	黄土	1800	10.0	0.30	0.002	0.300	15

(2)相似材料模型参数.选取几何相似常数为100,密度相似常数为1.6,根据相似理论确定应力及强度相似常数为160.选用2 m支架铺装平面倾斜模型,模型按线比从下向上铺装1.4 m,其余上覆岩土质量,用配重的方式模拟.

(3)数值计算模型参数.以煤层倾向剖面为基础建立FLAC计算模型(图1).模型长2000 m、高700 m,共划分13140个单元,工作面附近区域的网格根据岩层分布规则,平均尺寸为 $2.50\text{ m}\times 4.12\text{ m}$.模型左右两侧边界限制水平移动,底部边界限制垂直移动,自然地表为自由边界.设定采出率为80%,岩石碎胀系数取1.3.

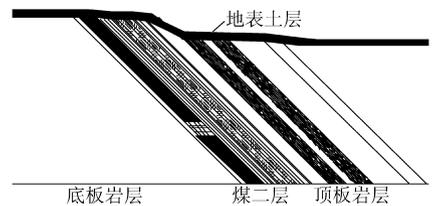


图1 数值计算模型

Fig.1 Numerical simulation model

2 材料模拟实验对比分析

(1)2种采煤方法对煤层破坏的程度不同.水平分段的分层面与煤体的层理面斜交,对煤体破坏的程度大.当开采下一个分层,工作面推过后,重力使顶煤在弱面处产生滑动,顶煤极易发生垮落.倾斜分层放顶煤开采,倾斜分层面与煤体层理面平行,对煤层破坏程度小,煤层不易发生断裂,不易随采随冒.

(2)2种方法引发煤岩体垮落的形态不同.水平分段工作面呈水平布置,采空区沿煤层倾向线的水平宽度大于其他方向的宽度.当开采第1分段时,靠近顶板一侧的煤岩体垮落较多,而底板一侧的煤岩体垮

落较少, 垮落形态在倾向剖面上表现为一个不等边三角形(图 2)。而煤层法线方向的岩石顶板, 在第 2 分段开采后, 悬露面积较大时才发生垮落。倾斜分层开采时, 采空区沿倾斜线的宽度大于其他方向的宽度, 开采第 1 分层时, 工作面上方的顶煤先发生垮落, 之后发展为顶板垮落。

(3) 2 种方法引发上覆煤岩垮落的特征不同。水平分段开采时, 由于煤层倾角大及层理弱面的影响, 垮落往往是巨大的煤岩块滑落, 碎胀率小, 沿弱面的下滑式垮落极容易向煤体的倾向上部发展。倾斜分层开采时, 工作面法线方向的煤岩层先发生弯曲、离层, 再逐层发生断裂、垮落, 垮落后煤岩的碎胀率较大。垮落的煤岩块沿斜面向下滑滚, 采空区形成下满上空的特点(图 3), 对下部欲垮落的顶板形成支撑, 抑制了垮落, 也缩短了采空区顶板在倾斜方向的悬空跨度。另外, 由于煤岩层倾角较大, 岩块重力沿工作面切向的分力大, 断裂的岩块很容易在倾斜方向上形成抑制上覆岩层垮落的铰接结构。

(4) 2 种方法引发上覆煤岩垮落的范围不同。

水平分段开采时上覆煤岩垮落的高度大, 倾斜分层的垮落高度小。分析认为, 2 种采煤方法的回采巷道及工作面布置形式不同, 造成采空区初始形态及发展在时间和空间上不同, 上覆煤岩垮落方式不同, 以及围岩平衡结构的初始形态和变化过程不同。水平分段开采时平衡结构的水平跨度大, 煤岩下滑垮落, 碎胀率较小, 对采空区的充填率低, 最大下沉角大, 垮落高度大。倾斜分层开采时煤岩层先离层弯曲, 再断裂垮落, 煤岩的碎胀率大, 对采空区的充填率高, 破断岩块容易形成铰接平稳结构, 最大下沉角小, 垮落高度小。

3 数值计算对比分析

(1) 应力场对比。开采第 1 分段时, 垂直应力释放主要集中在工作面法线上方煤层中偏顶板一侧, 并沿着垂直方向向上延伸, 在工作面顶部形成三角形状; 随着分段开采的延深及工作面垂直方向空间的增大, 垂直应力释放在工作面法线方向上的范围继续增大(图 4(a)); 而在工作面两端的回采巷道外侧也各有一个高应力区, 最大应力值为 26 MPa, 随着开采的向下延深, 靠顶板一侧的高应力区也同步向下移动; 剪应力集中区域分别位于工作面运输平巷上部和回风平巷下部的煤体内, 随着下一分段的开采, 该区域范围逐渐增大, 但应力值(5 MPa)变化不大。倾斜分层开采时, 垂直应力释放主要集中在工作面上部的顶板岩石中, 随着下分层的开采, 应力释放区不断扩大, 并主要向下分层一侧发展; 而在工作面 2 个回采巷道的外侧, 也各有一个高应力区, 随着下分层的开采, 回风巷外侧的高应力区, 也不断向底板一侧扩展, 开采到第 4 分层时, 应力值增大至 24 MPa; 剪应力集中区域处于工作面运输平巷下部和回风平巷上部(图 4(b)), 随着分层的向下开采, 该区域范围逐渐增大, 应力最大值由 3 MPa 增大到 5 MPa(第 4 分层)。

(2) 岩层位移特征对比。开采第 1 分段时, 煤岩的最大位移(0.45 m)出现在工作面中部偏顶板一侧区域的煤层中, 与垂直应力图中的等值线形态相似, 其位移轮廓沿着于工作面的法线方向, 向地表延伸。随着开采的延深, 顶板位移逐渐增大, 开采第 4 分段时位移值达到 1.56 m, 垮落形态也基本呈三角

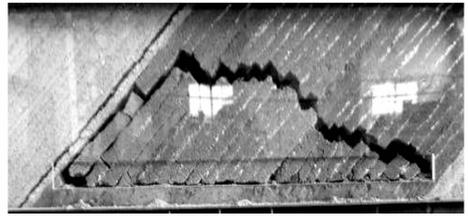


图 2 第 1 水平分段采后顶煤垮落特征

Fig. 2 Collapse characteristics of roof coal after the first horizontal section caving

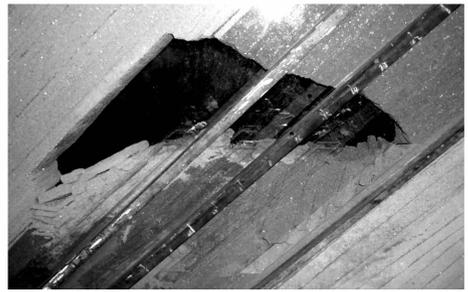


图 3 第 4 倾斜分层开采后煤岩垮落特征

Fig. 3 Collapse characteristics of coal and rock after caving in the forth inclined slicing layer

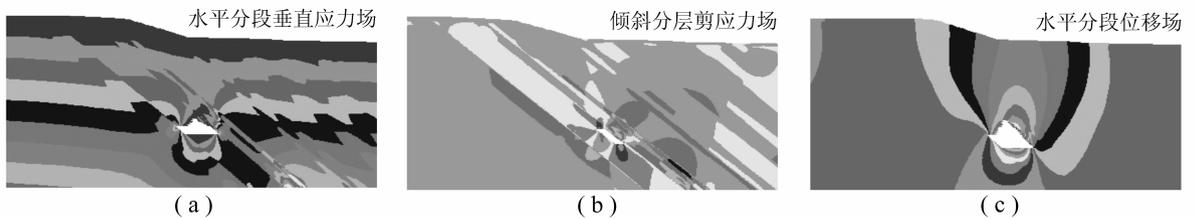


图4 倾斜剖面的力学演化特征

Fig. 4 Mechanical evolution character at gradient plane

形(图4(c)). 倾斜分层开采的位移特征: 开采顶分层时, 煤岩的最大位移处于工作面倾斜中上部区域(靠回风平巷一侧), 最大位移为0.4 m. 在开采第2~4分层的过程中, 顶板岩层的位移量不断增大, 第4分层开采结束时位移值达到0.6 m.

(3) 地表下沉盆地特征对比. 第4分段开采结束, 地表下沉盆地倾向主断面上的最大下沉角比倾斜分层开采的最大下沉角大; 分段开采的地表下沉值为0.5 m左右, 水平位移达到0.27 m; 倾向主断面上、下山边界角为 55° , 底板边界角为 59° , 下山移动角为 63° , 底板移动角为 69° . 倾斜分层开采时, 地表下沉最大值为0.2 m左右, 水平位移达到0.12 m; 在倾向主断面上、下山边界角为 54° , 底板边界角为 56° . 下山移动角为 62° , 底板移动角为 67° .

4 结 论

水平分段放顶煤开采所引起的下沉盆地倾向主断面的最大水平宽度小, 引起的垂直移动和水平移动值大. 倾斜分层放顶煤开采, 采空区上覆岩层先弯曲离层, 再断裂垮落; 水平分段开采, 上覆煤岩则易出现巨型块滑动式垮落. 水平分段放顶煤开采的采空区上覆煤岩层垮落带高度大; 倾斜分层开采造成的垮落带高度小. 与水平分段开采相比, 倾斜分层开采可以减轻围岩垮落和地表移动强度.

参考文献:

- [1] 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. Ground pressure and strata control [M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 2003.
- [2] 戴华阳, 易四海, 鞠文君, 等. 急倾斜煤层水平分层综放开采岩层移动规律 [J]. 北京科技大学学报, 2006, 28(5): 409-412.
Dai Huayang, Yi Sihai, Ju Wenjun, et al. Law of strata and surface movement due to horizontally-sliced mechanized top-caving mining at steep-inclined super-thick coal seam [J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2006, 28(5): 409-412.
- [3] 鞠文君, 李前, 魏东, 等. 急倾斜特厚煤层水平分层开采矿压特征 [J]. 煤炭学报, 2006, 31(5): 558-561.
Ju Wenjun, Li Qian, Wei Dong, et al. Pressure character in caving steep-inclined and extremely thick coal seam with horizontally grouped top-coal drawing mining method [J]. Journal of China Coal Society, 2006, 31(5): 558-561.
- [4] 石平五, 高召宁. 急斜特厚煤层开采围岩与覆盖层破坏规律 [J]. 煤炭学报, 2003, 28(1): 13-16.
Shi Pingwu, Gao Zhaoning. The failure laws of surrounding rocks and over lying bed in the steep special thickness seam mining [J]. Journal of China Coal Society, 2003, 28(1): 13-16.
- [5] 谢俊文, 高小明, 上官科锋. 急倾斜厚煤层走向长壁综放开采技术 [J]. 煤炭学报, 2005, 30(5): 545-549.
Xie Junwen, Gao Xiaoming, Shangguan Kefeng. Long-wall mechanized top-caving techniques along strike in steep-inclined thick coal seam [J]. Journal of China Coal Society, 2005, 30(5): 545-549.