

# 急倾斜特厚煤层采场围岩运动相似材料模拟

曹磊<sup>1</sup>, 李基<sup>1</sup>, 姬玉成<sup>2</sup>, 黄建功<sup>1</sup>

(1. 四川师范大学 工学院, 四川 成都 610101; 2. 北京科技大学, 土木与环境工程学院, 北京 100083)

**摘要:**急倾斜煤层赋存条件复杂, 开采难度大. 以实际工程为背景, 通过相似材料模拟实验对浅埋急倾斜特厚煤层水平开采进行研究, 分析了沿煤层倾向剖面采场围岩的运动变化规律和支承压力分布特点. 水平分层放顶煤开采过程中上覆岩层出现循环破坏的空洞, 其顶板岩层内的位移及其破坏位于偏上山方向区域, 顶板岩层的影响范围可扩大至煤层法线上方90 m以外区域; 采场应力集中区域主要分布于顶板岩层内. 研究结论可为同类矿井的开采设计与安全生产提供理论依据.

**关键词:**急倾斜特厚煤层; 水平分层; 相似材料模拟; 围岩运动

**中图分类号:**TD823.254 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-9102(2015)01-0034-04

## Similar material simulation study of shallow buried steeply inclined thick coal seam stope surrounding – rock movement

CAO Lei<sup>1</sup>, LI Ji<sup>1</sup>, JI Yucheng<sup>2</sup>, HUANG Jianguo<sup>1</sup>

(1. School of Engineering, Sichuan Normal University, Chengdu 610101, China;

2. School of Civil and Environmental Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Steeply inclined seam is difficult to mine for its complex occurrence. Based on actual project, this paper analyzes the motion law of surrounding – rock movement along the inclined seam dip section and distribution of abutment pressure, according to similar material simulation experiment. Results show that cycling loop hole appears in overlying strata during level mining progress of shallow deeply seam; destruction and displacement of rock roof are located entirely in seam normal inclined to raising advance, and its impact on roof strata can expand to 90m and outside inclined to seam normal; stress of slope is mainly distributed in roof rock, especially the bottom area. The research can provide a theoretical basis for the mining design and safe production.

**Key words:** steep thick seam; horizontal slice; Similar material simulation; surrounding – rock movement

我国急倾斜煤层地域分布广泛<sup>[1,2]</sup>. 在四川省及西南地区, 急倾斜煤层已成为许多矿区的主采煤层<sup>[3,4]</sup>. 急倾斜煤层通常经历了较强烈的或多次地质构造活动<sup>[5]</sup>. 急倾斜煤层赋存地质条件复杂, 开采难度大. 急倾斜特厚煤层开采难度更大. 世界上对于急倾斜特厚煤层不同的煤炭赋存条件, 多采用斜切分层开采、水平分层开采等开采方法<sup>[6,7]</sup>. 国内外研究工作者针对不同采煤方法的围岩运动进行了相应研究, 取得了一定研究成果<sup>[8-14]</sup>. 目前, 急倾斜特厚煤层开采过程中采场覆岩移动规律尚未完全掌握, 安全生产问题突出<sup>[15,16]</sup>.

本文以急倾斜特厚煤层为研究对象, 在水平分层放顶煤开采条件下, 采用相似材料模拟实验的研究方法, 观测上覆岩层的破碎、垮落、移动等情况, 针对沿煤层倾向剖面采场围岩的运动变化规律和支承压力分布特点进行研究. 研究结果可为相似地质条件下急倾斜煤层的开采设计和安全高效开采提供理论参考和借鉴.

收稿日期: 2014-11-19

通信作者: 黄建功(1955-), 男, 重庆人, 教授, 研究方向: 矿山安全技术. E-mail: hjgctgc@126.com

## 1 试验研究矿井情况

以益门煤矿为研究对象,该矿井为低瓦斯矿井,井田地质构造类型为Ⅲ类Ⅲ型,构造极为复杂,主采煤层倾角在 $40^{\circ} \sim 56^{\circ}$ 之间,平均倾角 $45^{\circ}$ ,煤层厚度在 $20 \sim 60$  m之间,平均煤厚 $40$  m,属于急倾斜特厚煤层;煤层的坚固系数 $f$ 仅 $0.6$ ,属于极松软煤层.采用水平分层放顶煤开采,悬移支架支护.其采场空间及各部分相对位置如图1.

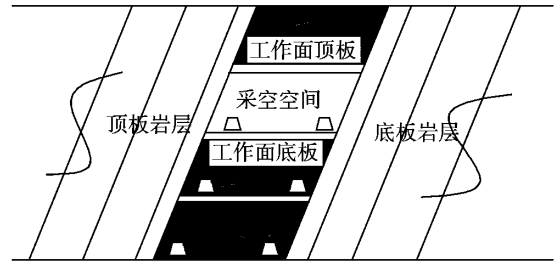


图1 工作面与围岩相对位置图

## 2 相似材料模拟实验

### 2.1 研究参数的确定

相似材料模型以益门煤矿北六工作面相关参数为依据:煤层平均厚度 $40$  m,采用水平分层开采,每个水平分层高度 $8$  m,其中采面采高 $2.2$  m,放顶煤高度 $5.8$  m.采面平均走向长度 $100$  m,工作面平均长度 $56$  m,平均倾角 $45^{\circ}$ .工作面距地表平均埋深 $250$  m.

考虑实验目的、煤层实际尺寸、实验台尺寸及煤层开采所能影响的范围等因素,确定几何相似比为 $\alpha_L = 200:1$ .

根据相似三定理及各参数相互关系,可知其他相似参数为

容重相似比 $\alpha_\gamma = 1.667$ ;应力比与煤岩层的弹性模量相似比 $\alpha_\sigma = 333.3$ ;泊松相似比为 $\alpha_\mu = 1$ ;时间相似比 $\alpha_t = 14.14$ .

### 2.2 采用夹层铺模法建立相似材料模型

模拟采用CM250/18平面应力实验台,长度 $2.5$  m,高度 $1.8$  m,宽度 $0.13$  m.实验中,以沙子为骨料,以腻子粉和石膏为辅料,以云母片模拟岩层结构面.其中,辅料中腻子粉提高相似材料的胶结性,石膏增强相似材料的强度.根据原型的实际参数和对应物理量的相似比,确定模型的力学强度参数.将沙子、石膏、腻子粉和水等材料按照一定比例混合均匀得到相似材料.

在此基础上,采用夹层铺模法在CM250/18平面应力实验台上由下向上逐层铺排,利用颜料区分不同分层,建立急倾斜特厚煤层的相似材料模型.

### 2.3 测点布置及数据采集与处理方法

#### 2.3.1 应力测点布置方式及数据处理方法

本次实验相似材料模型开采过程中,共布设 $44$ 个箱式微型压力盒(压力传感器)测量采场围岩应力,连接DH3815N静态应力应变测试系统进行数据采集.

根据围岩应力变化范围的预测来确定应力测点位置和方式,即箱式微型压力盒(传感器)的安设位置和方式如图2所示,测点沿着水平方向、平行于煤岩层倾向方向交叉布设.考虑实验需要,重点研究上覆岩层运动规律,相对底板岩层,顶板岩层内布置的测点密度较大,数量较多.图2中阴影区域虚线部分代表煤体的水平分层.

#### 2.3.2 位移测点布置方式及数据处理方法

本次实验采用位移固定标记点测量位移变化,利用数码相机实时动态照相记录进行位移变化的测量.模拟开采过程中,通过数码相机照相记录位移控制点的位移变换.

实验后期数据处理时,将实时图片导入CAD中,参考长度标尺和底部水平图形调整图片比例至实际尺寸,

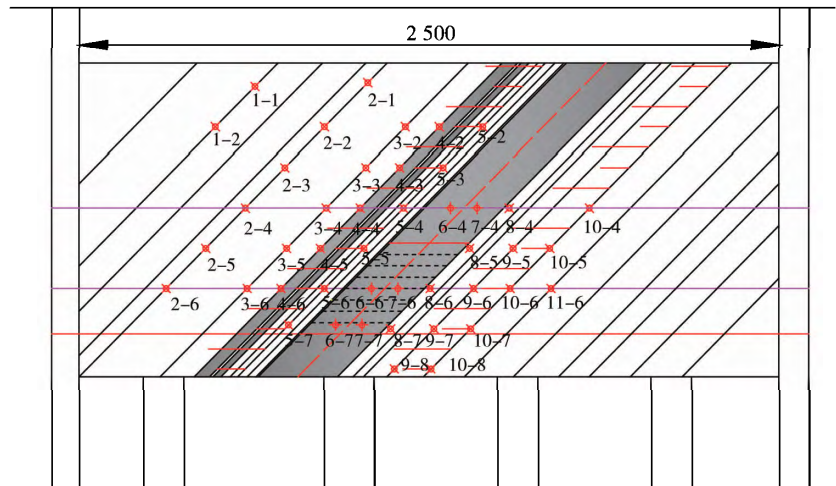


图2 应力测点布置及编号

在CAD软件中直接标点,测量并获得位移变化值。

根据实验目的及观测需要,相似材料模型共设位移测点 $10 \times 34$ 个,水平观测线自上至下为第1行至第10行,自左至右为第1列至第34列。水平观测线与垂直观测线铅垂布设。如图3所示。

### 3 急倾斜特厚松软煤层相似材料模拟实验结果分析

#### 3.1 采场覆岩位移变化规律分析

上覆岩层垮落形态如图4所示。



图3 位移测点布设及编号图



4 上覆岩层的垮落形态

据图4及模拟开采过程中岩层运动变化分析可知:

开采第一水平分层影响了煤体与周围岩体原始应力平衡状态,引起开采扰动;工作面顶板(顶煤)破坏首先冒落,对应实际的冒落高度约15.5 m,上方32.6 m范围内的顶煤虽未冒落,但产生了下沉位移;工作面底板处于煤层中,伴随煤体开采,有一定破坏;顶板岩层实际悬空约11.3 m,仍处于稳定状态。底板岩层比较稳定,为底板三角煤残留创造了条件。

开采二、三水平分层后,顶板岩层分别悬空23.0、34.5 m,位移增加,靠近采空空间的数个顶板岩层出现散点状分布裂隙;开采第四水平分层后,顶板岩层悬空46 m,顶板裂隙扩展,贯穿所在岩层的厚度,顶板岩层中部断裂,上下岩层呈现较明显阶梯式断口形态特征,但未垮落;开采第五水平分层后,顶板岩层悬空57.5 m,悬空长度达到岩层承载极限,顶板岩层中部断裂区域继续扩大,最终破坏、冒落,沿岩层法线方向顶板冒落高度达18.8 m。顶板岩层垮向采空空间的岩块,滑向采空空间下部,与残留煤体、底板岩层共同形成临时散体平衡结构,充填在采空空间。

开采第六、第七水平分层后,临时散体平衡结构下方水平分层的煤体采出,部分矸石同时被采出,临时散体平衡结构整体沿煤层倾向和垂直于底板方向移动,但未失去平衡。同时,临时散体平衡结构上覆顶板岩层也发生同向移动。

下行开采至第八水平分层后,临时散体平衡结构失稳、破坏,再次向下部采空空间冒落,充填采空空间。这对顶板岩层下部起到一定支撑作用,避免了顶板岩层下部的断裂和冒落;同时,失稳的临时散体平衡结构上覆顶板岩层再次发生断裂,破坏;顶板岩层中部最初的冒落部位下移至中下部,顶板冒落范围整体扩大,沿岩层法线方向顶板冒落高度达32.5 m,顶板断裂范围沿岩层法线方向扩展至101.2 m高度,顶板岩层冒落和断裂范围总体位于顶板岩层法线偏向煤层倾向的中上部区域。

第八水平分层位移变化规律如图5所示。

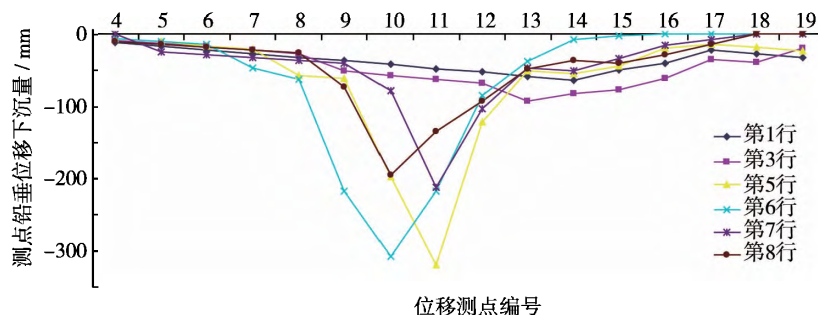


图5 开采第八水平分层时岩层位移变化综合曲线

图5中位移变化曲线表明,急倾斜特厚煤层水平分层开采时,距采空区垂距越近,铅垂位移的下沉量越大,且位移增长率高。上述垂直位移的分布区域表明,水平分层开采不仅造成了采场上部煤层法线方向顶板岩层破坏、断裂,并产生铅垂位移,同时引起煤层法线偏上山方向的近地表标高顶板岩层产生垂直

位移.这与开采后上覆岩层垮落形态图的直观反映具有一致性.

### 3.2 水平分层开采对煤岩体支承压力的影响

工作面顶部煤岩体(水平第四测线上)支承压力变化的分析如图6.

可以看出,开采由第一水平分层进行至第四水平分层过程中,顶板岩层的应力集中系数峰值由1.16增大至1.47,峰值位置在水平方向由6-6测点位置转移至4-6测点位置.第四水平分层开采后,底部煤岩体应力集中范围主要位于测点4-6与测点5-6附近顶板岩层范围内.

上述数据与其变化表明底部煤岩体应力集中范围主要位于其顶板岩层范围内,其同一水平高度的煤层以及底板岩层范围内影响较小.同时,随着开采深度增加,其顶板岩层应力集中系数峰值在逐渐增大,峰值位置在水平方向不断向距煤层较远的顶板岩层内移动和延伸,影响区域扩大.

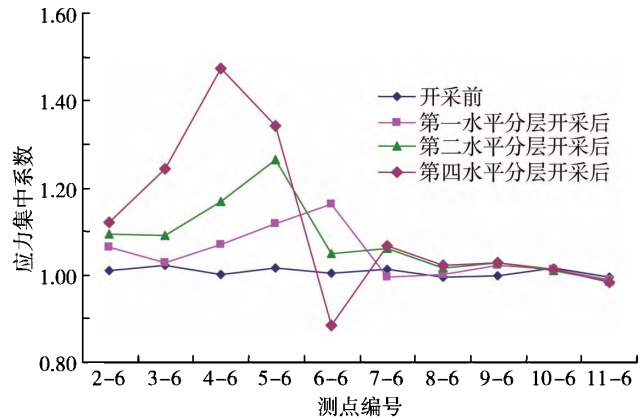


图6 底部煤岩体(第六行测线)支承压力的变化曲线

## 4 结论

1)第一水平分层开采后,顶、底部煤体及顶、底板岩层均有较大程度变形与破坏.随着下行开采水平分层的增加,工作面顶板岩层破坏、垮落,形成临时平衡的空洞.开采继续进行,空洞的临时平衡失稳、再次破坏,空洞循环性地扩大.

2)相似特厚急倾斜煤层的开采对煤层上方90 m及其以上一定高度范围内顶板岩层的运动和破坏仍有显著影响,其影响范围相对扩大.

3)随着水平分层下行开采层数的增加,采空空间顶板岩层内的铅垂位移矢量不仅存在沿着垂直于煤层层面上发展的垂直位移,而且存在平行于层面沿上山方向平移的水平位移,整体表现为顶板岩层内的位移及其破坏向煤层法线偏上山方向发展.

4)水平分层放顶煤开采,急倾斜特厚煤层的工作面与底板岩层相交区域存在大量煤炭残留.选择合适的开采工艺有助于减少煤炭残留,提高煤炭采出率.

### 参考文献:

- [1] 孙国顺.大倾角综放工作面液压支架优化设计技术研究[D].青岛:山东科技大学,2008.
- [2] 刘跃飞.大倾角特厚煤层综合放采场支架-围岩相互作用关系研究[D].太原:太原理工大学.
- [3] 伍永平,员东风,张森丰.大倾角煤层综采基本问题研究[J].煤炭学报,2000(5):56-64.
- [4] 古江林.急倾斜煤层巷道放顶煤基本参数实验研究[D].西安:西安科技大学,2011.
- [5] 常西坤.村庄下大倾角煤层条带煤柱合理尺寸研究[D].青岛:山东科技大学,2007.
- [6] 程亮,董飞.大倾角煤层采煤方法分析[J].科技与企业,2013(2):38-45.
- [7] 解盘石.大倾角煤层长壁开采覆岩结构及其稳定性研究[D].西安:西安科技大学,2011.
- [8] Dai H Y, Wang J Z, Cai M F, et al. Seam dip angle based mining subsidence model and its application[J]. Int J Rock Meth Min Sect, 2002,39(1):115-116.
- [9] Kulakov V N. Stress state in the face region of a steep coal bed[J]. Journal of Mining Science, 1995(9):161-168.
- [10] Ongallo A J M, Fernandez V A, Lglesias A J L. Experience with integrated exploitation systems in narrow, very steep seams in HUNOSA[C]//8th International Congress on Mining and Metallurgy. 1998:16-22.
- [11] Schgal V K. A Thick and steep seam mining in North Eastern International symposium on thick seam mining problem and issues[M]. ISTS, 1992.
- [12] 于健浩.急倾斜煤层充填开采方法及其围岩移动机理研究[D].北京:中国矿业大学(北京),2013.
- [13] Bondarenko Y V, Makeev A Y, Zhurek P, et al. Technology of coal extraction from steep seam in the Ostrava-Karvina basin[M]. Ugol Ukrainy, 1993:45-48.
- [14] 张学会.特厚煤层大采高综放面力学特征研究及其应用[D].合肥:安徽理工大学,2012.
- [15] 阎跃观,戴华阳,王忠武,等.急倾斜多煤层开采地表沉陷分区与围岩破坏机理——以木城涧煤矿大台井为例[J].中国矿业大学学报,2013,42(4):35-39.
- [16] 朱衍利.杜家村矿大倾角松软煤层综放开采矿压特征与围岩控制[D].北京:中国矿业大学(北京),2012.