

# 急倾斜薄煤层仰斜开采覆岩应力分布特征研究

乔 元 栋

(山西大同大学 煤炭工程学院, 山西 大同 037003)

**摘要:** 为了确保急倾斜薄煤层的安全回采, 基于龙湖煤矿南二采区急倾斜煤层的赋存条件和水文工程地质条件, 采用离散元 UDEC 数值计算, 研究了急倾斜煤层仰斜开采条件下上覆岩层的应力分布特征和破坏规律。结果表明: 急倾斜煤层仰斜开采实体煤侧和工作面前方均存在应力增高区, 其应力集中程度随工作面推进呈抛物线和线性增大趋势; 急倾斜煤层开采采空区上方为应力降低区, 将主应力轨迹线连接形成应力卸压拱, 卸压拱拱高和拱角均随工作面推进呈增大趋势, 其形状随工作面推进由对称拱—非对称拱—平顶拱转变, 卸压拱形态反映出覆岩不同岩层间的应力传递关系, 与覆岩的离层位置密切相关。

**关键词:** 急倾斜煤层; 仰斜开采; 离散元计算法; 支承压力; 卸压拱

**中图分类号:** TD 323      **文献标志码:** A      **文章编号:** 0253-2336(2011)12-0025-04

## Study on Stress Distribution Features of Overburden Strata for Upward Mining in Steep Inclined Thin Seam

QIAO Yuan-dong

(School of Coal Engineering, Shanxi Datong University, Datong 037003, China)

**Abstract:** In order to ensure the safety mining in the steep inclined thin seam, base on the deposit conditions and hydrological conditions of the steep inclined seam in South No. 2 Mining Block of Longhu Mine, the dispersed element UDEC numerical calculation was applied to study the stress distribution features and failure law of the overburden strata under the condition of the upward mining in the steep inclined seam. The results showed that there were the stress increased zone at the front of the coal mining face and at the solid coal side of the upward mining in the steep inclined thin seam and the stress concentration would be increased in a parabolic and linear individually with the coal mining face pushed forward. The area above the goaf of the coal mining face in the steep inclined thin seam would be a stress reduced area. The connection of the main stress tracing lines could form a stress pressure released arch. The arch height and arch corner of the pressure released arch would be increased with the coal mining face pushing forward. The arch shape would be converted from a symmetrical arch to nonsymmetrical arch to flat arch with the coal mining face pushing forward. The shape of the pressure released arch could reflect the stress transmission relationship between the different strata of the overburden strata and would be closely related to the bedding location of the overburden strata.

**Key words:** steep inclined seam; upward mining; dispersed element calculation method; support pressure; pressure released arch

地下煤炭资源回采, 原岩应力场受到破坏, 引起采场周围一定范围内岩体应力重新分布, 直至形成新的平衡状态为止。应力平衡是一个动态过程, 新的应力平衡状态形成的过程中, 主应力急剧转移, 导致覆岩产生移动、变形、断裂乃至垮落<sup>[1-2]</sup>。覆岩的应力分布特征是采场支护设计

和顶板管理方式选择的重要依据, 覆岩内应力如何向采场上方和工作面前后方煤岩体内传递和转移, 一直是采矿学者研究的重要内容<sup>[3-4]</sup>, 尤其急倾斜煤层开采顶板和煤壁易发生片冒, 目前对急倾斜煤层多从覆岩破坏的形态研究<sup>[5]</sup>, 对急倾斜煤层覆岩应力分布特征的研究较少。离散元数

收稿日期: 2011-09-01; 责任编辑: 曾康生

作者简介: 乔元栋(1978—), 男, 山西大同人, 讲师, 从事采矿工程方面的教学和研究。Tel: 13834250548, E-mail: qyd-031@163.com

网络出版时间: 2011-12-19 17:00; 网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2402.TD.20111219.1700.014.html>

引用格式: 乔元栋. 急倾斜薄煤层仰斜开采覆岩应力分布特征研究[J]. 煤炭科学技术, 2011, 39(12): 25-28.

值分析软件 UDEC (Universal Distinct Element Code) 考虑了介质内可能存在大位移、旋转、滑动乃至块体的分离, 从而可以较真实地模拟岩体中的不连续面和岩土工程中各种力学行为, 包括采矿岩层控制以及稳定性等, 因而特别适用于煤炭开采等的几何和物理高度非线性问题。因此, 笔者采用 UDEC<sup>2D</sup> 3.10 研究急倾斜煤层仰斜开采覆岩应力的分布特征, 为急倾斜煤层采场顶板控制和安全回采提供理论依据。

## 1 急倾斜薄煤层开采条件和离散元模型

1) 急倾斜薄煤层赋存和开采条件。黑龙江省龙煤集团七台河分公司龙湖煤矿南二采区 46 号煤层为急倾斜薄煤层, 平均倾角 63°, 煤厚平均为 0.8 m, 煤层结构单一, 埋深 320~400 m, 顶底板均为砂岩和粉砂岩坚硬岩层。46 号煤层采用分带仰斜爆破采煤法, 相邻两分带间留设 5 m 煤柱。工作面首采区走向长 25 m, 沿倾斜方向推进距离 80 m, 采用木支柱支护, 间排距 1.0 m × 1.0 m。

2) 急倾斜薄煤层开采离散元模型。为了分析急倾斜煤层仰斜开采不同回采推进距覆岩应力变化和分布特征, 以 46 号煤层急倾斜工作面地质条件和开采技术条件为依据, 建立数值计算力学模型, 如图 1 所示。

模拟范围 80 m × 160 m (长 × 高), 工作面每次回采 5 m, 仰斜推进距 80 m。采用围岩本构关系为莫尔-库仑模型, 模型采用应力-位移混合边界, 上表面施加均匀的垂直应力, 两侧面施加随深

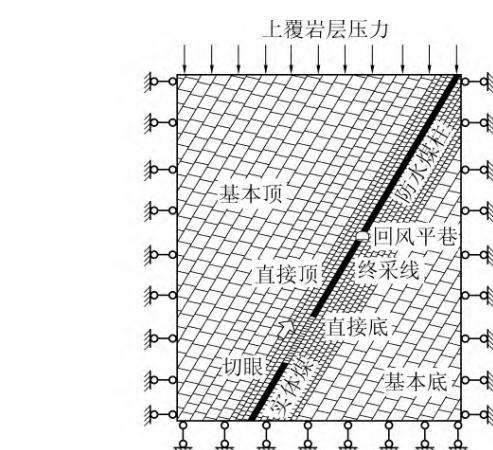
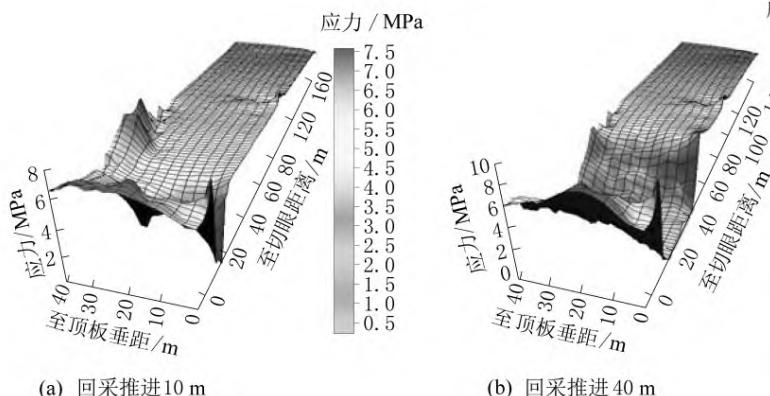


图 1 数值计算力学模型

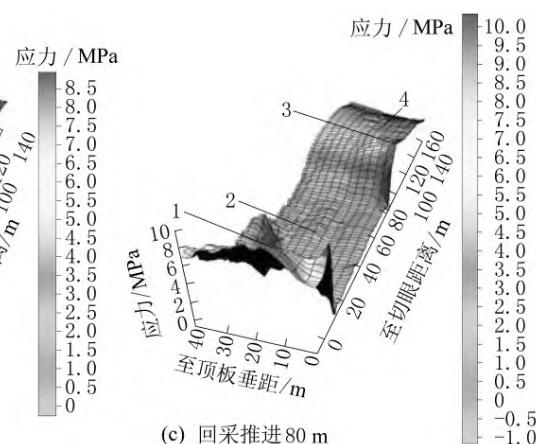
度变化的水平应力。模拟煤岩物理力学性质见表 1。

表 1 煤岩物理力学参数

岩层	密度/ (g·cm <sup>-3</sup> )	体积模 量/GPa	剪切模 量/GPa	黏聚力/ MPa	内摩擦 角/(°)	抗拉强 度/MPa
上覆岩层	2.80	26	12.5	28	30	1.18
基本顶	2.60	18	10.0	30	32	1.12
直接顶	2.50	20	11.0	33	28	1.03
46 号煤	1.40	12	8.0	4	20	0.60
直接底	2.60	20	11.0	26	29	1.15
基本底	2.75	23	12.0	29	31	1.14

## 2 急倾斜薄煤层开采覆岩应力分布特征

利用三维绘图软件 Surfer 8.0, 绘制 46 号急倾斜煤层工作面回采推进距 10、40 和 80 m 时, 采场上覆岩层的应力分布特征 (图 2)。从图 2 可知, 急倾斜煤层工作面仰斜开采, 上覆岩层失去支撑,



1、3—实体煤侧和工作面前方应力增高区; 2—应力降低区; 4—原岩应力区

图 2 不同回采推进距覆岩层三维应力分布特征

覆岩内应力出现转移,在实体煤侧和工作面前方一定范围内形成应力增高区,并随着回采推进距的增加呈增大趋势。采空区上方形成应力降低区,其范围随工作面回采向采空区上方覆岩内逐渐扩展。

### 3 实体煤侧和工作面前方应力特征

应力集中系数是采动引起的附加应力和原岩应力的比值,较好反应了采动引起的应力集中程度。因此,利用应力集中系数来反映急倾斜煤层实体煤侧和工作面前方超前支承压力应力分布特征。

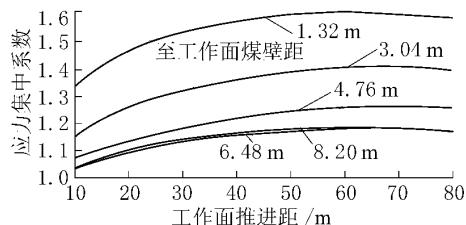


图3 不同回采推进距实体煤侧应力集中系数

1) 实体煤侧应力分布特征。实体煤侧距切眼不同位置覆岩应力集中系数随回采推进距变化如图3所示。由图3可知,随着工作面推进实体煤侧应力分布呈抛物线形变化,回采推进距小于50 m时,实体煤侧应力集中系数明显呈增大趋势。回采推进距50—80 m时,应力集中系数基本保持不变。实体煤侧支承压力峰值位于距切眼1.32 m处,峰值应力集中系数随工作面推进在1.35~1.60变化。

2) 超前支承压力分布特征。该急倾斜煤层工作面前方峰值应力集中系数随回采推进距变化呈线性增大趋势,如图4所示。回采推进距10 m时,峰值应力集中系数为1.026。当回采推进距40和70 m时,峰值应力集中系数比10 m时分别增大29.9%和71.8%。峰值应力集中系数K与回采推进距L近似呈线性关系,且符合:

$$K = 0.0105L + 0.8817$$

$$R^2 = 0.9143$$
(1)

式中,  $R$  为相关系数。

超前支承压力以超过原岩应力5%为界,其范围在工作面推进50 m内,随回采推进距增加而增大。回采推进距50 m时,超前支承压力范围达79 m,此时,应加强工作面顶板及煤壁处支护,防止煤帮和顶板的片冒。工作面推进50—80 m时,超前支承压力范围呈下降趋势,分析原因为顶板弯曲变形过程中,弹性能已得到较多释放。

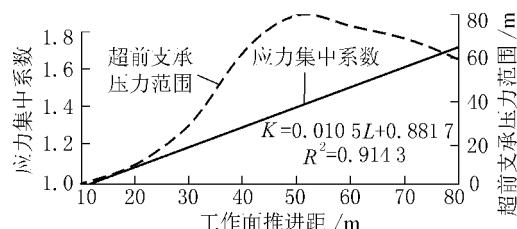


图4 应力集中系数、超前支承压力与回采推进距关系

### 4 急倾斜煤层开采卸压拱分布特征

地下煤炭资源回采后,采空区上方一定区域内形成应力降低区。将采空区上方同一拱线上的主应力矢量连接,形成应力卸压拱。许多学者对卸压拱研究认为<sup>[6]</sup>,采场支护对象主要为卸压拱内岩体的重力,可以利用卸压拱分布特征进行采场支护设计,但对卸压拱成因和急倾斜煤层开采卸压拱分布特征研究较少。利用离散元数值计算分析急倾斜煤层仰斜开采卸压拱分布具有以下特征。

1) 卸压拱形状。近水平煤层开采卸压拱形状多为对称的半圆拱或抛物拱形<sup>[7~8]</sup>。急倾斜薄煤层仰斜开采,随着工作面推进,卸压拱形状由对称的抛物拱变为非对称拱,且拱顶逐渐平缓,最终形成平顶抛物拱。

2) 卸压拱拱高和拱角。回采46号煤层为急倾斜薄煤层工作面,其卸压拱拱高随回采推进距变化呈抛物线形增大趋势,如图5所示。当工作面推进10和40 m时,卸压拱拱高分别为2和28 m。卸压拱拱高 $f$ 随回采推进距 $L$ 变化关系为

$$f = -0.01L^2 + 1.28L - 12.06$$

$$R^2 = 0.9161$$
(2)

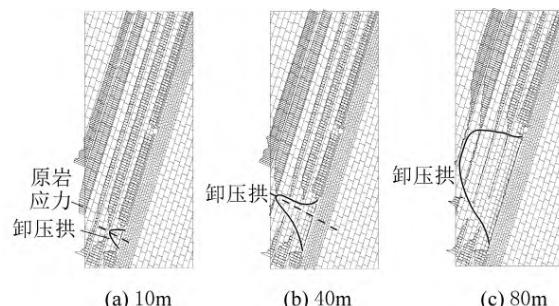


图5 急倾斜煤层不同回采推进距离卸压拱形状

卸压拱拱角定义为卸压拱拱轴线与推进方向的夹角。由图6可知,回采推进距10 m时,拱角较小为36.8°,随着回采推进距增加呈增大趋势,当回采推进距超过30 m后保持为55~58°。

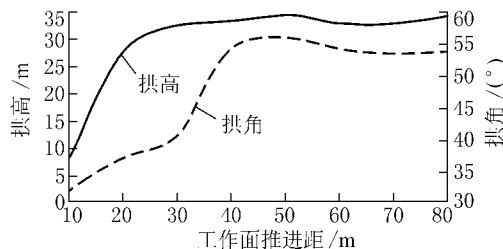


图6 卸压拱拱高、拱角与回采推进距的关系

3) 卸压拱成因分析。卸压拱分布特征反映了覆岩的受力状态,与覆岩离层密切相关。煤层未回采前,原岩应力处于平衡状态。随着工作面推进,采空区上方的岩体,由于弹性恢复及自重作用使其向临空面方向移动,产生弯曲变形,当自重应力超过层面间的抗拉强度即产生离层<sup>[9]</sup>。产生离层的岩体对离层面以上的岩体失去支撑作用,使离层面位置以上的岩体受力状态由“双向受压、单向受拉”逐渐向“三向受压”转变,其临界处即卸压拱拱顶位置。因此,卸压拱拱顶位于离层面以上一定距离,可利用卸压拱拱高来预测覆岩产生离层的位置。

## 5 应用实例

龙湖煤矿南二采区46号急倾斜煤层平均厚为0.8 m,局部变薄仅0.3~0.4 m,且部分地段存在伪顶,当工作面大面积开采后,以及爆破落煤对顶板动力震动影响下,极易发生顶板事故。数值计算结果表明,急倾斜薄煤层回采推进距50 m后超前支承压力范围较大,现场工作面回采50 m后,加强了煤壁支护和顶板管理,采取了减小支柱间排距、降低端面控顶距、加大双排附帽支柱等措施,工作面开采期间基本没有来压现象,有效防止了顶板事故的发生。同时,现场实测工作面推进60 m时支柱压力平均为0.02 MPa,与离散元数值计算分析卸压拱内岩体自重作用于支柱的应力0.018 MPa相近。46号急倾斜薄煤层采用分带仰斜开采方法,该方法在七台河及其他矿区急倾斜煤层开采中得到了广泛应用,并且落煤方式由爆破向无人工作面绳锯法转变。覆岩应力分布特征,尤其是超前支承压力的分布特征为落煤方式的转变提供了依据,即煤体在超前支承压力的影响下更易破碎,有利于绳锯落煤方式在急倾斜煤层开采中的应用,从而提高急倾斜煤层安全回采和机械化程度。

## 6 结 论

1) 急倾斜薄煤层仰斜开采实体煤侧和工作面前方均存在应力增高区。实体煤侧峰值应力集中系数位于距切眼1.32 m,其值随工作面推进逐渐增大,为1.35~1.60。超前支承压力数值和范围均随工作面推进呈增大趋势,现场根据数值分析结果对工作面顶板及煤壁处进行加强支护,有效防止了煤帮和顶板的片冒。

2) 急倾斜薄煤层采空区上方为拱状应力降低区,其形状随工作面推进由对称抛物拱向非对称性发展,并最终形成平顶抛物拱;拱高和拱角均随着推进距离的增加呈增大趋势,可用卸压拱拱高来预测覆岩产生离层的位置。

3) 急倾斜薄煤层仰斜开采超前支承压力有利于无人工作面绳锯落煤方式的采用,但当急倾斜薄煤层上部边界富含水体时,由于合理的阶段垂高可以降低超前支承压力范围,因此,应尽量采用“小阶段,长走向”开采,减小防水煤柱抽冒的可能,或采取防水煤柱加固措施、充填开采顶板控制等,有利于急倾斜薄煤层的安全回采。

## 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.
- [2] 刘俊杰.采场前方应力分布参数的分析与模拟计算 [J].煤炭学报,2008,33(7):743~745.
- [3] 李永明,刘长友,李西蒙,等.水体下急倾斜煤层采空区矸石充填顶板控制研究 [J].煤炭学报,2010,35(9):1419~1424.
- [4] 邵小平,石平五,赵国梁,等.急倾斜特厚煤层开采地表沉陷特征立体实验研究 [J].岩土力学,2007,28(8):367~370.
- [5] 李永明,刘长友,杨伟,等.急倾煤层采空区控顶方式对采场围岩稳定性影响 [J].煤炭科学技术,2011,30(1):20~24.
- [6] 钱鸣高,缪协兴.采场上覆岩层结构的形态与受力分析 [J].岩石力学与工程学报,1995,14(2):97~100.
- [7] 徐园园,于广明.采动覆岩的叠层板-卸压拱模型研究 [J].矿业安全与环保,2006,33(3):6~9.
- [8] 李红涛,刘长友,汪理全.上位直接顶“散体拱”结构的形成及失稳演化 [J].煤炭学报,2008,33(4):378~340.
- [9] 苏仲杰,于广明,杨伦.覆岩离层变形力学机理数值模拟研究 [J].岩石力学与工程学报,2003,22(8):1287~1290.