

# Influence Law of Working Face Parameters on Mining-Induced Stress in Steep Inclined Coal Seam

Hongsheng Tu<sup>1,2,3</sup>, Changwen Huang<sup>3</sup>, Songyong Liu<sup>1</sup>, Chenye Guo<sup>3</sup>, Xiaobo Zhang<sup>3</sup>, Zufeng You<sup>3</sup>

<sup>1</sup>School of Mechatronic Engineering, China University of Mining & Technology, Xuzhou Jiangsu

<sup>2</sup>School of Mines, China University of Mining & Technology, Xuzhou Jiangsu

<sup>3</sup>Chongqing Energy Investment Group Science and Technology Co., Ltd., Chongqing Energy, Chongqing  
Email: 13852086048@163.com

Received: Apr. 26<sup>th</sup>, 2020; accepted: May 11<sup>th</sup>, 2020; published: May 18<sup>th</sup>, 2020

## Abstract

According to the current situation of large dip angle, mine pressure regularity is hard to grasp, stability control difficulty of equipment and rock mass. Based on the occurrence conditions of steep rock strata in the 58# coal seam at Xinqiang mine, the numerical simulation was used to researching mining-induced stress of different working face lengths, coal seam dip angles and mining heights. The results showed that the mining-induced stress appears asymmetric "ear-shape" unloading state at the roof and floor in steep inclined coal seam working face. The relief range of mining-induced stress increased with the increase of working face lengths and mining heights. With the increase of dip angle, the width of mining influence range decreases, but the influence height increases. The mining-induced stress along the strike direction of the working face is obviously smaller than that along the inclined direction. The larger the inclination angle, the greater the mining-induced along the inclined direction, and the smaller mining-induced along the strike direction. The larger inclination angle, the length of the working face and the mining height, the more unstable of surrounding rocks at two ends of working face are.

## Keywords

Steeply Inclined Coal Seam, Mining Parameters, Numerical Simulation, Stress Distribution

# 急倾斜煤层工作面开采参数对采动应力的影响规律

屠洪盛<sup>1,2,3</sup>, 黄昌文<sup>3</sup>, 刘送永<sup>1</sup>, 郭臣叶<sup>3</sup>, 张晓波<sup>3</sup>, 游祖峰<sup>3</sup>

<sup>1</sup>中国矿业大学, 机电工程学院, 江苏 徐州

<sup>2</sup>中国矿业大学, 矿业工程学院, 江苏 徐州

文章引用: 屠洪盛, 黄昌文, 刘送永, 郭臣叶, 张晓波, 游祖峰. 急倾斜煤层工作面开采参数对采动应力的影响规律[J]. 矿山工程, 2020, 8(3): 221-228. DOI: 10.12677/me.2020.83030

<sup>3</sup>重庆市能源投资集团有限公司, 重庆  
Email: 13852086048@163.com

收稿日期: 2020年4月26日; 录用日期: 2020年5月11日; 发布日期: 2020年5月18日

## 摘要

针对急倾斜煤层工作面倾角大、矿压规律难于掌握、设备和煤岩体稳定控制困难的现状, 结合新强煤矿58#煤层右三片急倾斜工作面煤岩赋存条件, 数值模拟研究不同工作面长度、煤层倾角和采高时采动应力分布规律, 结果表明: 急倾斜煤层工作面顶底板区域内呈现非对称的“耳朵”状卸压状态, 卸压范围随着工作面长度、采高的增加而变大, 随倾角增加采动影响范围的宽度变小, 但影响高度变大; 工作面沿走向的采动应力要明显小于沿倾斜方向, 倾角越大, 沿倾斜方向的应力越大, 沿走向方向的应力越小; 倾角、工作面长度、采高越大, 工作面两端的围岩越不稳定。

## 关键词

急倾斜煤层, 开采参数, 数值模拟, 应力分布

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

急倾斜煤层是指煤层倾角大于 $45^\circ$ 的煤层[1], 其储量约占煤炭总储量的15%~20%, 但产量只占全国煤炭总产量的5%左右[2] [3]。近年来随着煤矿的高强度开采, 赋存条件较好的煤层储量逐渐枯竭, 许多矿井不得不开采赋存条件相对复杂的急倾斜煤层[4] [5] [6] [7]。已有研究表明急倾斜煤层开采采动影响范围较近水平煤层或缓倾斜煤层大[8] [9] [10] [11], 极易在地表形成塌陷坑, 使工作面采空区与地表导通, 将地表水、沙和上区段采空区的有毒有害气体溃入本工作面, 给工作面开采带来困难[12] [13] [14]; 工作面推进速度越快, 工作面前方煤壁处的采动应力越小[15]; 急倾斜综放工作面开采扰动应力的叠加是冲击地压产生的主要因素[16]; 随工作面倾角增大, 煤壁处垂直应力值不断增加, 工作面上部区域煤壁向采空区方向水平位移不断增大[17]; 工作面上部由于充填不充分, 应力集中程度仍然随着工作面推进距离的增加而增大, 造成急倾斜煤层端面顶板破坏程度较严重[18]。弄清急倾斜煤层不同开采参数条件时采动煤岩体的应力演化规律是控制地表变形与移动的关键[19], 已有研究或多或少涉及急倾斜煤层开采工作面采动应力分布规律, 但都是针对某一具体工作面参数, 并没有系统研究工作面开采的系列参数对采动应力的影响规律, 为此本论文结合龙煤集团七台河矿区新强煤矿五采区58#煤层右三片急倾斜煤层工作面条件, 研究工作面不同开采参数时采场煤岩体的应力演化规律。

## 2. 工程地质概况

新强煤矿隶属于龙煤集团七台河分公司, 位于七台河市茄子河区铁东村以西850 m, 交通便利, 全区走向约4.5 km, 宽3.5 km, 面积约 $15.75 \text{ km}^2$ 。58#右三片急倾斜煤层工作面位于二水平五采区, 工作面标高为-157~-190 m, 地面标高180 m, 工作面采用仰伪斜走向长壁采煤法, 煤层倾角 $45^\circ$ , 煤厚2.5 m, 煤种为主焦煤, 工作面倾斜长度60 m, 走向长度330 m, 采用走向长壁综合机械化开采方法, 工作面液

压支架为 ZY3600/12/28 掩护支架, 采煤机型号为 MG2 × 125/580-WD, 管板输送机型号为 SGZ-730/160, 两条回采巷道断面都为梯形布置, 沿煤层顶板破底掘进。工作面煤岩赋存柱状如图 1 所示。

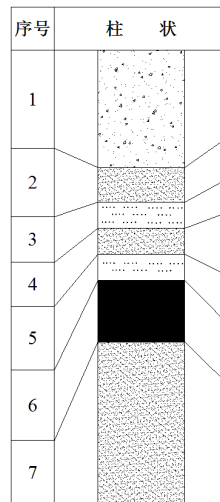
序号	柱状	岩性	厚度/m	岩性描述
1		粗砂岩	12	灰白色、局部含砾
2		细砂岩	1.7	灰色、块状、较硬
		中砂岩	1.4	灰白色、厚层状、坚硬
3		细砂岩	0.9	黑色、块状或鳞片状、节理发育
4		炭页岩	1.0	深灰色、厚层状、节理发育
5		煤 (58#)	2.5	黑色、鳞片状
6		细砂岩	13	灰白色、厚层状、坚硬
7				

Figure 1. Composite column of working face in coal seam  
图 1. 工作面综合柱状图

### 3. 数值模型建立

由于本论文研究的主要内容是工作面开采参数对采动应力的影响规律, 为此研究过程中保持新强煤矿的急倾斜煤层的顶底板赋存厚度不变, 分析不同煤层倾角、厚度、工作面开采长度时的应力变化规律。

根据工作面煤层倾角和埋深条件, 确定 FLAC3D 数值模型尺寸为: 长 240 m、宽 70 m、高 268 m, 煤层及顶底板采用等间距的四边形网格划分, 顶底板以外的上覆和下覆岩层采用不等间距的发散型四边形网格划分, 共划分 146,130 个计算单元。由于问题研究的是工作面开采参数的变化对采动应力的影响, 因此工作面附近的煤岩层网格划分的比较细, 模型采用莫尔-库伦(Mohr-Coulomb)屈服准则, 模型四周和下部采用位移边界条件, 上部采用应力边界条件[20]。三围网格划分如图 2 所示, 煤岩体力学参数如表 1 所示。为了符合实际工作面开采过程, 工作面采用分段开挖进行。

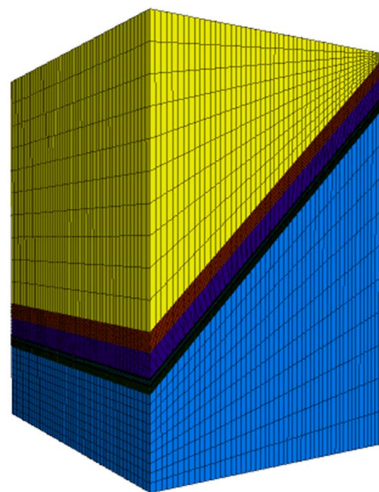


Figure 2. 3d mesh generation of numerical model  
图 2. 数值模型三维网格划分

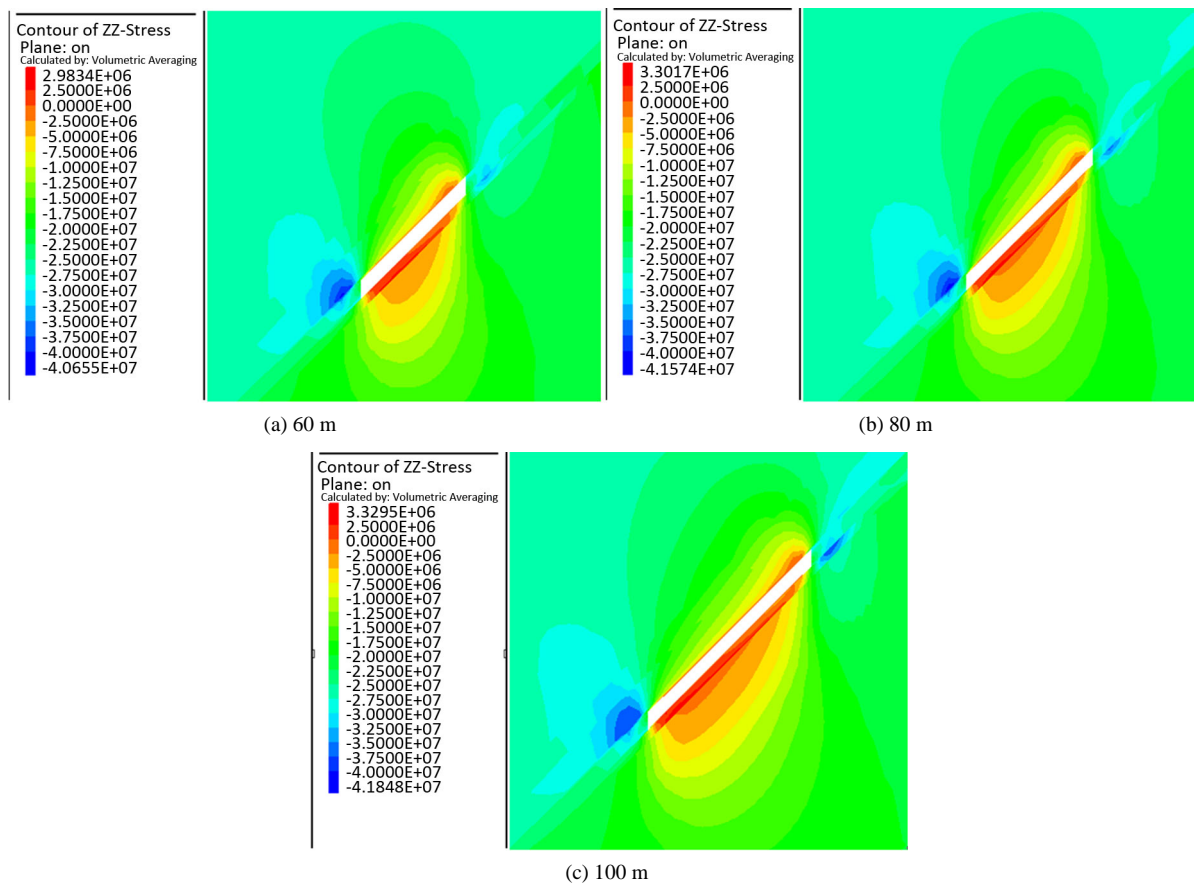
**Table 1.** Mechanical parameters of roof and floor  
**表 1.** 顶底板煤岩力学参数

岩性	厚度/m	容重/ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$	弹模/GPa	泊松比	抗拉强度/MPa	内聚力/MPa	内摩擦角/ $^{\circ}$
粗砂岩	12	27.1	10.2	0.23	4.1	6.9	33
细砂岩	1.7	26.0	14.2	0.21	3.7	7.6	32
中砂岩	1.4	27.1	13.1	0.20	2.9	9.5	30
细砂岩	0.9	26.5	10.9	0.23	3.8	5.1	31
炭页岩	1.0	24.4	7.1	0.24	3.5	2.1	33
煤	2.5	13.9	2.2	0.29	0.8	1.5	26
细砂岩	13	24.3	11.0	0.25	2.8	6.5	32

## 4. 研究结论

### 4.1. 工作面长度对应力分布的影响规律

由于煤层倾角大, 综合机械化割煤速度快, 工作面人员跟机作业困难, 因此急倾斜综采工作面长度不宜过长; 但工作面长度过短, 存在单个工作面产量低、搬家频繁、采区煤炭回收率低等问题, 目前我国急倾斜综采工作面的长度主要集中在 60~100 m 之间, 为此模拟方案中采高为 2.5 m, 煤层倾角为  $45^{\circ}$ , 工作面长度分别为 60 m、80 m 和 100 m 三种条件(图 3)。



**Figure 3.** Stress distribution of different working face lengths

**图 3.** 不同工作面长度时应力分布规律

当急倾斜煤层倾角及煤层厚度一定时，随着工作面长度的增加，工作面周围煤岩层中采动应力也随之发生变化，由图3可以看出：

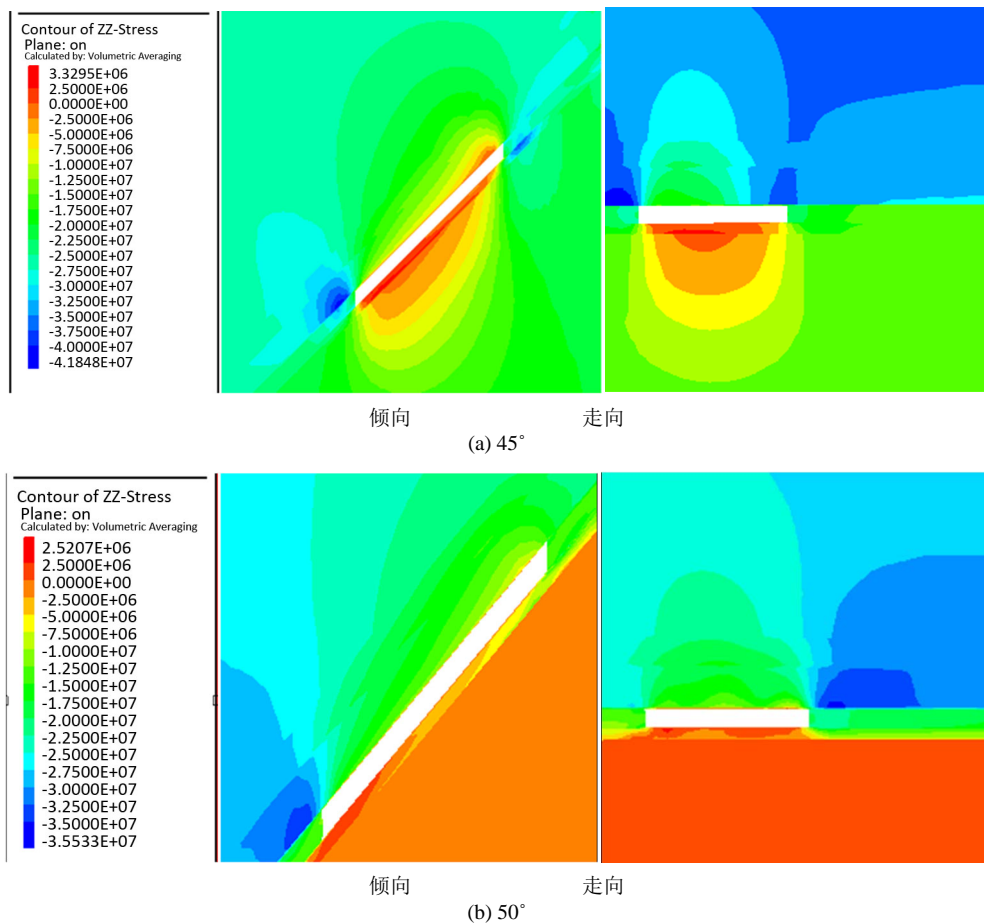
1) 急倾斜煤层开采时，工作面顶底板区域内呈现非对称的卸压状态，并出现“耳朵”状卸压拱，底板的卸压程度大于顶板，在工作面上下两端的煤柱里出现了应力集中区，且下端应力集中程度大于工作面上端，因此在确保巷道围岩稳定控制效果的基础上，从支护成本角度考虑，建议急倾斜煤层工作面两条巷道采用不同的非对称支护参数。

2) 随着工作面长度的增加，“耳朵”形卸压拱的长度及范围也在发生变化，经过测量发现，“耳朵”状卸压拱与工作面长度之间呈正相关关系，即：随着工作面开采长度的增加而变大，这说明工作面的长度越长，受开采扰动的范围越大，工作面上覆岩层的稳定控制越困难。

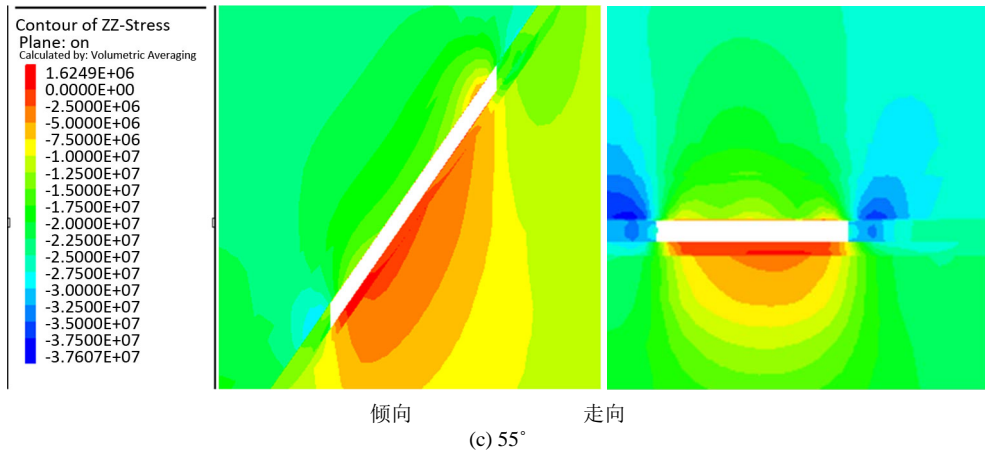
3) 当工作面长度较短时，采动影响的扰动范围越小，当采面较长时，工作面上覆岩层的稳定性更难于控制，因此，在顶底板岩性、煤层强度较好时，建议适当增加工作面长度以提高产量。

#### 4.2. 煤层倾角对应力分布的影响规律

煤层倾角是急倾斜煤层采动应力分布和矿压显现规律区别于近水平煤层、缓倾斜煤层的关键因素之一，如随着煤层倾角的增加工作面顶板破断冒落矸石会沿着倾斜方向采空区下部自溜充填、工作面装备由主控防倒变为主控防滑、采空区底板岩层也会产生一定的变形破坏等，因此有必要对煤层倾角对采动应力的影响规律进行研究。模拟方案中工作面煤层采高为2.5 m，长度为100 m，煤层倾角分别为45°、50°和55°三种条件。







**Figure 4.** Stress distribution of different coal seam dip angle  
**图 4.** 不同煤层倾角时应力分布规律

图 4 为工作面不同煤层倾角时采场走向和倾斜方向煤岩的应力分布，由图可以看出：

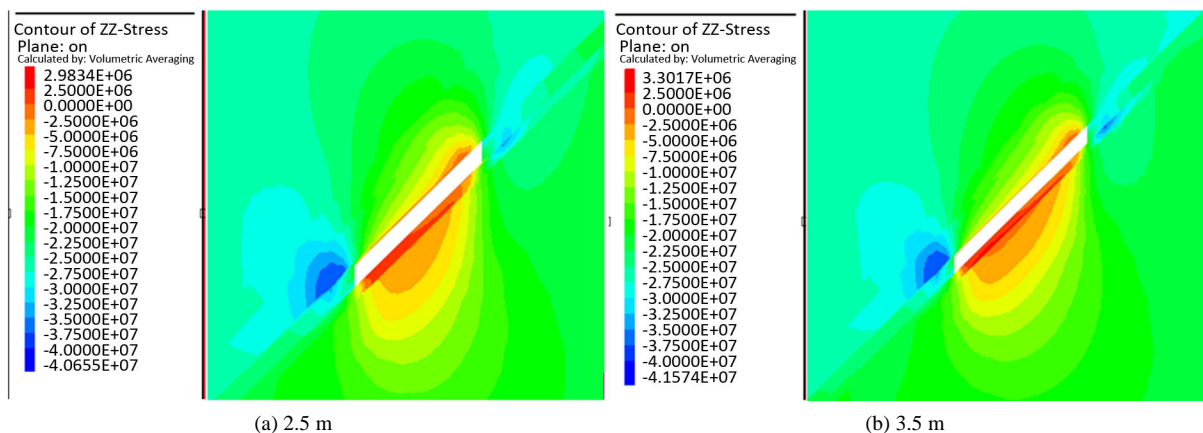
1) 随着煤层倾角的增加，急倾斜工作面顶底板中的卸压拱形状发生了变化，其中顶板中卸压高度变高、卸压宽度变窄；底板中卸压深度变深，卸压宽度变窄，说明煤层倾角越大，工作面采动影响的宽度越小，但影响高度越大，越容易波及地表，对地面建筑物的威胁更大。

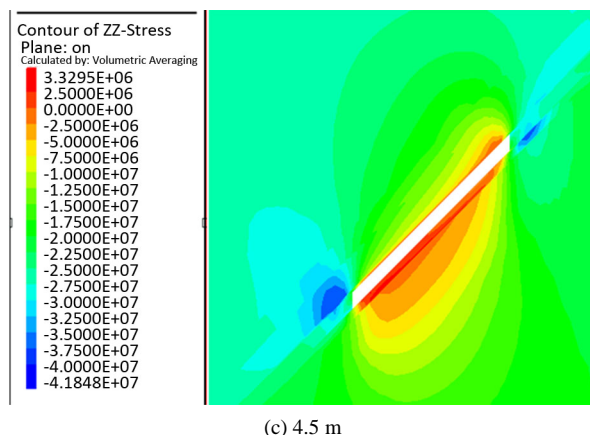
2) 急倾斜煤层工作面沿走向的采动应力要明显小于沿倾斜方向，随着煤层倾角的增加，沿倾斜方向的应力将逐渐增加，沿走向方向的应力逐渐减小，因此急倾斜工作面采动覆岩的受力主要在倾斜方向，顶板的破断要主要体现在倾斜方向，因此急倾斜煤层开采在垂直层位空间影响范围大。

3) 当倾角为  $45^\circ$  时，最大垂直应力为 29 MPa；当倾角为  $50^\circ$  时，最大垂直应力为 33 MPa；当倾角为  $55^\circ$  时，最大垂直应力为 38 MPa。随着煤层倾角的增加，采场煤岩中应力集中区都位于工作面上下侧的保护煤柱内，因此，可以确定，随着倾角的不断增大，工作面两端的围岩越不稳定，越容易发生破坏，此时应采取的措施进行区段煤柱稳定控制，如：增大区段保护煤柱的尺寸、注浆加固、加强支护、缩短采面长度等。

#### 4.3. 煤层采高对应力分布的影响规律

急倾斜煤层工作面由于倾角大，工作面综采装备稳定控制困难是制约工作面安全高效的关键因素之一，煤层采高越大，综采装备的重点越高，越不利于装备的稳定控制。模拟方案中煤层倾角为  $45^\circ$ ，工作面长度为 100 m，采高分别为 2.5 m、3.5 m 和 4.5 m 三种条件。





**Figure 5.** Stress distribution of different mining heights

**图 5.** 不同采高时应力分布规律

图 5 为工作面不同采高时采场煤岩体的应力分布规律，可以看出：

1) 随着工作面煤层采高的增加，工作面顶底板中的卸压拱高度和宽度都逐渐增加，工作面上下端头煤柱中的应力集中系数和范围逐渐增加，采场煤岩稳定控制将进一步困难。

2) 工作面采高增加，受采动影响的范围增加，工作面装备稳定控制困难，可以通过减小工作面长度、伪斜布置工作面来减缓因采高增加带来的矿压显现剧烈现场。

## 5. 结论

1) 急倾斜煤层开采时，工作面顶底板区域内呈现非对称的卸压状态，并出现“耳朵”状卸压拱，底板的卸压程度大于顶板，卸压范围随着工作面开采长度的增加而变大。

2) 随着煤层倾角的增加，工作面采动影响的宽度越小，但影响高度越大，越容易波及地表，对地面建筑物的威胁更大；急倾斜煤层工作面沿走向的采动应力要明显小于沿倾斜方向，倾角越大，沿倾斜方向的应力越大，沿走向方向的应力越小。

3) 急倾斜采场煤岩中应力集中区都位于工作面上下侧的保护煤柱内，倾角、工作面长度、采高越大，工作面两端的围岩越不稳定，越容易发生破坏，建议通过增大区段保护煤柱的尺寸、注浆加固、加强支护、缩短采面长度等确保工作面安全开采。

## 基金项目

中国博士后科学基金面上项目(2019M652020)；中国矿业大学煤炭资源与安全开采国家重点实验室自主研究课题资助(SKLCRSM18X003)。

## 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] 杨胜利, 李昂, 李良晖. 急倾斜煤层铰采机机械化采煤方法[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(1): 102-107.
- [3] 谢文武, 郭忠平, 杨恒泽. 急倾斜厚煤层“单一巷道”放顶煤采煤法研究[J]. 煤矿安全, 2019, 50(5): 241-244.
- [4] 屠洪盛, 屠世浩, 白庆升, 袁永, 王方田, 王沉. 急倾斜煤层工作面区段煤柱失稳机理及合理尺寸[J]. 中国矿业大学学报, 2013, 42(1): 6-11+30.
- [5] 陈朝鲜, 沈大富. 急倾斜薄煤层俯伪斜综合机械化开采的研究[J]. 煤矿机电, 2017(6): 29-32.
- [6] 段红民, 胡喜明, 巫仕振. 薄及中厚急倾斜煤层采煤方法优化研究[J]. 煤炭科学技术, 2008(2): 16-18+22.

- [7] 戴华阳. 岩层与地表移动变形量的时空关系及描述方法[J]. 煤炭学报, 2018, 43(S2): 450-459.
- [8] 伍永平, 尹建辉, 解盘石, 高喜才, 曹沛沛. 大倾角煤层长壁开采矸石滑移充填效应分析[J]. 西安科技大学学报, 2015, 35(5): 529-533.
- [9] 孙闯, 陈东旭, 程耀辉, 卢嘉鑫. 急倾斜煤层坚硬顶板塌落规律及控制研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2019, 38(8): 1647-1658.
- [10] 王家臣, 杨胜利, 李良晖. 急倾斜煤层水平分段综放顶板“倾倒-滑塌”破坏模式[J]. 中国矿业大学学报, 2018, 47(6): 1175-1184.
- [11] 伍永平, 解盘石, 任世广. 大倾角煤层开采围岩空间非对称结构特征分析[J]. 煤炭学报, 2010, 35(2): 182-184.
- [12] 王涛, 魏善明, 姜秉霖, 李龙. 急倾斜煤层采空区地表变形对管道的影响研究[J]. 地质学报, 2019, 93(S1): 314-318.
- [13] 王明立, 胡炳南, 程效海, 张刚艳. 急倾斜煤层群开采覆岩破坏与煤柱稳定性数值模拟[J]. 煤矿开采, 2005(4): 64-66+88.
- [14] 张基伟. 王家山矿急倾斜煤层长壁开采覆岩破断机制及强矿压控制方法[J]. 岩石力学与工程学报, 2018, 37(7): 1776.
- [15] 秦涛, 段燕伟. 急倾斜薄煤层工作面推进速度对顶板岩层活动的影响[J]. 中国矿业, 2020, 29(3): 130-134.
- [16] 曹民远, 孙雪亮, 杨磊, 刘永红. 急倾斜煤层综放工作面冲击危险性评价研究[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(2): 47-52.
- [17] 王红伟, 伍永平, 焦建强, 罗生虎, 刘孔智, 解盘石, 刘茂福. 大倾角煤层大采高工作面倾角对煤壁片帮的影响机制[J]. 采矿与安全工程学报, 2019, 36(4): 728-735+752.
- [18] 王楠, 郑上上, 李珊珊, 孔德中. 急倾斜煤层端面顶板稳定性分析[J]. 煤矿安全, 2019, 50(6): 235-239.
- [19] 黄旭超. 急倾斜煤层开采应力及裂隙演化规律研究[J]. 煤炭科学技术, 2018, 46(S1): 93-96.
- [20] 谢文兵, 陈晓祥, 郑百生. 采矿工程问题数值模拟研究与分析[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2005.