

Study on Prevention Technology of Rock Burst in Deep Mining of Gengcun Coal Mine

Zhiyong Ma^{1,2}

¹State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan

²CCTEG Chongqing Research Institute, Chongqing

Email: 358697099@qq.com

Received: Jul. 10th, 2020; accepted: Jul. 23rd, 2020; published: Jul. 30th, 2020

Abstract

Rock burst is one of the major geological hazards in coal mines. Based on the study of rock burst, this paper analyses the variation of rock mass stress and overburden movement under mining in Gengcun Coal Mine by means of numerical simulation, laboratory test and on-site monitoring, and combines various monitoring methods. Monitoring and early warning of rock burst in deep mining of Gengcun Coal Mine is carried out in order to adopt reasonable prevention and control technology to avoid or reduce the harm caused by rock burst. The research shows that the occurrence of rock burst is closely related to the stress concentration caused by mining, and is affected by the nearby fault F16, which makes the rock burst belong to the roof-floor type impacted under the control of the huge thrust fault F16, with high stress, large scale and region, and its instability mode is floor type instability. The monitoring and prevention system of rock burst in deep mining of Gengcun Coal Mine has been formed. The occurrence of rock burst is predicted under the cooperation of various monitoring means, and reasonable technology is adopted to prevent and control rock burst, so as to minimize the impact of disasters. Rock burst in deep mining of coal mine is a complex system engineering. The research results of rock burst in deep mining of Gengcun Coal Mine can provide reference for this type of research.

Keywords

Deep Mining, Rock Burst, Monitoring and Early Warning, Prevention and Control Technology

耿村煤矿深部开采冲击地压防治技术研究

马智勇^{1,2}

¹成都理工大学, 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 四川 成都

²中煤科工集团重庆研究院有限公司, 重庆

Email: 358697099@qq.com

收稿日期: 2020年7月10日; 录用日期: 2020年7月23日; 发布日期: 2020年7月30日

文章引用: 马智勇. 耿村煤矿深部开采冲击地压防治技术研究[J]. 地球科学前沿, 2020, 10(7): 659-668.

DOI: 10.12677/ag.2020.107065

摘要

冲击地压是煤矿重大地质灾害之一。本文以耿村煤矿为例,在已有对冲击地压研究的基础上,通过数值模拟、室内试验以及现场监测等手段,分析耿村煤矿工作面采动下岩体应力变化以及覆岩运动的规律,并结合多种监测方法对耿村煤矿深部开采冲击地压进行监测预警,采取合理的防治技术来避免或降低冲击地压带来的危害。研究表明,耿村煤矿冲击地压的发生与开采导致应力集中有很大的关系,并且受到临近F16断层的影响,使得耿村煤矿冲击地压属于在F16巨型逆冲断层控制下,高应力、大范围、区域性的顶底板型冲击,其失稳模式为底板型失稳,形成了对耿村煤矿深部开采冲击地压的监测防治系统,在多种监测手段配合的情况下,预测冲击地压的发生,并针对此,采取合理的技术进行防治,将灾害影响降到最低。煤矿深部开采冲击地压是一个复杂的系统工程,对耿村煤矿深部开采冲击地压的研究成果可以为该类型的研究提供参考。

关键词

深部开采,冲击地压,监测预警,防治技术

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

冲击地压又称岩爆,是煤矿重大灾害之一,指煤矿井巷或工作面周围煤(岩)体由于弹性变形能的瞬间释放而产生突发性剧烈破坏的动力现象,常伴有煤(岩)体瞬间移动、抛出、巨响以及气浪等[1] [2] [3]。

随着矿井深度和开采强度的不断增加,深部采区的地质构造、应力场特征、煤(岩)体的破碎性质与动力响应特征、岩层移动以及能量的积聚释放规律均发生了显著变化,深部矿井动力灾害的致灾机理、触发条件、演化规律以及显现特征也异于浅部煤矿工程[4],但目前对深部开采的相关基础研究不够深入系统,并且深部冲击地压防止难度更大,因此,必须对深部开采煤层应力演化规律变化等特点展开研究,以开展对深部冲击应力的防治技术研究。

耿村煤矿属义马矿区,是义煤公司主力生产矿井,地质构造总体上为一向南倾斜的单斜构造,地层倾角 $11^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 。现主要开采煤层为2~3煤层,生产采区两个,即西二和东三采区。采用走向长壁采煤法,综采放顶煤工艺,一次采全高,陷落法管理顶板。耿村煤矿属于冲击地压矿井,受巨厚砾岩及F16逆冲断层影响,已发生过多次冲击地压事件,且随采深的增加冲击地压和冲击地压危险区域有严重增加的趋势[5]。因此,本文对义马煤田耿村煤矿进行深部开采煤层应力演化规律、冲击地压发生特点以及形成机理进行了研究,形成对煤矿的监测预警,提出相应的防治技术措施,具有十分重要的意义。

2. 耿村煤矿深部开采冲击地压研究

矿井工作面的煤体因开采会产生应力集中,煤体内部分区域形成高应力区或低强度区,其抵抗变形能力随变形增加而降低,出现应变软化现象,另一部分所受应力未达到其峰值强度,抵抗变形能力则仍随变形增加而增加,因而,煤体-围岩的原有变形系统分成两种不同力学性质的介质所组成的变形系统,即一种是高应力区或低强度区具有应变软化性质的煤岩介质,另一种是具有弹性性质或应变硬化性质的煤岩介质。当前者处于非稳定平衡状态,在受到外界微小扰动时,则将破坏初始的平衡状态产生失稳现

象, 释放能量使煤体破坏、滑移, 乃至驱动而发生动态破坏[6] [7]。

影响冲击地压发生的因素分为三大类: 地质因素、开采技术因素以及组织管理因素[8] [9], 耿村煤矿主要受到地质因素和开采技术因素影响。地质因素主要包括原岩应力和煤岩力学性质, 开采技术主要包括人为造成高应力集中和采掘爆破引起冲击地压。

耿村煤矿东三采区西翼工作面布置及其井田边界采空区分布如图 1 所示, 距离耿村与千秋煤矿的井田边界煤柱较近(在煤柱区边缘进行开采活动), 煤柱右侧煤千秋煤矿 21101、21121、21141、21161、21181 及 21201 工作面形成的大范围采空区, 采空区上覆岩层重量转移至井田境界煤柱上, 形成了较高的应力集中区域。依据采空区分布情况及影响范围可以将井田边界煤柱附近的未采区域沿倾斜向下方向依次可分为安全区域、危险区域、较危险区域和非常危险区域。

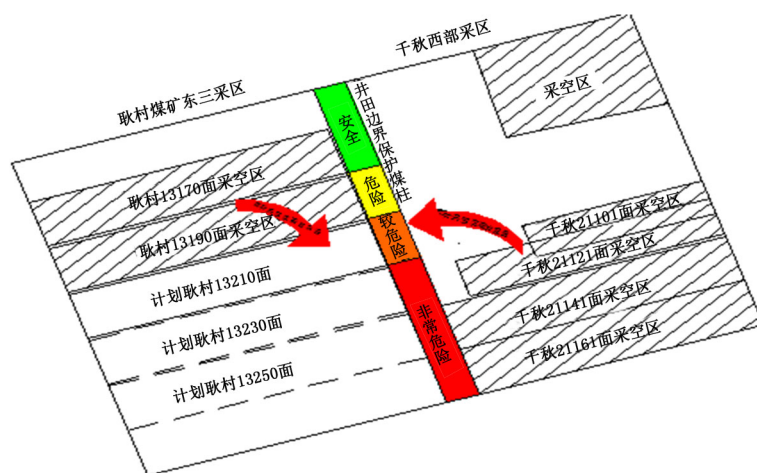


Figure 1. Distribution map of goat area at the boundary of east minefield of Gengcun Coal Mine

图 1. 耿村煤矿东井田边界采空区分布图

3. 耿村煤矿深部开采煤层覆岩运动及应力演化规律研究

3.1. 耿村煤矿东三采取工作面复岩运动规律相似模拟研究

为研究耿村煤矿东三采区工作面覆岩运动规律, 利用与原型力学性质相似的材料来模拟随着开采深度的增加, 煤层、断层的相应变化以及在其影响下工作面上覆岩层运动规律和随着工作面的开采断层煤柱的形成及其演化规律。

该模型选择石英砂作为骨料, 石灰、石膏作为胶结物, 通过多次试验选择合适的配比进行模型制作, 最终堆制好的模型如图 2 所示。然后对模型进行开挖, 并记录在开挖稳定后相应应力以及位移等的变化。



Figure 2. Model panorama

图 2. 模型全貌图

开采过程中上覆岩层垮落位移监测采用 XJTUSD 三维光学摄影测量系统，模型各个阶段开采后上覆岩层位移监测点的位移矢量图如图 3 所示，图中倾斜白色线为开挖煤层位置，倾斜红色线为 F16 断层线，规则排列的蓝色小圆点为模型位移监测点，四周不规则布置的蓝色小点为系统中的编码点，图中不同颜色的射线箭头代表该点的位移方向和大小，右侧的彩色图块中的不同颜色代表监测点的位移数值。

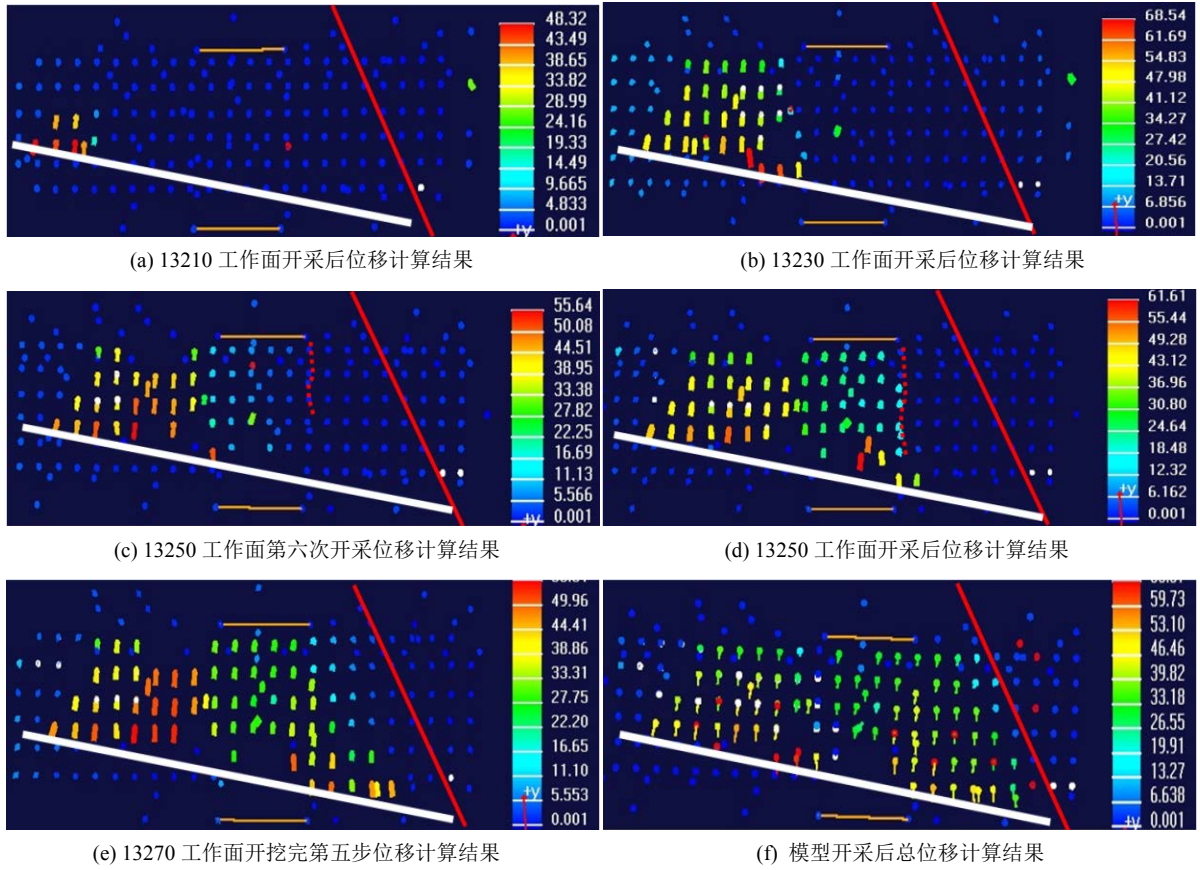
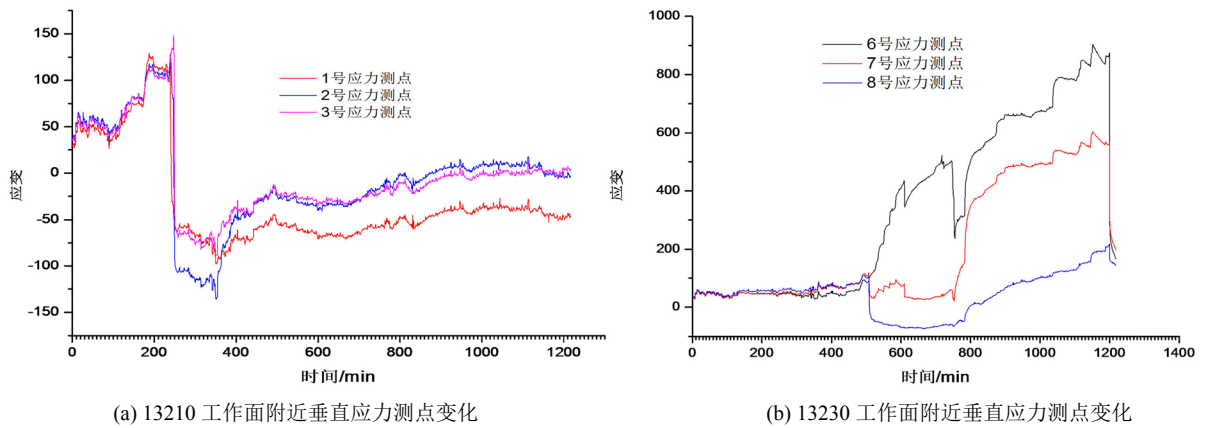
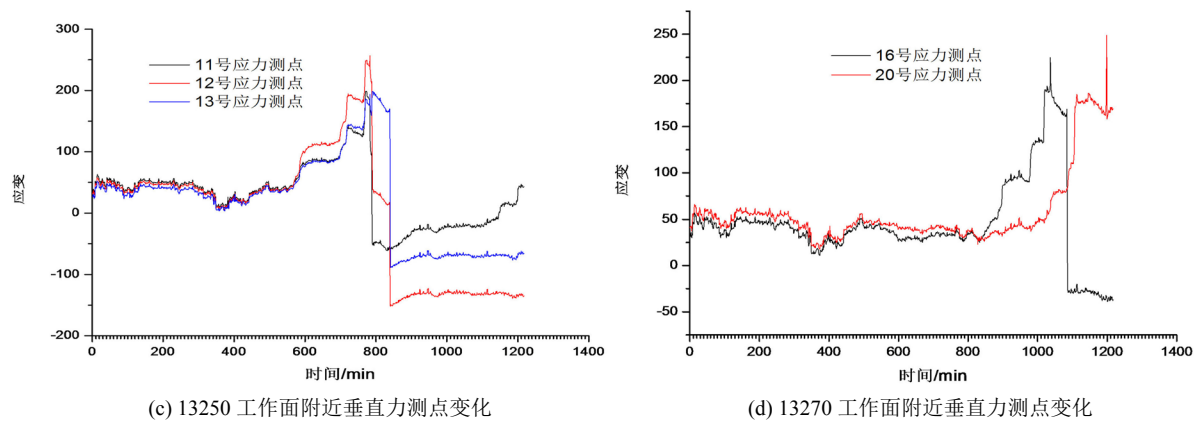


Figure 3. Displacement vector diagram
图 3. 位移矢量图

工作面开采过程中各个应力测点的垂直应力变化规律如图 4 所示，煤层底板水平应力测点的变化规律如图 5 所示。

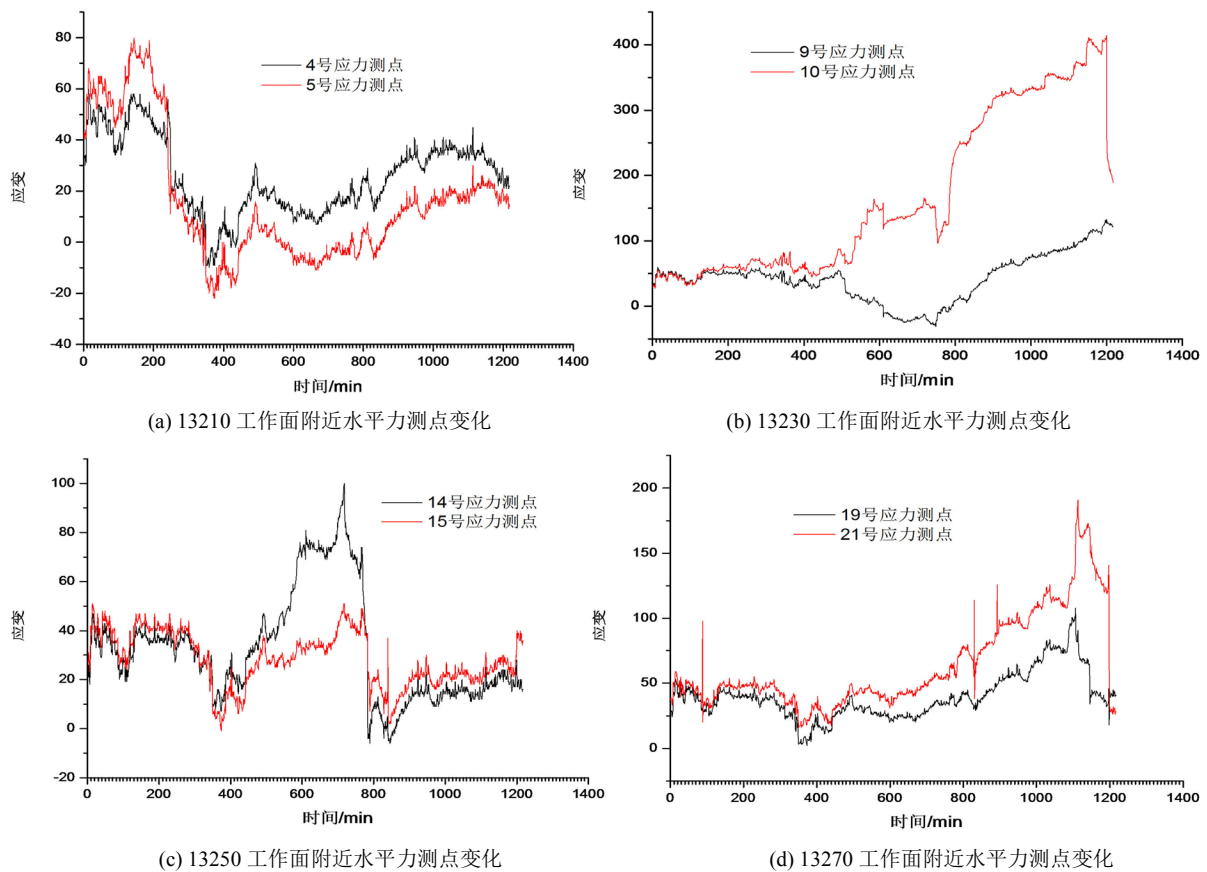




(c) 13250 工作面附近垂直力测点变化

(d) 13270 工作面附近垂直力测点变化

Figure 4. Variation of vertical stress at various measuring points
图 4. 各测点垂直应力变化规律



(a) 13210 工作面附近水平力测点变化

(b) 13230 工作面附近水平力测点变化

(c) 13250 工作面附近水平力测点变化

(d) 13270 工作面附近水平力测点变化

Figure 5. Variation of horizontal stress at various measuring points
图 5. 各测点水平应力变化规律

试验结果分析表明,在开采中,距离 F16 断层较远的 13210、13230 工作面受到断层控制作用效果较弱,距离断层较近的 13250、13270 工作面受断层影响较大。随着开采区域逐渐接近 F16 断层,各个工作面开采后产生的倾向支承压力影响范围与应力峰值及其位置呈逐渐增大趋势,其中 13210、13230 工作面变化较小,应力影响范围为 40 m 左右,峰值位置在煤壁内 10 m 左右,而 13250、13270 工作面开采时,受 F16 断层影响倾向应力影响范围增加至 130 m 左右,应力峰值位置在煤壁内 30 m。开采过程中,煤层

中垂直应力与水平应力在变化上表现出同步性，但水平应力相对垂直应力变化较为缓和，对于工作面的回采巷道来说，在上下掘进过程中水平应力在巷道顶底板形成高应力集中，巷道的两边与顶板采用锚网支护，底板强度较低且未支护，易成为能量释放的突破口，分析判断耿村煤矿冲击地压属于在 F16 巨型逆冲断层控制下，高应力、大范围、区域性的顶底板型冲击，其失稳模式为底板型失稳，且距离 F16 断层越近冲击危险越严重。

3.2. 耿村煤矿东三采区工作面采动应力演化数值模拟分析

为了研究耿村煤矿东区目前开采区域 13210 工作面及其后接近 F16 断层工作面的围岩应力分布状态，采用计算机数值模拟方法，模拟再现东区东翼工作面开采情况，其模型如图 6 所示。

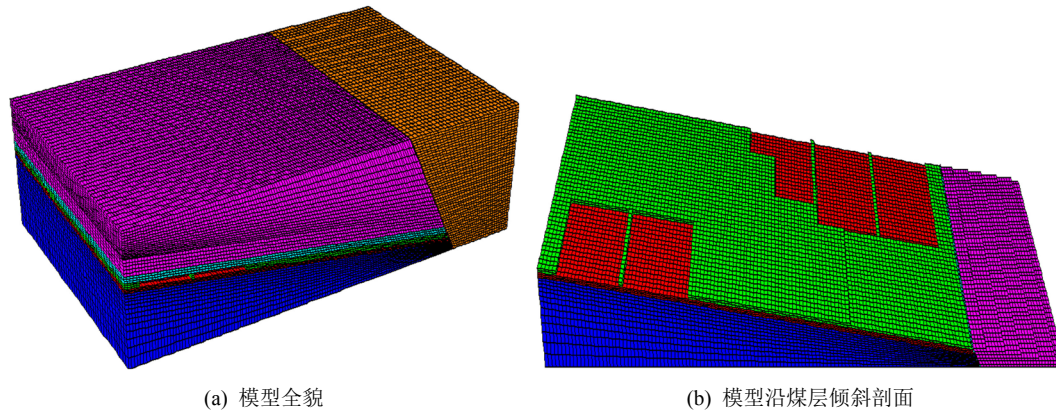


Figure 6. Numerical simulation model of eastern mining area
图 6. 东部采区数值模拟模型

图 7 为东区 13170、13190 工作面开采后煤层底板水平应力分布图，分析可知，由于千秋煤矿的开采，致使开采形成的采空区上覆重量岩层转移至未采空区，使得井田境界煤柱附近形成高水平应力集中区，积蓄了大量的弹性能，而这些高应力集中区扩展至耿村井田境界约 300 m 左右，13170、13190 工作面开采后在 13190 工作面倾向下部实体煤层顶底存在高应力集中区域，综合分析可知，在 13120 工作面巷道掘进过程中发生的冲击地压与该应力集中区域有很大联系。

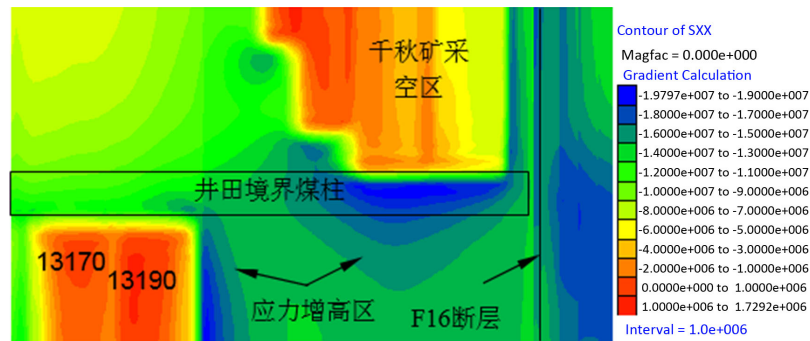


Figure 7. Horizontal stress distribution of coal seam floor after mining in 13170 and 13190 working faces
图 7. 13170、13190 工作面开采后煤层底板水平应力分布

图 8 为 13170、13190 工作面开采后煤层顶底板垂直应力分布图，其中采空区上方和下方岩层处于地应力区，高应力向煤层两侧的煤体转移，在采空区上下两侧煤壁附近形成集中应力区域，且应力集中区

域与应力峰值都相对较小, 采区巷道布置与水平主应力近似垂直, 分析判断耿村煤矿东区冲击地压属高水平应力影响下、大范围、区域性的顶底板型冲击, 其失稳模式为底板型失稳。

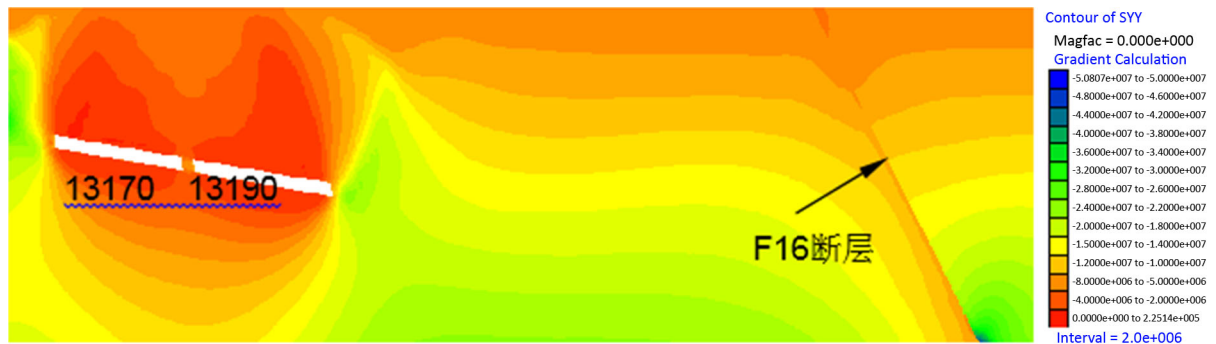


Figure 8. Vertical stress distribution in coal seam inclination direction after mining in 13170 and 13190 working faces
图 8. 13170、13190 工作面开采后煤层倾斜方向垂直应力分布

目前, 耿村煤矿准备开采 13210 工作面, 随着工程的推进, 开采区域逐渐接近 F16 断层, 该模型模拟开挖了 13210、13230、13250 及 13270 工作面, 图 9 分别为各个工作面开采后煤层底板水平应力分布图, 分析可知, 随着开采区域接近 F16, 采空区增大, 高位岩层活动量增大, 造成采场上方顶板弯曲弹性能与底板压缩弹性能增大, 采空区倾向下部煤层底板水平应力逐渐增高, 巷道危险性增大。

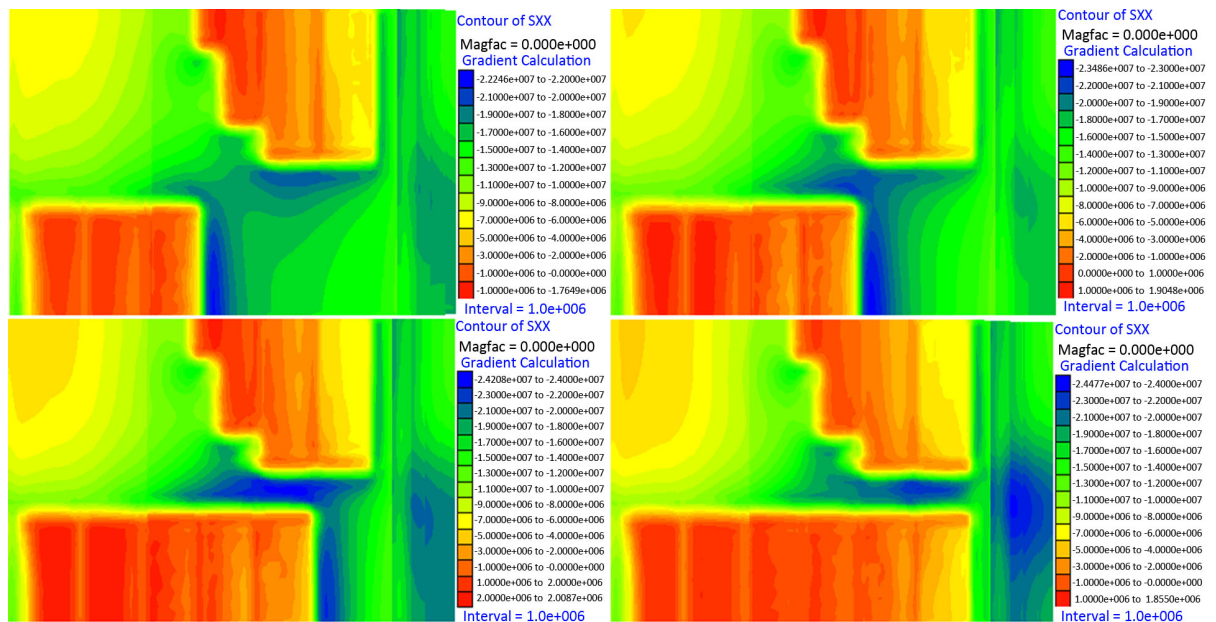


Figure 9. Horizontal stress distribution of coal seam floor after mining in each working face
图 9. 各工作面开采后煤层底板水平应力分布

各工作面开采后煤层围岩垂直应力分布规律如图 10 所示, 分析可知, 随着开采进行, 采空区应力降低, 垂直应力转移至采空区两侧煤体上, 在煤壁附近形成应力集中区域。随着工作面向断层面靠近, 断层下盘岩体向采空区倾斜, 断层面被拉伸, 断层开始活化, 导致应力集中区域面积与应力峰值大小随工作面向深部发展而增大, 增加梯度越来越大。总体来说, 随着开采深度增大, 巷道受到冲击危险性更大。

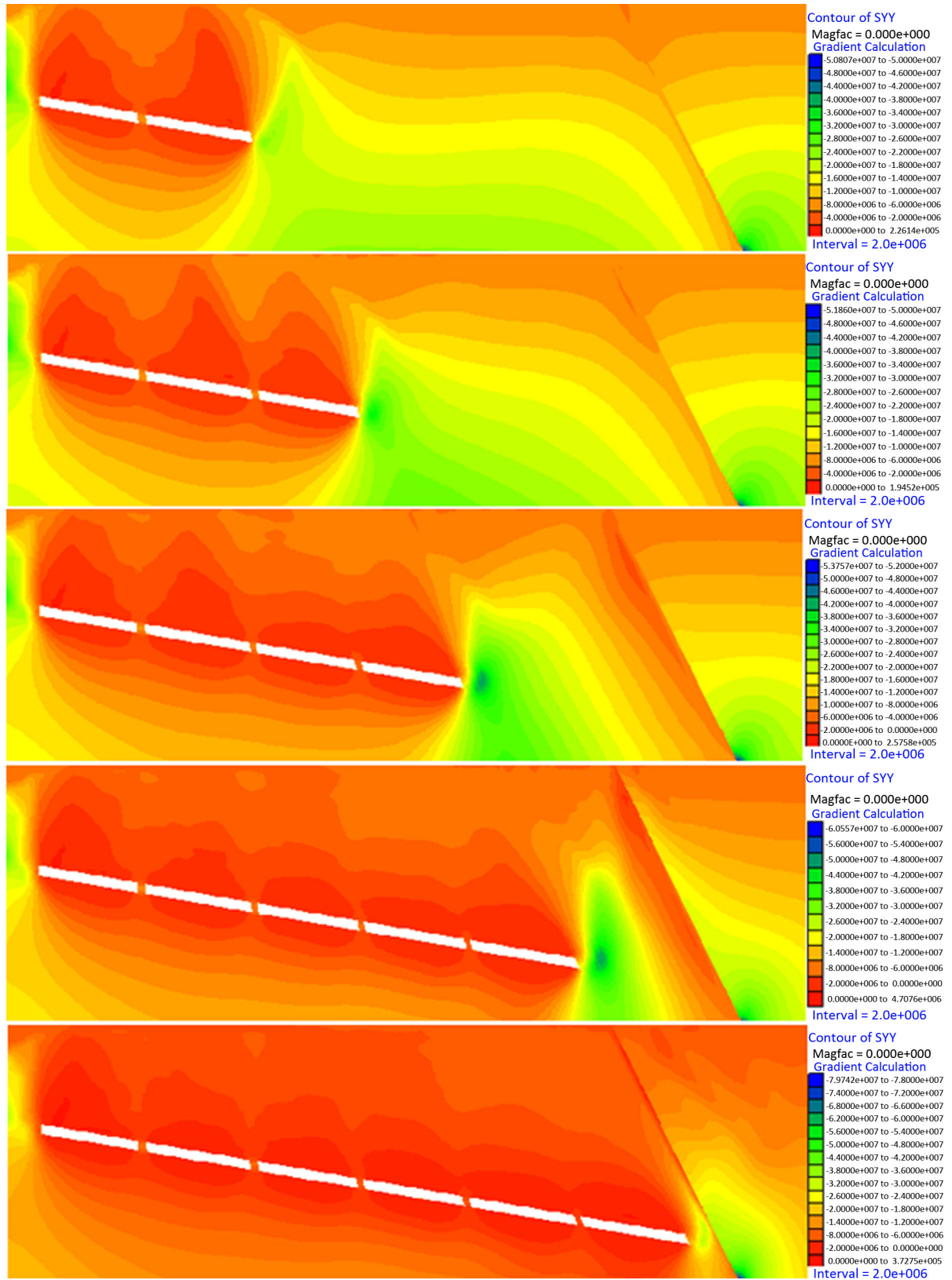


Figure 10. Vertical stress distribution of coal seam inclination direction after mining in each working face
图 10. 各工作面开采后煤层倾斜方向垂直应力分布

各工作面开采后，F16 断层面所受应力也随之发生改变，断层带岩石由原先的稳定材料变为非稳材料，而上下盘围岩仍属于稳定材料，因此整个变形系统则由两部分组成，当断层带岩石变形达到一定值时，变形系统处于非稳定状态，在开采扰动下就会发生失稳而产生断层型错动冲击地压。

4. 耿村煤矿深部开采冲击地压监测预警与防治技术研究

4.1. 耿村煤矿深部开采冲击地压监测预警

采用钻屑法、电磁辐射法、微震系统监测对耿村煤矿深部开采冲击地压进行监测预警。使用电磁辐射法时调整电磁辐射临界值为 55 mV，监测期间监测值均在临界值以下，但由于电磁辐射值有明显的增加趋势，因此也可能发生冲击事故。耿村煤矿微震事件主要集中在工作面中下部和开切眼附近，随着开采的推进而前移，当工作面推进速度在 0~3 m 之间时，工作面的推进速度与微震频次之间存在着明显的线性关系，但微震释放能量同开采速度之间呈非线性关系，分布比较均匀，冲击危险受工作面日推进度影响小。

监测结果表明，耿村煤矿在开采过程中存在冲击地压危险，且有些冲击矿压发生的原因是复杂的，靠一种监测预测手段还不能完全达到精确预测的目的，必须采取多种手段综合监测，由于煤矿的 2~3 煤为特厚的易自燃煤层，确定工作面日进度为 2.5 m 时能够保证工作面不着火同时又能最大限度的降低冲击危险程度。

4.2. 耿村煤矿深部开采冲击地压防治技术研究

煤矿冲击地压防治技术主要有大直径钻孔卸压、煤层深孔爆破卸压和煤层注水[9] [10]，对耿村煤矿冲击地压主要采用大直径钻孔卸压和煤层深孔爆破卸压。

4.2.1. 冲击地压监测防治的技术体系

以耿村煤矿 13210 工作面为例进行冲击地压监测防治，具体监测防治体系见图 11。

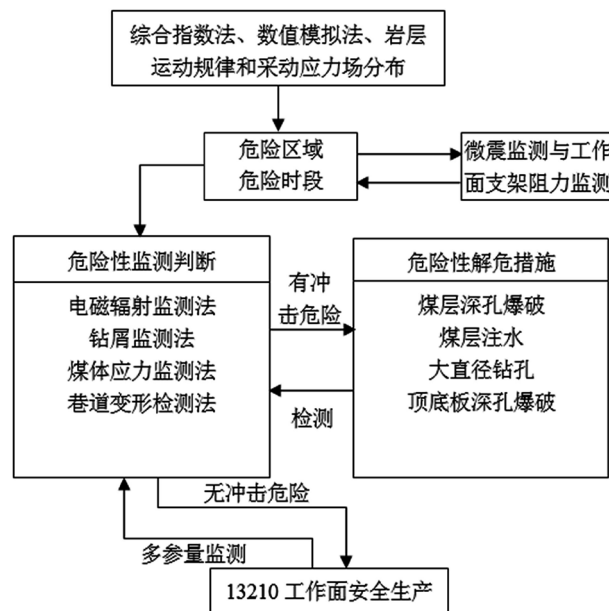


Figure 11. Monitoring and prevention system of rockburst in 13210 working face of Gengcun Coal Mine

图 11. 耿村煤矿 13210 工作面冲击地压监测防治体系

4.2.2. 大直径钻孔卸压

对耿村煤矿 13210 工作面进行钻孔卸压, 采用具有较大功率的风钻打眼, 插接式麻花钻杆, 每节钻杆长 1.0 m, 孔深 20 m, 孔间距 1.2 m, 距离底板高度约为 1.2 m, 孔直径 100 mm。对其进行监测, 并结合对最大钻屑量出现位置和最大钻屑量、钻屑粒度以及钻屑量对比分析可知, 打卸压钻孔后单个钻孔使周围部分煤体变形、破碎, 使煤体中的应力发生重分布, 但影响范围较小, 相邻钻孔之间没有形成连通的卸压区域, 致使煤壁附近支承压力带向煤体深部转移不够明显, 钻屑粒度和钻屑量的降低也不明显, 说明当前钻孔卸压参数选择不合理, 应在现有基础上, 改进施工工艺, 缩小卸压孔间距, 增大卸压钻孔直径和钻孔深度, 以便使煤层中积聚的应力值降低, 使支承压力带往煤体深部转移, 达到彻底卸压的效果。

4.2.3. 煤层深孔爆破卸压

对耿村煤矿 13210 工作面进行爆破卸压前后钻屑法检测, 分析可知卸压爆破实施后支承压力带往煤壁深处转移, 每米总钻屑量以及单个钻孔的钻屑量和钻屑粒度都有所降低, 冲击地压危险性降低。并且采用电磁辐射法对爆破前后进行检验, 分析可知, 爆破卸压前, 电磁辐射强度值和脉冲数都较高, 电磁辐射强度值普遍在 55 mV 以上, 脉冲数也较高, 部分超过了报警临界值, 脉冲数变化也比较大, 爆破卸压后, 电磁辐射强度值和脉冲数都明显降低, 强度值一般在 30 mV 左右, 脉冲数大多为零。综合两者检测结果, 说明深孔爆破卸压效果较好, 所选参数合理。

5. 结论

1) 耿村煤矿发生冲击地压与应力集中有着密不可分的联系, 随着开采区域增大, 采空区倾向下部煤层底板水平应力逐渐增高, 巷道危险性增大, 并且由于越来越靠近 F16 断层, 断层开始活化, 导致应力集中区域面积与应力峰值大小随工作面向深部发展而增大, 增加梯度越来越大。

2) 随着开采的推进, 越靠近断层的工作面产生的倾向支承压力影响范围与应力峰值及其位置增大趋势相对较大, 分析判断, 耿村煤矿冲击地压属于在 F16 巨型逆冲断层控制下, 高应力、大范围、区域性的顶底板型冲击, 其失稳模式为底板型失稳。

3) 对耿村煤矿深部开采冲击地压进行监测, 确定在开采过程中存在冲击地压危险, 且须采取多种手段综合监测, 对该区域冲击地压形成监测防治系统, 并选择合理的参数以及设备实施卸压爆破、大直径钻孔卸压等局部解危措施。

参考文献

- [1] 姜耀东, 赵毅鑫. 我国煤矿冲击地压的研究现状: 机制、预警与控制[J]. 岩石力学与工程学报, 2015, 34(11): 2188-2204.
- [2] 谭云亮, 郭伟耀, 辛恒奇, 等. 煤矿深部开采冲击地压监测解危关键技术研究[J]. 煤炭学报, 2019, 44(1): 160-172.
- [3] 齐庆新, 欧阳振华, 赵善坤, 等. 我国冲击地压矿井类型及防治方法研究[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(10): 1-5.
- [4] 何满潮, 谢和平, 彭苏萍, 等. 深部开采岩体力学研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(16): 2803-2813.
- [5] 郑树栋. 耿村煤矿冲击地压综合防治技术探索[J]. 内蒙古煤炭经济, 2014(3): 211-212.
- [6] 张建平. 煤矿冲击地压发生机理与防治技术的研究[J]. 山东工业技术, 2019(14): 68.
- [7] 姜耀东, 潘一山, 姜福兴, 等. 我国煤炭开采中的冲击地压机理和防治[J]. 煤炭学报, 2014, 39(2): 205-213.
- [8] 马智勇, 郑树栋, 张洋, 等. 耿村煤矿冲击地压综合防治技术研究[J]. 陕西煤炭, 2014, 33(2): 51-53.
- [9] 刘浩, 刘亚楠. 煤矿冲击地压防治技术研究与应用研究[J]. 山东工业技术, 2018(2): 62.
- [10] 李彭波, 邓强, 孟令琪. 煤矿井下冲击地压防治技术与现场应用[J]. 山东煤炭科技, 2017(4): 49-50+52+55.