

# 矿山地压灾害应力在线监测预警系统应用研究

何 朋<sup>1</sup> 宋卫东<sup>1</sup> 雷远坤<sup>2</sup> 刘红光<sup>2</sup>

(1. 北京科技大学土木与环境工程学院, 北京 100083;

2. 武汉钢铁集团矿业有限责任公司程潮铁矿, 湖北 鄂州 436051)

摘要: 叙述了采用地压在线监测预警系统布点方法, 通过持续性监测, 对回采后本条进路、相邻进路、下一开采水平的矿岩压力进行分析, 从而为解释无底柱分段崩落法开采的地压转移释放规律研究提供详实的数据基础。

关键词: 无底柱分段崩落法; 地压活动; 持续性监测; 灾害预警

中图分类号: TD 326 文献标识码: A 文章编号: 1671-8550 (2013) 01-0047-03

## 0 引言

矿山地压管理是矿山安全生产的重要内容, 以往的研究大多通过地压显现宏观调查, 定时监测等手段对地压活动规律进行研究, 但由于整个回采过程具有不连续性, 很难获得完整的压力变化曲线。持续性在线地压监测技术为系统研究地压活动规律提供了前提; 另外该技术可作为地压管理的直接有效技术手段, 为矿山的安全生产提供良好保障。

武汉钢铁集团矿业公司程潮铁矿是国内大型铁矿山之一, 采用无底柱分段崩落法开采, 阶段高 70 m, 分段高 17.5 m, 目前 -395 m 水平已超过中沿和 -410 m 水平也已开始。-395 m 水平东区 8#~23# 进路范围矿体厚度大、破碎, 支护破坏严重, 尤其是下盘区域地压显现剧烈, -410 m 水平东区 8#~23# 属于高应力破碎区, 应力集中现象比较明显。因此, 将 -395 m 和 -410 m 水平东区作为地压灾害监测的重点区域, 通过应力在线监测预警系统, 对该区域的采矿地压灾害进行预警预报, 并揭示回采过程中地压变化规律。

## 1 模型的建立

程潮铁矿地压灾害应力在线监测系统由应力采

集系统、信号转换传输系统和信号分析系统三大功能模块组成, 包含压力传感器、压力变送器、下位机数据采集于处理和上位机数据采集与处理等 10 个部分组成, 如图 1。该系统可实时采集监测区域应力数据、应力柱状图显示、灾害自动报警、自动记录存储应力数据、数据进行在线管理以及远程传输控制等功能。

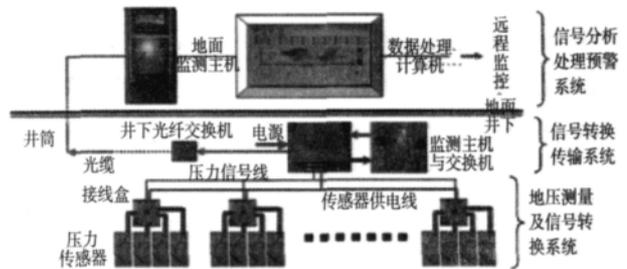


图 1 在线监测预警系统结构图

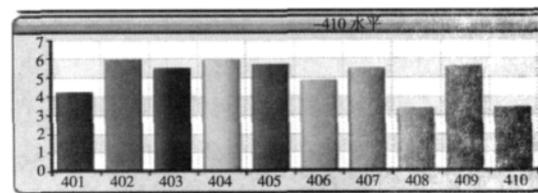


图 2 实时应力条形图

## 2 监测方案设计

程潮铁矿 -395 m 和 -410 m 水平东区地压活动剧烈, 下盘巷道是人员和车辆的主要活动区域, 服务时间长、安全要求等级高, 结合现场的生产状况, 在 -395 m 水平下盘巷道中布置监测点 6 个, -410 m 水平下盘巷道和采场中布置监测点 9 个。

基金项目: “复杂难采矿床高效开采理论与技术”, 长江学者和创新团队发展计划资助, 项目批准号: IRT0950。  
“中央高校基本科研业务费专项资金资助” (supported by “the Fundamental Research Funds for the Central Universities”) 项目编号: FRF-SO-12-003A。  
收稿日期: 2012-09-01  
作者简介: 何 朋 (1987-), 男 (汉族), 辽宁沈阳人, 北京科技大学土木与环境工程学院硕士研究生, 采矿工程专业, 主要研究方向: 金属矿山地压在线监测预警。

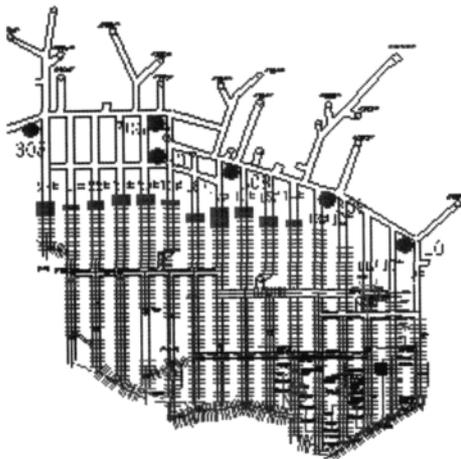


图3 -395 m水平东区监测点布置和回采进度图

### 3 监测预警阈值参数设定

地下巷道在掘进后破坏了原岩的应力平衡, 矿岩体中的应力重新分布。根据数值模拟分析和理论研究结果可知, 巷道顶板和底板出现水平应力集中现象, 两帮发生垂直应力集中, 巷道顶板的水平应力集中引起顶板的剪切破坏, 该破坏形式是巷道拱顶板沿巷道两侧剪切滑移线下移, 形成大的楔形滑塌面而垮冒。而两帮的垂直应力集中导致巷道两帮围岩受压剪产生碎胀变形而片垮, 或呈剪切楔体逐渐由帮壁推出。在回采过程中, 顶底板的水平应力大于垂直应力, 两帮的垂直应力大于水平应力, 且各位置的水平和垂直应力具有相似的变化规律, 因此, 可通过在线监测两帮垂直应力的变化情况来获得围岩中应力的实时状态, 并根据监测的数据对地压灾害发生的可能性进行预警预测。

预警阈值是监测预警的基础数据, 由于地压灾害的发生具有较强的复杂性, 因此, 在本次研究中预警阈值仅作为一个参考数据, 在监测中重点关注应力的变化趋势。监测预警阈值以矿岩体的单轴抗压强度和地应力测量结果为设定依据, 矿岩体的单轴抗压强度可采用 Hoek-Brown 经验方程, 在岩石力学实验和工程地质调查的基础上获得。

Hoek 和 Brown 非线性破坏准则表达式见公式(1)~(4)。

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left( m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a \quad (1)$$

式中  $\sigma'_1$  和  $\sigma'_3$ ——岩体破坏时最大、最小主应力;  $\sigma_{ci}$ ——完整岩块的单轴抗压强度;  $m_b$ ——岩体材料参数, 是对完整岩石的材料参数  $m_i$  的折减, 即:

$$m_b = m_i \exp \left( \frac{GSI - 100}{28 - 14D} \right) \quad (2)$$

$s$ 、 $a$ ——岩体常数, 由下列两式确定:

$$s = \exp \left( \frac{GSI - 100}{9 - 3D} \right) \quad (3)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left( e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right) \quad (4)$$

式中  $D$ ——工程因素影响系数, 介于 0~1 之间;  $GSI$ ——地质强度指标, 根据钻孔岩心 RQD 值计算岩体节理体积密度  $J_V$  和节理条件  $J_C$ , 由以上两个指标来确定地质强度指标  $GSI$ 。

监测区域主要矿岩体为铁矿石、砂卡岩和花岗斑岩, 采用基于 H-B 非线性破坏准则的 RockLab 程序进行岩体参数确定, 如表 1。

根据北京科技大学和中南大学对程潮铁矿 -430 m、-360 m 中段进行的地应力测量结果得出结论, 在 -430 m 中段原岩应力中  $\sigma_1 = 17.2 \text{ MPa}$ ,  $\sigma_2 = 12.7 \text{ MPa}$ ,  $\sigma_3 = 7.4 \text{ MPa}$ , 其中次主应力  $\sigma_2$  非常接近于由自重引起的垂直应力分量  $\sigma_z = 13.5 \text{ MPa}$ 。

系统监测获得的是矿岩体内的垂直应力, 因此, 可采用矿岩体单轴抗压强度与地应力测量获得的垂直应力分量差值作为地压灾害预警的应力极限值。考虑到地压发生机理的复杂性, 采用地应力的最大主应力  $\sigma_1 = 17.2 \text{ MPa}$  来计算预警阈值, 即:

$$A = \sigma_c - \sigma_1 + \sigma_2$$

式中  $A$ ——预警阈值;  $\sigma_c$ ——矿岩体单轴抗压强度;  $\sigma_1$ ——原岩应力;  $\sigma_2$ ——传感器初始应力。

本次监测的区域属于 -430 m 水平中段, 系统压力传感器初始应力 5 MPa, 各岩种中的预警阈值如表 1, 根据各测点所处位置的岩性情况, 可在监测系统中为每个测点设定指定的预警阈值。根据现场的实际生产状况, 本次监测统一设定监测预警阈值为 15 MPa。

表 1 单轴抗压强度和预警阈值/MPa

矿岩体类型	铁矿石	花岗斑岩	砂卡岩
单轴抗压强度	49.85	27.40	28.17
预警阈值	37.6	15.2	15.97

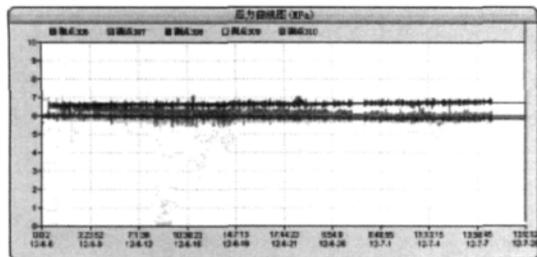
### 4 监测结果分析

系统于 2012 年 6~8 月运行期间, -395 m 水平东区 14#~24# 进路回采强度较大, 每条进路回采量以及与下盘巷道距离见表 3。-410 m 水平采

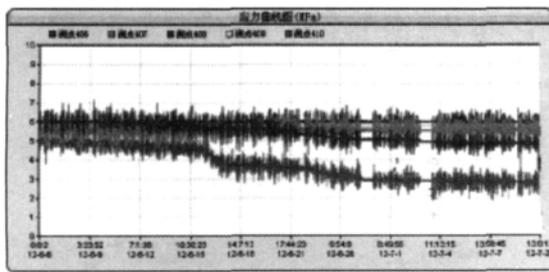
矿活动位于东区上盘切割巷位置, 距离监测点较远, 其影响可以不考虑。

表2 回采进度/m

进路编号	24#	23#	22#	21#	20#	19#	18#	17#	16#	15#	14#
回采量	9	3	6	9	9	6	9	12	6	6	6
与下盘距离	52	55	52	49	49	31	35	27	22	24	22



(a) -395 m 水平压力监测曲线图



(b) -410 m 水平压力监测曲线图

图4 2012年6~8月监测应力曲线图

结合表3和图3、4分析可知: 1) 现阶段-395 m水平的回采活动对下盘巷道影响较小, 监测点应力变化不明显, 下盘巷道较为稳定。根据数值模拟分析结果, 当回采工作面与下盘巷道越来越近时, 采矿活动对地压变化的影响将会逐步体现, 17#和16#进路回采线与308#监测点距离只有20多米, 进一步的回采工作可能会导致下盘巷道地压增大, 需加强监测; 2) -410 m水平采场高应力区监测点在空间上处于-395 m水平回采区域的下方, 在此期间出现应力减小的情况, 说明上部

-395 m水平矿石回采之后, -410 m水平相应位置应力集中减弱, 实现卸压开采, 有利于-410 m水平采场的稳定性, 这与数值模拟的结论相一致。

## 5 结语

——矿山地压灾害在线应力监测预警系统能够实现实时监测矿井关键位置的应力变化、对地压灾害做出预警、自动记录存储应力数据、对数据进行在线管理以及远程传输控制等功能;

——以程潮铁矿为工程背景, 采用在线应力监测预警技术对矿山地压灾害在线应力监测系统的应用进行研究, 获得该矿的地压灾害预警阈值为15 MPa;

——通过3个月的监测, 对程潮铁矿回采过程中的地压规律进行总结, -395 m水平矿石回采对下盘巷道影响较小, 下盘巷道稳定; 上部-395 m水平矿石回采之后, 下部应力集中减弱, 实现卸压开采, 有利于-410 m水平采场的稳定性。

### 参考文献:

- [1] 杜建华, 何朋, 宋卫东等. 程潮铁矿采场地压在线监测预警系统[J]. 《金属矿山》, 2012(5): 137~139.
- [2] 胡光俊, 吴建星, 朱超等. 微震实时监测系统在金山店铁矿中的应用[J]. 《防灾科技学院学报》, 2011(2): 28~31.
- [3] 明建, 胡乃联. 无底柱分段崩落法采场巷道变形破坏规律研究[J]. 《金属矿山》, 2010(5): 25~28.
- [4] 桂兵, 张广文, 张士斌等. 冲击地压实时监测预警技术及其应用[J]. 《煤炭科学技术》, 2010(8): 22~24.
- [5] 宋卫东, 梅林芳, 谭玉叶等. 大间距无底柱分段崩落法采场地压变化规律研究[J]. 《金属矿山》, 2008(8): 13~16.

## Research of application of earth pressure disaster on-line monitoring & alarming system

HE Peng<sup>1</sup>, SONG Weidong<sup>1</sup>, LEI Yuankun<sup>2</sup>, LIU Hongguang<sup>2</sup>

(1. Beijing University of Technology, Beijing 100083;

2. Chengchao Iron Ore Mine of Wuhan Iron & Steel Group Corporation, Ezhou 436051, China)

**Abstract:** Monitoring points are arranged for application of earth pressure disaster on-line monitoring & alarming system. The rock pressure of access roads after mining is continuous monitored to get detailed data that are basis for analyzing the regularity of earth pressure shifting and releasing in the case of pillarless sublevel caving.

**Key words:** pillarless sublevel caving; earth pressure action; continuous monitoring; disaster prediction