

桦树沟铜矿微震监测台网优化方法 实践与研究

Practice and Research on Optimization Method of Microseismic Monitoring
Network in Huashugou Copper Mine

王东华¹, 田宏海¹, 李金平¹, 陈大俊¹, 何正祥², 张君²

(1. 甘肃镜铁山矿业有限公司, 甘肃 张掖 734400; 2. 长沙施玛特迈科技有限公司, 湖南 长沙 410083)

摘要:桦树沟铜矿铜矿床位于铁矿床深部,因而地质构造复杂,为了掌握桦树沟铜矿区地压动力灾害发生过程和规律,在铜矿区建设一套微震监测系统。微震监测系统台网设计是关键的一步,台网布设的优劣会影响到微震事件的定位精度,进而影响监测效果。本文通过现场调研和岩石力学分析方法得到矿山主要地压灾害危险区,基于该区域采用台网设计工具得到最优的监测设计方案并通过现场验证方式检验设计效果,研究结果表明该微震台网的优化设计方法可以大幅度提高地压灾害预警的准确性。

关键词:桦树沟铜矿; 地压灾害; 微震监测; 台网优化

中图分类号: TD167 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-609X(2022)04-0029-05

Abstract: Huashugou copper mine is located in the deep of iron deposit, so its geological structure is complex. In order to master the occurrence process and rules of ground pressure dynamic disaster in Huashugou copper mine, a set of microseismic monitoring system is built in it. The design of microseismic monitoring system is a key step, because the layout of the network will affect the positioning accuracy of microseismic events, and then affect the monitoring effect. In this paper, the main ground pressure hazard area of the mine is obtained by field investigation and rock mechanics analysis. Based on this area, the optimal monitoring design scheme is obtained by using the network design tool, and the design effect is tested by field verification. The results show that the optimal design of microseismic network can greatly improve the accuracy of ground pressure disaster warning.

Key words: Huashugou copper mine; ground pressure disaster; microseismic monitoring; network optimization

1 前言

镜铁山铁矿床属震旦纪变质沉积铁矿床,是我国西北地区发现和勘探最早的大型铁矿床拥有探明储量4.84亿t,是构成酒泉钢铁公司的骨干矿山^[1]。镜铁山矿桦树沟矿区铜矿是酒泉钢铁(集团)有限责任公司下属的矿山,矿床赋存于蓟县系镜铁山群下岩组的一套千枚岩系中,受向斜构造控制,铜矿形成晚于铁矿,空间上形成“上铁下铜”模式。矿山目前采用地下开采^[2],采用的主要采矿方法为沿走向布置的分段空场嗣后充填法、垂直走向布置的分段空场嗣后充填法,以及浅孔留矿嗣后充填法,中段高度60m,生产能力为30万t/a,909t/d。随着铁矿和

铜矿开采向深部延伸,铁矿与铜矿间的隔离围岩厚度将逐渐变薄,铁矿和铜矿对应的采空区暴露面积和高度也逐步增加,铁矿和铜矿采矿活动相互影响程度将更趋明显,地压活动将日益突出。受原岩的性质、采空区的影响,桦树沟铜矿区存在诱发地压活动的因素,这些因素在生产过程中有引发采场和采空区顶板垮落、陷落和冒顶的风险,同时也诱发巷道片帮、冒顶以及引起地面沉降。

根据国内井下开采矿山地压灾害治理的经验,通过建设地压监测系统来观察地压活动情况,研究其发生规律进而实现地压灾害的提前预警。冬瓜山铜矿在2005年就引进了微震监测技术进行深井地压灾害监测,金川二矿区、新余钢铁集团良山铁矿、马钢集团罗河铁矿、新疆西拓矿业等国内金属矿山在近年都装备了微震监测系统地进行地压活动监测^[3-7]。微震监测的技术^[8]的关键是进行监测台网设计,监测台网的优劣直接关系到微震事件最终的

[作者简介] 王东华(1986-),男,山东人,采矿工程师,研究生学历,主要研究采矿工艺、矿山安全管理技术、岩石力学等方面研究。

[引用格式] 王东华,田宏海,李金平,等.桦树沟铜矿微震监测台网优化方法实践与研究[J].中国矿山工程,2022,51(4):29-33+61.

定位精度。关于地震监测台网优化研究方面曹英莉提出了多目标优化决策模型方法^[9],高永涛提出基于D值理论的微震监测台网优化^[10],蔡永顺提出基于Sigma-Optimal方法的微震监测台网设计和优化^[11],以上几种方法共同特点是基于一种数学模型进行定位精度理论计算和优化,但是现场岩石力学及工程环境是非常复杂的,仅仅按照理论的计算环境得到的台网设计方案往往在现实当中效果不是很理想,因而本文通过对桦树沟铜矿区岩石物理性质研究、现场调查的结果进行矿山真实的地压灾害区域的圈定,针对灾害区域的特征进行监测台网布点设计,然后再结合台网分析的数学计算方法得到台网的理论定位精度,最后通过现场的爆破测试来校准台网方案对于不合理的位置进行调整或补充监测点,进而得到一个符合现场实际环境的微震监测台网。



图1 围岩片理化发育

生在上盘部位,而后向顶部和深部逐渐发展。

综合以上地质调查数据分析,2760~2640 m的矿岩总体质量较好,但碳质千枚岩分布于主向斜两翼,为局部铜矿体的直接底板,岩层中片理发育,结构面凝聚力差,易形成坍塌和掉块。2760~2640 m未见大的断裂,可能存在小断裂,断裂控制和影响范围内,岩体质量大幅度降低。目前开采采场主要位于2700 m中段,开采采场为2700 m中段6[#]、8[#]、10[#]采场,基本实现采充平衡,没有遗留采空区,避免了矿区出现大规模的地压坍塌事故,但局部冒顶依然存在。现场调研地压比较严重区域,2700 m中段7[#]采场间柱,3[#]、4[#]、5[#]采场联络道,2760 m中段6~7[#]采场间柱,5~6[#]采场间柱均出现了不同程度的冒顶和片帮现象。地压监测重点区域为2700 m中段、2760 m中段4~6号勘探线之间。虚线框范围内是重点监测区域,具体如图2所示。

2 矿山地质资料与地压活动危险区域研究

根据桦树沟铜矿地质调查报告显示矿区内地质构造以褶皱为主,断裂为辅。褶皱以主向斜为核心,两侧形成多个同向小背斜、小向斜构成一复式向斜。褶皱过程中揉皱极为强烈,特别是轴部,形成大量劈理化、片理化及破碎裂隙化等现象,因而构成了地下水赋存及导水的良好场所^[12-13]。如图1所示为矿体下盘巷道拍摄的现场照片。产于铁矿体中或铁矿体边缘的铜矿体,结构致密完整性较好,力学强度中等-高,而产于千枚岩及蚀变带中的铜矿体,完整性差-中等,力学性质中等。矿床岩石以层状厚层状为主,层状岩体的失稳形式主要表现为岩体顺片理面滑落,片理的发展和层状岩体的断裂为该类岩体的主要力学发展过程,当临空面出现后,破坏首先发

3 微震监测台网优化研究

3.1 微震监测台网一般性布置原则

根据《岩体工程微震监测技术规程》第4.3小节关于微震监测台网设计要求微震监测点应尽量交叉布置,形成上下左右立体包络台网结构,中心监测区域定位误差小于10 m,监测事件震级可以覆盖到-3~+1级微震事件。

在进行微震监测台网设计时要充分考虑所用传感器类型,如加速度型微震传感器间距尽量小一些,速度型微震传感器间距尽量大一些,同时传感器与基站之间的通信距离不宜过长以保障信号传输的稳定性。

微震监测系统台网需要充分考虑井下巷道的布置情况,一般要求布置在永久性巷道中,对于临时性巷道非必要不布置,除非为了提高监测效果而布置。

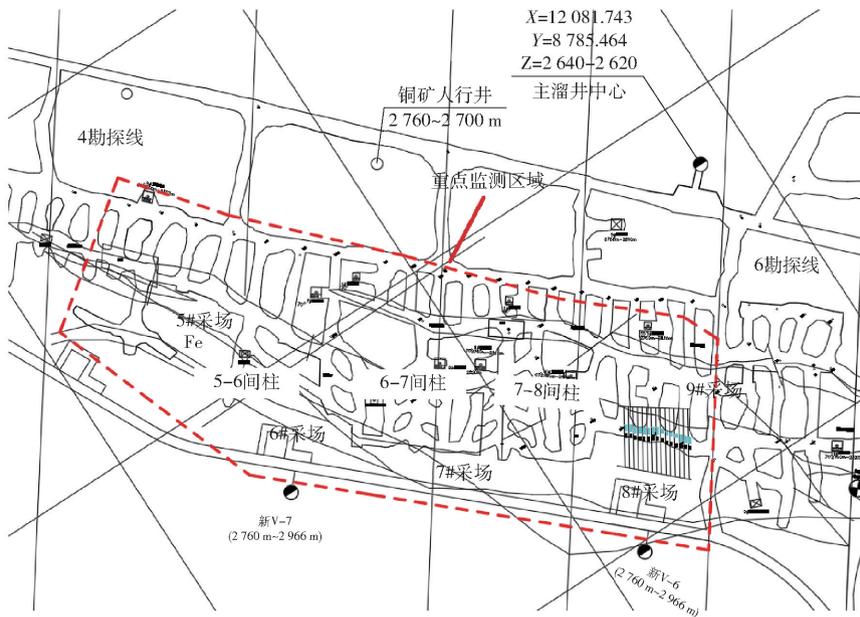
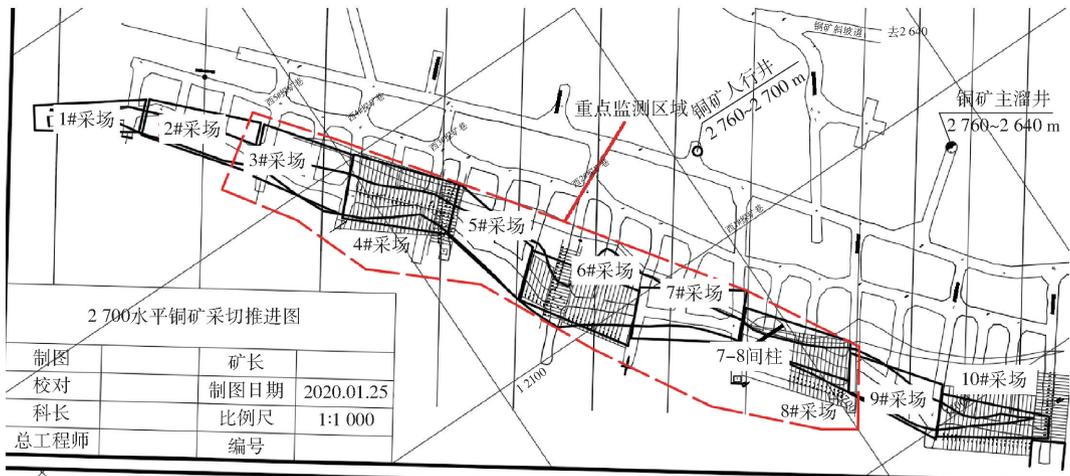


图2 重点监测区域

微震监测系统台网要能够充分覆盖目前区域,对于微震监测系统来说足够通道数量的微震传感器同时监测到微震信号可以很好的提高定位精度。

3.2 第一次台网设计与分析结果

根据微震监测台网的一般性布置原则和地压活动危险区域研究,并结合矿山各个中段平面图纸进行监测台网设计。基于矿山的监测需求初步设计了32个监测点、覆盖3个中段的监测台网,分别是2820m中段、2760m中段、2700m中段,设计方案如图3所示。

将设计监测点坐标和巷道模型导入到台网分析工具中,同时对相关参数进行配置如:传感器类型、p波波速和到时拾取误差、岩石密度、参与计算传感器数量等,然后选择分析平面进行台网优化分析,台网

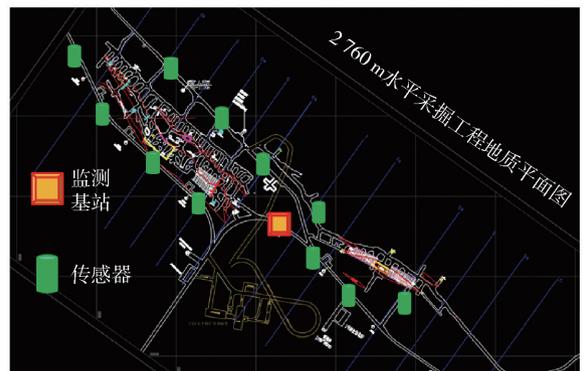


图3 微震监测设计方案

分析是基于给定的速度模型然后根据台网空间特征使得震源定位随机误差最小。图4所示为第一次台网分析的结果,图中不同颜色的云图表示了计算得到的理论震源定位误差,而巷道模型可以直观的看

到关注区域内的理论计算定位误差值,从图上可以看出定位误差在10~13 m,未达到微震监测台网控制的5~10 m的设计要求,需要重新进行设计。

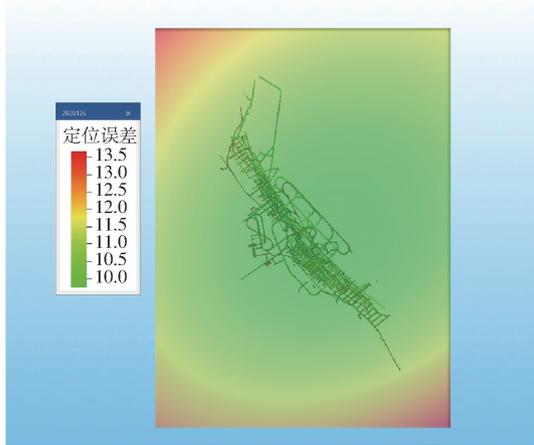


图4 第一次微震监测台网分析结果

3.3 第二次台网设计与分析结果

根据第一次方案台网分析结果,重新设计2 820 m中段、2 760 m中段、2 700 m中段三个中段的监点位置和数量,主要通过重点关注区域内增加监测点数量、调整监测点之间的距离,然后注意上下中段之间的包络关系,最优的台网一定是可以从四面八方都可以监测到某个震源辐射出的地震波。图5所示为第二次台网设计与分析结果,定位精度为4~10 m,满足《岩体工程微震监测技术规程》技术标准中关于监测台网定位精度小于10 m的要求。

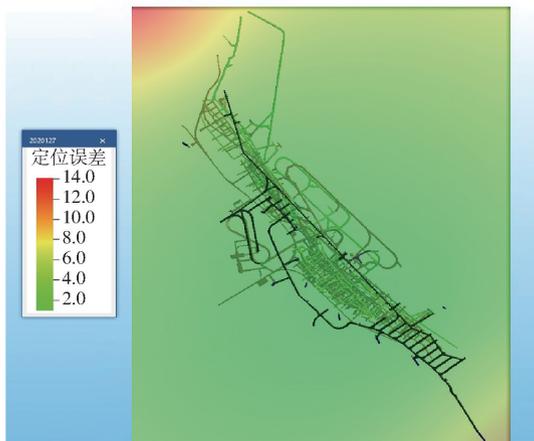


图5 第二次微震监测台网分析结果

由于微震监测传感器的安装是通过钻孔注浆的方式进行安装固定的,一般钻孔深度在2 m以上,因而通过现场施工然后再进行调整安装传感器的方式成本太高,而且繁琐,因而在设计之初就要反复做好

台网的设计工作。

3.4 主动震源验证系统定位实际精度

在系统建成之后还需要爆破测试,爆破测试一方面可以获取监测区域内岩体平均波速情况,另外一方面可以验证系统的定位精度和理论定位精度之间的差别。在理论误差与实际误差相差比较大的情况下,可以通过调整触发参数、波速和定位算法来优化定位效果。桦树沟铜矿区进行的爆破定位测试结果见表1,通过表1我们可以看到实际定位误差与理论设计误差之间基本保持一致,这也表明了台网分析工具的可靠性很好。

表1 爆破测试定位分析结果表

编号	坐标方位	定点爆破 实测坐标/m	微震系统 定位坐标/m	误差/m	
				坐标	直线
1	X	11 997. 072	11 999. 542	2. 47	
	Y	8 686. 648	8 682. 242	4. 406	6. 475
	Z	2 734. 056	2 730. 005	4. 051	
2	X	12 017. 551	12 013. 222	4. 329	
	Y	8 759. 856	8 765. 558	5. 702	8. 956
	Z	2 725. 504	2 720. 123	5. 381	
3	X	12 013. 921	12 012. 886	1. 035	
	Y	8 803. 265	8 811. 305	8. 04	8. 566
	Z	2 648. 324	2 645. 556	2. 768	

通过现场爆破测试可以看出第二次的设计方案效果比较理想,主动震源的定位误差满足规范要求,如果爆破定位误差不能满足规范的要求,需要对已建设的微震监测系统进行调整和优化。如果传感器采用的可拆卸式的安装方式则可以重新设计监测点再次安装传感器,如果是永久性的安装方式则需要补充传感器以优化系统定位精度。

4 桦树沟铜矿微震监测台网效果分析

良好的监测台网可以较好保障系统的监测效果,可靠的定位数据可保障后续的数据分析结果的准确性。通过微震事件的三维时空演变趋势可以分析到灾害孕育过程的前兆特征规律,进而实现准确的预警。微震监测系统事件定位三维空间分布如图6所示,其中不同颜色的球体表示的是微震事件,颜色表示的时间先后关系,球体大小表示的是震级的大小,然后结合三维矿体模型和巷道模型就可以直观的看出岩石破裂发生的实际位置,通过系统长时间观察发现该矿区的微震监测定位的微震事件和现

场观察到的岩石破裂区域或地压活动区域是吻合的。

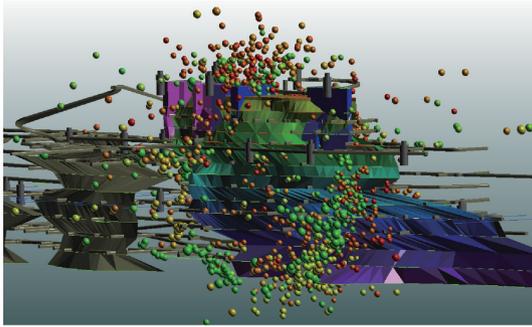


图6 桦树沟铜矿微震监测事件定位三维空间分布图

2021年4月9日系统监测到大量的微震事件聚集,通过三维模型和勘探线模型数据分析人员可以快速确认微震事件所发生的位置是在2700中段4a~4c勘探线之间并且在5号传感器附近聚集。根据微震事件发展趋势判断其达到了微震灾害预警的等级,具体是通过微震事件发生数量和震级达到了相关的阈值,立即向现场发出了预警信号并撤离了相关的作业人员。预警三维视图如图7所示。

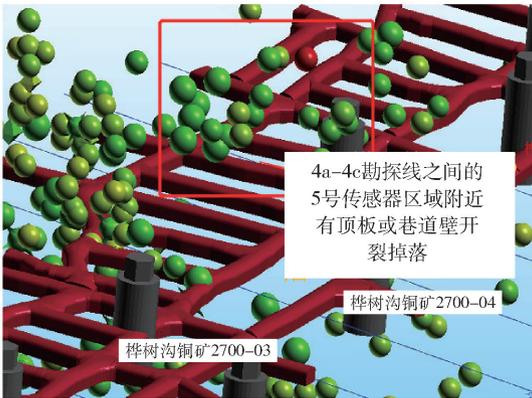


图7 桦树沟铜矿微震监测事件预警三维视图

地压灾害发生后通过现场勘察确认,地压灾害发生位置与微震监测定位位置是一致的,现场踏勘对比如图8所示。

通过一年多的系统运行情况来看,该矿微震监测系统一共成功实现了5次地压灾害预警,具体见表2,避免了不必要的人员伤亡事件,特别是在矿区周围发生地震之后矿山通过微震监测系统的观测井下地压活动情况,进而指导矿山有序恢复生产工作。

5 结论

本文通过对微震监测台网如何设计、如何优化

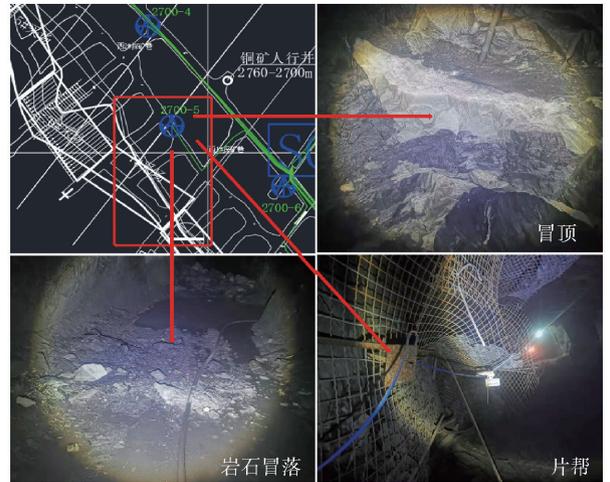


图8 桦树沟铜矿微震监测灾害预警现场踏勘对比情况

表2 5次成功预警事件

预警事件	发生时间	发生位置	矩震级大小
1	2021年4月9日	2700中段4a~4c勘探线之间,6号采场附近	-1.2级
2	2021年4月21日	2700中段3a勘探线和3号采场附近	-0.9级
3	2021年4月24日	2700中段4b勘探线和5~6号采场之间	-0.92级
4	2021年4月28日	2700中段4b勘探线和5号采场	-1.3级
5	2021年8月25日	2760中段5勘探线,6~7#采场间柱内	-1.0级

进行了详细的分析、研究和讨论,并通过爆破验证、地压灾害预警案例验证系统定位精度的可靠性,最终研究结果表明好的地压监测台网可以有效提升地压监测效果,具体研究结论如下:

(1)微震监测系统台网设计需要进行现场踏勘和地质资料分析研究工作,特别要考虑地压灾害危险区域、岩石物理性质和巷道分布情况,进而设计方案更有针对性。

(2)微震监测台网设计工具或数值模拟手段只是辅助工具,在理论分析的基础上要进行实践的检验并不断优化地压监测台网。

(3)地压监测预警效果与地压监测台网的优劣具有十分紧密的联系,好的监测台网可以大幅度提高监测预警结果的准确性。

(下转第61页)