

西藏知不拉铜多金属矿南采区边坡远程 监测预警系统研究

翟翔超，陶体盛，眭龙胜

(中国水利水电第十工程局有限公司,四川 成都 610072)

摘 要:通过对西藏知不拉铜多金属矿南采区地质情况和生产现状进行分析得知其高边坡存在坍塌安全隐患。针对该安全隐患制定了边坡稳定性监测方案,确定了采场边坡预警策略,实现了边坡稳定性在线监测,实时获取边坡潜在滑坡风险并及时预警,预防了采场边坡坍塌安全事故的发生,避免了人员伤亡和财产损失,保障了矿山安全生产,具有重要的经济和社会意义。

关键词:高边坡;坍塌;监测预警;合成孔径雷达;知不拉铜多金属矿

中图分类号:TD85;TD854;TD862 **文献标识码:** B **文章编号:**1001-2184(2019)04-0088-04

Study on Remote Monitoring and Pre-Warning System for the Slope in South Mining Area of Zhibula Copper Polymetallic Mine in Tibet

ZHAI Xiangchao, TAO Tisheng, SUI Longsheng
(Sinohydro Bureau 10 Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 610072)

Abstract: Through the analysis of the geological conditions and production status of the south mining area of Zhibula Copper Polymetallic Mine in Tibet, it is known that the high slope of Zhibula Copper Polymetallic Mine has potential safety hazards of collapse. Aiming at this hidden danger, a slope stability monitoring scheme is formulated, the pre-warning strategy of the stope slope is determined, the on-line monitoring of the slope stability is realized, the potential landslide risk of the slope is obtained in real time and the pre-warning is made in time, which prevents the occurrence of the safety accident of the slope collapse in the stope, avoids casualties and property losses, and ensures the safety of the mine. It has great economic and social significance.

Key words: high slope; collapse; monitoring and pre-warning; synthetic aperture radar; Zhibula Copper Polymetallic Mine

1 概 述

西藏巨龙矿业有限公司知不拉铜多金属露天矿位于冈底斯山脉东段郭廓拉日山区,地势南高北低,地形切割强烈,矿区最高海拔 5 594 m,最低海拔 5 050 m,最大相对高差 544 m,属高原中高山区。水系较为发育,总体北流,属于雅鲁藏布江流域。浪母家果曲及其支流从矿区由南向北、东部流过。矿区断层与裂隙发育,第四系强风化层分布较广。

矿区受区域性大断裂以及多期次岩浆活动影响,次级断裂构造较复杂,部分地段形成宽 5~20 m 不等、长达 1 000 m 左右的断裂破碎带,矿区内与成矿有关的主要断裂包括 F1、F2、F3、F8、F9 和 F10 断裂。在矿区碳酸盐分布地段岩石破碎,

裂隙发育,小褶曲在大理岩化灰岩和矽卡岩中常见,深部在碳酸盐岩发育地段多处遇到溶洞,溶洞深度为 3~6 m,最深可达 20 m。

南采区工程地质条件为较复杂,上部为安山质凝灰岩、英安质凝灰岩的风化层,饱和抗压强度大于 30 MPa,风化裂隙发育,岩石较破碎,呈镶嵌结构,围岩级别为Ⅲ级。开挖后围岩可产生小坍塌,爆破震动过大时易发生坍塌。下部基岩为较完整的安山质凝灰岩、英安质凝灰岩、大理岩化灰岩,有少量裂隙发育,但其多闭合,裂隙组合关系不会产生下滑力,围岩级别为Ⅱ级。开挖后,长时间暴露可能会局部产生小坍塌,但其侧壁稳定。

由前期矿区边坡岩体稳定性分析得知:露天采场大部分为山坡露天开采,设计人员结合终了境界内平均生产剥采比、排土场位置和选厂位置,

收稿日期:2019-06-15

同时考虑山坡露天的特点设计确定的采场边坡参数见表 1。

表 1 露天采场边坡几何特征表

分区	最终边坡角 /°	台阶高度 /m	台阶坡面角 /°	安全平台宽度 /m	安全清扫平台宽度 /m	边坡高度 /m
南采区	46~52	12	60~70	3	12	252

* 资料来源:《西藏巨龙铜业有限公司知不拉铜矿露天开采边坡稳定性及边坡角优化研究报告》。

根据前期地质勘探工作结论,未来知不拉铜多金属矿采场边坡稳定性是该矿工程地质面临的主要问题,边坡岩体存在大面积崩塌、滑坡等潜在地质灾害。为确保矿山生产过程中人员、设备的安全,保证露天开采边坡的整体稳定,同时亦为确定露天终了境界经济合理的剥离量以及采场台阶参数开展西藏知不拉铜多金属矿采场高陡边坡稳定性综合智能监测预警技术研究迫在眉睫。

2 监测预警系统方案

目前,知不拉铜多金属矿南采区边坡的最低标高为 5 120 m,靠帮边坡高度为 50~240 m,根据相关规范,其属于高边坡,边坡高度等级指数 $H=3$,南采场开采过程中的边坡角(高程 5 360~5 120 m)达到 52° ,属于陡坡级别,坡度等级指数 $A=1$;根据初步设计文件,上部围岩级别为Ⅲ级,下部围岩级别为Ⅱ级。因此,折中考虑地质条件等级指数按中等 $G=2$ 计算,现阶段南采场边坡的变形指数 $D=H+A+G=6$,边坡安全监测等级为二级。

根据相关国家规范,安全监测等级为二级的露天矿山边坡必备监测项目包括:边坡表面位移、爆破震动质点速度、地下水位、降雨量以及视频监控^[1]。由于地下水位、爆破震动监测可由采矿场

技术人员按规范定期采用人工监测,因此,该方案主要侧重于边坡表面位移监测技术方案的制定,补充降雨量监测和视频监控。因此,南采场边坡安全监测预警以边坡表面变形(位移)监测为主要监测内容,同时,结合爆破震动、地下水位、降雨量、采场视频监控等监测数据,综合分析采场边坡的安全状态。为实现系统的预警,需要在监测系统建设的同时,研究边坡监测预警判例的确定方法和预警初值,为边坡监测预警提供参考阈值;然后,通过边坡的过程监测数据、现场边坡水文地质资料等进行综合分析,分级分区逐步确定和完善边坡的生产过程预警阈值,真正实现边坡安全监测系统的监测和预警功能。因此,边坡监测预警系统的建设应包括边坡预警模型研究和初值的确定、边坡监测系统设施的实施和边坡监测系统后期运行数据和边坡稳定性分析等内容。

3 边坡监测技术的比选

分析得知:目前国内外高边坡监测技术应用较为广泛和成熟的地表变形(位移)在线监测技术主要有 GNSS 技术^[2]、智能全站仪技术^[3]、合成孔径雷达干涉测量(InSAR)技术^[4]、真实孔径监测雷达技术^[5]、三维激光扫描技术、光纤分布式测量技术和静力水准测量技术等。其技术特性对比情况见表 2。

表 2 监测技术特性对比统计表

序号	监测技术名称	监测方式	特点及适应性	监测精度 /mm	监测距离	局限性
1	GNSS 技术	采用卫星定位技术进行空间后方交会测量,非接触式测量	环境适应性强,全天候测量,精度高,操作简便,易于实现监测自动化	3	无限制	价格较高,检修频繁,固定边坡监测
2	智能全站仪(测量机器人)	智能型电子高精度测量系统,接触式测量	高精度、高效、全自动、实时性强、结构简单、操作简便	1	1 km	受雨雾天气影响大,固定边坡监测
3	合成孔径雷达	微波遥感新技术,非接触测量,无需安装监测设备	高分辨率成像雷达,精度高,全天候,范围大,快速获取,动态变化边坡监测	0.1	4 km	前期成本较高
4	真实孔径边坡监测雷达	对雷达孔径尺寸依次扫描成像,非接触测量	精度高,维护方便,适应环境强	0.2	3 km	前期成本高,目前无国产设备,费用高
5	三维激光扫描仪	非接触测量	精度低,维护量小			前期成本较高,受雨雪雾天气影响大

根据对表 2 中的各种监测技术进行对比分析得知最适合知不拉铜多金属矿采场边坡表面位移监测的方案应以地基合成孔径边坡监测雷达^[6]作为边坡位移监测的主体,配合雨量计、地下水位、视频等辅助监测手段,对采场边坡进行全覆盖监测。边坡雷达采用国产设备可以大幅度降低投入,而且其后期维护和技术分析有保证。笔者对其进行了阐述。

4 合成孔径边坡监测雷达系统

由于南采场区域较小,可在合适位置仅设一个固定监测点,建设合成孔径雷达观测房等防护设施。根据雷达设备的视场角划定雷达设备的安装位置及可覆盖的区域面积,基本覆盖整个采场边坡的表面位移监测区域。具体实施时,先使用三维激光扫描仪对前期观测确定的重点部位进行

三维地理信息建模,再有针对性地部署边坡监测雷达,通过比较雷达获取的边坡位移监测数据并将其叠加在边坡三维模型上形成的时移变化图,快速、直观、准确地圈定位移趋势异常区域,最大限度地发挥先进设备的监测功效;对于同一时刻暂无雷达设备在线监测的区域,可使用其他监测技术及人工巡测等手段对边坡分区块进行移动巡测,发现有明显位移趋势的区域时,再部署边坡雷达进行高精度持续监测。采用该策略,一方面提高了设备利用率,另一方面发挥了不同技术手段在监测精度、适用范围等方面的技术特长,从而实施分级监测。

从系统功能角度出发,边坡雷达在线监测系统整体架构见图 1。

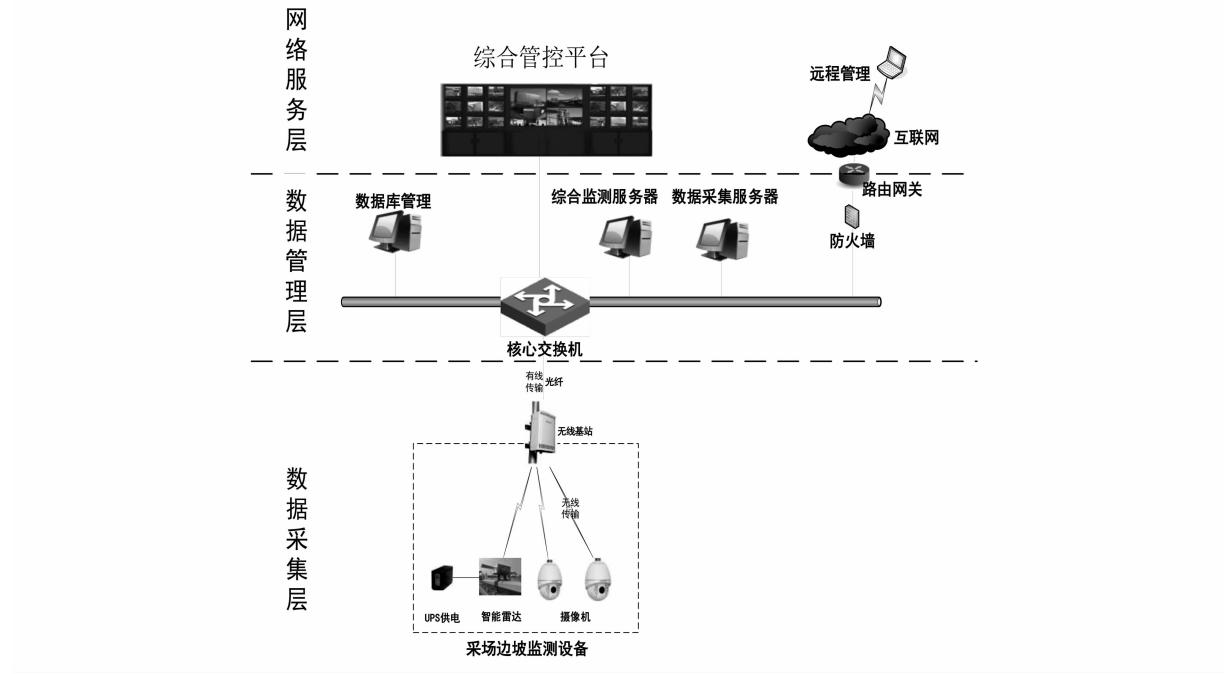


图 1 边坡监测系统架构图

智能雷达的数据分析需要将监测数据域与 DTM 数据叠加匹配分析(图 2),并应排除扫描区

和雷达之间大气温湿度等的影响,找出真正的变形、速度曲线并设置报警,最后预测滑坡时间。

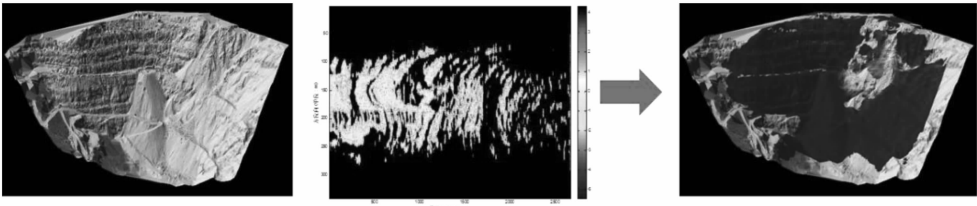


图 2 地基合成孔径监测雷达数据与 DTM 数据叠加匹配分析图

合成孔径边坡雷达基于图像数据快速匹配技术,可以方便、快速地将不同时间段对同一边坡监测的数据进行拼接处理,可以方便地对同一边坡在不同地点、不同时间进行不连续的监测。通过获取多种监测数据进行综合分析以提高系统监测的准确性,这种综合分析可以是两种数据的综合分析,也可以是多种监测数据的综合对比分析。这种分析是在各种单项分析的基础上进行的。其中,各种单项分析技术内容包括:在线监测系统数据分析、爆破振动测试分析、其他人工监测信息等。

通过分析处理智能雷达采集到的数据,做出边坡岩体位移、速度曲线,通过日常管理经验和软件分析推荐值在软件中设置合理的报警阈值,以达到边坡监测预警的效果。

该方案实施时,结合边坡监测雷达的技术特点,制定出了不同工况下应用边坡监测雷达指导安全生产的具体操作方式,以及对应的作业指导书和应急预案手册,边坡监测雷达的使用能够增强在边坡危险作业区域内生产人员应对边坡滑坡垮塌事故的信心,提高采矿作业的精细控制水平,保障作业人员和装备安全。

5 结 语

(上接第 79 页)

下钻孔、出渣、支护等造成很大影响,加之竖井地处严寒地区,地下水对井下工人的安全操作亦造成极大的影响。针对上述问题,通过科学地分析地下水补给的特点,在采取了工作面高压预注浆方案后,将竖井工作面的渗水始终控制在 5 m³/h,基本达到了预期效果。井筒涌水的有效控制不仅大幅度改善了井下作业环境,同时亦达到了竖井快速施工的目的。

5 结 语

新疆 KS9 竖井设计井深为 687 m。在其施工过程中水文地质条件变化大、地质条件复杂,围岩竖向裂隙发育、渗水量大,竖井深度及独特的地质条件在水利工程及矿井建设过程中均属罕见。在该工程实施过程中,面对复杂的地质情况,在无类似工程经验可借鉴的条件下,以项目为依托采取高压注浆方案控制了井筒渗水。根据对现场实施效果进行分析,KS9 竖井施工月平均进尺达 60 m/月,远远超过目前国内渗水超深竖井^[5]的平均强度,竖井施工在方案调整后较计划工期提前两

通过安全监测预警系统的研究和建设,确定了采场边坡预警策略,实现了边坡稳定性在线监测,实时获取了边坡潜在滑坡风险并及时预警,可以预防采场边坡坍塌安全事故,避免人员伤亡和财产损失,保障矿山安全生产,具有重要的经济和社会意义。

参考文献:

[1] AQ2063—2018,金属非金属露天矿山高陡边坡安全监测技术规范[S].
[2] 黄素霞,李 璐,张 静.GNSS 定位的核心技术浅谈[J].硅谷,2014,13(17):17—19.
[3] 李小军,苏 军,韩志磊.智能全站仪在尾矿库表面位移变形监测中的应用[J].有色金属,2015,67(增 1):73—76.
[4] 张拴宏,纪占胜.合成孔径雷达干涉测量(InSAR)在地面形变监测中的应用[J].中国地质灾害与防治学报,2004,15(1):112—117,128.
[5] 张会霞,朱文博,著.三维激光扫描数据处理理论及应用[M].北京:电子工业出版社,2012.
[6] 闫国斌.边坡雷达在矿区边坡监测区域的应用分析[J].工业安全与环保,2015,41(10):57—60.

作者简介:

翟翔超(1984-),男,湖北洪湖人,工程师,从事水利水电与矿山工程施工技术与管理工
陶体盛(1982-),男,贵州遵义人,工程师,从事水利水电与矿山工程施工技术与管理工
睦龙胜(1990-),男,四川成都人,助理工程师,从事水利水电与矿山工程施工技术与管理工。(责任编辑:李燕辉)

个月完成,取得了较好的实践效果。

参考文献:

[1] 袁 赞,张 维.水利工程超深竖井正掘法施工爆破参数的优化[J].四川水力发电,2017,36(2):97—99,105.
[2] 张 勇.地面注浆控制井壁破裂变形的机理与工程分析[J].矿业安全与环保,2009,38(6):52—55.
[3] 冯旭海.煤矿冻结法与注浆法特殊凿井技术应用对比研究[J].建井技术,2015,27(3):48—52.
[4] 任晓军.化学注浆在处理竖井井壁涌水中的应用[J].矿业装备,2015,5(4):105—106.
[5] 孔维春,王卫治.超深竖井正井法施工在江门中微子实验站配套基建工程中的应用[J].水利水电施工,2017,36(3):35—41.

作者简介:

林伟明(1978-),男,黑龙江绥化人,高级工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工
袁 赞(1985-),男,湖北宜昌人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工
谢剑波(1976-),男,四川西充人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工
李晓琴(1976-),女,四川康安人,高级工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工。(责任编辑:李燕辉)