

MSR400 型边坡雷达在油页岩露天矿山的应用研究

韩岗¹ 吕荣刚¹ 周亚菲² 赵红超³

1 新疆宝明矿业有限公司, 新疆吉木萨尔, 831700;

2.新疆大学 地质与矿业工程学院, 新疆乌鲁木齐, 830000;

3.库尔勒金川矿业有限公司, 新疆库尔勒, 841000;

摘要: 为了更好的服务于露天矿山的安全生产, 实现边坡管理的在线监测, 结合新疆宝明矿业边坡段高大, 地质构造发育等特点。提出了采用外租雷达监测服务, 首次引入 MSR400 型边坡雷达服务于油页岩矿山。本文以 MSR400 型边坡雷达为核心, 对其在工作原理、组成、工作方式、技术参数、数据后处理进行了介绍, 并对 MSR400 型边坡雷达在石长沟露天矿布设点位、预警管理进行了分析, 实际应用结果表明, 该系统能够对露天矿山的边坡变形进行有效监测, 并对潜在风险进行及时预警, 监测数据可用于边坡稳定性评价, 大幅提升了矿山安全管理水平。

关键词: 油页岩露天矿山; MSR400 型边坡雷达; 系统; 预警; 评价

DOI: 10. 69979/3041-0673. 24. 7. 030

引言

新疆宝明矿业有限公司石长沟露天矿区内断裂有 F1、F4、F5、F6、F7、F8、F9、F10 共 8 条, 矿区褶皱、断层发育, 部分矿体岩体易风化, 且在首采区东帮已经形成了高差大于 300m, 在首采一区及二采区北帮总段高接近 200m, 传统的 GNS S 检测方式已经无法满足生产经营的需要。传统的监测手段主要依靠人工巡视和定期测量, 存在监测盲区大、成本高、效率低等问题。针对传统监测手段存在的不足之处, 采用边坡雷达技术可以实现对矿山边坡的连续、实时监测。通过雷达波束扫描技术, 能够快速获取边坡表面数据, 实现全方位的监测, 大大提高了监测的精度和效率。

边坡雷达系统可以 24 小时连续、有效地对采掘场、外排土场边坡变形进行动态实时监测, 及时地、准确地预报滑坡灾害的发生, 保证其边坡稳定, 避免生命财产安全事故。所以, 利用边坡雷达系统不仅达到了安全生产目的, 而且也提高了露天矿的经济效益和生产的连续性。^[1]

MSR400 边坡雷达是一套用于露天矿区的边坡稳定性测量和监测的设备。系统能够对矿山边坡、山体、地表以及矿区建筑等易发生微小位移变化的物体进行远程监测。整个设备无需安装在岩壁表面, 即可进行连续的、次毫米级精度测量。而且该系统的测量几乎不受雨水、灰尘和烟雾的影响, 可以保证露天矿山的安全生产及经济效益。

1 MSR400 型边坡雷达的组成

边坡雷达实时监测系统分为: 数据采集单元 (也叫传感器系统)、数据通讯单元、数据处理与控制单元 (软件部分)、供电单元、避雷单元五个部分。^[2-4]

2 MSR400 边坡雷达的工作方式及主要技术参数

2.1 边坡雷达的工作方式

边坡雷达通过发射一束微波信号, 然后接收反射的信号来实现对边坡的监测。在工作过程中, 首先边坡雷达会发射一束微波信号, 这个信号会在空气中传播并与地面相互作用。当这个信号遇到不同介质的边坡表面时, 会发生散射、反射等作用, 一部分能量会被边坡表面吸收, 一部分则会返回到雷达接收机。接收到的信号中蕴含了被监测边坡的形变信息。边坡雷达会根据接收到的信号数据, 计算出边坡表面的位移、速度、加速度等变化情况, 从而实现对边坡的监测和预警。同时, 边坡雷达可通过数据分析和模型建立, 实现对边坡未来发展趋势的预测和评估, 为边坡工程的规划和管理提供科学依据。^[5-7]

3 边坡雷达数据后处理

边坡雷达数据后处理是指对采集到的雷达数据进行进一步处理和分析, 以获取更多有用的信息。在本系统中, 我们主要采用以下方法进行数据后处理:

数据校正: 首先对采集到的雷达数据进行校正, 包括零点漂移、增益漂移等问题, 确保数据的准确性和可靠性。通过校正可以消除仪器本身的系统误差, 提高监测数据的准确性^[8]。

数据滤波: 针对噪声干扰等问题, 我们采用滤波算法对雷达数据进行滤波处理, 去除噪声干扰, 保留有效信号。常用的滤波算法包括中值滤波、均值滤波等, 通过滤波处理可以改善数据质量, 提高监测效果。^[9-10]

数据分析: 通过对雷达数据进行分析, 提取出关键信息和特征, 例如边坡的变形情况、裂缝的分布情况等。我们可以通过曲线拟合、特征提取等方法对数据进行分析, 得到更直观、更可靠的监测结果。

数据可视化：最后，我们将处理过的雷达数据进行可视化展示，通常采用曲线图、柱状图、等高线图等形式展示监测结果。通过直观的图表展示，可以帮助用户更好地理解数据，及时发现异常情况，为安全监测提供有力支持。^[11]

4 地质条件分析及监测点的选择

4.1 地质条件分析

新疆宝明石长沟露天矿主要产品为油页岩，为准噶尔盆地南缘吉木萨尔逆冲推覆构造体系的组成部分，是一组叠瓦式逆冲断裂系的前缘断层带及其次级断裂，对矿区油页岩矿的评价影响巨大。矿区内断裂有 F1、F4、F5、F6、F7、F8、F9、F10 共 8 条，地表还发现构造窗两处，编号 G1、G2。其中 F1 直接影响矿体围岩稳定性，分布于矿体的北侧，断层总体倾向 210°，倾角 15°~50°。不论在地表还是深部，该断层破碎带十分发育，由岩块、碎裂岩、角砾岩或断层泥组成，常呈分枝复合状分布，整个芦草沟组第三岩性段均属于断层破碎带影响范围之内。

首采一区出露岩层倾向约 60°，倾向约 200°，目前首采一区坑底最低高程为 818m，东帮剥离台阶最高高程约 1140m，北帮剥离台阶最高高程约 996m，剥离台阶最高点位于北帮，属于顺倾边坡，稳定性较差。东帮进行采剥作业，根据剥离裸露坡面可见油页岩底板岩性主要以泥质细砂岩、泥岩砂岩为主，其中细砂岩底部红色泥岩层，层厚 0.5m，较湿，硬塑状态，手捏易变性，为软弱岩层。首采一区南帮砂砾层与土层交界处可见出水点，上部未见隔水顶板，地下水类型为潜水，坑底见积水。

二采区北帮、东帮边坡较破碎。采坑最低高程 838m，北帮台阶最高处高程约 1022m。坑下积水较深，最深约 2~3m，积水来源主要为西侧河流入渗裂隙在坑下聚集。目前采坑仅东帮边坡部分台阶进行采剥作业，其它边坡均停止作业，同时 960~972 平台出现小规模片帮。

4.2 监测点及检测设备的选择

根据边坡稳定性分析，最终选择对首采区、二采区设置 4 台 MSR400 型雷达对重点区域进行在线监测，根据采场布置及雷达坐落位置将其编号为 1 号-4 号。1#雷达主监测首采区北帮及东帮边坡，2#雷达主监测首采区南帮及西南帮边坡，3#雷达主监测二采区北帮边坡，4#雷达主监测二采区南帮边坡。

另在首采区布设水位监测孔 12 个（自动监测设备 7 台）、爆破震动监测设备 4 台；二采区布设水位监测孔 4 个（自动监测设备 1 台）、爆破震动监测设备 2 台；一号排土场布设 GNSS 监测设备 5 台；三号排土场布设 GNSS 监测设备 4 台；末矿厂布设 GNSS 监测设备 5 台，协同完成数据采集与检测工作。

5 边坡雷达的日常管理与应用

5.1 边坡雷达日常管理

采用外租雷达及监测服务方式对边坡雷达进行管理，由第三方技术人员负责监测系统运行维护、监测预警，负责日常对坡监测系统预警信息的收集上报，如有异常信息连接错误，及时分析数据异常原因并及时解决。对边坡雷达监测数据进行分析，形成边坡日、周、月及年度监测报告，报告内容包含监测日期、边坡变形数据、存在的隐患及制定的安全措施等。

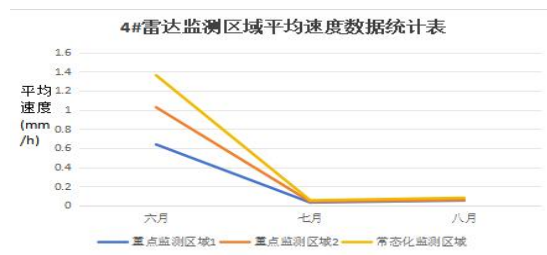
5.2 边坡雷达监测系统预警值设置

新疆宝明 2023 年使用边坡雷达进行边坡监测时，沈阳研究院结合其它煤矿实际应用经验，将监测等级设置为四级，I 级为红色预警，变形速度 12.0mm/h 。II 级为橙色预警，变形速度 $8.0 \leq V < 12.0\text{mm/h}$ ，III 级为黄色预警，变形速度 $5.0 \leq V < 8.0\text{mm/h}$ ，IV 级为蓝色预警 $3.0 \leq V < 5.0\text{mm/h}$ 。经过一段时间边坡监测，由于在进行预警值选定时，未充分结合油页岩露天矿岩性、岩体构造、水文地质、岩体风化程度、最终帮坡脚、坡面角等因素，局部片帮现象未能及时发出预警，经过研究，对预警值进行了调整。

调整后预警值设置为四级，I 级为红色预警，变形速度 8.0mm/h 。II 级为橙色预警，变速度 $5.0 \leq V < 8.0\text{mm/h}$ ，III 级为黄色预警，变速度 $3.0 \leq V < 5.0\text{mm/h}$ ，IV 级为蓝色预警 $1.0 \leq V < 3.0$ 。在速度呈加快趋势，加速度大于零，速度超过 1mm/h 边坡雷达即发出预警信号。经过实践检验，调整后的预警值能够较好的适用于边坡监测工作。

表 1 边坡雷达监测预警值

等级	项目	单位	速度
四级（蓝）预警	速度（V）	mm/h	$1.0 \leq V < 3.0$
三级（黄）预警	速度（V）	mm/h	$3.0 \leq V < 5.0$
二级（橙）预警	速度（V）	mm/h	$5.0 \leq V < 8.0$
一级（红）预警	速度（V）	mm/h	8.0 以上



5.3 边坡雷达预警处置流程

IV 级（黄）预警：由沈阳研究院当班人员进行现场勘查，通知调度员，通过分析报警区域位移曲线和速率曲线，结合现场勘查结果，确定报警原因，做好记录。

III 级（黄）预警：表明该区域位移速度和位移量已达到

初等危险值,沈阳研究院派出专门地质技术人员对报警位置重点圈出,分析位移及速度数据,结合视频监控系统辨别预警区域是否存在安全隐患,分析变化原因,向有关科室和领导汇报预警情况并建立预警档案,领导依据汇报情况会同生产部门指导下一步安全生产工作。

II 级(橙)预警:表明该区域位移速度和位移量已达到中等级危险值,预警区在近期内滑动趋势偏大,沈阳研究院值班人员,结合位移和速度曲线,分析是否有滑动趋势,如滑动趋势明显,派出地质技术人员与地测科、安全科等相关人员进行现场排查,并对变形位置采取相关措施,保证人员及设备的安全,上报总工程师并会同生产部门指导下一步安全生产工作。

I 级(红)预警:表明该区域发生滑坡或片帮的可能性很大,要立即停止采剥生产作业,沈阳研究院值班人员要立即联系调度室主任、安全科、地测科、技术科等相关人员,同时派出地质技术人员,根据报警信息,查看该区域位移和速度曲线,分析滑动趋势,并依据分析结果进行实地踏勘,对变形位置采取有效的处理措施,保证人员及设备的安全,上报至矿总工程师及矿长指导下一步安全生产工作。^[12]

6 边坡雷达在边坡稳定性分析中的应用

边坡雷达监测数据可有效应用于边坡稳定性分析,针对变量,提出边坡稳定性结论及建议,新疆宝明将边坡雷达检测结果应用于 2023 年边坡稳定性评价,评价结果如下:

1#雷达主监测首采区北帮及东帮边坡,自实施监测以来各区域累计位移量逐月减小,各区域内位移速率降低,首采区北帮及东帮边坡整体呈稳定状态。

2#雷达主监测首采区南帮及西南帮边坡,除南帮区域一外各部分累计位移量均逐月递减,该监测区域内 2023 年 6 月重点监测区域 2 平均速度已接近阈值 8mm/h,但各区域平均速度均递减且趋于稳定,未出现加速趋势,可得出首采区南帮及西南帮边坡处于稳定状态。

3#雷达主监测二采区北帮边坡,各区域各部分累计位移量均递减,各区域平均速度均递减且趋于稳定,未出现加速趋势,可得出首采区南帮及西南帮边坡处于稳定状态。

4#雷达主监测二采区南帮边坡,各监测区域累计形变量稳步小幅增加,但平均速度均递减且趋于稳定,未出现加速趋势,可得出首采区南帮及西南帮边坡处于稳定状态,但需注意边坡变形情况。

7 结论

MSR400 型边坡雷达适用于油页岩露天矿矿山的边坡监测,实现了对边坡进行动态、实时监测,并可将监测结果应用于边坡稳定性评价,实践表明,该系统可对油页岩露天矿采场边坡稳定性进行准确监测预报,可为类似矿山边坡稳定性监测提供参考。

参考文献

- [1] 王立文,刘文胜,揣新. MSR 边坡稳定性雷达在凹山铁矿的应用[J]. 现代矿业, 2016(6):303-305.
 - [2] 王斐,马彦辉,郭玉祥. SSR-X 在露天矿边坡稳定性监测中的应用研究[J]. 河南城建学院学报, 2012, 21(6):37-40.
 - [3] 闫国斌,陶志刚,孙光林,等. 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.
 - [4] 许强,汤明高,黄润秋. 大型滑坡监测预警与应急处置[M]. 北京:科学出版社, 2015.
 - [5] 孙新虎. 雷达监测系统在煤矿边坡监测中的应用[J]. 煤矿安全, 2013, 44(8):137-140.
 - [6] 朱新平,郭昭华,韦忠跟,等. 黑岱沟露天矿边坡动态实时监控预警技术[J]. 露天采矿技术, 2010(3):1-3.
 - [7] 付相超,刘玉福. 边坡稳定性雷达在黑岱沟露天煤矿的应用[J]. 露天采矿技术, 2010(6):28-30.
 - [8] 杨红磊,彭军还,崔洪曜. GB-InSAR 监测大型露天矿边坡形变[J]. 地球物理学进展, 2012, 27(4):1804-1811.
 - [9] 隆华平. 利用地基干涉雷达 IBIS-FL 监测露天矿边坡形变研究[J]. 工程勘察, 2014, 42(11):68-73.
 - [10] 丁震. 露天煤矿边坡实时监测技术应用对比分析[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(S1):189-192.
 - [11] 林德才,马海涛,宋宝宏. 边坡雷达在滑坡应急救援行动中的应用[J]. 中国安全生产科学技术, 2016, 12(S1):284-289.
 - [12] 刘斌,葛大庆,李曼,等. 地基合成孔径雷达干涉测量技术及其应用[J]. 国土资源遥感, 2017, 29(1):1-6.
- 基金项目:新疆维吾尔自治区教育厅高校科研计划项目(XJEDU2016S037)