

北斗 GNSS 技术在露天采场边坡监测中的应用

Application of Beidou GNSS Technology in Open-pit Mine Slope Monitoring

钟小宇¹, 衣 瑛¹, 亢建民¹, 杨 雷²

(1. 鞍钢集团鞍千矿业有限责任公司, 辽宁 鞍山 114000; 2. 中国矿业大学(北京)能源与矿业学院, 北京 100083)

摘要:本文以鞍千矿业哑巴岭露天采场为工程背景,探究了基于北斗 GNSS 技术的露天采场边坡监测系统构建及其在鞍千矿业哑巴岭露天采场中的应用。应用结果表明,国产的基于北斗 GNSS 技术的露天采场边坡监测系统能有效地解决人工监测费时、费力和实时性差的不足,实现对露天采场边坡的在线实时监测,其监测数据的有效性与准确性较高,为其他类似条件露天采场高陡边坡监测与治理提供借鉴。

关键词:边坡监测; GNSS; 露天采场

中图分类号: TD176

文献标志码: A

文章编号: 1672-609X(2022)01-0056-05

Abstract:The high and steep jointed broken rock slopes of open-pit mines have huge potential safety hazards, and it is of great significance to accurately monitor the rock movement and deformation of open-pit slopes. With Anqian Mining's Yabaling Open-pit Mine as the engineering background, this article has investigated the construction of the open-pit slope monitoring system based on Beidou GNSS technology as well as its application in Anqian Mining's Yabaling open-pit mine. The application results show that the indigenous open-pit slope monitoring system based on Beidou GNSS technology can effectively solve the problems of time-consuming, laborious and poor real-time manual monitoring, and enable an online real-time monitoring of the open-pit slopes, and it is found that the validity and accuracy of its monitoring data are high, thus, providing a reference for the monitoring and management of high and steep slopes in other open-pit mines with similar conditions.

Key words:slope monitoring; GNSS; open-pit mine

1 前言

露天矿山开采过程中,随着开采时长逐渐增加,导致露天采场边坡高度增大、暴露时间增长;为减少露天矿山剥岩量,边坡角度尽量加大,形成了大量的高陡边坡。高陡节理破碎岩体边坡存在巨大的安全隐患,时常导致滑坡等灾害的发生,扰乱了矿山的正常生产秩序,危及露天采场人员和设备安全。因此,精准实现露天采场边坡岩移与变形监测,进而实现灾害预警,对于减少边坡安全事故,保障矿山正常生产,确保人员设备安全,提升露天开采效率,实现矿山可持续发展具有积极意义。

目前,国内外所采用的边坡安全监测技术和方法较多,大致可分为接触式监测和非接触式监

测^[1-4]。刘成^[5]选取大地测量法对高速公路边坡位移进行监测,准确确定了高速公路边坡的位移变化,并分析了高速公路边坡的稳定性,确保了高速公路边坡的安全;司梦元、周银等^[6]针对高速公路高陡边坡监测难度大的问题,选取三维激光扫描技术对高速公路高陡边坡实施监测分析,有效解决了高速公路高陡边坡监测难题,并实现了高速公路高陡边坡位移自动监测和边坡灾害预警;刘善军、吴立新等^[7]改善了单一的监测手段,提出并建立了天-地-空监测系统,根据不同矿山的监测需求提供相应的监测技术方案,同时对边坡进行有效监测与预警,保证了露天开采的正常进行;侯训田、万毅宏等^[8]针对高速公路边坡灾害频发且难以预测,选取声发射技术应用于山体滑坡灾害的预测,准确监测了高速公路边坡岩移与变形。

随着露天开采技术的发展和矿产资源需求的持续高涨,多数露天矿山进入深凹开采阶段,露天采场滑坡灾害时有发生,高陡节理破碎岩体边坡实时监

[作者简介] 钟小宇(1963—),男,高级工程师,大学本科,主要从事露天采场科研管理工作。

[引用格式] 钟小宇,衣瑛,亢建民.北斗 GNSS 技术在露天采场边坡监测中的应用[J].中国矿山工程,2022,51(1):56-60.

测难度大。本文以鞍千矿业哑巴岭露天采场为工程背景,采用基于国产北斗的全球导航卫星系统(Global Navigation Satellite System, GNSS)对露天采场边坡变形实施自动监测,并对监测数据进行分析研究,进而实现哑巴岭露天采场边坡稳定性评价,同时对其他类似条件露天采场高陡边坡监测与治理提供借鉴。

2 工程概况

2.1 工程背景

鞍钢集团鞍千矿业有限责任公司(以下简称鞍千矿业)位于辽宁省鞍山市东 15 km,矿区位于丘陵山区,海拔标高 100 ~ 200 m,最高海拔标高 275.38 m,最低海拔标高 50 m,山脊较陡,山形呈北西 ~ 南东向展布。哑巴岭露天采场一期境界内形成的固定边坡最高标高 +168 m,最低 -24 m,高 192 m,目前四周边坡均为一期境界固定边坡。现场调查结果表明,哑巴岭采场东帮 +144 m 水平处于地表开裂区,该部位位于哑巴岭排岩主干公路 132 ~ 144 m 水平东侧;哑巴岭东北帮 96 m 水平于 2018 年 8 月 14 日曾发生滑坡,该滑坡处位于哑巴岭排岩主干公路 96 ~ 108 m 水平,滑体上为堆积土,下为泥质千枚岩及炭质千枚岩等软岩,边坡稳定性较差,需要及时对边坡稳定性进行评估,并且建立相应的监测系统以保障矿山正常生产的进行和人员设备的安全。

2.2 监测系统设计原则

露天矿山边坡监测系统设计前,首先应对露天矿边坡地表开裂、滑坡或位移等情况及相关资料进行分析研究,再根据分析研究结果或边坡稳定评价结果,对监测方案进行设计^[9]。露天矿山边坡监测系统设计应遵循以下原则:

① 采用当前先进设备,可以满足边坡在线监测与近期发展的需要;

② 边坡在线监测系统的硬件平台和应用系统都应具备很强的可靠性;

③ 边坡在线监测系统开发过程中,应当充分了解不同类型边坡的业务需求,做到功能的通用性和全面性;

④ 边坡在线监测系统设计和开发过程中,提供可变化的参数和二次开发的接口,提供后续监测点和监测项增多的接口;

⑤ 对投资较大的监控项目,可采用系统整合的方法,实现最经济有效的利用。

3 采场边坡设备布置

3.1 主要监测设备

1) 表面位移监测设备

采用 MR02 北斗高精度监测型接收机,该产品是一款支持北斗、GPS、GLONASS、Galileo 等的全星座全频点接收机,创新的北斗高精度板卡技术,同等性能设备,功耗最低,适用于各类变形监测场景。产品组合包括北斗高精度监测型接收机 1 台、北斗高精度测量型天线 1 个,具体如图 1、图 2 所示。



图 1 北斗监测接收机



图 2 北斗监测天线示意图

3.2 设备布置原则

露天采场边坡监测范围应包括露天采场、采场周边地表变形区域、采场周边有河流或者沟壑的地区、边坡评价欠稳定地段等。根据《露天煤矿边坡变形监测技术规范》(GB/T 37697—2019)及《煤炭工业露天矿边坡工程监测规范》(GB 51214—2017),确定设备布设原则:

① 监测站布设主要依据现场勘察及以往边坡稳定性评价成果;

② 对采场边帮不稳定、有不良地质构造或对重要建(构)筑物安全有重大影响的关键部位布置监测站进行连续监测;

③ 除考虑上述因素外,选择监测站位置时还应考虑被监测对象对北斗接收机卫星信号机及无线通信的影响;

④ 边坡监测测线不少于 3 条,每条测线不少于 3 个监测点;

⑤ 地表变形监测点,宜采用有强制对中装置的墩标,困难地段也应设立固定照准标志。

3.3 监测站点布置

监测现场勘察时发现,拟定的监测地点远离现网覆盖,不利于高精度解算,故考虑在附近增设1个监测基准站。基准站具体位置应布设于岩体稳定区域,且短时间内不受正常开采影响,再根据现场卫星信号及无线通信信号测试情况共同确定基准站位置。

1) 基准站的选址

基准站场地应满足以下要求:

- ① 距离被监测对象不宜超过5 km;
- ② 基准站场地稳固,可选择建在稳定的地面、建筑物上或冻土层以下0.5 m;
- ③ 视野尽量开阔,卫星信号不受遮挡;
- ④ 保证数据传输网络可用;
- ⑤ 基准站观测墩应远离震动源(如铁路、公路等)50 m以上。

2) 基准站布置

鞍千矿业哑巴岭露天采场东北帮滑坡变形区域,设计选择使用一个基准站。哑巴岭西南帮为排岩干路,直通排土场,排土场距采场较近,故将基准站设置在哑巴岭采场东部老观景台稳定区域。

结合哑巴岭采场曾滑坡地段的具体情况,考虑矿山二期建设,露天采场边坡南帮在短时间内将进行扩帮,故暂且不能在哑巴岭采场南帮设置监测站和其他监测仪器。本次监测设备主要安装在哑巴岭采场东北帮及西帮区域,哑巴岭采场东帮存在地表开裂区,需要着重进行监测。监测设备实测的数据,通过无线网络进行自动传输,利用平台软件对数据进行处理和存储,可以得到各监测点的位移变化量、位移变化速率、位移加速度情况。监测点布置如图3所示,监测点具体布置信息见表1。

4 边坡变形监测结果分析

4.1 累计位移变化分析

监测站按照表1所示坐标进行布置,监测站监测范围于整体采场边坡而言相当于点监测,而边坡的滑动失稳时常表现出整体性,即滑动体的大覆盖面积,监测站通过点监测的方式实现了大范围潜在滑动体的实时监控(监测点布置于潜在滑动体的覆盖范围内)。

分别对观察期内(截至2021年7月29日)的



图3 监测点布置卫星图

表1 监测点具体布置信息

移动站名称	测点编号	坐标	
		N	E
一号移动站	GNSS01	41.107 634	123.132 175
二号移动站	GNSS02	41.109 192	123.138 969
三号移动站	GNSS03	41.098 982	123.129 753
四号移动站	GNSS04	41.105 417	123.140 332

GNSS01、GNSS02、GNSS03、GNSS04 监测点边坡监测累积位移数据进行分析处理,累计位移规律如图4所示。由图可知,4个观测站监测位移皆于7月中下旬达到最大值;其中GNSS01监测数据中在X方向(DX)最大累计位移40.36 mm、Y方向(DY)最大累计位移41.33 mm、H方向(DH)最大累计位移20.03 mm、平面(2D)最大累计位移57.64 mm;GNSS02监测数据中在X方向累计位移34.63 mm、Y方向累计位移25.71 mm、H方向累计位移-20.91 mm、平面累计位移43.13 mm;GNSS03监测数据中在X方向累计位移29.2 mm、Y方向累计位移18.99 mm、H方向累计位移-8.45 mm、平面累计位移34.34 mm;GNSS04监测数据中在X方向累计位移20.84 mm、Y方向累计位移39.05 mm、H方向累计位移36.17 mm、平面累计位移48.55 mm。

从图4中可以看出,边坡累积位移曲线斜率在5月中下旬逐渐增加,截至7月下旬达到最大值,5月中下旬之后矿山进入降雨事件高发期,累积降雨量不断增加,雨水的渗透汇入地下水,对边坡岩体中的泥质岩易产生水力作用,削弱了岩体黏聚力。其次气候回暖时冻土的融化对边坡的稳定性也产生了一定的影响。劣化边坡岩体在自重及爆破振动等因素的影响下稳定性降低,也可能发生一定位移。

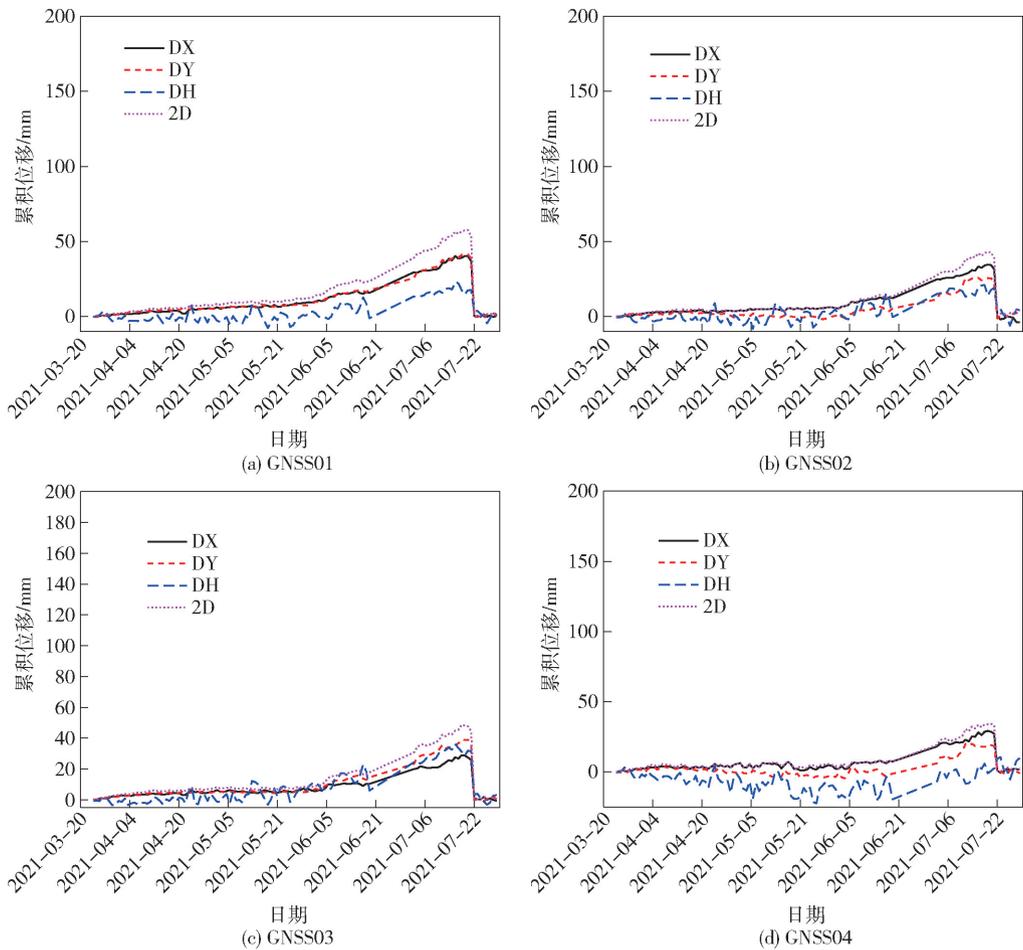


图 4 边坡监测点累计位移变化规律

众所周知,边坡滑移失稳是多因素耦合作用的结果,GNSS 技术能够对岩体边坡的变形事件进行实时、精确、全天候监测,监测可精确至当天的具体时间点,图 4 中各日期的位移值皆为当日各时间点的累积矢量值,精确度可达到 0.1 mm,完全可以满足对边坡岩体变形的实时性及高精度的监测,单日累积位移如图 5 所示。

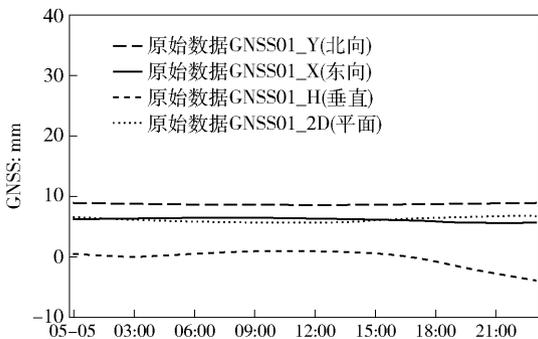


图 5 单日累积位移监测

4.2 位移变化速率分析

分别对观察期内(截至 7 月 29 日)各测点的边

坡监测数据进行分析处理,边坡岩体的位移变化速率在降雨事件高发期也产生一定的增加,监测点位移变化速率如图 6 所示。

其中,GNSS01 主要监测对象为矿山道路,其他监测站主要服务于露天境界线内的地表。从监测数据可知,边坡岩体在各方向的位移速率较小,且曲线斜率变化较小,在降雨条件下发生一定程度的增加,雨水过后出现降低的趋势。说明边坡岩体的自稳性较强,在雨水,振动等因素的影响下劣化程度不高,且具有一定的自恢复能力,即岩体暂时处于稳定状态。

5 结 论

本文探究了基于北斗 GNSS 技术的露天采场边坡监测系统的构建及其在鞍千矿业哑巴岭露天采场中的应用。应用结果表明,国产的基于北斗 GNSS 技术的露天采场边坡监测系统能有效地解决人工监测费时、费力和实时性差的不足,实现对露天采场边坡的在线实时监测,其监测数据的有效性与准确性

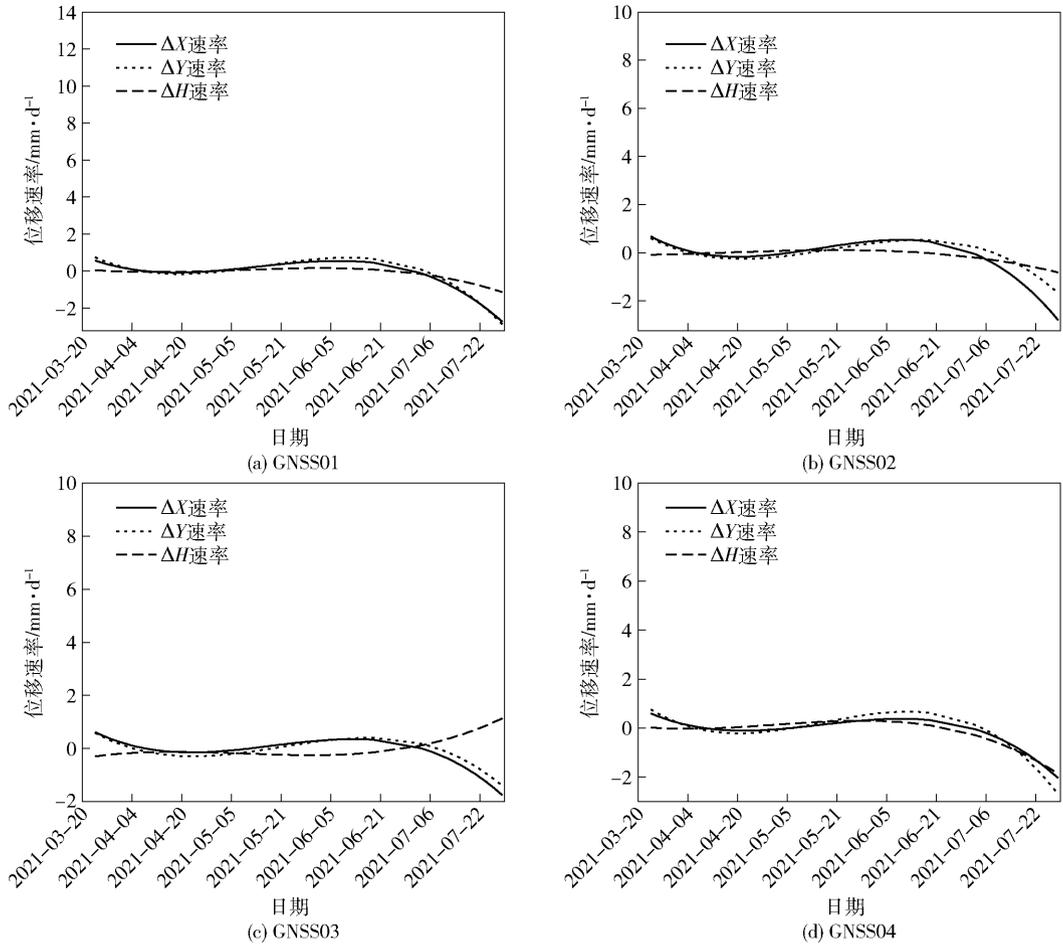


图6 边坡监测点位移变化速率

较高。

[参考文献]

[1] 刘祖强,张正禄,部启新,等. 工程变形监测分析预报的理论与实践[M]. 北京:中国水利水电出版社,2008.

[2] 薄志毅. 露天煤矿边坡滑移变形预测理论及其应用研究[D]. 北京:中国矿业大学(北京),2009.

[3] 罗志强. 边坡工程监测技术分析[J]. 公路,2002(5): 45-48.

[4] 张清志,郑万模,巴仁基,等. 应用高精度系统对四川丹巴滑坡进行监测及稳定性分析[J]. 工程地质学报, 2013(2):250-259.

[5] 刘成. 高速公路滑坡地表位移监测与控制[J]. 北方交

通,2018(7):140-142,147.

[6] 司梦元,周银,郭杰明,等. 基于三维激光扫描技术的高边坡变形监测分析[J]. 科学技术与工程,2020,20(19):7922-7927.

[7] 刘善军,吴立新,毛亚纯,等. 天-空-地协同的露天矿边坡智能监测技术及典型应用[J]. 煤炭学报,2020,45(6):2265-2276.

[8] 侯训田,万毅宏,张娟秀,等. 基于声发射技术的山体滑坡灾变预测试验研究[J]. 中外公路,2014,34(1): 36-39.

[9] 何玉凤. 雅西高速瓦厂坪边坡稳定性的监测分析与安全预警研究[D]. 成都:成都理工大学,2020.