

北斗GNSS在边坡及地灾监测研究与应用

卫兴哲

大唐陕西发电有限公司石泉水力发电厂 陕西 安康 725200

摘要：随着全球气候变化和人类活动的加剧，边坡及地质灾害的发生频率和规模不断增加，对人民生命财产和社会经济发展构成了严重威胁。北斗卫星导航系统（GNSS）作为中国自主研发的全球卫星导航定位系统，凭借其高精度、全天候、实时性等特点，在边坡及地质灾害监测领域展现出巨大潜力。本文综述了北斗GNSS在边坡及地灾监测中的研究现状、关键技术、应用场景及未来发展趋势，旨在为地质灾害防治提供科学依据和技术支持。

关键词：北斗GNSS；边坡；地灾；监测

引言

地质灾害是指由地球内部和上部环境变化所引起的滑坡、泥石流、地面塌陷、地震等自然灾害。这些灾害不仅给人们的生命财产带来难以估量的损失，而且也对社会经济发展产生了严重的影响。因此，开展地质灾害预测、预警和监测工作，对于减轻灾害损失、保障人民生命财产安全以及促进社会经济发展至关重要。北斗GNSS作为一种先进的定位技术，为地质灾害监测提供了新的解决方案。

1 北斗 GNSS 在边坡及地灾监测中的关键技术

1.1 高精度定位技术

北斗GNSS系统通过接收来自多颗卫星的精确信号，并经过复杂的算法计算，能够实现亚米级甚至毫米级的定位精度。这一技术在边坡及地灾监测中发挥着至关重要的作用。边坡的微小变形往往是滑坡等灾害发生的前兆，而传统的监测手段往往难以捕捉到这些细微的变化。北斗GNSS系统的高精度定位能力，使得监测人员能够准确捕捉到地表哪怕是微小的变形，从而为灾害预警提供有力支持。具体来说，北斗滑坡监测系统采用了先进的双频信号抗干扰技术，如B1C/B2a双频点技术。这种技术能够有效抑制电离层对卫星信号的干扰，进一步提高定位精度。在复杂的地理环境和气象条件下，这种技术能够确保监测数据的准确性和可靠性，为边坡稳定性评估提供科学依据。

1.2 实时监测与数据传输

北斗GNSS系统支持实时动态监测（RTK技术），这意味着监测数据可以实时更新，更新频率甚至可以达到分钟级。这种实时监测能力对于及时发现边坡变形、预测滑坡趋势至关重要。结合智能算法，北斗GNSS系统能够实时分析滑坡趋势，实现“提前数小时至数天预警”，为灾害防范和应急响应赢得宝贵时间^[1]。此外，北

斗GNSS系统还采用了4G+北斗短报文双模传输技术。这种技术结合了4G网络的广泛覆盖和北斗短报文的可靠传输，确保了在偏远地区也能实现监测数据的实时传输。即使在网络信号不稳定或中断的情况下，北斗短报文也能保证监测数据的及时送达，为灾害监测提供了更加可靠的通信保障。

1.3 多传感器数据融合

为了提高监测数据的准确性和可靠性，北斗GNSS监测系统常常与其他传感器进行集成。这些传感器包括倾斜仪、变形计、雨量计等，它们能够提供不同方面的监测数据。通过数据融合技术，将这些不同传感器的数据结合起来，可以更加全面地反映边坡的变形情况和稳定性状态。多传感器数据融合技术不仅能够提高监测数据的准确性，还能够增强系统的鲁棒性和可靠性。在复杂的地理环境和气象条件下，这种技术能够确保监测系统的稳定运行和准确预警，为边坡及地质灾害监测提供更加全面和可靠的技术支持。同时，这种技术也为灾害防范和应急响应提供了更加科学、准确的决策依据。

2 北斗 GNSS 在边坡及地灾监测中的应用场景

2.1 滑坡监测

滑坡作为一种常见的地质灾害，其突然性和破坏性往往给人们的生命和财产带来巨大威胁。北斗GNSS技术在滑坡监测中发挥了举足轻重的作用。通过在滑坡易发区域安装北斗GNSS接收器，可以实时、精确地计算并记录监测点的三维坐标信息。这些坐标数据的变化直接反映了滑坡体的位移情况，为滑坡的预警和防治提供了至关重要的信息。北斗GNSS技术不仅具有高精度定位的优势，还能够实现多站联合监测。在滑坡监测区域布置多个北斗GNSS监测站，通过网络系统将这些监测站的数据进行实时汇总和分析，可以大大提高滑坡预警的准确性和可靠性。这种多站联合监测的方式，能够有效避免单

一监测站可能存在的数据误差和盲点,为滑坡灾害的防范和应急响应提供更加全面、准确的信息支持。

2.2 边坡稳定性监测

在工程建设中,边坡的稳定性直接关系到工程的安全和稳定。北斗GNSS技术为矿山边坡、水利工程边坡、交通工程边坡等的稳定性监测提供了有效手段。通过在边坡上安装北斗GNSS接收器,可以实时监测边坡的位移变化,包括水平位移和垂直位移。这些数据为评估边坡的稳定性、预测可能的滑坡灾害提供了科学依据。北斗GNSS技术的实时监测能力,使得边坡稳定性监测更加及时、准确。通过连续监测边坡的位移变化,可以及时发现边坡的异常变形情况,为边坡治理提供决策依据^[2]。同时,北斗GNSS技术还可以与其他监测手段相结合,如倾斜仪、应力计等,形成多源数据融合的监测体系,进一步提高边坡稳定性监测的准确性和可靠性。

2.3 地面沉降监测

地面沉降是一种缓慢发生的地质灾害,但其对基础设施、建筑物和人类活动的潜在危害不容忽视。北斗GNSS技术可以实现对地面沉降的实时监测与分析。通过在地面沉降易发区域安装不同位置的北斗GNSS接收器,可以连续监测地表的垂直位移变化。这些数据为防灾措施的制定和应对提供了重要依据。北斗GNSS技术的高精度定位能力和实时监测能力,使得地面沉降监测更加精确、及时。通过长期监测地面沉降的变化情况,可以分析地面沉降的原因和趋势,为地面沉降的防治提供科学依据。同时,北斗GNSS技术还可以与地理信息系统(GIS)相结合,实现地面沉降数据的可视化展示和空间分析,进一步提高地面沉降监测的效率和准确性。

2.4 其他地质灾害监测

除了滑坡、边坡稳定性和地面沉降外,北斗GNSS技术还可以应用于泥石流、崩塌、地面塌陷等其他地质灾害的监测。泥石流、崩塌等灾害往往具有突发性强、破坏性大的特点,而地面塌陷则可能对建筑物和基础设施造成严重损害。通过构建多源数据融合的地质灾害监测与预警系统,结合北斗GNSS技术的高精度定位和实时监测能力,可以实现对这些地质灾害的实时监测和预警。在具体应用中,可以根据不同地质灾害的特点和监测需求,合理布置北斗GNSS监测站和其他传感器,如雨量计、泥石流预警仪等。通过实时采集和分析这些数据,可以及时发现地质灾害的征兆和趋势,为灾害防范和应急响应提供有力支持。同时,还可以利用北斗GNSS技术的短报文通信功能,实现监测数据的实时传输和共享,提高地质灾害监测与预警的效率和准确性。

3 北斗GNSS在边坡及地灾监测中的性能分析

3.1 定位精度

北斗GNSS技术凭借其先进的卫星导航定位系统,在边坡及地质灾害监测中展现出了卓越的定位精度。该技术通过接收来自多颗北斗卫星发射的信号,并经过精密的算法处理,能够准确地计算出监测点的位置信息。在实际应用中,通过优化接收器的设置,如选择合适的观测环境、调整接收器的参数等,以及采取有效措施避免信号干扰,如遮挡、多路径效应等,北斗GNSS技术可以实现亚米级甚至毫米级的定位精度。这一高精度的定位能力,完全满足了地质灾害监测对高精度位置信息的需求,为准确评估边坡稳定性、预测滑坡等灾害提供了可靠的数据支持。

3.2 实时性

实时性是地质灾害监测预警系统中的关键指标之一。北斗GNSS技术在提供实时监测数据方面具有得天独厚的优势。与传统的地质监测手段相比,如人工巡查、定期测量等,北斗GNSS技术能够实现连续、不间断的监测,并快速传输监测数据^[3]。这使得监测人员可以实时获取地表变形的最新信息,及时发现灾害征兆,为防灾减灾提供及时的决策支持。北斗GNSS技术的实时性,大大提高了地质灾害监测的效率和准确性,为保障人民生命财产安全提供了有力保障。

3.3 稳定性

稳定性是评价监测系统可靠性的重要指标。北斗GNSS技术在边坡及地质灾害监测中,需要具备高度的设备稳定性,以确保接收器能够长时间稳定运行,并持续采集准确的监测数据。在监测过程中,设备的运行稳定性直接影响到监测数据的准确性和连续性^[4]。因此,对于北斗GNSS接收器,需要注重其维护保养和定期校准工作,确保其始终处于良好的工作状态。同时,还需要加强对监测系统的管理和维护,及时发现并解决潜在问题,确保监测系统的稳定可靠运行。

4 案例分析:甘肃省酒泉市某露天矿山边坡监测项目

4.1 项目背景

甘肃省酒泉市某露天矿山设计生产能力2.0Mt/a,其边坡安全对于矿山的正常生产至关重要。随着矿山开采的进行,边坡的稳定性问题日益凸显。传统的人工巡查监测方式不仅效率低、数据不准确,而且难以实现实时连续监测。因此,该矿山决定引入北斗GNSS技术,建立边坡自动化监测系统,以提高边坡监测的精度和效率,保障矿山安全生产。

4.2 项目实施

4.2.1 系统选择

经过市场调研和技术评估,该矿山选择了中海达提供的基于北斗高精度定位技术的矿山边坡自动化监测预警解决方案。该方案集成了多传感器,形成了多源一体的自动化监测体系。

4.2.2 系统建设

根据露天矿开采进程及边坡安全管理需要,在矿区的73个监测点建设了移动式GNSS地表位移监测站,对整个边坡表面位移进行实时24小时自动化监测。中海达团队负责了所有监测设备的安装与调试工作,确保设备能够正常运行并准确采集数据。监测数据通过4G网络传输到数据处理中心,经过自动分析、综合研判后,发布预警信息。

4.3 项目成效

一是提高监测精度与效率:北斗GNSS技术的应用使得边坡监测的精度和效率得到了显著提升。相较于传统的人工巡查监测方式,自动化监测系统能够实时、准确地采集和分析数据,为边坡安全提供了有力保障。二是实现全天候监测:系统能够全天候、连续地监测边坡的位移变化,不受时间、气候条件的影响。即使在风雪雨雾中也能正常工作,为边坡安全提供了实时数据支持。三是提前预警与防范:系统能够及时发现边坡位移的变化趋势,评估边坡的稳定性。一旦发现异常位移,立即生成预警信息并通知管理人员,为采取相应措施赢得了宝贵时间。四是科学决策与优化:通过长期监测积累的大量数据,为边坡治理和维护提供了科学依据。管理人员可以根据监测数据制定科学的决策方案,优化工程设计和施工方案。

5 未来发展趋势

5.1 智能化发展

随着人工智能技术的飞速进步,北斗GNSS边坡监测技术正迎来智能化的新篇章。未来,北斗GNSS将与人工智能技术深度融合,实现监测与预警的智能化。通过引入机器学习算法,系统能够自主地对海量的监测数据进行高效、准确的分析处理,识别出边坡变形的微妙变化,从而显著提高预警的准确性和时效性。这种智能化监测不仅减轻了人工分析数据的负担,还能够第一时间发

现潜在的地质灾害风险,为防灾减灾赢得宝贵时间。

5.2 云计算与大数据应用

云计算和大数据技术的蓬勃发展,为北斗GNSS边坡监测数据的处理和分析提供了全新的思路。未来,监测数据将实现云端存储、处理和分析,充分利用云计算的强大计算能力和大数据的挖掘潜力。通过大数据分析技术,可以从海量的监测数据中挖掘出隐藏的规律和信息,如边坡变形的趋势、地质灾害的易发区域等,为地质灾害的防治提供更加全面、深入的数据支持。这种云端化的处理方式不仅提高了数据的处理效率,还增强了数据的可访问性和共享性。

5.3 行业标准与规范制定

随着北斗GNSS边坡监测技术的广泛应用和技术的不断成熟,制定相关的行业标准与规范显得尤为重要。未来,将需要一套统一、完善的标准和规范来指导技术的应用,确保监测数据的准确性和可靠性,提高监测质量。这些标准和规范将涵盖监测设备的选型、安装、维护,监测数据的采集、处理、分析等方面,为技术的健康发展提供有力保障,推动北斗GNSS边坡监测技术在更广泛的领域得到应用。

结语

北斗GNSS技术在边坡及地质灾害监测领域展现出巨大潜力。凭借其高精度、全天候、实时性等特点,为地质灾害监测提供了新的解决方案。未来,随着技术的不断发展和完善,北斗GNSS技术在地质灾害监测中的应用将更加广泛和深入,为防灾减灾工作提供更加有力的支持。

参考文献

- [1]苏金亮,黎盟,艾露,等.基于北斗GNSS的边坡自动化实时监测数据处理及变形预测方法[J].水电能源科学,2022,40(05):146-150.
- [2]姜慧.基于北斗的地质灾害综合监测技术应用[J].卫星应用,2023,(08):49-54.
- [3]李志聪,郇青.基于GNSS的边坡自动化监测系统应用研究[J].测绘与空间地理信息,2024,47(08):152-154+158.
- [4]李艳春,刘广新,曾昱.GNSS边坡监测与事故风险分析平台融合应用[J].当代化工研究,2024,(01):119-121.