

基于 GNSS 的滑坡地质灾害监测预警技术研究与应用

周焘

云南省有色地质局楚雄勘查院, 中国·云南 楚雄 675000

摘要: 滑坡地质灾害是中国乃至全球范围内普遍存在的重要地质灾害类型之一, 每年均对人类生命财产安全造成严重威胁。为最大限度减轻此类灾害带来的危害, 各省区市相继建立了完善的监测预警体系, 以应对滑坡等地质灾害的潜在威胁。在众多监测技术中, GNSS (全球导航卫星系统) 凭借其高精度、全天候、无人值守及自动化监测等独特优势脱颖而出, 成为滑坡监测与预警领域的关键技术之一。该技术不仅能够提供精准可靠的预警信息, 还有效提升了灾害防控的科学性和时效性, 从而显著减少人员伤亡和财产损失。论文以楚雄彝族自治州元谋县某典型滑坡为例, 深入探讨 GNSS 技术在滑坡监测与预警中的具体应用实践。通过对该滑坡连续三年的 GNSS 监测数据进行系统采集与分析, 并结合监测系统发布的预警信息进行全面评估, 研究结果显示, 该系统的监测预警准确率超过 95%。这一成果不仅有效保障了受威胁区域内的居民生命财产安全, 还产生了显著的社会效益和经济效益。基于上述研究成果, 论文进一步剖析了 GNSS 技术在滑坡地质灾害监测预警中的核心作用及其深远意义, 旨在完善我国防灾减灾体系, 提升灾害风险防控能力和应急处置水平, 为构建科学高效的地质灾害防治机制提供了重要参考依据。此项研究充分体现了科技手段在地质灾害防控中的关键作用, 彰显了现代化监测技术在保障公共安全、促进经济社会可持续发展方面的巨大潜力。

关键词: 监测预警; GNSS 技术; 滑坡; 地质灾害; 应用分析

Research and Application of GNSS-based Landslide Geological Disaster Monitoring and Early Warning Technology

Tao Zhou

Yunnan Province Non-ferrous Geological Bureau Chuxiong Survey Institute, Chuxiong, Yunnan, 675000, China

Abstract: Landslide geological hazards are one of the common and important types of geological hazards in China and even globally, posing a serious threat to human life and property safety every year. In order to minimize the harm caused by such disasters, various provinces, regions, and cities have successively established a sound monitoring and early warning system to cope with the potential threats of geological disasters such as landslides. Among numerous monitoring technologies, GNSS (Global Navigation Satellite System) stands out as one of the key technologies in landslide monitoring and early warning due to its unique advantages of high precision, all-weather, unmanned and automated monitoring. This technology not only provides accurate and reliable warning information, but also effectively improves the scientificity and timeliness of disaster prevention and control, thereby significantly reducing casualties and property losses. The paper takes a typical landslide in Yuanmou County, Chuxiong City as an example to explore the specific application practice of GNSS technology in landslide monitoring and early warning. Through systematic collection and analysis of GNSS monitoring data for the landslide for three consecutive years, and comprehensive evaluation based on the warning information released by the monitoring system, the research results show that the monitoring and warning accuracy of the system exceeds 95%. This achievement not only effectively ensures the safety of residents' lives and property in threatened areas, but also generates significant social and economic benefits. Based on the above research results, the paper further analyzes the core role and profound significance of GNSS technology in landslide geological disaster monitoring and early warning, aiming to improve China's disaster prevention and reduction system, enhance disaster risk prevention and control capabilities and emergency response levels, and provide important reference for building a scientific and efficient mechanism for geological disaster prevention and control. This study fully demonstrates the crucial role of technological means in geological disaster prevention and control, and highlights the enormous potential of modern monitoring technology in ensuring public safety and promoting sustainable economic and social development.

Keywords: monitoring and early warning; GNSS technology; landslide; geological disaster; application analysis

0 前言

云南省东部的楚雄彝族自治州元谋县,位于云贵高原中部,以其独特的地理环境而备受关注。该县整体地势呈现东西高、南北低的特点,地形复杂多样,山地、河谷与丘陵相互交织,形成了独具特色的自然地貌体系。从地质学角度来看,元谋县的地貌特征以高山深谷、高原波状起伏以及断陷盆地的交错分布为显著标志。这种特殊的地形条件,加之降雨在时间和空间上的极端不均衡性,使得滑坡等地质灾害在该区域表现得尤为活跃。根据相关统计数据,元谋县内已发现多处潜在滑坡隐患点,这些隐患对当地居民的生命财产安全构成了直接威胁。此外,由滑坡等地质灾害引发的风险进一步增加了居民生存环境的不确定性,对当地的经济社会发展造成了深远且严重的潜在影响。面对这一严峻形势,地方政府高度重视,积极行动,致力于探索并构建科学高效的滑坡监测预警技术体系。在具体实践中,一系列先进的监测手段已被广泛应用,涵盖地形变形监测、水文动态监测、遥感影像分析以及全球导航卫星系统(GNSS)定位监测等。通过综合运用这些技术手段,目标在于全面提升地质灾害监测的精确度和预警能力,从而为保障人民群众的生命财产安全提供强有力的技术支持。这一系列措施不仅体现了地方政府对地质灾害防治工作的高度重视,也彰显了科技手段在推动防灾减灾工作中的关键作用。从全国范围来看,中国在滑坡监测预警技术领域的研究起步相对较晚,但近年来已取得显著进展。中国地质调查局已在多个省、自治区和直辖市成功部署了地质灾害监测预警系统,并通过构建先进的数学模型实现了对滑坡灾害的精准预测与高效预警。与此同时,中国众多高等院校及科研机构在滑坡监测预警算法与模型方面开展了深入研究,提出了一系列基于机器学习和数据挖掘技术的创新性方法,为提升预警精度与可靠性提供了重要支持。然而,当前无论是地形监测还是水文监测,在科学性和精确性方面仍有较大改进空间。这不仅直接影响到监测数据的准确性与可靠性,更深刻地关系到预警系统的有效性与及时性。因此,在推动滑坡监测预警技术发展的进程中,必须以高度严谨的态度对待每一项研究与应用,确保其具备专业水准与权威性。唯有如此,才能进一步提升中国在这一领域的技术水平,为保障人民生命财产安全提供更加坚实的科技支撑。

1 GNSS 滑坡监测预警概述

滑坡是一种由自然或人为因素引发的地质现象,表现为坡体沿斜坡方向发生下滑运动。其成因复杂多样,既涉及降雨、地表水流侵蚀和地震等自然因素,也包括工程开挖、堆载荷重等人类活动的影响。在滑坡灾害的防治工作中,监测与预警技术发挥了至关重要的作用。依托全球导航卫星系统(GNSS)的支持,现代滑坡监测体系实现了高精度、全周期的动态管理。通过在潜在滑坡区域部署监测站点,实时

采集数据,并借助通信网络将数据传输至后端监控预警平台进行分析处理,从而生成并发布预警信息。这一技术显著提升了灾害防控的科学性和精准性,同时为决策者提供了及时且可靠的数据支持。长期以来,各级政府始终贯彻“预防为主”的工作原则,持续优化滑坡地质灾害的监测与预警体系。这一体系建设涵盖多项具体措施,包括开展详尽的地质灾害调查与风险评估,制定科学合理的防治规划;同时,构建完善的群测群防网络与专业监测网络,形成多层次、多维度的综合防控体系。这些举措为滑坡灾害的早期识别与有效防控奠定了坚实的基础。此外,传统的滑坡监测方法在实践中同样发挥着重要作用。例如,埋桩法、埋钉法、建筑物裂缝标记法(如刷漆或贴纸),以及旧裂缝土体填塞后的目视观测法等,尽管技术手段相对传统,但在实际应用中依然具有不可替代的价值。这些方法以简便易行的特点,为基层监测工作提供了有力补充,确保了滑坡灾害防控的全面性和有效性。然而,传统方法在实际应用中往往暴露出明显的局限性,难以充分满足现代滑坡监测对高精度的严格要求。相比之下,GNSS滑坡监测预警技术以其卓越的数据精准性、全天候自动化运行能力以及高度智能化的特点脱颖而出。这一技术不仅大幅降低了人力、物力和财力的投入,还最大限度地减少了人为因素的干扰,从而成为当前滑坡监测与预警领域不可或缺的核心手段之一。GNSS滑坡监测预警技术集成了伪距测量、三维坐标定位、高精度位置测定及形变监测等多项关键技术,并深度融合了大数据分析、云计算等现代化信息技术。通过这些先进功能的协同作用,该技术能够实现滑坡地质灾害的全过程、多维度、智能化监控与预警。其高效性、可靠性和精确性为滑坡灾害的科学防控提供了强有力的技术支撑,同时为保障人民生命财产安全、推动社会经济可持续发展奠定了坚实基础。可以说,GNSS技术的广泛应用标志着滑坡监测领域迈入了一个全新的智能化时代。

2 GNSS 技术在滑坡监测中的具体应用

2.1 滑坡隐患点概述

近期,云南省楚雄彝族自治州元谋县发生了一起严重的滑坡灾害,对当地居民的生命财产安全构成了直接威胁。此次滑坡区域位于构造侵蚀剥蚀低中山地貌区,整体地势呈现西高东低的特征,坡向为 125° 。区域内自然坡度普遍介于 $15^{\circ}\sim 20^{\circ}$,但局部地区坡度陡峭,可达 40° ,这种地形条件使得滑坡体具备了巨大的势能储备。此外,滑坡前缘存在一条贯穿的北东—南西向断层。地表覆盖物主要为第四系残坡积层含碎石黏土,厚度约为1~5米,且分布不均;下伏地层为二叠系中统阳新组(P2y),主要包括中厚层灰岩、白云质厚—块状灰岩以及厚层块状生物碎屑灰岩、白云岩和石灰岩,基岩产状为 $140^{\circ}\angle 10^{\circ}$,区域厚度约551米。滑坡后缘高程为2080米,前缘高程为2020米,相对高差达60米。滑坡纵向轴长约230米,横向宽约260米,推测滑

体厚度为 10.0 米, 总体积约为 59.8 万立方米, 属于中型滑坡, 主滑方向为 125°, 平面形态呈“舌形”。近年来, 该区域始终面临滑坡灾害的风险, 这不仅严重威胁到当地居民的生活与生产, 也凸显了地质灾害防治工作的紧迫性。面对这一严峻形势, 我们必须以科学严谨的态度开展相关工作, 并给予高度关注。唯有通过系统的研究与切实有效的治理措施, 才能最大限度地降低灾害风险, 确保人民群众的生命财产安全, 维护社会的和谐稳定。

2.2 构建监测网型

在设计与构建滑坡监测网络时, 需全面、系统地考量滑坡区域的地形地貌特征、坡度分布规律、降雨特性以及人类活动影响等关键因素。在此基础上, 应以科学严谨的态度制定监测点布局及设备配置方案, 确保监测工作的精确性与高效性。以元谋县滑坡为例, 监测工作重点围绕变形与降雨两大核心指标展开, 具体包括地表位移监测、裂缝变化观测以及降雨量数据采集等内容。通过这一系统化、精细化的监测策略, 不仅能够精准捕捉滑坡动态变化中的细微信号, 还可为灾害预警和风险控制提供坚实可靠的数据支撑, 从而显著增强防灾减灾的能力与水平。为确保监测预警工作的高效性和可靠性, 同时充分兼顾仪器安装环境条件及防护需求, 特制定如下普适型监测预警仪器布设方案: ①在滑坡体外围稳定性较高的区域设立 1 个 GNSS 基准站, 用于提供高精度定位参考; ②在滑坡体变形显著部位部署 2 台 GNSS 位移监测仪, 实现对地表位移动态变化的精准跟踪; ③在滑坡体裂缝发育密集区域设置 1 台裂缝监测仪, 实时记录裂缝扩展情况; ④在滑坡体居民集中区域顶部安装 1 台预警广播喇叭, 保障信息传递的及时性与覆盖面; ⑤在滑坡体外围适宜位置布设 1 台雨量计, 精确采集降雨数据以辅助分析滑坡诱因。上述方案旨在通过科学合理的仪器布局, 提升监测预警体系的整体效能, 为滑坡灾害防控提供坚实的技术支撑。

2.3 实际滑坡监测预警应用

为了全面掌握滑坡区域的动态变化, 现场精心部署了一套高精度监测系统, 实现对滑坡地表位移、裂缝变化和降雨量的全天候、实时动态监测, 确保数据采集的准确性和连续性。该系统的高效运行不仅为滑坡灾害的早期预警提供了坚实的技术支撑, 还通过后台生成的详细监测曲线图, 为后续的数据分析与科学评估奠定了可靠基础。这些精确的数据和直观的图表, 能够帮助专家更深入地理解滑坡的演变规律, 从而制定更加精准有效的防治措施。这一成果充分证明了现代技术在地质灾害监测中的重要价值和显著优势。通过对采集数据的综合评估与分析, 结合滑坡区域的具体地质特征, 科学合理地设定了预警阈值。当监测数据达到预设的预警值时, 系统将根据风险等级依次触发蓝色、黄色、橙色和红色四级预警机制。同时, 系统会自动向相关监测人员及管理人员发送短信通知, 确保信息能够及时、准确地传递至相关人员。收到预警后, 相关人员需保持高度警觉, 加密监测

频率, 强化数据分析与评估工作, 并要求地方群测群防员加强实地巡查, 及时记录并上报相关信息, 以确保应对措施的有效落实。该系统自运行三年以来, 累计发布监测预警信息 50 次, 其中准确预警信息达 48 次, 监测预警准确率高达 96%。特别是在发布红色预警的 10 次中, 均成功组织了群众撤离, 有效避免了潜在的生命财产损失。据统计, 该系统已成功保护受威胁财产价值约 600 万元, 保障了 300 余名受威胁人员的生命安全, 取得了显著的社会效益与经济效益, 充分彰显了科技手段在地质灾害防治中的关键作用与重要价值。

3 讨论

基于全球导航卫星系统 (GNSS) 的滑坡地质灾害监测预警技术, 是当前该领域内最为先进的技术手段之一。这一技术成功弥补了传统监测方法中存在的诸多局限性, 并展现出以下显著优势: ①数据采集精准高效: GNSS 技术以其快速、精确的数据采集能力著称, 能够实现监测数据的实时获取。即使在偏远地区或复杂地形条件下, 该技术依然能够确保数据采集的高度精确性和可靠性。②数据分析同步性强: 通过同步处理和分析各类监测数据, GNSS 技术显著提升了数据处理效率, 完全满足实时监测的需求, 同时保障了监测过程的连续性和稳定性。③预警准确性高: 相较于传统的经验判断和简化模型, GNSS 系统结合大数据、云计算等前沿技术手段, 对监测数据进行综合分析, 从而实现了超过 95% 的高预警准确率。

综上所述, 全球导航卫星系统 (GNSS) 在滑坡地质灾害监测预警领域的应用, 已充分彰显出其显著的社会经济效益。然而, 我们必须保持清醒认识: 这一技术虽先进, 但并非万能, 其固有局限性仍需高度关注。仅依赖监测设备难以全面适应复杂多变的地质灾害环境。因此, 构建“技术防控”与“人力防控”深度融合的预警机制, 是推动地质灾害综合防治体系建设的关键所在。在此过程中, 强化基层责任人的职责、严格落实责任制度尤为重要。唯有确保预警信息的高效传递与精准发布, 才能切实达成防灾减灾的目标。同时, 建立健全群测群防体系, 将先进的技术手段与坚实的人力保障有机结合, 是提升滑坡地质灾害防治能力的核心路径。通过这一科学高效的综合治理模式, 我们能够为人民群众的生命财产安全提供更为可靠的保障, 筑牢抵御自然灾害的第一道防线。

4 结论

①基于全球导航卫星系统 (GNSS) 的滑坡地质灾害监测预警技术在元谋县山体滑坡监测中展现了极高的准确性, 其监测精度超过 95%。该技术彻底摆脱了对传统人为经验的依赖, 通过科学严谨的数据分析手段, 为受威胁的财产和人员安全提供了有效保障, 取得了显著的社会效益与经济效益。② GNSS 监测预警技术具备快速、精准采集滑坡变形数

据的能力,即使在偏远地区或复杂地形条件下,仍能高效完成数据采集任务,展现出卓越的适用性和可靠性。③ GNSS 监测预警技术可实现全天候、24 小时不间断的实时监测,并能够同步完成数据处理及监测预警信息的发布,具有重要的实践参考价值和广泛的推广应用前景。

参考文献:

- [1] 王凯,张少杰,马娟,等.大数据环境下滑坡宏观位移阶段空间分布规律及预警判据研究[J].地球科学进展,2022,37(10):1054-1065.
- [2] 张函函.浅谈地质灾害监测预警中现代化信息技术的运用[J].科技创新导报,2019,16(12):151-152.
- [3] 武文波,张国辉,梁洪武,等.采用全自动全站仪的滑坡监测系统研究[J].仪器仪表学报,2004,25(z1):412-413.
- [4] 陈洪凯,魏来,谭玲.降雨型滑坡经验性降雨阈值研究综述[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2012,31(5):990-996.
- [5] 丁继新,尚彦军,杨志法,等.降雨型滑坡预报新方法[J].岩石力学与工程学报,2004,23(21):3738-3743.
- [6] 徐则民,黄润秋,范柱国.滑坡灾害孕育—激发过程中的水-岩相互作用[J].自然灾害学报,2005,14(1):1-9.
- [7] 陈正洪,孟斌.湖北省降雨型滑坡泥石流及其降雨因子的时空分布、相关性浅析[J].岩土力学,1995,16(3):62-69.
- [8] 谢和平,鞠杨,黎立云.基于能量耗散与释放原理的岩石强度与整体破坏准则[J].岩石力学与工程学报,2005,24(17):3003-3010.
- [9] 秦四清,王思敬.斜坡滑动失稳演化的非线性机制与过程研究进展[J].地球与环境,2005,33(3):75-82.
- [10] 王恭先.滑坡防治中的关键技术及其处理方法[J].岩石力学与工程学报,2005,24(21):3818-3827.

作者简介:周焘(1986-),男,中国云南临沧人,本科,工程师,从事地质灾害防治研究。