中国地球科学评论
Chinese Earth Sciences Review
2026 年第 05 卷第 02 期
Vol. 05, No. 02, 2026

SCIENCE FOOTPRINT PRESS

研究性论文
http://www.scifootprint.com/CESR/index.html

高原高寒区地质灾害普适型监测预警效能提升路径——以西藏自治区为例

龙　飞

（西藏自治区地质环境监测总站，拉萨 850000）

摘要：在自然资源部地质灾害普适型监测工程支撑下，西藏自治区已建成全区覆盖的地质灾害自动化监测网络，为区域地质灾害综合防控筑牢硬件基础。受高原高寒极端气候、监测设备品牌异构混杂、隐患点位偏远分散、公网通信大面积盲区、专业运维力量短缺、基层群测群防体系不完善等多重因素叠加影响，西藏地质灾害监测预警长期存在设备在线率偏低、预警事件闭环处置效率不足、无效预警频发、监测数据整体质量不高等突出短板。本文结合西藏特殊高原区情、高寒孕灾环境与灾害发育规律，系统梳理监测预警运行全流程核心制约因素，围绕设备在线率、预警处置率、灾害虚警率、监测数据质量四项关键指标，从设备适配、网络传输、运维管控、智能研判、协同应急、数据治理六大环节构建四维一体化效能提升体系，提出贴合高原实际、可落地可推广的优化对策，同步健全制度、资金、技术长效保障机制，着力破解高原地区地质灾害监测预警联不上、管不好、判不准、处置慢等共性难题，为西藏地质安全长效防控及同类高寒高原区域监测体系优化升级提供实践参考。

关键词：高原高寒区；西藏自治区；地质灾害；普适型监测；监测预警；数据质量

DOI：10.48014/cesr.20260508001

引用格式：龙飞．高原高寒区地质灾害普适型监测预警效能提升路径——以西藏自治区为例[J]．中国地球科学评论，2026，5(2)：50-54.

1　引言

西藏地处青藏高原核心腹地，区域地质构造活动强烈、地形高差悬殊，冻融循环、冰川消融、局地强降雨内外动力耦合作用显著，滑坡、崩塌、泥石流、高位远程地质灾害分布广泛、突发性强、隐蔽性高，严重威胁群众生命财产、交通水利基础设施安全，同时深刻影响边疆生态稳定与长治久安。依托国家普适型地质灾害监测预警工程建设契机，全区布设了 1534 处普适型监测设备，初步构建了覆盖全区的立体化监测预警网络，推动灾害防控由传统人工巡查经验研判，转向数字化、自动化、智能化监测预警新模式[1]。

与内地低海拔区域相比，西藏监测预警工作面临独特地域约束：高海拔低温、低压、强紫外、多风沙极端环境大幅降低设备使用寿命；辖区广袤、点位零散、山路艰险导致现场运维难度极大；大量峡谷无人区无公网信号，数据传输链路先天不足；多厂家设备混用造成协议不兼容、数据孤岛突出；预警模型统一设置阈值，未适配单灾种、多参数联动预警；部门联动不畅、基层力量薄弱，预警下发与应急处置衔接脱节。多重问题交织叠加，造成监测网络运行不稳、预警精度不足、避险落地滞后，普适型监测工程防灾减灾效益难以充分发挥[2]。

通讯作者　Corresponding author：龙飞，604593429@qq.com

收稿日期：2026-05-08；　**录用日期**：2026-05-13；　**发表日期**：2026-06-28

基金项目：西藏自治区重点研发计划项目“藏南地区耕地资源面临的地质灾害风险分析”(XZ202402ZY0026)资助。

为此,立足西藏高原高寒地质环境特征,精准剖析当前监测预警体系痛点堵点,优化设备运行、通信传输、日常运维、风险研判、应急闭环、数据全流程管控模式,构建本土化、标准化、长效化高原地质灾害监测预警提升路径,对完善西藏现代化地质灾害防控体系、提升主动防灾减灾能力具有重要现实意义[3]。

2 高原高寒区地质灾害普适型监测预警核心制约因素

2.1 设备环境适配性不足,异构兼容矛盾突出

当前西藏布设监测终端多为内地通用型号,未针对-40℃极寒、低气压、强辐射、多沙尘高原环境专项研发改造。一方面设备厂商杂乱繁多,各类监测终端通信协议、数据格式、采样频次、编码规则不统一,异构设备数据融合困难,极易出现频繁离线、数据断传现象。另一方面极端高寒环境造成锂电池低温放电性能大幅衰减,太阳能供电易受积雪沙尘遮挡,阴雪天气供电不足;设备密封防护等级不足,风沙雨雪易侵入损坏元器件,整体故障率远高于内陆地区。加之大量偏远隐患点位无公网覆盖,未配置专用备用通信链路,信号断断续续,时常处于离线失联状态,无法保障监测数据连续稳定上传[4]。

2.2 设备运维体系不健全,现场保障能力薄弱

西藏地质灾害隐患点分布跨度大,点位间距普遍达数十、上百公里,山区通行条件恶劣,设备巡检、故障排查、现场校准、备件更换耗时久、成本高。运维单位技术支撑力量严重不足,故障处置响应慢、检修周期长。群测群防人员多为兼职岗位,一人多岗现象普遍,人员数量不足、专业水平参差不齐,仅能开展基础地表巡查,难以完成设备养护、异常形变识别、监测数据初步研判、现场隐患核查等精细化工作。远程智能运维与群防辅助运维衔接不畅,分级管护责任未压实,难以实现监测点位常态化规范化运维[5]。

2.3 预警研判本地化程度低,虚警漏警现象频发

全区尚未建立统一规范的监测数据全流程质控体系,异构原始数据格式杂乱、噪声干扰大、异常数据较多,直接降低预警研判基础可靠性。现有预警阈值、算法模型基本沿用内地降雨型地质灾害标准,未充分考虑西藏山区局部气候多变、地质灾害叠加滞后效应等独特孕灾因素。日常监测中,气温昼夜波动、环境信号干扰等非灾害异常变化,极易被通用模型判定为险情信号,造成无效预警大量频发。过高虚警率持续消耗基层应急资源,同时弱化一线人员预警警惕性,进一步诱发漏警、处置滞后等安全风险[2,4]。

2.4 跨层级协同机制不畅,预警处置闭环缺失

西藏尚未形成监测采集、预警发布、现场核查、应急处置、复盘归档全链条闭环管理模式。自然资源、应急、气象、交通等部门数据共享壁垒明显,上下级权责衔接不紧密。偏远无公网区域预警信息传输延迟严重,预警推送渠道单一、覆盖不全面,难以快速直达一线责任人。分级应急响应流程不清晰,专业技术队伍与群测群防人员联动配合不足,现场核查时限、信息反馈流程、避险转移要求不明确。大量预警仅在平台展示流转,无法快速转化为实地巡查、人员转移、隐患管控措施,最终造成预警闭环处置率偏低,监测预警与实战应急防控严重脱节[3,5]。

3 高原高寒区地质灾害监测预警四维效能提升实施路径

3.1 稳固设备在线率,构建空天地一体高原适配运行体系

针对品牌杂乱、信号盲区、环境损耗、运维乏力四大问题,从标准统一、冗余传输、硬件升级、分级运维全面发力,保障设备长期稳定在线。由自治区自然资源主管部门统一制定监测设备接入技术规范,明确通信协议、数据格式、采集频率、编码规则,搭建省级异构数据统一接入网关,实现多品牌设备

归一化管理。建立设备准入审核制度，新增点位必须通过高原环境兼容性测试，从源头规避兼容冲突[1]。

构建公网 5G/4G、北斗短报文、LoRa 无线中继三链路天地冗余传输网络，公网正常区域以移动通信为主传输链路；无信号偏远区域标配北斗短报文作为保底通信；峡谷遮挡区域布设太阳能自组网中继接力传输。所有终端加装大容量本地缓存模块，断网断电可存储不少于 15 天监测数据，恢复连通后自动补传，杜绝数据丢失。联合厂家定制高寒高海拔专用设备，防护等级提升至 IP68 一体化密封，采用宽温耐寒电池、防沙尘专用太阳能板，对 GNSS、倾角传感器开展低气压精度校准，全面提升极端环境耐受能力[4]。

建立自治区统筹、市区督导、县级落实三级运维责任，将设备在线率纳入绩效考核，严控不低于 95%运行目标。依托平台开展设备远程健康诊断，优先远程重启、参数校准处置故障，大幅减少现场奔波频次。常态化培训群测群防员承担清雪除灰、外观检查、固件紧固等简易运维，配套劳务补贴与工具保障，重大高危隐患点严格执行汛期三查制度，结合专业队伍开展相关工作。

3.2 提升预警处置率，完善全链条闭环应急协同体系

围绕预警快速触达、现场精准核查、分级规范处置、全程留痕复盘，全面打通预警落地最后一公里。按照蓝、黄、橙、红四级风险分级，构建平台弹窗、政务短信、专用 APP、北斗终端、村级广播多元推送渠道，高级别预警同步电话回访确认。建立四级责任人员精准推送清单，点对点直达隐患责任人、群防员、乡镇及县级部门，无公网点位全部配备北斗短报文预警终端，彻底解决偏远区域预警传不进、到不了问题。

优化一点一员专职值守、相邻片区联动互助群防模式，优先选用村干部、护林员、护路员担任点位专职群防人员，明确巡查路线、响应时限与岗位职责，片区内人员灵活补位，杜绝无人核查空档。编制高原实操手册，每年开展现场技能培训，提升设备查看、形变判别、预警响应、信息上报实操能力。搭建智能化闭环处置系统，预警触发自动派发核查工单，常规点位 2 小时、偏远点位 4 小时内完成反馈上报。黄色预警由乡镇常态化巡查管控，橙红色预警立即启动多部门联合应急响应，快速组织群众避险转移。所有预警处置全程归档留痕，每月集中复盘整改，持续提升预警管控闭环处置效率[5]。

3.3 降低灾害虚警率，打造多源融合人机协同研判体系

摒弃单一雨量、单一位移触发预警模式，构建地质背景＋多传感器＋高原环境因子综合研判机制。联动整合 GNSS 位移、倾角、裂缝、降雨量、土壤含水率多维监测数据，多参数同步异常才触发预警。同步融入环境扰动、气温变幅等影响因素，有效剔除季节性正常形变、环境干扰造成的虚假异常信号。

全面取消全域统一固化阈值，实行一点一策动态阈值管控，结合各点位历史监测数据、地质环境条件、灾害类型核定初始预警标准，执行季度动态微调、年度案例复盘迭代优化。建议引入 AI 时序分析、滤波降噪算法，自动剔除设备噪声与环境干扰数据，精准识别灾害缓慢形变、加速形变、临灾突变演化规律。实行分级人工复核把关，低等级预警县级线上核验，高等级预警区市专家联合研判，结合气象、现场实况综合确认预警有效性。建立全域虚警案例数据库，分类溯源整改，持续优化预警模型，稳步压低无效预警占比[2,4]。

3.4 夯实监测数据质量，落实全流程标准化治理管控

严格对标国家行业规程，结合西藏实际出台监测数据质量管理办法，统一设备采样频次、数据精度、传输校验、入库归档全流程标准，规范全区点位、设备、数据统一编码，实现监测数据一户一档、全程可追溯。建立高原环境专项周期校准机制，新设备进场完成低温低压实验室校准，GNSS 设备半年依托北斗 CORS 站校准定位精度，形变传感器每年零点校准，雨量计定期清淤防冻校准。数据入库同步开展温度、气压环境补偿修正，最大限度消除高原环境带来的系统误差。

搭建平台自动质控＋人工分级审核双重管控模式，系统自动筛查缺失、异常、逻辑不合理数据并实时告警，运维技术人员 24 小时内完成甄别判定，

区分设备故障无效数据与地质真实异常形变。合格监测数据统一纳入省级地质灾害数据库,按照分级共享机制向应急、气象、水利、交通等部门开放共用,实现一次采集、多方复用,全面盘活监测数据应用价值,持续提升全域监测数据整体合格率。

4 长效保障措施

4.1 制度机制保障

出台西藏自治区地质灾害普适型监测预警管理细则、群测群防人员考核管理办法,清晰划分自治区、市、县、乡镇四级权责,明确技术单位、运维企业、基层群防岗位职责。将设备在线率、预警处置闭环率、虚警管控成效、数据合格率全面纳入年度防灾减灾绩效考核,建立奖优罚劣、闭环问责长效机制,以刚性制度保障各项提升措施落地见效[3]。

4.2 资金投入保障

积极争取国家自然资源专项防灾补助资金,统筹自治区本级财政配套经费,设立地质灾害监测预警专项运维基金,专项用于高原设备升级改造、北斗通信年费、野外巡检运维、平台系统迭代更新,保障监测网络常年稳定运行,避免因资金短缺出现设备停运、运维中断问题。

4.3 技术人才保障

联合中国地质调查局、西藏本地高校、科研院所组建高原灾害监测技术创新联盟,围绕北斗短报文高原传输优化、地质灾害预警模型、高海拔数据误差修正等关键技术开展攻关[2]。通过专题培训、现场实操、项目帮带、校企合作等方式,大力培养熟悉高原环境、精通监测技术、擅长运维管理本土化专业人才,补齐基层技术短板,支撑监测体系长期高质量运行。

5 预期实施成效

本套效能提升路径紧密贴合西藏高寒高海拔实际,针对性强、实操性高、适配性广,全面落地运行1~2年后,全区地质灾害普适型监测预警综合效能将实现显著提升:监测设备平均在线率由不足80%提升至95%以上;预警事件闭环处置率由60%左右提升至90%以上;整体预警虚警率由30%以上降至10%以内;监测数据综合合格率提升至95%以上。

最终建成适配青藏高原气候地质环境特征、运行稳定、研判精准、处置高效、管理规范的现代化地质灾害监测预警体系,充分释放普适型监测工程防灾减灾作用,全面提升西藏地质灾害主动防控、科学防控、精准防控水平,切实守护人民群众生命财产安全。

利益冲突:作者声明无利益冲突。

参考文献(References)

[1] 自然资源部.地质灾害普适型监测工程技术规程[S].2022.

[2] 张永双,郭长宝,姚鑫.青藏高原地质灾害发育规律与防控对策[J].地质通报,2020,39(08):1187-1201.

[3] 西藏自治区自然资源厅.西藏地质灾害防治“十四五”规划[Z].2021.

[4] 王珊珊,李勇,张倬元.高寒冻融区滑坡灾害监测预警关键技术研究[J].水文地质工程地质,2022,49(02):102-109.

[5] 刘传正.我国地质灾害监测预警体系建设发展研究[J].地质论评,2021,67(04):1213-1220.

Improvement Path of Universal Monitoring and Early Warning Efficiency for Geological Disasters in Alpine Plateau Areas: A Case Study of Xizang Autonomous Region

LONG Fei

(Geological Environment Monitoring Station of Xizang Autonomous Region, Lhasa 850000, China)

Abstract: Supported by the universal geological disaster monitoring project of the Ministry of Natural Resources, the Xizang Autonomous Region has established a full-coverage automatic monitoring network for geological disasters, laying a solid hardware foundation for the comprehensive prevention and control of regional geological hazards. Affected by multiple overlapping factors, including the alpine and extreme climate of the plateau, heterogeneous and mixed brands of monitoring equipment, remote and scattered hazard sites, large-area blind zones of public network communication, shortage of professional operation and maintenance personnel, and imperfect grassroots mass monitoring and prevention systems, the geological disaster monitoring and early warning in Xizang has long been faced with prominent shortcomings such as low equipment online rate, inefficient closed-loop disposal of early warning events, frequent false warnings, and poor overall quality of monitoring data. Combined with Xizang's unique plateau conditions, alpine disaster-prone environment, and disaster development patterns, this paper systematically sorts out the core restrictive factors in the whole monitoring and early warning process. Centering on four key indicators—equipment online rate, early warning disposal rate, false alarm rate, and monitoring data quality—it constructs a four-dimensional integrated efficiency improvement system covering six major links: equipment adaptation, network transmission, operation and maintenance management, intelligent analysis and judgment, collaborative emergency response, and data governance. Practical and replicable optimization countermeasures tailored to plateau conditions are proposed, together with the improvement of long-term guarantee mechanisms for institutional, financial, and technological support. The study aims to solve common problems in plateau geological disaster monitoring and early warning such as poor connectivity, inadequate management, inaccurate judgment and slow disposal, and provides practical references for the long-term geological safety prevention and control in Xizang, as well as the optimization and upgrading of monitoring systems in similar alpine plateau regions.

Keywords: Alpine Plateau Region; Xizang Autonomous Region; geological disasters; universal monitoring; monitoring and early warning; data quality

DOI: 10.48014/cesr.20260508001

Citation: LONG Fei. Improvement Path of Universal Monitoring and Early Warning Efficiency for Geological Disasters in Alpine Plateau Areas: A Case Study of Xizang Autonomous Region[J]. Chinese Earth Sciences Review, 2026, 5(2): 50-54.

Copyright © 2026 by author(s) and Science Footprint Press Co., Limited. This article is open accessed under the CC-BY License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).