

岩土边坡施工期滑坡灾害的预警与应急防治措施

姚志诚

山西冶金岩土工程勘察有限公司 山西 太原 030000

摘要：岩土边坡施工期滑坡灾害威胁大。本文先分析施工期滑坡孕灾环境、施工活动影响机制及预警逻辑流程，接着构建预警系统，涵盖数据采集传输、处理分析等模块。随后阐述应急防治技术措施，包括临时加固、排水减压等。最后提出应急保障体系，涉及组织、物资、人员、通讯保障。为岩土边坡施工期滑坡灾害预警与应急防治提供全面参考。

关键词：岩土边坡；施工期；滑坡灾害；预警系统；应急防治

引言：在岩土边坡施工过程中，滑坡灾害是常见且危害严重的地质灾害之一。其发生不仅会延误工程进度、造成巨大经济损失，还可能危及施工人员的生命安全。施工期滑坡受地质构造、地形地貌、气象水文等多种因素影响，施工活动也会改变边坡稳定性。因此，深入研究施工期滑坡灾害的预警与应急防治措施，对保障工程安全、减少损失具有重要意义。

1 岩土边坡施工期滑坡灾害预警基础

1.1 施工期滑坡孕灾环境分析

岩土边坡施工期滑坡灾害与孕灾环境紧密相关。地质构造是关键要素，复杂构造如断层、褶皱等，会破坏岩体完整性，形成软弱结构面，施工扰动下易成滑动面，降低边坡稳定性。例如山区公路施工中，在长度达500米的断层发育地段，常出现3-5处滑坡，断层带宽度约2-3米的破碎岩石在降雨和施工振动下极易滑动^[1]。地形地貌影响也大，陡峭地形坡度增加下滑力，超限度易失稳；起伏大区域地表水易汇聚，增孔隙水压力，削弱抗剪强度。如峡谷地带边坡施工，两侧坡度达60°-70°的陡坡在雨水和地下水作用下滑坡风险大增，在连续降雨3-5天后，滑坡发生概率可提升40%-60%。气象水文条件亦不可忽视，降雨是常见诱发因素，大量雨水渗入增重降抗剪强度，暴雨或连续降雨时滑坡概率大升。当单日降雨量超过100毫米时，边坡发生滑坡的可能性较正常天气增加70%-80%。地下水活动也影响边坡稳定，其动态变化改变应力状态致失稳。

1.2 施工活动对边坡稳定性的影响机制

施工活动对边坡稳定性的影响是多方面的。开挖作业会直接改变边坡的几何形状，减小边坡的坡度，破坏原有的应力平衡状态。开挖过程中，边坡岩土体的临空面增大，下滑力增加，而抗滑力相对减小，从而降低了边坡的稳定性。例如，在深基坑开挖施工中，当开挖深

度达到5-8米时，随着开挖深度的增加，基坑边坡的稳定性逐渐降低，发生坍塌事故的概率可提升50%-70%。爆破作业产生的振动会对边坡岩土体造成损伤，使岩土体的结构变得松散，降低强度和弹性模量。振动还会在岩土体中产生裂隙，为雨水的渗入提供通道，进一步加剧边坡的失稳。一般爆破作业产生的振动速度超过5厘米/秒时，边坡岩土体出现明显损伤的概率可达60%-80%。填筑作业会增加边坡的荷载，当填筑高度超过一定限度时，边坡的下滑力会超过抗滑力，导致边坡滑动。当填筑高度达到8-10米时，边坡发生滑动的可能性较填筑前增加40%-60%。

1.3 滑坡灾害预警的核心逻辑与流程

滑坡灾害预警的核心逻辑是基于对孕灾环境、施工活动影响以及边坡稳定性监测数据的综合分析，判断边坡发生滑坡的可能性，并及时发布预警信息。其流程主要包括数据采集、数据处理与分析、预警等级判定和预警信息发布。通过在边坡上布置各类监测设备，实时采集岩土体的位移、应力、地下水位等数据，然后对这些数据进行处理和分析，提取能够反映边坡稳定性的特征信息，根据预设的预警指标和判定标准，确定预警等级，最后通过合适的渠道将预警信息发布给相关人员，以便采取相应的防范措施。整个预警流程从数据采集到信息发布，时间间隔应控制在30分钟以内，以确保预警的及时性。

2 岩土边坡施工期滑坡灾害预警系统构建

2.1 监测数据采集与传输模块

监测数据采集是岩土边坡施工期滑坡灾害预警系统的基础环节。在边坡关键部位合理布置各类监测传感器，以全面获取反映边坡稳定性的关键信息。位移传感器可精确测量边坡地表及深部的位移变化，捕捉边坡的微小变形迹象；应力应变传感器能实时监测边坡岩土体

内部的应力应变状态,反映其受力情况;地下水位传感器用于监测地下水位的高低及动态变化,因地下水位波动对边坡稳定性影响显著;降雨量传感器则记录施工区域的降雨情况,降雨是诱发滑坡的重要因素之一。采集到的数据需及时、准确传输至数据处理中心。采用有线与无线相结合的传输方式,对于距离较近、便于布线的区域,使用有线传输确保数据传输的稳定性与可靠性;而对于地形复杂、布线困难的区域,则借助无线通信技术,如ZigBee、LoRa等,实现数据的远程传输。为保障数据传输的安全性,采用加密技术对传输数据进行加密处理,防止数据在传输过程中被窃取或篡改。

2.2 数据处理与分析模块

数据处理与分析模块对采集到的海量监测数据进行深度挖掘。运用数据清洗技术去除数据中的噪声与异常值,提高数据质量。采用数据融合方法,将不同类型传感器采集的数据进行综合处理,获取更全面、准确的边坡状态信息。利用数值模拟软件,如FLAC3D、ABAQUS等,建立边坡数值模型,将实时监测数据输入模型进行反分析,预测边坡的未来变形趋势。结合机器学习算法,如支持向量机、神经网络等,对历史滑坡数据与监测数据进行训练学习,构建滑坡预测模型,实现对滑坡灾害的智能预警。

2.3 预警等级判定与发布模块

依据数据处理与分析结果,制定科学合理的预警等级判定标准。综合考虑位移变化速率、应力应变增量、地下水位上升幅度、降雨量大小等因素,将预警等级划分为蓝色、黄色、橙色、红色四个级别,分别对应不同的危险程度^[2]。当达到相应预警等级时,通过多种渠道及时发布预警信息。利用短信平台向相关人员发送预警短信;在施工现场设置广播系统,循环播放预警信息;同时在电子显示屏上实时显示预警等级与相关信息,确保施工人员及周边居民能够迅速获取预警信息并采取相应措施。

2.4 预警系统的运行与维护

建立完善的预警系统运行管理制度,明确各部门与人员的职责分工,确保系统正常运行。定期对监测设备进行巡检与校准,保证监测数据的准确性与可靠性。每1-2周对监测设备进行一次全面巡检,每1-2个月对监测设备进行一次校准。对数据处理与分析软件进行更新升级,优化算法模型,提高预警精度。同时组织相关人员进行培训,提升对预警系统的操作与维护能力,为岩土边坡施工期滑坡灾害预警提供坚实保障。每年应组织至少2次相关人员培训,每次培训时长不少于8小时。

3 岩土边坡施工期滑坡灾害应急防治技术措施

3.1 临时加固类措施

临时加固类措施适用于边坡出现初始变形但尚未失稳的应急处置场景,核心目标是快速提升边坡表层或关键滑面的抗滑能力。常用技术包括土钉支护、锚杆支护及喷射混凝土面层加固等。土钉支护通过在边坡土体中植入钢筋土钉,与喷射混凝土面层形成复合支护结构,借助土钉与周边土体的摩阻力约束土体变形;锚杆支护针对岩质边坡或深层滑动隐患,采用高强度锚杆深入稳定岩层,通过预应力施加限制边坡深层位移。实施过程中需严格控制支护参数,根据边坡岩土体物理力学性质确定土钉或锚杆的长度、间距及注浆材料性能,注浆施工需保证浆液饱满度,确保加固结构与边坡土体协同受力,快速遏制变形发展。

3.2 排水减压类措施

排水减压类措施聚焦于消除地下水及地表水对边坡稳定性的不利影响,依据“截排结合、因地制宜”的思路构建排水体系。地表排水通过布设截水沟、排水沟等设施,拦截边坡上部及周边地表径流,避免雨水直接渗入边坡土体;地下排水采用渗沟、排水盲管、井点降水等技术,降低边坡岩土体含水量及孔隙水压力。渗沟与排水盲管需布置于潜在滑面或地下水富集区域,选用透水性良好的滤料填充,防止排水通道堵塞;井点降水适用于地下水水位较高的松散土体边坡,通过有序布设降水井点,均匀降低地下水位,减少水压力对边坡稳定性的削弱作用。排水系统施工后需定期检查疏通,保障排水功能持续有效。

3.3 卸载减载类措施

卸载减载类措施通过调整边坡荷载分布,降低边坡下滑力,适用于边坡上部荷载过大或坡体应力集中导致的失稳隐患。实施过程中需基于边坡稳定性计算结果,精准确定卸载范围与深度,优先清除边坡上部松散堆积体、危石及多余填方土体。卸载施工应遵循“自上而下、分层分段”的原则,避免单次卸载量过大引发边坡振动或局部坍塌。对于边坡下部存在软弱夹层的情况,可结合坡脚反压措施平衡卸载后的应力分布,确保边坡卸载后整体稳定性满足安全要求。卸载后的弃土需规范堆放,远离边坡坡脚,防止二次加载影响边坡安全。

3.4 边坡失稳后的阻隔防护措施

边坡失稳后的阻隔防护措施旨在阻断滑坡体运动路径,减轻灾害破坏范围,适用于滑坡发生后对周边施工区域、道路及构筑物的防护。常用技术包括设置挡石墙、抗滑桩、被动防护网等。挡石墙与抗滑桩布置于滑

坡体运动前方,通过自身结构强度抵御滑坡体冲击荷载,抗滑桩需嵌入稳定岩层,确保承载能力满足设计要求;被动防护网依托柔性结构吸收滑坡体冲击能量,拦截滑坡体中的块石,降低灾害破坏力。实施过程中需结合滑坡体规模、运动速度及冲击能量,合理选取防护结构类型与参数,防护范围需覆盖滑坡体可能影响的全部区域,确保防护措施能够有效阻断灾害传导,保障周边人员与设施安全。

4 岩土边坡施工期滑坡灾害应急保障体系

4.1 组织保障

组织保障核心在于建立权责清晰的应急管理架构,成立由建设单位施工单位监理单位及设计单位共同参与的应急领导小组^[3]。明确领导小组统筹决策职能,下设现场指挥抢险救援技术研判后勤保障等专项工作组,细化各层级岗位人员职责。制定完善的应急响应流程,规范灾害预警启动处置实施应急终止等关键环节的操作标准,建立跨单位协同联动机制。定期组织应急演练,检验组织架构运行效能与各单位协同配合能力,针对演练暴露的问题优化组织体系,确保应急处置指令高效传达落实。

4.2 物资保障

物资保障以“足额储备按需调配及时补充”为原则,依据边坡灾害应急处置需求清单,储备抢险加固物资应急防护物资及生活保障物资。抢险加固物资包括锚杆土钉注浆设备编织袋砂石料等,应急防护物资涵盖安全帽安全绳救生衣应急照明设备等,生活保障物资含饮用水食品防寒衣物等。建立专用物资储备仓库,落实防潮防火防盗等仓储管理要求,对物资进行定期检查维护更新,建立物资动态管理台账。构建区域物资调配网络,与周边施工项目物资供应商建立应急联动机制,确保极端情况下物资快速补充到位。

4.3 人员保障

人员保障聚焦于组建专业化应急处置队伍,明确队伍人员构成与岗位职责。核心抢险队伍由具备边坡工程

施工经验的技术人员组成,配备地质勘察结构分析等专业技术人员提供技术支撑。定期开展专项培训,内容涵盖边坡灾害识别应急处置流程抢险技术操作安全防护规范等,提升队伍专业处置能力。建立人员动态管理机制,明确人员到岗要求与替换保障措施,确保应急处置期间人员足额在岗。同时联动地方应急救援力量专业地质灾害防治队伍,建立外部支援机制,弥补自有队伍处置能力短板。

4.4 通讯保障

通讯保障旨在构建稳定畅通的应急通讯网络,确保应急处置全过程信息高效传递。搭建多渠道通讯系统,整合有线通讯无线通讯卫星通讯等多种方式,核心区域布设应急通讯基站,配备对讲机卫星电话等备用通讯设备。对通讯设备进行定期检修调试,确保设备处于良好工作状态,建立通讯设备故障应急处置预案,快速排查修复通讯故障。明确信息传递流程与责任主体,规范预警信息处置指令灾情反馈等信息的传递时限与方式,建立信息共享平台,实现各参与单位信息实时互通,保障应急决策科学精准。

结束语

岩土边坡施工期滑坡灾害的预警与应急防治是一项复杂且系统的工程。通过构建完善的预警系统,能及时察觉灾害隐患;采取有效的应急防治技术措施,可降低灾害损失;健全的应急保障体系则为整个过程提供坚实支撑。各方需高度重视,协同合作,严格落实各项措施,切实保障岩土边坡施工安全,推动工程建设顺利进行。

参考文献

- [1]龙光达.边坡地质灾害治理技术的研究与对策措施[J].农业灾害研究,2025,15(5):305-307.
- [2]陈涛.矿山岩土工程施工引发的地质灾害及防治对策分析[J].中国金属通报,2025(15):74-76.
- [3]丁艺雯.边坡治理工程中岩土工程勘察技术的应用[J].模型世界,2025(30):230-232.