

# 岩土工程中边坡稳定性监测及施工技术研究

张理亚

广州亚奥建设工程咨询有限公司

DOI:10.12238/gmsm.v8i4.2229

**[摘要]** 随着国内基础设施建设高速发展,山区公路修筑、水利枢纽兴建等岩土工程中,边坡稳定性难题愈发凸显,直接影响到工程实施安全与民众生命财产安全;并且边坡失稳引发的山体滑坡、泥石流等地质灾害反复出现,给社会经济运转造成庞大损失。通过开展边坡稳定性监测与施工技术钻研,能有效预判并控制失稳风险、提升工程建设安全与经济水平,也为岩土工程技术迭代提供关键支撑。文章研究了岩土工程中边坡稳定性监测及施工技术,期望能为相关人员提供参考。

**[关键词]** 岩土工程; 边坡稳定; 监测技术; 施工技术

中图分类号: TU74 文献标识码: A

## Research on Slope Stability Monitoring and Construction Technology in Geotechnical Engineering

Liya Zhang

Guangzhou Asian Olympic Construction Engineering Consulting Co., Ltd.

**[Abstract]** With the rapid development of domestic infrastructure construction, the problem of slope stability has become increasingly prominent in geotechnical engineering such as mountainous road construction and water conservancy hub construction, which affects the safety of project implementation and the safety of people's lives and property; The repeated occurrence of geological disasters such as landslides and mudslides caused by slope instability has resulted in significant losses to social and economic operations. Conducting slope stability monitoring and construction technology research can effectively predict and control instability risks, improve engineering construction safety and economic level, and provide key support for geotechnical engineering technology iteration. The article studies the monitoring and construction technology of slope stability in geotechnical engineering, hoping to provide reference for relevant personnel.

**[Key words]** Geotechnical Engineering; Slope stability; Monitoring technology; construction technique

### 引言

岩土工程承担着桥梁、隧道、建筑地基等基础设施建造的核心任务。山区道路修筑时经常遇到高陡边坡,水利工程渠坝沿线、矿山开采作业区也普遍存在形态各异的边坡,在降雨冲刷、地震震动、风化侵蚀等自然力与开挖、堆载等人类活动共同影响下,稳定性面临极大考验。传统依靠被动防护、简单支挡的边坡处理模式,无法同时满足现代工程对安全保障与成本控制的双重诉求,因此需要针对性进行边坡稳定性监测与抗滑桩加固、锚索张拉等施工技术相结合。如今能自动预警的微震监测系统、兼具生态与加固功能的土工格室技术陆续推广,为边坡工程筑牢安全底线提供新路径,也带动岩土工程监测技术朝着智能化、生态化方向升级。

#### 1 岩土工程中边坡稳定性影响因素

岩土工程中,边坡稳定性受许多外在因素影响,其中降雨是

关键外在因素,降雨不仅会直接使土体重量增大,还会经渗透改变孔隙水压力,使土体抗剪强度削弱。据相关研究表明,降雨入渗会使边坡稳定性降低,而不同降雨模式(如强度、持续时间等)对稳定性的削弱程度千差万别。植被覆盖对边坡稳定性影响重大,因植被根系可固定土壤让边坡稳定性增强,同时植被还能截留雨水,使地表径流和冲刷减少,不同植被类型和覆盖密度,对边坡稳定性的影响也有不同。另外,地震振动对边坡稳定性影响较大,地震波的传播会使边坡岩土体产生动态应力,致使其应力状态改变,抗剪强度随之降低,引发边坡失稳,并且不同震级、震源深度及地震波频率,对边坡稳定性的影响差异明显。

#### 2 岩土工程中边坡稳定性的分析方法

##### 2.1 瑞典圆弧法

瑞典圆弧法以圆弧形态假设滑动面,它将滑体划分为许多

竖直条带以展开受力分析,借由对滑动力矩和抗滑力矩的比值计算来明确安全系数。在具体操作环节,使用者需要确定边坡的几何参数,如坡高、坡角等,同时依据土体的物理力学性质确定其粘聚力、内摩擦角等参数。将滑动土体依循圆弧滑动面分成若干竖向条带,通常而言条带数量越多,分析结果便越精确。再分别计算各个条带的滑动力矩以及抗滑力矩,其中滑动力矩主要源于土体自重,抗滑力矩则由土体粘聚力和内摩擦力构成。最终算出总抗滑力矩与总滑动力矩的比值作为安全系数,若此系数小于规范要求,便判定边坡是不稳定的。该方法的理论简明清晰,它能对安全系数和潜在滑动面予以明确量化,所以被广泛应用在水利工程、基坑支护以及土石坝设计等许多领域,只是面对复杂地质条件和非圆弧滑动面时,它的适用性存在一定局限<sup>[1]</sup>。

### 2.2 极限平衡法

极限平衡法依据静态平衡理论,凭借分析边坡应力状态以及抗滑力的具体作用,构建力学平衡方程来算出边坡的稳定安全系数。使用该方法时,使用者要先确定边坡的地质条件和边界条件,包括岩土体的类别、结构以及物理力学参数,还有边坡的几何形状等;而后依据不同的滑动模式和破坏模式,选用合适的计算模型与方法,如瑞典圆弧法、毕肖普法、简布法等;接着构建边坡的力学平衡方程,考虑各种作用力,如土体重力、水压力、地震力等,以及土体的抗剪强度指标,计算滑动力和抗滑力的比值即安全系数。该方法在均质或层状土体以及简单岩体结构的边坡稳定性分析当中运用颇为广泛,但对于复杂三维边坡以及多场耦合作用的分析却存在着局限性。

### 2.3 数值分析法

数值分析法包含有限元分析法、边界单元法、不连续变形分析方法以及离散单元方法等。以有限元分析法为例,通过对岩土体进行离散化处理,将其划分为有限数量的单元,然后按照岩土体的物理力学性质和边界条件,构建相应的数学模型和方程组;接着利用数值计算方法求解这些方程组,获取边坡在不同工况之下的应力场、位移场等相关信息。凭借这些结果,可以进一步分析边坡稳定性,例如确定潜在滑动面位置、计算安全系数等。此方法能够考虑岩土体的非连续性和非线性特性,适用于复杂地质条件以及任意形状滑动面的边坡稳定性分析,然而对计算设备以及人员的专业知识水平要求较高。

## 3 岩土工程中边坡稳定性监测的分析

### 3.1 设置边坡稳定监测管理系统

在岩土工程领域,相关管理人员需要构建边坡稳定监测管理系统,要依据边坡实际受力与工作条件(见图1)科学配置监测技术与设备,如大地测量技术中的水平仪、全站仪以及位移计、测斜类仪器、测缝计、沉降仪等都要配备齐全,实现自动化、高精度监测,以位移计为例,因边坡规模与地质条件有别,所以布置间距也应合理确定,通常关键部位间距不超5m才能准确获取位移数据。参考图2所示的系统结构,完整系统的搭建包括现场机、仪器、传感器等硬件设备以及GPRS、SMS、互联网等通信模

块和服务器、监控报警中心等软件平台。传感器布置时,除了考虑边坡几何形状、地质分层外,还要关注潜在滑动面。各方向基准点至少设置三个,且要确保其稳定性,并定期检查与校准,垂直与水平方向位置需要清晰标注,以便数据收集与分析。系统运行阶段,利用互联网技术实现数据实时传输与共享。一旦监测数据异常,需要迅速报警,再结合边坡特点测量实际状况,运用计算机控制机房处理、分析数据并制定风险解决方案,以此降低边坡问题引发的风险事故<sup>[2]</sup>。

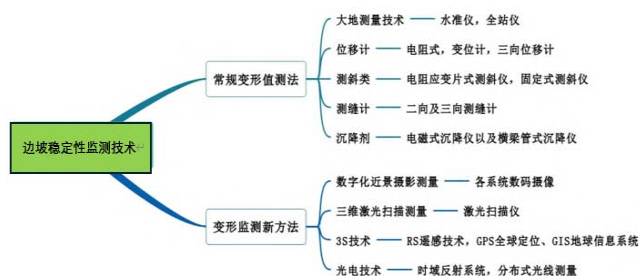


图1 边坡稳定监测技术

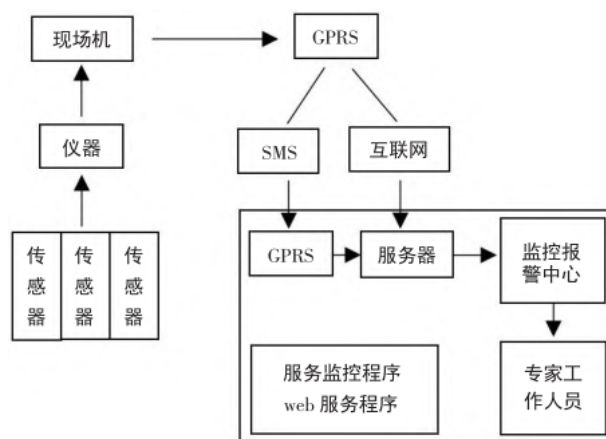


图2 边坡稳定性监控监测系统结构

### 3.2 边坡雷达监测

边坡雷达监测技术作为岩土工程关键监测手段之一,依据图3所示的原理,借由雷达扫描边坡区域的方式,凭借合成孔径雷达(SAR)技术达成全天候实时监测的效果。当测量分辨率处于0.5m时,测量距离可延伸至2000m,如此便可覆盖大面积的边坡区域。对于雷达监测而言,获取精确的位移情况以及轨迹信息尤为重要。在实际运用中,需要合理选定雷达安装部位,使其扫描范围包含整个边坡核心部位,并规避障碍物对信号产生干扰的可能。同时结合边坡的坡度与地形特征,将雷达安装角度控制在30度至60度区间,以此优化扫描成效。另外,还应定期对雷达设备加以维护与校准,确保信号发射与接收保持稳定状态,以减少因设备故障导致的数据误差。在数据处理的相关工作中,要运用专业软件分析雷达所获取的数据,利用滤波算法剔除噪声干扰,提取位移的有效信息,位移信息提取后需要结合地质模型予以解读,以此判定边坡的稳定性状况。例如当位移速率超出预设的

阈值即0.5mm/天时,系统应当自动触发警报,以提醒相关工作人员及时采取对应措施。除此之外,构建数据存储与备份机制也必不可少,有助于保障数据的安全以及完整性,为后续边坡稳定性分析提供历史数据支撑,而且凭借对多年数据展开对比探讨,能够预测边坡的长期稳定态势。

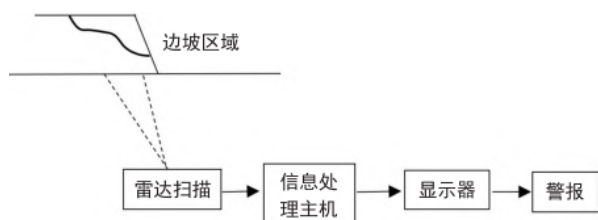


图3 雷达扫描边坡过程

### 3.3 边坡声发射监测

边坡声发射监测系统主要由传感器和含有压电换能器的波导管构成,波导管安装于坡面下方。波导管多凭借钻孔方式安装,能降低脉冲信号传播中的损耗,便于传递电磁波。其安装深度需要依据边坡土层特性而定,通常处于1m~3m这一范围,让波导管能够有效监测土壤位移。在波导管安装完毕后,需要使用砂砾填充它与钻孔间的空隙,砂砾粒径控制在5mm~10mm,可作为波发出起点,能最大程度降低对声发射监测系统的影响,并提高系统对土壤位移监测的精准度。传感器需要安装在波导管周围,安装间距通常在2m~4m之间,以此实现对边坡监测区域的全面覆盖<sup>[3]</sup>。在开展监测工作时,声发射系统利用传感器实时捕捉声发射信号,再经波导管传输至传感器节点,之后借助无线技术将数据传送到监控中心,在监控中心会对数据进行分析处理,一旦监测到异常信号,便会立即发出警报。同时,要结合边坡地质条件以及施工阶段的情况,对监测频率予以动态调整,例如在施工关键的开挖阶段,需要将监测频率提高到每小时一次,确保及时察觉边坡稳定性问题,有力保障施工安全。

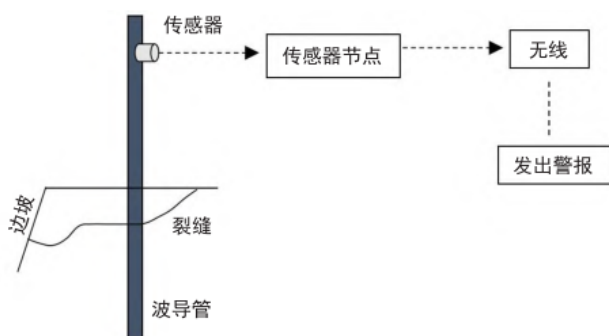


图4 声发射监测流程

## 4 岩土工程边坡稳定性施工技术要点的分析

### 4.1 界定边坡施工核心标准

在开展岩土工程边坡施工活动之前,一定要依据详细的工程地质与水文地质勘察报告、岩土物理学性质试验成果等重

要资料,来精准界定边坡施工的关键标准。在许多关键标准中,最先需要做的是要科学确定一个合理的边坡角,此过程需要综合考虑边坡岩土体的性质、地质构造、地下水活动这几个因素的相互作用。例如,倘若土质边坡中土壤内摩擦角 $\phi$ 小于30度且内聚力 $c$ 也相对较低,此种情况下边坡角就要被严格控制在45度以内;而针对岩石边坡而言,那就要依据岩石的完整性和风化程度,将边坡角相应地在60~85度范围内进行适当调整。边坡支护结构的设计标准,包含了支护结构类型的合理选取、承载力的精确计算以及变形控制指标的严格设定等方面,特别是在软土地层当中,支护结构的变形控制方面,水平位移应该要确保不超过支护结构高度的0.5%,并且绝对值不能大于100mm,才能防止对周边的建筑物以及道路等环境产生不利影响。除此之外,边坡施工质量验收标准务必要达到全面精细的程度,需要包含原材料质量检验、施工工艺控制、结构尺寸量测等多方面的检验指标以及验收方法。以混凝土浇筑为例,强度等级需要满足既定的设计要求,同时坍落度要控制在 $180\pm 20\text{mm}$ 范围内,而钢筋的规格与间距偏差也不得大于 $\pm 10\text{mm}$ ,以此来保障支护结构的整体质量以及稳定性<sup>[4]</sup>。

### 4.2 制定监测方案

岩土工程边坡施工活动前,需要科学制定边坡稳定性监测方案,其技术要点包含多方面,既要合理选择监测项目,如高精度孔隙水压力计的埋设可对地下水位变化致边坡稳定性影响实时监测且测量精度可达0.1kPa,除常规位移监测外,还包含应力应变监测、地下水位监测、裂缝监测、孔隙水压力监测等;科学布置监测点,依据边坡规模、地质条件和复杂程度等确定数量位置,一级边坡监测点间距不超15m、二级不超20m、三级不超25m,同时边坡顶部、中部、底部以及变形大或地质条件差区域要加密;还需要确定科学合理监测频率,正常每1~2天一次,雨季、施工关键阶段或异常时应加密至每天2~3次甚至实时监测;且需要运用如智能传感器网络系统、InSAR(合成孔径雷达干涉测量技术)、GPS监测系统等先进技术设备提高监测数据精度可靠性;更重要的是要建立完善监测数据分析与反馈机制,及时整理分析数据利用数值模拟预测发展趋势,数据异常立即反馈给施工单位及相关技术人员以调整支护参数、增设支护结构等确保施工安全。

## 5 结语

岩土工程领域中,边坡稳定性监测与施工技术的发展在保障工程安全和推动行业可持续发展过程中起到关键支撑作用。随着新材料、新技术、新设备发展,边坡工程实践正朝着智能化动态管控、精细化工艺应用、生态环境协同的方向逐步推进。面向未来,行业需要推动理论研究与工程实践深度耦合,在监测预警体系中补足场景化响应盲区、提升复杂工况下施工水平,为国家基建项目提供坚实的技术保障。

### 【参考文献】

[1]刘杨,彭亮,祝鑫,等.降雨条件下含缓倾软弱夹层矿山高边坡稳定性分析[J].矿业研究与开发,2022,42(07):71-79.

[2]袁心安,温树杰,孙自立,等.非饱和红砂岩风化土水土特征及降雨对其边坡稳定性的影响[J].有色金属科学与工程,2023,14(03):363-371.

[3]杨雪菲,陈东霞.干湿循环下花岗岩残积土裂隙演化及边坡稳定性[J].厦门大学学报(自然科学版),2022,61(4):591-599.

[4]吴竞,易宝龙,王若晗,等.降雨诱发岗头隧洞工程边坡坡

角渗透破坏研究[J].武汉大学学报(工学版),2022,55(7):654-659.

#### 作者简介:

张理亚(1986--),女,汉族,湖南郴州,2011年毕业于英国赫里奥特瓦特大学,硕士研究生,助理工程师,主要从事深基坑、边坡监测和隧道自动化监测等。