

# 边坡变形监测方法探析

和爱华

金安桥水电站有限公司 云南 丽江 674100

**摘要:** 随着基础设施建设的快速发展,边坡工程的安全性和稳定性问题日益凸显。边坡变形监测作为确保边坡工程安全的重要手段,其准确性和实时性对于预防地质灾害、保障人民生命财产安全具有重要意义。本文详细阐述了边坡监测的内容和方法,包括地表变形、表面裂缝、深部位移、内部应力及岩石边坡地应力的监测,还介绍了传统与智能边坡变形监测技术,如GPS全球定位系统和光纤传感技术,并强调了其在保障边坡工程安全中的重要作用。

**关键词:** 边坡变形; 监测; 方法

## 引言

边坡工程作为土木工程中不可或缺的组成部分,其稳定性直接影响到工程的安全性和经济效益。随着科技地不断发展,边坡变形监测技术也在不断进步。本文旨在探讨边坡变形监测的基本理论和方法,分析影响边坡稳定性的因素,并介绍当前边坡变形监测技术的现状。通过本文的研究,希望能够为边坡工程的安全监测提供有益的参考。

## 1 边坡工程监测基本理论

### 1.1 边坡概述

边坡作为地质环境中的重要组成部分,其形成和演变与地质条件、自然环境和人类活动密切相关。天然边坡是在漫长的地质历史过程中,由于地壳运动、风化作用、水流侵蚀等自然因素作用而形成的。它们广泛存在于山谷、海岸、山麓等地,对当地的地貌景观和生态环境具有重要影响。而人工边坡则是人类为了满足工程建设、资源开发等需求,通过挖掘、填筑等方式形成的。这些边坡的规模、陡度等特征因工程需求而异,对周边环境和工程安全具有直接的影响。因此,对边坡的监测和管理显得尤为重要,它直接关系到人类活动的安全性和可持续性。

### 1.2 边坡变形破坏的基本类型

(1) 松弛张裂是边坡变形开裂的一个常用类型。在边坡形成过程中,随着河谷地段的岩体遭受冲击腐蚀以及人工开凿,边坡岩体逐渐失去了自身的约束,由于应力重新分配,使得岸坡岩体出现了向临空面方向的回弹变化。这种变化通常伴有着近平行于坡度的拉张裂缝的出现,这种裂缝一般又叫做边坡卸荷裂缝。松弛张裂缝的产生不但增加边坡的总体稳定性,而且为以后的滑动、坍塌和更剧烈的变形损坏创造条件。(2) 蠕动变形是边坡变形破坏的另一个主要类型。其主要特点为边坡

岩体在自重作用下向临空方向出现了缓慢的塑性变形。运动过程可再划分为表面运动与深部蠕动二个类别。表层蠕动最常见于破碎的页岩边坡和较松散的土壤边坡上,在坡体剪应力还没有形成的时候滑动时,就会产生一个剪变带,从而产生了缓慢的塑性变形。而深层运动则大多出现于坡体基座产状较缓而具有相当厚度的较弱地层上,这种弱地层在上包层引力影响下,向临空定向运动,从而导致上包层的变化和解体。蠕动过程产生往往是一种渐进的过程,但是其对滑坡稳定性产生的作用却是巨大的。(3) 崩塌和滑坡是指边坡变形损伤中的较为明显和突发的类型。崩塌一般出现于高陡的滑坡岩块上,由于岩体强度突然出现了倾斜崩落,岩块翻滚冲击而下,最后堆积在坡脚处。而在混凝土土体上突然出现的坍塌现象就叫做地崩。滑坡则是指边坡岩体在自重作用下,沿某一滑动面整体下降的过程。坍塌和滑坡现象的出现通常存在突发性,给边坡稳定性造成严重威胁,但同时也会对周围环境和人们行为产生重大损失<sup>[1]</sup>。

### 1.3 影响边坡稳定性的因素

边坡稳定性受多种原因的干扰,(1)内因主要涉及地质构造、岩体特性、岩石构造的初始应力状况等。上述参数决定了边坡本身的硬度与形状特征。(2)外因因素则涉及洪水侵蚀、岩体风化、施工荷载条件变化和人工开挖等。洪水侵蚀可以引起边坡土体流失,岩体风化可以降低岩体的硬度,而施工荷载因素和人工开挖也可以直接影响边坡的内部应力分配和边界条件,进而影响其安全性。上述各种因素联合影响,决定了边坡的安全性及其发展趋势。

### 1.4 边坡工程监测的作用

边坡施工的监测范围包括了各类施工领域,而边坡施工监控的主要功能则包括:准确跟踪边坡的内部实际状态,为施工单位和监理机构提供现场有力信息,并合

理进行方案设计,及时调整好相应的施工计划,在施工中根据设计的资料确保路基稳固,尽量的减少坍塌和滑坡产生,在信息化施工中获取良好的效益;通过监测,预测可能发生移动和变化的区域;根据监测结果对已发生崩塌滑坡的区域在后期进行加固。所以,调查不仅仅是对崩塌和滑坡现象的调查研究,而且是在崩塌等地质灾害产生时预防的关键。检测后得到的数据能够为有关单位提出有力的解决办法。

### 1.5 边坡监测的目的

(1)能够准确确定边坡下滑趋势的程度,分析边坡是否有崩塌的风险。(2)检测边坡治理和修复的效果是否符合我国标准要求。(3)为新建路基的建设和老路基的维修提供有效准确的资料,以便提高的设计方案,增加工程建设的质量。(4)记录滑坡的情况,在滑坡出现塌方后可以依据专业力学理论,准确得到有效的解决方案。

### 1.6 边坡监测的特点

首先,边坡监测是一个全面的过程,它涉及到边坡的地表变形、裂缝扩展、内部应力变化等多个方面,确保了对边坡整体状态的全面把握。其次,边坡监测具有实时性,能够随时随地对边坡的状态进行监测,及时发现异常情况。再者,边坡监测的精准性是其核心价值所在,通过高精度的监测设备和先进的技术手段,能够获取准确的监测数据,为边坡稳定性评估提供可靠依据。最后,边坡监测具有预防性,通过及时监测和预警,能够在边坡失稳前采取有效措施,避免或减少滑坡等地质灾害的发生<sup>[2]</sup>。

## 2 边坡变形监测技术现状

### 2.1 传统边坡变形监测技术

边坡变形监测利用观察滑坡表层与深部的相对位置来了解滑坡的变化状态。目前,常规的边坡变形监测方法大多采用监测仪器,在地表变形监测中,倾斜检测方法利用了倾角计和表面应变计等装置,以高精度、低成本的手段,完成了对滑坡各个变化过程的监控。如针对坡体、结构物的变化,利用倾斜计和测缝方法给出了迅速、精确的解决方案。同时,现代大地测量技术借助了坡度尺、水准仪等装置,也拥有了精确、速度快的优点,对不同变形阶段的位移进行了监测。进入深部变形监测领域,测斜法借助测斜仪实现了对滑坡变形初期的高精度监测,而多点位移计和时域反射(TDR)法则为滑坡变形初期提供了远程实时监控的可能。这些技术不仅精度高、数据可靠,而且易于保护,为确定滑动带位置和滑动测微提供了重要依据。

### 2.2 智能边坡变形监测技术

#### 2.2.1 GPS全球定位系统

GPS系统是指20世纪70年代由美国国防部所研发的全局定位系统。GPS作为边坡监控的优势的在于监控点选择比较简单、定位精度高、能够给出监测点的三维位置数据、工作简便、能够全天候服务。不过它也有缺点,GPS接收机昂贵、无法满足应用较多的情况、仅适合于地表变形监测。和GPS技术相似的,还有GNSS技术被广泛应用到了边坡监测,GNSS在监测效果和准确度等方面都有了提高。相对于传统的观测技术而言,GNSS定位技术优势主要有测点无需通视、定位精度高、探测时限短、一次获得三个位置、操控简单、全天候运行、性价比高优势。目前,GNSS技术主要运用在较大规模、监测点数不多的高边坡病害监测工作。RS技术在滑坡监测领域中能够迅速获取更大范围研究领域中的动态滑坡数据,并且还能够同步进行滑坡监测。具有覆盖面广、获取信息快、受场地障碍影响小,且可不断重复开展观测的特征。

#### 2.2.2 光纤传感技术

用光作为介质光缆,作为媒介将从外界检测到的物理、化学等参量传送给目的地,而采用的方法加上则称为光缆传输技术。光纤传感器技术有着众多的特性,如耐电磁辐射干扰、耐腐蚀、敏感度好、反应快、重量轻和体积小等,就实施方便性而言,采用BOTDR的方法比较简易化而且在后期维修上也方便简单<sup>[3]</sup>。

#### 2.2.3 其他边坡变形监测技术

(1)声音传播方式,声传播现象比较多,其稳定性较高。声发射技术不仅能够通过外观上看到的,还可以观察边坡内裂隙的变形。(2)三维激光扫描技术,以非接触式快速获得点云信息,受外部影响小,工作简便,不但保持了全站仪的高质量特性,同时也较大程度上克服了常规监测方法周期长、工作效率低下和易受外部影响干扰的困难。(3)合成孔径雷达,利用合成孔径雷达的干涉监测技术,为解决区域地表三维信息问题开辟了有效途径,该方法具备了全天时间、全天候、高速度、低成本的优点,目前主要用来实现大规模的滑坡监测。

## 3 边坡变形监测的内容和方法

### 3.1 边坡监测的内容

在边坡监测实施中,安全监测重点是开挖安全监测与处理效果监测,而施工安全监测重点是对滑坡、应力与地下水的情况实施检测,是指导实施、反馈施工情况的一项重要基础,作为我国信息化建设的重要内容,施工安全检测也是一个重要信息监测方式,能够即时了解工程施工过程对边坡所造成的危害,以便进行施工,如果产生了重大危害时,可对施工方法做出有效改变。边

坡整治成效监测是对整治成效的检测,同时它也是评价边坡整治效果稳定性的一项主要方法。这些监测不仅能够了解边坡损伤的情况,而且能够监测预应力锚索、抗滑桩的情况以及排水的流性情况,以便对整个施工进行的过程进行比较直观的观察同时把长期观察和工地安全紧密结合一起,通过掌握开挖后坡度变化的特点,为建设项目的竣工验收奠定了基础,滑坡过程的监控一般不少于1a,资料的收集间隔时间一般在70d以内。在外界干扰比较大的场合,如暴雨等观测资料可能需要保密。在防治完毕后对边坡实施了长时间的动态监控,以便于观察它的稳定性和变形的特性。监控的内容主要包括对滑动带深度的监控,地下水位和变形地面监控等。

### 3.2 边坡监测的方法

#### 3.2.1 地表大地变形监测

地表大地变形监测是边坡监测中最为基础和直观的方法之一。这种方法主要通过高精度的测量设备和技术,对边坡地表进行持续、系统的观测,以获取边坡的变形数据。常见的地表大地变形监测技术包括水准测量、全站仪测量和GPS测量等。这些方法能够精确测量边坡的位移、沉降等变形参数,为分析边坡稳定性提供重要依据。通过地表大地变形监测,我们可以及时了解边坡的变形情况,预测其发展趋势,从而采取相应的防治措施,确保边坡的安全稳定。

#### 3.2.2 边坡表面裂缝监测

边坡的拉伸裂纹的发生往往是滑坡岩石即将损坏的征兆信号,所以如果滑坡出现裂纹,则需要对其加以检测。检测内容主要包括二端的延伸速度和裂缝扩展速度,如果速率骤然增加和由裂缝口的岩石松动所产生的,就意味边坡开始被侵蚀失衡。表面裂纹的位错检测一般采用位错仪或千分表进行检测,尤其适合于较小面积的简单坡度。

#### 3.2.3 边坡深部位移监测

边坡深部位移监测是评估边坡稳定性、预测潜在滑坡等地质灾害的重要手段。与传统的地表变形监测相比,深部位移监测能够更直接地反映边坡内部岩体的变形情况,为边坡稳定性分析提供更为准确的数据支持。在边坡深部位移监测中,常用的方法包括测斜管监测、钻孔倾斜仪监测和地下位移计监测等。这些方法通过在边坡内部埋设相应的监测设备,实时测量岩体的位移变化。例如,测斜管监测通过测量管内的滑动块位置变

化,来计算边坡不同深度处的位移;而钻孔倾斜仪监测则利用倾斜仪直接测量钻孔内部的倾斜角变化,进而推断岩体的位移情况。边坡深部位移监测不仅能够帮助我们了解边坡内部岩体的变形特征,还能为边坡稳定性分析提供更为深入的数据支持,从而更准确地预测边坡的变形趋势和潜在风险。

#### 3.2.4 边坡内部应力监测

边坡的应力分析用于计算滑带强度、抗滑能力等。利用压箱即可知道坡体向支挡施加的压强等。压力箱按照试验方式可以分成两类:液压驱动和电子式。液压驱动构造简单安全,现场直读,使用方便;电子式的优点在于检测准确度高,能够远程观测。

#### 3.2.5 岩石边坡地应力监测

通过地应力监测,可以实时获取岩石边坡内部应力的变化数据,从而分析边坡的稳定状态。在岩石边坡地应力监测中,常用的方法包括应力计监测、声发射监测等。应力计监测通过在边坡内部埋设应力计,直接测量岩石的应力变化;而声发射监测则通过监测岩石在受力过程中产生的声波信号,来推断岩石内部的应力状态。岩石边坡地应力监测不仅能够提供关于边坡稳定性的重要信息,还能为边坡的加固和治理提供科学依据,确保边坡的安全稳定<sup>[4]</sup>。

### 结语

本文系统梳理了边坡变形监测的理论基础、技术现状以及监测内容和方法。随着技术的不断革新,边坡变形监测将更加智能化、自动化,为边坡工程的安全稳定提供有力保障。以后,我们应继续深入研究边坡变形监测技术,不断提高监测精度和效率,以更好地服务于边坡工程的安全监测工作。

### 参考文献

- [1]张浩,杨晓琳,马海涛,等.基于地基干涉雷达的含水量土质边坡变形监测研究[J].北京理工大学学报,2023,43(11):1154-1163.
- [2]李国庆.GPS在矿山边坡变形监测中的应用[J].中国金属通报,2023(1):225-227.
- [3]刘恒,谭春腾,周志瀚,等.某高边坡变形监测分析[J].山西建筑,2020,46(19):120-122.
- [4]米倩.遥感数据分析的矿山边坡变形监测方法[J].江苏建材,2024(1):45-46.