

# 水利工程边坡位移监测方法对比及适用性分析

王靖宇

新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司 新疆 乌鲁木齐 830000

**摘要:** 本文围绕水利工程边坡位移监测展开。先介绍传统(水准、全站仪、测斜仪测量法)与现代(GNSS、光纤传感、InSAR遥感)监测技术体系的分类与原理;接着从精度、实时性、成本三方面对比不同监测方法性能指标;最后分析其适用性,包括不同地质(软土、岩石、黄土)、工程规模(小型、中型、大型)及特殊场景(高地震风险、强风暴雨频发、峡谷地形)下监测方法的选择,为水利工程边坡位移监测提供全面参考。

**关键词:** 水利工程;边坡稳定;位移监测;方法对比;适用性分析

引言:水利工程边坡的稳定关乎工程安全与周边环境,位移监测是掌握其稳定状态的关键手段。传统监测方法凭借人工操作与接触式测量,在中小型工程及局部区域应用广泛,但存在精度受限、实时性差等问题。现代监测技术依托前沿科技,实现自动化、实时化与大范围监测,却面临成本与特定条件制约。不同地质、工程规模及特殊场景下,监测方法适用性各异。深入分析各类监测方法的分类、原理、性能指标及适用性,对科学选型、保障工程安全意义重大。

## 1 水利工程边坡位移监测方法分类与原理

### 1.1 传统监测方法体系

传统监测方法凭借人工操作、接触式测量的特点,技术成熟且稳定,在中小型水利工程及局部重点区域边坡位移监测中应用广泛。(1)水准测量法:此方法基于几何水准原理实施监测。借助水准仪对监测点高程进行精确测量,通过对比不同时期测量得到的高程数据,进而算出垂直位移量。然而,其测量精度受多种因素制约。水准仪自身精度的高低直接影响测量结果的准确性;测量时的环境条件,如温度、湿度、大气折光等,会对测量数据产生干扰;测量人员的操作技能水平也至关重要,不规范的操作可能导致误差增大。此外,该方法高度依赖基准点的合理布设,基准点位置不当或稳定性差,都会使测量结果失真。(2)全站仪测量法:全站仪集角度与距离测量功能于一体,利用这些功能可精准获取监测点的坐标信息。通过对比多期测量所得的坐标数据,能够精确计算出边坡位移。该方法优势显著,可同时测量平面与垂直位移,尤其适用于边坡表面离散点的高精度测量。(3)测斜仪监测法:在边坡钻孔内埋设测斜管,将探头沿管内滑行,测量不同深度的倾斜角,据此计算出内部水平位移,还能准确揭示边坡变形滑动面的位置,为深入分析边坡稳定性提供关键的深层数据<sup>[1]</sup>。

### 1.2 现代监测技术体系

现代监测技术体系紧密依托物联网、卫星定位等前沿科技,成功实现了自动化、实时化以及大范围监测的目标,在大型复杂水利工程的边坡位移监测中发挥着不可替代的关键作用。(1)GNSS监测技术:在边坡关键位置合理布设接收机,这些接收机可精准接收来自卫星的信号,进而获取监测点的三维坐标。依据不同应用场景与精度要求,该技术可划分为不同精度等级。其具备24小时不间断连续观测的能力,能够实时、动态地掌握边坡的位移动态。无论是缓慢的长期变形,还是突发的快速位移,都能及时捕捉,尤其适用于大范围边坡表面的位移监测工作,为水利工程的长期安全稳定运行提供及时、有效的数据支撑。(2)光纤传感监测技术:基于光弹效应或瑞利散射原理,以光纤作为核心传感元件。通过监测光纤中光信号的强度、相位等参数变化,反演出边坡的位移分布情况。该技术具有抗干扰能力强、耐腐蚀等突出优点,可在复杂恶劣的环境下稳定工作,实现分布式连续监测,精准捕捉边坡的细微变化,为边坡稳定性评估提供高精度的数据。(3)InSAR遥感监测技术:利用SAR卫星的多期影像,经过复杂的干涉处理,精确计算出地表的微小位移。此技术无需在现场布设任何设备,适用于超大范围边坡的宏观监测,能快速识别潜在的变形区域,为工程安全预警提供有力依据。

## 2 不同监测方法的性能指标对比

### 2.1 精度对比

在水利工程边坡位移监测领域,不同监测方法因技术原理和应用场景的差异,在精度方面表现各有千秋。(1)传统监测方法中,水准测量法依托几何水准原理,通过水准仪精确测量监测点高程变化来计算垂直位移,在垂直方向上具有较高的测量精度,尤其适用于对垂直位移变化敏感的中小型工程局部监测。全站仪测量法利用角度

与距离测量功能获取监测点坐标,平面位移测量精度表现优异,但在远距离测量时,会受到通视条件的制约,导致测量精度有所下降,影响数据的可靠性。测斜仪则专注于边坡内部深层位移监测,通过在钻孔中埋设测斜管,利用探头测量不同深度的倾斜角来计算水平位移,能够精准捕捉边坡内部的细微变形,适用于对局部深层位移精度要求极高的监测场景。(2)现代监测技术方面,GNSS监测技术中,静态定位模式通过长时间连续观测和复杂的数据处理,可获得较高的定位精度;而动态定位和单点定位模式下,精度会依次降低,不过仍能满足大范围边坡表面位移实时监测的需求。光纤传感监测技术无论是分布式监测还是点式监测,精度都较为优良,且抗干扰能力强。InSAR遥感监测技术垂直位移测量精度高于水平位移测量精度,但会受到卫星影像质量以及时间基线等因素的影响<sup>[2]</sup>。

## 2.2 实时性对比

在水利工程边坡位移监测中,实时性是衡量监测方法能否及时反映边坡动态变化的关键指标,不同监测方法在实时性方面差异显著。(1)传统监测方法主要依赖人工观测来获取数据。从数据采集环节看,工作人员需按照预定的时间和流程,使用水准仪、全站仪、测斜仪等设备到现场进行测量,这不仅耗费大量的人力和时间,而且数据获取周期长。在数据处理方面,也需要人工进行记录、计算和分析,进一步增加了时间成本。由于这种人工操作的局限性,传统方法的实时性较差,难以捕捉边坡短时突发的变形情况。例如,当边坡发生快速滑移等紧急状况时,传统方法可能无法及时提供准确的数据,从而影响对边坡安全状况的及时判断和应对。(2)现代监测技术则展现出了强大的实时性优势。GNSS监测技术和光纤传感监测技术能够实现实时采样和数据传输,它们借助先进的传感器和通信网络,将监测数据迅速、准确地传输到数据处理中心,延迟极短。这使得工程人员可以及时掌握边坡的位移变化情况,为边坡安全预警和决策提供有力支持。而InSAR遥感监测技术虽然具有大范围监测的优点,但由于受到卫星重访周期的限制,数据获取存在一定程度的滞后,更适合用于对边坡长期变形趋势的分析。

## 2.3 成本对比

在水利工程边坡位移监测中,成本是选择监测方法时需重点考量的因素,不同监测方法在成本构成和投入上存在明显差异。(1)传统监测方法方面,设备购置成本相对较低。水准仪、全站仪等常规测量仪器价格较为亲民,对于资金有限的小型工程而言,前期设备投入压

力较小。然而,传统方法高度依赖人工操作,从数据采集到处理分析,都需要专业人员参与,这就导致了长期的人力成本居高不下。以测斜仪为例,除了设备费用外,还需承担钻孔埋管的费用,包括钻孔设备的租赁、人工钻孔以及测斜管的采购和埋设等,这部分费用会增加总体成本。不过,由于其成本特点,传统方法更适用于小范围深层监测,能在有限的预算内实现特定区域的精准监测。(2)现代监测技术中,GNSS单站和光纤传感系统的设备购置成本较高。若要实现大范围的监测布设,总成本会显著增加。但值得一提的是,它们运行维护成本较低,自动化程度高,减少了后期人工干预的需求。InSAR遥感监测技术无需在现场布设设备,单次数据处理成本适中。不过,由于它可能存在一定的误差,需要结合其他监测方法对重点区域进行验证,这也会产生额外的成本<sup>[3]</sup>。

## 3 监测方法的适用性分析

### 3.1 不同地质条件下的适用性

水利工程边坡所处地质条件复杂多样,不同地质条件对监测方法的要求也各不相同,合理选择监测方法对于准确掌握边坡变形情况至关重要。(1)在软土地质边坡中,由于其土质松软、变形复杂,不仅表面会发生位移,深层土体也可能产生较大变形。因此,需要同时监测深层与表面变形。推荐采用测斜仪与GNSS组合的监测方式,测斜仪可精准获取边坡内部深层水平位移信息,GNSS则能实时监测边坡表面三维位移,光纤传感也可作为辅助手段,进一步提升监测精度。而InSAR技术受大气延迟等因素影响,在软土地质条件下测量精度较低,不建议使用。(2)对于岩石地质边坡,变形往往集中于裂隙或断层等局部区域,这就要求监测方法具备高精度测量局部变形的能力。全站仪可精确测量边坡表面离散点的高精度坐标,光纤传感能实现分布式连续监测,二者组合可全面掌握局部变形情况。GNSS可用于监测边坡整体位移,InSAR技术则适合在前期进行宏观排查,快速识别潜在变形区域。(3)黄土地质边坡具有湿陷性,其变形与含水率变化密切相关,因此需要同步监测位移与含水率。推荐采用GNSS、测斜仪与含水率传感器组合的方式,水准测量因基准点易受湿陷影响,导致测量结果不准确,应避免使用<sup>[4]</sup>。

### 3.2 不同工程规模下的适用性

水利工程规模各异,不同规模的工程在监测范围、预算以及安全要求等方面存在显著差异,这直接决定了监测方法的选择。(1)小型水利工程通常监测范围较小,且预算相对有限。在这种情况下,优先选用传统监测方法

能够满足基础监测需求,同时避免现代技术带来的成本浪费。推荐采用水准仪与全站仪的组合,水准仪可精准测量垂直位移,全站仪能准确获取平面位移,二者结合足以应对小型工程边坡的常规监测任务。(2)中型水利工程规模适中,既需要保证一定的监测精度,又对实时性有一定要求。此时,推荐采用传统与现代监测方法相结合的方式。对于重点区域,使用全站仪与测斜仪进行高精度监测,全站仪可获取表面精确坐标,测斜仪能监测深层水平位移;对于大范围区域,则采用GNSS进行实时监测。通过整合不同方法获取的数据,能够有效提升监测效率,全面掌握边坡的变形情况。(3)大型水利工程监测范围大、安全要求高,必须构建完善的综合监测网络。推荐以现代技术为主、传统技术为辅,利用InSAR进行前期宏观排查,快速识别潜在变形区域;通过GNSS实现实时监测,及时掌握边坡动态变化;采用光纤传感与测斜仪对深层和重点区域进行精准监测。

### 3.3 特殊场景下的适用性

水利工程边坡所处的特殊场景复杂多样,不同场景对监测设备的性能和监测方法的选择有着独特要求,合理适配才能确保监测工作的有效开展。(1)在高地震风险区边坡,地震的频繁发生要求监测设备具备强大的抗振动能力,同时要能自动备份数据,以防地震导致数据丢失。GNSS监测技术和光纤传感技术是理想之选。GNSS可实时获取边坡的三维位移信息,且其设备抗振动性能较好;光纤传感能实现分布式监测,精准捕捉边坡内部的细微变形。而全站仪在地震后,由于边坡可能发生较大位移,通视条件变差,且人工现场观测存在安全风险,因此不宜使用。(2)强风暴雨频发区边坡,监测设备需具备良好的防水抗风性能。推荐采用防水接收机的GNSS和配备密封探头的测斜仪。GNSS能实时监测边坡位移,防水接收机可保证其在暴雨环境下正常工作;测斜仪的密封探头能有

效防止雨水侵入,确保测量精度。InSAR技术受恶劣天气影响,影像质量下降,水准测量在强风暴雨中精度也会受到影响,故这两种方法在该场景下适用性较差。(3)峡谷地形边坡地形复杂,通视条件差且信号容易受阻。此时需要选择无通视要求、信号传输距离远的监测方法。GNSS(北斗短报文)可在无移动网络信号时,通过北斗卫星进行数据传输;光纤传感能实现长距离、分布式监测。全站仪因依赖通视条件,在峡谷地形中测量效率低下,不适合使用<sup>[5]</sup>。

### 结束语

水利工程边坡位移监测至关重要,关乎工程安全与稳定运行。本文详细阐述了传统与现代监测方法体系,对比了不同方法在精度、实时性、成本等方面的性能指标,并深入分析了其在不同地质条件、工程规模及特殊场景下的适用性。各类监测方法各有优劣,在实际工程中,需综合考量地质、规模、场景等多方面因素,合理选择或组合监测方法,构建科学、高效、经济的监测体系。如此,方能精准掌握边坡位移动态,及时预警潜在风险,为水利工程的长期安全提供坚实保障,推动水利事业可持续发展。

### 参考文献

- [1]王盛鑫.水利工程中的边坡加固措施及其效果监测[J].工程技术研究,2025,10(06):157-159.
- [2]高锡良,李杨林.边坡稳定性分析与加固措施研究[J].水利技术监督,2024,(05):234-237.
- [3]袁巧丽.水利工程建设过程中边坡加固的处理路径探讨[J].珠江水运,2024,(07):127-129.
- [4]康健,刘玉成,黄少争.解析水利水电工程施工中的安全控制措施[J].水上安全,2024,(08):155-157.
- [5]商志清.水利工程施工中边坡开挖支护技术的应用研究[J].城市建设理论研究(电子版),2020,(16):112.