

# 水利工程大坝的安全监测技术分析

张伟

广州南方测绘科技股份有限公司济南分公司 山东 济南 250014

**摘要:** 水利工程大坝的安全监测技术对于确保大坝稳定运行至关重要。通过变形监测、渗流监测、应力应变监测及环境与气象监测等手段,实时捕捉大坝运行状态的关键参数。数据处理与分析环节运用多种方法去除噪声、剔除异常值并填补数据空缺,确保数据质量。基于高质量数据,采用统计分析方法与模型分析方法全面评估大坝结构稳定性,及时发现并预警安全隐患,为制定科学合理的维护与加固方案提供有力支持。

**关键词:** 水利工程大坝;安全监测技术;数据处理;监测系统管理

引言:水利工程大坝作为重要的水利设施,其安全性直接关系到下游地区人民群众的生命财产安全。在运营过程中,大坝会受到多种内外部因素的影响,导致变形、裂缝、渗漏等问题。为确保大坝稳定运行,必须采用先进的安全监测技术。这些技术不仅涉及多个监测领域,还需要高质量的数据处理与分析手段来支撑,以全面、准确地评估大坝结构稳定性,及时发现潜在的安全隐患。

## 1 水利工程大坝的安全监测的重要性

水利工程大坝的安全监测,是确保大坝稳定运行与保障下游地区人民群众生命财产安全的关键环节。大坝作为重要的水利设施,承载着防洪、发电、供水等多重功能,其安全性更是直接关系到周边环境的生态平衡与经济社会发展的可持续性。在水利工程大坝的运营过程中,会受到多种内外部因素的影响,如地震荷载、环境荷载、机械设备性能、人为因素等,这些因素会导致大坝出现变形、裂缝、渗漏等问题。若不能及时发现并解决这些问题,会引发严重的灾害性事故,对大坝进行持续、全面的安全监测显得尤为重要。安全监测技术能够实时反映大坝的工作状态,包括变形监测、渗流监测、应力监测等多个方面。通过安装位移计、渗压计、应变计等传感器,实时采集大坝结构的各项参数,评估其健康状况。这些监测数据有助于及时发现潜在的安全隐患,还能应急响应争取宝贵的时间,有效避免大坝失事带来的严重后果,安全监测技术还能为大坝的优化调度、环境保护以及科学研究提供有力支持。通过准确掌握水库水位、流量等信息,科学合理地进行水库调度,提高水资源利用效率。监测大坝周边的生态环境变化,有助于评估水利工程对环境的影响,为生态保护提供依据。

## 2 水利工程大坝常用安全监测技术

### 2.1 变形监测技术

变形监测在大坝安全监测体系中占据关键地位,是

评估大坝运行状态的重要指标。其涵盖水平位移监测、垂直位移监测和倾斜监测三个主要方面,为大坝稳定性分析提供直观且关键的数据支持。水平位移监测采用多种先进技术手段。视准线法依托经纬仪等测量仪器,通过构建一条精准的基准线,对大坝上各观测点相对基准线的水平位置变化进行细致观测。该方法操作相对简便,成本较低,适用于对精度要求适中的小型大坝或特定监测区域。引张线法通过在大坝两端稳固固定点间张紧钢丝,利用传感器精确测量观测点处钢丝的偏移量,以此确定水平位移。这种方法精度较高,稳定性好,常用于大型水利工程大坝的关键部位监测。GPS测量法借助全球定位系统,接收多颗卫星发射的信号,实时获取观测点的三维坐标信息。凭借其全天候、高精度、实时性强等优势,能对大坝进行全方位、动态的水平位移监测,尤其适用于地形复杂、通视条件差的大坝监测场景。垂直位移监测主要运用水准测量法,水准仪构建起精确的水平视线,通过测量观测点与水准基点之间的高差变化,准确计算出大坝的垂直位移量。水准测量法精度高,测量结果可靠,是大坝垂直位移监测的经典方法。倾斜监测则依赖于倾斜仪,通过安装在大坝不同部位的倾斜仪,实时捕捉大坝的倾斜角度变化。这些数据能够敏锐反映大坝的不均匀沉降情况,如果发现异常倾斜,可及时预警大坝结构可能存在的安全隐患。

### 2.2 渗流监测技术

(1) 渗流量监测是大坝渗流监测的基础环节,通过在大坝下游合理设置量水堰等专业设施,能精确地测量渗流水流经量水堰时的流量数据。这些数据直观地反映了大坝的渗漏程度,依据流量的大小与变化趋势,初步评估大坝防渗体系的有效性。如果发现渗漏量异常增加,便能及时预警,为大坝的安全维护提供重要参考。

(2) 渗流压力监测是渗流监测的核心内容,通过在坝体

内部和基础的关键部位埋设高精度渗压计, 可以获取不同深度和位置的渗流压力数据。运用专业的渗流分析软件对这些数据进行深度处理与分析, 能绘制出渗流场分布图, 清晰地展现渗流场的分布规律。这有助于精准判断防渗体是否存在缺陷, 如裂缝、孔洞等, 还为后续的防渗加固工作提供了准确依据。(3) 水质分析作为渗流监测的重要补充手段, 同样不可忽视。通过采集渗流水样本, 并运用先进的化学分析仪器对水中的溶解物质、悬浮物、酸碱度等指标进行详细检测, 判断渗流是否对坝体材料产生了化学侵蚀作用, 以及是否存在因异常渗漏通道导致的水质异常情况。如果发现水质异常, 便能进一步深入排查, 确定渗漏隐患的根源, 并及时采取针对性的防渗措施, 确保大坝的长期安全运行<sup>[1]</sup>。

### 2.3 应力应变监测技术

应力应变监测聚焦于监测大坝在各类荷载作用下的应力应变状态, 是评估大坝结构强度与稳定性的核心技术, 主要通过在大坝内部关键部位埋设应变计、应力计等传感器来实现。应变计利用材料的物理特性, 如电阻应变片式应变计, 通过测量坝体材料受力时产生的微小应变导致的电阻变化, 精确计算出应变数值。依据材料的本构关系, 即材料应力与应变之间的数学关系模型, 将测量得到的应变值代入模型中, 即可计算出坝体材料所承受的应力大小。应力计则直接测量坝体所承受的应力, 如振弦式应力计, 通过感应应力变化引起的振弦振动频率改变, 准确测量应力数值。在大坝长期运行过程中, 温度周期性变化、水位频繁升降以及遭遇的地震等自然灾害, 都会导致坝体应力应变状态发生复杂变化。通过实时、连续的应力应变监测, 能及时捕捉坝体结构的受力响应, 精准判断是否存在应力集中区域。如果应力集中超过坝体材料的承载极限, 会引发结构开裂等严重安全隐患。应力应变监测技术为大坝的安全评估提供了关键的力学参数依据, 有助于制定科学合理的大坝维护与加固方案, 确保大坝在各种工况下的结构安全与稳定运行<sup>[2]</sup>。

### 2.4 环境与气象监测技术

在水利工程大坝的安全监测体系中, 环境与气象监测技术同样占据重要地位。这一技术关注大坝自身状态, 还综合考虑外部环境因素对大坝安全的影响提供更全面的安全评估。(1) 温度监测是环境与气象监测的基础。大坝作为大型混凝土结构, 其材料性能受温度影响明显。通过在大坝表面及内部布置温度传感器, 实时监测温度变化, 评估温度梯度对大坝结构应力的影响, 预防因温度应力导致的裂缝等问题, 温度数据也是应力

应变监测的重要参考, 有助于更准确地解析坝体受力状态。(2) 风荷载监测对于大坝安全同样至关重要。特别是在风资源丰富的地区, 强风可能对大坝结构产生显著影响。利用风速计、风向标等气象仪器, 实时监测风速、风向等参数, 可以评估风荷载对大坝稳定性的影响, 为制定防风加固措施提供科学依据。风荷载监测还有助于预测极端天气条件下大坝的响应, 提高大坝在恶劣环境下的安全性。(3) 水文监测也是环境与气象监测的重要组成部分。通过监测水库水位、入库流量、出库流量等水文参数, 可以实时掌握水库运行状态, 为调度决策提供依据。水文监测数据也是渗流监测的重要补充, 有助于更全面地评估大坝的防渗性能。通过分析环境与气象监测数据, 更准确地评估大坝在各种工况下的安全状态, 为制定科学合理的维护加固方案提供有力支持。

## 3 水利工程大坝安全监测数据处理与分析

### 3.1 数据采集与传输

在水利工程大坝安全监测体系中, 数据采集与传输构成了至关重要的初始阶段, 其质量直接决定了后续数据处理与分析的准确性和可靠性, 影响到对大坝运行状态的有效判断。(1) 自动化数据采集设备已成为当前大坝安全监测的主流工具。这些设备通过在大坝的关键部位部署各类传感器, 如位移传感器、渗压传感器以及应力应变传感器等, 实现对大坝运行过程中的物理参数变化的实时监测。这些传感器如同大坝的“神经末梢”, 能敏锐地捕捉到各种微小的变化, 并将其转化为电信号或数字信号, 为后续处理提供便利。(2) 数据采集器在数据采集过程中扮演着“信息汇总者”的角色。它按照预设的时间间隔, 精确地采集各个传感器输出的信号, 并进行初步的调理与转换, 使其符合数据传输的标准。采集到的数据通过有线或无线方式, 如光纤或GPRS技术, 快速、准确地传输至数据处理中心。光纤因其高速率和强抗干扰能力, 在大数据量传输和稳定性要求高的场景中尤为适用; 而GPRS技术则以其灵活性和便捷性, 在布线困难或环境复杂的区域中展现出独特优势。(3) 传感器的精度与稳定性是确保数据质量的关键。随着时间的推移和环境因素的影响, 传感器性能会发生漂移, 导致测量误差增大, 定期对传感器进行校准和维护至关重要。通过标准量值对传感器输出进行调整与修正, 确保其测量精度始终满足监测要求, 加强传感器的日常检查, 确保设备连接稳固、外观完好, 也是保障数据可靠性的关键措施<sup>[3]</sup>。

### 3.2 数据处理方法

从大坝安全监测系统采集到的原始数据,夹杂着各种干扰信息与异常值,难以直接用于大坝运行状态分析。数据处理环节就显得尤为重要,它如同数据的“精细加工厂”,通过科学方法对原始数据进行整理、计算与分析,从中提取出真正有价值的信息。数据滤波是数据处理的常用手段,旨在去除数据中的噪声干扰。由于大坝监测环境复杂,传感器采集的数据受到电磁干扰、温度波动等因素影响,混入高频或低频噪声。采用数字滤波算法,如低通滤波、高通滤波、带通滤波等,能够根据噪声的频率特性,有针对性地过滤掉不需要的噪声信号,使数据曲线更加平滑,提高数据的质量。异常值剔除也是数据处理的关键步骤。异常数据可能由传感器故障、传输错误或突发的外部干扰等原因产生,若不加以处理,会严重影响数据分析结果的准确性。通过设定合理的阈值范围、运用统计分析方法(如 $3\sigma$ 准则)等方式,能够识别出偏离正常范围的数据点,并将其剔除。在大坝位移监测数据中,如果某个测量值与前后数据相差过大,超出正常波动范围,就可判定为异常值并进行剔除。数据插补则用于解决因数据丢失或传输中断而造成的数据空缺问题。当出现数据缺失时,利用相邻数据的变化趋势,采用线性插值、样条插值等方法,对缺失数据进行合理估算与填补,保证监测数据的连续性。综合运用这些数据处理方法,能得到准确、连续且高质量的监测数据,为后续深入的数据分析提供可靠的数据支撑,使基于数据的大坝运行状态分析更加科学、准确。

### 3.3 数据分析与安全评估

在水利工程大坝安全监测领域,数据处理与分析环节是深入洞察大坝运行状态、精准评估其安全性的关键步骤。高质量监测数据作为核心依据,经由精心设计的分析方法,得以全面、准确地揭示大坝的工作状态。

(1) 统计分析方法在数据处理中占据重要地位。对监测数据的统计特征进行量化,如计算位移、渗流等参数的均值与方差,能直观反映大坝运行的稳定性。相关性分析的运用,探究了不同监测参数之间的内在联系,如水

位变化与大坝位移之间的相关性分析,为判断大坝结构是否异常提供了有力依据。(2) 模型分析方法在深入解析大坝复杂物理过程中发挥着不可替代的作用。有限元模型通过将大坝离散化为众多小单元,精确求解各单元的力学方程,模拟大坝在不同荷载作用下的应力应变分布,为评估大坝结构强度与稳定性提供了科学依据。时间序列模型则基于历史监测数据的时间序列特征,预测大坝未来的运行趋势,为及时发现潜在安全隐患提供了可能。(3) 综合运用统计分析与模型分析方法,对大坝运行状态进行全面、深入的评估,是确保大坝安全稳定运行的关键。如果发现大坝存在异常变形、渗流异常或应力集中等安全隐患,能及时预警,并采取相应的工程措施进行处理,如加固坝体、修复防渗设施等。这些措施的实施,能有效保障大坝的安全稳定运行,更能守护下游人民生命财产安全以及社会经济的稳定发展,彰显出水利工程大坝安全监测数据处理与分析工作的重要性与必要性<sup>[4]</sup>。

### 结束语

综上所述,水利工程大坝的安全监测技术及其数据处理与分析方法是确保大坝稳定运行的关键。通过综合运用多种监测技术和数据处理手段,能够实时捕捉大坝运行状态的关键信息,并全面、深入地评估其结构稳定性。这不仅能够及时发现并预警安全隐患,为制定科学合理的维护与加固方案提供有力支持,还能够有效保障下游人民生命财产安全以及社会经济的稳定发展。

### 参考文献

- [1]马浩然.水利工程大坝的安全监测技术分析[J].水上安全,2024(22):40-42.
- [2]李明喜.水利工程大坝的安全监测技术分析[J].工程研究与实用,2023,4(4):1-2.
- [3]何龙.水利工程大坝的安全监测技术分析[J].百科论坛电子杂志,2020(9):1881-1882.
- [4]王吉朝,李磊.水利工程大坝的安全监测技术分析[J].建筑工程技术与设计,2019(32):2241-2242.