

水利水电大坝安全监测系统优化策略探讨

田景宏

四川二滩建设咨询有限公司 四川 成都 610000

摘要: 水利水电大坝安全关乎重大,其安全监测系统至关重要。当前系统存在自动化程度低、监测技术单一、数据处理能力不足、监测点布局不合理、设施设备管理不善以及人才队伍匮乏等诸多问题。本文深入探讨优化策略,包括提升自动化监测水平、融合多元监测技术、强化数据处理与分析能力、优化监测点布局、完善设施设备管理、加强人才队伍建设以及制定统一数据标准等,旨在提高大坝安全监测系统的可靠性与有效性,保障大坝安全稳定运行。

关键词: 水利水电大坝;安全监测系统;优化策略

引言:水利水电大坝作为重要的水利基础设施,在防洪、灌溉、发电等方面发挥着不可替代的作用。大坝安全不仅关系到周边地区的生命财产安全,还影响着区域经济的稳定发展。而安全监测系统是大坝安全的重要保障,能够实时掌握大坝的运行状态。然而,目前水利水电大坝安全监测系统存在一系列问题,制约了其效能的充分发挥。深入探讨系统优化策略,提升监测水平,成为保障大坝安全运行的迫切需求。

1 水利水电大坝安全监测系统概述

1.1 系统组成与功能

水利水电大坝安全监测系统由感知层、传输层、数据处理层、分析预警层和应用服务层构成。感知层通过部署GNSS接收机、渗压计、位移传感器等设备,实时采集大坝的位移、渗流、应力、温度等关键参数;传输层采用4G/5G、光纤、北斗卫星等多元通信方式,确保数据实时传输至数据中心;数据处理层依托云计算和大数据技术,对海量数据进行清洗、存储和分析;分析预警层基于机器学习模型,结合历史数据和规范阈值,评估大坝安全状态并触发预警;应用服务层通过Web平台和移动APP,提供数据可视化、趋势分析、报表生成等功能,支持远程监控与科学决策。

1.2 监测内容与指标

监测内容涵盖结构安全与环境因素两大维度。结构安全监测包括表面变形(水平位移、垂直沉降)、内部变形(深层滑动、测斜)、裂缝开合度、渗流压力及渗流量、混凝土应力应变、土压力分布等;环境因素监测包括库区水位、降雨量、气温、水温、地震动等。核心指标如渗流压力需控制在坝基扬压力允许范围内,位移量需小于设计允许变形值,应力应变需符合材料强度标准,水位变化需满足防洪与调度要求。通过实时比对监测数据与设计值、历史趋势及预警阈值,系统可精准识

别异常并评估风险等级^[1]。

1.3 系统运行流程

系统运行流程分为数据采集、传输、处理、分析与预警五步。首先,传感器网络按设定频率采集多参数数据,经数据采集仪初步处理后,通过有线/无线通信上传至监控中心;其次,数据处理层对原始数据进行清洗、校验和存储,建立动态数据库;随后,分析预警层运用统计模型、机器学习算法,结合历史数据和规范标准,评估大坝安全状态;当监测值超过预警阈值时,系统自动触发声光报警、短信通知等多级预警机制;最后,应用服务层生成可视化报告,支持管理人员远程查看数据、分析趋势并制定应急预案,形成“监测-分析-预警-响应”的闭环管理。

2 水利水电大坝安全监测系统存在的问题

2.1 自动化程度低

当前部分水利水电大坝安全监测系统自动化水平欠佳。大量监测工作仍依赖人工操作,例如人工定时读取传统监测仪器数据,不仅效率低下,还易因人为疏忽导致数据记录错误或遗漏。一些老旧大坝的监测设备未实现自动化采集与传输功能,数据需人工现场收集后再进行整理录入,无法做到实时监测。在自动化控制方面,系统难以根据大坝运行状态自动调整监测频率和范围,对于突发状况无法及时做出响应并启动相应监测程序,使得监测的及时性和准确性大打折扣,难以满足现代大坝安全管理对实时、高效监测的要求。

2.2 监测技术单一

多数水利水电大坝安全监测系统所采用的监测技术较为单一。主要依赖传统的变形监测、渗流监测等技术手段,对新兴的监测技术应用不足。例如,在结构健康监测方面,缺乏对光纤传感技术、分布式应变监测技术等先进技术的应用,难以全面、精准地获取大坝内部的

应力应变信息。对于一些复杂的地质条件和大坝结构,单一监测技术无法有效捕捉多方面的变化特征,容易导致对大坝安全状况的误判,不能及时发现潜在的安全隐患,影响大坝安全监测的全面性和可靠性。

2.3 数据处理能力不足

水利水电大坝安全监测系统面临数据处理能力不足的问题。随着监测设备的不断增加和数据采集频率的提高,系统产生的数据量呈爆发式增长。然而,现有的数据处理系统在数据存储方面,容量有限且扩展性差,难以满足海量数据的长期存储需求。在数据分析方面,缺乏先进的数据挖掘和分析算法,无法从海量数据中快速提取有价值的信息,难以发现数据之间的潜在关联和规律。

2.4 监测点布局不合理

监测点布局不合理是水利水电大坝安全监测系统存在的突出问题。部分大坝监测点设置过于稀疏,无法全面覆盖大坝的关键部位和薄弱环节,导致一些重要区域的变形、渗流等情况不能被及时监测到。有些监测点位置选择不当,受到周围环境干扰较大,如靠近施工区域、交通要道等,使得监测数据不准确,不能真实反映大坝的实际运行状态。

2.5 监测设施与设备管理不善

在水利水电大坝安全监测系统中,监测设施与设备管理不善的情况较为普遍。一方面,设备维护保养不及时,缺乏定期的检查和校准,导致设备精度下降、故障频发,影响监测数据的准确性。例如,一些传感器因长期未校准,测量数据出现偏差,无法真实反映大坝的物理量变化。另一方面,设施老化问题严重,部分监测设备使用年限过长,技术性能落后,不能满足现代监测的需求。

2.6 人才队伍匮乏

水利水电大坝安全监测领域人才队伍匮乏问题突出。专业技术人员数量不足,难以满足日益增长的大坝安全监测工作需求。现有技术人员知识结构老化,对新兴的监测技术、数据处理方法和信息化管理手段掌握不足,无法有效运用先进技术提升监测系统的性能。同时,缺乏既懂大坝工程专业知识又具备信息技术、数据分析能力的复合型人才,导致在监测系统建设、数据处理与分析以及安全评估等方面存在技术瓶颈^[2]。

3 水利水电大坝安全监测系统优化策略

3.1 提升自动化监测水平

当前水利水电大坝安全监测中,人工监测方式存在效率低、实时性差等弊端,提升自动化监测水平刻不容缓。在硬件方面,应积极引入先进的自动化监测设备。

如高精度的智能传感器,可自动、连续地采集大坝的位移、应力、渗流等关键数据,且具备自我诊断和校准功能,保障数据准确性。同时,采用无线传输模块,实现数据的实时、稳定传输,避免有线传输受环境影响大、布线复杂的问题。软件层面,开发专业的自动化监测管理平台。该平台能对采集的数据进行自动存储、分析和处理,通过预设的算法模型,快速判断大坝的安全状态。一旦发现异常数据,立即触发预警机制,以短信、邮件等形式通知相关人员。此外,平台还应具备可视化功能,直观展示大坝的监测数据和安全状况,为管理人员提供决策支持,从而提升大坝安全监测的效率和可靠性。

3.2 融合多元监测技术

单一监测技术难以全面、精准地反映水利水电大坝的安全状况,融合多元监测技术成为优化监测系统的关键。传统监测技术如人工巡检、常规传感器监测,虽有一定作用,但存在局限性。可引入新兴技术加以补充,像卫星遥感技术,能大范围、快速获取大坝及周边区域的地形、地貌变化信息,及时发现潜在的地质灾害隐患;分布式光纤传感技术可沿大坝结构布置光纤,连续监测温度、应变等参数,精准捕捉结构内部的细微变化。同时,将多种监测技术获取的数据进行融合分析。通过建立数据融合模型,综合不同技术的优势,消除单一数据的误差和不确定性,提高监测结果的准确性和可靠性。例如,结合卫星遥感的大范围监测与光纤传感的精细监测,能更全面地评估大坝的安全状态,为及时采取维护措施提供科学依据,保障大坝长期稳定运行。

3.3 强化数据处理与分析能力

在水利水电大坝安全监测系统里,强化数据处理与分析能力是提升监测效能的核心环节。数据处理上,要构建高效的数据清洗与预处理机制。通过算法自动剔除因设备故障、环境干扰产生的异常数据,对缺失数据进行合理插补,保证数据的完整性与准确性,为后续分析筑牢基础。同时,搭建分布式存储系统,以应对海量监测数据的存储需求,确保数据可长期安全留存且能快速调取。数据分析方面,引入先进的数据挖掘与机器学习算法。深度挖掘数据间的潜在关联与规律,精准识别大坝安全状态的细微变化趋势。利用聚类分析划分大坝不同部位的安全等级,借助时间序列分析预测安全指标的未来走向。此外,开发可视化分析工具,将复杂数据以直观图表、动态模型呈现,助力管理人员快速理解数据内涵,及时做出科学决策,保障大坝安全稳定运行。

3.4 优化监测点布局

科学合理的监测点布局对于准确掌握水利水电大坝

安全状况至关重要,当前部分大坝监测点布局存在缺陷,需进行优化。应依据大坝的结构特点、地质条件以及运行工况来确定监测点位置。对于拱坝,要在拱冠、拱座等关键部位加密布置监测点,以精确捕捉应力应变变化;土石坝则需重点关注坝体与岸坡交接处、渗流出口等位置的监测。同时,考虑大坝不同运行阶段,如初期蓄水、长期运行等,动态调整监测点布局。采用数值模拟与物理模型试验相结合的方法,对监测点布局进行优化设计。通过模拟不同工况下大坝的受力与变形情况,确定最能反映大坝安全状态的关键位置设置监测点。此外,建立监测点布局评估机制,定期对监测效果进行评价,根据评价结果及时调整不合理的监测点,确保监测数据能全面、准确地反映大坝的实际安全状况。

3.5 完善监测设施与设备管理

完善水利水电大坝监测设施与设备管理,是保障监测系统稳定运行、数据准确可靠的关键。在设备采购环节,要严格把控质量,选择性能稳定、精度高且符合大坝监测需求的设施与设备。建立设备档案,详细记录设备的型号、规格、采购日期、使用说明书等信息,为后续管理提供依据。日常维护中,制定科学合理的维护计划,定期对设备进行检查、校准和保养。安排专业人员按照操作规范进行维护,及时更换老化、损坏的部件,确保设备始终处于良好运行状态。同时,加强设备存储管理,设置专门的设备仓库,保证仓库环境干燥、通风、防尘,避免设备受潮、生锈或被损坏。此外,建立设备故障应急处理机制,当设备出现故障时,能迅速响应,组织专业人员进行维修,尽快恢复设备正常运行,减少对大坝安全监测的影响。

3.6 加强人才队伍建设

加强人才队伍建设是提升水利水电大坝安全监测系统水平的重要支撑。目前,该领域专业人才短缺,知识结构有待更新。应构建多层次人才培养体系,与高校、科研机构合作,开设相关专业课程与培训项目,定向培养既懂大坝工程又掌握监测技术的复合型人才。鼓励在职人员参加学术交流活动与继续教育,拓宽视野,了解行业前沿动态与新技术。建立科学的人才激励机制,对在监测技术创新、数据分析等方面有突出贡献的人员给予

物质与精神奖励,激发人才的创新积极性。同时,营造良好的工作氛围,提供发展空间与晋升渠道,吸引和留住优秀人才。此外,加强团队建设,通过项目合作、技术研讨等方式,促进人员之间的交流与协作,提升团队整体素质,为大坝安全监测工作提供坚实的人才保障。

3.7 制定统一数据标准

在水利水电大坝安全监测系统中,制定统一数据标准是保障数据规范、高效利用的关键举措。当前,由于缺乏统一标准,不同地区、不同单位采集的监测数据在格式、精度、单位等方面存在差异,导致数据整合与分析困难,影响大坝安全评估的准确性。统一数据标准应涵盖数据采集、传输、存储和处理等全流程。明确数据采集的精度要求、频率规范,确保数据质量的一致性。规定数据传输的格式和协议,保障数据在不同系统间的无缝对接。在存储方面,统一数据编码和分类标准,方便数据的检索与管理。对于数据处理,制定统一的算法和模型应用规范,提高分析结果的可比性。通过制定并严格执行统一数据标准,可实现监测数据的标准化和规范化,提升数据共享与利用效率,为大坝安全监测的科学决策提供可靠依据^[3]。

结束语

水利水电大坝安全监测系统的优化是一项意义深远且迫在眉睫的工作。通过提升自动化监测水平、融合多元监测技术、强化数据处理与分析能力、优化监测点布局、完善设施设备管理、加强人才队伍建设以及制定统一数据标准等一系列策略,可有效解决当前系统存在的诸多问题。这些优化策略的实施,不仅能提高大坝安全监测的准确性和及时性,为保障大坝安全运行筑牢坚实防线,还能推动整个水利水电行业朝着智能化、科学化方向发展。

参考文献

- [1]王奎;井佩玉;陈嘉巍;李志明.水利工程项目全责任体系研究[J].水利水电快报,2024(S1)165-167
- [2]杨振鹏;赵馨.海河水利.水利工程质量与安全监督工作思考[J].,2024(S1)176-178
- [3]吴帆;范璐璐.水利工程安全生产的主要特征及其标准化管理[J].建材发展导向,2024(12)214-215