

大坝变形监测中自动化技术应用

王专成 许安文

江苏筑宇信息技术有限公司 江苏 扬州 225000

摘要: 大坝变形监测关乎水利工程安全运行与人民生命财产安全。自动化技术凭借高精度、实时性、连续监测优势,革新了传统监测模式。传感器技术实现变形信息精准捕捉,数据采集传输技术确保信息快速稳定传递,数据分析处理与系统集成可视化技术则助力全面掌握大坝状态。这些技术的综合应用显著提升了大坝变形监测的效率与可靠性,为大坝安全评估、风险预警提供了坚实技术支撑,推动水利工程安全管理迈向智能化新阶段。

关键词: 大坝变形监测; 自动化技术; 应用

引言

大坝作为重要水利基础设施,其安全运行直接影响区域防洪、发电、灌溉等功能的发挥。随着水利工程规模扩大与服役年限增长,传统人工监测模式在时效性、连续性和精度上的局限性日益凸显。自动化技术凭借先进的传感器、高效的数据传输与智能分析手段,为大坝变形监测带来新契机。本文深入探讨自动化技术在大坝变形监测中的关键应用,分析其发展趋势,旨在为提升大坝安全监测水平、保障水利工程长期稳定运行提供理论与技术参考。

1 大坝变形监测概述

大坝作为重要的水利基础设施,在防洪、发电、灌溉等领域发挥着关键作用,其安全稳定运行关乎工程效益与下游人民生命财产安全。大坝变形监测是运用多种测量技术与手段,对大坝在施工期、蓄水期及运行期产生的位移、沉降、倾斜等变形量进行持续观测、分析与评估的系统性工作,是保障大坝安全运行的重要技术措施。大坝在自身重力、水压力、扬压力、温度变化、地基不均匀沉降等因素综合作用下,不可避免地产生变形。当变形超出正常范围,可能预示着大坝结构出现异常或潜在安全隐患。通过变形监测,能够及时捕捉大坝变形的特征、规律及发展趋势,为大坝安全分析与决策提供可靠的数据支撑。目前,大坝变形监测涵盖传统测量方法与现代监测技术。传统测量方法如水准测量、全站仪测量,凭借高精度的几何测量原理,可精确获取大坝的垂直位移与水平位移;现代监测技术则包括全球导航卫星系统(GNSS)、合成孔径雷达干涉测量(InSAR)、光纤传感技术等。GNSS技术以全天候、高精度、自动化的特点,实现对大坝三维位移的实时动态监测;InSAR技术利用雷达遥感数据,可大面积获取大坝表面变形信息;光纤传感技术则通过光纤的应变感知

特性,实现对大坝内部变形的分布式监测。这些监测技术各有优势与适用场景,实际应用中常采用多种技术相结合的方式,构建多层次、多维度的监测体系。随着大数据、人工智能等技术的发展,大坝变形监测数据的处理与分析能力不断提升,能够更准确地预测大坝变形趋势,为大坝的安全运行与维护管理提供有力保障,确保大坝在复杂环境与荷载条件下长期稳定运行。

2 自动化技术在大坝变形监测中的关键应用

2.1 传感器技术的应用

(1) 光纤光栅传感器凭借其高灵敏度、抗电磁干扰能力强及分布式测量特性,在大坝变形监测中占据重要地位。该传感器通过将外界物理量变化转化为光栅波长的漂移,利用光纤传输光信号,实现对大坝结构内部应变、温度等参数的精准测量。在混凝土坝中,可将光纤光栅传感器埋设在坝体关键部位,实时捕捉坝体因温度变化、荷载作用产生的微小变形,为分析坝体应力状态提供关键数据。(2) 全球导航卫星系统(GNSS)接收机作为高精度的位移监测传感器,能够实现全天候、自动化的大坝表面位移监测。其基于卫星信号接收,通过解算卫星与接收机之间的距离,获取监测点的三维坐标。在大坝表面合理布设GNSS监测点,可有效监测大坝在复杂环境下的整体位移趋势,尤其对坝体滑坡、坝肩位移等现象的监测具有显著优势。(3) 静力水准传感器利用连通管原理,通过测量各测点液面高度变化,实现大坝垂直位移监测。其精度高、稳定性好、抗干扰强,适用于大坝廊道、坝基等沉降监测。实际应用中串联多个传感器组成网络,可精确掌握变形差异,为大坝安全评估提供依据^[1]。

2.2 数据采集与传输技术的应用

(1) 自动化数据采集系统是实现大坝变形监测数据实时获取的核心。该系统由数据采集模块、控制模块和

通信模块组成,能够按照预设的采样频率,自动采集各类传感器输出的电信号或光信号,并将其转换为数字信号进行存储和处理。通过对采集系统的参数优化,可实现对大坝变形数据的高频采集,满足实时监测的需求。

(2) 无线传输技术在大坝变形监测数据传输中发挥着重要作用。基于4G/5G通信网络的无线传输方式,具有传输速率快、覆盖范围广的特点,能够将采集到的大量监测数据快速、稳定地传输至数据中心。低功耗广域网(LPWAN)技术,如NB-IoT、LoRa等,适用于偏远地区大坝的监测数据传输,以其低功耗、远距离传输的优势,保障了数据传输的连续性和可靠性。(3) 光纤通信技术凭借其大容量、高速率、抗干扰能力强的特性,成为大坝变形监测数据长距离传输的理想选择。在大坝监测系统中,通过铺设专用的光纤线路,可构建高速、稳定的数据传输通道,将各个监测点的数据准确无误地传输至控制中心。光纤通信技术还可实现数据的双向传输,便于对现场设备进行远程控制和调试。

2.3 数据分析与处理技术的应用

(1) 时间序列分析方法在大坝变形数据分析中应用广泛。该方法通过对大坝变形数据随时间变化规律的研究,建立数学模型来预测大坝未来的变形趋势。常用的自回归滑动平均模型(ARMA)、季节性分解模型等,能够有效提取数据中的周期性、趋势性特征,及时发现大坝变形异常,为大坝安全预警提供依据。(2) 机器学习算法在大坝变形数据分析中展现出强大的优势。支持向量机(SVM)、随机森林等算法,能够对大量的监测数据进行特征提取和模式识别,通过对历史数据的学习,建立大坝变形与影响因素之间的非线性关系模型。利用这些模型,可对大坝变形进行精准预测,并能有效识别出异常变形数据,提高大坝安全监测的智能化水平。(3) 数据融合技术将来自不同类型传感器的数据进行综合处理,以获取更全面、准确的大坝变形信息。通过加权平均法、卡尔曼滤波等融合算法,可有效降低数据误差,提高数据的可靠性。数据融合技术不仅能够弥补单一传感器的局限性,还能从多角度分析大坝变形特征,为大坝安全评估提供更科学的决策支持^[2]。

2.4 监测系统集成与可视化技术的应用

(1) 监测系统集成是将传感器、数据采集与传输设备、数据分析软件等各个部分有机整合,构建一个完整、高效的大坝变形监测系统。通过统一的通信协议和数据接口标准,实现各子系统之间的数据共享和协同工作。对系统进行优化配置,提高系统的稳定性和可靠性,确保监测数据的准确采集、传输和处理。(2) 三

维可视化技术为大坝变形监测数据的展示提供了直观、形象的方式。利用地理信息系统(GIS)和虚拟现实(VR)技术,将大坝的三维模型与实时监测数据相结合,以动态的方式展示大坝的变形情况。通过三维可视化界面,工作人员能够快速、准确地掌握大坝各部位的变形状态,及时发现潜在的安全隐患,提高大坝安全管理的效率。(3) 实时预警可视化系统通过设置合理的预警阈值,当监测数据超过阈值时,系统自动发出声光报警,并在可视化界面上以醒目的颜色和图标显示异常区域。系统还能将预警信息通过短信、邮件等方式及时发送给相关人员,实现大坝变形的实时预警,为大坝应急处理提供有力支持。

3 自动化技术在大坝变形监测中的发展趋势

3.1 智能化监测技术深度融合

在大坝变形监测领域,智能化监测技术深度融合正成为核心发展方向。随着人工智能算法与机器学习模型的不断演进,基于深度学习的神经网络模型可对大坝变形数据进行高效处理与分析。例如,卷积神经网络(CNN)凭借强大的特征提取能力,能够自动识别大坝变形数据中的复杂模式,精准捕捉微小变形趋势,有效提升变形预测的准确性。与此同时,物联网技术与传感器技术的协同发展,使得大坝监测设备具备自主感知、智能决策的能力。智能传感器可实时采集大坝的位移、应力、渗流等多维度数据,并依据预设规则自动进行初步分析与判断,当监测数据出现异常波动时,能迅速触发预警机制。智能机器人与无人机技术的应用,为大坝变形监测开辟了新途径。智能巡检机器人可在复杂环境下自主导航,对大坝表面裂缝、渗漏等状况进行精细化检测;无人机搭载高精度传感器,能够快速获取大坝整体形态数据,实现大范围、高效率的监测作业。智能化监测技术的深度融合,将使大坝变形监测从传统的人工分析模式向智能、高效、精准的监测模式转变,极大地提升大坝安全管理水平。

3.2 监测系统集成化与协同化

监测系统集成化与协同化是大坝变形监测自动化发展的重要趋势。大坝变形监测涉及多种类型的传感器与监测设备,包括位移传感器、应变计、渗压计等,将这些分散的设备与系统进行有效集成,构建统一的监测平台,可实现数据的集中管理与共享。通过集成化平台,不同类型传感器采集的数据能够在同一界面展示与分析,避免了数据分散带来的管理不便与分析困难。各子系统之间的协同工作至关重要。例如,位移监测子系统与应力监测子系统相互关联,当位移数据出现异常时,

应力监测数据可为分析变形原因提供辅助依据。集成化监测系统可通过建立数据交互与联动机制,使各子系统之间实现信息共享与协同分析,全面、准确地评估大坝的安全状态。监测系统集成化与协同化还体现在与其他相关系统的对接上。与大坝运行管理系统、环境监测系统等集成,能够综合考虑大坝运行工况、周边环境变化等因素,从更宏观的角度对大坝变形进行分析与预测,为大坝的科学决策与优化调度提供有力支持^[3]。

3.3 多源数据融合与分析

多源数据融合与分析在大坝变形监测中发挥着关键作用。大坝变形受到地质条件、水文气象、运行工况等多种因素的综合影响,单一类型的监测数据难以全面反映大坝的真实状态。融合位移、应力、渗流、气象等多源数据成为必然趋势。在数据融合过程中,采用先进的数据处理算法,如卡尔曼滤波、贝叶斯网络等,可有效消除数据噪声,提高数据的准确性与可靠性。例如,通过卡尔曼滤波算法对位移监测数据进行处理,能够实时估计大坝的位移状态,减少测量误差的影响。多源数据融合不仅是数据的简单叠加,更是对不同类型数据之间的关联关系进行挖掘与分析。利用数据挖掘技术与大数据分析技术,可从海量数据中发现潜在规律,建立大坝变形与各影响因素之间的定量关系模型。比如,分析气象数据与大坝渗流数据的关系,可得出降雨等气象因素对大坝渗流的影响规律,进而预测不同气象条件下大坝的渗流变化趋势。通过多源数据融合与分析,能够更加全面、深入地了解大坝的变形机理,为大坝安全评估与风险预警提供更科学的依据。

3.4 低功耗与无线化监测设备普及

低功耗与无线化监测设备的普及为大坝变形监测带来新的变革。在大坝监测场景中,部分监测点位置偏远、环境复杂,传统的有线监测设备存在布线困难、维护成本高的问题。低功耗与无线化监测设备能够有效克

服这些弊端。采用低功耗芯片与节能技术,无线监测设备可显著降低能耗,延长电池使用寿命,减少设备更换与维护的频率。例如,基于LoRa技术的无线传感器,具有低功耗、远距离传输的特点,可在无需频繁更换电池的情况下,实现对大坝偏远区域的长期稳定监测。无线通信技术的不断发展,为数据传输提供了可靠保障。蓝牙、ZigBee、4G/5G等无线通信技术的应用,使监测数据能够快速、稳定地传输至数据中心。无线化监测设备还可实现灵活部署,根据大坝监测需求随时增加或调整监测点,提高监测系统的适应性与扩展性。低功耗与无线化监测设备的普及,有助于构建大规模、全覆盖的大坝监测网络,实现对大坝全方位、实时的监测,及时发现潜在的安全隐患,保障大坝的安全运行^[4]。

结语

综上所述,自动化技术在大坝变形监测中的应用极大地提升了监测效率与精度,实现了对大坝运行状态的实时动态感知。从传感器技术的精准采集,到数据处理分析的智能研判,再到系统集成可视化的直观呈现,各环节技术协同发展为大坝安全管理筑牢防线。未来,智能化、集成化、多源数据融合等趋势将进一步深化,推动大坝变形监测技术向更高水平迈进,持续为水利工程安全运行保驾护航。

参考文献

- [1]曾超,王迎超.大坝变形监测中自动化技术应用[J].珠江水运,2020(21):5-6.
- [2]王丽蕊.浅议自动化技术在大坝变形监测中的应用[J].装饰装修天地,2020(5):384.
- [3]叶威,闪军.刍议自动化技术在大坝变形监测中的应用[J].建筑工程技术与设计,2020(11):175.
- [4]严成杰.自动化技术在大坝变形监测中的运用研究[J].建筑工程技术与设计,2020(25):320.