

新型监测技术在水利工程安全运行管理中的应用与效能评估

王小艳¹ 翟羽佳¹ 张洋² 张咪咪³

1. 徐州市水利工程运行管理中心 江苏 徐州 221000
2. 徐州市南水北调工程管理中心 江苏 徐州 221000
3. 徐州市供排水管理中心 江苏 徐州 221000

摘要: 随着水利工程规模扩大与智能化需求提升,新型监测技术成为保障安全运行的核心支撑。本文聚焦新型监测技术在水利工程安全运行管理中的应用与效能评估。首先概述光纤传感、地质雷达、卫星遥感、物联网及人工智能等新型监测技术;接着阐述其在水利工程变形、渗流、应力应变及环境参数监测等方面的具体应用;最后从数据精度与可靠性、监测效率与实时性、风险预警能力、运维成本与经济效益、环境适应性与可扩展性等多个维度,对新型监测技术的效能展开全面评估,旨在为水利工程安全运行管理提供科学参考与技术支持。

关键词: 新型监测技术;水利工程;安全运行管理;效能评估

引言:水利工程作为国家基础设施的重要组成部分,其安全运行关乎国计民生。传统监测技术受限于精度、效率及环境适应性等因素,难以满足现代水利工程复杂多变的监测需求。随着科技飞速发展,光纤传感、地质雷达、卫星遥感、物联网及人工智能等新型监测技术应运而生,凭借其高精度、实时性、智能化等优势,为水利工程安全运行管理带来新的契机。深入探究新型监测技术的应用场景与效能,对于提升水利工程监测水平、保障其安全稳定运行具有至关重要的现实意义。

1 新型监测技术概述

1.1 光纤传感技术

光纤传感技术以光为信息载体,光纤作为传感介质,利用光在光纤中传播时特性(如强度、相位、频率等)随外界因素变化的原理进行监测。它具有高精度、高灵敏度、抗电磁干扰、耐腐蚀等显著优势,可实现长距离、分布式监测。在水利工程中,能精准感知结构微小变形、温度变化等。其传感元件可灵活布置,既可嵌入结构内部,也可敷设于表面,适应不同监测场景,为水利工程安全运行提供连续、实时的数据支持,有效弥补传统监测手段的不足。

1.2 地质雷达技术

地质雷达技术基于电磁波原理,通过向地下发射高频电磁波,接收反射波信号来探测地下介质分布和结构特征。它具有无损、快速、高效的特点,能直观呈现地下地质情况。在水利工程中,可用于探测堤坝内部隐患,如空洞、裂缝、软弱夹层等;也能对地基岩土性质

进行评估,为工程选址、设计提供地质依据。其探测深度和分辨率可根据不同天线频率调节,适应不同规模和地质条件的水利工程,助力及时发现潜在安全风险。

1.3 卫星遥感技术

卫星遥感技术借助卫星搭载的传感器,从高空对地球表面进行远距离探测,获取大面积地表信息。它具有覆盖范围广、获取信息快、可定期重复观测等优势。在水利工程领域,可实时监测水库水位、水域面积变化,掌握水情动态;对水利工程周边地形地貌进行长期跟踪,发现滑坡、泥石流等地质灾害隐患;还能监测植被覆盖、土壤湿度等环境参数,为水利工程的生态保护和综合管理提供宏观、全面的数据,辅助决策制定^[1]。

1.4 物联网技术

物联网技术通过信息传感设备,如传感器、射频识别(RFID)装置等,按约定协议将物品与互联网连接,实现信息交换和通信,以实现物品的智能化识别、定位、跟踪、监控和管理。在水利工程中,物联网可构建起一个庞大的监测网络,将各类监测设备连接在一起,实现数据的自动采集、传输和共享。管理人员可通过终端设备远程实时查看工程运行状态,及时掌握异常情况,提高监测效率和管理的及时性,为水利工程的智能化运行管理提供有力支撑。

1.5 人工智能技术

人工智能技术旨在使计算机系统具备人类智能相关的能力,如学习、推理、感知和决策等。在水利工程安全运行管理中,人工智能可对海量的监测数据进行深度

分析和挖掘。通过机器学习算法，能自动识别数据中的模式和规律，预测工程结构的变化趋势和潜在风险；利用图像识别技术，可对水利工程设施的外观损伤进行精准检测；还能基于专家系统为管理人员提供决策建议，实现水利工程的智能化监测、预警和决策，提升工程安全管理的科学性和精准性。

2 新型监测技术在水利工程安全运行管理中的应用

2.1 变形监测

在水利工程安全运行管理中，变形监测至关重要，新型监测技术为其提供了高效精准的手段。光纤传感技术凭借高精度和分布式测量优势，能实时感知水利工程结构的微小变形。将光纤布设在堤坝、大坝等关键部位，可连续获取其沿线的变形数据，精准定位变形位置与程度，为评估结构稳定性提供可靠依据。卫星遥感技术具有大范围、周期性观测能力，可定期获取水利工程及周边区域的地表变形信息。通过多期影像对比分析，能发现整体或局部的沉降、位移等变形趋势，尤其适用于大型水利工程的长距离、宏观变形监测。物联网技术构建起全面的监测网络，各类传感器实时采集变形数据并快速传输。管理人员可随时掌握工程不同部位的变形动态，及时发出预警。人工智能技术则可对海量变形数据深度分析，挖掘变形规律，预测未来变形趋势，提前制定应对措施。这些新型监测技术相互补充，共同保障水利工程在复杂环境下安全稳定运行，有效预防因变形引发的安全事故。

2.2 渗流监测

渗流状况对水利工程安全影响重大，新型监测技术为精准掌握渗流情况提供了有力支持。光纤传感技术可沿渗流路径布置，凭借其对温度、压力等参数的高敏感度，实时感知渗流引起的微小变化。通过分析光纤中光信号的特性改变，能精确测定渗流速度、流向以及渗流场分布，及时发现潜在的渗漏通道，为采取堵漏措施提供精准指引。地质雷达技术通过发射电磁波并接收反射信号，能够探测堤坝等水利工程内部因渗流导致的介质变化。它可以识别出湿润区域、空洞等与渗流相关的异常体，确定渗漏位置和范围，尤其适用于对隐蔽渗漏隐患的排查。物联网技术将各类渗流传感器集成于监测系统，实现数据的自动采集与传输。管理人员借助终端设备可随时查看渗流数据，及时掌握渗流动态。人工智能技术则可对海量渗流数据进行分析建模，预测渗流发展趋势，提前发出预警，助力水利工程有效防范渗流破坏，保障其长期安全稳定运行^[2]。

2.3 应力应变监测

应力应变状况直接反映水利工程结构的受力与健康状态，新型监测技术为实时、精准掌握其变化提供了可靠保障。光纤传感技术凭借其高精度和抗干扰能力，成为应力应变监测的得力工具。将光纤传感器嵌入水利工程结构内部，如大坝混凝土、水闸钢构件等，可连续测量结构在不同工况下的应力应变分布。其分布式测量特点能获取沿光纤路径的全面数据，精准定位应力集中区域，及时发现结构因受力异常可能产生的损伤隐患。物联网技术构建起广泛的监测网络，各类应力应变传感器实时采集数据并快速传输至管理中心。管理人员可随时查看结构不同部位的应力应变状态，实现对工程结构的远程实时监控。人工智能技术则可对海量的应力应变数据进行分析处理，通过建立数据模型预测结构应力应变的发展趋势，提前预警可能出现的结构破坏风险。这些新型监测技术协同作用，为水利工程结构的安全评估、维护决策提供科学依据，有效保障水利工程在复杂受力环境下的安全稳定运行。

2.4 环境参数监测

水利工程安全运行与周边环境参数紧密相关，新型监测技术为全面、精准获取环境参数提供了有效途径。卫星遥感技术具有大范围、高时效的监测优势，可实时获取水利工程周边区域的气象、水文等宏观环境信息。通过对卫星影像的分析，能掌握降雨分布、水域面积变化等情况，提前预估洪水、干旱等灾害对水利工程的影响，为防洪抗旱调度提供决策依据。物联网技术通过在水利工程现场部署各类环境传感器，如温度、湿度、风速、水位等传感器，构建起细密的环境监测网络。这些传感器实时采集数据并快速传输至管理平台，实现对环境参数的连续、动态监测。管理人员可随时了解工程现场的实时环境状况，及时发现异常变化。人工智能技术可对海量的环境参数数据进行深度挖掘和分析，建立环境参数与水利工程安全之间的关联模型。

3 新型监测技术在水利工程安全运行管理中的效能评估

3.1 数据精度与可靠性

新型监测技术显著提升了水利工程安全运行管理中的数据精度与可靠性。光纤传感技术凭借其高灵敏度的光学原理，能精准捕捉工程结构微小的物理量变化，如变形、应力应变等，测量精度可达微米甚至纳米级，且受外界干扰小，数据稳定性高。地质雷达技术通过精确分析电磁波反射信号，可清晰识别地下介质结构，对隐患位置的定位误差极小。卫星遥感技术借助先进的传感器和成像技术，能获取高分辨率的地表信息，为水利工

程提供准确的环境参数数据。物联网技术实现了数据的自动化、实时化采集,减少了人为误差。人工智能技术则通过数据清洗、纠错等算法,进一步保障数据质量。这些技术综合应用,为水利工程安全评估、决策制定提供了坚实、精准的数据支撑,有效提升了管理的科学性和可靠性^[3]。

3.2 监测效率与实时性

新型监测技术极大提升了水利工程安全运行管理的监测效率与实时性。卫星遥感技术凭借其大范围、快速的扫描能力,可在短时间内获取水利工程及其周边区域的整体信息,无需逐点测量,大幅缩短了监测周期,能迅速掌握大面积水域水位、地形地貌等变化情况。物联网技术构建起高效的监测网络,各类传感器自动、连续采集数据,并通过无线传输技术即时将数据传送至管理平台,实现了数据的实时更新与共享。管理人员可随时查看工程现场的实时数据,及时发现问题。光纤传感技术具备分布式监测特点,能同时对工程结构多个部位进行监测,一次布设即可长期使用,减少了频繁安装调试的时间成本,提高了监测效率。人工智能技术则可对海量监测数据进行快速处理和分析,瞬间给出分析结果和预警信息。这些新型监测技术相互配合,打破了传统监测在时间和空间上的限制,使水利工程安全运行管理能够及时响应各种变化,有效防范安全风险。

3.3 风险预警能力

新型监测技术显著增强了水利工程安全运行管理的风险预警能力。光纤传感技术能实时感知工程结构微小的变形、应力应变变化以及渗流异常等,一旦数据超出预设安全阈值,系统可立即发出预警,精准定位风险部位,为及时采取应对措施争取宝贵时间。卫星遥感技术可对水利工程周边区域的地质灾害隐患进行动态监测,如山体滑坡、泥石流等。通过对多期影像的对比分析,提前发现灾害迹象并发出预警,降低灾害对水利工程的破坏风险。物联网技术构建的监测网络实现了数据的实时采集与传输,结合人工智能算法对数据进行智能分析,能够快速识别潜在风险模式,预测风险发展趋势,提前发出多级预警。管理人员可根据预警级别迅速启动相应的应急预案,将风险损失控制在最小范围内。

3.4 运维成本与经济效益

新型监测技术在水利工程安全运行管理中,对运维成本与经济效益有着积极影响。从运维成本看,虽然初期投入可能较高,如光纤传感、卫星遥感等技术的设备购置与安装费用较大,但长期运维成本较低。光纤传感

技术稳定性强,维护工作量小;物联网技术实现自动化监测,减少了人工巡检频次与强度,降低了人力成本。在经济效益方面,新型监测技术能及时发现水利工程的安全隐患,避免因小问题演变成大事故而造成的巨大经济损失。通过精准监测与预警,可合理安排维修加固时机,延长工程使用寿命。同时,实时掌握工程运行状态,能优化水资源调配,提高水资源利用效率,增加水利工程的综合效益。

3.5 环境适应性与可扩展性

新型监测技术在水利工程安全运行管理中展现出良好的环境适应性与可扩展性。在环境适应性上,光纤传感技术抗电磁干扰、耐腐蚀,能在潮湿、高温、强电磁等恶劣环境下稳定工作,无论是地下暗渠还是露天大坝,都能精准监测结构变形、渗流等情况。卫星遥感技术不受地理条件限制,可对偏远地区的水利工程进行大范围监测,获取全面信息。在可扩展性方面,物联网技术构建的监测系统具有高度开放性,可根据水利工程不同阶段的需求,灵活增加或更换传感器类型与数量,拓展监测范围与功能。人工智能技术则能不断学习和优化算法,随着数据积累和分析需求变化,提升对复杂情况的监测分析能力^[4]。

结束语

综上所述,新型监测技术在水利工程安全运行管理中发挥着不可替代的关键作用。其多样化的技术手段,从变形、渗流、应力应变到环境参数监测,全方位保障了工程的安全状态感知。在效能评估上,数据精度与可靠性大幅提升,监测效率与实时性显著增强,风险预警能力精准及时,运维成本降低且经济效益凸显,环境适应性与可扩展性良好。未来,随着科技持续进步,新型监测技术将不断优化升级,为水利工程安全运行管理提供更强大支撑,推动水利事业朝着智能化、精细化方向稳健迈进,更好服务社会经济发展与民生保障。

参考文献

- [1]张瑞涛,宋亚路,夏琼.水利工程运行管理数字化改革实践与探索[J].水电站机电技术,2022,45(08):140-142.
- [2]申振,姜爽,聂麟童.数字孪生技术在水利工程运行管理中的分析与探索[J].东北水利水电,2022,40(08):62-65.
- [3]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.
- [4]陈雨.浅析空管自动化系统效能评估方法[J].医药卫生,2022.108-109.