

灌区水利工程全方位安全监测探析

李 帅

河北省水利水电勘测设计研究院集团有限公司 河北 石家庄 050081

摘 要：灌区水利工程作为农业生产与水资源调配的关键设施，其安全稳定运行关乎国计民生。全方位安全监测通过物联网、光纤传感、卫星遥感等先进技术，实现对工程设施的实时动态感知与风险预警。然而，监测设备维护难题、海量数据处理困境及专业人才匮乏等挑战制约着监测效能提升。构建完善设备维护体系、强化数据处理能力、培育专业人才队伍，对保障灌区水利工程安全运行、推动智慧水利建设具有重要意义。

关键词：灌区；水利工程；全方位；安全监测

引言

灌区水利工程承担着农田灌溉、防洪排涝等重要功能，是国家粮食安全和水资源可持续利用的重要支撑。随着工程规模扩大与运行年限增长，潜在安全隐患增多，传统监测手段已难以满足需求。全方位安全监测借助物联网、光纤传感、卫星遥感等前沿技术，为工程安全管理提供了新途径。本文深入剖析灌区水利工程全方位安全监测的重要性，探讨相关技术应用，分析面临挑战并提出应对策略，旨在为提升工程安全管理水平提供参考。

1 灌区水利工程全方位安全监测的重要性

灌区水利工程全方位安全监测是保障灌区稳定运行与农业可持续发展的关键环节。水利工程作为灌区农业生产的命脉，其安全性直接关系到农田灌溉效率、农作物产量及区域水资源合理配置。全方位安全监测涵盖结构安全、运行状态及环境影响等多维度评估。通过实时监测水工建筑物的变形、裂缝、渗漏等物理指标，可及时发现潜在的结构安全隐患，避免因工程失效导致的灌溉中断或洪水灾害。例如，堤坝沉降监测能预警堤防失稳风险，闸门应力监测可确保启闭设备正常运行。动态监测系统能实时掌握渠道输水能力、渠道淤积状况及水位波动特征。通过流量、流速等水力参数的连续监测，可优化灌溉调度方案，减少输水损失，提升水资源利用效率。渠道渗漏监测技术能有效识别管涌、漏洞等隐蔽病害，降低非工程性缺水风险。环境因素对水利工程安全的影响不容忽视。极端气候事件、地质灾害及人类活动可能引发工程险情。通过建立气象、水文、地质等外部条件监测网络，可实现灾害预警与风险评估，为工程防护措施提供数据支撑。例如，暴雨引发的山洪可能冲毁渠道，地震可能破坏水闸结构，环境监测能提前部署应急预案。数字化监测技术的应用显著提升了安全管理

的精细化水平。物联网传感器、无人机巡检及三维建模技术实现了工程全生命周期的智能感知，大数据分析平台可对监测数据进行深度挖掘，为工程维护决策提供科学依据。这种技术革新不仅降低了人工巡检成本，更提高了隐患识别与处置的时效性。灌区水利工程全方位安全监测是保障工程安全运行、提升灌溉效益、应对环境挑战的必然选择，其系统性、精准性与前瞻性为灌区现代化发展奠定了坚实基础。

2 灌区水利工程全方位安全监测技术

2.1 物联网监测技术

(1) 物联网监测技术借助大量部署于灌区水利工程各处的传感器，构建起一个庞大且复杂的感知网络。这些传感器能够对各类关键数据展开实时采集，比如水位传感器可以精确捕捉水位的细微升降变化，流量传感器能够精准测定水流的流速与流量大小，而温湿度传感器则可准确感知环境的温湿度情况等。它们作为高效的信息采集单元，持续将采集到的海量数据实时传输至数据处理中心。(2) 在传输过程中，物联网运用多种通信方式，像无线传输中的Wi-Fi、蓝牙以及低功耗广域网（LPWAN）技术，还有有线传输的以太网等，保障数据传输的稳定与高效。数据处理中心通过专业软件对海量数据进行深度分析，能够快速洞察水利工程运行状态的异常之处，例如当水位异常升高或流量出现突变时，及时发出精准预警。(3) 该技术在灌区水利工程中的应用极为广泛。在渠道监测方面，可实时掌握渠道的输水能力及淤积状况；在水闸监测上，能有效保障水闸启闭设备的正常运行，确保水利工程的各个环节安全、稳定地运行，极大提升了安全监测的全面性与及时性^[1]。

2.2 光纤传感技术

(1) 光纤传感技术基于光在光纤中传播时的特性变化来实现监测功能。当外界环境因素，如温度、压力、

应变等发生改变时,会引起光纤中光的强度、相位、波长等参数产生相应变化。通过对这些变化的精确检测与分析,就能获取到水利工程结构的状态信息。例如在堤坝监测中,可利用光纤感知堤坝内部的应力应变情况。

(2) 分布式光纤传感技术具有独特优势,它能够沿着光纤对整个监测区域进行连续监测,获取全线的信息,而不是像传统点式传感器那样仅能监测离散的点。这使得对水利设施的结构健康和运行状态监测更加全面、细致,能够及时发现局部微小变化可能引发的潜在安全隐患,例如管道的微小渗漏或渠道的局部变形。(3) 在实际应用中,光纤传感技术已在引水隧洞、大坝、渠道河堤等水利设施的健康监测中发挥重要作用。它能为水利设施提供全服役周期的在线监测,稳定性强、精度高,有效弥补了传统监测手段的不足,极大提高了水利设施安全监测的可靠性和准确性。

2.3 卫星遥感技术

(1) 卫星遥感技术依托搭载多种传感器的卫星,从高空对灌区水利工程进行宏观监测。光学传感器通过获取不同波段的光反射信息,可清晰分辨灌区的水体分布、水利设施的位置与轮廓等。热红外传感器则能探测物体的热辐射差异,以此判断水利设施的温度异常情况,例如识别渠道渗漏处因水温差异产生的热异常区域。(2) 利用卫星遥感获取的多时相影像数据,能够对灌区水利工程的动态变化进行有效分析。通过对比不同时期的影像,可监测到水体面积的增减、水利设施的变形以及周边土地利用类型的改变等情况,为评估工程的长期运行状态和环境影响提供有力依据。(3) 该技术在大面积灌区监测中优势显著,能够快速覆盖广阔区域,不受地形、交通等条件限制,高效获取全面信息。在监测水利工程周边地质灾害隐患,如滑坡、泥石流对水利设施的潜在威胁时,卫星遥感可提前预警,助力制定相应的防护与应对措施,在保障灌区水利工程安全方面发挥着不可或缺的宏观监测作用^[2]。

3 灌区水利工程全方位安全监测面临的挑战与应对策略

3.1 面临的挑战

3.1.1 监测设备维护困难

灌区水利工程监测设备通常分布于广袤且复杂的区域,从深山峡谷中的输水隧洞到地势平坦的田间渠道,不同的地理环境与气候条件对设备造成极大考验。在复杂的地形中,设备的安装位置往往十分特殊,部分传感器安装在水下、地下等难以触及的地方。例如,渠道渗漏监测传感器可能会被淤泥逐渐覆盖,导致监测数据

不准确,而水下压力传感器则长期承受水流的冲击与腐蚀,使得其使用寿命大幅缩短,日常检修工作也因此变得极为不便。监测设备长期暴露于风吹日晒、严寒酷暑等恶劣的自然环境中,其内部的电子元件极易出现老化、失灵等问题。通信模块也可能因极端天气的影响,导致信号传输不稳定,影响数据的实时性和准确性。随着物联网、光纤传感等新型监测技术的广泛应用,设备的技术集成度不断提高,维修难度也显著增加。故障排查不仅需要专业的检测仪器,还要求维修人员具备深厚的电子、通信等多学科知识,进一步加剧了设备维护的复杂性与难度。

3.1.2 数据处理与分析复杂

灌区水利工程全方位安全监测产生的数据具有多源性、海量性与动态性特征。物联网传感器、卫星遥感、光纤传感等多种技术手段采集的数据类型各异,包含水位、流量、应力应变、影像信息等结构化与非结构化数据,数据格式与编码方式也不尽相同,这使得数据整合面临巨大挑战。监测数据以高频次实时更新,每日产生的数据量可达TB级别,对数据存储与计算资源提出极高要求。在分析过程中,需运用信号处理、模式识别、机器学习等多种算法,从复杂的数据关系中提取有效信息,判断工程安全状态。例如,通过分析光纤传感数据的细微变化来识别堤坝内部的微小裂缝,或利用卫星遥感影像进行水利设施变形的精准分析,不仅需要强大的计算能力,还要求算法具备高可靠性与准确性,以应对数据中的噪声干扰与不确定性^[3]。

3.1.3 专业技术人才短缺

灌区水利工程安全监测融合了水利工程、电子信息、计算机科学等多学科知识,对专业技术人员的综合能力要求极高。由于监测工作往往需要深入偏远的灌区现场,工作环境相对艰苦,且监测技术更新换代迅速,导致难以吸引和留住具备专业素养的人才。现有从业人员中,部分人员对新型监测技术掌握不足,如不熟悉物联网传感器的安装调试、无法运用大数据分析平台处理监测数据,在面对复杂的设备故障与数据异常时,难以进行准确诊断与有效处理。随着卫星遥感、光纤传感等新技术在监测领域的广泛应用,市场对掌握多源数据融合分析、智能监测系统开发等高端技术的人才需求日益增长,而相关人才的培养周期长、成本高,进一步加剧了专业技术人才短缺的局面,制约了灌区水利工程安全监测技术的发展与应用。

3.2 应对策略

3.2.1 建立完善的设备维护体系

针对监测设备分布广、维护难的问题,需构建科学合理的设备维护体系。第一,依据设备类型与安装环境,制定详细的预防性维护计划,定期对设备进行清洁、校准与性能检测,例如对水下传感器设置合理的维护周期,及时更换老化的密封部件,防止渗水损坏内部元件。第二,引入智能化维护手段,利用物联网技术为设备加装状态监测模块,实时采集设备自身的运行参数,如工作电压、温度等,通过数据分析预测设备故障发生概率,提前安排维修,实现从被动维修向主动维护的转变。第三,建立设备维护档案,记录设备安装时间、维修历史、更换配件等信息,以便全面掌握设备运行状况,为后续维护决策提供依据。第四,组建专业化的维护团队,配备先进的检测设备与交通工具,确保在设备出现故障时能够快速响应,高效完成维修任务。

3.2.2 加强数据处理与分析能力建设

为应对数据处理与分析的复杂性,需从软硬件两方面提升数据处理能力。在硬件层面,构建高性能的数据存储与计算平台,采用分布式存储技术应对海量数据存储需求,配备高性能服务器集群与GPU加速计算设备,满足复杂算法对计算资源的要求。在软件层面,研发适用于灌区水利工程监测数据的专业处理分析软件,集成数据清洗、特征提取、异常检测等功能模块,通过算法优化减少数据噪声干扰,提高数据处理效率。引入人工智能与机器学习算法,构建智能分析模型,例如利用深度学习算法对卫星遥感影像进行水利设施变形识别,或通过神经网络算法分析物联网传感器数据预测工程安全隐患。建立数据共享与协同分析机制,促进不同类型监测数据的融合,打破数据孤岛,从多维度深入挖掘数据价值,为水利工程安全评估与决策提供更全面、准确的支持。

3.2.3 加强专业技术人才培养

解决专业技术人才短缺问题,需从人才吸引、培养与能力提升等多方面入手。第一,改善工作环境与待

遇,为现场监测人员提供良好的食宿、交通等条件,设立专项奖励基金,对在技术创新、设备维护等方面表现突出的人员给予奖励,增强岗位吸引力。第二,与高校、科研机构合作开展定向培养,在相关专业课程设置中增加灌区水利工程安全监测内容,培养掌握多学科知识的复合型人才。第三,定期组织在职人员培训,邀请行业专家进行新技术、新方法的讲座与培训,鼓励员工参与学术交流与技术研讨活动,拓宽专业视野。第四,建立人才成长激励机制,为员工提供晋升通道与职业发展规划,根据个人能力与业绩给予相应的岗位调整与薪酬提升,激发员工学习新技术、提升专业能力的积极性,逐步打造一支高素质、专业化的监测人才队伍,为灌区水利工程安全监测工作提供坚实的人才保障^[4]。

结语

综上所述,灌区水利工程全方位安全监测是保障工程安全运行、维护区域水安全的重要手段。物联网、光纤传感、卫星遥感等技术的应用,显著提升了监测的准确性与及时性。尽管当前面临设备维护、数据处理及人才短缺等挑战,但通过建立完善维护体系、加强数据处理能力建设与专业人才培养,可有效克服难题。未来,随着技术发展与优化,灌区水利工程安全监测将更趋智能化、高效化,为水利事业高质量发展筑牢安全防线。

参考文献

- [1]张钟元,郭翔宇,阚飞,等.灌区水利工程全方位安全监测探析[J].四川水利,2021,42(2):151-155.
- [2]朱林.安徽省驷马山灌区水利工程安全监测建设探析[J].东北水利水电,2024,42(7):56-59.
- [3]徐典保.灌区水利工程运行管理安全工作分析[J].农业开发与装备,2023(8):86-88.
- [4]凌伟.灌区水利工程运行管理安全工作分析[J].南方农机,2021,52(11):91-92.