地下工程渗漏水检测与治理的智能化技术体系

邱泽凯

广东建协工程检测科技有限公司, 广东 516000

摘要: 随着城市化进程的加速, 地下工程的建设规模和复杂性不断增加, 渗漏水问题成为影响地下工程安全、耐久性和使用寿命的关键因素之一。因此, 地下工程渗漏水检测与治理的智能化技术体系应运而生, 旨在通过智能化手段提高检测精度和治理效率, 降低治理成本, 保障地下工程的安全运行。本文将从智能化检测技术体系和智能化治理技术体系两个方面, 探讨地下工程渗漏水检测与治理的智能化技术体系, 并分析其技术发展趋势与应用前景。

关键词: 地下工程; 渗漏水; 智能化检测

DOI: 10.63887/fet.2025.1.3.17

1 引言

地下工程作为现代城市基础设施的重要组成部分, 其渗漏水问题已成为影响工程安全性和使用寿命的关键因素。统计数据显示, 超过 70% 的地下工程在运营期间存在不同程度的渗漏现象, 不仅造成巨大经济损失, 还对周边环境和结构安全构成威胁^[1]。传统的渗漏检测方法主要依赖人工巡检和简单仪器测量, 存在检测精度低、效率差、成本高等问题, 难以满足现代工程管理的要求。随着人工智能、物联网、大数据等新兴技术的快速发展, 智能化检测与治理技术为解决地下工程渗漏水问题提供了新的技术路径。构建系统化的智能化技术体系, 实现渗漏水检测与治理的自动化、精准化和预测化, 对提升地下工程管理水平具有重要意义。

2 智能化检测技术体系

2.1 传感器技术的智能化应用

分布式光纤传感器技术通过光纤中光信号的变化实现对结构变形和渗漏的连续监测, 具有测量精度高、抗电磁干扰能力强的优势。该技术能够沿光纤长度方向提供数千个测点的同步监测, 实现真正意义上的分布式测量。无线传感器网络系统将多种传感器节点通过无线通信技术连接, 形成自组织、自愈合的监测网络, 可实时采集温度、湿度、压力等多参数数据。多参数集成监测系统通过传感器融合技术, 将不同类型

传感器的测量数据进行综合分析, 提高检测结果的可靠性和准确性。这些传感器技术的智能化应用不仅提升了数据采集的自动化程度, 还通过算法优化实现了异常数据的智能识别和预警, 为渗漏检测提供了技术基础。

2.2 无损检测技术的智能化升级

探地雷达技术结合深度学习算法, 能够自动识别地下结构异常和潜在渗漏通道, 显著提高了数据解释的准确性和效率。传统的雷达图像需要专业人员进行人工解读, 而智能化算法可以实现异常区域的自动标识和分类。红外热成像技术通过温度分布差异识别渗漏位置, 配合图像处理算法可实现热图的自动分析和异常温度区域的精确定位。超声波检测技术在信号处理方面的智能化改进, 使其能够更准确地识别结构内部的空洞、裂缝等缺陷。这些无损检测技术的智能化升级不仅降低了对操作人员专业技能的依赖, 还通过标准化的检测流程和自动化的结果输出, 大幅提升了检测工作的效率和一致性^[2]。

2.3 人工智能在渗漏识别中的核心应用

机器学习算法在渗漏模式识别中展现出强大的能力, 通过训练大量的渗漏案例数据, 建立渗漏特征与检测信号之间的映射关系。支持向量机、随机森林等算法能够处理多维特征数据, 实现渗漏的自动分类和

识别。深度学习技术在图像识别领域的突破为渗漏检测带来了革命性变化，卷积神经网络能够从复杂的检测图像中自动提取特征，识别出人眼难以察觉的细微渗漏迹象^[3]。专家系统将领域专家的经验知识转化为计算机可处理的规则库，为渗漏诊断提供智能化的决策支持。这些人工智能技术的应用不仅提高了渗漏识别的准确率，还能够处理传统方法难以解决的复杂渗漏模式，为工程检测技术的发展注入了新的活力。

2.4 大数据驱动预测性检测

多源数据融合技术将来自不同传感器、不同检测方法的数据进行统一处理和分析，形成全面、准确的渗漏状态评估。通过建立数据标准化和质量控制体系，确保融合数据的可靠性和一致性。预测模型建立基于历史监测数据和环境因素，运用时间序列分析、神经网络等方法，建立渗漏发展趋势的预测模型。这些模型能够提前预警潜在的渗漏风险，为预防性维护提供科学依据。风险评估体系结合工程结构特点、使用环境和历史渗漏情况，建立多层次的风险评估指标体系。通过量化分析方法，将定性的风险描述转化为量化的风险等级，为管理决策提供客观依据。大数据技术的应用使渗漏检测从被动响应转向主动预防，实现了检测技术的根本性转变。

3 智能化治理技术体系

3.1 智能化注浆技术

自动化注浆设备集成压力控制、流量监测、位置定位等技术，实现注浆过程的精确控制。设备配备高精度传感器，实时监测注浆参数，确保质量稳定性。基于此，参数智能控制系统根据地质条件、渗漏程度等因素，自动调整注浆压力、注浆量和注浆速度。系统内置专家知识库，根据现场反馈实时优化注浆策略，形成闭环控制^[4]。同时，效果实时监测反馈系统通过注浆区域的传感器网络，连续监测注浆效果和结构响应。当检测到异常时，系统及时调整参数或停止作业，避免过度注浆或注浆不足。这种智能化注浆技术不仅提高治理效果的可控性，还大幅降低人工操作强度和技术要求。

3.2 智能防水材料与施工技术

自修复防水材料具备损伤感知和自动修复能力，当出现微裂缝时，内置修复剂自动释放并填充裂缝，恢复防水性能。材料采用微胶囊或形状记忆合金技术，实现损伤自动感知和修复功能触发。在此基础上，智能防水卷材集成传感器和通信模块，实时监测防水状态和环境变化。当防水层破损或老化时，卷材发出预警信号，提醒维护人员处理。配合使用的机器人辅助施工技术在复杂环境下发挥重要作用，特别适用于狭窄空间或高风险区域。施工机器人配备精密定位系统和操作臂，按预设路径精确施工。这些技术协同应用不仅改善施工质量和效率，还减少施工人员安全风险，推动防水施工现代化发展。

3.3 智能化排水系统

自适应排水控制系统根据实时监测的水位、流量和降雨信息，自动调节排水设备运行状态。系统采用模糊控制或神经网络算法，适应复杂多变的排水需求，实现排水效率最大化^[5]。与此协调，智能泵站优化系统通过分析历史运行数据和实时工况，优化水泵启停时机和运行参数。系统预测排水需求变化趋势，提前调整设备配置，避免排水能力不足或设备空转。此外，远程监控技术使管理人员通过网络平台实时查看排水系统运行状态，包括设备参数、故障报警、能耗分析等。系统具备远程控制功能，可在紧急情况下远程启停排水设备。这种智能化排水系统提高排水可靠性和效率，降低运维成本，实现排水管理现代化和智能化。

3.4 治理效果的智能化评估

治理效果监测系统通过治理区域的多类型传感器，连续采集结构变形、渗漏量、水质等关键数据。监测系统采用无线传输技术，实现数据实时上传和远程访问。基于监测数据，质量评价体系建立治理有效性、持久性、经济性等多维度评价指标，通过模糊综合评价法或层次分析法综合评分。评价体系考虑不同工程类型和环境条件差异，建立分类评价标准。进一步地，长期性能预测模型基于治理后监测数据和材料老化规律，预测治理效果持续时间和性能衰减趋势。预测模型结合环境因素和使用条件，为维护计划制定提供科学依据。智能化评估技术应用使治理工作从经验判断

转向数据驱动,提高治理决策科学性和有效性,为地下工程长期安全运行提供保障。

4 智能化技术体系的集成与优化

4.1 多技术融合平台构建

物联网技术为各类检测和治理设备提供统一的网络连接和数据交换标准,实现设备间互联互通。通过建立标准化通信协议和数据格式,不同厂商设备无缝集成到统一平台。在此架构上,云计算平台提供强大的数据存储和计算能力,支持海量监测数据的实时处理和分析。平台采用分布式架构,具备良好扩展性和容错性,适应不断增长的数据处理需求。同时,移动终端应用为现场工作人员提供便捷的数据查询和设备控制接口,支持离线数据同步和紧急响应。通过移动应用,管理人员随时掌握工程状态,及时做出管理决策。这种多技术融合的平台架构不仅实现技术集成标准化,还为后续功能扩展和技术升级提供灵活框架基础。

4.2 智能决策支持系统

多源数据融合技术将检测系统、治理系统、环境监测系统的异构数据统一建模处理,消除数据间不一致性和冗余性。融合算法采用卡尔曼滤波、贝叶斯推理等方法,提高数据准确性和可靠性。基于融合数据,风险评估模型综合考虑结构状态、环境因素、历史经验等维度,建立量化风险评估指标体系。模型运用概率统计方法和专家经验,将复杂风险因素转化为可量化风险值。进而,治理方案优选系统基于成本效益分析、技术可行性评估、环境影响评价等多准则决策方法,为不同渗漏情况推荐最优治理方案。系统内置丰富的治理技术数据库和成功案例库,为决策提供有力技术支撑。智能决策支持系统建立使复杂工程决策更加科学高效,减少人为因素影响,提高决策质量。

4.3 全生命周期管理

设计阶段智能化管理通过建立标准化设计流程和质量控制体系,确保防渗设计合理性和有效性。系统集成设计规范、材料数据库、施工工艺库等资源,为设计人员提供智能化设计辅助工具。接续地,施工阶段管理系统实现施工过程数字化记录和质量控制,通

过移动终端和传感器网络,实时监控施工质量和进度。在运维阶段,预测性维护策略基于设备状态监测和性能预测模型,制定科学维护计划,实现从故障后维修向预防性维护转变[4]。同步进行的成本效益优化模块通过分析全生命周期成本构成和效益产出,为投资决策和资源配置提供量化依据。这种全生命周期管理模式不仅提高工程管理系统性和连续性,还通过数据驱动决策机制,实现管理效率和经济效益双重提升。

5 技术发展趋势与应用前景

人工智能技术在地下工程领域的应用将更加深入和广泛,特别是在复杂环境下的智能感知和自主决策方面。新一代人工智能算法将具备更强的学习能力和适应性,能够处理更加复杂和多变的工程问题。5G通信技术的普及将为地下工程监测带来革命性变化,超低延迟和高带宽的特性使实时远程控制和海量数据传输成为可能。5G技术还将推动边缘计算的发展,实现数据处理的就近化和智能化。数字孪生技术通过构建地下工程的虚拟映射模型,实现物理世界和数字世界的实时同步,为渗漏预测和治理方案验证提供了新的技术手段。随着技术标准化和规范化工作的推进,智能化技术的推广应用将更加顺畅,形成完整的技术标准体系和认证机制,推动整个行业的技术进步和管理水平提升。

6 结论

智能化技术体系在地下工程渗漏水检测与治理中展现出显著优势,通过传感器技术、人工智能、大数据分析等先进技术的集成应用,实现了从被动检测向主动预防、从经验判断向数据驱动、从单项技术向系统集成的重要转变。该技术体系不仅提高了检测精度和治理效果,还降低了运维成本和安全风险,为地下工程的安全运行提供了可靠保障。智能化技术体系的建立和完善,对推动地下工程行业的技术进步和管理现代化具有重要意义。未来发展的关键在于加强技术集成创新、完善标准规范体系、推进产业化应用,通过持续的技术创新和实践积累,构建更加完善和高效的智能化技术体系,为地下工程的可持续发展提供强有力的技术支撑。

参考文献

- [1]王勇,刘军,贾培海,王星辉,初皓.房建地下空间零渗漏水施工技术研究[J].中国建筑装饰装修,2025,(04):168-170.
- [2]王艳.FGM技术在地下工程基坑渗漏水检测中的应用[J].中国高新科技,2023,(18):69-71.
- [3]张守明.房屋地下工程渗漏水的预防和维修方法应用研究[J].科技创新与应用,2022,12(11):174-177.
- [4]龚晓南,郭盼盼.隧道及地下工程渗漏水诱发原因与防治对策[J].中国公路学报,2021,34(07):1-30.
- [5]王海龙,霍胜旭,薛峰,巩登伟.砖混结构地下工程渗漏水治理[J].中国建筑防水,2023,(06):39-41+46.