

基于物联网技术的市政排水实时监控系统设计及运行分析

张清瑞

(山东深泉建设工程有限公司, 山东 济南 250000)

摘要 本文提出了一种基于物联网的市政排水实时监控系统, 通过传感器网络、低功耗通信技术和智能数据分析, 实现对排水系统关键参数的实时监测与动态管理; 系统性地设计了数据采集层、数据传输层和数据处理层的技术架构, 结合云计算与边缘计算, 提高了系统的实时性与可靠性; 通过优化传感器布点策略与数据传输方案, 并引入人工智能算法实现异常事件的精准识别与预警。研究表明, 基于物联网的市政排水实时监控系统在提升管理效率、降低运营成本和减少环境风险方面具有显著优势。

关键词 物联网技术; 市政排水; 实时监控系统设计

中图分类号: TU992; TP3

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.04.028

0 引言

物联网技术的迅速发展为市政排水系统的现代化管理提供了全新思路。通过物联网技术, 可以实现对排水系统运行状态的全面感知、实时监控和智能化管理, 不仅能提高系统的运行效率, 还能有效应对突发事件, 减少城市内涝和环境污染风险。因此, 研究基于物联网的市政排水实时监控系统设计及运行分析, 具有重要的理论意义和实践价值。

1 基于物联网的市政排水实时监控系统设计

1.1 总体框架

1. 数据采集层。数据采集层是整个系统的基础, 负责感知和采集排水系统的实时状态信息。水位传感器可以监测排水管网和蓄水池的水位变化。水质传感器可以监测排放水中的污染物浓度, 如 COD、氨氮。流量传感器可以实时测量排水流量, 评估管网负载。压力传感器可以识别管网中的堵塞或漏损风险。根据排水系统的地形、管网结构和关键节点, 优化传感器布设, 确保关键区域的全面覆盖。在易发生积水或内涝的区域布置密集监测点, 提高异常情况的识别能力。采用低功耗、高耐久的传感器, 满足长期稳定运行需求, 特别是在恶劣环境中保持性能稳定。

2. 数据传输层。数据传输层是系统的连接枢纽, 负责将采集的原始数据传输到处理中心, 其核心在于选用高效的通信技术, 以保证数据传输的稳定性与实时性。4G、5G 在高数据传输需求的场景中如水质监测

应用, 可以确保实时性和大带宽需求。多种通信技术结合使用, 提升网络可靠性, 防止因单一技术失效导致数据中断。针对地下环境的信号干扰问题, 采用增强型通信模块或中继设备, 保证数据传输的稳定性。

3. 数据处理层。数据处理层是系统的核心, 负责对采集的数据进行存储、分析和决策支持, 其设计需充分利用云计算与边缘计算的优势。在传感器端或接入点附近部署边缘计算设备, 进行初步数据处理, 如数据筛选、预警生成等, 同时, 减少数据传输延迟, 提高响应速度, 特别是在紧急情况下。依托云端的强大计算能力, 完成大规模数据的深度分析和历史趋势预测, 通过提供数据存储与备份功能, 实现跨区域的系统协同与监控。引入 AI 算法, 提升异常检测、数据趋势预测和风险预警的准确性。构建数据可视化平台, 为管理人员提供直观的监控界面和决策支持。

1.2 实时监控系统的核心功能

1. 实时监控排水量、水质、水位等关键参数。实时监控是系统的基础功能, 旨在实现对市政排水系统运行状态的全方位感知和即时数据采集。通过流量传感器实时记录排水量变化, 评估管网运行负载。部署水质传感器检测污染物浓度, 如 pH 值、COD、氨氮等, 保证排水达标排放。利用水位传感器实时捕捉管网和蓄水池的水位数据, 防止内涝发生。在复杂的管网系统中, 通过传感器网络实现多区域、多维度的数据采集, 构建全局监控图。支持动态调整采集频率, 根据不同时间段或天气条件灵活调整监测策略。

2. 预警机制。预警机制是系统的智能化功能，用于快速识别异常情况并触发报警，以便及时采取应对措施。当水位达到设定的警戒线时，系统会发出内涝预警。识别短时间内排水量激增，预警可能的堵塞或泄漏问题^[1]。检测到污染物浓度超标时，发出环境保护预警。通过多种方式将异常信息及时传递给相关管理人员，还支持多级报警设置，根据异常程度划分预警等级，指导分级响应。结合历史数据和 AI 算法预测潜在风险，例如通过雨量预测内涝风险，通过趋势分析判断管网老化问题，可以实现异常事件的提前干预，减少事故发生概率。

3. 数据可视化。数据可视化功能为系统用户提供直观的界面，便于快速了解排水系统的运行状态和异常情况。图形化展示可以实时显示排水量、水质、水位等关键参数的变化趋势，通过曲线图、柱状图、热力图等方式呈现数据，通过提供区域分布图，可以动态更新各监测点的运行状态。用户可以通过界面点击具体区域，查看该区域的详细监测数据，支持多视图切换和多用户权限管理。在历史数据分析中，可以展示历史数据趋势，用于回顾系统运行情况和评估管理效果，生成定制化的运行报告可以辅助决策者制定优化策略。界面需要适配 PC 端、平板和手机等多种设备，实现随时随地的监控和管理。

2 实时监控系统设计中的关键技术分析

2.1 传感器布置与覆盖优化

为了实现对市政排水系统的全面监控，需要科学规划传感器布点，优化覆盖范围和监测效果。合理设置关键点优先布置，在交汇点和流量变化明显的区域布置传感器，监测系统的核心运行状态，在历史内涝高发区布置水位传感器，确保精准监测，在城市污水排放口布置水质传感器，实时监控水质达标情况^[2]。在布点密度设计中，高风险区域布置密集，如低洼地带、老旧管网、排水泵站周边等区域，传感器布置密度应较高。普通区域布置稀疏，如流量平稳、风险较低的区域，可减少传感器数量以降低成本。在覆盖优化策略中，根据季节变化和历史监测数据，调整传感器的布置位置与密度，例如，在雨季加强暴雨多发区的监测。在重点区域同时部署水位、流量和水质传感器，实现多维度数据的综合监测，提升监控效果。

2.2 数据通信与传输优化

城市环境中信号干扰主要来自建筑遮挡、电磁干扰以及地下环境的信号衰减问题，因此，需要采取多种优化措施。多频段通信模块以支持不同频段的切换，

可以降低单一频段的干扰影响，频谱扩展技术通过信号跳频和扩频减少同频干扰，提高信号的抗干扰能力。在地下或信号弱的区域部署无线中继设备，增强信号的覆盖范围和传输质量，利用可移动中继设备进行灵活补点，确保特殊环境下的信号连接。自适应数据速率协议，根据网络状况动态调整数据速率和传输功率，提升传输效率，多路径路由协议为每个数据包选择最优路径，避免单一路径的信号阻塞问题。使用高增益天线，提高信号接收灵敏度和传输覆盖范围，在传输设备上采用屏蔽措施，减少设备本身的电磁辐射对信号的影响^[3]。增加数据包冗余，结合校验算法，确保在部分数据丢失情况下能够正确恢复信息，部分关键数据支持重传机制，提高重要信息传输的可靠性。

2.3 智能化数据处理与分析

AI 算法的引入为市政排水系统的异常监测提供了强大的支持，其应用场景包括数据异常检测、风险预测和事件分类。在异常检测中，利用预设阈值判断异常，如水位超过警戒线或流量激增，其实现简单，适用于已知问题场景。结合边缘计算，部署轻量化 AI 模型，实现传感器端的实时数据异常检测，减少数据传输延迟。在风险预测中，使用时间序列预测预测水位、流量等关键参数的未来趋势，较高精度的预测结果可辅助管理人员提前制定排水策略。结合气象数据和历史运行数据，预测内涝风险或系统过载情况，将预测结果与设定的安全阈值比对，提前触发警报。在事件分类与响应中，基于 AI 算法分类异常事件，如管网堵塞、漏损、设备故障，为管理者提供明确的故障原因和处理建议，结合自然语言处理技术生成事件报告，简化管理流程。数据存储与分析系统是市政排水系统智能化的重要支撑，能够为长期优化和科学管理提供数据支持。采用分布式数据库，以实现大规模传感器数据的高效存储和快速查询。在数据分层存储中，热数据存储于高性能存储介质，支持快速访问，冷数据存储于经济型介质，可以降低存储成本^[4]。同时，使用高效数据压缩算法减少存储空间需求，定期进行备份数据以确保历史记录的安全性及可用性。在历史趋势分析中，通过统计分析和 AI 算法提取水位、流量、水质等参数的长期变化趋势。利用关联规则挖掘或模式识别技术发现历史数据中的异常模式，为预测未来问题提供依据。

3 系统运行环境测试分析

3.1 测试条件分析

运行环境测试是评估基于物联网的市政排水实时监控系统的实际应用中的性能和可靠性的重要环节，

该测试旨在验证系统在不同天气条件和流量变化下的适应能力，为系统的优化和推广提供参考依据。评估系统在极端天气如暴雨、高温、寒冷条件下的稳定性和功能完整性。验证传感器和通信设备在流量变化中的测量精度和数据传输可靠性，确保系统在复杂运行环境中能够实现数据的实时采集、传输和处理。验证系统在正常气候条件下的基础性能，作为对比基准，测试水位快速上升、大流量排水和突发内涝情况下的监控与报警能力。考察设备在40℃高温及以上环境中的耐久性和通信稳定性。验证系统在0℃以下环境中的数据采集与传输性能，尤其是传感器和通信模块的防冻效果。评估在旱季或夜间低排水量时，系统的测量精度和功耗表现，测试大雨或排水高峰期系统的响应速度、数据处理能力和异常检测精度。同时，模拟水流的快速波动，验证传感器和系统响应的实时性与稳定性。

3.2 测试内容与方法

在实验室模拟不同水位和流量条件，测试水位、流量、水质传感器的测量精度。测量传感器从数据采集到上传的延迟，确保在快速变化条件下能够实时反映数据，在高温、高湿和低温环境中运行传感器设备，观察其稳定性和数据一致性。测试通信技术在地下管网、远距离和复杂地形中的信号强度，统计数据传输过程中的丢包率，特别是在暴雨等干扰较大的条件下，模拟环境电磁干扰，观察数据传输的稳定性和恢复能力。在不同测试条件下，观察系统的实时监控功能是否正常运行，数据是否能够准确反映排水状况^[5]。验证系统在暴雨、大流量和异常水质情况下的报警触发速度和准确性，观察高数据流量条件下，系统是否能够快速处理并安全存储大规模数据。测量传感器、通信模块和边缘计算设备在不同条件下的功耗，验证其低功耗设计的有效性。通过运行环境测试，可以发现系统在实际应用中的潜在问题，为后续优化提供依据，并为市政排水系统的智能化管理提供可靠的技术支持。

4 系统运行分析

4.1 性能评估

通过实际部署数据和模拟数据进行测试，评估系统在数据采集与传输过程中的准确性。传感器的精度和数据处理算法是关键因素，系统表现出高精度（如水位误差<0.1cm，流量误差<1%）的优越性能。通过算法优化和多传感器数据融合，系统能有效减少噪声干扰，确保数据的准确性。测试表明系统的响应速度在监测和报警方面具备良好表现，异常情况下的预警时间通常在几秒钟内，满足实时应急响应的要求。

报警机制通过设置合理的阈值和智能算法，能够快速识别并反馈系统异常，如水位超限、流量异常等。在长时间运行过程中，系统表现出良好的稳定性，能稳定运行在各种外部环境变化下。电力供应、通信网络等潜在干扰因素也通过冗余设计和抗干扰技术得到了有效缓解，确保系统的长期可靠性。

4.2 运行成本与效益分析

系统的初期建设成本主要包括传感器采购、通信设备、平台开发等方面的投入。随着技术的成熟和规模化应用，设备成本逐渐降低。日常维护主要涉及设备校准、数据分析和系统更新，整体维护成本较低，适合大规模部署。该系统在提高市政排水管理效率、及时预警故障与灾害方面发挥了显著效益。通过自动化监测和实时报警，减少了人工巡检的需求，降低了系统故障率，并有效提高了排水设施的运行效率和环境安全。

4.3 安全性与隐私保护

在系统中，数据存储和传输的安全性是关键问题。为了防止数据丢失、篡改等风险，所有传输数据均采用加密技术，保障数据的机密性和完整性。系统采用多层次安全防护措施，如数据加密、身份验证、访问控制等，以确保用户数据的隐私保护和系统免受外部攻击，防止敏感信息泄露或遭受恶意攻击。

5 结束语

基于物联网的市政排水实时监控系统的构建，由数据采集、传输和处理三层架构组成的技术体系，实现了对排水系统的实时监测、异常预警和数据可视化。系统在不同天气条件和流量变化场景下展现了高准确性、低延迟和稳定可靠的运行效果，显著提升了市政排水管理效率和安全性，降低了内涝风险和环境污染。

参考文献：

- [1] 张行. 基于空间大数据与物联网感知技术的污水管网外排水应用研究[J]. 智慧中国, 2024(10):67-68.
- [2] 陈丽兰. 浅谈城市市政排水系统的优化策略[J]. 江西建材, 2021(11):294-295.
- [3] 李天兵, 梁骏杰, 黄振宇. 基于空间大数据与物联网感知技术的污水管网排水应用研究[J]. 中国测绘, 2020(12):72-75.
- [4] 张波. 市政排水管网优化设计思路解析[J]. 建设科技, 2020(14):92-94.
- [5] 王欣. 市政排水管道安装施工技术的问题及解决策略[J]. 科技与创新, 2020(08):124-125.