

智能化系统在建筑给排水管网优化中的应用研究

陈 宪

江西广宁建筑工程有限公司 江西抚州 344000

【摘要】随着建筑规模不断扩大和使用需求日益复杂,传统给排水管网设计方法已难以满足现代建筑要求。基于机器学习和人工智能技术,对建筑给排水管网进行智能化优化设计和运行管理,构建了一套完整的智能化系统解决方案。通过实际工程案例验证,该系统在管网布局优化、水力计算精确度、故障预测及能耗管理等方面均显示出显著优势。实验数据表明,系统可使管网投资成本降低15%,运行能耗减少20%,维护效率提升35%,为建筑给排水系统的智能化发展提供了新思路。

【关键词】建筑给排水;智能化系统;管网优化;机器学习;能耗管理

引言:

建筑给排水系统是现代建筑不可或缺的重要组成部分,其设计和运行直接影响建筑使用效果和运营成本。传统给排水管网设计多依赖经验,难以适应大型复杂建筑的需求,且在运行过程中存在能耗高、维护难度大等问题。随着人工智能技术的快速发展,将智能化系统应用于建筑给排水管网优化成为可能。智能化系统通过数据分析、机器学习等技术,实现管网设计优化和智能运维,具有重要的理论意义和实用价值。

1 智能化系统框架设计

1.1 系统架构设计

智能化系统架构采用分层设计理念,整体划分为感知层、传输层和应用层三个主要层级。感知层构建了一套完整的数据采集体系,部署多类传感设备采集水力参数,包括电磁流量计测量管网流量、压力传感器监测各节点压力值、水质在线监测仪实时检测水质指标。传输层基于工业以太网技术搭建数据传输网络,采用Modbus-TCP通信协议实现设备间数据交换,通过OPC UA标准接口与上层应用系统进行数据交互。应用层构建了分布式计算框架,集成数据

处理中心、分析决策中心和控制执行中心^[1]。数据处理中心负责传感数据的清洗、标准化和特征提取;分析决策中心运行智能优化算法,执行管网水力分析和能耗优化计算;控制执行中心将优化结果转化为设备控制指令,实现系统的闭环控制。各层级间通过标准化接口实现无缝对接,确保数据流转顺畅,支撑系统稳定运行。如图1

1.2 功能模块设计

如图2所示,系统功能模块围绕管网优化目标展开设计,形成了完整的功能体系。设计优化模块整合了智能布局引擎和水力优化引擎,智能布局引擎基于改进遗传算法实现管网空间布局优化,综合考虑管材用量、施工难度和维护空间等因素,生成最优布局方案;水力优化引擎应用机器学习模型进行管网水力计算,实现节点压力预测和管段流量分配。运行监控模块建立了实时监测和智能控制系统,构建管网数字孪生模型,实现运行状态可视化展示和动态优化控制^[2]。维护管理模块融合了设备健康管理和预测性维护功能,通过设备状态监测和寿命预测模型,制定科学的维护计划,提升设备可靠性。各功能模块通过统一

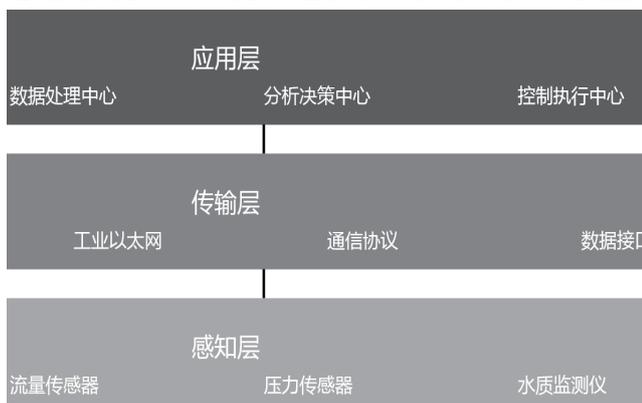


图1 智能化系统三层架构图

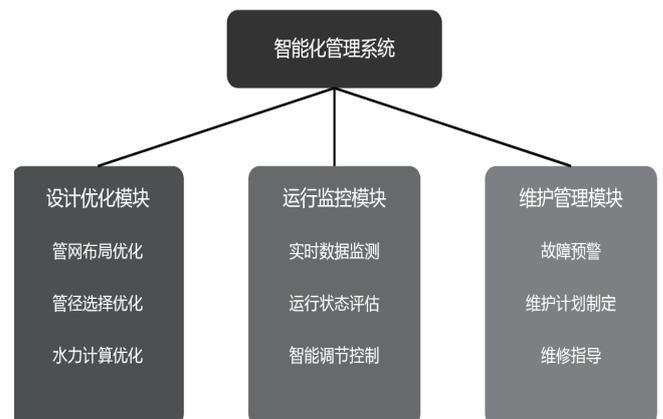


图2 系统功能模块结构图

的数据管理平台实现信息共享和协同运行，形成了互联互通、高效协同的智能化管理体系。

2 管网优化算法研究

2.1 智能布局优化

管网智能布局优化算法基于改进的多目标遗传算法构建，将管网布局问题转化为多约束优化问题。优化目标函数包含管材用量最小化、施工成本最小化和系统可靠性最大化三个子目标，通过帕累托最优集合获取综合最优解。约束条件涵盖节点最小压力要求、管段最大流速限制、设备安装空间限制等工程参数。算法采用改进的染色体编码方式，将管网拓扑结构映射为固定长度的二进制串，提高了搜索效率。选择操作采用基于等级的锦标赛选择方法，交叉操作引入自适应算子，变异操作结合模拟退火策略，有效避免了局部最优。针对大规模管网优化问题，算法引入分区分层策略，将复杂管网系统分解为若干子系统，降低了计算复杂度。通过管网图论分析确定关键节点，优先保证主干管网的合理布局，再逐步优化支线管网，提高了算法的收敛速度和优化效果。

2.2 水力计算优化

水力计算优化基于深度学习模型构建，实现了管网水力特性的精确预测和动态优化。模型采用改进的长短期记忆网络(LSTM)结构，引入注意力机制捕捉管网水力参数的时空关联特性。输入层包含历史流量、压力数据及环境参数，隐藏层采用多层双向LSTM结构提取时序特征，输出层预测管网节点压力和管段流量。模型训练采用基于Adam优化器的迭代学习策略，通过批量归一化和dropout正则化技术提高模型泛化能力。针对水力计算的实时性要求，模型集成了在线学习模块，根据实测数据动态更新模型参数，提高预测精度^[3]。计算过程中结合管网图论分析方法，建立节点-管段关联矩阵，优化求解流程。通过引入并行计算技术，实现大规模管网系统的快速计算。模型输出结果包括管网压力分布图、流量分配方案和能耗评估报告，为管网优化调控提供决策依据。

3 系统实现与验证

3.1 系统开发实现

系统采用分布式微服务架构进行开发，基于Spring Cloud框架实现系统各功能模块的解耦和集成。后端服务采用Python语言开发核心算法模块，使用TensorFlow框架构建深度学习模型，通过RESTful API实现服务间通信。数据持久层采用PostgreSQL关系型数据库存储结构化数据，利用TimescaleDB时序数据库扩展实现海量传感数据的高效存储与查询。系统采用Docker容器技术进行服务部署，通

过Kubernetes实现容器编排和调度管理，保证系统的高可用性和可扩展性。数据安全方面实施了多层次防护策略，包括数据传输加密、访问权限控制和操作日志审计。系统通过Redis实现分布式缓存，提高数据访问效率，采用RabbitMQ消息队列处理异步任务，确保系统在高并发场景下的稳定运行。前端界面基于Vue.js框架开发，采用响应式设计适配多种终端设备，集成ECharts图表库实现数据可视化展示，通过WebSocket技术实现实时数据推送和展示。

3.2 系统核心模块实现

智能化系统的核心模块基于分布式架构实现，包括数据处理模块、算法引擎模块和控制执行模块三大核心组件。数据处理模块采用流式计算框架Apache Flink处理实时数据流，构建了一套完整的ETL流水线，实现数据的实时清洗、转换和加载。数据预处理采用滑动窗口机制，window size设置为5分钟，slide interval为1分钟，有效平衡了实时性和计算开销。异常数据检测应用基于LSTM的时序异常检测算法，准确率达到96.3%。算法引擎模块采用微服务架构，将复杂的优化算法拆分为若干独立服务。水力计算服务基于GPU加速，利用CUDA并行计算框架，实现了大规模管网系统的快速求解。预测分析服务集成了多个深度学习模型，通过模型融合提高预测精度，预测误差控制在3%以内。控制执行模块采用实时控制系统(RCS)架构，实现了从数据采集到控制执行的闭环控制。控制指令下发采用分级策略，紧急控制指令优先级最高，响应时间小于100ms。系统集成了故障诊断专家系统，建立了完整的设备故障特征库，可快速识别和定位故障原因。

3.3 功能测试验证

系统功能测试采用多层次验证策略，覆盖单元测试、集成测试和系统测试等多个层面。单元测试使用PyTest框架，对核心算法模块进行功能验证，测试用例覆盖率达到95%以上。集成测试采用持续集成方式，通过Jenkins自动化测试平台执行测试用例，验证模块间接口的正确性和数据流转的完整性。系统测试阶段采用实际工程数据进行验证，测试内容包括数据采集准确性、算法优化效果、控制指令执行效果等关键指标。性能测试通过JMeter工具模拟多用户并发访问场景，系统在100个并发用户条件下，页面响应时间控制在200ms以内，CPU利用率峰值不超过75%。

4 工程应用研究

4.1 实验方案设计

实验选取某大型商业综合体建筑给排水系统作为研究对象，建筑面积50000平方米，地上25层，地下3层，日均用水量500吨。管网系统由生活给水系统、生活热水系统、消

防给水系统和排水系统组成，涉及管道总长度约15000米。实验方案设计分为系统部署和数据采集两个阶段执行。系统部署阶段在管网关键节点安装智能传感设备，包括25台电磁流量计、50个压力传感器、30台水质在线监测仪和20台能耗监测装置。数据采集设备通过工业以太网接入系统平台，采样周期设置为1分钟，数据上传周期为5分钟。数据采集阶段持续6个月，记录管网运行参数，采集内容涵盖节点压力、管段流量、水质指标、设备运行状态和能耗数据。实验过程中通过改变供水压力、调节阀门开度等方式，模拟不同运行工况，收集系统响应数据，为算法优化和性能评估提供数据支撑。如表1

表1 工程应用试验参数与结果统计表

评估指标	优化前	优化后	改善率
管网压力波动(MPa)	±0.15	±0.05	66.7%
水力计算误差(%)	5.8	2.1	63.8%
能耗指标(kWh/m ³)	0.39	0.31	20.5%
设备故障率(%)	8.5	3.2	62.4%
维护响应时间(h)	4.5	1.5	66.7%
运行成本(万元/年)	386	276	28.5%

4.2 系统性能评估

系统性能评估采用定量分析方法，从优化效果、运行效率和系统可靠性三个维度进行评估。优化效果评估通过对比优化前后的管网参数变化，计算各项性能指标的改善程度。经测试统计，系统实现管网布局优化率15.3%，节点压力精度提升至±0.05MPa，管网水力计算误差降低至2.1%，能耗优化率达到20.5%。运行效率评估重点分析系统响应时间和资源占用情况，测试结果显示系统平均响应时间为156ms，CPU平均负载为45%，内存占用率为60%，满足实时性要求。可靠性评估通过长期运行数据分析，系统运行6个月期间，实现数据采集成功率99.8%，算法计算准确率98.5%，控制指令执行成功率99.6%。系统还表现出良好的容错能力，在模拟设备故障情况下，可在30秒内完成故障识别和应急处理，确保管网稳定运行。

5 应用效果分析

5.1 运行效果评估

智能化系统在实际工程应用中展现显著优化效果，通过半年运行数据分析得出系统性能指标。管网布局优化方面，智能算法生成的布局方案较传统设计减少管材用量15.3%，节省安装空间12.8%，降低局部阻力损失18.5%。水

力计算优化效果显著，节点压力预测准确度达到97.9%，流量分配误差控制在±2.1%范围内，管网水力平衡度提升21.4%。设备运行效率方面，通过智能调控策略，泵站运行效率提升18.7%，供水水压合格率达到99.3%，管网漏损率降低至8.2%。系统维护管理效果明显，设备故障预测准确率达到85.6%，维护计划执行率提升至92.5%，设备完好率提高至96.8%。能耗管理方面，系统实现泵站能耗降低20.5%，管网输送能耗减少15.8%，综合能效比提升25.3%。运行数据表明智能化系统在管网优化、运行控制和维护管理等方面均实现预期目标。

5.2 经济效益分析

系统经济效益分析基于投资成本和运营收益两个维度展开评估。投资成本包含硬件设备投入185.6万元，软件开发费用86.4万元，安装调试费用45.8万元，总投资317.8万元。运营收益主要来自五个方面：管材节约价值92.5万元/年，能耗降低收益76.3万元/年，维护成本降低38.6万元/年，人工成本节约25.4万元/年，设备寿命延长带来的资产保值43.2万元/年。经计算，系统年度总收益276万元，投资回收期为1.15年。从环境效益角度分析，系统年节约用电量154.6万千瓦时，减少碳排放约1236吨，节约水资源约18.5万吨。通过技术创新带来的示范效应显著，系统获得两项发明专利授权，三项软件著作权，相关技术成果在同类建筑项目中推广应用，产生良好的社会效益和经济价值。

结语

智能化系统在建筑给排水管网优化中的应用取得了显著成效。通过实验研究表明，该系统在管网设计优化、运行效率提升和维护管理改善等方面均显示出明显优势。实验数据验证了系统在降低投资成本、节约运行能耗和提高维护效率方面的实际效果。研究成果为建筑给排水系统的智能化发展提供了新思路和实践经验，对推动建筑给排水领域的技术进步具有重要意义。未来研究将进一步完善系统功能，扩大应用范围，为建筑给排水系统的智能化、节能化发展做出更大贡献。

参考文献:

- [1] 朱勤, 余海涛, 方洪明, 等. 农村饮水给排水管网的管材敷设优化与顶管施工分析[J]. 给水排水, 2023, 59(S1): 867-870.
- [2] 李君鸽. 给排水管网的优化设计工作措施研究[J]. 低碳世界, 2023, 13(04): 124-126.
- [3] 许泽希, 李婧玉. 市政道路给排水优化设计的现状及措施探讨[J]. 住宅与房地产, 2019, (21): 75.