

基于大数据的城市给水管网智慧调度系统设计

周 兵

山东佳泰市政园林工程有限公司 山东 聊城 252500

摘 要：随着城市化进程的加速，城市给水管网的智慧调度成为提升水资源管理效率的关键。本文设计了一种基于大数据的智慧调度系统，通过整合多源数据，利用先进的大数据处理与分析技术，实现了对管网运行状态的实时监测与精准预测。该系统能够自动生成高效的调度策略，优化水泵运行与阀门调节，从而有效应对用水需求波动，降低能耗，确保供水安全与稳定。实践应用表明，该系统显著提升了给水管网的调度效率与管理智能化水平。

关键词：大数据；城市给水管网；智慧调度系统设计

引言：在快速城市化的背景下，城市给水管网的调度管理面临着前所未有的挑战。传统的调度方式往往依赖于人工经验和历史数据，难以实时、精准地应对复杂的用水需求变化。随着大数据技术的快速发展，其强大的数据处理与分析能力为城市给水管网的智慧调度提供了新的解决方案。本文旨在设计一种基于大数据的智慧调度系统，通过深入挖掘管网运行数据，实现智能化、自动化的调度决策，以提高水资源利用效率，保障城市供水安全，推动智慧城市建设迈向新台阶。

1 大数据在城市给水管网调度中的应用基础

1.1 大数据技术概述

(1) 大数据的基本概念、特点和关键技术。大数据是指无法通过传统工具在合理时间内处理的海量、高增长速率的数据集，其核心特点可概括为“4V”：Volume（规模）即数据量达到PB级甚至EB级；Velocity（速度）要求数据采集与处理需实时响应；Variety（多样性）涵盖结构化数据（如传感器读数）、半结构化数据（如日志文件）和非结构化数据（如管网图像）；Value（价值）需通过深度挖掘提炼隐藏信息。关键技术包括数据采集（物联网传感器、API接口）、存储（分布式文件系统HDFS、列存数据库HBase）、处理（流计算框架Flink、批处理工具MapReduce）及分析（机器学习算法、数据可视化工具）^[1]。(2) 大数据在管网调度中的适用性和优势。适用性体现在管网调度需处理海量实时监测数据（如10万级传感器并发传输），且需融合历史用水记录、气象数据等多源信息，与大数据技术的处理能力高度匹配。优势包括：全局感知能力，打破传统分区监测的信息孤岛，实现管网全域状态可视化；预测性分析，通过历史数据建模提前预判用水高峰，避免被动调度；智能决策，基于机器学习自动生成优化方案，减少人工经验依赖，提升调度精准度。

1.2 城市给水管网调度中的数据特点

(1) 数据类型和来源。数据类型分为三类：运行状态数据（管网压力、流量、水泵功率等，来自传感器与SCADA系统）；环境与需求数据（气温、降雨量、居民用水时段分布等，来自气象站与用户水表）；基础属性数据（管网管径、材质、铺设年代、水厂产能等，来自GIS系统与资产管理平台）。来源覆盖水厂、泵站、管网节点、用户端及第三方平台（如气象部门数据接口）。(2) 数据特征、规模和复杂性。数据特征表现为强时空关联性（如早高峰用水与区域人口密度相关）、动态波动性（节假日用水峰值较平日高30%以上）和噪声干扰（传感器故障导致的异常值）。规模方面，中等城市管网系统日均产生数据量达50GB，包含10万条/秒的实时监测记录与百万级历史数据。复杂性体现在多源数据格式异构（如GIS地图为矢量数据，传感器数据为时序数据），且需处理数据缺失（偏远区域信号中断）与冗余（重复监测点数据）问题。

1.3 大数据在城市给水管网调度中的应用框架

(1) 应用框架设计。提出“数据驱动-智能分析-精准调度”三层应用框架：数据层负责多源数据接入与标准化处理，通过ETL工具整合异构数据；分析层构建预测模型（如ARIMA时间序列模型）与优化模型（如管网水力模型），挖掘数据规律；应用层将分析结果转化为调度指令，通过可视化平台辅助决策^[2]。(2) 框架组成及相互关系。数据层是基础，通过接口适配层实现传感器、GIS系统等数据源的接入，经清洗与转换后存入数据仓库；分析层依托数据层提供的标准化数据，运行预测算法生成用水负荷曲线，结合水力模型模拟管网状态；应用层接收分析层输出的调度方案，通过执行模块控制水泵、阀门等设备，并将实际运行数据反馈至数据层，形成闭环迭代。各层通过数据总线实现信息流转，确保

“数据输入-模型计算-决策输出”的高效协同。

2 基于大数据的城市给水管网智慧调度系统设计

2.1 系统设计原则与目标

2.1.1 系统设计的基本原则

实时性是系统运行的核心原则，需通过传感器网络与边缘计算技术，实现管网压力、流量、水质等关键数据的秒级采集与传输，确保调度决策基于最新工况。可靠性体现在硬件冗余设计与数据备份机制上，例如在关键节点部署双传感器，采用分布式数据库存储数据，避免单点故障导致系统瘫痪。可扩展性要求系统架构支持设备接入规模与功能模块的灵活扩展，采用微服务架构设计，可根据城市发展需求新增水质预警、漏损定位等功能。此外，还需遵循安全性原则，通过数据加密传输、访问权限分级等手段，保障管网数据不被篡改或泄露；经济性原则需平衡技术投入与效益，优先采用成熟的物联网设备与开源大数据平台，降低建设成本。

2.1.2 系统设计的目标

核心目标包括三方面：一是提高调度效率，通过大数据分析自动生成调度方案，将人工决策耗时从小时级缩短至分钟级，响应突发用水需求；二是降低能耗，基于历史数据预测管网负荷，优化水泵运行频率，减少无效能耗，目标实现节能15%以上；三是保障供水安全，通过实时监测水质指标与管网压力，提前预警爆管、污染等风险，将故障处理时间缩短30%，确保居民用水连续稳定。

2.2 系统架构与功能模块

2.2.1 系统整体架构

系统采用四层架构设计：数据采集层负责部署物联网终端，包括压力传感器、流量计、水质检测仪等，通过LoRa、NB-IoT等无线通信技术收集管网实时数据；数据处理层依托云计算平台（如Hadoop、Spark），完成数据清洗、存储与融合，将结构化数据与非结构化数据（如管网GIS地图）统一管理；决策支持层基于机器学习模型分析数据规律，生成调度策略并模拟运行效果；用户交互层通过Web端与移动端可视化界面，向调度人员展示管网状态、预警信息及决策建议，支持人工干预与指令下达^[3]。

2.2.2 功能模块及相互作用

数据采集模块是系统的“感知神经”，通过传感器网络与远程监控终端，实时获取管网运行参数，并将原始数据传输至数据处理模块。数据分析模块对采集数据进行降噪、补全与关联分析，识别异常波动（如压力骤降可能预示爆管），为决策提供依据。调度策略生成模块基于数据分析结果，调用优化算法（如遗传算法、粒

子群算法），生成水泵启停、阀门调节等具体方案，并通过模拟模块验证可行性。预警模块与数据分析模块联动，当检测到水质超标、压力异常等情况时，自动触发警报并推送至用户交互层。各模块通过API接口实现数据共享，形成“感知-分析-决策-执行”的闭环流程。

2.3 数据采集与处理技术

2.3.1 数据采集方法与手段

系统采用“固定监测+移动巡检”相结合的采集模式：固定监测依托传感器网络，在管网节点、水厂出水口、用户端等关键位置部署智能终端，实现压力、流量、余氯等指标的连续监测；移动巡检通过搭载水质检测设备的巡检车，定期采集管网末梢水样本，补充固定监测的盲区数据。远程监控系统通过5G专网实现数据传输，确保偏远区域监测点的信号稳定性，采集频率根据工况动态调整，常规状态下每5分钟一次，异常状态下提升至每秒一次。

2.3.2 数据处理关键技术

数据清洗采用自适应滤波算法去除传感器噪声，通过时间序列分析法填补缺失值，确保数据完整性；数据融合技术将多源数据（如GIS管网数据与实时压力数据）关联，构建“空间-时间-属性”三维数据模型；数据挖掘依托深度学习模型（如LSTM神经网络），挖掘管网负荷与季节、气温、节假日等因素的潜在关联，为预测调度提供支撑。此外，系统引入边缘计算技术，在数据采集端完成部分预处理工作，减少云端计算压力，提升处理效率^[4]。

2.4 调度策略与算法设计

2.4.1 基于大数据的调度策略

预测调度策略通过分析历史用水数据（如近3年的日用水量曲线），结合气象预报、节假日安排等信息，提前24小时预测管网负荷，制定分时段供水计划；优化调度策略针对实时监测数据，动态调整水泵运行参数与管网阀门状态，例如在用水高峰前提前提升水厂供水压力，避免局部区域水压不足。此外，系统支持应急调度策略，当发生爆管、污染等突发事件时，自动生成管网隔离方案与供水切换路径，保障非受影响区域正常用水。

2.4.2 算法原理与实现步骤

以基于遗传算法的水泵优化调度算法为例，其原理是将水泵运行参数（如转速、台数）作为基因变量，以能耗最低为目标函数，通过选择、交叉、变异操作寻找最优解。实现步骤包括：（1）数据输入：获取当前管网压力、流量及水泵特性曲线；（2）初始化种群：随机生成50组水泵运行方案；（3）适应度评估：计算每组方案

的能耗与管网稳定性评分；（4）迭代优化：保留高适应度方案并交叉变异，重复迭代100次；（5）输出结果：选择最优方案并转化为控制指令。预期效果可使水泵组运行效率提升20%，同时维持管网压力波动在 $\pm 0.05\text{MPa}$ 以内，兼顾节能与供水稳定性。

3 系统实现与案例分析

3.1 系统开发与实现

3.1.1 开发环境和开发工具

系统开发采用“云-边-端”协同架构，硬件环境包括边缘计算网关（搭载ARM Cortex-A53处理器）、云计算服务器（8核CPU、64GB内存、1TB SSD存储）及物联网终端（压力传感器精度 $\pm 0.2\%\text{FS}$ ，流量计量程 $0\sim 500\text{m}^3/\text{h}$ ）。软件环境方面，边缘层采用Ubuntu 20.04操作系统，部署Python 3.8运行环境与MQTT协议客户端；云端基于CentOS 7系统搭建Hadoop 3.2分布式集群，集成Spark 3.0进行实时计算。开发工具包括PyCharm（编写数据处理与算法代码）、Qt Creator（设计用户交互界面）、PostgreSQL（存储结构化数据）及QGIS（管网GIS地图可视化），通过Git实现版本控制与团队协作。

3.1.2 系统实现过程

实现过程分为三个阶段：代码编写阶段，先开发数据采集模块驱动程序，通过Modbus协议与传感器通信，再基于Scikit-learn库构建用水预测模型，使用TensorFlow实现LSTM神经网络训练；测试阶段采用黑盒测试与压力测试结合，模拟10万级传感器并发数据传输，验证系统稳定性，同时通过历史数据集对比预测值与实际值，优化算法参数；调试阶段针对测试中发现的边缘节点数据延迟问题，调整通信协议为5G切片传输，解决偏远区域信号弱的问题，最终实现全系统响应时间 $\leq 2\text{s}$ ，数据准确率 $\geq 98\%$ 。

3.2 案例分析

3.2.1 典型场景选择

以北方某省会城市夏季用水高峰调度为案例，该城市管网总长1200km，覆盖人口350万，夏季日供水量峰值

达 120万m^3 ，存在局部区域水压不足、水厂能耗过高的问题。系统于2024年6月投入试运行，重点监测老城区（管网老化）与新兴开发区（用水增长快）的供水工况。

3.2.2 应用效果验证

系统通过分析近5年夏季用水数据，预测2024年7月15日将出现用水高峰，提前生成调度方案：在早6-8点、晚18-20点时段，将开发区水厂水泵频率从50Hz提升至55Hz，同时调节老城区减压阀开度至80%。实际运行数据显示，高峰时段开发区管网压力维持在 $0.35\sim 0.4\text{MPa}$ （达标），老城区未发生爆管事故；水厂日均能耗较去年同期下降18.3%，高峰时段供水量满足率从89%提升至99.2%。此外，系统在7月20日通过压力异常数据识别出一处暗漏点，调度人员依据定位信息及时维修，减少漏损水量约 500m^3 。案例表明，系统可有效平衡供水效率与安全性，验证了设计方案的可行性。

结束语

综上所述，基于大数据的城市给水管网智慧调度系统设计不仅是对传统调度方式的一次革新，更是智慧城市建设中的重要一环。通过充分利用大数据技术，该系统实现了管网运行状态的实时监测、精准预测与高效调度，有效提升了水资源管理的智能化水平。未来，随着技术的不断进步和应用场景的拓展，该系统将持续优化升级，为城市供水安全提供更加坚实的保障。我们期待这一智慧调度系统能够在更多城市得到推广与应用，共同推动智慧水务事业的发展。

参考文献

- [1]江汛浩.城市给水管网泄漏检测技术研究与应用探析[J].智能建筑与智慧城市,2025,(02):16-17.
- [2]朱云龙.城市给水管网工程质量管理与可靠性分析[J].低碳世界,2020,(14):137-138.
- [3]庞博,白丹,党志良,等.城市给水管网改扩建优化设计研究[J].黑龙江大学学报,2020,(12):114-115.
- [4]袁俊嵩.市政给排水工程设计常见的问题与对策探究[J].城市建设理论研究,2024,(06):56-57.