

# 数智安环理论在“物联网+”模块化中水调度系统研发中的应用

杨浩, 李培, 吴磊, 程丽

(湖北中烟广水卷烟厂, 湖北随州 432700)

**摘要** 为响应国家绿色发展政策, 实现工业废水零排放目标, 某厂从实际需求出发, 运用数智安环 QC 理论和方法, 研发了一套“物联网+”构建下的模块化中水调度系统。通过对中水输送管道、灌溉喷头、控制阀门、供能方案和网络通信等关键环节的分析和优化, 实现了中水的高效利用和自动化调度。实践表明, 该系统能够显著提高中水回用率, 降低单箱化学需氧量排放量, 同时具有良好的经济效益和社会效益, 为烟草行业的绿色发展提供了新的思路和方法, 也为工业领域废水治理提供了可推广的解决方案。

**关键词** 数智安环理论; 物联网; 中水回用; 模块化; 调度系统

中图分类号: TP3; X7

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.13.013

## 0 引言

在日益严格的环保政策背景下, 工业废水治理已成为企业绿色发展的核心议题。中水回用作为一种有效的节水措施, 在工业、农业和城市绿化等领域得到了广泛应用。行业内主要通过将污水处理达标后进行回用, 即中水回用, 来实现排水量的减少<sup>[1]</sup>。某厂污水处理站出水水质能够满足中水回用要求, 但限制中水回用的主要原因是未找到合适的用水途径。本研究基于数智安环 QC 理论, 将物联网技术与模块化设计结合, 构建智能化中水调度系统, 实现该厂中水回用率的最大化, 达到污水零排放的目标。这一系统的实施不仅有效减少企业对新鲜水资源的依赖, 降低生产成本, 还显著提升企业的环保形象和社会责任感, 同时为行业乃至其他工业领域提供可复制的绿色转型范例。

## 1 “物联网+”模块化中水调度系统研发思路

### 1.1 参考借鉴

在调研其他单位成功案例的基础上, 发现以下技术可供借鉴:

(1) 按植物类型、面积分区灌溉: 如同行业单位按绿化区域划分, 每 300 ~ 500 m<sup>2</sup> 设置 5 ~ 10 喷头进行分区灌溉。(2) 远程控制/定时定量的阀门: 如农业供水每日定时喷灌, 在水量临时增多减少时通过联网阀门远程控制。(3) 太阳能供能等清洁能源: 易部署且环保, 如某地临时增加路灯采用太阳能供电。

### 1.2 研究确定

某厂立足实际, 在借鉴成功经验的基础上, 提出

**创新思路:** 通过设置分区灌溉, 运用物联网阀门控制管道供水, 采取太阳能面板给阀门供能, 实现绿化区域的自动化喷灌, 解决加强中水回用的问题, 明确提出“物联网+”下的模块化中水调度系统研发构想。

## 2 “物联网+”模块化中水调度系统研究方法与设计

### 2.1 数智安环 QC 理论框架

数智安环 QC 理论是一种集成了信息技术、网络技术和现代管理学原理的先进理论, 它强调通过信息化手段实现环境监测、分析、预警和决策的自动化, 从而提高系统的整体性能和运行效率<sup>[2]</sup>。首先, 数智安环 QC 理论的基础是对环境数据的收集与分析。这一过程中, 通过传感器、监测站点等多种手段收集环境数据, 利用大数据分析技术对这些数据进行处理和解读, 以获取环境质量、污染物排放、资源消耗等方面的关键信息。数据的准确性和实时性是该理论实施的前提, 因此, 数据采集的技术和设备的先进性、数据管理的系统性是理论实施的基础要素。其次, 数智安环 QC 理论强调的是智能化的决策支持系统。基于对收集到的环境数据的深入分析, 构建智能决策支持系统, 为环境保护的决策提供科学依据。该系统能够模拟不同的环境保护策略的实施效果, 预测未来的环境变化趋势, 从而为决策者提供最优的决策方案。最后, 数智安环 QC 理论强调的是持续地改进和优化。环境问题具有复杂性和动态变化性的特点, 通过不断地监测、分析、决策和反馈, 不断优化环境保护的策略和措施, 实现环境质量的持续改善和可持续发展的目标。

通过这一理论的实施,可以有效提升环境管理的效率和效果,为实现可持续发展的目标提供有力支撑。本研究采用QC活动七步骤:选题(数据采集与分析)→目标设定(智能预测与量化)→方案制定(系统架构与模块化)→对策实施(设备部署与预测)→效果验证(实时监控与数据分析)→标准化(规范化与数字孪生)→总结改进(迭代优化),结合物联网技术构建系统化解决方案。

## 2.2 物联网技术在中水调度中的应用

物联网技术在提升水资源智能化管理和调度方面的优势显著,尤其在中水调度领域,其应用极大地提高水资源的利用效率和管理智能化水平。通过深入研究发现:首先,物联网技术能够实现对水资源状态的实时监控。通过在各关键点部署传感器,可以实时收集关于水质、水量、水位和流量等数据。这些数据的实时性对于中水调度至关重要,因为它直接关系到调度的及时性和准确性。其次,物联网技术的应用使得水资源管理更加精准和智能化。通过收集到的数据,结合先进的数据分析和处理技术,可以对水资源的使用进行精准预测和合理调度。在中水调度中这意味着可以根据实时数据和预测模型,优化水资源的分配方案,实现精准调控,避免资源的浪费<sup>[3]</sup>。最后,物联网技术支持的远程监控和远程控制功能,极大提升了中水调度的灵活性和响应速度。管理者可以在远程监控中心对整个水资源系统进行监控和调控,及时调整调度策略,以应对不同的环境变化和需求变化<sup>[4]</sup>。这种远程操作的便利性大大提高了中水调度的效率和可靠性。

综上所述,物联网技术在中水调度中的应用不仅可以提高水资源的利用效率,还可以提升管理的智能化水平,实现更加精准和智能化的水资源管理和调度。

## 2.3 系统设计目标

(1)核心目标:中水回用率100%,污水零排放。(2)技术指标:一是喷灌覆盖面积 $\geq 58\ 000\ \text{m}^2$ ;二是阀门供能稳定性 $> 99\%$ ;三是单箱COD排放量 $\leq 2.0\ \text{g/箱}$ 。

## 2.4 模块化系统架构

系统由四大模块构成:(1)输水模块:PPR管道(DN25)与耐腐蚀阀门;(2)灌溉模块:大射程旋转式喷头(覆盖 $50\sim 100\ \text{m}^2/\text{个}$ );(3)控制模块:NB-IoT无线通信+太阳能供能阀门;(4)监测模块:云端数据平台实时监控水量与水质。

## 2.5 模块化中水调度系统的实施步骤

第一步,实施模块化中水调度系统前,进行全面的需求分析。这包括对当前水资源状况的评估、系统的功能需求、预期的技术要求以及经济预算的制定。需求分析的目的在于确保所设计和实施的系统能够满

足实际需求,同时在预算范围内最大化效益。第二步,根据需求分析的结果,设计系统的模块化结构。模块化设计的优势在于其灵活性和可扩展性,能够根据需要进行扩展或升级。设计时,考虑各模块之间的接口、数据传递机制以及整体系统的可靠性和安全性。第三步,系统设计阶段主要是将模块化设计的概念具体化,转化为详细的技术方案和设计图纸。设计阶段需要考虑的因素包括但不限于:系统的物理布局、设备选型、材料选择、系统的能源效率和环境影响。同时,还需要对系统的运行维护进行规划,确保系统的长期稳定运行。第四步,设计确认后,进入系统开发与制造阶段。这一阶段的主要任务是根据设计图纸制造出各个模块,并进行系统集成。在这个过程中,需要严格按照设计规范和标准执行,确保每个模块的质量符合要求。此外,还需要进行模块的测试,包括但不限于功能测试、性能测试和安全测试,确保每个模块在集成后能够稳定运行。第五步,系统集成完成后,进入系统测试阶段。这一阶段主要是对整个系统进行全面的测试,包括系统的功能测试、性能测试、兼容性测试和稳定性测试。第六步,系统的部署与运行阶段。这一阶段主要包括系统的安装、调试、培训和交付使用。在安装和调试过程中,需严格按照设计和施工标准执行,以确保系统的正确安装和配置。

模块化中水调度系统的实施是一个系统而复杂的工程,项目团队从需求分析到设计、开发、测试,直至部署运行的每一个环节都严格把关,以确保系统能够顺利部署与运行。通过科学的规划、合理的设计和严格的执行,模块化中水调度系统为水资源的可持续管理提供强有力的支持<sup>[5]</sup>。

## 3 “物联网+”模块化中水调度系统研究方案制定

### 3.1 提出总体方案

研制一套高效、精准、自动化的中水调度系统,并绘制总体方案图。

### 3.2 技术指标需求分析

(1)中水输送管道:公称压力应大于或等于灌溉管道系统分段灌溉的工作压力;具备抗腐蚀能力;根据水源流量和压力选择合适的管径;采取加固措施或基础找平,埋深至少 $10\ \text{cm}$ 以下。(2)灌溉喷头:根据草坪面积选择大射程、中射程、小射程喷头;以固定式、旋转式喷头为主;故障率较少,易于设置和维护。(3)控制阀门:采用球阀、闸阀、截止阀等类型;选择不锈钢、黄铜、塑料或内衬耐腐蚀材料的阀门;尽量减少压力损失。(4)阀门供能方案:采用电力驱动或太阳能及其他可再生能源;避免大范围电路铺设,实现本地化部署。(5)阀门网络通信:采用无线通信

技术 (NB-IoT 或 Wi-Fi) 或有线通信技术架设网线、光纤; 网络控制器防护等级不小于 IP65。

### 3.3 方案分解

将总体方案细化为新增中水输送管道、灌溉喷头、控制阀门、阀门供能方案、阀门网络通信等分级方案。

### 3.4 确定最佳方案

(1) 中水输送管道材质: 选择 PPR 给水管, 因其耐压耐腐蚀且成本适中。(2) 中水输送管道管径: 选择 DN25 管径, 因其压力损失较小且适宜地下施工埋管。

(3) 喷头覆盖范围: 主要选用大喷射的旋转式喷头, 在面积较小的区域可选用中喷射旋转式喷头、小喷射旋转式喷头及固定式喷头。(4) 喷头类型: 以旋转式喷头为主, 固定式喷头用于绿化边缘区域。(5) 阀门类型: 采用铜制球阀, 因其便于开启和关闭且能准确控制灌溉流量。(6) 阀门材质: 选择不锈钢阀门或黄铜阀门, 因其耐腐蚀且适合长期埋地或露天使用。(7) 供能方案: 采用太阳能 + 蓄电池供能方案, 因其稳定且符合电气安全标准。(8) 网络通信: 采用 NB-IoT 无线通信技术, 因其传输距离远且稳定性高。

## 4 “物联网+”模块化中水调度系统研究成果

### 4.1 预期目标实现

项目目标实现了工厂废水零排放, 中水调度 / 利用率达到 100%。

### 4.2 综合效益凸显

(1) 指标提升: 2024 年 8-10 月, 该厂中水回用率达到 83.4%, 中水使用量 7 221 吨, 外排废水量同比减少 76.8%, 单箱化学需氧量排放量指标为 0.3 g/箱, 同比减少 88.4%, 达到行业先进水平。(2) 经济效益: 充分利用中水灌溉和自动喷洒, 减少了绿化用水和用工费用, 有效平衡了绿植养护和节约成本两项重要工作, 对推动工厂绿色发展具有深远意义。(3) 社会效益: 贯彻工厂“特色化、高端化、绿色化”发展目标, 充分落实国有企业社会责任。(4) 数智效益: 数据驱动决策是“数字化”的核心, 智能阀门加联网控制模式, 实现有效节水、减少排水、充分用水的良好循环, 通过进一步对数据进行挖掘和分析, 从而更精准地预测潜在的环境风险和安全隐患, 推动工厂高质量发展<sup>[6]</sup>。

## 5 “物联网+”模块化中水调度系统研究发现

通过实践研究发现, 该厂实现了工厂废水零排放, 中水调度 / 利用率达到 100% 的预期目标。模块化中水调度系统的有效性及其物联网技术在水质监测系统中的应用价值得以充分发挥: 一是模块化中水调度系统在提高水质监测效率和准确性方面展现出显著的有效性。

模块化系统可以根据不同的监测需求进行灵活配置和扩展, 这不仅降低了系统的复杂性, 还显著提高了监测的灵活性和扩展能力。二是物联网技术在水质监测系统中的应用大大提升了监测的实时性和远程管理能力。物联网技术的引入使得水质监测数据可以实时传输并进行远程监控, 这对于及时发现水质问题、迅速响应处理具有重要意义<sup>[7]</sup>。此外, 物联网技术还能够支持远程实时数据分析和云存储, 为水质数据分析提供了强大的数据处理能力, 极大地提高了数据处理的效率和准确性。模块化中水调度系统的有效性和物联网技术的应用价值是本次研究的两大主要发现。

## 6 结论与展望

在现有项目成功经验的基础上, 探索“物联网+”下的模块化中水调度系统, 能够适应不同的环境条件和应用场景, 将是未来持续努力的方向。一是针对模块化中水调度系统的优化, 进一步研究如何提高系统的灵活性和可扩展性。模块化设计可以让中水调度系统更加灵活地适应不同规模 and 不同处理要求的场景, 同时也便于未来技术的整合和升级。例如, 可以研究如何通过智能控制系统实现对不同模块的自动控制和优化调度, 以减少能耗和运行成本。二是物联网技术的应用范围拓展也是未来研究的重点。物联网技术可以实现数据的实时采集、传输和处理, 对于提高水质监测系统的实时性和准确性至关重要。未来项目团队将研究如何将物联网技术与现有的水质监测系统相结合, 以实现更广泛的应用。

本研究通过数智安环 QC 理论与物联网技术相结合, 成功研发模块化中水调度系统, 以工业废水循环利用为抓手, 推动水资源节约集约利用, 实现废水零排放目标。

### 参考文献:

- [1] 种达. 烟草企业污水处理技术改造的思考与实践[J]. 现代工业经济和信息化, 2019, 09(04): 42-43.
- [2] 楼小茜. 基于挣值法的 QC 污水处理厂提级改造工程成本控制研究[D]. 济南: 山东大学, 2022.
- [3] 周迎迎. 中水回用技术的研究与应用[J]. 皮革制作与环保科技, 2024, 05(15): 22-24.
- [4] 郭杰, 张俊杰, 赵建威. 中水回用技术的研究[J]. 煤炭与化工, 2021, 44(06): 150-152.
- [5] 周国成, 凌建军主编. 水处理新技术与案例[M]. 北京: 化学工业出版社, 2015.
- [6] 刘放平, 李烈岳. 基于物联网的智慧水务系统在污水处理中的应用研究[J]. 科学技术创新, 2020(13): 90-91.
- [7] 何鹏, 周旭. 基于物联网的新型水质监测系统的研究[J]. 设备管理与维修, 2021(22): 98-99.