

电厂智能化水务中心设计概述

张仲琪

国能宁夏大坝三期发电有限公司 宁夏 吴忠 751607

摘要：传统电厂水务系统面临监测滞后、协同困难、决策被动等难题。本文设计智能化水务中心，以全要素感知消除监测盲区，依托大数据与AI实现智能分析及闭环控制。采用模块化架构确保灵活扩展，运用“边缘+云端”提升可靠性，构建三重安全防护。核心功能涵盖智能监测预警、工艺优化、故障预测、能效碳管理等，通过分阶段实施、数据治理与安全保障，推动水务系统智能化升级。

关键词：电厂；智能化水务中心；总体设计

引言：在电力行业快速发展与环保要求日益严苛的当下，电厂水务管理面临着提升效率、降低能耗、保障安全等多重挑战。传统水务系统因数据采集滞后、信息互通不畅、决策依赖经验等问题，难以满足现代电厂精细化、智能化管理需求。为此，设计电厂智能化水务中心，借助物联网、大数据、人工智能等技术，实现水务系统全要素感知、智能分析与自主控制，成为推动电厂高质量发展的关键举措。

1 电厂水务系统现状与需求分析

1.1 传统水务系统痛点

(1) 监测盲区问题突出：传统模式依赖人工定期抄表，不仅存在 $\pm 5\%$ - 10% 的人为读数误差，且数据采集间隔长达数小时甚至一天，无法实时捕捉水质波动、管道压力骤变等关键信息。例如循环水系统pH值异常时，滞后的数据会导致加药调整不及时，引发管道腐蚀或结垢风险，增加设备维护成本。(2) 协同低效制约运行：化学水处理、循环水、废水处理等子系统各自独立运行，数据不互通、操作不同步。如废水处理系统水质超标时，无法快速追溯上游循环水系统是否存在泄漏，需人工跨部门排查，平均响应时间超过4小时，严重影响水处理效率与达标排放率。(3) 决策滞后引发隐患：缺乏设备运行状态预测模型，依赖人工经验判断维护需求，导致水泵、过滤器等关键设备常处于“故障后维修”状态。据统计，传统模式下管道泄漏事故平均发现时间超8小时，每次泄漏会造成数百吨水资源浪费，同时可能引发生产中断，单次损失可达数十万元。

1.2 智能化转型需求

(1) 构建全要素感知体系：需在各子系统部署水质传感器（监测pH、浊度、余氯）、流量变送器、压力传感器及设备振动监测模块，实现数据采集频率提升至1分钟/次，通过5G或工业以太网实时传输至中控平台，消除

监测盲区，为后续分析提供精准数据支撑。(2) 强化智能分析能力：依托大数据平台构建异常检测模型，可实时识别水质超标、设备故障前兆，准确率达90%以上；同时建立用水趋势预测模型，结合生产计划优化水资源调配，降低freshwater消耗量5%-8%；通过工艺参数优化算法，自动调整加药浓度、循环水温度等，提升处理效率10%。(3) 实现闭环控制功能：基于智能分析结果，系统可自动下发控制指令，如水质超标时自动调节加药泵频率，确保水质快速恢复达标；根据循环水系统负荷变化，自动调整循环水泵转速，降低能耗15%-20%；针对废水处理系统，自动切换过滤单元，实现连续稳定运行，减少人工干预频次，提升系统运行稳定性^[1]。

2 电厂智能化水务中心总体设计

2.1 设计原则

(1) 模块化设计：充分考虑电厂水务系统升级的阶段性需求，将整体功能拆解为数据采集、智能分析、闭环控制等独立模块，各模块接口标准化，支持分阶段部署—初期可优先建设感知层与基础监控功能，后期按需扩展AI优化、数字孪生等高级模块，避免一次性大规模改造带来的成本压力与系统风险，同时满足未来5-10年业务功能扩展需求。(2) 可靠性保障：采用“边缘计算+云端协同”双架构容错机制，边缘节点部署在各水务子系统现场，可本地化处理实时数据（如设备异常快速响应、紧急停机指令下发），时延控制在100ms内；云端平台负责全局数据存储、复杂模型训练与长期趋势分析，当云端网络中断时，边缘节点可独立运行核心监控与控制功能，确保水务系统不中断，显著提升整体运行可靠性。(3) 安全性合规：严格遵循工控系统等保2.0三级及以上合规要求，从物理层（传感器防篡改设计）、网络层（工业防火墙、入侵检测系统）、应用层（权限分级管理、操作日志审计）构建三重安全防护体系，同时对传输数

据进行加密处理,防止数据泄露与恶意攻击,保障水务系统工控安全与数据安全。

2.2 系统架构

(1) 感知层:部署多类型智能传感器,覆盖水质(pH、电导率、浊度)、水量(流量计)、设备状态(振动、温度)等核心参数;引入无人机巡检系统,每周对厂区外输水管网进行航拍扫描,结合图像识别技术自动识别管道漏点、阀门异常等问题,识别准确率达95%以上,弥补人工巡检盲区。(2) 传输层:采用“5G/LoRa无线通信+工业以太网”混合传输模式,5G用于高带宽、低时延的数据传输(如高清监控画面、实时传感器数据),LoRa适用于低功耗、广覆盖的偏远区域设备(如厂区边缘水井传感器),工业以太网则保障中控室与各子系统间的稳定数据交互,实现全系统数据传输覆盖率100%。(3) 平台层:①数字孪生:构建1:1三维可视化水务模型,实时映射各子系统设备状态、水流走向、水质数据,支持虚拟仿真操作;②大数据分析:通过挖掘历史用水数据,识别生产负荷与用水量的关联规律,同时建立设备健康评估模型,预测设备剩余寿命;③AI引擎:基于LSTM神经网络构建水质预测模型,提前24小时预测水质变化趋势,结合强化学习算法生成加药量、水泵频率等最优控制策略^[2]。(4) 应用层:①智能监控:打造实时数据看板,动态展示关键指标(如水质达标率、设备运行率),异常时通过短信、APP推送报警信息,响应时间<1分钟;②优化调度:依据循环水冷却需求与环境温度,自动优化冷却塔运行参数,同时基于凝结水水质数据,智能决策回收路径,提升水资源利用率;③能效管理:建立水耗KPI对标体系,实时监测各环节水耗,同步追踪水务系统碳排放量,生成节能减碳分析报告。

2.3 关键技术选型

(1) 边缘计算:选用工业级边缘计算网关,部署在化学水处理、循环水等子系统现场,本地化处理实时数据(如水质超标快速响应),减少数据上传云端的带宽占用与时延,保障控制指令毫秒级下发,满足水务系统实时性控制需求。(2) 知识图谱:构建水务设备故障知识库,整合设备型号、历史故障记录、维修方案等信息,通过知识图谱关联分析,当设备出现异常时,快速匹配相似故障案例与解决方案,缩短故障排查时间50%以上。(3) 数字孪生:采用BIM+GIS技术构建数字孪生模型,融合实时数据与物理设备状态,支持模拟不同工况(如机组负荷变化、极端天气)下的水系统响应,提前识别潜在风险(如管道压力超限),为运维决策提供精准依据^[3]。

3 电厂智能化水务中心核心功能模块设计

3.1 智能监测与预警系统

(1) 多源数据融合:整合SCADA系统实时采集的流量、压力等运行数据,实验室定期化验的水质指标(如硬度、氯离子浓度),以及气象部门提供的降雨、温度数据,通过数据清洗与标准化处理,构建统一数据库。系统可自动关联多维度数据,例如结合降雨数据预判循环水补充水量变化,提升监测全面性与数据准确性。(2) 阈值动态调整:摒弃固定报警阈值模式,基于历史3年用水数据与生产负荷曲线,建立自适应阈值模型。当用水模式改变(如机组启停机)时,系统自动调整水质、流量等指标的报警阈值,减少90%以上无效报警,同时确保异常情况(如管道突发泄漏)精准识别,报警响应时间<30秒。

3.2 水处理工艺优化模块

(1) 反渗透系统智能加药:实时采集反渗透进水的浊度、SDI值(污染指数),通过PID控制算法动态调整阻垢剂加药泵频率。当进水水质恶化时,自动提升加药量防止膜污染;水质改善时减少用量,既保障反渗透膜运行寿命(延长1-2年),又降低药剂消耗成本15%-20%。(2) 循环水浓缩倍数智能控制:结合循环水水质(总硬度、碱度)与冷却塔散热需求,建立浓缩倍数优化模型。通过自动调节排污量与补充水量,将浓缩倍数稳定在3.5-4.0区间,相比传统固定值2.5,节水30%以上,同时避免管道结垢与腐蚀风险^[4]。

3.3 故障预测与健康管理(PHM)

(1) 设备振动/温度特征提取:通过部署在泵机、风机等关键设备上的振动传感器与温度传感器,实时采集数据并提取特征值(如振动峰值、温度波动幅度),构建设备健康特征库,实现设备运行状态实时量化评估。(2) 基于随机森林的泵机故障预测:利用历史故障数据(如轴承磨损、叶轮堵塞)训练随机森林模型,输入实时特征值后,模型可预测未来7天内泵机故障概率,准确率达92%以上。当故障概率超阈值时,自动推送维护建议,避免非计划停机。

3.4 能效分析与碳管理

(1) 水资源平衡图自动生成:系统按日/周/月自动统计各环节取水量、用水量、排水量与回收率,生成可视化水资源平衡图,清晰展示水资源流向与损耗点,辅助识别节水潜力区域(如循环水排污过量)。(2) 节水项目投资回报率(ROI)测算:针对节水改造项目(如凝结水回收系统升级),系统自动计算初始投资、年节水收益(水费节省、药剂消耗减少),生成ROI报告与回收周期预测,为项目决策提供数据支撑,例如某凝结水回收项目可测

算出2.3年回收成本。

4 电厂智能化水务中心实施路径与保障措施

4.1 分阶段实施策略

(1) 第一阶段：试点示范：选取电厂1-2个主力机组的循环水或化学水处理系统作为试点，部署水质（pH、电导率）、流量、设备振动等核心传感器，搭建基础数据采集与监控平台。通过试点验证感知层设备稳定性、数据传输可靠性，积累运行经验，为后续推广奠定基础，同时培训运维团队掌握基础操作技能。(2) 第二阶段：系统集成：在试点成功基础上，将范围扩展至全厂水务子系统，重点打通DCS（集散控制系统）、MIS（管理信息系统）等异构系统数据接口，实现生产运行数据与管理数据的互联互通。统一数据存储格式与传输协议，构建全厂水务数据中台，解决“数据孤岛”问题，支撑跨系统协同分析。(3) 第三阶段：AI赋能：基于全厂水务数据中台，构建AI优化模型，包括水质预测、工艺参数优化、设备故障预警等模型，实现从“被动监控”向“主动优化”升级。同时上线数字孪生可视化平台，支持全厂水务系统模拟仿真与智能决策，全面提升水务系统智能化水平^[5]。

4.2 数据治理与标准建设

(1) 主数据管理：制定统一的主数据标准，明确设备编码规则（涵盖水泵、传感器、加药装置等所有水务设备），统一水质参数定义（如浊度、余氯等指标的检测方法与单位），确保不同系统、不同环节的数据“同源、同规、同义”，避免数据混淆与误解。(2) 数据质量评估：建立“完整性、准确性、时效性”三维度数据质量校验机制—完整性校验确保关键数据（如水质超标记录）无缺失，准确性校验通过实验室化验数据比对传感器数据修正偏差，时效性校验保障数据采集与传输延迟不超过1分钟，定期生成数据质量报告，持续优化数据质量。

4.3 安全防护体系

(1) 网络隔离防护：部署工业级防火墙，严格划分生产网（连接DCS、传感器等控制设备）与管理网（用于数据统计、办公），仅开放必要的数据交互端口，禁止管理网直接访问生产网控制指令，防止外部网络攻击影响水务系统稳定运行。(2) 数据不可篡改保障：引入区块链技术，对关键水质数据（如达标排放记录）、设备操作日志等进行上链存储，利用区块链去中心化与不可篡改特性，确保数据全程可追溯、不被篡改，满足环保监管与内部审计需求，规避数据造假风险。

结束语

电厂智能化水务中心的设计与实施，是电力行业顺应数字化转型潮流、实现绿色可持续发展的关键一步。通过整合先进信息技术，构建起覆盖全流程的智能管理体系，不仅提升了水务运行的效率与安全性，还有效促进了水资源的节约与循环利用。未来，随着技术的不断进步和应用场景的持续拓展，智能化水务中心将成为电厂标配，持续推动行业向更高效、更环保、更智能的方向迈进。

参考文献

- [1]郭英男.电厂智能化水务中心设计概述[J].电力系统及自动化,2020,(11):78-79.
- [2]孙雪,刘芬.电厂智能水务探析[J].产业经济,2021,(07):90-91.
- [3]王爱玲,瞿鹏.电厂智能水务系统研究[J].建筑设计及理论,2020,(05):45-46.
- [4]高超,蒋晨,王树巍,等.电厂智慧水务系统建设实践[J].电力系统及自动化,2021,(12):115-116.
- [5]刘林.在扩建电厂项目中智能水务信息管理系统的应用[J].产业经济,2021,(12):102-104.