

水务环境集团智慧化建设的电子与智能化工程实践

陈继勇

宁波市水务环境集团股份有限公司智慧水务运营中心 浙江 宁波 315000

摘要: 传统水务行业面临数字化转型压力,宁波市水务环境集团积极开展智慧化建设实践。本文构建“感知层—平台层—应用层”三层技术架构,配套“1234”数字化顶层设计,在智慧水厂、管网漏损控制、防汛排涝等多领域推进电子与智能化工程。运行数据显示,管网漏损率大幅下降,水厂运维效率显著提升,防汛人力需求大幅减少,工控安全防护成效突出。这些成果为同类水务企业的智慧化转型提供了实用参考。

关键词: 智慧水务; 电子与智能化工程; 数字化转型; 宁波水务;

引言: 水务行业是保障国计民生的基础性公益行业,传统运营模式存在系统分散、数据割裂、人工依赖度高、应急响应滞后等痛点,难以适配城市高质量发展需求。随着物联网、大数据、人工智能等新一代信息技术的迭代,电子与智能化工程成为水务行业数字化转型的核心支撑。宁波市水务环境集团作为区域核心水务保障企业,立足自身业务实际,系统性推进智慧水务建设,构建完善的技术架构与顶层设计,在多领域开展工程实践并取得显著成效。本文结合该集团实践,阐述智慧水务建设的架构设计与具体应用,为同类水务企业智慧化转型提供实践参考。

1 总体架构设计

水务行业是关系国计民生的基础性行业。随着物联网、大数据、人工智能、数字孪生等技术的快速发展,智慧水务已成为行业高质量发展的必然选择。宁波市水务环境集团(以下简称“集团”),注册资本50亿元,拥有可供原水水库9座、自来水厂8座、工业水厂1座、净化水厂6座,服务人口超过500万。

1.1 三层智慧水务体系架构

为应对传统运营模式中系统分散、数据割裂、远程调控能力不足等问题,集团近年来构建了覆盖“感知层—平台层—应用层”的三层智慧水务体系架构^[1]。感知层部署水质在线监测仪、流量计、压力变送器、PLC控制柜、智能水表等设备,全集团接入关键点位超过4400个。平台层构建统一的数据中台与业务中台,采用工业物联网网关解决多协议兼容问题,实现多源数据的汇聚、清洗与共享。应用层开发数字孪生系统、工艺高级控制平台、智能巡检系统、能耗分析系统等模块,面向生产、运维、管理和决策提供智能化支撑。

1.2 “1234”数字化工作架构

在顶层设计方面,集团构建了“1234”数字化工作

架构。“1”是指宁波水务智慧决策中心,集成各业务系统关键数据,通过大屏可视化展示供水压力、水质合格率、管网漏损率等核心指标,应急情况下支持多部门协同会商。“2”是指业务中台和数据中台,通过业务能力复用和数据标准统一,打破各业务系统之间的数据孤岛。“3”是指三条发展主线——智慧管控、智慧运营、智慧服务。“4”是指四套保障体系——IT治理体系、数字化标准体系、信息安全体系和基础设施体系。

1.3 一体化数智化管理平台

集团基于用友NCCloud系统建立了一体化数智化管理平台,涵盖财务、资金管理、供应链管理、工程项目管理、设备管理等模块,实现了财务业务一体化,并与协同办公、营业收费等系统有效集成。工程项目从预算编制、招标采购到进度控制、竣工验收的全流程线上管理,有效控制了工程成本。

2 智慧水厂建设

2025年7月,集团制水分公司全面启动智慧水厂现代化升级项目,总投资约2500万元,系统性地将物联网、大数据、人工智能与数字孪生技术融入制水全过程。

2.1 生产智能化

传统水厂的加药消毒主要依赖运行人员经验,原水水质波动时调整存在滞后,容易造成药耗偏高或水质波动^[2]。针对这一问题,集团部署了智能消毒系统,采用“前馈+反馈”复合控制策略。前馈部分根据原水流量、浊度、pH等在线数据预测所需药剂投加量;反馈部分根据出水余氯或浊度实测值进行动态修正。系统运行后,滤池反洗时长缩短15%,药耗降低8%~12%。

工艺高级控制平台集成了混凝、沉淀、过滤、消毒各工艺单元的优化控制模型,例如根据进水负荷自动调节排泥机运行周期、根据滤池水位差自动启动反冲洗。平台还嵌入了ProSee工艺实时仿真预测模块,可对未来

1~2小时的水质变化趋势进行模拟,辅助操作人员提前调整参数。

2.2 运维数字化

综合管理平台集成了数字孪生、智能巡检、设备管理等10余个核心模块。数字孪生系统采用WebGL三维技术构建与实体水厂精准同步的三维模型,管理人员通过浏览器即可查看每台设备的实时运行状态(运行/停止、电流、温度等)、水质参数以及工艺流程动态。设备报警时,三维模型中对应设备高亮闪烁并弹出故障详情和处理建议。

智能巡检系统改变了传统“纸质记录+人工巡视”的模式。工作人员使用移动终端按照系统规划的路线逐点扫码确认,可现场拍照上传设备异常、填写维修工单,系统自动生成巡检报告和交接班记录。

2.3 水质管理智慧化

东钱湖水厂化验室管理系统涵盖检验管理、检测建模、标准化管理和统计分析四大模块,实现了从采样、送检、结果录入到报告生成的全流程无纸化。系统基于历史检测数据构建了加净水剂预测模型,当原水水质发生变化时,模型可推荐合理的药剂投加量,为化验员和运行人员提供决策参考。

3 供水管网智慧化

供水管网深埋地下,漏损点查找一直是行业难题。集团在管网智慧化方面形成了“GIS信息化+DMA分区计量+合同节水”的组合方案。

3.1 DMA分区计量与漏损控制

集团海曙分公司与宁波东海集团联合打造了“智慧水务+合同节水”创新模式。该模式将海曙城区供水网络划分为484个独立计量区域(DMA),各区域入口安装高精度流量计和智能水表,持续采集夜间最小流量和瞬时流量数据。数据分析平台每日对484个DMA区域的流量数据进行计算和比对。一旦发现某区域夜间最小流量异常升高(通常意味着存在持续漏水),系统立即通过短信和APP推送报警^[3]。维修团队接到报警后,结合管网GIS系统快速锁定漏水区域,再运用听漏仪、相关仪、噪声记录仪、管道机器人等设备精准定位漏点。漏点查找时间从原来的平均3天缩短到8小时以内。

该模式采用“节水效果保证+节水效益分享”机制:由合作企业先行投入智能水表和流量计等设备,集团以节水效益分期支付服务费用。双方约定基准漏损率,当实际漏损率低于基准值时,节约的水量按约定比例分享收益。这种合同节水模式降低了集团的初期投入风险。

实践效果显著:2023年至2025年间,海曙城区管网

漏损率从21.9%下降至12.57%,降幅达9.33个百分点,累计节约水量916万立方米,相当于月湖蓄水量(约40万立方米)的近23倍。按当地居民用水价格估算,直接经济效益超过3000万元。

3.2 管网GIS系统建设

集团全面推进地下供水管网的数字化呈现。以大嵩片区为例,已完成160余公里给水管线的数据采集,包括管径、管材、埋深、敷设年代等信息,并为636个阀门、124个消防栓建立了完整信息档案,形成了数字化“地下管网图”。该系统支持手机端和电脑端查询,抢修人员到达现场后可快速调阅周边阀门位置和管径信息,精准关阀止水,减少停水影响范围。在日常维护中,GIS系统还可辅助制定管网冲洗、阀门保养计划。

4 智慧排水与AI防汛

在排水板块,集团下辖6座净化水厂,承担中心城区污水处理与产业拓展任务。随着城市化进程加快,排水系统的安全运行和防汛排涝能力日益受到关注。

4.1 净化水厂自控系统集成

鄞西污水处理厂二期工程自控系统集成合同金额达1234万元,由浙江中控信息产业股份有限公司承建。该系统采用“厂-站-网”一体化运行调度理念,将污水处理厂、中途提升泵站、管网关键节点的数据全部接入统一平台。系统实现了提升泵自动轮值、曝气量精确控制(基于溶解氧和氨氮反馈)、污泥回流智能调节等功能。通过优化运行参数,该厂单位电耗降低约10%,出水水质稳定达到一级A标准。

4.2 排水泵站智慧化调度

集团江北分公司信息调度室对辖区内14处下穿立交、2处易积水重点道路、10处沿江排口及闸口等关键点位进行实时监测,实行“视频监控+数据预警+现场处置”三级联动机制。调度系统已接入全区182公里排水管线、16座排水泵站及270余座供水泵房的全量运行数据,实现雨情、水情、设施运行情况三情同步监测。当降雨量达到预警阈值时,系统根据积水预测模型自动触发相关泵站的启停指令。2025年汛期,该系统成功应对了3次台风和多次短时强降雨,未发生长时间、大面积积水事件。

4.3 AI防汛强排系统

海曙水务分公司自主研发了全市首个AI防汛强排系统“海宝”,在青林湾强排泵站上线运行。该系统整合了河道水位、泵站水位、气象数据(未来1~3小时降雨预报)、设备状态等多源数据,采用LSTM时间序列预测模型对未来1小时内的积水风险进行预测。当预测水位超过警戒线时,系统自动计算需要开启的泵组数量和运行频

率,并给出建议。操作人员确认后,或按预设的自动模式,系统直接通过PLC下发指令启动强排泵。该系统试运行以来,现场人力需求减少70%,解决了以往人工估算不准和经验难以传承的问题。

5 智慧水环境治理与工控安全

5.1 “AI河长”助力河湖管护

集团与北仑区合作推出“AI河长”系统,依托11处无人机机巢、300余条规划航线,实现北仑区600余条、600余公里河道每月全域巡查。无人机搭载高清摄像头和多光谱传感器,采用YOLOv5深度学习算法识别河面漂浮物、水体颜色异常(如蓝藻水华)、岸线违章搭建、排口非法排污等现象。

5.2 二次供水工控安全防护

二次供水系统作为保障居民用水“最后一公里”的关键基础设施,其工控系统安全稳定运行直接关系到社会民生与公共安全。集团与浙江国利网安科技有限公司联合研发了“二次供水工控终端安全精准防护技术”项目,获得2025年度宁波市水利科技创新三等奖。该技术的核心产品——专项隔离系统,实现了三项创新突破:通信标识隐匿技术使攻击者在网络扫描中无法发现PLC核心标识,从源头切断攻击路径;定制化抗攻击技术将PLC隔离至独立安全域,有效防御DoS攻击、缓冲区溢出等网络攻击;轻量化低成本设计使得对海量无人值守的二次供水泵房进行全面安全覆盖成为可能。该技术已在50余座重点泵房试点部署,成功阻断异常扫描和攻击尝试超过1200次。

5.3 民生服务数字化

集团利用智能水表为高龄独居老人构建了“零打扰、全天候”监测预警系统。通过分析老人近3个月的用水规律,建立个性化的用水行为模型,包括每日用水时段、用水量均值及波动范围。当出现连续12小时用水量为零、单次用水时长超过正常值3倍、或凌晨时段出现异常用水等情况时,系统自动触发预警。预警信息首先发送至集团客服中心,客服人员通过电话联系老人或其紧急联系人;若无法接通,预警信息同步推送至老人所在社区的网格员和结对志愿者,由社区工作人员上门查看^[4]。截至目前,已累计安装智能水表设备超过900个,处理预警逾万次,成功发现并送医2人。

6 建设成效与经验

6.1 主要成效

经过系统建设,集团在多个维度取得显著成效。智慧水厂方面,巡检时间缩短30%,维修效率提升40%,药耗降低8%~12%。供水管网方面,漏损率下降9.33个百分点,累计节约水量916万立方米。智慧排水方面,AI防汛系统减少现场人力需求70%。工控安全方面,累计阻断网络攻击超过1200次。

6.2 建设经验

一是坚持顶层设计先行。“1234”数字化架构确保了各业务板块的智慧化建设协调推进,避免了各自为政和重复建设。二是注重数据治理。通过业务中台与数据中台建设,推动业务标准化和数据共享复用,打通了各厂站数据壁垒。三是推动产学研协同。在工控安全、AI防汛、数字孪生等关键技术领域与高校和企业深度合作,形成了技术研发与工程应用的有效闭环。四是坚持技术为民。智能水表监测预警、企业用水分析服务等实践体现了技术创新服务民生的价值导向。

结束语

智慧水务建设是水务行业数字化转型的必由之路,其实质是通过电子与智能化工程技术实现水务全要素的数字化和运行逻辑的智能化重构。宁波市水务环境集团在制水、供水、排水、水环境治理、工控安全、民生服务等领域系统推进电子与智能化工程建设,构建了覆盖全产业链的智慧水务体系,实现了从人工控制到智能控制、从经验驱动到数据驱动的转变。下一步,集团将继续探索AI大模型在水质预测、设备故障诊断、用户智能问答等场景的应用,以及5G专网在无人泵站远程控制中的落地,为城市供水安全 and 高质量发展提供更加坚实的保障。

参考文献

- [1]宁波市水务环境集团.从“人控”到“智控”市水务环境集团制水进入智慧水厂时代[N].宁波晚报,2025-12-25.
- [2]浙江国利网安科技有限公司.国利网安携手宁波水务,以核心技术筑牢城市供水“生命线”安全防线[EB/OL]. 2025-12-25.
- [3]上海昊沧系统控制技术有限公司.上海昊沧斩获长三角集团级智慧水务大订单[EB/OL].2025-07-25.
- [4]宁波市水务环境集团海曙水务分公司.全市首个AI防汛强排系统投入试运行[N].宁波交通广播,2025-07-10.