

智慧水务在供排水管理中的应用与实践

张忠科

(山东省滕州市中润供水有限公司, 山东 滕州 277599)

摘要 随着城市化进程的加快和水环境的复杂化, 传统的供排水管理模式已经不能满足现代社会对水资源配置和运行的要求。智慧水务是新技术和水务行业相结合产生的, 对供排水的管理方式和模式进行了重塑。本文主要对智慧水务技术支撑体系进行研究, 在生产运行、管网运维、客户服务等场景中分析它的应用情况, 并提出技术赋能到管理变革的实践途径。通过策略和场景推演来阐明智慧水务由被动响应到主动预测、由经验驱动到数据驱动的变化, 以期为现代水务体系提供有益参考。

关键词 智慧水务; 供排水管理; 物联网; 数字孪生; 全生命周期

中图分类号: TU991

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.11.007

0 引言

水资源是城市生存与发展的命脉, 供排水系统则是维系城市正常运转的保障性基础设施。长期以来, 水务行业存在管网老化导致漏损率居高不下, 调度决策过度依赖人工经验, 突发事件响应滞后, 客户服务渠道单一等诸多结构性问题。工业 4.0 和数字经济大潮之下, 智慧水务应运而生, 它不是简单的设备自动化升级, 而是对感知方式、决策机制、管理流程的一种革命。依靠创建全域感知网络、搭建起海量数据处理平台并融入智能算法模型, 智慧水务可以把物理世界里的水务设施变成数字空间里的动态孪生体, 进而实现对水循环全过程的精细化治理。当前智慧水务建设的重点已经由原来的信息化基础建设转变为深度智能化, 其主要目的在于用数据要素去挖掘出隐藏的价值, 改善资源配置, 提高应急韧性。

1 智慧水务的技术支撑体系

1.1 物联网感知技术

物联网感知技术是智慧水务的神经末梢, 它是连接物理世界到数字世界的第一个环节。现代物联网技术依靠设置高精度智能水表、多功能压力传感器等装置来构建全方位感知网络^[1]。智能终端具有高频数据采集特性, 自带边缘计算模块, 在源头对数据进行清洗和识别后, 就可以减少传输带宽需求, 提高数据的实时性和准确性。在排水方面, 如液位计等设备联动部署, 配合低功耗广域网通信技术, 可以提前发现并量化城市内涝风险。泛在化感知体系冲破信息孤岛, 把水务设施变成智能节点, 为数字化分析提供了数据根基, 保证水务系统运转透明可见。

1.2 大数据与云计算平台

大数据与云计算平台是智慧水务的中枢, 它们将大量的异构数据进行汇集、保存、运算和分析。供排水系统数据多源、高频、量大、类型复杂, 包含结构化 SCADA 数据、非结构化视频图像和半结构化巡检记录等。云计算架构用弹性伸缩的计算资源来解决传统本地服务器算力和扩展性的问题, 可以对 PB 级的历史数据进行毫秒级的检索, 并且可以进行实时流处理。在此基础上, 大数据技术建立统一的数据湖, 消除各个业务系统的数据壁垒, 从而实现各方面的数据融合与共享。从长周期运行数据中挖掘用水规律、管网压力变化趋势、设备故障早期征兆, 将沉睡数据转化为高价值资产^[2]。

1.3 人工智能与机器学习应用

人工智能和机器学习的应用使智慧水务有了“大脑”, 具有自我学习、逻辑推理和预测预判的能力。传统的水务调度依靠资深工程师的经验来判断, 存在主观性强、反应慢、无法应对复杂工况的缺陷。加入深度学习、强化学习等算法后, 系统依靠历史数据训练出需水量预估模型、爆管预警模型、泵站优化调度模型等高精度模型。利用卷积神经网络分析管网声纹数据, 精准定位隐蔽漏点; 利用递归神经网络对降雨量和管网液位时序进行分析, 提前数小时模拟内涝演进并生成排涝方案。知识图谱技术把分散的信息联系起来形成专业知识库, 使得系统在遇到突发事故时能够立即生成综合应急预案。人工智能的应用使水务管理由“人防”转变为“技防”“智防”, 提高了系统的自适应性以及运行效率。

作者简介: 张忠科 (1978-), 男, 专科, 工程师, 研究方向: 给排水工程。

2 智慧水务在供排水管理中的应用核心场景

2.1 生产运行智能化

生产运行智能化指的是对水厂、泵站的全过程自动化控制以及能效最优管理。在水厂，将原水水质在线监测数据与出水指标要求相结合，利用前馈-反馈控制算法实时调节混凝剂、消毒剂的投加量，使出水水质达到标准，降低药剂消耗和污泥产生。泵站智能调度依靠管网压力分布模型和用电峰谷电价策略，自动调整水泵的启停组合和频率转速，以保证末端服务压力合格的同时减少能耗。数字孪生技术也被应用于生产环节的模拟和预演，管理者可以在虚拟空间里模拟出各种工况下工艺流程的状态，预测设备出现故障所产生的影响，然后制定相应的预防性维修计划。这种智能化模式减少了对人工操作的依赖，降低了误操作的风险，通过精细化的控制实现水资源处理的绿色、低碳、高效，促进水务生产力的飞跃^[3]。

2.2 管网运维数字化

管网运维数字化主要解决地下管网“看不见、摸不着、管不住”的问题，构建全生命周期的数字管理架构。依靠高精度地理信息系统和三维建模技术，把地上地下管网资产转化为数字资产，管道信息一目了然。采用智能检漏车、卫星遥感技术对大面积管网漏损进行快速筛查，用分布式光纤传感、智能听音杆对微小泄漏进行精准定位，降低漏损率。排水管网采用实时联动分析液位、流量数据的方式，对管道问题进行自动识别并下发清淤疏通工单。此外，根据水力模型建立管网健康度评价体系，可以预测管道破裂的风险，使运维人员由“事后抢修”转变为“事前预防”，从而延长管网寿命，保证城市供水和排水的安全，提高市政基础设施的韧性、可靠性。

2.3 客户服务智慧化

客户服务智慧化在于改变供水企业同用户之间的交互方式，构建便捷的服务体验。传统的营业厅柜台服务逐渐被线上多渠道平台所取代，用户可以利用微信公众号、APP等进行“指尖办”“零跑腿”的报装申请、水费缴纳等业务。智能客服机器人依靠自然语言处理技术，24小时在线回答用户的问题，指导用户完成各种操作，从而提高服务的响应速度以及客户满意程度。智慧水务系统向用户提供用水行为分析报告，将同类数据与历史趋势进行对比，使用户察觉到异常之处并提出节水建议，从而增强用户的参与意识和满意度。突发停水或者水质出现异常时，系统利用大数据分析

出影响的范围，并准确地发出预警和抢修进度信息，从而消除用户的焦虑情绪。

3 智慧水务在供排水管理中的应用实践路径

3.1 构建全域感知与数据治理底座

高质量的数据输入是算法模型输出准确决策指令的前提，若不能保证高质量的数据输入，再先进的算法模型也难以做出正确的决策指令，所以必须先解决感知盲区的覆盖问题和数据质量参差不齐的问题。这就需要在城市供水和排水的重要节点安装智能化的传感器，形成密集的监测网络，要制定统一的数据标准规范，对各种各样的数据进行清洗、转换和融合，消除数据孤岛，保证数据的一致性、完整性、时效性。只有建立可信、可用的数据资产体系，才能给上层应用提供有力的支撑，使水务系统真正具有感知的能力^[4]。

以某大型沿海城市智慧水务一期建设为例，这一城市并未能急于上线复杂的AI预测模型，而是先开始了为期两年的“感知网织密、数据焕新”专项行动。项目组对全市数千公里的供水管网展开地毯式的排查，就压力监测盲区和老旧机械水表区域，大规模地部署了NB-IoT智能压力计和超声波智能水表，在排水主管管关键节点处还安装了雷达液位计和COD在线分析仪，使监测点位密度提高到原来的三倍。与此同时，对于历史数据缺失和格式杂乱的问题，该城市创建了市级水务数据中台，制订出包含数据采集、传输、存储、共享等各个环节的《水务数据治理白皮书》。技术团队开发出自动化ETL工具，对过去十年的SCADA历史数据进行回溯清洗，去除异常噪点，填补缺失序列，把GIS地理信息、营收系统用户数据以及工单系统维修记录做唯一标识关联，创建统一的“水务对象编码体系”。

3.2 深化数字孪生与仿真推演应用

数字孪生不是物理设施的三维可视化复刻，它是机理模型和数据驱动的虚拟实验场，管理者可以在虚拟空间里对各种极端工况、突发事件进行低成本的试错和预演。将实时监测的数据输入高保真的水力模型中，系统可以实时反映管网运行的状态，根据预测出的未来短时间内的压力分布、水质变化和内涝风险，来辅助做出最佳的调度方案。虚实相生、以虚制实的模式大大提高了应对复杂水问题的科学性和前瞻性。

以某流域性特大城市防洪排涝智慧化改造项目为例，该项目并不是简单地将视频监控、液位报警这些技术应用到其中，而是创建了一个包含主城区2000平方公里的“城市水务数字孪生体”。技术团队将高精度

地形地貌数据同地下管网拓扑结构以及实时气象雷达图结合起来, 创建了一个具备毫秒级响应速度的二维—三维耦合水动力模型。台风暴雨来临之前, 系统不会等待积水出现, 而是根据气象预报数据, 在数字孪生体里提前 6 个小时模拟出各种重现期的暴雨对各个低洼路段造成的积水深度、退水时间以及管网超载状况。根据推演的结果, 指挥中心自动生成差异化的预排涝调度指令, 准确计算出各个泵站提前预降水位的幅度、各个闸门开启的时间、应急抢险队伍最佳布控点的位置。

3.3 推动算法驱动与自主决策进化

随着机器学习、强化学习技术的发展, 水务系统已经从原来只能告诉管理者“发生了什么”“可能会发生什么”这样的简单任务中解脱出来, 可以给出更加具体的“应该怎么做”的最优解, 在某些规则下还可以自动执行控制指令。这就需要建立一个面向具体业务场景的算法仓库, 不断地对它进行数据喂养和模型迭代, 从而提高算法对于复杂非线性环境的鲁棒性以及适应性, 实现由“人脑决策、机器执行”到“机器决策、人机协同”的转变。

以某现代化工业园区供水节能优化项目为例, 园区用水存在波动大、峰值高、水压稳定性要求高的特点, 传统的、人工化的调度不能同时达到节能和安全的要求。项目实施方未能使用固定的 PID 控制算法, 而是一套自适应的强化学习驱动的泵站群控制算法。该系统把泵站电耗最低和管网压力波动最小作为双重奖励函数, 经过和数字孪生环境数百万次虚拟交互训练之后, 学会了在不同的用水时段、不同的管网阻力特性下, 最佳的水泵组合以及变频策略。在实际运行中, 当夜间用水量突然下降或者某大型企业启动高压清洗设备时, 系统不需要人工干预, 在秒级之内就可以自动调节多台水泵的频率和启停状态, 平滑消除压力波动, 将千吨水电耗降低 15%。

3.4 重塑业务流程与组织协同机制

重塑业务流程和组织协同机制在于制度层面保证智慧水务技术红利变成实际的管理效率。技术的引入必然要引起组织架构和管理方式的改变, 如果沿用传统的条块分割、层级汇报的方式, 再先进的系统也只能是摆设。因此必须打破部门壁垒, 建立以数据流为导向的扁平化、网格化管理体系, 把智慧水务平台嵌入日常巡检、维修、调度、客服等全流程业务当中, 使工单能够自动流转, 任务可以智能派发, 绩效能够被量化考核, 从而形成一个数据驱动业务、业务反哺数据的良性循环^[5]。

以某省会城市水务集团为研究对象, 在其数字化转型过程中出现的管网漏损率高、抢修响应慢等问题, 未能简单地依靠新设备去解决, 而是一次性对流程进行重组, 并且对组织进行了重新塑造。依靠智慧水务平台, 废除了原来热线接单、中心派单、班组领单、现场处置、反馈销单的长链条模式, 创建智能识别、自动派单、网格处置、即时评价的敏捷响应机制。当物联网传感器检测出可疑爆管信号或者 AI 模型判断漏损概率大于阈值时, 系统则会自动产生一个紧急工单, 按照 GIS 定位将任务直接推送到离它最近的网格化巡检员手持终端上, 并且同时通知附近的阀门操作员做好关阀的准备。一线员工完成现场处理工作之后, 用 APP 上传修复照片和测试数据, 系统会自动进行核验并闭环管理, 不会出现人工调度的环节。集团对绩效考核体系做了相应的调整, 将漏损控制指标、响应时间、一次修复率等数据同个人的薪酬联系起来, 从而调动起所有员工的积极性去开展智慧化的管理工作。

4 结束语

智慧水务在供排水管理中的应用和实践属于深刻的技术叠加, 也是理念的重新塑造以及流程的重新再造。完善的体系, 即物联网感知、大数据和云计算的中枢以及人工智能决策大脑, 给水务行业的转型升级赋予了可能性。智慧水务在生产运行、管网运维、客户服务等主要场景中起到提高效率、保证安全、改善服务的作用。但是技术落地不是一件容易的事情, 要依靠扎实的数据基座、深入的数字孪生应用、推动算法自主决策和重塑组织协同机制等诸多方面共同努力才能实现由“数字化”向“智慧化”的飞跃。未来, 5G、区块链、边缘计算等技术被应用到智慧水务当中, 将会促使智慧城市生态的可持续发展, 给城市的生态文明建设提供科技支持。

参考文献:

- [1] 陈外才, 甘逸伦. 国内智慧水务建设研究进展 [J]. 科技创新与应用, 2025, 15(13): 5-8, 13.
- [2] 赖敏达. 水务大数据背景下的城市智慧水务物联设计研究 [J]. 水利技术监督, 2025(02): 66-69, 102.
- [3] 刘宾, 胡译文. “四水合一”的智慧水务系统构建 [J]. 供水技术, 2024, 18(06): 14-18.
- [4] 李金龙, 张彬, 王海霞, 等. 智慧水务建设现状与难点调研分析 [J]. 智能城市, 2024, 10(10): 72-74.
- [5] 景静. 城市智慧排水系统的设计与应用 [J]. 建设科技, 2024(05): 20-23.