

智慧水务在市政给水系统中的应用

蔡光宁

新疆北方建设集团有限公司 新疆 乌鲁木齐 833200

摘要: 随着全球城市化进程的加速、水资源短缺问题的日益严峻以及公众对供水服务质量要求的不断提高,传统市政给水系统在运营效率、安全保障和资源利用等方面正面临前所未有的挑战。在此背景下,以物联网(IoT)、大数据、云计算、人工智能(AI)等新一代信息技术为核心的“智慧水务”应运而生,并迅速成为推动水务行业数字化转型与高质量发展的关键驱动力。本文旨在系统性地探讨智慧水务在市政给水系统中的具体应用场景、核心技术架构、实施路径及其带来的变革性价值。文章首先剖析了传统给水系统存在的痛点,继而阐述了智慧水务的概念内涵与发展背景;其次,详细论述了智慧水务在水源地监控、水厂智能生产、管网优化调度、漏损精准控制、水质安全预警及客户服务等核心环节的应用实践;最后,文章指出了当前智慧水务建设面临的挑战,并对未来发展趋势进行了展望。研究表明,智慧水务不仅是技术层面的革新,更是水务管理模式的根本性变革,对于构建安全、高效、绿色、韧性的现代化城市供水体系具有深远的战略意义。

关键词: 智慧水务; 市政给水; 物联网; 大数据; 人工智能; 漏损控制

引言

作为城市运行的生命线工程,市政给水系统承担着保障居民生活、支撑工商业发展和维护城市生态平衡的重任。然而,在21世纪的今天,这一传统基础设施正承受着多重压力。一方面,气候变化导致极端天气事件频发,水源地水质水量波动加剧;另一方面,城市人口持续膨胀,用水需求刚性增长,而老旧管网漏损严重,造成大量宝贵的水资源浪费。传统的市政给水系统管理模式主要依赖人工经验、周期性巡检和被动式响应,信息孤岛现象严重,缺乏对系统运行状态的实时感知、动态分析和前瞻预测能力。这种“看不见、摸不着、管不好”的粗放式管理方式,难以应对上述复杂挑战。在此背景下,“智慧水务”作为一种融合了现代信息技术与水务专业领域的创新范式,为破解这些难题提供了全新的解决方案。智慧水务并非简单的信息化叠加,而是通过构建一个覆盖“取水-制水-输水-用水-排水”全链条的数字孪生体,实现物理世界与信息世界的深度融合。它利用遍布于水源、水厂、泵站、管网、用户端的各类智能传感设备,如同为城市供水系统装上了“眼睛”、“耳朵”和“神经末梢”,实时采集海量运行数据;再通过高速通信网络将这些数据汇聚至云端或边缘计算节点;最终,借助大数据分析、机器学习、水力模型等先进算法,对数据进行深度挖掘与智能决策,从而实现对整个给水系统的精细化、智能化、主动化管理。

1 智慧水务的核心内涵与技术架构

1.1 智慧水务的概念界定

智慧水务(Smart Water)是指以保障水安全、提升水资源利用效率、改善水环境质量为目标,综合运用物联网、云计算、大数据、人工智能、地理信息系统(GIS)、数字孪生等新一代信息技术,对水务设施进行全域感知、全程监管、智能分析和科学决策,从而实现水务业务的自动化、协同化、智能化和最优化的新型水务管理模式。其本质是通过数据驱动,将水务系统的物理实体、业务流程和管理决策进行数字化重构,形成一个能够自我感知、自我诊断、自我优化、自我修复的有机生命体。

1.2 智慧水务的技术架构体系

一个完整的智慧水务平台通常采用分层解耦、模块化的技术架构,主要包括以下四个层次:

1.2.1 感知层(Infrastructure Layer)

这是智慧水务的“感官”基础。通过部署在水源地、水处理构筑物、加压泵站、供水管网关键节点(如阀门、消火栓、测压点、测流点)、二次供水设施及用户水表等位置的各类传感器,实现对水位、流量、压力、水质(浊度、余氯、pH、COD等)、设备状态(振动、温度、电流)等关键参数的7×24小时不间断、高频率采集^[1]。近年来,NB-IoT、LoRa等低功耗广域网(LPWAN)技术的普及,极大地降低了海量终端设备的接入成本和能耗,使得大规模布设成为可能。

1.2.2 网络传输层(Network Layer)

作为连接感知层与平台层的“神经”。该层负责将感知层采集到的海量异构数据,通过有线(光纤、以太网)

或无线（4G/5G、NB-IoT、LoRa、Wi-Fi）通信技术，安全、可靠、高效地传输至数据中心或云平台。5G技术凭借其大带宽、低时延、高可靠、海量连接的特性，为高清视频监控、AR/VR远程运维等高阶应用提供了坚实的网络保障。

1.2.3 平台层（Platform Layer）

这是智慧水务的“大脑”中枢。平台层通常基于云计算架构，提供强大的数据存储、计算和管理能力。其核心功能包括：数据中台对来自不同来源、不同格式的数据进行清洗、融合、标准化，打破信息孤岛，构建统一的数据资产。模型库集成水文模型、水动力模型、水质模型、设备健康预测模型、需水预测模型等多种专业算法模型。AI引擎提供机器学习、深度学习等AI能力，用于模式识别、异常检测、趋势预测和智能决策。数字孪生底座基于BIM+GIS技术，构建与物理世界完全对应的虚拟供水管网模型，实现可视化仿真与交互。

1.2.4 应用层（Application Layer）

这是智慧水务价值的最终体现。面向不同的业务场景和用户角色（调度员、巡检员、客服人员、管理者），提供一系列智能化的应用服务，如智能调度、漏损控制、水质预警、设备健康管理、客户服务、应急指挥、移动巡检等。

2 智慧水务在市政给水系统中的核心应用场景

2.1 水源地与水厂的智能监控与生产

水源地的安全是供水安全的第一道防线。智慧水务通过在水源地部署水质多参数在线监测站、视频监控、无人机巡检等手段，可对上游来水水质、周边环境变化进行实时监控。一旦发现污染风险（如藻类爆发、污染物入侵），系统能立即触发预警，并联动水厂调整预处理工艺。在水厂内部，智慧水务实现了从“经验驱动”向“数据驱动”的生产模式转变。通过在各工艺单元（混凝、沉淀、过滤、消毒）安装高精度传感器，实时监测进出水水质、药剂投加量、设备运行参数等。AI算法能够根据原水水质的微小变化，动态优化混凝剂、消毒剂的最佳投加量，在确保出水水质达标的前提下，显著降低药耗^[2]。同时，通过对水泵、鼓风机等大型能耗设备的运行状态进行实时监控和能效分析，可以智能调节设备组合与运行频率，实现节能降耗。

2.2 供水管网的智能调度与优化

供水管网是连接水厂与用户的“大动脉”，其运行效率直接关系到供水的安全性和经济性。传统的调度方式往往依赖调度员的经验，难以兼顾全局最优。智慧水务通过构建高精度的水力模型，并将其与实时SCADA（数

据采集与监视控制系统）数据进行动态耦合，形成了一个强大的“虚拟调度员”。该系统能够：（1）精准预测需水：结合历史用水数据、天气预报、节假日、特殊事件等因素，利用时间序列分析或深度学习模型，对未来24-72小时的区域需水量进行高精度预测。（2）优化泵站运行：根据需水预测结果和管网压力分布，自动计算并下发最优的泵站启停方案和变频设定值，在满足最不利点服务压力的前提下，实现全网能耗最小化。（3）动态压力管理（DPM）：通过远程控制管网中的调压阀（PRV），根据不同时段的用水需求，动态调整下游区域的压力。夜间低峰期适当降低压力，既能有效减少背景漏损，又能延长管道寿命。

2.3 管网漏损的精准探测与主动控制

管网漏损是全球水务行业的共性难题，也是智慧水务最具价值的应用领域之一。智慧水务通过“分区计量（DMA）+数据分析+AI算法”的组合拳，实现了从“被动抢修”到“主动控漏”的跨越。（1）DMA精细化管理：将庞大的供水管网划分为若干个独立的计量区域（DMA），每个DMA入口安装高精度流量计和压力传感器。通过持续监测DMA的夜间最小流量（NMF），可以快速识别出异常升高的区域，从而锁定疑似漏损范围。（2）AI驱动的漏损定位：利用声学相关仪、噪声记录仪等设备采集的管道声音信号，结合管网拓扑结构和水力模型，AI算法能够对漏点进行精确定位，将传统的人工听漏效率提升数倍。更前沿的技术甚至可以通过分析管网压力波的微小扰动，实现非侵入式的漏点在线监测^[3]。（3）爆管风险预测：通过对管道材质、管龄、埋深、土壤腐蚀性、历史维修记录以及实时压力波动等多维度数据的融合分析，建立管道健康度评估模型，提前预测高风险管段，指导预防性更换，防患于未然。

2.4 水质安全的全过程预警与溯源

保障“从源头到龙头”的水质安全是水务企业的核心责任。智慧水务构建了一个覆盖全流程的水质安全防护网。（1）在线监测网络：在水源、水厂进出水口、管网末梢、二次供水水箱等关键节点布设水质在线监测设备，形成一张严密的监控网络。（2）多级预警机制：当监测数据出现异常时，系统会根据偏离程度触发不同级别的预警（如黄色、橙色、红色），并通过短信、APP推送等方式通知相关人员。（3）污染溯源分析：一旦发生水质污染事件，系统可以利用水力模型反向推演污染物的扩散路径和时间，快速锁定污染源，为应急处置赢得宝贵时间。

2.5 客户服务的智能化升级

智慧水务不仅提升了内部运营效率,也极大地改善了用户体验。(1)智能远传水表(AMI):取代传统机械表,实现用水数据的自动、高频、远程抄收,彻底告别估抄、错抄。用户可以通过手机APP随时查看自家的用水量、日/月账单,养成节约用水的习惯^[4]。(2)用水异常提醒:系统能自动识别用户家中可能存在的持续滴漏、忘关水龙头等异常用水行为,并及时发送提醒,帮助用户避免不必要的经济损失。(3)线上服务平台:集报装、报修、缴费、开票、咨询等功能于一体,提供7×24小时的自助服务,提升服务响应速度和满意度。

3 面临的挑战与未来展望

3.1 面临的挑战

尽管智慧水务前景广阔,但在实际推进过程中仍面临诸多挑战:(1)数据壁垒与标准缺失:不同部门、不同系统间的数据格式、接口标准不统一,阻碍了数据的深度融合与共享。(2)初期投资成本高:大规模部署传感器、改造老旧管网、建设数据中心等需要巨额的前期投入,对许多地方财政构成压力。(3)复合型人才匮乏:既懂水务业务又精通IT技术的跨界人才严重短缺,制约了项目的深度应用和持续创新。(4)网络安全风险:高度互联的系统也带来了新的网络安全威胁,一旦遭受攻击,可能导致供水中断等严重后果。

3.2 未来展望

展望未来,智慧水务的发展将呈现以下趋势:(1)数字孪生深化:从静态的可视化展示,向具备实时仿真、预测推演和智能决策能力的高保真数字孪生体演进。(2)AI应用泛化:AI将从特定场景(如漏损定位)向全业务流程渗透,成为水务运营管理的“标配”。(3)“水务+”生态融合:智慧水务将与智慧城市其他板块(如交通、能源、应急管理)深度融合,共同构建城市生命线工程的韧性体系。(4)绿色低碳导向:智慧水务将成为水务企业实

现“双碳”目标的重要抓手,通过极致的能效管理和资源循环利用,打造绿色水厂和低碳管网。

4 结语

智慧水务绝非一场简单的技术革命,而是一场深刻的管理变革和理念革新。它通过将新一代信息技术深度融入市政给水系统的每一个环节,从根本上改变了我们认知、管理和运营这一城市生命线的方式。从水源地的智能守护,到水厂的精益生产;从管网的优化调度,到漏损的主动防控;再到面向用户的贴心服务,智慧水务正在全方位地提升供水系统的安全性、可靠性、经济性和可持续性。面对水资源约束趋紧、城市韧性要求提高的时代命题,加快智慧水务建设已不再是“选择题”,而是关乎城市未来发展的“必答题”。各级政府和水务企业应充分认识到其战略价值,加强顶层设计,加大投入力度,破除数据壁垒,培养专业人才,筑牢安全防线,稳步推进智慧水务从概念走向大规模落地应用。唯有如此,才能真正构建起一个与现代化城市相匹配的、智慧高效的供水保障体系,为人民的美好生活和城市的永续发展奠定坚实的水基石。

参考文献

- [1]刘勇.智慧水务在市政给水工程管理中的应用[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(14):202-204.
- [2]谭浩.大型市政给水管道项目设计要点与智慧化应用[J].给水排水,2025,61(S1):513-518.
- [3]邓颖.AI技术在智慧水务中的应用与前景[J].办公室业务,2026,(04):63-65.
- [4]裴长才,徐永建,马海翔,等.智慧水务工程中BIM+物联网技术的协同施工管理研究[C]//河南省豫商经济文化交流协会.2026中国城建经济研讨会论文集(下册).中建七局第四建筑有限公司;,2026:244-245.