

智慧水务下给水管道运维管理体系构建探析

方继

新平县水务产业投资开发有限公司 云南玉溪 653400

DOI: 10.32629/ems.v8i7.21160

[摘要] 城镇化快速发展下,城市地下给水管管道运维压力持续攀升,传统经验式运维存在监测盲区、决策滞后、应急能力不足等短板,难以适配城市供水安全保障需求。本文以智慧水务三层三体系架构为基础,厘清智慧水务与给水管管道运维的内在理论关联,剖析现有管网运维现存痛点,从感知、数据、决策、应急、保障五大维度构建全流程智慧运维体系,并结合多地标杆工程开展案例实证分析。研究成果能够完善供水管网智慧运维理论体系,同时可为国内城市给水管管道数字化运维改造提供可落地的实践参考,助力水务行业降本增效与安全管控升级。

[关键词] 智慧水务; 给水管管道; 运维管理; 数据中台; 智能感知; 应急调度

引言

在智慧城市建设推进的情况下,城市地下给水管管道运维的压力进一步加剧。市政管网普遍存在着管道出现老化、漏损情况偏高、爆管突然发生等问题,传统的人工巡检、依靠经验来进行决策的运维模式存在着监测存在盲区、数据出现割裂、应急表现滞后等短板,供水保障能力表现不足。智慧水务依靠数字技术能够赋能管网精细化运维,本文结合其四层发展阶段以及三层三体系架构,构建适配给水管管道的智慧运维体系,为管网运维数字化转型提供参考。

一、智慧水务与给水管管道运维管理的理论基础

1.1 智慧水务的内涵界定与演进逻辑

智慧水务是一种将物联网、云计算、大数据还有人工智能技术加以融合,并且对水务全业务链条进行覆盖的数字化管控模式。其核心之处在于依靠全域数据联动,从而摆脱传统水务粗放式的人工管控模式,达成水务运行的自主感知、分析以及调控。行业的发展是遵循着循序渐进的迭代规律的,依次经历设备自动化、业务信息化、全域数字化、全域智能化这四个阶段,从单一设备进行就地控制,逐渐发展成为系统进行线上归档、全域数据实现互通,最终实现基于算法的风险预判以及动态自主调度,以适配供水管网精细化运维的发展方面的需求。

1.2 给水管管道运维管理的基本概念与内在要求

给水管管道运维管理是针对市政输水管道、阀门、消火栓等这样一些管网设施,开展全生命周期巡检、隐患排查、故障抢修、压力调度、漏损管控等方面的专项运维工作。结合地下管网隐蔽性比较强、运行工况容易波动、故障影响范围比较广的特点,运维工作需要满足四项硬性要求,也就是实

现管网工况全天候实时监测、前置故障风险预警、打通多部门运维业务协同通道、保障运维系统长期迭代兼容,以此来守住城市供水安全的底线。

1.3 智慧水务与管道运维管理的理论关联与赋能机制

二者具备高度契合的发展目标以及转型路径,均是以降低管网漏损、压缩运维成本、保障稳定供水作为核心导向,并且数字化升级路径是完全同步的。在降低管网漏损方面,都致力于通过精准监测和及时修复减少水资源浪费;在压缩运维成本上,都期望借助先进技术提高工作效率、减少人力物力投入;在保障稳定供水时,都以满足居民和企业的用水需求为根本。数字化升级同步体现在都积极引入物联网、大数据、人工智能等技术,推动运维管理向智能化、精细化方向发展。在实际赋能的过程当中,智慧水务依靠前端感知来补齐地下管网监测盲区,比如通过压力传感器实时监测管网压力变化,通过流量传感器精准掌握水流情况,一旦出现异常就能及时发现。依靠数据中台来破除跨部门数据壁垒,将原本分散在不同部门的数据进行整合和共享,实现数据的融通和高效利用。依靠智能算法来替代人工经验决策,通过对大量数据的分析和挖掘,做出更加准确、科学的运维决策,从数据采集、数据融通、运维决策这三个层面,全方位地弥补传统管道运维的固有缺陷。

1.4 “三层三体系”技术架构的管道运维适配性分析

智慧水务通用的三层三体系架构与管网运维业务是高度适配的。感知层负责采集水压、流量、异响等管网原始运行数据,打通地下管网数据黑箱;数据层完成多源运维数据清洗整合,构建统一数据底座;应用层面向检漏、抢修、调度输出专属运维决策。配套标准、安全、运维这三大支撑体系,

分别规范设备接入标准、防范管网涉密数据泄露、保障软硬件长效运维,全方位支撑智慧管网运维平稳落地。

二、智慧水务下给水管道运维管理体系构建策略

2.1 构建全域感知网络,提升管道实时监测覆盖能力

传统的管网运维工作,依赖于定点监测以及人工巡线的,监测点位是集中在主干管网之处的,支线管网、老旧管网以及山区隐蔽管网存在着长期监测空白的情况,微小暗漏、缓慢腐蚀这类隐性故障难以被及时捕捉到,容易演变成大规模爆管以及水资源流失的状况。全域感知网络的建设工作需要依托物联网通信技术以及分布式传感设备,要结合管网 GIS 地理信息台账,按照分区、分级、分路段的原则去做布设工作,布设监测终端,针对高风险管段去做加密工作,加密传感设备,依托数字孪生沙盘去实现管网运行状态的可视化复现,搭配流量时序分析算法去识别夜间微小流量异常情况,从被动故障抢修转变为主动隐患预判,补齐地下管网全空间、全时段监测所存在的短板。

眉山市丹棱县针对县域山区供水管网所具有的分散、跨度大、人工巡检难的特点,去落地全域感知智慧水网工程,构建一个体系,此体系是物联感知体系,其覆盖全县城乡一体化供水管网。项目在全域去做布设工作,布设监测终端,实现 2 座主力水厂、54 座加压泵站、24 座高位调蓄水池的全覆盖,配套数千个分布式水压、流量、水质监测点位,完整覆盖县域全部输配水管网。平台搭载数字沙盘可视化系统,三维还原地下管网空间位置、设备参数以及实时运行工况,同时搭载夜间小流量分析模型,在夜间低用水负荷工况下剥离正常用水流量,精准甄别管网暗漏点位,解决传统检漏效率低、定位偏差大的难题。项目落地之后,管网漏损率大幅下降,年节约水资源 100 万吨,压缩水务运营综合成本近 300 万元,减少第三方管网探测外包依赖,年节约外包费用 600 万元;供水稳定性提升直接降低居民用水投诉,投诉率同比下降 63%,每万人投诉率仅为万分之 3.5,位居眉山市供水行业首位。

2.2 搭建统一数据中台,打破信息孤岛实现数据融合

国内的水务企业长时间地进行分期建设,建设起独立性质的业务平台,由于通信协议以及数据格式存在差异化情况、设备接口存在不兼容情况,形成了数量较多的数据孤岛,导致运维人员没办法以一站式的方式调取多维度的数据,很难开展综合性的运维分析工作。具备统一性的数据中台以标准化的接口作为核心内容,开展归集动作,归集多源异构的数

据,开展清洗动作,清洗多源异构的数据,开展转换动作,转换多源异构的数据,开展存储动作,存储多源异构的数据,打通全业务链路方面的数据,构建起具备一体化特征的管网数据资源池,依托空间地理算法达成一网统管的目标,缩短数据调取以及空间分析的响应时长,为上层的智能决策提供具备统一性的数据底座。

莆田市的智慧供排一体化运营管理平台成功地入选了住建部 2025 年全国智慧水务典型案例,并且获得了综合类的第一名,该平台总投资达到 2918 万元,开展搭建动作,搭建起全域专属的数据中台,该中台具备兼容多品牌多代次物联网设备的能力,接入了 90 余万台终端,破解了设备协议不统一、数据互通方面的难题。该平台开展整合动作,整合 2000 余公里市政管网 GIS 数据,开展归集动作,归集 80 座厂站 SCADA 数据、70 余万用户用水数据以及 27 万台管网附属设备台账数据,日均处理超过 10TB 的运行数据。依托算力支撑,将管网空间分析等指令响应控制在 3 秒以内,实现全市供排水管网一体化可视化调度,解决数据割裂以及协同效率低的问题。

2.3 引入智能分析模型,推动运维决策从经验向数据驱动转型

传统给水管道运维决策,这种决策是高度依赖于管理人员所拥有的经验的,是基于现场的实际工况以及过往出现的案例来制定相关计划的,这样做主观偏差是比较大的,很难精准地去预判像水锤、管道老化这类隐蔽的风险。根据相关统计,市政方面有压力的给水管道,70%-80%的突发性事故是由水锤压力出现波动而引发的,靠人工去进行调度是没办法适配瞬时水压出现的变化。进行一个引入操作,引入人工智能所做的分析模型,依靠海量的历史案例来对算法进行训练,建立起水力仿真、水锤风险预测以及管道老化衰减这些模型,从而实现管网风险的自动研判以及运行参数以分钟为单位的动态调控,用这个来替代人工经验去完成全流程的决策,提升运维方案的科学性以及精准度。

株洲市依靠本地水务装备产业所具有的优势,开展研发工作,研发泵管阀系统 AI 智能体管阀千问,打造出专业化的供水管网智能运维决策系统。研发团队收集并归集 1 万余组真实的泵站水锤防护实测案例以及 1 万余次现场运维的原始记录,把经典流体力学水锤理论和智能监测终端的实时数据进行耦合,构建出适合市政有压给水管道的专属 AI 模型。该系统能够全天候地监测管网压力的瞬态变化,提前去预判水锤冲击的风险,在 5 分钟之内完成全管网的精准动态调度,水

力仿真模型的运算精度能够达到 96.1%。系统落地之后能够有效地规避爆管、接口脱落这类事故,减少无效的人力以及设备的损耗,全年能够节约运维成本 380 万元,实现运维决策从以经验为主导朝着由数据智能进行驱动的转变。

2.4 建设智慧应急调度系统,增强防汛排涝与突发事件响应效能

城市给排水管道所出现的突发事件涵盖突发爆管情况、汛期管网积水现象、外力施工破坏状况、极端天气水压异常波动等多种类型,传统的应急调度存在着跨部门数据不畅通、停水范围预判不准确、抢修路径规划不合理、防汛供水调度滞后等方面的问题,山地城市、沿江城市的管网应急处置难度得到了进一步的提升。智慧应急调度系统依靠全域管网大数据以及城市政务数据,横向去对接市政、交通、应急、城管等多个部门的平台,纵向去贯通各级供水企业的运行数据,搭载爆管识别、积水研判、停水模拟等专属的 AI 模型,能够在突发事件发生之后自动去推演受影响的供水区域、预估停水的时长、规划最优的抢修路线以及防汛供水调度方案,达成应急事件自动预警、智能研判、一键联动、闭环处置,全面地压缩应急处置所耗费的时间。

重庆市基于山地超大城市管网地势起伏大、管网压力梯度变化明显、应急调度复杂度高这样的地域特征,建成全国首个适配山地城市工况的供水全域水力模型,配套搭建专业化的城市供水全周期智慧应急调度平台。该平台归集全市 18000 余公里市政供水管网的全量空间以及设备数据,累计沉淀 5480 万条管网动态运行数据,日均实时处理工况数据 20 万条以上。平台横向接入 13 个市级政务部门的专项数据,纵向连通中心城区 8 家规模化供水企业的全部运行系统,构建全域一体化的应急调度体系。系统搭载 AI 爆管智能分析模型,能够自动识别管道突发的破损故障,精准划定停水覆盖的片区,同步生成抢修施工方案以及临时供水保障策略。目前该平台覆盖重庆全部 41 个行政区县,以渝中区大口径主干管网故障为例,500mm 管径给排水管道突发爆管之后,系统能够快速完成风险研判以及调度部署,整体供水恢复时长压缩至 5 小时以内,大幅降低管网突发事件对城市民生供水以及市政运行的负面影响。

2.5 健全标准与安全支撑体系,保障运维系统长效稳定运行

对于感知、数据、应用这三层业务体系的稳定运行,依赖于统一标准、网络安全、运维保障这三大支撑体系的。当

前,国内智慧管网运维行业存在着一些问题,诸如设备接入标准不统一、数据传输规范混乱、系统运维流程不统一、管网涉密地理信息防护薄弱等情况,这些问题导致了不同城市以及企业的系统无法进行复用,并且网络数据泄露的风险较高。行业通用标准能够对智能巡检、数据交互、客服服务全流程的规范进行统一;网络安全体系针对涉密 GIS 数据以及用户隐私数据构建加密防护;常态化软硬件运维体系保障前端传感设备以及后台平台稳定运行,以此确保系统能够长期合规、安全、高效。

济南水务集团联合全国头部供水企业以及专业平台,立足于北方城市供水运维的痛点,牵头发布《质量分级及“领跑者”评价要求供水厂智能巡检系统》与《供水智能客服》这两项团体标准,对行业空白进行填补。标准明确了智慧管网运维全流程的量化评价体系,围绕智能巡检覆盖率、设备异常预警准确率、故障响应时长、智能辅助决策有效性等核心指标来制定分级规则,新增方言智能识别优化、低温管网防护等本土化指标,对电子工单流转、智能客服质检、用户画像分析等数字化运维流程进行规范,为北方城市智慧给排水管道运维提供统一的参考,推动行业从碎片化走向标准化发展。

结语

本文基于智慧水务三层三体架构,对数字技术与给排水管道运维的耦合机理进行剖析,从感知、数据、决策、应急、保障这五大维度构建闭环智慧运维体系,并且结合多地案例对可行性进行验证,能够破解传统运维的短板,助力水务数字化转型。研究存在水力模型适配场景有限的不足,后续将结合不同地域管网工况对智能运维模型进行优化,提升体系的普适性。

[参考文献]

- [1]陈璜. 探析智慧化供水管网管理体系建设[J]. 城市勘测, 2019(S01):3.
- [2]杨琪, 王一峰. 探析物联网技术在智慧水务中的应用[J]. 数字通信世界, 2025(4).
- [3]沈春山. 城市供水中的智慧水务系统探析[J]. 设备管理与维修, 2024(14):104-106.
- [4]张卿文. 智慧水务建设路径与发展战略探究[J]. 农业科技与信息, 2018(6):2.
- [5][赵同强. 数字孪生水利工程关键技术应用探析[J]. 现代建筑工程技术, 2025(3).