

供水管网水力模型在区域供水管理中的应用分析

冯 超

(西安水务(集团)李家河水库管理有限公司, 陕西 西安 710061)

摘 要 随着城市化进程加速, 供水系统运行管理面临日益复杂的挑战。区域供水管理单位作为供水网络的运营主体, 亟须借助水力模型提升管理精细化水平。本文从管理单位实际需求出发, 系统探讨供水管网水力模型在案例区域中的应用路径, 包括模型构建方法及在多场景下的具体实践, 旨在为同类单位提供可借鉴的技术与管理经验, 推动供水系统安全、高效运行。

关键词 区域供水; 管理单位; 供水管网; 水力模型

中图分类号: TU991; TV212

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.30.032

0 引言

城市供水系统是保障民生与经济发展的重要基础设施, 其运行效率与可靠性直接影响公众生活质量与社会稳定。当前, 随着供水规模扩大与管网结构复杂化, 传统经验型管理方式已难以应对多变的运行工况与突发事件。水力模型作为模拟与分析管网水力状态的重要工具, 已在国内外部分大型水司中得到初步应用, 但在区域供水管理单位中的推广仍面临数据、技术与人才等多重制约。因此, 从管理单位视角系统研究水力模型的应用模式与实施路径, 对提升区域供水系统运行水平具有重要的现实意义。

1 供水管网水力模型在区域供水管理中的案例

1.1 案例概况

案例部门管理 100 平方公里区域, 300 公里供水管道, 应用 GIS、收费管理和远程监控系统实现标准化管理。通过数据更新、交叉核验和系统普查确保数据准确, 设有 22 个流量监测点、40 个压力单元及 500 余台智能水表, 实施全天候监测维护。7 月启动管网水力模型搭建并完成验收, 年内分步推进业务化, 实现管理信息化与精细化升级。

1.2 模型构建

在项目规划之初确定 GIS 系统对接动态数据的关键要素和处理流程, 调研原始数据在各系统的存储现状, 制定数据导出导入模型的操作方案, 初步规范数据格式; 核查水厂、加压站和管网监测点等关键设施与 GIS 数据的对应性, 整理水厂送水泵房与增压站的

工艺图纸; 同步处理 GIS 数据中的拓扑连接故障、相邻节点不一致及用户编码错误; 筛选合适的建模平台, 待基础调研数据采集工作结束后, 基于第一阶段数据整理研制了水力模型测试版, 数据处理系统的配置与运行符合预期, 数据规模及质量达到建模要求, 空间数据库的管道规格及材质参数齐全, 未发现明显差错, 采集时段内监测无间断, 错误条目占比与预估相符, 借助初步建立的水力模型明确了下一阶段任务重点。

基于测试阶段水力模型的评估反馈, 围绕管网监测设备、水厂与增压站等核心设施实施空间坐标与高程测量, 对重点阀门开关位置实施核查, 实现 GIS 系统数据刷新; 为管网监测系统增加流量实时监测与 10 分钟周期数据批量导出能力, 纠正 GIS 数据明显偏差, 完成 GIS 系统水表及消火栓分区属性升级, 根据实测获得的 15.83% 产销差及 12.11% 综合漏损结果, 因管网中消火栓节点的空间分布具有均衡性, 模型架构采用增压站分隔的双片区拓扑结构样式, 将未计量水和漏损水按比例分配至各个消火栓节点, 进行初步整理后, 获取月度完整数据再加以筛选。按照拓扑架构逐步实现 SCADA 数据和营收数据的导入操作, 分三个步骤构建水力模型, 在模型建立时同步完善数据体系。在模型校准环节, 查出 1 组流量数据和 4 组压力数据存在误差, 开展流量计参数校准工作, 同时检查管路配套设施, 发现 1 处阀门未开启, 完成 4 处压力计的硬件维修和高程参数确认。经过精度验证, 模型精度符合《城镇供水管网模型构建与应用技术规程》相关规定。

由于水力模型迭代验证所需时间较长,需对模型开展验证分析,同时进行模型实际应用场景的可行性分析。当前版本水力模型构建过程与 9 月版基本一致,依据整月数据开展筛选与建模流程,并更新了监测系统中新增设备的布点。实施经校核的更新水力模型后,与 9 月版相比,模型精度略高,满足城镇供水管网建模的技术要求^[1]。

1.3 模型应用价值

1.3.1 分析供水管网低压区域的成因并提出相应的改善策略

通过水力模型探究供水管网压力分布规律,明确低压地带出现的原因,为增强供水稳定性提供依据。服务区中识别出数个低压集中地带,其中两个用户密集区需重点监测。两个低压点成因存在明显差异:一处因地形升高和管道沿程水头损失导致,另一处因输水管线延伸过长,水厂远端水头损失增大。企业已将老化管道列为首批技术改造对象,预计可改善水压和稳定性;后者计划实施管道新建工程以实现双线供水,预计能有效提升用水高峰时的水压稳定性。

1.3.2 制定转压站调度优化方案

以降低供电成本和减少漏损为重点,针对服务范围西侧供水情况进行优化。西侧采用转压站加压供水,公共供水管网压力较大,且西侧边界因连通外围管网、用水集中,导致管网末端压力降低。运用水力仿真方法改进转压站调度方式:一是通过阀门节流控制,使外部和内部管网由不同泵房分开供水,实现区域分级加压,先保证外部管网压力,同时控制内部压力;二是分析管网压力临界点对应的出站压力需求,作为调度方案实施依据。利用水力建模既验证关阀决策,又标定最不利节点,使优化分析过程更清晰可靠。

1.3.3 开展管道连通模拟分析

为管控该区域管网压力水平,完成该管道与外部供水网的连接,施工前期采用水力仿真评估管道连通后的流态变化情况。由于管道接口位置超出服务区边界,使用扩大计算域的方法覆盖用水量预测边界。针对外部用户用水数据录入模型困难的情况,使流量边界直接与主枢纽节点关联,将外部流量影响纳入考虑范围,同时避免复杂的数据采集过程。实测值与仿真数据偏差较小,说明水力模型计算结果可靠。

1.3.4 进行关阀操作模拟计算

施工中若需切断管道供水,则需操作阀门关闭。依据管网拓扑结构可明确停水波及范围,基于水力建模对关阀造成的流量变化进行模拟,对比关阀前后的流向与压力差异,为方案选择与用户告知提供参考。

该地块市政管道连接施工过程中,待建管道需与主输水管线实现对接。工程实施需缩小停水影响范围,基于多套关阀方案模拟试验,不同方案的工期长短与降压程度相互制约:有的方案降压效果不佳但工期较长,有些方案实施时间短但影响范围广。需选取对终端用水影响最小的技术途径,确保工程如期完成^[2]。

1.3.5 水力模拟结果与实测数据对比分析

该模型虽经水力校核且合格,但因检测点数量有限,且依赖人工分析,部分管网部件的连接状态或阀门开度可能与实际不符。环状管网的使用会减弱特定水力异常的干扰,降低其可识别性。在系统处于关阀停运等工况时,流体集中程度加大,异常信号会被放大。对比仿真数据与实际测量结果,有助于核查模型准确度及查找问题。就某次供水中断事故而言,多个监测点压力下降幅度明显超出预期,排查后发现是上游某阀门开启度不足,这表明水力模型与管网现状存在差异^[3]。

2 供水管网水力模型的问题及解决对策

2.1 项目进度可能无法完全按计划推进

在水力模型建设前期立项阶段,供水系统运行状态的建模调研多处于基础层面,供水管理团队对模型的认识不足,建模团队的数据掌握程度不高,这为后续工作埋下隐患。特别是 GIS 数据的可靠性、监测数据的完备性与提供便利性,会直接影响水力模型的可靠性。

案例考察发现,因管理辖区面积有限,供水单位技术团队对数据运行状态了解充分,在日常工作中不断强化数据质量,在模型搭建过程中同步完善数据质量(依靠统一软件环境,实现问题分析与修正整合),从而提前实现建模目标,在预定周期内初步建立模型,并完成模型的全面优化。

2.2 数据收集的完整性与准确性有待验证

实现离线建模需监测数据采集频率足够,采样点数量充足且分布均匀。平时供水管理时,专业系统搭建与设备配置主要服务于业务部门,数据采集频度设定、应用匹配和点位配置未协调好,导致采集结果存在偏差。

在此次研究中,基于信息化建设高效推进,数据采集过程问题不大,采取阶段性应对措施:因水厂系统数据库格式限制造成导出功能无法使用,通过备份存储数据开展建模分析;因市政远传监测系统无最小时间间隔的数据导出选项,对其功能进行了优化^[4]。

通过前期开展大用户管理和降漏损实践工作,分阶段推动用户远传水表普及,并配置了分区流量计量

设备,在供水系统薄弱环节设置了密集压力监控点,形成的数据体系有力支撑了水力模型构建。然而部分地段监测装置覆盖不足,影响水力模型验证的可信度。考虑到设备布点与安装周期长,供水管理部门应提前做好工作规划。

2.3 离线模型的更新频率可能无法满足实时需求

此案例采用离线水力建模方法,数据采集与模型训练均需投入时间精力。模型校核完成后,模型数据时间戳与当前存在季度偏差,管网结构的改变以及重点用户用水量的波动会影响模型反映现状的准确度,且时间越久变化越大,已有建模结果的可靠性会递减。若跳过重复校核步骤,可靠性评估就缺乏支撑。该案例虽在项目周期内完成了模型迭代,但项目结束后,因技术力量与人力不足,更新实施始终依赖项目基础。由此案例可知,6月底边界低压供水管网实施了大规模管道衔接工程,随着低压区运行状况的改善,系统整体流量与压力分布格局出现明显调整,与3月的水力模型相比存在较大偏差。

考虑到水力模型全面升级无法快速落地,本研究采用分段更新手段保证模型功能完备:先针对显著的管网变动进行图纸补充,同时完成临近监测点的数据校验;接着针对水厂季节性供水量的差异,全面校准需水量调节系数,使水力模型的水厂水量输出值接近实际测量供水值^[5]。

2.4 向相邻管网的水量输出可能存在波动

与对照区域大用水户的用量相比,输往相邻管网的水量往往更大,对管网水压的影响也更显著。这部分水量受相邻区域水厂和管网运行调控的制约,预测易出现误差,其动态变化量在水力建模时也难以准确量化。若本区域与周边管网形成环状结构,水压变化会沿相邻管网扩散,干扰本区的水力模拟结果。

对于本地大型用户或存在单向供水联系的相邻管网,可通过压力驱动公式推导压力与用水量的对应关系,但公式关键参数需根据工程实际情况确定。若供水系统采用跨区域环状管网,则需额外收集管网外围环状结构的数据,对模型进行水力补充,直至管网实现对外输水开展有效模拟分析,需采用单向水流模式方可实现。

2.5 供水管理单位需加强对模型理论与实操工具的掌握

此问题贯穿水力模型开发与实施全过程。由于供水管理机构的重点工作集中在供水安全及运行保障方面,进行用户服务,缺乏设计院那样充足的技术资源

积累,在建立模型时可能未完全把握理论内涵和实施初衷,导致实施推迟或成效不显著;在模型实际应用阶段,或许难以兼顾全面铺开与精准操作^[6-7]。

在此背景下,供水管理部门需挑选既有责任感又善于不断学习的项目管理人才,与技术过硬的建模团队协作,这是确保模型构建与应用效果的关键。项目开始时制定周密的技术规划,管理人员需深入掌握该模型的理论要点,在建模执行阶段不断深化技术认识,保障项目顺利推进。在开展模型实践时,参照建模单位展示的操作范例,项目团队充分挖掘自身数据与人力优势,依据生产需求探寻模型落地办法,取得显著成效,提升了模型可靠性,实现了模型应用与日常业务的良好融合。

3 结束语

本文从区域供水管理单位的实际业务出发,系统阐述了供水管网水力模型在低压区改善、调度优化、管道连通分析、关阀模拟及数据验证等多个方面的应用价值,体现出模型辅助管理决策的重要作用。同时,指出模型在项目推进、数据质量、更新机制、边界水量波动以及人员专业能力等方面可能存在的问题,并提出了相应的改进对策。未来,随着传感技术、云计算与人工智能的不断进步,水力模型将朝着实时化、智能化与业务深度融合方向发展。区域供水管理单位应积极加强数据基础建设与技术团队培养,推动水力模型由离线辅助向在线决策支撑转变,全面提升供水系统精细化管理水平。

参考文献:

- [1] 康引引,杨坤,刘俊,等.基于阀门隔离区域的供水管网管道故障韧性评价模型[J].净水技术,2023,42(10):131-138.
- [2] 刘升升.城市供水管网改扩建智能优化技术与实践[D].青岛:青岛理工大学,2023.
- [3] 侯建楠,李鑫,陶其育.城市区域供水管网背景漏失控制研究[J].海河水利,2023(01):79-82.
- [4] 陈京钰,冯新,肖诗云.一种基于压力测点报警等级的供水管网泄漏区域识别方法[J].给水排水,2022,58(10):173-179.
- [5] 施焯.基于区域供水实际的供水管网分区及漏损控制[J].净水技术,2021,40(S2):1-5.
- [6] 曹萍萍,陈群力.区域网格化管理在降低供水管网漏损中的应用[J].城镇供水,2021(03):61-65.
- [7] 杨军.城市供水管网漏失信号识别及区域定位方法研究[D].西安:长安大学,2020.