

市政排水系统厂站网一体化调度应用

张爱平

(上海市排水管理事务中心, 上海市 200001)

摘要: 随着城市化进程的加速,城市排水系统的运行面临着越来越大的挑战。传统的排水系统管理模式存在调度决策支撑不足、效率较低等问题,无法满足现代排水系统精细化管理的需求。探索排水系统厂站网一体化调度模式,对于提高排水系统实际运行效率和管理水平具有重要意义。对上海市某片区市政排水系统厂站网一体化调度应用进行研究,搭建厂站网一体化调度平台,集成排水设施基础数据、物联感知监测数据以及水雨情气象数据数据库,以污水管网干线模型为计算引擎,实现排水运行日常监管、一体化调度支持实际应用等功能,为排水系统高效平稳运行提供支撑。

关键词: 市政排水;一体化调度;排水运行;泵站放江;防汛指挥

中图分类号: TU992.01

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)06-0188-04

0 引言

随着城市化进程的不断深入,城市排水系统的运行和管理面临前所未有的挑战。传统的排水系统管理模式往往存在运行不协同、调度响应慢、设施效率低等问题,无法满足现代城市发展的需求。为了解决这些问题,研究排水系统厂站网一体化调度模式成为了迫切需要。

Smith等^[1]对排水系统厂站网一体化调度的关键技术和方法进行介绍,指出了未来研究的发展方向。Brown等^[2]详细讨论了排水系统厂站网一体化调度的实践应用和优化策略。Green等^[3]重点探讨了排水系统厂站网一体化调度的可持续性方面。国内关于排水系统厂站网一体化调度的研究成果丰富多样,李明^[4]引入了大数据分析技术,提出了一种基于神经网络的预测模型,开展一体化调度优化研究;张宁^[5]关注了物联网技术在排水系统厂站网一体化调度中的应用;王勇^[6]将云计算技术引入到排水系统厂站网一体化调度中。李华^[7]关注了能量优化在排水系统厂站网一体化调度中的重要性。

综上,当前国内外学者为排水系统厂站网一体化调度打下良好的理论基础,但是以管网模型为基础的排水运行日常监管、一体化调度支持等典型场景上的应用相对较少。本文在厂站网一体化调度理

论研究的基础上,开展实际调度应用研究探索,将污水处理厂、排水泵站和排水管网作为一个整体进行调度和控制,构建数据库以搭建污水管网干线模型,优化典型排水系统内一体化调度方案,并结合实际应用,在排水运行日常监管、一体化调度支撑两项典型应用领域进行探索研究,辅助实现排水系统的统一管理和高效运行。

基于现有理论研究基础及多源监测数据,构建数据库并对数据进行治理、分析,在数据库基础上开展厂站网一体化调度模型建设并不断迭代优化。如图1所示,开展典型市政排水系统的厂站网一体化调度方案研究,通过多场景模拟优化调度算法,分析厂站网一体化调度方案在实际应用中的效果。搭建厂站网一体化调度平台,以模型模拟成果为支撑,开展排水运行日常监管、一体化调度支撑应用场景建设。

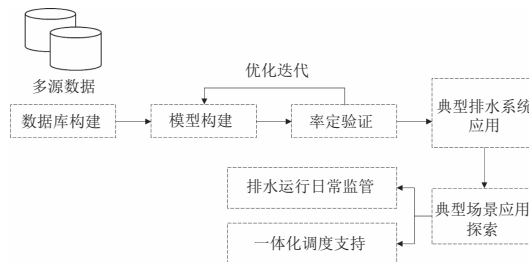


图1 厂站网一体化研究框架

1 数据库构建

1.1 数据库构建

建立覆盖市政排水系统的数据采集及监测体系

收稿日期: 2024-01-08

作者简介: 张爱平(1971—),男,学士,高级工程师,从事排水管理工作。

是厂站网一体化调度的重要基础。根据厂站网一体化调度目标,实际监测中采取在线监测与人工监测相结合的方式,监测覆盖“源头—过程—末端”全过程要素。人工监测指标主要包括液位监测、流量监测和水质监测,在线监测指标包括雨量监测、液位监测、流量监测和水质监测,典型数据监测请见表1。

表 1 典型监测指标与意义

监测环节	监测指标	监测意义
天气情况	雨量	掌握降雨情况,支持预警及水量变化分析
管道重要节点监测	流量水质	为各泵站调度提供数据支撑
泵站及污水处理厂	流量水质	为污水处理厂调度提供数据支撑;分析纳污分区排污水量水质变化规律

数据库数据包括静态设施数据、运行监测、统计报表、养护档案等各类数据。通过将公共排水管道、城镇污水处理厂、泵站、下立交监测站点和道路积水监测站点的基础数据和运行信息等数据的集成整合,为市政排水系统一体化调度管理提供信息支撑。市政排水系统监测布点如图2所示。

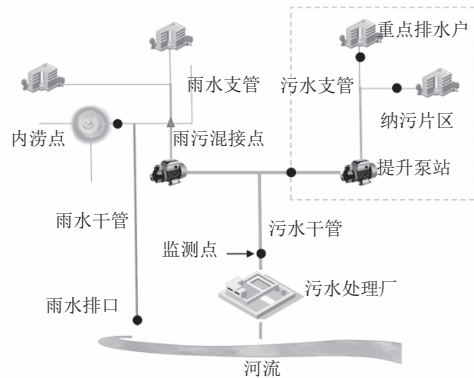


图 2 市政排水系统监测布点示意

1.2 标准化入库

数据标准化入库,包括建库管理、数据输入、数据查询输出、数据维护管理、数据库安全管理、数据库备份恢复、数据库外部接口等。从业务数据库、在线监测数据库、地理信息数据库、基础设施数据库、文档多媒体数据库五种类型优化数据存储。

1.3 数据治理

数据治理的治理逻辑支持自定义配置,包括自定义配置规则名称、治理数据变量、治理条件、治理方式等规则信息,并对系统治理规则统一管理。

根据管网模型建设及厂站网一体化调蓄需求的数据类型,选择系统治理数据变量;系统治理条件,包括离群值、低频值、缺省值、空值的判断;系统治理方式,包括线性插值和前一天同时段的正常值替换;系统内所有已配置好的治理规则,可对其进行编辑、

删除、筛选、查询。

针对污水厂、泵站、管网等排水设施,根据设施运行和防汛需求,给出管网流向及实时监测预警范例(见图3)。



图 3 管网流向及实时数据监测预警

结合历史数据制定数据治理规则,设置提示、预警和报警阈值,监测预警流程如下。

(1)实时监测:部署在各关键节点的传感器,实时监测液位、流速、流量、水质等参数,通过无线网络(如5G/4G/WIFI等)将采集到的数据实时上传。

(2)数据分析:对收集到的数据进行实时分析,绘制趋势图表,并结合运行数据生成区域水位和流量风险图。

(3)预警功能:当监测数据出现异常,如液位过高、流速过低、流量过大或过小等情况时,将自动触发告警机制。

2 模型构建

本研究收集了模型构建所需的供水、人口、土地利用、气象、地形等基础数据,以及管网、泵站等排水设施设计运行数据。基于模型构建可靠性要求,开展数据导入、模型拓扑问题核查和修正工作,基于修正后的管网拓扑构建污水干线模型并开展模型率定验证。基于污水干线模型开展排水运行日常监管与一体化调度支撑研究。图4给出模型建构与应用流程。

2.1 基础数据收集与整理

按照一体化调度需求,确定模型构建目标、范围和深度,收集模型构建所需的数据,主要包括供水、人口、土地利用、气象、地形等基础数据,以及管网、泵站等排水设施设计运行数据。

2.2 管网拓扑梳理

针对检查井编号重复、检查井编号缺失、排水管道上下游连接不连通或者孤立存在等问题,对排水管网数据进行整理分析并修正。

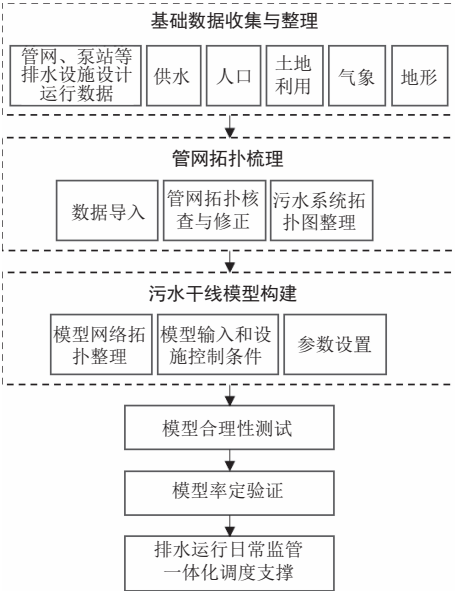


图4 模型构建与应用流程

2.3 污水干线模型构建

基于修正后的管网拓扑构建污水干线模型(见图5),并设置水文水动力参数。

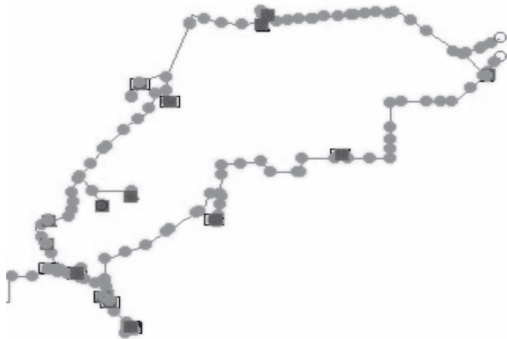


图5 污水干线模型

2.4 模型率定验证

选取2020年全年的流量数据,以厂前配水井为率定点位进行率定验证,最后经模型评价后进行模型的分析与应用。

3 优化调度

3.1 排水运行日常监管

综合考虑季节、降雨、时间类型等因素,结合模型输出成果、城镇污水处理量、城镇污水厂出水水质以及污水处理设施负荷率等,针对超标水量或水质情况特殊标识,从数据角度支持厂站网一体化运行策略。

同时结合结合物联网监测数据与水动力模型,对管网的充满度、满管率进行分析,推断管网淤堵区域和淤堵程度,并根据预设规则对管网淤堵程度评级,便于划分维护优先次序,提高管网维护效率,最终形成统计报表并在地图叠加展示,以辅助排水运

行优化策略调整。污水厂水量水质调度平台界面如图6所示。



图6 污水厂水量水质调度

通过排水系统厂、站、网一体化调度建设实现对城镇排水系统的污水处理厂、雨污水泵站和排水管网监测体系的协调运行,提升污水处理厂平稳运行、排水干线与泵站平稳输送、排水管网“两水平衡”运行能力,减少污水溢流和泵站放江污染,加强服务区域防汛预警,保证整个排水系统运行安全和高效。

结合防汛泵站清淤计划,对泵站闸门启闭、水位设定、运行模式、截流模式等进行精细管控,优化泵站运行策略,同时采集的数据及模型评估结果为泵站水环境影响评估和优化运行维护提供数据支撑。图7所示为泵站放江控制智能应用平台界面。



图7 泵站放江控制智能应用

3.2 一体化调度决策支持

3.2.1 污水干线

为支持厂站网一体化调度,通过现状污水系统精细化水力模型的构建,在污水系统运行现状评估、厂站网调度方案优化、应急辅助决策等方面得到广泛应用。在现状污水模型的基础上,可通过改造情景的模拟分析对新建或改建排水系统的规划或设计方案进行评估。

以上海市中心城区某污水片区为例,以污水系统的平稳输送为目标,通过构建的片区污水干线模型对污水片区的关键节点泵站运行调度策略进行模拟分析。排水行业实时通讯(Real-Time Communications,简称RTC)运行控制策略对于厂站网一体化

实时调控,优化排水效能极为重要,基于关键节点不同的 RTC 运行控制策略组合设置,对污水干线的关键敏感节点泵站进行了运行控制方案的优化效果评估。评估优化的比选方案可为上海中心城区厂站网一体化调度方案的制定提供决策支持。

根据流量逐级匹配的原则,从末端总流量往前逐级分配相应流量,形成控制方案,节点泵站的控制调度通过 RTC 设置实现。采用 2020 年 7 月份运行数据进行模拟优化,采用优化方案前后模拟结果对比如图 8 所示。

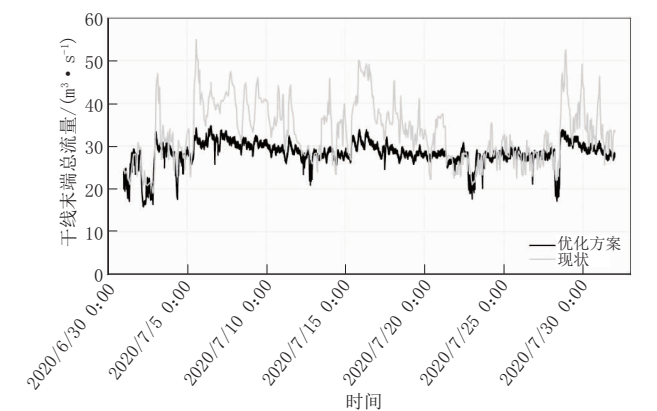


图 8 上海中心城区某片区平稳输送运行调度优化效果对比图

通过对主要节点泵站的输送流量进行控制,片区干线末端总流量大部分时间可保持在控制目标 $29\text{ m}^3/\text{s}$ 以下,同时保证片区内无污水冒溢的情况发生;优化方案的进厂流量在 $[15.87, 34.82]$ 范围内波动,而现状流量的变化范围是 $[19.03, 54.98]$,说明优化方案实现了进厂流量平稳化的目标。

采用优化方案前后一期出口泵站的运行状态对比如图 9 所示。

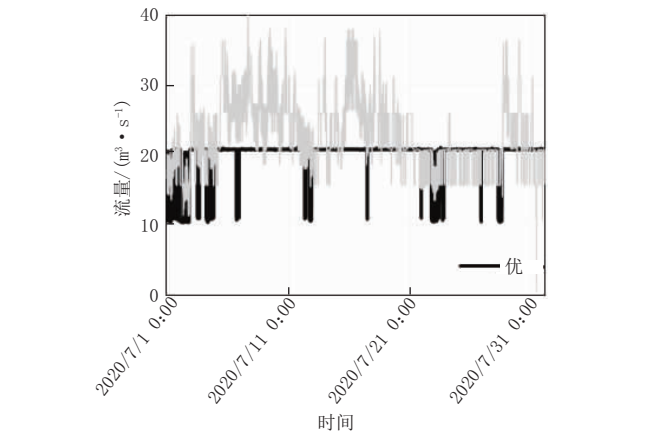


图 9 上海中心城区某片区出口泵站运行优化效果对比图

通过预先设定 RTC 策略,优化方案中出口泵站的流量变化幅度被限制在 $10\text{ m}^3/\text{s}$ 以内,实现了项目目标。

3.2.2 防汛防汛

集成管网一维水动力模型、二维地表漫流模型等仿真模型和水文气象监测信息,实现内涝风险情形的可视化仿真模拟与预报预警功能,提供预报成果的空间展示,可直观查看管网模型监测预报点分布,并结合模拟水位、淹没水深判断预警状态,显示不同预警级别和颜色;结合数据分析和现场实时视频识别,实现灾情提前预判,主动响应部署。图 10 所示为智能防汛态势分析界面。



图 10 AI 智能防汛态势分析

在防汛泵车调度方面,通过大数据回溯、防汛态势分析预警,结合雨情水情等信息,在降雨前预先在重点保障区域部署防汛泵车;同时结合道路积水地点、防汛泵站位置、防汛泵车类型和排水能力等因素,智能匹配防汛抢险车辆,实现防汛泵车的优化统一调度,为城市内涝治理决策和危机应对提供科学决策依据,提升极端降水情况的协同处置能力。图 11 所示为防汛泵车调度界面。



图 11 防汛泵车调度

4 结 语

市政排水系统厂站网一体化调度是保障排水系统高效、可靠、绿色运行的重要保障。本文对厂站网一体化调度的实施与探索进行阐述,并从建立厂站网一体化调度的数据库构建、模型建设及调度策略等方面探讨了厂站网一体化调度的实践方法,重点介绍厂站网一体化调度模型的构建思路及构建过程,并在排水运行日常监管、一体化调度支持两个典

(下转第 207 页)

越过程中的土压力、减摩泥浆注浆压力等施工参数,降低穿越过程中的纠偏幅度,确保顶管缓慢连续完成穿越施工。

顶进过程中,加强对桥桩监测,穿越阶段增加测量频率,并及时反馈数据,穿越后继续监测直到沉降趋于稳定。

d. 顶进结束后,及时向通道外压注固化浆液,减小后期沉降。

4.3 实施效果

(1)凤凰池站4号出入口过街通道顶管施工过程中:管线最大变形速率0.12 mm/d,约为报警值的4%,最大累计沉降3.51 mm,约为报警值的11.7%;地表沉降最大速率0.13 mm/d,约为报警值的4%,最大累计沉降3.68 mm,约为报警值的12.2%。

(2)金牛山站2号出入口过街通道顶管施工过程中:管线最大变形速率0.74 mm/d,约为报警值的24.6%,最大累计沉降7.03 mm,约为报警值的35.1%;地表沉降最大速率0.84 mm/d,约为报警值的28%,最大累计沉降9.10 mm,约为报警值的30.3%;洪山大桥上匝道下部承台沉降最大累计量5.01 mm,约为报警值的25%。

金牛山站3号出入口过街通道顶管施工过程中:管线最大变形速率0.12 mm/d,约为报警值的4%,最大累计沉降3.68 mm,约为报警值的12.2%;地表沉降最大速率0.28 mm/d,约为报警值的10%,最大累计沉降1.98 mm,约为报警值的6%。

(3)省立医院站一东门站区间渡线段顶管施工过程中:管线最大变形速率1.76 mm/d,约为报警值的58.6%,最大累计沉降17.3 mm,约为报警值的86.5%;地表沉降最大速率1.9 mm/d,约为报警值的

63.3%,最大累计沉降16.79 mm,约为报警值的55.9%;建筑物最大沉降速率1.26 mm/d,约为报警值的42.6%,最大累计沉降5.35 mm,约为报警值的17.8%。

综上,顶管工程施工中,过街通道顶管工程周边环境各项监测指标基本小于30%报警值,渡线段顶管工程周边环境各项监测指标均未达到报警值,达到了降低施工对城市环境影响,控制地面和管线变形的要求。

5 结 语

随着城市轨道交通线路越发密集,新开站点的建设往往与社会交通、市政管线相互制约,面临交通导改复杂,管线改迁工程量大、成本高,临近建筑保护要求高等难题。

本文通过三个工程案例阐述了在福州市城市轨道交通4号线一期工程建设中,采用顶管法解决城市中心轨道交通建设对社会交通、市政管线影响大的问题。通过工法比选阐明在这种复杂环境的施工条件下顶管法的优劣。

随着顶管法工艺的日渐成熟,其应用范围不再仅限于小断面的过街通道,而是扩展到大断面的渡线段乃至车站主体。

参考文献:

- [1] 朱雁飞,毕湘利,郭彦,等.富水饱和软土地层轨道交通地下车站暗挖工法研究综述[J].隧道与轨道交通,2021(增刊1):1-7.
- [2] QI Z R, LIU J Y, GONG K. The impact of pipe jacking method entrance and exit construction on the surrounding environment [J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, 634(1): 012103-012107.
- [3] 潘伟强,朱雁飞,刘孟波,等.软土大断面组合顶管法暗挖地铁车站施工技术探讨[J].上海建设科技,2019(3):11-14.

(上接第191页)

型场景开展应用示范。通过完善数据监测、标准化数据入库、数据治理、模型构建及优化调度场景建设等方面措施的实施,推动厂站网一体化调度的进一步实际应用与发展。

参考文献:

- [1] Alan, A. Smith. Integrating simulation and design for stormwater management [J]. Water Science and Technology, 1999, 39(9): 261-268.
- [2] Brown T, Berg J, Underwood K. Regenerative stormwater conveyance: an innovative approach to meet a range of stormwater management and ecological goals [C]//World Environmental and Water Resources

Congress 2010: Challenges of Change. 2010: 3399-3413.

- [3] Green R, Macdonald B C T, Melville M D, et al. Hydrochemistry of episodic drainage waters discharged from an acid sulfate soil affected catchment [J]. Journal of Hydrology, 2006, 325(1-4): 356-375.
- [4] 李明. 城镇排水自动监测系统项目风险的生态化管理模式研究 [D]. 长沙: 中南大学, 2012.
- [5] 张宁. 基于海绵城市理念的北京东风迎宾公园景观设计研究 [D]. 张家口: 河北建筑工程学院, 2023.
- [6] 王勇, 邱象玉, 王明光. 北京农村给排水工程设计要点分析 [J]. 水利规划与设计, 2014(9): 83-85.
- [7] 李华. 海绵城市对城市内涝防治作用的研究 [J]. 绿色环保建材, 2019(4): 35-37.