

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2025.02.021

智慧水务在某流域水环境综合整治中的应用

吴桂良, 滕峰, 李泽鹏, 史成波, 罗苏蓉, 张凯超, 王佳
(中国市政工程中南设计研究总院有限公司, 湖北 武汉 430014)

摘要: 以某流域水环境综合整治项目的智慧水务系统设计为例,介绍了系统架构及其在污水管网中的应用。针对污水管网覆盖范围广、故障排查困难、运维工作量大的特点,通过构建污水管网GIS系统,实现排水设施的“一张图”可视化管理,通过在管网中设置管道水位、水质、流量、雨量等仪表,实现排水系统在线监测和动态实时感知,从而及时发现偷排、外水入侵、管网堵塞等故障,降低运维工作量。

关键词: 智慧水务; 水环境综合整治; 管网监测; 数字化

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2025)02-0127-05

Application of Smart Water System in Comprehensive Improvement of Water Environment

WU Gui-liang, TENG Feng, LI Ze-peng, SHI Cheng-bo, LUO Su-rong,
ZHANG Kai-chao, WANG Jia

(Central & Southern China Municipal Engineering Design and Research Institute Co. Ltd., Wuhan 430014, China)

Abstract: Taking the smart water system design of water environment comprehensive improvement in a watershed as an example, the architecture of smart water system is introduced and its application in sewage pipe networks is discussed. In response to the characteristics of wide coverage, difficulty in troubleshooting, and high workload in operation and maintenance of sewage pipe networks, a sewage pipe network GIS system is constructed to achieve visual management of drainage facilities in “one map”. By measuring signals such as water level, water quality, flow rate, rainfall in the pipe network, online monitoring and dynamic real-time perception of the drainage system are achieved, so as to timely detect faults such as unauthorized discharge, external water intrusion, and pipe network blockage, and reduce operation and maintenance workload.

Key words: smart water system; comprehensive improvement of water environment; pipeline network monitoring; digitalization

智慧排水是智慧水务系统在排水行业中的应用,是以排水设施工程信息和动态监控信息为基础,利用感知监测网、大数据、GIS等新一代信息技术和专业模型,全方位感知城市排水设施和要素运行状态以及排水管理业务运行情况,通过地理空间信息可视化管理,最终形成支撑排水管理单位各业务单

元运行、集管理和决策分析于一体的排水信息系统^[1]。依托该系统,可实现整个流域内的各水务要素,包括河道、污水处理厂、管网等的全面监测、实时调控,全流域排水设施的精细化、动态化管理,流域水质的实时在线监测与管控,以及水环境综合整治目标。

近年来,随着“新基建”“数字中国”等相关政策规划的出台,智慧水务建设项目也日益增多,建成了一批典型项目案例,智慧水务取得了长足的发展与进步^[2-3]。当前,智慧水务在排水与水环境综合治理领域的应用仍处于较初级阶段,基本实现数字化采集、标准化处理和信息化共享,但在智慧化控制和决策方面还需要进一步突破。在技术层面,智慧水务平台可综合应用地理信息系统(GIS)、BIM、水动力和水质模型、移动终端等软硬件,协助管理部门提升管理水平和服务效能,并已在数据采集和传输、设施控制、数字化管理和智能运营方面积累了一些先进经验^[4]。

1 项目概况

某流域现状已建成8座污水处理厂、42座小型城镇污水处理厂及一体化处理设施,总处理规模为 $32.96 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。为加快污水处理设施和配套管网建设,全力加快补齐环境基础设施短板,完善流域内环保基础设施,确保国考断面水质达标,该流域启动了水环境综合治理工程。该治理工程旨在通过新建市政污水管网及设施,进一步完善片区管网、提高污水有效收集率。

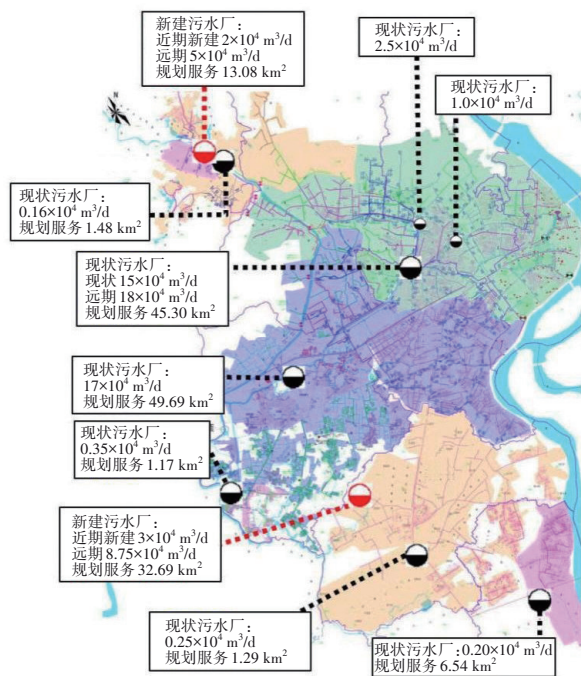


图1 污水处理设施及管网分布

Fig.1 Distribution of sewage treatment facilities and pipe network

由于新建管网规模大、覆盖范围广,常规的人工管护手段已无法满足管网运营要求,亟需通过建立智慧水务系统,实现排水设施的数字化管理,提高管网运维的业务水平,降低人工作业强度。同时,该流域内河网纵横交错,生活、工业、面源、内源等污染源构成复杂,需借助智慧水务系统,对主要排口、干管进行实时在线监测,及时发现偷排、外水入侵等故障,并协助缩小故障排查范围。

2 智慧水务建设目标

智慧水务系统的作用在于将管理范围内的排水资产类型、数量、空间分布等基础信息进行标准化管理,对排水设施要素的运行状态进行实时化监测,辅助日常工作,从而实现排水业务管理智能化^[5]。根据业务需求,确定具体建设目标如下:

① 实现“厂-站-网-户”一张图可视化管理

基于GIS,在地图上展示各类排水设施的位置、属性信息、运行状态,实现“厂-站-网-户”一张图可视化管理,建立排水设施生产运行的综合指挥调度机制。

② 实现排水系统在线监测和动态实时感知

通过水位、流量、水质、雨量监测,同时接入管网、河涌、污水处理厂、泵闸站的基础信息,建立管网物联网平台,实现管道运行状态实时预警,辅助运维人员提前针对性布防和实施预案管理。

③ 设备资产、运维全覆盖

对排水设施进行资产管理、设备运维、异常事件处理等多种运维管理,提高排水设施维护效率,达到提高效率、降低成本的目的。

3 智慧水务系统设计

3.1 系统整体架构

智慧水务系统的总体架构如图2所示。



图2 智慧水务系统架构

Fig.2 Architecture diagram of smart water system

① 感知层

感知层位于技术参考模型的底层,通过对城镇排水干管、泵站、重要排放口、重要闸口及其他附属设施的就地动态监测,建设形成智慧水务智能感知体系,实现对自然水循环和社会水循环过程的及时、全面、准确的监测、监视和监控^[6]。监测项目包括水位、流量、水质、雨量及视频监控。

② 基础层

基础层包括厂网SCADA、网络系统等,为智慧水务提供整体的网络、存储等基础环境和有效、可靠的信息传输服务通道,是各类排水信息的最终承载者。

③ 支撑层

支撑层包含数据资源、应用支持平台及算法平台,用于支撑上层应用的开发。算法平台集成水力模型、算法模型等,用于对排水智能分析进行支撑;应用支撑平台包含生产监控平台、移动应用平台和GIS平台,为各个应用系统的功能和数据提供支撑。

④ 应用层

各类应用系统采用模块化建设模式,分为若干业务功能板块,并在大屏上展示驾驶舱,实现应用系统的横向整合和应用服务的体系化建设。

⑤ 展示层

展示层为用于该系统平台展示的界面,包括PC端、大屏端和移动端。

3.2 管网在线监测

管网在线监测作为感知层的主要组成部分,通过在污水管网系统中设置在线监测仪表,实时采集管网运行数据,为排水感知监管系统、排水智能分析系统以及排水水力模型提供基础数据支撑。设置仪表包括液位计、流量计、水质在线监测仪表及雨量计。

为合理进行仪表布置,该工程先将治理流域按污水处理厂和处理设施的收水范围划分一级分区,共计划分9个污水一级分区,其中5个汇水至污水处理厂,4个汇水至分散处理站。根据污水一级分区梳理污水干管的布局走向,对分区进行细化,梳理出25个污水二级分区(见图3)。根据污水二级分区和污水干管走向,并结合各仪器的布点原则和监测作用进行仪表布置。

① 液位计布点原则及方案

液位计均匀布设在主干管交汇处及主干管沿

线,主干管上的监测点间隔 ≤ 500 m;在污水厂进水口、提升泵站泵池及进厂(站)前主干管上布设;沿河敷设的排水管道,应在管道和河道中成对布设水位比对监测点,相邻比对监测点间距 ≤ 500 m,同时在水位突变位置增设水位比对监测点。

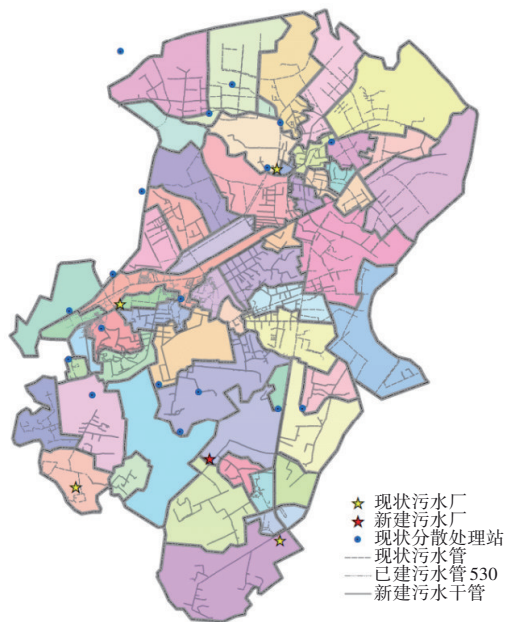


图3 污水二级分区

Fig.3 Secondary sewage zoning

② 流量计布点原则及方案

流量计主要监测重点二级分区范围上游来水流量,同时对进入本项目范围的来水流量进行监测。因此,该工程在分区流域污水干管汇入污水处理厂主干管的上游检查井处、工业集聚区总排放口接入公共排水管网的检查井处、城中村污水排入市政管网的接管井处、污水干管汇入主干管溢流排入河道的排放口处布设流量监测点。

③ 水质在线监测仪布点方案

水质在线监测仪用于搭配流量计,监测重点二级分区范围上游来水水质。该工程在分区流域污水干管汇入污水处理厂主干管的上游检查井处布设水质监测点,监测指标为氨氮、COD等;在工业集聚区总排放口接入公共排水管网的检查井布设水质监测点,监测指标为pH、COD等;在城中村污水排入市政管网的接管井处布设水质监测点,监测指标为氨氮、COD等。为加强重点排水户监管,在重点排水户的雨水接户井内布设水质监测点,水质监测指标包括pH、电导率、COD,监测重点排水户的雨污

混接及偷排、漏排情况。

④ 雨量计布点方案

雨量计布设在液位监测点及内涝易发地点附近,用以提供雨量与污水管网液位的综合分析数据,并作为内涝布防依据。根据以上分区和仪表布置原则,在管网适当位置布设相关仪表。仪表位置及数量见表 1。通过该在线监测系统,可提前预判污水管网存在的管网淤积、污水冒溢、雨污混接、入渗严重区域等情况,并通过智能分析手段缩小排查范围,帮助及时发现问题,提升运维排查的效率;利用河-厂-网-源模型,结合在线监测数据,可快速追溯对应的排口,再上溯对应的排放单元,实现针对性排查,节省时间和人力物力。

表 1 仪表位置及数量

Tab.1 Location and quantity of instruments

| 仪表 | 数量/台 | 安装位置及作用 |
|-------|------|---|
| 液位计 | 160 | 28 条主要干管路线和 32 条支线处(干管交汇处布点),144 台;泵井前,4 台;污水处理厂和分散处理站进口,12 台 |
| 流量计 | 20 | 监测重点二级分区范围上游来水流量及水质(19 台);监测进入本项目范围的来水流量及水质(1 台) |
| 水质监测仪 | 20 | |
| 雨量计 | 4 | 均布在 4 座污水处理厂内 |

3.3 信息化平台功能设计

3.3.1 排水管网 GIS 系统

基于 GIS 技术将排水设施数据与地理信息数据、地图数据集成,对排水管网、污水处理厂、泵站、一体化处理设施等进行一体化整合,实现排水设施可视化管理。根据重要性对各类设施进行分级管理,形成城市排水设施资产专题图,为后续各项应用提供数据基础、工作底图。排水管网 GIS 系统由 4 个功能模块组成,具体功能架构见图 4。

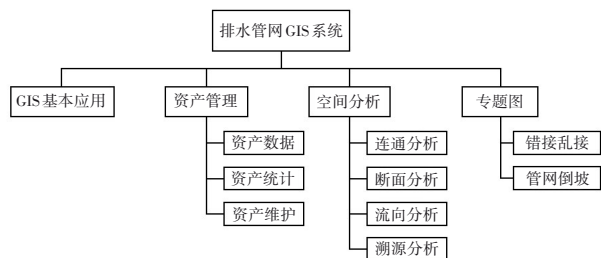


图 4 排水管网 GIS 系统功能架构

Fig.4 Functional architecture of drainage pipeline GIS system

通过运用 GIS 系统,实现日常综合管线管理及地下管线运行业务的数字化管理,及时、准确地向规划者、管理者提供排水管网系统的相关信息,为政府单位提供重要的管理依托平台。

3.3.2 排水感知监管系统

排水感知监管系统对项目范围内的污水管网、污水泵站、截流管等设施进行实时数据监测和运行状态展示,使管理人员能及时了解排水现状,通过对数据的筛选与统计、实时预警报警等设置,满足管理人员的管理需求。

排水感知监管系统由 3 个功能模块组成,具体功能架构如图 5 所示。

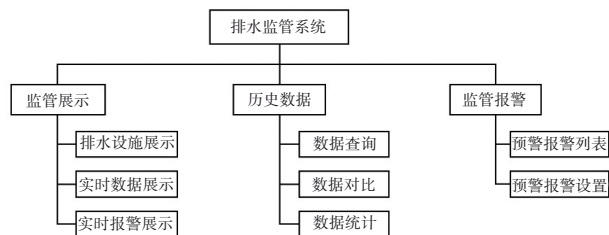


图 5 排水感知监管系统功能架构

Fig.5 Functional architecture of drainage perception and supervision system

3.3.3 排水智能分析系统

排水智能分析系统利用算法进行分析应用,实现排水智能分析决策需求、管网运行、污水收集等管理分析功能,达到精细化控制调度管理的目的。

排水智能分析系统由 4 个功能模块组成,具体功能架构如图 6 所示。

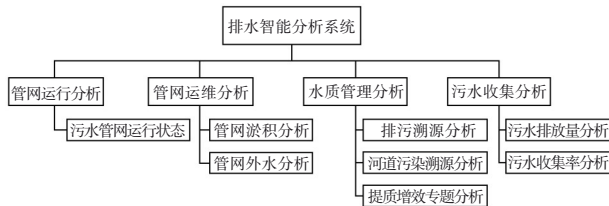


图 6 排水智能分析系统功能架构

Fig.6 Functional architecture of intelligent drainage analysis system

① 管网运行分析

该模块主要展示污水管网的现状,便于决策者发现系统存在的问题,并提供简单的改造模拟途径。模块针对污水管网系统,结合在线监测和管网模型,实现污水管网实时运行状态展示。

② 管网运维分析

管网运维分析的目标是通过实时监测数据、历史监测数据和数学模型模拟综合分析,计算和预测管网外水入侵和淤积程度,帮助定位管网渗漏点和管道结构性缺陷点,使管网运维部门可以及时清淤、“对症下药”进行管道检测和修复。

③ 水质管理分析

水质管理分析分别针对排污户、溢流口和污水处理厂进水进行水质分析,一方面实现实时监测报警,另一方面实现如下数据关联分析:a. 利用流量、水质等监测数据追溯上游排污户;b. 利用河道水质和排口溢流监测数据,进行河道污染溯源分析;c. 利用污水处理厂进厂水质和上游流量、水质监测数据,进行提质增效专题分析。

④ 污水收集分析

针对污水管网运行效果进行评估,通过对污水产生量、污水收集率的统计和分析计算,可提高管网故障排查的效率,并为污水系统升级改造提供支持。

3.3.4 综合业务管理系统

综合业务管理系统主要是满足日常业务管理需求,针对设备设施管理、安全管理、排水业务管理等3个部分进行设计,建立排水设施管理、排水运行管理、排水管网养护管理及应急处理等应用。

4 结论

该智慧水务系统以国考断面达标为目标导向,通过对污水处理设施收水范围及主干管网走向的分析,逐步分解细化污水分区,在关键点位布设仪表,分片区、针对性地进行管网参数监测。结合智能分析系统,实现管网动态监测与参数采集的同时,对管网水质、流量异常信号进行分析,缩小故障排查范围,辅助污染源或渗水点的追本溯源。同时,通过构建管网GIS系统,全面掌握排水管网的资产、辅助管网运行维护及管网改造。

该流域管网范围广、污染源构成复杂,运维及故障排查工作量巨大。该智慧水务系统的建立,使管网的运维更加高效,通过智能化的水质监测和污水处理管理,及时发现偷排、外水入侵等故障,有效减少了污染物的排放和水体受损情况。目前流域水质已基本稳定达到地表水Ⅴ类标准,同时也在很大程度上降低了工作强度。

参考文献:

- [1] 广东省住房和城乡建设厅. 智慧排水建设技术规范: DBJ/T 15—212—2021 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2021.
Department of Housing and Urban Rural Development of Guangdong Province. Technical Specifications for Intelligent Drainage Construction: DBJ/T 15—212—2021 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2021(in Chinese).
- [2] 中国城镇供水排水协会. 城镇智慧水务技术指南 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2023.
China Urban Water Association. Guidelines for Urban Smart Water [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2023(in Chinese).
- [3] 中国测绘学会智慧城市工作委员会. 智慧水务应用与发展 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2021.
Smart City Working Committee of the Chinese Society of Surveying and Mapping. Application and Development of Smart Water [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2021(in Chinese).
- [4] 倪晓棠, 黄海伟, 田永英, 等. 我国智慧水务现状与未来发展趋势浅析[J]. 建设科技, 2023(10): 6—10.
NI Xiaotang, HUANG Haiwei, TIAN Yongying, et al. Analysis on current situation and future development trend of smart water in China [J]. Construction Science and Technology, 2023 (10): 6—10(in Chinese).
- [5] 宗泽, 齐振伟, 胡辉辉, 等. 探究在智慧水务下“源网站厂河”的“五位一体”运营新模式[J]. 给水排水, 2022, 48(S2): 549—554.
ZONG Ze, QI Zhenwei, HU Huihui, et al. Exploring the new “five-in-one” operation mode of “source network station factory river” under smart water affairs [J]. Water & Wastewater Engineering, 2022, 48(S2): 549—554(in Chinese).
- [6] 谷宏宇. 面向智慧水务建设的排水业务系统设计与应用[J]. 供水技术, 2023, 17(3): 60—64.
GU Hongyu. Design and application of drainage business system for smart water construction [J]. Water Technology, 2023, 17(3): 60—64(in Chinese).

作者简介: 吴桂良(1988—), 男, 福建宁德人, 硕士, 高级工程师, 从事市政电气自控设计工作。

E-mail: wgl8808@163.com

收稿日期: 2023-10-16

修回日期: 2023-11-02

(编辑: 衣春敏)