

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2024.05.005

生态智慧导向下水务系统顶层设计与关键技术

刘军¹, 王国英¹, 朱宇峰²

[1.中国市政工程西北设计研究院有限公司, 陕西 西安 710021; 2.上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘要:城市水系统具有“自然-社会”二元特性,包含了自然水循环与社会水循环。近年来,我国在水务工程建设领域取得了巨大成就,但在前瞻性、生态性、系统性和整体性等方面仍存在不足,探讨生态智慧导向下水务系统顶层设计与关键技术,基于云计算、物联网、大数据等新一代信息技术,打造空天地一体化的智慧水务平台,包含智慧供水、智慧污水、智慧排水防涝与智慧海绵城市,改进城市水系统在前瞻性、生态性、系统性和整体性等方面的短板,以提高水资源利用效率、提升水环境质量,提供水安全保障、恢复水生态功能。

关键词:城市水系统;生态智慧;智慧供水;智慧污水;智慧排水防涝;智慧海绵城市

中图分类号: TU991

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)05-0018-05

0 引言

城市水循环既包括降雨、径流等自然循环过程,也包括供水、排水等社会循环过程,具有明显的“自然-社会”二元特性^[1]。其中自然水循环为“蒸发-降雨-入渗-产流-入河”,社会水循环为“取水-供水-用水-排水-污水处理-排放”^[2](见图1)。近年来,我国在海绵城市建设、水环境综合治理、排水系统提质增效等领域取得了巨大的成就,但仍存在一些不足,主要体现在系统性、生态性、前瞻性和整体性等方面的缺失^[3]。

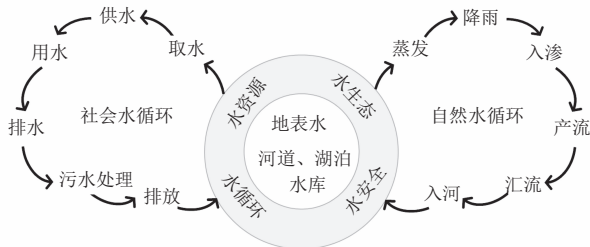


图1 城市水循环系统

生态智慧城市是指在生态文明建设的背景下,基于智慧城市建设,通过人工智能、大数据等技术应用,融入生态自然环境要素,以生态与环境、环境与节能、环境与健康的三个统一为目标,建立集约、低

碳、生态、高效、和谐、健康、可持续发展的人类宜居环境。水务系统是“城市生命线”,智慧水务则是在自动化控制基础上,通过信息化与数字化手段将海量感知数据整合、分析与应用,实时感知城市水系统状态的变化以及面临的潜在风险,构建智慧化的风险防控体系,实现城市水系统的优化管理^[4]。

在生态智慧导向下,发展智慧水务,结合供水、污水、排水防涝、海绵城市等全要素大数据信息,构建水务物联网,开展数字规划和前瞻设计,对补齐当前城市水系统在前瞻性、生态性、系统性和整体性等方面的短板具有重大意义。本文探讨生态智慧导向下水务系统顶层设计与关键技术,以提高水资源效率、提升水环境质量,提供水安全保障、恢复水生态功能,为打造空天地一体化的水务大数据与人工智能平台做支撑。

1 建设目标

将新一代信息技术融合进供水、污水、排水防涝、水环境等水务关键环节进行智慧化管理。基于大数据、物联网、云计算等技术,通过对水务系统内的各个水务要素,包括河道、水厂、调蓄设施、供水泵站、污水厂、污水泵站、排涝泵站、闸站、调蓄设施、管网、监测站点等在的全面监测、实时管理和联控联调,对信息资源进行全面收集与充分挖掘,以智能感知、数据整合、风险预警、科学决策以及自动控制等手段实现精细化、科学化、动态化管理,从而保障供水系统从“取水”到“用水”的水质管理,以及“厂一站一网一河一湖一岸”一体化管理和内涝防控,从而实现城市水安

收稿日期: 2023-05-19

基金项目: 中国市政西北院科技研发课题(XBSZKY2135): 新型智慧城市专项设计导则

作者简介: 刘军(1982-),男,本科,高级工程师,从事市政工程设计工作。

通信作者: 朱宇峰(1987-),男,硕士,高级工程师,从事市政工程设计工作。电子信箱: 329405972@qq.com

全、水环境、水生态和水资源目标。

2 总体框架

生态文明建设导向下的智慧水务系统的总体框架应包括两大网络,一组平台,两大体系,具体描述如下。

(1)基础设施网络

城市二元水循环包含了供水工程、污水工程、排水防涝工程,随着海绵城市系统化全域推进建设,水务工程建设更加注重系统性、整体性(见图2)。

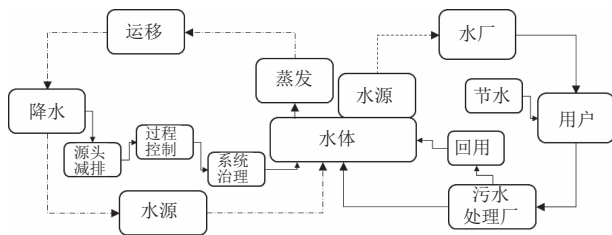


图2 基础设施网络

a. 供水系统

供水工程的任务是从水源取水,按照用户对水质的要求进行处理,输送到用水区向用户配水,通常由取水构筑物、水处理构筑物、泵站、输水管渠和管网与调节构筑物组成。

b. 污水系统

污水系统指污水的收集、输送、处理和利用,以及排放等设施以一定方式组合成的总体,通常由室外污水管网、污水泵站、污水处理厂和出水口组成。

c. 雨洪系统

排水防涝系统涉及源头减排、过程控制及末端系统治理,其设施部分主要由雨水管网、雨水泵站、雨水收集设施等组成。

d. 海绵城市

海绵城市涉及的基础设施网络包括对径流总量和面源污染进行源头控制的低影响开发设施,如绿色屋顶、透水铺装、下沉式绿地、生物滞留设施、植草沟、植被缓冲带、雨水花园等。

(2)水务物联网

a. 设施设备层

利用传感器、测量装置及相应的监测数据采集设备,实现城市水系统运行状态的在线信息采集、监测和预警,感知项目包括降雨量、水位、流速、流量、水质、工况与场景监控,要求资源共用,最大程度挖掘水务行业不同部门间建设的智能感知系统采集的信息。

b. 信息通信层

包括网络基础设施和云基础设施。网络基础设施提供网络服务,为监测数据的互联互通提供支撑,实现水情、水质、视频等智能感知设备的全面接入。云基础设施利用各地的政务云资源,提供计算资源、存储资源、网络资源等服务,构建统一的IaaS和PaaS云服务,提供水务信息化的基础能力,为各类业务应用提供安全、稳定、可靠、按需使用、弹性伸缩的基础设施服务。

c. 数据资源层

智慧水务建设与发展的核心,是依托水务信息采集与信息通信,对水务数据资源进行建库分类,将不同数据类标准化的存储、调用、共享交换、管理和更新,使数据资源真正发挥对水务业务和政务管理的支撑作用^[5]。

(3)智慧运管平台

a. 业务平台层

业务平台层主要以中间件和公共服务为核心,为全系统提供统一的基础公共服务能力,如资产中心、设备中心、工单中心、统一权限、单点登录、服务流程等。

b. 应用层

应用层由智慧供水、智慧污水、智慧排水、水环境管控、水务全要素监测一张图、水务设施设备一张图等多个业务应用组成,各应用依托业务平台层功能模块,搭建个性化、针对性的应用功能,实现业务协同与资源共享。

c. 用户层

用户层是整个水务一张图平台的统一入口,为公众、政府部门、一线网格员、专项普查员、信息审核员、业务员、IT运维人员提供差异化的业务功能。

(4)标准规范体系

标准规范体系指技术标准体系和制度保障体系。技术标准体系是在信息采集、汇集、交换、存储、处理和服务等环节采用或制定的相关技术标准,以实现资源共享和交互集成。制度保障体系是指制定管理制度,明确业务流程,规范信息系统建设和运维^[6]。

(5)信息安全体系

信息安全体系是保证信息系统安全的基础,需要通过一系列规章制度以及软硬件的部署实施,来保障系统运营环境的物理安全、网络安全、系统安全、应用安全、数据安全^[7]。

总体框架的架构图见图3。

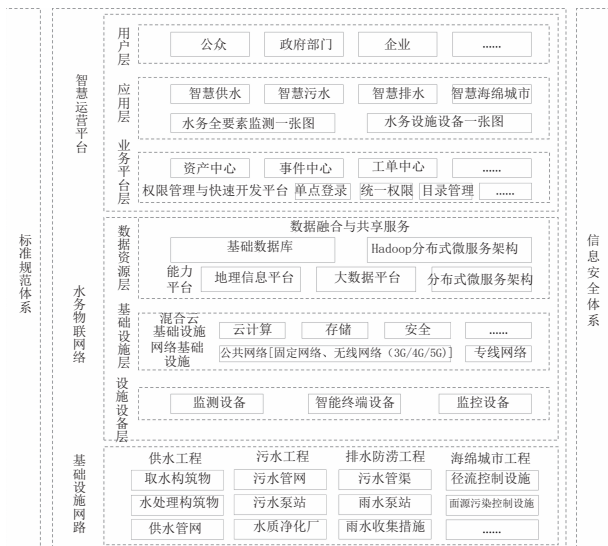


图3 总体架构

3 关键技术

(1)智能监测

利用监测感知设备,将采集的水务信号解析、转换为可用信息并存储,根据不同业务需求,利用无线传输等技术将水务信号传递到相应部门,再由决策人员根据信号做出决策^[8]。常见的传感器包括流量计、液位计、水质仪、雨量计、压力计、温度计、智能井盖终端、湿度计等^[9],监测对象包括水源地取水点、水厂、泵站、闸站、管网重要节点、重点排水户、合流制溢流截水井、入河排水口、污水处理厂、河道等,监测指标包括雨量监测、液位监测、流量监测、水质监测、泵站运行工况、(污)水厂运行工况等。

(2)云计算

结合云计算的海量数据分布存储技术、海量数据技术、虚拟化技术等特性,解决了传统单机版(C/S架构)软件存在的无法实现云部署问题、本地化数据机房数据存储安全、管理问题、不断增加的业务应用造成基础设施重复建设问题及维护人员的技术能力问题等相关问题^[10]。

(3)数字孪生

数字孪生指以数字化方式创建物理实体的虚拟模型,同时充分利用虚拟模型、实时数据、历史数据和孪生数据在虚拟空间中模拟物理实体在现实环境中的行为特征,集成多学科、多物理量、多尺度、多概率的仿真过程,将实体物理空间与信息空间的完整映射,从而反映物理实体行为、状态与活动的全生命周期过程^[11]。从城市水务管理角度看,数字孪生引用的意义在于城市物理空间中人、机、物、环境等要素与虚拟数字空间的全息映射和有序联动,以更加精

细、动态和智能的方式管理城市水务系统的整个规划、设计与建设,促进传统水务向智慧水务转型。

(4)水模型

a. 供水管网模型

供水管网水力模型是一种数字模型,基于真实管网的拓扑关系,将管网、设施、设备抽象成数字化的管段和节点,通过设定参数和进行水力计算,模拟管网多种工况的分析工具,是管网水质模型、漏损模型、运营调度等模型的基础。

供水管网水质模型以水力模型为基础,模拟水质参数和污染物在管网流动过程中的时间、空间分布及发展变化的机理,显示出水质不合格的区域,分析水质不合格的原因,用于研究和预测管网的水质变化,提出改善管网水质的方案。

b. 排水管网水力水质模型

基于圣维南方程组、曼宁公式等水文水力理论公式抽象出的数学模型,可以作用于排水管网数据管理、现状管网分析、规划设计校核、运行方案制定等方面,是解决市政排水问题的有效技术手段。

4 智慧化应用

基于水务物联网,开发出针对供水、污水、排水防涝与海绵城市应用场景的应用模块,以下为详细介绍。

4.1 智慧供水

(1)水厂精细化管理

运用先进的“物联网+云平台+大数据”技术,采用系统思维构建新一代水厂生产运营管理的整体逻辑架构,实现由粗放式管理模式转变为精细化的运营管理,发展拥有“智慧大脑”的智能水厂、“少/无人值守”水厂,包括混凝剂投加智能控制系统、消毒剂投加智能控制系统与精细化生产运营管理系统。

(2)二次供水管理

二次供水管理平台基于基础设施和远程安全通信,从全局出发,管理城市内二次供水泵房与设备,实现远程监控、数据分析与故障预警等功能。

实现二次供水设备的全程监控与少人化、无人化值守,能提高供水突发事件的科学决策能力,提升管理水平和服务质量。

(3)供水管网管理

供水管网管理是基于供水物联网提供的数据共享服务,结合供水管网水力水质模型实现对供水管

网的漏损分析、优化调度等主要工作系统,多应用在漏损分析与供水优化调度管理中。

4.2 智慧污水

(1)源头:污水单元管理

基于污水物联网提供的数据共享服务,提供排水户信息数据更新维护管理和排水户监督检查管理功能,实现排水户精细化管理。模块功能包括统一管理排水户详细信息,支撑污水单元内部雨污混接改造,统筹推进排水单元达标创建,精细化审批管理排水许可,强化源头控制。

(2)中途:污水管网管理

在管网基础数据的基础上,整合业务数据、监测数据以及第三方关联系统数据等多源数据,实现城镇污水泵站、污水管网等的实时运行状态的感知,逐步形成了污水设施运行情况“一张图”可视化管理与污水全过程水位流量“一张网”在线监测预警分析。

(3)末端:污水处理厂管理

污水厂工艺控制环节依靠经验判断、控制过程依赖人工干预,控制精确性差,污水处理工艺控制过程具有滞后、多因子、非线性等特点。因此,通过智能仪表、智能控制器、智能执行器、智能电气设备等工具,使用多种平台如数据运算及先进的控制算法等,保证出水指标,节约运行能耗。功能模块包括了监控报警、可视化展示、污水厂建模仿真、智能加药曝气、应急调度处理。

(4)水量水质调配分析

针对污水处理厂进水水量变化大,水质不平衡的情况,不同污水处理厂之间可通过水量水质调配分析系统进行污水调配。此模块用于预测污水处理厂进水量,提前制定调度方案,控制进水量变化幅度,减少非正常溢流,最大化地利用污水处理厂的处理能力。另外对工业排水户出厂水的水质进行数据收集,以及在污水管网安装监测装置,可提前对进厂污水的水质进行预报、预警。

(5)厂站网一体化调度

通过静态模型模拟在典型实测的旱季、雨季以及自设极端情况下,污水处理厂的进水量和水质变化,测试寻找出最佳的调度方案,使得污水处理厂的进水水质在允许范围内浮动,同时尽量减少非正常溢流,为调度系统提供各种条件下的调度预案。动态模型通过接入实时的天气状况和监测数据,能预测未来一段时间排水管网的水量和水质状况,根据设定的优化目标,自动寻找最佳的调度方案。

4.3 智慧排水防涝

(1)排水防涝“一张图”

统一物联网平台,支持不同厂家、不同类型、不同数据格式的物联网监测设备,实现统一适配,整合排水相关的各类在线监测数据,集中展示调蓄池、泵站的工况运行数据、监测点的状态分布,精准定位问题管网,实现城镇排水泵站、调蓄设施、排水管网等的实时运行状态的感知,形成了排水防涝设施(管网、窨井、闸站等)运行情况“一张图”可视化管理。

(2)初期雨水污染防治

初期的雨水排放调控与溢流污染防治主要是利用工程性和非工程性措施,截留初期浓度较高的雨水径流。将城市排水设施作为统一系统分析,建立排水管网模型,演练调蓄池和泵站调控策略,联合调度排水设施调节污水量的时空分布,最大程度利用现有设施的输送、调蓄、处理能力,减少污水溢流量。

(3)城市内涝预警模型

基于排水模型的城镇排水系统内涝管理技术,应用水文、水力学原理,通过构建降雨径流模型、水文产汇流模型、管网一二维水动力模型等相关模型,实现城镇排水系统内涝管控。防涝实时预警预报系统构建技术是对基于排水模型的城镇排水系统内涝管理技术的进一步拓展与延伸,在已构建的排水管网模型的基础上,通过整合雨情、水情、工情等数据,适当二次开发编程,构建形成防涝实时预警预报系统平台,实现城镇排水系统防涝实时预报预警与辅助决策方案制订。

(4)排水防汛应急调度

从雨量监控、源头减排、排水管渠管理、排涝应急调度多方面进行城镇内涝“事前—事中—事后”全过程管控。事前准备是通过城市内涝模型进行事前灾害推演,制定预案,实现灾前精确预警。事中调度是在内涝发生时,应用信息化技术实现灾情的监控及灾情处置联动。事后总结是在内涝结束后,分析内涝事件数据,优化调整内涝防灾方案。

4.4 智慧海绵城市

(1)智慧海绵城市“一张图”

整体展示海绵监测系统数据,显示各监测站点设备的实时监测数据,按照区域、流域、站点的细分维度,对监测点位、区域、流域、监测项目、监测设备、计量单位及水环境标准等信息和数据进行统一管理,形成基础信息档案,方便统一调取使用,其中囊括了从单项设施、地块、排水分区至试点区域等一整

套实施性海绵城市监测方案。

(2) 确保水安全的防汛抗旱模型

以实际水旱灾害防治需求为索引, 聚焦城市河道、积淹水点等重点关注对象, 通过大数据、云计算、空间分析以及专业模型技术, 建设网格化降雨预报分析子系统, 通过产汇流模型计算, 将流域水系分为河网和水域两部分, 组成统一的数学模型进行计算, 计算包括水流方程求解、堰闸水流计算、泵站出流计算、漫滩处理、平原淹没水深计算等内容, 再基于洪水风险分析模型, 通过降雨预报、产汇流计算、下边界水位预报、闸泵调度模拟和洪水演进计算五个流程进行动态洪水分析计算。

(3) 确保水环境的河网水质模型

针对降雨产生的面源污染, 对河道水体的影响进行扩散过程模拟及污染物对水体冲击分析。分析在大、中、小降雨条件下, 面源污染在排口处汇入河道时 COD、氨氮、总磷的变化趋势, 针对水质存在污染或者达不到水功能区要求的情况, 模拟不同引水路线、引水量对水质稀释净化的作用, 及对其他河道水质指标的影响。

(4) 确保水生态的河湖生态监测系统

采集生态河湖全面基础数据, 将河湖及城区重要小微水体纳入系统, 完善河湖的基础信息、水文信息, 如历史最高水位、警戒水位、实时水位等, 实现各级河长、关联河道(上游、下游、支流)、排口、重要泵站、水质断面以及污水处理设施等信息展示。整合水生态信息, 其中包括水工设施(如水闸、泵站、排口、水文站点、自来水厂、饮用水源地、城乡污水处理设施等), 岸边周围土地利用及污染源排放基础数据, 河湖监测数据(如水位、水质、流量、视频、降雨等)。针对河流的基本特征, 基于自然功能和生态功能, 建立河流健康监测系统。

(5) 确保水资源的水源地监测系统

构建地理信息服务平台, 存储管理多种类型数据(视频监控、遥感监测等), 实现水源地源头监控、水质分析、监测预警与应急处理等功能。

(6) 城市河道闸站联合调度管理

城市河道闸站联合调度管理主要实现对城市截流设施、引补水、重点排水泵站等水务设施的科学调度, 系统可监控调度指令流转, 确保指令下达和操作

反馈, 通过调度中心监控系统对全线管线、排水泵站、污水厂、水闸等进行远程监测和调度管理, 各设施系统中设备的重要信息上传于生产调度系统以供数据分析及预测。通过城市河道闸站联合调度平台整合河湖水位、泵站水位、闸门及管网关键点位状态, 运用大数据技术和水力模型算法, 建立智能化调度系统, 实现调度指令全行业网上发布, 形成指令分层级的应答确认闭环管理。

5 结 语

目前我国智慧水务的建设尚处于初级阶段, 其建设成果在解决方案的设计理念、项目的管理模式以及实际落地方面都存在巨大的上升潜力, 本文结合建设现状与发展前瞻, 探讨生态智慧导向水务系统顶层设计与关键技术, 随着智能监测、云计算、数字孪生、水模型等关键技术的发展, 智慧水务将更好地赋能城市二元水循环全过程, 完成城市内涝防治、城市水资源保护、水环境综合整治等问题的全面提质增效。

参考文献:

- [1] 陈吉宁, 曾思育, 杜鹏飞. 城市二元水循环系统演化与安全高效用水机制[M]. 北京: 科学出版社, 2014.
- [2] 王浩, 王佳, 刘家宏, 等. 城市水循环演变及对策分析[J]. 水利学报, 2021, 52(1): 3-11.
- [3] 任南琪, 王旭. 城市水系统发展历程分析与趋势展望[J]. 中国水利, 2023(7): 1-5.
- [4] 王浩. 水生态文明建设的理论基础及若干关键问题[J]. 中国水利, 2016(19): 5-7.
- [5] 林景秀. 智慧水务大数据平台建设[J]. 信息与电脑, 2017(8): 156-160.
- [6] 陈婷婷. 深圳智慧水务标准规范体系研究与设计[J]. 水利技术监督, 2022(11): 4-6.
- [7] 范海健, 陈夏裕, 孙杨, 等. 智慧水务工控网络信息安全方案的设计与研究[J]. 水利信息化, 2020(3): 20-24.
- [8] 孙国庆. 智慧水务关键技术研究及应用[J]. 水利信息化, 2018(1): 46-49.
- [9] 韩庆民, 贾春浩, 马进华. “一半山水一半城”深圳罗湖智慧水务治理风景独好——罗湖区智慧水务物联网监测项目[J]. 自动化博览, 2020(1): 30-34.
- [10] 贺伟. 城镇供水系统中智慧水务云平台的应用研究[J]. 智库时代, 2018(44): 288-289.
- [11] 陈国标. 基于数字孪生技术的九江城市智慧水务平台设计与实现[J]. 人民珠江, 2022(6): 86-93.