

魏锦程, 郝天, 宋陆阳, 等. 我国城市供排水在线监测技术发展标准化历程[J]. 净水技术, 2024, 43(8): 12-18.
WEI J C, HAO T, SONG L Y, et al. Development and standardization process of online monitoring technology for urban water supply and drainage at home [J]. Water Purification Technology, 2024, 43(8): 12-18.

我国城市供排水在线监测技术发展标准化历程

魏锦程^{1,2}, 郝天^{1,2,*}, 宋陆阳^{1,2}, 马雯爽^{1,2}, 陈京^{1,2}

(1. 住房和城乡建设部饮用水安全保障工程技术创新中心, 北京 100044; 2. 中国城市规划设计研究院, 北京 100044)

摘要 随着我国供排水设施规模快速增长, 各类新兴业务的大量涌现以及在线监测技术的不断进步, 供排水在线监测技术得到了快速发展和应用。为解决业务需求和技术标准化需求, 研究者对在线监测设备的性能与运行维护要求、监测系统布局优化方案等方面开展了一系列研究。随着在线监测技术的逐渐成熟, 该技术在供水全流程监控、排水设施运行监控与问题诊断、海绵城市建设效果评价、水环境治理中的排污溯源等方面得到了广泛应用。同时, 为规范供排水在线监测技术的应用, 我国供排水在线监测技术标准经历了从无到有并逐步完善的过程, 建立了以行业标准为主、以地方标准和团体标准作为补充的标准体系。

关键词 城市供水 城市排水 水质在线监测 监测布局方案 标准化

中图分类号: TU991; TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-0177(2024)08-0012-07

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2024.08.002

Development and Standardization Process of Online Monitoring Technology for Urban Water Supply and Drainage at Home

WEI Jincheng^{1,2}, HAO Tian^{1,2,*}, SONG Luyang^{1,2}, MA Wenshuang^{1,2}, CHEN Jing^{1,2}

(1. Engineering Technology Innovation Center for Drinking Water Safety and Security, Ministry of Housing and Urban-Rural Development, Beijing 100044, China;
2. China Academy of Urban Planning & Design, Beijing 100044, China)

Abstract With the rapid growth of China's water supply and drainage facilities, the emergence of various emerging businesses, and the continuous progress of online monitoring technology, online monitoring technology for water supply and drainage has been rapidly developed and applied. To address business and technical standardization needs, researchers have conducted a series of studies on the performance and operational maintenance requirements of online monitoring equipment, as well as optimization solutions for monitoring system layout. With the gradual maturity of online monitoring technology, it has been widely applied in monitoring the entire water supply process, monitoring and diagnosing problems in the operation of drainage facilities, evaluating the effectiveness of sponge city construction, and tracing pollution sources in water environment governance. At the same time, in order to standardize the application of online monitoring technology for water supply and drainage, China's online monitoring technology standards for water supply and drainage have gone through a process of development and gradual improvement, establishing a standard system mainly based on industry standards and supplemented by local and group standards.

Keywords urban water supply urban drainage water quality online monitoring layout scheme of monitoring points standardization



郝天, 现任中国城市规划设计研究院城镇水务与工程分院水质所所长、住房和城乡建设部城市供水水质监测中心实验室负责人。长期致力于城市饮用水安全保障和城市水系统规划建设研究。牵头组织全国城市供水水质抽样检测、供排水行业检验检测机构质量控制考核等行业服务工作。主持住房和城乡建设部科技计划项目“推进城市水系统建设的若干关键技术研究”、国家重点研发计划项目“黄河流域高风险污染物饮用水工艺可处理性评估”等科研课题。参与《城市供水条例》立法条文修订专题研究。主持《城市供水水质标准》《生活饮用水水源水质标准》等标准制修订工作。先后参与湖北恩施、北京房山、河北涿州等应急供水工作。

[收稿日期] 2024-05-03

[基金项目] 国家重点研发计划项目: 黄河流域污染源数据库与风险源分布热点图(2021YFC3200802)

[作者简介] 魏锦程(1983—), 男, 博士, 研究方向为市政给排水工程规划, E-mail: weijc@caupd.com。

[通信作者] 郝天, E-mail: 15901025588@126.com。

在线监测是提高供排水行业运行管理水平,提高运行效能和保障运行安全的重要手段。近年来,在供排水行业的发展、在线监测技术的进步、相关政策的推动以及技术标准化的需求等因素共同作用下,该技术实现了快速的发展和广泛的应用。

一是供排水行业发展的需求。近年来,随着我国城市规模和人口的快速增长,供排水设施规模成倍增长。1993年—2022年,我国供水和排水管道长度分别增长了8倍和11倍^[1]。与此同时,供排水设施运行管理的方式也更加精细化和智慧化,从而使监测点位显著增加,对监测数据获取的时效性也提出了更高的要求。传统的人工监测方式存在时效性差、监测点位数量有限等问题,难以满足新形势下的发展需求。因此,采用可以广泛布点,更加实时、高效的在线监测技术势在必行。

二是信息技术的发展提供了有力的支撑。各类传感器技术的发展,大大提高了在线监测设备的测量准确性、稳定性、多功能化、智能化,降低了设备的体积和生产成本。物联网和5G等技术的发展,使得在线监测系统能够容纳更多的监测设备,数据传输更加稳定高效,为构建大规模的在线监测网络奠定了基础。云计算、大数据、人工智能等技术的发展,为海量在线监测数据的处理和应用提供了保证。

三是国家在供排水领域提出了一系列行动与建设目标,进一步推动了在线监测技术的发展应用。在供水领域,管网漏损治理工作的开展需要依托大量的流量、压力、水质以及漏损在线监测设备构建的监控网络。在排水领域,相继提出并开展海绵城市建设、黑臭水体治理、污水提质增效、城市排水防涝等一系列行动。在上述工作中,在线监测在现状分析与问题诊断、成效评估以及长期效果监控等过程中发挥了重要作用。

四是在线监测标准体系有待完善。在我国城市供排水在线监测技术发展初期,在线监测技术在使用过程中尚存在诸多管理和应用盲点及问题,在线监测设备的适用条件、性能选择、运行维护、数据质量控制等方面缺乏科学统一技术要求,导致监测数据不真实、不准确,在线监测数据的有效性得不到保障的问题突出,限制了在线监测技术的应用和发展。因此,亟需开展相关研究并进行标准化制定。

1 技术进展

1.1 技术原理发展

水质在线监测方面,发展较早且应用较为广泛的技术包括化学光度法、化学滴定法、电化学法和燃烧法。化学光度法较为可靠、灵敏度高、重现性好,但耗时较长、试剂用量大;化学滴定法准确度高、重现性好,但耗时较长、试剂用量大;电化学法测量速度快、试剂用量小,但重现性差;燃烧法速度快、试剂用量少、稳定性好,但高温部件和进样部件容易损坏。近年来又出现了采用光学和生物监测等技术的监测设备。光学法通过测量水中反射、吸收、散射等光学性质的变化,来间接判断水中物质的浓度和污染程度;生物在线监测技术是利用活体生物在水质变化或污染时行为生态学的改变自动记录和分析获得数据,从生物学角度来分析水质的变化,具有灵敏度高、费用低、综合反映水质变化的特点^[2]。

在排水管渠流量监测方面,早期通常采用点流速原理的多普勒流量计,但是其测量准确度较差。采用雷达原理测量流体的表面流速,其测定结果具有一定的准确性,可用于长期趋势性分析。目前,最为准确的流量测量仪器为采用断面扫描方式的多普勒流量计,它通过对测量断面的复杂流场进行完整扫描,可以获得准确的平均流速,因而可以用于准确的流量定量。

在线监测仪器的发展经历了从无到有、从单指标到多指标的发展过程。早期受制于技术原因,在线监测设备多为单指标设备,且设备体积较大。随着各类传感器技术的日益发展和成熟,集成式、智能化、多参量的在线监测系统逐步成熟并得到应用^[3]。

1.2 技术应用研究

1.2.1 供水在线监测

供水在线监测内容主要包括水质、流量和压力等。其中,流量和压力监测技术相对较为成熟,应用较早。水质在线监测由于饮用水中污染物浓度低,监测技术难度大、成本高,成为了研究者关注的重点。近年来,供水水质在线监测技术的研究主要集中在两个方面:一个是在线监测设备性能参数与设备维护要求;二是在线监测点位布设方案优化研究。

在供水在线监测设备性能参数与设备维护要求等方面,依托“十一五”国家重大水专项,研究者^[4]

选取城市供水行业应用最广泛的浑浊度、余氯、pH和叶绿素 a 等 9 项指标,通过现场试验,对各类在线监测设备的适用条件、性能参数、维护校验技术要求及数据有效性判别等方面进行了规范化研究。在水源水质风险在线监测预警方面,马中雨等^[5]研究了斑马鱼对浑浊度、亚硝酸盐、锰、砷化物、石油类和苯等特定污染物的水质监测预警性能,通过结合水源水质特征设定报警阈值,斑马鱼的行为强度变化可以快速评判水质污染程度。

在监测点位布设方案优化研究方面,研究者^[6]基于余氯和浑浊度两个关键水质指标建立管网水质模型,对比节点水龄法、节点水量覆盖法和有效监测范围法 3 种管网水质监测点优化算法,优选出最适合沈阳市供水管网监测点布置的节点水龄法,并用于指导实践应用。还有研究者^[7]兼顾污染事件及时响应与全面覆盖信息两种要素,开发了 TRFC 算法,用于确定城市供水管网合理监测点布局数量与最优化布局方案。

1.2.2 排水在线监测

在排水监测领域,近年来的研究重点主要集中在监测点布局方案优化方面。这是因为:一方面海绵城市建设、黑臭水体治理、污水提质增效、内涝治理等业务对监测技术不断提出新的要求,以问题或目标导向开展的管网诊断监测、建设治理成效评估监测以及排水模型支持监测成为研究者关注的重点;二是与供水系统相比,排水户的排水行为复杂多样,同时排水系统是一个受外部影响因素较多的相对开放系统,上下游管网的运行状态变化大,问题点位多,因此需要的监测设备数量较多。为了保证在一定的经济成本约束下达到预期监测成效,需要通过优化研究制定合理有效的排水管网在线监测方案。

针对排水防涝、海绵城市、污水提质增效、排水系统模型支持等业务需求的排水监测点位优化方面,研究者开展了大量理论与实践应用探索。郭效琛等^[8]认为现有的排水管网监测点优化方法存在诸如依赖监测数据和主观判断、对于大规模管网监测点不适用等明显不足,认为监测方案应在充分利用模型模拟、减少人为主观判断、在时间尺度上分析节点信息、加强方案的定量化评估 4 个方面进行优化。在另外一项研究中,郭效琛等^[9]针对排水领域常见的业务需求,提出了建立源头、分区、整体 3 个

层级的分级监测思路:一是通过量化各层级最优监测布点的数量;二是基于已知监测点数量优化方案获得最优监测效能。段淑璇等^[10]利用理论结合实践的研究方法,建立了一套基于污水管网拓扑关系的分布式在线流量监测点优化布局方法,并通过监测数据诊断分析提出了监测点布局优化方案。在单项业务方面,海绵城市建设成效监测是研究者关注的重点。研究者^[11]根据降雨径流的汇流过程,按照“源头-过程-末端”的思路构建了系统化在线监测布点方案,也成为海绵城市监测领域普遍采用的监测方案制定方法。

2 技术应用

2.1 供水在线监测

我国供水水质在线监测的应用从无到有、逐步发展,一是从供水系统的某一环节向供水全流程扩展,二是监测指标从单一指标向多个指标扩展,三是监测目的从单一地掌握水质情况到监测预警等多功能拓展。上海在供水在线监测方面起步较早,自 20 世纪 90 年代初开始在原水、供水系统安装在线水质仪表,经过近 20 年的建设,基本实现供水全过程动态水质管理,大大提高了供水水质精细化管理水平,为保障上海供水水质发挥积极作用^[12]。2000 年以后,北京供水水质在线监测预警管理平台实现了对水源、水厂和管网的全过程在线监测,对提高精细化管理水平、实现科学调度都给予有力支持^[13]。在“十一五”国家水专项研究成果的基础上,供水在线监测在济南、杭州、东莞等城市得到了示范应用。济南市建立了涵盖城市供水系统全流程的水质在线监测站,实时动态掌握水源的水质状态、输水过程中污染情况、水厂制水及管网输配过程中的关键水质指标变化状况,基本实现了对突发性水质问题的提前预警和及时报警^[14]。杭州市和东莞市供水水质监控网络由原水、出厂水和管网水在线监测点构成。水源水在线监测项目除常规 5 个参数外,根据各自的水源水质风险,杭州市还包括藻类、重金属等类别的 19 项,东莞市还包括总氮、重金属、石油类等 11 项^[15]。

2.2 排水在线监测

随着排水在线监测技术的日益成熟,排水在线监测技术应用从排水设施运行状态监控与问题诊断,逐步拓展到海绵城市建设成效评估、水环境治理

等领域,并对各项业务的开展发挥了重要的支撑作用。

在排水设施运维与管网诊断方面,在线水量和水质监测通常是作为一种高效的诊断手段。研究者^[16]针对某县级城市合流制排水管网区域开展了流量在线监测,通过分析水量平衡、入流入渗和运行风险等内容,确定了开展管网视频检测的重点区域,降低了管网诊断成本,提高了工作效率。还有研究者^[17]以广东某市污水管网和箱涵为研究对象,开展了水质、水量在线监测,实现了对排水系统运行状况及规律的动态了解和对问题管段的精准识别。余军等^[18]综合采用现场摸查、河道降水位、水位及水质在线监测大数据分析等多源信息融合创新的方法,对东莞市污水主干管网的运行状况进行评估,全面分析高水位运行下污水管网系统问题。还有研究者^[19]通过分析电导率在指示各类水质污染中的应用情况,发现电导率可以灵敏地反馈不同的雨污混合比,作为排水管道的水质特征初筛指标具有显著优势。

在海绵城市监测方面,在线监测主要用于支撑海绵城市建设评估工作。研究者^[11]在青岛海绵试点区构建了源头产流、过程输送、末端排放全过程的完整监测体系,在项目、设施、管网关键节点、排口、河道共布设降雨、流量、液位和水质在线监测点 359 个,为青岛市海绵城市示范经验的推广提供了大量的基础数据,并为试点区建设效果的全面评估提供了支撑。郑涛等^[20]以嘉兴市某典型海绵改造小区为研究对象,针对降雨、径流量和关键水质指标进行监测,并利用 Digital Water 模型进行监测结果模拟分析以及径流和污染控制效果评价,有效地支撑了该项目的海绵改造成效量化评估。邓立静等^[21]以深圳市坝光西侧片区为研究区域,对典型海绵项目和典型排水分区排口进行流量监测,定量评估径流控制效果,并针对研究区域构建了暴雨洪水管理模型(SWMM),进行了海绵城市建设整体效果评估。

在水环境治理过程中,排水监测通常用于排口排放规律的监控和污染物溯源。为解决合流制溢流污染问题,研究者^[22]对一片面积约为 0.04 km² 的合流制区域出口进行降雨量、流量和水质监测,通过监测数据与模型的集成使用,动态模拟管网排水规律和状态的变化,预测溢流位置、时间和水量,为水质应急保障提供支持。在深圳河治理过程中,对于

存在偷排、漏排、不达标排放等问题的区域,选择排口对应的上游排水管网区域进行全过程、全范围、可追溯的水量水质监测,确定污染源位置、类型及污染贡献率,实现了对非法排污的精细化溯源管理^[23]。

3 标准化历程

3.1 供水在线监测

3.1.1 初期标准简单规定

在供水领域,2010 年 8 月 1 日起实施的《城镇供水厂运行、维护及安全技术规程》(CJJ 58—2009)是较早提出在线监测要求的行业标准。该标准规定了供水厂应根据需要设置一定数量的浑浊度、余氯、pH 等在线监测设备,以便及时指导工艺生产,优化供水厂运行。但是对于水源和管网等环节的监测要求,以及相关监测设备的技术要求在这一时期仍为空白。

3.1.2 全面系统填补空白

为了填补供水行业水质在线监测相关标准的空白,中国城市规划设计研究院和国家城市供水水质监测网上海监测站作为主编单位编制了《城镇供水水质在线监测技术标准》(CJJ/T 271—2017),该标准于 2018 年 6 月 1 日起实施,是国内首部也是目前唯一一部全面系统地对城镇供水系统全流程水质在线监测进行规范的行业技术标准。该标准在编制过程中选择了行业内长期稳定运行的水质在线监测系统,通过大量现场试验研究和验证编制而成。该标准的主要技术内容包括水质在线监测、仪器与设备、安装与验收、运行维护与管理等。该标准规范了城市供水水质在线监测系统的建设及常用的 13 项指标在线监测仪的技术要求,并提出了安装验收、运行维护、校验及数据管理等方面的技术规范,重点解决了在线仪表监测值与实验室标准方法的比对及数据有效性校验等方面的技术难点,在我国首次提出了 UV 和叶绿素 a 在线监测标准校验方法,实现了城市供水水质在线监测关键技术的突破,填补我国供水行业在线监测技术标准的空白。

在地方标准方面,为了规范和指导山东省城镇供水水质在线监测工作,有效地保障城镇供水水质安全,山东省住房和城乡建设厅和山东省质量技术监督局联合发布了山东省地方标准《城镇供水水质在线监测系统技术规范》(DB37/T 5042—2015)。该规范于 2015 年 11 月 1 日起实施,内容涵盖原水、

水厂、管网及二次供水设施等环节,对水质在线监测系统的设计、建设、安装调试、运行维护等进行了规范。规范的主要内容包括在线系统构成与功能、监测参数选择、监测点选择、监测站房、采配水单元、在线监测设备、数据采集与控制单元、系统管理控制中心、系统安装、系统验收、质量控制与质量保证、运行维护等。

3.1.3 需求导向应用拓展

针对我国供水水质监测预警方式和场景较为单一、监测预警技术欠成熟、监测预警指标和方法体系不健全、监测预警相应规范和标准缺乏等系列问题,山东省城市供排水水质监测中心牵头9家单位编制了《城镇供水水质监测预警技术指南》(以下简称《指南》),该《指南》于2021年9月1日实施。编制组通过梳理、总结、凝练“水专项”在水质监测预警方面的研究成果,明确了水质监测预警的内涵,提出了监测预警的技术方法及其配套的信息化要求,填补了供水行业空白^[24]。《指南》共分为7章和5个附录,主要内容包括:总则、术语、基本规定、水源水质监测预警、水厂水质监测预警、管网水质监测预警、数据管理及信息化系统建设。《指南》的实施将有利于提高城镇供水水质预警的规范性,并进一步提升城市供水管理效能,可为保障城镇供水安全提供技术支撑。

3.2 排水在线监测

3.2.1 从无到有逐步完善

我国排水在线监测的首部行业标准是2007年10月1日实施的《城镇排水自动监测系统技术要求》(CJ/T 252—2007)。该标准规定了城镇排水自动监测系统的构成及功能、现场监测站设备及在线监测仪器配置、设备的技术要求、运行管理的技术要求与监测数据的质量保证,适用于城镇排水设施和污水处理厂的自动化在线监测。

在首部行业标准的基础上,修订后的《城镇排水水质水量在线监测系统技术要求》(CJ/T 252—2011)于2012年5月1日实施。该标准代替CJ/T 252—2007,与之相比主要技术变化如下:修改了城镇排水水质水量在线监测系统的构成及功能、水质水量检测单元的要求、数据采集存储与传输单元的要求、系统管理单元的要求、质量控制与质量保证的要求;删除了“重点排水户”的定义、各类现场监测站仪器配置、在线监测仪器中的可燃气体和有害气

体监测仪;增加了抽取水样单元、水样分配单元、系统辅助单元和系统运行环境的要求。

3.2.2 业务导向全面发展

随着各类排水业务的快速发展,为了解决某一具体领域的监测技术需求,弥补现有行业标准方面的不足,国内相关行业团体陆续发布了一系列排水监测技术规程。

在2019年8月1日起实施的《海绵城市建设评价标准》(GB/T 51345—2018)中,明确提出雨水径流控制及内涝防治是海绵城市建设评价的核心指标,应采用在线监测、模型模拟、现场检查和资料查阅相结合的方式进行综合评价,但对于具体的监测评价方式并未提出具体要求。

为了解决目前排水在线监测标准在方案制定、设备选型、运维管理、数据分析等方面的不足,中国工程建设标准化协会发布了团体标准《城镇排水管网在线监测技术规程》(T/CECS 869—2021)。该规程自2021年11月1日起施行,主要技术内容包括:在线监测方案制定、在线监测布点要求、检测设备选型、数据采集和存储、安装、验收和维护、数据应用分析等。

为规范城镇排水管网流量和液位在线监测的技术要求,中国城镇供水排水协会组织编制了《城镇排水管网流量和液位在线监测技术规程》(T/CUWA 40054—2022),该规程自2023年1月1日起实施。该规程适用于城镇排水管网流量和液位在线监测的方案设计、设备选型、设备安装与维护、数据采集与应用,主要技术内容包括:监测方案制定、监测设备选型、监测设备安装与维护、数据采集与应用、安全管理与操作。

为全面监控城镇排水管网运行状态,及时发现排水管网的病害并评估管网污水收集能力,提高排水管网管理水平和防汛决策能力,广东省住房和城乡建设厅发布了广东省地方标准《城镇排水管网动态监测技术规程》(DBJ/T 15-198—2020),该标准自2020年12月1日起实施。该规程在现有行业标准的基础上,重点突出了广东省在排水管网运行管理中的特征问题和需求。主要技术内容包括监测方案设计、仪器设备技术要求、仪器设备安装、监测信息管理平台、验收和运维等。

4 结论

(1)在我国供排水行业规模快速增长、在线监

测技术的进步、相关政策的推动以及在线监测技术标准化的迫切需求等因素共同作用下,我国供排水在线监测在技术研究、标准制定和业务化应用方面取得了快速发展。

(2)供排水在线监测技术研究主要集中在两个方面:一是在线监测设备性能参数与设备维护要求,二是在线监测点位布设方案优化研究。相关研究成果为在线监测技术的应用推广提供了技术支撑。

(3)在线监测技术在供水全流程水质监控、排水设施运行状态监控与问题诊断、海绵城市建设成效评估、水环境治理等方面得到了广泛应用。

(4)供排水监测相关的技术标准经历了从无到有,再到逐步完善的过程,建立了以行业标准为主、以地方标准和团体标准作为补充的标准体系,为规范供排水在线监测技术的应用发挥了重要作用。

(5)与人工检测技术相比,目前供排水领域在线监测技术在可靠性、准确性方面仍存在差距,另外部分监测设备成本较高,也限制了其大规模应用。未来随着相关技术的发展,在线监测技术的上述不足将逐步得到解决,并朝着智能化、集成化等方向发展。

(6)随着在线监测技术的不断成熟、数据的准确度不断提高,供排水行业在线监测技术应用的范围和业务场景将不断扩大,并在预测预警、智能监控、数据分析等方面将发挥出更大的价值,使运行管理更加科学、高效、精准,助力供排水行业高质量发展。

参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 中国城市建设统计年鉴 2022[M]. 北京: 中国统计出版社, 2023.
- Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. China urban construction statistical yearbook 2022[M]. Beijing: China Statistics Press, 2023.
- [2] 任宗明. 在线生物监测技术在饮水安全预警中的应用研究[D]. 济南: 山东师范大学, 2005.
- REN Z M. The research of on-line biomonitoring technique applying in security estimate of drinking water production[D]. Jinan: Shandong Normal University, 2005.
- [3] 谢松. 多参量水质在线监测系统的设计与实现[D]. 重庆: 重庆理工大学, 2023.
- XIE S. Design and implementation of multi parameter water quality online monitoring system[D]. Chongqing: Chongqing University of Technology, 2023.
- [4] 何琴, 桂萍, 李宗来, 等. 水质监测关键技术及标准化研究与示范[J]. 给水排水, 2013, 39(6): 9-12.
- HE Q, GUI P, LI Z L, et al. Research and demonstration of key technologies and standardization of water quality monitoring[J]. Water & Wastewater Engineering, 2013, 39(6): 9-12.
- [5] 马中雨, 陈家全, 陈兴厅, 等. 斑马鱼对水源特定污染物的水质监测预警[J]. 中国环境监测, 2015, 31(1): 146-151.
- MA Z Y, CHEN J Q, CHEN X T, et al. Study of zebrafish for the source water quality early warning experiment with special pollutants[J]. Environmental Monitoring in China, 2015, 31(1): 146-151.
- [6] 李常虹. 沈阳市供水管网水质在线监测点优化布置与应用效能研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2014.
- LI C H. Study of layout optimization and application performance for online water quality monitoring points in Shenyang water supply network[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2014.
- [7] 骆杉杉. 城市供水管网在线水质监测点优化管理研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2021.
- LUO S S. Research on optimized management of online water quality monitoring points in urban water supply network[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2021.
- [8] 郭效琛, 李萌, 赵冬泉, 等. 城市排水管网监测点优化布置的研究与进展[J]. 中国给水排水, 2018, 34(4): 26-31.
- GUO X C, LI M, ZHAO D Q, et al. Research and progress on optimal layout of monitoring points in urban drainage networks[J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(4): 26-31.
- [9] 郭效琛, 李萌, 杜鹏飞, 等. 排水管网在线监测布点数量的确定[J]. 中国给水排水, 2022, 38(2): 122-131.
- GUO X C, LI M, DU P F, et al. Quantification of on-line monitoring layout in urban drainage network[J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(2): 122-131.
- [10] 段淑璇, 蔡俊楠, 许估. 基于排水分区识别划分的城镇污水系统在线流量监测点优化布局方法研究[J]. 科学技术创新, 2022(15): 119-122.
- DUAN S X, CAI J N, XU J. Study on optimal layout of online discharge monitoring points of urban sewage system based on drainage partition identification[J]. Scientific and Technological Innovation, 2022(15): 119-122.
- [11] 郭效琛, 赵冬泉, 崔松, 等. 海绵城市“源头-过程-末端”在线监测体系构建——以青岛市李沧区海绵试点区为例[J]. 给水排水, 2018, 44(8): 24-28.
- GUO X C, ZHAO D Q, CUI S, et al. Construction of "source-process-end" online monitoring system of sponge city: A case study of sponge pilot area in Licang District, Qingdao City[J]. Water & Wastewater Engineering, 2018, 44(8): 24-28.
- [12] 钱静汝, 姚思含, 陈国光. 安装在线仪表实施供水全过程动态水质管理的实践[J]. 给水排水, 2017, 43(12): 44-47.
- QIAN J R, YAO S H, CHEN G G. The practice of installing

- online meters to implement dynamic water quality management in the whole process of water supply [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2017, 43(12): 44-47.
- [13] 周大农. 水质全流程在线监测预警系统的开发建设[J]. 给水排水, 2016, 42(4): 128-131.
ZHOU D N. Development and construction of online monitoring and early warning system for the whole process of water quality [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2016, 42(4): 128-131.
- [14] 贾瑞宝, 孙韶华. 水质监测预警技术创新与能力建设[J]. 给水排水, 2019, 45(10): 1-5.
JIA R B, SUN S H. Technology innovation and capacity building of water quality monitoring and pre-alarming [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2019, 45(10): 1-5.
- [15] 边际, 牛晗, 耿艳妍, 等. 三级水质监控网络构建关键技术研究及示范[J]. 给水排水, 2013, 39(6): 13-17.
BIAN J, NIU H, GENG Y Y, et al. Research and demonstration of key technologies for the construction of three-level water quality monitoring network [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2013, 39(6): 13-17.
- [16] 李萌, 郭效琛, 赵冬泉, 等. 在线监测技术在排水诊断中的应用[J]. 给水排水, 2021, 47(10): 124-129.
LI M, GUO X C, ZHAO D Q, et al. Application of on-line monitoring technology in water drainage diagnose [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2021, 47(10): 124-129.
- [17] 王绍贵, 周蓉, 姚晨辉, 等. 管网在线监测技术在城市排水系统中的应用与分析[J]. 广东土木与建筑, 2022, 29(12): 22-26.
WANG S G, ZHOU R, YAO C H, et al. Analysis of characteristic and problem of urban drainage system based on on-line monitoring system [J]. *Guangdong Architecture Civil Engineering*, 2022, 29(12): 22-26.
- [18] 余军, 周雪丽, 张晓维. 污水管网系统高水位下的问题诊断方法[J]. 净水技术, 2024, 43(s1): 157-164, 183.
YU J, ZHOU X L, ZHANG X W. Methods for diagnosing problems in sewage pipeline systems under high water levels [J]. *Water Purification Technology*, 2024, 43(s1): 157-164, 183.
- [19] 陈至诚, 邵铭炜, 冯修平, 等. 电导率作为排水管道水质特征指标的潜力分析[J]. 净水技术, 2024, 43(3): 152-158.
CHEN Z C, SHAO M W, FENG X P, et al. Potential analysis of electrical conductivity as a characteristic index of water quality in drainage pipelines [J]. *Water Purification Technology*, 2024, 43(3): 152-158.
- [20] 郑涛, 唐志芳, 张敏. 基于监测及排水模型的海绵城市小区建设效果评估[J]. 中国给水排水, 2022, 38(9): 118-122.
ZHENG T, TANG Z F, ZHANG M. Assessment of community reconstruction performance during sponge city construction based on online monitoring and drainage model [J]. *China Water & Wastewater*, 2022, 38(9): 118-122.
- [21] 邓立静, 李炳锋, 杨可昀. 基于监测与模型的滨海地区海绵城市建设径流控制及内涝治理效果评估[J]. 中国防汛抗旱, 2021, 31(5): 7-11, 29.
DENG L J, LI B F, YANG K Y. Effect assessment of runoff control and flood management of sponge city construction in coastal area based on monitoring and modeling [J]. *China Flood & Drought Management*, 2021, 31(5): 7-11, 29.
- [22] 赵冬泉, 王浩正, 陈吉宁, 等. 监测技术在排水管网运行管理中的应用及分析[J]. 中国给水排水, 2012, 28(8): 11-14.
ZHAO D Q, WANG H Z, CHEN J N, et al. Application and analysis of monitoring technology in operation and management of urban drainage network [J]. *China Water & Wastewater*, 2012, 28(8): 11-14.
- [23] 童麒麟, 曾洁. 在线监测技术在深圳河治理上的应用[C]. 青岛: 第十五届青岛水大会报告集, 2020.
TONG Q Y, ZENG J. Application of online monitoring technology in Shenzhen River regulation [C]. Qingdao: Report Collection of the 15th Qingdao Water Conference, 2020.
- [24] 李祥, 孙韶华, 贾瑞宝, 等. 《城镇给水水质监测预警技术指南》解读及技术应用[J]. 中国给水排水, 2022, 38(7): 132-138.
LI X, SUN S H, JIA R B, et al. Interpretation of *Technical Guidelines for Monitoring and Early Warning of Urban Water Quality and Its Application* [J]. *China Water & Wastewater*, 2022, 38(7): 132-138.