

海绵城市“源头—过程—末端”智慧在线监测体系构建

魏绪刚

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘要: 结合芜湖市海绵示范城市绩效评价指标,构建海绵智慧监测体系,为海绵城市考核提供真实完整的量化指标和数据,为海绵建设成效展示提供有力依据,同时为海绵城市智慧管理平台提供实时基础数据。监测体系的构建还在充分考虑芜湖市相关现有信息管理平台,科学合理地选取监测指标、布置监测设备,以避免重复建设。

关键词: 海绵城市;海绵监测;监测体系构建;智慧管理平台

中图分类号: TU992.4

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2026)02-0012-04

Construction of a "Source-Process-End" Intelligent Online Monitoring System for Sponge Cities

WEI Xugang

[Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China]

Abstract: Based on the performance evaluation indicators for the sponge demonstration city of Wuhu City, a sponge smart monitoring system is constructed to provide real and complete quantitative indicators and data for sponge city assessment, provide strong basis for the display of sponge construction effectiveness, and provide real-time basic data for the sponge city smart management platform. The construction of the monitoring system also fully considers the monitoring equipment and data resources of the existing information management platform in Wuhu City, scientifically and reasonably selects monitoring indicators and arranges monitoring equipment to avoid redundant construction.

Keywords: sponge city; sponge monitoring; construction of monitoring system; intelligent management platform

0 引言

2022年5月25日,芜湖市经国家相关部门评审,正式获批成为第二批系统化全域推进海绵城市建设国家级示范城市。这一里程碑事件标志着芜湖市海绵城市建设正式迈入全域统筹、系统推进的新发展阶段,为城市水生态治理体系与治理能力现代化建设注入新动能。芜湖市现已开发了一系列智慧城建、智慧排水信息平台,具有良好的信息化建设基础,但仍存在海绵设施设备与雨水系统运行状态监管体系不完善的问题:现有监测指标不能满足海绵城市建设考核与评估的要求^[1-3],布置方案与海绵城市监测目的需求匹配性不足^[4-6],难以全面实时感知海绵与排水系统运行状态^[7-9],导致基础信息缺失,造成海绵建设运行成效分析评估困难。

收稿日期: 2025-08-25

作者简介: 魏绪刚(1978—),男,硕士,高级工程师,从事智能运维研究工作。

1 监测思路

基于海绵城市建设的“源头—过程—末端”面源污染控制技术,通过对渗透、储存、调节、输送、截污净化等生态技术的组合应用来加强城市环境管理,实现雨水径流及面源污染控制。一般将发生在城市下垫面和雨水口之前的污染物产生、累积、冲刷过程称为面源污染的源头产生阶段,径流污染物从雨水口到排放口之间的输送过程称为传输阶段,而径流污染物从排放口进入受纳水体的过程称为末端排放阶段。基于“源头—过程—末端”的全过程理念,构建海绵城市“本底—源头—过程—末端”的水量水质监测体系,如图1所示。

2 布点原则

2.1 降雨监测布点原则

海绵城市设施效能分析及考核评估需要与液位流量同步监测的分钟级的降雨数据支持,提供海绵城市设施效能分析及考核评估的基础。依据《城市

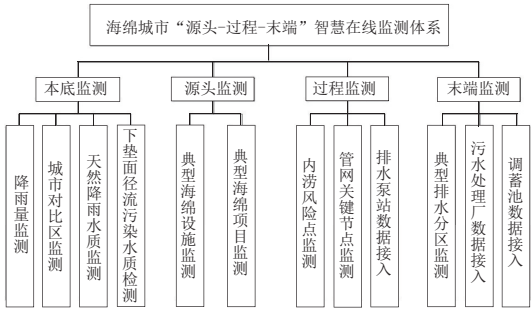


图1 海绵城市“源头-过程-末端”智慧在线监测体系图

水文监测与分析评价技术导则》(SL/Z 572—2014)，芜湖市属于大城市(150万人<人口<500万人)，雨量站布设密度应为8~15个/100 km²。

2.2 典型海绵设施布点原则

海绵城市建设典型雨水设施考核监测指标主要包括年径流总量控制率和径流污染负荷控制率2个指标。针对海绵城市典型设施的设计参数优化与监测体系构建需求，聚焦示范项目中不同下垫面类型(如屋顶绿化、透水铺装、生物滞留池等)的代表性设施，基于其核心功能定位(调蓄、渗透、净化等)，部署液位、流量、水质等多种监测设备，开展全周期跟踪监测。

2.3 典型项目地块监测布点原则

在海绵城市建设示范区的典型地块项目出水口区域，部署多种监测设备，对液位、流量及水质等关键指标进行实时在线监测，形成源头管控的基础数据体系。同时建立人工采样检测与自动监测数据的比对验证机制，通过多源数据融合分析，构建起覆盖“监测-比对-评估”全链条的考核数据支撑体系，为海绵城市设施运行效能的量化评估及长效管理机制建设提供科学依据。

2.4 内涝监测布点原则

根据《芜湖市系统化全域推进海绵城市示范建设实施方案(2022—2024年)》，21处已整治的历史内涝积水点主要位于市政道路交叉口低洼点、立交桥底等位置。

2.5 管网关键节点监测布点原则

在芜湖市中心城区内新建管网、地下通道和下凹式广场、下穿立交道路、高架道路等雨水管网节点处布设流量、水位监测站点。

2.6 典型排水分区排口监测布点原则

接入接纳水体的排放口或接入下游管网的出口数量不宜多于3个，所选典型排水分区的雨水排放口或下游出口应自由出流且不易因潮水、洪水等形

成倒灌，面积不应少于10 hm²，获取“时间-流量/水质”序列监测数据。

2.7 河道水位监测布点原则

对芜湖市重点防洪河道断面水位进行监测，为洪水预报和防洪提供依据。

2.8 排水设施数据接入原则

对芜湖市中心城区主要污水处理厂、主要雨污水泵站、主要调蓄池进行数据接入，完成污水集中收集率、污水提质增效、雨水资源利用率等指标考核评估，同时对排水设施的联合调度提供数据支撑。

3 监测内容

建设内涝风险及积水点、接纳水体、排水分区雨水排口、典型地块示范项目、典型海绵设施、雨水资源利用、可渗透地面面积、污水处理收集率等监测要素，并选择适宜的监测点，通过安装在线雨量计、在线多普勒流量计、在线SS检测仪、在线液位计等设备，实施人工采样与水质化验、土壤渗透性检测等，构建芜湖市海绵城市智慧监测体系。

4 监测方案

4.1 本底监测

4.1.1 降雨量监测

芜湖市城市生命线安全工程一期建设项目现有城区雨量计共计24台，可提供符合本平台需求的分钟连续降雨数据。结合中心城区现有气象监测站和现有生命线安全工程的在线雨量站，补充安装在线雨量监测站3台，获取片区内分钟级降雨数据，基本均匀覆盖整个海绵示范城市建成区区域。新建雨量监测站见表1。

表1 中心城区新建雨量监测站

编号	监测对象	具体安装地址	监测内容	设备数量/台
1	江北集中区	安徽师范大学皖江学院	雨量	1
2	繁昌区	安定河公园	雨量	1
3	湾沚区	东湖公园	雨量	1

4.1.2 城市对比区监测

根据芜湖市排水管网建设情况及项目分布特征，选择监测范围内一个典型排水分区为对比监测区域，采用在线流量计5台、在线SS分析仪5台进行固定监测。新建城市对比区监测站见表2。

4.1.3 天然降雨水质监测

为了定量化获取降雨期天然降雨的污染状况，在降雨前期(前20 min)和降雨中后期各收集1次天

表 2 城市对比区监测站

监测对象	具体安装地址	监测内容	设备数量
褐南西江排水分区 雨水排口	雨水管网	流量	5
		水质(SS)	5

然降雨水样,开展为期 1 年的天然降雨背景监测。选择其中 6 场典型降雨(大、中、小降雨各 2 场),进行水质采样与化验,每场降雨采集 2 次水样。水质化验分析指标为 SS(悬浮物)、COD_{Cr}(化学需氧量)、TN(总氮量)、TP(总磷量)、NH₃-N(氨氮)等,采集水样总数不少于 48 个,作为本底值进行水质分析。

4.1.4 下垫面径流污染水质检测

在海绵监测区域内,选择 6 项典型下垫面,开展为期 1 年的背景监测。选择其中 6 场典型降雨(大、中、小降雨各 2 场),进行水质采样与化验。每场降雨采集 8 次水样,水质化验分析指标为 SS、COD_{Cr}、TN、TP、NH₃-N 等,采集水样总数不少于 288 个。

4.2 源头监测

4.2.1 典型海绵设施监测

根据芜湖市典型排水分区、典型海绵地块项目布置的海绵设施情况,对相应单体设施的效果进行监测。主要的海绵设施包括绿色屋顶、下凹绿地、雨水花园、道路生态滞留带、植草沟、湿塘(雨水湿地)、蓄水池这 7 种。不同单体设施的效果主要通过雨水海绵设施进水口流量、溢流口流量、水位液位和 SS 浓度进行监测。需要投入 15 台在线流量计、3 台在线液位计,对以上海绵设施进行在线监测。

除在线监测外,在海绵设施进出口开展降雨径流水质采样与化验工作,监测期间选择 6 场典型降雨(大、中、小降雨各 2 场),每场降雨采集 8 次水样,化验 SS、COD_{Cr}、TN、TP、NH₃-N 等水质指标,采集水样总数不少于 576 个。

4.2.2 典型海绵项目监测

结合芜湖市海绵城市建设特征,典型海绵项目主要包括:建筑与小区类、公园绿地类、道路广场类、水环境治理与水系建设类这四大类别,每个类别至少选择 3 至 4 个典型海绵项目,筛选 19 个典型项目,共投入 25 台在线流量计,25 台在线水质(SS)分析仪。

4.3 过程监测

4.3.1 内涝风险点监测

结合中心城区内涝积水调研情况,根据《芜湖市系统化全域推进海绵城市示范建设实施方案(2022—2024 年)》,21 处已整治的历史内涝风险点主要位于

市政道路交叉口低洼点、立交桥底等位置,目前已在市政设施监测平台、排水安全监测系统,以及城市生命线安全工程一期安装静压液位计和相关视频监控,可直接调用或使用市政设施监测平台、排水安全监测系统,以及城市生命线安全工程一期项目中的监测数据。

4.3.2 管网关键节点监测

对芜湖市中心城区内排水管网关键节点进行水位监测,评估雨水管网设计重现期内的排水能力。本着节省投资的原则,该项目不再设计液位测点位和设备,而是直接调用城市生命线安全工程一期/二期项目中的监测数据,以及市政设施监测平台、排水安全监测系统中数据。

复用城市生命线安全工程一期中 207 台雨水管网关键节点水位计(其中城北雨水片区 98 台、城南雨水片区 92 台、三山雨水片区 17 台),对雨水管网设计重现期内的排水能力评估提供数据支撑;污水管网中 34 套流量计数据,对污水系统提质增效及污水收集率评估提供数据支撑。

4.3.3 排水泵站数据接入

复用城市生命线一期中排涝泵站数据,对芜湖中心城区主要排水泵站运行数据进行数据接入,实现排水设施联合控制。对芜湖中心城区主要污水泵站运行数据进行数据接入,保障污水提质增效,为污水收集率评估提供数据支撑。直接调用城市生命线安全工程一期的排涝泵站运行数据,实现防洪排涝设施联合控制。

4.4 末端监测

4.4.1 典型排水分区监测

选取典型排水分区的排口进行流量、水质监测。根据监测区域范围的建设现状和建设条件,在排水分区开展在线监测,同时考虑该典型排水分区上下游汇水关系以及实际排口分布情况,进行“建设前(本底)-建设中(改善)-建设后(效果)”的建设全过程监测,在排水分区典型排口布设在线流量计和在线 SS 分析仪。

典型排水分区的选取体现了芜湖市海绵城市建设的本底特征和特色,涵盖老城区、新建城区、智慧海绵建设区、城市更新片区等典型片区,共选取 4 个典型排水分区开展监测工作,投入 25 台在线流量计,25 台在线水质(SS)分析仪。

4.4.2 污水处理厂数据接入

复用城市生命线一期中对芜湖市中心城区污水

处理厂的进出水口流量、水质数据,评估污水集中收集率及进水 BOD 浓度、污水提质增效等考核指标达标情况。

4.4.3 调蓄池数据接入

根据现场调研情况,接入芜湖中心城区调蓄池进出水口流量、水位、水质数据,评估芜湖市合流制污染控制效果。

4.5 系统流域监测

4.5.1 河道水位监测

对芜湖市中心城区重点防洪河道断面水位进行在线监测,为洪水预报和防洪提供依据。调用城市生命线安全工程一期/二期项目中的监测数据以及市政设施监测平台、排水安全监测系统中的数据。

4.5.2 黑臭水体和河湖断面水质检测

芜湖市在黑臭水体治理建设期间,分别在 74 条黑臭水体设置在线监测点位,监测温度、氧化还原电位、溶解氧、氨氮、总磷、化学需氧量等水质指标。同时在中心城区水环境综合治理 PPP 项目运营期内,聘请第三方监测机构定时监测相应水体的溶解氧、氨氮、透明度、氧化还原电位等水质指标。调用或使用中心城区污水系统提质增效 PPP 项目以及水环境综合治理 PPP 项目中的水质监测数据。

4.6 土壤渗透性测试

通过勘察,确定采样点位置 20 处。土壤研究过程中,针对每个点位均进行 GPS 定位,完成土壤土工颗粒样品的采样,采用样品盒进行土壤含水率测试,为后期海绵本底土壤特征和海绵设施参数提供基础数据。

5 监测体系验证

为验证监测体系设置的合理性与数据的可靠性,结合 1 场典型降雨事件(2024 年 11 月,日降雨量 45 mm),对体系效能进行评估。

绩效评估方面,源头监测数据显示,某海绵改造小区径流峰值削减率达 58%,这与该设施的设计目标(60%)高度吻合,证明了源头监测点布设对于量化低影响开发设施绩效的有效性。

雨洪过程追踪方面,过程与末端监测点成功捕捉了径流洪峰在排水管网中演进、汇集的完整过程,

时序数据符合水文规律,为城市雨洪模型的校准提供了关键验证数据。

水环境控制方面,水质监测数据清晰揭示了降雨初期的冲刷效应,并显示经过末端调蓄设施处理后,入河 SS 负荷削减超过 70%。

6 结 语

根据国家相关海绵考核要求,评价年径流总量控制率、面源污染控制率、内涝风险防治标准、黑臭水体消除比例等海绵城市建设效果,构建芜湖市海绵监测体系,在现有信息平台系统数据整合基础上,安装了一批硬件监测设备以开展雨量监测、城市本底监测、流量监测、水质监测、下垫面径流污染监测、积水点水位监测等。监测设备包含:在线雨量计、在线流量计、在线水质(SS)监测仪、液位计、人工采样与水质分析。同时包含:监测方案制定与优化、监测数据统计分析与绩效评估等。海绵城市监测体系的构建与实施,为芜湖市海绵城市建设成效的量化评估提供了科学支撑,其系统化的监测思路与评估方法论可为其他城市海绵建设监测考核体系的标准化建设提供重要参考。

参考文献:

- [1] 李俊奇,李小静,刘迪,等.海绵城市建设在中国:十年耕耘,百城绽放[J].中国给水排水,2024,40(10):1-8.
- [2] 马振强,隋军.海绵城市智慧管控平台构建[J].环境工程,2024,41(增刊1):545-549.
- [3] 郭瀛莉,汤钟,孙静,等.海绵城市设施建设效果监测体系构建与应用[J].中国给水排水,2023,39(24):8-15.
- [4] 房亚军.海绵城市建设效果定量评价与模拟方法研究[D].北京:北京交通大学,2023.
- [5] 吕红亮,吴岩杰,于德森,等.后试点时代的已建区海绵城市建设方案编制[J].中国给水排水,2023,39(6):41-48.
- [6] HAN S, LI M. Research on the sponge city smart platform of Wenzhou high-speed railway new city[J]. International Journal of Innovative Computing and Applications, 2021, 12(5-6): 312-320.
- [7] DAMING L, LIANBING D, ZHIMING C. Evaluation method of sponge city potential based on neural network and fuzzy mathematical evaluation[J]. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 2020, 39(4): 1-12.
- [8] 丁孟达,张晨晖,佟彤,等.海绵城市建设评价指标研究[J].中国给水排水,2022,58(增刊1):22-25.
- [9] 王晟,闵飞田,佟彤.海绵城市设施的降雨径流和污染负荷频谱分析方法[J].环境科学学报,2023,43(2):204-211.