

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.02.022

排水管网在线监测布点数量的确定

郭效琛¹, 李萌², 杜鹏飞¹, 赵冬泉², 张旭东²

(1. 清华大学 环境学院, 北京 100084; 2. 北京清环智慧水务科技有限公司, 北京 100086)

摘要: 排水管网在线监测对城市排水智慧化管理、系统优化调度、在线预警报警等工作的开展起到重要的支撑作用,需要在一定的经济成本约束下,制定合理有效的排水管网在线监测方案。其中,在线监测布点数量的确定是制定方案的基础工作,但目前主要依赖于人为主观判断,缺少定量化的方法。提出了排水管网分级监测的思路,根据整体、分区和源头三个层级的监测思路,量化不同层级下最优监测布点的数量及不同监测点数量设置下可实现的最优监测效能,可指导排水管网在线监测布点数量的确定。将该方法分别在城市雨水系统和污水系统监测点数量确定中进行应用,能够支持监测方案的量化评价、监测方式和指标的筛选等。

关键词: 排水管网; 在线监测; 分级监测; 量化评价

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2022)02-0122-10

Quantification of On-line Monitoring Layout in Urban Drainage Network

GUO Xiao-chen¹, LI Meng², DU Peng-fei¹, ZHAO Dong-quan², ZHANG Xu-dong²

(1. School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Beijing Tsinghuan Smart Water Tech. Co. Ltd., Beijing 100086, China)

Abstract: As for the intelligent management, system optimization scheduling and on-line warning-alarm of urban drainage, the on-line monitoring plays an important supporting role. Therefore, reasonable and effective on-line monitoring scheme for urban drainage should be developed under the constraint of economic cost. Among them, the quantification of the monitoring points is the basic work for the whole scheme. However, at present, it mainly relies on subjective judgment and lacks quantitative method. This paper puts forward the idea of hierarchical monitoring of drainage network. Through quantifying the number of optimal monitoring points at three levels, namely, the overall level, the regional level and the source level, and optimal monitoring efficiency which can be achieved under different monitoring points, the idea can guide the quantification of on-line monitoring layout in urban drainage network. The method is applied in the urban stormwater system and sewage system respectively, and it can support the quantitative evaluation of monitoring program, monitoring mode and index selection.

Key words: drainage network; on-line monitoring; hierarchical monitoring; quantitative evaluation

排水管网对于城市安全运行起着重要的保障作用,但由于排水管网工程本身的隐蔽性强、分布

范围广,导致其运行状态不清、管理难度较大,对管网混接、入流入渗等问题的分析诊断困难^[1]。利用

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51878372)

排水管网在线监测可以支持排水系统问题的定量诊断与分析,支持排水系统的智能化管理;而数据的可靠性、准确性及有用性则是排水管网分析诊断的基础^[2]。对所有排水管网节点进行在线监测布点,能够全面掌握排水管网的运行状态,但节点数量众多,监测成本过高;在经济成本的约束下,需要根据监测需求和目的,制定科学有效的监测布点方案,筛选最具代表性的节点,以尽可能少的监测点获取尽量全面的排水管网信息,形成兼顾代表性和经济性的可行监测方案。

对于特定区域,排水管网在线监测方案应涵盖监测指标、监测布点数量、监测位置以及监测时间等多项内容。其中,监测设备的数量在监测方案制定的初期是最为关键的指标,为区域问题的整体规划设计提供制定预算的依据,推进项目的执行。目前,排水管网在线监测布点数量的确定,主要依靠人为主观经验判断,尚没有统一的方法和标准,造

成布点数量的不确定性,降低了项目资金使用的有效性^[3]。

针对排水管网监测布点量化确定的问题,基于排水管网特征、运行规律、监测需求,研究按照整体监测、分区监测和源头监测三个部分,提出分层级的排水管网监测思路,以水量监测为基础,建立监测点数量量化的制定方法。

1 排水管网监测基础

对于目标区域排水管网,监测点数量的确定需要考虑对排水关键要素的覆盖、监测指标的筛选以及区域开展监测的目的。

1.1 排水管网在线监测要素

排水管网是一种典型的网络系统,具有很强的上下游关联性,从排放源到分支管网、主干管网、泵站、污水厂及最终的受纳水体,形成完整的排水系统。以污水排放系统为例,在监测点位的设置上,共可分为6个部分,如图1所示。

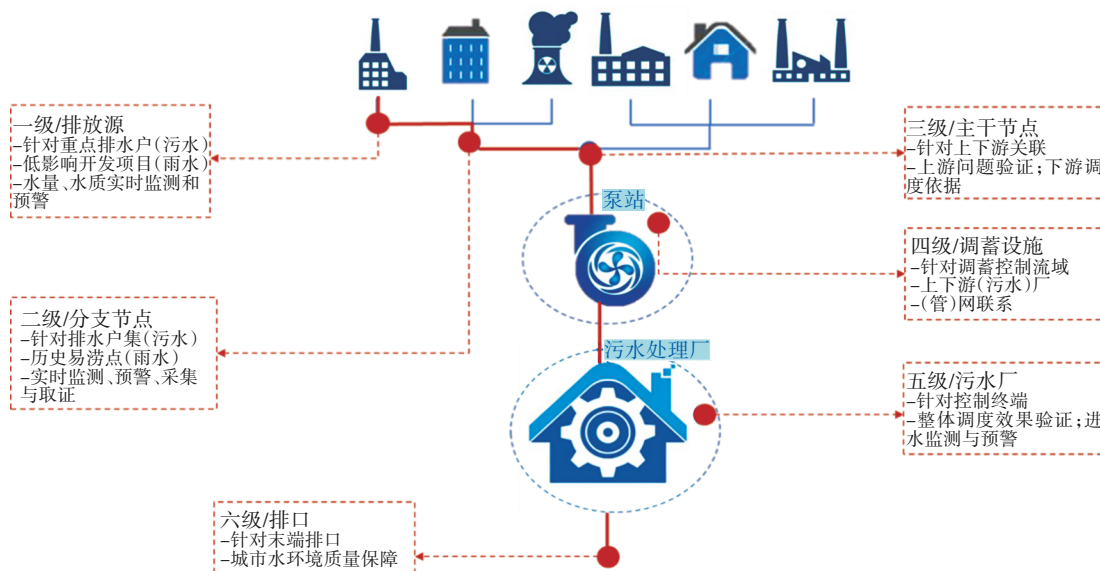


图1 排水监测要素示意

Fig.1 Schematic diagram of drainage monitoring elements

① 排放源。对污水系统而言,主要为片区内重点企业或典型小区,作为排水户,向市政管网系统排入生产及生活污水;在排口应进行水量和水质的实时监测,对偷排漏排起到监管作用。对雨水系统而言,则为低影响开发项目,排口的监测可直接支持项目达标性的分析。

② 分支节点。对于污水系统,分支节点反映多个排水户的情况,可掌握一个小片区整体的排污

情况。对于雨水系统,分支节点的监测主要针对历史易涝点,可对城市内涝问题进行实时监测与动态预警。

③ 主干节点。无论污水系统还是雨水系统,主干节点都起着重要的连接作用,通过流量和典型水质指标的联合监测,可作为上游问题验证、下游合理调度的依据。

④ 调蓄设施。针对调蓄控制的流域,体现上

下游、排水系统联合调度的关系。

⑤ 污水厂。污水系统的控制终端,通过进、出水的监测,对排水情况进行监测与预警,评估污水厂收水范围内的整体情况。

⑥ 排口。排水管网系统的末端,体现对城市水环境质量的影响。

1.2 排水管网在线监测指标设置

排水监测指标整体上可分为水量和水质两大方面,同时需对降雨进行监测,作为排水分析的背景信息与基础^[4]。

① 雨量。利用在线雨量计,监测片区内的降雨信息。

② 流量。水量监测的主要指标,可以支持定

量分析。

③ 液位。水量监测的辅助性指标,监测成本较低,可提供定性分析。

④ 水质。在线监测主要选择简单的单项指标,对水质进行整体掌握;其中雨水管网系统可选择悬浮物(SS);污水管网系统可选择电导率;受纳水体可选择SS和溶解氧(DO)。

1.3 排水管网在线监测目的

不同区域排水管网系统面临的问题不同,因而排水管网在线监测的目的也有所差异,需要根据各自具体的监测目的,进行监测点位置和监测指标的选择。

不同监测目的下监测点设置分析如表1所示^[5-6]。

表1 不同监测目的下监测点设置分析

Tab.1 Analysis on the setting of monitoring points under different monitoring purposes

监测目的	监测意义	监测点	监测指标
排水防涝	对积水进行及时预警,防止内涝事故	①历史积水点及易涝点	液位
		②重点路段雨水管网节点	液位
		③雨水管网下游主干管节点	流量
		④主要雨水排口及合流制排口	液位+流量
		⑤源头项目接户井	流量
控源截污	区域水环境污染溯源分析,对排水户进行监管,保障区域水环境质量	①存在超标超限排放风险的排水户接户井	流量+水质
		②泵站、污水厂的进、出水管	流量
		③重要分支管网节点	流量
		④溢流风险较高的节点	液位
		⑤河流水系沿岸排口	流量+水质
提质增效	评估管网中的外水量,指导排水系统的修复及改造,提高排水系统运行效率	①污水厂进、出水管	液位
		②污水泵站、调蓄池的进、出水管	流量
		③重要分支管网节点	流量
		④合流制排口	流量
模型支持	支持排水管网建模工作的有效开展	①汇水关系清晰的主要排口 ②需要输入真实水量条件的管网节点 ③重要排水设施 ④典型排水户或源头项目接户井	流量 (雨水管网可选SS作为代表性水质指标)

2 监测点量化确定的依据

对排水管网监测布点数量进行量化的制定,需要满足排水管网监测布点的要求,并根据不同要素的重要程度进行优先级的排序,从而在一定经济成本约束下,确定最优的监测点数量。

2.1 监测布点位置要求

2.1.1 雨水系统排放口

雨水排放口在旱季不应有水流排放,若旱季存在排水则应进行重点监测,支持区域的偷排漏排管

理;在降雨期间对雨水径流排放进行监测,可对片区整体的径流水量及水质情况进行评估。可根据排口大小,选择具备监测条件的雨水排口进行在线监测:

① DN300以下,雨水径流量小(一般小于3.2 m³/min),对水体影响有限,可不监测;

② DN300~DN600中等排水口,对城市水体影响明显,需监测流量;

③ DN600及以上是主排口,降雨期间排入水

体的水量大,对城市水体影响显著,需进行流量及水质监测。

2.1.2 合流制溢流口

在合流制体制下,混合污水的流量超过截污干管的输水能力时,部分污水会发生溢流直接进入受纳水体;部分排口在旱季甚至存在污水直排的现象,通过对合流制溢流排口的监测可评估区域整体溢流污染情况,对点源污染进行有效的监管。

① 由于在降雨强度较大时,混合污水流量超过截流干管输水能力,合流制排口存在污水排入水体的可能,所有排口均有监测的需求。

② 所有排放口均优先保障流量监测,对于重点排口(DN600及以上),若发生污水直排对城市水环境影响显著,有条件时应进一步补充水质监测。

2.1.3 雨水管网

① 选择下游主干管节点进行流量监测,可支持对应分区的径流总量控制率评估;

② 历史积水点及易涝点进行液位监测,对城市内涝进行预警并评估水安全情况。

2.1.4 合流制及污水管网

在管道主干节点进行流量监测,可支持水量平衡、管网运行规律的识别;对入流入渗、雨污混接等管网问题进行诊断分析。

① 选择带压运行压力较高的节点进行液位监测,为运行评估及风险预警提供在线动态依据;

② 在泵站、调蓄池、污水厂等主要设施的进出水口进行流量监测,为排水系统的整体运行调度提供依据^[7]。

2.2 节点布置优先原则

无论是源头、管网还是排口,作为排水系统的组成部分,都有监测的需求;污水和雨水也都应同步开展监测,但在经济成本有限、监测点数量设置不够的情况下,无法完全满足监测点布置的需求,考虑不同监测点的重要性,应对重要节点优先进行监测。

① 排口>管网>源头

排口作为排水管网系统的终端,对城市水环境有显著影响,应优先监测;管网节点是排水系统的过程部分,起着承上启下的联通作用;源头是排水系统的源头端,个别排水户/项目对整体排水系统的影响相对有限。

② 污水>雨水

目前大多数城市的分流制排水体系,从排放时间角度,污水持续存在而雨水径流仅在降雨期间产生;从城市监管角度,污水的排放更需要进行合理有效的组织与管理。

3 排水管网分级监测方法

为支持排水管网监测布点数量的量化确定,在监测方案制定过程中采用分级监测的技术体系,逐级完善排水管网在线监测。

3.1 整体技术体系

分级监测技术体系以区域监测目的为基础,包括整体监测、分区监测和源头监测3个层级,不同层级所涵盖的监测要素不同,能实现的监测目的也有所差异,如表2所示。

表2 排水管网分层级在线监测

Tab.2 Hierarchical on-line monitoring of drainage networks

监测层级	监测要素	可实现的监测目的
【整体监测】 区域管网整体运行状态持续监测	排口、 主干节点	排水系统整体运行规律掌握
		水环境质量整体改善
		主干管网模型的建立
【分区监测】 不同分区管网运行状况监测	排口、 主干节点、 分支节点	区域易涝点的实时监测预警
		排水分区的量化诊断分析
		排水管网建设方案整体规划设计
【源头监测】 区域内排水户及低影响开发雨水项目的动态监管	排口、 主干节点、 分支节点、 排水户	排水管网系统污染源溯源分析
		排水管网建设方案精细化设计
		排水户动态监管
		雨水源头控制项目达标分析

① 整体监测

整体监测主要是对区域整体情况的掌握,覆盖程度相对有限,仅针对管网的主要节点,管网布点密度较低。整体监测针对的是区域最重要的节点,能够掌握区域排水的基本负荷情况,支持基础性管理工作的开展,建议进行长期固定监测。

② 分区监测

结合区域汇水关系和管网存在的问题,对区域进行划分,基于网格化的思维模式,将各分区作为监测单元,对排水系统进行合理的分解。

在分区监测层级下,可对各分区的排水问题进行诊断分析,形成相对精细化的管理模式,可支持大部分排水管网问题的管理,但由于未涉及排水源头部分的监测,无法进行污染溯源,不能对排水户

进行追责,不能评价雨水管控项目的效果。

③ 源头监测

污水系统主要针对企业、居民小区等排水户,雨水系统则主要针对各类低影响开发项目。

源头监测在分区监测层级上进一步细化,可支持溯源分析并进行追责,可辅助排水管理,落实排水许可制度的动态监管,将在线监测数据进行集成,对污染排放源进行预警预报,实时更新状态。对低影响开发改造项目,则可支持项目达标分析,根据评估结果可对存在的问题进行持续改进与优化。

3.2 分级监测定量评分曲线

为支持监测点数量的定量化确定,需要对监测效能进行量化评分,确定不同监测点数量设置下所能实现的最佳监测效能,并通过分数进行刻画,从而形成分级监测定量评分曲线。

3.2.1 最佳监测效能的确定

同样数量的在线监测点位设置,布置于不同的监测点位置、监测不同的监测要素,所能实现的监测效能则有所差异。对于尚未开展监测的区域而言,优先在排口布置在线监测点,能够掌握区域内对应汇水范围的整体情况,但仅布置在单独源头排水户的排口,所能获取的信息则大幅减少,对应的监测效能降低。

在一定数量的点位设置下,应按照节点布置的优先原则进行监测位置的筛选,将有限的监测设备布置在重要的监测要素上,获取关键信息。

3.2.2 各层级最优监测数量设定

以项目区域的面积、管网长度、排口数量等信息为基础,依据监测目标,对不同层级下最优方案监测点的数量进行设定。将整体监测最优数量对应的评分设为100分,分区监测和源头监测在整体监测的基础上,能够更进一步了解排水系统情况,支持排水系统的诊断分析和智慧化管理,对应的分值逐级增加,将分区监测最优数量得分设为200分,源头监测最优数量得分设为300分;不同层级对应的监测目的不同,对各要素监测覆盖的比例要求也就有所差异,以水量监测布置的最优数量为例,需依据区域内各要素节点数量进行确定,如表3所示。

根据目前对城市排水系统的要求,污水不能直接排入受纳水体,许多城市对污水直排口进行了封

堵和改造,但仍留有合流制溢流口,属于重点监测要素,在整体监测层级下,应尽可能进行监测覆盖;区域内雨水排口数量远多于排污口,尤其是河流水系密布的区域,大小排口沿河分布,在整体监测和分区监测层级下仅需要覆盖主要排口,达到源头监测层级后,才需对所有具有监测需求的雨水排口进行覆盖。

表3 不同层级水量最优在线监测数量的确定

Tab.3 Quantity certification of optimal on-line monitoring points

分级监测	最优得分	合流制排口/%	雨水排口/%	污水管网节点/%	雨水管网节点/%
整体监测	100	100	40	20	10
分区监测	200	100	80	30	20
源头监测	300	100	100	80	70

在管网节点监测布置部分,整体监测层级最优数量仅覆盖管网系统核心的节点;以整体监测为基础,考虑区域排水分区的划分情况,识别排水管网的关键节点,在主干节点的基础上覆盖分支节点,虽然分区监测层级下,最优监测点数量增加有限,但可支持大部分排水管网问题的诊断与分析;在源头监测层级下,由于污水系统的排水户以及雨水系统的地块类项目数量巨大,最优监测数量大幅增加。

在各层级内,由监测点数量设置的覆盖比例确定基础得分,并根据布点的要求、优先原则、监测点覆盖的重要程度,进行分数的调整,对应分值均为该监测点数量下所能实现的最佳监测效能。

分级监测体系下在线监测点数量定量评分曲线如图2所示。

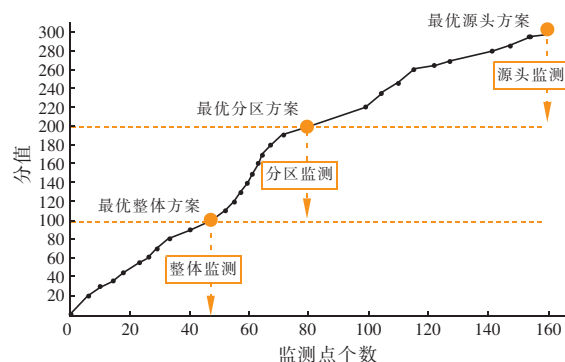


图2 分级监测监测点数量的定量评分曲线

Fig.2 Quantitative scoring curve of monitoring points number for hierarchical monitoring

4 监测点数量量化确定的应用

基于分级监测体系,利用定量化评分曲线,对于特定区域,可根据基本的排水管网资料和监测需求,对监测点数量进行初步的量化确定,并根据经济约束条件,确定监测方式,形成区域初步的监测布点方案,并能够指导监测方案的优化与调整。

4.1 雨水系统监测

以某海绵试点区的监测为例,根据海绵城市考核评估的需求,按照降雨径流的汇集过程,从源头到过程到末端,建立全过程系统性的监测体系,全面掌握海绵试点区的雨水径流排放情况,能够支持多个排水分区的精细化管理及问题诊断,对源头低影响开发项目进行达标评价与分析并督促优化整改^[5]。

该海绵试点城市位于我国东部地区,对海绵试点区的雨水管网系统进行基本资料的收集:试点区域面积共计 25.24 km²,其中排水管网辐射面积为 20.5 km²;现状雨水管道长约 79.5 km;末端入河主要排放口共计 75 个,其中雨水排放口 73 个,合流制排放口 2 个;源头低影响开发改造地块类项目共计 108 个。根据试点区的基本信息,考虑 3 个层级的监测需求,分别确定最优监测点数量,即,整体监测最优监测点为 39 个,分区监测最优监测点为 76 个,源头监测最优监测点为 178 个。海绵试点区域评分曲线如图 3 所示。

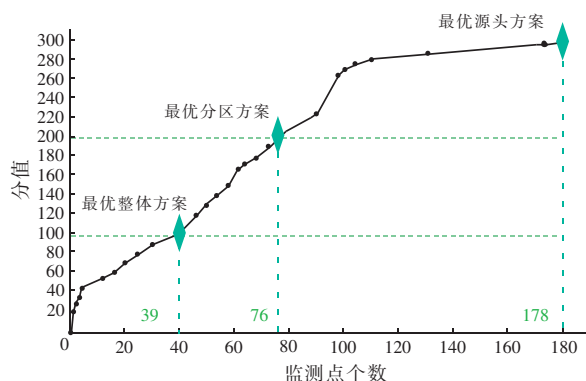


图3 海绵试点区监测评分曲线

Fig.3 Scoring curve of pilot area in sponge city

根据监测目的和需求,应完成整体监测和分区监测,考虑源头地块项目数量较多,应尽可能覆盖,在源头监测层级部分,监测效能应达到 80% 及以上。

4.1.1 整体和分区监测

根据区域内的排水关系,海绵试点区共划分 17 个子排水分区,在排口部分共布置 75 台在线监测设备,覆盖所有排口;在管网监测部分,兼顾各排水分区,设置 26 个监测点,对管网主干和分支节点进行监测。

① 排口监测

在汇流区域面积大的主要雨水排放口和 2 个合流制排放口布置流量在线监测点,实时采集流量信息,共计 60 处;在汇流区域小的排放口布置液位在线监测点,仅作为排放口是否有出流的定性判断,共计 15 处。

② 管网监测

在雨污混接处下游管网或主干管网下游节点进行流量监测,支持排水管网日常运行规律的定量分析,共 12 处;在区域易涝点、管网重点区域进行液位在线监测,支持内涝预警及管道运行风险评估,共 14 处。

4.1.2 源头监测

海绵试点区内共计 108 个源头地块类项目,若全部布置在线监测设备进行监测,所需成本会大幅增加;另外,根据评分曲线,源头监测部分监测点个数增加显著,但后期分值增加幅度有限。考虑各个地块排水具有一定的相似性,仅选择典型项目进行在线监测。筛选住宅小区、公园绿地、广场等不同类型的 19 个典型项目进行监测,由于项目排口不唯一,部分项目需多台监测设备,共布置 34 处。

4.1.3 监测方案初步制定

根据试点区排水系统的基础资料,可得到 3 个监测层级下最优的监测布点数量,并得到量化的评分曲线。

考虑海绵城市建设效果考核评估的需求,进行监测布点数量的确定,最终形成 135 处在线监测布点方案,覆盖试点区全部排口、主干和分支节点以及典型源头项目。在评分曲线中,对应得分为 285 分,在布点位置、指标选择合理的最优布点方式下,理论上可完成整体监测和分区监测。在源头监测部分,通过对典型项目的筛选,可进行有效监测,在有限的经济成本投入下,完成该层级 85% 左右的监测效能。

试点区监测布点示意及得分见图 4。

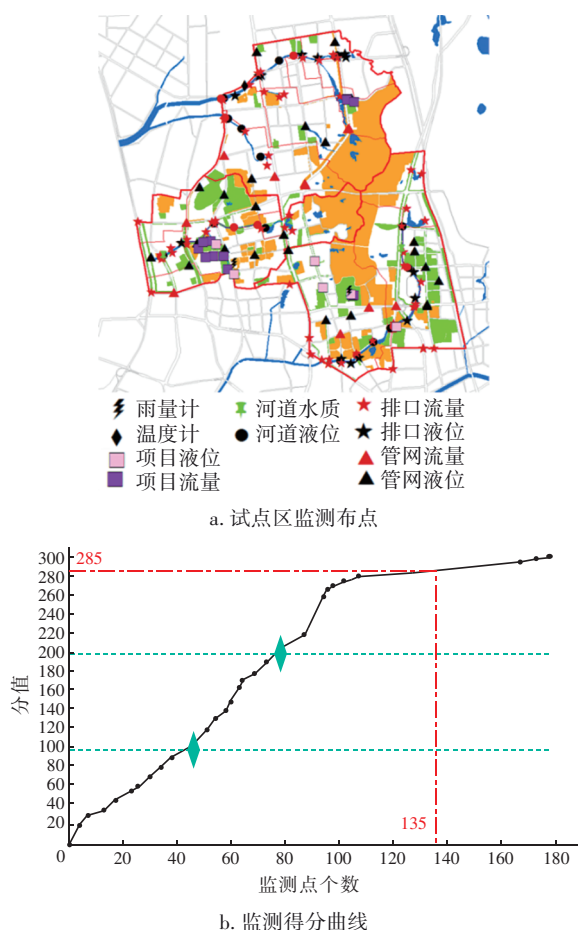


图4 试点区监测布点及得分示意

Fig.4 Monitoring layout map and scoring curve

4.2 污水系统的监测

为实现厂网一体化的智能管控模式、支持排水管网动态监测与预警机制的建立、评估区域内实施控源截污工程改造的效果,某市需对污水排水系统建立从排水户到污水厂的全过程在线监测。该在线监测体系的建立,能够为雨污混流、排水户偷排、入流入渗、污水厂进水浓度低、管网带压运行等问题提供数据,从而大幅提高排水系统整体运行的可靠性和效率。

该市位于长江流域,城区核心区域面积共计63.5 km²;新建区域的市政管网为雨污分流,但城区内大部分区域为合流制,存在污水下河现象,目前正在实行控源截污工程,消除污水直排现象;主城区内共计3座污水处理厂、21座泵站;区域范围内水系密布,沿岸大小排污口共计600余个;排水户共计323个。

4.2.1 监测方案分级量化制定

以区域基本信息为基础,考虑监测目的和需

求,以污水系统监测为主,暂不考虑对雨水系统的监测,按照分级监测量化评分的方法,可得到监测效能分值与监测点个数的关系曲线图,如图5所示。

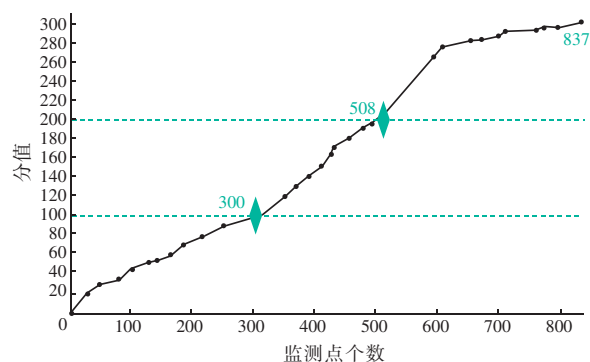


图5 区域理论分级监测量化评分曲线

Fig.5 Theory hierarchical monitoring quantitative scoring curve for the region

由于区域面积大,水系密布、排口众多,各层级下最优监测所需的布点数量都较大,若都采用固定设备的监测模式,经济成本过高,因此在兼顾考虑经济性与满足需求的双重约束下,采用固定与轮换相结合的监测模式,利用有限的监测成本尽量覆盖较多的点位。

通过轮换监测的方式,在相同监测设备数量下,覆盖的监测范围可显著提升,提高监测效能,但相比于固定监测,轮换监测的方式必然会损失一部分信息量,因此需针对排水系统内不同要素的特征和监测需求,选择监测方式,保障在线监测的有效性。

① 固定监测的内容

区域内管网部分所需监测点数量较少,主要是污水主干管,需长期持续收集数据;为支持排水系统整体的运行调度,排水设施如污水厂进水主干管和泵站也需要固定监测收集数据;排口部分,由于数量过多,仅对大型排口($d \geq 600$ mm)采用固定监测的方式;考虑排水户监管的需求,典型排水户开展固定监测,掌握区域排水规律。

② 轮换监测的内容

区域内大部分排口属于中小型排口,入河水量有限,可采用轮换监测的方式,阶段性收集数据;对区域内大部分排水户采用轮换监测的方式,采集排水户信息。

4.2.2 排水管网监测

① 污水主干管监测

结合主城区控源截污工程开展的管网完善工程,对新建主干管($d800\text{ mm}$ 和 $d1\,000\text{ mm}$)以及现状污水主干管,进行流量固定监测,掌握区域整体排污情况,共计16个监测点。

② 历史积水点监测

区域以污水系统监测为主,考虑对积水内涝预警报警,选择内涝严重的9个积水点进行液位的监测。

③ 泵站进出口

区域范围内共选择13座泵站,在泵站的进水口进行流量的在线监测,掌握各泵站服务范围内来水量,从而为泵站调控策略的制定提供水量数据;选择其中规模较大的4个主要泵站布置自动采样器,在流量发生突变时,可触发采样,进一步对水样进行人工检测化验,选择pH、电导率、浊度、氨氮、COD等指标进行化验,可掌握区域内水质情况。

④ 污水厂干管

对污水厂收水干管进行液位监测,从而掌握干管的充满度;对污水厂的运行负荷进行预警,支持排水系统的一体化调度;根据管网拓扑关系,2座污水厂分别与2根主干管相连,共需4台在线液位计。

4.2.3 排口监测

① 固定监测

共筛选管径 600 mm 及以上的重要排口进行流量和水质的固定监测,共计13台在线流量计和13台水质在线预警仪。

② 轮换监测

服务于控源截污工程,需摸查排口以及未进行截污干管建设区域和封堵的排口,避免偷排和漏排,共需对项目范围内的142个排口开展轮换监测,需预留24台在线流量计。

4.2.4 排水户监测

① 固定监测

选择典型小区市政管道接口布置监测点。选择已经进行雨污分流改造且排水量较大的项目进行固定监测,分析雨天旱天运行情况,初步筛选29个典型排水户监测,共需29台流量计和29台自动采样器。

② 轮换监测

对清河区188户、清浦区114户以及开发区21

户采取雨污合流制的排水户进行雨污分流改造,共计323户。除固定监测29户,其余294户采用轮换监测,预计在一年内完成所有排水户雨季和旱季排口水量和水质的数据收集。经计算,共需19台在线流量计,进行16次轮换监测。

4.2.5 监测方案评价与优化

该市主城区排水管网采用在线监测,水量在线监测方面共计139台监测设备,各要素布点的在线液位计和在线流量计如表4所示。其中,部分要素采用轮换监测的方式,等效覆盖监测点数量大幅增加,可达到532个。

表4 排水管网各要素水量监测设备统计

Tab.4 Statistics of water quantity monitoring equipment for each element

监测要素	在线液位计/台	在线流量计/台	流量计轮换等效
排水户		48	323
管网节点	21	16	
泵站进水管		13	
污水厂干管	4		
排口		37	155
合计	25	114	507

根据分级监测的理论分值曲线,覆盖532个监测点位,监测效能对应的分值为220分(见图6),可基本满足3个层级的监测需求,实现监测目的。但受经济条件制约,采用轮换监测的方式,对于面积较大的监测区域,提高了监测覆盖度,但监测的精细化程度较差,若后期经济条件允许,可再增加20台左右的设备,将等效监测覆盖点提升至600个左右,监测效能对应得分可明显提升。

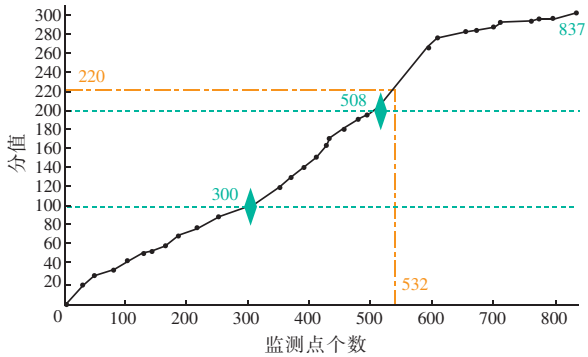


图6 区域水量在线监测得分

Fig.6 Score of water quantity on-line monitoring for the region

5 结果与讨论

对于排水管网系统的在线监测而言,在制定监测方案时,在线监测的布点数量是首先需要考虑的问题。针对不同区域的监测目的和需求,根据分级监测的思路,明确不同层级下最优监测方案的布点数量和不同监测点个数下所能实现的监测效能,可支持监测点数量的量化确定、方案量化评价与优化、监测方式选择以及监测的逐步完善等。

5.1 监测点数量的量化确定

根据项目区域排水系统所面临的问题以及监测目的,确定监测方案对应的监测层级,在每一层级内根据评分曲线确定监测点个数。

① 各层级内监测点个数设置应尽量靠近最优方案,一般而言,各层级内与最优方案相比,监测效能应大于80%(对应整体监测为80分,分区监测180分,源头监测280分),以实现该层级对应的监测目的。

② 结合分值曲线各区间段的具体形状,分析监测点的边际效益,从而调节监测点个数。评分曲线的斜率能够在一定程度上反映监测点所起到的边际效益,某些阶段曲线斜率较大,说明该部分监测点数量的增加,能够显著增加监测方案整体的有效性,在经济条件允许的情况下,应增加该部分监测点的数量;但也有一些监测点边际效益较低,虽然增加一个监测节点的成本固定,但对监测方案整体效果的提升相对有限,只有在经济预算充足的情况下才需进行布设。

5.2 监测方案量化评价与优化

评分曲线按照监测布点优先原则绘制,是一定监测点数量下所能实现的最优监测效果,随监测点个数增加,对应的分值升高,逐步接近最优方案。

① 在一定经济成本投入的约束下,可得到所能布设的监测点数量,快速确定该条件下能实现的最优监测效果。

② 随着项目实施的推进,监测方案也需要进行一定的优化与调整,利用定量评分曲线,可以预评估监测方案调整后的理想效果。

5.3 监测方式的选择

在相同监测设备数量的条件下,综合利用固定监测和轮换监测的方式,可以大幅提高监测设备的覆盖范围,提升监测方案对应的评分。但设备轮换

需要一定的更换时间,与固定监测相比,势必会损失一部分信息。

① 整体监测是区域核心关键点,掌握区域排水必需的基本信息,宜采用固定监测。

② 分区监测部分对应的曲线斜率整体较大,单个监测点所起到的边际效益高,监测数据可支持排水管网大部分问题的诊断,宜采用固定或轮换监测。

③ 源头监测,由于排水户/源头项目数量众多所需监测点数量大,曲线斜率较小,选择代表性的进行固定监测,其余宜采用轮换或临时监测。

5.4 分级监测的逐步完善

对于特定项目区域,应分阶段实施分级监测,避免在基础信息有限、监测实施条件较差的情况下,盲目追求一步到位。

① 应优先布置整体监测部分所需的点位,作为对区域整体信息的掌握,为后期监测布点提供基础;尤其是基础资料较差区域,尽快掌握区域排水整体特征。

② 在整体监测的基础上,可同步对分区监测和排水户监测所需的监测点进行设备安装,支持区域排水精细化管理,以及污染溯源。

③ 完成设备安装后,开始持续收集数据,根据已有监测数据,持续补充完成剩余监测点设备安装。

④ 根据监测目的、资金成本和已有数据,结合分值曲线,对初步的监测方案进行优化调整。

参考文献:

- [1] 何人杰,刘艳臣,吴林安,等. 无锡市城市排水管网的信息化建设与应用[J]. 中国给水排水, 2013, 29(22): 18-21.
HE Renjie, LIU Yanchen, WU Lin'an, et al. Construction and application of information management system for sewer system in Wuxi City[J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(22): 18-21 (in Chinese).
- [2] 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 Dongquan, WANG Haozheng, CHEN Jining, 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 (in Chinese).

- Chinese).
- [3] 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 Xiaochen, LI Meng, ZHAO Dongquan, *et al.* Research and progress on optimal layout of monitoring points in urban drainage networks [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(4): 26-31 (in Chinese).
- [4] 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 Xiaochen, ZHAO Dongquan, CUI Song, *et al.* Construction of “source-process-end” on-line monitoring system for sponge city: a case study of sponge pilot area in Licang District, Qingdao City [J]. Water & Wastewater Engineering, 2018, 44 (8) : 24-28 (in Chinese).
- [5] 盛政,刘旭军,王浩正,等. 城市污水管道入流入渗监测技术研究与应用进展[J]. 环境工程, 2013, 31(2): 17-21.
- SHENG Zheng, LIU Xujun, WANG Haozheng, *et al.* Study on field monitoring technology for urban drainage network system management [J]. Environmental Engineering, 2013, 31(2): 17-21 (in Chinese).
- [6] 周建华,李文涛,隋军,等. 水力模型在城市排水管网改造设计中的应用[J]. 给水排水, 2013, 39(5): 106-110.
- ZHOU Jianhua, LI Wentao, SUI Jun, *et al.* Application of the hydraulic model in the municipal drainage network modification project [J]. Water & Wastewater Engineering, 2013, 39(5): 106-110 (in Chinese).
- [7] 何中杰. 城市分布式泵站排水系统综合节能与协调优化控制研究[D]. 杭州:浙江大学, 2009.
- HE Zhongjie. Research on Comprehensive Energy Saving and Coordinative Optimization Control of Distributed Pumping Stations in Urban Drainage System [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2009 (in Chinese).

作者简介:郭效琛(1992-),女,山西太原人,博士,助理研究员,研究方向为城市排水管理。

E-mail: guoxiaochen_92@163.com

收稿日期:2020-02-06

修回日期:2020-03-20

(编辑:衣春敏)

· 信息 ·

2021年《中国给水排水》被收录为“中国科技核心期刊”

2021年12月27日,中国科学技术信息研究所在北京发布了《2021年中国科技论文统计报告》。

自1987年以来,中国科学技术信息研究所一直承担着中国科技人员在国内外发表论文情况的统计分析工作,每年定期公布中国科技论文产出整体分析报告,并在此基础上拓展到对中国在科技期刊、专利产出、学术图书出版等领域情况的统计分析。

立足新发展阶段、贯彻新发展理念、构建新发展格局、推动高质量发展,必须深入实施科教兴国战略、人才强国战略、创新驱动发展战略,完善国家创新体系,加快建设科技强国,实现高水平科技自立自强。作为原始创新的重要产出之一,科技论文在科技评价体系中的作用,应调整为引导科研人员发表高质量的学术成果。

《中国给水排水》杂志继续入选“中国科技核心期刊”,所在“建筑科学与技术类”核心期刊共有34种。《中国给水排水》2020年的主要测评指标如下:

核心总被引频次		核心影响因子		综合评价总分	
数值	学科排名	数值	学科排名	数值	学科排名
3 522	2	0.624	14	46.6	7

(数据来自中国科学技术信息研究所《2021年中国科技论文统计报告》,由衣春敏编辑整理)