

DOI: 10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.10.006

城镇排水管网分区监测诊断方法与应用

陈小龙¹, 李心梅², 余黎¹, 王生愿¹

(1. 北京清控人居环境研究院有限公司, 北京 100083; 2. 安徽农业大学 资源与环境学院, 安徽 合肥 230036)

摘要: 在对片区排水体制、排水管网拓扑关系、排水户特征进行综合分析的基础上,划分监测诊断单元,结合在线监测和水质检测技术,开展城镇排水管网分区诊断工作,全面掌握排水管网系统的排放规律和水质状况。对获取的监测数据进行必要的清洗和校正,基于旱天水质水量平衡、旱雨天对比等分析技术,客观、定量、系统性诊断片区排水管网所存在的入流入渗问题,进而反映管网健康状况。针对各监测单元的健康程度进行排序,明确进一步检查和改造的片区优先级,在一定范围内抓住重点、节约投资,可作为城市排水管网周期性检查的重要技术手段,为开展针对性的管网修复和设施改造工作奠定基础。

关键词: 分区监测; 入流入渗; 诊断评估

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2022)10-0040-06

Technology and Application of Zoning-monitoring and Diagnosis of Urban Drainage Network

CHEN Xiao-long¹, LI Xin-mei², YU Li¹, WANG Sheng-yuan¹

(1. Beijing Tsinghua Holdings Human Settlements Environment Institute, Beijing 100083, China;
2. College of Resources and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China)

Abstract: Based on the comprehensive analysis of the district drainage system, drainage pipe network topology, and drainage household characteristics, the monitoring and diagnosis units were divided. The urban drainage network zoning-diagnostic work were carried out and the real status of drainage law and water quality in drainage network were obtained by combing with water quantity and quality monitoring techniques. The obtained monitoring data were cleaned and corrected. Inflow and infiltration problems in the district drainage network were assessed objectively, quantitatively and systematically based on dry weather water quantity and quality balance, dry and rainy day comparative analysis and other analytical techniques, thus the health of the network was reflected. The health of each monitoring unit was sorted and the priorities of the area for further inspection and transformation were clarified. Seizing the focus within a certain range and saving investment can be used as an important technical means of urban drainage network periodic inspection, to lay the foundation for targeted network repair and facility renovation work.

Key words: zoning-monitoring; inflow and infiltration; diagnostic assessment

基金项目: 中国长江三峡集团有限公司科研项目(202003079)

2019年4月29日,住房和城乡建设部、生态环境部、发展改革委联合发布《城镇污水处理提质增效三年行动方案(2019—2021年)》,要求各城市人民政府负责落实建立污水管网排查和周期性检测制度;按照设施权属及运行维护职责分工,全面排查污水管网等设施功能状况、错接混接等基本情况及用户接入情况;依法建立市政排水管网地理信息系统(GIS),实现管网信息化、账册化管理;落实排水管网周期性检测评估制度,建立和完善基于GIS系统的动态更新机制,逐步建立以5~10年为一个排查周期的长效机制和费用保障机制。

目前,针对管网检测的主要技术手段有井下机器人、CCTV、雷达、超声波等,能较好地获取管道结构性缺陷,但也存在成本高、效率低的明显缺点。通过排水管网分区监测诊断,评估污水管网旱季入流入渗情况^[1-3],能够快速、低成本地获取片区管网健康情况,可作为管网周期性检测的一种有效技术手段。以某市排水片区为例,系统阐述该方法的应用,以供其他地区参考。

1 分区诊断技术

排水管网分区诊断是摸清管网底数、明晰管网问题、开展排水设施补短板、实现城镇污水处理提质增效的基础。排水管网分区诊断综合利用各项技术手段,按照一定的顺序进行,主要环节包括划定分区、监测方案制定与诊断评估3个部分。

1.1 划定分区

为科学制定分区监测方案,需进行资料收集和现场踏勘等基础工作。排水管网分区诊断工作主要收集降雨信息、河流水系、排水管网建设及管理情况、关键节点信息、已有建设情况与区域发展规划等资料。

在收集资料和现场勘查的基础上,结合排水管网诊断的目的,分层级对区域进行分区划定,并绘制区域的分区图。排水管网分区划定包括整体、单元和精细三个层级,整体层级是基于区域范围、土地利用类型等划定分区,仅考虑监测分区关键节点,进行区域整体状况的诊断评估,评估结果支持基础性管理工作;单元层级是基于管网拓扑关系进行相对独立的排水单元划分,节点覆盖度增加,诊断评估工作相对更为全面,诊断结果能够支持大部分市政主干管网及排水设施的正常稳定运行;精细

层级是基于不同排水户类型、管网突出问题进行最小诊断分区划分,涵盖了排水系统源头端的排水户部分,诊断结果能够作为排水户监管的依据。

1.2 监测方案制定

根据分区诊断工作的具体目的制定监测方案,明确监测点位、采集时间、采样频率、设备选型、检测方法等,并随着监测方案的逐步开展,针对执行过程中发现的问题,及时对方案进行优化调整。

根据诊断目的与分区层级,在管网关键节点、沿河主排口及典型排水户排口开展在线监测,自主、持续、实时地收集管网信息。在管网关键节点布设在线监测点,不仅可以长时间积累数据,支持规律识别,还可以对入流入渗等管网核心问题进行定量诊断;沿河主排口的持续监测,能够对污水入河问题进行有效监管;针对排水户排口的监测,在精细诊断层级下,可识别源头排放水量和污染物浓度,支撑诊断评估。

监测工作内容包括在线监测和人工检测。在开展在线监测工作的同时,辅以水质采样及化验工作,布设监测点位包括且不限于:接纳水体的关键断面、沿河排口、排水管网关键节点、排水户等。水质化验指标包括COD、NH₃-N、电导率、TN等指示性指标。水质采样及指标化验的流程、设备、检验方法应符合相关国家标准及规范,水质化验分析结果应由获得CMA计量认证资格的水质检测机构出具水质检测分析盖章报告。并根据水质化验结果,对水质检测采样位置、采样时间、采样频率、化验指标等进行周期性的调整和优化。

根据监测数据收集情况、数据质量评价结果及管网分区诊断目的需求,对在线监测方案进行周期性的调整和优化,包括监测点位密度、监测点位调整等。

1.3 诊断评估

根据排水管网分区诊断目的、目标区域的基本情况、排水管网的现状等,开展阶段性和周期性的系统诊断工作,包括利用管网在线监测数据对水量平衡、运行负荷等进行分析评估,对入流入渗、污染溯源等问题进行初步识别;结合在线监测和水质化验结果定量评价入流入渗情况、明确从源头到末端的污染排放路径;根据管网检测结果诊断并确定管网出现问题的具体原因、位置及严重程度等。针对不同工作目的与分区,提出相应排水管网问题诊断

的结论,并根据问题诊断结论,提出管网运行效能提升的相关建议。

区域入流入渗的定量分析评估方法主要采用以下三种:

① 统计旱天日均流量、代表性水质指标浓度,利用质量守恒定律,定量计算监测点旱天外来水入渗量^[4],并按下式进行计算:

$$\sum Q_d = Q_w + Q_s \quad (1)$$

$$Q_w = \frac{Q_j \times (C_j - C_d) - \sum Q_s C_s + \sum Q_d C_d}{C_w - C_d} \quad (2)$$

式中: Q_w 为分区外来水量, m^3 ; C_w 为外来水浓度, mg/L ; Q_d 为分区产生污水量, m^3 ; C_d 为典型污水浓度, mg/L ; Q_s 为上游来水量, m^3 ; C_s 为上游来水浓度, mg/L ; Q_j 为监测点监测流量, m^3 ; C_j 为监测点实测水质浓度, mg/L 。

② 在源头监测点,获取持续流量监测数据,可利用夜间最小流量法,将夜间最小流量值作为旱天入渗量。排污量与人们的生活规律密切相关,一般是早上 07:00—09:00 以及晚上 19:00—21:00 排污量最大,而在夜间 02:00—04:00 最小。最小流量法正是基于上述排污规律并假设在晴天夜间的排污量约等于地下水入渗量而提出的一种方法,其具体计算如下:

$$Q_w = \min Q_i \quad (3)$$

式中: Q_i 为分区第 i 小时污水量, m^3 。

虽然夜间最小流量法测定较为简单,但因不同区域居民的生活习惯不同等因素,导致计算结果精度不高,数据可信度不大。且在大区域范围内,夜间用水量比例也呈现出升高的趋势,使用该方法更容易产生误差,故夜间最小流量法仅适用于面积较小的研究片区。

③ 在各场次降雨条件下,对比各时刻雨天流量曲线和监测点旱天流量,按下式计算各时刻监测点由降雨导致的入流入渗量:

$$RDII = \sum_{i=1}^n (R_i - D_i) \quad (4)$$

式中: $RDII$ 为降雨条件下监测点总的入流入渗量, m^3 ; R_i 为降雨条件下监测点在第 i 时刻的监测流量, m^3/s ; D_i 为旱天下监测点在第 i 时刻的平均流量, m^3/s 。

根据监测点的汇水面积,统计计算单位面积单

位降雨导致的入流入渗量,并绘制片区入流入渗情况分布图。待监测及系统诊断工作完成后应编制城镇排水管网分区诊断报告,并根据排水管网分区诊断的工作进展,分阶段出具持续优化的诊断报告。

2 案例应用

2.1 分区划定与监测方案制定

该片区污水管网共计 40 km, 污水管网主要接纳工业污水和居民生活污水,片区内有 1 座污水处理厂,设计处理规模为 $2 \times 10^4 m^3/d$,污水管网沿途共有 4 个中途泵站。

根据土地利用布局图及管网拓扑关系图,整个片区可划分为 11 个分区,包括 2 个工业园区、1 个高教园区、1 个高新技术园区、1 个餐饮集中区和 6 个居民生活区。在各分区出口布设 1 个流量监测点,建立片区排水系统在线监测网络,分析各分区旱天污水水量与水质情况,初步掌握片区生活污水的沿程变化规律,定量化评估片区旱天入流入渗程度。监测点位置以及分区分布如图 1 所示。

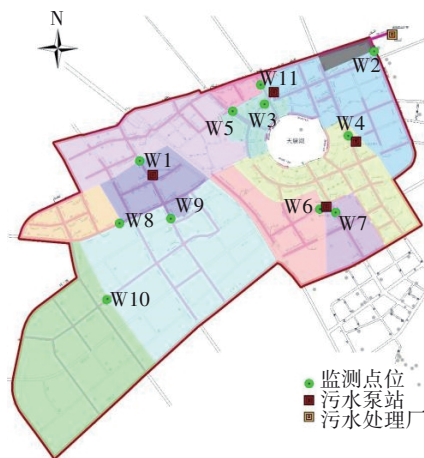


图 1 监测点及分区分布

Fig.1 Distribution of monitoring points and zones

片区监测点位及管网结构概略如图 2 所示。

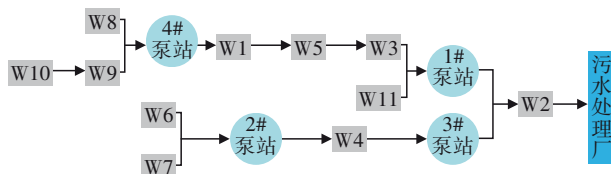


图 2 片区监测点位及管网结构概略

Fig.2 Sketch of monitoring points and pipe network structure

11 个流量点位基本信息如表 1 所示。

表 1 监测点位基本信息

Tab.1 Basic information of monitoring points

监测点位	分区面积/km ²	流量计/台
W1	0.95(0.37)	1
W2	1.79(0.65)	1
W3	0.51(0.27)	1
W4	1.76(0.74)	1
W5	1.96(1.20)	1
W6	1.24(1.10)	1
W7	0.63(0.63)	1
W8	0.70(0.70)	1
W9	3.83(0.80)	1
W10	3.15(0.30)	1
W11	0.23(0.23)	1

注： 括号内数值表示开发利用面积。

对各个监测点进行采样,检测指标为 COD,采样频率为 1 次/2 h,持续采样 24 h,结果见图 3。

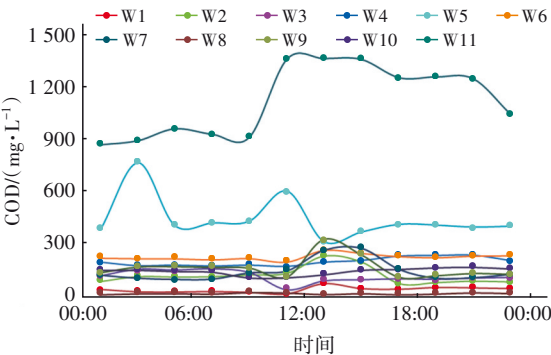


图 3 流量测点 COD 检测数据

Fig.3 COD detection data of flow monitoring points

为监测片区生活污水排放负荷以及入渗源水质情况,选取如图 4 所示的水体水质作为本底值,为排水管网入流入渗的定量化评估提供依据。

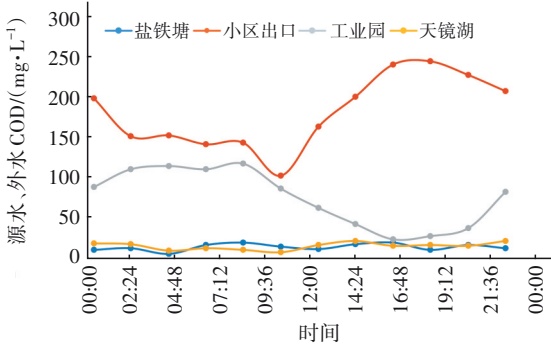


图 4 本底值 COD 检测数据

Fig.4 COD detection data of background

通过水质水量平衡分析,获取分区管网污水收集率、入流入渗量等指标,从而诊断区域管网健康状况。

2.2 监测数据

对原始监测数据中的异常值、缺失值等异常数据,严格按照监测数据清洗机制进行校验核对,保证监测数据的准确性。以 W1 监测点作为排水规律分析点。

W1 监测点位于南漳泾路 4# 泵站后,上游管道管径为 DN800,其上游集水面积约为 0.95 km²,选取有效旱天监测时间为 2019 年 11 月 23 日—11 月 29 日,其 5 min 流量变化曲线如图 5 所示,液位、流速等信息见表 2。

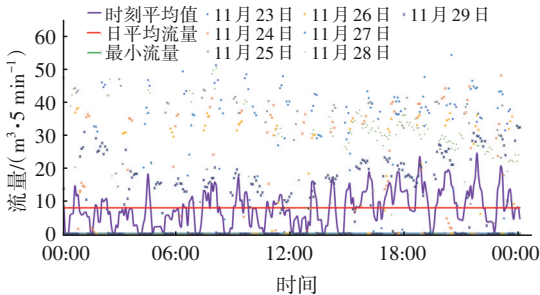


图 5 W1 监测点 5 min 流量变化曲线

Fig.5 Flow variation curve of monitoring point W1

表 2 W1 监测点水量统计

Tab.2 Water quantity statistics of monitoring point

W1

项目	液位/m		满管运行时间/h	实测流量/(m ³ ·d ⁻¹)	流速/(m·s ⁻¹)	
	平均值	最大值			平均值	最大值
2019 年 11 月 23 日	0.24	0.42	0	2 006.72	0.10	0.67
2019 年 11 月 24 日	0.27	0.54	0	1 926.56	0.10	0.54
2019 年 11 月 25 日	0.41	0.57	0	1 809.76	0.06	0.45
2019 年 11 月 26 日	0.36	0.53	0	1 557.08	0.06	0.38
2019 年 11 月 27 日	0.39	0.58	0	2 091.40	0.07	0.48
2019 年 11 月 28 日	0.47	0.63	0	3 834.36	0.12	0.43
2019 年 11 月 29 日	0.47	0.59	0	2 811.32	0.09	0.30
平均值	0.37	0.55	0	2 291.03	0.08	0.46

由图 5、表 2 可知,W1 监测点每日的排水过程均不相同,整个排水过程峰谷交替,该监测点日平均流量为 7.95 m³/5 min,最小流量为 0 m³/5 min。该监测点位的平均液位为 0.37 m,充满度为 0.46;流速平均为 0.08 m/s,最大流速为 0.67 m/s。由图 3 可知,W1 监测点位的 COD 为 50~105 mg/L,平均为 81.25 mg/L,结合流量监测数据,日均 COD 负荷为 186.14 kg/d。

2.3 诊断评估

基于各监测点旱天流量监测数据,对片区进行水量核算,各监测点实测总水量平衡见图 6。

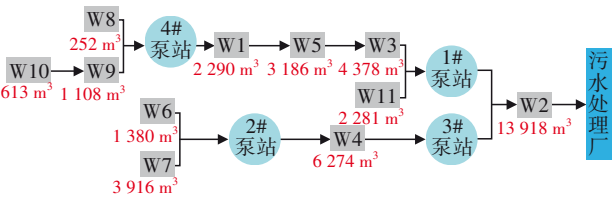


图 6 排水片区实测总水量平衡示意

Fig.6 Measured total water balance diagram of the drainage area

该排水片区各监测点旱天实测流量统计如表 3 所示。

表 3 各监测点旱天实测流量统计

Tab.3 Measured flow statistics at each monitoring point in dry days

监测片区	监测点	上游节点	下游节点	建成面积/km ²	监测点实测水量/(m ³ ·d ⁻¹)
6#	W6		2#泵站	1.10	1 380
7#	W7		2#泵站	0.63	3 916
4#	W4	2#泵站	3#泵站	0.74	977
8#	W8		4#泵站	0.70	252
10#	W10		WS-09	0.30	613
9#	W9	WS-10	4#泵站	0.80	495
1#	W1	4#泵站	WS-05	0.37	930
5#	W5	WS-01	WS-03	1.20	896
3#	W3	WS-05	1#泵站	0.27	1 192
11#	W11		1#泵站	0.23	2 281
2#	W2	1#、3#泵站	污水处理厂	0.65	986
合计				6.99	13 918
污水处理厂	W2				14 700

各分区污水管网旱天入流入渗情况见表 4。

表 4 各分区污水管网旱天入流入渗情况

Tab.4 Results of inflow and infiltration of sewage pipe network in each district

项目	建成面积/km ²	人口估算污水量/(m ³ ·d ⁻¹)	监测点实测水量/(m ³ ·d ⁻¹)	评估污水量/(m ³ ·d ⁻¹)	旱天外来水量/(m ³ ·d ⁻¹)	旱天外来水比例/%	外水入渗程度
6#片区	1.10	1 404	1 380	1 375	5	<10	
7#片区	0.63	1 530	3 916	1 432	2 484	63.42	非常严重
4#片区	0.74	945	977	975	2	<10	
8#片区	0.70		252	8	244	96.97	非常严重
10#片区	0.30		613	608	5	<10	
9#片区	0.80	1 021	495	449	46	<10	
1#片区	0.37	472	930	347	583	62.71	非常严重
5#片区	1.20	1 532	896	478	418	46.62	非常严重
3#片区	0.27	345	1 192	537	655	54.94	非常严重
11#片区	0.23	294	2 281	2 276	5	<10	
2#片区	0.65	830	986	623	363	36.83	非常严重
合计	6.99	8 373	13 918	9 108	4 810	34.56	非常严重

注：外水入渗占比>30%为非常严重,占比20%~30%为严重,占比15%~20%为比较严重,占比<15%认为是正常范围。

根据监测点位实测流量数据与 COD 化验结果,对 11 个监测片区污水管网入流入渗情况进行分析,并利用人口密度和用水定额数据,核算各片区理论污水量,评估各监测片区污水收集率,同时绘制片区入流入渗程度分布图(见图 7)。由图 7 可知,片区存在外来水入渗情况,个别分区入渗情况较为严重。针对管网入渗严重的区域,需进行片区管网溯

源排查,进一步精细化识别管网拓扑结构关系,进一步识别外来水入渗的重点区域。

根据分析结果,针对入渗非常严重的片区,结合后期水质采样与化验数据,对片区的入渗情况进行复核。结果显示与前期评估结果一致,说明管网健康诊断结果具有一定代表性,能较好地反映片区现存问题。

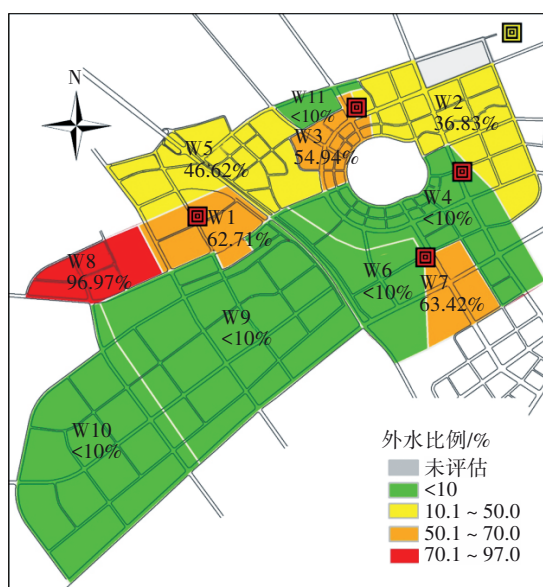


图7 污水管网外来水比例分布

Fig.7 Distribution of the proportion of external water in the sewage pipe network

3 结语

① 基于监测与检测数据可以有效定量识别不同分区的排水变化规律和特征,客观、系统性地诊断排水管网存在的问题,提出的城镇排水管网分区诊断技术在管网排查工作中具有一定的创新性与普适性。

② 分区诊断技术可指导各个城市或地区排水管网排查工作的有效开展,为污水处理系统实现提质增效、生态环境得到持续改善奠定基础。

③ 在分区诊断技术的基础上,需要采取必要的工程措施和管理手段,并建立在线监测及调度系统,量化评估工程改造及运行效果,不断改善排水系统的运行状况。

参考文献:

[1] 盛政,刘旭军,王浩正,等. 城市污水管道入流渗入监

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).

[2] 刘小梅,王婷,赵美玲,等. 基于在线监测的排水系统运行负荷分析与问题诊断[J]. 给水排水,2016,42(12):126-130.

LIU Xiaomei, WANG Ting, ZHAO Meiling, *et al.* Analysis and measures for the operation load of drainage system based on on-line monitoring [J]. Water & Wastewater Engineering, 2016, 42 (12): 126-130 (in Chinese).

[3] 董鲁燕,赵冬泉,刘小梅,等. 基于监测和模拟技术的排水管网性能评估体系[J]. 中国给水排水,2014,30(17):150-154.

DONG Luyan, ZHAO Dongquan, LIU Xiaomei, *et al.* Performance assessment system for drainage systems based on monitoring and modeling technology [J]. China Water & Wastewater, 2014, 30 (17): 150-154 (in Chinese).

[4] 余黎,陈小龙,刘皓波,等. 污水处理厂低浓度进水的快速监测评估[J]. 中国给水排水,2017,33(5): 68-71.

YU Li, CHEN Xiaolong, LIU Haobo, *et al.* Rapid monitoring and evaluation of low concentration influent in sewage treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33 (5):68-71(in Chinese).

作者简介:陈小龙(1988-),男,安徽合肥人,硕士,高级工程师,主要从事城市排水防涝、海绵城市、流域治理及智慧水务相关工作。

E-mail: cxl@bjenv.com

收稿日期:2020-11-23

修回日期:2021-04-24

(编辑:丁彩娟)