

# 某超大城市雨污混接综合治理现状分析及对策

王捷

(上海市排水管理事务中心,上海市 200001)

**摘要:** 超大城市人口密集、管网密度高,雨污混接管理尤为复杂。以某超大城市为例,自2015年起,通过一系列雨污混接整治行动,河道水质和污水收集处理效率已有显著成效。然而,在整治过程中,管道检测和管理等方面仍存在诸多难点。为进一步提升治理成效,提出了技术方法和制度方法的综合施策,旨在系统性地解决雨污混接问题,提升超大城市排水系统管理效能。

**关键词:** 雨污混接;排水管理;水环境治理

**中图分类号:** TU992.03+1

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-7716(2024)07-0128-05

## 0 引言

随着全球人口的持续增长、工业化和城市化的迅速推进,水环境问题日益突显,已经成为21世纪全球共同面临的重大挑战之一。在水环境治理中,排口的管理至关重要,而排水管网的健全更是核心所在。

排水管网的雨污混接和外水入侵是治理水环境问题的重要因素。在分流制区域,雨污混接问题主要可分为三类,其一为污水管网混接入雨水管网,雨水管道成为混接污水的积蓄池和厌氧反应池,在雨天污水随泵站放江排入河道,造成河道黑臭;其二为雨水管网混接入污水管网,削弱了污水管网的污水收集输送能力,造成污水厂处理效能低下以及雨天的污水冒溢,进一步污染环境<sup>[1]</sup>;其三为系统混接,在实际工程中,仍存在合流管与分流制系统中雨污水管道相连,造成合流制与分流制排水系统之间联通的现象。除雨污混接外,随着管道服务年限的增加,管网系统老化<sup>[2]</sup>、管道材料缺陷、地基不均匀沉降、流砂冲刷、腐蚀等因素均会使得管道形成结构性缺陷,地下水、地表水等外水会通过渗漏或排口等进入雨水和污水管道,挤占管道容量,造成排水系统的高水位运行,给防汛工作带来风险<sup>[3]</sup>。

截至2022年<sup>[4]</sup>,全国超大城市排水管网密度均超过 $15\text{ km/km}^2$ ,明显高于全国平均值 $12.34\text{ km/km}^2$ (见图1)。排水管网密度的增加在理论上可以提高

污水收集效率,但也不可避免地为雨污混接的排查和整治工作带来了额外的挑战。高密度的排水管网意味着更多的管道连接点和潜在的混接风险,随着连接点数量的上升,管网的维护和检测工作量呈指数级增长,既增加了排查的工作量,又提升了定位和修复混接点的难度<sup>[5]</sup>。此外管网老化、损坏问题在高密度环境中更难以及时发现和修复,进一步加剧了混接问题。

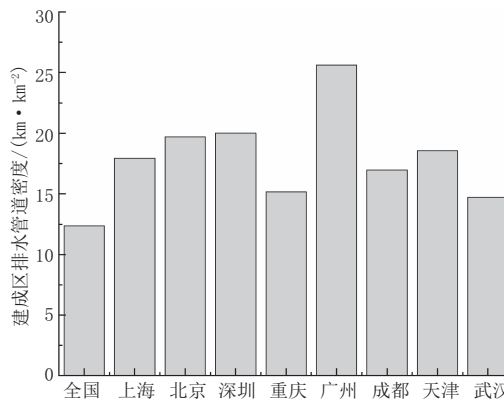


图1 全国超大城市建成区排水管道密度

在高密度建设的超大城市中,分流制排水区域的雨污混接问题对城市水环境构成了严峻挑战,针对这一问题,采取系统性、综合性的有效治理措施显得尤为关键。基于此,本文以某高密度建设超大城市为对象,提出了一套基于源头控制、系统治理和依法治污的方法论,旨在从根本上解决雨污混接问题,从而根治城市水环境污染。

## 1 雨污混接综合治理前期成效

### 1.1 排水设施基本情况

该城市排水体制以分流制为主、合流制为辅,分

收稿日期: 2024-04-01

作者简介: 王捷(1988—),男,硕士,工程师,从事排水行业管理工作。

流制排水地区所占比例大于94%。截止至2022年,全市共有城镇公共排水管道约2.8万km,其中主管约2.2万km,支管0.6万km;其中雨水管道约1.6万km,污水管道约1.0万km,合流管道约0.17万km,检查井共80.5万座,雨水口59.8万座<sup>[6]</sup>。

## 1.2 雨污混接治理进展

为响应国家“水十条”政策,自2015年起该市启动全范围雨污混接整治工作,结合开井检查等常规检测手段,辅助电视和声纳检测技术,对排水管道等进行了全面调查。一轮排查结束,结果显示混接密度为1.07个/km(即混接点数量与检测管道长度的比率),其中高密度中心城区混接点为全市混接点总数的31%,混接密度为0.59个/km,郊区混接点为全市混接点总数的69%,混接密度为1.68个/km。调查混接类型可分为五种<sup>[7]</sup>,分别为市政混接、住宅小区混接、企事业单位混接、沿街商铺混接以及其它混接(主要是流动商贩、沿街洗车、临时工地等)。

中心城区总混接量以及混接密度均明显低于郊区,主要原因为郊区面积远大于中心城区,且情况复杂,日常管理及监管难度较大。由图2可知,由于其独特的地理位置和空间布局,中心城区、郊区雨污混接的类型呈现出不同的特点。由于中心城区人口高度集中,住宅小区为主要的居住形式,因此市区以住宅小区混接为主。此外,市区配套商业设施相对完善,沿街商铺数量众多,这也导致了沿街商铺的雨污混接点在总量中占有较大的比例。而郊区通常是众多企事业单位的集中地,因此郊区混接类型以企事业单位为主。

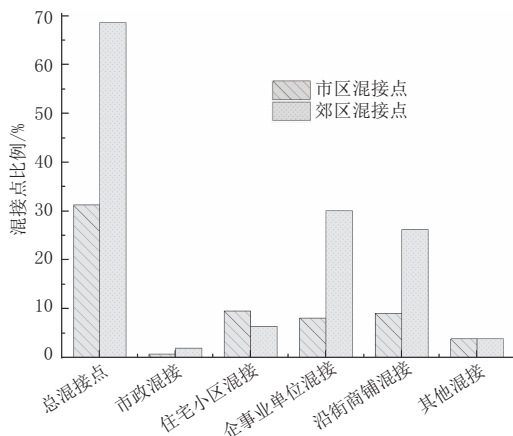


图2 市区、郊区不同混接类型混接比例

为了精确地解决不同类型雨污混接问题,该市根据不同混接类型进行了分层次、针对性的雨污混接改造措施。市政管网层面,针对雨污水管网的不完善和支管的混接乱接等现象,其改造措施主要包括

对现有管网的评估与完善,纠正错接和乱接的支管,封闭非法连通的管道接口,增加初雨截流装置等;针对住宅小区和企事业单位,改造重点在于新建屋面雨落水管和废水立管等,以实现雨污分流<sup>[8]</sup>;对于沿街商铺,鉴于其混接问题通常源于污水支管的不当接入,改造策略则侧重于独立铺设污水管道,并针对餐饮业废水特性,安装隔油设施,简化混接状况,确保改造的有效性和可操作性<sup>[9]</sup>。

由图3可以看出,除住宅小区外,其他类型混接均基本全部完成。住宅小区混接改造由于影响居民日常生活、混接点数量庞大以及内部管网结构复杂等因素,面临着相较于其他类型更大的挑战,导致其改造进度较为缓慢。然而,鉴于住宅小区在排水系统中扮演着源头角色,其雨污混接的整治工作对于实现全面达标具有决定性意义。因此,在未来的工作阶段中,必须着重强化对住宅小区源头治理的重视,采取更为集中和创新的策略,以确保雨污混接改造工作的全面性和有效性。

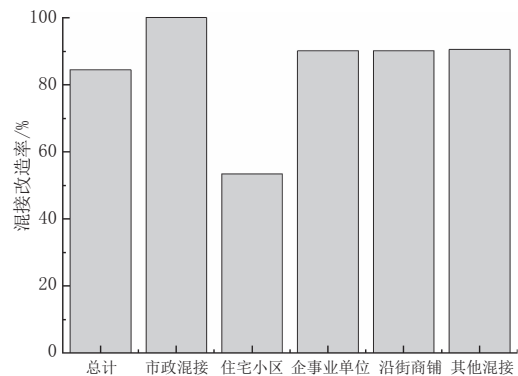


图3 某超大城市雨污混接改造完成度统计图(单位:%)

## 1.3 成效与评价

雨污混接综合治理行动取得了显著成效,不仅提升了污水的收集和处理效率,还显著改善了水质状况,有效减轻了雨污混接对城市河道水体的污染负担<sup>[10]</sup>。

全市直接排放到河道的防汛泵站水质污染程度大幅下降,其COD平均浓度降低至43mg/L(2022年)。同时,雨天污水增量显著的泵站比例下降至38%(2022年)。城市生活污水的集中收集率得到显著提升,增长90.8%(2022年)。水环境质量的整体改善,镇管以上河湖中水质达到或优于Ⅲ类的比例提升至84.1%(2022年)。

以该城市的某中心城区为典型片区,分析其雨污混接排查改造对水环境质量的改善。该区域共排查出56个混接点,根据接入管管径、流入水量和污水流入水质三个指标对混接点进行分级评价,单个

混接点最终混接程度以任一指标高值的原则确定等级,最终定级如图4所示。

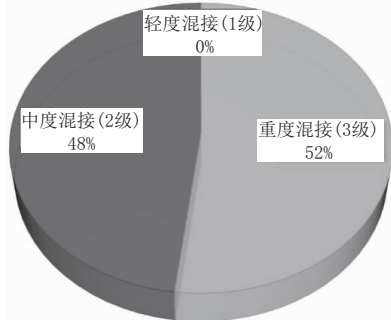


图4 混接点最终分级评价

探明的56处混接点后续改造工程完成后,会减少大量的污染物排入自然水体,每年消减的污染物排放量见表1。整体来看,该城市通过系统性的雨污混接整治措施,不仅可以提升城市污水处理的能力和效率,还可有效改善水环境质量。

表1 混接点每年消减污染物排放量

指标	流量 / (万 t·a <sup>-1</sup> )	动植物油 / (万 t·a <sup>-1</sup> )	阴离子表面 活性剂 / (万 t·a <sup>-1</sup> )	COD <sub>cr</sub> / (t·a <sup>-1</sup> )	铵氮 (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N) / (万 t·a <sup>-1</sup> )
削减量	111.24	2.48	0.93	242.23	27.56

## 2 雨污混接综合治理难点

尽管该城市通过雨污混接综合治理工作使得城市水环境质量有了明显提升,但该项工作是一个涉及多方面的系统工程,目前仍面临一些技术和管理层面的挑战。因此,在实际过程中,仍旧存在着改造整治工作不彻底的现象,同时新出现的雨污混接情况也对现有治理成果构成威胁。基于此本文旨在从技术难点和制度难点两个关键维度深入分析雨污混接综合治理过程中遭遇的难题,以期为未来的城市规划和管理提供更为精确和系统的解决方案。

### 2.1 技术难点

由于排水管网长期运行,普遍面临着管道内部积水和淤塞的问题,现有的管道检测手段不能适用于高水位管道的混接调查工作,这不仅影响了排水效率,也为现场作业带来了困难。特别是在城中村等人流、车流量大的狭窄道路上,施工空间的受限进一步增加了作业的复杂性。

对于大管径排水管道的检测,现有的摄像系统的灯光强度往往不足以提供清晰的视频效果,光线削弱导致图像质量下降,大大影响了检测的准确性。对于深埋的主管和干管,错接混接以及外水渗漏等问题,由于其隐蔽性,CCTV检测设备,在管道深度大

时会出现爬行器难以控制或刮碰到检查井内壁的情况,且操作员的视频监控也容易受到阻碍<sup>[11]</sup>。加之前期混接工作面临调查时间紧、任务重、资金需求量大等压力,还有部分区域的管道仍未落实电视和声呐检测。

### 2.2 涉及范围广排查数量大

该城市的排水系统覆盖广泛、错综复杂,涵盖了从居民区到商业区,从工业区到公共绿地的各个角落<sup>[12]</sup>。雨污混接排查工作中涉及到的排水管网和设施数量庞大,而在老旧城区,由于历史原因,排水系统可能存在还设计不合理、管道资料缺失等问题,这些因素共同增加了混接点的发现难度,进一步提升了排查和整治的复杂性。

此外,工作过程主要采取外部发现问题再跟进内部排查和整治的方式,这种方法并未涵盖对所有排水用户内部排水设施的全面排查,加之该城市部分区域管网高水位运行,导致在排查过程中可能存在一定程度遗漏。

### 2.3 沿街商户混接违法成本低

沿街商铺尤其是餐饮门面,由于其分布广泛且数量众多,常常成为城市管理中的一个监管难题。当涉及到雨污水管网中的油污问题时,油污排放的隐蔽性使得取证工作困难,且可能涉及多个商铺的共同责任,责任主体的界定和执法过程显得尤为棘手。此外,鉴于餐饮商铺的数量众多,有限的执法资源难以实现全面监管,导致执法力度不足。而且,在推动商铺进行雨污分流改造时,需要商铺的积极配合,但由于缺乏足够的激励措施和强制手段,改造进程往往缓慢<sup>[7]</sup>。

在城市雨污混接问题的治理过程中,跨部门的协调与合作是一个不容忽视的挑战。环保、水务、城管等多个部门需要共同协作,才能有效解决雨污混接问题。然而,不同部门之间可能存在信息不对称、职责界定不清晰等问题,无疑都增加了协同工作的复杂性。

### 2.4 长效监管机制不完善

小区内部排水设施的维护和改造是城市排水行业管理的一项长期而艰巨的任务。由于历史遗留问题和城市规划的不足,许多小区存在排水管道老化、私拉乱接等现象,雨污混接问题的改造工作量大,施工空间有限,加之改造成本高昂,使得这一问题更加复杂。

在改造后的长效管理方面,住宅小区排水设施



的维护责任划分不够明确,导致部分物业公司未能承担起应有的维护职责,使得排水设施得不到有效的日常维护和及时的修缮。其次,对于老旧小区而言,由于缺乏足够的资金支持,导致排水设施改造工作难以推进,长期积累的问题造成了积水和污水溢出现象。第三,维护技术手段相对落后,特别是空间受限区域目前仍主要依赖传统的人工疏通方式,缺乏现代化的机械化设备,这不仅效率低下,而且维护质量难以保证。

### 3 雨污混接综合治理方案探讨

为了有效应对和解决雨污混接问题,需要从技术手段和政策措施维度进行综合施策。在技术层面,应积极采纳和采用先进的治理技术和理念,以提高混接点探测的准确性和效率。此外,加强排水设施的维护和改造工作,确保改造质量,防止问题返潮。在政策层面,需要制定和完善相关的政策法规,明确各方责任和义务,同时加强监管和执法力度,确保整治措施的有效执行。通过技术与政策相结合的综合治理方法,可以逐步解决雨污混接问题,从而提升城市排水系统的整体管理效能和水环境质量。

#### 3.1 技术方法

##### 3.1.1 排查思路

###### (1) 源头排查和末端溯源相结合

在传统的雨污混接排查策略中,通常通过监测排放口的水质和流量,预判重点区域,进而追溯污染物的来源。对于养护管理较好的超大城市,混接问题多起于源头。因此,结合源头排查与末端溯源的策略,对城市排水系统的起始点,包括住宅小区、商业区、工业区等的排水设施进行全面的底数摸排显得尤为关键。这种综合排查手段可以综合解析排查数据以精准定位混接点。

###### (2) 大数据分析动态监测

建立数据集成平台,统一收集和整合排放口监测数据、排水设施普查数据、地理信息系统(GIS)数据等,并利用数据挖掘和机器学习技术等进行深入分析,动态监测评估系统运行情况,在线反馈雨污混接、违法排水等问题。

##### 3.1.2 排查技术方法

目前常用到的雨污混接探测方法可分为感官评价法和指标检测法两大类。感官评价法中主要包括目视检查、气味检查、烟雾测试、声音测试、染料测试以及 CCTV 等方法。一般来说,大多数感官方法都是

相当主观的,因此近年来指标检测法雨污混接排查过程中应用越来越多。指标检测法又可根据监测指标不同分为物理指标、化学指标以及生物指标三种。最常见的物理指标检测方法为分布式温度传感(DTS),Zhou<sup>[13]</sup>利用下 DTS 测量结合基于小波的 DTS 数据去噪来检测排水管道的入流入渗点。常用的化学指标为氨氮、BOD、COD 等常规数据,常用方法为基于化学质量平衡模型解析计算雨污水管网系统的入流入渗比例,Xu 等基于该方法,诊断了上海市蒲汇塘河流旱天条件下雨水管道中非雨水来源即污水混接、地下水入渗的总量<sup>[14]</sup>。生物指标可分为基于指示菌浓度测量的方法和为微生物源跟踪(MST)的方法,最常用的粪便指示菌包括粪大肠杆菌、大肠杆菌和肠球菌,微生物源跟踪方法所依据的假设是,人类、家畜和野生动物接触抗生素的情况各不相同,因此,来自不同物种粪便的细菌在抗生素耐药性的类型和强度方面都会表现出差异。此外,还可通过数学模型法<sup>[15]</sup>组合前面讨论方法,定位到实际混接破损点,提高雨污混接排查效果的稳健性,Xu<sup>[16]</sup>建立基于 Monte Carlo 算法的化学质量平衡模型(CMB)计算雨水系统整体污水和地下水入渗流量并利用逆向优化模型,定位非法连接和管道损坏的高风险区域。

为了有效解决雨污混接问题,鼓励和支持技术创新,采用先进的检测和治理技术,并将其与实际环境相结合,以采用更高效的检测和治理技术,提高雨污混接排查的准确性和治理的效率<sup>[17]</sup>。同时,应考虑到不同城市和地区的具体条件,如地下管道布局、地形地貌、气候条件等,因地制宜地选择和调整适用的技术方案。例如,在老旧城区,可能需要更多的现场人工勘查和传统方法,而在新建城区,则可以利用更先进的自动化检测设备。此外,为了确保技术的广泛应用和效果最大化,应加强相关人员的技术培训,提高他们对新技术的理解和操作能力。

#### 3.2 制度方法

增加制度性保障是解决雨污混接问题工作取得实效的重要手段。本研究提出从制度建设和执行力度两个维度进行全方位的改进和加强,建立由政府主导、市场机制为补充、并鼓励社会各界广泛参与的多元主体协同治理模式<sup>[18]</sup>。首先,通过结合地方特点制定和执行针对性的政策与法规,形成完整的治理法律体系,明确各相关方的职责和义务,为雨污混接治理提供法律依据。建立分区分阶段考核评估机制,

推进责任主体定期评估,同时利用政府预算、专项资金支持等多种资金来源,为治理工作提供必要的财政保障。

落实跨部门的合作共赢机制,构建信息共享机制和平台,促进跨部门、跨领域水体治理信息的共建、共享,整合环境保护、城市管理、水务等多个部门的力量,减少多元间信息的滞后与混淆,推动多元主体协同治理,协同推进雨污混接的排查和整治工作。

加强监管力度和执法效率是确保政策落到实处的重要手段。通过严格的监管和有效的执法行动,确保违规行为得到及时制止和纠正,整治措施得到有效执行。在此基础上,建立长效的管理和监督机制,确保雨污混接治理工作的持续性和稳定性,防止问题反弹。通过构建多元主体协同治理的综合措施,可以有效提高治理工作的效率和效果,激励相关责任主体主动进行改造,共同为提升城市水环境质量作出贡献。

公众监督作为外部监督在水环境治理中具有十分重要的作用。提升公众参与和环保意识,通过加强环保教育,利用媒体宣传和社区活动的有机结合,积极引导居民参与水环境保护,形成全社会共治的良好氛围,可以有效提升监督效力。

## 4 结语

本文综合分析了高密度建设的某超大城市雨污混接治理现状,该城市雨污混接及水环境治理已取得阶段性成果,但仍旧存在雨水管网高水位及污水处理效能不达预期等情况,深层次原因在于传统治理方式缺乏有效统筹的治理模式。基于此,本文提出可从系统化管理和多元化管理两方面入手,进一步提升雨污混接排查力度和成效。

### (1) 系统化管理

在现有末端排查机制的基础上,扩展其水环境治理策略,形成一个全面的、多维度的从源头减排、管网优化、末端治理到河道水环境的综合管理体系,实现一体化的治理模式。通过强化排水管网的核心作用,将水环境系统的各个要素有效串联起来,打破行政区划的限制,促进区域间的协同合作,实现水环境治理长治久清<sup>[19]</sup>。

### (2) 多元化管理

进一步优化管理规范,强化工作体系,精化实施策略,提升维护质量。构建监测与执法框架,确立持续管理体系,涵盖巡检、法律执行协作,进行常态化

的管道结构评估和预防性维护,以确保管理的长期效果。与此同时,优化多元协同机制,加大宣传力度,提升民众参与程度,形成以政府为主、市场为辅、社会各界积极参与的多元主体协同治理格局。

### 参考文献:

- [1] 张莹. 城市排水管网运行风险评估研究进展[J]. 城市道桥与防洪, 2022(6): 104-109, 174.
- [2] 张惠. 上海市中心城区排水系统运行现状及优化对策[J]. 市政技术, 2024(3): 237-242.
- [3] 徐祖信, 王思玉, 刘淑雅, 等. 基于地下水入渗反演解析的污水管网破损数值化定位[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2022(9): 1331-1338.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 2022年城市建设统计年鉴[R]. 2023.
- [5] 谢宏桥, 田旦. 排水管网测量在城镇排水系统病害排查和诊断中的应用[J]. 城市道桥与防洪, 2023(7): 148-152.
- [6] 上海市排水管理事务中心. 2022年上海市排水设施年报[R]. 2023.
- [7] 王捷. 上海市分流制排水地区雨污混接综合治理研究[D]. 兰州: 西北师范大学, 2019.
- [8] 刘芳. 小区雨污混接改造设计探讨[J]. 城市道桥与防洪, 2020(10): 102-104.
- [9] 胡晓健. 分流制排水地区雨污混接调查评估及分流改造方案研究[J]. 市政技术, 2019(4): 199-201, 211.
- [10] 陶媛. 某住宅小区雨污混接改造技术方案的探索[J]. 城市道桥与防洪, 2020(4): 89-90, 99.
- [11] 闫海龙. 城镇排水系统及治水提质增效排查检测评估技术与方法[J]. 节能, 2022(7): 70-72.
- [12] 王冰冰, 孙昕雪, 刘相龙. 排水户雨污混接点溯源方式及治理方法的研究[J]. 山西建筑, 2021(10): 109-111.
- [13] Zhou Y, Li X, Wu R, et al. A smart sewer detection approach based on wavelet denoising of in-sewer temperature sensing measurement[J]. Water Research X, 2023(21): 100205.
- [14] Xu Z, Wang L, Yin H, et al. Source apportionment of non-storm water entries into storm drains using marker species: modeling approach and verification[J]. Ecological Indicators, 2016(61): 546-557.
- [15] 白小晶, 蔡志强. 城市排水管网运行问题识别及改进措施研究[J]. 北京水务, 2024(1): 40-43.
- [16] Xu Z, Qu Y, Wang S, et al. Diagnosis of pipe illicit connections and damaged points in urban stormwater system using an inversed optimization model [J]. Journal of Cleaner Production, 2021(292): 126011.
- [17] 张金芳, 孙启星, 李红林. 排水管道缺陷智能检测的现状与问题思考[J]. 给水排水, 2023(增刊1): 818-822.
- [18] 凌晨涛. 上海市嘉定区黑臭水体多元协同治理的困境及对策研究[D]. 上海: 上海师范大学, 2024.
- [19] 王殿章, 赵云鹏, 陈亚松, 等. 我国城市水环境治理的现状与困境分析[J]. 给水排水, 2023(11): 25-31.