

精细化治理下城市住宅小区雨污混接系统性改造方案研究

吴逸飞

(重庆市勘测院有限公司, 重庆市 401121)

摘要: 城市住宅小区雨污混接已成为制约当前水环境质量的 key 瓶颈。通过多技术协同诊断实现的混接点精准识别、“源头分流+过程调蓄+末端净化”的分层治理模式构建、全流程智慧管理的数字化平台引入,提出覆盖检测诊断、方案设计、施工实施、运营维护及法规监督的全链条精细化改造理论框架,为城市住宅小区的雨污混接改造提供系统性方案借鉴,促进排水行业从“末端治理”向“源头防控—过程调控—智慧运维”全过程升级,助力水环境治理体系高质量发展。

关键词: 雨污混接改造; 住宅小区; 精细化治理; 水环境治理

中图分类号: TU992

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)09-0290-04

Research on Systematic Reconstruction Scheme for Mixing of Rainwater and Sewage in Urban Residential Communities under Refined Management

WU Yifei

(Chongqing Surveying Institute Co., Ltd., Chongqing 401121, China)

Abstract: The mixing of rainwater and sewage in urban residential areas has become the key bottleneck to restrict the current water environment quality. Through the precise identification of mixing points enabled by multi-technology collaborative diagnostics, the construction of a hierarchical governance model integrating "source separation - process regulation/storage - end purification", and introduction of digital platform for intelligent whole-process management, a theoretical framework for the full-chain refined reconstruction covering the detection and diagnosis, scheme design, construction implementation, operation and maintenance, and regulatory supervision is proposed to provide the reference for the systematic scheme of rainwater and sewage mixing reconstruction in the urban residential areas, which promotes the upgrading of the drainage industry from "end treatment" to the entire process of "source prevention and control - process regulation - intelligent operation and maintenance", and facilitates the high-quality development of the water environment treatment system.

Keywords: rainwater and sewage mixing reconstruction; residential areas; refined management; water environment treatment

0 引言

随着我国城市化进程加速,住宅小区雨污混接已成为制约水环境质量提升的关键瓶颈。据统计,我国城市黑臭水体中约70%的污染源来自城市排水系统中的雨污混接^[1],其中住宅小区贡献率高达40%~60%^[2]。以特大城市上海为例,中心城区排水管道混接密度为0.59个/km,郊区高达1.68个/km,其

中住宅小区混接点的占比超过70%^[3]。这些混接点如同“城市毛细血管破裂”,一方面造成大量未经处理的污水通过雨水系统直排河道,加剧了水体富营养化,形成黑臭水体;另一方面,雨水混入稀释了污水处理厂的进水浓度,导致污水处理厂的处理效率下降^[4]。诸多传统治理模式虽可短期见效,但难以实现长效治理,且存在“反复治、治反复”的困境。在此背景下,亟需从系统性视角出发,构建覆盖检测诊断、方案设计、施工实施、运营维护及法规监督的全链条精细化改造方案。本文通过整合国内研究成果与工程实践,提出“四位一体”系统性改造路径,为破

收稿日期: 2025-04-09

作者简介: 吴逸飞(1999—),男,学士,助理工程师,从事市政给排水设计工作。

解住宅小区雨污混接难题提供理论支撑与实践参考。

1 城市住宅小区雨污混接特点及改造难点

住宅小区作为城市的基本功能单元,成为了城市雨污混接的集中暴露区,其混接问题具有复杂性和长期性。早期建设的小区普遍存在阳台雨水立管与污水立管混接的现象,例如:1998年建成的某住宅小区中,70%以上的南侧阳台立管被私自改造为洗衣机废水排放通道,导致生活污水直接进入雨水系统^[5]。同时,小区内部排水管网老化、私拉乱接现象严重,部分老旧小区管道破损率高达39%,且存在化粪池渗漏、垃圾收集点污水直排等问题^[6]。厦门市某混合功能街区中,溯源排查发现每平方公里平均存在17处混接点,其中住宅小区的混接密度达到1.68个/km,远高于市政管网平均水平^[6]。这些问题的叠加导致住宅小区排水系统成为城市水环境的重点污染源,需要通过系统性改造实现源头减污。

当前,我国城市雨污混接改造已进入攻坚阶段,但传统改造模式仍存在3大痛点:一是改造范围局限,多数工程仅针对单一混接点进行局部修补,缺乏系统性统筹;二是技术标准不统一,如空调冷凝水处理、水封井设置等细节规范缺失,导致返潮现象频发;三是长效运维机制缺失,部分小区改造后因管理缺位出现混接反弹^[7]。尤其在住宅小区领域,排水系统涉及千家万户的切身利益,改造过程中需平衡施工影响、居民接受度与工程效益,这对改造技术的精细化、方案的适应性提出了更高要求。

2 城市住宅小区雨污混接系统性改造方案探究

2.1 雨污混接检测与诊断技术

精准识别混接点是系统性改造的前提。当前主流检测技术包括物探检测、流量分析、特征因子分析及水动力模型反演4种类型^[8]。雨污混接检测需结合管网物理特征、水力学特性及水质指标多维度分析。

传统检测技术以物探手段为主,包括闭路电视(CCTV)、红外热成像及光纤测温等,其优势在于直观定位管道结构性缺陷(如破裂、错接),但对隐蔽性渗漏或低浓度混接敏感度不足。例如,红外热成像通过污水与地下水温差(通常>2.5℃)识别渗漏点,但受环境温度波动影响较大;光纤分布式测温(FDTS)则通过管道水温微小变化(≥0.15℃)定位混

流入渗事件,定位精度可达±2 m,在上海某小区应用中使混接点检出率提升40%^[1]。

流量分析技术通过监测节点水量平衡反推混接量,具有经济高效的特点。“软测量”模型结合上下游液位差估算流量,误差率可控制在15%以内^[8]。但该方法难以区分污染来源,需结合水质监测数据辅助判断。特征因子分析技术则通过检测水质指标(如COD、氨氮、总氮)识别污染来源,生活污水COD浓度通常高于200 mg/L,地下水低于50 mg/L,半导体工业废水氟化物高于8 mg/L。上海某案例中,采用安赛蜜作为特征因子区分生活污水与地下水,识别准确率达98%^[2]。

水动力反演模型技术通过耦合SWMM模型与优化算法,实现混接点空间定位。例如,南沙区某片区通过模型反演发现3处关键混接点,修复后溢流频次降低67%^[8]。该技术可减少60%的现场排查工作量,但对管网拓扑数据精度要求较高。

综上,各类检测技术适用场景存在显著差异(见表1)。CCTV与FDTS更适合结构性缺陷诊断,前者适用于旱季低水位管道可视化检查,后者在隐蔽渗漏检测中更具优势;流量分析与特征因子分析适用于污染溯源,前者侧重水量平衡分析,后者通过水质指标精准识别污染源;水动力模型则适用于复杂管网系统的动态模拟与风险评估。实际工程中,建议采用“物探筛查+水质验证+模型优化”的组合模式,例如先通过FDTS快速定位渗漏区域,再结合特征因子分析确定污染来源,最后利用水动力模型评估修复效果,形成多技术协同的诊断体系。

表1 技术对比与适用场景

技术类型	核心原理	优势	局限性	典型适用场景
CCTV检测	管道内部可视化成像	直观识别结构性缺陷(破裂、错接)	需停水清淤、成本高(2 000~3 000元/km)	旱季管网结构性缺陷排查
FDTS监测	光纤温度感知	定位隐蔽渗漏(精度±2 m)	受环境温度干扰	隐蔽渗漏点诊断
特征因子分析	水质指标差异	准确识别污染源(准确>95%)	需实验室支持,时效性较低	污染源追踪与责任认定
水动力模型	动态模拟管网运行	优化修复方案,降低工程成本	依赖高精度数据	复杂管网系统风险评估与规划

通过技术组合应用,可显著提升检测效率。上海某老旧小区采用“CCTV初筛+FDTS复核+特征因子验证”模式,混接点检出率从单一技术的65%提升

至 92%,修复成本降低 28%^[8]。这种多技术协同策略兼顾了检测精度与经济性,为精细化治理提供了可靠的技术支撑。

2.2 系统性改造方案设计

城市住宅小区雨污混接治理需立足全生命周期管理理念,从源头防控、过程调控到长效管理构建分层递进的系统性解决方案。通过多技术协同与政策保障,实现污染源头削减、过程精准管控与生态效益提升的有机统一。

2.2.1 源头防控:分流改造与功能优化

建筑内部排水系统改造是阻断混接的关键环节。针对阳台污水错接问题,通过增设独立雨水立管并配套透气帽(高度≥2 m),可有效分离屋面雨水与生活污水。研究表明,该措施可使阳台污水收集率提升至 92%,但需注意高层建筑(≥14 层)因施工条件限制需采用局部改造方案^[3]。对于餐饮、洗车等特殊排水户,隔油池与毛发收集器的组合应用可将污染物拦截率提升至 95% 以上,上海某小区通过智能油水分离装置实现油脂拦截效率 98%,运维成本降低 30%^[9]。

小区管网重构需结合现状条件选择适宜模式。对既有合流管网,采用“截流井+分流管”组合工艺可实现旱季截污与雨季溢流控制。朱婷提出的“S 形存水弯+鸭嘴阀”设计兼具水封防倒灌与溢流调控功能,晴天截流效率达 85%,雨天溢流污染减少 40%^[10]。海绵设施与管网系统的耦合应用则能显著削减径流污染,雨水花园与高位花坛的组合可使 SS 浓度降低 58%,年径流总量控制率达 72%^[5]。

2.2.2 过程调控:智慧监测与调蓄净化

动态监测网络的构建是实现精准治理的核心支撑。上海奉贤区通过集成流量计、水质传感器及液位计,构建“监测—预警—调度”一体化平台,使混接点发现时效提升 3 倍,运维成本降低 45%^[11]。智能预警模型结合机器学习算法,可提前 1 h 预警溢流事件,预警准确率达 82%^[12]。

调蓄设施与净化工艺的协同应用是保障水质的关键。针对合流制系统,设计调蓄容积时需综合考虑降雨量、径流系数与汇水面积。案例显示,5 000 m³ 调蓄池可使溢流污染削减率达 76%^[2]。快速净化工艺中,“磁混凝沉淀+臭氧氧化”组合技术对 SS 和 COD 的去除率分别达 90% 和 60%,出水稳定达到一级 A 标准^[8]。

2.2.3 技术经济性对比与优化

不同改造方案的经济性与适用场景存在显著差异(见表 2)。源头分流虽初期投资较高(1 500 万~1 800 万元/km²),但长期运维成本低且污染物削减率高,适用于新建小区或改造条件较好的区域。末端截流方案投资较低(1 000 万~1 200 万元/km²),但需持续投入调蓄设施维护,更适合老旧小区或空间受限区域。组合式改造(如“源头分流+末端调蓄”)可节省投资 18%,污染物削减率提升 22%^[12]。

表 2 典型改造方案技术经济对比				
改造类型	初期投资/ (万元·km ⁻²)	年运维费用/ (万元·km ⁻²)	污染物削减率/%	适用场景
源头分流	1 500~1 800	80~120	85~95	新建小区、改造条件较好区域
末端截流	1 000~1 200	150~200	60~70	老旧小区、空间受限区域
调蓄+净化	1 200~1 500	100~150	70~80	合流制系统、溢流污染严重区域
海绵耦合	900~1 100	60~80	50~60	雨水径流污染突出区域

全生命周期成本分析显示,海绵设施的运维成本比传统灰色设施低 15%~20%^[13]。政策激励方面,深圳通过 PPP 模式实现政府与社会资本 1:1 分担初期投资,运维阶段按效果付费,显著降低财政压力^[9]。

总的来说,改造技术选择应遵循功能适配性、经济可行性、长效性三大原则,根据小区排水体制(分流/合流)、建筑密度及管网条件选择技术组合,优先采用 PPP 模式降低政府投入,如深圳案例中社会资本分担率达 50%^[9],需同步建立“一小区一档”数字化台账,实行季度巡检与年度评估^[12]。

2.2.4 典型案例:上海某老旧小区改造

上海某建于 1998 年的老旧小区通过系统性改造实现雨污分流。改造内容包括:源头分流,更换阳台立管 236 根,增设隔油池 8 个,餐饮废水预处理率 100%;过程调控,安装 3 座智能截流井,耦合 FDTS 监测系统,混接点检出率提升至 92%;末端治理,新建 5 000 m³ 调蓄池,配套磁混凝沉淀工艺,溢流污染削减率达 76%。改造后,小区雨水 COD 浓度从 280 mg/L 降至 65 mg/L,SS 浓度从 150 mg/L 降至 22 mg/L,污水处理厂进水浓度提升 35%,年溢流污染负荷减少 1 200 t,居民满意度从 68% 提升至 91%^[10]。

3 施工关键技术与管理

施工阶段需重点解决管道错接、空间受限及居

民干扰问题。非开挖修复技术通过局部树脂固化、紫外光固化(CIPP)等方式实现管道快速修复。例如,CIPP 技术修复速度达 50 m/d,寿命可达 50 a,且减少 70% 的路面开挖量^[6]。施工质量控制需严格执行闭水试验(渗漏率 $<2\%$)与 CCTV 复检,确保修复合格率 100%。

居民协调机制是施工顺利推进的关键。通过错峰施工、信息公开及投诉快速响应(24 h 内),上海某小区改造期间居民投诉率降低 60%,工程效率提升 40%。

4 运营管理数字化平台建设

构建“监测—预警—调度”一体化平台是保障长效治理的核心。该平台通过集成物联网设备(如流量计、水质传感器、液位计)实现水质、水量、液位等关键参数的实时监测,形成覆盖全域的数据感知网络。例如,上海奉贤区通过部署 127 个监测点位,成功将混接点发现时效提升 3 倍,运维成本降低 45%^[11]。在数据分析层面,平台运用机器学习算法构建智能预警模型,通过历史数据训练与实时数据迭代,可提前 1 h 预测溢流事件,预警准确率达 82%^[12]。运维管理方面,平台整合巡检任务派发、缺陷闭环跟踪、维修工单管理等功能模块,形成从问题发现到处置的全流程数字化闭环。实际应用中,该平台不仅优化了资源配置效率,还通过动态风险评估为应急调度提供科学依据,显著提升了管网系统的韧性与可靠性。

5 法规与长效监管机制

完善的政策体系是系统性改造的保障。技术标准方面,《城镇排水管道混接调查及治理技术规程》(T/CECS 758—2020)明确混接点判定标准与修复等级。深圳、上海等地通过物业费减免(补贴比例达 30%)等激励政策推动改造进程^[11]。监管机制上,“一小区一档”数字化台账与季度巡检制度的建立,确保治理成效长效保持^[12]。

6 结 论

城市雨污混接改造是一项复杂的系统工程,需要综合运用多种技术手段和管理方法。本文提出的“检测—设计—施工—运营—监管”五位一体系统性改造方案,通过技术组合、政策协同与智慧管理实现全链条优化。未来需进一步强化政策协同与技术创新,推动雨污混接治理从“工程导向”向“效能导向”转变。同时,还需要加强政策引导和公众参与,形成政府、企业和居民共同参与的长效治理机制,以实现城市水环境的可持续发展。

参考文献:

- [1] 尹海龙,王月,赵刚.分流制系统雨水管网混接旱天排放污染特征研究[J].环境科学学报,2019,39(10):3551-3558.
- [2] 徐祖信,徐晋,金伟,等.我国城市黑臭水体治理面临的挑战与机遇[J].给水排水,2019,55(3):1-5;77.
- [3] 李益勤.建筑与小区雨污混接改造技术措施浅析[C]//中国建筑设计研究院有限公司,中国建筑学会建筑给排水研究分会,上海熊猫机械(集团)有限公司,北京大可文化会展服务有限责任公司.第16届建筑给排水大会论文集2024.厦门:厦门合立道工程设计集团股份有限公司,2024:204-207.
- [4] 王捷.某超大城市雨污混接综合治理现状分析及对策[J].城市道桥与防洪,2024(7):128-132;119.
- [5] 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.
- [6] 张翔.厦门城市混合功能街区雨污混接改造实践[J].中国给水排水,2024,40(24):99-105.
- [7] 吴佳俊,程军来,黄剑聪.上海市中心城区住宅小区雨污混接精细化治理[J].上海建设科技,2024(4):60-64.
- [8] 赵志超,黄晓敏,尹海龙,等.雨水管网混接入渗诊断技术研究进展[J].环境工程技术学报,2024,14(1):278-288.
- [9] 洪思平.上海地区雨污混接改造工程实例分析[J].城市道桥与防洪,2024(7):136-139;119.
- [10] 朱婷.住宅小区雨污混接改造工程技术措施[J].工程技术研究,2020,5(17):52-53.
- [11] 王卫华.雨污混接普查改造的机遇与数字化平台建设——以上海市奉贤区为例[J].中国市政工程,2024(6):92-96;163.
- [12] 陈建余.雨污分时分流模式研究与应用[J].城市道桥与防洪,2024(10):142-145;120.
- [13] 唐磊,刘广奇,程小文,等.海绵城市背景下合流制改造及溢流污染控制路径研究[J].给水排水,2024,60(4):54-61.