

海绵城市背景下排水管网雨污分流改造效益评估 与路径优化

曾智忠

广州市净水有限公司 510655

DOI: 10.12238/ems.v7i10.15690

[摘要] 在海绵城市建设加速推进的背景下,排水管网雨污分流改造成为解决城市内涝与水体污染的关键举措。本文通过构建包含水文效能、生态环境、经济效益和社会影响的多维度效益评估体系,结合长治市、开封市、潍坊市等典型案例的实证分析,量化评估改造工程在防洪排涝能力提升、初期雨水污染控制、水资源循环利用及产业带动等方面的综合效益。研究发现,雨污分流改造可使城市内涝防治标准提升至30年一遇,初期雨水COD去除率提高40%以上,年雨水回用量达数百万立方米,同时带动新型排水材料、智能监测设备等产业发展,间接经济效益占比超40%。基于评估结果,提出“源头控制-过程转输-末端调蓄”协同优化路径,涵盖政策法规完善、技术创新突破、公众参与机制健全及长效运维体系构建,为海绵城市高质量发展提供理论支撑与实践指导。

[关键词] 海绵城市; 雨污分流; 效益评估; 路径优化; 排水管网

一、引言

1.1 研究背景与问题提出

随着全球气候变化与城市化进程加速,传统“快排”模式排水系统面临严峻挑战。2025年我国城市平均年降雨量较2000年增加12%,而排水管网密度仅提升8%,导致内涝灾害频发。据统计,2020-2025年间,全国654个城市中发生内涝的占比达78%,年均经济损失超1200亿元。与此同时,雨污合流制管网将40%-60%的初期雨水直接排入水体,成为城市黑臭水体形成的主因之一。以长三角地区为例,雨季污水厂进水COD浓度较旱季下降30%-50%,处理效率大幅降低。海绵城市建设作为新型城镇化战略的核心抓手,通过“渗、滞、蓄、净、用、排”系统化治理,实现雨水资源化利用与污染控制。雨污分流改造作为海绵城市建设的末端治理关键环节,其效益评估与路径优化直接关系到工程实施效果与可持续发展。然而,当前改造工程存在“重建设轻评估”“重技术轻管理”等问题,导致部分项目陷入“反复开挖-重复改造”的怪圈。因此,构建科学合理的效益评估体系,提出系统性优化路径,成为推动海绵城市高质量发展的迫切需求。

1.2 研究意义与创新点

本研究突破传统单一效益评估框架,从水文、生态、经济、社会四维视角构建综合评估模型,结合物联网监测数据

与居民问卷调查,实现“定量+定性”分析的有机结合。创新点体现在:技术-经济-社会耦合分析:揭示改造工程对产业升级、就业带动及公众行为改变的间接影响;动态评估方法:引入生命周期评价(LCA)理论,跟踪评估管网全生命周期效益;

路径优化策略:提出“政策-技术-管理-市场”协同优化方案,为政府决策提供可操作建议。

二、雨污分流改造的技术逻辑与实施难点

传统排水系统秉持“快速排放”理念,雨污合流使得污水处理厂在雨季面临超负荷运转的困境。海绵城市建设以三级体系对排水逻辑进行革新,从末端治理迈向全流程管控,而雨污分流改造在推进过程中,在技术、管理与资金层面面临诸多挑战。

2.1 技术逻辑:全流程管控的排水新体系

2.1.1 源头控制:削减径流与净化水质

源头控制运用透水铺装、雨水花园、绿色屋顶等低影响开发(LID)设施,有效削减地表径流峰值。以铜川市教育局项目为例,透水沥青路面改造后,径流总量控制率高达83.01%,年雨水下渗量增加12万立方米。透水材料孔隙率处于15%-25%,能截留80%以上的悬浮物,且借助微生物降解作用可去除部分有机污染物,从源头上减轻排

水系统压力。

2.1.2 过程转输：构建双管道与关键技术保障

过程转输构建双管道系统，雨水经独立管网输送至调蓄设施，污水经处理达标后排放。长治市太行北路改造工程新建 3.5 公里雨水管道，采用 DN1200 - DN1500 钢筋混凝土管，排水能力提升至 2 年一遇标准。关键技术包含管道坡度优化、防倒灌设计与智能截流。依据地形坡度 (0.5% - 2%) 确定最小流速为 0.75m/s，防止沉积；在检查井设置浮球阀，当雨水管水位超过污水管时自动关闭，避免污水倒灌；安装液位传感器与电动闸门，实现雨污自动分流。

2.1.3 末端调蓄：雨水资源化利用与技术优势

末端调蓄建设生态湿地、雨水回用池等设施，实现雨水资源化利用。开封市环城公园四期项目借助地下蓄水模块 (容积 5000m³)，年雨水回用量达 1.2 万立方米，用于绿化灌溉与道路冲洗。该技术具有模块化安装、水质净化与景观融合等优势。单个蓄水模块尺寸为 1m×1m×0.5m，可灵活组合；通过砂滤层与植物根系吸附，出水 COD≤30mg/L，达到中水回用标准；蓄水池顶部覆盖透水盖板，与周边绿地无缝衔接。

2.2 实施难点：技术、管理与资金的重重约束

2.2.1 技术层面：应对复杂地下空间与管线冲突

老旧城区地下空间复杂，管网改造易引发道路塌陷、管线冲突等问题。潍坊市梨园小区项目采用 BIM 建模技术，对地下管线进行三维可视化模拟，发现并解决 23 处管线冲突点，施工精度提升至厘米级。此外，运用非开挖修复技术 (如 CIPP 紫外光固化)，减少道路开挖面积 60%以上，有效降低施工对周边环境和交通的影响。

2.2.2 管理层面：优化跨部门协同与审批流程

跨部门协同机制缺失导致审批流程冗长。长治市通过“住建局牵头、多部门联审”模式，将项目审批周期从 6 个月缩短至 2 个月。具体措施包括并联审批，规划、环保、水务等部门同步审查设计方案；容缺受理，对非关键性材料实行“承诺制”补交；建立数字化平台，实时跟踪审批进度，提高审批效率。

2.2.3 资金层面：创新融资模式与风险分担机制

初期投资成本高昂，每公里雨污分流管网造价约 800 - 1200 万元。开封市采用“政府主导 + 社会资本参与”模式，

引入 PPP 项目融资 12 亿元。其运作机制为收益返还，将雨水回用收益、广告位出租收入等作为项目回报；风险分担，政府承担政策变动风险，企业承担建设运营风险；绩效挂钩，根据水质达标率、公众满意度等指标支付运营补贴，确保项目可持续运行。雨污分流改造是提升城市排水能力、改善水环境质量的关键举措。通过全流程管控的技术逻辑构建新型排水体系，同时积极应对技术、管理与资金层面的实施难点，有助于推动雨污分流改造工作顺利开展，实现城市可持续发展。

三、雨污分流改造效益评估体系构建

为科学评估雨污分流改造效益，基于海绵城市建设目标，构建了涵盖“水文效能、生态环境、经济效益、社会影响”的四维评估框架，并通过对典型案例的量化分析，验证了该评估体系的有效性与实用性。

3.1 四维评估框架指标设计

在水文效能维度，聚焦防洪排涝能力与雨水资源利用。防洪排涝能力以“内涝防治标准 (年)”衡量，通过改造后设计重现期与改造前的比值体现提升效果；雨水资源利用率则用“雨水回用量/总降雨量 (%)”表示，依赖监测数据统计。生态环境维度，水质净化效果通过“COD 去除率 (%)”反映，计算公式为 (进水浓度 - 出水浓度) / 进水浓度；生态修复成效采用“生物多样性指数 (Shannon - Wiener)”，依据物种数量与均匀度计算。经济效益维度，直接经济效益用“节水成本节约 (万元/年)”衡量，即水价乘以雨水回用量；间接经济效益通过“产业带动效应 (亿元)”体现，统计相关产业产值增量。社会影响维度，公众满意度以“满意度评分 (1 - 5 分)”呈现，通过问卷调查数据加权平均得出；就业带动效应则统计“新增岗位数量 (个)”，由人力资源部门提供数据。

3.2 典型案例效益量化呈现

长治市太行北路改造工程成效显著。水文效能上，内涝防治标准大幅提升，从 5 年一遇跃至 30 年一遇，2025 年汛期无积水，CFD 数值模拟显示管道流速升至 1.2m/s，沉积物减少 80%。生态环境方面，初期雨水 COD 去除率达 42%，石子河水质由劣 V 类提升至 IV 类，氨氮、总磷浓度分别下降 35%、40%。经济效益上，带动透水铺装材料产业增长 15%，年节水成本节约 280 万元 (按 3.5 元/m³水价计算)。

开封市汴京路海绵化改造亮点突出。水文效能上，透水

铺装使地表径流减少 40%，雨水回用率达 18%，物联网传感器监测显示雨季管网排水压力降低 30%。生态环境上，大梁门四角绿地生物多样性指数提升 0.3，热岛效应降低 1.5℃，植物“乔木-灌木-草本”立体结构使固碳量增加 25%。社会影响上，公众满意度评分从 3.2 分升至 4.7 分，新增 3 处休闲广场，居民户外活动时间增加 1.2 小时/周。

潍坊市梨园小区改造项目创新运维双优。技术创新上，采用装配式检查井，施工周期缩短 40%，模块化构件工厂预制，现场组装误差控制在±2mm 以内。运维效益上，智能监测系统使泵站能耗降低 25%，故障响应时间从 2 小时缩短至 15 分钟，年维护成本从 50 万元降至 35 万元。就业带动上，项目实施期间创造临时岗位 120 个、长期运维岗位 20 个，本地居民占比达 70%。

四、雨污分流改造路径优化策略

4.1 政策法规：完善顶层设计与标准体系

立法保障：推动《海绵城市建设管理条例》出台，明确雨污分流改造的法定地位。如长治市将改造工程纳入政府绩效考核，占比达 15%，对未达标部门实行“一票否决”。标准规范：制定《雨污分流改造技术导则》，细化管道坡度、管径等参数。开封市要求新建项目雨水管网排水能力不低于 3 年一遇标准，旧城改造不低于 2 年一遇。激励政策：对采用 LID 设施的项目给予容积率奖励。铜川市规定，绿色屋顶面积可按 1.5 倍计入绿地率，透水铺装面积按 1.2 倍折算。

4.2 技术创新：推动智能化与集成化应用

智能监测：部署物联网传感器，实时监测管网流量、水质。长治市延安南路项目通过智能平台，实现泵站运维效率提升 30%，年减少人工巡检成本 60 万元。模块化设计：开发预制装配式检查井、雨水口等构件，缩短工期 40%。潍坊市梨园小区采用标准化模块，施工周期从 6 个月压缩至 4 个月，减少建筑垃圾排放 80%。新材料应用：推广高分子排水管材，其使用寿命达 50 年以上，是传统混凝土管的 2 倍。开封市在新建管网中采用 HDPE 双壁波纹管，抗腐蚀性能提升 3 倍。

4.3 公众参与：构建共建共享机制

宣传教育：通过社区讲座、线上平台普及海绵城市理念。开封市组织“市民考察团”活动，参与人数超 5000 人次，发

放宣传手册 2 万份。反馈渠道：建立“居民监督员”制度，及时解决施工扰民问题。铜川市教育局项目通过居民反馈调整施工方案，投诉率下降 60%，满意度提升至 92%。激励机制：对参与雨水回用的居民给予水费补贴。长治市规定，家庭年雨水使用量超过 50m³ 的部分，按 1.5 元/m³ 补贴，最高补贴 500 元/年。

4.4 长效运维：建立全生命周期管理体系

专业化团队：组建排水管网运维公司，配备 CCTV 检测、高压冲洗等设备。长治市主城区管网清淤周期从 5 年缩短至 2 年，年清淤量减少 30%。资金保障：设立海绵城市建设专项基金，按管网长度收取维护费。开封市按 0.8 元/米·年标准筹集资金，年维护投入达 2000 万元，其中 30% 用于智能监测系统升级。绩效考核：将水质达标率、设备完好率等指标纳入运维单位考核。潍坊市对连续 3 个月考核不合格的单位，扣除 10% 运维费用并终止合同。

五、结论

本文构建四维评估体系并结合多地案例实证得出，雨污分流改造在水文效能、生态环境、经济效益和社会影响方面成效显著，如提升内涝防治标准、改善生态环境、释放多元经济效益、收获积极社会影响等。展望未来，随着海绵城市建设推进，雨污分流改造需在技术融合、区域协同、碳减排等方面突破，作为海绵城市核心环节，要经科学评估与持续优化实现多赢，为城市可持续发展筑牢根基。

【参考文献】

- [1] 胡金金，《基于生态环境视角的雨污分流改造效益综合评价》.《环境科学与技术》，2021 年
- [2] 金丹，《雨污分流改造经济效益评估模型构建与应用——以某海绵城市建设试点城市为例》.《城市发展研究》，2019 年
- [3] 沙文强，《社会影响视角下排水管网雨污分流改造效益评估》.《中国人口·资源与环境》，2022 年
- [4] 陈俊龙，徐阳.《基于多目标决策的雨污分流改造路径优化与效益评估》.《系统工程理论与实践》，2021 年
- [5] 杜孟举.《海绵城市背景下雨污分流改造长效运维机制与效益保障研究》.《中国市政工程》，2022 年