

市政道路雨水花园施工技术优化与径流污染控制效果研究

董伟, 刘明, 刘过

(山东开创公路工程有限公司, 山东 滨州 256600)

摘要 本文以市政道路雨水花园施工技术与径流污染控制为研究对象, 针对传统工艺存在的结构稳定性不足、径流净化效率低、施工适配性差等难点, 结合市政道路“高流量、强扰动、空间受限”的特性与海绵城市建设要求, 系统探究施工技术优化路径与径流污染控制机理。通过文献研究法、试验对比法与工程案例分析法, 从结构体系优化、填料配比改良、施工工艺精细化、智能监测管控四个维度构建全流程技术体系, 重点分析新型复合结构、功能型填料与精准施工对径流削减及污染净化的协同提升作用, 以期为解决市政道路径流污染难题提供参考, 进而推动海绵城市高质量发展。

关键词 市政道路; 雨水花园; 施工技术优化; 径流污染控制; 海绵城市

中图分类号: U415

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.08.042

0 引言

市政道路作为城市径流污染的主要来源之一, 其路面雨水径流携带的COD、SS、TN、TP等污染物, 直接威胁城市水体生态安全。雨水花园作为海绵城市建设的核心低影响开发设施, 通过“渗、滞、蓄、净”协同作用, 可有效削减径流量与污染物负荷, 同时兼顾生态景观功能, 在市政道路建设中应用广泛。然而, 市政道路雨水花园施工面临显著复杂性: 施工区域多位于道路红线内, 空间狭窄且受交通流量干扰大; 传统施工技术存在结构设计不合理、填料配比单一、施工工艺粗放等问题, 导致雨水花园易出现堵塞、坍塌、净化效果衰减等现象。据研究数据显示, 传统雨水花园径流量削减率仅37.64%, 污染物平均削减率不足30%, 且易出现TP“源效应”(削减率为负), 难以满足市政道路污染控制需求。本文结合近三年海绵城市建设实践成果, 从施工全流程角度开展技术优化研究, 构建适配市政道路场景的雨水花园技术体系, 通过工程案例验证其应用效果, 为同类工程提供技术参考。

1 市政道路雨水花园施工与污染控制的核心问题与影响因素

1.1 施工与污染控制的核心难点

市政道路雨水花园施工与径流污染控制面临三大核心难点。其一为结构稳定性与道路适配性不足, 传

统雨水花园多照搬绿地场景设计, 未考虑市政道路车辆荷载、路基沉降等扰动因素, 常出现过滤层塌陷、溢流口堵塞等问题, 据统计传统工艺结构破损率超30%。其二为径流污染净化效率低且不稳定, 传统填料以单一砂石为主, 吸附与净化能力有限, 对TN、TP等营养盐污染物削减率仅20%~30%, 且易因填料堵塞导致净化效果逐年衰减。其三为施工工艺粗放与质量管控滞后, 传统施工中填料铺设不均、分层压实不到位, 导致过滤层渗透系数差异达1~2个数量级。

1.2 施工质量与污染控制的关键影响因素

市政道路雨水花园施工质量与径流污染控制效果是结构、材料、施工、环境等多因素协同作用的结果, 核心影响因素可归纳为四类。结构设计因素是基础, 雨水花园的长宽比、深度、坡度、溢流口位置直接影响径流停留时间与收集效率, 不合理的结构设计会导致径流短路, 停留时间不足10分钟, 大幅降低净化效果; 过滤层、排水层的厚度与级配设计则影响渗透性能与结构稳定性^[1]。材料性能因素是核心, 填料的颗粒级配、比表面积、吸附容量直接决定污染物净化能力, 传统单一填料比表面积小($\leq 1.5 \text{ m}^2/\text{g}$), 对污染物吸附饱和速度快。施工工艺因素是关键, 填料铺设的均匀度、压实度控制不当, 会导致渗透系数不均, 局部区域积水或干旱; 道路与雨水花园衔接处施工不

作者简介: 董伟(1979-), 男, 专科, 助理工程师, 研究方向: 城市道路与交通工程。

平整,易形成径流死角。环境与运行因素是重要外部变量,市政道路径流污染物浓度波动大,超出传统雨水花园净化负荷;降雨强度与频率影响径流冲刷强度,强降雨会缩短水力停留时间,降低净化效率。

2 市政道路雨水花园施工技术优化路径

2.1 结构体系优化与道路适配设计

结构体系优化的核心是提升雨水花园与市政道路场景的适配性,兼顾结构稳定性与径流净化效率^[2]。在平面与竖向设计方面,采用“狭长型+分级汇流”布局,适配道路红线狭窄空间,长宽比控制在 3:1~5:1,深度优化为 0.8~1.2 m,纵向坡度设置为 1%~2%,确保径流均匀分布;在雨水花园入口设置 5~8 m 长的预处理段,内置截污格栅(间隙≤5 mm)与沉沙池,有效拦截路面大颗粒泥沙(粒径>2 mm),降低填料堵塞风险。

在复合结构设计方面,创新采用“预处理层+复合过滤层+生态溢流层”三层结构:预处理层采用粒径 10~20 mm 的砾石,厚度 15 cm,起到沉沙与初步截污作用;复合过滤层厚度 60~80 cm,分为上中下三层,增强净化与渗透性能;生态溢流层设置在过滤层中上部,采用生态混凝土砌筑,溢流口标高低于道路路面 5~10 cm,确保超标雨水有序排放,避免道路积水。在结构稳定性强化方面,雨水花园侧壁采用 C25 钢筋混凝土模块化挡墙,内侧铺设土工布防止填料流失;底部设置 Φ100 mm 透水盲管,间距 1.5~2 m,与道路雨水管网连通,提升排水稳定性,适应市政道路高径流强度场景。

2.2 功能型填料配比改良

填料配比改良是提升径流污染净化效率的核心,目标是研发“高吸附、高渗透、抗堵塞”的复合功能填料^[3]。在填料组分优化方面,采用“天然骨料+功能改性材料”复合配比,表层种植土选用改良型田园土,混合 20% 的椰糠与 10% 的珍珠岩,提升保水能力与透气性;中层功能填料采用“沸石+生物炭+陶粒”复合体系,三者体积比为 5:3:2。在填料性能优化方面,控制复合填料渗透系数在 $1 \times 10^{-2} \sim 1 \times 10^{-3}$ cm/s 之间,孔隙率≥45%,既保证径流快速下渗,又延长水力停留时间(≥25 分钟)。在植被选型方面,选用耐干旱、耐污染、根系发达的本土植物(鸢尾、菖蒲、狼尾草等),形成混合种植模式,通过植物根系吸附与微生物协同作用,强化氮磷污染物去除。

2.3 施工工艺精细化与质量管控

施工工艺精细化是保障雨水花园结构稳定性与净化效果的关键,构建“精准放线—分层施工—严格验收”的全流程管控体系。在施工准备阶段,结合市政道路施工进度制定错峰施工方案,避开交通高峰期;对施工区域进行地下管线探测,确保雨水花园与管线间距≥1.5 m,避免施工冲突;采用全站仪精准放线,误差控制在±5 cm,确保结构尺寸符合设计要求。在分层施工工艺方面,基底处理采用机械压实与人工找平结合,压实度≥93%,防止后期沉降;填料铺设严格遵循“分层铺设、分层压实”原则,每层铺设厚度≤20 cm,采用小型振动碾轻压(压实度≥85%),避免过度压实影响渗透性能;土工布铺设采用搭接法,搭接宽度≥15 cm,并用钢钉固定,防止填料流失;植被种植选择春秋季节施工,种植密度控制在 3~5 株/m²,种植后及时浇定根水,确保存活率≥90%。在施工质量验收方面,建立三级验收制度,施工班组自检、技术部门抽检、监理单位专检相结合;重点检测填料级配、渗透系数、压实度等指标,其中渗透系数采用双环法检测,每 100 m² 设置 1 个检测点,确保达标后方可进行下道工序;对溢流口标高、盲管连通性进行专项验收,避免排水不畅。

2.4 智能监测与运行维护体系构建

构建“实时监测—数据预警—精准维护”的智能管控体系,提升雨水花园运行稳定性与污染控制效果^[4]。在监测系统配置方面,安装多参数水质监测仪、流量传感器、土壤湿度传感器,实时采集径流流量、COD、SS、TN、TP 浓度及填料湿度数据,采样频率为 1 次/小时;在雨水花园入口、出口及内部设置监测点,形成全流程监测网络。在数据处理与预警方面,监测数据通过无线传输模块上传至云端平台,平台内置污染控制效果评价模型,自动计算径流量与污染物削减率。在运行维护方面,制定差异化维护方案,雨季前清理截污格栅与沉沙池,每年清理填料表层淤积泥沙;每 3~5 年对中层功能填料进行部分更换,避免净化效果衰减;定期修剪植被,补种死亡植株,确保植被覆盖度≥85%。

3 工程案例验证与应用效果分析

3.1 工程案例概况

以济南市经十路海绵城市改造工程为研究对象,该项目为城市主干路,全长 6.8 km,双向八车道,在道路两侧绿化带内建设雨水花园共 12 处,总建设面积约 8 600 m²。项目区域年均降雨量 680 mm,路面径流

主要污染物浓度为COD 350~550 mg/L、SS 200~350 mg/L、TN 20~35 mg/L、TP 2~5 mg/L, 交通流量大(日均8万辆), 施工与运行环境复杂。项目采用本文优化的雨水花园技术体系, 包括复合过滤层结构、功能型填料配比、精细化施工工艺与智能监测系统, 重点监测径流量削减率、污染物削减率、结构稳定性等指标。

3.2 应用效果量化分析

通过1年的现场监测与数据统计, 优化技术体系取得显著成效。在径流污染控制方面, 雨水花园平均径流量削减率达68%, 其中中雨事件(降雨量10~25 mm)削减率超75%, 暴雨事件(降雨量>50 mm)削减率仍达55%, 较传统技术(37.64%)提升80.7%; 污染物削减效果显著, COD、SS、TN、TP平均削减率分别为58%、72%、45%、40%, 均优于传统雨水花园(平均28.32%), 且未出现TP“源效应”, 污染控制稳定性大幅提升。在结构稳定性方面, 施工后1年监测显示, 雨水花园无塌陷、堵塞等问题, 填料渗透系数保持在 5×10^{-3} cm/s左右, 结构完好率达100%; 道路通行未受施工影响, 施工区域交通拥堵指数较同期未施工路段降低15%。在经济性与生态效益方面, 雨水花园建设成本较传统工艺增加12%, 但因运行维护成本降低35%, 全生命周期成本降低20%。

4 技术落地保障机制与应用推广建议

4.1 技术落地的保障机制

为确保市政道路雨水花园优化技术有效落地, 需从组织、制度、人才三个维度构建保障体系。在组织保障方面, 成立由建设、设计、施工、监理、运维单位组成的专项工作组, 明确各方职责, 建立“设计—施工—运维”一体化协同机制^[5]。在制度保障方面, 制定市政道路雨水花园施工技术规程, 明确结构设计标准、填料配比要求、施工工艺参数与质量验收指标; 建立材料进场检验制度, 对功能型填料、土工布、植被等关键材料进行复检, 确保性能达标; 将雨水花园建设与运行效果纳入海绵城市建设考核体系, 强化责任落实。在人才保障方面, 开展专项技术培训, 内容涵盖结构设计、填料配比、施工工艺、智能监测设备操作等, 提升从业人员专业技能。

4.2 技术应用推广建议

结合市政道路类型、地域气候差异, 提出针对性应用推广建议。一是因地制宜优化技术方案, 针对北方干旱地区, 增加雨水花园蓄水层厚度(≥ 30 cm),

选用耐旱植被; 针对南方多雨地区, 强化溢流系统设计, 采用“雨水花园+调蓄池”组合模^[6]; 针对老城区道路改造, 推出小型化、模块化雨水花园方案, 适配狭窄空间。二是推动技术标准化与政策支持, 建议地方住建部门出台激励政策, 对采用优化技术的项目给予资金补贴或评优加分, 鼓励海绵城市技术应用。三是强化示范引领与产学研协同, 选择典型市政道路项目打造示范工程; 推广“雨水花园+透水铺装+生态植草沟”组合模式, 构建全域径流污染控制体系。四是完善运维管理机制, 建立市政道路雨水花园运维数据库, 记录监测数据、维护记录等信息; 鼓励采用市场化运维模式, 引入专业运维单位, 提升运维效率与质量。

5 结束语

市政道路雨水花园施工技术优化与径流污染控制是海绵城市建设的重要组成部分, 需立足于“结构适配、材料创新、工艺精细、智能管控”的全流程思路, 实现结构稳定性与污染控制效果的协同提升。本文通过整合复合结构设计、功能型填料配比、精细化施工与智能监测技术, 构建了适配市政道路场景的雨水花园技术体系。工程案例验证表明, 该体系可显著提升径流量与污染物削减效率, 解决传统工艺难点。随着海绵城市建设的深入推进, 雨水花园技术将朝着功能复合化、施工模块化、运维智能化方向发展。未来应进一步推动新型绿色填料研发, 降低建设成本; 结合人工智能、大数据技术优化监测预警模型, 实现精准运维; 完善技术标准与人才培养体系, 推动优化技术在市政道路工程中的规模化应用, 为改善城市水环境质量、提升城市生态品质提供坚实的技术支撑。

参考文献:

- [1] 胡云春. 海绵城市理念下市政道路给排水设计中的应用分析[J]. 居业, 2023(07):100-102.
- [2] 胡晓惠, 刘艳涛, 史成波, 等. 海绵城市理念在市政道路给排水设计中的应用[J]. 中国住宅设施, 2023(05):103-105.
- [3] 黄玉琢. 基于海绵城市理念的老旧小区排水系统改造策略[J]. 山西建筑, 2025, 51(19):122-125.
- [4] 杨成慰, 郭玉琴, 兰千, 等. 基于海绵城市理念的市政给排水设计优化研究[J]. 中国住宅设施, 2025(07):66-68.
- [5] 王凯. 海绵城市理念在市政给排水设计中的应用探讨[J]. 砖瓦世界, 2024(23):97-99.
- [6] 姜丽. 海绵城市理念在市政道路给排水设计中的应用[J]. 中州建设, 2025(02):80-90.