

基于海绵城市理念的市政道路雨水径流调控技术研究

任文

中交一公局第三工程有限公司 北京 030001

摘要: 城市化快速推进使城市硬化路面占比持续提升,传统市政道路“快排式”排水模式弊端凸显,雨水径流峰值过高、城市内涝、路面面源污染、雨水资源浪费等问题频发。海绵城市理念秉持“渗、滞、蓄、净、用、排”核心原则,突破传统末端排水治理思维,为市政道路雨水径流精细化管控提供了全新路径。本文依托海绵城市与低影响开发(LID)理论,系统分析市政道路雨水径流的生成特征、污染规律及传统排水模式的局限性,重点梳理透水铺装、生态植草沟、下凹式绿地、雨水调蓄设施等核心径流调控技术的作用机理与适用场景,结合实际市政改造工程验证复合型海绵技术的应用效果,总结当前技术落地存在的适配性不足、运维缺失、系统协同性差等问题,并提出针对性优化对策。研究表明,源头、过程、末端相结合的复合型径流调控技术,可有效削减道路雨水径流总量、延迟径流峰值、净化路面雨水水质,大幅提升城市道路水文调节韧性,可为市政道路海绵化新建与改造工程提供理论参考与技术支撑。

关键词: 海绵城市; 市政道路; 雨水径流; 径流调控; 低影响开发

Research on Stormwater Runoff Regulation Technology of Municipal Roads Based on Sponge City Concept

Wen Ren

CCCC First Highway Engineering Bureau No.3 Engineering Co., Ltd., Beijing, 030001

Abstract: The rapid advancement of urbanization has continuously increased the proportion of urban hardened pavements. The drawbacks of the traditional rapid-drainage mode for municipal roads have become prominent, resulting in frequent problems including excessive stormwater runoff peak, urban waterlogging, pavement non-point source pollution and waste of rainwater resources. Adhering to the core principles of “infiltration, retention, storage, purification, utilization and discharge”, the sponge city concept breaks through the traditional end-pipe drainage governance thinking and offers a brand-new approach for refined management and control of stormwater runoff on municipal roads. Based on the theories of sponge city and Low Impact Development (LID), this paper systematically analyzes the generation characteristics and pollution rules of stormwater runoff on municipal roads as well as the limitations of traditional drainage modes. It mainly sorts out the action mechanisms and applicable scenarios of core runoff regulation technologies such as permeable pavement, ecological grassed swale, sunken green space and rainwater storage facilities. The application effect of composite sponge technologies is verified in practical municipal reconstruction projects. Existing problems in technology implementation are summarized, including insufficient adaptability, lack of operation and maintenance, and poor system coordination, and targeted optimization countermeasures are put forward. The research indicates that composite runoff regulation technologies combining source, process and end-pipe measures can effectively reduce total road stormwater runoff, delay runoff peak value and purify pavement rainwater quality. Such technologies greatly improve the hydrological regulation resilience of urban roads, and can provide theoretical reference and technical support for new construction and reconstruction projects of sponge-oriented municipal roads.

Keywords: Sponge city; Municipal road; Stormwater runoff; Runoff regulation; Low impact development

我国城市化建设持续提速,市政道路大面积硬化铺装彻底改变了城市自然地表水文循环体系。传统市政道路以快速排干雨水、保障通行为核心目标,采用硬化路面与集中管网排水模式,仅适用于常规降雨工况,难以应对极端降雨天气与生态城市建设要求。硬化路面透水性极差,降雨易快速汇集形成高强度地表径流,超出管网承载能力,诱发道路积水与城市内涝;同时,路面油污、重金属、泥沙等污染物随径流入河,引发严重面源污染,雨水资

源大量流失,进一步加剧城市水资源供需矛盾。

海绵城市依托低影响开发技术模拟自然水文过程,实现雨水渗蓄、净化、调蓄与资源化利用,有效缓解硬化建设对水生态的破坏。市政道路作为城市主要汇水区域,是海绵改造的核心场景,开展道路径流调控研究,对治理内涝、削减面源污染、修复城市水生态具有重要现实意义。

当前国内市政道路海绵化改造已广泛开展,但普遍存在技术模

式单一、场地适配性不足、后期运维缺位等问题,径流调控效果难以达标。基于此,本文系统构建道路海绵径流调控技术体系,结合工程实践验证应用成效,梳理现存问题并提出优化对策,完善道路海绵化建设技术体系,助力市政工程与城市生态协同发展^[1]。

1 核心理论与径流特征分析

1.1 海绵城市与低影响开发核心内涵

海绵城市的核心是提升城市水文弹性,让城市可自适应降雨变化,实现降雨蓄水、干旱释水的动态调控。其六大核心技术维度相辅相成,形成完整的雨水管控体系:渗为源头减排核心,通过提升地表透水性减少径流生成;滞可延缓径流汇集速度,削减洪峰压力;蓄用于存储超额雨水,应对极端降雨风险;净可降解吸附雨水污染物,改善水质;用实现雨水资源化回用,节约市政水资源;排作为兜底保障,通过传统管网排除多余积水,杜绝内涝。

低影响开发(LID)是海绵城市建设的核心技术支撑,区别于传统集中式、大规模的排水工程,其采用分散式、小型化生态设施,维持场地开发前后水文特征基本稳定,具备生态性、经济性、可持续性优势,是市政道路雨水径流源头管控的核心依据。

1.2 市政道路雨水径流与污染特征

市政道路沥青、混凝土硬化下垫面孔隙率极低,降雨过程中仅少量雨水通过蒸发、缝隙截留消耗,90%以上降雨会转化为地表径流。相较于自然绿地、土壤下垫面,道路雨水径流具备产流快、峰值高、历时短、流量集中的典型特征,短时强降雨下径流流量骤增,极易造成管网拥堵、路面积水^[2]。

同时,道路径流是城市面源污染的主要来源。路面长期沉积的轮胎磨损颗粒、机动车油污、尾气沉降重金属、扬尘垃圾等污染物,会在降雨初期被快速冲刷溶解,形成高污染初期雨水。此类雨水未经处理直接排入河湖,会导致水体悬浮物、氮磷、化学需氧量超标,引发水体富营养化、水质恶化,严重破坏城市水生态,其污染负荷远高于常规生活污水。

1.3 传统道路排水模式的局限性

传统“硬化路面+雨水口+地下管网”的快排模式,仅具备单一排水功能,结构性缺陷突出。一是无源头减排与滞蓄能力,无法削减径流总量与峰值,极端降雨极易引发内涝;二是缺乏水质净化功能,路面污染物直接入河,加剧水体污染;三是雨水资源完全浪费,无法实现资源化利用;四是管网瞬时负荷过大,长期运行易淤积堵塞,运维成本居高不下。在极端天气频发、生态管控趋严的背景下,传统排水模式已无法适配现代城市发展需求。

2 市政道路海绵雨水径流调控核心技术

基于海绵城市“源头减排、过程控制、末端调蓄”三级管控框架,当前市政道路径流调控技术可分为三大类,各类技术可单独应用,也可组合适配,形成全方位、全流程的径流管控体系。

2.1 源头渗透减排技术

源头渗透减排以透水铺装为核心,是道路海绵化改造的基础技术,通过改造路面材质打破不透水特性,从源头减少地表径流、涵养地下水。现阶段主流透水铺装分为三种类型:透水沥青铺装承载力强、行车舒适度高,适配城市主次干道;透水混凝土铺装结构稳定、造价低廉,多用于非机动车道与人行道;透水砖铺装施工便捷、样式多样,适用于人行道及道路周边步道^[3]。

透水铺装采用分层结构,从上至下分为面层、基层、垫层与透水路基。面层快速透水、截留大颗粒杂质;级配碎石基层兼具透水、储水与承重功能;过滤垫层可拦截细小泥沙,防止路基堵塞。工程实践表明,合格的透水铺装可实现60%以上雨水就地入渗,有效延缓产流时间、削减径流总量,同时初步净化雨水,降低初期污染负荷。

2.2 过程滞蓄净化技术

过程滞蓄净化技术应用于径流传输环节,实现雨水滞洪缓冲与水质净化,核心包括生态植草沟、下凹式绿地、路缘石截污系统。生态植草沟替代传统硬质排水沟,采用抛物线、三角形断面,种植乡土耐涝植被,可减缓径流流速、延迟峰值,通过植物根系与土壤微生物降解油污、悬浮物、重金属等污染物,兼具排水、净化、绿化功能。

下凹式绿地将道路绿化带高程低于路面10~20cm,通过路缘石开口承接路面雨水,依托透水土壤与植被实现雨水滞蓄、渗透与净化,超额雨水通过溢流口排入管网,是承接透水铺装剩余径流、治理初期雨水污染的核心配套设施。路缘石开口截污系统可实现雨水有序导流,搭配拦污槽截留杂物,有效预防海绵设施堵塞,保障系统稳定运行。

2.3 末端调蓄回用技术

末端调蓄回用技术主要应对极端降雨超额径流,实现防涝减灾与雨水资源化利用,核心设施为地下雨水调蓄池与人工湿地净化系统。市政道路多采用地下封闭式调蓄池,依托道路绿化带地下空间建设,常态降雨收集净化雨水,极端降雨临时存储超额径流,削减管网峰值压力。存储的雨水经过滤消毒后,可用于道路清扫、绿化灌溉,实现资源循环利用。人工湿地系统通过基质过滤、植物吸附、微生物降解实现雨水深度净化,兼顾生态修复与景观提升,多用于景观型市政道路^[4]。

3 工程应用与效果分析

3.1 工程改造方案

本次选取城区2.2km主干道改造工程为研究对象,该道路原有硬化路面采用传统快排模式,雨季积水、径流污染问题突出。本次改造遵循低影响开发原则,保留原有管网作为兜底排水设施,构建“源头透水铺装+过程生态滞蓄+末端调蓄回用”复合型海绵体系。源头改造将人行道、非机动车道更换为透水砖铺装,机动车道采用高强度改性透水沥青;过程改造拆除硬质排水沟,全

线增设生态植草沟与下凹式绿地,每50m设置路缘石开口与拦污装置;末端在道路绿地新建小型地下调蓄池及雨水回用设备。

3.2 应用效果分析

通过为期一年的降雨监测,对比改造前后水文、水质指标,结果显示:径流调控方面,道路径流总量削减率超65%,径流峰值延迟15~20min,峰值流量削减率超50%,彻底解决路面短时积水与管网过载问题,排水防涝能力大幅提升。水质净化方面,海绵设施对悬浮物去除率达82%以上,化学需氧量去除率超75%,石油类污染物去除率达88%,初期雨水污染得到有效治理。资源利用方面,调蓄池年均回用雨水1.2万立方米,有效节约市政自来水,实现生态效益与经济效益双赢。实践证明,复合型海绵技术的协同调控效果远优于单一技术,适配市政道路径流管控需求。

4 技术应用现存问题

4.1 方案设计同质化,场地适配性不足

当前多数道路海绵改造存在盲目套用模板的问题,未结合道路等级、交通荷载、场地空间差异化设计。重载主干道盲目采用普通透水铺装,易出现路面破损、孔隙堵塞;老旧城区狭窄道路照搬大面积下凹式绿地、调蓄池设计,施工难度大、设施利用率低,无法发挥预期调控效果。

4.2 设施易堵塞,运维体系不完善

透水铺装、植草沟等海绵设施长期暴露户外,泥沙、落叶、扬尘易堵塞孔隙,导致透水、净化功能逐年衰减。目前多数城市未建立专项运维管理制度,缺乏定期清理、检修、养护机制,多数设施投入使用1~2年后出现功能失效,严重影响径流调控系统稳定性。

4.3 技术碎片化,系统协同性差

部分工程存在技术碎片化问题,源头、过程、末端设施衔接不畅,未形成完整管控体系。部分项目仅铺设透水铺装,无配套滞蓄净化设施,大雨工况下铺装饱和后径流依旧快速汇集;部分末端调蓄设施缺乏前置过滤系统,雨水收集效率低,资源回用效果差,全过程管控能力不足。

4.4 建设标准与智能管控缺失

现阶段地方道路海绵化建设细化标准不足,不同场景的施工工艺、技术参数、验收规范不统一,工程质量参差不齐。同时普遍存在“重建设、轻监测”问题,缺乏常态化径流、水质监测体系,无法精准评估设施运行效果,难以实现技术优化迭代。

5 技术优化与改进对策

5.1 因地制宜开展差异化设计

摒弃同质化设计模式,依据道路工况定制海绵方案。重载主干道选用高强度改性透水材料,优化铺装基层结构,兼顾透水性能与行车安全;次干道、人行道采用经济型透水砖。老旧城区优先采用小型化、分散式生态设施,减少土方施工;新建道路提前统筹海绵布局,实现道路结构与海绵系统一体化设计,提升设施

适配性与利用率。

5.2 构建常态化运维养护机制

制定标准化海绵设施养护规程,定期对透水铺装孔隙进行高压冲洗、清理,定期修剪植被、清除植草沟与绿地淤泥杂物,保障设施功能稳定。建立设施运维台账,及时检修更换老化破损设备,同时依托智能化设备实时监测设施运行状态,实现精准高效运维,延长设施使用寿命。

5.3 打造一体化复合型调控系统

强化各类海绵技术的协同衔接,构建“源头渗蓄、过程净化、末端调蓄、智能回用”一体化体系。优化导流、截污、过滤设施衔接设计,保障雨水有序逐级处理。结合道路汇水面积、本地降雨特征科学配比设施规模,避免单一设施过载或闲置,最大化发挥系统协同效应,实现常规降雨就地消纳、极端降雨有效防控。

5.4 完善标准体系与智能管控平台

细化市政道路海绵化施工、验收、技术参数标准,规范工程建设流程,保障施工质量。搭建雨水径流智能监测系统,实时采集径流流量、峰值、水质指标及设施运行数据,通过大数据分析优化调控方案,推动道路海绵化建设向标准化、智能化、精细化方向发展。

结论:

市政道路硬化下垫面引发的径流超标、城市内涝及面源污染问题,是当前城市水生态治理的重点与难点。传统快排式排水模式管控路径单一,已难以适配城市高质量发展与水生态保护需求。基于海绵城市理念的径流调控技术,通过源头、过程、末端全流程协同管控,可有效削减雨水径流、延缓洪峰、净化水体,显著提升城市水文生态韧性。

本文系统阐释透水铺装、生态植草沟、下凹式绿地、雨水调蓄等核心海绵技术的作用原理与适用场景,结合工程实例验证了复合技术体系的调控优势,梳理了现阶段设计同质化、运维缺口、系统协同性不足等突出问题,并提出差异化设计、常态化运维、智能化管控的优化对策。研究表明,因地制宜配置复合型海绵技术方案,是实现市政道路雨水径流高效调控、改善城市水生态环境的关键路径。

参考文献:

- [1]住房和城乡建设部.海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建[S].2014.
- [2]王钰坤.海绵城市理念下市政道路雨水径流控制技术与效果研究[J].建筑技术科学,2026(2):45-48.
- [3]单倩.海绵城市理念下城市道路雨水收集利用系统设计研究[J].工程技术研究,2025(14):112-114.
- [4]曹树志.海绵城市理念在市政公路设计上的实践[J].道路交通与安全,2025(6):78-81.