

基于海绵城市理念的市政路桥排水系统设计研究

王永鹏

河北省城乡规划设计研究院有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]随着我国城市化进程加速,传统市政路桥排水系统在应对极端降雨和城市内涝方面暴露出诸多问题。文章以“海绵城市”理念为核心,提出将低影响开发(LID)技术与传统排水系统深度融合的新型市政路桥排水设计模式。通过分析现有排水系统的缺陷,结合透水铺装、生态边沟、雨水花园、蓄滞模块等LID设施的应用,构建“渗、滞、蓄、净、用、排”一体化的综合排水体系。研究采用案例模拟与效益评估相结合的方法,验证了该设计模式在提升径流控制率、缓解路面积水、改善城市水环境方面的有效性。结果表明,基于海绵城市理念的排水系统能显著增强城市韧性,为未来市政路桥建设提供科学依据和实践路径。

[关键词]海绵城市;市政路桥;排水系统;低影响开发(LID)

DOI: 10.33142/aem.v7i9.18074

中图分类号: TU984

文献标识码: A

Research on the Design of Municipal Road and Bridge Drainage System Based on Sponge City Concept

WANG Yongpeng

Hebei Province Urban-Rural Planning and Design Research Institute Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: With the acceleration of urbanization in China, traditional municipal road and bridge drainage systems have exposed many problems in dealing with extreme rainfall and urban waterlogging. The article focuses on the concept of "sponge city" and proposes a new municipal road and bridge drainage design model that deeply integrates low impact development (LID) technology with traditional drainage systems. By analyzing the deficiencies of the existing drainage system and combining the application of LID facilities such as permeable pavement, ecological ditches, rain gardens, and storage modules, a comprehensive drainage system integrating "infiltration, retention, storage, purification, utilization, and drainage" is constructed. The study used a combination of case simulation and benefit evaluation to verify the effectiveness of this design pattern in improving runoff control rate, alleviating road surface water, and improving urban water environment. The results indicate that the drainage system based on the sponge city concept can significantly enhance urban resilience, providing scientific basis and practical path for future municipal road and bridge construction.

Keywords: sponge city; municipal roads and bridges; drainage system; low impact development (LID)

1 海绵城市理念与市政路桥排水现状分析

海绵城市理念强调通过“渗、滞、蓄、净、用、排”六位一体的方式实现城市雨水系统的生态化管理,推动城市从依赖末端治理向源头减排转型。国家出台《海绵城市建设技术指南》等政策文件,支持试点城市探索低影响开发(LID)路径,取得显著成效。在此背景下,传统市政路桥排水系统暴露出诸多短板:大量采用硬化铺装,地表不透水面积占比高,径流系数可达0.8以上,降雨时迅速形成地表径流;排水模式以管网快速收集排放为主,导致雨洪峰值集中,下游排水压力剧增,易引发内涝;部分设

计标准偏低,难以应对极端天气频发的新常态;同时缺乏对雨水资源的收集与再利用机制,造成水资源浪费。针对这些问题,本文提出新观点——市政路桥不应仅被视为交通功能载体,而应升级为城市雨洪调控的关键节点。充分利用道路沿线的中央绿化带、分隔带及高架桥下空间等区域,集成布置透水铺装、生物滞留带、雨水花园和地下蓄水模块等LID设施,将道路系统转化为具备渗透、滞蓄与净化能力的“主动型雨水管理系统”。通过结构重构与功能拓展,实现雨水在产生源头的就地消纳与动态调控,推动传统排水模式由被动排泄向主动管理的根本

性转变。

2 基于海绵城市理念的排水系统设计原则与目标体系构建

2.1 设计基本原则

基于海绵城市理念的市政路桥排水系统设计,必须坚持源头控制优先原则,在雨水落地初期即通过透水铺装、生物滞留带等设施实现就地渗透与滞留,减少径流外排。系统协同要求低影响开发设施与传统雨水管网、泵站、调蓄池等工程手段形成有机衔接,发挥各自优势,构建多层次、多功能的复合排水网络。功能复合性体现在不仅满足道路通行安全需求,还需融合生态净化、景观营造与公众使用体验,提升城市空间品质。

2.2 核心设计目标量化指标

为科学评价海绵型市政路桥排水系统的实施效果,需建立可量化的技术目标体系。年径流总量控制率应不低于85%,对应的设计降雨量一般取25mm以上,确保多数中小降雨事件实现零外排。径流峰值削减率设定为不低于40%,以有效缓解暴雨期间管网压力,降低内涝风险。雨水污染物去除率针对主要指标如悬浮物(SS)、总磷(TP)和总氮(TN)均需达到50%以上,依靠植被过滤、土壤吸附与微生物降解等自然机制实现水质净化。可利用雨水回收率目标设定为不低于30%,收集的雨水经处理后用于道路洒扫、绿化灌溉或景观补水,提升水资源循环利用率。

2.3 新观点深化:建立“分级响应-动态调节”的智能排水目标体系

根据降雨强度划分为三级响应机制:小雨条件下($\leq 10\text{mm/h}$),依赖透水面层与绿地实现完全自渗;中雨时($10\sim 30\text{mm/h}$),启动生物滞留带与地下蓄滞模块进行临时储存与缓慢释放;遭遇大雨或暴雨($>30\text{mm/h}$)则开启溢流通道,联合传统管网快速排放,防止积水成灾。该体系融合物联网感知技术,在关键节点布设雨量计、水位传感器与水质监测仪,实时采集运行数据。通过中央控制系统联动电动阀门与泵站,自动切换排水路径,实现水流方向与速率的动态调控。

3 关键LID技术在市政路桥中的集成化应用方案

3.1 车行道路面系统改造——透水沥青混凝土与多孔混凝土的应用

采用透水沥青混凝土或多孔水泥混凝土铺装,可在保障道路承载性能的前提下显著提升雨水下渗能力。材料需满足抗压强度不低于C30,空隙率控制在15%~20%之间,

渗透系数达到或超过 0.1cm/s ,确保降雨期间快速入渗。结构设计由上至下依次为透水面层、找平层、级配碎石基层、透水底基层及土工布隔离层,形成完整的排水断面。面层具备良好抗滑性与降噪特性,基层与底基层承担储水与导流功能,土工布防止细颗粒土壤上涌堵塞孔隙。该技术适用于非重载交通区域,如城市辅道、匝道区、停车带及慢行系统连接段。实际应用中需加强接缝密封处理,防止边缘破损,并定期高压冲洗维护孔隙通畅。

3.2 人行道与非机动车道——生态透水砖与植草砖组合铺设

选用高强度陶瓷透水砖、砂基透水砖或再生骨料制成的环保型透水材料,配合植草砖进行组合铺设,既能保证行人通行安全,又能增强地表渗透能力。透水砖的孔隙填充介质直接影响使用效果,采用粗砂填充利于持续渗透但易被尘土堵塞,使用聚合物胶粘剂可提高稳定性却降低透水率,而选择耐践踏草种填充植草砖则兼顾绿化与排水功能。铺装结构底部设置碎石垫层与土工布,防止基层泥浆上返。为提升运维便利性,在关键节点布设导流槽与检查井,便于沉积物清理和管道疏通。此类铺装还能有效缓解夏季地表高温,改善微气候环境。植物根系与填料共同构成生物过滤层,对雨水中的悬浮物和部分污染物起到初步净化作用。

3.3 道路绿化带与中央分隔带——下沉式绿地与生物滞留带设计

绿地设计下沉深度控制在 $50\sim 150\text{mm}$,使路面雨水在重力作用下自然汇入。填料层采用砂、壤土与有机质按 $5:3:2$ 比例混合,既保障良好渗透性又具备较强污染物吸附能力。内部埋设穿孔集水管并与主排水管网相连,当储存容量饱和时可通过溢流口排出多余水量,防止长时间积水影响植物生长。植被选择以耐淹耐旱的本土物种为主,如鸢尾、千屈菜、芦苇、藜草等,形成稳定的滨水植物群落,兼具景观美化与生态净化功能。植物根系促进土壤团聚,增强渗透性能,叶片截留减少雨滴溅蚀。定期修剪与补植维持生态系统活力。

3.4 立交桥区与高架桥下空间——雨水收集与蓄滞模块系统

通过构建雨水收集与蓄滞模块系统,可实现雨洪的有效调蓄与资源化利用。桥面积水经落水管集中导入地下PP(聚丙烯)模块蓄水池,模块单元拼装灵活,承压能力强,总容积依据当地两年一遇暴雨重现期标准计算确定。

蓄水经初级沉淀与多介质过滤后储存于清水池,用于道路洒扫、绿化喷灌或景观补水,年回用率可达 30%以上。模块上方覆土回填并种植耐阴植物,恢复地面绿化功能,提升桥下空间利用率。系统配备液位传感器与自动控制系统,实时监控蓄水状态,在下次降雨前可根据天气预报预腾空库容。

3.5 新观点创新:提出“立体分层式”排水结构模型

地上层由透水沥青、生态砖等材料构成,实现雨水第一时间入渗,减少地表径流产生。中间层设置多孔基层、级配碎石层与环向盲沟网络,承担横向导水与短期储水功能,防止水分积聚于结构层内。地下层布置模块化蓄滞池、深层渗透井与智能泵站,形成大容量调节中枢,结合物联网技术实现远程监控与动态调度。三层次之间通过竖向渗管与溢流通道连通,形成“垂直渗透-水平导流-深层调蓄”的完整路径。该模型打破传统平面排水思维,充分利用道路剖面空间资源,提升单位面积雨水管理效率。不同层级可根据地质条件、交通荷载与降雨特征进行参数化调整,适应城市核心区、新区建设及旧城改造等多种场景。

4 案例模拟分析与综合效益评估

为验证基于海绵城市理念的市政路桥排水系统设计的可行性与有效性,选取我国南方某新建城市快速路项目作为研究案例。该道路全长 6.8 公里,所在区域年均降雨量达 1450mm,近年来频繁遭遇短时强降雨,气象记录显示已多次出现接近“50 年一遇”的极端暴雨事件。采用传统排水方案进行模拟预测时,共识别出 7 处潜在内涝风险点,主要分布在下穿立交段与低洼交汇区域,表明原有设计难以应对当前气候条件下的雨洪压力。为此,实施海绵化系统改造:主线车行道 60%面积铺设高强透水沥青混凝土,中央绿化带全面改建为生物滞留型下沉式绿地,总面积达 1.2 万 m^2 ,有效拦截两侧路面径流;沿线布设 3 座地下 PP 模块蓄水池,总调蓄容积达 8000 m^3 ,用于滞纳超标雨水并实现资源回用;同步集成智能化监测系统,在关键节点安装雨量计、水位传感器及远程控制终端,实现运行状态实时感知与调度响应。通过 Storm Water Management Model (SWMM) 对改造前后两种方案进行水文水力模拟,结果表明,海绵型排水系统在多项核心指标上显著优于传统模式。

模拟数据显示,径流总量削减超过一半,峰值流量明显平缓,内涝隐患大幅减少,仅在一处低洼匝道区存在短暂积水,整体排水安全性显著提升。综合效益评估进一步揭示其多重价值:环境方面,系统年均可削减化学

需氧量(COD)排放约 12t,有效降低受纳水体污染负荷,同时通过渗透补给地下水约 1.5 万 m^3 ,缓解城市地下水位下降趋势;经济层面,虽初期建设成本因新材料与智能设备投入增加约 18%,但得益于雨水回用带来的节水效益及管网维护频率降低,运营阶段年节约成本达 25%,经测算增量投资可在 5 年内收回,具备良好的长期经济性;社会层面,道路湿滑状况减少,行车安全性提高,周边区域热岛效应减弱,人居环境得到改善,公众对生态基础设施的认知度与支持度明显增强,推动形成绿色城市建设共识。

表 1 改造前后方案对比

评估指标	传统方案	海绵方案	改善率
年径流总量 (mm)	18.6	8.2	56% ↓
径流峰值流量 (m^3/s)	3.4	2.0	41% ↓
内涝风险点数量	7 处	1 处	86% ↓
雨水回用率	<5%	32%	-

5 关键技术难点与对策建议

重载交通条件下透水路面易出现结构疲劳与表层剥落,影响使用寿命与行车安全;寒冷地区冬季冻融循环导致材料孔隙扩张、抗压性能下降,尤其在除冰盐作用下加速劣化;各类低影响开发设施如生物滞留带、透水铺装及地下蓄池长期运行中易受泥沙、垃圾堵塞,造成渗透功能衰减,维护成本高且缺乏标准化清淤机制;此外,项目涉及城建、水务、园林、交通等多个职能部门,权责交叉,协调难度大,常导致设计与运维脱节。针对上述问题,应加快研发高强度复合型透水材料,如掺入玄武岩纤维或采用聚合物改性沥青提升抗裂与耐磨性能;在北方地区推广“半透水结构”,即仅在非轮迹区设置透水铺装,或增设防冻隔热基层以减少冻深影响;建立定期巡查与清掏制度,配套自清洁滤网、可拆卸检修口等便于维护的构造设计。推动“EPC+O”(设计-采购-施工+运营)一体化模式,明确全生命周期责任主体。进一步提出构建“数字孪生+智慧运维”平台,融合 BIM 三维模型与物联网感知数据,实时映射排水系统运行状态,接入气象预警信息实现降雨前自动预泄空蓄水空间,运用 AI 算法动态优化阀门启闭与泵站调度策略,全面提升系统的智能化管理水平与应急响应能力。

6 结束语

本研究系统探讨了将海绵城市理念深度融入市政路桥排水系统的设计路径,突破了传统排水工程“单一功能、末端处理”的局限,提出了以“源头削减、过程调控、资

源回用”为核心的集成化解决方案。尤其提出的“立体分层式”排水结构与“分级响应-动态调节”智能管理体系，为复杂城市环境下 LID 技术的应用提供了创新思路。未来，应进一步加强跨学科协作，完善相关技术标准与政策激励机制，推动市政路桥从“灰色基础设施”向“绿色生命线工程”转型升级。

[参考文献]

- [1]王志群.海绵城市理念融入市政路桥设计的路径[J].建筑设计与研究,2024,5(4):34-36.
- [2]王成永,王永超.海绵城市理念在市政路桥设计中的渗透研究[J].中华建设,2023(11):36.
- [3]刘丁嘉.基于海绵城市理念的市政路桥设计[J].建材与装饰,2023(35):49.
- [4]林朝华.海绵城市理念下的市政路桥设计研究[J].江西建材,2023(4):126-127.

作者简介：王永鹏（1979.12—），男，籍贯：河北省石家庄市栾城区，高级工程师，本科，就职于河北省城乡规划设计研究院有限公司。