

基于海绵城市理念的透水铺装系统在市政道路中的应用创新

文 / 万云 莱西市排水事业服务中心

摘要：随着城市化进程的加速和气候变化的加剧，城市雨洪排水问题日益凸显。海绵城市理念推动市政道路排水模式向生态化转型，透水铺装系统在调蓄雨水、净化径流和缓解内涝方面展现出显著优势。系统在材料性能、结构与功能集成等方面持续优化，提升了工程适应性与运行稳定性。政策机制、财政激励与标准体系的联动，为其推广应用提供有力支撑。未来发展将聚焦智能感知材料、多功能结构与模块化建设路径，增强城市环境的韧性与可持续性。

关键词：海绵城市；透水铺装；市政道路；雨水管理；生态基础设施

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.18.069

引言

城市硬质铺装比重持续上升导致雨水渗透能力削弱，排水系统承压明显增加。应对极端气候与水环境问题的需求促使建设理念由“快速排放”转向“就地调蓄与生态修复”。透水铺装作为海绵城市关键支撑技术，通过结构层级优化与生态功能叠加，展现出良好的排水性能与环境友好性。在政策引导和技术演进的双重驱动下，该系统在市政道路领域的集成应用正不断深化。

一、城市道路雨水管理的挑战与需求

（一）城市硬质铺装带来的问题剖析

城市道路大面积采用传统硬质铺装材料，如沥青和混凝土，具备良好的承重性能，却严重削弱了地表的自然渗透功能。雨水无法通过地表快速下渗，导致径流量剧增，加剧下游排水管网负担。在高密度建设区，硬质铺装面积比例高，致使雨水汇流速度加快，排水滞后引发短时积涝。长期以往，不透水地表还阻断了土壤与大气的水汽交换过程，使得城市热岛效应加剧。地面污染物在强降雨作用下被迅速带入水体，对水环境构成面源污染。硬质铺装的广泛分布，在一定程度上削弱了城市生态系统的自调节能力，暴露出传统设计理念在应对气候变化和生态平衡方面的局限性。

（二）极端气候下排水系统的功能失衡

极端降雨频发导致城市排水系统屡现超负荷，现有设施基于历史数据设计，难以应对短时强降雨，易引发内涝与倒灌。排水管网老化、容量不足、布局不合理等问题突出，高强度降雨亦易冲刷垃圾堵塞系统。“快排快放”理念已难适应复杂水文条件，排水系统在安全性、灵活性与调蓄能力上的不足，制约了城市应对极端气候的能力与韧性水平。

（三）新型雨水调控需求的结构性特征

面对气候不确定性增强和城市水文过程复杂化趋势，雨水调控系统亟需从结构层面进行优化重构。现阶段的建设思路更加强调整多层次调蓄、分散式入渗和源头控制，目标在于降低对单一排水管网的依赖^[1]。高渗透性铺装

结构逐渐成为基础设施设计的关键组成，通过调节下垫面结构层级，构建出具有蓄水、渗水和缓释功能的复合系统，有效缓解峰值径流压力。新型调控方式要求在材料选择、排水路径规划和地下结构设计等方面实现系统集成，以适应不同地貌、地质条件和用地类型下的功能适配需求。

二、透水铺装系统的功能构成与原理创新

（一）透水材料的类型与性能差异

透水铺装系统所使用的材料类型多样，常见包括透水混凝土、透水沥青、多孔砖材和天然砂砾基材。不同类型的材料在孔隙率、抗压强度、渗透系数和耐久性等方面表现各异。透水混凝土孔隙结构连续，有利于水分快速通过，但因胶结材料较少，早期强度和抗冻性能需加强；透水沥青具有较好的柔韧性，适用于交通荷载变化大的区域，但对施工温度和压实程度要求较高。多孔砖材具备良好的生态兼容性，可在局部环境中实现快速置换，但承载能力有限。

（二）分层结构与排水路径优化

透水铺装的排水效能高度依赖于科学的分层结构设计。系统结构通常包括表层、基层、透水垫层及土壤接触层，不同层级在渗水、蓄水和排水功能中各司其职。表层需具备良好的透水率和一定的承载能力，以快速吸收雨水并传导至下层；基层作为过渡层，需要在结构稳定与透水性间取得平衡；垫层则为关键蓄水与导流层，常用粒径均匀的碎石材料构建以形成连续空隙通道。排水路径的优化需结合地势高差、地下水位以及道路宽度等因素，通过坡度控制和导排槽设置引导水流有序入渗与排出。

（三）系统集成中的抗压与耐久性提升

市政道路透水铺装系统需应对频繁荷载与外力扰动，结构抗压性与耐久性至关重要。多孔结构应具备足够压实强度，骨料级配与粘结剂配比需精准控制，以提升粘结稳定性与抗变形能力^[2]。长期暴露下易出现剥落、裂缝和孔道堵塞，需依托抗冻性、防腐性与耐磨性能的提升。

三、海绵城市理念下透水铺装的功能优势

(一) 调蓄与净化功能的协同作用机制

透水铺装系统在结构功能的配置上实现了对地表径流的多维响应,通过表层快速入渗和下部结构分层蓄积,有效降低雨水径流高峰负荷。蓄水空间中的微生物群落和过滤层具备一定的污染物截留与分解能力,能对地表初期雨水中的悬浮颗粒、重金属离子与有机污染物进行有效削减。水体在垂直渗透过程中经过多级过滤、缓释与生物净化,逐步实现水质提升,减少对城市水环境系统的压力。雨水在渗透和暂存的过程中避免了径流集中汇流造成的土壤侵蚀和下游河网冲击,从而在雨水调蓄与污染控制之间形成耦合机制,支撑海绵城市核心功能的有效落地。

(二) 生态价值与景观效益的耦合提升

透水铺装技术不仅具备基础水文调控功能,同时与城市绿地、道路绿化带等生态设施联动,提升城市生态

网络完整性。铺装系统能够与植被系统协同作用,形成地表水循环调节与生物栖息环境重构的双重效益,在微气候调节、水土保持和生态多样性恢复方面具有积极作用。景观设计层面,通过材质纹理、图案编排和地形塑造的综合考虑,打造出具有视觉层次感和功能性的道路空间。

(三) 与道路系统的融合适应性分析

系统设计应适配不同类型道路的交通压力和铺装厚度要求,合理设置结构层厚度与材料类型,确保长期运行下的力学稳定性^[3]。边坡、路缘与人行区域等节点的细节处理需与传统道路设施相协调,保证排水路径通畅与结构连续性。在施工阶段,铺装系统与交通标识、照明管线及检查井等设施之间的接口关系也需精细化处理,避免功能冲突与后期维护困难。透水系统的模块化构建有利于在有限空间中实现功能集成,推动市政道路从单一交通功能向复合生态基础设施转型。见表1。

表1: 市政道路透水铺装工程投资及运维成本对比表(单位:万元)

地区	工程类型	透水砖单价 (元/m ²)	基础层施工费 (元/m ²)	管理单位	年运维投入 (万元/km)	设计年限
北京市	主干道改造	86	145	北京市政设计总院	12	20年
上海市	次干路新建	79	138	同济市政集团	10	18年
深圳市	人行道铺装	72	126	深圳市建筑工务署	8	15年
杭州市	景观大道提升	91	158	杭州市城建设计院	13	22年
成都市	城市支路整治	68	112	成都市政工程公司	7	17年

数据来源:2023年中国城市市政基础设施年鉴,住建部城市建设统计信息中心

四、市政道路透水铺装的应用路径与案例分析

(一) 典型区域应用模式构建

深圳前海自贸区在市政道路改造中全面引入透水铺装系统,总实施面积达34.6万平方米。规划阶段依据降雨强度、交通流量与地下空间布局,确定透水砖铺装、人行道边沟导排和绿化带同步设置的多层联动模式。铺装系统在干道与次干道之间根据通行荷载分级选材,并结合片区微地形调节排水路径,确保渗透功能与排涝能力的有机结合。该区域试点构建形成模块化布设、结构一体化、生态同步恢复的综合应用路径。

(二) 建设过程中的技术节点与控制要点

透水铺装施工过程需严格把控多个关键节点,以确保系统整体性能稳定可靠。基层压实度要求达到90%以上,避免因沉降导致结构失稳;结构层厚度控制误差不得超过±10mm,确保受力均匀。排水层碎石应采用粒径控制严格的洁净材料,级配比例维持在1:1.5至1:2之间,形成连续、稳定的渗水路径。施工中采用机械碾压与人工找平相结合的方式,提高铺装精度和密实度,表层平整度控制在5mm以内。渗透测试应在结构完工72小时内完成,并覆盖多个点位,实测渗透系数不低于0.003cm/s,验证铺装的渗透能力与整体一致性。特殊区域需根据设计要求增设排水辅助结构,如导排槽或滤水盲管,以增强系统的排水效率和安全性。

(三) 运行维护中的管理机制与成本核算

透水铺装系统运行维护需依托专业单位建立周期性巡检制度,对表层堵塞、沉降与接缝处位移进行定期排查^[4]。深圳前海项目设立专项运维小组,年均投入运维费用480万元,覆盖路面冲洗、孔隙疏通、边坡修补及系统结构检测等任务。维护周期按季度划分,重点区域设立月检机制,异常情况形成数据记录归档。综合运维成本折算年均每平方米13.87元,通过全过程追踪与定点修复,维持系统渗透效率与结构稳定性。

五、推动透水铺装应用的政策机制与标准体系

(一) 地方规范对透水率与强度的指导作用

各地在推进透水铺装建设中逐步形成针对性强的地方技术规范,对材料透水率、承载强度和结构层设计提出精细化要求。江苏省《城市道路透水铺装技术标准》(DB32/T 3584-2019)明确透水面层的初始渗透系数不得低于0.001cm/s,交通荷载区域抗压强度不低于25MPa,同时规定垫层碎石粒径在5~40mm之间,要求实现结构层间透水连续性。浙江、广东等地方标准也对不同等级道路的功能适配度进行分类设限,提升铺装系统在城市不同区域的适应能力。通过硬性技术指标约束,强化了透水材料的工程性能管控,有效引导建设单位在选材和结构设计中实现规范化与本地化结合。

(二) 财政激励与绿色建筑评价体系链接

推动透水铺装规模化建设,需建立与绿色建筑评价体系相挂钩的财政激励政策机制。现行《绿色建筑评价标准》GB/T 50378—2019中,明确将透水铺装系统纳入“用地与室外环境”评分体系,透水面积达到一定比例可计入绿色等级评定分值,关联财政补贴、容积率奖励及项目优先审批等政策措施。部分省市设立专项补助资金,对采用透水铺装的新建项目按平方米给予不低于35元的建设补贴;旧城区改造项目则按施工面积和技术难度差异化补贴。财政支持机制与绿色建筑评价双向挂钩,有效推动开发单位提高生态设施配置比例,优化项目经济回报预期。见表图1:

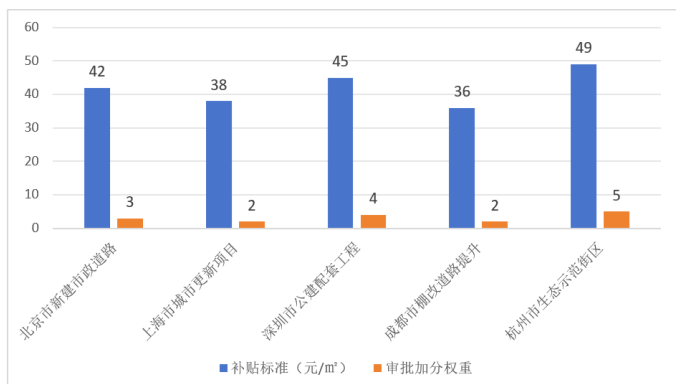


图1 各地透水铺装财政支持政策与奖励标准汇总(单位:元/平方米)

数据来源:2023-2024年各地住建委与财政局公开信息整理

(三) 推动多方参与协同机制的形成

透水铺装推广需构建覆盖政策制定、设计研发、工程实施与运维监管的多主体协同机制。地方政府在顶层设计中应承担制度引导责任,城市规划机构统筹透水系统布局,设计单位依据区域气候与地质条件优化结构方案,施工企业确保技术落实与质量把控,同时引入第三方检测机构完成验收评估^[5]。社会资本参与城市更新项目过程中,需通过项目融资模式与绿色信贷机制获取稳定收益通道,提升投入意愿。社区居民与行业协会在监督与反馈中扮演用户和评估者角色,推动机制运行更具透明度与执行力。协同机制的运行建立在各方职责明晰、标准统一与数据共享基础之上,强化了系统全周期质量保障能力。

六、面向未来的透水铺装系统技术升级方向

(一) 智能感知材料与数据反馈机制

透水铺装系统正在向信息化与智能化方向演进,智能感知材料的引入推动了系统从被动排水向主动调控转变。具备嵌入式传感功能的铺装结构可实时采集孔隙渗透速率、含水量、温湿变化与结构应力数据,借助无线传输技术与城市物联网平台联动,形成实时反馈机制。数据反馈过程通过边缘计算节点进行初步分析,识别潜在结构隐患与性能衰减趋势,便于实施预测性维护与分区化管理。该机制提高了铺装系统在复杂气象条件下的

响应速度,也为区域雨水调控与地面热环境调节提供连续性数据支撑,拓宽了透水铺装智慧基础设施体系中的集成维度。

(二) 多功能复合结构的研发趋势

面向城市可持续建设的技术需求,透水铺装系统正朝向复合化与多功能方向发展。结构层在实现渗透功能基础上集成了抗菌、保温、隔音和负氧离子释放等扩展功能,满足道路使用的多场景适应性。新一代复合材料将高性能聚合物、无机填料与纳米掺合剂协同应用,在维持空隙率的同时强化力学性能和环境适应性。界面连接技术的优化,使上下结构层具备更强的协同变形能力,增强整体抗疲劳性能。研发方向还聚焦在结构模块的生命周期评估与再生利用路径上,通过材料可逆交联与构造可拆装实现重复利用与生态闭环,提升系统的资源利用效率与绿色属性。

(三) 适应不同城市环境的模块化构建策略

透水铺装系统在面对地质条件、气候类型与土地利用结构高度差异的城市区域时,需采用高度灵活的模块化构建方式进行部署。模块化设计将面层、基层与蓄水层分别预制为标准单元,并依据应用场景组合出不同承载与排水性能的功能构型^[6]。在北方寒冷地区,铺装结构需增强抗冻性与低温渗透性能;在南方湿热区域,则对防滑性与高温稳定性提出更高要求。城市更新区域以轻量型模块优先,而新建开发区则适合构建大型承压式系统。各类型构件在工厂预制后统一运输与快速安装,减少现场施工周期与扰动面积,提升铺装效率与环境兼容性,实现分区灵活配置与标准化建设的有机统一。

结语

基于海绵城市理念的透水铺装系统在市政道路中的应用已展现出良好的生态效益与工程适应性。通过材料优化、结构创新、功能集成和政策支持,透水铺装在应对城市内涝、改善热环境和提升道路品质等方面具有显著优势。未来发展将围绕智能材料研发、多功能复合体系构建与标准化模块应用展开,持续提升系统韧性与运维效率。随着智慧城市建设加快,透水铺装将成为生态基础设施体系中的关键组成部分。

参考文献

- [1] 向银川. 基于海绵城市理念的市政道路给排水设计[J]. 建材发展导向, 2025, (10): 25-27.
- [2] 孟彦丽. 基于海绵城市的透水铺装技术在市政道路工程中研究与应用[J]. 林业科技情报, 2025, (01): 189-192.
- [3] 姜月. 基于海绵城市理念的市政排水系统优化设计[J]. 工程技术研究, 2025, 10(02): 180-182.
- [4] 王易乾, 东野生辉. 基于海绵城市理念的市政道路给排水设计分析[J]. 汽车周刊, 2025, (01): 168-170.
- [5] 王晓青. 基于海绵城市理念的城市道路优化设计[J]. 大众标准化, 2024, (22): 74-76.
- [6] 燕艳, 刘雯. 基于海绵城市理念的校园建筑设计实践[J]. 绿色建筑, 2024, (06): 97-100+106.