

Evaluation of the influence of permeable pavement materials on sponge city efficiency in municipal engineering

Lingfeng Luo

China Communications (Changsha) Construction Co., Ltd., Changsha, Hunan, 410200, China

Abstract

As an important strategy to address urban water management challenges, the core concept of sponge cities is to reduce urban drainage pressure and improve the ecological environment through the rational use, infiltration, storage, and purification of rainwater. Permeable paving materials, as a key element in sponge city construction, have been widely applied in urban infrastructure due to their excellent water permeability and ecological effects. This paper evaluates the performance of permeable paving materials in sponge cities from a municipal engineering perspective, focusing on their impacts on rainwater infiltration, urban thermal environment regulation, ecosystem function enhancement, and flood prevention capabilities. By analyzing the physical properties, construction applications, and long-term effects of permeable paving materials, this study proposes optimization strategies and looks ahead to the future development trends of permeable paving materials in sponge city construction. The research indicates that permeable paving materials not only effectively mitigate urban flood risks but also improve microclimates and enhance residents' quality of life.

Keywords

permeable pavement; sponge city; rainwater management; urban ecology; flood control capacity

市政工程中透水铺装材料对海绵城市效能的影响评估

罗凌峰

中交（长沙）建设有限公司，中国·湖南长沙 410200

摘要

海绵城市作为应对城市水管理挑战的重要战略，其核心理念是通过雨水的合理利用与渗透、调蓄、净化等功能来减少城市排水压力，改善生态环境。透水铺装材料作为海绵城市建设中的关键元素，凭借其良好的渗水能力和生态效应，在城市基础设施中得到了广泛应用。本文从市政工程角度出发，评估了透水铺装材料在海绵城市中的效能，重点探讨了其对雨水渗透、城市热环境调节、生态系统功能提升及防涝能力的影响。通过对透水铺装材料物理性能、施工应用与长期效果的分析，提出优化策略，并展望了透水铺装材料在未来海绵城市建设中的发展趋势。研究表明，透水铺装材料不仅能有效减缓城市洪水风险，还能改善城市微气候，提升居民生活质量。

关键词

透水铺装；海绵城市；雨水管理；城市生态；防涝能力

1 引言

随着全球城市化进程的加速，城市排水系统面临着严峻的挑战。城市硬化地面增加了雨水径流，导致积水、洪涝及水污染问题的加剧。海绵城市作为一种新型的城市水环境治理模式，提倡通过自然和人工手段实现雨水的吸收、储存和净化，减少水资源的浪费。透水铺装材料作为海绵城市建设中的重要组成部分，以其出色的雨水渗透能力和生态功能，广泛应用于城市道路、广场等公共设施建设。透水铺装材料不仅有助于雨水的渗透和径流控制，还有助于城市

热岛效应的缓解和生态环境的恢复。随着海绵城市建设的深入，透水铺装材料的使用成为提升城市韧性、保障水资源可持续利用的关键。因此，评估透水铺装材料在市政工程中的效能，对于推动海绵城市建设具有重要的现实意义。

2 透水铺装材料在海绵城市建设中的角色定位

海绵城市的核心在于构建具有自然积存、自然渗透、自然净化功能的城市水循环系统，以实现雨水资源的就地消纳与高效利用。市政工程是实现海绵城市建设目标的重要载体，其中道路、人行道、广场等铺装区域占据城市用地的较大比例，对雨水径流过程具有直接影响。透水铺装按材料组成可分为透水混凝土、透水沥青、透水砖及树脂基复合材料等类型，不同类型的材料具有不同的物理特性与适用场景。

【作者简介】罗凌峰（1997-），中国湖南长沙人，本科，助理级工程师，从事工程建筑研究。

传统的不透水铺装加剧了地表径流强度，降低了雨水下渗速率，增加了城市排水系统的负荷，进而引发洪涝灾害与环境污染问题。在此背景下，提升市政铺装系统的渗透性能成为必然选择，透水铺装材料的推广与应用能够有效缓解地表水资源压力，为城市水生态系统提供基础支撑，符合现代市政工程建设对绿色、生态、可持续发展的总体要求，图1为透水铺装路面与非透水铺装路面的对比图。

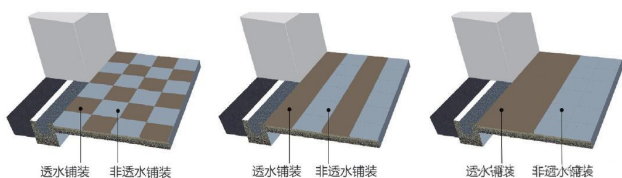


图1 透水铺装路面与非透水铺装路面的对比图

3 透水铺装材料的物理性能与生态特征

3.1 渗透率与排水能力评估指标体系

透水铺装材料的渗透性能直接决定其在海绵城市建设中的排水效能，评估指标体系主要包括渗透系数、单位时间排水量、表面径流控制能力与持水率等参数。渗透系数用于衡量水分通过材料的速度，单位为毫米每小时，常用于定量评估雨水下渗效率。单位时间排水量反映其在短时强降雨条件下的排水能力，与孔隙率和层间连接密切相关。表面径流控制能力通过模拟降雨条件下的峰值流速变化进行测试，用以判定其减缓雨峰的能力。持水率则体现材料对雨水的暂时存储功能，间接影响调蓄与再利用效果。通过对上述指标的系统测试与对比，可科学评判不同透水材料在市政工程中的适用性，并为铺装结构优化提供量化依据^[1]。

3.2 材料抗压强度与耐久性对比分析

透水铺装材料在满足良好排水功能的同时，必须具备足够的力学性能以应对市政道路荷载要求。抗压强度是评估其承载能力的核心指标，透水混凝土一般可达到15-30兆帕，透水沥青强度略低，但柔性较好，适用于轻载区域。长期使用过程中，透水性能与力学强度的协同衰减问题需引起重视，孔隙结构在受压或受冻过程中易出现闭合、堵塞或微裂纹，影响其整体稳定性。耐久性评估需结合抗冻融性能、抗碳化能力与抗侵蚀能力等参数，通过加速老化试验与现场监测获取材料全生命周期内的性能变化数据。不同类型材料在应对高频雨雪交替、交通荷载波动等条件下表现差异明显，需结合具体工况精准选型。

3.3 对城市热环境调节的生态响应机制

透水铺装材料通过渗水和蒸发作用参与城市地表能量平衡过程，对热环境具有一定调节能力。雨水在材料孔隙中滞留并缓慢蒸发，能够有效降低铺装表面温度，减弱热岛效应。其表面粗糙度与高比热容特性有助于白天吸收热量，夜间释放热量，调节局部微气候。与传统不透水材料相比，透水铺装在高温天气下表面温度可降低5至10摄氏度，有利

于改善城市步行环境与绿地周边气候条件。在布局合理的条件下，透水铺装可与绿化系统协同发挥降温效应，形成绿色基础设施网络，提升城市生态系统整体适应性。生态响应机制还体现在提升地表湿度、减缓地表水分蒸散速度与抑制尘埃扩散等方面，具有显著的综合环境效益^[2]。

4 透水铺装在实际市政工程中的应用表现

4.1 道路、人行道与广场铺装的应用适配性

透水铺装材料在道路、人行道与广场等不同市政场景中的应用效果与适配性取决于其物理性能与功能需求匹配程度。城市主干道与高频交通区域对铺装材料的抗压强度与耐磨性要求较高，适宜选用高强度透水混凝土或复合材料，人行道和非机动车道则更注重舒适性、透水性与平衡，可采用透水沥青或透水砖。广场区域因面积广阔、使用频率不同，对美观性与结构灵活性的要求更高，适宜应用装饰性较强且易于更换维护的透水砖系统。不同应用场景中，应根据荷载等级、雨水径流量及景观融合需求制定透水铺装设计方案，以实现雨水调控、生态环境改善与景观效果统一，确保透水功能与城市基础设施功能协调发展。

4.2 施工便捷性与后期维护管理要点

透水铺装材料在市政工程中应用时，施工便捷性直接影响项目进度与质量控制。铺装基层需保持良好平整度与透水性，施工中需严格控制压实度与孔隙率，防止材料失水或结构破坏。铺装面层的铺设需均匀连续，避免因施工缝隙导致渗水不畅或材料脱落。后期维护管理是确保透水效能持续发挥的关键，包括定期清理表面沉积物、疏通孔隙堵塞、修复局部破损区域及更新过滤垫层等。特殊气候条件下需关注防冻措施与融雪剂使用对材料性能的影响，制定相应维护周期与技术标准。施工与养护环节需同步考虑，以降低全生命周期成本，提高透水铺装系统在实际应用中的稳定性与可靠性。

4.3 材料使用周期内效能变化趋势分析

透水铺装材料在实际使用周期中，受环境变化、荷载作用与污染沉积影响，其渗透性能与力学性能呈现出一定的衰减趋势。初期阶段材料孔隙结构完整，渗透系数高，排水效率良好，随时间推移，表层颗粒堵塞、沉积物堆积与微裂纹发展导致渗透率逐渐下降。力学性能方面，长期荷载累积与温度湿度交替作用使抗压强度与疲劳性能出现不同程度退化。材料类型、铺装厚度、交通荷载强度及养护频率是影响效能变化的主要因素。通过周期性检测与性能评估，可掌握铺装系统的健康状况，预测其服役寿命并制定维修更新计划。科学管理可延缓性能衰减速度，保障透水铺装材料在城市排水与生态调节功能中的持续发挥^[3]。

5 透水铺装对海绵城市多维目标的影响评估

5.1 对雨水调蓄与径流控制的贡献

透水铺装材料通过促进地表雨水的快速下渗与分散蓄

积,显著减轻了城市排水系统的负担,成为海绵城市雨水调蓄与径流控制体系的重要组成部分。其多孔结构有效截留初期雨水径流,降低雨峰流量与汇流速度,延缓地表径流形成过程,减少城市内涝发生概率。在暴雨强度增加的背景下,透水铺装可与地下蓄水池、雨水花园等设施形成互补效应,构建多级调蓄系统,提高雨水就地消纳与利用水平。合理配置与科学布局透水铺装区域,能够在有限空间内最大限度提升城市雨水管理的灵活性和应对极端天气事件的能力,推动城市水资源从排除导向资源化利用转型,助力海绵城市建设目标的实现^[4]。

5.2 对城市生态系统服务功能的支撑作用

透水铺装材料通过改善地表水文过程与微气候环境,在支撑城市生态系统服务功能方面发挥了积极作用。渗透性铺装促进雨水下渗与补给地下水资源,有助于维持城市植被生长所需的土壤水分条件,增强绿地系统的生态稳定性。铺装表面温度降低及湿度调节效应,有效缓解城市热岛现象,提升人居环境舒适度。透水结构对雨水污染物的初步截留与过滤,减轻了对周边水体的环境压力,提升了水质净化服务功能。透水铺装与生态绿地、人工湿地等设施的联动应用,形成城市生态基础设施网络,增强了生态连通性与生物多样性保护水平,成为推动城市可持续发展的重要生态支撑手段。

5.3 对城市防涝能力与基础设施韧性的提升

透水铺装材料作为海绵城市建设的重要元素,在提升城市防涝能力与基础设施韧性方面具有显著效果。透水铺装能够分散和削减暴雨时的地表径流量,减轻排水系统的瞬时负荷,降低积水点形成频率,提升城市在极端降雨事件中的应变能力。渗透与蓄存功能有效增强了城市对自然水文波动的适应性,减少了因短时暴雨引发的内涝灾害风险。在基础设施韧性提升方面,透水铺装材料的结构灵活性与可修复性特点,使其在局部受损后能快速恢复功能,降低整体系统脆弱性^[5]。通过合理布局透水铺装与其他低影响开发设施协同工作,可构建分散式、冗余型的排水网络体系,全面增强城市基础设施系统的持续服务能力与灾害恢复力,图2为基于“海绵城市”理念的透水铺装系统分析。

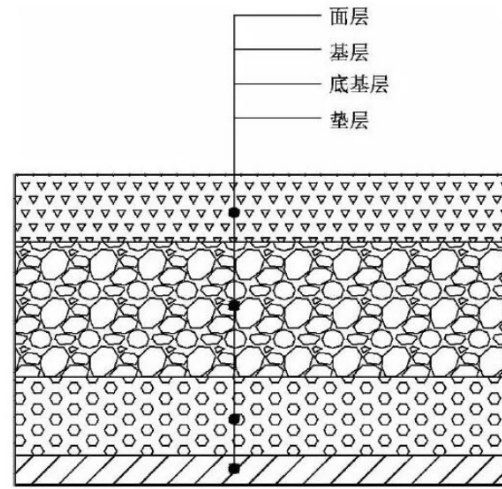


图2 基于“海绵城市”理念的透水铺装系统分析

6 结语

透水铺装材料作为市政工程中的重要组成部分,在海绵城市建设中展现出显著的多重效能。通过优化地表水循环过程、调节城市热环境、增强基础设施韧性,其在实现城市可持续发展目标中的作用愈加突出。科学评估其在不同应用场景下的性能表现,有助于推动材料体系的技术升级与标准完善。未来透水铺装技术应在绿色理念指导下不断演进,融合生态设计与智能建造手段,实现生态功能与工程性能深度融合。持续深化透水铺装在海绵城市建设中的研究与实践,将为提升城市环境质量和水资源治理水平提供坚实支撑。

参考文献

- [1] 姚金磊.透水混凝土路面施工技术在市政工程中的应用[J].运输经理世界,2025,(05):29-31.
- [2] 陈锐伟,周芳德.透水混凝土路面的定额计价探讨[J].建筑经济,2022,43(S2):134-137.
- [3] 聂君.透水沥青混凝土路面工程技术的应用分析[J].运输经理世界,2022,(35):47-49.
- [4] 蒋正平.透水沥青路面施工技术在市政道路中的应用分析[J].城市建筑空间,2022,29(S1):241-242.
- [5] 姚成.海绵城市理念下市政工程给排水规划设计研究[J].城市住宅,2021,28(12):145-147.