

低碳交通导向下城市道路新型透水铺装材料性能与应用

孟 强

沂水县城建设综合服务中心, 山东 临沂 276400

[摘要]随着城市交通需求不断攀升,传统道路铺装模式逐渐显现透水性不足、易诱发内涝、碳排放量高等弊端,新型透水铺装材料以其优异的透水性能和生态环保特质,在城市低碳交通体系构建中彰显出广阔的应用潜力,文中以低碳发展为导向,聚焦透水混凝土、多孔沥青、生态陶瓷砖等材料的结构特点与性能优势,结合道路适用性分析及环境调节功能,深入探究其在城市道路系统中的推广价值与演进趋势,为绿色基础设施建设提供理论依据与实践路径。

[关键词]低碳交通;透水铺装材料;城市道路;生态基础设施;可持续发展

DOI: 10.33142/ec.v8i5.16609

中图分类号: TU52

文献标识码: A

Performance and Application of New Permeable Pavement Materials for Urban Roads under the Guidance of Low-carbon Transportation

MENG Qiang

Yishui County Urban and Rural Construction Comprehensive Service Center, Linyi, Shandong, 276400, China

Abstract: With the continuous increase in urban transportation demand, traditional road paving models have gradually shown drawbacks such as insufficient permeability, susceptibility to waterlogging, and high carbon emissions. New permeable paving materials, with their excellent permeability and ecological environmental characteristics, have demonstrated broad application potential in the construction of low-carbon urban transportation systems. This article focuses on the structural characteristics and performance advantages of permeable concrete, porous asphalt, ecological ceramic tiles and other materials, and combines road applicability analysis and environmental regulation functions to explore their promotion value and evolution trend in urban road systems, providing theoretical basis and practical path for green infrastructure construction.

Keywords: low carbon transportation; permeable paving materials; urban road; ecological infrastructure; sustainable development

引言

城市化进程的加速伴随交通基础设施的大规模建设,传统道路铺装导致雨水渗透受阻,加剧了城市内涝、热岛效应及碳排放等环境问题,低碳交通理念以节能减排、绿色出行为核心,成为推动城市交通转型的重要指引,在此背景下,兼具透水功能与环保属性的铺装材料日益成为道路建设的关键要素,通过优化路面结构设计,提升城市生态承载能力,助力构建绿色、安全、高效的交通系统。

1 新型透水铺装材料的类型与技术特征

1.1 透水混凝土

透水混凝土作为高孔隙率建筑材料,由粗骨料、水泥、少量细骨料及外加剂构成,其独特结构通过骨料间贯通孔隙实现雨水快速下渗,有效减轻地表径流压力,该材料成型需经干拌、摊铺、碾压与养护等工序,其中拌合水量与外加剂配比直接影响孔隙率和强度平衡,透水混凝土凭借突出的透水性能、成熟施工工艺及适中造价,在人行道、小型车道和停车场等轻荷载区域应用广泛;不过,其承载能力局限和孔隙易堵塞问题,需定期维护,制约了在重载交通场景的推广。

1.2 多孔沥青混合料

多孔沥青混合料通过优化矿料级配并添加改性剂,提

升材料结构稳定性与使用寿命,橡胶粉、SBS 高分子改性剂等常见添加物,可增强沥青黏结力与抗老化性能,该材料在保持良好透水能力的同时,具备一定抗压强度,适用于城市支路、非机动车道等中轻载交通路段,实际应用中,多孔沥青混合料展现出优良排水和降噪效果,显著提升行车安全与道路舒适性,目前技术研发聚焦提升其抗堵塞性和耐久性,但较高施工要求与初期投资成本,仍是阻碍其大规模应用的关键因素。

1.3 生态陶瓷透水砖

生态陶瓷透水砖以废陶瓷、矿渣、粉煤灰等工业固废为原料,经高温烧制而成,兼具透水、抗压、耐久特性,实现资源循环利用,环保优势显著,其制作过程通过精准调控粒径分布与烧结温度,形成内部均匀贯通的孔隙结构,既促进雨水渗透,又能截留部分污染物,该材料常用于城市人行道、园林道路及广场铺装,在美化城市景观的同时,改善地表生态环境,相较传统混凝土砖,生态陶瓷透水砖在强度、防滑性和耐候性方面表现更佳,然而其较高生产成本与较长加工周期,对应用规模和环境条件形成一定限制。

2 透水铺装材料的关键性能分析

2.1 透水性与排水性能

透水性是衡量铺装材料应对城市排水与雨水管理效

能的核心指标,通常依据单位时间内材料过水流量进行测定,常见检测手段涵盖定水头法、变水头法及现场渗透实验等,材料透水性能优越,不仅能快速疏导地表积水、削减雨水径流,还可促进雨水就地入渗、回补地下水源,对缓解城市内涝问题成效显著,实践数据显示,透水混凝土初始透水速率多在 $2\sim 5\text{mm/s}$,多孔沥青约为 $1\sim 3\text{mm/s}$,而生态陶瓷砖凭借均匀孔隙结构,透水率可达 5mm/s 以上,但长期使用过程中,泥沙杂质易堵塞孔隙,致使材料透水能力衰减,因此抗堵塞性能优劣与后期维护机制完善程度,同样是保障其持续发挥作用的关键要素。

2.2 力学性能与结构耐久性

透水铺装材料除需具备优良透水性外,还需满足特定力学强度以承受交通荷载及环境作用、抗压强度、抗折强度与疲劳性能是评估其结构耐久性的核心参数,透水混凝土抗压强度通常处于 $15\sim 30\text{MPa}$ 区间,适用于轻荷载区域;多孔沥青因骨架结构较松散,抗压强度相对较低,但具备良好柔性与裂缝扩展抗性,适宜荷载频率适中的场景,材料结构稳定性受孔隙率、骨料黏结状态、水灰比等多因素影响,结构设计不合理易引发铺装层剥落、开裂等病害,此外,铺装材料使用寿命与耐磨性、抗冻性及气候适应性密切相关,设计寿命一般为 $8\sim 15$ 年,维护周期则因材料类型与铺装环境而异。

2.3 环境友好性与碳足迹评估

伴随绿色建材与低碳交通理念的深入发展,材料全生命周期的环境效应成为衡量其应用价值的核心维度,透水铺装材料的碳足迹分析覆盖原料开采、生产加工、物流运输、工程施工、使用维护直至废弃处理的完整过程,透水混凝土与生态陶瓷砖凭借对工业固废、矿渣等再生资源的高效利用,在原料获取阶段即展现显著环保优势,大幅削减产品全周期碳排放量、同时,这类材料具备良好的回收再利用特性,可有效减少建筑垃圾生成,契合生态友好发展需求,政策层面,我国持续完善绿色建材评价认证体系,通过政策引导与资源倾斜,对达标的环保型铺装材料给予推广支持,既提升市场接受度,也为城市道路建设的绿色转型构建制度保障与激励框架。

3 低碳交通体系中的透水铺装作用机制

3.1 绿色出行与透水路面的协同效应

透水铺装与城市绿色出行体系高度适配,在自行车道、人行道及慢行绿道等慢行交通网络中展现出显著应用价值,这些区域对材料承载能力要求相对较低,更强调铺装的舒适性与生态属性、透水材料表面纹理粗糙却保持平整,具备出色的防滑性能,能够有效保障行人和骑行者的出行安全,遭遇降雨天气时,其独特的透水结构可快速排走积水,避免路面湿滑导致的意外事故与交通阻滞,提升道路通行的连贯性与便利性、此外,透水铺装常与绿道建设有机结合,不仅优化道路使用体验,还为城市慢行交通参与

者打造出自然和谐、低碳环保的出行环境,成为构建“步行+骑行”绿色出行模式的关键基础设施。

3.2 热岛效应缓解与城市微气候调节

在缓解城市热岛效应领域,透水铺装材料具有突出效能、其丰富的孔隙结构加速地表水分蒸发,增强蒸散作用,进而降低地表温度,相较于传统黑色沥青路面,透水砖与浅色混凝土凭借更高的光反射率,减少太阳辐射吸收,抑制热量积聚、雨水经透水材料渗入基层后,在光照下缓慢汽化,形成天然降温机制,调节区域温湿度,改善城市微气候环境,遵循海绵城市建设理念,透水铺装与植被、雨水花园、调蓄设施协同布局,构建起“覆盖-渗透-滞留-净化”的雨水管理体系,实现生态功能与景观效果的有机统一,显著提升城市生态韧性。

3.3 雨水资源利用与城市水生态保护

透水铺装材料在缓解城市热岛效应中发挥着关键作用,其独特的多孔构造加速地表水分蒸腾,通过增强蒸散过程有效降低地面温度、相比传统黑色沥青路面,浅色透水砖与混凝土凭借更高的光反射特性,大幅减少太阳辐射吸收,遏制热量累积,雨水透过铺装层渗入地基后,在阳光照射下逐步蒸发,形成天然的降温循环,对区域温湿度起到调节作用,改善城市局部气候环境、基于海绵城市建设理念,透水铺装与绿化植被、雨水花园及调蓄设施相互配合,打造出“覆盖、渗透、滞留、净化”一体化的雨水管理系统,既实现生态效益与景观美学的融合,又显著增强了城市生态系统的抗干扰能力

4 城市道路建设中透水铺装的实际应用

4.1 国内外应用案例分析

透水铺装技术在世界多国城市道路建设中已积累丰富实践成果,日本东京将陶瓷透水砖广泛应用于人行道及公交站点,显著缓解高温天气下的地表升温现象,成为治理城市热岛效应的成功范例,德国柏林于居民区和城市绿地推广多孔沥青路面,通过与雨水花园、绿色隔离带协同布局,大幅提升雨水调蓄能力,构建起生态化排水体系,美国波特兰依托“绿色街道计划”,推行透水混凝土与生态植被结合的系统,实现城市雨水就地收集净化,并在城市更新项目中推广应用。

中国在透水铺装领域的实践探索持续深入、厦门、南宁、武汉等海绵城市试点在道路新建与改造工程中,大量采用透水砖和多孔沥青材料,以武汉东湖绿道为例,大面积铺设透水混凝土与陶瓷砖,既保障慢行交通体验,又强化雨水调蓄功能,成都高新区在“绿色街区”建设中,运用透水沥青铺设支路网络,并配套建设雨水下渗井,有效提升区域排水效能、这些实践标志着透水铺装在中国从试点示范逐步迈向规模化应用阶段,但部分工程因施工操作不规范、后期维护缺失导致透水性能下降,凸显出完善制度建设与加强监管体系的必要性。

4.2 适用范围与建设条件

透水铺装的推广需结合道路功能、交通负荷及地域环境条件综合考量,在人流与车流量较低的人行道、支路、非机动车道、广场及校园等场景,这类铺装能充分发挥排水与生态调节优势,而在交通繁忙、重载车辆往来频繁的主干道,若未采用高强度骨料及增强材料,易出现开裂、变形等病害,制约其应用范围,此外,材料性能设计需适配区域地质、水文及气候特征,如北方严寒地区需着重提升抗冻融性能,南方多雨区域则需优化排水构造与孔隙稳定设计、当前,我国部分城市尚未建立完善的透水铺装专项标准,导致与传统道路施工流程难以有效衔接,影响工程建设质量与后期运维评估。

4.3 推广应用中的制约因素

尽管透水铺装技术创新与生态效益方面优势显著,其大规模推广仍面临多重阻碍,成本因素首当其冲,相较于传统铺装材料,透水材料单价较高,加之施工过程对专业设备与人工操作要求严格,导致项目初期资金投入大幅增加,给财政预算紧张的城市建设项目带来压力,其次,维护体系不完善制约其长效运行,部分区域因缺乏常态化清淤疏通机制,致使透水结构使用数年后排水性能明显衰退,此外,公众认知不足也成为推广难点,不少市民未能充分认识其环保低碳价值,将其混同于普通建材,甚至因表面纹理对安全性与舒适性产生疑虑、因此,强化科普宣传、开展专业技术培训,同时完善建设运维全流程规划,是推动透水铺装在城市道路领域持续应用的重要举措。

5 发展对策与未来研究方向

5.1 材料创新与性能提升

透水铺装材料的性能突破依赖于新材料技术的创新发展,当下,纳米技术与复合材料的交叉应用成为前沿研究方向,通过添加纳米硅粉可增强材料强度并提升抗堵塞性能,借助多孔高分子复合体系则能优化材料耐久性与弹性,针对透水结构常见的孔隙堵塞和表面破损问题,自愈合型材料研发取得实质性进展,利用微胶囊封装、活性晶体嵌入等技术,实现材料裂缝的自主修复,有效延长使用寿命,展望未来,功能集成化将成为重要发展趋势,通过融合光催化降解、表面自清洁、温度调节等多元功能模块,推动城市路面实现生态效益与智能功能协同,为智慧交通建设提供新的技术路径。

5.2 设计与施工标准体系建设

为推动透水铺装的规模化与标准化应用,构建完善的设计施工标准体系成为关键,根据道路功能分级与气候分

区特征,需编制针对性设计准则,系统规定铺装构造层次、透水性能指标、承载能力标准等核心参数、施工环节中,通过严格把控原材料质量检测、孔隙率检测分析、压实度动态监测等技术要点,保障工程施工进度与成品质量稳定性、借助数字化与智能化管理手段,将施工全流程数字建模技术、智能监测预警系统等融入工程管理,以此提升项目管理效能与工程建设质量可靠性。

5.3 多学科融合推动系统优化

透水铺装的深度优化依赖交通工程、材料科学、城市规划等多学科的交叉融合,在城市空间规划进程中,可围绕低碳交通网络布局,精准规划透水铺装覆盖区域,充分释放其生态功能与交通服务的协同价值、探索建立透水材料应用与碳交易市场、绿色金融政策的联动机制,将其纳入绿色建筑与交通碳排放核算体系,构建“资金投入-工程建设-碳减排-效益反哺”的可持续发展闭环,面向未来,需研发透水铺装与低碳交通协同效应的量化评估模型,为政策制定、项目决策及效益分析提供科学支撑,推动绿色城市基础设施体系的系统化建设。

6 结束语

透水铺装作为低碳交通体系的关键构成,在缓解城市内涝、削弱热岛效应、提升出行环境质量等方面成效显著,高度契合绿色基础设施建设的时代趋势,通过对材料性能、实践应用及推广条件的综合分析可知,其在城市道路领域具备广阔应用前景,未来发展需聚焦材料技术升级、标准体系完善及跨学科协同创新,构建可持续的技术支撑体系,推动透水铺装在城市道路领域持续应用,推动透水铺装在城市道路领域持续应用,推动透水铺装在城市道路领域持续应用,推动透水铺装在城市道路领域持续应用,推动透水铺装在城市道路领域持续应用。

[参考文献]

- [1]田鹏江.环氧树脂类混凝土透水路面材料组成设计及性能研究[D].西安:长安大学,2018.
- [2]杨义辉,刘恒源,吕国军,等.城市道路透水铺装材料路用性能评价[J].湖南交通科技,2019,45(2):25-28.
- [3]田宇翔.城市道路透水沥青铺装持水行为与降温效果研究[D].西安:长安大学,2019.
- [4]汪俊松.湿热地区透水铺装蒸发降温特性研究[D].广州:华南理工大学,2019.
- [5]张肖云.透水铺装材料及其在城市中的应用[J].中国建筑装饰装修,2022(14):78-80.

作者简介:孟强(1990.7—),男,山东临沂人,现就职于沂水县城建设综合服务中心,项目管理室职员,从事市政工程技术安全管理工作。