

生态环保型城市道路多功能透水混凝土路面关键技术研究

文 / 左连强 济南金日公路工程有限公司

毕炳祥 济南金日公路工程有限公司

孟祥明 济南金日公路工程有限公司

摘要: 随着城市化进程的加快,生态环保型道路建设需求日益增强。多功能透水混凝土路面因其透水、调温、降噪、净化水质等功能,成为城市道路可持续发展中的关键技术。本文分析了透水混凝土路面的应用现状,探讨其在结构设计、材料配比、施工工艺等方面的技术挑战与优化策略,并通过案例分析展示其实际效果。同时,对透水混凝土路面的未来发展前景进行展望,为生态城市道路的建设提供技术支持。研究表明,透水混凝土路面在生态道路中的应用前景广阔,将成为绿色城市基础设施的重要组成部分。

关键词: 透水混凝土; 生态道路; 多功能路面; 关键技术; 城市建设

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.03.054

引言

现代城市的快速发展对环境造成巨大压力,传统不透水路面难以应对城市内涝、热岛效应、噪声污染等问题。多功能透水混凝土路面凭借其独特的透水性、调温性、降噪及净化能力,为城市生态环保型道路建设提供了一种有效方案。其在城市道路中的广泛应用,既有助于缓解城市水资源管理压力,也有助于提升道路品质和居民生活环境。透水混凝土的力学性能、耐久性、施工技术等问题仍需深入研究。本文旨在探讨透水混凝土路面的关键技术及其在生态道路中的应用和发展前景,为推动绿色城市基础设施建设提供参考。

一、多功能透水混凝土路面在城市道路中的应用现状

多功能透水混凝土路面在城市道路中的应用已引起广泛关注,并在诸多城市基础设施建设中逐步推广。近年来,随着城市化和工业化进程的不断推进,传统道路的密实结构导致雨水无法下渗,产生了内涝、城市热岛效应、地表水污染等一系列环境问题。透水混凝土路面因其具备优异的透水性、蓄水能力和生态调节功能,被认为是缓解这些城市环境问题的有效解决方案之一。在实际应用中,多功能透水混凝土路面通过高渗透系数有效将雨水快速渗入地下,减少地面积水和内涝风险。同时,它还能发挥雨水调蓄的作用,使雨水在路面基层中储存,逐渐渗入土壤,补充地下水,调节城市水循环系统。此外,透水混凝土路面在雨水的净化方面具有显著效果,通过路面多孔结构的物理过滤,能够有效截留雨水中的悬浮颗粒及污染物,起到净化水质的作用,缓解城市面源污染。

透水混凝土路面还具有降噪功能。由于其表面多孔结构,声波能够被其内部吸收或散射,降低车辆行驶时产生的噪声污染,提高城市道路的行车舒适性和周边环境的居住品质。与此同时,透水混凝土路面能够有效缓解城市热岛效应。其具有较低的比热容及高透气性,在

日间吸热较少,夜间散热较快,有助于降低路面温度,使城市环境更加宜居。此外,透水混凝土路面具有良好的抗冻融性和耐久性,能够在保证透水功能的同时保持较长的使用寿命,适应不同地区的气候条件。目前,透水混凝土路面在城市绿道、人行道、停车场、非机动车道等领域的应用较为广泛,并取得了显著的生态效益和社会效益。在主要交通干道、重载道路等高强度交通区域的推广应用仍然面临挑战,主要原因在于其承载力、耐久性以及维护成本等技术性能需要进一步优化和提升。

二、生态环保型道路建设中透水混凝土路面的技术挑战

在生态环保型道路建设中,透水混凝土路面虽然具有显著的生态效益,但也面临诸多技术挑战。最关键的技术难点在于其力学性能与透水性能的平衡。由于透水混凝土路面需要具备高透水性,其内部多孔结构势必影响到混凝土的整体强度和承载能力,这对设计和施工提出了较高要求。要在保证高透水性的前提下,使路面具备足够的抗压、抗折强度,满足城市道路的荷载需求,是一个难点所在。此外,不同地区的交通流量、气候条件以及路面用途各不相同,对透水混凝土的物理、化学性能提出了多样化的要求,需要根据具体情况对材料进行调整与优化。

透水混凝土路面的耐久性也是一项亟待解决的问题。其多孔特性使得材料在长期使用中容易受到水侵蚀、冻融循环、气候变化等环境因素的影响,导致孔隙堵塞、结构劣化等现象,从而降低其透水能力和路面性能。为保证路面的长寿命,需研究耐久性更高的材料配比以及施工工艺,提升透水混凝土的抗冻融、抗侵蚀性能。此外,透水混凝土的孔隙易被灰尘、树叶、泥沙等杂质堵塞,这直接影响到其透水效果。因此,在实际应用中,如何针对性地采取养护措施,及时清理路面孔隙,维持其良好的透水功能,是透水混凝土路面的一大挑战。在施工方面,透水混凝土路面对材料的搅拌、

浇筑、压实和养护等环节要求较高。透水混凝土需要在搅拌过程中保持良好的均匀性，以确保孔隙率的均匀分布；在浇筑和压实时，需保证充分的密实度和平整度，以达到既透水又能承受荷载的效果。特别是养护环节，透水混凝土对水分和温度条件非常敏感，养护不当容易引起表面开裂、脱落等问题，影响其整体性能。因此，施工过程中需严格控制每一个环节，确保透水混凝土的质量和性能。

材料选择与配比设计同样是关键环节。透水混凝土一般采用大粒径粗骨料和低细度水泥，但粗骨料与水泥的配比以及外加剂的选择会直接影响到路面的强度、透水性、耐久性等性能。传统的材料配比已难以满足日益复杂的生态环保道路需求，需要针对不同的应用场景和环境条件，研发性能优异的透水混凝土配合比，以实现各性能指标的优化和协调。此外，透水混凝土的造价通常较高，如何在保证性能的基础上降低成本，使其在大范围推广中具备经济可行性，也是亟须解决的技术难题。

三、透水混凝土路面材料与配比的优化策略

透水混凝土路面的性能在很大程度上取决于材料的选择和配比的优化。为实现透水混凝土路面的高强度与高透水性能的平衡，在材料选取上通常选择大粒径粗骨料、低细度水泥，并合理添加外加剂以调整混凝土性能。骨料作为透水混凝土的主要成分，其粒径大小、级配状况直接影响混凝土的孔隙率和透水性。通常，选用粒径较大的单一粒径级配粗骨料可以增大孔隙率，但其骨架稳定性相对较弱。因此，需要在保证透水性的前提下，优化骨料的级配，以提升混凝土的整体结构强度和稳定性。

水泥是透水混凝土的胶结材料，其作用在于将粗骨料黏结成整体，并提供必要的抗压强度。选择低细度水泥有助于减少水泥浆的过度包裹，提高孔隙率和透水性。此外，水泥用量需与骨料配比相匹配，以保证路面的透水和力学性能。在实际施工中，水灰比作为配合比设计中的关键参数，对透水混凝土的性能有显著影响。较大的水灰比可提高混凝土的流动性，但容易导致孔隙封堵，降低透水性；而较小的水灰比则可能影响混凝土的和易性，难以确保骨料充分黏结。因此，需要根据具体的路面功能要求和环境条件，合理控制水灰比，以实现最佳性能。

外加剂的使用是透水混凝土路面材料优化的重要手段。适量加入高效减水剂、引气剂或膨胀剂等外加剂，可以改善透水混凝土的工作性能，提高抗压强度、抗冻融性和耐久性。减水剂能够有效降低水灰比，提高混凝土的密实度和强度；引气剂可以引入适量微小气泡，提升混凝土的抗冻融性能，延长使用寿命；膨胀剂则有助于补偿混凝土在硬化过程中产生的收缩，提高整体稳定性。不同外加剂之间的相互作用复杂，因此在配比设计时需要针对目标性能进行综合考量，选择合适的外加剂种类与用量。

透水混凝土的优化策略还包括对孔隙结构的设计和

控制。透水混凝土的孔隙率直接影响其透水性和力学性能，因此需在配合比设计中科学调控孔隙大小和分布。通过调整骨料的粒径、骨料与水泥浆的比例以及混凝土的搅拌方式，可以形成均匀、稳定的孔隙结构，提高路面的透水效果和承载能力。此外，为了改善混凝土路面的表面性能，防止孔隙堵塞和磨损，可以在路面施工后增加表面处理工序，例如涂覆防水层或防护剂，进一步提升路面性能。

四、透水混凝土路面结构设计与施工技术的改进

透水混凝土路面的结构设计与施工技术直接影响其透水性能和耐久性，因此需要在设计与施工环节进行改进与优化，以确保路面的整体功能与寿命。透水混凝土路面的结构设计应充分考虑道路功能、荷载情况、区域气候和地质条件等因素，并进行分层设计，以确保其承载能力和透水效果。通常，透水混凝土路面由面层、透水基层和透水垫层组成，每一层均发挥不同的作用。面层作为直接承受荷载的部分，应具备较高的抗压和抗折强度，同时保持良好的透水性。透水基层则负责承载面层传递的荷载并提供储水空间，而透水垫层则主要起到排水和稳定地基的作用。对各结构层进行合理的厚度设计和材料选择，是确保路面综合性能的重要手段。

施工技术对透水混凝土路面的质量和功能起着至关重要的作用。搅拌、摊铺、压实和养护等施工环节均需进行精细化控制。搅拌阶段，应确保骨料、水泥和水充分均匀混合，避免产生离析现象，影响混凝土的均匀性和透水性。摊铺时需要注意材料的均匀铺设，保证路面平整度和透水性能的一致性。透水混凝土对压实工艺的要求较高，压实不足会导致孔隙率偏高，降低路面的承载能力，而过度压实则可能堵塞孔隙，影响透水性能。因此，选择适当的压实方式和力度，确保孔隙率和路面强度的均衡，是施工中的关键。养护是透水混凝土施工中极为重要的一环，对其强度和耐久性影响显著。透水混凝土需要在成型后进行充分养护，以防止早期失水导致强度降低或表面开裂。应根据季节和天气条件，采取适当的养护方式，如覆盖塑料薄膜、喷洒养护剂或定期洒水保持湿润，以确保混凝土在养护期内维持稳定的湿度和温度条件。同时，合理安排养护时间，通常为7至14天，以保证混凝土的强度和稳定性。

为了进一步提升透水混凝土路面的功能和性能，施工工艺的改进也十分关键。采用分段摊铺工艺可以减少接缝数量，提高路面的整体性和美观性。对透水基层和垫层采取双层碾压成型工艺，能够有效提高基层的密实度和透水性，增强路面整体的排水能力。在一些特殊场景中，加入纤维增强材料也能显著提高透水混凝土的抗裂性和抗弯性能，从而延长路面的使用寿命。此外，为了确保透水混凝土路面的施工质量，施工现场的环境温湿度控制、设备性能调试和操作人员的专业素养也需要严格把关。

五、多功能透水混凝土路面的实际应用效果与案例分析

多功能透水混凝土路面在城市建设中的实际应用效

果逐渐显现，并通过一系列案例展示出其在改善城市环境、提升道路功能方面的优势。透水混凝土路面的主要效果体现在缓解城市内涝、调节地表温度、净化雨水以及降低噪音等方面。在一些城市道路改造项目中，透水混凝土路面有效地缓解了雨季积水和内涝问题，其高透水性使得降雨能够迅速渗透地表，减轻了雨水在地面汇集的压力，显著减少了路面积水现象。尤其在一些老城区和低洼路段的改造中，透水混凝土路面的使用大幅降低了城市排水系统的负荷，优化了水资源管理。

在城市热岛效应的缓解方面，透水混凝土路面通过其较高的空隙率和较低的比热容，有效实现了地表温度的调节。与传统不透水路面相比，透水混凝土的多孔结构有助于水分的蒸发和散热，降低路面温度，营造更加舒适的城市微气候环境。在绿道、人行道、广场等区域的应用中，透水混凝土路面提供了舒适的行走环境，不仅美化了景观，还提升了区域的生态效益。透水混凝土路面的雨水净化功能也在实际应用中得到了验证。在部分雨水径流污染较严重的城市区域，透水混凝土路面通过物理过滤和生物降解作用，将雨水中的悬浮颗粒、重金属及油污等污染物进行截留和降解，提高了渗入地下的雨水质量，减少了地表径流对水环境的污染。此外，其多孔结构在车辆行驶过程中吸收并散射声波，降低交通噪音，提升了道路沿线的居住舒适度和生活品质。

典型的案例分析显示，透水混凝土路面在一些大型市政工程、园林绿化工程以及社区道路改造中，均取得了良好的应用效果。在某城市公园的步道改造中，采用透水混凝土路面后，园区雨季积水问题得到了彻底解决，且路面舒适度明显提升，受到市民好评。在某商业广场的停车场改造项目中，透水混凝土路面的应用不仅解决了停车场排水不畅的问题，而且其良好的降噪和美观效果也使得停车环境得到改善。另一城市试点的透水混凝土主干道建设项目，则通过优化结构设计和施工工艺，实现了重载交通条件下路面的长期稳定使用，为未来在更大范围内推广透水混凝土技术提供了宝贵经验。

六、生态城市道路透水混凝土路面的发展前景与趋势展望

生态城市道路中透水混凝土路面的应用前景广阔，呈现出良好的发展趋势。随着城市化进程的加速，绿色基础设施建设和生态城市理念的推广将推动透水混凝土路面在城市道路中的广泛应用。未来，透水混凝土路面的技术创新与发展将朝着性能提升、多功能化和可持续性的方向迈进。在材料方面，研发更具高强度、耐久性和环境适应性的混凝土配比，将进一步优化路面的透水性能与力学特性。新型外加剂、纤维材料的加入将有望显著提升透水混凝土的抗压、抗裂和抗冻融性能，为满足不同气候条件和道路荷载需求提供更多选择。

结构与施工工艺的完善也将成为透水混凝土路面发展的重点。分层设计、整体结构优化以及精细化施工工艺的改进，将使得透水混凝土路面在不同道路场景中发挥更好的功能作用。同时，智能化的施工设备和数

字化管理技术的引入，有望提升施工效率与质量控制，确保透水混凝土路面的长期性能与耐用性。透水混凝土在道路建成后的维护技术也将更加完善，特别是在路面清洁、孔隙疏通和表面保护等方面的研究，有助于延长其使用寿命，保持稳定的透水效果。

随着海绵城市建设理念的推广，透水混凝土路面将逐渐从城市绿道、步行街、公园、停车场等轻载区域向主干道、次干道等高载区域拓展，逐步成为城市道路建设的重要组成部分。同时，透水混凝土路面的多功能化发展趋势愈加明显。其不仅在雨水管理、降噪、温度调节等方面发挥作用，还将与智慧城市建设相结合，运用传感器、监测设备等技术实现对路面状况、环境数据的实时监测和反馈，为城市交通和生态管理提供精准数据支持。在政策、法规和标准体系的逐渐完善下，透水混凝土路面有望迎来更大规模的推广与应用。借助国家生态文明建设和绿色发展战略的推动，透水混凝土路面将在未来城市基础设施中发挥重要作用，为实现城市的可持续发展和生态环境的改善提供坚实的技术支撑。

结语

透水混凝土路面作为生态环保型城市道路的重要组成部分，凭借其在透水、调温、降噪和水质净化等方面的多功能性，为城市环境治理和道路可持续发展提供了有效途径。本文通过对其应用现状、技术挑战、材料与施工策略、实际应用效果以及发展前景的深入分析，揭示了透水混凝土在绿色基础设施建设中的巨大潜力。未来，随着技术不断创新和政策支持力度的加大，透水混凝土路面将在城市道路建设中发挥更大作用，为改善城市生态环境、提升道路功能和推动可持续发展提供强有力的技术保障。

参考文献

- [1] 李建国. 透水混凝土路面的设计与性能研究[J]. 建筑材料学报, 2018, 21(3): 45-52.
- [2] 王芳. 生态城市道路透水铺装材料的性能分析[J]. 城市建设理论研究, 2019, 9(6): 78-82.
- [3] 陈凯. 城市雨水管理中透水混凝土的应用研究[J]. 环境工程学报, 2020, 28(4): 34-39.
- [4] 刘慧敏. 透水混凝土在城市道路建设中的作用与发展[J]. 城市规划, 2017, 33(5): 53-60.
- [5] 赵志强. 透水混凝土路面的施工工艺及其影响因素分析[J]. 建筑施工, 2019, 30(7): 89-93.
- [6] 孙海龙. 多功能透水混凝土路面在海绵城市中的应用探讨[J]. 中国市政工程, 2021, 24(9): 65-70.

作者简介:

左连强(1983.11), 男, 汉, 济南市长清区张夏街道土门村, 副高, 本科, 研究方向: 道路桥梁。

毕炳祥(1982.09.12), 男, 汉族, 河北沧州, 高级工程师, 本科, 研究方向: 道路与桥梁工程。

孟祥明(1984.01.04), 男, 汉族, 山东省商河县, 高级工程师, 大学本科, 研究方向: 道路与桥梁工程。