

透水混凝土在海绵城市市政道路中的应用研究

文 / 赵衍巨 枣庄恒通市政工程有限公司

摘要：透水混凝土作为一种新型功能材料，在海绵城市建设中具有重要的应用价值。本文围绕透水混凝土在市政道路中的应用展开研究，从材料性能与道路功能协同优化、施工工艺动态控制及后期运维体系的功能延续等方面进行深入分析，并探讨其在市政道路建设中的发展趋势。通过材料创新与多功能集成、标准化建设与多方协同，以及智能化技术驱动的全生命周期管理，透水混凝土将在市政道路建设中发挥更加重要的作用，为实现绿色、低碳和可持续发展提供技术支撑。

关键词：透水混凝土；海绵城市；市政道路；施工工艺；全生命周期管理；智能化技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.07.064

引言

在城市经济快速发展的背景下，土地资源日渐紧张，道路路面的不透水面积也日渐增加，雨水难以渗透路面，再加上我国的地下排水能力不足，长久以往造成雨水堆积，导致城市内涝问题严重。如何保障城市区域降雨期间的排水通畅，合理有效地利用水资源，提升城市人居环境，是当前市政工程界的一个问题。现阶段，在国内城市道路新建和改造项目中，透水混凝土路面是较为常见的设计方案，其优势在于促进道路排水、缓解城市路面积水。这种路面工程设计为双层结构，底层和面层的施工材料存在差异，再加上路基的影响，对其质量控制和检测提出了较高的要求。在工程实践中，应根据工艺流程探究各构造层的质量控制策略，为此类施工活动提供技术借鉴。透水混凝土不仅能够有效减少雨水径流和污染物排放，还可缓解道路积水问题，改善城市水环境和微气候条件。

一、海绵城市建设中透水铺装对城市生态环境的作用

（一）减少雨水径流，降低内涝风险

透水混凝土能够快速渗透雨水，有效减少地表径流，缓解城市排水系统的压力。一方面，通过其多孔结构，雨水可迅速下渗至地下，从而避免雨水在地表汇聚形成积水。另一方面，透水混凝土的使用可降低对排水设施的需求，减轻排水管网的运行负荷。以某城市为例，经过全面应用透水铺装，其市区内涝点数量减少了近50%，显著提升了城市的抗涝能力。此外，透水混凝土还能延缓暴雨期间地表水的集中排放时间，为城市排水系统提供更充足的响应时间，降低洪水风险。从长远来看，透水铺装可减少城市雨水径流总量的同时，也在一定程度上减少了因雨水径流带来的地表污染物排放。水污染控制的有效性得以增强，使其在城市雨水管理中具有重要的生态意义。

（二）促进地下水补给，改善水生态环境

透水混凝土在促进地下水补给方面具有显著优势。由于其高渗透性，大量雨水可以直接通过透水铺装渗入地下，增加地下水的补给量，从而有效缓解城市化进程中普遍存在的地下水资源匮乏问题。研究表明，在透水混凝土铺装覆盖率达到50%的城市区域，年地下水补给量可以提升约30%。此外，透水混凝土还具备一定的过

滤功能，其孔隙结构能够拦截一部分污染物，例如雨水中的泥沙、重金属离子和油类物质，减轻雨水径流对地表水体的污染风险。这种生态友好的特性使其在改善城市水环境方面发挥了重要作用。

（三）提高道路表面舒适性，减少热岛效应

透水混凝土对改善道路表面舒适性和减少城市热岛效应应具有显著效果。传统不透水路面因其较高的热吸收特性和低反射率，容易在高温天气下导致地表温度显著升高，从而加剧热岛效应。而透水混凝土由于其多孔结构和良好的透气性，能够降低地表温度，缓解高温带来的不适。首先，透水混凝土的热容较低，其开放式的结构有助于空气流通，减少了热量在地表的积聚。研究数据显示，在相同环境条件下，透水混凝土路面的表面温度比传统沥青路面低约5-8℃。同时，透水铺装的高反射率能够有效减少太阳辐射能量的吸收，从而降低城市整体温度。其次，透水混凝土还能吸收降水并逐步释放，通过蒸发作用进一步降低地表温度。这种蒸发冷却效应不仅提升了道路的行车和行人舒适度，还对周边环境温度的调节产生了积极作用。此外，透水混凝土还可以结合植被等生态设计，共同构建绿色交通系统，从根本上优化城市热环境。未来，透水混凝土技术的推广和应用将为建设宜居城市提供更强有力的支持。如图1为热岛效应改善前后对比。

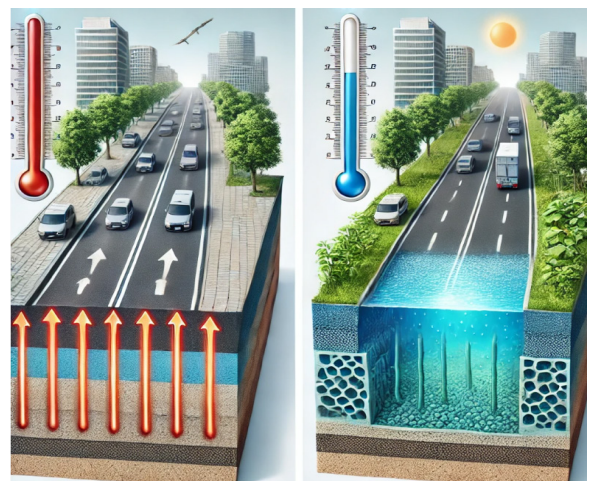


图1 热岛效应改善前后对比

二、基于透水混凝土的市政道路建设实践路径

（一）材料性能与道路功能的协同优化逻辑

透水混凝土作为市政道路的重要材料，其材料性能与道路功能需实现高度协同。优化逻辑主要体现在三方面：承载力、透水性和耐久性之间的平衡。首先，透水混凝土的承载力需满足道路正常使用要求，通常通过合理的集料级配和胶结料含量设计来实现。透水混凝土虽然以透水为主要特性，但其承载力也必须满足道路设计荷载的需求。为此，可通过优化集料级配和提高胶结料含量来增强材料的整体强度。同时，采用高性能水泥、矿物掺合料和特定添加剂，可以进一步提高其内部黏结性，从而满足道路承重需求。这一过程中，需要选择高性能水泥和添加剂以增强材料强度和黏结性。其次，为提升透水性能，需确保材料的孔隙率在15%至25%之间。孔隙率过高可能削弱材料的强度，而孔隙率过低又会影响透水效果。因此，在优化设计中，需要根据当地降雨量、排水要求及道路使用频率，合理确定孔隙率和配合比，确保材料既具备较强的透水性，又能保持必要的力学性能。再次，为解决耐久性不足的问题，可通过添加纤维材料或纳米级改性剂提高抗冻融性能及抗冲刷能力。同时，施工中应严格控制配合比，确保孔隙结构均匀。纤维的加入能提高材料韧性并增强抗裂性能，而纳米材料可以改善孔隙分布和界面结构，从根本上提高材料耐久性。同时，施工阶段严格控制水灰比和配合比，确保孔隙结构均匀分布，进一步延长道路寿命。通过材料性能与功能需求的协同优化，可有效提升透水混凝土在市政道路中的应用价值，实现生态效益和使用效能的双重提升。

（二）施工工艺的关键节点设计与动态控制机制

1. 施工前期准备与技术条件保障

透水混凝土施工前期准备工作是确保工程质量的基础。首先，需对施工区域进行充分的地质调查与地形测绘，明确土壤承载能力和排水特性，制定针对性的施工方案。其次，施工设备需提前检修并调试，确保混凝土搅拌设备能稳定提供均匀混合料。材料方面，应严格筛选符合设计要求的粗细集料、水泥及添加剂，并对原材料进行检测，确保质量达标。施工前，应安排技术培训，提升施工人员对透水混凝土施工工艺的掌握程度。此外，需建立材料与工艺的动态调整机制，根据现场条件灵活调整配合比和工艺参数，以应对温湿度、雨水等外部条件的影响，从而为后续施工环节提供坚实保障。

2. 浇筑与成型工艺的质量保障措施

透水混凝土浇筑与成型是施工的核心环节，其质量直接关系到道路的功能实现。施工时需确保混凝土搅拌均匀并及时运输至施工现场，运输时间一般控制在30分

钟以内，以防止材料分层、离析或初凝对性能产生不利影响。浇筑过程中，应采用分段浇筑的施工方式，确保每段浇筑区域的均匀性与密实度，同时尽量减少施工缝的产生，以提高整体性。成型时，应选用专用振动整平设备，并采用低频振动方式，使混凝土的孔隙结构均匀分布，避免因高频振动导致孔隙闭合或强度下降。施工中，尤其要加强对边缘区域的质量控制，通过人工辅助压实或模具加固，提升边缘的密实度和强度，防止后期使用中的边缘破损或松散。此外，浇筑完成后需迅速进行湿法覆盖养护，控制表面水分蒸发速率，养护时间建议不少于7天，确保混凝土强度和耐久性的充分发展。严格实施以上质量保障措施，能够有效提升透水混凝土道路的承载能力和使用寿命，充分满足市政道路的工程需求和生态功能要求。

3. 施工环境对透水混凝土性能的策略

为确保材料性能不受施工条件的限制，需根据具体环境条件制定科学合理的施工策略。高温环境下，由于水分蒸发过快可能导致混凝土表面收缩裂缝和内层强度不足，可通过增加洒水频次、覆盖湿草垫或使用遮阳布来降低温度并保持湿润环境，同时建议避开正午高温时段施工。在低温环境中，混凝土的凝结与硬化过程会显著延缓，甚至出现冻害问题，此时可适量添加早强剂、抗冻剂或使用热水拌和，同时搭建临时保温棚以保持施工区域温度在正温范围内。在湿度较大的雨天施工时，为防止施工表面被雨水侵蚀或污染，应搭建防雨设施，并在施工区域铺设防水膜或防水帆布，对已浇筑区域加强保护。风沙天气可能导致颗粒物进入混凝土表面，破坏孔隙结构，从而影响透水性能和美观性，此时建议采用封闭围挡或在关键施工环节增设防护网，以减少外界颗粒干扰。通过系统考虑各种环境因素，并采取针对性的保护和调整措施，可有效保障透水混凝土在复杂施工条件下的性能稳定性与施工质量。

（三）后期运维体系中的功能延续与性能稳定策略

1. 透水混凝土道路的日常维护技术

透水混凝土道路的日常维护是保持功能与性能稳定的关键环节，其核心在于清理堵塞物和保持透水性能。首先，应定期使用高压水枪或真空吸尘设备清洁道路表面，以去除积累的泥沙和细颗粒物，防止堵塞孔隙结构。其次，可利用专用清洗设备对深层孔隙进行定期冲洗，确保雨水能快速渗透。针对易损部位，如道路接缝或边缘区域，需定期检查并修复裂缝，防止水分侵入引发进一步损坏。此外，应对道路承重能力进行周期性评估，避免超载车辆导致的结构性破坏。通过科学的维护措施，可延长透水混凝土道路的使用寿命并确保其生态功能的长期稳定。

2. 透水混凝土性能退化的修复与再生技术

透水混凝土在长期使用中可能因自然环境和交通荷载的影响而发生性能退化,需通过有效的修复与再生技术加以应对。对于表面裂缝或孔隙堵塞问题,可采用填补式修复方法,将特制修复材料填充至损坏区域,同时通过机械冲洗恢复堵塞孔隙的透水能力。对于大面积损坏或退化严重的路段,可使用整体铣刨再生技术,将原有透水混凝土铣刨后重新铺设新材料。此过程中,可掺入部分再生骨料以实现材料的循环利用。此外,针对冻融或化学腐蚀引起的结构性退化,可使用抗冻剂或防腐剂进行表面处理,从而提升耐久性和抗老化性能。综合运用修复与再生技术,能够有效延续透水混凝土道路的功能和性能,为市政道路的可持续发展提供技术支撑。

三、透水混凝土在市政道路建设中的发展趋势

(一) 从材料创新到多功能集成的技术突破路径

透水混凝土在市政道路建设中的发展趋势之一是材料创新与多功能集成的深度融合。未来的技术突破将更加注重材料性能的精细化设计与综合性提升。首先,针对承载能力与透水性能的平衡问题,研究重点将转向高性能胶凝材料和多尺度复合骨料的开发。例如,通过引入功能化纳米材料,增强混凝土的强度与耐久性,同时优化孔隙结构以进一步提升透水性和抗堵塞能力。其次,为应对复杂的城市环境需求,透水混凝土材料将朝着多功能集成方向发展,如结合吸附降解技术,实现对雨水中污染物的有效处理,提升城市水环境质量。此外,透水混凝土还可通过光催化剂等功能性添加剂,具备空气净化、自清洁和温度调节等附加功能,拓展其在智慧城市建设中的应用场景。最后,3D打印技术与模块化生产工艺的引入,将为透水混凝土的个性化设计和高效制造提供全新解决方案,推动市政道路建设向绿色、高效、智能化方向迈进。

(二) 标准化建设与多方协同机制的实践推进

透水混凝土市政道路的进一步发展离不开标准化建设与多方协同机制的强化。当前技术推广过程中,不同地区在材料选型、施工工艺及验收标准上存在较大差异,影响了透水混凝土的应用效果和发展速度。行业亟须建立涵盖材料性能、施工流程、质量检测与后期运维的全链条标准化体系,为技术落地提供统一依据。例如,透水混凝土孔隙率、强度、透水性等关键指标的标准化,有助于提升材料设计与施工工艺的可控性。同时,推进市政部门、科研机构、施工企业和第三方检测机构之间的深度合作,形成“政产学研”协同创新机制。各方通过技术研发、政策支持和市场推广共同推动透水混凝土的应用与普及。此外,建设基于大数据平台的监测与管理体系统,实现施工环节的动态监督与后期运维的科学决

策,也将成为行业标准化与协同化发展的重要方向。通过标准化建设与多方协同,透水混凝土市政道路建设将更加系统化和规范化。

(三) 全生命周期管理与智能化技术驱动的未来方向

透水混凝土在市政道路中的应用未来将向全生命周期管理与智能化技术驱动方向发展,这也是其实现可持续发展的关键趋势之一。全生命周期管理强调从材料生产、道路施工到运营维护的全过程优化。具体而言,未来的透水混凝土设计将基于使用寿命预测模型,结合区域气候、交通荷载和环境因素进行精准定制,最大化材料的功能效能。同时,在施工与运营阶段,通过建立全生命周期成本核算体系,有效控制项目投入,提升经济性。智能化技术的引入将进一步推动透水混凝土道路的智慧化管理。例如,物联网传感器可以实时监测道路的透水性能、承载状态和环境条件,并通过云平台实现数据集成与分析,为道路养护提供科学依据。此外,智能机器人和无人化施工设备的应用,将提高施工效率和质量,降低人力投入和施工风险。基于人工智能和大数据的预测性养护技术还将显著提升透水混凝土道路的长期性能稳定性,为实现智慧城市和绿色交通提供重要支撑。这种全生命周期与智能化结合的管理模式,将成为市政道路建设发展的主流方向。

结语

透水混凝土作为市政道路建设中的重要技术创新,展现出显著的生态效益与社会价值。其在材料性能、施工工艺、运维体系等方面的不断优化,为构建绿色、低碳、可持续的城市交通系统奠定了基础。在未来的发展中,透水混凝土技术将更加注重材料创新、多功能集成、标准化建设及智能化管理的融合,通过全生命周期的优化管理实现功能与性能全面提升。同时,多方协同合作与智能化技术的深度应用,将进一步推动透水混凝土在城市基础设施中的广泛应用,为实现“海绵城市”建设和应对全球气候变化提供重要支撑。通过不断的探索与实践,透水混凝土市政道路必将在未来城市建设中发挥更加关键的作用,为生态文明与智慧城市建设和贡献更大的力量。

参考文献

- [1] 李灿. 基于城市道路工程的钢渣透水混凝土的技术性能及应用要点研究[J]. 建筑施工, 2023, 45(10): 2046-2048.
- [2] 张阳. 高强透水混凝土制备及在园林景观道路中的应用研究[J]. 粉煤灰综合利用, 2023, 37(04): 64-68.
- [3] 赖新波. 再生骨料透水混凝土在道路工程中的应用研究[J]. 福建建材, 2023, (08): 6-8+12.