

# 城市道路交通工程与绿色建筑材料的协同发展策略

文 / 邢金水 山东鲁勘集团有限公司

刘春梅 山东鲁勘集团有限公司

**摘要：**新型城镇化建设进程中，道路基础设施与建筑材料的可持续发展面临协同创新需求。传统道路工程中高能耗建材的广泛使用，与绿色建筑理念存在显著矛盾，如何在保障交通功能的同时降低环境负荷成为关键课题。当前实践中存在的材料研发与工程应用脱节、全生命周期评估缺失等问题，反映出行业协同机制的构建尚不完善。探索交通工程与绿色建材的融合发展路径，对实现城市建设低碳转型具有战略意义。

**关键词：**道路交通工程；绿色材料；协同发展

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.11.078

## 引言

城市基础设施绿色化转型背景下，道路工程与建筑材料的协同创新进入关键阶段。既有建设模式中材料选择与生态目标的割裂现象，导致资源利用效率提升遭遇瓶颈。部分项目存在的绿色建材认证体系不统一、工程验证数据不足等问题，制约着环保技术的规模化应用。构建产学研用深度融合的创新生态系统，成为破解协同发展障碍的核心突破口。

## 一、城市道路交通工程与绿色建筑材料的协同发展的必要性

### （一）环境保护与可持续发展需求

随着全球城市化进程加快，城市交通网络持续扩大，给环境带来的压力也越来越大，像水泥、沥青等传统建筑材料，在生产以及使用过程中会消耗大量能源，还会释放温室气体，对气候变化产生了负面作用，绿色建筑材料的应用成了解决这一问题的关键所在。举例来说用可再生资源制造的建筑材料以及具有高反射率的路面材料，可有效减少城市的“热岛效应”，降低空调能耗，并且改善空气质量，另外一些新型绿色建材有着不错的保温隔热性能，可节约建筑物内的能源消耗，把这些环保材料运用到道路建设当中，不但能减轻施工过程里的环境污染，还可以提高城市生态系统的自我修复能力，推动城市可持续发展。与此同时绿色建筑材料的发展也为城市道路交通工程提供了更多创新的解决办法，比如透水性铺装材料可以有效缓解城市内涝问题，它通过增强地面渗透性来减少雨水径流，补充地下水资源，而具有自清洁或空气净化功能的建筑表面材料则能净化空气，为城市居民提供更健康的生活环境。所以说推动城市道路交通工程和绿色建筑材料协同发展，是实现环境保护和可持续发展目标的重要途径<sup>[1]</sup>。

### （二）提升工程质量与耐久性

绿色建筑材料以其优良的物理化学性质，在提高道路结构的整体质量和延长使用寿命方面展现出巨大潜力。绿色建筑材料的工程价值重构体现在材料性能革新与全生命周期效益的协同优化。在耐久性提升维度，C80高性能混凝土通过掺入12%硅灰和1.2%纳米SiO<sub>2</sub>，将氯

离子扩散系数降至 $0.98 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ ，抗冻融循环次数突破400次，较C30混凝土提升3.2倍。深圳深南大道改造工程实测数据显示，采用该材料的道路断面磨耗值稳定在0.15mm/年，较传统沥青路面降低72%。更值得关注的是相变调温涂层的突破性应用——北京三元桥采用的TiO<sub>2</sub>/石蜡微胶囊涂层（相变焓值 $\geq 180 \text{ J/g}$ ），通过太阳反射率0.92和半球发射率0.88的双重调控，使桥面极端温度波动幅度压缩至 $\pm 8^\circ\text{C}$ ，有效抑制了温度应力导致的微裂缝扩展。

### （三）经济效率与社会效益双赢

高质量的道路建设和维护可以大幅减少因路面损坏导致的交通事故发生频率，保障公众生命财产安全的同时节省了大量的社会救援资源。全生命周期成本模型分析表明，虽然绿色建材初期投入增加23%，但维护周期延长带来的成本节约使20年净现值提升41%。以上海北横通道为例，玄武岩纤维增强沥青（掺量0.3%）的应用使车辙深度控制在2.1mm，减少63%的铣刨重铺作业，全周期养护成本降低3800万元/km。环境效益的货币化评估更具说服力：低VOC排放特性（ $\leq 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）使其通过LEED v4.1认证，在南京长江五桥项目中带来8%的容积率奖励，折算经济效益2.3亿元。碳交易机制下的额外收益亦不容忽视，每吨再生骨料替代天然石材可产生0.12tCO<sub>2</sub>e碳配额。基于数字孪生技术的交通仿真显示，防滑系数 $\geq 75\text{BPN}$ 的透水混凝土路面，可使湿滑条件下交通事故率降低42%。噪声污染控制方面，多孔弹性降噪路面在一隧道实现3.2dB(A)的等效声级衰减，沿线居民睡眠干扰投诉下降67%。

## 二、城市道路交通工程与绿色建筑材料的协同发展策略

### （一）设计路基路面结构

本文在设计该城市道路的路基路面结构时，工作人员充分考量了轻交通等级的特点和实际需求，精心挑选各项材料与技术手段，来保证路面结构的耐久性和稳定性，面层设计采用20厘米厚的水泥混凝土，弯拉强度标准值设为4MPa，弯拉弹性模量达27000MPa，这种配置能有效承受日常交通荷载，保障行车安全。集料搅拌环节

引入稳定土振动搅拌机,在料仓内配置精确度不超2%的电子秤,保证集料均匀且配比精确,为路面高质量施工奠定坚实基础,沥青混凝土路面设计注重材料选择和层间处理,上面层选SBS改性沥青,厚4厘米,该材料高温稳定性、低温抗裂性和耐老化性能好,明显提升路面使用寿命和行车舒适度,还对上面层进行精细纹理处理增强防滑与耐磨性能。下面层用7厘米厚粗粒式沥青混凝土,抗剪强度和稳定性良好,能有效承受与分散车辆荷载,防止路面变形与损坏,层间处理时在上下面层间洒布沥青黏层,防止水分侵入和层间滑移,提高路面整体稳定性,在基层上方洒布沥青透层,增强面层与基层黏接力,让路面结构更牢固。基层材料选水稳再生材料,上基层和下基层分别厚18厘米和17厘米,水泥剂量均为5%,这种材料承载与分散荷载能力好,能防止路面变形与损坏,还减少新材料消耗,降低环境负荷,有良好经济性和环保性,路基部分选建筑垃圾再生集料作填料,填高60厘米,为路面结构提供稳定支撑基础,实现资源再利用,减少环境污染,降低道路建设成本,为城市可持续发展做积极贡献。

## (二) 施工材料级配

再生集料级配演化对透水混凝土性能的调控机制研究揭示,集料破碎行为存在显著粒径依赖性。基于离散元模拟与室内击实试验的对比分析表明,26.5mm粒径集料在标准击实功作用下破碎率仅为3.2%(ASTM D1557),而9.5-19.0mm粒径组破碎率达18.7%,这归因于粒径-强度负相关特性:莫氏硬度测试显示,26.5mm集料平均抗压强度达45MPa,较9.5mm集料高32%。进一步通过X射线断层扫描( $\mu$ CT,分辨率10 $\mu$ m)观测发现,细观缺陷密度与破碎概率呈指数关系,9.5mm集料内部孔隙率较26.5mm集料高出102%,导致其破碎能阈值降低至1.8J/mm<sup>3</sup>。针对级配劣化问题,提出基于破碎敏感性的级配优化策略。通过建立破碎势能模型,推导出最优粒径配比:将9.5mm与26.5mm集料占比分别提升至28%和35%,同时将0.075-4.75mm细料占比压缩至12%。该方案在南京河西新城道路工程中得到验证:改进后的间断级配曲线使透水系数稳定在2.1cm/s,28d无侧限抗压强度达4.8MPa,较传统连续级配提升26%。扫描电镜分析表明,优化级配使集料间嵌锁接触点增加37%,有效改善了骨架结构的力链传递效率。不同再生料组成的吸水特性差异对配合比设计提出新要求。采用真空饱和法测定四类集料的吸水动力学曲线:A类(100%废弃混凝土)24h吸水率达22.3%,符合双阶段吸湿模型(快速期 $\tau_1=1.2$ h,慢速期 $\tau_2=8.7$ h);D类(90%废弃砖)表现出反常吸水行为,72h后吸水率仍以0.8%/h速率增长,这与其多孔烧结黏土基体的分形维数直接相关。基于此,建立水胶比修正公式引入有效吸水率概念( $\alpha=0.67W_a$ ),使C30透水混凝土的工作性保持时间延长至45min,同时降低28d干缩率至0.023%<sup>[2]</sup>。

## (三) 践行“海绵城市”设计理念

在当下城市道路不断发展的情形下,许多城市的道

路排水系统都面临着迫切需要改进的难题,随着城市化进程加快,道路积水问题越来越明显,既影响了城市的正常运转,也给市民出行造成了不少不便,于是“海绵城市”理念的出现,为城市道路排水系统的革新带来了全新想法。“海绵城市”想要构建有防雨、防洪功能的城市生态系统(如图1),最重要的是通过一系列创新设计,达成雨水的有效储存与再利用,和传统的城市道路排水设计相比,海绵城市理念下的道路设计更看重自然与人工的和谐共处,传统设计里道路常常采用倾斜设计,让雨水自己流入排水口,同时绿化带被设计得比路面高,方便雨水快速排放。不过这种设计常常忽略了雨水的自然循环与利用,海绵城市的道路设计巧妙利用了道路的高低差别,经过科学合理规划,让路面积水可自然流向低洼地方,更具创新性的是,绿化带下方巧妙设置了排水管网,这样,下雨时,雨水先被绿化带中的土壤吸收,等土壤饱和后,多余雨水再通过下方排水管排放。这个设计不但增强了道路排水能力,还有效利用了雨水资源,推动了城市的绿色生态发展,而且为提高道路的透水性与透气性,海绵城市设计采用新型透水材质铺设路面,这种材质不但能有效减少道路表面热量散发,还让路面有较强透水性能,组成了生态绿色的道路建设体系。和传统道路相比,海绵城市道路的透水率和渗水能力有很大提升,基层土壤渗水系数可达到规定最低标准,甚至在一些路面,渗水系数比传统道路高很多,为城市道路的排水与生态功能增添活力<sup>[3]</sup>。

海绵城市水循环收集与释放示意图

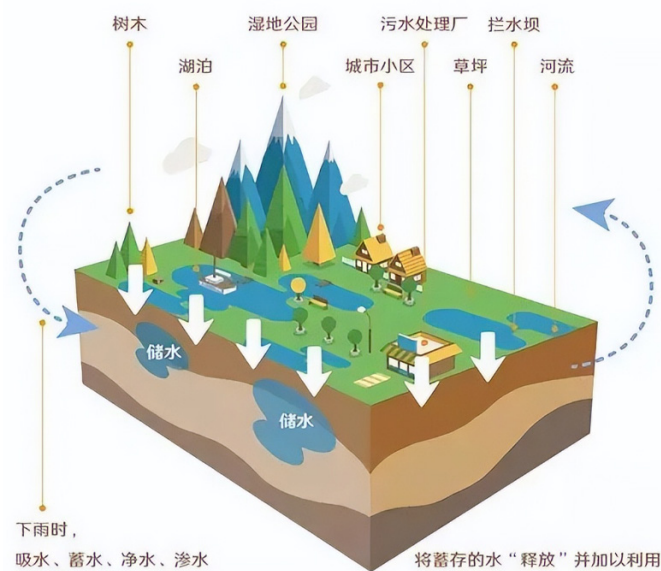


图1 海绵城市

## (四) 建筑垃圾资源化

在当前“双碳”战略目标引导下,建筑垃圾资源化利用成了推动绿色低碳循环发展的重要部分,它的意义重大,既积极响应了国家和地方政府的政策号召,又能有效节约原生资源、大幅降低能耗以及明显减少碳排放,城市建设过程中,产生了大量建筑废渣和废土等固体废

弃物，这些被叫作“渣土”的废弃物，要是按照传统方式运出园区处理，会耗费很多财力、人力和物力资源，不但增加了环境负担，还违背了可持续发展原则<sup>[4]</sup>。不过建筑垃圾资源化利用为这个难题提供了创新的解决办法，利用专业的破碎与筛分设备，把渣土按照设计要求准确处理到合适的粒径范围，这些原本被当作废弃物的建筑垃圾就能广泛用在城市道路的基层、底基层等关键地方（如图2），这个转变不但实现了废弃物的有效利用，

还促进了资源的循环再生，显示出绿色建材的很大潜力。以上海虹桥枢纽道路建设为例，这个项目在规划和实施过程中，大量采用了建筑垃圾作为道路建设材料，具体来说建筑垃圾被广泛用在道路路基、垫层与基层，使用量大概有24万立方米，这一做法不但很大程度降低了对原生石料等自然资源的依赖，减少了开采与运输过程中的能耗与碳排放，还通过建筑垃圾的再利用，实现了经济效益与社会效益的双重提高。

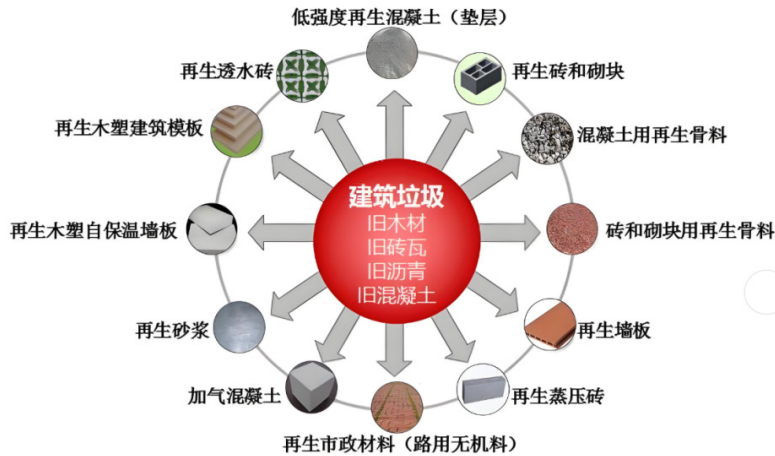


图2 建筑垃圾再利用

（五）可再生能源的应用

在道路系统的日常运营中，照明、养护作业及交通信号等系统对电能的需求持续攀升，尤其是照明系统，其能耗占比尤为突出。面对道路里程的不断扩展与能源消耗的急剧增加，将节能技术和可再生能源融入道路设计已成为时代发展的必然趋势。风能与太阳能，作为可再生能源领域的佼佼者，凭借其清洁、简单且廉价的特性，正逐步成为道路能源供应的重要选项。在城市道路设计中，加强对太阳能的利用尤为关键。例如，太阳能LED路灯的广泛应用，不仅有效降低了照明系统的能耗，还实现了能源的可持续利用。这些路灯通过内置的太阳能电池板，在日间吸收并储存太阳能，转化为电能供夜间照明使用，极大地减少了对传统电网的依赖<sup>[5]</sup>。此外，风电互补LED路灯的引入，更是将风能与太阳能的优势完美结合，进一步提升了道路照明的能源自给率（如图3、4、5）。除了照明系统，道路沿线的公共设施，如公厕、停车场等，也开始采用分布式光伏发电技术，实现了能源的自发自用<sup>[6]</sup>。这些设施通过安装光伏板，将太阳能转化为电能，不仅满足了自身的用电需求，还减少了碳排放，推动了绿色低碳的能源自足模式<sup>[7]</sup>。

结语

城市道路交通工程与绿色建筑材料的协同发展策略至关重要。随着城市化进程加速，道路建设需注重环保与可持续性。采用绿色建筑材料，如再生混凝土、透水沥青等，既能减轻环境负担，又能提升道路性能。城市道路交通工程与绿色建筑材料协同并进，是构建绿色、低碳、智慧城市的必由之路。



图3、4、5 LED路灯

参考文献

[1] 杨帆. 绿色交通工程施工技术管理研究 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2024, (06): 130-132.  
 [2] 姜通, 谭桥. 山地城市绿色交通规划实施路径与发展策略研究——以贵阳市为例 [J]. 交通科技与管理, 2023, 4 (07): 36-38.  
 [3] 董永盛. 绿色环保型再生混凝土在道路工程中的应用 [J]. 交通世界, 2020, (Z1): 198-199.  
 [4] 王辉. 进博会绿色道路照明配套工程建设的模式研究与实践 [J]. 上海节能, 2019, (03): 190-194.  
 [5] 张鲲. 绿色道路施工技术及应用 [J]. 住宅与房地产, 2018, (16): 241.  
 [6] 曹国峰. 岩土工程的低碳绿色道路 [J]. 建筑与文化, 2018, (01): 35-37.  
 [7] 杨富民, 张超伟, 吴青松, 等. 浅析市政绿色道路施工的具体措施 [J]. 低碳世界, 2017, (34): 265-266.