

# 绿色公路建设材料研发与应用研究

纪续

辽宁省交通运输事业发展中心, 辽宁 沈阳 110005

DOI:10.61369/ERA.2025120001

**摘 要 :** 随着环保意识的增强, 绿色公路作为交通基础设施可持续发展的重要载体, 已成为各国道路工程领域的重点发展方向。基于全生命周期环境友好理念, 公路建设领域的绿色化转型已成为行业共识。其中, 环保型筑路材料的创新研发与工程应用是实现这一转型的关键技术路径<sup>[1]</sup>。研究表明, 采用再生骨料、透水铺装材料、高性能水泥基复合材料、生物基聚合物以及天然植物纤维增强材料等新型环保建材, 既能有效降低对不可再生资源的消耗, 又能大幅减少公路全生命周期内的生态环境负荷。

**关 键 词 :** 绿色公路; 施工建设; 环保材料; 可持续发展

## Research on The Development and Application of Green Highway Construction Materials

Ji Xu

Liaoning Transportation Development Center, Shenyang, Liaoning 110005

**Abstract :** With the enhancement of environmental protection awareness, green highways, as an important carrier for the sustainable development of transportation infrastructure, have become a key development direction in the field of road engineering in various countries. Based on the concept of environmental friendliness throughout the entire life cycle, the green transformation in the highway construction field has become an industry consensus. Among them, the innovative research and development and engineering application of environmentally friendly road - building materials are the key technical paths to achieve this transformation<sup>[1]</sup>. Research shows that the use of new environmentally friendly building materials such as recycled aggregates, permeable pavement materials, high - performance cement - based composite materials, bio - based polymers, and natural plant fiber - reinforced materials can not only effectively reduce the consumption of non - renewable resources but also significantly reduce the ecological environmental load during the entire life cycle of highways.

**Keywords :** green highway; construction; environmental protection materials; sustainable development

### 前言

随着气候变化、环境污染和资源短缺问题日益凸显, 世界各国都在积极探索生态友好型道路工程建设模式, 其中环境友好型材料的研发与运用成绿色交通基础设施建设重要突破口, 这类材料既包括对传统建材改良和循环利用, 也涉及创新材料研制与推广, 在降低温室气体排放、节约能源消耗以及实现废弃物资源再生等方面, 这类材料展现出明显生态效益, 基于此深入开展绿色道路工程中环保建材应用研究, 系统梳理其实践经验并探索可持续发展策略, 对促进绿色交通基础设施建设有深远学术价值和现实指导意义。

## 一、绿色公路建设原则

### (一) 节能减排

按照绿色公路建设理念出发, 从全生命周期视角构建节能减排实施框架, 在规划环节利用多目标路线优化模型实现交通网络整合, 采用最小环境干扰路径算法降低运输距离以控制燃油消耗与碳排放, 设计阶段引入生命周期评价方法, 优先选用温拌沥青技术和工业固废再生骨料等低碳特性新型筑路材料, 减少原材料

开采生态影响, 施工管理方面建立能耗监测体系<sup>[2]</sup>, 通过 BIM 技术优化工序衔接并实施设备负载匹配策略, 用光伏等可再生能源替代传统能源, 运营维护阶段部署车路协同系统, 运用大数据分析实现动态交通管控, 通过可变限速和匝道控制等手段提升路网通行效率以降低机动车污染物排放强度。

### (二) 资源再利用

绿色公路工程秉持资源再利用的核心理念, 通过高效回收和循环利用各类资源, 降低对新鲜资源依赖并减少废弃物生成, 保

障公路建设持续发展,项目规划与设计阶段全面评估现有资源潜在价值,优先实施既有道路改造与扩建,减轻土地使用和生态损害,建筑材料选择提倡采用再生资源,像再生沥青混合料、再生混凝土及工业副产品等,降低自然资源挖掘并处理工业废弃物,减轻环境负担,施工阶段强调废弃物分类回收与再利用,普及模块化、预制化施工技术,通过标准化生产和装配式施工减少材料损耗和能源使用,公路运营与维护期运用现代检测技术与管理系统,定期监测路面状况并及时修复局部,延长道路使用寿命减少大规模重建资源投入,此外推广应用可再生能源和低能耗设备,减少能源消耗并降低碳排放。

### (三) 生态保护

绿色公路建设基于生态保护理念遵循环境友好原则,其核心目标是实现交通基础设施和生态环境协调发展,在前期规划环节运用 GIS 技术做生态敏感性评估,优先选对生态脆弱区影响最小的线路方案来规避重要生物栖息地,工程设计中引入生态补偿机制构建含动物迁徙通道等的立体生态网络系统,保障区域生态过程的完整性,施工阶段实施全过程环境监理制度采用模块化施工工艺,严格控制作业面扰动范围并同步开展边坡生态防护工程,通过推广清洁能源施工设备等绿色技术手段,显著降低施工活动对大气水体土壤环境的影响,运营维护阶段建立生态监测预警系统定期评估公路运营累积效应,实施动态化生态修复措施,采用基于自然的解决方案开展路域生态修复,通过乡土植物群落构建和微地形改造提升道路廊道生态服务功能,养护作业优先选择生物基材料等环境友好型产品,建立全生命周期环境影响最小化的长效管理机制。

## 二、绿色公路建设材料的研发和应用

### (一) 环保型路面材料

#### 1. 温拌沥青混合料

温拌沥青混合料是近些年在公路建设里广泛应用的环保型路面材料,和传统热拌沥青混合料相比,温拌沥青混合料借助添加特定温拌剂或采用特殊工艺,能在较低温度条件下进行拌和与摊铺作业,这一特性让温拌沥青混合料在生产过程中具备显著的节能减排优势,相关研究数据显示,采用温拌沥青技术可让沥青混合料的拌和温度降低 $30^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{C}$ ,进而减少燃料消耗大约 $20\% - 30\%$ ,同时大幅降低二氧化硫、氮氧化物、颗粒物等有害气体排放,降幅可达 $30\% - 50\%$ ,温拌沥青混合料在性能方面也有着出色表现,它具有良好的高温稳定性、低温抗裂性和水稳定性,能够有效延长路面的使用年限。

#### 2. 再生沥青混合料

随着公路建设里程持续不断增加,废旧沥青路面材料的产生量日益庞大,再生沥青混合料技术的出现,为解决这个问题提供了有效途径,再生沥青混合料是把废旧沥青路面材料经破碎、筛分并添加适量新沥青和再生剂等工艺处理后,重新拌和形成可用于路面铺设的材料,该技术不仅能实现废旧沥青路面材料的资源化利用,减少对新石料和沥青的需求以降低资源消耗,还能显著

减少废弃物排放从而减轻环境压力,研究表明每使用1吨废旧沥青路面材料,可节约约0.5吨新石料和0.1吨新沥青,同时减少约0.8吨二氧化碳排放,目前再生沥青混合料技术已较为成熟,根据再生工艺不同可分为厂拌热再生、厂拌冷再生、就地热再生和就地冷再生等多种方式,不同再生工艺适用于不同路面状况和工程需求,在实际应用中需根据具体情况合理选择。

### (二) 节能型照明材料

#### 1. LED 照明灯具

在公路照明这个领域当中,LED 照明灯具依靠其卓越节能性能与长寿命等优势,正逐渐成为主流的照明设备,LED 也就是发光二极管,它是一种能够把电能直接转化为光能的半导体器件,其发光效率远远高于传统照明灯具,像高压钠灯、荧光灯之类的,相关数据所显示的情况是,LED 照明灯具光效能够达到 $100 - 200\text{lm/W}$ ,相比较而言,高压钠灯的光效仅仅只有 $50 - 100\text{lm/W}$ ,荧光灯的光效为 $60 - 100\text{lm/W}$ ,这就意味着在提供相同光照亮度的具体情况下,LED 照明灯具的能耗能够降低 $30\% - 70\%$ ,LED 照明灯具使用寿命比较长,一般能够达到 $50000 - 100000$ 小时,是高压钠灯使用寿命( $10000 - 20000$ 小时)的好几倍,长寿命特性不但减少了灯具的更换次数,降低了维护成本,而且还减少了因灯具更换产生的废弃物以及对交通的影响,LED 照明灯具具备响应速度快、显色性好、可调节光色和亮度等优点,能够依照不同环境和需求进行灵活调整,为公路照明提供更加优质且舒适的光照环境。

#### 2. 太阳能照明系统

太阳能属于清洁且可再生的能源,在公路照明领域应用有重要环保意义。太阳能照明系统主要由太阳能电池板、蓄电池、控制器和照明灯具等部分构成。它的工作原理是借助太阳能电池板把太阳能转化成电能,然后存储在蓄电池当中。当夜幕降临或者光线不足的时候,控制器会自动控制蓄电池向照明灯具供电,以此实现照明功能<sup>[9]</sup>。太阳能照明系统不需要外接电源,不会受到电网供电方面的限制,具备安装方便、维护简单以及无污染等优点。在一些偏远地区或者电网覆盖困难的路段,太阳能照明系统有着独特优势,能够有效解决公路照明方面的问题。太阳能照明系统的应用还可以显著减少对传统能源的依赖,进而降低碳排放。据估算,一套功率为 $30\text{W}$ 的太阳能照明系统,每年能够减少二氧化碳排放大约 $100\text{kg}$ 。目前,我国在一些高速公路服务区、乡村公路以及部分城市的景观照明项目里,已经广泛推广应用太阳能照明系统,并且取得了良好的示范效果。

### (三) 生态防护材料

#### 1. 植被混凝土

植被混凝土是把水泥、骨料、土壤、植物种子、肥料、保水剂等多种成分按一定比例混合制成的生态防护材料,它具备良好的护坡性能和生态修复功能。在护坡方面,植被混凝土依靠水泥的胶结作用形成有一定强度的防护层,能有效防止边坡土体坍塌和水土流失情况发生。植被混凝土里添加的植物种子在适宜条件下会发芽生长,植物根系和混凝土防护层相互交织进而增强边坡稳定性。在生态修复方面,植被混凝土为植物生长提供适宜土壤

环境和养分,植物生长可改善边坡生态环境、增加植被覆盖率、美化景观,还能吸收空气中有害气体净化空气。植被混凝土适用于各类土质边坡和岩石边坡的防护与生态修复工程。在实际应用时,可依据边坡坡度、地质条件、气候特点以及植物生长习性等因素合理调整其配方和施工工艺。

## 2. 土工格室

土工格室是用高强度土工合成材料制成的三维网状结构材料,它具备强度高、柔韧性好、施工方便等诸多优点,在公路路基加固、边坡防护以及生态防护等多个方面都有广泛应用。在路基加固这个方面,土工格室能够有效约束路基填土,提升路基承载能力与稳定性,减少路基的沉降和变形情况。其三维网状结构可以增加土体和格室之间的摩擦力与咬合力,让土体形成一个整体来共同承受上部荷载。在边坡防护方面,土工格室可用于铺设在边坡表面,防止坡面土体出现滑落和冲刷现象<sup>[4]</sup>。土工格室还能和植被相结合形成生态防护体系,在格室内填充土壤并播撒植物种子,植物生长之后根系穿过格室和边坡土体紧密结合,进一步增强边坡防护效果和生态功能。土工格室应用范围十分广泛,可依据不同工程需求来选择不同规格和材质的土工格室。

## 三、绿色公路建设材料的可持续发展路径

### (一) 加强技术研发和创新

绿色公路建设过程中,实现环保材料的可持续发展需要依托技术创新体系的构建。首先,组建专业化的环保材料研发平台,整合高校、科研院所和企业的优势资源,开展基础理论研究和应用技术开发;其次,通过设立专项研究基金,重点支持高性能、低成本环保材料的研制工作;再者,搭建产学研协同创新机制,组织多学科交叉研究团队,着力解决材料配方优化、生产工艺改进等关键技术问题,显著提升材料的耐久性、环境友好性等核心指标。最后,通过建设示范工程对新型材料进行系统性验证,基于全生命周期评估方法持续优化材料性能参数,确保其工程适用性和经济可行性。

### (二) 建立完善的标准和规范

在推进绿色公路建设进程中,构建系统化的标准规范体系是确保环保建材可持续发展的核心举措。首先,组建由行政主管部门、行业协会及专家学者构成的专业委员会,整合国内外前沿研究成果与工程实践案例,编制包含原材料甄选、制造工艺、性能评估、施工工艺及质量管控等维度的技术导则,使环保建材的综合性能指标全面优于传统建材。其次,实施产品准入认证机制,对生产企业实施资质审核与动态抽检制度,构建环保建材质量追溯体系,从源头把控产品质量。为确保标准执行效力,建议设立具有公信力的第三方评估机构,对环保建材全生命周期实施质量监测,出具专业检测报告与技术评价,为材料选用提供决策支持。此外,政府部门应通过财税优惠和专项补贴等激励措施,调动企业参与标准研制的积极性,促进技术革新与产业转型。

门、行业协会及专家学者构成的专业委员会,整合国内外前沿研究成果与工程实践案例,编制包含原材料甄选、制造工艺、性能评估、施工工艺及质量管控等维度的技术导则,使环保建材的综合性能指标全面优于传统建材。其次,实施产品准入认证机制,对生产企业实施资质审核与动态抽检制度,构建环保建材质量追溯体系,从源头把控产品质量。为确保标准执行效力,建议设立具有公信力的第三方评估机构,对环保建材全生命周期实施质量监测,出具专业检测报告与技术评价,为材料选用提供决策支持。此外,政府部门应通过财税优惠和专项补贴等激励措施,调动企业参与标准研制的积极性,促进技术革新与产业转型。

### (三) 推动产业链协同发展

绿色公路基础设施建设过程中,促进产业链各环节的协同创新是确保环保建材可持续发展的关键策略。构建产学研用一体化的产业生态体系,有助于提升全产业链的运行效能与市场竞争力。具体实施路径包括:首先,搭建环保建材生产企业、科研院所与公路建设单位的战略合作平台,通过组建产业技术创新联盟,实现从原材料研发、产品制造到工程应用的全链条协同;其次,发挥行业龙头企业的示范带动效应,整合中小企业的创新资源,通过技术协同创新机制提升产业链整体创新水平;再次,建议设立政府引导的环保建材专项研发基金,重点支持关键共性技术攻关和产业化示范项目,降低企业创新风险;最后,完善产业配套服务体系,构建专业化的技术咨询和市场信息平台,优化供应链协同管理,提高资源利用效率。

## 四、结束语

综上所述,绿色公路工程建设实践中,环保型材料的广泛应用有效促进了交通基础设施建设的生态化转型与可持续发展。研究表明,采用再生骨料、透水铺装材料、高强混凝土、生物基聚合物以及天然纤维复合材料等新型环保建材,不仅大幅减少了工程建设过程中的资源损耗与环境负荷,同时显著提升了道路工程的使用年限与结构性能<sup>[5]</sup>。展望未来,随着材料科学与工程技术的持续创新,环保建材的性能参数与应用领域将得到进一步优化与扩展。通过深化产学研合作、健全技术标准体系、完善产业链协同机制等举措,绿色公路建设必将实现更高层次的发展。

## 参考文献

- [1] 张青. 绿色公路理念下的高速公路景观绿化建设研究 [J]. 运输经理世界, 2024(17): 150-152.
- [2] 车承志, 刘学欣, 王凯, 等. 安徽省无岳高速绿色公路建设实践 [J]. 中国公路, 2023(15): 112-115.
- [3] 李华, 赵强, 孙明. 绿色公路建设中的节能减排技术应用研究 [J]. 交通科技与经济, 2024(03): 87-91.
- [4] 周敏, 吴刚, 郑丽. 某山区绿色高速公路生态保护设计与实践 [J]. 公路工程, 2023(06): 223-227.
- [5] 陈辉, 王晓丽, 刘勇. 绿色公路材料循环利用的案例分析与对策建议 [J]. 筑路机械与施工机械化, 2024(05): 33-37.