

# Exploration and Discussion on Green Highway Design in Highway Reconstruction and Expansion

Bailu Zheng

Sichuan Provincial Highway Planning, Survey and Design Research Institute Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610000, China

## Abstract

Under the guidance of the national transportation strategy and the “Dual Carbon” goals, highway reconstruction and expansion projects urgently require a green and low-carbon transition. Current engineering practices face dual challenges of intensified ecological disturbance and inefficient resource utilization, specifically manifested as habitat fragmentation, severe soil erosion, and low recycling rates of construction materials. By systematically integrating five technical systems—ecological corridor construction, low-carbon material application, comprehensive water resource management, coordinated pollution prevention, and life cycle assessment—a complete green highway design solution has been developed. Ecological corridor technology alleviates biological isolation effects through animal passages and vegetation buffer zones; material innovations like recycled aggregates and warm-mix asphalt reduce carbon emissions; the sponge road concept enables rainwater recycling; integrated pollution control systems enhance environmental quality along routes; and digital twin technology empowers full-process environmental management. These innovative practices provide replicable technical pathways for highway reconstruction projects, promoting coordinated development between infrastructure construction and ecological conservation.

## Keywords

highway reconstruction; green highway design; ecological corridor; low-carbon materials

# 公路改扩建中绿色公路设计探索与讨论

郑百录

四川省公路规划勘察设计研究院有限公司，中国·四川成都 610000

## 摘要

在交通强国战略和“双碳”目标引领下，公路改扩建工程亟需向绿色低碳转型。当前工程实践面临生态扰动加剧与资源利用低效的双重挑战，具体表现为栖息地碎片化、水土流失严重、建筑材料循环利用率低等问题。通过系统整合生态廊道构建、低碳材料应用、水资源综合管理、污染协同防控及全生命周期评估五大技术体系，形成完整的绿色公路设计解决方案。生态廊道技术用动物通道和植被缓冲带缓解生物隔离效应；材料创新如再生骨料和温拌沥青降低碳排放；海绵公路理念实现雨水资源化利用；集成化污染控制系统提升沿线环境质量；数字孪生技术赋能全过程环境管理。这些创新实践为公路改扩建项目提供可复制技术路径，推动基础设施建设与生态环境协调发展。

## 关键词

公路改扩建；绿色公路设计；生态廊道；低碳材料

## 1 引言

随着《绿色交通“十四五”发展规划》的深入推进，公路基础设施建设正面临绿色转型的迫切需求。当前我国公路总里程已突破 500 万公里，早期建设的公路网陆续进入改扩建周期，传统建设模式带来的生态破坏和资源浪费问题日益凸显。在新版《公路环境保护设计规范》和《绿色公路评价标准》政策框架下，公路改扩建项目需要统筹生态安全与交通功能，实现从单一交通导向向综合价值创造的转变。

**【作者简介】**郑百录（1987-），男，中国辽宁盘锦人，硕士，高级工程师，从事岩土工程设计，道路工程方面研究。

近年来，通过生态廊道、低碳材料等技术创新应用，部分示范工程已取得显著成效，但整体上仍存在技术体系不完善、标准规范滞后等挑战。这就需要从设计源头系统整合绿色理念，通过多专业技术协同，构建与自然和谐共生的公路基础设施体系。

## 2 公路改扩建中存在的关键问题

### 2.1 生态扰动与栖息地割裂加剧

公路改扩建工程对生态环境的干扰主要体现在植被清除、土壤结构破坏、水文条件改变以及生物栖息地碎片化等方面。在工程实施过程中，大规模的土地开挖和路基拓宽会直接导致表层植被覆盖度下降，破坏土壤团粒结构，降低土

壤持水能力和抗蚀性，进而引发水土流失现象。水文环境的改变表现为地下水水流场被干扰，地表径流路径发生变化，可能影响区域水循环平衡。栖息地碎片化是生态影响的核心问题，公路廊道形成物理屏障，阻断物种间的迁移与基因交流，对区域生物多样性构成长期威胁。现有环评流程往往未能充分识别生态敏感目标，保护措施多停留在合规性层面，缺乏对生态系统完整性的深入考量。施工阶段的振动噪声污染进一步加剧生态压力，影响野生动物行为模式，导致种群分布格局改变。生态补偿机制实施效果有限，难以有效抵消工程造成的生态损失，凸显生态系统服务功能维护的紧迫性。

## 2.2 资源循环利用水平偏低

公路改扩建工程呈现出显著的资源密集型特征，在材料、能源及土地资源利用方面存在明显短板。传统建筑材料如天然骨料和沥青的大量使用，不仅消耗不可再生资源，其开采过程还伴随严重的生态破坏。建筑垃圾资源化利用程度较低，大量拆除产生的废旧沥青混合料和混凝土未能得到有效再生利用，既占用土地资源又造成环境污染。能源消耗结构不合理，施工机械能效水平普遍偏低，重载设备的燃油消耗强度居高不下。运营阶段由于交通流组织优化不足，常导致车辆频繁启停，增加额外能源消耗。水资源管理缺乏系统性规划，尤其在干旱半干旱地区，工程用水与生态用水、生活用水矛盾突出。资源利用效率低下的根源在于全生命周期管理理念缺失，再生材料技术标准体系不完善，市场激励机制不足，导致线性经济模式仍占主导地位。这种资源利用方式不仅推高工程建设成本，更与可持续发展原则相悖。

## 3 绿色公路设计理念在改扩建工程中的创新实践路径

### 3.1 生态廊道建设与栖息地保护技术应用

绿色公路设计在生态保护领域呈现出从被动避让到主动修复的理念转变，生态廊道构建成为缓解公路生态影响的核心技术路径。基于景观生态学原理，通过构建“路基 - 廊道 - 斑块”的完整生态网络体系，可有效降低公路对生物栖息地的碎片化影响。具体实践中，动物通道设计需结合区域物种特性，针对中小型哺乳动物设置生态涵洞，其设计不仅考虑通行功能，更注重营造近自然的生态环境，通过铺设本土土壤、种植适宜植被等方式提升通道利用率（如图 1）。



图 1 动物通道设计图

对于树栖动物和大型兽类，生态天桥以其足够的宽度和植被覆盖，成为连接被公路割裂的生态斑块的有效手段。在植被缓冲带建设方面，采用本土植物进行多层次配置，形成具有过滤污染物、降低噪声等多重功能的生态屏障。低影响开发技术的应用体现在精细化施工管理，通过减少作业面、采用预制装配式构件等措施控制生态干扰范围。生态护坡技术结合土木工程与生态工程优势，采用植生混凝土、生态袋等材料，在保证边坡稳定的同时为植被恢复创造条件。施工阶段的生态监测体系建立尤为重要，通过布设红外监测设备、声学记录仪等工具，实时掌握野生动物活动规律，为动态调整施工方案提供依据。这些技术的综合应用，使公路工程从单纯的交通设施转变为生态系统的有机组成部分，实现基础设施建设与生态保护的双赢。

### 3.2 低碳材料选择与能源消耗优化策略

在材料创新领域，绿色公路设计推动建筑材料从线性消耗向循环利用转变。建筑垃圾资源化利用技术将拆除产生的废旧沥青混合料和混凝土通过专用设备处理，生成符合路用性能要求的再生骨料。这类再生材料应用于路基工程时，需通过配合比优化设计和性能验证，确保其力学指标满足规范要求。温拌沥青技术通过添加有机添加剂或采用泡沫沥青工艺，使混合料拌和温度降低 30-50°C，显著减少燃料消耗和温室气体排放。

在能源系统优化方面，公路沿线设施能源供给模式正在经历深刻变革。光伏声屏障技术将噪声防治与新能源发电有机结合，采用高效单晶硅电池板制成的隔音墙，在满足降噪需求的同时实现能源自给。智慧照明系统通过配备自适应调光功能，根据车流量、天气条件自动调节亮度，实现能源精细化管理。施工阶段的能源转型体现在电动施工机械的推广应用，特别是压路机、摊铺机等大型设备的电动化改造，配合移动式充电设施，有效解决野外施工的充电需求。物流优化系统通过物联网技术实时监控车辆位置和载重状态，智能规划运输路径，减少空驶率。这些技术创新共同构建了公路工程全生命周期的低碳化路径，为行业碳达峰碳中和目标实现提供技术支撑。

### 3.3 水资源循环利用与防洪设计一体化

绿色公路的水资源管理遵循海绵城市理念，构建“渗、滞、蓄、净、用”的完整水循环系统。透水铺装技术的应用突破传统路面排水思维，采用大孔隙沥青混合料或透水混凝土铺装路面结构层，使雨水能够迅速下渗补充地下水，同时有效削减地表径流峰值。雨水花园作为生物滞留设施，通过特殊配比的种植土和适生植物组合，实现对径流雨水的净化与缓释。

在降雨强度较大的地区，线性排水沟与沉淀池、湿地净化系统形成多级处理链条，初期雨水经沉淀去除悬浮物后进入人工湿地区域，通过植物吸收和微生物分解作用进一步净化水质（如图 2）。收集后的雨水经过适当处理可用于绿化灌溉、道路洒水等用途，显著提高水资源利用效率。防洪

设计方面，基于气候韧性理念，通过水文计算确定极端天气下的径流量，相应提高排水系统设计标准。在易涝路段采用抬高路基与设置滞洪区相结合的措施，路基抬高高度根据历史洪水位确定，滞洪区容积通过水文模型模拟计算。BIM技术的应用实现排水系统的三维可视化设计，通过模拟不同降雨情景下的管网运行状态，优化管径配置和坡度设计。这种一体化水资源管理方案不仅保障公路自身安全运营，更对区域水生态修复产生积极影响。



图2 城市线性排水沟的应用图

### 3.4 噪声屏障与空气污染控制措施集成

公路交通污染控制采取主动防治与被动治理相结合的技术路线。噪声防治方面，声屏障设计突破传统的单一隔声功能，发展为集隔声、生态、景观于一体的综合治理系统。微穿孔板吸声结构通过板厚和孔径的优化设计，在特定频率范围形成高效吸声峰值的“亥姆霍兹共振器”效应。低噪声路面技术通过调整沥青混合料级配，增加路面孔隙率，利用声波在多孔介质中的能量耗散机理降低轮胎-路面噪声。

绿化降噪系统采用乔灌草复层种植模式，利用植物茎叶对声波的散射吸收作用，形成生态声屏障。空气污染控制从源头减排和末端治理两个维度展开，纵坡优化设计通过减小最大纵坡值，降低重载车辆爬坡时的燃油消耗和尾气排放。沿线充电基础设施的布设考虑电动汽车续航里程和充电需求，采用快慢充结合的模式提供服务。绿化带植物配置选择对PM2.5、氮氧化物等污染物吸附能力强的树种，形成生物过滤系统。环境监测网络在道路沿线布设各类传感器，实时采集噪声、空气质量数据，为管理决策提供依据。这种集

成化污染控制体系在改善沿线环境质量的同时，提升了公路与周边环境的相容性。

### 3.5 全生命周期评估与可持续性评价方法

绿色公路评价体系建立在全生命周期评估方法论基础上，涵盖材料生产、施工建设、运营维护直至拆除回收各个阶段。碳足迹核算采用过程分析法，量化每个环节的能源消耗和温室气体排放，识别关键影响因子。生态足迹评估将工程建设对自然资源的占用进行标准化计量，通过“生态承载力”概念衡量发展的可持续性。数字孪生技术构建与实体公路对应的虚拟模型，通过接入实时监测数据，模拟分析不同情景下的环境影响。

在评价标准方面，绿色公路认证体系设置多层次指标，包括场地规划、材料资源、能源环境、创新设计等维度。每个指标项设置基准值、优秀值和卓越值三个等级，引导项目不断追求更高环保绩效。政策激励机制将绿色评价结果与项目审批、资金补助等挂钩，形成推动技术创新的市场动力。大数据分析技术对运营期的交通流、能耗、环境等数据进行深度挖掘，发现优化改进空间。这种全周期、多维度的评价方法使绿色公路建设从理念倡导走向量化管理，为行业可持续发展提供科学依据。

## 4 结语

绿色公路设计理念深入实践，标志公路基础设施建设进入生态文明新阶段。通过生态廊道构建、材料技术创新、水资源管理优化等措施，解决改扩建工程生态环境影响问题。未来，应完善绿色公路标准体系，纳入生物多样性保护、碳减排等指标，推动数字孪生、人工智能等新技术用于环境监测。同时加强政策引导，通过绿色金融、碳交易等机制创新激发市场活力。下一步，重点开展地域适应性技术研究，针对不同气候区和生态类型制定差异化方案，建立长效运维机制。绿色公路建设是技术革新与发展理念变革，需设计、施工、运维全链条协同，实现交通基础设施与自然生态和谐共生。

## 参考文献

- [1] 尚林菁.绿色公路设计在旧路改造中的应用探究[J].中文科技期刊数据库（全文版）工程技术, 2023(24).
- [2] 王杰.改扩建公路路基路面设计中常见问题及解决措施[J].工程管理与技术探讨, 2023(006).
- [3] 孟凡隆.公路规划设计中绿色公路理念的融入探讨[J].智慧城市应用, 2021(005).
- [4] 张德强, 刘保.高速公路改扩建桥梁设计关键技术研究[J].工程技术研究, 2021, 6(4):2.