

绿色低碳理念下农村公路全寿命周期质量控制体系研究

杨雄彬

云和县交通运输发展中心 浙江丽水 323600

DOI: 10.32629/ems.v8i4.19732

[摘要] 本文立足浙江丽水实践,剖析绿色低碳理念下农村公路全寿命周期质量控制内涵。针对当前建设管养中资源消耗高、循环利用不足等痛点,从规划选址生态避让、施工过程碳管控、运维材料循环利用三方面,提炼全寿命周期绿色质量控制关键要素。同时提出完善绿色技术标准、强化全过程数字监管、培育专业队伍等实施路径,旨在构建生态友好、资源节约的质量控制体系,推动农村公路高质量发展,为乡村振兴提供绿色交通支撑。

[关键词] 绿色低碳; 农村公路; 全寿命周期; 质量控制; 可持续发展

农村公路作为乡村振兴的毛细血管,长期存在重建轻养、重速度轻环保问题,全寿命周期碳足迹管控不足。浙江省作为绿水青山就是金山银山理念发源地,丽水市更是生态先行示范区,在农村路高质量发展中面临新挑战。传统粗放模式已难适应新时代要求,亟需将绿色低碳理念融入规划、建设、管养全过程。在此背景下研究构建农村公路全寿命周期绿色质量控制体系,对破解资源环境约束、推动交通可持续发展具有紧迫现实意义。

一、绿色低碳理念下农村公路全寿命周期质量控制内涵

(一) 绿色低碳理念的核心要义时代背景

绿色低碳理念的核心要义在于坚持人与自然和谐共生,将生态优先融入发展全过程。它主张通过能源结构优化、资源循环利用及技术创新,以最小环境代价获取最大发展效益。这一理念植根于全球气候危机加剧,极端天气频发,国际社会减排共识空前凝聚。中国主动承担大国责任确立双碳战略目标,将其纳入生态文明建设整体布局。当前我国经济迈向高质量发展新阶段,传统粗放型模式面临资源环境硬约束难以为继。在乡村振兴与交通强国战略交汇的关键期,农村公路建设亟需摆脱高耗能路径依赖。践行绿色低碳理念不仅是应对全球气候挑战的必然要求,更是破解国内资源瓶颈、培育新质生产力、满足人民对优美生态环境向往的必由之路,标志着发展逻辑的深刻重塑。

(二) 农村公路全寿命周期的阶段划分特征

农村公路全寿命周期通常划分为规划决策、勘察设计、建设施工、运营养护及报废回收五个关键阶段,规划决策阶

段具有宏观导向性,重点在于路线选址与生态红线避让,从源头锁定碳足迹基线。勘察设计阶段体现技术前置性,通过优化线形指标、推广再生材料应用,决定项目全周期的资源消耗上限^[1]。建设施工阶段呈现高能耗、高排放特征,是碳排放的峰值期,核心在于绿色施工工艺与现场精细化管理。运营养护阶段周期最长且具持续性,特征表现为低频维护与性能保持的平衡,强调预防性养护以延长使用寿命。最后的报废回收阶段则凸显资源循环性,聚焦废旧路面材料的再生利用与无害化处理。全周期各阶段并非孤立存在,而是通过信息流与物质流紧密关联,前一阶段的决策直接制约后续阶段的绿色绩效,唯有系统协同方能实现整体低碳目标。

(三) 绿色低碳导向下质量控制体系的逻辑架构

绿色低碳导向下的质量控制体系逻辑架构遵循目标引领、过程管控、多维协同与持续改进的闭环路径。顶层以碳中和愿景与工程品质双重达标为核心,确立涵盖资源消耗、环境影响及实体质量的综合评价指标。中层构建全寿命周期管控机制,将低碳要求深度融入规划选址、设计优化、绿色施工及长效管养各环节,形成源头减量、过程降碳、末端循环的控制链条。底层依托技术创新与数字赋能,利用智能化手段实现碳排放实时监测与质量动态预警,确保数据驱动科学决策。横向建立相关部门监管、企业主体与社会监督的多元协同治理网络,强化制度约束与市场激励;纵向打通各阶段信息壁垒,实现质量数据与碳足迹数据的融合共享^[2]。最终通过计划、执行、检查、处理的螺旋式上升机制不断修正偏差,推动质量管理从单一合规向质量与绿色双优转型。

二、当前农村公路建设管养工作现状

(一) 农村公路网络规模扩展结构优化情况

当前农村公路网络规模扩展已从单纯追求里程增长转向存量优化与增量提质并重,呈现出由通达向畅通、安全、舒适演进的结构优化特征。在规模扩展上重点聚焦于补齐偏远地区、自然村组及产业路网的短板,消除断头路与瓶颈路段,显著提升路网密度与覆盖深度,确保基础服务均等化。在结构优化方面着力调整技术等级比例,大幅提高三级及以上公路占比,逐步淘汰低等级砂石路,推动路面黑色化与硬化升级。同时路网空间布局更加契合乡村产业规划与人口分布,强化县乡道主干线连接能力,完善村道微循环体系,形成层级分明、功能互补的网络结构。此外注重路域环境协调与安全设施配套,通过窄路加宽、危桥改造及生命防护工程提升整体抗灾韧性。这种规模与结构的双重优化有效支撑了城乡融合发展,为乡村振兴提供坚实的交通基础保障。

(二) 现有施工工艺流程材料应用普遍做法

当前农村公路施工工艺流程中,路基处理广泛利用开挖弃渣、建筑再生骨料及工业废渣进行填筑,既降低外购成本又减少环境负荷,同时推广土工合成材料以增强路基稳定性。路面基层施工多采用厂拌水泥稳定碎石技术,严格控制配合比与压实度,确保半刚性基层强度均匀。面层建设上沥青路面普遍应用改性沥青以提升抗裂与耐久性能,并尝试温拌沥青技术降低能耗;水泥混凝土路面则重点推广高性能外加剂与纤维增强技术,优化工作性与抗折强度^[3]。此外废旧轮胎橡胶粉、脱硫石膏等固废材料在辅助层或特殊路段的应用日益增多。施工过程强调机械化连续作业与标准化管控,通过智能拌合站与摊铺设备确保材料级配精准,形成从原材料筛选、混合料制备到现场摊铺碾压的全链条质量控制模式。

(三) 日常养护管理机制资源消耗实际水平

农村公路日常养护管理机制在资源消耗方面呈现出总量可控但局部效率偏低、传统依赖度高与绿色转型并存的复杂局面。人力投入仍是主要消耗源,尤其在偏远山区机械化替代率不足导致人工成本占比过高,且存在季节性用工波动大、专业技能欠缺等问题。材料消耗上修补坑槽、裂缝等常见病害多沿用传统热拌沥青或水泥砂浆,再生材料应用比例较低,造成原材料开采与运输能耗居高不下。机械设备使用方面小

型化、老旧设备居多,燃油效率低且排放较高,缺乏智能化调度导致空驶率与闲置率并存。资金资源配置虽逐年增长,但分散于众多零星项目,规模效应难以发挥,单位里程养护成本相对较高。水资源消耗在洒水降尘与混凝土养护中缺乏精准计量,浪费现象时有发生。

三、全生命周期各环节绿色质量控制关键要素

(一) 规划选址勘察设计阶段的生态避让原则

规划选址与勘察设计阶段应严格遵循生态优先、避让敏感、最小干扰原则。以浙江丽水实践为例,在松阳县传统村落公路建设中,路线主动避让“古树群”与古民居核心保护区,采用“路绕村行”方案,虽增加里程却完整保留了村落风貌与生态肌理。在景宁畲族自治县山区公路改造中,面对生态红线,摒弃传统切坡做法,推行“以隧代挖、以桥代路”,大幅减少山体开挖与植被破坏,有效保护了瓯江源头水源涵养区及珍稀动物迁徙通道。同时,深化生态本底调查,如龙泉市在项目前期精准识别地质灾害点与公益林,动态优化线形避免大填大挖。这些实践表明,通过预留生物通道、融合自然景观,能从源头降低对生态系统的干扰,实现公路建设与绿水青山的和谐共生,为全生命周期绿色质量控制奠定坚实基础。

(二) 建材生产现场施工过程的碳排放管控重点

建材生产端核心是降低高能耗环节的热力与电力碳足迹,利用工业固废作为原料或混合材以减少熟料用量,并加速电气化改造与余热回收系统应用,从源头削减隐含碳排放。施工现场管控则聚焦于机械设备的低碳化运行,强制淘汰高排放老旧机械,全面推广新能源施工设备,并优化施工组织设计以减少设备空转与物料二次搬运。同时大力推行装配式建筑与绿色施工工艺,通过工厂预制减少现场湿作业产生的能耗与废弃物^[4]。材料管理上严格执行就地取材原则,降低运输里程并建立物料循环利用机制,提升废旧材料再生利用率。此外构建数字化碳监测平台,实时追踪关键工序能耗数据,实施动态预警与调控,确保从原材料出厂到工程竣工的全过程碳排放处于受控状态。

(三) 运营维护废旧材料循环利用的减排路径

运营维护阶段应构建废旧材料循环利用的减排闭环。以浙江丽水“绿色养护”实践为例,在遂昌县农村公路大中修

工程中, 依托移动破碎筛分设备, 对铣刨的 1.2 万吨旧沥青路面材料进行现场分类收集与再生处理, 再生利用率高达 95%。通过推广厂拌热再生技术, 将废旧混合料转化为高性能再生骨料, 成功应用于龙丽线等主干道的基层补强与面层铺装, 替代天然砂石约 8000 吨, 减少碳排放超 300 吨。同时, 创新拓展消纳渠道, 如缙云县将废旧轮胎橡胶粉掺入应力吸收层, 提升路面抗裂性能; 青田县利用废弃混凝土块加工成路基填料或生态护坡砖。此外, 丽水建立再生材料质量追溯体系, 规定政府投资养护项目再生材料使用率不低于 30%。这些举措实现了“产生即回收、回收即利用”, 显著降低了原材料开采能耗, 为农村公路全寿命周期低碳运维提供了坚实支撑。

四、推动农村公路绿色高质量发展的实施路径

(一) 完善绿色技术标准规范评价指标体系

打破单一能耗指标局限将碳排放强度、资源循环利用率、生态扰动程度及环境友好性纳入核心考核范畴, 形成定性与定量相结合的复合指标群。细化分级分类标准, 针对不同交通方式、地域气候特征及工程类型, 制定差异化的基准线与先进值, 确保指标的可操作性与公平性。同时强化标准间的协同衔接, 推动国家标准、行业标准与地方标准的有机融合, 消除技术壁垒引导新技术、新工艺、新材料的快速转化与应用^[5]。建立指标动态调整机制, 定期依据技术进步水平与双碳目标要求修订阈值, 保持标准体系的先进性与前瞻性。此外引入第三方评估与数字化监测手段确保评价结果真实可靠, 形成导向清晰、约束有力、激励有效的绿色技术发展新格局。

(二) 强化全过程数字化监管动态考核机制

强化全过程数字化监管动态考核机制, 关键在于构建覆盖规划、建设、运营全链条的智能感知与数据驱动体系。首先依托物联网、大数据及云计算技术, 搭建统一的数字化监管平台, 实时采集能耗、排放、物料流转等关键数据, 打破信息孤岛, 实现工程状态的透明化与可视化。同时建立动态预警, 设定科学合理的阈值标准, 对异常波动自动触发警报并推送整改指令, 变事后追责为事前预防与事中控制。完善考核评价体系, 将数字化监测结果直接纳入绩效考核, 实行量化打分与分级管理, 确保责任落实到人。推动监管流程再

造, 利用区块链技术保障数据不可篡改, 增强考核公信力。建立数据反馈闭环, 依据考核结果动态优化管理策略与技术参数, 形成监测、评估、反馈、改进的良性循环。

(三) 培育绿色低碳文化素养专业人才培养

将绿色发展理念深度融入教育体系与职业培训全过程, 开设低碳技术、循环经济及生态伦理等核心课程, 夯实专业人员的理论根基与责任意识。创新产教融合模式, 依托重大绿色工程建立实训基地推行师带徒与项目实战机制, 让人才在节能减排、资源循环利用的一线实践中锤炼过硬本领。同时建立绿色技能认证与评价标准, 将低碳绩效纳入职称评审与晋升考核体系, 激发从业人员主动学习与创新的内生动力。广泛开展行业文化交流活动, 树立绿色标杆人物, 营造崇尚节约、保护环境的良好风尚, 使绿色思维成为职业本能。此外加强跨学科复合型人才培养, 鼓励工程技术与管理运营人员跨界交流, 提升解决复杂环境问题的综合能力。通过制度激励、文化熏陶与实践磨砺的协同发力, 打造既懂专业技术又具深厚绿色情怀的高素质人才队伍。

五、结束语

综上所述, 通过深化废旧材料循环利用、完善绿色技术标准体系、强化全过程数字化监管以及培育专业人才培养, 形成技术、管理与文化协同驱动的创新格局。研究证实多措并举不仅能显著降低碳排放强度, 更能提升资源利用效率与行业可持续发展能力。未来随着双碳目标的深入推进, 需持续优化动态考核机制, 推动绿色技术迭代升级, 最终实现交通运输发展与生态环境保护的和谐共生。

[参考文献]

- [1] 王兵, 胡宇. 农村公路建设质量管控的长效机制研究[J]. 交通科技与管理, 2025, 6(12): 160-162.
- [2] 唐培培. 基于生态环保理念的绿色公路建设探索与实践[J]. 交通科技与管理, 2024, 5(21): 169-171.
- [3] 杜晓伟. 全寿命周期的绿色公路建设理念与实践[J]. 工程建设与设计, 2021, (04): 68-69.
- [4] 焦一, 冯晓, 张淑雅, 等. 基于全寿命周期理念的重庆乡村公路管养建议[J]. 四川建材, 2021, 47(02): 160-161.
- [5] 张德强, 张之超. 基于低碳理念的绿色公路建设技术研究[J]. 交通世界, 2020, (30): 7-8.