

绿色公路建设中节能环保技术集成应用与效益评估

何少岗

江西通威公路建设集团有限公司 江西赣州 341000

摘要：于“双碳”目标发挥引领作用这样的背景之下，那绿色公路已经变成公路工程走向转型发展进程里面的核心方向，而对于实现这一目标而言，节能环保技术的集成应用乃是关键支撑。在当前公路建设的状况里，单一节能技术的应用已然难以符合绿色发展所提出的需求，技术集成所应具备的系统性与协同性也变得愈发关键起来。本文把焦点聚集在绿色公路建设的全周期之上，梳理于勘察设计、施工建造以及运营养护等各个阶段节能环保技术的集成路径，着重解析桥梁工程专项技术的适配应用情况。同时，构建起一个涵盖资源节能、生态环境以及全周期经济这三个方面的三维效益评估体系，去明确评估所需要使用的指标与方法。

关键词：绿色公路；节能环保技术；集成应用；效益评估；公路工程

引言

公路建设作为基础设施的核心领域，在对经济发展起到推动作用的同时，还面临着能源消耗过高、生态影响较大等比较突出的问题。随着“双碳”目标不断深入推进，传统公路建设模式已然无法与绿色发展的要求相适配，绿色公路建设也就成为必然的选择。节能环保技术的应用作为绿色公路建设的核心关键手段，但当前在行业内部存在诸如技术应用呈现碎片化、集成程度不足、效益评估标准并不统一等情况，进而致使技术的价值没有得到充分发挥。尤其是桥梁工程，作为公路建设之中关键的组成部分，因其结构较为复杂、施工具备较大难度，所以节能技术的专项集成需求显得更为迫切。

1 绿色公路与节能环保技术核心认知

1.1 绿色公路建设核心要义

绿色公路建设以可持续发展作为核心的导向，并非只是简单地叠加环保措施，而是一个贯穿勘察设计、施工以及运维等整个生命周期的系统性工程。其核心要义涵盖资源高效利用、生态保护优先以及节能低碳运行这三大维度。所谓资源高效利用，强调建材能够循环使用、土地实现集约规划；生态保护优先要求避开生态敏感区域，采用生态修复技术从而减少对周边环境所造成的扰动；节能低碳运行则聚焦于运营阶段的能耗控制与碳排放削减。与此同时，绿色公路还需要兼顾通行安全与使用功能，达成工程效益、生态效益以及社会效益的协同统一，这是公路建设理念从“规模扩张”朝

着“质量效益”转型过程中关键的体现。

1.2 节能环保技术适配性特征

节能环保技术在绿色公路当中的适配性，核心体现为场景匹配度、技术协同性以及经济可行性这三大特征。场景匹配度要求技术能够贴合公路不同阶段的需求，例如在设计阶段侧重路线优化技术，在施工阶段适配节能施工设备。技术协同性指多种技术之间实现互补融合，比如光伏供电技术与节能照明系统联动起来加以使用，以此提升能源利用的效率。经济可行性强调技术投入与效益之间达成平衡，避免过度追求技术的先进性却忽视成本控制，需要结合项目规模、地域条件去选择性价比高的技术方案，从而确保技术既能够满足环保要求，又具备可以推广应用的现实条件。

1.3 技术集成应用核心逻辑

以“全周期目标导向”作为核心逻辑的节能环保技术集成应用，是经“需求拆解—技术筛选—协同优化”这样的三个步骤来达成的，即首先按照绿色公路建设所具备的节能、环保以及经济目标，对各阶段像运维阶段需降低能耗与养护成本这类的核心需求进行拆解；其次基于需求去筛选适配技术，形成技术备选库，而将适配性差且兼容性低的技术予以剔除；最后实施协同优化，以解决多技术间的接口矛盾，并构建技术集成体系，例如把BIM技术和节能建材选型、施工能耗监测技术相融合，进而实现设计、施工阶段的技术协同，以确保集成系统整体效益比单一技术叠加的情况更优。

2 公路工程全周期技术集成应用体系

2.1 勘察设计阶段技术嵌入

在勘察设计阶段这一技术集成的源头处，核心是通过“精准勘察—优化设计—模拟验证”达成技术嵌入。精准勘察运用如无人机航测、地质雷达等技术，来精准获取地形、地质以及生态数据，从而为技术选型提供依据。优化设计环节把路线优化、生态保护与节能设计技术等嵌入进去，比如运用GIS技术对路线走向进行优化以避开生态敏感区，采用模块化设计来减少建材浪费。模拟验证借助BIM技术构建三维模型，针对节能技术效果实施预演，例如模拟光伏路面采光效率、节能照明覆盖范围等，提前察觉设计缺陷并予以优化，以此保证技术方案具备落地可行性。

2.2 施工建造阶段技术集成

施工建造阶段的技术集成聚焦于“低碳施工、高效管控”，构建“设备节能—材料环保—过程智能”这样的集成体系。在设备节能方面，推广电动施工机械、节能拌合设备以替代传统高能耗设备；材料环保上采用再生骨料、低碳水泥等绿色建材，并配套建材回收利用技术；过程智能将BIM技术与能耗监测系统集成起来，实时追踪施工能耗数据，应用装配式施工技术以减少现场作业量与扬尘污染。与此同时，集成节水、降噪技术如雨水回收系统、低噪声施工工艺等，实现施工过程全方位节能环保。

2.3 运营养护阶段技术融合

运营养护阶段的技术融合以“长效节能、智能运维”作为目标，构建“能源自给—智能监测—精准养护”体系。能源自给将光伏、风能等可再生能源技术加以融合，为公路照明、监控设备供电，降低对外网能源依赖；智能监测把物联网与大数据技术集成起来，实时监测路面状况、能耗数据及生态环境变化，达成异常情况预警；精准养护采用无损检测技术，对路面及桥梁病害进行定位，减少养护作业量与材料消耗，融合养护废弃物回收技术，实现建材循环利用。

3 桥梁工程专项节能技术应用路径

3.1 桥梁材料节能技术选型

桥梁材料节能技术选型这一事项需遵循那“轻质高强、低碳环保、循环利用”这般原则，并且要紧密结合桥梁结构所具有的需求以及周边环境条件来完成适配的动作。像是主体结构就优先考虑选用高性能混凝土以及高强钢材之类的轻质材料，目的为的是减少结构自身的重量以及耗材的数

量，同时降低施工阶段与运营阶段产生的能耗；对于辅助材料则是采用节能型的防腐涂料以及保温材料，以期望提升桥梁的耐久性，并减少后期养护过程当中所需耗费的能源。与此同时，大力推广再生建材在其中的应用，比如将废旧的沥青与混凝土进行回收加工，使之成为再生骨料后用于桥梁基础设施施工方面。

3.2 桥梁施工节能工艺创新

桥梁施工节能工艺创新主要聚焦于“降本增效、低碳减排”这个方向，其核心紧紧围绕构件生产以及现场安装展开优化工作。构件生产采用工厂预制化工艺，借助标准化生产来提升效率，进而减少因现场浇筑而带来的能耗与污染情况，而且引入蒸汽养护节能技术，利用余热回收系统把养护所需的能耗降低。现场安装创新性地采用模块化吊装技术，以此减少大型机械使用的时间，针对大跨度桥梁则大力推广悬臂浇筑节能工艺，通过优化施工设备的组合方式来降低能耗。

3.3 桥梁运维节能系统构建

桥梁运维节能系统构建是以“智能监测、精准养护、能源优化”作为核心要点，从而实现全生命周期的节能这一目标。智能监测系统将传感器与物联网技术予以集成，能够实时地监测桥梁结构应力、腐蚀状态以及能耗数据，为养护工作提供精准的依据，避免出现过度养护的情况。精准养护系统结合所监测到的数据，采用局部修复、微创养护之类的技术，减少养护作业耗费的能源以及材料方面的浪费。能源优化系统融合光伏供电技术，用来为监测设备、照明系统提供电力，还引入智能照明控制系统，依照车流量的变化自动调节亮度。

4 效益评估指标体系构建

4.1 资源节能效益指标

资源节能效益指标主要聚焦在“能源节约”以及“资源高效利用”方面，通过构建一套量化的评估体系来进行衡量。能源节约指标涵盖单位里程能耗降低率、可再生能源利用率、施工设备能耗下降幅度，这里面单位里程能耗把运营阶段照明、监控等设备所产生的能耗都包含在内。资源利用指标包括建材循环利用率、土地集约利用率、水资源回收率，建材循环利用率重点对再生骨料、废旧沥青等回收利用的比例进行考核，土地集约利用率衡量的是路线优化之后土地占用减少的相关情况，水资源回收率关注的是施工废水、雨水回收利用所取得的效果，从全方位角度反映技术集成后在资源节能方面所取得的成效。

4.2 生态环境效益指标

围绕“减排降污”以及“生态保护”所设置的生态环境效益指标，全面涵盖施工和运营的全阶段。其中减排指标包含单位里程碳排放量降低率、施工扬尘浓度达标率和噪声分贝控制值，而碳排放量涉及建材生产、施工乃至运营的各环节，至于扬尘与噪声指标则是针对施工期对周边环境的影响而设定；生态保护指标含有生态修复率、生物多样性维持率、水土流失控制率，生态修复率用于考核边坡绿化以及植被恢复的效果，生物多样性维持率用来评估路线优化对动植物栖息地的保护程度，水土流失控制率反映水土保持技术的应用成效，以此全面衡量该技术的环境正向效益。

4.3 全周期经济效益指标

全周期经济效益指标贯穿“投资—运营—回收”的整个过程，兼顾短期成本与长期收益。投资阶段指标有技术集成额外投资率、绿色建材投资占比，它们用以衡量绿色技术的初始投入状况；运营阶段指标包括单位里程运营成本降低率、养护成本下降幅度，运营成本涵盖能耗、人工及设备维护等费用；长期收益指标有投资回收期、全生命周期成本节约额，投资回收期用于计算绿色技术带来的收益抵消初始投资所花费的时间，全生命周期成本节约额通过对比传统技术与集成技术的总成本差异，直观反映技术集成的经济可行性。

5 技术集成与效益优化保障策略

5.1 技术集成质量管控机制

以“全流程标准化”为核心构建“前期审核—过程监测—验收评估”体系的技术集成质量管控机制。前期审核组建技术专家团队，对集成方案的适配性、兼容性进行评审，进而明确技术质量标准与管控要点；过程监测搭建智能管控平台，实时采集施工与运营阶段的技术运行数据，对比质量标准以便及时发现偏差，例如监测节能设备运行效率、建材质量参数；验收评估制定专项验收标准，结合多维度指标考核技术集成效果，若验收不达标则要求整改。同时建立长效反馈机制，收集技术运行问题，持续优化管控标准，以提升质量管控精准度。

5.2 效益评估动态调整方法

基于“数据驱动—阶段适配—反馈优化”逻辑以应对不同阶段需求变化的效益评估动态调整方法。建立实时数据采集系统，收集能耗、环境、经济等动态数据，为调整提供依据；分阶段调整评估指标权重，施工阶段侧重于减排与施

工能耗指标，运营阶段提升运维成本与长期效益指标权重；引入机器学习算法，分析数据变化趋势，预测效益波动风险，提前调整评估参数。同时结合政策变化与技术更新，定期更新评估标准，比如新增碳减排专项指标，确保评估结果始终贴合实际需求，提升评估科学性。

5.3 成果推广适配性方案

成果推广适配性方案之所以遵循那“分类指导—地域适配—试点先行”的原则，其目的在于提升推广成效。而所谓分类指导，是指针对像高速、市政这类不同公路类型制定出技术集成清单来明确必选与可选技术；地域适配则是结合不同区域气候与资源条件对方案予以优化，就如北方地区强化桥梁保温节能技术而南方地区侧重雨水回收利用技术这般；至于试点先行，便是选择典型项目开展示范应用，总结技术应用中出现的经验与问题，从而形成可复制的操作手册。

6 结论

在绿色公路建设当中，节能环保技术的集成应用必须贯穿全生命周期，借由勘察设计、施工建造、运营养护各阶段技术的协同，进而显著提升资源利用效率与生态环保水平。桥梁工程作为其中关键环节，通过对材料选型进行优化、创新施工工艺以及构建运维系统，实现了专项节能目标。而所构建的资源节能、生态环境、全周期经济三维评估指标体系，为技术效益量化提供科学工具，并且质量管控、动态评估与适配性推广策略保障了技术落地成效。未来绿色公路建设需要进一步强化技术创新，推动数字化与节能技术深度融合，还要完善评估标准体系以适配“双碳”目标新要求。

参考文献：

- [1] 王礼勇. 论山区公路建设项目节能环保技术体系的构建 [J]. 交通科技与管理, 2023, 4(01):192–194.
- [2] 冯心宜. 河惠莞高速公路绿色公路技术管理实践 [J]. 公路, 2021, 66(11):78–81.
- [3] 李智, 张骐, 周盛. 延崇高速公路(北京段)绿色公路探索与实践 [J]. 市政技术, 2019, 37(03):17–20.
- [4] 杨荣青, 贾煜. 绿色公路建设理念在 S3 公路先期实施段中的实践 [J]. 上海公路, 2018, (S1):1–5.
- [5] 樊友庆, 王吉庆, 张琦. 赣南山区公路建设节能环保技术体系构建初探 [J]. 公路, 2017, 62(02):160–163.

作者简介：何少岗 (1979.2-)，男，汉，浙江人，大专，研究方向：公路与桥梁工程