

# 绿色理念下道桥工程的生态化设计与可持续发展路径

吴蔚

四川省交通勘察设计研究院有限公司 四川 成都 610000

**摘要:** 在绿色理念引领下,道桥工程生态化设计与可持续发展路径聚焦全生命周期环保。通过生态承载力阈值理论、环境伦理学等指导设计,采用生态选线、仿生结构、智能监测等技术降低生态扰动。施工阶段推广装配式工艺、智慧工地系统及废弃物资源化利用。运维阶段构建BIM+物联网预测性维护体系,结合生态绩效评估实现动态优化,推动经济、生态、社会效益协同提升。

**关键词:** 绿色理念;道桥工程;生态化设计;可持续发展路径

引言:在全球生态危机与“双碳”目标驱动下,道桥工程作为基础设施建设的核心领域,正面临生态保护与可持续发展的双重挑战。传统设计模式因忽视生态承载力、资源循环利用及气候韧性,导致生物栖息地破碎、碳排放超标等问题频发。本文基于绿色发展理念,系统探讨道桥工程生态化设计的理论框架、技术路径与评价体系,旨在通过全生命周期创新实现工程效益与生态保护的协同共进,为行业转型提供实践参考。

## 1 绿色理念下道桥工程的生态化设计理论基础

### 1.1 核心概念界定

(1) 生态承载力阈值理论:核心是明确道桥工程建设区域的生态环境承载上限,设计过程中严格控制工程扰动范围、资源消耗强度,避免突破生态阈值导致生态系统不可逆破坏,为工程生态化设计划定刚性约束底线。(2) 环境伦理学在工程中的应用:强调工程建设需兼顾人类需求与自然权益,摒弃“人类中心主义”,将生态保护理念融入设计全流程,实现工程效益与生态效益的协同发展,规范工程对周边生物、环境的责任与义务。(3) 生态服务价值评估体系:量化道桥工程建设对区域水源涵养、生物多样性保护、气候调节等生态服务功能的影响,通过科学评估明确生态保护优先级,为设计方案优化提供量化依据。

### 1.2 设计原则体系

(1) 最小干预原则:以某跨海大桥为例,通过优化桥位选址、采用大跨径结构,减少海域占用32%,最大限度降低对海洋水体交换、海洋生物栖息地的扰动,保留区域原有生态格局。(2) 系统共生原则:借鉴杭州湾大桥潮间带生态补偿设计经验,通过构建人工湿地、投放人工鱼礁等措施,弥补工程建设对潮间带生态系统的破坏,实现道桥工程与周边生态系统的共生共赢。(3) 弹性适应原则:参考港珠澳大桥台风响应机制,在设计中

融入抗台风结构设计与生态缓冲措施,确保工程在极端天气下稳定运行,同时减少灾害天气对周边生态环境的二次影响。

### 1.3 关键技术框架

(1) 生态选线技术:采用GIS多因子叠加分析法,整合区域地形地貌、生物栖息地、水源保护区等生态因子,通过叠加分析筛选最优线路,规避生态敏感区域。(2) 仿生结构技术:模仿红树林根系的固土、护岸特性,设计新型道桥基础结构,既能提升基础稳定性,又能为水生生物提供栖息空间,实现工程结构与生态功能的融合。(3) 智能监测技术:应用光纤光栅传感网络,对道桥结构状态、周边生态环境指标进行实时监测,及时反馈异常情况,为工程运维与生态保护调整提供数据支撑<sup>[1]</sup>。

## 2 绿色理念下道桥工程的生态化设计实施路径

### 2.1 规划阶段

(1) 生态基线调查方法:以长江大桥为例,重点开展鱼类洄游通道保护相关的生态基线调查,通过水下声学监测、鱼类标记追踪等技术,明确工程区域内珍稀洄游鱼类的种类、洄游路线及栖息地范围,划定生态敏感核心区与缓冲带,为后续桥位选址、桥墩设计提供基础依据,避免工程建设阻断鱼类洄游通道,最大限度保留原有水生生态系统完整性。(2) 景观连通性评估:采用Circuitscape软件进行景观连通性模拟,整合工程区域地形、植被覆盖、水体分布等景观因子,量化分析道桥建设对周边陆地、水域景观连通性的影响,识别景观连通性薄弱区域,在规划中优化线路走向、增设生态廊道,保障动植物迁徙通道畅通,减少工程对区域景观生态系统的割裂<sup>[2]</sup>。(3) 气候适应性设计:基于RCP8.5情景下的海平面上升预测数据,开展气候适应性设计,优化道桥高程设计、加固岸坡防护结构,采用耐腐蚀、抗冲刷的材料,同时预留应急防护空间,制定海平面上升应对预

案,提升道桥工程在极端气候条件下的稳定性和耐久性,降低气候变暖对工程安全及周边生态环境的潜在风险。

## 2.2 设计阶段

(1)绿色材料选择矩阵:构建绿色材料选择矩阵,重点开展再生骨料混凝土性能对比试验,从强度、耐久性、环保性、经济性等维度,对比再生骨料混凝土与普通混凝土的性能差异,明确再生骨料的合理掺量及应用场景,在道桥下部结构、附属设施中优先选用再生骨料混凝土、低碳钢材等绿色环保材料,减少不可再生资源消耗和碳排放。(2)节能技术集成:推进太阳能光伏路面与风能发电装置的协同设计,光伏路面兼顾通行与发电功能,为道桥照明、监控系统提供清洁能源,风能发电装置依托桥梁墩柱、护栏合理布置,充分利用桥面风力资源,实现两种新能源的互补供给,降低工程运营阶段的化石能源消耗,提升能源利用效率。(3)水环境管理:参考某城市高架桥雨水花园系统设计案例,在高架桥桥面设置透水铺装、雨水收集管道,将雨水引入桥下雨水花园,通过植被截留、土壤渗透、微生物净化等作用,去除雨水中的污染物,实现雨水资源化利用,同时减少桥面雨水直排对周边水体的污染,保护区域水环境质量<sup>[3]</sup>。

## 2.3 施工阶段

(1)低碳施工技术:结合预制装配率提升至85%的案例进行分析,将道桥墩柱、梁体等主要构件在工厂预制生产,现场采用吊装拼接工艺,减少现场浇筑作业带来的扬尘、噪音污染和能源消耗,同时缩短施工工期,降低施工过程中的碳排放,实现施工过程的低碳化、集约化。(2)智慧工地系统:搭建智慧工地系统,实现扬尘实时监测与喷雾降尘的联动控制,通过部署扬尘传感器,实时采集施工区域扬尘浓度数据,当浓度超过限值时,系统自动启动喷雾降尘设备,精准控制扬尘污染;同时整合人员、机械、进度等管理模块,提升施工管理效率,减少施工对周边生态环境的扰动<sup>[4]</sup>。(3)废弃物管理:优化建筑垃圾处理工艺流程,实现建筑垃圾再生利用率达95%,对施工过程中产生的混凝土块、钢筋头、碎石等建筑垃圾进行分类收集、破碎加工,加工后的再生骨料用于道路基层铺设、基坑回填等,剩余废弃物进行无害化处理,实现建筑垃圾减量化、资源化、无害化利用,减少对土地资源的占用和环境污染。

## 2.4 运维阶段

(1)结构健康监测:构建基于BIM+物联网的预测性维护体系,将BIM模型与物联网传感器相结合,实时采集道桥结构的应力、应变、沉降等数据,通过数据建模分析,预判结构潜在故障,提前开展维护作业,避免结

构损坏引发的安全隐患和生态影响,延长道桥使用寿命。(2)生态绩效评估:建立包含12项指标的生态绩效评估体系,涵盖生物多样性保护、水资源保护、能耗控制、废弃物利用等多个维度,定期对道桥工程运营阶段的生态绩效进行量化评估,识别生态保护薄弱环节,针对性调整运维策略,确保工程生态效益持续发挥。(3)全生命周期管理:以某大桥50年运维成本优化模型为参考,开展道桥工程全生命周期管理,整合规划、设计、施工、运维各阶段的成本与生态数据,优化运维方案,合理分配运维资源,在保障工程安全和生态绩效的前提下,降低全生命周期运维成本,实现工程经济效益、生态效益和社会效益的协同发展。

## 3 绿色理念下道桥工程的可持续发展评价体系

### 3.1 评价指标构建

(1)环境维度:核心聚焦工程对生态环境的影响与修复成效,关键指标包括碳排放强度与生态修复面积。其中,碳排放强度量化道桥工程全生命周期单位长度的碳排放量,反映工程低碳水平;生态修复面积指工程建设中对占用的湿地、林地、水域等生态区域进行修复的实际面积,体现生态补偿与修复成效,助力衡量工程对周边生态系统的扰动与恢复能力。(2)经济维度:侧重工程全生命周期的经济效益与资源利用效率,核心指标为全生命周期成本与资源循环利用率。全生命周期成本涵盖工程建设投资、施工成本、运维成本及废弃处置成本,反映工程长期经济性;资源循环利用率主要统计建筑垃圾、再生材料等的回收利用比例,体现资源集约化利用水平,实现经济效益与环保效益的协同。(3)社会维度:聚焦工程对区域社会发展的正向支撑,关键指标包括公众满意度与应急响应能力。公众满意度通过问卷调查、实地走访等方式,收集周边居民、通行者对工程环保效果、通行便捷性的评价;应急响应能力衡量道桥工程在台风、洪涝等突发灾害中的通行保障与应急疏散支撑能力,体现工程的社会服务价值。

### 3.2 评价方法创新

(1)模糊综合评价法应用:针对评价指标中存在的模糊性、难以量化的问题(如公众满意度、生态修复效果),引入模糊综合评价法,通过构建评价矩阵、确定指标权重,将定性指标量化处理,全面整合各维度指标得分,实现对工程可持续发展水平的综合评判,提升评价的客观性与合理性。(2)物质流分析(MFA)在材料循环中的运用:将物质流分析(MFA)方法应用于道桥工程材料循环评价,追踪混凝土、钢材等核心材料从开采、生产、使用到废弃回收的全流程物质流动,量化

材料损耗与循环利用效率,识别材料循环中的薄弱环节,为资源循环利用优化提供数据支撑。(3)社会影响评估(SIA)框架构建:构建适配道桥工程的社会影响评估(SIA)框架,明确评估范围、指标体系与流程,重点分析工程对区域交通便捷性、居民生活质量、应急保障能力的正向影响,同时识别潜在社会风险,提出优化措施,确保工程社会价值最大化<sup>[5]</sup>。

### 3.3 实证研究:某跨江通道工程

(1)生态效益:工程通过优化桥位选址、采用大跨径结构及生态修复技术,减少湿地占用42公顷,有效保护了跨江湿地生态系统;同时,通过构建人工鱼礁、植被恢复等措施,创造适宜水生、陆生生物生存的栖息地18公顷,显著提升了区域生物多样性,生态修复成效显著。(2)经济效益:依托全生命周期管理理念与资源循环技术,工程建筑垃圾再生利用率达90%以上,大幅降低了材料采购与废弃处置成本,实现全生命周期成本降低19%;同时,便捷的跨江通道提升了区域物流效率,间接带动区域经济发展,经济效益突出。(3)社会效益:工程通车后,大幅缩短了跨江通行时间,提升了区域交通互联互通水平;同时,通过完善应急防护设施,提升区域应急疏散能力30%,增强了突发灾害中的通行保障能力,获得周边公众满意度达85%以上,社会认可度高。

## 4 绿色理念下道桥工程生态化发展的挑战与对策建议

### 4.1 现存挑战

(1)标准体系不完善:目前道桥工程生态化设计与评价的标准存在碎片化问题,不同区域、不同类型工程的标准不统一,且缺乏有效的跨区域协调机制,导致工程设计、施工、运维过程中无统一规范可循,易出现生态保护措施不到位、评价结果缺乏可比性等问题。(2)技术成本壁垒:绿色建材、生态技术的研发与应用成本较高,其中绿色建材溢价达15-30%,远超部分建设单位的成本预期;同时,低碳、仿生等核心生态技术尚未完全实现规模化应用,技术落地难度大,进一步抬高了工程生态化改造的门槛。(3)认知偏差:部分工程决策者仍存在“重经济、轻生态”的认知误区,过度关注工程建设成本与短期经济效益,忽视了生态保护的长期价值,对绿色

理念、生态技术的重视程度不足,导致生态化设计措施难以落地见效。

### 4.2 发展对策

(1)政策创新:完善道桥工程生态化相关标准体系,统一设计、施工、评价规范,建立跨区域协调机制,统筹推进各地生态化工程建设;同时,建立生态补偿专项基金,对采用绿色技术、实现生态保护目标的建设单位给予补贴,降低其生态化改造成本。(2)技术突破:加大科研投入,重点研发低碳水泥、自修复混凝土等新型绿色建材,降低建材溢价;推动生态技术的集成与规模化应用,优化仿生结构、智能监测等技术的落地流程,提升技术可行性与经济性,打破成本壁垒。(3)模式创新:推广EPC+O(设计采购施工+运营)全生命周期模式,将生态理念贯穿工程规划、设计、施工、运维全过程,明确各环节生态责任,实现工程生态效益与经济效益的长期协同。

### 结束语

绿色理念下道桥工程的生态化设计与可持续发展,是实现人与自然和谐共生的必由之路。通过理论创新、技术突破与管理模式升级,工程全生命周期的生态效益得以最大化释放。未来需持续完善标准体系、强化技术集成应用、深化公众参与,推动行业从“单一功能导向”向“生态价值创造”转型,为全球基础设施绿色发展提供中国方案与智慧。

### 参考文献

- [1]史宏韬.道路与桥梁工程检测及技术管理要点分析[J].城市建设理论研究(电子版),2022,(34):82-84.
- [2]王宏伟,尤秀鑫,韩岭.道路与桥梁工程的常见病害及处理技术研究[J].运输经理世界,2022,(26):137-139.
- [3]韩丹.道路桥梁工程中绿色施工技术的应用意义及方法思考[J].工程建设与设计,2024,(09):188-190.
- [4]赵丽萍,马青青.道路桥梁施工水环境保护策略[J].石材,2023,(12):129-131.
- [5]吴凯.道路桥梁施工中绿色施工技术的应用[J].智能建筑与智慧城市,2023,(07):99-101.