

城市交通设施的生态化改造设计策略研究

李 鹏

中交第二公路工程局有限公司贸易分公司 陕西 西安 712000

摘 要：城市交通设施生态化改造以生态系统平衡原理为基础，旨在构建复合型设施体系。其核心影响要素包括设施自身属性、生态环境承载、交通运行效率及生态化技术适配性。改造策略涵盖道路、桥隧、场站及附属设施的生态化改造，涉及路面结构、排水系统、通风采光、空间布局等多方面。技术支撑体系包括生态材料研发与应用、生态监测与预警、资源循环利用、数字化设计与优化等技术，形成全链条技术支撑，为改造过程与设施运营对生态环境的影响可控提供保障。

关键词：城市交通设施；生态化改造；设计策略

引言：在城市化进程加速推进的当下，城市交通设施建设规模持续扩大，但传统建设模式对生态环境造成诸多负面影响。城市交通设施生态化改造迫在眉睫，其以生态系统平衡原理为基石，旨在构建兼具交通效能与生态价值的复合体系。这一改造涉及道路、桥隧、场站及附属设施等多方面，涵盖材料、结构、布局等众多环节，且需一系列技术支撑。深入探究其核心理论、影响要素、设计策略与技术体系，对推动城市交通可持续发展意义重大。

1 城市交通设施生态化改造的核心理论基础

1.1 生态化改造的核心内涵与核心目标

生态化改造的核心内涵是基于生态系统平衡原理，对现有城市交通设施进行系统性优化与重构，通过整合生态理念与工程技术，实现交通设施功能与生态环境的协同共生。其核心目标并非单纯追求生态指标的提升，而是构建兼具交通运行效能与生态服务价值的复合型设施体系，减少交通设施全生命周期内对生态环境的扰动，推动交通领域的资源高效利用与环境友好发展，达成交通系统与生态系统的动态平衡，为城市可持续发展提供基础支撑。

1.2 交通设施与生态系统的交互作用机制

交通设施与生态系统的交互作用具有双向性与复杂性。交通设施的建设与运行会改变周边生态格局，影响物质循环与能量流动，对生物栖息地产生扰动，同时也会受到生态系统承载力的约束。反之，健康的生态系统能够为交通设施提供自然调节服务，缓解交通运行产生的环境压力，如净化空气、调节微气候等。这种交互作用贯穿于交通设施的全生命周期，明确二者的作用路径与强度，是开展生态化改造的前提，也是保障改造方案科学性与可行性的核心依据。

1.3 生态化改造的核心价值导向

生态化改造的核心价值导向以可持续发展为核心，兼顾生态价值、经济价值与社会价值的统一。生态价值体现为对生态系统完整性与稳定性的维护，减少生态破坏与环境污染；经济价值表现为通过资源循环利用、节能降耗等方式降低设施建设与运维成本，提升长期经济效益；社会价值则聚焦于改善交通出行环境，提升出行舒适度与安全性，增强公众对城市环境的认同感。三者相互关联、相互支撑，共同构成生态化改造的价值评判体系，指引改造工作的方向与重点。

2 城市交通设施生态化改造的核心影响要素

2.1 交通设施自身属性相关要素

交通设施自身属性相关要素是生态化改造的基础影响因子，主要包括设施类型结构规模建设年限与现有技术水平等。不同类型的交通设施在功能需求与生态影响方面存在差异，决定了改造技术路径的选择；设施规模直接影响改造的范围与强度，进而关联生态扰动的程度；建设年限与现有技术水平则决定了设施的改造潜力与适配性，老旧设施可能面临更多结构优化需求，而现有技术基础会影响改造方案的实施难度与效果。这些要素共同构成生态化改造的基础条件，需在改造前期进行系统梳理与评估。

2.2 生态环境承载相关要素

生态环境承载相关要素是生态化改造的约束性因子，涵盖区域生态系统的自我修复能力资源供给能力与环境容量等。区域生态系统的自我修复能力决定了改造过程中生态扰动的可承受范围，影响改造方案的强度与节奏；资源供给能力直接关系到生态化改造所需各类资源的获取可行性，如生态材料的本地供给情况；环境容量则限制了交通设施运行过程中污染物的排放阈值，对

改造过程中的污染控制措施提出明确要求。充分考量这些要素,可避免改造工作超出生态环境承载极限,保障改造的生态合理性。

2.3 交通运行效率相关要素

交通运行效率相关要素是生态化改造的功能性因子,主要包括交通流量通行速度运输需求与通行组织模式等。生态化改造不能以牺牲交通运行效率为代价,需在优化生态效益的同时,保障交通功能的正常发挥。交通流量与通行速度决定了设施改造过程中对通行保障措施的需求,影响改造施工的组织方式;运输需求的变化趋势会影响改造方案的前瞻性与适用性;通行组织模式的优化则是实现交通效率与生态效益协同的重要途径。这些要素要求改造方案需进行功能与生态的统筹考量,避免顾此失彼。

2.4 生态化技术适配性相关要素

生态化技术适配性相关要素是生态化改造的支撑性因子,包括生态材料的性能与可用性生态技术的成熟度与稳定性技术应用的成本与难度等。生态材料的性能直接影响改造后设施的生态效益与使用寿命,其可用性则关系到改造方案的落地可行性;生态技术的成熟度与稳定性决定了改造效果的可靠性,不成熟的技术可能导致改造后出现功能失效等问题;技术应用的成本与难度则影响改造方案的经济性与可操作性^[4]。合理评估这些要素,能够保障所选技术方案的适配性,提升生态化改造的质量与效益。

3 城市交通设施生态化改造的设计策略

3.1 道路类交通设施生态化改造策略

3.1.1 路面结构的生态化优化设计

路面结构的生态化优化设计核心在于兼顾通行性能与生态效益的平衡,通过科学的材料选型、结构创新与工艺改进,系统性减少全生命周期的环境影响。优先选用低能耗生产、可自然降解或循环再生的生态型建材,从源头降低建材生产阶段的矿产资源消耗、能源损耗与碳排放总量。同时精准优化路面各结构层的配比参数与厚度设计,提升路面透水、透气性能,增强雨水快速下渗能力,既有效缓解城市内涝压力,又能降低路面温度,减轻城市热岛效应。需强化路面结构的抗疲劳、抗老化等耐久性设计,延长使用寿命,降低后期维修养护的频率与强度,减少改造施工过程中产生的建筑垃圾,实现路面从材料生产、施工建设到运维废弃全生命周期的生态化管控。

3.1.2 道路沿线生态缓冲空间构建

道路沿线生态缓冲空间构建的核心目标是削弱交通

运行产生的噪声、尾气、扬尘等污染物对周边生态系统的干扰,同时构建连续完整的生态廊道。基于道路实际交通流量、车型构成与周边生态环境的本底特征,科学测算并规划缓冲空间的合理宽度、纵向延伸长度与横向布局形式,通过种植本土耐逆性强、生态适应性好的植被,构建乔灌木相结合的多层级植物群落,显著提升区域固碳释氧、滞尘降噪与净化空气的生态功能^[1]。重点注重缓冲空间的生态连通性设计,通过合理设置植被衔接带与生态通道,打破道路对自然生态系统的割裂状态,为各类生物提供安全的迁徙与栖息通道。同时充分整合缓冲空间的水土保持功能,通过植被根系固土、微地形整理与生态护岸建设等方式,有效减少雨水径流引发的水土流失,进一步提升区域生态系统的稳定性与自我修复能力。

3.1.3 道路排水系统的生态化重构

道路排水系统的生态化重构以雨水资源化循环利用为核心目标,彻底摒弃传统单一硬化排水的模式,构建“渗、滞、蓄、净、用、排”多环节协同运作的生态排水体系。在道路两侧及绿化带区域科学设置生态植草沟、雨水花园、下凹式绿地等生态排水设施,高效承接并初步净化路面径流雨水,截留去除雨水中的悬浮物、重金属等污染物,减少污染物直接进入自然水体造成的污染。优化排水管网的走向与管径布局,结合路面坡度设计,广泛采用透水铺装替代传统硬化路面,大幅提升雨水下渗效率,补充地下水资源。同时在适宜区域设置模块化雨水收集存储设施,对经净化处理后的雨水进行回收存储,用于道路绿化灌溉、路面冲洗、消防补水等场景,实现水资源的循环利用,有效降低对市政供水的依赖,全面提升道路系统的水资源调控与可持续利用能力。

3.2 桥隧类交通设施生态化改造策略

3.2.1 桥隧结构材料的生态化替代与优化

桥隧结构材料的生态化替代与优化聚焦于最大限度降低材料全生命周期的环境负荷,同时提升材料资源的利用效率与结构安全性能。在桥隧结构维修、加固与改造过程中,优先采用高性能生态环保材料替代传统高污染、高能耗建材,例如以再生钢材、工业固废掺合的高性能混凝土、生物基复合材料等替代传统建材,显著减少材料生产过程中的能源消耗、温室气体排放与污染物排放。同时基于结构力学性能要求优化设计方案,采用轻量化结构形式,减少材料用量的同时提升结构承载效率,实现结构轻量化与高强度的平衡。注重材料的可回收性与可拆解性设计,在结构生命周期结束后便于进行材料的拆解、分类回收与再利用,降低建筑垃圾的产生

量与处置压力。

3.2.2 桥隧周边环境修复与适配设计

桥隧周边环境修复与适配设计的核心任务是消除桥隧建设与运营过程中对周边环境造成的破坏,推动桥隧设施与自然环境形成和谐共生的状态。针对桥隧建设过程中扰动的地形地貌进行系统性整理修复,清理施工遗留的建筑垃圾,重塑自然地形轮廓,优先恢复原生植被群落,提升区域生态系统的完整性与连续性^[2]。对于穿越生态敏感区域的桥隧设施,精细化优化周边地形整理方案与植被配置类型,选择与本土生态系统适配性强的植物种类,减少对原有生物栖息地的干扰,保障生态系统的结构稳定性与功能完整性。同时充分考虑桥隧排水系统与周边水文系统的适配性,优化排水出口位置与排放方式,避免排水直接冲击周边水体,通过设置生态护岸、植被缓冲带、人工湿地等设施对桥隧排水进行深度净化,提升水环境质量,最终实现桥隧设施与周边生态环境的协同适配与良性互动。

3.2.3 桥隧内部通风采光系统的生态化升级

桥隧内部通风采光系统的生态化升级旨在通过系统优化降低能源消耗,同时改善内部通行环境质量,减少环境干扰。通风系统优化采用自然通风为主、机械通风为辅的协同模式,通过精准计算通风需求,合理设置通风口的位置、数量与尺寸,优化隧道断面形式与内部气流组织,最大限度提升自然通风效率,减少机械通风设备的运行时间与能源消耗。采光系统升级以自然光利用为核心,在隧道入口过渡段、桥梁廊道等关键区域设置透光性良好的结构构件,引入自然光照明,降低人工照明的能耗与运行成本。同时选用低能耗、低眩光的照明设备,结合通行需求优化照明布局与亮度梯度设计,实现按需照明,减少光污染对周边环境与通行者的影响。强化通风采光系统的智能调控功能,安装环境参数监测传感器,根据实时监测的空气质量、光照强度等参数自动调整系统运行状态,进一步提升能源利用效率与环境调控精度。

3.3 场站类交通设施生态化改造策略

3.3.1 场站空间布局的生态化优化

场站空间布局的生态化优化以提升空间利用效率与生态功能协同性为核心目标,基于场站核心交通功能需求与生态保护原则,系统性重构空间格局。科学划分客运、货运、维修、服务等功能区域,合理规划交通流线,减少不同类型流线的交叉干扰,提升通行效率与运营管理水平,同时预留充足的生态绿化空间,构建覆盖场站内部的生态网络。优化场站建筑群体布局,充分利

用场地地形地貌特征与主导风向,实现建筑自然通风与采光,降低建筑空调与照明系统的能耗。注重场站与周边城市交通系统的有机衔接,构建步行、自行车等绿色交通廊道,提升场站的可达性与绿色出行比例。通过功能空间的整合与紧凑化设计减少土地占用面积,严格保护场地原有生态植被、土壤与水文系统,避免过度扰动自然生态基底,实现交通功能与生态功能的空间协同与高效融合。

3.3.2 场站屋面与地面的生态化改造

场站屋面与地面的生态化改造是提升场站整体生态效益的关键环节,通过对屋面与地面的系统性优化,实现多重生态功能的叠加。屋面改造可根据场站实际需求采用种植屋面、太阳能屋面或复合型生态屋面等形式,种植屋面通过铺设轻质种植基质与种植耐旱植被,有效减少屋面热量吸收,缓解城市热岛效应,同时提升雨水调蓄与净化能力;太阳能屋面合理安装光伏组件,充分利用屋面空间收集太阳能并转化为电能,为场站运营提供清洁可再生能源,降低化石能源消耗。地面改造全面推行透水铺装,以透水混凝土、透水砖等材料替代传统硬化地面,大幅提升雨水下渗能力,减少地表径流与内涝风险。科学规划地面绿化区域,采用本土植被构建乔灌草多层次绿化体系,提升场站的固碳、滞尘、降噪与净化空气能力,改善场站内部微气候环境,提升出行与运营舒适度。

3.3.3 场站能源供应系统的生态化重构

场站能源供应系统的生态化重构以清洁能源替代与能源高效利用为核心导向,构建低碳环保、稳定可靠的能源供应体系。大力推广太阳能、风能、地热能等可再生能源的规模化应用,根据场站场地条件与资源禀赋,合理布置光伏组件、风力发电设备或地热泵系统,高效获取清洁能源,逐步降低对传统化石能源的依赖程度。优化能源输送与分配系统,采用高效输配电设备与节能线缆,减少能源在传输与分配过程中的损耗。全面采用高效节能设备与系统,例如变频节能空调、高效节能照明、节能型水泵等,从终端降低能源消耗。构建能源梯级利用系统,对场站运营过程中产生的工业余热、生活余热与余压进行回收与梯级利用,提升能源综合利用效率。

3.4 交通附属设施生态化改造策略

3.4.1 照明设施的生态化升级

照明设施的生态化升级聚焦于实现节能降耗与减少光污染的双重目标,通过技术创新、设备升级与管理优化,全面提升照明设施的生态效益。全面替换传统高能

耗照明设备,推广应用LED等高效节能光源,结合照明场景需求匹配光源功率,大幅降低能源消耗与运行成本。优化照明控制模式,广泛引入智能感应技术与物联网技术,根据环境亮度、交通流量、时间段等多维度参数自动调节照明强度与开关状态,实现精准按需照明,避免无效能耗。科学规划照明布局,通过调整照明灯具的安装角度、照射范围与亮度参数,避免光线直射周边生态敏感区域,减少对动植物作息规律的干扰^[1]。严格选用低眩光、低蓝光、高显色性的照明产品,在提升照明舒适度与安全性的同时,最大限度降低光污染对周边环境与人体健康的影响。

3.4.2 标识系统的生态材料应用与设计

标识系统的生态化改造核心在于通过科学的材料选择与设计优化,最大限度减少全生命周期的环境负荷。优先选用再生塑料、再生金属、生物降解材料等生态环保材料制作标识牌,替代传统难降解、高污染的塑料与金属材料,从源头降低材料生产过程中的资源消耗与污染物排放,减少废弃后对环境的压力。优化标识牌结构设计,采用轻量化、模块化设计理念,减少材料用量的同时提升结构稳定性与抗风抗震性能,延长标识牌使用寿命。采用低VOCs、无重金属的环保型涂料与印刷工艺,减少生产过程中有害物质的挥发与排放。同时注重标识系统的可回收性与可复用性设计,在标识牌废弃或更新时便于拆解、分类回收与再加工利用。标识设计需遵循简洁清晰的原则,优化信息排版与字体选择,提升信息传递效率,减少不必要的标识设置与重复建设,进一步降低资源消耗。

3.4.3 隔音降噪设施的生态化优化

隔音降噪设施的生态化优化以提升降噪效果与生态兼容性的协同统一为目标,通过材料创新与结构优化,实现隔音功能与生态功能的有机融合。优先采用再生纤维、木质纤维、生态混凝土等生态型隔音材料,替代传统高能耗、难降解的隔音材料,降低材料生产与废弃过程中的环境影响。优化隔音设施的结构设计,采用穿孔板、吸声棉、空腔结构相结合的复合形式,精准匹配交通噪声的频率特性,大幅提升隔音降噪效率。创新采用“隔音设施+绿化”的复合模式,在设施周边及表面种植隔音效果好、生长旺盛的本土植被,形成生态隔音屏障,在增强降噪效果的同时提升区域绿化覆盖率与生态景观价值。

4 城市交通设施生态化改造的技术支撑体系

4.1 生态材料研发与应用技术

生态材料研发与应用技术是城市交通设施生态化改

造的核心基础技术,聚焦于低环境负荷、高生态兼容性材料的创新研发与工程适配应用。研发方向重点围绕降低材料生产阶段的能源消耗与污染物排放,提升材料的可降解性、再生利用性与耐久性,通过材料组分优化、制备工艺革新等手段,突破传统材料生态性能不足的瓶颈。应用技术核心在于针对不同交通设施类型的功能需求,建立生态材料的性能评估标准与适配选择体系,确保材料在承载能力、抗老化、抗腐蚀等关键性能达标。同时发展生态材料的施工工艺优化技术,减少施工过程中的资源浪费与环境扰动,形成从材料研发、性能评估到工程应用的全链条技术支撑,为生态化改造提供核心材料保障。

4.2 生态监测与预警技术

生态监测与预警技术为城市交通设施生态化改造提供全生命周期的环境动态管控支撑,核心在于构建覆盖改造全过程及设施运营期的生态环境监测网络。通过整合多维度感知技术,实现对大气污染物浓度、土壤理化性质、水体质量、生物多样性及微气候等关键生态指标的实时、连续监测。技术体系涵盖监测指标体系构建、监测点位优化布设、数据精准采集与传输等关键环节,同时结合数据分析与建模技术,建立生态环境变化趋势预测模型。基于监测数据与预测结果,构建分级预警机制,当生态指标出现异常波动或接近阈值时,及时发出预警信号,为改造方案调整、施工工艺优化及运营期生态管控提供科学依据,保障改造过程与设施运营对生态环境的影响可控。

4.3 资源循环利用技术

资源循环利用技术贯穿城市交通设施生态化改造的全生命周期,旨在实现改造过程中各类资源的高效循环与梯级利用,降低对原生资源的依赖。核心技术包括废弃交通建材的回收处理与再生利用技术,通过破碎、筛分、改性等工艺,将拆除产生的建筑垃圾转化为再生建材,重新应用于设施改造建设^[5]。同时涵盖雨水、太阳能、风能等自然资源的收集与利用技术,通过高效收集、净化、存储系统实现雨水资源化,通过光伏、风能利用技术实现清洁能源供应。此外还包括能源循环利用技术,对改造施工及设施运营过程中产生的余热、余压等进行回收转化再利用。通过建立资源循环利用技术体系,形成“资源-产品-废弃物-再生资源”的闭环模式,提升资源利用效率。

4.4 数字化设计与优化技术

数字化设计与优化技术通过数字化手段提升城市交通设施生态化改造方案的科学性与精准性,核心在于构

建涵盖地形地貌、生态环境、交通流量等多维度信息的数字化模型。利用三维建模、数值模拟等技术,对改造方案进行可视化设计,直观呈现改造后设施与周边生态环境的协同关系。通过多目标优化算法,结合生态效益、交通效率、工程成本等核心指标,对改造方案进行系统性优化,筛选最优设计方案。同时借助数字化技术实现改造施工过程的动态管控,通过施工模拟与实时数据反馈,优化施工流程,减少施工对生态环境的扰动。运营期可通过数字化平台实现设施状态与生态指标的实时监控与智能调控,为设施长期稳定运行提供技术支撑。

结束语:城市交通设施生态化改造是一项意义深远且复杂的系统工程,涉及理论基础、影响要素、设计策略及技术支撑等多方面内容。从明确核心内涵与目标,到考量多元影响要素,再到制定针对性设计策略、构建完备技术支撑体系,每一步都为实现交通与生态协同发展奠定基础。未来,随着相关理念深化、技术进步,生

态化改造将不断优化升级,为城市打造绿色、高效、宜居的交通环境,推动城市可持续发展迈向新高度。

参考文献

[1]魏博,陈扬扬,刘文龙.城市中心区步行友好环境建设中的街道绿化改造实践[C]//2025工程技术与材料应用学术交流会议论文集.2025:1-3.

[2]陈丁伊.城市更新背景下对滨水型高架桥下剩余空间改造利用策略探究——以张家界市白马泉滩头生态公园为例[J].区域治理,2021(11):38-39,41.

[3]林冬凤,刘小龙,陈哲煜,等.基于遥感指数的山地型城市生态质量变化分析——以福建三明市区为例[J].环境生态学,2022,4(8):1-6.

[4]李亚亮,王曦,宁丽丽,等.绿色发展理念下城市老旧小区改造策略[J].建筑经济,2023,44(12):67-72.

[5]龙俊洁.“双修”背景下山地城市公共空间改造设计研究——以重庆两路片区为例[D].重庆:重庆大学,2021.