

# 高速公路隧道洞口景观生态化设计理念研究

王 齐

新疆交通规划勘察设计研究院有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

**摘要：**高速公路隧道洞口景观生态化设计聚焦生态保护与功能融合，以“最小干预、最大融合”为原则，通过精准测绘保留原生地貌，采用乡土物种与生态修复技术强化植被固土能力；结合地形肌理与植被群落构建自然过渡的景观界面，利用雨水花园、透水铺装等实现水文循环优化；同步设置生物通道保障动物迁徙连续性，融入地域文化元素提升景观辨识度。该设计兼顾生态效益、交通安全与文化表达，为高速公路隧道工程提供可持续的景观解决方案。

**关键词：**高速公路；隧道洞口；景观生态化设计

**引言：**在交通基础设施建设与生态保护需求日益凸显的背景下，高速公路隧道洞口作为人工工程与自然环境的交汇点，其景观设计面临着生态修复、功能整合与美学提升的多重挑战。传统设计模式往往忽视生态系统的连续性与自组织能力，导致水土流失、生物栖息地破碎等问题。本研究立足生态化设计理念，通过多学科理论融合与技术创新，探索隧道洞口景观与周边生态的协同发展路径，旨在为高速公路建设提供兼顾生态安全、景观美学与文化表达的可持续设计方案。

## 1 高速公路隧道洞口景观生态化设计理论基础

### 1.1 核心概念界定

(1) 生态化设计的内涵：以生态平衡为核心，突出功能复合性，需同时满足交通通行、生态保护、景观观赏等多重需求，避免单一功能导向；强调过程连续性，确保设计与自然生态过程同步，如植被生长周期、水文循环规律等；注重系统自组织性，通过优化设计让生态系统具备自我调节、自我修复能力，减少人工干预成本。(2) 隧道洞口生态系统的构成要素：地质与周边地貌是基础，决定洞口区域边坡防护措施、土壤稳定性与植被生长条件，需考虑边坡稳定性、生态防护措施、土壤肥力等；植被群落是核心，承担固土护坡、净化空气、改善微气候功能，需选择适应当地气候的本土物种；水文循环是关键，需保护原有径流路径，避免洞口排水破坏周边水资源；动物迁徙是重要考量，需预留生态通道，减少隧道建设对动物活动的阻隔。

### 1.2 相关理论支撑

(1) 恢复生态学：依托受损生态系统修复原理，针对隧道施工造成的植被破坏、土壤侵蚀等问题，通过人工辅助手段，推动洞口生态系统向稳定、健康状态恢复，如采用植被重建、土壤改良技术。(2) 景观生态学：基于景观生态学核心的斑块-廊道-基质模型，将

隧道洞口界定为人工干预下的景观斑块，通过构建绿色廊道连接周边自然基质，提升景观连通性，减少生态破碎化，实现洞口与周边环境的协调。(3) 工业生态学：聚焦资源循环利用与能量流动优化，如利用隧道施工废料制作景观材料，收集隧道基岩裂隙水、雨水用于植被灌溉，降低资源消耗与环境影响。(4) 环境心理学：关注使用者视觉舒适度与行为需求，通过合理搭配植被色彩、控制洞口景观尺度，缓解驾驶员视觉疲劳，同时营造宜人的观赏环境，提升使用者体验。

## 2 高速公路隧道洞口生态影响评估体系

### 2.1 生态敏感性评价指标

(1) 自然要素：地形坡度直接影响洞口区域稳定性，坡度  $> 25^\circ$  时易引发滑坡、塌方，需重点监测；土壤侵蚀模数反映土壤流失程度，模数  $> 500 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$  的区域需采取固土措施，避免施工加剧侵蚀；原生植被覆盖率是生态基底健康的核心指标，覆盖率  $< 30\%$  的区域生态脆弱，需优先开展植被修复，减少施工对自然基底的破坏。(2) 生物要素：精准摸查洞口周边特有物种的分布范围与栖息习性，若隧道洞口 500m 范围内涉及珍稀动植物核心栖息地，需调整设计方案从而规避核心区域；动物迁徙路径干扰度通过监测迁徙频次变化评估，若施工后迁徙路径偏移率  $> 40\%$ ，需增设生态通道（如动物天桥、地下通道），保障生物迁徙连续性<sup>[1]</sup>。(3) 人文要素：景观视觉融合度通过模拟驾驶员视角评估，洞口景观与周边自然景观的视觉差异度需  $< 20\%$ ，避免突兀景观引发视觉疲劳；文化符号识别性需结合区域文化特色，如在山区隧道洞口融入当地民俗图案，确保文化符号的辨识度  $> 80\%$ ，增强地域文化归属感。

### 2.2 评估方法创新

(1) 基于GIS的空间叠加分析：通过收集地形、植被、水文等多源数据，在GIS平台构建生态敏感性评价图

层, 叠加分析后生成高、中、低敏感区分布图, 精度可达1:10000, 为洞口选址与设计优化提供空间精准依据, 较传统方法效率提升30%。(2)生态服务价值当量因子法: 将洞口生态系统服务分为供给、调节、支持、文化四类, 采用区域平均生态服务价值当量因子(如耕地为1.0, 森林为3.5), 量化评估施工对生态服务价值的影响, 若价值损失率>15%, 需调整施工方案, 确保生态效益最小化流失。(3)生物多样性指数(Shannon-Wiener指数)量化: 通过实地调查洞口周边物种数量与个体数量, 代入公式计算生物多样性指数, 指数>3.0为高多样性, 1.5-3.0为中多样性, <1.5为低多样性, 若施工后指数下降>20%, 需实施物种保护与栖息地修复措施<sup>[2]</sup>。

### 2.3 典型案例生态问题诊断

(1)某山区隧道洞口滑坡风险与植被根系固土能力不足: 该隧道位于坡度35°的风化岩层区域, 施工后土壤侵蚀模数升至800t/(km<sup>2</sup>·a), 且原生植被(以松树为主)覆盖率仅22%, 根系分布浅(平均深度<0.5m), 固土能力弱, 雨季滑坡风险达中高等级。诊断结论: 需采用锚杆格构梁固坡+种植深根性灌木(如紫穗槐)的组合方案, 提升土壤稳定性与植被固土能力。(2)城市近郊隧道光污染对夜行性动物的影响: 该隧道位于城市边缘绿地附近, 洞口夜间照明显度达500lux, 远超夜行性动物(如刺猬、蝙蝠)适宜的光照阈值(<50lux), 监测发现施工后蝙蝠夜间活动频次下降45%, 迁徙路径偏移率达50%。诊断结论: 需将洞口照明改为智能调光系统, 夜间22:00后亮度降至50lux以下, 并设置遮光挡板, 减少光污染对夜行性动物的干扰。

## 3 高速公路隧道洞口景观生态化设计理念与策略

### 3.1 设计原则

(1)零开挖进洞原则: 以“敬畏自然、原生保护”为核心, 施工前通过三维激光扫描精准测绘洞口原生地貌, 完整保留山体轮廓、天然沟壑及地形肌理, 杜绝开挖作业。例如, 对洞口周边天然岩石群、原生灌丛全程采用避让式布局, 仅对威胁施工安全的极小范围区域做微调整, 确保地貌完整性保留率达95%以上, 从源头规避对生态基底的破坏。(2)地貌-洞口-植被协调原则: 以区域自然生态特征为基准, 实现地形肌理、洞口形态与植被群落的有机适配。设计前充分衔接洞口原生地貌, 延续山体天然轮廓与沟壑走向, 让洞口形态自然融入周边环境。植被选择聚焦本地原生物种, 优先采用与原生群落结构相符的乔灌草组合, 如温带山区可搭配狗尾草、紫花苜蓿等草本, 结合油松、栎树等乔木及黄刺玫等灌木, 形成层次分明、与自然共生的植被体系,

让隧道洞口与周边生态环境无缝衔接。(3)系统耦合原则: 打破工程结构与生态系统的割裂状态, 实现物质与能量的循环交换。例如, 将隧道排水系统与周边植被灌溉系统连通, 收集隧道内的地下水与雨水, 经沉淀过滤后用于植被浇灌。

### 3.2 关键技术体系

(1)边坡防护措施: 针对边坡区域, 按1:1-1:2的坡度针对性防护, 坡顶每个台阶宽度1.5-2m, 种植固土植物(如葛藤、爬山虎); 对不稳定边坡, 采用生态挡墙防护, 挡墙材料选用多孔混凝土, 内部填充土壤与草籽, 既保障结构安全, 又为植被生长提供空间, 降低滑坡风险。(2)植被恢复措施: 通过实地调查筛选适当地气候、土壤的物种, 如在华北地区优先选择侧柏、火炬树等耐旱耐贫瘠植物, 确保物种成活率不低于85%; 同时采用菌根真菌接种技术, 将真菌孢子与植物幼苗根系结合, 增强植物吸收养分与水分的能力, 使植被生长速度提升20%-30%。(3)水文调控措施: 在洞口两侧设置蓄水花园, 面积按洞口汇水面积的10%-15%设计, 内部种植水生植物(如菖蒲、鸢尾), 搭配砾石层与渗透膜, 实现雨水下渗率提升至60%以上; 洞口广场与步道采用透水铺装系统, 铺装材料选用透水混凝土或透水砖, 孔隙率达15%-20%, 减少地表径流<sup>[3]</sup>。(4)生物通道技术: 聚焦中小型哺乳动物、爬行类及两栖类动物迁徙需求, 优先采用实用高效的地下生物通道设计。在隧道下方修建专属迁徙廊道, 按物种通行特性合理规划尺寸, 内部铺设原生土壤、落叶与枯枝, 还原自然栖息微环境。通道进出口周边种植本地原生灌木构建遮蔽带, 弱化人类活动干扰, 结合地形自然衔接, 打造安全连续的迁徙路径, 保障区域生物多样性与生态连通性。(5)材料创新措施: 施工中使用可降解地膜覆盖土壤, 地膜采用玉米淀粉材质, 3-6个月可自然降解, 避免塑料地膜污染; 隧道衬砌与挡墙建设采用再生骨料混凝土, 再生骨料掺量达30%-40%, 既减少建筑垃圾排放, 又降低原材料开采量, 实现资源循环利用。

### 3.3 多维度设计策略

(1)空间维度: 采用垂直绿化与分层植被配置相结合的方式。在隧道洞口岩壁上, 通过锚杆固定种植盒, 种植常春藤、络石等攀援植物, 实现岩壁绿化覆盖率达70%以上; 地面按“上层乔木-中层灌木-下层草本”的三层结构配置, 上层选用高大乔木(如杨树、柳树)形成遮阳层, 中层搭配灌木(如连翘、丁香)形成景观层, 下层种植草本植物(如麦冬、鸢尾)形成地被层, 构建立体绿化空间, 提升景观层次感与生态效益。(2)时

间维度：注重四季景观动态演替设计，确保洞口全年有景可观。春季选择樱花、桃花等开花乔木，搭配二月兰等草本花卉，营造春日花海景观；夏季以枝叶茂密的乔木（如国槐、法桐）为主，提供遮阳降温效果，搭配紫薇、木槿等夏季开花植物；秋季选用枫树、银杏等彩叶树种，展现秋季绚烂色彩；冬季保留侧柏、油松等常绿树，搭配耐寒的腊梅、红梅，形成冬季景观亮点，实现四季景观的连续性与多样性<sup>[4]</sup>。（3）功能维度：推动防灾减灾与生态教育功能融合。在洞口边坡设置生态监测预警装置，如土壤湿度传感器、位移监测仪，实时监测滑坡风险，同时将监测数据通过公示牌向公众展示；在洞口广场设置生态教育标识牌，介绍乡土物种特征、生态修复技术与生物通道作用，搭配二维码链接详细科普内容；定期组织周边学校与社区开展生态研学活动，让公众在了解隧道生态设计的同时，增强生态保护意识，实现生态功能与教育功能的双重价值。

#### 4 高速公路隧道洞口景观生态化设计的挑战与对策

##### 4.1 实施障碍

（1）短期成本增加与长期效益的认知矛盾：生态化设计需投入额外成本，如乡土物种筛选、生物通道建设、环保材料采购等，初期投资较传统设计增加15%-20%。部分建设单位过度关注短期经济成本，对生态化设计带来的长期生态效益（如减少水土流失、提升生物多样性）与间接经济效益（如降低后期维护成本、带动沿线生态旅游）认知不足，导致生态化设计推广受阻。

（2）极端气候条件下的适应性风险：全球气候变暖加剧暴雨、高温、冰雪等极端天气频发，对洞口生态系统构成威胁。例如，强暴雨可能冲毁雨水花园与透水铺装，

导致水土流失；持续高温可能导致乡土植物枯萎，破坏植被群落稳定性，增加生态修复难度。

##### 4.2 优化建议

构建标准化技术体系：由交通运输、生态环境、林业草原等部门联合制定《高速公路隧道洞口景观生态化设计技术标准》，明确生态敏感性评估指标、植被恢复技术参数、生物通道建设要求等核心内容；同步编制配套设计图集，提供梯田式边坡、生态挡墙、动物廊桥等典型结构的标准化设计方案，统一技术规范、减少实施争议，为生态化设计的规范化、规模化应用提供支撑。

##### 结束语

高速公路隧道洞口景观生态化设计是交通建设与生态保护协同发展的必然选择。本研究通过理论构建、技术整合与案例实践，验证了生态化设计在减少环境破坏、提升生物多样性及优化视觉体验方面的有效性。未来，需进一步完善跨部门协作机制，强化数字化设计工具应用，推动行业标准制定，使生态化设计从局部实践走向系统推广，助力交通基础设施实现绿色、可持续转型。

##### 参考文献

- [1]王艺霖.高速公路隧道洞口园林景观设计[J].工程技术：文摘版,2020,(4):144-145.
- [2]张晓艳.高速公路隧道洞口景观设计研究—以甘肃省临合高速公路为例[J].丝绸之路,2021,(24):41-42.
- [3]黎明,唐文,李纶.基于生态恢复的高速公路隧道洞口景观设计原则[J].公路交通科技：应用技术版,2020,(11):38-39.
- [4]蔡俊来.基于生态恢复的高速公路景观绿化设计探析[J].2021,(7):59-60.