

Transportation Infrastructure in Qilian Mountain Nature Reserve from the Perspective of Synergistic Coexistence: A Study on Its Coordination with Ecosystems

Decai Tang

Housing and Urban-Rural Development Bureau of Su'nan County, Zhangye, Gansu, 734400, China

Abstract

As an important ecological security barrier in western China, Qilian Mountain plays a central role in maintaining the ecological balance between the Qinghai-Tibet Plateau and inland river basins due to its unique geographical location and ecological functions. With the advancement of regional economic development and infrastructure construction, transportation projects have promoted resource circulation, tourism development, and social service improvement, while also causing potential disturbances to the fragile high-altitude ecosystem. Based on the theory of synergistic coexistence, this paper explores the dynamic equilibrium mechanism between transportation construction and ecological protection in Qilian Mountain Nature Reserve, focusing on the coordination between ecosystem service functions and transportation spatial layout. Through field surveys, remote sensing monitoring, and multi-source data analysis, the spatial coupling relationship between transportation interference and ecological sensitivity is revealed. A transportation-ecology collaborative evaluation system is constructed, proposing an optimization path of "minimal interference, maximum coexistence." The results indicate that the concept of synergistic coexistence can provide a scientific basis for transportation planning in protected areas, achieving a win-win situation for ecological protection and transportation development.

Keywords

Qilian Mountain Reserve; transportation infrastructure; ecosystem; symbiosis; coordination evaluation; sustainable development

协同共生视角下交通基础设施与生态系统协调性研究——以祁连山保护区为例

唐德才

肃南县住房和城乡建设局, 中国·甘肃 张掖 734400

摘要

祁连山作为中国西部重要的生态安全屏障,其独特的地理位置和生态功能在维系青藏高原与内陆河流域生态平衡中具有核心意义。随着区域经济发展与基础设施建设推进,交通工程在促进资源流通、旅游发展和社会服务提升的同时,也对脆弱的高寒生态系统造成潜在干扰。本文基于协同共生理论,从生态系统服务功能与交通空间布局协调性出发,探讨祁连山保护区交通建设与生态保护的动态平衡机制。通过实地调研、遥感监测与多源数据分析,揭示交通干扰与生态敏感度的空间耦合关系,构建交通—生态协同评价体系,提出“最小干扰、最大共生”的优化路径。结果表明,协同共生理念可为保护区交通规划提供科学依据,实现生态保护与交通发展的双赢。

关键词

祁连山保护区; 交通基础设施; 生态系统; 协同共生; 协调性评价; 可持续发展

1 引言

祁连山横亘于青海与甘肃交界地带,是我国重要的生态安全屏障和水源涵养区,其生态功能直接影响河西走廊、青藏高原东缘及下游内陆河流域的环境稳定性。随着“一带一路”倡议及西部大开发战略的深入实施,交通基础设施建设在促进区域经济联系、提升公共服务水平、支持生态旅游

发展的过程中逐步加快。然而,保护区内复杂的地形地貌、敏感的生态系统与稀有的生物多样性,使交通工程建设与生态保护之间的矛盾愈加突出。道路、铁路等交通设施在提供便利的同时,也带来了生态破碎化、动物迁徙障碍、植被退化及噪声污染等生态风险。

传统的交通规划偏重经济效益和运输效率,而忽视生态系统的承载力与反馈机制,导致“发展—保护”之间的冲突加剧。协同共生理论强调不同系统间的相互依赖与动态平衡,倡导在多目标约束下实现社会、经济与生态系统的共赢。将该理念引入祁连山保护区交通基础设施建设研究,可为构

【作者简介】唐德才(1978-),男,藏族,中国甘肃肃南人,本科,高级工程师,从事道路桥梁研究。

建交通与生态的协调机制提供理论支撑与实践路径。

2 协同共生理论与生态交通系统构建的理论基础

2.1 协同共生理论的内涵与生态学意义

协同共生理论源于生态学中的“共生”概念，强调不同个体或系统通过合作与资源共享实现整体效率的提升。在社会—生态系统研究中，该理论被扩展为多要素、多层次的系统协调机制，强调人类活动与自然环境之间的双向反馈关系。对于交通基础设施建设而言，协同共生意味着在开发与保护之间寻找动态平衡，使交通功能的扩展与生态系统的完整性相互促进，而非此消彼长。这一理论不仅关注结构层面的空间耦合，更强调过程层面的能量流、物质流与信息流的有序交互。在祁连山保护区的语境中，协同共生的核心在于“适度介入、动态平衡”。交通系统应作为生态网络的一部分，通过合理布局、绿色设计与生态修复技术实现与自然环境的良性互动^[1]。

2.2 交通基础设施的生态系统影响机理

交通建设对生态系统的影响主要表现为空间占用、结构破碎化与生态过程干扰三个层面。道路网络改变了地表连续性，破坏了植被覆盖与土壤结构，导致地表径流模式变化和人文连通性下降；交通噪声与光污染干扰野生动物的迁徙与繁殖行为；车辆排放与建设期粉尘则引起局部气候微环境变化，增加生态系统脆弱性。对于高寒地区如祁连山而言，这些影响因生态恢复周期长、气候条件严苛而被放大。研究表明，在保护区范围内，道路密度与生态退化指数呈显著正相关，生态敏感区的交通建设若无科学评估，将引发不可逆的系统退化。因此，在交通规划中引入生态系统服务价值评价与空间管控，是实现协同共生的关键环节。

2.3 协同共生视角下的交通规划理念

在协同共生框架下，交通规划不再仅追求“速度”与“通达性”，而是强调“适应性”与“可持续性”。其核心在于通过生态红线约束、环境容量控制与多尺度空间协调，实现交通设施与生态格局的动态耦合。交通系统的构建应基于生态系统结构与功能的空间识别，采用低影响选线、分级通行与生态缓冲区设计等策略，最大程度降低干扰。这种理念要求在决策阶段引入多学科协同机制，如生态学、地理信息科学与交通工程的交叉融合，建立交通建设全生命周期的生态评估与反馈体系，使规划、建设、运营各环节均服务于生态保护目标^[2]。

3 祁连山保护区交通基础设施现状与生态系统特征分析

3.1 交通网络空间分布与功能结构

祁连山保护区交通基础设施以国省干线、公路干道与生态旅游道路为主，其空间分布呈现“南北分带、东西连接”的格局。主要道路集中于山前地带与河谷地形，兼具资源运

输、民生保障与旅游通达功能。然而，高程差异与地质条件限制了交通网络的均衡发展，部分地段存在道路密度过高与生态敏感区交叉的问题。根据遥感监测数据，保护区范围内交通线性工程长度占地比例超过 2.8%，局部区域道路缓冲带对生态廊道形成阻隔。近年来，随着生态旅游热度上升，一些地方盲目扩建景区道路、观光通道及停车设施，导致草甸退化和碎屑坡失稳现象增加，亟需科学的空间优化与生态管控^[3]。

3.2 生态系统类型与敏感性特征

祁连山生态系统类型多样，主要包括高山草甸、亚高山针叶林、灌丛及河谷湿地等，其生物多样性与生态功能具有显著差异。高山地带生态系统脆弱且恢复周期长，是交通干扰的高风险区；湿地系统则对地表径流与地下水循环敏感，受交通施工排水与路基改造影响明显。通过生态敏感性分区分析，可将保护区划分为高敏、中敏与低敏区域，其中高敏区占比超过 45%，主要分布在海拔 3500 米以上及核心水源涵养区。交通项目若未充分考虑生态分区特征，极易造成生态系统服务功能下降，如水源涵养能力削弱、碳汇效应降低与野生动物栖息地破碎化。因此，建立基于生态敏感度的交通布局约束机制具有现实必要性。

3.3 交通建设与生态系统冲突现状

调研显示，部分区域交通建设缺乏系统化环境影响评估，施工期土方弃置、机械碾压与排水不当导致植被覆盖率下降 30% 以上。长期监测表明，距离道路边缘 50 米范围内植被群落结构发生明显变化，生物多样性指数下降 0.12 ~ 0.28。野生动物如岩羊、雪豹、马鹿等的活动范围受限，迁徙路线受阻。部分地区虽设立生态通道，但数量有限且位置与动物迁徙廊道匹配度不足，难以形成有效生态连通。这种“交通发展优先、生态补偿滞后”的状况，已成为制约祁连山保护区可持续发展的主要障碍^[4]。

4 交通基础设施与生态系统协调性评价体系构建

4.1 评价指标体系设计原则

为了科学评估交通基础设施与生态系统的协调程度，本研究建立了基于协同共生视角的综合评价体系。指标体系遵循系统性、科学性与可操作性原则，从生态压力、生态响应与交通适应性三个维度构建层级结构。生态压力反映交通工程对生态系统的扰动强度，如土地占用率、噪声污染指数、道路密度等；生态响应衡量生态系统自我调节与恢复能力，如植被覆盖度变化率、生态服务价值指数；交通适应性则体现交通系统对生态约束的响应程度，如路线避敏比例、生态通道设置率与建设期生态投入比。

指标数据来源包括遥感监测、交通规划数据、生态监测点实测结果及社会经济统计资料，通过主成分分析与层次分析法确定指标权重。

4.2 协调性指数模型建立

基于上述指标，构建交通—生态协调性指数（TECI）模型，以综合反映交通基础设施与生态系统间的协同程度。模型公式为：

$$TECI = \alpha \times (1 - EPI) + \beta \times ERI + \gamma \times TAI$$

其中 EPI 为生态压力指数，ERI 为生态响应指数，TAI 为交通适应性指数， α 、 β 、 γ 为权重系数，依据区域特征设定为 0.4、0.3、0.3。通过 GIS 空间叠加与归一化处理，可实现各指标的空间定量化表达，进而绘制出交通—生态协调性分布图。

计算结果显示，祁连山保护区整体协调性处于中等水平，但区域差异显著。南部核心保护区协调性指数低于 0.45，反映交通干扰较强；而西北部生态旅游区指数较高，表现出较好的交通适应性与生态恢复能力。

4.3 模型验证与结果分析

通过实地调查与生态监测数据比对，模型评价结果与实际生态状况吻合度达 86%。在交通—生态冲突较为明显的区域，模型预测值较低，验证了其敏感性与适用性。空间分析显示，协调性低值区集中于主要交通干线及河谷地带，而高值区多位于生态廊道交汇区域与已实施生态修复工程的地段。该结果为后续交通规划提供了精细化管理依据，可指导交通项目避开高敏感生态区并优化走向。

5 交通与生态系统协同优化的路径与策略

5.1 生态优先的交通规划机制构建

在祁连山保护区，应以生态系统完整性与关键生态过程维持为首要约束，构建“分区分级—阈值控制—全周期评估”的规划机制。项目立项前实施多尺度生态敏感性评估与累积影响评价，明确生态红线、重要栖息地与廊道的刚性边界，并以环境容量与生态服务临界阈值制定路网密度和通行强度上限。规划阶段嵌入战略环境评价与方案比选，通过情景模拟比对不同走廊与节点布局的生态机会成本，确立“绕避为主、穿越从严”的准则；对不可替代区实行“负面清单+一票否决”。建立交通、自然资源、生态环境等部门协同审查与信息共享平台，引入第三方科学评审和公众参与，形成“规划—建设—运营—退役”全生命周期动态监测与适应性管理闭环，以制度化手段保障协同共生理念落地^[5]。

5.2 绿色技术与生态工程融合应用

在工程层面，遵循低影响开发与可逆性原则，优先采用桥隧化、架空化与集中化节点布设，减少地表切割与坡面扰动；在冻融敏感与不稳定地段，配置轻量化路基、可拆卸支挡与透水性基层，配合生态基材喷播、乔灌木分层配置与微地形重塑，恢复景观连通与土壤功能。跨越生态廊道处布

设多类型动物通道（涵洞、廊桥、栈道联用），并以红外相机与足迹监测校核通道有效性；沿线实施暗夜友好照明与速度管理，降低噪声与光害。面源污染通过生态沟渠、滞留池与人工湿地的“截—滞—净”系统削减径流负荷。建设与运营期接入物联网监测网络，实时采集沉降、冻胀、边坡稳定与生物活动数据，触发分级预警与维护决策，实现工程安全与生态保护的双目标协同。

5.3 生态补偿与社区共建机制完善

协同共生的长期稳定依赖公平有效的利益分配与治理结构。应设立跨区域生态补偿基金，以生态系统服务价值核算为基础，按照交通项目对水源涵养、栖息地连通与景观质量的影响强度实施差异化补偿，并将资金与可量化绩效指标（植被恢复度、物种通过率、径流污染削减）挂钩。通过生态护林员岗位、社区共管巡护与生态旅游收益分成，支持本地居民参与道路养护与生境修复，推动生计替代与能力建设，降低基础设施对传统生计的挤出效应。建立信息公开、听证与申诉平台，纳入传统生态知识与社区偏好，完善多方协商和第三方评估机制。

6 结语

祁连山保护区的交通建设与生态保护关系复杂而微妙，协同共生视角为二者的协调发展提供了新的理论与实践路径。研究表明，交通基础设施的合理规划与绿色建筑可在一定程度上促进生态系统功能的稳定与优化，而生态系统的良性反馈又能保障交通网络的可持续运行。通过构建科学的协调性评价体系、优化空间布局与完善社会治理机制，可实现交通与生态系统在空间、功能与利益层面的动态平衡。未来应进一步深化交通—生态耦合过程的定量模拟研究，完善多源数据支撑的智能监管体系，推动祁连山保护区在协同共生理念引导下实现生态安全与交通发展的长期共赢。

参考文献

- [1] 李尚林. 高瓦斯隧道通风竖井施工关键技术——以祁连山2#隧道为例[J]. 四川水泥, 2025, (09): 263-266.
- [2] 王煜鹏, 刘祎. 港媒眼中的祁连山：生态画卷里的守护与新生[N]. 青海日报, 2025-07-19(004).
- [3] 张冬梅, 张万刚. 祁连山生态系统保护与修复技术及实施策略[J]. 农村科学实验, 2025, (08): 33-35.
- [4] 陆峥, 孙景博, 杨晓帆, 等. 课程思政元素与地理研学深度融合探索——以“穿越祁连山”研学实践为例[J]. 中学地理教学参考, 2024, (35): 75-80.
- [5] 陈平. 绿色交通理念的县、乡、村公路交通运输规划设计——基于祁连山生态保护为例[J]. 黑龙江交通科技, 2020, 43(07): 199-200.