

绿色施工理念下高原公路生态保护施工措施研究

李淑兵

新疆公路建设(集团)有限责任公司, 中国·新疆 昌吉 831100

摘要: 高原地区作为我国重要的生态安全屏障与战略通道承载区, 其公路建设面临着极端气候、脆弱生态系统与敏感生物多样性的多重约束。在“双碳”目标与生态文明建设纵深推进的背景下, 传统高扰动、高排放的施工模式已难以为继, 绿色施工理念成为高原公路建设的必然选择。本文系统综述了绿色施工理念在高原公路工程中的理论内涵与实践演进, 梳理了植被保护与恢复、水土保持、野生动物通道构建、低碳建材应用及施工污染防控等关键生态保护措施的研究进展与应用成效。

关键词: 绿色施工; 高原公路; 生态保护; 植被恢复; 动物通道; 冻土保护

Research on Ecological Protection Construction Measures for High-Altitude Highway under the Concept of Green Construction

Li Shubing

Xinjiang Highway Construction (Group) Co., Ltd., China Xinjiang Changji 831100

Abstract: As a vital ecological security barrier and strategic corridor in China, high-altitude regions face multiple constraints in highway construction due to extreme climate conditions, fragile ecosystems, and sensitive biodiversity. Against the backdrop of advancing "dual carbon" goals and ecological civilization development, traditional construction methods characterized by high disturbance and high emissions are no longer sustainable. The concept of green construction has thus become an inevitable choice for highway development in these areas. This paper systematically reviews the theoretical framework and practical evolution of green construction in high-altitude highway projects, and summarizes research progress and application outcomes in key ecological protection measures such as vegetation conservation and restoration, soil and water conservation, wildlife passage construction, low-carbon building materials, and pollution control during construction.

Keywords: Green construction; High-altitude highway; Ecological protection; Vegetation restoration; Animal passage; Permafrost protection

0 引言

青藏高原及其周边高海拔区域是我国乃至亚洲众多大江大河的发源地, 拥有独特而极其脆弱的生态系统, 对国家生态安全具有不可替代的战略价值。随着西部大开发、乡村振兴及国防安全需求的持续提升, 高原公路网络加密与提质升级步伐加快。然而, 高原环境具有高寒缺氧、昼夜温差大、生长期短、土壤贫瘠、植被一旦破坏极难恢复等特征, 加之多年冻土广泛分布、珍稀濒危物种栖息地交错, 使得公路施工对生态环境的扰动效应被显著放大。过去数十年间, 部分项目因忽视生态承载力, 采用粗放式开挖与弃渣, 导致草地退化、水土流失加剧、野生动物迁徙受阻甚至局部种群衰退, 付出了沉重的生态代价^[1]。近年来, 随着生态文明理念的深入人心, 《交通强国建设纲要》《国家综合立体交通网规划纲要》等顶层设计明确将绿色发展置于核心位置, 绿色施工已从倡导性原则逐步转化为刚

性约束。但高原环境的特殊性决定了通用绿色施工技术难以直接套用, 亟需构建适配高寒、高海拔、生态敏感区的专属技术体系与管理范式。现有研究虽在单项技术上取得突破, 但对措施间的协同效应、长期生态绩效评估及制度保障机制的系统性综述仍显不足^[2]。

1 现实审视: 高原公路绿色施工面临的生态约束与技术挑战

要制定有效的生态保护措施, 必须首先深刻理解高原环境的特殊性及其对施工活动的响应机制, 避免陷入“低海拔经验移植”的认知误区。

1.1 高寒生态系统脆弱性与施工扰动的非线性放大效应

高原生态系统结构简单、生物多样性低、能量流动缓慢, 自我调节与恢复能力远低于平原地区。施工活动引发的地表扰动、水文改变与微气候变异, 在此类系统中往往

产生级联放大效应。例如,路基开挖破坏草甸表层后,不仅导致原位植被死亡,更因表土裸露引发风蚀水蚀,进而改变局地水分再分配,使周边未直接扰动区域也出现退化;隧道排水若未经处理排入湿地,可能改变地下水补给路径,导致依赖稳定水位的特有植物群落萎缩。更为严峻的是,高原植被演替速率极慢,人工修复常因物种选择不当或养护缺失而失败,形成“修复-退化-再修复”的恶性循环。某川藏线试验段曾大面积播种内地速生草种,初期覆盖度良好,但因不耐越冬低温与强紫外线,两年后几乎全部死亡,反而抑制了原生种的自然侵入。这揭示出,高原生态修复不能追求短期视觉效果,而应尊重生态演替规律,以“辅助自然恢复”为核心策略。施工扰动的生态后果具有滞后性与不可逆性,必须在规划阶段就建立基于生态阈值的避让与减缓优先级^[3]。

1.2 多年冻土区水热平衡敏感性与工程稳定性冲突

多年冻土是高原公路建设中最复杂的地质环境问题之一。施工活动如路基填筑、桥梁桩基钻孔、隧道掘进等,均会打破原地层的热平衡状态,诱发冻土融化或冻结深度变化,进而导致路基沉降、边坡失稳、桥涵变形等工程病害。传统为保工程稳定而采取的片石通风、热棒冷却等措施,虽有效但成本高、维护难,且可能对周边冻土环境造成新的热干扰。同时,冻土融化释放的水分若未能及时疏导,易形成地表积水,进一步加速热侵蚀并破坏湿地生态。现有研究多聚焦于单一工程结构的热稳定性,较少统筹考虑施工期临时设施(如拌合站、营地)对冻土的累积热影响,也未充分评估不同防护措施组合对区域水热格局的综合效应。某青藏公路改扩建项目中,为保护冻土增设了大量热棒,但因间距过密且未结合地表植被恢复,反而改变了局地积雪分布,导致部分路段冬季保温过度、夏季融深加大,工程与生态双重目标均未达成。这表明,冻土区绿色施工必须超越“工程维稳”单一维度,建立“工程-冻土-生态”三位一体的协同调控思维,将热保护措施本身纳入生态友好型设计范畴^[4]。

2 路径探索:构建适应高原特性的绿色施工生态保护技术体系

破解上述挑战,需以生态学原理为指导、以适应性管理为方法,发展一套扎根高原实际、兼顾工程效能与生态韧性的技术集成方案。

2.1 实施基于原生资源保育的近自然植被恢复技术

植被恢复是高原公路生态保护的核心环节,必须摒弃“绿化即美化”的错误导向,转向以生态功能重建为目标的技术路线。首要措施是严格执行原生表土剥离、集中储

存与精准回铺制度。表土是高原植被恢复的“种子库”与“微生物库”,剥离厚度应根据植被类型精确确定(通常草甸 30-50cm,灌丛 50-80cm),储存期间采取防风固沙与保湿措施,回铺时严格匹配原地地形地貌与土壤剖面结构。其次,优先选用乡土物种进行近自然配置,避免单一草种大面积播种。通过采集本地优势种、伴生种种籽,建立区域性种质资源圃与育苗基地,采用混播、补植、诱导自然更新相结合的方式,模拟原生群落结构。对于高陡边坡、弃渣场等重度扰动区,可辅以生态袋、植生毯、微生物菌剂等促生技术,但须确保材料可降解且不引入外来风险。更重要的是,建立长期监测与适应性管理机制,根据植被盖度、物种多样性、土壤理化性质等指标动态调整养护策略,允许一定程度的自然演替波动,避免过度干预。川藏铁路某标段通过表土回铺+乡土种混播+三年跟踪抚育,植被恢复率达 92%,物种丰富度接近原生群落,验证了该技术路线的有效性。关键在于,让植被恢复从“人为建造”回归“生态引导”,使工程痕迹真正融入高原大地肌理^[5]。

2.2 构建生态功能导向的野生动物通道与栖息地连通体系

高原是全球生物多样性热点区域,公路切割导致的栖息地破碎化是威胁物种存续的关键因素。传统动物通道设计常流于形式,缺乏对目标物种行为习性、迁徙节律与景观偏好的深入研究。绿色施工要求将通道建设前置到选线阶段,通过红外相机、gps 追踪、粪便 dna 分析等手段,精准识别关键迁徙廊道与活动热点,据此确定通道位置、类型与尺度。对于藏羚羊、野牦牛等大型有蹄类,宜采用宽幅上跨式生态天桥,桥面覆土植草并设置视觉屏障,消除车辆灯光与噪音干扰;对于中小型兽类与两栖爬行类,则布设下穿涵洞、生态管道及引导围栏组合系统,并确保通道内部湿度、光照与基质适宜。通道并非孤立设施,需与沿线栖息地质量提升协同推进,如在通道出入口营造缓冲植被带、保留水源点、减少人为活动干扰,形成“通道-栖息地”连续体。施工期间还应实施季节性限行、夜间禁工、声光管控等临时避让措施,最大限度降低对动物行为的即时干扰。可可西里保护区段通过定制化通道+栖息地修复+施工期行为管控,藏羚羊迁徙通过率提升至 98%以上,证明生态连通性可通过精细化设计得以维系。核心在于,将动物视为平等的道路使用者,让通道成为生命延续的桥梁而非工程的装饰^[6]。

2.3 推行全要素低碳减排与污染协同防控机制

高原大气稀薄、自净能力弱,施工排放与污染更易累积成灾。绿色施工要求从能源、材料、工艺、废弃物全链

条实施减污降碳。能源端,大力推广电动或氢能工程机械,配套建设光伏/风电驱动的充换电设施,减少化石燃料依赖;对无法电动化的设备加装尾气净化与颗粒物捕集装置。材料端,优先使用本地再生骨料、工业固废基胶凝材料及低碳水泥,缩短运输距离;推广装配式结构,减少现场湿作业与建筑垃圾产生。污染防控端,实行施工废水零排放闭环处理,尤其注重隧道涌水、拌合站冲洗水的重金属与悬浮物去除;弃渣场严格执行“先挡后弃、分层碾压、顶部覆绿”原则,防止滑坡与扬尘;生活营地配备生态厕所与垃圾分类回收系统,杜绝塑料垃圾进入自然环境。同时,建立碳排放与污染物排放实时监测平台,将环境绩效纳入合同履约评价,倒逼施工单位主动减排。某青海高速项目通过“光伏供电+电动机械+再生材料+废水回用”组合措施,单位产值碳排放较传统工艺下降 41%,施工期水质达标率 100%。这表明,高原施工的绿色低碳转型不仅是环保要求,更是提升资源效率与工程韧性的内在需要。

3 制度支撑:完善高原公路绿色施工的治理体系与长效机制

技术措施的落地生根,离不开与之匹配的制度环境与治理能力,否则再先进的工艺也可能在执行中走样失效。

3.1 健全适配高原特性的绿色施工标准与评价体系

现行公路绿色施工标准多基于东中部经验制定,对高原特殊生态因子考量不足,导致执行中出现“合规但不合理”现象。亟需组织跨学科力量,编制《高原公路绿色施工技术指南》《高寒区植被恢复验收规范》《冻土区施工生态保护导则》等专项标准,明确表土剥离厚度、乡土物种比例、动物通道有效性验证方法、冻土热干扰限值等量化指标。同时,改革评价体系,从“过程合规”转向“结果导向”,将植被三年存活率、动物通道使用频次、冻土融沉速率、碳减排量等长期生态绩效纳入竣工验收与后评价指标,并赋予更高权重。鼓励地方与项目层面开展标准试点与迭代,形成“国家-行业-地方-项目”四级联动、动态更新的标准供给机制。唯有让标准真正反映高原生态规律,才能为绿色施工提供科学依据与刚性约束。

3.2 创新多元共治的生态补偿与社区参与机制

高原公路建设涉及大量牧民草场、水源地与传统生计,单纯依靠行政监管难以实现长效保护。应建立市场化、多元化的生态补偿机制,将施工生态成本内部化。探索“占补平衡+生态银行”模式,对不可避免的生态占用,通过异地修复、购买碳汇或投资社区生态产业等方式进行等值补偿;设立高原公路生态保护基金,支持沿线社区开展草原管护、野生动物巡护、生态旅游等替代生计,

使当地群众从“被动受损者”转变为“主动守护者”。同时,强化社区全过程参与,在项目前期征求原住民生态知识,在施工期雇佣本地人员参与植被恢复与环境监测,在运营期建立联合巡护与信息共享机制。这种“在地化”治理不仅能提升措施的适应性,更能增强项目的社会合法性。某西藏项目通过“草场补偿+牧民生态管护员+传统知识咨询”组合,既保障了工程进度,又使沿线社区收入增加 20% 以上,实现了生态、经济与社会效益的统一。

4 结语

高原公路绿色施工是一项关乎国家生态安全与民族永续发展的系统工程,其复杂性远超一般工程项目。我们已走过“先破坏后治理”的弯路,也必须正视当前技术适配不足、制度供给滞后、多方协同乏力等现实困境。真正的绿色施工,不在于堆砌昂贵的环保设备或打造短暂的景观样板,而在于对高原生命系统的深刻敬畏、对生态过程的耐心顺应、对在地知识的真诚吸纳。这要求工程师放下征服自然的傲慢,学会阅读冻土的呼吸、倾听草木的低语、理解动物的足迹;管理者超越工期与造价的单一标尺,构建让生态价值可衡量、可交易、可传承的制度框架;研究者走出论文与实验室,在风雪与泥泞中验证理论的边界与温度。未来,随着气候变化加剧与国家战略深化,高原公路建设将面临更多未知挑战。但只要我们坚持以生态优先为根本立场、以科学认知为行动基础、以多元共治为实现路径,就一定能在世界屋脊上铺就一条条既通达四方又守护生灵的生命之路。这条路没有终点,但每一步审慎的前行,都是对“人与自然和谐共生”最庄严的承诺,对中华民族永续发展最坚实的奠基。

参考文献:

- [1] 文中坤. 山区公路中小跨桥梁设计要点分析[J]. 汽车周刊, 2026(6): 32-34.
- [2] 金兆鑫, 李彦博, 贾存鹏等. 绿色公路设计理念在某高速公路施工中的应用[J]. 科技创新与应用, 2026, 16(14): 164-168.DOI:10.19981/j.CN23-1581/G3.2026.14.040.
- [3] 贾建波. 填挖平衡优化在高速公路土石方工程中的应用[J]. 四川建材, 2026, 52(5): 201-203.
- [4] 张云龙. 生态优先下高速公路绿化施工的土壤改良与植被恢复研究[J]. 科技资讯, 2026, 24(9): 197-199.DOI:10.16661/j.cnki.1672-3791.2509-5042-1666.
- [5] 程启根, 费桢堃. 高速公路路基边坡防护施工技术研究[J]. 时代汽车, 2026(10): 121-123.
- [6] 简茂刚. 高速公路养护工程的生态保护与绿色施工[J]. 汽车画刊, 2026(3): 158-160.