

生态护坡技术在公路边坡修复中的应用探析

刘佳楠

中钢集团马鞍山矿山研究总院股份有限公司
金属矿山开采安全与灾害防治全国重点实验室
DOI:10.32629/eep.v9i6.3250

[摘要] 公路边坡修复需要同时考虑稳定性和保护生态环境,但传统的工程方法往往存在生态功能不足、景观协调性差的问题。采用生态护坡技术,将植物种植和工程手段结合起来,目的是让边坡既坚固又能够保持土壤不流失,还能恢复周围的自然生态系统,这种做法已经成为修复公路边坡的重要发展方向。文章全面研究了这种技术在实际应用中的各种情况:首先清楚地说明了公路边坡遇到的稳定难题以及传统生态保护方式之间的矛盾,并且简单总结了生态护坡技术的核心理论和主要目标;接着详细分析了植生毯护坡、土工格栅植草护坡以及生态袋护坡这些常见技术模式的优缺点、适用环境以及具体的施工方法。还结合具体工程案例,详细说明了实际操作中经常碰到的问题和后期维护的具体要求;最后总结了目前生态护坡技术在推广应用过程中遇到的主要困难,包括成本控制、不同地区适应能力以及长期维护等问题,并明确指出了今后技术标准化体系建立和完善、长期生态效益科学评估等方面的发展路径,希望能够帮助这项技术得到改进并且被更广泛地应用。

[关键词] 生态护坡技术;公路边坡修复;植生毯护坡;技术应用;工程实践

中图分类号: Q147 **文献标识码:** A

Analysis of the Application of Ecological Slope Protection Technology in Highway Embankment Restoration

Jia'nan Liu

Maanshan Institute of Mining Research Co., Ltd.

National Key Laboratory of Metal Mine Safety and Disaster Prevention, Ma'anshan City

[Abstract] Highway slope restoration must balance stability and ecological protection, yet traditional engineering methods often fall short in ecological functionality and landscape harmony. By integrating vegetation planting with engineering techniques, ecological slope protection aims to ensure slope stability, prevent soil erosion, and restore surrounding natural ecosystems. This approach has become a key development direction for highway slope restoration. The article comprehensively examines various practical applications of this technology. It first clearly outlines the stability challenges faced by highway slopes and the conflicts between traditional ecological conservation methods, while briefly summarizing the core theories and primary objectives of ecological slope protection. Subsequently, it provides detailed analyses of common technical models such as vegetative blanket slope protection, geogrid grass planting slope protection, and ecological bag slope protection, including their advantages, disadvantages, suitable environments, and specific construction methods. Additionally, it addresses frequently encountered issues in practical operations and specific maintenance requirements through case studies. Finally, it summarizes the main difficulties in the current promotion and application of ecological slope protection technology, including cost control, regional adaptability, and long-term maintenance challenges, while clearly outlining future development paths such as the establishment and refinement of technical standardization systems and scientific evaluation of long-term ecological benefits. The goal is to facilitate the improvement and broader adoption of this technology.

[Key words] Ecological slope protection technology; Highway slope restoration; Vegetative mat slope protection; Technical application; Engineering Practice

引言

公路边坡是交通基础设施与自然环境的关键衔接部位,其结构稳固性与生态健康水平,直接决定道路通行安全,也深刻影响区域长期可持续发展。传统的浆砌石护墙、喷射混凝土等护坡工艺,虽能有效保障边坡力学稳定性,防范滑坡、塌陷等地质灾害,却会严重破坏原生生态,造成植被损毁、动植物栖息地消失、景观协调性失衡,已难以适配当前生态文明建设的发展要求。在此背景下,兼顾工程防护与生态修复的生态护坡技术应运而生。该技术通过将工程结构加固与植被重建深度融合,同步实现边坡固坡、水土保持与生态系统恢复多重目标,是公路边坡治理向绿色化、可持续化转型的核心实践路径。本文系统梳理生态护坡技术在公路边坡修复中的全流程应用方法,归纳核心技术操作要点,剖析施工关键难点与管控注意事项,总结过往工程实践的经验与现存短板,研判技术未来的发展机遇与演进趋势,以期为该技术的规范化推广与迭代优化提供理论支撑与实操参考,为相关领域的研究与工程应用提供有益助力。

1 公路边坡修复的需求与生态护坡技术概述

1.1 公路边坡稳定性问题与生态保护矛盾

公路边坡是路基的核心组成部分,其稳定性直接关乎行车安全与道路整体运行效率^[1]。在工程建设扰动与长期自然外力的耦合作用下,边坡易出现径流冲刷、滑移、崩塌等失稳问题,在地质条件复杂、降雨集中的区域这类风险更为突出。传统浆砌石、混凝土喷锚等刚性护坡手段,虽能快速实现边坡力学加固,却会完全封闭坡面,彻底破坏原有土壤结构与植被生境,引发次生水土流失、区域生物多样性锐减,形成与周边自然景观割裂的人工硬化区域。这种“重工程安全、轻生态保护”的治理模式,以生态成本换取短期边坡稳定,直接凸显了边坡稳固需求与生态保护之间的突出矛盾。同时无植被覆盖的硬质护坡完全无法融入周边自然风貌,大幅拉低公路沿线的景观舒适度,研发兼顾边坡安全与生态修复的协同技术,已成为当前公路工程领域亟待解决的核心任务。

1.2 生态护坡技术的基本原理与核心目标

生态护坡是面向多场景边坡修复需求的复合型技术体系,核心逻辑是将工程力学加固措施与植被生态恢复深度融合,依托植物根系的土壤锚固作用,协同土工合成材料、生态袋、格栅等工程构件,构建具备自我维持能力的多功能一体化防护结构。该技术的核心目标聚焦三大维度:一是长效保障边坡稳定,通过植物根系加筋固土与工程材料的强度支撑,共同抵御雨水冲刷、温变扰动引发的坡体滑移与土壤侵蚀;二是重建坡面生态系统,通过配置多类本土植物形成梯度植被群落,实现涵养水土、净化空气、调节局地小气候的生态效益;三是推动修复后边坡与周边自然景观协调统一,提升公路沿线整体风貌品质。与传统硬质护坡不同,生态护坡不再单纯依赖外部刚性支护,而是充分激活边坡自身的生态修复潜力,采用“工程为骨架、生态为表皮”的刚柔协同模式,最终实现边坡稳固、生物多样性提升与景观适配的三重平衡,完全契合公路建设领域的长期可持续发展导向^[2]。

2 生态护坡的主要技术模式与应用条件

2.1 植生毯护坡与土工格栅植草护坡

植生毯护坡是一种将人工合成或天然材料(如椰丝、秸秆)加工成柔性毯状基材,并预先添加种子和养分,再将其铺覆于坡面的技术。其核心特点包括施工简单方便、可以实现工业化批量制造、植物恢复速度非常快。这种技术适合用在坡度比较平缓(通常不超过1:1)的地方,坡面表面被水流冲刷得不太严重的条件下,主要针对的是土壤或者土壤和石头混合构成的边坡。使用这种方法时,通常会先把植生毯铺到已经清理干净并且表面平整的坡面上,然后用一些固定工具来确保铺得牢固结实,依靠保持水分和营养来帮助种子顺利发芽并且让幼小的根系能够快速向下生长,这样就能很快长出一层茂密的地面植物覆盖层,从而很好地抵御雨水冲刷带来的破坏。

2.2 生态袋护坡及其他常用技术

生态袋护坡采用高强度耐老化的聚丙烯材料制成袋体,填充改良土与缓释肥料后分层码放并锚固,形成形态灵活、结构稳固的柔性挡土系统。该技术可同步实现工程支挡与生态修复双重目标:袋体及配套连接件提供充足物理支撑,袋内植物根系可穿透袋壁向外生长,将各层袋体串联为整体,最终形成长期稳定的活态生态护坡,尤其适配高陡边坡、局部滑塌隐患区、施工空间受限区域,以及需快速完成生境重建的复杂场景^[3]。除了前面提到的主要方法以外,还有其他一些常用的生态护坡方式,比如生态混凝土护坡和植生基材喷播这种客土喷播的方法。生态混凝土依靠多孔设计,能够让植物根系顺利钻进去,同时还能提供足够的保护和恢复能力,特别适合那些需要很强防冲刷能力的地方。植生基材喷播是把种子、土壤、粘合剂这些东西混合成液体状喷到坡面上,这种方法很适合那些绿化起来特别困难、环境非常艰苦的岩石边坡。每种方法都有自己的长处和适用范围,实际操作的时候要根据边坡的具体地质状况、水流特点以及稳定程度的要求来仔细挑选,并且把几种方式结合起来一起使用,这样才能达到最好的效果。

3 生态护坡技术在公路边坡修复中应用的实施环节

3.1 技术选型与施工流程要点

生态护坡的落地应用,核心始于适配性选型与标准化施工。选型需锚定边坡本底条件:坡度 $<35^{\circ}$ 的土质缓坡,优先选用植生毯或土工格栅结合草皮护坡,兼顾施工便捷性与成本优势;坡度陡、坡面松散或需快速复绿的边坡,结构稳固、保水保肥性强的生态袋护坡更为适配;存在浅层滑坡隐患的不良地质边坡,则需采用集成深层锚固、加筋土的复合生态护坡方案。同时选型必须匹配区域气候、水文特征,严格贴合本土适生植物的生长需求,从源头规避植被建植失败风险^[4]。

标准化施工是工程质量的核心支撑,全流程划分为四大关键节点:一是坡面整治,彻底清除坡面松散杂物与建筑垃圾,按设计完成削坡、挖台阶与夯实作业,打造平整稳定的施工基底;二是主材安装,铺设植生毯、固定土工格栅或码放生态袋时,确保材料与坡面完全密贴,选用强度达标、耐久性强的锚钉与连接

件,杜绝后期防护层滑动脱落问题;三是种植作业,严格按设计配比填充或喷播种植基质,精准控制铺层厚度与种子撒播均匀度,为幼苗生长提供充足养分与水分保障;四是初期养护,施工完成后立即覆盖保湿防渗材料,常态化开展灌溉作业,直至植被完全覆盖坡面。

3.2 工程案例反映的常见问题与维护要求

结合大量公路边坡修复工程的实践经验,生态护坡应用中存在两类型典型共性问题。施工阶段的高频问题包括:坡面整平不到位、锚固强度不足引发植生毯、生态袋等防护层局部松动鼓包;种植基质配比失衡、喷播厚度不足,导致种子萌发率低、幼苗长势孱弱;干旱或暴雨极端天气施工后未及时采取防护措施,直接造成植被建植失效。运营后期的突出问题则表现为:植被群落结构单一,缺乏乔灌木的梯度配置,导致边坡长期抗冲刷稳定性不足;入侵性强的草本植物过度蔓延,抑制本土灌木生长,阻碍生态正向演替;长期缺位管护导致局部坡面受人为破坏、径流侵蚀出现植被空缺,进而诱发次生水土流失^[5]。

工程实践充分印证,全周期精细化维护是生态护坡长效发挥效益的关键。维护工作分两阶段推进:植被建植初期的1—2个生长季,需开展高频次精细化灌溉,及时补播、追肥,同步做好病虫害防控,极端干旱天气重点保障水分供给。待植物群落趋于稳定后,转入常态化定期管护,持续监测群落动态,第一时间对植被退化、空缺区域补种适配的本土植物;通过适度人工干预控制优势物种无序扩张,引导本土植物群落向多样性、稳定性方向演替;定期全面排查坡面状态,快速修补径流冲刷或外力导致的坡面损伤,避免小隐患演变为大面积破坏。一套闭环的长效维护体系,是实现生态护坡从“短期复绿”到“长期稳固”的核心保障。

4 生态护坡技术应用的挑战与未来发展

生态护坡技术在推广应用过程中仍面临多项核心挑战,首先是成本控制难题:相较于传统刚性护坡,该技术初期建造投入更高,生态专用材料采购、专业化施工以及前期植被养护都推高了初始投资,受区域经济差异、材料跨区域运输、适配性定制调整等因素影响,成本管控难度进一步提升,常因项目侧眼前短期收益的考量,限制了技术的大范围普及。其次是技术标准化与长期效果评价存在明显短板,目前行业缺少全国统一的工程技术规范 and 评价标准,各类护坡技术的设计参数、材料性能要求、施工流程及验收规则多依赖企业内部规定或地方经验,导致工程质量参差不齐。同时行业尚未形成公认量化的长期监测指标

体系与整体评价模型,难以科学对比不同项目、不同技术方案长期边坡稳定性、生态效益、水土保持等综合效果,也阻碍了全周期成本效益分析的落地。未来行业需聚焦构建完备的技术规范与评估框架,强化区域适配性研究,建立长期生态效益监测评价体系,推动技术创新与标准化管理协同发展,助力公路建设与自然环境和谐共存。

5 结束语

随着可持续发展理念在基础设施建设领域的持续深入,生态护坡技术由于其在稳定边坡、恢复生态以及提升景观方面的整体效果,在公路边坡复原中的位置逐步突出。本文通过对技术原理、主要模式及实践要点的全面分析,突出了它相对于传统工程护坡的明显优越性。同时,也必须清楚地看到,该技术在大规模推广使用过程中仍然面临费用、适应性以及长期维护等方面的诸多难题。生态护坡技术的发展方向应当集中在建立完备的技术规范和评估框架,加强对其区域适配性的精准探讨,并且设立合理的长期生态效益监测与评价系统。只有促进技术创新与标准化管理共同推进,深化多学科的相互渗透,方能高效解决当前困难,实现从单纯依靠工程稳定转向生态协调稳定的彻底改变,从而助力公路建设与自然环境的和谐共存,为交通基础设施的绿色、持久进步供给有力的技术保障和方案指引。

[基金项目]

安徽省科技攻坚计划项目“高硫矿区酸性废水多污染物协同低碳处理技术研究及应用”(编号:202423110050054)。

[参考文献]

- [1]叶张颜.生态袋护坡在公路边坡灾害防治中的应用[J].黑龙江交通科技,2021,44(07):1-2.
- [2]谢文荟.生态袋护坡技术在道路边坡绿化中的应用探讨[J].风景名胜,2021,(10):0180-0181.
- [3]尤才杰.生态袋护坡技术在道路边坡绿化中的应用[J].现代园艺,2021,44(04):121-122.
- [4]尤才杰.道路边坡绿化中的生态袋护坡技术分析[J].现代园艺,2021,44(02):155-156.
- [5]陈飞,罗特,钱乾,施康.生态护坡技术在河道与公路边坡工程中的应用综述[J].水利水电快报,2022,43(08):108-113.

作者简介:

刘佳楠(1993--),女,汉族,安徽省马鞍山市人,硕士研究生,工程师,研究方向:环境保护。