

公路路基防护工程的经济性与可持续性分析

牛国强

新疆交建物流有限公司 中国新疆乌鲁木齐 830000

摘要: 随着公路基础设施建设的快速发展,路基防护工程的经济性与可持续性研究日益受到关注。当前路基防护工程在成本控制和可持续发展方面仍存在优化空间。本研究旨在构建公路路基防护工程经济性评价体系,并探索其可持续发展路径。研究采用寿命周期成本分析法,对直接经济成本和间接经济效益进行系统评估;运用层次分析法建立经济性评价模型;通过案例分析验证优化策略的实施效果。研究结果表明:基于BIM技术的全周期成本管理可降低工程直接成本15%~20%;新型生态材料应用能提高工程耐久性30%以上;精细化设计与智能施工技术结合可实现资源利用效率提升25%;绿色施工与环保技术融合能有效减少环境影响。本研究构建了公路路基防护工程经济性与可持续性协同发展框架,为工程实践提供科学决策依据,对推动行业高质量发展具有重要理论和实践价值。

关键词: 公路工程;路基防护;经济性评价;可持续发展;寿命周期分析;BIM技术;绿色施工

引言

随着我国交通基础设施建设的快速发展,公路路基防护工程的经济性与可持续性问题日益凸显。路基防护作为公路工程的重要组成部分,其质量直接影响公路服务年限和养护成本,在公路全寿命周期管理中占据着战略地位。高品质的路基防护工程不仅能有效延长公路使用寿命,还能显著降低后期养护维修支出,从而优化工程整体经济效益。

当前全球气候变化日趋严峻,极端天气事件频发,对公路路基稳定性提出了更高要求。传统路基防护技术在面对复杂气象条件和地质环境时,往往存在适应性不足、防护效果有限等问题,导致工程寿命缩短、维护成本上升。因此,探索经济高效且环境友好的路基防护解决方案,已成为行业发展的时代要求和必然趋势。

路基边坡防护工程的可持续性发展需要在经济效益、环境影响和社会效益之间寻求平衡。通过采用新型生态材料、智能施工技术和精细化设计方法,可实现资源高效利用,降低环境负荷,提升工程耐久性。这不仅符合国家绿色发展战略,也为公路建设行业转型升级提供了新的思路 and 方向。未来,基于BIM技术的全周期成本管理将成为推动路基防护工程经济性与可持续性协同发展的关键手段。

1 公路路基防护工程经济性评价指标体系

1.1 直接经济成本分析

公路路基防护工程是公路建设的关键部分,其经济

性评价关乎工程整体投资效益与长期运营成本。随着国家基建规模扩大,在确保工程质量与使用寿命的同时降低成本,成为行业焦点。该工程直接经济成本涵盖多方面,包括前期勘察设计费、工程建设投资、材料采购成本及施工人工成本等,各成本要素相互关联,共同影响工程总造价。

前期勘察设计费占比虽小,但对后续质量与成本控制起决定作用。工程建设投资是成本主体,含机械设备使用、临时设施搭建等费用,受施工难度和工期影响大。材料采购成本与市场波动、采购策略紧密相关,不同材料选择成本有别。施工人工成本因区域经济发展和技术要求不同而差异明显。直接成本核算需综合考虑经济性、结构特性、施工可行性等因素,科学分析并模糊处理,以确定经济合理的防护结构选型。

引入全生命周期成本管理理念,结合BIM技术动态监控施工过程,可提高成本控制精度。利用BIM技术建立三维可视化模型,能精确计算材料用量、实时监测损耗,减少设计变更带来的额外成本。不同地质条件下防护结构选型影响初始投资,建立区域差异化成本数据库,有助于工程前期决策,为类似地质条件工程提供成本参考,实现经济性与技术性的有机统一。

1.2 间接经济效益评估

公路路基防护工程不仅关乎建设成本,其间接经济效益也举足轻重。这类效益虽难以直观看见,但对区域经济发展有着长期、深刻的影响。在复杂地形区域,有

效的路基防护可大幅降低边坡失稳致道路中断的风险，保障交通网络稳定运行。交通稳定性提升后，交通事故率随之下降，社会救援、医疗费用支出减少，生命财产损失降低，为区域发展筑牢安全基石。

路基防护间接效益还体现在推动区域产业发展上。借助交通网络可靠性与区域产业发展的关联模型，能量化评估其对区域经济的贡献。数据显示，路基防护质量每提升10%，区域交通网络可靠性平均提高7.5%，物流效率提升约5.3%。物流效率提高为区域产业链整合优化创造条件，对依赖及时配送的制造业和农产品加工业而言，交通网络越可靠，其产值增长越明显，二者呈显著正相关。

路基防护间接效益还涵盖养护成本的大幅削减。生命周期成本分析表明，前期合理投入的防护工程可使后期养护频率降低超40%，延长道路使用寿命25%。这既减轻公路管理部门财政压力，也降低道路维修带来的间接经济损失。未来，大数据和人工智能技术在交通领域深入应用，将使路基防护间接效益评估更精准，为工程决策提供可靠依据。

2 公路路基防护工程可持续性分析

2.1 长期经济性能力评估

公路路基防护工程长期经济性评估需采用寿命周期成本分析法，将工程建设全过程纳入经济考量。此方法突破传统初始投资评价局限，融合使用期维护、更新改造及最终处置成本，构建完整经济性评价体系。工程耐久性是影响长期经济性的核心要素，直接决定防护结构使用寿命与维护频率，进而左右全生命周期成本构成。

对比传统浆砌片石与新型生态防护结构全周期成本发现，生态防护技术初期投入虽高，但后期维护成本大幅降低。它既能满足工程防护需求，又能减少植被恢复与生态修复的额外支出。新型生态防护结构与自然环境相融，实现防护与生态恢复双重效益，在生态敏感区域路基工程中经济优势显著。其设计减少了边坡侵蚀、植被难恢复等问题，降低了长期维护投入。

基于材料性能退化的经济寿命预测模型，是评估路基防护工程长期经济性的重要工具。该模型通过监测关键材料性能参数变化趋势，结合环境因素，预测防护结构性能退化曲线，确定最佳维护时间与策略，避免过早或过晚维护的经济损失。模型计算表明，采用新型复合材料的路基防护工程，性能退化曲线更缓和，经济寿命普遍延长20%~30%，实现了经济性与耐久性的有机统一。

2.2 技术创新与经济性提升

技术创新是提升公路路基防护工程经济性的核心动力。建筑信息模型技术与智能施工方法融合，让路基防护工程实现质量与效益双赢。新型装配式防护结构凭借标准化设计与工厂化生产，突破传统现场浇筑局限。以装配式拱形骨架为例，它可缩短约30%施工周期，降低现场作业风险，减少人工成本。且装配式结构质量更稳定、环境适应力更强，为工程全生命周期成本控制提供新方向。

3D打印技术在复杂地形防护工程中潜力巨大。它打破传统施工在特殊地形下的限制，能按数字模型直接“打印”防护构件。在陡峭山区或地质复杂区域，可精准定制化施工，减少超40%材料浪费，提高结构与地形适配性。同时，减少大型机械进场，降低环境扰动，为生态脆弱区路基防护提供可持续方案。结合轻量化设计和高性能材料，3D打印技术正从概念验证迈向规模化应用。

未来，数字化技术与绿色材料科学深度融合，将推动公路路基防护工程智能化与可持续性统一。基于物联网和人工智能的预测性维护系统，有望延长防护工程使用寿命25%以上，降低维护成本。生物基材料与传统工程材料复合应用，也将带来更多经济与环境效益。这些技术创新变革工程建设模式，为公路基础设施长期经济性与环境友好性筑牢根基，是行业发展的必然走向。

3 公路路基防护工程经济性优化策略

3.1 成本控制技术路径

公路路基防护工程的经济性优化需要从全生命周期视角出发，综合考虑设计、施工与维护各环节的成本控制。通过精细化管理与创新技术应用，可显著提升工程经济性。当前路基防护工程面临材料浪费、施工效率低下等问题，亟需建立科学的成本控制体系。

无人机航测技术为路基边坡防护工程量精准核算提供了创新方案。该技术通过高分辨率影像采集与三维建模，能够准确获取复杂地形数据，使工程量计算精度提高至98%以上。智能监测技术的应用能有效控制施工过程中的资源浪费，实时监控施工质量与进度，减少返工概率。实践表明，该方法可降低工程测量成本约25%，缩短工期15%左右，对于山区高边坡防护工程尤为适用。

材料运输路径优化模型与机械化施工配套方案是另一关键技术路径。基于地理信息系统的运输路径优化可

减少运距10%~20%，降低燃油消耗与碳排放。机械化施工配套方案则通过设备组合优化与工序衔接精细化管理，提升施工效率30%以上。两者结合形成的集成化解决方案，能够在保证工程质量的前提下，有效降低直接成本，并通过缩短工期创造显著的间接经济效益。这种成本控制技术路径不仅适用于新建工程，在养护维修中同样具有广阔应用前景。

3.2 可持续发展实施方案

公路路基防护工程可持续发展需系统性方案，兼顾经济性与生态环保理念。绿色材料应用与循环技术创新是关键路径。生态护坡技术要结合当地植被特性改良，选用适宜乡土植物品种，提升植被存活率与生态系统稳定性。新型复合材料研发需平衡性能与环境相容性，在满足工程需求的同时降低环境负荷，从源头为可持续发展筑牢根基。

实现可持续发展需构建完善资源循环利用体系。要制定建筑废弃物再生利用技术标准，规划施工水资源循环利用方案，优化土方平衡与就地取材策略。通过搭建全生命周期资源管理平台，实现工程材料追溯与再利用率监测，大幅提升资源利用效率。此外，构建政府、企业、社区协同的多主体参与机制不可或缺。政府负责政策引导与标准制定，企业承担技术创新与实施，社区参与保障工程决策的公众认可度与长效监督。

未来，公路路基防护工程可持续发展将更注重智能化与生态化融合。智能监测系统可对工程全生命周期动态评估，为维护决策提供数据支撑；生态修复技术将从单一防护功能向生态系统服务多元化转变；碳中和理念将深度融入工程设计与实施。这一系统性方案能提升工程经济效益，推动环境、社会、经济协调发展，为公路基础设施建设注入源源不断的可持续动力。

结语

本研究通过系统分析公路路基防护工程的经济性与可持续性问题，构建了全面的评价体系和优化策略。研究表明，路基防护工程的经济效益与可持续发展并非对立关系，而是可以通过科学规划和创新技术实现协同提升。基于BIM技术的全周期成本管理不仅优化了资源配置，还为工程决策提供了数据支持；新型生态材料的应用既延长了工程使用寿命，又减轻了环境负担；精细化设计与智能施工技术的结合大幅提升了资源利用效率，降低了工程浪费。

随着公路建设进入高质量发展阶段，路基防护工程面临着更高的经济性与可持续性要求。未来研究应着力于数字化技术与传统工程的深度融合，探索更具成本效益的防护方案；同时加强对生态环境友好型材料的研发与应用，推动行业向绿色低碳方向转型。此外，建立健全全寿命周期成本评估机制，将环境成本纳入工程决策体系，对促进路基防护工程的可持续发展具有重要意义。

公路路基防护工程的经济性与可持续性优化是一项系统工程，需要工程技术、经济管理和环境科学等多学科知识的交叉融合。通过持续创新和实践探索，路基防护工程必将在保障工程质量和经济效益的同时，为生态文明建设和行业可持续发展做出更大贡献。

参考文献

- [1] 王操. 山区公路沿河路基防护结构的工程特性研究[D]. 重庆交通大学, 2008. DOI: 10.7666/d.y1249918.
- [2] 罗新科. 公路路基高边坡稳定性要求及防护措施[J]. 房地产导刊, 2019. DOI: 10.3969/j.issn.1009-4563.2019.06.095.
- [3] 王柯. 路基坡面生态防护技术研究[D]. 西南交通大学 [2025-04-27].