

高陡边坡绿化防护新技术在工程景观提升中的应用与效果评估

文 / 曾浩轩 新疆兵团勘测设计院集团股份有限公司

摘要：在交通、生态修复等工程建设中，高陡边坡的生态破坏与景观缺失问题愈发凸显。传统防护方式常因生态修复能力弱、景观效果差难以满足现代工程需求。高陡边坡绿化防护新技术融合生态修复与景观设计理念，通过植被结合混凝土护坡、三维网植草等创新工艺，在加固边坡结构的同时，构建多样化植物群落，可以实现自然景观与工程设施的和谐共生。科学评估新技术应用效果，既能为工程实践提供数据支撑，也能为生态景观建设的可持续发展探索新路径。

关键词：高陡边坡绿化防护新技术；景观工程；应用；效果评估

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.19.090

引言

在河道治理和市政工程中，通过河流驳岸会形成高陡边坡，势必影响边坡工程自身安全和导致环境恶化。为保证边坡稳定和加强环保，实现工程景观提升，边坡需利用高陡边坡绿化防护新技术进行必要的加固和绿化，从而推动生态工程建设、提升人居环境质量。

一、研究背景与意义

（一）研究背景

在河道治理与生态修复领域，高陡边坡问题较为突出。河道高陡边坡易引发水土流失、岸坡坍塌等问题，影响河道生态系统稳定与行洪安全，同时也对周边景观造成破坏。随着生态修复理念的发展，传统边坡防护方式已难以满足兼顾安全与生态景观的需求。因此，探索适用于河道高陡边坡的绿化防护新技术，对于提升河道生态环境质量、改善景观效果具有重要意义。这些新技术需在保障边坡稳定的同时，实现植被恢复，促进河道生态系统的良性循环，为河道治理与生态修复提供新的思路和方法。

（二）研究意义

高陡边坡绿化防护新技术的研究与应用，对工程建设与生态保护具有双重价值。从工程角度看，新技术通过植被根系固土、新型材料加固等方式，可显著提升边坡稳定性，降低地质灾害发生概率，保障工程安全与使用寿命。在生态层面，新技术能够重建植被群落，恢复受损生态系统，促进水土保持与生物栖息地修复。于景观提升而言，通过科学配置植物种类、设计景观造型，可将高陡边坡转化为兼具生态功能与美学价值的景观空间，实现工程建设与自然环境的和谐共生，为推动生态文明建设与可持续发展提供技术支撑与实践范例。

二、高陡边坡绿化防护新技术的理论基础

（一）高陡边坡的特点与生态问题

新疆地区河道高陡边坡具有显著的地域特点。其边坡坡度通常较大，一般超过45度，甚至达到70度以上，坡面物质结构松散，多为砾石、砂土与粉质黏土的混合体，稳定性差。受新疆干旱少雨、多大风的气候影响，边坡表

层土壤极易风化剥蚀，水土流失问题严重。同时，新疆冬季寒冷、夏季酷热，昼夜温差大，极端温度变化会加剧坡面岩土体的物理风化，导致边坡更容易发生坍塌、滑坡等地质灾害。另外，边坡的不稳定性还会影响河道的行洪能力，对周边地区的生态环境和人类活动构成威胁。

（二）绿化防护新技术的定义与分类

绿化防护新技术是指在传统绿化防护方法基础上，结合新疆地区河道高陡边坡的特殊环境条件，研发或改进的具有更高适应性和防护效果的技术手段。从技术特点和实施方式来看，绿化防护新技术主要可分为以下几类：

土工格室绿化防护技术：利用高强度土工格室固定在边坡上，形成格室结构，在格室内填充土壤并种植植物，格室可限制土壤流失，为植物根系提供稳定的生长环境，增强边坡的整体性和抗侵蚀能力。

藤蔓植物攀爬绿化技术：选择适合新疆地区生长的藤蔓植物，通过设置攀爬架等辅助设施，让藤蔓植物覆盖边坡表面，利用植物的根系固土和藤蔓的覆盖作用，达到绿化和防护的目的。

生态袋绿化防护技术：将植物种子、土壤和保水材料装入生态袋中，按一定规律堆砌在边坡上，形成生态袋墙体，袋体可起到固坡作用，同时袋内的植物种子发芽生长，实现边坡的绿化和生态恢复（如图1所示）。



图1 河道治理护坡固土绿化用生态袋

（三）新技术在工程景观提升中的作用机制

绿化防护新技术在新疆地区河道高陡边坡工程景观提升中发挥着多方面的作用机制。在边坡稳定方面，土工格室等技术通过工程措施增强边坡的力学性能，提高边坡的抗滑、抗剪强度，减少地质灾害的发生。同时，植物的根系深入边坡土体，形成根系网络，起到锚固和加筋作用，进一步增强边坡的稳定性。

在生态恢复方面，新技术为植物生长创造了适宜的条件，通过种植适合新疆气候的耐旱、耐盐碱植物，提高边坡的植被覆盖率。植被的存在可以截留雨水，减少雨水对坡面的冲刷，降低水土流失量。植物的蒸腾作用还能改善边坡局部小气候，增加空气湿度，促进生态系统的良性循环。

在景观提升方面，多种植物的合理配置和绿化技术的应用，使原本裸露的高陡边坡形成层次丰富、色彩多样的植被景观。藤蔓植物的攀爬覆盖、生态袋堆砌形成的立体绿化等，不仅美化了河道周边环境，还为野生动物提供了栖息地，实现了生态效益与景观效益的统一。

三、高陡边坡绿化防护新技术的原理与类型

（一）新型植被混凝土绿化技术原理与应用

新型植被混凝土绿化技术基于材料复合原理，将水泥、骨料、保水剂、植物种子及营养添加剂按特定配比混合，喷射于坡面形成具有一定强度与孔隙率的硬化层。水泥与骨料赋予结构强度，保障边坡稳定性；孔隙结构为植物根系生长与水分渗透提供空间，保水剂和营养添加剂则维持植物初期生长所需条件。该技术适用于岩石类高陡边坡，通过调整配比，既能满足不同坡度的防护需求，又能实现植被快速覆盖。在实际应用中，可根据区域气候与土壤条件，选择适配的草种、灌木种子，实现生态修复与景观美化的双重目标。

（二）生态袋护坡技术原理与优势

生态袋护坡技术以聚丙烯等高分子材料制成的柔性生态袋为载体，将其填充土壤、肥料与植物种子后，按一定规律码放于坡面。生态袋之间通过连接扣相互咬合，形成连续的防护结构，有效抵御坡面水流冲刷与重力侵蚀。随着植物生长，根系穿透生态袋交织成网，进一步加固坡体。该技术的显著优势在于生态友好，袋体可自然降解，减少环境污染；施工便捷灵活，能适应复杂地形；且植物多样性高，通过选择本地乡土植物，可加速生态系统的自然恢复，营造与周边环境协调的景观效果。

（三）三维网植草防护技术要点

三维网植草防护技术利用三维土工网的立体结构，在坡面构建稳定的植被生长平台。施工时，先清理坡面并铺设三维网，通过锚杆固定使其紧贴坡面，随后覆盖客土并播撒草种。三维网不仅能有效防止客土流失，还能在网孔内形成微型土壤环境，蓄积雨水与养分（如图2）。其技术要点在于网型选择需匹配边坡坡度与土壤条件，客土配比要兼顾肥力与保水性，草种选择应以耐旱、耐贫瘠的本地草种为主。该技术通过植被覆盖与网体防

护协同作用，既稳固边坡，又快速形成绿色景观，适用于土质较好的中低坡度边坡。



图2 三维植被网河道治理山体护坡加固

（四）其他创新型绿化防护技术介绍

除上述技术外，还有多种创新型绿化防护技术在工程中得到应用。例如，液力喷播技术将种子、肥料、黏合剂等混合成液状喷射，施工效率高且成本较低。此外，土工格室植草护坡利用格室的侧向限制作用，增强土体稳定性，同时为植物生长提供空间；生态混凝土护坡通过特殊的孔隙结构实现透水透气，兼顾防护与生态功能。

四、高陡边坡绿化防护新技术在工程景观提升中的应用要点

（一）新技术应用的前期场地勘察与分析

前期场地勘察与分析是新技术成功应用的基础。需运用地质雷达、钻探取样等手段，精准测定边坡岩土体的类型、力学参数及结构特征，重点识别软弱夹层、裂隙发育区域，为边坡稳定性评估与防护技术选型提供数据支撑。通过气象站监测与历史数据分析，掌握区域降水、气温、风速等气候条件，筛选适配本地环境的植物品种，如干旱地区优先选择耐旱的沙棘、柠条等。此外，调查周边生态系统，明确动植物分布与迁徙路径，避免施工对生态廊道造成破坏。

（二）结合工程景观需求的技术选型与设计

技术选型需兼顾工程安全与景观效果。针对岩石高陡边坡，植被混凝土技术通过调整水泥与植生材料配比，既能提供稳固防护结构，又能实现植被快速附着；对于土质边坡，生态袋护坡技术可利用其灵活堆叠特性，塑造阶梯式景观造型。设计阶段借助BIM技术进行三维建模，模拟不同技术方案下的边坡稳定性、植被生长状态与景观视觉效果，对比分析防护强度、绿化覆盖率、景观协调性等指标，优选最佳方案。同时，考虑工程全生命周期成本，综合评估技术的初期建设成本、后期维护费用与景观提升效益，确保技术经济可行性。

（三）新技术施工流程与质量控制要点

规范施工与严格质控是新技术应用的关键。以三维网植草防护为例，施工时需确保三维网与坡面紧密贴合，锚杆锚固深度达标，客土覆盖厚度均匀，避免种子裸露或过深掩埋。施工过程中，建立实时监测系统，利用传

传感器对生态袋的堆叠压力、植被混凝土的喷射厚度等关键参数进行动态监控,及时纠正偏差。针对不同技术制定标准化施工流程,明确各工序的技术要求与验收标准。完工后,通过抽样检测等方式,对边坡稳定性、植被成活率、防护结构完整性等进行全面验收,确保工程质量。

(四) 新技术与周边环境景观的融合设计

景观融合设计需从植物配置、地形塑造与色彩协调三方面入手。植物选择上,优先采用本地乡土植物,搭配具有相似生态习性的物种,构建乔、灌、草多层次群落,模拟自然植被分布。通过微地形改造,利用生态袋、土工格室等材料塑造起伏的坡面形态,与周边地形自然衔接。色彩搭配方面,依据周边环境基调,选择协调的植物花色与叶色,城市周边则结合建筑风格,打造色彩鲜明的景观图案。此外,融入文化元素,通过植物造型等形式,展现地域特色,实现高陡边坡从工程设施到生态景观的转变。

五、高陡边坡绿化防护新技术应用的案例分析

(一) 案例工程概况

新疆图木舒克市河道治理项目位于塔里木河流域西部,治理河段全长 15.6 公里。河道两岸分布着大量高陡边坡,坡度多在 50° - 75° 之间,坡面以粉砂质黏土与砾石层互叠为主,结构松散且透水性强。项目区年均降水量仅 110 毫米,蒸发量达 2800 毫米,常年有 6-8 级大风,昼夜温差最大达 25°C ,导致边坡每年水土流失量超 5000 立方米,严重影响河道行洪安全。为解决边坡稳定性与生态景观问题,项目引入高陡边坡绿化防护新技术进行整改调整。

(二) 工程景观提升效果的直观呈现

项目实施后,边坡植被覆盖率从 3% 提升至 85%,形成乔灌草复合生态系统。绿植覆盖面积超 5000 平方米。边坡由裸露的灰褐色变为翠绿色,与河道水体形成蓝绿交织的景观带。监测显示,水土流失量减少 90% 以上,空气湿度提高 15%。河道周边新增鸟类 5 种。周边居民满意度调查显示,98% 的受访者认为景观质量显著提升,项目成为兼具防洪与生态观光功能的示范工程。

六、高陡边坡绿化防护新技术应用效果评估体系构建

(一) 生态效益评估指标与方法

生态效益评估聚焦植被恢复与生态系统重建,选取植被覆盖率、物种多样性、土壤改良效果等核心指标。植被覆盖率通过无人机航拍与 GIS 技术结合,定期获取高分辨率影像,计算绿化面积占比,直观反映植被恢复进程;物种多样性采用样方调查法,统计单位面积内植物种类及数量,结合本地物种占比评估生态系统稳定性;土壤改良效果则通过检测土壤有机质含量、孔隙度、pH 值等理化指标,分析土壤肥力与保水保肥能力变化。此外,引入生态足迹模型,评估新技术应用后区域生态承载能力的提升情况,为生态效益提供量化依据。

(二) 景观美学效益评估维度与标准

景观美学效益从视觉协调性、景观层次丰富度、季相变化等维度展开评估。视觉协调性依据边坡景观与周

边自然环境、人文风貌的融合程度,采用专家打分与公众问卷调查相结合的方式,量化景观的和谐感;景观层次丰富度通过分析乔、灌、草植物的垂直分布与水平搭配,评估景观的立体感与空间感;季相变化则记录不同季节植物的色彩、形态变化,结合花期、叶色转变周期,制定景观美学动态评分标准。同时,运用景观偏好模型,整合多方评价数据,形成景观美学效益综合评分体系。

(三) 防护稳定性评估内容与手段

防护稳定性评估围绕边坡结构安全与抗灾能力,重点监测坡体位移、土体稳定性、防护结构完整性等内容。利用北斗卫星定位系统、InSAR 技术实时监测坡体位移,精度可达毫米级,及时预警滑坡风险;通过埋设土壤压力传感器、测斜仪,动态采集土体应力与变形数据,分析边坡内部稳定性;采用无损检测技术,对 U 型板桩、生态冠梁等防护结构进行强度与耐久性检测,评估其长期服役性能。结合历史气象数据与灾害模拟,预测边坡在暴雨、地震等极端条件下的抗灾能力,为防护稳定性提供全面评估。

(四) 综合效益评估模型的建立

综合效益评估模型以层次分析法(AHP)为基础,结合模糊综合评价法,将生态、景观、防护等单维度指标进行系统整合。首先,邀请工程、生态、美学领域专家,确定各指标权重;其次,构建模糊隶属函数,将定性指标转化为定量数据;最后,通过加权计算得出综合得分,直观反映新技术应用的整体效益。例如,赋予生态效益 40% 权重、景观美学效益 30% 权重、防护稳定性 30% 权重,通过模型计算不同技术方案的综合得分,为技术优化与推广提供决策依据,实现工程效益与生态价值的平衡。

结语

高陡边坡绿化防护新技术通过创新材料、工艺与设计理念,有效解决了边坡稳定性与生态景观提升的双重难题。植被混凝土等技术的应用,显著增强了边坡防护性能,促进了植被恢复。科学的效果评估体系从生态、景观、防护多维度量化成果,为技术优化与推广提供了可靠依据。未来,随着技术的持续迭代与评估体系的完善,高陡边坡绿化防护将朝着更高效、智能、生态的方向发展,为工程建设与生态文明建设的深度融合提供有力支撑。

参考文献

- [1] 蒋新强. 高陡光滑岩质边坡绿化防护技术 [J]. 国防交通工程与技术, 2024, 22 (04): 85-88.
- [2] 余万龙. 边坡 CBS 生态防护绿化施工的应用探讨 [J]. 技术与市场, 2023, 30 (11): 103-105+109.
- [3] 王飞, 董理金, 韦靖峰, 等. 绿化防护技术在海域岛礁高陡边坡中的应用 [J]. 路基工程, 2022, (02): 149-151+174.
- [4] 陈守辉, 孙旭敏, 满毅. 高陡岩石边坡加固与复绿综合防护施工技术 [J]. 广东土木与建筑, 2022, 18 (01): 13-16.
- [5] 王有科, 陈志强. 挖方岩石陡边坡绿化防护的设计与施工 [J]. 铁道标准设计, 2022, (01): 24-26.