

Practice and Benefit Analysis of Ecological Protection Technology for Rock Slopes

Junqiang Wen

China Power Construction Corporation Northwest Institute of Survey, Design and Research Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710000, China

Abstract

With the annual increase of rock slope area in China exceeding 3 million square meters, rock slope ecological protection technology achieves the dual goals of slope stability and ecological restoration by integrating engineering mechanics and ecological principles. The technical system is classified by slope differences: for gentle slopes ($< 45^\circ$), soil spraying is adopted; for medium-steep slopes (45° - 60°), a mixed planting method of netting and spraying is used; for extremely steep slopes ($> 60^\circ$), vegetation concrete and engineering reinforcement are combined, along with base material optimization, selection of native plants and a three-dimensional drainage system. During the implementation, the effect is guaranteed through the preliminary investigation and modeling, quality control during the construction process, and 180-day meticulous maintenance. Meanwhile, the long-term maintenance cost is lower than that of traditional engineering protection, and it has ecological, economic and social benefits, providing an effective technical path for the treatment of rock slopes.

Keywords

Rock slope Ecological protection technology; Practical analysis Benefit analysis

岩质边坡生态防护技术的实践与效益分析

文军强

中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司, 中国·陕西 西安 710000

摘要

随着我国年新增岩质边坡面积超300万平方米, 岩质边坡生态防护技术通过融合工程力学与生态学原理, 实现边坡稳定与生态修复双重目标。技术体系按坡度差异分类: 缓坡 ($< 45^\circ$) 采用客土喷播, 中陡坡 (45° - 60°) 应用挂网喷混植生, 急陡坡 ($> 60^\circ$) 结合植被混凝土与工程加固, 配套基材优化、乡土植物选型及立体排水系统。实施中通过前期勘察建模、施工过程质量管控及180天精细化养护保障效果, 同时长期维护成本低于传统工程防护, 兼具生态、经济与社会效益, 为岩质边坡治理提供有效技术路径。

关键词

岩质边坡; 生态防护技术; 实践分析; 效益分析

1 引言

随着城市化进程的加快和基础设施建设的大力推进, 大量岩质边坡在工程建设中被开挖形成。这些岩质边坡不仅破坏了原有的生态环境, 还存在滑坡、崩塌等地质灾害隐患, 严重威胁着周边居民的生命财产安全以及生态系统的平衡。据不完全统计, 我国每年因各类工程建设新增的岩质边坡面积达数百万平方米, 如何对这些岩质边坡进行有效防护与生态修复, 已成为当前生态环境保护和工程建设领域亟待解决的重要问题。

【作者简介】文军强 (1994-), 男, 中国甘肃礼县人, 硕士, 工程师, 从事岩土与地下工程研究。

2 岩质边坡生态防护技术概述

2.1 主要技术类型

2.1.1 客土喷播技术

客土喷播技术是目前应用较为广泛的岩质边坡生态防护技术之一。该技术通过将客土 (含有机质、肥料、保水剂等成分)、植物种子、纤维材料等混合搅拌, 利用专业喷射设备将其均匀喷洒在岩质坡面上, 形成具有一定厚度和肥力的种植层, 为植物生长提供适宜的土壤条件。例如, 在某高速公路岩质边坡防护工程中, 采用客土喷播技术, 选用适合当地气候和土壤条件的狗牙根、高羊茅等草种, 搭配一定比例的乔灌木种子如刺槐、紫穗槐等。施工后, 经过三个月的养护, 坡面植被覆盖率达到了 70%, 有效减少了坡面水土流失。

2.1.2 挂网喷混植生技术

挂网喷混植生技术主要针对坡度较陡、稳定性较差的岩质边坡。首先在坡面上铺设铁丝网或土工格栅，然后采用喷射机将含有水泥、骨料、植物种子、土壤改良剂等成分的混合基质喷射到坡面上，使混合基质与铁丝网或土工格栅紧密结合，形成稳定的防护层。以某矿山废弃岩质边坡治理项目为例，边坡坡度达 65° ，采用挂网喷混植生技术，选用的铁丝网规格为孔径 $50 \times 50\text{mm}$ ，丝径 3mm 。混合基质中水泥含量为 10% ，通过合理调配其他成分，保证了基质的强度和保水性。施工完成后，经过一年的生长，植被覆盖率达到 85% ，边坡稳定性显著提高。

2.1.3 植被混凝土护坡绿化技术

植被混凝土护坡绿化技术是一种将混凝土与植被种植相结合的防护技术，如图1所示。其基本原理是在坡面上浇筑一层含有植物种子、肥料、保水剂等添加剂的植被混凝土，利用混凝土的强度对边坡进行防护，同时通过添加剂为植物生长创造条件。在某水利工程岩质边坡防护中，采用植被混凝土护坡绿化技术，植被混凝土的配合比为水泥：骨料：腐殖土：添加剂 $=1:4:2:0.3$ 。经过两年的观测，植被生长良好，坡面植被覆盖率达到 90% ，有效降低了坡面径流速度，减少了水土流失量。

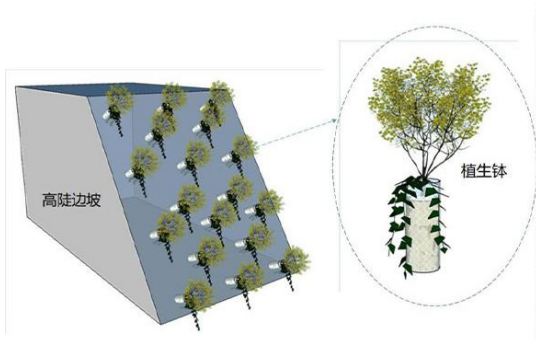


图1：植被混凝土护坡绿化技术示意图

2.2 技术原理

岩质边坡生态防护技术的核心原理在于模拟自然生态系统的结构和功能，通过植被的根系锚固作用、茎叶的水文调节作用以及微生物的土壤改良作用，实现边坡的稳定和生态环境的修复。植被根系在生长过程中会深入岩土体内部，与岩土颗粒相互交织，形成复杂的根系网络，增加了岩土体的抗剪强度和稳定性。例如，草本植物的须根可以在浅层土壤中形成密集根系层，增强土壤的凝聚力；木本植物的主根和侧根则可以深入到深层岩土体中，起到锚固作用。植被的茎叶能够截留降雨，减少雨滴对坡面的直接冲击，降低坡面径流速度，从而减少水土流失。同时，微生物在土壤中分解有机物，改善土壤结构和肥力，促进植物生长，如图2所示^[1]。



图2：岩质边坡生态防护技术的实践

3 岩质边坡生态防护技术体系构建

3.1 技术分类与适用条件

岩质边坡生态防护技术需根据边坡坡度、岩性特征、气候条件等因素差异化选用。坡度小于 45° 的缓坡段，优先采用客土喷播技术，该技术通过将有机基材、植物种子等混合后喷射至坡面，形成 $3\text{-}5\text{cm}$ 厚的种植层，适用于完整性较好的岩质边坡，成本约 $80\text{-}120$ 元/平方米。坡度 $45^\circ\text{-}60^\circ$ 的中陡坡段，需采用挂网喷混植生技术，通过铺设镀锌铁丝网（常用规格 $50 \times 50\text{mm}$ ，丝径 3mm ）增强基材整体性，喷射厚度 $8\text{-}10\text{cm}$ ，成本增至 $150\text{-}200$ 元/平方米。坡度大于 60° 的急陡坡段，需结合工程加固措施，采用植被混凝土技术，添加水泥形成强度 $1.5\text{-}2.5\text{MPa}$ 的基材层，配合格构梁或锚杆加固，成本达 $250\text{-}350$ 元/平方米。

3.2 核心技术要素

3.2.1 基材配方优化

基材是植物生长的基础，需满足力学稳定性与肥力要求。通用配方为：腐殖土 $30\%\text{-}40\%$ 、河砂 $25\%\text{-}30\%$ 、水泥 $5\%\text{-}10\%$ 、有机质 $10\%\text{-}15\%$ 、保水剂 $0.3\%\text{-}0.5\%$ 、缓释肥 $2\%\text{-}3\%$ 。针对干旱地区，可添加 $5\%\text{-}8\%$ 的泥炭土提高保水性；高寒地区则增加 $2\%\text{-}3\%$ 的草木灰提升抗冻性。基材pH值需调节至 $6.5\text{-}7.5$ ，有机质含量不低于 5% ，确保植物发芽率 $\geq 85\%$ 。

3.2.2 植物选型原则

遵循“乡土优先、功能互补”原则构建植被群落。草本植物选用高羊茅、狗牙根等耐旱品种，占比 $40\%\text{-}50\%$ ；灌木选择紫穗槐、沙棘等固氮植物，占比 $30\%\text{-}40\%$ ；辅以 $10\%\text{-}20\%$ 的乡土乔木如刺槐、火炬树，形成立体防护结构。种子混合播种量控制在 $25\text{-}35\text{g}/\text{平方米}$ ，其中冷季型与暖季型草种比例 $1:1$ ，确保四季植被覆盖。

3.2.3 工程辅助措施

排水系统是防护成功的关键，需设置“坡顶截水沟+坡面急流槽+坡底排水沟”的立体体系。坡顶截水沟深度 $\geq 30\text{cm}$ ，每隔 50m 设沉沙池；坡面每 $10\text{-}15\text{m}$ 设一道横向急流槽，采用 $\text{C}20$ 混凝土浇筑；坡底排水沟与自然水系连通，确保排水通畅。对破碎岩质边坡，需先进行锚杆加固，锚杆长度 $2\text{-}5\text{m}$ ，间距 $1.5\text{-}2\text{m}$ ，抗拉承载力 $\geq 150\text{kN}$ 。

4 技术实施关键环节控制

4.1 前期勘察与设计

施工前需进行详细勘察,测定边坡坡度、岩性、节理发育程度等参数,评估边坡稳定性。采用无人机航测建立三维模型,划分不同防护分区。设计阶段需进行基材配比试验,通过正交试验确定最优配方,开展植物发芽试验,确保当地气候条件下种子成活率 $\geq 90\%$ 。针对特殊地段编制专项方案,如断层破碎带需加密锚杆间距至1-1.2m,富水边坡增设排水孔,孔径100mm,间距3-5m。

4.2 施工过程质量控制

坡面清理需达到“无松动岩块、无浮土”标准,采用机械配合人工清理,局部危岩采用静态爆破处理。挂网施工时铁丝网搭接宽度 $\geq 10\text{cm}$,用绑扎丝每隔20cm绑扎牢固,锚杆外露长度5-10cm。基材喷射分两次进行,首次喷射厚度5-6cm,24小时后二次喷射至设计厚度,喷射压力控制在0.3-0.5MPa,确保基材与坡面密贴。种子喷射需在基材初凝前完成,采用专用喷播机均匀喷洒,喷播后覆盖无纺布保湿。

4.3 后期养护管理

养护期不少于180天,前60天为关键养护期。采用滴灌或喷灌系统浇水,保持基材含水率20%-25%,高温季节每天浇水1-2次,低温季节每3-5天浇水一次。出苗后及时追肥,喷施0.2%尿素溶液2-3次,幼苗期除草2-3次。对成活率低于70%的区域进行补播,补播量为原播种量的50%-60%。养护期满需进行植被覆盖率、高度、生物量等指标检测,确保覆盖率 $\geq 80\%$ ^[2]。

5 岩质边坡生态防护技术的效益分析

5.1 生态效益

5.1.1 水土流失控制

通过植被的截留、拦蓄作用以及根系对土壤的固持作用,岩质边坡生态防护能够有效减少坡面水土流失。相关研究表明,采用生态防护技术后的边坡,坡面径流系数可降低30%-60%,土壤侵蚀模数可减少50%-80%。在某山区公路边坡生态防护项目中,监测数据显示,防护后坡面年土壤侵蚀量从防护前的5000t/km²降低至1000t/km²以下,有效保护了土壤资源,减少了泥沙对周边水体的污染。

5.1.2 生物多样性增加

生态防护后的边坡为各类动植物提供了栖息和繁衍的场所,促进了生物多样性的增加。植被的生长为昆虫、鸟类等动物提供了食物和栖息地,吸引了众多生物在此栖息。例如,在某矿山废弃岩质边坡生态修复项目中,修复后监测到的植物种类从原来的不足10种增加到了50余种,昆虫种类增加了30%以上,鸟类数量也明显增多,生态系统的稳定性和完整性得到了提升。

5.1.3 碳汇功能提升

植被通过光合作用吸收二氧化碳,具有显著的碳汇功能。岩质边坡生态防护增加了植被覆盖面积,从而提升了区域的碳汇能力。据估算,每平方米植被每年可吸收二氧化碳0.5-1.5kg。在一个面积为10万平方米的岩质边坡生态防护项目中,每年可增加碳汇量50-150t,对缓解全球气候变化具有积极意义。

5.2 经济效益

传统的工程防护措施需要定期进行检查和维护,维护成本较高。而岩质边坡生态防护技术利用植被的自我修复和生长功能,减少了坡面的损坏和修复需求,降低了长期维护成本。同时,经过生态防护后的岩质边坡,其稳定性和生态环境得到改善,周边土地的利用价值也随之提升。最后,岩质边坡生态防护技术的应用带动了种子、苗木、肥料、土壤改良剂等相关产业的发展,生态防护工程的施工和养护也创造了就业机会,促进了当地经济的增长。据统计,一个规模为100万平方米的岩质边坡生态防护项目,可带动相关产业产值增长5000万元以上,创造就业岗位200余个。

5.3 社会效益

岩质边坡生态防护有效提高了边坡的稳定性,减少了滑坡、崩塌等地质灾害的发生风险,保障了周边居民的生命财产安全。同时,岩质边坡生态防护项目的实施,让公众直观地感受到了生态环境保护的重要性的实际效果,增强了公众的环保意识。通过宣传和教育活动,引导公众积极参与到生态环境保护中来,形成了良好的社会氛围^[1]。

6 结语

岩质边坡生态防护技术在实践中展现出了良好的应用效果和显著的综合效益。通过多种技术类型的合理应用,能够有效实现岩质边坡的稳定与生态修复,在生态效益方面,对水土流失控制、生物多样性增加和碳汇功能提升贡献突出;在经济效益上,降低了边坡维护成本,提升土地利用价值并带动相关产业发展;在社会效益层面,保障了居民生命财产安全,提升区域景观形象和增强公众环保意识。然而,部分技术在复杂地质条件下的适应性有待进一步提高,植物种子和品种的选择还需更加精准地匹配不同地区的气候和土壤条件,以确保植被的长期稳定生长。

参考文献

- [1] 徐志强,杨和平,辛亚兵,等.强风化岩质边坡生态防护技术及应用[J].公路与汽运,2024,40(06):56-61+65.
- [2] 张兆冬.高路堑边坡喷播藤本植物生态防护施工技术[J].成都航空职业技术学院学报,2024,40(01):63-66.
- [3] 陈莹.高性能生态护坡绿化技术在岩质边坡治理上的应用[J].福建交通科技,2021,(11):114-118.