

路域裸露坡面生态修复实践

葛湃飞

(北京城建北方生态环境科技有限公司, 北京 100010)

摘要:以张承高速(崇礼至张家口段)沿线裸露坡面生态修复工程为例,立足项目区裸露坡面的成因及生态问题,通过分析路域裸露坡面稳定性及坡面立地条件,制定了裸露坡面生态修复要求及工作流程,确定采用团粒挂网客土喷播技术进行坡面稳定性修复及绿化,并进一步总结了团粒客土喷播混合基质与乔灌木混合种子的构成与配比,以及养护管理要点。结果表明:项目实施 10 d 左右,植物萌芽率达 90% 以上;实施 3 个月后绿化修复效果显著,修复区坡面植被覆盖度达 85% 以上;经养护管理半年后,植物群落持续向好演替,灌木植物逐步替代草本植物,目标植物群落的植物种类达到设计种类的 80% 以上,研究区裸露坡面安全隐患被消除,水土保持功能得到有效恢复。

关键词:植物群落;基质配比;客土喷播;养护管理;生态修复;裸露坡面;张承高速

中图分类号: X171.4; TU43 **文献标识码:** B **DOI:** 10.3969/j.issn.1000-0941.2025.04.005

引用格式: 葛湃飞.路域裸露坡面生态修复实践[J].中国水土保持,2025(4):19-22.

在城乡交通系统不断完善的大背景下,挖山筑路等人为活动对路域周边自然山体风貌造成了不同程度的破坏,产生了大量的裸露坡面。特别是一些高陡裸露山体坡面临空面大,在雨雪、冻融和风化的作用下,极易诱发地质灾害,威胁群众的生命财产安全,急需进行修复治理。本研究以张承高速(崇礼至张家口段)沿线裸露坡面生态修复工程(以下简称“张承高速生态修复工程”)为例,总结了生态修复实践中采用的团粒挂网客土喷播技术的施工工艺及实施经验,以期同类项目的修复建设提供借鉴和参考。

1 项目区概况

张承高速(崇礼至张家口段)作为首都环线高速重要组成部分,是河北省高速公路网的组成部分,更是连接 2022 年北京冬奥会核心区的重要交通廊道,因此其路域安全及生态环境建设尤为重要。道路全长 62 km,地势总体东北高西南低。张承高速生态修复工程项目区地处冀西北山间盆地北部,山势陡峭,沟谷深切,地貌单元多样;位于东亚大陆性季风气候中温带半干旱区,昼夜温差较大,年均气温 3.3℃(夏季平均气温 19℃,冬季平均气温 -12℃),降水集中,每年降雪时间早,雪期持续时间长达 6 个月,年平均积雪厚度 1.5 m,年平均存雪期 150 多 d,道路沿线局部山体存在冻融迹象。

2 裸露坡面生态问题

张承高速生态修复工程项目区裸露坡面主要是张承高速道路两侧可视范围内的裸露坡面,这些裸露坡面的成因可分为两类:一类是人工挖山筑路或自然

作用形成的裸露坡面;另一类是历史遗留的少量废弃矿山裸露坡面。这些裸露坡面植被覆盖度低,生态环境脆弱^[1],已表现出不同程度的岩土风化、土石剥落、表层冲沟等地质不稳定迹象,路域行车存在安全隐患。坡面类型以风化片麻岩、花岗岩及土质裸露边坡为主,大部分坡面地质结构较稳定,少数坡面存在轻度稳定性隐患,需要通过治理加固解决。

公路路域生态系统是由公路系统和生态系统复合而成的^[2],完整的植物群落是公路路域生态系统健全的重要指标。经实地调查,参考受损生态系统历史状态或周边类似生态系统状态,确定一个或若干个环境状况相似的本地原生生态系统或类似生态系统作为参照生态系统^[3],对裸露坡面所在区域进行生态问题识别,确定项目区裸露坡面具有如下特征:坡面表层土壤水分、有机质缺乏,水土流失严重,自然条件下植被恢复极为缓慢;坡面原生植被层遭到破坏,造成植被覆盖度降低或无植被覆盖,区域生态涵养功能减弱;开挖堆砌活动强烈扰动地表,形成裸露坡体,破坏了原有山体景观风貌,成为绿色山体中的“疮疤”,造成了景观视觉污染;局部挨近道路的坡面坡度较陡,经长期风化裂隙呈现扩张趋势,存在安全隐患。

3 裸露坡面生态修复要求

1) 根据坡面类型,制定治理目标。一般裸露坡面可分为缓坡段、陡坡段、崖坡段 3 种^[4]。根据裸露坡

收稿日期:2024-02-27

第一作者:葛湃飞(1988—),男,河北河间人,高级工程师,学士,主要从事生态修复及风景园林设计相关工作。

E-mail: 459060844@qq.com

面分类和边坡生态问题调查结果,确定一个或若干个环境和自然状况相似的本地原生生态系统或类似生态系统为恢复目标,制定生态修复措施。

2)采取最小干预原则,确定目标群落结构。按照现状植物群落,有针对性地营造和改善生境条件,依靠植物自身生长能力,采取最小干预原则,结合现状植物群落生态特征,确定目标植物群落结构,以满足不同土地利用条件下的群落均匀度,尽快恢复山体植被多样性和自然风貌。

3)坚持模拟自然,乔灌草多层次构建。基于现状植物群落分布,植物选择标准以乡土性、耐干旱、耐盐碱、深根系、易养护为主,模拟自然植物群落结构,合理配置乔灌草植物组合、先锋植物和中生植物,构建多物种、多层次的植物群落。项目区植物群落恢复设计方案见图 1。修复初期,优先形成以草本植物为主的先锋植物,随着乔灌草群落的形成,草本植物种类

逐渐减少,再适量补植(栽)木本植物,最终实现人工向自然逐渐演替的过程。

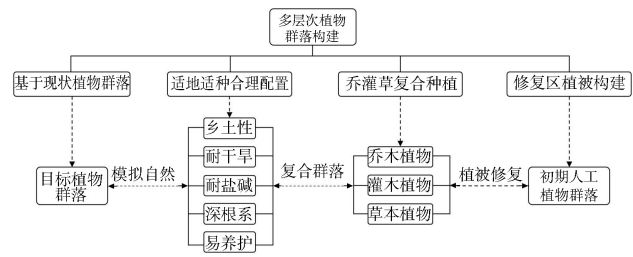


图 1 张承高速生态修复工程植物群落恢复设计方案

4 生态修复工作流程

张承高速生态修复工程裸露坡面生态修复主要包括调查、立项、设计、施工、养护、质量检验共 6 个阶段(见图 2)。其中,调查阶段主要包括资料收集、现状调查;根据地质勘察等获得的相关数据,进行修复区

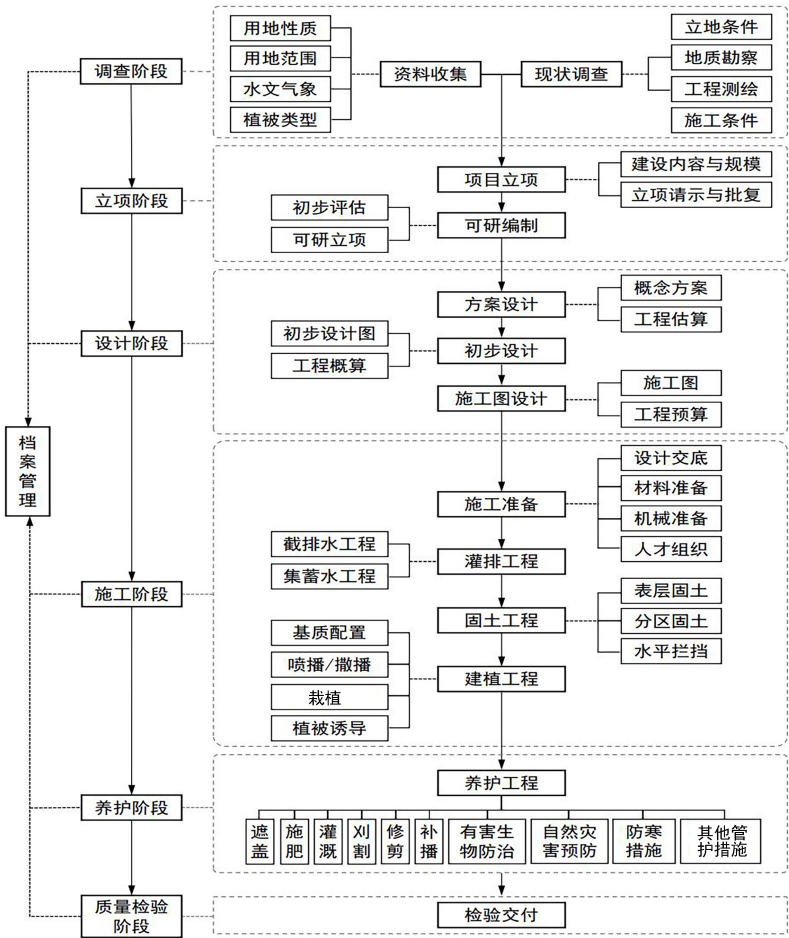


图 2 裸露坡面生态修复工作流程

坡面的稳定性评价,评价结果作为坡面加固支护等措施的设计依据。立项阶段主要包括项目立项及可研编制。设计阶段主要包括方案设计、初步设计、施工图设计,各阶段均应进行专家评审,经批复的专家评审成果

才能作为下阶段项目建设的依据。施工阶段主要包括施工准备、灌排工程、固土工程、建植工程;由项目主管部门统筹各施工单位严格按照工程建设周期及各阶段进度安排做好材料、机械、人员等前期准备工作,经设

计交底后,由项目经理组织施工人员正式进场施工。养护阶段主要包括喷播(栽植)养护、成活率养护及日常养护,采取遮盖、施肥、灌溉、刈割、修剪、补播、有害生物防治、自然灾害防治、防寒措施及其他管护措施等养护措施。质量检验阶段要进行施工过程质量验收、交工验收、竣工验收;由项目主管部门组织,设计、施工、监理等各方参与,按照相关验收标准,对实施项目进行检验批、分项工程、分部工程等的施工质量检验;验收合格后,由施工及监理单位将相关工程质量验收文件、技术文件及养护资料等整理完善、汇编后形成最终验收成果交至项目建设主管部门归档。

5 生态修复措施的实施

5.1 修复治理工艺的选择

项目区生态修复包括坡面稳定性治理及绿化两部分。对存在安全隐患的裸露坡面,划分重点作业块,自上而下施工。高处危岩采用人工风镐破除,较低处的采用液压破碎锤排险,直到没有松动危石及悬空岩体。对清理后的坡面,根据稳定性评估结果,采用挡墙、挂防护网等措施进行安全防护。在坡面安全稳固的基础上实现坡面的整体绿化覆盖,以恢复受损坡面植被。项目区主要裸露坡面为坡度 45° ~ 65°和不平整的土质、土石质陡坡,宜采用团粒挂网客土喷播技术,具体技术措施及指标应满足相关技术标准要求。

5.2 修复基质的选择与配比

根据《绿化种植土壤》(CJ/T 340—2016)的相关规定,以及项目区坡面类型及植被恢复要求,选择适宜的基质配置,同时考虑基质在坡面上的稳定性及植被依附的可靠性,应选择轻质颗粒物或限制砂砾含量。此外,由于项目区位于半干旱半湿润的高海拔地区,喷播施工除应结合实际坡面情况外,还要考虑冻融问题,因此最终采取在混合基质中适当降低保水剂用量,增加腐殖酸材料、植物纤维用量,以降低水分迁移作用下的冻融影响。采用团粒挂网客土喷播技术,施工时按喷播混合纤维材料配比(见表 1)及用料顺序投料,同时严控喷播基材的厚度及均匀度。喷播后,70%的金属网应被覆盖,允许有 30%左右的金属网露在喷播土壤层外。为保障植物能够顺利出芽生长,可喷撒厚度为 1~2 cm 的种子覆盖防冲刷层,保护种子层并保温保湿,以促进植物生长,防止成形后的作业面被雨水冲刷^[5]。

5.3 混合种子的配比

选择适合本地生态恢复的植物种类,并进行合理配种。本项目选择乔灌草花混合型种子(具体配比见表 2),喷播用量 45 g/m²。为了促使种子提早发芽、提

表 1 张承高速生态修复工程客土喷播混合纤维材料的组成及配比

项目	材料	配比(参考值)
基质营养层 (厚度 8~12 cm)	改良种植土	0.10 m ³ /m ²
	专用营养基质	10.0 kg/m ²
	木纤维	1.50 kg/m ²
	草纤维	5.00 kg/m ²
	稻壳	5.00 kg/m ²
	腐殖酸材料	0.50 kg/m ²
	复合肥	150.00 g/m ²
	有机肥	500.00 g/m ²
	保水剂	15.00 g/m ²
	黏合剂	10.00 g/m ²
种子层 (厚度 1~3 cm)	生物菌剂	5.00 g/m ²
	土壤改良剂	0.50 kg/m ²
	改良种植土	0.02 m ³ /m ²
	专用营养基质	2.50 kg/m ²
	植物纤维	0.65 kg/m ²
	土壤改良剂	0.50 kg/m ²
	有机肥	50.00 g/m ²
	生根剂	1.50 g/m ²
	种子	45.00 g/m ²
	保水剂	15.00 g/m ²
	黏合剂	10.00 g/m ²

注:对存在冻融隐患的区域,可根据实际情况适当调整腐殖酸、植物纤维等材料比例。

高发芽率,需要对种子提前 1 d 进行催芽处理。常见的催芽方法有冷水浸种、层积催芽、升温催芽、化学药剂浸泡等,具体措施依据种子种类、种皮厚度等确定^[6]。浸种期间要勤更换清水,保证水无异味。浸泡之后,将种子捞出阴干,至种子散开。浸泡后的种子不宜保存太久,最好尽快作业。在喷播前对批量种子发芽率进行测定,根据实际面积计算种子用量^[7]。种子播种量计算公式^[4]为

$$W = G \times Q / (1\,000 \times T \times C \times D \times P \times R) \quad (1)$$

式中:W 为植物种子的播种量,单位 g/m²;G 为期望的植株密度,单位株/m²;Q 为种子千粒质量,单位 g;T 为含种子层的基质层(土壤)厚度校正率,根据含种子

表 2 张承高速生态修复工程混合草种配比 g/m²

分类	名称	用量参照
灌木	紫穗槐(<i>Amorpha fruticosa</i>)	6.00
	沙棘(<i>Hippophae rhamnoides</i>)	4.00
	柠条锦鸡儿(<i>Caragana korshinskii</i>)	6.00
	胡枝子(<i>Lespedeza bicolor</i>)	4.00
乔木	刺槐(<i>Robinia pseudoacacia</i>)	4.00
	白榆(<i>Ulmus pumila</i>)	6.00
野花	野花组合	1.00
草本	紫花苜蓿(<i>Medicago sativa</i>)	4.00
	冰草(<i>Agropyron cristatum</i>)	2.00
	披碱草(<i>Elymus dahuricus</i>)	4.00
	草木樨(<i>Melilotus suaveolens</i>)	3.00
	早熟禾(<i>Poa annua</i>)	1.00

注:该混合草种配比以张家口地区本地植物类型为参照。

的基质层(土壤)厚度对种子发芽和成苗的影响而确定,基质层(土壤)厚度 2~3 cm 的校正率为 1,随着基质层(土壤)厚度的增加,校正率相应降低; C 为立地条件校正率,根据坡面土质、坡率、坡向等立地条件对种子发芽和成苗的影响而确定,坡度大于 45°校正率为 0.7~0.9,阳坡校正率为 0.7~0.9,岩质边坡校正率为 0.8~0.9; D 为施工期校正率,根据施工时间对种子发芽和成苗的影响而确定,非季节施工期植物校正率为 0.7~0.9; P 为种子纯净度; R 为种子发芽率。

5.4 养护管理

施工完待喷播层稳定后选用植物纤维毯等有机材料进行遮盖,后期覆盖物可视喷播植物的生长情况选择揭除或保留。在全部生态修复工作完成后,应根据坡面植被恢复区气候、立地条件及植物生长需要进行灌溉,以保证苗木成活率及种子发芽率。喷水养护时应用喷雾洒水,严禁用水管直接喷浇水,以防水量过大造成坡面冲刷^[8]。入冬植物停止生长时浇足“封冻水”,春季植物萌芽前浇适量“返青水”,夏季选择早晚温度较低的时段浇水。植被演替成为自然群落之前,依据植株营养诊断和土壤肥力测试等结果,合理追施复合肥。目标植被因杂草生长而受抑制时,应及时清除杂草及缠绕目标植物的藤本植物,刈割高度宜低于目标植物。冬季防火期进行防火带刈割,以割除草本植物地上部分为宜。雨季或杂草生长旺盛期可进行杂草刈割,并在坡面植被密度过大时及时间苗。在不影响坡面安全稳定及坡面植被绿化效果的基础上,按去劣留优、去弱留强、去小存大、间密补稀的原则进行均衡间苗,并及时清除入侵植物种。2~3 个月内木本植物生长不齐属于正常现象,当坡面裸露较多或乔灌木比例较低时,应进行人工补播或补栽,补播(栽)时间以每年 4—8 月为宜^[9]。养护管理有助于在目标群落形成前减少人为、牲畜对坡面植被的破坏,最终实现裸露坡面生态修复目标。

6 实施效果评价

生态修复和养护管理措施实施 10 d 左右,植物萌芽率达 90% 以上;实施 3 个月后,绿化修复效果显著,坡面植被覆盖度达 85% 以上;经养护管理半年后,作为先锋的草本植物呈现逐渐退化趋势,植物群落从草本型向灌木型演替,植物群落物种逐步增加,并趋向周边植物群落特征,目标植物群落的植物种类达到设计种类的 80% 以上,总体生态环境得到显著提升。工程实施后,张承高速(崇礼至张家口段)沿线裸露坡面造成的生态问题得到有效治理,安全隐患被消除。

7 结束语

道路建设是城乡发展的重要组成部分,在满足基本交通功能的同时,也会对路域山体坡面造成不同程度的破坏。以张承高速生态修复工程为例,立足路域裸露坡面生态问题,制定了裸露坡面生态修复要求及工作流程,确定了采用团粒挂网客土喷播技术进行坡面稳定性修复及绿化的方案,进一步总结了喷播混合基质及种子的配比,以及养护管理的相关要求,并进行了实施效果评价。评价结果显示:基于上述施工流程,采取生态修复和养护管理措施 10 d 左右,植物萌芽率达 90% 以上;3 个月后绿化修复效果显著,修复区坡面植被覆盖度达 85% 以上;经养护管理半年后,植物群落持续向好演替,灌木植物逐步替代草本植物,目标植物群落的植物种类达到设计种类的 80% 以上,研究区裸露坡面安全隐患被消除,水土保持功能得到有效修复和改善。

参考文献:

- [1] 封占江. 矿山生态修复边坡植物多样性分析研究[J]. 能源与环保, 2023, 45(6): 7-12.
- [2] 余超, 周海燕, 黄在智, 等. 高速公路水土保持原生植物群落多样性动态变化分析[J]. 交通建设与管理, 2011(9): 77-79.
- [3] 自然资源部办公厅, 财政部办公厅, 生态环境部办公厅. 自然资源部办公厅 财政部办公厅 生态环境部办公厅关于印发《山水林田湖草生态保护修复工程指南(试行)》的通知[Z]. 北京: 自然资源部办公厅, 财政部办公厅, 生态环境部办公厅, 2020: 17-20.
- [4] 国家林业和草原局. 裸露坡面植被恢复技术规范: GB/T 38360—2019[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019: 3.
- [5] 田占良. 基于非污染矿山高陡边坡微地形的多种客土喷播技术应用研究[J]. 中国矿业, 2022, 31(2): 86-91.
- [6] 武明亮. 山区生态修复工程技术: 以冬奥会延庆赛区生态修复工程典型区域为例[J]. 现代园艺, 2022, 45(8): 161-163.
- [7] 黄灏峰, 王礼旺, 南海龙, 等. 多阶梯边坡植被恢复技术在公路建设中的应用[J]. 中国水土保持科学, 2013, 11(4): 60-62.
- [8] 李书昌, 郑阳, 韩丽君. 路基坡面喷播防护应用[J]. 建筑技术, 2022, 53(9): 1224-1226.
- [9] 国家林业局. 北方地区裸露边坡植被恢复技术规范: LY/T 2771—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 16.

(责任编辑 李杨杨)