

高陡工程边坡生态恢复治理技术

廖东柯

成都理工大学, 四川 成都 610059

[摘要] 工程建设经常会产生大量高陡边坡, 高陡边坡土层薄弱且贫瘠, 植被再生缓慢、演替困难, 造成一系列严重生态环境问题。鉴于此, 文中针对高陡边坡土层, 提出通过巯基改性坡缕石改良土壤并通过糯米基加固土壤的治理意见, 并以九寨沟自然保护区工程边坡生态修复设计为例做解析, 为工程高陡边坡生态修复提供参考。

[关键词] 工程边坡治理; 生态环境影响; 治理建议

DOI: 10.33142/ec.v5i7.6341

中图分类号: TD167

文献标识码: A

Ecological Restoration and Treatment Technology of High and Steep Engineering Slope

LIAO Dongke

Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan, 610059, China

Abstract: Engineering construction often produces a large number of high and steep slopes. The soil layer of high and steep slopes is weak and barren, the vegetation regeneration is slow and the succession is difficult, resulting in a series of serious ecological and environmental problems. In view of this, aiming at the soil layer of high and steep slope, this paper puts forward the treatment suggestions of improving the soil through sulfhydryl modified palygorskite and strengthening the soil through glutinous rice foundation, and analyzes the ecological restoration design of slope in Jiuzhaigou nature reserve, so as to provide reference for the ecological restoration of high and steep slope.

Keywords: engineering slope treatment; ecological environment impact; governance suggestions

引言

近年来, 一大批公路、铁路建设项目接连投入建设^[1]。一般来说, 施工现场都会出现岩土体移动和破坏, 如在地质脆弱带, 这种脆弱性还会加剧; 另一方面, 表层难以再生的种植层及其上面附着的植物损失, 被破坏的生态环境难以恢复, 这些都是开挖方所不能避免的情况。在公路路域土质环境下, 群落经初生演替、次生演替直到恢复到草灌结合的植物群落, 即使是生态恢复力强的地区, 至少也需要 20 余年^[2]; 在土壤瘠薄的区域甚至需要上百年。

坡缕石具有优良的离子吸附性能, 较大比表面积和很强的分散性能, 内含十余种作物生长发育所必需的中微量元素和天然养分^[3]。在这种工程创面边坡的特殊立地条件下, 科学适时的运用坡缕石, 帮助植被快速成型, 防止坡面遭受雨水冲刷和风力侵蚀, 对于避免发生次生地质灾害, 保证工程项目安全稳定和维护良好生态环境具有重要意义。

1 高陡边坡修复难点

高陡边坡的产生通常由于工程建设遗留下来的, 如公路和铁路沿线因开挖而产生的永久边坡, 水电工程建设形成的人工边坡, 因山区旅游需要而形成的人工开挖边坡以及开采石料、矿山留下的裸露边坡^[4]等, 大多高陡边坡缺少植物生长的土壤条件、养分条件及水分条件, 植物极难存活, 造成边坡表面处于不稳定状态, 坡体易滑塌、崩塌, 水土流失严重, 而发生水土流失后, 会造成坡体更高、更

陡, 由此高陡边坡的生态环境陷入一个恶性循环。构建满足植物快速生长并维持长期稳定的基质对于增强高陡边坡的稳定性及生态修复效果有重要意义。

2 巯基改性坡缕石技术的具体应用分析

2.1 工程概况

本次规划地块位于四川省九寨沟国家级自然保护区内, 用地性质为防护绿地, 需规划一处道路边坡, 为荷叶寨下行 0.3 km 处。九寨沟自然保护区境内公路总里程约 60 km, 从沟口到长海、原始森林均为柏油路面。根据位于保护区中心的诺日朗气象站的资料, 九寨沟自然保护区年平均气温 7.3℃, 年降水量 622 mm, 年降雨日数 150 天以上, 降水集中在 5~9 月, 常以暴雨的形式出现, 降水的年变化率比较小, 大约为 10~15%, 降水量随海拔增加而增加。冬半年多雪, 且常有积雪, 最大积雪厚度 15 cm。在生态文明建设的背景下, 按照《世界自然遗产名录》精神, 对遗留公路边坡进行生态修复使其自然融入保护区内环境势在必行。

2.2 高陡边坡生态修复设计现状调研

①钢架挂盆式, 整体结构投资大、绿化见效快, 但可持续性较差, 其后期的管护与更换成本较高, 适宜于城市与特殊用途墙体装修垂直绿化;

②六角块植草式, 成本一般, 绿化高度有效, 生长介质较少, 植被生长缓慢, 绿化效果不佳, 六角块结构适宜

于一般路边矮墙，且植草结构需要环境土壤相接，保持水分养分供给；

③客土放坡绿化，客土体量大，土壤成本较高，适宜于一般性矮小墙体，有前缘放坡空间，但土壤未作改良，植被长势不良，坡面裸露严重，防护不佳；

④骨架放坡+客土绿化，骨架结构增大了放坡土体的侧限作用，利于坡体稳定，但结构裸露、土壤未作改良，植被长势不良，坡面防护不佳，基本未形成良好植物群落，而且土壤用量较大，成本较高，土壤改良加上良好的管护措施即刻逐步实现绿化美化效果；

⑤角钢骨架+客土植树，造型死板、与周围环境不协调，成本较高，种植密度高，受到养分水分影响，其生长空间受限；

⑥挂网防护+直接喷播，成本一般，基质材料未经过改良，直立边坡很难实现绿化，立面坡水土难以存留，部分缓坡前期效果较好，这种工艺做法和材料不利于九寨沟创面生态绿化美化和景观重构；

⑦石笼护脚+挂网喷播，前期效果好，但由于土壤未经过固化改良，雨水冲刷明显，坡面沟蚀严重，边坡水土保持能力较低，长期生态效果不佳；

⑧麻绳加板+挂网喷播，成本一般，整体效果不佳，受降雨冲刷明显，基质裸露，表面形成冲蚀沟，泥土严重冲蚀，养分流失、冲刷脱落、草木枯死，不利于整体墙面植被演替和长期效果保持；

⑨石笼树池植树+石笼麻袋植草，此结构成本一般，可利用沟内泥石流堆积物、崩塌堆积物等，但由于石笼裸露，水土保持性能较低，只是整个结构效果极差，因此只适宜于低矮路肩墙的局部防护或者松散边坡结构的保护与防护。



图1 现有边坡生态修复情况

以上现有高陡边坡修复手段存在的共性问题为土壤基质未改良，植物生长慢，可持续性差。

2.3 因地制宜原则下的设计理念

工程边坡混凝土挡墙硬质景观生态景观重构是针对

特定的破坏区域进行的，由于九寨沟作为世界自然遗产地，敏感性强、关注度高、地域性特点也很强，因此进行工程设计之前，必须充分认识到景区土地的特性和地域性，从而因地制宜确定其景观重构、生态修复规划。项目所选用修复植物均为本地已有物种，植物景观造型设计更易融入自然景观，坡面植被自然更新更接近于群落自然演替。

2.4 施工准备阶段

根据工程实际情况需要做好充分的施工准备，以确保工程顺利实施。施工准备安排的原则是：突出重点，永久与临时结合，合理布置，全面展开，为工程全面铺开创造条件。具体来说主要包括施工技术准备与施工现场准备2个方面：

2.4.1 施工技术准备

组织所有管理及施工技术人员，认真熟悉图纸，学习有关规范、标准及工艺操作规程，了解本工程设计意图、施工特点和特殊工序要求。

与业主联系召开配合会及设计交底会。测量人员做接桩工作，技术、试验及其他管理人员及时到位完成各项准备工作，根据计划安排提出工程用料计划，施工机具计划，明确各类物资进场时间。

根据本标段工程的特点和设计要求，做好施工队伍的技术培训和技术交底工作，进行了工前的技术、安全、质量、文明施工、环境保护、安全再教育，提高职工安全、质量、文明施工和环保意识。

2.4.2 施工现场

做好施工场子地的移交接收工作，现场各类临时设施及时搭设，消防器材及早落实政策。

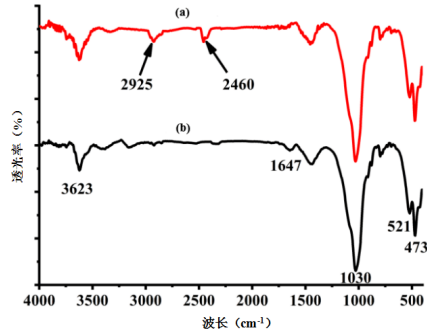
施工前进行现场调查及物探工作，调查的主要内容为地下物探测、土质、淤泥及地下水水位实际情况等，并根据调查材料、物探资料、图纸会审情况对施工方案进行全修订。

按计划做好夏、雨季提前到来的预防工作；根据天气的变化做好材料、机具的苫盖，修建，疏通好现场排水渠道，准备好防雨和排水的材料、机具。

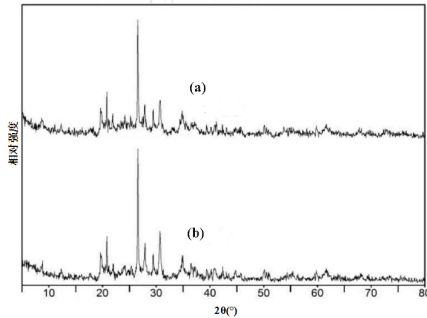
2.5 巯基改性坡缕石的制备

将3-巯丙基三甲氧基硅烷、乙醇、水、PEG-2000和坡缕石混匀，搅拌反应7~8h，得到产物，然后水洗产物至中性，烘干得到巯基功能化坡缕石材料。由下图2和3可以对比得到巯基功能化坡缕石和未改性坡缕石之间的性质差异。

将未改性和改性后的坡缕石进行傅立叶透射红外（FTIR）和X射线衍射（XRD）结构分析得出，巯基改性坡缕石后出现了多个明显吸收峰（图2），分别在2460 cm⁻¹处出现了S-H伸缩带，在2928 cm⁻¹处是由3-巯丙基三甲氧基硅烷中的CH₃和CH₂基团振动产生的C-H伸缩带，说明巯基成功嫁接在坡缕石上。X射线衍射结果显示（图3），巯基改性坡缕石前后的XRD图谱没有明显变化，巯基功能化坡缕石的晶体结构未受到破坏且结晶度也未受到影响，仅仅粘附在外部表面，对内部结构不产生影响。



注：(a) 巯基改性坡缕石 (b) 天然坡缕石
图2 未改性和巯基改性坡缕石红外光谱图



注：(a) 巯基改性坡缕石 (b) 天然坡缕石
图3 未改性和巯基改性坡缕石 XRD 图谱

2.6 土壤改良

按照 20 kg/亩的比例添加巯基改性坡缕石进行土壤改良。

2.7 植物配置选择

2.7.1 本土优势植物调查

本次调查九寨沟风景区内优势植物种群情况,参照方精云[5]植物群落清查方法来乔木、灌木和草本 3 种类型。根据植被类型及结构特征的差异,将植物群落分为森林、灌丛和草地,分别设置调查样方,观测记录包括乔木层、灌木层、草本层等各层次植物。

森林是植物群落调查的重点^[6]。选择群落面积足够大,群落内部的物种组成、群落结构和生境相对均匀的地点开展样方调查。调查样方的面积为 20 m×30 m,以罗盘仪确定样方的四边,闭合误差应在 0.5 m 以内。以测绳或塑料绳将样方划分为 10 m×10 m 的样格。同时记录各层次的优势种,如某层有多个优势种,要一并记录。

对于灌丛和草地植物群落清查,样方地点的选择原则参考森林群落调查。为全面清查研究区灌丛和草地的物种组成等信息,样方面积设置 100m²,周围应留有 10 m 缓冲区,在样方四角和中心各设置 1m×1m 的小样方 1 个。记录所有维管植物的种名、平均高度、盖度等信息。对灌丛,调查整个样方 (10m×10 m);对草地,调查每个 1m×1m 的小样方。

最终将各植物群落不同层次植物优势种情况统计,部分结果展示如下表 1。

表 1 九寨沟常见植物名录

序号	中文名	生境
1	油松	主要分布在 2700 m 以下,浅变质灰岩风化的中性土壤上。
2	紫果云杉	主要分布在 2700 m~3000 m 之间较平坦的缓坡上,多为人工栽培。
3	密枝圆柏	主要分布在 3300 m~3900 m 长海、原始森林和藏马龙里沟附近山脊陡坡的阳坡。
4	白桦	主要分布在树正沟、丹祖沟、荷叶沟、原始森林和纳久坡等海拔 2400 m~3100 m 之间的山凹中,或其边缘的阴坡上,多呈斑块状分布。
5	沙棘	呈灌木状零星分布于海拔 2400 m~2800 m 河漫滩及泥石流堆积扇的砾石上。
6	高山柳	主要分布于低海拔的山坳空隙处、高海拔的开阔山坡上。
7	陇西小檗	发现于树正寨、扎如沟、珍珠滩等地的灌丛中,数量较多
8	高山绣线菊	在则查洼、丹祖沟和树正沟海拔 3000~3500m 的山坡上部分布较为集中。
9	高山嵩草	主要分布于海拔 3800 m~4200 m 之间的高山坡地及浑圆形山顶的林线上部,常与杜鹃灌丛镶嵌分布。
10	草地早熟禾	主要分布于长海、丹祖沟、扎如沟和原始森林草坡等海拔约 3000m 以上的山顶上。
11	圆柱披碱草	分布于海拔 3100~3900m 的针叶林或杜鹃林的林缘,在九寨沟成片的细枝绣线菊灌丛可见于长海、原始森林草坡、丹祖沟和扎如沟等山坡上部。
12	大火草	主要分布于海拔 2100~2700m 的林间空地、丢荒地和相对平缓的草坡上。

2.7.2 植物配置

基于因地制宜的原则选取当地植被,且考虑路边坡的生态恢复效果和景观性,植物设计为草+灌+藤的群落。草本植物采用老芒麦、黑麦草、草地早熟禾、披碱草、高羊茅;藤本选择常春藤、金银花、勾儿茶、啤酒花等,种植间距 60cm/株,株高 0.5m;灌木选择间种高山柳、陇西小檗、高丛珍珠梅、西康扁桃等。

2.8 草籽混合喷播技术

草籽混合喷播基质由糯米基质固土材料、改良壤土、秸秆、生物有机肥拌合而成;混合草籽按照高羊茅:老芒麦:披碱草:黑麦草:早熟禾=3:2:1:1.5:1.5:1,混合草籽密度为 20 g/m²。

2.9 高陡边坡生态修复设计

分为坡面挂网喷播遮挡、坡脚浇筑柔性树池编织植物篱笆坡、坡顶种植藤本。坡面遮挡层采用混有草籽的改良种植土进行喷播(厚度 6~16cm),沿坡脚设置与坡体等长的槽型柔性树池,其上编织植物篱笆(柳树、珍珠梅等),间种藤本分别牵引至坡体及树池外侧,树池外侧采用混有草籽的种植土进行喷播(厚度 6~16cm),树池外侧脚下间种灌木和藤本。坡顶采用混有草籽的种植土进行喷播(厚

度 20cm)，种植藤本并向下牵引至坡体立面。

由下至上分层施工工艺为：树池垫层基础制作——坡体、坡脚植入树池锚固钢筋——支模板——浇筑树池垫层基础——绑扎树池表层防护结构（依次为防水保温层、方孔铁丝网、 $\phi 6$ 钢筋网片）——支模浇筑树池糯米基生态固化土——树池上部坡体植入 $\phi 14$ 钢筋安装木龙骨挂钩花网——喷播浆土混合草籽材料——树池编织柳条种植藤本——坡顶种植藤本撒播草本——树池脚下撒播草本种植藤本灌木。

所有钢筋材料使用前均需喷环氧富锌防锈漆一遍，具体工程实施如下：

坡脚植入树池锚固钢筋，锚固钢筋采用 HRB400， $\phi 25$ 钢筋沿坡脚每 900mm 一根，打入坡体 1-1.5m，伸出坡体 20cm，伸出部分与树池钢筋网片搭接焊接。

坡体植入植筋采用 HRB400， $\phi 14@900$ mm，梅花布置，植入坡体 200mm，伸出树池表面 $\phi 6$ 钢筋网片 100-200mm 并向上弯折（弯钩段长度 50mm），伸出部分安装木龙骨（原木材料，采用 16# 镀锌铁丝绑扎与钢筋绑扎）并与 $\phi 6$ 钢筋网片焊接并向上折弯，弯钩段长度 50mm。

沿坡脚开挖树池底部垫层基础，形成 20×70 矩形树池底部垫层采用 20cm 厚，C15 素混凝土，宽度 70cm 不等，长度与坡体等长，垫层每 5m 长设置沉降缝一道，采用 C15 商品混凝土。

绑扎树池表层防护结构，由内到外依次为防水保温层、方孔铁丝网和钢筋网片：防水保温层采用复合膨润土防水毯（复合 GCL）材料，其中 GCL 膨润土防水毯是一种防渗漏的土工合成材料；铁丝网采用镀锌方孔铁丝网，孔径 1-2cm，丝径 0.35-0.5mm；钢筋网片为 HPB400，X&Y， $\phi 6@200$ mm，钢筋网片与坡体植入 HRB400 $\phi 14$ 钢筋焊接。

树池浇筑用糯米基生态固化土由糯米基生态固土材料、壤土、绿化陶粒、碎石、轻质材料、有机肥等拌合而成；树池需分段分层浇筑，分层厚度 30cm，分段长度 5m；控制树池顶部宽度 40cm，底部宽度 70cm，长度与坡体相等，剖面形状为直角梯形；采用 50 型通用混凝土振动棒快插慢拔、均匀振捣、密实成型，固化形成柔性树池植生基质，树池浇筑含坡体侧立面、正立面及坡顶；坡体顶部先浇筑糯米生态固化土厚度 18cm，喷播浆土材料厚度 2-3cm，形成坡体顶部藤草植生层。

树池上部挡坡植筋采用 HRB400， $\phi 14@900$ mm 钢筋，梅花布置，植入坡体 200，伸出坡面 100-200mm 并向上弯折（弯钩段长度 50mm）安装木龙骨（原木材料，采用 16# 镀锌铁丝绑扎与钢筋绑扎）并与外层钩花网绑扎；钩花网采用镀锌铁丝网，孔径 5cm，丝径 1.2mm，与坡体伸出钢筋绑扎连接。

喷播层采用浆土草籽挂网混合喷播，树池上部坡体立面、树池表面厚度均为 6-16cm，分层喷播形成斜坡面，坡体顶部厚度 20cm 并人工修整形成矩形土垄；分层喷播，每层厚度 2cm，最后一道喷播需加入草籽拌合喷播；喷播前树池斜坡面、树池上部坡体立面需安装木龙骨、挂镀锌钩花网，（木龙骨用纤丝与坡体植筋固定，形成格栅斜面；

钩花网搭接宽度 20cm，需绕过坡顶、埋入树池与植筋固定）。在坡面植入锚固钢筋和安装木龙骨（采用木龙骨将钩花网垫高，高度为 4-14cm，由上至下沿坡体逐渐增高，即木龙骨宽度 4-14cm，木龙骨为防腐原木材料，矩形截面尺寸 $3\text{cm} \times 4\text{cm}$ ，横搭于坡体植筋之上（上下间距 900mm，沿坡体通长）的基础上挂钩花网形成格栅斜面后采用浆土喷播 2 层（每层厚度 2-7cm，从上至下逐渐增厚），最后再喷播表层混有草籽的浆土材料（厚度 2cm），上部坡体立面与树池表面最终均形成由上至下 6-16cm 厚的浆土草籽喷播层，断面形状为直角梯形（上底宽 6cm，下底宽 16cm）。

树池编织柳条、种植藤本，柳条编制采用本地高山柳（胸径 1cm 左右、株高 1.5-2m），三根柳条编制一株，一米 3 株，种植孔孔径、孔深 20-30cm，沿柳条编织高度每 50 cm 采用铁丝拦挡一道；树池里藤本打孔种植，一米 3 孔，每孔 2 株。

最终修复 1 年后实际现场如图 3 所示。



图 4 荷叶寨下行 0.3km 已修复边坡

3 总结

综上所述，高陡边坡生态环境问题主要是大多高陡边坡缺少植物生长的土壤条件、养分条件及水分条件，植物极难存活。通过疏基改性坡缕石改良土壤能较好的满足植物快速且持续生长的需求，在优势物种调查的基础上选择适宜的工程用植物，配以工程措施，能够较好的修复高陡边坡生态问题。

【参考文献】

- [1]王金茹. 黑龙江省绿色公路施工路域生态环境影响评价研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2021.
- [2]雷显锋. 青海地区公路水土流失预测及防治技术研究[D]. 西安: 长安大学, 2015.
- [3]王钰轩, 俄胜哲, 袁金华, 等. 凹凸棒石在农业及环境领域的研究现状及进展[J]. 磷肥与复肥, 2021, 36(4): 42-48.
- [4]叶珠红. 高陡边坡绿化技术的应用[J]. 中国公路, 2018(5): 112-113.
- [5]方精云, 王襄平, 沈泽昊, 等. 植物群落清查的主要内容、方法和技术规范[J]. 生物多样性, 2009, 17(6): 533-548.
- [6]张殿波, 孟庆欣, 秦浩, 等. 太行山山地森林群落植物区系与地理格局——基于植物群落清查数据[J]. 应用生态学报, 2019, 30(10): 3395-3402.

作者简介：廖东柯（1996.10-）男，汉，籍贯（四川省眉山市仁寿县），硕士（研究生）在读，成都理工大学，地质灾害评价与预测。