

# 曼大公路仙米自然保护区标段取土场边坡生态修复措施

李 虎

(中铁十六局集团第一工程有限公司, 北京 101300)

**摘 要:** [目的] 探讨青藏高原仙米自然保护区取土场生态修复技术的关键技术措施, 为高原保护区边坡生态修复提供借鉴。[方法] 以穿越仙米国家森林公园自然保护区的国道 569 曼德拉至大通高速公路 NK-SG4 标段 4# 取土场边坡为例, 基于取土场当地气候特点、地质土壤及植被状况, 详细介绍了取土场生态修复的关键技术措施, 包括取土场削坡、坡顶截水沟、平台排水沟及急流槽等措施, 客土绿化及客土喷播生态修复工法要点, 以及选择披碱草、冷地早熟禾、星星草、油菜和豌豆混合物种的具体配比。[结果] 施工后 1 a 的效果表明: 排水沟体系排水效果良好, 坡底无积水, 坡面保持完整且无水土流失; 客土绿化坡面植被覆盖率达到 80% 以上, 客土喷播坡面植被覆盖率达到 85% 以上。[结论] 取土场的生态修复效果达到要求; 在进行生态修复时应尽量利用当地资源, 以实现生态效益和经济效益最大化。

**关键词:** 青藏高原; 自然保护区; 公路建设; 取土场边坡; 生态修复

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1000-288X(2018)04-0109-05

**中图分类号:** TU751<sup>+</sup>.7

**文献参数:** 李虎. 曼大公路仙米自然保护区标段取土场边坡生态修复措施[J]. 水土保持通报, 2018, 38(4): 109-113. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2018.04.018. Li Hu. Ecological restoration measures of borrow pit slope in Xianmi nature reserve in Mandela-Datong highway[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(4):109-113.

## Ecological Restoration Measures of Borrow Pit Slope in Xianmi Nature Reserve in Mandela-Datong Highway

LI Hu

(China Railway 16th Bureau Group First Engineering Co., Ltd., Beijing 100084, China)

**Abstract:** [Objective] Exploring key technical measures for ecological restoration technology of borrow pits in Tibetan plateau protected areas in order to provide references for ecological restoration of slopes in plateau protected areas. [Methods] Taking the No. 4 borrow pit slope of National Highway No. 569 Manda to Datong Expressway in Xianmi National Forest Park Nature Reserve as an example, and based on the local climate characteristics, soil and vegetation status of borrow pit slope, the key technical measures for the ecological restoration of earth borrowing pits are introduced in detail, including cut slope, drains at the top of slopes, and stream trough. Meanwhile, the technological key points of borrowed soil greening and borrowed soil spraying methods and the choice of *Elymus dahuricus*, *Poa crymophila*, *Puccinellia tenuiflora*, rapeseed and peas mix proportion. [Results] The results of 45 days after construction showed that the drainage system has a good drainage effect, there is no ponding water at the bottom of the slope, the slope remains intact and no soil and water loss occurred. The vegetation coverage rate on the slope with the method of borrowed soil greening is more than 60%, and the vegetation coverage on the slope with the method of borrowed soil spraying reaches more than 70%. [Conclusion] The ecological restoration effect of the borrow pit slope meets the requirements. We should make full use of local resources to maximize ecological and economic benefits when carrying out ecological rehabilitation.

**Keywords:** Tibetan plateau; nature reserve; highway construction; borrow pit slope; ecological restoration

中国公路建设的主战场已经西移, 青藏高原及云贵高原是目前公路建设的热点地区, 一些公路甚至穿越了高原自然保护区。在高原自然保护区修建公路时, 为了获取路基填料, 线路沿线须设置若干取土场。

收稿日期: 2018-05-07

修回日期: 2018-06-13

资助项目: 国家重点研发计划项目“典型脆弱生态修复与保护研究专项”子项目(课题 8): 西南水电高库大坝梯级开发的生态保护与恢复技术”(2016YFC0502208); 中铁十六局横向科研项目“青海曼大公路建设生态环保技术研究”(4201/00324)

第一作者: 李虎(1971—), 男(汉族), 辽宁省昌图县人, 学士, 高级工程师, 主要从事路桥施工技术方面的工作。E-mail: 466948311@qq.com。

取土场开挖后,形成陡峭边坡,坡面植被完全剥离,易发生滑坡和严重水土流失等灾害,对自然保护区的生态环境构成严重威胁<sup>[1]</sup>。由于高原地区生态脆弱,年积温低,植物生长周期较短,生产力低,新开挖的取土场边坡自然修复缓慢,潜在地质灾害威胁大,需要尽快进行人工干预以加快生态修复的进程。目前,关于高原自然保护区的生态修复工程的报道较少。印建文<sup>[2]</sup>对青藏铁路唐南段边坡进行铺设草皮试验研究,取得了草皮成活率 95% 以上的效果。孙宏义等<sup>[3]</sup>在陕北高原地区的榆林—靖边高速公路边坡开展了生态修复工程试验,运用液压喷播生态护坡技术显著提高了边坡抗风蚀能力(达到 95% 以上),也提高了边坡保水和抗水蚀性能。徐华等<sup>[4]</sup>在川西高寒高海拔地区鹫鸪山隧道岩质边坡开展了 JYC 生态基材喷射试验,结果表明生态基材具有良好的保水、保肥、耐旱抗冻及抗冲刷能力,能满足植物生长要求,护坡效果较好。上述研究主要关注的是某一种生态修复技术在高原道路边坡的应用,还没有研究报道青藏高原自然保护区取土场边坡系统修复的实践。本文以穿越仙米国家森林公园自然保护区的国道 569 曼德拉至大通高速公路(简称曼大公路)NK-SG4 标段 4<sup>#</sup> 取土场为例,系统介绍青藏高原仙米自然保护区受损生境生态修复的关键技术措施,为青藏高原自然保护区的铁路、高速公路边坡生态修复提供借鉴。

## 1 4<sup>#</sup> 取土场气候特点及地质概况

### 1.1 气候特点

4<sup>#</sup> 取土场所在地海北自治州门源县位于祁连山系东端,隶属于青藏高原地区,属高原大陆性气候,具有典型的日照时间长、太阳辐射强、温差变化大以及春季多雪多风,夏季凉爽多雨,秋季温和暂短,冬季寒冷漫长等高原寒温湿润性气候特征。气温日较差 11.6~17.5℃,年平均气温 0.8℃,无绝对无霜期,

降雪期一般为 10 月至第二年 4 月,冻土深度为 183 cm。全年日照时数在 2 440~3 140 h。年降水量 300~500 mm,主要集中在 7,8 月,具有明显的雨热同季特点。

### 1.2 取土场地质、土壤、植被概况

4<sup>#</sup> 取土场如图 1 所示,位于曼大公路 NK-SG4 标段 K64+500 左侧 150 m,该地区山地面积占 83.1%,盆地面积 16.9%,海拔高度在 3 200 m 以上。土壤主要为高原草甸土,质地为粉砂质黏壤土。取土场左侧为无植被土覆盖的低矮土质边坡,右侧为高陡土质边坡,边坡高度达 20 m,经机械开挖后的取土场边坡坡率为 1:0.5,且表层植被土被完全破坏。公路沿线土壤含氮、钾和有机质丰富,但缺磷较严重(也缺铁和钙),pH 稍偏碱性(表 1)。取土场沿线的植被类型主要为高寒草甸,取土场周围天然草地主要以禾本科牧草和莎草科牧草为主,如冷地早熟禾(*Elymus dahuricus*)、披碱草(*Poa crymophila*)、星星草(*Puccinellia tenuiflora*)、针茅(*Stipa capillata* Linn)、蒿草(*Kobresia*)、黑褐苔草(*Carex alrofusca*)等关键物种,其次分布有金莲花(*Trollius chinensis* Bunge)、乳白香青(*Anaphalis lactea*)、矮火绒草(*Leontopodium nanum*)等杂草。



图 1 曼大公路 NK-SG4 标段 4<sup>#</sup> 取土场

表 1 研究公路沿线土壤理化性质

土壤	pH 值	有机质/ (g · kg <sup>-1</sup> )	速效氮/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	速效磷/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	速效钾/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	质地
取土场	8.21	24.4	4.35	13.2	244	粉砂质黏壤

## 2 取土场生态修复的政策要求

青藏高原祁连山自然保护区是西北地区重要的生态安全屏障和中国生物多样性保护优先区域,其生态保护与修复一直是国家和当地政府关注的焦点<sup>[5]</sup>。针对祁连山自然保护区的生态修复,国家与地方政府

出台了一系列规章制度,如《甘肃省加快转型发展建设国家生态安全屏障综合试验区总体方案》及《祁连山生态环境保护与综合治理项目规划》等,这些规章制度对祁连山自然保护区的生态保护、草原和生态脆弱区生态修复、工程建设方面提出了严格的要求。尤其是对祁连山自然保护区内的矿山探采、水电站及旅游等项

目的审批严格把控,对在建及正在使用的工程设施应建立严格的生态保护标准,确保其对环境造成的污染符合国家要求。遵照这些文件的精神,我们认为处在仙米国家森林公园自然保护区的取土场,在停止取土后,必须马上进行生态修复,尽量避免发生严重水土流失。

### 3 取土场生态修复技术要点

为严格遵守相关生态环境保护政策,仙米自然保护路段建设需要严格控制施工开挖创面的水土保持,做好生态修复工作。作为大面积裸露的取土场,尤其要尽快恢复植被覆盖,修复边坡生态系统。边坡生态修复是借助工程技术手段,在保证边坡稳定和不发生严重水土流失的前提下,改变边坡生态系统的演替方向和速度,通过快速在坡面建立先锋植物群落,达到逐渐恢复自然环境的目的。它是一种集恢复生态学、土力学、土木工程施工技术及植物学等多学科交叉的综合工程技术<sup>[6-7]</sup>。边坡的稳定是坡面生态恢复的前提,只有边坡不发生失稳破坏,生态修复才能顺利实施<sup>[8]</sup>。同时,早期裸露取土场边坡容易发生水土流失,后期如果植被生长不良,也会发生不同程度的水土流失。水土流失不仅影响取土场边坡生态修复技术的运用,对整个取土场生态修复过程也有重要影响,直接关系到可持续生态修复的实现。因此减少边坡的水土流失是生态修复的关键环节。

#### 3.1 取土场稳定

为保证取土场开挖边坡的稳定性,按实际地形采取三面削坡,每8 m高留一开挖平台,平台宽2 m,坡比为1:0.75,开挖至取土场边缘。需进行放坡时,从上至下分层刷坡,刷坡深度大于设计的0.5 m,尽快用0.5 m的改良土对整个边坡进行覆盖,最后对削坡后取土场进行稳定性分析,保证边坡的稳定性良好。同时,在边坡布置排水沟及急流槽等措施,减少雨水对边坡的侵蚀,进一步保证边坡的稳定。

#### 3.2 水土保持措施

3.2.1 坡顶截水沟 取土场边坡的边坡上游汇水面积较大,为减少坡面上游顺流而下的雨水,应在坡顶设置截排水沟。截水沟应设置于挖方边坡坡口以外5 m的位置,截水沟两边设置为向内侧倾斜2%的反坡,反坡周围铺上10 cm的改良土,然后在改良土上铺草皮。草皮主要来源于施工初期路基上剥离的天然草皮。根据《公路排水设计规范(JTG/TD33-2012)》中的截水沟的水力计算公式得到梯形断面底宽40 cm,高为40 cm满足要求。

3.2.2 平台排水沟 平台上设置向内侧倾斜2%的反坡,反坡周围铺上10 cm的改良土,然后在改良土

上铺草皮,最后在平台与上级边坡连接处设排水沟。根据《公路排水设计规范(JTG/TD33-2012)》中的排水沟的水力计算公式得到矩形断面底宽为30 cm,深为30 cm满足要求。

3.2.3 设置急流槽 坡顶及平台排水沟距坡底较高,雨水从排水沟自然落下时流速较大,容易侵蚀坡底土壤,造成边坡的破坏。为了使雨水能顺利地排到边坡外,应在取土场的两侧设置急流槽。急流槽上方与排水沟自然衔接,转角处应设置成圆弧形,防止雨水因流速过大而脱离急流槽,急流槽底部应设置消力池,使雨水消耗部分动能,降低雨水流速。急流槽末端与地面排水沟连接,将雨水引入附近河流中。根据《公路排水设计手册》中急流槽水力计算公式得到急流槽陡坡宽度为0.60 m,起点断水深度为0.60 m,槽身正常水深为0.40 m及消能池高度设计为1.0 m,消力池长度为2.9 m满足要求。

#### 3.3 取土场生态修复技术

3.3.1 生态修复工法选择 4<sup>#</sup>取土场表层土壤被完全破坏,生态修复时应该在坡面覆盖种植土。对于缓坡且坡顶有道路的情况,覆盖种植土的操作通常由施工机械直接从坡顶向下倾倒,然后人工整平;随后在坡面播种。该方法即为“客土绿化法”。取土场左侧低矮边坡坡率较小,宜采用该法。右侧高陡边坡坡率较大,可考虑采用“客土喷播技术”,即先在坡面铺设镀锌铁丝网,再利用喷播机械将基质喷射到坡面上。

(1) 客土绿化法。在覆土前对取土场坡面上进行清理,保证坡面无浮石和污染物后,将表层土均匀的覆盖在取土场表面,覆土厚度为28 cm。对坡面进行平整,使覆土厚度保持一致,然后在表层土上均匀的撒上植物种子,接着将2 cm后表层土覆盖于种子层上,并适当压实,最后在取土场表面覆盖绿色防尘网和无纺布,在种子出苗前应多次补充水分,保持坪床湿润。当种子全部出苗且达到一定的覆盖度时,揭去无纺布,使植物自然生长。

(2) 客土喷播技术。清除取土场坡面的浮石浮根,使取土场坡面基本保持平整,对坡面凹陷处应及时用种植土进行填补,对坡面较光滑处做粗糙处理,使基质能稳定的附着在取土场坡面。然后在取土场坡面自上而下分段铺设镀锌铁丝网,镀锌铁丝网在坡顶延伸50 cm埋入坡顶平台中,并依次埋入下级平台中,网片与网片之间的应进行搭接,搭接长度不应小于10 cm以上,并用扎丝间隔30 cm绑扎连接成整体。坡顶与镀锌铁丝网搭接处用6 mm的U形钢钉按50 cm等间距布置,取土场坡面其他位置按100 cm

×100 cm 的间距依次设置锚钉,使镀锌铁丝网与坡面距离 4~6 cm。将植物种子、改良土、有效肥、保水剂、黏合剂和水等充分搅拌,分两次进行喷射到取土场边坡上。首先喷射厚度为 10 cm 的基层(不含植物种子),然后间隔一段时间后喷射 2 cm 厚含种子的种植层。喷播时应从上往下慢慢喷射,喷口距离坡面为 0.8~1.0 m,尽可能让喷口垂直于坡面,使喷层厚度保持均匀。施工完成后在取土场上覆盖绿色防尘网后再铺设一层无纺布,以减少雨水冲刷和保墒。定期对取土场进行洒水养护。施工中的土壤来自公路沿线剥离表土(在道路路基施工时,地表剥离的表土堆积在公路沿线,待取土场或路基边坡生态修复需要用土时,就地使用。这不但避免了剥离表土弃土增加运费和水土流失,也避免了生态修复时再次取土和对耕地或林地表土的破坏,降低了生态修复的成本)。公路沿线表土缺磷严重(表 1),应对表层土进行改良。改良措施为:每平方米土壤施加 600~800 g 的过磷酸钙肥料,同时加入 50 g 的硫酸亚铁。

3.3.2 植物选择 取土场边坡的植被恢复是整个生态修复技术中的关键。合理的植物种类及配比对边坡生态修复中生态系统的稳定性及与周围景观一致性等具有重要影响<sup>[9-10]</sup>。4# 取土场处于青海高原地区及仙米国家森林公园自然保护区境内。根据所在地区的气候和当地植被特点,遵循生态学的生态位原理、生态适应性原理、生物多样性原理及群落演替理论等采用植物品种搭配。具体的植物配置原则为:①根据生态适应性原理选择耐贫瘠、耐干旱、耐寒耐碱性及根系发达,同时蒸腾作用小的物种;②根据生态位原理和生物多样性原理选择生态位不同的多种物种,在合理利用资源的同时增加修复坡面的层次感和景观效应;③根据群落演替理论选择前期生长较快的草本植物作为先锋植物,在较短时间内起到护坡固土的效果,为其他物种繁殖生长创造条件,使植物群落演替顺利进行;④考虑到所在区域畜牧业发达,故优先选择品种优良的当地牧草型物种。因此,本项目物种选择主要以草本植物为主,多种草种混播,适当加入豆科植物及十字花科的方案。每 1 m<sup>2</sup> 种子配置及用量详见表 2。

表 2 护坡植物种类及用量

植物类别	品种	用量/g
禾本科	冷地早熟禾	10
	披碱草	7
	星星草	4
十字花科	油菜	6
豆科	豌豆	3

## 4 取土场恢复效果

本取土场 2017 年 6 月中旬停止取土,为避免发生水土流失,喷播及覆土于 2017 年 6 月底完成,施工期间天气状况良好。现场技术人员于 2018 年 7 月 8 日(距喷播时间 1 a 刚过)对现场恢复情况进行观察。在这一年时间里,降雨天气较多,早晚温差较大,经历 13 次中雨以上强度的降雨(最大降雨为 2017 年 8 月 16 日的 46 mm,最大小时降雨量超过 10 mm)。现场考察结果发现,虽然经历过多次雨水冲刷,但排水沟结构保持完整,客土喷播区域的坡面基质基本完好,没有发现因雨水冲刷而形成的冲沟和滑塌现象。植物根系及土壤牢固的结合在一起,很好地抑制了取土场的水土流失。取土场坡底没有产生积水。而在客土绿化区域,早期虽有少量的水土流失,但随着植物根系的生长,水土流失显著减少。如图 2 所示,经过 1 年的时间,坡面种植的披碱草、冷地早熟禾、星星草、油菜花和豌豆等 5 种绿化植物均发芽生长。其中披碱草和草地早熟禾生长较快,能快速的覆盖取土场表面,有效减弱了坡面水土流失。客土喷播生态修复区域植被长势好,密度较大,植物覆盖率达到 85%(用数码相机对随机选取的小块样地拍照,以数码相片为对象,利用 Photoshop 软件处理,所选植被覆盖像素值与整张相片像素值的比值就是植物覆盖率)以上。长势良好的油菜花和豌豆对取土场改善了取土场景观效果。取土场低矮区域的客土绿化法植物生长平缓,坡面绿化不均匀,植物覆盖率达到 80% 以上,也基本满足取土场恢复要求。综合来看取土场生态修复效果良好。

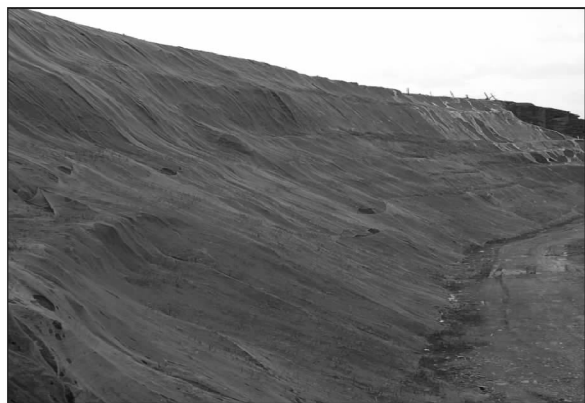


图 2 4# 取土场恢复效果

## 5 结论

针对高原自然保护区年积温低、植物生长周期较短及地表植被生产能力低等特点,从边坡生态修复的

主要影响因素出发,总结取土场生态修复中的技术要点并采取相应的治理措施,形成了完整的取土场生态修复技术体系。施工效果表明,削坡后的取土场稳定性良好,坡面排水效果较好,坡面保持平整及无水土流失,坡面植物覆盖率达到恢复要求。在施工时最大限度地利用剥离表土和当地其他资源,不仅降低了生态修复的成本,而且避免了获取材料和资源对当地生态系统的破坏,实现了经济效益和环境效益的最大化。

#### [参 考 文 献]

- [1] 张展,高照良,宋晓强,等.我国高速公路建设对生态环境的影响初探[J].水土保持通报,2008,28(5):33-38.
- [2] 印建文.高寒地区路基草皮护坡及草皮水沟施工技术[J].西部探矿工程,2008,20(1):211-213.
- [3] 孙宏义,徐增友,董治宝.黄土高原北部风沙区喷播植物护坡研究[J].西安科技学院学报,2004,24(1):86-89.

- [4] 徐华,李天斌,周雄华,等.高寒地区JYC生态基材护坡现场试验及测试研究[J].岩土工程学报,2009,31(5):799-804.
- [5] 汪有奎,杨全生,郭生祥,等.祁连山北坡森林资源变迁[J].干旱区理,2014,37(5):966-979.
- [6] 杨悦舒,夏振尧,肖海,等.恢复生态学理论在水电工程扰动区边坡生态修复中的应用[J].长江科学院院报,2015,32(7):52-57.
- [7] 赵冰琴,夏振尧,许文年,等.工程扰动区生态修复技术研究综述[J].水利水电技术,2017,48(2):130-137.
- [8] 李虎,叶建军,王冠海,等.基于水平微分法的护坡工程袋柔性挡墙的力学分析[J].科学技术与工程,2018,18(4):129-136.
- [9] 丰瞻,许文年,李少丽,等.基于恢复生态学理论的裸露山体生态修复模式研究[J].中国水土保持,2008(4):23-26.
- [10] 郭爽,牛小云,吴桐,等.不同植被恢复类型对高速公路边坡土壤质量的影响[J].土壤通报,2018(1):84-92.

(上接第108页)

- [8] Kroes J G, Van Dam J C, Groenendijk P, et al. SWAP version3.2.: Theory description and user manual[M]. Wageningen: Alterra, 2008.
- [9] 康绍忠,熊运章.干旱缺水条件下麦田蒸散量计算方法的研究[J].地理学报,1991,45(4):475-483.
- [10] 陈三雄.浙江安吉主要植被类型土壤水土保持功能研究[D].江苏南京:南京林业大学,2006.
- [11] 徐秋芳,徐建明,刘力,等.安吉县港口乡低产毛竹林地肥力分析[J].浙江林学院学报,2000,17(3):280-284.
- [12] 张燕,杨浩,金峰,等.宜兴茶园土壤侵蚀及生态影响[J].土壤学报,2003,40(6):815-821.
- [13] 陈仁升,康尔泗,吕世华,等.内陆河高寒山区流域分布式水热耦合模型:地面资料驱动结果[J].地球科学进展,2006,21(8):819-829.
- [14] 刘晨峰,张志强,孙阁,等.基于涡度相关法和树干液流评价杨树人工林生态系统蒸发散及其环境响应[J].植物生态学报,2009,33(4):706-718.
- [15] 田风霞,赵传燕,冯兆东.祁连山区青海云杉林蒸腾耗

- 水估算[J].生态学报,2011,31(9):2383-2391.
- [16] 杨立文,石清峰.太行山主要植被枯枝落叶层的森林水文作用[J].林业科学研究,1998,10(3):283-288.
- [17] 孟平.苹果蒸腾耗水特征及水分胁迫诊断预报模型研究[D].湖南长沙:中南林学院,2005.
- [18] 杨帆,张万军.太行山低山区不同植被群落蒸发蒸腾研究[J].中国生态农业学报,2008,16(1):30-34.
- [19] 郭瑞萍,莫兴国.森林、草地和农田典型植被蒸散量的差异[J].应用生态学报,2007,18(8):1751-1757.
- [20] 刘昌明,张喜英,由懋正.大型蒸渗仪与小型棵间蒸发器结合测定冬小麦蒸散的研究[J].水利学报,1998(10):36-39.
- [21] 莫兴国,刘苏峡,于沪宁,等.冬小麦能量平衡及蒸散分配的季节变化分析[J].地理学报,1997,52(6):636-542.
- [22] 张仁华,孙晓敏,刘纪元,等.定量遥感反演作物蒸腾和土壤水分利用率的区域分异[J].中国科学(D辑):地球科学,2001,31(11):959-958.