

# 矿采对高寒草地的影响及植被恢复技术

张江华<sup>1,2</sup>, 王葵颖<sup>3</sup>, 徐友宁<sup>1,2</sup>, 陈华清<sup>1,2</sup>, 乔 冈<sup>1,2</sup>

ZHANG Jianghua<sup>1,2</sup>, WANG Kuiying<sup>3</sup>, XU Youning<sup>1,2</sup>, CHEN Huaqing<sup>1,2</sup>, QIAO Gang<sup>1,2</sup>

1. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054;

2. 自然资源部陕西潼关野外观测研究基地, 陕西 西安 710054;

3. 陕西工程勘察研究院, 陕西 西安 710068

1. Xi'an Center of Geological Survey, CGS, Xi'an 710054, Shaanxi, China;

2. Mine Geological Environment-Field Base of Scientific Observation of Shaanxi Tongguan, MLR, Xi'an 710054, Shaanxi, China;

3. Shaanxi Institute of Engineering Prospecting, Xi'an 710068, Shaanxi, China

**摘要:** 矿业废弃地的复垦已成为中国当前面临的紧迫任务之一。针对青藏高原植物生长期短, 矿渣的砾质性、松散性和土壤贫瘠性植被生长的自然环境的约束瓶颈, 通过研究生态脆弱区矿业废弃地的修复治理进程, 总结提出了青藏高原典型矿山废弃土地的生态修复和植被重建的治理模式, 凝练筛选出关键技术, 为高寒高海拔矿区的地质环境治理和土地复垦提供技术参考。

**关键词:** 青藏高原; 矿山; 废弃地; 植被恢复; 关键技术

**中图分类号:** P62; X141      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1671-2552(2018)12-2260-04

**Zhang J H, Wang K Y, Xu Y N, Chen H Q, Qiao G. A study of the effect of mine exploitation on alpine grassland and its vegetation restoration technology. *Geological Bulletin of China*, 2018, 37(12):2260-2263**

**Abstract:** The rehabilitation of abandoned mining areas has become one of the urgent tasks faced by China. To tackle the bottleneck of the constraints on the natural environment such as short plant growth period, slag gravelly nature, looseness and poor vegetation of the Tibetan Plateau, the study of the remediation process of the mining wasteland in ecologically fragile areas has summarized the typical mine waste of the Tibetan Plateau. The ecological restoration of the land and the governance model of vegetation reconstruction concluded and screened out key technologies to provide technical reference for the geological environment treatment and land reclamation in the alpine high-altitude mining areas.

**Key words:** Tibetan Plateau; mine; wasteland; revegetation; key technologies

青藏高原地处印度板块与欧亚板块的交汇部位, 主体位于特提斯巨型成矿域, 在陆-陆碰撞形成的造山带内已发现多条世界级规模的成矿带和众多的巨型-大型矿床, 矿产资源蕴藏丰富, 潜力巨大<sup>[1-2]</sup>。青藏高原发育高寒草原、高寒草甸、高寒湿地等生态系统类型, 为高原及周边地区乃至亚洲或全球提供各种环境服务功能<sup>[3]</sup>: ①青藏高原作为中国和东南亚重要江河的发源地, 提供着重要的

水调节和供给功能, 对当地、周边地区及全球的天气、气候、水文过程和环境变化产生深刻影响<sup>[4]</sup>; ②青藏高原通过植被光合作用和土壤呼吸作用调节大气 CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>, 对大气碳氧平衡产生重要的影响, 是全球重要的碳库<sup>[5]</sup>; ③青藏高原孕育着许多具有独特结构和功能特点的动植物种类, 是中国极其重要的种质资源, 是中国和世界生物多样性保护的重要组成部分。然而, 青藏高原特殊的地形、地貌、气

收稿日期: 2018-03-10; 修订日期: 2018-06-20

资助项目: 中国地质调查局项目《秦岭及宁东矿产资源集中开采区地质环境调查》(编号: DD20160336)、《青海矿业开发地质环境效应调查》(编号: 1212011220224)、科技部重点研发计划《矿山开采与地质环境监测评价防治标准研究》(编号: 2017YFF0206803)和自然资源部行业科研专项《矿集区地球化学环境累积效应及预警研究》(编号: 20111020)

作者简介: 张江华(1979-), 男, 在读博士生, 教授级高工, 从事矿山地质环境调查与研究。E-mail: 53235266@qq.com

候、地质背景等决定了其生态环境和地质环境极其脆弱,与区域气候背景所形成的平衡经常处于临界阈值状态,对外部条件变化表现的非常敏感<sup>[6-7]</sup>。

矿产资源勘探开发在青藏高原产生了一系列矿山地质环境问题。例如拉脊山露天采石造成的地形地貌景观破坏、青南高原砂金矿开采导致的植被群落退化、甲玛铜矿矿山泥石流灾害等<sup>[8]</sup>。而区内的高海拔、寒冷气候,以及植物生长周期短等特殊的自然条件,导致区内植被难以自然恢复,人工治理难度也远大于东部地区,而且经济代价也更高<sup>[9-11]</sup>。所以,围绕高原区的环境约束条件和典型矿山地质环境问题,采用现场调查和文献查阅的方法,查明了典型矿业废弃地的原生植被、生态系统类型,在总结破坏特征的基础上划分了矿业废弃地类型,开展矿业废弃地生态修复、植被重建的模式与关键技术研究,对保护青藏高原生态环境、发挥青藏高原的重要环境功能具有重要意义。

## 1 青藏高原典型矿山废弃土地类型

矿业废弃地指采矿活动所破坏的、非经治理而无法使用的土地,包括裸露的采矿岩口、废土(石、渣)堆、煤矸石堆、尾矿库、废弃厂房等建筑用地,地下采空塌陷地及圈定存在采空塌陷隐患的荒废地等。根据其成因可划分为4种类型:由剥离表土、开采的岩石碎块和低品位矿石堆积而成的废石堆废弃地;由于矿物开采而形成的大量的采矿区和塌陷区,即采矿坑废弃地;开采的矿石经分选出精矿后的剩余物排放堆积形成的尾矿废弃地;采矿作业面、机械设施、矿山辅助建筑物、道路交通等占用后废弃的土地<sup>[12-13]</sup>。按其破坏性质可划分为物理性的压占挖损和化学性的污染破坏。

恢复生态学是对社会经济活动导致退化的生态系统、各类废弃地和废弃水域进行生态治理的科学技术基础。它应用了许多生态学理论,主要有:限制性因子原理(寻找生态系统恢复的关键因子)、热力学定律(确定生态系统能量流动特征)、种群密度制约及分布格局原理(确定物种的空间配置)、生态适应性原理(尽量采用乡土物种进行生态恢复)、生态位原理(合理安排生态系统中的物种及其配置)、植物入侵、生物多样性理论(引进物种时强调生物多样性)、缀块-廊道-基底理论

(从景观层次考虑生境破碎化和整体土地利用方式)等<sup>[14]</sup>。

对于青藏高原而言,露天采石造成的植被毁损及其产生的地形地貌景观破坏和三江源保护区的砂金过度开采导致的河道破坏、水土流失和植被退化是矿业废弃地产生的重要因素。

### 1.1 采砂取石造成的斜坡状废弃地

露天采石活动挖损、压占土地,造成地形地貌景观改变、含水层结构破坏、水土流失等环境地质问题。一方面在开采过程中未能按一定的边坡开挖比进行合理开挖及缺乏必要的安全意识,局部地段已形成高数十米、宽数百米的高陡边坡,在流水侵蚀和重力作用下常失稳致灾坍塌,威胁人居、交通安全;另一方面,尾矿随意堆放,采坑不能及时回填处理,致使采区堆积了大量的固体松散物,在挖损、压占大面积土地的同时,严重阻碍了沟道的泄洪能力,松散而随意堆放的尾砂料成为矿山泥石流的物质来源,产生地质灾害隐患<sup>[15]</sup>。

### 1.2 河流淘金产生的平缓状废弃地

历史上,青藏高原的砂金矿长期处于无序开采,尤其是20世纪80年代的大规模粗放采金热潮,对该地尤其是“三江源”地区的生态地质环境造成极大破坏。人为活动和气候变化的共同影响造成雪线上升,冰川后退,湖泊萎缩,致使原本就很脆弱的生态环境和草场植被受到明显影响,自然生态环境日趋恶化。据统计,三江源和内陆河源头区砂金矿过采区面积约1061.6hm<sup>2</sup>,主要分布于平缓的河谷开阔处的低阶地和河漫滩地带<sup>[16]</sup>。过采对矿区地质环境破坏十分严重,区内沟坑遍布,砂堆如山。挖损破坏河道数百千米,遗留采金坑塘数以万计,面积500~1000m<sup>2</sup>的沙坑随处可见,其中大的面积近15000m<sup>2</sup>;区内高2~8m、堆积量1000~5000m<sup>2</sup>的砂堆遍布<sup>[17-18]</sup>。受砂金矿体延展方向控制,砂堆构成沿沟谷方向展布的条带状砂梁,由于堆积高度过大,加之近水一侧的水流冲刷侵蚀,砂堆易发生滑塌堵塞河道、加剧水土流失等。

根据恢复生态学理论,结合矿山地质环境治理过程中存在的制约因素,针对青藏高原具有代表性的斜坡状和平缓型废弃地,研究提出拉脊山型和红金台型矿业废弃土地的生态修复和植被重建模式,并详细分析了需要注意的关键参数和技术环节。

## 2 斜坡状矿业废弃地植被恢复模式——拉脊山模式

### (1) 矿山地质环境条件

拉脊山采石场位于西宁市南约35km的湟中县境内,紧靠S101(西久公路)。拉脊山属高原大陆性气候,日照时间长,昼夜温差大,寒长暑短。最高海拔3820m,降水量537.6mm,蒸发量1500~1800mm,且降水量随地势增高而增大,蒸发量随地形增高而减少,具明显的垂直分带性,开采前山体为草本植被及灌木林。露天开挖元古界湟中群克素尔组灰岩,用作铺设公路的碎石。

### (2) 矿山地质环境问题

多年无序采挖形成三角形的开采面,近东西向延展约290m,南北长约180m,开采标高2940~3012m,开采面积 $5.22 \times 10^4 \text{m}^2$ ,开采坡角大于 $50^\circ$ 。区内分布多个废石渣堆,固体松散废石堆约 $1.6 \times 10^4 \text{m}^3$ 。露天开采产生滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害,导致植被破坏,地貌景观破坏严重。

### (3) 治理方法

结合地质环境条件,首先在矿业开发进程中注意地表土层及植被的剥离与保护,将其作为土地复垦的首选材料。其次,通过确定适宜的本土植物种类,解决植被对环境、气候的适应问题。第三,采用地膜保温技术,增加地表温度,防止客土水分蒸发,促进种子的萌发与生长,同时减少白天紫外线高强度辐射,保护植被避免夜晚的霜冻伤害。治理方法包括:削坡+坡脚填筑+三维网护坡植草+坡面平整+回填客土+地面排水。

**削坡:**由于边坡高度大于 $50^\circ$ ,为便于绿化施工和养护,其上部斜坡采用1:1.25坡率进行适量削坡。**坡脚填筑边坡:**对削坡开挖的石方,分层压实填筑边坡。**三维网护坡种草:**边坡顶部借助三维网进行植草绿化,三维网护坡的坡率不超过1:1.25。**场地平整:**采石场内场地整体平整。平整覆土后用于绿化植树种草。**客土回填:**由于边坡近东西向,朝南属阳坡地带,光照时间长,坡面水分蒸发强,加之砂砾石空隙较大,回填客土漏失较多,为保证植草生长层的有效性,客土回填表层。**排水渠:**在削坡完成后围绕削坡区铺筑排水渠。**蓄水池:**为后期绿化养护需要,在采石场开采平台修建1处蓄水池,用于储水、灌溉。

### (4) 关键技术

**制约因素:**植被种子如何附着在斜坡上,寒冷气候,如何保障种子发芽。

为实现上述目的,采用三维网客土植草进行恢复重建,其技术流程为:整理坡面、铺设三维网、回填客土混合料、养护。

覆盖三维网的目的,一是防止雨水冲削,阻滞种子在发芽生根期的移动损失;二是防止水分蒸发,起保温保湿的作用。

种植乔灌木套种先锋草本。选择合适的草、灌、乔木种类,以坡面草本植被恢复为主,辅以乔灌木或藤本植物,构建适宜的群落结构。

三维网植草对水、热条件无严苛要求,草种选用根系发达、耐贫瘠、耐干旱、生长周期短的先锋植物,以垂穗披碱草、老芒麦、赖草、冷地早熟禾、青稞为主。

## 3 平缓型矿业废弃地植被重建型模式——红金台砂金矿模式

### (1) 矿区地质环境条件

红金台治理区地处巴颜喀拉山北部布青山南坡的三江源自然保护区核心区——黄河(鄂陵湖)北岸一级支流柯尔咱程河谷,海拔在4200m以上。地貌单元为高海拔冲洪积山间宽谷平原。年均气温 $-3.8^\circ\text{C}$ ,年均降雨量321.6mm,蒸发量1322.5mm;区内土壤属高山草甸土,腐殖层厚度5~10cm。

### (2) 矿山地质环境问题

红金台砂金矿区约 $15 \text{km}^2$ ,开采前区内湖泊众多,水草丰茂,大规模的砂金开采后,导致草场退化,加剧土地沙漠化,过采废渣挤占80%~90%的河道,严重影响着黄河源区局地水土涵养功能。

### (3) 治理方法

治理方法主要为地形平整+回填覆土+引水淤灌+植被恢复。**地形平整:**开采区地形起伏较大,采金坑、弃料随意堆放,其不平整面积占整个治理面积的70%。依据治理区块不同坡降分区进行覆坑平整覆土,结合治理难易程度,划区分块治理恢复,依据地貌呈自然缓坡状或成阶梯状、条带状进行分区分片覆坑平整治理恢复。首先必须保留堆置残留的细颗粒物(砂壤土与矿砂的混合土),回填和整平原堆弃的粗颗粒物砾石后,其次回填并整平细颗粒物,以利于上层腐殖土的覆盖和种草。**回填覆土:**在土壤

表 1 垂穗披碱草栽培特点

Table 1 Technique for cultivating *elymus nutans griseb*

草种	适宜地段	植物学和生物学特征	栽培技术要点
垂穗披碱草(钩头草、弯茎草)	河漫滩和水分条件较好的阶地	多年生疏丛型草本植物,株高0.6~1.2m,叶片扁平,根须状,茎直立,通常3~4节,每节2个小穗。幼苗耐低温达-38℃,可生存于海拔4700m的高寒山区,再生力强,抗旱性差。对土壤要求不严,但在水分充足时生长更盛。播种当年株高30~40cm,干草产量1125~2625kg·hm <sup>2</sup> ,第二年后株高70~120cm,干草产量5250~12000kg·hm <sup>2</sup>	一般在5~7月播种。播前耙地整平灌溉,撒播,播后压实。播深3~4cm,播种量105~112.5kg·hm <sup>2</sup> 。播种当年追施磷酸二铵或尿素225~300kg·hm <sup>2</sup> ,不采种、不刈割,可收种子375~1125kg·hm <sup>2</sup> ;播种第三年后可交由原土地使用权牧民适度利用

资源极缺的条件下,先用砂壤土进行覆土作业,在此基础上进行亚砂土覆土作业,两者相加总厚度不小于0.2m。引水淤灌:之后引水灌溉,以便于形成新的地下径流,也利于保持覆土后土壤的湿度,并可在砂土层形成一层淤土。植被恢复:采用矿区周边相同的植被种子以保证矿区植被恢复的科学性、合理性和生态恢复功能的平稳性。封育围栏:网围栏整体封育,以利于植物群落的自然演替。

#### (4)关键技术

高寒区砂金矿草甸恢复模式需要解决的关键问题是,选择的草种必须适应高寒、土壤贫瘠。依据矿区自然条件及当地已有的人工草种生物学特征,当地选择耐寒、耐土壤养分贫瘠的垂穗披碱草进行地质环境治理恢复。

## 4 结 论

矿业废弃地植被可以通过人工重建进行恢复,但青藏高原属高海拔地区,气候寒冷,昼夜温差大,土层浅薄,植物生长期短,外来品种的引入,因种子不成熟而不能完成其自然繁衍过程;加之矿产开发废渣的砾质性、松散性和土壤贫瘠性均不利于植被生长,成为制约高寒高海拔区矿山土地复垦的瓶颈。研究提出的青藏高原矿山地质环境治理模式和关键技术,结合矿山开采前剥离、储存原生高寒草皮,不仅促进了高寒高海拔地区地质环境的保护和矿业废弃土地复垦,而且可以减少新建矿山开采与植被恢复的矛盾,对青藏高原生态保护、绿色矿山建设,乃至长江中下游的水资源涵养利用具有参考价值。

**致谢:**在野外调查和论文编写过程中,得到中国科学院西北高原生物研究所曹广民研究员和中国地质调查局西安地质调查中心柯海玲、刘瑞平高级工程师的热忱帮助,在此表示衷心的感谢。

## 参考文献

- [1]陈有顺,房后国,刘娉慧,等.青藏高原矿产资源的分布、形成及开发[J].地理与地理信息科学,2009,25(6):45-50.
- [2]闫旭骞,林大泽.青藏高原矿产资源经济区划及开发战略研究[J].中国矿业,2008,17(4):15-18.
- [3]刘晓东,Dong B W.青藏高原隆升对亚洲季风-干旱环境演化的影响[J].科学通报,2013,58(28/29):2906-2919.
- [4]丁明军,张德铨,刘林山,等.青藏高原植被覆盖对水热条件年内变化的响应及其空间特征[J].地理科学进展,2010,29(4):507-512.
- [5]范广洲,程国栋.影响青藏高原植被生理过程与大气CO<sub>2</sub>浓度及气候变化的相互作用[J].地理与地理信息科学,2002,26(4):509-518.
- [6]葛肖虹,任收麦,马立祥,等.青藏高原多期次隆升的环境效应[J].地学前缘,2006,13(6):118-130.
- [7]补建伟,孙自永,周爱国,等.我国矿山地质环境承载力研究现状[J].中国矿业,2016,25(1):61-68.
- [8]杨敏,徐冬寅,周文翠,等.青海矿山环境地质问题现状与防治对策[J].中国矿业,2011,20(2):60-63.
- [9]于伯华,吕昌河.青藏高原高寒区生态脆弱性评价[J].地理研究,2011,30(12):2289-2295.
- [10]宋顺昌.对青海矿山环境治理措施的探讨[J].中国矿业,2009,18(7):55-57.
- [11]白刚刚,袁时祥,彭亮.浅析青海省矿山地质环境治理[J].青海环境,2012,23(2):73-76.
- [12]束文圣,张志权,蓝崇钰.中国矿业废弃地的复垦对策研究[J].生态科学,2000,19(2):24-29.
- [13]卫智军,李青丰,贾鲜艳,等.矿业废弃地的植被恢复与重建[J].水土保持学报,2003,17(4):172-175.
- [14]任海,彭少麟.恢复生态学导论[M].北京:科学出版社,2001.
- [15]张盛生,田成成,贾升安.青海矿山地质环境恢复治理中三维网的应用[J].青海环境,2013,23(1):34-36.
- [16]李贤,王福德,张江华,等.青南高原砂金矿地质环境恢复治理模式探讨[J].中国矿业,2013,22(10):73-79.
- [17]刘淑英,张丰雄,郭生秀.青南地区砂金矿地质环境的治理与恢复[J].青海科技,2006,6:49-50.
- [18]董高峰,李长辉.青海省砂金矿区环境地质问题及治理恢复对策[J].青海国土经略,2006,1:27-29.