

# 西藏矿山生态修复模式与实践

江仁涛

四川合利工程咨询有限公司 四川 成都 610041

**摘要：**西藏是我国世界级战略矿产富集区与国家生态安全屏障，矿产开发与生态保护矛盾突出。受高寒高海拔制约，其矿山生态修复难度远超内地，现有模式难适配区域生态。本文结合西藏矿产开发现状与高寒生态特点，分析矿山开发对生态的扰动机制，梳理植物种源匮乏等特殊难点，构建多元修复模式。通过甲玛铜多金属矿、罗布莎铬铁矿案例验证模式可行有效，提出实践建议，为西藏矿山生态修复及资源与生态协同发展提供理论与参考。

**关键词：**西藏；矿山生态修复；修复模式

引言：西藏位于青藏高原核心，是全球独特高海拔生态系统复合体，也是我国铜、锂等战略矿产核心储备地，兼具生态保护与资源供给双重价值。随着战略性矿产需求增长，西藏矿产开发规模扩大，但开采引发地表扰动等问题，威胁脆弱的高寒生态。传统修复技术与模式难适配，成效不佳。在此背景下，开展相关研究，梳理难点、构建模式、总结经验，对守护生态安全、推动绿色矿业及实现双赢意义重大，可为同类地区矿山修复提供借鉴。

## 1 西藏矿产资源开发与生态环境特征

### 1.1 西藏矿产资源分布与开发概况

西藏是我国少有的世界级铜、锂、铬等战略矿产富集区，资源禀赋优越、潜力巨大，是保障我国新能源、高端制造与国防工业安全的核心境内接替基地。矿产资源分布呈现明显的区域集聚特征，主要集中在冈底斯成矿带、三江成矿带等区域，其中拉萨市巨龙（驱龙-甲玛）铜矿铜储量达2588万吨，居全国第一；山南市曲松县罗布莎铬铁矿是国内储量最大的铬铁矿区，素有高原“铬都”之称。截至2024年年底，西藏共有14家绿色矿山，其中国家级7家、自治区级7家，矿山企业累计投入9亿余元，完成矿区生态修复1100余万平方米。目前开发以央企为主导，形成成熟开发、投产高峰、前期建设等多梯队格局，在推动区域经济发展的同时，也带来了一系列生态环境问题。

### 1.2 西藏高寒生态系统特征

西藏属于独特的高寒生态系统，被世界自然基金会（WWF）评价为“全球生态类型最为多样的高海拔生态系统复合体”，具有显著的特殊性和脆弱性。该区域海拔高、气候寒冷干燥，年平均温度较低，日温差大，冻融现象明显；植被以高山草甸、高寒草原为主，群落结构简单，覆盖度较低，高山草甸土层厚度不足30厘米，成

土过程缓慢，土壤瘠薄且抗侵蚀能力弱。同时，西藏地处古北界和东洋界动物地理区交汇处，生境多样，藏羚羊、雪豹等珍稀物种分布集中，生态系统一旦遭到破坏，自我恢复能力极差，恢复周期长达数十年甚至上百年，且难以逆转，对矿山生态修复提出了极高要求<sup>[1]</sup>。

### 1.3 矿山开发对西藏生态环境的扰动机制

矿山开采通过露天挖掘、地下开采、废石堆放等作业，对西藏生态环境产生多维度、深层次扰动，形成完整的扰动链条。露天开采直接破坏地表植被，导致地表裸露，加剧水土流失和冻融侵蚀；地下开采引发地表塌陷、山体滑坡等次生地质灾害，破坏土壤结构与地下水系统。废石堆放不仅占用土地资源，还会通过雨水冲刷造成土壤与水资源污染，影响周边植被生长。此外，开采过程中产生的粉尘、噪音，会干扰藏羚羊、藏野驴等珍稀动物的栖息环境，破坏区域生物多样性。这种扰动具有不可逆性、累积性特点，叠加西藏生态系统的脆弱性，进一步加剧了生态环境恶化，增加了生态修复的难度与成本。

## 2 西藏矿山修复的特殊技术难点

### 2.1 植物种源匮乏

植物种源匮乏是西藏矿山生态修复最突出的技术难点之一。西藏高寒地区气候恶劣，低温、干旱、大风等环境条件严苛，多数外来植物难以适应，仅能生长少量抗寒、耐旱、耐贫瘠的乡土植物，且种类单一，主要以高山嵩草、披碱草等为主。同时，这些乡土植物自然繁殖能力弱，种子产量低、发芽率低，自然更新速度缓慢，难以满足矿山大面积植被恢复的需求。目前，西藏本土适生植物的培育、驯化技术不成熟，缺乏规模化培育基地，种源供应不足，且对外来种源的引进与驯化难度大，极易出现“一年绿、两年黄、三年枯、四年死”的现象，严重制约植被恢复成效。

## 2.2 生长季极短

西藏高寒地区受海拔影响,植物生长季极短,成为矿山植被恢复的重要制约因素。该区域年均气温低,冬季漫长寒冷,夏季短暂凉爽,植物适宜生长期主要集中在每年6至9月,仅4个月左右,且生长速度缓慢。在这一短暂周期内,植物需要完成发芽、生长、开花、结实等全部生长过程,受低温、霜冻等突发天气影响,生长过程极易受阻,成活率难以保障<sup>[2]</sup>。同时,生长季短导致植被积累的生物量少,根系发育不发达,抗逆性弱,难以抵御高寒环境的长期考验,即使初期存活,也容易在冬季低温环境中死亡,增加了植被恢复的难度与重复投入。

## 2.3 表土资源稀缺

表土是植被生长的基础,而西藏矿山区域表土资源极度稀缺,成为生态修复的关键瓶颈。西藏高寒地区成土过程缓慢,土壤形成周期长达上千年,土层厚度薄,且土壤有机质含量低、肥力差,高山草甸土层厚度普遍不足30厘米。矿山开采过程中,地表植被被破坏,表层土壤被剥离、碾压,导致表土流失严重,甚至出现岩石裸露现象。另外,表土剥离后难以再生,且不同区域表土性状差异较大,适配性差,异地取土不仅会破坏周边生态环境,还面临运输成本高、难度大的问题,进一步加剧了表土资源短缺的困境,制约土壤重构与植被恢复效果。

## 2.4 次生地质灾害风险

西藏矿山多分布在高山峡谷区域,地质环境复杂,加之高寒地区冻融作用明显,矿山开采后极易引发次生地质灾害,给生态修复带来巨大挑战。露天开采形成的采空区、边坡,以及废石堆放场,在雨水冲刷、冻融作用下,极易发生崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害,不仅破坏已修复的植被与土壤,还会威胁周边生态环境与人员安全。同时,矿山开采破坏地下水系统,导致地下水位下降,加剧山体干旱与植被退化,进一步诱发地质灾害,形成“开采-灾害-生态恶化”的恶性循环,增加生态修复的复杂性与风险性,对修复技术的安全性、稳定性提出更高要求。

# 3 西藏矿山生态修复模式构建

## 3.1 工程与地貌重塑模式

西藏矿山开采活动往往会造成地形破碎不堪、地表塌陷频发以及边坡失稳等一系列问题,这些问题不仅破坏了区域原有的地形地貌,还对后续的生态修复工作设置了重重障碍。基于此,构建工程与地貌重塑模式十分必要,其核心在于运用工程措施对破损地形进行修复,恢复区域地形的完整性与稳定性,为后续的土壤重构和

植被恢复筑牢根基。该模式主要采用削坡减载、边坡加固、采空区回填、废石整治等工程手段。对矿山开采形成的边坡进行细致修整,把陡峭的边坡改造成缓坡,降低滑坡的可能性;运用喷浆支护、柔性植物挡土墙等先进技术加固边坡,增强其稳定性。对于采空区,采用废石就地研磨回填的方式,既减少废石外排对环境的污染,又实现了废物的再利用,同时平整地表,尽可能恢复地形原貌。例如,罗布莎铬铁矿通过充填采矿法,将废石制作的胶结料浆混合填充井下采空区,有效降低地表塌陷风险,为后续生态修复工作的顺利开展创造有利条件。

## 3.2 土壤重构与改良模式

西藏地区表土资源稀缺,且土壤贫瘠,这给矿山生态修复中的植被恢复带来了巨大挑战。为此,构建土壤重构与改良模式迫在眉睫,其核心是通过科学合理的措施重构土壤结构、提升土壤肥力,以满足高寒地区植被生长的特殊需求。该模式优先利用矿山开采剥离的表土,并结合周边自然土壤,混合腐熟有机肥、泥炭土、离子粘合剂等改良材料,精心重构适宜植被生长的土壤层,厚度一般控制在30-50厘米,为植被根系发育提供充足空间。针对土壤有机质含量低、养分不足的问题,施加腐熟的牛羊粪等有机肥,并搭配微生物菌剂,改善土壤的理化性质,增强土壤的保水和保肥能力<sup>[3]</sup>。同时,采取覆盖秸秆、碎石等措施,减少土壤水分蒸发,抵御冻融侵蚀,防止土壤退化,为植被恢复提供良好的土壤条件,有效破解表土稀缺与土壤贫瘠的难题。

## 3.3 植被恢复与重建模式

西藏地区植物种源匮乏,且生长季极短,这使得植被恢复与重建工作困难重重。围绕这些难点,构建植被恢复与重建模式至关重要,其核心是坚持“乡土优先、适生适配”的原则,实现植被的规模化、稳定化恢复。该模式优先选择云杉、沙棘、小檗、高山嵩草、垂穗披碱草、紫花针茅等抗寒、耐旱、耐贫瘠的乡土植物,这些植物经过长期的自然选择,对当地恶劣的生态环境具有较强的适应性。通过种子直播、幼苗移栽、喷播植草等多种方式开展植被恢复工作。建立乡土植物培育基地,规模化培育适生植物幼苗,提高幼苗的成活率;针对生长季短的问题,采用温室育苗、提前播种等方式,延长植物的生长周期,同时加强后期养护管理,定期浇水、施肥,抵御低温、霜冻等灾害。此外,构建近自然植物群落,提升植被群落的多样性与稳定性,促进生态系统的自我修复,逐步实现从“人工修复”向“自然恢复”的过渡。

## 3.4 水资源调控与污染防治模式

针对西藏矿山开采引发的水资源扰动与污染问题,

构建水资源调控与污染防治模式，核心是保护水资源环境、治理污染，保障生态修复的可持续性。该模式通过修建截排水系统、集水设施，收集雨水与地表径流，调控区域水资源分布，解决植被恢复过程中的缺水问题，同时减少雨水冲刷造成的水土流失。针对矿山废水、废石淋溶水造成的污染，建设污水处理设施，采用物理、化学、生物相结合的方法，处理矿山废水，实现达标排放，截至2024年，西藏矿山企业已投入2.67亿元更新污水处理设施，实现年处理污水1862.79万吨，污水排放达标率100%。对废石堆放场进行覆膜处理，减少污染物淋溶，防止土壤与水资源污染，为生态修复提供清洁的水资源环境。

#### 4 典型案例分析

4.1 案例一：西藏甲玛铜多金属矿（矿区修复与生态农牧业结合模式）

西藏甲玛铜多金属矿位于拉萨市墨竹工卡县，是我国重要的铜矿资源接续基地，矿区处于拉萨河中游流域，生态保护意义重大。该矿区采用“矿区修复与生态农牧业结合”的特色模式，整合工程地貌重塑、土壤改良、植被恢复、水资源调控等多项措施，实现生态修复与经济发展协同推进。矿区投入资金实施土地复垦工程，使开采破坏的311.28公顷土地得到有效恢复，土地复垦率达82.38%，植草面积139.77公顷，植被恢复率达47.36%。在修复区域，因地制宜发展生态农牧业，种植青稞、牧草等作物，养殖牦牛、藏羊，实现“修复-利用-增收”的良性循环，既改善了矿区生态环境，又带动当地群众增收，验证了该模式在高原矿区的可行性与综合效益，为西藏矿山生态修复与地方经济协同发展提供了示范<sup>[4]</sup>。

4.2 案例二：西藏铬铁矿区（高寒裸岩型矿山修复模式）

西藏铬铁矿区以山南市曲松县罗布莎铬铁矿为代表，

该矿区海拔4200米，属于典型的高寒裸岩型矿山，地表岩石裸露、植被稀少，生态环境极度脆弱。该矿区构建高寒裸岩型矿山修复模式，重点实施地貌重塑、土壤改良、植被恢复等措施，累计投入资金近5000万元，整治修复山体总面积达63公顷，覆土、压石、填砂达130多万方。采用上向进路充填采矿法，将废石就地回填采空区，实现废石零外排，消化废石9万吨，还利用往年贮存废石1.7万吨。在修复区域试种北京杨2000多棵，补撒乡土草籽，加强后期管护，逐步实现裸岩区域植被覆盖，有效降低了次生地质灾害风险，成功入选国家级“绿色矿山”名录，为西藏高寒裸岩型矿山修复提供了可借鉴的实践经验。

#### 结束语

西藏矿山生态修复对守护生态安全、推动绿色矿业意义重大，但面临植物种源匮乏、生长季短、表土稀缺、次生地质灾害风险高等难题，修复难度远超内地。本文结合当地矿产开发与高寒生态特征，构建了四位一体修复模式，经甲玛铜多金属矿、罗布莎铬铁矿等案例验证，能有效适配实际需求，实现生态与经济协同发展。未来，要强化乡土植物培育、技术研发，完善政策，落实企业责任，优化模式，推动西藏矿山生态修复高质量发展，达成资源开发与生态保护良性循环。

#### 参考文献

- [1]蒋文翠,冉江华,王铭明,等.生态修复废弃矿山植被群落结构特征研究[J].环境监测管理与技术,2024,36(2):69-73.
- [2]冯佳俊.高原高寒砂金矿区生态修复治理模式与关键技术[J].四川有色金属,2024(2):53-56.
- [3]赵方莹,苏兆瑞,袁志琼,等.矿山生态修复综合对策[J].中国水土保持,2023(4):16-18.
- [4]周舟.矿山生态修复关键技术研究[J].能源与节能,2025(11):43-45,49.