

浅谈高原地区矿山地质环境保护与土地复垦治理措施

仁青旺久 平措松格 达瓦罗布
西藏自治区地质矿产勘查开发局第六地质大队
DOI:10.32629/gmsm.v8i6.2380

[摘要] 文章以西藏那曲安多美多锑矿为研究背景,通过地质环境影响与土地损毁评估,明确矿区存在地形地貌破坏严重、存在潜在地质灾害及重金属污染潜在风险等问题。基于高原生态脆弱、高寒干旱的特殊条件,确立“自然恢复为主、人工干预为辅”等核心原则,构建涵盖地质灾害防治、含水层保护、地形修复、土地复垦及长期监测的系统性治理体系,提出冻融防控、缺水植被保障等针对性技术策略。研究成果可为我国高原同类矿山的生态保护与土地复垦提供理论与技术参考。

[关键词] 高原矿山; 地质环境保护; 土地复垦; 生态修复

中图分类号: TD8 文献标识码: A

Discussion on the Geological Environment Protection and Land Reclamation in Mining Area of Plateau Region

Rinchen Wangjiu Pingcuo Songge Dawa luobu

The Sixth Geological Team of the Tibet Autonomous Region Bureau of Geological and Mineral Exploration and Development

[Abstract] The article takes the Xizang Nagqu Andomei Antimony Mine as the research background. Through geological environmental impact and land damage assessment, it identifies serious issues such as severe topographical and geomorphological destruction, potential geological hazards, and risks of heavy metal pollution in the mining area. Based on the unique conditions of plateau ecological fragility and arid cold climate, the core principles of "natural restoration as the main approach and artificial intervention as a supplement" are established. A systematic governance system is constructed, covering geological hazard prevention, aquifer protection, topography restoration, land reclamation, and long-term monitoring. Targeted technical strategies, such as freeze-thaw prevention and vegetation protection in water-scarce areas, are proposed. The research findings can provide theoretical and technical references for ecological protection and land reclamation in similar high-altitude mines in China.

[Key words] Plateau mine; Geological environmental protection; Land reclamation;

引言

高原地区生态系统脆弱且自我修复能力低下,矿山开采活动易引发地质灾害、水土污染、植被破坏等连锁问题,威胁区域生态安全与畜牧业发展。西藏那曲安多美多锑矿地处高原亚寒带区域,高海拔、低温、少雨等自然条件加剧了矿山环境治理难度。当前,高原矿山地质环境保护与土地复垦技术尚缺乏针对性范式,相关研究滞后于开采实践。因此,文章以该锑矿为案例,系统开展地质环境影响评估,探索适配高原特征的保护与复垦措施,为推动高原矿山绿色可持续开发、实现生态保护与资源利用协同发展提供理论与技术支撑。

1 研究区概况

西藏那曲安多美多锑矿位于安多县岗尼乡,距县城北约

164km,矿区面积1.321km²,采用露天与地下结合开采方式,设计生产规模1.5万吨/年。矿区属高原亚寒带半干旱季风气候,年平均气温-3.0℃,极端最低气温-36.7℃,最大冻土深度3.0m;年降水量约411.6mm,集中于6~9月。地貌以高山为主,植被以天然牧草地为主,覆盖率约10%,土壤层厚0.1~0.3m,生态系统极为脆弱^[1]。

矿区地质构造较复杂,岩性以大理岩化灰岩、凝灰岩为主,岩体完整性较好。地下水类型包括第四系孔隙水、碳酸盐岩含水层和基岩裂隙水,含水层间水力联系较密切。矿区地震烈度为IV度,现状地质灾害不发育,但采矿活动加剧了边坡开挖、弃渣堆放等问题,可能引发局部地质环境问题。如图1。

2 矿山地质环境影响评估



图1 西藏那曲安多美多锑矿矿区

2.1 评估方法与级别

依据《矿山地质环境保护与恢复治理编制规范》(DZ/T 0223-2011), 结合评估区重要程度、矿山建设规模及地质环境条件复杂程度, 确定本矿山地质环境影响评估级别为三级。评估区面积1.90275km², 重要程度为“一般区”。

2.2 地质灾害现状与预测

现状调查表明, 矿区已形成4个采场、3个弃渣场、5条道路及23个探槽, 未发现滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害。各场地边坡稳定性较好, 地质灾害发生的可能性小。预测未来开采可能引发地面塌陷、边坡失稳等灾害, 但由于矿体围岩力学性质较好、地形相对平缓, 其可能性小、危害程度低。

2.3 含水层破坏评估

矿区主要矿体位于地下水位以上, 现状开采对含水层结构影响较轻。预测未来露天开采可能对局部第四系含水层和风化裂隙带造成轻微破坏, 对区域地下水水量影响较小。需重点关注矿渣淋滤水中锑、砷等特征污染物对地下水质的影响。

2.4 地形地貌景观破坏评估

历史采矿活动已对原生地形地貌造成显著改变, 采场和弃渣场对景观影响程度为“严重”, 道路和探槽为“较严重”。预测未来开采将进一步加剧地形地貌破碎化与景观不协调性。

2.5 水土环境污染评估

现状水质监测显示, 地表水除锑含量超标外, 其余指标符合《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002) I类标准。土壤重金属含量未超过《土壤环境质量标准》(GB 15618-1995) 二级标准。预测开采活动可能通过淋滤水迁移加重局部重金属污染风险, 需加强源头控制与过程阻断。

3 土地损毁评估与复垦适宜性分析

3.1 土地损毁现状

矿山已损毁土地总面积24.401hm², 全部为天然牧草地(0401)。损毁方式以挖损和压占为主, 其中采场损毁19.7466hm², 弃渣场损毁2.8546hm², 道路损毁1.0645hm², 探槽损毁0.7353hm²。

3.2 土地复垦适宜性评价

基于生态适宜性、政策规划及资源条件分析, 确定损毁土地宜复垦为草地。选用耐寒、耐旱、抗逆性强的乡土草种进行植被恢复^[2]。复垦区以采场1为植被恢复试验区, 面积4.7495hm², 开展系统性覆土、播种与管护工程。土地损毁详情与复垦规划如表1所示。

表1 土地损毁与复垦规划表

损毁单元	损毁面积(hm ²)	损毁方式	复垦方向
采场1	4.7495	挖损	草地
采场2-4	15.9971	挖损	地质环境恢复(平整+撒播)
弃渣场	2.8546	压占	地质环境恢复(放坡+撒播)
道路	1.0645	压占	地质环境恢复(平整+撒播)
探槽	0.7353	挖损	地质环境恢复(回填+平整+撒播)
合计	24.401	-	-

3.3 水土资源平衡分析

试验区复垦需覆土量9499m³, 计划外购客土, 土源来自矿区约30km范围内其他工程剥离的表土。灌溉水源主要依靠自然降水, 植被建立初期辅以洒水车进行应急补水, 以保障幼苗成活。

4 高原矿山地质环境保护与土地复垦治理措施

针对高海拔矿山环境脆弱、生态恢复力低的特点, 治理工作须遵循科学、系统、针对性原则。西藏那曲安多美多锑矿的实践表明, 成功的治理体系应贯穿矿山全生命周期, 涵盖预防、控制与修复全过程, 并需特别关注高寒干旱地区的特殊技术挑战。其总体技术路线如图2所示。

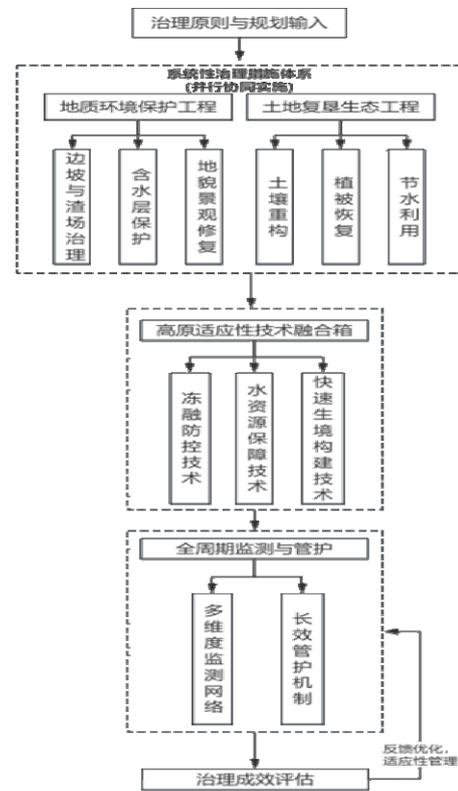


图2 高原矿山地质环境保护与土地复垦综合治理技术路线图

4.1 核心治理原则

高原矿山的环境治理需确立以下核心原则,以指导具体措施的制定与实施:

(1)“自然恢复为主、人工干预为辅”与“因地制宜”相结合:优先采用封育、自然演替等近自然方式,人工干预需基于区域水热、土壤与植被条件。

(2)“边开采、边治理、边恢复”的同步化原则:在矿山规划设计阶段,将土地复垦与地质环境保护方案

纳入整体布局。在生产过程中,对已结束作业的区域及时启动治理工程,缩短生态干扰时段。

(3)“分区分类、精准施策”的差异化治理原则:根据地质环境影响评估结果,明确不同区域的损毁特征、主导环境问题与风险等级,实现治理资源的优化配置。如对安多矿区划分重点区(采场、渣场)、次重点区(道路、探槽)和一般区,实施差异化工程。

4.2 系统性技术措施体系

基于上述原则,构建一套包含预防、恢复、复垦与监测的综合性技术措施体系。

4.2.1 矿山地质环境保护与恢复工程措施

(1)地质灾害防治工程。依据岩体结构力学参数,对历史形成的及未来可能形成的高陡边坡进行稳定性验算与设计。主要措施包括:①削坡减载与台阶化:将高陡边坡分级放缓,形成安全稳定的台阶,台阶宽度需满足植被生长和排水要求。②坡面加固:对破碎岩质坡面,可挂网客土喷播或铺设生态袋进行表层防护;对潜在不稳定块体,可采用锚杆(索)进行加固。③截排水系统:在采场顶部外围及各级平台内侧修筑截水沟,有效引导地表径流,减少雨水对坡面的直接冲刷和入渗^[3]。

弃渣场(废石场)稳定性控制是泥石流和滑坡隐患防治的重中之重。必须严格按照“自上而下、分台阶堆排”的原则作业,严格控制单级台阶高度(一般 $\leq 20\text{m}$)和总边坡角。工程措施包括:①基底处理与反压:堆排前清除表层腐殖土,将大块坚硬岩石堆置在基底和坡脚,起到反压和稳定作用。②平台与坡面整形:最终平台应修整为向内倾斜2%-3%的反坡,以利截留雨水;坡面应压实整平。③拦挡与排水:在渣场下游适宜位置修筑浆砌石或钢筋石笼拦渣坝;沿渣场周边及平台设置完善的浆砌石排水沟,实现清污分流。

(2)含水层保护与修复措施。完善矿区“雨污分流、清污分流”系统。对矿石堆场、废石场等实施底部防渗(如HDPE土工膜)与边部围挡,设置渗滤液收集导排系统,收集液经“中和沉淀+混凝沉淀+过滤”工艺处理后回用^[4]。

在潜在影响区布设地下水监测井,定期监测水位与水质(重点关注镉、砷等),建立数据库与预警模型,必要时启动原位修复

(如可渗透反应墙)。

4.2.2 土地复垦与生态重建技术措施

(1)土壤重构工程。高寒矿区土壤资源稀缺是核心限制因子。对于需要快速恢复植被的区域,必须进行客土覆盖。客土厚度根据复垦方向确定,恢复为草地一般不低于0.2m。客土应优先选用质地相近、无污染的壤土或砂壤土。为快速构建土壤肥力,必须在客土中均匀掺入足量的有机改良剂,如腐熟牛羊粪(每亩1-2吨)、泥炭等,并适量添加保水剂(如聚丙烯酰胺),显著改善土壤的养分状况、结构性和保水保肥能力。

(2)植被恢复工程。物种选择是成败的首要关键。必须选用经多年实践验证、能极端适应高寒、干旱、强辐射、贫瘠土壤的乡土先锋植物或优良驯化种。播种前应对种子进行精选、去芒,并可采用脱落酸(ABA)或低湿层积处理进行抗逆性锻炼,提高发芽率和幼苗活力。播种时间选在雨季前(6月中旬至7月中旬),采用人工撒播与机械喷播结合,播后覆盖无纺布或草帘。幼苗期进行辅助灌溉与定期巡查^[5]。

5 结语

高原矿山环境治理需契合区域生态脆弱特性。本研究以安多美多锑矿为例,构建“全周期、差异化”治理体系,结合针对性技术策略,可有效解决矿区核心环境问题,提升复垦成效。未来需强化技术研发与长效管护,完善协同模式,为高原同类矿山生态修复提供成熟方案,助力区域生态安全与可持续发展。

[参考文献]

[1]李阳,宋扬,唐菊兴,等.西藏锑矿分布、类型及其成矿规律研究[J].中国地质,2024,51(05):1570-1600.

[2]兰水荣,张弛,卢鑫.仿生草垫驱动土壤微生物群落重构促进高原矿区植被恢复的机制研究[J].有色金属(冶炼部分),2025,(12):184-195.

[3]王晓飞.西藏洛隆县城区不稳定斜坡勘察及防治研究[J].山西建筑,2023,49(06):78-82+86.

[4]鞠金峰,李全生,许家林,等.采动含水层生态功能修复:概念内涵、理论与技术框架[J].绿色矿山,2024,2(01):21-30.

[5]赵建业,王旭影,蒋福祯,等.高寒矿区排土场土壤重构及植被恢复关键技术[J].能源与环保,2025,47(11):1-7.

作者简介:

仁青旺久(1994--),男,藏族,西藏那曲人,大学本科,助理工程师,研究方向:水工环地质工程。

平措松格(1997--),男,藏族,西藏当雄人,本科,职称,助理工程师,研究方向:地质矿产。

达瓦罗布(1999--),男,藏族,西藏山南人,大学本科,助理工程师,研究方向:水工环地质工程。