

桂北某采石场采空区生态整治

樊珊珊, 蔡湘文*

桂林理工大学地球科学学院, 广西 桂林

收稿日期: 2025年4月15日; 录用日期: 2025年6月3日; 发布日期: 2025年6月12日

摘要

矿产资源作为一种重要的自然资源, 对其开采利用, 为国民经济的快速腾飞贡献了有力的物质基础, 但在矿山无序、大肆开采过程中也产生了一系列严重的环境问题, 如矿山地质灾害频发、地貌景观退化和地下含水层破坏等, 严重威胁到人民的生命财产安全, 故需迫切解决。文章基于此, 对桂北某废弃矿山进行生态修复, 修复区总面积 16.0221 hm^2 , 秉持“宜农则农, 宜水则水, 宜建则建”的原则, 将1#采空区底盘总面积 7.0220 hm^2 修复成体育用地, 可以很好地解决罗锦镇人均体育用地不足的现状, 并且能满足“全民健身”号召的用地需求; 2#采空区底盘总面积 2.8371 hm^2 复垦成公园与绿地, 同样解决罗锦镇人均公园绿地面积低于平均水平的现状, 为居民提供一个休闲观光的好去处; 将1#采空区边坡总面积 4.9480 hm^2 、2#采空区边坡总面积 0.5254 hm^2 分别复垦成其他林地和其他草地, 进行矿山地貌景观的重塑, 与周边的自然景观相协调; 矿山道路总面积 0.9376 hm^2 , 复垦成农村道路, 方便大家出行。方案既对矿山破坏严重区进行了植被重建, 还将土地进行再利用, 很好地缓解了罗锦镇人地紧张的矛盾。

关键词

废弃矿山, 采空区, 生态修复, 再利用

Ecological Remediation of the Abandoned Area in a Quarry in Northern Guangxi

Shansha Fan, Xiangwen Cai*

College of Earth Sciences, Guilin University of Technology, Guilin Guangxi

Received: Apr. 15th, 2025; accepted: Jun. 3rd, 2025; published: Jun. 12th, 2025

Abstract

As an important natural resource, the exploitation and utilization of mineral resources has contributed a strong material basis for the rapid take-off of the national economy. However, a series of

*通讯作者。

serious environmental problems have also arisen in the process of disorderly and wanton mining in mines, such as frequent geological disasters in mines, degradation of geomorphological landscapes and destruction of underground aquifers, which seriously threaten the safety of people's lives and property. Therefore, it is urgent to solve them. Based on this, this paper carries out ecological restoration on an abandoned mine in northern Guangxi. The total area of the restoration area is 16.0221 hm². Adhering to the principle of "agriculture is suitable for agriculture, water is suitable for water, and construction is suitable for construction", the total area of the 1 # goaf chassis is 7.0220 hm². Repairing into sports land can well solve the current situation of insufficient per capita sports land in Luojin Town, and can meet the land demand called for by "national fitness"; the total area of 2 # goaf chassis is 2.8371 hm² reclaimed into parks and green spaces. It also solves the current situation that the per capita park green space area in Luojin Town is lower than the average level, and provides residents with a good place for leisure and sightseeing. The total area of the 1 # goaf slope is 4.9480 hm², and the total area of the 2 # goaf slope is 0.5254 hm², which are reclaimed into other woodlands and other grasslands to reshape the mine landscape and coordinate with the surrounding natural landscape. The total area of the mine road is 0.9376 hm², which is reclaimed into a rural road to facilitate everyone's travel. This scheme not only carried out vegetation reconstruction in the area with serious mine damage, but also reused the land, which well alleviated the contradiction between people and land in Luojin Town.

Keywords

Abandoned Mine, Goaf, Ecological Restoration, Reuse

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

过去, 人们片面追求经济发展, 忽视生态环境, 导致环境质量下降, 治理成本高昂, 得不偿失。如今, 国家推进绿色矿山建设, 发布多项行业标准, 助力美丽中国建设, 但仍有大量历史遗留废弃矿山需生态整治, 以提高土地集约利用率。以露天开采矿山为例, 其由采场、表土堆放场、破碎/堆料区、生活区和矿山公路组成, 土地破坏类型为挖损和压占, 需重构土壤后才能植被恢复。矿山生态整治方案是选择合适植物, 结合工程措施, 采用人工加自然恢复模式, 重建稳定生态系统。

矿山生态修复的难点是高陡边坡治理。废弃矿山大多存在高陡边坡, 易引发地质灾害。治理高陡边坡困难重重: 坡度大、土壤保留难、人工覆土易滑动。近年来, 国内外专家深入研究废弃矿山治理, 杨龙坤等总结治理模式, 提出与增减挂结合助力农业农村发展[1]; 黄科源等分析矿山地质环境问题, 认可矿山公园模式[2] [3]; 叶宗达等总结土地整治及再利用方向[4]; 白建宇等总结岩质边坡生态修复技术并改进[5] [6]; 王蕾等研究植生型生态混凝土[7]; 周航等优选复绿植物[8]; Danwei Xiong 等研究植物生长混凝土[9]; Waiching Tang 等探究植被混凝土技术[10]。对废弃矿山进行生态修复并不是生态整治的最终目的, 一个废弃矿山的完整发展过程包含: 破坏 - 废弃 - 生态修复 - 再利用四个阶段[11]。

本文研究的采石场位于漓江流域, 该流域是桂林景观资源核心区、重要动植物基因库和生态安全屏障保护区[12] [13], 生态恢复十分必要。2021 年习总书记视察广西后, 桂林市人大颁布 16 部地方性法规[14], 将绿水青山写入法规, 强化保护。我们要保护好漓江, 让子孙后代也能领略其美景。

2. 矿山基本情况

本文研究的采石场位于侵蚀溶蚀地貌区, 地势南高北低, 海拔 378.2 米至 158.0 米, 坡度 20°至 30°, 局部陡立。基岩为上泥盆统融县组灰岩, 局部夹白云质灰岩, 上覆第四系, 节理裂隙发育。东侧有季节性小河, 地表水主要来源于大气降雨, 自然疏干条件良好。矿区属亚热带季风气候, 年均温 18.8℃, 年降水量 1937.3 毫米, 雨季集中在 3 月至 8 月, 暴雨易引发地质灾害。土壤为黄红壤, 厚 0.3 至 1.0 米, 植被覆盖率约 10%, 前期采矿活动使植被破坏严重, 岩石裸露。

矿区出露地层主要为灰岩和第四系红粘土, 地质构造简单, 总体为单斜构造, 岩层产状为 315°∠15°。区域地震强度低, 场地稳定性较好。地下水含水岩组主要为孔隙水和裂隙溶洞水, 含水量中等, 地下水位埋深较大, 自然疏干条件良好。岩土体工程地质性质较差, 灰岩可溶性强, 岩性脆易碎, 常发育溶洞和溶隙, 红粘土呈硬塑至可塑状态。矿山已停止开采, 但采矿活动形成了 2 个采场和 3 处高陡边坡, 破坏土地面积共 16.2601 公顷(如附图 1)。评估区面积约 95.7159 公顷, 划分为I级区(采场和矿山公路, 面积 16.2601 公顷, 破坏严重)和III级区(其他区域, 面积 79.4558 公顷, 影响较轻)(如表 1)。

Table 1. Table of zoning and grading of mine ecological problems (unit: hm²)
表 1. 矿山生态问题分区分级表(单位: hm²)

分区名称	生态问题分级			面积(hm ²)	占评估区面积比例(%)
	编号	分布	分级		
生态环境问题分区	A	1#采场、2#采场和矿山道路	I	16.2601	16.64
	B	除采场和矿山道路以外的区域	III	79.4558	83.36
	合计			95.7159	100

3. 主要任务与工作部署

3.1. 矿山生态修复主要任务

Table 2. Table of land use structure adjustment for ecological renovation of mining area sites (unit: hm²)
表 2. 矿区各场地生态整治前后土地利用结构调整表(单位: hm²)

项目区	损毁土地类型及面积			生态修复土地类型及面积	
	一级地类	二级地类	面积	土地类型	面积
1#采场底盘	06 工矿仓储用地	0602 采矿用地	7.0220	体育用地	7.0220
2#采场底盘	06 工矿仓储用地	0602 采矿用地	2.8371	公园绿地	2.8371
采场	P1 边坡	06 工矿仓储用地	3.4789	其他林地	3.4789
	P2 边坡	06 工矿仓储用地	1.4591	其他林地	1.4591
	P3 边坡	06 工矿仓储用地	0.5254	其他草地	0.5254
矿山公路	06 工矿仓储用地	0602 采矿用地	0.9376	农村道路	0.9376
合计	矿区总面积			16.2601	
	生态修复区土地总面积			16.2601	
	土地复垦率(%)			100.00	

本矿山采空区地类根据《国土空间调查、规划、用途管制用地用海分类指南(试行)》附录 A, 属于 10 工矿用地中的 1002 采矿用地。采空区分为采场边坡和底盘两部分, 具体复垦规划如下: 1#采空区采场边坡复垦为 0304 其他林地, 底盘调整为 0805 体育用地; 2#采空区采场边坡复垦为 0403 其他草地, 底盘复垦为 1401 公园绿地, 积水矿坑改造为滨水公园(如表 2)。修复任务包括:

- 1) 消除地质灾害, 对采场边坡进行防护, 清除或固定危岩。
- 2) 对 2#采场底盘进行土壤重构, 购买客土回填; 1#采场底盘因覆盖灰岩碎砾, 具备良好施工条件, 不需土壤重构。
- 3) 采场边坡选择乡土灌木草种复绿, 底盘栽种乡土林木, 可选择柑橘增加经济价值。
- 4) 完善截排水工程, 防止旱涝灾害及次生地质灾害。
- 5) 保留 2#采场底盘积水矿坑, 布置安全保护措施, 提升生物多样性, 构建生态系统。
- 6) 保留矿山公路并硬化, 作为农村道路, 方便进入“俱乐部 + 生态疗养公园”。

3.2. 矿山生态修复方式

根据确定的矿山各场地的修复用途和主要任务, 统筹考虑现状矿山生态问题的严重程度、现有技术经济条件等, 确定采用自然恢复、辅助再生、生态重建修复方式。矿山生态修复方式符合“《矿山生态修复技术规范第 1 部分: 通则》附录 C”的要求。该矿山 1#采空区、2#采空区地表灰岩砾石覆盖, 不存在土壤层, 地表植被生境受到严重影响, 因此考虑“自然恢复 + 生态重建”修复方式。

3.3. 矿山生态修复措施

考虑到各个区域的破坏程度及场地条件不同, 因此分区域进行矿山生态修复(如附图 2)。

采场边坡: 1#采空区 P2 边坡现存在崩塌形成的倒石堆, 需先进行清理, 再于坡脚处回填渣(石)土蓄坡, 然后于坡脚外边缘修筑挡土墙, 挡土墙需合理设置泄水孔、伸缩变形缝, 沿挡土墙外围设置排水沟; 考虑到清理危岩体可能会诱发新的危岩体, 故对存在的危岩体进行锚固; 选择“下爬上挂”——攀援植物栽植对边坡体进行绿化。

底盘: 1#采空区和 2#采空区底盘场地条件良好, 不需要进行场地清理以及场地平整, 1#采空区底盘复垦成建设用地, 故不需要进行客土覆盖; 2#采空区底盘复垦成公园绿地, 除采坑湖不需覆土外, 其他地方均需客土回填, 以满足植物生长的需要, 修复植物选择当地乡土植物。

矿山公路: 矿山公路进行保留, 并选择沥青进行道路的硬化。

3.4. 矿山生态修复工程

3.4.1. 总体部署

根据本方案报告表划分的重点防治区、一般防治区及本次工作的目标和任务, 结合矿山开发利用方案及矿山实际情况, 同时考虑当地农业生产、地形地貌特征, 将生态修复整治工作分为两个阶段来完成。

第一阶段(2024 年 12 月~2029 年 12 月): 针对前期采矿活动形成的采场可能影响的范围, 修建浆砌石挡土墙、截排水沟, 做好防治水工作; 对 1#、2#采矿场内现有高陡 P1、P2、P3 边坡进行处理, 清理危岩、浮石, 对局部陡立或不稳定的区段进行加固保护工程; 在 2#采场修建截排水沟、拦土埂, 覆土并进行植被重建工作, 使破坏区生态环境得到明显改善和重建; 做好矿山地质环境监测工作(如附图 3)。

第二阶段(2029 年 1 月~2030 年 12 月): 主要为 2#采场的植被进行补种工作。此外, 还要做好矿山地质环境监测工作。确保上述工作的顺利实施, 使破坏区生态环境得到进一步改善。

3.4.2. 生态修复工程量

1) 危岩体加固工程设计

1#采场 P1、P2 边坡存在危岩构成的 W1、W2 危岩群, 严重威胁到群众的生命财产安全, 故需对其进行整治, 本方案采用主动防护网进行危岩体加固。P1 边坡存在 W1 危岩群面积 2659.6 m², P2 边坡存在 W2 危岩群面积 5731.7 m², 危岩群总面积 8391.3 m²。

2) 浆砌石挡墙工程设计

新建挡墙高 2.0 m, M10 浆砌石材料, 内侧为直立坡面, 外侧坡比 1:0.25, 挡墙顶采用 10 cm 厚 C20 砼压顶, 距离地面 0.5 m 设置外倾 5°, $\phi 10$ cm PVC 泄水管, 泄水管水平间距 2 m。挡墙沿墙顶轴线每隔 10 m 设置伸缩缝, 缝宽 2 cm, 缝填沥青麻筋, 深度不小于 15 cm。

1#采场 P1、P2 边坡总长度 401.30 m, 需浆砌石方量 915.47 m³。

3) 截排水工程设计

在 1#、2#采场底盘边坡坡脚和矿山公路一侧修建截排水沟, 用于截留采场强降雨形成的地表径流, 防止冲刷采场造成水土流失。1#、2#采场底盘内侧排水沟因采矿后场地均为坚硬灰岩岩石, 开挖石方难度大, 因此在靠近坡脚采用浆砌石截排水沟, 为了节约成本, 只砌筑单侧沟壁的排水沟, 其截排水沟规格为: 宽 0.40 m, 深 0.50 m, 浆砌石挡墙厚 0.3 m; 矿山 2#采场边坡顶部和矿山公路一侧修建的截排水沟采用双边砌筑形式, 规格为: 矩形断面, 底宽 0.5 m, 深 0.6 m, 两侧浆砌石挡墙厚 0.3 m。

P1、P2 和 P3 总长度 790.93 m, 需浆砌石方量 118.64 m³; 矿山 2#采场边坡顶部和矿山公路总长度 1539.94 m, 需浆砌石方量 554.38 m³, 需人工挖沟槽土石方量 1016.36 m³, 将人工挖沟槽土石方量 1016.36 m³ 全部用于坡脚蓄坡。

4) 拦土埂工程设计

为便于在 2#采场的底盘进行覆土, 减少雨水冲刷流失, 拟在底盘外侧修建干砌石拦土埂, 规格: 宽 0.2 m、高 0.6 m。据量算, 底盘外侧总长 218.31 m, 拦土埂占地面积 0.0044 hm², 则需干砌石方量 26.20 m³。

5) 覆土工程设计

对 2#采场底盘进行覆土, 面积共 2.8371 hm², 减去截排水沟占地面积 0.0273 hm², 减去拦土埂占地面积 0.0044 hm², 再减去 2#采场底盘采坑湖占地面积 0.9668 hm², 面积共 1.8386 hm², 根据《土地复垦质量控制标准》中灌木林地有效土层厚度不少于 0.3 m 的覆土标准以及《土地复垦技术要求与验收规范》(DB45/T892-2012)中林地复垦质量控制标准土层厚度 30~50 cm, 综合考虑, 选择覆土厚度 0.5 m, 则共需覆土 9193.00 m³, 考虑到约 10%的损失量, 则需覆土总量 10112.3 m³。

6) 植被重建工程设计

a) 树种、草种选择

小叶女贞须根发达, 生长快, 萌芽力强; 对大气污染的抗性较强, 能忍受较高的粉尘、烟尘污染。

狗牙根由于其具耐践踏性、侵占性、再生性及抗恶劣环境能力极强, 耐粗放管理, 且根系发达, 常应用于水土保持、固土护坡绿化工程, 是极好的水土保持植物品种。

爬山虎多生长于山坡崖石壁或灌丛, 为著名的垂直绿化植物, 枝叶茂密, 分枝多而斜展; 耐寒、耐旱、耐贫瘠, 气候适应性广泛, 可以作为安棉采石场边坡复绿植物。

b) 苗木规格

小叶女贞可选冠丛高 60 cm 的苗木; 爬山虎可选用 3 年生的苗木, 带有较完整的根系; 狗牙根选择两年内优质种子, 保证成活率。

c) 种植密度与种植方式

小叶女贞在灌木林地采用 1 株/4 m²; 爬山虎种植密度为每隔 0.5 m 种一棵; 狗牙根采用播撒, 播撒

时的播种量为 30 kg/hm²。

种植方式：复垦为灌木林地的 2#采场底盘采用灌(小叶女贞)、草(狗牙根)双层种植方式，既利于苗木迅速生长，又便于抚育和管理。

d) 植被工程量

2#采场底盘面积共 2.8371 hm²，减去截排水沟占地面积 0.0273 hm²，减去拦土埂占地面积 0.0044 hm²，再减去 2#采场底盘采坑湖占地面积 0.9668 hm²，面积共 1.8386 hm²，需小叶女贞 4597 株；1#采场 P1、P2 边坡底端总长 401.30 m，2#采场 P3 边坡顶底段总长 668.45 m，总长度 1069.75 m，需爬山虎 2140 棵；2#采场底盘覆土面积 1.8386 hm²，需狗牙根种子 55.16 kg。

7) 配套工程设计

矿山道路总面积 9376.05 m²，则需铺设沥青面积 9376.05 m²。

警示牌用以提醒人们此处的危险性，防止人们过于靠近。P1 边坡坡脚处安放 2 块“危岩坠落，禁止靠近”警示立牌；P2 边坡坡脚处安放 2 块“危岩坠落，禁止靠近”警示立牌；P3 边坡坡脚处安放 2 块“崩塌危险，禁止靠近”警示立牌；2#采矿区采坑湖处安放 2 块“水深危险，禁止下水”警示立牌(如表 3)。

8) 生态修复工程量汇总

根据地质安全隐患消除、地貌重塑、土壤重构、植被重建、配套工程，测算工程量。

Table 3. Table of quantity schedule of mine ecological restoration projects

表 3. 矿山生态修复工程量表

分类	分部	分项	技术措施	工程量	说明
地质安全隐患清除	清除工程	危岩体加固	主动防护网	8391.30 m ²	危岩群面积
	防护工程	边坡护坡	浆砌石挡墙	915.47 m ³	浆砌石方量
地貌重塑	修整工程	坡脚蓄坡	坡脚回填渣(石)土蓄坡	1016.36 m ³	土石方量
	集排水工程	截排水	开挖截排水沟	1016.36 m ³	土石方量
			预制、现浇截排水沟	673.02 m ³	浆砌石方量
土壤重构	覆土工程	客土覆土	客土覆盖	10,112.30 m ³	土方量
	水土保持工程	保土蓄水	拦土埂	26.20	干砌石方量
植被重建	栽植	苗木栽植	土球苗栽植	4597 株	小叶女贞
				2140 棵	爬山虎
				1.8386 hm ²	狗牙根播种面积
配套工程	道路工程	景观路	沥青路	9376.05 m ²	道路面积
	警示工程	-	警示牌	8 块	数量

4. 生态修复技术的创新性和可行性

4.1. 提升方案创新性

4.1.1. 新型材料组合应用

在生态混凝土的基础上，引入纳米改性材料。将纳米二氧化钛添加到生态混凝土中，利用其光催化特性，降解周边土壤和空气中的有机污染物，如矿山开采残留的油污等；结合微生物矿化技术，在生态混凝土孔隙中植入特定微生物，这些微生物在适宜环境下分泌碳酸钙，进一步增强混凝土的强度和耐久性，同时为植物根系生长创造更稳定的环境。

对于土壤生物工程技术, 创新采用“植物-微生物-工程材料”复合系统。在边坡修复中, 使用椰纤维网、生物炭等材料构建种植基材层, 种植豆科植物与固氮菌共生体系, 豆科植物根系为固氮菌提供生存空间, 固氮菌则将空气中的氮转化为植物可吸收的氮肥, 促进植物快速生长, 稳固边坡的同时改善土壤肥力。

4.1.2. 结合当地资源禀赋创新

1) 利用桂北特色植物资源

桂北地区拥有丰富的乡土植物资源, 如马尾松、杉木、毛竹等。筛选具有固土护坡、耐贫瘠、抗逆性强的乡土植物, 构建多层次植物群落。例如, 在边坡上部种植耐旱的草本植物, 如狼尾草; 中部种植灌木, 如胡枝子; 下部种植乔木, 如马尾松, 形成“草-灌-乔”复合植被结构, 增强边坡稳定性的同时, 提升生物多样性。

挖掘桂北药用植物资源, 如罗汉果、金银花等, 在修复后的土地上发展特色药用植物种植产业。与当地药企合作, 建立从种植、采收、加工到销售的全产业链, 既实现生态修复, 又创造经济效益。

2) 开发利用废弃石料资源

桂北采石场废弃石料储量丰富, 可将其加工为景观石, 用于打造具有桂北特色的园林景观。结合当地少数民族文化元素, 雕刻具有民族特色图案的石艺作品, 用于城市公园、景区建设。此外, 将废弃石料破碎、筛分后, 制成透水路面材料, 用于矿山生态步道、周边村镇道路建设, 实现废弃资源的高值化利用。

4.1.3. 拓展创新土地再利用方式

1) 生态文旅融合模式

将采空区改造为矿山生态文化公园, 保留部分具有历史价值的采矿设备和遗迹, 建设矿山文化博物馆, 展示桂北地区采矿历史与文化。利用矿坑水体打造水上娱乐项目, 如皮划艇、垂钓区等; 在修复后的边坡和土地上建设生态民宿、露营基地, 配套建设徒步、骑行路线, 形成集文化体验、休闲娱乐、生态观光于一体的文旅综合体。

2) 绿色能源与生态修复结合模式

基于桂北充足的光照资源, 在采空区开阔地带建设分布式光伏发电项目。光伏板下方种植喜阴经济作物, 如食用菌、耐阴中药材等, 实现“上可发电、下可种植”的立体利用模式。同时, 利用光伏发电收益反哺生态修复工程, 形成可持续的发展模式。

3) 社区共建共享模式

成立由当地居民、企业、政府组成的生态修复合作社, 居民以土地、劳动力入股, 参与生态修复工程建设和后期运营。合作社利用修复后的土地发展特色农业、乡村旅游等产业, 收益按股分红。此外, 设立生态修复教育基地, 开展面向中小学生的生态科普教育活动, 提高公众生态保护意识, 实现社区与生态修复的共同发展。

4.2. 方案可行性分析

4.2.1. 方案的保障措施

1) 组织保障措施

根据“谁开采, 谁保护; 谁破坏, 谁治理”和“谁损毁, 谁复垦”的原则, 矿山将成立专门的矿山生态整治工作实施管理机构, 其主要任务是负责生态整治工作的施工、监理、验收、资金和物资使用、项目建设资金审计、以及项目组织协调等工作。加强对该工作的领导, 保证矿山生态整治工作的顺利实施。

2) 技术保障措施

在本方案实施阶段,对各种技术措施进行专项技术施工设计,邀请相关专家担任技术顾问,设计人员进入现场进行指导,设立项目技术指导小组,具体负责矿山地质环境保护与土地复垦工程的技术指导、监督和检查,并对项目实行目标管理,确保规划设计目标的实现,使工程和措施严格受控于质量保障体系。

3) 监管保障措施

由于该生态修复工程方案实施年限长以及土地复垦工作具有长期性、复杂性、综合性的特点,应定期派人对种植灌木和补种草种的成活率进行监测,及时对土壤进行培肥,以保证土质的提高,植物能茁壮成长。

4.2.2. 方案的难题与风险

1) 边坡稳定性风险

在采空区边坡修复过程中,地质结构复杂是导致边坡稳定性风险的主要因素。局部岩体破碎、地下水位变化等问题可能引发滑坡、坍塌等地质灾害。根据地质勘察数据,某类似矿山采空区边坡存在多处裂隙发育带,岩体完整性较差。为降低风险,需利用地质雷达、声波探测等先进技术进行详细地质勘察,每间隔 5~10 m 布置一个探测点,绘制高精度地质剖面图,提前识别不稳定区域。对于潜在滑动面,可采用预应力锚索、抗滑桩等加固措施。预应力锚索长度根据滑动面深度确定,一般为 8~15 m,锚固力不低于 300 kN;抗滑桩桩径 1.2~1.5 m,桩间距 3~5 m,通过合理的结构设计和施工工艺,增强边坡稳定性。同时,建立边坡位移监测系统,实时监测边坡变形情况,一旦发现异常及时采取应急措施。

2) 植被重建技术难题

桂北地区夏季高温多雨(最高气温可达 38℃,月均降雨量 150~200 mm)、冬季湿冷(最低气温-5℃,空气湿度较大)的气候特点,给植被重建带来极大挑战。部分引进植物难以适应极端气候,且矿山土壤贫瘠、保水保肥能力差,进一步影响植物成活率。通过对桂北地区自然植被群落的调查发现,马尾松、油茶等乡土植物具有较强的适应性。因此,可建立本地植物种质资源库,收集筛选至少 50 种乡土适生植物,并对其种子萌发特性、幼苗生长习性进行研究。在植被重建过程中,采用客土喷播技术,客土配方中添加保水剂(用量为 3~5 kg/m³)、有机肥(100~150 kg/m³),提高土壤保水保肥能力。同时,结合滴灌系统,根据植物生长需求精准供水,确保植物成活与健康生长。

4.3. 效益分析

从矿山生态整治的效益分析来看,社会效益和环境效益较为明显,经济效益相对较低,难于定量分析,只能定性分析。从国家的长远发展来看,具有深远意义。对于绿色矿山的建设、人与自然的和谐发展意义较大。

4.3.1. 社会效益分析

“以工代赈”,例如在植被重建过程中,需要种植爬山虎、小叶女贞,以及播撒草籽,技术含量不高,且对于当地长期农业工作者来说,不成问题,所以说可以给他们带去一定的收入。

将 1#采场底盘复垦为体育用地,让周边群众可以在闲暇时间进行锻炼,青少年可以踢足球、打篮球和乒乓球等,中年人可以在跑道上进行散步,老年人则可以在早上打太极、晚上跳广场舞等,满足不同年龄段多样化的需求;将 2#采场复垦为公园绿地则可以让人们与大自然充分接触,作为天然氧吧,让大家呼吸到新鲜的空气,一天都是好心情。

4.3.2. 生态效益分析

对矿山进行复垦可以改变土地利用现状,甚至可以复原到原来的生态环境,林地、草地等绿地具有

强大的固碳能力, 将矿山复垦成林地、草地, 可以增加当地的固碳能力, 从而有效的缓解全球的气候变化, 早日促成中国实现“双碳”目标。

林地同时也是一个生态系统, 当光秃秃的土地上面种上了林木, 自然而然可以引来许多生物定居, 从而形成一个稳定性高的生态系统, 有利于资源的持续利用以及林业的可持续发展。

将矿山进行复垦可以有效地防止水土流失及地质灾害的发生, 水土流失往往发生在植被稀疏的地带, 还造成土地资源的流失, 耕地无法耕作, 村民无地可居, 所以说矿山生态修复可以解决上述问题, 并营造一种稳定宜居、景观美化的生活环境。

4.3.3. 经济效益分析

本矿山开采后治理和复垦后主要种植的小叶女贞具有经济价值, 小叶女贞木材细密, 可供细木工用材, 果实含淀粉可酿酒, 并入药为强壮剂, 叶入药可清热解毒等功效, 树皮研磨可治疗烫伤, 根茎泡酒, 具有治风湿作用, 小叶女贞的叶果皮均能带来经济收益, 是一种投入产出比高的林木。经济效益较其他两项效益不够明显。

5. 结论

1) 本矿山生态修复方案适用年限为 6.0 a (2024 年 12 月~2030 年 12 月)。评估区面积为 95.7159 hm²。本方案将评估区划分为矿山生态问题I级区和矿山生态问题III级区。I级区面积为 16.2601 hm², III级区面积为 79.4558 hm²。

2) 根据《永福县国土空间规划》对矿区的功能定位, 合理确定其生态修复方向为城镇空间; 根据矿山地质环境影响评估结果, 确定了矿山生态修复整治的目标。地质灾害得到有效防治, 地质灾害防治率达到 100%; 损毁土地按照宜耕则耕、宜园则园、宜林则林、宜水则水的原则进行恢复, 土地再利用率达到 90%; 复绿植物优先选择乡土物种, 植被覆盖率达到 40%; 建立矿山地质环境监测网络, 定期开展地质灾害、含水层、地形地貌等监测预警工作; 根据确定的矿山各场地的修复用途和主要任务, 统筹考虑现状矿山生态问题的严重程度、现有技术经济条件等, 生态修复方式确定为“自然恢复 + 生态重建”。

3) 根据土地分析与预测结果确定, 损毁区总面积为 16.2601 hm², 土地复垦责任区范围为 16.2601 hm², 复垦土地面积 16.2601 hm², 复垦率 100%。分区域进行土地复垦工作, 1#采场底盘 7.0220 hm² 复垦为体育用地, 1#采场边坡 4.9380 hm² 复垦为其他林地; 2#采场底盘 2.8371 hm² 复垦为公园与绿地, 2#采场边坡 0.5254 hm² 复垦为其他草地; 矿山道路 0.9376 hm² 复垦为农村道路。

4) 经估算永福县罗锦镇安棉采石场石灰岩矿矿山生态修复整治工程项目的投入总资金为 3,914,026.61 元, 由第一阶段和第二阶段投资组成。其中, 第一阶段(2024.12~2028.12)的投资资金 3,863,761.50 元; 第二阶段(2029.1~2030.12)的投资资金 50,265.11 元。

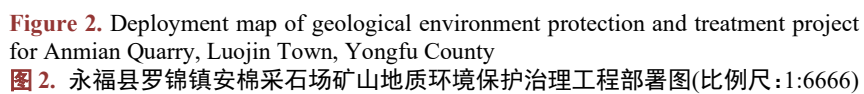
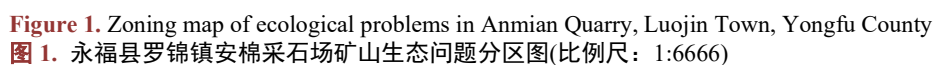
基金项目

广西隐伏金属矿产勘查重点实验室资助项目。

参考文献

- [1] 杨龙坤, 刘振宇, 王晓华, 等. 桂林漓江流域废弃矿山生态修复治理技术应用[J]. 云南地质, 2022, 41(2): 264-269.
- [2] 黄科源. 广西矿山地质环境问题综述[J]. 低碳世界, 2017(27): 269-271.
- [3] 张进德, 郝富瑞. 我国废弃矿山生态修复研究[J]. 生态学报, 2020, 40(21): 7921-7930.
- [4] 叶宗达, 贺斐, 江凡, 等. 国土空间生态修复下流域废弃矿山土地整治与产业布设研究——以桂林漓江流域为例[J]. 矿产与地质, 2021, 35(4): 781-785.

- [5] 白建宇. 高陡岩质边坡的生态修复技术[J]. 建筑技术开发, 2022, 49(12): 104-106.
- [6] 李超. 废弃露天开采矿山岩质边坡绿化技术应用与分析[J]. 上海建设科技, 2022(2): 87-89.
- [7] 王蕾. 桂林地区植生型生态混凝土的试验研究[D]: [硕士学位论文]. 桂林: 桂林理工大学, 2023.
- [8] 周航, 梁德贤, 唐久龙, 等. 桂林石灰岩矿山采损岩质边坡复绿植物的优选研究[J]. 现代矿业, 2023, 39(8): 165-170.
- [9] Xiong, D., Chen, F., Lv, K., Tan, X. and Huang, Y. (2023) The Performance and Temporal Dynamics of Vegetation Concretes Comprising Three Herbaceous Species in Soil Stabilization and Slope Protection. *Ecological Engineering*, **188**, Article ID: 106873. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106873>
- [10] Tang, W., Mohseni, E. and Wang, Z. (2018) Development of Vegetation Concrete Technology for Slope Protection and Greening. *Construction and Building Materials*, **179**, 605-613. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.207>
- [11] 曾鸿铭. 城郊矿山废弃地景观营造研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 中国美术学院, 2022.
- [12] 江凡. 桂林漓江流域生态环境现状分析及修复治理研究[J]. 资源信息与工程, 2021, 36(5): 115-117.
- [13] 罗婷, 黄甫昭, 李健星, 等. 广西漓江流域喀斯特地区植被不同恢复阶段植物优势种叶片和土壤的生态化学计量特征[J]. 植物资源与环境学报, 2024, 33(2): 80-90.
- [14] 陈娟. 市人大牢记嘱托构筑法治屏障将绿水青山写进地方法规[N]. 桂林日报, 2024-04-26(003).



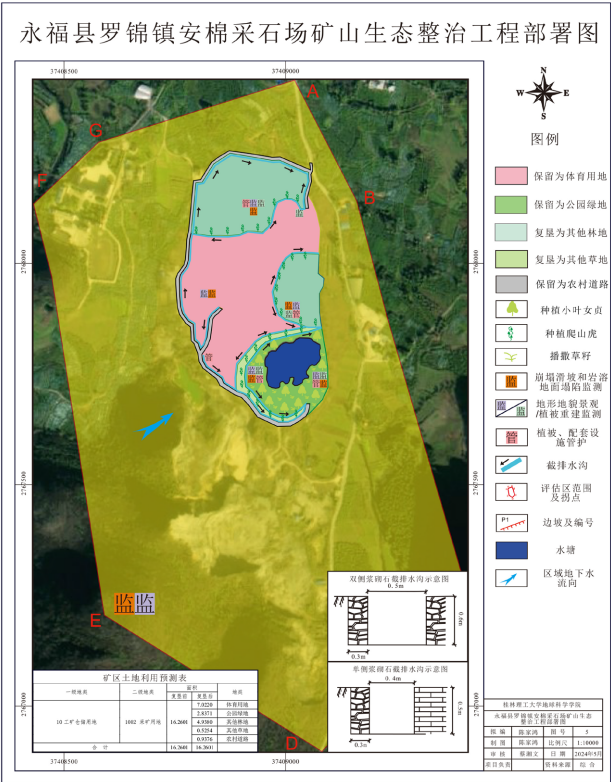


Figure 3. Planning and design map of mine ecological restoration for Anmian Quarry in Luojin Town, Yongfu County
图 3. 永福县罗锦镇安棉采石场矿山生态修复规划设计图(比例尺: 1:6666)