

# 基于生态学原理的矿山生态修复方案设计与实践

鲍忠伍 闫晓波

云南省地质工程勘察有限公司 云南昆明 650000

**摘要:** 矿产资源的规模化开采作业, 已对矿区范围内的生态系统造成显著损害, 具体体现为地貌支离破碎、植被覆盖度下降、物种丰富度降低以及土壤理化性质与水体环境质量恶化等系列问题。依托生态学相关理论开展矿区生态治理修复工作, 是达成资源开发利用与生态环境保护协同共进的关键路径, 本研究以生态系统的结构重塑与功能复原为核心导向, 全面剖析矿山生态系统的退化表征及其内在生态学作用机制, 进而提出以系统性、整体性与可持续性为核心原则的矿山生态修复方案构建思路, 结合典型矿山生态修复的实践案例展开剖析, 探究生态学原理在修复技术选型、工程落地执行以及修复成效评估等环节的应用价值, 以期为矿山生态修复相关工程的开展提供理论依据与实践指引。

**关键词:** 矿山生态修复; 生态学原理; 生态系统恢复; 生物多样性; 可持续发展

## 引言

矿山资源开发活动在助力经济社会稳步发展的过程中, 也对区域生态环境产生了长期性、深层次的影响。大规模露天采掘与地下开采行为致使地表形态损毁、植被群落消亡, 最终引发生态系统服务功能衰退, 该问题已成为现阶段生态环境整治工作的核心任务与棘手难题, 传统矿山环境治理举措往往聚焦于工程结构稳定性维系与地表景观初步复原, 未能重视生态系统的整体性特质与自我调节潜能, 最终取得的修复成效难以达到预期目标, 生态学原理的核心要义在于强调生态系统结构、功能与演变过程的协同修复, 能够为矿山生态修复工作的开展提供坚实的理论支撑, 本研究围绕生态学原理在矿山生态修复领域的具体应用开展探索, 致力于搭建科学完善的修复实施方案并提炼可推广的实践经验。

## 一、矿山生态退化特征与生态学基础

### 1. 矿山开发对生态系统结构的破坏

矿山开发作业对区域生态系统的结构产生强烈扰动, 露天采掘与表土剥离行为改变区域原有地形地貌特征, 地表连续性就此断裂, 采坑、排土场与高陡边坡等人工地貌相继形成, 生态系统空间结构的完整性随之下降, 采矿工序中表层土壤遭剥离或碾压, 土壤团粒结构受损

严重, 养分储备量大幅缩减, 保水保肥性能急剧衰退, 难以给植物生长发育提供稳定且适宜的基质环境, 原有植被被清除或掩埋, 植物群落的层级结构彻底瓦解, 乔灌草复合多层结构退化为单一植被覆盖甚至完全裸露的状态, 生境破碎化趋势持续加剧, 生态系统结构的稳定性因此呈现明显降低态势。

### 2. 矿山生态系统功能退化机理

矿山生态系统的结构受损会进一步诱发系统功能的衰退, 物质循环层面, 土壤有机质与各类养分大量流失, 氮、磷等核心营养元素的循环链条发生断裂, 生态系统的自我补给能力不断弱化, 能量流动环节因植被覆盖面积缩减而受阻, 生态系统初级生产力大幅下降, 能量在食物链各环节的传递效率降低, 系统整体功能层级趋向简化, 信息传递功能同样受到严重干扰, 生物种群间的种间关联被削弱, 物种间固有的调节机制难以正常运转, 生态系统应对外界各类干扰的响应能力显著下滑。

### 3. 生态学原理在矿山修复中的理论基础

生态学相关原理为矿山生态修复工作提供了关键的理论支撑, 生态位理论着重阐释不同物种在生态系统中占据的功能位置与作用, 可为修复过程中植物种类的科学筛选与合理搭配提供理论依据, 助力构建功能互补、协同作用的生物群落, 群落演替理论清晰揭示生态系统由简单结构向复杂结构逐步演化的客观规律, 能够指导修复工作分阶段开展植被恢复作业, 推动植物群落结构持续优化完善。

**作者简介:** 鲍忠伍, 男, 1981年9月, 云南宣威人, 本科学历, 高级工程师; 研究方向: 水工环。

## 二、基于生态学原理的矿山生态修复设计思路

### 1. 系统性修复原则与整体规划

依托生态学原理开展的矿山生态修复工作，需打破单一工程治理的传统局限，立足区域生态系统的整体视角开展统筹规划，空间维度上，将矿区纳入所属流域或生态功能区的整体框架内分析考量，重视矿区与周边自然生态系统之间的物质交换和能量流通关系，要素配置环节，全面统筹地形重塑、土壤改良、水文过程调控以及生物要素重建等多项内容，打造多要素协同发力的综合修复体系。

### 2. 自然演替与人工干预相结合的设计方法

矿山生态修复进程中，应充分尊重生态系统自身的调节与恢复潜能，科学把控自然演替与人工干预的力度和范围，针对生态破坏程度较轻、环境条件相对稳定的区域，可采取封育保护、减少人为扰动等方式，引导生态系统开展自然恢复，推动原生物种回归与植物群落的自主演替，对于土壤基质贫瘠、地形破碎严重或污染问题突出的区域，则需采取针对性人工修复措施，例如开展土壤改良、引入先锋植物、实施工程固坡等。

### 3. 生物多样性保护与生态功能重建

生物多样性是矿山生态系统功能恢复的核心支撑要素，修复设计工作需以区域本土物种资源为基础，优先选用乡土植物与抗逆性突出的功能型物种，构建具备完整层次结构与功能互补特性的生物群落，通过科学配置固氮植物、水土保持植物与景观优势物种，提升生态系统初级生产力与物质循环效率，同时引入生境多样化建设理念，打造多尺度生境单元，为动物、微生物等各类生物提供适宜栖息环境，推动矿区食物网结构逐步完善，助力矿区生态系统实现从单纯结构恢复，向功能重建与稳定发展的全面转变。

## 三、矿山生态修复关键技术及实施路径

### 1. 地形重塑与土壤生态修复技术

地形重塑是矿山生态修复的基础性环节，其核心目标是恢复地表形态的稳定性与生态适宜性，通过实施削坡减载、分级放坡与台阶式整形等工程措施，可将原有坡度超过 $45^\circ$ 的高陡边坡，调整至 $25^\circ \sim 35^\circ$ 的安全范围，大幅降低边坡滑坡与水土流失的发生风险，土地复垦过程中，重视表土剥离与回覆技术的应用，优先回用矿区原有表层土壤，留存土壤中丰富的微生物种群与种子库资源。土壤改良工作中，常采用添加有机质、客土混合以及接种微生物菌剂等技术手段，将土壤有机质含

量从不足0.5%提升至2%~3%，有效改善土壤结构与养分供给能力，为后续植被恢复工作提供稳定且优质的基质条件。

### 2. 植被恢复与生态群落构建技术

植被恢复是推动矿山生态系统结构与功能重建的关键技术路径，修复过程以乡土植物为核心，结合矿区具体立地条件，筛选耐瘠薄、抗逆性强的先锋物种，快速提升矿区地表植被覆盖度，相关研究数据显示，当植被覆盖率达到60%以上时，矿区地表径流量可减少约40%，土壤侵蚀强度呈现明显下降趋势，群落构建阶段，通过合理搭配乔木、灌木、草本等不同生活型植物，打造多层次植物群落结构，增强生态系统稳定性。

### 3. 水环境修复与生态系统协同治理

矿区水环境修复需与地形重塑、植被恢复工作同步推进，方能实现水陆生态系统的整体改善，径流控制环节，通过修建生态截水沟、沉砂池与植被缓冲带等设施，有效削减地表径流峰值，使暴雨天气下的径流削减率达到30%~50%，针对受采矿活动影响的受损水体，采用人工湿地、生物滤床等生态修复技术，可使矿区排放水体中的悬浮物与重金属浓度降低50%以上。

## 四、矿山生态修复实践案例分析

### 1. 工程概况与生态问题诊断

本次案例选取的矿山地处北方典型资源型区域，属于温带半干旱气候类型，区域年均降水量约420 mm，年蒸发量却超过1500 mm，生态环境本底条件较为脆弱，该矿区以露天开采为主要开采方式，开采历史已超过20年，累计剥离表土面积约 $1.8 \text{ km}^2$ ，形成多处大型采坑与规模化排土场，长期高强度的采矿活动，导致区域地形破碎化问题突出，矿区最大边坡高度超过80 m，局部区域边坡坡度甚至大于 $50^\circ$ 。

矿区现存生态问题主要体现为：表层土壤流失问题严重，土壤有机质含量低于0.6%，养分结构处于失衡状态；原生植被几乎完全消失，植被覆盖率不足15%；地表径流汇集现象明显，雨季大量泥沙进入沟渠，局部水体出现悬浮物与重金属含量超标情况；生境类型单一化导致野生动植物种类锐减，生态系统整体稳定性处于较低水平。

### 2. 修复方案实施过程与技术应用

针对矿区现存各类生态问题，修复工程遵循“地形稳定—基质改善—群落重建—功能提升”的技术实施路线，工程初期，重点开展边坡整治与地形重塑工作，

通过分级放坡与台阶式整形工艺，将高陡边坡坡度控制在30°左右，同步设置生态挡墙与排水设施，全面提升矿区地形结构安全性。

土壤修复阶段，对排土场与土地复垦区域实施表土回覆与改良处理，表土回覆厚度控制在30~50cm，同时向土壤中掺入有机肥与腐殖质材料，促使土壤有机质含量提升至2.5%左右。

水环境修复通过构建沉砂池、生态沟渠与人工湿地系统，减缓区域径流速度并拦截水体中污染物，实现水土保持与水质改善的协同治理目标，整个修复工程实施过程均以生态学原理为指导，着重强调修复工作的系统性与长期稳定性。

### 3. 修复效果评估与经验总结

本次修复效果评估工作从生态结构、生态功能与景观效果三个维度全面开展，工程实施5年后监测数据显示，矿区植被覆盖率由修复前的14.8%提升至68.5%，植物物种数量从不足20种增加至45种以上，初步形成结构稳定的植物群落。如表1所示。

表1 矿山生态修复前后主要指标对比

指标	修复前	修复后（5年）
植被覆盖率（%）	14.8	68.5
植物物种数（种）	18	47
土壤有机质含量（%）	0.6	2.6
年径流量减少率（%）	—	42
水土流失模数（t/km <sup>2</sup> ·a）	3200	950

评估结果证实，基于生态学原理制定的综合修复措施，在改善矿区生态结构与提升生态功能方面成效显著。

### 结语

基于生态学原理开展的矿山生态修复工作，以生态系统整体恢复为核心目标，通过科学诊断矿区生态退化特征，系统整合地形重塑、土壤修复、植被恢复与水环境治理等关键技术手段，实现矿区生态结构与功能的协同重建，实践案例研究结果表明，遵循生态学理论指导的修复方案，能够显著提升矿区植被覆盖率、生物多样性水平与生态系统稳定性，有效改善区域生态环境质量，同时需明确，矿山生态修复具备长期性与复杂性的显著特征，工程实施完成后仍需持续开展生态监测与养护管理工作。

### 参考文献

- [1] 夏冰, 张影, 李玲, 等. 矿山生态保护修复治理技术探析[J]. 中国金属通报, 2022, (12): 213-215.
- [2] 马跃. 废弃矿山资源化生态修复模式构建与效益评价[D]. 大连理工大学, 2021. DOI: 10.26991/d.cnki.gdllu.2021.003816.
- [3] 钱一武. 北京市门头沟区生态修复综合效益价值评估研究[D]. 北京林业大学, 2011.
- [4] 张程, 陈斌, 朱师欢, 等. 废弃矿山生态修复治理的碳汇估算与比较[J]. 能源研究与管理, 2024, 16(02): 1-6. DOI: 10.16056/j.2096-7705.2024.02.001.