

Discussion on the Technology of Mine Geological Environment Restoration and Ecological Reconstruction

Fang Wu

Xinjiang Geological Engineering Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract

Mine geological environment restoration and ecological reconstruction technology are crucial measures to address the environmental degradation caused by mining activities. This paper explores the dual values mine ecological restoration: restoring ecosystem functions and improving the quality of the living environment. Ecological restoration not only rebuilds species diversity and ecological network structure but also restores the ability of and soil conservation, climate regulation, and carbon sinks. The paper analyzes three major application difficulties: the technical matching challenges brought by the complexity of geological conditions, the contradiction the reconstruction cycle of the ecosystem and the engineering period, and the lag in the integration and standardization of technology. In response to these difficulties, the paper proposes a differentiated technical strategy, the application of rapid and stable ecological restoration technology, and the establishment of a unified technical standard and evaluation system as solutions.

Keywords

mine; geological environment restoration; ecological reconstruction technology

矿山地质环境修复与生态重建技术探讨

吴芳

新疆地质工程有限公司, 中国·新疆 乌鲁木齐 830000

摘要

矿山地质环境修复与生态重建技术是应对采矿活动造成的环境退化的关键措施。本文探讨了矿山生态修复的双重价值: 生态系统功能恢复与人居环境质量提升。生态修复不仅重建物种多样性与生态网络结构, 还恢复水土保持能力、气候调节与碳汇功能。文章分析了三大应用难点: 地质条件复杂性带来的技术适配挑战、生态系统重建周期与工程期限的矛盾、技术集成创新与标准化建设滞后。针对这些难点, 文章提出差异化技术选型策略、快速稳定型生态修复技术应用以及建立统一技术标准与评估体系等解决路径。

关键词

矿山; 地质环境修复; 生态重建技术

1 引言

矿产资源开发为人类文明进步提供了物质基础, 却在全球范围内留下深刻的生态创伤。废弃矿区常见裸露的岩层、塌陷的地表、酸性矿山废水以及被重金属污染的土壤, 形成区域生态安全的严重隐患。中国作为矿产资源开发大国, 历史遗留与当代形成的矿山地质环境问题交织叠加, 对国土空间安全与生态文明建设构成挑战。矿山地质环境修复与生态重建已成为生态环境治理领域的重要课题。国际经验表明, 矿区生态修复涉及地质工程、土壤科学、生态学等多学科知识融合, 技术体系日益完善。从早期的简单复垦绿化到当代的生态系统功能重建, 修复理念经历了从表层美化向

深层次生态恢复的转变。各国逐步形成了适应本国地质条件与生态特征的技术体系, 展现出丰富的理论与实践价值。

2 矿山地质环境修复与生态重建技术探讨价值

2.1 生态系统功能恢复

矿山生态修复工作着眼于生态系统整体功能的重建与优化, 超越表面绿化层面, 深入生态网络内部结构重塑。修复后的矿山区域逐步恢复水土保持能力, 形成稳定的生物栖息环境, 促成区域小气候调节与碳汇功能的建立。生态系统内各组间物质循环与能量流动的恢复标志着修复工作的深层次成效, 表现为生物群落结构完善、物种多样性提升、生态位分布合理等核心指标的改善。关键生态过程如授粉作用、种子传播、土壤形成等基础生态功能在修复区域内重现活力, 为区域生态系统韧性提供根本保障。生态系统修复成效取决于其自我维持与演替能力的建立, 使修复区域最终融

【作者简介】吴芳(1993-), 女, 中国湖南醴陵人, 本科, 工程师, 从事水工环地质研究。

入周边自然生态系统,形成和谐统一的景观生态格局,实现区域生物多样性保护与生态安全屏障构建的双重价值^[1]。

2.2 人居环境质量提升

对区域人居环境质量而言,矿山地质环境修复对其提升具有深远影响,修复工程将废弃矿区转变为宜居空间,消除环境安全隐患,改善区域生态基底条件。空气质量呈现显著改善,扬尘污染源得到有效控制,裸露的矿体表面转变为绿色植被覆盖区域,增强了空气湿度调节效果。地表水体系统得到整体修复,消除了酸性矿山废水等污染源,水质状况向良性方向转变,满足人居环境用水安全需求。声环境质量提升表现为矿山噪声源消除,自然声景观逐渐形成。修复后的矿山区域景观价值显著增长,由原本的视觉污染源转变为具有审美价值的自然或文化景观,为周边居民提供休闲游憩空间。矿区土壤环境改良工作直接影响农产品质量安全,为居民健康提供基础保障,实现生态环境与人居环境的良性互动^[2]。

3 矿山地质环境修复与生态重建技术应用难点

3.1 地质条件复杂性引发的技术适配难题

矿山地质环境结构差异性显著,构造类型多变且岩性分布极不均匀,使修复技术适配面临巨大挑战。地质条件差异导致同一技术在不同矿区应用效果存在明显波动,难以建立普适性技术方案。地下水系统分布、岩土稳定性、地形坡度及构造应力状态等关键地质参数,往往相互影响形成复杂耦合关系,超出现有技术预设范围。边坡失稳风险评估、土壤重构设计、水文条件调控等技术环节需针对具体地质背景量身定制,无法简单复制成功经验。区域地质背景差异性限制了修复技术的标准化推广,迫使设计师反复调整技术参数以适应特定地质条件。地质异常区域如断裂带、岩溶发育区、采空区等特殊区域的修复技术研发滞后,成为修复过程中的技术盲点。地质变化的动态性与修复技术静态设计间的矛盾,要求修复技术具备更强的适应性与弹性,以应对地质条件的时空变化特征^[3]。

3.2 生态系统脆弱性导致的重建周期困境

矿区生态系统恢复存在显著的时空尺度制约,生物群落演替规律决定了生态重建必须经历漫长周期。退化生态系统往往失去自我修复能力,关键生态要素缺失导致次生演替停滞,形成生态真空区域。土壤微生物群落构建、植物群落结构形成、生物多样性恢复等核心生态过程均需经历自然演替周期,难以人为加速。生态系统稳定性建立依赖各生态因子间复杂互动网络形成,这种网络构建速率受限于生物自身生长繁殖特性。矿区特殊环境胁迫如重金属污染、极端pH值、水分匮乏等,进一步延缓了生态重建进程。植被覆盖可能在短期内实现景观恢复,而生态功能重建却需经历数十年甚至更长时间。生态承载力恢复与稳定性建立之间存在明显时滞效应,重建初期生态系统对外界干扰极为敏感,轻微扰动可

能导致恢复进程崩溃。生态重建周期长度与工程实施期限、经济效益预期期间的矛盾,制约了生态修复工程实施深度^[4]。

3.3 技术集成创新与标准化建设滞后

当前矿山生态修复领域面临多学科技术壁垒,地质工程、水文工程、土壤修复与植被重建等技术体系相对独立发展,缺乏有效集成平台。单一技术难以应对矿区环境综合性污染与多元化生态问题,而技术集成融合度不足导致修复效果大打折扣。跨学科知识体系衔接存在认知鸿沟,专业术语与技术标准差异阻碍了多领域专家深度合作。创新性修复技术从实验室研发到工程化应用缺乏完整转化路径,导致大量先进技术停留在理论阶段。现行标准体系未能充分考虑矿区生态修复的复杂性与多样性,刚性技术规范限制了因地制宜的修复方案设计空间。矿山修复工程质量评价标准体系不完善,难以全面客观评估修复效果,特别是生态系统功能恢复程度评价尚缺乏科学量化指标。区域特色修复技术难以纳入统一标准框架,造成成熟经验难以推广普及。技术创新与标准更新周期错配,新技术应用缺乏标准规范支撑,限制了新技术在工程实践中的规模化应用。技术集成创新与标准化建设互为因果,形成发展瓶颈^[5]。

4 矿山地质环境修复与生态重建技术应用策略

4.1 精准地质勘测与差异化技术选型

精准地质勘测是矿山生态修复的基础环节,它对于后续修复技术的选择和实施路径具有决定性意义。地质勘测的精准性主要体现在对矿区地质结构、水文条件、土壤质量等关键因素的全面评估上。差异化技术选型则是基于精准勘测结果,针对不同矿山地质环境特点,选择适宜的修复技术和方案。这种差异化策略摒弃了“一刀切”的传统思维,强调修复技术与具体矿区条件的匹配性,在资源优化配置的同时,确保修复效果的最大化。矿山地质环境的复杂多变性决定了修复技术的多样化需求,从土壤改良、边坡治理到植被恢复,每一环节都需要基于精准勘测数据进行技术筛选和方案调整。

为了进一步提升矿山地质环境修复与生态重建的效果,有关部门可以构建区域性矿山地质环境数据库,融合遥感监测、地面调查与钻探取样等多维度信息,为精准勘测提供数据支撑。某省矿产资源丰富地区曾采用此策略,在修复废弃铁矿时,根据地质勘测发现该矿区土壤酸化严重且存在重金属污染,随即采用石灰中和与植物修复相结合的差异化技术,与周边采用单一覆土绿化的矿山相比,修复效率提高约30%,生态系统稳定性显著增强。南方某喀斯特地貌采石场修复项目中,设计师基于精准勘测识别出区域内的溶洞分布与地下水系特征,采用“微地貌重塑+乡土植物群落构建”的技术组合,成功创造出与周边自然景观高度融合的生态系统,证明了精准勘测与差异化技术选型对修复质量的关键作用。

4.2 快速稳定型生态修复技术应用

快速稳定型生态修复技术致力于在较短时间内实现矿山生态功能的恢复并维持长期稳定。此类技术特点在于整合生物修复与工程措施，加速生态系统自我修复能力的形成。生物修复侧重选择适应性强、抗逆性高的先锋植物，建立初级植被覆盖；工程措施则侧重地形重塑、水土保持结构建设等物理环境改善。两者结合形成“工程—生物”复合修复体系，能够快速构建生态系统框架，同时保证其长期稳定性。快速稳定型技术的核心优势在于缩短了矿山从破坏到恢复的时间窗口，减少了裸露地表可能引发的二次污染与地质灾害风险，提高了修复投资的经济回报周期。

为了进一步提升矿山地质环境修复与生态重建的效果，有关部门可以推广植被快速恢复与生态系统稳定性兼顾的技术模式。西北某大型露天煤矿采用干旱区“微地形营造+乡土灌草结合”技术，在干旱半干旱地区创新性地设计了集雨槽系统与耐旱植物群落配置方案，使植被覆盖率在修复后第二年即达到65%，远高于传统技术20%~30%的覆盖水平。

华东地区的一处废弃矿坑应用了“三维生态网格+生物基质”快速修复技术，该技术在陡峭边坡构建了三维支撑结构，填充特制生物基质，种植攀援植物与草本植物混合群落，成功解决了传统技术难以应对的高陡边坡修复难题，边坡稳定性显著提高，雨季冲刷损失率降低至常规修复方法的五分之一。

4.3 建立统一技术标准与评估体系

统一技术标准与评估体系是规范矿山地质环境修复的制度保障，其核心价值在于提供科学、可操作的技术规范与评价方法。完善的标准体系应覆盖修复全过程，包括前期勘测、设计规划、施工实施及后期监测评估等各环节。标准制定需兼顾科学性与实用性，既要体现生态修复的先进理念与技术要求，又要考虑不同地区、不同类型矿山的实际情况，避免僵化执行。评估体系则应基于生态系统完整性与功能恢复度，设置多维度、可量化的评价指标，定期进行动态监测与效果评估，为持续改进修复技术与管理措施提供依据。



图1 矿山地质环境修复技术标准与评估体系

5 结语

矿山地质环境修复与生态重建是修复人类活动创伤、重塑地球生命脉络的系统工程。本文探讨的修复技术价值、应用难点与技术策略揭示了这一领域的复杂性与挑战性。实践表明，成功的矿山生态修复需要尊重自然规律，基于对地质环境与生态系统的科学认知，因地制宜选择适宜技术路径。矿山生态修复超越了单纯的环境治理范畴，融入区域生态安全与人居环境改善的宏观框架。未来矿山修复技术将向智能化、精准化、集成化方向发展，地质环境精准感知、生态过程动态模拟、修复效果智能评估等新技术将为修复工作提供有力支撑。

参考文献

- [1] 张济德. 武威市凉州区废弃矿山地质环境问题及修复治理探讨[J]. 四川有色金属, 2025(01): 52-55+71.
- [2] 张呈彬, 杨欢, 王艺龙, 等. 基于高分辨率遥感数据的矿山环境监测[J/OL]. 绿色矿冶, 1-13[2025-05-23].
- [3] 刘一粟, 李晓晖, 曹运江. 利用GIS方法评价新泰地区矿山地质环境及生态修复效果[J]. 科技和产业, 2025, 25(05): 130-134.
- [4] 李海学, 杨柳, 范基姣. 矿山地质环境生态修复治理技术: 助力实现“一泓清水入黄河”[N]. 中国自然资源报, 2025-02-24(007).
- [5] 牟文波. 金属矿山地质环境保护与恢复技术研究[J]. 中国金属通报, 2025(02): 228-230.