

# 矿山环境治理与土地复垦技术探讨

肖道恺

河南省地质局生态环境地质服务中心，河南 郑州 450000

DOI:10.61369/ERA.2026040031

**摘 要：** 矿产资源的开发在促进经济发展的同时，也对生态环境造成了严重破坏。本文旨在探讨矿山环境治理与土地复垦的关键技术，以促进矿区的生态恢复与可持续发展。文章系统分析了露天矿山、地下矿山及环境污染的主要类型与特征，指出露天矿山以地表剥离和水土流失为主，地下矿山则以地面沉陷和隐蔽性灾害为重，且三者均面临严峻的土壤、水体与大气污染问题。在此基础上，重点阐述了矿山地质环境治理的关键技术，包括地形整治与地貌重塑、边坡加固与地质灾害防护以及废水土壤修复技术。进而从土地复垦利用方向规划、植被恢复与植物群落构建、景观生态再造三个方面，详细论述了土地复垦与生态重建的实施路径。研究强调，应因地制宜地采用综合技术手段，实现矿山生态环境的有效治理与土地资源的可持续利用。

**关 键 词：** 矿山环境治理；土地复垦；生态重建；地质灾害防护

## Exploration of Technologies for Mine Environmental Management and Land Reclamation

Xiao Daokai

Ecological Environment Geological Service Center, Henan Provincial Geological Bureau, Zhengzhou, Henan 450000

**Abstract：** While the development of mineral resources promotes economic growth, it also inflicts severe damage on the ecological environment. This paper aims to explore key technologies for mine environmental management and land reclamation to facilitate ecological restoration and sustainable development in mining areas. The article systematically analyzes the main types and characteristics of open-pit mines, underground mines, and environmental pollution, highlighting that open-pit mines primarily suffer from surface stripping and soil erosion, while underground mines are more affected by ground subsidence and concealed disasters. Both types of mines face severe issues related to soil, water, and air pollution. Building on this analysis, the paper focuses on key technologies for mine geological environmental management, including terrain remediation and landscape reshaping, slope reinforcement and geological disaster prevention, as well as wastewater and soil remediation techniques. Furthermore, it elaborates on the implementation pathways for land reclamation and ecological reconstruction from three perspectives: planning for land reclamation and utilization directions, vegetation restoration and plant community construction, and landscape ecological regeneration. The study emphasizes the importance of adopting comprehensive technical measures tailored to local conditions to achieve effective mine ecological environmental management and sustainable utilization of land resources.

**Keywords：** mine environmental management; land reclamation; ecological reconstruction; geological disaster prevention

### 引言

矿产资源作为人类社会生存与发展的物质基础，在推动工业化进程和经济增长方面发挥着不可替代的作用。然而长期以来，由于对矿产资源的高强度开采以及重开采、轻治理的传统开发模式，矿山生态环境遭到了严重破坏。大规模的挖掘、堆弃不仅损毁了大量土地资源，破坏了原有的地形地貌景观，还引发了地面沉陷、滑坡、泥石流等一系列地质灾害，同时产生的废水、废气和固体废弃物严重污染了土壤、水体和大气，导致区域生态系统退化，直接威胁到周边居民的身体健康和生命财产安全，制约着经济社会的可持续发展。本文将从矿山环境问题的类型与特征入手，系统探讨矿山地质环境治理的关键技术，并深入分析土地复垦与生态重建的技术路径，以期为同类矿山的生态修复工作提供理论依据与技术参考，推动矿山开发与生态保护协调发展。

## 一、矿山环境问题类型与特征分析

### （一）露天矿山环境特征

在矿产资源的勘查开发过程中，势必对生态环境造成一定的扰动，尤其是在开采过程中，矿山及周边的地形地貌景观、土壤植被、土地资源、水资源等会遭到不同程度的影响和破坏，甚至改变一定区域内的微生态环境，影响经济社会的可持续发展。因此，矿山在生产的过程中有必要对损毁的区域进行环境恢复治理和土地复垦<sup>[1]</sup>。露天矿山开采以地表剥离、矿石露天开采为主要方式，其环境问题具有直观性强、影响范围广、治理难度适中的特征。首先，地表植被与土层被大面积剥离，导致地表裸露，土壤侵蚀加剧，水土流失现象突出，尤其在降雨集中区域，易引发泥石流、滑坡等次生地质灾害<sup>[2]</sup>。其次，露天采场形成大面积的采空坑、排土场，破坏原有地表地貌，导致区域地形破碎，土地利用功能丧失，且排土场堆置的岩土体易发生风化、扬尘，污染周边环境<sup>3</sup>。此外，露天开采过程中产生的废水（如冲洗废水、降雨淋溶废水）若未经处理直接排放，会携带岩土中的重金属离子、有害物质，污染周边地表水与地下水，影响周边居民饮用水安全与农业生产。同时，露天开采作业产生的噪声、振动也会对周边生态环境与居民生活造成一定影响。

### （二）地下矿山环境特征

地下矿山开采以地下掘进、巷道开采为主要方式，其环境问题具有隐蔽性强、治理难度大、次生灾害风险高的特征<sup>[4]</sup>。核心问题之一是地面沉陷，地下采空区在岩土体自重、地下水渗透等作用力下，易发生顶板垮落，导致地表下沉、开裂，破坏地表建筑、耕地与基础设施，甚至引发人员伤亡与财产损失，且地面沉陷一旦形成，治理周期长、成本高<sup>[5]</sup>。其次，地下矿山巷道内易产生瓦斯积聚、粉尘污染，不仅威胁采矿人员的人身安全，还会污染地下环境与地表大气。此外，地下开采过程中会扰动地下水系统，导致地下水位下降、水资源枯竭，甚至引发地面塌陷、泉水断流等问题，影响区域水资源平衡；巷道排水过程中，废水携带的重金属、硫化物等有害物质，也会造成水体污染。同时，地下矿山废弃后，巷道易发生坍塌、积水，形成隐蔽的安全隐患，且地下采空区的存在会持续影响地表稳定性，给后续环境治理与土地复垦带来较大难度。

### （三）矿山环境污染特征

矿山环境污染主要涵盖土壤、水体、大气三大类型，呈现污染范围广、浓度高、迁移性强、治理难度大的特点<sup>[6]</sup>。土壤污染源自固废淋溶、废水渗透与扬尘沉降，以重金属、硫化物等为主要污染物，隐蔽且易累积，修复周期长、成本高，会破坏土壤功能并经食物链威胁人体健康。水体污染分地表水与地下水污染，由开采废水、固废淋溶水等引发，污染物导致水质恶化、水生态受损，地下水污染更难治理<sup>[7]</sup>。大气污染来自开采、固废堆置扬尘及有害气体排放，含颗粒物、硫化物等，会危害人体健康、引发酸雨。此外，部分矿山还存在放射性污染风险，处置不当会造成长期危害。

## 二、矿山地质环境治理关键技术

### （一）地形整治与地貌重塑技术

地形整治与地貌重塑是矿山地质环境治理的基础技术，核心目标是恢复矿山区域原有地形地貌轮廓，消除地质灾害隐患，为后续土地复垦与生态恢复创造条件，其技术应用需结合矿山类型、地形条件、治理目标因地制宜开展<sup>[8]</sup>。对于露天矿山，地形整治主要针对采空坑、排土场开展：采空坑整治可采用回填、平整、覆土等方式，回填材料优先选用矿山废弃岩土体、建筑垃圾等，减少资源浪费，回填后进行平整压实，确保地表稳定性；排土场整治需优化堆置方式，采用分层堆置、分层压实技术，减少岩土体风化流失，同时对排土场边坡进行修整，降低滑坡、泥石流风险，后期结合土地复垦需求，进行覆土改良。对于地下矿山，地形整治主要针对地面沉陷区域开展，轻度沉陷区域可采用平整、覆土、碾压技术，恢复土地利用功能；中度沉陷区域可采用充填法（如粉煤灰充填、岩土体充填），填充地下采空区，遏制地表持续沉陷，再进行地表平整；重度沉陷区域若无法恢复为耕地，可改造为林地、草地、水域等，实现土地资源的合理利用。此外，地貌重塑过程中，需注重与周边自然地貌的协调性，保留原有自然景观元素，提升区域生态美观度。

### （二）边坡加固与地质灾害防护技术

矿山边坡（露天采场、排土场、地下矿山地表边坡）是地质灾害高发区，其加固与防护核心是提升边坡稳定性，消除滑坡、泥石流等隐患。常用技术分为主动加固与被动防护两大类<sup>[9]</sup>。主动加固技术，锚杆（索）加固植入岩土体形成整体，适用于各类不稳定边坡；喷混凝土形成防护层，防岩土体风化，适用于松散易风化边坡；抗滑桩设于滑动面下方，适用于滑坡风险高、滑动面明确的边坡；植被护坡利用植物根系固土，兼具生态与景观功能，适用于坡度较缓、稳定性较好的边坡。被动防护技术，边坡挡土墙设于坡底挡土，适用于陡坡、松散岩土边坡；截排水系统（截水沟、排水沟等）排出雨雪渗水，是防护基础；防滑网拦截剥落岩土，适用于高陡及易剥落边坡。此外，地下矿山需结合采空区充填技术，从根源遏制边坡变形。

### （三）矿山废水与土壤修复技术

矿山废水与土壤修复的核心是去除有害物质、恢复其使用功能，降低对生态和人体健康的危害，需结合污染情况采用针对性工艺<sup>[10]</sup>。矿山废水修复常用物理、化学、生物三种方法，物理法（沉淀、过滤等）适用于悬浮物多的废水；化学法（中和、混凝等）适用于高浓度、高毒性废水，可去除重金属等；生物法（微生物降解等）环保高效，适用于低浓度可生物降解废水，也可用于深度处理。处理后需达标，优先循环利用。矿山土壤修复常用物理、化学、生物、联合四种方法，物理法（客土置换等）可快速改善土壤，适用于重污染且周期短的区域；化学法（淋洗、固化等）适用于中重度重金属污染土壤，操作简便、成本较低；生物法（植物、微生物修复等）环保低成本，适用于轻污染土壤，兼具生态功能；联合修复法结合多种技术，适用于复杂重污染土壤。修复后需检测达标，满足土地复垦及后续利用需求。

### 三、土地复垦与生态重建技术

#### （一）土地复垦利用方向规划

土地复垦利用方向规划是矿山土地复垦的前提，核心是结合矿山区域的地形条件、土壤质量、生态环境需求、区域发展规划，科学确定复垦土地的利用类型，实现土地资源的合理利用与生态效益、经济效益、社会效益的协同发展。复垦利用方向需坚持“因地制宜、分类施策、优先生态、兼顾效益”的原则，避免盲目复垦、低效利用。常用的土地复垦利用方向主要包括农业复垦、林业复垦、牧业复垦、生态景观复垦、建设用地复垦五大类。农业复垦适用于土壤好、地形平、水源足区域，改造为耕地和园地恢复农业生产；林业复垦适用于土壤差、坡度陡、水土流失严重区域，种植乔灌木构建林地，兼顾生态与林业效益；牧业复垦适用于土壤中等、地形开阔区域，种植牧草发展畜牧业；生态景观复垦适用于靠近城市、景区或生态敏感区，构建景观设施兼顾生态与社会效益；建设用地复垦适用于地形平、交通便、近城镇区域，改造为各类建设用地满足城镇化需求。规划需通过现场勘察，结合区域规划与群众需求，制定科学方案，明确复垦关键内容，保障土地可持续利用。

#### （二）植被恢复与植物群落构建

植被恢复作为矿山土地复垦与生态重建的核心环节，以重建植被覆盖、构建结构稳定的植物群落为首要目标，进而实现生态环境改善、土壤肥力提升、水土流失防控及生态系统功能的全面修复。在实施过程中，需严格遵循适地适树适草、物种多样性与生态系统稳定性三大基本原则，紧密结合矿区土壤本底、气候特征及水文条件开展科学布局。植物筛选是植被恢复成效的关键控制点，应优先选用耐旱耐贫瘠、根系发达、环境适应性强的乡土物种，在保障栽植成活率的同时，维系区域生物多样性；外来优良种质可适度引种，但必须开展严格的生态风险评估与管控，严防生物入侵风险。群落配置层面，宜构建乔木、灌木、草本多层复合结构，依据物种生长习性与生命周期进行合理搭配，增强群落整体稳定性与抗干扰能力。工程实施需同步配套土壤修复改良

技术措施，完善配套灌溉保障体系，并强化后期抚育管护工作；在此基础上，可围绕整体生态修复目标，同步营造野生动物适宜栖息地，推动矿区生态系统结构与功能的整体性恢复。

#### （三）景观生态再造技术

景观生态再造是矿山土地复垦与生态重建的高级阶段，核心是在恢复生态功能基础上，结合区域特色重塑景观格局，打造兼具多重功能的生态景观，实现区域生态化、景观化转型，其技术需结合矿山实际条件与区域规划，遵循“生态优先、因地制宜、以人为本、凸显特色”原则，保留矿山原有景观元素，实现自然与人文融合，主要包括地形、水域、植被、人文四大类景观再造技术，其中地形景观再造通过地形整治与地貌重塑，对采空坑、排土场、边坡等进行景观化改造并兼顾与周边地形的协调性，水域景观再造针对矿山相关水体，通过整形、净化及水生植物种植构建水域景观，兼顾水质维护与群众休闲需求，植被景观再造作为核心技术，通过合理搭配植物品种构建多样化植被景观并配套相关观赏设施，人文景观再造则结合矿山历史文化与采矿遗迹，打造人文景观以传承文化、开展科普、凸显区域特色；此外，还需加强景观管护，完善配套设施，实现生态、社会、经济效益协同发展。

### 四、结束语

矿山环境治理与土地复垦是一项系统性、长期性的生态工程，是实现矿业绿色可持续发展的关键环节。本文通过分析不同类型矿山环境问题的特征，探讨了从地形整治、边坡防护到水土修复的综合治理技术，并阐述了土地复垦规划、植被恢复及景观再造的生态重建路径。研究表明，单一的治理手段难以解决复杂的矿山环境问题，必须坚持因地制宜、源头控制、综合整治的原则，将工程措施与生物措施有机结合，统筹兼顾地质灾害防治、环境污染防治与土地功能恢复。随着国家对生态文明建设要求的不断提高，矿山环境治理应向更加科学化、精细化和生态化的方向发展。

### 参考文献

- [1] 冯梦丹. 葫芦岛八家铅锌矿矿山环境恢复治理与土地复垦实例 [J]. 有色矿冶, 2024, 40(3): 55-57. DOI: 10.3969/j.issn.1007-967X.2024.03.013.
- [2] 陈建国, 李志萌. 稀土矿矿山环境治理与土地复垦——以赣南“龙南模式”为例 [C]// 中国环境科学学会2010年学术年会论文集. 2010: 3928-3932.
- [3] 周亚楠, 张天恩. 矿山地质环境治理与土地复垦可行性研究 [J]. 能源与环保, 2023, 45(1): 58-64, 71. DOI: 10.19389/j.cnki.1003-0506.2023.01.010.
- [4] 韩琳琳, 张华, 范旭光, 等. 矿山地质环境治理与土地复垦工程设计研究 [J]. 能源与环保, 2021, 43(4): 30-36. DOI: 10.19389/j.cnki.1003-0506.2021.04.005.
- [5] 翟向华. 矿山生态环境恢复治理和土地复垦研究 [J]. 中国金属通报, 2022(19): 216-218. DOI: 10.3969/j.issn.1672-1667.2022.19.072.
- [6] 彭超群, 桂宇涛. 矿山地质环境恢复治理与土地复垦方案——露天开采矿山方案编制、实施过程中存在问题探讨 [J]. 世界有色金属, 2023(20): 202-204. DOI: 10.3969/j.issn.1002-5065.2023.20.063.
- [7] 田安家, 杜琴瑶, 刘格升, 等. 矿山地质环境治理与土地复垦可行性分析 [J]. 能源与环保, 2021, 43(4): 1-7, 14. DOI: 10.19389/j.cnki.1003-0506.2021.04.001.
- [8] 杨见龙. 浅谈矿山生态环境恢复治理和土地复垦 [J]. 城市建设, 2013(8).
- [9] 马先峰. 矿山生态环境恢复治理和土地复垦分析 [J]. 华北自然资源, 2021(3): 98-99.
- [10] 叶小兵, 吴君平. 论金属矿山中矿山地质环境保护与土地复垦治理方法 [J]. 世界有色金属, 2018(22): 154-155. DOI: 10.3969/j.issn.1002-5065.2018.22.095.