

# 矿山生态环境修复治理研究

戈 洋

中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司 陕西 西安 710100

**摘要:** 矿山生态环境修复治理对生态保护意义重大。本文先阐述核心修复对象,涵盖植被、土壤、水体及地形地貌修复要点;接着介绍物理、化学、生物及复合修复等关键技术;随后说明实施流程,包括前期准备、施工环节及后期管护;然后探讨技术优化方向,涉及现有技术改进、新型技术研发、技术集成创新及低成本高效能技术探索。通过系统研究,为矿山生态环境修复治理提供全面的理论与技术支持。

**关键词:** 矿山生态环境;修复治理;关键技术;实施流程;技术优化

引言: 矿山开采在推动经济发展的同时,给生态环境带来严重破坏,引发一系列生态问题,威胁区域生态安全与可持续发展。矿山生态环境修复治理成为亟待解决的关键问题。当前,矿山生态环境修复治理面临诸多挑战,如修复对象复杂多样、技术适用性有限、实施流程缺乏系统规范等。深入研究矿山生态环境修复治理,明确核心修复对象,掌握关键技术,规范实施流程,探索技术优化方向,对改善矿山生态环境、实现生态与经济协调发展具有重要的现实意义。

## 1 矿山生态环境修复治理的核心修复对象

### 1.1 矿山植被修复

矿山植被修复需兼顾生态功能恢复与景观重建需求。在修复植被筛选环节,应优先选择适应性强、根系发达的乡土物种,这类物种对矿区恶劣环境具有天然抗性,可有效提升植被存活率<sup>[1]</sup>。针对不同污染类型矿区,需定向筛选具有重金属富集能力或耐酸碱特性的植物,通过植物吸收、固定作用降低土壤污染物活性。植被搭配需遵循生态位互补原则,将深根植物与浅根植物、速生植物与慢生植物合理组合,构建多层次植被群落结构。种植技术方面,可采用客土喷播、植生袋、液压喷播等工艺,根据矿区地形特点选择适宜方法。培育阶段需重点解决水分胁迫问题,通过覆盖保水材料、设置滴灌系统等措施维持土壤湿度。养护管理应建立长期监测机制,定期清理竞争性杂草,补充缺失植株,适时进行枝条修剪与病虫害防治,确保植被群落稳定发展。

### 1.2 矿山土壤修复

土壤改良需从物理结构与化学性质双重维度入手。物理改良通过添加有机物料、矿物基质等改良剂,改善土壤团粒结构,增强孔隙度与透气性。化学改良针对酸化或盐渍化土壤,采用石灰石粉、硫磺粉等调节pH值,恢复土壤化学平衡。污染物去除需根据重金属种类选择

适宜方法,化学稳定化技术通过添加磷酸盐、生物炭等钝化剂,将重金属转化为难溶态;电动修复利用电场作用驱动重金属离子迁移,实现土壤深度净化。土壤结构重构需模拟自然土壤剖面特征,分层构建基质层、过渡层与表土层,每层采用不同粒径级配材料,确保土壤水肥保持能力与根系穿透性。

### 1.3 矿山水体修复

地表水体净化需构建多级处理系统。前置沉淀区通过重力沉降去除大颗粒悬浮物,人工湿地利用水生植物根系吸附与微生物降解作用,进一步去除氮磷等营养盐。地下水修复需根据污染羽分布特征设计修复方案,可渗透反应墙技术通过填充零价铁、活性炭等介质,在地下水流动路径中截留污染物。水体生态系统重构需重建食物链基础,先引入底栖动物改善底质环境,再投放滤食性鱼类控制藻类生长,最终形成稳定的水生生物群落。

### 1.4 矿山地形地貌修复

边坡修整需遵循地质力学原理,对不稳定岩体进行锚固或削坡处理,在坡面构建排水系统防止雨水冲刷。采空区填充采用高强度注浆材料或建筑垃圾再生骨料,通过压力灌注技术实现密实填充,消除地面塌陷隐患。地貌形态恢复需结合矿区原始地形特征,采用地形重塑技术塑造自然缓坡,通过植被覆盖与微地形改造,重建具有生态服务功能的地表形态。

## 2 矿山生态环境修复治理的关键技术

### 2.1 物理修复技术

场地平整与重构技术需结合矿区原始地形特征与生态功能定位,采用分层剥离与精准回填工艺,对采矿形成的陡坎、沟壑等复杂地形进行系统性重塑<sup>[2]</sup>。通过三维激光扫描与数字高程模型构建技术,获取高精度地形数据,指导机械作业实现毫米级精度控制,确保重构后的地表坡度满足水土保持与植被恢复需求。机械固坡技

术针对不稳定边坡,运用预应力锚索框架梁、抗滑桩等结构体系增强岩体整体稳定性,防护网铺设需兼顾工程强度与生态兼容性,采用可降解材料或预留植物生长孔隙,为后续生态修复创造条件。物理吸附与分离技术通过多孔介质材料的表面吸附作用实现污染物迁移控制,活性炭纤维对挥发性有机物具有优异吸附性能,磁分离技术可高效去除重金属离子,处理后的水质可满足工业回用或生态补水要求。

### 2.2 化学修复技术

化学改良剂应用需根据土壤污染类型与理化性质精准配比,石灰石粉通过中和反应提升酸性土壤pH值,针对重金属污染土壤,可选用磷酸盐类物质,这类物质能与土壤中的重金属离子结合形成难溶态磷酸盐沉淀,进而有效降低重金属的生物有效性。污染物化学降解技术采用高级氧化工艺,芬顿试剂在酸性条件下产生的羟基自由基具有强氧化性,可破坏有机污染物分子结构中的共价键,实现污染物彻底矿化。化学稳定化处理通过添加生物炭、羟基磷灰石等钝化材料,改变重金属在土壤中的存在形态,将其转化为热力学稳定态,显著降低重金属在环境中的迁移性与生物可利用性,处理后的土壤可满足农用地安全利用或生态修复标准。

### 2.3 生物修复技术

微生物修复技术依托功能菌株的代谢特性,硫酸盐还原菌在厌氧条件下可将重金属转化为硫化物沉淀,根际促生菌通过分泌铁载体、有机酸等物质增强植物对重金属的吸收转运能力。植物-微生物联合修复体系构建需考虑物种间协同作用,超积累植物与产酸菌组合可提升重金属提取效率,耐重金属植物与根际固氮菌搭配能改善土壤肥力,促进植被自然恢复。动物辅助修复技术利用蚯蚓等土壤动物改善土壤结构,蚯蚓活动可增加土壤孔隙度,促进空气与水分渗透,其肠道微生物群落对有机污染物具有降解作用,可加速土壤生态功能恢复。

### 2.4 复合修复技术

物理-化学复合修复模式整合两种技术优势,电动修复与化学沉淀联用可实现重金属深度去除,电场驱动离子迁移与化学试剂沉淀作用形成协同效应,突破单一技术处理深度限制。物理-生物复合修复体系构建多级处理系统,人工湿地前段设置格栅与沉淀池进行物理预处理,去除大颗粒悬浮物与部分污染物,后段利用水生植物与微生物实现污染物深度净化,提升系统处理效率与稳定性。化学-生物复合修复技术通过化学预处理改变污染物形态,降低其毒性或提高生物可利用性,生物修复阶段利用功能微生物完成污染物最终转化,该模式对复

合污染土壤的修复效果显著优于单一技术,可实现污染物多环节协同去除。

## 3 矿山生态环境修复治理的实施流程

### 3.1 修复前期准备

修复区域勘察与调研需综合运用地质勘探、环境监测与生态调查手段,系统掌握矿区地形地貌特征、土壤污染分布、水体污染类型及植被退化程度等基础信息。通过布设网格化监测点位,获取具有空间代表性的环境数据,为后续修复方案制定提供科学依据<sup>[3]</sup>。修复技术选型依据应建立在污染类型识别、修复目标设定与场地条件评估基础上,针对重金属污染土壤优先选择化学稳定化与植物修复组合技术,对酸性废水采用中和沉淀与人工湿地协同处理工艺,确保技术路线与实际需求高度匹配。修复材料筹备需兼顾材料性能与环境适应性,土壤改良剂应选择来源广泛、成本可控的天然矿物材料,植被恢复用种需经过抗逆性测试与本地化驯化,确保修复材料在矿区恶劣环境下仍能发挥预期效能。

### 3.2 修复施工环节

施工流程规划与部署需遵循"先难后易、先急后缓"原则,优先处理存在地质灾害隐患的边坡与采空区,再开展土壤修复与植被重建工作。通过BIM技术构建三维施工模型,模拟各工序时空关系,优化机械配置与物料运输路径,减少施工期二次污染风险。各修复对象施工要点需精准把握技术核心,土壤修复区实施分层作业,底层铺设防渗膜防止污染物下渗,中层添加改良剂调节理化性质,表层覆盖客土构建植物生长基质。边坡治理采用"削坡-加固-生态"三步法,先削减不稳定岩体,再通过锚杆框架梁增强整体稳定性,最后喷播混合基质与先锋植物种子实现快速绿化。施工过程管控要点包括建立质量追溯体系,对关键工序实施全程监控,土壤修复需定期检测重金属浸出浓度,植被恢复应跟踪记录出苗率与生长势,确保各环节施工质量符合设计标准。

### 3.3 修复后期管护

长期管护机制构建需形成"政府主导、企业主体、社会参与"的协同模式,明确各参与方职责边界,制定年度管护计划与考核指标。通过购买专业服务方式引入第三方养护团队,配备专职技术人员与必要设备,保障管护工作专业化水平。修复区域动态监测应建立"天地空"一体化监测网络,卫星遥感用于大范围植被覆盖度监测,地面传感器实时采集土壤温湿度与养分数据,无人机定期巡查边坡稳定性,形成多维度监测数据集。管护措施优化调整需建立反馈修正机制,根据监测数据评估修复效果,对未达预期指标的区域分析原因,针对性调整养护

策略。土壤肥力不足区域增施有机肥料, 植被退化地段补种乡土物种, 水体富营养化区域优化水生植物配置, 通过动态优化实现修复效果持续提升。

#### 4 矿山生态环境修复治理的技术优化方向

##### 4.1 现有修复技术的不足与改进思路

传统物理修复技术对复杂地形适应性不足, 机械固坡在破碎岩体区域易出现二次滑移, 需开发柔性支护材料与自适应锚固系统, 通过智能传感装置实时监测边坡应力变化, 动态调整支护参数提升稳定性<sup>[4]</sup>。化学修复技术存在药剂靶向性差问题, 重金属稳定化处理可能因环境条件改变发生再活化, 需研发环境响应型智能材料, 根据土壤pH值、氧化还原电位等参数自动调节释放速率, 实现污染物的长效控制。生物修复技术受矿区极端环境限制, 超积累植物在重金属胁迫下生长缓慢, 需通过基因编辑技术强化植物抗逆性, 构建耐重金属胁迫的微生物-植物联合修复体系, 提升污染物去除效率。

##### 4.2 新型修复技术的研发与应用方向

纳米材料在污染治理领域展现独特优势, 铁基纳米颗粒可通过类芬顿反应降解有机污染物, 功能化碳纳米管对重金属具有高选择性吸附能力, 需解决纳米材料规模化制备与生态安全性评估问题。微生物燃料电池技术将污染物降解与能源回收相结合, 利用电活性微生物分解有机物产生电能, 为矿区监测设备供电的同时实现废水净化, 需优化电极材料与菌群结构提升能量转化效率。3D打印技术可精准构建生态修复构件, 根据地形数据打印具有孔隙结构的人工岩体, 为植被生长提供立体基质, 需开发适用于矿区环境的生物降解材料, 避免二次污染风险。

##### 4.3 修复技术的集成与创新路径

多技术耦合体系构建需突破单一技术局限, 将电动修复与生物刺激结合, 电场驱动污染物迁移至根际区域, 同步添加电子供体激活降解菌群, 实现重金属与有机污染物的协同去除。数字孪生技术为修复过程提供虚拟仿真平台, 通过构建矿区三维模型模拟不同技术组合效果, 优化工艺参数降低试错成本, 需建立涵盖地质、水文、生态的多源数据融合机制。模块化修复装备开发

可提升技术实施灵活性, 将土壤修复、废水处理、边坡治理等功能集成于移动式平台, 根据矿区污染特征快速组装适配方案, 缩短修复周期并降低运输成本。

##### 4.4 低成本、高效能修复技术的探索

工业副产物资源化利用可显著降低修复成本, 钢渣、粉煤灰等固废经改性处理后可作为土壤改良剂, 提供钙、硅等营养元素的同时固定重金属, 需建立固废成分与污染类型的匹配关系, 优化活化工艺提升利用效率<sup>[5]</sup>。本地物种筛选与驯化能减少植被重建投入, 优先选择耐贫瘠、抗污染的乡土植物, 通过渐渗杂交培育适应性更强的新品种, 降低后期养护管理强度。自然衰减过程强化技术依托环境自净能力, 通过调控氧化还原条件、添加电子受体等手段加速污染物转化, 适用于低浓度污染区域的低成本治理, 需明确自然衰减主导机制与人工干预边界。

#### 结束语

矿山生态环境修复治理是一项长期且复杂的系统工程。通过明确核心修复对象, 运用多种关键技术, 遵循规范实施流程, 并不断探索技术优化方向, 能够有效推进矿山生态环境修复工作。在现有基础上, 持续改进现有技术, 积极研发新型技术, 加强技术集成创新, 探索低成本高效能修复技术, 有助于提升修复治理效果, 逐步恢复矿山生态系统的结构与功能, 实现矿山生态环境的良性循环, 为区域生态保护与可持续发展奠定坚实基础。

#### 参考文献

- [1]孙立民,刘羽佳.矿山生态环境修复治理的有效策略研究[J].世界有色金属,2024(22):144-146.
- [2]朱继刚.关于矿山生态环境修复治理措施的思考[J].黑龙江环境通报,2023,36(6):110-112.
- [3]赵广敏.矿山生态环境修复治理过程中常见困难与应对措施[J].冶金与材料,2024,44(5):115-117.
- [4]何茂福.矿山生态环境修复治理过程中常见困难与应对措施[J].世界有色金属,2024(23):106-108.
- [5]陈祥,尹金辉,钟长意,等.矿山生态环境修复治理探讨——以阳新县沙村建材厂矿区矿山生态修复为例[J].中国金属通报,2024(8):206-208.