

矿山地质生态环境恢复治理技术探究

石继峰

河南省地质局生态环境地质服务中心 河南 郑州 450000

摘要：矿山开采作为资源开发的重要方式，在促进经济发展的同时，引发了一系列严重的生态环境问题。本文聚焦矿山地质生态环境恢复治理，剖析了地质结构失稳、生态功能受损、环境污染加剧等问题，深入探究土地修复、植被重建、地质灾害防治等五大关键技术，阐述了各技术原理与实施要点。提出了深化技术研发转化、拓宽资金渠道、加强人才培养及推进区域协同治理等提升措施。研究成果为科学开展矿山生态修复提供技术支撑与实践指导。

关键词：矿山地质；生态环境恢复；治理技术；措施

引言：随着矿山开采活动的持续推进，地质结构破坏、生态系统失衡、环境污染等问题日益严峻，严重威胁区域生态安全与可持续发展。地面塌陷、植被损毁、重金属污染等现象频发，传统治理方式存在技术滞后、资金短缺等局限，亟需系统性的解决方案。本文基于矿山地质生态环境现状，深入研究恢复治理关键技术，提出针对性提升措施，旨在为矿山生态修复提供科学依据与实践路径，促进矿山行业生态化转型，实现资源开发与生态保护的动态平衡。

1 矿山地质生态环境问题分析

1.1 地质结构失稳与灾害风险加剧

矿山开采活动对地质结构产生显著破坏，引发多种地质灾害风险。地下开采形成的大面积采空区，改变了岩土体原有的应力平衡状态，致使上覆岩层失去有效支撑。随着开采范围的扩大和深度的增加，岩层在自重应力作用下逐渐变形、塌陷，形成地面沉降和塌陷区域，导致地表形态改变。露天开采则直接破坏山体的稳定性，大规模的开挖作业破坏了山坡原有的岩土体结构和植被覆盖。开挖形成的高陡边坡在风化、降雨等自然因素作用下，极易发生滑动，引发山体滑坡灾害。松散的岩土体在暴雨冲刷下，易与水流混合形成泥石流，沿山谷快速流动，对周边区域造成严重破坏。

1.2 生态系统功能受损与失衡

矿山开发对生态系统造成全方位的破坏，严重影响其正常功能。开采活动直接损毁大量原生植被，破坏植物群落结构，导致植被覆盖率大幅下降。植被的减少削弱了生态系统的碳固定能力，影响区域气候调节功能。植被破坏使得许多依赖其生存的野生动植物失去栖息地，生物多样性锐减，生态系统的稳定性遭到破坏。土壤作为生态系统的重要组成部分，在山开采过程中遭受严重损害。开采过程中的挖掘、碾压等机械作业，破坏了土

壤的团粒结构，降低了土壤的孔隙度和通气透水性，影响土壤的保水保肥能力。矿山废弃物中的重金属、酸碱物质等有害物质，通过淋溶作用渗入土壤，造成土壤污染，改变土壤的理化性质，抑制植物根系生长，阻碍植物对养分的吸收，进一步加剧生态系统的退化。

1.3 环境污染扩散与生态危害加剧

矿山开采活动产生的大量废弃物和污染物，对周边环境造成严重污染。矿山废水含有大量的重金属离子、悬浮物和酸碱物质等污染物，若未经有效处理直接排放，会污染地表水、土壤和地下水环境。重金属污染物在水体和土壤中难以降解，会在生物体内富集，通过食物链传递，最终危害人类健康。开采过程中的矿石破碎、装卸和运输等环节，会产生大量的粉尘，其中含有多种有害颗粒物和重金属元素。这些粉尘排放到大气中，不仅降低空气质量，还会影响能见度，危害周边居民的呼吸系统健康^[1]。煤炭等矿石在开采和加工过程中会产生二氧化硫、氮氧化物等有害气体，加剧酸雨、雾霾等大气污染问题，对生态环境和人类健康造成长期危害。

2 矿山地质生态环境恢复治理关键技术

2.1 土地修复与重构技术

土地修复与重构作为矿山生态恢复的根基，需系统性重塑土地物理结构与化学性质。土地平整与地形重塑技术以工程测量数据为基准，利用推土机、挖掘机等重型机械对塌陷区、废渣堆积区进行高程修正，通过填方与挖方平衡计算，将坡度控制在5°-15°的稳定区间，构建三级台阶式排水系统，主排水沟深度达1.2-1.5米，确保地表径流快速疏导。针对采空区塌陷，采用分层压实技术，每层填土厚度控制在30-50厘米，使用振动压路机以2-3km/h速度往复碾压6-8次，使土体压实度达到90%以上。

土壤改良技术通过复合修复策略实现功能重建。物理改良采用深松机进行40-60厘米深度的间隔式深翻，配

合客土置换技术，将污染表层土置换为周边山体的未污染土壤；化学改良针对酸性土壤施用氧化钙粉末，按每公顷3-5吨比例均匀撒布后旋耕混合，调节pH至6.5-7.5，采用高分子螯合剂对重金属进行固化，通过离子交换作用形成稳定络合物；生物改良利用丛枝菌根真菌与根瘤菌复合菌剂，以1:1000比例与有机肥混合后穴施，促进土壤团聚体形成，增强微生物群落多样性。

2.2 植被重建与生态修复技术

植被重建需构建适应性植物群落体系。植物品种筛选遵循生态位互补原则，针对排土场优先选择刺槐、紫穗槐等固氮植物，搭配沙棘、柠条等耐旱灌木；尾矿库表层覆盖30厘米客土后种植景天科植物，利用其超富集特性吸收重金属；边坡区域采用狗牙根、高羊茅等草本植物与葛藤、五叶地锦攀援植物混播，形成立体防护结构。植物配置密度依据立地条件差异化设置，排土场乔木株行距为3m×4m，灌木2m×3m，草本植物播种量为15-20g/m²。

植被种植技术构建全周期培育体系。种子处理采用98%浓硫酸浸种30分钟破除硬实，或低温层积处理打破休眠；容器育苗采用泥炭土、珍珠岩、蛭石按3:1:1配比基质，添加缓释肥（N-P-K比例15-15-15），培育周期控制在60-90天。种植阶段采用鱼鳞坑、水平沟等整地方式，穴植深度比容器苗土球深5-10厘米，施用保水剂（用量10-15g/穴）与生根粉（浓度500-800mg/L）混合溶液进行蘸根处理^[2]。养护阶段建立智能灌溉系统，依据土壤湿度传感器数据实现精准补水，每月进行叶面施肥，喷施0.2%-0.3%尿素与磷酸二氢钾混合溶液。

2.3 地质灾害防治与边坡稳定技术

边坡加固采用力学平衡原理的复合支护体系。锚杆支护通过钻机成孔，孔径90-120mm，孔深6-12米，插入HRB400螺纹钢锚杆，注浆压力控制在0.8-1.2MPa，采用M30水泥砂浆进行全长粘结锚固；锚索支护选用1×7结构钢绞线，预张拉力为设计荷载的1.2倍，锁定后进行二次补偿张拉；挡土墙采用C25钢筋混凝土结构，墙高3-5米，基础埋深≥1.5米，设置排水孔（间距2-3米，直径10cm）降低墙后水压力；抗滑桩截面尺寸1.2m×1.5m-1.8m×2.0m，桩间距3-5米，嵌入稳定岩层深度不小于桩长的1/3。

采空区处理依据地质力学模型进行差异化处置。充填法采用尾砂胶结充填工艺，充填料浆浓度控制在70%-75%，灰砂比1:6-1:8，通过管道自流输送至采空区；崩落法采用深孔爆破技术，炮孔直径100-150mm，孔深15-25米，采用非电导爆管微差起爆，每次崩落高度控制在10-15米；封闭法对小型采空区采用浆砌石封堵，墙厚1.0-

1.5米，设置通气孔与排水孔，表面覆盖1.5-2.0米厚黏土夯实。

2.4 水污染处理与水资源循环利用技术

矿山废水处理构建三级净化体系。物理处理阶段设置多级沉淀池，初沉池水力停留时间2-3小时，去除粒径≥0.1mm颗粒；二沉池采用斜板沉淀工艺，表面负荷1.0-1.5m³/(m²·h)，去除悬浮物；过滤环节采用石英砂-活性炭双层滤料，滤速8-10m/h。化学处理采用中和-混凝-沉淀组合工艺，调节pH至7-9后投加聚合氯化铝（PAC，投加量50-100mg/L）与聚丙烯酰胺（PAM，投加量1-3mg/L），形成矾花后进行固液分离；重金属处理采用硫化钠沉淀法，控制S²⁻与重金属离子摩尔比1.2-1.5:1。生物处理选用生物接触氧化工艺，填料填充率70%-80%，水力停留时间6-8小时，污泥负荷0.2-0.4kgBOD₅/(kgMLSS·d)；人工湿地采用水平潜流湿地，基质层由砾石、沸石、陶粒分层铺设，水力负荷0.5-1.0m³/(m²·d)。

水资源循环利用构建双回路系统。生产回用系统采用超滤（UF）-反渗透（RO）双膜法深度处理，超滤膜截留分子量10000-30000Da，反渗透膜脱盐率≥98%，产水水质满足《城市污水再生利用工业用水水质》标准；生态回用水经紫外线消毒后用于绿化灌溉，采用滴灌系统控制灌溉量，灌溉定额根据植物需水量与土壤墒情动态调整。

2.5 生态环境监测与智慧管理技术

生态环境监测构建空天地一体化感知网络。地面监测系统部署土壤墒情传感器（精度±3%）、pH传感器（精度±0.1）、重金属离子电极（检测限μg/L级），间隔100-200米布设监测节点；水质监测采用多参数水质分析仪，实时监测COD、氨氮、重金属等指标；大气监测设备配置PM2.5/PM10传感器、SO₂/NH₃气体检测仪，数据采集频率1次/分钟。航空监测利用无人机搭载多光谱相机，获取0.1-0.5米分辨率影像，识别植被覆盖度变化；卫星遥感采用Landsat8OLI与Sentinel-2数据，进行地形地貌动态解译。

智慧管理平台基于数字孪生技术构建三维可视化系统。通过数据融合算法将多源异构数据映射至虚拟模型，建立ARIMA时间序列预测模型与BP神经网络预警模型，对土壤侵蚀、边坡位移等参数进行72小时趋势预测。采用遗传算法优化治理方案，模拟不同修复技术组合下的生态指标变化，通过虚拟仿真验证治理效果，实现从数据采集、分析决策到工程实施的全流程智能化管控^[3]。

3 提升矿山地质生态环境恢复治理的措施

3.1 深化技术研发与成果转化

构建产学研用一体化创新网络，推动高校、科研机构与企业联合成立矿山生态修复技术研发中心。聚焦土地修复、植被重建等核心领域，针对复杂地质条件下的采空区处理，研发智能化充填系统，结合地质雷达实时探测数据，实现废石、尾砂等材料的精准配比与高效利用。在植被恢复方面，运用生物技术筛选和培育抗逆性强的植物品种，提升其对重金属污染土壤的适应能力。建立矿山生态修复技术示范基地，加快新型土壤改良剂、生态护坡材料等新技术的中试推广。搭建线上线下结合的技术信息共享平台，定期发布前沿技术动态与应用指南，推动三维激光扫描地形重塑、微生物原位修复等先进技术在矿山场景的快速落地应用。

3.2 多元拓宽资金筹集渠道

加大政府财政资金投入，设立专项矿山生态修复基金，将生态治理资金纳入财政预算并保障逐年稳定增长。建立生态补偿机制，向资源开发受益方征收生态补偿金，专项用于重点矿区生态修复。创新市场化融资模式，推广PPP合作模式，通过特许经营、股权合作等方式吸引社会资本参与。探索发行生态修复专项债券，鼓励金融机构开发绿色金融产品，为矿山生态修复项目提供低息贷款、绿色保险等定制化金融服务，破解资金短缺难题。

3.3 加强专业人才队伍建设

在高校和职业院校优化专业设置，增设矿山生态修复相关学科，构建理论与实践结合的课程体系，增加土地修复工程、生态监测技术等实践教学内容。深化校企合作，共建实训基地，组织学生参与实际修复项目，强化专业技能与实践操作能力培养。针对在职人员，定期开展生态修复技术培训、举办学术研讨会，邀请行业专家授课，及时更新知识结构，掌握最新技术发展趋势。完善人才激励机制，设立专项奖励基金，对在矿山生态修复领域表现突出的个人和团队给予物质与荣誉奖励，激发

从业人员创新活力。鼓励高校与国际科研机构开展学术交流，引进国外先进的矿山生态修复教学理念与技术成果。建立人才流动机制，促进企业、高校、科研院所间人才合理调配，打造多元化、高水平的专业人才队伍。

3.4 推进区域协同与综合治理

打破行政区域壁垒，建立跨区域矿山生态修复协调机制，统筹规划相邻矿区的生态修复工作。针对流域内矿山，联合开展水污染治理，统一规划建设污水处理设施和生态湿地，实现废水集中处理与达标排放。采用系统工程方法，制定矿山生态修复整体方案，将土地修复、植被重建、地质灾害防治等工作有机结合^[4]。优先处理地质灾害隐患，消除安全风险后，有序开展土地整治和植被恢复，合理安排修复顺序和进度，提升生态修复的整体效率与综合效果。

结束语：本文梳理了矿山地质生态环境问题，创新构建恢复治理技术体系并提出有效提升措施。通过土地修复重构、植被重建等关键技术的应用，可显著改善矿山生态环境。但矿山生态修复仍面临复杂地质条件、技术迭代等挑战。未来需进一步加强前沿技术研发，深化多学科融合，推动治理技术智能化发展。强化区域协同治理，完善市场化机制，吸引更多社会资源参与，为矿山地质生态环境恢复治理注入新动能。

参考文献

- [1]任自信.矿山地质环境问题与治理恢复技术研究[J].黑龙江环境通报,2025,38(1):116-118.
- [2]刘练.矿山地质环境保护与治理恢复技术探究[J].现代工业经济和信息化,2022,12(12):288-290.
- [3]王军忠.探究矿山地质环境现状与生态修复技术的应用[J].世界有色金属,2023(12):191-193.
- [4]吴瑞萍.矿山生态环境保护与恢复治理技术探究[J].中国化工贸易,2021(21):82-83.