

生态修复技术在矿山废弃地土壤改良与植被重建中的应用

王天宾

南召县城市管理执法大队，河南南阳，473004；

摘要：矿产资源大规模开采推动经济发展，也造成严重生态破坏，矿山废弃地成亟待修复的生态短板。土壤退化与植被消失是核心生态问题，导致水土流失等后果。生态修复技术在土壤改良与植被重建中作用关键。本文梳理矿山废弃地土壤与植被受损特征，阐述核心技术类型及应用机制，结合案例分析成效，探讨现存问题与发展方向，为修复工程提供参考。

关键词：矿山废弃地；生态修复技术；土壤改良

DOI：10.64216/3080-1508.26.02.058

引言

矿产资源是工业核心原料，支撑国民经济发展。长期粗放开采形成大量历史遗留矿山废弃地，十四五我国虽实施多个修复示范项目、带动大面积治理，但仍有大量废弃地需修复。矿山废弃地生态脆弱，存在地形破碎、土壤恶化、重金属污染、植被少等问题。土壤质量决定植被重建成败，植被能遏制水土流失、改善土壤结构。因此，土壤改良与植被重建是修复核心，合理应用生态修复技术是关键。近年来，我国矿山生态修复制度有突破，新修订《矿产资源法》设矿区生态修复专章，创新技术推动修复从末端治理向过程修复、从复绿向复生转变。基于此，本文研究生态修复技术在土壤改良与植被重建中的应用，有重要意义与价值。

1 矿山废弃地土壤与植被受损特征

1.1 土壤受损特征

矿山开采过程中，地表剥离、岩土堆积、尾矿排放等活动严重破坏了土壤的自然结构与肥力特征，同时伴随严重的重金属污染问题，具体表现为以下三个方面：一是土壤贫瘠化严重。采矿活动导致土壤表层有机质大量流失，多数矿山废弃地土壤有机质含量极低，氮、磷、钾等养分匮乏，无法满足植物生长需求。例如重庆梁平矿山未修复前，土壤有机质含量远低于正常耕作土壤标准。二是土壤理化性质恶化。排土场与尾矿库的岩土堆积物质地坚硬，土壤容重偏高，河北唐山煤矿未修复前土壤透气性、透水性极差；部分矿山因硫化物氧化产生酸性物质，导致土壤pH值偏低，进一步加剧了土壤养分流失。三是重金属污染突出。铅、镉、砷、锰等重金属通过采矿、选矿活动进入土壤，且多以活性较高的形态存在，不仅影响植物生长，还可能通过食物链危害人

体健康。贵州松桃锰矿、湖南铅锌矿等矿区均存在严重的重金属超标问题，给生态修复带来巨大挑战。

1.2 植被受损特征

矿山废弃地恶劣的土壤条件与地形环境，导致植被资源遭到毁灭性破坏，主要呈现以下特征：一是植被覆盖度极低。露天采坑、高陡岩质边坡等区域几乎无原生植被留存，如拉萨市拉鲁湿地北山采石场开采后形成大面积裸露高陡岩质边坡，植被覆盖度极低。二是植物多样性匮乏。残留植被多为单一的耐极端环境物种，且生长状况极差，生态系统结构简单，稳定性极低。三是植被生长基础缺失。高陡边坡、塌陷区等区域地形不稳定，土壤流失严重，植物根系难以附着生长；同时，重金属污染与土壤贫瘠化进一步抑制了植物种子萌发与幼苗存活，导致自然植被恢复进程缓慢。在生态脆弱区域，这种破坏更为严重，如阿坝州若尔盖县海拔较高，气候高寒，矿山废弃地植被一旦破坏，自然恢复需极长时间。

2 矿山废弃地土壤改良核心技术及应用

2.1 土壤肥力提升技术

土壤肥力提升是植被重建基础，核心是补充有机质与养分、改善土壤结构，主要技术有客土改良、微生物修复及固废资源化利用等。客土改良技术通过掺入优质表土等材料提升肥力，适用于极度贫瘠矿区，关键在于表土选择与配比，如重庆梁平矿山用表土与腐熟木屑混合作改善肥力；部分矿区用煤矸石与表土混合作覆土，像河北唐山煤矿改善了土壤透气性。微生物修复技术利用功能微生物代谢改善养分状况，通过接种微生物或施加生物有机肥促进养分转化释放，如江西德兴铜矿接种根瘤菌提高豆科植物存活率、增加土壤氮含量。固废生物质循环再利用技术成研究热点，拉萨市拉鲁湿地北山采

石场用废弃物制备优粒土壤替代客土，减少土源使用、降低成本，实现生态与经济效益统一。

2.2 重金属污染治理技术

重金属污染治理是矿山废弃地土壤修复关键，核心是降低生物有效性、减少危害，主要技术包括化学稳定化、电动修复及植物提取与稳定化等。化学稳定化技术通过添加药剂调节pH值或形成稳定化合物降低活性，操作简单、成本低，适用于大面积污染矿区，如贵州松桃锰矿用复合处理技术降低锰离子活性；石灰可调节酸性土壤pH值、促进重金属沉淀。电动修复技术适用于低渗透黏土壤，通过插入电极驱动重金属离子迁移收集，效率高、针对性强，湖南某铅锌矿用此技术使土壤铅含量达标。植物提取与稳定化技术利用植物吸收或固定作用治理污染，环境友好、成本低，植物提取技术选富集植物吸收重金属后焚烧处置，如广西环江砷矿区种蜈蚣草降低土壤砷含量。效果显著。植物稳定化技术选沙棘、构树等耐重金属植物，凭借根系固定重金属，防其迁移扩散，同时实现植被覆盖，适用于重金属污染较轻的矿区。

3 矿山废弃地植被重建核心技术及应用

3.1 植物种筛选技术

植物物种选择决定植被重建成功率，筛选原则为适应性强、耐贫瘠、耐重金属、具乡土性且生态功能显著。乡土植物适应本地环境，存活率高，是首选。如拉萨拉鲁湿地北山采石场选沙棘等本地物种建土壤种子库；雅安宝兴县梦发矿区种桤木等本土乔灌木防雨水冲刷；阿坝若尔盖县废弃矿山混播本土草本与少量沙棘种子促植被融合。

对于重金属污染矿区，选耐或富集重金属植物，如沙棘等。同时注重物种多样性，采用乔灌草混播构建稳定群落，提升生态系统能力。

3.2 植被建植核心技术

不同地形的矿山废弃地采用不同植被建植技术，包括喷播绿化、种植穴栽植及生物结皮培育技术等。喷播绿化适用于复杂地形，团粒喷播应用广，构建人工土壤层促植物生长，拉萨拉鲁湿地北山采石场集成应用相关技术提升植被覆盖率、削减径流泥沙量。

种植穴栽植适用于碎块石边坡等区域，挖掘种植穴填改良土栽植乔灌木，雅安宝兴县梦发矿区用此解决土壤留存难问题。生物结皮培育是创新技术，培育生物土

壤结皮促生态修复，该矿区已建试验区提供新路径。

3.3 后期管护技术

植被重建后期管护是确保修复效果稳定的关键，核心是保障水养、防病虫害与水土流失。水资源匮乏或气候恶劣区，自动喷淋系统效果好，拉萨拉鲁湿地北山采石场布设温湿度监控自动喷淋系统精准供水。幼苗期需水少，降低植被养护成本，实现水资源利用最大化。在高寒高海拔区域，要抢抓植被生长关键季，用环保型植物覆盖材料保温保湿，如阿坝州若尔盖县废弃矿山播种后覆盖椰壳纤维和稻草加工的覆盖材料，提升幼苗存活率。此外，要建立常态化监测与管护机制，定期监测植被生长、土壤质量和水土流失情况，及时采取补植、施肥、防治病虫害等措施。同时，通过修建排水沟、挡墙等工程措施，控制雨水冲刷，保障坡体稳定，为植被群落正向演替创造良好条件。

4 典型案例分析

4.1 拉萨市拉鲁湿地北山采石场修复案例

该采石场地处青藏高原生态屏障区，紧邻拉鲁湿地国家级自然保护区，开采形成大面积裸露高陡岩质边坡，存在地质安全隐患与严重水土流失问题。由于地处高寒高海拔地区，空气稀薄、温度低、降雨量少，生态修复难度极大。修复工程采用固废生物质循环再利用处理技术团粒喷播植被恢复技术等集成技术，就地利用青稞秸秆、啤酒糟等废弃物制备优粒土壤，替代传统客土；选择沙棘、高原早熟禾等本土物种构建土壤种子库，采用团粒喷播技术建植植被；布设温湿度监控自动喷淋系统，实现精准管护。

修复工程完成后，成功修复裸露岩质边坡及损毁土地，形成物种多样的灌草植被群落，修复当年植被覆盖率大幅提升，径流泥沙量显著削减；消除了地质安全隐患，提升了拉鲁湿地的水源涵养能力与景观风貌。同时，通过固废资源化利用与自动喷淋系统，大幅减少了原料成本，降低了养护成本，带动当地群众就业，形成了一套可推广的高寒高海拔地区矿山生态修复技术模式，技术成果转化收益显著。

4.2 雅安市宝兴县梦发矿区修复案例

该矿区为大理石开采废弃地，修复面积广阔，坡度较大，采坑壁面近乎垂直，落差较大，大量分布块碎石高陡边坡，水土流失严重。修复团队通过清理危石、分级放坡，修筑干砌石挡墙保持坡体稳定；采用客土喷播、

坡脚种植攀爬植物、特定区域培育苔藓植物等复绿手段，避免传统挂网喷播形成的雀斑问题；在坡面凹处挖掘种植穴，客土栽植桤木、马桑等本土乔灌木；筛选耐贫瘠、耐寒耐旱的乡土植物，构建稳定的植物群落。

修复后，原本裸露破碎的白色岩体上逐渐萌发新绿，与周边自然植被融为一体，有效遏制了水土流失，消除了地质安全隐患。该案例通过因地制宜优化修复技术，解决了高陡块碎石边坡植被建植难题，为类似复杂地形矿山废弃地的植被重建提供了实践经验。

5 问题与展望

5.1 采石场修复案例

该采石场位于青藏高原生态屏障区，紧邻国家级自然保护区，开采形成大面积裸露高陡岩质边坡，有地质安全隐患和严重水土流失问题。因地处高寒高海拔地区，生态修复难度大。修复工程采用固废生物质循环再利用处理等集成技术，就地用青稞秸秆等废弃物制优粒土壤替代客土；选本土物种建土壤种子库，用团粒喷播技术建植被；设温湿度监控自动喷淋系统精准管护。

修复完成后，成功修复裸露岩质边坡和损毁土地，形成灌草植被群落，植被覆盖率提升，径流泥沙量削减；消除地质安全隐患，提升周边水源涵养能力与景观风貌。同时，固废资源化利用和自动喷淋系统减少原料与养护成本，带动就业，形成可推广的修复技术模式，技术成果转化收益显著。

5.2 矿区修复案例

该矿区是大理石开采废弃地，修复面积大、坡度大，采坑壁面垂直、落差大，高陡边坡水土流失严重。修复团队清理危石、分级放坡，筑干砌石挡墙稳坡体；采用客土喷播等复绿手段，避免雀斑问题；在坡面凹处挖穴客土栽植本土乔灌木；筛选乡土植物构建稳定群落。

修复后，岩体萌发新绿，与周边植被融合，遏制水土流失，消除地质安全隐患。该案例因地制宜优化技术，解决高陡块碎石边坡植被建植难题，为类似矿山废弃地植被重建提供实践经验。

6 问题与展望

尽管我国矿山废弃地生态修复技术进展显著，但实践中仍存在诸多问题：一是技术适配性不足，部分修复技术缺乏针对性，未结合矿区实际情况，致修复效果不

佳或反弹；二是修复成本高，电动修复等技术投入与管护成本高，难在欠发达地区推广；三是监测评价体系不完善，缺统一标准，手段传统，难实现动态监管与精准评估；四是长效机制不健全，部分矿区重修复轻管护，资金不足、责任主体不明，影响修复效果稳定性。

未来，该技术应朝精准化、低成本、可持续方向发展：一是加强技术集成创新，结合天空地一体化监测技术精准诊断问题，构建全流程技术体系，提升适配性；二是推动低成本修复技术研发，加大固废资源化利用等低成本技术研究，降低成本、扩大应用范围；三是完善监测评价与长效管护机制，建立标准化、智能化体系，实现动态监管，探索多元化投入机制，落实管护责任；四是强化跨学科合作，融合多学科理论与技术，推动修复技术从复绿向复生转型，全面恢复生态功能。

7 结论

矿山废弃地土壤改良与植被重建是系统工程，合理应用生态修复技术是实现修复目标的关键。土壤肥力提升与重金属污染治理技术可改善土壤质量，为植被生长创造条件；植物物种筛选、建植及后期管护技术能构建稳定植物群落，推动生态系统正向演替。拉萨拉鲁湿地北山采石场、雅安宝兴县梦发矿区等案例表明，结合矿区实际的技术集成应用可实现良好效益。不过，矿山废弃地生态修复面临技术适配性不足、成本高、长效机制不健全等问题。未来需加强技术集成创新，推动低成本技术研发，完善监测评价与长效管护机制，以全面恢复其生态功能。随着修复技术进步和制度完善，矿山废弃地将成绿色财富，支撑美丽中国建设。

参考文献

- [1] 邓燕. 生态修复技术在矿区废弃地植被恢复中的应用效果[J]. 价值工程, 2026, 45(02): 109-111.
- [2] 何寿奎, 王秋宇. 数智技术与绿色金融赋能下生态修复多主体协同治理: 机理、机制和政策优化[J/OL]. 云南民族大学学报(哲学社会科学版), 1-13 [2026-01-07]. <https://doi.org/10.13727/j.cnki.53-1191/c.20251230.002>.
- [3] 杨景惠, 李萌龙. 林光互补治理采煤沉陷区生态修复技术研究[J/OL]. 煤炭技术, 1-6 [2026-01-07]. <http://link.cnki.net/urlid/23.1393.TD.20251229.1628.002>.