

退化排土场土壤改良与植被重建协同修复技术研究

李强

新疆地质局水文环境地质调查中心

DOI:10.12238/eep.v8i4.2657

[摘要] 退化排土场作为矿区扰动后形成的生态脆弱区域,其土壤结构破碎、养分贫瘠、生物活性低下,严重制约生态系统恢复进程。为提升修复效率,研究构建了以基质改良、土壤结构重建与植被协同配置为核心的综合修复技术路径,通过理化参数调控、生物群落重建及典型工程经验总结,形成具有区域适应性的耦合修复模式。研究结果显示,协同修复体系在植被盖度、土壤质量及生态稳定性等方面均实现显著提升,验证了技术集成的可行性与可推广性。

[关键词] 退化排土场; 土壤改良; 植被重建; 协同修复; 生态工程

中图分类号: Q938.1+3 文献标识码: A

Research on Collaborative Restoration Technology of Soil Improvement and Vegetation Reconstruction in Degraded Dump Sites

Qiang Li

Hydrogeological and Environmental Geological Survey Center of Xinjiang Geological Bureau

[Abstract] As ecologically vulnerable areas formed by mining disturbances, degraded waste dumps are characterized by fragmented soil structure, nutrient deficiency, and low biological activity, which severely hinder ecosystem recovery. To enhance restoration efficiency, a comprehensive remediation approach was developed, focusing on substrate amendment, soil structure reconstruction, and coordinated vegetation configuration. Through regulation of physicochemical parameters, reconstruction of microbial communities, and analysis of representative engineering practices, a regionally adaptive coupled restoration model was established. The results indicate that the integrated remediation system significantly improves vegetation cover, soil quality, and ecological stability, verifying the feasibility and applicability of the technical framework.

[Key words] degraded dump site; soil improvement; vegetation restoration; collaborative remediation; ecological engineering

引言

露天采矿活动在带来资源经济效益的同时,也造成地表破坏、土壤退化与生态系统失衡等严重后果,排土场作为其典型干扰区,亟需开展系统性生态修复。受地貌条件、水文特征与矿区工程扰动等因素影响,退化排土场常表现出结构不稳、水土流失严重、植被难以定殖等问题。随着生态工程理论与恢复技术的不断发展,多路径、多因子协同修复成为矿区治理的重要方向,其核心在于构建以土壤理化优化与植被结构重建为基础的稳定生态系统。

1 退化排土场生态特征与退化机制分析

1.1 退化排土场的形成与类型

排土场是在矿产资源开发过程中,由剥离物、废岩等物质经人工或机械方式堆积而成的特殊人工地貌单元。其形成类型主要包括自然边坡式排土、阶梯式排土与平台式排土,不同类型在

边坡稳定性、水动力过程及表层结构方面存在显著差异。长期无序堆积易导致地表扰动强烈,造成地貌形态破碎、地基沉降频繁、排水不畅,形成物理结构极度疏松、抗侵蚀能力差的退化单元,部分区域还存在风积物掩埋、次生盐渍化和滑坡等次生演化过程,进一步加剧生态退化趋势。

1.2 退化土壤的理化与生物特性

退化排土场土壤整体表现出养分贫瘠、有机质含量低、结构破碎等特性,团粒结构不完整,持水率和通气性均处于劣化状态。土壤pH值波动幅度大,酸性或碱性显著偏离生态适宜范围,显著抑制植物根系活性与微生物代谢能力。重金属元素(如Cu、Pb、Cd)在部分排土样区中呈高背景值分布,形成潜在毒理胁迫。微生物群落数量与多样性均显著降低,菌根真菌比例下降,硝化与固氮功能菌群活性不足,影响土壤生物循环与自然恢复能力。

1.3 生态系统退化表现与机制

退化排土场生态系统呈现出明显的空间破碎化与功能弱化特征,地表植被覆盖度低,群落演替缓慢,生态系统层级结构不完整。暴雨条件下表层土壤易发生径流冲刷与颗粒迁移,促进壤土剥蚀与营养物质流失,加剧水土流失过程。由于土壤理化环境持续劣化,植物定殖与扩繁能力受限,微生物活动水平低下,导致土壤—植物—微生物三元系统反馈链条断裂。系统间能量流与物质循环失衡,引发局部小气候异常与微域生态退化加剧,构成排土场长期难以恢复的核心机制基础。

2 土壤改良关键技术与应用路径研究

2.1 改良基质的选择

排土场土壤因土壤团粒结构破坏、营养贫瘠、缺乏植物生长的有机质和土壤有益微生物菌群等而使生物活性方面土壤缺乏“活力”,均处于劣化状态,需引入外源改良基质进行调控、提升土壤地力与活力。常用无机改良材料包括粉煤灰、赤泥及磷石膏等,其中粉煤灰因其粒径均匀、比表面积大,在10%~30%的添加比例范围内可有效改善土壤结构,提升通气性与水稳性^[1]。针对寒旱区冻融(如-25℃低温)环境,基于多羟基高分子链互穿机理,采用抗冻融有机固土材料,与土壤形成三维网状结构,可显著提升土体抗侵蚀能力,解决冻融环境固土与保水互斥难题。结合具有解磷、解钾、固氮、固碳等功能的微生物菌肥的使用可增强植物抗逆性,同时促进土壤矿物中磷钾转化,使有效磷有效钾含量提升3倍以上,为植物生长提供长效养分支撑。

2.2 改良技术工艺与操作规范

常用改良工艺包括表层旋耕混拌法、深层注入式改良法及机械夯实-覆土耦合改良法。表层混拌法适用于0~20cm浅层土壤,机械作业宽度为2.5m~4.0m,作业效率约为1.5hm²/d,适宜于大面积初始改良。深层注入法则采用高压灌注设备对30cm~60cm深层土壤进行液态改良剂渗透注入,主要用于重金属钝化及pH值调控。夯实-覆土工艺通过同步进行基质压实与客土铺设,有效提升地基稳定性与水分保持能力。各类工艺在应用时应依据地形坡度、土体结构与改良目标进行参数匹配,确保工程质量与稳定性。

2.3 土壤理化性质优化效应分析

经改良处理后,土壤理化性质呈现系统性提升。有机质含量由改良前的0.21%~0.34%提高至0.85%~1.12%,阳离子交换量由2.4~4.1cmol/kg增至7.8~9.6cmol/kg,土壤团聚体含量中大于0.25mm的稳定性团粒比例由不足30%上升至65%以上^[2]。持水率提升幅度为18%~35%,有效改善了土壤干旱敏感性,适宜植物定殖与群落恢复。以上改良效果在3~6个月的动态监测中具有较高稳定性与可重复性,具备中长期生态恢复支撑能力。

2.4 土壤剖面重构模式

2.4.1 创立“结皮层-植生层-阻渗层”立体修复结构

阻渗层:采用有机无机材料复合材料构建,使水分滞留时间延长159%,累积入渗量增加16.56%,解决排土场水肥流失问题。

植生层:通过“矿物微量元素+微生物+植物根系”协同作

用,形成孔隙率30~40%的海绵状结构,田间持水量提升45%,兼具保水与透气性能。

结皮层:利用藻-菌-草复合体系形成生物防护层,抗蚀能力提升60%,抑制土壤蒸发量达35%,构建表层生态屏障。

2.4.2 排土场修复流程

场地平整→挡土毛石堆砌(底宽2m,顶宽1m)→铺设复合阻渗层(土工膜+5cm改性土)→喷播改性糯米基浆土→铺设含种植生毯→建立生物结皮层(藻种5g/m²)→灌木移栽→滴灌系统布设→生态监测网络搭建。

3 植被重建模式与生态功能构建

3.1 植被选择与配置策略

退化排土场植被配置应综合考量区域气候条件、土壤理化属性及植物生态适应性。草本植物优选具有固氮能力和耐瘠薄特性的乡土种,如多花黑麦草、狗牙根、紫花苜蓿等,其出苗率高于85%,覆盖时间不超过30天;灌木层宜选用根系发达、耐干旱的灌木如沙棘、柠条、胡枝子等,在年降水量低于400mm的区域,成活率可稳定维持在70%以上^[3]。乔木选择以根系深长、抗风蚀的树种为主,如刺槐、侧柏、油松,苗高控制在80~120cm,胸径2~3cm条件下移栽成活率可达78%~86%。配置上采取“草灌先行、乔木后植、层次递进”的空间模式,有效控制蒸腾损耗与水分竞争。

3.2 植被恢复技术与阶段安排

恢复过程依据地力基础和群落演替规律划分为三个阶段。初始阶段为播种建植期,采用机械喷播与人工穴播相结合方式。乔木配置按照行距5m,灌木200株/亩,草本植物种子每平方米30g,包含先锋植物种子(根据现场草本种子按照不同比例搭配)。种子播撒量控制在40~60kg/hm²,混合基质厚度控制在5~8cm,保证根系初期扎根深度;中期为群落构建期,灌木与乔木间距分别设为1.5m×1.5m与2.5m×2.5m,通过合理间植方式促进空间互补性增强;后期为稳定演替期,控制自然更新速率,逐步减少人工干预。各阶段需根据年均降水量、风蚀强度与地表水文状况动态调整水肥管理策略,并辅以保墒覆盖、抗旱喷灌和病虫害监测等综合技术。

恢复后一年内草本层地上生物量可达2.3~3.6t/hm²,灌木层达到5.2~7.4t/hm²,乔木平均胸径增长速率为0.6~0.9cm/a。植被总覆盖度从基线阶段的不足15%提高至65%~80%,Shannon多样性指数由0.42提升至1.15以上。土壤有机质含量在种植后18个月内由0.31%提升至0.94%,土壤微生物呼吸强度提升28%~46%。各类评价指标在连续监测周期中表现出稳定增长趋势,群落系统的自维持性与抵抗干扰能力显著增强^[4]。

4 典型工程案例与成效分析

以乌东煤矿排土场修复工程为例,该矿山位于新疆维吾尔自治区东北部,地理坐标为东经:87°40'53"~87°47'57";北纬:43°53'06"~43°56'30"。乌东煤矿排土场主要为煤矸石堆积,煤矸石中含有一定量在适宜条件下自然的可燃物,释放大量的二氧化硫、碳氮氧化物和烟尘等危害人体健康的有害气体,致使

周边水、大气、土壤等环境受到二次污染。排土场坡面夯实程度不高,边坡表面物质松散且未见相应防护措施。排土场边坡位于煤矿道路一侧,地面开阔,边坡走向 90° – 270° ,倾 353° ,倾角 42° – 45° ;坡面高度约8m,坡长约10m。坡面物质主要为母岩碎石与当地客土,二者混合堆积而成,碎石粒径在5–30cm之间,含量约30%–40%,棱角分明,大小不一;坡面夯实程度不高,边坡表面物质松散且未作相应的防护措施。边坡草本植物基本不可见,零星可见较少乔木;矿区植被稀疏,主要为一年生植物,具有脆弱和不稳定的特点^[5]。

在土壤改良方面,采用改性糯米基材料生态化弃土-固土护坡修复治理技术,联合了有机物固土和生物固土技术,有机物固土提供生物固土所需环境并固化渣土,生物固土在有机物固土剂作用下逐渐生长,逐渐固化渣土,最终恢复生态环境。

植被重建方面,考虑乌东煤矿有较多降雨,虽然矿区蒸发量较大,但矿区整体处于半干旱区水平^[6]。由于矿区风力不大、风速适中,因此风蚀影响较小。开挖断面坡度较大,因此可选用耐寒耐旱的具有较强扎根能力的灌木或者草本植物。灌木选择沙棘、锦鸡儿、沙拐枣,草本植物选择木地肤、驼绒藜、碱蓬,先锋植物选择披碱草、黑麦草。灌木200株/亩,每平草本植物种子30g,包含先锋植物种子(根据现场草本种子按照不同比例搭配)。

5 结语

退化排土场的生态恢复需基于对土壤系统、植物配置与微

生物环境的整体认知,形成集成化、可调控的技术体系。通过多源改良材料融合应用、立体植被配置与动态监测反馈机制的建立,可实现生态系统的快速恢复与功能重建。未来研究应进一步强化多因子作用机制的量化分析,并提升修复模式在不同区域生态背景下的适应性与可操作性,以支持矿区生态治理的长期可持续发展。

[参考文献]

[1]李辉,李高亮,鲁叶江,等.植物废弃物发酵基质对露天矿区排土场土壤改良研究[J].中国矿业,2024,33(11):130–138.

[2]廖尚沐.化肥-微生物肥对草原露天煤矿排土场植被恢复和土壤改良的应用研究[D].内蒙古大学,2023.

[3]邵田田,王明玖,齐雪.草原露天煤矿排土场重建植被与土壤相关性研究[J].草原与草业,2021,33(03):21–27.

[4]杨卓,周国驰,盛世博,等.立地条件对露天矿排土场植被重建的影响[J].安徽农业科学,2021,49(22):80–84+106.

[5]王鹤燕.不同改土措施对黑岱沟露天矿排土场土壤改良效果与沙棘生长的影响[D].内蒙古农业大学,2024.

[6]齐雪.典型草原区露天煤矿排土场重建植物群落演替特征和土壤养分动态[D].内蒙古农业大学,2023.

作者简介:

李强(1978–),男,汉族,甘肃人,大学本科,高级工程师,研究方向:生态修复、水文地质。