

基于露天采矿工程的排土场生态修复与土地复垦技术应用

刘 兴

国家能源集团陕西神延煤炭有限责任公司 陕西 榆林 719000

【摘要】：露天采矿工程排土场长期堆积废弃岩土，易造成边坡失稳、水土流失、土壤养分不足和植被恢复缓慢等问题，影响矿区生态环境和土地资源利用。针对排土地形破碎、土层结构差、植物成活率低等情况，可通过边坡整形、排水防护、表土覆盖、土壤改良、乡土植物配置和分区复垦等技术措施进行治理。工程措施增强场地稳定性，土壤重构改善植物生长条件，植被恢复提升生态涵养能力，复垦利用提高土地综合价值，从而形成露天矿排土场生态修复和土地复垦的系统化技术路径。

【关键词】：露天采矿工程；排土场；生态修复；土地复垦；技术应用

DOI:10.12417/2705-0998.26.09.032

引言

露天采矿在获取矿产资源的同时，会形成大规模排土场。排土场由剥离物、废石和松散岩土堆积而成，地表结构不稳定，土壤层缺失严重，雨水冲刷后容易产生沟蚀、滑塌和扬尘等问题。若缺少科学治理，矿区原有地貌和生态系统会持续退化，周边土地利用条件也会受到影响。排土场生态修复和土地复垦并非简单覆土种草，而是需要结合地形整理、排水控制、土壤重构、植物群落配置和后期养护管理等环节，形成连续性技术体系。通过分析露天采矿工程排土场的主要问题及对应治理方法，可为矿区生态恢复和土地资源再利用提供清晰路径。

1 露天采矿排土场生态破损特征

1.1 排土堆积导致地形结构破碎

排土场由剥离岩土分层堆置形成，堆体内部颗粒组成复杂，块石、碎石、粉土混杂分布，压实程度不均，容易形成松散空隙和局部沉降区。台阶边缘、坡脚和平台转折部位受重力影响明显，地表连续性被破坏，原有地貌被切割成坡面、平台、沟槽等不稳定单元。部分区域缺少合理削坡和分级整理，坡面角度偏大，雨水下渗后会降低岩土抗剪强度，诱发裂缝扩展和表层滑移。新发展理念要求排土场治理从单纯堆放转向生态化重塑，地形整理应兼顾安全稳定、雨水调控和后续复垦需求。

1.2 土壤贫瘠限制植被生长

排土场表层多为废石、风化岩屑和低肥力土体，缺少成熟土壤应有的腐殖质、团粒结构和微生物群落，保水保肥能力较弱。矿物颗粒粗细不均，透水性和持水性差异明显，干旱时表层易板结，降雨后养分又容易随径流流失^[1]。部分排土材料含有较高盐分或酸碱度异常，根系伸展受阻，植物萌发、扎根和成活受到限制。土地复垦不能停留在简单覆土层面，需要通过表土剥离保存、客土回填、有机质补充、微生物改良和保水材料配置，重建适宜植物生长的土壤基础。

1.3 雨水冲刷加剧水土流失

排土场坡面裸露面积大，植被覆盖不足，降雨直接冲击松散表层，容易形成片蚀、细沟侵蚀和冲沟扩展。坡面径流沿台

阶边缘和低洼部位集中下泄，携带细颗粒土壤和养分进入坡脚，造成表层土体变薄、沟槽加深和坡面破碎加剧。排水系统不完善时，平台积水会向堆体内部渗透，增加孔隙水压力，削弱边坡稳定性。生态修复需要把水土保持放在前端，通过截水沟、排水沟、跌水消能、坡面覆盖和植被固土等措施降低径流速度，使排土场由易侵蚀裸露面逐步转变为稳定复垦地表。

2 排土场土地复垦面临的主要问题

2.1 边坡稳定性不足影响治理基础

边坡稳定性不足会直接削弱排土场复垦工程的承载基础。排土体多由不同粒径岩土混合堆置形成，内部结构松散，压实程度差异较大，坡面在自重、降雨入渗和机械扰动影响下容易产生沉降、裂缝和局部滑移。坡脚支撑不足时，台阶平台难以保持完整，后续覆土、植被栽植和养护设施布设都会受到限制。绿色矿山建设要求复垦前先控制安全风险，应通过稳定性评价明确高风险区域，将削坡减载、分级平台、坡脚加固和排水导流作为基础环节，否则生态修复容易停留在表层处理，难以形成长期稳定的复垦空间。

2.2 表土资源缺乏降低复垦质量

表土资源缺乏会使排土场复垦难以形成适宜植物生长的土壤层。露天采矿剥离过程中若未对表土进行分区剥离、分类堆存和防护保存，原有熟化土层中的有机质、种子库和微生物资源容易流失^[2]。排土场表层多为风化废石和贫瘠岩屑，养分含量低，保水保肥能力弱，直接作为种植基质会导致植物根系浅、成活慢、群落稳定性差。新发展理念强调资源循环利用，复垦应重视表土全流程管理，将剥离厚度控制、临时堆存防冲刷、熟化土回铺和改良基质配比衔接起来，避免复垦质量受土源短缺制约。

2.3 植物配置不当削弱恢复效果

植物配置不当会降低排土场生态修复的适应性和持久性。若单纯追求短期绿化效果，选用耗水量高、耐瘠薄能力弱或根系固土能力不足的植物，容易出现出苗不齐、退化快和覆盖度下降等问题。部分复垦区域坡度、土层厚度、含水条件和风蚀

强度差异明显，统一播撒同类植物难以满足不同微地形需求。生态优先理念要求植物配置从景观绿化转向群落构建，应根据平台、坡面和坡脚条件选择乡土草本、灌木和耐旱树种，形成浅根护坡、深根固土、地表覆盖协同的配置结构，提高植被恢复质量。

3 排土场生态修复技术应用路径

3.1 边坡整形技术控制地表变形

边坡整形应依据排土场堆体高度、岩土组成、坡面坡度和稳定性评价结果进行分区处理。高陡坡面需通过削坡减载降低坡体自重压力，将连续陡坡整理为多级缓坡和稳定平台，减少坡面应力集中。平台宽度、坡比和排水方向应与后续覆土、植被栽植和养护通道相衔接，避免整形后再次出现积水、冲沟和局部塌陷。松散堆积区可采用分层压实、台阶修整和坡面细部平整技术，提升表层密实度，控制沉降差异。绿色矿山建设强调生态修复前置，边坡整形不能只满足安全要求，还要为土壤覆盖、植物扎根和雨水就地消纳创造条件，使排土场地形由破碎堆置状态转向稳定、可复垦、可持续利用的工程地貌。

3.2 截排水技术减少径流冲刷

截排水技术应根据排土场汇水范围、坡面长度、降雨强度和平台布置进行系统设计。坡顶设置截水沟，可阻断外部汇水进入松散坡面，减少雨水对堆体表层的直接冲刷；平台内侧设置排水沟，可将坡面径流分段收集，避免水流沿坡面长距离集中下泄。坡脚排水沟、跌水设施和消能池应配合布置，降低水流速度，减少沟蚀扩展和细颗粒流失。排水线路应避免开软弱堆积区和沉降敏感区，沟底可采用防渗、防冲材料增强耐久性^[3]。低影响开发理念可引入蓄排结合思路，在稳定平台设置浅沟、植草沟和滞水带，使部分雨水得到缓释利用，为植被恢复提供水分条件，降低排土场水土流失强度。

3.3 防护加固技术提升场地稳定

防护加固技术应针对坡脚掏蚀、坡面松散、裂缝发育和局部滑移等问题进行精准配置。坡脚区域可采用挡土墙、抗滑堆体和格宾石笼进行支撑，增强堆体下部约束能力，防止坡体继续外移。坡面浅层松散区可铺设三维植被网、土工格室和生态袋，形成表层约束结构，减少雨水冲刷造成的颗粒剥离。裂缝发育区域需先进行封填、夯实和排水疏导，避免雨水沿裂缝进入深部形成软弱滑动面。工程加固应与生态材料结合，优先采用透水性好、便于植物穿透的防护方式，使结构稳定和植被恢复同步推进。防护加固完成后，坡面承载能力、抗冲刷能力和复垦适宜性得到提升，为后续土壤重构和植物群落建立提供可靠基础。

4 土地复垦关键技术配置方法

4.1 表土覆盖技术重建土壤层次

表土覆盖应依据排土场平台、坡面和坡脚的地形差异进行分层配置。平台区域地势相对平缓，覆土厚度可适当增加，形成稳定的耕植层和根系生长层；坡面区域受径流冲刷影响较大，覆土前需先完成坡面粗糙化处理，通过开挖水平沟、鱼鳞坑或浅槽增强表土附着力，防止覆土层沿坡面滑落。表土来源应优先采用采前剥离保存的熟化土，并结合土壤质地、含水率和有机质含量进行筛分调配，避免石块含量过高影响根系伸展。覆土过程中应控制压实强度，保持适度孔隙，既满足抗冲刷要求，又避免土层过密造成透气性下降。新发展理念强调资源节约和循环利用，表土覆盖不应单纯追求厚度增加，而应通过分区回铺、土层搭接和微地形营造，提高有限表土资源的利用效率，为后续土壤改良和植被恢复奠定基础。

4.2 土壤改良技术提升养分条件

土壤改良应针对排土场土体贫瘠、结构松散、保水保肥能力弱和酸碱度异常等问题进行精准配置。对于有机质含量低的区域，可施入腐熟有机肥、秸秆腐殖材料和矿山修复专用基质，增加土壤胶结能力和养分缓释能力；对于沙砾含量高、漏水漏肥明显的区域，可掺入黏性土、保水剂和生物炭，提高持水性和阳离子交换能力；对于酸碱度偏离植物适生范围的土体，应根据检测结果施加石灰、石膏或酸性调理材料，使土壤反应趋于稳定^[4]。改良过程还应重视微生物修复，可接种促生菌、菌根真菌和固氮微生物，增强根际活性，提升植物吸收养分的能力。绿色低碳理念要求减少高投入化学改良依赖，推动废弃有机资源、矿区表土资源和生态基质协同利用，使排土场土壤由单一覆盖层转变为具有生物活性的复垦基质。

4.3 乡土植物配置技术增强群落适应性

乡土植物配置应根据排土场不同部位的水分条件、土层厚度、坡度变化和风蚀强度进行组合设计。平台区域土层较厚，可配置根系发达、耐瘠薄能力较强的草灌植物，提升地表覆盖度和土壤固持能力；坡面区域立地条件较差，应优先选择耐旱、耐贫瘠、萌蘖能力强的乡土草本和灌木，利用根系交织形成浅层固土网络；坡脚区域水分和养分相对集中，可适当配置深根植物，增强群落层次和生态缓冲能力。植物配置不宜依赖单一物种，应构建草、灌、乔合理搭配的复合群落，提高抗旱、抗风蚀和抗病虫能力。近自然修复理念要求尊重区域植被演替规律，种植密度、播种时期和养护周期应与当地气候节律相适应，通过乡土种源利用和群落结构优化，提升排土场植被恢复的稳定性。

5 生态修复复垦成效提升策略

5.1 分区复垦提高土地利用效率

分区复垦应以排土场地形条件、土壤质量、坡面稳定性和

后续利用方向为依据,避免采用单一治理模式。平台区域承载条件较好,可优先配置为林草恢复区、生产复垦区或生态缓冲区,重点提高土地综合利用率;坡面区域受侵蚀和失稳影响较大,应以水土保持、植被护坡和生态防护为主,控制人为扰动强度;坡脚区域易汇集径流和沉积物,应布设排水调蓄、沉沙拦截和植被过滤带,降低外排泥沙含量。分区复垦还需结合国土空间管控要求,将矿区修复目标与周边土地格局衔接起来,通过功能分区、技术分区和管护分区同步设计,提高复垦工程的精准性。集约节约理念要求有限土地资源得到最大化利用,使不同区块形成安全稳定、生态恢复和土地再利用协同推进的复垦格局。

5.2 养护管理巩固植被恢复成果

养护管理应贯穿排土场植被恢复全过程,重点控制苗木成活率、地表覆盖度和群落稳定性。复垦初期土壤结构尚未完全稳定,植物根系浅、抗逆能力弱,应根据气候条件开展补水、保墒、遮护和封育管理,减少干旱、风蚀和人为扰动对幼苗生长的影响。出现缺株、斑秃和覆盖不足区域时,应及时补播补植,并结合坡位差异调整草灌比例,防止裸露地表重新发生冲刷^[5]。养护期间还需开展病虫害防控、杂草调控和肥力维护,避免单一植物优势过强造成群落退化。生态修复成效不能只依赖一次性种植,需建立季节性巡查、分级管护和责任落实机制,

使植被由人工建植阶段逐步进入自然更新阶段,提升排土场复垦成果的持续性。

5.3 动态监测优化后续治理方案

动态监测应覆盖排土场边坡稳定、水土流失、土壤质量、植被长势和复垦利用状态等关键环节。边坡区域可重点监测裂缝扩展、沉降变化和坡面位移,及时识别潜在失稳风险;水土流失区域需记录冲沟发育、泥沙淤积和排水设施运行情况,为截排水系统维护提供依据;土壤监测应关注有机质、含水量、酸碱度和养分变化,判断改良措施是否达到植物生长需求;植被监测应分析覆盖度、成活率、物种组成和群落演替趋势,及时调整补植和养护方案。智慧矿山理念可引入无人机巡查、遥感识别和传感器监测,形成数据化管理模式,使复垦治理从经验判断转向精准决策,提高排土场生态修复的稳定性和可控性。

6 结语

排土场生态修复和土地复垦应以地形稳定、土壤重构、植被恢复和持续管护为核心。边坡整形、截排水、防护加固能够夯实治理基础,表土覆盖、土壤改良和乡土植物配置可提升复垦质量。分区利用、养护管理和动态监测相互衔接,有助于提高露天采矿排土场生态恢复水平和土地再利用效率。

参考文献:

- [1] 田光.干旱区露天矿排土场生态修复关键技术现状[J].露天采矿技术,2025,40(1):34-38.
- [2] 全民,朱向前,达良俊.露天煤矿排土场复垦的土壤改良与植被恢复联用模式研究[J].华东师范大学学报(自然科学版),2025(6):63-70.
- [3] 熊姝臻,吕刚.冻融作用下露天煤矿排土场土体饱和和导水率变化特征[J].灌溉排水学报,2025,44(7):64-69.
- [4] 田文贺,郭宇航.露天采矿工程中的生态修复施工技术研究[J].中国金属通报,2025(10):49-51.
- [5] 孙成亮.露天采矿工程中的采矿技术与施工安全[J].中国金属通报,2025(12):31-33.