

露天煤矿土地复垦与生态修复技术

赵 君

中煤平朔集团有限公司 山西 朔州 036000

摘要：露天煤矿开采虽对能源供应意义重大，但会造成土地挖损、压占、塌陷以及土壤质量恶化、生态系统失衡等多方面破坏。本文深入分析其土地破坏特征与生态影响后，系统阐述了土地复垦技术，涵盖土地平整重塑、土壤重构及复垦土地利用规划等；同时详细介绍生态修复技术，包括植被恢复、水体修复与微生物修复技术及其作用机制与应用要点。通过对这些技术的探讨，旨在为露天煤矿土地复垦与生态修复工作提供全面且具针对性的理论依据与实践指导，助力实现露天煤矿开采与生态环境协调发展。

关键词：露天煤矿；土地复垦；生态修复技术

引言：露天煤矿在全球能源体系中占据重要地位，其开采规模不断扩大。然而，这一过程不可避免地给土地资源和生态环境带来了诸多严峻挑战。土地破坏形式多样且程度不一，如大面积挖损致使地形地貌巨变，大量土石压占土地使其丧失原有功能，采空区塌陷引发地表沉陷等。土壤质量也因开采活动而严重下降，养分流失、结构破坏、重金属污染等问题频发。生态系统层面，植被被大量铲除，动物栖息地破碎化，生物多样性锐减，水土流失、土地沙化等生态灾害加剧。鉴于此，深入研究露天煤矿土地复垦与生态修复技术显得极为迫切，这对于恢复土地生产力、重建生态平衡、推动区域可持续发展具有不可替代的重要意义。

1 露天煤矿土地破坏特征及生态环境影响分析

1.1 土地破坏类型与程度

挖损表现为大规模挖掘使地表形成深坑、沟壑，直接破坏原土地形态与植被覆盖。压占源于开采产生的大量土石、废渣堆积在周边土地，占据大量空间且改变土地物理性质。塌陷则是由于地下采空区失稳，导致地表下沉、开裂，严重影响土地平整度与稳定性。其破坏程度因煤矿规模、开采方式而异，大型露天煤矿可能造成数千公顷土地挖损，堆积的废渣可达数亿立方米，塌陷区范围可达数十平方公里，使土地丧失原有农业、林业等生产功能，土地资源浪费严重且修复难度极大。

1.2 土壤质量变化

土壤质量变化涉及多方面因素，其中生物性质的改变尤为关键。微生物活动受限，致使土壤中养分循环减缓，有机物分解效率降低。土壤酶活性降低，直接削弱了土壤中各种生化反应的速率，影响植物对养分的吸收利用。生物多样性减少，破坏了土壤生态系统的稳定性与平衡，使土壤抵御外界干扰的能力下降。这些生物性

质的负面变化相互交织，最终导致土壤肥力衰退，结构变差，保水保肥能力弱化，严重威胁着农业生产与生态环境的可持续性^[1]。

1.3 生态系统破坏表现

植被方面，大量植被被清除，原生植物群落结构被破坏，物种多样性急剧减少，植被覆盖度大幅降低，一些珍稀濒危植物失去栖息地。动物方面，栖息地丧失与破碎化使动物觅食、繁殖与迁徙受到阻碍，许多动物被迫迁移或数量锐减，如一些鸟类失去筑巢场所，兽类活动范围受限。水土流失加剧，土壤侵蚀模数增大，大量泥沙流入河流湖泊，导致水体浑浊、河床抬高，影响水生生物生存环境。土地沙化风险增加，尤其在干旱半干旱地区，植被破坏与土壤结构改变使土地更易遭受风沙侵蚀，生态系统的稳定性与服务功能遭到严重破坏，区域生态平衡被打破，生态自我修复能力减弱。

2 露天煤矿土地复垦技术

2.1 土地平整与重塑工程技术

运用先进的测量仪器，如全站仪、GPS 接收机等，对采区及周边土地进行高精度测量，获取详细的地形数据，包括高程、坡度、坡向等信息。依据这些数据，借助地理信息系统（GIS）软件进行精准分析与模拟，从而制定科学合理的平整方案。在挖损区，利用大型挖掘机、推土机等机械设备，将高低不平的土地进行挖填作业，使地形趋于平整。对于塌陷区，根据塌陷程度和范围，采用填充、夯实等方法，恢复地表的稳定性和基本平整度。在重塑地形时，充分考虑土地的后续规划用途，若规划为耕地，则严格控制坡度在适宜耕种的范围内，并设置完善的排水灌溉系统，以保障农业生产需求；若用于林地建设，则可适度营造起伏的微地形，增加生境多样性，有利于树木生长和生态系统的逐步恢

复。在施工过程中,注重对土方的合理调配与利用,减少不必要的运输和浪费,降低工程成本。并且,要对平整与重塑后的土地进行实时监测,确保各项指标符合设计要求,为后续的土壤重构、植被恢复等复垦工作奠定坚实基础,有力推动露天煤矿土地复垦的整体进程,提高土地资源的再利用价值。

2.2 土壤重构技术

土壤重构技术在土地复垦与改良中具有关键意义,其中客土选择与添加环节依据严格的标准执行。根据《土地复垦质量控制标准》(TD/T 1036-2013)相关条文规定,客土的质地应与周边原生土壤相适配,以保障土壤结构的稳定性与通气性。例如,在质地分类中,壤质土通常更有利于植物根系生长与水分渗透。其容重指标也有要求,一般应控制在 $1.1-1.3\text{g/cm}^3$ 之间,避免因容重大影响根系发育或过小导致土壤过于疏松。在养分方面,土壤有机质含量应不低于特定数值,如某些地区要求不低于1.5%,以维持土壤肥力与微生物活性。对于重金属含量等污染物指标,必须严格符合国家标准中农用地土壤污染风险管控标准,防止引入污染土壤对生态环境造成危害。这些标准的遵循有助于科学合理地开展客土选择与添加工作,为成功的土壤重构奠定坚实基础,实现土地资源的可持续利用与生态平衡^[2]。

2.3 复垦土地利用规划

露天煤矿土地复垦技术中的复垦土地利用规划是一项系统且关键的工作。在进行规划时,首先要综合考量土地的原始状况、开采破坏程度以及周边生态环境等多方面因素。基于精准的评估,对于土层厚度尚可、土壤肥力经改良后能满足一定要求的区域,可以规划为农业用地,种植适合当地气候与土壤条件的农作物或经济作物,发展生态农业,实现一定的经济效益并保障粮食生产安全。对于靠近矿区作业区或交通干线、地势相对平坦开阔的复垦土地,可纳入工业用地范畴,用于建设与煤矿相关的附属产业或其他无污染工业项目,促进产业集聚与经济多元发展。而那些在复垦后生态系统较为脆弱、地形有一定起伏但具备景观营造潜力的土地,则可规划为生态绿地或公园用地,通过植树造林、打造景观湖泊与休闲步道等,为周边居民提供休闲娱乐场所,同时发挥水土保持、空气净化与生物栖息等生态功能。合理的复垦土地利用规划能够充分挖掘露天煤矿复垦土地的价值,推动区域经济、社会与生态的协调共进。

3 露天煤矿生态修复技术

3.1 植被恢复技术

在露天煤矿生态修复的植被恢复技术中,适生植物

筛选与合理种植及抚育管理是关键环节,并已有诸多成功应用案例。以位于内蒙古自治区的某露天煤矿为例,该煤矿在复垦土地上开展植被恢复工作。在适生植物筛选方面,经详细检测,其复垦土壤肥力极低,酸碱度呈弱酸性,质地偏沙,且含有一定量的重金属铅、锌等有害物质,当地气候干旱少雨、光照充足、昼夜温差大、海拔约1200米。综合考量后,筛选出沙棘作为先锋植物。沙棘具有极强的耐旱、耐贫瘠和一定的抗重金属污染能力,其根系发达,能在恶劣土壤环境中扎根。种植三年后,土壤的有机质含量从最初的0.5%提升至1.2%,为后续植物生长奠定了基础。随后引入目标植物群落构建物种,如紫花苜蓿、披碱草等豆科与禾本科植物,利用它们在生态位上的互补,形成了稳定的植物群落结构。在植被种植环节,针对紫花苜蓿种子繁殖能力强的特点,采用大规模种子直播,播种面积达50公顷,种子发芽率达80%以上。而对于披碱草则采用育苗移栽方式,移栽成活率约90%。种植后,实施了完善的抚育管理措施。在灌溉上,根据当地降水和植物需水情况,每年灌溉6-8次,每次灌溉量约30立方米/亩,保障了植物生长水分需求。合理施肥使土壤中氮、磷、钾含量分别提升了30%、25%、20%。通过定期病虫害防治,植物病虫害发生率控制在5%以内。经过五年的抚育间伐,植被群落密度从最初的每平方米20株调整至35株左右,形成了多层次、多结构的稳定植被群落,该区域植被覆盖率从不足10%提升至60%,有效提升了露天煤矿生态系统的稳定性与生物多样性,为其他露天煤矿的植被恢复提供了有益借鉴。^[3]

3.2 水体修复技术

3.2.1 物理处理技术

物理处理技术在露天煤矿水体修复中起着基础作用。格栅可拦截大型杂物,某矿排水口格栅使大型漂浮物去除率超80%。沉淀法利用重力沉淀悬浮颗粒,一般沉淀数小时,可使泥沙沉淀率达70%以上。过滤技术如砂滤能进一步去除微小杂质,经其处理后水体浊度显著降低,悬浮物含量减少约80%,能有效避免后续管道堵塞,为后续处理流程奠定基础,提升水体修复效率与质量。

3.2.2 化学处理技术

化学处理技术针对性强。对于酸性废水,用石灰中和,可将pH值从4左右提升至6-8,降低酸性危害。化学沉淀法处理含重金属废水,投加硫化物沉淀剂,能使铜、锌等重金属离子浓度降低85%以上。氧化还原法可分解还原性物质,如用双氧水氧化废水中的有机物,有效削减特定污染物浓度,保障水体达到相应环保排放要求

或回用标准。

3.2.3 生物处理技术

生物处理技术环保且高效。微生物处理靠特定菌群分解污染物,投加降解有机物与氨氮的菌群后,COD可降低70%,氨氮减少65%左右。人工湿地借助水生植物与微生物协同,芦苇、菖蒲等植物为微生物提供环境,植物吸收氮磷。实验显示,人工湿地对氮去除率约50%-70%,磷去除率40%-60%,逐步恢复水体生态功能与自净能力。

3.3 微生物修复技术

在露天煤矿生态修复技术体系中,微生物修复技术独具特色且潜力巨大。一些微生物能够对露天煤矿开采过程中产生的有机污染物,如煤矸石中的多环芳烃等进行降解。特定细菌可利用这些有机物质作为碳源,通过体内酶系的催化作用,逐步将复杂有机物分解为无害的二氧化碳和水,从而降低土壤和周边环境中的有机污染负荷。对于重金属污染,部分微生物可通过生物吸附和生物转化机制发挥作用。某些细菌和真菌细胞壁上的官能团能与重金属离子结合,将其固定在细胞表面,减少其在土壤中的迁移性与生物可利用性。还有微生物可将重金属离子从毒性较高的价态转化为较低毒性价态,例如将六价铬还原为三价铬。此外,微生物在促进土壤团聚体形成和改善土壤肥力方面也有积极贡献。它们能分解有机残体形成腐殖质,腐殖质作为胶结剂有利于土壤颗粒的团聚,增强土壤结构稳定性,微生物的代谢活动可释放氮、磷、钾等营养元素,为植被恢复提供养分基础,助力露天煤矿生态系统逐步走向恢复与重建。

4 露天煤矿土地复垦与生态修复技术发展趋势与展望

露天煤矿土地复垦与生态修复技术呈现多维度的发展趋势。多学科交叉融合将成为主流,生物技术可助力土壤微生物群落构建以加速土壤改良;材料技术研发新型环保填充与覆盖材料,提升复垦效果;信息技术实现精准监测与智能调控,如利用卫星遥感与无人机实时掌握土地复垦进程与生态变化。绿色可持续发展理念深入渗透,资源循环利用技术把煤矸石等废弃物转化为建

筑材料或土壤改良剂,减少废弃物排放并降低成本。新能源应用与节能减排技术降低复垦作业能耗与碳排放,实现低碳环保复垦。基于生态系统整体修复理念,技术体系从局部土地复垦向山水林田湖草生命共同体综合修复迈进,注重区域生态系统的完整性与关联性修复,建立长期生态监测网络与动态评估模型,确保修复效果的稳定性与可持续性。展望未来,相关政策法规将持续完善,加大对创新技术研发与应用的扶持力度,鼓励企业与科研机构深度合作,加强国际交流合作,引进国外先进技术与管理经验,结合我国露天煤矿实际情况进行本土化改进与推广,推动我国露天煤矿土地复垦与生态修复技术达到世界领先水平,实现露天煤矿开采与生态环境的和谐共生^[4]。

结束语

在露天煤矿土地复垦与生态修复技术的探索道路上,虽已取得诸多成果,但仍面临持续挑战。通过对土地破坏特征的精准剖析与各类复垦修复技术的深入研究应用,我们在逐步构建科学高效的应对体系。未来,需进一步强化技术创新与集成优化,结合不同矿区的特殊条件灵活运用,同时注重长期监测与效果评估,以不断提升复垦与修复成效。只有秉持科学严谨、持之以恒的态度,才能真正实现露天煤矿开采与生态环境的和谐共生,让受损土地重焕生机,生态系统得以稳定重建与持续发展。

参考文献

- [1]周国驰,杨卓,康亚华.露天煤矿土地复垦与生态修复技术[J].露天采矿技术,2022,37(1):34-56
- [2]毕银丽,刘涛.露天矿区植被协同演变多源数据时序分析——以准格尔矿区为例[J].煤炭科学技术,2022,50(1):56-78
- [3]官天廷,胡斌.基于矿山土地复垦与生态恢复治理方法分析[J].现代农业研究,2020,26(9):112-124
- [4]云伟罗,小明冯.露天采矿生态环境恢复治理土地复垦研究[J].生态环境与保护,2020,003(003):134-145