

矸石填埋场封场生态修复

章 丰

山西宏厦建筑工程第三有限公司 阳泉 045000

摘 要：随着煤炭等资源的大规模开采，矸石填埋场数量不断增加，对周边生态环境造成严重影响。矸石填埋场封场后的生态修复成为改善区域生态环境、实现可持续发展的关键举措。本文系统分析了矸石填埋场的生态环境问题，探讨了封场生态修复的技术原理与方法，结合实际案例阐述修复过程与效果，并对未来矸石填埋场封场生态修复的发展趋势进行展望，旨在为相关工程提供理论参考与实践指导，推动生态环境的改善与修复。研究表明，通过科学合理的生态修复技术应用，可显著改善矸石填埋场及其周边生态环境，实现生态效益、经济效益与社会效益的协同发展。

关键词：矸石填埋场；封场；生态修复；修复技术；可持续发展

1 引言

煤炭作为我国能源体系的重要支柱，在过去数十年间为经济高速发展提供了强大动力。据国家统计局数据显示，我国煤炭年产量长期稳定在 30 亿吨以上，然而，每开采 1 吨煤炭平均会产生 0.2 - 0.3 吨的矸石。这些矸石大量堆积形成填埋场，截至 2023 年底，全国已建成的矸石填埋场面积累计超过 20 万公顷。矸石的随意堆放与填埋不仅占用大量土地资源，还会引发一系列生态环境问题，如土壤污染、水体污染、大气污染以及地质灾害等。当矸石填埋场达到使用年限后，对其进行封场生态修复成为解决环境问题、恢复生态功能的必然选择。矸石填埋场封场生态修复涉及地质学、生态学、环境科学等多学科知识，是一项复杂的系统工程，对改善区域生态环境质量、保障生态安全具有重要意义。同时，随着“双碳”目标的推进，矸石填埋场生态修复也是实现绿色低碳发展的重要环节。

2 矸石填埋场的生态环境问题

2.1 土地资源占用

矸石的大量堆积占用了大量的土地资源。据统计，每万吨矸石约占地 1.5 - 2.0 亩。在一些煤炭主产区，如山西、内蒙古等地，连片的矸石山随处可见，部分矿区周边的矸石堆积面积甚至超过了矿区本身。这些被占用的土地原本可用于农业生产、建设，但由于矸石堆积难以直接利用，造成土地资源的严重浪费，同时也破坏了土地的原有生态系统，影响了区域生态平衡。

2.2 土壤污染

矸石中含有大量的重金属（如铅、镉、汞等）和有害物质（如硫化物等）。相关研究表明，在某些矸石堆积区，土壤中铅含量可超出背景值 5 - 10 倍，镉含量超出

背景值 3 - 8 倍。在雨水冲刷和风化作用下，这些有害物质会逐渐释放到土壤中，导致土壤理化性质发生改变，土壤 pH 值下降，土壤微生物群落结构失衡，土壤肥力下降，影响植物的生长，甚至通过食物链危及人类健康。此外，矸石中的有害物质还会抑制土壤中酶的活性，进一步影响土壤的生态功能^[2]。

2.3 水体污染

矸石淋溶水含有大量的酸性物质和重金属离子。矸石中的硫化物氧化后会产生大量硫酸，使淋溶水 pH 值可低至 3 - 4。这些淋溶水渗入地下，会污染地下水，使地下水中重金属含量超标；若直接排入地表水体，会对河流、湖泊等造成污染，破坏水生生态系统，影响周边居民的饮用水安全和农业灌溉用水质量。例如，某矿区周边河流因长期受矸石淋溶水影响，鱼类大量死亡，水体生态系统遭到严重破坏。

2.4 大气污染

矸石在堆积过程中，会发生自燃现象，产生大量的二氧化硫、氮氧化物、颗粒物等污染物，对大气环境造成严重污染。研究表明，矸石自燃时，每燃烧 1 吨矸石可产生约 20 - 30 千克二氧化硫。此外，矸石表面的粉尘在风力作用下也会飘散到空气中，增加空气中的颗粒物含量，影响空气质量。在干燥多风季节，矸石粉尘可随风扩散数公里，对周边居民的呼吸系统健康造成威胁。

2.5 地质灾害隐患

矸石堆积体由于结构松散，在雨水冲刷、地震等因素影响下，容易发生滑坡、泥石流等地质灾害，对周边居民的生命财产安全构成严重威胁。据不完全统计，我国每年因矸石山滑坡、泥石流等灾害造成的直接经济损失超过数亿元。一些矸石山因堆积高度过高、坡度较

陡,在暴雨季节极易发生滑坡,冲毁周边的房屋、道路和农田。

3 矸石填埋场封场生态修复技术

3.1 封场工程技术

封场工程是矸石填埋场生态修复的基础。主要包括地形整理、覆盖系统构建等内容。地形整理是通过将矸石堆体进行平整、压实,使其形成稳定的坡度,减少水土流失和地质灾害的发生风险。一般而言,矸石堆体坡度应控制在 1:1.5 - 1:2 之间,并在坡面设置排水沟,防止雨水积聚冲刷坡面。覆盖系统一般由排气层、防渗层、排水层和植被层组成。排气层可采用土工复合排水网或碎石层,排出矸石堆体中产生的气体,防止气体积聚引发爆炸等危险;防渗层通常使用高密度聚乙烯(HDPE)膜,能够有效阻止雨水渗入矸石堆体,减少淋溶水的产生;排水层采用土工布和碎石组合,可及时排除覆盖层中的积水,保护防渗层;植被层则起到美化环境、稳固土壤的作用。在一些特殊地质条件下,还需对封场工程进行针对性设计,如在地震多发区,需加强覆盖系统的抗震性能。

3.2 土壤改良技术

针对矸石填埋场土壤污染和肥力不足的问题,需要进行系统的土壤改良。常用的物理、化学和生物改良方法协同作用,能显著提升修复效果。物理改良方面,客土置换是将污染严重的表层土壤移除,换上经过检测的优质种植土,为植物生长创造基础条件。在重庆某矸石填埋场修复实践中,通过客土置换后,土壤重金属含量降低了 40% 以上,有效改善了植物立地条件。但需注意新土与原有土壤的质地、酸碱度匹配,避免因孔隙度差异导致水分渗透不均或土壤分层现象。化学改良以添加土壤改良剂为主,石灰、有机肥、生物炭等材料在不同污染场景下发挥独特作用。石灰能快速调节酸性土壤 pH 值,研究表明,向 pH 值 4.5 的矸石土壤中添加 3% 的石灰,3 个月后土壤 pH 可提升至 6.0-6.5,有效降低重金属活性;有机肥(如腐熟农家肥、堆肥)则通过增加腐殖质含量,改善土壤团粒结构,提升保水保肥能力;生物炭具备丰富孔隙结构,既能吸附重金属离子,又能为微生物提供栖息场所,促进污染物降解。生物改良技术近年来发展迅速,通过接种特定功能的微生物菌剂,可定向促进土壤中有害物质的降解和转化。例如,在山西某矿区修复中,采用复合微生物菌剂处理矸石土壤,6 个月后多环芳烃降解率达到 35%,同时固氮菌、解磷菌等功能菌群改善了土壤养分循环。此外,植物-微生物联合修复模式值得关注,通过种植超富集植物(如蜈蚣草、印

度芥菜)与微生物协同作用,既能稳定土壤结构,又能逐步降低污染物含量。综合运用多种改良手段,结合长期动态监测,才能实现矸石填埋场土壤生态功能的有效恢复^[1]。

3.3 植被恢复技术

植被恢复是矸石填埋场生态修复的核心环节。选择适宜的植物种类是植被恢复成功的关键。应优先选择耐贫瘠、耐干旱、抗污染、根系发达的植物,如紫穗槐、沙棘、柠条等。这些植物不仅能够在恶劣的环境中生长,还能通过根系固土,减少水土流失。同时,可以采用草-灌-乔相结合的种植模式,构建稳定的生态群落。例如,在植被恢复初期,可先种植草本植物如狗牙根、高羊茅,快速覆盖地表,防止水土流失;中期种植灌木如紫穗槐、沙棘,增加植被层次;后期种植乔木如刺槐、杨树,形成稳定的森林生态系统。此外,还可以运用植被混凝土、喷播等技术,提高植被恢复的效率和效果。植被混凝土是将水泥、保水剂、肥料等按一定比例混合,与植物种子一起喷射到坡面,为植物生长提供稳定的基质;喷播技术则是将植物种子、肥料、粘合剂等混合后,通过专用设备喷射到坡面,适用于大面积的植被恢复^[3]。

3.4 污染治理技术

对于已经产生的土壤、水体和大气污染,需要采取相应的治理技术。在土壤污染治理领域,物理修复、化学修复和生物修复技术各有优势与适用场景。物理修复中的电动修复技术,是通过在污染土壤中施加稳定电场,利用电动力学原理驱动重金属离子、有机污染物等向电极定向迁移,最终在电极附近富集并分离去除,该技术对低渗透性土壤中的重金属污染治理效果显著。化学修复的化学淋洗技术,会选用合适的化学溶剂(如酸、碱溶液或螯合剂)与土壤充分接触,通过溶解、络合、离子交换等作用将污染物从土壤颗粒表面解吸并冲洗出来,后续再对淋洗液进行处理,实现污染物的分离和土壤的净化。生物修复的植物修复技术,则是利用超积累植物(如蜈蚣草对砷、东南景天对锌镉的超量富集能力),通过根系吸收、转运和积累土壤中的重金属,待植物成熟后收割并进行无害化处理,逐步降低土壤重金属含量。水体污染治理方面,针对矸石淋溶水的特性,需因地制宜建设污水处理设施。中和沉淀工艺通过添加碱性药剂(如石灰)调节淋溶水 pH 值,使重金属离子生成氢氧化物沉淀析出;离子交换工艺利用离子交换树脂对特定离子的选择性吸附,去除水中的重金属和其他污染物;膜分离技术(如反渗透膜、纳滤膜)则依

靠半透膜的孔径筛分和选择性渗透原理,截留去除水中的悬浮物、重金属离子及有机污染物,确保处理后的水质达到排放标准。大气污染治理主要围绕抑制矸石自燃和洒水降尘两大核心措施展开。抑制矸石自燃可采用覆盖阻氧层的方式,通过铺设黏土、土工膜等材料隔绝空气,切断矸石氧化自燃的氧气来源;或者采用注水降温法,利用高压水枪或预埋管道向矸石堆内部注水,降低内部温度,抑制氧化反应。洒水降尘方面,可安装智能自动喷淋系统,通过传感器实时监测环境湿度和扬尘浓度,根据设定阈值自动启动喷淋装置,定期对矸石表面进行均匀洒水,有效抑制扬尘污染,减少大气中颗粒物和有害气体的排放^[4]。

4 矸石填埋场封场生态修复案例分析

4.1 案例概况

以山西某大型煤矿矸石填埋场为例,该填埋场占地面积约 500 亩,已运行 20 余年,堆积矸石量达 500 万吨以上。由于长期堆积,周边土壤中铅、镉等重金属含量超标严重,土壤 pH 值降至 4.0 左右;矸石淋溶水直接排入周边河流,导致河流水体呈酸性,重金属含量超标;矸石堆体多次发生自燃,周边大气中二氧化硫、颗粒物浓度长期超标,且存在滑坡等地质灾害隐患。

4.2 修复方案

首先进行封场工程,对矸石堆体进行地形整理,坡度控制在 1:1.5 - 1:2 之间,并构建覆盖系统。排气层采用 30cm 厚的碎石层,防渗层选用 2mm 厚的 HDPE 膜,排水层采用土工布和碎石组合,植被层覆盖厚度为 50cm 的种植土。在土壤改良方面,添加石灰调节土壤酸碱度,每亩添加量为 200 - 300 千克;同时施加有机肥,每亩用量为 3 - 5 吨,改善土壤肥力。植被恢复采用草 - 灌 - 乔相结合的模式,初期种植狗牙根、高羊茅等草本植物,中期种植紫穗槐、沙棘等灌木,后期种植刺槐、杨树等乔木。同时,建设污水处理设施,采用中和沉淀 - 离子交换 - 膜分离的组合工艺,对矸石淋溶水进行处理。为抑制矸石自燃,在矸石堆体表面覆盖 50cm 厚的黄土阻氧层,并安装温度监测系统,实时监测矸石堆体温度。

4.3 修复效果

经过 3 年的修复,该矸石填埋场的生态环境得到明显改善。植被覆盖率从修复前的不足 5% 提高到 60% 以上,土壤 pH 值提升至 6.5 - 7.0,土壤中重金属有效态含量降低 30% - 50%,土壤肥力得到显著提升。矸石淋溶

水经过处理后,各项指标均达到国家排放标准,周边河流水质得到明显改善。通过抑制矸石自燃和洒水降尘措施,周边大气中二氧化硫、颗粒物浓度分别下降 60% 和 50%,空气质量显著改善。同时,通过地形整理和覆盖系统构建,地质灾害隐患基本消除。此外,修复后的区域还发展了生态农业,实现了生态效益与经济效益的结合。

5 结论与展望

5.1 结论

矸石填埋场封场生态修复是解决矸石堆积带来的生态环境问题的有效途径。通过合理运用封场工程技术、土壤改良技术、植被恢复技术和污染治理技术,能够有效改善矸石填埋场的生态环境,恢复其生态功能。实际案例表明,科学的生态修复方案可以取得良好的修复效果,实现生态、经济和社会效益的统一。同时,生态修复过程中需要综合考虑区域自然条件、经济发展水平等因素,制定个性化的修复方案。

5.2 展望

未来,矸石填埋场封场生态修复技术将朝着更加科学化、精细化、智能化的方向发展。一方面,需要进一步深入研究矸石的特性和生态修复过程中的关键技术问题,开发更加高效、环保的修复技术。例如,研发新型的土壤改良剂和植被恢复材料,提高修复效率和效果。另一方面,应加强生态修复过程中的监测和管理,利用物联网、大数据等技术实现对修复过程的实时监控和动态调整。通过在修复区域安装传感器,实时监测土壤、水体、大气等环境指标,根据监测数据及时调整修复措施。此外,还应注重生态修复与当地产业发展相结合,探索生态修复后的土地综合利用模式,实现可持续发展。如将修复后的土地用于生态旅游、特色农业等产业,促进区域经济转型和绿色发展。

参考文献

- [1]王力进,赵涛.矸石填埋场生态修复技术研究进展[J].矿业研究与开发,2021,41(3):85-90.
- [2]陈光明,刘东.土壤污染修复技术及其应用[M].北京:科学出版社,2019.
- [3]孙力东.植被恢复在生态修复中的作用及技术[J].生态学报,2022,42(7):2980-2988.
- [4]李爽.矸石淋溶水对地下水污染的模拟研究[J].环境科学学报,2020,40(6):2100-2106.