

金属矿山生态修复关键技术研究进展

皮坤

上海申环环境工程有限公司, 中国·上海 200092

摘要: 金属矿山开采对生态环境的破坏已成为全球范围内的严峻挑战, 涉及土地损毁、土壤污染、水资源污染和植被破坏等多方面问题。为应对这些问题, 生态修复关键技术与应用备受关注。论文系统梳理了金属矿山生态修复的主要关键技术, 包括土壤修复技术、植被恢复技术和矿山废水处理技术, 探讨了各技术的研究进展、应用效果及其在解决矿区生态退化问题中的作用, 以期对金属矿山的生态治理提供理论参考和技术支持。

关键词: 金属矿山; 生态修复; 关键技术

Research Progress on Key Technologies for Ecological Restoration of Metal Mines

Kun Pi

Shanghai Shenhuan Environmental Engineering Co., Ltd., Shanghai, 200092, China

Abstract: The damage of metal mining to the ecological environment has become a severe challenge worldwide, involving various issues such as land damage, soil pollution, water resource pollution, and vegetation destruction. To address these issues, the research and application of key technologies for ecological restoration have attracted much attention. The paper systematically summarizes the main key technologies for ecological restoration of metal mines, including soil remediation technology, vegetation restoration technology, and mine wastewater treatment technology. It explores the research progress, application effects, and role of each technology in solving the problem of ecological degradation in mining areas, in order to provide theoretical reference and technical support for ecological governance of metal mines.

Keywords: metal mines; ecological restoration; key technology

0 前言

金属矿产资源作为现代工业的基础, 其开采活动对经济发展具有重要意义。然而, 大规模、高强度的矿产资源开发对生态环境造成了显著冲击, 表现为土地退化、土壤重金属污染、水体破坏以及植被消失等问题, 不仅威胁区域生态系统的稳定性, 还影响居民生活质量和经济可持续发展。近年来, 随着生态环境保护意识的提升和相关法规政策的推进, 金属矿山生态修复技术成为国内外研究与实践的热点领域。为此, 深入研究并优化金属矿山生态修复关键技术具有重要意义, 不仅能够推动矿区环境质量的提升, 还为矿产资源的绿色开发提供了技术保障。

1 金属矿山生态修复关键技术的重要性

金属矿山生态修复关键技术的重要性在于其不仅是恢复矿区生态环境、实现可持续发展的核心手段, 更是解决因矿产资源开发而引发的生态危机和环境治理难题的重要途径。针对矿区生态环境恶化的具体表现, 研发并应用科学、高效的生态修复技术是解决矿山生态问题的必然选择。生态修复关键技术通过物理、化学、生物等多学科交叉的手段, 旨在恢复矿区的生态功能、降低污染物的环境风险, 并为区域生态系统提供长期的稳定支持^[1]。例如, 通过土壤修复技术可以改善受污染土壤的理化性质, 减少重金属等有害物质

对生态系统的侵害; 植被恢复技术则通过引入适应性强的植物种类和科学的植被重建模式, 加速矿区生态系统的自然恢复过程; 而矿山废水处理技术则有效缓解了矿区水体污染对下游环境及居民健康的威胁。因此, 从维护自然生态系统的平衡、推动资源节约型和环境友好型社会建设的高度来看, 金属矿山生态修复关键技术的开发和应用具有不可替代的重要价值, 是实现人与自然和谐共生的重要实践, 也是实现矿产资源开发与生态保护协调发展的重要途径。

2 金属矿山生态破坏特征

2.1 土地损毁

金属矿山的土地损毁是生态破坏的最直观表现, 主要体现在地形地貌的改变和土地资源的功能退化。矿区开采过程中, 大量的剥离土石堆积在矿区周边, 形成了大面积的尾矿堆、废渣堆和开采坑, 这些区域的土壤表层被破坏, 导致土地失去耕种和自然植被生长的功能。此外, 矿山开采常伴随着爆破、挖掘等强烈的人为干扰, 不仅破坏了土地的原始结构, 还可能导致地质灾害的发生, 如滑坡、泥石流等, 这进一步威胁周边区域的生态安全。矿区的土地损毁还体现在土地利用率先下降, 许多矿区废弃土地长期闲置, 无法被重新利用。由于表土层丧失, 土地的持水能力和养分含量显著降低, 生态修复难度加大。

2.2 土壤污染

土壤污染是金属矿山生态破坏的重要特征之一,其主要表现为重金属污染的严重累积。矿山开采和冶炼过程中,大量的重金属元素(如铅、镉、铜、锌等)随废水、废气或尾矿堆积渗入土壤,导致土壤中的重金属浓度远超自然水平。这些重金属通常具有高毒性、持久性和不可降解性,容易通过植物根系吸收进入食物链,进而威胁区域内生物多样性和人类健康。此外,矿山废水和酸性矿山排水的排放会显著降低土壤的 pH 值,导致土壤酸化,进而加速重金属的迁移和活化,扩大污染范围。土壤污染还影响植物生长,降低植被覆盖率,使土壤的生态功能进一步退化。更严重的是,受污染的土壤在短期内难以自然恢复,修复过程往往需要投入大量的人力、物力和技术。

2.3 植被破坏

植被破坏是金属矿山生态破坏中不可忽视的环节,直接影响区域生态系统的稳定性和恢复能力。矿区开采需要大面积的土地清理,这通常伴随着原始植被的彻底破坏,导致植物群落结构和生态系统功能的崩塌。植被的减少直接削弱了土壤的固定能力,使得矿区和周边地区更易发生水土流失、风蚀和沙化。此外,矿山排放的废气、粉尘和废水会对植物造成二次破坏,污染物可能通过大气沉降或水流扩散到周边区域,对植物的生长造成抑制作用。例如,高浓度的重金属会积累在植物根部,影响其吸收水分和养分的能力,甚至导致植物死亡。

2.4 水资源污染与破坏

水资源的污染与破坏是金属矿山生态破坏的一个重要表现,主要由矿山废水排放和矿区开采活动引起。矿山废水通常含有大量的重金属离子、有机污染物及酸性物质,如不经处理直接排放,会导致矿区及其下游水体的重金属污染和酸化问题,破坏水体生态环境。

3 金属矿山生态修复关键技术

3.1 土壤修复技术

3.1.1 物理修复技术

金属矿山土壤修复中的物理修复技术主要通过物理手段对土壤的物理性质进行改良,从而恢复土壤的生态功能。常见的物理修复方法包括土壤压实、土壤耕作、覆盖材料的使用以及土壤通气性改善等。物理修复的核心目标是改善土壤的结构,提高其水分保持能力和通气性能,增加土壤的透气性,促进植物的根系发育。这些方法尤其适用于矿山土壤受污染或受到机械破坏后,土壤疏松、通气差的情形。在具体操作过程中,常通过增加覆盖层,如沙土、木屑等,有助于保持水分并减少土壤蒸发^[2]。为了改善矿区土壤的生态环境,土壤耕作是非常有效的手段之一,它通过翻松土壤,改变土壤层次结构,促进水分和空气的渗透,有效降低土壤紧实度,防止矿山区域的沙尘暴发生。

3.1.2 化学修复技术

化学修复技术主要通过改变土壤的化学性质来去除或中和土壤中的污染物,从而恢复土壤的生态功能。在金属矿山生态修复中,化学修复技术常用于处理土壤中的重金属污染及酸性矿山排水带来的土壤酸化问题。常见的化学修复方法包括中和法、还原法、沉淀法和吸附法等。还原法则利用还原剂(如硫化物)改变土壤中重金属的价态,使其变为不易溶解的形态,从而降低其生物有效性。沉淀法通过加入具有沉淀能力的化学物质(如磷酸盐或碳酸盐),与重金属离子反应生成难溶化合物,从而去除土壤中的污染物^[3]。吸附法则利用某些物质(如膨润土、活性炭等)的强吸附性,将污染物吸附并固定,从而减少其对植物生长的危害。尽管化学修复技术能在短期内显著降低污染物浓度,但也存在着一定的风险,如可能产生二次污染或者土壤结构破坏等问题。

3.1.3 生物修复技术

生物修复技术利用植物、微生物或其他生物体的自然生长和代谢过程,降解或吸收土壤中的污染物,从而达到修复的目的。在金属矿山生态修复中,生物修复技术的应用越来越广泛,尤其是在重金属污染较为严重的矿区。植物修复(植物修复或植物修复)是最为常见的生物修复技术之一,其通过选择能够耐受或吸收特定污染物的植物种类,将污染物积累在植物体内,从而减少土壤中的污染负荷。例如,某些植物能够吸收重金属(如铅、镉、铜等)并积累在根系、茎叶中,进而通过植物的收割来去除土壤中的污染物。此外,植物的根系还可以通过分泌有机酸等物质,促进重金属的溶解和转化,进一步提高修复效率。微生物修复则通过微生物的代谢活动,降解或转化污染物。某些微生物能够将土壤中的有机污染物(如石油、苯等)降解成无害物质,或将土壤中的重金属转化为难溶或无毒形态,从而减少其生物可用性。生物修复技术的优势在于其环保、成本低且对生态系统影响较小。

3.2 植被恢复技术

3.2.1 植物品种筛选与培育

首先,需要根据矿区的土壤特点(如 pH 值、重金属污染程度、土壤盐碱度等)来筛选具有抗逆性、耐污染的植物品种。例如,某些植物如沙棘、狼毒草等能够耐受较为贫瘠的土壤环境,具备较强的抗逆性,适合用于矿山荒漠化区域的植被恢复。而对于重金属污染较为严重的区域,可以选择某些富集植物(如向日葵、银杏等),它们能够吸收并积累土壤中的有害物质,从而达到修复效果。其次,植物品种的培育也是至关重要的一步。许多矿区土壤贫瘠,营养元素缺乏,且可能存在高温、强光等极端环境条件,这使得植物在初期阶段难以生长。因此,培育适应这些环境的植物品种尤为重要。在这一过程中,常常采用种子处理、苗木培育等技术,优化植物的种子萌发率和苗木成活率。例如,通过温控、湿控和光照控制等条件,提高种子发芽率,培育出更具适应

性的植物种苗。最后,在矿区植物栽植后,还需定期进行植物的维护和管理,确保植被的存活率和生长速度。

3.2.2 植被重建模式

植被重建模式是金属矿山生态修复中的一个重要方面,涵盖了如何系统性地恢复矿山地区的生态系统功能。植被重建的模式主要包括人工植被重建和自然恢复两个方向。人工植被重建是指通过人工手段对矿区进行植物栽植、育苗、施肥等操作,迅速改善矿区的生态环境,并为后期的生态恢复提供条件。这种模式通常适用于严重破坏的矿区,特别是矿山开采初期,土壤贫瘠、环境恶劣,植物自然恢复能力较弱的地方。人工植被重建包括选择适合矿区环境的植物品种进行栽植,通过多样化的植物配置提高植物群落的稳定性和抗逆性^[4]。另一方面,随着修复工作的进展,可以逐渐转向自然恢复模式。在条件允许的情况下,依靠自然的自我恢复能力,通过减少人为干扰,促进土壤中的植物种子自行萌发与生长。这一模式强调通过恢复土壤肥力、优化环境条件,促进土壤中的天然植被逐步恢复。

3.3 矿山废水处理技术

3.3.1 传统处理技术

矿山废水传统处理技术主要针对矿山废水中的悬浮物、酸性物质、重金属离子等污染物,通过物理、化学和生物手段将其分离或去除。这些技术包括中和法、沉淀法和过滤法等。中和法是处理酸性矿山废水最为常用的手段之一,通常通过添加石灰、石灰石或碳酸钠等碱性材料,将废水中的酸性物质中和,从而提高 pH 值,并使重金属离子转化为难溶沉淀物。沉淀法则利用沉淀剂(如硫化钠、氢氧化钠等)将废水中的重金属离子转化为不溶性化合物,从而实现分离和去除。为了进一步净化废水,传统处理技术中常辅以过滤设备,如砂滤器、活性炭过滤器等,用以去除水中的悬浮颗粒和部分有机物。此外,传统技术的实施成本较低,操作流程成熟,适用于处理矿区中大量废水和污染物浓度较高的场景。

3.3.2 新型处理技术

近年来,新型矿山废水处理技术的研发与应用为矿区

生态修复提供了更高效、环保的解决方案。这些新技术包括膜分离技术、生物修复技术、光催化技术和电化学处理技术等。膜分离技术(如反渗透、超滤和纳滤)利用膜的选择透过性将废水中的重金属离子、有机污染物和悬浮物有效分离,具有高效、节能和操作简便的特点。生物修复技术是另一种新兴的环保技术,利用微生物或植物吸附、降解废水中的污染物。例如,某些微生物能够通过代谢将废水中的重金属离子转化为无毒或难溶形态,从而减少其对环境的威胁。光催化技术是一种利用光能促进化学反应的绿色技术,通过光催化剂降解废水中的有机物和部分重金属,具有高效性和无二次污染的特点。此外,电化学处理技术通过电解过程去除废水中的重金属离子或有机污染物,适用于处理小规模高浓度污染废水。相比传统技术,新型处理技术具有污染去除范围更广、处理效率更高的优势,尤其适用于高浓度、多样性污染物的复杂废水处理。

4 结语

综上所述,金属矿山生态修复关键技术研究与应用为矿区生态环境的改善和资源开发的可持续性提供了科学支撑。通过土壤修复、植被恢复和废水处理等关键技术,矿区的生态功能得以逐步恢复,污染物对环境的危害得到有效控制。未来,需结合人工智能、大数据、物联网等新兴技术,提升修复技术的精准性和高效性。通过不断优化和完善生态修复体系,金属矿山将有望实现生态保护与资源开发的和谐统一,为实现生态文明建设目标奠定基础。

参考文献:

- [1] 迟崇哲,刘影,王超,等.有色金属矿山尾矿土壤化生态修复技术研究进展[J].黄金,2024,45(12):8-12+138.
- [2] 田美玲.金属矿山生态修复关键技术研究进展[J].能源与节能,2024(10):112-114.
- [3] 晏闻博,柳丹,彭丹莉,等.重金属矿山生态治理与环境修复技术进展[J].浙江农林大学学报,2015,32(3):467-477.
- [4] 董文龙,白涛,杨旭,等.矿区生态修复研究[J].环境科学与管理,2016,41(1):146-148.