

矿区污染土壤生态修复问题及实践

张涛

安康市生态环境局汉滨分局 陕西 安康 725000

摘要：本文深入探讨了矿区污染土壤生态修复，明确了其概念与现状，并剖析了污染源、污染特性及生态破坏。详尽介绍了物理、化学、生物及综合修复技术的应用与优势，借助案例分析展现了修复实践成果与挑战。未来，绿色矿山理念、智能化修复技术及跨领域协同治理将成为发展主流，为矿区污染土壤生态修复开辟新路径与方向，促进环境与经济和谐共生。

关键词：矿区污染；土壤生态修复；问题；案例分析

1 矿区污染土壤生态修复的概念

矿区污染土壤生态修复是指针对因矿区开采、冶炼等活动导致的土壤污染问题，通过一系列科学、合理的技术手段和管理措施，旨在恢复土壤的自然状态、提高其生态功能和生产力，从而实现矿区生态环境的可持续发展。这一过程不仅关注于土壤本身污染物的去除与降解，还强调土壤生态系统的整体恢复与重建。具体来说，矿区污染土壤生态修复包括污染源的识别与控制、污染土壤的治理与修复、植被的恢复与重建等多个环节。在治理过程中，可能采用物理、化学、生物或综合修复技术，如土壤淋洗、氧化还原、植物修复、微生物修复等，以去除或固定土壤中的重金属、有机物等污染物，改善土壤理化性质。同时，通过种植适宜的植物种类，促进土壤微生物群落的恢复，构建稳定的土壤生态系统，提高土壤的自我修复能力^[1]。另外，矿区污染土壤生态修复还强调生态与经济的协调发展，注重修复过程中的资源节约与循环利用，推动矿区向绿色、低碳、循环方向发展。通过实施生态修复工程，不仅可以有效改善矿区生态环境质量，保护区域生态安全，还能为当地经济发展注入新的活力，实现生态效益、经济效益和社会效益的共赢。

2 矿区污染土壤现状分析

2.1 污染源与污染特征

矿区作为资源开发与利用的重要区域，其环境污染问题尤为突出。主要污染源包括废水、废气和固体废弃物三大类。废水主要来源于矿坑排水、选矿废水及生活污水等，其中含有高浓度的重金属离子、悬浮物及有机污染物，未经处理直接排放将严重污染周边土壤和水体。废气则主要源自矿石冶炼、破碎加工等环节，含有大量的二氧化硫、氮氧化物及粉尘等有害物质，通过大气沉降作用于土壤表面，加剧土壤污染。另外，固体废

弃物如尾矿渣、冶炼渣等，不仅占用大量土地，其含有的重金属及其他有毒物质在雨水淋溶作用下，会逐步渗入土壤，对土壤环境造成长期影响。矿区污染土壤的主要污染物种类多样，包括重金属（如铅、镉、砷、汞等）、有机物（如石油烃类、多环芳烃等）、酸碱盐类物质及放射性物质等。这些污染物在土壤中的分布特征受多种因素影响，如地形地貌、水文地质条件、气候条件及人为活动强度等。一般而言，重金属污染物易在土壤表层累积，并通过食物链对人类健康构成威胁；有机物污染物则可能深入土壤深层，难以降解，对土壤生态系统造成长期危害。

2.2 生态环境破坏表现

矿区污染土壤的生态环境破坏表现显著。首先，污染土壤直接导致土壤理化性质的恶化，如土壤pH值失衡、土壤结构破坏、肥力下降等，进而影响土壤的生产力和生物多样性。其次，污染土壤中的重金属及其他有毒物质对植物的生长发育产生抑制作用，导致植被覆盖度降低、群落结构简化，甚至引发植物死亡。这不仅破坏了自然景观，还削弱了土壤生态系统的防护功能和自我修复能力。此外，污染土壤还通过地表径流和地下渗流等途径污染水体，影响水质安全，进一步加剧了区域生态环境的恶化^[2]。同时，污染土壤中的有害物质还可能通过食物链传递给人类和其他生物，对人类健康构成潜在威胁。

3 矿区污染土壤生态修复技术

3.1 物理修复技术

物理修复技术，如土地平整、表土覆盖和土壤改良，旨在通过物理手段直接改善土壤环境。在此过程中，环境监测不仅贯穿始终，还提供了至关重要的数据支持。监测项目包括但不限于土壤物理性质的评估（如颗粒组成、渗透率）、污染物表层迁移速率的观测，以

及表土覆盖效果（如阻隔能力）的评估。通过这些数据，可以及时调整土地平整方案和覆盖层材料的选择，确保修复工作的有效性。

3.2 化学修复技术

化学修复，特别是土壤淋洗和氧化还原处理，要求严格的监测体系以确保其安全有效实施。监测内容需涵盖淋洗液的性质及其影响范围（包括地下水保护），氧化还原过程中的土壤环境变化（如氧化还原电位的变化）以及污染物的形态转化效率。另外，还应关注化学药剂可能对土壤微生物群落造成的影响，以及是否有新的、可能更加危险的中间产物生成。这些信息对优化化学试剂选择、控制反应条件以及后续的土壤健康评估至关重要。

3.3 生物修复技术

生物修复，特别是植物修复和微生物修复，依赖生态系统的自我恢复能力。环境监测在这一领域发挥着核心作用，需要密切关注植被生长状况、生物量的变化、植物对污染物的吸收转化效率，以及土壤微生物多样性的恢复程度。通过对关键生态指标的跟踪，可以评估生物修复进程的效果，并为必要的调整提供支持，如选择更适合的植物种类、优化种植模式或强化微生物种群。

3.4 综合修复技术与环境监测的深度融合

综合修复技术集成了物理、化学和生物方法的优势，强调整体修复效果的最优化。环境监测内容广泛，包括但不限于污染物的空间分布、浓度的实时变化、土壤物理-化学-生物属性的改善情况以及修复过程中对周边生态系统的潜在影响。综合修复策略的实施应结合动态环境监测数据，根据实际情况进行适时调整。例如，根据监测到的土壤性质变化，可以适时调整改良剂的用量；根据植被生长状态和污染去除效率，可以调整植物修复的种类和布局；同时，持续监控修复过程中可能出现的次生环境问题，并采取预防措施避免其发生。通过环境监测的深度融合，综合修复技术不仅能够确保污染土壤的有效治理，还能最大化保护周边环境免受修复过程的潜在威胁，从而实现真正意义上的绿色、可持续的污染土壤修复。

4 矿区污染土壤生态修复实践案例分析

4.1 案例选取与背景介绍

本案例选取位于我国某省份内一处历史悠久的矿区，该区域因长期矿产开采与冶炼活动而遭受了严重的土壤污染问题。土壤中铅、镉、砷等重金属及有机物的含量远超国家安全标准，不仅威胁着周边居民的生命健康，也对生态环境造成了不可逆转的破坏。为应对这一

挑战，地方政府携手科研机构与私营企业，共同发起了该矿区的污染土壤生态修复项目，旨在恢复土壤健康，促进区域可持续发展。

4.2 修复措施与实施过程及环境监测

4.2.1 修复措施与实施过程

项目团队首先通过详细的污染调查与评估，精确掌握了矿区土壤的污染状况，为后续修复工作奠定了基础。针对污染源，团队采取一系列控制措施，包括永久关闭废弃矿洞、建立高效雨水收集与净化系统，有效阻断污染物向土壤的进一步渗透。在污染土壤治理环节，团队综合运用多种修复技术。对于表层污染较轻的土壤，实施了翻耕与表土覆盖工程，通过物理手段减少污染物与环境的直接接触。而针对深层重污染土壤，则采用了土壤淋洗与氧化还原技术相结合的方法，成功去除了土壤中的大部分重金属与有机物。另外，团队还引入了特定的耐性植物与微生物群落，利用生物的自然净化能力，进一步降低土壤中的污染物含量，促进生态系统的恢复。

4.2.2 环境监测与效果评估

为确保修复工作的科学性与有效性，项目团队建立全方位的环境监测体系。监测内容涵盖土壤污染物浓度、土壤理化性质、植被生长状况及生物多样性等多个方面。通过定期采集土壤样本进行分析，团队能够准确掌握修复过程中土壤污染物的变化趋势，评估各项修复措施的效果。在修复初期，土壤中的铅、镉、砷等重金属浓度显著超标，有机质含量低下，土壤结构破坏严重。随着修复工作的深入，重金属含量逐渐下降，至项目末期，已全面达到或优于国家土壤环境质量标准。同时，土壤有机质含量显著增加，土壤结构得到明显改善，保水保肥能力显著增强。在植被恢复方面，种植的耐性植物与乡土树种生长繁茂，不仅有效固定了土壤，还吸引多种昆虫、鸟类等生物栖息，生物多样性得到显著提升。生态环境的改善使得该区域成为一个集科研、教育、生态旅游等多功能于一体的绿色空间^[3]。

4.2.3 挑战与解决方案

在修复过程中，项目团队也面临技术难题与资金短缺等挑战。针对技术难题，团队加强了与国内外科研机构的合作交流，不断引进和创新修复技术。同时，通过举办学术研讨会、培训班等形式，提升团队成员的专业技能与科研水平。在资金方面，团队积极争取政府支持与社会资本投入，通过设立专项基金、吸引企业赞助等方式拓宽资金来源渠道。这些措施的有效实施为项目的顺利进行提供有力保障。

5 矿区污染土壤生态修复的未来发展趋势

5.1 绿色矿山建设

在未来, 矿区污染土壤生态修复的发展趋势将深度融合绿色矿山理念, 这一理念强调在矿产资源开发的全过程中, 采取一系列预防、控制和治理措施, 以减少对环境的污染和破坏。在污染土壤生态修复中, 绿色矿山理念的应用体现在多个方面: 第一, 从源头上减少污染是关键, 通过改进采矿工艺和选矿技术, 减少废弃物排放和有毒有害物质的产生; 第二, 实施循环经济策略, 将废弃物资源化利用, 变废为宝, 减少对新资源和环境的压力; 第三, 加强矿山生态环境的保护和恢复, 将生态修复作为矿山闭坑的必要条件, 确保矿区在开采结束后能够恢复其原有的生态功能^[4]。

5.2 智能化修复技术

随着科技的飞速发展, 物联网、大数据、人工智能等新技术在矿区污染土壤生态修复中的应用前景广阔。物联网技术能够实现对矿区污染土壤的实时监测和数据采集, 为精准修复提供科学依据; 大数据技术则能够对这些海量数据进行深度挖掘和分析, 揭示土壤污染的时空分布规律和演变趋势, 为制定科学的修复方案提供有力支持。而人工智能技术的引入, 将进一步提升修复技术的智能化水平, 通过机器学习、智能优化等方法, 实现对修复过程的自动控制和优化调整, 从而提升修复效率、降低修复成本并优化修复效果。智能化修复技术的发展, 将是未来矿区污染土壤生态修复领域的重要方向^[5]。

5.3 多领域协同治理

面对矿区污染土壤这一复杂问题, 单一的修复手段往往难以达到理想效果。因此, 未来矿区污染土壤生态修复将更加注重多领域的协同治理。这包括不同学科之间的交叉融合, 如环境工程、土壤学、生态学、地理

信息系统等学科的共同参与, 形成综合治理方案; 也包括政府、企业、科研机构和社会公众的协同合作, 形成政府主导、企业主体、社会组织和公众共同参与的治理格局。通过多领域的协同治理, 可以汇聚各方资源和力量, 形成合力, 共同推动矿区污染土壤生态修复工作的深入开展。

结束语

矿区污染土壤生态修复是一项复杂而艰巨的任务, 需要综合运用多种技术和方法, 同时注重生态与经济的协调发展。随着绿色矿山理念的深入人心和智能化技术的不断进步, 矿区污染土壤生态修复将迎来新的发展机遇。未来, 应继续加强科技创新与跨界合作, 推动矿区污染土壤生态修复工作的深入开展, 为实现矿区生态环境的可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1]徐青龙. 矿区污染土壤生态修复问题及实践[J]. 低碳世界, 2022, 12(7): 43-45. DOI: 10.3969/j.issn.2095-2066.2022.07.014.
- [2]刘微. 探析矿区土壤重金属污染生态修复[J]. 中国金属通报, 2022, (14). DOI: 10.3969/j.issn.1672-1667.2021.14.100.
- [3]姜杉钰, 余星滢. 澳大利亚自然保护地矿业管理经验与启示[J]. 国土资源情报, 2019, (1). DOI: 10.3969/j.issn.1674-3709.2019.01.002.
- [4]郑娟, 李树彬. 矿区废弃地生态恢复研究进展[J]. 水土保持应用技术, 2023, (6). DOI: 10.3969/j.issn.1673-5366.2019.06.18.
- [5]范景彪, 熊明瑜, 钟均华. 酸性尾矿废弃地生态修复技术进展[J]. 现代矿业, 2022, (4). DOI: 10.3969/j.issn.1674-6082.2019.04.064.