

微生物技术在矿山环境生态修复中的应用前景

霍明志^{1,2} 郑晓瑞^{1,2} 房鸿鹏^{1,2}

1. 核工业二四三大队 内蒙古 赤峰 024000

2. 中核大地生态科技有限公司赤峰市分公司 内蒙古 赤峰 024000

摘要：随着采矿活动的增加，矿山环境生态修复成为亟待解决的问题。微生物技术因其低成本、高效性、环境友好性等特点，在矿山生态修复中展现出广阔的应用前景。本文综述了微生物技术在矿山环境生态修复中的具体应用，包括重金属污染治理、酸性矿山废水处理、土壤改良等，并探讨了其未来的发展趋势。

关键词：微生物技术；矿山生态修复；重金属污染；酸性矿山废水

引言

随着采矿活动的不断增加，矿山环境生态修复成为亟待解决的问题。传统的治理技术往往存在成本高、操作不便、难度大且易引发二次污染等问题。而新兴的微生物技术因其低成本、高效性、环境友好性等特点，在矿山生态修复中展现出广阔的应用前景。本文旨在综述微生物技术在矿山环境生态修复中的应用现状，并探讨其未来的发展趋势。

1 微生物技术在矿山生态修复中的具体应用

1.1 重金属污染治理

矿山废弃地土壤中往往含有大量重金属，如铅、锌、铜、镉等，这些重金属元素在土壤中积累，不仅破坏土壤结构，还通过食物链进入人体，严重威胁人类健康和生态环境。微生物技术在重金属污染治理方面展现出了巨大的潜力。微生物细胞膜中含有诸多阴离子官能团，如羧基、羟基、磷酸基等，这些官能团对重金属阳离子具有很强的吸附能力。微生物可以通过胞内累积、细胞络合与胞外沉淀等形式，将重金属阳离子吸附并固定在细胞内或细胞外，从而减少重金属在环境中的迁移和扩散。例如，某些硫杆菌属和假单胞菌属的微生物，能够高效吸附并沉淀土壤中的重金属离子。此外，微生物还具有氧化还原、去甲基化以及甲基化等生物转化作用，可以使毒性重金属向无毒或低毒重金属转化。例如，一些微生物能够将高毒性的六价铬还原为低毒性的三价铬，或者将甲基汞去甲基化为无毒的无机汞。这些生物转化作用不仅降低了重金属的毒性，还为其后续的处理和处置提供了便利^[1]。

1.2 酸性矿山废水处理

酸性矿山废水是矿山开采过程中产生的一种含有大量重金属离子和硫酸的废水，其pH值通常很低，对水生生物和农作物造成极大危害。传统的化学处理方法往往

成本高昂且易产生二次污染，而微生物技术则提供了一种更为经济、环保的处理方式。氧化亚铁硫杆菌是一种能够氧化二价铁离子的微生物，它在氧化过程中会将二氧化碳转化为细菌菌体物质，同时产生氢离子。然而，在酸性矿山废水中，大量的二价铁离子存在使得这一过程可以消耗掉废水中的部分氢离子，从而降低废水的酸性。此外，氧化亚铁硫杆菌的代谢活动还可以促进废水中重金属离子的沉淀和去除。脱氮硫杆菌则是一种能够利用硫化物作为电子供体的微生物。在酸性矿山废水中，硫化物常常与硝酸盐共存。脱氮硫杆菌可以通过氧化还原反应，将硫化物氧化为单质硫，同时将硝酸盐还原为氮气^[2]。这一过程不仅去除了废水中的硫化物和硝酸盐，还回收了有价值的单质硫，实现了废物的资源化利用。除了氧化亚铁硫杆菌和脱氮硫杆菌外，还有许多其他微生物也能够酸性矿山废水的处理中发挥重要作用。例如，一些嗜酸菌能够耐受低pH值环境，并通过其代谢活动降低废水的酸性；一些硫酸盐还原菌则可以将硫酸盐还原为硫化物，进而与废水中的重金属离子形成难溶的硫化物沉淀。

1.3 土壤改良

微生物技术在土壤改良方面发挥着至关重要的作用，尤其在矿山生态修复中，其应用前景尤为广阔。矿山开采活动往往导致土壤结构破坏、养分流失以及重金属污染等严重问题，而微生物技术的引入为这些问题的解决提供了新的思路。通过添加功能性微生物有益菌，可以有效应对矿山生态修复中最棘手的“重金属超标”难题。这些微生物具有独特的吸附、沉淀和转化重金属的能力。它们能够利用自身的细胞壁、细胞膜以及胞外聚合物等结构，吸附土壤中的重金属离子，将其固定化，从而减少重金属在土壤中的迁移性和生物有效性。同时，一些微生物还能通过氧化还原反应、甲基化/去甲

基化等生物转化过程,将高毒性的重金属转化为低毒性或无毒性的形态,进一步降低其对环境 and 生物的危害。除了重金属治理,微生物还能显著促进土壤养分的转化和循环,提高土壤肥力。微生物通过分解有机物质,释放出植物所需的氮、磷、钾等营养元素,使这些养分得以循环利用。同时,微生物的活动还能产生多种生物活性物质,如酶、有机酸等,这些物质有助于溶解土壤中的难溶性养分,使其更易于被植物吸收利用。此外,微生物还能通过改善土壤结构,提高土壤的通气性、保水性和保肥性,为植被的生长提供更加良好的土壤环境。

1.4 植被恢复

微生物与植物之间存在着密切而复杂的相互作用,这种作用在矿山生态修复的植被恢复过程中发挥着至关重要的作用。微生物能够分泌多种有机酸代谢产物和配位体,这些物质具有强大的化学活性,能够溶解并固定土壤中的重金属。通过这一过程,微生物不仅降低了重金属的生物有效性,减少了其对植物的毒性,还提高了植物对重金属的耐受性和富集能力。这意味着,在重金属污染的矿山废弃地上,借助微生物的作用,植物能够更好地生长和繁衍,逐渐修复受损的生态系统^[3]。除了对重金属的溶解和固定,微生物还能促进植物根系的生长和发育。微生物在土壤中的活动能够产生多种植物生长调节物质,如生长素、细胞分裂素等,这些物质对植物根系的伸长、分枝和根毛的形成具有显著的促进作用。同时,微生物还能通过改善土壤结构,提高土壤的通气性和保水性,为植物根系的生长提供更加有利的环境条件。此外,微生物还能增强植物对矿质元素和水分的吸收能力。微生物在分解有机物质的过程中,会释放出植物所需的多种矿质营养元素,如氮、磷、钾等。这些营养元素在微生物的作用下,更容易被植物根系吸收和利用。同时,微生物的活动还能改善土壤的微环境,提高土壤的水分保持能力,确保植物在干旱季节也能获得足够的水分供应。

2 微生物技术在矿山生态修复中的优势

2.1 成本低、效益高

相比传统的治理技术,微生物技术具有显著的成本优势。传统的矿山生态修复方法往往需要大量的人力、物力和财力投入,如物理隔离、化学沉淀或植物修复等,这些方法不仅成本高昂,而且实施过程中可能面临诸多技术难题。而微生物技术则通过合理利用自然界中广泛存在的微生物资源,以生物降解、生物转化等自然过程为基础,实现了对矿山废弃地的有效修复。这种方法不仅降低了修复成本,还提高了修复效率,使得矿山

生态修复变得更加经济可行。同时,微生物技术的效益也十分显著。微生物在修复过程中能够迅速适应环境,通过其代谢活动将有害物质转化为无害或低毒物质,有效改善土壤和水质,为植被恢复和生态系统重建提供有利条件。此外,微生物还能促进土壤养分的循环和利用,提高土壤肥力,为后续的农业或林业开发奠定基础。

2.2 环境友好性

微生物技术在修复过程中不会引入新的污染物,这是其另一大显著优势。传统的治理技术往往在使用过程中会产生二次污染,如化学沉淀剂可能残留在土壤中,对土壤生态造成长期影响;而物理隔离方法则可能破坏土壤结构,影响土壤的正常功能。相比之下,微生物技术通过生物降解和生物转化等自然过程来修复环境,不会留下有害残留物,对环境的影响较小。此外,微生物技术的环境友好性还体现在其符合当前环保政策的要求,有利于实现可持续发展。随着全球环保意识的提高和环保政策的日益严格,对矿山生态修复技术的环境友好性要求也越来越高。微生物技术以其低污染、高效率的特点,成为了矿山生态修复领域的优选技术之一。通过推广和应用微生物技术,不仅可以有效修复矿山废弃地,还可以促进生态环境的保护和可持续发展。

2.3 应用范围广

微生物技术以其独特的生物特性和广泛的适应性,在矿山生态修复中展现出了极其广泛的应用范围。这一技术不仅局限于某一特定类型的矿山废弃地修复,而是能够适用于多种不同类型的污染场景,为矿山生态修复提供了更多选择和可能性。具体来说,微生物技术可成功应用于重金属污染土壤的修复。矿山开采过程中,往往会导致土壤中重金属含量超标,这些重金属对土壤生态和人体健康都构成严重威胁。而微生物通过其吸附、沉淀、转化等生物过程,能够有效降低土壤中重金属的活性,减少其对环境危害,为后续的植被恢复和土地利用创造有利条件。此外,微生物技术还广泛应用于酸性矿山废水的处理。矿山废水通常含有高浓度的硫酸盐、重金属离子等有害物质,直接排放会对水体生态造成严重破坏。而微生物能够通过生物氧化还原反应、硫酸盐还原等过程,将废水中的有害物质转化为无害或低毒物质,实现废水的净化和资源化利用。除了重金属污染土壤和酸性矿山废水,微生物技术还可应用于其他类型的矿山废弃地修复,如有机污染土壤、盐碱化土壤等。微生物的多样性和代谢活性使得其能够适应各种复杂的污染环境,通过生物降解、生物转化等过程,有效去除土壤中的有害物质,改善土壤生态,为植被恢复和

生态系统重建提供有力支持。

3 微生物技术在矿山生态修复中的发展趋势

3.1 技术创新

随着生物科技、基因工程等前沿领域的飞速发展,微生物技术在矿山生态修复中将迎来更多的创新机遇。基因工程等高科技手段为微生物的定向改造提供了可能,通过优化微生物的遗传特性,可以显著提高其修复效率和稳定性。例如,利用先进的基因编辑技术,可以培育出具有高效重金属吸附、转化或降解能力的微生物菌株。这些经过改造的菌株能够更好地适应矿山废弃地的极端环境,如高盐度、酸碱度失衡等,从而发挥出更加出色的修复效果。此外,合成生物学和代谢工程等领域的深入研究也为微生物修复技术的创新提供了广阔空间。通过合成生物学技术,可以构建出具有特定功能的微生物,如能够高效分解特定有机污染物的菌株。而代谢工程则可以帮助优化微生物的代谢途径,提高其修复效率,降低修复成本。这些新技术的引入将为矿山生态修复提供更多、更高效、更环保的解决方案。

3.2 联合修复技术

矿山生态修复是一个复杂而系统的工程,涉及多个方面的修复工作。因此,将微生物技术与其他修复技术相结合,形成联合修复体系,成为未来矿山生态修复的重要发展方向。例如,微生物技术可以与物理修复技术相结合。物理修复技术如土壤翻耕、覆盖等可以改善土壤结构,提高土壤的通气性和保水性,为微生物的生长和繁殖提供有利条件。同时,微生物的活动又可以进一步促进土壤的修复过程,如分解有机污染物、固定重金属等,从而实现物理与生物修复的协同效应。此外,微生物技术还可以与化学修复技术相结合。化学修复技术如化学沉淀、淋洗等可以快速降低土壤中污染物的浓度,但往往难以彻底去除污染物。而微生物技术则可以通过生物降解、生物转化等过程将污染物彻底转化为无害或低毒的物质,从而弥补化学修复技术的不足。同时,微生物技术与植物修复技术的结合也展现出巨大的潜力。植物修复技术利用植物对污染物的吸收、富集和转化能力来修复土壤和水体。而微生物则可以通过与植物的根系形成共生关系,促进植物的生长和发育,提高

其对污染物的吸收和富集能力。这种联合修复体系能够充分发挥微生物和植物各自的优势,提高修复效果,降低修复成本。

3.3 标准化与规范化

随着微生物技术在矿山生态修复中的广泛应用,为了确保其修复效果和安全性,将逐渐形成一套标准化和规范化的技术体系。在微生物菌株方面,将建立严格的筛选、培育、保存和使用标准。通过科学的筛选方法,选出具有高效修复能力和良好环境适应性的微生物菌株。同时,制定规范的培育方法和保存条件,确保微生物菌株的活性和稳定性,为修复工作提供可靠的菌株来源。在修复过程方面,将制定详细的操作规范。明确修复工作的各个步骤和操作要求,确保修复过程的科学性和有效性。同时,对修复过程中可能出现的风险进行评估和控制,制定应急预案,确保修复工作的顺利进行。在修复效果评估方面,将建立科学的评估指标体系。通过定量和定性的方法,对修复效果进行客观、准确的评估。同时,对评估结果进行反馈和分析,及时总结经验教训,为后续的修复工作提供有益的参考和借鉴。标准化和规范化的技术体系的建立将有助于推动矿山生态修复技术的普及和应用,提高修复工作的科学性和有效性。同时,也将有助于加强对微生物修复技术的监管和管理,确保其在实际应用中的安全性和可靠性,为矿山生态修复工作的持续发展提供有力保障。

结束语

微生物技术在矿山环境生态修复中展现出广阔的应用前景。通过合理利用微生物资源,可显著降低修复成本,提高修复效率,实现矿山生态修复的综合治理。未来,随着科学技术的不断发展,微生物技术将在矿山生态修复领域发挥更加重要的作用。

参考文献

- [1]汪宽.矿山环境生态修复技术方法研究[J].中国地名,2020(06):56.
- [2]危超.矿山环境生态修复技术方法研究[J].门窗,2019(16):224.
- [3]武强,刘宏磊,赵海卿,张萌,刘守强,曾一凡.解决矿山环境问题的“九节鞭”[J].煤炭学报,2019,44(01):10-22.