

地质工程技术在矿山废弃地生态重建中的创新应用

胡治国

安徽省煤田地质局第二勘探队 安徽 芜湖 241000

摘要: 矿山废弃地存在土壤结构破坏、地形地貌改变、水文系统紊乱等生态问题, 严重威胁区域生态安全。地质工程技术在生态重建中肩负重要使命, 其核心需求包括稳定性修复、土壤重构与改良、水文调控等。本文介绍了地质工程技术在土壤重构、边坡防护、水文调控、植被恢复等方面的创新应用, 展望了纳米材料污染修复及人工智能驱动精准修复方案设计等未来方向, 为生态重建提供理论与实践支持。

关键词: 矿山废弃地; 生态重建; 地质工程技术; 创新应用; 未来发展

引言: 矿业活动在推动经济发展同时, 也留下了满目疮痍的矿山废弃地, 其土壤结构破坏、地形地貌改变、水文系统紊乱等生态问题, 严重威胁区域生态安全与可持续发展。地质工程技术作为解决这些难题的关键力量, 肩负着稳定修复、土壤改良、水文调控等重要使命。当下, 创新地质工程技术不断涌现, 在矿山废弃地生态重建中发挥着日益重要的作用, 探索其创新应用与发展方向意义重大。

1 矿山废弃地的主要生态问题

矿山废弃地是矿业活动结束后遗留下来的、未经或未充分治理的区域, 其生态系统遭受了严重的破坏, 主要存在以下三大方面的生态问题。

1.1 土壤结构破坏与污染

矿山开采过程中, 大量的爆破、挖掘等作业会直接破坏土壤的原有结构。原本稳定的土壤团聚体被破坏, 土壤孔隙度降低, 透气性和透水性变差, 导致土壤的物理性质恶化。同时, 开采过程中产生的废石、尾矿等废弃物随意堆放, 不仅占据了大量土地, 还会在风化、淋溶等作用下, 将重金属等有害物质释放到土壤中, 造成土壤污染。例如, 一些金属矿山废弃地中, 铅、汞、镉等重金属含量严重超标, 这些重金属在土壤中难以降解, 会长期存在并对土壤生态系统造成持续危害。土壤结构的破坏和污染使得土壤肥力下降, 微生物活动受到抑制, 进而影响了植物的生长和发育, 导致植被覆盖率降低, 生态系统功能退化。

1.2 地形地貌改变

矿山开采活动往往会大规模地改变原有的地形地貌。露天开采会形成巨大的采坑, 使地表大面积下陷, 破坏了地表的自然起伏和形态; 地下开采则可能引发地面塌陷、地裂缝等地质灾害, 导致地表建筑、道路等基础设施受损, 同时也改变了地表的水流方向和汇水条

件^[1]。矿山开采过程中产生的废石、尾矿等废弃物的堆放, 形成了大量的排土场和尾矿库, 这些人工堆积体不仅改变了原有的地形地貌, 还存在着滑坡、泥石流等潜在的地质灾害风险。地形地貌的改变不仅影响了区域的美观和景观价值, 还对周边的生态环境和人类生活造成了严重威胁。

1.3 水文系统紊乱

矿山开采对水文系统的影响是多方面的。一方面, 开采活动破坏了地表的植被和土壤结构, 降低了地表的保水能力, 导致地表径流增加, 水土流失加剧。另一方面, 地下开采会破坏地下含水层的结构, 导致地下水位下降, 泉水干涸, 影响周边地区的水资源供应。另外, 矿山开采过程中产生的废水, 如矿坑水、选矿废水等, 含有大量的重金属、酸碱等污染物, 如果未经有效处理直接排放, 会污染地表水和地下水, 进一步破坏水文系统的生态平衡。水文系统的紊乱不仅影响了水资源的可持续利用, 还对水生生物的生存和繁衍造成了严重威胁, 进而影响了整个生态系统的稳定。

2 地质工程技术的核心需求

针对矿山废弃地存在的上述生态问题, 地质工程技术在生态重建过程中有着以下核心需求。

2.1 稳定性修复(边坡加固、采空区治理)

矿山废弃地宛如生态的“伤疤”, 其中大量的边坡和采空区是亟待解决的重大隐患。这些区域因矿业活动导致地质结构遭受严重破坏, 应力分布也发生巨大变化, 进而引发滑坡、崩塌、地面塌陷等地质灾害的可能性大幅增加。这些灾害一旦发生, 不仅会直接威胁周边居民的生命财产安全, 还会对周边的生态环境造成毁灭性打击, 破坏生态平衡。所以, 稳定性修复成为地质工程技术在矿山废弃地生态重建中的首要任务。在边坡加固方面, 工程人员会采用多种科学有效的工程措施。锚

杆和锚索就像深入边坡内部的“钢筋铁骨”，能增强边坡岩土体的整体性和稳定性，有效抵抗滑坡和崩塌的冲击力。挡土墙则如同坚实的屏障，阻挡边坡土体的滑动，防止其失稳。而采空区治理同样不容忽视，充填法通过向采空区注入合适的充填材料，如水泥砂浆、尾矿等，填充采空空间，减少地面塌陷的可能性；崩落法是让采空区上方的岩体自然崩落，形成缓冲层；支撑法则利用支架等结构对采空区进行支撑，保障地表建筑和基础设施的安全，为生态重建创造稳定的基础条件。

2.2 土壤重构与改良（基质优化、微生物修复）

矿山废弃地的土壤状况堪忧，其结构破坏和污染问题极为严重，根本无法满足植物正常生长的需求。土壤结构的破坏使得土壤孔隙度降低，透气性和透水性变差，植物根系难以在其中扎根和呼吸。同时，矿山开采过程中产生的重金属等污染物进入土壤，进一步破坏了土壤的生态环境。因此，土壤重构与改良成为地质工程技术的重要需求。土壤重构旨在通过人工手段，模拟自然土壤的形成过程，构建适宜植物生长的土壤结构^[2]。工程人员会精心选择合适的基质材料，如客土，它能带来良好的土壤结构和肥力；改良后的尾矿，经过处理后也能具备一定的肥力和透气性。将这些材料进行分层铺设和混合，形成具有适宜肥力、良好透气性和透水性的土壤层，为植物生长提供良好的基础。微生物修复则利用微生物的神奇代谢活动，降解土壤中的污染物。一些特殊的微生物能够将重金属离子转化为难溶性的沉淀物，降低重金属在土壤中的活性和毒性，改善土壤的化学性质，让土壤逐渐恢复生机，为植被恢复和生态系统重构奠定基础。

2.3 水文调控（防渗、排水、生态补水）

矿山开采对水文系统造成了严重的干扰和破坏，导致水文系统紊乱不堪。这种紊乱不仅影响了水资源的可持续利用，还对周边的生态环境和人类生活产生了诸多负面影响。因此，需要通过地质工程技术对水文系统进行科学调控。防渗措施是防止矿山废水中的污染物渗入地下、污染地下水的的核心手段。在尾矿库、废石场等容易产生污染的区域，铺设防渗膜、设置防渗墙等，就像给这些区域加上了一层坚固的“防护衣”，有效阻止污染物的下渗，保护地下水资源的安全。排水措施则着重于排除矿山废弃地内的积水，降低地下水位。通过合理布置排水管道和排水设施，及时将积水排出，防止地面塌陷等灾害的发生，保障周边地区的安全。生态补水则是针对矿山废弃地水资源短缺的问题，通过人工引水、雨水收集等方式，为植被恢复和生态系统重构提供必要

的水分条件。只有充足的水分供应，才能让植被茁壮成长，生态系统逐步恢复生机，实现矿山废弃地的生态重建目标。

3 地质工程技术在矿山废弃地生态重建中的创新应用技术

为了满足上述核心需求，地质工程技术在矿山废弃地生态重建中不断创新和应用了一系列新技术。

3.1 土壤重构与改良技术

在土壤重构领域，近年来取得了诸多突破，发展出多种新型基质材料与重构工艺。以尾矿改良为例，生物炭和有机肥的引入带来了显著变化。生物炭具有多孔结构，能增加土壤孔隙度，改善透气性；有机肥则富含多种养分，可提升土壤肥力。二者协同作用，不仅让尾矿肥力大幅提高，还改善了其物理性质，使其保水保肥能力显著增强。分层重构技术也颇具创新，它依据不同植物生长需求，将不同性质基质材料分层铺设。比如，上层铺设疏松透气材料利于种子发芽，中层用肥力适中材料满足植物生长，下层则采用保水性强的材料。在微生物修复方面，科研人员通过精心筛选和培育高效降解污染物的微生物菌株，并将其应用于土壤修复。特别是借助基因工程技术构建的工程菌，拥有特定降解功能，能更高效地分解土壤中的有机污染物，将重金属转化为低毒或无毒形态，极大提升了土壤修复效率与质量，为矿山废弃地土壤生态恢复带来新希望。

3.2 边坡稳定与生态防护技术

传统边坡加固技术多聚焦工程结构稳定，却对生态环境保护有所忽视。而近年来的边坡稳定与生态防护技术实现了创新飞跃，达成工程防护与生态修复的完美融合。生态袋、植生毯等新型生态防护材料应运而生。生态袋由特殊材料制成，具有高强度、耐腐蚀等特点，能稳固边坡；同时其内部可填充种植土，为植物生长提供温床^[3]。植生毯则能覆盖边坡，减少水土流失，为种子发芽创造良好环境，促进植被快速恢复。喷播技术与之结合，将种子、肥料、土壤改良剂等均匀混合后喷播在边坡，形成充满生命力的植被层，进一步增强边坡稳定性。另外，三维植被网、柔性防护网等结构也发挥重要作用。它们不仅能加固防护边坡，还能为植物攀爬生长提供支撑，让植物在稳定环境中茁壮成长，逐步形成自然生态边坡。

3.3 水文调控与污染阻隔技术

在水文调控方面，智能排水系统展现出强大优势，得到广泛应用。该系统借助先进传感器，实时精准监测矿山废弃地内的水位、水质等关键参数。依据这些监

测数据,系统自动智能调节排水设备运行。当水位过高时,自动启动排水装置降低水位;水质异常时,及时调整处理流程。这种智能化控制,极大提高了排水效率与精准度。在污染阻隔领域,除传统防渗膜、防渗墙技术外,垂直屏障技术崭露头角。此技术通过在污染源周围垂直打入一系列屏障桩,构建起封闭的污染阻隔区域,有效阻止污染物向周边扩散。而且,它常与土壤修复技术协同作用。在阻隔污染物扩散的同时,对污染区域土壤进行针对性修复,从根源上解决污染问题,为矿山废弃地水文生态恢复和土壤环境改善提供有力保障,助力矿山生态重建工作稳步推进。

3.4 植被恢复与生态系统重构技术

植被恢复作为矿山废弃地生态重建的关键目标,近年来技术不断创新,从单纯植物种植迈向生态系统重构新阶段。在植物选择上,更注重科学性与针对性,优先选用本地适生植物和先锋植物。本地适生植物对当地气候、土壤等环境条件适应性强,先锋植物则能在恶劣环境中率先生长,二者搭配能显著提高植被适应性和存活率。种植方式也更加多样化,混播、间作等方式被广泛应用。混播可将不同特性植物种子混合播种,增加植被多样性;间作则让不同植物在同一区域生长,提升生态系统稳定性。在生态系统重构方面,引入动物、微生物等生物因子构建完整生态系统成为重要方向。利用生态工程技术构建人工湿地、生态沟渠等生态系统,进一步改善矿山废弃地生态环境,打造出生机勃勃的生态景观。

4 未来发展方向

随着科技的不断进步和生态环保意识的日益增强,地质工程技术在矿山废弃地生态重建中的未来发展方向主要体现在以下两个方面。

4.1 纳米材料在污染修复中的潜力

纳米材料具有独特的物理化学性质,如高比表面积、高反应活性等,在污染修复领域具有巨大的潜力。在矿山废弃地生态重建中,纳米材料可以用于土壤污染修复和水污染治理。例如,纳米零价铁具有强还原性,能够将土壤和水中的重金属离子还原为金属单质,从而

降低其毒性和迁移性。纳米二氧化钛具有光催化性能,在光照条件下可以降解土壤和水中的有机污染物^[4]。未来,随着纳米材料制备技术的不断发展和成本的降低,纳米材料在矿山废弃地污染修复中的应用将更加广泛和深入。

4.2 人工智能驱动精准修复方案设计

人工智能技术的快速发展为矿山废弃地生态重建提供了新的手段和方法。通过利用大数据、机器学习等技术,可以对矿山废弃地的生态问题进行精准诊断和评估,制定个性化的修复方案。例如,通过对矿山废弃地的土壤、水文、地质等数据进行采集和分析,建立生态修复模型,预测不同修复措施的效果,从而选择最优的修复方案。同时人工智能技术还可以实现对修复过程的实时监测和动态调整,提高修复效率和效果。未来,人工智能驱动精准修复方案设计将成为矿山废弃地生态重建的重要发展趋势。

结束语

矿山废弃地的生态重建是一项长期且艰巨的任务,地质工程技术的创新应用为其带来了新的希望与活力。从土壤改良到边坡防护,从水文调控到植被恢复,各项技术不断进步完善。而纳米材料与人工智能等前沿科技的发展,更为未来生态重建开辟了新的路径。相信在多领域协同努力下,矿山废弃地将重焕生机,实现生态与经济的可持续发展,为人类创造更美好的生态环境。

参考文献

- [1]梅振然,赵中秋,杨侨,等.我国金属矿山废弃地生态修复研究进展及趋势分析[J].中国矿业,2024,33(10):102-118.
- [2]杨辉,侯永莉,郝喆,等.铁尾矿废弃地植物修复技术研究进展及展望[J].中国矿业,2022,31(12):43-49.
- [3]程素珍,张怡婧,颜东旭.济南市钢城区某废弃矿山生态修复治理研究[J].安徽农学通报,2021,27(10):139-142.
- [4]刘慧芳,王志高,谢金亮,等.历史遗留废弃矿山生态修复与综合开发利用模式探讨[J].有色冶金节能,2021,37(2):4-6,15.