

浅谈露天矿山生态环境恢复治理方法

吴多誉 符策炜^{通讯作者}

海南省矿产资源勘查院

摘要：露天开采因低成本、高产能、高回采率等优点，在我国矿产资源开发中被广泛应用，但其对生态环境的破坏也是十分明显的，包括对地形地貌、土地资源和植被、水资源的破坏，还会产生新的地质灾害。随着我国生态文明建设的不断推进，生态环境保护工作的重要性日益凸显，绿色矿山建设成为新时期矿山环保工作的发展趋势。在此背景下，我国越来越重视矿山环境保护与治理，并采取了一系列有效措施来推进绿色矿山建设。本文对露天矿山的生态环境现状进行分析并提出相应的治理内容与措施，以期为后续露天矿山生态环境恢复治理工作提供借鉴经验，从而推动我国矿山生态环境保护工作的深入开展。

关键词：露天矿山；生态环境；恢复治理

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.21.118

露天矿山因其生产活动对环境造成的破坏，一直是矿山环境恢复治理的重点。为防止矿山生态环境进一步恶化，相关部门及矿山企业应从源头上严格控制矿产资源开发规模，将露天矿山开发与建设同土地复垦、绿化、景观恢复、水土保持等相结合，并通过原有废弃矿区进行综合整治的方式恢复生态环境。

一、露天矿山生态环境存在的问题

露天矿山开采活动造成的生态环境问题是多方面的，包括地形地貌景观破坏、土地资源和植被破坏、水资源的破坏等。

（一）地形地貌景观破坏

露天矿山开采作业会对直接对山体挖掘，形成裸露岩石边坡或采坑，岩石边坡受岩层节理裂隙和风化作用以及开采作业过程中的震动影响，岩石结构和稳定性破坏严重，存在较大的地质灾害风险；同时，由于岩石边坡坡度普遍较大，且无土壤层覆盖，无法生长植被，在开采后的数年甚至数十年后仍保持裸露状态，造成强烈的视觉污染。而采坑的形成，将原本起伏的山丘地貌变成一个较大的凹陷，原有地形地貌景观改变巨大，不仅严重破坏周边地形地貌景观格局，还使得矿区与周围自然环境格格不入。

（二）土地资源和植被破坏

矿山企业在露天矿山开采过程中会直接剥离覆盖在岩石上方的土壤层和绿色植被层，直接造成土地资源、

自然植被和人工植被的破坏。土壤层剥离过程中，失去植被保护的土壤容易遭受风化和侵蚀，有机质大量流失，土壤肥力和保水能力大幅下降，间接造成土地资源的破坏。同时，采矿过程中矿石和固体废弃物（废石、矿渣）堆放长期压占大量的土地，矿山生产设施也会占用大量土地，无形之中又严重破坏了矿区的土地资源和植被。

（三）水资源的破坏

在露天矿山中，废石与尾矿的露天堆放会使其中的硫化物直接暴露于空气之中，这些硫化物在氧化过程中会释放出的有害物质能够与雨水混合形成酸雨，对地表水体形成严重的污染。另一方面，选矿与冶炼过程中产生的废水如果未能达到排放标准而直接排放，废水中所含有的化学物质和重金属等污染物会直接进入矿区周边的地表水体，进而影响到周边农田的灌溉用水安全以及居民和牲畜的饮用水源质量。同时矿山内部的疏干排水作业会人为地改变地下水的自然流动规律、补给予排泄条件，打破地下水原有的平衡状态，对地下水生态系统造成一定负面影响^[2]。

二、露天矿山生态环境恢复治理的主要内容

针对露天矿山存在的问题，需针对不同地段、不同治理对象采取不同的恢复治理措施。

（一）裸露边坡生态环境恢复治理

裸露边坡因受岩层节理裂隙和风化作用以及开采作业过程中的震动影响，岩石结构和稳定性破坏严重，存在较大的地质灾害风险，因此在生态环境治理过程中的首要目标就是要在保证其稳定性的同时降低地质灾害的风险。治理过程中，可根据边坡的具体坡度来选择合适的治理措施。对于坡度较为平缓，小于30°的裸露边坡可以采取的覆盖土壤后种植乔木和灌木的方式复绿；或者通过喷播技术在坡面上种植草本植物和灌木达到恢复植被的目的。当边坡坡度增至30°至45°之间时，可以选择修建格构结构或铺设空心砖加固边坡，并在其上覆盖土壤植草本植物和灌木，既保证了边坡的稳定性，又达到恢复植被绿化的目的。而对于坡度大于45°的高陡裸露边坡，在条件允许的情况下，应采取分层削坡的方式，将边坡修整为台阶状结构，台阶的高度控制在4—6m，宽度控制在2—3m；随后在斜坡坡面上采用喷播、鱼鳞坑、植生条等方式种植草灌复绿，也可以考虑引入

藤本植物，利用其攀爬特性进一步加固边坡并提升绿化效果。而台阶上则覆土种植乔木和灌木。需要注意的是，斜坡上喷播的基质、鱼鳞坑和台阶覆盖的耕植土抗水流冲刷能力弱，治理过程中，一定要做好截、排水沟工程的建设，有组织的对矿山可能产生的水流进行疏排，防止水流冲刷破坏喷播基质和土壤层。

（二）矿山开采平台、生产加工场地生态环境恢复治理

对于露天矿山开采后所遗留下的平台和生产加工场地，可以采取场地平整后覆盖耕植土种植草乔灌的方式复绿。场地平整运用“削峰填谷”的原理，通过削减高地以填补低洼区域的方式达到地形平衡，平整过程中应保持场地 $1^{\circ} \sim 3^{\circ}$ 的自然坡度，便于场地内自然排水。种植草灌乔品种的选择，应根据矿区自然条件和有关部门的营林经验，结合地形条件选择当地植物品种。此外，这些经过复垦的土地还可以根据当地发展需求被改造为建设用地，以满足城市扩张、基础设施建设或工业发展的需求，通过科学合理的规划和设计帮助废弃场地焕发新生，实现土地资源的再利用和可持续发展^[3]。

（三）采坑生态环境恢复治理

露天矿山开采过后所遗留下的采坑，其恢复与治理方法需要紧密结合当地的地下水位深度及采坑的具体规模来定制，如果采坑底部的地下水位高于坑底，这样的条件适宜将其改造为鱼塘、水塘或蓄水池，既利用了现有地形又能够增加水资源储备。同时，结合周边的自然景观资源还可以进一步规划为垂钓园或湿地公园等休闲旅游场所，进一步促进生态与经济的双重发展。如果采坑底部的地下水位低于坑底，修复与治理时可以优先考虑覆土回填，然后根据地形和土地利用规划将其转变为林地或其他土地利用类型，逐步恢复生态植被。对于某些具有特殊需求的区域也可以探索采坑的空间再利用潜力，如改造为地下停车场、仓储设施等来实现土地资源的多元化利用。

三、露天矿山生态环境恢复治理的具体措施

（一）从污染源头入手，采取防治结合手段

在露天矿山开发初期，矿山企业需要通过全面、科学的规划来明确开发区域、开采方式、开采量及开采时间等内容，充分考虑矿区的地质条件、生态环境状况及周边居民的生活需求，避免在生态敏感区域或重要水源地附近进行开采。此外，推广并使用低扰动开采、边坡稳定控制和废弃物综合利用等绿色开采技术来降低开采作业中对生态环境的破坏。同时，通过矿山环境监管体系的建立来强化对露天矿山开发活动的日常监管和执法力度，严格查处违反环保法规的行为，争取将污染物非

法排放问题降至最低。

对于露天矿山生态环境而言，采取预防与治理相结合的双重手段能够确保修复后的生态环境长期保持稳定。具体而言，矿山企业需要根据矿区的具体情况来选择契合度更高的物理、化学和生物等多修复手段，比如土壤改良、植被恢复、水体净化等，使得矿区的生态功能得到逐步修复。同时，对于矿山可能引发的地质灾害，可以通过建设挡土墙、护坡等预防性工程设施来提升边坡的稳定性；通过地质灾害监测预警系统来对矿区可能存在的地质灾害隐患进行发现并处理。另外，相关政府部门及矿山开采企业也可以通过举办宣传活动、发放宣传资料等方式提高公众对矿山生态环境保护的认识和意识；鼓励公众积极参与矿山生态环境的保护和监督工作，形成全社会共同关注、共同参与的良好氛围。

（二）做好崩塌与滑坡现象的防治工作

露天矿山在开采过程中如果缺乏合理规划与控制，极易引发崩塌、滑坡等自然灾害，这主要是由于开采活动的无度扩张导致采场面积逐渐增大，进而加剧了地质环境的脆弱性和潜在风险。为了有效应对这一问题，矿山企业可以采取两种主要策略：（1）利用开采过程中产生的废弃土石进行科学的回填作业，以恢复或稳定地质结构；（2）深入优化开采设计方案，确保开采活动在尊重自然规律、保障地质安全的前提下进行。这种通过资源再利用与科学规划来减轻露天开采对环境造成负面影响的方式能够有效保障开采活动的安全、可持续进行。

（三）采取科学方式处理矿山废弃物

1. 解决固体废弃物

为了从根本上解决露天矿山固态废弃物问题，矿山企业必须从源头入手，对矿山进行全面而细致的勘探，根据矿山的实际情况制定合理的开采计划并对挖掘过程进行优化，以最大限度地减少浪费和破坏。特别值得注意的是，在矿层较为薄弱或敏感的区域必须采用更加谨慎和科学的开采路线，确保开采活动不会对地质结构造成不可逆的损害。同时，在开采过程中需要严格控制矿产资源的开采量，避免过度开采导致的资源枯竭和生态环境恶化。通过这种合理采掘和科学管理的方式可以有效降低固体废弃物的产生，从而避免大量废弃物对生态环境的破坏。

2. 处理开采产生的废水

在露天矿山开采过程中，矿山企业应聚焦于开采方式与除尘技术的双重优化，从源头上入手，通过科学、高效的开采技术和先进的除尘方法降低作业过程中的水资源消耗量和废水排放量。同时，科学的水循环系统需

要具备高效收集、处理与再利用矿产资源层中水资源等功能,通过水资源循环利用的方式减少对外部水资源的依赖和对生态环境的压力,这样的循环模式不仅有助于保护露天矿山周围生态环境,还能确保土质环境长期保持一定的稳定性。此外,矿山企业需要加强对相关人员的培训和教育,使其充分意识到废水中有害物质的危害性并掌握正确的废水处理方法和技术,尽可能避免在未采取合理措施的情况下随意排放废水,有效保护职工的生命健康免受潜在危害。

(四) 科学应用复绿技术进行生态修复

矿山复绿主要是通过人工干预手段促进露天矿山废弃地的植被恢复,矿山企业在实际应用中需要根据治理矿山的具体情况选用不同的治理方法,并采用多种矿山复绿方法进行组合,以期实现最佳绿化效果。具体而言,挂网喷播绿化作为一种新型生态护坡方法,主要采用“高次团粒”喷播技术,将经特殊工艺制造的客土材料、植物种子及其他必要材料混合后喷播于坡面,这种复绿方式能够快速实现绿化效果,较为适用于岩质或土质边坡。同时,植生袋法主要利用植生袋的特殊结构和功能在矿山废弃地或受损边坡上实现植被快速修复的目的,植生袋是一种能够将混合植物种子均匀分布并定植在可降解的种子带与聚乙烯编织网连接而成的袋子,其内部有较大的空间可以装入土壤与肥料并为植物种子的发芽和生长提供有利条件。植生袋具有一定的强度和柔韧性,能够在短时间内根据边坡的具体情况和修复目标灵活选择植物种类和配置方式,并为边坡提供适宜的土壤环境和生长条件。此外,鱼鳞坑蓄土绿化是利用坡面凹处或有小平台的空间,形成鱼鳞状的种植穴进行绿化;而栅格网绿化则是通过构建三维结构土壤加筋网垫的方式为植被生长提供必要的条件,这两种技术也都是露天矿山生态修复治理工作中较为常用的复绿方式。

(五) 增加矿山地质环境保护的资金投入

为了拓展露天矿山生态修复治理资金的投入渠道,政府可以采用直接拨款或设立专项生态修复基金的方式用于支持历史遗留矿山和重点区域的生态修复工作,也可以通过税收优惠和补贴奖励等政策的出台来鼓励更多企业和社会资本参与矿山生态修复治理过程中来。具体而言,政府可以采用PPP模式或特许经营等方式吸引社会资本参与矿山生态修复项目,社会资本负责项目的投资、建设和运营,政府则提供政策支持和监管。同时,鼓励矿山企业按照“谁开采、谁治理”的原则自筹资金进行矿山生态修复,企业需要将生态修复费用纳入生产成本之中,也可以通过发行生态修复专项债券等方式筹集用于矿山生态修复项目的资金。此外,矿山企业也可

以借助绿色信贷、绿色债券等金融工具为矿山生态修复项目提供融资支持,绿色金融机构可以对符合条件的项目提供低息贷款或优惠贷款条件。

(六) 加大露天矿山监管力度

政府部门要在国家及行业相关政策及法规的指导下强化对矿山企业的监管,要求矿山企业制定出一套开采与治理相结合的综合治理方案,并将此作为自然资源管理部门监督工作的核心内容。同时,对于露天矿山开采活动应实行严格的年度规划制度,包括年初精心制定恢复治理方案、年终细致检查实施效果以及年末全面考核治理成效,以此确保企业切实履行年度治理计划。在计划执行过程中,必须精准控制开采与治理的进度平衡,针对每个矿山的特定环境恢复状况,建立详尽的地理信息档案,实现“一矿一档”的精细化管理并采用动态监测机制灵活应对各种突发情况。针对露天矿山的地质环境恢复治理,应依据实际情况量身定制治理方案,积极借鉴土地整治项目规划设计的先进经验,保证治理施工图设计的科学、合理且易于实施。同时,加强技术交底工作,确保监管部门与矿山企业双方都能清晰理解治理方案的整体布局和操作细节,促进双方协作顺畅。此外,治理方案需要根据治理过程中的实际情况适时优化调整,治理过程应邀请专业设计单位和行业专家提供现场指导,对于涉及方案变更的项目应及时组织调整并出具专业意见,保证治理工作的科学性和有效性。

结语

随着国家对生态环境保护力度的不断加大,矿山生态环境保护与治理工作也逐渐受到业内人士的广泛关注。但由于我国露天矿山开采历史较长,加之多年以来不合规开采作业,导致许多露天矿山周边的生态环境遭到严重破坏。基于此,本文首先分析了我国露天矿山生态环境恢复治理中存在的问题,随后对露天矿山生态环境恢复与治理工作的主要内容进行阐述,最后探讨了如何采取有效措施来进行露天矿山生态环境恢复治理,希望本文研究成果能够为我国露天矿山生态环境恢复治理工作提供一定参考和借鉴。

参考文献

- [1]李广济,尚学勇,董杰.鹤壁市淇滨区南太行地区废弃露天矿山生态环境恢复治理技术[J].能源与环保,2023,45(01):7-12+20.
- [2]靳贝贝,张传东,刁文博,等.栾川县百炉沟废弃露天矿山地质环境特征及生态环境修复治理研究[J].能源与环保,2022,44(12):129-134.
- [3]杨彩霞.露天矿山生态环境恢复治理若干方法探讨[J].石化技术,2017,24(05):59.