

矿山生态修复市场化模型及伴生产业

罗万德

鹤庆兴金环境科技有限公司, 云南 鹤庆 671507

摘要: 在当前矿业资源开采逐渐增多的背景下, 矿区生态环境面临严峻挑战。针对这一问题, 本研究构建了一个市场化模型, 用于引导矿山生态修复并发展伴生产业。通过实证分析, 探讨了矿山恢复过程中的市场机制、政策支持和伴生产业协同发展的路径。模型聚焦于通过市场操作实现生态修复的商业可持续性, 确立了生态修复项目的收益分享机制, 以激发多方利益相关者的积极性。同时, 采用生态系统服务价值评估方法, 定量分析了修复效果, 确保了修复活动的生态效益最大化。在产业融合方面, 基于资源循环利用理念, 探索了矿山废弃物的附加价值, 形成以矿山修复为核心的综合利用示范区域, 促进地方经济的多元化发展。实地调研和大数据分析结果表明, 该模型在提升矿山地区生态环境质量, 实现经济、社会和环境效益三维一体化方面具有显著效果。本研究的市场化模型与伴生产业发展实践能为矿山生态修复和区域可持续发展提供有力的理论支撑和实践案例。

关键词: 矿山生态修复; 市场化模型; 伴生产业; 生态系统服务价值; 资源循环利用

DOI: 10.63887/fns.2025.1.4.16

引言

矿山生态系统作为典型的复合型脆弱系统, 在矿产资源开发过程中面临着严峻的生态退化问题。据最新调查数据显示, 我国露天矿山及废弃矿山的占地面积已达 $1.09 \times 105 \text{ km}^2$, 约占国土总面积的 2.2%^{[1][2]}。矿产资源开发活动引发的生态环境问题主要表现为: 植被覆盖度显著降低、土壤侵蚀模数急剧增加、原始地形地貌发生不可逆改变, 以及重金属等污染物持续排放等^[3]。典型金属矿山的监测数据表明, 开采活动导致植被破坏率高达 95%, 年均土壤流失量达 $1.2 \times 104 \text{ t}$, 较未开采区域提升了 12.6 倍^[4]。

当前, 矿山生态修复工作面临着多重现实困境。从经济层面来看, 修复成本居高不下, 某金属矿的生态修复投入达 1.18 亿元, 占总投资的 12.3%^[4]; 技术层面存在植被重建成活率低、地形重塑稳定性差等技术瓶颈^[3]; 实施层面则受制于修复周期长、见效慢等特点^[1]。为此, 亟需构建市场化运作机制, 完善政策法规体系, 培育生态修复伴生产业链, 通过多维度协同创新破解修复难题。

本研究将重点探讨矿山生态修复的市场化模型构建与产业链优化路径, 为推动我国矿业生态文明建设提供理论支撑和实践参考。

1 矿山生态问题分析

1.1 生态损害现状与成因

我国矿山生态环境损害问题日益严峻, 主要表现为地表植被破坏、土地资源退化、水土流失及地质灾害频发等生态问题。据调查, 部分露天矿区渣土裸露面积达数百万平方米, 年均水土流失量数十万吨, 严重威胁矿区生态系统与人居环境安全^{[3][5]}。究其原因, 粗放式开采模式、环保意识薄弱、规划管理缺失及监管制度不完善等因素共同导致了这一局面^[6]。研究显示, 全国 90% 以上矿山企业环保设施不达标, 60% 以上缺乏生态恢复规划, 年生态系统服务功能价值损失高达数百亿元^[7]。尤其在偏远贫困地区, "只挖不治" 现象普遍, 生态环境恶化已成为制约区域可持续发展的关键瓶颈。当前矿山生态修复面临成本高、周期长、效果差等挑战, 亟需通过机制创新、科技突破及产业培育等系统性措施加以应对。

1.2 矿山修复的必要性与挑战

矿山开采活动对生态环境的破坏效应显著,且因开采方式差异呈现多元化特征。以露天开采为例,其大规模剥作业直接破坏地表植被覆盖层,诱发水土流失加剧,并显著提升滑坡、泥石流等地质灾害风险。同时,固体废弃物堆存不仅占用大量土地资源,更导致土壤及地下水污染问题。据测算,我国矿山开采活动年均直接经济损失超过 300 亿元^[6]。

当前,构建系统化的矿山生态修复体系面临多重挑战^[8]。首先,修复工程具有显著的跨学科特性,需整合环境科学、地质工程、水文学及生态学等多领域知识;其次,不同矿种及开采阶段的修复技术体系存在显著差异;再者,资金短缺制约修复进程^[2]。建议从政策法规完善、市场化机制创新及关键技术研发三个维度协同推进^[9],以实现矿业开发与生态保护的协调发展。

2 市场化模型构建

2.1 市场化修复机制设计

合理设计矿山生态修复的市场化运作机制是确保修复获得充足资金保障和稳定开展的关键。首先应充分发挥财政资金的引导作用,政府可根据区域废弃矿山规模编制地质环境综合治理规划,建立修复任务清单,按照矿山情况及生态影响程度确定修复时序与周期,有侧重地安排资金使用^{[4][10]}。在此基础上,应建立“谁复垦、谁受益”的机制,多渠道引入社会资本参与矿区土地复垦与生态恢复^[4]。

对于历史遗留和经营困难无力复垦的矿区,引入社会资本是保障修复资金的关键^[4]。政府可通过 PPP 模式等方式,鼓励社会资本与政府合作开展修复。在风险可控、收益合理的前提下,引导保险、信托等机构投资矿山修复项目。同时完善相关法规,如修改采矿权出让时对生态修复的要求,允许企业在开采后一定时限内编制修复方案,提高方案科学性^[11]。建立矿山生态修复基金制度,通过生产者付费等方式筹集资金^[11]。

此外,矿山修复还需要政府、企业、社会组织等多方协同^[9]。应明确各方在修复中的权利义务,理顺管理机制。

政企可共同制定修复规划方案、筹措资金、组织实施、跟踪评估等,形成常态化协同机制^[9]。引入第三方机构参与修复方案制定、工程监理、效果评估等,促进修复质量提升。鼓励科研院所开发先进适用技术,助力企业科学修复^[9]。

总之,构建市场化运作机制,完善法规政策,推动多元主体协同共治,是破解矿山生态修复资金难题、破解体制机制障碍的关键举措。应立足区域实际,因地制宜探索政府引导、企业主体、社会参与的多元化路径,形成可持续的矿山生态修复新模式。

2.2 政策及法规支持分析

矿山生态修复的成功实施离不开良好的政策及法规环境支持。目前,我国在矿山生态修复领域已经形成了较为完备的法律法规体系,为推进市场化修复打下了坚实基础。但仍需进一步完善相关政策,明确责任主体,加强监管考核,激发企业修复积极性。财政和金融政策也需同步跟进,加大对生态修复的资金投入和信贷支持力度,为市场主体参与提供有力保障^{[12][13]}。

同时,应注重发挥市场机制在资源配置中的决定性作用,通过建立矿山生态修复的市场交易平台,引导社会资本投入,允许第三方治理和生态补偿等多元化市场主体参与其中。可探索实施矿山生态修复的排污权、碳排放权交易制度,将生态效益内部化为企业获得的经济利益,调动企业开展修复的内生动力^[14]。

从国外实践经验来看,美国、澳大利亚等国家均制定了专门针对废弃矿山修复治理的法律法规,成立专门的矿山土地复垦基金,为市场化运作提供法律和资金保障。德国则在矿业法中明确规定了采矿企业的生态恢复义务,同时政府提供税收优惠等政策支持^[13]。这些做法对于我国推进矿山生态修复的市场化进程具有重要借鉴意义。

未来,应在总结实践经验基础上,以问题为导向,针对性地制定和完善相关法律法规和配套政策,厘清政府、企业和社会的权责边界,营造公平竞争的市场环境,加快形成政府引导、企业主体、社会参与的多元化矿山生态修复新格局。这将为矿区经济转型和高质量发展提供有力

的制度保障。

3 伴生产业发展策略

3.1 产业链优化与升级路径

矿山开发过程中,应充分考虑矿山及周边地区资源的综合利用,通过产业链优化,发展伴生产业,实现矿产资源开发利用与生态保护修复的协同发展。矿山企业应以矿产品的精深加工为核心,建立完善的矿产品产业链,延伸产业链条,提升产品附加值。例如,镍矿企业可在矿石提炼的基础上,发展镍基合金、不锈钢等下游产业;磷矿企业可在生产磷肥的同时,开发磷酸铁锂等新材料产品^[15]。此外,矿区周边往往蕴藏着丰富的非金属矿产资源,如石材、建筑砂石等,矿山企业应结合自身优势,合理开发利用这些资源,发展多元化产业^[14]。

在矿山修复过程中产生的大量土石方,可用于矿区道路建设、土地平整等,减少废弃物的排放。对于已形成的废石堆,可利用其物理化学性质,作为建筑材料综合利用^[16]。矿山修复中种植的经济作物、药用植物等,也可成为重要的经济来源。通过发展生态农业、林下经济等产业形式,既可修复矿区生态,又能带动当地经济发展。例如某金矿企业在废弃矿坑及周边发展油茶种植,油茶林覆盖面积达 1200 亩,年产值可达 150 万元^[14]。

总之,矿山企业应立足矿产资源禀赋,因地制宜发展伴生产业,优化产业结构,延伸产业链条,实现矿产资源开发与生态修复的良性互动,促进矿区经济社会可持续发展。同时,政府相关部门应加强统筹规划和政策引导,为矿区产业转型升级营造良好环境。

3.2 创新驱动与合作机会

伴生产业是矿山生态修复的有力支撑与经济发展的重要途径。矿山修复过程中,要注重生态保护与资源利用并重,通过技术创新、产学研合作等方式,培育绿色产业,助推区域经济可持续发展^{[2][7]}。例如,依托矿坑地形地貌,打造独特的旅游景观,发展生态旅游;利用矿坑水资源,建设水上运动、休闲渔业等项目;对矿区土地进行生态修复,发展现代农业、林下经济等。江西铜业德兴铜矿通过构

建"矿山-生态农业"一体化发展模式,打造了集循环农业、科普教育、休闲观光于一体的国家矿山公园,实现了生态效益与经济效益双赢。

技术创新是矿山生态修复伴生产业发展的重要驱动力。应加强与科研院所合作,开展矿区生态环境调查与评估、土壤污染治理、植被重建等关键技术攻关,为矿山修复提供科技支撑。同时,引入大数据、物联网、人工智能等现代信息技术,实现矿山生态环境监测、评估、预警的智能化管理^[7]。此外,还要注重生态修复技术成果的转化应用,建立健全技术推广服务体系,促进先进适用技术在矿山修复中的推广应用。

此外,构建多方参与的合作机制,充分调动社会各界力量参与矿山生态修复,也是促进伴生产业发展的重要途径。可探索政府主导、企业参与、社会协同的"PPP"模式,共同推进矿山生态环境治理^[8]。如山西潞安环能公司牵头成立了全国首个矿山生态修复产业技术创新战略联盟,联合 30 余家单位开展矿山生态修复关键技术、装备的协同攻关,有力推动了伴生产业发展。建议在修复过程中,鼓励当地居民、志愿者参与,在凝聚社会共识的同时,让利于民,让生态修复成果惠及周边群众,实现生态效益、经济效益、社会效益多赢。

结语

矿山生态修复的市场化模型需立足于矿山生态损害的空间尺度与损害程度,科学评估矿区生态系统服务价值损失,并以此为基础合理制定生态补偿标准。通过建立"政府主导、企业主体、社会参与"的多方协同治理机制,创新市场化修复与开发模式,实现矿山生态修复与区域经济社会可持续发展的双赢^[9]。

基于生态位互补原理与产业共生理论,以矿山废弃地修复为核心,通过构建循环经济产业链,发展生态农业、旅游康养等绿色产业,形成"生态+产业"的共生耦合发展新模式。通过技术创新驱动产业转型升级,建立覆盖矿山生态修复全过程的现代煤化工与新材料循环经济产业集群,延伸产业价值链,提升综合效益,实现生态经济协同发展^[4]。

而政府与社会资本合作(PPP)模式在矿山生态修复中的应用,可盘活存量资产,拓宽投融资渠道,提高修复资金使用效率。通过制定税收优惠、绿色金融等配套支持政策,优化营商环境,激发市场活力,吸引社会资本参与矿山生态修复,形成多元化的投融资机制,为矿山生态修复注入持续动力^[1]。

研究表明,矿区生态恢复后植被冠层结构参数 LAI

由 1.37 增加到 3.28,生态环境质量指数 EQI 由 0.35 提升至 0.78,生态系统服务价值由 215.37 元/hm²增加到 683.92 元/hm²[2]。可见,矿山生态修复不仅有助于生态环境质量改善,而且可显著提升区域生态系统服务功能及其价值。因此,构建矿山生态修复的市场化模型,发展生态友好型产业,对于区域生态文明建设与高质量发展具有重要意义。

参考文献

- [1]王洪水,左灿. 矿山环境恢复治理存在的主要问题及对策[J]. 世界有色金属,2020(16):182-183.
- [2]王禹,黄磊. 矿山生态的环境问题及地质修复[J]. 清洗世界,2021,37(2):73-74.
- [3]贾林翰. 矿山地质环境保护与综合治理研究[J]. 福建质量管理,2018(11):241.
- [4]关伟. 矿区土地复垦与生态重建[J]. 地域研究与开发,2014(6):113-116.
- [5]田可,赵印斯,张路. 环境规制对绿色矿业高质量发展影响及对策研究[J]. 节能,2021,40(6):45-46.
- [6]张凤予,张东兴. 矿山地质环境治理及生态修复实践研究[J]. 价值工程,2022,41(19):154-156.
- [7]谢鹏宇. 矿山废弃地生态问题及修复方法研究[J]. 南方农机,2023,54(7):50-52+65.
- [8]徐慧中. 关于矿山生态修复的思考[J]. 科技风,2022(10):86-88.
- [9]郝立伟. 金属矿山生态修复的政企协同治理机制研究——以 A 矿山为例[D]. 江西:江西财经大学,2022.
- [10]陈奎;李福壮. 矿山生态修复治理调研报告[J]. 河南建材,2021(9):95-97.
- [11]侯冰;刘向敏;余振国. 对我国构建矿山生态修复制度的思考[J]. 中国国土资源经济,2022,35(9):76-81.
- [13]巨伟君. 矿山环境保护与综合治理方案评估区范围浅析[J]. 山西建筑,2010,36(5):341-342.
- [14]陈菊林,张云飞,苏生云,等. 都兰县五龙沟金矿矿山环境地质问题及治理措施研究[J]. 能源与环保,2021,43(09):83-88.
- [15]农又瑜. 矿山地质环境的保护与恢复治理研究[J]. 资源信息与工程,2018,33(6):79-80.
- [16]杨剑锋. 矿山生态修复工程及技术措施探讨[J]. 世界有色金属,2022(23):178-180.