

Research on Environmental Impact Assessment of Mineral Development under the Constraint of Ecological Protection Red Line

Jia Zhang¹ Wen Li²

1. Jiangsu Zhihong Environmental Protection Technology Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210000, China

2. Nanjing Haosheng Environmental Protection Technology Co., Ltd., Changzhou, Jiangsu, 213000, China

Abstract

This study systematically analyzes the conflict dimensions between mineral exploitation and ecological protection redlines, establishing a three-tiered environmental assessment framework (Target-Criteria-Indicator). By integrating Analytic Hierarchy Process (AHP) and entropy weighting for indicator weighting, combined with fuzzy comprehensive evaluation and matter-element extension methods, the research develops a closed-loop assessment process. The study also proposes a multi-model coupling framework for environmental impact prediction and differentiated scenarios, offering comprehensive solutions including source layout optimization, process technology integration, and long-term regulatory coordination. These findings enhance the theoretical foundation of mandatory environmental assessments, providing technical support for the coordinated development of mineral exploitation and ecological conservation redlines.

Keywords

ecological protection red line; mineral exploitation; environmental impact assessment

生态保护红线约束下矿产开发环境影响评价研究

张佳¹ 李文²

1. 江苏智泓环保科技有限公司, 中国·江苏 南京 210000

2. 南京昊晟环保科技有限公司, 中国·江苏 常州 213000

摘要

本文系统分析了两者的冲突维度及矿产开发对红线区域的环境影响机理, 构建了“目标层-准则层-指标层”三级环评指标体系, 结合层次分析法与熵权法确定指标权重, 整合模糊综合评价法与物元可拓法优化评价方法, 形成闭环式评价流程; 同时, 设计了多模型耦合的环境影响预测框架与差异化场景, 提出了源头布局优化、过程技术集成、长效监管协同的全流程防控对策。研究完善了约束性环评理论体系, 为矿产开发与生态保护红线协同发展提供了技术支持。

关键词

生态保护红线; 矿产开发; 环境影响评价

1 引言

随着生态保护红线制度落地, 矿产开发的生态环境胁迫与红线管控要求形成突出矛盾, 传统环评方法难以满足红线约束下的精准评价需求。本文聚焦红线约束下矿产开发环评关键问题, 通过解析冲突机理、构建评价体系、探索防控路径, 为规范开发行为、实现经济与生态双赢提供理论与实践参考。

2 生态保护红线约束下矿产开发的核心冲突与影响机理

2.1 矿产开发与生态保护红线的冲突维度

生态保护红线与矿产开发的核心冲突呈现多层次、交织性特征, 贯穿开发全流程。空间冲突是最直接的显性矛盾, 矿产资源赋存区域与红线划定范围的天然重叠风险, 使得开发活动易突破空间管控边界, 尤其在资源富集且生态敏感的区域, 这种重叠可能直接触碰红线的刚性管控底线。功能冲突则源于开发活动对红线核心生态服务功能的直接干扰, 矿产开采带来的地表扰动、工程建设等行为, 会破坏红线区域的水源涵养、水土保持、生物栖息等关键生态功能, 导致其无法正常发挥生态安全屏障作用。而目标冲突本质是经济发

【作者简介】张佳(1997-), 女, 中国江苏扬州人, 本科, 助理工程师, 从事环境影响评价研究。

展与生态保护的价值权衡困境，部分区域对矿产资源经济收益的诉求与红线的严格保护目标形成张力，若缺乏科学的协调机制，易引发开发过度或保护僵化的极端情况^[1]。

2.2 矿产开发对红线区域的环境影响机理

矿产开发对红线区域的环境影响遵循特定传导机理，且具有显著的破坏性与持续性。从生态系统完整性来看，开采活动引发的地表剥离、地下采空等问题，会直接导致植被退化、地表塌陷，进而造成栖息地破碎化，割裂生物迁徙与繁衍的廊道，最终引发生物多样性减少，破坏生态系统的结构稳定性。在环境要素污染方面，开采与加工过程中产生的粉尘、重金属污染物及废水，会通过大气扩散、地表径流、土壤渗透等路径迁移扩散，形成“大气-土壤-水体”的多介质污染链条，逐步侵蚀红线区域的环境质量，如下图1所示。更为关键的是，这种影响并非孤立存在，而是呈现明显的累积效应，随着开发周期延长，生态破坏与污染程度不断叠加，且部分损伤具有不可逆性，一旦突破生态阈值便难以恢复。



图1 环境要素污染中多介质污染图

2.3 红线约束对矿产开发的管控边界与要求

红线约束通过明确管控边界与标准，为矿产开发划定了不可逾越的生态底线。在区域管控上，红线明确划分禁止开发与限制开发区域，禁止开发区域严格杜绝任何矿产开发活动，限制开发区域则对开采范围、方式进行严格管控，严禁突破生态承载能力的开发行为。在准入层面，红线区域的矿产开发设置了刚性准入条件，涵盖环保技术水平、生态修复能力、风险防控设施等多个维度，未达标的项目一律不得进入开发环节，同时制定了量化的约束标准，对开采强度、污染物排放、地表扰动范围等进行严格限定。环评作为开发准入的关键环节，需重点响应红线管控的核心指标，包括生态系统完整性维持指标、污染物排放控制指标、生态功能修复达标指标等，确保环评过程充分衔接红线要求，从源头阻断可能引发的生态环境风险^[2]。

3 红线约束下矿产开发环境影响评价体系构建

3.1 评价指标体系设计

红线约束下矿产开发环境影响评价指标体系的构建，

以精准响应生态保护底线要求为核心逻辑，兼顾矿产开发的环境影响特征与生态保护目标的协同性。指标选取严格锚定红线管控的核心诉求，既覆盖矿产开发对生态系统、环境质量的直接影响，也纳入红线功能维持与风险防控的关键维度，形成“目标层-准则层-指标层”的三级递进框架：目标层聚焦红线约束下矿产开发环境影响的综合评估，准则层细化为生态系统完整性影响、环境质量影响、红线功能维持度、风险防控能力四大核心维度，指标层则选取植被覆盖变化率、红线内生物多样性指数、污染物排放达标率、生态修复完成率等可量化指标，实现对约束要求的具象化落地。在权重确定上，采用层次分析法与熵权法相结合的方式，既体现专家对红线管控优先级的认知，又通过客观数据反映指标的信息熵值，提升权重分配的科学性；评价标准的制定则严格衔接生态保护红线管控规范、国家环保强制性标准与区域生态承载力阈值，确保评价结果具备刚性约束意义^[3]。

3.2 评价方法选择与优化

评价方法的选择与优化以适配红线约束的特殊性为导向，首先对传统环评方法进行适应性研判，明确其在约束性指标量化、冲突风险识别等方面的局限性。在此基础上，构建针对性的约束性综合评价模型，结合模糊综合评价法对多维度指标的模糊性处理优势与物元可拓法在矛盾问题转化中的应用价值，实现对复杂环境影响的精准刻画。同时，设计闭环式评价流程：以红线区域生态环境现状调查与矿产开发-红线冲突识别为起点，通过指标量化将环境影响转化为可比对的评价数据，经综合评价得出影响等级与风险节点，最终通过结果反馈反向优化开发方案或防控措施，形成“现状调查-冲突识别-指标量化-综合评价-结果反馈”的完整逻辑链，确保评价过程既符合环评规范，又突出红线约束的核心地位，为开发活动的生态合规性提供科学支撑。

4 红线约束下矿产开发环境影响预测与防控对策

4.1 环境影响预测模型与场景设计

红线约束下的矿产开发环境影响预测，需依托多维度模型与差异化场景设计实现精准研判。基于系统动力学模型的动态模拟特性，可量化不同开采规模、开采周期下生态环境的渐进式变化，结合数值模拟技术，清晰呈现开发活动对红线区域环境要素的影响路径与强度；针对红线内珍稀物种、关键生态廊道等敏感生态因子，通过构建物种响应模型、生态功能退化模拟框架，预测其在开发扰动下的种群变化、功能衰减趋势，为针对性保护提供依据。同时，需预设极端天气、开采事故等突发情景，建立环境风险预警指标体系，通过阈值判定与趋势推演，提前识别生态系统崩溃、污染物超标排放等潜在风险，为应急处置提供技术支撑。

4.2 源头防控：矿产开发布局优化与准入管控

源头防控作为红线约束下矿产开发生态保护的第一道

防线,核心在于通过科学的布局优化与严格的准入管控,从根本上规避或降低开发活动与生态保护红线的冲突风险。在空间布局优化方面,严格执行生态保护红线避让原则,利用GIS空间分析技术,结合红线区域生态敏感性评价、生态服务功能重要性评估结果,对矿产资源开发区域进行多方案比选,优先选择生态敏感性低、远离红线核心区的区域作为开发选址,确保开发区域与红线核心区、缓冲区保持足够的生态缓冲距离,避免直接触碰生态保护关键区域,如下图2所示。在开发强度管控层面,基于红线区域生态承载力阈值核算结果,科学限定矿山开采规模、开采深度、开采节奏及露天开采境界,大力推广充填开采、房柱式开采、露天矿边采边复等低扰动开采方式,减少对地表植被、土壤结构及地下水系的破坏。同时,建立红线约束导向的矿产开发环保准入制度,明确矿山开采设备环保标准、污染治理设施配置要求、生态修复资金储备比例等硬性指标,将生态修复方案可行性、风险防控设施完备性、环保技术装备水平等纳入准入评估核心指标,通过严格的审批流程与评估机制,从源头阻断高污染、高风险、低水平项目进入红线影响区域^[4]。

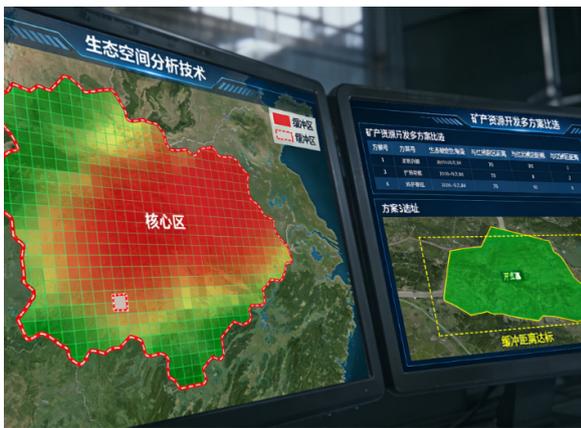


图2 空间布局优化的图片

4.3 过程管控：污染治理与生态保护技术集成

过程管控需依托先进技术的集成应用,实现矿产开发全过程的污染精准治理与生态同步保护,最大限度降低开发活动对红线区域生态环境的扰动。在清洁开采技术推广方面,大力应用无废开采工艺、智能化分选技术、低尘爆破技术等,从生产环节减少粉尘、废水、废渣等污染物的产生量;通过优化开采流程、改进设备性能,降低开采过程中的能耗与物耗,提升矿产资源利用效率,减少资源浪费带来的生态压力。针对开发过程中已产生的污染物,构建“分类处理+协同治理”的技术方案:采用高效袋式除尘设备、湿式除尘系统控制大气污染物排放,运用重金属废水深度处理系统、

高盐废水资源化利用技术处理工业废水,通过废渣无害化处置与资源化利用技术实现固体废弃物减量化、无害化、资源化。同时,聚焦红线区域生态功能修复需求,集成植被重建技术、栖息地修复技术、土壤改良技术,在开采过程中同步开展生态修复工程,按照“边开采、边修复、边验收”的原则,及时修复受损生态系统,实现“开发-保护-修复”的动态平衡,保障红线区域生态服务功能持续稳定。

4.4 长效管控：监管机制与协同治理体系构建

长效管控的核心是构建权责清晰、协同高效的监管与治理体系,确保生态保护红线约束在矿产开发全生命周期持续落地。建立红线区域生态环境动态监管机制,整合卫星遥感、无人机巡查、地面监测与企业在线监控等多源手段,构建“天空地”一体化监测网络,实时追踪开采范围、污染物排放、生态修复进度等关键指标;配合常态化执法检查与随机抽查,严厉查处违规开采、超标排放、未按要求修复等违法行为,压实企业合规责任。构建“政府主导、企业主体、公众参与、科研支撑”的协同治理模式:政府负责政策制定、统筹执法与职责划分,企业履行生态保护主体责任并加大环保投入,公众通过信息公开平台与举报渠道参与监督,科研机构提供技术支撑与方案优化,形成多方联动格局。同时完善生态补偿制度,基于生态系统服务价值明确补偿主体、标准与方式,建立跨区域、跨行业补偿机制;强化生态环境损害赔偿与终身追责制度,实行连带责任追究,对严重破坏生态的行为依法严肃处理,通过制度约束与激励引导,倒逼企业规范开发,实现矿产开发与红线保护的长期协同。

5 结语

综上所述,本文明确了矿产开发与生态保护红线的核心冲突及影响机理,构建了适配红线约束的环评体系,提出了全流程防控对策,形成“冲突解析-体系构建-预测防控”的研究逻辑。研究丰富了约束性环评理论,为红线区域矿产开发生态化转型提供了实操方案,未来可进一步优化指标体系与预测模型的精准性。

参考文献

- [1] 王洪亮,和峰铭,张晶,等.刚果(金)科卢韦齐推覆体矿产开发对水环境的影响分析[J].地下水,2025,47(03):16-18+34.
- [2] 汤珂,苏雅丽,李宏卫,等.自然保护区矿产资源开发的生态环境影响综合评价体系研究与应用[J].安全与环境工程,2024,31(05):239-248.
- [3] 李鑫海,孙治雷,曹红,等.深海重要矿产资源开发研究进展[J].海洋地质与第四纪地质,2024,44(03):160-172.
- [4] 张艳芳,齐坤伟.页岩气开发中环境影响评价法律机制的国外镜鉴[J].中国矿业,2022,31(10):35-42+47.