Evaluation of Potential Ecological Risks of Mining in North Guangdong Ecological Reserves

Bowen Liu[1,2], Qinghua Gong[1,2*], Jun Wang [1,2], Shaoxiong Yuan [1,2]

[1] *Guangdong Open Laboratory of Geospatial Information Technology and Application, Guangzhou, 510070, China*

[2] *Guangzhou Institute of Geography, Guangdong Academy of Sciences, Guangzhou, 510070, China*

**Corresponding author. Qinghua Gong. Email: 32617532@qq.com*

ABSTRACTD:

Mining is prone to cause land encroachment, geologic disasters, vegetation destruction, environmental pollution and other problems in the surrounding areas. As an important ecological barrier and water conservation area in Guangdong Province, the study of ecological risk assessment caused by mining is crucial for regional ecological protection and risk prevention. Based on the ecological risk evaluation model of "ecological disturbance risk x importance of ecosystem service functions", the current situation investigation and evaluation study was carried out on the example of the northern Guangdong ecological reserve. By constructing the ecological risk evaluation index system and using the hierarchical analysis method and ARCGIS platform, the potential ecological risks were characterized. The results show that: (1) The areas with higher ecological disturbance risk levels and high values account for a larger proportion of the area, which are mainly distributed in the east-central part of the northern Guangdong Ecological Reserve. (2) The potential ecological risks in the study area were generally low, and the higher ecological risk areas showed localized aggregation, accounting for 3.99% of the total area, mainly in the upper reaches of the Dongjiang River, around the Nanshui Reservoir, and in the coastal river areas in western Guangdong. There is significant spatial aggregation in the causes of high ecological risk, and environmental pollution and land encroachment significantly affect ecological risk.

Keywords: *North Guangdong Ecological Reserve, Mine Clearance, Ecological Risk Assessment*

粤北生态保护区矿山开采潜在生态风险评价

刘博文[1,2]，宫清华[1,2*]，王 钧[1,2]，袁少雄[1,2]

[1] *广东省地理空间信息技术与应用重点实验室，广州 510070，中国*

[2] *广东省科学院广州地理研究所，广州 510070，中国*

通讯作者 宫清华 电子邮箱：32617532@qq.com

© The Author(s) 2025

S. Qiao et al. (eds.), *Proceedings of the 11th Annual Meeting of Risk Analysis Council of China Association for Disaster Prevention (RAC 2024)*, Advances in Economics, Business and Management Research 367,
https://doi.org/10.2991/978-94-6463-946-9_11

摘要

矿山开采易造成周边地区土地侵占、地质灾害、植被破坏、环境污染等问题，粤北生态保护区作为广东省重要的生态屏障及水源涵养区，研究矿山开采造成的生态风险评价对于区域生态保护及风险防范至关重要。基于“生态扰动危险性 x 生态系统服务功能重要性”的生态风险评价模型，以粤北生态保护区为例，开展了现状调查与评价研究。通过构建生态风险评价指标体系，运用层次分析法和 ARCGIS 平台，表征了潜在生态风险。结果表明：（1）生态扰动危险性等级较高和高值区域占比较大，主要分布在粤北生态保护区中东部。（2）研究区域内的潜在生态风险总体较低，较高的生态风险区域呈现局部聚集，占总面积的 3.99%，主要集中在东江上游、南水水库周边及粤西沿海诸河区域。高生态风险的成因存在显著的空间聚集，环境污染和土地侵占显著影响生态风险。

关键词：粤北生态保护区、矿山开采、生态风险评价

1 .引言

粤北生态保护区是广东省和粤港澳大湾区的重要生态屏障和水源涵养区[1]，属于世界同纬度地区的典型代表。位于国家生态安全格局“两屏三带”中的南方丘陵山地带的核心区中的南方丘陵山地带的核心区，是关系到我国生态安全的核心区域。处于北江、东江上游水源涵养区，是北江流域、东江流域和珠三角地区的重要水源地，发挥着重要的水源涵养和水土保持功能。区域内主要河流总长约 5000 千米，多年平均水资源总量超过 700 亿立方米，人均水资源量 4200 立方米，是全省平均水平的 2.5 倍。区内有第一大水库新丰江南水水库、第二大水库乳源南水水库及众多中小水库，水库总面积约 562 平方公里。区内自然基底以林地为主，林地面积比重为 75%，森林覆盖率 72%，拥有南岭、石门台、罗坑鳄蜥、车八岭、丹霞山等 5 个国家级自然保护区以及多个省级自然保护区。

然而，随着矿山开采活动的持续增加也导致了矿山及周边环境植被破坏、水土流失、环境污染、地质灾害频发等一系列环境问题，对区域生态系统的稳定性构成了极大挑战。区内分布有国家重点成矿带-南岭成矿带，而南岭成矿带的大部份区域均落在南岭国家级自然保护区范围内。境内国家级和省级自然保护区 40 个，其中位于自然保护区内的矿山数量有 12 个。

生态风险评价是通过组织和分析数据，评价与人类活动相关的一个和多个风险源在暴露过程中对生态系统可能造成的生态效应[2]。目前，矿产资源开采对生态风险评价多集中在单要素风险评价，刘安等对河北省铅锌矿区及周边区域进行土壤样品采集，解析土壤重金属的污染来源和生态风险[3]；梁越等通过对鄱阳湖流域周边金属矿产的水样采集，揭示其水环境风险[4]；和建萍等通过对比类似矿山分析了滇西北高海拔生态脆弱区矿山资源开采造成的废水及重金属污染生态风险、自然灾害生态风险、生物多样性生态风险，并提出了预防对策[5]；陈修康等对惠州市供水水库的沉积物进行样品采集，分析了由于矿山开采与冶炼等人类活动对水库造成的生态影响[6]。

本文基于现状调查，构建了矿山生态扰动危险性评价指标体系，以生态系统服务功能为生态风险的受体，对粤北生态保护区的生态风险进行评价，分析矿山开采对区域生态系统的主要威胁，为区域生态环境保护与修复提供依据。

2 .研究概况与数据

2.1 研究区概况

粤北生态保护区位于广东省北部，行政范围涉及茂名、云浮、肇庆、清远、韶关、惠州、河源、梅州等多个地市，面积超 10 万平方公里。区内地形以丘陵山地为主，兼有盆地、阶地、谷底和平原。地层发育基本齐全，岩类以红色砂砾岩、砂岩、变质岩、花岗岩和石灰岩为主。地处东亚亚热带季风气候区，年平均气温 20.8℃左右，雨量充沛，年均降雨 1400-2400 毫米。植被覆盖度广，境内森林面积占全省森林面积 59%。区内已建成自然保护

区数量达 156 个，形成了一个以国家级自然保护区为核心，以省级自然保护区为网络，以市、县级自然保护区和自然保护小区为通道的自然保护区网络体系[11,12]。境内水资源丰富，生态本地条件好，是广东省乃至全国重要的生态屏障、水源涵养区及生物多样性保护重要区域。

图 1 粤北生态保护区范围

2.2 数据来源

本研究使用的数据包括广东省在采矿山数据、广东省在册地质灾害数据、广东省河流数据、广东省天然林与人工林分布数据、广东省湖泊水库数据、广东省水源涵养指数分布数据、广东省水土保持指数分布数据、广东省生物多样性指数分布数据。所有栅格数据经过 GIS 处理确保栅格像元为 50x50。

3 .现状调查

3.1 地质灾害风险隐患大

粤北生态保护区丘陵山地分布广泛，地势起伏大，地形切割强烈，地质构造较为复杂，地质环境脆弱，是广东省地质灾害多发地区之一。矿山地质灾害主要有崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷、地裂缝、地面沉降六种。截至 2023 年 3 月，粤北生态保护区内隐患威胁 100 人以上地质灾害隐患点 148 处，威胁 100 人以下隐患点 1150 处，合计 1298 处。

崩塌（隐患）是露天开采矿山典型的矿山地质环境问题，主要分布于清远市和肇庆市，按开采矿类统计以非金属矿产为主，按规模统计以小型为主。滑坡是区内典型矿山地质灾害之一，主要分布于清远市和韶关市，其他地级市零星分布；主要分布于露天采场的土质边坡和排土场，规模以小型为主。泥石流灾害及隐患主要分布于肇庆市和梅州市，其他市零星分布；规模以小型为主；以露天开采非金属矿山较发育，且以建材及其它非金属矿山的排土场或尾矿库泥石流隐患最为发育。区内地面塌陷隐患规模以小型为主，少量中、大型，主要分布于覆盖型岩溶地区，如梅州市、清远市、韶关市，以闭坑、废弃和政策性关闭的井工开采的灰岩矿、石膏矿、煤矿为主。

3.2 土地资源压占和破坏突出

截至 2020 年 4 月，全省矿山矿业活动占用、破坏土地面积 25726 公顷。其中，非金属矿产形成的露天采场破坏林地面积最大，全省矿山占用破坏土地类型以林地和其它用地为主，面积 20697 公顷，占比为 80%。矿山开采造成的土地资源压占会直接剥离森林植被和土壤，造成原有林地损毁，并加剧水土流失，致使土地损毁面积变大，对周边土地资源破坏趋于严重。

3.3 部分矿山周边水土污染严重

粤北生态保护区地处珠江流域的北江和东江上游，下游是在全国经济发展占有重要地位的珠江三角洲经济区。北江和东江为广东省重要的饮用水源地，也是重要的稻米生产基地，北江和东江流域的重金属污染不仅严重影响当地居民的生产和生活，更为严重的是重金属所引起的水源污染对下游的珠江三角洲经济区农业生产灌溉和居民健康造成了严重的威胁。

矿山开采（尤其是金属矿山）对水土环境的影响较大。堆浸废水（包括废石土堆和尾矿库）和矿坑水中含有的重金属元素，对矿区附近水体及土壤的污染较严重，主要分布于韶关市、清远市、河源市和梅州市的铅锌矿、铁矿、硫铁矿等。矿山开采对水体的影响较严重。部分矿坑水未经处理直接外排，对水体浸染较大，治理难度大。矿山废渣土中有毒有害物质通过雨水的淋滤，与废石中的含硫矿物引发的酸性废水一起污染土壤，影响附近植被和农作物的生长，造成土壤毒化等问题。

3.4 生物多样性受到影响

矿山开采不仅破坏了生物的栖息地，而且废渣排放、植被清除、土壤污染与退化都严重影响着矿区动植物的生存，对生物多样性造成的破坏往往是不可逆的。生物多样性丧失后，虽然一些耐性物种能在矿山实现植物的自然定居，但形成的植被质量也通常是相对低劣的，因为矿山废弃土地土层薄、生物活性差，受损的生态系统恢复非常缓慢，往往要 50～100 年[1]，所以矿山开采对生物多样性的破坏往往是致命的。

4 .研究方法

4.1 研究框架

本文根据矿山开采造成的生态扰动危险性和生态系统服务功能构建生态风险的评估框架，对数据量化处理，形成生态风险评价计算公式：生态风险=生态扰动危险性 x 生态系统服务功能重要性[7]。

4.2 评价单元

以矿区周边 5 公里为矿山影响范围[8-9]，对矿山点位做缓冲区。结合 GIS 技术，运用克里金插值的方法将矿山周边影响范围均匀分布在粤北生态保护区内。

4.3 评价方法

本研究选用层次分析法分析各因子的权重。其基本原理为：建立生态风险评价指标体系，每一层都有 1 个或 2 个评价因素对应上层目标层，根据这些相互影响，相互制约的因素按照它们之间的隶属关系排成 3 层评价结构体系；然后，根据专家经验针对某一个指标相对于另一个指标的重要程度进行打分，打分后即建立判别矩阵。根据公式将判别矩阵归一化为[10]：

$$\overline{b_{ij}} = b_{ij} \Big/ \sum_{k=1}^{n} b_{kj}, (i = 1,2,3...,n) \qquad (1)$$

其中，n 为评价体系中的指标个数；b_{ij} 为评价指标体系中第 i 个因子和第 j 个因子的危险性影响比重大小之比。

对（1）式求和得 $\overline{w_i} = \sum_{j=1}^{n} \overline{b_{ij}}$，其中 w_i 为归一化后两两比较矩阵。将向量 $\overline{w} = \left[\overline{w_1}, \overline{w_2}, ..., \overline{w_n}\right]^T$ 归一化得 $w_i = \overline{w_i} / \sum_{i=1}^{n} w_i$，则 $w = \left[w_1, w_2, ..., w_n\right]^T$ 为所求的特征向量。

计算最大的特征根为：

$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^{n} (AW)_i / nW_i$，其中 $(AW)_i$ 表示向量 AW 的第 i 个分量。可据此计算各层对上层因子的权重。

4.4 构建评价指标体系

矿山开采潜在生态风险分析指标体系分三层，包括矿山开采造成的生态扰动危险性和生态系统服务功能的重要性。评价指标体系由目标层、要素层、指标层构成，包括 1 个目标层、2 个要素层、各指标层指标，见表 1。

生态扰动危险性反映人类活动或自然因素对生态系统结构和功能的潜在破坏能力，需综合考虑风险源强度、暴露程度及生态系统脆弱性。按照自然风险源、人类活动扰动、生态系统脆弱性分别设立地质灾害、土地侵占、环境污染（河流、水库）、植被破坏四个指标层。

生态系统服务功能重要性体现区域生态系统的供给、调节、支持及文化服务能力，需量化其对人类福祉的贡献及空间分布特征。按照供给服务、调节服务、支持服务分别设立水源涵养、水土保持、生物多样性三个指标层。

表1 矿山开采潜在生态风险评价指标体系表

目标层	要素层	指标层	指标内容
生态风险指数	生态扰动危险性	地质灾害	矿山影响区内滑坡、崩塌、泥石流灾害点数量
		土地侵占	矿山开采土地侵占面积
		环境污染（河流/水库）	矿山影响区内河流途经数量/矿山影响区内湖泊水库面积
		植被破坏	矿山影响区内天然林占比情况

生态系	水源涵养	水源涵养指数
统	水土保持	水土保持指数
重要性	生物多样性	生物多样性指数

4.5 权重赋值

不同评价因子对生态扰动和生态系统服务功能的影响程度不同，形成的生态风险作用也不同。采用层次分析法（AHP）计算各因子权重，根据各因子对生态风险影响程度的差异构建比较矩阵，对比较矩阵进行计算得到最大特征值所对应的归一化特征向量，获得各因子的权重（见表 2），并计算 $CR = 0.043 < 0.1$ 通过一致性检验。

表 2 各个评价因子权重表

因子	权重
矿山影响区内天然林占比情况	0.108
矿山开采土地侵占面积	0.135
矿山影响区内河流途经数量	0.081
矿山影响区内灾害点数量	0.207
矿山影响区内湖泊水库面积	0.085
水源涵养指数	0.091
水土保持指数	0.103
生物多样性指数	0.190

5 .研究结果

5.1 生态扰动危险性评价

生态扰动危险性评价按照矿山对周边影响造成的地质灾害、土地侵占、环境污染及植被破坏情况综合评价。危险性评价结果显示及高扰动区域主要分布在粤北生态保护区中东部地区，主要涉及南雄市、始兴县、翁源县、佛冈县、清城区、连平县、和平县及龙门县。

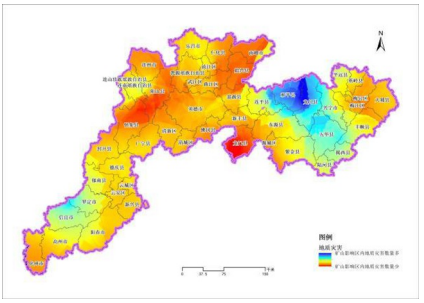

图 2 矿山影响区内崩塌、滑坡、泥石流灾害数量分布图

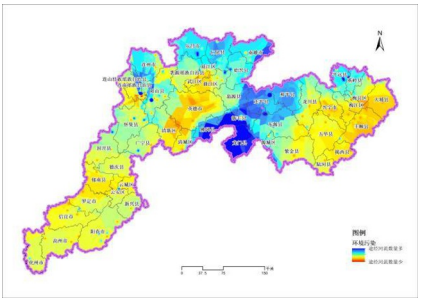

图 3 矿山影响区内河流途经数量分布图

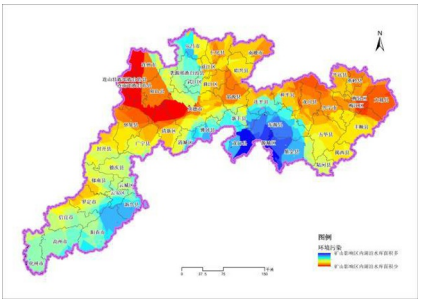

图 4 矿山影响区内湖泊水库面积分布图

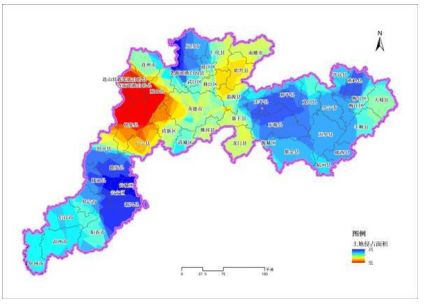

图 5 矿山土地侵占面积分布图

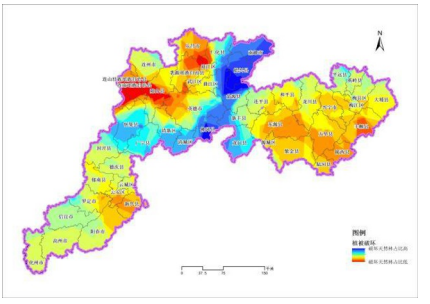

图 6 矿山影响区内天然林破坏情况分布图

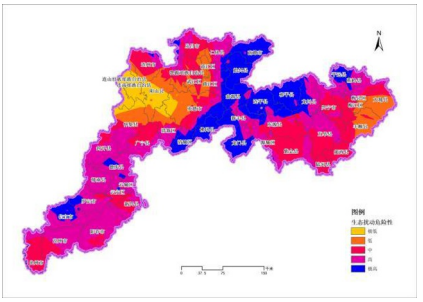

图 7 矿山影响区生态扰动危险性评价结果图

5.2 潜在损失空间分布特征

生态系统潜在损失评价是基于生态扰动对生态系统的破坏，综合水源涵养指数、水土保持指数及生物多样性指数进行综合评价。从评价结果来看，生态系统潜在损失极高区和高区主要分布在粤北生态保护区的中部及西部地区，具体聚集在南水水库周边、绥江上游及粤西沿海诸河区域。

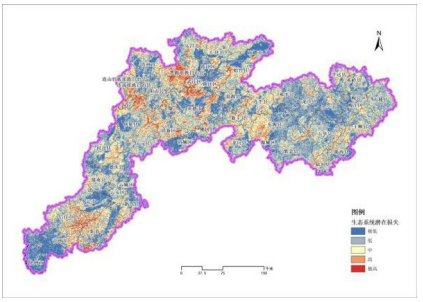

图 8 生态系统潜在损失评价结果图

5.3 生态风险空间格局

根据“生态风险=危险性 x 重要性”计算得到了网格尺度下的粤北生态保护区矿山开采潜在生态风险。采用自然断点分级法（Jenks）将生态风险划分为五个等级：极高风险、高风险、中风险、低风险和极低风险（图 9）。

粤北生态保护区生态风险等级高和极高的区域比例较低，分别占总面积的 3.31%和 0.68%（表 3），总体上呈现局部聚集、全局分散的分布格局。在具体分布上，研究区的中东部和西部均属于高风险级别的区域，形成了较为突出的分布特点。聚集性较高的高风险区和极高风险区主要分布在东江上游、南水水库周边及粤西沿海诸河区域，这些区域受到矿山对河流水库环境污染影响较大。中风险区域主要位于北部、西部和中东部，低风险区域主要位于中西部及西部地区。总体而言，生态风险的空间分布呈现出明显的地域性特点，反映出地质灾害、土地侵占、环境污染、植被破坏对生态系统的扰动。

表 3 生态风险等级面积统计

风险等级	面积/km²	面积占比/%
极低风险区	59266.94	57.00
低风险区	30219.70	29.06
中风险区	10338.57	9.94
高风险区	3438.67	3.31
极高风险区	711.79	0.68

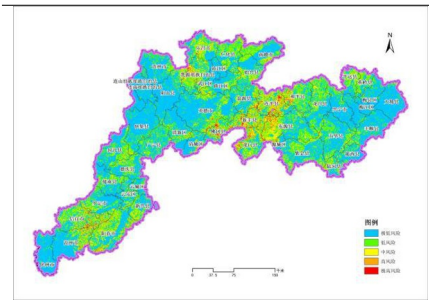

图 9 生态风险评价结果图

6 .矿山开采过程中潜在生态风险的预防对策

6.1 保护修复矿山生态环境，建设广东省重要生态屏障与水源涵养区

以保护和修复生态环境、提供生态产品为首要任务。禁止非保护性采伐，保护和恢复植被，涵养水源，保护珍稀动物，维护生物多样性，保持生态系统的完整性，构建生态屏障。加快水土流失区林草植被建设，修复被破坏的生态环境。加强生态公益林和水源涵养林建设，改造林相[11-12]。对处于高风险区的区域重点加强生态建设和环境保护，将莲花山系、罗浮山系、九连山系、青云山系以及七目嶂山系建成生态屏障和水源涵养区，通过森林蓄水，保持东江水资源稳定。划定新丰江等水源保护区范围，严禁发展有污染的产业。加强对矿山开采，工业园区和城镇建设的生态修复和环境保护力度，确保不污染水源。

建立健全矿山建设准入条件，更好地保护

矿山生态环境。针对与要求不符的矿山，任何部门和单位都不得违规审批或办理建设手续。企业和个人必须严格依照有关规定和各类资质条件申办新建矿山，并通过有关部门和单位审批合格后，方可办理有关手续。同时，在开采项目前必须充分做好环境影响评价工作，以最大程度能控制和减少矿山建设造成的环境破坏。

6.2 合理开发利用矿产资源，建设广东省重要生态产业示范区

重视矿产资源的综合利用，在矿产资源开采过程中通过新技术、新方法的合理运用，最大程度地控制与减少各类污染问题的发生，增加矿产资源综合利用成效，避免工业三废造成更大污染，减少资源浪费，保护矿山生态环境。

进一步强化矿产资源管理方面的法制化建设，提升执法力度，使无序的矿山生产得到更加规范的管理[13]。进一步提高矿山环境保护方面的法治建设，构建更为健全而又完善的矿山生态环境保护法规和相应的监管体系。严格执法，通过法律手段有效维护国家在矿产资源方面的所有权，并对矿权人合法权益加强保护。这样可以推动矿山地质环境保护工作的高效开展，保证防治措施的有效落实，最大程度的控制矿山开发过程中引发的矿山地质环境破坏行为，实现可持续发展。

构建示范区，因地制宜发展资源环境可承载的特色产业。在不损害生态功能和严格控制开发强度的前提下，因地制宜适度发展资源开采、农林牧渔产品生产和加工、观光休闲农业等产业，积极发展旅游等服务业。依托山地以及资源优势，重点建设特色农产品生产基地，合理开发利用铜、铅、锌等矿产资源。

7 .结论

本文通过现状调查及生态风险评价指标体系构建，对粤北生态保护区内矿山开采造成的生态扰动及对应生态系统服务功能重要性分析，进行生态风险综合评价，得出以下主要结论：

（1）基于矿山开采对周边影响造成的地质破坏、环境污染、土地侵占、植被破坏，运用层次分析法对矿山开采的生态扰动进行了危险性评价，区域内危险性等级较高和高值区域占比较大，主要分布在粤北生态保护区中东部。

（2）研究区域内的潜在生态风险总体较低，较高的生态风险区域呈现局部聚集，占总面积的 3.99%，主要集中在东江上游、南水水库周边及粤西沿海诸河区域。高生态风险的成因存在显著的空间聚集，环境污染和土地侵占显著影响生态风险。

致谢

项目得到了广东省自然科学基金项目（2024A1515030114；2022A1515011898）、国家自然科学基金项目（42101084；42271091）和广东省科学院优势特色学科及技术领域建设项目（2022GDASZH-2022010104、2023GDASZH-2023010104）的资助。

参考文献

[1] 吴锦泽,王明旭,叶晓颖.广东省北部生态发展区保护与发展协同共进研究[J].环境与可持续发展,2021,46(06):69-74.[WU J., WANG M., YE X. Study on promoting the coord-inating development between environmental protection and economic development in Gu-angdong North Ecological Development Zon-e[J]. Environment and Sustainable Development, 2021,46(06):69-74.]

[2] 蒙吉军,赵春红.区域生态风险评价指标体系[J].应用生态学报,2009,20(04):983-990.[MENG J., ZHAO C. Research progress on i-ndex system of regional ecological risk asse-ssment[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009,20(04):983-990.]

[3] 刘安,于聪灵,王立平,等.河北省典型铅锌矿区重金属来源解析及生态风险评价[J].地质科技通报,2024,43(02):307-317.[LIU A., YU C., WANG L. et. al. Heavy metal s

ources and ecological risk assessment of typical lea-d-zinc mining areas in Hebei Province[J]. Bul-letin of Geological Science and Technology, 2024,43(02):307-317.]

[4] 梁越,刘小真,赖劲虎.主要金属矿产开采对鄱阳湖流域水环境的影响[J].安徽农业科学,2013,41(27):11169-11171+11202.[LIANG Y., LIU X., LAI J. Main metal mining and it's influence on the water environment of Poy-ang lake basin[J]. Journal of Anhui Agricultu-ral Sciences,2013,41(27):11169-11171+11202.]

[5] 和建萍,施汉昌.滇西北高海拔生态脆弱地区矿产资源开采的潜在生态风险与控制对策研究[J].三峡环境与生态,2013,35(S1):1-6.[HE J., SHI H. Potential ecological risks and control strategies in mineral resources expl-oitation process in fragile ecological area wit-h high-altitude in northwestern Yunnan prov-ince[J]. Environmental Impact Assessment, 2013,35(S1):1-6.]

[6] 陈修康,张华俊,顾继光,等.惠州市 3 座供水水库沉积物重金属污染特征[J].应用生态学报,2012,23(05):1254-1262.[CHEN X., ZHANG H., GU J. et. al. Characteristics of sediment heavy metal pollution in three water supply reservoirs in Huizhou, Guangdong Province of South China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2012,23(05):1254-1262.]

[7] 常青,邱瑶,谢苗苗,等.基于土地破坏的矿区生态风险评价:理论与方法[J].生态学报,2012,32(16):5164-5174.[CHANG Q., QIU Y., XIE M., et. al. Theory and method of ecologic-al risk assessment for mining areas based o-n the land destruction[J]. Acta Ecologica Sin-ica, 2012,32(16):5164-5174.]

[8] 刘立,李长安,高俊华,等.多源卫星遥感的湖南矿山违法开采时空变化[J].遥感学报,2022,26(03):528-540.[LIU L., LI C., GAO J. et. al. Spatiotemporal changes of illegal mining in Hunan mines based on multi-source satellite remote sensing[J]. National Remote Sensing Bulletin, 2022,26(03):528-540.]

[9] 杨生彬,库新勃,陈新泽,等.基于综合分析法的矿山地质环境综合评价体系构建[J].世界有色金属,2024,(02):133-136.[YANG S., KU X., CHEN X. et. al. Construction of a comp-rehensive evaluation system for mining geo-logical environment based on comprehensive analysis method[J]. World Nonferrous Metals, 2024,(02):133-136.]

[10] 丁日佳,张亦冰.基于AHP-IE-MEA模型的矿山生态安全风险预警[J].干旱区资源与环境,2017,31(10):83-89.[DING R., ZHANG Y. R-isk early - warning for mine ecological secu-rity based on "AHP-IE-MEA' model[J]. Jour-nal of Arid Land Resources and Environmen-t, 2017,31(10):83-89.]

[11] 胡淑仪.对粤北生态屏障保护的思考[J].中南林业调查规划,2019,38(02):23-25+40.[HU S. Thoughts on the protection of ecologic-al barrier in northern Guangdong[J]. Central South Forest Inventory and Planning, 2019,38(02):23-25+40.]

[12] 陈慧敏.粤北地区生态脆弱性评价与修复分区研究[D].广州大学,2023.[CHEN H. Ec-ological vulnerability evaluation and restorati-on zoning study in northern Guangdong[D].GuangZhou University, 2023.]

[13] 方冬冬.探究矿山地质环境问题及治理措施[J].世界有色金属,2023,(05):172-174.[FANG D. Exploring geological environmental issues and governance measures in mines[J]. World Nonferrous Metals, 2023,(05):172-174.]

Open Access This chapter is licensed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/), which permits any noncommercial use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license and indicate if changes were made.

The images or other third party material in this chapter are included in the chapter's Creative Commons license, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the chapter's Creative Commons license and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder.