

# 基于GIS的矿山地质环境综合评价模型研究

董江龙

鄂尔多斯市经纬空间测绘地理信息有限责任公司 内蒙古 鄂尔多斯 016100

**摘要：**针对矿山开采引发的地质灾害与生态退化问题，本文以山地丘陵矿区为研究对象，依托GIS空间分析技术，整合多源基础地理、矿山专题及实地调研数据并完成预处理。从自然地质、开发扰动、生态修复潜力三维度构建评价指标体系，采用AHP-熵权组合赋权法确定指标权重，融合模糊综合评价与综合指数法搭建评价模型。精准划分矿区环境等级，剖析空间分异特征，验证模型精准性，为矿区生态修复与地质环境治理提供科学参考。

**关键词：**基于GIS；矿山地质环境；综合评价模型

**引言：**矿产资源开发推动社会经济发展的同时，引发地形破坏、水土流失、边坡失稳等系列地质环境问题，严重制约矿区生态可持续发展。传统矿山环境评价存在主观性强、精度不足、空间分析薄弱等短板，难以适配精细化治理需求。为精准量化矿区地质环境现状，本文依托GIS技术开展矿山地质环境综合评价研究，构建科学评价模型，精准识别环境风险区域，为矿区生态修复、灾害防控与规划治理提供技术支撑。

## 1 研究区概况与数据预处理

### 1.1 研究区概况

（1）自然地理概况。研究区地处山地丘陵过渡地带，整体地势起伏不均，地形以低山、缓坡丘陵为主。区域属温带大陆性气候，四季分明，降水集中在夏季，年内温差较大。境内水系以季节性溪流为主，水文径流受降水与地形调控。土壤类型以褐土、砂壤土为主，土层厚度不均，区域植被以灌木、草本植物为主，长期受矿业活动影响，原生植被覆盖度偏低。（2）地质条件概况。研究区地层发育完整，岩性以砂岩、页岩及风化岩层为主，岩层软硬交错。区域地质构造相对简单，无大型断裂带，但局部存在小型褶皱与节理发育。水文地质条件中等，浅层地下水埋深较浅，岩土体风化程度较高，整体稳定性一般，在降雨及工程扰动下易出现边坡失稳、土体坍塌等问题。（3）矿山开发概况。矿区开采历史较长，长期以露天与地下联合开采方式作业，主要开采非金属及金属矿产。矿区开采规模较大，长期规模化采掘、堆载与占地，破坏原有地形地貌。目前区域存在植被损毁、土地裸露、边坡松散、水土流失等生态环境问题，地质灾害与生态退化风险突出。

### 1.2 数据来源与类型

（1）基础地理数据。主要包括研究区DEM数字高

程数据、高分辨率地形影像数据、行政区划矢量边界数据，为地形分析、研究范围界定提供基础支撑。（2）矿山专题数据。涵盖矿山开采台账、历年地质灾害调查数据、水土环境监测数据及生态破坏现状解译数据，精准反映矿区开发与生态环境变化特征。（3）实地调研数据。通过现场实地勘察、土壤与植被样本采集、矿区走访调研，获取边坡稳定性、水土污染、植被退化等实测现状数据，补充完善专题数据短板<sup>[1]</sup>。

### 1.3 基于GIS的数据预处理

（1）数据校正与配准。依托GIS平台对遥感影像、DEM地形数据开展几何校正与坐标配准，统一全域数据空间基准，消除影像扭曲、坐标偏移等误差，保障多源数据空间匹配一致性。（2）数据清洗与归一化。剔除异常、冗余数据，补齐缺失样本数据，针对地形、生态、环境等不同量纲指标开展归一化处理，统一数据量级，满足后续评价分析要求。（3）空间数据提取与矢量化。利用GIS空间分析工具提取坡度、地形起伏度、植被覆盖度等核心评价因子，完成栅格与矢量数据格式转换，生成规范可用的研究数据集。

## 2 矿山地质环境评价指标体系构建

### 2.1 评价指标选取原则与依据

（1）选取原则。本次指标体系构建严格遵循五大核心原则，保障评价体系科学严谨。科学性原则以地质环境、生态修复相关理论为基础，保证指标选取贴合矿区环境演变规律；系统性原则统筹自然地质、人为扰动、生态潜力多维度要素，形成完整的评价体系；代表性原则筛选核心影响因子，规避指标冗余交叉问题；可量化性原则优先选取可通过GIS测算、实地监测获取的量化指标，保障数据可落地；空间适配性原则结合研究区山地丘陵地形与矿山开采特征，适配区域空间环境差异，全

面兼顾自然基底条件与人为开发扰动的双重影响。(2) 选取依据。指标筛选以国家矿山地质环境评价、生态修复相关规范标准为基础依据,保证体系符合行业技术要求。同时紧密结合研究区地质构造、水文条件、开采现状等实际环境特征,针对性贴合区域边坡失稳、水土流失、植被退化等核心环境问题。此外,参考国内外矿山地质环境评价的成熟研究成果,借鉴同类矿区指标体系构建经验,剔除不适配、低关联指标,最终确定贴合本研究区的核心评价因子。

## 2.2 多维度评价指标筛选与分级

(1) 自然地质环境指标。该维度反映区域原生地质环境基底条件,是矿山环境稳定性的基础支撑。主要选取地形坡度、地表起伏度、地质构造复杂度、岩土体稳定性、水文地质条件五项核心指标,可精准表征研究区地形特征、地质结构稳定性与地下水环境禀赋,判断矿区原生地质灾害发育的基础风险。(2) 矿山开发影响指标。聚焦人为矿业活动造成的环境扰动,是地质环境退化的核心诱因。主要包含开采扰动强度、地表塌陷程度、废渣堆积量、植被破坏率、水土污染程度指标,全面覆盖矿山开采、废渣堆放、工程建设等人类活动,量化矿业开发对地形、生态、水土环境的破坏程度<sup>[2]</sup>。(3) 生态修复潜力指标。用于评判矿区受损环境的自我修复与人工修复能力,为后续生态治理提供依据。涵盖植被覆盖度、土地可恢复性、水文修复条件、地质灾害风险等级,综合反映区域生态基底恢复能力与地质环境治理难度。如表1。

表1 矿山地质环境综合评价指标体系

| 维度     | 评价指标                             |
|--------|----------------------------------|
| 自然地质环境 | 地形坡度、地表起伏度、地质构造复杂度、岩土体稳定性、水文地质条件 |
| 矿山开发影响 | 开采扰动强度、地表塌陷程度、废渣堆积量、植被破坏率、水土污染程度 |
| 生态修复潜力 | 植被覆盖度、土地可恢复性、水文修复条件、地质灾害风险等级     |

(4) 指标分级标准。结合《矿山地质环境评价技术要求》等行业规范,同时匹配研究区实地调研数据与环境特征,对所有评价指标进行量化分级。统一划分为优、良、中、差、极差五个等级,明确各等级量化阈值与判定标准,消除分级主观性,保障评价结果精准统一。

## 2.3 评价指标权重确定

(1) 权重计算方法。为弥补单一赋权方法的缺陷,本次研究采用层次分析法(AHP)与熵权法(EWM)组合赋权模式。其中层次分析法实现主观赋权,依托专业经验界定各指标的相对重要性;熵权法完成客观赋权,

基于数据本身离散程度挖掘指标真实权重,二者结合有效平衡主观人为偏差与客观数据局限性,提升权重结果的可信度。(2) 判断矩阵构建与一致性检验。依据指标层级结构,分层构建目标层、准则层、指标层的两两比较判断矩阵,量化各指标相对重要程度。同时严格开展矩阵一致性检验,计算一致性指标与一致性比例,剔除未通过检验的矩阵并重新修正,确保所有权重数据逻辑合理、科学有效<sup>[3]</sup>。(3) 最终权重确定。通过加权融合算法,整合层次分析法的主观权重与熵权法的客观权重,计算得出各评价指标的综合权重。根据权重数值大小排序,明确影响研究区矿山地质环境的核心因子与次要因子,为后续矿山地质环境综合评价、生态修复优先级划分提供精准的数据支撑。

## 3 基于GIS的矿山地质环境综合评价模型构建与应用

### 3.1 GIS空间分析核心技术

(1) 空间叠加分析技术。空间叠加分析是GIS多指标综合评价的核心技术,分为栅格叠加与矢量叠加两种运算模式。矢量叠加针对点、线、面要素开展拓扑叠加,可完成研究区边界裁切、指标分区统计及要素属性关联;栅格叠加以像元为单元,通过权重、代数、分级叠加等运算,融合地形、地质、生态及人为扰动等多维度指标。该技术可整合多源空间数据,实现评价因子耦合分析,为矿山地质环境量化评价提供核心运算支撑。

(2) 空间插值与分区分析技术。研究区环境监测、采样数据呈离散状态,需通过空间插值算法拟合点位数据,补齐区域数据空白,生成全域连续的空间指标数据集。结合研究区地形范围与评价精度要求,统一划分规则网格评价单元,将各类指标数据映射至对应网格,实现离散采样数据全域覆盖转换,完成精细化网格化单元评价,有效提升矿山地质环境整体评价精度<sup>[4]</sup>。(3) 可视化分析技术。依托GIS可视化制图功能,处理并输出模型运算后的评价结果。通过符号分级、色带渲染、图层叠加、图例标注等手段,直观展示矿山地质环境等级分区、风险分布及生态破损区域。生成标准化专题地图,清晰呈现研究区地质环境的空间差异、聚集特征与分布格局,为结果分析、问题识别及后续生态治理规划提供直观的空间数据支撑。

### 3.2 综合评价模型构建

(1) 模型原理。本研究融合模糊综合评价法与综合指数法构建GIS空间量化评价模型。其中模糊综合评价法依托模糊数学理论,解决地质环境评价中边界模糊、指标不确定性、等级过渡不清晰的问题,实现定性指标的定量化转换;综合指数法通过加权叠加计算综合环境

指数,精准反映单元内地质环境综合质量。两种方法结合可实现定性描述与定量计算互补,规避单一评价方法的片面性,适配矿山地质环境多因子、复杂性、模糊性的评价特征。(2)模型参数设置。结合研究区面积尺度与数据精度要求,统一设定评价单元网格尺寸,保证评价粒度均匀统一。严格依据行业规范与前文指标分级标准,确定各因子的量化评分阈值与分级标准,统一指标正负向属性。将AHP-熵权法组合权重代入模型运算体系,明确权重代入规则、数据归一化参数、叠加运算系数等核心参数,统一模型运行标准,保障所有单元运算规则一致、结果可靠。(3)模型精度验证。为确保评价模型的科学与区域适配性,采用实地调研实测数据、地质灾害点位数据、生态监测数据与模型运算结果进行交叉对比验证。统计不同环境等级区域的实际环境现状与模型评价结果的匹配度,计算模型整体精度,检验模型是否能够真实反映研究区矿山地质环境实际情况。对存在偏差的参数进行微调修正,最终确定适配本研究区的最优评价模型。

### 3.3 研究区矿山地质环境评价结果与空间分析

(1)环境等级分区结果。本研究依托构建的综合评价模型开展全域网格运算,依据综合评价指数及分级标准,将研究区矿山地质环境划分为优质、良好、一般、较差、极差五个等级。其中,优质与良好区基本无矿业扰动,原生地质条件优越;一般区受轻度人为扰动,地质与生态状态整体稳定;较差与极差区主要分布于采矿作业、废渣堆积及地面塌陷集中区域,受人类工程活动扰动强烈<sup>[5]</sup>。(2)空间分布特征分析。研究区矿山地质环境质量具有明显空间集聚特征,区域差异显著。优良环境多连片分布于研究区外围植被完好、无开采活动的山地地带;劣质环境高度集中于矿区核心开采区、边坡堆放区及工程道路扰动带。总体来看,矿业开发强度、地表破损程度与地质灾害发育状况,是造成研究区地质环境空间分异的核心主导因素。(3)典型区域问题分析。极差及高风险区域受长期高强度采矿扰动,原生地形地貌破坏严重,存在地表塌陷、边坡裸露、岩土体松散等突出问题。同时,废渣无序堆积诱发水土污染,植被损毁加剧水土流失,形成地质灾害隐患与生态退化叠

加的恶化态势,是研究区矿山地质环境治理与生态修复的核心重点区域。

### 3.4 评价模型对比分析

(1)单一模型与组合模型结果对比。将单一层次分析法、单一熵权法的评价结果与本文AHP-熵权组合模型结果进行对比分析。结果表明,单一主观赋权存在人为经验偏差,易高估次要指标影响;单一客观赋权过度依赖数据离散性,忽略指标实际地质意义。组合模型有效弥补二者缺陷,评价结果与实地现状匹配度更高,分级结果更合理、误差更小。(2)与传统评价方法对比。传统矿山地质环境评价多采用人工打分、经验分级、定性描述的方式,存在主观性强、效率低、空间精度差、难以量化空间差异等弊端。基于GIS构建的空间评价模型可实现全域网格化定量计算,数据处理、指标叠加、分级成图全程数字化,大幅提升评价效率与空间精准度,能够精细刻画小尺度区域环境差异,更适配现代矿山精细化评价与修复规划需求。

### 结束语

本文基于GIS技术完成矿山地质环境数据预处理、指标体系搭建与评价模型构建,实现研究区地质环境的定量、精细化评价。研究明确了矿区地质环境的空间分布差异与核心影响因子,证实AHP-熵权组合模型相较单一模型、传统评价方法优势显著。研究成果可有效支撑矿区地质灾害防控与生态修复工作,后续可结合动态监测数据优化模型,实现矿山地质环境的动态化、常态化精准评价。

### 参考文献

- [1]李功成.矿山环境治理中存在问题及对策探析[J].西部资源,2021,12(4):89-91.
- [2]李洋.浅谈矿山地质环境问题及防治对策[J].世界有色金属,2023,24(9):195-197.
- [3]张炜光.矿山地质灾害防治与地质环境保护对策[J].中国金属通报,2021,35(2):231-234.
- [4]文海霞.矿山地质环境问题及防治对策探讨[J].世界有色金属,2024,13(16):206-209.
- [5]满正峰.矿山地质环境保护与治理的问题及对策[J].内蒙古煤炭经济,2023,20(14):213-216.