



基于层次分析法的平度市旧店镇 金矿区矿山地质环境影响评价

徐博¹, 张文轩², 孙静¹, 张涛¹, 白宜娜¹, 曹瑞^{1*}

(1. 自然资源部滨海城市地下空间地质安全重点实验室, 青岛地质工程勘察院(青岛地质勘查开发局), 山东 青岛 266100; 2. 山东省煤田地质局物探测量队, 山东 济南 250104)

摘要:层次分析法是一种定性与定量相结合的综合性评价方法。本文运用层次分析法,对平度市旧店镇的金矿开采区进行了矿山地质环境影响评价,得出矿山地质环境影响程度分级。根据金矿开采区的现场情况,分析矿山地质环境的影响因素,建立评价指标体系。运用层次分析法确定各项评价指标权值,运用实地调查、无人机三维摄影、水土环境检测等手段确定评价指数。通过综合加权指数评价法,将评价区划分为矿山地质环境影响严重区、较严重区和较轻区3级。该评价结果可为后续的矿山地质环境保护恢复治理工作提供建议。

关键词:矿山地质环境;金矿;层次分析法;平度旧店

中图分类号:X820.3

文献标识码:A

doi:10.12128/j.issn.1672-6979.2025.10.006

0 引言

平度市旧店镇金矿资源开采历史悠久^[1-3],金矿勘查、开采、冶选对当地的生态环境、地质环境造成一定的影响。矿山工程建设改变了原始的地形地貌景观;采用地下开采可能引发地面采空塌陷及伴生地裂缝;金矿开采过程中对地下水的疏干排水导致地下含水层结构破坏和水位下降;金矿冶选过程中可能对周边的地下水含水层和水土环境产生污染^[4-10]。因此,在矿山的建设、生产和关闭的过程中,有必要对引发的地质灾害进行防治,对含水层破坏和水土环境进行恢复治理,对损毁破坏的土地进行恢复利用,最终改善开采区的生态环境。针对平度市旧店镇的矿山地质环境影响评价的研究较少^[11-13],开展该区的矿山地质环境影响评价对当地的生态保护修复工作具有借鉴意义。

1 研究区概况

平度市旧店镇境内共4座金矿,位于平度市城区东北约35 km,旧店镇以北,小沽河以南。矿山开

采方式为地下开采,开采标高+185 m~-615 m,设计开采年限10年以上,采空区采用尾砂胶结充填。开采区内竖井、风井工业场地共有20座,配套建设4座尾矿库、3座选矿厂、1个职工生活区、1个尾砂利用项目用地及1座综合利用项目用地,用地总面积73.78 hm²,矿山用地范围见图1。

研究区地形地貌属于低山丘陵区 and 山间河谷准平原区,地势总体北高南低。平原区土地多开垦为农田,主要土壤类别为棕壤土,北部低山丘陵区多为林地和果园,土壤以粗骨土为主。研究区位于胶东半岛西北部金矿集中区的南端,区域断裂构造发育,地层为古元古代荆山群变质岩和新生代第四纪含砾亚黏土,岩浆岩广泛分布,主要为侏罗纪玲珑序列花岗岩,脉岩发育较差,主要为煌斑岩脉。第四系孔隙水含水层主要分布于河流途径段,基岩风化裂隙水主要赋存于花岗岩体中,构造裂隙脉状承压水赋存在主构造带上、下盘破碎带中。

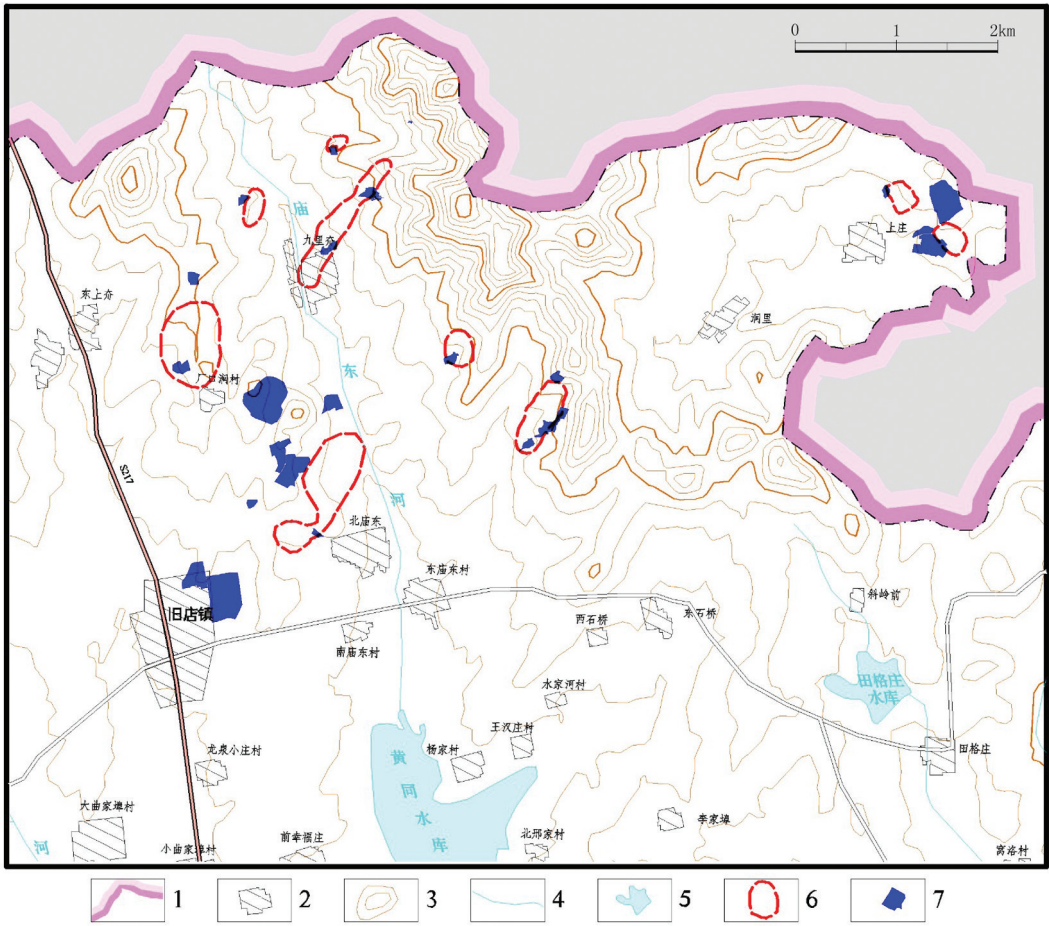
2 矿山地质环境问题

根据矿山开发特点,认为金矿在开采过程中可

收稿日期:2025-03-21;修订日期:2025-03-30;编辑:王敏

作者简介:徐博(1991—),女,黑龙江鸡西人,工程师,主要从事地质灾害防治工作;E-mail:903607247@qq.com

*通信作者:曹瑞(1986—),男,山东费县人,高级工程师,主要从事矿山勘查工作;E-mail:277025178@qq.com



1—旧店镇界域;2—村庄;3—等高线;4—河流水系;5—水库;6—岩石移动范围;7—矿山建设用地范围。
图 1 金矿开采区岩石移动范围与用地范围示意图

能导致采空塌陷及伴生地裂缝灾害、含水层破坏及污染、地形地貌景观破坏、水土环境污染 4 个方面地质环境问题。

2.1 采空塌陷及伴生地裂缝

20 世纪八九十年代,陆续取得了首次采矿权,开采历史悠久,为了查明采空区分布及充填效果,2019—2021 年,通过地质灾害调查、物探、钻探等手段对采空区分布和充填情况进行了调查,其中钻孔验证采空区充填率在 90% 以上,充填效果较好,有效预防了采空塌陷及伴生地裂缝灾害。研究区内共设置地面变形监测点 31 个,根据 2021—2024 年的地形监测数据,监测点未发生明显位移,且区域内未发现采空塌陷及伴生地裂缝,认为该区金矿地下开采活动对地表的影响很小。

2.2 含水层破坏

研究区金矿生产过程中的疏干排水影响范围限于基岩风化裂隙水含水层和构造裂隙脉状承压水含

水层中,由于基岩风化裂隙水含水层含水量较小,透水性弱,因此矿山开采对基岩风化裂隙含水层的影响很小。根据矿山生产过程中的排水量记录,矿井排水量在 500~2 000 m³/d,个别矿井集中排水量 >4 000 m³/d,因此矿山开采对构造裂隙脉状承压水含水层影响较大。

2014 年、2016 年、2021 年、2022 年,对不同地下水水样进行了检测分析,共搜集了 31 个点次水质分析报告,水样类型包括第四系孔隙水、构造裂隙脉状承压水。结果表明,第四系含水层水质波动有变化,但总体水质变化不大。个别构造裂隙水硫酸盐含量有所增高,可能是矿床开采形成巷道后,为矿石和围岩氧化、分解提供了较好的条件,部分钙、镁等离子溶解入矿井水中。2021 年和 2022 年的水质检测报告增加了多种检测项目,发现第四系孔隙水、构造裂隙水和个别地表水中的氟化物含量较高,但与周边不受开采影响区域的含量水平相当,因此认为该项

目超标与研究区环境本底值有关,受开采活动的影响很小。

2.3 地形地貌景观破坏

随着金矿开采区的不断开发和扩大生产,以及在历史上的粗放式开发方式,导致大量的土地资源被压占,原始地形地貌景观被破坏。研究区内金矿开采共形成地形地貌景观破坏地块 30 处,项目用地类型包括竖井工业场地、风井工业场地、平硐工业场地、尾矿库、尾砂利用场地等,原始地形地貌为平原和丘陵,土地利用方式为水浇地、其他林地、果园或岩石裸地等,原始地势整体起伏平缓,与周边地形协调一致。矿山的建设破坏了原始地形,部分场地挖高填低,形成了人工边坡,工业场地内的厂房、办公房、仓储房、材料堆放、井架以及堆积的尾砂,破坏了原始的和谐地貌,使得研究区内地形地貌景观呈现碎斑块,植被覆盖率减少,岩石砂土裸露,增加水土流失风险。

2.4 水环境污染

研究区内矿山均按照开发利用方案、绿色矿山建设方案及相关环保部门要求实施开采生产计划,矿山企业在开发过程中矿坑涌水通过净化处理后综合利用。2022 年对开发活动集中区域周边采集表土样品送检分析,共送检 12 点次,土地利用现状包括水浇地、旱地、果园、其他林地和其他草地,目的是分析开采区内耕地的重金属污染情况。监测结果发现,各检测项目均未超过《土壤环境质量农用地土壤

污染风险管控标准(试行)》(GB/15618—2018)中的风险筛选值,结合矿山开采实际,本文认为该区域金矿开采对周边水土环境影响很小。

3 层次分析法评价过程

可用于矿山地质环境影响评价的方法主要有层次分析法、神经网络法、主成分分析法、模糊综合判别法等,其中层次分析法是一种多目标、定性 with 定量相结合的方法,是在结构模型基础上,通过矩阵形式验算,充分综合专家经验的一种决策分析方法,特点是结构简单、概念清晰、层次分明,被广泛应用于评价指标权值的计算^[14-15]。具体是将复杂问题归纳分解成几种评价因素指标,将评价因素按照有序的递阶层次结构来表示,确定其中各个评价指标和不同组别的相对影响程度和重要性,再结合实际调查情况和专家判断确定指标的相对重要性排序,最终得出评价单元的评分值^[16-21]。

评价过程首先建立评价指标体系,按照 1~9 标度法,根据各个评价指标对决策目标所起作用的大小进行相对重要性比较,构成判断矩阵,并对矩阵进行一次检验。然后按照划分的评价单元,对 30 个单元和 13 个评价指标确定矿山地质环境的评分值(图 2)。最后根据各单元各指标的评分值和运用综合加权指数法确定各评价单元的综合分值,从而对得出评价区的矿山地质环境影响分区。

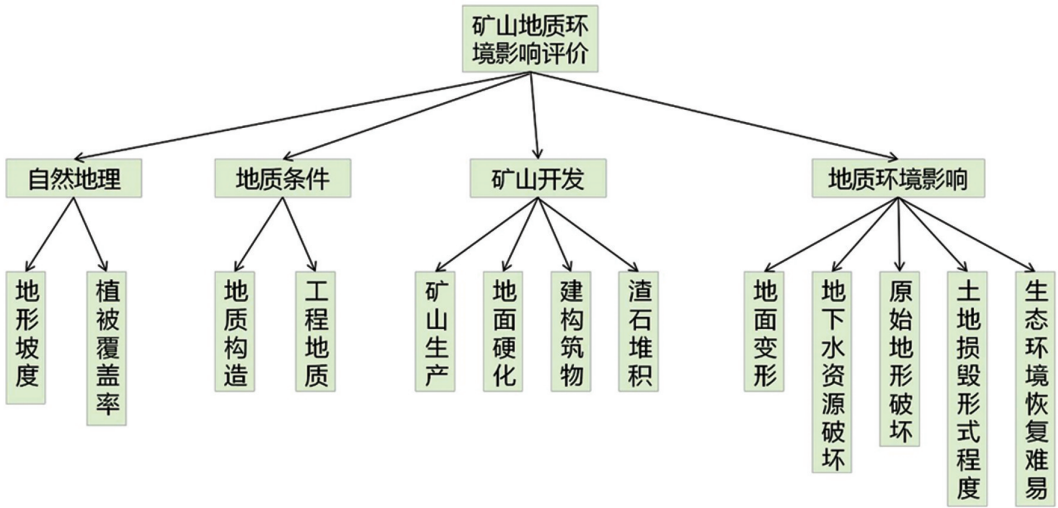


图 2 矿山地质环境质量评价指标体系

3.1 评价指标体系建立

本文根据研究区的地质环境特征,结合矿山生产开发特点,以及根据收集资料的情况,按照综合性、客观性和可度量性的评价原则,选取地形坡度、植被覆盖率、地质构造、工程地质、矿山生产、地面硬化、地面建构筑物情况、渣石堆积情况、地面变形、地下水资源破坏、原始地形破坏、土地损毁形式及程度、生态环境恢复难易程度共 13 个因素作为本次的评价指标,构建研究区的矿山地质环境质量评价指标体系。13 个评价指标可划分为自然地理、地质条件、矿山开发及地质环境影响 4 个小类。

本次对研究区金矿矿山地质环境评价过程中将各个评价指标根据专家意见并参考相关文献分为严重、较严重和较轻 3 个等级(表 1),分别赋予 7~9 分、4~6 分和 0~3 分。

表 1 评价指标分级赋值表

评价指标	严重	较严重	较轻
地形坡度	>15°	5°~15°	<5°
植被覆盖率	无植被覆盖	以草本植物为主,零星生长灌木或乔木	植被茂密,乔木、灌木、草本植物均有生长
地质构造	断裂强烈发育	断裂较发育	断裂不发育
工程地质	松散堆积物或软岩为主	坚硬一半坚硬岩为主	硬质岩为主
矿山生产	正在生产或基建,对周边环境影响较大	正在生产,但对周边影响较小	停产
地面硬化情况	地面硬化处理	部分地面硬化,部分地面铺设砂石	地面未硬化处理
地面建构筑物情况	建设厂房等构筑物	部分建设厂房、办公房等建筑物	无建构筑物
渣石堆积情况	渣石、尾矿、围岩堆积	渣石、尾矿、围岩临时堆积,且堆积高度<15m	无渣石、尾矿、围岩堆积
地面变形	在岩石移动范围内,且存在地面塌陷、地裂缝等变形迹象	在岩石移动范围内	岩石移动范围外
地下水资源破坏程度	破坏地下含水层结构,矿井涌水量巨大,对地下水水质产生较大影响	破坏地下含水层结构,矿井涌水量较小,对地下水水质产生一定的影响	基本不破坏地下含水层
对原始地形破坏程度	堆积渣石、围岩或尾矿,平整场地时削高填低改变原始地形	临时堆积渣石、围岩或尾矿	在原始地形条件下开采矿体
土地损毁形式及程度	渣石堆积压占	建筑物、构筑物压占	临时堆料压占
生态环境恢复难易程度	难以恢复,需通过多种工程措施治理	易恢复,可通过简单工程措施恢复	可通过自然恢复

3.3 构造判断矩阵

以指标层 B 为例,构造的判断矩阵为:

$$A = P(B_{ij}) = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{13} & B_{14} \\ B_{21} & B_{22} & B_{23} & B_{24} \\ B_{31} & B_{32} & B_{33} & B_{34} \\ B_{41} & B_{42} & B_{43} & B_{44} \end{bmatrix}$$

式中: B_{ij} 表示 B_i 对 B_j 相对重要程度,同理可构造判断矩阵 $P(C_{ij})$,依据 1~9 度等比率标度法按照专家经验标记各评价要素或指标的相对重要程度。

3.2 构建层次结构模型

$B = \{B1, B2, B3, B4\}$, $B1$ 为自然地理; $B2$ 为地质条件; $B3$ 为矿山开发; $B4$ 为地质环境影响。

$B1 = \{C1, C2\}$, $C1$ 为地形坡度; $C2$ 为植被覆盖率。

$B2 = \{C3, C4\}$, $C3$ 为地质构造; $C4$ 为工程地质。

$B3 = \{C5, C6, C7, C8\}$, $C5$ 为矿山生产; $C6$ 为地面硬化; $C7$ 为地面建构筑物情况; $C8$ 为渣石堆积情况。

$B4 = \{C9, C10, C11, C12, C13\}$, $C9$ 为地面变形; $C10$ 为地下水资源破坏程度; $C11$ 为对原始地形破坏程度; $C12$ 为土地损毁形式及程度; $C13$ 为生态环境恢复难易程度。

3.4 计算评价指标权值

各指标层次结构的权值可以用解特征值 $AW = \lambda_{\max}W$ 的特征向量得到。 A 为判断矩阵; λ_{\max} 为判断矩阵 A 的最大特征值; W 为判断矩阵 A 对应 λ_{\max} 的特征向量; W_i 为组成特征向量的每一个元素,即为所要求层次的权值。取得权值后对矩阵进行一次性检验,当 $CR < 0.1$ 时,通过一次性检验,认为各评价指标的权值是合理的,否则应检查比率标度重新计算直至判断矩阵通过一次性检验(表 2—表 7)。

表 2 A-B 判断矩阵权值表

评价指标 B	自然地理 B1	地质条件 B2	矿山开发 B3	地质环境影响 B4	W_i
自然地理 B1	1	2	1/3	1/3	0.1343
地质条件 B2	1/2	1	1/4	1/4	0.0828
矿山开发 B3	3	4	1	1/3	0.2836
地质环境影响 B4	3	4	3	1	0.4992
一致性比例为 0.065600; λ_{\max} 为 4.18					

表 3 B1-C 判断矩阵权值表

评价指标 C	地形坡度 C1	植被覆盖率 C2	W_i
地形坡度 C1	1	1/3	0.2500
植被覆盖率 C2	3	1	0.7500
一致性比例为 0.00; λ_{\max} 为 2.00			

表 4 B2-C 判断矩阵权值表

评价指标 C	地质构造 C3	工程地质 C4	W_i
地质构造 C3	1	1/2	0.3333
工程地质 C4	2	1	0.6667
一致性比例为 0.00; λ_{\max} 为 2.00			

3.5 评价单元划分

本文仅针对平度市旧店镇境内金矿展开矿山地质环境影响评价,因此在采矿活动区域内划定评价区范围,在评价区范围内划分评价单元。为保证较为精准的评价,按照最小用地范围划分评价单元,综合考虑选取的上述 13 个评价指标,将评价区划分为 30 个评价单元,其他不受矿山开采影响的区域在本次评价结果中按照矿山地质环境影响较轻区划分。

表 5 B3-C 判断矩阵权值表

评价指标 C	矿山生产 C5	地面硬化情况 C6	地面建构筑物情况 C7	渣石堆积情况 C8	W_i
矿山生产 C5	1	1/2	1/3	1/4	0.0954
地面硬化情况 C6	2	1	1/2	1/3	0.1601
地面建构筑物情况 C7	3	2	1	1/2	0.2772
渣石堆积情况 C8	4	3	2	1	0.4673
一致性比例为 0.011604; λ_{\max} 为 4.03					

表 6 B4-C 判断矩阵权值表

评价指标 C	地面变形 C9	地下水资源破坏 C10	原始地形破坏 C11	土地损毁形成、程度 C12	恢复难易程度 C13	W_i
地面变形 C9	1	1/2	1/4	1/4	2	0.0938
地下水资源破坏 C10	2	1	1/4	1/2	3	0.1570
原始地形破坏 C11	4	4	1	1/2	3	0.3232
土地损毁形成、程度 C12	4	2	2	1	2	0.3406
恢复难易程度 C13	1/2	1/3	1/3	1/2	1	0.0853
一致性比例为 0.094487; λ_{\max} 为 5.423300						

表 7 矿山地质环境评价因子权值

评价指标 B	评价指标 C	W_i
自然地理 B1	地形坡度 C1	0.0336
	植被覆盖率 C2	0.1008
地质条件 B2	地质构造 C3	0.0276
	工程地质 C4	0.0552
矿山开发 B3	矿山生产 C5	0.0271
	地面硬化情况 C6	0.0454
	地面建构筑物情况 C7	0.0786
	渣石堆积情况 C8	0.1325
地质环境影响 B4	地面变形 C9	0.0468
	地下水资源破坏 C10	0.0784
	原始地形破坏 C11	0.1614
	土地损毁形成、程度 C12	0.17
	恢复难易程度 C13	0.0426

3.6 综合加权指数评价

采用综合加权指数评价模型对矿山地质环境影响进行评价, $F=a_1 \cdot W_1+\cdots+a_{13} \cdot W_{13}$,其中 $a_1、\cdots、a_{13}$ 表示各评价单元的评价指标指数,该指数依据资料分析、实地调查、无人机三维摄影、水土环境检测等数据,利用专家经验法综合确定; $W_1、\cdots、W_{13}$ 表示评价指标的权值; F 为地质环境影响评价指数(表 8)。

3.7 评价结果与分析

通过对研究区资料的收集、数据的分析,结合实际情况,确定出分区的阈值 3.00,5.00。根据分区阈值将评价区环境质量划分为矿山地质环境影响严重区、矿山地质环境影响较严重区、矿山地质环境影响较轻区 3 种类型(图 3)。

4 矿山地质环境治理方案建议

本文利用层次分析法,对平度市旧店镇金矿开采区的矿山地质环境影响进行了评价,划定了矿山地质环境影响分区,根据分区结果,可以有针对性地开展矿山地质环境治理和保护工作,降低采矿活动对周边生态环境的影响,指导矿山企业如何在生产活动中保护地质环境。依据本次评价结果,本文提出恢复治理和保护措施建议,包括防治工程和修复工程两方面。

4.1 防治工程

防治工程指的是在矿山生产期间,为了预防地质灾害和污染事件的发生采取的防治措施,根据实际情况和本次评价结果,建议在研究区内布设地面

表 8 矿山地质环境影响评价指标指数及评价结果

评价单元序号	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	F
1	1	6	3	5	4	7	7	0	3	3	1	4	3	3.32
2	3	5	6	4	4	6	6	2	1	3	1	5	4	3.57
3	2	4	3	5	6	3	3	5	1	5	2	6	6	4.06
4	3	4	6	6	6	2	4	3	1	2	5	5	3	3.95
5	5	6	3	3	6	7	6	1	6	3	5	4	3	4.24
6	4	7	3	6	6	3	5	6	3	3	4	6	5	5
7	6	7	3	4	6	2	2	7	1	1	6	7	6	5.09
8	5	5	3	4	6	2	5	2	5	1	3	3	3	3.32
9	3	4	3	6	6	2	4	5	1	2	2	4	5	3.57
10	4	7	3	5	6	3	2	6	1	2	4	4	5	4.19
11	1	8	4	5	8	5	5	6	3	3	2	5	6	4.66
12	3	8	4	4	8	3	4	6	2	2	4	5	6	4.7
13	3	7	3	4	8	2	3	6	4	2	2	4	5	4.01
14	2	7	5	5	7	2	3	7	6	2	5	5	5	4.94
15	5	6	6	4	7	4	3	7	6	2	4	6	6	5.05
16	7	5	3	3	7	5	3	3	1	1	5	4	4	3.82
17	9	5	3	2	7	8	6	0	5	1	8	6	7	4.95
18	7	8	3	4	7	5	5	8	5	2	7	7	7	6.22
19	6	7	3	3	7	5	5	6	5	2	6	6	7	5.44
20	8	8	3	3	7	3	4	7	4	1	7	7	7	5.78
21	8	2	3	7	6	0	0	9	3	2	9	9	9	5.96
22	9	7	7	7	6	0	0	9	1	2	9	9	9	6.51
23	8	8	4	7	8	0	0	9	1	1	9	9	9	6.47
24	8	4	3	7	7	0	0	9	0	1	9	9	9	5.97
25	2	7	7	4	6	7	7	3	1	2	2	5	5	4.2
26	1	6	3	5	6	7	7	0	1	3	1	4	3	3.28
27	3	7	4	4	8	7	7	2	2	2	2	5	4	4.08
28	1	7	3	6	7	8	8	0	0	1	2	7	6	4.18
29	1	5	3	5	6	7	7	0	1	1	1	6	7	3.53
30	1	8	3	6	7	9	8	2	0	1	2	7	5	4.55

变形监测点、含水层水质监测点、周边土壤污染监测点。根据调查和评价,目前研究区内未发生地面采空塌陷或伴生地裂缝,未发现由于金矿的开采造成大面积的地下水疏干或污染,也未发现周边地表水或土壤发生污染情况,但结合金矿开采实际情况,布设监测点是对保护和防治研究区矿山地质环境的有效手段,通过对监测点的定时定点定量监测,可以及时发现灾害或污染情况并及时采取有效措施,有效遏制灾害或污染的进一步扩大。

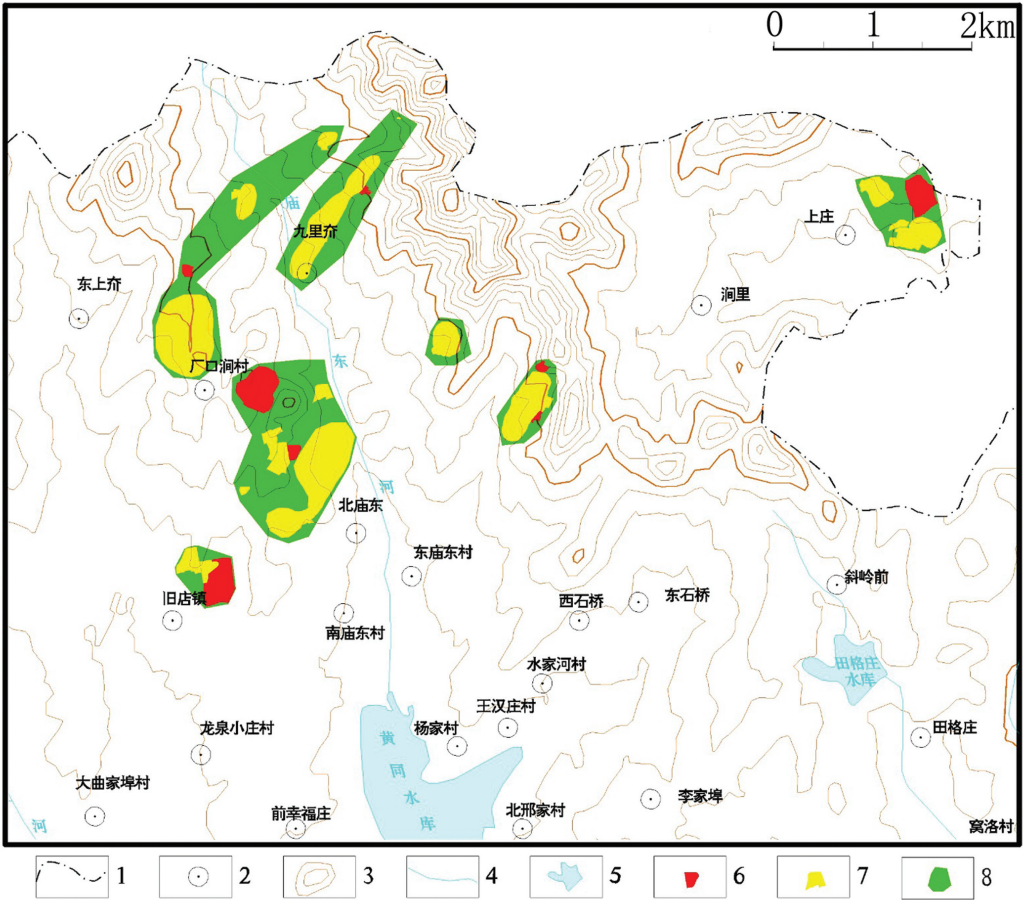
4.2 修复工程

修复工程指的是在矿山关闭后,为恢复原始生态环境采取的工程措施。对工业场地内的竖井、封井等进行封堵,拆除工业场地内的各类建筑物和构筑物,清除堆积的尾砂、砂石等堆积物,基本恢复原始地形地貌,再依据场地内土壤情况和周边地貌特征,采取覆土措施和生物措施恢复其原本的生态功

能。在矿山地质环境影响严重区,往往砂石、尾矿大量堆积,植被覆盖率较低,表土层破坏严重,针对严重区,建议采取拆除地面建筑、清除砂石后,根据现场土壤情况回覆一定厚度的表土,通过培肥等养护措施恢复土壤功能,再通过恢复植被等生物措施恢复原有的生态功能。对与矿山地质环境影响较严重区,应根据每个场地的特点采取对应的修复工程,最终达到恢复原有生态功能的目的。

5 结论

在矿山地质环境影响评价过程中,采用层次分析法确定了平度市旧店镇金矿区的矿山地质环境影响评价,评价中建立二级评价指标,对地形坡度、植被覆盖率、地质构造、工程地质等 13 个影响因素进行详细划分和分析,确定各项评价指标权值,结合矿山生产实际,对评价区划分了矿山地质环境影响严



1—旧店镇界域;2—村庄;3—等高线;4—河流水系;5—水库;6—矿山地质环境影响严重区;7—矿山地质环境影响较严重区;8—矿山地质环境影响较轻区。

图 3 矿山地质环境影响评价分区图

重区、矿山地质环境影响较严重区和矿山地质环境影响较轻区。本文着重体现了层次分析法中评价指标权重计算的重要性,减少以往评价方法中客观评价的人为主观因素影响,使得评价结果更符合实际情况,该评价结果可为矿山生产规划、评价区地质环境保护、矿山生态恢复和土地复垦工作等方面提供重要依据,为平度市旧店镇生态环境保护提供基础地质数据和科学依据。

参考文献:

[1] 代军治,李绪俊,殷茜,等.山东平度旧店金矿床 1 号脉深部成矿远景评价[J].黄金,2004(12):10-13.

[2] 李洪奎,嵇传源,单伟,等.山东旧店金矿矿物特征及其意义[J].山东国土资源,2015,31(8):1-6.

[3] 姜文峰,张彬.山东平度旧店金矿床的成矿特点及深部盲矿预测标志[J].黄金科学技术,2008(4):45-47.

[4] 徐友宁.矿山地质环境调查研究现状及展望[J].地质通报,2008(8):1235-1244.

[5] 汤中立,李小虎,焦建刚,等.矿山地质环境问题及防治对策[J].地球科学与环境学报,2005(2):1-4.

[6] 何芳,徐友宁,乔冈,等.中国矿山环境地质问题区域分布特征[J].中国地质,2010,37(5):1520-1529.

[7] 陈建平,范立民,杜江丽,等.陕西省矿山地质环境治理现状及变化趋势分析[J].中国煤炭地质,2014,26(9):54-56.

[8] 曾玉清,匡文龙.湖南省万金矿矿山地质环境质量综合评价[J].山地学报,2009,27(5):593-599.

[9] 韩廷文.山东归来庄金矿疏干排水对矿山环境的影响分析[J].西部探矿工程,2018,30(4):172-174.

[10] 王羽佳,刘雨鑫,保琼.青海松树南沟金矿矿山地质环境问题调查与分析[J].矿产勘查,2014,5(5):839-842.

[11] 陈建平,范立民,李成,等.基于模糊综合评判和 GIS 技术的矿山地质环境影响评价[J].中国煤炭地质,2014,26(2):43-48.

[12] 郑春波,徐冰.平度市做好矿山地质环境保护与治理工作[J].山东国土资源,2009,25(4):42-43.

[13] 郭付三,袁巧红,殷坤龙,等.矿山小流域地质环境灾害链及系统治理技术研究:以豫西小秦岭地区金矿开采为例[J].金属矿山,2010(4):146-152.

[14] 罗清威,冯有利.基于层次分析法的矿山地质环境问题危害程

度综合评价[J].地质灾害与环境保护,2015,26(3):85-88.

[15] 李雪宇,文武飞.基于层次分析法和 GIS 的矿山地质环境综合评价:以湘潭市雨湖、岳塘区为例[J].国土资源导刊,2020,17(2):49-54.

[16] 高培.基于 GIS 和 RS 的葫芦岛矿山地质环境综合评价研究[D].北京:中国地质大学(北京),2009.

[17] 唐建新,徐宁霞,康钦容.模糊综合评判在矿山地质环境中的应用[J].重庆大学学报,2010,33(5):145-150.

[18] 孔志召,董双发,姜雪,等.基于层次分析法的矿山环境评价:以阜新矿集区为例[J].世界地质,2012,31(2):420-425.

[19] 赵玉灵.基于层次分析法的矿山环境评价方法研究:以海南岛为例[J].国土资源遥感,2020,32(1):148-153.

[20] 陈哲锋,吴静,郭玉斌,等.层次分析与模糊数学综合评价法在矿山环境评价中的应用[J].华东地质,2018,39(4):305-310.

[21] 蒋复量,周科平,李长山,等.基于层次分析和灰色综合评判的石膏矿山地质环境影响评价[J].中国安全科学学报,2009,19(3):125-131.

Geological Environmental Impact Assessment of
Mines in Jiudian Gold Mining Area in Pingdu City
Based on Analytic Hierarchy Process

XU Bo¹, ZHANG Wenxuan², SUN Jing¹, ZHANG Tao¹, BAI Yina¹, CAO Rui¹

(1.Key Laboratory of Underground Space Geological Safety in Coastal Cities of the Ministry of Natural Resources, Qingdao Geo - engineering Exploration Institute (Qingdao Geological Exploration and Development Bureau), Shandong Qingdao 266100, China; 2.Geophysical Survey Brigade of Shandong Province Coalfield Geology Bureau , Shandong Jinan 250104, China)

Abstract: The Analytic Hierarchy Process method is a comprehensive evaluation method that combines qualitative and quantitative analysis. In this paper, by using Analytic Hierarchy Process method, the impact of gold mining activities on geological environment in Jiudian town in Pingdu city has been evaluated, and a classification of the degree of impact on geological environment of mines has been obtained. Based on field conditions, the influencing factors of geological environment in the gold mining area have been analyzed, and an evaluation index system has been established. By using Analytic Hierarchy Process method, the weight of each evaluation index has been determined. Through data analysis, field surveys, three - dimensional drone photography, and soil and water environmental testing, evaluation indices have been determined. By using comprehensive weighted index evaluation method, evaluation areas can be divided into areas with severe, relatively severe and light impacts on geological environment of mines. It will provide recommendations for subsequent conservation and rehabilitation efforts of geological environment in mines.

Key words: Geological environment of mines; gold deposit; Analytic Hierarchy Process method; Jiudian gold area in Pingdu city