

doi: 10.6046/gtzyyg.2020006
引用格式: 高俊华,刘莎莎,杨金中,等. 基于遥感的露天煤矿集中区地质环境灰关联评价——以准格尔煤田为例[J]. 国土资源遥感,2021,33(1):183–190. (Gao J H, Liu S S, Yang J Z, et al. Gray correlation evaluation of geological environment in the open – pit coal mine concentration area based on remote sensing : A case study of the Zhungeer Coalfield [J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2021, 33(1):183–190.)

基于遥感的露天煤矿集中区地质环境灰关联评价 ——以准格尔煤田为例

高俊华^{1,2}, 刘莎莎^{1,2}, 杨金中³, 赵明鹏^{1,2}, 刘欣悦^{1,2}, 邹联学^{1,2}

(1. 湖南省地质环境监测总站, 长沙 410007; 2. 湖南省自然资源事务中心, 长沙 410004; 3. 中国自然资源航空物探遥感中心, 北京 100083)

摘要:我国十余年来利用卫星遥感技术获取了每年一次的全国性矿山地质环境遥感监测数据。如何充分利用现有遥感监测成果,开展较大区域的矿山地质环境评价分区,非常值得探讨和研究。因此,以准格尔煤田为研究区,采用人工插值和分级加权改进后的灰色关联分析法(简称灰关联法)对区内16座露天煤矿山的地质环境进行评价分析,得出以矿山为单元的评价等级分区。评价结论为:汇隆、蒙祥和梁家碛3座矿山为环境影响严重区,天赐源、魏家岭、厅子堰、刘胡梁和黑岱沟5座矿山为环境影响较严重区,哈尔乌素、金正泰、召富、永胜、崔二圪咀、宏燃、华富和正仁8座矿山为环境影响一般区,其他非矿山地区为无影响区。评价结果相对客观地反映了准格尔煤田地质环境现状,矿山地质环境灰关联评价方法可以在较大区域甚至全国范围内推广应用。

关键词: 遥感; 露天煤矿; 灰关联法; 矿山地质环境评价

中图法分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001–070X(2021)01–0183–08

0 引言

矿山地质环境问题是矿产资源开发活动产生或加剧的地质环境恶化的现象,主要包括地质灾害(崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷、地裂缝)、含水层破坏、地形地貌景观破坏、土地资源破坏等^[1]。矿山地质环境评价是在矿山地质环境调查的基础上,依据相关标准,采用定量或半定量方法,评定矿山地质环境问题的影响程度,分析矿山地质环境问题的成因及变化趋势,提出矿山地质环境问题防治对策^[2]。

影响矿山地质环境评价的因素很多,不同因素引发的问题和程度各异。前人研究了综合评判法、网格法、矢量多边形法、模糊综合评判法、集对分析法等多种矿山地质环境评价方法^[3–6],郑丽媛等^[7]对这些方法做了对比分析,发现各有其优势和局限。灰色关联分析法(以下简称灰关联法)也已成功运用于土地质量、地表水质量、生态环境、地质灾害等评价领域^[8–12]。黄永泉等^[13]基于灰关联法求得了

各矿山环境背景因子和危害因子的关联度,确定了江西省矿山的环境质量等级;刘方^[14]用灰关联的模糊层次组合法开展了单座矿山的地质环境评价;焦明连^[15]以矿山环境主要污染物为评价指标,用灰色聚类分析得出山西省大中型矿区环境影响等级。上述研究的评价因子多以复杂的地面调查实测数据为主。在地面常规手段调查基础上,自然资源部(原国土资源部)自2003年开始利用高分辨率光学卫星数据实施了矿山地质环境遥感调查与监测工作,至2017年已形成了每年一度的整套全国性遥感监测成果^[16–21],产生了一系列的理论创新和技术进步^[22–25]。马世斌等^[26]和赵玉灵^[27]采用网格和层次分析组合法,利用综合收集的资料和遥感监测的数据,开展了矿山地质环境评价方法探讨。但该方法也有其不足之处,如资料的现势性、完整度和准确度问题,以及网格法受人为影响较多^[7]等因素,加之光学遥感影像限于地表的特性,遥感平面面积与真实面积存在些许误差^[28],所以在基础资料相对不完整,或地面调查不够全面的情况下,如何充分利用

收稿日期: 2020–01–06; 修订日期: 2020–03–29
基金项目: 中国地质调查局项目“全国矿山开发状况遥感地质调查与监测”(编号: 202012000000180606)和“全国矿山环境恢复治理状况遥感地质调查与监测”(编号: 202012000000180007)共同资助。
第一作者: 高俊华(1982–),男,硕士,高级工程师,主要从事遥感地质、环境地质、土地调查及国土测绘等方面的研究。Email: 105964561@qq.com。

大量已掌握的全国性遥感监测成果,在较大区域范围内进行矿山地质环境评价,求取指示性环境评价等级分区,具有重要的现实意义。

本文拟选取准格尔露天煤田为研究区,尝试利用灰关联法,对已知的矿山占用或损毁土地资源、矿山地质灾害、矿山环境污染等一些特征指标进行测定并量化,定出等级;再将部分已知信息和部分未知信息纳入灰色系统,求出不同对象(矿山)的因子之间空间序列的相似或相异程度,即灰关联度;依据灰关联度大小,划分矿山地质环境评价等级分区,为区域矿山环境恢复治理提供决策依据,并为更大范围的矿山地质环境评价提供参考。

1 研究区概况

准格尔煤田是亚洲最大的露天煤矿,位于内蒙古准格尔旗、清水河县和山西偏关县及河曲县的交界处,地处黄土高原边缘地区,丘陵起伏,沟壑纵横(图1)。

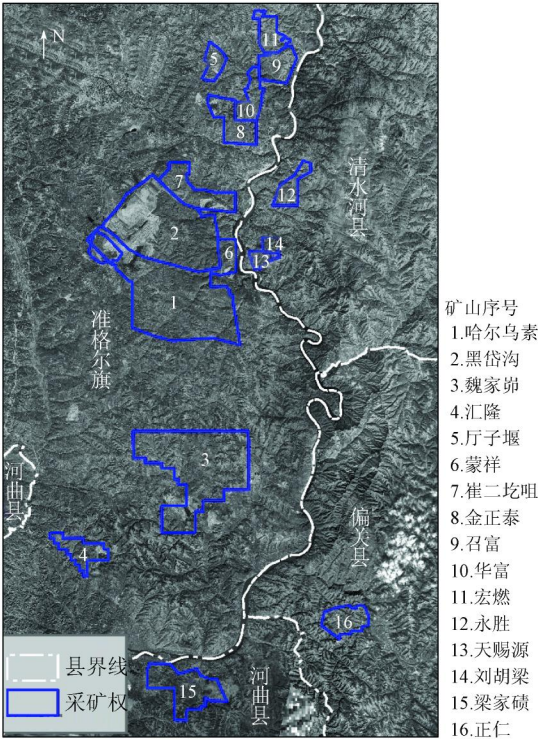


图1 准格尔煤田矿区分布示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the mining area of Zhungeer Coalfield

大地构造位置位于祁吕贺山字型东翼马蹄形盾地东缘,亦即新华夏系第三拗陷带中段-陕甘宁盆地东北边缘。北部靠近阴山巨型纬向构造带。基本构造形态为一走向 NNE、倾向 W 的单斜构造,其构造简单,倾角平缓,一般小于 10°。褶皱十分宽缓,次一级的波状起伏较为发育。除南部边界有一条较

大断层外,区内断层稀疏,断距一般不大,以正断层为主。无火成岩活动^[29]。

煤田具有储量大、煤层厚、埋藏浅、地质构造简单、适合露天开采的特性。煤种为中灰硫长焰煤,热量大,是工业动力的优质煤。已探明总面积约为 1 723 km²,煤田总储量约为 362 亿 t。

目前设置有露天煤矿采矿权 16 个,其中,位于准格尔旗境内 11 个,清水河县 3 个,偏关县和河曲县各 1 个(表 1)。露天煤田开采总规模 6 550 万 t/a,其中大型煤矿 3 个,中型煤矿 9 个,小型煤矿 4 个。矿山已开采年为 2~12 a 不等。

表 1 准格尔煤田露天采矿权设置情况一览表

Tab. 1 List of open-pit mining rights in Zhungeer Coalfield

县级行政区	矿山名称	开采规模/万 t	矿权面积/ha	已开采年/a
准格尔旗	哈尔乌素	2 000	5 772.43	12
	黑岱沟	2 000	5 033.39	11
	魏家峁	600	5 259.32	8
	汇隆	300	762.70	6
	厅子堰	300	406.35	3
	蒙祥	180	454.84	5
	崔二圪咀	120	1 267.40	2
	金正泰	120	958.42	5
	召富	120	741.00	2
	华富	120	651.29	2
	宏燃	120	600.59	2
清水河县	永胜	60	522.91	3
	天赐源	60	248.25	5
	刘胡梁	60	168.00	2
河曲县	梁家碛	300	1695.36	6
偏关县	正仁	90	813.02	4

区内煤田露天开采使得大量岩土剥离、堆积和扰动,破坏自然状态下的稳定和平衡,致使土壤侵蚀加剧。植被破坏、黄土地表裸露、人口增加等因素都加重对土地的压力,从而导致沙漠化的扩大和发展。采掘坑和排土场出现人工滑坡,或诱发自然滑坡,改变了地面水系现状,推挤河道,影响交通,损毁耕地等农用地,影响生产并危及人身安全^[30]。矿区的生产和生活活动将大量的废弃物排放到环境中,并扩散、迁移和转化,形成了大气污染、废水污染、废渣污染和噪声污染^[31]。罗振华^[32]应用综合预测法对准格尔煤田进行了开发前的土地沙漠化趋势预测及开发后的土地沙漠化面积估算和土壤风蚀量计算。

2 评价指标体系建立

矿山地质环境评价指标体系是矿山地质环境综合评价的根本条件和理论基础,也是核心和关键环节。依据指标体系可以确定一个地区的主要矿山环境问题,通过其总体效应来反映被评价矿区的生态环境总体状况。环境指标的选择,应覆盖适当的时

空范围,反映多环境因素,并使指标提供的结果客观准确,反映的矿山环境信息量最大化,所用的时间和成本最小化。

本文确定的矿山地质环境评价指标体系包括 3 个层次:①要素层:分为土地资源压占和损毁、矿山地质灾害及矿山环境污染 3 个要素;②指标层:即每一要素包括若干个指标,如矿山地质灾害要素包括崩塌-滑坡-泥石流(以下简称崩滑流)和地面塌陷-地裂缝(以下简称陷裂)2 个指标;③因子层:每一个指标都可以用 1 个(或多个)因子来表征,如土地资源损毁包括固体废弃物、采场、矿山建筑等因子(图 2)。

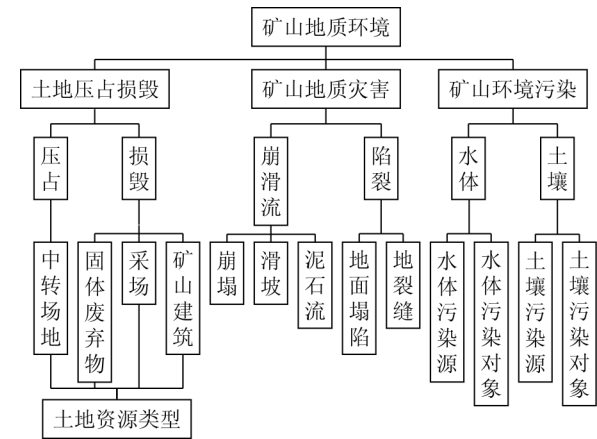


图 2 矿山地质环境评价指标体系
Fig. 2 Evaluation index system of mine geological environment

参照国家和地方行业标准《DZ/T 0223—2011》、《DD2014—05》和《DB43/T 1042—2015》^[33],按矿山地质环境指标数值,结合研究区实际情况,在听取有关专家意见的基础上,确定矿山地质环境评价指标相应等级为:影响严重区(Ⅳ级)、影响较严重区(Ⅲ级)、影响一般区(Ⅱ级)和无影响区(Ⅰ级)。

在各指标中,当某一指标只有一个因子时,该因子数值的评定等级就是该指标的评定等级。如果某指标可用若干因子表示,则应选定这些因子数值评价等级中表征地质环境评价最严重者为该指标的评定等级。在对水污染、土壤污染等不进行取样化验的时候,其污染等级的划分,采用污染影响范围来描述指标等级。

矿山地质环境由多种因素决定,因此选择评价因子要能整体上反映矿山地质环境,其评价结果才具有科学性、客观性和可比性等。因此,在分析不同开发类型、不同影响对象和程度的矿山环境问题的基础上,本次研究按指标类型分别制定量化指标,确定权重,构建一个由压占或损毁土地、地质灾害和环境污染组成的准则层,5 项指标构成指标层,采用有关数学评价原理建立多指标、多层次、多阶段的分类因子综合评价模型(目标层)(表 2)。因子等级参照国家和地方行业标准确定。

表 2 矿山地质环境评价指标等级
Tab. 2 Evaluation index levels of mine geological environment

准则层要素	指标	权重	参评因子	因子等级					
				较轻	一般	较重	很重		
				0.2	0.4	0.6	0.8		
土地压占损毁	压占面积/hm ²	0.2	中转场地	未利用地	<1	[1,10)	[10,20]	>20	
			林地草地	<1	[1,2)	[2,4]	>4		
			耕地	0	(0,1)	[1,2]	>2		
			固体废弃物	未利用地	<1.33	[1.33,2.67)	[2.67,5.33]	>5.33	
				林地草地	<0.67	[0.67,1.33)	[1.33,2.67]	>2.67	
				耕地	0	(0,0.33)	[0.33,0.67]	>0.67	
		损毁面积/hm ²	0.4	采场	未利用地	<1.33	[1.33,2.67)	[2.67,5.33]	>5.33
				林地草地	<0.67	[0.67,1.33)	[1.33,2.67]	>2.67	
				耕地	0	(0,0.33)	[0.33,0.67]	>0.67	
				矿山建筑	未利用地	<1.33	[1.33,2.67)	[2.67,5.33]	>5.33
					林地草地	<0.67	[0.67,1.33)	[1.33,2.67]	>2.67
					耕地	0	(0,0.33)	[0.33,0.67]	>0.67
矿山地质灾害	灾害体积/10 ⁴ m ³	0.4	崩塌	<1	[1,10)	[10,100]	>100		
			滑坡	<10	[10,100)	[100,1 000]	>1 000		
			泥石流	<2	[2,20)	[20,50]	>50		
	影响范围/hm ²	0.6	地面塌陷	<10	[10,100)	[100,1 000]	>1 000		
			地裂缝	<0.3	[0.3,1)	[1,2]	>2		
矿山环境污染	影响范围/hm ²	0.8	水体污染范围	<1	[1,10)	[10,100]	>100		
			土壤污染范围	<0.1	[0.1,1)	[1,10]	>10		

3 灰关联法及改进

3.1 方法原理

灰关联法是根据比较数列与参考数列的关联情况确定样本的评价级别的方法。设有参考数列 $\{X_0(k)\}$ ，比较数列 $\{X_i(k)\}$ ；综合各点 $(k = 1, 2, \cdots, n)$ 的关联系数，得到整个比较数列 $\{X_i(k)\}$ 与参考数列 $\{X_0(k)\}$ 的关联度，关联度最大者，说明参考数列与之关联性最好，相应得到该样本的评价级别^[8]。具体步骤为：

- 1)以矿山环境评价指标权重值为参考序列 (X_0) ，以 n 座矿山的数据为比较序列 $(X_i, i = 1, 2, \cdots, n)$ 。
- 2)无量纲化。使用均值化方法对数据进行无

$$\xi_i(k) = \frac{\min_i \min_k |X_0(k) - X_i(k)| + \rho \max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|}{|X_0(k) - X_i(k)| + \rho \max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|}, \quad (3)$$

式中： $|X_0(k) - X_i(k)| = \Delta_i(k)$ ，为 X_0 数列与数列在第 k 点的绝对差； $\min_i \min_k |X_0(k) - X_i(k)|$ 为二级最小差，其中 $\min_k |X_0(k) - X_i(k)|$ 为第一级最小差，表示 X_i 数列与 X_0 数列对应点的差值中的最小差；而 $\min_i \min_k |X_0(k) - X_i(k)|$ 为第二级最小差，表示在第一级最小差的基础上，再找出其中的最小差； $\max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|$ 为二级最大差； ρ 为分辨系数，在 $0 \sim 1$ 之间取值，一般取 0.5 。则比较数列 X_i 与参考数列 X_0 的关联度 γ_i 为：

$$\gamma_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \xi_i(k)。$$

(4)

3.2 方法改进

3.2.1 人工插值

当某矿山中某一参评因子数值为空缺时，无量纲化处理不能应对所有数列。此时采用人工插值法，以该组序列平方和的倒数为值赋予该参评因子。

量纲化，即用每组序列的平均值去除每个数，得到一个占平均值百分比为多少的数列。

3)求差序列、最大差和最小差：以 X_0 与 X_i 各对应点之差值的绝对值构成差序列，并找出序列内、序列间二级最大差和最小差。

4)根据灰关联度公式，求每组数据的灰关联系数、灰关联度 r ，并依据关联度进行排序。计算公式如下：

若参考数列为 X_0 ，比较数列(因子数列)为 $X_i, i = 1, 2, \cdots, n$ ，则

$$X_0 = \{X_0(1), X_0(2), \cdots, X_0(n)\},$$

(1)

$$X_i = \{X_i(1), X_i(2), \cdots, X_i(n)\}。$$

(2)

则 X_0 和 X_i 在第 k 点的关联系数为：

这样既赋予了空值一个很小的数，防止信息损失，又不对该组序列的灰关联计算形成干扰性影响。

3.2.2 分级加权

在无量纲化之前，对各矿山的参评因子数值参照表2设定的因子等级进行分级加权，目的是增加因子之间的对比度，从而提高灰关联法的可分辨性。则 $F_i = \alpha X_i$ ，得出分级加权后的比较序列 F_i ，其中 α 为因子等级， α 在 $\{0.2, 0.4, 0.6, 0.8\}$ 中按影响程度取值。

4 评价结果

利用2019年GF-2卫星遥感正射影像获取了准格尔煤田16座露天煤矿的矿山地质环境遥感监测信息，辅以部分现场调查验证，得出研究区监测成果(表3)。

表 3 准格尔煤田露天煤矿地质环境遥感监测成果统计

Tab.3 Statistics of remote sensing monitoring results of the geological environment of Zhungeer Coalfield open-pit coal mine

矿山名称	土壤污 染源/hm ²	土壤污 染范围/hm ²	水体污 染源/hm ²	水体污 染范围/hm ²	露天采 场/hm ²	滑坡灾害/ 10 ⁴ m ³	矿山生产 区/hm ²	矿山生活 区/hm ²	矿山办公 区/hm ²	排土场/hm ²	排土场 平整/hm ²
哈尔乌素	26.88	126.85	4.72	38.47	650.85	NA ^①	211.91	10.21	71.84	277.48	411.21
黑岱沟	20.50	194.47	NA	NA	1 023.52	6 409.60	105.39	NA	NA	875.54	186.05
魏家峁	56.75	226.04	NA	NA	212.42	2 054.80	251.08	10.87	11.76	417.01	307.25
汇隆	3.37	39.47	NA	NA	246.91	2 201.20	85.40	8.02	9.86	147.81	100.30
斤子堰	0.11	12.00	NA	NA	70.44	700.80	9.49	15.13	10.75	68.44	NA
蒙祥	0.33	16.52	2.37	55.21	61.47	111.20	19.92	9.46	NA	89.92	NA
崔二圪咀	2.11	28.83	2.27	11.07	84.54	NA	73.13	NA	NA	154.55	382.04
金正泰	NA	NA	NA	NA	80.02	1 395.60	NA	NA	9.13	215.75	NA
召富	NA	NA	1.32	19.34	46.65	320.40	NA	NA	NA	64.88	NA
华富	NA	NA	NA	NA	14.48	NA	0.99	NA	1.22	8.01	NA
宏燃	0.01	8.92	NA	NA	72.49	295.20	1.55	4.32	NA	129.42	NA

(续表)

矿山名称	土壤污 染源/hm ²	土壤污 染范围/hm ²	水体污 染源/hm ²	水体污 染范围/hm ²	露天采 场/hm ²	滑坡灾害/ 10 ⁴ m ³	矿山生产 区/hm ²	矿山生活 区/hm ²	矿山办公 区/hm ²	排土场/hm ²	排土场平 整/hm ²
永胜	0.18	9.26	NA	NA	49.71	NA	19.53	1.10	1.35	8.26	8.75
天赐源	0.04	19.33	1.02	27.86	122.96	1 236.00	2.17	12.18	NA	111.59	30.09
刘胡梁	1.40	53.85	NA	NA	92.48	150.00	25.92	3.74	3.90	90.88	NA
梁家碛	7.42	81.78	10.24	173.12	165.20	980.00	90.78	9.97	7.00	302.19	319.31
正仁	NA	NA	NA	NA	4.64	NA	0.51	2.51	NA	NA	NA

①: NA 表示该项数据缺失。

采用灰关联法,对研究区矿山地质环境的关联度进行计算,结果见表 4。

表 4 准格尔煤田矿山地质环境灰关联评价结果

Tab. 4 Gray correlation evaluation results of the geological environment of Zhungeer Coalfield

矿山名称	平均值	标准差	矿山名称	平均值	标准差
哈尔乌素	0.774 7	0.118 9	召富	0.771 4	0.156 2
黑岱沟	0.787 4	0.173 6	华富	0.752 6	0.172 6
魏家崙	0.795 8	0.154 0	宏燃	0.756 9	0.149 1
汇隆	0.809 4	0.198 3	永胜	0.769 9	0.138 9
厅子堰	0.793 8	0.181 3	天赐源	0.797 7	0.189 0
蒙祥	0.807 7	0.126 2	刘胡梁	0.792 2	0.130 0
崔二圪咀	0.763 9	0.141 1	梁家碛	0.804 8	0.135 1
金正泰	0.771 7	0.175 8	正仁	0.750 9	0.169 5

从表 4 可以看出,研究区内 16 座露天煤矿山的地质环境严重程度为由大到小依次为: 汇隆>蒙祥>梁家碛>天赐源>魏家崙>厅子堰>刘胡梁>黑岱沟>哈尔乌素>金正泰>召富>永胜>崔二圪咀>宏燃>华富>正仁。

分析表 4 中各矿山的灰关联平均值,绘制成如图 3 所示的变化趋势线,可见趋势线明显呈三个阶段。根据矿山地质环境严重程度,将研究区划分为影响严重区(Ⅳ级)、影响较严重区(Ⅲ级)、影响一般区(Ⅱ级)和无影响区(Ⅰ级)4 个等级。

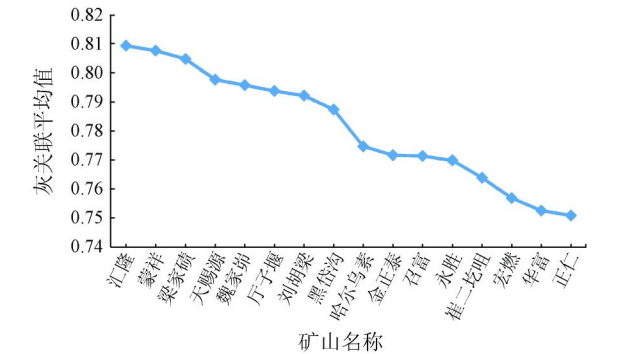


图 3 准格尔煤田矿山灰关联平均值趋势

Fig. 3 Trend of ash - associated averages of mines in Zhungeer Coalfield

因此可得出矿山地质环境评价等级,即,影响严重区有汇隆、蒙祥和梁家碛 3 座矿山,影响较严重区有天赐源、魏家崙、厅子堰、刘胡梁、黑岱沟 5 座矿

山,影响一般区有哈尔乌素、金正泰、召富、永胜、崔二圪咀、宏燃、华富和正仁 8 座矿山,其他非矿山地区为无影响区。矿山地质环境评价等级分区如图 4 所示。

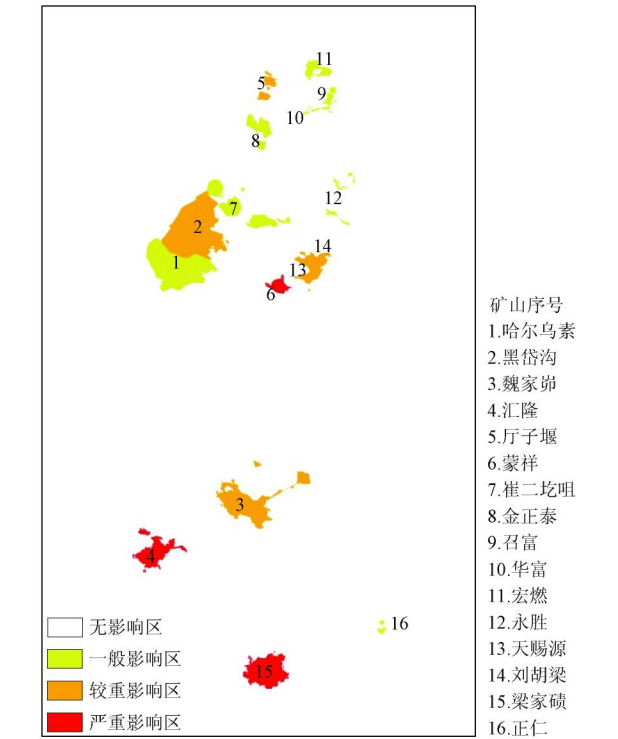


图 4 准格尔煤田矿山地质环境评价分区

Fig. 4 Zone map of geological environment assessment in Zhungeer Coalfield

5 结论与建议

- 1)当影响矿山地质环境评价的因子不能完全确定时,可以对一些质量特征指标(如地物类型、面积、规模等)进行测定和量化,并定出等级,再采用灰关联法进行综合评价。本文研究的矿山地质环境是由部分已知信息、部分未知信息组成的灰色系统,在理论上具有可行性。
- 2)人工插值初步解决了通过遥感手段监测成果中某项矿山地质环境因子为空值的问题,但该方法原理的合理性仍需进一步探讨;分级加权提高了灰关联评价的可分辨性,也使得评价结果更

趋于实际。

3) 准格尔煤田矿山地质环境影响严重区有 3 座矿山,影响较严重区有 5 座矿山,影响一般区有 8 座矿山,其他非矿山地区为无影响区。评价结果相对客观地反映出了研究区露天煤矿山地质环境的现状。以矿山为单元、矿山要素为因子的灰关联法在矿山地质环境评价中的应用已取得实效,但在更大范围的适用性,有待持续开展深入研究。

参考文献(References):

[1] 国土资源部. DZ/T0223—2011 矿山地质环境保护与恢复治理方案编制规范[S]. 北京:国土资源部地质环境司,2011.
Ministry of Land and Resources, DZ/T0223 - 2011 mine geological environmental protection and restoration and control plan preparation specifications[S]. Beijing: Department of Geology and Environment, Ministry of Land and Resources, 2011.

[2] 中国地质调查局. DD2014—05 矿山地质环境调查评价规范[S]. 北京:中国地质调查局西安地质调查中心,中国地质环境监测院,山西省地质环境监测中心,2014.
China Geological Survey. DD2014—05 specifications for mine geological environment survey and evaluation[S]. Beijing: China Geological Survey Xi'an Geological Survey Center, China Geological Environment Monitoring Institute, Shanxi Provincial Geological Environment Monitoring Center, 2014.

[3] 江松林,孙世群,王 辉. 安徽省矿山环境质量综合评价研究[J]. 合肥工业大学学报. 2008,31(1):112 - 115.
Jiang S L, Sun S Q, Wang H. Comprehensive assessment of mine environmental quality of Anhui Province[J]. Journal of Hefei University of Technology, 2008, 31(1): 112 - 115.

[4] 陈俊奇. 基于 RS 和 GIS 的矿山地质环境调查与评价[D]. 北京:中国地质大学(北京),2017.
Chen J Q. Survey and evaluation of mine geological environment based on RS and GIS[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2017.

[5] 杨梅忠,刘 亮,高让礼. 模糊综合评判在矿山环境影响评价中的应用[J]. 西安科技大学学报,2006,26(4):439 - 442.
Yang M Z, Liu L, Gao R L. Application of fuzzy synthesis evaluation to the environmental influence of the west mineral exploration[J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2006, 26(4): 439 - 442.

[6] 蒋复量,周科平,李向阳,等. 基于集对分析的矿山地质环境影响评价研究[J], 矿冶工程, 2009, 29(2): 1 - 4.
Jiang F L, Zhou K P, Li X Y, et al. Study on assessment of geological environment impact in mines based on set pair analysis[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2009, 29(2): 1 - 4.

[7] 郑丽媛,曹金亮,张建萍. 矿山地质环境评价方法综述[J]. 华北自然资源, 2019(10): 74 - 75.
Zheng L Y, Cao J L, Zhang J P. Summarization of assessment methods of mine geological environment[J]. North China Natural Resources, 2019(10): 74 - 75.

[8] 辛建军,张 涛,高慧卿,等. 灰色系统理论在土地质量评价中的应用[J]. 农业系统科学与综合研究,1987(12):39 - 46.
Xin J J, Zhang T, Gao H Q, et al. The application of grey system theory in land quality evaluation[J]. System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture, 1987(12): 39 - 46.

[9] 孟宪林,孙丽欣,周 定,等. 灰色理论在环境质量评价中的应用与完善[J]. 哈尔滨工业大学学报,2002,10(5):700 - 702.
Meng X L, Sun L X, Zhou D, et al. Application and improvement of grey theory for assessment of environmental quality[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2002, 10(5): 700 - 702.

[10] 肖晓柏,许学工. 地表水环境质量灰关联评价方法探讨[J]. 环境科学与技术,2003,5(3):34 - 36.
Xiao X B, Xu X G. A Study on grey associative analysis for assessment of surface water quality[J]. Environmental Science and Technology, 2003, 5(3): 34 - 36.

[11] 吴开亚,李如忠,陈晓剑. 区域生态环境评价的灰色关联投影模型[J]. 长江流域资源与环境,2003,9(5):473 - 478.
Wu K Y, Li R Z, Chen X J. Grey relation projection model for the evaluation of regional eco - environmental quality[J]. Resources and Environment in the Yangtze River Basin, 2003, 9(5): 473 - 478.

[12] 刘德成,靳小平,周自梁. 灰色关联度分析法在北京通州区地裂缝灾害危险性评价中的应用[J]. 中国地质灾害与防治学报,2010,9(3):73 - 76.
Liu D C, Jin X P, Zhou Z L. Application of grey degree of association evaluation method in ground fissures in Tongzhou District of Beijing[J]. Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2010, 9(3): 73 - 76.

[13] 黄永泉,危 超,何景媛. 基于灰色关联分析法的江西省矿山环境质量评价[J]. 资源调查与环境,2012,4(4):268 - 273.
Huang Y Q, Wei C, He J Y. Mine environmental quality evaluation by grey relational analysis method in Jiangxi Province[J]. Resources Survey and Environment, 2012, 4(4): 268 - 273.

[14] 刘 方. 基于灰色关联度的模糊层次组合矿山地质环境评价模型研究[D]. 西安:长安大学,2014.
Liu F. Study on fuzzy hierarchical combination mine geological environment assessment model based on grey correlation[D]. Xi'an: Chang'an University, 2014.

[15] 焦明连. 基于灰色聚类分析的矿山环境质量评价[J]. 煤矿开采,2016,4(2):78 - 82.
Jiao M L. Evaluation of mine environment quality based on gray cluster analysis[J]. Coal Mining, 2016, 4(2): 78 - 82.

[16] 秦绪文,杨金中,康高峰,等. 矿山遥感监测技术方法研究[M]. 北京:测绘出版社,2011.
Qin X W, Yang J Z, Kang G F, et al. Research on mine remote sensing monitoring technology[M]. Beijing: Surveying and Mapping Press, 2011.

[17] 杨金中,秦绪文,张 志,等. 矿山遥感监测理论方法与实践[M]. 北京:测绘出版社,2011.
Yang J Z, Qin X W, Zhang Z, et al. Theory and practice of remote sensing monitoring in mines[M]. Beijing: Surveying and Mapping Press, 2011.

[18] 杨金中, 聂洪峰, 荆青青. 初论全国矿山地质环境现状与存在问题[J]. 国土资源遥感, 2017, 29(2): 1-7. doi: 10. 6046/gtzyyg. 2017. 02. 01.

Yang J Z, Nie H F, Jing Q Q. Preliminary analysis of mine geo-environment status and existing problems in China [J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2017, 29(2): 1-7. doi: 10. 6046/gtzyyg. 2017. 02. 01.

[19] 杨金中, 聂洪峰, 王海庆, 等. 中国矿山地质环境遥感监测(2015年)[M]. 北京: 测绘出版社, 2017.

Yang J Z, Nie H F, Wang H Q, et al. Remote sensing monitoring of mine geological environment in China (2015) [M]. Beijing: Surveying and Mapping Press, 2017.

[20] 杨金中, 王昊, 董双发, 等. 中国矿山地质环境遥感监测(2016年)[M]. 北京: 地质出版社, 2018.

Yang J Z, Wang H, Dong S F, et al. Remote sensing monitoring of mine geological environment in China (2016) [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2018.

[21] 杨金中, 王晓红, 王海庆, 等. 中国矿山地质环境遥感监测(2017年)[M]. 北京: 地质出版社, 2019.

Yang J Z, Wang X H, Wang H Q, et al. Remote sensing monitoring of mine geological environment in China (2017) [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2019.

[22] 王海庆, 武明德, 刘琼, 等. 山西某地矿业开发占用土地状况遥感监测[J]. 国土资源遥感, 2018, 30(1): 116-120. doi: 10. 6046/gtzyyg. 2018. 01. 16.

Wang H Q, Wu M D, Liu Q, et al. Remote sensing monitoring of mining land in a certain area of Shanxi Province [J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2018, 30(1): 116-120. doi: 10. 6046/gtzyyg. 2018. 01. 16.

[23] 杨显华, 黄洁, 田立, 等. 矿山遥感监测在采空区稳定性分析中的应用[J]. 国土资源遥感, 2018, 30(3): 143-150. doi: 10. 6046/gtzyyg. 2018. 03. 20.

Yang X H, Huang J, Tian L, et al. Application of mine remote sensing monitoring to analysis of mine goaf stability [J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2018, 30(3): 143-150. doi: 10. 6046/gtzyyg. 2018. 03. 20.

[24] 赵玉灵, 杨金中, 殷亚秋, 等. 海南岛东部滨海锆钛砂矿开发状况遥感监测与生态恢复治理对策研究[J]. 国土资源遥感, 2019, 31(4): 143-150. doi: 10. 6046/gtzyyg. 2019. 04. 19.

Zhao Y L, Yang J Z, Yin Y Q, et al. Research on remote sensing monitoring of zirconium-titanium sand mine exploitation and strategies of ecological restoration on the eastern beach of Hainan Island [J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2019, 31(4): 143-150. doi: 10. 6046/gtzyyg. 2019. 04. 19.

[25] 汪洁, 殷亚秋, 于航, 等. 基于RS和GIS的浙江省矿山地质环境遥感监测[J]. 国土资源遥感, 2020, 32(1): 232-236. doi: 10. 6046/gtzyyg. 2020. 01. 31.

Wang J, Yin Y Q, Yu H, et al. Remote sensing monitoring of mine geological environment in Zhejiang Province based on RS and GIS [J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2020, 32(1): 232-

236. doi: 10. 6046/gtzyyg. 2020. 01. 31.

[26] 马世斌, 李生辉, 安萍, 等. 青海省聚乎更煤矿区矿山地质环境遥感监测及质量评价[J]. 国土资源遥感, 2015, 27(2): 139-145. doi: 10. 6046/gtzyyg. 2015. 02. 22.

Ma S B, Li S H, An P, et al. Remote sensing monitoring and quality evaluation for the mine geological environment of the Juhugeng coal mining area in Qinghai Province [J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2015, 27(2): 139-145. doi: 10. 6046/gtzyyg. 2015. 02. 22.

[27] 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. doi: 10. 6046/gtzyyg. 2020. 01. 20.

Zhao Y L. Study and application of analytic hierarchy process of mine geological environment: A case study in Hainan Island [J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2020, 32(1): 148-153. doi: 10. 6046/gtzyyg. 2020. 01. 20.

[28] 李文航, 龚建华. 遥感地表真实面积和垂直投影面积差异的定量模拟[J]. 计算机应用研究, 2008, 4(4): 983-985.

Li W H, Gong J H. Quantitative simulation for difference between true surface area and planimetric area [J]. Application Research of Computers, 2008, 4(4): 983-985.

[29] 吴子武. 内蒙准格尔煤田地质特征[J]. 煤田地质与勘探, 1981(10): 16-18.

Wu Z W. Geological characteristics of Zhungeer Coalfield, Inner Mongolia [J]. Coal Geology and Exploration, 1981(10): 16-18.

[30] 高世华. 内蒙准格尔矿区的环境地质与灾害防治[C]//第四届全国工程地质大会论文选集(三). 1992: 1168-1172.

Gao S H. Environmental geology and disaster prevention in Zhungeer mining area, Inner Mongolia [C]//Selected Papers of the Fourth National Engineering Geology Congress (3). 1992: 1168-1172.

[31] 张力, 王晓东. 准格尔煤田的生态安全问题及对策研究[J]. 华北科技学院学报, 2010(1): 40-43.

Zhang L, Wang X D. Study on ecological security problems and countermeasures in Junger Coalfield [J]. Journal of North China Institute of Science and Technology, 2010(1): 40-43.

[32] 罗振华. 准格尔煤田一期工程土地沙漠化环境影响预测方法[J]. 宁夏大学学报(自然科学版), 1993, 9(3): 42-47.

Luo Z H. A method for predicting the environmental impact of land desertification in the phase I project of Zhungeer Coalfield [J]. Journal of Ningxia University (Natural Science Edition), 1993, 9(3): 42-47.

[33] 湖南省质量技术监督局. DB43/T 1042—2015 矿山地质环境综合防治方案编制规范[S]. 长沙: 湖南省地质环境监测总站, 2015.

Hunan Provincial Bureau of Quality and Technical Supervision. DB43/T 1042—2015 specifications for the preparation of comprehensive prevention and control plans for mine geological environment [S]. Changsha: Hunan Provincial General Station for Geological Environment Monitoring, 2015.

Gray correlation evaluation of geological environment in the open – pit coal mine concentration area based on remote sensing :A case study of the Zhungeer Coalfield

GAO Junhua^{1,2}, LIU Shasha^{1,2}, YANG Jinzhong³, ZHAO Mingpeng^{1,2}, LIU Xinyue^{1,2}, ZOU Lianxue^{1,2}

(1. Hunan Provincial General Station of Geological Environment Monitoring, Changsha 410007, China; 2. Hunan Natural Resources Affairs Center, Changsha 410004, China; 3. China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Natural Resources, Beijing 100083, China)

Abstract: Satellite remote sensing technology has been used in China for more than ten years to obtain annual national mine geological environment remote sensing monitoring data . How to make full use of existing remote sensing monitoring results to carry out large – scale mining geological environmental assessment zoning is worthy of discussion and research . Therefore, the Zhungeer Coalfield was taken as the research area , and the artificial interpolation and hierarchical weighted improved gray correlation method was used to evaluate and analyze the geological environment of the 16 open – pit coal mines in the area , and the evaluation level divisions based on the mines were obtained . The evaluation conclusion is that the 3 mines of Huilong, Mengxiang and Liangjiaqi are severely affected by the environment , and the 5 mines of Tianciyuan, Weijiamao, Tingziyan, Liuhuliang and Heidaigou have relatively high environmental impacts . In the severe areas , 8 mines of Harwusu, Jinzhengtai, Zhaofu, Yongsheng, Cui ’ ergezui, Hongran, Huafu and Zhengren are general environmental impact areas , and other non – mine areas are the non – influenced areas . The evaluation results can reflect the geological environment status of the Zhungeer coalfield relatively objectively . Therefore, the gray correlation evaluation method of mine geological environment could be popularized and applied in a large area or even in whole China .

Keywords: remote sensing ; open pit coal mine ; gray correlation method ; mine geological environment evaluation
(责任编辑: 张 仙)