

吴晨阳, 张以晨, 张继权, 等. 可拓模型在通化市矿山地质环境评价中的应用[J]. 灾害学, 2021, 36(4): 228–233. [WU Chenyang, ZHANG Yichen, ZHANG Jiquan, et al. Application of extension model in geological environment evaluation of Tonghua Mining Area[J]. Journal of Catastrophology, 2021, 36(4): 228–233. doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2021.04.037.]

可拓模型在通化市矿山地质环境评价中的应用*

吴晨阳¹, 张以晨^{1,2}, 张继权³, 何家盛¹, 段晨玉⁴, 刘华南¹, 郎秋玲¹

(1. 长春工程学院 勘查与测绘工程学院, 吉林 长春 130021;

2. 长春工程学院 吉林应急管理学院, 吉林 长春 130021; 3. 东北师范大学 环境学院, 吉林 长春 130117; 4. 长春工程学院 水利与环境工程学院, 吉林 长春 130021)

摘要: 针对吉林省通化市矿山地质环境问题, 经调查通化市矿产资源集中开采区(以下称矿集区)的基本情况, 基于可拓学理论, 对通化市已调查矿山进行地质环境评价。评价模型选取13个指标, 采用博弈论的方法, 将AHP法与熵权法对各指标赋权值进行优化分配, 进一步分析主要影响因素, 利用可拓学理论定量评价研究区矿山地质环境。对通化市矿集区107座矿山的评价结果表明, 矿山地质环境不良点9处, 地质环境一般点9处, 地质环境轻微点89处, 评价结果可以为矿山地质环境修复治理工作提供依据。

关键词: 矿山地质环境; 博弈论; 可拓学; 综合评价; 吉林通化

中图分类号: X43; X915.5; P642 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2021)04–0228–06

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2021.04.000

目前, 全球矿石需求持续旺盛, 矿产成为国家工业发展的保障, 也是国家重要的战略资源, 但矿产开发带来的环境问题日益显著, 科学的评价系统可以有效评估矿山开发的影响。通化市矿产开采历史从建国至今均有记载, 2012年, 吉林省地质环境监测总站对通化市矿集区展开矿山地质环境综合调查。通化市矿产资源具有“大矿少, 小矿多”的特点, 由于早期开采技术不成熟、开采效率低、治理不及时, 至今已发生超百起由矿业开发造成的地质灾害、环境和社会问题。在国内愈来愈重视生态环境的大背景下, 对该地区矿山地质环境进行评价研究是有必要的。

国内对矿山地质环境评价进行了大量综合性研究, 张金朝^[1]选用了评价模型中经典的层次分析方法, 通过系统有序地分析, 将各定性影响因子过渡到定量影响因子, 结果表明这种转换方式是可靠的; 海俊杰^[2]采用单因素分析和多因素圈定的评价方法对湖南宁乡县的矿山地质环境做出分析, 客观反映了当地地质现状, 保证尾矿库安全运行, 排除风险隐患; 朱双燕^[3]采用7个指标和21个指标层的评价体系, 利用组合赋权法建立评价模型, 使用GIS软件叠加分析, 得出矿山地质环境评价结果; 汪伟^[4]采用物元可拓理论, 对矿山采空区稳定性进行评价, 解决评价中影响因素的不确定性、隐蔽性和因素之间的不相容性。

物元可拓理论的优势在于解决各类问题的矛盾的定量化分析, 大量应用在环境分析评价中, 结合主观和客观的评价方法, 能更好地反映事物整体特征。基于已调查通化市矿集区内107处矿山的主要地质环境条件, 本文采用可拓学理论, 对

矿山地质环境进行综合评价, 为研究区矿山地质环境修复治理工作提供参考。

1 研究区概况

通化市位于吉林省东南部, 有北国山城之称。通化市矿集区大致可分为三部分, 二道江矿区、东昌矿区及通化县矿区, 区内三分之二以上的面积为山区, 已发现矿产地747处, 发现矿产种类82种, 有170处查明资源储量。已查明资源储量的矿产中, 金、铜、镍、铁、石膏、石灰岩、饰面用花岗岩为区内优势矿种, 熔剂用灰岩资源储量约占全省的55%; 石膏矿资源储量占全省的45%以上, 具体见表1。

长期频繁的采矿活动, 导致通化市矿集区地质环境形成以下特点:

(1) 矿山地质环境问题的类型、危害程度与矿产资源的种类、开发方式、地质条件等因素相关; 在建、生产和闭坑不同阶段会产生不同的矿山地质环境问题。

(2) 矿集区内同种地质灾害发生有集中性, 如地面塌陷、地面沉降变形相对集中地分布于煤矿较多的二道江区; 小型崩塌多发生在非煤矿山; 另外, 地下水平衡系统破坏、地表水量减少和水土重金属污染, 这些灾害影响持久, 导致在矿山闭坑多年后仍存在影响。

(3) 矿山地质环境问题可控性较强, 受国家法律政策的影响明显, 只要法律完善、依法监管到位, 矿业活动对地质环境的影响程度就会降低。

* 收稿日期: 2021–05–14

修回日期: 2021–06–24

基金项目: 吉林省发改委创新能力建设项目(2021C044–3); 2021年全国大学生创新创业计划训练项目(202111437019)

第一作者简介: 吴晨阳(1998–), 男, 汉族, 河北定州人, 硕士研究生, 主要从事地质灾害方向研究. E-mail: wey@stu.ccit.edu.cn

通讯作者: 张以晨(1982–), 男, 汉族, 山东单县人, 博士后, 教授, 硕士生导师, 主要从事自然灾害防治、应急管理理论与方法等研究. E-mail: 82708694@qq.com

表1 通化市矿集区矿山一览表

矿种类型	矿种	数量(包括生产、在建、闭坑矿)			开采方式
		通化县	东昌区	二道江区	
能源矿	煤矿	0	0	16	露天、井下开采
金属矿	铜矿	2	0	0	井下开采
	镍矿	3	0	0	井下开采
	铁矿	7	0	1	井下开采为主
	金矿	4	2	0	井下开采
	石料	4	7	0	露天开采
建材及其他非金属矿	页岩	3	2	1	露天开采
	石灰岩	4	10	23	露天开采
	石膏	2	0	2	井下开采
	其他	6	5	3	露天开采
总计采矿点: 107 个					

2 可拓模型建立过程

2.1 矿山地质环境评级指标体系

矿山地质环境影响范围广,地质变化期长,影响因素不仅要考虑矿区固有的地质灾害特点,还要从环境破坏的角度考虑。根据通化市矿山地质环境问题,按以下要求进行筛选:①影响大,对分级有重要作用;②覆盖面广,适用于一定类型的矿山地质破坏程度的评价;③能反映环境污染程度的指标。本文通过资料收集和实际地质调查,并参考相关文献^[5-12],选取矿山开发情况、地质灾害、资源破坏、环境污染4个准则层指标和13个属性层指标(图1)。

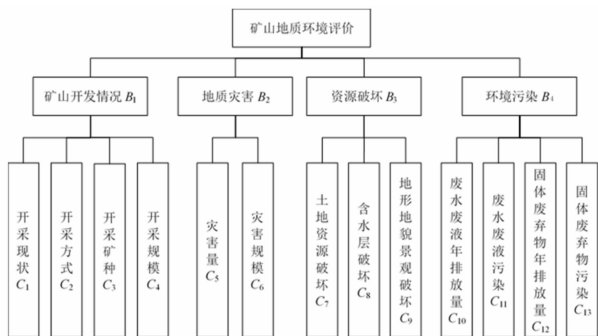


图1 矿山地质环境评价指标体系

根据《全国矿山地质环境调查技术要求实施细则》中地质灾害易发性与矿山地质环境影响性划分标准,将评估级别分为:Ⅰ级(一级)——不良点;Ⅱ级(二级)——一般点;Ⅲ级(三级)——轻微点,指标分级见表2。

2.2 评价过程

可拓学^[13]应用于研究混合多种参数、缺乏相容性的矛盾系统问题^[14],在矿山地质等工程领域的应用不断增多也可见其有效性。本文通过矿山地质环境影响因子,建立地质环境影响程度分级标准,得到经典域、节域和待评物元,计算所有指标关联度,使用博弈论的方法确定各指标权重,最后得到评价结果。计算流程见图2。

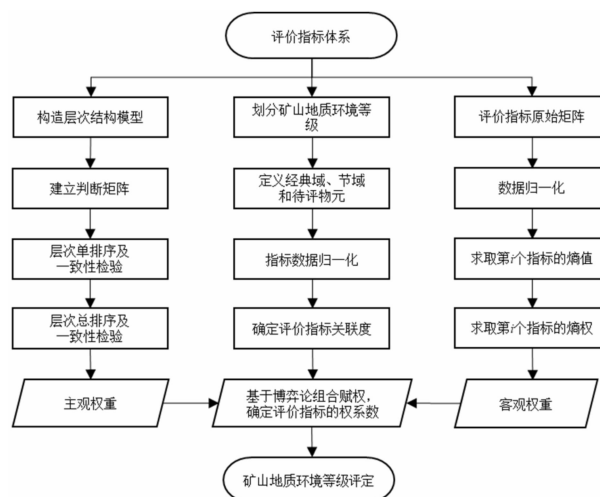


图2 基于博弈-可拓模型矿山地质环境评价流程图

根据可拓学理论,定义矿山地质环境评价为事物 N ,其评价指标看作特征 C ,而特征值的量值为 V ,即可构成可拓集合 $R = \{N, C, V\}$ 。这里给出矿山地质环境评价的经典域 R_j 、节域 R_p 和待评物元 R_i 为:

$$R_j = (N_j, C_k, V_{jk}) = \begin{bmatrix} N_j & C_1 & V_{j1} \\ & C_2 & V_{j2} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & V_{jn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_j & C_1 & \langle a_{j1}, b_{j1} \rangle \\ & C_2 & \langle a_{j2}, b_{j2} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & \langle a_{jn}, b_{jn} \rangle \end{bmatrix}; \quad (1)$$

$$R_p = (N, C_k, V_{pk}) = \begin{bmatrix} N & C_1 & V_{p1} \\ & C_2 & V_{p2} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & V_{pn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N & C_1 & \langle a_{p1}, b_{p1} \rangle \\ & C_2 & \langle a_{p2}, b_{p2} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & \langle a_{pn}, b_{pn} \rangle \end{bmatrix}; \quad (2)$$

$$R_i = (N_i, C_k, V_{ik}) = \begin{bmatrix} N_i & C_1 & V_{i1} \\ & C_2 & V_{i2} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & V_{in} \end{bmatrix} \circ \quad (3)$$

经典域中, a_{jk} 表示指标在 j 等级下,指标 C_k 的上限值, b_{jk} 表示下限值;节域中, a_{pk}, b_{pk} 表示在全部评估级别下的上下限,待评物元中 V_{ik} 用来表示矿山在指标 C_k 下的评估值。

表 2 矿山地质环境影响分级表

评价指标	级别		
	I 级	II 级	III 级
开采现状	生产	在建	闭坑
开采方式	露天开采	井工及露天开采	井下开采
开采矿种	煤矿	金属矿	建材及非金属矿
开采规模	大型	中型	小型
灾害量/个	3~4	1~2	0
灾害规模	大型	中型	小型
土地资源破坏/hm ²	4~10	1~4	0~1
含水层破坏	含水层水位大幅下降;水质串通恶化;生产生活供水困难	含水层水位下降较大;影响部分生产生活供水	含水层水位下降较小;未影响生产生活供水
地形地貌景观破坏	对原生的地形地貌景观影响和破坏程度大	对原生的地形地貌景观影响和破坏程度较大	对原生的地形地貌景观影响和破坏程度小
废水废液年排放量/10 ⁴ m ³	4~10	1~4	0~1
废水废液污染	地表水污染 P_{ci}	超标 >1 倍	超标 <1 倍
	地下水污染 PI	>2.5	0.8~2.5
固体废弃物年排放量/10 ⁴ t	4~10	1~4	0~1
固体废弃物污染	重金属污染 P_{ci}	超标 >2 倍	超标 <1 倍

表 3 AHP 法权重计算结果

指标	B_1	B_2	B_3	B_4	总排序权重	一致性检验
	0.047	0.585	0.294	0.077		
C_1	0.041				0.022	
C_2	0.253				0.012	
C_3	0.096				0.005	
C_4	0.179				0.008	
C_5		0.800			0.468	$CI=0.033,$ $RI=0.471,$ $CR=0.070,$ $CR<0.1,$ 层次总排序一致性检验通过。
C_6		0.200			0.117	
C_7			0.798		0.232	
C_8			0.138		0.040	
C_9			0.064		0.019	
C_{10}				0.200	0.015	
C_{11}				0.336	0.026	
C_{12}				0.152	0.012	
C_{13}				0.313	0.024	

2.2.1 指标归一化

本文根据矿山开采对环境的直接和间接影响给出矿山地质环境指标相对不同等级的评价标准,对数据进行无量纲处理^[15],可量化的指标通过建立隶属函数确定,不能直接量化的指标可通过专家评价统计值用评估隶属集来量化。

(1)效益型:

$$\mu = \begin{cases} 1, & V_{ik} \geq \max(V_{pk}); \\ \frac{V_{ik} - \min(V_{pk})}{\max(V_{pk}) - \min(V_{pk})}, & \min(V_{pk}) < V_{ik} < \max(V_{pk}); \\ 0, & V_{ik} \leq \min(V_{pk}). \end{cases} \quad (4)$$

(2)成本型:

$$\mu = \begin{cases} 1, & V_{ik} \leq \min(V_{pk}); \\ \frac{\max(V_{pk}) - V_{ik}}{\max(V_{pk}) - \min(V_{pk})}, & \min(V_{pk}) < V_{ik} < \max(V_{pk}); \\ 0, & V_{ik} \geq \max(V_{pk}). \end{cases} \quad (5)$$

2.2.2 评价指标关联度

矿山地质环境影响因子的关联函数值与所对应的权重值用以确定可拓关联度,则待评价单元 V_{ik} 关于评级等级采用函数:

$$K_j(V_{ik}) = \begin{cases} \frac{\rho(V_{ik}, V_{jk})}{\rho(V_{ik}, V_{pk}) - \rho(V_{ik}, V_{jk})}, & V_{ik} \notin V_{jk}; \\ -\frac{\rho(V_{ik}, V_{jk})}{|V_{jk}|}, & V_{ik} \in V_{jk}. \end{cases} \quad (6)$$

式中: $\rho(V_{ik}, V_{dk}) = \left| V_{ik} - \frac{1}{2}(a_{dk} + b_{dk}) \right| - \frac{1}{2}(b_{dk} - a_{dk})$, $|V_{dk}| = b_{dk} - a_{dk}$, $d=j$ 或 p 。

2.2.3 评价等级关联度

根据博弈论确定的影响因子权重值 ω , 计算矿山地质环境评价等级的关联度:

$$K_j(p) = (\omega_1^*, \omega_2^*, \dots, \omega_n^*) \begin{pmatrix} K_1(v_{n1}) & K_2(v_{n1}) & K_3(v_{n1}) \\ K_1(v_{n2}) & K_2(v_{n2}) & K_3(v_{n2}) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ K_1(v_{nn}) & K_2(v_{nn}) & K_3(v_{nn}) \end{pmatrix}. \quad (7)$$

按照 $K_{\max}(N) = \max_{j=1}^m K_j(p)$ 确定待评矿山等级, 关联度越大, 表示与相应等级贴进度越高。

2.3 评价因子权重

为了使所取的各指标权系数能够最好地反映客观事实, 综合考虑主客观因素, 采用常见的 2 种主客观赋权法确定评价指标的权重, 通过博弈论将所得的 2 种权重综合得到最终的权重。

2.4 AHP 法

将各个因素按照不同属性自上而下分成若干层。从层次结构模型的第 2 层开始, 对同一层元素采用 9 级标度法构造成对比较阵, 并进行一致性检验。计算方法见文献[7], 计算结果见表 3。

2.5 熵权法

在信息论中, 熵值反映了信息的无序化程度, 可以用来度量信息量的大小。采用熵权法^[16]确定指标权重系数的思路为: 假设研究对象具有 m 个评价指标, n 个评价对象, 构成原始矩阵 $[r_{ij}]_{m \times n}$ 。

对第 i 个指标的熵定义如下:

$$H_i = \frac{-1}{\ln n} \sum_{j=1}^n f_{ij} \ln f_{ij} \quad (8)$$

式中: $f_{ij} = r_{ij} / \sum_{j=1}^n r_{ij}$, 为归一化后的值。当 $r_{ij} = 0$ 时, $f_{ij} = 0$, 第 i 个指标的权重:

$$\omega_i = \frac{1 - H_i}{\sum_{i=1}^m (1 - H_i)} \quad (9)$$

其中, $0 \leq \omega_i \leq 1$, $\sum_{i=1}^m \omega_i = 1$, 权重计算结果见表 4。

表 4 矿山地质环境评价指标权重值

指标	主观权重值	客观权重值	综合权重值
开采现状 C_1	0.022	0.033	0.026
开采方式 C_2	0.012	0.019	0.015
开采矿种 C_3	0.005	0.050	0.022
开采规模 C_4	0.008	0.070	0.031
灾害量 C_5	0.468	0.044	0.310
灾害规模 C_6	0.117	0.045	0.090
土地资源破坏 C_7	0.232	0.051	0.165
含水层破坏 C_8	0.040	0.063	0.049
地形地貌景观破坏 C_9	0.019	0.105	0.051
废水废液年排放量 C_{10}	0.015	0.136	0.060
废水废液污染 C_{11}	0.026	0.114	0.059
固体废弃物年排放量 C_{12}	0.012	0.184	0.076
固体废弃物污染 C_{13}	0.024	0.085	0.047

表 5 通化县矿山地质环境关联度计算结果汇总表

矿山编号	关联函数值			评估等级	矿山编号	关联函数值			评估等级
	Ⅲ	Ⅱ	I			Ⅲ	Ⅱ	I	
TH01	-0.542	-0.396	-0.046	一级	TH19	-0.040	-0.651	-0.647	三级
TH02	0.017	-0.788	-0.853	三级	TH20	-0.287	-0.219	-0.353	二级
TH03	-0.209	-0.492	-0.393	三级	TH21	-0.222	-0.277	-0.359	三级
TH04	-0.141	-0.106	-0.475	二级	TH22	-0.118	-0.091	-0.498	二级
TH05	-0.152	-0.140	-0.422	二级	TH23	0.012	-0.780	-0.838	三级
TH06	-0.206	-0.170	-0.351	二级	TH24	-0.018	-0.245	-0.588	三级
TH07	-0.114	-0.149	-0.511	三级	TH25	-0.519	-0.467	-0.096	一级
TH08	-0.321	-0.768	-0.491	三级	TH26	-0.324	-0.248	-0.212	一级
TH09	-0.050	-0.242	-0.547	三级	TH27	-0.251	-0.654	-0.443	三级
TH10	-0.053	-0.198	-0.536	三级	TH28	0.004	-0.802	-0.856	三级
TH11	-0.082	-0.535	-0.678	三级	TH29	0.066	-0.786	-0.848	三级
TH12	-0.122	-0.553	-0.505	三级	TH30	-0.131	-0.457	-0.632	三级
TH13	-0.461	-0.395	-0.104	一级	TH31	0.003	-0.643	-0.732	三级
TH14	-0.077	-0.341	-0.571	三级	TH32	-0.065	-0.638	-0.630	三级
TH15	-0.232	-0.584	-0.498	三级	TH33	0.014	-0.824	-0.866	三级
TH16	-0.155	-0.463	-0.563	三级	TH34	0.028	-0.810	-0.863	三级
TH17	-0.060	-0.522	-0.714	三级	TH35	-0.450	-0.571	-0.680	三级
TH18	-0.393	-0.544	-0.393	三级	TH36	0.058	-0.704	-0.836	三级

2.6 博弈论赋权

一般来说,不同方法计算的权重值可能会产生冲突,在这种情况下,提出一种基于博弈论的权重分配模型。该方法可用于处理不同权重的协调关系,根据博弈论^[17-18],假如使用 l 种赋权方法,可以得到其组合权重:

$$u = \sum_{k=1}^l \alpha_k \cdot u_k^T, (\alpha_k > 0)。(10)$$

对上式优化,使 u 与 u_k 之间的离差最小化,计算线性组合系数 α_k :

$$\min \left\| \sum_{k=1}^l \alpha_k \cdot u_k^T - u_k \right\|_2 (k = 1, 2, \dots, l)。(11)$$

根据矩阵微分性质,将式(11)转化为一阶导数,计算 $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k)$:

$$\begin{bmatrix} u_1 u_1^T & u_1 u_2^T & \cdots & u_1 u_l^T \\ u_2 u_1^T & u_2 u_2^T & \cdots & u_2 u_l^T \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ u_l u_1^T & u_l u_2^T & \cdots & u_l u_l^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \vdots \\ \alpha_l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_2 u_2^T \\ u_2 u_2^T \\ \vdots \\ u_l u_l^T \end{bmatrix}。(12)$$

将优化组合系数进行归一化处理, $\alpha_k^* = \alpha_k / \sum_{k=1}^l \alpha_k$, 最终权重计算由下式得到:

$$\omega^* = \sum_{k=1}^l \alpha_k^* u_k^T。(13)$$

使用 Matlab 软件计算求得 $\alpha_1^* = 0.646$, $\alpha_2^* = 0.354$, 综合权重值见表 4。

3 矿山地质环境综合评价

3.1 物元参数

根据式(1)与矿山地质环境分级表经过归一化后得出经典域:

$$R_j = \begin{bmatrix} C_1 & \langle 0 \ 0.34 \rangle & \langle 0.34 \ 0.67 \rangle & \langle 0.7 \ 1 \rangle \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ C_{13} & \langle 0 \ 0.34 \rangle & \langle 0.34 \ 0.67 \rangle & \langle 0.7 \ 1 \rangle \end{bmatrix}。(14)$$

其节域:

$$R_p = \begin{bmatrix} N & C_1 & \langle 0 \ 1 \rangle \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ C_{13} & \langle 0 \ 1 \rangle \end{bmatrix}。(15)$$

待评物元:

$$R_i = \begin{bmatrix} N_1 & N_2 & \cdots & N_{107} \\ C_1 & 0.75 & 0.5 & \cdots & 0.25 \\ C_2 & 0.25 & 0.25 & \cdots & 0.25 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ C_{13} & 0.4 & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix}。(16)$$

3.2 关联度计算

根据式(6)、式(7)计算矿山地质环境评价价值分别在 3 个等级的关联函数值。限于篇幅,本文仅列出通化县矿山地质环境关联度计算结果(表 5),通化市矿集区矿山地质环境综合评价结果汇总见表 6。

表 6 通化市矿集区矿山地质环境综合评价结果汇总表

分级	通化县	东昌区	二道江区
I	4 处	0 处	5 处
II	5 处	1 处	3 处
III	27 处	24 处	38 处

3.3 评价结果分析

根据调查报告与模型计算结果分析:

(1)地质环境不良点分布在通化县和二道江

区。其中,通化县多为生产中的金属矿山企业,调查数据表明,矿山曾数次发生小型地面塌陷和泥石流灾害,对植被与土地资源造成了大面积的破坏,而且废水废液和固体废弃物年排放量相对较高。二道江区由于长期的煤矿资源开采,导致发生大面积的地面塌陷和多种地质灾害,水土资源流失严重,附近居民房屋开裂,多户搬迁,矿山开采不仅对生态环境造成了严重的破坏,而且影响人居环境。

(2)一般点多为建材及其他非金属矿山,此类矿山多为露天开采,对土地破坏较大,并且造成不同程度的地形地貌景观破坏,对城市美化建设影响较大。

(3)轻微点的矿山多为单个指标影响较大,或者多个指标影响较小的矿山,此类矿山地质环境恢复治理方法单一或者治理难度较小。

4 结论

本文结合前期工作调查报告、查阅相关文献、专家咨询等,应用可拓理论并建立可拓模型,确定矿山地质环境影响指标和评价等级,对吉林省通化市调查的 107 座矿山做出地质环境评价,得出结论:

(1)主、客观赋权法各有优点,由于不同的方法在矿山地质环境评价中侧重不同,故采用博弈论的方法来平衡主、客观方法的权重,得到优势权重,可以更合理的分配影响因素的比重。

(2)运用可拓学理论,可以灵活设置指标取值范围和评价等级,应用于不同地区的矿山地质环境的评价;还可以解决评价指标中一些定性问题转向量化过程中的模糊评价问题。

(3)对通化市所调查的 107 座矿山地质环境综合评价的结果可以为矿山修复治理工作做出指导。

参考文献:

- [1] 张金朝,石长柏,张波,等. 层次分析法在鄂州金属矿集区矿山地质环境影响分区评价中的应用[J]. 资源环境与工程, 2016, 30(6): 934-937, 958.
- [2] 海俊杰,苏犁,张林,等. 湖南省宁乡县矿山地质环境现状分区评估研究[J]. 中国矿业, 2019, 28(S1): 50-52, 71.
- [3] 朱双燕,范旭光,王莹. 基于综合判断法的矿山地质环境分区评价[J]. 能源与环保, 2019, 41(5): 62-65.
- [4] 汪伟,罗周全,熊立新,等. 基于改进物元可拓模型的采空区稳定性评价[J]. 安全与环境学报, 2015, 15(1): 21-25.
- [5] 贾晗,刘军省,殷显阳,等. 安徽铜陵硫铁矿集中开采区矿山地质环境评价研究[J/OL]. 地学前缘: 1-13[2021-06-23]. <https://doi.org/10.13745/j.esf.sf.2020.10.16>.
- [6] 王念秦,李仁伟. 陕西商南矿山地质环境质量评价[J]. 中国矿业, 2018, 27(12): 83-87.
- [7] 郁文,丁国轩,樊小鹏,等. 基于层次分析-模糊综合模型的矿山地质生态环境评价研究[J]. 三峡生态环境监测, 2021, 6(2): 26-35.
- [8] 郎秋玲,张以晨,张继权,等. 基于组合赋权理论的泥石流孕灾因子分析[J]. 灾害学, 2019, 34(1): 68-72.
- [9] 张茂兰,田淑芳,陶洁,等. 基于改进的物元可拓法的矿山环境评价——以江西省萍乡市为例[J]. 测绘工程, 2020, 29(3): 56-62, 66.
- [10] 李成,孙魁,彭捷,等. 矿山地质环境开发式治理模式研究[J]. 灾害学, 2020, 35(4): 77-84.
- [11] 张以晨,郎秋玲,陈亚南,等. 基于自然灾害风险评价框架的省级地质灾害风险区划方法探讨——以吉林省为例[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2020, 31(6): 104-110.
- [12] 刘蕴琨,巨能攀,刘秀伟,等. 贵州省崩滑灾害影响因子易发区间评价[J]. 灾害学, 2020, 35(3): 201-207.
- [13] 蔡文,杨春燕. 可拓学的基础理论与方法体系[J]. 科学通

- 报, 2013, 58(13): 1190–1199.
- [14] 乔建刚, 程臻. 基于可拓学理论的简支梁桥安全评价模型研究[J]. 安全与环境学报, 2018, 18(6): 2096–2102.
- [15] 杨悦, 陈孝国, 刘纪峰, 等. 山体隧道结构安全模糊可拓评估模型[J]. 数学的实践与认识, 2020, 50(15): 155–163.
- [16] 谢雄刚, 王潞欧, 陈刘瑜, 等. 基于熵权物元可拓的煤层突出危险性评价[J]. 安全与环境学报, 2019, 19(6): 1869–1875.
- [17] 贾凤亭, 周柏合. 露天矿土质破坏程度评价博弈—可拓模型[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版), 2017, 36(2): 137–141.
- [18] 贡力, 路瑞琴, 靳春玲, 等. 基于博弈—改进可拓理论的寒冷地区长距离明渠冬季运行安全评价[J]. 自然灾害学报, 2019, 28(6): 81–92.

Application of Extension Model in Geological Environment Evaluation of Tonghua Mining Area

WU Chenyang¹, ZHANG Yichen^{1,2}, ZHANG Jiquan³, HE Jiasheng¹, DUAN Chenyu⁴,
LIU Huanan¹ and LANG Qiuling¹

- (1. Changchun Institute of Technology, School of Exploration and Surveying Engineering, Changchun 130021, China;
2. Changchun Institute of Technology, School of Jilin Emergency Management, Changchun 130021, China;
3. Northeast Normal University, School of Environment, Changchun 130117, China;
4. Changchun Institute of Technology, School of Water and Environmental Engineering, Changchun 130021, China)

Abstract: Aiming at the problems of mine geological environment in Tonghua City, Jilin Province and the basic situation of the concentrated mining area of mineral resources in Tonghua city was surveyed. Based on the extenics theory, the mining geological environment of Tonghua was evaluated. The 13 indicators were selected in evaluation model, AHP and entropy weight method were used to optimize the distribution of each indicators weight value by game theory, further analysis the main influencing factors and the geological environment of the study area was quantitatively evaluated by extension theory. The evaluation results of 107 mines in Tonghua show that there are 9 areas with poor geological environment, 9 areas with general geological environment and 89 areas with good geological environment, which can provide a basis for the mine environmental management.

Key words: mining geological environment; game theory; extenics; comprehensive evaluation; Tonghua City of Jilin Province

(上接第 206 页)

Investigation and Suggestions on the Situation of Enterprises Along One Belt and One Road Affected by the Epidemic

ZHENG Li^{1,2} and WANG Juanle^{2,3}

- (1. Institute of Disaster Prevention, Sanhe 065201, China; 2. State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 3. Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource Development and Application, Nanjing 210023, China)

Abstract: The pandemic has had a major impact on the global economy. In view of the impact assessment needs of Chinese enterprises going global in One Belt And One Road regions, based on the national questionnaire s Belt And Road with the cooperation enterprises from November 28 to December 03, 2020, the impact of Covid-19 epidemic on the industry and enterprise level, the problems faced by enterprises and policy demands were analyzed. The main conclusions include: the impact of the epidemic on enterprises is uneven, small enterprises are more affected by the negative impact, large enterprises are less affected by the negative impact; Processing and manufacturing industries are negatively affected, while high-tech industries and e-commerce are less negatively affected; The enterprise strategy depends on the current market demand, expect to provide more financing policy support, as well as more industry-specific policy support. The following suggestions are put forward: First, to establish the enterprise in the face of emergency management system; Second, speed up innovation and improve Internet and digital capabilities; Third, improve the trade cooperation mechanism and strengthen the resilience of enterprises; Fourth, actively explore the new mode of processing and manufacturing industry; Fifth, we propose to pay more attention to the import and export market.

Key words: epidemic; COVID-19; Chinese enterprises; questionnaire; One Belt and One Road