

基于 AHP-TOPSIS 评判模型的区域磷矿资源开采优势评价

胡毅夫, 刘龙琼

中南大学资源与安全工程学院, 长沙 410083

摘要 为保护磷矿资源, 优化利用磷矿资源, 以中国、美国、摩洛哥 3 个产磷大国为研究对象, 分别从国家、行业和企业 3 个层面, 选取了磷矿基础储量、矿产平均品位、矿产集中度以及开采成本等 10 个能反应磷矿资源开采优势的指标, 通过综合层次分析法 (AHP) 得到各指标权重向量, 建立了磷矿开采优势指标的综合评判模型, 利用逼近理想解排序法 (TOPSIS) 计算各国磷矿资源开采的优势。计算结果表明, 中国、美国、摩洛哥 3 国基于磷矿开采指标的综合优势度分别为 27.1%, 41.7%, 79.8%, 从而确定摩洛哥磷矿资源开采水平最有优势。该评价方法结果合理、客观和实用, 为各国的各种资源开采及资源保护提供有利的依据。

关键词 磷矿资源; 层次分析法; 逼近理想解排序法; 评判指标

中图分类号 F224

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.13.005

Evaluation of Regional Phosphate Rock Resources Exploitation Advantages Based on the AHP-TOPSIS Evaluation Model

HU Yifu, LIU Longqiong

School of Resources and Safety Engineering, Central South University, Changsha 410083, China

Abstract In order to protect the phosphate rock resources, it is important to optimize their usage. With the phosphorus productions in China, the United States and Morocco as examples, in three aspects including the country, the industry and the enterprise, this paper select ten indices reflecting the phosphate rock resource exploitation levels, including the phosphate rock foundation reserves, the average mineral taste, the mineral concentration and the mining cost, through the complex Analytic Hierarchy Process (AHP) to obtain the index weight vector, so as to establish a phosphate rock mining index comprehensive evaluation model, and using the Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) to calculate the phosphate rock resource exploitation advantages for respective countries. It is shown that the phosphate production indices of China, the United States and Morocco based on the comprehensive dominance analysis are, respectively, 27.1%, 41.7% and 79.8%, thereby, the phosphate rock resource exploitation level of Morocco is the highest. This evaluation method result is reasonable and objective and practical, and can serve as a basis for the exploitation and protection of various resources.

Keywords phosphate rock resources; analytic hierarchy process; technique for order preference by similarity to ideal solution; evaluation index

0 引言

区域资源开采优势表征某区域拥有的资源以及开采这些资源的能力相对于其他区域的优势, 在多个区域都具有这些资源的条件下, 区域资源开采优势表现为资源开采秩或地位序列。对于一个国家的发展, 国家资源开采优势对于制定国家发展规划十分重要。合理、科学、全面对各种资源开采的优势进行评价, 充分认识本国资源开采在全球及邻近国家的

优势及不足, 积极开发、扬长避短、合理利用, 无疑会促进本国资源经济的发展, 所以科学地评价资源开采优势是国家发展规划的一项必不可少的战略工作。近年来, 许多专家以及学者对区域以及国家资源开采优势的评价方法做了很多研究, 而定性描述居多^[1]。在定量上比较广泛运用的有自然资源满意度、自然资源综合优势度、人均自然资源量综合指数、自然资源组合指数等, 这些指数在资源定量方面进行了很好的

收稿日期: 2013-01-11; 修回日期: 2013-02-28

作者简介: 胡毅夫, 教授, 研究方向为矿山设计、岩土工程加固, 电子邮箱: huyifu6@163.com

评价,但仍存在一些不足^[4]。

资源开采优势评价方法的选择是涉及多层次、多目标、多因素、多指标等诸多因素的集合结果^[3],所选择的方法是否优越涉及到很多方面,是由多项指标决定的,必须对多种层次和指标进行综合的分析,才能得到较为符合客观的结果。因此采用传统的资源开采优势的评价方法已不能直观准确地评判。近年来,不确定性分析方法在资源优势评价中得到了较为广泛的应用,目前国内外研究较多的有模糊数学^[5]、突变级数^[6,7]、层次分析法^[8,9]、灰色优化理论、BP神经网络法^[10]等,这些方法虽然在资源开采优势评价中取得了一定的效果,但仍存在某些不足^[11]。

本文在前人研究基础上,从国家、行业、企业3个层面,对磷矿资源数量、质量、开发条件等方面着手,将层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 和逼近理想解的排序法^[12] (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution, TOPSIS)相结合应用于各国矿产资源开采优势比较,运用层次分析法确定各评判指标的权重,再结合逼近理想解的排序法构建 AHP-TOPSIS 综合评判模型,最后确定各国家磷矿资源开采的总体优势。

1 层次分析法确定权重向量

如何确定指标的权重对各指标赋权的合理与否直接关系到分析结果的公平性与合理性。确定指标权重的方法有主观赋权法和客观赋权法。主观赋权法包括循环打分法、专家调查法、层次分析法和二次系数法。本文中采用层次分析法确定各指标的权重,通过判断矩阵的一致性检验,降低了传统方法中确定权重系数的主观性。建立递阶层次综合评判指标结构体系,根据层次分析法对决策中各影响因素进行权重分配。

1.1 构造比较标度

依据比较标度和判断原理,结合模糊数学理论,可得出如下比较标准^[13],见表1。

表1 比较标准意义

Table 1 Meaning of comparison standard values

标准值	定义	说明
1	同样重要	因素 X_i 与 X_j 的重要性相同
3	稍微重要	因素 X_i 的重要性稍微高于 X_j
5	明显重要	因素 X_i 的重要性明显高于 X_j
7	强烈重要	因素 X_i 的重要性强烈高于 X_j
9	绝对重要	因素 X_i 的重要性绝对高于 X_j

注: ① X_i 和 X_j 代表两个比较量; ② 2,4,6,8 分别为标准值 1 和 3,3 和 5,5 和 7,7 和 9 的中值(表中没有列出); ③ 若 X_i 与 X_j 比较得 W_{ij} , 则 X_j 与 X_i 比较得 $1/W_{ij}$ 。

Notes: ① X_i and X_j represent two comparisons; ② 2, 4, 6 and 8 respectively show the median of 1 and 3, 3 and 5, 5 and 7, 7 and 9; ③ if X_i and X_j compared to obtain W_{ij} , then X_j and X_i are compared to obtain $1/W_{ij}$.

1.2 比较判断矩阵

按层次结构模型,每一层的元素都以相邻的上一层次各元素为标准,按上述比较标度方法(表1)两两比较构造判断

矩阵 D ,按定义则有

$$D = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ X_{m1} & X_{m2} & \dots & X_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{X_1}{X_1} & \frac{X_1}{X_2} & \dots & \frac{X_1}{X_n} \\ \frac{X_2}{X_1} & \frac{X_2}{X_2} & \dots & \frac{X_2}{X_n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \frac{X_m}{X_1} & \frac{X_m}{X_2} & \dots & \frac{X_m}{X_n} \end{bmatrix} \quad (1)$$

对以上判断矩阵,解特征根 $DW = \lambda_{\max} W$,得到的 W 经正规化后作为因素的排序权重。可以证明,对于正定互反矩阵 D ,其最大的特征根 λ_{\max} 存在且唯一, W 可以由正分量组成, W 是唯一的,且相差 1 个常数倍数。实际上,对矩阵 D 很难求出其精确的特征值和特征向量 W ,只能求得它们的近似值,其近似值采用方根法进行计算。

(1) 将 D 的元素按行相乘,得到各行元素的乘积 M_i

$$M_i = \prod_{j=1}^n W_{ij} \quad (2)$$

(2) 计算 M_i 的开 n 次方

$$\bar{W}_i = \sqrt[n]{M_i} \quad (3)$$

(3) 对向量 W 进行正规化

$$W_i = \frac{\bar{W}_i}{\sum_{j=1}^n \bar{W}_j} \quad (4)$$

(4) 得判断矩阵的最大特征根

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(DW)_i}{nW_i} \quad (5)$$

以上各式中, $i=1, 2, \dots, n$ 。

1.3 判断矩阵一致性检验

判断矩阵是分析者凭借个人的知识以及经验建立起来的,难免会存在误差。为使判断结果能更好地趋近于实际状况,必须进行一致性检验。判断矩阵的一致性检验公式为 $C_R = C_I/R_I$ 。其中, C_I 为一致性检验指标, $C_I = (\lambda_{\max} - n)/(n-1)$; n 为判断矩阵的阶数; R_I 为平均随机一致性指标^[13]。

当 $C_R < 0.1$ 时,认为 D 的一致性是可以接受的;如果 $C_R > 0.1$,则需要重新调整判断矩阵,直到满足一致性检验。

1.4 计算权重向量

当判断矩阵 D 满足一致性检验的条件,就可求得各层因素的权重向量。

2 AHP-TOPSIS 综合评判模型的建立

逼近理想解的排序法基本原理是通过检测评价对象与最优解、最劣解的距离来进行排序,若评价对象最靠近最优解同时又最远离最劣解,则为最好;否则为最差。其中最优解的各指标值都达到各评价指标的最优值,最劣解的各指标值都达到各评价指标的最差值。所谓理想解是一设想的最优的解,它的各个属性值都达到各备选方案中的最好值;而负理想解是一设想的最劣的解,它的各个属性值都达到各备选方案中的最坏值。方案排序的规则是把各备选方案与理想解和负理想解做比较,若其中有一个方案最接近理想解,而同时又远离负

理想解,则该方案是备选方案中最好的方案。

2.1 建立初始评判矩阵

设有 m 个方案组成的方案集 $A=\{A_1, A_2, \dots, A_m\}$, 每个方案的评判指标有 n 个组成, 记指标集 $X=\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$, 相应评判指标记为 $X_{ij}(i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n)$, 则 X_{ij} 表示第 i 个方案第 j 个评判指标。建立初始评判矩阵 A 。

2.2 建立标准化决策矩阵

考虑到评判对象中不同的评判指标具有不同的量纲和量纲单位, 为了根除因此产生的指标的不可公度性, 对评判指标值进行量纲处理。对决策矩阵 $B=(b_{ij})_{m \times n}$ 的元素进行标准化计算。

(1) 对于希望越大越好的指标

$$b_{ijmax} = \frac{X_{ij} - \min_j(X_{ij})}{\max_j(X_{ij}) - \min_j(X_{ij})} \quad (6)$$

(2) 对于希望越小越好的指标

$$b_{ijmin} = \frac{\max_j(X_{ij}) - X_{ij}}{\max_j(X_{ij}) - \min_j(X_{ij})} \quad (7)$$

2.3 建立加权标准化决策矩阵

将矩阵 B 的每列与层次分析法确定的各指标权重 w_n 相乘即可得到加权标准化决策矩阵 C , 其表达式为

$$C=(c_{ij})_{m \times n} = \begin{bmatrix} w_1 b_{11} & w_2 b_{12} & \dots & w_n b_{1n} \\ w_1 b_{21} & w_2 b_{22} & \dots & w_n b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ w_1 b_{m1} & w_2 b_{m2} & \dots & w_n b_{mn} \end{bmatrix} \quad (8)$$

2.4 评判对象的贴近度

(1) 确定评判指标理想解 c^+ 和 c^-

$$\begin{cases} c^+ = \{(\max_i c_{ij} | j \in J_1), (\min_i c_{ij} | j \in J_2)\} \\ c^- = \{(\min_i c_{ij} | j \in J_1), (\max_i c_{ij} | j \in J_2)\} \end{cases} \quad (9)$$

式中, c^+ 和 c^- 分别为正理想解和负理想解; J_1 和 J_2 分别为效益型指标的集和成本型指标的集。

(2) 计算评判对象到理想解的距离

$$\begin{cases} d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (c_{ij} - c_j^+)^2} \\ d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (c_{ij} - c_j^-)^2} \end{cases} \quad (10)$$

式中, d_i^+ 和 d_i^- 分别为评判对象与正理想解和负理想解的距离;

c_j^+ 和 c_j^- 分别为 c^+ 和 c^- 中相对应的元素。

(3) 计算评判对象与正理想解的接近度

$$E_i^+ = d_i^- / (d_i^+ + d_i^-) \quad 0 \leq E_i^+ \leq 1 \quad (11)$$

式中, 接近度 E_i^+ 反映的是评判对象靠近正理想解远离负理想解的程度。当评判对象为负理想解时, $E_i^+=0$; 当评判对象为正理想解时, $E_i^+=1$ 。一般评判对象的接近度在 $0 \sim 1$ 之间, 故只考虑评判对象靠近正理想解的接近度, 通过接近度值降序排列, 可以对评判对象进行选择、评判。

(4) 评判对象综合评判

$$F=W \times E \quad (12)$$

式中, E 为由各评判对象与正理想解的接近度构成的评判矩阵; W 为层次分析法计算的各国磷矿开采优势的权重; F 为评判结果向量。

3 中、美、摩洛哥 3 国磷矿资源开采优势实例评价

3.1 磷矿资源开采优势综合评判指标体系

磷矿资源开采优势的综合评判是一个系统工程, 建立评判指标体系是进行评判的基础性工作, 其科学性和合理性直接影响着评估结果的准确性, 本实例分别从国家、行业以及企业 3 个层面对磷矿开采的综合优越度进行比较分析。在评判指标体系中, 既有定性的参数, 又有定量的参数, 各因素之间相互影响相互制约。评判指标选择的原则是以尽量少的指标, 反映最主要最全面的信息^[14]。利用层次分析法的基本原理, 建立磷矿资源开采优势的综合评判 O 指标体系(即目标层), 其包括 3 个准则层: ① 国家级指标 P_1 , 可以从基础储量 X_1 , P_2O_5 大于 30% 储量 X_2 , 矿产平均品位 X_3 等角度分析; ② 行业级指标 P_2 , 包括开采成本 X_4 、矿产集中度 X_5 、平均回收率 X_6 、产能利用率 X_7 、出口运输半径 X_8 等分析; ③ 企业级指标 P_3 , 可以根据企业数量 X_9 、人均生产量 X_{10} 进行分析。需表明的是, 分析过程中, 应根据实际情况对这些综合评判指标进行必要的增减。

根据磷矿资源量、矿产平均品位和开采成本、平均回收率等年度指标值^[15], 建立中国、美国和摩洛哥 3 国的磷矿资源开采综合评判指标体系, 见表 2。

本文中储量都是以 30% 品位的 P_2O_5 为计量; 矿产集中度是国内矿产储量最大的地区占国内矿产储量的比例; 平均品位为全国平均品位; 出口半径表示到最近的港口的距离。

表 2 3 国磷矿资源开采的综合评判指标体系

Table 2 Comprehensive synthetic assessment index system of three phosphate rock resources countries

国家	国家级指标 P_1				行业级指标 P_2				企业级指标 P_3	
	$X_1/10^8t$	$X_2/10^8t$	$X_3/\%$	$X_4/(USD \cdot t^{-1})$	$X_5/\%$	$X_6/\%$	$X_7/\%$	X_8/km	X_9	$X_{10}/(t \cdot a^{-1})$
中国	130	11.1	23	22.2	21	82	50	900	134	621
美国	40	10	30	15.6	80	98	83	300	11	1790
摩洛哥	210	57	33	27.5	100	95	64	98	1	800

3.2 磷矿资源开采指标权重确定

根据层次分析法的基本原理,构造目标层对应于准则层 $O-P$ 的判断矩阵,见表 3。

表 3 $O-P$ 判断矩阵

Table 3 Judgement matrix of $O-P$ membership

$O-P$	P_1	P_2	P_3	权重
P_1	1	2	3	0.474
P_2	1/2	1	2	0.376
P_3	1/3	1/2	1	0.150

根据各评判指标的权重,可得特征值 $\lambda_{\max 0}=3.01, C_{R0}=0.005, R_{I0}=0.58, C_{R0}=0.009 < 0.1$,进而可知该判断矩阵满足一致性检验的要求,则权重矩阵 $W=[0.540 \ 0.297 \ 0.163]$ 可接受。

同理,可得 $P_1-P_{1j}, P_2-P_{2j}, P_3-P_{3j}$ 各二级评判指标的权重系数,如下:

$$P_1-P_{1j}: w_1=[0.2 \ 0.4 \ 0.4], \lambda_{\max 1}=3, C_{R1}=0, R_{I1}=0.58, C_{R1}=0 < 0.1;$$

$$P_2-P_{2j}: w_2=[0.353 \ 0.307 \ 0.127 \ 0.127 \ 0.086], \lambda_{\max 2}=5.231, C_{R2}=0.058, R_{I2}=1.12, C_{R2}=0.052 < 0.1;$$

$$P_3-P_{3j}: w_3=[0.5 \ 0.5], \lambda_{\max 3}=2, C_{R3}=0, R_{I3}=0.58, C_{R3}=0 < 0.1;$$

则可得各评判指标层次总排序,见表 4。

表 4 层次总排序权值表

Table 4 Final administrative levels weights

w_j	W_1	W_2	W_3	权重排序
w_1	0.2			0.067
w_2	0.4			0.133
w_3	0.4			0.133
w_4		0.353		0.118
w_5		0.307		0.102
w_6		0.127		0.042
w_7		0.127		0.042
w_8		0.086		0.029
w_9			0.5	0.167
w_{10}			0.5	0.167

3.3 磷矿资源开采指标综合评判

3.3.1 国家级指标评判

(1) 构建国家级指标初始评判矩阵 A :

$$A = \begin{bmatrix} 130 & 11 & 23 \\ 40 & 10 & 30 \\ 210 & 57 & 33 \end{bmatrix} \quad (13)$$

(2) 根据式(6)~式(8)计算加权标准化决策矩阵 C :

$$C = \begin{bmatrix} 0.035 & 0.003 & 0 \\ 0 & 0 & 0.093 \\ 0.067 & 0.133 & 0.133 \end{bmatrix} \quad (14)$$

(3) 根据式(9)~式(11)计算各方案基于经济指标的接近度。

在国家级指标中,磷矿基础储量、 P_2O_5 大于 30%储量、矿产平均品位属于效益型指标,则正理想解和负理想解分别为

$$\begin{cases} c^+ = (0.067, 0.133, 0.133) \\ c^- = (0, 0, 0) \end{cases} \quad (15)$$

各方案与正理想解和负理想解的距离为

$$\begin{cases} d_1^+ = 0.189 & d_2^+ = 0 & d_3^+ = 0 \\ d_1^- = 0.035 & d_2^- = 0.199 & d_3^- = 0.199 \end{cases}$$

各方案与正理想解的接近度为

$$\begin{cases} E_{11}^+ = 0.156 \\ E_{12}^+ = 0.377 \\ E_{13}^+ = 1.000 \end{cases}$$

由判断准则可知,在国家级指标层面上,摩洛哥磷矿资源开采最有优势,中国磷矿资源开采优势不足。

3.3.2 行业级指标评判

(1) 类似于国家级指标评判过程,同理可得加权标准化决策矩阵:

$$C = \begin{bmatrix} 0.053 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.118 & 0.072 & 0.042 & 0.042 & 0.022 \\ 0 & 0.102 & 0.034 & 0.018 & 0.029 \end{bmatrix} \quad (16)$$

(2) 在行业级指标中,开采成本和出口运输半径属于成本型指标,矿产集中度、平均回采率和产能利用率属于效益型指标,则正理想解和负理想解分别为

$$\begin{cases} c^+ = (0, 0.102, 0.042, 0.042, 0) \\ c^- = (0.118, 0, 0, 0, 0.029) \end{cases}$$

各方案与正理想解和负理想解的距离为

$$\begin{cases} d_1^+ = 0.129 & d_2^+ = 0.124 & d_3^+ = 0.038 \\ d_1^- = 0.071 & d_2^- = 0.094 & d_3^- = 0.161 \end{cases}$$

各方案与正理想解的接近度为

$$\begin{cases} E_{11}^+ = 0.355 \\ E_{12}^+ = 0.431 \\ E_{13}^+ = 0.809 \end{cases}$$

因此,在行业级指标层面上,摩洛哥磷矿资源开采最有优势,中国排名第三。

3.3.3 企业级指标评判

(1) 类似于以上各指标评判过程,可得加权标准化决策矩阵:

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0.154 & 0.167 \\ 0.167 & 0.026 \end{bmatrix} \quad (17)$$

(2) 在企业级指标中,企业数量属于成本型指标,人均生产磷矿量属于效益型指标,则正理想解和负理想解分别为

$$\begin{cases} c^+ = (0, 0.167) \\ c^- = (0.167, 0) \end{cases}$$

各方案与正理想解和负理想解的距离为

$$\begin{cases} d_1^+ = 0.167 & d_2^+ = 0.154 & d_3^+ = 0.219 \\ d_1^- = 0.167 & d_2^- = 0.168 & d_3^- = 0.026 \end{cases}$$

各方案与正理想解的接近度为

$$\begin{cases} E_{11}^+ = 0.500 \\ E_{12}^+ = 0.522 \\ E_{13}^+ = 0.106 \end{cases}$$

因此,在企业级指标层面上,美国磷矿资源开采最有优势,中国次之。

4 磷矿资源开采优势综合评判

运用层次分析法确定方案准则层各评判指标的权重为

$$W = [0.540 \quad 0.297 \quad 0.163] \quad (18)$$

由各指标评判接近度构造的评判矩阵

$$E = \begin{bmatrix} 0.156 & 0.377 & 1.000 \\ 0.355 & 0.431 & 0.809 \\ 0.500 & 0.522 & 0.106 \end{bmatrix} \quad (19)$$

根据式(12)可得:

$$F = W \times E = [0.271 \quad 0.417 \quad 0.798] \quad (20)$$

综上可得中国、美国和摩洛哥3国磷矿开采的综合优越度:中国,27.1%;美国,41.7%;摩洛哥,79.8%,摩洛哥磷矿资源的开采最有优势。

计算结果表明,用AHP-TOPSIS综合评判模型所确定的评判结果与自然资源综合优势度、人均自然资源量综合指数、自然资源组合指数等指标基本相符,说明将AHP-TOPSIS综合评判模型应用于采矿方法选择是可行和有效的。

5 结论

(1) 根据层次分析法的基本原理建立磷矿资源开采优势综合评判指标体系,从国家、行业和企业3个层面确定了影响磷矿资源开采优势的10个评判指标,计算出各层次评判指标的权重,通过判断矩阵一致性检验确定了权重向量的合理性。综合层次分析法和逼近理想解的排序法,计算得出3国磷矿开采的综合优越度为:中国,27.1%;美国,41.7%;摩洛哥,79.8%,摩洛哥的磷矿资源开采最有优势。

(2) 将层次分析法与TOPSIS技术相综合的方法,从根本上对经典的TOPSIS决策做出了改进,避免了其因规范化矩阵不准确而对各指标权重值影响的连锁效应,该综合评判模型的建立,避免了资源开采优势比较中因指标或因素过多而难于分配权重的弊端,也避免了单指标决策的片面性和主观认识差异所引起的评价失误,能够作出更为科学、全面、准确、有理论依据的评价,为各国资源合理开采以及资源保护提供有利的依据。

(3) 从评价结果看,中国磷矿资源开采水平落后于美国和摩洛哥。中国磷矿基础储量虽然位居世界第二,但由于磷矿资源品位偏低,只有23%,所以在国家级指标层面来说,中国的磷矿资源优势不明显。磷矿品位相对较低间接导致了开采难度较大,开采成本的增加,同时由于矿产集中度、开采回收率以及产能利用率都偏低,造成中国磷矿资源优势劣于摩洛哥和美国。同时磷矿开采企业数量过多,人均开采量低,导致磷矿的大矿小开,一矿多开的现象时有发生,使中国磷矿开采优势在企业指标层面上也低于其他两国。针对这种资源

形势,中国应加强磷矿资源的合理开发利用,避免采富弃贫等浪费资源现象的发生,同时要在技术层面上提升磷矿的采选冶技术,做好大中小磷矿企业的整合工作,努力提升中国磷矿资源的开采水平,发挥中国磷矿资源总储量的优势。

参考文献 (References)

- [1] 黄胜利. 区域资源优势的定量评价[J]. 资源科学, 2001, 23(3): 85-92.
Huang Shengli. Resources Science, 2001, 23(3): 85-92.
- [2] 陈丽晖, 刘洪江. 县域自然资源评价体系及量化方法[J]. 云南地理环境研究, 2002, 14(1): 11-16.
Chen Lihui, Liu Hongjiang. Yunnan Geographic Environment Research, 2002, 14(1): 11-16.
- [3] 崔万安, 覃家君, 赵廷周. 区域自然资源可持续发展的国际合作策略研究[J]. 科技进步与对策, 2003, 20(4): 34-36.
Cui Wanan, Tan Jiajun, Zhao Tingzhou. Science and Technology Progress and Policy, 2003, 20(4): 34-36.
- [4] 张卫峰, 马文奇, 张福锁, 等. 中国、美国、摩洛哥磷矿资源优势及开发战略比较分析[J]. 自然资源学报, 2005, 20(3): 378-386.
Zhang Weifeng, Ma Wenqi, Zhang Fusuo, et al. Journal of National Resources, 2005, 20(3): 378-386.
- [5] 王哲, 易发成, 陈廷方. 基于模糊综合评判的绵阳市地质灾害易发性评价[J]. 科技导报, 2012, 30(31): 53-60.
Wang Zhe, Yi Facheng, Chen Tingfang. Science & Technology Review, 2012, 30(31): 53-60.
- [6] 陈红江, 李夕兵, 高科. 突变级数法在采空区塌陷预测中的应用[J]. 中国安全科学学报, 2008, 8(6): 108-111.
Chen Hongjiang, Li Xibing, Gao Ke. Journal of Safety and Environment, 2008, 8(6): 108-111.
- [7] 梁桂兰, 徐卫亚, 何育智. 突变级数法在边坡稳定综合评判中的应用[J]. 岩石力学, 2008, 29(7): 1895-1899.
Liang Guilun, Xu Weiya, He Yuzhi. Rock and Soil Mechanics, 2008, 29(7): 1895-1899.
- [8] 聂兴信, 李宗利, 温申文, 等. 基于多目标模糊决策的二里河铅锌矿采矿方法优选[J]. 金属矿山, 2010, 2(2): 22-25.
Nie Xingxin, Li Zongli, Wen Shenwen, et al. Metal Mine, 2010(2): 22-25.
- [9] 康威, 董田沼. 基于AHP的火控系统故障诊断策略研究[J]. 科技导报, 2012, 30(12): 53-56.
Kang Wei, Dong Tianzhao. Science & Technology Review, 2012, 30(12): 53-56.
- [10] Wang W Y, Leu Y G, Lea T T. Robust adaptive fuzzy-neural control of nonlinear dynamical systems using generalized projection update law and variable structure controller [J]. IEEE Trans Actions on Systems Man and Cybernetics, Part B: Cybernetics, 2001, 30(1): 140-147.
- [11] 于德海, 彭建兵. 地下工程围岩分类的神经网络可视化评价[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2005, 16(4): 116-119.
Yu Dehai, Peng Jianbing. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2005, 16(4): 116-119.
- [12] Lin M, Wang C, Chen M, et al. Using AHP and TOPSIS approaches in customer-driven product design process[J]. Computers in Industry, 2008, 59: 17-31.
- [13] 黄贯虹, 方刚. 系统工程方法与应用[M]. 广州: 暨南大学出版社, 2005.
Huang Guanrong, Fang Gang. System engineering method and application[M]. Guangzhou: Jinan University Press, 2005.
- [14] 王新民, 赵彬, 张钦礼. 基于层次分析和模糊数学的采矿方法选择[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2008, 39(5): 875-880.
Wang Xinmin, Zhao Bin, Zhang Qinli. Journal of Central South University: Science and Technology Edition, 2008, 39(5): 875-880.
- [15] 张卫峰. 中国磷矿资源开发利用及其对磷肥产业竞争力的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
Zhang Weifeng. The status and utilization of phosphate rock of China and its effects on competitiveness of Chinese phosphorus industry[D]. Beijing: China Agricultural University, 2005. (责任编辑 赵业玲)