

物元可拓模型在铁尾矿综合利用效果评价中的应用

薛建华¹, 李慧民¹, 卢秋萍¹, 马 昕²

(1. 西安建筑科技大学土木工程学院, 陕西 西安, 710055; 2. 长安大学建筑工程学院, 陕西 西安, 710061)

摘 要:铁尾矿不合理的处理方式造成了资源的巨大浪费及对环境的污染,对铁尾矿进行综合利用是目前急需开展的工作,针对铁尾矿综合利用的效果评价特征,建立了铁尾矿综合利用效果评价指标体系,提出一种基于可拓物元模型的铁尾矿综合利用效果评价方法.最后,通过实例对该模型进行了验证分析,结果表明,该方法在铁尾矿综合利用效果评价中的实用性.

关键词:物元可拓模型;铁尾矿;综合利用;效果评价

中图分类号:TU471.99

文献标志码:A

文章编号:1006-7930(2013)06-0829-05

矿产资源是人类发展和生存极为重要的物质基础之一,其主要特点是不可再生性和短期内不可替代性.随着我国工业化的迅速发展,矿产资源的需求将与日俱增,但在矿产资源开发生产过程中,资源损失和浪费非常严重.铁尾矿是选矿厂在特定经济技术条件下,将铁矿石磨细、选取“有用组分”后所排放的废弃物,其中含有一定数量的有用金属和矿物,具有粒度细、数量大、成本低、可利用性差的特点^[1-5].据统计,我国90%的能源和80%的原材料来自矿产资源;同时因受选矿技术水平、生产设备的制约,我国矿业生产的尾矿已达到100亿t以上,并呈逐年增加的趋势^[1].

铁尾矿一般采用堆存处理,不仅占用大量土地,而且其排放是造成环境污染的重要原因,也是资源损失常见的途径.同时,随着矿石资源的大量开采利用,矿石资源面临日益短缺、甚至枯竭的局面,因此铁尾矿作为二次资源再利用已被世界人民关注和重视.目前我国尾矿的综合利用率仅为7%^[2],为此从我国尾矿资源的实际出发,大力开展尾矿资源综合利用,实现资源开发与节约并举,提高资源利用效率,有着十分重要的经济意义和社会意义.

铁尾矿作为二次资源再利用是变废为宝的有效途径,对改善生态环境有重大意义.尾矿综合利用工艺已经在国外推广,并取得了良好的效果.目前我国铁尾矿的综合利用方式主要集中在尾矿再选、回收有价元素、生产建筑材料、土壤改良和矿区复垦等^[5].其中,利用铁尾矿制作建筑材料是一条很好的途径,其方向有用作铺路材料、黄沙替代品、生产墙体材料、生产水泥以及生产装饰材料等^[4].这样不仅可以有效地减少铁尾矿的堆存问题,改善矿区环境,而且为建材行业提供了一种新原料,一定程度上实现了节能减排,对我国矿业的可持续发展的实现意义深远.

1 评价指标体系的建立

按照以上的研究分析,铁尾矿的综合利用效果评价的主要影响因素可归纳为综合利用技术的推广、经济品位和环境效益三个方面.因而,在遵循科学性、可比性和可行性原则的基础上,构建铁尾矿综合利用效果评价的指标体系.本文采用的评价指标如表1所示.

收稿日期:2012-09-24 修改稿日期:2013-11-25

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51178386)

作者简介:薛建华(1968-),山西万荣人,博士研究生,主要从事土木工程造价与管理方面的研究.

2 铁尾矿综合利用效果评价的物元模型

2.1 物元定义

物元是指事物的名称、特征和关于特征的量值组成的有序三元组. 给定事物的名称 N , 关于特征 c 的量值为 V , 则以有序三元组 $R = (N, c, V)$, 作为描述事物的基本元, 简称物元^[6]. 一个事物有多个特征, 若事物 N 以 n 个特征 c_1, c_2, \dots, c_n , 和相应的量值 V_1, V_2, \dots, V_n 来描述, 则可以表示为:

$$R = (N, c, V) = \begin{bmatrix} N & c_1 & V_1 \\ & c_2 & V_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & V_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

2.2 经典域、节域和待评物元

假定铁尾矿综合利用效果评价的因素指标为 c_1, c_2, \dots, c_m , 以这部分指标为基础, 将各个指标的效果评价程度定量地分 n 个等级, 则节域物元矩阵为:

$$R_j = \begin{bmatrix} N_j & c_1 & V_{j1} \\ & c_2 & V_{j2} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_m & V_{jm} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_j & c_1 & \langle a_{j1}, b_{j1} \rangle \\ & c_2 & \langle a_{j2}, b_{j2} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & c_m & \langle a_{jm}, b_{jm} \rangle \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中, R_j 表示铁尾矿综合利用效果评价等级为第 j 级时的物元模型, N_j 为划分的第 j 个评判类别; C_k 为第 k 个评判指标; $V_{jk} = \langle a_{jk}, b_{jk} \rangle$ 分别为 N_j 关于 C_k 规定的取值范围, 即各评价指标关于不同类别所对应的数据范围形成的物元模型, 称为经典域物元矩阵. 其中, R_p 为物元模型的节域, N_p 表示全体评价等级, $V_{pk} = \langle a_{pk}, b_{pk} \rangle$ 表示 N_p 中评价指标的取值范围.

$$R_p = \begin{bmatrix} N_p & c_1 & V_{p1} \\ & c_2 & V_{p2} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_m & V_{pm} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_p & c_1 & \langle a_{p1}, b_{p1} \rangle \\ & c_2 & \langle a_{p2}, b_{p2} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & c_m & \langle a_{pm}, b_{pm} \rangle \end{bmatrix} \quad (3)$$

对待评事物 P , 把检测得到的数据或结果用物元表示

$$R = \begin{bmatrix} N_1 & c_1 & V_1 \\ & c_2 & V_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & c_m & V_{pm} \end{bmatrix} \quad (4)$$

即对待评事物检测所得的具体数据, 称为事物 P 的待评物元.

3 基于可拓物元模型的铁尾矿综合利用效果评价

3.1 效果评价指标的量化

本文将各个指标的评价等级划分为优、良、中、差四个等级, 也就是 $\{\text{优、良、中、差}\} = \{\text{等级一、等级二、等级三、等级四}\} = \{R_1, R_2, R_3, R_4\}$, 把这四个等级作为量化的标准, 且设铁尾矿综合利用效果评价指标量化的结果为模糊值 \tilde{V}_i , 综合专家组的意见, 确定其取值范围为 $\tilde{V}_i \in (0, H]$, 其中当 \tilde{V}_i 处于差时, $\tilde{V}_i \in (0, h_1]$; 当 \tilde{V}_i 处于中时, $\tilde{V}_i \in (h_1, h_2]$; 当 \tilde{V}_i 处于良时, $\tilde{V}_i \in (h_2, h_3]$; 当 \tilde{V}_i 处于优时, $\tilde{V}_i \in (h_3, H]$.

铁尾矿综合利用效果评价指标对应的评价值由下述方法确定由熟悉该领域的 g 位专家按照以上设

表1 铁尾矿综合利用效果评价指标

Tab. 1 Effectiveness evaluation index of comprehensive utilization of iron ore tailings

Criterion Layer	Index Level
Technology Promotion	Technical personnel strength
	Resource utilization rate
	Technology complexity
	Quality performance of New product
Economic Grade	Degree of market demand
	The cost of Comprehensive utilization
	Earnings of Comprehensive utilization
Environmental Benefit	Land saving rate
	The effect on the environment
	Safety hazard degree

定的定量化评价标准分别对铁尾矿综合利用效果评价的指标进行评分。

3.2 效果评价指标关联度的计算

本文中铁尾矿综合利用效果评价指标的关联度计算模型为^[7]:

$$K_j(V_k) = \begin{cases} \frac{\rho(V_k, V_{jk})}{\rho(V_k, V_{pk}) - \rho(V_k, V_{jk})}, \rho(V_k, V_{pk}) - \rho(V_k, V_{jk}) \neq 0 \\ -\rho(V_k, V_{jk}) - 1, \rho(V_k, V_{pk}) - \rho(V_k, V_{jk}) = 0 \end{cases} \quad (5)$$

其中, $K_j(V_k)$ 表示待评物元中的第 k 个评价指标 c_k 关于等级 j 评价效果的关联度, $\rho(V_k, V_{jk})$, $\rho(V_k, V_{pk})$ 分别为点 V_k 与区间 V_{jk}, V_{pk} 的接近度, 则

$$\begin{aligned} \rho(V_k, V_{jk}) &= \left| V_k - \frac{a_{jk} + b_{jk}}{2} \right| - \frac{1}{2}(b_{jk} - a_{jk}), \\ \rho(V_k, V_{pk}) &= \left| V_k - \frac{a_{pk} + b_{pk}}{2} \right| - \frac{1}{2}(b_{pk} - a_{pk}) \end{aligned} \quad (6)$$

3.3 确定各评价因素指标的权重

由于铁尾矿综合利用效果评价指标体系中的每个指标的影响程度都不一样, 因而它们的重要程度都是不一样, 也就是各个指标的权重不同. 本文采用相对简单的关联函数进行权重确定^[7].

$$r_{ij}(v_k, V_{jk}) = \begin{cases} \frac{2(v_k - a_{jk})}{(b_{jk} - a_{jk})}, v_k \leq \frac{a_{jk} + b_{jk}}{2} \\ \frac{2(b_{jk} - v_k)}{(b_{jk} - a_{jk})}, v_k \geq \frac{a_{jk} + b_{jk}}{2} \end{cases}, j = 1, 2, \dots, n; i = 1, 2, \dots, m \quad (7)$$

且 $v_k \in v_{pk}$, 则 $r_{ij \max} = \max_j \{r_{ij}(v_k, V_{jk})\}$ (8)

如果指标 i 的数据落入的类别越大, 该指标应赋以较大的权重, 则取

$$r_i = \begin{cases} j_{\max} \times (1 + r_i(v_k, V_{jk})), r_{ij}(v_k, V_{jk}) \geq 0.5 \\ j_{\max} \times 0.5, r_{ij}(v_k, V_{jk}) < 0.5 \end{cases} \quad (9)$$

否则, 如果指标 i 的数据落入的类别越大, 该指标应赋以较小的权重, 则取

$$r_i = \begin{cases} (n - j_{\max} + 1) \times (1 + r_{ij}(v_k, V_{jk})), r_{ij}(v_k, V_{jk}) \geq 0.5 \\ (n - j_{\max} + 1) \times 0.5, r_{ij}(v_k, V_{jk}) < 0.5 \end{cases} \quad (10)$$

于是, 该指标 i 的权重为

$$w_i = r_i / \sum_{i=1}^m r_i \quad (11)$$

3.4 效果评价等级确定

根据以上所确定的各评价因素的权重 w_i , 则待评物元与等级 j 评价效果的关联度计算模型为

$$k_j(R) = \sum_{i=1}^m w_i k_{ij}(V_k) \quad (12)$$

关联度 $k_j(R)$ 的数值表示评价项目符合某等级范围的隶属程度. 若某评价项目 R_{j_0} 的关联度 $k_{j_0} = \max_j k_j(R)$, 则该待评价项目的等级为 j_0 级. 令 j^* 为 R 的级别变量特征值,

$$\bar{k}_j(R) = \frac{k_j(R) - \min_j k_j(R)}{\max_j k_j(R) - \min_j k_j(R)} \quad (13)$$

$$j^* = \frac{\sum_{j=1}^n j \times \bar{k}_j(R)}{\sum_{j=1}^n \bar{k}_j(R)} \quad (14)$$

4 实例研究

本文以陕西省铁尾矿在建筑行业中的再生利用效果评价为例, 对可拓物元模型的应用进行验证. 结合实地调研资料, 利用本文构建的铁尾矿综合利用效果评价指标体系对该地的铁尾矿综合利用效果进行评价, 得出相应的评价结果, 并进行分析.

步骤1 邀请相关评估专家根据给定的量化标准对各个评价指标进行评分,然后根据熵权法确定评价指标的相应权重. 本文前面分析的五个评价等级作为量化的标准,且设铁尾矿综合利用效果评价指标量化的结果为模糊值 \tilde{V}_i ,综合专家组的意见,确定其取值范围为 $\tilde{V}_i \in (0,1]$,其中当 \tilde{V}_i 处于差时, $\tilde{V}_i \in (0,0.35]$;当 \tilde{V}_i 处于中时, $\tilde{V}_i \in (0.35,0.60]$;当 \tilde{V}_i 处于良时, $\tilde{V}_i \in (0.60,0.85]$;当 \tilde{V}_i 处于优时, $\tilde{V}_i \in (0.85,1]$. 结果见表2所示.

步骤2 由式(5)和式(10)的关联度模型计算出各指标的关联度.

$$K_1(V_k) = \frac{\rho(V_k, V_{jk})}{\rho(V_k, V_{pk}) - \rho(V_k, V_{jk})}$$

$$= (-0.423, -0.700, -0.600, -0.254, -0.170, -0.762, -0.475, -0.785, -0.531, -0.800)$$

$$K_2(V_k) = \frac{\rho(V_k, V_{jk})}{\rho(V_k, V_{pk}) - \rho(V_k, V_{jk})}$$

$$= (-0.063, -0.513, -0.350, 0.213, -0.257, -0.613, 0.1875, -0.650, -0.2375, -0.675)$$

$$K_3(V_k) = \frac{\rho(V_k, V_{jk})}{\rho(V_k, V_{pk}) - \rho(V_k, V_{jk})}$$

$$= (0.071, 0.300, 0.733, -0.149, -0.267, 0.033, -0.136, -0.067, 0.452, -0.133)$$

$$K_4(V_k) = \frac{\rho(V_k, V_{jk})}{\rho(V_k, V_{pk}) - \rho(V_k, V_{jk})}$$

$$= (-0.375, -0.188, -0.297, 0.408, -0.482, -0.031, -0.406, 0.077, -0.337, 0.182)$$

$$k_j(R) = \sum_{i=1}^{10} w_i k_j(V_k) = (-0.4675, -0.1014, 0.0735, -0.3224)$$

即 $k_1(R) = -0.4675$, $k_2(R) = -0.1014$, $k_3(R) = 0.0735$, $k_4(R) = -0.3224$, 则铁尾矿综合利用效果评价等级为:

$K_{j_0}(R) = \{k_1(R), k_2(R), k_3(R), k_4(R)\} = 0.0735$, 由此可知,该铁尾矿综合利用效果评价等级为三级. 即是良.

$$\bar{k}_j(R) = \frac{k_j(R) - \min_j k_j(R)}{\max_j k_j(R) - \min_j k_j(R)} = (0, 0.677, 1, 0.268)$$

$$j^* = \frac{\sum_{j=1}^n j \times \bar{k}_j(R)}{\sum_{j=1}^n \bar{k}_j(R)} = 3.2$$

有以上计算可知, $j_0 = 3$, $j^* = 3.2$, 表示该铁尾矿综合利用效果评价等级属于第三级偏向第四级. 也即是该铁尾矿综合利用效果为良偏向优.

5 结 语

在我国矿产资源面临日益短缺、枯竭的局面,同时矿石加工过程中的产物铁尾矿的量不断增大、范围涉及广以及其成分性质复杂的情况下,致力于开辟合理的途径对铁尾矿进行整体综合利用具有重要

表2 陕西省铁尾矿综合利用
效果评价指标评分值及其权重

Tab.2 Effectiveness evaluation index score values
and their weights of comprehensive utilization
of iron ore tailings in shanxi province

Criterion Layer	Index Level	Expert evaluation value	Weight
Technology Promotion	Technical personnel strength	0.625	0.027
	Resource utilization rate	0.805	0.053
	Technology complexity	0.740	0.100
	Quality performance of New product	0.515	0.027
Economic Grade	Degree of market demand	0.440	0.275
	The cost of Comprehensive utilization	0.845	0.107
	Earnings of Comprehensive utilization	0.525	0.171
Environmental Benefit	Land saving rate	0.860	0.027
	The effect on the environment	0.695	0.188
	Safety hazard degree	0.870	0.027

意义,这是节约资源能源、改善人类环境,甚至促进经济发展的一种有效手段,也是与实现矿业的可持续发展紧密相关的。

本文提出了建立可拓物元模型应用于铁尾矿综合利用效果评价中,该方法是从定性和定量角度出发进行分析的,有效地解决了评价因素指标的非定量化、模糊性、不可共度性极其矛盾性的现实问题;另外,该方法还有计算简单、可操作性强的优点,其评价结果也较其他方法更具科学性。

参考文献 References

- [1] 肖力光,尹晋宏,崔正旭. 国内外铁尾矿的综合利用现状[J]. 吉林建筑工程学院学报,2010,27(4): 22-26.
XIAO Li-guang, YIN Jin-hong, CUI Zheng-xu. Iron Tailings Comprehensive Utilization at Home and Abroad[J]. Journal of Jilin Institute of Architecture & Civil Engineering, 2010, 27(4): 22-26.
- [2] 郭建文,王建华,杨国华. 我国铁尾矿资源现状及综合利用[J]. 现代矿业, 2009(10):23-25,60.
GUO Jian-wen, WANG Jian-hua, YANG Guo-hua. Current Situation and Comprehensive Utilization of Iron Ore Tailings Resources in Our Country[J]. Modern Mining, 2009(10):23-25,60.
- [3] 陈 虎,沈卫国,单 来. 国内外铁尾矿排放及综合利用状况探讨[J]. 混凝土,2012(2): 88-91.
CHEN Hu, SHEN Wei-guo, SHAN Lai. Situation of Discharge and Comprehensive Utilization of Iron Tailings Domestic and Abroad[J]. Concrete, 2012(2): 88-91.
- [4] 贾清梅,张锦瑞,李凤久. 铁尾矿的资源化利用研究及现状[J]. 矿业工程,2006,4(3): 7-8.
JIA Qing-mei, ZHANG Jin-rui, LI Feng-jiu. Status and Research of Utilization of Iron Ore Tailings[J]. Mining Engineering, 2006,4(3): 7-8.
- [5] 姚明刚,王金龙,任瑞晨. 辽宁西部地区铁尾矿资源化综合利用与研究[J]. 矿业工程,2011,9(4):53-56.
YAO Ming-gang, WANG Jin-long, REN Rui-chen. Study and Comprehensive Utilization of Iron Ore Tailings Resources in the Western Liaoning Province[J]. Mining Engineering, 2011,9(4):53-56.
- [6] 李立笋,董增川,牛 俊. 物元可拓模型在水资源可持续利用评价中的应用[J]. 水电能源科学,2007,25(5):1-4.
LI Li-zheng, DONG Zeng-chuan, NIU Jun. Application of Element Extension Model to Evaluation Water Resources Sustainable Utilization[J]. Water Resources and Power, 2007,25(5):1-4.
- [7] 王锦国,周志芳,袁永生. 可拓评价方法在环境质量综合评价中的应用[J]. 河海大学学报,2002,30(1): 15-18.
WANG Jin-guo, ZHOU Zhi-fang, YUAN Yong-sheng. Application of Extension Method to Comprehensive Assessment of Environmental Quality[J]. Journal of Hohai University, 2002,30(1): 15-18.
- [8] 吴冠岑,刘友兆,付光辉. 基于熵权可拓物元模型的土地整理项目社会效益评价[J]. 中国土地科学,2008,22(5): 40-46.
WU Guan-cen, LIU You-zhao, FU Guang-hui. Social Benefit Evaluation of Land Reconsolidation Projects Based on Entropy-Weighted Extensive Matter - Element Model[J]. China Land Science, 2008,22(5): 40-46.

Application of element extension model to comprehensive utilization effect evaluation of iron ore tailings

XUE Jian-hua¹, LI Hui-min¹, LU Qiu-ping¹, MA Xin²

(1. School of Civil Engineering Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China;

2. School of Civil Engineering, Chang'an University, Xi'an 710061, China)

Abstract: Iron ore tailings is dressing the back out waste, The unreasonable way has caused huge waste of resources and environmental pollution, so it is particularly important for the iron ore tailings to turn waste into treasure for comprehensive utilization. In view of the comprehensive utilization effect evaluation characteristics of iron ore tailings, the paper established the effectiveness evaluation index system of comprehensive utilization of iron ore tailing, and put forward a kind of element extension model to evaluate comprehensive utilization effect of iron ore tailings. Finally, a practical example was used to demonstrate the effectiveness and practicability of the proposed method. The results show that the method is practical in the comprehensive utilization effect evaluation of iron ore tailing.

Key words: *element extension model; iron ore tailings; comprehensive utilization; effect evaluation*