

文章编号: 1001-1986(2006)04-0045-04

# 煤矿企业清洁生产评价指标体系研究及应用

王 锋, 苗立永, 马 强

(西安科技大学地质与环境工程系, 陕西 西安 710056)

**摘要:** 通过对煤矿企业清洁生产的全面研究, 按照清洁生产评价的一般原则, 提出了一套煤矿企业清洁生产评价指标体系。采用层次分析法确定各指标的权重, 运用模糊综合评判法评价, 从而建立起一套完整的煤矿企业清洁生产评价指标体系, 为煤矿环境影响评价中的清洁生产分析提供了一套可供参考的技术方法。本文还运用该指标体系对金牛煤矿的清洁生产水平进行了评价, 结果表明, 该矿清洁生产处于清洁水平。

**关键词:** 清洁生产; 层次分析法; 模糊综合评判; 指标体系

中图分类号: X820.2 文献标识码: A

## Research and application of cleaner production estimation index system in coal-mining enterprise

WANG Zheng, MIAO Li-yong, MA Qiang

(Geology and Environment Engineering Department, Xi'an University of Science and Technology,  
Xi'an 710056, China)

**Abstract:** Through the overall research of cleaner production in coal-mining enterprise, and according to the general principle of cleaner production estimation, this paper presents a set of cleaner production estimation index system in coal-mining enterprise. The importance of every index is confirmed by AHP and the fuzzy comprehensive evaluation is used as estimation method. Then a set of integrated cleaner production estimation index system in coal-mining enterprise is built. It provides a referenced technological method for the analysis of cleaner production in environment estimation of coal-mining enterprise. In addition, this paper applies this index system to estimating the cleaner production level of Jinniu coal mine. The results indicate that the cleaner production level of this mine is high.

**Key words:** cleaner production; AHP; fuzzy comprehensive evaluation; index system

## 1 引言

清洁生产是可持续发展战略指引下的一种全新的生产模式。中国政府积极推行清洁生产, 已经将清洁生产纳入相关法律法规。2003年1月1日起实施的《中华人民共和国清洁生产促进法》中明确要求工业项目要全面实施清洁生产。大力推广实施煤炭企业的清洁生产, 减轻煤炭企业的环境污染, 为社会提供清洁的产品煤, 已经成为煤炭工业可持续发展的重要议题<sup>[1]</sup>。尽快制定煤炭行业的清洁生产标准, 建立健全煤炭开采清洁生产评价指标体系, 开展煤炭清洁生产量化指标的考核, 对实现经济发展与环境保护的双赢目标具有十分深远的战略意义。

## 2 清洁生产指标体系的建立

### 2.1 评价指标的选取原则

考虑到煤炭清洁生产涉及面广、指标多, 在选取评价指标时应遵循如下原则:

- a. 针对性原则: 指标体系的确定必须针对煤炭开采及其对环境影响的特点, 并联系实际, 因地制宜, 适当取舍。
- b. 科学性与实践性相结合原则: 在选择评价指标及构建评价模型时, 要力求科学, 各指标既要符合本学科的特定内涵, 还应当符合生产实践的需要, 力求做到两者的完美结合。
- c. 系统性与规范性原则: 选取时各评价指标

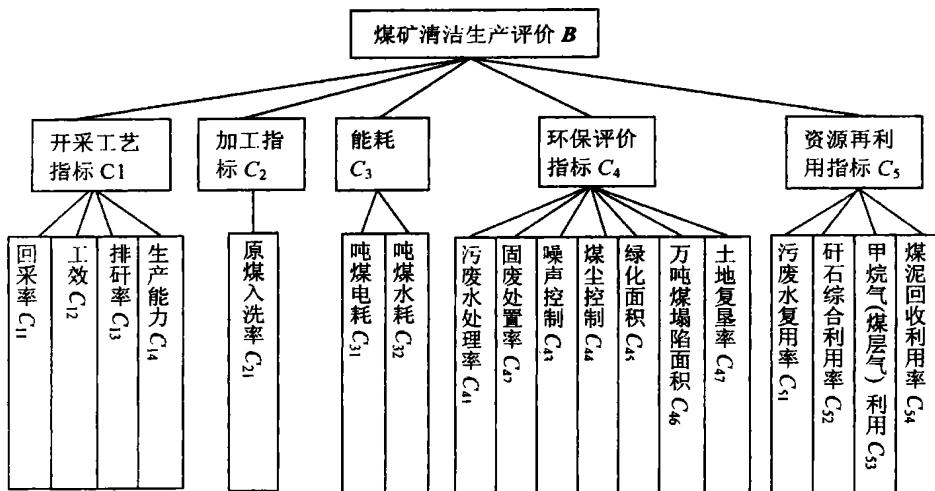


图 1 指标体系结构模型

Fig. 1 The structural model of index system

的类型、结构和含义等要尽可能符合国家的有关规范,做到彼此协调。

d. 体现污染预防思想:选取时反映出资源利用情况和节约的可能性。

e. 容易量化:选取时要充分考虑到指标体系的可操作性。

## 2.2 指标体系的结构

根据上述指标体系的选取原则建立指标体系,其结构见图1。

## 3 评价过程

### 3.1 确定指标权重

用于计算多指标综合评价中各指标权重的方法有很多,如特尔菲法、层次分析法、均方差法、隶属频度法和主成分分析法等。在考察了用于综合评判的各种方法以后,本文选择层次分析法作为确定指标权重的主要方法。现以开采工艺指标为例介绍权重的确定步骤:

a. 建立层次结构:见图1。

b. 确定系统指标影响表:表1中数据为系统数据,记录了指标对于各子系统的信息。

表1 开采工艺各指标权重比较

Table 1 The importance comparison of every index in exploitation process

	$C_{11}$	$C_{12}$	$C_{13}$	$C_{14}$	$W_i$ (权重)
$C_{11}$	1	3	5	5	0.473
$C_{12}$	1/3	1	3	5	0.315
$C_{13}$	1/5	1/3	1	3	0.153
$C_{14}$	1/5	1/5	1/3	1	0.058

c. 标量化形成判断矩阵<sup>[2]</sup>:建立影响表以后,可得到判断矩阵如下:

$$Q = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 & 5 \\ 1/3 & 1 & 3 & 5 \\ 1/5 & 1/3 & 1 & 3 \\ 1/5 & 1/5 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

d. 判断矩阵的一致性校验:经计算  $CR = C_i / R_i = 0.074 < 0.1$ , 满足一致性。

e. 确定权重:判断矩阵一致性校验合格后,求解判断矩阵的权重。经计算开采工艺评价指标中工效、回采率、排矸率、生产能力的权重分别为 0.473、0.315、0.153、0.058。

### 3.2 构造模糊关系矩阵

假设有两个论域分别为:因素集  $X = \{X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n\}$ ,  $X_i$  为评价因素(评价指标)。评语集  $Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_j, \dots, Y_m\}$ ,  $Y_j$  为评语等级。

在查阅大量资料,充分了解国内外清洁生产水平,参考国际、国家标准值,国家和发达地区的规划值,对所收集到的数据进行整理、选取、计算后,按照评语集的确定方法,各项指标及指标建议值见表2,其中建议指标值对应的清洁生产水平为:清洁,即国际清洁生产先进水平或国内清洁生产先进水平;一般,即国内清洁生产平均水平;很差,即低于国内清洁生产平均水平。

对  $X$  中全部元素分别进行单因素评价,则可获得从  $X$  到  $Y$  的一个模糊关系矩阵 [R]:

$$[R] = \begin{bmatrix} r_{11}, & r_{12}, & \cdots, & r_{1m} \\ r_{21}, & r_{22}, & \cdots, & r_{2m} \\ \cdots, & \cdots, & \cdots, & \cdots \\ r_{n1}, & r_{n2}, & \cdots, & r_{nm} \end{bmatrix}.$$

[R]<sub>n×m</sub> 称为单因素评价矩阵,一般  $0 \leq r_{ij} \leq 1$  ( $i$

表2 分级评价标准

Table 2 The classified estimation standard

系统层	指标层	指标等级分类标准		
		清洁( $A_1$ )	一般( $A_2$ )	很差( $A_3$ )
资源再利用指标	矸石综合利用率/%	> 75	> 40	> 25
开采工艺指标	甲烷气利用率/%	> 95	> 40	> 25
	污水复用率/%	> 90	> 60	> 20
	煤泥回收利用率/%	> 70	> 45	> 30
	工效/ $\text{t}(\text{工日})^{-1}$	> 10.2	> 3	> 1.5
	回采率/%	> 90	> 70	> 40
	排矸率/%	< 0.1	< 0.2	< 0.3
	生产能力/ $\text{Mt} \cdot \text{a}^{-1}$	> 0.8	> 0.3	> 0.1
加工指标	原煤入选率 <sup>③</sup> /%	$> 90(\text{St}, \text{ar} \leq 0, 5\%, \text{Aar} \leq 20\% \text{ 时, 可不用选洗})$	$> 33(\text{St}, \text{ar} \leq 0\%, \text{Aar} \leq 5\%, \text{Aar} \leq 25\% \text{ 时, 可不用选洗})$	$> 15(\text{St}, \text{ar} \leq 1, \text{Aar} \leq 25\% \text{ 时, 可不进行选洗})$
环保指标	污水处理率/%	> 95	> 75	> 50
	固废处置率/%	> 95	> 80	> 60
	塌陷率/ $\text{m}^2 \cdot \text{t}^{-1}$ (煤)	< 0.1	< 0.2	< 0.3
	噪声控制(达标率/%)	> 85	> 50	> 30
	粉尘控制(达标率/%)	> 95	> 75	> 50
	土地复垦率/%	> 35	> 20	> 10
	绿化面积/%	> 40	> 30	> 15
能耗指标	吨煤电耗/ $\text{kWh} \cdot \text{t}^{-1}$	< 30	< 35	< 40
	吨煤水耗/ $\text{t} \cdot \text{t}^{-1}$	< 0.3	< 0.5	< 0.7

=1, 2, ..., n; j=1, 2, ..., m)。其中  $r_{ij}$  表示某个评价对象按第  $i$  个评价指标可以被评为第  $j$  个评语等级的隶属度。

隶属度是通过隶属函数来计算的。隶属函数是用来刻画某指标  $X_i$  在评语集中对  $Y_i$  级别的逼近程度。目前, 被广泛利用的隶属函数种类非常多, 在环境科学中多采用半梯形分布函数作为隶属函数<sup>[4]</sup>。

a. 对于那些取值越大, 对煤炭清洁生产负效应越大的评价因子, 采用降半梯形分布函数来描述他们的隶属度。每个因子对应评语集中 3 个级别的隶属函数分别为:

$$R_1 = \begin{cases} 1 & 0 \leq X < A_1 \\ \frac{A_2 - X}{A_2 - A_1} & A_1 \leq X \leq A_2 \\ 0 & X > A_2 \end{cases};$$
  

$$R_2 = \begin{cases} 0 & X \leq A_1 \text{ 或 } X \geq A_3 \\ \frac{X - A_1}{A_2 - A_1} & A_1 < X < A_2 \\ \frac{A_3 - X}{A_3 - A_2} & A_2 < X < A_3 \\ 1 & X = A_2 \end{cases};$$

$$R_3 = \begin{cases} 0 & X \leq A_2 \\ \frac{X - A_2}{A_3 - A_2} & A_2 < X < A_3 \\ 1 & X \geq A_3 \end{cases}.$$

b. 对于那些取值越大, 对煤炭清洁生产正效应越大的评价因子, 采用升半梯形分布函数来描述他们的隶属度。每个因子对应评语集中 3 个级别的隶属函数分别为:

$$R_1 = \begin{cases} 1 & X \geq A_1 \\ \frac{X - A_2}{A_1 - A_2} & A_2 < X < A_1 \\ 0 & 0 \leq X \leq A_2 \end{cases};$$
  

$$R_2 = \begin{cases} 0 & X \geq A_1 \text{ 或 } X \leq A_3 \\ \frac{A_1 - X}{A_1 - A_2} & A_2 < X < A_1 \\ \frac{X - A_3}{A_2 - A_3} & A_3 < X < A_2 \\ 1 & X = A_2 \end{cases};$$
  

$$R_3 = \begin{cases} 0 & X > A_2 \\ \frac{A_2 - X}{A_2 - A_3} & A_3 \leq X \leq A_2 \\ 1 & X < A_3 \end{cases}.$$

### 3.3 模糊矩阵复合运算

矩阵的复合运算<sup>[5]</sup>, 即按一定的算法将权重  $W$  和  $[R]$  进行合成运算。用公式:  $W \odot [R] = [B]$ 。其中  $[B] = (b_1, b_2, \dots, b_m)$ , 表示评语集上各评语等级的可能性系数组成的向量。为了综合考虑各因素对煤炭清洁生产总的影响, 采用“加权平均型”算法。该算法的运算规律是:

$$b_j = \min[1, \sum_{i=1}^n W_i R_{ij}],$$

其中  $W_i$  为指标  $i$  的权重;  $R_{ij}$  为指标  $i$  对评语集中第  $j$  级别的隶属度。

### 3.4 评价

在得到决策集  $[B]$  后, 可利用最大隶属度原则对评价对象进行等级评价。

### 3.5 多级模糊综合评价模型的建立

在评价过程中, 如果因子个数  $n$  很大, 采用一级评价方法, 会遇到各因子的权重很难合理分配等问题。这时最好采用多级评价方法, 具体方法如下:

第一步: 将因素集  $X$  (包括  $n$  个因素) 按某种属性分成  $s$  个子集, 记作:

$$X = \{X_1, X_2, \dots, X_s\}.$$

满足  $\bigcup_{i=1}^s X_i = X$  其中每个子集  $X_i$  记为:

$$[X_i] = (X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ip}) \quad ,$$

其中  $i=1, 2, \dots, s$ ;  $p$  为第  $i$  子集中元素的个数。

第二步: 对每个子集按前述评价方法进行一级评价, 对任一子集  $X_i$  得到:

$$[B_i] = (b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{ip}) \quad .$$

第三步: 将每个子集视作一个元素,  $[B]$  作为单因素评判向量, 得到一个单因素评判矩阵, 对于每个元素  $X_i$  在  $X$  中给出权重分配  $W_i$ , 运用加权平均型合成方法得到二级评判结果。

进行上述分割后, 如果  $s$  仍过大, 这时可进一步分割, 一直到可顺利进行评判时。

## 4 应用实例

### 4.1 数据收集

现将上述方法应用于榆林市榆阳区金牛煤矿。各指标的现状值见表 3, 其中部分数据没有现成值, 是根据已有数据计算所得。

### 4.2 评价结果

首先根据层次分析法确定各个指标的权重, 然后根据现状值和标准值, 利用前述隶属函数的方法确定各指标的隶属度, 结果见表 4。然后再计算各系统的权重和隶属度(结果见表 5), 最后得出该矿清洁生产情况: 清洁隶属度为 0.617, 一般隶属度为 0.325, 不清洁隶属度为 0.058。从上述数据可以看出: 该矿清洁生产水平为清洁。但也存在不足, 例如该矿原煤硫分偏高, 但无洗选设备, 没有消除煤炭在日后使用过程中对环境产生的影响。

## 5 结论与建议

本文所建立的煤矿企业清洁生产评价体系, 能够较为客观、科学地反映出煤矿企业的清洁生产水

表 3 金牛煤矿清洁生产评价现状值

Table 3 The existing value of cleaner production estimation

in Jinniu coal mine

指标	现状值	指标	现状值
工效 $h^{\circ}(工日)^{-1}$	6	回采率 %	93
排矸率 %	0.05	固废处置率 %	100
噪声控制 %	100	粉尘控制 %	100
塌陷率 $m^2 \cdot t^{-1}$	0.098	土地复垦率 %	100
矸石利用率 %	100	甲烷气(煤层气) 利用率 %	低瓦斯矿井, 评价为一般
吨煤电耗 $kWh \cdot t^{-1}$	1.6	吨煤水耗 $l \cdot t^{-1}$	0.59
生产能力 $Mt \cdot a^{-1}$	0.45	污废水复用率 %	100
污废水处理率 %	100	煤泥利用率 %	无煤泥产生, 评价为一般
绿化面积 %	30	原煤入洗率 %	0

表 4 指标层各指标的权重和隶属度

Table 4 The importance and subject degree of every index in index level

系统	指标	权重	指标隶属度		
			清洁	一般	不清洁
资源再利 用指标	矸石综合利用率	0.351	1	0	0
	甲烷气(煤层气)	0.200	0	1	0
	污废水复用率	0.351	1	0	0
开采工艺 指标	煤泥回收利用率	0.098	0	1	0
	工效	0.473	0.42	0.58	0
	回采率	0.315	1	0	0
	排矸率	0.153	1	0	0
加工指标	生产能力	0.058	0.3	0.7	0
	原煤入洗率	1.000	0	0	1
	污废水处理率	0.205	1	0	0
环保指标	固废处置率	0.205	1	0	0
	塌陷率	0.039	1	0	0
	噪声控制	0.205	1	0	0
	粉尘控制	0.205	1	0	0
	土地复垦率	0.039	1	0	0
资源再利 用指标	绿化率	0.102	0	1	0
	吨煤电耗	0.500	1	0	0
	吨煤水耗	0.500	0	0.55	0.45

表 5 系统层各系统的权重和隶属度

Table 5 The importance and subject degree of every system in system level

系统	权重	指标隶属度		
		清洁	一般	不清洁
开采工艺指标	0.100	0.551	0.449	0
加工指标	0.050	0	0	1
能耗指标	0.150	1	0	0
环保指标	0.355	0.5	0.275	0.225
资源再利用指标	0.345	0.68	0.32	0

平, 为煤矿环境影响评价中清洁生产分析提供了一套可供参考的方法, 但是由于目前煤炭行业的清洁生产标准还是空白, 本文所建立的标准是参考国际、国家标准值, 国家和发达地区的规划值, 对所收集到的数据进行整理、选取、计算后得到的, 因此有待进一步完善。

## 参考文献

- [1] 国家环境保护总局监督管理局. 中国环境影响评价培训教材 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2001.
- [2] 毛泽华. 运用层次模糊法进行工程项目业主风险评价[J]. 兰州理工大学学报, 2005, 31(5): 115—118.
- [3] 刘海珠. 矿井清洁生产评价指标体系初探[J]. 煤炭工程, 2004(5): 36—38.
- [4] 李松槐, 袁有霞. 定量评价指标隶属度的确定[J]. 河南教育学院学报, 1999, 8(4): 68.
- [5] 胡守忠, 顾建勤. 模糊综合评价法及应用[J]. 中国纺织大学学报, 1995, 21(1): 74—81.