

# 清洁生产评价方法 ——模糊数学法

王守兰, 武少华, 焦 倩

(北京工业大学 经济与管理学院, 北京 100022)

**摘 要:** 为清洁生产定量考核和指标化管理提供一个科学的评价方法. 阐述了清洁生产常用的评价方法, 重点评价了模糊数学法的原理、内容与评价模式等. 可评估清洁生产前后企业各个环节的现状, 识别清洁生产机会, 找出薄弱环节, 可全面、精确地评价清洁生产中影响质量的所有因素, 能将比较复杂、不够确定的多因素问题转化为有数据依据的简单易行的评价模式, 将此评价模式应用于食品工业清洁生产中, 取得了良好的效果.

**关键词:** 食品工业; 清洁生产; 模糊数学评价法

中图分类号: TS 207.7; TB 11

文献标识码: A

文章编号: 0254-0037(2005)01-0108-05

清洁生产包括多方面的工作程序, 其中建立评价方法是清洁生产中实施管理量化的最重要的环节, 有益于对清洁生产进行指标化管理, 提高企业的经济效益, 是持续开展清洁生产战略的关键.

国外常用的清洁生产评价方法有层次分析法、加权因子法和输入输出法等<sup>[1,2]</sup>. 如层次分析法在欧盟常用于产品的生命周期评估. 国内常用的评价方法有清洁度法、百分制法等. 如百分制法主要用于工业建设项目中, 而用于食品工业清洁生产的评价方法目前还较少. 笔者在对清洁生产常用的评价方法进行分析比较的同时提出了模糊数学法, 构筑了评价模式和评价参数等. 并将此法应用在食品行业清洁生产前后的评价中, 取得了一定的成果.

## 1 常用的清洁生产评价方法

常用的清洁生产评价方法列于表1中.

表1 常用的清洁生产评价方法

Tab.1 Assessment of cleaner production

评价方法	评价标准	等级分值(权重值)					清洁生产水平分级				
		很差	较差	一般	较清洁	清洁	清洁生产	传统先进	一般	落后	淘汰
资源指标											
百分制法	污染物产生指标	0~0.20	0.20~0.40	0.40~0.60	0.60~0.80	0.80~1.0	>80	70~80	55~70	40~55	<40
	产品清洁指标										
环境经济效益指标											
清洁度法	消耗系数	(0, 1)					非常清洁				
	排污系数	(1, 1.5)					很清洁				
	无毒无害化系数	(1.5, 2)					清洁				
	职工健康系数	(2, 5)					较不清洁				
	资源化系数	(5, ∞)					极不清洁				

注: 生产清洁度评价以国际先进水平规定为1.

收稿日期: 2003-12-31.

基金项目: 北京市自然科学基金资助项目(9002001, 9052001).

作者简介: 王守兰(1947-)女, 河北乐亭人, 副教授.

### 1.1 百分制法<sup>[3]</sup>

首先专家根据企业的实际情况,对各项指标按表 1 中的等级分值打分,然后分别乘以各自的权重值,最后累加起来得到总分。总体评价根据累计得分情况可分为清洁生产、传统先进、一般、落后、淘汰 5 个项目。

百分制法具有容易理解,计算简单的特点。主要用于工业建设项目中。

### 1.2 生产清洁度法<sup>[4]</sup>

生产清洁度是表征企业整体在某一时期清洁生产的相对程度,参数有:消耗系数、排污系数、无毒无害化系数、职工健康系数和资源化系数。根据各参数的相对重要性,通过专家对这些参数打分,以权重加和法求得,可得到企业的生产清洁度。

清洁度法是表征企业实施清洁生产所获效益的一个综合指标,可集中反映企业在某时点的清洁生产水平。已有用于啤酒行业清洁生产的先例。

## 2 模糊数学评价方法<sup>[5]</sup>

### 2.1 模糊数学评价法的概念和原理

先从定性的模糊选择入手,然后通过模糊变换原理进行运算取得结果。考虑到一些因素的确定是模糊的,也就是在确定各因素指标体系之后对各因素指标不做定量处理,由评估专家对各因素指标进行模糊选择,统计出专家群体对各评估因素指标体系的选择结果,再按照所建立的数学模型进行计算。

### 2.2 模糊数学评价方法的内容

首先建立模糊数学综合评价的模式,再将复杂的评价问题演变为一个较为简便的模糊变换。

设  $X$  是评价因素集,即  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ ;  $Y$  是评价水平等级决策集,即  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ 。对于任意的  $x_i \in X, y_j \in Y, r_{ij}$  表示  $x_i$  在  $y_j$  上的特征指标(可能程度),对于每个  $x_i$  得一组  $(r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in})$  是  $x_i$  关于  $Y$  的特征指标 ( $i = 1, 2, \dots, m$ )。再以这几组量作为行组成  $n \times m$  的矩阵  $R = (r_{ij})_{n \times m}$  (如下所示矩阵)就得出  $X$  到  $Y$  的模糊关系矩阵,称为单因素评价矩阵。

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1j} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2j} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{i1} & r_{i2} & \dots & r_{ij} & \dots & r_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mj} & \dots & r_{mn} \end{pmatrix}$$

其中  $r_{ij}$  表示第  $i$  个评价因素隶属第  $j$  个评价水平等级的可能程度,  $\sum_{j=1}^n r_{ij} = 1, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ 。

用  $X$  上的模糊集  $K = (k_1, k_2, \dots, k_n)$  表示权重分配,即  $k_i$  是因素  $x_i$  的数量指标,由  $A = K \cdot R$  经计算得  $A = (a_1, a_2, a_3, \dots, a_n)$  表示决策集上各种决策的可能性系数。再用最大隶属度原则选择最大的  $a_j$ ,对应  $y_j$  作为评价结果。

$$A = K * R = (k_1, k_2, \dots, k_m) \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{pmatrix} = (a_1, a_2, a_3, \dots, a_n), \sum_{i=1}^m a_i = 1$$

模糊数学评价方法的类型有:一级评价模型和多级评价模型 2 种。

### 3 模糊数学法在食品工业清洁生产评价中的应用

#### 3.1 花生食品加工工艺流程图

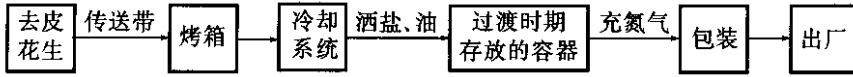


图1 花生食品加工厂工艺流程图

Fig.1 Craft process of food processing factory

#### 3.2 评价模式

采用模糊数学二级评价方法, 通过将清洁生产体系(母系统A)划分成多个层次进行(见图2).

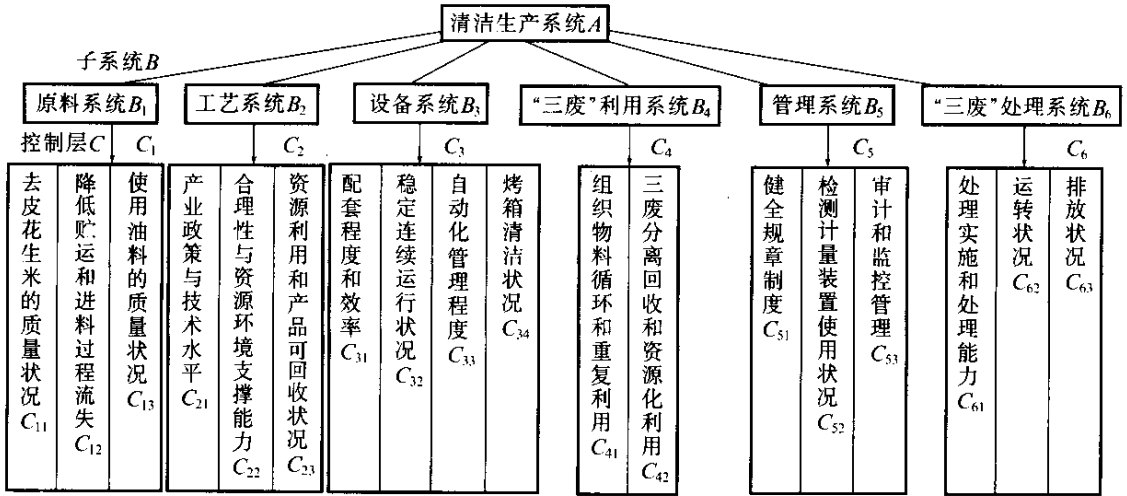


图2 清洁生产系统结构和要素划分

Fig.2 System and factor of cleaner production system

#### 3.3 评价步骤

##### 3.3.1 一级评价

该厂请了10位专家对其企业的这18个要素(控制层)进行了评价, 确定其清洁生产子系统评价要素的权重分配, 并根据厂方提供的资料和检测数据分别填写隶属度判断专家咨询表和计算出清洁生产子系统各要素的隶属度(见表2).

表2 清洁生产子系统评价要素的权重分配

Tab.2 Credits of one factory's cleaner production assessment sub-factor

子系统	子系统要素																		K	
	C <sub>11</sub>	C <sub>12</sub>	C <sub>13</sub>	C <sub>21</sub>	C <sub>22</sub>	C <sub>23</sub>	C <sub>31</sub>	C <sub>32</sub>	C <sub>33</sub>	C <sub>34</sub>	C <sub>41</sub>	C <sub>42</sub>	C <sub>51</sub>	C <sub>52</sub>	C <sub>53</sub>	C <sub>61</sub>	C <sub>62</sub>	C <sub>63</sub>		
B <sub>1</sub>	0.4	0.3	0.3																	0.1
B <sub>2</sub>				0.5	0.3	0.2														0.1
B <sub>3</sub>							0.4	0.2	0.2	0.2										0.2
B <sub>4</sub>											0.6	0.4								0.2
B <sub>5</sub>													0.4	0.3	0.3					0.3
B <sub>6</sub>																0.4	0.4	0.2		0.1

注:K为权重.

表 3 各要素隶属度判断结果

Tab.3 Subjections of factors

等级	$C_{11}$	$C_{12}$	$C_{13}$	$C_{21}$	$C_{22}$	$C_{23}$	$C_{31}$	$C_{32}$	$C_{33}$	$C_{34}$	$C_{41}$	$C_{42}$	$C_{51}$	$C_{52}$	$C_{53}$	$C_{61}$	$C_{62}$	$C_{63}$
好	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
较好	0.8	0.4	0.1	0.2	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
一般	0.1	0.5	0.8	0.8	0.5	0.7	0.1	0.6	0.3	0.1	0.5	0.2	0.7	0.1	0.2	0.4	0.1	0.1
较差	0.0	0.1	0.1	0.0	0.5	0.2	0.4	0.3	0.7	0.3	0.2	0.7	0.2	0.7	0.6	0.5	0.7	0.3
差	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.6	0.0	0.1	0.0	0.2	0.2	0.0	0.2	0.6

1) 列出控制层模糊评价矩阵

根据上述数据,得到子系统控制层模糊评价矩阵,分别为

$$C_1 = \begin{Bmatrix} 0.1 & 0.8 & 0.1 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.4 & 0.5 & 0.1 & 0.0 \\ 0.0 & 0.1 & 0.8 & 0.1 & 0.0 \end{Bmatrix}, C_2 = \begin{Bmatrix} 0.0 & 0.2 & 0.8 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.5 & 0.5 & 0.0 \\ 0.0 & 0.1 & 0.7 & 0.2 & 0.0 \end{Bmatrix},$$

$$C_3 = \begin{Bmatrix} 0.0 & 0.0 & 0.1 & 0.4 & 0.5 \\ 0.0 & 0.1 & 0.6 & 0.3 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.3 & 0.7 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.1 & 0.3 & 0.6 \end{Bmatrix}, C_4 = \begin{Bmatrix} 0.1 & 0.2 & 0.5 & 0.2 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.2 & 0.7 & 0.1 \end{Bmatrix},$$

$$C_5 = \begin{Bmatrix} 0.0 & 0.1 & 0.7 & 0.2 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.1 & 0.7 & 0.2 \\ 0.0 & 0.0 & 0.2 & 0.6 & 0.2 \end{Bmatrix}, C_6 = \begin{Bmatrix} 0.0 & 0.1 & 0.4 & 0.5 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.1 & 0.7 & 0.2 \\ 0.0 & 0.0 & 0.1 & 0.3 & 0.6 \end{Bmatrix}.$$

2) 计算子系统(B)评价结果

根据  $B_N = K * C_N$ ,得到

$$B_1 = [0.4 \quad 0.3 \quad 0.3] \begin{Bmatrix} 0.1 & 0.8 & 0.1 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.4 & 0.5 & 0.1 & 0.0 \\ 0.0 & 0.1 & 0.8 & 0.1 & 0.0 \end{Bmatrix} = [0.0 \quad 0.5 \quad 0.4 \quad 0.1 \quad 0.0]$$

该结果分别对应 [好 较好 一般 较差 差],根据隶属度最大原则,可以得到  $B_1$  子系统即原料系统清洁生产水平较好.

同理可计算出其他子系统评价结果:

$B_2 = [0.0 \quad 0.1 \quad 0.7 \quad 0.2 \quad 0.0]$ ,工艺系统清洁生产水平一般;

$B_3 = [0.0 \quad 0.0 \quad 0.2 \quad 0.5 \quad 0.3]$ ,设备系统清洁生产水平较差;

$B_4 = [0.1 \quad 0.1 \quad 0.4 \quad 0.4 \quad 0.0]$ ;"三废"利用系统清洁生产水平一般或较差;

$B_5 = [0.0 \quad 0.0 \quad 0.4 \quad 0.5 \quad 0.1]$ ,管理系统清洁生产水平较差;

$B_6 = [0.0 \quad 0.0 \quad 0.2 \quad 0.6 \quad 0.2]$ ;"三废"处理系统清洁生产水平较差.

3.3.2 二级评价

1) 构建母系统 A 模糊评价矩阵

根据上述结果进一步构建母系统模糊评价矩阵为

$$B = \begin{Bmatrix} 0.0 & 0.5 & 0.4 & 0.1 & 0.0 \\ 0.0 & 0.1 & 0.7 & 0.2 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.2 & 0.5 & 0.3 \\ 0.1 & 0.1 & 0.4 & 0.4 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.4 & 0.5 & 0.1 \\ 0.0 & 0.0 & 0.2 & 0.6 & 0.2 \end{Bmatrix}$$

2) 母系统-A 评价结果

根据  $A = K * B$  ,得到母系统-A 评价结果 : $A = [0.0 \ 0.0 \ 0.4 \ 0.5 \ 0.1]$  .

根据隶属度最大原则 ,得到母系统-A 清洁生产水平较差 . 子系统中原料系统清洁生产水平较好 ; 设备系统、管理系统、“三废”处理和利用系统水平明显偏低 ,这是影响全厂进行清洁生产的主要原因 ,该厂进行清洁生产首先应以设备整修和强化管理水平为重点 ,同时适时的进行“三废”利用和工艺技术改造 ,以推进清洁生产的整体水平的提高 .

模糊数学法可评估清洁生产前后企业各个环节的现状 ,识别清洁生产机会 ,找出薄弱环节 ;可全面、精确地评价清洁生产中影响质量的所有因素 ,能将比较复杂、不够确定的多因素问题转化为有数字依据的简单易行的评价模式 ,为企业清洁生产的定量考核和指标化管理提供了一个科学的评价方法 .

## 4 结 论

1) 模糊数学法应用于食品工业清洁生产可衡量企业清洁生产的状态和水平 ,也是加强企业环境管理的有效方法 . 用它进行清洁生产评价 ,简明扼要 ,方便可行 ,结论直观明了 .

2) 模糊数学法 ,可用于清洁生产前后和过程的绩效评价 ,亦可用于清洁生产审计中综合分析 .

### 参考文献 :

- [1] UNEP. Cleaner Production Assessment[M]. Cleaner Production Assessment in Meat Processing ,Benchmark :COWI ,2000.
- [2] 王守兰 ,武少华 ,万融 ,等 . 清洁生产理论与实务[M]. 北京 :机械工业出版社 ,2002.  
WANG Shoulan , WU Shao-hua , WAN Rong , et al. Theory and Practices of Cleaner Production[M]. Beijing : China Mechine Press , 2002. ( in Chinese )
- [3] 刘凤喜 . 工业项目清洁生产评价体系[J]. 辽宁城乡环境科技 ,2000 ,19(3) :10-11.  
LIU Feng-xi. Cleaner production assessment system of industry projec[J]. Liaoning Environment Science of City and Village ,2000 ,19(3) :10-11. ( in Chinese )
- [4] 彭林 . 清洁生产定量评价方法及其应用[J]. 中国人口-资源与环境 ,2001 ,11(3) :79-81.  
PENG Lin. Quantitative assessment and application of cleaner production[J]. Chinese Population-Resources and Environment ,2001 ,11(3) :79-81. ( in Chinese )
- [5] 陈娟 ,吴开微 . 企业资信的模糊数学评价方法[J]. 工科数学 ,2001 ,17(4) :21-24.  
CHEN Juan , WU Kai-wei. Fuzzy math assessment of credit in enterpris[J]. Mathematical ,2001 ,17(4) :21-24. ( in Chinese )

## Cleaner Production Assessments Method

### ——Based on Fuzzy Math

WANG Shou-lan , WU Shao-hua , JIAO Qian

( College of Economics and Management , Beijing University of Technology , Beijing 100022 , China )

**Abstract :** We stated the normal assessment of cleaner production , especially the definition , the principle , the content and the pattern of the fuzzy math . A scientific method for quatitative evaluation and management of cleanner production was provided in this paper . It shows that fuzzy math assessment can assess every key links ' situation in the factory , discern the chances of cleaner production and find out the weakest link of cleaner production . It also can comprehensive and exactly assess the entire factor which effect the quality in cleaner production and can transform the undetermined and complicated factors to the simple and quantity assessment pattern . Moreover , we give an using example of a food processing industry and takes great achievements .

**Key words :** food processing industry ; cleaner production ; assessment of fuzzy math