

# 稀硝酸清洁生产评价指标体系

马俊杰,程金香,王伯铎,唐晓兰

(西北大学 环境科学系,陕西 西安 710069)

**摘要:**针对稀硝酸生产的特点和清洁生产评价指标的选取原则,建立了包括原材料、产品、资源及污染物在内的稀硝酸清洁生产评价指标体系,采用统计剔除层次分析法确定了各指标的权重,构筑了稀硝酸清洁生产水平的评价方法,最后根据国内外稀硝酸生产运行数据,结合某稀硝酸生产企业,对此加以应用说明。

**关键词:**清洁生产评价;稀硝酸生产;评价指标;层次分析

**中图分类号:**X821/827 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-274X(2003)06-697-04

清洁生产评价是对企业从原材料的选取、生产过程到产品服务的全过程进行综合评价。将清洁生产评价引入环境影响评价中,可提高建设项目的环境可靠性和市场竞争力,降低建设项目的环境责任风险<sup>[1]</sup>。目前,清洁生产评价处于探索阶段,存在行业指标体系不够健全、权重确定主观性强等问题。本文根据稀硝酸生产的特点,选取稀硝酸清洁生产评价指标,建立了系统的清洁生产评价指标体系和评价标准,并利用专家统计层次分析法确定了各指标的权重,旨在建立一个科学的、系统的稀硝酸清洁生产评价指标体系及评价方法。

## 1 稀硝酸清洁生产评价指标体系

### 1.1 清洁生产指标体系的选取原则<sup>[2]</sup>

1) 从产品生命周期全过程考虑,覆盖原材料、生产过程和产品的各个主要环节,全面反映产品全生命周期对环境的影响。

2) 反映特定评价产品的特殊性,同时在本产品与其他同类产品及可替代产品之间具有可比性。

3) 具有较好的可定量性,以便于使评价结果更加客观和直观。

### 1.2 稀硝酸清洁生产评价指标体系的建立

依据生命周期分析的原则,将稀硝酸清洁生产评价指标分为原材料指标、产品指标、资源指标和污

染物指标4类综合指标(见图1)。

1.2.1 原材料指标 原材料指标主要表征了原材料的获取、加工、使用等各方面对环境的综合影响。稀硝酸生产的原材料为氨、氧气、水及铂催化剂。原材料指标可分解为毒性、能源强度、生态影响、可再生性等作为评价指标。

1.2.2 产品指标 产品指标主要从生命周期全过程进行考虑,体现产品的使用、销售过程对环境的影响及其可再生性、可回收性等。稀硝酸一般为中间产品,主要用于生产硝酸铵和浓硝酸。因此,在产品指标中,主要考虑稀硝酸的销售及使用情况,选择产品销售及使用作为评价指标。

1.2.3 资源指标 产品对资源的消耗,可以反映企业的技术工艺和管理水平状况。从清洁生产的角度来看,资源指标的高低反映了企业的生产过程在宏观上对生态系统的影响程度,因为在同等条件下资源消耗越高,对环境的影响越大。对于稀硝酸生产,资源指标选用单位产品水耗、单位产品电耗、单位产品燃料耗量、单位产品铂耗量(铂为贵金属催化剂)、单位产品氨耗量作为评价指标。

1.2.4 污染物指标 污染物指标主要反映产品生产过程对环境的影响强度。根据稀硝酸生产污染的特点,选择废气产生总量、单位产品氮氧化物排放量、单位产品SO<sub>2</sub>排放量、单位产品废水排放量及单位产品固废排放量作为评价指标。

收稿日期:2002-09-10

基金项目:陕西省教育厅专项科研基金资助项目(01JK109)

作者简介:马俊杰(1962-),男,陕西户县人,西北大学副教授,在职博士生,从事生态环境保护与环境影响评价研究。

根据以上分析,建立的稀硝酸清洁生产评价指标体系见图 1。

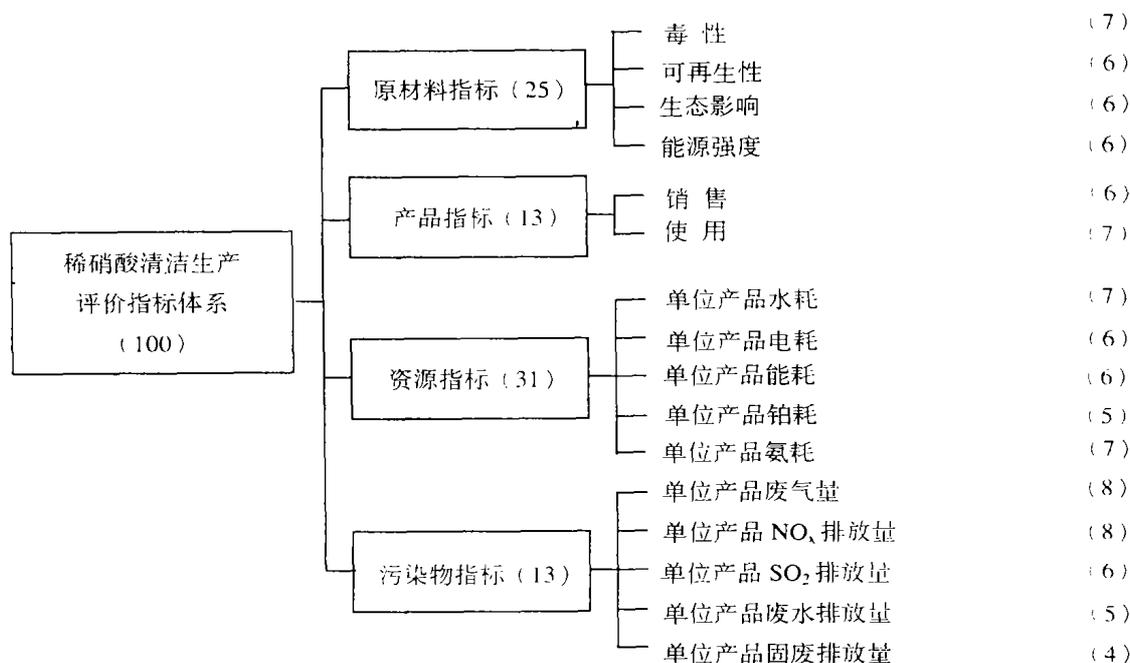


图 1 稀硝酸清洁生产评价指标体系及权重值

Fig. 1 The index system and ration of dilute nitric acid production

## 2 指标权重的确定

### 2.1 定权方法确定

清洁生产指标权重的确定过程中,一般采用专家打分法和层次分析法。专家打分法在指标数目较少时,可获得较为满意的效果;在指标较多时,指标权重的客观性就受到一定的影响,层次分析法(AHP)适合处理多层次和多指标的问题。

根据清洁生产评价指标多层次、多目标的特点,本文采用对多专家调查基础上的“统计剔除层次分析法”。该方法首先请专家进行所有因子的两两比较,得出各指标的重要度。清洁生产评价指标权重确定中所请的专家包括设计、生产、管理及环保等领域的专家。专家的多领域性、综合性是指标权重确定的关键,可避免个别领域专家意见的片面性。通过多专家调查,保证权重确定的客观性(大数定理),并进一步通过统计检验(平均值加标准差法)剔除个别专家的主观影响,以最后剩余的各重要度的平均值为基础建立判断矩阵,然后进行求权和一致性检验。如通过一致性检验,则所求得的指标既满足客观性,又满足一致性,保证权重确定的科学性和合理性。

### 2.2 统计剔除层次分析法确定指标权重的步骤

1) 规定比较原则与赋值方法,请专家独立填写

判断矩阵中的所有元素  $A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_m$  ( $m$  为指标个数)。

2) 计算每个判断矩阵中指标两两比较元素的代数平均值  $\bar{A}_i$  与标准差  $S_i$ 。若  $|A_i - \bar{A}_i| > 2S_i$ , 则剔除  $A_i$ , 否则保留<sup>[3]</sup>。

$$\bar{A}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n A_{ij}, \quad (1)$$

$$S_i = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (A_{ij} - \bar{A}_i)^2}. \quad (2)$$

式中:  $A_{ij}$  为第  $j$  位专家对第  $i$  项指标的重要度赋值;  $n$  为专家个数。

3) 用剔除后所剩余的所有  $A_{ij}$  计算其几何平均值  $B_i$ <sup>[4]</sup>,

$$B_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n A_{ij}}. \quad (3)$$

式中:  $n$  为剔除后所剩余的重要度个数;  $B_i$  为判断矩阵元素。

4) 用所得  $B_i$  建立指标的判断矩阵  $|B|$ 。

5) 矩阵运算,求权重值。

$$\bar{W}_i = \sqrt[m]{\prod_{j=1}^m B_{ij}}, \quad (4)$$

$$W_i = \bar{W}_i / \sum_{i=1}^m \bar{W}_i. \quad (5)$$

式中:  $n$  为矩阵阶数,  $B_i$  为矩阵元素,  $W_i$  为各指标的权重值。

6) 一致性检验: 求出最大特征根  $\lambda_{\max}$  及一致性检验指标  $CI$ 。

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^m (AW_i) / nW_i, \quad (6)$$

$$CI = (\lambda_{\max} - m) / (m - 1). \quad (7)$$

矩阵阶数不超过 5 时, 若一致性检验指标  $CI < 0.058$ , 此时判断矩阵具有满意的一致性, 所得到的权重可以接受<sup>[5]</sup>。

### 2.3 稀硝酸清洁生产评价指标权重的确定

专家咨询所得比较元素, 经上述 2.2 中 1) ~ 3) 步骤后得判断矩阵如表 1 ~ 4 ( $A_2$ - $A_2$ , 只有两个数据, 故省) 所示。

表 1  $A_1$ - $A_1$  的判断矩阵

Tab. 1 Judgement matrix of  $A_1$ - $A_1$

A	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$
$A_1$	1.00	2.02	0.80	0.82
$A_2$	0.51	1.00	0.40	0.41
$A_3$	1.24	2.49	1.00	1.03
$A_4$	1.22	2.45	0.98	1.00

表 2  $A_1$ - $A_{1i}$  的判断矩阵

Tab. 2 Judgement matrix of  $A_1$ - $A_{1i}$

$A_1$	$A_{11}$	$A_{12}$	$A_{13}$	$A_{14}$
$A_{11}$	1.00	1.14	1.30	1.19
$A_{12}$	0.87	1.00	1.16	1.05
$A_{13}$	0.77	0.88	1.00	0.91
$A_{14}$	0.85	0.94	1.09	1.00

表 3  $A_3$ - $A_{3i}$  判断矩阵

Tab. 3 Judgement matrix of  $A_3$ - $A_{3i}$

$A_3$	$A_{31}$	$A_{32}$	$A_{33}$	$A_{34}$	$A_{35}$
$A_{31}$	1.00	1.18	1.16	1.39	1.02
$A_{32}$	0.87	1.00	0.98	1.21	0.85
$A_{33}$	0.89	1.02	1.00	1.24	0.88
$A_{34}$	0.72	0.86	0.83	1.00	0.69
$A_{35}$	0.98	1.17	1.12	1.46	1.00

表 4  $A_4$ - $A_{4i}$  的判断矩阵

Tab. 4 Judgement matrix of  $A_4$ - $A_{4i}$

$A_4$	$A_{41}$	$A_{42}$	$A_{43}$	$A_{44}$	$A_{45}$
$A_{41}$	1.00	1.18	1.16	1.39	1.02
$A_{42}$	0.87	1.00	0.98	1.21	0.85
$A_{43}$	0.89	1.02	1.00	1.24	0.88
$A_{44}$	0.72	0.86	0.83	1.00	0.69
$A_{45}$	0.98	1.17	1.12	1.46	1.00

总权重值为 100,  $A$ - $A_i$  判断矩阵经 2.2 中 4), 5) 步骤运算后, 得原材料指标、产品指标、资源指标、污染物指标的权重值为 22, 10, 38, 30。其余判断矩阵按同步骤计算后, 得各分指标的权重值, 详见图 1。

根据 2.2 中步骤 6) 运算后得各判断矩阵的最大特征根  $\lambda_{\max}$  和一致性检验指标  $CI$  (见表 5), 可以看出所有  $CI < 0.58$ , 满足一致性检验指标。因此, 所得判断矩阵具有一致性。

表 5 最大特征根和一致性检验指标

Tab. 5 Maximal latent roots and coherency proving index

	$\lambda_{\max}$	$CI$
$A$ - $A_i$	4.017	0.006
$A_1$ - $A_{1i}$	4.012	0.004
$A_3$ - $A_{3i}$	5.024	0.006
$A_4$ - $A_{4i}$	5.002	0.001

## 3 清洁生产水平评价

项目清洁生产 ( $CP$ ) 评价指数按下式计算

$$CP = \sum_{i=1}^n W_i T_i. \quad (8)$$

式中:  $T_i$  为第  $i$  种指标的分指数 ( $[0, 1]$ );  $W_i$  为第  $i$  种指标的权重值 ( $\sum W_i = 100$ )。

在评价指标中, 原材料和产品指标为定性指标, 分低、中、高 3 级, 资源和污染物指标为定量指标, 分差、较差、中等、较清洁、清洁 5 级。各指标的分指数由低到高, 或由差到清洁, 按照基本等距原则取值。

依据  $CP$  值划分的清洁生产水平标准见表 6。

表 6 清洁生产水平评价标准

Tab. 6 The total standard of a whole CPA

类型	清洁生 产传统	先进	一般	落后	淘汰
指标分数	>80	70~80	55~70	40~55	<40

## 4 评价实例

根据稀硝酸生产现有生产运行数据, 经分析统计得出此行业清洁生产评价基准数据, 应用上述评价指标和基准数据对某稀硝酸生产企业进行评价。该企业稀硝酸生产主要原料是液态氨, 采用的辅助材料主要为铂催化剂和天然气, 天然气是供热燃料,

属于清洁燃料。该企业采用全高压法工艺,是目前国际上  $\text{HNO}_3$  生产的较先进工艺路线。原材料指标、产品指标、资源指标、污染物指标的清洁生产评价得分分别为 71.6, 87.5, 74.0, 78.5, 最后总得分为 76.1。

根据评分标准,该企业生产工艺较为清洁,属传统先进。其中原材料指标、资源指标得分较低。因此,该企业在原材料、资源方面还存在清洁生产机会,建议采取相应的清洁生产措施和管理措施,提高其清洁生产水平。

## 5 结 论

稀硝酸清洁生产评价通过各项指标评定企业清洁生产的总体水平以及每一个环节的清洁生产水平,明确该企业的现有生产过程、产品、服务各环节的清洁生产水平在国际和国内所处的地位,并针对其清洁生产水平较低的环节提出相应的清洁生产措施和管理制度。本指标体系系统考虑到稀硝酸原材

料的选取、生产过程及产品服务,可适用于本行业清洁生产评价,同时为其他行业进行清洁生产评价提供了借鉴作用。随着清洁生产评价在各行业的深入研究和应用,可持续发展思想将在工业企业中得到充分体现。

## 参考文献:

- [1] 国家环境保护总局监督管理司. 中国环境影响评价培训教材[Z]. 北京:化学工业出版社, 2000. 57-62.
- [2] 白保柱, 邓 明, 罗 涛, 等. 清洁生产分析与评价实践[J]. 环境科学与技术, 2001, 9(5): 36-39.
- [3] 刘培桐. 环境科学概论[M]. 北京:高等教育出版社, 1995. 125-126.
- [4] 金 南, 李 娜, 李 建, 等. 环保科技成果转化项目评价指标体系及评价方法[J]. 中国环境科学, 1999, 19(4): 381-382.
- [5] 陈志泉, 杨保安. 商业银行资产负债比例管理综合评价模型[J]. 系统工程理论与实践, 1999, 19(12): 8-13.

(编 辑 徐象平)

## Clean production assessment index system of dilute nitric acid production

MA Jun-jie, CHENG Jin-xiang, WANG Bo-duo, TANG Xiao-lan

(Department of Environment Science, Northwest University, Xi'an 710069, China)

**Abstract:** According to the character of dilute nitric acid production and the choosing principle of CPA index. First, it was first established that the dilute nitric acid clean production index system of raw material, product, resources and contaminant. Second, the index weight was confirmed through analytic hierarchy process of statistic eliminating. Third, the method of clean production assessment was set up. Finally, the index system was applied and explained away through the running data of dilute nitric acid and an example.

**Key words:** clean production assessment (CPA); dilute nitric acid production; assessment index; analytic hierarchy process(AHP)