

文章编号:1000-582X(2012)05-121-05

层次分析结合模糊数学法评价电镀企业清洁生产潜力

熊文强,尹 刚,王丽丽

(重庆大学 资源及环境科学学院;煤矿灾害动力学与控制国家重点实验室,重庆 400044)

摘 要:电镀行业属于高能耗高污染行业,必须推行清洁生产;评价企业清洁生产潜力非常重要且是基础。采用层次分析法与模糊数学法结合,建立企业清洁生产潜力评价模型,评价电镀企业清洁生产潜力,并通过案例实证。

关键词:清洁生产;层次分析法;模糊数学法;案例实证;电镀

中图分类号:X383

文献标志码:A

AHP and fuzzy mathematical method to assess the potential of cleaner production of electroplating enterprises

XIONG Wen-qiang, YING Gang, WANG Li-li

(College of Resource & Environmental Science; State Key Laboratory of Coal Mine Disaster Dynamics and Control, Chongqing University, Chongqing 400044, P. R. China)

Abstract: Electroplating industry is a high-energy-consumption and high-pollution industry, thus promoting cleaner production is very necessary. Assessing the potential of cleaner production is very important and it is the foundation. AHP (analytic hierarchy process) method combined with fuzzy mathematics is adopted to establish a cleaner production potential assessment model. The potential of cleaner production is assessed by the model and the result is validated through case evidence.

Key words: cleaner production; AHP; fuzzy mathematics; case evidence; electroplate

电镀是国民经济不可缺失的行业,又是重污染行业;21 世纪的电镀业必须推行清洁生产,否则难以生存发展,全世界均如此。研析近些年中国电镀业推行清洁的情况可知:相对其他行业,电镀业较落后且环境压力较大。因此,电镀业必须采用符合清洁生产的新工艺、新技术、新材料和新设备,从源头上减少污染,全过程防治污染。唯有如此,电镀业才能走出困境,勇敢迎接挑战。据调查,在中国电镀业推行清洁生产,其市场潜力非常巨大;而电镀企业清洁生产潜力评价是企业实施清洁生产的前提与基础,只有建立科学合理的评价方法,才能准确评价电镀企业清洁生产潜力,才能有效推进电镀业开展清

洁生产。目前国内外清洁生产潜力评价的方法^[1-5]主要有单指标方法、灰色关联分析法、贝叶斯网络法、模糊综合评判法和层次分析法等。这些方法单一使用均存在一些问题,如:单指标法只根据单项指标数值评价企业清洁生产水平;灰色关联分析法选取出来的参考数据列代表性不够;贝叶斯网络法过于复杂,实际应用尚处于初级阶段;模糊数学法运用到清洁生产水平评价虽可以一定程度削减主观偏好,但针对性欠佳。有关电镀业的清洁生产潜力评价国内外均在不断研究完善并实践中。笔者分析了现有清洁生产潜力评价方法的不足,针对性地提出用层次分析结合模糊数学法来评价电镀企业清洁生产潜力,理论和实践均证明该方法可为科学地评价

收稿日期:2011-12-26

基金项目:国家自然科学基金资助项目(79570092)

作者简介:熊文强(1952-),男,重庆大学教授,主要从事环保与清洁生产研究,(E-mail)xwq5253@163.com。

电镀企业清洁生产潜力以及中国电镀行业清洁生产标准的修订提供技术支撑,具有一定理论和实践应用意义,类似研究目前未见报道。

1 评价模型建立

1.1 用层次分析法构建递阶层次

清洁生产潜力评价是基于对企业环境、经济、资源能源利用、废弃物排放等多问题的分析,将问题所共有的特征归纳成组,并把它们的共同特性按新层次因素组合,最后形成单一的最高层次因素。用层次分析法构建递阶层次,且注意定量描述清洁生产方案对于某一准则的相对优越程度。

1.2 最大特征向量判断

清洁生产潜力评价一般可通过和积法和方根法求判最大特征向量,即先把特征向量归一化,然后求其一层有关元素对上一层相关元素的权重值。

1.3 构建一致性检验指标

清洁生产潜力评价构建一致性检验指标时要注意:1)判断矩阵偏离完全一致性的程度越大则一致性指标值 CI(changeless index)也越大,而判断矩阵越接近于完全一致性时则一致性指标值 CI 就越小。2)通过判断矩阵的阶数可判断人为造成的偏离程度,即一致性指标 CI 的值越大则人为造成的偏离程度越大且矩阵阶数 n 大,反之一致性指标 CI 的值越小则人为造成的偏离程度就越小且矩阵阶数 n 小。

1.4 用模糊数学法构建评估对象的因素集

1)一般情况下,假设事物由 n 个因素决定,则用模糊数学法可构成因素集 $U = \{U_1, U_2, U_3, \dots, U_n\}$ 。

2)一般情况下,用模糊数学法可建立评判集 V , V 是与 U 中评价因素相应的评价标准集合。通常表示为 $V = \{V_1, V_2, V_3, \dots, V_m\}$ 。

3)同理,一般情况下,可用模糊数学法建立隶属度函数,即建立行业清洁生产分级对应各清洁生产评价因子对的隶属函数,进而求出各评价因子的隶属矩阵 R 。其关系式如下:

$$R_{ij} = \begin{cases} 1 & (0 \leq U_i \leq V_i) \\ \frac{U_i - V_1}{V_2 - V_1} & (V_1 \leq U_i \leq V_2) \\ 0 & (U_i \geq V_2) \end{cases} \quad (1)$$

式中: V_1 、 V_2 对应 U_1 、 U_2 确定。

1.5 模糊矩阵构建

通过隶属度函数,对因素集 U 的每个单项指标进行评价(在 U 和 V 给定之后),进而求出单项指标对各分级标准的隶属度,然后建立模糊矩阵^[6-7]。

1.6 构建权重集

用模糊数学法构建的因素集中,由于各因素的

重要程度不同。因而对各因素应给予不同的权重系数 $A_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 。再由各个权重系数组成集合 $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$, 其中,

$$\sum_1^n A_i = 1 \quad A_i \geq 0. \quad (2)$$

1.7 对模糊矩阵进行复合运算

在确定权重并进行单项评价后,可得到 2 个模糊矩阵,即权重模糊矩阵 A 和关系模糊矩阵 R , 进而可求综合评价指数 Y ,

$$Y = A \times R. \quad (3)$$

通过对 A 矩阵与 R 矩阵取大取小运算,可得出各级标准的隶属度,然后通过隶属度原则即可评价企业清洁生产潜力。

如果是针对具有多级评价指标的因素,则可考虑将高层次的诸因素看作子问题因素,先对诸子问题因素进行综合评价,然后再对总体进行综合评判。

综上所述,采用层次分析法与模糊数学法结合,在电镀企业清洁生产评价中可使指标越优权重越大,对调动企业进一步提高各项指标,提高清洁生产水平非常有利。所以,采用层次分析法与模糊数学法结合,综合评价清洁生产潜力是相对客观和科学的,下面拟通过案例予以实证。

2 案例实证

2.1 确定案例企业

重庆某公司是由原国家重点企业、国家定点生产企业——重庆电器厂、重庆开关厂合并组建,主营业务为电气成套设备和开关元器件生产。其生产过程中必须使用电镀工艺。随着企业环保意识的增强,企业将节能减排放在重要位置,积极开展清洁生产工作。

2.2 建立电镀企业清洁生产潜力评价指标体系

目前中国推行清洁生产,其清洁生产潜力评价指标一般是由国家按行业划分制定,它是在国家一定的科学、技术、经济条件下,对企业开展清洁生产所达到的水平进行评判,同时也是企业开展清洁生产审核时所提清洁生产方案研选的重要依据,且作为清洁生产水平比较、判断参考标准^[8-11]。建立清洁生产潜力评价指标体系时一定要遵循可操作性原则、科学性原则、关键性原则和定量原则^[12-13]。根据清洁生产潜力评价指标的建立原则,参考《中华人民共和国环境保护行业标准 清洁生产标准 电镀行业》,通过对案例电镀企业现场调研,构建电镀企业清洁生产潜力评价指标体系递阶层次结构简图(见图 1),进而建立电镀企业清洁生产潜力评价指标体

系(见表 1)。

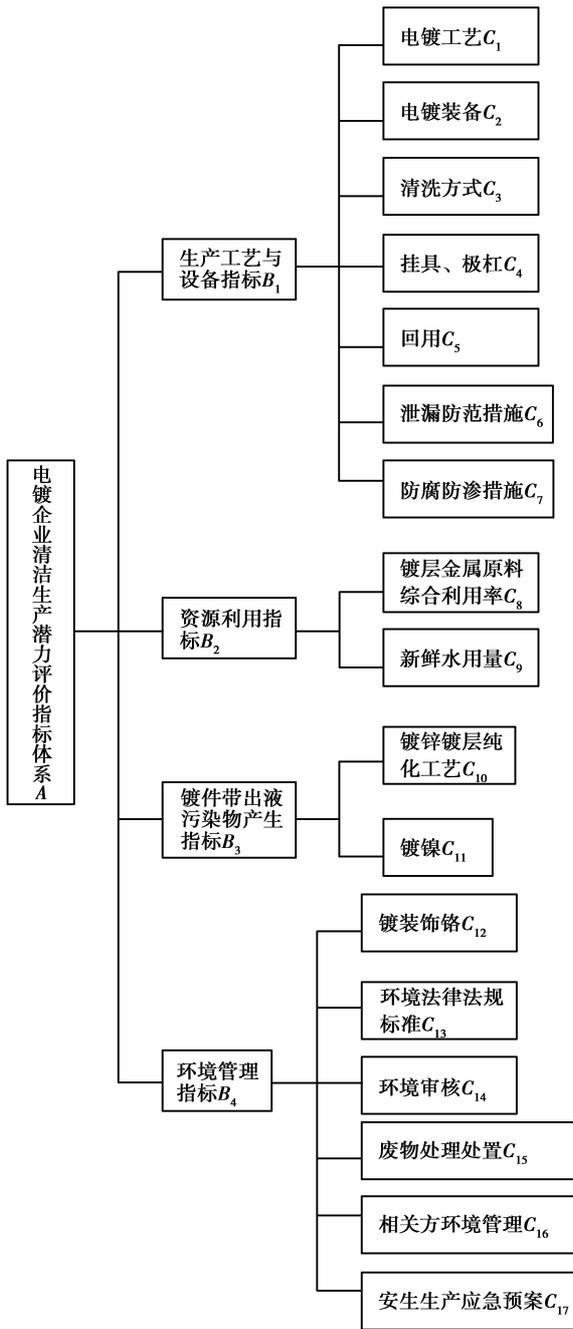


图 1 电镀企业清洁生产潜力评价指标体系递阶层次结构

说明:1)递阶结构由三级层次结构构成,最上层是目标层,为电镀企业清洁生产潜力评价指标体系,代码为 A;二层至三层依次是“一级指标至二级指标”,代码分别为 B 和 C,一级指标包括生产工艺与设备指标、资源利用指标、镀件带出液污染物产生指标、环境管理指标 4 大类;二级指标包括电镀工艺等共计 17 项。

2)因指标较多,计算过程较为复杂,为了保证权重结果的客观性及准确性,拟根据层次分析法的基

本原理及步骤,结合 MATLAB 计算机编程得到相应的指标权重(表 1)(具体计算过程略)。

由表 1 可得,二级指标权重:

$$B_1 = \{C_1, C_2, \dots, C_7\} =$$

$$\{0.32, 0.23, 0.05, 0.05, 0.08, 0.13, 0.14\};$$

$$B_2 = \{C_8, C_9\} = \{0.5, 0.5\};$$

$$B_3 = \{C_{10}, C_{11}, C_{12}\} = \{0.33, 0.34, 0.33\};$$

$$B_4 = \{C_{13}, C_{14}, \dots, C_{17}\} = \{0.24, 0.28, 0.20, 0.15, 0.13\}。$$

一级指标权重:

$$A = \{B_1, B_2, B_3, B_4\} = \{0.30, 0.25, 0.20, 0.25\}。$$

表 1 电镀行业清洁生产潜力评价指标与权重

一级指标	指标权重	二级指标	指标权重
生产工艺与设备 B ₁	0.30	电镀工艺 C ₁	0.32
		电镀装备 C ₂	0.23
		清洗方式 C ₃	0.05
		挂具、极杠 C ₄	0.05
		回用 C ₅	0.07
		泄漏防范措施 C ₆	0.14
		防腐防渗措施 C ₇	0.14
资源利用指标 B ₂	0.25	镀层金属原料综合利用率 C ₈	0.50
		新鲜水用量 C ₉	0.50
镀件带出液污染物产生指标 B ₃	0.20	镀锌镀层钝化工艺 C ₁₀	0.33
		镀镍 C ₁₁	0.34
		镀装饰铬 C ₁₂	0.33
环境管理指标 B ₄	0.25	环境法律法规标准 C ₁₃	0.24
		环境审核 C ₁₄	0.28
		废物处理处置 C ₁₅	0.20
		相关方环境管理 C ₁₆	0.15
		安生生产应急预案 C ₁₇	0.13

2.4 模糊数学评判

2.4.1 建立评价标准选择评价参数

将评价参数作为清洁生产潜力评价指标,设定评价因素集为 U,则有:U = {U₁, U₂, ..., U_i},其中, U₁, U₂, ..., U_i 为参与评价的 i 个因素值。

设定清洁生产评价集合为 V,则有:V = {V₁, V₂, ..., V_J},其中, V₁, V₂, ..., V_J 为与 U_k 相应的评价标准集合。

2.4.2 建立评价尺度,确定隶属度矩阵

参考《中华人民共和国环境保护行业标准 清洁生产标准 电镀行业》,对应确定评分标准,即:一级国际清洁生产先进水平对应标准评分为 85~100(含 85);二级国内清洁生产先进水平对应标准评分为 75~85(含 75);三级国内清洁生产基本水平对应标准评分为 60~75(含 60)。则评价尺度向量 V 为 (100, 80, 60)^[14-15]。

根据案例公司基础数据,将其带入隶属函数,得到二级指标的隶属度矩阵为:

$$R_1 = \begin{Bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix},$$

$$R_2 = \begin{Bmatrix} 0.50 & 0.25 & 0.25 \\ 0.00 & 0.00 & 1.00 \end{Bmatrix},$$

$$R_3 = \begin{Bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{Bmatrix},$$

$$R_4 = \begin{Bmatrix} 0.8 & 0.2 & 0.0 \\ 0.2 & 0.8 & 0.0 \\ 0.6 & 0.2 & 0.2 \\ 0.0 & 0.6 & 0.4 \\ 0.0 & 0.8 & 0.2 \end{Bmatrix}。$$

2.4.3 模糊矩阵复合运算

由综合评价指数公式可得:

生产工艺与设备指标集合 $Y_1 = A_1 \times R_1 = \{0, 0.31, 0.69\}$;

资源利用指标集合 $Y_2 = A_2 \times R_2 = \{0.25, 0.13, 0.62\}$;

镀件带出液污染物产生指标集合 $Y_3 = A_3 \times R_3 = \{0.34, 0.33, 0.33\}$;

环境管理指标集合 $Y_4 = A_4 \times R_4 = \{0.37, 0.50, 0.13\}$ 。

将二级判断所得向量作为一级指标的隶属度,进而得到一级指标的模糊关系式:

$$R = \begin{Bmatrix} 0.00 & 0.31 & 0.69 \\ 0.25 & 0.13 & 0.62 \\ 0.34 & 0.33 & 0.33 \\ 0.37 & 0.50 & 0.13 \end{Bmatrix}。$$

则企业的综合评判指数为

$$Y = A \times R = \{0.22, 0.32, 0.46\}。$$

2.4.4 计算清洁生产潜力得分

由 $N = Y \times V$ 。(其中 V 为评价尺度),计算企业的清洁生产水平得分,即可评判企业实施清洁生产的程度。经计算案例公司的得分为 75.2,与前述评价标准比对判定企业可达二级国内清洁生产先进水平。

2.5 清洁生产潜力评价结果分析比较

根据计算结果,分析案例公司的清洁生产潜力。

1) 生产工艺与设备指标集合 $Y_1 = \{0, 0.31, 0.69\}$,生产工艺与设备的隶属度主要集中在三级,这表明案例公司的生产工艺与设备指标仅达到清洁生产水平的基本要求,尚有巨大的清洁生产潜力。

2) 资源利用指标集合 $Y_2 = \{0.25, 0.13, 0.62\}$,资源利用指标的隶属度主要集中在三级,这表明案例公司的资源利用率指标仅达到清洁生产水平的基本要求,有巨大的清洁生产潜力。

3) 镀件带出液污染物产生指标集合 $Y_3 = \{0.34, 0.33, 0.33\}$,镀件带出液污染物产生指标隶属度分布比较均匀,基本达到清洁生产的要求,仍有较大的清洁生产潜力。

4) 环境管理指标集合 $Y_4 = \{0.37, 0.50, 0.13\}$,环境管理指标隶属度主要集中在二级,满足清洁生产要求,但是距离清洁生产一级水平还有较大的空间,需要持续清洁生产。

根据国家电镀行业清洁生产标准评分计算方法,案例公司的清洁生产综合评价指数得分为 74.8 分,与本研究所述方法的评价结果 75.2 分一致性程度高,证明层次分析法结合模糊数学法能科学、公正、准确的评价电镀企业清洁生产潜力。

3 结 语

诸多单一清洁生产潜力评价方法用于电镀行业清洁生产潜力评价均存在一定的缺陷,本研究采用层次分析与模糊数学评价相结合,建立企业清洁生产潜力评价模型,评价企业清洁生产潜力,可克服单一方法的诸多缺点。通过电镀企业实证案例的评价结果对比可知:采用层次分析与模糊数学评价相结合的方法评价电镀企业清洁生产潜力,具有方法简明,结果可靠的特点,具有较好的实用性和科学性,值得进一步研究应用。

参考文献:

- [1] RATHI A K A. Promotion of cleaner production for industrial pollution abatement in Gujarat (India) [J].

- Journal of Cleaner Production, 2003, 11(5): 583-590.
- [2] DONIEC A, REICHEL J, BULINSKA M. Assessment of the potential of cleaner production implementation in Polish enterprises [J]. Journal of Cleaner Production, 2002, 10(4): 299-304.
- [3] HUR T, KIM I, YAMAMOTO R. Measurement of green productivity and its improvement [J]. Journal of Cleaner Production, 2004, 12(7): 673-683.
- [4] 李祚泳, 汪嘉杨, 熊建秋, 等. 可持续发展评价模型与应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [5] AL-SUBHI AL-HARBI K M. Application of the AHP in project management [J]. International Journal of Project Management, 2001, 19(1): 19-27.
- [6] 骆正清. AHP 中不一致性判断矩阵调整的新方法 [J]. 系统工程理论与实践, 2004, 24(6): 84-92.
- LUO ZHENG-QING. A new method for adjusting inconsistency judgment matrix in AHP [J]. Systems Engineering Theory & Practice, 2004, 24(6): 84-92.
- [7] 王禄超. 模糊综合评判法在评标中的应用研究 [J]. 建筑技术开发, 2005, 32(2): 113-115.
- WANG LU-CHAO. Study on application of fuzzy comprehensive evaluation in bid evaluating [J]. Building Technique Development, 2005, 32(2): 113-115.
- [8] STEVENSON RICHARD S. Cutting across interests: Cleaner production, the unified force of sustainable development [J]. Journal of Cleaner Production, 2004, 12(3): 185-187.
- [9] HILSON G. Barriers to implementing cleaner technologies and cleaner production (CP) practices in the mining industry: A case study of the Americas [J]. Minerals Engineering, 2000, 13(7): 699-717.
- [10] LEUENBERGER H. Cleaner production and industrial pollution [J]. Control: Potential and Limitation, 2002, 10(6): 373-380.
- [11] MOORS E H M, MULDER K F, VERGRAGT P J. Towards cleaner production: barriers and strategies in the base metals producing industry [J]. Journal of Cleaner Production, 2005, 13(7): 657-668.
- [12] HARDY C, GRAEDEL T E. Industrial ecosystems as food webs [J]. Journal of Industrial Ecology, 2002, 6(1): 29-38.
- [13] HEMEL C V, CRAMER J. Barriers and stimuli for ecodesign in SMEs [J]. Journal of Cleaner Production, 2000, 10(5): 439-453.
- [14] SALVADOR N N B, GLASSON J, PIPER J M. Cleaner production and environmental impact assessment: A UK perspective [J]. Journal of Cleaner Production, 2000, 8(2): 127-132.
- [15] CHARLES J K. Ecology [M]. Beijing: Science Press, 2003.

(编辑 郑洁)

~~~~~

(上接第 120 页)

- [12] 杜新龙, 康毅力, 游利军, 等. 低渗透储层应力敏感性控制因素研究 [J]. 天然气地球科学, 2010, 21(2): 295-299.
- DU XIN-LONG, KANG YI-LI, YOU LI-JUN, et al. Controlling factors of stress sensitivity in low-permeability reservoirs [J]. Natural Gas Geosciences, 2010, 21(2): 295-299.
- [13] 罗瑞兰, 雷群, 范继武, 等. 应力敏感对致密压裂气井生产的影响 [J]. 重庆大学学报, 2011, 34(4): 95-99, 106.
- LUO RU-LAN, LEI QUN, FAN JI-WU, et al. The influence of stress sensitivity on production of hydraulically-fractured tight gas wells [J]. Journal of Chongqing University, 2011, 34(4): 95-99, 106.
- [14] 高博禹, 周涌沂, 彭仕宓. 储层孔隙度应力敏感性研究 [J]. 石油实验地质, 2005, 27(2): 197-202.
- GAO BO-YU, ZHOU YONG-YI, PENG SHI-MI. Study on the stress sensibility of reservoir porosity [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2005, 27(2): 197-202.
- [15] 李宁, 张清秀. 裂缝型碳酸盐岩应力敏感性评价室内实验方法研究 [J]. 天然气工业, 2000, 20(3): 30-33.
- LI NING, ZHANG XIU-QING. A study of laboratory methods of evaluating the stress sensitivity of fractured carbonate rocks [J]. Natural Gas Industry, 2000, 20(3): 30-33.
- [16] PARSONS R W, MARATHON O C, LITTLETON C. Permeability of idealized fractured rock [J]. Society of Petroleum Engineers Journal, 1966, 6(2): 126-136.
- [17] HUIT J L. Fluid flow in simulated fractures [J]. AIChE Journal, 1956, 2(2): 259-264.

(编辑 王维朗)