

模糊综合评价法在精制糖生产过程能效评估中的应用

柳青¹, 农立忠², 郭华芳¹, 倪军明², 李家杰¹, 陈剑雄²

(¹中国科学院广州能源研究所, 广东广州 510640; ²广州华糖食品有限公司, 广东广州 510760)

摘要: 将模糊综合评价法应用到精制糖厂能效评估中, 系统地对影响精制糖厂总体能效状态的指标进行综合评判。通过选取有代表性的模糊评价集、评判主因素集和子因素集, 建立完整的模糊综合评判模型, 结合指标体系对能效进行模糊综合评价。结果表明: 基于模糊综合评价法的精制糖厂能效评估, 有助于企业直观了解生产过程能效状态, 对于企业能源管理具有重要指导意义。

关键词: 精制糖厂; 模糊综合评价; 能效评估体系; 隶属函数

中图分类号: TS245.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-9695(2017)06-0033-06

Application of Fuzzy Evaluation in Assessing Energy Efficiency of Refined Sugar Manufacturers

LIU Qing¹, NONG Li-zhong², GUO Hua-fang¹, NI Jun-ming², LI Ja-jie¹, CHEN Jian-xiong²

(¹Guangzhou Institute of Energy Conversion, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640; ²Guangzhou HUATANG Food Co. Ltd., Guangzhou 510760)

Abstract: By applying the fuzzy evaluation model into the energy efficiency evaluation of refined sugar manufactures, the index that can influence the overall energy efficiency of the refined sugar manufacture can be assessed systematically. By selecting the representative fuzzy evaluation set, judging the sets of the main factors and sub-factors, building up an integrated fuzzy evaluation model, combining with the index system, the energy efficiency can be assessed fuzzily and comprehensively. The result indicates that based on the energy efficiency evaluation of the refined sugar manufacture, the enterprises know the energy efficiency status of the production process intuitively. It is significant for the energy management of enterprises.

Keywords: Refined sugar manufactures; Fuzzy evaluation; Energy efficiency evaluation system; Membership functions

0 引言

随着节能技术在企业应用推广的日益深化, 对能效水平如何全面、合理、有效地进行评价已越来越引起企业的关注。为了避免能源在生产过程中的流失和浪费现象, 影响产品成本的估算和企业能效的有效控制, 研究有效的能效综合评估方法、技术与支持工具是能源研究领域的重要发展方向^[1]。企业能效是指企业进行生产经营活动所消耗的能源, 它包括用于产品、用于过程和散失于环境的全部能

量所消耗的能源^[2]。为了对能耗企业准确地进行能效评估, 最关键的一点就是要从多角度多层次建立典型能耗企业能效评估指标体系, 并提供可量化的能效考核指标^[3]。因此, 对企业能耗进行测度, 选取有代表性的指标来表现企业能耗及所包括的各个方面, 其评价指标涉及多领域、多学科, 因而种类繁多^[4]。

食糖精制过程主要消耗是蒸汽、电能和水。在精制生产的各个环节中都存在着不同程度的能量消

收稿日期: 2017-07-06; 修回日期: 2017-11-22

基金项目: 广州市科技计划项目(2013J4300024)

作者简介: 柳青(1970-), 男, 高级工程师, 从事新能源应用、自动化控制和节能研究; E-mail: liuqing@ms.giec.ac.cn

引文格式: 柳青, 农立忠, 郭华芳, 等. 模糊综合评价法在精制糖生产过程能效评估中的应用[J]. 甘蔗糖业, 2017(6): 33-38.

耗,影响着糖厂的经济效益。通过能效评估,可以全面了解生产的整体用能状况,主要能耗问题及节能潜力,最终达到降低能耗、提高经济效益的目的^[5]。本文结合精制糖厂的用能信息与生产信息,基于模糊综合评价法对精制糖生产过程中的能效状态进行整体上的评估,建立精制糖厂能效评估指标体系,为企业节能降耗决策提供数据方面的支撑。

1 模糊综合评价方法

模糊综合评价是以模糊数学为基础。应用模糊关系合成的原理,将一些边界不清、不易量化的因素量化,进行综合评价的一种方法^[6]。通过构造等级模糊子集把反映被评事物的模糊指标进行量化,然后利用模糊变换原理对各指标综合,并根据不同指标对评判对象的影响程度来分配权重,从而对各评判对象作出合理的综合评价^[7]。模糊综合评价方法和步骤如下:

(1)建立因素集

因素集是以影响评判对象的各种因素为元素组成的集合 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$, 这些因素通常都具有不同程度的模糊性。

(2)建立评判集

判断集是以评判者对评判对象可能作出的各种总的评判结果为元素组成的集合 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$, 各元素 v_i 代表各种可能的总的评判结果,模糊综合评判的目的,就是在综合考虑所有影响因素的基础上,从判断集中得出最佳的评判结果。

(3)构造评判矩阵

首先对着眼因素集中的单因素 $u_i (i=1, 2, \dots, m)$ 作单因素评判,从因素 u_i 着眼该事物对抉择等级 $v_j (j=1, 2, \dots, n)$ 的隶属度为 r_{ij} , 这样就得出第 i 个因素 u_i 的单因素评判集:

$$r_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in})$$

这样 m 个着眼因素的评判集就构造出一个总的评判矩阵 R , 即每一个被评判对象确定了从 U 到 V 的模糊关系 R , R 称为模糊评判矩阵。

(4)建立权重集

一般而言,各个因素的重要程度是不一样的,为了反映各因素的重要程度,对各个因素 u_i 应赋予相应的权数 a_i 由各权数所组成的集合。

$$A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$$

称为因素权重集,通常简称为权重集,各权数 a_i 应归一化和满足非负条件,即:

$$\sum a_i = 1, a_i \geq 0$$

其中, a_i 可视为各个因素 u_i 对“重要”的隶属度,因此,权重集 A 可视为因素集上的模糊集合。

(5)模糊综合评判

模糊综合评判通过模糊评判关系式 $B = A \circ R$ 完成。式中,“ \circ ”表示某种合成运算; B 称为模糊综合评判集; $b_j (j=1, 2, \dots, m)$ 称为模糊综合评判指标, b_j 的含义为综合考虑所有因素影响时,评判对象对判断集中第 j 个元素的隶属度。显然,模糊综合评判集 B 为判断集 V 上的模糊集合。

首先对二级指标子因素 U_i 作综合评判,若 R_i 为单因素矩阵,于是得到综合评判结果为:

$$B_i = A_i \circ R_i = (b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{im}), i=1, 2, \dots, l$$

其次再对一级指标高层因素集进行评判,即对评判空间 (U, V, R) 进行综合评判,对于因素集 U 的综合评判矩阵 R 则由较低层次单因素评判输出结果 B_i 构成:

$$R = \begin{pmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_l \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1m} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{l1} & b_{l2} & \dots & b_{lm} \end{pmatrix}$$

根据权重集 $A = (a_1, a_2, \dots, a_l)$, 得到因素集 U 的最后综合评判结果为:

$B = A \circ R = (b_1, b_2, \dots, b_m)$, 也就是模糊综合评价的最终结果。

2 精制糖厂能效评估指标体系

建立科学合理有效的评估指标集,是企业进行能效综合评估的前提和基础。为了更加全面地分析和评价企业的能耗情况,通过从精制糖生产过程的产品指标、废物利用指标、生产指标及经济指标进行能效管理,并对能源的利用和消耗进行考量,结合精制糖行业的特点,建立精制糖生产过程节能减排技术评估指标体系。本文精制糖生产过程能效评估指标体系如图1所示。

3 精制糖厂生产过程能效的模糊综合评估

模糊评判的基本思想是利用模糊线性变换原理和最大隶属度原则,考虑与被评价事物相关的各个因素,将各项指标统一量化,并根据不同指标对评判对象的影响程度来分配权重,从而对各评判对象作出合理的综合评价^[8]。本文根据精制糖生产过程中一些监控参数,并利用这些参数,构建模糊综合

评判模型来全面综合评价企业的能效水平，最终形成能效评估结果。

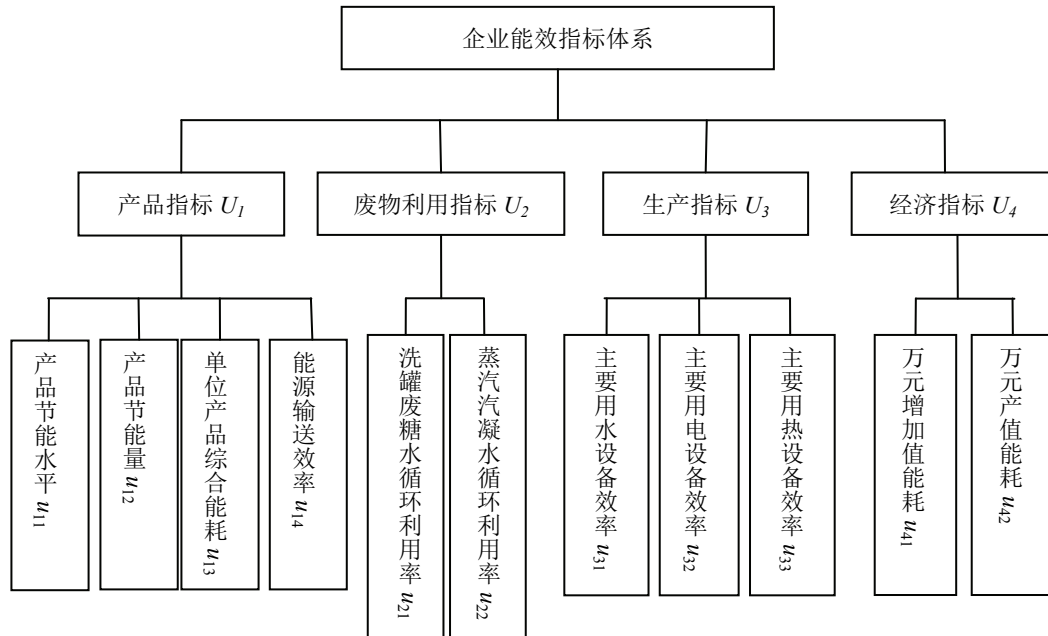


图 1 精制糖厂能效评估指标体系

3.1 评估指标体系的建立

因素集为对被评价对象进行评判的影响因素集合，表明从哪些方面进行评判描述。设 U 为包含所有判断因素的因素集，本文将评估指标集分为 2 个层次：第一层，总目标因素集 $U = (U_1, U_2, U_3, U_4)$ ；第二层，子目标因素集 $U_1 = (u_{11}, u_{12}, u_{13}, u_{14})$ 、 $U_2 = (u_{21}, u_{22})$ 、 $U_3 = (u_{31}, u_{32}, u_{33})$ 和 $U_4 = (u_{41}, u_{42})$ 。

3.2 评判集的确

评判集是对各层次评判指标的一种语言描述，它是评审人对各评判指标所给出的评语的集合。本模型的评语共分 3 个等级，具体的评判集为：

$V = (v_1, v_2, v_3) = \{ \text{能效良好, 能效一般, 能效较差} \}$

3.3 评判权重的确定

在进行模糊综合评价时，权重对最终的评价结果会产生很大的影响。因此，权重选择得合适与否直接关系到模型的成败。确定权重的方法有很多种，如专家估计法、层次分析法(AHP)等，可根据系统的复杂程度和实际工作需要适当选择。本模型评价系统相对比较简单，在这里采用专家估计法来确定权重。在综合有关专家意见的基础上，本模型最

终的权重确定结果如下：

$$A = (0.35, 0.15, 0.3, 0.2)$$

$$A_1 = (0.25, 0.25, 0.4, 0.1)$$

$$A_2 = (0.55, 0.45)$$

$$A_3 = (0.25, 0.35, 0.4)$$

$$A_4 = (0.45, 0.55)$$

这里所确定的权重是各元素相对于其上一层次元素的相对重要性权重值。

3.4 评判矩阵的建立和选取

模糊隶属关系矩阵是模糊综合评价合成过程中的基本要素，模糊关系矩阵是指在构造了评价等级论域后，确定从单因素来看被评价对象对各等级模糊子集的隶属度矩阵，其科学性直接影响综合评价结论的准确性。在多指标模糊综合评价中，因各子指标的量纲不同，子指标值的数量级不同，常导致得到的隶属度不符合实际情况。故在确定隶属函数前，需对定量指标进行归一化处理，具体方法为^[9-10]：

(1)对越小越优型指标，计算公式为：
 $x_i = (C_{01} - C_i) / (C_{01} - C_0) \dots \dots \dots (1)$

(2)对越大越优型指标，计算公式为：
 $x_i = (C_i - C_{01}) / (C_0 - C_{01}) \dots \dots \dots (2)$

式(1)、式(2)中： x_i 为指标*i*归一化后的值； C_0 为该指标的最优值； C_{01} 为该指标的极限值； C_i 为子指标*i*的实测值。

模糊综合评价是一种将定性分析和定量分析相结合的处理问题方法，对于定性指标，要建立各评价因素分级指标如表1所示。

表1 评价因素分级指标

因素集	子因素集	等级		
		良好	一般	较差
U_1	u_{11}	1	2	3
	u_{12}	>0.073	$0.054\sim0.073$	<0.054
	u_{13}	≤ 220	≤ 300	≤ 320
	u_{14}	>0.9	$0.9\sim0.7$	<0.7
U_2	u_{21}	>0.99	$0.8\sim0.99$	<0.8
	u_{22}	>0.99	$0.8\sim0.99$	<0.8
U_3	u_{31}	>0.9	$0.8\sim0.9$	<0.8
	u_{32}	>0.9	$0.8\sim0.9$	<0.8
	u_{33}	>0.9	$0.8\sim0.9$	<0.8
U_4	u_{41}	>0.253	$0.253\sim0.313$	<0.313
	u_{42}	>1.69	$1.69\sim2.12$	<2.12

在精制糖厂生产过程节能减排能效评估因素集中，文中所述各定量指标中，除能耗是越小越优型外，其余均为越大越优型。本文利用三角形和半梯形组合的分布函数如图2所示，根据因素集的数据特点，建立各指标对应于不同状态等级的隶属函数为：

$$\mu_{v1}(x) = \begin{cases} 1 & x \leq a_1 \\ \frac{a_2 - x}{a_2 - a_1} & a_1 < x \leq a_2 \\ 0 & x > a_2 \end{cases}$$

$$\mu_{v2}(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1} & a_1 < x \leq a_2 \\ \frac{a_3 - x}{a_3 - a_2} & a_2 < x \leq a_3 \\ 0 & x > a_3 \end{cases}$$

$$\mu_{v3}(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a_2 \\ \frac{x - a_2}{a_3 - a_2} & a_2 < x \leq a_3 \\ 1 & x > a_3 \end{cases}$$

通过对精制糖生产过程能效指标相关信息整理判断之后，根据模糊综合评判模型得到相应的模糊评判矩阵 R_i 和权重系数集 A ，详见表2。

单因素集 U_1 的评判矩阵为：

$$R_1 = \begin{pmatrix} 0.3 & 0.6 & 0.1 \\ 0.3 & 0.6 & 0.1 \\ 0.25 & 0.65 & 0.1 \\ 0.4 & 0.5 & 0.1 \end{pmatrix}$$

同理求出 U_2, U_3, U_4 的评判矩阵，分别为：

$$R_2 = \begin{pmatrix} 0.7 & 0.25 & 0.05 \\ 0.65 & 0.25 & 0.1 \end{pmatrix}$$

$$R_3 = \begin{pmatrix} 0.2 & 0.6 & 0.2 \\ 0.15 & 0.6 & 0.25 \\ 0.1 & 0.65 & 0.25 \end{pmatrix}$$

$$R_4 = \begin{pmatrix} 0.2 & 0.65 & 0.15 \\ 0.18 & 0.7 & 0.12 \end{pmatrix}$$

3.5 模糊综合评判

各指标的隶属度函数构建好模糊综合评判矩阵 R 以后，利用模糊综合评估式 $B=A \circ R$ 对精制糖生产过程能效进行综合评判。完成模糊综合评判后，对评估指标进行处理，以得到最终的评判结果。

单因素集 U_1 的综合评判结果为：

$$B_1 = A_1 \circ R_1 = [0.31 \quad 0.48 \quad 0.21]$$

同理求出 U_2, U_3, U_4 的综合评判结果，分别为：

$$B_2 = A_2 \circ R_2 = [0.21 \quad 0.46 \quad 0.33]$$

$$B_3 = A_3 \circ R_3 = [0.15 \quad 0.62 \quad 0.23]$$

$$B_4 = A_4 \circ R_4 = [0.19 \quad 0.69 \quad 0.12]$$

由 B_1 、 B_2 、 B_3 、 B_4 求得最高层模糊关系矩阵 R ：

$$R = \begin{pmatrix} 0.31 & 0.48 & 0.21 \\ 0.21 & 0.46 & 0.33 \\ 0.15 & 0.62 & 0.23 \\ 0.19 & 0.69 & 0.12 \end{pmatrix}$$

则针对该企业能效评估的综合评判结果为：

$$B = A \circ R = [0.22 \quad 0.54 \quad 0.24]$$

根据计算结果，由各个指标模糊运算得到的 2 层评判结果和 1 层评判结果分别见表 3、表 4。

由表 3 和表 4 可知企业整体能效水平的评判结果。根据最大隶属度原则，对该精制糖生产企业的能效水平评判结果中，0.54 最大，评语值为“能效一般”，即表示该企业的生产过程中节能水平一般。综合考虑各隶属度，可以看到，虽然评判结果定为能效一般，但若对相关环节进行有效整改，企业能效水平有望提高。因此，以此结果作为评估依据，可以有效地针对企业用能过程中能效相对薄弱的环节，科学地制定节能方案，充分挖掘节能潜力，提高用能效率。

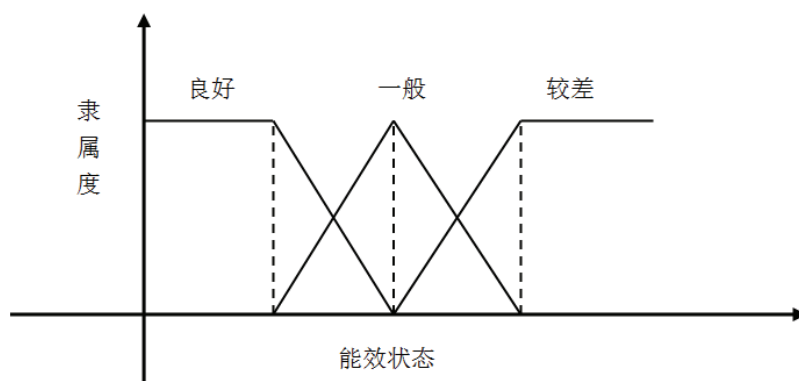


图 2 三角形和半梯形组合的分布函数

表 2 各层评判因素集、权重分配单因素模糊关系矩阵

因素集	权重	子因素集	权重	模糊关系矩阵		
				良好	一般	较差
U_1	0.35	u_{11}	0.25	0.3	0.6	0.1
		u_{12}	0.25	0.3	0.6	0.1
		u_{13}	0.4	0.25	0.65	0.1
		u_{14}	0.1	0.4	0.5	0.1
U_2	0.15	u_{21}	0.55	0.7	0.25	0.05
		u_{22}	0.45	0.65	0.25	0.1
U_3	0.3	u_{31}	0.25	0.2	0.6	0.2
		u_{32}	0.35	0.15	0.6	0.25
		u_{33}	0.4	0.1	0.65	0.25
U_4	0.2	u_{41}	0.45	0.2	0.65	0.15
		u_{42}	0.55	0.18	0.7	0.12

表 3 模糊综合评价指标 2 层评判结果

因素集	能效良好	能效一般	能效较差
U_1	0.31	0.48	0.21
U_2	0.21	0.46	0.33
U_3	0.15	0.62	0.23
U_4	0.19	0.69	0.12

表 4 模糊综合评价指标 1 层评判结果

能效良好	能效一般	能效较差
0.22	0.54	0.24

4 结论

本文分析精制糖厂现行能耗状况,建立了评价精制糖厂能效作用的指标体系,基于模糊综合评价法对精制糖厂能效状态进行综合评估。通过对精制糖厂用能评估,并在评估结果中保留了各级评价指标的信息,这有助于企业更加直观、全面、细致地了解整个精制糖厂能源消耗水平和各个生产环节之间的能源消耗状况,并客观而鲜明地展现了各个生产环节的节能潜力,对实施能源利用率低的环节进行节能技术改造指明了方向,从而提高精制糖厂的能源利用率和经济效益。

参考文献

- [1] 胡小梅,朱文华,王宇颖,等.高能耗企业能效综合评价系统设计研究[J].计算机工程与设计,2009,30(17):4081-4084.
- [2] 杨志荣,周伏秋.企业能耗与节能减排的量化方法[J].电力需求侧管理,2008,10(4):6-12.
- [3] 任慧,王坚.能效评估系统的应用研究[J].电脑知识与技术,2008,4(2):260-262,274.
- [4] 徐勇,王坚.基于AHP和PCA的企业能耗水平评价[J].价值工程,2008,27(8):9-12.
- [5] 李丹,余岳峰,虞亚辉.工业企业能效综合评估方法研究[J].上海节能,2007(5):17-21.
- [6] 杜栋,庞庆华.现代综合评价方法与案例精选[M].北京:清华大学出版社,2005:33-60.
- [7] 王涛,王艳平.模糊数学及其应用[M].沈阳:东北大学出版社,2009:95-108.
- [8] 满若岩,付忠广.基于模糊综合评判的火电厂状态评估[J].中国电机工程学报,2009,29(5):5-10.
- [9] 王峰,王成,程剑兵,等.基于模糊理论的输电线舞动状态评估[J].高压电器,2011,47(7):73-74.
- [10] 王伟,王高红,周翔,等.抽水蓄能电站服务电网评价指标体系及方法[J].电网与清洁能源,2010,26(8):88-92.

(本篇责任编辑:邓丹丹)