

# A Fuzzy Comprehensive Evaluation Method to Evaluate the Energy Efficiency of Enterprise Based on HWSME

Guoping Li<sup>1,2</sup>, Cheng Wang<sup>2</sup>, Xianbo Chen<sup>2</sup>, Fang Zhou<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Suzhou Institute of Trade & Commerce, Suzhou

<sup>2</sup>Jiangsu Bahov Company Limited, Kunshan

Email: liguoping64@163.com, bahovwangcheng@163.com, 119405031@qq.com, 839325329@qq.com

Received: Apr. 1<sup>st</sup>, 2013; revised: Apr. 22<sup>nd</sup>, 2013; accepted: Apr. 29<sup>th</sup>, 2013

Copyright © 2013 Guoping Li et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**Abstract:** In order to carry out power saving and emission reducing policies, the status quo of the power enterprises' energy using must be fully investigated, their energy-consumption should be evaluated objectively, and the effective measures of reducing emission and saving energy should be specifically adopted. Therefore, looking for an effective method to evaluate enterprises' energy efficiency is of great significance. Based on HWSME and fuzzy comprehensive evaluation method, the comprehensive evaluation method of enterprise energy efficiency is established, and the evaluation index system and membership functions are set up. Through the evaluation of some enterprise energy efficiency, the results have come to prove the validity of the method, which can provide a powerful analytical tool in evaluating energy efficiency and saving energy.

**Keywords:** HWSME; Fuzzy Comprehensive Evaluation; Energy Efficiency; Evaluation Index System; Membership Functions

## 基于 HWSME 的企业能效模糊综合评判方法

李国平<sup>1,2</sup>, 王成<sup>2</sup>, 陈先博<sup>2</sup>, 周芳<sup>2</sup>

<sup>1</sup>苏州经贸职业技术学院, 苏州

<sup>2</sup>江苏贝豪控股集团有限公司, 昆山

Email: liguoping64@163.com, bahovwangcheng@163.com, 119405031@qq.com, 839325329@qq.com

收稿日期: 2013 年 4 月 1 日; 修回日期: 2013 年 4 月 22 日; 录用日期: 2013 年 4 月 29 日

**摘要:** 在电力领域开展节能降耗活动, 必须首先充分了解企业用能情况, 在此基础上, 客观地对电力企业用能情况进行评估, 针对性的采取有效的节能减排措施。因此寻找有效的企业能效评判方法意义重大。借助于 HWSME 和模糊综合评判, 建立了企业能效的模糊综合评判方法, 构建了评价指标体系和隶属函数。通过对部分企业能效的评判, 结果证明了本方法的有效性。为企业用能情况评估和有效地节能减排提供了强有力的分析工具。

**关键词:** HWSME; 模糊综合评判; 能效; 评价指标体系; 隶属函数

### 1. 引言

电力是工业发展的血液。电力在各项能源消耗中所占比重较大, 在电力领域开展节能降耗活动, 将对

顺利实现“十二五”节能降耗目标产生重要作用。为此昆山市供电公司委托江苏贝豪控股集团有限公司组织开展电力节能调研活动。调研目的: 充分了解企

业用能情况，针对性的采取有效的节能减排措施。由于企业耗能的特殊性与复杂性，简单地采用直观的耗能指标等，并不能深刻揭示真正的耗能特点，也就不能充分了解企业用能情况，难以针对性的采取有效的节能减排措施。在电力领域开展节能降耗活动，必须首先充分了解企业用能情况，客观地进行评估，针对性的采取有效的节能减排措施。寻找有效的企业能效评判方法意义重大。借助于 HWSME 和模糊综合评判方法在股票价格异常波动评判中效果良好<sup>[1]</sup>，该方法也可以用于企业能效评判。

## 2. 综合集成研讨厅体系 HWSME<sup>[2]</sup>

### 2.1. HWSME

综合集成研讨厅体系，是钱学森、戴汝为和于景元等在总结几十年来世界学术讨论的 seminar、c<sup>3</sup>/I<sup>3</sup> 及作战模拟、情报信息技术、人工智能、人一机结合的智能系统、系统科学等成功经验的基础上，将社会思维、集体思维、知识工程引入系统科学，用综合集成方法解决复杂开放巨系统问题，于 1992 年提出的工程技术，英文全称为 Hall for Work Shop of Meta-synthetic Engineering，简记为 HWSME。它包括专家群体(参与者体系)、计算机 Internet。它的技术关键在于两方面：一方面是如何从万维网的海量信息中获取关于问题的知识；另一方面是如何使人(专家)的经验知识浮现出来，即如何激发和应用群体智慧。

在 HWSME 中，Internet 为专家提供关于某个主题的万维网参与者群体的一些有代表性的见解，是 HWSME 中基于问题的特殊专家。Internet 中基于问题的特殊专家和专家群体构成了 HWSME 中的广义的专家群体。交互是发挥整体优势、涌现群体智慧的唯一途径。

实践证明，开放的复杂巨系统是客观存在的，综合集成法也是可行的<sup>[3]</sup>。综合集成研讨厅体系产生和涌现群体智慧，应用群体智慧可求解复杂问题。

### 2.2. 专家选择

由于企业能效的评判问题属于开放的复杂巨系统的范畴，解决这一问题的有效方法是“从定性到定量的综合集成研讨厅体系”的方法。在研讨厅体系中专家群体是一个重要的组成部分，他们对解决问题的

设想的提出、研讨、建模及最终得到决策都起着重要作用。专家选择标准：1) 高度的专业知识；2) 丰富的实践经验；3) 迫切的革新需求；4) 追求真理的高度兴趣和使命感；5) 活跃的学术思维；6) 开放的胸襟。根据上述标准，我们选取 23 位对企业能效有一定研究的电力专家、系统工程专家、节能技术专家、生产管理者、企业能源主管、企业设备主管、电力客户服务经理、高校节能管理教师组成专家组。他们均具有 5 年以上的节能管理相关从业经验，对能效的分析研判都有较好的理论功底和实践经验，适合组成我们需要的分析评判专家组。他们分为若干小组，在小组讨论的基础上再集中讨论。要形成专家群体的有效互动，需要克服互动障碍，建立并强化共同愿景，规范互动过程<sup>[4]</sup>。

### 2.3. HWSME 的链接结构及其分析<sup>[2]</sup>

综合研讨厅体系对问题讨论的最终结论，可以通过人工归纳处理的方法得出，也可以通过链接结构分析方法得出，特别是当逻辑关系复杂，用人工方法比较困难时，链接结构分析方法更显示了其优越性。

1) 每个类网页  $pt$  的响应质量属性值为  $h(pt)$ ，其见解质量属性值为  $a(pt)$ ，所有属性值初始化为 1。令  $pt \rightarrow qt$  为类网页  $pt$  评价或响应了类网页  $qt$ ，用下面的迭代公式来计算见解质量属性值和响应质量属性值：

$$a(pt) = \sum_{qt \rightarrow pt} h(qt) \quad (1)$$

$$h(pt) = \sum_{pt \rightarrow qt} a(qt) \quad (2)$$

2) 按照公式(1)和(2)迭代更新每个类网页的两个属性值。

迭代结束后，对所有类网页，把它们见解质量属性值  $a(\cdot)$  从大到小进行排序，按需要或者意愿选取前面若干个类网页。

相关研究证明，这种链接结构分析方法的  $a(\cdot)$  值和  $h(\cdot)$  收敛于链接结构有向图的两个邻近矩阵  $M_{auth}$  和  $M_{hub}$  的主特征向量。这里，主特征向量对应关于某个主题研讨形成的群落。这些充满链接的群落和 HITS 在万维网上得到的群落有相似的特点，即：鲁棒性；收敛性概括和主题树细化了复杂问题等。

### 3. 基于 HWSME 的企业能效模糊综合评判方法

对事物的评价，常常要涉及多个因素或者多个指标。这就要根据多个因素对事物作综合评价。具体过程是：将评价目标看成是由多种因素组成的模糊集合(称为因素集  $u$ )，再设定这些因素所能选取的评审等级，组成评语的模糊集合(称为评判集  $v$ )，分别求出各单一因素对各个评审等级的归属程度(称为模糊矩阵)，然后根据各个因素在评价目标中的权重分配，通过计算(称为模糊矩阵合成)，求出评价的定量解值。上述过程即为模糊综合评判。企业能效评判牵涉到多个因素，适应采用模糊综合评判方法，且要解决好这个复杂问题，需要充分运用专家集体智慧，综合集成研讨厅体系能较好地产生和涌现群体智慧，应用群体智慧可求解复杂问题。将综合集成研讨厅体系 HWSME 与模糊综合评判方法结合，形成基于 HWSME 的企业能效模糊综合评判方法，可以较好地实现企业效能的评判。

#### 3.1. 对象描述

按照物理学的观点，能效是指在能源利用中，发挥作用的与实际消耗的能源量之比。从消费角度看，能效是指为终端用户提供的服务与所消耗的总能源量之比<sup>[5]</sup>。所谓“企业能效”，是指提供产品或者服务所发挥作用的与实际消耗的能源量之比。实质上就是能源的利用效率。现代意义的节约能源并不是减少使用能源，降低生活品质，而应该是提高能效，降低能源消耗，也就是“该用则用、能省则省”。以电力为例：电力节能可分成减少功率消耗和减少电能(kWh)消耗两大类。减少功率(kW)消耗没有轻松的方法，只有老老实实的提升用电设备的内部效率或改进工艺流程，例如选用高效率的马达、高 EER 的空调机等。减少电能(kWh)消耗则要从减少用电时间做起，例如自动开关的灯光、随手关灯等。

由于企业耗能的特殊性与复杂性，简单地采用直观的耗能指标等，并不能深刻揭示真正的耗能特点，也就不能充分了解企业用能情况，难以针对性的采取有效的节能减排措施。在电力领域开展节能降耗活动，必须首先充分了解企业用能情况，客观地进行评

估，针对性的采取有效的节能减排措施。寻找有效的企业能效评判方法意义重大。借助于 HWSME 和模糊综合评判，可以建立了企业能效的模糊综合评判方法。

#### 3.2. 评判指标体系设计

根据企业能效端特点，基于 HWSME 建立企业能效的评判指标体系。具体研讨过程如下：

ZH 代表主持人，L、T、J、C、Y 代表不同的专家。

ZH：好，我们现在开始研讨。首先，根据企业能效的特点，分析其主要特征，以便决定用什么指标来比较客观地刻画他们。

L：能效水平，就评价而言就是好、中、差的等级吧。根据实际情况和心理因素，可以分为 5 级，很好，较好，一般，较差，很差。如果要量化，就稍微麻烦点，需要对现有的进行评估的环节进行具体的评估，比如用电、散热、效率等情况，然后再和国标、国际国内水平、行业水平等进行比较

J：(同意 L 的观点)要对用电设备进行分类，分别评估，以便得出分类的能效，透彻了解用能，从而提出切合实际的改进措施，

C：L、J 的分析很有道理！企业每度电产值水平也很重要，从总体反映企业的能源效率状况，

Y：L、J 和 C 的分析符合实际情况，另外，行业专用设备很重要，

L：同意 Y 的分析。节能可分为意识节能、技术节能、行为节能。企业的节能教育、员工的节能意识，是很重要的！良好的习惯行为、有效的节能措施，

J：L 的分析正确，另外，企业的供电线路和变压器状况，也很重要，

经过上面的研讨，主持人归纳出：企业能效评判指标体系如图 1。其中权重用加权统计法由式(3)计算得出<sup>[6]</sup>。为节省篇幅，具体指标在隶属函数确定部分一并说明。

$$a_i = \sum_{j=1}^s \omega_j x_j \quad (3)$$

其中  $x_j$  为各专家提出的权重值，共计有  $s$  个不同的值，

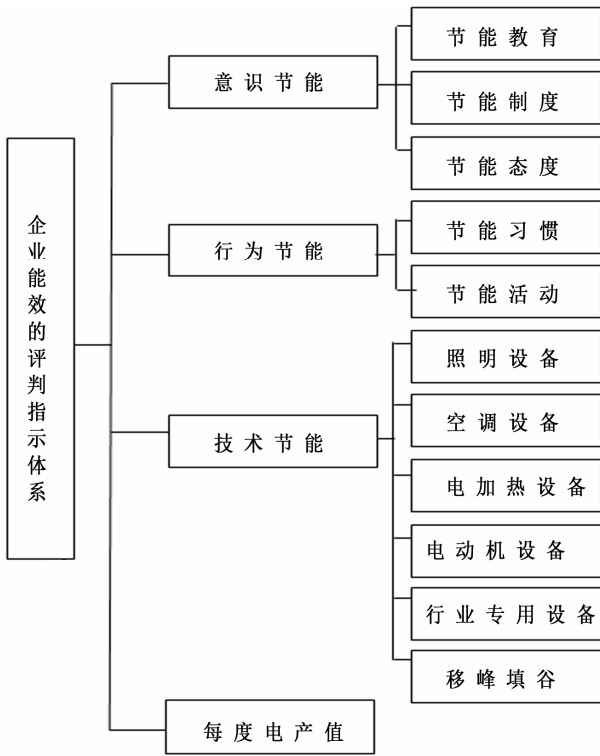


Figure 1. The structure of evaluation index system model of enterprise efficiency  
图 1. 企业能效的评判指标体系结构模型

$\omega_j$  为  $x_j$  出现的频率。

### 3.3. 确定评判集

根据实际情况和心理因素，我们确定评判结果集  $V = \{V1(a), V2(b), V3(c), V4(d), V5(e)\}$ ，将评判结果分为五级，从高到低分别为  $a, b, c, d, e$ ，分别对应“很好，较好，一般，较差，很差”。

### 3.4. 确定隶属函数

一级指标设有“意识节能”、“行为节能”、“技术节能”、“每度电产值”。“意识节能”下设三个二级指标：“节能教育”、“节能制度”、“节能态度”。“行为节能”下设“节能习惯”、“节能活动”两个二级指标。“技术节能”下设 6 个二级指标。二级指标再下设置若干三级指标。“每度电产值”不设置二级指标。

“每度电产值”，各地区、各行业差异很大。广东佛山南海区 2011 年 8 产业“一度电”产值分别为：非金属矿物制品业 1.84 元；纺织业 5.74 元；金属制品业 10.35 元；通用及专用设备制造业 24.42 元；有

色金属冶炼及压延加工业 28.91 元；木材加工及制品和家具制造业 39.13 元；电气、电子设备制造业 79.37 元；交通运输设备制造业 118.42 元。一度电能产生的工业产值最高超百元，为 118.42 元，最低仅 1.84 元<sup>[7]</sup>。江苏苏州昆山一度电变出 52 元工业产值<sup>[8]</sup>。南京一度电产生 16.6 元 GDP<sup>[9]</sup>。

显然，“每度电产值”越大，能效越好，为偏大型，取升岭型分布较贴切实际，如图 2 所示，隶属函数公式如式(4)。其中  $a_1 = 1.84, a_2 = 61, a_3 = 120$ 。

二级指标“照明设备”下设置若干三级指标：节能灯比例(权重 0.585)，照度(0.415)。节能灯比例也为偏大型，取升岭型分布较贴切实际，如图 2 所示，隶属函数公式如式(4)。其中  $a_1 = 60, a_2 = 79, a_3 = 98$ 。照度，参照各种场所照度标准参考表，为偏小型，取降岭型分布较贴切实际<sup>[5]</sup>，如图 3 所示，隶属函数公式如式(5)。其中  $a_1 = L1 + (L2 - L1)50\%, a_2 = L1 + (L2 - L1)75\%, a_3 = L2$ 。其中  $L2$  和  $L1$  为各种场所照度标准参考表的上、下限。

### 3.5. 综合评判

模糊综合评判是对受多种因素影响的事物作出全面评判的一种十分有效的多因素决策方法，其数学模型可分为一级模型和多级模型。当某事物的影响因素较多时，常采用二级、三级等多级综合评判方法来解决。这里以二级模糊综合评判方法为例介绍其方法步骤<sup>[6]</sup>。

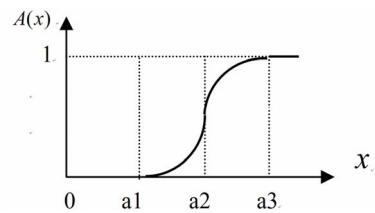


Figure 2. The rise ridge distribution of membership function  
图 2. 升岭型分布的隶属函数

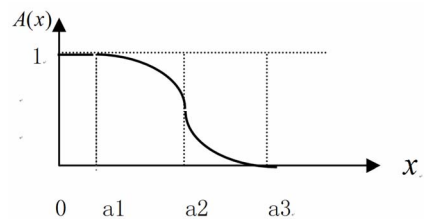


Figure 3. The reduced ridge distribution of membership function  
图 3. 降岭型分布的隶属函数

$$A(x) = \begin{cases} 0, x \leq a_1 \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin \left[ \frac{\pi}{a_3 - a_1} \times \left( x - \frac{a_1 + a_3}{2} \right) \right], a_1 < x \leq a_3 \\ 1, x > a_3 \end{cases} \quad (4)$$

$$A(x) = \begin{cases} 1, x \leq a_1 \\ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sin \left[ \frac{\pi}{a_3 - a_1} \times \left( x - \frac{a_1 + a_3}{2} \right) \right], a_1 < x \leq a_3 \\ 0, x > a_3 \end{cases} \quad (5)$$

建立判指标集  $U$ ，给定指标权重，可根据具体切开选用算术平均法、加权统计法、频数统计法或者试探法等，确定评判集，在此基础上建立评判矩阵。

首先构建隶属函数，据此定出  $U_i$  的每个因素  $u_{ij}$  对于  $n$  个评判等级的隶属度  $(r_{ij_1}, r_{ij_2}, \dots, r_{ij_n})$ ， $k_i$  个因素的评判结果可以用  $k_i \times n$  阶模糊矩阵  $R_i$  表示。确定  $R_i$  的方法如下：由  $s$  个专家组成评判组，其权向量  $w = (w_1, w_2, \dots, w_s)$ 。每人给  $U_i$  的每个因素  $u_{ij}$  评定一个等级，对所有专家的评判矩阵进行加权处理，由此得到模糊矩阵：

$$R_i = \begin{bmatrix} r_{i11} & r_{i12} & \dots & r_{i1n} \\ r_{i21} & r_{i22} & \dots & r_{i2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{iki1} & r_{iki2} & \dots & r_{ikin} \end{bmatrix}, \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (6)$$

再进行综合评判， $R_i$  为  $U_i$  的一级模糊综合评判的单因素评判矩阵， $R_i$  中第  $j$  行反映的是  $u_{ij}$  对于评判集中各等级的隶属度；第  $k$  列反映的是  $U_i$  中各因素分别取评判集中第  $k$  个等级的程度。 $U_i$  的一级模糊综合评判矩阵为式(7)。

再对一级指标进行二级模糊综合评判如式(8)。

$B$  为  $U$  中所有因素的综合评判结果，它表示评判对象按所有各类因素评判时，对评判集  $V$  中各级的隶

属度，再由最大隶属度原则或加权平均法定出最终评估结论。前者较为简单，后者比较细致，它是将结果向量  $B$  中元素作为评判集对应元素的权，用加权平均的结果为答案，这种方法要求评判集以数字的形式表达<sup>[3]</sup>。其中，“ $\circ$ ”为合成运算，可采用不同的模糊算子，视具体情况的运算效果而定。常采用的模型有  $M(\wedge, \vee)$ 、 $M(\bullet, \vee)$ 、 $M(\wedge, \oplus)$  和  $M(\bullet, +)$ 。对于综合评判  $B = A \circ R$ ，其中  $R = (r_{ij})_{m \times n}$ ，各模型算法和特点为<sup>[6]</sup>：

1)  $M(\wedge, \vee)$ ——主因素决定型

$$b_j = \bigvee_{i=1}^m (a_i \wedge r_{ij}), (j = 1, 2, \dots, n) \quad (9)$$

由于综合评判的结果  $b_j$  值仅由  $a_i$  和  $r_{ij}$  中的某一个确定(先取小，后取大)，着眼点是考虑主要因素，其他因素对结果的影响不大，由于要求  $\sum_{i=1}^m a_i = 1$ ，当考虑的因素很多时，势必导致每个因素分得的权重  $a_i$  很小，以致于  $a_i \leq r_{ij}$ ，于是丢掉了  $R = (r_{ij})_{m \times n}$  中的许多信息，即人们对每个因素作的评

判信息未能得到充分利用，因此这种运算结果常会出现不易分辨的情况。

2)  $M(\bullet, \vee)$ ——主因素突出型

$$B_i = A_i \circ R_i = (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{iki}) \circ \begin{bmatrix} r_{i11}, r_{i12}, \dots, r_{i1n} \\ r_{i21}, r_{i22}, \dots, r_{i2n} \\ \vdots \\ r_{iki1}, r_{iki2}, \dots, r_{ikin} \end{bmatrix} = (b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{iki}) \quad (7)$$

$$B = A \circ R = (a_1, a_2, \dots, a_m) \circ \begin{bmatrix} A_1 \circ R_1 \\ A_2 \circ R_2 \\ \vdots \\ A_m \circ R_m \end{bmatrix} = (b_1, b_2, \dots, b_n) \quad (8)$$

$$b_j = \bigvee_{i=1}^m (a_i \bullet r_{ij}), (j=1,2,\dots,n) \quad (10)$$

与  $M(\wedge, \vee)$  比较, 它是用  $a_i \bullet r_{ij}$  取代  $a_i \wedge r_{ij}$ 。对  $r_{ij}$  乘以小于 1 的权重  $a_i$  表明在考虑多因素时, 忽略了次要因素, 而突出了主因素。

3)  $M(\wedge, \oplus)$  ——主因素突出型

$$b_j = \bigoplus_{i=1}^m (a_i \wedge r_{ij}), (j=1,2,\dots,n) \quad (11)$$

$\oplus$  为有界和, 即  $a \oplus b = \min(1, a+b)$ 。在实际应用中, 主因素(权重最大的因素)在综合评判中起主导作用时建议采用模型 1)、2)和 3), 当 1)失效时采用 2)和 3)。

4)  $M(\bullet, +)$  ——加权平均型

$$b_j = \sum_{i=1}^m a_i \bullet r_{ij}, (j=1,2,\dots,n) \quad (12)$$

该模型对各因素依权重大小均衡兼顾, 适用于考虑各个因素起作用时的情况。对各级指标进行逐级评判, 然后进行综合评判。

#### 4. 实例分析

2012 年下半年, 江苏贝豪控股集团有限公司受江苏省电力公司昆山供电公司委托, 对昆山主要用能单位进行“蓄能技术、电力替代项目论证”调查、评估和“电力需求侧市场现场调研”, 为政府开展节能减排决策提供智力支持, 为重点耗能单位开展节能改造应用提供技术支撑。对某单位能效的评判, 结果为: “意识节能” 0.679、“行为节能” 0.789、“技术节能” 0.723、“每度电产值” 0.611。企业能效的评判结果 0.698。级别“一般”。该企业能效情况不均衡, 企业属于设备制造业, “每度电产值”难以明显提升, 成为 4 个一级指标中的短板。该企业新成立不久, 设备都比较新, 节能效果比较好, 但是没有考虑“移峰填谷”, 影响了“技术节能”的水平。“行为节能”相对最好, 企业是家族企业, 门卫做了电力集成控制, 并由家族成员通过电力集成控制设备, 控制全厂的电力负荷。正因为这个原因, 企业忽视了对全体职工的节能教育和制度建设, 全体员工的节能意识和态度水平参差不齐, 这也是比较明显的缺陷。评估组通过调查

评估, 对企业提出了改进建议: 积极实施“移峰填谷”; 针对企业生产生活用电实际, 制定切实可行的节能制度, 开展全员安全节能教育, 强化节能意识; 进一步养成全员节能习惯; 定期开展节能状况评估活动, 不断改进节能工作等。

#### 5. 结论

本方法比较全面地评判企业能效, 且可以根据一级指标的结果, 清晰地找出“意识节能”、“行为节能”、“技术节能”、“每度电产值”等的欠缺和改进之处。对企业的用能情况作出有针对性的分析报告, 并给出切实可行的节能意见。为政府开展节能减排决策提供智力支持, 为重点耗能单位开展节能改造应用提供技术支撑。

隶属函数和评判指标体系是两个关键。评判指标体系应体现评判对象的主要影响因素, 权重要能够尽量反映各因素的地位与作用; 隶属函数则应能够从不同的侧面尽量客观地刻画出评判对象的特征。这些问题必须依靠经验丰富的专家群体, 通过运用“从定性到定量的综合集成研讨厅体系”的方法来解决。该方法同样可用于企业其它能效的评判中, 关键仍然是构建评判指标体系和隶属函数。

#### 参考文献 (References)

- [1] 李国平, 陈森发. 基于 HWSME 的股票价格异常波动模糊综合评判方法[J]. 系统工程, 2007, 25(6): 112-115.
- [2] 陈森发. 复杂系统建模理论与方法[M]. 南京: 东南大学出版社, 2005: 87-98.
- [3] 黄欣荣. 钱学森复杂性思想研究[J]. 系统辩证学学报, 2004, 12(4): 12-18.
- [4] 崔霞, 李耀东, 戴汝为. HWME 中基于学习型组织的专家有效互动对话模型[J]. 管理科学学报, 2004, 7(2): 80-87.
- [5] 佚名. 能效[URL]. <http://baike.baidu.com/view/1809639.htm>
- [6] 谢季坚, 刘承平. 模糊数学方法及其应用[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002: 38-51.
- [7] 邓伟根. “一度电”产值南海全市垫底[URL]. <http://gcontent.oeeee.com/e/ff/effc299a1addb07e/Blog/19e/39d254.html>
- [8] 杨报平. 昆山一度电变出 52 元工业产值[URL]. [http://jsjyb.xhby.net/html/2010-09/06/content\\_273316.htm](http://jsjyb.xhby.net/html/2010-09/06/content_273316.htm)
- [9] 佚名. 南京电量变化看经济: 一度电产生 16.6 元[URL]. [http://www.cpnn.com.cn/zdzt/201208/t20120806\\_456591.html](http://www.cpnn.com.cn/zdzt/201208/t20120806_456591.html)