

# The Research and Application of Enterprise Power Efficiency Evaluation Model Based on Entropy Weight Theory and Grey Fixed-Weight Clustering Method

Yiming Xu, Fangyuan Geng, Xinke Xue, Minglei Xu, Wen Zhu, Enlei Guo, Jie Wu

Shandong Kehua Electric Power Technology Co., Ltd., Jinan Shandong  
Email: [xuyiming@sdkhdl.com](mailto:xuyiming@sdkhdl.com)

Received: Aug. 21<sup>st</sup>, 2015; accepted: Sep. 5<sup>th</sup>, 2015; published: Sep. 10<sup>th</sup>, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

By using the enterprise power efficiency evaluation model based on entropy theory and grey fixed-weight clustering method, this article studies and applies a method of enterprise power efficiency evaluation. Firstly the author analyzes the process of how the index weight of power efficiency evaluation model is established, and then analyzes the process of modeling the comprehensive power efficiency evaluation based on grey fixed-weight clustering method. Accordingly, a method to systematically evaluate the enterprise power efficiency is established. This method not only has scientifically dealt with the problem—subjective judgment in the process of quantifying the index weight, but also makes full use of the index data of the existing objective information and the implicit grey characteristics to maximize the enterprise clustering coefficient. Meanwhile, this method can also comprehensively process the various indexes, and figure out the precise power efficiency of each enterprise to provide a good basis of saving energy and reducing consumption for the enterprise evaluated. Finally, this article, taking the evaluative object of three companies as basis, models and analyzes these three companies' power efficiency, and verifies the feasibility of the method.

## Keywords

Power Efficiency Evaluation, Entropy Theory, Grey Fixed-Weight Clustering Method, Quantifying the Index Weight, Saving Energy and Reducing Consumption

---

# 基于熵权理论与灰色定权聚类法的企业电力能效评估模型研究与应用

徐一铭, 耿芳远, 薛欣科, 徐明磊, 朱文, 郭恩磊, 吴杰

山东科华电力技术有限公司, 山东 济南

Email: [xuyiming@sdkhdl.com](mailto:xuyiming@sdkhdl.com)

收稿日期: 2015年8月21日; 录用日期: 2015年9月5日; 发布日期: 2015年9月10日

## 摘要

本文通过采用熵权理论和灰色定权聚类法相结合的企业电力能效评估模型, 对企业电力能效的评估方法进行研究与应用。文章先对电力能效评估模型建立指标权重的过程进行了系统分析, 又通过灰色定权聚类法对能效综合评估模型的建模过程进行分析, 从而建立了一种对企业电力能效进行系统评估的方法。该方法不仅科学地处理了指标权重在定量化过程中主观判断的问题, 而且以企业聚类系数最大化为出发点, 充分利用了各指标数据已有的客观信息及隐含的灰色特性, 对指标进行综合治理, 得到各个企业的电力能效状况, 从而为企业的节能降耗提供很好的依据。本文最后还以三家企业为评估对象, 对三家企业的电力能效进行了详细的建模分析, 验证了该方法的可行性。

## 关键词

电力能效评估, 熵权理论, 灰色定权聚类法, 指标权重定量化, 节能降耗

## 1. 引言

国家“十二五”节能减排约束性目标的实现面临严峻挑战, 2013年我国工业能耗占全国总能耗的72.66%, 远高于世界主要经济体在工业化过程中的最高占比, 且呈上升趋势[1][2]。因此十分有必要对高耗能企业进行科学有效的能效评估, 以全面了解其生产的整体用能状况, 反映主要能耗问题及节能潜力, 从而有针对性地制定出最佳节能方案以降低企业能耗, 为我国节能目标的实现发挥重要作用。

文献[3]采用多级模糊综合评估法对高耗能企业的电力能效进行综合评估, 虽解决了传统模糊评估法隶属函数没有统一的标准的问题, 但其评估过程较为繁琐且在隶属度相近时易造成评估结果失效。文献[4]基于层次分析法对电力能效进行评估, 但评估的随机性和评估专家的主观性会使结果的可信度下降。文献[5]建立了用户侧能效诊断系统的分析评估模型, 但其仅从小型用电设备方面进行建模, 因所分析的设备功率较小, 不适用于对大型企业的能效进行评估。

本文采用熵权理论和灰色定权聚类法相结合的电力能效评估模型来对企业进行评估。在具体的评估过程中, 熵权理论用于客观而合理的确定各个评估指标的相对重要性, 即权重。灰色定权聚类法用于评估通过白化权函数求出各个指标隶属于某个灰类的隶属度[6], 继而评估观测对象是否属于事先设定的不同类别, 以便区别对待。

这种将熵权理论与灰色定权聚类法相结合的企业电力能效评估模型不仅科学处理了指标权重在定量

化过程中主观判断的问题[7]，而且以企业聚类系数最大化为出发点，充分利用了各指标数据已有的客观信息及隐含的灰色特性，对指标进行综合治理，得到各个企业的电力能效状况，从而为企业的节能降耗提供很好的依据。

## 2. 基于熵权理论建立指标权重的过程分析

信息熵是根据评价指标所带给决策者信息量的多少来确定各评价指标的权重的，是对客观事实的反应，它能尽量消除各因素权重的主观性。考虑有  $m$  个评估指标， $n$  个评价对象(或方案)的评价问题，其计算步骤如下：

### 2.1. 建立评价指标的样本矩阵 $A$

$$A = (a_{ij})_{n \times m} \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中  $a_{ij}$  为第  $i$  个评价对象(或方案)第  $j$  个指标的指标值。

### 2.2. 样本矩阵的标准化

对于定量评价指标，因为各评价指标表示的是不同单位的特征值，所以其量纲与大小往往差别很大。为此，需要对样本矩阵  $A$  做标准化处理，消除量纲等因素对评价的影响[8]。在对样本矩阵标准化处理时，对每一评价指标，根据其是效益型还是成本型有两种形式：

对于效益型(越大越优型)指标，其标准化公式为：

$$r_{ij} = \frac{a_{ij} - \min(a_{ij})}{\max(a_{ij}) - \min(a_{ij})} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

对于成本型(越小越优型)指标，其标准化公式为：

$$r_{ij} = \frac{\max(a_{ij}) - a_{ij}}{\max(a_{ij}) - \min(a_{ij})} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

对于适度性指标时，即指标数据越接近  $r_j$  越好，其标准化公式为：

$$r_{ij} = 1 - \frac{|a_{ij} - r_j|}{\max |a_{ij} - r_j|} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

于是得到标准化矩阵  $R$ ：

$$R = (r_{ij})_{n \times m} \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (5)$$

### 2.3. 计算评价指标的信息熵

无论是项目评估还是多目标决策，人们常常要考虑每个评价指标(或各目标、属性)的相对重要程度。表示重要程度最直接和简便的方法是给各指标赋予权重(权系数)。按照熵思想，人们在决策中获得信息的多少和质量，是决策的精度和可靠性大小的决定因素之一[9]。而熵在应用于不同决策过程中的评价或案例的效果评价时是一个很理想的尺度。评价指标的信息熵如下所示。

$$h_j = -k \sum_{i=1}^n f_{ij} \ln f_{ij} \quad (j=1,2,\dots,m) \quad (6)$$

假定,  $f_{ij} = 0$  时,  $f_{ij} \ln f_{ij} = 0$  其中,

$$f_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{j=1}^m r_{ij}} \quad (7)$$

$$k = \frac{1}{\ln n} \quad (8)$$

#### 2.4. 计算评价指标的熵权

得到各个指标的信息熵之后, 按式(8)计算即可得到各个评价指标的权重。

$$w_j = \frac{1 - H_j}{\sum_{k=1}^m (1 - H_k)} \quad j=1,2,\dots,m \quad (9)$$

### 3. 基于灰色定权聚类法能效综合评估建模分析

灰色聚类可分为灰色关联聚类和灰色白化权函数聚类, 在实际应用中, 灰色白化权函数聚类比灰色关联聚类复杂一些。而灰色白化权函数聚类又在可分为灰色变权聚类和灰色定权聚类。对于评估指标意义不同、量纲不同且数值上相差较大的评估体系宜采用灰色定权聚类[10]。运用灰色定权聚类构建电力能效评估模型的步骤如下:

设有  $n$  个评估对象,  $m$  个评估指标, 对象  $i$  关于指标  $j$  的样本观测值(即实际值)为  $x_{ij}$ , ( $i=1,2,\dots,n$ ;  $j=1,2,\dots,m$ ), 要根据  $x_{ij}$  的值对相应的对象  $i$  进行评估, 其具体步骤如下:

第一步, 根据评估对象的实际情况, 确定评估的灰类数  $s$ 。

第二步, 根据灰类数  $s$  将各个指标的取值范围相应地划分为  $s$  个灰类, 如将  $j$  指标的取值范围  $[a_1, a_{s+1}]$  划分为:

$$[a_1, a_2], \dots, [a_{k-1}, a_{k+1}], \dots, [a_{s-1}, a_s], [a_s, a_{s+1}]$$

其中,  $a_k$  ( $k=1,2,\dots,s,s+1$ ) 的值一般可根据实际情况的要求或定性研究结果确定。

第三步, 令  $\lambda_k = (a_k + a_{k+1})/2$  属于第  $k$  个灰类的白化权函数值为 1, 连接  $(\lambda_k, 1)$  与第  $k-1$  个灰类的起点  $a_{k-1}$  和第  $k+1$  个灰类的终点  $a_{k+2}$ , 得到  $j$  指标关于  $k$  灰类的三角白化权函数  $f_j^k(\cdot)$ ,  $j=1,2,\dots,m; k=1,2,\dots,s$ 。对于  $f_j^1(\cdot)$  和  $f_j^2(\cdot)$ , 可分别将  $j$  指标的取数域向左向右延至  $a_0, a_{o+2}$ , 见图 1。

对于  $j$  指标的一个观测值  $x$ , 可有下列公式计算出其属于灰类  $k$  ( $k=1,2,\dots,s$ ) 的隶属度  $f_j^k(\cdot)$ 。

$$f_j^k(x) = \begin{cases} 0 & x \notin [a_{k-1}, a_{k+2}] \\ \frac{x - a_{k-1}}{\lambda_k - a_{k-1}} & x \in [a_{k-1}, \lambda_k] \\ \frac{x - a_{k+1}}{\lambda_k - a_{k+1}} & x \in [\lambda_k, a_{k+2}] \end{cases} \quad (10)$$

第四步, 计算对象  $i$  ( $i=1,2,\dots,n$ ) 关于灰类的  $k$  ( $k=1,2,\dots,s$ ) 的灰色定权聚类系数  $\sigma_j^k$

$$\sigma_j^k = \sum_{i=1}^n f_j^k(x_{ij}) \eta_j \quad (11)$$

其中， $f_j^k(x)$ 为j指标k子类的白化权函数， $n_j$ 为指标j的权重，即根据上章求得的熵权。

第五步，由公式：

$$\max_{iskss} (\sigma_j^k) = \sigma_j^{k^*} \tag{12}$$

判断对象*i*属于灰类 $k^*$ ，当有多个对象同属于灰类 $k^*$ 时，还可以根据该聚类系数的大小确定同属 $k^*$ 灰类的各个对象的优劣或位次。

## 4. 实际建模分析与应用

### 4.1. 评估对象的原始数据

此次研究的评估对象为三家企业，通过数据采集平台，可得到如表1所示的三个企业的原始数据。

### 4.2. 形成样本矩阵

根据上表我们可以得到如下的样本矩阵A如图2所示。

### 4.3. 样本矩阵的标准化处理

由于指标万元产值电耗  $x_{11}$ 、万元增加值电耗  $x_{12}$ 、电压不合格率  $x_{33}$ 、电流不平衡率  $x_{34}$ 、线损率  $x_{35}$

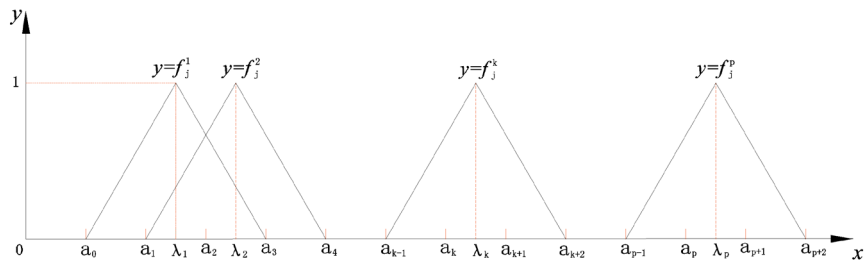


Figure 1. Diagram of the triangular white weight function

图1. 三角白化权函数示意图

Table 1. Original data of the evaluation object

表1. 评估对象原始数据

指标	指标	单位	金茂铝业	鲁方金属	天圆铜业
经济 Y <sub>1</sub>	万元产值电耗 x <sub>11</sub>	kW·h/万元	4995	4260	5926
	万元产值电耗 x <sub>12</sub>	kW·h/万元	15805	15043	16279
管理 Y <sub>2</sub>	计量器具完好率 x <sub>21</sub>	%	100	99	100
	节电率	%	0.14	0.21	0.18
技术 Y <sub>3</sub>	用电设备效率 X <sub>31</sub>	%	75	82	69
	功率因数 X <sub>32</sub>	-	0.92	0.93	0.90
	电压不合格率 X <sub>33</sub>	%	2.1	2.3	2.6
	电流不平衡率 X <sub>34</sub>	%	2.0	2.1	2.3
	线损率 X <sub>35</sub>	%	3.3	2.5	2.8
	谐波畸变率 X <sub>36</sub>	%	3.2	3.5	3.0
	单位产品电耗 X <sub>37</sub>	kWh/t	114	88	105
变压器负载率 X <sub>37</sub>	%	53	62	55	

谐波畸变率  $x_{36}$ 、单位产品电耗  $x_{37}$  为成本型指标[11]，因此可根据式(3)进行标准化处理，而指标计量器具完好率  $x_{21}$ 、节电率  $x_{22}$ 、用电设备效率  $x_{31}$ 、功率因数  $x_{32}$  为效益型指标，可根据式(2)进行标准化处理，指标变压器负载率  $x_{38}$  为适度性指标，我们取该指标的标准值为 59，然后根据式(4)进行标准化处理。于是，我们得到如图 3 所示的标准化矩阵  $R$ 。

#### 4.4. 指标权重的计算

根据式(9)对标准化矩阵  $R$  进行计算，可以得到如表 2 所示的各个二级指标权重。

同理，也可以得到一级指标的权重为，如表 3 所示。

#### 4.5. 评估指标的灰类

鉴于尽可能准确的反映企业电力能效状况需要，且便于理解与接受，本文将评估灰类划分为三个等级，灰类序号为  $s$ ， $s=1, 2, 3$ ，分别表示“高效”、“一般”、“低效”。结合行业有关文献[12] [13] 以及专家的意见，我们得到表 4 所示的评估指标的灰类和表 5 所示的评估指标延拓值与实际值。

#### 4.6. 指标隶属度的计算

对于指标  $x_{11}$ ，根据  $\lambda_k = (a_k + a_{k+1})/2$ ，可得：

$$A = \begin{Bmatrix} 4995 & 15805 & 100 & 0.14 & 75 & 0.92 & 2.1 & 2.0 & 3.3 & 3.2 & 114 & 53 \\ 4260 & 15043 & 99 & 0.21 & 82 & 0.93 & 2.3 & 2.1 & 2.5 & 3.5 & 88 & 62 \\ 5926 & 16279 & 100 & 0.18 & 69 & 0.90 & 2.6 & 2.3 & 2.8 & 3.0 & 105 & 55 \end{Bmatrix}$$

Figure 2. Sample matrix A  
图2. 样本矩阵A

$$R = \begin{Bmatrix} 0.5588 & 0.3835 & 1 & 0 & 0.4615 & 0.6667 & 1 & 1 & 0 & 0.6 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0.6 & 0.6667 & 1 & 0 & 1 & 0.5 \\ 0 & 0 & 1 & 0.5714 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.625 & 1 & 0.3462 & 0.3333 \end{Bmatrix}$$

Figure 3. Normalized matrix R  
图3. 标准化矩阵R

Table 2. Weight of the second index  
表2. 二级指标的权重

指标	经济 $Y_1$		管理 $Y_2$		技术 $Y_3$	
	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{21}$	$X_{22}$	$X_{31}$	$X_{32}$
权重	0.4674	0.5326	0.4778	0.5222	0.1324	0.1187
指标	技术 $Y_3$					
	$X_{33}$	$X_{34}$	$X_{35}$	$X_{36}$	$X_{37}$	$X_{38}$
权重	0.1219	0.1187	0.1205	0.1219	0.1474	0.1187

Table 3. Weight of the first index  
表3. 一级指标的权重

指标	经济 $Y_1$	管理 $Y_2$	技术 $Y_3$
权重	0.5762	0.1023	0.3215

$$\begin{aligned}
 \lambda_k &= (a_k + a_{k+1})/2 \\
 \lambda_k &= (4200 + 4900)/2 = 4550 \\
 \lambda_k &= (4900 + 6300)/2 = 5600 \\
 \lambda_k &= (6300 + 7500)/2 = 6900
 \end{aligned}
 \tag{13}$$

接着再根据式(10)，可得该指标在  $s = 1$ 、 $s = 2$  和  $s = 3$  下的白化权函数分别为：

**Table 4. Grey class of evaluation indicators**  
**表4. 评估指标灰类**

准则	指标	高效	一般	低效
经济 $Y_1$	$X_{11}$	$4200 \leq x_{11}^1 < 4900$	$4200 \leq x_{11}^2 < 6300$	$6300 \leq x_{11}^3 < 7500$
	$X_{12}$	$9000 \leq x_{12}^1 < 12000$	$12000 \leq x_{12}^2 < 16000$	$16000 \leq x_{12}^3 < 20000$
管理 $Y_2$	$X_{21}$	$99 \leq x_{21}^1 < 100$	$97 \leq x_{21}^2 < 99$	$95 \leq x_{21}^3 < 97$
	$X_{22}$	$0.4 \leq x_{22}^1 < 0.5$	$0.2 \leq x_{22}^2 < 0.4$	$0.05 \leq x_{22}^3 < 0.2$
技术 $Y_3$	$X_{31}$	$80 \leq x_{31}^1 < 86$	$70 \leq x_{31}^2 < 80$	$53 \leq x_{31}^3 < 70$
	$X_{32}$	$0.96 \leq x_{32}^1 < 0.98$	$0.93 \leq x_{32}^2 < 0.96$	$0.90 \leq x_{32}^3 < 0.93$
	$X_{33}$	$1 \leq x_{33}^1 < 0.98$	$2 \leq x_{33}^2 < 4$	$4 \leq x_{33}^3 < 6$
	$X_{34}$	$0.5 \leq x_{34}^1 < 1$	$1 \leq x_{34}^2 < 2$	$2 \leq x_{34}^3 < 4$
	$X_{35}$	$1 \leq x_{35}^1 < 2$	$2 \leq x_{35}^2 < 5$	$5 \leq x_{35}^3 < 7$
	$X_{36}$	$1 \leq x_{36}^1 < 2$	$2 \leq x_{36}^2 < 4$	$4 \leq x_{36}^3 < 7$
	$X_{37}$	$85 \leq x_{37}^1 < 95$	$95 \leq x_{37}^2 < 110$	$100 \leq x_{37}^3 < 130$
	$X_{38}$	$55 \leq x_{38}^1 < 65$	$45 \leq x_{38}^2 < 55$	$30 \leq x_{38}^3 < 45$

**Table 5. Continuation value and actual value of indicators**  
**表5. 评估指标延拓值与实际值**

	指标	$a_0$	$A_5$	实际值
经济 $Y_1$	$X_{11}$	4000	7900	4995
	$X_{12}$	8500	20500	15805
管理 $Y_2$	$X_{21}$	93	102	100
	$X_{22}$	0	0.6	0.14
技术 $Y_3$	$X_{31}$	50	89	75
	$X_{32}$	0.88	0.99	0.92
	$X_{33}$	0.5	7	2.1
	$X_{34}$	0.3	5	2.0
	$X_{35}$	0.9	8	3.3
	$X_{36}$	0.5	8	3.2
	$X_{37}$	75	145	114
	$X_{38}$	25	75	53

$$f_{11}^1(x) \begin{cases} 0 & x \notin [4000, 6300] \\ \frac{x-4000}{4550-4000} & x \in [4000, 4550] \\ \frac{6300-x}{6300-4550} & x \in [4550, 6300] \end{cases} \quad (14)$$

$$f_{11}^2(x) \begin{cases} 0 & x \notin [4200, 5450] \\ \frac{x-4200}{5450-4200} & x \in [4200, 5450] \\ \frac{7500-x}{7500-5450} & x \in [4900, 7900] \end{cases} \quad (15)$$

$$f_{11}^3(x) \begin{cases} 0 & x \notin [4900, 7900] \\ \frac{x-4900}{6900-4900} & x \in [4900, 6900] \\ \frac{7900-x}{7900-6900} & x \in [6900, 7900] \end{cases} \quad (16)$$

于是, 将指标 $x_{11}$ 的实际值代入上面各式中, 可得到该指标在各灰类下的隶属度为:  $f_{11}^1(4995) = 0.7457$ ;  $f_{11}^2(4995) = 0.636$ ;  $f_{11}^3(4995) = 0.0475$ 。

同理, 可得到其它指标在各灰类下的隶属度如表 6 所示。

#### 4.7. 聚类系数的计算与结果分析

根据式(11)可以计算得到一级指标和总指标的聚类系数, 具体如表 7 所示。

之后根据式(12), 可以对金茂铝业、鲁方金属、天圆铜业三家公司的各能效情况进行分析。

金茂铝业与天圆铜业电力能效就整体而言, 当前属于灰类 2, 即“一般”, 两家公司相较于鲁方金

**Table 6.** Membership under the various grey class

**表6.** 各灰类下的隶属度

指标\灰类		S=1	S=2	S=3
经济 $Y_1$	$X_{11}$	0.7457	0.636	0.0475
	$X_{12}$	0.0355	0.6992	0.6342
管理 $Y_2$	$X_{21}$	0.8	0	0
	$X_{22}$	0	0.36	0.9454
技术 $Y_3$	$X_{31}$	0.3846	1	0.2703
	$X_{32}$	0	0.4444	0.8889
	$X_{33}$	0.76	0.55	0.0333
	$X_{34}$	0	0.8	0.5
	$X_{35}$	0.4857	0.8222	0.325
	$X_{36}$	0.32	0.96	0.3429
	$X_{37}$	0	0.5818	0.76
	$X_{38}$	0.5333	0.8	0.1143



**Table 7. Coefficient of the first index and the total index cluster**  
**表7. 一级指标与总指标聚类系数**

	$\sigma^1$	$\sigma^2$	$\sigma^3$
经济能效 $Y_1$	0.3674	0.6697	0.3600
管理能效 $Y_2$	0.3822	0.1880	0.4937
技术能效 $Y_3$	0.3044	0.7438	0.4112
电力能效U	0.3487	0.6442	0.3901

属在电力能效方面表现较不理想。就此两家公司的能效对比而言，天圆铜业较金茂铝业能效水平更高。具体方面可通过各能效指标进行分析。两公司的管理能效水平尚可，相较于鲁方金属，管理水平属“高效”。但此两家公司短板为经济能效和技术能效，尤其是金茂铝业，其技术能效水平最低，应考虑在经济条件允许的情况下，尽可能对设备进行更新换代，此外还可引进更先进的技术，以提高公司的技术能效。在经济能效方面，两家公司虽表现尚可，但仍较鲁方金属有较大差距，这一方面可能与设备的新旧程度、先进程度有关，还可能与公司对市场动向把握的不准确有关，应进一步对公司经济能效问题进行分析与探究，影响经济能效的最直接因素，并改善，以提高其能效水平。

鲁方金属电力能效属于灰类1“高效”。但就各指标而言，其管理能效水平较低，应提高管理能效，对公司的管理机制进行调整，以更大程度的提高企业的电力能效，从而提高产值，降低能耗。

该章节，通过对金茂铝业、鲁方金属、天圆铜业三家企业的能效状况进行建模评估，从而量化了三家企业的能效水平，找到了影响各企业电力能效水平的短板，为企业进一步的改善提供了宝贵的理论支撑。证实了该方法的可行性，验证了该方法的实践价值。

## 5. 结论

本文以熵权理论和灰色定权聚类法相结合的电力能效评估模型来对企业进行评估，为企业电力能效评估的规范化、科学化提供了新思路。在评价过程中充分利用了各指标数据已有的客观信息及隐含的灰色特性，对指标进行综合治理，得到各个企业的电力能效状况，从而为企业的节能降耗提供了宝贵的理论支撑。

文章先对电力能效评估模型建立指标权重的过程进行了系统分析，又通过灰色定权聚类法对能效综合评估模型的建模过程进行分析，从而建立了一种对企业电力能效进行系统评估的方法，并对该方法的应用进行了阐释。最后，以三个公司的实际数据为基础，采用此方法对三个公司的能效分别进行了评估，并得出了结论，对各公司能效的改善方向提出了建议。由此证实了该方法的可行性，验证了该方法的实践价值。

## 基金项目

山东省科技发展计划项目资助(2013G0020113)。

## 参考文献 (References)

- [1] 戴丽 (2014) 我国工业绿色化发展压力大. *节能与环保*, **2**, 28-31.
- [2] 马秀琴, 张秋生, 黄超, 等 (2013) 中国北方电力工业能耗调查研究. *中国电力教育*, **5**, 214-216.
- [3] 王志勇, 邱泽晶, 王振宇, 等 (2013) 高耗能企业能效水平的多级模糊综合评估方法. *冶金能源*, **6**, 12-16, 58.
- [4] 杨小彬, 李和明, 尹忠东, 等 (2013) 基于层次分析法的配电网能效指标体系. *电力系统自动化*, **21**, 146-150, 195.

- 
- [5] 梁翀, 杨小云, 姚建凯, 等 (2014) 基于用户侧能效诊断系统的研究. *广西电力*, **2**, 22-25, 47.
- [6] 蔡忠义, 陈云翔, 徐吉辉, 等 (2012) 基于熵权的群组灰色聚类决策法. *电光与控制*, **3**, 44-46.
- [7] 程启月 (2010) 评测指标权重确定的结构熵权法. *系统工程理论与实践*, **7**, 1225-1228.
- [8] 杨德胜, 金在全, 范叶平, 等 (2011) 基于熵权的信息系统运行质量评价模型及应用. *现代电子技术*, **22**, 24-26.
- [9] 杨伟萍, 林梦雷 (2014) 直觉模糊信息系统中的信息熵. *计算机工程与应用*, **11**, 130-134.
- [10] 刘思峰, 谢乃明 (2011) 基于改进三角白化权函数的灰评估新方法. *系统工程学报*, **2**, 244-250.
- [11] 王淼, 常乃超, 刘金波, 等 (2015) 状态估计多指标综合评价方法. *电力系统自动化*, **1**, 94-98.
- [12] 祝恩国, 董俐君, 葛磊蛟, 等 (2014) 用户用电设备评估的区间熵权法. *电测与仪表*, **24**, 106-112.
- [13] 李静, 陈健云, 徐强, 等 (2015) 高拱坝抗震性能评价指标研究. *水利学报*, **1**, 118-124.