

# 低碳产业发展竞争力评价指标体系与评价方法

周燕, 李林

(上海理工大学 管理学院, 上海 200093)

**摘要:** 当今全球气候变暖及其他环境问题日益突出,为谋求经济新的增长点,必须摒弃传统的高能耗、高排放、高污染的产业模式,低碳产业应运而生。未来社会经济的竞争将是低碳产业之间的竞争。运用新钻石模型,基于低碳产业对生态环境的特殊影响,构建涵盖了生态效益影响的多属性低碳产业发展竞争力评价指标体系,该指标体系包括7个一级指标,19个二级指标,以及33个量化指标,并运用模糊熵—熵权法进行评价。

**关键词:** 低碳产业;新钻石模型;生态效益;模糊熵—熵权法

**中图分类号:** F062.9      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1671-1807(2016)07-0035-05

在全球气候变暖及其他环境问题日益突出的情况下,无论是国家层面还是企业层面都已意识到发展低碳产业的必要性,人类处在社会发展的又一个重大转型期。发展低碳产业,是应对当前能源短缺和环境恶化问题的根本解决方法,顺应了当前经济发展的潮流,也是抓住历史发展机遇与应对国际政治压力的关键所在。胡卫东认为未来社会经济的竞争是低碳产业之间的竞争<sup>[1]</sup>。因此澳大利亚气候研究机构(The Climate Institute)与英国第三代环境主义组织(E3G)联合发布的研究报告《G20 低碳竞争力》中认为低碳竞争力(low carbon competitiveness)就是各国通过低碳发展方式为国民创造价值的<sup>[2]</sup>能力。其次,在项目评价的过程中,并不是项目的每一个指标值都是确定的精确值,在很多时候,决策者并不能获得项目的各个指标值的精确值,很可能是一个区间数,或者只是一个模糊语言变量如:很好,一般,不好等。而且项目各个指标在决策过程中的重要性也不一致。在已有研究中,关于指标单一属性的项目评价方法的研究已经较为成熟,卢键明等<sup>[3]</sup>基于经济增加值(economic value added, EVA)对电网建设项目投资进行评价。许学娜等<sup>[4]</sup>在传统的项目评价方法基础上,用考虑了负债影响的项目评价方法并进行了实例分析,得出不同方法的适用条件。申云等<sup>[5]</sup>构建了多目标优先级评价的指标体系并利用网络分析法和模糊熵权相结合的方法对其进行评价。这些决策方法都建立在指标值是精确数的基础上,适用范围有

限。而且这些决策方法忽略了不同指标在决策过程中的重要程度不一致的问题,将其决策方法建立在各指标具有相同重要性的基础上或是只考虑了主观权重和客观权重之一。在现实的很多项目决策问题中,都可能会遇到各个指标的属性值不一致的情况,而且各个指标在进行项目决策时的重要程度不一致。综合以上所述决策方法的缺陷,本文将介绍基于模糊熵—熵权法的决策方法在该类项目决策问题中的使用。

## 1 低碳产业发展竞争力评价指标体系的构建

根据芮明杰提出的新钻石模型,产业竞争力包括五个基本要素:生产要素、需求条件、相关及支持性产业、企业战略、结构及同业竞争、知识吸收和创新能力以及两个附加因素:机遇、政府<sup>[6]</sup>。低碳产业区别于其他的传统产业,更注重与生态环境的包容性,因此新钻石模型并不能够涵盖低碳产业发展竞争力评价的各个方面。为兼顾低碳产业与生态环境的包容性,本文在新钻石模型的基础上增加“生态效益因素”。基于上述描述,基于新钻石模型的低碳产业发展竞争力评价模型包括7个一级要素。为便于进行低碳产业发展竞争力的评价,需要将一级要素细化并给出量化指标或模糊语言描述。本文还将给出量化指标的数值期望方向。

1)生产要素的指标体系:低碳产业的核心是技术创新<sup>[7]</sup>,其关键途径是开发和使用低碳技术<sup>[8]</sup>,因此相较于其他传统的产业而言,低碳产业对技术的要求

收稿日期:2016-03-12

**作者简介:**周燕(1992—),女,河南南阳人,上海理工大学,硕士研究生,研究方向:企业管理;李林(1966—),女,辽宁营口市,上海理工大学,副教授,研究方向:工业工程、质量管理。

比较高。基于波特的钻石理论,在低碳产业中,其生产要素除了技术之外,还包括人才、资金、设备。本文给出生产要素二级评价指标因素。

|                         |              |  |  |  |
|-------------------------|--------------|--|--|--|
| 低碳产业发展<br>竞争力评价<br>指标体系 | 一级指标         |  |  |  |
|                         | A 生产要素       |  |  |  |
|                         | B 需求要素       |  |  |  |
|                         | C 企业战略要素     |  |  |  |
|                         | D 相关及支持性产业要素 |  |  |  |
|                         | E 生态效益要素     |  |  |  |
|                         | F 政府要素       |  |  |  |
|                         | G 机遇要素       |  |  |  |

表 1 生产要素的二级要素及其量化数据

| 一级<br>指标 | 二级<br>指标 | 量化指标             | 指标<br>属性 | 数值期<br>望方向 |
|----------|----------|------------------|----------|------------|
| 生产<br>要素 | 资金       | 低碳产业总资产年增长率      | 精确值      | +          |
|          |          | 低碳企业融资的难易程度      | 模糊值      |            |
|          | 技术       | 低碳产业研发投入占营业收入百分比 | 精确值      | +          |
|          |          | 年低碳技术突破数量        | 精确值      | +          |
|          |          | 低碳产业设备更新速度       | 模糊值      |            |
|          |          | 低碳技术从业人员年均增长率    | 精确值      | +          |
|          | 人才       |                  |          |            |

注:精确值是指该指标的值是可以通过数据资料得到准确的数值,而模糊值是指该指标是一个定性指标,因此无数值期望方向。下同。

2)需求条件要素的指标体系:有需求才有市场,市场需求是行业发展的根本动力。市场对低碳产品的需求可以促进低碳产业技术的发展、设备的更新、人才的引进等。低碳产业的市场需求大小与经济发展水平、低碳产品的认可度。

表 2 需求要素的二级要素及其量化数据

| 一级<br>指标 | 二级<br>指标    | 量化指标             | 指标<br>属性 | 数值期<br>望方向 |
|----------|-------------|------------------|----------|------------|
| 需求<br>条件 | 经济发展水平      | 人均 GDP           | 精确值      | +          |
|          | 低碳产业<br>认可度 | 人口受教育程度          | 模糊值      |            |
|          |             | 获得或实现低碳的<br>难易程度 | 模糊值      |            |

3)企业战略要素的指标体系:企业的战略应能够适应大力发展低碳经济的大环境,企业能否在资源、能力与环境之间保持平衡决定了在竞争中的成败<sup>[9]</sup>。本文将企业战略要素分为资源、管理、组织、文化四个二级要素。

4)相关及支持性产业要素的指标体系:低碳产业的相关产业是指与低碳产业在技术、营销渠道等方面

相同或相似的产业。低碳产业的支持性产业是指为低碳产业提供人力、资本、信息、原材料、技术或设备支持的产业<sup>[10]</sup>。在整个社会经济体系中,任何一个产业都不可能独立存在而不受其他产业的影响。与低碳产业相关的及支持性产业可以促进低碳产业创新<sup>[11]</sup>及降低成本,因此低碳产业发展竞争力的提高有赖于相关及支持性产业的发展,从而产生产业集群效应,形成良性互动的低碳产业链,包括低碳产品的发布、生产、加工、销售<sup>[12]</sup>等。低碳产业的相关及支持性产业包括节能产业、新能源与可再生产业、碳捕获与存储与碳减排产业。

表 3 企业战略要素的二级要素及其量化数据

| 一级<br>指标 | 二级<br>指标 | 量化指标                 | 指标<br>属性 |
|----------|----------|----------------------|----------|
| 企业<br>战略 | 企业目标、定位  | 低碳产业主营业务收入/年<br>营业收入 | 区间值      |
|          | 企业管理策略   | 低碳企业管理费用/年销售<br>收入   | 区间值      |
|          | 企业市场策略   | 低碳企业销售费用/年销售<br>收入   | 区间值      |
|          | 同业竞争     | 低碳相关上市企业数量           | 区间值      |
|          |          |                      |          |

表 4 相关及支持性产业要素的二级要素及其量化数据

| 一级<br>指标             | 二级<br>指标      | 量化<br>指标    | 指标<br>属性 | 数值期<br>望方向 |
|----------------------|---------------|-------------|----------|------------|
| 相关<br>及<br>支持性<br>产业 | 节能产业          | 工业节能        | 精确值      | +          |
|                      |               | 交通节能        | 精确值      | +          |
|                      |               | 建筑节能        | 精确值      | +          |
|                      | 新能源与<br>可再生产业 | 核电发电量       | 区间值      | +          |
|                      |               | 太阳能和风能总利用率  | 区间值      | +          |
|                      | 碳捕获与<br>存储    | CCS 的技术研发水平 | 模糊数      |            |

5)生态效益要素的指标体系:低碳产业和传统产业的关键差别在于对生态效益要素的考虑。传统产业的高能耗、高污染、高排放正是低碳产业与之不同的地方。低碳产业通过消碳技术、零碳技术、降碳技术等实现低排放、低能耗。生态效益要素的二级指标可以分为:废水排放量,废气排放量,能源消耗。

6)政府要素的指标体系:政府因素是产业发展的主导因素,政府通过给予低碳产业的税收抵免、直接财政补贴和政策支持等,促使企业转型,吸引人才,鼓励技术发展,从而增加低碳产业竞争力。2015 年 11 月 1 日开始实施的《节能低碳产品认证管理办法》统一了我国的节能低碳产品的认证制度,极大地推动

节能低碳产品的认证活动,并且会使得获得节能低碳认证的产品的广泛使用<sup>[13]</sup>。本文将政府要素分为产业政策和技術保护两个二级要素。

表 5 生态效益要素的二级要素及其量化数据

| 一级指标 | 二级指标 | 量化指标               | 指标属性 | 数值期望方向 |
|------|------|--------------------|------|--------|
| 生态效益 | 废水排放 | 年废水排放量/原年废水排放量     | 精确值  | —      |
|      | 废气排放 | 年废气排放量/原年废水排放量     | 精确值  | —      |
|      | 能源消耗 | 单位 GDP 能耗          | 精确值  | —      |
|      |      | 年煤炭消耗量/原年能源消耗总量    | 精确值  |        |
|      |      | 年可再生能源消耗量/原年能源消耗总量 | 精确值  | +      |
|      |      | 年化石能源消耗总量/原年能源消耗总量 | 精确值  | —      |

表 6 政府要素的二级要素及其量化数据

| 一级指标 | 二级指标 | 量化指标          | 指标属性 | 数值期望方向 |
|------|------|---------------|------|--------|
| 政府因素 | 产业政策 | 低碳企业税收优惠额比例   | 精确值  | +      |
|      |      | 低碳企业政府补贴额     | 精确值  | +      |
|      | 技术保护 | 技术专利授权数量      | 精确值  | +      |
|      |      | 节能低碳产品认证的规范程度 | 模糊值  |        |

7) 低碳产业机遇的指标体系:全球经济发展至今,能源短缺、气候变化等问题促使经济转型,各国都在尽力抓住眼下经济转型的重要机会,谋求经济新的增长点,中国共产党十八次代表大会就将生态文明建设提升到战略层面,因此对于低碳产业来说,当前即是低碳产业发展的机遇。

表 7 机遇要素的二级要素及其量化数据

| 一级指标 | 二级指标   | 量化指标        | 指标属性 | 数值期望方向 |
|------|--------|-------------|------|--------|
| 机遇要素 | 全球化机遇  | 低碳企业数量年增长量  | 精确值  | +      |
|      |        | 实现低碳经济的迫切程度 | 模糊数  |        |
|      | 低碳经济时代 | 低碳产业经济效益    | 模糊数  |        |
|      |        | 低碳产业集群的成熟度  | 模糊数  |        |

2 评价方法步骤

基于前述所建模型,运用模糊熵—熵权法的步骤:

设指标多属性的可行项目集为  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ , 属性集为  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ 。则决策矩阵可以

表示为:  $A = (a_{ij})_{m \times n}$ , 其中  $a_{ij}$  的表达式可以是精确值、区间数, 直觉模糊数以及模糊语言变量(如:重要、一般、不重要等)。决策矩阵可表示如下:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \cdots & \cdots & \ddots & \cdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

其中,属性权重为:  $B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$ , 满足  $b_j \geq 0 (j = 1, 2, \dots, n), b_1 + b_2 + \dots + b_n = 1$ 。

1) 规范化处理决策矩阵,就是将决策矩阵中的精确值、区间数、模糊语言变量等转化成直觉模糊数,从使得决策矩阵中的信息统一化。在各指标属性统一化过程中,应该注意的是效益型的指标和成本型的指标处理方式不同。

精确值规范化公式:

效益型:

$$c_{ij} = a_{ij} / \sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}$$

成本型:

$$c_{ij} = (1/a_{ij}) / \sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}$$

将规范化后的精确值转化为直觉模糊数:

$$\mu_{ij} = c_{ij}, v_{ij} = 1 - c_{ij}, \pi_{ij} = 0$$

$\bar{r}_{ij} = (\mu_{ij}, v_{ij}, \pi_{ij})$  区间数规范化公式:

效益型:

$$\begin{cases} c_{ij}^L = a_{ij}^L / \sqrt{\sum_{i=1}^m (a_{ij}^U)^2} \\ c_{ij}^U = a_{ij}^U / \sqrt{\sum_{i=1}^m (a_{ij}^L)^2} \end{cases}$$

成本型:

$$\begin{cases} c_{ij}^L = (1/a_{ij}^U) / \sqrt{\sum_{i=1}^m (a_{ij}^L)^2} \\ c_{ij}^U = (1/a_{ij}^L) / \sqrt{\sum_{i=1}^m (a_{ij}^U)^2} \end{cases}$$

将规范化后的区间数转化为直觉模糊数:

$$\mu_{ij} = c_{ij}^L, v_{ij} = 1 - c_{ij}^U, \pi_{ij} = c_{ij}^U - c_{ij}^L$$

$$\bar{r}_{ij} = (\mu_{ij}, v_{ij}, \pi_{ij})$$

模糊语言变量:根据文献《A multi-criteria intuitionistic fuzzy group decision making for supplier selection with TOPSIS method》Boran F E. 10 标度的语言变量与直觉模糊数的对应关系,对于其他标度的语言变量也可以得到相应的直觉模糊数。

经过以上过程便可以得到统一的区间数决策矩

阵  $C_{ij}$  和直觉模糊决策矩阵  $H_{ij}$ 。

2) 确定属性客观权重区间。将区间数决策矩阵标准化以修正各属性的权重。对于第  $i$  个项目的第  $j$  个属性, 区间数决策矩阵的标准化如公式(1)和(2)所示。

$$d_{ij}^L = c_{ij}^L / \sum_{i=1}^m c_{ij}^L \quad (1)$$

$$d_{ij}^U = c_{ij}^U / \sum_{i=1}^m c_{ij}^U \quad (2)$$

根据熵值计算公式, 可得第  $i$  个项目的第  $j$  个属性的信息熵值为:

$$e_j^L = -(1/\ln m) \times \sum_{i=1}^m d_{ij}^L \ln d_{ij}^L \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

$$e_j^U = -(1/\ln m) \times \sum_{i=1}^m d_{ij}^U \ln d_{ij}^U \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

对得出的信息熵进行归一化处理, 可得第  $i$  个项目的第  $j$  个属性的熵权取值区间为:

$$f_j^1 = (1 - e_j^L) / \sum_{j=1}^n (1 - e_j^L)$$

$$f_j^2 = (1 - e_j^U) / \sum_{j=1}^n (1 - e_j^U)$$

$$f_j^L = \min(f_j^1, f_j^2)$$

$$f_j^U = \max(f_j^1, f_j^2)$$

3) 根据以上步骤确定属性客观权重。根据直觉模糊矩阵  $H_{ij}$ , 利用直觉模糊熵公式计算各属性的直觉模糊熵, 第  $i$  个项目的第  $j$  个属性的直接模糊熵计算公式为:

$$E(h_{ij}) = \frac{\min(u_{h_{ij}}, v_{h_{ij}}) + \pi_{h_{ij}}}{\max(u_{h_{ij}}, v_{h_{ij}}) + \pi_{h_{ij}}}$$

按照使属性评价信息模糊程度最小的基本思路, 建立规划模型, 如下所示, 求解出最优化的客观属性权重:

$$w_j^* = \operatorname{argmin} E_{jw}$$

$$\min E_w = \sum_{i=1}^m E_w(H_{ij}) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n w_j E(h_{ij})$$

$$\text{s. t. } \begin{cases} f_j^L \leq w_j \leq f_j^U \\ w_1 + w_2 + \dots + w_n = 1 \\ w_j \geq \beta \quad (j = 1, 2, \dots, n) \end{cases}$$

其中  $\beta$  是一个不为 0 的足够小的实数。

4) 确定属性的主观权重。决策者根据经验及当前所处环境, 给出主观权重, 主观权重若为实数或权重语言变量(如: 很重要, 一般, 不重要), 可根据步骤一中的方法, 将其转换成直觉模糊决策矩阵。设主观权重的直觉模糊决策矩阵中, 第  $j$  个属性的直觉模糊数为:  $G_j = (\mu_{ij}, v_{ij}, \pi_{ij})$ , 则各个属性的主观权重可根

据如下公式求出:

$$z_j = \frac{u_k + \pi_k(u_k/(u_k + v_k))}{\sum_{j=1}^n (u_k + \pi_k(u_k/(u_k + v_k)))}$$

对于每一个属性来说, 如果主观权重为 0, 即使客观权重为 1, 那么这个属性的重要程度也不是最重要。同样的, 客观权重为 0, 主观权重为 1 时, 也不能说明这个属性的重要程度最大。只有当客观权重和主观权重同样大时,  $w_j$  才最大, 因此  $w_j$  的权重可表示为:

$$W_j = \frac{W_j^* Z_j}{\sum_{j=1}^n W_j^* Z_j}, j = 1, 2, \dots, n$$

5) 基于前述工作, 对项目进行评价排序。在这里运用基于相对熵的混合多属性决策排序方法, 步骤如下:

设正负理想解分别为  $N^+, N^-$ 。

根据前述得到的直觉模糊决策矩阵, 求各方案与理想解和负理想解的距离, 这里要用到模糊相对熵距离, 模糊相对熵的距离计算公式如下:

$$T_j^+ = \sum_{j=1}^n w_j S(a_{ij}, n_j^+)$$

$$T_j^- = \sum_{j=1}^n w_j S(a_{ij}, n_j^-) \quad \text{计算各方案与理想解的相}$$

对接近程度:

$$\alpha_j = \frac{T_j^-}{T_j^- + T_j^+}, i = 1, 2, \dots, m$$

$\alpha_j$  越大, 表明备选方案与正理想解的距离越小, 与负理想解的距离越大, 方案越好。

本文基于波特的钻石理论, 结合低碳产业特有的环境效益性, 构建了涵盖生态效益要素的评价指标体系, 在该指标体系中, 不仅有二级指标进行详细分析, 还将二级进一步量化, 从定量和定性方面尽可能全面的涵盖低碳产业竞争力评价的方方面面。运用模糊熵—熵权法进行评价, 由于同时考虑了主观权重和客观权重, 使整个评价既能够利用已有的经验, 又能够保持客观的评价。基于含有 33 个量化指标的评价指标体系, 便于操作, 实用性强。

## 参考文献

- [1] 胡卫东. 经济发展方式转变下的低碳领域布局探析[J]. 商业时代, 2011(24): 4-5.
- [2] The Climate Institute and E3G. G20 low carbon competitiveness report[EB/OL]. (2009-09-14). www.climateinstitute.org.au.
- [3] 卢键明, 曾文秀, 刘海燕. 计及经济增加值的电网建设项目投资评价方法[J]. 广东电力, 2011, 4(4): 24-27.

- [4] 许学娜,胡克涛,许学涛.考虑财务杠杆的项目评价方法研究[J].建筑经济,2007(12):26—28.
- [5] 申云,熊建芳,邵景奎.多项目管理优先级评价指标体系与方法研究[J].无锡商业职业技术学院学报,2013,13(4):1—6.
- [6] 芮明杰.产业竞争力的"新钻石模型"[J].社会科学,2006(4):68—73.
- [7] 吕俊杰.低碳技术创新的发展现状及对策[J].经济研究,2010(17):56—57.
- [8] IPCC. Climate change 2007: mitigation. contribution of working Group III. to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change[M]. Cambridge University Press, New York.
- [9] 应维云,覃正,李秀.企业竞争优势战略的理论研究综述[J].开放导报,2005(5):115—117.
- [10] 李平.低碳产业集群的推进路径和策略研究[J].特区经济,2012(10):185—188.
- [11] MICHAEL E PORTER. Clusters and the new economics of competition[J]. Harvard Business Review, 1998, 76(6): 77—90.
- [12] 孙海琴.低碳产业链与我国低碳经济推进路径研究[J].产经,2014(3):49—51.
- [13] 强毅.我国将建立统一的节能低碳产品认证制度[J].机械工业标准化与质量,2015(11):5.

## The Evaluation Index Syetem and Evaluation Method of the Low Carbon Industry Development

ZHOU Yan, LI Lin

(School of Management, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

**Abstract:** As we all know, global climate warming and other environment problems are increasingly prominent. To develop the new increasing point of economy, we must abandon the traditional economy increasing mode of high energy consumption, high discharge and high pollution. Low carbon industry is to arise under this background. The future social and economic competition is the competition in low carbon industry. The paper builds the evaluating index system of competitiveness of low carbon industry which has covered the element of ecological efficiency based on the specific effects on the ecological environment of low carbon industry and the Diamond Model. The evaluating system includes 7 first grade indicators, 19 second grade indicators and 33 quantitative indicators based on fuzzy entropy.

**Key words:** low carbon industry; the new diamond model; ecological benefit; the fuzzy entropy

(上接第 28 页)

- [6] HOTELLING H H. Stability in competition[J]. Economic Journal, 1929, 39: 41—57.
- [7] SALOP S C. Monopolistic competition with outside goods[J]. Bell Journal of Economics, 1979, 10(1): 141—156.
- [8] TIROLE J. The theory of industrial organization[M]. Cambridge, MA: The MIT Press, 1988: 21—22.
- [9] 徐向阳.狼真的来了——自主品牌与合资品牌的正式 PK 开始了[J].汽车观察, 2009(1): 60.
- [10] 路风,封凯栋.加强自主开发——中国振兴汽车工业的唯一出路[J].新财经, 2004(4): 104—105.
- [11] 谢伟.全球生产网络中的中国轿车工业[J].管理世界, 2006(12): 67—87.
- [12] 路风,封凯栋.发展我国自主知识产权汽车工业的政策选择[M].北京:北京大学出版社, 2005: 97—100.

## The Economic Analysis of the Entry Barrier and Entry Condition in China's Automobile Industry

LIANG Xi

(China Academy of Launch Vehicle Technology, Beijing 100076, China)

**Abstract:** Based on the industrial organization theory and game theory, this paper construct the model of product differentiation for a single firm, as well as the model of vertical differentiation for both incumbent and entrant. The conclusion of model could effectively explain the choices of entry barriers and entry strategy for firms in China's automobile industry. Therefore the model offers an analysis of firm's strategy from an economy perspective.

**Key words:** automobile industry; entry barrier; entry condition; differentiation