

中国高碳产业的低碳转型动力测度

王玲玲 杨双萍 张济建

(江苏大学 财经学院 江苏 镇江 212013)

摘要:在系统梳理高碳产业低碳转型动力因素的基础上,按动力来源及具体表征形式对中国高碳产业低碳转型动力属性进行提炼;定义中国高碳产业低碳转型动力构成,构建中国高碳产业低碳转型动力测度评价指标体系;结合中国高碳产业统计数据逐步完善的客观实际,定义改进的模糊测度和 Choquet 模糊积分,构建中国高碳产业低碳转型动力测度模型,并以典型高碳产业——钢铁产业为例进行实证分析。结果显示,中国钢铁产业低碳转型总体动力现处于“一般”水平,在推动其低碳转型过程中,贡献相对最高的是“内生支撑力”,贡献相对最低的是“内生牵引力”,“外生推力”与“外生拉力”贡献居中,说明“倒逼”推动较之“补贴”推动相对更有效。

关键词:高碳产业;低碳转型;动力属性;改进的 Choquet 模糊积分

中图分类号:F205 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-6049(2018)04-0023-10

一、引言与文献综述

面对日益严峻的资源环境形势,中国高碳产业低碳转型已是大势所趋。近年来,中国政府高度重视高碳产业低碳转型,在政府的推动下,“十一五”以来中国单位 GDP 能耗下降显著,数据显示,2006 年中国单位 GDP 能耗为 1.206 吨标准煤/万元,2016 年已降至 0.68 吨标准煤/万元。尽管取得的成绩值得庆贺,但 2016 年中国化石能源消费的碳排放仍接近全球的 1/4,这一高排放的客观事实虽不能完全归咎于高碳产业,但充分说明中国高碳产业低碳转型实践效果仍有较大的提升空间,深层次挖掘中国高碳产业低碳转型动力因素并识别其动力作用强弱,对于针对性制定中国高碳产业低碳转型促进策略而言显得尤为必要。

文献梳理显示,国内外学术界从识别高碳产业低碳转型动力因素着手,探索提升高碳产业低碳转型成效的成果众多。从国外来看,代表性成果如 Pardo and Moya^[1]通过建立欧洲钢铁产业能源和二氧化碳仿真模型,得出突破性技术创新可以使钢铁产业能源消耗和二氧化碳排放的绩效有所改善; Brunke *et al.*^[2]采用问卷调查和后续电话采访方式收集瑞典钢铁协会成员的数据并使用了 Mann-Whitney U 检验得出,能源管理能够促进钢铁工业提升能源效率,降低碳排放; Mathiyazhangan *et al.*^[3]通过对印度钢铁、水泥等制造业绿色供应链管理不同方向的压力进行分析,认为绿色营销和重要的绿色供应链管理压力可以帮助印度钢铁、水泥等制造业提升绿色形象,降低碳排放; Karali *et al.*^[4]使用 ISEEM 模型框架分析美国钢铁行业能源效率和碳减排措施,得出通过能源政策

收稿日期:2018-04-01;修回日期:2018-06-11

基金项目:国家自然科学基金项目(71673117);国家自然科学基金青年项目(71503105);江苏大学科研立项

作者简介:王玲玲(1980—),女,江苏建湖人,博士研究生,江苏大学财经学院副教授,硕士生导师,研究方向为数量经济;杨双萍(1994—),女,辽宁营口人,硕士研究生,研究方向为数量经济;张济建(1965—),男,通讯作者,江苏海安人,江苏大学副校长,教授,博士生导师,研究方向为能源经济和环境会计。

和国际贸易能减少能源消耗和二氧化碳排放量; Ishak and Hashim^[5]通过对水泥厂二氧化碳减排措施进行讨论,得出能源效率的改进、可再生能源的替代和碳捕获和碳储存技术等可以促进水泥厂节能减排。从国内来看,代表性成果如王霞等^[6]认为,公共压力以及企业品牌声誉的内在激励等因素显著影响制造业等高碳产业披露环境信息的概率和水平,从而使其逐步走上清洁生产之路;陈晓红等^[7]认为,消费者绿色诉求、新闻媒体对铝企业的报道、公司管理体制、铝企业低碳技术、铝业实施低碳生产模式的意愿等对我国铝业等工业低碳生产有着积极的促进作用;刘卫国和李乾文^[8]认为,政府有层次、有针对地对高碳产业给予政策支持或财政补贴可以激励其走低碳化道路;侯伟丽和方浪^[9]认为,从长期和动态角度看,加强环境管制会促使高碳产业积极进行技术创新和管理创新从而降低成本和碳排放,增强竞争力;朱淀等^[10]认为,政府的适度引导和自主技术创新能力的提升能促进规模以上工业企业节能减排;张洋等^[11]认为,提高低碳技术水平、降低低碳技术成本、健全法律法规能够促进高碳产业降低碳排放;潘楚林和田虹^[12]认为,利益相关者的压力能规范高碳产业的环境行为。

相关研究从市场、企业、政府、公众等多方面剖析了高碳产业低碳转型的动力因素,所得结论直接或间接论证了高碳产业低碳转型动力强弱直接约束其低碳转型成效。显然,要想更有效地推进中国高碳产业低碳转型,还需着眼于切实提高中国高碳产业低碳转型动力。

然而,从检索到的文献看,结合中国实际从量化角度测度与评价中国高碳产业低碳转型动力现状的成果相对缺乏,且现有关于高碳产业低碳转型动力因素的研究较多围绕某一因素展开,鲜有学者从系统的层面进行整体梳理,而此类研究对于进一步明晰中国高碳产业低碳转型动力现状以及针对性制定促进策略而言,意义重大。有鉴于此,本文在前人研究的基础上,对中国高碳产业低碳转型的动力属性进行系统化提炼;基于相关统计资料尚处于逐步完善的客观实际,定义改进的模糊测度和 Choquet 模糊积分,构建中国高碳产业低碳转型动力测度模型,并以钢铁产业为例进行实证分析,以期政府等相关部门提供决策参考。

二、中国高碳产业低碳转型动力属性提炼

由现有文献可知,学者们因研究视角和侧重点不同,分析探讨的高碳产业低碳转型动力因素呈现多样化特征。我们借鉴系统论的思想,对学者们提出的动力因素进行属性提炼,依据动力因素的来源将其归成两类,分别为内生动力因素与外生动力因素。

(一) 内生动力因素

此处所提“内生动力因素”是指相应动力因素源于高碳产业自身的发展,按具体表征形式,可进一步细分为“内生支撑因素”与“内生牵引因素”。

“内生支撑因素”具体表征为相应内生动力因素在推动高碳产业低碳转型过程中更多发挥的是支撑作用,如高碳产业减碳技术突破、人才积累、管理创新等因素。高碳产业减碳技术突破在推动其低碳转型过程中发挥的支撑作用相对直观,没有减碳技术突破,高碳产业低碳转型将沦为一句口号;人才积累发挥的支撑作用最为根本,独木不成林,没有一定数量的人才积累,减碳技术的发现与持续突破几乎不可能实现;而管理创新发挥的支撑作用亦不可或缺。在推动高碳产业低碳转型过程中,无论是减碳技术的有效落实,还是人才作用的充分发挥,客观上均对高碳产业传统的管理理念、管理模式等提出革新需求,相应需求的满足程度直接影响到高碳产业低碳转型的动力强度。

“内生牵引因素”具体表征为相应内生动力因素在推动高碳产业低碳转型过程中更多发挥的是牵引作用,如成本牵引、声誉牵引等因素。就高碳产业内的企业自主研发或采纳减碳技术而言,在一定程度上正是因为相关举措能够降低企业生产成本或提升企业运营声誉,有助于增强企业竞争优势。此方面代表性实例如中电投宁夏能源铝业集团公司积极投身《节能型 SY400 预焙阳极铝电解槽研发及应用》项目的研究,新型技术的发现与推广在使能耗不断降低的同时,也促进了公司生产成本大幅下降,2013 年公司电解铝(普铝)综合交流电耗同比降低 252 千瓦时/吨,铝产品完全成本同比下降 943 元/吨,相关成果也成为国内铝电解示范工程,企业最终取得了节能环保和经济效益的双丰收,而

受此激励,企业也做出了进一步加大节能减排技改项目投资力度的决策,“低碳转型”的积极性不断提升。显然,对于高碳产业内的企业而言,一旦走低碳化发展路径能够提升企业的竞争优势,则自然能牵引其做出“低碳转型”的选择。

(二) 外生动力因素

此处所提“外生动力因素”是指相应动力因素源于高碳产业外部所处环境。按具体表征形式,可进一步细分为“外生推力因素”与“外生拉力因素”。

“外生推力因素”具体表征为相应外生动力因素以“倒逼”方式推动高碳产业低碳转型,如国际贸易壁垒、法律法规约束和社会公众监督等因素。对于中国高碳产业而言,国际贸易壁垒突出体现在“碳关税”征收方面,当前,包括美国在内的绝大多数发达国家支持征收“碳关税”。2009年6月美国众议院通过的《美国清洁能源安全法案》明确规定,从2020年开始对包括中国在内不实施碳减排限额的国家进口的高碳产品如铝、钢铁和水泥等征收碳关税,这意味着隶属于高碳产业的这些行业如不实施低碳转型发展战略,仅因成本优势难以为继就有可能遭国际市场淘汰。而随着近年来中国环境问题的日益严峻,高碳产业的污染排放问题也日渐受到社会各界的广泛关注。为此,中国政府相继出台了《能源法》《大气污染防治法》以及新《环境保护法》等法律法规,对高碳产业的污染排放问题加以约束,相应职能部门电话、微信、网站等举报渠道的开通又使得社会公众监督的实效不断强化,凡此种种,均“倒逼”推动中国高碳产业走低碳转型发展之路。

“外生拉力因素”具体表征为相应外生动力因素以“补贴”方式拉动高碳产业低碳转型。相对直接的“补贴”方式有政府环保补贴,如2015年5月财政部发布的《节能减排补助资金管理暂行办法》中明文规定节能减排补助资金的重点支持范围包括,重点领域、行业的节能减排,关键节能减排技术示范推广和改造升级等。相对间接的“补贴”方式有税收优惠,仅以《中华人民共和国企业所得税法》为例,实施条例中明确提出“企业购置并实际使用《环境保护专用设备企业所得税优惠目录》《节能节水专用设备企业所得税优惠目录》和《安全生产专用设备企业所得税优惠目录》规定的环境保护、节能节水、安全生产等专用设备的,该专用设备投资额的10%可以从企业当年的应纳税额中抵免;当年不足抵免的,可在以后5个纳税年度结转抵免”等等。显然,与此相关的一系列政策的出台目标之一即为降低中国高碳产业低碳转型成本,拉动其实施低碳转型。

三、中国高碳产业低碳转型动力测度模型构建

结合前文分析,我们将高碳产业低碳转型动力按因素属性进一步细分为内生动力与外生动力,前者包括内生支撑力和内生牵引力,后者包括外生推力和外生拉力。高碳产业低碳转型相应动力之间彼此联系,对其展开量化测度,一个合适的选择是基于 Choquet 积分的模糊测度法,该方法不需要假设评价指标间相互独立,尤其适合处理涉及主观价值判断的测评问题^[13],在集群产业集成度测度^[14]、企业技术创新测度^[15]等多领域中均有应用。值得一提的是相关应用中,所构建指标体系仅考虑定性指标,Choquet 模糊积分中的模糊测度亦采用实数值的方式,而现阶段构建兼顾定量与定性指标的高碳产业低碳转型动力测度指标体系已成为可能,相较于实数值,Choquet 模糊积分中模糊测度采用模糊值的方式更符合一些定性指标难以量化、不易准确评价的特点,为此对原有模型进行改进,结合中国高碳产业发展实际,构建出低碳转型动力测度模型。

(一) 改进模糊测度和 Choquet 模糊积分定义

日本学者 Sugeno *et al.*^[16]首次定义了模糊测度和可测函数关于模糊测度的积分,可基于三角模糊数对模糊测度和传统 Choquet 积分进行改进,具体如下:

定义1: $\tilde{y}_i = (\alpha_i, \beta_i, \delta_i)$, $\tilde{y}_j = (\alpha_j, \beta_j, \delta_j)$, \tilde{y}_i 和 \tilde{y}_j 为三角模糊数或三角模糊数经运算后的模糊值, $\tilde{y}_i \leq \tilde{y}_j$ 当且仅当 $\frac{(\alpha_i + \beta_i + \delta_i)}{3} \leq \frac{(\alpha_j + \beta_j + \delta_j)}{3}$ 。

定义2: A 是一有限集合, $P(A)$ 为 A 幂集, 定义在 $P(A)$ 上的函数 $\mu: P(A) \rightarrow \{\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m\}$ ($0 \leq \mu_i$

$\leq \mu_r, \leq \mu_m \leq 1, \{\mu_l, \mu_r, \mu_m\}$ 为三角模糊数或三角模糊数经运算后的模糊值) 须满足以下条件:

① $\mu(\Phi) = \{0, 0, 0\}$; ② 若 $M \subset N \subset A$ 那么 $\mu(M) \leq \mu(N)$ 。

满足以上两个条件则称 μ 为基于三角模糊数的改进 λ 模糊测度 若还满足:

$$\mu(M \cup N) = \mu(M) \oplus \mu(N) \oplus \lambda \mu(M) \otimes \mu(N), \forall M, N \subset P(A), M \cap N = \Phi, -1 < \lambda \quad (1)$$

则称 μ 为基于三角模糊数的改进模糊测度。

式(1)中 $\lambda > 0, \mu(M \cup N) > \mu(M) + \mu(N)$, 说明属性或准则之间存在优的加法性 相互之间存在积极合作关系; $-1 < \lambda < 0, \mu(M \cup N) < \mu(M) + \mu(N)$, 说明属性或准则之间存在劣的加法性 相互之间存在消极合作关系; $\lambda = 0, \mu(M \cup N) = \mu(M) + \mu(N)$, 说明准则 M 和 N 之间相互独立。

定义 3: μ 为定义在集合 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 上的模糊测度 其表示为 $\mu(X_i) = (\mu_l(X_i), \mu_r(X_i), \mu_m(X_i))$, $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 函数 $f: X \rightarrow [0, 1]$ 。

$$H = \int f d\bar{\mu} = \sum_{i=1}^n (f(x_i) - f(x_{i-1})) \bar{\mu}(X_i) \quad (2)$$

其中 $\bar{\mu}(X_i) = \frac{\mu_l(X_i) + \mu_r(X_i) + \mu_m(X_i)}{3}$ i 是按照 $0 \leq f(x_1) \leq f(x_2) \leq \dots \leq f(x_n)$ 后的下标 $X_i =$

$\{x_i, x_{i+1}, \dots, x_n\}, f(x_0) = 0, H$ 即为改进 Choquet 模糊积分。

(二) 中国高碳产业低碳转型动力测度步骤

高碳产业低碳转型动力测度评价指标体系分为目标层、准则层和指标层 3 个层次。其中“目标层”即“中国高碳产业低碳转型动力”结合前文分析 将准则层设为 4 个, 分别是内生支撑力、内生牵引力、外生拉力与外生推力 并记为 $C_i (i=1, 2, 3, 4)$ 。

以 C_{ij} 表示 i 准则层下第 j 个指标 其中 $j=1, 2, \dots, k_i, k_i$ 为准则层 C_i 对应的指标层指标个数。综合借鉴刘颖等^[14]、张笑楠和仲秋雁^[15] 诸多学者的做法 设计中国高碳产业低碳转型动力测度基本步骤如下:

1. 指标权重的设定与计算

采用专家调查法对指标权重值进行设定。选取相关领域的 n 位专家对中国高碳产业低碳转型动力测度的指标权重值进行打分 定义各指标打分权重值对应的正三角模糊数为: 很不重要 $(0, 0, 0.25)$ 、不重要 $(0, 0.25, 0.5)$ 、一般 $(0.25, 0.5, 0.75)$ 、重要 $(0.5, 0.75, 1)$ 、很重要 $(0.75, 1, 1)$ 。由此构成指标权重值集合如下:

$\tilde{g} = \{\tilde{g}_m(C_{ij}) \mid i=1, 2, 3, 4; j=1, 2, \dots, k_i; m=1, 2, \dots, n\}$ $\tilde{g}_m(C_{ij})$ 表示第 m 位专家对 C_i 准则层下第 j 个指标的打分权重值。

定义 \tilde{w}_{ij} 是综合 m 位专家意见后 C_i 准则层下第 j 个指标的模糊权重值 计算公式如下:

$$\tilde{w}_{ij} = \frac{1}{n} \otimes (\tilde{g}_1(C_{ij}) \oplus \tilde{g}_2(C_{ij}) \oplus \dots \oplus \tilde{g}_n(C_{ij})) \quad (3)$$

2. 准则层指标模糊表现值的计算

指标表现值是中国高碳产业低碳转型在每一指标下的动力表现程度 计算方式如下:

(1) 定性指标模糊表现值的计算。以相关领域专家为调查对象 综合运用实地访谈和发放问卷相结合的方式 采用正三角模糊数确定定性指标表现值并采用语言变量对定性指标表现值进行主观评估 定性指标表现值对应的正三角模糊数为: 很差 $(0, 0.1, 0.2)$ 、差 $(0.2, 0.3, 0.4)$ 、一般 $(0.4, 0.5, 0.6)$ 、好 $(0.6, 0.7, 0.8)$ 、很好 $(0.8, 0.9, 1)$ 。相关领域专家对各个指标表现值进行评估后 构成指标表现值集合 $\tilde{f} = \{\tilde{f}_m(C_{ij})\}$, $\tilde{f}_m(C_{ij})$ 表示第 m 位专家在 C_i 准则层下对第 j 个定性指标给予的模糊表现值 其中 $i=1, 2, 3, 4; j=1, 2, \dots, k'_i; m=1, 2, \dots, h$ 。 k'_i 为 C_i 准则层下定性指标个数 h 为参与调查的专家数目。

定义 \tilde{y}_{ij} 为 C_i 准则层下第 j 个定性指标的模糊表现值, 计算公式如下:

$$\tilde{y}_{ij} = \frac{1}{h} \otimes (\tilde{f}_1(C'_{ij}) \oplus \tilde{f}_2(C''_{ij}) \oplus \dots \oplus \tilde{f}_h(C''_{ij})) \quad (4)$$

(2) 定量指标模糊表现值的计算。采用常规的功效系数法对定量指标的原始数据进行无量纲化处理。定义 y''_{ij} ($i=1, 2, 3, 4; j=1, 2, \dots, k''_i$) 为 C_i 准则层下第 j 个定量指标的表现值, k''_i 为 C_i 准则层下定量指标个数, 计算公式如下:

$$y''_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{ij}^s}{x_{ij}^h - x_{ij}^s} \quad (5)$$

其中 x_{ij}^h 是指一定时期内的目标发展水平; x_{ij}^s 是指一定时期内的最低发展水平; x_{ij} 则为当前的实际发展水平。为便于后续计算, 将 y''_{ij} 以三角模糊数形式表征为 $\tilde{y}''_{ij} = (y''_{ij}, y''_{ij}, y''_{ij})$ 。

定义 w_{ij} ($i=1, 2, 3, 4; j=1, 2, \dots, k'_i$) 为 C_i 准则层下第 j 个定性指标的模糊权重值, w''_{ij} ($i=1, 2, 3, 4; j=1, 2, \dots, k''_i$) 为 C_i 准则层下第 j 个定量指标的模糊权重值, \tilde{y}_i 为 C_i 准则层模糊表现值。

记 $U = \tilde{w}'_{i1} \otimes \tilde{y}'_{i1} \oplus \dots \oplus \tilde{w}'_{ik'_i} \otimes \tilde{y}'_{ik'_i}$, $V = \tilde{w}''_{i1} \otimes \tilde{y}''_{i1} \oplus \dots \oplus \tilde{w}''_{ik''_i} \otimes \tilde{y}''_{ik''_i}$, 则准则层模糊表现值计算公式如下:

$$\tilde{y}_i = \frac{1}{k_i} \otimes (U \oplus V) \quad (6)$$

其中 $k_i = k'_i + k''_i$ 。

3. 定性指标和准则层指标表现值的明确值计算

选择模糊距离相对公式将三角模糊数转化为确定值。定义 y_{ij} 为 C_i 准则层下第 j 个定性指标模糊表现值的明确值, $\tilde{y}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$, 记 $v_{ij} = \frac{1}{3} [(1 - a_{ij})^2 + (1 - b_{ij})^2 + (1 - c_{ij})^2]$, $u_{ij} = \frac{1}{3} (a_{ij}^2 + b_{ij}^2 + c_{ij}^2)$, 计算公式如下:

$$y_{ij} = \frac{\sqrt{u_{ij}}}{\sqrt{u_{ij}} + \sqrt{v_{ij}}} \quad (7)$$

定义 y_i ($i=1, 2, 3, 4$) 为准则层指标表现值的明确值, 计算公式同(7)式, 将 y_i 按大小重新排序并用 $f(x_i)$ 表示, 其中 $f(x_1) \leq f(x_2) \leq f(x_3) \leq f(x_4)$ 。

4. 模糊测度的计算

按定义 1 将准则层指标模糊值 \tilde{y}_i 按从大到小重新排序, 并用 $\tilde{f}(x_i)$ 来表示, 其中 $\tilde{f}(x_1) \geq \tilde{f}(x_2) \geq \tilde{f}(x_3) \geq \tilde{f}(x_4)$ 。根据需要选取不同 λ 值计算准则层指标的模糊测度, 公式如下:

$$\mu_{\lambda_k}(\{x_1, \dots, x_i\}) = \tilde{f}(x_i) \oplus \mu_{\lambda_k}(\{x_1, \dots, x_{i-1}\}) \oplus \lambda_k \mu_{\lambda_k}(\{x_1, \dots, x_i\}) \otimes \tilde{f}(x_i) \quad (8)$$

其中 $\mu_{\lambda_k}(x_0) = (0, 0, 0)$, $k=1, 2, \dots, t$; $i=1, 2, 3, 4$ 。

5. 动力值的计算

采用改进 Choquet 模糊积分计算中国高碳产业低碳转型动力值 H_λ , 记 $\bar{\mu}^\lambda(X_i) = \frac{\mu_l^\lambda(X_i) + \mu_r^\lambda(X_i) + \mu_m^\lambda(X_i)}{3}$ 其中 $X_i = \{x_i, x_{i+1}, \dots, x_n\}$, $\mu_{\lambda_k}(X_i) = (\mu_l^\lambda(X_i), \mu_r^\lambda(X_i), \mu_m^\lambda(X_i))$ 具体公式如下:

$$H_\lambda = \int y d\bar{\mu} = \sum_{i=1}^4 (f(x_i) - f(x_{i-1})) \times \bar{\mu}^\lambda(X_i) \quad (9)$$

计算所得数值结果对应评语集为: 动力很弱(0~0.2)、弱(0.2~0.4)、一般(0.4~0.6)、强(0.6~0.8)、很强(0.8~1)。

四、实证分析

钢铁产业是典型的高碳产业之一,低碳转型也是横亘在中国钢铁产业面前的现实问题。我们以钢铁产业为实证分析对象,应用前文所建模型,对其低碳转型动力现状进行测度与分析。

(一) 构建指标体系

为尽可能降低测度结果主观性和提升评价结论可靠性,同时注重定性与定量相结合的原则,所构建的中国钢铁产业低碳转型动力测度指标体系如表 1 所示。结合数据的可获得性,指标层最终所选的 10 个指标中有 4 个定量指标,对此做进一步阐述。外生拉力准则层中,定量指标为“节能环保支出占 GDP 比重”,尽管“节能环保支出”并非完全针对钢铁产业,但考虑

表 1 中国钢铁产业低碳转型动力测度指标体系

目标层	准则层	指标层	指标属性
中国钢铁产业 低碳转型动力 (C)	外生推力 (C ₁)	国际绿色贸易壁垒森严度(C ₁₁)	定性
		国内环保类法律法规约束能力(C ₁₂)	定性
		社会公众环境保护监督强度(C ₁₃)	定性
	外生拉力 (C ₂)	税收优惠政策落实程度(C ₂₁)	定性
		节能环保支出占 GDP 比重(C ₂₂)	定量
	内生牵引力 (C ₃)	绿色声誉牵引能力(C ₃₁)	定性
		钢铁产业粗钢产能利用率(C ₃₂)	定量
	内生支撑力 (C ₄)	钢铁产业发明专利申请数(C ₄₁)	定量
		人才积累支撑能力(C ₄₂)	定性
		钢铁产业利润率(C ₄₃)	定量

到该项支出主要面向高碳产业,相应数值在一定程度上能够反映政府对钢铁产业低碳转型的支持程度,因此将该指标用于测度因政府环保补贴而形成的中国钢铁产业低碳转型动力大小。考虑到当前中国钢铁产业正处于寻求低碳转型发展、提升产能利用率的关键转变时期,而从经济学意义上讲,最佳产能利用率表明企业用来生产的所有投入要素组合生产的成本最低^[17],因此内生牵引力准则层中“钢铁产业粗钢产能利用率”用于测度中国钢铁产业因成本降低而形成的低碳转型动力大小;一般来说,发明专利技术含量高于实用新型专利,且专利保护周期长,因此内生支撑力准则层中“钢铁产业发明专利申请数”用于测度因低碳技术突破而形成的中国钢铁产业低碳转型动力大小;基于盈利能力是企业经营管理状况以及管理创新能力的综合反映^[18],表 1 中“钢铁产业销售利润率”则用于测度现阶段中国钢铁产业因管理创新而形成的低碳转型动力大小。

(二) 中国钢铁产业低碳转型动力测度

1. 准则层指标权重的确定

通过 20 位专家的打分及依据公式(3),得到指标层指标的权重值如表 2 所示。

2. 准则层指标模糊表现值和明确值的确定

对于定性指标而言,以钢铁产业管理人员为调查对象,综合运用实地访谈和发放问卷相结合的方式收集研究数据。本文共发放问卷 200 份,收回

181 份,其中有效问卷 175 份。通过问卷调查对定性动力指标表现值进行评估,并采用公式(4)和公式(7)计算定性指标模糊表现值及其明确值。对于定量指标而言,本文基于我国“十一五”规划以来

表 2 指标层指标模糊权重值

指标层	模糊权重值	指标层	模糊权重值
C ₁₁	$\tilde{w}_{11} = (0.313, 0.563, 0.813)$	C ₃₁	$\tilde{w}_{31} = (0.338, 0.588, 0.838)$
C ₁₂	$\tilde{w}_{12} = (0.600, 0.850, 1.000)$	C ₃₂	$\tilde{w}_{32} = (0.713, 0.963, 1.000)$
C ₁₃	$\tilde{w}_{13} = (0.413, 0.663, 0.900)$	C ₄₁	$\tilde{w}_{41} = (0.713, 0.963, 1.000)$
C ₂₁	$\tilde{w}_{21} = (0.725, 0.975, 1.000)$	C ₄₂	$\tilde{w}_{42} = (0.625, 0.875, 1.000)$
C ₂₂	$\tilde{w}_{22} = (0.688, 0.936, 0.988)$	C ₄₃	$\tilde{w}_{43} = (0.663, 0.913, 1.000)$

的相关数据,界定相应指标的“最低发展水平”,以可搜集到的最新年度数据界定“实际发展水平”,综合借鉴国家颁布的相关发展政策以及当前发展实际来界定现阶段“目标发展水平”^①,采用公式(5)计算定量指标表现值。依据公式(6)和公式(9)得到准则层指标模糊表现值和明确值,计算结果如表3所示。将4个准则层明确值按大小重新排序得到 $f(x_1) = 0.276$, $f(x_2) = 0.294$, $f(x_3) = 0.374$, $f(x_4) = 0.537$ 。

表3 准则层和指标层指标模糊表现值及明确值

名称	准则层 模糊表现值	明确值	名称	指标层 模糊表现值	明确值
外生推力(C_1)	(0.142, 0.337, 0.589)	0.374	C_{11}	(0.389, 0.489, 0.589)	0.489
			C_{12}	(0.106, 0.206, 0.306)	0.218
			C_{13}	(0.237, 0.337, 0.437)	0.341
外生拉力(C_2)	(0.192, 0.307, 0.368)	0.294	C_{21}	(0.373, 0.473, 0.573)	0.474
			C_{22}	(0.164, 0.164, 0.164)	0.164
内生牵引力(C_3)	(0.168, 0.273, 0.365)	0.276	C_{31}	(0.251, 0.351, 0.451)	0.355
			C_{32}	(0.352, 0.352, 0.352)	0.352
			C_{41}	(0.492, 0.492, 0.492)	0.492
内生支撑力(C_4)	(0.392, 0.569, 0.655)	0.537	C_{42}	(0.481, 0.581, 0.681)	0.579
			C_{43}	(0.793, 0.793, 0.793)	0.793

3. 模糊测度及评价值确定

按定义1将准则层指标模糊值从大到小重新排序如下:

$$\tilde{f}(x_1) = (0.392, 0.569, 0.655), \tilde{f}(x_2) = (0.142, 0.337, 0.589)$$

$$\tilde{f}(x_3) = (0.192, 0.307, 0.368), \tilde{f}(x_4) = (0.168, 0.273, 0.365)$$

从理论上来说,钢铁产业低碳转型各动力要素之间协作程度越高,动力越强。实际测度过程中,由于各要素之间的协作程度未知,因此需要设定不同的 λ 值。 λ 值的设定方面,本文参考常志鹏等^[19]的做法,根据模糊测度的有限性,在 $-1 < \lambda \leq 1$ 之间选取4个值,分别测度钢铁产业低碳转型动力要素间表现为强消极合作关系(λ 取 -0.99)、弱消极合作关系(λ 取 -0.1)、弱积极合作关系(λ 取 0.1)、强积极合作关系(λ 取 1)时的动力值大小。

依据公式(8)和公式(9)计算出不同 λ 值时准则层模糊测度和中国钢铁行业低碳转型动力值,具体见表4,由于模糊测度是有限的,因此当计算的 μ 值大于1时采用常规做法用1代替。

(三) 结果分析

表4中,随着 λ 值的增大,中国钢铁产业低碳转型动力值亦随之增大。但即使各动力要素之间处于积极合作状态下, λ 取值为1时,测算结果亦仅为0.450,动力大小隶属于“一般”级别。这在一定程

①定量指标最低发展水平、实际发展水平与目标发展水平数据来源说明如下:“节能环保支出占GDP比重”指标数据来源于2007—2017年《中国统计年鉴》,当前实际发展水平为0.636%,最低发展水平为0.368%,参考全国工商联环境商会发布《推动环保产业进一步发展的若干建议》中提出的“参照美国、日本等发达国家的环保投资占比,中国环保投入占GDP比重应该达到2%~3%”,进一步结合指标现有实际发展水平,经课题组讨论最终选取“2%”作为该指标现阶段的目标发展水平。“钢铁行业粗钢产能利用率”指标数据来源于2007—2017年《中国钢铁工业年鉴》,当前实际发展水平为70.8%,最低发展水平为65.8%,依据工信部发布《钢铁工业调整升级规划(2016—2020)》,“十三五”期间中国粗钢产能利用率目标值为80%,最终取“80%”作为该指标现阶段的目标发展水平。“钢铁产业发明专利申请数”指标数据来源于国家知识产权局(SIPO),当前实际发展水平4420个,最低发展水平为1089个。根据《2020年中国钢铁工业发展愿景目标与政策建议》提出的“中国在2020年专利申请量目标为达到或接近发达国家水平”,结合数据的可获得性,以钢铁工业工艺技术在上处于领先地位的日本作为发展赶超对象,搜集日本五大钢铁业JFE、住友金属、神户制钢、新日铁、日新制钢专利申请量之和近似作为日本钢铁行业专利申请量,取2012—2016年专利申请量的平均水平7864个作为该指标现阶段的目标发展水平。“钢铁行业利润率”指标数据来源于2007—2017年《中国钢铁工业年鉴》和中商产业研究院,当前实际发展水平为4.9%,最低发展水平为-3.15%。根据《2020年中国钢铁工业发展愿景目标与政策建议》可知中国在2020年行业利润率目标为达到或接近制造业平均水平,经课题组讨论最终选取2012—2016年制造业行业利润率的最大值7%作为该指标现阶段的目标发展水平。

度上与钢铁所处的行业环境相对恶劣有关,钢铁产业产能过剩,利润率较低,存在严重亏损^[20],但其低碳转型所需技术、人才等投入,都与资本有关,中国钢铁产业低碳转型客观上存在心有余而力不足的情况。

表4 准则层模糊测度值和动力值

λ 值	模糊测度值		动力值
$\lambda = -0.99$	$\mu_{-0.99}(X_4) = (0.392, 0.569, 0.655)$ $\mu_{-0.99}(X_2) = (0.580, 0.805, 0.916)$	$\mu_{-0.99}(X_3) = (0.479, 0.716, 0.862)$ $\mu_{-0.99}(X_1) = (0.652, 0.860, 0.950)$	$H_{-0.99} = 0.383$
$\lambda = -0.1$	$\mu_{-0.1}(X_4) = (0.392, 0.569, 0.655)$ $\mu_{-0.1}(X_2) = (0.710, 1.000, 1.000)$	$\mu_{-0.1}(X_3) = (0.528, 0.887, 1.000)$ $\mu_{-0.1}(X_1) = (0.857, 1.000, 1.000)$	$H_{-0.1} = 0.431$
$\lambda = 0.1$	$\mu_{0.1}(X_4) = (0.392, 0.569, 0.655)$ $\mu_{0.1}(X_2) = (0.741, 1.000, 1.000)$	$\mu_{0.1}(X_3) = (0.533, 0.925, 1.000)$ $\mu_{0.1}(X_1) = (0.921, 1.000, 1.000)$	$H_{0.1} = 0.439$
$\lambda = 1$	$\mu_1(X_4) = (0.392, 0.569, 0.655)$ $\mu_1(X_2) = (0.895, 1.000, 1.000)$	$\mu_1(X_3) = (0.590, 1.000, 1.000)$ $\mu_1(X_1) = (1.000, 1.000, 1.000)$	$H_1 = 0.450$

从构成中国钢铁产业低碳转型动力的4个要素来看,贡献相对最高的是“内生支撑力”(0.537),贡献相对最低的是“内生牵引力”(0.276),反映声誉牵引及成本牵引的指标得分,远低于“内生支撑力”下属的3个指标得分。相应结果一方面表明中国钢铁产业低碳转型在技术突破、人才积累、管理创新等方面已初具成效,另一方面也表明声誉牵引与成本牵引在推动中国钢铁产业低碳转型方面成效不佳,当前产业内部的企业转型积极性需进一步调动。“外生推力”(0.374)与“外生拉力”(0.294)贡献居中,这一数值结果说明现阶段在推动中国钢铁产业低碳转型方面,“倒逼”推动较之“补贴”推动相对更有效。进一步观察表3中这两个维度下属各指标得分可发现,“国际绿色贸易壁垒森严度”指标得分(0.489)相对最高,“节能环保支出占GDP比重”指标得分(0.164)相对最低,这两个维度下指标大部分处于“弱”的级别,这一测算结果在一定程度上也反映了现阶段中国钢铁产业低碳转型所处的外部环境状况,国内环保类法律法规约束能力有进一步强化的空间,相关税收优惠与环保补贴政策等在推动中国钢铁产业低碳转型方面力量仍显薄弱,而社会公众监督与有效推动中国钢铁产业低碳转型还存在一定距离。

五、政策建议

在对中国高碳产业低碳转型动力属性系统化提炼的基础上,定义改进的模糊测度和 Choquet 模糊积分,构建中国高碳产业低碳转型动力测度模型,并以钢铁产业为例,实证研究得出现阶段中国钢铁产业低碳转型总体动力位于评价集中的“一般”水平,未来仍有较大提升空间。当前,“内生支撑力”相对最高,“内生牵引力”相对最低,“外生推力”较之“外生拉力”略高,“倒逼”推动较之“补贴”推动相对更有效。

实证研究结论尽管仅代表中国钢铁产业低碳转型动力现状,但在一定程度上也能够折射中国高碳产业整体低碳转型动力现状。未来为进一步提升中国高碳产业低碳转型实践成效,切实增强高碳产业低碳转型动力是根本,为此应“内外兼修”:第一,切实加大“外生拉力”,完善政府对高碳产业的财政补贴体系,为高碳产业提供相应税收优惠、环保补贴和技术升级贷款补贴等优待,发挥政策导向作用,如对钢铁产业实施“以税收还贷”“国产设备投资抵免”等税收优惠政策以支持钢铁企业的改造发展;政府还应适当增加环保部门的运行支出,不断提高在节能减排、环境污染治理等方面的支出比重,鼓励企业创新,减轻企业负担,形成促进高碳产业低碳转型的外部“强拉力”。第二,适度强化“外生推力”,2015年国家出台了号称“史上最严”的环保类法律法规《新环保法》,其中规定对污染环境的企业按日罚款且不设上限,这无疑增加了高碳产业污染环境的法律成本,对高碳产业的生存发展进行了警示。因此政府应完善环保类法律法规,增强法律法规执行力度,并加

强对口职能部门对社会公众监督的有效反馈,形成促进高碳产业低碳转型的外部“强推力”。第三,不断夯实中国高碳产业低碳转型“内生支撑力”并有效激发“内生牵引力”,加强低碳方向人才队伍建设,形成高碳产业低碳技术创新的强有力根基,加强高碳产业管理制度的规范性与创新性,并健全企业碳信息披露制度,增强高碳产业对于绿色声誉管理的重视度,从“支撑”和“牵引”两端共同促进高碳产业低碳转型。

参考文献:

- [1] PARDO N, MOYA J A. Prospective scenarios on energy efficiency and CO₂ emissions in the European iron & steel industry [J]. *Energy*, 2013, 54(4): 113-128.
- [2] BRUNKE J C, JOHANSSON M, THOLLANDER P. Empirical investigation of barriers and drivers to the adoption of energy conservation measures, energy management practices and energy services in the Swedish iron and steel industry [J]. *Journal of cleaner production* 2014, 84(6): 509-525.
- [3] MATHIYAZHANGAN K, GOVINDAN K, HAQ A N. Pressure analysis for green supply chain management implementation in Indian industries using analytic hierarchy process [J]. *International journal of production research*, 2014, 52(1): 188-202.
- [4] KARALI N, XU T, SATHAYE J. Reducing energy consumption and CO₂ emissions by energy efficiency measures and international trading: a bottom-up modeling for the U. S. iron and steel sector [J]. *Applied energy*, 2014, 120(12): 133-146.
- [5] ISHAK S A, HASHIM H. Low carbon measures for cement plant: a review [J]. *Journal of cleaner production* 2015, 103: 260-274.
- [6] 王霞, 徐晓东, 王宸. 公共压力、社会声誉、内部治理与企业环境信息披露——来自中国制造业上市公司的证据 [J]. *南开管理评论* 2013, 16(2): 82-91.
- [7] 陈晓红, 赵贺春, 李岩. 工业企业低碳生产的动力机制研究——基于我国铝业低碳生产的数据 [J]. *数理统计与管理* 2014, 33(2): 222-232.
- [8] 刘卫国, 李乾文. 锦标机制理论下企业低碳经济发展激励机制研究 [J]. *中国人口·资源与环境* 2011, 21(2): 147-152.
- [9] 侯伟丽, 方浪. 环境管制对中国污染密集型行业企业竞争力影响的实证研究 [J]. *中国人口·资源与环境* 2012, 22(7): 67-72.
- [10] 朱淀, 王晓莉, 董霞. 工业企业低碳生产意愿与行为研究 [J]. *中国人口·资源与环境* 2013, 23(2): 74-83.
- [11] 张洋, 王宪恩, 关英杰, 等. 低碳贸易壁垒设置的利益博弈及我国出口贸易应对措施 [J]. *商业时代* 2016(12): 142-143.
- [12] 潘楚林, 田虹. 利益相关者压力、企业环境伦理与前瞻型环境战略 [J]. *管理科学* 2016, 29(3): 38-48.
- [13] 王熙照. 模糊测度和模糊积分及在分类技术中的应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2008: 18-19.
- [14] 刘颖, 王国红, 陈大鹏. 基于模糊积分的集群产业集聚度测度与评价——以大连软件产业集群为例 [J]. *科学与科学技术管理* 2010, 31(12): 86-90.
- [15] 张笑楠, 仲秋雁. 基于模糊积分的软件外包企业技术能力测度研究 [J]. *大连理工大学学报* 2013, 53(2): 287-293.
- [16] SUGENO M, NARUKAWA Y, MUROFUSHI T. Choquet integral fuzzy measures on locally compact space [J]. *Fuzzy sets and systems*, 1998, 99(2): 205-211.
- [17] 周业樑, 盛文军. 转轨时期我国产能过剩的成因解析及政策选择 [J]. *金融研究* 2007(2): 183-190.
- [18] 王兆龙, 曲世友, 刘通. 私募股权投资时机对被投资企业盈利能力影响的实证研究 [J]. *预测* 2015(4): 47-52.
- [19] 常志朋, 朱克朋, 张涛. 基于模糊积分的区间数多属性决策方法 [J]. *统计与决策* 2015(10): 38-40.
- [20] 李春吉. 我国规模以上工业行业资本利用率影响因素分析 [J]. *南京财经大学学报* 2017(3): 30-40.

(责任编辑:康兰媛;英文校对:葛秋颖)

Dynamic Measure of Low-carbon Transformation of China's High-carbon Industry

WANG Lingling , YANG Shuangping , ZHANG Jijian

(School of Finance and Economics , Jiangsu University , Zhenjiang 212013 , China)

Abstract: Based on the analysis of the dynamic factors of low-carbon transformation of China's high-carbon industry , the dynamic attributes of low-carbon transformation of China's high-carbon industry are refined according to the dynamic source and specific characterization. The dynamic structure of low-carbon transformation of China's high-carbon industry is defined , and the measure index system is established. Combined with the objective reality of statistics continued perfection of China's high carbon industry , improved fuzzy measure and Choquet fuzzy integral are defined , and a model for dynamic measure of low-carbon transformation of China's high-carbon industry is constructed. Then the typical high carbon industry-steel industry is taken as an example for empirical analysis. The empirical results show that the low-carbon transformation of China's steel industry on the whole is general. In process of promoting low-carbon transformation of China's high-carbon industry , the relative highest contribution is "the endogenous support force" while the relative lowest contribution is "the external thrust force" , the contribution of "the external pulling force" and "the endogenous traction force" are in the middle , and "the reversed pushing force" is more effective than "the subsidy pushing mechanism".

Key words: high-carbon industry; low-carbon transformation; dynamic attribute; improved Choquet fuzzy integral

.....
(上接第 12 页)

A New Explanation to Export Distortion of China's Manufacturing Private-owned Firms: From the Dual-heterogeneous Perspective of Fixed Trade Costs and Productivity

CHEN Wenzhi

(Business School , Wenzhou University , Wenzhou 325035 , China)

Abstract: On the facts that export distortion exists in a lot of low productive pure exporters and fixed trade costs of domestic market are higher than that of foreign market in China's manufacturing private-owned firms , this paper extends Melitz's model by introducing domestic and foreign fixed trade costs heterogeneity to analyze the impact of heterogeneous fixed trade costs and productivity on export distortion. The model shows the existence of export distortion in equilibrium when the fixed trade costs of domestic market higher than that of foreign market. The data study of private-owned enterprises for 2001—2007 suggests that the productivity of pure exporters is significantly lower than that of non-exporters and firms having both domestic sales and exports. There are significant impacts of dual-heterogeneous fixed trade costs and productivity on firm's export behavior , and the higher domestic fixed trade costs relative to foreign fixed trade costs enhance the possibility of low-productive firms to be pure exporters , while the increase of productivity weakens the influence of heterogeneous fixed trade costs on firms' pure export behavior. The empirical research in the paper has passed a series of robustness tests.

Key words: export distortion; productivity; fixed trade costs; dual-heterogeneity