

“双碳”目标下制造企业绿色创新能力测度及提升路径研究

孙 颖

江苏海洋大学商学院, 江苏 连云港

收稿日期: 2024年4月20日; 录用日期: 2024年5月13日; 发布日期: 2024年6月24日

摘 要

“双碳”目标下制造企业高质量发展已经成为产业转型升级以及培育壮大新质生产力的关键, 绿色创新发展战略的构建对于彻底解决能耗以及污染排放问题非常重要。首先, 本文基于生态位理论, 构建包含个体、组织、制度、环境 and 经济层面的有关绿色研发、清洁生产和绿色营销的测度指标体系。其次, 将AHP法、熵权及变异系数法相结合, 得出指标综合权重, 再结合云模型计算综合测度模型。最后, 通过对领军制造企业绿色创新能力计算结果分析, 挖掘影响企业绿色创新的关键因素, 据此提出“双碳”目标下制造企业高质量发展路径, 为企业绿色转型升级路径的研究提供参考。同时, 为企业进行市场定位及制定创新发展战略提供了依据及决策参考。

关键词

“双碳”目标, 制造企业, 生态位, 高质量发展

Research on the Measurement and Enhancement Path of Green Innovation Capability of Manufacturing Enterprises under the Goal of “Dual Carbon”

Ying Sun

Business School, Jiangsu Ocean University, Lianyungang Jiangsu

Received: Apr. 20th, 2024; accepted: May 13th, 2024; published: Jun. 24th, 2024

Abstract

High-quality development of manufacturing enterprises under the goal of “dual-carbon” has be-

come the key to industrial transformation and upgrading as well as cultivating and expanding new quality productive forces, and the construction of green innovation and development strategy is very important for completely solving the problems of energy costs and pollution discharge. First, based on the ecological niche theory, this paper constructs an evaluation index system for green R&D, clean production and green marketing, which includes individual, organizational, institutional, environmental and economic levels. Secondly, AHP, entropy weight and coefficient of variation method are combined to calculate the comprehensive weight of indicators, and the cloud model is utilized to calculate the comprehensive evaluation model. Finally, by analyzing the results of the green innovation ability, the key factors affecting the green innovation of enterprises are explored, and accordingly, the high-quality development path of manufacturing enterprises under the goal of “double carbon” is put forward, which provides a reference for the research on the path of green transformation and upgrading of enterprises. At the same time, it provides the basis and decision-making reference for enterprises to position themselves in the market and formulate innovative development strategies.

Keywords

“Dual Carbon” Goals, Manufacturing Companies, Ecological Niches, High-Quality Development

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

随着全球化的深入发展，世界经济面临诸多新的挑战 and 机遇。环境问题、资源约束、气候变化等成为制约经济可持续发展的重要因素。在这一背景下，各国政府和企业开始探索以新质生产力为基础的高质量发展路径，其中制造业作为国民经济的重要支柱，其绿色转型尤为关键。目前，“双碳”战略目标已纳入我国“十四五”规划，此外，2022 年 10 月党的二十大报告指出要大力发展绿色低碳制造业，加快发展方式绿色转型。因此，系统分析和科学评价企业绿色创新能力，可以为绿色创新提供有效的扩散环境。同时，也对提高企业绿色创新能力以及实现高质量发展具有非常高的理论价值和现实意义。

生态位理论阐述了生命体之间的竞争性以及对外部环境的适应能力，并分析了个体在生态系统中如何找寻适宜的生存位置。组织生态位扮演着自身生存发展和其生存环境间的关键纽带，其也被用来表示组织的竞争力。近年来，生态位理论被越来越多学者重视，其被证实对多种形式技术创新产生了不同的影响。本文结合制造企业绿色创新发展现状，识别生态位视角下企业绿色创新的“态”和“势”的影响因素，构建指标体系与评价云模型。对绿色创新能力的评价，在微观层面，将促使组织正确认识绿色创新发展现状以及找到如何提升综合竞争潜力的着力点，同时，在理论和实践方面给出支持与指导。在宏观层面，为增强绿色制造能力和实施绿色创新提供政策指导。

2. 文献综述

2.1. 绿色创新

绿色创新是指在产品开发、制造、组织管理及营销的过程中，开发新技术、新政策，以便减少资源和能源消耗，为社会带来环境效益，提高企业产出效率的活动总称。与传统创新相比，绿色创新更加强调生态性，认为企业不能盲目追求货币利益最大化，要履行社会责任的新要求。实现创新的绿色化大势

所趋,同时还需对绿色创新能力展开测度,以检验创新投入、资源分配和宏观政策的合理性。

一些学者关注创新投入和产出两个方面指标,测度绿色创新的效率或绩效。Chen 等人(2020)选取投入、产出指标,基于三阶段链网 SBM 理论,以我国不同省份制造企业作为研究对象,对其绿色创新效率进行测度[1]。Yuan 等(2018)构建了扩展 Creponduguet-Mairese (CDM)模型,考察了环境规制对产业创新和绿色发展影响[2]。创新投入方面,资金投入是组织 R & D 活动的物质保证,人才是项目实施的核心力量,政府更多利用财政补贴以及环境规制等方式促进组织完成绿色创新。知识产权与新产品市场份额更多作为产出指标,主要反映组织的研发水平以及市场化水平。

也有学者综合经济、环境和社会三方面因素,建立了中国首都经济圈工业可持续绩效评价框架,利用全球主成分分析法评估各地区产业绩效[3]。经济绩效一般通过新产品比例、市场占有率等指标来反映,环境绩效更多的选择废水、废气、废物利用率、能源消耗水平等指标测度。EES 全面发展视角是从宏观上指明了绿色创新带来的经济、环境和社会效益。

常用的计量方法有 Data Envelopment Analysis (DEA)、模糊综合评价法、因子分析、主成分分析以及层次分析法等[4]。从创新活动的技术效益、经济效益和生态效益 3 个方面构建指标体系,Zhang 等人采用熵权法对区域绿色创新质量进行评价[5]。Qiu 等人引入变异系数和层次模型确定评价权重,并采用灰色多层次评价方法对 4 个具有代表性的生态工业园区的绿色水平进行了测度[6]。

2.2. 生态位理论

生态位思想由 Grinnell 提出,被解释为生物体和外部环境(生存、资源空间等)的综合系统[7]。生态位态势理论认为生物体包括态因素与势因素,态因素主要是对以往学习、社会经济发展、与内外环境诸多因素相互影响积累的结果;势因素更多反应的是对环境的现实影响能力以及支配能力。创新活动具有与生物体类似的规律和特征,其生态位态势是随着时间不断变化动态调整的过程,因综合水平的改变和与外部环境间不断变化而调整。

生态位理论常被用来分析组织的竞争力以及潜力。万伦来将生态位剖析为生存力、发展力、竞争力,基于生产创新能力、技术创新能力、营销创新能力等构建组织生态位测度模型[8]。也有学者基于生态位态势因素构建了组织生态位测度指标体系,结果可以反映出企业的竞争潜力和生存能力。何郁冰等认为生态位态势对跨组织技术协同创新有显著正向影响[9]。Meng 等人利用 Logistic 扩展模型对组织开放式创新能力的生态位进行分析,并提出企业创新发展模式[10]。生态位理论还被用来分析中观层面产业动态演化过程和产业、环境间关系。Greve 认为加大创新投入将促使组织生态位发生改变,对失败经济的学习与反思有利于企业成长[11]。Wu 利用 SEM 模型(结构方程模型)构建了 S-R-F (状态-关系-函数)省级生态位测度框架,利用生态位宽度模型、生态位重叠模型和生态位适宜度模型计算了黄河流域 2005~2019 年省级生态位,并通过空间定位给出了改善策略[12]。Cao 等利用熵值法,探讨了 2007~2019 年“一带一路”沿线 11 个国家的经济-社会-自然生态区位及其耦合协调性,以及区域差异和时空特征[13]。

2.3. 文献评述

综上所述,关于生态位理论方面,大部分研究集中在对组织生态位的展开定性分析,同时中观层面更多是探究产业生态位和环境的动态关系,但从微观层面利用生态位理论对创新活动进行定量分析的相关研究开展的较少。绿色创新方面,学者们主要集中在区域或产业层面绿色创新模式、效率、方法等,基于生态位理论分析企业的绿色创新能力的研究较少。同时,关于组织层面绿色创新的探讨,也存在权重分配不合理和忽略评价信息的随机性和模糊性等问题。

由于云模型能够实现定性概念与定量表示之间的相互映射,反应定性概念自身所具有的不确定性,

同时，揭示客观事物的随机性以及模糊性的关系。综上，在相关学者研究的基础上，构建基于生态位理论的领军制造企业绿色创新能力测度指标体系，采用层次分析(AHP)、熵和变异系数计算指标组合权重，利用云模型对企业绿色创新能力进行测度。从而可以得到更准确、客观地测度结果和合理定位企业的绿色创新能力，进而找出其现阶段的优势和劣势。

3. 构建指标体系

指标体系构建遵循系统性、科学性、可操作和可量化性原则。本文按照以下步骤构建指标体系。首先，根据绿色创新和生态位理论的定义和文献资料等确定海选指标；其次，采用专家筛选的方法删除对评价结果影响较小的指标；再次，通过相关性分析删除同一准则层内相关性较大的指标；最后，结合鉴别力分析找到对排序没有影响的非关键指标，进而删除。由此得出 17 个二级指标，1) 生态位态因素主要描述企业绿色创新能力的状态，反映有关绿色创新人员和资金投入等资源积累情况，具体涉及个体、组织以及制度三方面测度指标。2) 生态位势因素侧重描述组织绿色创新活动的发展趋势，是一种能否进行持续创新的支配力。主要包括环境 and 经济方面内容。以下是指标的具体含义和内容，本文构建的最终指标体系见表 1。

Table 1. Construction of evaluation index system

表 1. 评价指标体系构建

总目标	准则	因素	指标	文献来源
“双碳”目标下 制造企业绿色 创新能力测度 B	态 I1	个体因素	高管社会责任意识 I11	徐建中等(2017) [14]
			高管绿色规划强度 I12	
		组织因素	R & D 人员全时当量 I13	Fang 等(2020) [15] 肖淑芳等(2020) [16] Shin 等(2019) [17]
			R & D 经费投入 I14	
			技术改造经费支出 I15	
			技术消化吸收经费支出 I16	
			固定资产投资 I17	
		制度因素	绿色法规监管力度 I18	田红娜等(2018) [18] 徐建中等(2017) [14]
			环境污染治理投资 I19	
			环保体系认证等级 I110	
	势 I2	环境效益	工业废气减排量 I21	Yin 等(2020) [19] Peng 等(2020) [20]
			工业废物减排量 I22	
			工业废水减排量 I23	
			能源消耗量 I24	
		经济效益	新产品销售占比 I25	田红娜等 [18] 石博等(2018) [21]
			利润增长率 I26	
			专利申请增长率 I27	

4. 研究方法

4.1. 指标权重的确定

为衡量各指标的重要性，本文采用相对熵算法确定每个测度指标的权值，不仅提高了多种单一权重计算模型的兼容性，还能体现复杂系统所具有的非线性以及涌现性等特征。

4.1.1. 单一赋权法

层次分析法(AHP)是一种主观赋权法，其具体步骤如下：

1) 构造用于比较的判断矩阵 $A = (a_{ij})_{n \times n}$ ，这里 $a_{ij} = x_i / x_j$ ， a_{ij} 解释为第 i 个指标同第 j 个指标间彼此重要程度， x_i 与 x_j 的分值选择根据 Saaty 表得出， n 表示待测度指标个数。

2) 计算 A 所对应最大特征值 $\lambda_{\max}$ ，进而求它的特征向量，也就是待测度指标权值 $W = [w_1, w_2, \dots, w_n]^T$ 。

3) 计算 $CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$ ，其结果为一致性指标，再进一步求解 $CR = CI / RI$ ， RI 解释为随机指标。 $CR < 0.1$ ，其打分是满足要求，否则要再次展开评估。

熵权法主要特点是某个指标有序程度越高，信息熵反而越低，指标权值也就越大。具体分析步骤如下：

1) 对评价值标准化处理：

$$f_{ij} = u_{ij} / \sum_{j=1}^n u_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

2) 计算第 j 个评价指标的熵 H_j ：

$$H_j = - \left(\sum_{i=1}^m f_{ij} \ln f_{ij} \right) / \ln m \quad (2)$$

3) 计算第 j 个评价指标的熵权 w_j ：

$$w_j = (1 - H_j) / \left(n - \sum_j H_j \right) \quad (3)$$

变异系数法是一种利用被评价指标的变异程度确定指标权重的方法，具体计算步骤如下：

1) 计算第 j 评价指标的变异系数 v_j ：

$$v_j = \frac{\sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}}{|\bar{x}_j|} \quad (4)$$

这里 $x_{ij} (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$ 解释为待测度对象 i 中的第 j 个指标的值，而 $\bar{x}_j$ 解释为第 j 个指标算数平均值。

2) 求解第 j 评价指标的权重 w_j ：

$$w_j = \frac{v_j}{\sum_{j=1}^n v_j} \quad (5)$$

4.1.2. 结合相对熵理论的组合赋权法

相对熵广泛应用在信息学以及计算科学中，主要是解释两个概率分布间的不同程度。基于相对熵理论的组合赋权模型核心内容是强调组合权值和多种单一权值计算方法间的相对熵总和最小。详细步骤为：

1) 假设层次分析法、熵以及变异系数的集结权值表示为 $b = (b_1, b_2, \dots, b_m)$, y_{ij} ($i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$) 解释为第 i 种单一权值计算法的第 j 个指标的权值, 利用相对熵理论构建优化模型如下所示:

$$\begin{aligned} \min & \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m b_j \log \frac{b_j}{y_{ij}} \\ \text{s.t.} & \begin{cases} \sum_{j=1}^m b_j = 1 \\ b_j > 0, \forall j \in m \end{cases} \end{aligned} \quad (6)$$

这里全局最优解 $b = (b_1, b_2, \dots, b_m)$ 计算公式表示为:

$$b_j = \prod_{i=1}^n (y_{ij})^{1/n} / \sum_{j=1}^m \prod_{i=1}^n (y_{ij})^{1/n}, \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (7)$$

2) 求解权值分配系数 β_i :

$$\beta_i = \frac{h(y_i, b)}{\sum_{i=1}^3 h(y_i, b)}, \quad i = 1, 2, 3 \quad (8)$$

这里 $h(y_i, b)$ 表示为 y_i 和集合权 b 计算得出的相对熵, 求解公式为:

$$h(y_i, b) = \sum_{j=1}^m y_{ij} \log \frac{y_{ij}}{b_j} \quad (9)$$

3) 组合权 W_j 求解公式表示为:

$$W_j = \sum_{i=1}^3 \beta_i y_{ij} \quad (10)$$

4.2. 测度模型

为准确、科学测度领军制造企业绿色创新能力, 结合上文构建的生态位视角指标测度体系, 要对待测度对象模糊概念展开表达以及处理。云模型理论最初是基于信息学以及模糊数学理论提出的, 其可以精准反映定性信息与定量数据间存在的映射关系, 进一步达到定性信息与定量数据间精准转换。在此基础上, 可以提取出定性表达中包含的有效信息, 利用模型可以高效处理定性运算的特点, 得出应用范围和分布更广的定量数据, 使最终结果具备直观、科学、准确以及解释性较强的特点。

4.2.1. 指标体系归一化

待测度指标的量纲存在差异, 需要对其进行归一化处理:

$$\text{效益型指标: } P_{ij} = \frac{A_{ij} - \min(A_j)}{\max(A_j) - \min(A_j)} \quad (1 \leq j \leq n) \quad (11)$$

$$\text{成本型指标: } P_{ij} = \frac{\max(A_j) - A_{ij}}{\max(A_j) - \min(A_j)} \quad (1 \leq j \leq n) \quad (12)$$

其中, P_{ij} 为评价对象 A_i 的第 j 个指标的标准化之后的数值, A_j 为其原始数据。

4.2.2. 指标体系归一化

在对样本领军制造企业绿色创新能力测度指标中, 统计样本数据时发现其既有用准确的数值表示的,

还有使用模糊的语言值表示的数据，所以它们使用的云模型表示方法有所区别，详细计算步骤见下文：

1) 如果是使用准确数值表示待测指标的云模型计算公式为：

$$\begin{cases} Ex = (Ex_1 + Ex_2 + \dots + Ex_n)/n \\ En = (\max(Ex_1, Ex_2, \dots, Ex_n) - \min(Ex_1, Ex_2, \dots, Ex_n))/6 \\ He = k \end{cases} \quad (13)$$

2) 如果是使用语言值表示待测指标的云模型计算方法见下文。

根据生态学中生态位理论的内涵可知，其数值越大，表示测度对象绿色创新的生态位越强，进一步可以解释为待测对象绿色创新的能力越强。与此同时，和外部环境的交互越多，其受到环境变化得影响也相对越大，也意味着组织内部资源利用率相对越高。若测度对象的生态位水平较低，意味着组织发展中对绿色创新重视程度的较低，同时，低碳类创新资源的转化率也较低。综上可知，待测度样本的绿色创新生态位可解释为动态选择的过程，其数值因组织综合能力的改变及随着外部环境改变，生态位态势也会随之改变。

待测度对象评语集可以使用论域[0, 1]进行表示，其中任何一个评语都可以用集合中的一个区间表示，本文将评语集 C 划分为 5 个，即 $C = \{\text{poorer, poor, ordinary, good, better}\}$ ，对于中间的区间选择双边约束 $[V_{\min}, V_{\max}]$ ，端点选择半云模型进行表示。评语对应的变化区间如表 2 所示，对称云的评语表示计算方法如下：

Table 2. Comment form

表 2. 评语表

评语集	poorer	poor	ordinary	good	better
区间	[0, 0.2]	(0.2, 0.4]	(0.4, 0.6]	(0.6, 0.8]	(0.8, 1]
熵	0.0167	0.0333	0.0333	0.0333	0.0167
期望	0	0.3	0.5	0.7	1

$$\begin{cases} Ex_i = (V_{\max} + V_{\min})/2 \\ En_i = (V_{\max} - V_{\min})/6 \\ He_i = k \end{cases} \quad (14)$$

将收集的测度指标评语根据公式(13)与(14)计算云模型，通过表 2 进一步将期望用决策矩阵 D 进行表示，这里测度对象指标的一级云模型特征值详细计算步骤见下文所示：

1) 通过样本点 x_i 计算每一组样本的均值 $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ ；

2) 求解期望 $Ex = \bar{X}$ ；

3) 求解样本点(也称为云滴)的熵 $En = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \times \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - Ex|$ ；

4) 求解样本方差 $S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2$ ；

5) 求解样本点超熵 $He = \sqrt{S^2 - En^2}$ 。

如果测度指标体系内存在 n 个相邻云模型，这时可以采用下列公式计算综合云模型的特征值，具体表示为：

$$\begin{cases} Ex = \frac{Ex_1En_1W_1 + Ex_2En_2W_2 + \dots + Ex_nEn_nW_n}{En_1W_1 + En_2W_2 + \dots + En_nW_n} \\ En = En_1W_1 + En_2W_2 + \dots + En_nW_n \\ He = \frac{W_1^2}{W_1^2 + W_2^2 + \dots + W_n^2} * He_1 + \dots + \frac{W_n^2}{W_1^2 + W_2^2 + \dots + W_n^2} * He_n \end{cases} \quad (15)$$

5. 实证研究

5.1. 数据收集

本文选取海尔制造企业作为待测度对象，该企业作为行业内领军制造企业先后获得“优秀节能与能效提升技术”、“环境社会责任企业”等多个重量型奖项。分析的定量数据使用 2016~2020 年企业社会责任报告、年度报告、环境报告、官网公布绿色创新相关资料、巨潮资讯等。定性指标采用对创新发展战略、绿色研发、绿色生产具有丰富经验的专家，通过其打分法获得。

5.2. 指标权重计算

首先，结合上文构建的测度指标体系，对样本企业涉及的定性与定量数据进行整理，利用相对熵方法得出测度指标的权重。利用 AHP 计算指标权重分别为 w_{11} 、 w_{12} ，通过 MATLAB 软件得出 $w_{11} = (0.15, 0.09, 0.15, 0.05, 0.06, 0.08, 0.06, 0.05, 0.11, 0.20)$ 和 $w_{12} = (0.28, 0.17, 0.21, 0.05, 0.05, 0.09, 0.15)$ 。再依次采用熵值法计算公式(1)~(3)、变异系数法计算公式(4)~(5)计算权值 $w_{21} = (0.06, 0.11, 0.12, 0.13, 0.07, 0.06, 0.13, 0.09, 0.13, 0.10)$ 、 $w_{22} = (0.10, 0.11, 0.15, 0.19, 0.15, 0.18, 0.12)$ 和 $w_{31} = (0.06, 0.10, 0.10, 0.20, 0.07, 0.06, 0.11, 0.09, 0.12, 0.09)$ 、 $w_{32} = (0.12, 0.13, 0.17, 0.15, 0.17, 0.13, 0.13)$ 。最后，利用公式(7)计算指标集结权重以 b_1 为例： $b_1 = [0.09, 0.11, 0.13, 0.11, 0.07, 0.07, 0.10, 0.08, 0.15, 0.09]$ 。通过公式(9)计算 w_{11} 、 w_{21} 、 w_{31} 和 b_1 贴近度： $h_1(w_{11}, b_1) = 0.01$ ， $h_1(w_{21}, b_1) = 0.02$ ， $h_1(w_{31}, b_1) = 0.03$ 。由式(8)可得权重分配系数 $\beta_1 = 0.11$ 、 $\beta_2 = 0.33$ 、 $\beta_3 = 0.56$ 。与此同时，把上文得到的权系数结合公式(10)求解出测度指标最后组合权值，其最终结果表示为(0.11, 0.10, 0.13, 0.11, 0.07, 0.07, 0.09, 0.07, 0.17, 0.08, 0.20, 0.15, 0.19, 0.10, 0.10, 0.12, 0.14)。

5.3. 计算测度指标对应的云模型和最终结果对应的综合测度云模型

根据上文构建的测度指标体系，结合本文提出的算法对样本企业绿色创新能力展开测度。将标准化后的原始数据用表 2 中的评价集合{poorer, poor, ordinary, good, better}进行表示，得出表 3。

Table 3. Rating scale of secondary metrics of ecological innovation capacity of sample enterprises for 5 years
表 3. 样本企业 5 年绿色创新能力二级指标评价表

	I11	I12	I13	I14	I15	I16	I17	I18	I19
2016	good	poor	poor	better	ordinary	better	good	poor	poor
2017	good	poor	poor	poor	poor	good	poorer	poorer	poor
2018	better	poorer	ordinary	poor	good	better	poor	ordinary	poorer
2019	poor	good	good	poor	good	better	poor	ordinary	poorer
2020	better	better	better	poor	better	poor	better	better	better
	I110	I21	I22	I23	I24	I25	I26	I27	
2016	poor	poor	ordinary	poor	better	poor	poor	ordinary	

续表

2017	poorer	good	poor	poorer	better	poorer	ordinary	better
2018	ordinary	good	ordinary	poorer	poor	better	good	good
2019	good	better	better	better	ordinary	better	better	better
2020	better	good	better	better	ordinary	ordinary	better	poor

将表 3 中评价语按照云模型给出的算法转化为数值, 与此同时, 把注释语以期望形式表示, 从而得到决策矩阵 D :

$$D = \begin{bmatrix} 0.7 & 0 & 0 & 1 & 0.5 & 1 & 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0.5 \\ 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.7 & 0.3 & 0.3 & 0 & 0.3 & 0.7 & 0 & 0.3 & 1 & 0.3 & 0.5 & 1 \\ 1 & 0.3 & 0.5 & 0 & 0.7 & 1 & 0 & 0.5 & 0.3 & 0.5 & 0.7 & 0.5 & 0.3 & 0 & 1 & 0.7 & 0.7 \\ 0 & 0.7 & 0.7 & 0 & 0.7 & 1 & 0 & 0.5 & 0.3 & 0.7 & 1 & 1 & 1 & 0.5 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0.7 & 1 & 1 & 0.5 & 0.5 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

根据云计算公式, 结合 MATLAB 编程得出一维云模型绿色创新能力指标体系, 根据公式计算指标 I_{ij} , 如: I_{11} 数值特征表示为(0.68, 0.34, 0.23), 剩余指标对应云模型 Ex_{I11} 、 En_{I11} 、 He_{I11} 计算见表 4。

Table 4. Rating scale of secondary metrics of ecological innovation capacity of sample enterprises

表 4. 样本企业绿色创新能力二级指标评价表

	I11	I12	I13	I14	I15	I16	I17	I18	I19
熵 En	0.34	0.45	0.44	0.40	0.33	0.39	0.45	0.31	0.34
期望 Ex	0.68	0.40	0.44	0.2	0.58	0.74	0.4	0.46	0.32
超熵 He	0.23	0	0	0.20	0.17	0.19	0	0.19	0.23
	I110	I21	I22	I23	I24	I25	I26	I27	
熵 En	0.35	0.31	0.40	0.48	0.40	0.44	0.39	0.39	
期望 Ex	0.5	0.62	0.6	0.52	0.6	0.56	0.64	0.64	
超熵 He	0.15	0.20	0.12	0	0.12	0	0.14	0.14	

运用综合云计算公式, 计算出较高层次的母云。 I_1 的集成云(0.45, 0.38, 0.14)、 I_2 的集成云表示为(0.59, 0.4, 0.11), 结合 I_1 、 I_2 数值特征, 根据公式可得样本企业绿色创新能力综合云为(0.52, 0.39, 0.13)。根据云模型计算公式计算样本企业绿色创新能力生态位各项特征指标, 具体见表 5。

Table 5. Numerical features of ecological innovation competencies niche of sample firms

表 5. 样本企业绿色创新能力生态位数值特征

	2016	2017	2018	2019	2020
熵 $EnB1$	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02
期望 $ExB1$	0.42	0.29	0.45	0.48	0.82
超熵 $HeB1$	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
熵 $EnB2$	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02
期望 $ExB2$	0.30	0.51	0.56	0.91	0.67
超熵 $HeB2$	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

结合表 5 中数据, 利用综合云计算公式可得 2016~2020 年样本企业绿色创新能力云数值特征分别为 (0.36, 0.02, 0.01), (0.40, 0.03, 0.01), (0.50, 0.03, 0.01), (0.65, 0.02, 0.01), (0.74, 0.02, 0.01)。

5.4. 评价结果分析

通过表 4 计算结果可知, 对样本企业绿色创新能力影响较大态层面因素是高管社会责任意识和绿色技术消化吸收经费支出。绿色技术消化吸收等指标体现了企业对绿色创新活动的态度和支持力度, 决定了企业绿色创新投入水平的高低。动态能力理论认为, 企业要想获得良好绩效产出, 必须创造性地整合多方资源与能力, 推动产学研合作, 提高绿色创新产出效率。制度层面环境污染治理投资、法规监管力度指标显示政府应加大环境规制及提供绿色创新补贴等措施, 推动企业提升环境治理水平, 促进绿色创新发展。进一步推动企业对生产全过程精细化管理, 优化原料投入, 加大环保设备购买, 提升产品品质的同时使清洁生产得以推行。根据生态位态层面指标可知, 加大资源投入, 提高绿色研发的转化效率, 并将能力迅速转化可以获得市场利润的产品。

通过对表 5 样本企业 2016~2020 年绿色创新能力云数值特征分析及进一步计算综合云结果可知, 2019 年、2020 年, 样本企业绿色创新能力处于[0.6, 0.8]之间, 与 2016 年、2017 年数据相比其绿色创新能力迅猛增长。由此可知, 样本领军企业的绿色创新能力生态位表现为不断增长态势。绿色创新的质量将成为企业获得新质发展力的关键点, 从而降低环境风险, 提高资源利用率的同时, 也必将开发出新的市场机会, 进而提升企业形象和品牌价值。

6. “双碳” 目标下制造企业绿色创新能力提升路径

以领军制造企业为例验证了测度模型的实用性及有效性, 通过实证分析找出了企业绿色创新能力提升的路径。

1) 合理运用财政激励政策。其一, 提供税收减免给那些投资于绿色技术研发和应用的企业。其二, 提供补贴或财政支持给予使用可再生能源和环保材料的制造企业。其三, 设立绿色创新基金, 专门用于支持绿色产品的研发和商业化。其四, 完善投资和融资支持政策。为开展绿色创新项目的企业提供低息贷款和信贷担保促进绿色创新风险投资和私募股权投资。

2) 完善环境规制、监管政策。其一, 制定严格的环境保护标准, 以推动制造企业减少污染物排放和资源消耗。其二, 实施排放交易制度, 激励制造企业减少碳排放。其三, 加强对环境法规的执行力度, 确保制造企业遵守绿色制造相关的法律法规, 对违反环保规定的企业实施经济处罚或限制其市场行为。

3) 增加对绿色创新研发、生产和营销环节的投入。其一, 企业对绿色技术研发的投资, 鼓励跨部门合作, 整合资源进行绿色产品和技术的研究。其二, 设立绿色创新奖励机制, 对贡献突出的个人和团队给予奖励。其三, 采用节能环保的生产技术和设备, 减少能耗和废弃物。实施清洁生产审核, 定期检查并改进生产过程中的环保性能。其四, 强化生态设计理念, 从源头减少产品对环境的影响。推广产品全生命周期评估, 确保产品设计的环保性和可回收性。

4) 完善组织内部环境管理体系。其一, 建立 ISO 14001 等国际环境管理标准体系。定期进行环境影响评估, 制定环境目标和管理计划。其二, 主动公开环境管理和绿色创新的进展, 增加企业透明度。与利益相关者沟通绿色创新成果, 获取外部反馈和建议。其三, 监测和管理企业的碳足迹, 寻求减排策略, 优化能源使用, 提高能效, 采用可再生能源。

5) 增强高管环保意识。其一, 环保意识提高将促使企业提高对外的透明度, 积极披露环境信息, 增强公众和投资者的信任。其二, 环保意识提高也会体现在对供应链管理上, 通过要求供应商遵守环保标准, 推动整个供应链的绿色转型。其三, 环保意识会影响到企业资源配置。将优先投资环保技术和绿色解决方案, 以确保在研发和技术升级方面的投入能够带来环境效益。

7. 结论与展望

对领军制造企业绿色创新能力测度将影响企业市场地位及发展战略,从而降低环境风险。引入生态位理论,基于云模型构建的制造企业绿色创新能力测度框架,以业内领军制造企业为例验证了该框架的实用性和有效性。该方法能综合考虑绿色创新能力测度中的各种主客观因素,为企业绿色创新能力评价标准和绿色创新路径优化提供科学依据。

主要贡献如下:

- 1) 基于生态位态势理论,通过对高频指标的海选、初选和理性补充三个步骤,从绿色研发、清洁生产 and 绿色营销三个方面构建了制造企业绿色创新能力测度指标体系。从态、势角度分析企业绿色创新能力,体现企业绿色创新的差异性特征,拓宽生态位态势理论的应用范畴。
- 2) 运用相对熵的组合赋权法,综合考虑 AHP、熵权及变异系数法得出组合权重,避免了单一赋权法的片面性,同时体现主观赋权法和客观赋权法的差异,从而更客观得出评价结果。
- 3) 利用云模型理论建立了绿色创新能力测度模型,将绿色创新能力的测度指标值向评语值转换,使得企业绿色创新能力测度框架不仅考虑到绿色创新能力评语集区间的模糊性,还兼顾了其随机性。
- 4) 以领军制造企业为例进行实证分析。实证研究表明,该方法能够有效地测度制造企业绿色创新能力,从而为绿色创新路径的提出提供前提条件,并可供决策者参考,及对指导制造企业绿色创新活动具有重要启发和借鉴意义。

然而,本文也存在一些局限性和不足。指标体系中选取了静态的评价指标,没有动态地模拟时间变化、政策环境变化等对企业绿色创新能力影响的指标。由于缺乏大量的样本,不可能进行广泛和充分的实证检验。因此,未来的研究将扩大样本范围,并对评价指标体系和模型进行检验和完善。

基金项目

本论文为连云港市社会科学基金项目《“双碳”目标下连云港制造业绿色创新动力机制及模式研究》研究成果,项目编号: 23LKT052。

参考文献

- [1] Chen, W., Wang, X., Peng, N., Wei, X. and Lin, C. (2020) Evaluation of the Green Innovation Efficiency of Chinese Industrial Enterprises: Research Based on the Three-Stage Chain Network SBM Model. *Mathematical Problems in Engineering*, **2020**, 1-11. <https://doi.org/10.1155/2020/3143651>
- [2] Yuan, B. and Xiang, Q. (2018) Environmental Regulation, Industrial Innovation and Green Development of Chinese Manufacturing: Based on an Extended CDM Model. *Journal of Cleaner Production*, **176**, 895-908. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.034>
- [3] Li, D., Zheng, M., Cao, C., Chen, X., Ren, S. and Huang, M. (2017) The Impact of Legitimacy Pressure and Corporate Profitability on Green Innovation: Evidence from China Top 100. *Journal of Cleaner Production*, **141**, 41-49. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.123>
- [4] Musaad O, A.S., Zhuo, Z., Siyal, Z.A., Shaikh, G.M., Shah, S.A.A., Solangi, Y.A., et al. (2020) An Integrated Multi-Criteria Decision Support Framework for the Selection of Suppliers in Small and Medium Enterprises Based on Green Innovation Ability. *Processes*, **8**, Article 418. <https://doi.org/10.3390/pr8040418>
- [5] Zhang, W., Zhang, M., Wu, S. and Liu, F. (2021) A Complex Path Model for Low-Carbon Sustainable Development of Enterprise Based on System Dynamics. *Journal of Cleaner Production*, **321**, Article ID: 128934. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128934>
- [6] Qiu, B. and Luo, D. (2021) A Grey Multi-Level Evaluation of Industrial Park Ecology Based on a Coefficient of Variation-Attribute Hierarchy Model. *Sustainability*, **13**, Article 1805. <https://doi.org/10.3390/su13041805>
- [7] Grinnell, J. (1917) The Niche-Relationships of the California Thrasher. *The Auk*, **34**, 427-433. <https://doi.org/10.2307/4072271>
- [8] 万伦来. 企业生态位及其评价方法研究[J]. 中国软科学, 2004(1): 73-78.

-
- [9] 何郁冰, 伍静. 企业生态位对跨组织技术协同创新的影响研究[J]. 科学学研究, 2020, 38(6): 1108-1120.
- [10] Meng, F., Tian, Z., Chang, B., Yu, H. and Zhang, S. (2020) Research on the Niche Evolution Game of Ecological Community Innovation of Corporate Venture Capital Based on Logistic Extended Complexity Model. *Complexity*, 2020, Article ID: 6327218. <https://doi.org/10.1155/2020/6327218>
- [11] Greve, H.R. and Rao, H. (2006) If It Doesn't Kill You: Learning from Ecological Competition. *Ecology and Strategy*, 23, 243-271.
- [12] Wu, Y., Yang, S. and Li, Y. (2022) Multidimensional Measurement and Enhancement Strategies of the Provincial Ecological Niche in the Yellow River Basin. *Sustainability*, 14, Article 13034. <https://doi.org/10.3390/su142013034>
- [13] Cao, Y., Jiang, A., Cao, Z., Fayyaz, A., Li, J., Chen, W., et al. (2022) Impact of the Belt and Road Initiative on Economic-Social-Natural Ecological Niches and Their Coupling Coordination: Evidence from 11 Countries along the Route. *Frontiers in Environmental Science*, 10, Article 913928. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.913928>
- [14] 徐建中, 贯君. 基于二元语义组合赋权的制造企业绿色创新能力评价模型及实证研究[J]. 运筹与管理, 2017, 26(4): 124-131.
- [15] Fang, Z., Bai, H. and Bilan, Y. (2019) Evaluation Research of Green Innovation Efficiency in China's Heavy Polluting Industries. *Sustainability*, 12, Article 146. <https://doi.org/10.3390/su12010146>
- [16] 肖淑芳, 石琦, 张一鸣. 上市公司创新能力指数的构建[J]. 北京理工大学学报, 2020, 22(1): 57-69.
- [17] Shin, J., Kim, C. and Yang, H. (2019) Does Reduction of Material and Energy Consumption Affect to Innovation Efficiency? The Case of Manufacturing Industry in South Korea. *Energies*, 12, Article 1178. <https://doi.org/10.3390/en12061178>
- [18] 田红娜, 孙钦琦. 基于云模型的汽车制造企业绿色技术创新能力评价研究[J]. 管理评论, 2020, 32(2): 102-114.
- [19] Yin, S., Zhang, N. and Li, B. (2020) Enhancing the Competitiveness of Multi-Agent Cooperation for Green Manufacturing in China: An Empirical Study of the Measure of Green Technology Innovation Capabilities and Their Influencing Factors. *Sustainable Production and Consumption*, 23, 63-76. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.05.003>
- [20] Peng, B., Zheng, C., Wei, G. and Elahi, E. (2020) The Cultivation Mechanism of Green Technology Innovation in Manufacturing Industry: From the Perspective of Ecological Niche. *Journal of Cleaner Production*, 252, Article ID: 119711. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119711>
- [21] 石博, 田红娜. 基于生态位态势的家电制造业绿色工艺创新路径选择研究[J]. 管理评论, 2018, 30(2): 83-93.