

2024

Research on the evaluation of green innovation capability of industrial enterprises above designated size in Zhejiang province

Jiaxue YU

Business School, Ningbo University, China

Minghua HAN

Business School, Ningbo University, China

Follow this and additional works at: <https://jstm.researchcommons.org/journal>



Part of the [Technology and Innovation Commons](#)

Recommended Citation

YU, Jiaxue and HAN, Minghua (2024) "Research on the evaluation of green innovation capability of industrial enterprises above designated size in Zhejiang province," *Journal of Science and Technology Management*. Vol. 26: Iss. 3, Article 9.

DOI: 10.16315/j.stm.2024.03.001

Available at: <https://jstm.researchcommons.org/journal/vol26/iss3/9>

This Article is brought to you for free and open access by Journal of Science and Technology Management. It has been accepted for inclusion in Journal of Science and Technology Management by an authorized editor of Journal of Science and Technology Management.

Creative Commons License



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial-No Derivative Works 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

浙江省规模以上工业企业绿色创新能力评价研究

余佳雪, 韩明华

(宁波大学 商学院, 浙江 宁波 315211)

摘要: 面对日益凸显的环境问题和绿色转型的压力,作为强国之基的制造业,其绿色创新发展是推动我国经济高质量发展的重要举措。为了明晰制造大省浙江省制造企业绿色创新能力如何,通过采用熵权 CRITIC-EDAS 评价模型对浙江省规模以上工业企业绿色创新能力进行综合评价,并进行预测性分析。研究结果显示:技术改造经费支出、废气排放量、固体废物产生量、固体废物综合利用率是制约浙江省规模以上工业企业绿色创新能力提升的关键因素,其中技术改造经费支出是首要制约因素;2011—2019年浙江省规模以上工业企业绿色创新能力总体来说呈现上升趋势,但在2013—2017年间出现了波动下降;2020年疫情以来,浙江省规模以上工业企业绿色创新发展虽有所受限,但整体呈现出稳步上升趋势。基于研究结果,提出提升浙江省规模以上工业企业绿色创新能力的对策建议,为浙江及其他省市制造业绿色高质量发展提供参考。

关键词: 规模以上工业企业;绿色创新能力;熵权 CRITIC-EDAS

DOI:10.16315/j.stm.2024.03.001

中图分类号: F061.5 **文献标志码:** A

经济社会的高速发展使得环境污染和资源消耗问题日益凸显,传统的高耗能、高排放的生产模式不符合现代化经济发展的要求,需要转向低碳、清洁、高效的绿色化发展。党的二十大报告就明确提出要“加快发展方式绿色转型,坚持和贯彻新发展理念”,“制造业转型升级的关键在于数字化转型和绿色低碳转型”。绿色创新作为实现绿色转型的必要条件,不仅能够为企业带来价值增值,还能提高企业资源的利用效率,实现经济发展与环境保护的良性循环^[1],进而促进制造业高质量发展。规模以上工业企业是现代制造业和国民经济的重要组成部分,也是科技创新的重要载体和推动者。相较于其他企业,规模以上工业企业具有规模大、技术含量高、设备先进、经营方式多样等特点。因此,规模以上工业企业绿色创新对推进我国经济、社会高质量发展具有重要意义。

浙江省作为我国高质量发展建设共同富裕示范区、长三角经济带重要组成部分,制造业发展是其经济的命脉、富民强省的根基,浙江制造业高质量发展对打造我国发展新引擎具有重要意义。《中国制造2025 浙江行动纲要》明确提出要加快提高浙江企业

集群化、绿色化和国际化发展水平,坚持把可持续发展作为建设制造强省的关键着力点。浙江省政府2021年发布的《浙江省全球先进制造业基地建设“十四五”规划》也再次强调要加快绿色低碳发展,转变制造业发展方式。由此可见,绿色创新发展是衡量浙江制造业高质量发展的重要方面。而规模以上工业企业作为浙江制造业的龙头企业,响应政策要求、顺应市场需求,积极开展可再生能源开发与利用、能源节约、环境治理等绿色活动,通过引进和研发先进环保和能源技术,加快推动工业生产方式的绿色化变革,不断提升可持续发展能力,成为浙江经济高质量发展的重要支撑力量。但浙江省规模以上工业企业在绿色创新中仍面临一些问题。例如,一些关键清洁技术的研发和使用成本居高不下,企业采用意愿较低;相关绿色技术人才匮乏,地方人才政策环境亟需改善等,阻碍了浙江制造业的转型升级。那么,现阶段浙江省规模以上工业企业绿色创新能力究竟如何?在具体绿色创新实践中,还面临哪些具体的制约因素?如何提升绿色创新能力?基于此,本文通过对浙江省规模以上工业企业绿色创新能力进行系统评价和预测性分析,从而认清其绿色创新能力现状和制约因素,并进一步提出相关对策建议,为浙江省以及其他省或城市制造业绿色转型发展提供指导借鉴。

收稿日期:2024-02-19

基金项目:国家社会科学基金一般项目(23BJY073)

作者简介:余佳雪(1999—),女,硕士研究生;

韩明华(1973—),女,教授,硕士生导师。

1 文献回顾

近年来,国内外学者主要围绕绿色创新能力的内涵、驱动因素、综合评价等方面展开了大量研究,其中绿色创新能力评价作为企业衡量自身绿色转型成效、认清自身现状和不足的重要依据,引起了学者的广泛关注。

首先,在研究视角方面,已有研究主要从区域、行业、企业 3 个层面对绿色创新能力进行探究。区域层面,曹慧等^[2]、程鹤^[3]、孙振清等^[4]分别对城市、省域等单一尺度区域的绿色创新能力进行综合评价。行业层面,侯建等^[5]、LUO 等^[6]、LI 等^[7]分别基于松弛测度方向距离函数(SBM-DDF)、数据包络分析法对制造业、工业绿色创新能力进行测度与评价。企业层面,徐建中等^[8]、田红娜等^[9]分别基于二元语义和云模型构建制造企业绿色创新能力评价指标体系。以上视角大致可分为宏观(区域、行业)和微观(企业),而对于省域企业这类中微观对象的绿色创新能力评价研究相对缺乏。

其次,在指标体系构建方面,已有的早期研究大多数从创新投入与产出角度构建指标体系。例如毕克新等^[10]依据创新投入产出理论筛选构建了制造业绿色创新能力评价指标体系,李杰中等^[11]在绿色技术创新能力结构的划分基础上从投入与产出角度构建了造纸企业绿色技术创新能力评价指标体系。而随着全球环境问题的日益复杂化,绿色创新衡量标准也更为广泛,更多学者在投入与产出外还探索出更多角度的绿色创新能力评价指标。例如 TSENG 等^[12]结合熵权法,从管理创新、工艺创新、技术创新和产品创新 4 个维度构建了绿色创新能力评价体系;徐建中等^[13]结合德尔菲法对绿色创新能力评价指标进行优选,在投入与产出外增加绿色创新支撑指标来构建评价指标体系。尽管已有研究对评价指标体系进行了较为丰富的探索,但对于像污染物排放和处理这类具有利用性的指标,却仅仅简单归结于绿色产出,没有对其进行恰当的分类,各指标之间的逻辑关系不紧密,缺少从系统角度进行评价。并且已有研究多采用单一的主、客观赋权法或简单的主客观组合赋权,存在单一性或会受主观因素的影响。

最后,在研究方法方面,早期研究大多采用数据包络分析(DEA)方法对创新效率进行测算,例如 CHUNG 等^[14]将污染物作为非期望产出纳入效率分析框架评价创新效率,但 DEA 方法仅考虑创新投入和产出。随后 TONE^[15]提出了 SBM 模型和超效率

SBM 模型,增强了传统 DEA 模型的松弛性。孙振清等^[4]基于 Super-SBM 方法对区域绿色创新能力的影 响进行了测算。随着企业面临的市场现状和绿色创新复杂性的增强,采用的评价方法也越来越多元化。如张文宇等^[16]选择采用模糊综合评价法对区域制造业绿色创新能力进行评价;陈松奕^[17]采用云模型对高技术产业绿色技术创新能力进行综合评价;赵少飞等^[18]则以改进密切值法对区域工业绿色技术创新能力进行评价。尽管已有研究方法应用较为成熟,且适用性较高,但大多数还是倾向于采用数据包络分析、模糊综合评价、云模型等传统评价方法,这些方法存在灵活性不足、过程繁琐复杂的问题,且难以对多指标之间的相互作用和综合变化趋势有效反映。

综上,与现有研究相比,本文主要从以下 3 个方面进行探索:一是,对于已有研究视角的不足,本文从中微观视角出发,对省域企业(浙江省规模以上工业企业)绿色创新能力进行评价研究;二是,对于已有研究在指标构建方面的不足,本文从绿色创新投入能力、绿色创新成果转化能力、绿色创新成果利用能力三个方面系统构建评价指标体系,在逻辑上更为紧密;三是,对于已有研究方法上的不足,本文采用 EDAS 方法对规模以上工业企业绿色创新能力进行评价,逻辑清晰、易于理解,更好地反映多指标评价的综合变化趋势。因此,本文采用熵权 CRITIC-EDAS 评价模型对浙江省规模以上工业企业绿色创新能力进行综合评价,以明晰浙江省规模以上工业企业绿色创新能力发展水平和制约因素,进而为提升规模以上工业企业绿色创新能力提供建议。

2 模型构建与指标选取

2.1 评价模型构建

2.1.1 基于熵权 CRITIC 的组合赋权模型

熵权法作为一种常用的客观赋权法,它通过确定指标的信息熵,来测量各指标的权重大小,从而避免主观性引起的不准确和不清晰^[19-20],注重的是指标的离散性。CRITIC 赋权法最早是由 DIAKOLAKI 等学者提出的一种客观赋权法^[21],该方法主要围绕对比强度和相关性对指标进行赋权,这种加权方法不仅考虑了指标之间的相互关联,而且能够消除指标间量纲的影响。在该方法中,每个指标的特征向量是由它与其他所有指标的相互关系构成的,因此其权重是综合考虑了这些关系的结果。由于绿色创新能力涉及到技术、管理、社会、环境等多个因素,因此熵权法和 CRITIC 法进行组合赋权可以考虑多个

因素的综合性;其次,通过组合赋权可以弥补单一赋权方法的不足,熵权法和 CRITIC 法进行组合赋权可以同时考虑指标的离散性和相关性,避免权重设置的偏颇,更准确地评估企业的绿色创新能力^[22],进而提高评价结果的解释性。下面是 2 种方法组合赋权的计算步骤:

1) 数据标准化。首先将指标进行标准化处理,以便更好地进行比较。对于不同性质的指标,它的计算方法不同,具体计算公式如下:

若 x_{ij} 是正向型指标,则无量纲化处理为

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})}, i = 1, 2, 3, \dots, m; j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (1)$$

若 x_{ij} 是逆向型指标,则无量纲化处理为

$$z_{ij} = \frac{\max(x_{ij}) - x_{ij}}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})}, i = 1, 2, 3, \dots, m; j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2)$$

得到标准化决策矩阵 $Z = (z_{ij})_{m \times n}$ 。其中,在进行无量纲化处理后,得到的 z_{ij} 值代表第 i 个样本的第 j 个指标的相对大小,其初值则为该指标所在样本中的原始值,最小值 $\min x_{ij}$ 和最大值 $\max x_{ij}$ 则分别代表该样本在该指标上的最小和最大可能取值。

2) 熵权法赋权。首先,将标准化决策矩阵进行归一化。其次,根据式(3)计算归一化决策矩阵第 j 个指标的信息熵:

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m z'_{ij} \ln(z'_{ij}), j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (3)$$

其中, $k = 1/\ln m$, $0 \leq e_j \leq 1$, $z'_{ij} = 0$ 时,规定 $z'_{ij} \ln z'_{ij} = 0$ 。定义差异系数 $g_j = 1 - e_j$ 。最后,根据式(4)确定熵权:

$$w_j = g_j / \sum_{j=1}^m g_j, j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (4)$$

3) CRITIC 赋权。首先,根据式(5)计算标准化决策矩阵标准差,这是衡量指标变异性的一个重要指标。

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum (z_{ij} - \bar{z}_{ij})^2}{(n-1)}} \quad (5)$$

其次,计算指标之间的相关系数来表示指标的相关性,得到相关系数矩阵。

最后,根据以下公式计算指标的 CRITIC 权重:

$$c_j = \sigma_j \cdot \sum_{k=1}^m (1 - r_{jk}), \quad (6)$$

$$w'_j = \frac{c_j}{\sum_{k=1}^m c_j} \quad (7)$$

4) 组合赋权。设由熵权法得到的权重向量为

$w_j = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$, 且 $0 \leq w_j \leq 1$, $\sum_{j=1}^n w_j = 1$; 由 CRITIC 得到的权重向量为 $w'_j = (w'_1, w'_2, \dots, w'_n)^T$, 且 $0 \leq w'_j \leq 1$, $\sum_{j=1}^n w'_j = 1$ 。 α, β 分别为 w_j, w'_j 的权重系数,组成的权重向量优化模型为

$$W_j = \alpha w_j + \beta w'_j \quad (8)$$

α, β 分别满足 $\alpha \geq 0, \beta \geq 0$ 且 $\alpha + \beta = 1$ 。

2.1.2 EDAS 评价模型

EDAS 评价方法是常用于多指标决策问题的综合评价方法^[23],在 2015 年首次提出。该方法考虑了指标之间的相对权重和正负贡献度,以求出各个备选方案的优劣程度,它能够有效地消除指标之间的量纲影响,重视指标的重要性和非线性特征,能够更好地反映多指标之间的相互作用和综合变化趋势。同时,该方法可以快速确定最终决策,简化了到交易解的距离计算^[24]。

相比众多评估方法,EDAS 对于相对距离的比较可以减少主观性和个人偏见对结果的影响,能够提高评价结果的客观性和准确性;其次,EDAS 方法具有较强的灵活性和适应性,其评价过程既考虑了指标之间的差异性,又能充分发挥权重在评价中的作用;除此之外,该方法本质是以优劣水平为性能度量,具有独特的优势用于解决经济发展和绿色环境评价要素间的冲突^[25]。基于绿色创新能力涉及经济和环境两者间的冲突和协调,本文选择 EDAS 作为评价方法,下面是模型构建步骤:

1) 计算备选方案中所有指标的平均值得到平均解 AV,根据指标类型的不同,可以确定各方案与平均解的正向距离(PDA)矩阵和反向距离(NDA)矩阵。

如果第 j 个指标是效益型,

$$PDA_{ij} = \frac{\max(0, (z_{ij} - AV_j))}{AV_j} \quad (9)$$

$$NDA_{ij} = \frac{\max(0, (AV_j - z_{ij}))}{AV_j} \quad (10)$$

如果第 j 个指标是成本型,

$$PDA_{ij} = \frac{\max(0, (AV_j - z_{ij}))}{AV_j} \quad (11)$$

$$NDA_{ij} = \frac{\max(0, (z_{ij} - AV_j))}{AV_j} \quad (12)$$

2) 根据组合权重计算所有备选方案的 PDA 和 NDA 的加权总和 SP_i 和 SN_i 。

$$SP_i = \sum_{j=1}^n W_j PDA_{ij} \quad (13)$$

$$SN_i = \sum_{j=1}^n W_j NDA_{ij} \quad (14)$$

3) 将所有备选方案的正向加权距离 SP_i 和反向加权距离 SN_i 进行标准化处理,以得到归一化的距离值,以便进行比较和分析:

$$NSP_i = \frac{SP_i}{\max_i(SP_i)}, \quad (15)$$

$$NSN_i = 1 - \frac{SN_i}{\max_i(SN_i)} \quad (16)$$

根据 NSP_i 和 NSN_i 确定最终评价结果 AS_i :

$$AS_i = (NSP_i + NSN_i) / 2 \quad (17)$$

根据最终评价结果 AS_i 对备选方案进行排序,评分最高的方案便是最佳的方案。

2.1.3 障碍因素诊断模型

在最终评价结果基础上,进一步引入指标障碍度、指标偏度和指标贡献度对指标进行诊断和分析,以综合判断指标对评价的作用具体计算公式为

$$Q_j = \frac{S_j M_j}{\sum_{j=1}^n S_j M_j} \quad (18)$$

其中:指标障碍度 Q_j 表示指标对方案达到的目标所带来的影响,指标偏度 S_j 表示指标的偏向性或离散程度, $S_j = 1 - z_{ij}$,指标贡献度 M_j 则反映该指标对评价结果的贡献程度,而指标权重则用于表示不同指标对研究对象的贡献程度,因此 $M_j = W_j$ 。

2.2 评价指标选取

为了评估浙江省规模以上工业企业绿色创新能力,需要选取合适的指标对其进行系统评价。参考上述对绿色创新能力评价指标体系的文献回顾,结合《绿色发展指标体系》中的经典高频指标以及规模以上工业企业的特点,共同构建浙江省规模以上工业企业绿色创新能力评价指标体系。

本文将规模以上工业企业绿色创新能力概括为绿色创新资源投入能力、绿色创新成果转化能力和绿色创新成果利用能力。其中,绿色创新资源投入能力是衡量企业在绿色创新方面投入程度的指标,也是评估企业绿色创新能力的重要依据之一,是企业绿色化的关键^[26];绿色创新成果转化能力是衡量企业将绿色创新成果转化为实际价值的指标,是影响工业企业绿色创新效率的重要条件^[27];绿色创新成果利用能力是衡量企业在利用绿色创新成果方面的能力的指标,是企业在绿色创新领域衡量自身能力和评估发展方向的重要依据之一。在具体指标选取上,遵循科学性、系统性、可行性与可比性原则^[28],确定规模以上工业企业绿色创新能力二级指

标如下,并对选取依据进行解释说明:

2.2.1 绿色创新资源投入能力

根据国内外相关研究成果^[12-13,29]中的高频指标为依据,结合数据的可得性和可观测性,将R&D人员折合全时当量、R&D经费支出、新产品开发经费支出、技术改造经费支出、企业有研发机构数、引进境外技术的消化吸收经费支出6个指标作为衡量绿色创新资源投入能力的二级指标,各指标解释说明如下。

1) R&D人员折合全时当量。指全时人员数加非全时人员按工作量折算为全时人员数的总和,主要测量浙江省规模以上工业企业研发活动中的科技工作者数量,是正向型指标。

2) R&D经费支出,即浙江省规模以上工业企业基于展开R&D所需财力支撑,该指标体现浙江省规模以上工业企业对科技创新的重视程度,是正向型指标。

3) 新产品开发经费支出。经费支出用于新产品开发,该指标主要反映浙江省规模以上工业企业对新产品开发程度的重视,是正向型指标。

4) 技术改造经费支出,即浙江省规模以上工业企业进行技术改造而发生的费用支出,主要体现浙江省规模以上工业企业对技术改造的重视程度,是正向型指标。

5) 企业有研发机构数。企业研发机构数是指一个企业开设或设立的研发机构的数量。这个数字通常被用来评估企业的研发能力和创新水平,研发机构数多少可以反映企业的研发投入程度,进而影响到企业的技术创新和产品创新能力以及市场竞争力,是正向型指标。

6) 引进境外技术的消化吸收经费支出。指企业为将引进的境外技术进行消化和吸收而进行的相关经费支出。这些支出能够促进企业将引进的境外技术加以消化吸收,并根据企业的实际情况进行定制化、优化,从而使企业更好地掌握先进科技,并在生产和经营中得到应用和推广,提升企业的竞争优势和核心竞争力,由于是引进技术而不是内部自主创新,因此属于逆向型指标。

2.2.2 绿色创新成果转化能力

由于绿色创新成果转化主要涉及产出问题,因此根据相关研究成果^[8,16,18]中对于绿色创新产出的高频指标为依据,结合数据的可得性和可观测性,将新产品销售收入、利润总额、专利申请数、有效发明专利数4个指标作为衡量绿色创新成果转化能力的二级指标,各指标解释说明如下。

1) 新产品销售收入。表示浙江省规模以上工业企业生产的新产品销售产生的,体现浙江省规模以上工业企业通过创新生产的新产品销售情况,是正向型指标。

2) 利润总额。浙江省规模以上工业企业的经济产出表现在一定时期内企业通过生产经营活动所达成的最终财务成果上,因此选取利润总额作为衡量指标,是正向型指标。

3) 专利申请数。发明专利申请数量是指一个企业申请的发明专利的数量,可以反映企业的创新能力和研发能力,也可以反映出其对技术研发的重视程度。发明专利申请数量越多,则企业的创新能力就越强,是正向型指标。

4) 有效发明专利数。表示当年浙江省规模以上工业企业所拥有的,已授权内的发明专利数量,是衡量企业知识产出水平的通用指标,是正向型指标。

2.2.3 绿色创新成果利用能力

绿色创新与企业其他的常规活动相比,在最终环节上面注重减少企业活动对于生态环境的负面影响^[30]。因此,根据相关研究成果^[31-32]中的绿色创新成果利用指标为依据,结合数据的可得性和可观测性,将废水排放量、废气排放量、固体废物产生量、

固体废物综合利用率4个指标作为衡量绿色创新成果利用能力的二级指标,各指标解释说明如下:

1) 废水排放量。规模以上工业企业废水排放量指企业在生产经营活动中通过排放口排放到企业外部的工业废水总量,体现了浙江省规模以上工业企业经过前期绿色创新之后对水环境的污染情况,是逆向型指标。

2) 废气排放量。主要是指浙江省规模以上工业企业生产和燃烧过程中所产生的并排入空气中的具有污染性的气体总量,体现了浙江省规模以上工业企业经过前期绿色创新之后对大气环境的污染情况,是逆向型指标。

3) 固体废物产生量。指生产过程中产生的无法进行有效利用的固态垃圾的总量。工业生产过程中的固体废物包括生产过程废弃物、生产设备废弃物、包装废弃物、生活垃圾等,该指标是逆向型指标。

4) 固体废物综合利用率。指固体废物综合利用率占固体废物产生量的百分率,体现了浙江省规模以上工业企业经过前期绿色创新之后对污染物的治理利用效率情况,是正向型指标。

综上,构建规模以上工业企业绿色创新能力评价指标体系,如表1所示。

表1 规模以上工业企业绿色创新能力评价指标体系

Tab. 1 Evaluation index system for green innovation capabilities of industrial enterprises above the designated size

目标层	一级指标	二级指标	编号	指标类型	
规模以上工业企业绿色创新能力评价指标体系	绿色创新资源投入能力(x_1)	R&D 人员折合全时当量/万人	x_{11}	正向型	
		R&D 经费支出/亿元	x_{12}	正向型	
		新产品开发经费支出/亿元	x_{13}	正向型	
		技术改造经费支出/亿元	x_{14}	正向型	
		企业研发机构/个	x_{15}	正向型	
		引进境外技术的消化吸收经费支出/亿元	x_{16}	逆向型	
	绿色创新成果转化能力(x_2)		新产品销售收入/亿元	x_{21}	正向型
			利润总额/亿元	x_{22}	正向型
			专利申请数/项	x_{23}	正向型
			有效发明专利数/项	x_{24}	正向型
	绿色创新成果利用能力(x_3)		废水排放量/万 t	x_{31}	逆向型
			废气排放量/亿标立方米	x_{32}	逆向型
			固体废物产生量/万 t	x_{33}	逆向型
			固体废物综合利用率/%	x_{34}	正向型

3 实证分析

2010年浙江省委作出推进生态文明建设的决定,从此,浙江制造业开始逐步大力推进绿色发展,

因此数据选取开始时间为2011年。由于疫情期间的部分数据无法获取,以及疫情期间浙江乃至全国制造业发展受到多重复杂影响,因此,为了评价结果的稳定性和客观性,数据选取结束时间为2019年。

由此,本文以浙江省规模以上工业企业为例,选取 2011—2019 年数据对其绿色创新能力水平进行综合评价,相关数据来源于《浙江统计年鉴》《中国统计年鉴》。同时,本文根据评价结果在 3.4 部分对疫情期间(2020—2022 年)以及之后浙江省规模以上工业企业绿色创新发展情况进行探讨,增强所提建议的现实意义。

3.1 权重测算

根据 2.1.1 部分构建的权重计算模型,参考相关研究成果^[22,33-34]中对类似组合赋权方法系数的设置,本文假设熵权法和 CRITIC 赋权法同样重要,因此在组合权重计算时 2 个权重值的系数均为 0.5,计算指标权重测算结果,如表 2 所示,进一步对各个指标的权重差异进行可视化展示,如图 1 所示。

表 2 指标权重测算结果

Tab.2 Measurement results of indicator weights

一级指标	二级指标	熵权法权重	CRITIC 权重	组合权重
绿色创新资源投入能力(x_1)	R&D 人员折合全时当量/万人	0.07	0.04	0.06
	R&D 经费支出/亿元	0.07	0.05	0.06
	新产品开发经费支出/亿元	0.08	0.04	0.06
	技术改造经费支出/亿元	0.08	0.14	0.11
	企业研发机构/个	0.07	0.04	0.06
	引进境外技术的消化吸收经费支出/亿元	0.07	0.05	0.06
绿色创新成果转化能力(x_2)	新产品销售收入/亿元	0.07	0.05	0.06
	利润总额/亿元	0.08	0.05	0.06
	专利申请数/项	0.06	0.04	0.05
	有效发明专利数/项	0.12	0.05	0.09
绿色创新成果利用能力(x_3)	废水排放量/万 t	0.07	0.06	0.06
	废气排放量/亿标立方米	0.06	0.14	0.10
	固体废物产生量/万 t	0.05	0.15	0.10
	固体废物综合利用率/%	0.07	0.09	0.08

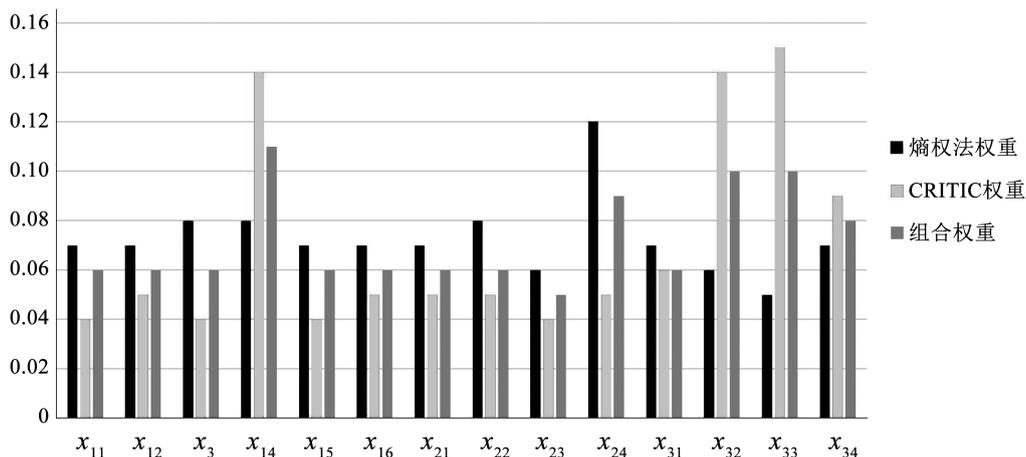


图 1 指标权重差异对比图

Fig.1 Comparison of index weight differences

由表 2 和图 1 可知,从单个指标的权重来看,熵权法权重中,有效发明专利数(x_{24})的权重最大,CRITIC 权重中,技术改造经费支出(x_{14})、废气排放量(x_{32})、固体废物产生量(x_{33})这 3 个指标的权重较大,其中固体废物产生量(x_{33})的权重最大。在最

后的组合权重中,技术改造经费支出(x_{14})、废气排放量(x_{32})、固体废物产生量(x_{33})这 3 个指标仍然是权重最大的。由此,根据指标权重计算可以看出,影响浙江省规模以上工业企业绿色创新能力的主要指标有:技术改造经费支出(x_{14})、废气排放量

(x_{32})、固体废物产生量(x_{33}),这些指标组合权重大于等于0.1,并且与其他指标的组合权重有较大差距。除此之外,有效发明专利数(x_{24})、固体废物综合利用率(x_{34})的权重大于0.06,表明这些指标对浙江省规模以上工业企业绿色创新能力影响也较大,因此,应该重点提高权重较大指标的水平,才能有效提高浙江省规模以上工业企业绿色创新能力。

3.2 综合评价结果分析

根据指标组合权重,并根据前文构建的 EDAS 评价模型确定最终评价结果得分 AS_i ,如表3所示。不同年份评价得分的波动变化,如图2所示。

表3 评价结果及排序

Tab.3 Evaluation results and sorting

年份	AS_i	排序
2011	0.10	9
2012	0.13	8
2013	0.29	6
2014	0.47	3
2015	0.45	4
2016	0.25	7
2017	0.44	5
2018	0.67	2
2019	0.86	1

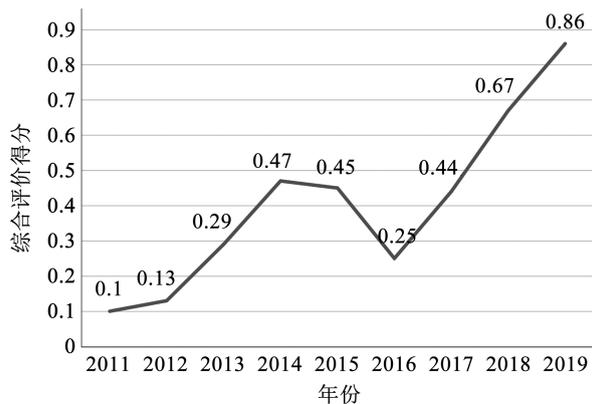


图2 综合评价得分变化图

Fig.2 Changes in comprehensive evaluation scores

由表3和图2可知,浙江省规模以上工业企业2019年绿色创新能力最高,2011年绿色创新能力最低。2013—2017年间绿色创新能力综合水平出现了较大波动。2013—2017年间绿色创新能力综合水平最低的年份是2016年,评价结果为0.25,绿色创新能力综合水平最高的年份是2014年,评价结果为0.47,相差0.22。导致此结果的原因主要有以下2个:第一,在组合权重最大的指标“技术改造经费

支出”上,2016年和2017年的经费支出大幅减少,与其他年份相比支出额最少,因此在正向距离和负向距离加权总和时,受到权重的影响,最终评价结果表现较差。第二,在废气排放量、固体废物产生量两个组合权重等于0.1的指标上,2016年和2017年这2个指标出现了上升趋势,同时在固体废物综合利用率上,2016年和2017年的利用率为最低,绿色创新成果利用能力较低,因此出现了如此的排序结果。而2014和2015年在以上指标上表现良好,因此由于权重的加持,排名靠前。同时,在2016—2017年,政府对规模以上工业企业的环境保护和可持续发展要求逐渐提高,推动实施更为严格的环境保护政策,这要求企业投入更多的资源和精力来满足新的环境标准和要求,导致绿色创新面临较大的压力,很多行业产值增速低于5%甚至负增长^[35],亏损企业较多,因此在这两年里浙江省规模以上工业企业绿色创新能力水平较低。而随着2018年中国绿色发展大会的举办和《浙江省加快传统制造业改造提升行动计划(2018—2022)》的提出,浙江省制造业绿色创新得到了一系列政策和投资支持,加大了绿色创新资源的投入,在技术改造、研发等方面取得了一定的成果,同时提高了其对绿色创新成果的转化和利用能力,因此在2018—2019年浙江省规模以上工业企业绿色创新能力水平整体回升。

3.3 障碍因子诊断

为了进一步找出浙江省规模以上工业企业绿色创新能力提升的障碍因子,本文对评价指标进行障碍度分析,障碍度越大的指标对绿色创新的阻碍就越大。

将前文得到的组合权重代入到式(18)中,得到2011—2019年浙江省规模以上工业企业绿色创新能力的障碍因子及障碍度。结合3.2部分对综合评价结果的分析以及图2,为了弄清是哪些因素导致浙江省规模以上工业企业绿色创新能力呈现波动变化的发展结果,该部分将样本时间分为2011—2012年、2013—2017年、2018—2019年3个时间段,分别对这3个时间段中浙江省规模以上工业企业绿色创新能力障碍因子进行诊断,并用雷达图直观展示这3个时间段障碍因子的变化和不同,如图3、4、5所示。

3.3.1 2011—2012年障碍因子诊断

由图3可知,2011—2012年,影响浙江省规模以上工业企业绿色创新能力水平的主要障碍因子为技术改造经费支出(x_{14})、有效发明专利数(x_{24})、固体废物产生量(x_{33})。这2年全国制造业发展都处于不太乐观的局面,劳动力成本上升、原材料价格大

幅上涨,经济政策环境不容乐观,全国制造业发展出现动力不足的问题,浙江省制造企业发展也遭到阻碍。其次,这2年正处于2008年经济危机后恢复的关键年,该阶段的工业企业大多是传统制造业,仅有少量企业向着绿色发展转型。浙江省规模以上工业企业也正处于绿色创新转型的初期,其关键技术改造投入不足,科技成果产出效率较低,污染物循环处理技术成本高且尚不成熟,因此其绿色创新能力水平较低。

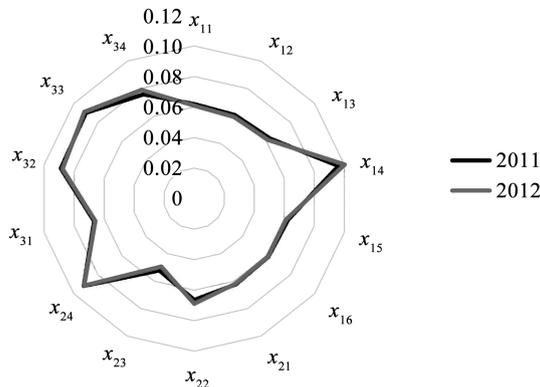


图3 2011—2012年障碍因子诊断图

Fig. 3 Diagnostic diagram of obstacle factors from 2011 to 2012

3.3.2 2013—2017年障碍因子诊断

由图4可知,2013—2017年,影响浙江省规模以上工业企业绿色创新能力水平的主要障碍因子为技术改造经费支出(x_{14})、有效发明专利数(x_{24})、废气排放量(x_{32})、固体废物产生量(x_{33})。结合3.2部分的分析,该时间段里,浙江省规模以上工业企业绿色创新能力水平最为波动。在经过2011和2012年的积累后,2013年和2014年浙江省规模以上工业企业都得到较好发展,加之2014年正处于“十二五”收官之年,在政治经济环境的改善下以及绿色创新越来越受到重视,这两年有更多企业开始走绿色发展之路。而2015年受到流动性危机的影响,不仅浙江省,全国经济都遭到影响,企业面临转型困境,绿色创新资源投入、成果转化和成果利用等方面出现倒退,技术改造和发明专利作为最能代表企业转型发展的指标,也受到危机的严重影响。2016年6月,工信部出台《工业绿色发展规划(2016—2020年)》,代表着工业企业绿色转型正式开始。而大多数工业企业仍面临技术难题,绿色创新所需技术尚未得到普及,加之2015年的持续影响,浙江省规模以上工业企业绿色创新能力出现下降。2017年,我国提出高质量发展,绿色发展在全国各企业也不断推进,浙江省规模以上工业企业绿

色创新得到政策支持,不断推进。但浙江省作为临海省份,工业企业污染物排放和处理等清洁技术成本高昂,企业技术研发资金投入不足,因此浙江省规模以上工业绿色创新能力水平相比2015年和2016年有所提高,但更多的是弥补前几年绿色创新的不足,因此在该时间段中得分并不算高。

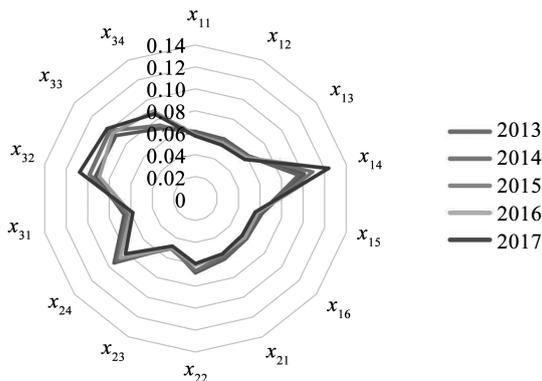


图4 2013—2017年障碍因子诊断图

Fig. 4 Diagnostic diagram of obstacle factors from 2013 to 2017

3.3.3 2018—2019年障碍因子诊断

由图5可知,2018—2019年,影响浙江省规模以上工业企业绿色创新能力水平的主要障碍因子为技术改造经费支出(x_{14})、废气排放量(x_{32})、固体废物产生量(x_{33})。与之前结果相比,尽管技术改造经费支出一直处于第一,但有效发明专利数(x_{24})的障碍影响逐渐退出,说明浙江省规模以上工业企业在绿色创新成果转化能力上得到了提升。由于随着时间的推移,绿色创新已成为制造业转型升级的必经之路,绿色创新成果利用能力越来越得到重视,而浙江省规模以上工业企业在绿色环保技术上的研发和利用仍处于发展期,因此绿色创新成果利用能力中的废气排放量(x_{32})、固体废物产生量(x_{33})指标的障碍影响逐渐变强。

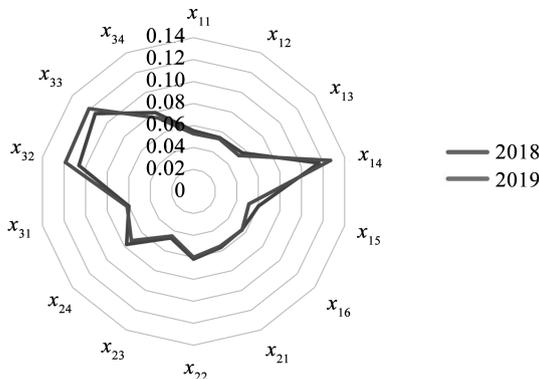


图5 2018—2019年障碍因子诊断图

Fig. 5 Diagnostic diagram of obstacle factors from 2018 to 2019

综上所述,浙江省规模以上工业企业绿色创新能力虽然在2011—2019年不同阶段受到不同因子的影响,但总体来说,主要还是受到绿色创新资源投入能力和绿色创新成果利用能力的影响。尤其随着“碳中和”和“碳达峰”目标的提出,节能减排形势更加严峻。因此企业应该更加注重提高对绿色创新成果的利用能力,在环保方面真正做到节能减排。

3.4 预测性分析

根据以上对2011—2019年浙江省规模以上工业企业绿色创新能力的评价分析,该部分对疫情期间和疫情之后浙江省规模以上工业企业绿色创新发展情况进行了预测性分析,分析如下:

2020年上半年全球疫情暴发,全国各行业发展受到严重影响。尽管浙江省规模以上工业企业绿色创新发展在这一年受到一定阻碍,但作为“十三五”的收官之年,前期积累给浙江省规模以上工业企业在绿色创新投入方面扎实了基础,因此投入能力与2019年相比不会有太大变化。由于受到停工停产的影响,以及外贸出口受限,国内许多企业在外贸出口方面经济效益大幅降低,因此许多企业外贸转内销,浙江省规模以上工业企业也大多数转向国内市场,失去出口贸易的优势,利润总额、新产品销售方面会有所下降。而疫情期间生产减少也意味着污染排放会相应减少,因此在废弃废物排放等指标上会有所好转,加之“双碳”目标的提出,意味着2020年浙江省规模以上工业企业在绿色创新成果利用能力方面不会有太大变化。总体来说,2020年浙江省规模以上工业企业绿色创新能力与前期会呈现一个相对平衡状态。

2021年,全国各行业在有序疫情防控下开始复工复产,浙江全省制造业运行在恢复中逐渐加快,相比2019年和2020年,工业增加值、盈利能力、创新发展等方面都有所提升。加之《浙江省人民政府关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的实施意见》等政策的提出,助力浙江省工业企业绿色创新发展,因此在疫情后期2021—2022年浙江省规模以上工业企业在绿色创新发展各方面都开始不断提升,总体表现较前几年会更好。2022年12月,全国逐步放开疫情管控,新冠病毒感染人数快速上升,对我国工业经济供需产生冲击,但在2022年农历春节之后,全国工业企业发展较快恢复,回稳向好,浙江省工业企业呈现出较强的发展韧性和活力。因此疫情放开之后,随着全球形势不断向好,“双碳”目标的不断推进,浙江省规模以上工业企业将持续绿色创新,其绿色创新能力也会不断提高,并且对于循环

经济要求也会更加严格,意味着绿色创新成果利用能力将会被更加重视。

4 结论与启示

运用熵权CRITIC组合赋权和EDAS评价方法测算浙江省规模以上工业企业绿色创新能力,纵向动态分析其发展水平,探究其绿色创新能力制约因素,并对2020年及之后浙江省规模以上工业企业绿色创新发展情况进行预测性分析,最终得出如下研究结论。

1)从整体来看,2011—2019年浙江省规模以上工业企业绿色创新能力总体呈现上升趋势,但在2013—2017年间出现了波动下降。其原因主要是2016—2017年间浙江省规模以上工业企业面临较大的政策压力和经济压力,在技术改造经费支出、固体废物综合利用率等关键指标方面投入不足。由于受到政策、投资等方面的支持,浙江省规模以上工业企业绿色创新能力水平在2018年开始整体回升,2019年评价结果排名达到第一。相比其他年份,2018年开始大幅增加绿色创新资源的投入,技术改造和研发取得了一定成果,在绿色创新成果的转化和利用方面的技术取得了较大进步。

2)2011—2019年综合评价结果显示技术改造经费支出、废气排放量、固体废物产生量、固体废物综合利用率是影响浙江省规模以上工业企业绿色创新能力的关键指标。同时,在障碍度因子分析中,浙江省规模以上工业企业绿色创新能力障碍因子主要为技术改造经费支出、有效专利数、废气排放量、固体废物产生量、固体废物综合利用率,其中技术改造经费支出始终位于第1位。

3)在预测性分析中,浙江省规模以上工业企业虽然在2020年受到疫情冲击的影响,其绿色创新环境不容乐观,但就总体来说,与之前相比并不会出现较大下滑。其次,随着疫情的有效控制,经济形势有所缓解,全国制造业持续推进绿色高质量发展。尽管浙江省规模以上工业企业会受到短期疫情冲击,得益于浙江制造业一直以来积累的良好基础,整体呈现出较好的应“击”能力,其绿色创新发展不断向好。总体来说,2020年至今浙江省规模以上工业企业绿色创新能力呈现上升趋势。

基于以上结论,本文针对规模以上工业企业绿色创新能力提升提出如下具体建议:

1)规模以上工业企业应加大研发投入,开发和应用符合环保要求的先进技术和工艺,以降低生产加工过程中的能源消耗。推行生产制造废物资源化

利用,发展废物再生利用相关产业,形成投入—产出—利用的绿色创新生态链。

2)对于较为传统的规模以上工业企业,在进行绿色创新转型时,企业应当提高其创新管理水平,增强绿色创新意识,要根据市场需求不断调整自身投资方向、研发方向和成果转化方向,增强自身的灵活性和抗风险能力,当面临经济政策环境产生不利影响时,能够更好地应对。

3)面对当前企业数字化转型浪潮,规模以上工业企业可以通过应用智能制造、大数据分析等数字技术,实现生产过程的优化和资源的有效利用,借助数字化转型,增强企业绿色创新能力。

本研究构建了基于规模以上工业企业的绿色创新能力评价体系,以浙江省为例对规模以上工业企业绿色创新能力评价进行了初步探索,并提出了针对性的对策建议,但仍存在一些不足。首先,由于指标选取的主观性,忽视了政策、市场环境等影响企业绿色创新能力的外部因素指标,因此在后续的研究会在指标上进一步地完善;其次,缺乏对其他类型企业的相关研究,尤其是在浙江省占据重要地位的中小型企业,因此后续研究将会继续推进对浙江省中小企业绿色创新能力的研究;最后,缺乏对不同省份之间规模以上工业企业绿色创新能力的横向对比,因此后续研究将会进一步完善横向分析。

参考文献:

[1] 解学梅,朱琪玮. 企业绿色创新实践如何破解“和谐共生”难题? [J]. 管理世界,2021,37(1):128-149.
XIE X M, ZHU Q W. How to solve the problem of 'harmonious co-existence' in the practice of corporate green innovation? [J]. Management World,2021,37(1):128-149.

[2] 曹慧,石宝峰,赵凯. 我国省级绿色创新能力评价及实证[J]. 管理学报,2016,13(8):1215-1222.
CAO H, SHI B F, ZHAO K. Evaluation and empirical evidence of provincial green innovation capacity in China[J]. Chinese Journal of Management,2016,13(8):1215-1222.

[3] 程鹤. 资源型城市绿色创新能力评价指标体系的构建[J]. 科技管理研究,2019,39(19):90-97.
CHEN H. Construction of green innovation capacity evaluation indicator system for resource-based cities[J]. Science and Technology Management Research,2019,39(19):90-97.

[4] 孙振清,聂文钰. 碳中和目标下财政信息透明度对区域绿色创新能力的影响:基于空间溢出效应与门槛效应双重视角[J]. 科技进步与对策,2021,38(24):58-66.
SUN Z Q, NIE W Y. The impact of fiscal information transparency on regional green innovation capacity under the carbon neutral goal:Based on the dual perspective of spatial spillover effect and threshold effect[J]. Science & Technology Progress and Policy,

2021,38(24):58-66.

[5] 侯建,陈恒. 中国高专利密集度制造业技术创新绿色转型绩效及驱动因素研究[J]. 管理评论,2018,30(4):59-69.
HOU J, CHEN H. Research on the performance and driving factors of green transformation of technological innovation in China's high patent intensive manufacturing industry[J]. Management Review,2018,30(4):59-69.

[6] LUO Q L, MIAO C L, SUN L Y, et al. Efficiency evaluation of green technology innovation of China's strategic emerging industries: An empirical analysis based on malmquist-data envelopment analysis index[J]. Journal of Cleaner Production,2019,238(C):117782.

[7] LI D, ZENG T. Are China's intensive pollution industries greening? An analysis based on green innovation efficiency[J]. Journal of Cleaner Production,2020,259:120901-120901.

[8] 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.
XU J Z, GUAN J. Evaluation model and empirical research on green innovation capability of manufacturing enterprises based on binary semantic combination empowerment [J]. Operations Research and Management Science,2017,26(4):124-131.

[9] 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.
TIAN H N, SUN Q Q. Research on the evaluation of green technology innovation capability of automobile manufacturing enterprises based on cloud modeling[J]. Management Review,2020,32(2):102-114.

[10] 毕克新,王禹涵,杨朝均. 创新资源投入对绿色创新系统绿色创新能力的影响:基于制造业 FDI 流入视角的实证研究[J]. 中国软科学,2014(3):153-166.
BI K X, WANG Y H, YANG Z J. The impact of innovative resource inputs on green innovation capability of green innovation system: An empirical study based on the perspective of FDI inflows in manufacturing industry[J]. China Soft Science,2014(3):153-166.

[11] 李杰中,刘燕娜,肖友智. 制浆造纸企业绿色技术创新能力模糊综合评价[J]. 中国林业经济,2010(6):1-3.
LI J Z, LIU Y N, XIAO Y Z. Fuzzy comprehensive evaluation of green technology innovation capability of pulp and paper enterprises[J]. China Forestry Economy,2010(6):1-3.

[12] TSENG M L, WANG R, CHIU A, et al. Improving performance of green innovation practices under uncertainty[J]. Journal of Cleaner Production,2013,(40):71-82.

[13] 徐建中,孙颖,孙晓光. 基于熵权 TOPSIS-PSO-ELM 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,2020,29(1):131-140.
XU J Z, SUN Y, SUN X G. Evaluation model and empirical research on green innovation capability of manufacturing enterprises based on entropy weight TOPSIS-PSO-ELM [J]. Operations Research and Management Science,2020,29(1):131-140.

[14] CHUNG Y H, FARE R, SGROSSKOPF. Productivity and undesirable outputs: A directional distance function approach [J]. Journal of Environmental Management,1997,51(3):229-240.

- [15] TONE K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J]. *European Journal of Operational Research*, 2001, 130(3): 498 - 509.
- [16] 张文宇, 于琦, 杨风霞, 等. 创新驱动战略下区域制造业绿色创新能力评价: 基于30个地区数据的复杂网络建模分析[J]. *工业技术经济*, 2018, 37(8): 86 - 94.
ZHANG W Y, YU Q, YANG F X, et al. Evaluation of regional green innovation capability of manufacturing industry under innovation-driven strategy: A complex network modeling analysis based on data from 30 regions[J]. *Journal of Industrial Technological Economics*, 2018, 37(8): 86 - 94.
- [17] 陈松奕. 高技术产业绿色创新能力评价指标体系构建及测度[J]. *统计与决策*, 2023, 39(3): 174 - 178.
CHEN S Y. Construction and measurement of evaluation indicator system for green innovation capability of high-tech industries[J]. *Statistics & Decision*, 2023, 39(3): 174 - 178.
- [18] 赵少飞, 赵鑫, 陈翔. 基于改进密切值法的区域工业绿色技术创新能力评价[J]. *工业技术经济*, 2020, 39(7): 152 - 160.
ZHAO S F, ZHAO X, CHEN X. Evaluation of regional industrial green technology innovation capacity based on improved osculating value method[J]. *Journal of Industrial Technological Economics*, 2020, 39(7): 152 - 160.
- [19] 刘洪, 蔡伟. 基于熵值 TOPSIS 模型的各地区科教实力综合评价[J]. *科技进步与对策*, 2014, 31(22): 118 - 121.
LIU H, CAI W. Comprehensive evaluation of the strength of science and education in various regions based on entropy TOPSIS modeling[J]. *Science & Technology Progress and Policy*, 2014, 31(22): 118 - 121.
- [20] 陈伟, 李传云, 杨早立, 等. 基于熵值法-TOPSIS 法的高技术产业知识产权保护能力评价研究[J]. *科技管理研究*, 2016, 36(10): 175 - 179.
CHEN W, LI C Y, YANG Z L, LI J Q. Research on the evaluation of intellectual property protection capability of high-tech industries based on entropy-TOPSIS approach[J]. *Science and Technology Management Research*, 2016, 36(10): 175 - 179.
- [21] DIAKOULAKI D, MAVROTAS G, PAPAYANNAKIS L. Determining objective weights in multiple criteria problems: The CRITIC method[J]. *Computers & Operations Research*, 1995, 22(7): 763 - 770.
- [22] 吴忠, 关娇, 何江. 最低工资标准测算实证研究: 基于 CRITIC-熵权法客观赋权的动态组合测算[J]. *当代经济科学*, 2019, 41(3): 103 - 117.
WU Z, GUAN J, HE J. Empirical study on minimum wage standard measurement: Dynamic portfolio measurement based on CRITIC-entropy weight method of objective empowerment[J]. *Modern Economic Science*, 2019, 41(3): 103 - 117.
- [23] MEHDI K G, EDMUNDAS K Z, LAYA O, et al. Multi-criteria inventory classification using a new method of evaluation based on distance from average solution (EDAS) [J]. *Informatica*, 2015, 26(3): 435 - 451.
- [24] KARASAN, A, KAHRAMAN, C. A novel interval-valued neutrosophic EDAS method: Prioritization of the United Nations national sustainable development goals [J]. *Soft Computing*, 2018, 22: 4891 - 4906.
- [25] 彭定洪, 董婷婷, 张文华. 企业绿色创新能力评价的简约式 HF-EDAS 方法[J]. *统计与决策*, 2023, 39(3): 183 - 188.
PENG D H, DONG T T, ZHANG W H. A parsimonious HF-EDAS approach for evaluating green innovation capability of enterprises [J]. *Statistics & Decision*, 2023, 39(3): 183 - 188.
- [26] 王洪庆, 侯毅. 中国高技术产业技术创新能力评价研究[J]. *中国科技论坛*, 2017(3): 58 - 63.
WANG H Q, HOU Y. Research on the evaluation of technological innovation capability of China's high-tech industries [J]. *Forum on Science and Technology in China*, 2017(3): 58 - 63.
- [27] 曹正旭, 张樾樾, 范一品, 等. 工业企业绿色创新效率测度及空间溢出效应分析[J]. *统计与决策*, 2023, 39(16): 116 - 120.
CAO Z X, ZHANG X X, FAN Y P, et al. Measurement of green innovation efficiency of industrial enterprises and analysis of spatial spillover effects[J]. *Statistics & Decision*, 2023, 39(16): 116 - 120.
- [28] 刘章生, 宋德勇, 弓媛媛. 中国绿色创新能力的时空分异与收敛性研究[J]. *管理学报*, 2017, 14(10): 1475 - 1483.
LIU Z S, SONG D Y, GONG Y Y. Research on the spatiotemporal variation and convergent trends of China's green innovation capability [J]. *Chinese Journal of Management*, 2017, 14(10): 1475 - 1483.
- [29] 张峰, 任仕佳, 殷秀清. 高技术产业绿色技术创新效率及其规模质量门槛效应[J]. *科技进步与对策*, 2020, 37(7): 59 - 68.
ZHANG F, REN S J, YIN X Q. Green technology innovation efficiency of high-tech industries and its scale quality threshold effect [J]. *Science & Technology Progress and Policy*, 2020, 37(7): 59 - 68.
- [30] 陈雨晴, 李华晶. “双碳”目标下钢铁企业绿色创新联盟网络的结构演化研究[J]. *科技与管理*, 2023, 25(2): 11 - 20.
CHEN Y Q, LI H J. Research on the structural evolution of green innovation alliance network of steel enterprises under the 'carbon-neutrality' goals [J]. *Science-Technology and Management*, 2023, 25(2): 11 - 20.
- [31] 李星, 蔡琦. 我国战略性新兴产业生态创新能力的统计测度与比较[J]. *统计与决策*, 2019, 35(18): 84 - 88.
LI X, CAI Q. Statistical measurement and comparison of eco-innovation capability of strategic emerging industries in China [J]. *Statistics & Decision*, 2019, 35(18): 84 - 88.
- [32] 徐建中, 曲小瑜. 基于指标数值变化的制造业环境技术创新能力评价研究[J]. *中国科技论坛*, 2014(12): 62 - 67.
XU J Z, QU X Y. Research on the evaluation of technological innovation capacity of manufacturing environment based on the numerical change of indicators [J]. *Forum on Science and Technology in China*, 2014(12): 62 - 67.
- [33] 杨晓康, 谭骏也, 李莹. 基于改进的 CRITIC-熵权法组合权重下的碳减排与区域经济、生态环境协同发展评价分析: 以新疆为例[J]. *现代工业经济和信息化*, 2023, 13(11): 164 - 169.
YANG X K, TAN J Y, LI Y. Evaluation and analysis of carbon emission reduction and synergistic development of regional economy and ecological environment based on improved CRITIC-entropy weight method combined weights: Taking Xinjiang as an example [J]. *Modern Industrial Economy and Informationization*, 2023, 13(11): 164 - 169.

- [34] 弋若兰. 我国上市公司信用风险评估研究: 基于改进 CRITIC 熵权组合赋权-TOPSIS 模型[J]. 投资与创业, 2022, 33(21): 119-121.
- YI R L. Research on credit risk assessment of listed companies in China: Based on the improved CRITIC entropy portfolio empowerment-TOPSIS model[J]. Undertaking&Investment, 2022, 33(21): 119-121.

- [35] 傅吉青, 黄洪琳, 毛惠青. 动力转换 结构优化 质量提升: 2017 年浙江经济运行情况[J]. 浙江经济, 2018(3): 32-35.
- FU J Q, HUANG H L, MAO H Q. Energy transformation, structure optimization, quality improvement: Economic performance of Zhejiang province in 2017[J]. Zhejiang Economy, 2018(3): 32-35.

[编辑: 厉艳飞]

Research on the evaluation of green innovation capability of industrial enterprises above designated size in Zhejiang province

YU Jiaxue, HAN Minghua

(Business School, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: Faced with increasingly prominent environmental problems and pressure for green transformation, the green innovation development of manufacturing industry, as the foundation of a powerful country, is one of the most important measures to promote the high-quality development of China's economy. Zhejiang province's manufacturing industry is crucial to its economy and the province's growth. As a demonstration area for China's high-quality development and construction of common prosperity, and one of the most important parts of the Yangtze River Delta Economic Belt, Zhejiang province's manufacturing industry is the lifeblood of its economy and the foundation for enriching the people. At the same time, the green development of the manufacturing industry is also the foundation for strengthening the province. The green and high-quality development of Zhejiang's manufacturing industry is of great significance for building a new engine of China's development. So, at this stage, how is the green innovation ability of industrial enterprises above designated size in Zhejiang province? What specific constraints do they face in specific green innovation practices? How can their green innovation ability be improved? In order to clarify these issues, this article takes Zhejiang province as an example, using the entropy weight CRITIC-EDAS evaluation model to comprehensively evaluate the green innovation ability of industrial enterprises above designated size in Zhejiang province during the period from 2011 to 2019, so as to recognize their current situation and constraints of green innovation ability. Additionally, a predictive analysis is conducted on the green innovation development of industrial enterprises above designated size in Zhejiang province during and after the COVID-19 pandemic. The research results show that during from 2011 to 2019, the expenditure on technological transformation, levels of waste gas emissions, generation of solid waste, and the overall utilization rate of solid waste were pivotal factors constraining the enhancement of green innovation capabilities among industrial enterprises above designated size in Zhejiang province, among which the expenditure on technological transformation is the primary constraint factor. During the period from 2011 to 2019, the green innovation ability of industrial enterprises above designated size in Zhejiang province exhibited an upward trend in general. However, due to the pressures related to green transformation and a liquidity crisis, the green innovation ability of industrial enterprises above designated size in Zhejiang province experienced fluctuations and declines during the period from 2013 to 2017. Since the COVID-19 pandemic in 2020, while the green innovation development among industrial enterprises above designated size in Zhejiang province has been impacted and hindered to some extent by the epidemic, under the combined influence of market conditions, national policies and historical accumulation, it has demonstrated a steady upward trend as a whole. Based on the results of the research, this study proposes strategies and recommendations to enhance the green innovation capabilities of industrial enterprises above designated size in Zhejiang province from aspects such as technological research and development as well as management level, aiming to offer guidance and insights for the green transformation and development of manufacturing industry in Zhejiang province and other regions.

Keywords: industrial enterprises above designated size; green innovation ability; entropy weight CRITIC-EDAS