

基于DPSIR模型的中集集团低碳转型成效评价研究

宋鑫, 印汉

上海理工大学管理学院, 上海

收稿日期: 2024年4月1日; 录用日期: 2024年4月22日; 发布日期: 2024年5月31日

摘要

本文基于国内外碳交易的背景, 通过DPSIR模型分析物流能源行业中集集团目前低碳转型的进展与成效。从驱动力、压力、状态、影响、响应5个维度选取环境绩效评价指标体系, 将AHP与熵值法结合进行赋权并对中集集团企业绿色低碳转型指标进行分析, 结合企业的社会责任履行情况, 探讨中集集团的低碳转型路径及成效, 丰富了低碳转型实际应用的理论研究, 为能源物流行业的低碳转型发展提供参考和借鉴。

关键词

DPSIR模型, 低碳转型, 能源物流行业, 碳排放

Research on the Effectiveness Evaluation of CIMC Group's Low-Carbon Transformation Based on DPSIR Model

Xin Song, Han Yin

School of Management, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

Received: Apr. 1st, 2024; accepted: Apr. 22nd, 2024; published: May 31st, 2024

Abstract

Based on the background of domestic and foreign carbon trading, this article uses the DPSIR model to analyze the current progress and effectiveness of CIMC Group's low-carbon transformation in the logistics and energy industry. It selects the environmental performance evaluation index sys-

tem from the five dimensions of driving force, pressure, state, impact, and response; combined AHP with the entropy method for empowerment, analyzes the green and low-carbon transformation indicators of CIMC Group enterprises. Based on the fulfillment of corporate social responsibility, it explores the low-carbon transformation path and effectiveness of CIMC Group, enriching the theoretical research on the practical application of low-carbon transformation, providing reference and inspiration for the low-carbon transformation and development of the energy logistics industry.

Keywords

DPSIR Model, Low-Carbon Transformation, Energy Logistics Industry, Carbon Emissions

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

气候变化给全球范围内带来的影响愈加明显。近年来, 极地地区发生冰川消融从而导致海平面上升, 极端天气频发, 多地气温突破历史最高纪录(刘慧雯, 2023) [1]。自工业化以来, 人类活动所产生的温室气体是引起这些灾害发生的首要因素, 而温室气体排放中占比最大的是二氧化碳。如何减少碳排放量是世界各国在可持续发展过程中所面临的重要问题, 国际组织也意识到了保护环境的必要性, 经过各国的谈判和持续的实践, 制定并逐步完善了相关规定来共同应对气候问题, 如《联合国气候变化框架公约》和《京都议定书》等, 推动了国际碳交易市场的形成和发展。2002年, 英国在全球开启了第一次全国范围内的碳排放权交易市场, 紧随其后的是美国、加拿大等国家。截至2021年12月9日, 全国碳市场碳排放量配额(CEA)累计成交量达到6940万吨, 累计成交额28.94亿元。

自2011年碳市场建设规划提出至2021年全国碳市场线上交易启动, 碳市场在中国已发展近10年。在此期间, 碳市场逐渐成为中国应对气候变化的有效手段, 但相较于西方发达国家中国的碳市场建设起步较晚。现有研究较为一致地证实了碳市场的减排效应, 但关于这些减排是否会降低经济绩效仍存有分歧(TANG等, 2020) [2]。当前, 对全球碳市场的影响评估仍以发达国家碳交易实践为主。虽然中国参与的主体以国有企业为主, 且市场监管手段不完善, 体系有待改进。但有学者证明中国扩大碳交易市场规模有利于改善地区环境质量和促进经济增长, 特别是对试点地区的影响更为明显(余萍和刘纪显, 2020) [3]。相关专家用公众利益理论提出了低碳转型是政府对领域管制的手段, 运用渐进双重差分模型进行评估, 得到了低碳转型通过增加环境治理投资、优化企业成本和促进企业绿色创新这三个机制提高企业市场价值(詹宇波和管照生, 2023) [4]。国内企业为顺应未来发展方向, 进行低碳转型迫在眉睫, 而碳排放权交易试点政策降低了企业碳排放强度, 加速了企业低碳转型进程(董康银和邓又一, 2023) [5]。

因此, 本文选取总部位于广州深圳的中集集团作为研究对象。作为国内第三家中外合资企业, 集团现已成长为一多元化跨国企业集团, 是全球领先的物流和能源行业装备及解决方案提供商(宾峰, 2019) [6]。其行业的领先地位以及取得的成果给社会、经济带来重大影响和贡献。文章将重点分析目前能源物流行业的中集集团低碳转型的路径与成效, 以为行业内企业进行低碳转型发展提供参考和借鉴。

2. 构建评价指标体系

欧洲环境局提出的 DPSIR 模型具有可持续性特点, 可以系统地反应人类活动与自然环境变化相互影

响。因此,在低碳环保领域被广泛的研究和应用。它将人类社会的活动与环境保护之间的相互联系更加系统地展现出来。驱动力 **D** 代表环境发生的潜在因子,一般指人类社会活动的相关指标。**P** 代表压力,压力通过驱动力作用体现在人类社会活动为自然环境带来的影响。状态指标是驱动力和压力共同作用后的结果,多指环境发生了相应的变化。**I** 是指环境状态的变化从而导致社会、环境发生改变。这些变化进而引发响应 **R**, **R** 是指直接或间接地由对影响的感知而引发的,企业低碳转型后为改善生态环境所采取的措施(见图 1)。

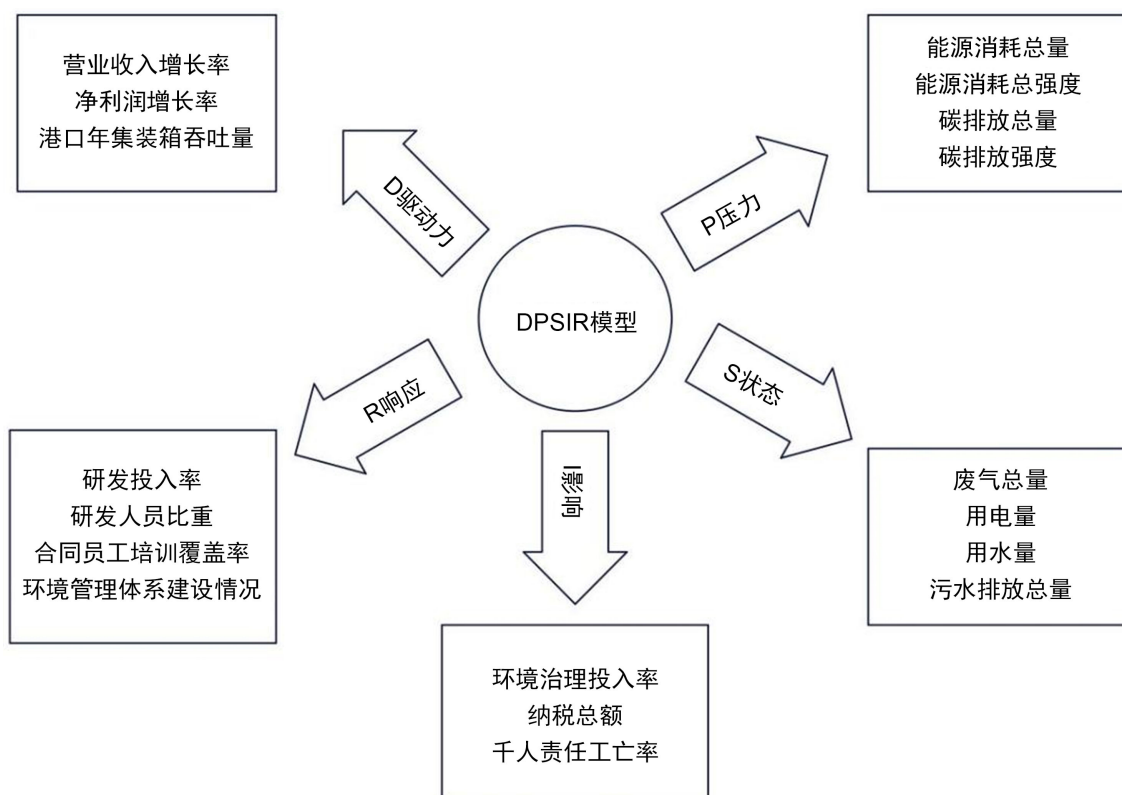


Figure 1. Structure model of green and low-carbon evaluation index system
图 1. 绿色低碳评价指标体系结构模型

2.1. 驱动力(D)

驱动力体现了企业绿色转型最主要的原因,公众、政府、公司的“响应”帮助了这些根本性动力。因此驱动力层面指标从经济发展、资源利用、产能绩效等方面入手。将营业收入增长率、净利润增长率与港口年集装箱吞吐量等作为评价指标。

2.2. 压力(P)

压力指标代表了中集集团受到驱动力的影响后所产生的压力变化。这些压力代表了低碳转型后企业或好或坏的发展情况。因此,压力指标选取企业能源消耗总量、能源消耗总强度、碳排放总量与碳排放强度。

2.3. 状态(S)

主要从企业发展状态考虑,集团的可持续发展水平在压力作用下所处的状态,体现企业低碳转型的

效果性。本文选取用电量、用水量、废气总量与污水排放总量作为指标。

2.4. 影响(I)

影响指标是指企业在低碳转型发展中, 对公司的状态、社会公众等影响。其中指标有环境治理投入率、千人责任工亡率与纳税总额。

2.5. 响应(R)

响应指标是绩效审计重要环节, 是对政府受托责任履行情况体现。对应的指标有研发投入率、研发人员比重、合同员工培训覆盖率与环境管理体系建设。

3. 组合赋权法

3.1. AHP 层次分析法

为了确定判断矩阵确定指标权重, 本文采用 AHP 层次分析法, 选择 20 位专家进行询问并发放调查问卷, 对准则层指标的重要程度打分。利用数软件计算权重结果并进行一致性检验, 对不一致的判断矩阵利用软件检查功能进行修补, 得到的各层级指标权重见表 1~3。

Table 1. Criteria layer indicator judgment matrix

表 1. 准则层指标判断矩阵

指标	驱动力	压力	状态	影响	响应
驱动力	1	1/3	0.25	3	1
压力	3	1	0.5	3	3
状态	4	2	1	4	3
影响	1/3	1/3	0.25	1	0.5
响应	1	1/3	1/3	2	1

Table 2. AHP analytic hierarchy process results

表 2. AHP 层次分析结果

项	特征向量	权重值(%)	最大特征根	CI 值
驱动力	0.646	12.921		
压力	1.369	27.388		
状态	2.018	40.356	5.168	0.042
影响	0.362	7.239		
响应	0.605	12.097		

Table 3. Consistency test results

表 3. 一致性检验结果

最大特征根	CI 值	RI 值	CR 值	一致性检验结果
5.168	0.042	1.11	0.038	通过

3.2. 熵值法

根据熵值法确定各项评价指标权重, 先确认初始数据矩阵, 接着采用熵值法确定各指标的权重并计算低碳经济发展综合指数, 具体步骤如下:

- ① 数据标准化。采用 Z-Score 法对原始数据进行标准化处理:

$$x = \frac{X_{ij} - \bar{X}_{ij}}{s_j}$$

其中, X_{ij} 为标准化后的数据。 \bar{X}_{ij} 为第 i 个评价对象在 j 项指标的平均数, s_j 为第 i 个评价对象在第 j 项指标的标准差。

- ② 坐标平移为了消除标准化后的指标值负值影响, 进行坐标平移:

$$x'_{ij} = x_{ij} + A$$

其中, x'_{ij} 为标准数据平移后的值, $x'_{ij} > 0$, A 为平移幅度, $A > \min(x_{ij})$, A 的取值越接近 $\min(x_{ij})$, 其评价结果越显著。

- ③ 确定指标比重。将各个数据值 x_{ij} 转化为比重值 p_{ij} :

$$p_{ij} = \frac{x'_{ij}}{\sum_{i=1}^m x'_{ij}}$$

- ④ 推算各指标的信息值 e_j :

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln(p_{ij})$$

其中, e_j 为指标熵值, k 为大于零的正数, 设定 $k = 1/\ln(n)$, 确保 $0 \leq e_j \leq 1$ 。

- ⑤ 求各指标之间的差异系数 d_i , 熵值越小, 指标间差异系数越大, 指标就越重要。

$$d_i = 1 - e_j,$$

- ⑥ 推算各指标权重 w_j :

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j}$$

- ⑦ 推算第年的低碳经济发展综合指数 U_i :

$$U_i = \sum_k w_k p_{ik} + \sum_l w_l (1 - p_{il})$$

其中, w_k 为第 k 个正指标的权重, p_{ik} 为第 k 个正指标的标准化值, w_l 为第 l 个负指标的权重, p_{il} 为第 l 个负指标的标准化值。

3.3. 组合赋权法

权重可以反映出指标对企业低碳转型因素影响程度。组合赋权[7]通过将满足一致性检验(CI0.1)层次分析法主观权重值与熵值法客观权重值相综合, 该方法可弥补单一赋权方法的缺点, 实现赋权过程主客观相统一。

$$W_{综合ij} = \beta W_{层ij} + (1 - \beta) W_{熵ij}$$

式中, $W_{综合ij}$ 为 i 层 j 指标综合权重, $W_{层ij}$ 与 $W_{熵ij}$ 分别为层次分析法权值与熵权值, β 为两权值各自的重要程度, 参照以往文献[8], 此处确定为 0.5, 计算得到各指标权重见表 4 所示。

Table 4. Weights of low-carbon transformation evaluation indicators for CIMC Group
表 4. 中集集团低碳转型评价指标权重

准则层	权重	指标层(单位)	性质	综合权重
驱动力 (D)	0.129	D1 营业收入增长率(%)	+	0.061
		D2 净利润增长率(%)	+	0.042
		D3 港口年集装箱吞吐量(亿标箱)	+	0.026
压力 (P)	0.274	P1 能源消耗总量(吨标煤)	-	0.06
		P2 能源消耗总强度(每亿元营收)	-	0.055
		P3 碳排放总量(吨)	-	0.089
		P4 碳排放强度(每亿元营收)	-	0.071
状态 (S)	0.40	S1 废气总量(吨)	-	0.06
		S2 用电量(吨)	-	0.088
		S3 用水量(千立方米)	-	0.114
		S4 污水排放总量(千立方米)	-	0.1435
影响 (I)	0.072	I1 环境治理投入率(%)	-	0.03
		I2 纳税总额(千元)	+	0.025
		I3 千人责任工亡率(%)	-	0.019
响应 (R)	0.121	R1 研发投入率(%)	+	0.027
		R2 研发人员比重(%)	+	0.023
		R3 合同员工培训覆盖率(%)	+	0.007
		R4 环境管理体系建设情况	+	0.062

4. 评价结果分析

4.1. 驱动力指标

驱动力指标均为正向指标。其中, 权重最大的是营业收入增长率。20 年中集集团低碳化进程加速, ESG 表现获得外部认可。中集集团通过研发绿色创新技术, 推动全球物流和能源领域发展。通过采用科技创新和数字化改革的策略, 发展传统业务, 同时拓展绿色和低碳的新兴业务领域。构建集装箱行业的数字化生产环境和先进工厂模式, 推出了创新的粉末涂装集装箱技术。一系列改革实现了 2022 年营收约 1415.37 亿元, 净利润约 46 亿元的经济效益。

中集集团以能源物流作为其主营业务领域。在近期受到全球通货膨胀压力、欧美地区显著提高利率等多重因素的冲击下, 全球经济和贸易增长的动力有所减缓, 传统的海运集装箱制造业也逐渐恢复到一个较为稳定的状态。虽然受到外部经济环境的冲击, 2022 年集团仍实现了净利润 52.58 亿元。虽然与 2021 年创下的历史最高点相比有所下降, 但中集的净利润仍然保持在一个相对较高的水平。这表明集团在面对复杂多变的外部经济环境时, 持续进行的绿色改革创新使企业展现出了强大的经营韧性和盈利能力。

具体低碳转型的路径分析: 中集集团加速科技创新、数字化改革以及绿色创新产品的研发投入, 包括: 竹木地板、可再生纤维开发、连续纤维热塑性复合材料等绿色材料的研发, 实现经济效益和社会效益双丰收。

4.2. 压力指标

压力指标测算结果表明, 企业在发展过程中不断降低能源使用及减少碳排放, 有助于推动低碳经济的发展。在这些指标中, 碳排放量的减少尤为重要, 因为它与企业的经济结构、技术设备、能源使用效率以及员工的日常生活等多个方面都有着紧密的联系。通过有效管理这些因素, 企业可以有效地降低碳排放, 从而促进低碳经济的增长水平。其次, 在总量和强度的指标权重对比下, 总量均优于强度, 因为强度的影响因子过多, 而总量可以将碳排放资源化用于市场交易, 强度指标并不可以。在“双碳”目标的背景下, 中集集团作为制造业龙头企业是碳排放的主体, 同时也是落实碳中和目标的主体, 通过对水电噪音等能源的控制以及减排, 2023 年通过集团策略主题确定亿元能耗强度下降 3%, 亿元碳排放强度下降 4% 的目标, 并由各板块在商业计划中承接落实。

具体低碳转型的路径分析: 根据温室气体的主要来源, 集团运输 LNG、CNG 等清洁燃料, 促进清洁能源的推广和应用, 储存及运输设备促进氢能的推广和应用, 建设加氢站促进氢能的普及。在集装箱生产方面, 采用水性漆代替油性漆, 并开发了国内第一条粉末涂料自动涂装集装箱的生产线, 从本质上实现涂装“清洁生产”。企业在全国及海外拥有多家生产型工厂、车间, 部分厂区建筑的屋顶空间可为光伏发电项目提供载体。共有 17 家单位已应用屋顶光伏发电, 应用屋顶光伏发电家数占比上升 70%, 年内总发电量约 4406 万度, 消纳约 3403 万度, 减少了约 19,770 吨二氧化碳的排放。

4.3. 状态指标

在状态指标中, 指标结果表现为企业对能源使用量的降低趋势以及废气总量排放的减少。在中集集团的发展过程中, 水资源的使用和处理尤为关键, 污水排放量和用水量的权重分别为 0.1435 和 0.114, 这两项指标的权重加起来超过了总状态指标的一半, 突显了水资源管理的重要性。为了有效管理水资源, 集团各业务板块及其子公司建立了严格的污水排放管理制度, 对污水处理设施的运行和维护进行监督, 并推广使用先进的智能污水处理设备和水质实时监测技术, 确保排放的污染物浓度和总量都符合国家或地方的环保标准。公司在日常运营中消耗的水资源涵盖了工业用水和生活用水等多个方面。在 2022 年, 公司共排放了 3403.83 千立方米的污水, 与上一年相比减少了 4.47%, 排放强度为每亿元营收 2.4 千立方米。同时, 公司严格遵守国家和地方的水资源管理法规, 制定了水资源管理策略, 通过合理开发、有效利用和循环再利用水资源, 保护了宝贵的水资源。在 2022 年, 公司的总用水量为 6169.38 千立方米, 与上一年相比降低了 13.43%, 用水强度为每亿元营收 4.36 千立方米。在寻找可用水源的过程中, 公司没有遇到任何重大的水资源短缺风险, 这表明公司在水资源管理方面取得了显著成效。

具体低碳转型的路径分析: 集团开展污水循环使用, 或经处理后回用, 引进新型污水处理设备, 优化污水处理工艺, 积极探索智能化、数字化污水处理系统。通过对污水处理站进行技改, 使喷漆废水实现了 95% 回收再利用, 由原来的 100% 委外处理, 改善为全部自行处置, 截至 22 年 11 月底废水自行处置 17,370 吨。

4.4. 影响指标

从低碳转型对企业发展的影响来看, 环境治理投入率的权重最大, 对环境成本的影响方向为负。环境投入的效率体现了环境资源投入在减少产品实际成本方面的作用。当企业实施环保措施后, 这些措施有助于减少产品的实际成本。在技术条件保持相对稳定的前提下, 环保投入的回报可能需要较长时间来实现。因此, 环境投入效率的数值越低, 意味着企业通过环境投入在减少成本方面取得的成效或即将取得的成效越显著, 这表明企业在环境保护方面的投资表现得更为出色。中集来福士结合国家“十四五”规划中“调整能源结构, 提高绿色能源占比”的环境政策, 基于集团绿色发展规划要求及业务发展特性,

积极实施技改计划, 全部取缔燃煤锅炉、燃油锅炉, 取消乙炔燃气, 增加天然气、光伏发电等清洁、高效的能源, 降低石化能源在公司能源结构中的比重。集团的日常运营和生产过程中, 所产生的无害废弃物主要包括废旧金属、废弃木材以及生活垃圾等。对于生活垃圾, 由所在地区的环境卫生管理机构负责定期的清理和处理工作。至于其他的无害废弃物, 通常采取厂内再利用的策略, 或者交由合作的供应商和专业的回收机构进行资源的循环再利用。集团坚持贯彻绿色环保的发展理念, 致力于推广和实施绿色制造的各项措施, 尤其在建设绿色工厂方面表现突出。通过积极采纳高效的清洁生产技术、使用环保材料, 以及不断提高污染治理的效率和持续降低污染物的排放, 集团不仅为自身的可持续发展创造了更多可能, 也为环境保护做出了积极贡献。

具体低碳转型的路径分析: 集团遵循国家及运营地的相关法规, 建立了专门的危废存储设施, 对危险废物进行分类和专门容器存储, 并依照联单管理制度进行规范转运, 确保所有危险废物均由具备相应处理资质的单位进行安全处理。同时, 集团定期对这些处理单位的资质和处理能力进行审查。集团持续推动工业废物的减少和资源化的研究。通过生产线的技术升级和工艺流程的优化, 有效降低了废物的产生, 如实施了智能切割下料项目、循环包装项目、废渣优化减少项目和污泥干化项目等, 以实现废物的减量处理。此外, 集团还根据外部政策、法规的更新和企业自身的生产运营状况, 不断调整和完善废物处理措施。

4.5. 响应指标

响应指标均表现为正面指标, 尤其以环境管理体系构建的权重为最高。中集集团依据 ISO14001 环境管理体系的标准, 并结合自身的实践经验, 持续优化和提升生态环境保护的管理机制。通过明确能源节约和生态环境保护的目标责任, 增强环境保护的宣传教育, 实施定期的监督检查, 以及严格执行事故责任的考核, 为确保能源节约、生态环境和员工健康得到有效保护奠定了坚实的基础。在 2022 年, 中集集团制定并发布了《中集集团环境保护管理制度》, 进一步推动企业履行生态环境保护的主体责任, 确保企业的合规运营, 并持续提升环保绩效。到目前为止, 集团已有 76 家主要制造企业通过了环境管理体系认证。近年来, 中集集团出台了一系列支持科技创新的政策, 并逐步增加了对低碳技术研发的投入, 研发经费呈现逐年增长的趋势。在集团的产品战略的指导下, 集团不断加大研发投入, 研发费用的年增长率保持在较高水平。全年, 集团的研发投入达到了约 25.20 亿元, 同比增长了 12.48%, 占总收入的比重为 1.78%。

具体低碳转型的路径分析: 集团结合 ISO14001 环境管理体系及实践经验, 发布了各项环境保护管理制度和相关方案, 为进一步绿色转型提供了制度保障。

5. 结语

中集集团作为我国领军制造业低碳转型获得国内外一致认可, 其 ESG 评级遥遥领先。本文通过 DPSIR 模型构建了绿色评价指标评价体系并通过 AHP-熵值法对其绿色低碳转型进行评价。经过分析, 评价指标体系中状态、压力权重相对较高, 驱动力、响应次之, 影响最低, 权重分别为 0.4、0.274、0.129、0.121、0.072。根据状态、压力指标的分析结果, 企业低碳转型后, 有效管理了水电资源, 合理的处理了污水排放量, 碳排放量呈现降低趋势, 表现出良好的社会效应。根据驱动力、响应指标的分析结果, 集团在低碳转型后营业收入增长率方面有了较大提升, 表现出良好的经济效应。研发方面进行了较大的投入, 实现了能源物流技术方面的突破创新。影响指标方面, 企业加大了环境治理投入, 建立了企业的环境保护管理制度和相关方案, 责任事故率逐年下降, 表现出良好的社会效应。文章研究了中集集团低碳转型的社会和经济成效以及低碳转型的路径, 从而为行业内企业的低碳转型发展提供参考和借鉴。

6. 不足与展望

本文对于中集集团低碳转型路径的研究存在一定的不足之处,主要在于:集团绿色工厂建设始于2018年,至今取得较大成效,论文主要通过对企业近五年历史数据研究企业低碳转型对社会及经济效应的影响。但未能观测在未来更长期间内低碳转型的长期成效。同时,未来低碳转型是否会发生重大的政策变化、技术更新迭代难以预估,现有转型成果难以准确反映未来的行业波动风险。

针对以上问题,本文对未来企业低碳转型做出以下思考与展望:未来研究可以通过更长的时间来深入研究企业的转型变化,衡量低碳转型成效的长期影响,研究低碳转型是否能够对企业产生更加持久的价值创造作用。本文介于篇幅仅从社会、经济两方面来研究了其可行性,还可通过政策、碳交易等方面进行更加深入的研究。未来研究还可对更多行业、不同类型的企业进行转型研究,得出更具推广性的结论。

参考文献

- [1] 刘慧雯. 大气生物组分监测识别与定量分析算法研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安理工大学, 2023.
<https://doi.org/10.27398/d.cnki.gxalu.2023.000757>
- [2] Tang, L., Wang, H.H., Li, L., et al. (2020) Quantitative Models in Emission Trading System Research: A Literature Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **132**, Article ID: 110052.
- [3] 余萍, 刘纪显. 碳交易市场规模的绿色和经济增长效应研究[J]. 中国软科学, 2020(4): 46-55.
- [4] 詹宇波, 管照生. 低碳转型如何影响企业市场价值? [J]. 上海经济研究, 2023(12): 63-74.
<https://doi.org/10.19626/j.cnki.cn31-1163/f.2023.12.006>
- [5] 董康银, 邓又一. 碳排放权交易试点政策对企业低碳转型的影响[J]. 财经问题研究, 2023(12): 52-63.
- [6] 宾峰. 中集集团集装箱业务竞争战略研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州大学, 2019.
- [7] 王博. 基于 DPSIR-TOPSIS 模型的四川省土地生态安全时空格局演变及其障碍因子诊断[J]. 国土与自然资源研究, 2023(5): 30-35.
- [8] 王文萱, 李明孝. 基于 DPSIR 的湖南省土地生态安全时空变化[J]. 生态学杂志, 2020, 39(8): 2724-2736.
<https://doi.org/10.13292/j.1000-4890.202008.031>