

中国制造业碳排放驱动因素研究

——基于LMDI方法

丁博¹, 张人龙^{1,2}, 刘小红^{1,2}

¹贵州大学管理学院, 贵州 贵阳

²贵州大学喀斯特地区发展战略研究中心, 贵州 贵阳

收稿日期: 2023年6月16日; 录用日期: 2023年7月30日; 发布日期: 2023年8月9日

摘要

中国制造业是工业的重要组成部分, 是我国国民经济的支柱, 是推进社会主义现代化建设的重要依托。然而, 中国制造业碳排放占总行业35.78%, 是碳排放增长的主要来源之一。本文采用2005年到2019年中国制造业分行业的碳排放量、能源消耗、增加值以及人口规模面板数据, 借鉴Kaya恒等式, 构建分行业LMDI分解模型, 对中国制造业碳排放量在各个时期的驱动因素进行了实证分析, 基于脱钩指数模型, 对影响碳排放和经济增长的脱钩关系进行了分析。结果表明: 1) 我国制造业能源消费结构不均衡, 高碳化特征显著, 焦炭为主要燃料; 2) 中国制造业碳排放主要集中在黑色金属冶炼和压延加工业、非金属矿物制品业和石油、煤炭及其他燃料加工业等行业。3) 能源强度、能源结构对碳排放增长产生抑制作用, 经济增长和行业规模对碳排放增长产生促进作用。4) 制造业的强脱钩状态表明在此期间国家出台的节能减排政策是有效, 但是制造业与经济脱钩状态不够稳定性。应在中国制造业重点行业调整能源结构, 增加可再生能源利用比例; 提高能源利用效率, 化解过剩产能, 以助推实现碳达峰和碳中和。

关键词

LMDI分解, 碳排放, 制造行业, 脱钩模型

Research on the Driving Factors of Carbon Emissions in China's Manufacturing Industry

—Based on LMDI Method

Bo Ding¹, Renlong Zhang^{1,2}, Xiaohong Liu^{1,2}

¹School of Management, Guizhou University, Guiyang Guizhou

²Karst Area Development Strategy Research Center, Guizhou University, Guiyang Guizhou

Received: Jun. 16th, 2023; accepted: Jul. 30th, 2023; published: Aug. 9th, 2023

Abstract

China's manufacturing industry is an important component of industry, a pillar of China's national economy, and an important support for promoting socialist modernization construction. However, carbon emissions from China's manufacturing industry account for 35.78% of the total industry, making it one of the main sources of carbon emissions growth. This paper uses the Panel data on carbon emissions, energy consumption, added value and population size of China's manufacturing industries from 2005 to 2019. It draws on Kaya's identity to build a sub-industry LMDI decomposition model. It empirically analyses the driving factors of China's manufacturing carbon emissions in each period. Based on the decoupling index model, it analyzes the decoupling relationship between carbon emissions and economic growth. The results indicate that: 1) Coke is the primary fuel for energy consumption in the manufacturing industry, and the high carbonization characteristics of the energy consumption pattern are significant, with ample space for optimizing the energy consumption structure; 2) China's manufacturing carbon emissions are mainly concentrated in Ferrrous smelting and rolling processing industry, non-metallic mineral products industry and oil, coal and other fuel processing industries. 3) Energy intensity and structure have an inhibitory effect on the growth of carbon emissions, while economic growth and industry scale have a promoting effect on the growth of carbon emissions. 4) The solid decoupling state of the manufacturing industry indicates that the energy-saving and emission-reduction policies introduced by the country during this period are effective. Still, the decoupling state of the manufacturing industry from the economy needs to be more stable. We should adjust the energy structure in key manufacturing industries and increase the proportion of renewable energy utilization, improve energy utilization efficiency, resolve excess capacity, and promote carbon peaking and carbon neutrality.

Keywords

LMDI Decomposition, Carbon Emissions, Manufacturing Industry, Decoupling Model

Copyright © 2023 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

二氧化碳等温室气体的排放加速了全球气候变化进程，导致极端天气事件频繁发生[1]。因此，控制温室气体排放、发展低碳经济已成为我国的必由之路。根据中国碳核算数据库(CEADs)统计，中国制造业碳排放占总行业 35.78%，是碳排放增长的主要来源之一[2]。然而自工业革命以来，制造业是工业的重要组成部分，是我国国民经济的支柱，是推进社会主义现代化建设的重要依托[3]。因此，深入研究我国制造业的碳排放与经济增长的脱钩关系以及脱钩的关键驱动因素，将有助于系统地把握制造业发展对环境的影响，制定具体的、科学的制造业碳减排措施。

分解分析方法可以有效识别能源消耗和污染物排放的内在驱动因素[4]。以结构分解分析法(SDA)和指数分解分析法(IDA)为代表的分解分析法为解构模型的两大主流[5]。SDA 方法产生的结果更准确，但其应用需要输入准确的数据作为基础，从而限制了该方法的应用[6]。因此，以对数平均迪氏指数(LMDI)分解法为代表的分解分析法得到了广泛的使用，其具有数据易采集、无残差以及易使用等优点，并且可以进一步分析结构效应。

学术界对制造业碳排放进行了大量研究，发现经济增长是碳排放增加的主要促因，碳排放与经济增长脱钩被认为是实现绿色经济发展的关键[7]。“脱钩”理论最早在环境研究领域提出的，经济合作与发展组织(OECD)将这一理论发展为描述经济增长和资源消耗两者相关性的概念。其提出的脱钩因子只能粗略地确定经济增长与环境压力的脱钩状态，为了有效衡量脱钩程度，Tapio (2005)在脱钩理论中引入了弹性理论，对脱钩状态进行了细分，使得脱钩模型具有不需要选择基期且具有更完备的脱钩指标的优点[8]，受到学者的青睐。

现有关于中国制造业二氧化碳排放驱动因素的研究是从整体角度看待的，没有深入研究每个细分行业的驱动因素。然而，不同类型的制造业碳排放特征具有显著差异，因此，本文采用 2005 年到 2019 年中国制造业分行业的碳排放量、能源消耗、增加值以及人口规模面板数据，借鉴 Kaya 恒等式，构建分行业 LMDI 分解模型对中国制造业碳排放量在各个时期的驱动因素进行了实证分析，基于脱钩指数模型，对影响碳排放和经济增长的脱钩关系进行了分析。

2. 研究方法数据来源

2.1. 研究方法

2.1.1. 分行业的 LMDI 分解

对于分行业制造业碳排放的影响因素分解，借鉴 Kaya 恒等式，对碳排放影响因素进行分解，公式如下：

$$C = \sum_{i=1}^{29} C_i = \sum_{i=1}^{29} \frac{E_i}{I_i} \times \frac{I_i}{G} \times \frac{G}{P} \times P$$

$$= \sum_{i=1}^{29} EI \times IG \times GP \times P$$

$$\Delta C = C^t - C^0 = \Delta C_{EI} + \Delta C_{IG} + \Delta C_{GP} + \Delta C_P$$

式中： EI 、 IG 、 GP 、 P 分别为能源结构、能源强度、经济增长和行业规模； C_i 为 i 行业产生的碳排放量； E_i 为 i 行业能源消费量； G 为制造业的 GDP； P 为制造业的就业人数； ΔC_{EI} 、 ΔC_{IG} 、 ΔC_{GP} 、 ΔC_P 分别为各影响因素对碳排放量产生的效应； ΔC 为总效应； C^t 、 C^0 分别为目标年、基期年碳排放量。

分行业制造业碳排放的驱动效应具体计算公式如下：

$$\Delta C_x = \sum_{i=1}^{29} L(C_i^t, C_i^0) \ln \left(\frac{x^t}{x^0} \right)$$

式中： C_{ij}^t 、 C_{ij}^0 分别为目标年和基期年 i 行业 j 化石燃料产生的碳排放量； x 为上述各影响因素； ΔC_x 为影响因素 x 的碳排放效应； $L(C_i^t, C_i^0)$ 为权重； x^t 和 x^0 分别为目标年和基期年的影响因素值。其中，权重公式如下：

$$L(C_{ij}^t, C_{ij}^0) = \begin{cases} \frac{C_{ij}^t - C_{ij}^0}{\ln C_{ij}^t - \ln C_{ij}^0}, & C_{ij}^t \neq C_{ij}^0 \\ C_{ij}^t \text{ 或 } C_{ij}^0, & C_{ij}^t = C_{ij}^0 \\ 0, & C_{ij}^t = C_{ij}^0 = 0 \end{cases}$$

2.1.2. 脱钩分析

1) Tapio 脱钩模型

脱钩理论已被广泛应用于水资源、经济、碳排放等方面的研究，它能够很好地探究经济增长和资源

消耗或环境压力之间关系,目前,测度脱钩关系的模型主要有 Tapio 脱钩模型、OECD 脱钩模型。其中, Tapio 脱钩模型克服了 OECD 脱钩指数基期选择的困难,因此,本文采用 Tapio 脱钩模型构建中国制造业碳排放与经济增长的脱钩模型。其计算公式为:

$$\varepsilon = \frac{(C_t - C_{t-1})/C_{t-1}}{(G_t - G_{t-1})/G_{t-1}} = \frac{\Delta C/C}{\Delta G/G}$$

其中, ε 表示中国制造业碳排放与经济脱钩关系; C_t 和 C_{t-1} 分别表示 t 年和 $t-1$ 年的中国制造业碳排放量, G 和 G_{t-1} 分别表示中国 t 年和 $t-1$ 年的 GDP 水平。Tapio 模型根据 ε 的大小以及 ΔC 和 ΔG 的符号将脱钩状态分为 8 类,具体脱钩状态分类如图 1 所示。

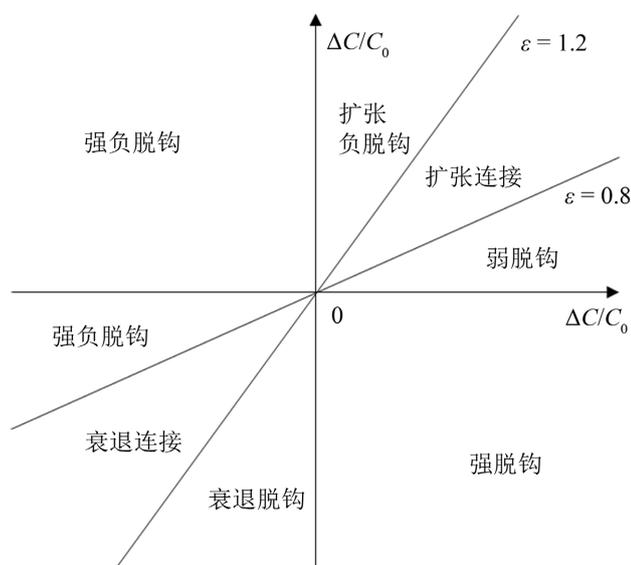


Figure 1. Tapio decoupling elasticity index division
图 1. Tapio 脱钩弹性指数划分

2.2. 数据来源与处理

根据原国家质检总局和国家标准委在 2017 年联合发布的《国民经济行业分类》(GB/T4754-2017),将中国制造业分为 31 个子行业,鉴于统计口径的一致性和数据的可得性(某些子行业数据大量年份不连续),将汽车制造业和铁路、船舶、航空航天和其他运输设备制造业合并且未包括废弃资源综合利用业和金属制品、机械和设备修理业,如下表 1 所示:

Table 1. Classification of sub industries in China's manufacturing industry
表 1. 中国制造业子行业分类

行业代码	制造业子行业	行业代码	制造业子行业
C13	农副食品加工业	C27	医药制造业
C14	食品制造业	C28	化学纤维制造业
C15	酒、饮料和精制茶制造业	C29	橡胶和塑料制品业
C16	烟草制品业	C30	非金属矿物制品业
C17	纺织业	C31	黑色金属冶炼和压延加工业

Continued

C18	纺织服装、服饰业	C32	有色金属冶炼和压延加工业
C19	皮革、毛皮、羽毛及其制品和制鞋业	C33	金属制品业
C20	木材加工和木、竹、藤、棕、草制品业	C34	通用设备制造业
C21	家具制造业	C35	专用设备制造业
C22	造纸和纸制品业	C36	汽车制造业、铁路、船舶、航空航天和其他运输设备制造业
C23	印刷和记录媒介复制业	C38	电气机械和器材制造业
C24	文教、工美、体育和娱乐用品制造业	C39	计算机、通信和其他电子设备制造业
C25	石油、煤炭及其他燃料加工业	C40	仪器仪表制造业
C26	化学原料和化学制品制造业	C41	其他制造业

已有的文献大多数采用气候变化专门委员会(IPCC)给出的排放因子计算各类制造业的碳排放,但中国碳排放数据库(CEADs)研究团队依据能耗数据计算排放因子发现,IPCC给出的排放因子比中国实际情况下的排放因子高40%,导致最后估算的碳排放比实际情况要高,因此,本文采用CEADs公布的中国制造业碳排放数据,其余数据均取自《中国统计年鉴》,考虑到样本数据的可得性,本文以1997~2019中国的29种制造业为研究对象,具体如下表2所示。

Table 2. Data sources and indicator explanation

表 2. 数据来源及指标说明

序号	主要数据	数据来源
1	制造业增加值	《中国统计年鉴》
2	制造业就业人数	《中国统计年鉴》
3	分行业制造业的能源消耗	CEADs 的能源清单
4	分行业二氧化碳排放量	CEADs 的能源清单
符号	指标	指标说明
ΔC_{EI}	能源结构强度效应	制造业各行业的单位能源的碳排放量对碳排放的影响
ΔC_{IG}	能源消费强度效应	制造业各行业的单位产值的能源消耗对碳排放的影响
ΔC_{GP}	经济发展效应	行业人均产值对碳排放的影响
ΔC_p	行业规模效应	行业就业人数对碳排放的影响

3. 结果与分析

3.1. 能源消费状况分析

从中国制造业能源消费的总体情况来看,2019年能源消费总量为3503.662164百万吨;原煤、焦炭、其他天然气以及生产过程分别占到化石能源消费总量的15.25%、36.46%、18.31%以及19.44%,表明我国制造业能源消费结构不均衡,高碳化特征显著,焦炭为主要燃料,能源结构优化空间较大。具体如下

图 2 所示,分行业来看,非金属矿物制品业能源消费占比为 52.89%,是原煤和生产过程的主要消费行业,黑色金属冶炼和压延加工业能源消费占比为 31.73%,是焦炭和其他燃气的主要消费行业,石油、煤炭及其他燃料加工业以及化学原料和化学制品制造业能源消费占比分别为 4.9%和 4.67%,消费的能源主要是原煤和焦炭。

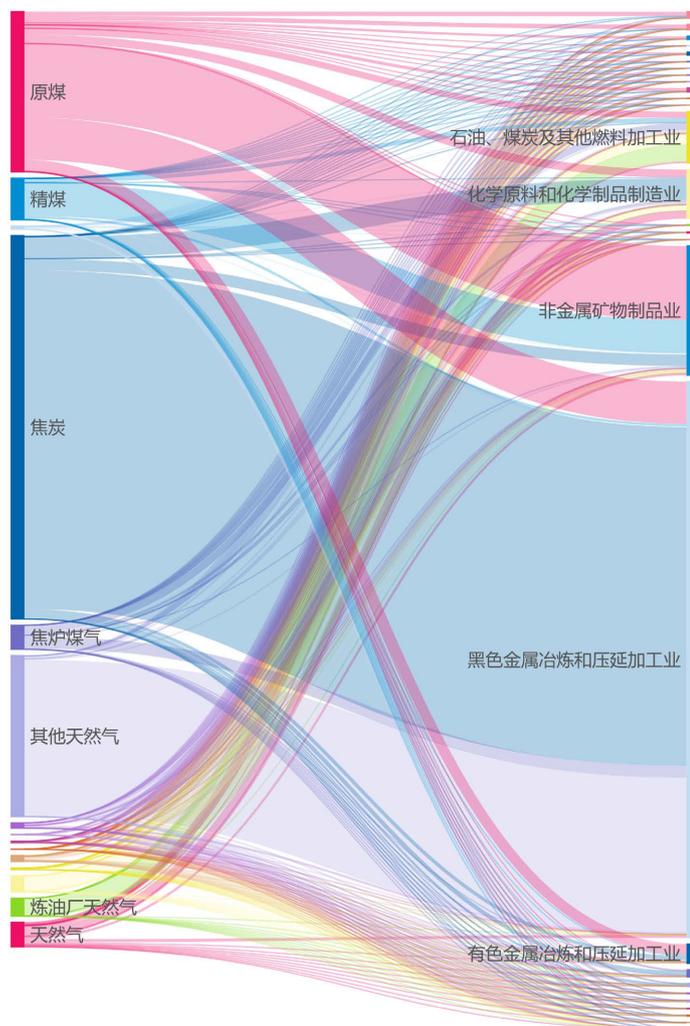


Figure 2. Energy consumption by category in China's manufacturing industry in 2019
图 2. 2019 年中国制造业细分行业分品种能源消费情况

3.2. 碳排放现状分析

2010~2019 年中国制造业碳排放量由 3397.84 百万吨上升至 3504.82 百万吨,增加了 106.98 百万吨(图 3)。其中,黑色金属冶炼和压延加工业的贡献量最大,是制造业碳排放总增量的 3.65 倍,石油、煤炭及其他燃料加工业和金属制品业 2 各行业的碳排放量同样表现为正增长,而其他 27 各行业的碳排放量表现为减少,降幅介于 0.93~37.21 百万吨之间。

结合中国制造业细分行业碳排放量(图 3)可以看出,中国制造业碳排放主要集中在黑色金属冶炼和压延加工业、非金属矿物制品业和石油、煤炭及其他燃料加工业等行业,近些年均呈现上升趋势。因此,对于改善碳排放总量高、碳排放强度大的行业能源消费结构是碳减排工作的重中之重。

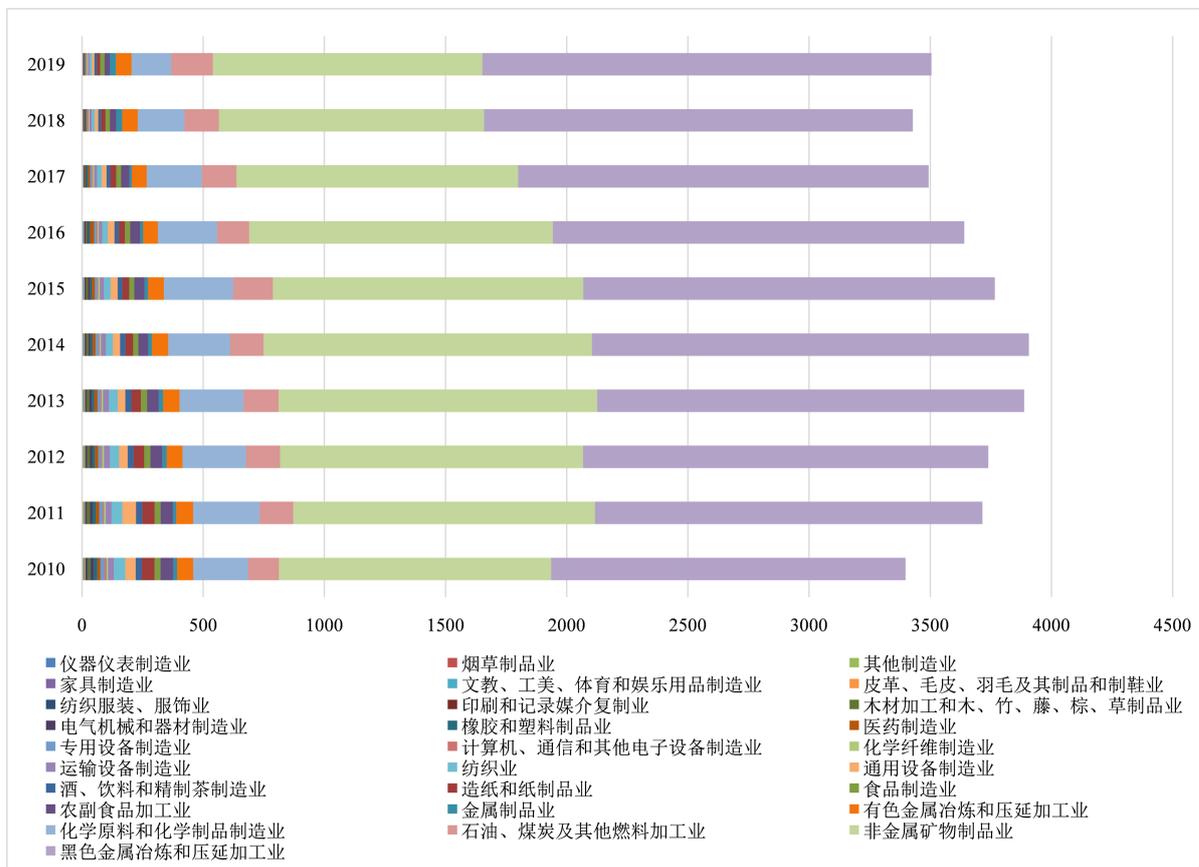


Figure 3. Carbon emissions from segmented industries in China’s manufacturing industry

图 3. 中国制造业细分行业碳排放量

3.3. 碳排放影响因素分解分析

1) 能源结构效应

2007~2011 年制造业能源结构对碳排放的贡献处于正向，从 2014 年开始，制造业能源结构对碳排放的抑制作用逐渐增强，在 2017 年抑制能力最大，在 2007~2016 年黑色金属冶炼和压延加工业对碳排放的贡献处于正向，尤其是 2011 年贡献最高，达到了 181.57 百万吨，2018 年对碳排放的贡献为 91.82 百万吨，其次是非金属矿物制品业对碳排放的贡献度高，在 2013 年贡献度最高，达到了 106.86 百万吨。化学原料和化学制品制造业在 2008 年-2017 年对对碳排放表现为抑制作用，尤其是 2016 年、2018 年和 2019 年减少了碳排放 42.25、43.01、35.58 百万吨。因此，能源结构比重的变化会影响碳排放量，制造业在发展过程中能源消费以煤炭为主，其排放系数较高，通过调整制造业能源消费结构，增加其他能源消费比例，将有助于减少行业碳排放。

2) 能源强度效应

能源强度在 2006~2008 年对于碳排放均表现出抑制作用，尤其是 2010 年和 2011 年减少了碳排放 389.58、385.78 百万吨，表明了中国制造业能源利用效率不断提高，对于节能技术的逐渐升级。分行业看，大部分行业对碳排放表现出抑制作用，石油、煤炭及其他燃料加工业只在 2015 年对碳排放表现出促进作用，贡献达到了 22.44 百万吨碳排放，黑色金属冶炼和压延加工业旨在 2009 年对碳排放表现出促进作用，贡献达到了 55.83 百万吨碳排放，这些子行业都是能源密集型产业，其他子行业同样只有个别年份对碳排放表现出促进作用，且均值在 2.1 百万吨。因此，制造业从能源强度方面降低碳排放具有较大的潜力。

3) 经济增长效应

从 2006 年到 2019 年, 经济增长效应在碳排放量排放方面表现先增加后减少的趋势, 在 2008 年由于经济增长效应所导致的碳排放量达到最大值 440.42 百万吨, 这是由于 2006 年之后中国加快城市化进程, 制造业飞速发展, 在 2011 年之后随着我国产业结构调整, 制造业从高速发展转变为中高速发展, 分行业来看, 黑色金属冶炼和压延加工业和非金属矿物制品业对碳排放贡献度最大, 在 2010 年由于经济增长效应所导致的碳排放量达到 138.4、181.91 百万吨, 其次, 在 2010 年, 石油、煤炭及其他燃料加工业和化学原料和化学制品制造业由于经济增长效应所导致的碳排放量为 16.28、28.33 百万吨, 其他子行业由于经济增长效应所导致的碳排放量都低于 10 百万吨。尽管中国经济增长对于制造业碳排放增加的促进作用降低, 但经济增长效应仍是制造业碳排放量增加的最主要因素。

4) 行业规模效应

行业规模效应对制造业排放量的增加表现为先促进作用后抑制作用, 2006 年到 2017 年, 行业规模效应对制造业排放量增加表现为促进作用, 在 2013 年达到最大值 531.81 百万吨, 2015 年到 2019 年表现为抑制作用在 2018 年, 减少碳排放量达到最大值 117.3 百万吨。分行业看, 非金属矿物制品业和黑色金属冶炼和压延加工业在 2006 年到 2013 年对碳排放量增加都处于促进作用, 在 2013 年达到最大值 269.28、360.42 百万吨, 在 2014 年到 2019 年对碳排放量增加都处于抑制作用, 在 2018 年抑制作用达到最大值 117.05、179.72 百万吨。

3.4. 碳排放与经济增长脱钩分析

针对中国制造业碳排放和经济发展的脱钩情况, 具体如下表 3 所示, 首先, 通过计算我国的 2005 年到 2019 年的制造业碳排放和以 2019 年为不变价的制造业增加值, 然后, 分别计算每年的碳排放增长率和制造业增加值增长率, 最后得到中国制造业 14 年的脱钩系数。总体而言, 中国制造业在 2006 年到 2014 年脱钩状态不稳定, 在 2009 年出现扩张负脱钩, 其他时间都为弱脱钩, 表现出经济稳定增长, 制造业碳排放量以较快的速度增长, 2015 年到 2018 年为强脱钩, 在 2015 年到 2018 年期间, 由于长期的产业结构调整, 制造业经济规模减少, 但碳排放仍然按照较快速率增长, 导致中国制造业碳排放与经济间出现长期的强脱钩状态, 随着政府对其重视, 环保政策措施由行政手段向多方面手段延伸, 出台了多项减排政策, 相继关停排放不达标、严重污染环境的制造行业。在 2019 年中国制造业碳排放与经济状态转为弱脱钩状态。

Table 3. Results of China's manufacturing carbon emissions and economic decoupling
表 3. 中国制造业碳排放与经济脱钩结果

年份	$\Delta C/C$	$\Delta G/G$	ε	脱钩状态
2006	0.104256341	0.184552048	0.56492	弱脱钩
2007	0.12078933	0.228215674	0.52928	弱脱钩
2008	0.04229704	0.17234894	0.24542	弱脱钩
2009	0.102219945	0.07391298	1.38298	扩张负脱钩
2010	0.052846032	0.183497777	0.28799	弱脱钩
2011	0.093356093	0.17485234	0.53391	弱脱钩
2012	0.00651941	0.082254527	0.07926	弱脱钩

Continued

2013	0.039598532	0.068577169	0.57743	弱脱钩
2014	0.005000836	0.075618114	0.06613	弱脱钩
2015	-0.035939992	0.034760196	-1.0339	强脱钩
2016	-0.03353087	0.058636469	-0.5718	强脱钩
2017	-0.040323179	0.116308185	-0.3467	强脱钩
2018	-0.01862417	0.094326279	-0.1974	强脱钩
2019	0.022335011	0.032037156	0.69716	弱脱钩

4. 结论与对策

本文采用 2005 年到 2019 年中国制造业分行业的碳排放量、能源消耗、增加值以及人口规模面板数据, 通过构建分行业 LMDI 分解模型对中国制造业碳排放量在各个时期的驱动因素进行了实证分析, 基于脱钩指数模型, 对影响碳排放和经济增长的脱钩关系进行了分析。

1) 从中国制造业能源消费的总体情况来看, 2019 年原煤、焦炭、其他天然气以及生产过程分别占到化石能源消费总量的 15.25%、36.46%、18.31%以及 19.44%, 焦炭是制造业能源消费的主要燃料, 能源消费格局的高碳化特征显著, 能源消费结构优化空间较大。因此, 调整能源结构, 增加可再生能源利用比例, 减轻化石能源消费对气候变化的影响, 推动煤炭高效清洁利用势在必行。

2) 中国制造业碳排放主要集中在黑色金属冶炼和压延加工业、非金属矿物制品业和石油、煤炭及其他燃料加工业等行业, 近些年均呈现上升趋势。因此, 对于改善碳排放总量高、碳排放强度大的行业能源消费结构是碳减排工作的重中之重。

3) 在能源结构效应方面, 制造业在发展过程中能源消费以煤炭为主, 其排放系数较高, 造成碳排放量增长迅速。能源强度方面, 中国制造业能源利用效率不断提高, 对于节能技术的逐渐升级。在经济增长方面, 经济增长效应仍是制造业碳排放量增加的最主要因素。在行业规模方面, 行业规模效应对制造业排放量的增加表现为先促进作用后抑制作用。因此, 根据不同分行业的特点, 选择合理的措施, 从而提高能源利用效率, 化解过剩产能, 提升价值创造力。

4) 中国制造业在 2006 年到 2014 年脱钩状态不稳定, 在 2009 年出现扩张负脱钩, 其他时间都为弱脱钩, 2015 年到 2018 年为强脱钩状态, 在 2019 年中国制造业碳排放与经济状态转为弱脱钩状态。因此, 制造业的强脱钩状态表明在此期间国家出台的节能减排政策是有效, 但是制造业与经济脱钩状态不够稳定性, 中国仍需进一步加大调整力度, 降低制造业的碳排放。

基金项目

国家自然科学基金地区项目, 编号(72261005), 数据驱动下考虑学习与恶化效应的绿色制造资源配置方法研究; 贵州省省级科技计划项目: 数据驱动下基于集成学习的云制造资源配置及其应用研究(编号: 黔科合基础-ZK [2021]一般 339); 贵州省省级科技计划项目: 数据驱动下基于深度计算的智慧云物流资源配置方法及其应用研究(编号: 黔科合基础-ZK [2022]一般 080); 贵州省哲学社会科学规划课题一般项目: 数字经济对贵州高质量发展的溢出效应及其传导机制研究(编号: 21GZYB09); 产业集聚对绿色发展的时空差异及传导机制研究(编号: 21GZYB10); 贵州大学“研究基地及智库”重点专项课题: 数字经济对贵州省新型工业化发展的影响要素及其路径研究(编号: GDZX2021031)。

参考文献

- [1] 刘小丽, 王永利. 基于 LMDI 分解的中国制造业碳排放驱动因素分析[J]. 统计与决策, 2022, 38(12): 60-63.
- [2] 孙振清, 张昊, 戴陈彦. 双碳目标下天津制造业碳排放双控与能源脱钩研究[J]. 理论与现代化, 2022(6): 76-92.
- [3] 王霞, 张丽君, 秦耀辰, 张晶飞. 中国制造业碳排放时空演变及驱动因素研究[J]. 干旱区地理, 2020, 43(2): 536-545.
- [4] 宋晓聪, 杜帅, 沈鹏, 谢明辉, 赵慈, 刘晓宇, 陈忱. 中国制造业 CO₂ 排放与经济脱钩关系解析[J]. 环境科学与技术, 2022, 45(7): 201-208.
- [5] 胡怡文, 杨晓华. 我国制造业经济增长与生态压力脱钩关系研究[J]. 特区经济, 2020(4): 39-42.
- [6] 胡剑波, 罗志鹏. 多情景模拟下我国制造业能源消费结构与碳达峰预测研究[J]. 江西社会科学, 2022, 42(4): 50-60+207.
- [7] 付华, 李国平, 朱婷. 中国制造业行业碳排放: 行业差异与驱动因素分解[J]. 改革, 2021(5): 38-52.
- [8] Tapio, P. (2005) Towards a Theory of Decoupling: Degrees of Decoupling in the EU and the Case of Road Traffic in Finland between 1970 and 2001. *Transport Policy*, **12**, 137-151. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2005.01.001>