

中国制造业碳排放演变的驱动效应 与“十四五”趋势研判

王圣云 任慧敏 李晶*

摘要:制造业是我国能源消耗最大、CO₂排放最突出的产业部门。本文应用LMDI分解法对中国制造业CO₂排放演变进行驱动分解,并应用情景分析法分析“十四五”时期中国制造业CO₂排放趋势。研究表明:1995–2016年中国制造业CO₂排放整体呈增长趋势,2015–2016年制造业CO₂排放出现了明显的下降;黑色金属冶炼和压延加工业、非金属矿物制品业、化学原料和化学品制造业、石油煤炭和其他燃料加工业是“十四五”时期制造业调控的“重”中之重;投资规模效应和能源结构效应对中国制造业CO₂排放一直表现为增量效应,投资效率效应和能源强度效应是抑制制造业CO₂排放的减量效应,产业结构效应的驱动作用和抑制作用交替出现,投资规模效应对中国制造业CO₂排放起到最主要的驱动作用;不同制造业部门CO₂排放变化的驱动效应存在明显差异;创新情景是“十四五”时期中国制造业CO₂减排的最优情景。本研究对实现从制造大国向制造强国迈进、推动“十四五”时期制造业高质量发展提供科学参考。

关键词:制造业;碳排放;驱动效应;情景分析;“十四五”

*王圣云,南昌大学中国中部经济社会发展研究中心,南昌大学经济管理学院,邮政编码:330031,电子信箱:wangshengyun@163.com;任慧敏,南昌大学经济管理学院,邮政编码:330031,电子信箱:rhuimin96@163.com;李晶(通讯作者),南昌大学中国中部经济社会发展研究中心,南昌大学经济管理学院,邮政编码:330031,电子信箱:sdu_lijing@163.com。

本文系江西省社会科学“十三五”(2018)规划项目“改革开放40年江西省区域经济差异格局演变、影响因素与协调发展对策研究”(18JL01);2019年江西省研究生优质课程和案例建设“生态经济与可持续发展”;国家统计局科学项目“2030年我国可持续发展目标统计监控研究”(2019LY40);2019年南昌大学研究生创新专项资金项目“高质量发展下中国制造业碳排放驱动因素分解与情景分析”(CX2019038)的阶段性成果。感谢匿名审稿人的宝贵意见,文责自负。

一、引言

制造业是我国CO₂排放最突出的产业部门。2017年我国制造业CO₂排放量占中国CO₂排放总量的比例高达53.27%(IPCC, 2019)。2018年中央经济工作会议强调我国要坚定不移地推动制造业高质量发展,并将其列为2019年我国经济发展的重点任务。在此背景下,中国制造业CO₂减排关系到中国“十四五”时期的高质量发展。

制造业CO₂排放相关研究成果主要集中在制造业CO₂排放的驱动效应分析以及趋势研判方面。其中,在CO₂排放驱动效应研究方面,Jiang(1997)最早应用因素分解模型分析了中国工业CO₂排放变化的驱动因素。之后关于中国制造业碳排放的研究成果开始不断涌现,一些研究试图揭示导致我国制造业CO₂排放总体变化的驱动因素(徐盈之等,2011;薛智韵,2011;王迪、聂锐,2012;王雪松等,2015;马晓明等,2016),还有一些研究对中国制造业分行业的CO₂排放进行了因素分解(刘清春等,2014;Shao et al., 2014a;邵帅等,2017)。在制造业CO₂排放趋势研判方面,Yan等(2015)分析了不同情景下2020年中国制造业碳强度和CO₂减排潜力;Wang等(2016)分析了不同情景下能源消费行业在2020年、2030年能否达成碳强度排放目标;张明志等(2017)预测了2025年中国制造业在积极情景、消极情景、基准情景下的碳排放。

上述文献评述可知:已有研究侧重于对中国制造业整体CO₂排放驱动因素的分解研究,有关制造业具体行业CO₂排放驱动效应分解研究方面存在行业分类不全或行业分类较粗等问题。与此同时,关于中国制造业CO₂减排的行业识别及其情景趋势研判方面的研究较为少见。本文的学术贡献在于揭示中国制造业及其行业碳排放变化的驱动效应,特别是对“十四五”时期我国推进《中国制造2025》战略实施以及推动制造业碳减排提供情景分析和参考。鉴于此,本文将应用LMDI分解法和情景分析法分析我国制造业及行业CO₂排放演变的驱动效应及其“十四五”发展趋势。

二、研究方法与数据来源

(一)研究方法

1. CO₂排放计算

依据IPCC(2019)修订的清单指南,中国制造业CO₂排放计算公式如下:

$$C = \sum_{i=1}^{28} \sum_{j=1}^{16} E_{ij} \cdot NCV_j \cdot CEF_j \cdot COF_j \cdot \frac{44}{12} \quad (1)$$

其中, C 表示CO₂排放量(万吨), E_{ij} 表示制造业第*i*个行业能源*j*的消费量(万吨或亿立方米), NCV_j 表示能源*j*的平均低位发热量(千焦/千克或千焦/立方米), CEF_j 表示能源*j*的含

碳量(千克/10⁶千焦), COF_j 表示能源 j 的氧化率。 $i(i=1, 2, 3, \dots, 28)$ 表示中国制造业 28 个行业, $j(j=1, 2, 3, \dots, 16)$ 表示《中国能源统计年鉴》统计的原煤、洗精煤等 16 种能源。

2. LMDI 分解

本文应用 LMDI 分解法对中国制造业 CO₂ 排放进行驱动分解, 具体分析投资规模、投资效率、产业结构、能源强度、能源结构和能源消费碳强度这些因素对中国制造业 CO₂ 排放的影响。选取驱动因素的说明如下: (1) 投资规模, 生产部门的资本规模对中国 CO₂ 排放有着最大的增量效应, 而资本深化所带来的碳排放在未来也将继续存在(陈诗一等, 2010); (2) 投资效率, 以投资效率为代表的要素配置效率对碳排放具有重要影响, 投资效率低下会导致碳排放的增加(邵帅等, 2017); (3) 产业结构, 产业结构的调整对降低我国碳排放有一定成效, 但仍需进一步优化(董峰等, 2015); (4) 能源强度, 能源强度是用于对比不同产业能源综合利用效率的最常用指标之一; (5) 能源结构, 减少化石能源消费是中国碳排放减少的主要驱动因素(张伟等, 2016; Shao 等, 2014b); (6) 能源消费碳强度, 能源消费碳强度在一定程度上会影响碳排放的核算。基于扩展的 Kaya 恒等式, 构造链式乘积公式(2)对中国制造业 CO₂ 排放演变的驱动效应进行分解(Ang, 2005)。

$$C = \sum_{ij} C_{ij} = \sum_{ij} I \cdot \frac{P}{I} \cdot \frac{P_i}{P} \cdot \frac{E_i}{P_i} \cdot \frac{E_{ij}}{E_i} \cdot \frac{C_{ij}}{E_{ij}} = \sum_{ij} I \cdot IE_i \cdot IS_i \cdot EI_i \cdot ES_{ij} \cdot CI_{ij} \quad (2)$$

$$\Delta C = C^T - C^0 = \Delta I + \Delta IE + \Delta IS + \Delta EI + \Delta ES + \Delta CI \quad (3)$$

公式(2)、(3)中, 0 和 T 表示基期 0 和 T 年, 驱动因素 I、IE、IS、EI、ES、CI 分别代表投资规模、投资效率、产业结构、能源强度、能源结构、能源消费碳强度。中国制造业 CO₂ 排放变化被分解为 ΔI 、 ΔIE 、 ΔIS 、 ΔEI 、 ΔES 、 ΔCI 之和。 ΔC 为中国制造业 CO₂ 排放变化值的总效应, ΔI 为投资规模效应, ΔIE 为投资效率效应, ΔIS 为产业结构效应, ΔEI 为能源强度效应, ΔES 为能源结构效应。需要指出的是, 能源的碳排放系数在一段时期内一般不会变动, 故假定 $\Delta CI=0$, 即能源消费碳强度效应为 0。

若效应值为正, 称之为增量效应; 反之, 称之为减量效应。公式(3)进一步展开为:

$$\Delta C = \sum_{ij} w_{ij} \cdot \ln \frac{I^T}{I^0} + \sum_{ij} w_{ij} \cdot \ln \frac{IE_i^T}{IE_i^0} + \sum_{ij} w_{ij} \cdot \ln \frac{IS_i^T}{IS_i^0} + \sum_{ij} w_{ij} \cdot \ln \frac{EI_i^T}{EI_i^0} + \sum_{ij} w_{ij} \cdot \ln \frac{ES_{ij}^T}{ES_{ij}^0} \quad (4)$$

$$\text{其中: } w_{ij} = \frac{C_{ij}^T - C_{ij}^0}{\ln C_{ij}^T - \ln C_{ij}^0}$$

(二) 数据来源

本文数据主要来自历年《中国统计年鉴》《中国能源统计年鉴》《中国工业统计年鉴》。依据《国民经济行业分类》(GB/T 4754-2017)将制造业划分为 28 个行业(表 1), 其中将汽车制造业, 铁路、船舶、航空航天和其他运输设备制造业合并为交通运输设备制造业, 并将其他制造

业,废弃资源综合利用业,金属制品、机械和设备修理业合并为其他制造业。

本文采用各行业能源消费的实物量,其中,1996–1999年能源消费数据采用《中国能源统计年鉴(2009)》修订值,2000–2012年能源消费数据采用《中国能源统计年鉴(2014)》修订值,2013–2016年的能源消费数据分别采用下一年的《中国能源统计年鉴》。本文根据陈诗一(2011)的方法估算增加值数据。为了数据的时序可比,制造业各行业的增加值和固定资本增加值均采用《中国统计年鉴》中的工业产品出厂价格指数平减为2000年不变价格。

表1 中国制造业28个行业

行业代码	行业	行业代码	行业
1	农副食品加工业	15	医药制造业
2	食品制造业	16	化学纤维制造业
3	酒、饮料和精制茶制造业	17	橡胶和塑料制品业
4	烟草制品业	18	非金属矿物制品业
5	纺织业	19	黑色金属冶炼和压延加工业
6	纺织服装、服饰业	20	有色金属冶炼和压延加工业
7	皮革、毛皮、羽毛及其制品和制鞋业	21	金属制品业
8	木材加工和木、竹、藤、棕、草制品业	22	通用设备制造业
9	家具制造业	23	专用设备制造业
10	造纸和纸制品业	24	交通运输设备制造业
11	印刷和记录媒介复制业	25	电气机械和器材制造业
12	文教、工美、体育和娱乐用品制造业	26	计算机、通信和其他电子设备制造业
13	石油、煤炭和其他燃料加工业	27	仪器仪表制造业
14	化学原料和化学制品制造业	28	其他制造业

注:根据《国民经济行业分类》(GB/T 4754–2017)划分。

三、中国制造业 CO₂排放的演变过程与驱动效应

(一)演变过程

1995–2016年中国制造业 CO₂排放整体呈增长趋势。制造业 CO₂排放量由1995年的14.16亿吨增加到2009年的35.45亿吨,再波动下降至2016年的30.35亿吨,年均增长率为1.14%。

从图1可以看出:“九五”时期,随着中国制造业增加值平稳增加,其 CO₂排放量略有降低。1996年国务院出台了《关于环境保护若干问题的决定》,这在一定程度上抑制了中国制造业 CO₂排放量。1997年东南亚金融危机对中国制造业造成冲击,使得1998年后中国制造业经

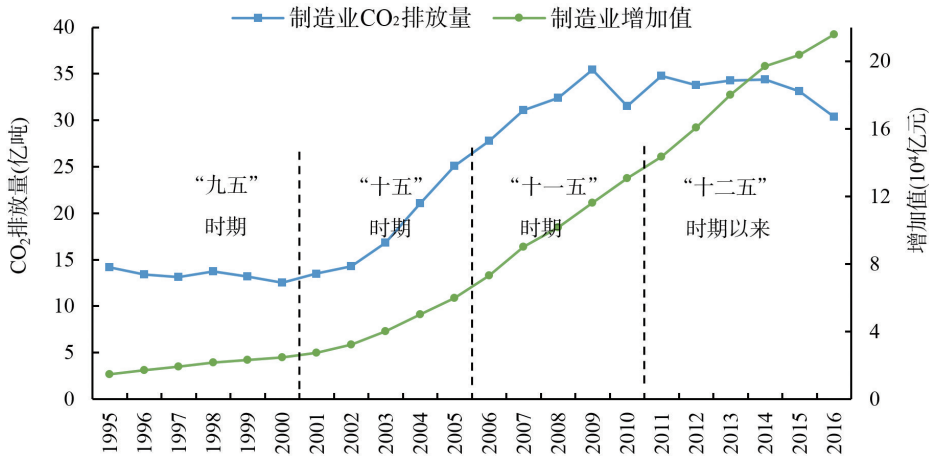


图1 中国制造业CO₂排放量和制造业增加值演化过程:1995-2016年

历短暂的休眠期,导致其CO₂排放量呈逐年减少趋势;“十五”时期,中国制造业CO₂排放量和制造业增加值同步增长。2001年后中国经济得到了快速增长,尤其是以高耗能为主的产业迅速发展使中国制造业CO₂排放量迅速增加;“十一五”时期,中国制造业CO₂排放量伴随着制造业增加值的增长而波动上升。2006年以来中国不断转变经济增长方式以及调整和优化产业结构,制造业CO₂排放量在2010年出现明显下降;“十二五”时期以来,降低CO₂排放强度作为国家“十二五”规划约束性指标纳入规划和政府考核,中国制造业CO₂排放量伴随着制造业增加值的进一步增长呈明显降低的态势。从中国“九五”到“十二五”四个五年规划时期制造业增加值与CO₂排放量关系可知,中国制造业发展质量不断提高,转型升级取得了一定成效。

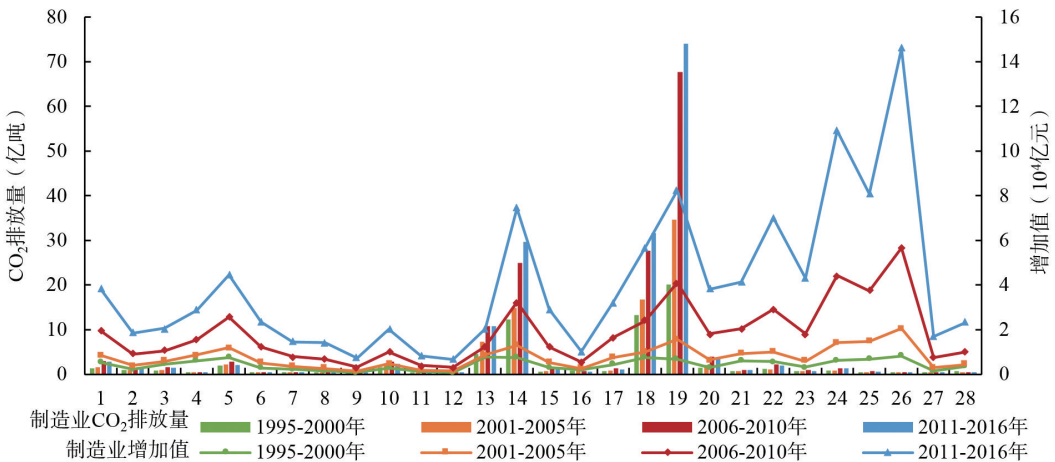


图2 中国制造业分行业CO₂排放量和增加值变化

再从细分行业来看(见图2),黑色金属冶炼和压延加工业,非金属矿物制品业,石油、煤炭和其他燃料加工业,化学原料和化学制品制造业的CO₂排放量尤为显著。其中,黑色金属冶炼和压延加工业的CO₂排放量最多且增速最快,其CO₂排放量从24.18亿吨增至76.99亿吨,而非

金属矿物制品业 CO₂排放量从 16.06 亿吨增至 37.63 亿吨。化学原料和化学制品制造业,石油、煤炭和其他燃料加工业的 CO₂排放量分别占中国制造业 CO₂排放总量的 17.16%和 6.28%,这说明减少黑色金属冶炼和压延加工业、非金属矿物制品业、化学原料和化学制品制造业、石油煤炭和其他燃料加工业这四个行业的 CO₂排放量是中国制造业实现碳减排的重要抓手。

(二) 驱动效应分解

从驱动效应来看(见图 3),投资规模效应、能源结构效应对中国制造业 CO₂排放起到正向的驱动作用,其中投资规模效应的正向驱动作用最为明显。值得注意的是,“十二五”时期以来能源结构效应对制造业 CO₂排放由正向驱动转负向驱动,表明能源结构的优化调整促进了碳减排。能源强度效应对中国制造业 CO₂排放起到抑制作用,但其减量效应不足以抵消投资规模效应的增量效应。这说明我国制造业以化石能源为主的消费结构加重了我国 CO₂排放。

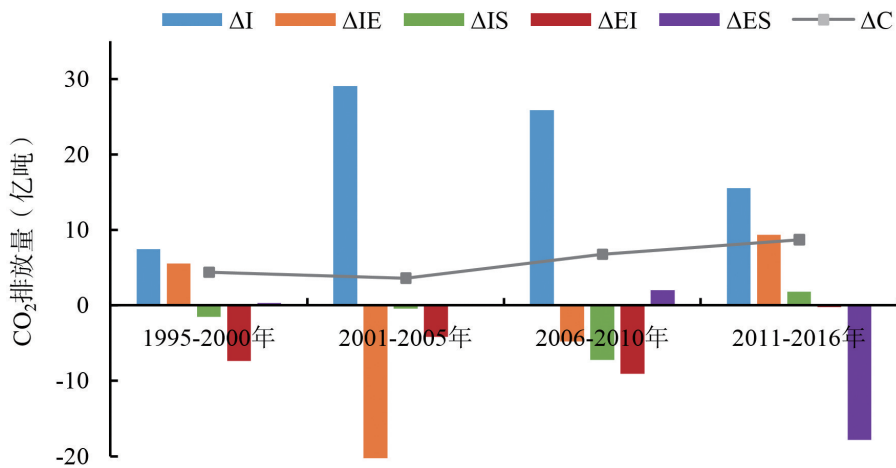


图3 中国制造业 CO₂排放驱动效应分解:1995-2016年

在正向驱动的效应中,投资规模效应是中国制造业 CO₂排放增加的决定性效应。在投资拉动型经济模式主导下,投资规模效应对中国制造业 CO₂排放的增量效应先增强后减弱,2001-2005年投资规模效应导致 29.06 亿吨的制造业 CO₂排放量,引致的 CO₂排放量最多。而能源结构效应对中国制造业 CO₂排放的增量效应逐渐减弱。在负向驱动的效应中,能源强度效应一直起着抑制中国制造业 CO₂排放的作用。投资效率效应在 1995-2000年和 2011-2016 年对制造业 CO₂排放起着驱动作用,而 2001-2010年起着抑制作用。产业结构效应对中国制造业 CO₂排放在 1995-2010年表现为减量效应,而在 2011-2016年则为增量效应,产业结构效应在中国制造业 CO₂减排方面的作用不稳定。

进一步对中国制造业分行业 CO₂排放的驱动效应进行分解可知(表 2),1995-2000年黑色金属冶炼和压延加工业的投资效率效应带来的 CO₂排放占整个制造业的 75.47%,化学原料和化学制品制造业的能源强度效应增加了 29.48%的制造业 CO₂排放。2001-2005年,黑色金属

冶炼和压延加工业、非金属矿物制品业的投资效率效应均由增量效应变为减量效应,对中国制造业 CO₂减排的贡献率分别达 41.58%、20.75%。黑色金属冶炼和压延加工业的能源强度效应抑制了 15.33%的制造业 CO₂排放,其产业结构效应却增加了 54.66%的制造业 CO₂排放。2006–2010年,非金属矿物制品业的投资效率效应和能源强度效应分别抑制了中国制造业 21.11%和 21.76%的 CO₂排放。化学原料和化学制品制造业的能源结构效应减少了中国制造业 19.18%的 CO₂排放。2011–2016年黑色金属冶炼和压延加工业的投资效率效应驱动了 26.21%的制造业 CO₂排放,其能源强度效应则抑制了 32.59%的制造业 CO₂排放。

上述分析可知,1995–2016年投资规模效应是驱动中国制造业 CO₂排放的首位效应,能源结构效应次之。产业结构效应对中国制造业 CO₂排放的驱动较弱,能源强度效应则是抑制中国制造业 CO₂排放的第一效应。投资效率效应是促进中国制造业 CO₂减排的主要效应。

表 2 中国制造业分行业 CO₂排放驱动效应分解 (单位:亿吨)

行业 代码	1995–2000年				2001–2005年				2006–2010年				2011–2016年			
	ΔIE	ΔIS	ΔEI	ΔES	ΔIE	ΔIS	ΔEI	ΔES	ΔIE	ΔIS	ΔEI	ΔES	ΔIE	ΔIS	ΔEI	ΔES
1	0.071	0.056	-0.236	-0.014	-0.412	-0.062	-0.037	0.002	-0.239	-0.130	-0.154	0.007	-0.183	-0.020	-0.368	0.018
2	0.007	0.078	-0.258	0.015	-0.198	-0.033	-0.066	-0.004	-0.084	-0.079	-0.095	0.006	-0.111	0.001	-0.163	0.014
3	-0.039	0.030	-0.175	0.001	-0.164	-0.080	0.034	-0.002	-0.137	-0.142	-0.058	0.005	-0.070	-0.006	-0.206	0.013
4	-0.045	-0.011	-0.011	0.003	-0.030	-0.011	-0.031	-0.003	-0.003	-0.010	-0.018	0.002	0.012	-0.003	-0.023	0.003
5	-0.138	-0.009	-0.404	0.003	-0.544	-0.071	-0.088	-0.014	-0.019	-0.213	-0.232	0.006	-0.023	0.007	-0.438	0.018
6	-0.048	0.001	-0.009	0.001	-0.055	-0.009	-0.005	-0.002	-0.024	-0.022	-0.041	0.004	-0.025	-0.010	-0.046	0.000
7	-0.050	-0.003	-0.020	0.002	-0.028	-0.006	-0.006	-0.001	-0.007	-0.014	-0.038	0.001	-0.022	-0.006	-0.019	0.000
8	0.051	0.032	-0.084	0.001	-0.123	-0.019	0.008	-0.001	-0.060	-0.024	-0.059	0.005	-0.033	0.000	-0.113	0.004
9	-0.009	0.001	-0.010	0.001	-0.016	-0.001	-0.013	0.001	-0.008	-0.003	-0.010	0.004	-0.009	0.000	-0.016	0.002
10	-0.200	0.018	-0.253	-0.004	-0.291	-0.052	-0.117	0.001	-0.084	-0.186	-0.124	0.005	-0.003	-0.018	-0.479	0.003
11	-0.014	-0.005	-0.007	0.001	-0.017	-0.004	-0.015	0.000	-0.004	-0.006	-0.012	0.004	-0.006	0.000	-0.004	0.002
12	-0.013	0.001	-0.004	0.001	-0.013	-0.002	-0.005	0.000	-0.003	-0.005	-0.012	0.002	-0.025	0.000	0.009	-0.001
13	0.469	-0.313	0.277	-0.028	-1.547	-0.824	0.273	-0.022	-0.511	-0.773	-0.513	-0.054	0.988	-0.139	-0.904	-0.288
14	1.436	0.004	-2.162	0.152	-2.261	-0.532	0.100	-0.145	-0.709	-0.330	-2.811	-0.086	0.383	0.745	-3.152	-0.071
15	-0.115	0.036	-0.173	-0.006	-0.118	-0.032	-0.038	0.003	-0.050	-0.044	-0.101	0.006	-0.043	0.035	-0.156	0.012
16	0.193	0.044	-0.087	0.012	-0.030	-0.041	-0.087	-0.026	-0.011	-0.047	-0.072	0.020	0.031	0.000	-0.060	0.002
17	-0.189	0.039	-0.168	0.005	-0.131	-0.038	-0.028	-0.004	-0.078	-0.084	-0.103	0.008	-0.017	0.006	-0.175	0.012
18	0.612	-0.403	-1.556	-0.103	-4.943	-0.979	0.367	-0.017	-3.028	-0.424	-2.527	-0.056	0.229	0.213	-3.276	-0.647
19	4.202	-1.113	-0.971	0.238	-8.668	2.457	-3.757	0.101	1.035	-4.457	-0.976	0.917	8.092	0.862	-6.455	0.802
20	0.042	0.037	-0.177	-0.002	-0.352	-0.029	-0.081	-0.003	-0.337	-0.194	-0.291	0.036	0.276	0.182	-0.618	0.073
21	-0.048	0.006	-0.113	0.009	-0.196	-0.040	-0.064	-0.008	-0.101	-0.052	-0.079	0.016	-0.024	0.007	-0.102	0.005
22	-0.162	-0.033	-0.209	-0.017	-0.328	0.002	-0.075	0.006	-0.117	0.021	-0.240	0.028	-0.037	-0.031	-0.496	0.045
23	-0.112	-0.027	-0.114	0.001	-0.122	0.002	-0.097	0.001	-0.065	0.007	-0.105	0.030	-0.037	-0.013	-0.115	0.025
24	-0.025	-0.001	-0.111	0.003	-0.144	-0.002	-0.138	0.013	-0.026	0.045	-0.207	0.026	0.016	0.006	-0.252	-0.015
25	-0.041	0.014	-0.081	0.003	-0.082	0.001	-0.030	-0.001	-0.110	-0.029	-0.080	0.022	0.012	0.005	-0.107	0.000
26	-0.043	0.012	-0.039	0.009	0.041	0.015	-0.043	-0.002	-0.013	-0.019	-0.050	0.022	0.007	0.008	-0.043	0.014
27	-0.008	0.004	-0.018	0.001	-0.007	0.001	-0.011	0.000	-0.009	-0.006	-0.007	0.006	0.000	0.000	-0.010	0.001
28	-0.217	-0.018	-0.160	-0.004	-0.005	-0.026	-0.094	0.000	-0.014	-0.005	-0.022	0.015	-0.015	0.002	-0.042	-0.005

注:公式(4)中对于投资规模效应的分解对象为制造业整体,故此表未展示分行业的投资规模效应,各效应贡献率=效应驱动值/ΔC;表格中为0的驱动效应是统一保留三位小数的结果,驱动效应不是0。

四、“十四五”时期中国制造业CO₂排放的趋势研判

(一)情景选取

本文基于1995–2016年各驱动效应的演化趋势、现有实施的国家政策,根据《中国制造2025》面向“十四五”时期,以2020–2025年作为情景分析的考察期,设定了中国制造业CO₂减排趋势的三种情景:

基准情景:本文依据中国制造业CO₂排放的演化过程,设定基准情景会延续1995–2016年的发展趋势。2020–2025年各驱动因素变化率的最小值、中间值和最大值依据1995–2000年、2001–2005年、2006–2010年、2011–2016年的年均变化率估算。各驱动因素潜在变化率的最大值和最小值选取上述四个时期的最大值和最小值。在基准情景下,投资规模仍将保持较快增速,煤炭为主的能源结构调整较缓慢,驱动因素潜在变化率选取中间值(邵帅等,2017)。

绿色情景:《中国制造2025》明确指出到2025年单位工业增加值CO₂排放量比2015年下降40%。据表3,2016年我国食品制造业,印刷和记录媒介复制业,石油、煤炭和其他燃料加工业,黑色金属冶炼和压延加工业,金属制品业共5个行业没有实现《中国制造2025》的CO₂减排目标,在绿色情景下本文将这5个行业作为“十四五”时期重点调控的制造业部门。参考《中国制造2025》中规模以上单位增加值能耗指标的降幅,令5个行业的能源消费量比基准情景下降18%。

创新情景:我国制造业如何扭转大而不强、自主创新能力弱以及创新体系不完善等短板对于制造业高质量发展至关重要。本文针对我国制造业CO₂的重点行业,即石油、煤炭和其他燃料加工业,化学原料和化学制品制造业,医药制造业,化学纤维制造业,橡胶和塑料制品业,非金属矿物制品业,黑色金属冶炼和压延加工业,有色金属冶炼和压延加工业,金属制品业,通用设备制造业,专用设备制造业,交通运输设备制造业,电气机械和器材制造业,计算机、通信和其他电子设备制造业,仪器仪表制造业,其他制造业等16个重工业行业,同时参考《中国制造2025》中规模以上单位工业增加值能耗指标的降幅,令这些重工业行业能源消费量比基准情景降低18%。

(二)趋势研判

1.“十四五”时期中国制造业CO₂排放趋势研判

依据1995–2016年中国制造业CO₂排放数据,本文对2017–2025年中国制造业CO₂排放量进行情景预测。从图4可知,基准情景下我国制造业的CO₂排放量将最多,制造业CO₂排放年均增长率为6.34%,这意味着基准情景下我国“十四五”时期制造业碳排放形势比较严峻。绿色情景下中国制造业CO₂排放量将略低于基准情景,比基准情景低5.86%。而在创新情景下中国制造业CO₂排放量最低,比基准情景低9.58%,比绿色情景低3.91%。

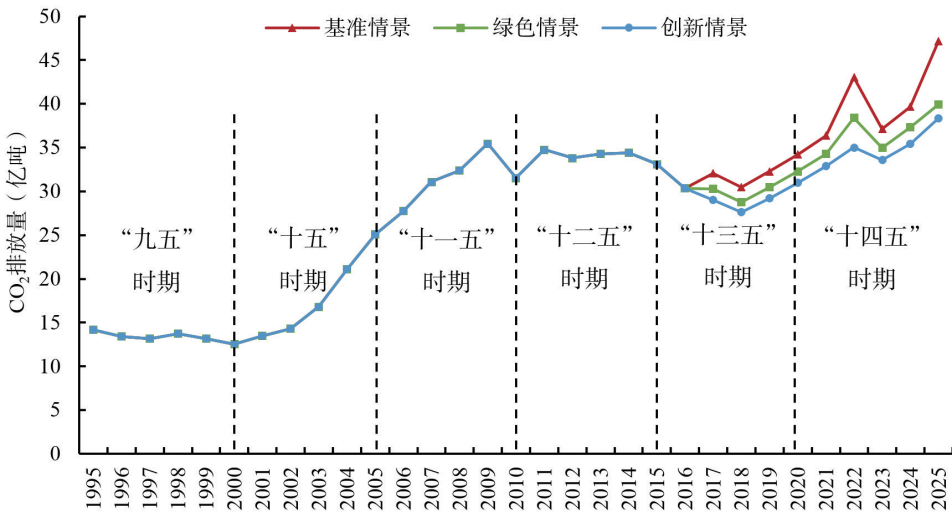


图4 中国制造业CO₂排放的情景预测

表3 三种情景下2025年中国制造业各行业CO₂排放量和CO₂强度

行业代码	CO ₂ 强度 减排目标值	基准情景		绿色情景		创新情景	
		CO ₂ 排放量	CO ₂ 强度	CO ₂ 排放量	CO ₂ 强度	CO ₂ 排放量	CO ₂ 强度
1	0.411	5007.13	0.339	5007.13	0.339	5007.13	0.339
2	0.429	4138.70	0.493	3724.83	0.443	4138.70	0.493
3	0.378	3358.30	0.349	3358.30	0.349	3358.30	0.349
4	0.011	77.14	0.005	77.14	0.005	77.14	0.005
5	0.236	2097.89	0.125	2097.89	0.125	2097.89	0.125
6	0.077	460.08	0.054	460.08	0.054	460.08	0.054
7	0.079	321.35	0.066	321.35	0.066	321.35	0.066
8	0.229	830.81	0.102	830.81	0.102	830.81	0.102
9	0.072	196.58	0.056	196.58	0.056	196.58	0.056
10	0.525	2509.92	0.263	2509.92	0.263	2509.92	0.263
11	0.091	495.53	0.106	446.21	0.096	495.53	0.106
12	0.148	491.53	0.130	442.38	0.117	491.53	0.130
13	3.492	32678.46	4.944	29410.62	4.449	26469.56	4.005
14	2.618	89616.8	2.122	89616.80	2.122	80655.12	1.909
15	0.258	3685.13	0.182	3685.13	0.182	3316.61	0.164
16	0.387	1125.41	0.276	1125.41	0.276	1012.87	0.248
17	0.173	1699.56	0.114	1699.56	0.114	1529.60	0.102
18	3.198	81196.77	2.525	81196.77	2.525	73077.10	2.273
19	5.155	267276.60	5.320	240549.2	4.788	240549.20	4.788
20	0.574	13629.76	0.497	13629.76	0.497	12266.79	0.447
21	0.118	2673.36	0.120	2406.03	0.108	2406.03	0.108
22	0.138	4493.07	0.126	4493.07	0.126	4043.76	0.113
23	0.085	1062.45	0.053	1062.45	0.053	956.20	0.047
24	0.056	3061.34	0.054	2755.20	0.049	2755.20	0.049
25	0.030	583.08	0.013	583.08	0.013	524.77	0.012
26	0.009	669.05	0.005	669.05	0.005	602.15	0.005
27	0.018	126.79	0.012	126.79	0.012	126.79	0.012
28	0.057	464.49	0.039	464.49	0.039	464.49	0.039
制造业	1.049	524027.70	0.830	492946	0.780	470741.5	0.750

注:CO₂排放量单位为万吨,CO₂强度单位为万吨/亿元。

从2025年我国制造业28个行业CO₂排放量及CO₂排放强度的情景比较来看(表3),三种情景下2025年中国制造业大多数行业的CO₂排放强度均可达到《中国制造2025》提出的减排目标值,创新情景下最优。基准情景下,食品制造业,印刷和记录媒介复制业,石油、煤炭和其他燃料加工业,黑色金属冶炼和压延加工业,金属制品业5个行业未实现《中国制造2025》的减排目标。绿色情景下,食品制造业,印刷和记录媒介复制业,石油、煤炭和其他燃料加工业3个行业将未完成《中国制造2025》的减排目标,食品制造业、印刷和记录媒介复制业将接近CO₂减排目标,但石油、煤炭和其他燃料加工业仍距减排目标较远。创新情景下,食品制造业,印刷和记录媒介复制业,石油、煤炭和其他燃料加工业将难以完成《中国制造2025》提出的减排目标,其中石油、煤炭和其他燃料加工业的CO₂排放强度在绿色情景基础上略有降低。

2.“十四五”时期中国制造业CO₂排放驱动效应态势比较

利用LMDI分解法对三种情景下2025年中国制造业CO₂排放进行驱动效应分解的比较分析。从图5来看,三种情景下中国制造业CO₂排放的各驱动效应特征相似但存在一些差异。投资规模效应和能源结构效应对中国制造业CO₂排放将一直表现为增量效应,而投资效率效应、产业结构效应、能源强度效应对中国制造业CO₂排放将会表现为减量效应。从情景比较来看,投资规模效应带来的CO₂排放量在基准情景下将为46.47亿吨,而在创新情景下将为36.70亿吨。能源结构效应的CO₂促增作用在绿色情景和创新情景将均有下降。投资效率效应带来的制造业CO₂排放量在基准情景下将降低1.66亿吨,而在创新情景下将减少9.65亿吨。能源强度效应在创新情景下比在基准情景下将减少1.25亿吨的制造业CO₂排放量。

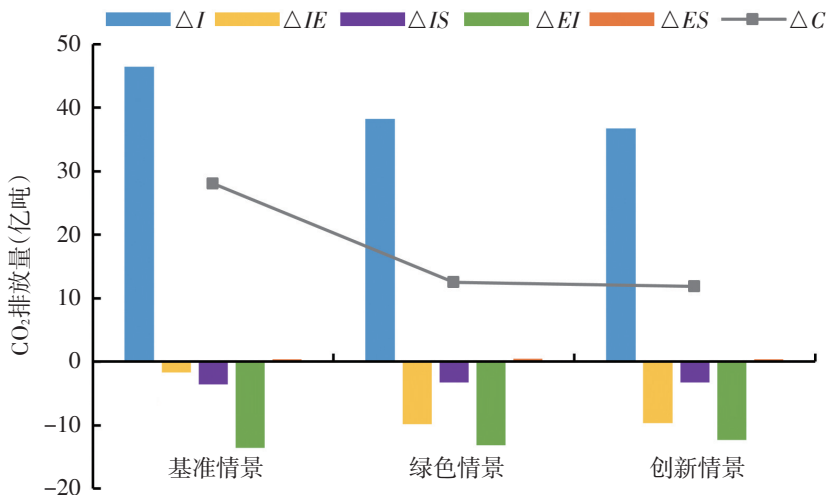
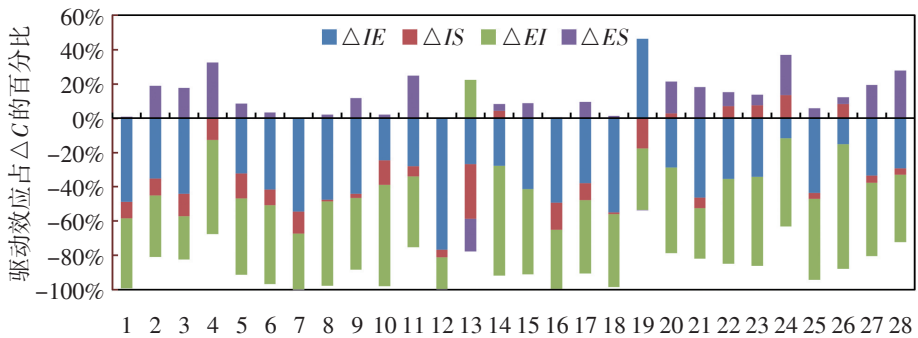


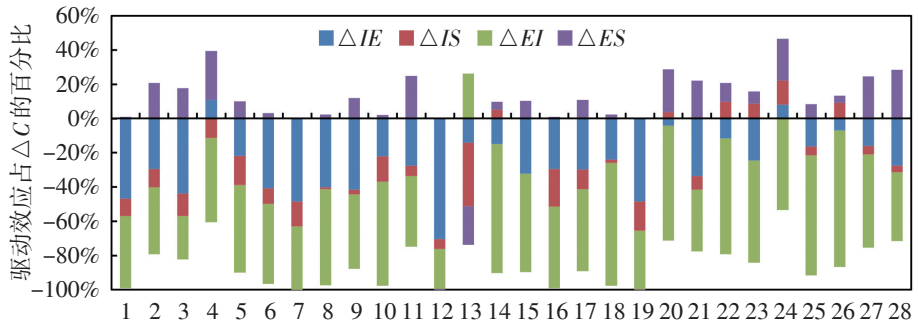
图5 三种情景下中国制造业CO₂排放演化的驱动效应分解预测:2020-2025年

对比分析不同情景下中国制造业各行业CO₂排放的驱动效应模式,重点分析对制造业CO₂排放驱动作用和抑制作用较明显的行业(图6)。由图6可以看出:基准情景下,黑色金属冶炼和压延加工业的CO₂排放将由投资效率效应驱动,同时也将受到产业结构效应、能源强

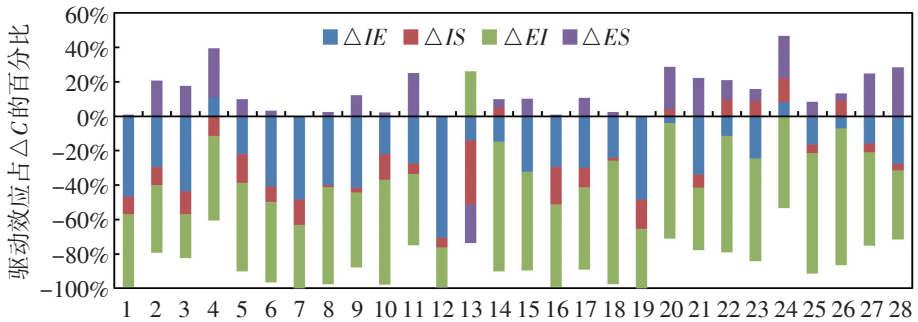
度效应、能源结构效应共同抑制;化学原料和化学制品制造业的CO₂排放将由产业结构效应和能源结构效应共同驱动,同时也受到投资效率效应和能源强度效应的双重抑制。绿色情景下,黑色金属冶炼和压延加工业的CO₂排放将受到投资效率效应、产业结构效应、能源强度效应、能源结构效应共同抑制;能源强度效应将驱动石油、煤炭和其他燃料加工业的CO₂排放,且投资效率效应、产业结构效应、能源结构效应将共同抑制其CO₂排放。创新情景下,有色金属冶炼和压延加工业的CO₂排放将由产业结构效应和能源结构效应驱动,且将受到投资效率效应和能源强度效应双重抑制;石油、煤炭和其他燃料加工业的CO₂排放将由能源强度效应驱动,投资效率效应、产业结构效应、能源结构效应将共同抑制其CO₂排放。



(a)基准情景



(b)绿色情景



(c)创新情景

图6 三种情景下中国制造业分行业CO₂排放演化驱动分解:2020-2025年

五、研究与建议

本文分析了1995–2016年中国制造业及各行业CO₂排放的动态演变过程和驱动效应,并对“十四五”时期三种发展情景下中国制造业CO₂排放进行了趋势研判。得出以下研究结论:

1995–2016年中国制造业CO₂排放整体呈增长趋势。制造业CO₂排放由1995年的14.16亿吨增加到2016年的30.35亿吨,2015–2016年制造业CO₂排放出现了明显的下降。这一研究结论表明政府在制造业节能减排的相关政策初显成效。黑色金属冶炼和压延加工业、非金属矿物制品业、化学原料和化学品制造业、石油煤炭和其他燃料加工业是“十四五”时期制造业调控的“重”中之重。

投资规模效应和能源结构效应对中国制造业CO₂排放一直表现为正向驱动作用,而投资效率效应和能源强度效应是抑制制造业CO₂排放的主要效应。投资规模效应起到最主要的驱动作用,而投资效率效应对制造业CO₂减排的贡献最大。产业结构效应的驱动作用和抑制作用交替出现。

创新情景是中国制造业CO₂减排的最优情景,推动产业创新比促进产业绿色发展在“十四五”时期对我国制造业高质量发展更为紧要。三种情景下中国制造业的CO₂排放强度均能完成《中国制造2025》的减排目标。基准情景下,食品制造业,印刷和记录媒介复制业,石油、煤炭和其他燃料加工业,黑色金属冶炼和压延加工业,金属制品业未实现碳减排目标。创新情景下,食品制造业,印刷和记录媒介复制业,石油、煤炭和其他燃料加工业未达成减排目标。

上述研究结论有以下政策启示:

第一,推动我国CO₂减排的关键在制造业,制造业CO₂减排的重点是高能耗的重工业行业部门。高质量发展从根本上要求转变制造业粗放式的增长模式,不仅要依托先进制造业产业带动传统产业的技术改造,发挥先进制造业的带动效应,而且要发挥各类制造业产业之间的联动效应,逐步形成制造业行业错位发展的新格局。

第二,要大力提升我国制造业的创新驱动能力,以创新驱动中国制造业转型升级,引领我国制造业动能切换和提质增效。本文建议“十四五”时期可从以下两方面着手:一是要坚定不移地将“绿色制造”“智能制造”作为我国制造业提质增效的主攻方向;二是要激发我国制造业企业之间、部门之间、地区之间的协同合作和交流创新。

第三,也要进一步协调好制造业增长与环境质量的关系,使之成为我国深入推进CO₂减排和建设美丽中国的着力点。有必要针对我国制造业能源消费现状出台更为有效的CO₂排放管控政策。

参考文献:

- [1]陈诗一. 中国工业分行业统计数据估算:1980-2008[J]. 经济学(季刊),2011,(3):735-776.
- [2]陈诗一,严法善,吴若沉. 资本深化、生产率提高与中国二氧化碳排放变化——产业、区域、能源三维结构调整视角的因素分解分析[J]. 财贸经济,2010,(12):111-119.
- [3]董锋,杨庆亮,龙如银,程钰博. 中国碳排放分解与动态模拟[J]. 中国人口·资源与环境,2015,25(04):1-8.
- [4]刘清春,孔令群,安泽扬. 中国制造业能源相关的碳排放因素分析[J]. 中国人口·资源与环境,2014,24(S2):14-18.
- [5]马晓明,孙璐,胡广晓,计军平. 中国制造业碳排放因素分解——基于制造业内部结构变化的研究[J]. 现代管理科学,2016,(10):64-66.
- [6]邵帅,张曦,赵兴荣. 中国制造业碳排放的经验分解与达峰路径——广义迪氏指数分解和动态情景分析[J]. 中国工业经济,2017,(4):44-63.
- [7]王迪,聂锐. 中国制造业碳排放的演变特征与影响因素分析[J]. 干旱区资源与环境,2012,26(9):132-136.
- [8]王雪松,任胜钢,袁宝龙,付祥. 基于LMDI方法的我国制造业发展与CO₂排放脱钩关系研究[J]. 中南大学学报(社会科学版),2015,21(4):138-144.
- [9]徐盈之,胡永舜. 中国制造业部门碳排放的差异分析:基于投入产出模型的分解研究[J]. 软科学,2011,25(04):69-75.
- [10]薛智韵. 中国制造业CO₂排放估计及其指数分解分析[J]. 经济问题,2011,(3):76-79.
- [11]张明志,孙婷,李捷. 中国制造2025的碳减排目标会实现吗[J]. 广东财经大学学报,2017,32(4):4-14+23.
- [12]张伟,朱启贵,高辉. 产业结构升级、能源结构优化与产业体系低碳化发展[J]. 经济研究,2016,51(12):62-75.
- [13]Ang, B. W. The LMDI Approach to Decomposition Analysis: A Practical Guide[J]. Energy Policy, 2005, 33(7): 867-871.
- [14]IPCC. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories[R]. 2019.
- [15]Jiang, M. CO₂ Release of Main Industries in China: Situation and Options[J]. Energy Conversion and Management, 1997, (38): S673-S678.
- [16]Lin, B. Q and L. Kui. Using LMDI to Analyze the Decoupling of Carbon Dioxide Emissions from China's Heavy Industry[J]. Sustainability, 2017, 9(7): 1198.
- [17]Shao, C. F., Y. Guan, Z. Wan, et al. Performance Analysis of CO₂ Emissions and Energy Efficiency of metal Industries in China[J]. Journal of Environmental Management, 2014a, (134): 30-38.
- [18]Shao, C. F., Y. Guan, Z. Wan, et al. Performance and Decomposition Analyses of Carbon Emissions from Industrial Energy Consumption in Tianjin, China[J]. Journal of Cleaner Production, 2014b, (64): 590-601.
- [19]Wang, J., T. Zhao, and Y. N. Wang. How to Achieve the 2020 and 2030 Emissions Targets of China: Evidence from High, Mid and Low Energy-consumption Industrial Sub-sectors[J]. Atmospheric Environment, 2016, (145): 280-292.
- [20]Yan, X and Y. Fang. CO₂ Emissions and Mitigation Potential of the Chinese Manufacturing Industry[J]. Journal of Cleaner Production, 2015, (103):759-773.
- [21]Zhang, C., B. Su, K. L. Zhou, et al. Decomposition Analysis of China's CO₂ Emissions (2000-2016) and Scenario Analysis of Its Carbon Intensity Targets in 2020 and 2030[J]. Science of the Total Environment, 2019, (668): 432-442.

Driving Effects of CO₂ Emissions Evolution in Chinese Manufacturing Industry and the Trend of the 14th Five-year Plan

Wang Shengyun^{a,b}, Ren Huimin^b and Li Jing^{a,b}

(a: Research Center of Central China Economic and Social Development, Nanchang University;

b: School of Economics and Management, Nanchang University)

Abstract: Manufacturing industry is the industrial sector with the largest energy consumption and the most prominent CO₂ emissions in China. Using LMDI method to decompose the driving effects of Chinese manufacturing industry CO₂ emissions, and the application of scenario analysis to analyze the 14th Five-Year Plan period development trend of Chinese manufacturing industry carbon emissions. The results show that: Chinese manufacturing CO₂ emissions overall showed an increasing trend in 1995–2016, and manufacturing CO₂ emissions in 2015–2016 showed a significant decline; Ferrous metal smelting and rolling processing industry, non-metallic mineral products industry, chemical raw materials and chemical manufacturing industry, petroleum and other fuel processing industry are the top priorities of manufacturing control during the 14th five-year plan period; the investment scale effect and energy structure effect have always been positive driving effects on Chinese manufacturing CO₂ emissions, the investment efficiency effect and energy intensity effect are the main effects to restrain the CO₂ emissions of manufacturing industry, both the driving and restraining effects of industrial structure effect appear alternately, and the investment scale effect plays the most important driving role on the CO₂ emissions of Chinese manufacturing industry; There are obvious differences in the driving effects of CO₂ emission changes in different manufacturing sectors; Innovation scenario is the best scenario and the CO₂ lowest emissions for Chinese manufacturing industry during the 14th Five-Year Plan period. It provides scientific reference for the transition from a big manufacturing country to a power manufacturing country and the high quality development of manufacturing industry in the 14th Five-Year Plan period.

Keywords: Manufacturing Industry; CO₂ Emissions; Driving Effects; Scenario Analysis; The 14th Five-year Plan

JEL Classification: Q54

(责任编辑: 卢玲)