

浙江省 2001—2021 年经济发展与碳锁定形势分析

宋静俏,沈碧君,汪伟峰,许丹丹,冀建树,何佳宝,周 军

浙江省宁波生态环境监测中心,浙江 宁波 315000

摘要:2001年以来的20余年是浙江省等一批国内较发达地区从工业起飞期递进到工业成熟化发展调整期的转型期,也是本地工业结构从集中于化石能源系统为核心的高碳产业逐步向多元产业发展的调整期。厘清经济增长对碳排放量增加的依赖程度及其变化趋势,即经济增长的碳锁定形势,对于从碳排放角度深入分析解读浙江省自2001年以来20余年的经济增长内在机理,同时探讨后疫情时代经济复苏情况下可能面临的减排难题,具有重要参考价值。通过重新核算2001—2021年浙江省与全国年碳排放量,在Tapio脱钩模型下分4个发展阶段比较研究了浙江省与全国的碳锁定程度变化趋势,发现浙江省年碳排放量整体呈现逐渐达峰的良好态势,但新冠疫情期间生产需求的增长又导致近期变化趋势出现反弹。因此,经济发展形势与产业结构是影响碳排放变化趋势的最关键因素。同时,展望了未来碳排放总量核算与量化分析技术的发展方向。

关键词:碳排放核算;碳锁定效应;脱钩模型;产业结构转型

中图分类号:X22 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-6002(2025)01-0001-09

DOI:10.19316/j.issn.1002-6002.2025.01.01

Analysis of Economic Development and Carbon Lock-in Situation of Zhejiang Province from 2001 to 2021

SONG Jingqiao, SHEN Bijun, WANG Weifeng, XU Dandan, JI Jianshu, HE Jiabao, ZHOU Jun

Ningbo Ecology and Environment Monitoring Center of Zhejiang Province, Ningbo 315000, China

Abstract: Over the past two decades since 2001, Zhejiang Province and other more developed areas in China have undergone a period of transformation from the industrial take-off period to the industrial mature development and adjustment period, and the local industrial structure has gradually shifted from the high-carbon industry centered on the fossil energy system to a more diversified scenario. Evaluating the reliance trend of economic growth on the increase of carbon emissions and its changing trend, that is, the form of carbon lock-in of economic growth, is of great value for analyzing the intrinsic mechanisms of Zhejiang's economic growth in the past 20 years from a carbon emissions perspective, as well as discussing the potential challenges of emission reduction in the "Post-Pandemic Era" economic recovery context. This paper re-calculated the annual carbon emission of Zhejiang Province and China from 2001 to 2021, and compared the change trend of carbon lock-in condition between Zhejiang Province and China in four development stages with the Tapio-Decoupling model. It was found that the annual carbon emissions of Zhejiang Province showed a good trend of gradually peaking, but the growth of production demand during the epidemic period led to a rebound in the recent trend. Therefore, it is pointed out that economic development situation and industrial structure are the most critical factors affecting the trend of carbon emission, and the future research direction of total carbon emission accounting and quantitative analysis technology is prospected.

Keywords: carbon emission estimation; carbon lock-in effect; decoupling model; industrial structure transition

碳锁定是指将高度依赖化石能源系统的技术及产业作为经济社会的运行基础,导致碳排放量紧随经济社会发展而不断增长的发展态势^[1-2]。由于化石能源的成本和技术壁垒低,经济体在发展初期往往难以跳过“高碳能源时代”^[3]。基于库兹涅茨曲线理论和一批发达国家历史数据,当

经济体发展到成熟阶段时,经济增长对高碳产业的依赖会逐步降低,经济发展与碳排放的关联会逐渐弱化甚至背离,即碳锁定处于脱钩过程^[4-6]。

2001年以来的20余年是中国作为世界最大工业经济体从工业起飞期递进到工业成熟化发展调整期的重要历史阶段。浙江省作为国内最具经

收稿日期:2023-04-14;修订日期:2023-12-01

基金项目:宁波市软科学研究计划项目重点项目(2023R004)

第一作者简介:宋静俏(1986-),女,浙江宁波人,硕士,工程师。

通讯作者:周 军

济活力和科技动力的典型地区之一,其间更是牢牢把握内外“双循环”机遇,依靠深水良港优势发展外向型经济,立足互联网科技发展信息产业,紧扣工业命脉打造高端长链制造业,取得经济增长水平、产业转型升级水平和城市化发展水平的重大突破,率先进入到工业成熟转型的后期^[7]。

按照环境库兹涅茨曲线的定义,由于浙江省经济社会发展程度位居全国前列,所以在碳锁定形势和碳排放绝对量上,浙江省同样存在先于全国整体趋势进入下行阶段的可能,并且该状况已在既往针对主要省份和经济板块的碳排放研究中得到证实^[8-9]。

然而,以往聚焦浙江省碳排放趋势的研究文献仍相对较少,同时也缺乏针对不同经济发展阶段的关联性的深入探讨。因此,笔者采用实测排放因子重新核算2001—2021年浙江省年碳排放数据,并与重新核算的同期全国数据作对比,基于Tapio脱钩模型分析探讨引发各增长阶段碳锁定趋势变化的深层原因,以期为后疫情时代经济社会发展形势下的碳达峰碳中和目标的实现提供科学的决策参考。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 重构浙江省与全国2001—2021年碳排放数据

1.1.1 基于生产部门能源消费的碳排放核算

碳排放核算分为生产端核算、消费端核算和实时核算3种。生产端核算是依据各生产部门消耗的主要化石能源量,按照能源排放因子进行分部门统计;消费端核算是根据消费产品在其全生命周期中的碳排放进行统计,或采用跨地域物料投入产出核算法统计;实时核算是通过地面实时监测数据结合GOSAT、哨兵等卫星遥感信息,采用实时、半实时数据模型进行核算^[10]。其中,生产端核算因具有历史数据高度连贯、核算过程相对明晰、跨地域兼容性好、核算范畴涵盖宏观和微观各个维度等优势,而成为联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)建议采用的核算方式^[11-12]。

生产端核算中,化石能源燃烧所产生的二氧化碳排放量(E)可由多个生产部门的化石能源消费量(AD)和单位能源排放因子(EF ,取IPCC建议的通用值^[10,13-14])计算得出:

$$E = AD \times EF \quad (1)$$

1.1.2 纳入水泥生产过程的碳排放核算

水泥生产是生产端的二氧化碳排放贡献最大行业,加之近年来中国一直是世界上最大的水泥生产和消费国,因而国内相关研究通常将水泥生产行业作为重要的生产端排放部门纳入碳排放总量核算^[15-16]。

综合考虑能源消费排放(CE_{ij})和水泥生产排放(CE_{cement})两部分,水泥行业碳排放总量计算公式为

$$E = CE_{ij} + CE_{cement} \quad (2)$$

式中: CE_{ij} 为第 j 项生产部门消费第 i 类化石能源的二氧化碳排放量总和。

碳排放因子实际可转化为净热质含量(NCV)、碳含量(CC)和氧化率(O)3项子变量的乘积,即:

$$CE_{ij} = AD_{ij} \times NCV_i \times CC_i \times O_{ij} \quad (3)$$

式中: AD_{ij} 为第 j 项生产部门的第 i 类化石能源消费量。

将公式(1)和公式(3)代入公式(2),得到以下碳排放总量核算公式:

$$E = AD_{ij} \times NCV_i \times CC_i \times O_{ij} + AD_{cement} \times EF_{cement} \quad (4)$$

1.1.3 中国实际能源消费与生产过程碳排放因子

根据IPCC的统计,煤炭、石油和天然气等各大类能源物质的统计因子和最终的碳排放因子详见表1。然而,根据我国碳排放核算数据库(CEADs)核心专家团队的重新实验核算结果,我国现今能源燃烧技术水平与IPCC核算所采用的通用值存在显著差异,具体如表1所示^[10,13-17]。在实际情况下,我国煤炭、石油、天然气的二氧化碳最终排放因子分别为1.83、3.08、2.17 t/t(以CO₂计,下同)。此外,根据中国水泥行业工艺特点和实际实验结果得出的水泥生产的实际排放因子为0.2906 t/t。CEADs研究团队采用以上两组碳排放因子数据核算了1997—2019年全国、各省份以及部分重点城市分行业的碳排放数据,这些基础数据在近年的碳排放研究中获得了广泛采用^[8,18-20]。

1.1.4 重构的碳排放总量核算方法

CEADs中的数据仅更新到2019年,以此为基础的各种维度的碳排放核算数据也同样缺乏更新。鉴于此,近年的一些文献重新采用IPCC建议的排放因子进行了数据研究^[20]。针对大多数

文献数据存在的发布时间较早或核算因子无法充分反映中国国情等问题,笔者基于中国全国和浙江省煤炭、石油、天然气能源消费量及水泥生产量历史统计数据,采用中国研究团队测定的主要能源燃烧及水泥生产的最终碳排放因子作为核算因

子,按照公式(4)将全国和浙江省历史年碳排放数据更新到 2021 年。相关数据主要来源于国家和浙江省历年统计年鉴。对于部分缺失的数据,笔者通过插值法并参考 CEADs 既有数据的函数关系进行了补齐^[21-22]。

表 1 中国现有研究实测因子与国际相关统计因子对比
Table 1 Fossil fuels and emission factors of IPCC and previous local studies in China

排放类型	因子来源	热质含量/ (PJ/Mt)	碳含量(以碳元素 计)/(t/TJ)	氧化率/%	最终排放因子(以 CO ₂ 计)/(t/t)
原煤燃烧	IPCC 炼焦烟煤	28.2	25.80	98	2.61
	IPCC 无烟煤	26.7	26.80	98	2.57
	IPCC 一般烟煤	25.8	25.80	98	2.39
	IPCC 次烟煤	18.9	26.20	98	1.78
	IPCC 褐煤	11.9	27.60	98	1.18
	现有研究实测因子	20.6	26.32	92	1.83
原油燃烧	IPCC 原油	42.3	20.00	99	3.07
	现有研究实测因子	42.62	20.08	98	3.08
天然气燃烧	IPCC 天然气	3.44	15.30	99	1.91
	现有研究实测因子	3.89	15.32	99	2.17
水泥生产	IPCC 1996 年报告	—	—	—	0.5
	IPCC 2006 年报告	—	—	—	0.39
	现有研究实测因子	—	—	—	0.290 6

注:水泥生产的排放因子核算是基于其特有的工艺流程,故不适宜采用能源燃烧排放因子的核算方式。“—”表示不涉及。

1.2 基于 Tapio 脱钩模型展示不同经济增长时期的碳锁定趋势

碳排放脱钩是指经济增长对化石能源消费的依赖逐步降低,经济发展与碳排放之间的关系逐渐弱化。通常采用 Tapio 脱钩模型^[20,23]来量化分析这一过程,即通过计算年碳排放量与经济增长之间的脱钩弹性系数(e),将两者的弹性关系区分为耦合、脱钩、负脱钩三大类并进一步细分,以直观呈现碳锁定的“解锁”态势。计算公式如下:

$$e = \frac{\Delta E/E}{\Delta GDP/GDP} = \frac{(E_T - E_t)/E_t}{(GDP_T - GDP_t)/GDP_t} \quad (5)$$

式中: ΔE 和 ΔGDP 分别为 CO₂ 排放量和国内(或地区)生产总值在每个阶段末期相对于基期的变化量, T 与 t 分别为末期年与基期年。

按照模型分析标准:当 $e < 0$ 且 $\Delta GDP > 0$ 、 $\Delta E < 0$ 时,为强脱钩,代表此阶段经济处于增长状态且碳排放量不增反降,属于绝对脱钩状态;当 $0 < e < 0.8$ 且 $\Delta GDP > 0$ 、 $\Delta E > 0$ 时,为弱脱钩,代表此阶段经济增长引起的碳排放增量相对较小,属于相对脱钩状态;当 $0.8 < e < 1.2$ 且 $\Delta GDP > 0$ 、 $\Delta E > 0$ 时,为扩张耦合,代表此阶段经济增长与碳排放增量趋于同步;当 $e > 1.2$ 且 $\Delta GDP > 0$ 、 $\Delta E > 0$ 时,为扩张负脱钩,代表此阶

段碳排放增长形势超过了经济增长形势。具体见图 1^[20,23]。

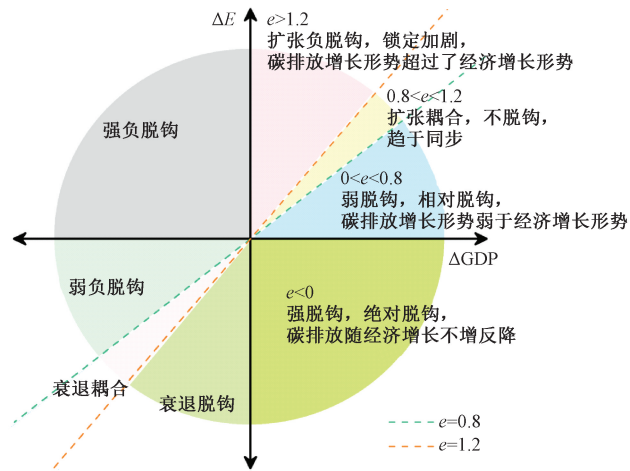


图 1 Tapio 脱钩模型 e 值与碳锁定趋势评价结果示意图
Fig. 1 Illustration of evaluation of Tapio decoupling model values and carbon lock-in trends

强脱钩是碳锁定得到“解锁”的最理想状态;弱脱钩是指虽然碳排放量没有下降,但其相对增量小于经济增量,依然被视为“解锁”的一种表现,通常是向强脱钩过渡前首先经历的状态,随后可能发生过渡;扩张耦合情形属于碳锁定保持稳定状态;扩张负脱钩则是在经济增长情况下,碳锁定进一步加剧的最不利状态。

2 研究结果

2.1 全国和浙江省年碳排放量增长趋势比较分析

根据表1中的实测因子,按照公式(4)重新统计核算了研究期内全国年碳排放量数据。与采用IPCC建议的排放因子统计得到的年碳排放量数据相比,基于实测因子核算得到的数据偏低,偏低幅度为3.6%~4.0%,但两者的年际变化趋势基本一致(图2)。浙江省碳排放量年际变化趋势见图3。两组数据相比全球大气研究排放数据库(EDGAR)基于国际能源署(IEA)化石能源清单获得的年碳排放量数据偏差较大,主要是由于国内统计年鉴与IEA清单存在统计口径差异^[24]。

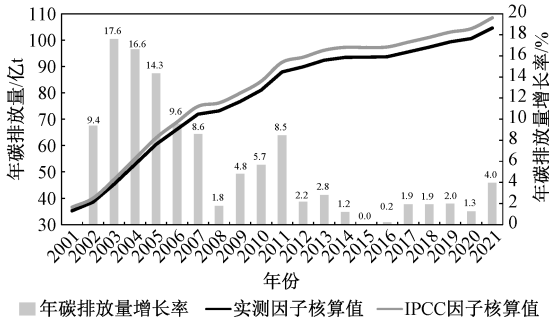


图2 2001—2021年全国年碳排放量变化趋势

Fig. 2 Trends of annual carbon emissions changes in China from 2001 to 2021

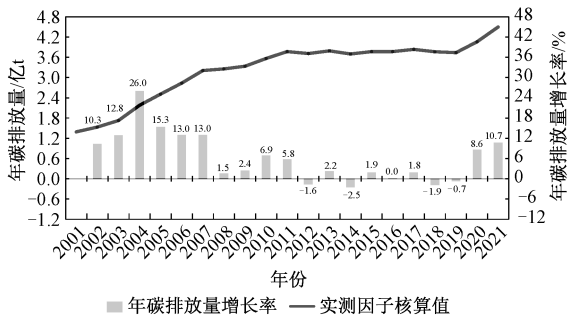


图3 2001—2021年浙江省年碳排放量变化趋势

Fig. 3 Trends of annual carbon emissions changes in Zhejiang Province from 2001 to 2021

研究期内,全国整体能源消费和主要生产过程贡献的二氧化碳年排放量从2001年的35.22亿t增长至2021年的104.53亿t,总体增长了196.8%;浙江省年碳排放量则从1.39亿t增长至4.50亿t,总体增长了223.7%,高出全国增长水平26.9个百分点。

全国年碳排放量长期保持增长态势,高速增

长阶段出现在2001—2005年的“十五”时期,其中2003年较上年增长了17.6%,为研究期间的最高增长率。同一阶段,浙江省年碳排放量增长率同样达到了全研究周期最高水平,年增长率最高值为2004年的26.0%。2006年后,全国和浙江省年碳排放量增长率均较前期有明显下降。2012—2019年的8年期间,全国与浙江省年碳排放量增长压力均得到了进一步缓解。自2012年以来,浙江省年碳排放量曾4次出现负增长情况,这与全国年碳排放量整体持续单调递增的态势相比存在明显差异。到了2020年和2021年,浙江省年碳排放量再次呈现急剧攀升态势,年碳排放量增长率分别达到8.6%和10.7%,分别高于全国同期7.3个和6.7个百分点。

2.2 全国和浙江省经济增长与年碳排放量脱钩形势比较分析

浙江省年碳排放量增长态势与全国趋势大致相符。据此,将研究期划分成2001—2005年的高速增长期、2006—2011年的适度增长期、2012—2019年的温和增长期和2020—2021年的增长反弹期。为更准确地量化浙江省在不同经济发展阶段的碳锁定程度变化趋势,并对比分析其与全国趋势的异同,探讨其背后可能存在的产业发展动因、政策指引及宏观经济因素影响,将各阶段的碳排放Tapio脱钩弹性系数统计如表2。

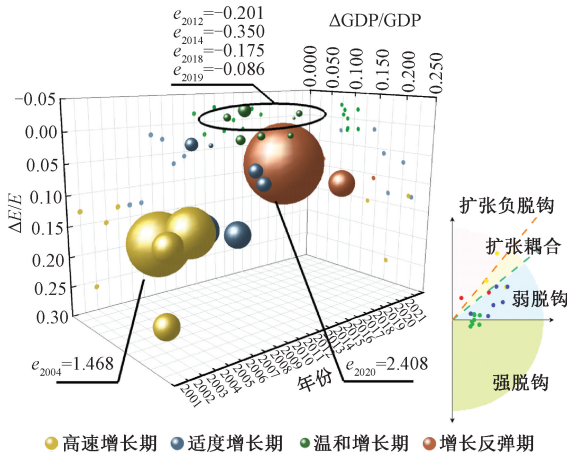
Tapio脱钩模型显示,浙江省碳排放与经济增长的脱钩趋势大致与全国整体趋势保持一致,但研究周期内的整体脱钩表现略差于全国。高速增长期间,浙江省脱钩弹性系数为0.918,碳锁定形势处于扩张耦合状态,碳锁定程度保持稳固,略好于全国同期水平(1.036,扩张耦合)。适度增长期间,浙江省脱钩弹性系数大幅下降到0.304,进入弱脱钩区间,碳锁定形势转变为相对解锁。此阶段的浙江省脱钩弹性系数略高于全国同期水平(0.268,弱脱钩),显示出浙江省碳解锁程度弱于全国平均水平。温和增长期间,浙江省脱钩弹性系数为0.01,相较前一时段继续呈现明显下降态势,低于0.127的全国同期水平。此阶段,浙江省经济发展的碳解锁程度已接近强脱钩,形势好于全国整体形势。然而,在增长反弹期间,浙江省脱钩弹性系数大幅反弹到0.743,接近弱脱钩区间上限($e < 0.8$),远超0.296的全国同期水平,接近本省高速增长期水平,从而影响了整个研究期间的整体评价结果。

表 2 2001—2021 年浙江省与全国各阶段碳排放量与经济增长 Tapio 脱钩弹性系数比较

Table 2 Comparison of Tapio decoupling elasticity coefficients between carbon emissions and economic growth in Zhejiang Province and China at various stages from 2001 to 2021

阶段	全国				浙江省			
	$\Delta GDP/GDP$	$\Delta E/E$	e	脱钩评估	$\Delta GDP/GDP$	$\Delta E/E$	e	脱钩评估
高速增长期(2001—2005 年)	0.690	0.715	1.036	扩张耦合	0.881	0.808	0.918	扩张耦合
适度增长期(2006—2011 年)	1.224	0.328	0.268	弱脱钩	1.082	0.329	0.304	弱脱钩
温和增长期(2012—2019 年)	0.832	0.105	0.127	弱脱钩	0.817	0.008	0.010	弱脱钩
增长反弹期(2020—2021 年)	0.134	0.040	0.296	弱脱钩	0.145	0.107	0.743	弱脱钩
全研究期(2001—2021 年)	9.366	1.968	0.210	弱脱钩	9.688	2.238	0.231	弱脱钩

为明确各年份碳排放脱钩形势差异,将各年碳排放量和经济增长数据与上年比较,得出年际脱钩弹性系数,见图 4 和图 5。统计结果显示,全国仅有 2003 年的年际脱钩弹性系数(1.364)达到扩张负脱钩状态;而浙江省年际脱钩弹性系数高值出现在了 2020 年和 2004 年,分别达到 2.408 和 1.465,均处于扩张负脱钩状态,且均明显超过了全国年际脱钩弹性系数最大值。可见,浙江省在特殊情况下的经济增长所导致的碳锁定加重形势严峻。



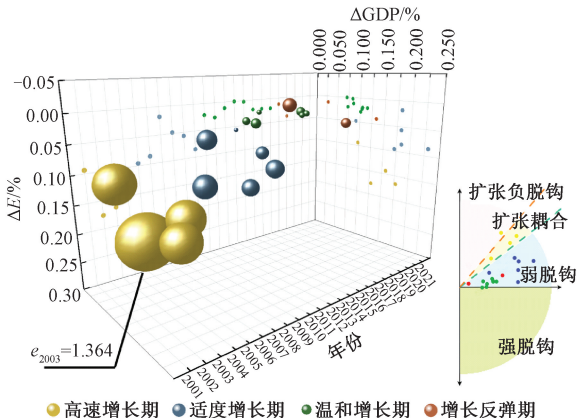
注:左图中的球体以 $|e|$ 值为直径,各球体同色映射点分别代表其在 $\Delta GDP/GDP$ 和 $\Delta E/E$ 轴上的当年数据;右图展示的是 Tapio 脱钩模型坐标系上的各年际 e 值。

图 4 浙江省 2001—2021 年碳排放量脱钩弹性系数 3D 映射与脱钩形势示意图

Fig. 4 3D mapping of annual decoupling elasticity coefficients of carbon emissions and illustration of decoupling in Zhejiang Province from 2001 to 2021

然而浙江省在 8 年温和增长期中有 4 年的年际脱钩弹性系数处于强脱钩区间($e < 0$),表明在这 4 年中,碳排放量增长相对于经济增长呈现不增反降的强脱钩良好态势,最低年际脱钩弹性系数为 2014 年的 -0.350。而同期全国尚未出现年

际强脱钩趋势,最低年际脱钩弹性系数为 2015 年的 0.003。



注:左图中的球体以 $|e|$ 值为直径,各球体同色映射点分别代表其在 $\Delta GDP/GDP$ 和 $\Delta E/E$ 轴上的当年数据;右图展示的是 Tapio 脱钩模型坐标系上的各年际 e 值。

图 5 全国 2001—2021 年碳排放量脱钩弹性系数 3D 映射与脱钩形势示意图

Fig. 5 3D mapping of annual decoupling elasticity coefficients of carbon emissions and illustration of decoupling in China from 2001 to 2021

3 讨论

3.1 高速增长期碳锁定牢固符合该阶段的工业经济发展特点

21 世纪初,中国对外依靠加入 WTO 深度融入全球供应链带动了旺盛的外循环,对内通过加速发展城市化基础设施建设激发了强劲的内循环,由此导致钢铁、有色、石化等典型重化工业蓬勃发展,城市化及交通基建加速推进。与此同时,浙江省充分发挥深水良港的区位优势,紧抓国内外市场“双循环”的发展机遇,加速布局临港重化工业和面向海外市场的消费品制造业,国有重化工企业迅速崛起,中小制造企业崭露头角,经济社会发展与城市化水平长期居于全国前列。

然而无论是全国还是浙江省,这一时期得到

快速发展的主要产业均以高碳技术为基础。例如:以石化、能源为核心的重化工业完全依靠传统能源技术;大运载量、大进大出、高度外向的港口贸易网络大量消耗化石能源;城市化快速推进与基础设施大规模建设推动了钢铁、水泥、物流等一批高碳产业的发展。这些高碳行业的蓬勃发展不仅有力推动了经济增长,也推高了全国与浙江省整体的化石能源需求和碳锁定强度^[25-26]。

同一时期,中国依然延续着以往对生产成本的控制政策,采取价格限定和能源补贴等行政手段将能源价格维持在较低水平。这使得化石能源消费缺乏市场机制引导,甚至使中国成为一些发达国家通过高碳行业和生产环节转移而转嫁碳锁定的“污染避难所”,也是导致该时期中国碳锁定牢固、碳排放快速增长的一个重要原因^[8,27-30]。

3.2 脱钩系数骤降证实浙江省率先进入产业结构成熟调整期

适度增长期间,浙江省在经济依然保持高速增长的同时,碳排放脱钩系数显著下降,标志着当地工业发展路径的调整和产业结构的多元化转变。这一转变早于全国整体趋势,使得浙江省的碳锁定形势改善更为迅速,脱钩弹性系数降低更为显著。具体表现为:浙江省工业发展在经历了一轮高碳产业快速增长后,积累了充足的资金、技术、人才资源,进而推动了产业的多样化发展,社会分工细化,中游产业壮大,工业类型逐渐向装备制造等碳排放强度较低的中高端产业演进;与此同时,城市化进程步入新阶段,消费市场的加速成熟和第三产业的健康发展构成了促进产业结构调整的另一主要动力^[31]。相比之下,全国范围的年际脱钩弹性系数虽然有所下降,但整体降幅不及浙江省。

温和增长期间,浙江省工业发展已步入调整期的中后阶段,经济多元化发展态势更趋成熟。在此期间,浙江省共有4年实现了年碳排放量的负增长和强脱钩,并在整个温和增长期呈现从相对脱钩向绝对脱钩过渡的良好局面。尤其是2018年和2019年两年,浙江省连续实现了年碳排放量的负增长和强脱钩,显现出即将达峰甚至有望过峰的积极信号。

相比之下,同期全国年碳排放总量依然持续增长,尽管年际脱钩弹性系数较适度增长阶段继续下降,但仍尚未进入强脱钩区间,也未有达峰迹象。这与一些针对国内地域间碳足迹的研究的结

论相吻合,即浙江省等一些发展程度居前地区,在产业结构调整中可能以投资和工业产业转移的形式,向其他省份尤其是中西部地区实现省际碳排放转移。因此,尽管部分地区碳排放状况有所改善,碳锁定趋势明显好转,但全国整体碳排放趋势并未由此得到同等程度的缓解^[8]。

3.3 “十一五”以来的节能减排、低碳经济建设初见成效

从适度增长期到温和增长期,浙江省与全国的碳排放脱钩弹性系数均呈现平稳下降趋势。这一变化不仅伴随着工业发展的逐步成熟与产业结构的进一步调整,还得益于“十一五”以来能源价格机制改革、节能减排、经济增长能耗管控及区域大气污染联防联控等资源、能源与环境管理政策的有力实施。这些政策措施为绿色低碳高质量发展转型奠定了制度基础,发挥了引领作用^[32-33]。

浙江省较早在地地方发展考核中引入了节能、减排、低碳约束性指标,以提高能源利用效率为立足点,以协调供给侧结构性改革和落实创新驱动发展战略为突破口,通过推动制造业转型升级、促进可再生能源规模化发展、加强重点区域污染物减排、完善低碳交通运输体系等一系列专项工作,布局实施了一批节能降碳和可再生能源开发利用项目,严格控制化石能源消费总量和主要污染物排放总量。

截至2020年,浙江省单位工业增加值能耗已由2006年的1.43 t标准煤降至0.37 t标准煤;“十二五”和“十三五”期间分别实现全省单位GDP能耗降低20.7%和17.3%,降幅均位居全国前列^[9,34-35]。此外,有研究显示,浙江省在全国各省份减污-降碳-经济综合指标评估中排名全国前五^[9]。一系列成就表明,浙江省在经历高速增长期后能够及时促成经济增长方式转变,这对于削减后期碳达峰峰值、减轻最终碳中和任务总量具有关键性作用。

3.4 疫情期间趋势反弹加重未来碳达峰碳中和压力

2020—2021年期间,浙江省年碳排放量出现大幅反弹,脱钩弹性系数攀升至0.743,接近高速增长期水平(0.918),同时明显高于全国整体水平(0.296)。这一特殊现象是由于在全球疫情的冲击下,浙江省凭借其经济韧性较强、工业发展程度较高、深度融入全球价值链的特点,在维持内外供应链稳定、保障地方乃至全国经济平稳运行中

承担了重大责任,因而承受了巨大的碳排放压力。

在内外形势突变的特殊情况下,浙江省以重化工业和外向型制造工业为代表的高碳产业承担了巨大的生产负荷,港口贸易网络高荷载运转。这些高碳产业的能源消费量明显上升,碳锁定现象加剧,导致碳达峰形势出现波动。国家统计局统计数据显示,2020 年浙江省能源消费总量增速同比达到 10.1%,居全国首位。与此同时,浙江省脱钩弹性系数也达到了研究期内的最高值。

碳锁定理论指出,在经济环境萧条、迫切需要加大资本投入以确保刺激力度的特殊时期,大规模投融资活动更容易出现“路径依赖”,从而集中在以化石能源系统为核心的高碳产业,这可能导致原本为产业结构调整所抑制的高碳行业重获历史优势地位。浙江省在 2020—2021 年期间的趋势反弹证明了高耗能、高污染的经济增长模式具有自我强化性,从根本上改变碳锁定形势依然任重道远^[1-3]。

从浙江省年碳排放量增长趋势和脱钩弹性系数的变化来看,新冠疫情已改变了浙江省原有的碳达峰预期,将碳排放峰值推向一个未知的新高度,使得未来碳中和所要“削减清零”的任务总量更为艰巨。此外,新冠疫情过后,全面恢复经济增长的迫切需要也给浙江省未来的碳锁定形势增添了更多不确定性。

4 结论与展望

本研究对 2001—2021 年全国和浙江省在经济巨变中的年碳排放量及其变化趋势,在脱钩模型框架下进行了统计分析,得出以下结论:第一,浙江省因其独特的经济发展路径与产业结构调整过程,年碳排放量从工业起飞期的高速增长递进到发展调整期的适度增长、温和增长,再发展到新冠疫情期间的反弹增长,年碳排放量增长趋势始终与生产需求增长程度紧密相关,并与全国趋势存在一定差异;第二,经济发展形势与产业结构是影响碳排放变化趋势的最关键因素,因此,推进“双碳”战略,实现经济体系绿色低碳高质量转型升级,实质上是对传统高能耗、高碳排放发展方式的调整,旨在缓解当前经济发展与产业结构对碳排放的依赖。

浙江省由于早期工业化、城市化发展领先全

国,率先进入成熟化发展调整阶段,并在节能减排方面取得显著成效。尽管一度面临碳锁定形势加重的严峻考验,但依靠制度推进和产业结构调整,浙江省在温和增长期内呈现碳排放即将达峰的良好态势。然而,在新冠疫情冲击下释放的生产压力以及后疫情时代经济困局中可能施行的刺激政策,又给浙江省的碳达峰进程带来了新的挑战。未来,浙江省碳达峰峰值或将更高,碳中和难度或将更大。如何平衡碳减排与经济发展的关系,在遵循绿色低碳高质量发展原则的基础上,采取科学智慧的政策引导,不走加剧碳锁定的“回头路”,将是未来浙江省乃至全国在经济社会发展进程中面临的严峻考验。

由于全国范围的大气温室气体监测综合评估试点工作尚处于起步阶段,碳排放核算与分析工作的数据采集保障制度仍不健全,全国统一的碳排放总量核算体系尚未建立,本研究仅采用了宏观框架下的面板数据进行统计分析,化石能源排放因子相对单一,缺乏对具体地区、行业、工艺和化石能源产品的细化研究。

展望未来 30 余年“双碳”征程,要共促低碳转型、打赢“双碳”硬仗,必须依靠制度层面对发展格局的科学引导,而制度和政策工具的制定应以总量核算为支撑,以量化评估为依据。期望未来有更多基于区域碳排放实际监测数据和实时场景反演结果的碳排放趋势分析成果,以及针对减排方案的研究成果,以弥补本研究的不足,为明确达峰差距,破题难点阻点,制定政策措施,提供更具科学性、可靠性、前瞻性和整体性的量化核算依据。

参考文献(References):

- [1] 卢现祥,张翼. 低碳经济与制度安排[M]. 北京:北京大学出版社,2015:83-110.
 - [2] UNRUH G C. Understanding Carbon Lock-in[J]. Energy Policy, 2000, 28(12): 817-830.
 - [3] UNRUH G C. Escaping Carbon Lock-in[J]. Energy Policy, 2002, 30(4): 317-325.
 - [4] 薛进军. 中国低碳经济发展报告(2011)[M]. 北京:社会科学文献出版社,2011:28.
 - [5] 张型芳,罗宏,吕连宏. 碳排放与经济增长的协调性分析[J]. 环境工程技术学报, 2017, 7(4): 517-524.
- ZHANG Xingfang, LUO Hong, LYU Lianhong.
Coordination Analysis on Carbon Emission and

- Economic Growth [J]. *Journal of Environmental Engineering Technology*, 2017, 7(4): 517-524.
- [6] 林伯强, 蒋竺均. 中国二氧化碳的环境库兹涅茨曲线预测及影响因素分析[J]. *管理世界*, 2009, (4): 27-36.
LIN Boqiang, JIANG Zhujun. A Forecast for China's Environmental Kuznets Curve for CO₂ Emission, and an Analysis of the Factors Affecting China's CO₂ Emission [J]. *Journal of Management World*, 2009 (4): 27-36.
- [7] 黄群慧, 李芳芳. 工业化蓝皮书: 中国工业化进程报告(1995—2020)[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2020: 70-129.
- [8] 文雯. 基于MRIO模型的省际及产业间碳减排关联分析[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2020: 15-26.
- [9] 王涵, 李慧, 王淑兰, 等. 我国减污降碳与地区经济发展水平差异研究[J]. *环境工程技术学报*, 2022, 12(5): 1 584-1 592.
WANG Han, LI Hui, WANG Shulan, et al. Research on the Differences Between Pollution Reduction, Carbon Reduction, and Regional Economic Development Level in China [J]. *Journal of Environmental Engineering Technology*, 2022, 12 (5): 1 584-1 592.
- [10] SHAN Y L, HUANG Q, GUAN D B, et al. China CO₂ Emission Accounts 2016-2017 [J]. *Scientific Data*, 2020, 7(1): 1-9.
- [11] EDENHOFER O, PICHES-MADRUGA R, SOKONA Y, et al. Summary for Policymakers [R]// Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. Cambridge: IPCC, 2014.
- [12] EGGLESTON S, BUENDIA L, MIWA K, et al. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Vol. 5 [R]. Hayama: IPCC, 2006.
- [13] SHAN Y, GUAN D, ZHENG H, et al. China CO₂ Emission Accounts 1997-2015 [J]. *Scientific Data*, 2018, 5(1): 17201.
- [14] 刘竹, 关大博, 魏伟. 中国二氧化碳排放数据核算[J]. *中国科学: 地球科学*, 2018, 48(7): 878-887.
LIU Zhu, GUAN Dabo, WEI Wei. Carbon Emission Accounting in China [J]. *Scientia Sinica (Terrae)*, 2018, 48(7): 878-887.
- [15] CUI D, DENG Z, LIU Z. China's Non-fossil Fuel CO₂ Emissions from Industrial Processes [J]. *Applied Energy*, 2019, 254: 113537.
- [16] LIU Z, GUAN D, WEI W, et al. Reduced Carbon Emission Estimates from Fossil Fuel Combustion and Cement Production in China [J]. *Nature*, 2015, 524: 335-338.
- [17] 裴冰, 刘通浩, 杨文雨, 等. 典型燃煤电厂机组二氧化碳排放测试及核算研究[J]. *中国环境监测*, 2023, 39(2): 225-231.
PEI Bing, LIU Tonghao, YANG Wenyu, et al. Study on Determination and Accounting of CO₂ Emission from Typical Coal-Fired Power Plant [J]. *Environmental Monitoring in China*, 2023, 39 (2): 225-231.
- [18] 蒋培培, 王远, 罗进, 等. 长江与黄河流域碳排放效率时空演变特征及路径识别探究[J]. *环境科学研究*, 2022, 35(7): 1 743-1 751.
JIANG Peipei, WANG Yuan, LUO Jin, et al. Comparative Study of Spatial-Temporal Evolution and Growth Path of Carbon Emissions Efficiency in Yangtze River Basin and Yellow River Basin [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2022, 35 (7): 1 743-1 751.
- [19] 刘华军, 田震, 石印. 中国二氧化碳排放的空间差异及其双维内在结构解析: 2000—2019年[J]. *地理研究*, 2023, 42(3): 857-877.
LIU Huajun, TIAN Zhen, SHI Yin. Spatial Difference of Carbon Dioxide Emissions and Its Bi-dimensional Internal Structural Decomposition and Analysis from 2000 to 2019 in China [J]. *Geographical Research*, 2023, 42(3): 857-877.
- [20] 张剑, 刘景洋, 董莉, 等. 中国能源消费 CO₂ 排放的影响因素及情景分析[J]. *环境工程技术学报*, 2023, 13(1): 71-78.
ZHANG Jian, LIU Jingyang, DONG Li, et al. Influencing Factors and Scenario Analysis of China's CO₂ Emission of Energy Consumption [J]. *Journal of Environmental Engineering Technology*, 2023, 13 (1): 71-78.
- [21] 国家统计局. 国家数据: 年度数据: 能源消费总量表 [EB/OL]. [2023-03-20]. <https://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01&zb=A070E&sj=2022>.
- [22] 浙江省统计局. 数据浙江: 年度数据: 能源消费总量表 [EB/OL]. [2023-03-20]. <http://data.tjj.zj.gov.cn/page/dataquery.simpleMacro/newQuery/newQuery.jsp?getData=nianduData&proDemo=zj&ddiUrn=urn:ddi:ZJCKSTAT;a463a4d9-806b-4fcc-8fc9-b43a8ee4298c;1&dataClassific=yandu&orgCode=33>.
- [23] TAPIO P. Towards a Theory of Decoupling: Degrees of

- Decoupling in the EU and the Case of Road Traffic in Finland Between 1970 and 2001 [J]. *Transport Policy*, 2005, 12 (2) : 137-151.
- [24] CRIPPA M, GUIZZARDI D, BANJA M, et al. CO₂ Emissions of All World Countries [R]. Luxembourg: JRC, IEA, PBL, 2022.
- [25] SHI H, CHAI J, LU Q, et al. The Impact of China's Low-Carbon Transition on Economy, Society and Energy in 2030 Based on CO₂ Emissions Drivers [J]. *Energy*, 2022, 239: 122336.
- [26] FAN T, LUO R, XIA H, et al. Using LMDI Method to Analyze the Influencing Factors of Carbon Emissions in China's Petrochemical Industries [J]. *Natural Hazards*, 2014, 75 (S2) : 319-332.
- [27] 许广月, 宋德勇. 我国出口贸易、经济增长与碳排放关系的实证研究 [J]. *国际贸易问题*, 2010 (1) : 74-79.
- XU Guangyue, SONG Deyong. An Empirical Research on the Relationship of Export Trade, Economic Growth and Carbon Emissions [J]. *Journal of International Trade*, 2010 (1) : 74-79.
- [28] MUKHOPADHYAY K, CHAKRABORTY D. Pollution Haven and Factor Endowment Hypotheses Revisited: Evidence from India [J]. *Journal of Quantitative Economics*, 2006, 4: 111-132.
- [29] ANG B. CO₂ Emissions, Research and Technology Transfer in China [J]. *Ecological Economics*, 2009, 68: 2 658-2 665.
- [30] 师颖新. 低碳、能源和区域经济发展——基于可计算一般均衡模型的分析 [M]. 北京: 光明日报出版社, 2012: 84-105.
- [31] SHU Y, CHEN J, HUANG Y, et al. Sustainable Approaches to Realize Carbon Neutrality in China: A Case Study of Zhejiang Province [J]. *Journal of Marine Science and Engineering*, 2022, 10 (10) : 1351.
- [32] ZHENG B, TONG D, LI M, et al. Trends in China's Anthropogenic Emissions Since 2010 as the Consequence of Clean Air Actions [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2018, 18: 14 095-14 111.
- [33] 付琳, 曹颖, 郭豪, 等. “十二五”以来中国低碳发展进展及政策评估 [J]. *中国环境管理*, 2021, 13 (1) : 16-24.
- FU Lin, CAO Ying, GUO Hao, et al. China's Low-Carbon Development Progress and Policy Evaluation Since the 12th Five-Year Plan Period [J]. *Chinese Journal of Environmental Management*, 2021, 13 (1) : 16-24.
- [34] 浙江省人民政府. 浙江省人民政府关于印发浙江省“十三五”节能减排综合工作方案的通知; 浙政发 [2017] 19 号 [EB/OL]. (2017-06-30) [2023-03-20]. https://www.zj.gov.cn/art/2022/6/30/art_1229019364_2409806.html.
- [35] 浙江省人民政府. 浙江省人民政府关于印发浙江省“十四五”节能减排综合工作方案的通知; 浙政发 [2022] 21 号 [EB/OL]. (2022-12-21) [2023-03-20]. http://sjt.zj.gov.cn/art/2022/12/21/art_1229563385_2452295.html.