

# 全球供应链转移对中国“双碳”目标的影响

王润雨<sup>1</sup>, 黄韬<sup>1\*</sup>, 凌再莉<sup>2</sup>, 任吉<sup>1</sup>, 魏梓建<sup>1</sup>, 宋世杰<sup>1</sup>, 马建民<sup>3</sup>

1. 兰州大学资源环境学院, 甘肃省环境污染预警与控制重点实验室, 兰州 730000

2. 兰州财经大学农林经济管理学院, 兰州 730020

3. 北京大学城市与环境学院, 地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871

**摘要** 随着全球化深入发展, 国际供应链加速转移, 中国等发展中国家成为全球制造业中心, 这对全球碳排放格局产生了显著影响。利用多区域投入产出(MRIO)模型, 定量估计了2004和2014年全球141个国家和地区在全球贸易中的隐含碳排放转移及对中国碳排放的影响。结果表明, 2004—2014年各国间的贸易活动进一步加强, 其隐含碳排放规模不断扩大。2014年全球贸易中隐含CO<sub>2</sub>转移量高达4244.0百万t, 约占全球CO<sub>2</sub>总排放量的1/4。作为全球贸易中隐含碳转移的中心, 中国净出口隐含碳排放从2004年的1200.0百万t增加到2014年的1461.9百万t, 分别占全球28.7%和34.4%的碳转移。中国出口隐含碳排放主要集中在能源密集型和碳密集型产业, 而进口中隐含的碳排放主要集中于服务业和轻工业等低能耗产业。因此, 在全球供应链转移和中国“双碳”目标背景下, 为减少碳排放, 中国应积极倡导建立基于生产侧和消费侧共同承担责任的全球碳排放核算机制, 以确保公平合理的排放权分配。同时, 优化出口贸易结构, 加快低碳经济转型, 并提高能源使用效率。此外, 还应加强国际合作, 建立有效的沟通与协作平台, 为全球碳减排和气候治理做出积极贡献。

**关键词** 全球供应链转移; “双碳”目标; 多区域投入产出分析; 碳排放转移

在全球化背景下, 国际供应链的快速发展和变化不仅塑造了全球经济格局, 也对环境产生了深远影响<sup>[1]</sup>。普遍认为, 二氧化碳(CO<sub>2</sub>)的过度排放是引起气候变化的主要因素<sup>[2]</sup>。人类活动排放的CO<sub>2</sub>

等温室气体导致全球变暖<sup>[3]</sup>, 加剧气候系统的不稳定性, 从而导致极端天气频繁发生<sup>[4]</sup>。面对这一挑战, 全球范围内正在形成能源及产业发展低碳化的大趋势<sup>[5]</sup>。2020年9月, 习近平主席在第75届联合

收稿日期: 2024-01-03; 修回日期: 2024-06-25

基金项目: 甘肃省科技计划项目(22JR11RA135)

作者简介: 王润雨, 硕士研究生, 研究方向为贸易与环境, 电子信箱: wrunyu2023@lzu.edu.cn; 黄韬(通信作者), 教授, 研究方向为环境经济系统分析, 电子信箱: huangt@lzu.edu.cn

引用格式: 王润雨, 黄韬, 凌再莉, 等. 全球供应链转移对中国“双碳”目标的影响[J]. 科技导报, 2024, 42(19): 85-97;

doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2024.02.00250

国大会上正式提出“双碳”目标,即中国的CO<sub>2</sub>排放于2030年达到峰值,并力争在2060年前实现碳中和<sup>[6]</sup>。“双碳”目标的提出,不仅标志着中国在全球气候治理中的积极参与,也对国内外经济发展、产业布局及国际贸易模式提出了新的要求<sup>[7-8]</sup>。

随着全球经济的深入发展,贸易分工和跨国生产成为世界经济增长的重要驱动力<sup>[9]</sup>。许多国家通过参与世界分工,借助经济全球化的浪潮,迎来了发展的机遇<sup>[10]</sup>。然而,发展中国家在参与全球分工的同时,也成为含碳产业转移的目的地<sup>[11-12]</sup>。全球供应链的转移不仅影响了碳排放的地理分布<sup>[13-15]</sup>,也使得通过国际贸易转移的碳排放量激增<sup>[16-18]</sup>。研究表明,国际贸易中体现的碳排放占到全球碳排放总量的20%以上<sup>[19-20]</sup>,大量的碳排放通过全球供应链转移到了发展中国家<sup>[21-22]</sup>,承担了大部分发达国家因进口商品而转移的碳排放<sup>[23-24]</sup>,尤其是中国<sup>[25-26]</sup>。污染避难所假说揭示了污染密集型产业从环境规制严格的发达国家向环境规制相对宽松的发展中国家转移的现象<sup>[27-28]</sup>,这不仅加剧了中国等发展中国家的碳排放问题,也对全球气候变化治理带来了挑战。特别地,作为全球最大的发展中国家,承接西方发达国家通过将产品前端污染密集的初级生产和制造“外包”而产生的碳排放,即其产生的碳排放有相当部分隐含在出口商品中并最终由国外消费者使用。已有研究表明,2007年中国出口至发达国家的产品中隐含的碳排放占当年总排放的25%<sup>[29]</sup>。因此,基于最终需求的消费侧核算原则,有利于厘清发达国家转移碳排放责任对发展中国家,尤其是中国的影响,有助于减少“碳泄露”。

针对全球供应链转移导致的碳排放问题,国内外学者已进行了广泛的研究。大多数学者利用多区域投入产出方法(multi-regional input-output, MRIO),区分供应链转移中的最终消费端和生产端,从而定量地划分碳排放的实际产生地和驱动碳排放产生的最终消费地<sup>[30-31]</sup>。但是从各产业的角度详细地刻画中国在全球供应链转移中的隐含碳排放转移,以及明晰各地区潜在影响方面的研究较少。而当前,全球供应链正加速重构<sup>[32]</sup>。例如,随着中国生产要素成本的上升和环境保护措施的

加强<sup>[33]</sup>,许多劳动密集型及污染密集型产业已经开始向东南亚、南亚等地区转移<sup>[34-35]</sup>,其中就有能耗较高、污染较重的产业<sup>[36]</sup>。这一跨区域供应链的转移不仅是全球产业发展的必然趋势,也为各国处理好经济发展与生态环境保护之间的关系带来了挑战。在此背景下,中国如何在全球供应链转移过程中有效管理和减少碳排放,并在“双碳”目标与经济发展之间找到合理的平衡点,对中国乃至全球都具有重要的现实意义。为此,本研究采用MRIO分析方法<sup>[37-38]</sup>,对2004和2014年全球主要国家和地区间碳排放流动及其对中国碳排放的影响进行量化研究,并探讨全球供应链转移对中国碳排放的影响。

## 1 数据来源及研究方法

### 1.1 数据来源及处理

#### 1.1.1 数据来源

全球贸易分析数据库(Global Trade Analysis Project, GTAP)由美国普渡大学全球贸易分析中心建立,目前被广泛应用于贸易相关政策分析。本研究采用2019年发布的GTAP v10数据集中2004、2007、2011和2014年的全球141个经济体的65个部门间的经济活动数据,计算全球贸易相关的生产侧CO<sub>2</sub>排放量,并结合多区域投入产出数据,计算全球消费侧CO<sub>2</sub>排放,用于分析地区间贸易中隐含CO<sub>2</sub>的排放转移及对中国碳排放的影响。

#### 1.1.2 研究区域及部门合并

为了便于展示结果和讨论,本研究根据各经济体的地理位置和经济发展水平,将全球141个国家或地区合并为14个区域。此外根据部门性质以及考虑到行业的普遍性和完整性,对GTAP数据库中的65个部门合并为10个部门,具体部门划分见表1。

### 1.2 多区域投入产出模型

多区域投入产出模型中 $m$ 个区域的总产出可以表达为:

$$\begin{bmatrix} X^1 \\ X^2 \\ X^3 \\ \vdots \\ X^m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A^{11} & A^{12} & A^{13} & \dots & A^{1m} \\ A^{21} & A^{22} & A^{23} & \dots & A^{2m} \\ A^{31} & A^{32} & A^{33} & \dots & A^{3m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A^{m1} & A^{m2} & A^{m3} & \dots & A^{m3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X^1 \\ X^2 \\ X^3 \\ \vdots \\ X^m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Y^1 \\ Y^2 \\ Y^3 \\ \vdots \\ Y^m \end{bmatrix} \quad (1)$$

表1 部门划分

序号	部门名称	GTAP部门
1	农业	水稻、小麦、杂粮谷类谷物、蔬菜/水果/坚果、油籽、甘蔗/甜菜、植物纤维、其他作物、牛/绵羊/山羊/马、其他动物、生牛奶、羊毛/桑蚕茧、林业、渔业
2	能源开采	煤炭、燃油/石油/原油、天然气、矿产
3	轻工业	牛肉制品、肉制品、植物油脂、奶制品、加工大米、糖、食物产品、饮品/烟草制品、纺织品、服装、皮革制品、木材制品、纸制品与出版、化工制品、基本制药产品、橡塑制品
4	石油与煤炭制品	石油与煤炭制品
5	矿物与金属制品	矿物制品、黑色金属/铁类金属、金属、金属制品
6	机械和电子设备	计算机/电子/光学产品、电力设备、机器及设备、车辆与零部件、运输设备、制造业
7	能源供应	电、天然气、水的生产和供应
8	建筑业	建筑物建造/土木工程/施工活动
9	交通运输业	陆路运输和管道运输、水路运输、航空运输
10	服务业	贸易、住宿餐饮和服务活动、仓储活动、通信、金融服务、保险、房地产业、专业/科学/技术活动以及行政/支助服务活动、娱乐和其他业务、公共行政与国防、教育、人类健康和社会工作活动、民居

式中,  $X^i$  代表区域  $i$  的总产出,  $A$  代表直接消耗系数矩阵,  $Y$  代表最终产品消耗量(家庭生活消费  $Y_h$ , 政府消费  $Y_g$  和投资  $Y_{inv}$ )。

由式(1)可得到总产出  $X$ :

$$X = (I - A)^{-1} Y \quad (2)$$

式中,  $L = (I - A)^{-1}$  被称为列昂惕夫逆矩阵(Leontief Inverse Matrix), 表示区域  $i$  的产品为满足区域  $j$  的最终需求而产生的直接和间接需求<sup>[39]</sup>。

通过各部门生产侧碳排放向量  $E_p$  和总产出矩阵  $X$ , 可以获得单位总产出的碳排放(即碳排放强度)向量  $F$ :

$$F = E_p / X \quad (3)$$

进而计算消费侧的碳排放量:

$$E_c = F(I - A)^{-1} Y \quad (4)$$

区域  $j$  对所有地区最终产品的消费引起区域  $i$  的污染物排放量  $E_{ij}$ , 即区域  $j$  到区域  $i$  的贸易隐含  $CO_2$  排放量:

$$E_{ij} = F_i(I - A)^{-1} Y_j \quad (5)$$

区域  $i$  对所有地区最终产品的消费引起区域  $j$  的污染物排放量  $E_{ji}$ , 即区域  $i$  到区域  $j$  的贸易隐含  $CO_2$  排放量:

$$E_{ji} = F_j(I - A)^{-1} Y_i \quad (6)$$

其中,  $F_i$  和  $F_j$  分别表示区域  $i$  和区域  $j$  的单位总产出

的碳排放(即碳排放强度)向量,  $Y_j$  和  $Y_i$  分别表示区域  $j$  和区域  $i$  的最终产品消耗量, 其消耗的最终产品包括本区域生产的和其他区域提供的。

那么, 区域  $i$  和区域  $j$  之间贸易隐含  $CO_2$  净排放量  $E_{net}^{ij}$  被定义为

$$E_{net}^{ij} = E_{ij} - E_{ji} \quad (7)$$

若  $E_{net}^{ij}$  为正, 表明区域  $i$  向区域  $j$  出口隐含  $CO_2$  排放量大于区域  $j$  向区域  $i$  出口隐含污染物排放量, 即贸易隐含  $CO_2$  净排放转移是从区域  $j$  流向区域  $i$ , 区域  $j$  为污染物排放的净流入地(贸易净进口地区); 如果  $E_{net}^{ij}$  为负, 表明区域  $i$  向区域  $j$  出口隐含  $CO_2$  排放量小于区域  $j$  向区域  $i$  出口隐含  $CO_2$  排放量, 即贸易隐含  $CO_2$  排放净转移是从区域  $i$  流向区域  $j$ , 区域  $j$  为  $CO_2$  排放的净流出地(贸易净出口地区), 贸易隐含  $CO_2$  排放的流动方向与产品的流动方向相反。

$CO_2$  排放相关的矩阵计算和 MRIO 分析均采用 MATLAB R2022a 运行。

## 2 结果

### 2.1 全球各地区生产侧和消费侧 $CO_2$ 排放特征

由图1可见, 2004—2014年间, 全球生产侧  $CO_2$  排放量从 16629.8 百万 t 增加至 20161.2 百万 t。与

2004年相比,2014年排放量上升了21.2%,这反映了全球经济活动强度的提升。从各区域生产侧各部门CO<sub>2</sub>排放来看,全球生产侧CO<sub>2</sub>排放的主导部门为能源供应、矿物与金属制品和交通运输业部门,3者排放占排放总量的78%以上。同时,能源供应、矿物与金属制品和交通运输业部门生产侧CO<sub>2</sub>排放在美国、西欧、其他东亚国家于2004—2014年呈现下降的趋势,这与发达国家推行新能源应用息息相关。例如,西欧由于当地能源和资源匮乏,在所有区域中能源供应和矿物与金属制品部

门排放下降最多,下降幅度分别为44.5%和45.9%,且能源供应和矿物与金属制品部门占西欧生产侧CO<sub>2</sub>排放总量的比例较低,仅为33.0%。中国与西欧等国家形成鲜明对比,中国在生产侧能源供应和矿物与金属制品部门的占比呈现上升的趋势,上升幅度分别为77.9%和86.5%,且能源供应和矿物与金属制品部门占中国生产侧CO<sub>2</sub>排放总量的比例较高,分别为52.9%和17.0%,作为全球制造中心,过去10年中国国内产业部门尤其是能源密集型产业的快速发展,对CO<sub>2</sub>排放的贡献尤为显著。

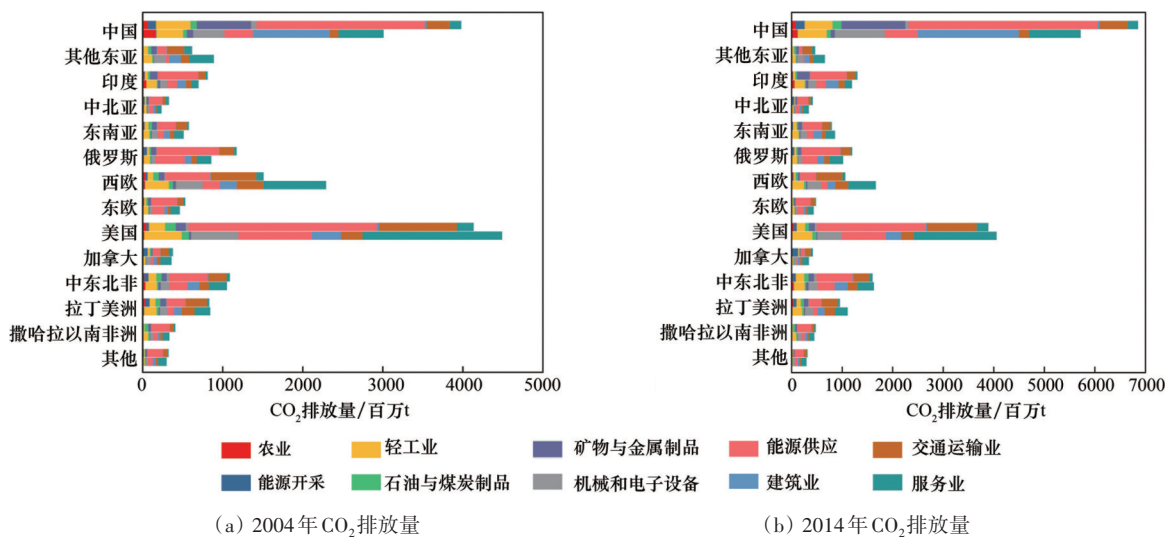


图1 全球各地区生产侧与消费侧CO<sub>2</sub>排放

消费侧排放是由每个区域的最终需求所引起的直接和间接排放量,最终需求是导致CO<sub>2</sub>排放的重要驱动因素,与生产侧排放相比,消费侧排放从消费和需求角度来衡量特定区域的资源消耗和污染排放。2004年和2014年全球消费侧CO<sub>2</sub>排放量从16336.3百万t增加至19794.6百万t,2004年美国消费侧CO<sub>2</sub>排放量最高,为4490.8百万t,其次为中国(3009.7百万t)和西欧(2291.8百万t),贡献了全球消费侧CO<sub>2</sub>排放总量的59.9%。到2014年,全球消费侧CO<sub>2</sub>排放的57.8%来自中国(5719.4百万t)、美国(4056.2百万t)和西欧(1667.8百万t)。从全球各区域和部门消费侧CO<sub>2</sub>排放变化来看,2014年中国、印度、东南亚等区域消费侧CO<sub>2</sub>排放较2004年有所增加,涨幅分别为90.0%、71.2%、68.1%,主要因为这些欠发达区域经济的快速发展激发了对基础

设施建设和投资的巨大需求,另外随着生活水平的提高,人口众多的欠发达国家的消费水平也日渐增长。能源供应部门消费侧CO<sub>2</sub>排放大幅下降,其中西欧和东亚其他国家消费侧CO<sub>2</sub>排放降低幅度最大,下降幅度分别为27.2%和25.9%,这与新能源的应用、能源效率的提高和清洁能源的使用等措施密切相关。值得注意的是,服务业部门消费侧排放贡献存在一个鲜明的特征,美国、西欧和东亚其他国家等发达地区的服务业部门消费侧排放贡献均超过30%,特别是2014年美国服务业部门消费侧CO<sub>2</sub>排放占比高达40.1%。这体现出服务业在发达国家产业结构中的重要地位。而中国消费侧CO<sub>2</sub>排放以建筑业为主,2004年与2014年分别占比31.9%和35.0%,相较于2004年增幅高达109.0%,2014年服务业在中国产业结构中的份额相对较低,仅为

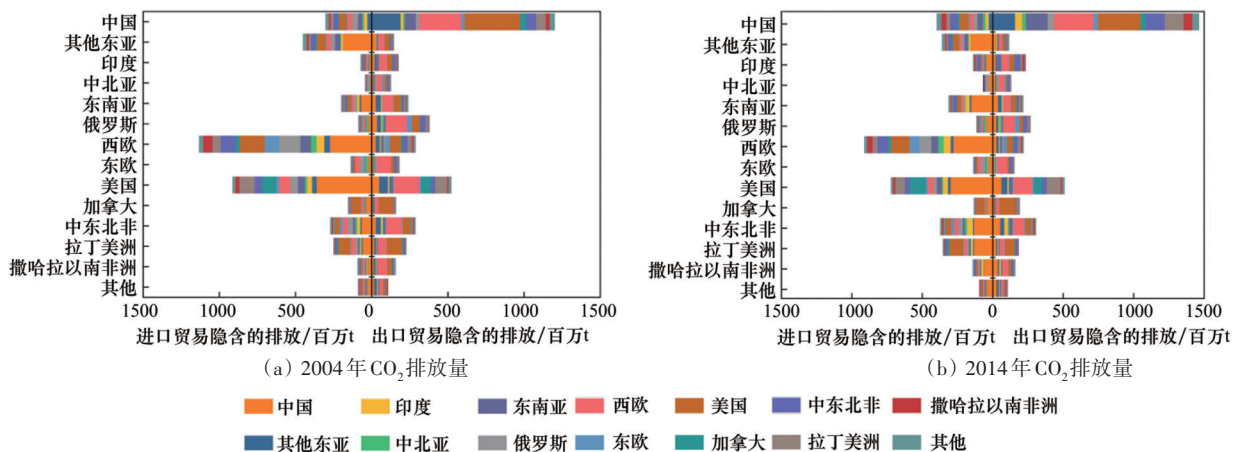
17.6%,与发达国家服务业驱动的经济模式相比,中国主要以基础设施建设和投资为主。

对比全球 14 个区域生产侧和消费侧 CO<sub>2</sub> 排放可知,2004 年和 2014 年美国、西欧、其他东亚等区域的消费侧 CO<sub>2</sub> 排放量大于生产侧,而生产侧高于消费侧排放量的区域,如中国和印度,为高能耗、高 CO<sub>2</sub> 排放聚集产业、矿产资源丰富的欠发达国家。2004—2014 年,中国生产侧 CO<sub>2</sub> 排放量从 3975.9 百万 t 增至 6848.4 百万 t,分别贡献了全球生产侧 CO<sub>2</sub> 排放总量的 23.9% 和 34.0%。随着全球产业链的重新配置,中国承接了大量的制造业转移,大量产品是为满足国外市场的需求而生产,国际贸易大大加重了中国碳排放负担。相比之下,美国、西欧、其他东亚国家的生产侧 CO<sub>2</sub> 排放量呈现下降趋势,一方面,可能是由于发达国家有效实施了减排措施,另一方面是由于发达经济体通过向欠发达经济体转移能源密集型和高碳排放产业或生产环节,以进口代替国内生产,减少了国内的碳排放。总体来说,发达地区消费侧碳排放大于生产侧,而欠发达地区消费侧碳排放则小于生产侧,国际贸易和产业链转移加重了欠发达地区的碳排放负担,发达经济体和欠发达经济体在共享贸易带来经济利益的同时,欠发达经济体却承担了更多的碳排放<sup>[40]</sup>。

### 2.2 全球供应链转移中隐含的碳排放转移

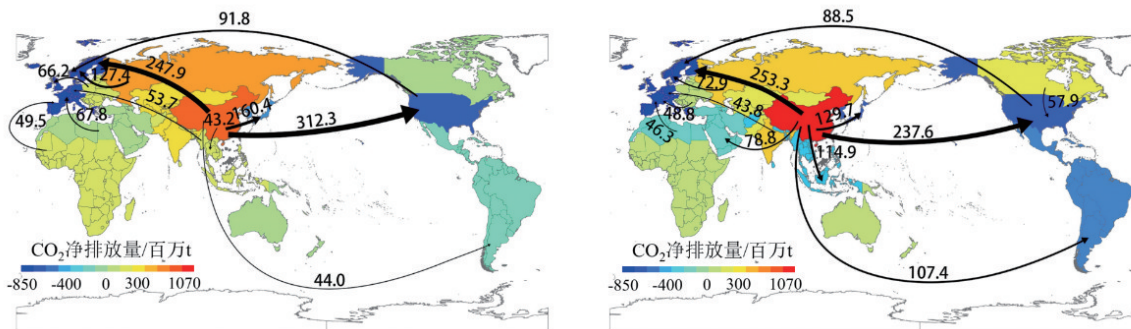
2004 和 2014 年全球贸易中隐含的 CO<sub>2</sub> 排放总量分别为 4181.5 百万 t 和 4244.0 百万 t。从全球双边贸易中隐含的 CO<sub>2</sub> 来看,2004 年,出口贸易隐含

碳排放最高的地区分别为中国(1200.0 百万 t)、美国(521.0 百万 t)和俄罗斯(378.3 百万 t),这些地区总 CO<sub>2</sub> 流出占全球 CO<sub>2</sub> 总流出的 50.2%。特别地,2004 年中国出口贸易中隐含的 30.2%(362.8 百万 t)、23.0%(275.8 百万 t)和 15.9%(191.3 百万 t) CO<sub>2</sub> 排放来自于美国、西欧和其他东亚国家的最终需求,尽管 2014 年中国贸易相关的碳排放主要出口国仍为美国、西欧和其他东亚国家,但这些地区的占比分别降低到 20.6%(301.0 百万 t)、19.2%(280.5 百万 t)和 11.0%(160.6 百万 t),由于中国生产成本提高和中国碳排放政策的进一步收紧,美国、西欧和其他东亚国家开始寻找其他回报率、碳排放环境宽松的地区进行产业转移,中国出口至发达国家产品中隐含的碳排放比例在不断减少。此外,2004 年美国分别有 31.6%(164.7 百万 t)、14.8%(77.3 百万 t)和 12.3%(64.1 百万 t)的出口贸易隐含的 CO<sub>2</sub> 排放来自于西欧、拉丁美洲和加拿大的最终需求,2014 年西欧、拉丁美洲的贡献依旧占据第 1 位(25.6%)和第 2 位(19.5%),而中国以 12.5%(63.4 百万 t)的贡献超越加拿大位居第 3。在 2004 年与 2014 年,中国在每个国家或地区隐含 CO<sub>2</sub> 的出口地中占比最高,中国隐含 CO<sub>2</sub> 的主要出口国始终为美国、西欧,以及东亚其他地区,说明美国、西欧,以及东亚其他地区向中国转移了大量的碳密集型产业,2004 年和 2014 年发达国家和地区超过 45% 的进口贸易隐含 CO<sub>2</sub> 排放集中在欠发达区域,特别是西欧、美国和东亚其他国家,这一占比可达 69% 以上(图 2)。



2004年,在其他东亚国家、美国、西欧进口贸易隐含CO<sub>2</sub>排放中,中国占据了主要地位,分别为42.6%、39.8%和24.4%。而随着全球经济一体化和区域贸易的发展,2014年这一比例有所增加,达到了44.7%、41.7%和30.8%。尽管中国占发达国家的进口比例在2004—2014年有所上升,但发达国家转移给中国的碳排放量有所下降,大量的研究已经证实<sup>[41-42]</sup>,由于中国生产成本的不断增加,大量碳密集型产业已经转移到东南亚等人力资源更丰富的地区。2004年进口贸易隐含CO<sub>2</sub>排放量最高的地区为西欧(1131.5百万t),其次为美国(912.2百万t)和其他东亚地区(449.4百万t)。受到欠发达国家和地区减排技术和措施实施的影响,上述3个区域2014年进口贸易隐含的CO<sub>2</sub>排放量分别降低到910.0百万t、720.9百万t和395.3百万t。2004年中国进口隐含CO<sub>2</sub>排放总量为301.4百万t,美国、俄罗斯以及东亚其他地区是中国最主要的三大贸易进口区,中国通过消费来自这3个地区的商品和服务而产生的碳排放分别为50.5百万t、36.2百万t和30.9百万t,分别占中国隐含CO<sub>2</sub>的进口量的16.8%、12.0%、10.3%。随着中国贸易经济的迅速发展,中国进口隐含CO<sub>2</sub>总量增至396.0百万t,美国依然是中国最大的进口隐含CO<sub>2</sub>贡献国,进口隐含碳量较2004年增长25.4%,中东与北非以及东南亚由于产品价格低廉、交通运输便利等综合优势,成为中国新的主要贸易进口国,进口隐含CO<sub>2</sub>量分别为55.2百万t和39.2百万t。

图3为2004年和2014年全球14个区域间贸易隐含CO<sub>2</sub>排放净转移流动(出口—进口)。2004年,中国是全球最大的贸易中隐含的碳排放净出口区域,净出口隐含CO<sub>2</sub>排放量为898.6百万t,占全球净出口隐含CO<sub>2</sub>总排放量的57.4%。俄罗斯(292.0百万t)、印度(104.3百万t)、撒哈拉以南非洲(64.2百万t)、东南亚(39.1百万t)等也均为隐含CO<sub>2</sub>净出口区域。随着全球经济的快速发展,2014年全球隐含CO<sub>2</sub>排放净流量相较于2004年有所增加,中国依然是最大的隐含CO<sub>2</sub>净出口区域(1065.9百万t),其他较大的隐含CO<sub>2</sub>净出口区域为俄罗斯(152.9百万t)和印度(95.5百万t),但中国对美国和其他东亚国家的隐含CO<sub>2</sub>净出口由312.3百万t、160.4百万t下降到237.6百万t、129.7百万t。与此同时,作为欠发达区域的东南亚和中东北非,从2004年的隐含CO<sub>2</sub>净出口区域到2014年转变为隐含CO<sub>2</sub>净进口区域,净进口量分别为96.2百万t和65.3百万t。这一结果改变了以往发达国家才是隐含碳净进口区域的固有印象,同时揭示了由于欠发展经济体产业结构单一,不能完全满足自身最终需求而需要依赖来自其他地区的产品与服务,导致这2个区域进口贸易隐含的CO<sub>2</sub>排放超过出口贸易,从而成为隐含CO<sub>2</sub>净进口区域。西欧和美国是全球最大的隐含CO<sub>2</sub>净进口区域,通过进口欠发达地区的高能耗高碳排放的产品避免了自身较高的碳排放,大量的碳排放通过国际贸易被掩盖。中国环境产品贸



(a) 2004年CO<sub>2</sub>排放净流出

(b) 2014年CO<sub>2</sub>排放净流出

出口贸易与进口贸易隐含的碳排放量差值为正的区域定义为隐含CO<sub>2</sub>净出口区域,差值为负则定义为隐含CO<sub>2</sub>净进口区域。底图编号:GS(2016)1666。

图3 全球地区间贸易中隐含的CO<sub>2</sub>排放净流出

易的扩大获得了贸易经济的发展,但对碳排放的影响表现为促进作用,增加了自身的环境责任<sup>[43]</sup>。

### 2.3 全球供应链转移中隐含的部门碳排放转移特征

图4提供了一种直观的方式追踪全球各区域经济部门之间的CO<sub>2</sub>排放流动。可以看出,供应部门方面,2004年能源供应部门(8364.7百万t)占据了主导地位,到2014年能源供应部门CO<sub>2</sub>排放量增至10132.9百万t,2004年和2014年能源供应部门占全球CO<sub>2</sub>排放量均超过50%。需求部门方面,2004年服务业(4607.3百万t)、能源供应(2747.8百万t)和建筑业(2375.0百万t)部门CO<sub>2</sub>排放量最

高,2014年需求部门服务业(5045.7百万t)、建筑业(3725.8百万t)的排放量显著增长,增长幅度分别为9.5%和56.9%,而能源供应的碳排放增至3067.3百万t,占比由16.8%下降至15.5%,尽管占比有所下降但能源供应的供应部门CO<sub>2</sub>排放量一直远高于需求部门,强调了能源作为经济发展动力和社会生产基础的核心地位。服务业和建筑业虽然在直接排放上不是主要的排放部门,但它们的需求活动却导致其他部门CO<sub>2</sub>排放间接升高,建筑业CO<sub>2</sub>排放量的明显增长反映了全球基础设施建设的活跃。

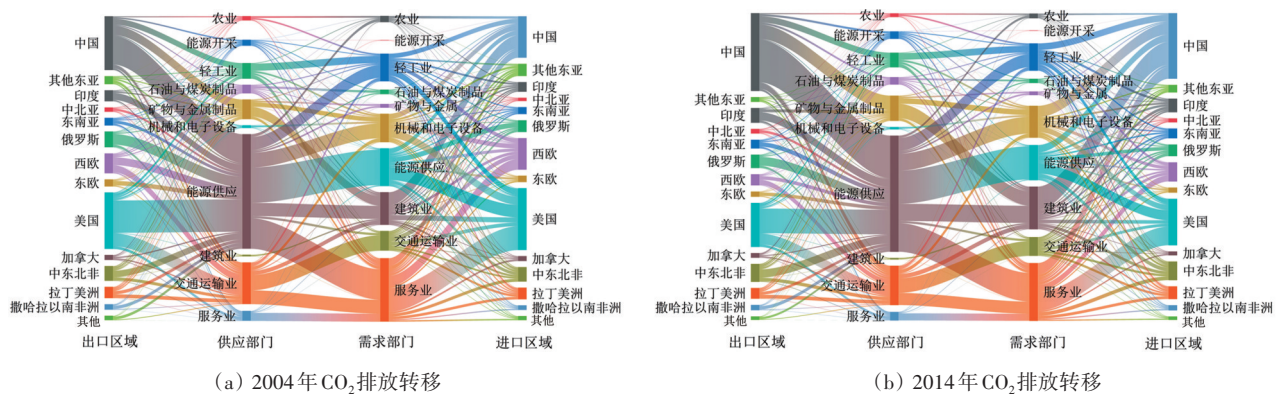


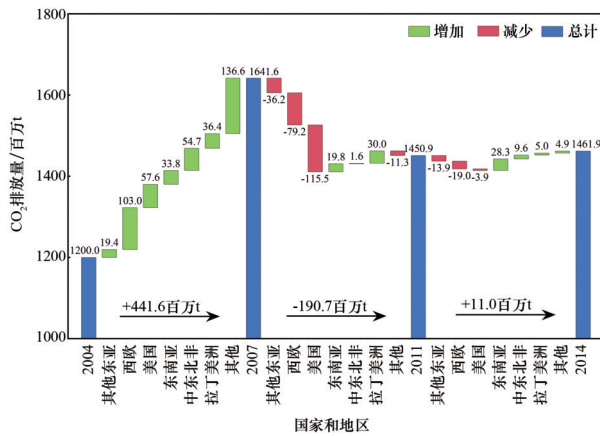
图4 区域间各部门产品贸易中隐含CO<sub>2</sub>排放转移

西欧进口中国能源供应部门中隐含的CO<sub>2</sub>排放量由144.1百万t增至159.5百万t,从中国其他工业和服务业等低能耗部门CO<sub>2</sub>的进口量有所下降。在西欧从其他国家或地区其他工业部门CO<sub>2</sub>的进口量下降的情况下,西欧从印度工业部门CO<sub>2</sub>的进口量有所上升,说明西欧的制造业进口链有由中国向印度转移的趋势;美国从中国轻工业部门和能源供应部门CO<sub>2</sub>的进口量由50.5百万t和192.1百万t减少为34.3百万t和173.0百万t,在美国从其他国家或地区能源供应部门和轻工业部门CO<sub>2</sub>的进口量下降的情况下,美国从东南亚轻工业部门CO<sub>2</sub>的进口量有所上升,虽然从所有国家或地区能源供应部门CO<sub>2</sub>的进口量下降,但美国从印度和东南亚能源供应部门CO<sub>2</sub>的进口量比例有所上升,这表明中国以人力资源为优势的轻工业正由于人力资源和生产成本的升高而有向东南亚转移的趋势;其他东亚国家从中国轻工业部门和能源供应部门CO<sub>2</sub>的

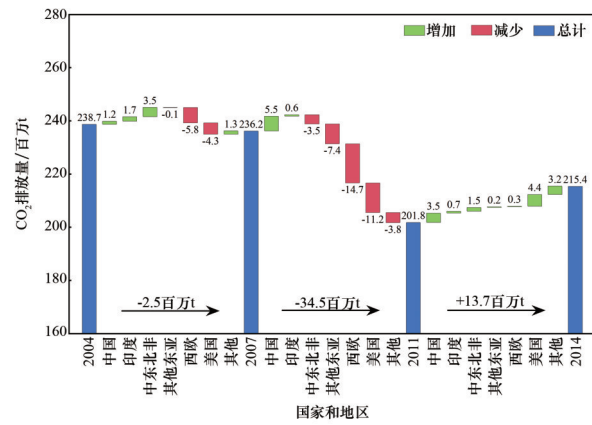
进口量由29.0百万t和101.1百万t减少为18.4百万t和90.2百万t,在从其他国家或地区其他工业部门CO<sub>2</sub>的进口量下降的情况下,其他东亚国家从东南亚轻工业部门CO<sub>2</sub>的进口量有所上升,说明其他东亚国家的制造业进口链有由中国向东南亚转移的趋势。总体来说,中国从2004—2014逐步将高能耗高碳排放的低端产业向东南亚和印度等地区进行转移,尽管中国贸易中隐含的碳排放总量依旧巨大,但从部门进口比例来看,这种转移的趋势已经出现。

### 2.4 全球供应链转移趋势及对中国碳排放的潜在影响

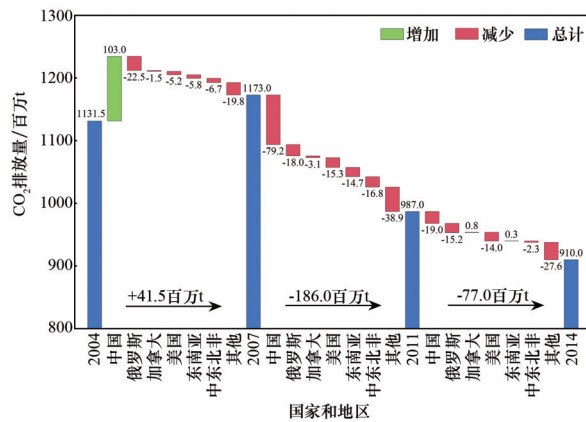
为了考察全球供应链转移趋势及对中国碳排放的潜在影响,本研究选取主要贸易出口地区中国和东南亚,以及主要进口地区西欧和美国,考察以上地区出口和进口贸易中隐含的碳排放转移趋势及地区贡献。由图5可以看出,中国在2004—2007年间的



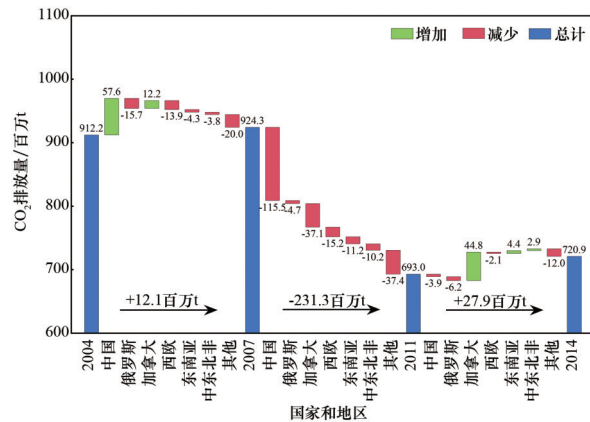
(a) 中国出口中隐含的碳排放变化及地区贡献



(b) 东南亚出口中隐含的碳排放变化及地区贡献



(c) 西欧进口中隐含的碳排放变化及地区贡献



(d) 美国进口中隐含的碳排放变化及地区贡献

图5 2004—2014年主要出口地区和进口地区贸易中隐含的碳排放转移趋势及地区贡献

出口贸易中隐含碳排放增长了441.6百万t,贡献最大的3个地区为西欧地区、美国和其他地区,分别贡献了103.0百万t、57.6百万t和136.6百万t。由于2008年的经济危机,2007—2011年,中国出口贸易中隐含碳排放减少了190.7百万t,其中,对减少量贡献最大的3个地区为美国、西欧和其他东亚,分别贡献了115.5百万t、79.2百万t和36.2百万t的减少量。2011—2014年,中国出口贸易中隐含碳排放增长了11.0百万t,其中,由于中美贸易脱钩和中国的产业链向东南亚转移等原因,中国不得不寻求更多的南南贸易,这导致西欧、其他东亚和美国分别贡献了19.0百万t、13.9百万t和3.9百万t的减少量,而东南亚、中东北非和拉丁美洲则分别贡献了28.3百万t、9.6百万t和5.0百万t的增加量。东南亚地区在2004—2007年和2007—2011年间的出口贸易中隐含碳

排放分别减少了2.5百万t和34.5百万t,这是由于2004—2007年间中国承接了大量发达地区转移出的产业,而东南亚地区此时还比较落后无法与中国竞争,另一方面,2008年的全球经济危机导致全球经济的衰落进一步降低了东南亚出口中隐含的碳排放。但在2011—2014年,东南亚出口贸易中隐含碳排放增长了13.7百万t,其中,贡献最大的2个地区为美国和中国,分别贡献了4.4百万t和3.5百万t的增加量。值得注意的是,2004—2014年间东南亚出口贸易中隐含碳排放中国始终都是正贡献,此外,2011—2014年间中国出口贸易中隐含碳排放西欧、美国的贡献在负贡献的同时,东南亚出口贸易中隐含碳排放西欧、美国却变为正贡献。上述结果表明,由于中美贸易摩擦以及中国生产成本的上升,发达地区的产业正逐步从中国转移到成本更低廉的东南亚地区。

为此,进一步研究了西欧地区和美国进口贸易中隐含的碳排放转移分地区贡献。结果显示,西欧2004—2007年间进口贸易中隐含碳排放增长了41.5百万t,其中,中国贡献了103.0百万t的增长量,而俄罗斯贡献了22.5百万t的减少量,2007—2011年间西欧进口贸易中隐含碳排放减少了186.0百万t,对隐含碳排放减少贡献最大的地区是中国,贡献了79.2百万t的减少量,2011—2014年间西欧进口贸易中隐含碳排放减少了77.0百万t,中国依旧是隐含碳排放减少贡献最大的地区,贡献了19.0百万t的减少量,而加拿大和东南亚地区分别贡献了0.8百万t和0.3百万t的增长量。与西欧地区相似,2004—2007年间美国进口贸易中隐含碳排放增长了12.1百万t,贡献最大的2个地区分别是中国和加拿大,分别贡献了57.6百万t和12.2百万t的增长量,在2007—2011年间美国进口贸易中隐含碳排放减少了231.3百万t,贡献最大的2个地区依旧是中国和加拿大,分别贡献115.5百万t和37.1百万t的减少量,2011—2014年间,美国进口贸易中隐含碳排放增长了27.9百万t,加拿大和东南亚地区分别贡献了44.8百万t和4.4百万t的增长量,而中国却贡献了3.9百万t的减少量。

上述结果表明,中国已经成为世界隐含碳排放的出口中心,而西欧和美国等发达地区则是进口中心。近年来,受到生产升本和环境成本的上漲、中美贸易摩擦和区域经济伙伴关系协定等因素的影响,中国的产业也开始逐步对外转移。

在新一轮的全球产业转移中,中国将作为新的转出地持续向中低收入的周边经济体转移以劳动密集型和资源密集型为主的产业,由于东南亚地区与中国产业结构相似以及地缘优势,未来,东南亚将成为新的产业转移承接地,打造以中国为核心,覆盖南亚和东南亚的全球制造体系,将显著降低中国碳排放量。

### 3 政策建议

随着经济全球化深入发展,国际贸易的增长对全球生产活动和碳排放造成了显著影响。特别是,

中国经济的快速增长导致生产成本上升,促使一些产业向成本较低的东南亚转移<sup>[44]</sup>,这一过程不仅反映了全球化的新阶段,也对全球碳排放格局产生了重要影响<sup>[29,45]</sup>。这一背景下,中国实现“双碳”目标面临的既有机遇也有挑战。

1) 在国际气候谈判中高度重视转移排放的问题:考虑到中国在减少全球碳排放以及推动公平合理的排放权分配中的关键作用,中国应在国际气候变化框架公约等谈判中,加大对转移排放问题的强调。此外,积极推动全球碳排放核算机制的建立,以反映生产和消费两端的責任,促进全球碳排放責任共担,确保中国等发展中大国获得公平合理的排放额度和排放权。

2) 推动国际供应链升级:积极拓展与国际合作伙伴(特别是发展中国家)的贸易往来,通过对外投资和开展企业合作以促进相关产业转移,推动国际供应链的升级。从注重供应规模扩张向注重价值创造转变,使高质量的制造业来支撑经济持续发展,改变中国目前在全球供应链中的地位,转变目前低附加值集聚的市场分工,提高国际竞争力,推动中国对外贸易走向绿色、低碳化的发展道路。

3) 优化产业结构和能源结构:当前中国正处于工业化的后期,出口规模仍将持续增长,因此必须通过提高能源利用效率、加大产业结构调整力度,特别是支持清洁能源和可再生能源的发展,减少传统化石能源在能源消费中的比重,推进低碳转型,这包括大力发展风能、太阳能、水能等可再生能源。

4) 优化出口贸易结构:与国际合作伙伴共同开发绿色产品和服务,推广环保的生产和运输方式,建立绿色供应链管理标准和评价体系,进一步优化出口产品结构,提升低碳、环保产品的出口比重,同时限制高耗能、高排放产品的出口。

5) 加强国内外政策协同:推进“双碳”目标的过程中,在国内政策制定与执行的同时,加强与国际合作,建立更加有效的沟通机制和协作平台,促进信息共享和政策协调,并稳步提升经济、环境、能源等关键领域的协同性,为国际气候治理和碳减排做出积极贡献。

## 4 结论

本研究分析了全球供应链转移中隐含的CO<sub>2</sub>排放转移及对中国碳排放的影响,主要结论如下。

1) 美国、西欧和其他东亚等发达地区,生产侧碳排放低于其消费侧碳排放,表明这些地区的本地生产活动导致的CO<sub>2</sub>排放小于它们最终需求产生的CO<sub>2</sub>排放,其中超过69%碳排放被外包给了欠发达国家或地区。相反,中国、俄罗斯、印度等欠发达国家或地区的生产侧碳排放大于消费侧碳排放,表明这些国家或地区部分CO<sub>2</sub>排放是为了满足国外其他国家的最终需求导致的,特别是发达国家或地区的最终需求。

2) 中国是全球最大的隐含碳净出口国,2014年净出口隐含CO<sub>2</sub>排放量为1065.9百万t,相较于2004年增加18.6%,主要出口给西欧、美国、其他东亚等发达区域。美国是中国进口隐含碳最大的贡献国。西欧和美国是隐含碳排放净流入最多的区域,分别为692.0百万t和213.0百万t,主要来自中国等欠发达经济体。发达经济体通过进口欠发达地区的环境产品避免了部分碳排放,增强了欠发达地区的减排难度。

3) 全球供应部门中导致CO<sub>2</sub>排放的主导部门为能源供应部门;需求部门中服务业、能源供应和建筑业部门CO<sub>2</sub>排放量最高。尽管相比于2004年,2014年能源供应部门CO<sub>2</sub>排放量占比有所下降,但一直远高于需求部门,体现能源在经济发展中的支柱作用。2004—2014年间,西欧的制造业进口链有从中国向印度转移的趋势,美国从印度和东南亚能源供应部门CO<sub>2</sub>的进口量比例有所上升,其他东亚国家的制造业进口链有由中国向东南亚转移的趋势。

4) 中国作为全球隐含碳排放的出口中心,2004—2014年间的出口贸易中隐含碳排放经历了先上升再下降的过程,伴随着中国出口贸易中隐含碳排放的下降,东南亚地区出口中隐含的碳排放却在经历全球经济危机后大幅升高。相反,西欧和美国等发达地区则是贸易隐含碳的进口中心,西欧和美国2004—2007年间进口贸易中隐含碳排放增长

很大程度上归功于中国的贡献,但2011—2014年间,西欧和美国进口贸易中隐含的碳排放增长贡献最大的地区已经转变为加拿大和东南亚。总的来说,中国东部沿海大量的以纺织业为代表的劳动密集型低端产业已经逐步转移到生产成本更低的东南亚地区,东南亚将逐步承接中国更多的产业链低端产业,未来,东南亚对发达地区进口贸易中隐含的碳排放贡献还将继续增加,而中国的贡献还会逐步降低。

本研究采用的投入产出数据和各国各部门碳排放数据由于统计误差的存在,以及部门和导致计算的消费侧碳排放存在一定的不确定性,另外为了便于结果的展示和讨论,本文将141个国家或地区合并为14个区域,65个部门合并为10个部门,这种分类方式也可能带来一定不确定性。有研究表明,不同全球MRIO模型计算的贸易中隐含的全球碳排放的差异约为13%<sup>[46]</sup>,并且发现其差异与生产侧碳排放清单密切相关,这表明MRIO模型自身的不确定性相对较小<sup>[47]</sup>。另外,受限于统计数据的滞后性,本研究采用的最新GTAP数据为2014年,而2014年之后全球供应链变化较大,后期随着数据的更新,可进一步研究近年全球供应链转移对中国碳排放的影响。

## 参考文献(References)

- [1] Babaeinesami A, Ghasemi P, Chobar A P, et al. A new wooden supply chain model for inventory management considering environmental pollution: A genetic algorithm [J]. Foundations of Computing and Decision Sciences, 2022, 47(4): 383-408.
- [2] Smith C J, Gasser T. Modeling the non-CO<sub>2</sub> contribution to climate change[J]. One Earth, 2022, 5(12): 1330-1335.
- [3] Sun Y, Zhang X B, Ding Y H, et al. Understanding human influence on climate change in China[J]. National Science Review, 2022, 9(3): nwab113.
- [4] Li R R, Wang Q, Liu Y, et al. Per-capita carbon emissions in 147 countries: The effect of economic, energy, social, and trade structural changes[J]. Sustainable Production and Consumption, 2021, 27: 1149-1164.

- [5] James N, Menzies M. Global and regional changes in carbon dioxide emissions: 1970–2019[J]. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 2022, 608: 128302.
- [6] Li J C, Sun Z H, Lu S Q. Assessment of carbon emission reduction contribution of Chinese power grid enterprises based on MCS-GA-ELM method[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2023, 30(9): 23422–23436.
- [7] Yang B, Cheng Y Q, Chen K, et al. Ester hydrolysis to alcohol using a combined reactive and extractive distillation with ionic liquids-based mixed solvents[J]. *Fuel*, 2022, 327: 125131.
- [8] Chen F, Sun W Y. How does carbon emissions efficiency affect OFDI? evidence from Chinese listed companies[J]. *Sustainability*, 2023, 15(17): 13145.
- [9] Liu C, Yang S X, Hao T X, et al. Service risk of energy industry international trade supply chain based on artificial intelligence algorithm[J]. *Energy Reports*, 2022, 8: 13211–13219.
- [10] Yu C P, Tang D C, Tenkorang A P, et al. The impact of the opening of producer services on the international competitiveness of manufacturing industry[J]. *Sustainability*, 2021, 13(20): 11224.
- [11] Li C X, Zhang X. The influencing mechanisms on global industrial value chains embedded in trade implied carbon emissions from a higher-order networks perspective [J]. *Sustainability*, 2022, 14(22): 15138.
- [12] Hu H, Xie N, Fang D B, et al. The role of renewable energy consumption and commercial services trade in carbon dioxide reduction: Evidence from 25 developing countries[J]. *Applied Energy*, 2018, 211: 1229–1244.
- [13] Peters G P, Hertwich E G. CO<sub>2</sub> embodied in international trade with implications for global climate policy[J]. *Environmental Science & Technology*, 2008, 42(5): 1401–1407.
- [14] Çay A A, Akan Y. The spatial analysis of green economy indicators of OECD countries[J]. *Frontiers in Environmental Science*, 2023, 11: 1243278.
- [15] Duan Y W, Jiang X M. Visualizing the change of embodied CO<sub>2</sub> emissions along global production chains[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 194: 499–514.
- [16] Wang H, Ang B W. Assessing the role of international trade in global CO<sub>2</sub> emissions: An index decomposition analysis approach[J]. *Applied Energy*, 2018, 218: 146–158.
- [17] Jiang S, Chishti M Z, Rjoub H, et al. Environmental R&D and trade-adjusted carbon emissions: Evaluating the role of international trade[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2022, 29(42): 63155–63170.
- [18] Sun C W, Chen L Y, Zhang F. Exploring the trading embodied CO<sub>2</sub> effect and low-carbon globalization from the international division perspective[J]. *Environmental Impact Assessment Review*, 2020, 83: 106414.
- [19] Arce G, López L A, Guan D B. Carbon emissions embodied in international trade: The post-China era[J]. *Applied Energy*, 2016, 184: 1063–1072.
- [20] Xu D X, Li Y G, Zhao M Y, et al. Spatial characteristics analysis of sectoral carbon transfer path in international trade: A comparison of the United States and China[J]. *Applied Energy*, 2022, 323: 119566.
- [21] Davis S J, Caldeira K. Consumption-based accounting of CO<sub>2</sub> emissions[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2010, 107(12): 5687–5692.
- [22] Zhang Y L, Pan B B. Shared responsibility of carbon emission for international trade based on carbon emission embodied between developing and developed countries[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2023, 30(7): 19367–19379.
- [23] Peters G P, Minx J C, Weber C L, et al. Growth in emission transfers via international trade from 1990 to 2008 [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2011, 108(21): 8903–8908.
- [24] Bolea L, Duarte R, Sánchez-Chóliz J. Exploring carbon emissions and international inequality in a globalized world: A multiregional-multisectoral perspective[J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2020, 152: 104516.
- [25] Yan Y F, Yang L K. China's foreign trade and climate change: A case study of CO<sub>2</sub> emissions[J]. *Energy Poli-*

- cy, 2010, 38(1): 350–356.
- [26] Prell C, Feng K S, Sun L X, et al. The economic gains and environmental losses of US consumption: A world-systems and input-output approach[J]. *Social Forces*, 2014, 93(1): 405–428.
- [27] Wang Y, Bi F F, Zhang Z K, et al. Spatial production fragmentation and PM<sub>2.5</sub> related emissions transfer through three different trade patterns within China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 195: 703–720.
- [28] Mert M, Caglar A E. Testing pollution haven and pollution halo hypotheses for Turkey: A new perspective[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, 27(26): 32933–32943.
- [29] 刘竹, 窦新宇, 于颖, 等. 中国在全球贸易中的隐含碳排放转移研究[J]. *计量经济学报*, 2023(4): 1225–1242.
- [30] 刘竹, 孟靖, 邓铸, 等. 中美贸易中的隐含碳排放转移研究[J]. *中国科学(地球科学)*, 2020, 50(11): 1633–1642.
- [31] Yang Y T, Qu S, Cai B F, et al. Mapping global carbon footprint in China[J]. *Nature Communications*, 2020, 11: 2237.
- [32] Chang X X, Sun G H, Zhou J H, et al. Technology outage risk and independent research and development investment decision in global supply chains[J]. *Fundamental Research*, 2023, doi: 10.1016/j.fmre.2023.06.004.
- [33] Zhao P, Wang L Y, Zhao L. Can sound health insurance increase the internal circulation in the economy of China?[J]. *Frontiers in Public Health*, 2021, 9: 710633.
- [34] Moeller J O. Policy brief: Imbalances will continue to rule over the global economy[J]. *The Singapore Economic Review*, 2016, 61(5): 1671002.
- [35] Meng J, Mi Z F, Guan D B, et al. The rise of South-South trade and its effect on global CO<sub>2</sub> emissions[J]. *Nature Communications*, 2018, 9: 1871.
- [36] Bai H Y, Irfan M, Hao Y. How does industrial transfer affect environmental quality? Evidence from China[J]. *Journal of Asian Economics*, 2022, 82: 101530.
- [37] Barrett J, Peters G, Wiedmann T, et al. Consumption-based GHG emission accounting: A UK case study[J]. *Climate Policy*, 2013, 13(4): 451–470.
- [38] Du J, Ma J M, Huang T, et al. Response of Arctic black carbon contamination and climate forcing to global supply chain relocation[J]. *Environmental Science & Technology*, 2023, 57(23): 8691–8700.
- [39] Leontief W W. Quantitative input and output relations in the economic systems of the United States[J]. *The Review of Economics and Statistics*, 1936, 18(3): 105.
- [40] Deng G Y, Xu Y. Accounting and structure decomposition analysis of embodied carbon trade: A global perspective[J]. *Energy*, 2017, 137: 140–151.
- [41] 岳圣淞. 第五次国际产业转移中的中国与东南亚: 比较优势与政策选择[J]. *东南亚研究*, 2021(4): 124–149.
- [42] 于佳. 疫情下全球供应链重整的新趋势: 国际产业转移的决定因素与评估体系[J]. *经济导刊*, 2020(6): 76–81.
- [43] Wang S J, Wang J Y, Chen X J, et al. Impact of international trade on the carbon intensity of human well-being[J]. *Environmental Science & Technology*, 2023, 57(17): 6898–6909.
- [44] Pappas D, Chalvatzis K J, Guan D, et al. Energy and carbon intensity: A study on the cross-country industrial shift from China to India and SE Asia[J]. *Applied energy*, 2018, 225: 183–194.
- [45] 董聪, 王晨, 董秀成. 国际产业转移对各国碳排放的影响研究: 基于多区域投入产出模型[J]. *深圳社会科学*, 2021, 4(2): 61–74, 119.
- [46] Peters G P, Davis S J, Andrew R. A synthesis of carbon in international trade[J]. *Biogeosciences*, 2012, 9(8): 3247–3276.
- [47] Zhang Q, Jiang X J, Tong D, et al. Transboundary health impacts of transported global air pollution and international trade[J]. *Nature*, 2017, 543: 705–709.

## Impact of global supply chain transfer on China's "dual-carbon" goals

WANG Runyu<sup>1</sup>, HUANG Tao<sup>1\*</sup>, LING Zaili<sup>2</sup>, REN Ji<sup>1</sup>, WEI Zijian<sup>1</sup>, SONG Shijie<sup>1</sup>, MA Jianmin<sup>3</sup>

1. Key Laboratory for Environmental Pollution Prediction and Control, College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China
2. College of Agricultural and Forestry Economics & Management, Lanzhou University of Finance and Economics, Lanzhou 730020, China
3. Laboratory for Earth Surface Processes, College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China

**Abstract** With the deepening of globalization and the accelerated transfer of international supply chains, developing countries, such as China, have become global manufacturing centers, which has significant impact on global distribution of CO<sub>2</sub> emissions. In the present study, we quantitatively estimate CO<sub>2</sub> emissions transfer embodied in trade for 141 countries and regions in 2004 and 2014 and the impact on CO<sub>2</sub> emissions in China by using the multi-regional input-output (MRIO) model. Results show that CO<sub>2</sub> emissions embodied in global dramatically increased during 2004—2014 due to further strengthening of trade activities among the countries. In 2014, CO<sub>2</sub> emissions embodied in global trade was 4244 million tons, accounting for approximately one-quarter of the total global emissions. As the center of CO<sub>2</sub> emissions transfer embodied in trade, the net transfer of CO<sub>2</sub> emissions embodied in export in China increased from 1200 million tones to 1462 millions in 2014, accounting for 28% and 34% of global carbon transfers. In China, CO<sub>2</sub> emissions embodied in the export sector have concentrated in energy-intensive and carbon-intensive industries, while those embodied in the import sector concentrated in low-energy-consuming industries such as services and light industry. Thus, in the context of the global supply chain transfer and China's "dual carbon" goals, to reduce CO<sub>2</sub> emissions, China should actively advocate to establish a global carbon emission accounting framework based on the production-consumption joint responsibility, to ensure fair and reasonable allocation of emission rights. At the same time, China should optimize the export trade structure, accelerate transformation of low-carbon economy, and improve energy efficiency. In addition, it is necessary to strengthen international cooperation, establish effective communication and collaboration platforms, and make positive contributions to global CO<sub>2</sub> emissions reduction and climate governance.

**Keywords** global supply chain transfer; "dual-carbon" goals; multi-regional input-output analysis; CO<sub>2</sub> emissions transfer ●



(责任编辑 徐丽娇)