

DOI:10.7524/j.issn.0254-6108.2021082504

丁浩, 张晋, 刘建林, 等. 基于投入产出分析的广东贸易隐含碳排放研究[J]. 环境化学, 2023, 42(1): 231-240.

DING Hao, ZHANG Jin, LIU Jianlin, et al. Input-output analysis on regional trade embodied carbon emissions of Guangdong Province[J]. Environmental Chemistry, 2023, 42 (1): 231-240.

## 基于投入产出分析的广东贸易隐含碳排放研究\*

丁浩<sup>1</sup> 张晋<sup>1\*\*</sup> 刘建林<sup>2</sup> 张惠<sup>3</sup> 唐川东<sup>4</sup>  
刘毅<sup>5</sup> 郝艳茹<sup>1</sup> 桂东伟<sup>6</sup>

(1. 暨南大学生命科学技术学院, 生态学系/水生生物研究所, 广州, 510632; 2. 华南农业大学公共管理学院, 广州, 510642; 3. 广州大学公共管理学院, 广州, 510006; 4. 中国城市规划设计研究院西部分院, 重庆, 401121; 5. 中国石油天然气股份有限公司西南油气田分公司安全环保与技术监督研究院, 成都, 610000; 6. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 新疆策勒荒漠草地生态系统国家野外科学观测研究站, 乌鲁木齐, 830011)

**摘要** 根据《巴黎协定》发展目标, 我国计划将在2030年前实现碳达峰, 2060年前实现碳中和, 意义重大且任务艰巨. 为实现减排目标, 将减排责任落实到省际层面, 准确核算省际间由于贸易带来的碳转移问题, 对于完善碳排放工程中的权利和义务, 实现碳排放控制目标至关重要. 粤港澳大湾区是国家战略建设重点, 本研究基于多区域投入产出数据, 核算了湾区核心广东省2012年、2015年和2017年各部门和各行业的碳排放总量, 分析了广东省由于贸易带来的输入和输出隐含碳的排放特征. 研究结果表明, 2012—2017年间, 广东省属于碳排放净流入区域, 但净流入量逐年递减. 从行业的角度来看, 重工业、服务业和运输业; 从部门的角度来看, 化学产品、批发与零售和通信设备、计算机和其他电子设备, 是广东省重点排放的行业和部门. 此外, 广东省输出的地区主要是河南、浙江和江苏等地; 输入的地区主要是内蒙古、河北和江苏等地. 研究成果将为碳排放空间配置的优化和碳排放权交易的制定提供理论支持.

**关键词** 碳排放, 投入产出表, 广东省.

## Input-output analysis on regional trade embodied carbon emissions of Guangdong Province

DING Hao<sup>1</sup> ZHANG Jin<sup>1\*\*</sup> LIU Jianlin<sup>2</sup> ZHANG Hui<sup>3</sup> TANG Chuandong<sup>4</sup>  
LIU Yi<sup>5</sup> HAO Yanru<sup>1</sup> GUI Dongwei<sup>6</sup>

(1. Department of Ecology/Institute of Hydrobiology, College of Life Science and Technology, Jinan University, Guangzhou, 510632, China; 2. School of Public Administration, South China Agricultural University, Guangzhou, 510642, China; 3. School of Public Administration, Guangzhou University, Guangzhou, 510006, China; 4. China Academy Of Urban Planning & Design Western Branch, Chongqing, 401121, China; 5. PetroChina Southwest Oil & Gasfield Company Safety, Environment & Technology Supervision Research Institute, Chengdu, 610000, China; 6. State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi, 830011, China)

**Abstract** According to the goal of the Paris Agreement, China aims to have CO<sub>2</sub> emissions peak before 2030 and achieve carbon neutrality before 2060, which is of great significance and an arduous task. Therefore, to achieve the goal of emissions reduction, it needs to implement the responsibility of

2021年8月25日收稿(Received: August 25, 2021).

\* 国家自然科学基金(42077156)和广东省基础与应用基础研究基金(2020A1515011130)资助.

Supported by the National Natural Science Foundation of China (42077156) and Guangdong Basic and Applied Basic Research Foundation (2020A1515011130).

\*\* 通信联系人 Corresponding author, Tel: 17137622386, E-mail: jzhang@jnu.edu.cn

emissions reduction to the provincial level and accurately calculate the carbon migration caused by inter-provincial trade, which is important to improve the rights and obligations in the carbon emissions. The Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area is one of the main focuses of the national strategic construction of China. This study calculates the total carbon emissions of various sectors and industries in the core province Guangdong in 2012, 2015 and 2017, and estimates the carbon emissions characteristics of the input-output embodied carbon of Guangdong Province. The results show that Guangdong province belongs to the net inflow region of carbon emissions during 2012—2017, but the net inflow decreased year by year. From the perspective of industries, heavy industry, service industry, and transportation industry are the key industries; From the perspective of sectors, chemical products, wholesale and retail trade, and communication equipment, computers and other electronic equipment are the key sectors. In addition, the export areas of Guangdong are mainly Henan, Zhejiang, and Jiangsu. The import areas are mainly Inner Mongolia, Hebei, and Jiangsu. The results provided herein would assist the optimization of the spatial allocation of carbon emissions and the assignment of the carbon emissions trade.

**Keywords** Carbon Emissions, Input-Output Table, Guangdong Province.

近年来,经济的快速发展和全球气候变暖对生态环境和人类生产生活产生越来越显著的影响<sup>[1]</sup>,尤其是由于化石燃料燃烧引起的温室气体排放已经成为全球性难题,由此如何有效应对经济发展和气候变化带来的环境问题<sup>[2-3]</sup>已经成为人类社会共同面临的最严峻挑战之一<sup>[4]</sup>。目前全球大多数国家已经签署了共同应对气候变化的《巴黎协定》并明确了碳中和的时间节点。碳排放权的实质是发展权,已成为各国竞争夺取重要的话语权之一,实现碳达峰及碳中和成为全球竞争的重要筹码。根据国际能源署(IEA)二氧化碳排放量数据<sup>[5]</sup>,2019年中国碳排放全球占比约29%,其后分别为美国(15%)、欧盟(10%)、印度(7%)、俄罗斯(4%)、日本(3%)。目前,美国、欧盟等目前已基本实现碳达峰。根据《巴黎协定》发展目标,我国将在2030年前实现碳达峰,2060年前实现碳中和,这意味着作为世界上最大的发展中国家,我国将完成全球最高碳排放强度降幅,用全球历史上最短的时间实现从碳达峰到碳中和,意义重大同时也任务艰巨。

“碳达峰”目标既是我国高质量发展的内在要求,也是我国作为负责任的大国在应对全球气候变化中所做的巨大努力。国内外对碳排放达峰问题已经开展了诸多研究<sup>[6-9]</sup>,从国家的宏观层面上,加快能源结构调整与产业结构升级,加强生态环境保护,同时也要落实到省际层面上,排放的空间转移问题也需要充分的考虑,遵循公正合理、可持续的基本原则。我国幅员辽阔,各省的经济发展和产业结构都存在较大差异<sup>[10]</sup>,并且在各省发展联系日益紧密的背景下,省际间的输入和输出贸易往来密切,因此更需要合理分析区域贸易所带来的隐含碳的排放,提供公平合理的区域治理方案,优化区域间贸易模式以促进我国碳减排<sup>[11-12]</sup>。

粤港澳大湾区作为国家战略建设重点,是我国最具经济活力的区域之一,《巴黎协定》的签署将会促进粤港澳大湾区的区域碳排放管理。2019年2月,国务院颁发《粤港澳大湾区发展规划纲要》,在大湾区建设碳期货交易市场,加快推进粤港澳大湾区与全国交易市场一体化<sup>[13]</sup>。而广东省作为大湾区发展的核心,在促进碳减排的机制探索中,扮演着极为重要的角色。

因此,本研究重点以广东省作为研究区域,探索基于总量控制的区域贸易隐含碳排放问题,揭示影响区域碳排放的经济部门及行业;同时估算广东省与其他省份碳排放的输入与输出总量,研究成果将为碳排放空间配置的优化和碳排放权交易的制定提供理论支持。

## 1 研究方法 with 数据来源(Methods and data sources)

### 1.1 贸易隐含碳的核算模型

19世纪30年代,Leontief提出投入产出分析<sup>[14]</sup>,经过发展得到广泛应用。投入产出分析是基于投入

产出表的分析方法,投入产出表反映了各部门的投入产出关系<sup>[15]</sup>。目前基于投入产出法的隐含碳计算模型主要有两种:双边贸易模型和多区域投入产出分析模型。多区域投入产出分析模型将双边贸易数据拆分为中间消费和最终消费,对数据的精确度和完整性要求高,更适合做深入分析。本研究采用多区域投入产出分析模型,投入产出的基本经济学关系如下所示:

$$x^r = y^{im} + y^{rr} + e^r - m^r \quad (1)$$

式中,  $x^r$  表示总产出;  $y^{im}$  表示中间需求;  $y^{rr}$  表示最终需求,包括农村居民需求、城市居民需求、政府需求以及投资和存货;  $e^r$  和  $m^r$  分别代表出口和进口的贸易值,公式如下所示:

$$e^r = \sum_s e^{rs} + e^{re} \quad (2)$$

$$m^r = \sum_s e^{sr} + e^{mr} \quad (3)$$

式中,  $e^{rs}$  表示国内贸易中区域  $r$  到区域  $s$  的调出量,包括中间需求和最终需求;  $e^{re}$  表示国际贸易中区域  $r$  出口到国外的量;  $e^{sr}$  表示国内贸易中区域  $r$  从区域  $s$  的调入量;  $e^{mr}$  表示国际贸易中区域  $r$  从国外的进口量。

$$f^{rr} = F^r (y^{im} + y^{rr}) \quad (4)$$

$$f^{rs} = F^r e^{rs} \quad (5)$$

$$f^{sr} = F^s e^{sr} \quad (6)$$

式中,  $f^{rr}$  表示区域由本区域所产生的满足自身需求的碳排放;  $f^{rs}$  表示在双边贸易中从区域  $r$  出口到区域  $s$  时的隐含碳排放;  $f^{sr}$  表示在双边贸易中从区域  $s$  出口到区域  $r$  的隐含碳排放,也就是区域  $r$  从区域  $s$  进口的隐含碳排放;  $F^r$  和  $F^s$  分别是区域  $r$  和区域  $s$  的碳排放系数,代表单位产值中的碳排放。本文重点分析国内各省对于广东省的输入与输出,故不考虑国内进口和出口之间的隐形碳的调入调出量。

在国内双边贸易中,区域  $r$  出口贸易中隐含的碳排放总量可以通过把出口到各区域的隐含碳排放叠加得到:

$$f^{rs*} = \sum_s f^{rs} \quad (7)$$

类似地,可以得到区域  $r$  进口贸易中隐含的碳排放总量:

$$f^{sr*} = \sum_s f^{sr} \quad (8)$$

对区域  $r$  而言,基于生产者角度的碳排放总量是为满足自身需求本区域所产生的碳排放,以及调出到国内其他区域的隐含碳排放的总和:

$$f_p^r = f^{rr} + f^{rs*} \quad (9)$$

区域  $r$  基于消费者角度的碳排放总量是为满足自身需求本区域所产生的碳排放,以及从国内其他区域调入的隐含碳排放的总和:

$$f_c^r = f^{rr} + f^{sr*} \quad (10)$$

## 1.2 二氧化碳排放模型

根据政府间气候变化专门委员会(IPCC)推荐并被广泛使用的二氧化碳排放核算方法<sup>[16]</sup>,二氧化碳的排放量可由能源消费的活动数据 AD 和相对应的排放因子 EF 得到,如公式所示:

$$CE_c = AD \times EF \quad (11)$$

而排放因子 EF 与能源燃料的种类,质量以及燃烧属性有关,可进一步分解为燃料的热值含量 NCV、碳含量 CC 和氧化率  $O$ :

$$EF = NCV \times CC \times O \quad (12)$$

综上,能源燃料消耗所产生的二氧化碳排放量:

$$CE_c = AD \times NCV \times CC \times O \quad (13)$$

除能源燃料产生的二氧化碳排放量,水泥生产过程也会产生相对应的二氧化碳排放:

$$CE_c = AD \times EF \quad (14)$$

各省碳排放强度  $F$  由各省的总碳排放量  $CE$  和经济总产出  $E$  得到:

$$F = (CE_c + CE_e)/E \quad (15)$$

### 1.3 数据来源

根据《中国 2012 年区域间非竞争型投入产出表》、《中国 2015 年区域间非竞争型投入产出表》、《中国 2017 年区域间非竞争型投入产出表》<sup>[17]</sup>, 本研究涵盖了 42 个社会经济部门, 区域包含除西藏自治区、香港和澳门特别行政区、台湾省之外的中国 30 个省、直辖市和自治区。

根据国家统计局《能源统计年鉴》, 在众多化石燃料中, 原煤、原油和天然气是主要能源, 其余燃料属于二次能源. 因此本研究计算各省原煤、原油、天然气和水泥产生的碳排放量<sup>[18-19]</sup>. 大部分省份的行业化石燃料消耗是从相应的省份统计中收集的, 对于一些没有年鉴数据的省份, 采用了 2008 年以来的全国经济普查数据, 该数据假设在这期间产业结构是稳定的<sup>[20]</sup>. 由于 IPCC 的默认排放因子比中国的调查值高约 40%, 因此数据使用了截止发稿前最新的排放因子<sup>[21]</sup>.

此外如表 1 所示, 本研究以投入产出表的部门划分为基础, 将 42 个部门划分为 8 个行业, 将部门 1 统称为农业, 部门 2—5 称为采选业, 部门 6—10 称为轻工业, 部门 11—23 称为重工业, 部门 24—26 称为能源生产业, 部门 27 则为建筑业, 部门 28—30 称为运输业, 剩下的部门则为其服务业。

表 1 投入产出表的部分编号及分类

Table 1 Sector numbers and classification of input-output table

编号 Numbers	部门 Sectors	行业 Industries	编号 Numbers	部门 Sectors	行业 Industries
S1	农林牧渔产品和服务	农业	S22	其他制造产品	重工业
S2	煤炭采选产品	采选业	S23	金属制品、机械和设备修理服务	
S3	石油和天然气开采产品		S24	电力、热力的生产和供应	能源生产业
S4	金属矿采选产品		S25	燃气生产和供应	
S5	非金属矿和其他矿采选产品		S26	水的生产和供应	
S6	食品和烟草		轻工业	S27	建筑
S7	纺织品	S28		批发和零售	运输业
S8	纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品	S29		交通运输、仓储和邮政	
S9	木材加工品和家具	S30		住宿和餐饮	其他服务业
S10	造纸印刷和文教体育用品	S31		信息传输、软件和信息技术服务	
S11	石油、炼焦产品和核燃料加工品	S32	金融		
S12	化学产品	S33	房地产		
S13	非金属矿物制品	S34	租赁和商务服务		
S14	金属冶炼和压延加工品	S35	科学研究		
S15	金属制品	S36	技术服务		
S16	通用设备	重工业	S37	水利、环境和公共设施管理	
S17	专用设备	S38	居民服务、修理和其他服务		
S18	交通运输设备	S39	教育		
S19	电气机械和器材	S40	卫生和社会工作		
S20	通信设备、计算机和其他电子设备	S41	文化、体育和娱乐		
S21	仪器仪表	S42	公共管理、社会保障和社会组织		

## 2 结果与讨论(Results and discussion)

### 2.1 广东省各部门隐含碳排放

基于生产者角度分析,广东省 2012—2017 年的碳排放量分别是 390.82 Mt、362.29 Mt 和 434.61 Mt。基于消费者角度分析得到的碳排放量分别是 542.73 Mt、487.19 Mt 和 530.26 Mt,呈现先减后增的趋势,这也和国家整体的碳排放格局相一致<sup>[19]</sup>。由于消费的碳排放量都大于生产的碳排放量,表明广东省在 2012—2017 年都属于碳排放净流入区域,净流入量为 151.91 Mt、124.9 Mt 和 95.65 Mt,见图 1a。

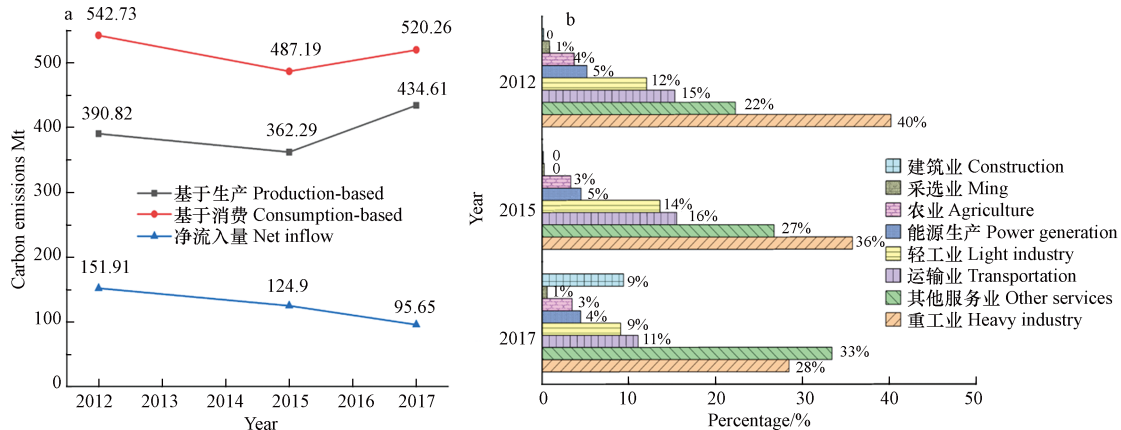


图 1 2012—2017 年的(a)碳排放总量及(b)各行业排放所占比重

Fig.1 (a) Total amount of carbon emissions and (b) proportions of various industries from 2012 to 2017

2012—2017 年广东省隐含碳排放量最多的 3 个行业是重工业、服务业和运输业,总体占比维持稳定(从 2012 年的 77.86% 到 2017 年的 72.95%),见图 1b。2012 年 3 个行业的排放量分别为 142.16 Mt、78.81 Mt 和 54.13 Mt; 2015 年 3 个行业的排放量为 116.13 Mt、86.75 Mt 和 50.42 Mt; 2017 年 3 个行业的排放量为 95.15 Mt、111.66 Mt 和 36.96 Mt。

重工业和服务业的碳排放变化趋势明显,重工业的占比从 2012 年的 40% 下降到 2017 年的 28%(142.16—95.15 Mt)。服务业与之相反,从 22% 上升到 33%(78.81—111.66 Mt)。

广东省这些年处于经济转型升级阶段,服务保持较快发展势头,贡献率和投资占比稳步提升,远超第一第二产业,逐渐成为拉动经济增长的主动力<sup>[22]</sup>。由于 2017 年广东省建筑行业固定资产形成总额比 2015 年多了 13117 亿元,导致建筑行业的隐含碳排放上升到 9%,但其他行业诸如运输业、轻工业和农业等所排放的二氧化碳比重变化不大。

从表 2 广东省 42 部门的碳排放量情况来看,2012 年排放量最大的部门为通信设备、计算机和其他电子设备。作为沿海经济发达省份,广东高新技术产业密集,技术型企业数量位居全国前列,隐含碳排放量为 33.62 Mt。排在第二和第三位的部门分别为化学产品和批发与零售,隐含碳的排放量分别为 27.97 Mt 和 25.05 Mt。此外,广东省已成为我国七大石化产业基地之一,石化工业主营收入居全国第三位,其中乙烯、涂料产量和成品油的消费量位居全国第一<sup>[23]</sup>。其次作为劳动力输入大省,大部分的产业属于劳动力密集型产业,碳排放主要集中在纺织服装鞋帽皮革的批发与零售业,这 3 个部门的隐含碳排放量占总排放量的 24.52%。2015 年的排放量前三的部门为批发与零售(24.91 Mt)、化学产品(24.86 Mt)和通信设备、计算机和其他电子设备(24.68 Mt),占总排放量的 22.94%。

2017 年排放量最高的 3 个部门则有所不同,建筑行业的碳排放量占总体的 9.42%,建筑部门(31.46 Mt)成为广东省排放量最高的部门,传统的高排放部门通信设备、计算机和其他电子设备(23.15 Mt)排在第二。由于广东服务业经济贡献率增大,金融、房地产业和批发与零售是服务业中 3 大服务部门,金融业部门(21.38 Mt)、房地产(21.19 Mt)和批发与零售(16.19 Mt)的碳排放量排在广东省所有部门中第三、第四和第六位,前三个部门的排放量占总排放量的 22.74%。

表 2 广东省 42 部门的碳排放量及其比重

Table 2 Carbon emissions (Mt) of 42 sectors in Guangdong Province and their proportions

部门 Sectors	排放量/Mt Emissions	占比/% Percentage	部门 Sectors	排放量/Mt Emissions	占比/% Percentage	部门 Sectors	排放量/Mt Emissions	占比/% Percentage	
2012年	S1	13.19	3.73	S15	12.18	3.45	<b>S29</b>	<b>15.05</b>	<b>4.26</b>
	S2	0.00	0.00	S16	4.91	1.39	<b>S30</b>	<b>14.03</b>	<b>3.97</b>
	S3	1.72	0.49	S17	3.92	1.11	S31	8.46	2.39
	S4	0.57	0.16	S18	11.64	3.29	S32	8.45	2.39
	S5	0.92	0.26	<b>S19</b>	<b>16.18</b>	<b>4.58</b>	<b>S33</b>	<b>16.41</b>	<b>4.65</b>
	<b>S6</b>	<b>16.41</b>	<b>4.65</b>	<b>S20</b>	<b>33.62</b>	<b>9.51</b>	S34	12.58	3.56
	S7	5.37	1.52	S21	0.43	0.12	S35	5.41	1.53
	S8	9.12	2.58	S22	0.28	0.08	S36	3.88	1.10
	S9	3.20	0.91	S23	2.45	0.69	S37	1.14	0.32
	S10	8.57	2.43	S24	0.09	0.03	S38	4.70	1.33
	S11	6.28	1.78	<b>S25</b>	<b>16.76</b>	<b>4.74</b>	S39	4.98	1.41
	<b>S12</b>	<b>27.97</b>	<b>7.92</b>	S26	1.55	0.44	S40	4.26	1.20
	S13	9.06	2.56	S27	0.74	0.21	S41	1.49	0.42
	<b>S14</b>	<b>13.26</b>	<b>3.75</b>	<b>S28</b>	<b>25.05</b>	<b>7.09</b>	S42	7.04	1.99
2015年	S1	10.87	3.35	<b>S15</b>	<b>8.89</b>	<b>4.32</b>	<b>S29</b>	<b>13.97</b>	<b>4.31</b>
	S2	0.00	0.00	S16	4.82	1.48	S30	11.54	3.56
	S3	0.00	0.00	S17	3.14	0.97	S31	4.46	1.38
	S4	0.27	0.08	S18	9.70	2.99	S32	8.52	2.63
	S5	0.65	0.20	<b>S19</b>	<b>11.84</b>	<b>3.65</b>	<b>S33</b>	<b>17.75</b>	<b>5.47</b>
	<b>S6</b>	<b>14.78</b>	<b>4.56</b>	<b>S20</b>	<b>24.68</b>	<b>7.60</b>	<b>S34</b>	<b>16.25</b>	<b>5.01</b>
	S7	5.71	1.76	S21	0.07	0.02	S35	9.11	2.81
	S8	9.90	3.05	S22	0.31	0.09	S36	6.10	1.88
	S9	4.55	1.40	S23	1.53	0.47	S37	1.72	0.53
	S10	9.21	2.84	S24	0.09	0.03	S38	2.89	0.89
	S11	3.07	0.95	<b>S25</b>	<b>13.02</b>	<b>4.01</b>	S39	5.72	1.76
	<b>S12</b>	<b>24.86</b>	<b>7.66</b>	S26	1.57	0.48	S40	6.71	2.07
	S13	9.23	2.84	S27	0.58	0.18	S41	0.62	2.07
	S14	8.89	2.74	<b>S28</b>	<b>24.91</b>	<b>7.68</b>	S42	6.90	2.13
2017年	S1	11.65	3.49	S15	8.10	2.42	<b>S29</b>	<b>13.27</b>	<b>3.97</b>
	S2	0.00	0.00	S16	3.86	1.16	S30	7.50	2.25
	S3	1.25	0.37	S17	1.01	0.30	<b>S31</b>	<b>15.50</b>	<b>4.64</b>
	S4	0.00	0.00	S18	9.42	2.82	<b>S32</b>	<b>21.38</b>	<b>6.40</b>
	S5	0.79	0.24	S19	6.47	1.94	<b>S33</b>	<b>21.19</b>	<b>6.34</b>
	<b>S6</b>	<b>12.29</b>	<b>3.68</b>	<b>S20</b>	<b>23.15</b>	<b>6.93</b>	S34	11.80	3.53
	S7	3.77	1.13	S21	0.15	0.05	S35	0.00	0.00
	S8	4.10	1.23	S22	2.12	0.63	S36	5.51	1.65
	S9	2.56	0.77	S23	0.05	0.02	S37	2.07	0.62
	S10	7.57	2.26	<b>S24</b>	<b>13.09</b>	<b>3.92</b>	S38	5.08	1.52
	S11	3.55	1.06	S25	1.15	0.34	S39	8.61	2.58
	<b>S12</b>	<b>19.20</b>	<b>5.74</b>	S26	0.71	0.21	S40	9.15	2.74
	S13	8.63	2.58	<b>S27</b>	<b>31.46</b>	<b>9.42</b>	S41	0.97	0.29
	S14	9.44	2.82	<b>S28</b>	<b>16.19</b>	<b>4.85</b>	S42	10.41	3.12

综上所述,广东省要进行碳减排,首先要从这4个行业(重工业、服务业、运输业和建筑业)入手,再细化到42部门各自排放的特点:工业优先考虑通信设备、计算机和其他电子设备和化学产品,使用更加节能环保的清洁能源,增加太阳能和风能的比例,推广使用电动汽车,减少运输业带来的碳排放;服务业则优先考虑批发与零售、金融和房地产,优化服务业结构,推行低碳环保的生活理念,降低能源消费所带来的碳排放。

## 2.2 广东省与其他省份之间隐含碳的输入输出

大规模区域间贸易导致的商品和服务的跨区域流动也将产生大量隐含碳的输入与输出,对各区域碳排放总量形成不可忽视的影响。因此本研究基于2012—2017年的区域间的投入产出表,研究了广东省与其他29各省份之间的隐含碳的输入与输出,如表3所示。

表3 广东省与其他省份之间隐含碳的输入输出(Mt)

Table 3 Input and output of embodied carbon between Guangdong Province and other provinces in 2012(Mt)

年份	省份 Provinces	输出 Output	输入 Input	净流量 Net inflow	省份 Provinces	输出 Output	输入 Input	净流量 Net inflow
2012年	北京	2.25	2.48	0.23	河南*	3.18	10.34	7.15
	天津	1.17	3.27	2.10	湖北	0.72	2.30	1.58
	河北*#	3.42	15.69	12.27	湖南	0.83	6.63	5.80
	山西	1.11	11.37	10.26	广西	1.05	4.13	3.08
	内蒙古#	1.69	16.55	14.87	海南	0.41	2.41	2.00
	辽宁	1.06	7.82	6.77	重庆	0.96	5.60	4.64
	吉林	0.63	3.48	2.85	四川	0.90	3.55	2.65
	黑龙江	0.90	6.31	5.41	贵州	0.78	2.18	1.40
	上海*	3.63	4.46	0.84	云南	1.42	8.72	7.30
	江苏#	2.23	16.88	14.64	陕西	1.43	9.42	7.99
	浙江	1.97	6.12	4.15	甘肃	0.57	3.08	2.52
	安徽	1.93	10.90	8.97	青海	0.16	0.68	0.52
	福建	0.81	2.71	1.90	宁夏	0.14	1.91	1.77
	江西	0.68	3.19	2.51	新疆	0.91	8.83	7.92
山东	0.56	8.40	7.84	总计	37.51	189.71	151.91	
2015年	北京	2.07	3.68	1.61	河南*	3.21	8.15	4.94
	天津	1.08	4.32	3.24	湖北	0.91	2.71	1.80
	河北#	0.81	13.50	12.69	湖南	0.91	5.85	4.94
	山西	1.02	10.88	9.85	广西	1.14	2.98	1.84
	内蒙古#	1.24	12.83	11.59	海南	0.51	1.99	1.48
	辽宁	1.11	7.77	6.66	重庆	1.80	3.67	1.87
	吉林	0.49	3.73	3.24	四川	1.00	1.80	0.80
	黑龙江	0.71	7.34	6.63	贵州	1.00	2.77	1.76
	上海	2.37	5.93	3.56	云南	1.71	3.15	1.43
	江苏*#	3.08	18.26	15.18	陕西	1.39	3.88	2.49
	浙江*	3.17	4.30	1.12	甘肃	0.63	1.76	1.13
	安徽	2.54	11.35	8.81	青海	0.21	0.21	0.00
	福建	0.98	3.26	2.28	宁夏	0.15	0.50	0.35
	江西	0.81	2.87	2.06	新疆	0.76	6.23	5.47
山东	0.93	7.01	6.07	总计	37.78	162.68	124.90	
2017年	北京	6.68	2.50	-4.18	河南*	7.59	12.91	5.32

续表 3

	省份	输出	输入	净流量	省份	输出	输入	净流量
	Provinces	Output	Input	Net inflow	Provinces	Output	Input	Net inflow
2017年	天津	2.69	2.06	-0.63	湖北	1.76	1.50	-0.26
	河北	2.19	12.81	10.62	湖南*	9.36	5.57	-3.79
	山西	1.75	5.02	3.28	广西#	2.94	21.06	18.12
	内蒙古#	3.13	18.85	15.72	海南	1.84	4.19	2.35
	辽宁#	3.82	29.54	25.72	重庆	4.05	4.71	0.66
	吉林	1.54	6.00	4.47	四川	2.98	1.87	-1.11
	黑龙江	2.20	4.73	2.53	贵州	3.00	5.42	2.41
	上海	3.27	5.23	1.96	云南	3.77	0.29	-3.48
	江苏	6.11	11.71	5.59	陕西	3.38	6.43	3.05
	浙江*	11.02	6.17	-4.84	甘肃	0.88	1.28	0.40
	安徽	4.22	4.92	0.70	青海	0.24	0.27	0.03
	福建	1.36	2.83	1.47	宁夏	1.01	0.53	-0.48
	江西	2.43	5.70	3.28	新疆	2.44	7.52	5.08
	山东	2.80	4.48	1.68	总计	100.45	196.11	95.65

注: 流出是广东流出其他省份, 流入是其他省流入广东省, 净流量是净流入广东省的碳排放量。\*为输出量前三的省份, #为输入量前三的省份。

Note: Outflow refers to the outflow from Guangdong to other provinces, inflow refers to the inflow from other provinces to Guangdong, and net flow refers to the net inflow of carbon emissions to Guangdong. \* are the top three provinces in terms of output, # are the top three provinces in terms of input.

广东省在 2012—2017 年属于碳排放净流入区域。受到碳达峰目标的影响, 各省的碳排放强度都有不同程度的下降(除内蒙古、辽宁、宁夏和新疆有所上升), 但对广东的贸易输入量稳定, 由此导致各省输入广东省的整体碳排放量下降, 从 2012 年净输入量为 151.91 Mt 下降到 2017 年 95.65 Mt, 呈现逐年递减的趋势。与此同时广东省向其他省份输出的碳排放量却增加了, 在 2012 年和 2015 年向其他省输出了 37.51 Mt 和 37.78 Mt; 2017 年的输出量高达 100.45 Mt。这是由于广东输出其他省的贸易量从 2015 年的 18892 亿上升到 2017 年 43113 亿, 更能促进区域间商品消费的服务业碳排放比重逐年增加, 由此带来了更高的隐含碳输出量。

从具体输出的省份来看, 2012 年广东省输出前三的省份分别为上海(3.63 Mt)、河北(3.42 Mt)和河南(3.18 Mt), 分别占总输出量的 9.67%、9.12% 和 8.49%; 2015 年广东省输出前三的省份分别为河南(3.21 Mt)、浙江(3.17 Mt)和江苏(3.08 Mt), 占总输出量的 8.51%、8.39% 和 8.16%; 2017 年广东省输出前三的省份分别为浙江(11.02 Mt)、湖南(9.36 Mt)和河南(7.59 Mt), 占总输出量的 10.97%、9.31% 和 7.56%; 虽然输出前三的总量随年份不同有所变化(从 2012 年的 10.23 Mt, 下降到 2015 年的 9.46 Mt, 再上升到 2017 年的 27.97 Mt), 但整体输出占比保持在 25%—28% 之间, 更多集中经济发达地区上海和江苏等地。

具体输入的省份则更多取决于输入省份的碳排放强度以及贸易量, 2012 年输入广东省前三的省份分别为江苏(16.88 Mt)、内蒙古(16.55 Mt)和河北(15.69 Mt), 占总输入量的 8.91%、8.74% 和 8.28%; 2015 年输入广东省前三的省份为江苏(18.26 Mt)、河北(13.5 Mt)和内蒙古(12.83 Mt), 占总输入量的 11.23%、8.3% 和 7.89%; 2017 年输入广东省前三的省份分别为辽宁(29.54 Mt)、广西(21.06 Mt)和内蒙古(18.85 Mt), 占总输入量的 15.06%、10.74% 和 9.61%。2012 年和 2015 年前三省份的输入量维持在 28% 左右, 2017 年输入占比为 37.16%。产生上述分布特征主要是因为内蒙古和辽宁的碳排放强度从 2015 年的每万元 1.52 t、0.66 t 上升到每万元 1.86 t、0.85 t, 是除宁夏外增幅最大的两个城市。而广西输入广东的贸易量从 2015 年的 475 亿上升到 2017 年 4285 亿, 是输入广东省贸易量最高的省份。其他省份的输入贸易量稳定且碳排放强度都有所下降, 所以导致 2017 年的这 3 个省份的输入量总体增加了近 8%。



### 3 结论(Conclusion)

本研究采用多区域投入产出模型,核算了湾区核心广东省 2012 年、2015 年和 2017 年基于生产者 and 消费者角度的碳排放,对各部门贸易中隐含碳排放进行了估算,分析了广东省与其他省份之间隐含碳的输入与输出特征,得到以下主要结论:

(1)从生产者角度计算广东省 2012 年、2015 年和 2017 年的碳排放量分别是 390.82、362.29、434.61 Mt,而基于消费者角度计算得到的碳排放量分别为 542.73 Mt、487.19 Mt 和 530.26 Mt,说明广东省 2012—2017 年都属于碳排放净流入区域,净流入量为 151.91 Mt、124.9 Mt 和 95.65 Mt,呈现逐年递减的趋势。

(2)从部门的角度来看,通信设备、计算机和其他电子设备、化学产品、批发与零售、建筑和金融是广东省近些年隐含碳排放的重点部门;从行业来看,重工业、服务业、运输业和建筑业是广东省隐含碳排放的重点行业.因此广东省要实施碳减排,首先要从这 4 个行业分析入手,再细化到这 5 个部门各自排放的特点进行针对性的减排。

(3)2012 年广东省输出 37.51 Mt,前三的省份为上海、河北和河南;其他省向广东省的输入量为 189.41 Mt,前三的省份为内蒙古、江苏和河北.2015 年广东省输出 37.78 Mt,前三的省份为河南、浙江和江苏;输入量为 162.68 Mt,前三的省份为江苏、内蒙古和河北.2017 年广东省输出 100.45 Mt,前三的省份为浙江、湖南和河南;2017 年输入量为 196.11 Mt,前三的省份为辽宁、内蒙古和广西。

针对广东省的碳排放情况,给出以下政策建议:

(1)推动产业结构转型升级,鼓励发展绿色低碳产业,支持引导传统产业节能和减排技术改造;大力发展循环经济,促进循环经济产业发展,支持产业园区循环化改造,促进能源资源集约节约利用,推动产业生态化和产业园区生态化发展,降低能源资源消耗强度。

(2)加大绿色低碳技术创新力度,降低绿色低碳发展成本,提高高耗能、高排放等重点行业节能减排项目,提升节能减排的效率效果.大力推进太阳能光伏发电、生物质能、潮汐能、风能等新能源和可再生能源的工艺技术和设备研发创新。

(3)推动碳金融创新发展,积极拓宽城市公共自行车、公共交通、农业等碳排放权来源和实现形式,进一步完善碳排放权交易市场建设,推动实现碳排放权的市场价值,调动相关主体的参与积极性。

(4)在推进产业结构绿色升级过程中,需进一步优化第三产业部门结构,因地制宜,均衡制定减排措施。

(5)各个省级行政机构的减排政策,不仅需要进行自身的产业结构优化升级,还需要全国各个区域统筹兼顾,协调一致,循序渐进地实现减排目标。

#### 参考文献 (References)

- [ 1 ] LI R F, CAI J L, LI J F, et al. Characterizing the long-term occurrence of polycyclic aromatic hydrocarbons and their driving forces in surface waters [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2022, 423: 127065.
- [ 2 ] YANG W, ZHANG J, MEI S B, et al. Impact of antecedent dry-weather period and rainfall magnitude on the performance of low impact development practices in urban flooding and non-point pollution mitigation [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 320: 128946.
- [ 3 ] DONG L, ZHANG J. Predicting polycyclic aromatic hydrocarbons in surface water by a multiscale feature extraction-based deep learning approach [J]. *Science of the Total Environment*, 2021, 799: 149509.
- [ 4 ] 沈永平, 王国亚. IPCC 第一工作组第五次评估报告对全球气候变化认知的最新科学要点 [J]. *冰川冻土*, 2013, 35(5): 1068-1076.  
SHEN Y P, WANG G Y. Key findings and assessment results of IPCC WGI fifth assessment report [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2013, 35(5): 1068-1076 (in Chinese).
- [ 5 ] International Energy Agency(IEA). *Emission from Fuel Combustion*[R]. 2019.
- [ 6 ] 王金南, 蔡博峰, 曹东, 等. 中国 CO<sub>2</sub> 排放总量控制区域分解方案研究 [J]. *环境科学学报*, 2011, 31(4): 680-685.  
WANG J N, CAI B F, CAO D, et al. Scenario study on regional allocation of CO<sub>2</sub> emissions allowance in China [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2011, 31(4): 680-685 (in Chinese).

- [ 7 ] 刘春兰,蔡博峰,陈操操,等. 中国碳减排目标的地区分解方法研究述评 [J]. *地理科学*, 2013, 33(9): 1089-1096.  
LIU C L, CAI B F, CHEN C C, et al. Review of carbon mitigation targets allocation in China [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2013, 33(9): 1089-1096(in Chinese).
- [ 8 ] YI W J, ZOU L L, GUO J, et al. How can China reach its CO<sub>2</sub> intensity reduction targets by 2020? A regional allocation based on equity and development [J]. *Energy Policy*, 2011, 39(5): 2407-2415.
- [ 9 ] 余慧超,王礼茂. 中美商品贸易的碳排放转移研究 [J]. *自然资源学报*, 2009, 24(10): 1837-1846.  
YU H C, WANG L M. Research on the carbon emission transfer by Sino-US merchandise trade [J]. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(10): 1837-1846(in Chinese).
- [10] 黄蕊,王铮,钟章奇,等. 区域贸易隐含碳排放和SO<sub>2</sub>排放的投入产出分析:以江苏为例 [J]. *自然资源学报*, 2017, 32(5): 854-863.  
HUANG R, WANG Z, ZHONG Z Q, et al. Input-output analysis of embodied carbon emissions and SO<sub>2</sub> emissions in regional trade: A case study of Jiangsu [J]. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(5): 854-863(in Chinese).
- [11] 张晓梅,庄贵阳. 中国省际区域碳减排差异问题的研究进展 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2015, 25(2): 135-143.  
ZHANG X M, ZHUANG G Y. China provincial carbon emissions differences research progress and prospect [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2015, 25(2): 135-143(in Chinese).
- [12] 张友国. 碳排放视角下的区域间贸易模式:污染避难所与要素禀赋 [J]. *中国工业经济*, 2015(8): 5-19.  
ZHANG Y G. China's regional trade patterns under the perspective of carbon emissions: Pollution haven and factor endowment [J]. *China Industrial Economics*, 2015(8): 5-19(in Chinese).
- [13] 李江涛,陈俊成,周霖. 粤港澳大湾区实现碳排放与绿色金融协同发展分析 [J]. *当代经济*, 2020(11): 40-43.  
LI J T, CHEN J C, ZHOU L. Analysis on the coordinated development of carbon emission and green finance in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area [J]. *Contemporary Economics*, 2020(11): 40-43(in Chinese).
- [14] NEISSER R. The Structure of American Economy, 1919-1929: An Empirical Application of Equilibrium Analysis by Wassily W. Leontief [J]. *American Economic Review*, 1941, 31(3): 608-610.
- [15] LI R F, ZHANG J, KREBS P. Consumption- and income-based sectoral emissions of polycyclic aromatic hydrocarbons in China from 2002 to 2017 [J]. *Environmental Science & Technology*, 2021, 55(6): 3582-3592.
- [16] IPCC. Guidelines for national greenhouse gas inventories[R]. 1996.
- [17] CEADs. China multi-regional input-output tables[EB/OL]. [2021-04-27].
- [18] SHAN Y L, GUAN D B, ZHENG H R, et al. China CO<sub>2</sub> emission accounts 1997-2015 [J]. *Scientific Data*, 2018, 5: 170201.
- [19] SHAN Y L, HUANG Q, GUAN D B, et al. China CO<sub>2</sub> emission accounts 2016-2017 [J]. *Scientific Data*, 2020, 7(1): 54.
- [20] 国家统计局能源统计司. 中国能源统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 1986-2017.  
The National Bureau of Statistics Division of the energy. China Energy Statistics Yearbook[M]. Beijing: China Statistic Publishing House, 1986-2017(in Chinese).
- [21] LIU Z, GUAN D B, WEI W, et al. Reduced carbon emission estimates from fossil fuel combustion and cement production in China [J]. *Nature*, 2015, 524(7565): 335-338.
- [22] 熊静,杜绵擎,张小玲,等. 广东省服务业发展回顾及展望 [J]. *发展改革理论与实践*, 2017(6): 18-20,17.  
XIONG J, DU M Q, ZHANG X L, et al. Review and prospect of service industry development in Guangdong Province [J]. *Journal of Development & Reform*, 2017(6): 18-20,17(in Chinese).
- [23] 沈家龙. 广东省石化产业发展现状与建议 [J]. *山东化工*, 2019, 48(15): 94-95,99.  
SHEN J L. Development status and strategy on Guangdong petrol-chemical industry [J]. *Shandong Chemical Industry*, 2019, 48(15): 94-95,99(in Chinese).