

引用格式: 宋文明, 汤淑娟, 邹嘉龄, 等. 中国南北差距扩大背景下区域间隐含碳和增加值流动[J]. 资源科学, 2024, 46(11): 2163-2177. [Song W M, Tang S J, Zou J L, et al. Interregional flows of embodied carbon and value-added in the context of widening north-south disparities in China[J]. Resources Science, 2024, 46(11): 2163-2177.] DOI: 10.18402/resci.2024.11.06

中国南北差距扩大背景下区域间 隐含碳和增加值流动

宋文明^{1,2}, 汤淑娟^{1,2}, 邹嘉龄³, 唐志鹏^{1,4}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049; 3. 广东外语外贸大学广东国际战略研究院, 广州 510020; 4. 北京物资学院经济学院, 北京 101149)

摘要:【目的】经济发展差距的变化所引发的隐含碳与增加值转移改变较少受到关注, 研究二者之间的匹配关系可揭示中国南北区域差距扩大前后贸易流动的不均衡性。【方法】本文在2013年后中国南北经济差距扩大的背景下, 基于环境拓展的多区域投入产出模型来追踪南北间的隐含碳与增加值流动变化新特征, 明确主导产业和地区, 并结合结构分解方法分析背后的驱动因素。【结果】①从2007年、2012年再到2017年南北隐含碳转移总量均处于增长态势, 但在2013年南北差距扩大之后, 由南向北的隐含碳流动增长相对较快, 遏制了原净碳转移的快速扩大趋势并趋于规模平衡; ②南北之间增加值的流动格局, 2007年、2012年由南向北流动, 到2017年转变为由北向南, 此外北方的电力、热力生产供应业和石油、天然气的开采业分别是隐含碳和增加值的重要生产方, 而南方的纺织业和服务业分别是其隐含碳和增加值的主导行业。③碳排放与增加值在南北方向转移主要原因均是来自城镇居民消费。【结论】南北差距扩大后, 南方向北方继续转移碳排放, 同时增加值则出现由北向南的转移, 南北间经济收益与碳流动开始处于不均衡态势。未来在制定碳减排和交易政策规定时, 需要基于低碳消费的生活理念, 更多关注重点行业和地区。

关键词: 南北差距; 隐含碳转移; 增加值转移; 投入产出模型; 结构分解分析; 中国

DOI: 10.18402/resci.2024.11.06

1 引言

作为全球最大的能源消费和二氧化碳排放国^[1], 中国为了减缓温室气体引发全球气候的变化提出了许多控制碳排放的政策, 其中包括力争到2030年前实现碳达峰和2060年前实现碳中和的“双碳”目标。但由于中国不同地区之间的生产和消费活动差异, 为了满足本地以及外地的需求, 跨区域的产品服务流动不可避免地带来了碳转移^[2]。同时碳转移受到地区间经济差距的影响是显著的, 其转移规模在中国各省份之间存在明显差异^[3], 由此分析不同区域的隐含碳是必要的^[4], 特别是分析隐含

碳排放的转移量和方向^[5,6], 这对“双碳”政策的针对性落地实施具有重要指导意义^[7]。对于贸易中体现的隐含碳不均衡问题, 学者们主张以消费为基础而不是以生产为基础进行碳排放的计算^[8,9]。

隐含碳流动话题一直受到国内外学者广泛关注, 主要包括3种类型的碳转移: 国际化碳转移^[10,11]、区域间碳转移^[12,13]和行业间碳转移^[14,15]。在国际贸易中发达国家(地区)良好的经济发展水平是以较不富裕的发展中国家大量排放二氧化碳为代价的^[16,17], 类似的现象也发生在一个国家的各个地区之间^[18,19], 发达地区往往将高污染高碳排放的产业

收稿日期: 2023-12-26; 修订日期: 2024-05-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(42171177; 41661144023; 42201193)。

作者简介: 宋文明, 男, 安徽芜湖人, 硕士生, 研究方向为城市与区域可持续发展。E-mail: songwenming5019@igsnrr.ac.cn

通讯作者: 唐志鹏, 男, 四川成都人, 教授, 研究方向为经济地理与区域可持续发展。E-mail: tangzp@igsnrr.ac.cn

转至欠发达和环境规制相对较弱的地区从而实现隐含碳的转移^[20,21],大量研究分析了中国国内贸易中的隐含碳流动^[22,23]和驱动因素^[24,25]。这些研究详细捕捉到了中国内部隐含碳的流动模式,并且从东西部差距、沿海与内陆等角度来描述省际间隐含碳流动特征。Feng等^[26]研究发现中国57%的碳排放与在省外消费的商品有关。在高度发达的沿海省份,高达80%的与商品消费相关的排放是从中西部欠发达省份输入的,这些欠发达省份生产了许多低附加值但高碳密集型的商品。Mi等^[27]发现后金融危机时期中国碳排放进入了一个新时代,在2013年后,西南和中部地区的崛起已成为一个新特征,推高了全国贸易中的碳排放规模,并且强化了隐含碳流动的内陆收敛格局。中国国内碳排放产业结构和流动的变化显著受到国际性和区域产业转移的共同作用^[28]。He等^[29]研究发现,2007—2017年期间中国国内的二氧化碳排放呈两极分化趋势。具体表现为欠发达、污染更严重的西北地区向中国其他地区转移的二氧化碳排放量持续扩大,这种两极分化趋势被解释为中国各地区产业同步升级和各地区发展与排放脱钩差异持续增大所导致的。

区域经济的梯度差异被认为是产业转移和要素流动的内生动力,区域经济发展程度越高,劳动收入越高,环境标准也越高,因此许多污染企业倾向于选择环境法规执行较低的地区,从而加剧了地区碳泄漏问题^[30]。目前,中国存在着两大经济差距:东西差距和南北差距,比较两者可以发现东西部差距表现为发展水平的差距,而南北差距表现为增长率的差距,并且一直在扩大^[31]。中国经济南快北慢的发展势头突出,其发展不平衡格局逐渐制约着中国经济的高质量发展,逐渐引起学界广泛关注^[32]。南北之间日益扩大的经济差距也对环境产生了影响,一些学者从资源禀赋、产业、制度、创新等不同角度探讨了南北经济差距的原因^[33,34]。Liang等^[35]认为中国南北经济已出现明显差距,且差距迅速扩大。此外Li等^[36]利用多区域投入产出模型揭示了中国南北地区发展差距对碳排放的影响,首次指出2017年碳转移呈现显著的由北向南转移趋势的重要结论。需要明确的是区域间贸易关联的背后是由于经济收益所驱动,当区域间因异地消费时,不

仅产生了隐含碳排放的流动,同时也附着着经济增加值的转移。作为贸易过程中的关键因素,增加值一直伴随着流动但却很少与碳转移一起从南北间区域均衡性的视角进行分析讨论^[37]。

综上,鲜有研究阐明中国南北经济差距扩大前后区域间隐含碳-增加值的流动态势整体变化,是否会引起南方地区将更多的碳排放转移到北方地区,以及增加值的转移是否发生显著改变都尚不清楚,因此本文将基于2007、2012和2017年省际间投入产出已知最新数据探索南北经济差距扩大背景下的隐含碳与增加值流动特征。与现有文献相比,本文的边际贡献为:①从一个新颖的视角分析了中国经济进入新常态后,南北经济差距扩大背景下区域间隐含碳-增加值的转移变化特征,有助于落实因南北经济新格局所带来的区域碳排放与增加值流动不均衡的减排责任分配问题。②探讨南北经济差距所引发的隐含碳与增加值转移模式变化及其驱动因素,并通过对相关主导产业和影响因素的识别,在南北经济差距扩大背景下从增加值与碳排放的双重视角提出对南北地区碳减排与经济增长相协调的实施方案。

2 研究区域简介

1978年改革开放以来,中国从计划经济主导的工业化初期阶段逐步走向市场分工主导的工业化后期,同时这一时期也是经济全球化加速推进和制造业分工转移深入变革的时代,中国开始出口导向型发展战略,“大进大出”和“两头在外”的传统国际大循环模式深刻影响着中国南北产业结构分工变迁^[38]。2001年中国加入世界贸易组织后,开启了国内近10年的高速增长期,中国出口生产能力同海外市场对于制造业消费品的巨大需求完成接轨^[39,40]。

南北方在这段经济快速增长过程中逐渐形成了北方上游工业为主和南方下游产业为主的地区优势互补式垂直分工体系。南方沿海地区成为中国制成消费品加工出口的集中地,大量承接海外产品订单,出口包括以劳动密集型为主的纺织品和技术密集型为主的信息通讯、机械运输设备等产品。而北方工业体系则一直通过加强同南方企业的贸易关联,充分利用其产能优势,包括能源、钢铁、煤炭等运输至南方。南北方在出口导向的贸易格局

2024年11月

体系中发挥了自身的比较优势,这也是两大区域在2013年前保持稳步增长的主要原因^[38]。

但在2008年全球金融危机爆发后,中国出口型“北上南下”产业分工布局开始流露其弊端。多重因素的作用下,出口对中国经济的拉动作用被大大削弱,内需拉动经济增长过程中发挥的作用日益重要,但传统分工体系却无法适应标准化与个性化需求并存的国内市场结构,南方开始结合自身优势寻求技术进步和产业升级,而北方经济则在经济转型中出现衰退迹象,这也是2013年以后中国经济进入新常态的内在逻辑^[41]。

通过图1中可以看出,2007年—2012年,南北方GDP增速基本保持一致。而从2013年开始,这种现象出现了较大变化,南北方之间的GDP增速呈现出不断加剧扩大的趋势,2013年南北GDP增速差距只有0.43%,而到了2016年,已经扩大到1.9%,2017年差距虽然有所缩小,但依然达到了1.4%。2012—2017年,北方经济年均增长7.3%,低于南方8.5%的年均增速,北方落后南方1.2个百分点。10年间,北方经济占全国比重已从42.6%下降至39.0%,而南方经济则上升至61.0%。南北间经济差距依然较大已成不争的事实,本文将基于这一中国区域间经济格局重要变化背景分析隐含碳与增加值在南北间的流动新特征。

3 数据来源和研究方法

多区域投入产出(Multi-Regional Input Output,

MRIO)模型已被广泛认为是跟踪产业链、捕捉区域异质性以及准确反映社会经济和环境影响的有效评估工具^[42,43]。因此为明显地反映出南北经济差距扩大前后的研究背景,同时考虑到数据可用性,本文基于MRIO选择2007、2012和2017年作为研究年份,刻画出南北区域消费隐含碳与增加值流动的新特征。

3.1 数据来源

本文所使用的2007年、2012年和2017年3个年份中国区域间投入产出表为中国科学院地理科学与资源研究所与国家统计局联合编制。为保证不同年份的产业口径具有可比性,在考虑部门性质的基础上统一各年区域间投入产出表的部门数量,合并保留为27部门,如表1所示。对于中国南北地区的划分目前没有官方的定论,一般以秦岭—淮河为界划分中国南北方,研究认定的中国北方省份包括北京、天津、河北、山西、辽宁、吉林、黑龙江、山东、河南、陕西、甘肃、青海、内蒙古、宁夏、新疆;南方省份包括上海、重庆、江苏、浙江、安徽、福建、江西、湖北、湖南、广东、海南、四川、贵州、云南、广西、西藏,其中西藏和港澳台地区因数据缺失暂不考虑。中国省份的社会经济数据均来自于《中国统计年鉴》(2008—2018年),碳排放数据来自于CEADs数据库^[44]。

为剔除价格因素的影响,利用《中国统计年鉴》(2007—2017年)当年价格计算的国内生产总值以及国内生产总值指数(上年=100)数据,分别计算2012、2017年的实际GDP,并在此基础上测算以

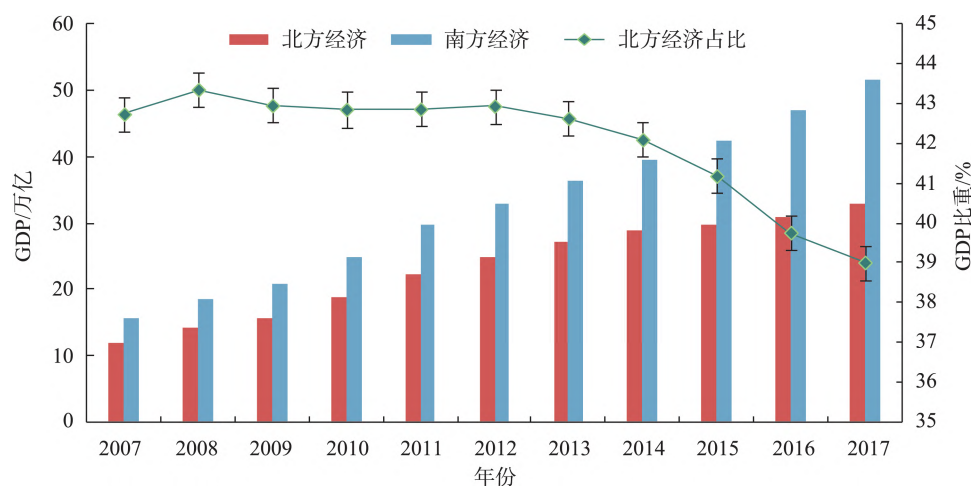


图1 2007—2017年中国南北方经济差距变化

Figure 1 Changes in economic disparities between southern and northern China, 2007–2017

表1 投入产出表27产业部门编号及名称

Table 1 Codes and names of 27 industrial sectors in the input-output table

编号	产业部门	编号	产业部门	编号	产业部门
1	农林牧渔产品和服务业	10	造纸印刷和文教体育用品业	19	通信设备、计算机和其他电子设备业
2	煤炭采选产品业	11	石油、炼焦产品和核燃料加工品业	20	仪器仪表业
3	石油和天然气开采产品业	12	化学产品业	21	其他制造业
4	金属矿采选产品业	13	非金属矿物制品业	22	电力、热力的生产和供应业
5	非金属矿和其他矿采选产品业	14	金属冶炼和压延加工品业	23	燃气及水的生产和供应业
6	食品和烟草业	15	金属制品业	24	建筑业
7	纺织品业	16	通用专用设备制造业业	25	交通运输仓储及邮政业
8	纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品业	17	交通运输设备业	26	批发零售和住宿餐饮业
9	木材加工品和家具业	18	电气机械和器材业	27	其他服务业

2007年为基期的各年GDP平减指数,最后利用各年GDP平减指数将各年区域间投入产出表的数据转换为以2007年价格水平为基准的价值数据。

3.2 研究方法

3.2.1 南北省际间消费隐含碳与增加值净流出

根据环境投入产出扩展模型,产品在整个生产链中所排放的二氧化碳称为隐含碳排放量,可以用数学形式表示为:

$$C = \hat{e}(I - A)^{-1} \hat{f} \quad (1)$$

式中: C 代表总的隐含碳排放量; $\hat{e}$ 表示碳排放系数即单位GDP的碳排放量; $\hat{f}$ 表示最终消费,包括农村居民消费、城镇居民消费和政府消费; I 表示单位矩阵; A 表示直接投入系数矩阵。为了进一步反映南北省际间净碳流量,这里定义 $\hat{f}^s$ 和 $\hat{f}^r$ 分别为区域 s 和区域 r ($r \neq s$)的部门产品消费量,并定义了 $\hat{e}^s$ 和 $\hat{e}^r$ 分别为区域 s 和区域 r 的行业二氧化碳系数,得到如下公式:

$$C^{rs} = \hat{e}^r(I - A)^{-1} \hat{f}^s \quad (2)$$

$$C^{sr} = \hat{e}^s(I - A)^{-1} \hat{f}^r \quad (3)$$

$$Net C^{rs} = C^{rs} - C^{sr} \quad (4)$$

式中: C^{rs} 表示区域 r 中由区域 s 中的商品或服务消耗引起的二氧化碳排放,也就是从区域 r 流入到区域 s 的贸易中的隐含碳排放。而 C^{sr} 指的是区域 s 中由区域 r 中的商品或服务消耗引起的二氧化碳排放,也就是从区域 s 流入到区域 r 的贸易中隐含的碳排放。 $Net C^{rs}$ 则表示区域 r 和区域 s 之间的净碳排放转移,需要注意的是 $Net C^{rs}$ 的值可以是正数也可以是负数,代表着区域 r 流出到区域 s 的方向性。

类似地,计算南北区域间基于消费增加值的省

际间净流动,同样需要定义 $\hat{f}^s$ 和 $\hat{f}^r$ 分别为区域 s 和区域 r ($r \neq s$)的部门产品的消费量,并定义了 $\hat{a}^s$ 和 $\hat{a}^r$ 分别为区域 s 和区域 r 的行业增加值系数,得到如下公式:

$$V^{rs} = \hat{a}^r(I - A)^{-1} \hat{f}^s \quad (5)$$

$$V^{sr} = \hat{a}^s(I - A)^{-1} \hat{f}^r \quad (6)$$

$$Net V^{rs} = V^{rs} - V^{sr} \quad (7)$$

式中: V^{rs} 表示区域 r 中由区域 s 中的消费引起的增加值,也就是实际增加值从区域 s 流向区域 r ,与隐含碳的转移方向相反,同理而 V^{sr} 指的是从区域 s 到区域 r 的贸易中所包含的增加值转移。而 $Net V^{rs}$ 表示区域 r 流出到区域 s 的增加值净转移, $Net V^{rs}$ 的值同样可以是正数也可以是负数,代表着转移方向。

3.2.2 投入产出结构分解技术(SDA-LMDI)模型

单纯的投入产出结构分解技术(structural decomposition analysis, SDA)具有分解非唯一的缺陷,即 n 个因素的结构分解有 $n!$ 种形式^[45]。为了避免大量繁琐的计算,大多数相关研究都采用两极分解的平均值,虽然减少了计算量,但得到的只是近似值。本文采用对数平均迪氏指数法(logarithmic mean divisia index, LMDI)与SDA相结合形式来估算碳排放与增加值的流动变化^[46],首先通过 t_0 和 t_1 不同年度碳排放变化做关于区域消费(Δf)、经济结构($\Delta(I - A)^{-1}$)、能源碳排放系数($\Delta \hat{e}$)3个因素分解;同理再对增加值变动做区域消费、经济结构和增加值率($\Delta \hat{a}$)3个因素分解,其中经济结构($I - A$)⁻¹被定义成 L ,为列昂惕夫逆矩阵,如公式(8)和(13)所示:

碳排放变化的分解项:

2024年11月

$$\Delta C = C(t_1) - C(t_0) = \Delta \hat{e} + \Delta L + \Delta f \quad (8)$$

其中:

$$\Delta \hat{e} = w \cdot \ln \left(\frac{\hat{e}(t_1)}{\hat{e}(t_0)} \right) \quad (9)$$

$$\Delta L = w \cdot \ln \left(\frac{L(t_1)}{L(t_0)} \right) \quad (10)$$

$$\Delta f = w \cdot \ln \left(\frac{f(t_1)}{f(t_0)} \right) \quad (11)$$

对于各变化量中的 w :

$$w = \frac{C(t_1) - C(t_0)}{\ln \left(\frac{C(t_1)}{C(t_0)} \right)} \quad (12)$$

同理可得增加值变化的分解项:

$$\Delta V = \Delta \hat{a} + \Delta L + \Delta f \quad (13)$$

其中:

$$\Delta \hat{a} = v \cdot \ln \left(\frac{\hat{a}(t_1)}{\hat{a}(t_0)} \right) \quad (14)$$

$$\Delta L = v \cdot \ln \left(\frac{L(t_1)}{L(t_0)} \right) \quad (15)$$

$$\Delta f = v \cdot \ln \left(\frac{f(t_1)}{f(t_0)} \right) \quad (16)$$

对于变化量中的 v :

$$v = \frac{V(t_1) - V(t_0)}{\ln \left(\frac{V(t_1)}{V(t_0)} \right)} \quad (17)$$

式中: t_1 、 t_0 分别表示期末与期初; w 和 v 相当于权数,对于由LMDI中引入的对数平均函数本身带来的零值问题,采用极小值替代法,用一个极小的正值(10^{-20})去替代0值^[47]。

为了进一步确认区域间消费主体对于南北碳与增加值转移的主要驱动力,可将结构分解方程式(8)和(13)中区域消费进一步分解,修正为公式(18)和(19)所示:

$$\Delta C = \Delta \hat{e} + \Delta L + \Delta(f_u + f_r + f_g) \quad (18)$$

$$\Delta V = \Delta \hat{a} + \Delta L + \Delta(f_u + f_r + f_g) \quad (19)$$

式中: Δf_u 、 Δf_r 、 Δf_g 分别表示 Δf 所拆分的城镇居民消费、农村居民消费和政府消费。

4 结果与分析

4.1 中国南北省际隐含碳的流动特征

通过图2净隐含碳流动规模特征来看,中国南北之间隐含碳的净流动变化格局从2007年到2017年之间一直处于增长的态势,但相较于2007—2012年期间,2012—2017年阶段在南北间经济差距开始出现扩大后,南北净隐含碳流动增长率则发生显著降低的态势,前一阶段南北净隐含碳增长率为70.25%,后一阶段在净增长率仅为15.32%,从相对值变化情况来看,南北净碳流动趋于缓和收敛的态势。

根据图3省份流动和产业分布所示,北方省份能源丰富,重工业化程度高,在全国价值供应链中扮演着重要的上游角色,为其他地区生产提供碳排放密集型能源、金属和矿业产品,这导致了大量的隐含碳流出。2007—2017年间碳流动格局呈现明显的由北向南特征,南方大部分地区为隐含碳净流入省份,即这些省份通过区际贸易将隐含碳排放转移出去。中国较富裕的南方地区(如广东、江苏、上海等)始终是隐含碳排放的主要消费方,在全国生产链下游位置买方的优势使其能够通过国内南北贸易将隐含碳排放外包出去。相比之下,北方资源型地区(如内蒙古、山西、河北等)只能作为南方地区隐含碳的生产方,依赖其生产的高碳排放密集型产品如电力、金属等输送至南方。

综合背景研究其变化特征发现,在2013年之后中国的南北经济差距开始显著增大,但南北地区间并未因出现经济梯度差异导致南方将高污染高碳

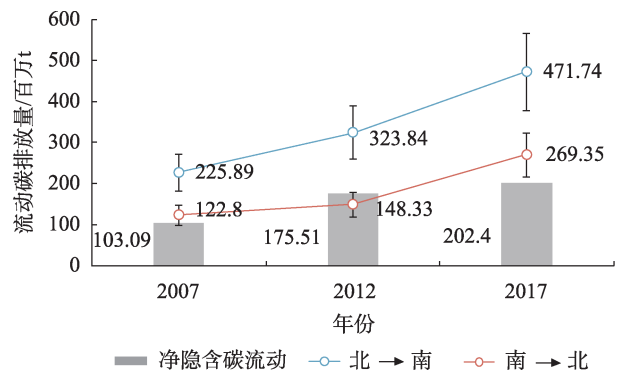


图2 2007—2017年中国南北区域间净隐含碳流动规模变化

Figure 2 Scale changes in net carbon flows between southern and northern regions of China, 2007–2017

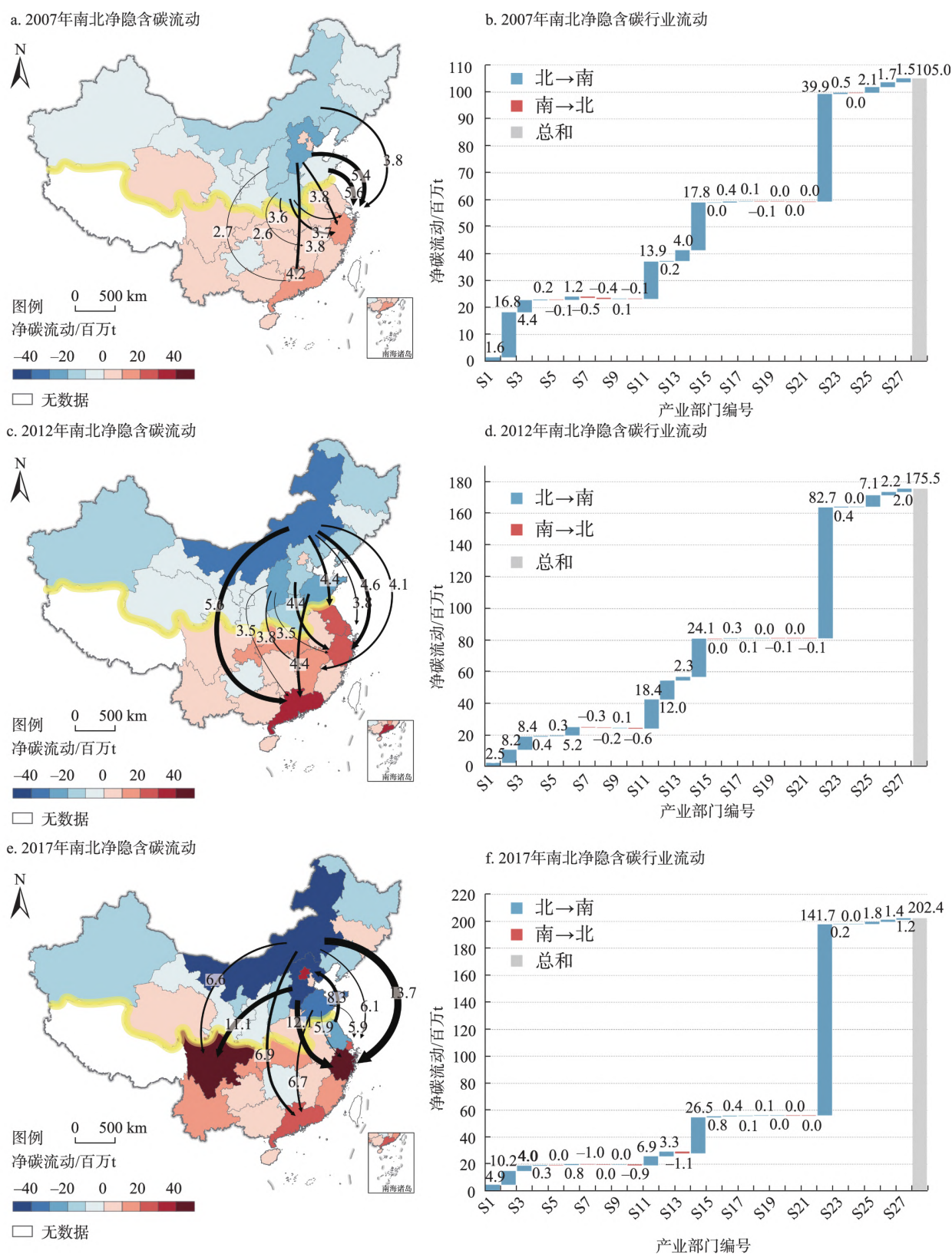


图3 2007—2017年中国南北区域净隐含碳流动示意图与具体产业分布

Figure 3 Conceptual diagram of net carbon flows between southern and northern China with specific industry distribution, 2007–2017

注:该图基于自然资源部标准地图网站下载的审图号为GS(2020)4619的标准地图制作,底图无修改。

2024年11月

排放产业进一步搬迁至北方形成南北间净碳排放流动大幅增长趋势,相反,相较于在未出现明显经济差距的2013年前,净碳流动规模趋于增长较弱的态势。一方面虽然北方地区依旧持续向南方地区输送高碳产品,但另一方面北方地区也开始接受南方地区富碳产品的规模性输入,其中北京开始作为北方重要的净碳输入地也接受江苏、浙江和广东等地的制造业碳流入,此外天津、吉林、河南等北方地区开始作为南方地区的净碳流入地,均受到南方部分发达省份制造业产品如通信设备、计算机及其电子设备、仪器仪表以及其他制造业的反向输出。南北经济差距扩大的同时,南北间贸易的相对规模却仍在进一步扩大。受国际市场出口疲软影响,2013年后中国开始重视国内大循环,在对外贸易环境改变背景下中国经济新常态后,北方经济虽出现与南方经济差距拉大的趋势,但在消费贸易方面接受来自南方地区的制造业产品份额也在增长,相互碳排放流动格局进一步扩大加深,由北向南的净碳流动则趋于平衡稳定。

对于碳流动的具体产业分布来看,可以发现电力、热力的生产和供应业(S22)始终为北方向南方输出部门中隐含碳排放的最大值,并且一直处在增大的态势,从2007年的39.90百万t到2012年的82.66百万t,再到2017年的141.71百万t,占总行业净碳流动从37.98%上升至70.01%。其他部门包括煤炭采选产品业(S2)、石油、炼焦产品和核燃料加工品业(S11)、金属冶炼和压延加工品业(S14)在3个年份时期虽存在一定的波动,但始终是由北向南隐含碳转移的重要部门。另一方面,纺织业(S7)、纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品业(S8)、通信设备、计算机及其他电子设备制造业(S19)和仪器仪表及文化办公用机械制造业(S20)虽然隐含碳含量携带较低,但一直是由南方地区向北方地区净输出的重要附碳部门,也反映了南方地区在设备制造业和轻工业方面的优势所在。

4.2 中国南北省际增加值的流动特征

根据图4南北增加值净流动特征可知,2007—2017年中国南北经济差距扩大阶段,增加值由南向北净流出格局出现了2007、2012年为正,而2017年转负的改变。由于消费贸易中增加值与隐含碳净

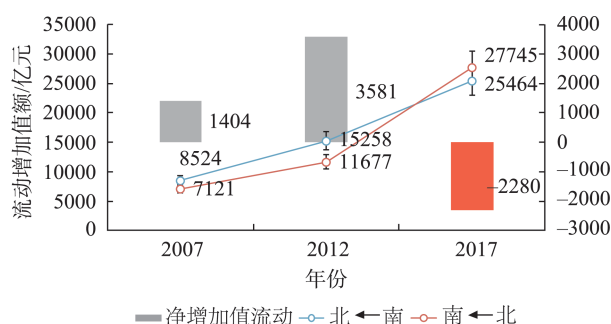


图4 2007—2017年中国南北区域间净增加值与规模变化

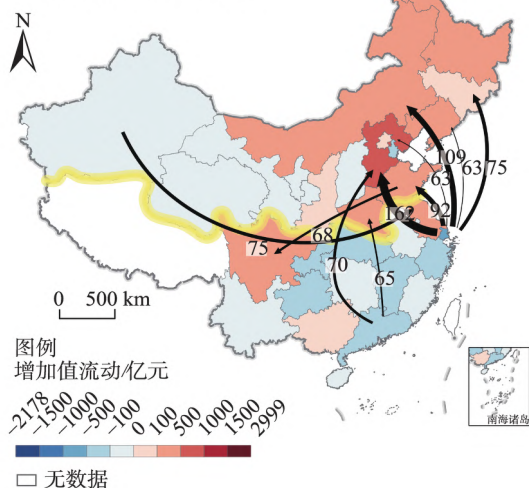
Figure 4 Scale changes in net value-added flows between southern and northern regions of China, 2007–2017

流动值在整体贸易中方向相反,具体表现为前两个年份南北间消费引起的净增加值流动方向为由南向北的绝对优势,分别为1404亿、3581亿,北方地区2007和2012年在流出碳排放的同时也接受一定来自南方地区的增加值流入,然而到了2017年则出现净增加值由北向南的流出局势,其值为2280亿元。

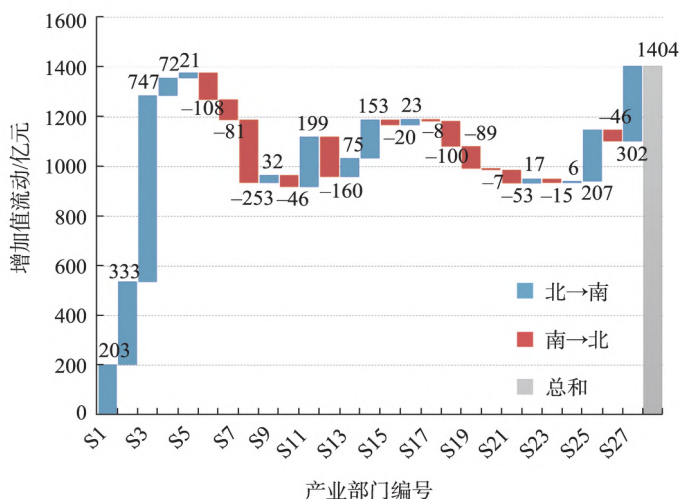
通过图5具体省份和产业流动分布所示,2007年上海作为重要输出地向河北、内蒙古、山东等北方地区流出增加值,而河北等地向上海流出大量金属冶炼、电力能源以及农牧产品等,在南北省际贸易中南方仅江苏、四川和广西3个地区作为增加值净流入地。2012年,南方地区仅有湖南和福建为增加值净流入地,而广东、浙江、上海作为增加值主要输出地向山东、黑龙江、河南等转移大宗商品消耗的增加值,南北贸易中北方地区仍然为经济受益区。但在外贸疲软,北方经济放缓,南北差距逐渐扩大的背景出现下,国内大循环使得内部市场体系得到重视,南北之间净增加值流动则发生逆转,其中南方地区仅流向河北、天津、山东、河南等地的增加值为正,北方整体处在“逆差”态势。虽然南北之间总的双向贸易规模一直在不断扩大当中,但由于隐含碳流动产业增加值率的差异,南北之间整体流动方向已发生逆转态势,北方地区已出现增加值净流出的不利局面。

分析南北间增加值转移的具体产业分布,由南向北实际增加值流出的主要依附产业包括农林牧渔业(S1)、煤炭开采和洗选业(S2)、石油和天然气开采业(S3)、石油加工、炼焦及核燃料加工业(S11)、金属冶炼及压延加工业(S14)等,这些与一、

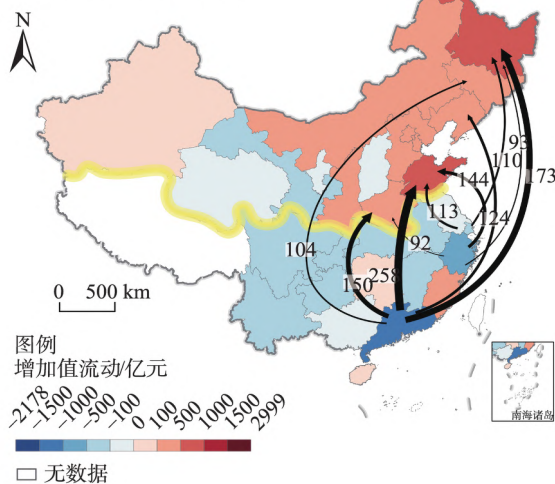
a. 2007年南北净增加值流动



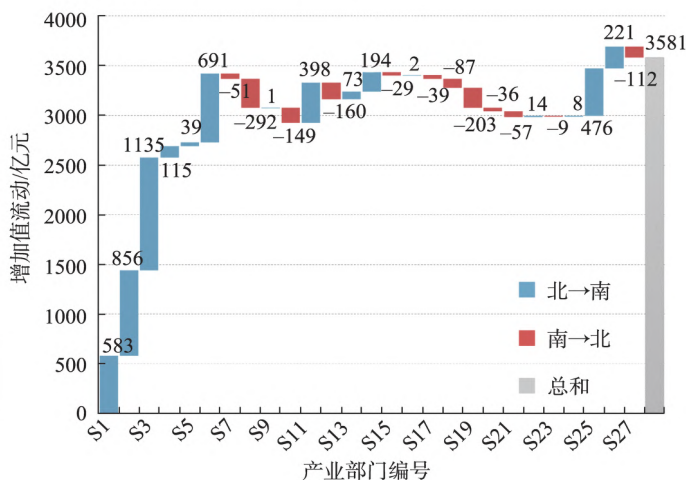
b. 2007年南北净增加值行业流动



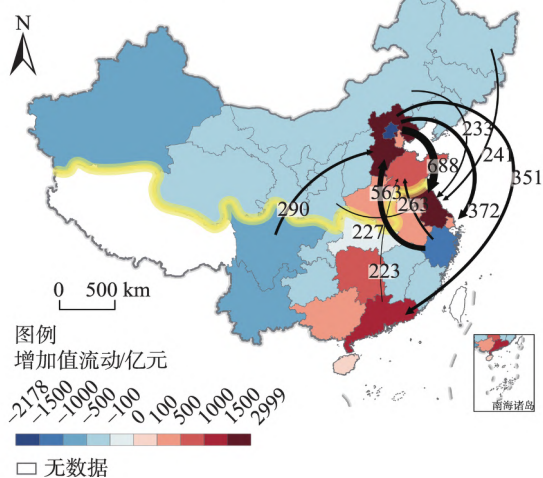
c. 2012年南北净增加值流动



d. 2012年南北净增加值行业流动



e. 2017年南北净增加值流动



f. 2017年南北净增加值行业流动

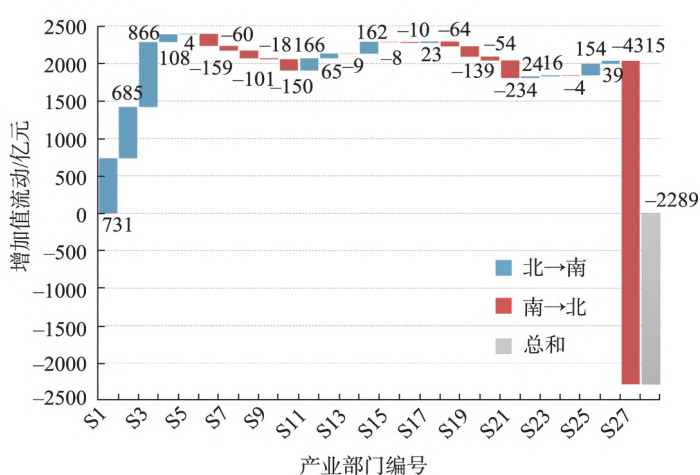


图5 2007—2017年中国南北净增加值流动示意图与具体产业分布

Figure 5 Conceptual diagram of net value-added flows between southern and northern China with specific industry distribution, 2007–2017

注:该图基于自然资源部标准地图网站下载的审图号为GS(2020)4619的标准地图制作,底图无修改。

2024年11月

二产业相对应的大宗资源商品是中国北方向南方市场输出的主要产品。值得注意的是,其中隐含碳由北向南转移中最多的部门电力、热力的生产和供应业(S22)在对应增加值的转移中却较少,隐含碳和增加值在某些产业的不同步性是由具体产业决定的,在碳减排时需要关注高碳排放等重点行业。

另一方面实际增加值由北向南流出的主导产业包括纺织业(S7)、纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品业(S8)、造纸印刷及文教体育用品制造业(S0)、电气机械及器材制造业(S18)、通信设备、计算机及其他电子设备制造业(S19)、仪器仪表及文化办公用机械制造业(S20)以及其他服务业(S27)等,南方地区作为中国生产基地的主要制造业产品,南方地区在通过海外市场对外大规模出口的同时也开始向北方地区大量内销常规制造业商品,使得实际增加值出现一定程度由北向南的转移。尤其从2017年开始,南北方地区整体净增加值的流动格局出现完全逆转态势,其中主要以其他服务业驱动着转移方向的改变,由于其他服务也包含行业较多,包括住宿和餐饮、信息传输、软件和信息技术服务、金融、房地产、租赁和商务服务、综合技术服务、水利、环境和公共设施管理等,具有低碳高增加值特征,其在2017年增加值流动开始对由北向南转移起着决定性作用。

综合隐含碳与增加值在区域间净流动在南北经济差距变化后出现的新特征能够反映出南北区间碳责任主体与经济受益者双方在贸易过程中的公平互惠性发生变化。受出口效益和产业结构分工的影响,中国南北方经济差距开始扩大后,在南北两区域之间的产品流动中,南方地区进入了经济和隐含碳排放的双有利状态,保持着贸易优势,而北方地区则陷入经济和碳排放双不利的局面,既面临着南方地区的消费碳转移,也陷入实际增加值流出的局面,南北贸易中环境与经济的不均衡态势在经济差距开始扩大后出现。对于这一研究所揭示的2007—2017年南北间增加值与碳流动所出现的新特征,为中国当下加快构建国内大循环以及推动区域协调发展提出一定启示价值。

4.3 中国南北隐含碳和增加值转移驱动因素

对于南北区域之间碳排放转移变化基于投入

产出结构分解技术在碳系数(carbon intensity, CI)、生产结构系数(production structure, PS)和农村居民消费(consumption volume in rural, CVR)、城镇居民消费(consumption volume in urban, CVU)和政府消费(consumption volume in government, CVG)5个层面进行分解,分别代表产业低碳化绿色进步、投入产出变化和区域不同主体(农村、城镇和政府)消费总额对隐含碳的变化贡献程度,同理对于增加值转移变动的分解将碳系数改为增加值系数(value-added intensity, VI)代表着行业部门在生产活动中单位投入所创造的新附加值,其他因素一致。

图6a、b、c、d分别揭示南北两个方向以及2007—2012年和2012—2017年的两阶段碳流动驱动因素,可以发现无论是流向南方还是北方地区碳排放增加主要是由于消费规模的变化,尤其是以城镇居民消费的比重最高,而碳系数变化则是碳流动减少的主要因素。其中2012—2017年由南向北的碳流动增长率最高为81.59%,远高于2007—2012年的20.79%,城镇居民消费贡献其增长的52.89%,同时这一阶段的驱动因素中间投入结构系数具有着增长正贡献占比为24.79%,此外碳系数作用为负,贡献-28.10%;而由北向南两阶段的增长率变化情况相近,分别为43.36%和45.67%,结构驱动因素比重也近似。总的来说,碳强度的降低是碳转移增加的主要抑制因素,反映了中国由粗放型向集约型碳排放行业的转变。同样生产结构对南北碳转移也有负向影响,其反映生产过程中中间产品的部门利用率,因此生产结构的下降意味着对能源的依赖程度降低。而碳转移增加的主要驱动因素则是中国区域不同主体的消费规模变化,尤其是以城镇居民消费为主导。

图7a、b、c、d分别揭示了2007—2017年两阶段南北区域间增加值转移的驱动因素分解结果,可见区域城镇居民消费也是增加值流动增长的主要贡献因素,而结构系数的变动则起到抑制的作用。其中2012—2017年由北向南流动的增加值变动最大,增长率为137.60%,城镇居民消费贡献了36.20%,中间投入结构因素也对增加值流动起到正增长的贡献作用,比重为5.31%,其余阶段对于增加值的流动均为降低,同时这一阶段增加值系数的增长贡献24.52%,也为不同时期的区域增加值流动贡献最高

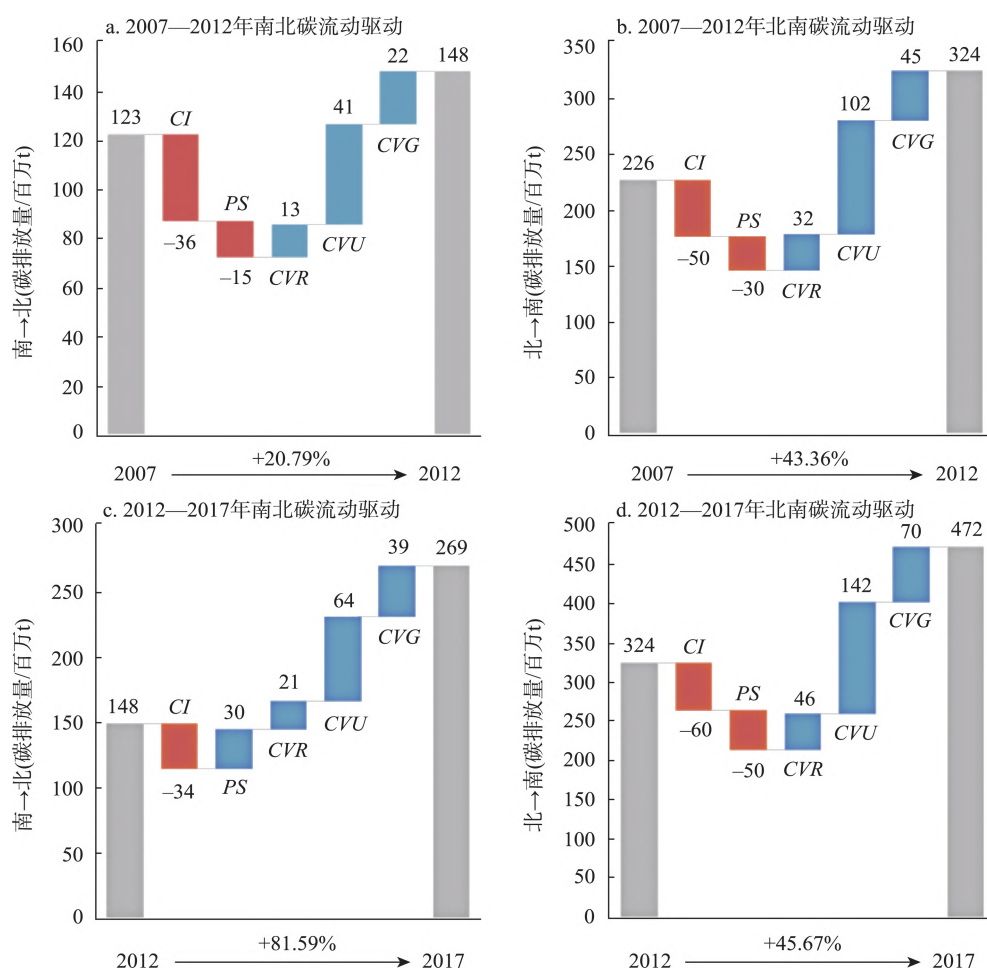


图6 2007—2017年区域间碳转移变化驱动因素

Figure 6 Drivers of interregional carbon transfer changes in China, 2007–2017

比重,反映了这一时期高附加值行业部门在南北间贸易中对于增加值流动具有重要促进作用。而由南向北的增加值流动则从2007—2012年的增长率为79.00%降低至2012—2017年的66.89%,说明南方对北方地区消费需求增长速率减缓,并且2012—2017年的增加值系数贡献最低,仅为2.64%,显示北方在流向南方产品中多源自附加值较低行业部门。综合来看,增加值系数对于流动均起到增长作用,说明中国行业生产开始逐步走向高附加值产业的转变,而消费仍然是引起增加值转移的主导因素,尤其是以城镇居民消费为主,其次为政府消费,而农村居民消费在三者贡献始终最低,未来对于国内大循环的市场构建,促进消费仍是拉动规模扩大的关键因素。

5 讨论

国内消费贸易中隐含碳流动的巨大不平衡反

映了区域间经济发展水平和主导产业的差异,而随着区域间经济和产业特征的变化,流动中所伴随的隐含碳与增加值同样发生较大的改变。本文根据2007、2012和2017年3个年份以中国南北方之间快速扩大的经济差距为研究背景,揭示出经济新常态下南北区域间隐含碳与增加值在流动中所出现的新特征。

通过分析可知,南北区域间产业分工差异是促使南北间贸易流动伴随隐含碳与增加值转移的根本原因,在中国经济进入新常态后,过去“北上南下”分工弱化以及国内循环加深,南北间的碳流动不均衡开始出现并急剧加大。此外研究还发现,2007—2017年中国区域隐含碳与增加值流动的规模以处于持续增长的态势,其中不断扩大的消费规模(以城镇居民消费为主)是其增长的主导因素,而消费的变化则主要依赖于区域不断提高的经济发

2024年11月

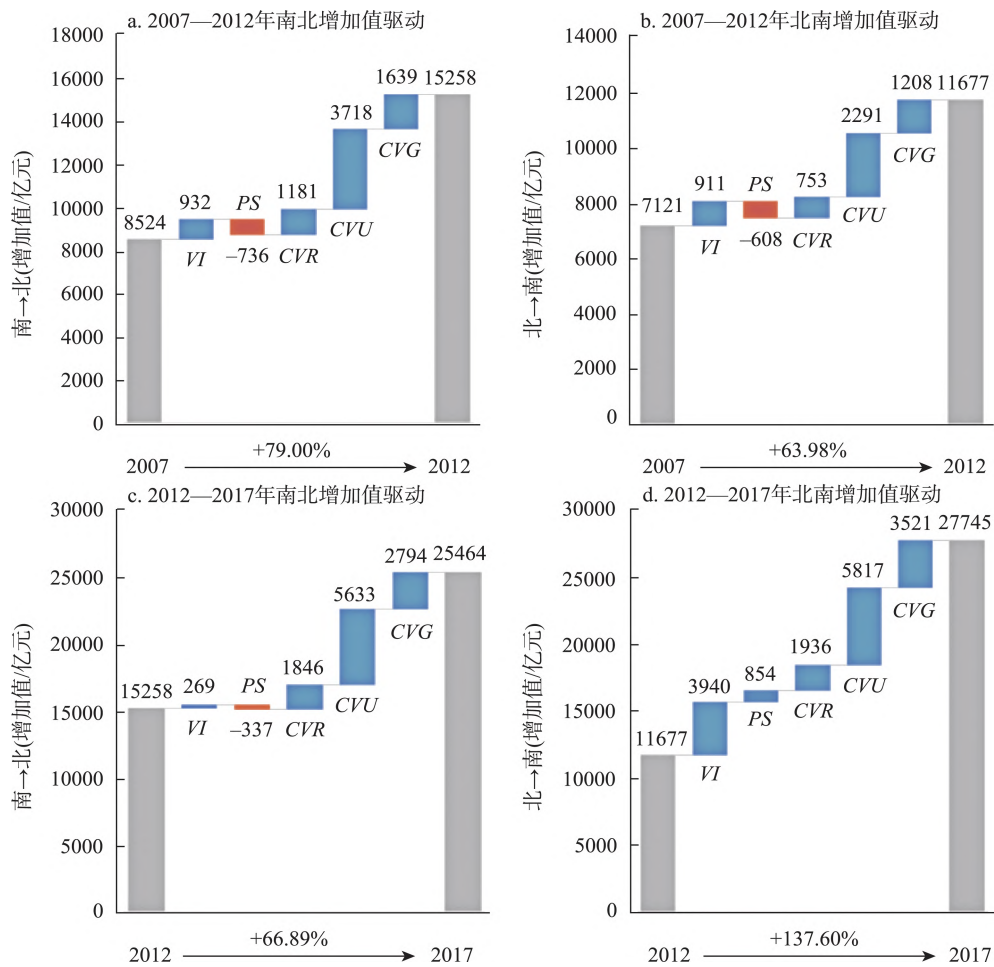


图7 2007—2017年区域间增加值转移变化驱动因素

Figure 7 Drivers of interregional value-added transfer changes in China, 2007–2017

展水平。

其中,2013年南北经济差距出现显著扩大且国内大循环不断完善之后,南方开始充分利用其产业结构优势,通过由北方地区输入电力热力、金属矿物等高碳排放密集产品,实现碳转移,如内蒙、山西和山东等是中国碳转移重点的地区;同时上海、江苏和浙江等省份向北方大量销售服装纺织、电子设备等产品,尤其以其他服务业等相关低碳高增加值产业,使得北方地区开始出现向南方流出增加值的局面,而南方在贸易伴随的隐含碳与增加值流动中实现了双优局面,北方则在经济缓慢增长下同时又在整体贸易中表现双劣势。

为了减缓南北隐含碳排放与增加值在流动中的不平衡性现状,需要通过实施一系列政策来平衡南北间贸易发展,对于能源等重点行业和碳转移重点省份应该得到更多的关注。同时在未来产业转

型升级方面更需要充分发挥北方的资源生产优势和南方的技术创新优势,结合国内大循环的本质,从区域产业一体化的发展角度思考中国产业优化、能源转型的减碳思路。

值得注意的是,在中国的“十二五”规划(2011—2015)当中,中国政府在东部和西部设定了不同的碳强度减排目标^[48],但没有指定新常态下南北间差异化的减碳发展目标。与此同时,中国正在努力平衡区域经济发展,以期缩小南北差距,已经实施了许多政策来促进南北之间的相对平衡发展。例如,强调京津冀地区的主导作用,山东半岛作为北方经济的龙头作用,西安、郑州等国家中心城市的引领作用。此外,还加强了京津冀协同发展、长江经济带发展、粤港澳大湾区建设等重大战略的协调对接,建立了南北发达地区与欠发达地区的联动机制。根据上述发展战略,南方地区可以在加快发展

服务业以及高科技和其他先进制造业的同时向北方提供技术和资金支持,促进北方利用其自然资源禀赋发展绿色产业,最终实现协同碳减排的局面。

尽管本文的结果首次揭示了中国南北区域经济差距扩大所带来的隐含碳与增加值流动不均衡新特征,但也有一定的局限性,在未来可选择微观视角企业数据进一步论证相关结论,使得研究区域间的增加值与碳流动结果更加精确,进一步确定区域碳减排责任主体,明确促进南北协同发展同时在省际贸易流动中的碳减排具体措施。

6 结论与政策建议

6.1 结论

本文利用 MRIO 模型揭示了 2007—2017 年中国南北隐含碳与增加值在经济差距扩大前后基于消费贸易流动的新特征,并利用 LMDI-SDA 投入产出结构分解技术揭示了流动的主要驱动因素。主要结论如下:

(1) 由于南北方地区主导性产业结构以及主要省份的区域资源禀赋差异,碳排放流动的格局呈现出明显的由北向南流动趋势,而并非传统固定认知中北方因经济欠发达导致的环境梯度差异南方地区再将高碳排放转移导致的。2013 年之前南北间整体 GDP 增长近似,并没有明显的经济差距出现,但由北向南的净碳排放仍然保持快速增长态势,而在南北差距开始扩大后,由北向南的净碳排放则相较于前一时时期出现增长率明显放缓的趋势。

(2) 南方大部分地区是碳排放的主要消费方,其净隐含碳流入来自资源相对丰富的北方地区,为满足生产需求需要大量输入来自北方生产的电力、热力和煤炭、石油行业。但与此同时,南北差距扩大后国内大循环开始得到凸显,南方地区向北方地区输出电子通信设备、以及各类其他服务行业等高附加值产品,使得北方地区在承接南方碳转移的同时开始向南方反向流出增加值,南北之间分别出现了环境和经济贸易双优和双劣的局面。

(3) 北方地区的电力和热力、金属和非金属行业是隐含碳排放的重要生产端,而南方地区的制造业和服务业是增加值的重要生产端。其中,江苏、广东和上海的制造业与服务业增加值流入量较大,而内蒙、山西和山东的电力和火电行业的碳排放量

较高。本文明确了南北之间隐含碳与增加值转移的主要行业部门供应方和主导南北贸易格局的地区,以及流动规模的 5 类驱动因素,提示政策制定者应采取差别化的低碳措施。

(4) 经济发展消费规模的扩大以及中国经济面临的新局面是南北隐含碳与增加值转移变化的主要推动者。南方制造业对外出口所带动的消费市场,产生巨大的能源需求,带动北方高耗能产业发展,最终影响南北碳转移。经济新常态后出口对中国经济拉动减弱,传统发展模式受到阻碍,同时在国内大循环体系构建下,南方开始向北方销售大量制造业服务业产品,北方在承载南方隐含碳转移的同时净增加值也出现由北向南流出的双劣局面。

6.2 政策建议

基于上述结论,本文提出以下政策建议:

(1) 北方碳流出规模较大的省份应优化自身产业结构,积极发展可再生能源等,同时南方地区作为高碳消费方应减少对碳密集型产品的需求,改善自身能源结构,发展高新技术产业,同时向北方经济落后地区提供资金和技术支持以实现能源产业转型。与此同时,北方地区自身也应该充分对接南方,重视技术创新和相关低碳成果转化应用。

(2) 中国需要加快建立包含更多碳密集型重点行业的广泛碳交易市场,并制定合理的定碳价格,这可能是缓解现阶段南北之间日益扩大的流动不均衡的有效手段。这一方式意味着减少二氧化碳排放等于节省资金,为重工业集中的北方地区提供了一个巨大的收益机会,同时能够激发企业的减排动机和能源转型的创新动力。

(3) 北方地区应积极抓住中国碳达峰和碳中和的机遇,实现能源技术革命,摆脱对于化石能源生产的固定依赖,充分利用当地充足的土地和自然资源,发展光伏、风电等高科技新能源产业,成为中国能源生产的新集聚地。当北方完全摆脱额外的化石能源消耗以供应热电的情况下同时获得经济效益时,将大大减少当前基于生产端的碳排放量。

(4) 对于低碳宣传层面应更多从消费者的角度来关注碳减排的具体落实。消费行为可以主导市场供需,如果消费者不积极转向低碳生活方式,生产企业很难真正实现低碳转型。应提高人们的绿

2024年11月

色低碳消费意识,鼓励社会资金投向生态保护、污染治理和低碳领域,以通过优化地区消费结构减少高碳转移,从消费层面形成绿色低碳的新局面。

参考文献(References):

- [1] 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.
- [2] Seo S, Kim J, Yum K K, et al. Embodied carbon of building products during their supply chains: Case study of aluminium window in Australia[J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2015, 105: 160–166.
- [3] Dong B Y, Xu Y Z, Li Q N. Carbon transfer under China's inter-provincial trade: Evaluation and driving factors[J]. *Sustainable Production and Consumption*, 2022, 32: 378–392.
- [4] Zhou D Q, Zhou X Y, Xu Q, et al. Regional embodied carbon emissions and their transfer characteristics in China[J]. *Structural Change and Economic Dynamics*, 2018, 46: 180–193.
- [5] 刘红光, 张子孟, 郭杰. 中国区域间价值链中隐含的碳排放转移研究[J]. *管理评论*, 2021, 33(9): 58–64. [Liu H G, Zhang Z M, Guo J. Research on the transfer of embodied carbon emissions in interregional value chains in China[J]. *Business Review*, 2021, 33(9): 58–64.
- [6] Cheng H, Dong S, Li F, et al. Multi-regional input-output analysis of spatial-temporal evolution driving force for carbon emissions embodied in interprovincial trade and optimization policies: A case study of Northeast Industrial District in China[J]. *Environmental Science & Technology*, 2018, DOI: 10.1021/acs.est.7b04608.
- [7] 邱纪翔, 罗钰星, 王克, 等. 基于多情景假设的中国碳减排目标省域分解[J]. *资源科学*, 2022, 44(10): 2038–2047. [Qiu J X, Luo Y X, Wang K, et al. Provincial decomposition of China's carbon emission reduction targets based on multi-scenario hypothesis[J]. *Resources Science*, 2022, 44(10): 2038–2047.]
- [8] Steininger K, Lininger C, Droege S, et al. Justice and cost effectiveness of consumption-based versus production-based approaches in the case of unilateral climate policies[J]. *Global Environmental Change*, 2014, 24: 75–87.
- [9] Afionis S, Sakai M, Scott K, et al. Consumption-based carbon accounting: Does it have a future?[J]. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2017, DOI: 10.1002/wcc.438.
- [10] Acquaye A, Feng K, Oppon E, et al. Measuring the environmental sustainability performance of global supply chains: A multi-regional input-output analysis for carbon, sulphur oxide and water footprints[J]. *Journal of Environmental Management*, 2017, 187: 571–585.
- [11] Li Y L, Chen B, Chen G Q. Carbon network embodied in international trade: Global structural evolution and its policy implications [J]. *Energy Policy*, 2020, DOI: 10.1016/j.enpol.2020.111316.
- [12] Sun L, Wang Q, Zhou P, et al. Effects of carbon emission transfer on economic spillover and carbon emission reduction in China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 112: 1432–1442.
- [13] Qi W, Li G. Residential carbon emission embedded in China's inter-provincial population migration[J]. *Energy Policy*, 2020, DOI: 10.1016/j.enpol.2019.111065.
- [14] Sun L, Wang Q, Zhang J. Inter-industrial carbon emission transfers in China: Economic effect and optimization strategy[J]. *Ecological Economics*, 2017, 132: 55–62.
- [15] Bai H, Feng X, Hou H, et al. Mapping inter-industrial CO₂ flows within China[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018, 93: 400–408.
- [16] Davis S J, Caldeira K. Consumption-based accounting of CO₂ emissions[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2010, 107(12): 5687–5692.
- [17] Davis S J, Peters G P, Caldeira K. The supply chain of CO₂ emissions[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2011, 108(45): 18554–18559.
- [18] Liu Z, Davis S J, Feng K, et al. Targeted opportunities to address the climate-trade dilemma in China[J]. *Nature Climate Change*, 2016, 6(2): 201–206.
- [19] 姜宛贝, 刘卫东. 中国经济空间格局演变及其CO₂排放效应[J]. *资源科学*, 2021, 43(4): 722–732. [Jiang W B, Liu W D. Effect of change of the spatial pattern of economic activities on CO₂ emissions in China[J]. *Resources Science*, 2021, 43(4): 722–732.]
- [20] Jakob M, Marschinski R. Interpreting trade-related CO₂ emission transfers[J]. *Nature Climate Change*, 2013, 3(1): 19–23.
- [21] 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*, 2011, 108(21): 8903–8908.
- [22] Duan C, Chen B, Feng K, et al. Interregional carbon flows of China [J]. *Applied Energy*, 2018, 227: 342–352.
- [23] Xu W H, Xie Y L, Ji L, et al. Spatial-temporal evolution and driving forces of provincial carbon footprints in China: An integrated EE-MRIO and WA-SDA approach[J]. *Ecological Engineering*, 2022, DOI: 10.1016/j.ecoleng.2022.106543.
- [24] Su B, Ang B W. Multiplicative structural decomposition analysis of aggregate embodied energy and emission intensities[J]. *Energy Economics*, 2017, 65: 137–147.
- [25] Mi Z, Meng J, Green F, et al. China's "exported carbon" peak: patterns, drivers, and implications[J]. *Geophysical Research Letters*, 2018, 45(9): 4309–4318.
- [26] Feng K, Davis S J, Sun L, et al. Outsourcing CO₂ within China[J].

- Proceedings of the National Academy of Sciences, 2013, 110(28): 11654–11659.
- [27] Mi Z, Meng J, Guan D, et al. Chinese CO₂ emission flows have reversed since the global financial crisis[J]. Nature communications, 2017, DOI:10.1038/s41467-017-01820-w.
- [28] Shao L, Li Y, Feng K, et al. Carbon emission imbalances and the structural paths of Chinese regions[J]. Applied Energy, 2018, 215: 396–404.
- [29] He K, Mi Z, Zhang J, et al. The polarizing trend of regional CO₂ emissions in China and its implications[J]. Environmental Science & Technology, 2023, 57(11): 4406–4414.
- [30] Li Y, Wang Z, He W, et al. Critical transmission sectors for CO₂ emission mitigation in supply chains[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2021, DOI: 10.1016/j.techfore.2020.120499.
- [31] Wei H K, Nian M, Li L. China's regional development strategy and policy during the 14th Five-Year Plan period[J]. Chinese Journal of Urban and Environmental Studies, 2020, 8(2): 5–22.
- [32] Wang X H, Wang Y M, Liu N N. Does environmental regulation narrow the north-south economic gap? Empirical evidence based on panel data of 285 prefecture-level cities[J]. Journal of Environmental Management, 2023, DOI: 10.1016/j.jenvman.2023.117849.
- [33] 郑艳婷, 杨慧丹, 孟大虎. 我国南北经济增速差距扩大的机理分析[J]. 经济纵横, 2021, (3): 100–106. [Zheng Y T, Yang H D, Meng D H. An analysis of the expansion of the gap between the north and the south[J]. Economic Review Journal, 2021, (3): 100–106.]
- [34] 盛垒, 张子彧. 我国南北经济分化的影响因素研究: 基于区域创新能力差异的视角[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2021, 55(5): 727–740. [Sheng L, Zhang Z Y. Research on the factors of economic divergence between the north and south of China: From the perspective of regional innovation capability differences [J]. Journal of Central China Normal University (Natural Sciences), 2021, 55(5): 727–740.]
- [35] Liang L W, Chen M M, Luo X Y, et al. Changes pattern in the population and economic gravity centers since the Reform and Opening Up in China: The widening gaps between the South and North [J]. Journal of Cleaner Production, 2021, DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.127379.
- [36] Li X Y, Zeng Z, Zhang Z K, et al. The rising north-south carbon flows within China from 2012 to 2017[J]. Structural Change and Economic Dynamics, 2023, 64: 263–272.
- [37] Zhang H Y, Zhang W, Lu Y L, et al. Worsening carbon inequality embodied in trade within China[J]. Environmental Science & Technology, 2023, 57(2): 863–873.
- [38] 谢富胜, 王小军, 施佰发. 中国南北经济差距扩大: 基于产业分工的解释[J]. 学术研究, 2023, (3): 73–83. [Xie F S, Wang X J, Shi B F. The analysis of the causes of economic differentiation between north and south in the new era[J]. Academic Research, 2023, (3): 73–83.]
- [39] 戴觅, 余森杰, Madhura Maitra. 中国出口企业生产率之谜: 加工贸易的作用[J]. 经济学(季刊), 2014, 13(2): 675–698. [Dai M, Yu M J, Maitra M. The productivity puzzle of Chinese exporters: The role of processing trade[J]. China Economic Quarterly, 2014, 13 (2): 675–698.]
- [40] Dallas M P. Manufacturing paradoxes: Foreign ownership, governance, and value chains in China's light industries[J]. World Development, 2014, 57: 47–62.
- [41] 谢富胜, 高岭, 谢佩瑜. 全球生产网络视角的供给侧结构性改革: 基于政治经济学的理论逻辑和经验证据[J]. 管理世界, 2019, 35(11): 89–101. [Xie F S, Gao L, Xie P Y. Supply-side structural reform from the perspective of global production network: Theoretical logic and empirical evidence based on political economy[J]. Journal of Management World, 2019, 35(11): 89–101.]
- [42] Meng J, Huo J W, Zhang Z K, et al. The narrowing gap in developed and developing country emission intensities reduces global trade's carbon leakage[J]. Nature Communications, 2023, DOI: 10.1038/s41467-023-39449-7.
- [43] Fu R, Peng K, Wang P, et al. Tracing metal footprints via global renewable power value chains[J]. Nature Communications, 2023, DOI:10.1038/s41467-023-39356-x.
- [44] CEADs 团队. 中国碳核算数据库[DB/OL]. [2023–11–11]. <https://www.ceads.net/>. [CEADs team. China Emission Accounts and Data sets[DB/OL]. [2023–11–11]. <https://www.ceads.net>]
- [45] 张炎治, 冯颖, 张磊. 中国碳排放增长的多层递进动因: 基于 SDA 和 SPD 的实证研究[J]. 资源科学, 2021, 43(6): 1153–1165. [Zhang Y Z, Feng Y, Zhang L. Analysis on the progressive motivation of carbon emissions growth in China using structural decomposition analysis and structural path decomposition methods[J]. Resources Science, 2021, 43(6): 1153–1165.]
- [46] Chen J J, Lin Y Y, Wang X J, et al. Direct and indirect carbon emission from household consumption based on LMDI and SDA model: A decomposition and comparison analysis[J]. Energies, 2022, DOI: 10.3390/en15145002.
- [47] Ang B W, Liu N. Handling zero values in the logarithmic mean Divisia index decomposition approach[J]. Energy Policy, 2007, 35 (1): 238–246.
- [48] Liu Z, Geng Y, Lindner S, et al. Uncovering China's greenhouse gas emission from regional and sectoral perspectives[J]. Energy, 2012, 45(1): 1059–1068.

Interregional flows of embodied carbon and value-added in the context of widening north-south disparities in China

SONG Wenming^{1,2}, TANG Shujuan^{1,2}, ZOU Jialing³, TANG Zhipeng^{1,4}

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Guangdong Institute for International Strategies, Guangdong University of Foreign Studies, Guangzhou 510020, China; 4. School of Economics, Beijing Wuzi University, Beijing 101149, China)

Abstract: [Objective] Shifts in embodied carbon and value-added transfers resulting from changes in economic development disparities have received little attention. The relationship between these two factors determines the imbalance in trade flows, making this study highly significant. **[Methods]** Against the backdrop of the widening economic gap between southern and northern China in 2013, this study utilized an environmentally extended multi-regional input-output model to track the new characteristics of embodied carbon and value-added flows between the two regions. It also employed a structural decomposition method to analyze the dominant industries and related factors driving these changes. **[Results]** The study revealed that, from 2007 to 2012 and up to 2017, the total volume of embodied carbon transfer between southern and northern China experienced growth. However, after the expansion of the economic gap in 2013, the rapid growth of carbon emissions from the south to the north helped restrain the previous rapid growth rate of net carbon transfer, bringing it to a relative balance. The flow pattern of value added between the two regions shifted from a positive net flow from the south to the north in 2007 and 2012 to a negative net flow in 2017. Furthermore, the power and heat production and supply industry in the north, as well as the petroleum and natural gas extraction industry, were crucial suppliers of both embodied carbon and value added. In contrast, the textile industry and service industry in the south acted as significant producer of embodied carbon and value added. **[Conclusion]** After the widening of the north-south gap, the south continued to transfer carbon emissions to the north while simultaneously the country experienced a transfer of value added from the north to the south. This resulted in an imbalanced economic benefit and carbon flow situation between the two regions. Future policies related to carbon reduction and trading should prioritize key industries and regions, taking into account a low-carbon consumption lifestyle.

Key words: disparities between southern and northern China; embodied carbon transfer; value-added transfer; input-output model; structural decomposition analysis; China