

基于 31 省 MRIO 模型的中国省际碳转移及碳公平研究

陈 晖¹,温 婧²,庞 军^{2*},陈 政¹,韦雨杉² (1.南方电网能源发展研究院有限责任公司,广东 广州 510080; 2.中国人民大学环境学院,北京 100872)

摘要: 基于 MRIO 模型方法自主编制了 2012 年中国区域间投入产出表,测算了中国 31 省在生产者责任和消费者责任视角下的碳排放量,以及省际贸易隐含碳转移量.在此基础上,分别从各省在省际贸易隐含碳净转移与隐含 GDP 净转移之间的关系、污染贸易条件值以及碳基尼系数三个方面分析了我国省际碳公平性问题.由于经济发展水平、资源禀赋、产业结构和能源结构的差异,各省在生产者和消费者视角下的碳排放量存在明显差异;隐含碳净转入省份多位于西部或属于欠发达省份,隐含碳净转出省份多为经济发达省份.中国 31 省在省际贸易中存在着明显的碳不公平现象,部分发达省份不仅让外省承担了自身的部分碳排放,而且获得了来自外省的 GDP 净输入,污染贸易条件值也小于 1,在碳排放空间分配及经济效益上均处于绝对优势地位;而部分西部省份不仅为外省承接了部分碳排放还对外省净输出了 GDP,污染贸易条件值也大于 1,在碳排放空间分配和经济效益上均处于绝对劣势地位.2012 年我国 31 省碳基尼系数在消费者责任视角下为 0.24,在生产者责任视角下则达到了 0.31,表明生产者责任视角下我国省际碳排放空间分配不公平性有所增强.

关键词: MRIO 模型; 省际贸易隐含碳; 污染贸易条件; 碳基尼系数; 省际碳公平

中图分类号: X32 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6923(2020)12-5540-11

Research on the carbon transfer and carbon equity at provincial level of China based on MRIO model of 31 provinces. CHEN hui¹, WEN Jing², PANG Jun^{2*}, CHEN Zheng¹, WEI Yu-shan² (1.Energy Development Research Institute, China Southern Power Grid, Guangdong Guangzhou 510080, China; 2.School of Environment and Natural Resources, Renmin University of China, Beijing 100872, China). *China Environmental Science*, 2020,40(12): 5540~5550

Abstract: The 2012 multi-regional input-output table with 31 provincial regions and 16 industries of China in the paper has been developed based on the MRIO model. Meanwhile, the carbon emissions of 31 provinces in China from the perspective of producer and consumer responsibility and the carbon transfer embodied in inter-provincial trade have been calculated in this paper. On this basis, the inter-provincial carbon equity was analyzed by the relationship between the embodied net transfer of carbon emissions and GDP, the pollution terms of trade and the carbon Gini coefficient respectively. The results showed that the provincial carbon emissions from the perspective of producer and consumer responsibility vary significantly because of the differences of economic development level, resource endowment, industrial structure, energy structure, etc. In addition to this, a tendency of carbon emissions' net transfer has been showed from the western or less developed provinces to those with high economic development level. Carbon inequality between China's 31 provinces in inter-provincial trade was obvious. Some developed provinces not only let other provinces bear part of their own carbon emissions, but also obtain net GDP input from other provinces and their terms of trade of pollution is less than 1, which means they are in a more dominant position in the carbon emission space allocation and economic benefits than those western provinces which not only undertake part of carbon emissions for other provinces, but also lose their GDP and their terms of trade of pollution are more than 1. From the perspective of consumer responsibility, the 31 provinces of China's carbon Gini was 0.24 in 2012, and reaches 0.31 from the perspective of producer responsibility. It was indicated that the inequality of spatial distribution of carbon emissions among provinces in China has been enhanced under the perspective of producer responsibility.

Key words: MRIO model; carbon emissions embodied in inter-regional trade; pollution terms of trade; carbon Gini coefficient; inter-provincial carbon equity

近年来中国经济在高速增长的同时二氧化碳排放量也急剧上升,现已经成为世界上最大的碳排放国,面临巨大的国际减排压力.中国政府近年来加大了节能减排的力度,并在提交给联合国的“国家自主贡献(NDC)”中明确提出了 2030 年单位 GDP 二氧化碳排放量相比 2005 年水平下降 60%~65%,争取到

2030 年前后二氧化碳排放量达到峰值并尽早达到这一目标.为实现这一目标,各省市需要采取切实

收稿日期: 2020-07-07

基金项目: 南方电网公司科技项目(ZBKJXM20180375);国家自然科学基金项目(71701087)

* 责任作者, 教授, pangjun2005@ruc.edu.cn

措施降低自身的二氧化碳排放量,然而中国地区发展不平衡的现实意味着各省碳减排目标将有所差异.在确定省级碳排放控制目标之前,如下两个方面的问题应该引起重视:一方面,中国省际之间贸易往来频繁,隐含在省际贸易中的碳转移对各省碳排放量有着重要影响^[1];另一方面,有必要从公平角度考虑各省之间碳排放量相对于人口、省际贸易以及经济发展水平而言存在的差异及其特点^[2].

迄今为止,已有多位国内外学者从贸易隐含碳排放角度开展了国家之间碳转移的研究^[3-4],研究结论表明发达国家通过国际贸易实现了向发展中国家的碳排放转移,而发展中国家在国际贸易中为发达国家间接承担了部分碳排放量,是贸易隐含碳的净输出国.中国作为最大的温室气体排放国,其与主要贸易伙伴之间的贸易隐含碳排放得到了较多关注,相关研究^[5-7]表明中国是隐含碳净出口国,在生产大量出口产品的同时也排放了大量二氧化碳,而作为中国主要贸易伙伴的发达国家则通过从中国进口降低了自身的碳排放量.近年来随着研究的深入,有部分研究^[8-11]分析了我国不同区域之间贸易往来所隐含的碳转移量及其特点.

现有关于贸易隐含碳的研究主要采取投入产出模型作为分析工具,早期多采用单区域投入产出模型^[12-13],近年来随着研究的深入,多区域投入产出模型(简称 MRIO 模型)被广泛应用于相关研究^[14-16].相比于单区域投入产出模型,MRIO 模型可以将多个国家(地区)各个生产部门之间的投入产出关系内生在模型中,从而更为准确地估算贸易对这些国家

(地区)碳排放所产生的影响^[17-18],现已成为研究国家或地区间贸易隐含碳排放的主流分析工具.

碳公平通常指有限碳排放空间的分配应该体现公平^[19],现有关于碳公平的研究主要是在国家层次上采用收入分配领域的指标来测度人均碳排放空间分配的不公平特点,包括 Atkinson 指数^[20]、Theil 指数^[21]和碳基尼系数^[22-24]等.

本文利用最新公开可得的 2012 年中国 31 省地区投入产出表(限于数据可得性,不含港澳台地区),自主编制了 2012 年中国 31 省(每个省含 16 个行业)多区域投入产出表.在此基础上,首先采用 MRIO 模型方法测算了我国 31 省生产端和消费端视角下的碳排放量以及省际贸易隐含碳转移量;然后从各省在省际贸易隐含碳转移的同时是否存在 GDP 转移补偿这一角度分析省际碳公平问题;最后引入污染贸易条件和碳基尼系数这两个指标对省际碳公平问题展开进一步分析.相比已有研究,本文的创新之处在于如下两点:一是基于 MRIO 模型测算结果在省级层次上开展碳公平问题研究;二是引入多个评价指标多角度综合分析我国省际碳公平问题.

1 模型方法与数据来源

1.1 行业划分

现有 2012 年各省地区投入产出表划分了 42 个行业,考虑到本文更关注的是那些碳排放量较高的行业,因此本文对这 42 个行业中的服务行业和其他制造行业做了合并,最终将国民经济划分为 16 个行业,具体见表 1.

表 1 中国多区域投入产出表的行业划分

Table 1 The industrial categories in the multi-regional input-output table of China

编号	中国 31 省多区域投入产出表的部门划分	编号	各省地区投入产出表的部门编号及名称
1	农林牧渔业	1	农林牧渔产品和服务
2	煤炭开采和洗选业	2	煤炭采选产品
3	石油和天然气开采业	3	石油和天然气开采产品
4	采矿业	4-5	金属矿采选产品、非金属矿和其他矿采选产品
5	食品饮料烟草纺织服装木材造纸印刷体育用品制造业	6-10	食品和烟草、纺织品、纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品、木材加工品和家具、造纸印刷和文教体育用品
6	石油、炼焦产品和核燃料加工业	11	石油、炼焦产品和核燃料加工品
7	化学工业	12	化学产品
8	非金属矿物制造业	13	非金属矿物制品
9	金属冶炼压延加工业	14	金属冶炼和压延加工品
10	其他制造业	15-24	金属制品、通用设备、专用设备、交通运输设备、电气机械和器材、通信设备、计算机和其他电子设备、仪器仪表、其他制造产品、废品废料、金属制品、机械和设备修理服务

续表 1

编号	中国 31 省多区域投入产出表的部门划分	编号	各地区投入产出表的部门编号及名称
11	电力热力的生产与供应业	25	电力、热力的生产和供应
12	燃气的生产与供应业	26	燃气生产和供应
13	水的生产与供应业	27	水的生产和供应
14	建筑业	28	建筑
15	交通运输、仓储和邮政业	30	交通运输、仓储和邮政
16	服务业	29,31-42	批发和零售、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、科学研究和技术服务、水利、环境和公共设施管理、居民服务、修理和其他服务、教育、卫生和社会工作、文化、体育和娱乐、公共管理、社会保障和社会组织

1.2 模型方法

1.2.1 进口非竞争型投入产出表的处理 现有全国和 31 省的投入产出表都是进口竞争性投入产出表,不能直接用于编制中国 31 省多区域投入产出表,需要在将表中 42 个行业合并为 16 个行业的基础上,再将各表调整为进口非竞争型投入产出表。

具体调整方法如下:设 IM 为进口矩阵, EX 为出口矩阵, DC 为调出矩阵, DR 为调入矩阵, A 为直接消耗系数矩阵, X 为总产出矩阵,定义进口系数矩阵 M ,有 $M=IM/(X+IM-EX)$ 。另设国产化系数矩阵为 $(I-M)$, I 为单位矩阵, $(I-M)AX$ 即为进口非竞争型投入产出表的中间使用部分; $A^d=(I-M)A$ 为进口非竞争型投入产出表的直接消耗系数部分。 $F^d=(I-M)F$ 为进口非竞争型投入产出表的最终使用部分; $DC^d=(I-M)DC$ 为进口非竞争型投入产出表的调出部分; $DR^d=(I-M)DR$ 为进口非竞争型投入产出表的调入部分。这里 A^d 、 F^d 、 DC^d 和 DR^d 分别表示各地区扣除了进口品之后的直接消耗系数矩阵、最终使用矩阵、调出矩阵和调入矩阵。

1.2.2 中国 31 省多区域投入产出表的构建 进口非竞争型 MRIO 模型的基本形式可以表示为:

$$CA^dX+CF^d+DC^d-DR^d+EX=X \quad (1)$$

这里: X , A^d , F^d 和 EX 在前面的计算中已经确定, C 为区域间贸易系数矩阵。

$$C = \begin{bmatrix} C^{1,1} & C^{1,2} & \dots & C^{1,31} \\ C^{2,1} & C^{2,2} & \dots & C^{2,31} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ C^{31,1} & C^{31,2} & \dots & C^{31,31} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中:

$$C^{R,S} = \begin{bmatrix} c_1^{R,S} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & c_2^{R,S} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & c_{16}^{R,S} \end{bmatrix}$$

$C^{R,S}$ 为分行业从 R 省调出到 S 省的贸易系数矩阵,为 16 行×16 列对角矩阵,因此 C 为 496×496 方阵。其中, $C^{R,S}$ 对角线上元素 $c_i^{R,S}$ 为区域间贸易系数,表示 S 省 i 行业从 R 省调入的产品占 S 省该行业全部调入产品的比重,用公式表示:

$$c_i^{R,S} = t_i^{R,S} / t_i^S \quad (R, S=1,2,\dots,m; i=1,2,\dots,n) \quad (3)$$

式中: $t_i^{R,S}$ 表示 R 省对 S 省调出的 i 行业产品流量; t_i^S 表示所有地区对 S 省调出的 i 行业产品总流量; $m=31$ 代表地区数量, $n=16$ 代表行业数量。

$t_i^{R,S}$ 与 t_i^S 之间满足:

$$t_i^S = \sum R t_i^{R,S} \quad (4)$$

为确定 $t_i^{R,S}$,本文采用 Leontief 和 Strout 提出的引力模型方法^[25],计算公式为:

$$t_i^{R,S} = \frac{x_i^R \times d_i^S}{\sum R x_i^R} \times Q_i^{R,S} \quad (5)$$

其中: x_i^R 为 R 省 i 部门总产出(总投入); d_i^S 为 S 省对 i 部门产品的总需求(包括中间需求和最终需求); $\sum R x_i^R$ 为全社会 i 部门总产出;为 i 部门从 R 省到 S 省的贸易参数,也称摩擦系数。 x_i^R 、 d_i^S 、 $\sum R x_i^R$ 在各地区投入产出表中都可获得;摩擦系数 $Q_i^{R,S}$ 的确定,本文采用井原健雄^[26]引入的运输量分布系数来推算,计算公式为:

$$Q_i^{R,S} = \frac{H_i^{R,S}}{\frac{H_i^{R,O} \times H_i^{O,S}}{H_i^{O,O}}} \quad (6)$$

式中: $H_i^{R,S}$ 为 R 省到 S 省的 i 部门中重要产品的运输量; $H_i^{R,O}$ 为 R 省 i 部门产品总的输出量; $H_i^{O,S}$ 为 S 省 i 部门产品总的输入量; $H_i^{O,O}$ 为全社会 i 部门产品总的输出量(输入量)。

推算出摩擦系数之后,即可得到区域间贸易量,

进而得到区域间贸易系数矩阵 C 。由此,可以基于公式(1)得到初步的中国 31 省多区域投入产出表。接下来,需要保证该表各行业加和等于全国表各行业值,本文以全国表作为总量控制数,以各省数据作为结构信息,得到表中各分块矩阵的行列控制数,并采用 RAS 方法进行分块平衡调整,最终得到包含 31 个省 16 个行业的 2012 年中国多区域投入产出表。

1.2.3 生产者与消费者责任视角下各省碳排放量计算 本研究关注的是国内贸易中省际隐含碳转移以及由此带来的省际碳公平问题,因此在计算时将出口隐含碳排放排除在外,计算的是各省满足国内需求产品生产的碳排放量。首先,给出省际贸易隐含碳转移量的计算式(7)~(9):

$$CT^{R,S} = \hat{E}^S (I - A^d)^{-1} \hat{F}^R \quad (7)$$

$$CT^{S,R} = \hat{E}^R (I - A^d)^{-1} \hat{F}^S \quad (8)$$

$$CT_{net}^{R,S} = CT^{R,S} - CT^{S,R} \quad (9)$$

式中:符号 $\hat{\cdot}$ 表示对角矩阵; \hat{E}^S 和 \hat{E}^R 分别表示 S 省和 R 省的碳排放强度系数,即该对角矩阵中只有 S 省或 R 省的碳排放强度系数,其他省份的碳排放强度系数均为零; \hat{F}^S 和 \hat{F}^R 分别表示 S 省和 R 省的最终产品消耗量对角矩阵,包括本省供给和外省调入的最终产品; $CT^{R,S}$ 表示 R 省对所有省份最终产品消费通过产业链导致 S 省的碳排放量,在本文被定义为 R 省到 S 省的贸易隐含碳转移量,同样 $CT^{S,R}$ 被定义为 S 省到 R 省的贸易隐含碳转移量; $CT_{net}^{R,S}$ 为 R 省与 S 省的贸易隐含碳净转移量,值为正表示 R 省对 S 省净转出(即 R 省通过省际贸易让 S 省承担了部分碳排放,从控制碳排放来说对 R 省有利),值为负表示 R 省从 S 省净转入(即 R 省通过省际贸易为 S 省承担了部分碳排放,从控制碳排放来说对 R 省不利)。

接下来,设 CE_p^R 为 R 省在生产者责任视角下的碳排放量,即 R 省和外省的国内最终需求而导致的发生在 R 省的碳排放总量,计算公式为:

$$CE_p^R = \sum_S \hat{E}^R (I - A^d)^{-1} \hat{F}^S \quad (10)$$

设 CE_c^R 为 R 省在消费者责任视角下的碳排放量,即 R 省的国内最终需求导致的发生在 R 省和外省的碳排放总量,计算公式为:

$$CE_c^R = \sum_S \hat{E}^S (I - A^d)^{-1} \hat{F}^R \quad (11)$$

设 CE_{net}^R 为 R 省对外省贸易隐含碳净转移量,即 R 省在消费者责任视角下和生产者责任视角下碳排放量之差,值为正表示 R 省对外省净转出(即 R 省通过消费外省产品将部分碳排放转移出去),值为负表示 R 省从外省净转入(即 R 省通过省际贸易为外省承接了部分碳排放),计算公式为:

$$CE_{net}^R = CE_c^R - CE_p^R \quad (12)$$

1.2.4 省际贸易隐含 GDP 净转移量计算 本文借鉴 Zhang 等^[27]的思路,考察各省在省际贸易隐含碳转移的同时是否存在 GDP 转移作为补偿。为此,需要计算各省国内贸易隐含 GDP 净转移量,计算公式如下:

$$VA_{net}^R = \sum_S \hat{d}^S (I - A^d)^{-1} \hat{F}^R - \sum_S \hat{d}^R (I - A^d)^{-1} \hat{F}^S \quad (13)$$

式中: \hat{d}^R 和 \hat{d}^S 分别表示 R 省和 S 省的增加值系数,即该对角矩阵中只有 R 省或 S 省的增加值系数,其他省份的增加值系数均为零; $\hat{d}^S (I - A^d)^{-1} \hat{F}^R$ 表示 R 省对所有省份最终产品消费通过产业链拉动 S 省增加值增长量,即 R 省流向 S 省的经济价值; $\hat{d}^R (I - A^d)^{-1} \hat{F}^S$ 表示 S 省对所有省份最终产品消费通过产业链拉动 R 省增加值增长量,即 S 省流向 R 省的经济价值; VA_{net}^R 为 R 省对外省的贸易隐含增加值净转移量(也称隐含 GDP 净转移量),值为正表示 R 省对外省净转出(即 R 省通过省际贸易对外省转出了部分 GDP,从经济增长来说对 R 省不利),值为负表示 R 省从外省净转入(即 R 省通过省际贸易从外省转入了部分 GDP,从经济增长来说对 R 省有利)。

1.2.5 污染贸易条件 为了从国内贸易对各省碳减排是否有利的角度考察省际碳公平,本文引入污染贸易条件^[28]进行评价,计算公式是对外省单位价值调出额的隐含碳排放与从外省单位价值调入额的隐含碳排放之比。

令 PTT^R 是 R 省在国内贸易中的贸易污染条件,其计算公式为:

$$PTT^R = \frac{\sum_S CT^{R,S}}{\sum_S F^{d^{R,S}}} \bigg/ \frac{\sum_S CT^{S,R}}{\sum_S F^{d^{S,R}}}, R \neq S \quad (14)$$

$F^{d^{R,S}}$ 为进口非竞争型投入产出表中 R 地区对 S 地区调出价值量, $F^{d^{S,R}}$ 则为 S 地区对 R 地区调出价值量。当 PTT^R 大于 1 时,表示 R 省单位价值对外省调出产品的隐含碳排放高于其单位价值从外省调入产品的隐含碳排放,国内贸易对 R 省碳减排不利,

且值越大这种不利影响也越大.反之,当 PTT^R 小于1,则国内贸易对R省碳减排有利,且值越小这种有利影响越大.

1.2.6 碳基尼系数计算 为了从碳排放空间省际分配的角度考察省际碳公平,本文通过计算碳基尼系数值分析在生产者责任和消费者责任双重视角下各省碳排放量与其人口分布的关系.首先,将各省生产者或消费者责任视角下碳排放量,按人均碳排放量从小到大排序,然后以横轴表示我国各省的累计人口百分比,纵轴表示各省的累计碳排放量百分比,绘制出各省在坐标系中对应的点,以平滑曲线连接各点即可得碳洛伦兹曲线C,如图1中虚线所示.

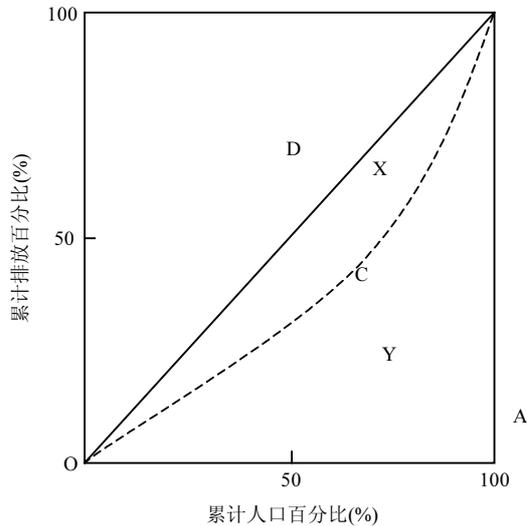


图1 碳洛伦兹曲线图

Fig.1 Carbon Lorenz Curve

图中对角线D上的点表示省际碳排放量分配绝对公平,碳洛伦兹曲线C越偏离对角线D,就表明我国省际碳排放量分配越不公平.设碳洛伦兹曲线C与对角线D围成的区域OCBD面积为X,而洛伦兹曲线C右下方区域OCBA面积为Y,则碳基尼系数为 $CG = X / (X + Y)$,表明各省碳排放量分配上的公平程度,碳基尼系数值越大,则省际碳排放分配不公平性越大.由于 $X + Y = 0.5$,因此 $CG = (0.5 - Y) / 0.5 = 1 - 2Y$,只要计算得到Y的值,就可以得到CG值.在实际计算中,通常采用将Y所代表的区域OCBA划分为若干个梯形,通过计算各梯形面积之和得到Y的近似值.本研究中有31个省份,因此通过划分出31个梯形利用梯形面积公式计算其面积后求和得到Y值,最终得到碳基尼系数CG的值.

1.3 数据来源

本研究数据基础是国家统计局编制的2012年全国及31省市投入产出表^[29];计算摩擦系数所需各省之间货物运输量的数据来源于《中国交通年鉴2013》^[30]和《中国铁道年鉴》^[31];计算CO₂排放量所需各省分行业能源消费量及平均低位发热量数据来源于2013年《中国能源统计年鉴》^[32],各种能源的CO₂排放因子来源于《中国温室气体清单研究》^[33];计算碳基尼系数所需各省人口数据来源于2013年《中国统计年鉴》^[34].

2 结果分析

2.1 生产者责任视角和消费者责任视角下各省碳排放量分析

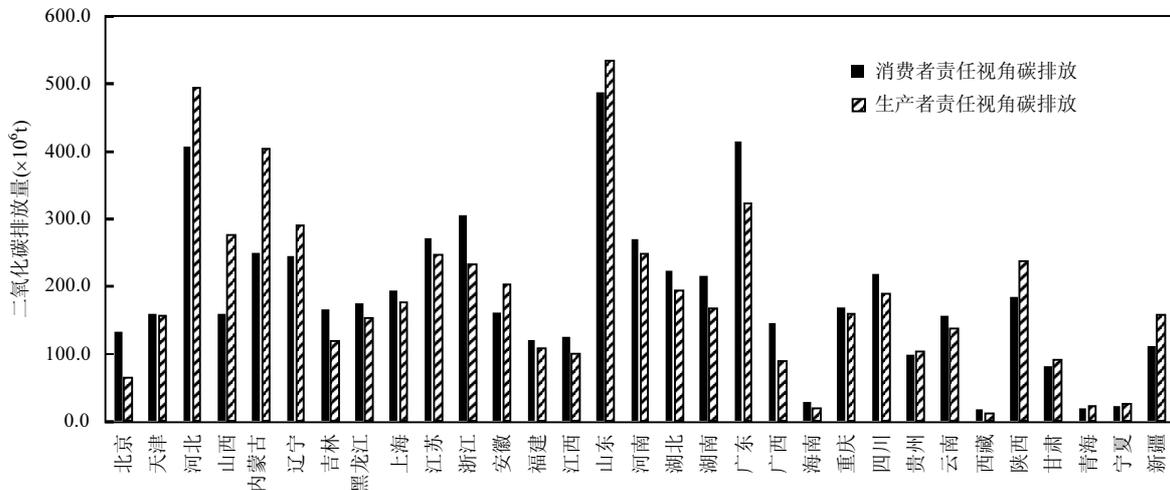


图2 生产者视角和消费者视角下各省碳排放量

Fig.2 Carbon emissions of 31 provinces from the perspective of producers and consumers

由图 2 可以看出,在生产者责任视角下碳排放量最高的 10 个省份依次是山东、河北、内蒙古、广东、辽宁、山西、河南、江苏、陕西和浙江,而在消费者责任视角下碳排放量位居前 10 的省份则依次是山东、广东、河北、浙江、江苏、河南、内蒙古、辽宁、湖北和四川.其中,山东和河北和广东三省在两种视角下均属于国内碳排放大省.

在全国 31 个省份中,生产者责任视角下碳排放量高于消费者视角的省份有 12 个,其中内蒙、山西和河北最为明显,这些省份都是化石能源生产较为集中或自身产业结构偏向于重化工业的省份,在大量为外省提供能源密集型产品的同时也导致自身排放显著增加,属于碳排放输入型省份;而消费者责任视角下碳排放量高于生产者视角的省份有 19 个,其中广东和浙江最为明显,这些省份大致可分为两类:一类如广东、浙江、北京、江苏和上海等经济发达省份,这些省份通过大量消费外省产品而避免了本省生产带来的碳排放;另一类如广西、云南和西藏等地,这些省份自身产业结构相对单一,本地消费大量依赖外省产品调入,也导致其消费者视角下的碳排放量高于生产者视角,这两类省份均属于碳排放输出型省份.由此来看,省际贸易带来了跨省碳排放量的转移,并对各省碳排放量产生了重要影响.

2.2 省际贸易隐含碳转移分析

表 2 给出了 2012 年中国 31 个省份的省际贸易隐含碳转移量,包括转出总量、转入总量和净转出量.其中:净转出量为正表示该省通过消费外省产品将部分碳排放转移出去;净转出量为负表示该省通过省际贸易为外省承接了部分碳排放.

从总量来看,隐含碳转出总量最高的 3 个省份依次是广东(2.01 亿 t)、江苏(1.75 亿 t)和浙江(1.65 亿 t),这 3 个省份经济发展水平较高且制造业也较为发达,为维持自身经济增长需要从外省大量调入能源、原材料及终端消费品,因此其省际贸易隐含碳转出总量高居全国前三位.隐含碳转入总量最高的 3 个省份依次是内蒙古(2.43 亿 t)、河北(2.26 亿 t)和山西(2.03 亿 t),这 3 个省份中内蒙古和山西为我国煤炭主产地,河北为重化工业较为集中的省份,通过向外省提供能源或能源密集型产品导致其隐含碳转入总量位居全国前列.除了这几个省份之外,贸易隐

含碳转出总量较高的还有山东、湖南、湖北、北京和四川等省,贸易隐含碳转入总量较高的还有山东、河南、安徽、江苏和辽宁等省,其中山东省碳转出和转入总量均排在第 4 位,该省碳排放量较高且与外省贸易比较频繁,通过省际贸易在大量从外省转入隐含碳的同时也对外省大量转出隐含碳.

表 2 中国各省省际贸易隐含碳转移量(10^6tCO_2)
Table 2 Carbon transfer embodied in inter-regional trade of each province in China(10^6tCO_2)

省/市	转出总量	转入总量	净转出量
北京	122.9	55.5	67.5
天津	79.6	76.1	3.5
河北	138.7	225.6	-87.0
山西	85.5	203.0	-117.5
内蒙古	89.4	243.0	-153.6
辽宁	95.0	140.1	-45.1
吉林	88.5	41.8	46.7
黑龙江	79.0	57.2	21.9
上海	65.7	48.7	17.0
江苏	175.5	150.4	25.0
浙江	165.2	90.8	74.5
安徽	111.5	153.5	-42.0
福建	59.3	47.0	12.3
江西	86.0	60.0	26.0
山东	145.8	192.8	-47.0
河南	176.5	154.9	21.6
湖北	108.5	77.7	30.8
湖南	117.3	68.6	48.8
广东	201.3	109.4	91.9
广西	100.3	44.5	55.8
海南	18.8	9.6	9.2
重庆	78.1	68.8	9.4
四川	102.2	73.3	28.8
贵州	52.8	58.7	-5.9
云南	74.2	56.5	17.7
西藏	6.4	0.2	6.3
陕西	62.2	115.8	-53.6
甘肃	44.4	54.3	-10.0
青海	10.2	13.4	-3.2
宁夏	12.1	14.5	-2.4
新疆	39.8	87.1	-47.3

从净转移量来看,对外省贸易隐含碳净转入的省份有 12 个,即生产者责任视角下碳排放量高于消费者视角的 12 个省份,其中净转入量居于前三位的省份依次为内蒙古(1.54 亿 t)、山西(1.18 亿 t)和河北(0.87 亿 t).这些省在省际贸易中更多地是调出高碳产品而调入低碳产品,因而其隐含碳转入量高于转出量,为外省承接了部分碳排放.对外省贸易隐含

碳净转出的省份有 19 个,即消费者责任视角下碳排放量高于生产者视角的 19 个省份,其中居于前 3 位的省份依次为广东(0.92 亿 t)、浙江(0.75 亿 t)和北京(0.68 亿 t)。这些省在省际贸易中大量调入高碳产品而调出低碳产品,因而其隐含碳转出量高于转入量,将部分碳排放转移到了外省。

2.3 省际碳公平分析

2.3.1 各省省际贸易隐含碳净转移量与隐含 GDP 净转移量分析 图 3 给出了中国各省对外省贸易隐含碳净转移量与隐含 GDP 净转移量的方向和大小分布情况,基于该图可以考察各省在省际贸易隐含碳净转出的同时是否存在隐含 GDP 净转入作为补偿(或者在隐含碳净转入的同时是否付出了隐含 GDP 净转出的代价),并据此分析各省在省际贸易过程中的碳公平性。按照图 3 中四个象限的信息,可以将中国 31 个省份划分为四组:第 1 组位于第一象限,特征为隐含碳排放和隐含 GDP 均为净转出;第 2 组位于第二象限,特征为隐含碳排放净转出但隐含 GDP 净转入;第 3 组位于第三象限,特征为隐含碳排放和隐含 GDP 均为净转入;第 4 组位于第四象限,特征为隐含碳排放净转入但隐含 GDP 净转出。

第 1 组包含 12 个省份(广东、浙江、四川、重庆、广西、吉林、湖南、湖北、福建、云南、海南、西藏),这些省份通过消费其他省份的高碳产品将部分碳排放净转移出去,但也通过省际贸易对外省净转出了部分 GDP,在让外省承担部分碳排放的同时也付出了经济代价;第 2 组包含 7 个省份(江苏、上海、北京、河南、天津、黑龙江、江西),这些省份通过消费其他省份的高碳产品将部分碳排放净转移出去,同时也通过省际贸易从其他省份净转入了部分 GDP,在让外省承担部分碳排放的同时还获得了经济利益,在 4 个组别中处在最有利的地位;第 3 组包含 6 个省份(山东、河北、山西、内蒙古、辽宁、新疆),这些省份通过向其他省份提供能源密集型或高碳产品为外省承接了部分碳排放,但也通过省际贸易从外省净转入了部分 GDP,在为外省承接部分碳排放的同时也获得了经济利益;第 4 组包含 6 个省份(陕西、安徽、贵州、甘肃、宁夏、青海),这些省份通过向外省提供能源密集型或初级产品为外省承接了部分碳排放,同时还向外省净转出了部分 GDP,在为外省承接部分碳排放的同时还付出了经济代价,在 4 个组别中处于最不利的地位。

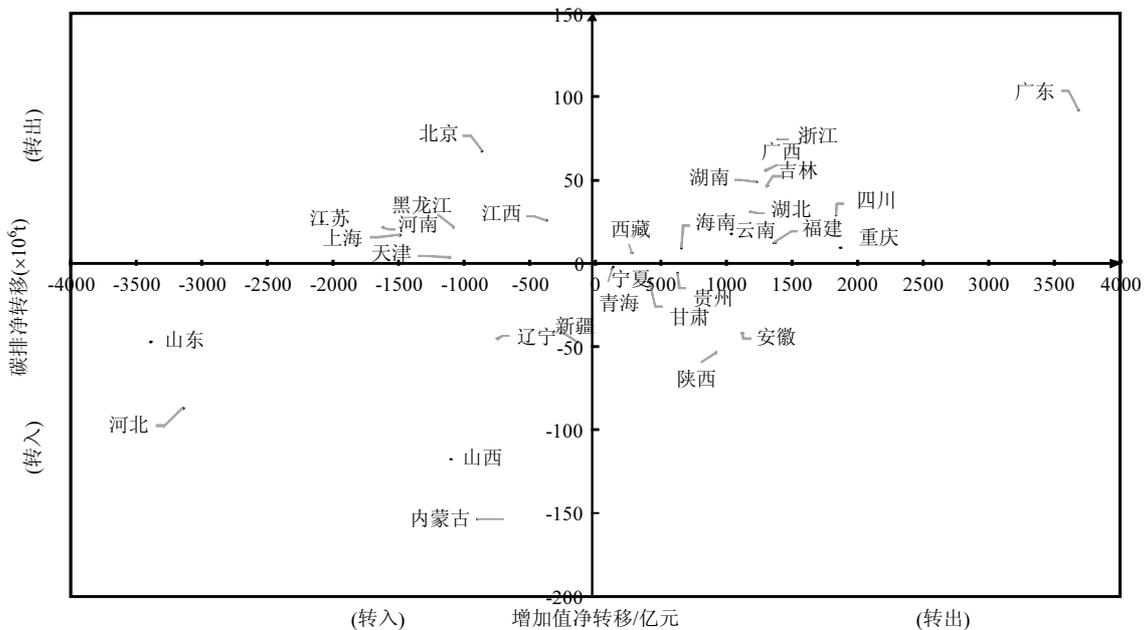


图 3 中国各省省际贸易隐含碳净转移量与隐含 GDP 净转移量的关系

Fig.3 The relationship between net transfer of carbon emissions and net transfer of GDP in the inter-provincial trade

从以上分析可以看出,中国部分发达省份尤其是直辖市如北京、上海等,由于自身经济发展水平较高

且具有高端化的产业结构优势,在省际贸易中通过向外省输出高附加值的产品或服务并从外省输入能源

密集型或高碳产品,不仅让外省承担了自身的部分碳排放,而且获得了来自外省的 GDP 净输入,在碳排放空间分配及经济效益上均处于绝对的优势地位;另外有些省份特别是位于西部地区的省份如贵州、甘肃等,由于自身区位和产业结构上的劣势地位,在省际贸易中更多地是输出低附加值的碳密集型产品而输入高附加值的产品和服务,不仅为外省承接了部分碳排放还对外省净输出 GDP,在碳排放空间分配和经济效益上均处于绝对的劣势地位;更多省份的情况则是处于这二者之间,在省际贸易中或者对外省净转出碳排放但付出了经济代价,或者获得了经济利益但却为外省承接了部分碳排放.因此,中国 31 个省份在省际贸易中存在着明显的碳不公平现象.

2.3.2 污染贸易条件(PTT)结果分析 为了从国内贸易对各省碳减排是否有利的角度考察省际碳公平,本文将中国各省份向其他省份的单位调出产品隐含碳排放量与同一省份从其他省份的单位调入产品隐含碳排放量比较,测算中国 31 省的污染贸易条件值,分析各省在贸易过程中付出的环境代价以及由此带来的省际碳公平问题.按照前面的定义,当污染贸易条件值大于 1,则表明省际贸易对该省碳减排不利,且值越大这种不利影响越大;反之,当污染贸易条件值小于 1,则表明省际贸易对该省碳减排有利,且值越小这种有利影响越大.

图 4 显示出 2012 年我国 31 个省份的污染贸易条件值大于 1 的省份有 12 个,也是前面分析指出的 12 个省际贸易隐含碳净转入省份.这些省份具有较高的资源禀赋,对外省调出产品多为能源资源基础或加工产品,在生产加工过程中承担了较高的碳排放压力,付出了较大的环境代价,此处基于污染贸易条件的分析进一步证实了这些省份从省际碳公平来看处于不利地位.

图 4 同时显示我国污染贸易条件值小于 1 的省份有 19 个,也是前面分析指出的 19 个省际贸易隐含碳净转出省份.基于污染贸易条件的分析表明这些省份由于自身在产业结构和贸易结构上的相对优势,自身在省际贸易过程中付出的环境代价相对较小,并通过省际贸易将部分碳排放转移到了外省,从省际碳公平来看处于有利地位.

整体上来看,经济发展水平更高的东部沿海省份污染贸易条件普遍小于 1,省际贸易为其带来的环

境影响并不显著,而经济相对落后的西部省份以及以能源密集型产业为主的省份污染贸易条件普遍大于 1,更多地承担了经济发达地区所需高碳产品的生产,省际贸易增大了这些地区的碳排放压力,使其付出了更大的环境代价.

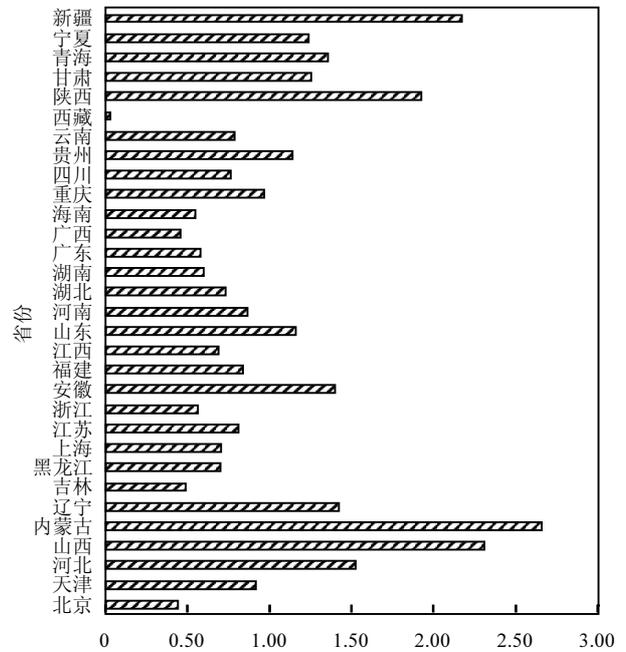


图 4 中国 31 省污染贸易条件值
Fig.4 Pollution terms of trade of 31 provinces of China

2.3.3 碳洛伦兹曲线与碳基尼系数分析 为了从碳排放空间省际分配的角度考察省际碳公平,本文运用碳洛伦兹曲线和碳基尼系数分析在生产者责任和消费者责任双重视角下各省碳排放量与其人口分布的关系,得到了如图 5 所示的 2012 年我国 31 省基于生产者责任视角和消费者责任视角下的碳洛伦兹曲线及相应的碳基尼系数值.由图 5 可以看出,基于生产者责任视角和消费者责任视角绘制的碳洛伦兹曲线具有较大差异,在生产者责任视角下,碳洛伦兹曲线与对角线偏离程度更大.国际上常用基尼系数定量测定社会居民收入分配的差异程度,并认为基尼系数低于 0.2 表示收入分配过于公平,而基尼系数达到 0.4 是收入分配不公平的警戒线.本文计算结果表明:2012 年,我国 31 省的碳基尼系数在消费者责任视角下为 0.24,在生产者责任视角下则达到了 0.31.整体来看,生产者责任视角下我国省际碳排放空间分配显得相对不公平,而消费者视角下则显得相对公平.究其原因,首先,我国生产者责任视角

下碳排放量高于消费者视角的省份有 12 个,而消费者责任视角下碳排放量高于生产者视角的省份有 19 个,从排放总量来说消费者责任视角相比生产者责任视角在各省之间分配更加均匀;其次,相比消费者责任视角而言,在生产者责任视角下我国碳排放更多地集中在内蒙古、山西、河北、陕西、新疆等西部省份或能源及重化工业产业较为密集的省份,这些省份在生产者视角下的碳排放比重超过人口比重,即较小的人口比重带来了相对较大的环境压力,因此碳基尼系数较大;然而,在消费者视角下碳排放开始向广东、浙江、北京、上海、江苏等经济发达人口密集的省份转移,这些省份的碳排放比重小于人口比重,以更多的人口承载了相应的环境压力,因此碳基尼系数变小。

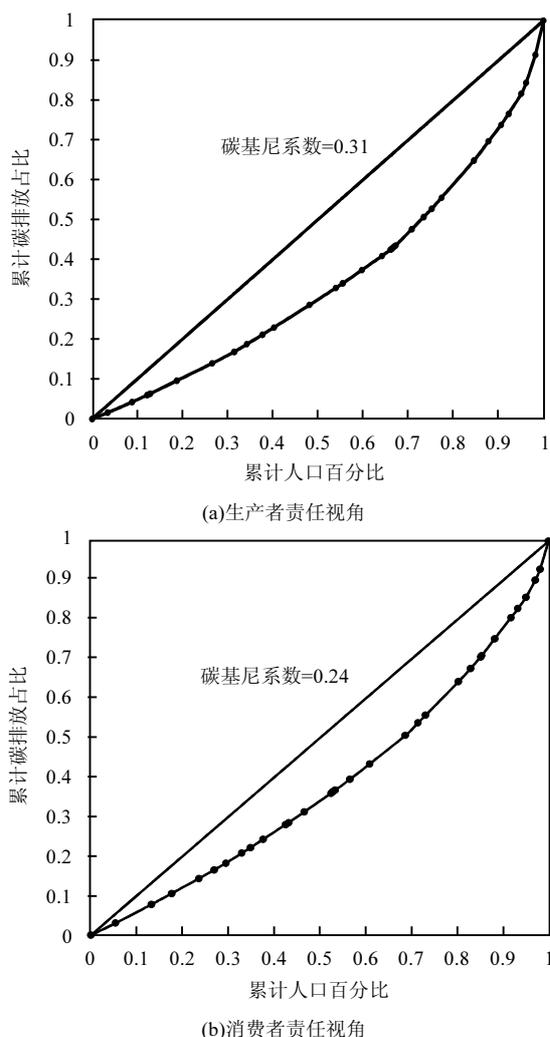


图5 2012年不同责任视角下中国31省碳洛伦兹曲线
Fig.5 Carbon Lorentz curve of China's 31 provinces under different responsibility perspectives in 2012

3 结论

3.1 整体来看,我国在生产者视角下碳排放量较高的省份均为化石能源生产较为集中或自身产业结构偏向于重化工业的省份,而消费者视角下碳排放量较高的省份多为经济发达省份或产业结构较为单一的省份。

3.2 省际贸易对各省碳排放量产生了重要影响.隐含碳净转入省份多位于西部或属于欠发达省份,且为能源产业较为密集或者重化工业所占比例较高的省份,在省际贸易中为外省承接了部分碳排放.隐含碳净转出省份多为经济比较发达且产业结构中以高附加值的低碳型产业为主的省份,通过省际贸易将部分碳排放转移到了外省。

3.3 在省际贸易中,我国部分发达省份不仅让外省承担了部分碳排放,而且获得了来自外省的 GDP 净输入,在碳排放空间分配及经济效益上均处于绝对优势地位,而部分位于西部地区的省份则处于绝对劣势地位;更多省份的情况则是处于二者之间,在省际贸易中或者对外省净转出碳排放但付出了经济代价,或者获得了经济利益但却为外省承接了部分碳排放。

3.4 我国经济相对落后的西部省份以及以能源密集型产业为主的省份污染贸易条件普遍大于 1,省际贸易增大了这些地区的碳排放压力,从省际碳公平来看处于不利地位.而经济发展水平更高的东部沿海省份污染贸易条件值普遍小于 1,通过省际贸易将部分碳排放转移到了外省,从省际碳公平来看处于有利地位。

3.5 碳洛伦兹曲线显示 2012 年我国 31 省的碳基尼系数在消费者责任视角下为 0.24,在生产者责任视角下则达到了 0.31,表明生产者责任视角下我国省际碳排放空间分配不公平性相比消费者责任视角有所增强。

4 建议

4.1 优化产业结构,改善能源结构.我国各省应继续优化产业结构,减缓能源消费增长的趋势,提高整体能源效率,同时改进能源结构,推广清洁能源的使用.加快推进产业升级转型,引导高消耗、高排放、低附加值产业向低消耗、低排放、高附加值产业升级,

推进第三产业的发展。

4.2 考虑省际贸易隐含碳排放,科学界定各省碳减排责任。在碳减排责任分摊时,应充分考虑碳排放的空间分布特性,明确我国目前存在发达地区向欠发达地区的省际贸易隐含碳转移,综合考虑各省在生产者责任视角和消费者责任视角下的碳排放量,合理分配各省碳减排责任。

4.3 综合运用多种市场手段,建立碳减排资金的省际补偿机制。首先要建立合理的能源定价机制,使环境成本在能源价格中得到充分体现,以利于中西部能源大省获得充足的碳减排资金。其次,尽快推动全国统一碳市场的有效运行,通过碳交易促进各行业节能减排,并通过适度的碳配额拍卖筹措碳减排资金。最后,对于碳交易未覆盖行业和企业适时征收碳税,并利用碳税收入为中西部能源大省提供碳减排资金。

4.4 考虑污染贸易条件,推动形成国内贸易新格局。对于污染贸易条件处于劣势地位的省份,应减少资源型及高碳产品的调出,改善自身在省际碳公平中的不利地位。对于污染贸易条件处于优势地位的省份,应分散化选择贸易伙伴,降低对劣势地位省份的依赖以减少对其带来的环境压力。

4.5 强化省区碳减排协作,促进省际碳公平。各省应制定省际互补减排政策,协同实现碳减排目标。在生产者视角下碳排放量凸显的省份,应加大淘汰落后产能的力度,加快工业技术革新步伐,促进自身碳排放量的下降;在消费者视角下碳排放量较大的省份在采取经济手段降低省内企业对能源密集型产品过度需求的同时,也应在资金、技术和人才方面加大对生产者视角下碳排放量凸显省份的支持力度,带动这些省份技术进步和节能减排。

参考文献:

- [1] 罗 芳,郭 艺,魏文栋.长江经济带碳排放与经济增长的脱钩关系——基于生产者 and 消费者视角 [J]. 中国环境科学, 2020,40(3): 1364-1373.
Luo F, Guo Y, Wei W D. Decoupling analysis between economic growth and carbon emissions in the Yangtze River Economic Belt—production and consumption perspectives [J]. China Environmental Science, 2020,40(3):1364-1373.
- [2] 宋德勇,刘习平.中国省际碳排放空间分配研究 [J]. 中国人口·资源与环境, 2013,23(5):7-13.
Song D Y, Liu X P. Spatial distribution of provincial carbon emissions [J]. China Population, Resources and Environment, 2013, 23(5):7-13.
- [3] Machado G, Schaeffer R, Worrell E. Energy and carbon embodied in the international trade of Brazil: an input-output approach [J]. Ecological economics, 2001,39(3):409-424.
- [4] Gavrilova O, Jonas M, Erb K, et al. International trade and Austria's livestock system: Direct and hidden carbon emission flows associated with production and consumption of products [J]. Ecological Economics, 2010,69(4):920-929.
- [5] Lin B Q, Sun C W. Evaluating carbon dioxide emissions in international trade of China [J]. Energy Policy, 2010,38(1):613-621.
- [6] Liu X, Ishikawa M, Wang C, Dong Y, et al. Analyses of CO₂ emissions embodied in Japan-China trade [J]. Energy Policy, 2010,38(3):1510-1518.
- [7] Shui B, Harriss R C. The role of CO₂embodiment in US-China trade [J]. Energy Policy, 2006,34(18):4063-4068.
- [8] 姚 亮,刘晶茹.中国八大区域间碳排放转移研究 [J]. 中国人口·资源与环境, 2010,20(12):16-19.
Yao L, Liu J R. Transfer of carbon emissions between China's eight major regions [J]. China Population, Resources and Environment, 2010, 20(12):16-19.
- [9] 石敏俊,王 研,张卓颖,等.中国各省区碳足迹与碳排放空间转移 [J]. 地理学报, 2012,67(10):1327-1338.
Shi M J, Wang Y, Zhang Z Y, et al. Regional carbon footprint and interregional transfer of carbon emissions in China [J]. Acta Geographica Sinica, 2012,67(10):1327-1338.
- [10] Guo J, Zhang Z, Meng L. China's provincial CO₂ emissions embodied in international and interprovincial trade [J]. Energy Policy, 2012,42: 486-497.
- [11] Jiang Y K, Cai W J, Wan L Y, et al. An index decomposition analysis of China's interregional embodied carbon flows [J]. Journal of Cleaner Production, 2015,88:289-296.
- [12] Sánchez-Chóliz J, Duarte R. CO₂ emissions embodied in international trade: Evidence of Spain [J]. Energy Policy, 2004, 32(18):1999-2005
- [13] Mukhopadhyay K, Chakraborty D. Environmental impacts of trade in India [J]. International Trade Journal, 2005,19(2):135-163.
- [14] Bin Su, B.W. Ang. Input-output analysis of CO₂emissions embodied in trade: A multi-region model for China. Applied Energy, 2014,114: 377-384.
- [15] 周 新.国际贸易中的隐含碳排放核算及贸易调整后的国家温室气体排放 [J]. 管理评论, 2010,22(6):17-24.
Zhou X. Emissions embodied in international trade and trade adjustment to national GHG inventory [J]. Management Review, 2010,22(6):17-24.
- [16] 刘红光,范晓梅.中国区域间隐含碳排放转移 [J]. 生态学报, 2014, 34(11):3016-3024.
Liu H G, Fan X M. CO₂emissions transfer embedded in inter-regional trade in China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2014,34(11):3016-3024.
- [17] Polenske K R. An empirical test of interregional input-output models: estimation of 1963 Japanese production [J]. American Economic Review, 1970,60(2):76-82.
- [18] 张阿玲,李继峰.地区间投入产出模型分析 [J]. 系统工程学报, 2004, 19(6):615-619.
Zhang A L, Li J F. Analysis on interregional input-output models [J].

- Journal of Systems Engineering, 2004,19(6):615-619.
- [19] 滕 飞,何建坤,潘勋章,等.碳公平的测度:基于人均历史累计排放的碳基尼系数 [J]. 气候变化研究进展, 2010,6(6):449-455.
Teng F, He J K, Pan X Z, et al. How to measure carbon equity: Carbon gini index based on historical cumulative emission per capita [J]. Advances in Climate Change Research, 2010,6(6):449-455.
- [20] Hedenus F, Azar C. Estimates of trends in global income and resource inequalities [J]. Ecological Economics, 2005,55(3):351-364.
- [21] Duro J A, Padilla E. International inequalities in per capita CO₂ emissions: a decomposition methodology by Kaya factors [J]. Energy Economics, 2006,28(2):170-187.
- [22] Heil M T, Wodon Q T. Inequality in CO₂ emissions between poor and rich countries [J]. Journal of Environment and Development, 1997,6: 426-452.
- [23] Heil M T, Wodon Q T. Future inequality in CO₂ emissions and the impact of abatement proposals [J]. Environmental and Resource Economics, 2000,17(2):163-181.
- [24] Groot L. Carbon Lorenz Curves [J]. Resource and Energy Economics, 2010,32(1):45-64.
- [25] Leontief W, Strout A. Multiregional input-output analysis// Barna T. Structural interdependence and economic development. London: St. Martin's Press, 1963.
- [26] 井原健雄.地域的经济分析 [M]. 东京: 中央经济社, 1996.
Takeo L. Economic Analysis of Regions [M]. Tokyo: Central Economic Press, 1996.
- [27] Zhang W, Liu Y, Feng K, et al. Revealing environmental inequality hidden in China's inter-regional trade [J]. Environmental Science and Technology, 2018,52(13):7171-7181.
- [28] Antweiler W. Pollution terms of trade [J]. Economics Systems Research, 1996,8(4):361-365.
- [29] 国家统计局国民经济核算司.中国 2012 年投入产出表 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2015.
Department of National Accounts of the National Bureau of Statistics of China. Input-output tables of China in 2012 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2015.
- [30] 中国交通年鉴编辑委员会. 中国交通年鉴 [M]. 北京:中国交通年鉴社, 2013.
Editorial board of yearbook of China transportation and communications. Yearbook of China transportation and communications [M]. Beijing: Yearbook of China Integrated Transport Press, 2013.
- [31] 中国铁路总公司档案史志中心.中国铁道年鉴 2013 [M]. 北京:中国铁路总公司, 2013.
Archives and Historical Records Center of China Railway Corporation. China railway yearbook 2013 [M]. Beijing: China Railway Corporation, 2013.
- [32] 国家统计局.中国能源统计年鉴 [M]. 北京:中国统计出版社, 2013.
National Bureau of Statistics of China. China energy statistical yearbook [M]. Beijing: China Statistics Press, 2013.
- [33] 高广生.中国温室气体清单研究 [M]. 北京:中国环境科学出版社, 2007.
Gao G S. The people's republic of China national greenhouse gas inventory [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2007.
- [34] 国家统计局.中国统计年鉴 [M]. 北京:中国统计出版社, 2013.
National Bureau of Statistics of China. China statistical yearbook [M]. Beijing: China Statistics Press, 2013.

作者简介: 陈 晖(1985-),男,江西吉安人,高级工程师,博士,研究方向为能源经济学.发表论文 20 余篇.