

# 中国省域隐含碳排放核算及责任分配研究

廖志高<sup>1</sup>, 刘攀<sup>1</sup>, 姚黎明<sup>2</sup>

<sup>1</sup>广西科技大学经济与管理学院, 广西 柳州

<sup>2</sup>四川大学商学院, 四川 成都

收稿日期: 2022年8月31日; 录用日期: 2022年10月27日; 发布日期: 2022年11月3日

## 摘要

核准我国各省份的年度碳排放量, 是国家碳排放总量和碳排放强度控制目标的核心问题。基于中国省域间投入产出数据, 本文采用MRIO模型测算了30个省域的生产侧碳排放、消费侧碳排放和净转移量, 并以各省域商品流出中的省内增加值占比作为分配因子, 对各省域隐含碳进行分配, 实施碳排放责任共担。将隐含碳与碳补偿机制相结合, 构建碳补偿理论模型, 基于省域隐含碳净排放的测算, 厘清碳补偿的主客体。结果显示: 从净转移量来看, 对外省贸易隐含碳净转入的省份有23个, 隐含碳责任分配比例为42%至80%, 且均为碳受偿省份。对外省贸易隐含碳净转出的省份有7个, 责任分配比例为31%至35%, 且均为碳支付省份。通过隐含碳测算, 厘清各省域在省际贸易中实际的碳排放水平, 将省际贸易中碳排放责任与经济效益关联起来, 实现了权责分明的碳责任分配与碳补偿。

## 关键词

MRIO模型, 省域碳排放, 隐含碳, 碳补偿, 责任分配

# Research on China's Provincial Embodied Carbon Emissions Accounting and Responsibility Allocation

Zhigao Liao<sup>1</sup>, Pan Liu<sup>1</sup>, Liming Yao<sup>2</sup>

<sup>1</sup>School of Economics and Management, Guangxi University of Science and Technology, Liuzhou Guangxi

<sup>2</sup>Business School, Sichuan University, Chengdu Sichuan

Received: Aug. 31<sup>st</sup>, 2022; accepted: Oct. 27<sup>th</sup>, 2022; published: Nov. 3<sup>rd</sup>, 2022

## Abstract

Approving the annual carbon emissions of various provinces in my country is the core issue of the

national carbon emission total and carbon emission intensity control goals. Based on China's inter-provincial input-output data, this paper uses the MRIO model to measure the production-side carbon emissions, consumption-side carbon emissions and net transfer of 30 provinces, and takes the proportion of provincial added value in the outflow of commodities from each province as the allocation factor is used to allocate the embodied carbon in each province, and implement carbon emission responsibility sharing. Combined with the hidden carbon and carbon compensation mechanism, the theoretical model of carbon compensation is constructed. Based on the calculation of provincial net hidden carbon emissions, the subject and object of carbon compensation are defined. The results show that: from the perspective of net transfer volume, there are 23 provinces with net transfer of embodied carbon from foreign trade, and the allocation ratio of implied carbon responsibility ranges from 42% to 80%, all of which are carbon compensated provinces. There are 7 provinces with a net transfer of carbon embodied in foreign trade, with a responsibility distribution ratio of 31% to 35%, and all of them are carbon payment provinces. Through the calculation of implied carbon, the actual carbon emission level of each province in the inter-provincial trade is clarified, and the carbon emission responsibility in the inter-provincial trade is linked with the economic benefit, and the carbon responsibility distribution and carbon compensation with clear rights and responsibilities are realized.

## Keywords

MRIO, Provincial Carbon Emissions, Embodied Carbon, Carbon Compensation, Responsibility Allocation

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

近年来伴随着中国经济不断增长，二氧化碳排放量也在逐年攀升，我国已经成为世界上二氧化碳排放量最大的国家。中国承诺于 2030 年之前实现碳达峰，并于《2030 年前碳达峰行动方案》中明确提出我国争取 2030 年单位 GDP 二氧化碳排放量相比 2005 年水平下降 65% 以上。为实现碳达峰目标，各省市需结合自身实际积极采取行动降低自身碳排放，但往往碳生产地并非碳消费地，存在区域间生产与消费分割的情况，利用目前通用的生产者责任方式来核算省域二氧化碳排放量对生产省份不公平，并会滋生更加严重的“碳泄漏”。我国地域广阔且能源分布极不均匀，我国建设如西电东送、西气东输等工程来实现资源调配，这促进了我国区域间经济贸易的联系，但由于资源调出省输出更多高碳产品成为隐含碳流入省份，为其他省代为排放二氧化碳，造成我国省域间存在范围较广、数量较大的二氧化碳排放的空间转移。我国实现碳达峰必须从全盘考虑，部分省域如果以其他省域产生代为排放、替代排放为代价实现碳达峰，则会影响到我国整体碳达峰目标的实现。因此，对中国省域隐含碳进行核算，分类出隐含碳流出和流入省份，从生产者责任、消费者责任视角和共担责任视角对省域隐含碳责任进行分配并厘清碳补偿主客体显得尤为重要。

## 2. 文献综述

学术界从隐含碳角度出发对国家间贸易产生的碳转移展开研究[1] [2]。随着对贸易隐含碳研究的不断深入，学者对我国区域隐含碳展开研究。投入产出模型是分析贸易隐含碳的主要方法，贸易隐含碳研究

最早利用单区域投入产出模型研究[3],但随着区域间经济联系日趋紧密,多部门、多区域逐渐成为研究热点,多区域投入产出模型在贸易隐含碳研究中的应用日益频繁[4][5]。多区域投入产出模型可以将多个区域各行业的投入产出数据结合在模型中,从生产和消费的角度更加详细的分析出通过贸易产生的隐含碳对区域二氧化碳排放产生的影响,与现实情况更加贴合的多区域投入产出模型也成为研究贸易隐含碳的主要工具[6]。

碳排放责任分配应该体现公平原则,现有关于碳责任分配的研究主要包括生产者责任原则、消费者责任原则。在封闭的经济体中,按照“生产者责任”原则核算一国的碳排放量,并以该原则来确定减排责任是可取的。但是区域间存在贸易的情况下,容易引发“碳泄漏”等问题[7]。基于此,Munksgaard 和 Pedersen 提出了“消费者责任”原则,认为一区域内由消费所产生的碳排放应由该区域负责[8]。以往的研究分别计算了我国生产者视角与消费者视角下的碳排放量,结果表明,从消费者责任的角度来计算,我国的碳排放量要比从生产者的角度来计算的要少。这说明我国是隐含碳的输出国[9][10][11]。“消费者责任”原则在一定程度上可以解决“碳泄漏”问题。从消费者责任视角对碳排放量进行核算将有助于解决开放经济中“碳泄漏”的问题,但也有学者对“消费者责任”原则产生质疑,在该核算原则下生产者将不会产生主动减排的驱动力,不利于促进生产者的碳减排。同时,由于消费方无法较为简单选择出较为清洁的产品且难以出台政策对消费者在产品选择上进行激励,这使得从消费方降低碳排放也存在一定难度。因此通过对隐含碳进行责任分配核算的共担责任原则是一个折中标准[12][13]。

随着资源环境和社会发展的矛盾日渐突出,碳补偿与区域公平发展逐步成为学术界的研究热点。碳补偿核心是确定碳补偿的模式和标准,国内外学者对城市、区域、项目的碳补偿开展了大量的案例研究[14][15][16]。碳补偿模式主要有全球补偿模式、区际补偿模式、地区补偿模式和项目补偿模式等[17][18]。目前,碳补偿主要通过对碳源与碳汇的测算来确定碳补偿的主客体,未有研究通过隐含碳角度确定省域碳补偿主客体。

本文利用 2017 年中国 30 省地区投入产出表(不含港澳台与西藏地区),采用 MRIO 模型方法测算了我国 30 省生产者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,然后从增加值的角度对各省域隐含碳责任的分配比例进行核算。本文创新之处包括两点:一是基于 MRIO 模型从增加值角度对各省域隐含碳责任的分配比例以及隐含碳分配后的碳排放量进行核算;二是从隐含碳角度确定省域碳补偿主客体并构建模型测算出各省域的碳补偿额度。

### 3. 模型构建

#### 3.1. 省域碳转移测算方法

##### 3.1.1. 多区域投入产出模型(MRIO)分析框架

MRIO 模型是利用各个区域投入产出表反映出的贸易数据,融入贸易各方商品与服务的流动,并按照相同行业分类进行调整和连接的投入产出模型。参考陈晖[19]改进的模型,省域  $r$  投入产出为

$$X_i^r = \sum_{s=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij}^{rs} + \sum_{s=1}^m Y_i^{rs} + EX_i^r + R_i^r \quad (1)$$

式(1)中, $r$ 、 $s$ 为省域; $i$ 、 $j$ 为产业部门; $m$ 、 $n$ 为省域、产业部门总数量; $X_{ij}^{rs}$ 、 $Y_i^{rs}$ 为省域  $r$  部门  $i$  向省域  $s$  投入的中间产品、最终产品; $EX_i^r$ 为省域  $r$  部门  $i$  的出口; $R_i^r$ 用以调整部门总产出与总投入的平衡。

总产出  $X^r$  可表示为:

$$\begin{aligned}
 X_i^r &= (1 - A^{rr})^{-1} \left( \sum_{s=1, s \neq r}^m A^{rs} X^s + \sum_{s=1}^m Y^{rs} + Y^{rr} + EX^r \right) \\
 &= L^{rr} \sum_{s=1, s \neq r}^m A^{rs} X^s + L^{rr} \sum_{s=1}^m Y^{rs} + L^{rr} Y^{rr} + L^{rr} EX^r
 \end{aligned} \tag{2}$$

式(2)中,  $A$ 、 $L = (1 - A^{rr})^{-1}$  为直接消耗系数矩阵、列昂惕夫逆矩阵;  $L^{rr} \sum_{s=1, s \neq r}^m A^{rs} X^s$ 、 $L^{rr} \sum_{s=1}^m Y^{rs}$  为省域  $r$  用于满足省域  $s$  的中间产品、最终产品;  $L^{rr} Y^{rr}$  为省域  $r$  满足本省最终产品;  $L^{rr} EX^r$  表示省域  $r$  的出口。

### 3.1.2. 省域生产侧碳排放测算方法

生产侧碳排放是省域通过生产产生的碳排放。生产侧碳排放可分为省内和省外碳排放, 省内碳排放包括生产满足省内消费的中间产品和最终产品所产生的碳排放, 省外碳排放包括生产满足省外中间产品、最终产品以及出口国外需求部分所产生的碳排放。定义  $CI^r$  为以省域  $r$  的碳排放强度, 是直接碳排放与总产出的比值。

省域生产侧碳排放为:

$$CE_p^r = CI^r L^{rr} Y^{rr} + CI^r L^{rr} \sum_{s=1, s \neq r}^m A^{rs} X^s + CI^r L^{rr} \sum_{s=1, s \neq r}^m Y^{rs} + CI^r L^{rr} EX^r \tag{3}$$

### 3.1.3. 省域消费侧碳排放测算方法

消费侧碳排放是省域通过消费产生的碳排放。消费侧碳排放可分为省内和省外碳排放, 省内碳排放是在省内生产并消费的中间产品和最终产品所导致的碳排放; 省外碳排放是进口的省外中间产品、最终产品以及国外产品的碳排放。

省域消费侧碳排放为:

$$CE_c^r = CI^r L^{rr} Y^{rr} + CI^r L^{rr} \sum_{s=1, s \neq r}^m A^{sr} X^r + CI^s L^{ss} \sum_{s=1, s \neq r}^m Y^{sr} + CI^r L^{rr} IM^r \tag{4}$$

## 3.2. 省域净碳转移测算方法

省域净碳转移量为省域生产测与消费侧碳排放的差值:

$$\begin{aligned}
 CT^r &= CE_c^r - CE_p^r \\
 &= CI^s L^{ss} \sum_{s=1, s \neq r}^m (A^{sr} X^r + Y^{sr}) - CI^r L^{rr} \left( \sum_{s=1}^m Y^{rs} + \sum_{s=1, s \neq r}^m A^{rs} X^s \right) + CI^r L^{rr} (EX^r - IM^r)
 \end{aligned} \tag{5}$$

式(5)中,  $CT^r$  为省域碳转移净额, 正值表示省域碳净转出, 负值表示域碳净转入。其中

$CI^r L^{rr} \sum_{r=1}^m (EX^r - IM^r)$  为总净出口隐含碳, 正值表示中国省域  $r$  碳净转入, 负值表示中国省域  $r$  碳净转出。

### 3.3. 省域碳排放空间转移净值的分配方法

考虑到责任分配的公平性, 对碳排放责任在生产者与消费者之间进行分配。“责任共担”原则规定, 一个省域不但要对其省内生产并消费产生的二氧化碳负责, 还要对其省内生产省外消费、省外生产省内消费产生的二氧化碳负责。这是一种介于“生产者责任”与“消费者责任”的中间指标, 本文将这两种指标进行加权平均, 得到“责任共担”的核算原则, 用  $SR$  表示。

$$\begin{aligned}
SR = & \underbrace{CI^r L^{rr} Y^{rr}}_1 + \lambda_{ri} \underbrace{\left( CI^r L^{rr} \sum_{s=1, s \neq r}^m A^{rs} X^s + CI^r L^{rr} \sum_{s=1, s \neq r}^m Y^{rs} + CI^r L^{rr} EX^r \right)}_2 \\
& + (1 - \lambda_{ri}) \underbrace{\left( CI^r L^{rr} \sum_{s=1, s \neq r}^m A^{sr} X^r + CI^s L^{ss} \sum_{s=1, s \neq r}^m Y^{sr} + CI^r L^{rr} IM^r \right)}_3
\end{aligned} \quad (6)$$

式(6)中,  $\lambda_{ri}$  为“生产者与消费者”之间的责任分配系数矩阵。对于省域  $r$  行业  $i$  的碳排放量, 当  $\lambda_{ri} = 1$  时, 完全依据“生产者负责”原则来核算; 当  $\lambda_{ri} = 0$  时, 完全依据“消费者负责”的原则来核算。对于  $\lambda_{ri}$  的任何取值, 第 1 部分都不变, 即本省需要承担本省生产并消费的碳排放的全部责任。第 2 部分表明, 对于本省生产并出口的产品需要承担碳排放比例为  $\lambda_{ri}$ ; 第 3 部分表明, 对于进口的省外产品需承担碳排放比例为  $(1 - \lambda_{ri})$ 。本文借鉴王文治[20]的方法用产品流出的省内增加值占比作为分配因子, 为  $\lambda_{ri} = \frac{DV_{ri}}{FO_{ri}}$ ,

$DV_{ri}$  表示省域  $r$  行业  $i$  流出的省内增加值,  $FO_{ri}$  为省域  $r$  行业  $i$  的流出总额。分配因子的大小表示省域  $r$  行业  $i$  流出中的省内增加值的大小, 即其获得的经济利益的大小。

### 3.4. 碳补偿额度估算模型

根据碳排放空间转移净值可计算出区域碳平衡情况, 并以此为基础, 如果某个省域内存在隐含碳净流入, 则表明该省是一个碳受偿省, 其通过省际交易吸收了其它省的碳排放; 如果某个省域内存在着隐含碳净流出, 那么这个省就是碳支付省, 通过省际交易向其它省转移碳排放。由于各省份之间的经济发展程度存在着差异, 所以在此基础上, 利用生长曲线函数模型调整不同省域碳补偿系数。

碳补偿额度的核算:

$$P_{eco} = CP_c r \quad (7)$$

$$r = \frac{K}{1 + P_c} e^{-bt} \quad (8)$$

$$r_M = \frac{e^t G_M}{(e^t + 1)G} \quad (9)$$

式中:  $P_{eco}$  为碳补偿额度;  $P_c$  为单位碳价格;  $C$  为省域隐含碳;  $r$  为碳补偿系数。  $K$  为区域经济发展水平, 为更好的体现公平性通过测算区域内人均 GDP 对总体 GDP 的比率来调整碳补偿;  $t$  为区域恩格尔系数,  $b$  是常数。  $r_M$  为 M 省域碳补偿系数;  $G_M$  为 M 省域人均 GDP;  $G$  为我国 GDP。为实现我国 2030 年碳达峰目标, 生态建设面临的巨大的压力, 所以在单位碳价格应该取较大的基准价格, 参考已有研究本文取 100 元/t。

### 3.5. 数据及其说明

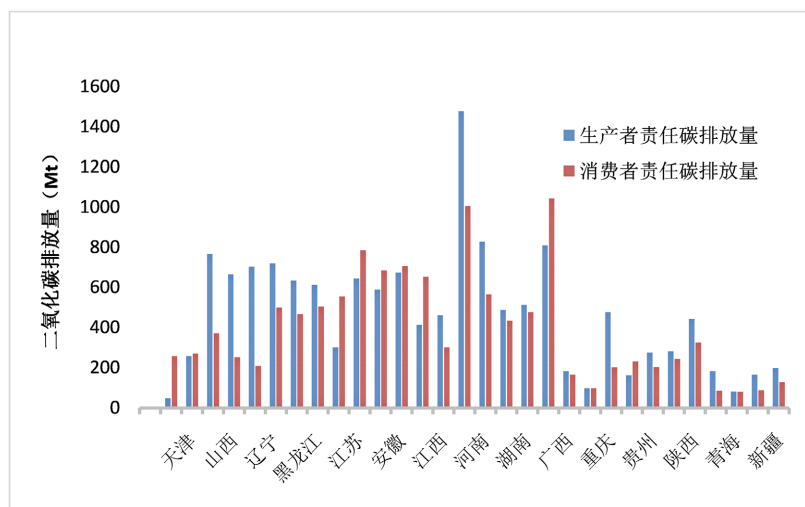
为保证测算的一致性, 本文以《中国能源统计年鉴》中分省域能源平衡表中的行业 6 部门分类标准, 合并投入产出表中的 30 个行业部门, 合并为: 农林牧渔业; 工业; 建筑业; 交通运输、仓储和邮政业; 批发、零售业和住宿、餐饮业; 其它服务业。本文各省分行业的碳排放量计算采用联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)推荐的二氧化碳排放估算方法。

## 4. 测算结果

### 4.1. 生产者与消费者责任视角下各省碳排放量分析

由图 1 可以看出, 从生产者责任视角来看山东、河南、广东、浙江、安徽、江苏、河北、辽宁、内蒙

古、山西这 10 个省份碳排放量最高，从消费者责任视角来看浙江、广东、山东、江苏、安徽、河南、上海、福建、黑龙江、辽宁这 10 个省份碳排放量最高。且广东省、山东省在两种核算方式下都是我国碳排放大省。



**Figure 1.** Carbon emissions in each province from the perspective of producer and consumer responsibility  
**图 1.** 生产者与消费者责任视角下各省碳排放量

在本文研究的 30 个省份中，有 23 个省域生产者责任视角下核算碳排放量较高，这些省份通常是具有大量的化石能源为外省不断提供能源的输出，或者本身产业结构以重工业生产为主，通过生产为外省提供能源与产品并增加了本省的二氧化碳排放量，其中内蒙古、山东、山西和河北最为明显，是典型的碳排放流入省份；有 7 个省域消费者责任视角下核算碳排放量较高，这类省份通常经济发达、以服务业为主，通过对省外化石能源、工业产品等进口与消费来降低本省在生产过程中产生的碳排放，这也导致了这些省份在消费者责任视角上核算出更高的二氧化碳排放量，如上海、广东和福建是典型的碳排放流出省份。上述分析可知，通过省域间的贸易会产生碳排放的流动，生产省份为碳排放的流入省份，消费省份为碳排放的流出省份，核算各省域隐含碳的流入与流出量是精确核算各省域碳排放量的基础。

#### 4.2. 省际贸易隐含碳转移分析

基于 2017 年区域投入产出表利用 MRIO 模型计算出各省域通过贸易产生的隐含碳转移量，如表 1 所示。其中净转出量正值表示隐含碳净流出，即该省域利用省际贸易通过消费来自其他省份的产品将原属于本省的碳排放由其他省代为排放；其中净转出量为负值表示隐含碳净流入，即该省域在省际贸易中通过能源或重工业产品输出承接了其他省域的碳排放。

从隐含碳转移总量来看，经济较为发达、产业结构脱离重化工产业的省份隐含碳转出量较高，例如上海(252.47 Mt)、福建(240.57 Mt)和广东(233.32 Mt)为隐含碳转出总量最高的三个省份，这些省域都是需要大量消耗由外省输入的能源、生产原料以及最终产品来维持省域的生产与生活。我国的化石能源生产大省如内蒙古(493.58 Mt)与山西(412.18 Mt)，通过煤炭的生产与销售，为外省提供能源输出导致其具有较高的隐含碳转入，以山东(473.58 Mt)为代表的产业结构主要为重化工业产业的省份，在省际贸易中输出产生较大碳排放的资源密集型产品，这导致山东具有较高的隐含碳转入。这使得内蒙古、山西和山东成为我国隐含碳转移总量最高的三大省域。山东省的转出和转出均居全国前列，这说明山东省在生产排放出较多二氧化碳的同时又通过贸易大量消费外省资源，这就导致山东省在向外转移大量隐含碳的同时，也接受了其他省份转移的大量隐含碳。

**Table 1.** China's provincial embodied carbon transfer  
**表 1.** 中国省域隐含碳转移量

	省份	转出总量/Mt	转入总量/Mt	净转出量/Mt
碳排放 净流出 省	北京	234.5	23.6	210.9
	天津	80.0	67.5	12.5
	上海	368.2	115.8	252.5
	江苏	474.2	335.2	139.0
	浙江	380.7	285.6	95.1
	福建	295.0	54.4	240.6
	广东	554.1	320.7	233.3
碳排放 净流入 省	河北	223.0	618.4	-395.4
	山西	153.8	566.0	-412.2
	内蒙古	259.2	752.7	-493.6
	辽宁	226.1	445.9	-219.8
	吉林	106.5	273.5	-167.0
	黑龙江	217.2	325.2	-108.0
	安徽	220.4	236.0	-15.5
	江西	54.4	295.0	-159.1
	山东	117.2	276.2	-473.6
	河南	111.9	585.5	-261.0
	湖北	299.5	560.5	-53.0
	湖南	34.5	87.5	-35.3
	广西	69.0	85.5	-16.5
	海南	46.4	47.1	-0.7
	重庆	281.4	556.4	-275.0
	四川	46.8	16.9	-29.8
	贵州	147.2	219.8	-72.6
	云南	31.8	70.4	-38.5
	陕西	231.1	349.0	-117.9
	甘肃	50.2	147.6	-97.4
	青海	5.5	5.6	-0.1
	宁夏	122.9	199.9	-77.0
	新疆	268.0	337.6	-69.7

从净转移量来看,有 23 个省域在省际贸易中呈现隐含碳净流入情况,这些省域基于生产者责任视角核算的二氧化碳排放量较高,其中内蒙古(493.6 Mt)和山东(473.6 Mt)、山西(412.2 Mt)净隐含碳流入量位居前三。由于这些省出口的高碳产品较多而进口的多是低碳产品,因此总体上显示了“碳流入”的倾向,在省际贸易的过程中为其它省份分担了一部分碳排放量。有 7 个省域在省际贸易中呈现隐含碳净流出情

况, 这些省域基于消费者责任视角核算的二氧化碳排放量较高, 其中上海(252.5 Mt)、福建(240.6 Mt)和广东(233.3 Mt)净隐含碳流出量位居前三。这些省份在省际贸易中进口高碳产品和出口低碳产品, 因而其整体呈现出隐含碳流出的趋势, 将部分二氧化碳由其他省份代为排放。

### 4.3. 隐含碳责任分配与碳补偿测算

表 2 显示了各省份 2017 年各行业省内增加值、流出总额、隐含碳分配比例以及分配后碳排放量, 可以看出各省的增加值占各省商品流出的比重较高, 均值为 0.575, 从受益原则的角度考虑, 其他省份为隐含碳流出省份承担了 57.5% 的碳排放责任。其中 7 个省域二氧化碳净流出, 隐含碳责任分配比例为 31% 至 35%, 均值为 33%; 23 个省域二氧化碳净流入, 隐含碳责任分配比例为 42% 至 80%, 均值为 65%。整体来看, 隐含碳责任分配体现了各省域共同承担国内碳排放责任, 该分配方法从生产与消费角度考虑碳排放责任, 对于国内净转移量较大、省内增加值占外销商品增加值比重较大的省域, 分配较高的减排责任; 对国内净转移量较小、省内增加值占外销商品增加值比重较小的省域, 分配较低的碳减排责任, 这体现出了“利益大、责任大”的分配理念。

Table 2. Implied carbon allocation by province

表 2. 各省份隐含碳分配

	省份	增加值/万元	流出总额/万元	分配比例	分配比例均值	分配后碳排放量/Mt
碳排放净 流出省	北京	280,149,400	842,402,411	0.33	0.33	304.6
	天津	185,491,886	588,870,290	0.31		83.9
	上海	306,329,900	940,532,900	0.33		450.5
	江苏	858,697,600	2,592,052,600	0.33		520.2
	浙江	524,402,734	1,524,285,939	0.34		413.4
	广东	886,467,630	2,561,850,630	0.35		889.9
	福建	322,764,285	943,898,885	0.34		494.9
碳排放净 流入省	河北	340,163,200	650,591,700	0.52	0.65	973.2
	山西	155,284,203	221,721,698	0.70		953.1
	内蒙古	148,250,787	208,435,433	0.71		1053.8
	辽宁	234,092,400	376,736,300	0.62		855.3
	吉林	148,066,194	309,851,106	0.48		714.3
	黑龙江	159,026,793	198,216,481	0.80		699.1
	安徽	292,771,910	690,294,892	0.42		680.6
	江西	202,766,858	393,473,766	0.52		543.1
	山东	722,908,388	895,731,551	0.81		1860.7
	河南	445,528,300	553,799,500	0.80		1036.4
	湖北	354,780,954	589,799,258	0.60		518.9
	湖南	339,029,600	481,946,900	0.70		536.9
	广西	184,845,900	294,864,634	0.63		192.3



Continued

	海南	44,625,407	64,581,295	0.69	98.2
	重庆	194,247,300	364,898,800	0.53	623.4
	四川	370,660,141	619,294,400	0.60	180.1
	贵州	135,408,286	190,510,593	0.71	327.0
碳排放净 流入省	云南	163,763,400	223,949,000	0.73	310.1
	陕西	215,100,324	326,346,845	0.66	521.2
	甘肃	73,341,015	105,429,732	0.70	250.2
	青海	26,248,299	38,683,402	0.68	80.7
	宁夏	32,432,735	56,196,797	0.58	208.9
	新疆	111,861,089	156,365,762	0.72	247.2

通过生产者责任原则进行碳排放量核算使碳排放净流入省份承担了较多的碳减排责任，且降低碳排放消费地责任，不利于形成绿色低碳的消费理念；相反，通过消费者责任原则进行碳排放量核算使碳排放净流出省份承担较多的碳减排责任，且降低了碳排放生产地的责任，不利于绿色生产技术的产生与绿色生产政策的制定。因此，通过责任共担的角度，利用省域隐含碳的核算来对碳排放责任进行分配更加公平有效，并能够有效的同时约束碳排放的生产地与消费地。此外通过分配因子的设计，有效的将省域碳排放所产生的经济效益与碳排放责任进行挂钩，强化收益与责任的联系，促进省域间碳排放责任分配的公平，有利于降低碳排放量。

基于测算出的各省域隐含碳净转移量、恩格尔系数、省域人均 GDP、我国单位碳价等数据，对各省的碳补偿限额进行了估算，见表 3。由表 3 可知，北京、天津、上海等七省为碳支付地区，碳支付地区多为经济较为发达、产业结构脱离重化工产业的省份，例如上海(-286.44 亿元)、北京(-238.44 亿元)、和广东(-183.62 亿元)为碳支付最高的三个省份，这些省份的贸易以进口高碳产品而出口低碳产品为主，因此总体上显示了“隐含碳净流出”情况，将部分二氧化碳由其他省份代为排放，因此需要进行碳支付。其余 23 个省域是碳受偿地区，这些省域在省际贸易中呈现“隐含碳净流入”情况，二氧化碳排放量通过生产者责任视角核算高于消费者视角核算，因此需要受到碳补偿，其中内蒙古(+284.63 亿元)和山东(+310.67 亿元)、重庆(+160.58 亿元)为碳受偿最高的三个省份。这些省份为我国的能源出口大省，长期粗犷的经济发展方式导致了大量的二氧化碳排放，且在省际贸易中呈现出口高碳产品而进口低碳产品的情况，所以总体上呈现隐含碳流入的趋势，通过省际贸易承担了其他省份的部分碳排放，因此需要接受碳补偿。

**Table 3.** Carbon offset compensation amounts by province

**表 3.** 各省份碳补偿补偿额度

	省份	人均 GDP/(万元/人)	恩格尔系数/%	碳补偿系数	补偿额度/亿元
碳排放 净流出 省	北京	12.90	19.80%	1.13	-238.44
	天津	11.91	31.20%	1.10	-13.71
	上海	12.67	24.70%	1.13	-286.44
	江苏	10.69	27.50%	0.97	-134.75

## Continued

碳排放 净流出 省	浙江	9.15	27.90%	0.83	-79.02
	广东	8.23	32.90%	0.76	-183.62
	福建	8.03	32.20%	0.74	-173.28
碳排放 净流入 省	河北	4.52	24.60%	0.40	+160.08
	山西	4.19	23.10%	0.37	+153.73
	内蒙古	6.36	27.40%	0.58	+284.63
	辽宁	5.36	27.50%	0.49	+106.75
	吉林	5.50	25.80%	0.49	+82.65
	黑龙江	4.20	27.20%	0.38	+41.03
	安徽	4.45	32.10%	0.41	+6.37
	江西	4.33	31.10%	0.40	+63.39
	山东	7.26	26.80%	0.66	+310.67
	河南	4.66	26.70%	0.42	+109.88
	湖北	6.01	30.80%	0.55	+29.29
	湖南	4.94	28.40%	0.45	+15.87
	广西	3.79	33.20%	0.35	+5.81
	海南	4.82	37.20%	0.45	+0.32
	重庆	6.32	32.10%	0.58	+160.58
	四川	4.45	33.30%	0.41	+12.33
	贵州	3.78	30.68%	0.35	+25.23
	云南	3.41	29.00%	0.31	+11.98
	陕西	5.71	28.40%	0.52	+61.26
	甘肃	2.84	29.20%	0.26	+25.26
青海	4.39	28.20%	0.40	+0.04	
宁夏	5.05	24.50%	0.45	+34.78	
新疆	4.45	29.30%	0.41	+28.34	

注：“-”表示该地区为“碳支付地区”，“+”表示该地区为“碳受偿地区”。

## 5. 结论与政策建议

本文基于环境 MRIO 模型,对我国 30 个省生产者责任和消费者责任视角下碳排放量以及隐含碳进行测算,并采用“收益原则”进行碳排放责任分配,本文结论与政策建议如下:

(一) 优化产业结构,改善能源结构。整体来看,生产者视角下碳排放量较高的省域通常具有大量的化石能源且为外省不断提供能源的输出,或者本身产业结构以重工业生产为主,通过生产为外省提供能源与产品;通常经济发达、以服务业为主的省份,通过对省外化石能源、工业产品等进口与消费来降低本省在生产过程中产生的碳排放,这也使得这类省份在消费者责任视角下碳排放量较高。我国应推进优

化产业结构,将高碳排放、低效率、低经济价值的产业向低碳排放、高效率、高附加值的行业转型。加大清洁能源生产与消费,用清洁能源替代化石能源,推动能源结构改善。

(二)考虑贸易隐含碳排放,科学分配碳减排责任。核算各省域隐含碳的流入与流出量是精确核算各省域碳排放量的基础。隐含碳流入省份多为经济落后,贸易中过度依赖资源禀赋以及重工业集中的省域,这些省域通过贸易承担了外省的碳排放责任。隐含碳流出的省份多位于东部,多为经济发达地区,产业结构合理,以高附加值产业为主,能源消费效率较高,且通过贸易将部分碳排放转出。在确定碳减排责任分配时,要充分考虑到我国各省之间的碳排放转移状况,考虑我国省域间贸易隐含碳转移的问题。以责任共担的视角科学地进行碳减排责任的分配。

建立完善市场机制,有效进行省际碳补偿。发达省份通过隐含碳的流出,在高速经济建设与发展的同时使外省承接了部分碳排放;而隐含碳流入的省份往往是经济欠发达地区,并承接了外部的碳排放。在这样的省际贸易中,发达省份在碳排放和经济利益方面都处于绝对的优势,因此需要建立一个完善的市场机制,进行有效的碳补偿来弥补隐含碳流入省份在省际贸易中的劣势。引进市场化、多元化生态补偿机制,实现“政府+市场”的协同治理。基于隐含碳排放科学界定碳支付与碳受偿省域,通过财政补助、对口协作、产业转移、人才培养、园区建设等多种形式的补偿,建立市场化的生态补偿机制。

## 基金项目

四川省社会科学重点研究基地系统科学与企业发展研究中心2022年重点项目“‘双碳’目标下我国城市群碳达峰预测及差异化减排路径研究”(XQ22B09)。

## 参考文献

- [1] Wang, X.L. and Ren, C.Y. (2018) Embodied Carbon Emission Calculating Based upon MRIO Model in Northwest China. *China Coal*, **44**, 11-16.
- [2] Chen, H., Wen, J., Pang, J., et al. (2020) Research on the Carbon Transfer and Carbon Equity at Provincial Level of China Based on MRIO Model of 31 Provinces. *China Environmental Science*, **40**, 5540-5550.
- [3] 黄和平, 易梦婷, 曹俊文, 等. 区域贸易隐含碳排放时空变化及影响效应: 以长江经济带为例[J]. 经济地理, 2021, 41(3): 49-57.
- [4] 周李晖, 姜文磊, 唐志鹏. 全球贸易隐含碳净流动网络构建及社团发现分析[J]. 资源科学, 2020, 42(6): 1027-1039.
- [5] 刘汪燕, 王文治, 马淑琴. 中国省域间碳排放责任共担与碳减排合作[J]. 浙江社会科学, 2020, 281(1): 40-51.
- [6] 韩中, 陈耀辉, 时云. 国际最终需求视角下消费碳排放的测算与分解[J]. 数量经济技术经济研究, 2018, 35(7): 114-129.
- [7] 罗芳, 郭艺, 魏文栋. 长江经济带碳排放与经济脱钩关系——基于生产者与消费者视角[J]. 中国环境科学, 2020, 40(3): 1364-1373.
- [8] Munksgaard, J. and Pedersen, K.A. (2001) CO<sub>2</sub> Accounts for Open Economies: Producer or Consumer Responsibility? *Energy Policy*, **29**, 327-334. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(00\)00120-8](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(00)00120-8)
- [9] 孟凡鑫, 苏美蓉, 胡元超, 夏昕鸣, 杨志峰. 中国及“一带一路”沿线典型国家贸易隐含碳转移研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(4): 18-26.
- [10] 黄永明, 陈小飞. 中国贸易隐含污染转移研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(10): 112-120.
- [11] 郑珍远, 李小敏, 张茂盛. 中国与金砖国家贸易隐含碳比较研究[J]. 亚太经济, 2018, 207(2): 62-67+150.
- [12] Zhang, T.B., Meng, L.D. and Sun, J. (2018) Common Responsibility for Carbon Emissions: Measurement Optimization and International Comparison. *Finance and Trade Research*, **29**, 19-31.
- [13] 朱点钰, 马小林, 张艳霞, 等. 中国分省的碳排放责任分担机制探讨[J]. 环境保护, 2018, 46(12): 58-63.
- [14] 袁广达, 仲也, 杜星博. 跨界流域生态补偿标准量化与分摊研究——以长江流域为例[J]. 财会月刊, 2022, 923(7): 61-72.

- [15] 王怀毅, 李忠魁, 俞燕琴. 中国生态补偿: 理论与研究述评[J]. 生态经济, 2022, 38(3): 164-170.
- [16] 吴立军, 田启波. 碳中和目标下中国地区碳生态安全与生态补偿研究[J]. 地理研究, 2022, 41(1): 149-166.
- [17] 余雷鸣, 郝春旭, 董战峰. 中国跨省流域生态补偿政策实施绩效评估[J]. 生态经济, 2022, 38(1): 140-146.
- [18] 谢海燕, 刘婷婷. 资源有偿使用制度和生态补偿制度现状、问题及建议[J]. 环境保护, 2021, 49(20): 56-58.
- [19] 陈晖, 温婧, 庞军, 陈政, 韦雨杉. 基于 31 省 MRIO 模型的中国省际碳转移及碳公平研究[J]. 中国环境科学, 2020, 40(12): 5540-5550.
- [20] 王文治. 中国省域间碳排放的转移测度与责任分担[J]. 环境经济研究, 2018, 3(1): 19-36.