

# “双碳”目标下中国省域碳排放 责任核算研究

## ——基于“收入者责任”视角

丛建辉<sup>1,2</sup>, 石雅<sup>3</sup>, 高慧<sup>1,2</sup>, 赵永斌<sup>4</sup>

(1. 山西大学 经济与管理学院, 山西 太原 030006; 2. 山西大学 绿色发展研究中心, 山西 太原 030006;  
3. 国家税务总局 太原市尖草坪区税务局, 山西 太原 030023;  
4. 山西师范大学 经济与管理学院, 山西 太原 030031)

**摘要:** 基于生产者和消费者的传统碳排放责任界定无法核算要素供给端的碳排放责任, 导致资本、资源输出型省域的碳排放责任被低估, 亟待引入“收入者责任”视角以丰富“双碳”目标下的国家碳排放统计核算体系。文章基于多区域投入产出方法(MRIO)构建多维碳排放责任核算模型, 核算和分析了“收入者责任”视角下中国省域碳排放责任的时空变化与部门特征, 并同其他两类视角进行比较。研究发现, 中国省域收入者碳排放责任呈现“东—中—西”递减的空间格局, 资源和资本输出型省域碳排放责任相对更高, 这也与其减排潜力或减排能力相匹配; 从时间维度看, 省域收入者碳排放责任因产能扩张、产业转移引起的要素供给重构等因素而在各省域间出现不平衡变动; 部分省域的金融部门和能源供应部门, 因产业链关联引致下游省域碳排放而应承担较高的碳排放责任。基于此, 文章提出了将“收入者责任”纳入国家碳排放统计核算体系、探索资源型省域有补偿的高碳减排责任路径、建立基于生产要素关联的省际协同减排机制、强化能源与金融业等要素供给部门的碳减排责任等政策建议。

**关键词:** 碳达峰与碳中和; 碳排放责任; “收入者责任”视角; 碳核算; MRIO模型

**中图分类号:** F222.33 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-0150(2021)06-0082-15

## 一、引言

中国于2020年9月向世界作出了“二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值, 努力争取2060年前实现碳中和”的重大政策宣示, 开启了未来10-40年以“双碳”为目标的经济社会系统性变革之路。科学合理地核算与分解省域碳排放责任, 是中国“双碳”目标实现的关键一环(曹颖, 2020; 张友国, 2021)。过去十余年来, 中国主要依托《“十二五”控制温室气体工作方案》(国发[2011]41号)、《“十三五”控制温室气体排放工作方案》(国发[2016]61号)等政策文件, 厘定各省域碳排放责任, 并以碳强度下降幅度为控制目标进行分类指导。然而, 中国各省域碳强度下

收稿日期: 2021-05-12

基金项目: 全国统计科学研究重点项目“NVC与GVC双嵌入视角下中国省域碳排放责任界定研究”(2019LZ05); 2019年度山西省高等学校人文社会科学重点研究基地项目“‘公平-效率’准则下碳减排责任省际分解的政策方案与评估”(20190105)。

作者简介: 丛建辉(1987—), 男, 山东潍坊人, 山西大学经济与管理学院、绿色发展研究中心副教授;

石雅(1993—), 女, 山西阳泉人, 国家税务总局太原市尖草坪区税务局;

高慧(1996—), 女, 山西吕梁人, 山西大学经济与管理学院、绿色发展研究中心硕士生;

赵永斌(1992—), 男, 山西阳泉人, 山西师范大学经济与管理学院讲师。

降任务长期“东高西低”，导致省域减排潜力、减排能力与减排责任出现一定背离，对诸如资源型省域是否应该承担较高的碳排放责任等问题也一直存在较大的争议（杨军等，2017）。面向“双碳”目标，如何进一步丰富现有国家碳排放统计核算体系，以提升各省域行政单元碳排放责任界定的科学合理性，成为理论研究与政策研究共同关注的热点话题。2021年8月国家碳排放统计核算工作组的成立，进一步凸显了该问题的现实性和紧迫性。

已有的碳排放责任核算方法中，“生产者责任”和“消费者责任”两种传统视角均无法识别要素驱动的碳排放责任，导致资本、资源输出型省域的碳排放责任被低估，因此亟待引入“收入者责任”视角进行碳排放责任核算。“生产者责任”视角虽然核算基础好，应用范围广（Pan等，2008），但缺乏公平性，易增加生产成本（张洋等，2020；Zhen和Li，2021）或导致“碳泄漏”（潘文卿，2015），且无法追踪资本、能源等要素供给者的碳排放责任。“消费者责任”视角将消费者也纳入碳责任核算体系（Proops，1999；Munksgaard和Pedersen，2001），虽然在很大程度上规避了“碳泄漏”风险，但沿产品供应链追溯消费者责任难度大，且无法直接约束生产者和要素供给者，针对二者的减排约束和激励不足。相对而言，“收入者责任”以要素供给驱动的碳排放责任为核算原则，为要素供给者承担碳排放责任提供了理论依据（Gallego和Lenzen，2005；徐盈之和吕璐，2014）。在中国“双循环”格局和省域产业分工日益专业化、差异化的趋势下，供应链上的生产要素提供者、生产者、消费者普遍不在同一区域，有必要引入“收入者责任”（income responsibility）视角，将要素供给部门纳入碳排放责任核算体系，以此形成“双碳”目标的广泛参与和多元治理格局。

基于此，本文构建MRIO模型，重点引入考虑生产要素供给端碳排放责任的“收入者责任”视角，对中国省域碳排放责任进行重新核算，分析“收入者责任”视角下中国省域碳排放责任的时空变化与部门特征，并与“生产者责任”视角和“消费者责任”视角下的核算结果进行对比，识别碳排放责任被低估的省域和部门，讨论该视角在未来减排政策实践中的适用性。研究发现，中国省域收入者碳排放责任呈现“东—中—西”递减的空间格局，资源和资本输出型省域碳排放责任相对更高，但这与其减排潜力和减排能力更加匹配；从时间维度看，省域收入者碳排放责任因产能扩张、产业转移引起的要素供给重构等因素在各省域间出现不平衡变动；部分省域的金融部门和能源供应部门，因产业链关联引致下游省域碳排放而应承担较高的碳排放责任。

本文旨在理清生产要素驱动的碳排放责任，推动“双碳”目标有效实现。本文的边际贡献在于：第一，拓展了中国省域碳排放责任的界定视角。已有研究大多从“生产者责任”视角或“消费者责任”视角核算省域碳排放责任，忽视了生产要素驱动的碳排放责任。本文引入“收入者责任”视角，并呈现该视角在各省域的整体特征和产业表现，有助于推动构建以要素供给源头责任为基础的省域碳排放责任核算体系，推动“源头降碳”。第二，识别了碳排放责任被低估的省域和产业部门。已有研究大多低估了资本、资源输出型省域的碳排放责任，对在“双碳”目标实践推进中发挥重要作用的金融部门激励不足。本文从要素供给端出发，找出资源和资本输出型省域、金融部门、能源供应部门四类被低估碳排放责任的省域和产业部门，对“双碳”目标下省域碳排放责任的归属认定以及形成更为合理有效的部门减排激励机制提供参考。

## 二、碳排放责任核算方法文献回顾

“碳排放责任”概念自20世纪90年代提出至今，理论界围绕碳排放责任界定基本确定了三种基础视角：“生产者责任”视角、“消费者责任”视角和“收入者责任”视角。三种视角在供应链上的关系如图1所示。

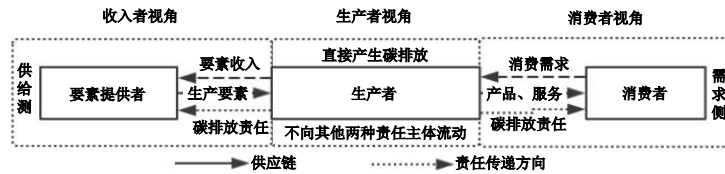


图1 三种碳排放责任核算视角在供应链上的关系

受国家间气候谈判博弈和国内区域间减排目标分解两股力量推动的影响,学术界围绕上述三种碳排放责任核算视角展开大量研究,相关讨论不断增多。

“生产者责任”视角基于“谁排放谁负责,谁污染谁付费”的理念,认为行政区域界限以内生产单位产生的碳排放即为该区域应承担的碳排放责任,与所生产的产品和服务的流向无关。基于“生产者责任”视角的碳责任核算研究和应用最早,也最为广泛。该视角在中国省域碳排放责任核算的研究和实践中大致经历了三个阶段。第一阶段是摸清家底的温室气体核算阶段。这一阶段学者核算碳排放责任依据的是生产者在生产活动中的化石能源消费量和生产过程碳排放量(白卫国等,2013)。中国区域温室气体清单编制、企业碳排放核查等实际工作均依此进行,但照此核算的高排放省份多数为资源型或工业结构重型化省份,这些省份发展水平相对较低,承担相应碳减排责任的能力较弱。第二阶段是兼顾发展的多因素调整阶段。在这一阶段的学术研究和实际应用中,考虑到中国区域经济发展水平和减排能力差异,主张在生产者实际碳排放的基础上,依据减排潜力、减排能力等因素对碳排放责任予以调整,以兼顾发展和减排(潘文卿,2015;张友国,2021)。中国在“十二五”和“十三五”控制温室气体排放工作方案中,采用“先对地区按照发展阶段、资源禀赋、战略定位、生态环保等因素分类,再分解指标”的思路确定各省份碳强度下降目标,本质上就是多因素调整后的“生产者责任”视角(Zhou等,2019)。但国内目标设定的各省域碳强度下降比例长期东高西低,导致省域减排潜力与减排责任出现背离,也易引致东西部省份之间产生“碳泄漏”等问题,从而降低全国减排效率(李富佳,2018;Zhang和Fang,2019)。第三阶段是对标“双碳”的技术水平标杆阶段。从学者开始研究中国碳达峰问题,到2020年中国提出碳中和目标,越来越多的学者主张将生产者的减排责任依据生产者所在行业的基准水平来界定(段茂盛和庞韬,2014;齐绍洲和张振源,2019;张洋等,2020),中国试点碳市场和全国碳市场中的较多行业均采用了此思路。这一思路虽然有助于提升全国碳减排效率,但无法解决区域碳排放不平衡情形下的可行性问题(赵永斌等,2019)。可以说,围绕“生产者责任”视角的科学性、公平性和可操作性的讨论一直在进行。

“消费者责任”视角认为消费是碳排放的动力和源头,消费者通过消费含碳产品获得了效用满足,理应对碳排放负主要责任。以“消费者责任”视角研究区域碳排放责任起源于20世纪末期(Proops,1999),而在中国省域碳排放责任核算研究中的应用相对较晚(Su和Ang,2010)。虽然由于“消费者责任”的可操作性低等原因,在实际工作中尚无大规模标准化应用,但在各省份碳强度下降目标确定的过程中,该视角也是重要的调整参考项之一(Zhang和Fang,2019)。近年来,学者基于多区域投入产出表和投入产出法,对中国省域碳排放责任进行了核算,虽然部门选取有所不同,但基本认同“消费者责任”视角下碳排放责任省际转移的一般规律,即资源富集省份、工业大省等类型的省份一般为碳排放责任转出省份,而经济发达省份和产业结构单一的欠发达省份等一般为转入省份(Afionis等,2017;庞军等,2017;李富佳,2018;Zhen和Li,2021)。相对于“生产者责任”视角,碳排放责任转出省份承担更少的碳排放责任,转入省份则反之,由此产生两种责任视角下的碳排放责任公平性争议。例如,减排潜力高的资源型省份是否需要承

担较高的减排责任,一直存在较大争论(段茂盛和庞韬,2014;宋杰鲲等,2017)。

也有部分学者根据上述视角,演化出各种“共担责任”视角(彭水军等,2016),比如基于固定权重的共担方法(Gallego和Lenzen,2005)、基于产品最优技术的共担方法(Chang,2013)等,但最终基于何种标准进行责任共担,目前尚无定论。

“收入者责任”视角则依据“谁受益谁负责”原则,认为要素提供者虽然没有直接产生碳排放,但他们在通过为下游提供生产要素而获得工资、利润或租金等要素收入的同时,“引致”了碳排放(Marques等,2012)。目前,基于“收入者责任”视角研究生产要素供给侧驱动的碳排放责任,已经出现了一些前瞻性、探索性的研究(WBCSD和WRI,2011),但在中国省域层面的讨论和认识仍然非常有限(Xie等,2017;余晓泓和詹夏颜,2018;丛建辉等,2018)。“收入者责任”视角下碳排放的整体特征、产业表现等方面的研究仍有极大的探索空间,其研究时效性也需要进一步更新,特别是由于缺少“收入者责任”视角与其他两种视角的对比研究,而难以判断“收入者责任”视角的适用性与可行性。另外,在中国经济开始转向更加注重内循环的“双循环”新发展格局下,生产要素的省际流动愈加频繁,单纯采用“生产者责任”视角和“消费者责任”视角核算省域碳排放责任存在两大现实问题:一是无法从供应链源头界定生产要素的含碳量,难以为各省域从要素供给端进行“源头降碳”提供依据;二是对诸如金融、能源等关键生产要素供给部门在整个国家减碳体系中的约束和激励有限,进而导致这些部门相对集中的能源富集省域和资本充裕省域在减排中发挥的作用相对不足。面向“双碳”目标,本文试图通过引入“收入者责任”视角,从要素供给端出发,合理界定碳排放责任,以期为新一轮国家减排目标的省际分解方案设计提供借鉴。

### 三、基于“收入者责任”视角的中国省域碳排放责任核算与分析

#### (一)MRIO模型

本研究以MRIO模型为基础,利用Leontief-MRIO模型和Ghosh-MRIO模型,核算三种视角下中国30个省域的碳排放责任。假定研究区域共包含Z个经济体,每个经济体有n个产业部门。Leontief投入产出模型的核心公式为:

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

其中, $X$ 是总产出列向量, $Y$ 是总需求列向量。将上述公式拓展到研究区域内的Z个经济体,在MRIO模型框架下,从行方向上看,满足“总产出=中间使用+最终需求”的平衡关系表达为:

$$X_i^r = \sum_{s=1}^z \sum_{j=1}^n x_{ij}^{rs} + \sum_{s=1}^z Y_i^{rs} \quad (2)$$

其中, $X_i^r$ 表示r地区i部门的总产出; $x_{ij}^{rs}$ 表示r区域i部门对s区域j部门产品的中间投入和使用; $Y_i^{rs}$ 表示s区域对r区域i部门产品的最终需求。引入直接消耗系数 $a_{ij}^{rs} = x_{ij}^{rs}/x_j^{rs}$ ( $i, j = 1, 2, \dots, n$ ),表示s区域j部门单位产出需要消耗r区域i部门的投入。则直接消耗系数矩阵A以及r区域和s区域之间的直接消耗系数矩阵 $A^{rs}$ 分别表示为:

$$A = \begin{pmatrix} A^{11} & \dots & A^{1s} & \dots & A^{1z} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ A^{r1} & \dots & A^{rs} & \dots & A^{rz} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ A^{z1} & \dots & A^{zs} & \dots & A^{zz} \end{pmatrix}, A^{rs} = \begin{pmatrix} a_{11}^{rs} & \dots & a_{1j}^{rs} & \dots & a_{1n}^{rs} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{i1}^{rs} & \dots & a_{ij}^{rs} & \dots & a_{in}^{rs} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1}^{rs} & \dots & a_{nj}^{rs} & \dots & a_{nm}^{rs} \end{pmatrix} \quad (3)$$

则式(2)的矩阵表达式为:

$$\begin{pmatrix} X^1 \\ X^2 \\ \vdots \\ X^z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A^{11} & A^{12} & \cdots & A^{1z} \\ A^{21} & A^{22} & \cdots & A^{2z} \\ & & \ddots & \vdots \\ A^{z1} & A^{z2} & \cdots & A^{zz} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X^1 \\ X^2 \\ \vdots \\ X^z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} Y^{11} + Y^{12} \cdots + Y^{1z} \\ Y^{21} + Y^{22} \cdots + Y^{2z} \\ \vdots \\ Y^{z1} + Y^{z2} \cdots + Y^{zz} \end{pmatrix} \quad (4)$$

从列方向上推导出Ghosh-MRIO模型的核心公式为:

$$X^T = V(I - B)^{-1} \quad (5)$$

其中,  $X^T$ 是总投入行向量,  $V$ 是部门增加值行向量, Ghosh逆矩阵为  $G = (I - B)^{-1}$ ,  $G$ 为完全分配系数矩阵, 反映区域间的产品分配份额。

研究区域内有 $Z$ 个经济体, 在MRIO模型框架下, 从列方向上看满足“总投入=中间投入+初始投入”的关系, 公式如下:

$$X_j^s = \sum_{r=1}^z \sum_{i=1}^n x_{ij}^{rs} + V_j^s \quad (6)$$

引入直接分配系数  $b_{ij}^{rs} = x_{ij}^{rs}/x_i^{rs}$  ( $i, j = 1, 2, \dots, n$ ),  $b_{ij}^{rs}$ 表示 $r$ 区域 $i$ 部门直接销售给 $s$ 区域 $j$ 部门的中间产品所占份额。直接分配系数矩阵 $B$ 以及 $r$ 区域和 $s$ 区域之间的直接销售系数矩阵 $B^{rs}$ 则分别表示为:

$$B = \begin{pmatrix} B^{11} & \cdots & B^{1s} & \cdots & B^{1z} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ B^{r1} & \cdots & B^{rs} & \cdots & B^{rz} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ B^{z1} & \cdots & B^{zs} & \cdots & B^{zz} \end{pmatrix}, \quad B^{rs} = \begin{pmatrix} b_{11}^{rs} & \cdots & b_{1j}^{rs} & \cdots & b_{1n}^{rs} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ b_{i1}^{rs} & \cdots & b_{ij}^{rs} & \cdots & b_{in}^{rs} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ b_{n1}^{rs} & \cdots & b_{nj}^{rs} & \cdots & b_{nn}^{rs} \end{pmatrix} \quad (7)$$

则式(6)的矩阵为:

$$\begin{pmatrix} (X^1)^T \\ (X^2)^T \\ \vdots \\ (X^z)^T \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} B^{11} & B^{12} & \cdots & B^{1z} \\ B^{21} & B^{22} & \cdots & B^{2z} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ B^{z1} & B^{z2} & \cdots & B^{zz} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} (X^1)^T \\ (X^2)^T \\ \vdots \\ (X^z)^T \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} V^1 \\ V^2 \\ \vdots \\ V^z \end{pmatrix} \quad (8)$$

## (二)“收入者责任”视角碳排放责任核算模型

1.核算模型。“收入者责任”视角下, 地区 $r$ 应承担的碳排放责任是通过本地区提供生产要素的方式引致了本区域产品和其他区域产品在生产过程中产生的碳排放, 本区域因此获得了要素收入。因此, 可基于MRIO模型框架及列平衡关系, 依据“产出乘以直接碳排放系数”的基本原理, 将式(5)与碳排放系数进行关联, 用 $I^r$ 表示 $r$ 区域“收入者责任”视角下的碳排放量,  $V^r$ 表示 $r$ 区域的初始投入向量, 计算公式如下:

$$I_r = I^{rr} + \sum_{s=1(s \neq r)}^z I^{rs} = (X^{r1} \quad X^{r2} \quad \cdots \quad X^{rz}) \begin{pmatrix} EF^1 \\ EF^2 \\ \vdots \\ EF^z \end{pmatrix} \quad (9)$$

$$\text{即 } I_r = (0 \quad V^r \quad \cdots \quad 0) \left[ I - \begin{pmatrix} B^{11} & B^{12} & \cdots & B^{1z} \\ B^{21} & B^{22} & \cdots & B^{2z} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ B^{z1} & B^{z2} & \cdots & B^{zz} \end{pmatrix} \right]^{-1} \begin{pmatrix} EF^1 \\ EF^2 \\ \vdots \\ EF^z \end{pmatrix} \quad (10)$$

其中,  $I^r$ 和  $I^{rs}$ 分别表示本地区要素供给引致的对  $r$ 区域、 $s$ 区域的碳排放。 $X^{rr}$ 表示  $r$ 区域对本地区产品的销售(提供),  $X^{rs}$ 表示  $r$ 区域对  $s$ 地区产品的销售(提供)。记  $X^{r*} = (X^{r1} \ X^{r2} \ \dots \ X^{rz})$ ,  $V^r = (0 \ V^r \ 0 \ 0)$ ,  $G = (I - B)^{-1}$ , 则  $V^r G$ 表示  $r$ 区域提供的初始投入在各地地区增加的产出。

$$I_r = X^{r*} EF^Z = V^r G EF^Z \quad (11)$$

2.“收入者责任”视角与“生产者责任”视角碳排放责任核算比较。在“生产者责任”视角下, 区域内碳排放责任核算仅和本区域生产的产品即总产出有关。则有:

$$P^r = EF^r X^r \quad (12)$$

其中,  $P^r$ 表示  $r$ 区域“生产者责任”视角下的碳排放量;  $X^r$ 为区域  $r$ 的总产出, 其元素  $x_i$ 表示  $i$ 部门的总产出, 该产出与其他区域的产出没有关联;  $EF^r$ 为区域  $r$ 的直接排放系数向量, 其元素  $ef_i^r$ 表示  $r$ 区域  $i$ 部门的直接排放系数, 由  $i$ 部门直接碳排放量与  $i$ 部门的总产出比值得出。

相较于“生产者责任”视角下的碳排放责任核算, “收入者责任”视角考虑了区域间贸易并且为碳排放责任界定主体加入了新的内涵。

3.“收入者责任”视角与“消费者责任”视角碳排放责任核算比较。在“消费者责任”视角下, 地区  $r$ 应承担的碳排放责任是因满足本地区最终需求而生产的本区域产品和其他区域产品在生产过程中产生的碳排放, 计算公式如下:

$$C^r = C^{rr} + \sum_{s \neq r} C^{sr} = EF^Z X^{*r} = EF^Z (I - A)^{-1} Y^{*r} \quad (13)$$

$$X^{*r} = (X^{1r} \ X^{2r} \ \dots \ X^{zr})^T, \ Y^{*r} = (Y^{1r} \ Y^{2r} \ \dots \ Y^{zr})^T \quad (14)$$

其中,  $C^r$ 表示  $r$ 区域“消费者责任”视角下的碳排放量,  $C^{rr}$ 、 $C^{sr}$ 分别表示  $r$ 区域需求的本地区产品和  $s$ 区域的产品生产引发的碳排放, 需承担的碳排放责任是本区域对区域内、区域外产品的需求引发的碳排放责任。 $EF^Z$ 表示所有区域的直接碳排放系数矩阵, 其子向量  $EF^r$ 表示地区  $r$ 的直接碳排放系数。 $X^{rr}$ 表示  $r$ 区域对本地区产品的需求,  $X^{sr}$ 表示  $r$ 区域对  $s$ 地区产品的需求。 $Y^{rr}$ 表示  $r$ 区域对本地区最终产品的需求,  $Y^{sr} (r \neq s)$ 表示  $r$ 区域对其他区域最终产品的需求。

“消费者责任”视角与“收入者责任”视角下的碳排放责任核算分别基于MRIO模型的行平衡关系和列平衡关系, 利用直接消耗系数矩阵以及直接分配系数矩阵计算区域间贸易引致的碳排放, 两者碳排放责任承担主体界定不同, 需要承担责任的产出不同, 所对应的直接碳排放系数也不同。

### (三) 数据来源及处理

1. 产业部门划分。为显示“收入者责任”视角下的中国省域碳排放责任分布格局, 本文的部门划分方案首先重点关注与资源、资本、技术等要素提供密切相关的产业部门, 如煤炭采选业、金融业、技术服务业等。其次, 重点考虑了高耗能、高排放的生产部门, 如电力、热力生产和供应业, 化学工业等, 以观测高排放部门在不同责任界定视角下的表现。最后, 结合研究使用的投入产出数据、能源数据、各省域统计年鉴等数据源的部门划分方法, 最终将国民经济划分为18个产业部门<sup>①</sup>。

2. 数据介绍。本研究使用的投入产出表来源于刘卫东团队编制的2007年、2010年、2012年中国30个省份区域间投入产出表(刘卫东等, 2012, 2014, 2018), 该表由中科院与国家统计局核算

<sup>①</sup>01农林牧渔业(AG); 02煤炭采选业(CM); 03石油和天然气开采业(CN); 04石油加工、炼焦和核燃料加工业(PC); 05电力、热力的生产和供应业(EP); 06水、燃气生产和供应业(GP); 07金属资源业(MP); 08非金属资源业(NP); 09轻工业(LI); 10化学工业(CH); 11机械工业(ME); 12其他工业(OM); 13建筑业(CO); 14交通运输、仓储和邮政业(TP); 15商业饮食业(WR); 16金融业(FB); 17技术服务业(TS); 18其他服务业(OS)。



司采用科学方法联合编制,已经在较多高质量文献中得到使用。因数据缺失,西藏自治区和中国台湾、香港、澳门地区未列入研究范围。为剔除价格因素影响,使三个年份的区域间投入产出表数据具有可比性,本研究以2010年为基期,采用分行业价格指数将2007年和2012年投入产出表的相应部门数据按照2010年不变价进行了调整,所有分行业价格指数均来自《中国统计年鉴》。需要说明的是,跨省域、连续性的投入产出数据仍然为稀缺数据,本研究选用的2007年、2010年、2012年投入产出表基础数据,是截至目前国内采用统一的方法学编制的相对较新、最为全面、连续的可比数据。此外,由于各省域之间的生产要素关联关系在短期内不会出现剧烈变化,基于此时间段的研究结论,对“双碳”目标下省域碳排放责任的核算与分解具有参考价值。

各省域碳排放量计算采用国家发改委《中国省级温室气体清单编制指南》提供的方法学,遵循“活动水平数据乘以排放因子”的核算公式,主要对各省域能源活动领域碳排放进行了核算。其中,“排放因子”数据直接来源于《中国省级温室气体清单编制指南》。“能源消费活动水平数据”主要来源于国家统计局能源统计司主编的《中国能源统计年鉴》。

#### 四、基于“收入者责任”视角的中国省域碳排放责任核算结果分析

##### (一) 时空分析

2007-2012年间,“收入者责任”视角下,除上海等极少数地区外,多数省级行政单位碳排放呈现上升趋势,各省域的情况如图2所示。

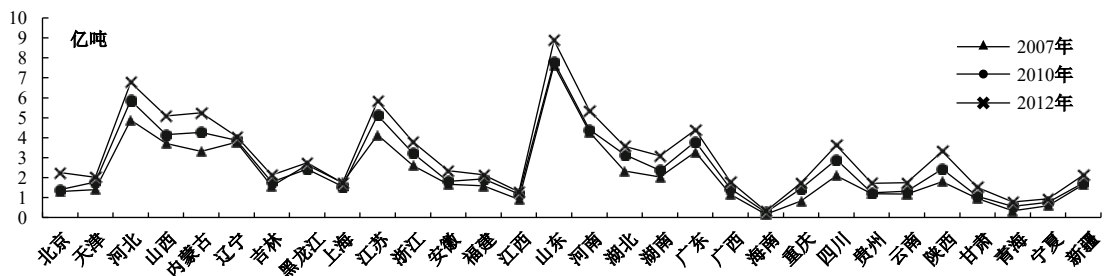


图2 “收入者责任”视角下中国30个省域碳排放责任的时空比较

从碳排放责任大小的地域分布看,“收入者责任”视角下,碳排放责任较大的省域主要有两类:一类是以山东、江苏、广东为代表的东部沿海经济大省,这是因为这类省份产业体系较为完整,巨大的经济规模使其在整个供应链里获得了较高的要素支付。另一类是以河北、山西、内蒙古、河南为代表的资源型省份和工业大省,这类省份大多以能源产业和原材料工业为支柱产业,向下游输出能源和高碳初级原材料,引致下游碳排放增加。其他省域或因资源依赖性小,或受经济规模、产业结构的影响,碳排放责任相对较小。

从各省域碳排放责任的年际变化来看,2007-2012年,上述两类省域的收入侧碳排放增幅均较大,特别是资源型地区和工业大省增幅较高,其中内蒙古增幅达58.51%,这与金融危机之后以基建、基础工业投资为主的资源型产业和初级原材料工业产能快速扩张有关。除两类典型省份之外,这一时期湖北、湖南、四川、重庆等长江经济带重点省域的收入侧碳排放也有大幅增高,与金融危机后沿海产业沿长江转移引起的局部要素供给重构有较大关系。此外,北京、天津等金融业相对发达区域碳排放责任上升较快,表明这些区域金融业对实体经济支持力度加大,或是其投资领域有高碳倾向,其投资行为引致较多碳排放。对比上海的表现和北京周边资

源型区域密集的事实,金融资本向高碳产业投资以加大北京、天津等金融业相对发达区域收入者碳排放责任的可能性较大。上海等极少数省域在整个期间碳排放变动不大,这预示着少数经济发达省域已具备提前碳达峰的条件。

## (二) 产业部门分布分析

“收入者责任”视角下,2007–2012年全国产业部门碳排放责任整体随时间呈现上升趋势,少数产业部门在某一年份有所下降,具体趋势如图3所示。

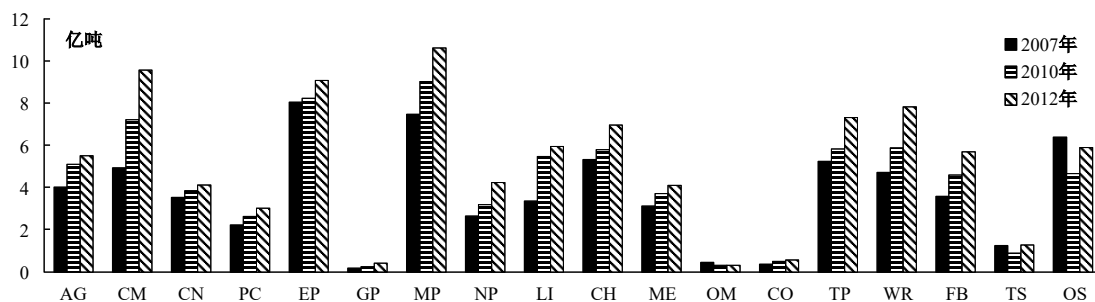


图3 “收入者责任”视角下分产业部门碳排放责任分布情况

碳排放责任最大的三个部门是金属资源业,电力、热力的生产和供应业,煤炭采选业。其中,电力、热力的生产和供应业是下游各部门的重要能源供应部门,直接或间接引致下游大量的碳排放。煤炭采选业碳排放责任较大则由两方面因素导致:一是中国“多煤贫油少气”的能源禀赋决定了煤炭这种高碳能源在能源消费结构中仍然占据较高比重;二是煤炭采选业提供煤炭作为初始要素,引致下游耗煤产业部门大量碳排放。金属资源业与煤炭采选业类似,产业规模较大,位于供应链上游,获得了较高要素收入,且下游多为钢铁等高碳排放部门,由此产生的碳排放责任也较大。

在工业内部,除了建筑业、其他工业等供应链末端产业和水、燃气生产和供应业等上游产业,其他产业在“收入者责任”视角下均有一定规模的碳排放责任。在服务业领域,金融业作为非生产部门,也被赋予相当规模的减排责任,这是因为金融业投资高碳项目会引致该项目产生碳排放,该结果也为“双碳”目标下限制“两高”项目投融资提供了理论依据。可见,“收入者责任”视角下,供应链上的要素供给者、主要生产者和消费者等主体均承担一定程度的碳减排责任。不过,部分省域的金融部门和能源供应部门等关键要素供给部门,因产业链关联引致下游省域碳排放而承担较高的碳排放责任。

从各省域的情况来看,“收入者责任”视角下各产业部门碳排放量占本区域碳排放总量的比例也不尽相同,具体见图4。

与全国总体情况类似,多数省域“收入者责任”视角下碳排放量最大的部门集中在金属资源业,电力、热力的生产和供应业,煤炭采选业三大部门,但集中趋势逐渐减弱,这与我国产业结构变迁、第二产业比重下降的事实相吻合。化学工业、机械工业等中下游产业部门承担的碳排放责任有增多的趋势,说明随着产业链延伸和产业升级,“收入者责任”视角可以将碳排放责任更广泛、更均匀地分解到各部门,降低了“生产者责任”视角下单一生产部门碳排放责任极高的影响。

分省域来看,2007–2012年间在“收入者责任”视角下,部分省域碳排放量最大的部门没有变化。具体来看,主要分三类:第一类有北京、上海、海南三省域,碳排放责任最大的部门是本



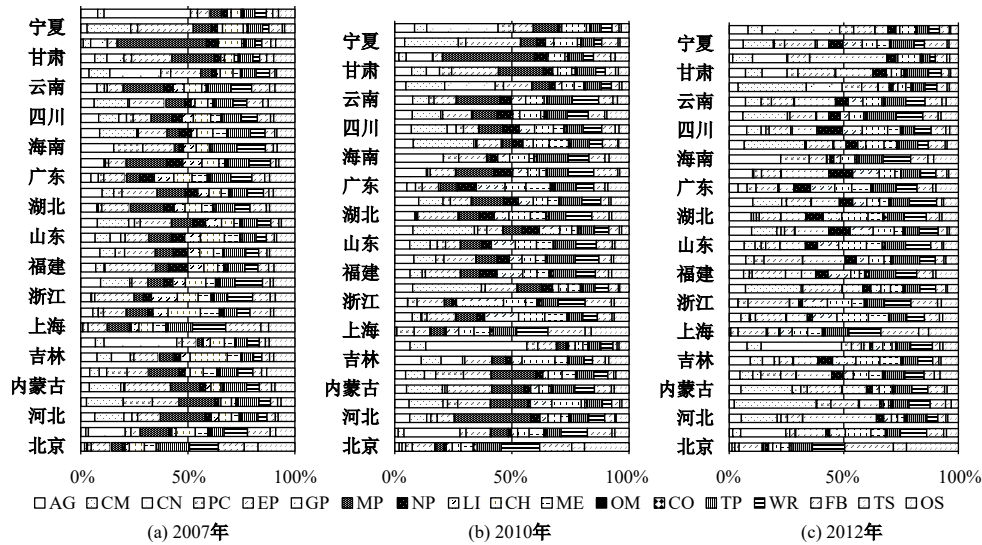


图4 “收入者责任”视角下各省分产业部门碳排放量占比情况

地区国民经济发展的非资源型支柱部门,比如金融部门。这是因为金融业通过向重化工业、煤炭、矿产等部门提供资金,在获得大量要素收入的同时引致了投资部门较高的碳排放,相应承担更多的收入者责任。第二类有黑龙江、新疆、广西、河北、云南、青海六省域,碳排放责任最大的是资源型支柱部门,这些资源型产业产值占比高,要素收入丰厚,同时下游产业多为重化工业等高能耗、高排放部门。第三类省域碳排放责任最大的是本地区非支柱型能源部门,其中天津、安徽、重庆三省域以煤炭采选业最多,浙江、福建两省域则因燃料矿产资源使用比例较少,而使用电力比例较高,导致电力、热力的生产和供应业承担的碳排放责任最高。

部分省域碳排放量最大的部门整体上稳定,但在某一年份有变动,重点部门主要集中在各地区支柱型产业部门或初级原料部门。碳排放责任的部门间变动主要是因内部产业结构转型或市场供需变化引起的产业增加值变动,主要有山西、河南、山东、江苏、陕西、内蒙古六个省份。部分省域碳排放量最大的部门每一年都不相同,这种类型的省域产业间发展差异相对较小,产业间承担的碳排放责任因不同产值的变动而变化,湖北、四川、吉林、湖南、广东五个省域出现了这样的分异。

### (三) 三种视角下中国省域碳排放责任比较

将三种视角下中国各省域的碳排放责任变化情况进行对比,以了解不同视角下中国省域碳排放责任的差异。整体上,受各地区经济发展规模和水平、产业发展程度以及要素关联关系等的影响,中国省域碳排放责任分布呈现“东—中—西”递减的态势,这种区域碳排放责任不平衡的情形趋近于中国经济社会发展的空间梯度格局(见表1)。

根据三种碳排放责任视角下排名的变化情况,可以将中国各省域分为以下三类:

第一类,碳排放责任核算视角不敏感型省域。多数省份三种责任视角下的碳排放责任排名无明显变化,特别是青海、宁夏等欠发达地区和山东、河北等工业大省。这是因为研究期限内,中国省域产业结构同质化比较严重,各省域均有相对齐全的工业门类,供应链比较完整,高碳要素在本省内部供应链的循环比例高,三种视角下的碳排放责任差异较小。当下,在各省域发展定位逐步明确、发展路径差异化和“双循环”发展的背景下,碳排放责任势必会有所变化,即“收入者责任”视角核算碳排放责任的意义将有所凸显。

表1 三种视角下的中国省域碳排放责任排序

	2007年			2010年			2012年		
	生产者责任	消费者责任	收入者责任	生产者责任	消费者责任	收入者责任	生产者责任	消费者责任	收入者责任
北京	19	16	21	19	14	23	23	23	16
天津	18	18	20	20	16	18	20	24	20
河北	2	2	2	2	4	2	2	5	2
山西	8	13	6	9	8	6	9	10	6
内蒙古	9	17	7	8	9	5	8	12	5
辽宁	4	4	5	4	7	7	6	8	8
吉林	16	9	19	16	15	17	14	20	19
黑龙江	14	12	9	17	20	13	19	14	14
上海	12	8	15	13	10	20	16	18	23
江苏	3	5	4	3	2	3	3	2	3
浙江	7	3	10	7	5	9	7	4	9
安徽	15	15	16	15	18	16	13	13	15
福建	17	19	18	14	19	15	15	17	17
江西	26	20	26	27	25	26	27	25	27
山东	1	1	1	1	1	1	1	1	1
河南	5	7	3	6	6	4	4	3	4
湖北	10	10	11	10	11	10	10	7	11
湖南	11	14	13	12	13	14	12	11	13
广东	6	6	8	5	3	8	5	6	7
广西	24	22	24	23	21	21	21	21	21
海南	30	30	30	30	30	30	30	30	30
重庆	27	23	27	25	23	22	24	19	24
四川	13	11	12	11	12	11	11	9	10
贵州	22	26	22	26	27	25	26	26	25
云南	21	25	23	22	22	24	22	16	22
陕西	23	21	14	18	17	12	18	15	12
甘肃	25	27	25	24	26	27	25	27	26
青海	29	29	29	29	29	29	29	29	29
宁夏	28	28	28	28	28	28	28	28	28
新疆	20	24	17	21	24	19	17	22	18

第二类,传统视角下碳排放责任被低估省域。陕西、山西、内蒙古、河南、黑龙江、新疆等资源富集省域和北京等资本输出区域对“收入者责任”视角最为敏感,表现为“生产者责任”视角下排名较后,“收入者责任”视角下排名则上升较快。这些资源型地区长期依赖于能源和初级原材料等高碳产业,但自身供应链消纳高碳产品能力不足,大量向其他省份调出,引致能源调入省份碳排放增加;资本输出区域则因投资高碳行业引致了高碳排放。

第三类,传统视角下碳排放责任被高估省域。浙江、广东、上海等制造业发达省域以及吉林、辽宁等资本稀缺省域,这两类在“生产者责任”视角或“消费者责任”视角下排名较前,“收入者责任”视角排名却靠后。上海的表现可能是因为2007–2012年上海市处于产业结构深度调整期,第二产业生产活动对经济的贡献率和碳排放的直接拉动仍然较大,且相关原材料和能源调入较多,高于金融业发展引致的收入者碳排放责任。浙江、广东与上海的情况类似。吉林和辽宁则是因为东北地区经济增速放缓,自身投资能力不足,资本调入较多,冲减了其他要素调出

引致的收入者碳排放责任。

进一步,本文将各省域2007–2012年三种视角下的碳排放责任图示如下(见图5):

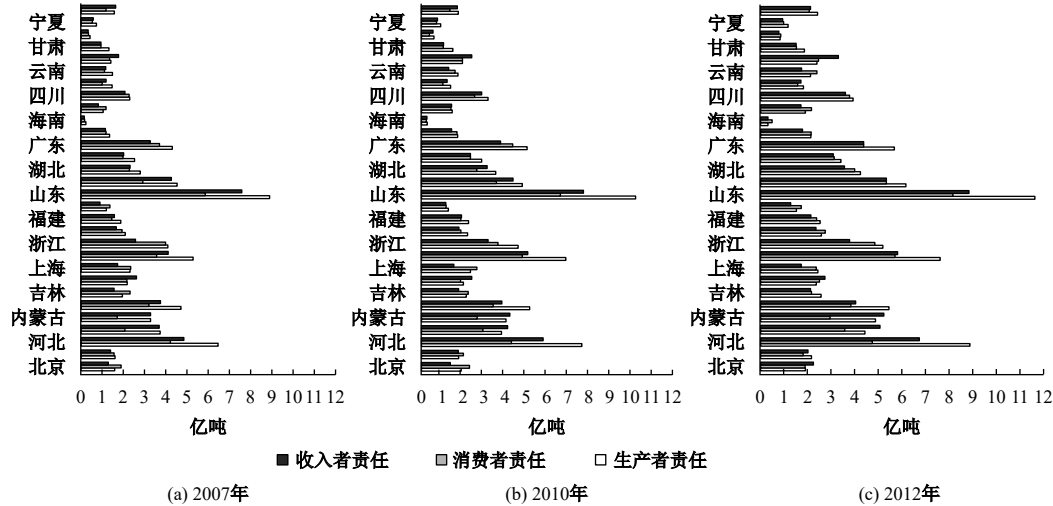


图5 三种责任视角下中国30省域碳排放量对比

从总量上来说,2007年、2010年、2012年全国合计碳排放量在“生产者责任”视角下最高,“收入者责任”视角下次之,“消费者责任”视角下最低,这与中国“世界工厂”的外向型经济特征相契合。具体到各个省域,三种视角下碳排放责任各有差异,不同年份碳排放责任变动也比较显著。表2对比了三个年度中国各省域在不同碳排放责任界定视角下的关系。

表2 中国各省域三种视角下碳排放责任关系对比

	2007年	2010年	2012年
生产>消费>收入	天津、浙江、安徽、广东、广西、四川、海南	浙江、安徽、江西、湖南、广东、广西、云南	吉林、上海、福建、湖北、湖南、广东、四川、甘肃、宁夏
生产>收入>消费	河北、山西、辽宁、江苏、福建、山东、河南、湖北、湖南、贵州、云南、甘肃、宁夏	河北、辽宁、江苏、山东、河南、湖北、重庆、四川、贵州、甘肃、青海、宁夏、新疆、福建	河北、辽宁、江苏、浙江、山东、河南、贵州、新疆、天津
消费>生产>收入	北京、吉林、上海、江西、重庆	北京、天津、吉林、上海	安徽、江西、广西、重庆、云南、青海
消费>收入>生产	—	—	海南
收入>生产>消费	内蒙古、黑龙江、陕西、新疆	山西、内蒙古、黑龙江、海南、陕西	北京、山西、内蒙古
收入>消费>生产	—	—	陕西、黑龙江

综合图5和表2,分析得出:(1)从同类省域三种视角下碳排放责任关系看:第一,资源型省份在“收入者责任”视角下的碳排放责任最高,且随着区域经济分工分化和资源依赖的加深而愈加明显,代表性省份有内蒙古、陕西、黑龙江、山西等。第二,金融资本向高碳产业投资将加大区域收入者碳排放责任,代表区域是北京。北京作为北方经济金融中心,周边聚集了山西、河北、内蒙古等资源型地区,金融资本更多地流向了当时资本回报率高的低碳产业,引致下游碳排放增加。第三,受西部大开发战略和国内产业转移的影响,生产要素、原材料调入西部,导致部分西部省域消费者碳排放责任逐渐超过生产侧和收入侧,代表省份有广西、重庆、海南、云南等,部分西部省域(如新疆、宁夏、甘肃等)虽然消费侧没有超过生产侧碳排放,但也超过了收入侧碳排放。第四,大多数省域生产侧责任最多,这类省域主要为工业大省、经济大省。(2)从三种视角对省域碳排放责任核算结果变化来看,收入侧碳责任主导型省份和消费侧碳责

任主导型省域的数量逐渐增多。特别是2012年生产侧责任主导的省域数量大幅下降,收入侧、消费侧碳责任主导的省域迅速增多。这与金融危机后中国外向型经济特征降低,要素、产品的国内市场规模扩张与内循环增多有关。

## 五、结论、讨论与建议

### (一) 主要结论

公平合理地核算和分解省域碳排放责任,是中国实现“双碳”目标的重要前提。本文在系统性梳理和比较“收入者责任”视角与“生产者责任”视角、“消费者责任”视角核心机理基础上,构建基于MRIO方法的碳排放责任核算模型,对中国省域碳排放责任的空间、时间和产业分布进行了核算与对比分析。主要结论如下:(1)“收入者责任”视角下的省域碳排放责任分布呈现“东—中—西”递减的空间格局,且产业“东—西”梯度转移会增大东西部地区收入者责任差距。影响省域收入者责任大小的因素,主要有经济规模、国内产业链位置和生产要素输入输出状况。沿海经济强省、部分原材料输出较多的工业大省和资源型经济省份,构成了该视角下的主要责任主体,经济活动规模大和高碳产能扩张是前两者碳责任高的主要原因,资源型经济省份则以煤为主的能源外送结构有关。(2)在时间维度上,因产能扩张、产业转移带来的要素供给重构等因素,各省域在“收入者责任”视角下的碳排放出现不平衡变动。大多数省份在研究期间碳排放责任呈现上升趋势,其中资源型地区和工业大省增幅最高;北京、天津等金融业相对发达区域碳排放责任上升较快;上海等极少数省域碳排放责任变动不大,初步具备了提前达峰的条件。(3)金属资源业,电力、热力的生产和供应业,煤炭采选业是收入者碳排放责任最高的部门。金融业以及能源供给行业因其引致效应也承担较高责任。产业升级和产业链延伸可以“熨平”收入者责任的部门差异,从而降低少数部门责任大的相关风险。(4)与“生产者责任”和“消费者责任”视角结果相比,资源型省域、金融输出型省域对“收入者责任”视角比较敏感,该类省域“收入者责任”视角下的碳排放责任排名明显上升。事实上,该类省域本身碳强度较高,且长期执行较低的碳强度下降率,已经积累了较大的减排潜力,这为维持甚至加大中西部资源型省份的碳排放责任提供了支撑依据。制造业大省、资本稀缺省份在“收入者责任”视角下的碳排放责任要少于另外两种视角。多数省域在三种视角下的碳排放责任排名无明显变化,这与研究期内省域产业结构同质化程度高、供应链省内自给程度高有关。

### (二) 相关讨论

“收入者责任”视角在原理上可从要素供给端入手,对碳排放“追根溯源”,将获得直接要素报酬的“受益者”作为碳排放责任承担方,既丰富了对碳排放责任分配公平性的理解,又最大限度地要素供给者、能源供给者、初级原材料和中间产品供给者纳入碳排放责任核算体系。该责任视角将以往在碳排放统计核算体系中作用不明显的金融业、煤炭等能源供应部门纳入,进而可以直接从要素供给源头施加碳减排约束,理论上能更为有效地提升全国碳减排效率。例如在“收入者责任”视角下,山西、内蒙古、陕西等资源输出省份须执行较高的减排责任,这与其本身较高的减排潜力相适应;而北京等金融输出省域,虽然已具备提前碳达峰的条件,但依然基于金融输出引致的碳排放,界定了较高的碳减排责任,这与其对其他省域的绿色金融支持能力和高碳项目限制投资能力相匹配。同时,“收入者责任”视角对“生产者责任”视角的公平性问题、碳泄漏问题、经济冲击问题,以及“消费者责任”视角下的核算成本高和绿色贸易壁垒等问题,都有较好的规避效果,是一种可行的碳排放责任核算方法。

不过,本文引入“收入者责任”视角核算中国省域碳排放责任,并与其他两种视角进行对比,目的是构建多视角的省域碳排放责任核算体系,证明“收入者责任”视角在“双碳”目标下的

适用性和合理性,并非强调其优越性。事实上,“收入者责任”视角的核算结果直接与区域间经济贸易相关,涉及多区域和多产业部门,虽然从要素端追溯碳排放责任原理上要比从产品端容易,但在边界界定方面仍存在一定难度。同时,“收入者责任”视角从增加值角度对碳排放责任进行认定,但实际核算过程中无法衡量增加值的提升是来源于资源消耗还是技术进步,对于创新驱动增长的辨识度不足。另外,“收入者责任”视角虽然激励“源头降碳”,但煤炭、金属资源等能源和初级原材料的供应量大小,较大程度上由下游需求端决定,要想真正“源头降碳”,还需有相应的能源替代、技术支撑和供应链绿色标准等配套支撑。

### (三) 政策建议

根据以上结论和相关讨论,为高效实现“双碳”目标,本研究提出以下政策建议:(1)将“收入者责任”视角纳入国家碳排放统计核算体系并健全相应数据基础。“收入者责任”视角需要规范、可信、及时的数据基础做支撑,特别是多区域投入产出表每五年编制一次的情况下,碳排放核算基础数据的及时性亟需增强。(2)探索资源型省份有补偿的高减排责任路径。一是维持资源型地区高碳排放责任约束,形成与其高减排潜力相匹配的减排责任界定;二是探索通过设置国家公正转型基金、碳市场收益、绿色投资和绿色技术转移等补偿机制对资源型省份进行合理补偿,以解决资源型省份在碳减排过程中的资金不足、技术匮乏等问题,推动资源型省份在助力国家“双碳”目标高效实现的同时,自身能够进行公正且平稳的转型。(3)建立基于生产要素关联的省际协同减排机制。突破基于地理空间联系的省际协同减排工作体系,建立基于生产要素、能源供应关联的省际协同减排机制。例如,突破“京津冀”区域板块,将处于能源供应端的晋陕蒙地区纳入京津冀协同减排板块,探索大区域协同碳达峰的方案。鼓励跨省域供应链相关减排主体组成绿色技术创新联盟,进行协同减排。另外,在国内产业梯度转移过程中,应鼓励东部向中西部同步配套绿色技术和资金,以促进中西部地区获得配套绿色要素的基础能力。(4)强化金融业等要素供给部门在“双碳”目标中的约束和支撑作用。各大金融机构需建立高碳项目识别和限制投资机制,依据“收入者责任”视角核算结果,合理调整各省域绿色金融规模,加强对环境容量较低省域的高碳投资项目气候风险信息披露,合理限制煤炭、火电等高碳项目投资。(5)推动重点部门节能降碳以降低整个经济系统碳排放总量。“双碳”目标下,金属资源部门宜加大废旧金属回收、进口力度,“以熔代采”“以熔代炼”;推广基于氢气的直接还原和电弧炉路线等绿色炼钢技术,在电解冶炼中提升清洁电力比例。电力部门应逐步降低火电比例,提升火电煤耗功效,加快清洁能源投资、开发力度,强化调峰、储能等清洁能源技术保障能力。煤炭部门应控制开采过程碳排放,降低煤炭直接燃烧比例,加大清洁燃煤技术开发力度。

### 主要参考文献:

- [1] 白卫国,庄贵阳,朱守先,等.中国城市温室气体清单核算研究——以广元市为例[J].城市问题,2013,(8).
- [2] 曹颖.加快近零碳排放区示范工程建设[N].经济日报,2020-02-22(12).
- [3] 丛建辉,常盼,刘庆燕.基于三维责任视角的中国分省碳排放责任再核算[J].统计研究,2018,(4).
- [4] 段茂盛,庞韬.全国统一碳排放权交易体系中的配额分配方式研究[J].武汉大学学报(哲学社会科学版),2014,(5).
- [5] 李富佳.区际贸易隐含碳排放转移研究进展与展望[J].地理科学进展,2018,(10).
- [6] 刘卫东,陈杰,唐志鹏,等.中国2007年30省市区区域间投入产出表编制理论与实践[M].北京:中国统计出版社,2012.
- [7] 刘卫东,唐志鹏,陈杰,等.2010年中国30省市区区域间投入产出表[M].北京:中国统计出版社,2014.
- [8] 刘卫东,唐志鹏,韩梦瑶,等.2012年中国31省市区区域间投入产出表[M].北京:中国统计出版社,2018.
- [9] 潘文卿.碳税对中国产业与地区竞争力的影响:基于CO<sub>2</sub>排放责任的视角[J].数量经济技术经济研究,2015,(6).

- [10] 庞军, 高笑默, 石媛昌, 等. 基于MRIO模型的中国省级区域碳足迹及碳转移研究[J]. 环境科学学报, 2017, (5).
- [11] 彭水军, 张文城, 卫瑞. 碳排放的国家责任核算方案[J]. 经济研究, 2016, (3).
- [12] 齐绍洲, 张振源. 欧盟碳排放权交易、配额分配与可再生能源技术创新[J]. 世界经济研究, 2019, (9).
- [13] 宋杰鲲, 牛丹平, 曹子建, 等. 考虑碳转移的我国省域碳排放核算与初始分配[J]. 华东经济管理, 2017, (11).
- [14] 徐盈之, 吕璐. 基于投入产出分析的我国碳减排责任分配优化研究[J]. 东南大学学报(哲学社会科学版), 2014, (3).
- [15] 杨军, 赵永斌, 丛建辉. 全国统一碳市场碳配额的总量设定与分配——基于碳交易三大特性的再审视[J]. 天津社会科学, 2017, (5).
- [16] 余晓泓, 詹夏颜. 基于收益原则的碳排放转移及中国碳排放责任研究[J]. 资源科学, 2018, (1).
- [17] 张洋, 江亿, 胡姗, 等. 基于基准值的碳排放责任核算方法[J]. 中国人口·资源与环境, 2020, (11).
- [18] 张友国. 碳达峰、碳中和工作面临的形势与开局思路[J]. 行政管理改革, 2021, (3).
- [19] 赵永斌, 丛建辉, 杨军, 等. 中国碳市场配额分配方法探索[J]. 资源科学, 2019, (5).
- [20] Afionis S, Sakai M, Scott K, et al. Consumption-based carbon accounting: Does it have a future?[J]. WIREs Climate Change, 2017, 8(1): 438–457.
- [21] Chang N. Sharing responsibility for carbon dioxide emissions: A perspective on border tax adjustments[J]. Energy Policy, 2013, 59: 850–856.
- [22] Gallego B, Lenzen M. A consistent input-output formulation of shared producer and consumer responsibility[J]. Economic Systems Research, 2005, 17(4): 365–391.
- [23] Marques A, Rodrigues J, Lenzen M, et al. Income-based environmental responsibility[J]. Ecological Economics, 2012, 84: 57–65.
- [24] Munksgaard J, Pedersen K A. CO<sub>2</sub> accounts for open economies: Producer or consumer responsibility?[J]. Energy Policy, 2001, 29(4): 327–334.
- [25] Pan J H, Phillips J, Chen Y. China's balance of emissions embodied in trade: Approaches to measurement and allocating international responsibility[J]. Oxford Review of Economic Policy, 2008, 24(2): 354–376.
- [26] Proops J L R, Atkinson G, Schlotheim B F V, et al. International trade and the sustainability footprint: A practical criterion for its assessment[J]. Ecological Economics, 1999, 28(1): 75–97.
- [27] Su B, Ang B W. Input-output analysis of CO<sub>2</sub> emissions embodied in trade: The effects of spatial aggregation[J]. Ecological Economics, 2010, 70(1): 10–18.
- [28] WBCSD, WRI. Greenhouse gas protocol corporate value chain (Scope3) accounting and reporting standard[EB/OL]. www.ghgprotocol.org, 2011.
- [29] Xie R, Hu G X, Zhang Y G, et al. Provincial transfers of enabled carbon emissions in China: A supply-side perspective[J]. Energy Policy, 2017, 107: 688–697.
- [30] Zhang Q F, Fang K. Comment on “Consumption-based versus production-based accounting of CO<sub>2</sub> emissions: Is there evidence for carbon leakage?”[J]. Environmental Science & Policy, 2019, 101: 94–96.
- [31] Zhen W, Li J S. The formation and transmission of upstream and downstream sectoral carbon emission responsibilities: Evidence from China[J]. Sustainable Production and Consumption, 2021, 25: 563–576.
- [32] Zhou B, Zhang C, Song H Y, et al. How does emission trading reduce China's carbon intensity? An exploration using a decomposition and difference-in-differences approach[J]. Science of the Total Environment, 2019, 676: 514–523.

## Research on the Responsibility Accounting of China's Provincial Carbon Emission under the “Double Carbon” Goal : Based on the Perspective of “Income Responsibility”

Cong Jianhui<sup>1,2</sup>, Shi Ya<sup>3</sup>, Gao Hui<sup>1,2</sup>, Zhao Yongbin<sup>4</sup>



(1. School of Economics and Management, Shanxi University, Shanxi Taiyuan 030006, China; 2. Green Development Research Center of Shanxi University, Shanxi Taiyuan 030006, China; 3. Shanxi Provincial Tax Service, State Taxation Administration, Shanxi Taiyuan 030023, China; 4. School of Economics and Management, Shanxi Normal University, Shanxi Taiyuan 030031, China )

**Summary:** The scientific and reasonable definition of provincial carbon emission responsibility is vital for China to achieve the carbon peak and carbon neutrality goal (hereinafter referred to as the “double carbon” goal). The traditional perspective of carbon emission responsibility accounting based on the “producer responsibility” and “consumer responsibility” cannot account for the carbon emission responsibility of the factor supply side, resulting in the underestimation of the carbon emission responsibility of capital and resource export-oriented provinces, which is difficult to form effective incentives for the supply provinces and the main supply departments of production factors. In practice, there is a deviation between provincial emission reduction responsibility and emission reduction potential, and between emission reduction responsibility and emission reduction capacity, reducing the efficiency of national emission reduction. It is urgent to introduce the perspective of “income responsibility” to enrich the national carbon emission statistical accounting system under the “double carbon” goal. Based on the multi-regional input-output (MRIO) method, this paper constructs a multi-dimensional carbon emission responsibility accounting model, focuses on accounting and analyzing the temporal and spatial changes and sectoral characteristics of China’s provincial carbon emission responsibility from the perspective of “income responsibility”, and compares it with the other two perspectives. The results suggest that from the perspective of “income responsibility”, China’s provincial carbon emission responsibility presents a spatial pattern of “East-Central-West” decreasing, and coastal economic provinces, large industrial provinces and resource-based provinces constitute the main responsibility provinces from this perspective. Compared with the other two perspectives, resource-based provinces and capital export-oriented provinces have higher carbon emission responsibility, but this is more matched with their emission reduction potential or capacity. From the time dimension, the carbon emission responsibility of provincial income changes unevenly among provinces due to factors such as factor supply reconstruction caused by capacity expansion and industrial transfer. The financial and energy supply sectors of some provinces should bear higher carbon emission responsibility due to the carbon emission of downstream provinces caused by the association of industrial chains. Based on the above conclusions, this paper proposes to incorporate the perspective of “income responsibility” into the national carbon emission statistical accounting system, improve the corresponding data base, explore the compensated high-carbon emission reduction responsibility path of resource-based provinces, establish an inter-provincial collaborative emission reduction mechanism based on the correlation of supply chain production factors, and strengthen the carbon emission responsibility constraint of the supply departments of finance, metal resources, coal mining and beneficiation, and other industries.

**Key words:** carbon peak and carbon neutrality; carbon emission responsibility; the perspective of “income responsibility”; carbon accounting; MRIO model

(责任编辑: 王西民)