

引用格式: 姚西龙, 刘娜. 基于递进动因分解的碳税减排机制研究[J]. 资源科学, 2023, 45(7): 1285-1296. [Yao X L, Liu N. Impact mechanism of carbon tax on carbon emission reduction based on progressive motivation decomposition[J]. Resources Science, 2023, 45(7): 1285-1296.] DOI: 10.18402/resci.2023.07.01

基于递进动因分解的碳税减排机制研究

姚西龙, 刘 娜

(太原理工大学经济管理学院, 太原 030024)

摘要:【目的】旨在厘清碳税的具体减排机制, 助其充分发挥减排功能, 推动碳减排政策体系建设。【方法】本文基于多层递进动因分解视角探究碳税的减排机制, 建立可计算一般均衡模型(CGE)与结构路径分解(SPD)的耦合模型, 识别碳税的关键减排路径, 并对促进各路径减排的驱动因素进行分解分析。【结果】①碳税的减排作用以产业链引发的间接减排为主, 占碳减排总量的80.77%, 且碳税的减排效果随生产层级的增加而逐渐减弱; ②能源效率效应是碳税促进减排的最主要动因, 不同驱动因素在各生产层级、不同减排路径上的作用存在差异; ③重工业、火电行业、煤炭行业等少数关键行业提供了主要碳减排贡献, 固定资本形成的减排贡献最大, 且主要通过影响建筑业对上游高耗能行业的需求这一路径实现碳减排。【结论】因此, 应当充分把握和利用各关键因素对不同生产层级和路径碳减排的驱动机制, 充分挖掘产业链关键环节的减排潜力, 采取针对性措施促进行业内协同减排。

关键词: 碳税; 传导机制; 递进动因; 可计算一般均衡模型; 结构路径分解

DOI: 10.18402/resci.2023.07.01

1 引言

碳达峰与碳中和目标已成为中国应对气候变化全球治理、保障经济高质量和可持续发展的重要战略。为逐步实现对碳排放总量和强度的“双控”、如期达成“双碳”目标, 中国实施了一系列有利于促进碳减排的措施。其中, 税收是促进碳减排和绿色发展的重要手段之一^[1], 不同税种之间的协同配合以及税收与其他碳减排政策工具的组合配置对中国的绿色低碳发展发挥了重要作用^[2,3]。党的二十大报告和《2030年前碳达峰行动方案》对“有利于绿色低碳发展的税收政策体系”提出要求, 这为利用碳税政策实现“双碳”目标提供了方向和战略指导^[4]。

碳税被普遍认为是应用较为广泛且有效的碳减排措施之一^[5], 国际上众多国家的碳税实践也证实了这一点^[6], 也有不少学者对“双碳”目标下中国的碳税制度设计进行讨论^[7]。但中国目前并未正式出台碳税相关政策, 学者们大多通过仿真模拟分析中国征收碳税产生的经济及环境影响^[8-10], 研究表明

碳税在减少碳排放、提升能源效率、促进技术进步等方面具有良好的效益^[11,12], 但这些研究通常仅从宏观层面或围绕单个行业分析碳税的减排效果, 对行业之间相互作用的关注略显不足, 也并未对碳税通过哪些因素影响行业碳排放变化进行深入探讨, 碳税在促进碳减排过程中的作用机制仍处于“黑箱”状态。目前中国亟待建立有利于绿色低碳发展的财税政策框架, 碳减排相关财税政策仍需进一步完善。本文基于多层递进动因分解视角探究碳税促进减排的具体作用机制, 旨在加快碳税制度建设, 为行业间协同减排政策体系的建立提供科学参考。

2 文献综述

既有关于碳税的研究多从经济、能源、环境等维度对碳税的作用效果和经济影响进行评估, 结果显示碳税可以有效减少二氧化碳排放^[13], 征收行业差异化碳税能产生更好的减排效果^[14]。碳税也会对经济增长产生损失^[15], 实施碳税返还则能实现经济与环境的“双重红利”^[16,17]。但这些讨论多基于政策

收稿日期: 2023-03-17 修订日期: 2023-07-02

基金项目: 山西省高等学校哲学社会科学基础研究基地项目(RD2100003605)。

作者简介: 姚西龙, 男, 山东日照人, 教授, 博士生导师, 研究方向为能源工程管理。E-mail: xilongyao@163.com

通讯作者: 刘娜, 女, 山西临汾人, 硕士研究生, 研究方向为能源经济及管理。E-mail: liuna_sx@163.com

效果评估视角从宏观层面对各项指标的变动情况进行分析,并未将碳税在各行业间的作用考虑在内。

不同行业之间因要素的投入与产出而相互关联,碳税的减排作用在产业链上下游行业间存在明显的协同运动现象^[18],对某些行业实施碳减排政策会引起其他相关行业的连锁反应,进而实现各行业之间的协同减排。因此,有必要基于行业间的联动性对碳税的作用机制进行进一步探索。Ma等^[19]基于复杂网络探究碳税对中国经济的短期影响过程,重点探讨个体部门和部门群体在价格和产出变化传递过程中的作用,但没有对碳排放在行业间的传递过程展开讨论。Zhang^[20]提出要通过重点产业对价格传导和中间投入结构的影响降低产业对高耗能产品及能源的依赖,进而更好实现碳减排。在碳税促进减排的驱动因素方面,刘海英等^[21]采用双重差分探究碳税的减排效应和作用路径,结果表明碳税主要通过提升能源效率和改善能源结构来实现碳减排。Li等^[22]基于SDA与CGE模型分析能源税对碳排放的作用效果和驱动因素,研究表明碳强度效应是推动国家碳排放和碳强度下降的主导因素,但该研究仅停留在宏观层面的分析,并未对更具体的传导细节展开讨论。

上述对碳税减排机制的研究仍不够深入和全面,一是碳税促进行业间碳减排的具体传导过程和关键减排路径尚不清晰,二是各驱动因素在不同减排路径中的差异化作用仍不明确。研究碳减排路径和驱动因素的常用方法中,结构路径分析(SPA)能够基于行业间的投入产出关系判断最终需求对各行业碳排放的直接和间接影响^[23],厘清碳减排量在不同生产阶段和产业链之间的分布情况,识别出碳税的关键减排路径并对其进行排序^[24]。结构分解分析(SDA)则是碳排放驱动因素分解的主要方法之一^[25,26],能将减排量分解为多个独立驱动因素的影响^[27,28],Wood等^[29]提出的结构路径分解(SPD)模型能够整合SPA和SDA的优点,从产业链的角度对碳排放的传导过程和驱动因素进行综合分析^[30],更全面地探究碳减排的驱动机制。

本文基于递进动因视角探究碳税减排作用的传导机制及驱动因素,构建CGE和SPD的耦合模型,不仅从宏观上把握碳税实现减排的原因,也从

减排总量、生产阶段和产业链3个层面对碳减排的驱动因素进行分解分析,深入挖掘碳税的减排机制。本文的主要贡献体现在两个方面,一是充分考虑行业间的关联性和碳税的减排作用在行业间的传导,从多层递进动因的视角分析碳税减排的“路径黑箱”。二是将CGE模型在政策评估方面的优势和SPD在路径分解方面的优势相结合,构建二者的耦合模型将碳税的减排作用分解到产业链层面,扩展了碳税研究的建模思路。

3 模型构建与数据来源

3.1 CGE模型构建

CGE模型是碳税政策效果分析的常用方法之一,本文构建包含生产模块、贸易模块、机构模块、二氧化碳模块、碳税模块和均衡模块6个模块的静态CGE模型,模拟征收碳税对中国各行业碳排放的影响。

生产模块中,生产函数由5层嵌套的恒替代弹性(CES)生产函数构成,各层次的嵌套结构如图1,各行业生产要素投入包括劳动、资本、煤炭、石油、天然气、火电、可再生能源以及其他非能源产品,生产者以成本最小化为生产原则,规模报酬保持不变。

贸易模块中,假设国内生产的产品用于国内销售和出口的替代关系以恒变换弹性函数(CET)形式分配,国内销售的商品中本土商品与进口商品之间的函数关系符合Armington假设条件。

机构模块主要包括居民、企业及政府3个经济

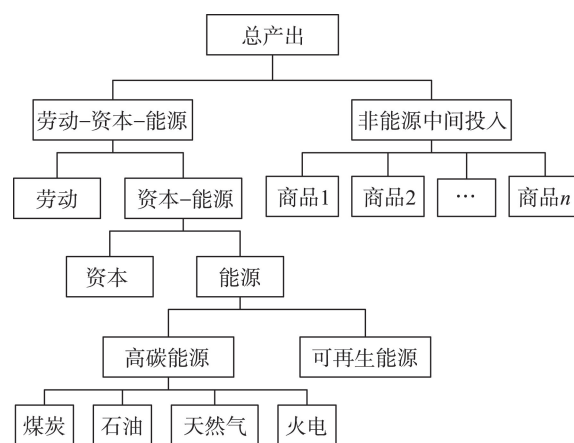


图1 生产函数嵌套结构

Figure 1 Nested structure of production functions

2023年7月

主体以及各经济主体的收入构成和支出分配情况。其中,居民收入包括其劳动和资本的要素收入及企业、政府和国外的转移支付,居民收入在缴纳个人所得税后可用于商品消费或居民储蓄。企业收入来源于企业的资本要素收入和政府的转移支付,企业支出主要用于缴纳税款、对居民的转移支付及企业储蓄,企业的投资主要表现为固定资本的形成。政府收入来源于所得税、关税等各项税收收入以及国外的转移支付,政府的支出则包括政府的商品消费、对本国企业和居民的转移支付、对国外的援助以及政府储蓄。

二氧化碳模块中,本文以化石能源燃烧产生的二氧化碳排放量为计税依据,各行业化石能源消费量数据来源于中国能源统计年鉴,二氧化碳排放量计算公式为:

$$CO_{2,i} = \sum_f E_{if} \cdot \theta_f \quad (1)$$

$$CO_{2,f} = (HD_f + GD_f) \cdot \theta_f \quad (2)$$

式中: i 为经济系统中的行业; $CO_{2,i}$ 为第 i 个行业的二氧化碳排放量; $f=1, 2, 3$ 分别为煤炭、石油、天然气3种化石能源; E_{if} 为第 i 个行业对化石能源 f 的消费量; θ_f 为单位化石能源 f 的二氧化碳排放系数; $CO_{2,f}$ 为化石能源 f 的最终需求产生的二氧化碳排放量; HD_f 和 GD_f 分别为居民和政府部门对化石能源 f 的最终消费量。

碳税模块中,本文参考Li等^[31]的碳税征收的设置,在产品生产过程征收 $t=40$ 元/t的碳税,对各个行业征收的碳税税额 $CTAX_i$ 为:

$$CTAX_i = t \cdot \sum_f E_{if} \cdot \theta_f \quad (3)$$

化石能源 f 在中间投入部分征收的碳税税额 $CTAX_f$ 为:

$$CTAX_f = t \cdot \sum_i E_{if} \cdot \theta_f \quad (4)$$

为更有效地分析征收碳税对经济系统内各行业的影响,将碳税的税率转化为从价税率,即对某种化石能源征收的碳税税额与该化石能源的国内需求的价值量之比,碳税的从价税率 t_f 为:

$$t_f = \frac{CTAX_f}{PQ_f \cdot QQ_f} \quad (5)$$

式中: PQ_f 为化石能源 f 的价格; QQ_f 为化石能源 f 的需求量。征收碳税将会使各行业用能成本增加为

$(1+t_f) \cdot PQ_f$,这将对生产函数第5层高碳能源投入中化石能源的使用成本产生直接影响。

均衡模块包括国际收支均衡、投资储蓄均衡、产品市场均衡、要素市场均衡等4组均衡条件。国际收支均衡以汇率作为内生变量,国外储蓄为外生变量的闭合规则;投资储蓄采用新古典主义的闭合规则,投资由储蓄决定;产品市场总供给等于各项需求之和,要素市场中劳动力的相对工资与资本价格均为内生变量。

3.2 结构分解分析(SDA)

碳减排的驱动因素是碳排放问题研究中的一个重要内容^[32],碳排放强度、产业结构、最终需求等因素被认为是碳减排的主要驱动因素^[33,34],以投入产出表为数据基础的SDA方法能够揭示行业间关联性对碳排放的影响,受到众多学者的青睐^[35]。本文对碳税在不同层面的减排作用机制及影响因素进行深入的分解分析,在充分参考已有研究的基础上^[36],将碳税产生的碳减排量分解为能源结构效应、能源效率效应、产业结构效应、需求结构效应和需求规模效应5种因素的共同作用效果。由于进口商品的碳排放不在中国的碳排放核算范围内且其生产过程不受中国征收碳税的影响,因此本文所构建的SDA和SPD模型以中国2020年的非竞争型投入产出表作为基础数据,根据非竞争型投入产出表的特点,存在如下平衡关系:

$$A \cdot X + Y = X \quad (6)$$

式中: A 为直接消耗系数矩阵; X 为总产出列向量; Y 为国内最终需求列向量。移项后 X 可表示为:

$$X = (I - A)^{-1} \cdot Y = L \cdot Y \quad (7)$$

式中: I 为单位矩阵; $L = (I - A)^{-1}$ 为Leontief逆矩阵,生产过程中产生的二氧化碳排放总量 TC 为:

$$TC = C \cdot X = C \cdot L \cdot Y \quad (8)$$

式中: C 为碳排放强度,即各行业单位产出的碳排放量。参考Lin等^[37]对碳排放总量的分解方法,二氧化碳排放总量 TC 还可以表示为:

$$TC = M \cdot S \cdot T \cdot L \cdot U \cdot H \quad (9)$$

式中: M 为各类能源的碳排放系数行向量; S 、 T 、 L 、 U 、 H 分别为能源结构效应、能源效率效应、产业结构效应、需求结构效应和需求规模效应5种因素,征收碳税前碳排放变化量表示为:

$$\begin{aligned}\Delta TC = TC_t - TC_0 = & \mathbf{M} \cdot \Delta \mathbf{S} \cdot \mathbf{T}_t \cdot \mathbf{L}_t \cdot \mathbf{U}_t \cdot \mathbf{H}_t + \\ & \mathbf{M} \cdot \mathbf{S}_0 \cdot \Delta \mathbf{T} \cdot \mathbf{L}_t \cdot \mathbf{U}_t \cdot \mathbf{H}_t + \mathbf{M} \cdot \mathbf{S}_0 \cdot \mathbf{T}_0 \cdot \Delta \mathbf{L} \cdot \mathbf{U}_t \cdot \mathbf{H}_t + \\ & \mathbf{M} \cdot \mathbf{S}_0 \cdot \mathbf{T}_0 \cdot \mathbf{L}_0 \cdot \Delta \mathbf{U} \cdot \mathbf{H}_t + \mathbf{M} \cdot \mathbf{S}_0 \cdot \mathbf{T}_0 \cdot \mathbf{L}_0 \cdot \mathbf{U}_0 \cdot \Delta \mathbf{H}_t\end{aligned}\quad (10)$$

式中: ΔTC 为征收碳税后的减排量, 下标 t 表示征收碳税情景, 0 表示未征收碳税的基准情景; TC_0 和 TC_t 分别为征收碳税前后的碳排放总量; $\Delta \mathbf{S}$ 、 $\Delta \mathbf{T}$ 、 $\Delta \mathbf{L}$ 、 $\Delta \mathbf{U}$ 、 $\Delta \mathbf{H}$ 分别为征收碳税前各驱动因素的变动情况, 采用“极坐标分解法”可得到 ΔTC 的分解方程:

$$\Delta TC = f(\Delta \mathbf{S}) + f(\Delta \mathbf{T}) + f(\Delta \mathbf{L}) + f(\Delta \mathbf{U}) + f(\Delta \mathbf{H}) \quad (11)$$

式中: $f(\Delta \mathbf{S})$ 、 $f(\Delta \mathbf{T})$ 、 $f(\Delta \mathbf{L})$ 、 $f(\Delta \mathbf{U})$ 、 $f(\Delta \mathbf{H})$ 分别为能源结构效应、能源效率效应、产业结构效应、需求结构效应和需求规模效应引起的减排量。令一种需求变动, 其他需求类型不变可以分析不同需求类型的碳减排效应。

3.3 结构路径分解 (SPD)

征收碳税产生的碳减排效应会随着各行业对其他中间产品的投入而在产业链之间传导, 基于投入产出表的结构路径分析法能够创建不同生产层级行业之间的联系路径, 并量化每条产业链的碳减排贡献。将式(8)中的 Leontief 逆矩阵 \mathbf{L} 进行泰勒展开, 可将二氧化碳排放总量 TC 表示为不同生产层级的碳排放量之和:

$$\begin{aligned}TC &= \mathbf{C} \cdot (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \cdot \mathbf{Y} \\ &= \mathbf{C} \cdot (\mathbf{I} + \mathbf{A} + \mathbf{A}^2 + \mathbf{A}^3 + \mathbf{A}^4 + \dots) \cdot \mathbf{Y} \\ &= \mathbf{C} \cdot \mathbf{I} \cdot \mathbf{Y} + \mathbf{C} \cdot \mathbf{A} \cdot \mathbf{Y} + \mathbf{C} \cdot \mathbf{A}^2 \cdot \mathbf{Y} + \mathbf{C} \cdot \mathbf{A}^3 \cdot \mathbf{Y} + \mathbf{C} \cdot \mathbf{A}^4 \cdot \mathbf{Y} + \dots\end{aligned}\quad (12)$$

式中: $\mathbf{C} \cdot \mathbf{I} \cdot \mathbf{Y}$ 为各行业的最终需求直接造成的碳排放; $\mathbf{C} \cdot \mathbf{A}^i \cdot \mathbf{Y}$ 为不同生产层级各行业的间接碳排放。将每一层各行业的碳排放进一步分解可得到其在各个行业之间的传导路径:

$$\begin{aligned}TC &= \mathbf{C} \cdot \mathbf{I} \cdot \mathbf{Y} + \mathbf{C} \cdot \mathbf{A} \cdot \mathbf{Y} + \mathbf{C} \cdot \mathbf{A}^2 \cdot \mathbf{Y} + \mathbf{C} \cdot \mathbf{A}^3 \cdot \mathbf{Y} + \dots \\ &= \begin{bmatrix} c_1 \cdot y_1 \\ c_2 \cdot y_2 \\ \vdots \\ c_n \cdot y_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n c_{1,i} \cdot a_{1,i} \cdot y_i \\ \sum_{i=1}^n c_{2,i} \cdot a_{2,i} \cdot y_i \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^n c_{n,i} \cdot a_{n,i} \cdot y_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sum_{i,j=1}^n c_{1,i} \cdot a_{1,j} \cdot a_{j,i} \cdot y_i \\ \sum_{i,j=1}^n c_{2,i} \cdot a_{2,j} \cdot a_{j,i} \cdot y_i \\ \vdots \\ \sum_{i,j=1}^n c_{n,i} \cdot a_{n,j} \cdot a_{j,i} \cdot y_i \end{bmatrix} + \dots\end{aligned}\quad (13)$$

式中: i, j, k 为经济系统中的不同行业, 在第 1 层, $c_n \cdot y_n$ 为最终需求引起的各行业直接碳排放, 其传导路径为“最终需求 → 第 n 个行业”; 在第 2 层,

$\sum_{i=1}^n c_{1,i} \cdot a_{1,i} \cdot y_i$ 为第 1 个行业为满足第 i 个行业的要素投入而产生的间接碳排放, 其传导路径为“最终需求 → 第 i 个行业 → 第 1 个行业”; 在第 3 层, $\sum_{i,j=1}^n c_{1,i} \cdot a_{1,j} \cdot a_{j,i} \cdot y_i$ 为第 1 个行业为满足第 j 个行业对第 i 个行业的要素投入而产生的间接碳排放, 其传导路径为“最终需求 → 第 i 个行业 → 第 j 个行业 → 第 1 个行业”。由此就将最终需求变化所带来的间接碳排放分解成不同生产层级、不同产业链之间的传导路径。根据投入产出表, 最终需求包括居民消费 (HD)、政府消费 (GD)、固定资本形成 (FC)、存货变动 (ST) 和出口 (EX) 5 种类型, 将不同最终需求数据代入以上各式, 即可得到不同需求类型驱动下的碳排放。

结合式(9)对 \mathbf{L} 进行分解可以得到上述 5 种效应对各生产层级碳排放的贡献, TC 可表示为各层级的碳排放量之和:

$$\begin{aligned}TC &= \mathbf{M} \cdot \mathbf{S} \cdot \mathbf{T} [\mathbf{I} + \mathbf{A} + \mathbf{A}^2 + \dots] \cdot \mathbf{U} \cdot \mathbf{H} \\ &= \mathbf{M} \cdot \mathbf{S} \cdot \mathbf{T} \cdot \mathbf{U} \cdot \mathbf{H} + \mathbf{M} \cdot \mathbf{S} \cdot \mathbf{T} \cdot \mathbf{A} \cdot \mathbf{U} \cdot \mathbf{H} + \\ &\quad \mathbf{M} \cdot \mathbf{S} \cdot \mathbf{T} \cdot \mathbf{A}^2 \cdot \mathbf{U} \cdot \mathbf{H} + \dots + \mathbf{M} \cdot \mathbf{S} \cdot \mathbf{T} \cdot \mathbf{A}^i \cdot \mathbf{U} \cdot \mathbf{H} + \dots\end{aligned}\quad (14)$$

式中: $\mathbf{M} \cdot \mathbf{S} \cdot \mathbf{T} \cdot \mathbf{A}^i \cdot \mathbf{U} \cdot \mathbf{H}$ 为第 $(i+1)$ 层的碳排放量, 根据式(13)可将 TC 进一步拆解为不同产业链的碳排放之和。对征收碳税的总减排效应、各生产层级及产业链的减排效应进行结构分解分析, 可得到不同需求类型、不同驱动因素对碳税减排效应的贡献 (图 2)。

3.4 数据来源

本文的数据主要来自《2020 年全国投入产出表》《中国统计年鉴》《中国能源统计年鉴》等, 参考既有研究的做法^[31,38]及结合本文研究需要, 对 153 个部门进行拆分及合并, 最终将国民经济行业整合为 11 个行业 (表 1)。CGE 模型中规模参数及份额参数由 SAM 表校准得到, 弹性参数的设定参考 Li 等^[31]的研究。本文仅计算化石能源燃烧产生的二氧化碳排放, 生产过程产生的二氧化碳排放不计入在内, 各类能源的碳排放系数参考张炎治等^[30]的研究。

4 结果与分析

4.1 宏观层面减排效果及因素分析

根据模拟结果, 征收碳税使中国 2020 年二氧化碳排放量减少 19055.40 万 t, 碳减排量的结构分解情

2023年7月

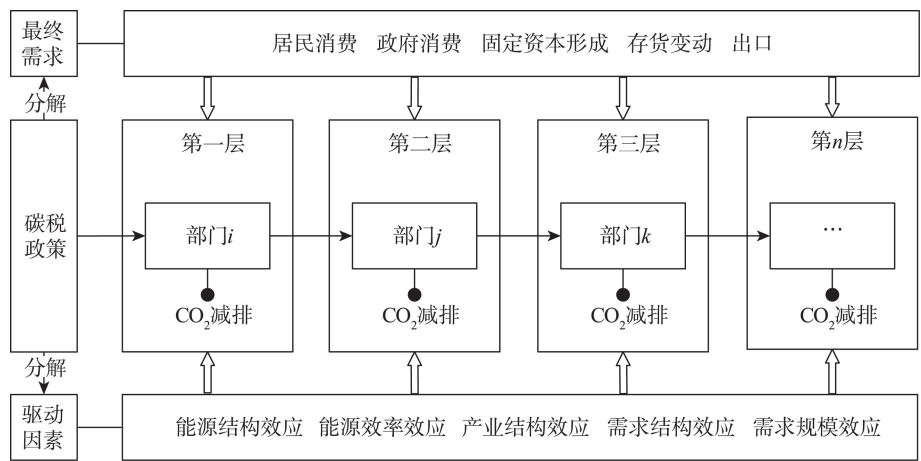


图2 产业链视角下碳税的二氧化碳减排效应

Figure 2 Carbon dioxide reduction effect of carbon tax from the perspective of industrial chain

表1 CGE模型行业划分

Table 1 Industry division of the computable general equilibrium (CGE) model

序号	行业名称	2020 I/O表编号	序号	行业名称	2020 I/O表编号
S1	农业	1-5	S7	煤炭行业	6,42
S2	重工业	8-11,43-99	S8	石油行业	7,41
S3	轻工业	12-40,102	S9	天然气行业	7,101
S4	建筑业	103-108	S10	火电行业	100
S5	交通运输业	111-122	S11	低碳能源业	100
S6	服务业	109-110,123-153			

注:火电行业和低碳能源行业根据火电占电力生产量的比例拆分,本文假设仅有火电行业使用化石能源商品作为中间投入,原“电力、热力的生产和供应业”活动列与煤炭、石油和天然气3类化石能源商品行的交叉项全部划归火电行业,低碳能源行业活动列与化石能源商品行的交叉项为0。

况如表2所示。

从碳减排的驱动因素来看,征收碳税后能源结构效应、能源效率效应和产业结构效应均对促进碳减排具有积极作用,其中,能源效率效应的减排贡献占碳税减排总量的70.43%,表明碳税主要通过提升各行业能源效率来实现碳减排。能源结构效应和产业结构效应对二氧化碳减排的贡献率分别为

15.93%和14.94%,表明征收碳税除提升能源效率外,也会促使各行业调整能源消费结构和中间投入结构,选择更加低碳清洁的能源产品和中间投入产品,以降低本行业的碳排放。需求结构效应和需求规模效应对碳减排具有负作用,即征收碳税情景下这两种因素的作用使中国的碳排放量增加。

从不同需求类型对碳减排的作用来看,征收碳

表2 碳税情景下的碳减排量结构分解(%)

Table 2 Structural decomposition of carbon emission reduction under the carbon tax scenario (%)

	$f(\Delta S)$	$f(\Delta T)$	$f(\Delta L)$	$f(\Delta U)$	$f(\Delta H)$	合计
居民消费	3.94	19.02	3.83	2.35	-5.70	23.44
政府消费	1.11	5.33	0.93	0.08	5.01	12.47
固定资本形成	7.09	30.39	6.55	0.71	-4.21	40.52
存货变动	-0.04	-0.13	0.01	-1.93	2.57	0.48
出口	3.83	15.82	3.63	-2.02	1.83	23.08
合计	15.93	70.43	14.94	-0.81	-0.49	100.00

税情景下5类最终需求对二氧化碳减排均具有积极作用,固定资本形成对二氧化碳减排的贡献最大,贡献率为40.52%,既有研究指出固定资本形成是造成碳排放增加的最主要因素^[37],本文的研究则进一步说明固定资本形成在促进碳减排方面具有最大的潜力。此外,居民消费、出口和政府消费也具有较为明显的减排贡献,贡献率分别为23.44%、23.08%和12.47%,但存货变动对二氧化碳减排的贡献相对较弱。

结合不同需求类型及驱动因素来看,在各类最终需求拉动下,能源效率效应是碳排放减少的最主要因素,这表明对于不同需求类型导致的碳排放,碳税都主要是通过提升能源效率来实现二氧化碳减排。产业结构效应也会促进碳排放降低,征收碳税促使各行业增大低碳产品投入,引起产业结构的调整,进而促进碳减排。需求规模效应会引起居民消费和固定资本形成两类需求引致的碳排放增加,需求结构效应会引起存货变动和出口两类需求引致的碳排放增加。

4.2 生产层级层面减排效果及因素分析

根据征收碳税情景下不同生产层级的碳减排

贡献可知(图3),碳税引起的碳减排量主要集中在生产的第1-5层,其中,第1层是碳税的直接减排量,仅占总减排量的19.40%,表明碳税产生的直接减排量较少,而通过行业之间的投入产出关系而引发的间接减排才是碳税促进减排的最主要原因。第2层的减排量所占比重最大,为26.69%,且间接碳减排量会随生产层级的增加而逐渐减弱,原因在于随着产业链的延伸,最终需求导致的产业链下游生产环节的二氧化碳排放基数较小、减排空间小,且碳税政策的作用效果也会随产业链的延伸而逐渐减弱。碳税在第5层之后的减排贡献相对有限。

(1) 生产层级减排因素分解

根据不同需求类型对各生产层级碳减排量的贡献分解(图3),生产第1层的碳减排中,居民消费和政府消费引起的碳减排量占40%以上,表明在该层级终端消费所引起的碳排放更容易实现减排。但随着产业链的延伸,固定资本形成所引起的碳排放则具有更大的减排潜力,第2-4层其碳减排贡献分别达42.34%、43.87%和43.71%,这与中国的行业碳排放结构具有相似的特征,固定资本形成和消费支出既是引起中国二氧化碳排放的主要原因,在征

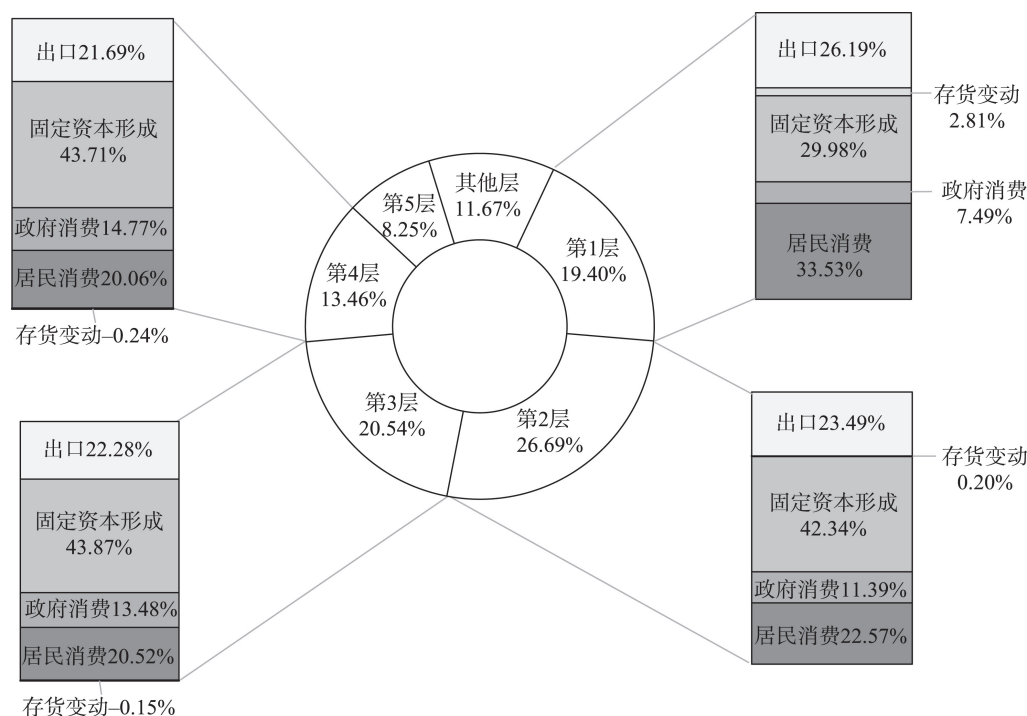


图3 碳税情景下不同生产层级的减排贡献及需求类型分解

Figure 3 Carbon emission reduction contribution of different production levels and demand type decomposition under the carbon tax scenario

2023年7月

收碳税情景下也能够提供较大的减排空间。此外,出口在前5个生产层级的减排贡献均达到20%以上,具有较大的减排潜力;而存货变动并未对碳减排提供明显贡献。

根据不同驱动因素对各生产层级碳减排量的贡献分解(图4),不同因素对各生产层级的碳减排具有不同方向、不同程度的影响。能源效率效应对碳减排的作用占主导地位,其对生产各层级的碳减排均具有较为明显的促进作用。尤其是第1层,能源效率效应的减排贡献率占88.94%,随产业链的延伸,能源效率效应的减排贡献有所降低但仍占据主要地位;能源结构效应在碳减排中也具有较为重要的作用,其贡献率也随产业链的延伸而逐渐降低。这表明碳税的实施首先会影响各行业的能源消费,包括能源效率的提升和能源结构的优化,实现碳排放的降低。产业结构效应在生产第1层对碳减排并未发挥作用,在第2-5层对碳减排的促进作用随着产业链的延长而逐渐增强,在第5层之后减弱,原因在于碳税直接作用在生产第1层,各行业并不能及时对中间投入进行调整,但随着产业链的延伸,各行业会倾向于选择更加低碳清洁的产品作为中间

投入,这会促进产业结构向低碳化方向优化,进而促进碳排放的降低,但在第5层之后,碳税的作用效果会随着产业链的延长逐渐减弱,产业结构效应对碳减排的贡献也会逐渐降低。

(2)行业减排贡献分布

从具体各行业的减排情况来看(表3),征收碳税会促进各行业的二氧化碳排放量不同程度地减少,但不同行业对碳税的敏感程度及对碳减排的贡献存在差异。碳税政策下重工业、火电行业、煤炭行业等传统高耗能行业是实现碳减排的主要贡献者,而农业、轻工业等低耗能行业的碳减排贡献率则明显偏低。重工业、火电行业和煤炭行业是减排贡献最大的3个行业,其减排贡献分别占46.33%、22.17%和15.88%,这3个行业的碳减排量占比达84.38%。原因在于征收碳税会增加各行业的化石能源使用成本,高耗能行业受碳税影响较大更倾向于调整能源消费结构,采用更清洁的能源类型,因此,这些行业具有更大的减排潜力,在碳税政策下提供主要的碳减排贡献。

4.3 产业链层面减排效果及因素分析

在产业链层面进一步剖析碳税的主要减排路

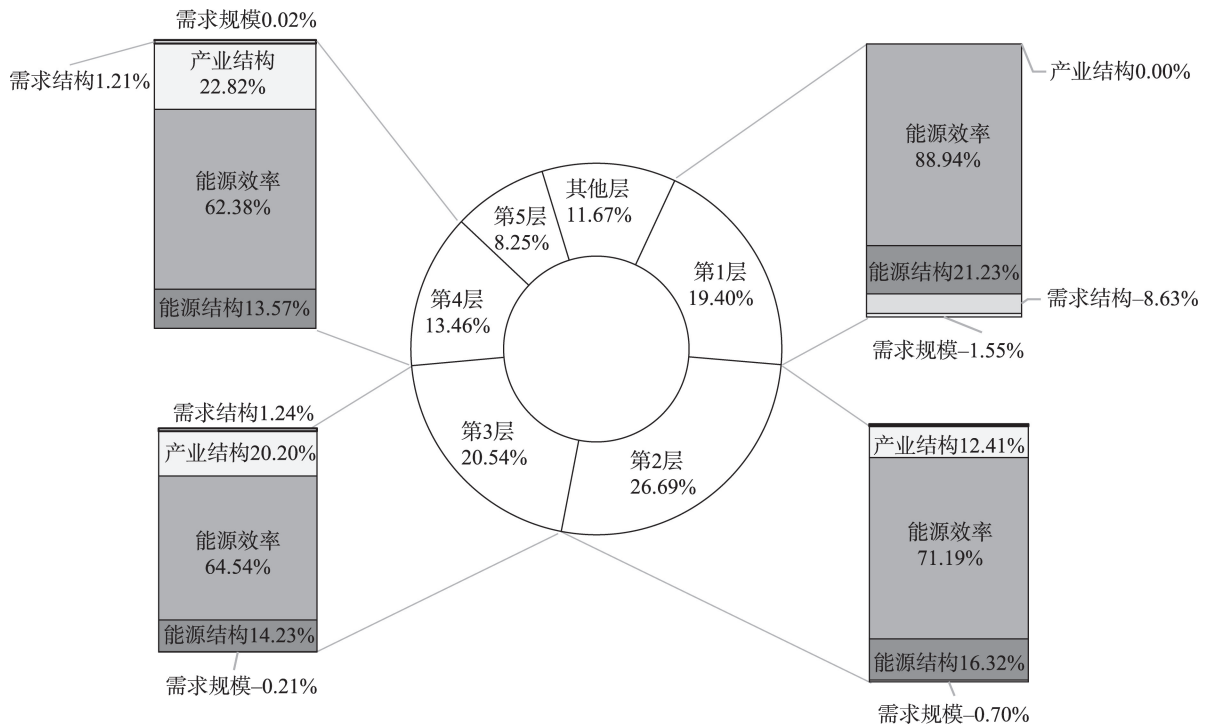


图4 碳税情景下不同生产层级的减排贡献及影响因素分解

Figure 4 Carbon emission reduction contribution of different production levels and the decomposition of influencing factors under the carbon tax scenario

表3 碳税情景下不同行业碳减排贡献分布情况

Table 3 Carbon emission reduction contribution distribution of different industries under the carbon tax scenario

序号	行业	影响值/万 t	贡献率/%	减排贡献占比/%	
				直接减排	间接减排
S1	农业	-71.65	0.38	32.19	67.81
S2	重工业	-8828.28	46.33	26.76	73.24
S3	轻工业	-507.10	2.66	41.61	58.39
S4	建筑业	-406.92	2.14	94.97	5.03
S5	交通运输	-651.11	3.42	30.82	69.18
S6	服务业	-608.61	3.19	52.19	47.81
S7	煤炭行业	-3025.50	15.88	-16.49	116.49
S8	石油行业	-418.49	2.20	-53.68	153.68
S9	天然气行业	-314.02	1.65	12.44	87.56
S10	火电行业	-4223.72	22.17	20.84	79.16
S11	低碳能源行业	0.00	0.00	—	—

径及驱动因素,表4列出征收碳税情景下减排贡献最大的前20条路径,其碳减排贡献占碳税减排总量的44.28%。

(1)碳税主要减排路径

就最终需求而言,由固定资本形成引发的减排路径共8条,贡献率为19.19%,具有最大的减排潜力;出口和居民消费引发的减排路径各5条,减排贡献分别为14.04%和8.90%,政府消费引起的减排路

表4 碳税情景下前20条减排路径及驱动因素分解

Table 4 Top 20 emission reduction paths and the decomposition of driving factors

排序	路径	影响值/万 t	贡献率/%	各因素减排贡献占比/%				
				$f(\Delta S)$	$f(\Delta T)$	$f(\Delta L)$	$f(\Delta U)$	$f(\Delta H)$
1	EX→S2	-1326.97	6.96	19.36	66.74	13.19	10.41	-9.71
2	FC→S4→S2	-1095.56	5.75	22.90	78.93	-1.59	8.31	-8.54
3	HD→S10	-860.88	4.52	6.35	60.58	-1.09	45.91	-11.76
4	FC→S2	-677.56	3.56	26.96	92.91	-21.26	20.40	-19.01
5	EX→S2→S2	-617.80	3.24	19.45	67.04	-0.45	7.93	6.03
6	FC→S4→S2→S2	-509.64	2.67	23.02	79.35	-2.14	8.35	-8.59
7	FC→S4	-391.89	2.06	17.54	82.79	-0.39	-2.10	2.18
8	HD→S2	-344.64	1.81	24.95	86.01	-13.69	40.10	-37.38
9	FC→S2→S2	-314.89	1.65	27.13	93.50	-0.63	-9.88	-10.12
10	EX→S2→S2→S2	-287.62	1.51	19.54	67.35	-0.91	7.97	6.06
11	EX→S2→S7	-253.77	1.33	0.67	10.39	77.66	6.41	4.87
12	FC→S4→S2→S2→S2	-237.63	1.25	24.31	83.80	-2.82	-2.61	-2.68
13	FC→S4→S2→S7	-216.70	1.14	0.76	11.88	87.54	6.53	-6.71
14	FC→S4→S10	-211.26	1.11	11.43	109.02	-20.17	9.93	-10.21
15	GD→S6	-209.16	1.10	8.73	50.63	32.28	-18.93	27.28
16	GD→S6→S2	-200.09	1.05	15.22	52.46	-2.96	-0.47	35.75
17	EX→S2→S10	-191.07	1.00	9.36	89.23	-14.67	9.13	6.94
18	HD→S10→S7	-171.65	0.90	0.57	8.93	61.09	39.93	-10.53
19	HD→S2→S2	-160.24	0.84	25.10	86.51	-0.58	8.50	-19.53
20	HD→S10→S10	-158.32	0.83	6.74	64.25	-6.05	47.62	-12.47
合计		-8437.34	44.28	17.54	70.37	4.78	13.70	-6.53

2023年7月

径共2条,减排贡献为2.15%,减排潜力相对较小。固定资本形成引起的8条减排路径中,建筑业作为第1层生产部门的产业链共6条,其中,包含产业链“FC→S4→S2”的减排路径共4条,表明征收碳税情景下,固定资本形成主要通过影响建筑业对重工业和火电等上游行业的需求来实现碳减排。

就减排路径涉及的行业而言,这20条减排路径主要涉及重工业、煤炭、火电等高耗能、高排放行业。重工业在前20条减排路径中共出现22次,在各个层级的减排路径中,重工业都提供主要减排贡献,原因在于重工业属于产业链的中上游,对下游行业征收碳税产生的减排效应会沿产业链向上游传递,进一步加强该行业的间接碳减排。征收碳税后建筑业的减排贡献仅为2.14%,以往研究往往也忽略了建筑业在减排中的作用,但根据碳税减排路径的分解结果可知,碳税的前20条减排路径中建筑业参与6条,在关键减排路径中具有较高的参与度。原因在于建筑业消耗大量能源密集型中间投入而直接能源消耗水平较低,受碳税的直接影响并不显著^[39],但其作为产业链的下游行业,征收碳税情景下最终需求对建筑业产生的碳减排效应会随着建筑业对重工业、火电等上游行业的需求而向前传递,促进这些上游行业的二氧化碳减排,因此建筑业是拉动上游高耗能行业减排的关键行业,在碳税减排路径中的作用不可忽视。此外,服务业在碳税的前20条减排路径中出现2次,作为相对清洁的行业,服务业也具有一定的减排潜力。

(2) 产业链减排驱动因素

对碳税情景下的前20条减排路径进行结构分解,可以得到各驱动因素对碳减排的影响和贡献率。总体来看,能源效率效应对碳减排的贡献最大,在前20条减排路径中,能源效率效应起主导作用的减排路径共17条,其减排贡献占前20条减排路径的70.37%。能源结构效应是第二大减排驱动因素,其减排贡献占前20条减排路径的17.54%,且能源效率效应和能源结构效应对所有产业链的碳减排都起到正向促进作用,但其他3种驱动因素对不同产业链的作用效果有所不同。

产业结构效应起主要驱动作用的减排路径共3条,序号分别为11、13、18,这3条路径都包含至少两个层级的行业且产业链最终的生产部门均为煤炭

行业,征收碳税情景下各耗能行业会调整中间投入,减少对煤炭等高碳能源的投入以降低碳排放。需求结构效应的减排贡献占前20条减排路径的13.70%,该因素驱动下减排贡献较大的路径包含第3、8、18、20共4条路径,且这4条路径都是居民消费这一需求类型拉动的碳排放。需求规模效应对大部分路径的碳减排提供负向影响,即在征收碳税情景下,需求规模效应造成各产业链的二氧化碳排放量增加,这是由于需求规模的增加会促使各产业链加大能源产品与中间商品的投入,进而促使二氧化碳排放量的增大。

5 结论与政策启示

5.1 结论

本文构建了CGE与SPD的耦合模型,基于中国2020的投入产出表和相关数据模拟征收碳税的减排情景,从减排总量、生产阶段和产业链3个层面对碳税促进减排的驱动因素进行递进分解。主要结论如下:

(1)碳减排结构方面,碳税的减排作用以产业链引发的间接碳减排为主,占碳减排总量的80.60%,直接碳减排仅占19.40%,且碳税的减排效果会随生产层级的增加而逐渐减弱。

(2)碳减排动因方面,能源效率效应是促进碳减排的最主要驱动因素,且对降低各层级的碳排放具有明显的促进作用。能源结构效应和产业结构效应有助于促进碳减排,且产业结构效应在2-5层对碳减排的促进作用随产业链的延长而逐渐增强,需求结构效应和需求规模效应则是驱动二氧化碳增排的原因。不同驱动因素对各生产层级、不同减排路径上的作用存在差异。

(3)碳减排路径方面,前20条减排路径的减排量占碳税减排总量的44.28%。固定资本形成引发的碳排放具有更大的减排潜力,且主要通过减少建筑业对上游高耗能行业的需求这一路径实现碳减排。重工业、火电行业、煤炭行业等关键行业提供了主要碳减排贡献且以间接减排为主,建筑业在碳税主要减排路径中参与度较高,是拉动上游高耗能行业减排的关键行业。

5.2 政策启示

上述结论为中国碳减排政策的制定和更好发挥碳税减排作用提供了如下启示:

(1)充分把握和利用碳税的减排作用在生产层级和产业链上分布的差异性,针对性地实施差异化减排策略。对于直接减排贡献大的行业(如重工业、火电行业等)在生产端通过技术进步、效率提升等手段促进行业自身减排,对于间接减排贡献大的行业还应加强对中间投入环节的监管,通过产品替代等生产技术创新降低物耗、减少对高耗能产品的投入,优化中间投入结构。

(2)短期内重点提升能源效率,发挥能源效率在促进碳减排方面的主力作用,中长期要注重能源结构和产业结构的调整和优化,进一步扩大清洁能源使用比例,加快产业升级转型,充分调动结构优化对碳减排的促进作用。

(3)发挥碳税通过最终需求驱动行业间协同减排的作用,激发需求侧减排潜力。对于固定资本形成拉动的减排路径,结合经济形势和行业发展政策引导社会资本,加大低碳环保建筑项目的投资,实现以建筑业低碳发展带动产业链碳减排。同时要积极倡导低碳消费和绿色消费,扩大低碳产品供给,加快形成清洁低碳的生活方式,充分激发居民和政府消费的碳减排潜力。

(4)重点关注碳税发挥减排作用时产业链中提供主要贡献的行业,也不可忽视减排量小但在减排路径中发挥关键作用的行业,围绕碳减排关键环节提出针对性的节能减排措施,促进各行业之间的良性合作和协同减排,在实现碳减排目标的同时确保经济的稳定发展。

本文的局限性表现为缺乏对碳税减排动态机制的探索。SDA和SPD方法对投入产出表的高度依赖使其在应用中存在静态性问题^[40],作为数据基础的投入产出表仅能反映统计期的投入产出关系,无法反映行业之间生产投入关系随时间的变化情况。在未来的研究中可建立动态CGE模型或采用复杂网络等方法进一步探究碳税促进减排的动态作用机制。

参考文献(References):

- [1] 周迪, 罗东权. 绿色税收视角下产业结构变迁对中国碳排放的影响[J]. 资源科学, 2021, 43(4): 693–709. [Zhou D, Luo D Q. Green taxation, industrial structure transformation, and carbon emissions reduction[J]. Resources Science, 2021, 43(4): 693–709.]
- [2] 刘磊, 张永强, 周千惠. 政策协同视角下对我国征收碳税的政策建议[J]. 税务研究, 2022, (3): 121–126. [Liu L, Zhang Y Q, Zhou Q H. Some suggestions on the carbon taxation in china from the perspective of coordination of policy[J]. Taxation Research, 2022, (3): 121–126.]
- [3] 宋国君, 王语苓, 姜艺婧. 基于“双碳”目标的碳排放控制政策设计[J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(9): 55–63. [Song G J, Wang Y L, Jiang Y J. Carbon emission control policy design based on the targets of carbon peak and carbon neutrality[J]. China Population, Resources and Environment, 2021, 31(9): 55–63.]
- [4] 叶金育, 蒙思颖. “双碳”视阈下碳税并入环境保护税的制度证成与立法安排: 以《环境保护税法》修改为依归[J]. 南京工业大学学报(社会科学版), 2023, 22(2): 23–39. [Ye J Y, Meng S Y. The institutional evidence and legislative arrangement of integrating carbon tax into environmental protection tax under the threshold of “Double Carbon”: Based on the revision of the environmental protection tax law[J]. Journal of Nanjing Tech University (Social Science Edition), 2023, 22(2): 23–39.]
- [5] Lin B Q, Jia Z J. The energy, environmental and economic impacts of carbon tax rate and taxation industry: A CGE based study in China[J]. Energy, 2018, 159: 558–568.
- [6] Ahmadi Y, Yamazaki A, Kabore P. How do carbon taxes affect emissions? Plant-level evidence from manufacturing[J]. Environmental Resource Economics, 2022, 82(2): 285–325.
- [7] 李桃. 我国碳税政策设计与实施的国际经验借鉴[J]. 税务研究, 2022, (5): 86–90. [Li T. International experience on the design and implementation of China's carbon tax policy[J]. Taxation Research, 2022, (5): 86–90.]
- [8] Li Z L, Dai H C, Song J N, et al. Assessment of the carbon emissions reduction potential of China's iron and steel industry based on a simulation analysis[J]. Energy, 2019, 183: 279–290.
- [9] Li J T, Du Q, Lu C, et al. Simulations for double dividend of carbon tax and improved energy efficiency in the transportation industry[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2022, 30: 19083–19096.
- [10] Yamazaki A. Environmental taxes and productivity: Lessons from Canadian manufacturing[J]. Journal of Public Economics, 2022, DOI: 10.1016/j.jpubeco.2021.104560.
- [11] Malerba D, Gaentzsch A, Ward H. Mitigating poverty: The patterns of multiple carbon tax and recycling regimes for Peru[J]. Energy Policy, 2021, DOI: 10.1016/j.enpol.2020.111961.
- [12] Yao X L, Wang H L, Shao S, et al. “Booster” or “obstacle”: Can coal capacity cut policies moderate the resource curse effect? Evidence from Shanxi (China) [J]. Resources Policy, 2022, DOI: 10.1016/j.resourpol.2021.102437.
- [13] Sen S, Vollebergh H. The effectiveness of taxing the carbon content of energy consumption[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2018, 92: 74–99.
- [14] 翁智雄, 吴玉锋, 李伯含, 等. 征收差异化行业碳税对中国经济

2023年7月

- 与环境的影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(3): 75–86.
- [Weng Z X, Wu Y F, Li B H, et al. Impact of differentiated industrial carbon taxes on China's economy and environment[J]. China Population, Resources and Environment, 2021, 31(3): 75–86.]
- [15] Dorband I I, Jakob M, Kalkuhl M, et al. Poverty and distributional effects of carbon pricing in low- and middle-income countries: A global comparative analysis[J]. World Development, 2019, 115: 246–257.
- [16] Li X Y, Yao X L, Guo Z, et al. Employing the CGE model to analyze the impact of carbon tax revenue recycling schemes on employment in coal resource-based areas: Evidence from Shanxi[J]. Science of The Total Environment, 2020, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.137192.
- [17] 潘欣欣, 周志波. “环境税双重红利”假说CGE实证研究评述[J]. 税务研究, 2021, (4): 134–139. [Pan X X, Zhou Z B. A review of CGE empirical literature on “Double Dividend” hypothesis of environmental taxes[J]. Taxation Research, 2021, (4): 134–139.]
- [18] Liu H X, Lin B Q. Energy substitution, efficiency, and the effects of carbon taxation: Evidence from China's building construction industry[J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 141: 1134–1144.
- [19] Ma N, Li H J, Wang Y H, et al. The short-term roles of sectors during a carbon tax on Chinese economy based on complex network: An in-process analysis[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.119560.
- [20] Zhang T B. Which policy is more effective, carbon reduction in all industries or in high energy-consuming industries? From dual perspectives of welfare effects and economic effects[J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 216: 184–196.
- [21] 刘海英, 钟莹. 碳交易与“碳税”的减排效应及作用路径研究[J]. 商业研究, 2023, (1): 98–107. [Liu H Y, Zhong Y. Carbon trading and “Carbon Tax” emission reduction effect and action path[J]. Commercial Research, 2023, (1): 98–107.]
- [22] Li H, Wang J, Wang S. The impact of energy tax on carbon emission mitigation: An integrated analysis using CGE and SDA[J]. Sustainability, 2022, 14(3): 1087–1087.
- [23] Feng C Y, Tang X, Jin Y, et al. Regional energy–water nexus based on structural path betweenness: A case study of Shanxi Province, China[J]. Energy Policy, 2019, 127: 102–112.
- [24] Yang X C, Yi S J, Qu S, et al. Key transmission sectors of energy–water–carbon nexus pressures in Shanghai, China[J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 225: 27–35.
- [25] 李虹, 王帅. 需求侧视角下中国隐含能源消费量及强度的影响因素[J]. 资源科学, 2021, 43(9): 1728–1742. [Li H, Wang S. Research on influencing factors of China's energy consumption and intensity: Based on the demand-side perspective[J]. Resources Science, 2021, 43(9): 1728–1742.]
- [26] 顾阿伦, 吕志强. 经济结构变动对中国碳排放影响: 基于IO–SDA方法的分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(3): 37–45. [Gu A L, Lv Z Q. Effects of economic structure change on carbon emission of China: Analysis based on IO–SDA model[J]. China Population, Resources and Environment, 2016, 26(3): 37–45.]
- [27] 尹伟华. 中国出口贸易隐含碳排放强度变动及驱动因素研究: 基于CMRIO–SDA模型[J]. 经济问题探索, 2019, (12): 123–134. [Yin W H. Changes and driving factors of embodied carbon emissions intensity in China's export trade: Based on CMRIO and SDA model[J]. Inquiry into Economic Issues, 2019, (12): 123–134.]
- [28] Zhao Y L, Ma L W, Li Z W, et al. A calculation and decomposition method embedding sectoral energy structure for embodied carbon: A case study of China's 28 sectors[J]. Sustainability, 2022, 14(5): 2593–2593.
- [29] Wood R, Lenzen M. Structural path decomposition[J]. Energy Economics, 2009, 31(3): 335–341.
- [30] 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.]
- [31] Li X Y, Yao X L. Can energy supply-side and demand-side policies for energy saving and emission reduction be synergistic? A simulated study on China's coal capacity cut and carbon tax[J]. Energy Policy, 2020, DOI: 10.1016/j.enpol.2019.111232.
- [32] 杨莉莎, 朱俊鹏, 贾智杰. 中国碳减排实现的影响因素和当前挑战: 基于技术进步的视角[J]. 经济研究, 2019, 54(11): 118–132. [Yang L S, Zhu J P, Jia Z J. Influencing factors and current challenges of CO₂ emission reduction in China: A perspective based on technological progress[J]. Economic Research Journal, 2019, 54(11): 118–132.]
- [33] 陈晓红, 张嘉敏, 唐湘博. 中国工业减污降碳协同效应及其影响机制[J]. 资源科学, 2022, 44(12): 2387–2398. [Chen X H, Zhang J M, Tang X B. Synergistic effect of industrial air pollution and carbon emission reduction in China and influencing mechanism[J]. Resources Science, 2022, 44(12): 2387–2398.]
- [34] 姜钰卿, 唐旭, 任凯鹏, 等. 基于双层嵌套SDA的中国减污降碳驱动因素研究[J]. 系统工程理论与实践, 2022, 42(12): 3294–3304. [Jiang Y Q, Tang X, Ren K P, et al. Research on the drivers of pollution and carbon reduction in China based on double-layer nested SDA[J]. Systems Engineering–Theory & Practice, 2022, 42(12): 3294–3304.]
- [35] 张聪, 汪鹏, 赵黛青, 等. 基于结构分解的碳排放驱动因素及行业影响分析: 以广东为例[J]. 科技管理研究, 2022, 42(16): 204–217. [Zhang C, Wang P, Zhao D Q, et al. Analysis of carbon emission evolution factors and industry impact based on structural decomposition: Taking Guangdong as an example[J]. Science and Technology Management Research, 2022, 42(16): 204–217.]
- [36] Li Q P, Wu S M, Lei Y L, et al. Evolutionary path and driving forces of inter-industry transfer of CO₂ emissions in China: Evidence

- from structural path and decomposition analysis[J]. Science of the Total Environment, 2021, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.142773.
- [37] Lin B Q, Teng Y Q. Structural path and decomposition analysis of sectoral carbon emission changes in China[J]. Energy, 2022, DOI: 10.1016/j.energy.2022.125331.
- [38] 许士春, 张文文. 不同返还情景下碳税对中国经济影响及减排效果: 基于动态 CGE 的模拟分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(12): 46–54. [Xu S C, Zhang W W. Analysis of impacts of carbon taxes on China's economy and emissions reduction under different refunds: Based on dynamic CGE model[J]. China Population, Resources and Environment, 2016, 26(12): 46–54.]
- [39] Ma N, Yin G W, Li H J, et al. The optimal industrial carbon tax for China under carbon intensity constraints: A dynamic input–output optimization model[J]. Environmental Science and Pollution Research International, 2022, 29(35): 53191–53211.
- [40] 杨中文, 许新宜, 王红瑞, 等. 用水变化动态结构分解分析模型研究 I: 建模[J]. 水利学报, 2015, 46(6): 658–667. [Yang Z W, Xu X Y, Wang H R, et al. Dynamic structural decomposition analysis model of water use evolution I: Modeling[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2015, 46(6): 658–667.]

Impact mechanism of carbon tax on carbon emission reduction based on progressive motivation decomposition

YAO Xilong, LIU Na

(College of Economics and Management, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: [Objective] Aiming to clarify the specific emission reduction mechanism of carbon tax, give full play to its emission reduction function, and promote the construction of carbon emission reduction policy system. [Methods] A coupled model of computable general equilibrium (CGE) and structural path decomposition (SPD) was developed to identify the key emission reduction paths of carbon taxes, and the drivers promoting emission reduction on each path were decomposed and analyzed. [Results] The results show that the indirect emission reduction triggered by the industrial chain accounts for 80.77% of the total emission reduction from the carbon tax, and the emission reduction effect of the carbon tax will gradually diminish with the increase of the production level. The energy efficiency effect is the most important driver of carbon tax for emission reduction, and the role of different drivers varies across production levels and on different emission reduction paths. The key industries such as heavy industry, thermal power industry and coal industry providing the main carbon reduction contribution. Fixed capital formation contributes the most to carbon reduction and mainly achieves carbon emission reduction through the path of influencing the construction industry's demand for upstream energy-intensive industries. [Conclusion] Therefore, the driving force mechanism of each key factor on carbon emission reduction at different production levels and paths of carbon tax should be fully grasped and utilized, the emission reduction potential of key links in the industrial chain should also be fully explored, and targeted measures should be taken to promote synergistic emission reduction among industries.

Key words: carbon tax; transmission mechanism; progressive motivation; computable general equilibrium model; structural path decomposition