

doi:10.19920/j.cnki.jmsc.2025.06.002

欧美碳关税对中国产业发展的影响与福利分析^①

余壮雄¹, 薛钊杰¹, 胡 毅^{2,3*}

(1. 暨南大学产业经济研究院, 广州 510632; 2. 中国科学院大学经济与管理学院, 北京 100190;
3. 中国科学院大学数字经济监测预测预警与政策仿真教育部哲学社会科学实验室(培育), 北京 100190)

摘要: 2021 年欧盟碳边境调节机制 CBAM 立法草案通过, 意味着新兴国家与欧美发达国家之间的碳关税之争即将打响. 基于全球投入产出数据的分解表明, 中国大陆是全球出口隐含碳排放最多的经济体, 占全球贸易隐含碳排放总量的 25.94%; 巨大的碳排放量使得中国将不得不面临欧美碳关税实施带来的重大冲击. 通过构建多区域投入产出模型和多国多部门的一般均衡模型, 反事实模拟欧美征收碳关税对中国产业发展的影响. 结果表明, 当碳价格为 60 美元/t 时, 对应欧美对从中国进口商品平均额外加税 1.77%~1.78%; 此时, 欧美同时征收碳关税会使得中国社会福利水平下降 0.14%, 总产出下降 0.40%, 总出口下降 2.03%, 其中出口至欧盟和美国的商品分别下降 8.04% 和 7.98%; 从行业层面, 化学和化工产业、金属冶炼加工业、计算机、电子和光学设备制造业、电气设备制造业、机械设备制造业出口分别下降 5.03%、6.13%、5.46%、12.31% 和 2.79%. 中国应未雨绸缪, 提前推进计算机、电子产品与设备制造等相关产业绿色低碳转型, 以应对未来的全球碳关税竞争.

关键词: CBAM; 碳关税; 隐含碳排放; 贸易福利; 反事实分析

中图分类号: F745; F424 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2025)06-0017-16

0 引 言

随着 2019 年《欧洲绿色新政》的出台, 欧盟显著提高了其碳减排雄心并加快了减排进程, 包括将 2030 年减排目标从基准年份(1990 年)排放水平的 40% 提高至 55%. 同时, 欧盟委员会于 2021 年 7 月发布了 CBAM 立法草案, 用来强化全球环境保护的重要理念, 并且希望解决碳泄漏风险不断升高的问题. 欧美等发达国家认为, 当前单边碳税和碳排放交易制度存在“碳泄露”, 即发达国家减排会引起发展中国家排放量的增长, 产生“碳天堂”. 中国作为世界出口大国, 2018 年, 中国贸易隐含碳出口为 1 670.72 兆 t, 占全球贸易隐含碳排放总量的 25.94%, 是全球主要碳泄露区

域, 也是欧美等国征收碳关税的主要目标. 审视碳关税的影响可为我国做出可能应对策略和对等反制措施争取更多的时间和空间. 经济全球化下各国都将不同程度地嵌入全球价值链中, 投入产出关联日益紧密^[1], 碳关税实施必将影响全球各国. 因此, 评估欧美等发达经济体的碳关税政策对中国以及其他国家产生的福利影响, 将对反思环境保护的处理方式、应对百年未有之大变局的复杂形势有着重要的现实意义.

当今世界, 全球价值链深入发展, 贸易争端引致的互征关税不仅对具体产品价格带来冲击, 同时亦波及其他上下游产业, 甚至对第三方国家产生影响. 就关税变化对全球各经济体所带来的影响, 可以从短期影响和中长期影响两个视角进行

① 收稿日期: 2022-08-14; 修订日期: 2024-05-30.

基金项目: 国家社会科学基金资助重点项目(22AJY018); 国家自然科学基金资助项目(72473132).

通讯作者: 胡 毅(1985—), 男, 湖北荆州人, 博士, 教授, 博士生导师. Email: huyi@ucas.ac.cn

研究. 短期评估主要采用成本传导模型分析关税变化对产品价格和消费者福利的影响^[2]. 如倪红福等^[3]模拟分析中美互征关税的价格效应和福利效应. 而中长期评估则通常采用更为复杂的一般均衡分析框架. 可计算一般均衡 (CGE) 模型是其中最为常见的方法, 通过设定偏好、技术等参数定量模拟外生冲击的经济影响^[4-7]. 然而, 过多细节的加入导致模型难以追踪其中的影响机理, 类似于“暗箱”操作. 此外, 一般均衡分析也有采用参数较少、结构更加简洁的基于 Eaton 和 Kortum^[8] 的李嘉图模型, 近年来得到学术界广泛采用^[9-12], 因为相对而言可以更加有效地分析和预测各类冲击的预期效果. 本研究以 Caliendo 和 Parro^[9] 的结构模型为基础, 构建了一个多国、多部门的福利效应一般均衡模型, 模拟欧美等发达经济体的碳关税政策对中国及世界其他经济体的福利影响^②.

本研究如下两方面的文献较为紧密. 一是关于全球价值链研究. 在经济全球化下, 国际分工已演变为“环节级”专业化形态, 生产主体通过特定工序的价值创造实现全球价值链嵌入, 这凸显了全球价值链分析的重要性^[13]. 基于投入产出技术的核算方法因能有效剔除重复统计、精准量化各经济体的关联效应, 已成为主流研究范式^[14]. 同时, 在评估碳关税政策引致的福利效应之前, 需确定高污染高排放行业并对其征收碳关税, 这涉及贸易出口隐含碳问题. 多区域投入产出模型 (MRIO 模型) 被认为是研究贸易隐含碳排放的有效工具^[15]. 本研究基于 MRIO 模型测算全球各国各行业的贸易隐含碳排放, 有助于充分了解欧美等发达经济体征收碳关税的理由和动机. 上述研究主要关注全球价值链分工, 但将投入产出关联、隐含碳征税政策及其福利效应联系起来, 在既有文献中尚未形成完整的研究图谱. 二是关于碳关税方面的研究. 现有文献主要关注欧盟对隐含碳征税的合理性探讨^[16, 17], 以及根据 CBAM 模拟碳税价格评估其对中国乃至全球带来何种冲击, 这些研究多将工业品视为一个整体, 从总体上考察

碳关税实施带来的冲击, 然而不同行业的碳排放存在差异, 未来碳关税的实施必然是具有行业差异, 区分不同的行业探究碳关税实施对不同行业带来的冲击以及引致产业结构的调整, 将是碳关税方面研究更具现实意义的话题. 本研究从行业维度切入采用多种不同的方式模拟欧美等发达经济体可能的征税标准, 并借助一般均衡模型更深入地评估碳关税所带来的福利影响.

本研究的边际贡献主要有以下几点. 第一, 现有文献对于量化评估碳关税实施的效益方面存在不足, 虽然林伯强和李爱军^[16]运用 CGE 模型模拟了碳关税的可能影响, 但其方法因过于复杂、缺乏透明度, 且可人为调整重要参数而备受批评, 同时对其结论的影响机理的解释仍不够清晰, 本研究以 Caliendo 和 Parro^[9]的一般均衡模型为基础, 构建了一个多国多部门的福利效应模型, 量化分析欧盟和美国对从中国进口的商品征收碳关税的福利影响, 并从关税变化引致的工资、价格、成本等的变化对最终福利效应展开解释, 更好诠释福利变化的影响机理. 第二, 碳关税的征收方法对贸易福利的研究具有重要意义, 然而目前对碳关税的模拟仍停留在将所有产品视作一个整体进行全面征税模拟^[16, 18], 显然, 碳关税应该建立在高污染产品的基础上征收, 即高污染行业才需征收碳关税, 因此测算不同产品的出口隐含碳排放变得尤其重要, 这为后续如何征收碳关税打下坚实的基础. 本研究立足于碳关税的设定机理, 从异质性产品的角度提出新的碳关税征收方法多方式模拟欧美等发达经济体的可能征税标准. 第三, 在评估福利效应时, 以往文献多止步于国家整体层面的福利测算^[16], 仅有较少研究从行业层面展开分析, 例如沈可挺和李钢^[19]和黄庆波等^[20]分别利用动态 CGE 模型或 GTAP 模型模拟了发达国家对中国工业部门征收碳关税对中国制造业出口结构的影响. 本研究在此基础上从产业层面更详细地考察了发达经济体不同征收碳关税设定下对中国各个产业发展的影响, 并探讨了碳关税冲击下各个关键产业在各国之间的国际转移路径, 为政

② 统一说明: 本研究提到的国、国家、经济体, 有时也指地区.

府提前布局相关产业、合理制定产业规划,以应对全球碳竞争指明方向,这对我国通往低碳经济之路具有极强的参考价值^[21]。

1 各国各行业贸易隐含碳的估计

本节将详细介绍全球各国各行业的贸易隐含碳排放现状,深度解析发达国家向发展中国家征收碳关税的背景、缘由及逻辑。现有核算贸易隐含碳排放的方法主要为多区域投入产出模型^[22, 23],因克服生产技术同一性假定,且联结各国、各行业之间的产业和贸易关联,被认为是目前研究贸易

隐含碳排放的有效工具^[15]。

1.1 世界主要经济体碳排放量^③概览

图1列出了2000年—2018年世界主要经济体的CO₂排放量的变化情况。在此期间,美国、欧盟等发达经济体的CO₂排放量趋于降低,而中国(大陆)^④和印度等新兴国家由于承接了发达国家的产业转移,CO₂排放量逐年上升,其中,中国的CO₂排放由2000年的3 144兆t上升至2018年的9 916兆t,已经远远超过了全球其他国家。如此巨大的碳排放量和碳排放增量,一旦欧美发达国家实施碳关税,中国将首当其冲遭受重大的冲击。本节通过MRIO模型测算各国各行业的贸易隐含碳排放。

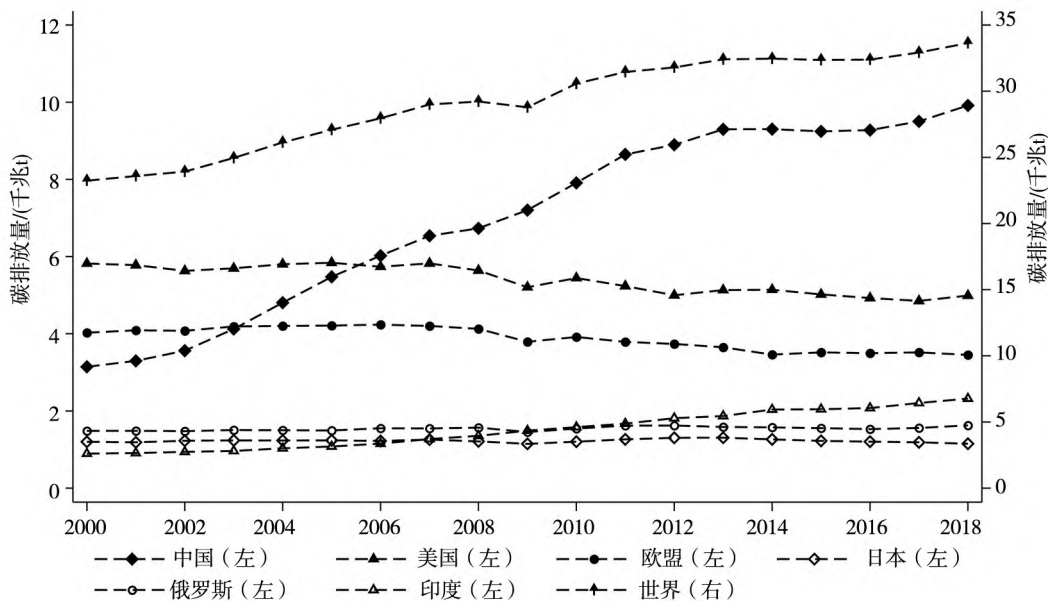


图1 世界主要经济体 CO₂ 排放量时间趋势图

Fig. 1 The time trend graph of CO₂ emissions in major global economies

1.2 数据来源

本节主要用到全球投入产出数据和生产碳排放数据。全球投入产出数据采用 OECD 最新发布的 2021 年版国际投入产出表的数据,该数据库提供了 1995 年—2018 年 66 个主要经济体,45 个行业的投入产出数据。生产碳排放数据来源于 OECD 数据库,该指标由经济合作与发展组织根据 2021 年版 OECD-ICIO 数据库和国际能源署 (IEA) 关于燃料燃烧产生的二氧化碳排放的统计数据计算得出。

1.3 贸易隐含碳排放测算结果

1.3.1 经济体间贸易隐含碳排放

2018 年全球贸易隐含碳排放总量 6 441.51 兆 t, 占当年全球碳排放总量的 19.15%。中国是全球出口隐含碳排放最多的经济体,2018 年,中国出口隐含碳排放总量为 1 670.72 兆 t, 占全球贸易隐含碳排放总量的 25.94%, 远高于世界其它经济体。利用出口隐含碳排放减去进口隐含碳排放可得各经济体的贸易隐含碳排放净值,图 2 结果表明,以美国和欧盟为代表的发达经济体是以碳

③ 这是基于生产排放的概念,指生产过程中所引致的 CO₂ 排放量。

④ 如无特别指出,本研究提到的中国都指中国大陆,不含中国台湾、中国香港和中国澳门。

排放净进口为主,而以中国和俄罗斯为代表的新兴经济体以碳排放净出口为主,这说明了碳排放从发达经济体向新兴经济体转移的现象.换句话说,中国已成为全球“碳泄露”最严重的区域,而

欧美作为全球最大的“受害者”,必须承担与所有国家(地区)一样的气候变化挑战,这也是欧美引入碳关税从而对中国实施单边贸易措施的底层逻辑.

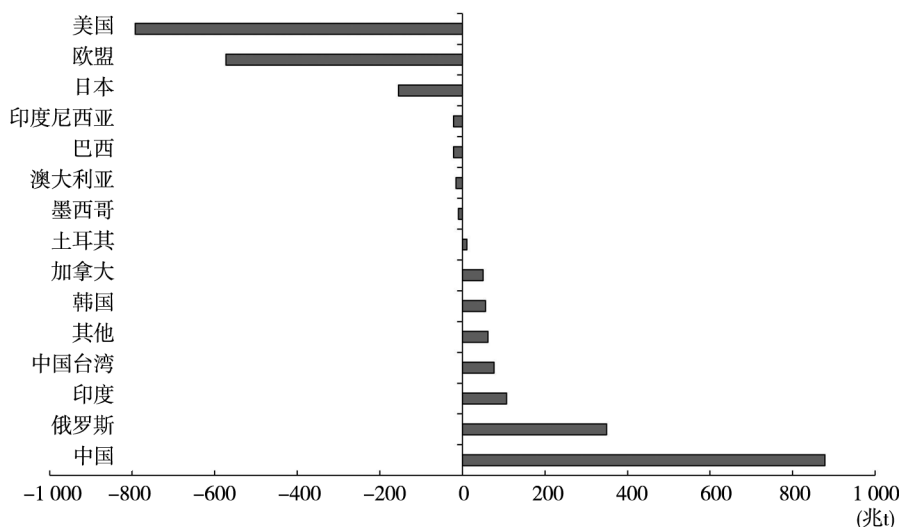


图2 2018年国际贸易隐含碳排放净值

Fig. 2 Net carbon dioxide emissions embodied in international trade in 2018

1.3.2 中国工业制造业出口隐含碳排放强度及排放量

表1第(1)列和第(5)列分别展示了中国各行业的直接碳排放强度及出口隐含碳排放强度.整体来看,各行业的直接碳排放强度明显低于出口隐含碳排放强度,这是因为直接碳排放强度的计算未考虑到各部门间接消耗中间品所带来的CO₂排放.以炼钢为例,除了直接消耗电力,还需消耗生铁、焦炭等中间品,这些中间品的生产也会排放CO₂,这构成了间接消耗中间品而排放的隐含碳.因此,基于隐含碳排放强度对中国生产产品的碳含量进行测算更为合理.从出口隐含碳排放量来看(表1最后一列),2018年中国工业制造业的出口隐含碳排放量为1491.25兆t,占我国贸易出口隐含碳排放总量的89%,这意味着高排放的工业产品将成为欧美的主要征税对象.其中,出口隐含碳排放量最高的行业是计算机、电子和光学设备制造业,达254.19兆t,其次是金属冶炼加工业和电气设备制造业.

1.3.3 全球各主要经济体工业制造业碳排放强度的比较

为了比较全球各主要经济体工业制造业的

碳排放强度,直观呈现中国在碳减排问题上与其他经济体的差异,本研究测算了发展中国家(以中国和俄罗斯为代表)和发达国家(以欧盟和美国为代表)工业制造业的直接碳排放强度和出口隐含碳排放强度(见表1).2018年,中国工业制造业的平均出口隐含碳排放强度约为0.83 t/千美元,同期,欧盟、美国和俄罗斯分别为0.21、0.24和1.13 t/千美元.整体来看,以欧美为代表的发达国家工业制造业出口隐含碳排放强度明显低于中国和俄罗斯.从产业结构的视角看,欧美“高碳”产业主要集中在金属冶炼加工业和其他非金属矿物制品业,与中国、俄罗斯的情况相似.相反,欧美“低碳”产业主要集中在计算机、电子和光学设备制造等高科技产业,而中国更多偏向于食品、纺织品等轻工业领域,低碳产业结构存在差异.可见,以中国为代表的发展中国家在减排问题上仍与欧美发达国家存在较大差距.在发展中国家内部,中国多数产业的出口隐含碳排放强度明显低于俄罗斯,说明中国在减排和提高资源利用效率方面取得了较大的进展^[24].

表 1 2018 年各主要经济体工业制造业 CO₂ 排放强度

Table 1 CO₂ emission intensity of industrial manufacturing sectors in major economies in 2018

行业	直接碳排放强度				出口隐含碳排放强度				出口隐含 碳排放量
	中国	俄罗斯	欧盟	美国	中国	俄罗斯	欧盟	美国	
食品、饮料和烟草加工业	0.04	0.09	0.04	0.06	0.39	0.63	0.17	0.24	22.29
纺织品、皮革和鞋类制造业	0.02	0.04	0.03	0.04	0.45	0.44	0.11	0.18	123.27
木材及木材软木制品加工业	0.02	0.45	0.03	0.05	0.49	1.19	0.16	0.21	5.99
造纸印刷业	0.06	0.17	0.07	0.11	0.62	0.91	0.21	0.29	7.89
焦炭和精炼石油产业	0.21	0.39	0.24	0.17	0.56	0.88	0.34	0.38	18.35
化学和化工产业	0.24	0.70	0.11	0.18	0.98	1.66	0.25	0.37	124.50
制药行业	0.22	0.38	0.06	0.17	0.63	0.73	0.13	0.25	16.92
橡胶和塑料制品业	0.27	0.40	0.03	0.09	0.96	1.20	0.15	0.27	63.88
其他非金属矿物制品业	0.56	1.02	0.38	0.34	1.42	2.25	0.56	0.54	64.72
金属冶炼加工业	1.03	1.91	0.37	0.26	2.21	3.33	0.65	0.52	184.66
金属制品业	0.02	0.15	0.01	0.02	1.10	1.34	0.16	0.18	118.38
计算机、电子和光学设备制造业	0.02	0.05	0.02	0.02	0.48	0.46	0.08	0.05	254.19
电气设备制造业	0.01	0.06	0.01	0.03	0.87	1.06	0.13	0.13	174.51
机械设备制造业	0.02	0.05	0.01	0.02	0.81	0.98	0.12	0.13	139.53
机动车辆、挂车和半挂车制造业	0.02	0.03	0.01	0.01	0.60	0.60	0.11	0.12	27.50
其他运输设备制造业	0.02	0.04	0.01	0.01	0.72	0.69	0.09	0.07	32.53
其他制造业	0.25	0.19	0.02	0.08	0.78	0.82	0.11	0.17	112.13
均值/总计	0.18	0.36	0.08	0.10	0.83	1.13	0.21	0.24	1 491.25

注：碳排放强度单位为 t/千美元，碳排放量单位为兆 t。

2 碳关税模拟

在福利测算之前,需要计算各国进口关税及碳关税等值税率. 首先,获得各国各行业的原始进口关税数据. 本研究从 WTO 关税数据库中提取 WTO 成员国的最惠国关税数据. 时间上,以 2017 年的数据为主,有效排除贸易战期间中美互征关税带来的影响,但由于部分国家在该年份的数据缺失,因此将此部分国家的关税数据放宽至 2016 年. 据此可获得各主要经济体 HS 六位数编码的产品关税数据. 由于 OECD 行业分类是基于国际行业分类标准第四版 (ISIC4), 暂无提供 HS 六位码到 ISIC4 行业的官方对应标准. 这里借鉴盛斌和毛其淋^[25]的方法,先将 HS 六位码与国际行业分类标准第三版 (ISIC3) 进行匹配,再根据 ICIC3 和 ISIC4 的部门对照表建立 HS 六位码与 OECD 行业的对应关系,最后加总平均为 OECD 各行业的

关税税率. 欧美各工业制造业的进口关税税率见表 2,平均而言,中国工业制造业出口至欧盟和美国的加权平均关税率分别为 2.77% 和 2.55%.

其次,求解碳关税等值税率. 根据已有研究,碳关税征收标准多为按量计价,且一般介于 20 美元/t ~ 80 美元/t 的征收范围^[26, 27],由于普通关税通常是以产品入境前的价格为基础进行征收 (从价税),而碳关税是从量征收,是以产品的隐含碳进行计价,需要将 从量征收的碳关税转换成从价征收的碳关税等值税率. 本研究计算各行业碳关税进口等值税率的具体思路如下:假设出口产品 A 的到岸价格为 CIF,出口隐含碳排放强度为 q , 则产品 A 的出口隐含碳排放量为 $CIF \times q$ t, 假设 A 被征收 α 美元/t 的碳关税,则 A 被额外征税 $CIF \times q \times \alpha$, 此时,叠加原有关税 τ 后 A 入境后的市场价值为 $CIF \times (1 + \tau + q \times \alpha)$. 因此,新关税税率 $\tau' = \tau + q \times \alpha$, 其中碳关税等值税率为 $22q \times \alpha$. 关于 α 的取值,由于征税幅度尚无定论,

本研究将在已有学者研究的基础上,结合欧盟 CBAM 立法草案,及当前市场的碳排放交易许可价格,对碳关税征收幅度设定为 60 美元/t 的情形^⑤。

至此,得到中国工业制造业出口至欧美的碳关税等值税率。下文将模拟欧美发达经济体对中国工业制造业中出口隐含碳排放量最高的五大行

业^⑥征收碳关税。一方面,在碳达峰碳中和目标背景下,按量衡量 CO₂ 排放更能体现整体的减排效果;另一方面,出口隐含碳排放量最高的五大行业与近年来中美贸易战中美国对中国产品加征关税的行业基本接近,对这些行业的选择符合欧美征收中国碳关税的底层逻辑。

表 2 中国工业制造业出口至欧美发达经济体的碳关税等值税率/%

Table 2 Carbon tariff rates on China's industrial manufacturing exports to the European Union and the United States /%

行业	原始进口关税		我国行业出口权重		碳关税等值税率
	欧盟进口	美国进口	欧盟进口	美国进口	
食品、饮料和烟草加工业	9.53	5.44	2.10	1.44	2.33
纺织品、皮革和鞋类制造业	7.22	7.98	13.80	13.30	2.67
木材及木材软木制品加工业	2.42	1.74	0.51	0.81	2.93
造纸印刷业	0.07	0.06	0.36	0.67	3.75
焦炭和精炼石油产业	4.65	2.78	0.18	0.17	3.35
化学和化工产业	4.15	3.40	3.84	2.87	5.88
制药行业	1.60	0.96	1.37	1.58	3.81
橡胶和塑料制品业	4.30	2.72	2.71	3.05	5.75
其他非金属矿物制品业	3.90	3.98	1.59	2.05	8.53
金属冶炼加工业	1.55	1.30	1.53	0.79	13.25
金属制品业	2.73	2.13	4.69	3.88	6.61
计算机、电子和光学设备制造业	2.02	1.27	20.88	27.89	2.89
电气设备制造业	2.60	2.67	8.76	8.11	5.20
机械设备制造业	1.88	0.75	5.78	5.72	4.88
机动车辆、挂车和半挂车制造业	7.94	4.39	1.24	2.60	3.60
其他运输设备制造业	2.14	3.36	2.13	0.57	4.30
其他制造业	2.13	2.73	6.57	10.15	4.66

3 多国多部门的一般均衡模型设定

本研究以 Caliendo 和 Parro^[9] 的一般均衡模型为基础,构建了一个多国、多部门的一般均衡模型,量化欧盟和美国对中国进口商品征收碳关税的贸易和福利水平变化。本研究假定共有 N 个国家,每个国家可以被划分为 J 个部门,使用 i 和 n 表示国家, j 和 k 表示部门。假定只有一种生产要

素——劳动力,劳动力在国家内部之间自由流动,但非跨国流动;所有市场都是完全竞争的。

3.1 效用与生产

假定 n 国的代表性家庭通过消费不同部门 j 的最终产品 C_n^j 从而实现效用最大化,其效用函数为 $u(C_n) = \prod_j C_n^{j\alpha_n^j}$,满足权重约束 $\sum_j \alpha_n^j = 1$ 。部门 j 的生产函数 X_n^j 由中间品 $\omega^j \in [0,1]$ 的 CES

⑤ 这是一个随机的水平,实际如果实施碳关税,什么情形都可能发生,对不同征税幅度进行分析也有利于明晰中国的潜在影响。稳健性检验中设定 50 美元/t、40 美元/t、30 美元/t 的碳边境调节税,进一步比较不同征税幅度下中国的贸易福利影响。

⑥ 选择对五个行业征税的逻辑是:以往的国际贸易摩擦通常也牵涉约五个行业,如中美贸易摩擦,美国对从中国进口的中间品加税集中在金属冶炼加工业(10.20%)、计算机、电子和光学设备制造业(15.81%)、机械设备制造业(21.46%)、机动车辆、挂车和半挂车制造业(13.38%)、其他运输设备制造业(8.93%),少有全面征税的情形^[3]。为了更全面地模拟现实情形,本研究选择了十个行业进行模拟征税,与对五个行业征税的情况相似,结果留存备案。

函数表示 $X_n^j = \left\{ \int r_n^j(\omega^j)^{(\sigma^j-1)/\sigma^j} d\omega^j \right\}^{\sigma^j/(\sigma^j-1)}$, 其中 $r_n^j(\omega^j)$ 为中间品 ω^j 的最优投入量, σ^j 为替代弹性, 总产出 X_n^j 兼最终消费与中间投入的双重用途. 单位产出 $x_n^j(\omega^j)$ 通过劳动力 $l_n^j(\omega^j)$ 和复合中间品 $m_n^{k,j}(\omega^j)$ 组合生成: $x_n^j(\omega^j) = z_n^j(\omega^j) l_n^j(\omega^j)^{\gamma_n^j} \Pi_k m_n^{k,j}(\omega^j)^{\gamma_n^{k,j}}$, 其中 γ_n^j 和 $\gamma_n^{k,j}$ 分别表示劳动力和中间品在产出中的比重, 且满足 $\gamma_n^j + \sum_k \gamma_n^{k,j} = 1$; $z_n^j(\omega^j)$ 为生产效率参数. 在完全竞争市场下, 投入成本取决于劳动力工资与中间品价格: $c_n^j = \gamma_n^j w_n^{\gamma_n^j} \Pi_k P_n^{k,j} \gamma_n^{k,j}$, 对应中间品 ω^j 的出厂价格为 $c_n^j/z_n^j(\omega^j)$, w_n 为工资率, P_n^k 为部门 k 中间品价格.

3.2 贸易成本与价格水平

商品贸易存在两类成本: 冰山贸易成本 d_{ni}^j 以及从价税 τ_{ni}^j , 用 κ_{ni}^j 表示商品贸易成本, 则 $\kappa_{ni}^j = (1 + \tau_{ni}^j) d_{ni}^j$. 在考虑贸易成本之后, 每一单位 i 国生产的中间商品 ω^j 在 n 国的售价为 $c_i^j \kappa_{ni}^j / z_i^j(\omega^j)$, 假定商品同质, 消费者会选择以最低的价格购买该商品, 因此, n 国的商品 ω^j 的最终售价为 $P_n^j(\omega^j) = \min \{ c_i^j \kappa_{ni}^j / z_i^j(\omega^j) \}$. 根据 Caliendo 和 Parro^[9], 假定生产效率 $z_i^j(\omega^j)$ 服从位置参数为 λ_i^j 、形状参数为 θ^j 的 Fréchet 分布, 即 $F_i(z) = e^{-\lambda_i^j z^{-\theta^j}}$. 考虑这一生产效率问题可得到 n 国 j 部门的产品价格 $P_n^j = A^j \left(\sum_i \lambda_i^j (c_i^j \kappa_{ni}^j)^{-\theta^j} \right)^{-1/\theta^j}$, 其中 A^j 为常数. 至此, 根据 Cobb-Douglas 偏好函数, n 国的消费价格指数可表示为 $P_n = \Pi_j (P_n^j / \alpha_n^j)^{\alpha_n^j}$.

3.3 贸易份额与贸易均衡

n 国 j 部门的总支出可表示为 $S_n^j = P_n^j X_n^j$, 用 S_{ni}^j 表示 n 国用于购买 i 国 j 部门商品的支出, 则 n 国的支出中来自 i 国的商品的贸易份额 $\pi_{ni}^j = S_{ni}^j / S_n^j$. 利用 Fréchet 分布性质可得到贸易份额 π_{ni}^j 的另一种表达形式: $\pi_{ni}^j = \lambda_i^j (c_i^j \kappa_{ni}^j)^{-\theta^j} / \sum_n \lambda_n^j (c_n^j \kappa_{ni}^j)^{-\theta^j}$, 即关于技术、价格和贸易成本的函数.

由于各部门的总支出是企业购买复合中间品与家庭购买最终消费品的支出之和, 因此 n 国 j 部门的总支出 S_n^j 又可表示为 $S_n^j = \sum_k \gamma_n^{j,k} \sum_i S_i^k \pi_{in}^k / (1 + \tau_{in}^k) + \alpha_n^j I_n$, 其中 I_n 为最终收入, 是劳动收入 $w_n L_n$ 、关税收入 R_n 和贸易逆差 D_n 三者之和. 记 $M_{ni}^j = S_n^j \pi_{ni}^j / (1 + \tau_{ni}^j)$ 为 n 国从 i 国进口 j 行业商品的贸易总额, 至此, n 国的劳动收入可表示为 $w_n L_n = \sum_j \gamma_n^j \sum_i M_{in}^j$, 关税收入记为 $R_n = \sum_j \sum_i \tau_{ni}^j \times M_{ni}^j$. 此外, 贸易逆差 D_n 被定义成 n 国的商品进口总额与出口总额之差, 即 $D_n = \sum_j \left(\sum_i M_{ni}^j - \sum_i M_{in}^j \right)$. 对于一个闭环的世界经济体, 各国的贸易逆差之和为 0, 即 $\sum_n D_n = 0$. 最后, 使用贸易赤字的定义可以得到一国贸易的均衡条件: $\sum_j \sum_i M_{ni}^j - D_n = \sum_j M_{in}^j$.

3.4 一般均衡设定与求解步骤

通过构造上述一般均衡模型, 不仅可以估计新均衡条件下劳动力市场发生何种变化, 还可以预测碳关税会在多大程度上影响产业以及经济整体的福利水平和贸易水平. 总体求解过程如下, 首先求解出关税变动后的新均衡点, 进而考察关税变动对福利水平和贸易水平的影响.

首先考察关税变动如何得到新均衡解. 假设 n 国劳动力工资的变动为 \hat{w}_n , 则 n 国 j 部门投入成本 c_n^j 的变动 \hat{c}_n^j 可表示为

$$\hat{c}_n^j = \frac{c_n^{j'}}{c_n^j} = \hat{w}_n^{\gamma_n^j} \Pi_k \hat{P}_n^{k,j} \gamma_n^{k,j} \quad (1)$$

同理, 价格指数 P_n^j 的变动可表示为

$$\hat{P}_n^j = \frac{P_n^{j'}}{P_n^j} = \left[\sum_i \pi_{ni}^j (\hat{\kappa}_{ni}^j \hat{c}_i^j)^{-\theta^j} \right]^{-\frac{1}{\theta^j}} \quad (2)$$

其中 $\hat{\kappa}_{ni}^j = (1 + \tau_{ni}^j) (1 + \tau_{ni}^j)$. 对比式(1)和式(2)可以发现, 将 \hat{c}_n^j 代入式(2)或将 \hat{P}_n^j 代入式(1), 可以得到单一变量的线性方程组, 通过求解这一 $N \times J$ 元齐次非线性方程组, 可以求得 $N \times J$ 个不同国家和部门的投入成本变动及消费价格指数变动情况.

其次,求解关税变动后的双边贸易份额.有了投入成本变动及价格指数变动情况,便可求得任意一个部门的双边贸易份额的变动情况,即 $\hat{\pi}_{ni}^j = \hat{\lambda}_i^j (\hat{c}_i^j \hat{\kappa}_{ni}^j)^{-\theta^j} / \sum_i \pi_{ni}^j \hat{\lambda}_i^j (\hat{c}_i^j \hat{\kappa}_{ni}^j)^{-\theta^j} = [\hat{c}_i^j \hat{\kappa}_{ni}^j / \hat{P}_n^j]^{-\theta^j}$, 根据 $\pi_{ni}^{j'} = \pi_{ni}^j \times \hat{\pi}_{ni}^j$ 求得双边贸易份额的新均衡点.

接下来,求解关税变动后 n 国 j 部门的总支出.新均衡点下 n 国 j 部门的总支出仍表示为企业支出和家庭支出之和,即

$$S_n^{j'} = \sum_k \gamma_n^{j,k} \sum_i M_{in}^{k'} + \alpha_n^j I_n' \quad (3)$$

其中 $I_n' = \hat{w}_n w_n L_n + \sum_j \sum_i \tau_{ni}^{j'} M_{ni}^{j'} + D_n'$. 在本研究中,暂不考虑贸易逆差 D_n 发生变化的情形,即 $D_n' = D_n$. 通过求解式(3)这一 $N \times J$ 元齐次非线性方程组,可以求得 $N \times J$ 个不同国家和部门的总支出.最后,一国贸易应满足如下均衡条件

$$\sum_j \sum_i M_{ni}^{j'} - D_n = \sum_j \sum_i M_{in}^{j'} \quad (4)$$

根据以上思路,本研究均衡点的求解步骤如下.

第一步,设定各国工资向量 $\hat{w} = (\hat{w}_1, \dots, \hat{w}_n)$;

第二步,利用式(1)~式(3),求解关税变动后 n 国 j 部门的双边贸易份额 $\pi_{ni}^{j'}(\hat{w})$ 以及总支出 $S_n^{j'}(\hat{w})$;

第三步,将 $\pi_{ni}^{j'}(\hat{w})$, $S_n^{j'}(\hat{w})$, τ' , D_n 代入贸易均衡条件式(4)形成了一个由 N 个方程 N 个未知数组成的 N 元齐次非线性方程组,验证方程组是否成立,如不成立,返回第一步,再次调整各国工资向量 \hat{w} 直到形成均衡解.

3.5 贸易福利效应

定义 n 国的实际产出水平为 $W_n = Y_n / P_n$, 其中 $Y_n = \sum_j Y_n^j = \sum_j \sum_i M_{in}^j$. 以人均实际产出 $V_n = Y_n / P_n L_n$ 作为福利指标. 当 n 国受外部冲击时,全球投入产出关联引致各国生产水平变动,其产出和价格随之调整,那么 n 国福利水平 V_n^j 的变化为 $d \ln V_n = d \ln Y_n - d \ln P_n - d \ln L_n$. 由于假定劳动力仅在国内流动,因此有 $d \ln L_n = 0$. 本研究先计算出各国原始进口关税等参数初始值下的均衡状

态,然后,改变目标参数设定,通过反事实分析法计算给定碳关税下的新均衡状态;通过比较新旧两大均衡状态,求解出福利水平的变化情况. 鉴于变量观测值非连续,福利变动近似为 $\Delta Y_n / Y_n - \Delta P_n / P_n$.

4 量化分析

4.1 参数设定

在本研究中,需提前赋值的参数有双边贸易流 M_{ni}^j , 增加值 VA_n^j , 总产出 Y_n^j , 各国投入产出系数 $A_n^{j,k}$, 进口关税 τ 和 τ' , 贸易弹性 θ^j . 其中, M_{ni}^j , VA_n^j , Y_n^j , $A_n^{j,k}$ 可直接通过 OECD 国际投入产出表计算获得;关税数据由上文计算得出,唯一需额外赋值的参数是 θ^j . 该参数表征生产效率分布的离散程度,其值越小表明经济体间生产率差异越大,产品替代性越低^[8]. 就 θ^j 的设定,总的来看多在 $[2, 8]$ 这个范围之内^[9, 28]. 由于研究目的及对象的一致性,本研究使用 Caliendo 和 Parro^[9] 测算的 θ^j 值作为具体的贸易弹性值.

4.2 征收碳关税在国家层面的潜在影响

本研究模拟了欧美同时实施碳关税时所产生的影响. 以下考虑这样一个反事实条件:欧美对中国出口隐含碳排放量最高的五个行业(简称征税行业)加征 60 美元/t 的碳关税,这会导致欧盟和美国对从中国进口的商品平均加税 1.77% 和 1.78%;其余行业关税保持不变.

表 3 报告了受欧盟和美国同时征收碳关税影响的主要经济体的关键指标变化. 具体而言,中国的总产出减少 0.40%,而欧盟和美国则分别增加 0.10%. 对于社会福利,碳关税导致中国整体福利水平降低 0.14%,而欧盟和美国却未获得福利. 直观来看,中国整体福利损失幅度低于产出下降幅度,原因在于国内价格水平出现下降,因此,新均衡下价格指数降低可以部分抵消碳关税对中国的负面影响. 相反,碳关税对欧美自身的福利水平产生了负面影响,主要是高额碳关税直接提高了

欧美国内物价水平,造成福利损失;再者碳关税政策无法显著推动相关制造业回流至欧美,因为欧美在劳动密集型产业上不具备与中国或东南亚等许多国家相比的竞争优势,虽然碳关税有效抑制了欧美对中国产品的进口,但不可避免地导致其他国家相似产品进入欧美市场. 总的来说,欧美征收碳关税导致其生产及生活成本的上升,国民社会福利下降.

表 3 征收碳关税在国家层面的潜在影响/%

Table 3 Potential impacts of carbon tariffs at the national level/%

国别	社会福利	产出	国内价格指数
中国	-0.14	-0.40	-0.26
欧盟	-0.01	0.10	0.11
美国	-0.04	0.10	0.14

将福利效应分解为总产出变动和国内价格指数变动,直观呈现关税变化引致的福利变动原因. 首先,总产出的主要去向是本国消耗和出口,在其他条件相同的情况下,中国出口减少会降低本国产出水平. 表 4 展示了碳关税下各主要经济体的贸易效应,碳关税将导致中国总出口下降 2.03%,其中对欧盟和美国的出口分别减少了 8.04%和 7.98%. 碳关税实施在一定程度上减少了欧美对中国的进口依赖. 此外,碳关税使欧盟和美国的出口分别下降 0.52%和 0.65%,其中向中国出口减少了 2.04%和 2.39%. 主要原因在于碳关税的实施直接减少中国对欧美国家的出口,进而降低中国的生产规模并减少对欧美乃至其他国家的中间品进口.

表 4 征收碳关税在国家层面的贸易效应/%

Table 4 Trade effects of carbon tariffs at the national level /%

出口 进口	中国出口	欧盟出口	美国出口
	中国进口	欧盟进口	美国进口
中国进口	—	-2.04	-2.39
欧盟进口	-8.04	—	0.09
美国进口	-7.98	0.52	—
出口总计变动	-2.03	-0.52	-0.65

福利变动的另一个影响途径是国内价格指数变动,首先考察每个国家单位生产成本的变化情

况. 根据式(1),单位生产成本是投入价格(指工资和原材料价格)的增函数. 以欧美为例,碳关税导致欧盟和美国的实际工资水平分别下降 0.014%和 0.018%,在其他条件相同的情况下降低了产品的单位生产成本. 另一方面,根据式(2),原材料价格随着进口关税的增加而上升,碳关税将直接造成欧美用于生产的原材料价格上涨. 因此,最终单位生产成本的变化取决于实际工资水平下降的幅度以及原材料价格上涨的幅度. 本研究运用结构模型反事实分析得出:碳关税导致欧美原材料价格上涨幅度大于实际工资下降的幅度,从而导致单位生产成本呈现上涨趋势,最终引起欧美地区国内价格指数上升.

4.3 征收碳关税在行业层面的潜在影响

上述仅研究欧美征收碳关税对各主要经济体整体上的影响,本小节聚焦于行业层面,重点分析碳关税对各行业的潜在影响. 表 5 展示了欧美征收碳关税对主要经济体工业制造业产出的影响. 就中国而言,五大征税行业产量分别下降 0.72%、1.03%、2.59%、3.39%和 0.77%,这是直接影响. 非征税行业中受碳关税的间接影响范围为 [-0.52%,1.10%],存在一些行业产出实现增长,说明欧美对高排放行业征税的举措会使这些低排放行业获益. 就欧美而言,征收碳关税有利于提高五大征税行业的产出,减少其对中国出口贸易的依赖;而非征税行业中仅有极少数行业产出上升. 由此可见,碳关税政策不仅损害了中国的利益,同时也不利于欧美低碳产业的发展.

下面分析贸易效应. 表 5 后三列展示了欧美征收碳关税对行业出口的影响. 就中国而言,五大征税行业的出口受到了严重冲击,出口分别下降 5.03%、6.13%、5.46%、12.31%和 2.79%. 为了应对碳关税的巨大威胁,政府需要及时关注这些行业的动态,包括行业产量、出口、就业等方面的情况,鼓励高排放行业转型升级,引导行业向低碳化方向发展,推动经济绿色的发展决心. 值得注意

的是,欧美发达国家所有行业的出口均下降,以美国为例,行业出口的变动范围为 $[-3.67\%$, $-0.05\%]$,从另一方面说明碳关税不能提高欧美产品的竞争力.总体而言,碳关税在很大程度上损害了受征税方的利益,同时也未能改善征税方各行业的出口贸易情况.

表 5 征收碳关税在行业层面的潜在影响/%

Table 5 Potential impacts of carbon tariffs at the industry level/%

行业	行业产出			行业出口		
	中国	欧盟	美国	中国	欧盟	美国
食品、饮料和烟草加工业	-0.21	0.04	0.07	0.78	-0.29	-0.26
纺织品、皮革和鞋类制造业	0.32	-0.55	-0.89	1.19	-1.01	-1.01
木材及木材软木制品加工业	0.45	-0.18	-0.28	3.50	-1.14	-1.61
造纸印刷业	-0.04	-0.08	-0.08	2.89	-0.96	-0.96
焦炭和精炼石油产业	1.10	-0.75	-0.91	11.64	-2.12	-3.67
化学和化工产业	-0.72	0.42	0.43	-5.03	-0.47	-0.56
制药行业	0.25	-0.30	-0.25	3.04	-0.62	-0.84
橡胶和塑料制品业	-0.52	0.08	0.05	0.57	-0.23	-0.14
其他非金属矿物制品业	-0.43	0.07	0.07	0.86	-0.32	-0.33
金属冶炼加工业	-1.03	0.85	0.60	-6.13	-0.95	-0.88
金属制品业	-0.20	0.02	0.07	1.38	-0.73	-0.56
计算机、电子和光学设备制造业	-2.59	1.86	2.53	-5.46	-1.02	-0.65
电气设备制造业	-3.39	3.08	6.26	-12.31	-1.12	-1.13
机械设备制造业	-0.77	0.20	0.31	-2.79	-0.17	-0.18
机动车辆、挂车和半挂车制造业	-0.26	0.05	0.07	0.39	-0.12	-0.05
其他运输设备制造业	-0.16	0.03	0.05	0.14	-0.06	-0.05
其他制造业	0.49	-0.11	-0.29	1.58	-0.59	-0.58

本研究进一步从行业层面分析了欧美碳关税下代表性行业在各经济体之间的贸易转移效应^⑦.参考经合组织关于产业研发强度的分类标准,本研究根据产业的研发强度水平将工业制造业从高到低划分为四类,并重点分析各类研发强度下代表性产业的国际转移路径.结果可知,碳关税将直接导致中国计算机、电子和光学设备产业出口减少 288.47 亿美元,其中对欧盟和美国出口分别减少了 127.80 亿美元(下降了 15.04%)和 203.78 亿美元(下降了 14.90%),而对其他国家的出口则增加了 43.11 亿美元,其中最大增幅的是墨西哥.从进口的视角看,中国进口所有国家的计算机、电子和光学设备均出现下降,其中来自韩国的设备下降最多.此外,欧美进口除中国以外的其他国家的计算机产品则增加了

124.57 亿美元,其中欧盟主要从美国、韩国、日本增加进口,美国主要从墨西哥和韩国增加进口.

碳关税引致高排放行业在国家间产生溢出效应,对中美欧三方及世界其他国家出口贸易产生非常大的影响.第一,中美欧之间的贸易格局和价值链分工模式可能发生变化,对于征税行业,中国和美国(欧盟)之间的双向出口贸易均有所下降,而欧盟和美国之间的出口贸易有所提升,说明碳关税实施在某种程度上降低了欧美对中国的出口贸易依赖度.第二,中国出口贸易呈现由欧美地区向其他国家转移的趋势,此时,中国将原材料运往墨西哥、越南等其他国家,这些国家再将其组装成成品销往欧美;同时,日本、韩国和墨西哥等经济体也会加大其生产能力,以填补欧美市场上中国

⑦ 作者感谢匿名审稿人的宝贵建议.限于篇幅,详细数据留存备案.

产品减少的供应缺口. 第三,碳关税下中国非征税行业的贸易条件得到改善,例如纺织品、皮革和鞋类制造业,中国向所有国家的出口均实现了增长,相反,欧美的贸易条件均出现恶化. 第四,碳关税实施引致中美欧三方的产业结构出现重大调整,

中国和欧美之间的贸易主要从计算机、电子产品与设备制造等技术含量较高的产业往食品、纺织品等轻工业领域转移,这将导致中美欧三方的产业结构失衡,高端产业的信息、技术和知识的交流传播不足,创新驱动受阻.

表 6 征收碳关税在产业层面的贸易转移效应

Table 6 Trade transfer effects of carbon tariffs at the industry level

计算机、电子和光学设备制造业				电气设备制造业			
<div>出口 进口</div>	中国出口	欧盟出口	美国出口	<div>出口 进口</div>	中国出口	欧盟出口	美国出口
中国	—	-8.72	-6.37	中国	—	-7.45	-1.36
进口		(-4.11%)	(-3.90%)	进口		(-5.35%)	(-5.49%)
欧盟	-127.80	—	7.92	欧盟	-136.54	—	2.09
进口	(-15.04%)		(3.37%)	进口	(-38.27%)		(4.47%)
美国	-203.78	7.87	—	美国	-142.86	10.69	—
进口	(-14.90%)	(3.49%)		进口	(-35.91%)	(8.60%)	
金属冶炼加工业				纺织品、皮革和鞋类制造业			
<div>出口 进口</div>	中国出口	欧盟出口	美国出口	<div>出口 进口</div>	中国出口	欧盟出口	美国出口
中国	—	-3.52	-2.99	中国	—	-1.84	-0.29
进口		(-3.84%)	(-4.06%)	进口		(-1.79%)	(-1.99%)
欧盟	-40.68	—	0.89	欧盟	8.53	—	-0.10
进口	(-65.33%)		(0.98%)	进口	(1.52%)		(-0.63%)
美国	-25.26	1.63	—	美国	8.26	-0.53	—
进口	(-65.43%)	(1.20%)		进口	(1.27%)	(-0.67%)	

注：单位为亿美元。

4.4 稳健性分析

4.4.1 不同征税方式的比较

欧美征收碳关税可能呈现多种情形,一是征税幅度的随机性;二是欧盟和美国分别实施碳关税;三是欧美选择对不同高排放行业征税^⑧;四是欧美对来自中国的所有工业品征税.在此基础上,本研究进一步比较和评估不同征税方式的效果,并对模拟结果进行敏感性分析.表 7 结果显示:征税幅度与福利影响强度呈正比关系;仅由欧盟征税引致的中国福利与贸易影响程度与仅由美国征税相近,强度上约为欧美同时征税的 1/2;根据出口隐含碳排放强度选择征税行业对中国整体冲击相对较轻;全面征税导致中国出口至欧盟和美国的商品降幅达到 13%~14%.

4.4.2 贸易弹性对福利效益的影响

本研究对福利效益的测算严格依赖于 Caliendo 和 Parro^[9]提出的贸易弹性值 θ^j 的基本假设,此处放松这一假定,选择不同的 θ^j 进行测算,表 7 第(9)列~第(12)列分别展示统一设定 $\theta^j = 2, 4, 6, 8$ 的贸易和福利影响,研究发现贸易弹性值不会改变国家或行业层面的影响方向,但在数值上确有差异.随着 θ^j 的递增,中国的福利水平、总产值及出口出现了更大的冲击.由于 θ^j 决定着效率水平的离散程度, θ^j 越小表明各国生产率的差异性越大,各国生产的产品越不容易被其他国家生产的所替代.这对中国产业发展具有一定的启示意义:要想降低外部冲击所带

⑧ 本研究同时考虑欧美选择出口隐含碳排放强度最高的五大行业征税,这些行业囊括了欧盟委员会提案中所涉及到的征税产品,包括水泥、玻璃、钢铁、铝和化肥等.

来的负面影响,应致力于提高我国各行业的生产率水平,尤其是高排放行业,降低行业产出品 的可替代性.

4.4.3 基期关税对福利效益的影响

上文对进口关税 τ 的设定是以 2017 年的数据为主,目的是排除贸易战期间中美互征关税所带来的影响,考虑到欧美征收碳关税是在现有关

税率的基础上进行的,本研究使用最新的关税数据对 τ 进行赋值,时间上,以 2021 年(最新年份)的数据为主,考察基期关税是否影响最终福利结果,详细结果见表 7 第(13)列.结果显示,社会福利、总产出、总出口、各行业出口的变动均非常接近,说明基期关税数据的选择不会影响本研究的结果.

表 7 稳健性检验/%

Table 7 Robustness test /%

指标	不同征税方式的比较								贸易弹性值的变化				基期关税最新年份
	60 美元 /t	50 美元 /t	40 美元 /t	30 美元 /t	仅由欧盟征税	仅由美国征税	根据强度征税	全面征税	$\theta=2$	$\theta=4$	$\theta=6$	$\theta=8$	
国家层面													
社会福利	-0.14	-0.12	-0.10	-0.08	-0.06	-0.08	-0.03	-0.22	-0.10	-0.12	-0.14	-0.16	-0.14
总产出	-0.40	-0.34	-0.28	-0.22	-0.18	-0.22	-0.13	-0.68	-0.39	-0.38	-0.39	-0.40	-0.40
总出口	-2.03	-1.73	-1.43	-1.10	-0.92	-1.10	-0.73	-3.39	-0.95	-1.39	-1.81	-2.21	-2.03
出口至欧盟	-8.04	-6.90	-5.69	-4.41	-8.74	0.77	-3.35	-13.38	-3.54	-5.52	-7.35	-9.06	-8.05
出口至美国	-7.98	-6.80	-5.57	-4.27	0.61	-8.55	-2.56	-13.84	-3.45	-5.41	-7.27	-9.03	-7.99
行业层面													
化学和化工产业出口	-5.03	-4.30	-3.53	-2.72	-2.69	-2.32	-5.70	-4.09	-2.91	-4.49	-5.93	-7.23	-5.03
金属冶炼加工业出口	-6.13	-5.62	-4.96	-4.11	-4.04	-2.03	-7.24	-4.71	-3.11	-4.47	-5.49	-6.25	-6.13
计算机、电子和光学设备制造业出口	-5.46	-4.59	-3.70	-2.80	-2.03	-3.41	0.55	-4.43	-2.36	-3.65	-4.93	-6.19	-5.47
电气设备制造业出口	-12.31	-10.62	-8.80	-6.83	-5.99	-6.19	1.11	-10.54	-4.01	-6.20	-8.28	-10.23	-12.30
机械设备制造业出口	-2.79	-2.35	-1.90	-1.44	-1.27	-1.52	0.20	-2.44	-3.16	-4.94	-6.59	-8.12	-2.79

4.4.4 使用不同数据库的测算结果比较

世界投入产出数据库 (World Input-Output Database, WIOD) 也提供了全球各主要经济体的投入产出数据和生产碳排放数据. 本研究进一步比较采用不同数据来源时的结果异同. 由于 WIOD 投入产出数据仅更新至 2014 年,为了使结果具有可比性,以 2014 年作为基准年进行比较. 同样的,对五大行业以及所有工业品征收 60 美元/t 的碳关税. 结果显示,五大行业征税时,依据 WIOD 测算出的社会福利水平、总产出、总出口下降幅度稍微大于依据 OECD 的测算结果,而在全面征税情形下,依据 WIOD 测算的结果与基于 OECD 的结果更为接近.

4.4.5 投入产出网络复杂度的作用

深度嵌入全球价值链已成为当今国际分工

体系的基本特征,这一趋势在近三十年间呈现加速整合态势. 特别是 Antràs 和 Chor^[13] 证明了全球价值链生产分工呈现长期增长的趋势,这表明随着时间的推移,全球投入产出网络结构日趋复杂,各部门之间也产生了更加紧密的联系. 为了探讨更为紧密的全球投入产出联系是否会放大或缩小碳关税对中国的福利效应,本研究对比了基于 2014 年和 2018 年 OECD 投入产出数据的测算结果. 结果显示,以全面征税为例,根据 2018 年全球投入产出结构测算的社会福利损失显著小于 2014 年. 这表明更为紧密的全球价值链联系有助于减轻碳关税对中国的冲击,研究结论也进一步表明积极参与全球价值链对于降低欧美碳关税威胁具有重要推动作用.

表 8 不同数据库的测算结果比较及投入产出网络复杂度的作用/%

Table 8 Results based on different databases and the role of input-output network complexity/%

指标	五大行业征税			全面征税		
	WIOD (2014)	OECD (2014)	OECD (2018)	WIOD (2014)	OECD (2014)	OECD (2018)
国家层面						
社会福利	-0.24	-0.18	-0.14	-0.31	-0.30	-0.22
总产出	-0.62	-0.46	-0.40	-0.94	-0.82	-0.68
总出口	-2.47	-2.13	-2.03	-3.78	-3.70	-3.39
出口至欧盟	-12.75	-8.57	-8.04	-19.93	-15.16	-13.38
出口至美国	-13.44	-8.31	-7.98	-21.64	-14.73	-13.84
行业层面						
化学和化工产业出口	-11.50	-5.69	-5.03	-10.39	-4.55	-4.09
金属冶炼加工业出口	-9.21	-8.01	-6.13	-7.54	-6.41	-4.71
计算机、电子和光学设备制造业出口	-5.83	-5.46	-5.46	-4.75	-4.23	-4.43
电气设备制造业出口	-12.74	-12.08	-12.31	-10.77	-10.07	-10.54
机械设备制造业出口	-3.31	-3.01	-2.79	-2.91	-2.60	-2.44

4.4.6 与已有文献测量结果比较

不同于 Caliendo 和 Parro^[9] 依据实际收入的视角来研究福利效益,本研究从生产端的视角,重点分析欧美征收碳关税对各国生产力的影响及其福利效益,以便于全方位诠释碳关税的可能影响.事实上,依据 Caliendo 和 Parro^[9] 基于实际收入为视角的福利测算方法测算出的结果发现碳关税的反事实变化对中国人均实际收入的影响为 -0.07%,与本研究基于人均实际产出的测算结果(-0.14%)相近.此外,张友国等^[27] 基于动态 CGE 模型模拟欧美单方面对华征收碳关税的潜在影响,与本研究全面征税的测算结果近似,这也说明本研究的结果具有高度合理性.

5 结束语

本研究基于全球价值链分工,采用多区域投入产出模型、多国多部门的结构模型,对世界主要经济体间的贸易隐含碳排放进行了测算,并全面模拟了欧美等发达经济体征收碳关税的可能标准和范围,以及给全球价值链各参与者带来的贸易和福利效应.研究结果显示:

1) 中国大陆是全球出口隐含碳排放最多的经济体(1 670.72 兆 t),占全球贸易隐含碳排放总量的 25.94%,相反,欧盟、美国等发达经济体

的出口隐含碳排放较少.这意味着中国将是未来欧美征收碳关税最大的目标国和受冲击的对象.

2) 化学和化工产业、金属冶炼加工业、计算机、电子和光学设备制造业、电气设备制造业、机械设备制造业是中国出口隐含碳排放量最高的几大行业.当碳成本是 60 美元/t 时,平均来看,会使欧盟和美国对从中国进口商品额外加税 1.77%~1.78%.

3) 当碳成本为 60 美元/t 时,欧美同时征收碳关税会导致中国社会整体福利水平下降 0.14%,总产出下降 0.40%,总出口下降 2.03%,其中出口至欧盟和美国的商品分别减少 8.04%、7.98%.从行业层面来看,化学和化工产业、金属冶炼加工业、计算机、电子和光学设备制造业、电气设备制造业、机械设备制造业的出口分别下降了 5.03%、6.13%、5.46%、12.31%和 2.79%,行业出口将遭受巨大冲击.

4) 不同征税方式的反事实分析结果发现:①征税幅度与福利影响强度呈正比关系;②欧盟征税引致的中国贸易福利影响程度与美国征税接近,因此不容忽视任何一方的贸易政策,欧美双方同时征税对中国的冲击将是加倍的;③根据隐含碳排放量选择征税行业将使中国蒙受更大损失;④全面征税给中国带来的影响比原先对特定行业征税提高约 50%的损失,应防范可能出现的最坏

结果.

5) 进一步分析发现, 中国的出口贸易呈现由欧美地区向世界其他国家转移的趋势, 同时, 日本、韩国和墨西哥等经济体也会加大其生产能力, 以填补欧美市场上中国产品减少的供应缺口. 此外, 中国和欧美之间的贸易重心从技术含量较高的计算机、电子产品与设备制造逐渐向轻工业领域, 如纺织品、皮革和鞋类转移, 这势必导致中美欧三方的产业结构失衡. 本研究还验证了更为紧密的全球价值链联系能显著降低欧美征收碳关税给中国带来的负面冲击, 深度嵌入全球价值链, 是抵御风险的有效措施.

本研究的现实政策意义极强. 2021 年 7 月, 欧盟发布 CBAM 的立法草案, 这意味着碳关税被拉上新的台阶. 面对当前碳关税博弈中的被动局面, 作为全球能源消费和国际贸易大国, 中国亟需构建系统性应对策略. 首先, 碳关税对高碳排放行业的市场竞争力、市场份额及产出有重大影响, 加

大对高排放行业的转型支持能够推动特定行业向低碳化方向发展, 是降低行业隐含碳排放强度的有效措施. 其次, 欧美推动碳关税单边措施并不得人心, 因此中国应及早联合包含俄罗斯和印度在内的国家推动多边协调机制, 寻求具有共同利益的合作伙伴以应对欧美单边贸易措施. 同时, 继续加大对外开放力度, 以 RECP 建成为契机, 加快 CPTPP 谈判进程, 形成更加全面、高水平的国际经贸合作体系, 深度嵌入全球价值链, 提升中国在全球产业链中的地位, 是抵御“未来”碳关税这类贸易保护主义的有效措施. 最后, 深化绿色创新理念, 加大研发投入, 积极研制脱碳减碳新设备, 从根源上降低产品生产过程中的 CO_2 排放, 是有效应对欧美碳关税的底层逻辑. 本研究用反事实分析碳关税引致的贸易福利影响, 不仅能提前估算征税之后的可能损失, 更是为政府提前布局相关产业指明方向, 这对我国通往低碳经济之路具有极强的参考价值.

参 考 文 献:

- [1] 刘景卿, 车维汉, 夏方杰. 全球价值链贸易网络分析与国际风险传导应对[J]. 管理科学学报, 2021, 24(3): 1-17.
- Liu Jingqing, Che Weihang, Xia Fangjie. Network analysis of global value chain and coping with international risk transmission[J]. Journal of Management Sciences in China, 2021, 24(3): 1-17. (in Chinese)
- [2] Johnson R C. Measuring global value chains[J]. Annual Review of Economics, 2018, 10(1): 207-236.
- [3] 倪红福, 龚六堂, 陈湘杰. 全球价值链中的关税成本效应分析[J]. 数量经济技术经济研究, 2018, (8): 74-90.
- Ni Hongfu, Gong Liutang, Chen Xiangjie. The analysis of the effect of tariff cost in global value chain[J]. Journal of Quantitative & Technical Economics, 2018, (8): 74-90. (in Chinese)
- [4] Li C, Wang J, Whalley J. Impact of mega trade deals on China: A computational general equilibrium analysis[J]. Economic Modelling, 2016, 57: 13-25.
- [5] Cao J, Dai H, Li S, et al. The general equilibrium impacts of carbon tax policy in China: A multi-model comparison[J]. Energy Economics, 2021, 99: 105284.
- [6] 田开兰, 杨翠红, 祝坤福, 等. 两败俱伤: 中美贸易关税战对经济和就业的冲击[J]. 管理科学学报, 2021, 24(2): 14-27.
- Tian Kailan, Yang Cuihong, Zhu Kunfu, et al. Lose-lose consequence: Shock of Sino-US trade war on bilateral economy and labor market[J]. Journal of Management Sciences in China, 2021, 24(2): 14-27. (in Chinese)
- [7] Zhong J, Pei J. Beggar thy neighbor? On the competitiveness and welfare impacts of the EU's proposed carbon border adjustment mechanism[J]. Energy Policy, 2022, 162: 112802.
- [8] Eaton B, Kortum S S. Technology, geography, and trade[J]. Econometrica, 2002, 70(5): 1741-1779.
- [9] Caliendo L, Parro F. Estimates of the trade and welfare effects of NAFTA[J]. The Review of Economic Studies, 2015, 82(1): 1-44.
- [10] Caliendo L, Dvorkin M, Parro F. Trade and labor market dynamics: General equilibrium analysis of the China trade shock

- [J]. *Econometrica*, 2019, 87(3): 741–835.
- [11] 段玉婉, 蔡龙飞, 陈一文. 全球化背景下中国碳市场的减排和福利效应[J]. *经济研究*, 2023, 58(7): 121–138.
Duan Yuwan, Cai Longfei, Chen Yiwen. The emission and welfare effects of China's carbon market in the context of globalization[J]. *Economic Research Journal*, 2023, 58(7): 121–138. (in Chinese)
- [12] Arkolakis C, Costinot A, Clare A R. New theories, same old gains? [J]. *American Economic Review*, 2012, 102: 94–130.
- [13] Antràs P, Chor D. Global value chains[J]. *Handbook of International Economics*, 2022, 5: 297–376.
- [14] Koopman R, Wang Z, Wei S. Tracing value-added and double counting in gross exports[J]. *American Economic Review*, 2014, 104(2): 459–494.
- [15] Wiedmann T. A review of recent multi-region input-output models used for consumption-based emission and resource accounting[J]. *Ecological Economics*, 2009, 69(2): 211–222.
- [16] 林伯强, 李爱军. 碳关税的合理性何在? [J]. *经济研究*, 2012, 47(11): 118–127.
Lin Boqiang, Li Aijun. Is carbon motivated border tax justifiable[J]. *Economic Research Journal*, 2012, 47(11): 118–127. (in Chinese)
- [17] Böhringer C, Fischer C, Rosendahl K E, et al. Potential impacts and challenges of border carbon adjustments[J]. *Nature Climate Change*, 2022, 12(1): 22–29.
- [18] 杨 曦, 彭水军. 碳关税可以有效解决碳泄漏和竞争力问题吗? ——基于异质性企业贸易模型的分析[J]. *经济研究*, 2017, 52(5): 60–74.
Yang Xi, Peng Shuijun. Does carbon tariff prevent carbon leakage and competitiveness losses? Analyses based on the trade models with firm heterogeneity[J]. *Economic Research Journal*, 2017, 52(5): 60–74. (in Chinese)
- [19] 沈可挺, 李 钢. 碳关税对中国工业品出口的影响——基于可计算一般均衡模型的评估[J]. *财贸经济*, 2010, (1): 75–82+136–137.
Shen Keting, Li Gang. The impacts of carbon-motivated border tax adjustment to China's industrial exports: A CGE based analysis[J]. *Finance & Trade Economic*, 2010, (1): 75–82+136–137. (in Chinese)
- [20] 黄庆波, 王孟孟, 薛金燕, 等. 碳关税对中国制造业出口结构和社会福利影响的实证研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2014, 24(3): 5–12.
Huang Qingbo, Wang Mengmeng, Xue Jinyan, et al. An empirical analysis of carbon tariff's effect on China's export structure and social welfare based on GTAP model[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2014, 24(3): 5–12. (in Chinese)
- [21] 余壮雄, 陈 婕, 董洁妙. 通往低碳经济之路: 产业规划的视角[J]. *经济研究*, 2020, 55(5): 116–132.
Yu Zhuangxiong, Chen Jie, Dong Jiemiao. The road to a low-carbon economy: The perspective of industrial plans[J]. *Economic Research Journal*, 2020, 55(5): 116–132. (in Chinese)
- [22] 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.
Han Zhong, Chen Yaohui, Shi Yun. To measure and decompose consumption-based carbon emission from the perspective of international final demand[J]. *Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2018, 35(7): 114–129. (in Chinese)
- [23] 刘增明, 黄晓勇, 李梦洋. 中间产品国际贸易内涵能源的核算与国际比较[J]. *管理世界*, 2021, 37(12): 109–128.
Liu Zengming, Huang Xiaoyong, Li Mengyang. Accounting and international comparison of energy embodied in international intermediate trade[J]. *Journal of Management World*, 2021, 37(12): 109–128. (in Chinese)
- [24] Zhang J, Sun X, Li H, et al. Investigating the role of emissions trading policy to reduce emissions and improve the efficiency of industrial green innovation[J]. *Journal of Management Science and Engineering*, 2021, 6(4): 377–392.
- [25] 盛 斌, 毛其淋. 贸易自由化, 企业成长和规模分布[J]. *世界经济*, 2015, (2): 3–30.
Sheng Bin, Mao Qilin. Trade liberalization, enterprise growth and size distribution[J]. *The Journal of World Economy*, 2015, (2): 3–30. (in Chinese)
- [26] Bao Q, Tang L, Zhang Z X, et al. Impacts of border carbon adjustments on China's sectoral emissions: Simulations with a

- dynamic computable general equilibrium model[J]. *China Economic Review*, 2013, 24: 77–94.
- [27] 张友国, 郑世林, 周黎安, 等. 征税标准与碳关税对中国经济和碳排放的潜在影响[J]. *世界经济*, 2015, 38(2): 167–192.
- Zhang Youguo, Zheng Shilin, Zhou Li'an, et al. Potential impact of taxation standards and carbon tariffs on China's economy and carbon emissions[J]. *The Journal of World Economy*, 2015, 38(2): 167–192. (in Chinese)
- [28] Giri R, Yi K M, Yilmazkuday H. Gains from trade: Does sectoral heterogeneity matter[J]. *Journal of International Economics*, 2021, 129(3): 103429.

The impact and welfare analysis of carbon tariffs imposed by Europe and the United States on China's industrial development

YU Zhuang-xiong¹, XUE Zhao-jie¹, HU Yi^{2, 3*}

1. Institute of Industrial Economics, Jinan University, Guangzhou 510632, China;
2. School of Economics and Management, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;
3. MOE Social Science Laboratory of Digital Economic Forecasts and Policy Simulation, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

Abstract: The EU's legislative proposal for the Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) was passed in 2021, signaling the imminent carbon tariff dispute between emerging economies and developed countries such as those in Europe and the United States. The decomposition of global input-output data reveals that China stands as the largest emitter of carbon emissions embodied in exports, accounting for 25.94% of total global trade-embodied carbon emissions. Such substantial carbon emissions make China vulnerable to the impact of carbon tariffs by Europe and the United States. This paper employs a multi-regional input-output model and a multi-country, multi-sector general equilibrium model to simulate the counterfactual effects of carbon tariffs imposed by Europe and the United States on China's industrial development. The results indicate that with a carbon price of \$60 per ton, imports from China to the European Union and the United States would incur an additional average tax of 1.77% to 1.78%. At this juncture, the simultaneous imposition of carbon tariffs by Europe and the United States would lead to a 0.14% reduction in China's social welfare, a 0.40% decrease in total output, and a 2.03% decline in total exports, with exports to the EU and the US dropping by 8.04% and 7.98%, respectively. At the industry level, exports of the chemical and chemical products, basic metals, computers, electronic, and optical equipment, electrical equipment, and machinery equipment would decrease by 5.03%, 6.13%, 5.46%, 12.31%, and 2.79%, respectively. China should proactively advance the green and low-carbon transformation of relevant industries, such as computer, electronic products, and equipment manufacturing, to prepare for future global carbon tariff competition.

Key words: CBAM; carbon tariffs; carbon emissions embodied; trade welfare; counterfactual analysis