

碳关税与地区经济差距^{*}

——产业分工与能源结构的视角

秦若冰¹ 马弘² 李凯悦³

摘 要 绿色低碳发展日益成为国际共识。欧盟等发达经济体加快推进的碳关税政策形成事实上的绿色贸易壁垒,对中国贸易和产业发展构成威胁。由于产业分工和能源结构差异,不同地区受到冲击程度不同,减碳面临的成本收益也不同。应对策略不仅需考虑对整体经济影响,更需兼顾地区差异。本文构建了一个囊括国内碳市场、国际碳关税、全球投入产出关联和区域要素流动的空间结构模型,量化评估在单边、诸边等多种情景下,碳关税对地区经济差距的影响及中国的策略选择。研究发现:欧盟碳关税对不同地区冲击程度存在显著差异,对提供能源密集型上游产品的北部省份冲击更大,因此将扩大南北收入差距。主要发达经济体形成气候俱乐部,将对中国贸易利益产生显著负向冲击;加入气候俱乐部、推进绿色低碳转型将显著缓解中国整体以及东南地区的收入下降,但西北、东北地区的经济损失扩大。本文进一步探讨了横向补偿机制和国内大循环的政策效果,为合理应对全球绿色贸易规则变革、协同推进绿色低碳转型和区域协调发展提供参考。

关键词 碳关税;国际贸易;地区经济差距;区域协调发展;空间结构模型

0 引言

在绿色发展背景下,国际社会应对气候变化的规则博弈日趋激烈。为应对不对称碳减排导致的碳泄漏和竞争力受损,欧盟等发达经济体主张对进口商品征收碳关税。2025 年 2 月,欧盟委员会发布《清洁工业协议》(Clean Industrial Deal)和“综合简化提案”(Simplification Omnibus),明确碳边境调节机制(Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM)将于 2026 年正式实施^①,并有意将其扩展至更多下游产品。同时,碳关税正从单边向诸边加速演进:英国已明确将于 2027 年开始征收碳关税;日本、加拿大等国也已开展

^{*} 本研究受国家自然科学基金“碳关税与国际贸易分工调整:政策设计、效应评估与对策研究”(72203038)、国家社科基金重大项目“大国竞争背景下关键领域产业链供应链重构的风险评估与对策研究”(23&·ZD046)的资助。

1 秦若冰,对外经济贸易大学中国世界贸易组织研究院副研究员,E-mail:ruobingqin@uibe.edu.cn。

2 马弘(通信作者),清华大学经济管理学院教授,E-mail:mahong@sem.tsinghua.edu.cn。

3 李凯悦,复旦大学经济学院博士研究生,E-mail:likaiyue0229@163.com。

① 关于碳关税的政策背景详见附录 A。通过中国知网可以检索并下载附录,下同。

碳关税方案研究。在全球层面,国际货币基金组织、世界贸易组织也正积极推进国际碳定价方案,基于气候治理的绿色贸易新规则加快形成。

作为全球最大的碳排放国,应对气候变化是中国全面建成社会主义现代化强国的战略任务,更是践行人类命运共同体理念的责任担当(陈诗一,2022)。党的二十届四中全会通过的《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十五个五年规划的建议》明确指出,要“加快经济社会发展全面绿色转型”,提出“拓展绿色贸易”的战略部署。碳关税政策及其引致的国际经贸秩序变革,形成事实上的绿色贸易壁垒,对中国经济总量和区域协调发展构成双重挑战:一方面,由于中国工业和出口碳排放规模大,碳关税引致的贸易成本上升和出口受阻将对中国经济贸易总量增长构成威胁。另一方面,由于中国不同地区产业结构和能源结构差异较大,各地区受到碳关税冲击程度不同,减碳面临的成本收益也存在差异。这意味着在应对绿色贸易壁垒时,不仅需考虑其对整体经济的影响,更需兼顾地区差异。

已有关于碳关税政策的影响研究重点在于评估碳关税的有效性(Böhringer et al., 2016; 杨曦和彭水军, 2017),以及该政策对中国和全球贸易福利的影响(Larch and Wanner, 2017; 段玉婉等, 2023),上述文献主要基于国别维度分析碳关税政策对中国整体经济、环境和福利的影响(Chen, 2023; Wang et al., 2023),较少关注其对不同地区的异质性影响^①,以及由此引致的地区经济差距扩大问题。虽然部分文献讨论了国内减污降碳目标对地区经济差距的影响(乔晓楠和段小刚, 2012; 余泳泽和曹瑞, 2023),但是已有研究主要聚焦于国内环境和气候规制,对于国际绿色贸易规则及其引致的地区经济差距扩大风险缺乏研究。在气候博弈日趋激烈的背景下,国际碳关税和国内低碳政策是大势所趋,经济上对不同地区的影响程度有多大,政策上应该如何应对,成为关系到统筹国内与国外两个市场、防范整体和局部两种风险的重要理论和政策问题。

有鉴于此,本文基于典型事实梳理,构建了一个囊括国内碳市场、国际碳关税、全球投入产出关联和区域要素流动的空间经济一般均衡分析框架,应用结构模型方法,量化评估欧盟 CBAM、气候俱乐部等单边、诸边政策实施情景下,地区经济差距的变化,以及中国的应对策略选择。研究发现,在单边情景下,欧盟 CBAM 对提供能源密集型上游产品的北部省份冲击更大,以泰尔指数衡量的南北地区间人均实际收入差距相比基期扩大 0.212%。在诸边情景下,主要发达经济体形成气候俱乐部将对中国贸易利得产生显著负面冲击,受冲击程度随气候俱乐部规模扩大而加剧;中国可以选择加入气候俱乐部,这将显著缓解中国整体以及东南地区的经济损失,但西北、东北地区的经济损失将加剧,南北地区间人均实际收入差距将扩大 13.380%。本文量化评估了三种应对策略的作用效果。结果表明:(1)中国主动推进全国碳市场扩容、提高碳定价,将减少中国面临的绿色贸易壁垒,沿海贸易大省因此获益,但北部省份承担的经济损失扩大;(2)构建基于碳定价收入的横向补偿机制,有助于实现绿色贸易规则博弈下的区域利益协同;(3)通过降低国内贸易成本推进国内大循环,不仅有效应对了欧盟 CBAM 和气候俱乐部对中国整体经济的负向冲击,同时也能提升要素商品空间配置效率,有助于化解中国在应对气候俱乐部诸边博弈时面临的

^① Zhong and Pei(2022)基于投入产出分析方法讨论了欧盟 CBAM 对中国不同地区出口的影响,然而投入产出分析方法主要适用于短期分析(林晨和尤晶, 2023),难以刻画碳关税对地区经济的一般均衡效应。

“公平”与“效率”抉择。

本文的边际贡献主要为：第一，研究视角上有所创新。尽管碳关税及其政策影响引起了学界和政策界的广泛关注，但现有文献大多关注碳关税对中国整体经济的影响（张友国等，2015；王谋等，2021）。本文着重关注碳关税政策对中国不同地区的差异化影响及作用机理，在充分考虑区域产业分工和能源结构差异的基础上，系统研究碳关税博弈及不同应对策略对地区经济差距的影响。第二，在研究方法上，本文在已有空间结构模型的框架下嵌入了气候模块，创新性地构建了囊括国内碳定价机制、国际碳关税、全球投入产出关联、区域要素流动的一般均衡结构模型，并基于模型和现实数据对重要参数进行结构式估计，深入剖析和分解碳关税冲击的影响渠道。本文构建的理论模型，不仅拓宽了空间经济理论的应用范围，也为深入探讨气候政策与地区经济差距相关问题提供了一个一般性的分析框架。第三，在应用价值上，本文从总体和局部两个维度、效率和公平两个视角，探讨了不同应对策略对中国整体和地区经济差距的影响，为合理应对全球绿色贸易规则变革、协同推进绿色低碳转型和区域经济协调发展提供政策参考。

1 数据与典型事实分析

1.1 数据来源与说明

本部分的数据主要来自中国碳核算数据库（CEADs）、李善同等（2021）编制的 2017 年中国省际间投入产出表，以及中国海关总署进出口数据。关于上述数据的详细说明请见附录 B。为便于分析，本文结合中国经济空间结构演变最新特征和区域碳排放结构差异，将中国划分为西北、东北、华北、西南和东南五大区域，各区域对应的省份如图 1 所示。

1.2 典型事实分析

1.2.1 中国不同地区碳排放强度呈现明显的南北分异特征

由于能源结构、产业结构和经济体量等方面存在差异，中国不同地区的碳排放总量与碳排放强度差异明显，如图 1(a) 所示。从碳排放总量来看，华北省份的平均碳排放量显著高于全国平均水平，而西南省份碳排放相对较低^①。从碳排放强度来看，北部地区的碳排放强度高于全国平均水平。不同地区碳排放强度差异主要来自于产业结构和能源结构差异。总体来看，内蒙古、山西等北部省份产业结构偏重，冶金、化工、非金属矿物制品等上游高碳制造业占比高达 50% 以上，如图 1(b) 所示。同时，由于资源禀赋等差异，不同地区能源结构差异明显，宁夏、内蒙古、山西、河北等北部省份使用的能源中煤炭占比超过 50%，而广东、上海、浙江、海南等东南省份的煤炭占比不足 20%^②。区域间的产业分工格局和能源结构差异导致不同地区碳排放强度差异明显，处于产业链上游提供能源密集型高碳排放产品的省份更易受到环境规制和绿色贸易壁垒的负向冲击。

① 未包括西藏自治区和港、澳、台地区。附图 B 1 展示了 2019 年各省碳排放总量和碳排放强度。

② 附图 B 2 汇报了 2019 年中国各省能源结构差异；附图 B 3 展示了 1997~2019 年中国各省能源密集型行业碳排放演变特征；附图 B 4 汇报了 2019 年中国各省能源密集型行业碳排放规模。

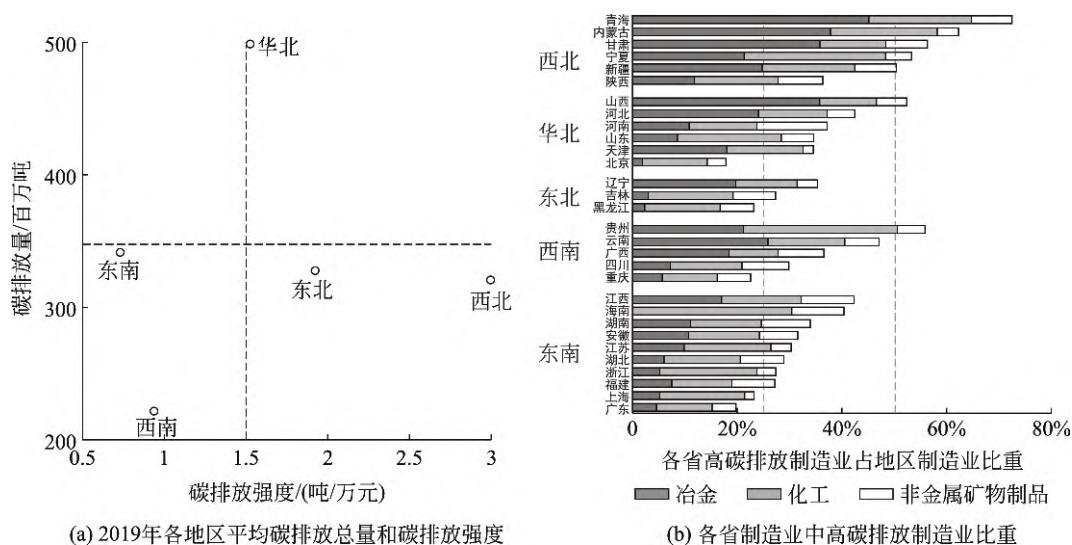


图 1 2019 年中国各地区平均碳排放总量与碳排放强度

注:图(a)中空心圆代表各地区内省份碳排放总量和碳排放强度的平均水平,虚线代表中国平均水平。

资料来源:碳排放数据来自于中国碳核算数据库(CEADs, <https://www.ceads.net.cn/>);地区生产总值的数据来自于国家统计局编,《中国统计年鉴》,中国统计出版社,2020。

1.2.2 不同省份对欧盟 CBAM 的暴露程度呈现“北高南低”

为讨论中国不同地区面临的碳关税风险敞口差异,本文参考 Autor et al.(2013)的方法,计算不同省份对欧盟 CBAM 的暴露程度(Exposure to EU CBAM),如式(1)所示:

$$\text{Exposure}_i = \sum_s \frac{\text{EXP}_{i\text{EU}}^s}{\text{EXP}_{i\text{EU}}} t_{i\text{EU}}^s \quad (1)$$

其中, $\text{EXP}_{i\text{EU}}^s$ 代表基期 i 省对欧盟出口 s 产品的出口额, $\text{EXP}_{i\text{EU}}$ 代表基期 i 省对欧盟出口总额, $t_{i\text{EU}}^s$ 代表 i 省 s 产品面临的欧盟碳关税税率。基于省际间投入产出表最新数据年份,本文选取 2017 年为基期。由式(1)可知,不同省份对欧盟 CBAM 的暴露程度取决于两个因素,一是产业结构和出口结构,即 CBAM 产品在各省对欧盟出口中占比;二是碳关税税率。后者主要取决于单位产品的碳排放强度,而这与能源结构高度相关,能源投入中高碳能源占比越高,单位产品碳排放强度越高。

图 2(a)呈现了中国不同地区 2017 年对欧盟出口总额和结构。总体来看,南部地区对欧出口总量大,但 CBAM 产品出口占比较小。而河北、山西、辽宁、青海等北部省份对欧盟出口的钢铁、铝等 CBAM 产品占比更高,占对欧出口总额的比重达 7%~16%^①。图 2(b)展示了根据式(1)计算的各地区对 CBAM 的暴露程度。以各省碳排放强度计算的山西、河北、辽宁等省面临的 CBAM 从价税率显著高于其他相对低碳的省份,这也导致其面临的负向冲击更为严重^②。

① 附图 B 5 汇报了省份层面的对欧出口总量和结构差异。

② 欧盟鼓励生产商和出口商核查并申报产品生产过程中的实际碳排放数据,这意味着未来在实际征收环节,不同地区生产的产品可能面临不同的碳关税税率。

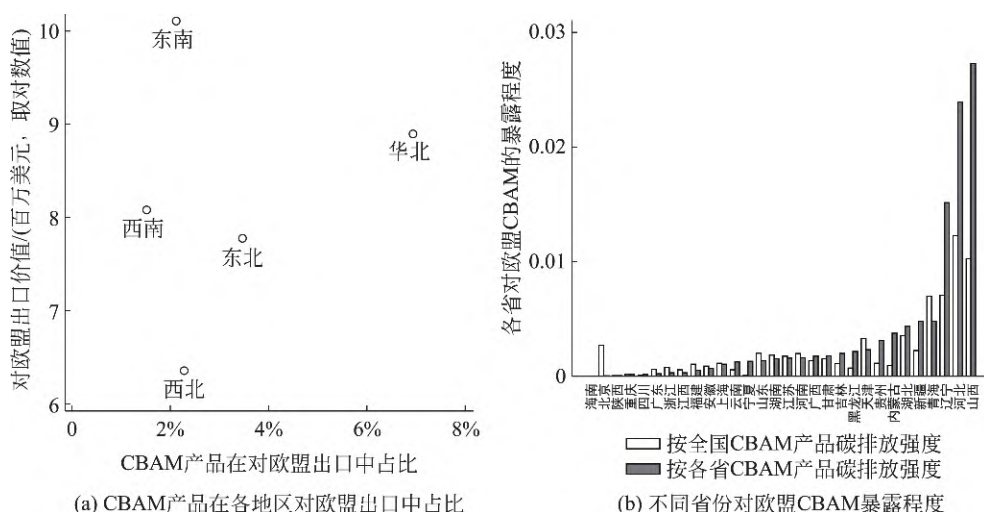


图 2 中国不同地区对欧盟 CBAM 贸易暴露程度

注:图(a)中空圈代表各地区内省份对欧盟出口总额和结构的平均水平。

资料来源:出口数据来自中国海关总署,碳关税率具体请见 3 参数估计与模型校准。

2 理论模型

本模型在已有量化空间结构模型(Redding, 2016; Tombe and Zhu, 2019)框架内嵌入了气候模块。模型中包括 $N+K$ 个地区(用 n 或 i 表示),其中包括 N 个中国省份,以及除中国以外的 K 个其他国家(或地区)。劳动者可以在不同省份间迁移,不可跨国流动。模型包括化石燃料部门(用上标 f 表示)和 J 个非化石燃料部门(用 j 或 k 表示)^①。市场是完全竞争的^②。

2.1 偏好与需求

劳动者可以依据个人偏好在不同地区间迁移。从 i 地迁移至 n 地的居民 κ 的偏好为:

$$U_{in}(\kappa) = \left(\prod_{j=1}^J C_n^j(\kappa)^{\gamma_n^j} \right) d_{in}^{-1} b_n(\kappa) f_n(E) \quad (2)$$

其中, $C_n^j(\kappa)$ 、 γ_n^j 分别代表 n 地区的居民 κ 对于 j 部门最终产品的需求量和支出份额, $\sum_{j=1}^J \gamma_n^j = 1$; d_{in} 代表居民从 i 地到 n 地的迁移成本($d_{nn} = 1, d_{in} > 1 \forall i \neq n$); $b_n(\kappa)$ 代表个体偏好冲击。

本文假设个体偏好冲击服从 Fréchet 分布函数: $b_n \sim G_n(b) = e^{-b^{-\epsilon}}$, 其中 ϵ 为 Fréchet 分布函数的形状参数,它决定了劳动者的迁移弹性。 $f_n(E)$ 代表全球气候变化对 n 地居

① 化石燃料可以在不同地区和国家之间贸易。为了与文献保持一致,本文设定非化石燃料部门包括 $J-1$ 个可贸易部门和一个不可贸易部门(即服务业)。

② 关于模型的完整推导详见附录 D。本文构建的静态模型未考虑到长期的技术进步和转型路径差异,在这一模型设定下估算得到的结果,可视为碳关税对地区经济差距的直接影响和短期效应。

民福利水平的冲击。参考 Shapiro(2016), $f_n(E)$ 具体函数形式可表达为 $f_n(E) = 1/[1 + (E/u_n)^2]$; $E = \sum_i E_i$ 代表全球碳排放量的总和; u_n 为气候效用参数, 衡量 n 地居民对气候变化引致负效用的敏感程度。令 v_n 代表 n 地居民的人均实际收入水平。 i 地的居民迁移至 n 地的概率(χ_{in})为

$$\chi_{in} = \frac{(v_n d_{in}^{-1} f_n(E))^{\epsilon}}{\sum_{n=1}^N (v_n d_{in}^{-1} f_n(E))^{\epsilon}} \quad (3)$$

2.2 生产与供给

企业部门由若干个中间投入品生产企业和最终产品供应商构成。中间投入品的生产需要使用三种投入, 即劳动(L_n^s)、化石燃料(f_n^s)、和非化石燃料生产资料(m_n^s) ($s = f, j$ 或 k)。单位投入成本 c_n^s 为

$$c_n^s = \gamma_n^s \omega_n^{a_{nL}^s} (P_n^{f_s})^{a_{nf}^s} \prod_{k=1}^J (P_n^k)^{a_{nk}^s} \quad (4)$$

其中, α_{nL}^s 、 α_{nf}^s 、 α_{nk}^s 分别代表劳动投入份额、化石燃料投入份额, 以及来自 k 部门的生产资料在 n 地区 s 部门生产中的投入份额, $\alpha_{nL}^s + \alpha_{nf}^s + \sum_{k=1}^J \alpha_{nk}^s = 1$ 。 γ_n^s 是与 n 地区 s 部门特征有关的常数。 ω_n 为 n 地区的工资水平。 P_n^k 代表 n 地区 k 部门产品的价格。 $P_n^{f_s}$ 代表 n 地区 s 部门生产所使用的化石燃料的税后价格, $P_n^{f_s} = P_n^f (1 + P_n^c a_n^s)$, 其中 P_n^f 代表 n 地区化石燃料的税前价格指数; P_n^c 代表 n 地区的碳定价。 a_n^s 代表 n 地区 s 部门企业生产使用化石燃料的碳排放系数, 该系数反映了不同地区的能源结构差异, 能源结构偏煤的地区碳排放系数更高。

最终产品供应商以最低成本从全球采购中间投入品, 并将其组装成最终产品提供给消费者。最终产品也可作为生产资料进入本部门及其他部门中间投入品的生产。

2.3 贸易与碳排放

假设地区 i 的产品 s 出口到地区 n 的冰山成本为 τ_{in}^s , 碳关税率为 t_{in}^s ①。 i 地区 s 部门产品在 n 地区所占市场份额为

$$\pi_{in}^s = \frac{Y_{in}^s}{Y_n^s} = \frac{\lambda_i^s (c_i^s \tau_{in}^s (1 + t_{in}^s))^{-\theta_s}}{\sum_{i=1}^{N+K} \lambda_i^s (c_i^s \tau_{in}^s (1 + t_{in}^s))^{-\theta_s}} \quad (5)$$

其中, Y_n^s 代表 n 地区对 s 部门产品的总需求, 根据上述定义, i 地区 s 部门向 n 地区的出口额可以表达为 $T_{in}^s = Y_n^s \pi_{in}^s / (1 + t_{in}^s)$ 。 n 地区的碳排放量为各部门碳排放量的加总, 后者主要取决于各部门化石能源的碳排放系数和各部门能源投入, 如式(6)所示

① 考虑到普通关税不随冲击变化, 为简化分析本文在基准模型中未考虑关税; 加入后结论依旧稳健。中国不同省份之间的贸易存在冰山成本, 但是不存在关税和碳关税。

$$E_n = \sum_{s=1}^{J+1} E_n^s = \sum_{s=1}^{J+1} \alpha_n^s \left(\frac{(P_n^f)}{(P_n^{fs})} \alpha_{nf}^s \sum_{i=1}^{N+K} (Y_i^s) \frac{(\pi_{ni}^s)}{(1+t_{ni}^s)} \right) \quad (6)$$

2.4 均衡条件

参考 Dekle et al.(2007)提出的精确代数运算法(Exact Hat Algebra), 本文将模型均衡条件表达为变量的相对变化量($\hat{x}$)的形式, $\hat{x} = x'/x$, 其中 x' 为任意变量 x 在新的均衡水平上的值。经济的一般均衡可以由内生变量的相对变化 $\{\hat{P}_n^s, \hat{w}_n, \hat{L}_n, \hat{Y}_n^s, \hat{\chi}_{in}\}$ 定义, 即价格的相对变化, 地区工资水平的相对变化, 地区劳动力投入的相对变化, 总需求的相对变化, 省际之间劳动者迁移率的相对变化, 如式(7)~式(12)所示。通过迭代求解上述内生变量的相对变化并将其代入模型, 可以得到外生政策冲击引致的各地区贸易、收入、排放和福利水平变化。

$$\hat{P}_n^s = \left[\sum_{i=1}^{N+K} \pi_{in}^s (\hat{c}_i^s \hat{\tau}_{in}^s (\widehat{1+t_{in}^s}))^{-\theta_s} \right]^{-\frac{1}{-\theta_s}} \quad (7)$$

$$w_n \hat{w}_n L_n \hat{L}_n = \sum_{s=1}^{J+1} \alpha_{nL}^s \sum_{i=1}^{N+K} (Y_i^s)' \frac{(\pi_{ni}^s)'}{(1+t_{ni}^s)'} \quad (8)$$

$$L_n \hat{L}_n = \sum_{i=1}^N \chi_{in} \hat{\chi}_{in} L_i^0 \quad (9)$$

$$Y_n^j \hat{Y}_n^j = \gamma_n^j I_n \hat{I}_n + \sum_{s=1}^{J+1} \alpha_{nY}^s \sum_{i=1}^{N+K} (Y_i^s)' \frac{(\pi_{ni}^s)'}{(1+t_{ni}^s)'} \quad (10)$$

$$Y_n^f \hat{Y}_n^f = \sum_{s=1}^{J+1} \frac{(P_n^f)'}{(P_n^{fs})'} \alpha_{nf}^s \sum_{i=1}^{N+K} (Y_i^s)' \frac{(\pi_{ni}^s)'}{(1+t_{ni}^s)'} \quad (11)$$

$$\hat{\chi}_{ni} = \frac{(\hat{v}_i \hat{d}_{ni}^{-1} \hat{f}_i(E))^\epsilon}{\sum_{i=1}^N \chi_{ni} (\hat{v}_i \hat{d}_{ni}^{-1} \hat{f}_i(E))^\epsilon} \quad (12)$$

2.5 碳关税影响人均实际收入的理论机制

为进一步厘清理论机制, 本文将欧盟碳关税引致的内生经济变量 x 的变化率记为 $d \ln x$ 。对人均实际收入求全微分, 保留一阶导, 可将碳关税引致的人均实际收入变化($d \ln v_n$)分解为以下五种效应^①

$$\begin{aligned} d \ln v_n \approx & \underbrace{\frac{1}{I_n} \left(\sum_{s=1}^{J+1} T_{n,EU}^s d \ln c_n^s - \sum_{s=1}^{J+1} T_{EU,n}^s d \ln c_{EU}^s \right)}_{\text{与欧盟贸易条件效应}} + \underbrace{\frac{1}{I_n} \left(\sum_{i \in N} \sum_{s=1}^{J+1} T_{ni}^s d \ln c_n^s - \sum_{i \in N} \sum_{s=1}^{J+1} T_{in}^s d \ln c_i^s \right)}_{\text{国内循环贸易条件效应}} + \\ & \underbrace{\frac{1}{I_n} \left(\sum_{i \neq EU, i \in K} \sum_{s=1}^{J+1} T_{ni}^s d \ln c_n^s - \sum_{i \neq EU, i \in K} \sum_{s=1}^{J+1} T_{in}^s d \ln c_i^s \right)}_{\text{与第三国贸易条件效应}} + \underbrace{\left(\frac{w_n L_n}{I_n} d \ln L_n - d \ln L_n \right)}_{\text{劳动力流动净效应}} + \\ & \underbrace{\frac{1}{I_n} \sum_{s=1}^{J+1} \frac{P_n^c \alpha_{nf}^s}{1 + P_n^c \alpha_{nf}^s} T_n^s (d \ln T_n^s - d \ln P_n^f)}_{\text{碳排放税收效应}} \end{aligned} \quad (13)$$

^① 关于理论机制分解的详细推导详见附录 E。该分解采用了贸易文献中的经典做法, 仅保留一阶效应, 因此式(13)为约等号而非等号。

式(13)第一项为与欧盟贸易条件效应。碳关税会削弱中国产品在欧盟市场竞争力,降低欧盟自中国进口产品份额,这会降低受制裁地区的产出和名义工资,进而降低要素投入成本和出口价格;类似地,碳关税会通过提高名义工资和中间品进口成本提高欧盟出口价格,使得受制裁地区对欧盟的出口价格相对进口价格下降,即与欧盟的贸易条件恶化,贸易利得下降。第二项为国内循环贸易条件效应,其衡量了碳关税通过影响与国内其他地区的贸易条件影响的人均实际收入。第三项为与第三国贸易条件效应,其衡量了碳关税通过影响该地区与第三国的贸易条件影响的人均实际收入。第四项为劳动力流动净效应,该效应的正负取决于两个机制:一是增加值效应,碳关税引致的产出相对收缩和工资相对下降会驱动劳动力流出,减少该地区劳动要素供给,对该地区人均实际收入产生负效应;二是基数效应,即人口下降使得人均实际收入的分母减小,对人均实际收入变化产生正向影响,最终的净效应取决于二者的相对大小。第五项是碳排放税收效应。碳关税引致受制裁地区能源密集型产业收缩,该地区碳排放下降,碳税收入下降,因此人均实际收入减少。

3 参数估计与模型校准

本文选取中国除西藏、港澳台地区以外的 30 个省($N=30$),并将其他地区分为欧盟、美国、日本、韩国、印度、俄罗斯、加拿大、英国、欧洲自由贸易联盟和世界其他地区(rest of the world, ROW) 10 个地区($K=10$),每个地区包括 18 个部门,具体部门分类详见附表 C.1。

本文的参数校准分为两部分。第一部分是对独立于模型均衡的参数校准,第二部分是依赖于模型均衡的参数校准。

3.1 独立于模型均衡的参数校准

考虑到中国省际间投入产出表最新版本更新至 2017 年,本文以 2017 年为基期。投入产出、贸易份额、总需求、碳排放、人均实际收入和劳动力迁移相关数据来源请见附录 D^①。本文参考 Bartelme et al.(2019)对贸易弹性 θ_i 进行校准。

碳关税税率校准参考欧盟 CBAM 立法提案。基于 CBAM 最终案文,边境调节费用的征收方案可以表达为如下从价税率形式

$$t_{iEU}^s = \begin{cases} \frac{\dot{E}_{iEU}^s}{T_{iEU}^s} (P_{EU}^C - P_i^C), & \text{if } P_{EU}^C > P_i^C \\ 0, & \text{if } P_{EU}^C \leq P_i^C \end{cases} \quad (14)$$

其中, T_{iEU}^s 为*i*地区出口至欧盟的*s*部门商品的价值; P_{EU}^C 为欧盟碳市场配额价格; P_i^C 为出口地区的碳价水平^②; $\dot{E}_{iEU}^s$ 既包括直接排放也包括间接电力排放。本文采用 2022 年各地区平均碳定价水平对碳关税税率进行校准,假设欧盟根据 100 美元/吨的碳价予以征税^③,并

① 限于篇幅,关于参数校准的详细说明详见附录 D 参数估计和附表 D.1。由于 OECD ICIO 数据库并未包括列支敦士登,本文仅采用挪威、冰岛、瑞士数据对欧洲自由贸易联盟的各项参数予以估算。

② 本文考虑了除欧盟以外的其他国家(地区)的碳价;欧盟碳关税征收对象包括中国以及其他国家(或地区)。

③ 如采用欧盟 2022 年碳价水平计算碳关税,研究结果依然稳健。

将其换算为2017年不变价格。在基准情景本文考虑底线情境,即欧盟不对中国碳价予以抵扣。考虑到中国碳市场即将覆盖八大行业,在稳健性检验中,本文进一步考虑欧盟对来自中国进口商品予以碳价抵扣^①。同时,鉴于欧盟将会逐步取消免费碳排放配额,本文的量化分析中不考虑欧盟碳市场的免费配额发放问题。

3.2 依赖于模型均衡的参数校准

3.2.1 迁移弹性

根据式(3),迁移引力方程可变形为

$$\frac{\chi_{ni}}{\chi_{nn}} = \frac{(v_i d_{ni}^{-1} f_i(E))^{\epsilon}}{(v_n f_n(E))^{\epsilon}} \quad (15)$$

参考 Tombe and Zhu(2019),本文进一步用一组代理变量反映省际人口迁移成本: $d_{ni} = \bar{d}_n \bar{d}_i \text{Dist}_{ni} \epsilon_{ni}$, $\bar{d}_n$ 、 $\bar{d}_i$ 分别反映了人口迁出地和迁入地的基础设施条件、户籍制度、社会保障制度、文化风俗等地区特征, Dist_{ni} 代表两地之间的地理距离, ϵ_{ni} 为残差项。将上述代理变量代替式(15)中的 d_{ni} 并取对数可以得到回归方程(16)

$$\ln\left(\frac{\chi_{ni}}{\chi_{nn}}\right) = -\epsilon \ln \text{Dist}_{ni} + \gamma_i + \gamma_n + \xi_{ni} \quad (16)$$

其中, γ_n 、 γ_i 分别为人口迁出地、人口迁入地的固定效应。利用第七次人口普查数据中的人口迁移率以及各省省会之间的地理距离对式(16)进行回归,可以获得迁移弹性 ϵ 的估计值。结果显示,中国省际间迁移弹性约为 1.22,与现有文献中的 1~1.5 的估计区间保持一致。在稳健性检验部分,本文进一步采用 Tombe and Zhu(2019)估计的人口迁移弹性进行检验。

3.2.2 气候效用参数

同已有文献保持一致(Shapiro, 2016),本文利用碳排放的边际社会成本(marginal social cost of carbon,记为 SSC)对气候变化效用参数 u_n 进行校准。参考 Shapiro(2016)、Larch and Wanner(2017),在不考虑个体偏好差异的情况下,碳排放引致的地区边际社会成本,如式(17)所示

$$-\frac{I_n}{P_n} \frac{\frac{2}{(u_n)^2} E}{\left(1 + \left(\frac{E}{u_n}\right)^2\right)^2} = sc_n \times \text{SCC}^{\text{WLD}} \quad (17)$$

其中, I_n/P_n 衡量了 n 地区的实际收入, sc_n 为碳排放引致的 n 地区社会成本(SCC_n)占全球社会总成本(SCC^{WLD})的比重。 SCC^{WLD} 数据来自于 Rennert et al.(2022)。本文参照已有文献的做法,依据 Nordhaus and Boyer(2000)估计结果对 sc_n 校准,实际收入数据来自于国家统计局和宾大世界表(PWT-10.0),据此可求解得到 u_n 的估计值。

^① 如进一步考虑 CBAM,根据中国区域碳市场价格对碳关税率校准,研究结果依然稳健。

3.2.3 其他参数

本文依据碳排放、化石燃料投入数据和式(6)对化石燃料碳排放系数 a_n^s 进行校准,并利用均衡条件式(10)对消费支出份额 γ_n^j 进行校准^①。此外,本文参考已有文献的做法,对数据中的贸易逆差问题予以处理。

3.3 模型拟合结果

为检验校准后模型能否较好反映现实,本文利用均衡情况下的地区收入差距、地区间贸易额与现实数据进行比较,结果表明理论模型能够很好地刻画现实中的关键经济变量。限于篇幅,关于模型拟合结果的详细分析请见附录 D。

4 量化结果分析

本部分将基于前文构造的理论模型进行量化分析。本文考虑两种政策情景:(1)单边情景,仅欧盟征收碳关税。一是基准情景,欧盟碳关税仅覆盖化学产品、非金属矿物制品、金属冶炼、金属制品、电力这五个部门;二是扩展情景,欧盟碳关税进一步扩展至欧盟碳市场第四阶段碳泄漏清单覆盖的所有行业。(2)诸边情景,气候俱乐部。本文考虑了三种气候俱乐部规模,并讨论不同情景下中国各地区面临的经济福利损失差异,以及由此引致的地区经济差距问题。

4.1 单边情景:欧盟碳关税

表 1 汇报了基准情景下欧盟 CBAM 对中国不同省份的贸易影响。总体来看,欧盟 CBAM 将会提高中国能源密集型产品出口至欧盟面临的贸易壁垒,降低中国产品在欧盟市场上的竞争力。特别是,这一贸易冲击对不同地区的影响程度存在明显差异。山西、宁夏、新疆等北部碳排放大省受损最为严重,其对欧盟出口 CBAM 产品价值相比于基期下降超过 50%,而东南地区的海南、浙江受冲击程度则较小,下降幅度不到 10%。受到对欧盟出口下降的影响,北部高碳省份 CBAM 产品对外整体出口也呈现显著下滑,如表 1 列(5)所示。由于贸易转移效应的存在,部分对欧盟出口的能源密集型产品将转移至国内其他省份销售,如列(6)所示。表 1 列(7)、(8)汇报了所有行业出口额变化。可以看出,欧盟 CBAM 对能源密集、碳排放强度高的北部省份的总出口负向冲击更明显;而东南省份和华北沿海省份受冲击较小。

欧盟 CBAM 对不同地区的异质性贸易冲击,也将进一步加剧地区间收入差距,如图 3 所示。其中横轴为 2017 年各省人均收入的对数值,纵轴为政策冲击后各省人均收入相比于基期的变化幅度。由图 3 可知,欧盟 CBAM 对南北地区收入冲击存在显著差异,南部发达省份受 CBAM 冲击较小,人均收入下降幅度较小,而北部欠发达省份收入损失相对较大。在 CBAM 扩展情景下,这一差距将进一步扩大(如图 3(b)所示)。

^① 在校准时,基期的碳关税率为 0,总需求和贸易份额均采用基期参数。为保证与基期产出、价格、碳排放水平相一致,本文校准基期参数采用的是 2017 年各地区碳价水平。

表 1 受欧盟 CBAM 冲击最严重和最不严重的前五省份:基准情景 %

类型	省份	所属区域	CBAM 覆盖行业			所有行业	
			对欧盟 出口变化	总出口 变化	对其他省份 销售额变化	对欧盟 出口变化	总出口 变化
出口受损最严重的五个省	山西	华北	-78.392	-15.929	0.349	-20.206	-4.938
	宁夏	西北	-53.780	-10.434	0.195	-37.463	-5.972
	新疆	西北	-50.088	-2.872	0.038	-20.166	-0.937
	辽宁	东北	-48.011	-4.684	0.076	-11.035	-1.090
	甘肃	西北	-46.261	-2.997	0.019	-3.832	-0.336
出口受损最不严重的五个省	广东	东南	-8.258	-1.062	-0.053	0.045	0.042
	海南	东南	-7.219	-0.292	0.002	0.242	-0.036
	山东	华北	-5.563	-0.689	-0.074	-0.742	-0.050
	浙江	东南	-4.913	-0.941	-0.039	0.002	0.020
	北京	华北	2.625	0.300	-0.062	1.331	0.229

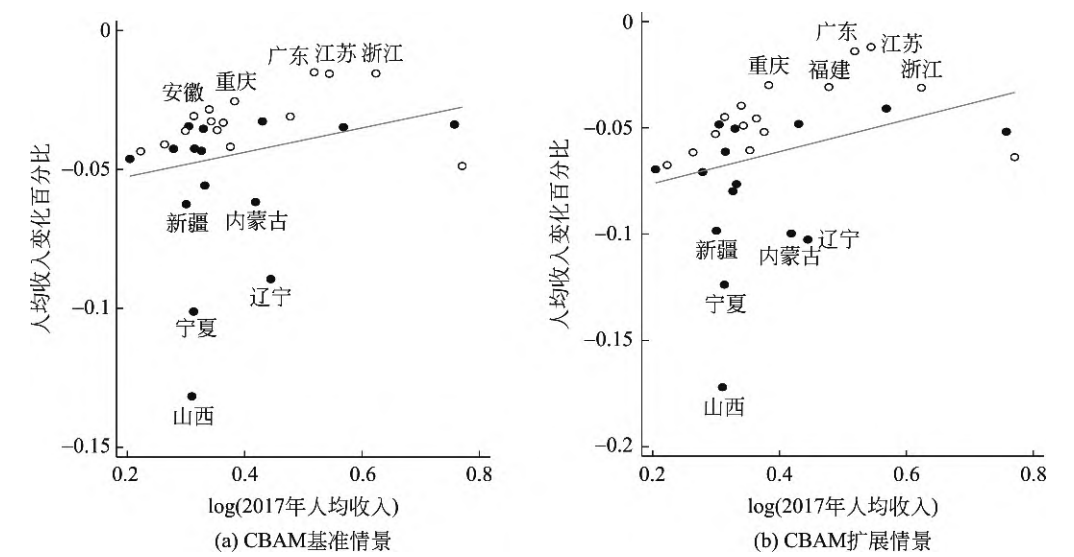


图 3 欧盟 CBAM 对不同省份人均收入的差异化影响

注:实心圆圈代表北省份,空心圆圈代表南省份,浅色实线为线性拟合。

为进一步分析欧盟 CBAM 对地区经济差距的影响,表 2 统计了地区层面的出口和收入差距变化。本文借鉴聂长飞和简新华(2020),运用泰尔指数来衡量南北经济差距。表 2 列(2)至列(4)汇报了基准情景下的南北出口和收入差距变化率。可以看出,欧盟 CBAM 对西北、东北地区的出口冲击更为严重,以泰尔指数衡量的南北地区间出口差距相比基期将扩大 0.731%。倘若欧盟 CBAM 覆盖范围进一步扩展,南北经济差距将显著扩大:在这一情景下,以泰尔指数衡量的南北地区间出口差距将扩大 0.863%,南北地区间人均收入差距将扩大 0.729%,在剔除价格因素后,南北地区间人均实际收入差距将扩大 0.212%。

表 2 欧盟 CBAM 对地区经济差距的影响分析

%

区域	基准情景			扩展情景		
	总出口 变化	人均收入 变化	人均实际 收入变化	总出口 变化	人均收入 变化	人均实际 收入变化
西北地区	-0.960	-0.055	-0.009	-1.063	-0.083	-0.010
东北地区	-1.017	-0.065	-0.014	-1.279	-0.085	-0.011
华北地区	-0.477	-0.046	-0.006	-0.465	-0.064	-0.006
西南地区	-0.083	-0.034	-0.002	0.027	-0.050	-0.002
东南地区	-0.030	-0.025	0.000	0.026	-0.031	0.003
全国	-0.158	-0.035	-0.003	-0.120	-0.048	-0.001
南北经济差距：						
南北地区内泰尔指数	0.260	0.026	-0.004	0.296	0.043	-0.010
南北地区间泰尔指数	0.731	0.497	0.178	0.863	0.729	0.212

注：表 2 汇报的泰尔指数是相对于基期泰尔指数的变化率。

4.2 诸边情景：气候俱乐部

气候俱乐部的目的在于解决国际气候合作中的“搭便车”行为。俱乐部成员协调达成“国际目标碳价”以实现协同高水平减排,同时对未加入俱乐部的国家征收惩罚性关税,以激励更多国家参与减排行动^①。本部分对以下三种气候俱乐部情景予以分析:(1)情景 1:俱乐部成员仅包括欧盟和美国;(2)情景 2:俱乐部成员包括欧盟、美国、日本、韩国、加拿大、英国、欧洲自由贸易联盟成员等在碳减排方面具有领先优势的发达经济体;(3)情景 3:形成排华气候俱乐部,俱乐部成员包括除中国外所有国家(地区)。俱乐部内部成员达成了统一“国际目标碳价”,本文假设目标碳价为 50 美元/吨;作为惩罚,俱乐部成员将对来自非俱乐部成员的进口商品统一征收 25%的惩罚性关税。在每一种气候俱乐部情景下,我们将讨论中国的立场和选择。倘若中国不加入,将面临来自俱乐部成员的惩罚性关税;倘若中国加入,意味着中国需主动提高碳价以满足国际目标碳价要求,这会提高国内碳排放成本。

图 4 汇报了 3 种气候俱乐部情景下,中国是否加入对不同地区的人均实际收入和福利影响。可以看出,倘若欧盟和美国形成气候俱乐部(情景 1)并将中国排除在外,中国人均实际收入相比于基期将下降 0.324%,东南和华北地区的收入下降更为明显,因为欧盟和美国是这两个地区的主要出口市场。伴随气候俱乐部规模扩大,中国不加入所需承担的经济和福利损失更为严重,倘若发达经济体主导形成了排华气候俱乐部(情景 3),全国人均实际收入相比于基期将下降 1.489%。此时,加入气候俱乐部能够有效规避来自俱乐部成员的惩罚性关税,但是这也意味着中国需履行提高碳价的承诺,这将显著提升碳排放成本,会对高碳省份造成更为严重的经济损失。因此,虽然从全国层面来看加入气候俱乐部可以缓解整体经济和福利损失,但是不同地区的受益程度呈现显著差异,华北、东南省份显著受益,而西北、东北承担的经济和福利损失进一步加剧,原因在于:北部高碳省份产业

① 关于气候俱乐部的政策介绍详见附录 A。

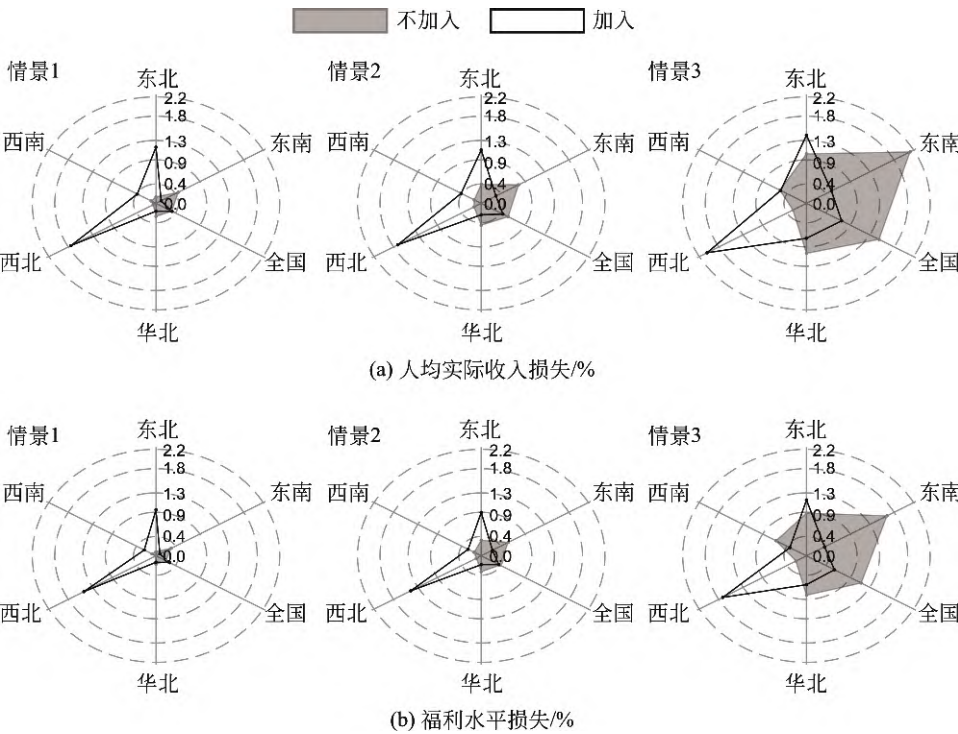


图 4 气候俱乐部对不同地区人均实际收入和福利水平的差异化影响

结构偏重、能源结构偏煤,碳定价提高会显著提高其生产成本,导致其产业收缩和收入减少,加入气候俱乐部引致的贸易风险下降难以弥补碳定价提高引致的经济损失,这些地区经济受损加剧。

表 3 进一步运用泰尔指数衡量不同情景下南北地区间人均实际收入差距的变化。以情景 2 为例,倘若中国加入主要发达经济体形成的气候俱乐部,能有效缓解全国人均实际收入的下降。但是减碳责任则主要由北部高碳省份承担,以泰尔指数衡量的南北地区间人均实际收入差距将比 2017 年扩大 13.38%,存在“公平性”隐忧。

表 3 气候俱乐部对地区经济差距的影响分析						%
经济指标相对基期的变化	情景 1: 欧盟+美国		情景 2: 主要发达经济体		情景 3: 排华俱乐部	
	不加入	加入	不加入	加入	不加入	加入
全国人均实际收入	-0.324	-0.329	-0.553	-0.445	-1.489	-0.722
南北经济差距:						
南北地区内泰尔指数	-2.253	4.835	-3.575	3.693	-7.528	2.681
南北地区间泰尔指数	-3.496	16.312	-5.574	13.380	-19.195	14.285

注:表 3 汇报的泰尔指数是相对于基期泰尔指数的变化率。

4.3 机制分析

为进一步理解碳关税通过哪些渠道影响地区人均实际收入,本文根据式(13)的理论

机制推导,将欧盟碳关税的影响分解为5个作用渠道,并分别计算了各个渠道对人均实际收入变化的影响方向和大小。限于篇幅,这部分内容详见附录E。

5 拓展分析与稳健性检验

5.1 应对策略与补偿措施讨论

5.1.1 碳减排与地区经济差距

外部碳关税壁垒会倒逼国内碳市场建设,加快绿色低碳转型,如不考虑地区间因产业结构、能源结构差异导致的经济损失差异,这一措施可能会进一步扩大南北经济差距。鉴此,本部分将讨论低碳发展策略对地区经济差距的影响,为进一步提出补偿措施提供分析基础。具体而言,我们考虑应对策略1:完善国内碳定价机制,通过提高碳定价,推进碳减排和低碳发展。本文以单位增加值二氧化碳排放强度作为减排目标变量,在给定减排目标的前提下,国内碳定价水平由模型均衡内生决定;通过迭代求解,得到不同减排目标下各地区经济和福利水平变化。图5(a)讨论了碳减排与地区经济差距的关系。可以看出,伴随中国减排力度提高,南北地区间收入差距加速扩大,以泰尔指数衡量的南北地区间人均实际收入差距呈指数型上升。图5(b)进一步反映了不同地区福利水平随碳减排力度增加的演变特征。可以看出,伴随减排力度的加大,南北地区福利差距显著扩大。

进一步地,本文参考《“十四五”工业绿色发展规划》,将减排目标设定为中国单位增加值二氧化碳排放强度相比基期降低18%,碳市场扩围至所有可贸易部门;通过迭代求解,计算该情景下各地区面临的碳关税税率及其对人均实际收入水平的影响,如图6(a)所示。可以看出,低碳发展策略降低了江苏、山东、福建等沿海外贸大省面临的绿色贸易壁垒,显著提高其实际收入水平;但是新疆、内蒙古、山西等欠发达北部省份经济损失加剧,南北省份的实际收入水平差异相比无应对策略情景进一步扩大。

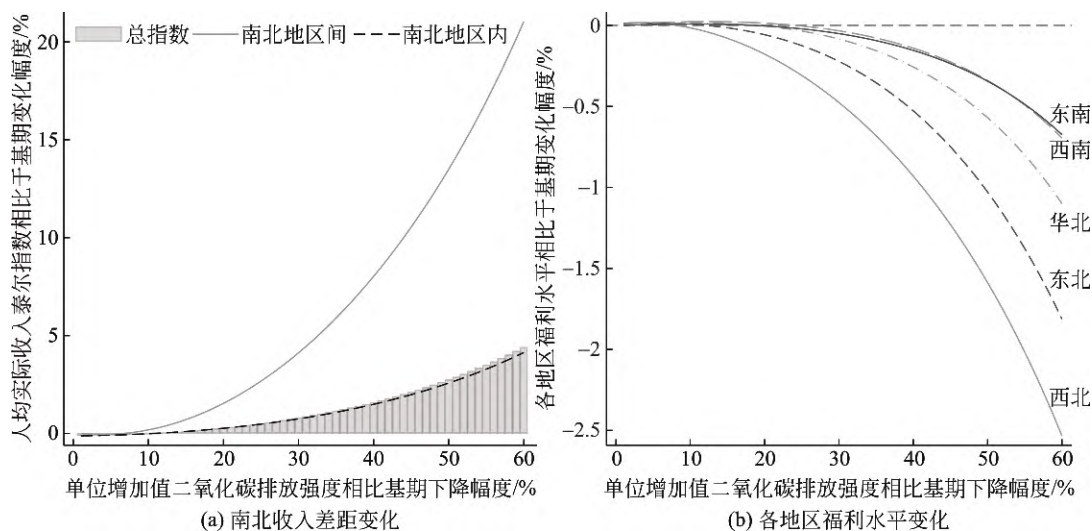


图5 碳减排、地区收入差距与各地区福利水平变化

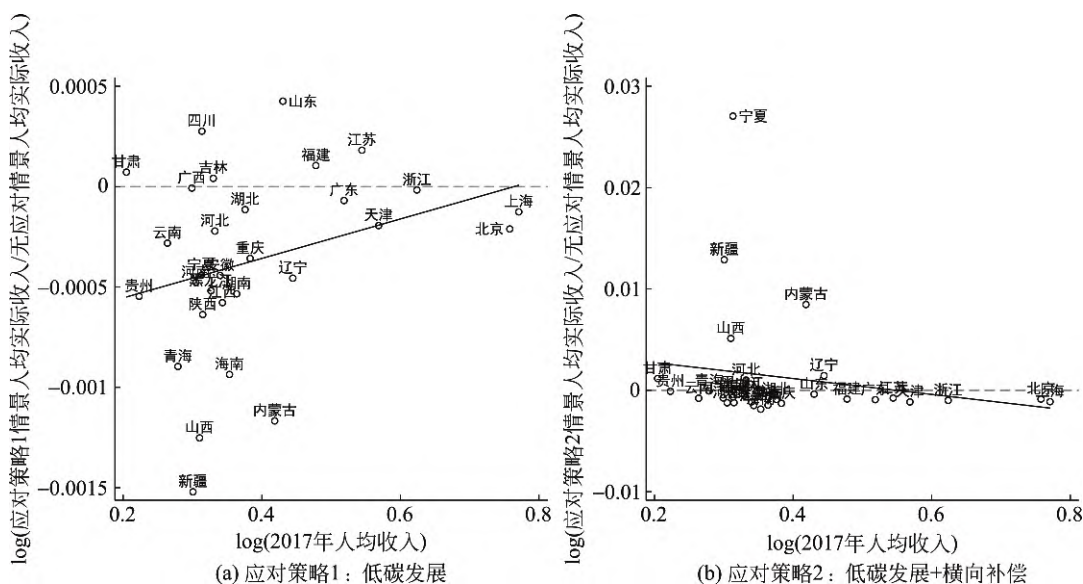


图6 不同应对策略下欧盟CBAM对各省经济的异质性影响

注：此处讨论的是欧盟CBAM扩展情景。黑色直线为线性拟合。

5.1.2 横向补偿机制

前文分析表明,提高国内碳定价虽可以减小甚至规避碳关税风险,但是由此引致的碳排放成本上升会给高碳省份造成更加严重的经济损失。鉴此,本文进一步提出应对策略2:在提高碳定价的同时,构建基于碳定价收入的横向补偿机制^①。具体考虑如下碳定价收入返还方案

$$R_n = \frac{\frac{EI_{n0}}{\overline{EI_0}} \times E_n}{\sum_n \frac{EI_{n0}}{\overline{EI_0}} \times E_n} \times \sum_n E_n P_{\text{CHN}}^C \quad (18)$$

其中, R_n 为 n 地区获得的碳定价收入返还, EI_{n0} 为 n 地区基期的碳排放强度, $\overline{EI_0}$ 为基期各省平均碳排放强度, E_n 为 n 地区的碳排放量, $\sum_n E_n P_{\text{CHN}}^C$ 为全国碳定价收入。

单边情景下,横向补偿机制在应对欧盟CBAM中的政策效果如图6(b)所示:结果表明,横向补偿机制能够有效缓解低碳发展策略对北部高碳省份的负向冲击,缩小地区间收入差距。诸边博弈情景下,横向补偿机制的影响汇报于表4。结果表明,基于碳定价收入的横向补偿机制可以有效缓解整体经济与区域经济协调之间的矛盾。以情景3为例,加入气候俱乐部相比不加入情景,全国人均实际收入损失的下降幅度减少了约50%,但是这会导致南北收入差距扩大;在引入横向补偿措施后,加入气候俱乐部既可以缓解全国整体收入下降,也可以避免南北收入差距扩大风险。

^① 此处横向补偿机制是给与所有居民的一次性(lump-sum)收入补偿,受益方为消费者,而非针对CBAM征税产品的生产商或出口商。

表 4 横向补偿机制的作用效果分析：气候俱乐部 %

气候俱乐部(情景 3)	人均实际收入变化						南北地区间 泰尔指数变化
	西北	东北	华北	西南	东南	全国	
中国不加入	-0.278	-1.023	-1.032	-0.545	-2.125	-1.489	-19.195
中国加入	-2.040	-1.407	-0.722	-0.530	-0.513	-0.722	14.285
中国加入+横向补偿	2.604	-0.335	-0.476	-0.972	-1.267	-0.719	-43.887

注：限于篇幅，关于情景 1、情景 2 的讨论请见附录 F。

5.1.3 国内大循环：降低国内贸易成本

畅通国内大循环可一定程度上缓解碳关税引致的南北收入差距扩大风险：一方面，通过破除商品跨地区流通障碍和地方保护，可从需求端平抑外部贸易风险对地区经济的负向冲击；另一方面，破除地区间贸易壁垒也有助于提升内陆地区参与全球化程度，推进清洁能源和中间投入品等生产资料在空间上的优化配置，推进区域协调发展。鉴此，本文提出应对策略 3：通过降低国内贸易成本推进国内大循环。本文参考 Tombe and Zhu (2019)，模拟省际间贸易成本相比于基期降低 5% 的情景，结果汇报于表 5。结果表明，降低地区间贸易壁垒不仅有效应对了欧盟 CBAM 和气候俱乐部(情景 3)对中国经济的负向冲击，还显著推动西北、东北、西南欠发达地区的经济增长；与此同时，国内贸易成本下降显著缓解了加入气候俱乐部引致的碳成本上升对北部地区的负向冲击，南北地区间人均实际收入差距相比基期下降 2.963%。这表明畅通国内大循环有助于同时实现碳减排、经济增长和区域经济协调发展目标。

表 5 降低国内贸易成本的作用效果分析 %

政策冲击及应对策略	人均实际收入变化						南北区域间 泰尔指数变化
	西北	东北	华北	西南	东南	全国	
欧盟 CBAM:							
无应对措施	-0.010	-0.011	-0.006	-0.002	0.003	-0.001	0.212
降低国内贸易成本	4.956	4.606	2.814	3.662	2.829	3.185	-16.562
气候俱乐部(情景 3):							
中国不加入	-0.278	-1.023	-1.032	-0.545	-2.125	-1.489	-19.195
中国不加入+降低国内贸易成本	4.726	3.702	1.846	3.148	0.762	1.757	-33.775
中国加入	-2.040	-1.407	-0.722	-0.530	-0.513	-0.722	14.285
中国加入+降低国内贸易成本	2.872	3.077	2.075	3.203	2.291	2.443	-2.963

注：此处讨论的是欧盟 CBAM 扩展情景。

5.2 碳关税和普通关税影响差异

本部分将讨论碳关税和普通关税的影响差异。限于篇幅，这一部分讨论请见附录 F。

5.3 稳健性检验

本文从贸易弹性、迁移弹性、中国碳价抵扣、欧盟 CBAM 出口退税、中国减碳技术进步五个方面进行了稳健性检验，结果依然稳健。限于篇幅，这部分内容详见附录 F。

6 结论与政策建议

本文构建了一个囊括国内碳市场、国际碳关税、全球投入产出关联和区域要素流动的空间结构模型,量化评估碳关税对地区经济差距的影响及中国的策略选择。研究结果表明:首先,由于能源结构和产业分工差异,不同省份的碳暴露程度呈现“北高南低”特征,欧盟碳关税对处于产业链上游提供能源密集型产品的北部省份冲击较为严重,南北收入差距因此扩大。其次,推进碳市场扩容和碳价提高,能够缓解碳关税对沿海外贸大省的负向冲击,但同时会加剧北部高碳排放省份的福利损失。再次,倘若主要发达经济体形成气候俱乐部,并对中国征收惩罚性关税,将对中国整体经济产生显著负向冲击,受冲击程度随气候俱乐部规模扩大而加剧,且在不同地区间呈现显著差异。加入气候俱乐部可以显著缓解贸易制裁对东部沿海外贸大省的负面影响,并推进中国整体福利水平改善,但是由此引致的强制减排义务也将加剧西北、东北地区的福利损失。最后,反事实分析表明,构建基于碳定价收入的横向补偿机制,能显著缓解碳定价提高引致的地区收入差距扩大风险,实现绿色贸易规则博弈下的区域利益协同;通过降低国内贸易成本推进国内大循环,不仅能有效平抑欧盟 CBAM 和气候俱乐部对中国整体经济负向冲击,还有助于同时实现碳减排、经济增长和区域经济协调发展目标。

基于上述结论,本文提出如下政策建议。第一,立足各省产业结构和能源资源禀赋差异,制定差异化碳关税应对策略和方案。北部高碳省份需稳妥推进能源结构绿色低碳转型,通过节能减碳降低北部高碳省份面临的碳关税风险;南方经济发达省份应积极扩大在绿色技术上的领先优势,推进全产业链绿色低碳转型,完善地区层面碳排放统计核算,建立产品碳足迹管理体系、碳标识认证制度,将政策冲击转化为绿色贸易机遇。第二,推动建立绿色规则博弈下的区域风险分担和利益协同机制。具体而言,可以通过建立基于碳定价收入的横向补偿机制、绿色技术援助等方式,缓解碳市场扩容和碳价提升对北部高碳省份经济的冲击,并对高耗能企业的技术升级予以资金支持和技术援助,从根本上推动高碳地区产业结构升级和能源转型。第三,进一步降低国内贸易成本,充分发挥国内大循环对于应对绿色贸易壁垒的支撑作用。建议进一步破除地方保护和市场分割行为,加快完善清洁能源市场交易制度和规则,优化区域间清洁能源的空间配置效率,既为支持北部高碳省份能源结构绿色低碳转型提供制度保障,也为中国积极应对外部绿色贸易壁垒、推进碳市场建设预留更大国内政策空间,有助于提高中国在谈判中的主动权。

参考文献

陈诗一. 2022. 低碳经济[J]. 经济研究, 57(6): 12-18.

Chen S Y. 2022. Low-carbon economy[J]. *Economic Research Journal*, 57(6): 12-18. (in Chinese)

段玉婉, 蔡龙飞, 陈一文. 2023. 全球化背景下中国碳市场的减排和福利效应[J]. 经济研究, 58(7): 121-138.

Duan Y W, Cai L F, Chen Y W. 2023. The emission and welfare effects of China's carbon market in the context of globalization[J]. *Economic Research Journal*, 58(7): 121-138. (in Chinese)

李善同, 潘晨, 何建武, 等. 2021. 2017年中国省际间投入产出表: 编制与应用[M]. 北京: 经济科学出版社.

Li S T, Pan C, He J W, et al. 2021. Chinese inter-provincial input-output table: Construction and application

- (2017)[M]. Beijing: Economic Science Press. (in Chinese)
- 林晨, 尤晶. 2023. 投入产出研究的优点、边界与前景[J]. *经济学动态*, (6): 80-93.
- Lin C, You J. 2023. The advantages, boundaries and prospects of input-output research [J]. *Economic Perspectives*, (6): 80-93. (in Chinese)
- 聂长飞, 简新华. 2020. 中国高质量发展的测度及省际现状的分析比较[J]. *数量经济技术经济研究*, 37(2): 26-47.
- Nie C F, Jian X H. 2020. Measurement of China's high-quality development and analysis of provincial status[J]. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 37(2): 26-47. (in Chinese)
- 乔晓楠, 段小刚. 2012. 总量控制、区际排污指标分配与经济绩效[J]. *经济研究*, 47(10): 121-133.
- Qiao X N, Duan X G. 2012. Total quantity control, interregional allocation of emission permits and economic performance[J]. *Economic Research Journal*, 47(10): 121-133. (in Chinese)
- 王谋, 吉治璇, 康文梅, 等. 2021. 欧盟“碳边境调节机制”要点、影响及应对[J]. *中国人口·资源与环境*, 31(12): 45-52.
- Wang M, Ji Z X, Kang W M, et al. 2021. Key points and impact of EU's 'carbon border adjustment mechanism' and China's responses[J]. *China Population, Resources and Environment*, 31(12): 45-52. (in Chinese)
- 杨曦, 彭水军. 2017. 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*, 52(5): 60-74.
- Yang X, Peng S J. 2017. Does carbon tariff prevent carbon leakage and competitiveness losses? —Analyses based on the trade models with firm heterogeneity[J]. *Economic Research Journal*, 52(5): 60-74. (in Chinese)
- 余泳泽, 曹瑞. 2023. 偏向性减排目标分配与区域间共同富裕[J]. *数量经济技术经济研究*, 40(12): 27-48.
- Yu Y Z, Cao R. 2023. Biased distribution of emission reduction targets and common prosperity among regions[J]. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 40(12): 27-48. (in Chinese)
- 张友国, 郑世林, 周黎安, 等. 2015. 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*, 38(2): 167-192.
- Zhang Y G, Zheng S L, Zhou L A, et al. 2015. Potential impacts of taxation standards and carbon tariffs on China's economy and carbon emissions[J]. *The Journal of World Economy*, 38(2): 167-192. (in Chinese)
- Autor D H, Dorn D, Hanson G H. 2013. The China syndrome: Local labor market effects of import competition in the United States[J]. *American Economic Review*, 103(6): 2121-2168.
- Bartelme D G, Costinot A, Donaldson D, et al. 2019. The textbook case for industrial policy: Theory meets data[R]. Cambridge: National Bureau of Economic Research.
- Böhringer C, Carbone J C, Rutherford T F. 2016. The strategic value of carbon tariffs[J]. *American Economic Journal: Economic Policy*, 8(1): 28-51.
- Chen G. 2023. Impact of carbon border adjustment mechanism on China's manufacturing sector: A dynamic recursive CGE model based on an evolutionary game[J]. *Journal of Environmental Management*, 347: 119029.
- Dekle R, Eaton B, Kortum S. 2007. Unbalanced trade[J]. *American Economic Review*, 97(2): 351-355.
- Larch M, Wanner J. 2017. Carbon tariffs: An analysis of the trade, welfare, and emission effects[J]. *Journal of International Economics*, 109: 195-213.
- Nordhaus W D, Boyer J. 2000. Warming the world: Economic models of global warming[M]. Cambridge: MIT Press.
- Redding S J. 2016. Goods trade, factor mobility and welfare[J]. *Journal of International Economics*, 101: 148-167.
- Rennert K, Errickson F, Prest B C, et al. 2022. Comprehensive evidence implies a higher social cost of CO₂ [J]. *Nature*, 610(7933): 687-692.
- Shapiro J S. 2016. Trade costs, CO₂, and the environment[J]. *American Economic Journal: Economic Policy*, 8(4): 220-254.
- Tombe T, Zhu X D. 2019. Trade, migration, and productivity: A quantitative analysis of China[J]. *American Economic Review*, 109(5): 1843-1872.

- Wang X C, Dong X, Zhang Y, et al. 2023. The potential impacts of carbon border adjustment mechanism on carbon neutrality of China[J]. *Chemical Engineering Transactions*, 103: 511-516.
- Zhong J R, Pei J S. 2022. Beggar thy neighbor? On the competitiveness and welfare impacts of the EU's proposed carbon border adjustment mechanism[J]. *Energy Policy*, 162: 112802.

Carbon Tariffs and Regional Economic Disparity: From the Perspective of Industrial Division and Energy Structure

Ruobing Qin¹ Hong Ma² Kaiyue Li³

- (1. China Institute for WTO Studies, University of International Business and Economics;
2. School of Economics and Management, Tsinghua University;
3. School of Economics, Fudan University)

Abstract Lowcarbon development has increasingly become an international consensus. Carbon border adjustment mechanism advanced by developed economies such as the European Union have, in effect, created green trade barriers that threaten China's foreign trade and industrial production. Due to differences in industrial specialization and energy structures, various regions in China can experience heterogeneous impacts, and their decarbonization costs and benefits likewise differ, requiring nuanced strategies considering both overall economic implications and regional disparities. This paper constructs a spatial structure model that integrates China's domestic carbon market, international carbon tariffs, global input-output linkages, and interregional factor mobility. It quantitatively evaluates, under unilateral and plurilateral policy scenarios, how carbon tariffs affect regional economic disparities and explores China's strategic options. This paper finds that the EU's carbon tariff imposes significantly uneven shocks across regions; northern provinces that supply energy-intensive upstream products are hardest hit, thereby widening the north-south income gap. The emergence of a climate club among major developed economies delivers a pronounced negative shock to China's trade interests. Conversely, China's participation in such a club and the acceleration of its own green lowcarbon transition can substantially mitigate overall—and particularly southeastern—income declines, even as they exacerbate economic losses in the northwest and northeast. Finally, this paper examines the effectiveness of horizontal compensation mechanisms and policies to strengthen domestic circulation, offering insights for effectively responding to shifts in global green trade rules and for jointly advancing green, lowcarbon transformation and regional coordinated development.

JEL Classification F13, F18, R13