

自由贸易协定深化与出口贸易隐含碳排放

曲 越¹, 钟四萍¹, 秦晓钰¹, 夏友富²

(1. 山东科技大学 经济管理学院, 山东 青岛 266590;
2. 对外经济贸易大学 全球创新与治理研究院, 北京 100029)

摘要: 自由贸易协定(FTA)的签订和深化是构建开放型经济新体制的重要路径,也是抑制出口贸易隐含碳的重要抓手。本文基于 2007—2021 年 58 个经济体的国别和行业数据,研究了 FTA 深化对中国出口贸易隐含碳排放的影响。研究结果显示,FTA 深化显著抑制了中国出口贸易隐含碳排放,FTA 碳减排效应从长期来看具有动态累积效应。异质性分析发现,与发达国家(地区)签订 FTA 最有利于中国出口贸易隐含碳减排,且 FTA 签订时间越晚,对碳排放的抑制作用越显著。同时,FTA 碳减排效应在技术密集型和污染型行业中更加明显,以环境保护为代表的“WTO-X”条款是碳减排的主力,边境后条款的碳减排效应明显高于边境间条款。机制分析表明,FTA 通过贸易创造效应、资源配置效应和技术溢出效应对中国出口贸易隐含碳排放产生影响。此外,FTA 深化对出口贸易隐含碳的影响存在显著的空间溢出效应。

关键词: FTA 深化; 出口贸易隐含碳; 空间溢出效应; 碳减排路径

[中图分类号]F744 [文献标识码]A [文章编号]1002-4034(2026)01-0001-22

引 言

21 世纪以来,国际分工格局发生了深刻变革,数字贸易和电子商务等新业态、新模式层出不穷,以中美贸易摩擦为代表的全球经济不确定性风险日益增加,自由贸易协定(Free Trade Agreement, FTA)成为各国推进贸易开放、参与贸易治理体系的重要途径。党的二十届四中全会明确提出要稳步扩大制度型开放,维护多边贸易

[收稿日期]2025-01-25

[基金项目]国家社会科学基金青年项目“自由贸易区建设对中国碳排放的影响机制与政策优化研究”(22CJY053)

[作者简介]曲越(1987—),男,山东烟台人,山东科技大学经济管理学院教授、硕士生导师,博士,研究方向:自由贸易区与全球价值链;钟四萍(1998—),女,江西赣州人,山东科技大学经济管理学院硕士研究生,研究方向:国际贸易理论与政策;(通讯作者)秦晓钰(1986—),女,山东烟台人,山东科技大学经济管理学院副教授、硕士生导师,研究方向:区域经济一体化与产业发展;夏友富(1963—),男,浙江台州人,对外经济贸易大学全球创新与治理研究院教授、博士生导师,研究方向:国际贸易理论与政策

体制。截至 2025 年 11 月月底,中国已与 30 个国家(地区)签订了 23 个 FTA^①。随着 FTA 条款数量的增长,相关研究开始以条款内容和涉及领域对 FTA 深度进行衡量,早期研究在区分“WTO+”和“WTO-X”领域的基础上首次实现深度指标的量化(Horn 等,2010)。后续 FTA 深度的测算沿用了这一思路(程惠芳和洪晨翔,2023),通过竞争、知识产权等 7 个议题测度 FTA 深度一体化水平(Dür 等,2014),对 FTA 所涉及条款进行加权赋分,构建总体深度指数、核心深度指数及主成分分析(Principal Component Analysis, PCA)深度指标(Hofmann 等,2017)。另外,高疆和盛斌(2018)建立优惠贸易协定(Preferential Trade Agreements, PTAs)“总指数”“核心指数”等共计 6 项 FTA 深度衡量指标,铁瑛等(2021)根据要素跨国流动条款、边境后条款等构建 FTA 深度指标测度体系。

FTA 签订和深化在促进区域贸易发展的同时,会通过资源优化配置和技术溢出等渠道对碳排放产生影响。短期来看,FTA 签订显著促进成员方贸易和投资的增长,进而增加成员方出口贸易隐含碳排放(Peters 和 Hertwich, 2008);长期来看,随着 FTA 水平的提升,成员方贸易结构逐渐实现升级,低碳、绿色和高新技术产品的比重不断上升,一定程度上抑制了出口贸易隐含碳排放。同时,随着低碳和环保国际合作的不断加深,FTA 深化有望成为促进低碳技术国际交流、推动成员方碳减排的重要外部抓手。

全球多边贸易体系的形成和碳排放问题的日益突出,使贸易开放对环境的影响成为研究焦点。一方面,贸易自由化对碳排放存在消极作用,贸易开放拉动了中国碳排放量的增加(马述忠和陈颖,2010),外商直接投资会通过规模效应显著促进碳排放的增长(Omri 等,2014),FTA 签订通过贸易和投资自由化水平的提升,会使一些成员的碳排放量激增(Tian 等,2022);另一方面,贸易自由化会通过提高全要素生产率对企业污染排放产生正向激励(李小平,2010),外商直接投资通过技术引进与扩散带来的正向技术效应超过了负向的规模效应与结构效应(盛斌和吕越,2012)。此外,FTA 中环境条款深化显著降低了企业污染排放,而边境后条款也会通过促进出口产品质量升级形成累积效应,进而对贸易隐含碳排放产生影响(殷戈等,2024)。《区域全面经济伙伴关系协定》(RCEP)的签订会降低贸易开放度对碳排放的促进作用,贸易自由化的技术溢出效应可以减缓碳排放增长(李锴和齐绍洲,2011)。

综合来看,现有文献在 FTA 的碳减排效应方面有了一定的积累,但仍需进一步探讨:首先,FTA 层次的划分目前尚没有统一标准,缺少对 FTA 深度指标的动态测度;其次,贸易隐含碳测算方法各有优劣,容易受测算对象的影响;最后,FTA 深化的碳减排效应动态变化以及不同机制下的正负向关系存在一定争议,且缺少对 FTA 不同条款异质性碳减排效应的评估。鉴于此,本文从现有研究不足出发,将主要国家(地区)的出口贸易隐含碳数据进行更新,研究 FTA 对中国出口贸易隐含碳的影响,并对 FTA 碳减排效应的作用机制和空间效应进行分析。本文的边际

①资料来源:中国自由贸易区服务网, <https://fta.mofcom.gov.cn/> (访问日期 2025-11-26)。

贡献包括：第一，拓展了 FTA 深度的测度体系，在现有数据库基础上采用世界投入产出表，将出口贸易隐含碳数据进行更新；第二，结合 FTA 碳减排效应的异质性分析，指出中国下一步 FTA 谈判和升级的国别选择和条款深化方向；第三，厘清 FTA 深化对中国出口贸易隐含碳的作用机制，验证 FTA 碳减排效应的空间溢出特征，从 FTA 深化视角提出了中国实现碳减排目标的国际合作路径。

一、理论机制与研究假说

(一) 模型的基本框架

假设在一个开放经济体中，A 国与 B 国通过签订 FTA 加强了贸易联系，A 国生产的最终产品包含增加值和中间投入两部分(Lofgren 等，2001)，国外中间品在进口时已征收碳税，出口时不进行重复征税；根据增加值部分投入要素的差异将 A 国产品分为高碳排放型产品(x)和低碳排放型产品(y)， x 产品的增加值部分投入要素包含资本、劳动和化石能源合成品，而 y 产品增加值部分的投入要素仅包含资本和劳动；产品 x 和 y 的成本函数用 $C^x(w, r)$ 和 $C^y(w, r)$ 表示， w 为劳动收益率， r 为资本收益率，忽略运输成本和贸易摩擦成本，A 国生产 x 产品的一部分(θ)用于国内消费，另一部分用于出口。

1. 生产行为

A 国 x 产品的生产过程包含增加值($ADVA$)和中间投入($INVA$)两个部分，其生产函数可以表示为：

$$X^A = A_x [b_x ADVA_x^{-\beta} + (1 - b_x) INVA_x^{-\beta}]^{\frac{1}{\beta}} \quad (1)$$

式(1)中， β 为增加值与中间投入之间的替代弹性， A_x 代表生产效率参数， $b_x \in (0, 1)$ 表示 x 产品的增加值份额参数。进一步，引入 CES 函数将增加值部分($ADVA$)展开为(劳动 K -资本 L)-能源 N 的嵌套形式：

$$ADVA_x = \theta_{VA} [e(\zeta L_x^{-\alpha} + (1 - \zeta) K_x^{-\alpha})^{\frac{\beta}{\alpha}} + (1 - e) N_x^{-\beta}]^{\frac{1}{\beta}} \quad (2)$$

$$N_x = \left\{ \sum_j [\alpha_{ki} (A_{ki} E_{ki})^{\frac{\delta_{Ni}-1}{\delta_{Ni}}}] \right\}^{\frac{\delta_{Ni}}{\delta_{Ni}-1}} \quad (3)$$

式(2)和式(3)中， θ_{VA} 为 x 产品增加值的生产效率参数， $\alpha, \delta \in (-1, +\infty)$ 代表不同要素之间的替代弹性， $\zeta \in (0, 1)$ 表示资本与劳动的要素份额参数， $e \in (0, 1)$ 为三种要素的综合份额参数，能源合成投入 N 涵盖了煤炭、石油和天然气等化石合成品(E_{ki})。同理，A 国产品 y 增加值部分则以资本 K 和劳动 L 嵌套的形式来表述。假设 t 为整个潜在产出中被投入到碳减排中的比例，则 A 国 x 产品的出口量为：

$$E_x^A = (1 - t)(1 - \theta) f^A(K_x, L_x, N_x, INVA_x) \quad (4)$$

将技术进步因素融入贸易隐含碳分析中，在式(4)的基础上引入碳减排函数 $\varphi(t, \theta)$ ，考虑 A 国碳治理成本与实际产出之间的指数性非线性关系，将 $\varphi(t, \theta)$ 的形式设置为：

$$\varphi(t, \theta) = \frac{1}{T} [(1 - t)(1 - \theta)]^{\frac{1}{\alpha}} \quad (5)$$

式(5)中, T 为 A 国技术水平, $\varphi'(t, \theta) < 0$, $\varphi''(t, \theta) > 0$ 。综合以上, 可以得到 A 国在考虑碳减排投入比例 t 的情况下出口贸易隐含碳排放:

$$CO_2^{Export} = \varphi(t, \theta)f^A(K_x, L_x, N_x, INVA_x) \quad (6)$$

2. 居民消费

假设两国消费者的消费偏好无差异, B 国产品消费效用 U_B 可以表示成连续的 CES 函数形式:

$$U_B = \left\{ \int_{\psi_i \in \Omega_B} [U(\psi_i)]^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} d\psi \right\}^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} \quad (7)$$

式(7)中, σ 表示产品 x 和产品 y 之间的替代弹性, $\sigma > 1$; Ω_B 是 B 国的进口产品消费束; $U(\Psi_i)$ 为消费者消费集合 Ψ_i 中商品的数量, $\Psi_i \in \{x_j, y_j\}$, $j = 1, 2, \dots, n$ 表示产品种类索引。假设反需求函数斜率的弹性大于 0, 用 $P(\Psi_i)$ 表示消费者愿意购买 Ψ_i 集合内商品的最高价格, B 国消费者对产品的需求为:

$$Q_{AB}(\psi_i) = P_{AB}^{im}(\psi_i)^{-\frac{1}{1-\rho}} \gamma_B P_B^{\frac{\rho}{1-\rho}} \quad (8)$$

$$P_B = \left(\int_{\psi_i \in \Omega_B} P(\psi_i)^{1-\sigma} d\psi \right)^{\frac{1}{1-\sigma}} \quad (9)$$

式(8)中, γ_B 为 B 国用于产品 i 的消费总支出, P_B 表示 B 国产品 i 的价格指数。

3. 国际贸易

假设 B 国对商品集 Ψ_i 中某种产品的需求是相应产品在本国销售和进口规模的 CES 函数:

$$q_B(\psi_i) = f_{q_i} [\lambda_i M_{Bi}^{-\rho_i} + (1 - \lambda_i) D_{Bi}^{-\rho_i}]^{-\frac{1}{\rho_i}} \quad (10)$$

式(10)中, λ_i 表示份额参数, f_{q_i} 为 CES 函数的转换参数, M_{Bi} 表示进口产品规模, D_{Bi} 表示 B 国生产中用于国内消费的产品规模。在进口方面采取小国假设, 即进口产品 i 在 B 国国内的销售价格是征收从价关税之后的价格:

$$P_B^{im} = (1 + \tau) P_i^d \quad (11)$$

式(11)中, P_B^{im} 表示 B 国进口产品 i 的价格, P_i^d 表示国内销售价格, τ 为关税税率。联立式(10)和式(11)可求解得到包含 i 产品相对价格(P_i^d/P_B^{im})的 B 国进口表达式为:

$$M_{Bi} = D_{Bi} \left[\frac{P_i^d \lambda_i}{P_B^{im} (1 - \lambda_i)} \right]^{\frac{1}{1+\rho_i}} \quad (12)$$

(二) FTA 的贸易创造效应

假定签订 FTA 之前 A 和 B 两国之间的关税水平为 τ_0 , 签订 FTA 以后关税下降为 τ^F 。两国消费者偏好相同, A 国 i 产品的国外市场出口量等于 B 国所有消费者的 i 产品进口消费量之和($i = x, y$), 于是有 $E_i^A = CL_B$, C 表示消费产品 i 的规模系数。假设企业生产的边际成本为 MC_i , 得到 A 国 i 产品出口的利润函数:

$$\pi(E_i^A, MC_i) = \left[\frac{P_B(E_i^A/L_B)}{1 + \tau_0} - MC_i \right] E_i^A \quad (13)$$

A 国企业生产用于出口的 i 产品最优生产规模 $\bar{E}_i^A$ 可由 B 国 i 产品的进口需求函数和企业利润最大化的一阶条件得到:

$$\frac{\partial \pi(E_i^A, MC_i)}{\partial E_i^A} = \frac{P_B(E_i^A/L_B)}{1 + \tau_0} \left[1 + \frac{P'_B(E_i^A/L_B)}{P_B(E_i^A/L_B)} \times \frac{E_i^A}{L_B} \right] - MC_i = 0 \quad (14)$$

设需求价格弹性 $\varepsilon(E_i^A/L_B) = -P_B(E_i^A/L_B) / [P'_B(E_i^A/L_B) \times (E_i^A/L_B)]$, 则有:

$$\frac{P_B(E_i^A/L_B)}{1 + \tau_0} \left[1 - \frac{1}{\varepsilon(E_i^A/L_B)} \right] = MC_i \quad (15)$$

得到 B 国消费者对进口产品 i 的消费规模 $\bar{C} = E_i^A/L_B$, 进一步对 $1 + \tau_0$ 求偏微分:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \ln \bar{C}}{\partial \ln(1 + \tau_0)} &= \frac{-\varepsilon(\bar{E}_i^A/L_B)}{2 + [(E_i^A/L_B) \times P_B''(E_i^A/L_B)] / P'_B(E_i^A/L_B)} \\ &= -\frac{\varepsilon(\bar{C}) - 1}{2 + \bar{C}P''(\bar{C})/P'(\bar{C})} \end{aligned} \quad (16)$$

令 $\delta_{E/L} = -\bar{C}P''(\bar{C})/P'(\bar{C})$, $0 < \delta_{E/L} < 2$, 则有:

$$\frac{\partial \ln \bar{C}}{\partial \ln(1 + \tau_0)} = -\frac{\varepsilon(\bar{C}) - 1}{2 - \delta_{E/L_B}} < 0 \quad (17)$$

式(17)表明, 两国通过签订 FTA 降低关税, 将增加 B 国消费者对 A 国出口产品的消费量。此外, 联立式(11)和式(12)进一步得到:

$$P_B^{im}(\tau^F) < P_B^{im}(\tau_0) \quad (18)$$

$$E_{iFTA}^A = D_{Bi} \left[\frac{\lambda_i}{(1 + \tau^F) \times (1 - \lambda_i)} \right]^{\frac{1}{1+\rho_i}} > E_{i0}^A = D_{Bi} \left[\frac{\lambda_i}{(1 + \tau_0) \times (1 - \lambda_i)} \right]^{\frac{1}{1+\rho_i}} \quad (19)$$

签订双边 FTA 带来关税水平的降低不仅提升了 B 国消费者对 A 国出口产品的消费量, 同时还增加了 A 国对 B 国的出口规模。进一步, 联立式(4)和式(5), 可将式(6)的 CO_2 表达式进一步展开为 A 国 x 产品出口量 E_{iFTA}^A 的函数:

$$CO_2^{Export} = (E_{xFTA}^A)^{\frac{1}{\alpha}} \frac{1}{T^A} f^A(K_x, L_x, N_x, INVA_x)^{\frac{\alpha-1}{\alpha}} \quad (20)$$

据此, 本文提出:

假说 1 FTA 的签订通过成员方贸易规模的扩大促进了出口贸易隐含碳的增长, 即 FTA 对出口贸易隐含碳的影响存在贸易创造效应机制。

(三) FTA 的资源配置效应

A 国和 B 国签订 FTA 以后, FTA 条款中诸如“环境保护”类条款将对 A 国企业高碳产品的生产进行环境规制约束, 最终影响到出口贸易隐含碳排放, 参考 Morgenstern 等(2002)对企业劳动力需求的描述:

$$L_x^A = \frac{1}{W_x^A} \times V_x \times TC_x \quad (21)$$

L_x^A 表示 A 国企业生产高碳产品 x 的劳动力需求函数, W_x^A 是该企业的劳动力价格, 具体表现为工人工资, V_x 表示工人工资在企业总成本中所占的比重, TC_x 表示 A 国企业生产产品 x 的总成本, TC_x 包含企业因生产高碳产品产生的碳治理成本。对式(21)中的碳治理成本求偏导数:

$$\frac{\partial L_x^A}{\partial Er_{cx}} = \frac{TC_x}{W_x^A} \times \frac{\partial V_x}{\partial Er_{cx}} + \frac{V_x}{W_x^A} \times \frac{\partial TC_x}{\partial Er_{cx}} \quad (22)$$

Er_{cx} 表示双边 FTA 签订以后企业生产高碳产品 x 所承受的碳治理成本。联立式(4)和式(20), 得到 A 国 x 产品包含贸易隐含碳排放的出口函数表达式:

$$E_{xFTA}^A = [TCO_2^{Export}]^{\alpha} f^A(K_x, L_x, N_x, INVA_x)^{1-\alpha} \quad (23)$$

两国签订 FTA 以后, 对低碳产品 y 不会征收严格的碳关税, 但对高碳产品 x 仍征收部分碳关税, 假定 B 国政府对 A 国高碳产品 x 的出口征收碳关税 $\eta = \lambda TCO_2^{Export}$, λ 为综合考虑技术水平和 x 产品出口贸易隐含碳的调节系数, A 国产品 x 出口到 B 国的成本为:

$$C^{Tariff} = (\lambda + \tau) TCO_2^{Export} \quad (24)$$

在综合考虑成本和出口量的前提下, 得到企业的最优决策条件:

$$\left\{ \begin{array}{l} \min\{[(\lambda + \tau) TCO_2^{Export}] + C^x(w, r) f^A(K_x, L_x, N_x, INVA_x)\} \\ \text{st. } [TCO_2^{Export}]^{\alpha} f^A(K_x, L_x, N_x, INVA_x)^{1-\alpha} = 1 \end{array} \right\} \quad (25)$$

构造拉格朗日函数, 根据其一阶条件求解, 得到企业单位产品成本最小化的决策条件:

$$\frac{C^x(w, r)}{(\lambda + \tau) T} = \frac{(1 - \alpha) CO_2^{Export}}{\alpha f^A(K_x, L_x, N_x, INVA_x)} \quad (26)$$

在市场完全竞争状态下, 企业的利润恒等式变换为:

$$P^x \times E_x^A = C^x(w, r) f^A(K_x, L_x, N_x, INVA_x) - (\lambda + \tau) TCO_2^{Export} \quad (27)$$

将式(20)与式(27)联立求解, 得到 $\varphi(t, \theta)$ 在企业一般均衡条件下的表达式:

$$\varphi(t, \theta) = \frac{CO_2^{Export}}{E_{xFTA}^A} = \frac{\alpha P^x}{(\lambda + \tau) T} \quad (28)$$

基于此, 式(20)可进一步改写为:

$$CO_2^{Export} = \varphi(t, \theta) \times S^x \times G^x \quad (29)$$

式(29)中, S^x 代表 A 国整个经济规模, $S^x = P^x X^A + P^y Y^A$, G^x 表示 A 国高碳产品 x 的产值在该国总产值中所占的比重, $G^x = (P^x X^A) / (P^x X^A + P^y Y^A)$ 。联立式(4)、式(20)和式(28)可将 G^x 进一步分解为:

$$G^x = \frac{\lambda}{\alpha S^x} f^A(K_x, L_x, N_x, INVA_x) [(1 - t)(1 - \theta)]^{\frac{1-\alpha}{\alpha}} \quad (30)$$

结合式(22)和式(30), 两国签订 FTA 中的环境条款深化将增加 A 国企业对高碳产品的国内碳治理成本和出口成本, 高碳产品的出口比重下降, 低碳产品在总出口产品中的比重上升。与此同时, 价值链嵌套效应使 FTA 成员方之间的要素自由

流动壁垒降低,原本投入高碳行业的资本、劳动力加速流向低碳行业,要素的跨境流动提升了 FTA 区域内的资源利用效率,即 FTA 的资源配置效应。据此,本文提出:

假说 2 FTA 的深化通过资源的优化配置带来成员方产业结构的调整和升级,进而显著抑制出口贸易隐含碳的增长,即 FTA 对出口贸易隐含碳的影响存在资源配置效应机制。

(四) FTA 的技术溢出效应

A 国的生产技术水平不仅受到其自身效率的影响,还能吸收因 FTA 签订带来的技术溢出效应。借鉴李元旭和谭云清(2010)的做法,将式(27)中的 T 分解为两部分:一部分为 A 国自身的生产技术水平,用 $InnerTech_i$ 表示;另一部分为 A 国通过 FTA 签订从缔约另一方 B 国吸收的技术溢出效应,用 $SpilloverTech_{ij}$ 表示, $SpilloverTech_{ij}$ 的具体表达形式如下:

$$SpilloverTech_{ij} = \frac{depth_{ij}}{TechGap_{ij}} e^{-\left(\frac{1}{depth_{ij}} ManuGap_{ij} - \mu_i\right)^2} \quad (31)$$

式(31)中, $depth_{ij}$ 为 FTA 缔约双方签订贸易协定的深度, $TechGap_{ij}$ 表示 A 国与 B 国之间的技术水平差距, FTA 的签订通过深化双边价值链嵌套,加速了管理经验和先进技术的跨国溢出,缩小了两国之间的技术水平差距。另外, FTA 的技术溢出效应还受到两国之间制度差异的影响,在式(31)中用 $ManuGap_{ij}$ 表示, A 国出口贸易隐含碳的最终表达式可变换为:

$$CO_2^{Export} = \frac{\alpha P^x}{\lambda \left[InnerTech_i + \frac{depth_{ij}}{TechGap_{ij}} e^{-\left(\frac{1}{depth_{ij}} ManuGap_{ij} - \mu_i\right)^2} \right]} S^x G^x \quad (32)$$

式(32)表明, FTA 的签订和深化可以显著提升缔约双方的技术水平,即 A 国通过吸收 FTA 带来的技术溢出效应,抑制出口贸易隐含碳排放。据此,本文提出:

假说 3 FTA 的深化通过成员方之间的技术溢出显著抑制了出口贸易隐含碳的增长,即 FTA 对出口贸易隐含碳的影响存在技术溢出效应机制。

二、模型构建与指标测度

(一) 模型设计

基于 FTA 数量和深度对出口贸易隐含碳的影响效应和理论机制分析,参考 Baier 等(2014)的做法,构建 FTA 数量和深度对出口贸易隐含碳的影响模型:

$$\ln CO_{2it} = \alpha_0 + \alpha_1 FTA_{sit} + \alpha_2 Depth_{it} + \gamma \sum Control_{it} + \delta_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (33)$$

式(33)中, $\ln CO_{2it}$ 表示中国第 t 年向 i 国出口商品中的贸易隐含碳,为了减少可能存在的异方差和数据的波动性,对出口贸易隐含碳作对数化处理。 FTA_{sit} 是 FTA 数量变量,衡量中国在第 t 年和 i 国签订 FTA 的情况,为政策虚拟变量;

$Depth_{it}$ 为 FTA 深度变量, 表示中国第 t 年和 i 国签订 FTA 的条款深度。此外, $Control_{it}$ 为控制变量, 包括经济规模 (ES_{it})、人口数量 ($POPT_{it}$)、价值链后向参与度 ($Participationb_{it}$)、价值链位置 ($GVCposition_{it}$) 和环境规制虚拟变量 (ER_{it}), δ_i 为个体固定效应, λ_t 为时间固定效应, ε_{it} 为随机误差项。

(二) 变量选择和指标测度

1. 被解释变量

CO_2 的测算以 WIOD^① 的世界投入产出表为基准, 重点计算各国在生产过程中对国外产品消耗产生的 CO_2 间接碳排放 (赵玉焕和刘月, 2011), 测算时基于 MRIO^② 框架, 并考虑核算边界的一致性 (彭水军等, 2016)。

2. 核心解释变量

FTA 数量为“0”和“1”虚拟变量, 若中国在第 t 年和 i 国签订了 FTA 则取值为“1”, 否则取值为“0”。FTA 的深度变量 $Depth_{it}$, 根据贸易协定条款覆盖领域, 划分为总体深度 ($Totaldep_{it}$)、水平深度 ($Horizdep_{it}$) 和垂直深度 ($Vertidep_{it}$)。 $Totaldep_{it}$ 表示 FTA 总体深度, 基于 52 项贸易协定条款的划分, 进一步区分法律执行性和争端解决机制:

$$Totaldep_{it} = \frac{\sum_{c=1}^{52} provision_{ijt}^c}{\max\left\{\sum_{c=1}^{52} provision_{ijt}^c\right\}} \quad (34)$$

参照 Baier 等 (2014) 的划分标准, 水平深度 $Horizdep_{it}$ 指标侧重考察 FTA 中“WTO-X”条款比重, 体现了中国 FTA 条款内容由 WTO 传统经贸规则向“WTO-X”高标准经贸规则的横向拓展 (杨连星和铁瑛, 2023):

$$Horizdep_{it} = \frac{\sum_{c_1=1}^{38} WTO - Xprovision_{ijt}^{c_1}}{\sum_{c_1=1}^{38} WTO - Xprovision_{ijt}^{c_1} + \sum_{c_2=1}^{14} WTO + provision_{ijt}^{c_2}} \quad (35)$$

借鉴 Dür (2014) 的做法, 将 FTA 条款中更加具有经济相关性、能够为市场准入以及全球价值链的平稳运行提供基本遵循规则的 18 个条款定义为核心条款, 将核心条款标准化处理后得到垂直深度 $Vertidep_{it}$:

$$Vertidep_{it} = \frac{\sum_{c=1}^{18} provision_{ijt}^c}{\max\left\{\sum_{c=1}^{18} provision_{ijt}^c\right\}} \quad (36)$$

①WIOD(World Input-Output Database, 世界投入产出数据库), 主要收集了世界各国的政府部门、企业和居民在经济活动中的收入和支出数据, <https://www.rug.nl/ggdc/valuechain/wiod/> (访问日期 2025-05-28)。

②MRIO(Multi-regional Input-Output Model, 多区域投入产出模型), 用于量化国际贸易中隐含的碳排放等环境影响。

3. 控制变量

(1) 国家层面的控制变量。 $GVCposition_{it}$ 和 $Participationb_{it}$ 分别表示全球价值链位置和全球价值链后向参与度； ES_{it} 代表经济规模，用两个国家的 GDP 之和来衡量，计算过程进行对数化处理， GDP_{it} 数据均采用现价美元计价； ER_{it} 是政策虚拟变量，衡量两国之间的环境规制情况，通过 Python 进行国际绿色合作和碳合作的关键词抓取和处理，如果有开展绿色环保低碳方面的国际合作，则环境规制变量取值为“1”，否则取值为“0”； $POPT_{it}$ 是人口变量，以两国的人口总数来衡量，同样对数据进行对数处理。

(2) 行业层面的控制变量。行业出口增加值 ($Exportva_{ijt}$)，数据来源于 UIBE 全球价值链数据库中基于 WIOD 分解的行业出口增加值^①；行业碳排放强度 ($Cintensity_{ijt}$)，采用各行业二氧化碳排放占总产出的比重来衡量；基于行业增加值的价值链位置 ($Posparticipation_{ijt}$)，具体计算公式为： $Posparticipation_{ijt} = \ln(1 + GVC_Pat_f_{ijt}) - \ln(1 + GVC_Pat_b_{ijt})$ ，其中， $GVC_Pat_f_{ijt}$ 为价值链的前向参与度， $GVC_Pat_b_{ijt}$ 表示价值链后向参与度。

(三) 数据说明与描述性统计

样本数据维度为 2007—2021 年经济与合作发展组织 (OECD) 国家和主要发展中经济体的 58 个贸易伙伴和行业层面的面板数据，考虑到中国 FTA 签订与升级的情况，设定样本开始时间为 2007 年，此时中国 FTA 已初具规模，具备研究的价值和代表性；截止时间设定为 RCEP 正式签订的 2021 年，研究区间的时间跨度为 15 年。在样本的国别 (地区) 的选择上，选取 OECD 等世界主要经济体，同时将与中国签订 FTA 的国家 (地区) 纳入样本研究范围。

在核心解释变量 FTA 深度指标的处理过程中，根据贸易协定条款覆盖领域和范围的差异，综合考虑了总体深度、水平深度和垂直深度三个维度，根据贸易协定条款的法律约束力和争端解决机制将 52 个条款进行赋值，在世界银行 FTA 深度数据库原始数据的基础上，将部分缺失的深度数据与 DESTA 数据库^②进行了匹配。由于数据库更新时间的限制，本文的深度指标还对中国自由贸易区服务网^③中 RCEP 的文本信息进行了挖掘 (附件、草案和补充条款)，在是否签订的基础上进一步细化了条款的法律执行力和争端解决机制。

三、实证结果与异质性分析

(一) 基准回归结果

为了减少数据的波动性、降低内生性偏误对实证结果的影响，模型中纳入国家—时间固定效应项，估计结果如表 1。列 (1) 结果显示，FTA 签订数量每增加 1 个

①资料来源：UIBE GVC 数据库，<http://gvcd.b.uibe.edu.cn/gvc.html> (访问日期 2025-5-28)。

②资料来源：DESTA 数据库，<https://www.designoftradeagreements.org/> (访问日期 2025-11-26)。

③资料来源：中国自由贸易区服务网，<https://fta.mofcom.gov.cn/> (访问日期 2025-11-26)。

单位会使中国出口贸易隐含碳增加 0.31%。FTA 签订初期，FTA 数量通过贸易和投资自由化水平的提升显著增加了中国出口贸易隐含碳排放；长期来看，随着新签订 FTA 深度的提升和条款内容的不断创新，FTA 数量对贸易隐含碳排放带来的增长作用逐渐减弱。列(2)将 FTA 数量和总体深度指数同时引入解释变量，估计结果显示，FTA 数量对中国出口贸易隐含碳存在显著正向作用，FTA 总体深度对中国出口贸易隐含碳表现出显著抑制作用，总体深度指标全面衡量了 FTA 的 52 项条款，FTA 总体深度水平越高，对出口贸易隐含碳排放的抑制作用越强。

表 1 列(3)将 FTA 数量和水平深度指数同时引入解释变量，相较总体深度而言，水平深度对出口贸易隐含碳的估计系数略小，原因在于 FTA 水平深度侧重于“WTO-X”条款的衡量，其贸易规则签订的覆盖范围相对较窄，但却是中国高标准 FTA 建设的重点方向。列(4)将 FTA 数量和垂直深度指数同时引入解释变量，相较于总体深度和水平深度而言，FTA 垂直深度对中国出口贸易隐含碳的抑制作用更小。从经济意义角度来看，FTA 垂直深度体现了 18 项与贸易最相关的核心条款，这些核心条款在目前国内外 FTA 协议中使用率最高，对贸易自由化的促进作用较大，因而短期对中国的出口贸易隐含碳的抑制作用相对较弱。

表 1 基准回归结果

项目	(1)	(2)	(3)	(4)
$FTAs_{it}$	0.311 ** (0.138)	0.531 ** (0.217)	0.496 ** (0.187)	0.578 ** (0.247)
$Totaldep_{it}$	—	-1.283 ** (0.609)	—	—
$Horizdep_{it}$	—	—	-0.999 *** (0.365)	—
$Vertidep_{it}$	—	—	—	-0.634 * (0.331)
常数项	-8.787 *** (2.937)	-7.993 *** (2.585)	-7.824 *** (2.535)	-8.176 *** (2.657)
控制变量	是	是	是	是
国家固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
R^2	0.785	0.789	0.791	0.789

注：*、** 和 *** 分别代表估计系数在 10%、5% 和 1% 的水平上显著，括号内的数值为稳健标准误。下表同。

(二) 稳健性检验^①

1. 更换核心解释变量与被解释变量

变换核心解释变量的衡量指标与赋值标准，重新构建指标替代原有的总体深度、水平深度和垂直深度变量进行检验。若 FTA 条款未在协议中提及或不具有法

^①篇幅所限，稳健性和内生性讨论的详细图表备索。凡备索资料均可登录对外经济贸易大学学术刊物编辑部网站“在线阅读”栏目查询、下载。

律执行效力赋值则为“0”，若被提及且在法律上可强制执行，但被争议解决机制明确排除则赋值为“1”，若条款被明确提及且具有法律执行效应则赋值为“2”。估计结果显示，解释变量回归系数与基准回归结果一致，验证了估计结果的稳健性。与此同时，更换被解释变量的数据来源，将被解释变量替换 OECD 贸易隐含碳数据，估计结果与基准一致，结果稳健。

2. 变更估计方法

鉴于 FTA 数量指标数据中非负零值数据的存在，更换泊松伪极大似然回归 (PPML) 方法对估计结果进行进一步检验。PPML 方法适用于非负数据中零值较多的情况，能缓解模型设立可能存在的偏差以及跨国面板数据可能存在的异方差和内生性问题。本文采用 PPML 方法进行回归后结论依然成立，基准回归结果具有较强的稳健性。

3. 剔除大型区域协定影响的样本调整估计

参照杨连星和铁瑛 (2023) 的做法，剔除 RCEP (以日本和韩国为代表) 和《全面与进步跨太平洋伙伴关系协定》(CPTPP) 成员以排除大型区域协定的影响。剔除日本、韩国和 CPTPP 成员以后，FTA 总体深度、水平深度和垂直深度的影响与基准结果趋势一致，但系数略有下降。结果稳健的同时也从侧面说明，日本和韩国与中国签订的 RCEP 对中国贸易隐含碳的抑制作用有较强的影响，CPTPP 作为大型深度区域贸易协定，其条款深化能够对中国出口贸易碳减排发挥积极作用。

(三) 内生性讨论

1. 工具变量法

为了缓解 FTA 的内生性问题，引入 FTA 数量和深度滞后一期以及《实施卫生与植物卫生措施协定》(SPS 协议) 作为工具变量 (苑文华和路玮孝, 2023)。历史时期的 FTA 数量和深度可以作为当期 FTA 签订的依据，满足与解释变量的相关性要求，且与当前出口贸易隐含碳没有直接相关性。SPS 协议与 FTA 具有一定相关性，满足工具变量相关性前提，且没有涉及碳排放议题，满足外生性假定。回归结果均在 1% 水平上显著拒绝“工具变量识别不足”原假设，且 K-P Wald F、CD-LM 统计量均大于 Stock-Yogo 弱工具变量检验临界值，表明不存在“工具变量弱识别”问题。进一步更换原来的 SPS 协议工具变量，使用除一国以外其他所有国家 (地区) 的 FTA 深度指数的均值作为新的工具变量重新回归，结论依然成立。

2. 多时点 DID 处理

以 FTA 签订作为 FTA 数量政策变量，构建双重差分项 $DidFTA_{it} = G_i \times Npolicytime_{it}$ ，若中国和 i 国^①签订了 FTA， G_i 赋值为“1”，否则赋值为“0”； i 国与中国签订了 FTA 之后的年份， $Npolicytime_{it}$ 取值为“1”，否则取值为“0”。本文采用事件研究法进行平行趋势检验。结果显示，在 95% 置信区间下，FTA 签订前期，出口贸易隐含碳没有明显差异化趋势；签订 FTA 以后，FTA 数量增加对中国出口贸易隐

①为了叙述方便，本文中的“国”或“国家”均包含“国家或地区”之意。

含碳有着显著促进作用。同时选取 FTA 强约束条款生效作为 FTA 深度政策变量,构造双重差分项 $Diddep_{it} = Treat_i \times Dpolicytime_{it}$, 如果中国与 i 国签署了具有法律执行效力和争端解决机制的 FTA 条款, 则 $Treat_i$ 赋值为“1”, 否则赋值为“0”; i 国和中国深度 FTA 生效之后的年份 $Dpolicytime_{it}$ 赋值为“1”, 否则赋值为“0”。平行趋势检验结果显示, 在 FTA 强约束条款生效以后, FTA 深化对中国出口贸易隐含碳有抑制作用, 且随着时间推移抑制作用逐步增强。

(四) 异质性分析

1. 国别异质性

(1) 经济发展水平异质性。根据国际货币基金组织(IMF)的人均 GDP 数据和标准, 将样本分为发达国家(地区)与发展中国家(地区)两类。表 2 结果表明, 中国与发达国家(地区)签订 FTA 对中国出口贸易隐含碳有着更加显著的影响, FTA 深化有效抑制了中国的出口贸易隐含碳排放。同时, 发达国家(地区)的 FTA 总体深度和水平深度变量对中国出口贸易隐含碳的抑制作用明显更强, 说明与发达国家(地区)围绕“WTO-X”条款进行 FTA 的谈判和签订更有利于中国的出口贸易隐含碳减排。

表 2 经济发展水平异质性的回归结果

项目	发展中国家(地区)			发达国家(地区)		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
$FTAs_{it}$	-0.091 (0.260)	-0.092 (0.260)	-0.414 (0.414)	0.850 ** (0.334)	0.714 *** (0.212)	0.392 * (0.202)
$Totaldep_{it}$	5.029 * (2.882)	—	—	-2.306 ** (0.878)	—	—
$Horizdep_{it}$	—	7.256 * (4.156)	—	—	-1.510 *** (0.452)	—
$Vertidep_{it}$	—	—	2.901 * (1.663)	—	—	-0.445 (0.270)
控制变量	是	是	是	是	是	是
国家固定效应	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是
R ²	0.808	0.808	0.808	0.844	0.846	0.840

(2) FTA 签订时间异质性。以 2014 年为时间节点, 按照 FTA 的签订时间将样本划分为两组。回归结果如表 3 所示, 与中国签订 FTA 越晚的国家(地区), FTA 深化对中国出口贸易隐含碳的抑制作用越显著, 说明 FTA 的条款深化尤其是以环境条款和知识产权条款为代表的“WTO-X”条款的发展对中国的出口贸易隐含碳减排更加有利。

表 3 FTA 签订时间异质性的回归结果

项目	与中国签订 FTA 较早的国家(地区)			与中国签订 FTA 较晚的国家(地区)		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
$FTAs_{it}$	-0.019 (0.381)	0.022 (0.337)	-0.049 (0.417)	0.225 (0.137)	0.218 (0.142)	0.275* (0.145)
$Totaldep_{it}$	1.083 (1.583)	—	—	-0.528** (0.187)	—	—
$Horizdep_{it}$	—	0.959 (1.403)	—	—	-0.430** (0.150)	—
$Vertidep_{it}$	—	—	0.486 (0.711)	—	—	-0.349** (0.118)
控制变量	是	是	是	是	是	是
国家固定效应	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是
R ²	0.908	0.908	0.908	0.865	0.866	0.866

2. 行业异质性

(1)行业技术密集程度异质性。借鉴吕越和吕云龙(2019)的做法,将样本中的行业划分为两组,一组是技术密集型行业,另一组是非技术密集型行业。具体估计结果如表 4 列(1)和列(2)所示,签订 FTA 以后,技术密集型行业对成员方技术溢出效应的吸收和应用能力更强,FTA 签订和深化对技术密集型行业出口贸易隐含碳的抑制作用也更大。

表 4 行业异质性的回归结果

项目	(1)	(2)	(3)	(4)
	技术密集型行业	非技术密集型行业	污染型行业	非污染型行业
$FTAs_{it}$	-0.084 (0.050)	-0.033 (0.044)	-0.096 (0.053)	-0.038 (0.039)
$Depth_{it}$	-0.284*** (0.077)	-0.084 (0.121)	-0.199** (0.077)	-0.102 (0.113)
控制变量	是	是	是	是
行业固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
观测值	609 0	161 38	348 0	187 48
R ²	0.309	0.196	0.277	0.203

(2)行业污染密集程度异质性。参照 Busse(2004)对污染行业的划分,对行业污染密集程度进行异质性分析,估计结果如表 4 列(3)和列(4)所示,FTA 深化对污染型行业的出口贸易隐含碳减排作用更强。原因在于 FTA 中环境条款的签订和生效增加了对污染行业的环境约束力,从而减少了污染型产品的出口贸易隐含碳排放。

3. FTA 条款异质性

(1) 条款适用边界异质性。参照 Brandi 等(2020)的做法,按照生效界限将 FTA 条款划分为边境间条款和边境后条款。结果如表 5 所示,FTA 数量和边境间条款深度均与中国出口贸易隐含碳存在正向关系,而边境后条款深度对中国的出口贸易隐含碳具有抑制作用。原因在于边境间条款主要通过中间品来影响出口贸易隐含碳,而边境后条款更多地通过提升绿色技术创新和应用水平对中国出口贸易隐含碳产生抑制作用。

表 5 条款边界适用的异质性结果

项目	边境间条款			边境后条款		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
$FTAs_{it}$	—	0.312 (0.217)	0.172 (0.184)	—	0.559 ^{***} (0.197)	0.432 ^{**} (0.175)
$Borderdep_{it}$	0.463 ^{**} (0.219)	0.041 (0.394)	0.225 (0.314)	—	—	—
$Postdep_{it}$	—	—	—	0.366 (0.255)	-0.537 [*] (0.278)	-0.293 (0.236)
控制变量	是	否	是	是	否	是
国家固定效应	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是
R ²	0.785	0.763	0.785	0.777	0.767	0.786

(2) 条款类别异质性。依据 FTA 条款与 WTO 框架的契合度,构建“WTO-X”条款深度指数和“WTO+”条款深度指数,分析不同类别 FTA 条款对中国出口贸易隐含碳的异质性影响。估计结果如表 6 所示,“WTO-X”条款深度指数对中国出口贸易隐含碳的抑制作用显著大于“WTO+”条款深度指数。

表 6 FTA 条款类别异质性的回归结果

项目	“WTO-X”条款深度			“WTO+”条款深度		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
$FTAs_{it}$	—	0.515 ^{***} (0.172)	0.443 ^{***} (0.162)	—	0.481 ^{**} (0.224)	0.322 (0.203)
WTO_extra_{it}	-0.145 (0.171)	-1.754 ^{***} (0.590)	-1.297 ^{***} (0.483)	—	—	—
WTO_plus_{it}	—	—	—	0.466 [*] (0.254)	-0.261 (0.442)	-0.020 (0.392)
控制变量	是	否	是	是	否	是
国家固定效应	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是
R ²	0.773	0.775	0.791	0.783	0.764	0.785

四、影响机制分析

(一) 贸易创造效应

贸易创造效应($\ln Size_{it}$)使用增加值视角的中国出口规模数据^①,并对 2007—2021 年间 58 个国家(地区)出口增加值的 35 个产业层面数据进行了加总和降维处理。从 FTA 数量视角来看,贸易创造效应机制显著存在(表 7),即 FTA 数量增加通过扩大出口规模带动了中国出口贸易隐含碳排放的增长。从 FTA 深度视角来看,在同时考虑 FTA 数量和 FTA 深度的条件下,贸易创造效应机制仍显著存在,假说 1 得到验证。同时,FTA 总体深度、水平深度和垂直深度均对中国出口贸易隐含碳表现出显著的负向作用,说明出口规模扩大产生的中介效应是抑制中国出口贸易隐含碳的重要渠道。

表 7 贸易创造效应的作用机制

项目	FTA 数量		FTA 总体深度		FTA 水平深度		FTA 垂直深度	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	$\ln Size_{it}$	$\ln CO_{2it}$	$\ln Size_{it}$	$\ln CO_{2it}$	$\ln Size_{it}$	$\ln CO_{2it}$	$\ln Size_{it}$	$\ln CO_{2it}$
$FTAs_{it}$	0.285 ** (0.120)	0.098 * (0.051)	0.440 ** (0.189)	0.204 ** (0.082)	0.420 ** (0.164)	0.185 ** (0.071)	0.467 ** (0.215)	0.230 ** (0.094)
$Totaldep_{it}$	—	—	-0.906 * (0.532)	-0.610 ** (0.240)	—	—	—	—
$Horizdep_{it}$	—	—	—	—	-0.730 ** (0.324)	-0.458 *** (0.148)	—	—
$Vertidep_{it}$	—	—	—	—	—	—	-0.433 (0.290)	-0.312 ** (0.128)
$\ln Size_{it}$	—	0.749 *** (0.069)	—	0.743 *** (0.068)	—	0.741 *** (0.068)	—	0.744 *** (0.068)
控制变量	是	是	是	是	是	是	是	是
国家固定效应	是	是	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是	是	是
R ²	0.671	0.914	0.674	0.915	0.675	0.916	0.673	0.915
Sobel Z	5.873 ***		-2.748 ***		-3.259 ***		-2.460 **	
BC(95%)	[0.117, 0.314]		[-1.252, -0.326]		[-1.027, -0.272]		[-0.660, -0.066]	
中介效应	0.213 *** (0.036)		-0.673 *** (0.245)		-0.541 *** (0.166)		-0.322 ** (0.131)	
直接效应	0.097 *** (0.030)		-0.610 *** (0.201)		-0.458 *** (0.137)		-0.312 *** (0.107)	
总效应	0.311 *** (0.046)		-1.283 *** (0.315)		-0.999 *** (0.214)		-0.634 *** (0.169)	
中介效应占比	68.60%		52.40%		54.10%		50.80%	

①资料来源:UIBE GVC 数据库, <http://gvcd.b.uibe.edu.cn/gvc.html>(访问日期 2025-5-28)。

(二) 资源配置效应

资源配置效应(Tse_{it})使用第三产业出口增加值占中国总出口增加值的比重来衡量^①。从 FTA 数量视角来看, FTA 数量对中国出口贸易隐含碳的影响存在明显的资源配置效应机制(表 8), 资源优化配置推动产业结构升级是出口贸易隐含碳减排的重要抓手。从 FTA 深度视角来看, “FTA 深度—资源优化配置—出口贸易隐含碳减排”的传导路径显著存在, 即资源配置效应在 FTA 深度抑制中国出口贸易隐含碳的过程中发挥了重要的媒介作用, 假说 2 得到验证。

对比来看, 资源配置效应机制下 FTA 深度对中国出口贸易隐含碳的直接影响系数明显大于贸易创造效应机制, 说明在 FTA 框架下, 资源配置效应对出口贸易隐含碳减排的边际效率更高。但从中介效应的占比来看, 资源配置效应的比重与贸易创造效应存在较大的差距, 贸易创造效应机制仍然是当前 FTA 深度影响中国出口贸易隐含碳的主导机制。

表 8 资源配置效应的作用机制

项目	FTA 数量		FTA 总体深度		FTA 水平深度		FTA 垂直深度	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	Tse_{it}	$\ln CO_{2it}$	Tse_{it}	$\ln CO_{2it}$	Tse_{it}	$\ln CO_{2it}$	Tse_{it}	$\ln CO_{2it}$
$FTAs_{it}$	-0.100 ** (0.038)	0.270 *** (0.100)	-0.153 *** (0.053)	0.472 *** (0.165)	0.136 *** (0.047)	0.444 *** (0.139)	-0.173 *** (0.062)	0.511 *** (0.189)
$Totaldep_{it}$	—	—	0.312 * (0.157)	-1.163 ** (0.533)	—	—	—	—
$Horizdep_{it}$	—	—	—	—	0.197 * (0.098)	-0.923 *** (0.306)	—	—
$Vertidep_{it}$	—	—	—	—	—	—	0.175 * (0.088)	-0.566 * (0.290)
Tse_{it}	—	-0.414 (0.446)	—	-0.387 (0.440)	—	-0.384 (0.439)	—	-0.388 (0.440)
控制变量	是	是	是	是	是	是	是	是
国家固定效应	是	是	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是	是	是
R ²	0.120	0.791	0.127	0.794	0.126	0.796	0.127	0.794
Sobel Z	3.562 ***		-2.136 **		-2.015 **		-2.223 **	
BC(95%)	[-0.004, 0.141]		[-0.301, -0.011]		[-0.223, -0.004]		[-0.208, -0.004]	
中介效应	0.041 *** (0.012)		-0.120 ** (0.056)		-0.076 ** (0.038)		-0.068 ** (0.031)	
直接效应	0.270 *** (0.046)		-1.163 *** (0.313)		-0.923 *** (0.212)		-0.566 *** (0.167)	
总效应	0.311 *** (0.046)		-1.283 *** (0.315)		-0.999 *** (0.214)		-0.634 *** (0.169)	
中介占比	13.30%		9.40%		7.60%		10.70%	

①资料来源: UIBE GVC 数据库, <http://gvcd.b.uibe.edu.cn/gvc.html> (访问日期 2025-5-28)。

(三) 技术溢出效应

技术溢出效应($Tech_{it}$)使用温室气体排放总量占总产出比重来衡量^①。从 FTA 数量视角来看,技术溢出效应机制显著存在(表 9), FTA 数量增加通过技术创新水平的提升显著影响了中国出口贸易隐含碳排放。从 FTA 深度视角来看,综合考虑 FTA 数量和 FTA 深度之后,技术溢出效应机制依然存在,即 FTA 条款深化通过国际技术合作和技术溢出效应可以提升中国的技术创新水平,进而显著抑制中国出口贸易隐含碳排放,假说 3 得到验证。

表 9 技术溢出效应的作用机制

项目	FTA 数量		FTA 总体深度		FTA 水平深度		FTA 垂直深度	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	$Tech_{it}$	$\ln CO_{2it}$	$Tech_{it}$	$\ln CO_{2it}$	$Tech_{it}$	$\ln CO_{2it}$	$Tech_{it}$	$\ln CO_{2it}$
$FTAs_{it}$	0.062 (0.068)	0.294 ** (0.144)	0.037 (0.116)	0.524 ** (0.237)	0.059 (0.104)	0.484 ** (0.204)	0.022 (0.131)	0.569 ** (0.268)
$Totaldep_{it}$	—	—	0.145 (0.321)	-1.296 * (0.654)	—	—	—	—
$Horizdep_{it}$	—	—	—	—	0.019 (0.222)	0.990 ** (0.405)	—	—
$Vertidep_{it}$	—	—	—	—	—	—	0.093 (0.166)	-0.630 * (0.343)
$Tech_{it}$	—	-0.325 ** (0.148)	—	-0.323 ** (0.145)	—	-0.325 ** (0.146)	—	-0.322 ** (0.145)
控制变量	是	是	是	是	是	是	是	是
国家固定效应	是	是	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是	是	是
R^2	0.270	0.738	0.270	0.744	0.270	0.745	0.270	0.743
Sobel Z	-1.386		1.598		1.358		1.733 *	
BC(95%)	[-0.050, -0.000]		[0.014, 0.502]		[0.002, 0.283]		[0.015, 0.236]	
中介效应	-0.020 (0.015)		0.203 (0.127)		0.115 (0.085)		0.117 * (0.066)	
直接效应	0.294 *** (0.048)		-1.515 *** (0.328)		-1.086 *** (0.219)		-0.761 *** (0.169)	
总效应	0.311 *** (0.046)		-1.283 *** (0.315)		-0.999 *** (0.214)		-0.634 *** (0.169)	
中介占比	6.40%		15.80%		11.50%		18.50%	

纵向对比来看, FTA 总体深度、水平深度和垂直深度对中国出口贸易隐含碳的抑制作用在技术溢出效应机制下最强,技术创新是 FTA 深化推动出口贸易隐含碳

①资料来源:世界银行, <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators> (访问日期 2025-5-28)。

减排的重要引擎。另外,从中介效应占比来看,贸易创造效应机制最高,技术溢出效应机制次之,资源配置效应机制最低,表明贸易创造效应机制仍然是当前 FTA 深度影响中国出口贸易隐含碳的主导机制,而技术创新和资源配置效应提升是中国下一步推动出口贸易隐含碳减排的重点。

五、基于空间视角的进一步研究

(一) 构建空间模型

国际分工深化和全球价值链发展使 FTA 的影响在区域范围内存在一定空间关联性,而碳排放同样会随着贸易和投资在国家之间转移和流动。因此,本文在 Lee 和 Yu(2010)的广义嵌套空间模型基础上,引入权重矩阵与变量的交乘项,构建时空双固定效应下的空间面板杜宾模型(SDM):

$$\ln CO_{2it} = \alpha_0 + \delta \sum_{j=1}^{58} W_{ij} \ln CO_{2jt} + \beta FTA_{it} + \gamma depth_{it} + \varepsilon \ln X_{it} \\ + \theta \sum_{j=1}^{58} W_{ij} FTA_{jt} + \rho \sum_{j=1}^{58} W_{ij} depth_{jt} + \varphi \sum_{j=1}^{58} W_{ij} \ln X_{jt} + \mu_i + \psi_t + \eta_{it} \quad (37)$$

式(37)中, $\eta_{it} \sim N(0, \sigma^2 I_n)$, δ 、 θ 、 ρ 和 φ 分别为被解释变量、核心解释变量与控制变量的空间滞后项系数, W_{ij} 为空间权重矩阵,空间权重矩阵的构造采用 Queen 邻接矩阵(W_1)、地理距离矩阵(W_2)和人口加权的经济地理嵌套矩阵(W_3)三种形式。

(二) 空间相关性和模型适配性检验^①

通过 Moran's I 指数来确认出口贸易隐含碳排放与 FTA 变量之间空间效应的存在。检验结果显示,出口贸易隐含碳的莫兰指数为 0.111,说明中国与 58 个国家(地区)的出口贸易隐含碳排放存在明显的空间正相关性,FTA 数量的 Moran's I 指数为 0.306,三个 FTA 深度变量的莫兰指数分别为 0.072、0.034 和 0.109,表明 FTA 变量的空间相关性同样显著。综合来看,FTA 框架下国家(地区)之间的经贸合作是出口贸易隐含碳空间流动和转移的重要影响因素。随着 FTA 的发展,FTA 在成员方之间经济效应的空间溢出性愈加明显,FTA 水平深度和 FTA 垂直深度经历了从空间正相关到空间负相关,最后呈现空间正相关的趋势,空间相依性在总体方向上表现为“随机—发散—集聚”的特征,正空间效应强度逐渐增强。“WTO+”条款给 FTA 带来的空间溢出效应最大,“WTO-X”深度条款的空间溢出效应尚不明显^②。进一步,以 2020 年和 2021 年为例,由 Moran's I 散点图可知,大部分国家(地区)分布于第一和第三象限,出口贸易隐含碳和 FTA 深化的总体空间分布呈现出“同质集聚”特征,即高一高(HH)和低一低(LL)集聚,说明出口贸易隐含碳和 FTA 发展存在显著的空间关联性。

^①篇幅所限, Moran's I 指数、Moran's I 散点图和模型适配性检验的详细结果备索。

^②这是中国下一步 FTA 谈判和签订需要着重考虑的方向。

本文以 FTA 数量和深度作为核心解释变量，在不同空间面板模型中进行最优选择。模型适配性检验结果表明，事前系列 LM 检验的结果支持了 SAR(空间滞后)、SEM(空间误差)和 SDM(空间杜宾)三种模型的合理性。同时，事后 Wald 检验和 LR 检验结果均在 1%的水平上拒绝了 SDM 模型退化成 SAR 或 SEM 的假设，说明 SDM 的适配性最强。进一步，Hausman 检验和 LR 检验结果表明，SDM 应选择时间和空间双固定效应。

(三)直接效应与间接效应分析

鉴于空间回归模型点估计方法对空间溢出效应分析可能存在的偏误(LeSage 和 Pace, 2009)，基于空间杜宾模型，利用求偏微分的方法将系数估计值分解为直接效应和间接效应。如表 10 所示，从直接效应来看，FTA 深度变量在 1%的水平上对出口贸易隐含碳产生抑制作用，说明 FTA 深化可以显著抑制中国及成员方的出口贸易隐含碳排放；从间接效应可以看出，FTA 的深化不仅能够降低 FTA 缔约方的出口贸易隐含碳，同时还对邻近地区的出口贸易隐含碳有着显著的负向影响。原因在于，FTA 深化促进了成员方之间技术、环保等方面的交流与合作，有效降低了出口贸易隐含碳排放，同时通过示范效应、技术溢出效应等途径，推动了邻近区域的碳减排。

表 10 SDM 效应分解结果

效应类型	$FTAs_{it}$	$Totaldep_{it}$	$Horizdep_{it}$	$Vertidep_{it}$
直接效应	0.477 *** (0.078)	-1.168 *** (0.344)	—	—
	0.446 *** (0.066)	—	-0.959 *** (0.249)	—
	0.497 *** (0.093)	—	—	-0.529 *** (0.183)
间接效应	0.267 *** (0.100)	-2.187 ** (1.092)	—	—
	0.201 ** (0.090)	—	-1.982 (1.263)	—
	0.339 ** (0.149)	—	—	-0.957 * (0.568)
总效应	0.745 *** (0.134)	-3.355 *** (1.271)	—	—
	0.648 *** (0.113)	—	-2.942 ** (1.403)	—
	0.836 *** (0.190)	—	—	-1.486 ** (0.658)
控制变量	是	是	是	是
时间固定效应	是	是	是	是
空间固定效应	是	是	是	是

六、结论与政策启示

本文从碳治理的视角实证分析了 FTA 数量和深度对中国出口贸易隐含碳的影响,梳理了 FTA 对出口贸易隐含碳的作用路径,并在空间视角下对 FTA 的碳减排效应进行拓展分析。研究表明:一是 FTA 深化对中国出口贸易隐含碳排放产生了显著抑制作用,且 FTA 碳减排效用从长期来看具有动态累积效应。FTA 总体深化对中国出口贸易隐含碳的抑制作用最强,FTA 水平深化的抑制作用次之,FTA 垂直深化的抑制作用相对较弱。二是在中国进行 FTA 伙伴选择时,经济发展水平和技术水平较高的国家(地区)是中国 FTA 的优先发展对象,以环境和知识产权条款为代表的“WTO-X”条款对中国的出口贸易隐含碳减排更加有利;相对于 FTA 边境间条款,边境后条款对中国的出口贸易隐含碳具有显著抑制作用。三是 FTA 深化对中国出口贸易隐含碳的直接抑制作用在技术溢出效应机制下的边际效率最强,在资源配置效应机制下的影响要高于贸易创造效应机制,技术创新是 FTA 深化推动中国出口贸易隐含碳减排的重要引擎。此外,FTA 的签订和深化对出口贸易隐含碳的影响存在显著的空间溢出效应,FTA 的深化不仅能够降低 FTA 缔约方的出口贸易隐含碳,同时还对邻近地区的出口贸易隐含碳有着显著的负向影响。

基于本文研究结论,得出如下政策启示:第一,在 FTA 的国别选择上,中国应积极与经济发展水平和技术创新水平较高的发达国家(地区)开展 FTA 的谈判,以高水平的自由贸易区建设来实现中国出口贸易隐含碳减排的目标。中国应主动参与高水平 FTA 的谈判和签署,扩大中国的贸易联系网络,引导更多国家主动参与中国的 FTA 谈判和签署,形成示范效应和协同效应,积极寻求与发达经济体合作新机遇,充分发挥 FTA 异质性深化对中国出口贸易隐含碳的减排作用。第二,在 FTA 的条款选择上,中国下一步的 FTA 谈判应更加关注环境保护和知识产权等 WTO 框架外条款,注重对于服务贸易深度自由化、要素跨国流动和研发合作等领域的条款深化,对接国际高标准 FTA 条款,促进 RCEP 与 CPTPP 规则融合升级,探索 FTA 碳条款引入的可行性,在发达国家主导的国际经贸规则体系下,提高中国的 FTA 参与度与国际话语权,完善数字服务贸易和绿色环境条款的争端解决机制,围绕边境后条款与成员方展开深度合作,形成更大开放程度、更高质量、更深层次的经贸合作,推动中国出口贸易碳减排。第三,在 FTA 推动碳减排的路径选择上,中国应充分发挥 FTA 的国际合作平台作用,积极与成员方围绕环境保护、碳减排和绿色低碳发展进行协同和合作,通过高水平的对外开放来提高技术创新水平、优化出口结构和产业结构,进而为中国碳减排目标的实现提供强劲外部推动力,以制度型开放推动中国“双碳”目标的顺利实现。

[参考文献]

- [1]程惠芳,洪晨翔.区域贸易协定深度对全球价值链前向参与度的不对称影响——基于制度质量的视角[J].国际商务——对外经济贸易大学学报,2023(3):40-60.
- [2]高疆,盛斌.贸易协定质量会影响全球生产网络吗[J].世界经济研究,2018(8):3-16+135.

- [3]李锴,齐绍洲.贸易开放、经济增长与中国二氧化碳排放[J].经济研究,2011,46(11):60-72+102.
- [4]李小平.国际贸易中隐含的CO₂测算——基于垂直专业化分工的环境投入产出模型分析[J].财贸经济,2010(5):66-70.
- [5]李元旭,谭云清.国际服务外包下接包企业技术创新能力提升路径——基于溢出效应和吸收能力视角[J].中国工业经济,2010(12):66-75.
- [6]吕越,吕云龙.中国参与全球价值链的环境效应分析[J].中国人口·资源与环境,2019,29(7):91-100.
- [7]马述忠,陈颖.进出口贸易对中国隐含碳排放量的影响:2000—2009年——基于国内消费视角的单区域投入产出模型分析[J].财贸经济,2010(12):82-89+145.
- [8]彭水军,张文城,卫瑞.碳排放的国家责任核算方案[J].经济研究,2016,51(3):137-150.
- [9]盛斌,吕越.外国直接投资对中国环境的影响——来自工业行业面板数据的实证研究[J].中国社会科学,2012(5):54-75+205-206.
- [10]铁瑛,黄建忠,徐美娜.第三方效应、区域贸易协定深化与中国策略:基于协定条款异质性的量化研究[J].经济研究,2021,56(1):155-171.
- [11]杨连星,铁瑛.区域贸易协定、投资条款差异性深化与跨国并购意愿[J].管理世界,2023,39(9):36-59.
- [12]殷戈,范真,庄芮.区域贸易协定环境条款对中国企业的减排效应研究[J].国际贸易问题,2024(8):73-88.
- [13]苑文华,路玮孝.贸易协定环境条款深度与贸易隐含碳[J].经济科学,2023(5):162-182.
- [14]赵玉焕,刘月.基于投入产出法的中国出口产品隐含碳测算[J].中国人口·资源与环境,2011,21(12):8-14.
- [15]BAIER S L, BERGSTRAND J H, MARIUTTO R. Economic Determinants of Free Trade Agreements Revisited: Distinguishing Sources of Interdependence[J]. Review of International Economics, 2014, 22(1): 31-58.
- [16]BRANDI C, SCHWAB J, BERGER A. Do Environmental Provisions in Trade Agreements Make Exports from Developing Countries Greener[J]. World Development, 2020, 129: 104899.
- [17]BUSSE M. Trade, Environmental Regulations and the World Trade Organization: New Empirical Evidence[R]. Policy Research Working Paper Series, 2004, No. 3361.
- [18]DÜR A, BACCINI L, ELSIG M. The Design of International Trade Agreements: Introducing a New Dataset[J]. The Review of International Organizations, 2014, 9(3): 353-375.
- [19]HOFMANN C, OSNAGO A, RUTA M. Horizontal Depth: A New Database on the Content of Preferential Trade Agreements[R]. World Bank Policy Research Working Paper, 2017, No. 7981.
- [20]HORN H, MAVROIDIS P C, SAPIR A. Beyond the WTO? An Anatomy of EU and US Preferential Trade Agreements[J]. World Economy, 2010, 33(11): 1565-1588.
- [21]LEE L, YU J. A Spatial Dynamic Panel Data Model with Both Time and Individual Fixed Effects[J]. Econometric Theory, 2010, 26(2): 564-597.
- [22]LESAGE J P, PACE R K. Spatial Econometric Modeling of Origin-Destination Flows[J]. Journal of Regional Science, 2008, 48(5): 941-967.
- [23]LOFGREN H, HARRIS R L, ROBINSON S. A Standard Computable General Equilibrium(CGE) Model in GAMS [R]. Trade and Macroeconomics Division Discussion Paper, 2001, No. 75.
- [24]MORGENSTERN R D, PIZER W A, SHIH J S. Jobs versus the Environment: An Industry Level Perspective[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2002, 43(3): 412-436.
- [25]OMRI A, NGUYEN D K, Rault C. Causal Interactions between CO₂ Emissions, FDI, and Economic Growth: Evidence from Dynamic Simultaneous-Equation Models[J]. Economic Modelling, 2014, 42: 382-389.
- [26]PETERS G P, HERTWICH E G. CO₂ Embodied in International Trade with Implications for Global Climate Policy [J]. Environmental Science & Technology, 2008, 42(5): 1401-1407.
- [27]TIAN K, ZHANG Y, LI Y, et al. Regional Trade Agreement Burdens Global Carbon Emissions Mitigation [J]. Nature Communications, 2022, 13(1): 408.

Deepening of Free Trade Agreement and Carbon Emissions Embodied in Export Trade

QU Yue¹, ZHONG Siping¹, QIN Xiaoyu¹, XIA Youfu²

(1. College of Economics and Management, Shandong University of Science and Technology,
Qingdao, Shandong, 266590;

2. Institute of Global Innovation and Governance, University of International Business
and Economics, Beijing, 100029)

Abstract: The signing and deepening of Free Trade Agreement (FTA) is an important path to building a new open economic system and also a key approach to curbing the embodied carbon in export trade. Based on the country-industry data of 58 economies from 2007 to 2021, this article studied the influence of FTA deepening on China's carbon emissions embodied in export trade. The results show that the deepening of FTA significantly reduces the carbon emissions embodied in China's export trade, with dynamic cumulative effects emerging over extended periods. The heterogeneity analysis reveals that FTA concluded with developed economies demonstrates optimal efficacy in mitigating carbon emissions embodied in China's export trade, with later-established FTA exhibiting statistically enhanced suppression effects. Meanwhile, the carbon emissions reduction effects of FTA is more pronounced in technology-intensive and polluting industries. The "WTO-X" provisions, represented by environmental protection, are the primary driver of carbon emission reduction, and the carbon emissions reduction effects of the post-boundary provisions is significantly higher than that of the inter-boundary provisions. Mechanism analysis indicates that FTA has an impact on the carbon emissions embodied in China's export trade through trade creation effects, resource allocation mechanism and technology spillover pathway. Furthermore, there is a significant spatial spillover effects of FTA deepening on the impact of carbon emissions embodied in export trade.

Keywords: FTA Deepening; Carbon Emissions Embodied in Export Trade; Spatial Spillover Effects; Carbon Emissions Reduction Path

(责任编辑 祝子白 刘建昌)