

张蓝心,温宗国*,许毛,等.欧盟碳边境调节机制对产品出口成本影响评估 [J]. 中国环境科学, 2024,44(4):1788~1794.

Zhang L X, Wen Z G, Xu M, et al. Impact assessment of the EU carbon border adjustment mechanism on product export costs [J]. China Environmental Science, 2024,44(4):1788~1794.

欧盟碳边境调节机制对产品出口成本影响评估

张蓝心,温宗国*,许毛,胡喆 (清华大学环境学院,清华大学工业节能与绿色发展评价中心,北京 100084)

摘要: 碳边境调节机制(CBAM)带来的产品出口成本影响存在较高的不确定性。通过剖析 CBAM 条例规则,对 CBAM 关键要素的核算范围与规则进行研判,提出了评估 CBAM 出口成本影响的方法学框架,并以粗钢产品为例开展了实证研究。结果表明,在 CBAM 的系统边界与排放核算范围内,我国 1t 转炉粗钢的嵌入排放为 1.73tCO₂eq, 我国向欧盟出口粗钢产品的增量成本为 37.26 欧元/t。基于评估结果并统筹考虑我国与欧盟的气候政策体系差异,提出了包括隐性碳价谈判、降低产品碳排放强度、调整出口结构在内的多项应对 CBAM 的政策建议。

关键词: 碳边境调节机制(CBAM); 嵌入排放; 影响评估; 钢铁行业

中图分类号: X196 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2024)04-1788-07

Impact assessment of the EU carbon border adjustment mechanism on product export costs. ZHANG Lan-xin, WEN Zong-guo*, XU Mao, HU Zhe (School of Environment, Tsinghua University, Industrial Energy Saving and Green Development Assessment Center, Beijing 100084, China). *China Environmental Science*, 2024,44(4): 1788~1794

Abstract: The Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) introduces significant uncertainty regarding the impact on product export costs. By analyzing the regulations governing CBAM and evaluating the accounting scope and rules of its key elements, a methodological framework for assessing the impact of CBAM on export costs was proposed, with empirical research conducted using crude steel products as a case study. Results show that within the system boundary and emission accounting scope of CBAM, the embedded carbon emissions of 1t of converter crude steel in China is 1.73tCO₂eq, and the incremental cost of China's crude steel export to the EU is 37.26euros/t. Based on the above assessment results and considering the differences in climate policy systems between China and the EU, several policy recommendations to address CBAM were put forward, including negotiating the implicit carbon price, reducing the carbon intensity of products and adjusting the export structure.

Key words: carbon border adjustment mechanism; embedded emissions; impact assessment; iron and steel industry

碳边境调节机制(CBAM)是一种基于气候变化调节的多边贸易和环境政策工具,该机制将欧盟域内碳市场交易机制(简称欧盟碳市场)延伸至进口环节,按照欧盟碳市场的交易价格对进口产品相关生产环节的嵌入排放加征边境调节费。2019年12月11日,CBAM 被写入了《欧洲绿色协议》^[1]。2021年7月14日,欧盟发布了“Fit for 55”一揽子减排方案,旨在到2030年温室气体排放量较1990年至少减少55%,CBAM 是其中的重点措施。2023年5月17日 CBAM 法案正式生效^[2]。根据该法案,2023年10月1日~2025年12月31日为 CBAM 过渡期,2026年1月起将全面实施。2023年7月13日,欧盟 CBAM 委员会通过了过渡期的实施条例。CBAM 适用于从第三国生产并出口至欧盟关境的产品(含进料加工),现阶段主要涵盖的行业包括钢铁、水泥、铝、肥料、电力及氢气^[3]。

CBAM 旨在解决欧盟与他国的气候政策在气候雄心方面的差异所引起的“碳泄漏”。然而欧盟的这一举措引发了全球其他国家的广泛关注,主要聚焦在 CBAM 是否能真正解决碳泄露问题、CBAM 对发展中国家工业化的影响以及 CBAM 与世界贸易组织(WTO)规则的冲突等。国内外学者据此开展了许多量化研究,大多使用可计算一般均衡(CGE)模型^[4-6]、全球贸易分析(GTAP)模型^[7]或投入产出法^[8-11]评估 CBAM 的环境、经济等方面的影响,使用全生命周期(LCA)方法来定量产品的嵌入排放强度^[12]。然而,由于对 CBAM 规则了解不够透彻以及研究方法学的局限性,上述研究所使用的量化方法都高估了产品的嵌入碳排放、主观扩大了 CBAM 的

收稿日期: 2023-09-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(72140008)

* 责任作者, 教授, wen zg@tsinghua.edu.cn

波及范围,这在一定程度上过高评估了 CBAM 的潜在影响^[13-14].因此,本研究从 CBAM 影响的微观关键要素入手,剖析 CBAM 法案的关键规则并指出当前存在的不确定性,然后构建 CBAM 影响评估的方法学框架,以我国钢铁行业的粗钢产品出口为例开展实证分析,以期消除当前对 CBAM 规则的理解误区,并为我国政府及相关出口企业预判 CBAM 的微观影响提供参考.

1 CBAM 关键要素的规则剖析

为评估 CBAM 影响,本研究将原产国出口至欧盟的产品需缴纳的边境调节费用作为量化指标.由 CBAM 规则可知,出口产品通过购买 CBAM 证书的方式支付边境调节费用,一张 CBAM 证书对应 1tCO₂ 排放当量.碳边境调节费用与原产国需购买的 CBAM 证书数量、欧盟碳市场的周均碳价和出口国已支付的碳排放成本有关.作为欧盟碳市场的替代方案,CBAM 也将对出口产品的嵌入排放分配免费配额.证书数量由出口产品的嵌入排放强度、免费配额和出口量决定.此外,若产品已在原产国通过碳价(碳市场或碳税)的形式承担碳排放成本,则将抵消一部分 CBAM 费用,这部分也将从应纳费用中扣除.基于此,本研究确定了 CBAM 费用的计算框架与影响因素(图 1).

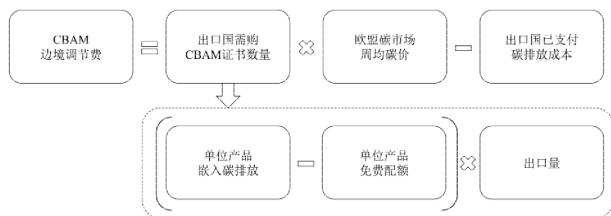


图 1 碳边境调节费用的计算框架与影响因素

Fig.1 Calculation framework and influencing factors of CBAM charge

剖析 CBAM 法案的规则条例是将上述因素定量化并评估 CBAM 影响的基础.然而,CBAM 法案中部分条例由于名词术语概念尚未明确、规则尚未完全确定,在确定产品生产过程的系统边界、前体物及其嵌入排放、免费排放配额等方面较为模糊和不明确,有待欧盟的进一步阐述.此外,当前很多研究存在对规则的错误理解,导致研究结果可靠性不佳.

1.1 生产过程的系统边界

确定生产过程的系统边界是估算产品嵌入排放的关键,不同的生产过程和系统边界将影响嵌入排放的实际值.例如,钢铁行业的长流程工艺从烧结和焦化工序开始,短流程工艺则是废钢作为原材料进入电弧炉炼钢,这体现了生产过程的差异^[15].除了烧结和焦化,钢铁长流程工艺还包含球团、炼铁、炼钢、精炼、热轧等工序,核算嵌入排放时需纳入的工序范围体现了系统边界的差异.对于每一种出口产品,均需要判断其生产过程的系统边界与排放范围,进而核算产品的嵌入排放.排放范围包括生产过程中来自生产设施的直接排放、用电的间接排放与前体物的嵌入排放.

如前所述,CBAM 是欧盟碳市场的延伸,CBAM 所涵盖的产品生产工序应与欧盟碳市场覆盖的活动范围一致.因此,依据欧盟碳市场的活动范围可以对 CBAM 纳入核算的系统边界进行初步判断.例如,钢铁行业中铁矿石的开采被排除在欧盟碳市场的活动范围外,则 CBAM 核算的系统边界也不应纳入该工序.欧盟最新出台的 CBAM 过渡期条例^[16]对 CBAM 法案中未明确的系统边界进行了界定,将出口产品按欧盟海关税(CN)代码分类并明确所属的产品类别.对于不同的产品类别均给出生产过程的系统边界.例如,长流程转炉粗钢的系统边界是从碱性氧化炉工序到连铸或铸锭工序.

1.2 前体物及其嵌入排放

准确判断前体物对核算复杂产品的嵌入排放至关重要.CBAM 规则将出口产品划分为简单产品和复杂产品,两者的不同在于简单产品生产过程中投入的前体物与燃料的嵌入排放为零,而复杂产品的嵌入排放核算需要考虑与生产过程相关的前体物与燃料的嵌入排放.特别的,如果某前体物位于价值链的起点,且是采矿或采石环节的产物或是农林产品(例如,生物质),则该前体物的嵌入排放是零^[17].

CBAM 过渡期条例也对出口产品的前体物及其嵌入排放进行了说明.例如,粗钢的前体物有生铁、直接还原铁和锰铁、铬铁、镍铁合金,这些物质本身也有前体物,因此嵌入排放的估算还需要考虑前体物的嵌入排放.由此可以看出前体物的嵌入排放核算非常复杂且繁琐,核算结果的不确定性很大.

1.3 免费排放配额

出口产品的免费配额计算方法及相应的数值

尚未在CBAM法案中提及。由于CBAM是欧盟碳市场的延伸,因此免费配额计算方法与欧盟碳市场中的一致。参照欧盟碳市场,欧盟本土各行业的生产设施或子设施的免费配额由基准值、历史活动水平和碳泄漏暴露因子相乘得到^[18]。产品基准值代表欧盟生产该产品的排放效率前10%的生产设备的排放平均值;历史活动水平是生产子设施产量的中位数;碳泄漏暴露因子与行业的碳泄漏状态有关,存在碳泄漏风险的产品的暴露因子为1。

不同的是,欧盟碳市场是为生产设施及子设施的排放分配免费配额,而CBAM是为产品的实际嵌入排放分配免费配额。如何将欧盟碳市场中免费配额的计算方法转换用于CBAM有待细则的进一步解释。欧盟碳市场第4阶段共确立了涵盖11个行业的52个产品基准值^[19],这些产品大部分为CBAM出口产品的中间产品。以钢铁行业举例,受CBAM影响的出口产品多为铁管、铁丝等终端产品;而欧盟碳市场有基准值的产品多为不同生产工序的产物,例如焦炭、烧结矿和铁水等。初步判断CBAM产品的免费配额与中间投入产品的基准值及投入比例有关。

2 CBAM影响评估方法学框架

基于CBAM的关键影响变量,根据对生产过程的系统边界、前体物及嵌入排放、免费配额等的判断,建立评估CBAM影响的方法学框架,具体步骤如下。

2.1 计算出口产品的嵌入排放

参照CBAM法规附件IV^[2],出口产品的嵌入排放计算公式如下:

$$\text{SEE}_g = \frac{\text{AttrEm}_g + \text{EE}_{\text{InpMat}}}{\text{AL}_g} \quad (1)$$

$$\text{AttrEm}_g = \text{DirEm}_g + \text{IndirEm}_g \quad (2)$$

$$\text{EE}_{\text{InpMat}} = \sum_i M_i \cdot \text{SEE}_i \quad (3)$$

式中:SEE_g是产品g的嵌入排放,tCO_{2e}/t;AttrEm_g是产品g生产过程中源自生产设施的排放(由直接排放和间接排放组成),tCO_{2e};直接排放DirEm指化石燃料消耗产生的排放及过程排放,间接排放IndirEm指生产过程中电力消耗所产生的排放。对于电价成本已经转嫁到温室气体排放成本中的产品,则不考虑其间接排放。当前CBAM规定钢铁、铝、氢气3

个行业仅考虑直接排放,而水泥、肥料和电力行业则同时覆盖直接排放和间接排放。EE_{InpMat}指复杂产品的生产过程中投入的前体物的嵌入排放,tCO_{2e},简单产品不涉及此参数;AL_g是产品g的活动水平,指报告期内产品的生产量,t;M_i是复杂产品的前体物i的投入量,t;SEE_i是复杂产品的前体物i的嵌入排放,tCO_{2e}/t。

2.2 计算出口产品的免费排放配额

欧盟碳市场的免费配额削弱了市场的价格信号,进而降低企业温室气体减排的动力,因此欧盟碳市场机制将逐步由CBAM替代。为了使生产者、进口商和贸易商适应新的CBAM制度,将在一定时期内为出口产品的排放分配免费配额,以缓解企业负担。在过渡期内免费配额完全100%分配,过渡期结束后从2026年到2034年免费配额将由97.5%逐步削减为0%,削减率由CBAM因子表征(图2)。

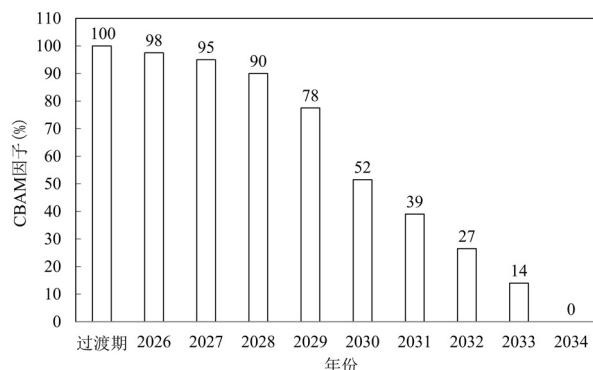


图2 CBAM免费配额削减计划^[20]

Fig.2 Reduction ratio of CBAM free allowances

CBAM方案并未给出出口产品免费配额的具体数值或计算方法。基于欧盟碳市场中免费配额的计算方法,本研究提出了出口产品免费配额的计算公式,如式(4)所示:

$$\text{FAA}_g = F_{\text{CBAM}} \cdot \sum_j \text{BV}_j \cdot \text{CLFE}_j \cdot P_j \quad (4)$$

式中:FAA_g为出口产品g的免费排放配额,tCO_{2e}/t;F_{CBAM}为时间序列的CBAM因子;BV_j为出口产品g所涉及中间产品j的基准值,tCO_{2e}/t;CLFE_j为中间产品j的碳泄漏暴露因子^[21];P_j表示生产单位出口产品的中间产品j投入量,t。

2.3 计算出口产品需缴纳的边境调节费用

除了嵌入排放与免费配额,计算出口产品需缴纳的边境调节费用还需要产品的出口数量、在出口

国已支付的碳排放成本和欧盟碳市场周均碳价(图1).出口产品 g 需缴纳的边境调节费用 CBAM_g 计算公式为:

$$\text{CBAM}_g = (\text{SEE}_g - \text{FAA}_g) \cdot I_g \cdot \text{CP} - \alpha \cdot \text{TC}_g \quad (5)$$

式中: I_g 为产品 g 的出口量,t;CP是欧盟碳市场的周均碳价格,EUR/tCO_{2e};TC_g为产品 g 在出口国已承担的碳排放成本; α 代表出口国货币与欧元的汇率.

3 CBAM 影响评估的实证分析

中国是欧盟钢铁行业最大的出口国,占欧盟钢铁进口总量的17%.2022年欧盟从中国进口的CBAM产品共计70.96亿美元,其中钢铁产品有44.49亿美元,占比为62.4%(图3).因此本研究重点关注钢铁行业,以转炉粗钢为例,按照已构建的方法学框架从微观角度评估CBAM对我国粗钢出口的影响.

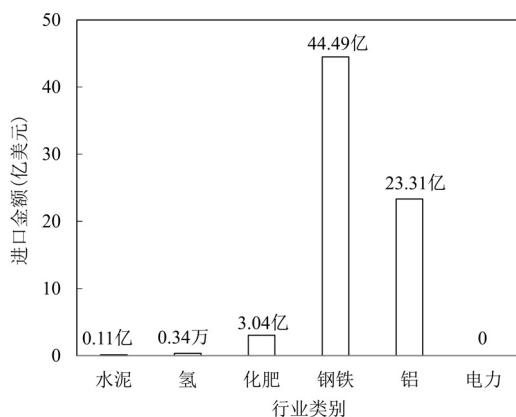


图3 2022年欧盟从中国进口的各行业产品金额^[22]

Fig.3 Amount of products imported by the EU from China by sector in 2022

3.1 粗钢的嵌入排放

粗钢产品类别下的出口产品有铸锭或其他初级形式的铁和非合金钢、铸锭或其他初级形式的不锈钢及不锈钢半成品、铸锭或其他初级形式的其他合金钢及半成品,CN代码分别为7206、7218和7224^[16].转炉粗钢的系统边界包括碱性氧气炉、真空脱气、二次精炼、氩氧脱碳/真空脱碳、连续铸造或铸锭铸造,以及所有必要的辅助活动,如输送、再加热和烟气净化.粗钢的排放包括直接排放与前体物的嵌入排放,按CBAM规则不考虑电力的间接排放.直接排放涵盖煤炭与天然气等燃料燃烧、石灰石

与菱镁矿等原料过程分解和废钢等物质投入所产生的碳排放.前体物的排放需根据具体生产工艺判断,可能包括生铁、直接还原铁、锰铁、铬铁和镍铁合金的嵌入排放.

本研究的数据源为课题组构建的大样本工业生产单元数据库^[23-24].2019年,数据库中包含转炉粗钢生产企业有280家,年产量达87666万t.将上述生产企业的相同生产工艺的排放取平均值,则在CBAM的系统边界与排放范围内1t转炉粗钢的嵌入排放为1.73tCO₂.

3.2 粗钢的免费排放配额

欧盟碳市场中有基准值且与粗钢相关的产品有焦炭、烧结矿、铁水^[25],前2种物质分别对应焦化、烧结工序.铁水比较特殊,确定其基准值时涵盖了高炉炼铁、转炉炼钢与连铸工序的排放^[26].根据CBAM所定义的粗钢生产过程的系统边界及前体物,本文认为粗钢的免费排放配额与烧结矿和铁水两种产品的基准值有关,2021-2025年两种产品的基准值分别为0.157和1.288tCO_{2e}/t.两种产品投入对粗钢的贡献比来自行业专家预测^[23],2025年投入比分别为1.02和0.885.

基于式(4),计算得到1t转炉粗钢的免费排放配额为1.30tCO_{2e}.研究假设2026~2034年产品的基准值与投入比重不变,随着CBAM因子的变动,转炉粗钢的最终免费排放配额变化情况如下图(图4).

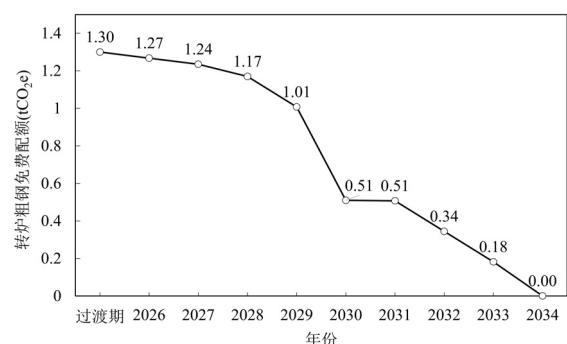


图4 转炉粗钢免费排放配额时间序列特征

Fig.4 Time series characteristics of free allowances for converter crude steel

3.3 粗钢出口需缴纳的边境调节费用

由于目前我国碳市场只有电力作为交易产品,因此我国出口的粗钢产品已支付的碳排放成本计为零.欧盟碳市场周均碳价取81欧元/tCO₂.欧盟统

计数据显示,2022年欧盟从中国出口CN代码为7206、7218和7224的粗钢产品共计2274t,假设我国转炉粗钢产量占比约为85%^[27],则转炉粗钢出口量为1932.9t。假设2025年后上述数据不变,则2026年我国出口1t粗钢需因CBAM额外支付37.26欧元。我国出口粗钢产品需额外缴纳的碳边境调节费用为72019.85欧元,按当前汇率折合人民币56.29万元。

4 建议

(1)应与欧盟谈判使其认可非碳价政策(例如命令控制型政策)的隐性碳价,将隐性碳价显性化。目前边境调节费用只能抵消出口产品在原产国通过碳市场或碳税所支付的碳排放成本,其目的是间接拉动其他国家建立碳市场、征收碳税或提高碳价以与欧盟碳市场的碳价保持一致。这意味着碳价低于欧盟或没有碳市场的国家将面临更高的边境调节费用。因此,应加快钢铁、铝、肥料等受CBAM影响较大的行业纳入我国碳市场。但不同国家在发展阶段、国家自主贡献减排、减排手段上存在差异,欧盟应遵循WTO的非歧视原则、公平竞争与公平贸易原则,兼容其他气候、能源、环境相关减排政策工具。我国的污染防控、能耗双控等政策的实际减排效果被其他国家低估,应尽快建立量化命令控制型、经济激励型、鼓励自愿性政策减碳效果的方法学。

(2)为降低CBAM的影响,需降低产品的嵌入排放强度,同时调整我国的出口结构。由上述研究可知产品需支付的CBAM成本为嵌入排放与基准值的差值。基准值代表欧盟生产设施排放效率前10%的先进水平。为降低CBAM成本,出口国需努力降低出口产品的嵌入排放强度以与欧盟的先进水平保存一致。可采取多种方式以降低产品的排放强度,例如钢铁行业可提高短流程炼钢的比例或使用低碳绿色炼钢技术。此外,调整我国的出口结构也可以缓解CBAM影响,有研究显示碳密集型产品出口占比高的国家会面临更强的CBAM冲击^[28],因此可将排放强度高的产品出口至欧盟外的其他市场。

(3)本研究还存在一些局限性。产品的嵌入排放强度、原料投入比重等指标受技术工艺、区域差异、核算范围等影响,具有不确定性^[29~30]。由于数据获取困难,本研究重点介绍影响评估方法学框架的应用,

仅以粗钢产品相关指标的全国平均水平为依据,未能有效开展不确定性分析及敏感性分析工作。未来研究应考虑欧盟碳市场周均碳价、产品出口量、产品嵌入排放强度等指标的时空差异,开展企业或区域层级的研究。此外,本文构建的方法学框架具有通用性,可扩展到其他国家或地区受CBAM波及的行业和产品,以评估CBAM影响的国别差异。

5 结论

5.1 当前CBAM规则中仍存在很多不明确点,例如核算前体物的嵌入排放时投入物的纳入范围,电力排放因子如何选取,产品的免费排放配额如何计算,间接排放如何核算等。这导致难以准确核算出口产品的嵌入碳排放与免费排放配额等关键要素,为出口企业预估应缴费用、进口商准确提交产品的排放量等信息带来很大困难,亟需欧盟颁布更加具体的核算细则与条例。

5.2 我国向欧盟出口粗钢产品吨钢需额外支付37.26欧元的碳边境调节费用,这将使我国向欧盟出口粗钢的成本增加约7.7%。随着免费配额的逐步缩减,CBAM成本也将逐渐增加,当2034年免费配额全部取消后,我国出口粗钢吨钢需额外支付140.13欧元。

5.3 短期来看,欧盟CBAM对我国钢铁行业出口影响不大,但其影响将逐渐增强。我国是欧盟最大的CBAM钢铁产品出口国,但欧盟不是我国主要的出口国家,仅占我国钢铁产品出口总量的7.74%。因此,CBAM对我国钢铁产品出口的短期影响不大。但未来随着系统边界的扩大、排放范围的增加、免费配额的缩减以及其他国家的机制引进,CBAM影响将逐渐扩大。欧盟已经在考虑扩大生产过程的系统边界,将上下游工序纳入嵌入排放的核算范围,同时纳入钢铁、铝、氢气行业的间接排放。此外,其他国家例如美国等也在考虑引入碳边境调节机制,试图将气候变化应对措施延伸至贸易政策领域。上述举措所带来的潜在影响值得深入探究与预判。

参考文献:

- [1] 庄贵阳,朱仙丽.《欧洲绿色协议》:内涵、影响与借鉴意义 [J]. 国际经济评论, 2021,(1):116~133,7.
Zhuang G Y, Zhu X L. European Green Deal: contents, influences and implications for China [J]. International Economic Review, 2021,(1):

- 116–133,7.
- [2] European Parliament and of the Council. Regulation (EU) 2023/956 of the European Parliament and of the Council of 10 May 2023 establishing a Carbon Border Adjustment Mechanism [EB/OL]. <http://data.europa.eu/eli/reg/2023/956/oj>.
- [3] 王 谋,吉治璇,康文梅,等.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, 2021,31(12):45–52.
Wang M, Ji Z X, Kang W M, et al. Key points and impact of EU's 'carbon border adjustment mechanism' and China's responses [J]. China population, resources and environment, 2021,31(12):45–52.
- [4] Bellora C, Fontagné L. EU in search of a carbon border adjustment mechanism [J]. Energy Economic, 2023,123,106673.
- [5] 段茂盛,李莉娜,陶玉洁.欧盟碳边境调节机制:浅析欧盟委员会的立法提案及其对中国的潜在影响 [EB/OL]. <http://www.3e.tsinghua.edu.cn/cn/article/116>.
Duan M S, Li L N, Tao Y J. EU carbon border adjustment mechanism: A brief analysis of the European Commission's legislative proposals and their potential impact on China [EB/OL]. <http://www.3e.tsinghua.edu.cn/cn/article/116>.
- [6] Dong Y, Whalley J. Carbon motivated regional trade arrangements: analytics and simulations [J]. Economic modelling, 2011,28(6):2783–2792.
- [7] 蒋 丹,张林荣,孙华平,等.中国征收碳税应对碳关税的经济分析——以美国为例 [J]. 生态学报, 2020,40(2):440–446.
Jiang D, Zhang L R, Sun H P, et al. An economic analysis of China's imposing carbon tax to respond to future carbon tariffs: Case study of USA [J]. Acta Ecologica Sinica, 2020,40(2):440–446.
- [8] 刘 斌,赵 飞.欧盟碳边境调节机制对中国出口的影响与对策建议 [J]. 清华大学学报(哲学社会科学版), 2021,36(6):185–194,210.
Liu B, Zhao F. The impact of EU carbon tariff policy on China's export and suggestions for China [J]. Journal of Tsinghua University (Philosophy and Social Sciences Edition), 2021,36(6):185–194,210.
- [9] Zhong J R, Pei J S. Beggar thy neighbor? on the competitiveness and welfare impacts of the EU's proposed carbon border adjustment mechanism [J]. Energy Policy, 2022,162,112802.
- [10] 银 凤.欧盟碳边境调节机制对中国钢铁行业出口的影响研究 [D]. 商务部国际贸易经济合作研究院, 2022.
Yin F. Research on the influence of EU carbon border adjustment mechanism on China's steel export [D]. Academy of International Trade and Economic Cooperation, Ministry of Commerce, 2022.
- [11] 许英明,李晓依.欧盟碳边境调节机制对中欧贸易的影响及中国对策 [J]. 国际经济合作, 2021,(5):25–32.
Xu Y M, Li X Y. The impact of EU carbon border adjustment Mechanism on China-EU trade and China's countermeasures [J]. International Economic Cooperation, 2021,(5):25–32.
- [12] 谢 超,彭文生.欧盟碳边境调节机制对中国经济和全球碳减排影响的量化分析 [R]. 北京:中金研究院, 2021.
Xie C, Peng W S. Quantitative analysis of the impact of the EU carbon border adjustment mechanism on China's economy and global carbon emission reduction [R]. Beijing: CICC Global Institute, 2021.
- [13] 董 饱,张笑寒,赵文博.欧盟碳边境调节机制对中国有哪些影响 [R]. 北京:能源基金会, 2021.
Dong Y, Zhang X H, Zhao W B. Impact of the EU carbon border adjustment mechanism on China [R]. Beijing: Energy Foundation, 2021.
- [14] 陈美安,谭秀杰.碳边境调节机制:进展与前瞻 [R]. 北京:绿色创新发展中心, 2021.
Chen M A, Tan X J. Carbon border regulation mechanism: progress and prospects [R]. Beijing: Green Innovation Development Center, 2021.
- [15] 王奕涵,温宗国.钢铁行业节能减排路径分析与优化 [J]. 环境影响评价, 2020,42(4):22–26.
Wang Y H, Wen Z G. Analysis of energy conservation and emission reduction paths and policy optimization in iron and steel industry [J]. Environmental Impact Assessment, 2020,42(4):22–26.
- [16] European Parliament and of the Council. Commission Implementing Regulation (EU) 2023/1773 of 17 August 2023 laying down the rules for the application of Regulation (EU) 2023/956 of the European Parliament and of the Council as regards reporting obligations for the purposes of the carbon border adjustment mechanism during the transitional period [EB/OL]. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_Impl/2023/1773/oj.
- [17] European Commission. Study on the possibility to set up a carbon border adjustment mechanism on selected sectors [EB/OL]. <https://data.europa.eu/doi/10.2778/58565>.
- [18] European Commission. EU ETS handbook [EB/OL]. https://climate.ec.europa.eu/document/download/8cabb4e7-19d7-45bd-8044-c0dcc1a64243_en?filename=ets_handbook_en.pdf.
- [19] European Commission. Guidance document n°9on the harmonised free allocation methodology for the EU-ETS:Sector-specific guidance [EB/OL]. https://www.sepa.org.uk/media/399238/guidance_document_no9_sector_specific.pdf.
- [20] European Commission. Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council amending Directive 2003/87/EC establishing a system for greenhouse gas emission allowance trading within the Union, Decision (EU) 2015/1814concerning the establishment and operation of a market stability reserve for the Union greenhouse gas emission trading scheme and Regulation (EU) 2015/757 [EB/OL]. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021PC0551>.
- [21] European Parliament and of the Council. Commission Delegated Decision (EU) 2019/708 of 15 February 2019 supplementing Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council concerning the determination of sectors and subsectors deemed at risk of carbon leakage for the period 2021 to 2030 [EB/OL]. http://data.europa.eu/eli/dec_del/2019/708/oj.
- [22] 国家信息中心“一带一路”外贸大数据研究所.全球贸易观察数据库 [EB/OL]. <http://gtf.sinoimex.com/systemintro.html>. State Information Center 'Belt and Road' foreign trade Big Data Institute. Global Trade Flow Database [EB/OL]. <http://gtf.sinoimex.com/systemintro.html>.
- [23] 王奕涵.工业节能减排路径高维多目标优化与地市级实施分析 [D]. 北京:清华大学, 2022.
Wang Y H. The many-objective optimization of industrial energy conservation and emission reduction path and its city-level implementation [D]. Beijing: Tsinghua University, 2022.

- [24] WANG Y H, WEN Z G, LV X J, et al. The spatial heterogeneity of synergy and trade-off linkages between carbon and air pollutant mitigations in China's steel industry [J]. Journal of Cleaner Production, 2023,418:138166.
- [25] European Parliament and of the Council. Commission Implementing Regulation (EU) 2021/447 of 12 March 2021 determining revised benchmark values for free allocation of emission allowances for the period from 2021 to 2025 pursuant to Article 10a(2) of Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council [EB/OL]. http://data.europa.eu/eli/reg_impl/2021/447/oj.
- [26] Ecofys. Methodology for the free allocation of emission allowances in the EU ETS post 2012: Sector report for the iron and steel industry [EB/OL]. https://climate.ec.europa.eu/system/files/2016-11/bm_study-project_approach_and_general_issues_en.pdf.
- [27] 工业和信息化部.关于促进钢铁工业高质量发展的指导意见 [EB/OL]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-02/08/content_5672513.htm.
- Ministry of Industry and Information Technology. Guiding opinions on promoting high-quality development of iron and steel industry [EB/OL].
- [28] CAO J, HO M, HU X. Carbon markets and carbon tariffs: effect on world trade and emissions[R]. Beijing: Institute for Global Development of Tsinghua University, 2023.
- [29] 安琪.碳边境调节机制与世界贸易组织规则适应性探讨与启示 [J]. 国际石油经济, 2020,28(11):10-13.
- An Q. Discussion and enlightenment on the adaptation of carbon border adjustment mechanism and WTO rules [J]. International Petroleum Economics, 2020,28(11):10-13.
- [30] 曾桉,谭显春,王毅,等.碳中和背景下欧盟碳边境调节机制对我国的影响及对策分析 [J]. 中国环境管理, 2022,14(1):31-37.
- Zeng A, Tan X C, Wang Y, et al. Impact of EU carbon border adjustment mechanism on China in the context of carbon neutrality and its countermeasures [J]. Chinese Journal of Environmental Management, 2022,14(1):31-37.

作者简介: 张蓝心(1997-),女,山东临沂人,清华大学博士研究生,主要研究方向为企业碳减排管理.发表论文 7 篇.zlx22@mails.tsinghua.edu.cn.