

欧盟碳边境调节机制 (CBAM) 与 中国钢铁行业低碳转型的 互动分析模型构建

A Model for Analyzing the Interaction between the
European CBAM and the Chinese Steel Industry

2025 年 6 月

关于 iGDP

绿色创新发展研究院（Institute for Global Decarbonization Progress），简称：研究院（iGDP），是专注绿色低碳发展的战略咨询平台，2014 年成立于北京，旨在成为具领先专业素养和独立影响力的国际化智库。研究院根植我国地方绿色低碳实践，面向全球应对气候变化进程，为决策者、投资者和社区提供具有国际视野和前瞻思考的解决方案及公益性知识产品。

关于作者

刘雪野 绿色创新发展研究院绿色经济政策项目主任 / 高级分析师 liuxueye@igdp.cn
洪佳玲 绿色创新发展研究院高级分析师 hongjialing@igdp.cn
陆 彬 绿色创新发展研究院顾问

致 谢

本研究由绿色创新发展研究院统筹撰写，由能源基金会提供资金支持。
研究团队感谢以下专家在项目研究过程中做出的贡献（按姓名首字母顺序排列）：
常世彦 清华大学能源环境经济研究所副教授
陈 瑜 冶金工业经济发展研究中心低碳研究所所长
董金池 南京大学博士
刘颖昊 中国宝武钢铁集团中央研究院 – 低碳技术总监
莫争春 绿色创新发展研究院董事
张光明 冶金工业信息标准研究院 – 低碳研究项目主管
此外，iGDP 汪燕辉、杨鹏、李鑫迪、陈美安、奚溪和肖凝也为项目研究提供了重要的支持。

免责声明

本报告内容和观点仅代表作者的个人理解和观点，旨在加强相关领域的讨论交流，不代表支持方、作者所属机构、调研专家学者的立场和观点。本报告内容采用数据和信息均来自公开的信息和渠道，我们力求准确和完整，但难免偶有疏漏，敬请谅解并指正。

引用建议

刘雪野，洪佳玲，陆彬，莫争春[✉]. 欧盟碳边境调节机制（CBAM）与中国钢铁行业低碳转型的互动分析模型构建 . 202505. [R]. 北京：绿色创新发展研究院 .

详细方法学及参数可联系作者获取

目 录

执行摘要	I
Executive Summary	III
CBAM 政策专用术语及示例	1
第一章 研究目的与研究方法	2
1.1 研究背景	2
1.2 文献综述	3
1.3 研究目的	5
1.4 研究方法	6
第二章 建模关键点	8
2.1 CBAM 政策规则有待细化和明确	8
2.2 CBAM 与中国钢铁行业减碳路径的复杂互动	9
2.3 CBAM 规则制定未充分反映中国钢铁行业的复杂特性	9
第三章 CBAM-CST 模型概述	10
3.1 模型简介	11
3.2 关键公式	13
3.3 情景设置	15
第四章 影响 CBAM 费用的关键不确定性因素分析	18
4.1 免费配额基准值的退出与欧盟碳中和目标如何影响 EU ETS 价格	18
4.2 CBAM 覆盖范围内钢铁产品的免费配额基准值如何与产品一一对应	19
4.3 CBAM 免费配额基准值如何设定	21
4.4 中国碳市场免费配额基准值如何设定与退出	21
4.5 中国钢铁对欧盟出口量如何预测	23
4.6 中国钢铁企业“已有效的支付的碳成本”如何被欧盟认可	25
4.7 通胀和汇率的不确定性如何影响 CBAM 费用	25
第五章 研究贡献、局限与下一步计划	28
5.1 本研究系列报告	28
5.2 模型创新	28
5.3 模型局限	29
5.4 下一步研究计划	29
引 用	30

图目录

图 4-1 不同情景下 2020-2050 年欧盟 EU ETS 碳价格预测	19
图 3-1 本研究研究框架	11
图 3-2 CBAM 公式	13
图 3-3 CBAM 与中国钢铁行业低碳转型互动的情景设定逻辑图	16
图 4-2 尚未公布免费配额基准值的 CBAM 涵盖钢铁产品（按进口量）的比例（绿色和灰色部分）	20
图 4-3 中国全国碳市场免费配额基准值预测 - 工艺法与产品法对比（2025-2040 年）	22
图 4-4 EU ETS 免费配额基准值预测 - 工艺法与产品法对比	22
图 4-5 2000-2050 年欧盟从中国进口 CBAM 钢铁产品的贸易量	23
图 4-6 2000-2050 年欧盟从中国进口 CBAM 钢铁产品的贸易量	24
图 4-7 欧元兑人民币汇率	25
图 4-8 2000-2024 年中国通货膨胀率	26
图 4-9 2000-2024 年欧元区通货膨胀率	26
图 4-10 欧盟与其他地区 2021 年第三季度 -2023 第三季度通胀率	27

表目录

表 1-1 CBAM 相关文献综述表	4
表 3-1 CBAM-CST 模型输入参数	12
表 3-1 CBAM-CST 模型输入参数	12
表 3-3 现有情景矩阵示意图	17
表 4-1 CBAM 钢铁行业相关的免费配额基准值	20
表 4-2 CBAM 钢铁行业相关的免费配额基准值与钢铁产品对应表	20

执行摘要

2023 年 10 月 1 日，欧盟正式试行碳边境调节机制（CBAM），成为其推动国际气候贸易政策的变革性措施。中欧互为全球气候行动的关键伙伴和重要贸易伙伴，CBAM 的实施及其潜在的政策影响将对中欧未来的贸易格局和在气候变化领域的合作产生长期深远的影响。准确把握 CBAM 对中国出口欧盟产品影响的长期趋势有助于中欧在 CBAM 实施规则上进行务实磋商和促进中国出口产品制造企业制定长期减碳策略。

CBAM 在实施细规和配套政策方面仍然存在诸多不确定性，导致评估 CBAM 的长期影响趋势具有很大挑战性。主要的不确定性体现在两个方面：一是 CBAM 政策规则制定本身是一个欧盟不断摸索和深入完善规则的创新过程。目前不少规则处于原则性和定性描述阶段，在操作和执行层面有待进一步细化。二是影响 CBAM 的外部市场因素的长期变化趋势具有极大不确定性。例如，CBAM 机制所依托的 EU-ETS 市场本身也在发生深刻变化。按照欧盟计划，EU-ETS 所发放的能源密集行业的免费碳配额将逐步减少，直至完全退出。同时，EU-ETS 的碳配额交易价格的长期走势的不确定性，影响对 CBAM 的长期趋势分析。

另外，中国或将 CBAM 涵盖的全部行业纳入中国碳排放市场，但在相关规则制定与实施、以及中国碳市场交易价格的长期趋势等也都具有很大的不确定性。这些也都必然影响对中国相关行业出口欧盟产品的 CBAM 费用的长期趋势分析。另外，中国钢铁行业自身的减排驱动力和长期减排趋势也是极为重要的影响因素，而这并未纳入欧盟 CBAM 规则制定者的考量范围。

2025 年 2 月 26 日，欧盟委员会提出简化 CBAM 规则的 Omnibus，拟对 90% 的欧盟进口商豁免 CBAM，原因是这些进口商的进口产品隐含碳排放量只占进口产品的总隐含碳排放量的 1%。但即便该简化规则最终实施，并不影响本研究所涉及的诸多不确定性影响因素、研究目的、研究意义意义和研究结论。

目前，关于 CBAM 对中国出口欧盟产品的影响研究大多数局限于较短时间尺度和有限的确定因素、对不确定规则和外部不确定关键因素进行长期趋势分析的并不多。本研究综合考虑 CBAM 的关键不确定外部影响因素和 CBAM 规则的不确定性，并将研究尺度扩展至欧盟实现碳中和的 2050 年具有以下几个方面的重要意义：

1. 有助于评估欧盟在持续深化和完善 CBAM 规则和实施过程中的各种调整和细化对中国出口行业的长期影响。这具有非常务实的意义并且也是目前研究领域所极为缺乏的。
2. 有助于中欧双方就 CBAM 实施进行坦诚磋商和高效对话。例如，如何落实 CBAM 允许进口产品抵扣在制造国已经支付的减碳成本？这完全有赖于中欧双方决策者的深入沟通与决策智慧。
3. 有助于中国出口企业在制定长期减排策略时考虑 CBAM 潜在的长期影响，从而做出更为明智的抉择。

2022 年，在能源基金会的支持下，绿色创新发展研究院（iGDP）开展了为期一年的“欧盟碳边境调节机制对中国钢铁行业低碳转型影响的量化分析”课题。以钢铁行业为例，分析影响 CBAM 的多重不确定因素在多维度场景下对中国出口商品的中长期影响趋势。在课题完成后，又根据 CBAM 政策的不断变化进行了深化研究。

研究组持续跟踪和研读 CBAM 相关法律文本及实施条例，并广泛调研中国钢铁企业和研究机构，自主开发了一个量化分析模型 CBAM-CST(CBAM-China Steel Transition Model)，深度分析 CBAM 的内在机制和中国钢铁行业低碳转型的驱动因素，并量化两者之间的中长期互动趋势及相互影响。

初步研究发现，EU-ETS 价格和中国钢铁产品的碳排放强度是影响中国出口欧盟的钢铁产品 CBAM 总调节费中长期趋势的最关键因素。对不同生产工艺而言，影响其 CBAM 调节费的关键影响因素的权重各有不同。例如，对于高炉转炉（BF-BOF）钢铁产品，影响单吨产品 CBAM 调节费的主要中长期因素是 EU-ETS 价格和中国钢铁产品的碳排放强度。而对于废钢电炉（Scrap-EAF）钢铁产品，最主要的中长期影响因素是 EU-ETS 价格以及欧盟是否将间接排放纳入 CBAM，其次才是产品的直接排放强度。

CBAM-CST 模型还具备对 CBAM 诸多不确定的实施政策进行 what-if 多情景模拟分析的能力。根据欧盟委员会税务和海关总署间接税和税务管理 CBAM、能源和绿色税收部门的负责人 Vicente HURTADO ROA 透露，未来 CBAM 相关规则重点将包括：确定碳边境调节机制过渡期特定隐含碳排放默认值、免费配额调整规则、第三国实际支付的碳价以及过渡期结束后计算特定隐含碳排放量的方法论等（钢铁空天碳中和，2024）（Vicente-HURTADO-ROA）。

以免费配额规则调整为例，欧盟对钢铁产品免费配额基准值的设定可能会从工艺法过渡到产品法。如果执行的话，这将对目前仍然以长流程工艺为主的中国出口钢铁产品的 CBAM 总费用产生更大的不利影响。

研究表明，CBAM-CST 模型具备强大的灵活性与可扩展性，可以深度分析欧盟 CBAM 政策及未来规则变化的趋势，以及这些长期变化趋势对中国钢铁行业节能减排的长期外部影响。本研究既可以为中欧双方开展关于 CBAM 的务实对话与磋商提供技术支撑，也可以为中国钢铁企业评估和制定长期减排战略提供依据。

该模型在研究期间已经为一些决策部门和企业提供了相关技术支持，展示其较广的实用性和较强的分析能力。

本报告为本研究的系列报告的之一，着重阐述互动分析模型的理论框架与构建方法，并展示一些关键互动分析示例与结果，是本研究的重要核心部分。



Executive Summary

On October 1, 2023, the European Union officially began trial implementation of the Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM), marking a transformative measure in its efforts to promote international climate trade policy. China and the EU are key partners in global climate action and important trade partners, and the implementation of CBAM, along with its potential policy impacts, will have long-term and profound effects on the future trade patterns between China and the EU, as well as their cooperation in the field of climate change. Accurately understanding the long-term trends of CBAM's impact on China's exports to the EU will help facilitate pragmatic consultations on the implementation rules of CBAM and encourage Chinese exporting manufacturers to develop long-term carbon reduction strategies.

There are still many uncertainties regarding the detailed implementation rules and supporting policies of CBAM, making it quite challenging to assess the long-term impact trends of CBAM. The main uncertainties manifest in two aspects: first, the formulation of CBAM policy rules is an innovative process in which the EU continuously explores and refines the rules. Currently, many rules are still in the stage of principled and qualitative descriptions, requiring further refinement at the operational and execution levels. Second, the long-term changes in external market factors that affect CBAM are highly uncertain. For example, the EU-ETS market, which underpins the CBAM mechanism, is also undergoing profound changes. According to EU plans, the free carbon allowances allocated to energy-intensive industries under the EU-ETS will gradually decrease until they are completely phased out. At the same time, the uncertainty surrounding the long-term trend of carbon allowance trading prices in the EU-ETS affects the analysis of the long-term trends of CBAM.

Additionally, China may include all industries covered by the CBAM into its carbon emission market, but there is significant uncertainty regarding the formulation and implementation of relevant rules, as well as the long-term trends of carbon market trading prices in China. These factors will inevitably affect the long-term trend analysis of CBAM costs for Chinese industries exporting products to the EU. Furthermore, the emission reduction drivers and long-term reduction trends within China's steel industry are also extremely important influencing factors, which have not been taken into account by the EU CBAM rule-makers.

On February 26, 2025, the European Commission proposed an Omnibus to simplify the CBAM rules, intending to exempt 90% of EU importers from CBAM, as the embedded carbon emissions of these importers' imported products account for only 1% of the total embedded carbon emissions of imported products. However, even if this simplified rule is ultimately implemented, it does not affect the many uncertainty factors, research objectives, significance, and conclusions involved in this study.

Currently, most research on the impact of CBAM on China's exports to the EU is limited to a short time frame and a limited number of determinable factors, with few long-term trend analyses of uncertain rules and external critical uncertainty factors. This study comprehensively considers the key uncertain external influencing factors of CBAM and the uncertainty of the CBAM rules, extending the research scope to the year 2050 when the EU aims to achieve carbon neutrality, which has the following important significance:

1. It helps assess the long-term impact of various adjustments and refinements in the process of deepening and perfecting the CBAM rules and implementation on China's export industries. This is of very practical significance and is currently extremely lacking in the research field.
2. It facilitates candid consultations and efficient dialogue between China and the EU regarding the implementation of CBAM. For example, how to implement the deduction of carbon reduction costs already paid in the manufacturing country for imported products under CBAM? This entirely relies on in-depth communication and decision-making wisdom from both sides' policymakers.
3. It helps Chinese export enterprises to consider the potential long-term impacts of CBAM when formulating long-term emission reduction strategies, thus making more informed decisions.

In 2022, with the support of the Energy Foundation China, the Institute for Global Decarbonization Progress (iGDP) conducted a one-year project titled "Quantitative Analysis of the Impact of the EU Carbon Border Adjustment Mechanism on the Low-Carbon Transition of China's Steel Industry." Taking the steel industry as an example, the project analyzed the multiple uncertain factors affecting CBAM and their medium- to long-term impact trends on Chinese export goods in various scenarios. After the completion of the project, further research was conducted based on the ongoing changes in CBAM policies.

The research team continuously tracked and studied the relevant legal texts and implementation regulations of CBAM and conducted extensive surveys of Chinese steel enterprises and research institutions. The research team independently developed a quantitative analysis model called CBAM-CST (CBAM-China Steel Transition Model) to deeply analyze the internal mechanisms of CBAM and the driving factors of the low-carbon transition in China's steel industry, as well as to quantify the medium- to long-term interaction trends and mutual influences between the two.

Preliminary research has found that the EU-ETS price and the carbon emission intensity of Chinese steel products are the most critical factors affecting the medium- to long-term trends of the total adjustment fees for China's steel exports to the EU under the CBAM.

The weight of the key influencing factors on the CBAM adjustment fees varies for different production processes. For example, for blast furnace-basic oxygen furnace (BF-BOF) steel products, the main medium- to long-term factors affecting the CBAM adjustment fee per ton of product are the EU-ETS price and the carbon emission intensity of Chinese steel products. In contrast, for scrap electric arc furnace (Scrap-EAF) steel products, the most significant medium- to long-term influencing factors are the EU-ETS price and whether the EU will include indirect emissions in the CBAM, followed by the direct emission intensity of the product.

The CBAM-CST model also has the capability to conduct what-if scenario simulations for various uncertain implementation policies of the CBAM. According to Vicente HURTADO ROA, head of the Indirect Tax and Tax Management CBAM, Energy and Green Taxation Department of the European Commission's Taxation and Customs Union, future CBAM-related rules will focus on: determining specific default

values for implied carbon emissions during the transition period of the carbon border adjustment mechanism, rules for adjusting free quotas, the carbon price actually paid by third countries, and the methodology for calculating specific implied carbon emissions after the transition period ends, among other aspects.

Taking the adjustment of free allowance rules as an example, the European Union's setting of the benchmark value for free allowance on steel products may transition from a process-based approach to a product-based approach. If implemented, this would have a greater adverse impact on the total costs of the CBAM for China's export steel products, which are still primarily based on long-process methods.

Research shows that the CBAM-CST model possesses strong flexibility and scalability, allowing for in-depth analysis of the trends in the EU's CBAM policy and future rule changes, as well as the long-term external impacts of these trends on energy conservation and emissions reduction in China's steel industry. This research can provide technical support for pragmatic dialogue and consultations between China and the EU regarding CBAM, and can also serve as a basis for Chinese steel enterprises to assess and formulate long-term emissions reduction strategies.

During the research period, the model has already provided technical support to decision-making departments and enterprises, demonstrating its broad applicability and strong analytical capabilities.

This report is one of a series of reports from this research, focusing on the theoretical framework and construction methods of the interactive analysis model, and presenting some key examples and results of interactive analysis, which is an important core part of this research.

CBAM 政策专用术语及示例

- **吨二氧化碳当量**：一公吨二氧化碳，或碳边境调节机制条例（REGULATION (EU) 2023/956 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 10 May 2023）所列具有同等全球变暖潜能的任何其他温室气体的折合数量。
- **直接排放**：商品生产过程中的排放，包括生产过程中制热和制冷的能耗所产生的排放，不论制热和制冷的地点位于何处。
- **间接排放**：为生产在商品生产过程中消耗的电力而产生的排放，不论所消耗电力的生产地点位于何处。
- **隐含碳排放**：商品生产过程中所释放的排放，包括生产过程中所消耗的相关前体物料的隐含碳排放。
- **直接归因排放**：根据设施的直接排放以及相关热流、物料流和废气（如相关）的排放，归因于设施生产商品的相关生产过程的排放。
- **间接排放**：包括与在设施消耗的电力相关的排放。请注意，如果您的设施自行生产电力，则生产电力过程中消耗的燃料应计入设施的直接排放。但电力生产视为一个单独的生产过程，即该等直接排放并不归因于该设施生产的任何商品的直接排放。
- **间接归因排放**：归因于设施生产商品的相关生产过程的间接排放。
- **相关前体物料**：排放量不等于零的、被确定为属于计算复杂商品隐含碳排放量的系统边界内的简单或复杂商品。
- **简单商品**：生产过程中仅需使用隐含碳排放量为零的投入物料和燃料来生产的商品。
- **复杂商品**：简单商品以外的商品。
- **特定隐含碳排放**：每吨商品的隐含碳排放量，按每吨商品排放的二氧化碳当量吨数计。
- **生产过程**：设施执行化学或物理过程以生产碳边境调节机制实施细则（COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) 2023/1773 OF 17 AUGUST 2023）所定义的综合商品类别下商品的过程，以及其关于投入物、产出物和相应排放的特定系统边界。
- **综合商品类别**：在碳边境调节机制实施细则（COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) 2023/1773 OF 17 AUGUST 2023）中被默示定义。
- **生产路线**（同义替换词：生产工艺）：在生产过程中用于生产综合商品类别下商品的特定技术。一个生产过程通常与所生产的一组 CBAM 商品（综合商品类别）相关。然而，在某些情况下，生产此等商品存在多条生产路线。¹

¹ TAXUD-2023-01191-00-00-ZH-TRA-00 文中所用的专用名词 - 生产路线，在中国钢铁行业内通常表述为生产工艺，本报告中提到的生产路线与生产工艺同义。

第一章

研究目的与研究方法

中欧互为重要贸易伙伴，CBAM 实施及其潜在的政策影响将对中欧未来的贸易格局和气候变化领域的合作产生长期深远的影响。

1.1 研究背景

欧盟碳边境调节机制（CBAM）是欧盟通过对进口产品征收碳关税，期望达到防止碳泄漏并推动全球气候行动的气候贸易政策。CBAM 政策产生的费用会通过价格传递机制影响出口企业的成本结构，削弱出口企业的国际竞争力。根据宝钢股份《2021 年气候行动报告》披露，CBAM 政策预计将导致宝钢股份每年承担 4000 万至 8000 万欧元的碳关税成本。对于 2023 年行业净利润率不足 5% 的钢铁行业而言（信达证券，2024），这一政策可能侵蚀企业大部分利润空间，对行业盈利能力造成严重冲击。

中国钢铁、水泥和电解铝等行业即纳入全国碳市场。对欧盟出口的中国钢铁企业和中国电解铝企业将面临欧盟 CBAM 费用和国内碳价的“双重碳成本”压力。因此，系统评估欧盟 CBAM 规则的潜在影响，制定有效应对影响的策略，具有重要的现实意义和紧迫性。

2022 年欧盟进口的钢铁产品中，中国产品占比 17.8%，位于第一位；在同期欧盟进口的铝中，中国产品占比 11.8%，排名第二；同期欧盟进口的化肥、水泥自中国进口的比重不足 2.5%；氢及电力未从中国进口²。目前，中国钢铁行业年排放（包含能源相关与过程排放）约为 18 亿吨二氧化碳当量，占全国年排放总量的 15%（冶金工业规划研究院，2020）。

毋庸置疑，从中国“双碳”目标和欧盟 CBAM 覆盖的进口产品角度来看，钢铁行业显然是首要研究对象。因此，本研究以中国钢铁行业为研究对象，剖析 CBAM 规则与中国钢铁行业低碳转型的中长期互动趋势。

² 欧盟统计视角下碳关税覆盖产品进口额及份额第一的中国产品数据分享，中国机电产品进出口商会，2023-07-31

1.2 文献综述

目前，国内外针对 CBAM 的相关研究主要集中于评估 CBAM 在防止碳泄露和加强碳减排等方面的效果。针对 CBAM 对中国相关行业影响的研究大多是评估其对中国钢铁、电解铝等行业碳排放下降及其出口贸易、企业出口成本的影响，但关于 CBAM 与中国钢铁、电解铝等行业自身的减碳内部因素的互动关系的量化分析较少。

欧盟委员会的影响报告 (EU, 2021) 涵盖了覆盖行业、碳排放范围、碳强度核算方法、气候目标等因素，覆盖面较全，但未确定中国钢铁行业纳入中国碳市场后所缴纳的碳成本是否将在 CBAM 成本中抵减。欧盟委员会的报告通过建立能源与经济耦合模型量化分析相关政策的经济影响，为欧盟制定 CBAM 相关规则提供了数据支持，但该研究并未考虑到出口国的政策选择，也未考虑通胀、汇率等宏观经济因素的影响。

中金研究院 (谢超, 2021) 和 Sandbag 智库的报告 (Sandbag, 2022) 考虑了中国碳市场因素，但其给出的碳价未能充分反映中国“双碳”目标下未来中国碳市场的碳价增长幅度。中金报告与对外经贸大学刘斌团队的文章采用的碳排放范围是产品的全生命周期，超出 CBAM 覆盖的排放范围，可能造成 CBAM 成本估算偏大。

目前，在 CBAM 与中国钢铁能源转型两个议题下，建立能源转型与经济耦合模型的研究较少，只有欧盟委员会的报告采用了 Prime-JRC-GEM-E3 模型来分析能源与经济的互动关系。中金研究院与刘斌团队 (刘斌, 赵飞, 2022) 采用的是单纯的经济模型，Sandbag 和 E3G 采用的模型细节不详。

通过文献综述，可以看到现有研究较多集中在 CBAM 政策作为一个整体政策对中国宏观经济和钢铁行业整体所需承受成本等方面的影响。然而，现有文献较少对 CBAM 政策进行详细解剖和还原研究，特别是在将中国钢铁行业的减排路径与 CBAM 政策耦合研究方面。此外，研究中较少考虑欧盟碳市场 (以下简称 EU-ETS) 和中国碳市场建设与 CBAM 政策设定的互动性。同时，两方碳市场价格、通胀与汇率的变动等因素的长期趋势对 CBAM 政策的影响和中国钢铁行业减排行动的影响也未得到充分考虑。

以上文献的详细比较如表 1-1。



表 1-1 CBAM 相关文献综述表

考虑因素		CBAM 影响评估报告 - 欧盟委员会	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——中金研究院	欧盟碳边境调节机制对中国出口的影响与对策建议 - 刘斌	碳边境调整机制影响及地缘政治风险分析 — Sandbag 和 E3G	欧盟碳边境调节机制（CBAM）对中国钢铁行业低碳化进程的影响研究 —— 基于系统动力学的动态传导机制分析
Model		Prime-JRC-GEM-E3 模型	全球多区域投入产出模型 (Multi-regional Input Output, MRIO)—可计算一般均衡模型 (Computable General Equilibrium,CGE)	单区域投入产出模型	自有模型	自有模型 (Steel Supply Chain-CBAM based on SFD)
覆盖范围	全经济领域		√	√		
	CBAM	√			√	
	钢铁		X	X		√
碳排放范围	全生命周期		√	√		X
	特定隐含碳排放	√			√	未明确
	其他				碳单位成本 X 产品数量 X 产品碳密集度	只包含直接排放
产品碳排放强度	产品实际碳排放	√	√	√	√	√
	出口国平均水平	√				
	欧盟平均水平	√				
钢铁行业零碳转型路径研究	零碳路径	X	X	X	X	X
	减排成本	X	X	X	X	√
碳成本	EU 碳市场	√	√	√	√	√
	中国全国碳市场显性碳价格	X	√	X	√	√
	隐性碳价格	X	X	X	X	X
气候目标	2030 年减排 40%	√				X
	2030 年减排 55%	√				X
	中国气候目标	X				X
免费配额退出机制	取消免费配额	√				X
	免费配额退出	√			√	X
中国碳市场设计机制	中国全国碳市场纳入钢铁行业时间	X	X	X	X	√
	中国全国碳市场对钢铁行业的免费配额基准值设定方法	X	X	X	X	X

来源：根据公开资料作者自制

1.3 研究目的

CBAM 政策详细规则究竟是什么，这些规则对中国钢铁行业的长期趋势性影响是什么，政府如何通过政策协调和市场机制优化应对 CBAM 对中国钢铁行业和宏观经济的潜在负面影响？

全国碳市场未来价格趋势如何？中国碳市场如何建设才能更有效促进中国钢铁企业高质量发展的同时尽快减排？中国钢铁企业在中国全国碳市场中的履约成本这种显性碳成本是否会被欧盟认定为已经有效支付的碳成本？

至于其他隐性碳成本是否能抵扣碳关税，欧盟目前留有较大的自由裁量权。如何量化中国全社会减排成本，并将其反映在已缴纳的国内碳成本上，方法是什么，如何被欧盟认可，是中欧双方非常重要的互动话题。目前国际机构对中国隐性碳成本的估算普遍偏低，未来如何制定和被认可？

企业在生存压力、减排成本（包含中国碳市场成本）与 CBAM 调节费之间的权衡下如何开展节能降碳行动？

此外，根据相关研究，通胀与减缓气候变化的政策之间存在权衡关系 (IMF, 2022)。通胀变动将影响气候政策的实施效果，特别是在 CBAM 议题上，可能会削弱 CBAM 政策鼓励相关企业减少碳排放的效果。CBAM 机制应如何设计以应对未来可能的通胀变化？同时，欧元与人民币之间的汇率变化也可能产生类似影响，CBAM 机制应如何设计来应对未来可能的汇率变化？

上述问题均为亟待解决的关键议题，然而现有研究尚未对此进行深入探讨和系统分析。为此，本研究深度解剖了 CBAM 政策，识别其中关键不确定性因素，并探讨了潜在的解决方式，进而量化分析 CBAM 政策对中国钢铁行业减排路径的长期影响趋势。上述分析过程与结果解读，将为中国政府制定钢铁行业转型政策、推进对外交流合作以及完善碳市场建设等工作提供应对 CBAM 影响的政策建议，同时为企业在“双碳”目标与 CBAM 双重背景下选择减排路径提供决策参考。

1.3.1 为中欧双方就 CBAM 开展对话提供技术分析

根据欧盟统计局 2022 年的数据，2022 年欧盟 27 国对中国贸易额达到 8563 亿欧元，同比增长 22.8%。其中，欧盟自中国进口 6260 亿欧元，增长 32.1%。中国是欧盟第二大贸易伙伴和第一大进口来源地（中国贸易新闻网，2023）。

欧盟和中国作为全球气候行动的关键参与者，在气候领域保持了全面的双边合作，双方同意建立欧盟碳边境调节机制 (CBAM) 对话机制（欧洲联盟驻华代表团，2023）。中欧需要在 CBAM 规则细节上深入研究、对话与合作，开展具体规则的量化影响分析。

目前，欧盟已经制定了碳边境调节机制条例 (REGULATION (EU) 2023/956 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 10 May 2023)（以下简称《CBAM 条例》((EU) 2023/956)）、碳边境调节机制实施细则 (COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) 2023/1773 OF 17 AUGUST 2023)（以下简称《CBAM 实施细则》((EU) 2023/1773)）和边境调节机制实施条例附录 (Annex to CBAM implementation regulation)（以下简称《CBAM 实施附录》）等相关法令法规和政策文件。同时，欧盟发布了过渡期出口商需要填报的信息交流表与相关指引³。然而，深入分析相关法令法规、政策文件和信息指引后，可以看出目前欧盟制定的 CBAM 规则尚存在若干不确定性。

CBAM 规则已经确定的细节包含 CBAM 目前覆盖的行业与产品范围、排放范围、实施时间表、CBAM 证书费用基本计算方法、CBAM 同欧盟碳市场（以下简称 EU ETS）免费配额的关联、申报流程及运行管理等。

碳交易市场中的履约成本和碳税这两种显性碳成本如果可以用于抵扣，那么其他隐性碳成本是否能抵扣碳关税，欧盟目前留有较大的自由裁量权。如何量化中国全社会减排成本，并将其反映在已缴纳的国内碳成本上，方法是什么，如何被欧盟认可，是中欧双方非常重要的互动话题。目前国际机构对中国隐性碳成本的估算普遍偏低，如何将中国隐性碳成本核算方法学与国际相关研究比较，取得共识，也是值得深入研究的问题。

³ 欧盟于 2024 年 6 月更新了 2.0 版本的信息交流表，详见官网。

CBAM 机制下相关产品的免费配额基准值划定方法、EU ETS 未来价格趋势、欧盟对进口产品在中国已支付碳成本的如何认可、过渡期特定隐含碳排放默认值及过渡期结束后计算特定隐含碳排放量的方法论等技术细节尚未在欧盟层面得到明确说明。这些政策细节的确定将对中国相关企业的出口欧盟产生重要影响。本文将逐一开展量化分析，为 CBAM 规则进一步细化提供数据支持。

1.3.2 为加速和完善国内碳市场及企业碳减排提供建议

中国全国碳市场已经确定将钢铁行业纳入管控范围。2024 年 9 月，生态环境部发布《全国碳排放权交易市场覆盖水泥、钢铁、电解铝行业工作方案》（征求意见稿）。文件中确定的管控范围为水泥、钢铁、电解铝行业管控化石燃料燃烧、工业过程等产生的直接排放。文件提出，在启动实施阶段，基于碳排放强度控制思路实施配额免费分配。

2025 年 1 月 24 日，生态环境部办公厅正式印发《企业温室气体排放核算与报告指南 钢铁行业（CETS—AG—03.01—V01—2024）》《企业温室气体排放核查技术指南 钢铁行业（CETS—VG—03.01—V01—2024）》2 项全国碳排放权交易市场技术规范。这表明钢铁行业将在近期被纳入全国碳市场管控范围。

2025 年 3 月 20 日，生态环境部办公厅正式印发《全国碳排放权交易市场覆盖钢铁、水泥、铝冶炼行业工作方案》。文件提出，2024 年度配额基于经核查的实际碳排放量等量分配，2025、2026 年度配额采用碳排放强度控制的思路分配，激励先进、鞭策落后，企业所获得的配额数量与产能产出挂钩，合理确定配额盈缺率，行业整体配额盈亏基本平衡。2027 年配额分配方法更加科学精准，建立预期明确、公开透明的行业配额总量逐步适度收紧机制。

总结来看，全国碳市场对钢铁行业免费配额基准值的设定方案尚存在不确定性。

钢铁行业被纳入全国碳市场后，中国钢铁产品如何计算其已支付的碳成本，将影响中国企业出口欧盟时被征收的 CBAM 调节费，中国需要积极参与 CBAM 机制的协调与对话，与欧盟共同构建公平合理的 CBAM 机制。

欧盟目前尚未明确“已支付的有效碳成本”概念的基本内涵，此概念是否指代中国钢铁企业在中国碳市场的履约成本还是其减排的隐性碳价格。如果是中国碳市场履约成本，扣除汇率影响后，一元人民币的中国碳市场成本是否被欧盟认可为一元人民币的价值量？根据 2023 年 11 月 16 日欧盟驻华代表团在北京召开的 CBAM 政策说明会上透露的信息，欧盟需要对各国各地方的已支付的碳成本开展调研，建立方法学，以衡量如何认可在原产国已支付的碳成本。

中国钢铁企业作为首批受到 CBAM 影响的行业，在双碳目标与市场引导下，节能减碳技术转移和创新，提高产业竞争力的速度将大大加快。中国政府需要加快建立碳排放数据监测、收集、核查管理制度、提供转型金融支持等相关基础性工作。为此，中国政府应积极参与 CBAM 政策规则的对话沟通与自身应对建设中，也需更好地引导企业向零碳目标迈进。

1.4 研究方法

为深度解剖 CBAM 政策，量化分析 CBAM 政策对中国钢铁行业减排路径的长期影响趋势，iGDP 通过能源基金会资助的《量化欧盟碳边境调节机制对中国钢铁行业低碳转型影响》的课题，以中国钢铁行业为例，梳理了 CBAM 相关法律文本及实施条例的内容，自主开发了一套量化分析工具 CBAM-CST 模型。

构建深度仿真 CBAM 政策与钢铁行业能源转型模块耦合的模型来分析 CBAM 政策对中国钢铁行业的影响，具有以下重要优势。

第一，深度仿真 CBAM 政策可以全面反映 CBAM 规则复杂性，识别其确定与不确定的因素，深度模拟 CBAM 的复杂机制，包括其独特的 CBAM 的免费配额基准值设定方法与退出速率等细节。

第二，通过耦合量化模型，可以动态模拟 CBAM 政策与中国钢铁行业能源转型之间的相互作用。CBAM 政策的实施可能推动中国钢铁行业加速采用低碳技术，而中国钢铁行业的转型又可能反过来影响 CBAM 政策的实际效果，进而改变其规则的制定。这种双向互动关系可以通过耦合量化模型得到充分体现。

第三，中国钢铁行业能源转型量化模块可以模拟中国钢铁行业不同能源结构和技术选择对碳排放强度和生产成本的影响。结合 CBAM 政策仿真模块，能够量化 CBAM 政策对中国钢铁行业能源转型路径的经济影响，例如增加的成本、竞争力变化等。

第四，耦合量化模型可以支持多情景分析与政策影响分析。耦合量化模型支持多情景分析，例如中欧碳市场价格不同的长期趋势、中国钢铁行业不同的转型路径、中国政府对中国钢铁行业转型提供不同的政策约束或激励力度、中国电网不同的脱碳速度及绿氢在中国钢铁行业的扩散快慢等。这种量化分析能够为中国钢铁行业提供应对 CBAM 政策的多种策略选择，并为政策制定者优化国内碳政策和产业支持政策提供依据。

第五，量化耦合模型可以提供高信度的国际竞争力影响评估。CBAM 政策的核心目的是欧盟希望能够防止碳泄漏，可能对中国钢铁行业的国际竞争力产生重大影响。耦合量化模型可以评估 CBAM 政策对中国钢铁出口的成本增加幅度，以及对中国钢铁企业在全世界市场中的竞争力影响。

CBAM-CST 模型深度分析了 CBAM 政策 内在机制和中国钢铁行业的低碳转型动力，量化了 CBAM 政策外部因素与中国钢铁行业内在减排因素之间的互动趋势，所产生的洞见可以为双方相关气候和贸易政策制定以及国际合作提供数据支撑，也为中国钢铁出口企业制定长期减排策略提供依据。



第二章

建模关键点

为深入解析 CBAM 规则并评估其对中国钢铁行业减排的影响，研究团队需构建 CBAM 规则与中国钢铁行业减排的耦合模型。然而，模型构建面临多重挑战：首先，如何深度解析 CBAM 规则并与中国相关政策及数据进行有效对接；其次，如何构建符合中国钢铁行业现状及减排路径的能源模型；最后，如何建立 CBAM 规则与中国钢铁行业减排路径之间的动态互动关系。针对这些问题，本研究开展了 CBAM 相关政策的不确定性分析，开发了中国钢铁行业生产工艺级的能源转型模块，构建了 CBAM 政策与中国钢铁行业减排模型的耦合关系。

2.1 CBAM 政策规则有待细化和明确

欧盟围绕 CBAM 政策制定还具有不确定性。比如，《CBAM 条例》((EU) 2023/956) 规定，纳入 CBAM 征收范围的钢铁产品会给予与本地区同类产品同等的免费配额，然而其免费配额基准值设定方法及其退出速率的快慢尚未制定明确的细则。

且根据《CBAM 条例》((EU) 2023/956) 规定，欧盟委员会将会在 2026 年过渡期结束后，评估是否将钢铁产品间接排放、运输过程产生的碳排放及其他前体物质的特定隐含碳排放纳入征收范围。

《CBAM 条例》((EU) 2023/956) 承认进口产品在原产地已经支付的有效碳成本，但是何为有效碳成本，尚未细则确认。以上不确定性因素，都需要欧盟与相关国家与地区开展进一步探讨与协商。

此外，除 CBAM 直接法律法规和解释说明文件，EU ETS 建设及欧盟电力市场改革的相关进展也会影响到进口产品所需缴纳的 CBAM 调节费。

2.2 CBAM 与中国钢铁行业减碳路径的复杂互动

EU ETS 价格的波动会直接影响中国对欧出口钢铁产品的成本，进而影响其出口数量与产品结构。同时，中国全国碳市场价格的设定和波动会直接影响中国钢铁行业在中国全国碳市场的履约成本和能源结构调整进度，促使中国钢铁行业加速向零碳转型，以适应全国碳市场价格的变化和政策导向。中国钢铁企业对零碳转型的技术研发投入和应用成本将反过来降低其所需缴纳的全国碳市场履约成本和 CBAM 调节费。

此外，通胀和汇率波动可能会增强 CBAM 或双方碳市场对中国钢铁企业减排的促进效果，也可能会抵消这些政策的减排效果。

因此，EU ETS 价格、汇率通胀、中国全国碳市场价格以及中国钢铁行业零碳转型之间形成了一个相互影响、相互调节的复杂系统。建立 CBAM 政策与中国钢铁行业绿色低碳转型的耦合模型具有挑战性。

2.3 CBAM 规则制定未充分反映中国钢铁行业的复杂特性

中国钢铁行业的生产工艺错综复杂，不同生产工艺下的能源消费结构各具特色。不同生产工艺下中国钢铁产品的能源结构数据和过程排放平均水平在国内现有研究与各类统计系统中尚未得到完全披露。

其次，国内研究机构或第三方组织已建立或发布的中国钢铁产品级别的碳排放核算方法与中国钢铁产品碳足迹数据库与 CBAM 政策中对于钢铁产品的碳排放核算规则还有细微差别。例如，CBAM 对钢铁产品的碳排放核算规则中明确不包含原材料（如，铁矿石等）的开采阶段碳排放量。RMI 发布的《钢铁产品碳足迹核算及报告 方法学——基于国际实践》中提出原材料（铁矿石等）开采阶段碳排放量也应被核算到钢铁产品碳排放核算范围内。中国钢铁行业环境产品声明平台（EPD 平台）披露钢铁产品从矿石原料到钢铁生产到使用加工以及回收利用整个产业链的碳排放碳足迹（央视新闻客户端，2022），与 CBAM 规则中对钢铁产品碳足迹核算范围不一致。因此，无法直接采用相关数据的背景数据作为默认值参与 CBAM 调节费核算。

如何将中国钢铁行业生产工艺级的能源消费量、能源消费结构和碳排放数据的核算范围、核算方法和 CBAM 规则要求匹配起来，也面临诸多挑战。欧盟对中国钢铁行业复杂情况了解不足，导致目前 CBAM 相关规则不能充分反应中国钢铁出口厂商核算相关产品碳排放的实际需求。



第三章

CBAM-CST 模型概述

为研究各影响因素之间的互动关系，本研究自主开发了能源与贸易规则联立的模型 CBAM-CST 模型。该模型设计为长时序的定量测算模型，旨在系统地评估欧盟碳边境调节机制（CBAM）对中国钢铁行业的影响。

首先，CBAM-CST 模型对主要影响因素（如 EU ETS 价格、中国全国碳市场价格、通胀、汇率等）分别开展研究或引用，建立不同气候目标下的发展趋势预测。其次，CBAM-CST 模型对这些主要影响因素之间的计算关系或者逻辑关系建立函数，确保各因素之间的动态联系。最后，CBAM-CST 模型通过模拟不同情景下这些因素的变化，将其影响传导到中国钢铁行业的能源转型结果或需缴纳的 CBAM 调节费上，从而影响利益相关方的决策。这种方法能够有效表征影响因素与输出结果之间的互动关系，并识别可能产生的负反馈影响。

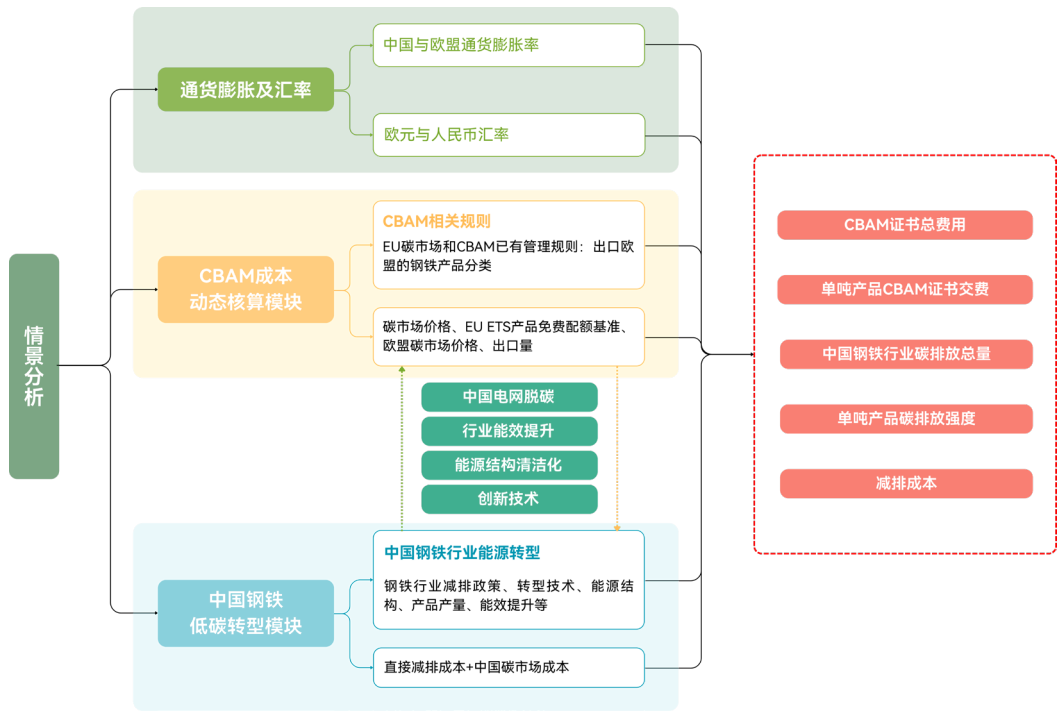
为充分体现上述因素对中国钢铁行业零碳转型、CBAM 调节费及减排成本的影响，CBAM-CST 模型主要测算并输出中国钢铁行业碳排放总量、单吨钢铁产品（区分钢铁产品类别）碳强度、CBAM 总成本、单吨钢铁产品减排成本和单吨钢铁产品 CBAM 调节费五个输出结果。对于模型输出的五个结果的具体讨论，详见本研究中结果解读系列报告。

通过自主构建的 CBAM-CST 模型，本研究不仅能够深入理解 CBAM 政策对中国钢铁行业的直接经济影响，还能探讨其对行业内部减碳动力和长远发展路径的互动关系。这种方法为政策制定者和行业提供了更为全面和科学的数据支持，有助于推动中欧双方在气候政策和贸易规则方面的合作与协调。

3.1 模型简介

现阶段，CBAM-CST 模型是一个多参数、多情景和多问题导向的动态核算模型，由相互关联的影响因素和政策参数按照特定函数关系构成。CBAM-CST 模型包含三个主要模块，分别是 CBAM 成本动态核算模块、中国钢铁低碳转型模块和通货膨胀及汇率模块，由中国及欧盟气候政策目标与经济社会动态共同驱动。

图 3-1 本研究研究框架



图源：研究组自制

CBAM 成本动态核算模块专注于测算中国对欧盟出口钢铁产品所需缴纳的 CBAM 成本。该模块主要包含碳市场和 CBAM 机制两个维度，每个维度内包含若干个参数变量。碳市场内包括 EU ETS 碳价格、中国全国碳市场纳入钢铁行业时间、中国全国碳市场碳价格等变量，CBAM 机制包括纳入 CBAM 范围的钢铁产品的碳强度计算范围与方式、免费配额基准值设定方式与退出机制设计等变量。该模块通过跟踪欧盟碳中和目标下 EU ETS 管理规则、EU ETS 价格以及 CBAM 相关管理规则等因素的变化，量化分析欧盟不同政策设定及执行力度对中国钢铁产品需缴纳 CBAM 调节费的影响程度。

中国钢铁低碳转型模块涵盖了**中国钢铁行业能源转型**路径和**中国钢铁行业减排成本**测算两个关键部分。该模块通过模拟不同气候目标下中国钢铁行业减排转型路径，考虑了不同路径下中国钢铁产量、能源结构、能源使用效率、技术路径、电网脱碳、氢能使用等因素，输出中国钢铁产品碳排放总量、不同生产工艺下钢铁产品碳强度、减排成本（包含纳入中国碳市场后需要缴纳的履约成本）等长时间序列结果。

通货膨胀及汇率模块主要考虑经济因素变动带来的相关影响。该模块主要包含中国和欧盟长期通货膨胀趋势以及欧元对人民币汇率的变化，通过分析不同趋势下通胀率和汇率对 CBAM 调节费的影响，帮助模拟未来可能的经济变化对中国钢铁行业和 CBAM 调节费的影响。以上因素数据的预测来自各机构研究结果的汇总。

CBAM-CST 模型即将向用户免费开放使用，内部参数设定分为缺省值设定和用户自定义两类。CBAM-CST 模型结果的产出涵盖了中国钢铁行业的多个方面，包括能源消费量、二氧化碳排放总量、单位钢铁产品碳排放强度、中国对欧盟出口钢铁产品缴纳 CBAM 总成本、吨钢 CBAM 调节费以及中国钢铁产品减排总成本（含中国钢铁产品需缴纳的中国全国碳市场的履约成本）等，可以辅助用户快速生成详细的量化影响结果，为政策制定者和行业提供科学的数据支撑，从而推动中国钢铁行业的绿色转型与可持续发展。

表 3-1 CBAM-CST 模型输入参数

模块	考虑因素	输入参数
通胀及汇率	通胀	中国通货膨胀率
		欧盟通货膨胀率
	汇率	欧元兑人民币汇率
CBAM 模块	碳市场	欧盟碳市场 碳价格
		中国钢铁行业进入碳市场时间
		中国碳价格
	CBAM 机制规则	中国对欧盟钢铁产品出口贸易量
		两个碳市场免费配额退出比例
		中国隐性碳价格
		中国 CCER
中国钢铁模块	钢铁行业能源结构及消费量	能源结构（BF-BOF）
		能源结构（DRI-EAF）
		能源结构（Scrap-EAF）
	钢铁行业工艺流程	工艺流程
	钢铁行业产品产量	产品产量
	钢铁行业能效提升	吨钢综合能耗
	钢铁行业 CCS 部署	CCS 部署
	能源排放因子	能源排放因子
	减排成本	能源与原料成本变化成本
		技术改造成本

注释：输入参数设置依据见附录

表 3-1 CBAM-CST 模型输入参数

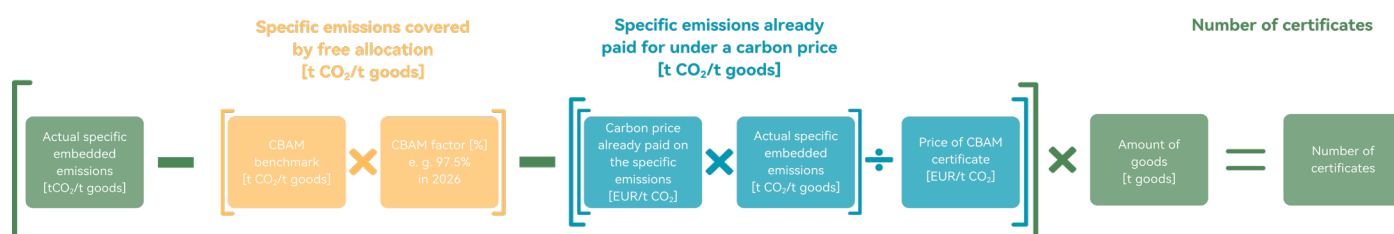
模块	考虑因素	参数
CBAM 模块	CBAM 调节费	CBAM 证书数量（分工艺流程）
		CBAM 总成本（分工艺流程）
		单吨钢铁产品 CBAM 调节费（分工艺流程）
中国钢铁模块	中国钢铁产品在中国碳市场 履约成本	中国钢铁产品在中国碳市场履约成本（分工艺流程）
		吨钢中国钢铁产品在中国碳市场履约成本（分工艺流程）
	钢铁产品碳强度	钢铁产品碳强度（不同范围）
	钢铁行业碳排放总量	碳排放总量（分工艺流程）
	钢铁行业能源结构及消费量	能源消费量（分工艺流程）
	减排总成本	总减排成本

注释：输入参数设置依据见附录

3.2 关键公式

CBAM 成本动态核算模块：本研究 CBAM 证书总费用依据 CBAM 立法文件的中间版本（CBAMP9_TA(2022)0248）中的公式⁴及 2024 年 12 月 17 日欧盟发布《Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) Questions and Answers Last updated on 17 December 2024》文件中进一步明确版本的公式（图 3-2）计算。

图 3-2 CBAM 公式



图源：Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) Questions and Answers Last updated on 17 December 2024

$$N_{(n,m)} = \{ [ASEE_{(n,m)} - (CB_{(n,m)} * FA_{(n)})] - [(CPA_{(n,m)} * ASEE_{(n,m)}) / PCC_n] \} * AoG_{(n,m)} \quad \text{公式 1}$$

$$CBAMad_{(n,m)} = N_{(n,m)} * PCC_n \quad \text{公式 2}$$

其中，

$CBAMad_{(n,m)}$ 表示第 n 年单吨 m 类钢铁产品所需缴纳的 CBAM 调节费，单位为 RMB²³

$N_{(n,m)}$ 表示第 n 年单吨 m 类钢铁产品需要缴纳的 CBAM 证书数量（Number of certificates）

$ASEE_{(n,m)}$ 表示第 n 年单吨 m 类钢铁产品的被 CBAM 规则覆盖的特定直接隐含碳排放量（Actual specific embedded emissions [tco₂/t goods]），单位为 tco₂/t goods

$CB_{(n,m)}$ 表示第 n 年单吨 m 类钢铁产品在 CBAM 体系内取得的免费配额基准值（CBAM benchmark [tco₂/t goods]），单位为 tco₂/t，

$FA_{(n)}$ 表示第 n 年 CBAM 免费配额基准值年度下降系数（CBAM factor[%]），单位为 %，例如 2026 年为 97.5%

$AoG_{(n,m)}$ 表示第 n 年中国对欧盟出口的单吨 m 类钢铁产品重量（Amount of goods [t goods]），单位为 t

PCC_n 表示第 n 年 EU ETS 价格（Price of CBAM certificate [RMB/t CO₂]），单位为 RMB/t CO₂⁵

$CPA_{(n,m)}$ 表示第 N 年的 m 类钢铁产品的特定碳排放量在出口国已经缴纳的有效碳成本（Specific emissions already paid for under a carbon price [RMB/t co₂]），单位为 RMB/t CO₂

本研究中钢铁产品的二氧化碳排放量采取《CBAM 条例》((EU) 2023/956) 中规定的质量平衡法⁶来计算。

⁴ CBAM Adjustments = CBAM Obligation - Obligation paid in exporting country on the basis of equivalent carbon price applied in that country

⁵ 为研究的统一，本研究将欧元换算成人民币计算，基准情景下欧元与人民币汇率固定为（1 欧元 = 7.66 人民币元）。其他情景下汇率可变。

⁶ 质量平衡：在此方法下，所有燃料、投入物料及产出物料的碳量均通过确定燃料和物料本身的数量及碳含量确定。

单位钢铁产品的特定直接隐含碳排放计算公式⁷：

$$ASEE_{(n,m)} = \sum (E_{(i,n,m)} \times F_{(i,n,m)} + Pr_{(n,m)} - Se - CCUS_{(n,m)}) \quad \text{公式 3}$$

其中，

$E_{(i,n,m)}$ 表示第 n 年单吨 m 类钢铁产品消费的第 i 种能源，单位为 tce

$F_{(i,n,m)}$ 表示第 n 年单吨 m 类钢铁产品消费的第 i 种能源的碳排放因子，单位为 tCO_2/tce

$Pr_{(n,m)}$ 表示第 n 年单吨 m 类钢铁产品所需投入的原材料在工业过程中除燃料燃烧之外的物理或化学变化造成的温室气体排放⁸

Se 表示第 n 年单吨 m 类钢铁产品固定在最终产品中的碳排放量，吨粗钢产品固碳强度为 0.0154 吨 CO_2 (生态环境部., 2023)

$CCUS_{(n,m)}$ 表示第 n 年单吨 m 类钢铁产品采用 CCUS 减少的碳排放量，单位 tCO_2/t

中国钢铁产品在中国（出口国）已支付的有效碳成本（在中国全国碳市场履约成本）的计算方式：

$$CPA_{(n,m)} = (ASEE_{(n,m)} - CEB_{(n,m)}) \times P_n \times I_n \quad \text{公式 4}$$

其中，

$CEB_{(n,m)}$ 表示第 N 年的 m 类钢铁产品在中国碳市场取得的单吨产品免费配额基准值（China ETS benchmark [tCO_2/t goods]），单位为 tCO_2/t

P_n 表示第 N 年的中国全国碳市场单吨配额价格，单位为元 RMB/t CO_2

I_n 表示第 N 年的中国通胀率，单位 %

根据相关研究及钢铁行业专家意见，本研究将中国钢铁行业减排成本核算分为以下三个部分：节能减排带来的燃料和原料变化导致的成本变化、技术改造成本（包括新建设施）和中国碳市场履约成本。其中，燃料和原料变化的成本根据不同情景下钢铁产品生产过程中能效提升和钢铁产品产量计算得出，技术改造成本（包括新建设施）引用自研究文献及实地调研数据（董金池，2021）。

⁷ 本研究设定的工艺流程均以铁矿石或废钢为起点。该类起点的工艺流程的前体物质只包含氢能（或氢气）、焦炭、石灰、铁矿石、其他物料和燃料。为与中国现有统计数据或权威数据衔接，本研究将以上前体释放的二氧化碳量分在燃料燃烧过程和工业过程中除燃料燃烧之外的物理或化学变化过程中分别计算。为简化计算过程，假设钢铁企业不对外出售热力和电力。

⁸ 每种生产路线下根据系统边界不同，有若干前体，详见 https://taxation-customs.ec.europa.eu/document/download/1dd68ee3-0364-47a5-9a2e-010b2568541c_en?filename=TAXUD-2023-01191-00-00-ZH-TRA-00.pdf。根据欧盟以外设施经营者试试碳边境调节机制（CBAM）的指导手册显示，本研究所选三条技术路径下需要计算前体碳排放的前体分别是烧结或球团（BF-BOF 和 DRI-EAF），废钢电弧炉（Scrape-EAF）路线下的前体是废钢。欧盟以外设施经营者试试碳边境调节机制（CBAM）的指导手册规定烧结、球团和废钢是无隐含碳排放的物料。因此按照欧盟以外设施经营者试试碳边境调节机制（CBAM）的指导手册第 54 页中所显示第一条、第三条和第四条技术路线生产的钢铁产品无需计算隐含前体碳排放。

中国钢铁产品减排成本的计算方式：

$$DC_{(n,m)} = \Delta E_{(n,m)} + CPA_{(n,m)} + T_{(n,m)} \quad \text{公式 5}$$

其中，

$DC_{(n,m)}$ 表示第 N 年的 m 类单吨钢铁产品的总减排成本，单位为 RMB/t goods，

$\Delta E_{(n,m)}$ 表示第 N 年与第 N-1 年比较，m 类单吨钢铁产品的因节能减排带来的燃料、原料变化导致的成本变化，单位为 RMB/t goods，

$CPA_{(n,m)}$ 表示第 N 年 m 类钢铁产品在中国全国碳市场履约成本变化，单位为 RMB/t goods，

$T_{(n,m)}$ 表示第 N 年的 m 类钢铁产品技术改造成本（含新建设施），单位为 RMB/t goods，

根据《CBAM 条例》((EU) 2023/956) 规定，进口产品的碳排放强度应采用经核查的实际排放数据。在缺乏实际数据的情况下，应使用默认值。默认值为该产品出口国的平均排放强度或《CBAM 实施附录》中列出的（除电力以外）每一种商品的平均排放强度，并按比例上调。尽管《CBAM 条例》((EU) 2023/956) 中没有明确上调的比例，但在 2022 年 6 月欧洲议会通过的版本 (T9-0248/2022) 中，此上调比例为 10%，随后在欧盟公布的文件中该数字被删除。因此，目前本研究未对我国出口欧盟的钢铁产品的平均排放强度予以上调处理。未来欧盟具体规定出台后，本研究可以对相关参数进一步调整。

3.3 情景设置

本研究聚焦于 CBAM 与中国钢铁行业减排的关键议题，以 37 个核心参数为基础构建情景。针对每个问题，本研究全面分析这些参数的具体配置，从而形成一套综合考虑所有参数的情景设置模式。情景设定具体设定逻辑如图 3-3 所示。

情景设置流程图展示了 CBAM 与中国钢铁行业减排的互动逻辑。首先，模型需要决定是否考虑欧盟和中国的通胀率，并根据欧元兑人民币汇率确定欧盟 EU ETS 碳价格，从而进入 **CBAM 成本动态核算模块**。在此基础上，模型需要考虑是否将钢铁产品碳强度中的间接排放纳入计算，以及纳入计算的年份。同时，检查是否存在 EU ETS 免费配额基准值。如果存在 EU ETS 免费配额基准值，依据欧盟相关公文发布的配额调整机制计算 EU ETS 免费配额分配基准值。模型中所用数据来源及趋势预测方法和依据，详见附录。

在 **中国钢铁低碳转型模块** 中，首先估算未来中国钢铁行业的产品产量，然后根据不同的生产工艺、钢铁行业的能源结构和消费量计算相应的碳排放量；进一步评估碳捕获与封存（CCS）技术以及能效提升技术在钢铁行业的应用潜力，这些因素综合计算后，得出中国钢铁产品的碳强度。减排成本估算包括节能减排带来的燃料和原料成本变化、技术改造成本以及中国碳市场履约成本。

在 **CBAM 成本动态核算模块** 中，结合 EU ETS 免费配额基准值计算中国钢铁产品需要缴纳的 CBAM 证书费用。随后，需要考虑中国全国碳市场纳入钢铁行业的时间，根据中国全国碳市场分配的免费配额基准值和碳价格，计算钢铁企业需要缴纳的中国碳市场履约费用。根据文件规则，从 CBAM 证书费用中抵消已有效支付的中国碳市场履约成本，形成 CBAM 证书调整费用。基于 CBAM 证书调整费用和欧盟进口中国产品的贸易量最终计算得出 CBAM 证书总费用。

这种方法全面覆盖涉及的各类参数，通过情景分析提供可靠的数据支持，为中国钢铁行业的绿色转型提供科学依据，为行业主管部门的政策制定和战略规划提供可靠的数据支持。

围绕 CBAM 及中国钢铁行业低碳转型，有若干重要问题受到各方关注。中国对欧盟出口的钢铁产品所需缴纳 CBAM 总费用的上下限是多少？中国对欧盟出口的钢铁产品缴纳 CBAM 调节费中影响最大的因素是什么？CBAM 免费配额基准值设定方法对中国钢铁产品缴纳 CBAM 总成本的影响有多大？中国碳市场免费配额基准值设定应选择什么方法？中国双碳目标下中国钢铁行业的减排能在多大程度上降低 CBAM 成本？中国电网脱碳、绿氢发展是否能降低中国钢铁产品缴纳 CBAM 调节费？中国钢铁行业工艺结构的优化路径如何安排以及中国钢铁产品减排成本与 CBAM 调节费的对比等。为此，研究组采用矩阵的方式设置情景。

表 3-3 现有情景矩阵示意图

场景模式选择概要			模块		CBAM模块																										
			考虑因素		通胀及汇率		碳市场					CBAM机制规则																			
			参数		中国	欧盟	汇率	ETS碳价			碳进口准入 入碳市场时		中国碳价			欧盟碳市场免费配额基准 值				中国碳市场免费配额基准值		CBAM机制规则 碳产品贸易		开始纳入间接排 放核算的年份		中国钢铁产品碳强度			敏感性价 格		CCER
名称	测试要素	备注	数值/范围(参考)	不考 虑	常 数	不考 虑	常 数	汇率	欧盟一 (基准)	欧盟二 (配减)	欧盟三 (净零)	年份	欧盟一 (基准)	欧盟二 (配减)	欧盟三 (净零)	欧盟一 (基准)	欧盟二 (配减)	欧盟三 (净零)	欧盟一 (基准)	欧盟二 (配减)	欧盟三 (净零)	唯一值	唯一值	年份	欧盟一 (基准)	欧盟二 (配减)	欧盟三 (净零)	是否考虑	是否考虑		
基准场景	BAU		情景组合1						1	0	0	2025年	1	0	0	1	0	0	1	0	0	Default	Default	仅考虑直接排放	1	0	0	不考慮	不考慮		
	ETS碳价-中	BAU	情景组合2						1	0	0	2025年	1	0	0	1	0	0	1	0	0	Default	Default	仅考虑直接排放	1	0	0	不考慮	不考慮		
			情景组合3						1	0	0	2025年	1	0	0	1	0	0	1	0	0	Default	Default	仅考虑直接排放	1	0	0	不考慮	不考慮		
	中国碳价-中	BAU	情景组合4						1	0	0	2025年	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	Default	Default	仅考虑直接排放	1	0	0	不考慮	不考慮	
			情景组合5						1	0	0	2025年	0	0	1	1	0	0	1	0	0	Default	Default	仅考虑直接排放	1	0	0	不考慮	不考慮		
	ETS基准值-适中	BAU	情景组合6						1	0	0	2025年	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	Default	Default	仅考虑直接排放	1	0	0	不考慮	不考慮	
			情景组合7						1	0	0	2025年	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	Default	Default	仅考虑直接排放	1	0	0	不考慮	不考慮	
	中国基准值-中	BAU	情景组合8						1	0	0	2025年	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	Default	Default	仅考虑直接排放	1	0	0	不考慮	不考慮	
			情景组合9						1	0	0	2025年	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	Default	Default	仅考虑直接排放	1	0	0	不考慮	不考慮	
	单因素	中国产品碳强度-适中	BAU	情景组合10						1	0	0	2025年	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	Default	Default	仅考虑直接排放	0	1	0	不考慮	不考慮
				情景组合11						1	0	0	2025年	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	Default	Default	仅考虑直接排放	0	0	1	不考慮	不考慮
		BAU+考虑间接排放		情景组合12						1	0	0	2025年	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	Default	Default	2026年	1	0	0	不考慮	不考慮
		ETS碳价-中	BAU+考虑间接排放	情景组合13						1	0	0	2025年	1	0	0	1	0	0	1	0	0	Default	Default	2026年	1	0	0	不考慮	不考慮	
		ETS碳价-高	BAU+考虑间接排放	情景组合14						1	0	0	2025年	1	0	0	1	0	0	1	0	0	Default	Default	2026年	1	0	0	不考慮	不考慮	
		中国碳价-高	BAU+考虑间接排放	情景组合15						1	0	0	2025年	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	Default	Default	2026年	1	0	0	不考慮	不考慮
				情景组合16						1	0	0	2025年	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	Default	Default	2026年	1	0	0	不考慮	不考慮
ETS基准值-严格		BAU+考虑间接排放	情景组合17						1	0	0	2025年	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	Default	Default	2026年	1	0	0	不考慮	不考慮	
			情景组合18						1	0	0	2025年	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	Default	Default	2026年	1	0	0	不考慮	不考慮	
中国基准值-高		BAU+考虑间接排放	情景组合19						1	0	0	2025年	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	Default	Default	2026年	1	0	0	不考慮	不考慮	
	情景组合20							1	0	0	2025年	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	Default	Default	2026年	1	0	0	不考慮	不考慮		
中国产品碳强度-严格	BAU+考虑间接排放	情景组合21						1	0	0	2025年	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	Default	Default	2026年	0	1	0	不考慮	不考慮		
		情景组合22						1	0	0	2025年	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	Default	Default	2026年	0	0	1	不考慮	不考慮		
情景组合23							1	0	0	2025年	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	Default	×	仅考虑直接排放	1	0	0	不考慮	不考慮			
ETS碳价&中国产品碳强度	ETS碳价(中)+中国产品碳强度(中)	BAU+考虑间接排放	情景组合24						1	0	0	2025年	1	0	0	1	0	0	1	0	0	Default	Default	2026年	0	1	0	不考慮	不考慮		
			情景组合25						1	0	0	2025年	1	0	0	1	0	0	1	0	0	Default	Default	2026年	0	0	1	不考慮	不考慮		
	ETS碳价(高)+中国产品碳强度(中)	BAU+考虑间接排放	情景组合26					1	0	0	2025年	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	Default	Default	2026年	0	1	0	不考慮	不考慮		
			情景组合27					1	0	0	2025年	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	Default	Default	2026年	0	0	1	不考慮	不考慮		
压力测试	BAU+中国碳价最高+中国产品碳强度(中)	情景组合28					1	1	0	0	2025年	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	Default	Default	2026年	0	0	1	不考慮	不考慮		
	BAU+ETS碳价(高)+中国碳价最高+中国产品碳强度(高)		情景组合29					1	0	0	2025年	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	Default	Default	2026年	0	0	1	不考慮	不考慮		
通胀	通胀影响	BAU+考虑通胀	情景组合30		1	0	1	1	0	0	2025年	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	Default	Default	2026年	0	0	1	不考慮	不考慮		

第四章

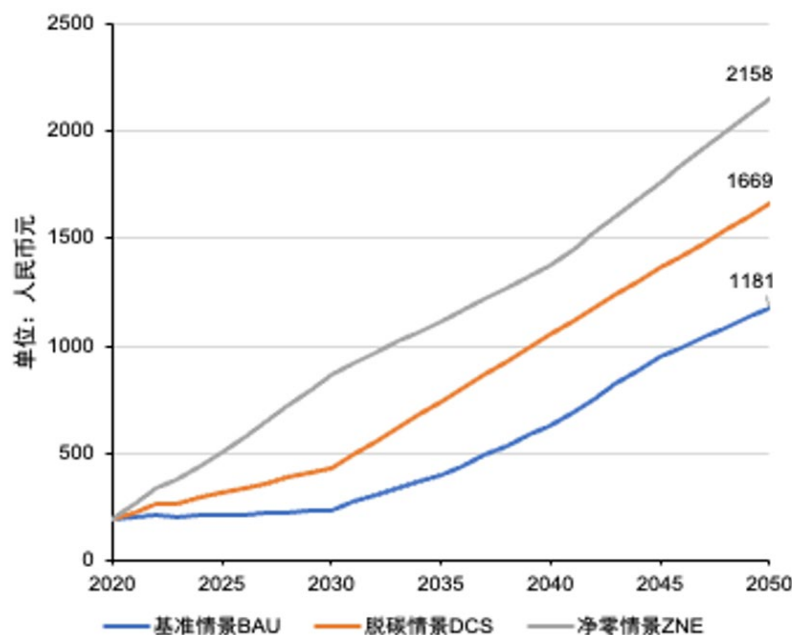
影响 CBAM 费用的 关键不确定性因素分析

CBAM 成本动态核算模块包含 EU ETS 价格及 CBAM 免费配额基准值、中国全国碳市场价格及免费配额基准值两部分内容。两个碳市场的免费配额基准值的设定包含免费配额基准值设定方法和退出机制设计两个因素。

4.1 免费配额基准值的退出与欧盟碳中和目标如何影响 EU ETS 价格

基于 EU ETS 免费配额基准值退出会推高 EU ETS 价格和欧盟碳中和目标的实现会推高 EU ETS 价格的两个假设，本研究结合 (Commission, 2020) (IEA, 2021) (Pantelis Capros, 2014, 2(3-4):) 已有的 EU ETS 价格预测结果，适当上调了已有的 EU ETS 价格预测结果。在所有的情景下，碳价格从 2020 年的 192.46 元人民币增长到 2050 年的 1181.17-2158.87 元人民币（考虑通胀）。欧盟 EU ETS 碳价格预测过程可参见附录，结果如下图所示。

图 4-1 不同情景下 2020-2050 年欧盟 EU ETS 碳价格预测⁹



注：该价格考虑了欧盟通货膨胀率（设定为 3.0%）及汇率（1 欧元 = 7.66 人民币元）

4.2 CBAM 覆盖范围内钢铁产品的免费配额基准值如何与产品一一对应

根据欧盟现有的免费配额基准系统（(EU) 2019/331），目前 EU ETS 已确定 54 个基准值（52 项产品和 2 项基于热能和燃料的补充方法）。《CBAM 实施细则》（(EU) 2023/1773）公布了钢铁行业下焦炭、烧结矿、铁水、电弧炉碳钢、电弧炉高合金钢、铁铸件 6 个产品的免费配额基准值（如表 4-1 所示）。其中，焦炭、铁水产品基准值是根据欧盟 BAT 技术参考文件 BREF 相关值和欧委会决议（2007/589/EC）规定的默认排放因子计算得到；电弧炉碳钢基准值为碳排放强度最低、效率最高的前 10% 的排放主体（企业）单位产品碳排放强度平均值；而烧结矿基准值则是在采用前 10% 的企业均值的基础上利用 BREF 提供的数据进行了校正。

根据公式 1，出口至欧盟的产品 CBAM 费用中将扣减该产品对应的免费配额基准值。研究组根据文件 (EUROPEAN COMMISSION, 2019) 和 (EU) No 860/2010，将免费配额基准值和 CN 编码进行对应，发现《CBAM 实施细则》（(EU) 2023/1773）公布的现有免费配额基准值只能覆盖 7 种钢铁产品，如表 4 1 所示。基于欧盟统计局贸易数据，2022 年欧盟从中国进口的 CBAM 钢铁产品中有 89% 的贸易量的产品未能匹配到《CBAM 实施细则》（(EU) 2023/1773）中公布的免费配额基准值。

尚未公布的免费碳配额基准值如何计算，在《CBAM 条例》和《CBAM 实施细则》中均未做出阐述。欧盟于 2024 年 4 月 4 日更新的 EU ETS 统一免费分配排放配额的过渡性联盟规则 (EU2024/873)，文件中并没有针对以上钢铁产品更新免费配额基准值。

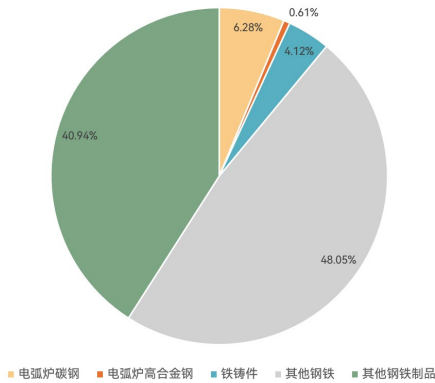
⁹ 使用欧元消费者价格指数来调整欧盟价格，根据欧洲统计局的数据，2005 年的 CPI 为 100，2015 年的 CPI 为 107.6，2019 年的 CPI 为 111.1。因此，需要将对应年份的价格乘以 CPI 调整系数来获得 2019 年的价格。需要注意的是，这种方法只考虑了通货膨胀的影响，而没有考虑其他因素，例如供求关系、汇率变动等可能对价格的影响。对于同一年份，不同货币价格被换算为欧元，1 欧元 = 7.66 人民币 = 1.18 美元。

表 4-1 CBAM 钢铁行业相关的免费配额基准值

产品	免费配额基准值（配额 / 吨） 2021-2025 年
产品基准（不考虑燃料和电力可互换性）	
焦炭	0.217
烧结矿	0.157
铁水	1.288
产品基准（考虑燃料和电力可互换性）	
电弧炉碳钢	0.215
电弧炉高合金钢	0.268
铁铸件	0.282

表来源：CBAM 实施细则

图 4-2 尚未公布免费配额基准值的 CBAM 涵盖钢铁产品（按进口量）的比例（绿色和灰色部分）



图片数据来源：欧盟海关 图片来源：研究组自制

表 4-2 CBAM 钢铁行业相关的免费配额基准值与钢铁产品对应表

产品	CBAM 编码	HS/CN 2010	免费配额基准值 (2021-2025)	EU27 从中国进口的贸易量 (2022 年, 万吨)
Product benchmarks without consideration of exchangeability of fuel and electricity				
焦炭	23.10.10.30	/	0.217	/
烧结矿	07.10.10.00	2601 [11 00 + 12 00]	0.157	/
热金属	No associated PRODCOM codes available		1.288	/
Product benchmarks with consideration of exchangeability of fuel and electricity				
电弧炉碳钢	24.10.21.10,24.10.21.21,24.10.21.22	7207+7206 [4-digit]	0.215	40.67
电弧炉高合金钢	24.10.23.10,24.10.23.21,24.10.23.22 24.10.22.10,24.10.22.21,24.10.22.22	7224+7218 [4-digit]	0.268	3.92
铁铸件	24.51.20.00,24.51.30.30 24.51.30.50,24.52.30.00	7303+7307	0.282	26.71
其他钢铁	/	72 others	EU 未给出产品基准值	311.22
其他钢铁制品	/	73 others	EU 未给出产品基准值	265.18

4.3 CBAM 免费配额基准值如何设定

目前 CBAM 政策免费分配的配额基准值是基于产品的生产方式而不是产品本身。目前，不同生产工艺生产的同一类型的产品，被分配了不同的 CBAM 免费配额基准值。欧盟研究机构 Sandbag 提出，同样一吨钢铁产品，排放高的长流程工艺将被给予比短流程工艺更多免费碳配额，该方法阻碍了行业向清洁工艺的转型。Sandbag 认为，欧盟的高炉炼钢企业目前仍然能拿到大量免费排放配额。在铁水环节，欧盟的长流程钢企每生产一吨铁水可以获得 1.288 吨 CO₂ 的免费排放配额。污染较严重的高炉生产工艺通常比清洁的电弧炉工艺获得的免费碳配额多约 25 倍 (Sandbag Climate Campaign., 2023)。

受限于废钢资源的紧缺度以及电炉是否能够冶炼高等级钢，长流程炼钢工艺将可能不会完全被短流程取代。但是在欧盟碳市场及 CBAM 政策体系下加快从工艺法向产品法的转变，有利于钢铁行业更快的向高比例短流程切换。2023 年 4 月修订的欧盟碳排放交易指令 (Recital 8) 中指出，免费排放配额的分配应该独立于原料或生产过程类型。未来，EU ETS 将有可能从基于工序流程的免费配额基准值设定法向基于产品的免费配额基准值设定方法转变。

为此，本研究分别设定了钢铁产品的工艺法免费配额基准值与产品法免费配额基准值。

4.4 中国碳市场免费配额基准值如何设定与退出

2024 年 9 月，生态环境部发布《全国碳排放权交易市场覆盖水泥、钢铁、电解铝行业工作方案》（征求意见稿）。文件中确定的管控范围为水泥、钢铁、电解铝行业管控化石燃料燃烧、工业过程等产生的直接排放。2024 年 12 月 5 日，生态环境部更新了《企业温室气体排放核算与报告指南 钢铁行业》（征求意见稿）和《企业温室气体排放核查技术指南 钢铁行业》（征求意见稿），此版明确了间接排放不纳入企业年度碳排放量核算，但要求企业填报电力和热力数据用于数据的辅助校验。

2025 年 1 月 24 日，生态环境部办公厅正式印发《企业温室气体排放核算与报告指南 钢铁行业（CETS—AG—03.01—V01—2024）》《企业温室气体排放核查技术指南 钢铁行业（CETS—VG—03.01—V01—2024）》2 项全国碳排放权交易市场技术规范。

2025 年 3 月 20 日，生态环境部办公厅正式印发《全国碳排放权交易市场覆盖钢铁、水泥、铝冶炼行业工作方案》。文件提出，2024 年度配额基于经核查的实际碳排放量等量分配，2025、2026 年度配额采用碳排放强度控制的思路分配，激励先进、鞭策落后，企业所获得的配额数量与产能产出挂钩，合理确定配额盈缺率，行业整体配额盈亏基本平衡。2027 年配额分配方法更加科学精准，建立预期明确、公开透明的行业配额总量逐步适度收紧机制。

目前国家已经明确将在“十五五”期间开展碳排放双控制度建设。2027 年后，全国碳市场给予中国钢铁行业的免费配额基准值设定方法是持续采用强度法还是会从强度法转换到总量控制法？无论是强度法还是总量法，均需回答的问题是免费配额基准值是基于生产工艺法还是基于产品法？免费配额基准值确定后，逐年退出的速率如何确定，到哪年完全退出，也将成为影响中国钢铁企业在中国全国碳市场履约成本的重要影响因素。

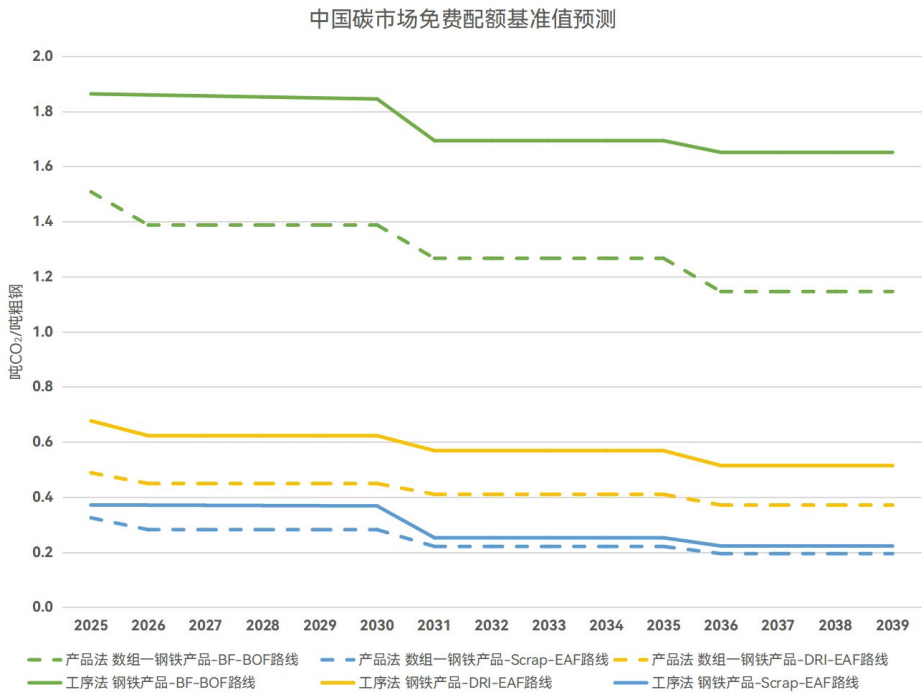
基准情景下，本研究设定 2025 年 -2026 年采用生产工艺 - 历史法来设定未来中国碳市场分配给钢铁行业的免费配额，即在前一年不同工艺流程下钢铁产品平均碳强度的基础上下调 3%。

2027 年后的生产工艺 - 行业基准法，综合各试点碳市场免费配额基准值，参考《广东省 2022 年度碳排放配额分配方案》并吸纳专家意见，确定全国碳市场对中国钢铁企业的免费配额基准值。

具体操作上，针对不同生产工艺设置对应权重，通过将各工序权重与其基准值相乘后逐级叠加，得出未来全国碳市场给予不同钢铁产品的工艺法免费配额基准值。在这一过程中，为保证方法的一致性与可比性，各工序权重的设定与本研究 CBAM 免费配额基准值的权重一致。本研究在基准情景下设定直到 2039 年中国碳市场免费配额基准值才完全退出。

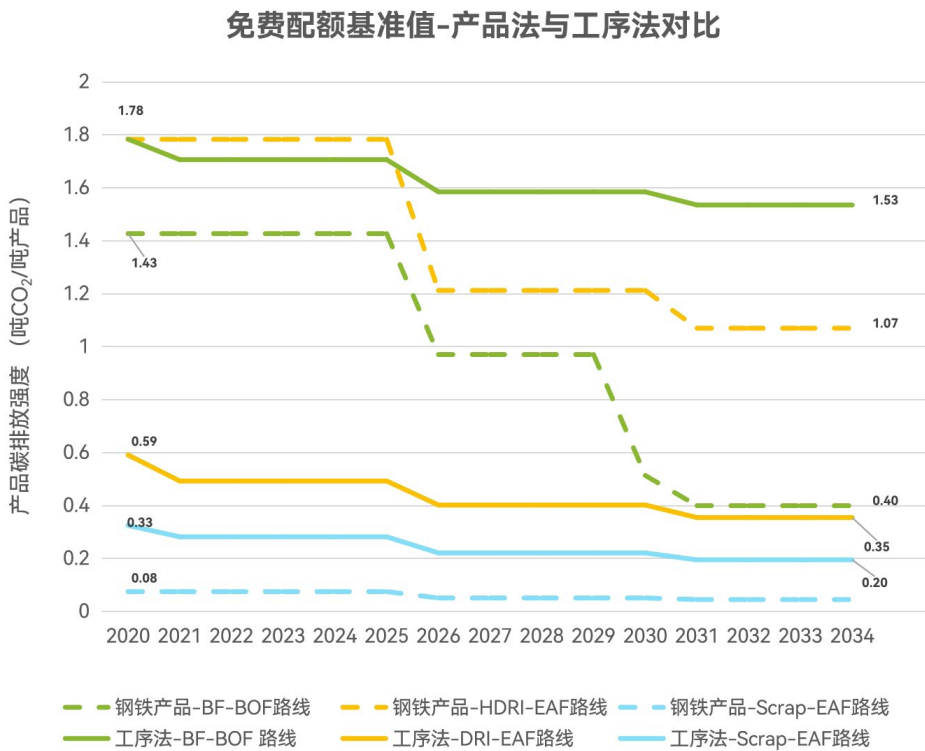
为比较产品法免费配额基准值与工艺法免费配额基准值对钢铁产品所需缴纳 CBAM 调节费的影响，本研究额外设置了产品法下的 CBAM 与产品法下中国碳市场免费配额基准值。即参考 Sandbag 报告中设定的产品法免费配额基准值设定不同钢铁产品在 CBAM 与中国全国碳市场的产品法免费配额基准值（见图 4-3、图 4-4）。

图 4-3 中国全国碳市场免费配额基准值预测 - 工艺法与产品法对比（2025-2040 年）



图片来源：研究组自制

图 4-4 EU ETS 免费配额基准值预测 - 工艺法与产品法对比



图片来源：研究组自制

4.5 中国钢铁对欧盟出口量如何预测

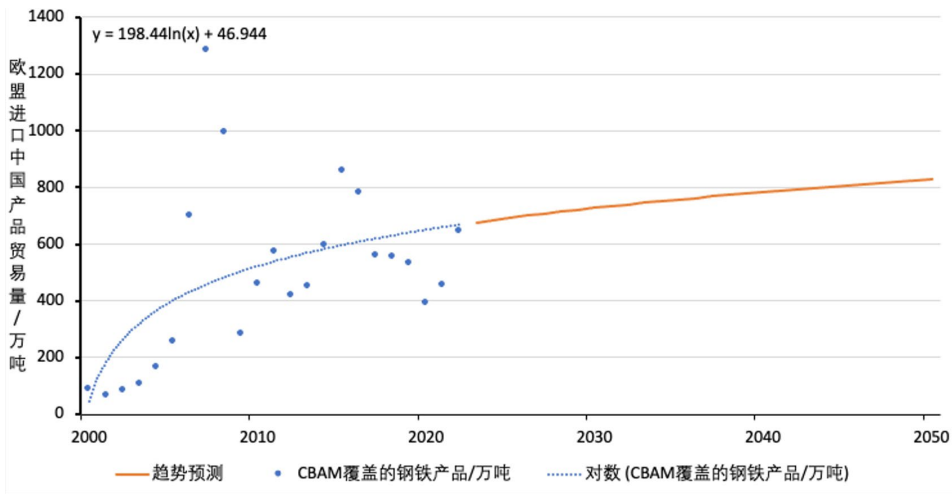
本研究从欧盟统计局获取了进出口贸易数据，纳入 CBAM 的钢铁产品包括第 72 章的 28 种产品和第 73 章的 13 种产品。

2022 年，欧盟 27 国自中国进口产品总贸易额 5.65 千亿美元，占欧盟全部进口额 9.09%，其中第 72 章和第 73 章的贸易额是 0.17 千亿美元，占自中国进口产品贸易额的 2.95%；中国出口欧盟 27 国的钢铁产品贸易额占中国所有出口钢铁产品的贸易额的 10.0%。

2022 年，欧盟 27 国自中国进口上述税则号的产品共计 646.8 万吨。其中，第 72 章涉及产品以钢材为主，贸易量为 354.9 万吨，占比 54.9%；且中国对欧盟的钢材出口以高附加值板材为主，其中镀层板 107 万吨、电工钢板 31.7 万吨、彩涂板 12 万吨，合计占比接近 40%。第 73 章涉及的产品主要为钢铁制品，贸易量为 291.9 万吨，占比 45.1%。烧结矿贸易量仅为 60.8 吨，影响几乎可忽略不计。

基于 2000 年 -2022 年历史数据，本研究通过建立对数模型对钢铁产品未来（至 2050 年）的贸易量趋势进行了预测，结果如图 4-5 所示。

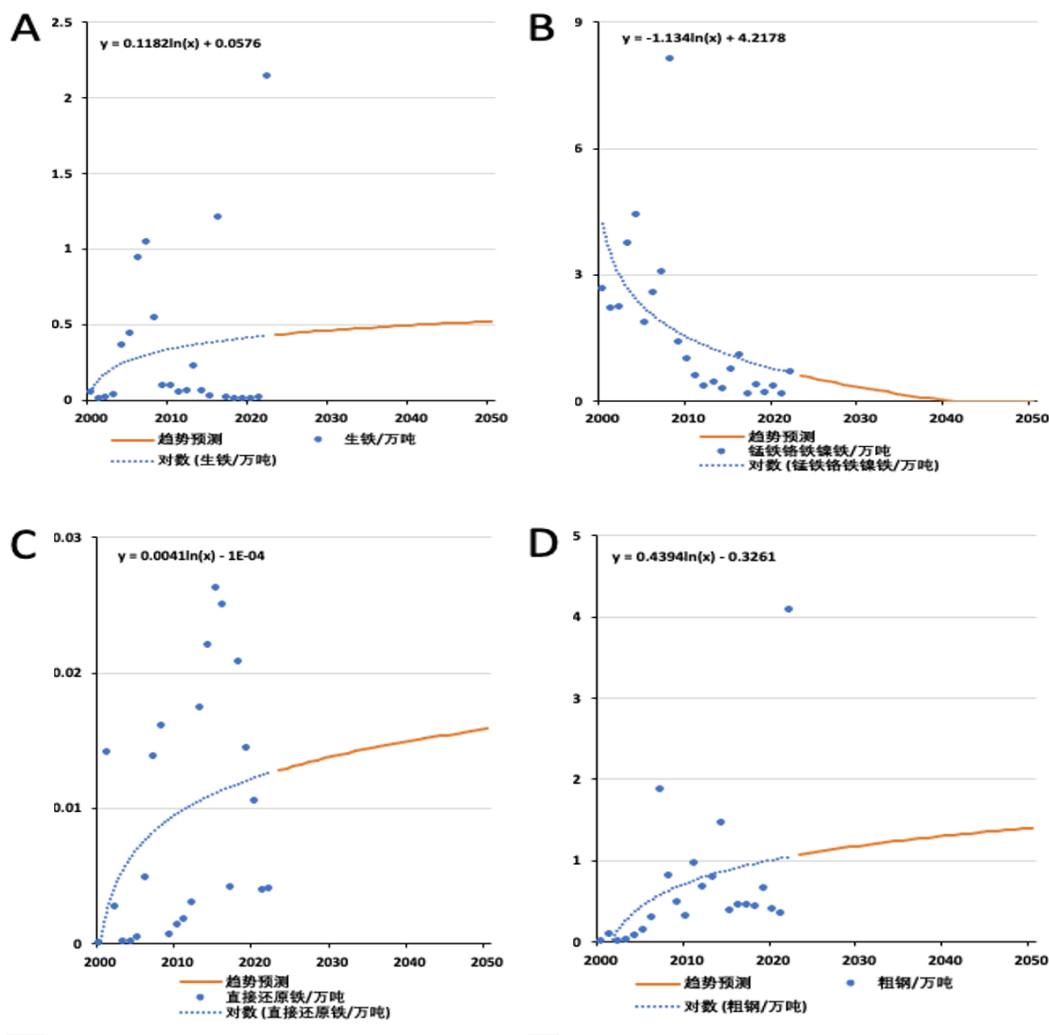
图 4-5 2000-2050 年欧盟从中国进口 CBAM 钢铁产品的贸易量



图片来源：研究组自制

进一步地，本研究预测了不同钢铁产品的贸易量，图 4-6 (A-D) 分别展示了 2000-2050 年欧盟从中国进口生铁、铁合金（锰铁、铬铁、镍铁）、直接还原铁和粗钢的贸易量。

图 4-6 2000-2050 年欧盟从中国进口 CBAM 钢铁产品的贸易量



图片来源：研究组自制
注释：图中四个纵轴刻度不同，单位一致

2025 年 2 月 26 日，欧盟委员会提出将简化 CBAM 规则 and 大幅缩小适用范围的 Omnibus。根据信息，提议采取措施豁免小额零星进口商的 CBAM 费用。豁免门槛为这些进口商进口到欧盟的涉及 CBAM 范围的商品年进口量需低于 50 吨。由于欧盟海关总署并没有公布进口商信息，难以通过确切数据评估中国对欧盟出口的钢铁产品将有多少比例可以得到豁免。但该政策将仅可能对中国对欧盟出口钢铁产品总 CBAM 成本产生影响，对不同类型钢铁产品单吨费用没有影响。

值得注意的是，随着欧盟 CBAM 政策的逐步开展落实，中国对欧盟出口的钢铁产品量可能会受到抑制。至于该数量是否会受到抑制，在多大程度上受到抑制，需要进一步量化分析。

4.6 中国钢铁企业“已有效的支付的碳成本”如何被欧盟认可

欧盟目前尚未明确“已支付的有效碳成本”概念的基本内涵，此概念是否指代中国钢铁企业在中国全国碳市场的履约成本还是其减排的隐性碳价格。如果是中国全国碳市场履约成本，扣除汇率影响后，一元人民币的中国全国碳市场成本是否被欧盟认可为一元人民币的价值量？根据 2023 年 11 月 16 日欧盟驻华代表团在北京召开的 CBAM 政策说明会上透露的信息，欧盟需要对各国各地方的已有效支付的碳成本开展调研，建立方法学，以衡量如何认可在原产国已有效支付的碳成本。欧盟如何认定中国钢铁产品在中国境内已有效支付的碳成本，将影响中国企业出口欧盟时被征收的 CBAM 调节费。中国需要积极参与 CBAM 机制的协调与对话，与欧盟共同构建公平合理的 CBAM 机制。

中国钢铁企业作为首批受到 CBAM 影响的行业，在双碳目标与市场引导下，节能减碳技术创新研发和应用，提高产业竞争力的速度将大大加快，为此其节能降碳的成本将会快速增长，该类成本能否被纳入到已有效支付的碳成本内是亟需解决的问题。

本研究在基准情景下，设定中国钢铁企业在被中国全国碳市场纳入后，其履约成本被等价值的认可为其在国内已经缴纳的碳成本。

4.7 通胀和汇率的不确定性如何影响 CBAM 费用

目前基准情景下中国与欧盟的通胀与汇率均保持一致。然而近年来中国，特别是欧盟通胀率波动较大，未来中国与欧盟的通胀很可能不会保持常年在 2%-3% 的水平。

在本研究中，欧元兑人民币汇率在 2020-2024 年依据实际数值设定，如下图所示，2025-2050 年依据近 10 年的均值（7.66）进行设定。

图 4-7 欧元兑人民币汇率



图片来源: investing.com

中国通货膨胀率在 2020-2024 年依据实际数值设定，如下图所示，2025-2050 年依据近 10 年的均值（2.0%）进行设定。

图 4-8 2000-2024 年中国通货膨胀率



图片来源: tradingeconomics.com

在本研究中，欧元区通货膨胀率在 2020-2024 年依据实际数值设定，如下图所示，2025-2050 年依据近 10 年的均值（2.8%）进行设定。

图 4-9 2000-2024 年欧元区通货膨胀率



图片来源: tradingeconomics.com

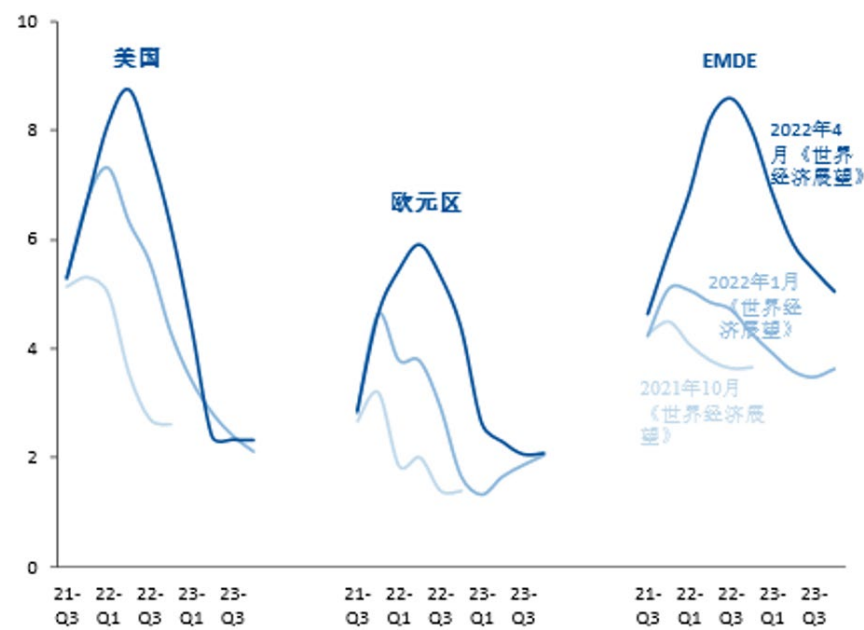
在基准情景下，本研究设定中国与欧盟的通胀与汇率保持一致，但其实这两者通常不会长期保持稳定。近年来，欧盟的通胀率则经历了较大的波动。根据欧盟委员会 2024 年秋季经济展望报告，2024 年欧盟通胀率预计将从 2023 年的 6.4% 降至 2.6%，2025 年进一步降至 2.4%。同时，中国的通胀率也受到国内外经济环境的影响，可能会有所波动。例如，中国近 40 年的真实通胀率显示，通胀率并非一直保持在较低水平，而是有其周期性和波动性。

此外，汇率的变动也对通胀产生影响。根据经济预测机构的数据，欧元对人民币的汇率在 2024 年和 2025 年将呈现一定的波动，这可能会对双方的通胀率产生间接影响。

通胀与汇率的变动对出口企业缴纳的 CBAM 调节费也将产生影响，可能会影响到企业对减排行动的决策。具体影响结果分析详见本系列结果分析文章。

图 4-10 欧盟与其他地区 2021 年第三季度 -2023 第三季度通胀率

通货膨胀将持续
总体通胀率上调，且预计将在更长时间内保持高位
(以百分数计：同比变化)



来源：IMF《世界经济展望》；以及 IMF 工作人员的计算。
注释：EMDE= 新兴市场和发展中经济体

IMF

图片来源：IMF《世界经济展望》

第五章

研究贡献、局限 与下一步计划



5.1 本研究系列报告

本报告是本研究课题系列报告之一。研究课题旨在系统探讨 CBAM 政策与中国钢铁行业低碳转型之间的互动关系，并提供初步分析框架。作为系列研究的核心，本报告着重构建理论框架、确立方法论并建立分析模型。报告深入剖析了 CBAM 政策的核心规则，识别了政策实施过程中的长期关键不确定性因素，并提出了相应的解决方案。同时，报告详细阐述了中国钢铁行业低碳转型模块中关键因素的模拟与预测方法，构建了多维度的 what-if 情景分析框架。利用本模型进行深入分析的示例与成果将在系列报告中进一步展开和探讨。

5.2 模型创新

本研究构建的模型深度剖析 CBAM 政策规则，构建了 CBAM-CST 多维度动态分析模型。CBAM 调节费计算遵循欧盟《CBAM 条例》((EU) 2023/956)) 等一系列文件构建，深度还原了 CBAM 规则中对诸多关键因素的具体设定。

本模型针对影响 CBAM 总费用的不确定性因素进行了合理的量化设定，主要包含 EU ETS 免费配额基准值设定、EU ETS 价格预测、中国全国碳市场纳入钢铁行业后免费配额基准值设定、中国全国碳市场价格预测、如果钢铁产品间接排放被纳入 CBAM 征收范围，其对中国不同钢铁产品的影响差异。以上量化设定不仅是 2026 年的基准值的设定，还对其开展了长期趋势分析。

随着 CBAM 政策制定的逐步深入与各方意见逐渐汇集，欧盟已经意识到 CBAM 规则的不确定性因素将可能妨碍 CBAM 有效防止碳泄露，并且对促进欧盟内和欧盟外低碳产品的生产与贸易产生负面影响。本研究有助于系统识别短、中、长期关键影响因素，并量化其影响程度。因此，本研究成果不仅对各方在 CBAM 正式实施前了解 CBAM 规则及其影响提供参考，还为各方在制定长期应对气候变化的长期战略时提供洞见。

从推动中国钢铁行业零碳转型着眼，从支持和加速中国钢铁行业零碳转型的角度，本模型构建了中国钢铁行业生产工艺级的能源转型及减排成本量化模块。中国钢铁低碳转型模块可对比 CBAM 费用与中国钢铁行业自主减排成本，为中国钢铁行业与企业减排提供决策参考。

CBAM-CST 模型可以帮助第三方开展对 CBAM 及中国钢铁节能减排政策效果、成本、收益等多方面的量化分析，能够提供政策和减排行为的效果量化评估，还能展现并评估多种不同政策组合叠加后的组合效果。通过模型定量分析，模拟出中国与欧盟围绕碳市场建设、CBAM 和中国钢铁减排可能制定的不同政策、不同时间点的减排与成本效益影响，提出一整套系统性和可操作性强的解决方案，为决策者、研究人员和钢铁企业决策提供支持。

5.3 模型局限

研究过程仍存在一定的不足以及模型自身存在的问题。

一、数据可得性。受数据可得性及实际生产工艺复杂性的限制，部分数据缺失或无法穷尽。例如，中国钢铁行业三类不同生产工艺的能源消费结构目前尚未权威部门发布数据，本研究采取实地调研与专家访谈的方式取得，实际生产中各个工厂不同生产工艺的能源结构可能存在多种变化，本研究只能尽可能包含各类情况。如果有条件，后期研究将提高数据精准性。但模型具有允许用户自定义参数值的灵活性，可以提供不同的定制模型，因此模型具有为第三方用户提供定制分析的灵活性。

二、模型内部系统反馈机制有待加强。模型内部的系统反馈机制应聚焦于 CBAM 政策、中国钢铁行业低碳转型与中国全国碳市场建设三者的动态交互作用，及其对系统整体（包括政策、行业和市场）的反馈效应。受到时间与资源的限制，本模型目前尚未对系统内各参数之间的反馈机制建立全面互动联系。以中国钢铁行业在减排成本与 CBAM 调节费的双重影响下如何决策为例，以总成本最低和减排效果最大为目标，中国钢铁行业在何时采取何种减排行动？这需要在模型内增加系统优化算法来支撑。同时，当中国钢铁行业开展减排行动后，中国碳市场如何随之调整其免费配额基准值的设定方法也是需要持续深入研究的问题。模型内部反馈机制的建立将为支持中欧政策制定者制定相关政策、中国钢铁企业开展低碳转型行动提供更加精准的技术支持。

5.4 下一步研究计划

在广泛征集钢铁行业专家、碳市场专家及能源转型行业专家意见后，本模型拟在线公开，并增加分析结果可视化功能，供钢铁企业、研究人员和决策者免费使用。

研究组还将持续追踪相关 CBAM 政策制定动向并对模型进行调整。例如，中国全国碳市场和 CBAM 政策的实施可能对中国钢铁企业的财务表现产生显著影响。本模型将考虑增加相应分析模块。

研究组还考虑将模型逐步扩展至 CBAM 涵盖的其他行业及产业链上下游产业，例如铝、化肥、汽车等。

鉴于英国和美国等国也即将实施或正在酝酿相关碳边境调节机制的政策。研究组还计划未来将该模型扩展到其它重要经济体的 CBAM 贸易政策上。

引用

1. El&iGDP. (2021). Energy Policy Simulator China Model 2021 (EPS China 2021).
2. EU. (2021). Impact assessment report – SWD(2021)643.
3. European Commission. (2021). Update of benchmark values for the years 2021 – 2025 of phase 4 of the EU ETS.
4. IMF. (2022). WORLD ECONOMIC OUTLOOK REPORT OCTOBER 2022.
5. Sandbag Climate Campaign. (2023). From process to product: A fix to the allocation of free emission permits to industry.
6. SandbagE3G. (2022). 碳边境调整机制影响及地缘政治风险分析 .
7. European Commission. (2021). Impact assessment report – SWD(2021)643 .
8. 陈济, 李抒苒, 李相宜, & 李也 . (2021). 碳中和目标下的中国钢铁零碳之路 .
9. 董金池, 蔡博峰, 王金南, 刘惠, 杨璐, 夏楚瑜, 雷宇, & 汪旭颖 . (2021). 中国钢铁行业 CO₂减排技术及成本研究 . 环境工程, 39(10), 23 – 31, 40.
10. 刘斌, 赵飞 . (2022). 欧盟碳边境调节机制对中国出口的影响与对策建议 . 清华大学学报 (哲学社会科学版) .
11. 欧洲联盟驻华代表团 . (2023, December). 绿色转型 . 检索来源 : https://www.eeas.europa.eu/delegations/china/%E7%B7%B9%E8%89%B2%E8%BD%AC%E5%9E%8B_zh-hans?s=166#81475
12. 生态环境部 . (2023). 企业温室气体排放核算与报告填报说明钢铁生产 .
13. 生态环境部办公厅 . (2023). 关于做好 2023—2025 年发电行业企业温室气体排放报告管理有关工作的通知 .
14. 谢超, 彭文生 . (2021). 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 .
15. 信达证券 . (2024). 供需深度调整下的钢铁行业投资机遇分析 – 钢铁行业 .
16. 央视新闻客户端 . (2022, May 20). 中钢协: 钢铁行业环境产品声明平台正式上线 . 检索来源 : https://content-static.cctvnews.cctv.com/snow-book/index.html?toc_style_id=feeds_default&share_to=wechat&item_id=4483589548067974440&track_id=3F54C6DD-930F-4E42-8815-8078035704C4_674694317275
17. 中国贸易新闻网 . (2023, April 25). 检索来源 : http://12335.mofcom.gov.cn/article/zymysyq/202304/1937349_1.html [EB/OL].
18. Hydrogen Council. (2021). Hydrogen decarbonization pathways: A life-cycle assessment.
19. 21 财经 . 为纳入全国碳市场做准备, 钢铁行业征集碳排放相关专项标准 . [联机] Available at: <https://m.21jingji.com/article/20210701/herald/f65e13038a86511ab669d01b850fbd10.html>
20. Anon. (2021, September). 碳中和目标下的中国钢铁零碳之路 . p. 17.
21. El&iGDP. (2024). EPS 2024. Available at: <https://energypolicy.solutions/simulator/china-igdp/en>
22. EUROPEAN COMMISSION. (2019). Guidance Document n° 9 on the harmonised free allocation methodology for the EU-ETS post 2020.
23. European Commission. (2020). Energy, transport and GHG emissions – Trends to 2050. [联机]
24. IEA. (2020). Iron and Steel Technology Roadmap.
25. IEA. (2021). Net Zero by 2050 – A roadmap for the global energy sector.

-
26. NRDC, CSDRI. (2023). 面向碳中和的氢冶金发展战略研究 .
 27. Pantelis Capros, L. P. F. (2014). Description of models and scenarios used to assess European decarbonisation pathways. *Energy Strategy Reviews*, 2, 220 – 230.
 28. RMI, 中国氢能联盟研究院 . (2022). 开启绿色氢能新时代之匙：中国 2030 年“可再生氢 100”发展路线图 .
 29. RMI. (2021). 碳中和目标下的中国钢铁零碳之路 .
 30. Sandbag. (2023). From process to product: A fix to the allocation of free emission permits to industry.
 31. 蔡立亚, 郭石等 (2023). “双碳”目标下中国能源供需演变路径规划模拟研究 . 气候变化研究进展 , 616 – 633.
 32. 顾颜, 陈瑜 . (2022). 碳市场对钢铁行业的影响及企业应对措施建议 . 冶金管理 .
 33. 李晋等 . (2022). 碳中和背景下中国钢铁行业低碳发展路径 . 中国环境管理 .
 34. 李鑫迪, 杨鹏 . (2023). 看见数据背后的逻辑与局限——不同机构中国碳排放数据比较分析 . 绿色创新发展研究院 .
 35. 清华大学气候变化与可持续发展研究院 . (2020). 中国长期低碳发展战略与转型路径研究综合报告 . 中国人口·资源与环境 , 1 – 25.
 36. 生态环境部环境规划院 . (2022). 中国产品全生命周期温室气体排放系数集 (2022) .
 37. 腾飞, 朱松丽 . (2015). 谁的估计更准确? 评论 Nature 发表的中国 CO₂排放重估的论文 . 科技导报 , 112 – 116.
 38. 佟庆等 (2022). 全国碳市场工业行业覆盖范围研究 . 中外能源 , 7 – 11.
 39. 冶金工业规划研究院 . (2020). 中国钢铁工业节能低碳发展报告 .
 40. 袁雅婷 . (2023). 钢铁行业纳入全国碳市场展望 . 绿色创新发展研究院 .
 41. 中国钢铁工业协会 . (2022). 钢铁行业碳中和愿景和低碳技术路线图 .
 42. 中国国家发展和改革委员会能源研究所等 . (2016). 重塑能源: 中国 . 面向 2050 年能源消费和生产革命路线图研究 .
 43. 中国氢能联盟 . (2022). 中国氢能及燃料电池产业手册 .
 44. Vicente-HURTADO-ROA. (无日期). Carbon-markets_carbon-border-adjustment-mechanism.
 45. 钢铁空天碳中和 . (2024 年 20 月 12 日). 欧盟碳边境调节机制负责人表示：碳边境调节机制真正实施仍面临一定挑战 . 检索来源 : <https://mp.weixin.qq.com/s/TgkYJ6qcGMoezsrtLhdfPA>
 46. 中华人民共和国气候变化第一次 / 第二次 / 第三次两年更新报告 . (2019)

关于绿色创新发展研究院

绿色创新发展研究院（Institute for Global Decarbonization Progress），简称：研究院（iGDP），是专注绿色低碳发展的战略咨询平台，2014 年成立于北京，旨在成为具领先专业素养和独立影响力的国际化智库。研究院根植我国地方绿色低碳实践，面向全球应对气候变化进程，为决策者、投资者和社区提供具有国际视野和前瞻思考的解决方案及公益性知识产品。

联系方式：

电话：86-10-8532 3096

邮箱：igdpoffice@igdp.cn

网站：www.igdp.cn

地址：中国北京市朝阳区秀水街 1 号建外外交公寓 6-2-62

