推动清洁初级钢投资
论补贴-补收政策的必要性

突破性议程政策网络报告

报告作者（按字母顺序）：
João Abbud、Luisa Bianchet、Hugo Bolognesi、Thibault Deletombe、Sabarish Elango、Maude Gibbins、Simone Klein、Antonia Kurz、林子越、Hemant Mallya、Joe Morrisroe、Karsten Neuhoff 教授、Stefania Relva、Simon Sharpe 及王溥教授。
本报告内容仅代表作者本人观点，不代表作者所属机构或资助机构的观点。

关于突破性议程政策网络
突破性议程政策网络是一个由八个国家及地区的研究机构组成的合作网络，致力于通过联合研究，探讨国际合作机遇，助力破解低碳转型中的难题。进入第二年，合作网络聚焦贸易在钢铁行业向清洁钢转型中的作用，延续并深化第一年在该议题上的研究成果。S-Curve Economics 担任该合作网络的秘书处。

执行摘要

气候目标与竞争优势

清洁初级钢生产是钢铁行业向近零排放转型不可或缺的一环：到 2050 年，以废钢为原料的生产预计仅能满足全球约一半的钢铁需求；[1]而初级钢生产目前约占钢铁行业排放量的 85%至 90%。[2]

尽管转型进程中的产业竞争力取决于多种因素，但对于任何国家而言，尽早布局清洁初级钢生产技术和供应链，都将有助于增强本国产业竞争力。

对清洁初级钢提供专项政策支持

> 在本报告涉及的国家中，清洁初级钢的生产成本比传统钢铁生产高出25%至50%，因此推动相关投资需要政策支持。

碳定价有助于激励边际减排，引导投资者预期，并促进材料效率提升与循环利用。但要吸引资金投向清洁初级钢生产，仅靠碳定价尚显不足：碳价难以设定在足够高的水平，走势又存在不确定性，行业也可选择风险更低的其他方式来应对政策。

碳定价会给钢铁行业带来产业竞争力风险，而欧盟传统上设想并已在实施的碳边境调节制（carbon border adjustment mechanism，CBAM）以具体生产数值为碳排放核算基础，导致这样的机制无法完全管控竞争力风险。CBAM 的局限性会影响一个国家的国内钢铁生产商、钢铁出口商及下游产业。

要实现清洁初级钢生产的规模化部署，几乎必然离不开定向补贴，在可再生能源发电和电动车的转型中，补贴也发挥了同样重要的作用。长期补贴合同能让清洁钢更具成本竞争力，并将投资风险降至可接受的水平。可通过合理设计合同授予机制，推动不同钢铁生产工艺之间的竞争。

补贴-补收政策：一种财政中性、无竞争力风险的方案

清洁钢补贴-补收政策（subsidy-and-recharge policy）一方面为清洁初级钢生产提供补贴，另一方面通过“补收”筹集资金：对国内生产和进口的钢材按吨钢等额征收费用（出口钢材免征）。在政策实施的每一年都可实现财政中性。

[1] 英国结构工程师学会（2025），《废钢在钢铁行业脱碳中的作用》（The role of scrap in steel decarbonisation），https://www.istructe.org/resources/guidance/the-role-of-scrap-in-steel-decarbonisation/

[2] Morrisroe, J.等人（2025），《提升清洁钢的国际贸易竞争力：一项互利共赢的政策与外交议程》（Making clean steel competitive in international trade: a positive-sum agenda for policy and diplomacy），S-Curve Economics CIC，https://www.scurveeconomics.org/publications/making-clean-steel-competitive-in-international-trade/

理论上来说，补贴-补收政策不会给钢铁行业带来竞争力风险。国内钢铁生产商的成本负担不高于进口钢材等同类产品。钢铁出口商不会承担额外成本，即便是清洁钢，出口也能保持竞争力。该政策可拓展并全面覆盖下游产业，且管理难度低于以具体生产数值为核算基础的 CBAM，因为它只需测算贸易产品的含钢量，无需测算钢材生产过程中的隐含碳排放。对于能源成本较高的国家来说，在全球低碳转型的背景下，允许钢铁企业自行选择进口“绿铁”（green iron）作为原料，有助于保持产业长期竞争力。

消费者承担的额外成本微乎其微

预计补贴-补收政策给消费者带来的成本负担微乎其微，几乎难以察觉。若该政策所支持的清洁初级钢产量占一个国家钢铁总产量的 10%，则汽车、洗衣机和空调等产品的成本增幅远不足 1%，对建筑、公路、管道和铁路的成本影响同样很小。即便利用这一政策推动整个钢铁行业脱碳，且未来数十年技术毫无进步（这也与实际趋势不符），成本增幅最多也只有几个百分点。

新动态：从先行风险到后发风险

清洁技术成本高昂，业界普遍担忧转型中先行风险过高，这种顾虑目前主导着行业预期。一个国家若借助补贴-补收政策，能使清洁初级钢生产更具竞争力，业界则可能会改变看法，从担忧先行风险转为担忧后发风险，而其他国家出台类似政策的压力也会随之增加。

退出机制

补贴-补收政策是针对钢铁转型当前所处的起步阶段而设计，此阶段的挑战在于如何实现近零排放炼钢技术的首轮部署。尽管从理论上来讲，该政策完全可以无限期运行，但其退出机制仍包括：可采用差价合约，一旦技术成本下降，或清洁钢主导全球市场定价，又或两者同时发生，补贴即降为零；可采用碳差价合约，当碳价升至足够高的水平时，补贴即降为零；最终实现以法规取代补贴。

符合各国国情的政策设计

在本报告中，我们首先描述了补贴-补收政策的一般特征，然后阐述该政策的不同版本如何适用于中国、印度、欧盟、巴西和英国。政策设计的变化反映了各国产业结构、资源状况与政策制度的差异。例如在欧盟，该政策可嵌入现行欧盟碳排放交易体系（EU ETS），并配合改革后的 CBAM。各政策方案的共同理念则是：广泛筹集资金，集中用于定向补贴清洁钢技术部署，从而最大程度上撬动投资。

1
实施清洁钢补贴-补收政策的理由

投资清洁初级钢的必要性

推动清洁初级钢[3]领域的投资意义重大，一方面有助于培育清洁钢生产工艺的产业竞争力，另一方面有助于加快钢铁行业向近零排放转型。

产业竞争力

几乎所有主要经济体均已设定全经济范围的净零排放或碳中和目标。这意味着，全球钢铁行业必须向近零排放技术转型。行业投资已经在向这一方向发力，在中国、德国、瑞典、韩国、荷兰、法国、芬兰和西班牙等多个国家兴建清洁初级钢工厂。

在这一新背景下，产业竞争力取决于多方面因素（包括自然资源），没有政府政策能予以完全保障。不过，对任何国家来说，尽早投资清洁初级钢的技术和供应链，都更有利于本国钢铁行业在未来全球市场中保持竞争力。

业内普遍认为，率先转向清洁钢技术（成本高于传统钢），必然面临竞争力严重受损的风险，而这种看法与实际不符。本报告认为，只要政策设计得当，转型先行风险可大幅降低，先发竞争优势也有望随之显现。

碳排放

目前，初级（矿石基）炼钢约占全球钢铁产量的 75%，其碳排放量占钢铁行业碳排放总量的 85%至 90%。[44]随着未来钢铁回收利用的增加，初级钢产量占比或有所下降。但鉴于废钢可用量有限，预计到 2050 年，约一半全球钢铁需求仍将来自矿石基生产。

钢铁行业要实现碳中和目标，无法简单按照“先用废钢生产、再推广清洁初级钢”的顺序来推进。现有钢铁生产设施使用寿命长，新设施的建设周期长，而清洁初级钢的生产工艺和供应链发展成熟仍有待时日。因此，为实现长期政策目标，则需要在近期就进行投资。国际能源署（IEA）估算，为与 2050 年□零排放情景相契合，到 2030 年全球近零排放初级钢产能需超过每年 1 亿吨，而 2024 年已投运产能不足 100 万吨。[5]为使全球基本沿这一路径推进，现在就需大规模投资清洁初级钢产能。但若继续投资新建煤基炼钢产能，资本或被长期锁定在这类资产中，而这类资产与各国政府的长期政策目标并不一致。[6]

[3] 在本报告中，“清洁初级钢”是指以近零排放工艺生产的钢材（相较于典型高炉-转炉工艺，实现减排90%），其生产流程始于铁矿石、止于粗钢。将其界定为初级钢，以便与再生（回收）钢进行区别，后者以废钢作为唯一金属原料，无需经过炼铁环节，因此避免了该环节产生的相关碳排放。

[4] Morrisroe, J.等人（2025），《提升清洁钢的国际贸易竞争力：一项互利共赢的政策与外交议程》（Making clean steel competitive in international trade: a positive-sum agenda for policy and diplomacy），S-Curve Economics CIC，https://www.scurveeconomics.org/publications/making-clean-steel-competitive-in-international-trade/

[5] 国际能源署与联合国气候变化高级别倡导者（2024），《突破性议程报告》（Breakthrough Agenda Report 2024），国际能源署，https://www.iea.org/reports/breakthrough-agenda-report-2024

[6] 高炉约占全球已宣布及在建新增炼铁产能的一半。全球钢铁追踪（Global Iron and Steel Tracker，GIST），2026年6月，https://globalenergymonitor.org/projects/global-iron-steel-tracker

未来，初级钢（矿石基）与再生钢（废钢基）生产之间的区别可能日益模糊，因为电炉原料混用废钢与生铁的情况日渐增长。尽管如此，当前仍有必要建设近零排放炼铁产能，以满足废钢无法覆盖的需求，并最终淘汰所有未采取减排措施的煤基产能。

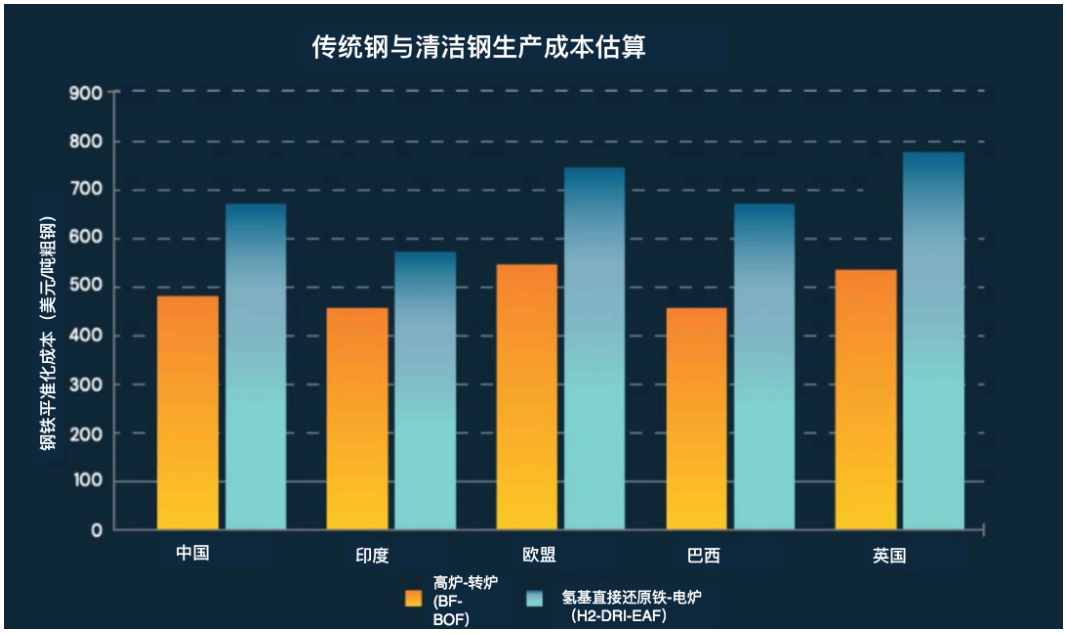
政策支持的必要性

清洁初级钢的生产成本高于传统钢，是需要政策支持相关投资的主要原因。在本报告涉及的国家及地区，据估算，与采用高炉-转炉（BF-BOF）生产工艺相比，采用氢基直接还原铁-电炉（H2-DRI-EAF）工艺生产近零排放钢铁的成本会增加 26%至 47%（见图1）。另一种生产清洁初级钢的工艺，即配备碳捕获与封存设备的高炉-转炉（BF-BOF-CCS），成本同样较高，且技术成熟度较低，对新建基础设施的需求也更为复杂。其他新兴技术则尚未经过商业规模化验证。已处于开发阶段的清洁初级钢工厂普遍获得了补贴支持，[7]其中若干还得到碳定价机制的支持；部分工厂还受益于低成本能源供应，及买方愿意支付绿色溢价的承购协议。

本报告不涉及对多种清洁钢生产工艺的综述。全文以氢基直接还原铁-电炉路径为例，阐述清洁钢生产及相关政策对成本的影响。之所以选择该工艺，是因为有较多的成本估算可供参考；除此之外，清洁钢还有其他可行的生产工艺。

目前已经验证过的任何清洁初级钢生产工艺，均会明显增加成本。若没有适当的政策支持，企业投资此类工厂的风险过高。

图 1. 样本国家传统钢与清洁钢生产成本。初级钢生产在所有情景下均按 20%的废钢比建模，但印度和英国除外，因为印度废钢可用量较低，导致废钢比在传统高炉-转炉工艺中为 9%，在直接还原铁-电炉工艺中预计为 13%；[8]而英国废钢可用量高，氢基直接还原铁-电炉工艺中废钢比为 50%。[9]关于成本假设的更多详情，请参见技术附录。



[7] Morrisroe, J.等人（2025），《提升清洁钢的国际贸易竞争力：一项互利共赢的政策与外交议程》（Making clean steel competitive in international trade: a positive-sum agenda for policy and diplomacy），S-Curve Economics CIC，https://www.scurveeconomics.org/publications/making-clean-steel-competitive-in-international-trade/

[8] 能源、环境和水资源委员会（2023），《印度如何实现钢铁行业净零脱碳？》（How can India decarbonise for a net-zero steel industry?），能源、环境和水资源委员会（CEEW）， https://www.ceew.in/publications/how-can-india-decarbonise-for-net-zero-steel-industry

[9] 英国商业贸易部（2025），《英国初级钢生产评估报告2025年》（UK primary steelmaking review 2025），英国商业贸易部（DBT）， https://assets.publishing.service.gov.uk/media/690b868714b040dfe829237d/uk-primary-steelmaking-review-2025.pdf

碳定价：有用，但不够用

许多政府已采用或计划采用碳定价作为助力钢铁行业脱碳的政策工具。欧盟和英国均已实施碳排放交易体系（emissions trading system，ETS），钢铁行业自 2005 年起被纳入其中。2025 年早些时候，中国已将钢铁行业纳入全国碳排放权交易市场（ETS）管理。巴西目前正处于开发碳市场的早期阶段，印度也宣布其碳信用交易计划（Carbon Credits Trading Scheme，CCTS）涵盖钢铁行业。

碳定价的运用

碳定价在钢铁行业转型中可以发挥以下作用：

- 激励现有钢厂小幅降低排放强度。这类改进措施包括：提高废钢投入比例，在高炉中混烧生物气或氢气，提高材料效率，从而减少排放。
- 影响行业预期和投资决策。可引导行业投资排放更低的技术，例如采用天然气基直接还原铁-电炉（natural gas-DRI-EAF）或废钢电炉工艺的钢厂，而非高炉-转炉钢厂。这一影响的程度取决于碳价水平、市场对未来碳价的预期，以及碳价与竞争和贸易政策之间的相互作用。
- 通过提高钢材价格，促进提升材料效率及循环利用水平。
- 迫使排放强度最高的钢厂停用或更新换代。可通过设定较高碳价或（在碳排放交易体系中）设定硬性排放上限来实现。

碳定价还能带来收入，这些收入可用于其他方式支持低碳转型。

碳定价的局限

要吸引资金投向清洁初级钢生产，仅靠碳定价尚显不足。

这种情况是由多方面原因造成的。首先，出于对产业竞争力的担忧，碳价难以设定在足够高的水平，使清洁初级钢相较于传统钢具备成本竞争力（见下文“竞争力风险”章节）。其次，即便碳价较高，也未必能让行业对投资清洁初级钢拥有足够的信心。碳排放交易体系中的碳价水平存在不确定性，任何碳定价政策都可能受政府换届或政治优先事项调整而发生变化。再次，钢铁企业应对碳定价政策，可以选择比投资清洁初级钢风险更低的方式，例如将成本转嫁给消费者，提高材料效率，或通过上述各种方式降低排放强度。

竞争力风险

要使近零排放初级钢具备成本竞争力，所需碳价水平很可能会大幅推高钢铁生产成本，至少近期内如此（见表 1）。若所有主要钢铁生产国未能实施协调一致的碳定价，这一情况将给行业带来竞争力风险。碳边境调节机制（CBAM）无法完全化解这些风险，至少传统设想并已在欧盟实施的、以具体生产数据为核算基础的 CBAM 无法做到。（本报告欧盟章节提出了欧盟 CBAM 改革方案，即采用标准化数值，其思路与下文讨论的“补收”方法类似）。相关风险包括：

- 国内钢铁生产面临的风险。受限于固定资产、资金约束和项目周期，国内钢铁生产商无法立即改变生产工艺。而其他国家的钢铁生产商无需新增投资，即可调整产品的销

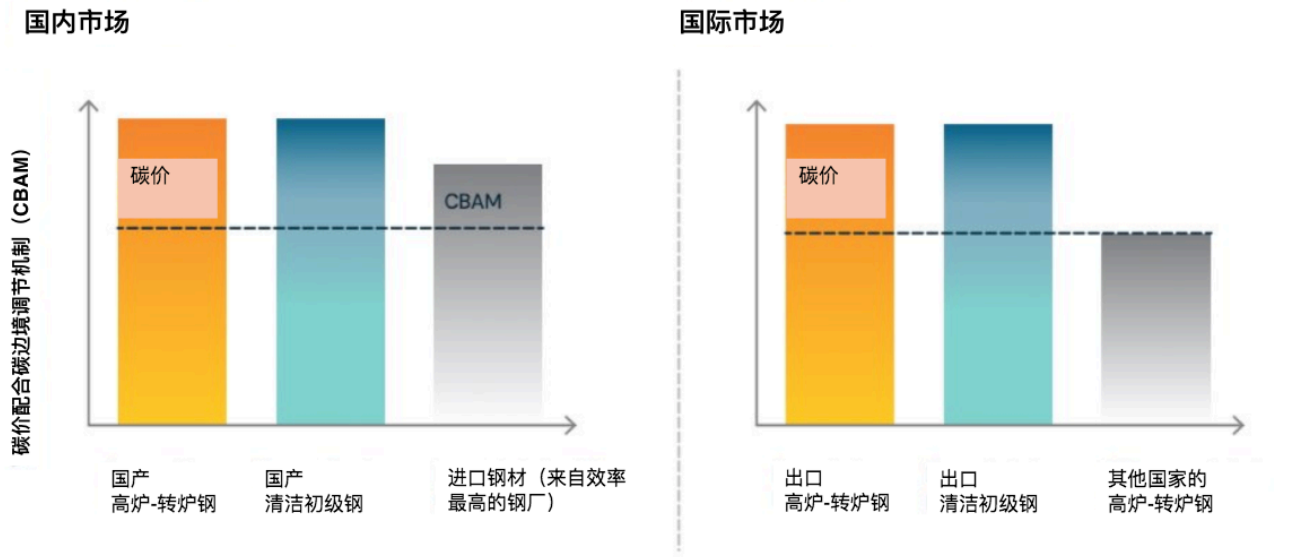
售去向，并可能把碳排放最低的产品优先供应给实施碳定价的国家。这意味着，即便 CBAM 完全按预期运行，国内钢铁生产商也可能遭遇进口低碳钢材价格冲击。

- 钢材出口竞争力面临的风险。已承担碳成本的出口钢材，在目的地市场的竞争力或将受损。碳定价出口退税是否符合世贸组织（WTO）规则目前仍存争议，一般认为，与碳税相比，碳排放交易体系下的出口退税，其法律依据可能更为薄弱。[10]

- 下游产业面临的风险。要避免碳定价对国内市场下游产业的竞争力造成不利影响，就需要 CBAM 的覆盖范围扩大至所有含钢产品。但要可靠地核算这些产品所含钢材在生产过程中产生的排放，不仅技术上高度复杂，管理上也十分困难。此外，下游产业还将面临与钢铁生产商类似的出口竞争力风险。

图 2 呈现了上述前两种风险。

图 2. 无论国内外市场，CBAM 都只能部分化解碳定价给钢铁行业竞争力带来的风险



[10] Leonelli, G.C.（2022），《出口退税与欧盟碳边境调节机制：世贸组织法与环境层面的争议》（Export rebates and the EU carbon border adjustment mechanism: WTO law and environmental objections），《世界贸易杂志》46（6），https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4169900

表 1. 中国、印度、巴西、欧盟和英国现行碳价，以及弥合高炉-转炉（BF-BOF）与氢基直接还原铁-电炉（H2-DRI-EAF）成本差所需的碳价。后一种碳价水平采用图 1 中的全国高炉-转炉平均排放强度和生产成本进行估算。*计入免费配额后的典型高炉-转炉钢厂有效碳价。

	现行有效碳价水平（美元/吨二氧化碳，$/tCO$_2$）[11]	预计可弥合 BF-BOF 与 H2-DRI-EAF 成本差所需的碳价（美元/吨二氧化碳，$/tCO$_2$）
欧盟	28[12*]	116
英国	17[13]	155
中国	~10	105
印度	[0][14]	53
巴西	[0]	105

欧盟和英国较早实施工业碳定价，且碳价处于较高水平，因此已面临上述产业竞争力风险。迄今为止，这些风险一直通过发放免费碳排放配额来应对，因此钢铁生产商实际承担的有效碳价，远低于碳市场中的名义碳价。但这种做法并不理想，因其削弱了政策的有效性。印度高炉-转炉钢铁生产的全国平均排放强度相对较高（印度为吨钢碳排放 2.4 吨，而欧盟为吨钢碳排放 1.8 吨），[15]因此在碳价较高的情况下，印度受到的冲击将大于多数国家。巴西钢铁生产排放强度相对较低，且有生物炭、清洁电力废钢电炉等低碳路径可选，但仍可能面临未实施国家碳价（如美国）生产商的竞争。

定向补贴的必要性

推动清洁初级钢铁生产的规模化部署，几乎必然离不开定向补贴。补贴既可以降低清洁钢投资的成本，又能将风险控制在可接受的范围内。补贴水平可通过具有法律约束力的合同予以固定，使得钢铁企业确信如果支持被撤回必会得到补偿（前提是法律环境健全）。合同期限可与钢厂运营寿命相匹配，至少也应覆盖实现投资回报所需的时间。

补贴可定向用于近零排放的初级钢生产，确保资金支持新技术部署和新供应链建设，而非惠及对现有炼钢工艺的小幅改进。可采取竞标的方式授予补贴合同，以促进竞争、降低成本并避免过度补贴。补贴可按固定金额（如按每吨清洁钢产出）发放，或与参考值（如钢铁市场价格或碳市场中的碳价）挂钩并相应调整。

[11] 本报告中的金额除另有说明外，均按2026年美元计算。

[12] Average auction price in 2025: https://icapcarbonaction.com/en/ets/eu-emissions-trading-system-eu-ets. Effective carbon price estimated for BF-BOF with emissions intensity of 1.87 tCO2/tCS, with free allocation of benchmark of 1.248 tCO2/hot metal. 2025年碳配额拍卖均价：https://icapcarbonaction.com/en/ets/eu-emissions-trading-system-eu-ets。有效碳价按高炉-转炉工艺估算，排放强度为吨粗钢碳排放1.87吨，免费配额基准值为吨铁水碳排放1.248吨。

[13] 2026 scheme year price. https://www.gov.uk/government/publications/determinations-of-the-uk-ets-carbon-price/uk-ets-carbon-price-for-use-in-civil-penalties-2026. Effective carbon price estimated for BF-BOF with emissions intensity of 1.86 tCO2/tCS, with free allocation of benchmark of 1.288tCO2/t hot metal.
2026年方案价格。https://www.gov.uk/government/publications/determinations-of-the-uk-ets-carbon-price/uk-ets-carbon-price-for-use-in-civil-penalties-2026。有效碳价按高炉-转炉工艺估算，排放强度为吨粗钢碳排放1.86吨，免费配额基准值为吨铁水碳排放1.288吨。

[14] The CCTS will have floor and ceiling prices; these are yet to be finalised and approved. https://cercind.gov.in/regulations/GZ-205.pdf
印度碳信用交易计划（CCTS）设有价格上下限；具体数值尚待最终确定和批准。https://cercind.gov.in/regulations/GZ-205.pdf

[15] Elango, S.等人（2023），《评估印度钢铁行业净零路径：碳减排技术的边际减排成本曲线》（Evaluating net-zero for the Indian steel industry: marginal abatement cost curves of carbon mitigation technologies），能源、环境和水资源委员会。

许多国家在电力转型和道路交通转型中均对清洁技术进行了补贴，这一政策在推动太阳能发电、风能发电和电动车部署的初期成效显著。[16]行业调查[17]和模型研究[18]均表明，钢铁行业很可能也需要此类补贴。

与许多政府为维持钢铁行业竞争力而提供的一般性补贴不同，清洁技术补贴可视为对公共利益付费：减排和清洁技术创新。

多个国家已实施或正在实施支持清洁钢生产补贴政策。这些政策大多尚不足以支撑清洁初级钢的持续商业化生产，但已呈现了补贴的多种应用方式，包括：

- 投入补贴（input subsidies）：用于制氢，例如美国（拜登政府）、英国（开发阶段）、日本、印度和中国；或碳捕获与封存（CCS）的利用，例如美国（拜登政府）和英国（开发阶段）。
- 资金补贴（capital subsidies）：投资新建钢厂，例如德国、日本、瑞典、荷兰和西班牙。
- 生产补贴（production subsidies）：用于清洁钢，例如德国的碳差价合约。
- 使用补贴（use subsidies）：用于下游产业使用清洁钢，例如日本对汽车行业使用清洁钢的补贴。[19]

在钢铁行业转型的起步阶段，补贴形式不同，效果也有所差别。若投入补贴不限定用于钢铁行业，其他行业也可能会从中获益。针对下游行业使用清洁钢的补贴可能过于分散，难以提升企业投资单个清洁钢工厂的信心。钢铁企业可能在获得资助后改变投资计划，致使公共目标落空。只有对清洁钢给予长期承诺、且按实际表现支付的生产补贴，才最有可能促成清洁钢工厂的首批投资。

补贴-补收：无竞争力风险的财政中性政策

> 清洁钢补贴政策未必加重财政预算负担，甚至可以不增加政府任何成本。

政府可实现财政中性

清洁钢补贴-补收政策可以分为两个部分。首先，补贴发放给清洁钢生产。如上文所述，这些补贴若以长期合约的形式提供（可通过拍卖方式分配），且以适度严格的标准支持清洁初级钢技术的规模化应用，则最有望取得成效。使用排放标准作为资格认定依据，可促使不同的清洁钢生产技术相互竞争。[20]

---

[16] Grubb, M.等人（2021），《创新与转型的新经济学：评估机遇与风险》（The new economics of innovation and transition: evaluating opportunities and risks），能源创新与系统转型经济学项目（EEIST），https://eeist.co.uk/eeist-reports/the-new-economics-of-innovation-and-transition-evaluating-opportunities-and-risks/

[17] 世界可持续发展工商理事会（2025），《商业突破晴雨表报告》（Business Breakthrough Barometer 2025），https://www.wbcsd.org/resources/business-breakthrough-barometer-2025/

[18] Dayal, S.等人（2025），《迈向近零排放钢：基于建模的主要钢铁生产国政策洞察》（Towards near-zero emissions steel: modelling-based policy insights for major producers），https://eeist.co.uk/wp-content/uploads/Towards-Near-Zero-Emissions-Steel-Modelling-Based-Policy-Insights.pdf

[19] Morrisroe等人（2025）。

[20] 该标准可能还需要考虑废钢比，而不仅仅是碳排放水平，以确保补贴真正用于支持清洁初级钢生产。另一种设计思路是，针对成熟度较高和较低的清洁钢技术分别进行拍卖。一些国家已在电力行业成功采用这

其次，政府每年借助补收模式，可从钢铁行业收回清洁钢补贴的全部成本。该费用对国产和进口钢铁按吨等额征税（出口钢材免征），不区分排放水平或生产工艺。补收只是将补贴成本进行分摊，从而使该政策在实施期间，每年政府都能实现财政中性。

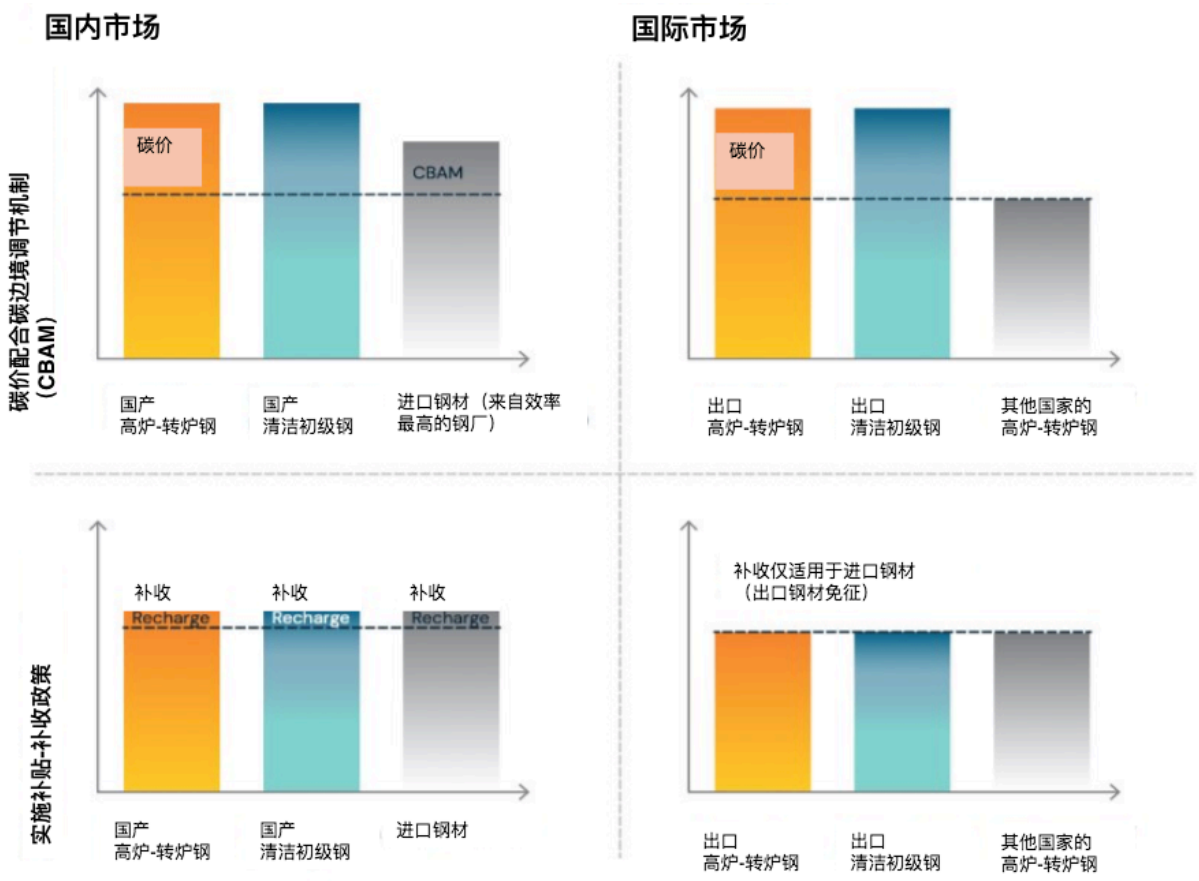
不会造成产业竞争力风险

理论上，补贴-补收政策不会给钢铁行业带来任何国际竞争力风险。在国内市场，定向补贴使清洁初级钢具备成本竞争力；同时，由于补收对进口和国产钢材同等适用，国内钢铁生产商不会因此相对进口钢材处于竞争劣势。

同样，在定向补贴的作用下，清洁钢可具备出口竞争力。所有出口钢材均免征补收费用，因此其竞争力不受影响。这一做法符合 WTO 规则，因为补收费的作用相当于消费税（excise duty）。[21]

图 3 比较了两种政策对钢铁行业竞争力的影响：一是不会带来竞争力风险的补贴-补收政策，另一个则是碳定价配合碳边境调节机制（CBAM）。

图 3. 碳定价配合碳边境调节机制与补贴-补收政策对产业竞争力的影响比较。



[21] Neuhoff, K等人（2025），《碳价与"气候贡献"：分裂世界中的工业脱碳之路》（Industrial decarbonisation in a fragmented world: an effective carbon price with a 'climate contribution'），伦敦政治经济学院格兰瑟姆气候变化与环境研究所（LSE and Grantham Institute），https://www.lse.ac.uk/granthaminstitute/publication/industrial-decarbonisation-in-a-fragmented-world-an-effective-carbon-price-with-a-climate-contribution/

进口钢材需缴纳补收，出口钢材予以豁免，这一政策可拓展至贸易产品所含钢材，从而避免下游行业面临竞争力风险。与同样拓展覆盖下游产品的 CBAM，这一政策的管理难度低很多，因为无需核算和追踪吨钢的隐藏排放。

尽管补贴-补收政策不会立即给钢铁行业带来国际竞争力风险，其政策设计却可能对长期竞争力产生重要影响。随着炼铁的主要能源来源由煤炭转向可再生电力（无论采用氢基炼铁还是直接电解生产工艺），可再生能源资源丰富的国家有望成为炼铁成本最低的国家。在能源成本较高的国家，仅支持本国生产的补贴政策可能导致较高的生产成本被长期锁定。解决方法包括：对清洁初级钢的生产提供补贴，允许钢铁生产企业自行决定使用国产或进口绿铁。这一设计选择所涉及的权衡取舍将在英国章节进一步讨论。

消费者承担的额外成本微乎其微

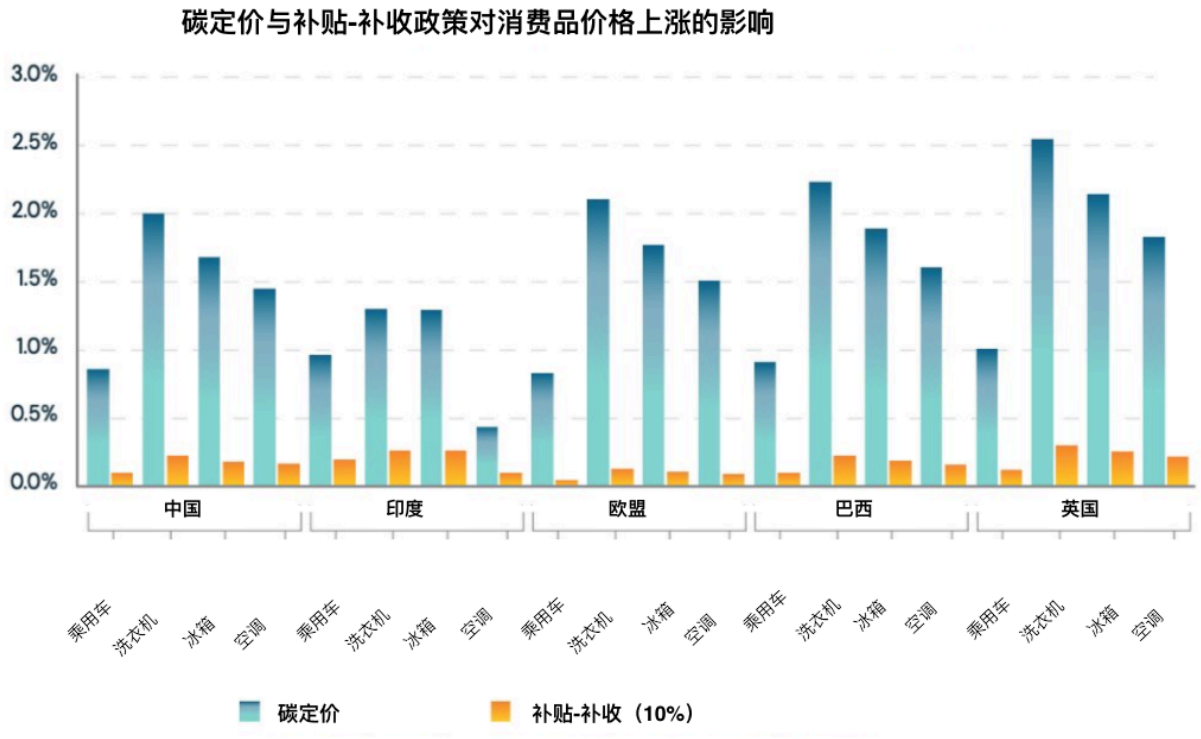
各国政府提出全经济范围的减排目标，这意味着钢铁行业必须脱碳，而清洁钢生产带来的额外成本，最终要么由消费者承担，要么由纳税人承担。

已有研究表明，清洁钢生产带来的额外成本即便很高，传导到汽车、建筑等终端产品后，成本增幅也微乎其微，通常仅为 1%左右。[22]

在补贴-补收政策下，转型初期消费者承担的成本还会更低，因为清洁钢工厂数量相对较少，补贴成本由全行业共同分摊，所需补收的费用因而极低。为说明这一点，图 4 展示了清洁初级钢市场份额达到 10%时，补贴-补收政策导致的消费品价格变动，并提供碳定价政策下的对应数值作为对照。补贴-补收政策带来的额外成本仅为价格的零点几个百分点，消费者可能难以察觉。

[22] 能源转型委员会（2018），《可完成的使命：截至本世纪中叶难减领域实现CO2零排放》（Mission Possible: Reaching net-zero carbon emissions from harder-to-abate sectors），https://www.energy-transitions.org/publications/mission-possible/

图 4. 补贴-补收政策与碳定价政策对消费品价格影响的估算。注释：补贴-补收（10%）是指清洁初级钢在全国钢铁产量占比 10%□的补贴-补收政策，补贴资金来自对钢铁消费补收。英国的补贴-补收政策对应年产 100 万吨直接还原铁工艺的情景。中国的补收成本预计为 22.6 美元/吨粗钢（$/tCS），印度$25.2/tCS，巴西$22.3/tCS，欧盟$11.5/tCS，英国$30.5/tCS。碳价水平按表 1 中的数值设定，使其对各国/地区氢基直接还原铁-电炉钢与高炉-转炉钢相对成本的影响与补贴等效。

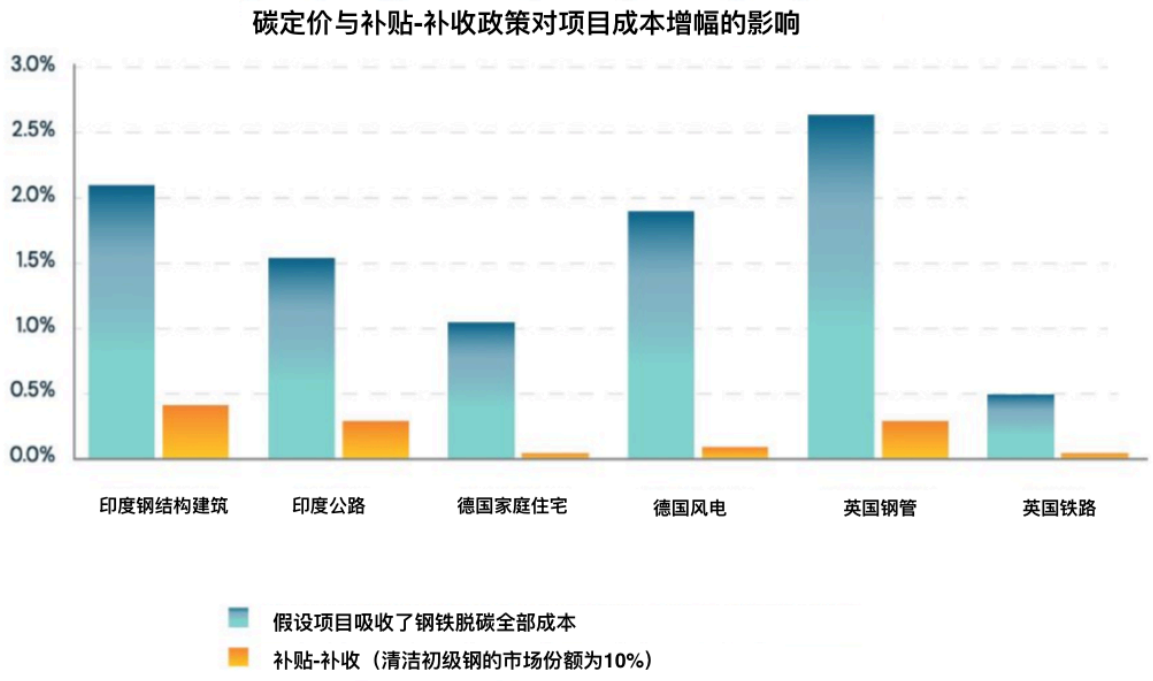


转型进程结束时，全部钢铁生产均已接近零排放，补贴-补收政策给消费者带来的额外成本，将与碳定价带来的额外成本相同。如图 4 所示，按当前技术成本测算，成本将增加约 1%至 2%；随着技术不断进步，转型结束时的实际成本还将低于这一水平。

建筑和基础设施行业消耗了大量钢材（全球的 52%[23]）。即便是这些行业中用钢量大的项目，使用清洁钢对总成本的影响通常也较为有限。土地、劳动力、融资、设计与工程等其他成本在总成本中占比很高。若通过补贴-补收政策，将首批清洁钢工厂的成本分摊到全部钢材消费上，转型初期的额外成本还会更低，原因与前文所述相同。图 5 呈现了一些例证说明。

[23] 世界钢铁协会（2024），《世界钢铁统计数据2024》（World Steel in Figures 2024），https://worldsteel.org/data/world-steel-in-figures/world-steel-in-figures-2024/

图 5. 采用与图 4 类似的假设，呈现补贴-补收政策与碳定价政策对建筑和基础设施成本的影响估算。成本增幅比例按钢材用量与总建造成本之比估算。



不会明显影响钢铁需求与行业盈利

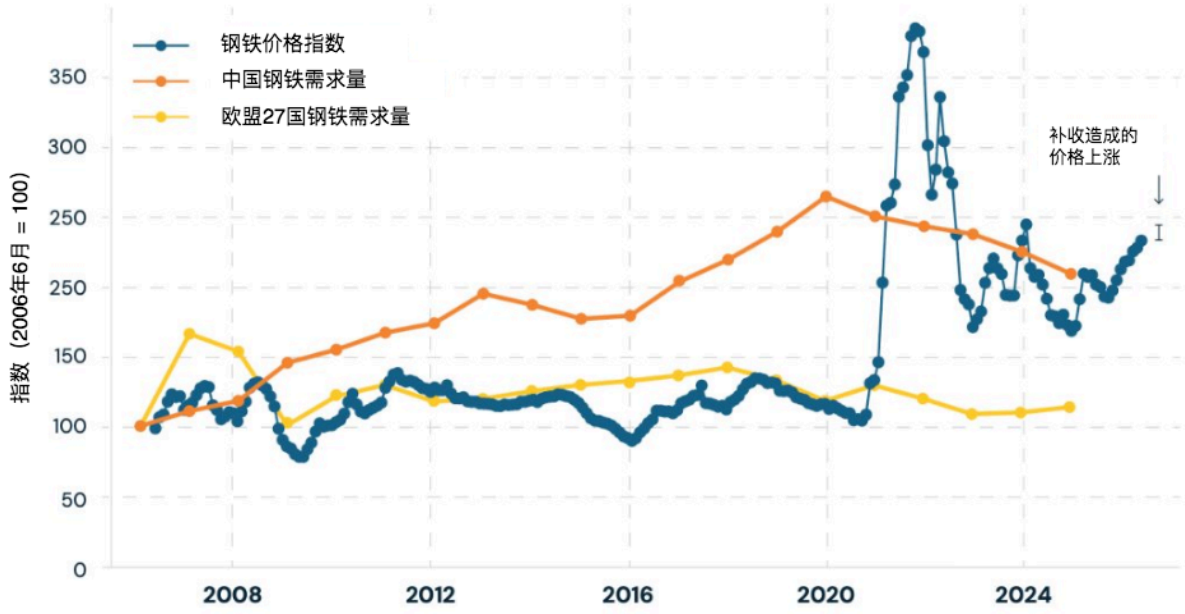
补贴-补收政策不太可能影响钢铁需求，原因包括以下几个方面：一般认为，钢铁需求价格弹性（price elasticity of demand，PED）较低，约为-0.07，[24]这是因为钢铁是经济运行中不可或缺的基础材料，且可替代空间有限。因此，在其他条件不变的情况下，钢铁成本若上涨 4%左右，预计钢铁需求将下降 0.3%；当清洁初级钢占钢铁产量 10%时，补贴-补收政策就可能带来这样的涨幅。

实际影响可能更小。历史上，受经济结构变化影响，钢铁需求在特定地区曾处于长时间增长或停滞状态，且这些趋势不受价格波动影响。例如，由于城镇化和工业化发展，中国的钢铁需求从 2006 年的 3.78 □吨增至 2020 年的 10.09 □吨。而在欧洲，过去二十年钢铁需求基本保持平稳。[25]由于补贴-补收政策（清洁钢市场占比 10%的情况下），钢铁生产成本会上涨 4%，但这一幅度与近些年或数十年的全球钢价波动幅度相比较小（见图 6）。由于新冠疫情对全球供应链造成冲击，2021 年冷轧钢板价格同比上涨 250%。在此期间前后的两个时期（即 2006-2019 年及 2023-2026 年），该价格月均值的标准差仅为其均值的 11%和 9%；而在 2006-2026 年期间，这一数值则达到了 41%。[26]

在这种情况下，对每吨消费的钢材统一征收的费用，很可能几乎全部转嫁给消费者，对钢铁企业的盈利能力没有明显影响。

[24] Fernandez, V.（2018）。《矿产大宗商品需求的价格弹性与收入弹性》（Price and Income Elasticity of Demand for Mineral Commodities），《资源政策》（Resources Policy），59，pp. 160–83。
[25] 钢铁表观消费量来自世界钢铁统计数据年报。
[26] 49 钢铁价格指数来自美国劳工统计局发布的月度价格指数：生产者价格指数（按商品分类）——金属及金属制品：冷轧薄板和钢带[WPU101707]，经由联邦储备经济数据库（FRED）获取；https://fred.stlouisfed.org/series/WPU101707，2026年7月16日。

图 6. 冷轧薄板和钢带月度生产者价格指数，及中国和欧盟 27 国的钢铁需求。数据来源：钢铁价格指数来自美国劳工统计局发布的月度价格指数：生产者价格指数（按商品分类）—金属及金属制品：冷轧薄板和钢带[WPU101707]，经由联邦储备经济数据库（FRED）获取；https://fred.stlouisfed.org/series/WPU101707，2026 年 7 月 16 日；钢铁表观消费量来自世界钢铁统计数据年报。



全球积极影响

欧盟的碳边境调节机制（CBAM）常被视为其他国家出台工业碳定价政策的推手，其对市场准入的调节作用也可能影响钢铁行业的投资决策。然而，如上文所述，碳定价对清洁初级钢投资的激励作用本就有限。[27]若政策在钢铁企业的出口市场而非其本国市场实施，这一局限可能更加明显。对于大多数主要产钢国而言，其钢铁产量大部分用于内销或出口至其他市场，仅有一小部分出口至欧盟。在中国、印度和巴西，对欧盟出口的比例分别为 0.5%、1.5%和 0.5%。[28] 若缺乏强有力的国内政策，欧盟的碳定价极难促使这些国家投资建设清洁初级钢工厂。

清洁钢补贴-补收政策不会对市场准入起到调节作用，但能通过其他方式影响全球钢铁转型。此类政策若能促成一个国家的清洁钢投资，就可能改变行业预期，并加大其他国家出台类似政策的压力。目前，行业预期主要受转型“先行风险”认知左右；而清洁钢推广政策若成功实施，行业认知则可能转向“后发风险”。

政策组合、排序与退出策略

在钢铁低碳转型进程中，碳定价和清洁钢补贴作用互补，二者配合使用的空间广阔。定向补贴可用于推动清洁初级钢投资，碳定价可削弱对排放强度最高技术的投资激励，同时促进近期减

[27] Bahí, A.等人（2026），《跨国界的碳定价：欧盟碳边境调节机制的气候政策溢出效应评估》（Carbon pricing beyond borders: assessing climate policy spillovers from the EU carbon border adjustment mechanism），布鲁盖尔（Bruegel），https://www.bruegel.org/working-paper/carbon-pricing-beyond-borders-assessing-climate-policy-spillovers-eu-carbon-border

[28] 取用2024年的数值。钢铁产量数据来自《世界钢铁统计数据2025》，https://worldsteel.org/data/world-steel-in-figures/world-steel-in-figures-2025/，欧盟27国钢材进口量数据来自：https://www.eurofer.eu/statistics/trade-statistics/imports。

排和材料效率提升。转型后期，碳定价可用于保护现有近零排放产能的竞争力，并最终推动高排放强度钢厂退出市场。[29]

定向补贴在转型初期至关重要，其目的是吸引资金投入首批清洁初级钢工厂。从理论上来讲，补贴-补收政策完全可以无限期运行：即便补贴政策覆盖 100%初级钢生产，仍可保持财政中性，既不会给行业带来竞争力风险（部分国家取决于上文所述的铁进口设计选择），也不会给消费者造成过重成本负担。然而，在转型后期，各国政府可能需要考虑其他更合适的政策，补贴-补收政策也有多种退出方案可选。随着清洁钢技术成本下降及其推广应用，清洁钢的生产成本将逐步接近全球市场价格，以差价合约形式提供的补贴可以逐步降至为零。当碳价上涨至足以弥合清洁钢与传统钢的生产成本差距时，碳差价合约机制下的补贴亦可逐步降至零。补贴最终可由法规取代，要求所有生产或进口的钢材均达到近零排放标准。这与欧盟车辆碳排放强度标准所设定的最终目标类似。

本报告未涉及的其他政策，可进一步强化转型的整体激励，并完善相关支撑条件。

这些政策包括：在下游行业实施公共采购和清洁钢强制使用要求，从而创造清洁钢需求；投资电网建设；以及制定明确的低排放和近零排放钢标准。若支持清洁初级钢生产的政策到位，再配合能创造市场需求的政策，政策效果有望进一步放大。

补贴-补收政策的各国版本

后续章节将逐一分析，清洁钢补贴-补收政策如何结合中国、印度、巴西、欧盟和英国实际情况加以调整并实施。本报告根据各国家/地区在政府财政预算、产业竞争力和消费者成本，以及政治经济和制度层面的具体情况，阐述补贴-补收政策的一种或多种版本如何有效促进清洁初级钢生产的投资。

表 2. 补贴-补收政策在不同国家/地区的版本。注释：ETS = 碳排放交易体系。CCfD = 碳差价合□。

国家/地区	补贴重点	资金来源	特征
中国	清洁初级钢生产，按生产工艺界定	对钢铁生产和进口钢材的补收	由于钢铁行业体量庞大，因此只需很低的补收水平，即可支持首批清洁钢工厂
印度	清洁初级钢生产，以及所有钢厂的边际减排	对钢铁生产征收的极低碳税	依托碳信用交易计划（CCTS）已建成的排放核查体系；通过双重补贴结构，协调政治经济层面的利益关系
欧盟	清洁初级钢生产，以碳差价合约（CCfD）的形式提供补贴	对钢铁生产（含进口钢材）的补收，按欧盟 ETS 免费配额的价值核定	能紧密嵌入欧盟 ETS 现有框架，在保持完整性的同时增强运行成效
巴西	清洁初级钢生产，以及其他低排放生产工艺	对钢铁生产的补收，国家开发银行的优惠贷款作为补充	通过打造国内市场，助力培育绿铁出口能力
英国	生产或进口（替代选择）清洁铁，以供应所有本土钢厂	对钢铁生产和进口钢材的补收	由于该行业体量小、废钢可用量高，扶持单一清洁铁工厂，或许就可满足整个行业需求

[29] Murphy, A.等人（2025），《先立后破：加速零碳转型的政策框架》（First build, then break: a policy framework for accelerating zero carbon transitions），https://www.scurveeconomics.org/publications/first-build-then-break/

这些案例的核心思路都是“广泛筹资、集中补贴”：资金来源覆盖面广，从而对产业竞争力和政府预算的冲击降至最低；资金用途高度集中于定向补贴清洁钢技术的部署，以最大程度发挥其撬动投资的作用。

各国在补贴-补收政策的设计上存在差异，主要源于三方面因素：钢铁产业的规模与结构；当前及未来在全球价值链中的定位；以及钢铁行业转型相关的现行政策和制度。表 2 概述了各国政策方案的若干主要特征。

2
用的清洁钢补贴-补收政策

作者：中国科学院王溥教授、林子越

背景

中国是全球最大的钢铁生产国和消费国。2025 年，中国粗钢产量逾 9.6 亿吨，约占全球产量一半以上。[30]中国钢铁生产仍以高炉-转炉（BF-BOF）为主，约九成粗钢通过这一工艺生产，电炉钢占比约为 10%，远低于美国、欧盟等废钢体系更成熟的经济体。[31]钢铁行业也是中国最大的工业碳排放来源之一。2024 年，中国□□行□碳排放量约为 18 亿吨，约占全国碳排放量的 15%，平均碳排放强度为吨钢碳排放 1.8 吨。[32]基于钢铁产量和生产工艺的间接估算，得出的钢铁行业年度碳排放区间与此相近，约为 18 亿至 20 亿吨。[33]受建筑和房地产需求走弱影响，中国钢铁表观消费量已从 2020 年约 10.09 亿吨降至 2024 年的 8.57 亿吨，但仍居世界首位。[34]制造业、可再生能源设备、汽车及出口在一定程度上抵消了房地产相关需求的下滑。

中国钢铁行业转型具有其特殊性：产业规模、技术结构与资源约束相互交织且紧密关联。仍有相当比例的高炉-转炉产能存续，路径依赖明显。与此同时，中国废钢积累晚于欧洲和北美地区，且优质废钢的回收、分拣与供应体系尚不健全。上述因素限制了废钢电炉短流程替代高炉-转炉长流程的速度。随着钢铁需求从房地产和传统的基础设施，转向制造业、可再生能源设备、汽车、机械及出口导向型行业，对钢材质量的要求也越来越高。因此，中国发展清洁初级钢的核心挑战是：在推进脱碳炼钢工艺的同时，保持高品位钢材供应和产业竞争力，这些工艺包括氢基还原铁（H2-DRI）、富氢高炉、碳捕获、利用与封存（CCUS）、电炉炼钢，以及提高优质废钢利用水平。

全球积极影响

中国当前的政策组合仍以行政监管、能效标准、污染防治要求、产能调控和碳市场建设为主。在中央层面，政策严控炼钢新增产能，推动产能置换，支持节能降碳改造，加快推进钢厂超低排放改造。[35]在碳价方面，2025 年钢铁行业纳入碳排放权交易市场管理。[36]政策初期预计以免

[30] Murphy, A.等人（2025），《先立后破：加速零碳转型的政策框架》（First build, then break: a policy framework for accelerating zero carbon transitions），https://www.scurveeconomics.org/publications/first-build-then-break/

[31] 世界钢铁协会（2025），《世界钢铁统计数据2025》“2024年按工艺统计的粗钢产量”；《世界钢铁统计数据2024》“2023年按不同工艺生产的粗钢占比”，https://worldsteel.org/data/world-steel-in-figures/world-steel-in-figures-2025/

[32] 周维富（2025），《我国钢铁工业“十四五”发展的成效和“十五五”高质量发展的建议》，中国经贸导刊，2025年09期，http://gjs.cssn.cn/kydt/kydt_kycg/202506/t20250613_5879070.shtml

[33] 落基山研究所（RMI）和中国电力科学研究院（2023），《电力需求侧灵活性系列：钢铁行业灵活性潜力概述》，https://rmi.org.cn/insights/industrial-dsf/

[34] 世界钢铁协会（2025），《世界钢铁统计数据2025》，“钢铁表观消费量（成品钢）”，https://worldsteel.org/data/world-steel-in-figures/world-steel-in-figures-2025/

[35] 主要政策依据包括：国务院发布的《2030年前碳达峰行动方案》；工信部、国家发改委、生态环境部三部委联合发布的《关于促进钢铁工业高质量发展的指导意见》；国家发改委等部门发布的《钢铁行业节能降碳专项行动计划》；以及生态环境部等部门发布的《关于推进实施钢铁行业超低排放的意见》，https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk10/202202/t20220208_968879.html

[36] 生态环境部（2025），关于印发《2024、2025年度全国碳排放权交易市场钢铁、水泥、铝冶炼行业配额总量和分配方案》的通知，https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk03/202511/t20251118_1134175.html

费配额分配和基线管理为主，因此短期的成本信号较为温和。尽管如此，碳市场扩围覆盖钢铁行业，仍有助于推动企业层面建立碳排放核算、报告、核查与履约机制。此外，绿色金融、产品碳足迹规则、绿电交易、工业领域清洁氢应用，以及低碳技术目录，也在为未来的清洁钢铁投资铺设制度基础。

中国清洁初级钢部署仍处于示范和商业化初期阶段。宝武钢铁和河钢等龙头钢铁企业已启动了氢基直接还原铁、电炉熔炼、CCUS 及低碳产品认证相关项目。宝钢湛江百万吨级近零碳生产线已形成氢基竖炉、电炉与轧制一体化工艺流程，据报道氢基竖炉环节减排显著。[37]不过，中国发展清洁初级钢仍面临几大挑战：绿氢成本居高不下，供应前景存在不确定性；低碳电力资源与钢铁产能布局不一定匹配；高品位铁矿石和球团供应可能成为直接还原铁发展的瓶颈；废钢资源数量和质量难以支撑电炉短流程快速大规模扩张；此外，钢铁企业盈利偏弱、产能过剩、出口承压，也使企业难以消化低碳投资高昂的前期投入。

各国补贴-补收政策的差异化版本

中国可采用清洁初级钢生产端补贴机制，资金主要来自对钢铁消费环节实行补收。政府将对符合条件的清洁初级钢（按吨）提供补贴，并优先支持氢基直接还原铁-电炉（H2-DRI-EAF）等近零排放工艺，使这些项目能与传统高炉-转炉钢铁竞争。补贴将通过设立一个专门的“清洁钢转型基金”拨付与管理。该基金的主要收入来自对中国市场消费的钢材统一实行补收，国产与进口钢材均纳入征收范围，出口钢材免征。这一政策设计可让进入中国市场的钢材承担同等转型成本，同时避免直接增加出口钢材成本。鉴于钢铁行业已纳入全国碳排放权交易体系，也可将部分配额拍卖收入划入该基金，作为补充性资金来源，用于降低补收水平、扩大补贴规模，或支持低碳氢等关键投入。

> 总体而言，补贴-补收机制将近零排放初级钢部署初期的“绿色溢价”，分摊到广泛的钢铁消费端，并把分散的收入转化为稳定的生产端支持。

这一机制旨在通过直接补足近零排放初级钢与传统高炉-转炉钢之间的成本差，以抵消“绿色溢价”。针对补贴-补收政策的现行成本假设，高炉-转炉的钢铁平准化成本为 523 美元/吨粗钢（tCS），氢基直接还原铁-电炉的钢铁平准化成本为 731 美元/吨粗钢，成本差距为 209 美元/吨粗钢。若政策目标是为支持氢基直接还原铁-电炉工艺的钢产量达到当前初级钢产量的 10%，所需的年度补贴额约为 194 亿美元。这部分成本可通过补收分摊到钢材消费端，折算后相当于每吨粗钢增加 22.6 美元左右。与依靠碳价推高传统钢材成本的做法相比，这一方式直接缩小了清洁初级钢项目面临的收入缺口，使氢基直接还原铁-电炉工艺在现行市场价格下即具备商业可行性。

> 对于投资者而言，扶持政策的稳定性和持续时间，与补贴力度同样重要

因此，补贴可以通过多年期生产扶持政策、长期合同或差价合约这类安排来提供，同时需公开扶持政策的资格标准、排放阈值、核算方法和资金来源。这就能把政策支持转化为可预期的现金流，从而为项目融资、绿氢长期采购、电炉投资以及直接还原铁设备的部署提供支持。稳定的机制还将降低先行企业在技术、投入价格和市场方面的风险敞口，增强企业信心，确保投资不会因绿色钢材需求疲弱或传统钢材价格波动而丧失竞争力。

[37] 新华网广东（2024），《百万吨氢基竖炉减碳60%——宝钢湛江钢铁有限公司》，http://gd.news.cn/20240929/f0835245a13a4876818cfa1d0391a141/c.html

补贴-补收政策对钢铁行业竞争力的影响有限，因为补收对是国内钢铁消费端征收，而非钢铁生产端，此外该政策原则上对出口钢材免征，中国钢材出口不会直接承担额外的政策成本。这就避免了竞争力承压。

> 对于下游行业而言，补贴成本分摊到全部钢材消费之后，对单位成本的影响很小。

因此，汽车、家电、机械、建材和可再生能源设备等行业的终端产品成本增幅有限。剩余风险主要涉及两种情景：一是未来碳排放交易体系的配额拍卖比例和碳价大幅上涨，而进口钢铁产品却不承担与之相当的碳成本；二是部分下游出口企业间接承担了少量的补收成本。不过在政策初期阶段，以补收为核心、以碳排放交易体系收入为补充的机制设计，应能将上述风险控制在较低水平。

补贴-补收政策对财政的影响将非常有限，对政府而言基本可实现财政中性。主要支出，即对氢基直接还原铁-电炉及其他符合条件的清洁初级钢生产工艺的生产补贴，将通过对国内钢材消费统一补收来补足。来自钢铁行业的碳排放交易权市场配额拍卖收入可为“清洁钢转型基金”提供额外的资金来源。补贴支出与补收收入持平，该机制可避免政府一般性支出的大幅增加，并使财政预算的净影响趋零。

该政策对消费者成本的影响也很有限，因为额外成本会分摊到整个钢铁消费端，对多数终端产品而言，钢材仅占其价格一小部分。补收若设定在 22.6 美元/吨粗钢，即便成本完全转嫁给消费者，典型含钢产品的价格变动仍然较小：乘用车约 20.3 美元（约 0.09%），洗衣机约 0.48 美元（约 0.22%），冰箱 0.77 美元（约 0.18%）；空□ 0.67 美元（约 0.16%）。在建筑、机械、可再生能源设备行业，成本影响更为明显，但即便是在这些行业，其单位产出的成本增幅，也远低于以高碳价为主要手段、提升高炉-转炉钢成本的政策情景。

在操作层面，这一政策方案需明确界定符合条件的清洁初级钢，设定可靠的碳排放强度阈值，制定透明的补贴计算公式，并建立可信的监测、报告与核查体系（monitoring, reporting and verification，MRV）。补收费的基础应由国内市场消费的钢材来界定，并辅以相应机制，将进口钢材纳入覆盖范围，同时对出口钢材免征。在管理层面，虽然可以依托现有的税务、海关、工业统计与碳排放交易体系数据系统，但数据的一致性仍然至关重要。“清洁钢转型基金”需要制定相关规则，涵盖收入征收、资金拨付时点、项目资格认定、征收资金超额或不足的处理办法，以及信息公开。为减少实施中的风险，中国可以先在有限范围推广清洁初级钢示范项目，然后随排放标准、产品认证和 MRV 体系成熟，逐渐拓展覆盖范围。

> 从政治经济学角度看，这一方案比单纯的碳定价路径更具可行性。

> 传统高排放钢铁企业可能会反对碳排放交易体系中不断提高配额拍卖比例，但“清洁钢转型基金”将收入以定向支持的形式，回流至钢铁行业，有助于减少反对声音。

这一政策为氢基直接还原铁-电炉和低碳氢的早期供给创造了可预期的市场环境，因此很可能会获得龙头钢铁企业、制氢企业、可再生能源发电商及设备制造商支持。下游行业可能会担心承担额外的钢铁成本，但预计终端产品价格影响较小，为政策交流和行业协调提供了空间。地

方政府也可将这类机制作为政策工具，在升级现有钢铁集群的同时，吸引资金投向低碳钢铁。

这一机制还将有助于实现次要政策目标：加速中国钢铁行业的深度脱碳，带动氢基直接还原铁-电炉工艺、低碳氢、可再生能源电力及直接还原设备等供应链的发展，并提升钢铁行业对国际低碳产品标准、绿色采购规则和碳边境调节措施的就绪程度。统一补收还可能对材料利用率、节约用钢和钢材回收形成温和激励。这些协同效益有助于推动产业升级和绿色供应链发展，但政策设计应避免资金过度集中于少数大型国有企业，也应避免鼓励重复性的示范项目。

该方案与中国当前政策体系契合度较高，可与全国碳市场扩围、能耗强度管控向碳排放管控转变、绿电交易、绿色金融及公共部门绿色采购等举措衔接联动。可利用现有体系来管理资金、追踪减排成效，同时弥补现行政策尚未充分解决的一项空白：即为近零排放初级钢提供稳定的生产端收入支持。在初期，该机制可对少量示范项目提供支持。随着时间推移，这一机制可纳入更大比例的碳市场拍卖收入，并与绿色钢铁标准、公共采购及私营部门的清洁钢采购承诺相整合。

关键的不确定因素

主要的不确定因素可归为三类。第一，技术与成本不确定性：近零排放钢铁生产成本、低碳氢气供应成本及技术学习的速度将决定补贴需求量。第二，市场与融资不确定性：国内钢铁需求、补收费率调整及清洁钢转型基金是否长期稳定，可能会影响政策的可持续性。第三，制度和外部环境不确定性：进口钢材覆盖范围、与国际贸易规则的衔接程度，以及碳排放权交易市场配额拍卖收入的实际可用情况，都将影响政策落地的可行性。随着示范项目不断积累更完善的成本与表现数据，应定期对上述因素进行评估。