

绿色铁贸易

为中国解锁机遇

2025年11月

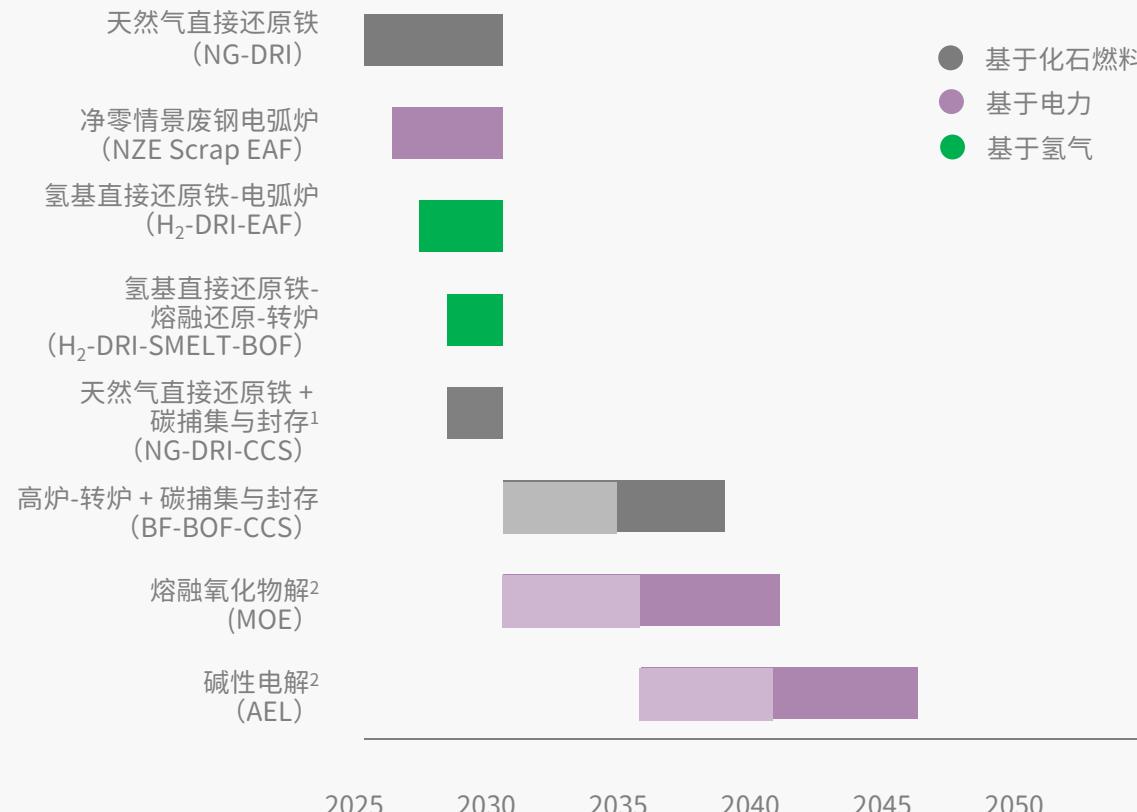


主要发现

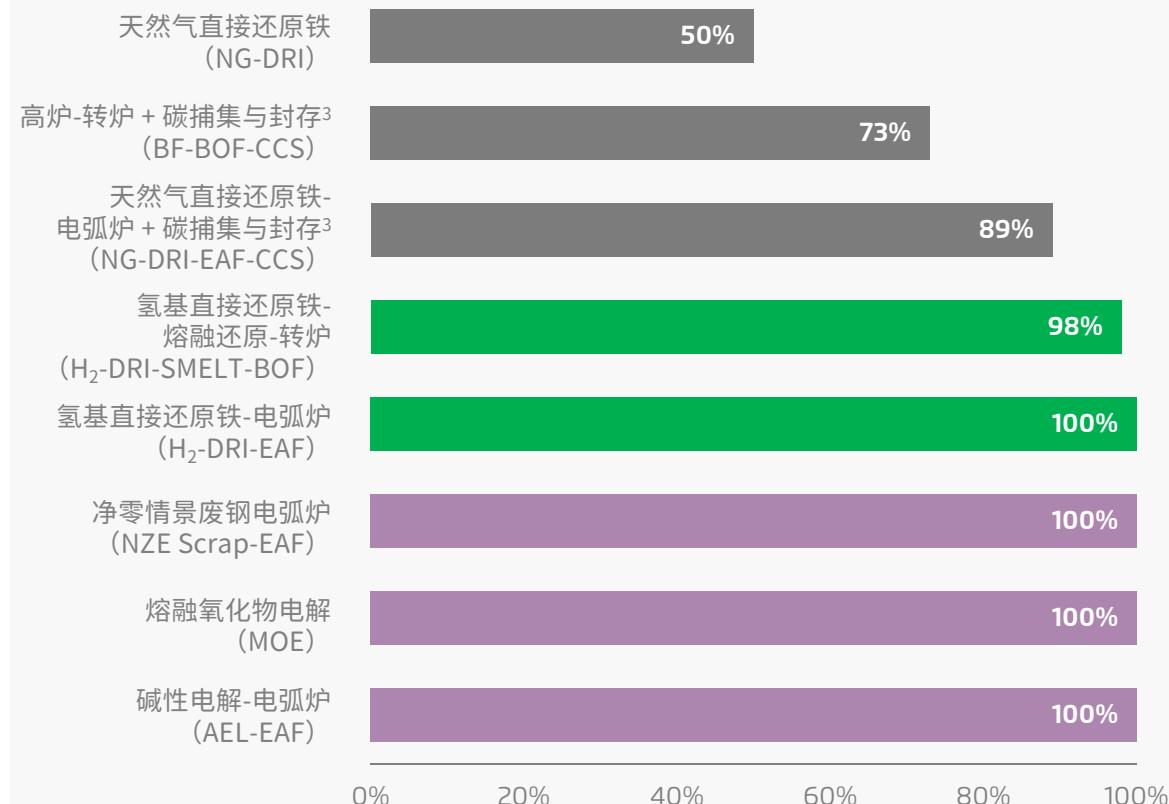
1. 中国的钢铁行业对全球净零排放至关重要。中国钢铁产量占全球一半以上，其碳排放占全国总量的17%，该行业对中国经济实力和工业竞争力依然至关重要。投资低碳炼钢既是气候要求，也是增强技术领导力、保障就业和加强全球供应链韧性的战略机遇。
2. 中国正开始逐步淘汰传统钢铁产能，同时扩大低碳技术和循环再生实践。强有力的政策信号、试点项目以及快速扩张的可再生能源正在塑造国内工业转型的路径。尽管近90%的产量仍基于高炉-转炉路线，推进诸如氢基直接还原铁在内的突破性技术将是加速深度脱碳的关键。
3. 尽管与可再生能源丰富地区的成本差异较小，中国仍可能发展成为绿色铁的进口国和出口国。拥有丰富可再生资源和具有竞争力电价的北方地区可以在国内或国外供应绿色铁，而南方沿海地区可能日益依赖进口绿色铁以满足当地钢铁需求。这样的多元化格局有助于实现成本高效、区域均衡的钢铁行业转型。
4. 贯穿整个价值链的政策措施对于释放投资、扩大氢能基础设施和确保国际协调至关重要。扩大绿色金融工具、加强认证和碳核算框架、以及培育战略性国际合作伙伴关系，可以降低融资风险，并支持中国在新兴的全球绿色铁市场中作为进口国和出口国的双重角色。

截至2030年，基于废钢的电弧炉（EAF）和氢基直接还原铁（DRI）等成熟技术将成为钢铁行业脱碳主力

不同突破性炼钢技术的预期市场成熟度⁴



不同技术相较于高炉-转炉路线的二氧化碳减排潜力³



Agora Industry and Wuppertal Institute (2022, 2023).

¹当前的商业化天然气直接还原铁-碳捕集与封存项目不被视为突破性技术，因为它们未能实现大幅度的二氧化碳减排率。

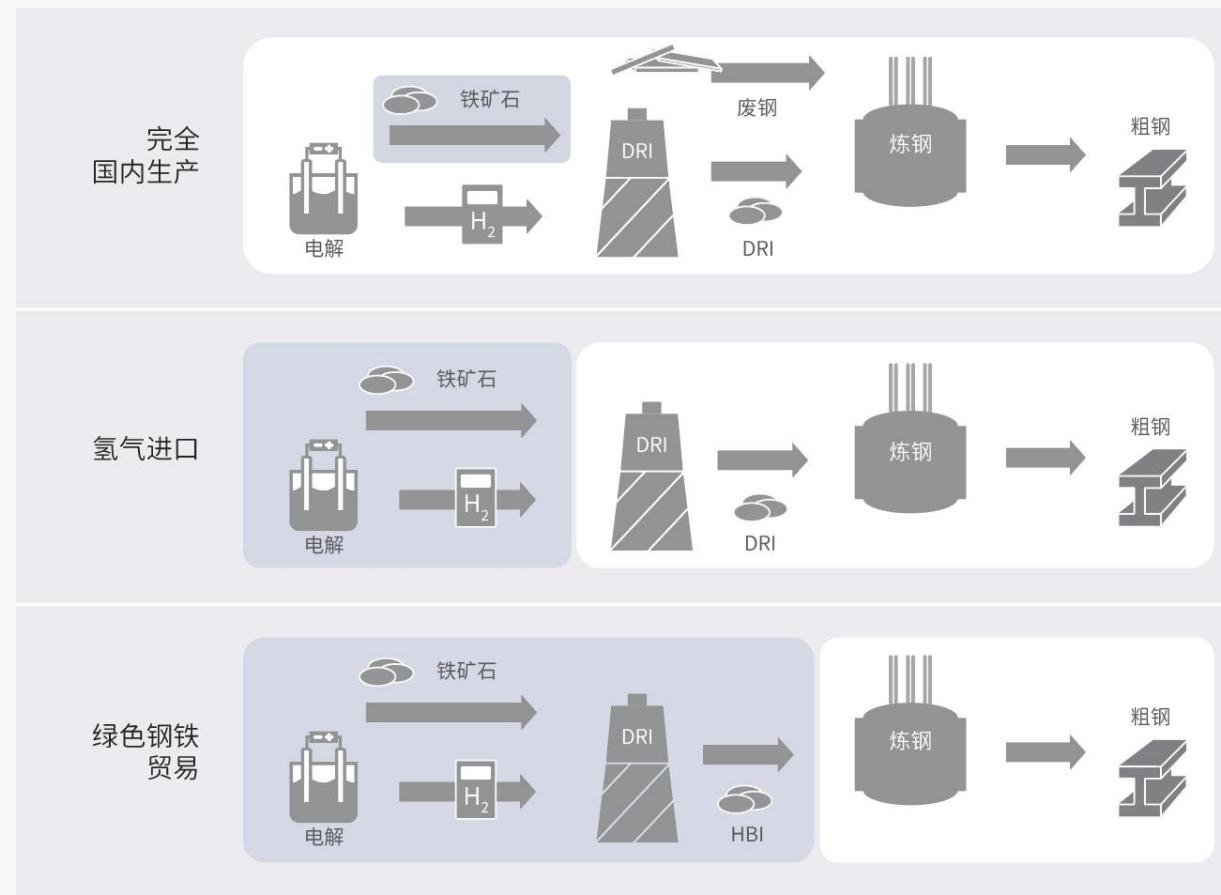
²由于其技术成熟度较低，在建模时预计熔融氧化物电解在2035年前、碱性电解在2040年前无法达到市场成熟度。

³碳捕集与封存的计算是基于理想的假设。由于厂区内部存在多个二氧化碳排放点源，在高炉-转炉工厂实现高二氧化碳捕集率在技术上和经济上都具有挑战性。请注意，上游甲烷排放（不在本分析范围内）可能会显著增加钢铁的全面碳足迹，无论是对于高炉-转炉还是配备碳捕集与封存的天然气直接还原铁。

⁴意味着达到技术成熟度9级，然后从小型商业试验进入全面市场部署。

绿色铁供应链：多元化路径

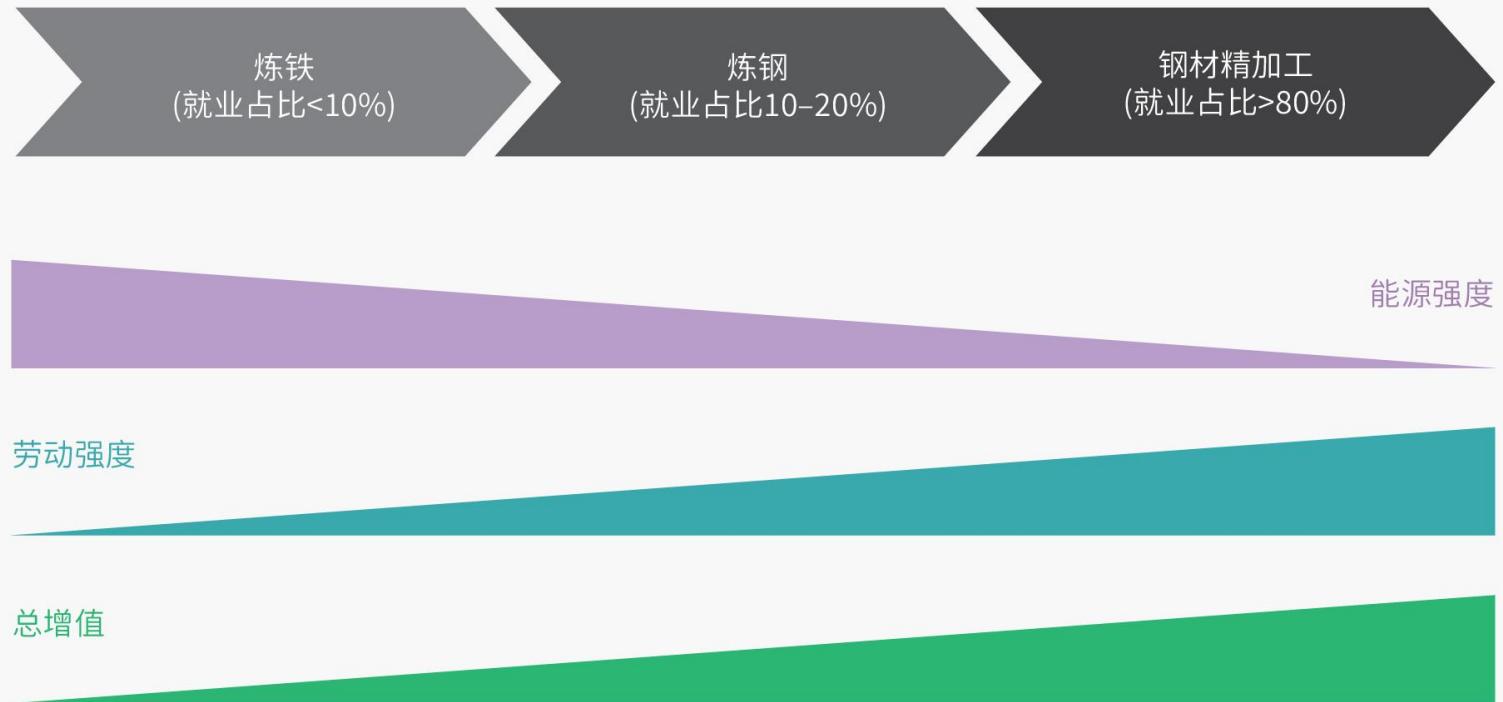
进出口国的价值链正在从铁矿石向绿色铁转变



- 通过直接还原铁生产绿色铁，将能源投入从煤炭转向清洁电力和氢气。
- 绿色铁可以热压块铁形式运输，与本土废钢资源互补，为钢企提供比传统高炉工艺更灵活的原料选择。
- 此举可降低对本土/进口氢气及相关可再生能源基础设施的需求。

钢铁行业约90%的就业岗位分布于劳动密集的炼钢及钢材精加工环节

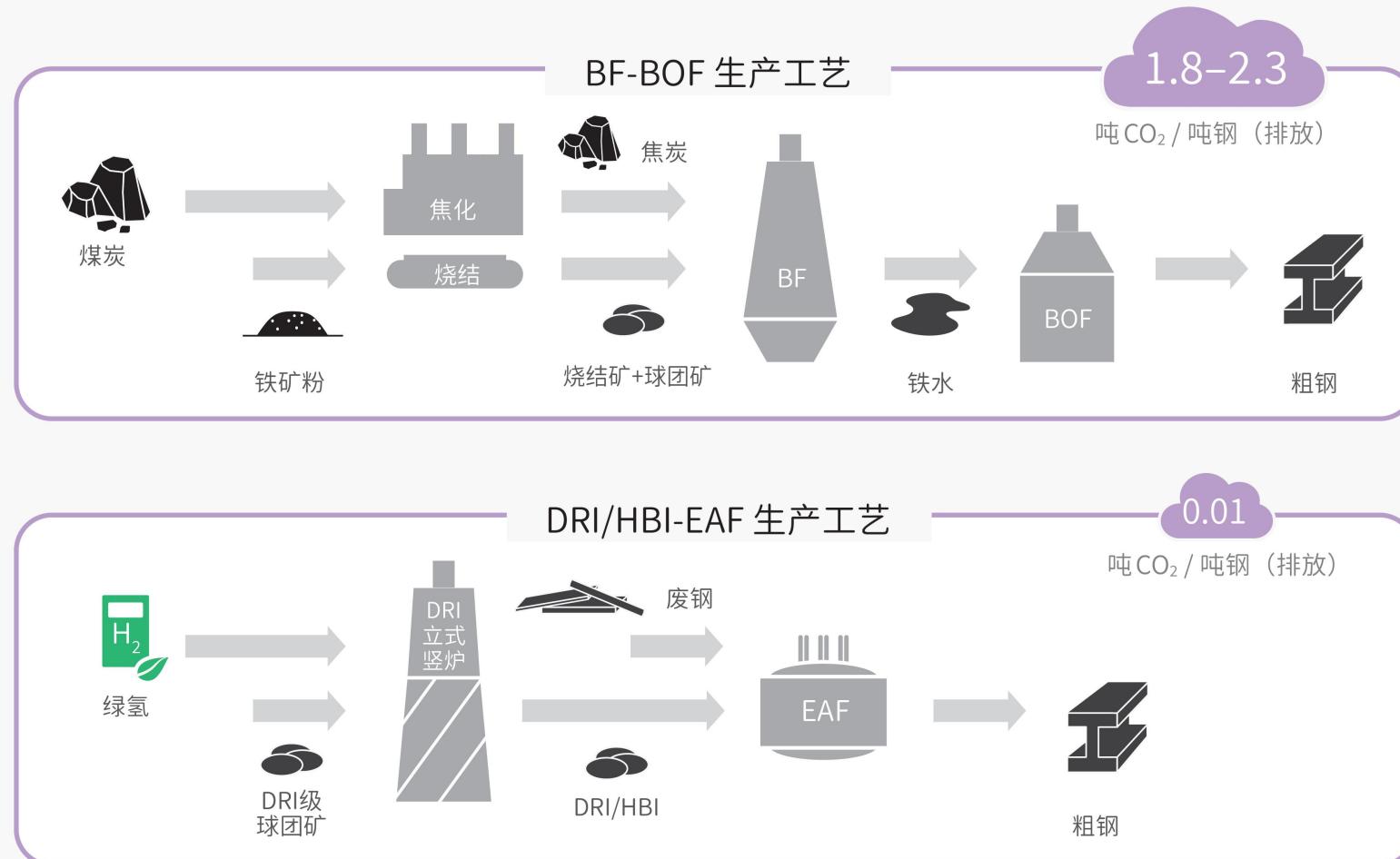
下游钢材精加工环节能耗更低且附加值更高。



5 | ¹就业数据基于 WV Stahl (2025) 《2024/2025钢铁工业统计年鉴》。

新一代炼钢技术

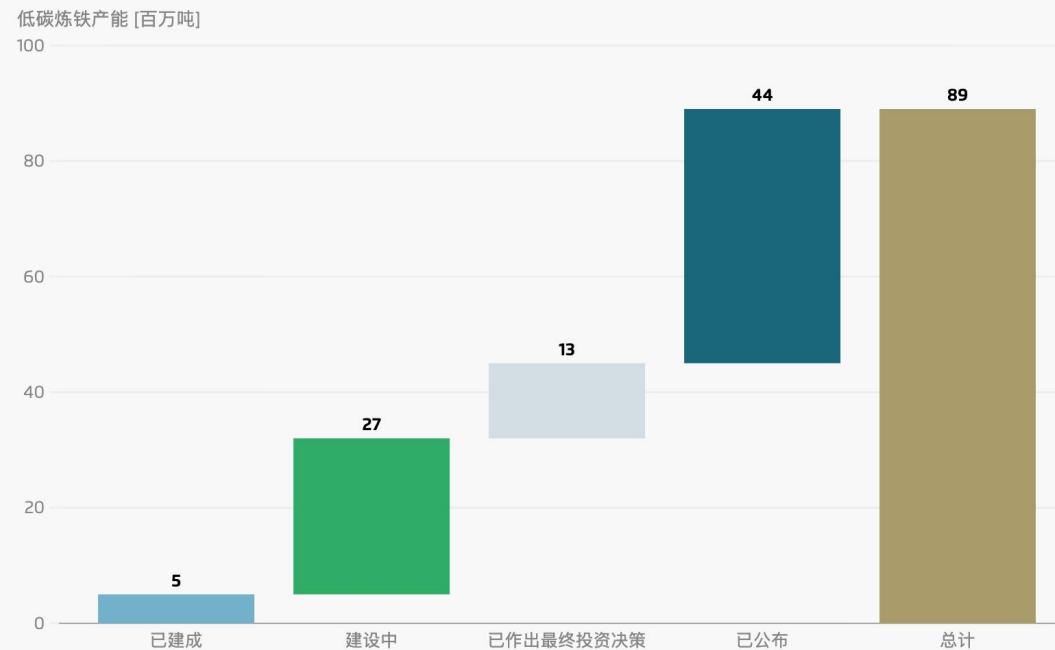
相较于燃煤高炉工艺，氢基直接还原铁/热压块铁-电弧炉路线炼钢可消除绝大部分碳排放



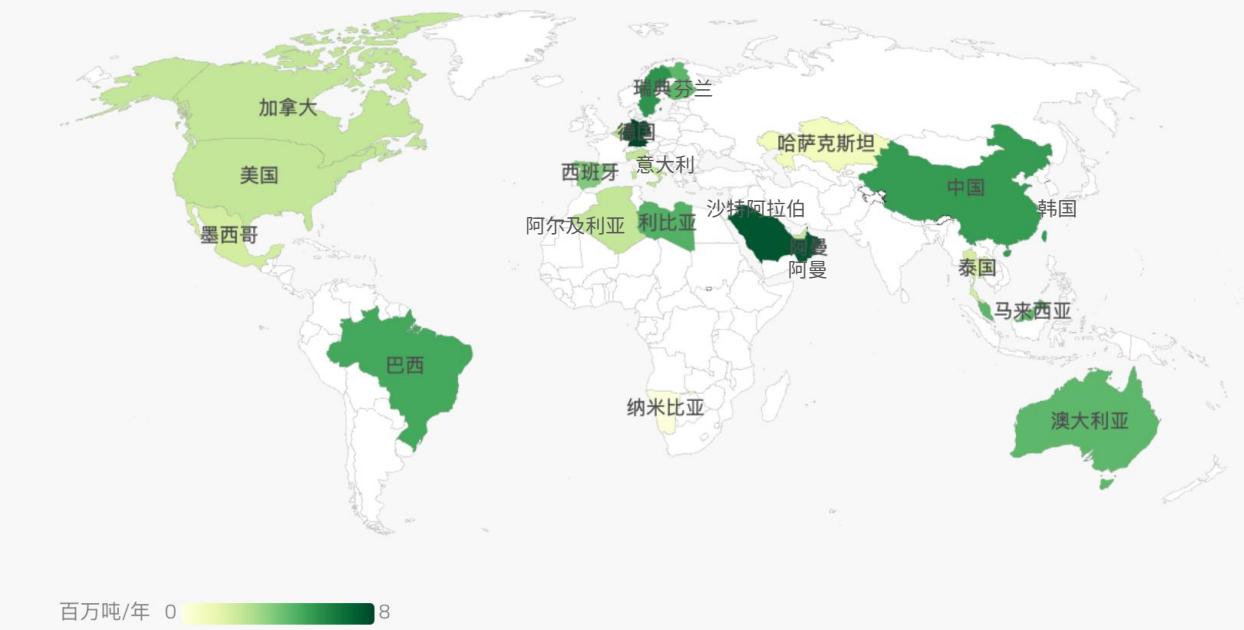
7 | ¹直接还原铁-熔炼-转炉路线（未图示）是另一可行方案，详见 Agora Industry and Wuppertal Institute (2023).

绿色铁转型势头强劲，欧盟与中东北非地区有望在2030年前引领氢基直接还原铁发展

2030年低碳钢铁项目公告项目库
(按状态分类)



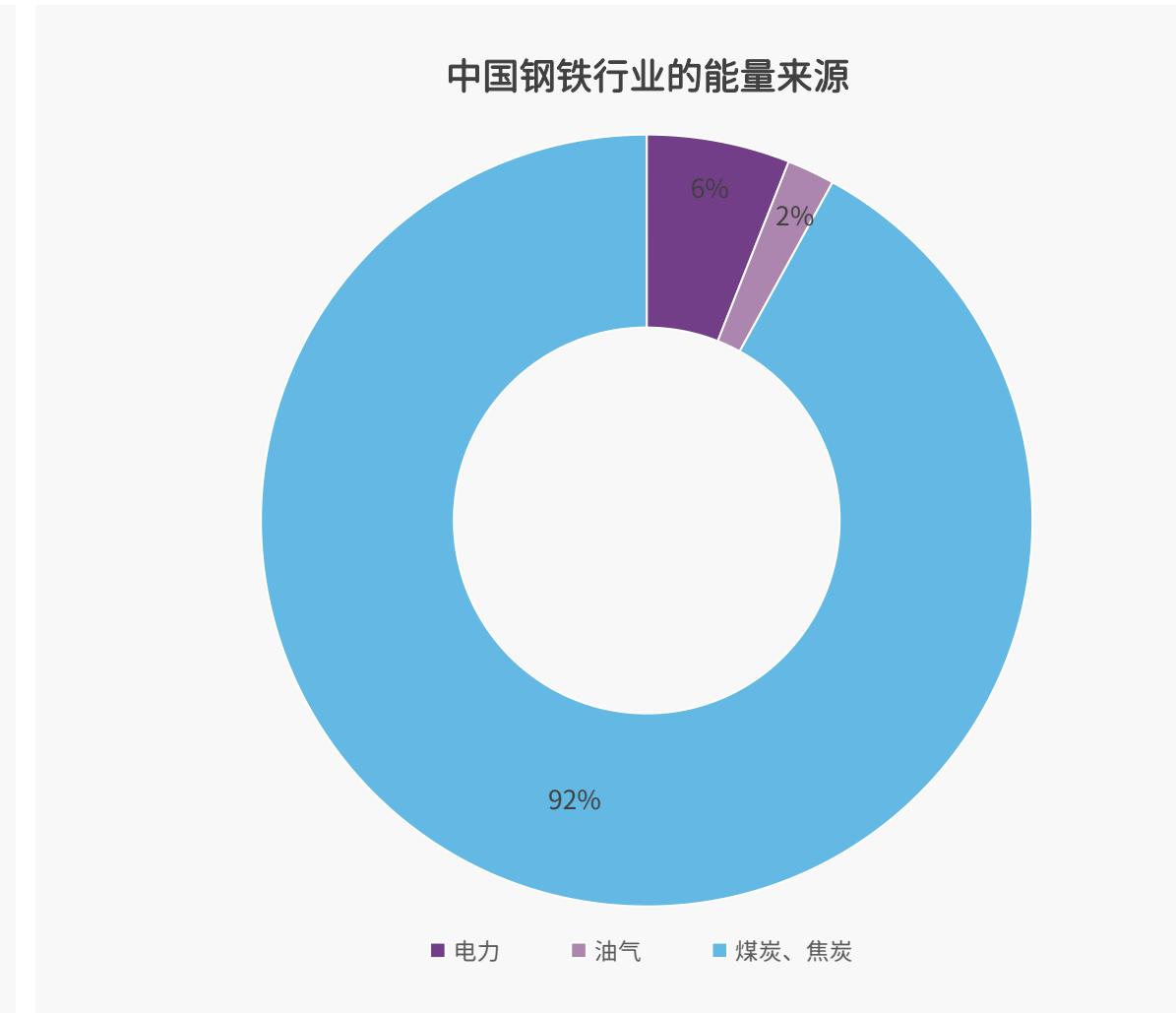
2030年低碳钢铁项目公告项目
(按国别分类)



绿色铁贸易机遇： 中国案例

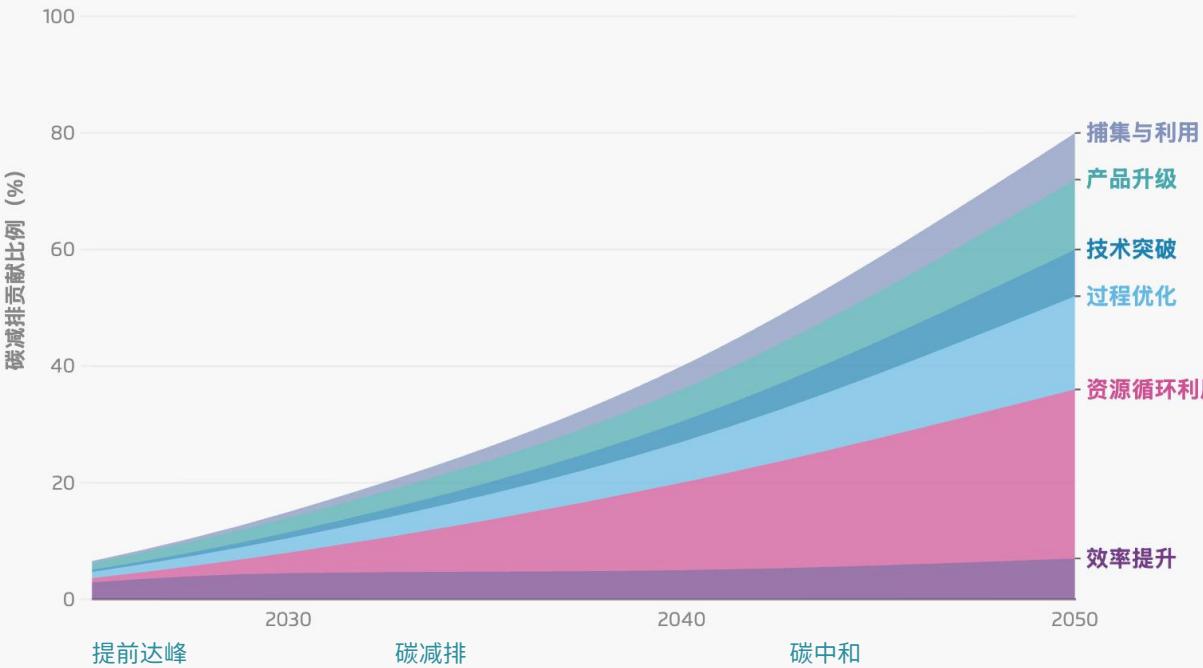
作为全球最大钢铁生产国，中国的脱碳行动对自身气候目标及全球减排至关重要

- 2024年粗钢产量10亿吨，占全球53.5%
- 碳排放占比约17%
- 高炉-转炉：90%；电弧炉：10%
- 高炉产能利用率85%¹，加剧行业长期过剩问题
- 中国自2024年8月起已暂停审批新建钢铁厂，显示出对搁置资产问题的认识，其国企亦从2025年3月起自愿减产。
- 2024年出口1.11亿吨，据报道同比增长22%，原因是国内需求下降。



除了推动节能改造和提高废钢使用率的政策外，中国正试点多项低碳技术

中国钢铁协会制定的钢铁行业脱碳路线图

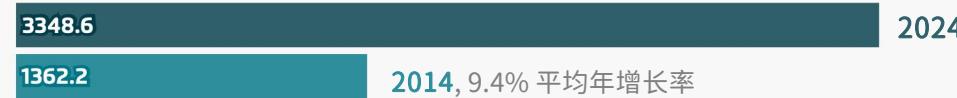


在中国示范的低碳炼钢技术

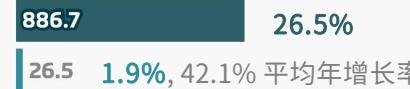
技术	企业	进展
氢基直接还原铁	宝武、河钢、鞍钢	已投产
富氢碳循环高炉	宝武、河钢、建龙	宝武项目投产； 建龙项目预计2026年9月完工
碳捕集、利用与封存	包钢联合钢铁	2022年起建设

中国的可再生电力扩张正在提升氢基直接还原铁的成本竞争力

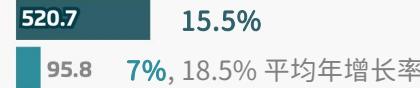
2024年与2014年装机容量对比[吉瓦]



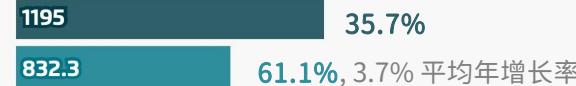
光伏发电



风力发电



煤电



2024年与2014年发电量对比[太瓦时]



光伏发电



风力发电

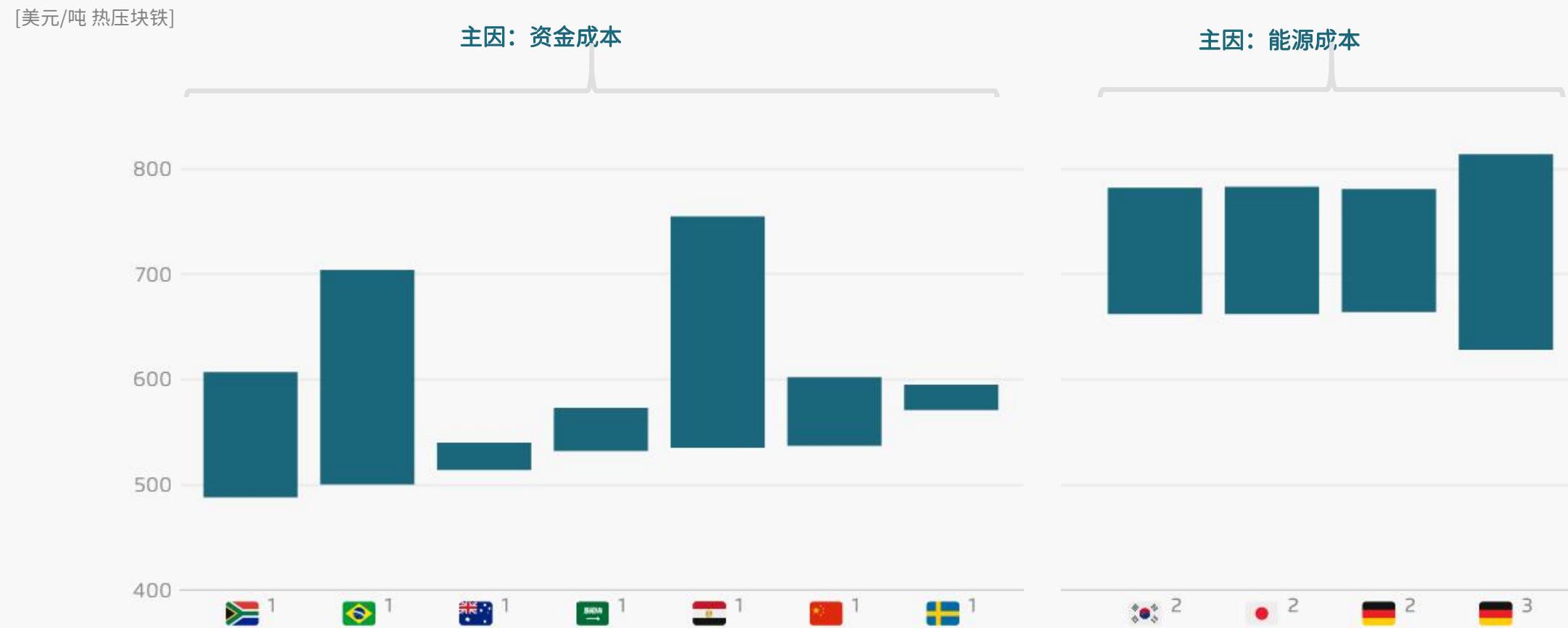


煤电



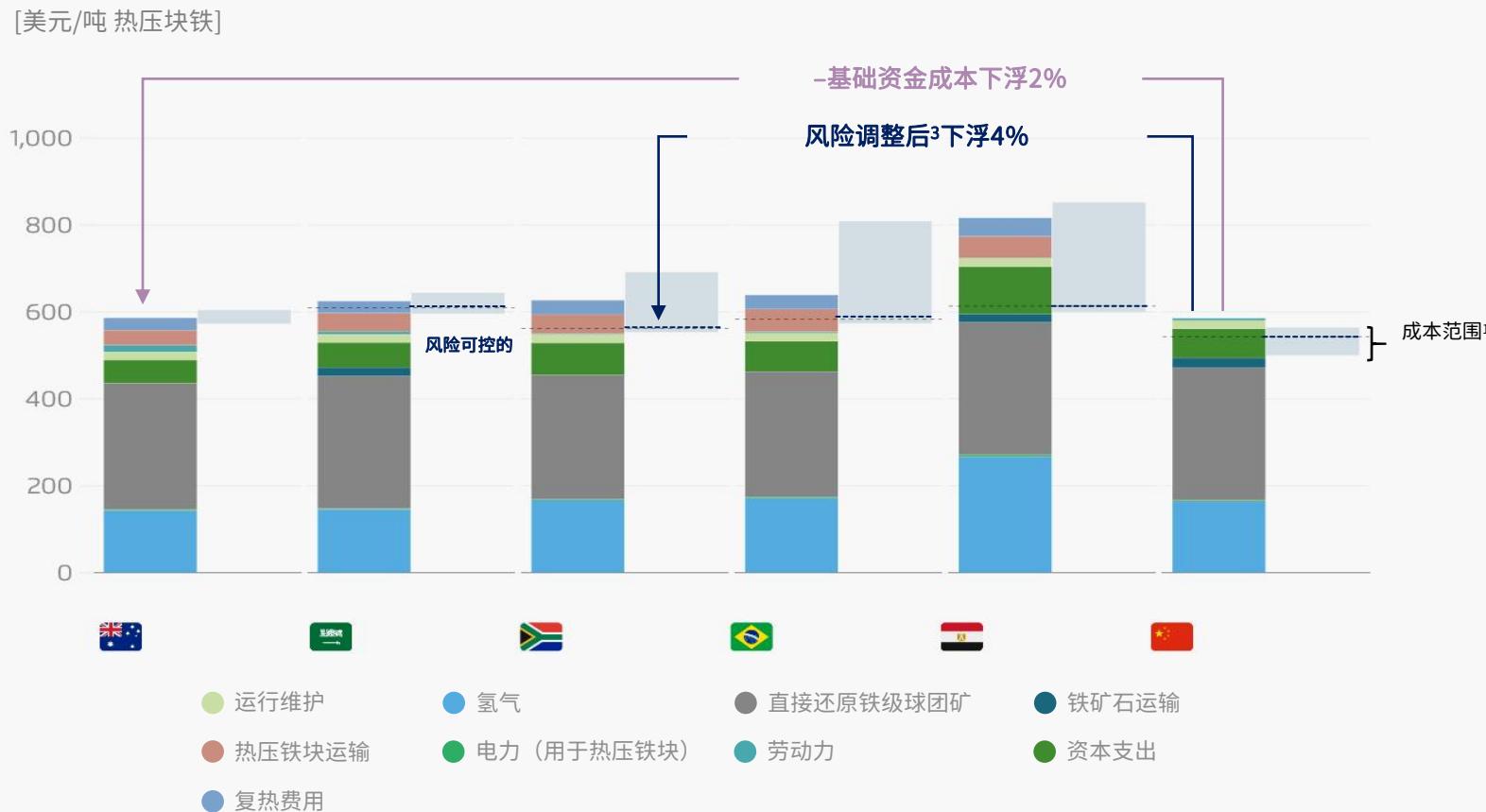
绿色热压块铁生产成本主要受出口国资金成本和进口国氢能成本影响

2040年热压块铁生产成本区间



与其他可再生能源丰富地区的微小成本差异，加上大规模可再生能源、较低的劳动力成本和具有竞争力的工业生产，使中国在短期内成为潜在的绿色铁出口国

2040年热压块铁生产与进口²成本（中位情景）

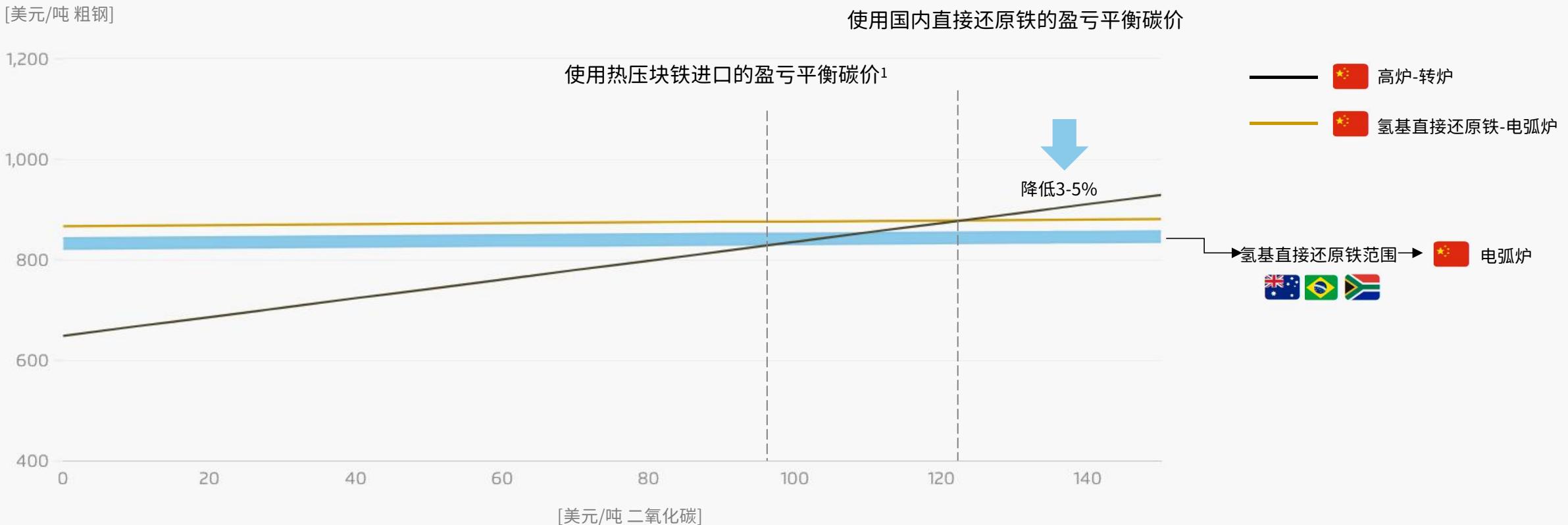


- 许多出口国的项目将需要支持性的风险降低⁴措施才能得以开发。
- 随着全球绿色铁市场的发展，获得具有成本竞争力的热压块铁进口将使钢铁生产更具成本效益。

高品位铁矿石短缺可能限制国内绿色铁生产，使2040年南方地区进口更具竞争力

使用进口（风险降低后*）和国内热压块铁/直接还原铁的2040年粗钢生产成本。进口热压块铁有望降低3-5%钢铁生产成本。

[美元/吨 粗钢]



中国政策建议

关键参与者必须齐心协力，创造实现氢基直接还原铁项目所需的有利环境

- 国家政府与监管机构
- 多边组织与平台（世界银行、联合国机构、气候俱乐部等）
- 智库与研究人员
- 认证机构（标准、监测、报告与核查）
- 地方政府
- 工会组织
- 环保与社区非政府组织



1) 国内产业政策： 建立市场信心并加速本土准备

1. 培育示范市场以推动绿色铁的商业案例

- 利用绿色政府采购以及对终端使用部门（如汽车、建筑和机械）的激励措施
- 制定明确的绿色含量标准并与国际认证接轨
- 利用龙头企业采购力刺激早期需求，增强市场信任

2. 支持国内标杆项目

- 为首批项目及关键基础设施（如直接还原铁物流和氢气存储）提供资金和税收激励
- 建立国家计划以降低早期投资风险，参照氢能银行或H2Global模式
- 加强碳定价并逐步取消免费配额，为绿色铁创造公平的竞争环境

2) 国际合作： 通过贸易驱动绿色供应链投资

1. 构建战略伙伴关系

- 建立政府间的战略伙伴关系（例如欧盟-南非清洁贸易与投资伙伴关系）
- 利用统一的绿色产品标准、贸易协议和CBAM来协调能源、工业和气候政策
- 加强与关键供应商的合作，以保障高品质铁矿与平价绿色铁矿石供应，支持中国钢铁行业的竞争力

2. 建立承购机制和长期的供应安全

- 参与国际需求侧平台和采购联盟，汇总早期需求
- 将绿色铁纳入国际市场创造者机制（例如H2Global）以发展跨境承购协议
- 授予市场准入并考虑对绿色铁进口的激励措施，将中国定位为全球关键承购国

3. 为绿色铁项目和价值链提供融资支持

- 通过公共银行和多边机构部署风险降低工具和混合融资工具以降低资本成本

4. 制定全球标准并支持技术转让

- 通过双边和多边平台协调绿色铁、氢气和碳核算的标准
- 促进技术合作和本地能力建设，以加速清洁工业解决方案的全球推广

附录

缩写列表

AEL: 碱性电解

BF: 高炉

BOF: 转炉

Capex: 资本支出

CBAM: 碳边境调节机制

CCS: 碳捕集与封存

DRI: 直接还原铁

EAF: 电弧炉

Fe: 铁

FLH: 满负荷运行小时数

GHG: 温室气体

H₂: 氢气

HBI: 热压块铁

MOE: 熔融氧化物电解

NZE-scrap-EAF: 净零情景下的废钢电弧炉工艺

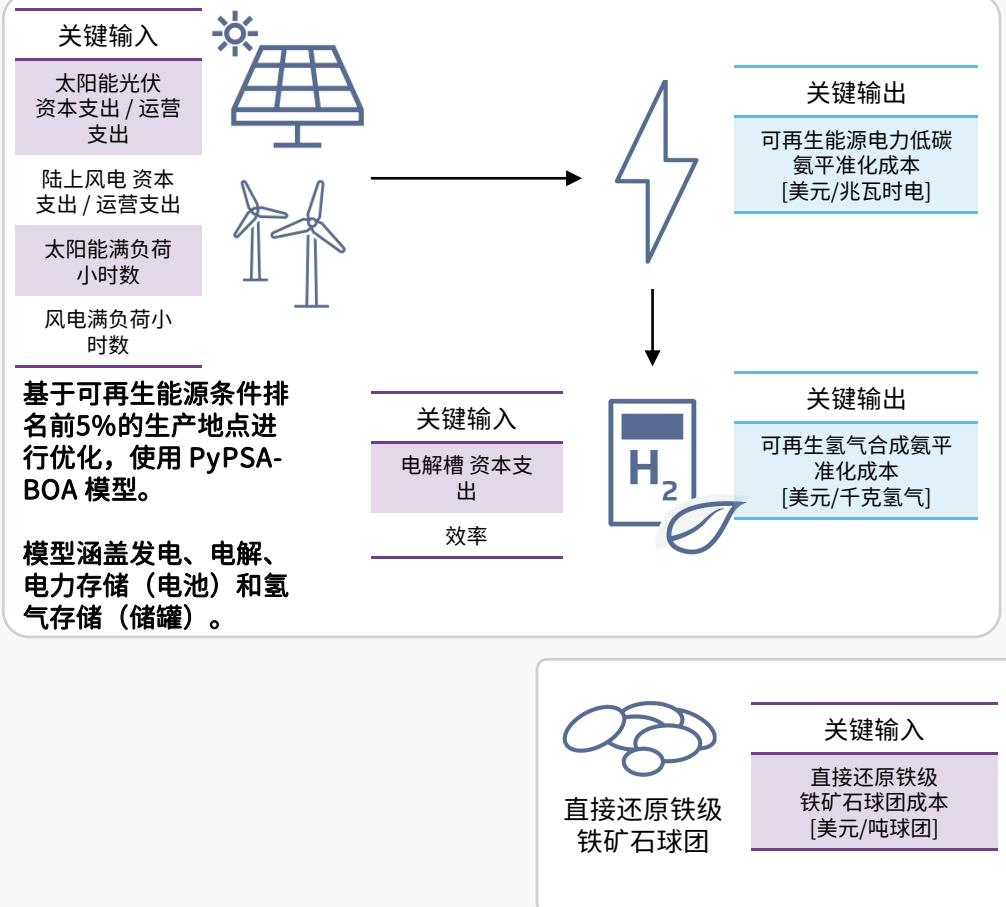
Opex: 运营支出

TRL: 技术成熟度等级

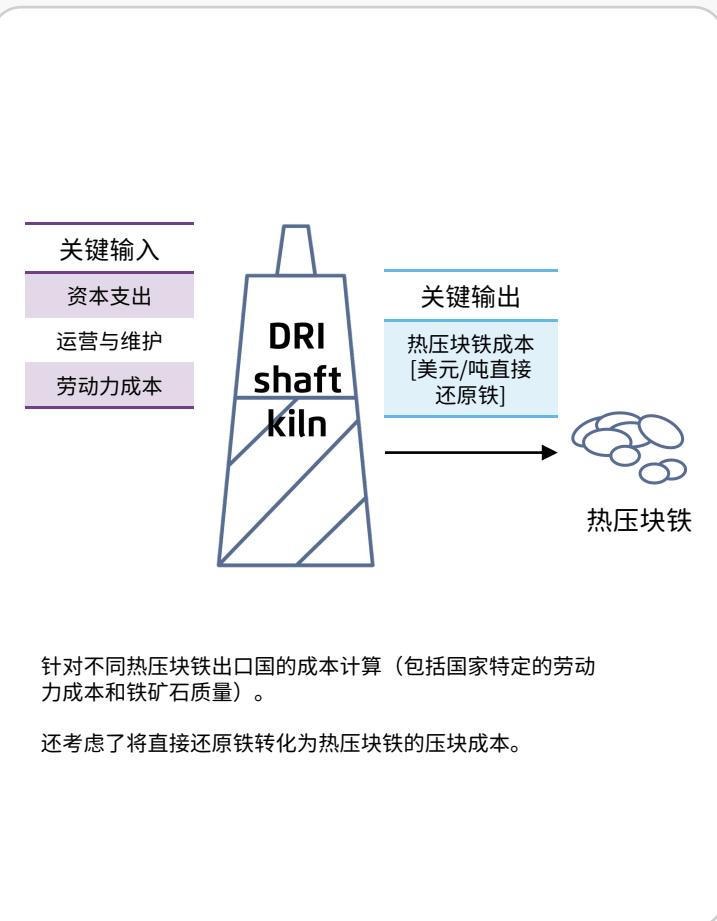
WACC: 加权平均资本成本

热压块铁生产成本 – 计算方法

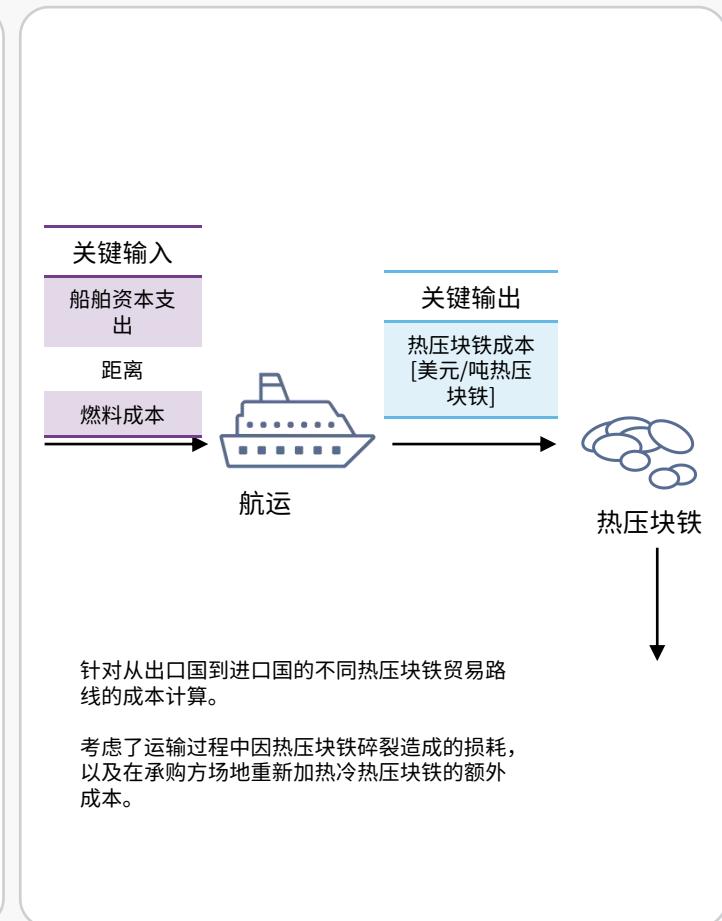
PTX商业机会分析工具¹



出口国



进口国



附录 - 关键假设

总体数值

参数	数值	参考	注释
摊销年限(年)	20	自行假设	-
产能利用率(%)	90	自行假设	72% 用于使用冷热压块铁的电弧炉 ¹
直接还原级铁球团(美元2024 / 吨)	207	^{1, 2}	针对没有直接还原级铁矿石的国家的价格。拥有直接还原级铁矿石的国家可以以更低的成本生产球团。
直接还原铁工厂	资本支出(美元2024 / 吨 直接还原铁 每年)	633	² 近期 公告值
	固定运营支出 (% 资本支出 每年)	3	^{2, 4} -
	电力消耗 (千瓦时/吨直接还原铁)	93	^{2, 3} 包括直接还原铁压块
	氢气消耗 (千克氢气/吨直接还原铁)	69	^{2, 4} 包括氢气预热
电弧炉工厂	资本支出 (美元2024/吨粗钢每年)	468	^{2,} 近期 公告值
	固定运营支出 (% 资本支出 每年)	3	^{2, 4} -
	电力消耗 (千瓦时/吨热压块铁)	651	^{2, 4, 5} 包括重新加热冷热压块铁 (150千瓦时/吨热压块铁)

23 | 注释: ¹ 电弧炉的容量因子经过调整, 以考虑使用冷热压块铁相比热热压块铁由于出钢-出钢时间更长而导致生产率较低。

附录 - 关键假设

总体数值

参数	数值	参考	注释
高炉-转炉工厂	资本支出 (美元2024/吨粗钢 每年)	326	<u>10</u>
	固定运营支出 (% 资本支出 每年)	3	<u>10</u>
	焦煤 (美元2024 /吨)	257	<u>2</u>
碱性电解槽	资本支出 (美元2024 /电力千瓦)	657	<u>8</u>
	固定运营支出 (美元2024 /电力千瓦-年)	13	<u>8</u>
	效率	71.5%	<u>8</u>

附录 – 关键假设

分国别数值

参数	案例	澳大利亚	巴西	中国	埃及	南非	沙特阿拉伯	德国*	德国**	日本	韩国	参考
贴现率*** (%)	高	4.3	14.6	7.2	14.3	10.8	5.1	4.3	4.3	5.3	4.9	<u>6,7</u>
	中(默认)	4.3	7.7	7.2	14.3	8.35	5.1	4.3	4.3	5.3	4.9	<u>6</u>
	低	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	<u>6</u>
陆上风电资本支出 (美元2024 /千瓦)	高	1176	910	941	1269	868	1482	1531	-	-	-	<u>8</u>
	中(默认)	1037	802	829	1119	765	1307	1624	-	-	-	<u>8</u>
	低	977	756	782	792	721	1232	1456	-	-	-	<u>8</u>
太阳能光伏资本支出 (美元2024 /千瓦)	高	698	564	483	628	303	977	1042	-	-	-	<u>8</u>
	中(默认)	528	426	365	475	389	357	434	-	-	-	<u>8</u>
	低	411	332	284	370	515	278	505	-	-	-	<u>8</u>

25 | *德国的氢气管道基于在突尼斯（高案例）、西班牙（中案例）和丹麦（低案例）生产的氢气。**德国的电网电力；***国家特定的股权风险溢价和政府债券收益率被用作平准化成本计算中的简化方法，因为更详细的加权平均资本成本内在於每个具体项目；所有成本均指2040年技术情景。

附录 – 关键假设

分国别数值

参数	案例	澳大利亚	巴西	中国	埃及	南非	沙特阿拉伯	德国*	德国**	日本	韩国	参考
可再生能源成本 (美元2024/兆瓦时)	高	37	64	31	77	70	26	105	105	105	105	<u>8,9</u>
	中 (默认)	32	38	31	56	29	21	90	90	90	90	<u>8,9</u>
	低	29	27	21	23	21	16	70	70	70	70	<u>8,9</u>
可再生氢气成本 (美元2024/千克)	高	2.3	4.0	2.6	4.3	4.5	2.4	4.6	5.16	5.16	5.16	<u>8,9</u>
	中 (默认)	2.1	2.5	2.4	3.9	2.5	2.1	2.9	4.47	4.47	4.47	<u>8,9</u>
	低	1.9	1.9	1.9	2.0	2.0	1.8	2.8	3.54	3.54	3.54	<u>8,9</u>

鸣谢

Agora Industry
Agora Think Tanks gGmbH
Anna-Louisa-Karsch-Straße 2, D-10178
Berlin
+49 (0) 30 7001435-000
www.agora-industrie.de
info@agora-industrie.de

项目负责人

Camilla Oliveira, camilla.oliveira@agora-industrie.de

技术协调

Leandro Janke, Darlene D' Mello (all Agora Industry); Niklas Wagner (previously Agora Industry)

政策协调

Ysanne Choksey, Julian Somers, Karina Marzano (all Agora Industry); Zaffar Hussain (previously Agora Industry)

贡献者

Julia Metz (Agora Industry); Wenbo Zhao (Agora China); Isadora Wang (previously Agora China); Kathy Reimann (previously Agora Industry)

标题图片来源: istock/peterschreiber.media