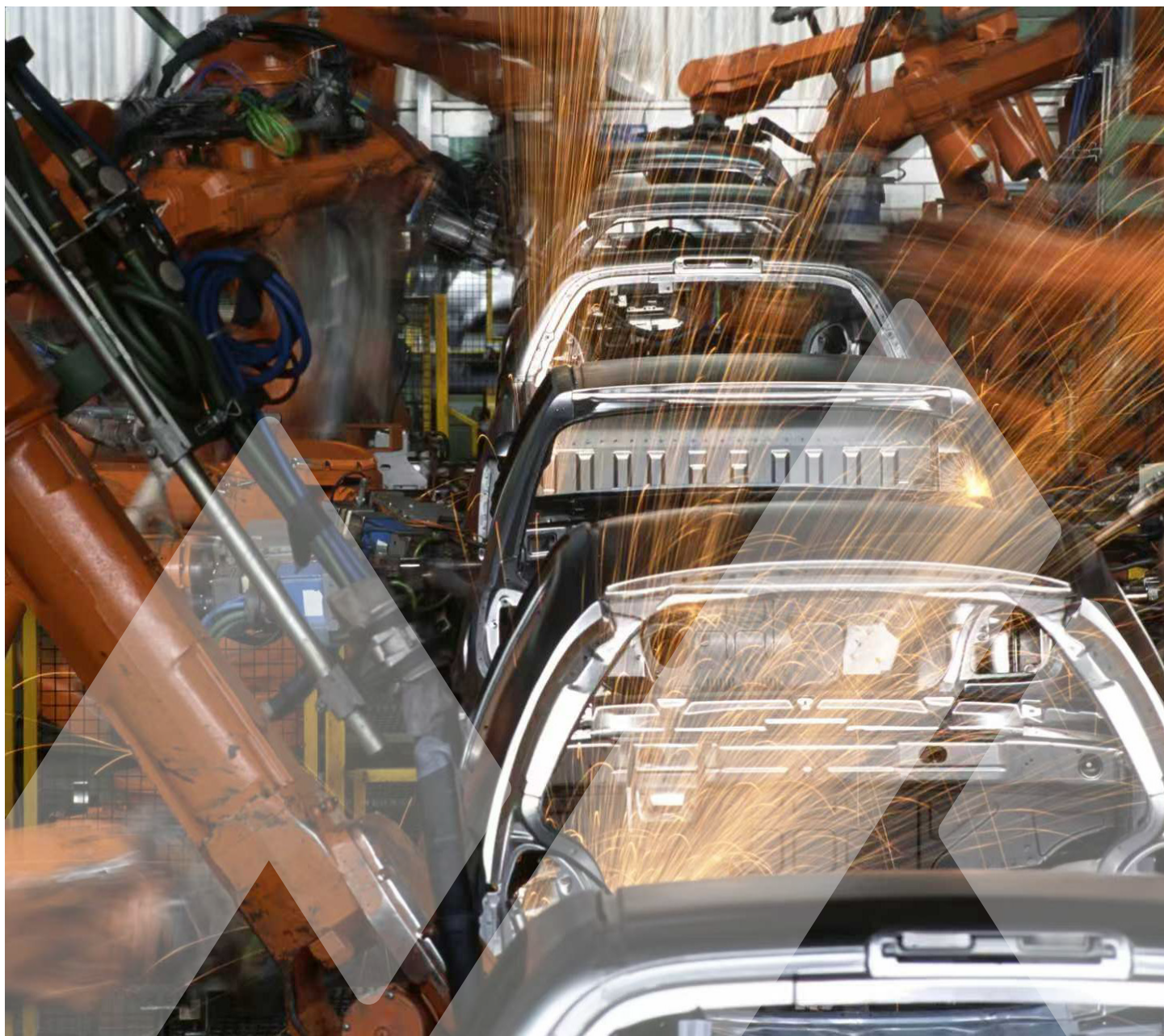


需求侧驱动钢铁低碳转型： 以汽车行业采购实践为例





关于落基山研究所（RMI）

落基山研究所 (Rocky Mountain Institute, RMI) 成立于 1982 年，是一家立足市场、独立运作的专业智库，致力于通过经济可行的市场化解决方案推动全球能源转型，构建繁荣、韧性、清洁的低碳未来。落基山研究所与企业、政策制定者、科研机构、创业者及跨领域伙伴广泛协作，推动战略性投资，以扩大清洁能源解决方案的规模化部署、减少能源浪费、并提升可负担清洁能源的可及性，在保障能源安全和经济效益的同时，携手共创可持续的美好愿景。目前，落基山研究所的研究和实践已覆盖全球 60 余个国家和地区。



中汽碳（北京）数字技术中心有限公司

关于中汽碳（北京）数字技术中心有限公司

中汽碳（北京）数字技术中心有限公司（以下简称“中汽碳”）隶属于中国汽车技术研究中心有限公司（国务院国资委直属中央企业），是从事推动绿色金融和碳数字技术等新型经济要素与产业高质量发展有效融合的专业机构。

中汽碳立足于“产融新视角，碳索新路径，释放新动能”的创新理念，将碳足迹数字技术有机融合于价值链、信息链、产业链、创新链、供应链及管理链，深耕汽车产业能碳管理研究 10 余年，聚焦碳足迹核算、能碳管理政策、标准、行业技术、数字化解决方案等研究，构建了中国本土化的汽车碳管理数据库、核算工具、方法学与数字化平台，上线了全国首个汽车产业链碳公示平台，实现在售汽车碳足迹全面公示。公司主要参与行业能碳数字化管理、碳足迹核算技术研究、碳排放政策及管理体系搭建、行业绿色节能及碳排放政策制定支撑、绿色节能课题研究和相关评价、绿色金融、碳资产开发等工作，曾为一汽、广汽研究院、东风、上汽、长安等 60 余家企业开展能碳管理咨询与碳足迹核算服务。

作者与鸣谢

作者

RMI 中汽碳（北京）数字技术中心有限公司

郭凯迪 付丽

李抒苾 孙铎

李婷 武佳丽

李威 张红杰

薛雨军 张逸娟

作者按姓名拼音顺序排列。

除非另有说明，所有作者均来自落基山研究所。

联系方式

李抒苾, sli@rmi.org

李威, wli@rmi.org

引用建议

落基山研究所, 中汽碳（北京）数字技术中心有限公司, 需求侧驱动钢铁低碳转型：以汽车行业采购实践为例, 2025
<https://rmi.org.cn/insights/low-carbon-steel-procurement-report/>

RMI 重视合作, 旨在通过分享知识和见解来加速能源转型。因此, 我们允许感兴趣的各方通过知识共享
CC BY-SA 4.0 许可参考、分享和引用我们的工作。 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

除特别说明, 本报告中所有图片均来自iStock。

鸣谢

本报告作者特别感谢以下来自企业和研究机构的专家对报告撰写提供的洞见与建议。

朱 峰 沃尔沃汽车技术（上海）有限公司高级主管工程师
吴贵根 奇瑞汽车股份有限公司材料研究院高级经理兼院长助理
李文丽 东风汽车有限公司东风日产乘用车公司环境技术专家
孟大海 上海蔚来汽车有限公司产品环保和可持续总监
王明月 宝山钢铁股份有限公司环境与资源研究研究员
李梦龙 河钢集团有限公司

特别感谢汇丰气候解决方案伙伴计划对本报告的支持。

本报告所述内容不代表以上专家及其所在机构观点。

目录

1.需求侧低碳趋势推动钢铁行业转型	5
1.1. 钢铁行业转型中的需求侧角色	5
1.2. 钢铁与汽车联动降碳趋势凸显	6
1.3. 推动低碳钢采购的挑战	9
2.低碳钢的核算及认证标准	11
2.1. 国际低碳排放钢标准对比分析	11
2.2. 低碳钢评价标准互认的挑战	16
3.低碳钢采购的经济性分析	17
3.1. 吨钢成本：碳效分级与对应的成本变动	17
3.2. 采购机制：长期采购与需求聚合	20
4.汽车制造商绿色采购案例与模式分享	23
4.1. 绿色低碳采购的考量因素与评价机制	23
4.2. 汽车采购低碳钢案例	26
5.行动建议	28
参考文献	30

1. 需求侧低碳趋势推动钢铁行业转型

1.1. 钢铁行业转型中的需求侧角色

工业是我国国民经济的支柱产业，同时也是高能耗和高排放行业。工业部门是我国仅次于电力行业的最大碳排放领域，而钢铁行业在工业中的碳排放量最高，约占全国的 15%¹，是推进碳达峰、碳中和目标的重点行业。同时，钢铁产品作为被使用最为广泛的工业原材料之一，其低碳转型对于下游行业的气候目标实现也至关重要。

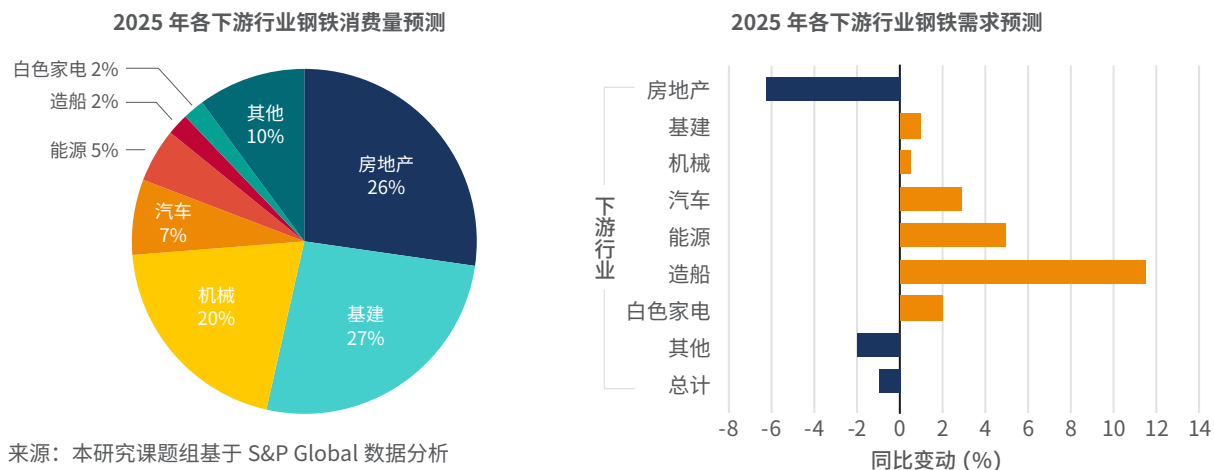
在推动工业转型中，需求侧行动扮演着关键角色。随着全球对环保和可持续发展的重视不断增强，各行业面临着愈加严格的碳排放标准和日渐上涨的碳排放成本。在这一背景下，调动产业链上下游参与者协同挖掘全产业链的降碳潜力，已在上下游行业间达成广泛共识。对下游需求侧行业而言，对产业链、产品全生命周期降碳能力的把控，逐渐成为必备的核心竞争力²。对于钢材下游企业，通过采购低碳钢材，企业有望显著降低自身产品的整体碳足迹。同时，这种需求可推动钢铁行业加快研发和应用低碳生产技术，从而实现碳减排目标。

钢铁下游企业已开始释放对低碳钢材的需求，推动了低碳钢市场的发展。目前，来自欧洲、美国、中国、日本、韩国的多家钢铁企业已在低碳钢开发上展开激烈竞争。欧洲企业如 Stegira（原 H₂ Green Steel）、SSAB 和 Salzgitter 正在测试氢能炼钢技术，中国的宝钢股份在 2023 年开始供应低碳钢，并计划在 2026 年通过氢基竖炉-电炉技术将车辆用钢的碳排放强度降低 50%-80%，其后还将发布减碳 95% 的“绿钢”。河钢也在开展 120 万吨氢冶金示范工程，引领低碳冶金技术。中日韩三国的钢铁企业在脱碳方面具备巨大潜力，其粗钢产量占全球的 60% 以上，占全球汽车板市场供应量的 23.8%。汽车产业对低碳钢材的需求，结合政府政策引导和投资支持，是推动钢铁行业脱碳的关键动力，体现了需求侧低碳采购在推动钢铁行业转型中的重要性。

在钢铁的主要下游应用领域中，如图表 1 所示，汽车、建筑、家电、机械、能源等行业均为重要的需求来源。³ 其中，汽车行业因其产品结构中钢材占比较高、碳数据收集及碳足迹核算体系相对成熟、国际市场低碳压力大等因素，正逐步成为低碳采购的先行者。一方面，整车制造企业面临来自全球供应链的减排要求和碳信息披露压力，迫切需要通过采购低碳材料来降低整车生命周期排放；另一方面，汽车行业在绿色采购机制、碳足迹核算方法和供应链协同方面已积累一定实践经验，具备率先推动低碳钢采购的基础条件。因此，汽车行业不仅是低碳钢应用的关键场景，也为其他行业提供了可借鉴的路径和策略。

本报告在后续章节中，以汽车行业为切入点，深入分析低碳钢采购在需求侧的机遇、挑战与实践路径。然而，报告中的分析框架、测算方法和策略建议并不局限于汽车行业本身，也可与其他钢铁下游行业——如家电、机械、建筑、能源等——提供有益参考，支持其不同发展阶段下制定符合自身特征的低碳采购策略。

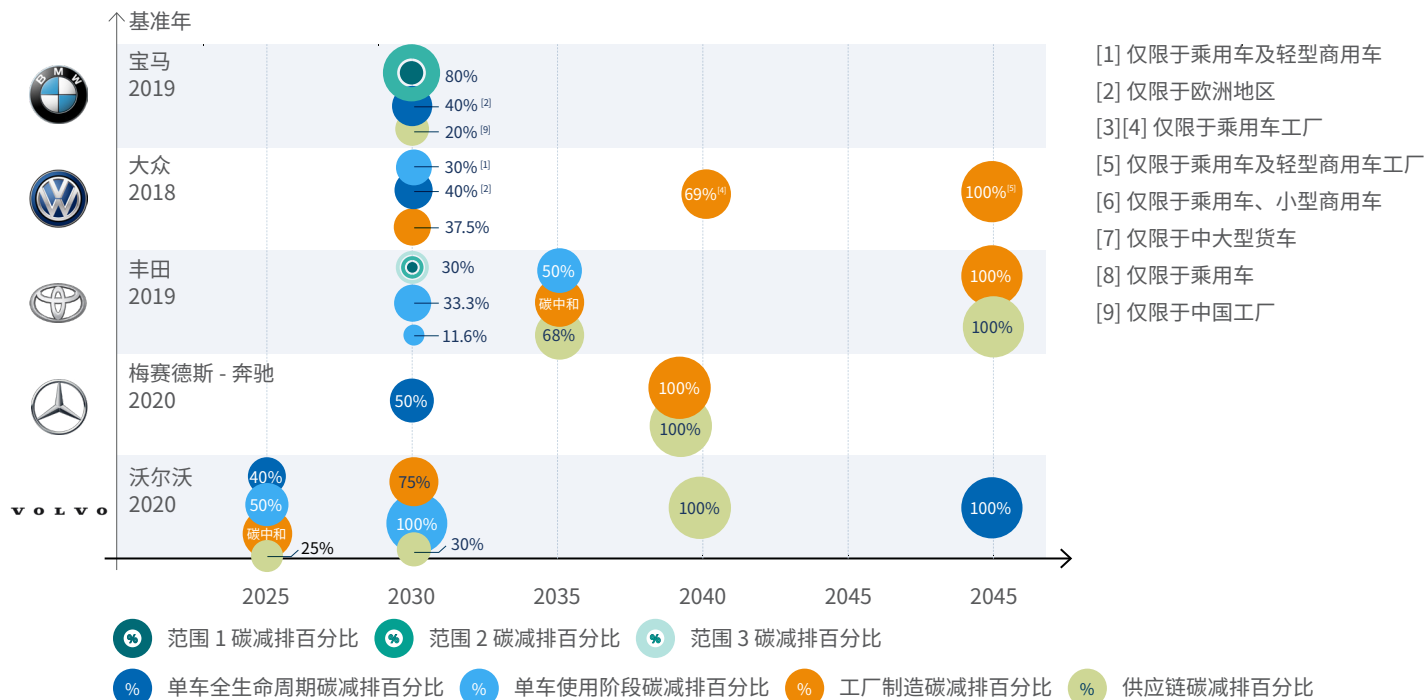
图表 1 中国钢铁下游需求及增长预测



1.2. 钢铁与汽车联动降碳趋势凸显

在全球碳中和的大趋势下，国内外各大汽车制造商纷纷设定了有雄心的脱碳目标，部分企业还制定了详尽的减碳时间表。如图表 2 所示，梅赛德斯奔驰目标在 2039 年实现净零排放。宝马集团⁴计划最迟 2050 年实现整个价值链的碳中和，要求到 2030 年平均单车全生命周期碳排放相较于 2019 年降低 40%。沃尔沃汽车⁵计划到 2040 年实现温室气体净零排放，要求 2025 年供应链排放相较于 2018 年减 25%。与此同时，国内汽车制造商也在积极响应国家的“碳达峰”和“碳中和”战略，纷纷做出减碳承诺。国内汽车制造商的时间节点通常集中在 2030 年前实现碳达峰，2050 年前实现碳中和。例如，上汽集团⁶力争在 2025 年前实现高质量碳达峰，同时，支持所属企业制定各自的“双碳”战略目标。长城汽车⁷计划到 2045 年全面实现碳中和。长安汽车⁸计划到 2027 年实现碳达峰，2045 年实现碳中和。

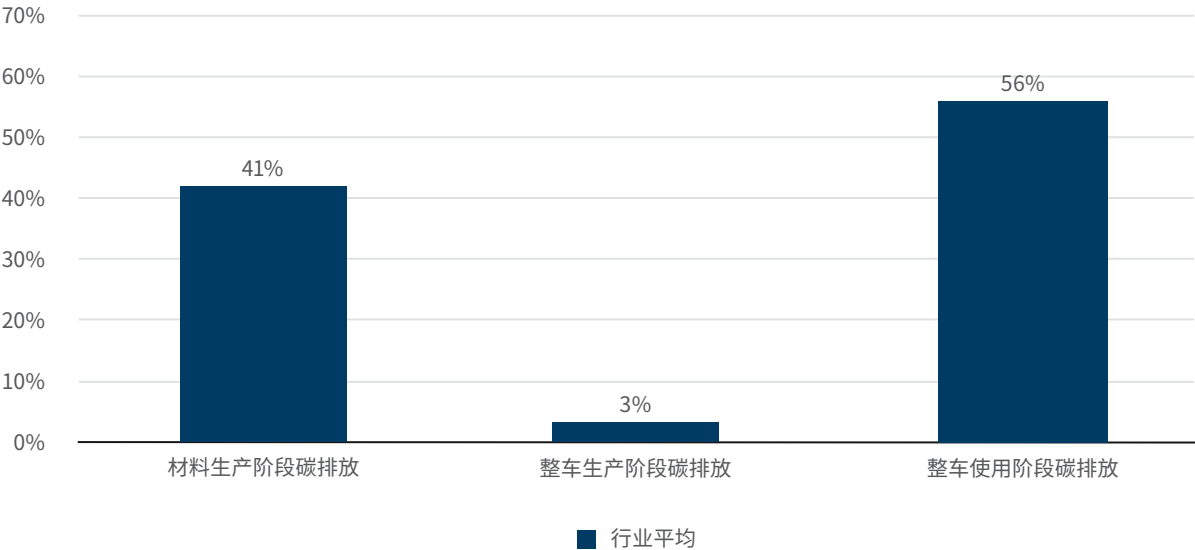
图表 2 跨国汽车制造商碳减排时间节点



在车企自身碳中和承诺之外，国际低碳要求也对汽车产业的低碳发展方向提出了新要求。2024 年，中国汽车出口量达到约 585.9 万辆ⁱ，连续第二年稳居全球最大汽车出口国。上汽、奇瑞、吉利、比亚迪、长城等汽车制造商都在进军欧盟市场，力求抓住出口贸易机遇获得增长。从欧盟推出的碳边境调节机制（CBAM）、电池法案，到英国的 CBAM、航运碳减排措施，以及 G7 成员国如美国、加拿大和日本相继考虑推出的“碳边境税”，出口到海外的汽车产品将面临额外的碳排放成本负担。频繁更新的绿色贸易政策，要求出海企业不断提高碳管理能力以应对挑战，例如量化核算企业组织层面与产品层面的碳排放，或将碳管理延展至上下游，构建可持续价值链。

随着汽车从传统燃油车向纯电动汽车转型，使用阶段的碳排放显著减少，而上游原材料（如钢铁、铝、塑料和电池等）的低碳化将成为汽车产品进一步实现深度脱碳的关键。从汽车产品碳足迹的构成来看，汽车生命周期的系统边界可以分为两个部分：一是车辆周期，包括材料生产、整车制造、维修保养；二是燃料周期，涵盖燃料的生产与运输（Well to Pump）以及燃料的使用（Pump to Wheels）等各个阶段ⁱⁱ（见图表 3）。随车型电动化程度加深，材料生产阶段的碳排放占比逐渐增大⁹。插电混乘用车、纯电动乘用车的车辆周期中，材料生产碳排放占比均超过 70%（见图表 4）。此外，随着电网清洁能源比例的提高，汽车使用阶段碳排放将逐步降低，未来供应链碳排放占比将会更高。预计 2040 年以后，供应链碳排放将占汽车生命周期碳排放比例超过 85%。可以说，没有上游原材料行业的协同低碳转型，下游车企也将难以实现其碳中和目标。

图表 3 汽车全生命周期各阶段碳排放占比

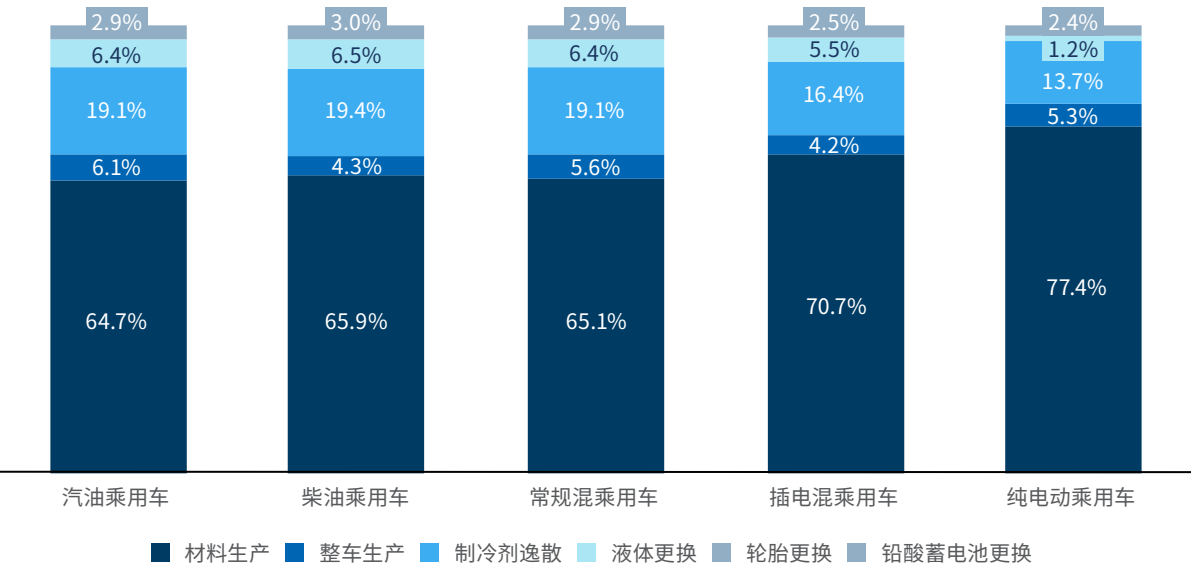


来源：本研究课题组

ⁱ 中国汽车工业协会整理的海关总署数据

ⁱⁱ 汽车产品碳足迹分为车辆周期和燃料周期，车辆周期指的是车辆生产、维修和生命终点活动产生的碳排放。燃料周期指的是消耗的燃料 / 能源生产和使用所产生的碳排放。车辆周期不包含全部的使用阶段碳排放（需要剔除燃料周期碳排放）

图表 4 不同燃料类型乘用车的车辆周期碳排放占比



来源：《中国汽车低碳行动计划 2024》，本研究课题组分析

主流汽车制造商正积极利用其链主地位，推动上游供应商协同减碳。如图表 5 所示，供应链减排成为企业共同关注的领域，针对供应链或范围三制定了具体的减排目标。这些减排行动主要体现在激励和筛选供应商，与低碳供应商建立稳固的合作关系。虽然部分国内汽车制造商尚未进行供应链或范围三减排目标的披露，但通过碳足迹核算与管理、长期合作方案、供应链减排能力建设、以及供应商激励与筛选等措施，逐步构建起可持续的供应链管理体系。例如，作为新势力汽车制造商的蔚来、小鹏和理想在供应链碳减排方面已有明晰的行动路线。

图表 5 汽车制造商供应链降碳减排行动盘点

公司名称	供应链/范围三减碳目标	供应链减碳措施
宝马集团	2030 年将供应链中的碳排放减少 20%	与供应商合作使用绿色能源和可再生材料，推动循环经济
梅赛德斯奔驰	2039 年实现全价值链的碳中和，包括供应链的减排	2019 年起设置供应商可持续奖
沃尔沃汽车	2025 年将供应链中的碳排放减少 25%，到 2040 年实现气候中和	激励措施，交流评比活动，举办年度的可持续活动
保时捷	2030 年实现全生命周期的碳中和，包括供应链减排	使用绿色电力，增加可再生和可回收材料的使用，优化供应链效率
长城汽车	仅披露总目标，未公开供应链减碳目标	持续开展产品碳足迹追溯
		依托上游供应链低碳化转型，降低整车碳足迹
长安汽车	仅披露总目标，未公开供应链减碳目标	推动绿色采购，优化生产流程，减少能源消耗
吉利汽车	2025 年单车全链路碳排放减少 25%	建设可持续供应链体系和 ESG 工作组，实现 100% 循环包装
		依托吉碳云平台，开展供应链碳足迹核算工作和减排方案规划

碳减排目标制定 碳足迹核算与管理 长期合作方案 供应商减排能力建设 供应商激励与筛选

公司名称	供应链/范围三减碳目标	供应链减碳措施
比亚迪	仅披露总目标，未公开供应链减碳目标	在供应链和原材料端，坚持绿色采购，建立健全“绿色供应商、绿色原材料”绿色采购体系，规范采购中各项环境管理
蔚来汽车	已加入科学碳目标（SBTi），未公开供应链减碳目标	积极推进产品全生命周期的碳足迹管理
		已向各层级供应链合作伙伴提出低碳开发要求，联动价值链上下游合作伙伴，打造绿色低碳智能电动汽车产品
		联合供应链企业进行整车、电驱动系统和电池等的碳足迹核算和认证
小鹏汽车	未公开供应链减碳目标	对旗下的所有整车产品开展碳足迹评估，涵盖原材料、生产过程、使用过程等全生命周期
		具有良好的可持续供应链管理体系，以培训教育等方式，促进供应商可持续发展
理想汽车	未公开供应链减碳目标	在供应链中推行公司绿色采购指南，加强供应商碳足迹管理
		面向供应商开展产品碳排放合作交流和培训
		持续开展产品碳足迹评估与核算，覆盖原材料采购、整车生产及产品使用等全生命周期的各个阶段
		与低碳技术领先的原材料企业合作，同时优先选择可再生能源使用比例更高的上游供应商，确保用料供应的可持续性

■ 碳减排目标制定 ■ 碳足迹核算与管理 ■ 长期合作方案 ■ 供应商减排能力建设 ■ 供应商激励与筛选

来源：本研究课题组根据公开资料整理

1.3. 推动低碳钢采购的挑战

虽然已有部分下游行业，如汽车、建筑、造船等开始试点采购并应用低碳钢，但要推动低碳钢的规模化采购及应用，目前仍存在两大主要挑战：

一是标准不统一，包括低碳钢术语不统一、核算方法不一致、低碳钢认证标准难衔接等挑战。目前，全球范围内低碳钢的标准呈现碎片化和多元化，尚未形成统一或互认的标准体系。据统计，全球有几十个机构或企业在研究低碳排放钢标准，包括第三方倡议组织、钢铁企业、金融机构和下游用户等，已经形成 150 多项钢铁可持续领域的标准和倡议¹⁰，各倡议下的核算方法也不尽相同。同时“绿色钢”、“低碳排放钢”、“近零排放钢”等术语在不同倡议中的使用不一致，且缺乏统一的定义。这种术语、核算方法和低碳标准的不一致性给钢铁行业及下游应用企业带来了诸多困扰¹¹，为识别低碳钢铁产品、制定低碳采购标准、明确低碳采购流程等带来了挑战。

二是经济性欠佳的挑战。许多钢铁企业由于缺乏明确的利润回报和发展前景，难以获得足够的动力投入低碳技术的研发和应用，导致低碳钢产能不足。对于需求侧而言，尽管已经认识到了绿色低碳经济是世界经济发展的未来趋势，但短期经济压力使其难以专注于长期的绿色发展。尤其是中国的大多数中小企业面临着巨大的生存压力，“绿”和“金”的矛盾尤为突出。碳减排投入往往被视为压缩利润空间的负担，企业更倾向于关注短期经济收益，而忽视长期的环境效益。尽管低碳钢铁产品在长期内能降低成本，但其较高的初始成本使其在短期内难以被广泛接受。终端用户在选择钢铁材料时，也通常更倾向于低成本选项，而非环境友好的产品。因此，如何科学量化绿色低碳产品的长期经济效益，仍是亟待解决的难题。

上述双重挑战导致了“需求端采购意愿不足 - 供给端产能受限 - 市场生态难以形成”的困局。要实现破局，首先，亟需协调国际标准化组织、行业协会等主体，构建互认的低碳钢标准框架；其次，应当建立全生命周期成本核算体系，通过碳定价机制显性化环境成本，帮助下游企业准确评估绿色低碳钢铁的长期经济价值；同时，可创新设计“绿色低碳钢铁采购联盟”等机制，整合各行业、各环节的采购需求，形成规模效应，通过长期协议平抑绿色溢价；此外，需要完善转型金融支持体系，开发与低碳技改周期相匹配的金融产品，采用贴息贷款、碳减排挂钩债券等方式降低钢企融资成本。只有通过标准体系、市场机制、金融工具等多维联动，才能有效打通绿色低碳钢铁供需链条，推动产业低碳转型的可持续发展。

为推动上述机制落地并形成系统性解决方案，后续章节将围绕标准体系、经济性分析与行业实践等展开深入分析。第二章将聚焦于低碳排放钢的标准体系建设，梳理国内外主要标准的核心要素与适用边界，探讨构建互认机制的可行路径；第三章将从技术路径与碳效等级出发，系统评估不同工艺组合下的吨钢成本与碳效表现，量化各等级的成本增加水平，为采购决策提供数据支撑；第四章以汽车行业为例，分析其在绿色采购方面的实践基础和未来趋势；第五章将结合全文分析，提出近期推动低碳钢采购的行动建议。

2. 低碳钢的核算及认证标准

2.1 国际低碳排放钢标准对比分析

将主流低碳钢标准进行对比，分析其异同点，对于了解低碳钢标准，寻求不同标准间的互认具有重要意义。综合考虑各标准发布机构的权威性、系统边界的完整性、核算方法学的详尽程度、低碳钢评价机制的综合性以及地域代表性，选取 ResponsibleSteel 发布的《负责任钢铁标准》（ResponsibleSteel International Production Standard Version 2.1¹²（以下简称“RS 标准”）、全球钢铁气候理事会发布的《钢铁气候标准》（The Steel Climate Standard: Framework for steel product certification and corporate Science-based emissions targets¹³，以下简称“GSCC 标准”）、德国钢铁工业协会（WV Stahl）与联邦经济事务和气候保护部（BMWK）发布的《低碳排放钢标准》（Rulebook for the classification system of the Low Emission Steel Standard¹⁴，以下简称“LESS 标准”）和中国钢铁工业协会发布的《低碳排放钢评价方法》¹⁵（以下简称“C2F 标准”）进行对比分析（见图表 6）。

综合来看，虽然四个标准在发布机构、涉及范围和适用产品方面不尽相同，但标准制定思路基本类似，即以国际主流气候目标为指引，由具有公信力的钢铁行业协会或钢铁组织牵头，具有行业影响力的大企业、或者政府部门参与背书，针对低合金成分的钢材品种制定低碳标准。

图表 6 四种典型低碳钢标准对比—基本信息

	C2F 标准	RS 标准	LESS 标准	GSCC 标准
标准名称	《低碳排放钢评价方法》	ResponsibleSteel International Production Standard Version 2.1	Rulebook for the classification system of the Low Emission Steel Standard	The Steel Climate Standard: Framework for steel product certification and corporate Science-based emissions targets
标准层级	行业级标准	国际性标准	行业级标准	国际性标准
更新时间	2024.10	2024.05	2024.04	2024.07
发布机构	中国钢铁工业协会	ResponsibleSteel	德国钢铁工业协会 (WV Stahl) 与联邦经济事务和气候保护部 (BMWK)	全球钢铁气候理事会 Global Steel Climate Council
涉及区域	中国	全球	欧盟	全球
适用产品	除不锈钢、高合金钢外的粗钢或热轧钢	除不锈钢和高合金钢外的粗钢	结构钢与钢筋; 优质钢	热轧钢 (扁平材和长材)

本研究课题组根据公开资料分析整理

在发布机构方面，RS 标准和 GSCC 标准由国际上的钢铁组织开发，LESS 标准和 C2F 标准分别由德国和中国国家层面的钢铁行业协会开发。近年来，钢铁产品层级的核算标准和低碳标准经历了诸多更新和发布，大部分由行业协会或相关机构主导，企业则多作为支持单位参与其中。

在涉及区域方面，RS 标准和 GSCC 标准作为全球性机构发布的标准，涉及全球钢铁行业，LESS 标准主要涉及欧盟地区，C2F 标准则主要涉及中国钢铁行业。虽然各个标准在全球和地区上的覆盖范围不同，但在低碳排放碳强度强度的设定上均考虑了 IEA 2050 年净零情景或 IEA “近零排放钢” 阈值。区域性标准则主要考虑了当地钢铁行业生产现状及数据、碳核算方法学要求等，例如 C2F 标准是基于中国减碳承诺、资源禀赋、产业结构、技术发展现状及趋势分析了未来钢铁产业的发展趋势及降碳趋势，结合对中国 3 亿多吨产能摸排后确定的结果。

在适用产品和评价边界方面，由于合金产品的碳排放有很大比例来自于合金生产过程，且不同合金产品碳排放差距较大，可比性较弱，因此四类标准均不适用于不锈钢和高合金钢。评价边界方面，其中 C2F 标准可用于评价粗钢或热轧钢，RS 标准仅适用于粗钢，LESS 标准选定了结构钢与钢筋、优质钢两类热轧钢，GSCC 标准则选定了扁平材和长材两类热轧钢进行评价。

在钢铁产品碳核算方法上，四个标准均给出了较为详细的说明，包括覆盖温室气体的种类、核算边界、数据要求、温室气体排放的分配和抵扣规则等（见图表 7）。但值得说明的是，在各项规则上，各个标准间都存在些许差别，这也限制了在各个标准下同一类钢铁产品碳排放结果的可比性。

图表 7 四种典型低碳钢标准对比—核算方法

	C2F 标准	RS 标准	LESS 标准	GSCC 标准
温室气体	仅考虑 CO ₂	所有温室气体	范围 1 和 2 仅考虑 CO ₂ ，范围 3 考虑所有温室气体	所有相关温室气体
排放单位	t-CO ₂ /t-cs t-CO ₂ /t-hot rolled steel	t-CO ₂ e/t-cs	t-CO ₂ e/t-hot rolled steel	t-CO ₂ e/t-hot rolled steel
核算边界	固定边界，不含上游采矿，从原材料处理至粗钢或热轧	固定边界，从采矿到粗钢	固定边界，从采矿到热轧	固定边界，从采矿到热轧，区分长材和板材
合同工具	需提供绿电使用证明，如 PPA，REC，GEC 等，允许绿电可生产基地内再分配	允许使用绿电证书、PPA、VPP 等合同工具。未提到绿电在场内的再分配要求	允许使用能源属性证书、RECs、GOs/REGOs、PPAs 等合同工具。允许绿色电力在场内的再分配	允许使用合同工具，如 RECs，PPAs，VPPA 和绿色电价等，但需单独汇报。未提到绿电在场内的再分配要求
分配抵扣	共生产品如废渣不参与温室气体排放分配；工艺气体用于 CCUS、化工固碳等不计入产品温室气体排放	副产品和中间产品的排放都分配给钢铁产品，出口中间产品可以抵扣排放	要求同一厂家内不同产品间的排放分配需基于实际情况	不允许温室气体在钢铁产品与副产品的分配，不允许共生产品排放抵扣。唯一例外是工艺废气可以使用系统扩展法抵扣
数据要求	优先级由高到低：实测值、缺省值、公开渠道来源参考值	要求表明初级数据比例	可使用初级数据，EU-ETS 数据和附录排放因子，禁止使用其他来源排放因子	优先初级数据，可使用行业数据等次级数据，需汇报初级数据比例

本研究课题组根据公开资料分析整理

- **温室气体范围：**四个标准均以“碳强度”作为“低碳钢”的核心评价指标，但在覆盖的温室气体排放范围上并不一致。RS 标准和 GSCC 标准在计算钢铁产品碳排放时涵盖所有六类温室气体，C2F 标准仅考虑 CO₂，而 LESS 标准在核算范围 1 和范围 2 排放时仅考虑 CO₂，在核算范围 3 排放时需要涵盖所有温室气体。不同温室

气体覆盖范围的选择体现了不同标准在“标准严格性”与“实施可行性”之间的权衡。例如，RS 和 GSCC 作为全球性标准，其覆盖全温室气体旨在推动全价值链减排；而中国由于钢铁生产仍以高炉 - 转炉长流程为主，由煤炭带来的排放主要是 CO₂，考虑到其他温室气体排放测量困难、数据难以获取，前期主要关注 CO₂ 排放可以降低企业合规成本，促进标准推广应用；而 LESS 标准在核算范围 1 和 2 排放时仅考虑 CO₂ 是为了与 EU ETS 接轨，在核算范围 3 排放时则希望尽可能覆盖完整的供应链排放，故纳入所有温室气体。

- 核算边界：**四个标准均采用了固定边界法，但边界的选取存在差异。在上游边界的选取上，RS 标准、LESS 标准和 GSCC 标准均从采矿环节开始，C2F 标准则不包含采矿环节，主要考虑到采矿环节的碳排放占钢材整体生命周期碳排放的不足 2%，但其生产数据的收集难度却远超其他环节。在下游边界的选取上，C2F、LESS 和 GSCC 标准均将热轧环节作为固定边界的比较基准点，而 RS 标准则选取粗钢作为比较的基准点。由于大部分钢铁产品（>95%）经过热轧工序¹⁶，这一过程直接消耗大量燃料并用于加热，因此三个标准均选取热轧作为比较基准点。而 RS 选取粗钢作为比较基准点是因为其认为截至粗钢仍可以涵盖最重要的排放过程，且可以适用于所有钢铁产品。可以说，四个标准均认可固定边界法，但出于对“标准严格性”与“实施可行性”之间不同的考量，在固定边界的选取结果上存在差异。
- 减排合同工具：**四个标准均允许使用绿证、PPA 等合同工具减排，但合同工具的核算方式、场内分配规则存在差异。其中 C2F 标准和 LESS 标准中明确提到允许使用会计方法实现绿电使用在场内的再分配，但 RS 和 GSCC 标准中未提到这一点。
- 分配及抵扣规则：**各个标准在温室气体的分配及抵扣方面的规则也存在诸多差异，核心在于炉渣的分配规则和工艺气体的抵扣规则。在炉渣的分配上，只有 LESS 标准允许使用经济分配法对炉渣进行温室气体的分配，RS 标准、C2F 标准和 GSCC 标准均不允许进行分配。在工艺气体的抵扣上，各个标准均允许，但具体认可范围存在差异，如 GSCC 标准对于工艺气体替代化石燃料使用的情况，可以通过系统扩展的方法进行抵扣，C2F 标准中工艺气体（副产煤气、废气）用于 CCUS 工艺，食品用、化工产品固定的碳及地质封存的碳可以抵扣。
- 数据要求：**四个标准均要求优先使用初级数据。对于次级数据的使用，RS 标准和 GSCC 标准要求提供初级数据比例，但 LESS 标准不允许使用除初级数据、EU-ETS 数据和标准附录数据外的其他数据。

在对低碳排放钢的评价机制方面，图表 8 给出了对比详情。综合来看，四项标准在制定核算规则和认证机制时，均基于全球已普遍认可的钢铁行业转型路径。例如各个标准均参考了 IEA 的净零排放情景，因此四项标准在底层逻辑上较为一致。但不同国际标准对低碳钢划定方法的不同、区域标准对本地钢铁行业的发展水平及特征的考量，则使得不同标准下认定的“低碳钢”难以完全满足另一标准的框架。

图表 8 四种典型低碳钢标准对比—评价机制

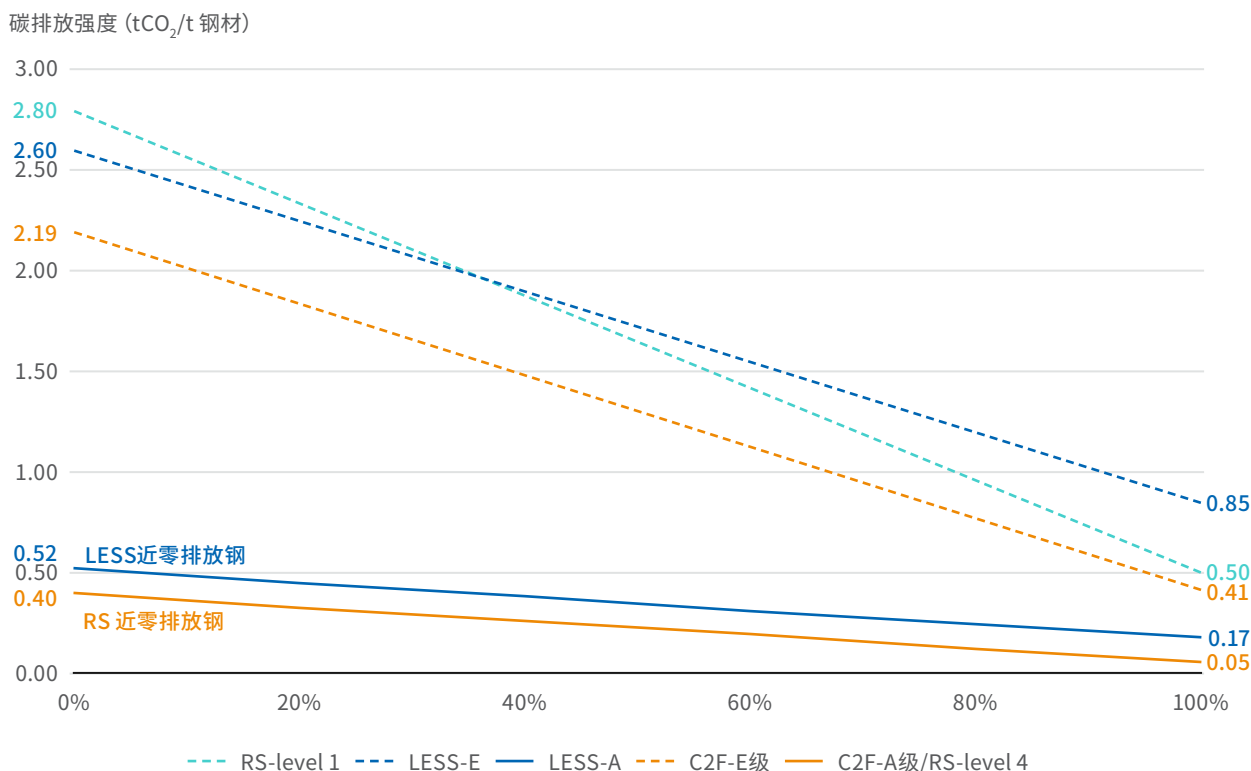
	C2F 标准	RS 标准	LESS 标准	GSCC 标准
认证范围	基地，产线，产品	基地，产品	产品	产品，基地（设施）
数据周期	年度数据，与评价目标时间差小于 3 年	年度数据	日历年数据，新建工厂最少 3 个月	年度数据
废钢比	有，根据废钢比有不同的碳排放阈值	有，根据废钢比有不同碳排放阈值	有，根据废钢比有不同的碳排放阈值标准	无，根据 1.5 度气候目标设置年度固定碳阈值
低碳分级	5 级，E-A 级排放逐渐降低	4 级，level 1-level 4 排放逐渐降低，level 4 以下为近零排放钢	5 级，E-A 级排放逐渐降低，A 级以下为近零排放钢	为扁平材和长分别设置低碳阈值，自 2025 至 2050 逐渐降低
阈值计算	$y = a - b \cdot R + \beta$	$y = b - m \cdot x$	$E = m \cdot (100 - x) + s$ $m = (p - s) / 80$ P: 20% 废钢比 s: 100% 废钢比	据 1.5 度目标碳预算计算得到，自 2022 至 2050 年逐渐降低

	C2F 标准	RS 标准	LESS 标准	GSCC 标准
滑轨方法	是	是	是	否，产品基路径
认证要求	(1) 满足企业基本要求 (2) 满足低碳阈值	(1) 符合 13 项原则 (2) 完成基地认证 (3) 满足低碳阈值	满足低碳阈值	(1) 公司设立 SBTi 目标 (2) 满足低碳阈值
低碳标签	碳效等级标签 通过低碳排放钢证书体系	有低碳基地标签和低碳产品标签，标签上区分不同级别	LESS 标签，标注废钢比、产品碳足迹及产品 GWP	可使用 GSCC 提供的统一标签模板，认证产品将在官网公示
阈值修订	证书有效期为 3 年，阈值保持稳定	每 5 年审查一次，并可能修改	要求可能随时间推移提高，但阈值稳定	产品：最多 3 年需重新认证科学碳目标；公司最多 5 年需重新认证科学碳目标
核查	独立第三方或验证小组核查	独立第三方核查	独立第三方核查	独立第三方核查

本研究课题组根据公开资料分析整理

- 认证范围：**四个标准均认证低碳钢铁产品，但 C2F 标准也认证基地和产线，RS 标准认证也认证基地且基地认证是产品认证的前提，GSCC 标准也认证设施。
- 阈值设定方法：**不同低碳钢阈值的设定受其方法论和系统边界的影响，这四类标准分别采用了滑轨和产品基路径两种方法。滑轨方法依据废钢投入比例来划分温室气体排放，建立废钢投入与碳足迹阈值的负相关关系，这一方法考虑了废钢资源的有限性，认可传统钢铁生产路径的减排努力，能够平衡钢铁行业降碳的两个关键手段——使用废钢减排和部署铁矿石炼钢技术¹⁷，得到了大多数组织的认可，RS 标准、C2F 标准和 LESS 标准主要采用了这种方法。产品基路径方法则针对不同的钢铁产品设定独立的排放限值，根据产品特性设定动态轨迹，更具灵活性，GSCC 标准就采用了这种方法，但这种方法可能导致不同产品间难以直接比较¹⁸。
- 阈值比较：**由于各标准涵盖的温室气体种类及核算边界不同，因此对不同标准的阈值直接进行比较存在较大难度，图表 9 对各项标准的阈值数值进行了示意。在数值的差异之外，不同标准对低碳钢等级划分的逻辑也不相同。RS 标准和 C2F 标准在粗钢的定量阈值上均以 IEA 方法为基础，废钢比为 0% 时，最低碳级别（RS 标准 level 4，C2F 标准 A 级）均设置为 0.4t CO₂/t 粗钢。RS 标准的 level 1 限值为 2022 年全球粗钢排放均值水平，level 2 和 level 3 限值基于 level 1 和 level 4 进行均值等分。C2F 标准的级别 E-B 是基于对全国 3 亿多吨产能摸排后确定的结果。当前电力条件下，测算产能约有 40% 能达到 E 级碳效；氢基竖炉、电炉可达到 D 级碳效；部分绿电条件下，氢基竖炉、电炉可达到 C 级碳效；而想要达到 B 级甚至是 A 级，需要更多的绿电、绿氢等能源，以及更高效低碳冶金技术，如 CCUS、氢冶金等。LESS 标准由于固定边界扩展到热轧，因此其阈值相比 RS 标准和 C2F 标准更高，且针对不同类型的钢（如优质钢或结构钢）设置了不同的阈值。GSCC 标准是考虑 1.5 度气候目标下钢铁部门年度排放碳预算，为长材和板材设置了随时间推移逐渐降低的钢铁生产排放阈值轨迹。
- 低碳钢认证要求：**在各标准下获得低碳钢认证均需要同时满足低碳阈值要求及其他额外要求。除了低碳阈值数值本身存在差异，各标准的额外要求也不完全相同，从产业到企业到供应链要求，这进一步增加了不同标准下低碳钢互认的难度。LESS 标准主要要求产品满足低碳阈值即可；C2F 标准和 GSCC 标准对生产企业碳管理承诺存在要求，如 C2F 标准需满足企业碳管理基本要求，GSCC 标准需企业加入两年内设置 SBTi 目标；而 RS 的标准最为严格，从产品层级拓展到了供应链层面，低碳钢认证需完成基地认证并满足全部 13 项供应链相关原则。
- 低碳分级：**各标准在认定低碳钢时均采用了分级的思路，但选取等级数量不完全相同。C2F 标准和 LESS 标准分为 5 级（E-A 级排放逐渐降低），RS 标准分为 4 级（level 1-level 4 排放逐渐降低），其中，RS 标准和 LESS 标准将最低碳级别均称为“近零排放钢”。

图表 9 典型低碳钢标准滑轨阈值比较



来源：本研究课题组根据公开资料分析绘制

注：由于覆盖的温室气体种类和固定边界不同，各标准阈值单位存在差异。RS 标准是 tCO₂e/t cs, C2F 标准是 tCO₂/t cs, LESS 标准是 t CO₂e/HRS。本图基于不同标准的限值直接绘制。但鉴于标准间固定边界选取、温室气体种类的差异，本图不能直接用于不同标准间的转化和对比。

总之，在低碳钢判定方法学的选择上，大部分标准，如 RS 标准、C2F 标准和 LESS 标准均选择了滑轨方法，这使得这三项标准在基本的框架上较为一致。但由于这三项标准在核算边界的选择和温室气体的覆盖范围上均有差异，因此即使同样的吨钢排放强度也难以直接在这三项标准中适用。而且三项标准的分级划定阈值也有所差异，进一步增加了“同类比较”的难度。

其次，即使解决了核算上的不一致问题，在低碳钢认证方面，三项标准也存在不一致。例如，LESS 标准主要关注吨钢碳排放情况，C2F 标准和 GSCC 标准则进一步关注企业碳管理承诺及水平，而 RS 标准则是更为全面和严格的要求，需要满足全部 13 项原则并首先完成基地认证，即拓展到供应链层面，才能进一步认证低碳钢产品。

因此，未来若要在这几个主流标准中首先推动低碳钢标准的互认，在基础逻辑框架一致的大前提下，互通数据标准、做好不同碳排放方法体系下的转化、灵活认证机制、以及充分考量各地区钢铁行业发展现状是需要着重关注的点。

2.2 低碳钢评价标准互认的挑战

目前，国际上各类评估和认证低碳排放钢的倡议、标准和框架不断涌现，但在方法、范围和排放阈值上差异显著。这种不一致给市场区分产品、企业投资决策以及政府政策实施带来诸多挑战。

首先，“低碳排放钢”缺乏普遍认可的定义，各种术语混淆使用。“绿色钢”、“低碳排放钢”等术语在不同倡议中的使用不一致，且缺乏统一的定义。这些术语可能代表不同的方法、阈值或系统边界，导致利益相关者之间产生混淆，阻碍了有效的沟通和行业发展。明确“低碳排放钢”的定义对钢铁行业意义重大，标准化定义能为识别和推广低碳排放钢提供统一基准。有助于政府制定碳定价、绿色公共采购和贸易法规等有效政策，引导投资向清洁生产技术倾斜。同时，能增强市场透明度，避免“漂绿”，让买家、投资者和监管机构做出更明智的决策。

其次，各类低碳钢评价标准存在差异，碳排放核算方法和数据要求不统一。近年来大量相关倡议出现，但仅有少数具备完善的温室气体排放核算方法，包括明确的系统边界、排放报告规则和验证机制。即使是明确碳排放核算方法的倡议，各倡议的排放核算规则也缺乏一致性，系统边界、碳信用分配和副产品核算等方面的差异，使得不同框架下钢铁产品的环境绩效难以比较。这不仅影响市场公平竞争，也不利于行业整体的低碳转型。如上文分析对比中提到，各类标准下的核算方法在覆盖的温室气体范围、核算边界和核算规则上都存在差异。另一方面，各类标准对次级数据来源的要求也不同，不同数据库中的排放因子水平相差也较大。例如，部分国外机构仍然使用较高的电网排放因子（如 $0.842\text{kg CO}_2/\text{kWh}$ ）来评估中国钢铁的碳排放，这与中国实际的电网排放因子（ $0.5366\text{kg CO}_2/\text{kWh}^{19}$ ）不符，导致中国钢铁产品在国际市场上的碳足迹被高估。

最后，各类低碳评估及认证机制难以匹配。不同低碳钢标准对应的评估框架存在差异，从仅关注碳排放阈值、到关注生产企业合规及碳管理情况再到关注全产业链负责任生产情况。因此即使同一批钢铁产品在不同评估机制中满足了同样的低碳排放阈值，但不同评估框架和范围间的差异，也会使得这批钢铁产品难以获得所有标准下的低碳钢认证。这种评估机制框架间的差异，进一步造成了不同标准间低碳钢互认的阻碍。

3. 低碳钢采购的经济性分析

3.1. 吨钢成本：碳效分级与对应的成本变动

理解不同碳效等级背后的成本结构，对于构建科学合理的绿色采购机制具有重要意义。本章节将结合不同技术路径下的吨钢成本测算结果，系统评估各碳效等级所对应的成本增加水平，旨在为低碳排放钢的采购策略提供可操作的参考依据，支持企业在“双碳”目标下的转型决策。

钢铁生产的技术路线可大致分为长流程、短流程和直接还原三大类，如图表 10。根据技术成熟度和碳减排的要求，各个技术路线可归为基准技术、过渡技术和终极技术。从技术路线的角度看，钢铁行业转型的趋势是，从碳排放较高的基准技术，逐步转为转型难度较低、可实现一定程度碳减排的过渡技术，最终达到可能仍处于发展的较早期、但可实现深度碳减排的终极技术。

图表 10 钢铁生产代表性技术路线的分类和特点

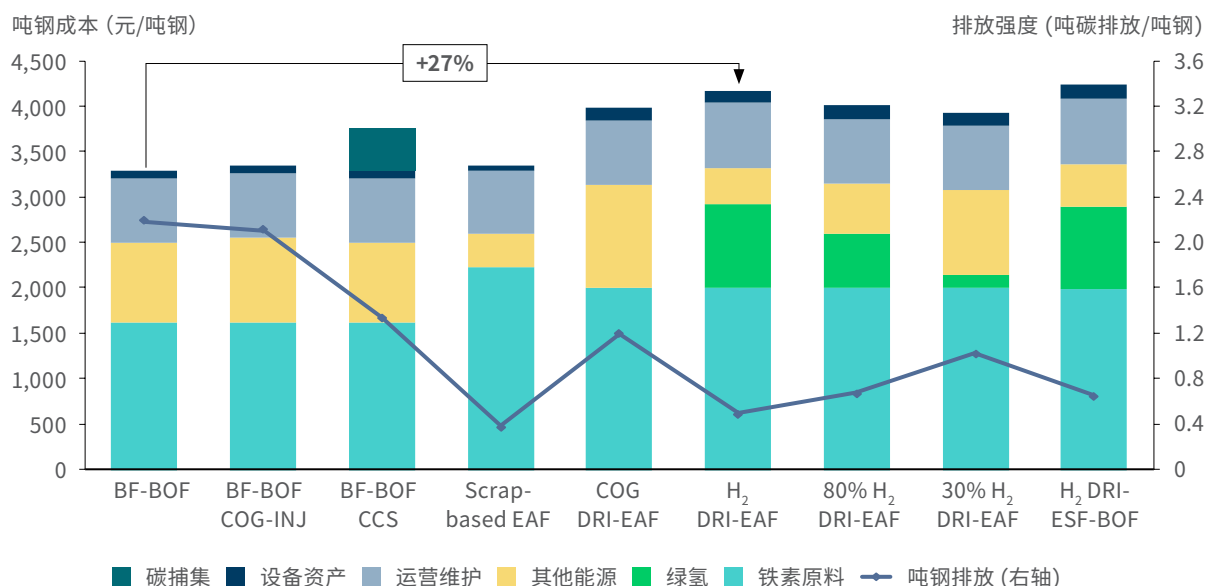
大类	名称	还原剂	主要设备	特点
长流程	BF-BOF 高炉 - 转炉	焦炭	高炉、转炉	传统路线，效率高，排放大
	BF-BOF COG-INJ 高炉喷吹焦炉煤气	焦炉煤气	高炉、转炉	高炉中配置喷吹焦炉煤气装置，替代喷吹煤和少量焦炭
	BF-BOF CCS 高炉 - 转炉配备碳捕集	焦炭	高炉、转炉、碳捕集	配置 CCS，可以捕集高炉和发电等过程的碳排放
短流程	Scrap-based EAF 全废钢电炉	无	电弧炉	以废钢为铁素原料，排放低，受到废钢资源量影响
直接还原	COG DRI-EAF 焦炉煤气直接还原 - 电炉	焦炉煤气	竖炉、电弧炉	纯绿氢 DRI 的过渡路径，利用长流程中的富氢副产焦炉煤气
	COG/H ₂ DRI-EAF 焦炉煤气混氢直接还原 - 电炉	焦炉煤气、绿氢	竖炉、电弧炉	纯绿氢 DRI 的过渡路径，在焦炉煤气中混入绿氢
	H ₂ DRI-EAF 氢直接还原 - 电炉	绿氢	竖炉、电弧炉	纯绿氢 DRI
	H ₂ DRI-ESF-BOF 氢直接还原 - 电熔分炉	绿氢	竖炉、电熔分炉、转炉	可利用品位中等的球团矿，竖炉后配置电熔分炉熔化 DRI，转炉炼钢

■ 基准技术 ■ 过渡技术 ■ 终极技术

注：技术路线大类是为了便于研究的精简分类方法，实际中各技术路线间会有交叠，如长流程中的铁水会进入短流程的电炉中。
来源：落基山研究所（RMI）

各个技术路线下钢铁生产的经济性和碳减排表现，综合影响了其在市场上的竞争力，也是需求侧进行低碳采购时的关键考虑因素。假设长流程和直接还原的铁素原料中有 20% 废钢，短流程的铁素原料是 100% 废钢，搭建项目级经济性模型，具体模型假设和过程结果可详见 RMI 报告。²⁰ 在该模型的分析框架下，各技术路线生产热轧钢的经济性和碳排放的对比如图表 11。其中，在项目连续稳定运营的情况下，使用绿氢的 H₂ DRI-EAF 的吨钢成本比长流程高 27%，碳排放强度降低近 80%。COG DRI-EAF 的吨钢成本比长流程高 21%，碳排放强度降低约 50%。

图表 11 钢铁行业不同技术路线的吨钢成本和碳排放强度



模型假设：冶金工艺中的电力来自电网，绿氢电解水的电力来自可再生能源；项目产能为 100 万吨钢 / 年，产品为热轧带钢，2026 年投产，运营周期为 20 年，利用率 90%；除了 Scrap-based EAF 采用 100% 废钢外，其他技术路线均有 20% 的废钢掺混；2026 年绿氢生产成本为 16 元 / kg，2030 年和 2035 年分别下降至 12 元 / kg 和 10 元 / kg。天然气、煤炭等大宗原料成本参考市场历史价格。

来源：落基山研究所（RMI）

上述对不同技术路线的成本与碳排放表现的比较，可进一步和产品层面的钢铁碳核算和评价方法进行结合，探讨各碳效等级所对应的成本增加，为需求侧进行低碳钢铁产品的选择和采购提供参考。以中国钢铁工业协会发布的团体标准《低碳排放钢评价方法》为例，测算各碳效等级下的吨钢成本水平，并以传统的 BF-BOF 路线下的成本作为基准，进行成本比较。ⁱⁱⁱ 该评价方法给出了滑轨机制的设计，即根据废钢比的不同，设定一条“滑动”的碳排放阈值曲线，在相同废钢比条件下，碳排放越低，碳效等级越高。本研究在测算中对各技术路线设定了一定假设条件，以增强可比性。

除全废钢短流程外，其余路径均假设废钢比为 20%，以反映当前主流工艺的原料结构。各路线的能耗水平基于行业平均值，“高能效”情景则参考政策文件中标杆与基准水平之间的差距，体现潜在的节能提升空间。在电力的使用方面，研究将“绿证”作为绿电使用的主要实现方式，这不仅符合国家能源局将绿证作为可再生能源环境属性唯一凭证的政策趋势，也为企业在现有电力结构下实现碳效跃升提供了现实路径。除明确标注绿电的情境外，其余技术路径均假设使用常规网电。

通过上述设定，本研究希望构建一个具备代表性和可操作性的分析框架，用于评估不同技术路线在实现更高碳效等级时所需承担的成本增加，为需求侧制定低碳采购目标和计划提供量化参考。需要指出的是，为实现某一碳效等级，在技术路径上的选择空间极为广泛。例如，中国钢铁工业协会在《中国钢铁工业绿色低碳发展的技术路线图》及相关工作中，梳理了包括能效提升、原料替代、氢冶金、碳捕集利用与封存（CCUS）等在内的六大类低碳技术

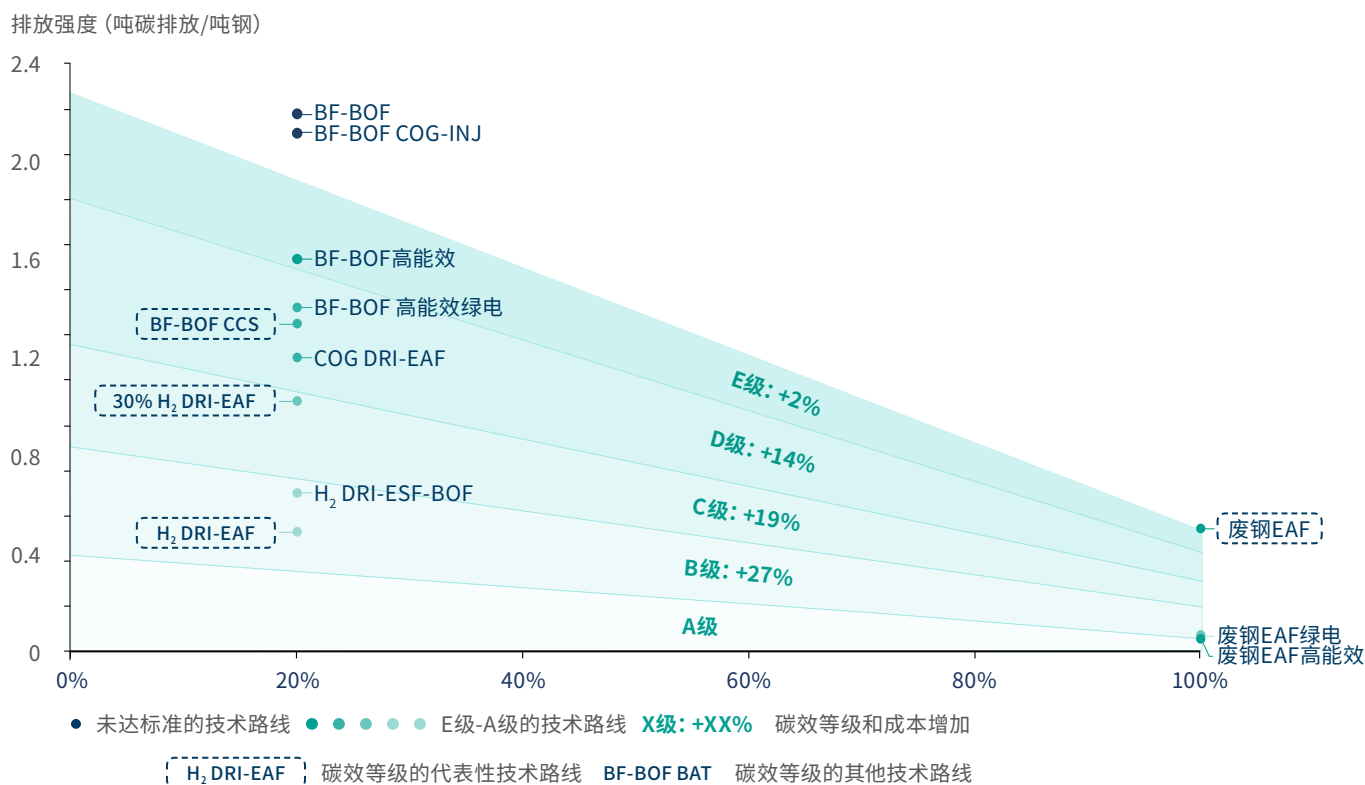
iii 相关分析基于模型测算，涉及一定的假设前提，旨在为理解低碳钢的经济性提供参考框架，而非对实际市场价格的直接预测。

方向，并列出了超过 100 项具体技术方案。在如此多样的技术图谱下，为便于比较分析，本研究对技术路径进行了必要的简化设定，仅选取了若干具有代表性的工艺组合进行测算。这一处理方式虽无法覆盖所有可能路径，但有助于清晰呈现不同碳效等级背后的成本结构差异。

各技术路线的吨钢排放和碳效等级大致如图表 12。对于长流程，平均水平 BF-BOF，即使进行焦炉煤气喷吹，也难以达到 E 级别的碳效等级。较高的能效水平的 BF-BOF 可达到 E 级别，如配合绿电应用，则能达到 D 级别。长流程工艺环节的排放较为分散，部署碳捕集装置较为经济的环节是高炉和自备电厂，BF-BOF 结合 CCS 的降碳幅度有限，最好可达到 D 级别。在短流程大类中，全废钢 EAF 可以达到 E 级别，若进一步提高能效，可以达到 D 级，在全绿电应用情况下可以达到 B 级。

直接还原路线中，现阶段钢铁企业多采用焦炉煤气、天然气等还原气体，基于焦炉煤气的 COG DRI-EAF 路线可以达到 D 级的碳效等级。在焦炉煤气还原气中，逐渐增加绿氢的比例，可以进一步降低吨钢排放，如 30% 绿氢掺混的 H₂ DRI-EAF 路线可以达到 C 级碳效。随着全氢直接还原工艺的日益成熟和绿氢产业链的进一步发展，作为终极技术之一的 100% 绿氢的 H₂ DRI-EAF 可以达到 B 级碳效，未来随着无碳泡沫渣等非涉电炉技术的应用部署，可进一步达到 A 级碳效。针对中低品位铁矿石，在直接还原工艺基础上需部署电熔分炉 ESF 以提升金属化率，相应的 H₂ DRI-ESF-BOF 路线可以在绿氢还原下达到 B 级碳效。

图表 12 低碳排放钢的碳效等级及其成本增加估算



注：“高能效”参考政策文件的标杆水平和基准水平的能耗差距，H₂ 暂仅考虑绿氢；评估产品为热轧带钢，热轧工序的碳效等级阈值采用热轧卷分类。

来源：本研究课题组基于中国钢铁工业协会《低碳排放钢评价方法》团体标准分析测算

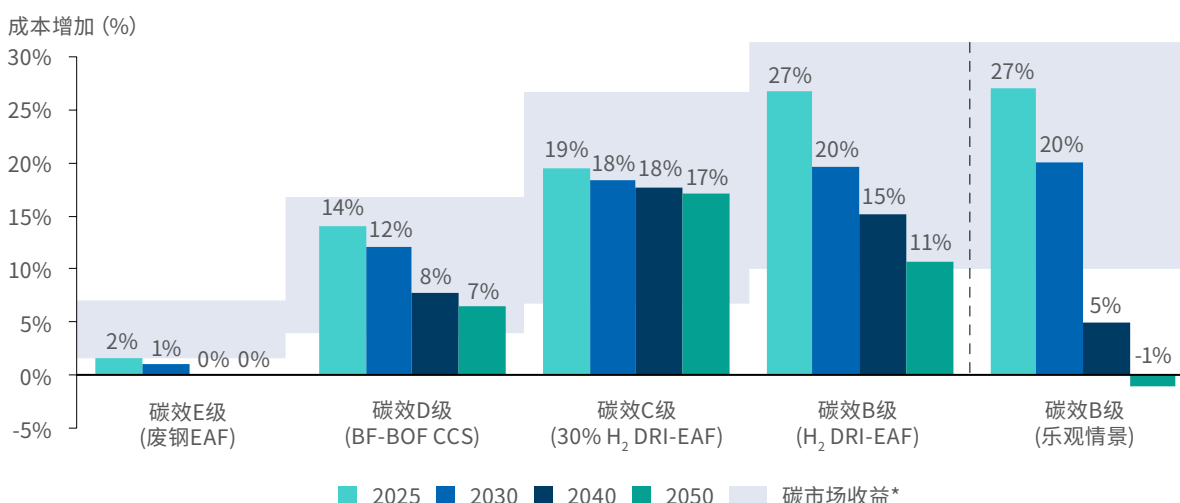
在上述假设基础上，对不同技术路径在实现各碳效等级时的吨钢成本进行了测算。结果显示，随着碳效等级的提升，吨钢成本呈现出逐步上升的趋势。鉴于当前绿电价格机制尚不明晰，绿色电力证书在市场中的流动性较低，价格水平与其实际环境价值存在较大偏差，因此绿电相关路径在成本上的评估存在较高不确定性。基于这一考虑，本文暂未将绿电相关技术路线纳入成本增加水平的测算范围。在测算中，将废钢 EAF、BF-BOF CCS、30% H₂ DRI-

EAF 和 H_2 DRI-EAF 作为 E 级、D 级、C 级和 B 级碳效等级的代表路线，与传统的 BF-BOF 相比，对应的成本增加分别是 2%、14%、19% 和 27%。氢基竖炉和电炉在全绿电条件下可达到 B 级，仍需要无碳泡沫渣等技术进一步降碳以达到 A 级。在当前的技术水平下，达到符合 A 级别要求的难度较高，暂未测算成本增加范围。未来随着能效提升、绿电绿氢、非涉碳电炉等相关工艺技术的日趋完善，将有更多数据基础完善 A 级成本增加水平的评估。

尽管当前实现较高碳效等级的技术路径普遍面临较高的成本，但从中长期来看，随着脱碳技术的进步和相关产业的规模化发展，吨钢成本增加水平存在显著下降空间，如图表 13。未来 E 级碳效的废钢 EAF 有望逐步趋于平价，D 级路径（BF-BOF+CCS）的成本增加水平预计将从当前的 14% 下降至 7%；在焦炉煤气价格稳定、绿氢成本下降的假设条件下，C 级（30% H_2 DRI-EAF）从 19% 降至 17%，而 B 级（ H_2 DRI-EAF）则从 27% 降至 11%，未来纯绿氢路线有望比焦炉煤气或掺混路线更有市场竞争力。这一趋势背后，首先是废钢资源的持续增长。到 2030 年，我国废钢资源总量预计将超过 3.9 亿吨，到 2050 年超过 5 亿吨。²¹ 废钢供应的增加将有助于缓解价格波动，提升短流程路径的经济性。其次，CCS 的成本也有望持续优化，这主要得益于捕集技术的突破、运输规模扩大和封存基础设施完善。到 2030 年，CCS 全产业链成本可降低 14%，到 2050 年，成本可降至 50% 以下。^{iv} 此外，绿氢成本的下降是推动高碳效路径经济性改善的关键因素。目前我国绿氢制备成本在 21–46 元 /kg 之间，随着可再生能源发电成本持续下降、电解槽技术效率提升，2030 年绿氢成本有望降至 10 元 /kg 左右，2050 年进一步降至 6.5 元 /kg。这将显著改善 C 级和 B 级路线的成本。在乐观情景下，高品位铁矿石溢价、绿电价格等因素的优化控制有助于成本进一步下降，并在 2050 年前与长流程达到平价。

低碳排放钢的碳效等级可与全国碳排放权交易市场形成协同效应，分别从产品层面和组织层面提升对低碳排放钢的经济性支持。钢铁行业虽然现阶段仅有长流程纳入碳市场，但未来直接还原和短流程也将逐步进入管控范围，并有望在碳市场的配额交易和清缴履约中获得收益。在配额分配方法不区分生产流程、且碳配额价格在 200-800 元 / 吨范围的假设条件下，不同碳效级别所能获得的碳市场收益区间如图表 13 的灰色部分所示。若碳效级别的成本增加幅度小于碳市场收益，则该碳效级别可以在碳市场的支持下实现成本平价。如图中所示，大部分碳效级别可以在 800 元 / 吨的高碳价中达到平价，而在 200 元 / 吨的碳价条件下，仅废钢 EAF 等技术路线具备成本经济性。现阶段，中国碳市场的碳价约为 70 元 / 吨，未来仍有较大的上涨空间，以更高效地引导钢铁行业的转型降碳。

图表 13 各碳效等级的低碳排放钢成本变化趋势及碳市场收益估算



* 碳市场收益：该碳效等级的产能在碳市场的配额交易和清缴履约中可获得的潜在收益范围，假定碳价范围是 200–800 元 / 吨。

** 乐观情景假设高品位铁矿石逐步与中低品位铁矿石平价，并以绿氢 H_2 DRI-EAF 为碳效 B 级的代表性技术路线。

来源：本研究课题组基于一定假设估算

iv 捕集、运输和封存的成本来自《中国二氧化碳捕集利用与封存年度报告 2021》，假定二氧化碳的运输距离是 100km。

3.2 采购机制：长期采购与需求聚合

综上所述，尽管当前实现高碳效等级的技术路径仍面临一定的成本增加，但随着关键资源和技术的持续优化，低碳钢的经济性正逐步改善。此外，低碳钢经济性的实现需要有逐步完善的采购机制作为前提，以实现低碳冶金项目在全生命周期内的稳定运营，并保证项目以理想的产能利用率持续释放规模效应，从而推动吨钢成本逐步下降至具备商业化可行性的水平。

钢铁行业属于资产密集型行业，周期性较强。低碳钢铁生产的初始投资较大，在未来发展预期不确定性较大的情况下，其大规模部署面临着较大的阻碍。若能从需求侧的采购机制方面切入，在低碳钢铁生产的项目周期内提供稳定性和规模性，可大大帮助提高产能利用率，减少项目启停带来的额外成本，降低项目全生命周期吨钢成本，从而降低风险，提升效益，促进项目的可持续发展。**长期采购和需求聚合**是需求侧采购机制中的两种代表性思路，可以分别提升低碳钢铁需求的**稳定性和规模性**。

其中，**长期采购**是指，钢铁的需求侧企业在低碳钢铁产能还未运营之前就预定了长期稳定的订单，一方面，可帮助需求企业在卖方市场形成前锁定低碳供给产能，另一方面，也可提升低碳钢铁产品销售的稳定性和可预期性。在国内，现行的钢铁销售模式是先有产能投产，后有采购订单，该模式更适合大宗且成熟的钢铁产品。然而，低碳钢铁产能的市场成熟度相对较低，传统销售模式为项目的现金流带来极大压力，也不利于下游企业锁定低碳采购渠道。长期采购模式可以增强钢铁企业对低碳钢铁项目的信心，促进产能的落地投产。

目前，从全球看，欧洲有较多低碳排放钢长期采购的案例。例如，瑞典公司 Stegra（原 H₂ Green Steel）的氢冶金项目仍处在建设期时，就通过长期采购预售了超过 40% 的产能，为项目投产后的运行带来了较稳定的现金流预期。²²在需求侧，宝马、奔驰、沃尔沃汽车、宜家等采购方预先锁定了 Stegra 低碳排放钢的供给，助力供应链降碳和企业气候目标的实现。预售的低碳排放钢的绿色溢价预计为 20%，低于市场参考溢价的 30%，也在一定程度上为需求侧企业节约了成本。²³因此，长期采购是供需双方实现双赢的有效工具。预售规模并不一定需要覆盖低碳钢铁项目的全部产能，仅需要通过部分有溢价折扣的预售订单，提供一定的产能利用率预期，即可大幅提高低碳钢铁项目的成功率。在此过程中，供给侧需要积极进行信息披露和进展更新，而需求侧也要对钢铁转型有更强的支持意愿，提升双方的信任程度，推动互利共赢的合作。

需求聚合是将下游行业较为分散的、规模较小的订单聚合，形成和供给侧的低碳排放钢项目的产能更为适配的规模，从而增强低碳排放钢销售的规模性。这种模式可以与长期采购相结合，强化需求侧对低碳钢铁发展的作用。钢铁行业的单厂规模普遍较大，基本在百万吨级别。下游汽车行业的需求相对分散，以年产 10 万辆的汽车厂为例，年用钢量大约为十万吨级，用钢量远小于钢厂的生产规模，因此，单个钢铁厂需要对应多个需求侧的采购需求。对于低碳排放钢，尤其是更前沿的近零碳排放钢，需求市场更加细化分散，需求聚合所能起到的积极作用更大。

在需求聚合的思路下，落基山研究所（RMI）牵头搭建了可持续钢铁采购平台（Sustainable Steel Buyer Platform, SSBP），目前以北美地区为试点，加速近零碳排放钢的投资决策和产能部署。参与了 SSBP 的采购方包括谷歌、微软、江森自控、Nextracker 等 9 家钢铁需求企业，共同作为一个整体向供应方提出近零碳排放钢的需求。目前，SSBP 已根据采购方意见，向钢铁企业发出竞标邀请。进一步地，SSBP 正在根据钢铁企业的近零碳排放钢产能竞标信息，进行评估和匹配，整体的流程参见图表 14。

然而，这种模式仍需解决若干问题：例如，不同采购方对钢铁产品牌号的需求各异，在多个采购方组成的联盟共同确定可承受的溢价范围和交付时限后，仍然需要单独的双边承购磋商；此外，不同的采购方可能相距较远，若进行钢铁的长距离运输，会增加成本压力，因此 SSBP 也正探索利用认购与核销机制（Book & Claim）分离实物交割和降碳属性，这也将对减排量的可追溯性提出较高要求。

图表 14 可持续钢铁采购平台（SSBP）的运行流程



来源: 落基山研究所 (RMI)



4. 汽车制造商绿色采购案例与模式分享

汽车行业是钢铁消费的重要领域，仅次于建筑和机械，位列第三。随着汽车行业持续发展、建筑行业经历周期性调整，这一占比呈逐年上升趋势。作为钢铁行业关键的下游采购方，目前汽车行业在推动低碳钢采购方面展现出更强的意愿和能力。²⁴从意愿来看，汽车企业在碳减排方面设定了更为激进的目标，尤其是在范围三（供应链）减排方面。一些企业甚至制定了专门的低碳钢采购目标。钢铁作为汽车制造供应链中的核心原材料，其碳排放约占整车材料生产阶段的 33%。因此，采购低碳钢成为实现供应链减排目标的有效路径。从能力来看，汽车行业属于高附加值产业，市场集中度高，前十大企业的市场占有率（CR10）高达 86%。这使得领先车企在采购环节拥有更强的话语权，能够更有力地推动钢铁行业的低碳转型，并扩大低碳钢的供给能力。

4.1. 绿色低碳采购的考量因素与评价机制

绿色采购是在确保产品性能和质量的前提下，优先考虑环保和低碳因素，从而减少生产过程中的环境影响。这一理念在汽车行业尤为重要，汽车制造商需要通过减少供应链各环节的碳排放，构建绿色低碳的供应链管理体系。不仅要采用清洁生产技术，还需优先选择低碳原材料和符合环保标准的服务供应商。绿色采购不仅能够有效降低产品的环境足迹，还能提升市场竞争力，助力可持续发展。

回顾以往，将碳排放纳入采购指标仍是一项新兴实践，但随着“双碳”目标的推进，我国已出台多项支持绿色低碳发展的政策，绿色供应链管理成为其中的核心内容。2021 年 2 月，国务院发布的《关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见》，明确提出要全面推进绿色规划、设计、投资、建设、生产、流通、生活和消费，确保发展以高效利用资源、严格保护生态环境和有效控制温室气体排放为基础，统筹高质量发展与高水平保护，推动我国绿色发展迈上新台阶。

在此背景下，汽车制造商应制定供应商减排要求与管理体系，并为供应商提供减排能力建设支持。同时，需推动供应商开展碳排放披露，积极实施减碳行动，通过优选、评奖等方式筛选出减碳表现优异的供应商。在项目层面，汽车制造商还应优化内部采购流程中的供应商评价体系，提升环境因素（如碳排放）在评价中的权重，推动供应链整体向绿色低碳方向转型。车企对供应链进行低碳管理及采购主要模式见图表 15。

图表 15 车企供应链低碳管理及采购的主要模式

方式	含义	案例	优势	缺点
清单式	对纳入清单的产品或企业实施优先采购或强制采购	沃尔沃汽车与瑞典钢铁公司 SSAB 合作，将其生产的“无化石燃料钢”（Fossil-Free Steel）纳入采购清单。 该钢材通过氢能冶炼技术生产，完全不使用化石燃料，碳排放接近零	操作方便，不需要大量数据基础，能广泛地鼓励环境表现较好的企业	难以对具体产品的碳表现进行评价认定，对名单内企业难以起到进一步减排激励作用
限值式	规定每类产品的碳强度上限值，只采购碳强度低于限值的产品	宝马集团要求上游钢铁企业提供汽车板等产品的生命周期评价报告，并进一步审核供应商的气候变化表现，要求逐年降低原材料碳足迹	对上游原材料行业的减碳作用最直接	对碳排放数据基础要求高，需要有一定数量的低碳原材料供应商
评优式	通过测算供应商的实际碳排放，优选排放小的供应商获得项目目标，一般用于项目层面的服务供应商筛选	东风集团定期安排环境管理人员开展供应商巡访，并从中收集优秀的环境负荷削减施策编辑成册，还将好的做法在供应商中进行水平推广，且会评出年度 S 级环境友好企业进行表彰	通过鼓励市场参与者的良性竞争来实现减碳，对市场的干扰比较小	由于其未设定限定值或固定标准，比较难确保项目减碳是否和整体减碳目标协调，且钢铁企业结构、产品结构不一样，差异很大

来源：本研究课题组

为在实际应用中探究汽车企业采购低碳钢时的关键考量因素、钢企及车企对钢铁产品碳核算要求的差异、并探讨数字平台对车企采购低碳钢的促进作用，落基山研究所与中汽碳数字开展了一项为期 9 个月的“汽车用钢碳足迹核算试点测试”项目。

试点结果显示，试点钢企提供的关键指标能够帮助汽车制造商获取供应商的产品碳排放信息，以筛选低碳产品。然而，目前大多数汽车制造商尚未将碳指标有效整合到采购决策及各部门的协作中，未来需要通过供应链管理持续提升原材料供应商的碳信息透明度和核算能力。同时，未来仍需加强产品碳足迹数据披露格式的标准化。目前，国内产品碳足迹数据的披露格式缺乏统一的标准。未来应在现有平台的基础上，加强产品碳足迹数据披露格式的标准化及内容电子化进程，以降低额外的人工成本和学习成本。

要推动产业链的合作降碳，未来还需要加强碳核算结果的应用场景研究及能力建设。未来需增强汽车制造商对碳核算结果的综合评估和可比性分析，支持汽车制造商结合碳核算结果制定供应链减排策略，进一步推动供需两侧的合作降碳。在车企采购低碳钢领域，需要支持汽车制造商在钢材采购决策中融入低碳指标，培育低排放钢材市场。国内外领先汽车制造商已率先开展低排放钢材的采购部署，包括与钢企签订远期采购合同、投资低排放产能项目等。未来需要进一步探索如何支持汽车制造商在钢材采购决策中融入低碳指标，并通过对话平台加强下游企业对上游原材料降碳的推动作用，助力低排放钢材市场的形成。

案例：推动钢铁 — 汽车产业链联动降碳，落基山研究所与中汽碳数字开展车企用钢碳足迹核算试点

为促进低碳钢材的采购，推动钢铁与汽车产业链的联动降碳，落基山研究所（RMI）与中汽碳数字在中国开展了一项为期 9 个月的“汽车用钢碳足迹核算试点测试”项目。该试点项目依托双方合作的《钢铁产品碳足迹核算和报告方法学——基于国际实践》（以下简称《方法学》），共有 8 家企业参与。其中，4 家钢企（宝武、鞍钢、河钢、包钢）作为上游企业也是数据传输方，合计占全球钢铁供应量的 11.98%；此外，还有 4 家汽车制造商（如沃尔沃汽车、蔚来、东风日产等）作为数据接收和使用方。RMI 基于《方法学》开发了钢铁产品碳核算工具，中汽碳数字提供了数据传输平台，实现了钢铁产品碳核算结果在供应链中的透明性和可比性，支持下游汽车制造商的低碳采购决策。

此次试点是国内首次通过数字平台实现汽车制造商与钢企的数据传输，旨在推动中国汽车行业碳足迹数据的国际衔接。所使用的数字平台 CICES 是汽车行业广泛使用的数据收集平台，所收集的数据涉及 19 家整车制造商业（包括 18 家乘用车和 1 家商用车）、3800 多家供应链企业以及超过 74000 款汽车产品的碳足迹（截至 2025 年 7 月 1 日），形成了一套在中国汽车行业广泛使用的交互式标准化表单。试点项目融入了《方法学》兼容的数据格式，确保了钢企向汽车制造商披露统一格式的数据，并有助于汽车制造商对来自不同钢企的产品碳足迹进行直观且标准化的比较，推动中国汽车碳足迹数据的国际互认。

多数参与测试的企业认为，“比较边界”有助于增强钢铁产品碳足迹的可比性。与传统的从摇篮到大门的核算边界相比，《方法学》中提出了“固定的比较边界”概念，使不同钢铁产品的碳足迹结果更加可比。比较边界从摇篮到热轧（粗钢为可替代点），涵盖了冶金工艺中碳排放密集型的工序，并与国际钢铁碳足迹核算方法兼容。参与测试的汽车制造商认为，通过比较边界核算的钢铁碳足迹有助于选取低碳钢材，从而推动低碳采购。

关键指标的披露为汽车制造商采购低排放钢材提供了量化参考依据。《方法学》中推荐的“原始数据比例”、“废钢比”、“技术标签”、“比较边界碳排放”等关键指标，帮助汽车制造商全面掌握钢铁碳核算的数据质量、钢铁企业采用的降碳技术和路径等信息，从而更好地判断钢铁企业的减排努力，提升产品碳绩效的透明度，支持低碳采购决策。

试点企业普遍认可碳核算方法在钢铁与汽车产业链的互认、国际衔接的重要性。试点中的汽车制造商和钢企认为，加强上下游及国内国际间碳核算方法的互认，将有助于降低企业碳披露的成本和难度，加速产业链的合作降碳进程。RMI、中汽碳数字等第三方机构可以充分发挥技术支持和数据平台的优势，协助推动行业碳核算体系的合作建设。

4.2. 汽车采购低碳钢案例

汽车行业在国内外均已开展了较为广泛的低碳钢采购实践，涵盖了多种降碳技术路径、合作模式与采购内容。这些实践既存在共性，也体现出一定的差异性。更广义地，汽车行业推动低碳钢应用的主要方式可归纳为长期采购、绿色溢价、直接投资以及联合研发等。不同区域市场在这些模式上的成熟度和适用性存在差异。本节将以汽车行业为切入点，系统梳理低碳钢采购的典型案例，探讨其在实际操作中的路径选择与成效经验。

长期采购在国内外均已实践。通过提供稳定的销售预期，汽车企业能够帮助钢铁企业分摊低碳项目的初始投资成本，降低配套服务费用，从而压低吨钢成本，提升产品的市场竞争力。这一机制也有助于推动低碳钢采购实现经济可行性，加速低碳产品的规模化供给。

绿色溢价是低碳采购中的价格提升机制。当低碳钢产品满足双方认可的技术标准时，通常以普通钢材为基准设定价格下限，并根据其技术特性、生产成本及碳成本，计算出相应的绿色溢价。汽车企业可依据约定的时间和采购量签订合同，形成一份具备采购规模、价格上下限（考虑绿色溢价后可推算出合同金额上限）及交付标准的长期采购协议。绿色溢价的高低在很大程度上取决于需求方对低碳属性的认可程度与支付意愿。认可度越高，溢价空间越大，低碳冶金项目的经济性也越强。在中国，受行业特性和发展阶段影响，绿色溢价机制尚处于起步阶段。当前，汽车企业普遍缺乏支付绿色溢价的意愿，难以有效激发低碳钢的大规模市场潜力。此外，绿色溢价相关信息的透明度较低，行业尚未形成可持续的价格信号机制。相比之下，欧洲等国际市场的绿色溢价机制发展较为成熟。领先的欧洲钢铁企业已能维持每吨 200–350 欧元的绿色溢价，市场需求持续增长，认可度不断提升。²⁵ 这些经验为中国未来构建绿色溢价机制、推动低碳钢采购提供了有益的参考。

直接投资即汽车企业以战略投资形式注资钢铁企业或参与供应链环节的低碳化改造，推动氢直接还原、碳捕集等前沿技术的商业化落地。汽车企业的直接投资体现了对于被投企业降碳技术的认可，也表明了对前沿技术风险分摊的决心，并帮助锁定了低碳采购的稳定订单。直接投资的形式更适用于股权结构相对简单的初创型钢铁企业，领先的汽车企业可以通过有限的资金投入撬动更大的降碳潜力，如宝马集团对美国初创钢铁公司波士顿金属的投资²⁶，该钢铁公司应用的熔融氧化物电解（Molten Oxide Electrolysis, MOE）技术可以仅利用清洁电力进行炼铁工艺，摆脱钢铁行业对煤炭和天然气的依赖，降碳潜力高达 100%。²⁷

此外，还有部分合作以联合研究的形式开展，双方共享资源攻克低碳材料研发、生产工艺优化等共性难题，并向未来潜在的低碳采购引导。国内外汽车行业采购低碳钢铁的代表性案例如图表 16。

在合作内容上，大部分汽车采购低碳钢铁的案例采用了循序渐进的采购策略，即在近期从降碳比例较低的钢铁采购做起，在中远期逐步提升低碳钢铁的降碳比例要求，与钢铁企业降碳节奏和低碳钢供给能力一致。主要的降碳技术方面，充分考虑不同技术的成熟度和发展预测，结合绿电、绿氢等外部资源的经济可行性和资源可得性，从近期的废钢回收和能效提升，逐步转变为氢直接还原和直接电解等前沿性技术。

在交付保障上，现有的国内外案例大多来自汽车行业头部企业，钢铁企业在签署合作协议前已开始进行低碳技术研发并形成一定的低碳产品供应能力。双方的长期合作关系、品牌信誉影响力、供应方的低碳技术研发能力以及前期的低碳科研资金投入情况等均可作为判定低碳产品是否可以按照合作协议要求进行交付的参考条件，具备较高的交付保障。

图表 16 汽车采购低碳钢的部分案例

汽车企业	钢铁企业	产能国家	主要降碳技术	资金来源	合作模式	合作内容
沃尔沃集团	SSAB	瑞典	氢直接还原	政府基金、自有资金	长期采购合同	2021 年 8 月采购了第一批钢材，2021 年 10 月沃尔沃推出世界上首辆绿钢电动货车，2026 大规模供应。
沃尔沃汽车	首钢集团	中国	废钢回收	共同投资	联合研究	与浙江戈云，共建汽车废钢闭环回收循环利用物理链，并利用数字化手段实现全流程信息可追溯。
宝马集团	Salzgitter AG	德国	氢直接还原、废钢回收	自有资金	长期采购合同	2026 年，Salzgitter AG 将为宝马欧洲工厂提供低碳钢。2018 年，双方建立闭环材料循环。
宝马集团	波士顿金属	美国	熔融氧化物电解	共同投资	直接投资	2021 年，宝马集团投资波士顿金属，致力于研发使用可再生能源电力取代煤炭的炼铁创新工艺。
宝马集团	河钢集团	中国	废钢电炉、氢直接还原	自有资金	长期采购 MoU	2023 年，供应减排 10%–30% 的低碳钢；2026 年，宝马沈阳生产基地在整车量产中使用降碳 95% 的“绿钢”。
奔驰集团	宝钢股份	中国	能效提升、氢直接还原	自有资金	长期采购 MoU	2023 年提供大幅降碳的低碳钢；2026 年，提供车辆用钢的碳排放强度将逐步降低 50%–80%。
奇瑞汽车	宝钢股份	中国	能效提升、氢直接还原	自有资金	长期采购 MoU	2024 年，在现有量产车型中逐步供应减碳约 30% 的低碳排放绿钢 BeyondECO®-30%；2026 年，供应 BeyondECO®-50%，并进一步 BeyondECO®-80%。

来源：本研究课题组根据公司官网和新闻信息整理

在投资来源上，国外低碳采购项目中的低碳技术资金来源较为灵活，包括政府部门、科研基金会、上游供应链企业或下游客户等，国内低碳技术的资金来源多为钢铁企业自有资金。国内的政府部门虽有专项科研资金可以在技术初期阶段予以补充，但缺乏可以广泛应用于规模化低碳钢铁项目的补贴和奖励，且国内的汽车企业在原材料获取与生产阶段的低碳技术研发资金投入方面参与度有待加强。

2023 年我国汽车产业钢材的总消费量约为 5620 万吨²⁸，目前我国签署低碳采购备忘录或协议的汽车制造商主要有一汽大众、华晨宝马、奇瑞集团以及吉利集团等，即使上述各制造商所生产的汽车产品全部采用低碳钢材生产，合计需求量也只占钢材总消费量的不到 1/10。因此当前实际的低碳采购规模对于我国钢铁 - 汽车产业链而言仍有较大的开发与利用空间。且随着国内低碳政策的陆续颁布以及国外碳关税政策、贸易壁垒的逐渐形成，通过低碳采购降低终端产品碳足迹将成为汽车制造商势在必行的减碳手段。汽车行业虽然在钢材下游消费量的占比不高，但拥有较高的行业集中度，尽早布局低碳采购合作项目有助于汽车制造商提前锁定未来的低碳资源份额，甚至获得至价格谈判优势、共享碳减排带来的经济效益。钢铁 - 汽车产业链低碳采购合作项目的推行可以加速汽车行业和其他下游需求行业的低碳采购行动，对我国低碳钢材的大范围应用具有引领和促进作用，并提升低碳钢的经济性竞争力。

5. 行动建议

尽管包括汽车在内的下游行业已在低碳钢采购与应用方面展开初步探索，但要实现低碳钢的规模化推广，仍面临两大核心挑战：一是标准体系碎片化，缺乏统一或互认的核算方法，增加了采购与评估的复杂性；二是经济性尚未显现，供需两端均缺乏足够的激励与动力，导致市场尚未形成良性循环。破解这一困局，需要从标准建设、成本核算、市场机制与金融支持等多维度协同发力，系统打通绿色低碳钢铁的供需链条，推动产业实现可持续低碳转型。针对这一多维度协同的体系构建，本研究提出以下三大行动领域：

- **完善供需匹配机制，强化上下游协同，推动低碳钢市场有序发展。**当前，低碳钢采购市场仍处于起步阶段，供需两端尚未形成清晰的价格与交易信号，常出现“买方有意采购却难觅合适产品，卖方具备产能却缺乏稳定订单”的错配问题。为此，建议依托行业协会、第三方平台等机构，搭建低碳钢供需对接平台，吸引汽车、地产、家电、新能源等关键下游行业集中发布年度采购意愿与需求，同时汇聚上游钢企披露年度生产计划与降碳水平，在平台层面形成透明、有效的市场信号，促进供需双方精准对接，推动低碳钢采购合作常态化、规模化，助力市场机制逐步成熟。
- **推动碳数据披露标准化，构建权威碳数据库，促进上下游数据互认。**低碳钢的“低碳”属性需要科学严谨的碳核算方法和碳排放数据证实，由于目前低碳钢的下游采购用户较为分散，且低碳钢缺乏统一标准，因此下游用户往往对上游钢铁生产企业提出个性化的碳排放披露要求，大大增加了上下游企业进行低碳钢数据披露及核查的成本。近期应尽快完善企业及产品层面标准化的碳披露标准，加强钢材产业链各级供应商碳数据收集能力建设，并由上下游企业协作建立共同认可的碳数据库，减少上下游企业采购低碳钢的执行成本。
- **加强多元化合作机制，协同政策、金融与技术工具，提升低碳钢项目经济性。**尽管废钢电炉路径下的低碳钢已基本实现与传统钢材的成本接近，但多数低碳生产路径仍存在一定的成本增加和绿色溢价。为提升其经济可行性，下游企业可通过政策、金融、技术等工具，协同推动提高低碳钢项目的经济性方面。金融支持方面，通过碳定价机制、绿色信贷、贴息贷款、碳减排挂钩债券等金融工具，降低钢铁企业在低碳转型过程中的融资成本，提升项目回报预期。政策支持方面，政府可引导设立专项基金或风险共担机制，鼓励更多社会资本参与低碳冶金技术的研发与应用。技术创新方面，钢企可应用上述金融及政策等支持工具，推动低碳钢生产技术不断迭代、进步，生产端成本逐步降低，推动低碳钢提升市场经济性。政策、金融与技术工具的有机结合，将为低碳钢产业链注入持续动力，推动其迈向规模化、可持续发展。
- **完善需求侧引导机制，探索碳足迹分级、碳足迹管控及绿色低碳采购政策，激活终端对低碳钢的需求潜力。**当前汽车行业缺乏统一的碳足迹分类标准及低碳材料采购机制，导致车企应用低碳钢的动力不足。未来可探索制定汽车碳足迹分级标准，纳入材料碳强度指标，引导企业优先采购低碳钢。同时从能耗双控政策逐渐向碳排放控制转变，将供应链碳排放纳入考核，从源头推动原材料低碳转型。同时在政府采购需求中，进一步明确对低碳产品及低碳原材料的需求，从公共端扩大低碳钢市场需求。

在推动低碳钢规模化应用的过程中，需求侧企业，尤其是以汽车行业为代表的头部采购方，正逐步成为产业链绿色转型的关键驱动力。一方面，钢铁行业的低碳转型需要巨大的前期投入和长期稳定的市场预期，仅靠供给侧的自发投入难以支撑其商业化落地；而需求侧的明确采购信号、长期合作意愿和绿色溢价支付能力，正是激发供给侧降碳动力、降低转型风险的核心要素。因此，在上述多维度协同的体系中，需求侧不仅是“买方”，更是“引导者”和“加速器”。另一方面，采购低碳钢对需求侧企业本身也具有重要意义。通过采购低碳钢，企业不仅能提升供应链的绿色竞争力，也有助于满足投资者、客户和监管机构对可持续发展的期待。

然而，前面提到的标准体系碎片化以及经济性尚未显现两大挑战，具体到钢铁需求侧企业的行动，意味着如下问题：一是如何在技术路径多样、成本差异显著的背景下制定科学的采购策略；二是如何在标准尚未统一、碳数据不透明的情况下做出可信的采购判断；三是如何在短期经济压力与长期绿色目标之间实现平衡，避免“绿色意愿”难以转化为“绿色行动”。面向钢铁的需求侧行业，本研究提出以下行动建议，以期帮助其在当前转型窗口期内，发挥更大作用，推动低碳钢市场生态的加速形成：

- **兼顾成本与技术成熟度，分阶段制定采购策略。**钢铁行业的低碳路径呈现出“多技术并存、成熟度不一”的格局。采购方应根据不同路径的技术成熟度和成本表现，制定分阶段的采购策略。例如，废钢电炉（EAF）路径已具备较强的经济性，可优先纳入当前采购体系，形成初步规模效应；而氢冶金等深度脱碳路径尚处于商业化初期，可通过签署中长期采购意向、参与试点项目或战略投资等方式提前布局，锁定未来低碳资源。此外，企业还应结合自身的碳中和目标设定采购节奏，避免“过快追求高碳效等级”带来的成本压力，也防止“过慢响应”错失转型窗口。
- **动态优化采购组合，提升碳效与成本控制能力。**不同低碳路径在碳效等级、原料依赖、能源结构和区域适配性方面存在显著差异，同时，在相同碳效等级下，代表性技术路径并非一成不变。采购方应结合企业自身的资源禀赋（如废钢获取能力、电力结构、地理位置等），动态调整采购组合策略。例如，具备稳定废钢来源和清洁电力的企业可在产品品质不受影响的情况下优先采用 EAF 路径；而在具备焦炉煤气资源或高品位铁矿石的地区，可探索 COG-DRI 或 H_2 -DRI 等路径。中期可关注 30% 氢气还原等过渡路径，兼顾减排效果与成本控制；远期则逐步转向绿氢 DRI 等深度脱碳路径，作为实现更高碳效等级的核心选项。建议建立内部碳效等级偏好模型，结合碳价、原料价格、电力成本等变量，定期评估路径组合的最优解。
- **强化关键变量监测，识别价格优势信号。**低碳路径的经济性高度依赖于一系列外部变量的动态演化，包括但不限于：绿氢成本、电解槽国产化率、高品位铁矿石价格、碳市场政策、绿证价格机制、储氢与输氢基础设施建设等。采购方应建立关键变量的监测机制，识别潜在的“转折点”或“拐点”情境。例如，若绿氢成本快速下降，或碳价增长幅度较大，高碳效等级路径（如 B 级 H_2 -DRI）可能在短中期实现与传统长流程的成本平价；反之，若废钢价格大幅上涨，E 级路径可能从废钢 EAF 转向高能效 BF-BOF。在制定长期采购协议或投资决策时，应充分考虑这些变量的敏感性分析，避免路径锁定带来的财务与战略风险。
- **积极参与标准制定，推动碳数据互认机制建设。**当前低碳钢的碳足迹核算标准多由上游主导，有可能导致标准体系与实际采购需求脱节。采购方，尤其是汽车等行业，应积极参与低碳钢标准的制定、修订与推广，推动形成覆盖全生命周期、适配采购场景的碳核算与披露体系。同时，应推动建立行业或跨行业的碳数据互认平台，提升数据透明度与可比性，降低采购执行成本。可考虑与行业协会、第三方认证机构合作，推动形成统一碳标签体系，增强市场信号的清晰度与可信度。
- **推动多行业协同采购，形成低碳钢需求的规模效应。**汽车行业作为低碳钢采购的先行者，具备较强的采购能力、供应链管理经验和绿色转型动力。领先车企的大规模低碳采购不仅能够释放明确的市场需求信号，增强钢铁企业的降碳预期和投资信心，还能为其他行业提供合同设计、碳核算、供应商管理等方面的实践参考，降低试错成本。更重要的是，汽车、建筑、家电、新能源等多个行业在低碳钢采购上具有共通需求，若能建立跨行业的协同机制，如联合发布年度采购意向、共建碳数据平台、共享供应商资源等，将有助于形成更强的议价能力和规模效应，推动绿色溢价合理化，提升低碳钢的市场可及性与经济性。通过跨行业的需求聚合，不仅能加快低碳钢的商业化进程，也有助于构建更具韧性的绿色供应链生态。

参考文献

- 1 麦肯锡，“中国加速迈向碳中和”钢铁篇：钢铁行业碳减排路径，2021. <https://Fom0c3.short.gy/lvPMJO>
- 2 中国汽车报，生产者责任延伸如何破局，2023. http://www.cnautonews.com/yaowen/2023/03/06/detail_20230306355474.html
- 3 S&P Global，中国大宗商品观察之 2025 年展望：钢铁行业仍处于下行期，2025. https://www.spglobal.com/_assets/documents/ratings/zh/pdf/2025-1-9-2025-outlook-china-commodities-watch-the-steel-downcycle-is-still-in-play.pdf
- 4 BMW Group, CO₂ REDUCTIONS, 2025. <https://www.bmwgroup.com/en/sustainability/co2-reduction.html>
- 5 Volvo, Climate Action, 2025. <https://www.volvocars.com/intl/sustainability/climate-action/>
- 6 上汽集团，上海汽车集团股份有限公司 2024 年年度报告，2025. <https://www.saicmotor.com/chinese/images/tzzgx/ggb/dqgg/2024ndqgg/2025/4/29/685D33923ABE4D109BBE39F92BFBF945.pdf>
- 7 长城汽车，长城汽车股份有限公司 2024 年企业社会责任报告，2025. https://res.gwm.com.cn/GwmCn/files/social/GWM_2024.pdf
- 8 长安汽车，2024 年长安汽车环境、社会及治理（ESG）报告，2025. https://www.globalchangan.com/static/clientlibs/changancms/pdf/ChangAn_Automobile_ESG_Report_2024_cn-0613.pdf
- 9 冯屹，面向碳中和的汽车行业低碳发展战略与转型路径：CALCP 2022，机械工业出版社，2022.
- 10 Sandbag, From Niche to Mainstream: Shaping Demand for Green Steel, 2024. <https://sandbag.be/2024/01/22/from-niche-to-mainstream-shaping-demand-for-green-steel/>.
- 11 中国钢铁新闻网，着眼未来 中国版“低碳排放钢”标准重磅发布，2024. http://www.csteelnews.com/xwzx/jrrd/202410/t20241020_93632.html
- 12 ResponsibleSteel, The ResponsibleSteel International Production Standard V2.1.1, 2024. <https://www.responsiblesteel.org/standards>
- 13 Global Steel Climate Council, The Steel Climate Standard, 2024. <https://globalsteelclimatecouncil.org/the-standard/>
- 14 LESS, Rulebook for the classificationsystem of the Low Emission SteelStandard (LESS), 2024. <https://lowemissionsteelstandard.org/downloads>
- 15 低碳排放钢发布平台，低碳排放钢评价方法，2024. <https://www.c2fsteel.com/>
- 16 ISO 14404-3:2017 Calculation method of carbon dioxide emission intensity from iron and steel production — Part 3: Steel plant with electric arc furnace (EAF) and coal-based or gas-based direct reduction iron (DRI) facility, 2017. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14404:-3:ed-1:v1:en>
- 17 RMI，钢铁产品碳足迹核算及报告方法学——基于国际实践，2024. https://rmi.org/wp-content/uploads/2022/09/steel_emissions_reporting_guidance.pdf
- 18 中国 - 中东欧国家海关信息中心，欧盟联合研究中心发布低碳排放钢国际倡议和标准分析报告，2025. <https://cceeccic.org/1926092866.html>
- 19 中华人民共和国生态环境部，关于发布 2022 年电力二氧化碳排放因子的公告，2024. https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk01/202412/t20241226_1099413.html
- 20 RMI，加速首批突破性近零碳钢铁投资与部署——中国篇，2024
- 21 RMI，碳中和目标下的中国钢铁零碳之路，2021. <https://rmi.org.cn/wp-content/uploads/2021/09/202109290950304147.pdf>

- 22 Climate Rising, Green Steel: Decarbonizing Steel Production with Green Hydrogen, 2024. <https://www.hbs.edu/environment/podcast/Pages/podcast-details.aspx?episode=1069998114>
- 23 TXF News, H₂ Green Steel Boden: Long on ambitions, low on emissions, 2024. <https://www.txfnews.com/articles/7631/h2-green-steel-boden-long-on-ambitions-low-on-emissions>
- 24 RMI, 需求侧低碳采购推动原材料转型：实践与趋势，2023. <https://rmi.org.cn/wp-content/uploads/2023/09/RMI-Industrial-demand-side-CH-Digital-Master.pdf>
- 25 EUROMETAL, European green flat steel premiums hold steady; Nordic countries drive demand, 2025, <https://eurometal.net/european-green-flat-steel-premiums-hold-steady-nordic-countries-drive-demand/>
- 26 BMW Group, BMW Group invests in innovative method for CO₂-free steel production, 2021. <https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0327511EN/bmw-group-invests-in-innovative-method-for-co2-free-steel-production?language=en>
- 27 Boston Metal, Zero CO₂ Steel by Molten Oxide Electrolysis: A Path to 100% Global Steel Decarbonization, 2022. <https://www.bostonmetal.com/news/zero-co2-steel-by-molten-oxide-electrolysis-a-path-to-100-global-steel-decarbonization/>
- 28 中国钢铁新闻网, 冶金规划院预测 2024 年中国和全球钢铁需求, 2023. http://www.csteelnews.com/xwzx/djbd/202312/t20231225_83034.htm

落基山研究所，中汽碳（北京）数字技术中心有限公司，需求侧驱动钢铁低碳转型：以汽车行业采购实践为例，2025
<https://rmi.org.cn/insights/low-carbon-steel-procurement-report/>

RMI 重视合作，旨在通过分享知识和见解来加速能源转型。因此，我们允许感兴趣的各方通过知识共享
CC BY-SA 4.0 许可参考、分享和引用我们的工作。 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



除特别说明，本报告中所有图片均来自iStock。



RMI Innovation Center
22830 Two Rivers Road
Basalt, CO 81621

www.rmi.org

© 2025年8月，落基山研究所版权所有。
Rocky Mountain Institute和RMI是落基山研究所的
注册商标。