中国、欧洲清洁氢冶金：政策动向与中国启示

2022.06

关于落基山研究所 (RMI)

落基山研究所(RMI)，是一家于1982年创立的专业、独立、以市场为导向的智库。我们与政府部门、企业、科研机构及创业者协作，推动全球能源变革，以创造清洁、安全、繁荣的低碳未来。落基山研究所致力于借助经济可行的市场化手段，加速能效提升，推动可再生能源取代化石燃料的能源结构转变。落基山研究所在北京、美国科罗拉多州巴索尔特和博尔德、纽约市、加州奥克兰及华盛顿特区设有办事处。

作者与鸣谢

作者

李抒苅，谭光瑀，薛雨军

* 作者姓名按姓氏首字母顺序排列。除非另有说明，所有作者均来自落基山研究所。

其他作者

李婷

联系方式

薛雨军 **yxue@rmi.org**

版权与引用

李抒苅，谭光瑀，薛雨军，中国、欧洲清洁氢冶金：政策动向与中国启示，RMI，2022

鸣谢

RMI 感谢 Growald Climate Fund 和 European Climate Foundation 对本报告的支持。

目录

引言 5

欧洲氢冶金政策：多阶段、多角度覆盖 6

中国氢冶金政策：纲领文件引领，范围逐步扩大 8

中国钢铁行业特点及政策启示 10

清洁氢冶金发展模式中欧对比及中国展望 13

政策建议 15

引言

钢铁行业碳排放占全球总量的接近10%，占中国全国的17%。钢铁行业脱碳的时间表和路线图对于全经济领域的低碳和零碳转型至关重要。从技术路线上看，清洁氢冶金是有潜力与传统冶金路线达到平价的零碳选择，其试点部署和规模化发展需要有效的政策支撑和最佳实践引领。目前，在欧洲，支持氢冶金相关的政府资助基金全面涵盖不同项目阶段。在中国，系列纲领性政策提出了支持氢冶金技术研发、建设联盟、开展试点示范、产能等量置换等。本文对比研究了中国、欧洲清洁氢冶金的政策特点，并结合中国钢铁行业特点，分析和展望中国氢冶金的发展模式，在此基础上进一步提出推动清洁氢冶金发展的相关政策建议。

欧洲氢冶金政策：多阶段、多角度覆盖

欧洲钢铁行业的发展历史悠久，现阶段产能规模增速有限，粗钢产量稳定在2亿吨/年。同时，欧洲在钢铁生产工艺革新上起步较早，清洁氢冶金技术的研发水平和项目进程处于世界前列。欧洲关于新技术的政策环境较为成熟，有利于支持清洁氢冶金技术不断实现突破，降低钢铁行业碳排放，并推动欧洲气候目标的实现。目前，**欧洲正从目标设定、资金支持、需求培育、碳排放标准等多个方面，对以清洁氢冶金为代表的钢铁行业脱碳技术进行全方位政策支持**。

首先，从目标设定角度，欧洲对钢铁行业的碳减排目标提出了分阶段的要求。在行业层面，为配合欧盟的气候目标，欧洲钢铁工业联盟（Eurofer）提出，以2018年为基准，要实现在2030年碳排放减少30%，2050年减少80%-95%。在项目层面，欧盟清洁钢铁合作计划提出，在2030年前打造能达到80%碳减排的工业级别示范项目。预计在未来10年内，清洁氢冶金领域会有明显的项目进展。

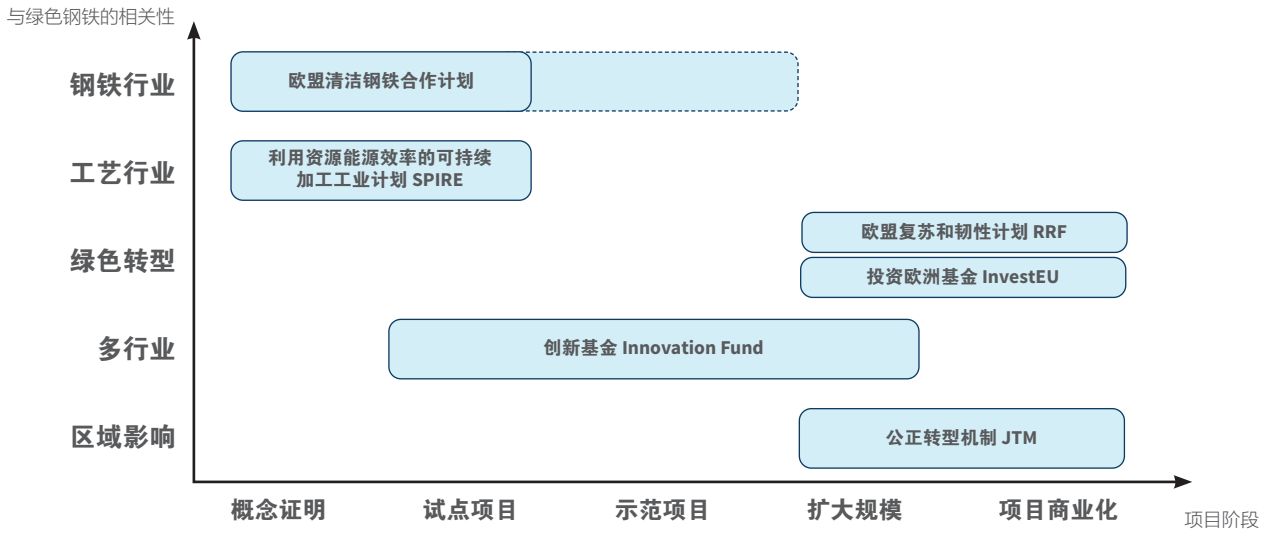
从**资金支持**角度看，欧盟已经设立了多项计划扶持清洁氢冶金等绿色技术，这些技术能实现对钢铁行业脱碳从开发试验到大规模应用的全生命周期覆盖。

对于处于早期概念证明和试点阶段的项目，欧盟清洁钢铁合作计划（European Partnership on Clean Steel）和利用资源能源效率的可持续加工工业计划SPIRE（Sustainable Process Industry through Resource and Energy Efficiency）可提供支持。欧盟清洁钢铁合作计划是一个为钢铁行业量身设计的激励计划，通过政府端提供的7亿欧元资金，扶持钢铁行业低碳技术逐步成熟。SPIRE则是为包括钢铁行业在内的加工工业领域提供初期的低碳技术科研资助。

对于完成小型试点、进入示范和扩大规模阶段的项目，创新基金（Innovation Fund）可有效扶持项目的推进与技术的成熟。该基金覆盖多领域的低碳技术应用，高耗能行业为其中的重要部分。此项资金将在2021-2030年期间提供180亿欧元，为清洁氢冶金等低碳技术的商业化试点提供助力。瑞典SSAB等企业运营的Hybrit项目在2022年从创新基金获得1.4亿欧元的资助，用于推进其清洁氢冶金的示范项目建设。

欧盟复苏和韧性计划RRF（Recovery and Resilience Facility）和投资欧洲基金（InvestEUFund）等则是在全行业范围内，为进入后期商业化的项目提供资金支持。在此过程中，清洁氢冶金等绿色技术是获得重点扶持的技术之一，RRF中至少37%资金将投入绿色发展，RRF可为REPowerEU能源计划提供资金支持，而REPowerEU的重要部分之一为工业化石燃料减少。与此同时，投资欧洲基金将可持续的基础设施也视为其四大资助方向之一。

图表 1 针对欧盟绿色钢铁产业的资助基金



注释：欧盟清洁钢铁合作计划（European Partnership on Clean Steel）基金关注与项目的研究开发阶段（R&D），但也会帮助前沿科技应用于清洁钢铁的生产中并在 2030 年形成大规模示范项目。

清洁氢冶金所需的氢气管道基础设施建设，可以申请共同利益项目PCI（Projects of Common Interest）认证，进而在欧盟资金申请上获得优先地位。PCI的项目列表包含关键的跨境能源基础设施项目，且定期更新。PCI的目的是建立一体化欧盟内部能源市场，并帮助完成欧盟的能源和气候目标。经过PCI认证的项目可申请连接欧洲基金CEF（Connecting Europe Facility）的支持。此外，与欧盟的国家援助（State Aid）制度兼容的新修改的欧洲共同利益重要项目IPCEI（Important Projects of Common European Interest）于今年年初生效，IPCEI在考虑绿色新政和工业战略等欧盟最新政策的情况下，支持新兴技术获得公共资金的支持。2022年3月，德国在IPCEI下确定GETH2等62个化工、钢铁、交通领域的氢能项目，这些项目将获得总计80亿欧元的公共投资支持。萨尔茨吉特（Salzgitter AG）是GETH2项目合作的钢铁企业，将于2026年开始利用GETH2的氢气降低钢铁冶炼碳排放。

从**需求培育**角度看，钢铁行业下游建筑、汽车等的绿色要求，也会促使钢铁企业开设清洁氢冶金等绿色技术生产线。欧盟也已经从下游发力，为绿色钢铁创造市场，这是一种倒逼机制，但同时也能帮助钢铁企业分摊绿色溢价。建筑建造工程行业钢铁需求占欧洲总需求的50%左右，建筑业上游的结构性钢材的碳排放更是建筑产品环境属性中重要的一环。欧盟的建筑产品法规CPR（Construction Products Regulation）旨在为提高建筑产品的环境属性、减少其碳足迹提供法律法规方面的支持，并于2022年3月获得通过。建材行业成立的SteelZero等合作组织旨在帮助组织成员达到应用零化石燃料钢铁的目的，该组织已吸引BHC、Bourne Group、Lendlease等建筑企业的加入。

而在汽车行业，虽然目前政府尚未出台强制措施，但是各大企业已经在计划使用绿色钢铁。大众、沃尔沃、梅赛德斯奔驰、宝马等汽车企业开始尝试利用零化石燃料钢铁或氢冶金产品制造车辆，或通过投资零碳钢铁企业涉足清洁氢冶金行业。

此外，在零碳目标的指导下，欧盟也从**排放标准、市场机制、贸易碳泄漏**等多角度建立起一套体系，落实对钢铁行业的碳排放要求。欧盟为钢铁行业制定了二氧化碳排放会计准则和标准，以对全生命周期的排放进行测算。欧盟成熟的碳排放交易系统ETS（Emission Trading System）市场将成为减少温室气体排放、并提升清洁氢冶金等低碳技术经济竞争性的有效工具。碳差价合约CCfD（Carbon Contract for Difference）作为一种碳金融工具，可有效降低工业企业对ETS碳价未来趋势不确定性的担忧。政府或机构以固定的碳价从工业企业购买碳减排额，以帮助工业企业量化低碳项目的财务模型，降低工业转型风险，做出推动工业低碳项目的投资决策。目前，CCfD已在欧盟和各成员国的工业脱碳政策体系中得到推广，其相关规划被纳入德国的氢能战略。此外，作为避免重工业国际贸易碳泄漏（Carbon Leakage）的机制，欧盟正积极探索碳边境调节税CBAM（Carbon Border Adjustment Mechanism），其征收范围为钢铁、水泥等产品。

在欧洲国家层面，德国、英国、瑞典、意大利等国都在清洁氢冶金方面采取了行动，以项目层面资金支持为主。德国是为数不多在国家层面提出钢铁行业清洁规划的国家，其2020年颁布的钢铁行动文件（The Steel Action Concept），明确提出了对清洁氢冶金等技术应用的部署规划。英国启动了工业减碳战略（Industrial Decarbonization Strategy），并将钢铁行业列为其中的重点行业之一。奥地利、西班牙、瑞典等国家则更多是在项目层面提供支持，利用政府环保部门或能源部门的资金帮助清洁钢铁项目商业化落地，并借此吸引资本市场的融资支持。

此外，值得一提的是，欧盟和欧洲各国在绿色转型中，也考虑到了落后地区、落后产能等问题，并对此提供有针对性的扶持政策。公正转型机制JTM（Just Transition Mechanism）将为因低碳转型而受到经济影响的地区提供经济复苏和转型方面的帮助，并配套175亿欧元资金。意大利政府通过国有企业入股的形式，帮助因环境政策和工业转型压力面临停运风险的ILVA钢铁企业恢复生产，以此为就业和实体经济提供保障，促进绿色转型。

中国氢冶金政策：纲领文件引领，范围逐步扩大

近年来，在“双碳”和“双控”政策落地实施的背景下，钢铁行业的绿色低碳转型发展已成为普遍共识。坚持总量调控和科技创新相结合成为钢铁行业降碳的重要抓手，一方面严控和消化过剩落后产能，另一方面鼓励创新低碳冶炼技术发展。相较欧洲而言，中国在清洁氢冶金的政策制定阶段起步较晚，虽然在纲领性文件中明确提出了支持氢冶金，但具体的政策工具还处于酝酿阶段。

中国近年来一直着力化解钢铁行业过剩落后产能，在政策层面要求对于新建钢铁冶炼产量实施产能等量或减量置换，并鼓励向绿色低碳技术路线转型。在2016年国务院《关于钢铁行业化解过剩产能实现脱困发展的意见》文件的基础上，工信部于2021年年中正式印发《钢铁行业产能置换实施办法》，明确提到对于“建设氢冶金等非高炉炼铁项目”的产能置换优待，可保证其等量置换。

2020年底，工信部《关于推动钢铁工业高质量发展的指导意见》（征求意见稿）发布，提出“促进各类创新要素向企业集聚，加快推进产学研用协同创新，促进科技创新成果转化应用”的创新发展目标。为构建绿色低碳可持续的发展格局，《意见》在重点创新技术中提到了“氢冶金”和“非高炉炼钢”，并在主要任务中明确表示，“支持建设钢铁低碳冶金创新联盟，加强对氢能冶炼、非高炉炼铁以及碳捕获、利用与封存等低碳冶炼技术的研发应用力度。构建钢铁生产全过程碳管控监测与评估集成创新体系，推进钢铁行业碳排放权市场化交易。”2022年初，工信部、发改委和生态环境部联合印发《关于促进钢铁工业高质量发展的指导意见》，明确提出确保2030年前钢铁行业碳达峰的整体目标。相比征求意见稿，该文件于主要任务中增加了“制定氢冶金行动方案”的表述，进一步明确了当下开展氢冶金是中国钢铁工业高质量发展的关键技术路线。

今年2月，三部委和国家能源局共同发布《钢铁行业节能降碳改造升级实施指南》的通知，明确提出要把“加强先进技术攻关，培育标杆示范企业”作为重点工作方向，“重点围绕副产焦炉煤气或天然气直接还原炼铁、高炉大富氧或富氢冶炼、熔融还原、氢冶炼等低碳前沿技术，加大废钢资源回收利用，加强技术源头整体性的基础理论研究和产业创新发展，开展产业化试点示范。”这表明中国氢冶金产业化试点示范在政策文件层面得到支持。

从氢能产业发展的角度看，自2020年以来，各部委纷纷出台一系列支持政策，构建和完善中国氢能产业发展政策框架体系。氢能产业作为能源转型和工业脱碳的关键支柱，其重要性已上升到国家战略层面。当前氢能产业的发展尚处于起步阶段，目前国家层面通过研发计划重点专项等部署，着力发展氢燃料电池、制氢和储氢等产业链环节。氢能产业的快速良性发展也将为氢冶金技术推广提供更强的基础设施和供应链保障。

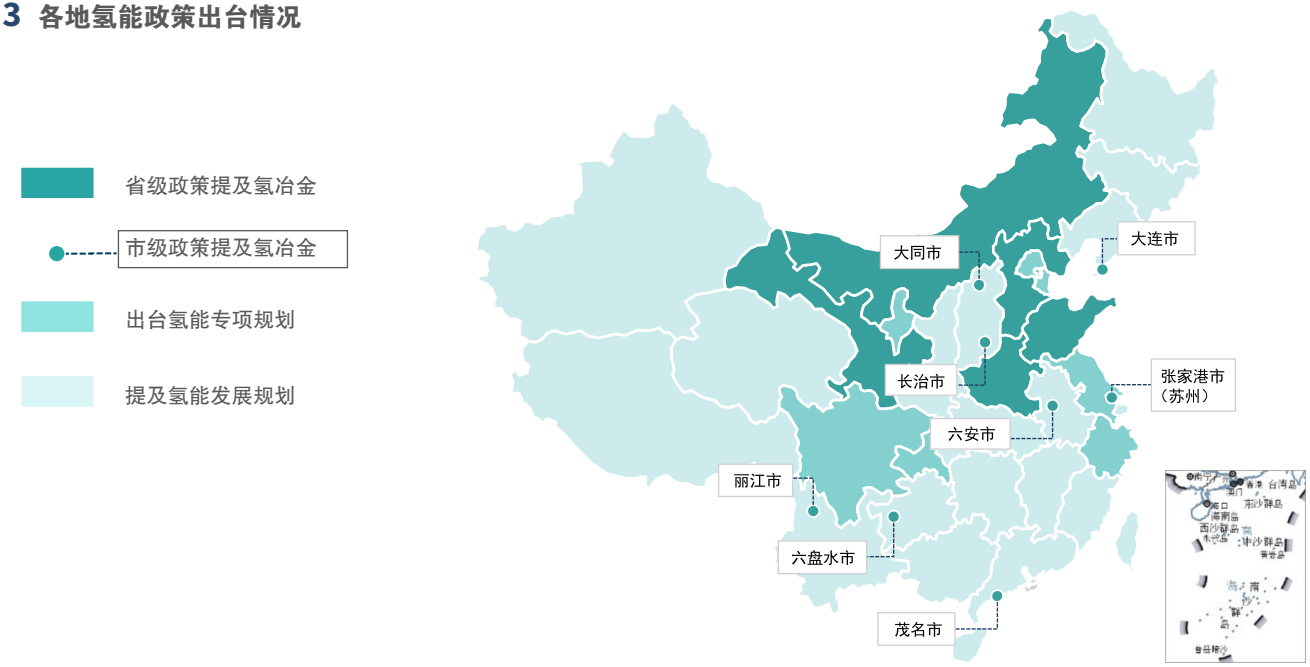
2022年3月下旬，国家发展改革委、国家能源局联合印发《氢能产业发展中长期规划（2021-2035年）》，文中正式提到“逐步探索（氢能在）工业领域替代应用”，并明确提出“开展以氢作为还原剂的氢冶金技术研发应用”和“探索氢能冶金示范应用”。此前，国内多地地方政府已陆续发布其氢能产业规划。目前，地方的氢能产业发展大都将燃料电动汽车视为主导方向。但值得关注的是，河北、河南、山东、内蒙古、甘肃等五个北方省区，以及大连、大同、长治、六安、丽江、六盘水、茂名、张家港（苏州）等地市，在氢能发展规划方面都明确提到氢在冶金领域的替代应用，并提出推动氢冶金相关技术研发和示范试点等。希望未来氢冶金的应用场景能够在更多地区的氢能产业发展规划和实施中得到关注，并实现合理的布局规划。

在氢冶金行动落地方面，联盟和试点示范工作均已逐步展开。2021年11月，宝武钢铁率先发起成立全球低碳冶金创新联盟，已聚集全球15个国家的数十家钢铁业及上下游企业和学术研究机构的研发资源，旨在搭建一个开放、平等、共建共享的技术交流平台。中国多家钢铁头部企业也已开始布局氢冶金试点示范项目，其中包括宝武八一钢铁富氢碳循环高炉试验项目、湛江钢铁氢基竖炉系统项目，以及河钢年产120万吨炼钢原料的氢气直接还原厂。其中，湛江项目于2022年1月广东省十三届人大五次会议被列为省重点预备项目。这些重点项目的建设进度、技术突破和经济表现等都将受到行业和政府的密切关注，也将会成为中国氢冶金政策制定和完善的重要案例依据来源。

图表 2 钢铁行业针对氢冶金的相关政策

时间	文件名称	发布机构	具体表述
2020.12	《关于推动钢铁工业高质量发展的指导意见（征求意见稿）》	工信部	“支持建设钢铁低碳冶金**创新联盟**，加强对氢能冶炼、非高炉炼铁……**研发应用力度**”
2021.05	《钢铁行业产能置换实施办法》	工信部	“建设氢冶金等非高炉炼铁项目”**产能等量置换**
2022.01	《关于促进钢铁工业高质量发展的指导意见》	工信部、发改委、生态环境部	“制定**氢冶金行动方案**”
2022.02	《钢铁行业节能降碳改造升级实施指南》	工信部、发改委、生态环境部、国家能源局	“重点围绕副产焦炉煤气或天然气直接还原炼铁、高炉大富氧或富氢冶炼、熔融还原、氢冶炼等低碳前沿技术……**开展产业化试点示范**”

图表 3 各地氢能政策出台情况



图表 4 各层级氢冶金政策具体表述

	时间	政策文件	具体表述
国家级	2022.03	《氢能产业发展中长期规划（2021-2035年）》	“开展以氢作为还原剂的氢冶金技术研发应用……探索氢能冶金示范应用”
省级	2022.02	《内蒙古自治区“十四五”氢能发展规划》	“探索拓展低成本的清洁能源制氢在钢铁、冶金、炼化等行业作为高品质原材料的应用，开展氢能替代焦炭作为还原剂示范，鼓励企业攻关氢能冶金技术”
	2022.01	《河南省“十四五”战略性新兴产业和未来产业发展规划》	“推动钢铁行业氢气代替碳作为还原剂和能量载体的绿色钢铁技术研发”
	2022.01	《甘肃省“十四五”能源发展规划》	“示范推广绿氢冶金、绿氢化工项目”
	2021.07	《河北省氢能产业发展“十四五”规划》	“探索冶金、化工领域氢能替代应用，重点实施对钢铁、合成氨、甲醇等行业绿色化改造”
	2020.06	《山东省氢能产业中长期发展规划（2020-2030年）》	“探索拓展低成本的清洁能源制氢在钢铁、冶金、炼化等行业作为高品质原材料的应用”
市级	2022.01	《六盘水市“十四五”科技创新发展规划》	“推进氢能冶炼钢铁技术研究，探索开展氢冶金、二氧化碳捕集利用一体化等试点示范；推进非高炉炼铁技术示范”
	2021.07	《丽江市人民政府关于氢能产业发展的指导意见》	“‘绿氢+工业’，鼓励工业融合，外送化工、冶金应用”
	2020.11	《大连市氢能产业发展规划（2020-2035年）》	“推动钢铁行业氢气代替碳作为还原剂和能量载体的绿色钢铁技术研发”
	2020.10	《长治市氢能产业发展规划（2020-2030年）》	“结合长治冶金工业对氢气还原剂的巨大需求，推广氢基竖炉还原冶金技术，开展氢能工业冶金示范应用”
	2020.09	《大同市氢能产业发展规划（2020-2030年）》	“推进氢能在炼铁、炼钢等领域的应用”
	2020.09	《六安市氢能产业发展规划（2020-2025年）》	“探索（氢）在冶金化工领域的替代应用”
	2020.01	《茂名市氢能产业发展规划》	“积极探索多样化的氢能资源应用方式.…..应用领域有石油化工、冶金、火电、集成电路制造等”
	2019.02	《张家港市氢能产业发展规划》	“鼓励氢能在化工、钢铁领域的应用，支持钢铁企业争创冶金氢能利用示范标杆，绿色冶金和节能环保示范”

中国钢铁行业特点及政策启示

清洁氢冶金领域同时涉及钢铁行业和氢能行业，两个行业的基础特性和发展趋势都影响着清洁氢冶金的发展进程。其中，由于氢能行业发展处于相对早期，各国均在探索最适宜本国特点的模式，因此，中国和欧洲各国在氢能领域的发展差距相对有限。而就钢铁行业而言，由于中国的特点突出，为清洁氢冶金的发展带来独特的挑战和机遇，在政策的未来方向引导上也体现了符合中国特色的要求，如图表5。

特点一：中国钢铁产量仍然较高，短期内碳排放尚未达峰，因此在初级钢减碳手段上，相较欧洲的工艺革新，中国更多地以节能增效为主。如图表6所示，中国钢铁产量在2000年左右开始迅速攀升，且在短期内尚未实现产量达峰。而欧洲钢铁产量有限，自2010年以来始终稳定在2.1亿吨/年，碳排放的增长趋势不大。此外，欧洲企业传统高炉路径的节能增效和环保技术相对成熟，如图表7，欧盟的传统高炉路径的平均碳排放为1.9吨二氧化碳/吨粗钢，效率和碳排放已经接近最优水平，未来其减碳重点将主要落在工艺路线改革上。随着钢铁行业在过去十年的高速发展，当前中国技术设备能效已有较大提升，2011-2015和2016-2020年吨钢综合能耗分别下降4.4%和6.8%，2020-2025年预计下降2%以上，碳排放强度将进一步降低。因此，中国需要同时兼顾产能控制、节能增效和工艺革新。相应地，政策制定应与中国行业情况相适应，从早期的以鼓励节能减排、产品优化为主，逐步过渡至对清洁氢冶金等新工艺路线的鼓励支持阶段。

特点二：中国的钢铁生产所使用还原剂以焦炭为主，而英美等国家则多使用天然气。如图表8所示，中国对于焦炭的依赖远高于英国和美国，天然气路线并非中国的主流炼铁方式。焦炭是固态，反应设备多为高炉，而天然气为气态，反应设备多为竖炉。氢气直接还原铁是现阶段氢冶金的主要技术，与焦炭路径相比，在设备和技术路线上与天然气直接还原铁的相似度更高。因此，考虑到现有的还原剂结构为氢冶金转型所增加的难度，中国在清洁氢冶金方面的政策发展宜充分考虑技术路线特点，中短期内可鼓励高炉喷吹氢气作为过渡路线，以避免高炉设备大规模搁浅。

特点三：中国钢铁企业以央企和国企为主，在国资委监督管理下，模范带头作用较强。如图表9，中国2020年钢铁产量的第一为央企宝武集团，第二为国企河钢集团，在排名前十的钢铁企业中，央国企的产量占比达到63%。央企和国企的投资方分别为中央国资委和地方国资委，非国有股东的控股成分较小，公开融资渠道较少。因此，钢铁行业央企和国企受国资委影响较大，在政策设定上，可发挥国资委的监督管理作用，从上至下地促进清洁氢冶金试点项目的部署，充分彰显央企和国企在中国钢铁行业低碳、零碳转型方面的模范带头作用。

特点四：中国钢铁企业的新技术以内部孵化为主，合作机构多来自同行业或科研高校，跨行业合作较少。一方面，中国先进钢铁企业均有较大规模的内部科研部门，并由它们来主导新技术孵化。另一方面，部分钢铁企业也已和科研机构展开氢冶金方面的合作，如，鞍钢集团与中科院大化所等签订“绿色氢能冶金技术”联合研发协议、建龙集团联合北京科技大学等开发富氢熔融还原新工艺。然而，随着氢冶金示范项目规模的逐步增大，需考虑引入覆盖产业链各环节的跨行业合作，建立成熟的合作模式，以合理分担新技术应用的潜在风险。钢铁企业可通过和包括外部技术提供商、初创企业等潜在合作方合作，共同推动针对创新技术的加速营模式构建和发展。

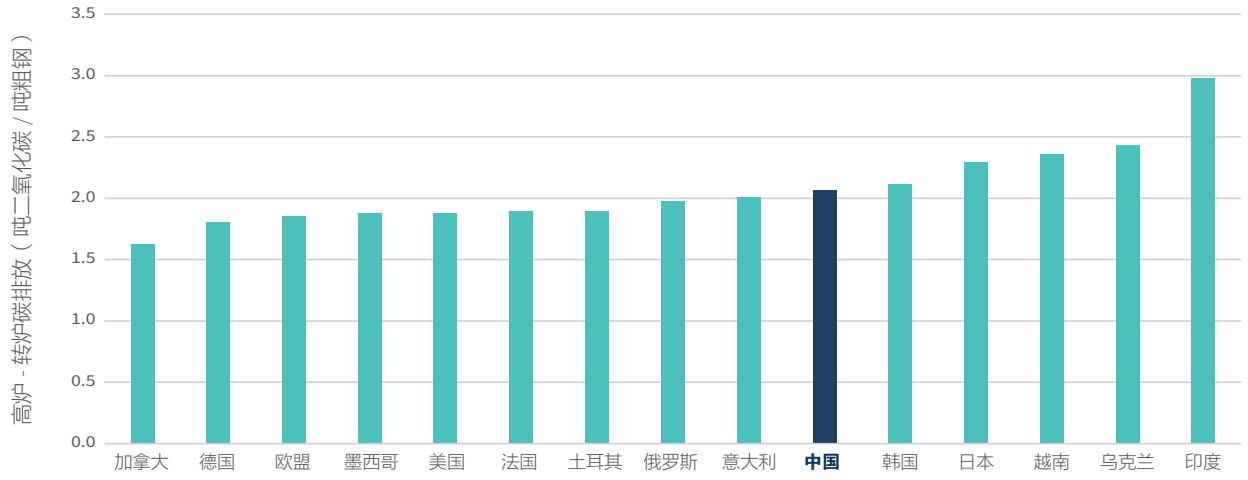
图表 5 中国钢铁行业特点和其政策意义

	特点	政策意义
	中国钢铁产量仍然较高，碳排放尚未达峰，初级钢减碳形式以节能增效为主，而欧洲以工艺革新为主	制定与中国行业情况相适应的政策，短期内以鼓励节能减排、废钢利用、产品优化为主
	中国炼铁方式还原剂以焦炭为主，而英美等国家多利用天然气，天然气与氢气还原铁设备接近	在政策制定上充分考虑技术路线特点，可利用高炉喷吹氢气作为过渡技术路线
	中国钢铁企业以央国企为主，投资方主要为国资委，公开融资渠道较少	从国资委角度鼓励钢铁行业央国企加大氢冶金投入力度
	中国钢铁企业的新技术以内部孵化、同行业合作为主，合作机构多为科研高校，产业链跨行业合作较少	鼓励钢铁企业从外部技术提供商或科研机构寻求经济高效的技术支持，引入产业链跨行业合作

图表 6 中国和欧洲钢铁产量 [1]

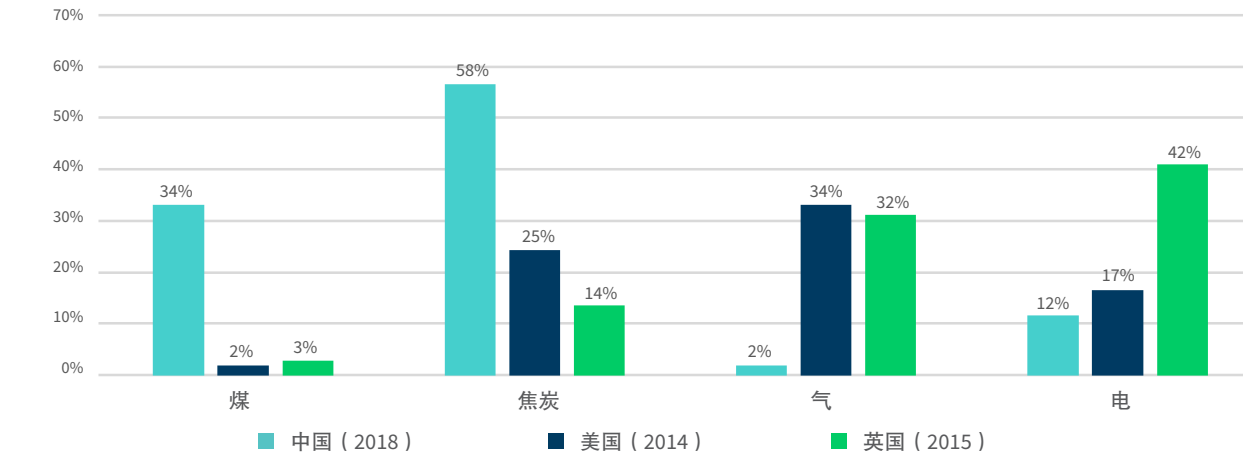
数据来源：世界钢铁协会

图表 7 不同国家的高炉 - 转炉路径钢铁碳排放 (2019)[2]



数据来源：Global Efficiency Intelligence

图表 8 中、美、英钢铁冶炼能源消费结构对比 [3]



数据来源：落基山研究所

图表 9 中国钢铁产量前十企业（2020 年）

排名	企业	产量（万吨）	企业属性
1	宝武集团*	11529	央企
2	河钢集团*	4376	国企
3	沙钢集团	4159	民企
4	鞍钢集团*	3819	央企
5	建龙集团*	3647	民企
6	首钢集团	3400	国企
7	山东钢铁	3111	国企
8	德龙集团	2826	民企
9	华菱集团	2678	民企
10	方大集团	1960	民企
产量总和（万吨）		**41505**	
央国企产量总和（万吨）		**26235**	
央国企产量占比		**63%**	

* 注：企业已宣布碳达峰和碳中和目标
数据来源：世界钢铁协会

清洁氢冶金发展模式中欧对比及中国展望

现阶段，欧洲氢冶金的发展以政策驱动为主，其主要项目往往能获得大量政策优待。政策驱动的重点是要建立起针对不同项目阶段的完善体系，例如：在项目前期研究阶段为其提供相对小型的公共基金扶持，而在项目的部署阶段则在更高层级提供更大规模的资金。图表10展示了瑞典成功案例Hybrit的发展历程和其获得的资金支持，除主要参与企业SSAB、LKAB和Vattenfall外，政府的公共资金也在此过程中起到了关键作用。在预可行性研究、可行性研究和试点项目阶段，瑞典能源署都给予持续的关注和支持[4]，且在不同的项目阶段逐步扩大为其提供的资金量。在示范项目阶段，Hybrit项目申请到了更大规模的欧盟创新基金，以此来推动示范项目2026年的清洁氢冶金产品的商业化交付。

而在中国，现阶段清洁氢冶金相关政策仍以纲领性指导为主，具体举措主要通过由先行企业积极试点来推动落地。目前，宝武、河钢、酒钢、建龙等多个企业已在该领域采取积极行动，相关项目如图表11所示。然而，国内氢冶金项目大多以灰氢或工业副产氢为主要氢气来源，绿氢相关部署较少，且多停留在规划层面。例如，宝武湛江直接还原铁项目二期计划利用南海地区光伏、风能生产的绿氢；河钢宣钢氢冶金示范工程将在项目二期应用绿电制取的绿氢；建龙集团在其绿色低碳发展路线图中涵盖绿氢熔融还原冶炼技术，但具体细节和落地情况仍有待观察。

图表 10 政策驱动下的瑞典成功案例 Hybrit 项目

注：1 瑞典克朗 = 0.09 欧元 = 0.66 人民币

图表 11 中国氢冶金相关企业和项目情况

企业	项目情况
宝武集团	富氢碳循环高炉（研发阶段） 100万吨氢气直接还原铁
河钢集团	120万吨氢气直接还原铁（从副产氢到绿氢）
酒钢集团	煤基氢冶金（研发阶段）
建龙集团	产能30万吨氢基熔融还原（副产氢）
日照钢铁	产能50万吨氢基直接还原铁（副产氢）
晋南钢铁	两座1860立方米（约每年300万吨）高炉规模化喷吹氢气项目
中晋太行	30万吨氢气直接还原铁

清洁氢冶金属于新兴低碳技术，当前技术成熟度和成本经济性均有待提升。总体而言，清洁氢冶金发展初期多以领先企业先行带动为主。此后，随着技术和市场的逐渐成熟，清洁氢冶金将逐渐从先行者驱动模式，过渡到作用于更大范围利益相关方的政策驱动模式，再在长期转变为更具可持续性的市场驱动模式。如图表12，对于中国的政策制定，建议宜充分考虑不同驱动模式的优势和局限性，发展适宜的环境，促进清洁氢冶金产业链的成熟。

中国现阶段的先行者以央国企为主，有足够的动力和资源推动一批示范试点快速落地。在该模式下，央国企虽灵活性有限，但得益于其强大的执行力，项目推进成功率较高，新项目中途搁浅的风险较低。相应地，政策制定者可在实践中完善政策的顶层构想和详细规定，并基于以央国企为主的一批先行者的试点经验，在不断迭代中，以最小的试错成本，精准把控并优化清洁氢冶金相关政策体系。在从先行者驱动模式向政策驱动模式过渡的过程中，政府应逐步发展鼓励清洁氢冶金的公开政策体系，以吸引更多的非国资背景的钢铁企业入局。

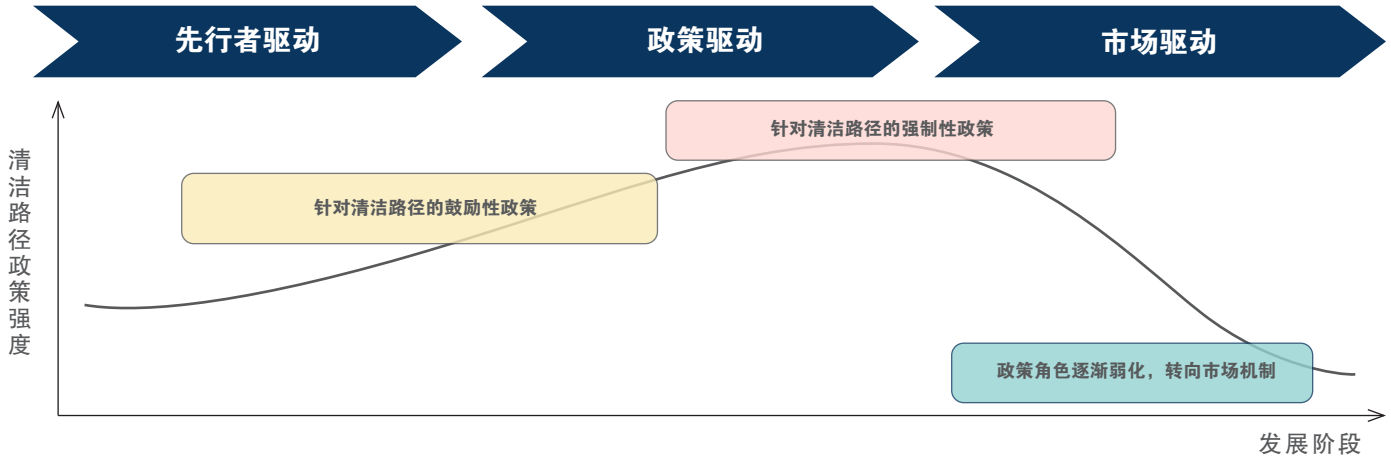
在已具备清洁氢冶金成功案例的中期，产业将逐步过渡到以政策驱动为主的阶段。此时，氢冶金技术成熟度提升，但经济性仍然不足，需要通过补贴、降税、基金等公共政策手段来有效提高清洁氢冶金项目的经济性。有利的政策将吸引更多参与者，提高企业的积极性，帮助打通产业链各环节，降低企业的试错成本。公共政策手段需以政府资金撬动资本市场，因此对政府的财政情况和融资能力有较高要求，在当地政府资源有限的地区执行难度较大。随着政策利好下的试点项目成本控制水平逐步提高，绿色溢价将实现逐步降低，政策激励手段也可相对应地稳步缩减。

在成本降低且经济性与传统路径相差不大的情况下，公共政策规模可逐步缩小，清洁氢冶金产业发展模式将转变为以市场驱动为主。行业格局将由市场机制调节，在对技术工艺、成本控制、管理水平等更高要求下，盈利能力不佳、转型力度不足的钢铁企业将被市场淘汰或被兼并收购。在该模式下，清洁氢冶金的成本优势和环境属性可以被最大化体现，高排放的传统冶金路径将被压缩。市场驱动模式的优点是可通过市场良性竞争优化项目质量，减少政府和国有投资者的压力。但市场驱动模式对清洁氢冶金产业的基础设施、技术水平等有较高要求，若公共政策撤出时机过早，传统路径的高排放项目会面临反复扩张的风险。

图表 12 中国清洁氢冶金发展模式展望

	先行者驱动	技术成熟 → 政策驱动	成本降低 → 市场驱动
时期	早期，技术瓶颈，缺乏成功案例	中期，已有成功案例，成本较高	远期，成本和技术均已成熟
特点	中国央国企为主，国资委驱动所属钢铁企业降碳	利用补贴、降税、基金等政策手段，增强清洁氢冶金项目经济性	在氢冶金的技术和经济性成熟后，利用氢冶金的成本优势和环境属性，以市场机制为主导
优点	执行性强，减少项目搁浅风险，快速提高技术成熟度	可有效缓解低碳新兴技术成本高的弊端，增加低碳项目参与度	市场良性竞争优化清洁氢冶金项目质量，减少政府、国资委的压力
缺点	企业自驱性不足，低碳项目经济性较差	对政府财政形成压力，在政府资源有限的地区难以执行	清洁氢冶金的基础设施、技术水平、成本优化等受到考验，高碳排放但低成本的项目有扩张风险
发展方式	政府逐步发展相关公开政策，鼓励非央国企的钢铁企业进入	低碳技术成熟，绿色溢价降低，逐步退出政策激励手段	实时监控清洁氢冶金产品市场化后的发展，避免氢冶金市场份额下降

图表 13 中国清洁氢冶金政策类型展望



政策建议

清洁氢冶金是一种低碳新兴技术，在中国仍处于较早期阶段。根据清洁氢冶金的技术特点和中国的钢铁行业特点，有以下政策建议供参考：

建立产学研（生产、教学、科研）联合攻关机制，提高钢铁企业持续性创新能力。将科研端对于清洁氢冶金的技术突破能力与产业实践能力相结合，帮助新兴技术逐步从实验室走向试点。规范化、规模化培养清洁氢冶金人才，为未来数十年的行业发展奠定可持续人才基础。钢铁企业可加大与科研机构、高校、技术提供方等的合作力度，构建有效的创新研发管理机制，为清洁技术提供优质的发展环境。

推动钢铁企业的经验交流，引导行业层面的知识产权共享和协同发展。当前，中国钢铁企业对于清洁氢冶金技术仍处于试点或研究开发阶段。虽然企业基于自身技术积累和资源情况可采取不同的工艺选择，但通过行业充分交流共建，可在管理模式、融资方式、技术方向等方面充分挖掘工艺提升空间。相关部门和行业协会可积极推动钢铁企业更深层更广泛的交流，通过有序引导知识产权共享，降低行业企业在低碳转型进程差距，避免恶性竞争，推动行业可持续发展。

鼓励全产业上下游积极参与前期研发及固定资产投资，形成互利多赢的全产业链成本收益分配机制。目前，国内清洁氢冶金试点项目盈利模式尚不成熟，存在一定的风险，成本分担机制也尚不清晰。从供应商角度，可大力鼓励氢气供应商、技术提供商等在清洁氢冶金试点项目中探索最佳的商业合作模式。从下游客户角度，可考虑引导企业形成合理的绿色溢价支付意愿，并加强终端消费者的市场教育，以钢铁下游低碳需求倒逼钢铁行业低碳转型。

搭建合理有效的金融政策引导和外部市场机制，将政府补贴和市场调节相结合，为清洁氢冶金项目提供有力资金支持。在保障资金需求方面，政策手段可更丰富化。例如，设计适用于项目各个周期的转型支持公共基金，并利用公共资金撬动资本市场，保障所需资金的数量和可持续来源。此外，加速全国碳市场建设，加速纳入钢铁行业，强化相关监管，通过内部化碳排放成本但市场手段降低清洁氢冶金的绿色溢价。

推动绿氢和绿电的全产业链建设，构建足以支撑钢铁等多个行业零碳转型的相关基础设施，并提供绿电和绿氢优惠价格以支撑早期发展。在发展初期，可推动工业副产氢利用等过渡解决方案，促进工业应用端逐步实现利用氢气的条件，为氢气供应实现零碳后尽早大规模应用准备条件。此外，大力支持绿氢、绿电上游制取、中游储运和下游利用等全生态系统构建，并结合钢铁产能分布特点，尽早合理规划输电、输氢渠道，降低清洁氢冶金项目的绿电、绿氢资源供应不足、不稳定的风险。

报告参考文献

1 世界钢铁协会, *Steel Statistical Yearbook,* 2019.

2 Ali Hasanbeigi, *Steel Climate Impact: An International Benchmarking of Energy and CO_2 Intensities,* Global Efficiency Intelligence, 2022.

3 陈济，李抒苡，李相宜，李也, *碳中和目标下的中国钢铁零碳之路,* 落基山研究所, 2021.

4 Martin Pei et al., *Toward a Fossil Free Future with HYBRIT: Development of Iron and Steelmaking Technology in Sweden and Finland,* Metals, 2020.

李抒苡，谭光瑀，薛雨军，中国、欧洲清洁氢冶金：政策动向与中国启示，RMI，2022

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/**

除特别注明，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

© 2022年6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。