

技术革新，撬动氢能冶金千亿市场

——钢铁碳中和③

我们在 2021 年发布的《钢铁碳中和》系列①和②中分别论述了“去产量”是中短期内实现“碳达峰”见效最快的方式，“氢冶金”是实现“碳中和”的必然发展方向。本篇报告将从国内外大型钢企的减排规划和实践出发，分析未来十年我国钢铁减排主流手段，及相应的潜在市场机会。

核心观点

- 发展创新型冶金技术是我国钢铁行业实现“碳中和”的必然选择。钢铁“碳中和”是一项系统而又复杂的艰巨任务，需有赖于冶金、碳循环及利用、氢能等多学科、多领域技术的综合利用。由于冶金领域是钢铁生产的碳输入源头，大幅提高废钢比例或对冶金技术进行创新型革新不可避免。
- 氢气冶金为重，电炉炼钢为辅。全废钢可代替铁矿石成为最绿色的“铁源”，并且全废钢的短流程技术成熟，但为何大型钢企并未将大力发展电弧炉作为短期减碳部署？我们认为电弧炉大发展的条件——废钢资源、廉价电力、电弧炉装备升级均尚不成熟。
- 富氢高炉工艺或是未来十年主流技术，氢基直接还原铁或在 2030 后迎来大发展。钢铁“碳中和”目标宏大，但仍需分步实施，结合 2030-2035 减排 30% 的目标，富氢高炉工艺可基于我国钢铁行业现有资产，在未来十年或迎来快速成长。氢基直接还原铁为氢冶金终极技术，但由于我国直接还原铁基础仍较为薄弱，预计或在 2030 年之后迎来大规模推广。
- “碳中和”重新焕发冶金工程活力，高炉改造市场规模未来十年或达千亿。若高炉富氢改造到 2030 年在我国渗透率能达 50%，参考八一钢铁高炉改造投资密度并考虑一定的优化空间，未来十年我国高炉富氢改造市场空间或达 4400 亿。其中安全高效的煤气加热装置是高炉富氢发展下出现的新应用，为更具有成长弹性的细分领域。
- 氢基直接还原铁将牵动上下游同步升级革新，远期投资或涉及万亿。氢基直接还原铁投资强度约为高炉改造的 1.3 倍，市场空间显然更广，并且为实现“零碳”还将带动下游工序电弧炉改造升级、上游清洁能源制氢的配套投资。其中高温气冷堆制氢具备安全性强、制氢规模大、能源利用效率高的优势，也成为氢冶金宏伟版图的发展方向之一。

投资建议与投资标的

- 综上所述，钢铁“碳中和”必然带动我国冶金技术升级和创新，并撬动冶金工程千亿市场。建议一方面关注综合实力较强、氢冶金领域研发积累深厚的钢铁企业，如宝钢股份(600019, 未评级)、八一钢铁(600581, 未评级)、河钢股份(000709, 未评级)、韶钢松山(000717, 未评级)等；
- 另一方面关注于受益于钢铁碳中和的冶金工程公司，如中国中冶(601618, 未评级)、中钢国际(000928, 未评级)，及具备为新装置供应高等级材料能力的久立特材(002318, 买入)、受益于还原气体重整及水电解制氢对贵金属催化剂需求提升贵研铂业(600459, 未评级)

风险提示

- 政策出台进度及方式不达预期、技术发展不及预期、国内及海外新冠疫情反复的风险、假设变动对市场空间测算结果影响的风险。



东方证券
ORIENT SECURITIES

行业评级 **看好** 中性 看淡 (维持)

国家/地区 中国
行业 钢铁行业
报告发布日期 2021 年 12 月 23 日

行业表现



资料来源: WIND、东方证券研究所

证券分析师 刘洋
021-63325888*6084
liuyang3@orientsec.com.cn
执业证书编号: S0860520010002

联系人 李一冉

liyiran@orientsec.com.cn

联系人 滕朱军

tengzhujun@orientsec.com.cn

相关报告

钢铁碳中和②: 低碳冶金, “氢”来了 2021-04-26
钢铁碳中和: 必要性及去产量可能路径探讨 2021-03-04

东方证券股份有限公司经相关主管机关核准具备证券投资咨询业务资格，据此开展发布证券研究报告业务。

东方证券股份有限公司及其关联机构在法律许可的范围内正在或将要与本研究报告所分析的企业发展业务关系。因此，投资者应当考虑到本公司可能存在对报告的客观性产生影响的利益冲突，不应视本证券研究报告为作出投资决策的唯一因素。

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责声明。

目 录

1 前言：“双碳”元年，吹响“氢冶金”号角.....	4
2 技术：富氢高炉长流程或成为未来十年我国主流的钢铁减排手段	6
2.1 大型钢企部署：坚定零碳“大远景”，分步实施“小目标”	6
2.2 手段：氢气冶金为重，电炉炼钢为辅.....	9
2.3 创新型冶金技术：过渡技术富氢高炉 V.S. 终极手段氢基直接还原铁	11
2.4 更广阔的氢冶金版图：清洁能源制氢.....	14
3 冶金工程蓄势待发：钢铁“碳中和”撬动的千亿市场.....	17
3.1 高炉富氢：未来十年市场空间达千亿.....	17
3.2 氢基直接还原铁：后劲足潜力大，或带动万亿投资规模	17
4 投资建议：关注率先布局氢冶金的大型钢企，及相关工程和材料供应企业	18
风险提示.....	19

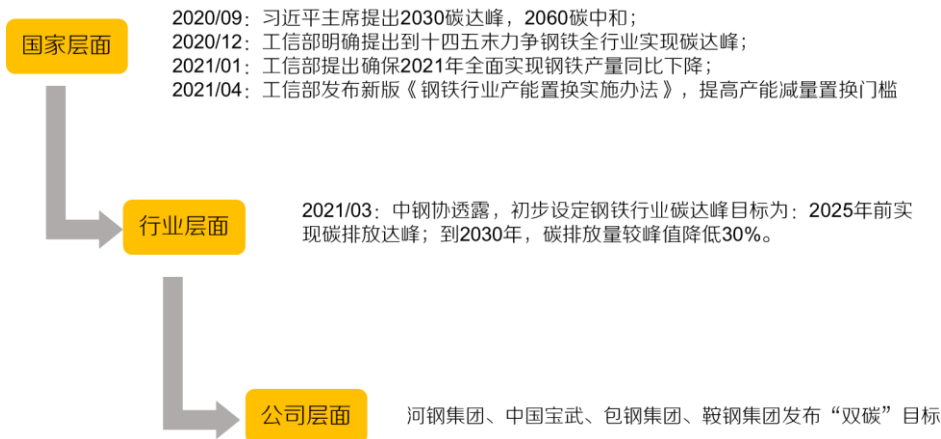
图表目录

图 1: 从国家、行业到公司层面,“双碳目标”逐级传导	4
图 2: 我国大型钢铁集团“双碳”实施规划	5
图 3: 日本制铁减排目标和路径	6
图 4: 浦项制铁减碳时间计划	7
图 5: 浦项制铁减碳措施	7
图 6: 宝钢主要技术的减排潜力和部署时间表	7
图 7: 八一钢铁改造高炉示意图	8
图 8: 宝武湛江氢气直接还原工艺示意图	8
图 9: 参考大型钢企部署规划,短期氢气冶金为重,电弧炉发展为辅	9
图 10: 废钢是最绿色的铁源,电弧炉的发展离不开充分的废钢资源	10
图 11: “中国式”短流程碳排并不低: 2020 年我国重点钢铁企业电弧炉中生铁块占比高于废钢 ..	10
图 12: 电炉-转炉成本差 (元/吨)	10
图 13: 2020 年我国废钢消耗占比: 我国废钢资源的利用对长流程依赖高	11
图 14: 2019 年每炉冶炼周期 (分钟): 电弧炉生产效率尚明显低于长流程的转炉	11
图 15: 以日本 COURSE50 项目目标为例,富氢高炉和碳捕集结合或能实现 30%减排幅度	12
图 16: 难点一: 直接还原炉和高炉均需还原气体加热装置	12
图 17: 难点三: 富氢高炉规模放大	12
图 18: 高炉和直接还原铁吨铁碳排放 (单位: 吨)	13
图 19: 宝武集团两个低碳冶金项目单吨投资对比 (单位: 元/吨)	14
图 20: 核能制氢方式	15
图 21: 核电-碘硫循环热化学制氢	15
图 22: 核能制氢-氢气直接还原铁示意图	16
表 1: 新版《钢铁行业产能置换实施办法》提升长流程减量置换比例	4

1 前言：“双碳”元年，吹响“氢冶金”号角

2021 作为“双碳”元年，钢铁行业即负重前行。自“双碳”目标提出后，我们在 2021 年先后发布了《钢铁碳中和①：必要性及去产量可能路径探讨》以及《钢铁碳中和②：低碳冶金，“氢”来了》，分别论述了“去产量”是中短期内实现“碳达峰”见效最快的方式，“氢冶金”是实现“碳中和”的必然发展方向。站在当前时点，2021 年作为“碳中和”发展的元年即将收官，我们也深刻感受到“十四五”更严格的能耗要求和“双碳”目标约束给钢铁行业减排带来的压力：

图 1：从国家、行业到公司层面，“双碳目标”逐级传导



资料来源：公开资料整理、东方证券研究所

国家层面，工信部先后提出粗钢产量压减和新版《钢铁行业产能置换实施办法》。我国“双碳”目标在 2020 年 9 月被提出，工信部随后年底提出钢铁产量压减任务，要求 2021 年粗钢产量实现同比下降，任务实施力度超预期发展，根据我们 2021 年 12 月发布的《钢铁 2022 年度策略》中的测算，预计 2021 年我国粗钢产量或同比下降 2.5%。2021 年 4 月，工信部发布新版《钢铁行业产能置换实施办法》，对部分地区提高产能减量置换比例，传统高炉产能扩张进一步受限。

表 1：新版《钢铁行业产能置换实施办法》提升长流程减量置换比例

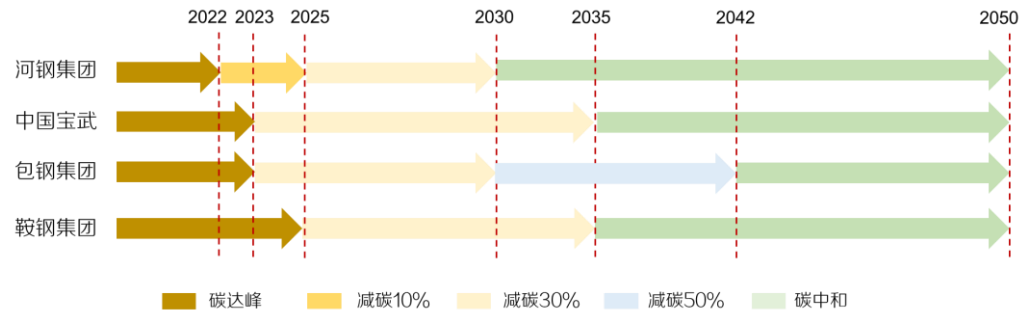
	区域	新版置换比例	原置换比例
高炉—转炉等项目	大气污染防治重点区域	1.25: 1	1: 1
	其他地区	1.5: 1	1.25: 1
短流程电炉项目及氢冶金等非高炉项目		1: 1	1: 1

资料来源：工信部、东方证券研究所

行业层面，今年 3 月中钢协透露钢铁行业“碳达峰”“碳中和”初步目标：2025 年前钢铁行业实现碳排放达峰，到 2030 年钢铁行业碳排放量较峰值降低 30%。这意味着钢铁行业需提前实现双碳目标。

公司层面，国内大型钢铁集团响应国家和行业号召，于今年提出提前实现“双碳”的目标。如中国宝武、河钢集团、包钢集团、鞍钢集团“双碳”实施规划，并且中国宝武和河钢集团在 2021 年均开工建设氢基直接还原冶金项目。

图 2：我国大型钢铁集团“双碳”实施规划



资料来源：公司官网、东方证券研究所

可以看出，我国钢铁行业在“双碳”元年已将减排摆在重要位置，由于冶金领域是钢铁生产的碳输入源头，大幅提高废钢比例或对冶金技术进行创新型革新不可避免。本篇报告作为《钢铁碳中和》系列第三篇，将从国内外大型钢企减排规划和实践出发，分析我国未来十年我国钢铁主流的减排手段，及其带动的潜在市场机会。

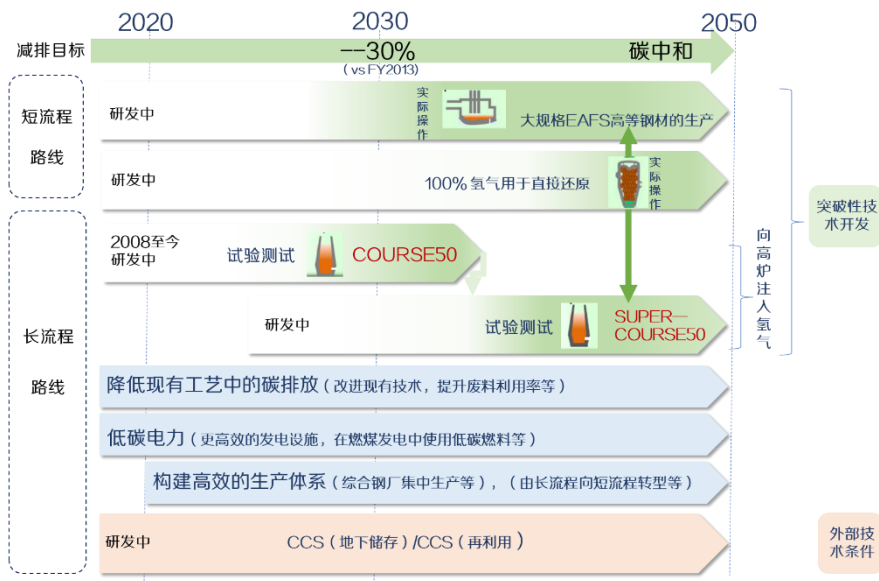
2 技术：富氢高炉长流程或成为未来十年我国主流的钢铁减排手段

2.1 大型钢企部署：坚定零碳“大远景”，分步实施“小目标”

①日本制铁

日本制铁提出计划 **2030 年减排 30%**，**2050 年实现碳中和**，并提出了三大举措。按部署先后顺序排序，分别为：一是基于长流程的工艺装备发展高炉富氢和碳捕集技术，以实现 30% 的减排效果，即 Course50 项目；二是大力发展短流程炼钢，升级电弧炉装备水平，提升短流程产率；三是发展全氢冶金技术生产直接还原铁，以降低对高炉铁水的依赖。

图 3：日本制铁减排目标和路径



资料来源：日本制铁、东方证券研究所

②浦项制铁

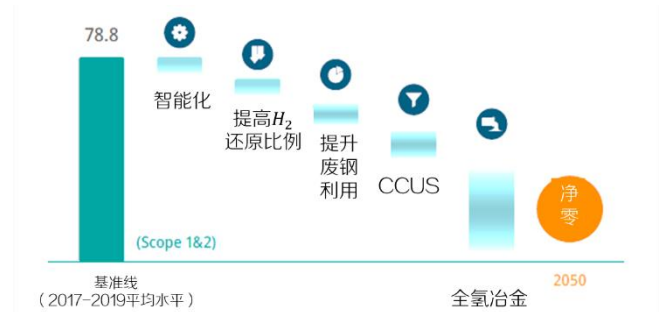
浦项制铁提出计划 **2030 年减排 20%**，**2040 年减排 50%**，**2050 年实现碳中和**。依赖的技术手段与日本制铁类似，涵盖多领域措施：包括智能化改造、在现有工艺装备基础上提高氢还原铁比例和废钢比例、碳捕集和循环利用或储存（CCUS）、以及全氢冶金。其中，**第一阶段计划通过智能化改造提升能源利用效率**，实现 10% 的减排目标；**第二阶段计划三线并行**，一是通过在长流程转炉中增加废钢比例，实现 10%-15% 减排目标，二是在现有的还原炉或高炉中注入富氢气体，包括焦炉煤气、炉顶煤气、重整天然气、绿氢，以实现 10% 的减碳目标，三是同步发展碳捕集技术；**第三阶段则是全流程氢冶金（简称“HyREX”项目）**，该项目计划在未来 10-20 年逐渐转向绿氢直接还原铁-电弧炉工艺，以实现碳中和的目标。

图 4：浦项制铁减碳时间计划



资料来源：浦项制铁、东方证券研究所

图 5：浦项制铁减碳措施

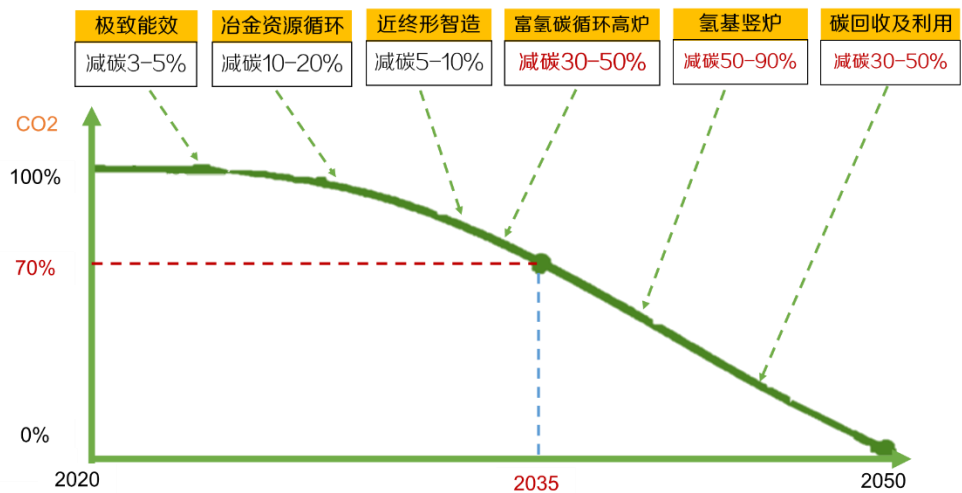


资料来源：浦项制铁、东方证券研究所

③中国宝武

中国宝武于 2021 年 11 月发布《中国宝武碳中和行动方案》，提出实现“碳中和”的具体举措。自年初提出“2035 减排 30%，2050 碳中和”后，中国宝武今年 11 月发布目标落实的相关举措，发展的碳中和冶金技术主要包括：极致能效、富氢碳循环高炉、氢基竖炉、近终形智造、冶金资源循环利用和碳回收及利用等六方面的内容。

图 6：宝钢主要技术的减排潜力和部署时间表

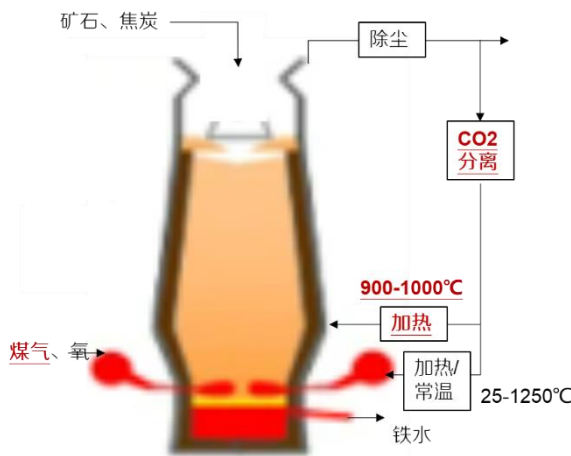


资料来源：公司官网、东方证券研究所

中国宝武已在八一钢铁和宝武湛江两地分别实施基于高炉工艺的富氢碳循环低碳技术、基于直接还原炉工艺的氢冶金技术：在八一钢铁，一座 430 立方米的濒临淘汰的迷你高炉在 19 年 10 月份开始进行改造，成为宝武的“富氢碳循环高炉”试验田，一期改造已达到 15% 的减排目标，二期将把高炉改造成具备全氧冶炼、富氢、炉顶煤气脱碳-煤气自循环喷吹等功能的低碳冶金项目，计划 22 年完工，预计碳减排降低 30%；在湛江基地，一座 100 万吨氢基竖炉还原示范工程在 21 年 9

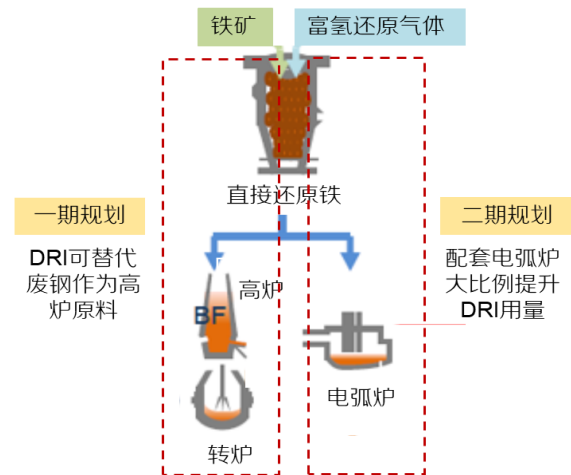
月开工建设，该炼铁产能宝武原本计划用于建设四、五高炉，但在 2020 年及时叫停高炉方案，并替换为氢基竖炉方案，该方案一期规划 100 万吨直接还原铁产能，首先利用湛江高炉配套焦炉生产的焦炉煤气、天然气、氢气，使还原气体中氢气含量高达 60%，二期规划再建 100 万吨直接还原铁产能，并利用绿色能源生产绿氢，将氢气比例逐步提升至 80%，并配套相应的废钢和大功率电炉，以形成一个非常紧凑的短流程低碳冶金路线。

图 7：八一钢铁改造高炉示意图



资料来源：《氧气高炉技术及炼铁工序能耗初步分析》 东方证券研究所

图 8：宝武湛江氢气直接还原工艺示意图



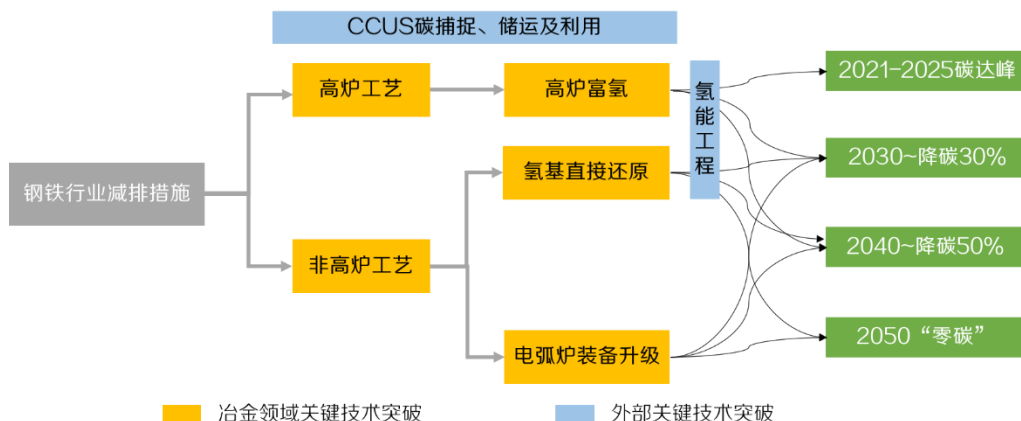
资料来源：公开资料整理、东方证券研究所

④河钢集团

河钢集团在 21 年 5 月启动建设 120 万吨规模的氢冶金示范工程。项目采用直接还原工艺，以替代传统高炉冶金工艺，使还原气体中氢含量达到约 70%，预计吨铁的碳排放仅为 0.25 吨，绿氢制备将充分利用张家口地区可再生能源资源，打造钢铁生产-氢能应用全产业链。21 年 7 月，河钢集团还投入运营了首批次 30 量氢能重卡。

从上述国内外大型钢企减碳路径来看，钢铁“零碳”是一项系统而又复杂的工程，需要从碳源、碳效、碳排等方面进行全方面考量，涉及的关键技术包括富氢高炉、氢基直接还原、CCUS（碳捕集、碳存储或碳利用）、氢能制备和利用等方面。但罗马并非一日建成，正如上述钢铁集团也需将“碳中和”这一宏远目标分为阶段性的“小目标”，“双碳”目标的实现还需结合实际循序渐进。尽管全废钢+电弧炉炼钢的碳排放量最低，但各钢企仍以富氢高炉或氢基直接还原铁的“氢冶金”技术作为发展重点，电弧炉炼钢暂为辅助手段。

图 9：参考大型钢企部署规划，短期氢气冶金为重，电炉炉发展为辅



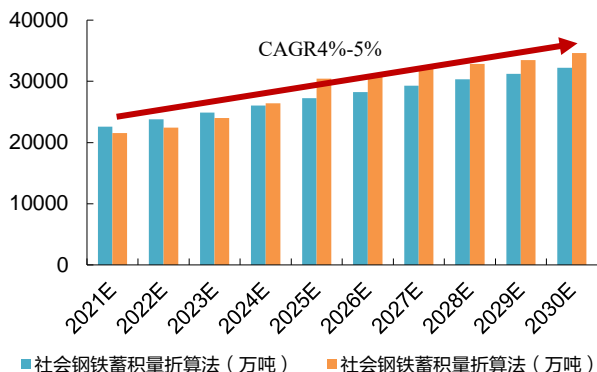
资料来源：公开资料整理、东方证券研究所

2.2 手段：氢气冶金为重，电炉炼钢为辅

电弧炉大发展的客观条件在于充足的废钢资源、外部环境需要廉价电力配合、技术方面需要电弧炉装备升级。从碳源入手是最直接的减排方式，氢冶金和全废钢均是从碳源入手减少钢铁碳排放。全废钢短流程吨铁碳排放几乎为 0，并且以全废钢的短流程技术成熟，那为何上述大型钢企将氢冶金作为减排潜力更大、优先级更高的手段，而大量建设电弧炉产能并未成为短期的行动计划呢？以下我们的解释：

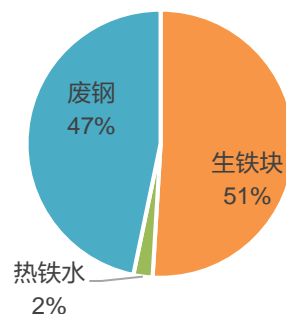
第一是废钢资源，电弧炉的发展不能脱离再生资源的客观增速。废钢作为铁矿石（高炉生铁、直接还原铁的原料）的替代品，可比避免还原铁矿带来的碳排放，当然是实现“零碳”最理想的原料。尽管我国废钢资源增速进入快速发展期，但我国钢铁产量基数较大，要替代铁矿石成为主要投料尚需时日。在此也有必要澄清下当前的“中国式”电炉炼钢现状，即热铁水在投料占比较大，根据《世界金属导报》数据统计，2020 年我国重点统计单位电弧炉吨钢使用热铁水 511kg/t，使用废钢 469kg/t，因此脱离废钢资源大举发展电弧炉，“碳源”问题仍然存在。除此之外，电弧炉炼钢消耗的辅料——石墨电极，同样也是碳排大户，根据张送来于 2020 年在《炭素技术》发表的《超高功率石墨电极生产能源消耗量计算与节能措施单吨》一文，超高功率石墨电极能耗约 1.2 吨标煤，对应单吨碳排放量约 3.1 吨，在能耗双控和“双碳”目标下同样面临电力来源转型的压力。

图 10：废钢是最绿色的铁源，电弧炉的发展离不开充分的废钢资源



资料来源：《中国废钢资源状况及未来电炉流程趋势》、东方证券研究所

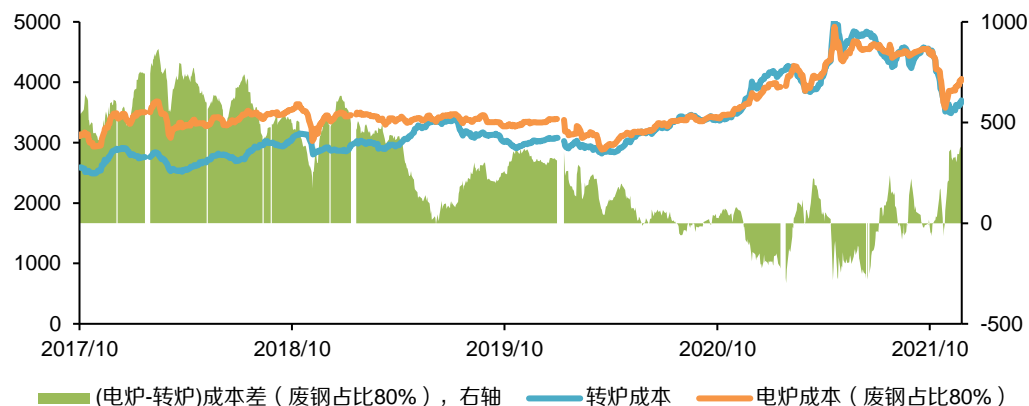
图 11：“中国式”短流程碳排放并不低：2020 年我国重点钢铁企业电弧炉中生铁块占比高于废钢



资料来源：世界金属导报、东方证券研究所

第二是经济性，而经济性主要取决于电价。2020 年我国重点统计单位电弧炉吨钢综合电耗 338.45kWh/t，耗电量较高。原材料中石墨电极消耗 1.59kg/t，而石墨电极本身也是高耗能行业，按 2021 年 3 月公示的《太原晟旭碳素有限公司超高功率石墨电极及高端碳材料项目公示稿》中披露，单吨超高功率石墨电极耗电量为 5767kWh/t，价格自然受电力成本影响较大。而我国工业电价水平较高，导致我国短流程成本长期高于长流程。由下可见，2017 年以来我国短流程仅在 2020 年底和 2021 年三季度较长流程成本具有优势，其中 2020 年底成本优势主要来自于石墨电极跌至近年底部，今年年初以来石墨电极价格逐渐回升；2021 年三季度成本优势主要来自于高煤价对电价的传导受阻，而这点也在年底煤价上浮比例限制提高后迎来反转，因此 11 月份短流程与长流程的成本差又回升至 200-400 元的区间内。

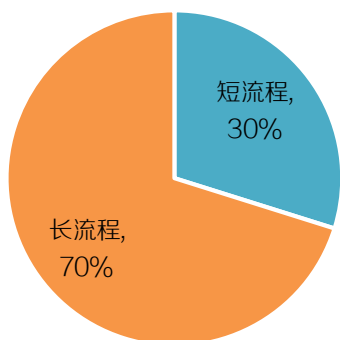
图 12：电炉-转炉成本差 (元/吨)



资料来源：Wind、东方证券研究所

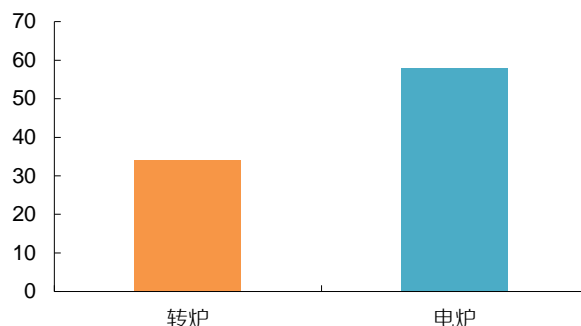
从长流程的废钢添加比例也可侧面验证长、短流程经济性，我国长流程的废钢用量反而多余短流程。

图 13：2020 年我国废钢消耗占比：我国废钢资源的利用对长流程依赖高



资料来源：国家统计局、世界钢铁协会、东方证券研究所

图 14：2019 年每炉冶炼周期（分钟）：电炉生产效率尚明显低于长流程的转炉



资料来源：《中国宝武报》、东方证券研究所

第三是电炉炉装备技术，冶炼效率和容量较长流程存在明显差距。如上图所示，2019 年我国电炉每炉冶炼周期为 58 分钟，长流程转炉冶炼周期仅为 34 分钟。在容量方面，从 Mysteel 公布的《2021 年 11 月钢铁项目产能置换方案》可以看出，新增电炉设备单个容量中位数在 100 吨，对应普钢产能 75 万吨，而长流程转炉单个容量中位数在 110 吨，对应普钢产能 125 万吨，为电炉的产能 1.7 倍。因此更大容量、更高产率的电炉装备的研发和升级也是短流程工艺大规模发展必不可少的条件之一。

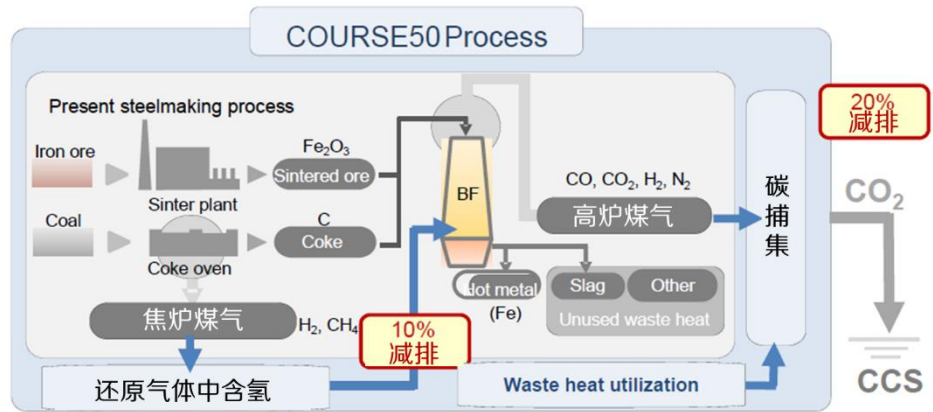
综上所述，尽管废钢-电炉短流程吨铁碳排放几近为 0，但短期内尚不具备大规模发展条件，降低碳排放重任仍需从炼铁环节入手。在氢冶金工程领域，我国钢企正朝着以富氢高炉工艺为核心的低碳高炉技术，和以氢还原彻底代替碳还原为核心的氢基直接还原铁技术方向进行攻关，有望快速推广至全行业。《钢铁碳中和②》中已对高炉富氢和氢基直接还原铁工艺的原理和发展条件进行了详细介绍，在此不再赘述，下文将从减排潜力、技术难点、经济性三个角度对其进行综合对比。

2.3 创新型冶金技术：过渡技术富氢高炉 V.S. 终极手段氢基直接还原铁

2.2.1 高炉富氢

减排潜力方面，高炉富氢叠加碳捕集技术或具备降碳 30% 的潜力。我们在《钢铁碳中和②》报告中论述，通过喷吹氢气来降低高炉碳排放可行，但减排潜力较为有限，这主要是由于高炉内氢气浓度到达一定程度时，氢气利用率反而降低，模拟试验和实践结果表明减排幅度一般在 10%-20%，这与浦项制铁和日本制铁高炉富氢 10% 的减碳目标、八一钢铁富氢碳循环高炉第一阶段 15% 的减排结果相符。进一步提升减排效果或需要碳捕集技术配合，八一钢铁、日本制铁和浦项制铁均计划将富氢高炉技术与碳捕集技术相结合，以实现焦炉煤气和高炉煤气的循环使用，以提升减排幅度至 30%。这意味着仅将现有高炉进行改造并叠加废钢比的提升，即可以实现大型钢铁集团 30% 的阶段性减碳目标，但对实现远期的降碳目标，乃至于碳中和却力不从心。

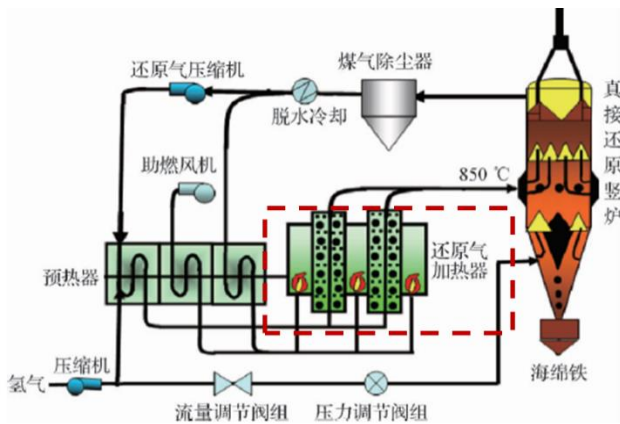
图 15：以日本 COURSE50 项目目标为例，富氢高炉和碳捕集结合或能实现 30%减排幅度



资料来源：日本制铁、东方证券研究所

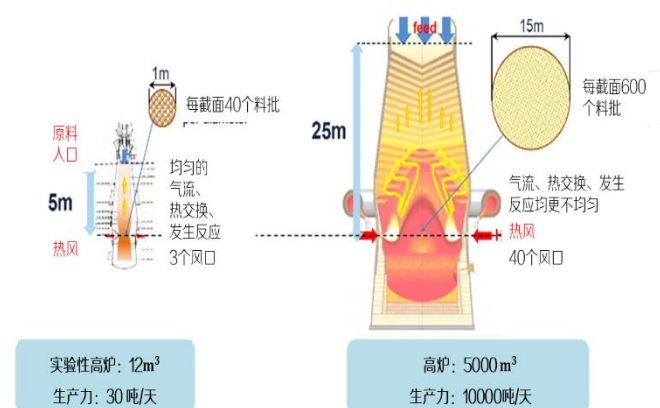
技术难点方面，富氢高炉工艺主要有三大难点：一是富氢煤气加热技术，氢还原不同于碳还原是吸热反应，因此高炉中喷吹的富氢气体需提前加热到一定温度，否则能耗反而升高。但富氢煤气中 CO 含量和氢气含量均较高，加热过程中易出现析碳反应，同时易发生爆炸和泄露等事故，如何实现安全稳定且高效经济的加热富氢煤气，是富氢高炉核心挑战之一；二是氢气注入的可允许范围，这点我们在《碳中和②》中进行过论述，由于高炉中碳不止是还原剂，也是热源和炉料支撑骨架，因此高炉中氢气的注入是存在上限的，这也客观上制约了富氢高炉的减排潜力；三是放大试验富氢高炉规模，目前高炉建设门槛已达 1200 立方米，是八一钢铁试验高炉规模的几乎三倍，大型高炉中气流、温度分布区域、铁矿的堆积区域、和熔化的铁水流动走向面临更大的不一致性，将富氢高炉从试验规模推向产业规模也是另一挑战。

图 16：难点一：直接还原炉和高炉均需还原气体加热装置



资料来源：Midrex、东方证券研究所

图 17：难点三：富氢高炉规模放大



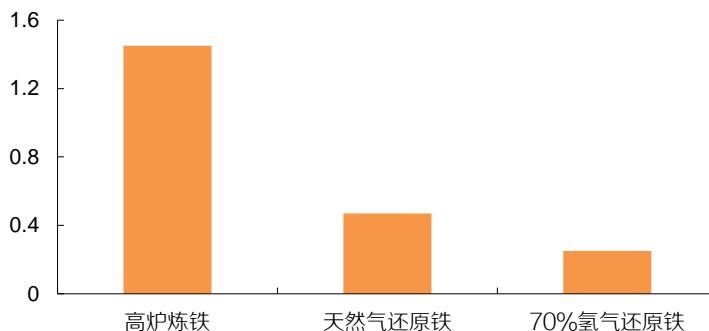
资料来源：日本制铁、东方证券研究所

经济性方面，长流程本身相对于短流程在我国更具经济性，富氢高炉对产率提升有一定作用，但碳税或削弱高炉的经济性。由于我国高炉基础较好，或仅需在现有高炉产能基础之上进行改造即可实现约 30% 的减排效果，如八一钢铁 430 立方米高炉改造投资额约 3.9 亿，相当于吨铁投资额 1444 元/吨。

2.2.2 氢基直接还原铁

减排潜力方面，直接还原铁减排潜力明显高于传统高炉炼铁。如《钢铁碳中和②》中论述，即使以天然气作为还原剂，碳排也仅约高炉的三分之一，吨铁排放约 0.47 吨。河钢计划当氢气比例提升至 70% 时，吨铁碳排放或能降低至 0.25 吨，相对于富氢高炉工艺降碳潜力巨大，这也是为什么河钢集团和宝武集团在现阶段就开始建设氢基直接还原铁项目的重要原因。

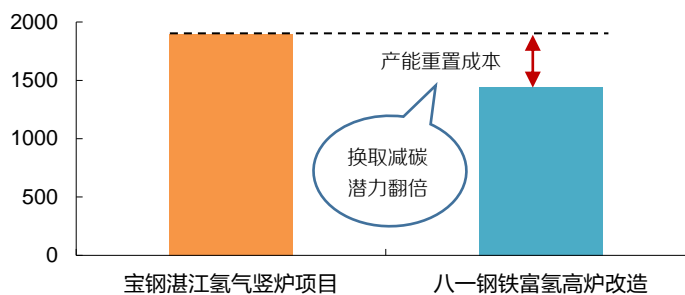
图 18：高炉和直接还原铁吨铁碳排放（单位：吨）



资料来源：Alisha Giglio 等在美国《钢铁技术》于 2021 年 3 月期刊发表的《Recent Sustainability Developments in the Iron and Steel Industry》、河钢集团、东方证券研究所

技术难点方面，首先氢基直接还原铁与富氢高炉同样面临氢气占比提升的挑战，目前以天然气为还原气体的氢基竖炉在美国等富气国家已得到广泛应用，但随着氢气占比的提升，直接还原工艺同样面临还原气体预加热的技术挑战。其次，更大规模和生产效率的电炉装备也需同步匹配，否则钢铁行业难以摆脱对长流程的依赖，而直接还原铁或像废钢一样，在我国始终成为长流程中铁水的配角（我国长流程消耗的废钢明显高于短流程消耗的废钢）。

经济性方面，高电价使得我国直接还原铁工艺基础薄弱，新建产能投资额显著高于富氢高炉改造。直接还原铁技术较为成熟，但在我国规模较小，主要是由于我国电价较高，以直接还原铁和废钢为主要原料的短流程经济性弱于长流程。氢基直接还原铁在我国更是处于早期阶段，虽然减排潜力大，但投资额也明显高于富氢高的炉改造，宝钢湛江 100 万吨氢基竖炉项目投资额约 19 亿，相当于吨铁投资额 1900 元/吨，由于包含了产能的重置成本，高于富氢高炉改造的吨铁投资额 1444 元/吨。

图 19：宝武集团两个低碳冶金项目单吨投资对比（单位：元/吨）


资料来源：公司公告、东方证券研究所

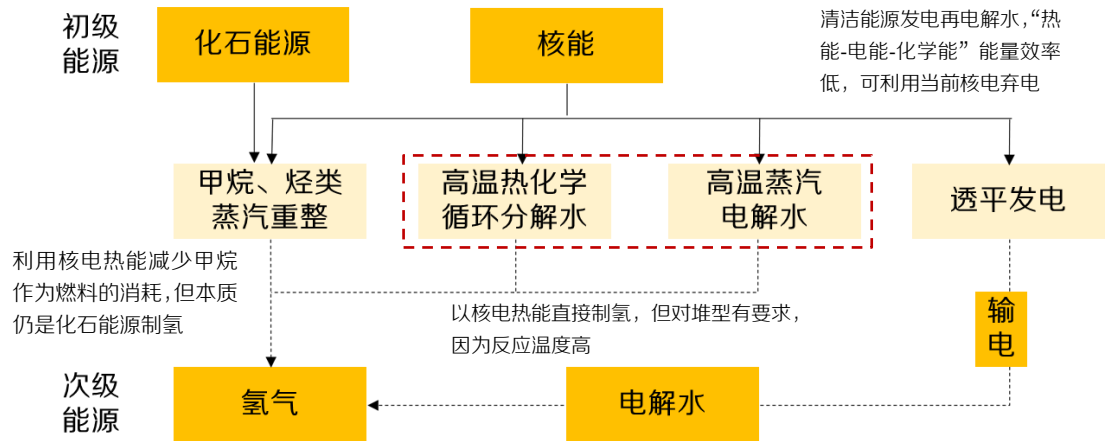
综上所述，尽管氢基直接还原铁碳减排潜力大，但由于我国高炉寿命并不长，若高炉流程不能延续，那对整个行业的资产保值带来巨大压力，因此富氢高炉工艺或仍是当前钢企降碳的主流选择。而对于新的置换产能，由于直接还原工艺可等量置换，并且从国家到地方都将碳排放作为新投资项目重点考量因素，有资金实力的钢企或更有动力将退出的高炉炼铁产能置换成直接还原铁产能。

2.4 更广阔的氢冶金版图：清洁能源制氢

氢冶金不止是冶金工程的创新变革。上文主要着眼于冶金工程，而清洁能源制氢同样是氢冶金版图中重要一环。传统制氢方式包括化石能源制氢和电解水制氢，其中天然气、煤制氢等化石燃料制氢技术已实现大规模工业化应用，具有生产成本低、技术成熟等优点，但不能从根本上减少碳排放；电解水制氢工艺目前较为成熟，因此前述钢铁集团也均将风能、光伏等绿电电解制氢放入碳中和规划。制备 1 立方米氢气约需 4.3 度电（48 度电/千克氢气），按照化学反应式和原子摩尔质量比，还原吨铁耗氢气约 53.6kg，相当于吨铁电力需求约 2568 度电，而碳还原铁的成本约 756 元/吨，（按焦炭 2000 元/吨价格计算），相当于电价需降至 0.29 元/kWh,较当前工业电价存在较大差距。因此电解制氢的商业化应用，还有赖于新能源电力系统的壮大。

核能制氢无需经过电能形式的转换制备氢气，随着我国核四代高温气冷堆的发展，成为氢能制备的重点研究方向之一。核能制氢本质上是利用核反应释放的热能打开水的 H-O 化学键，由于温度足够高，中间可以不经电能形式的转换制备氢气。相比于传统的化石燃料制氢更清洁，相比于电解水制氢则省去了能量形式之间的转换，能量使用效率更高。高温气冷堆是核四代技术中反应温度最高的堆型，最高出口温度可达 950 度，与热化学循环制氢反应的最高温度相匹配。

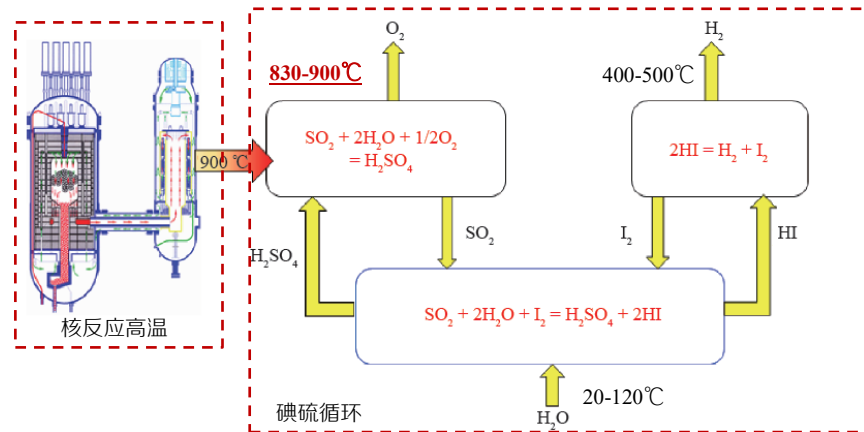
图 20：核能制氢方式



资料来源：《沿海地区氢制备路线探究》、东方证券研究所

中核集团采用高温气冷堆-碘硫/混合硫热化学循环制氢，已实现小试运行。根据侯艳丽于 2020 年 9 月再《能源》期刊发表的《核能制氢的新尝试》一文，中核集团已完成 10NL/h 制氢工艺的闭合运行，建成了产氢能力 100NL/h 规模的台架，并实现 86 小时连续运行。其采用的制氢工艺为热化学循环制氢，即将原本需要在 2500℃ 以上高温才进行的水分解反应，分为几个不同的反应，并且使每一个反应都可以在较低的温度下（如 800~900℃），并且整个过程可在全流态下进行，易于放大和连续操作，实现大规模制氢，以当前被认为最具应用前景的核能制氢技术——碘硫循环热化学制氢为例，如下图所示：

图 21：核电-碘硫循环热化学制氢



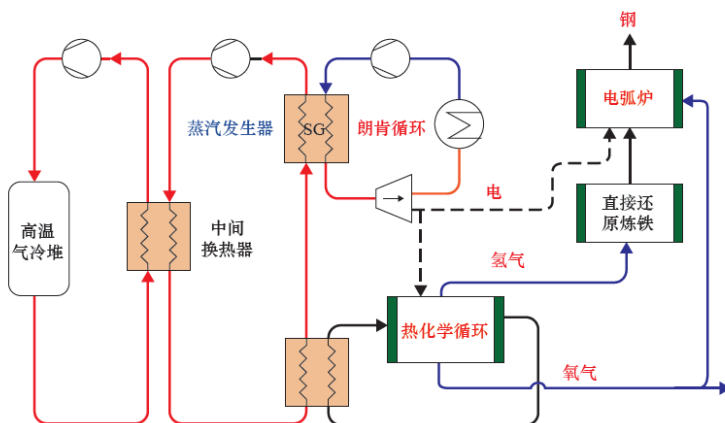
资料来源：《中国高温气冷堆制氢发展战略研究》、东方证券研究所

核电-高温蒸汽电解制氢对装置材料要求高，尚处于研究早期阶段。高温蒸汽电解制氢（SOEC）即以高温水蒸气电解，电能和热能联合供能，因此过程效率较传统电解水制氢有所提高。由于工作环境处于高温（830℃）和高湿（水蒸气含量>70%）的苛刻条件，对装置材料要求较高，或更适合中

小规模制氢。而热化学循环制氢这要涉及化工技术，尽管过程较为复杂，但放大较为容易，更适合大规模制氢。

核能制氢量级能满足工业领域需求，已纳入中国宝武低碳冶金版图。根据中核集团的目标规划，一座 600MW 超高温气冷堆能与一座产氢 50000Nm³/h 的热化学制氢工厂匹配生产，这一制氢量级能够满足工艺领域大规模绿氢的需求。如中核集团董事长余剑锋预计，一座 600MW 高温气冷堆机组可满足 180 万吨钢对氢气、电力及部分氧气的能量需求，每年可减排约 300 万吨二氧化碳。值得注意的是，中国宝武在 2019 年与中核集团、清华大学签订《核能-制氢-冶金耦合技术战略合作框架协议》，计划核电高温堆制氢，将核能技术与钢铁冶炼耦合，实现二氧化碳的超低排放。可见，核能制氢-氢冶金并非空中楼阁，高温气冷堆的安全性和大规模制氢能力的优越性将随着技术的成熟，在未来为我国氢冶金技术革命提供重要支撑。

图 22：核能制氢-氢气直接还原铁示意图



资料来源：《中国高温气冷堆制氢发展战略研究》、东方证券研究所

3 冶金工程蓄势待发：钢铁“碳中和”撬动的千亿市场

3.1 高炉富氢：未来十年市场空间达千亿

针对各大钢企 30%阶段性的目标，我国钢铁行业在 2030 年前或迎来大量高炉改造工程。我国长流程在能源利用效率和回收利用上已步入较为成熟的发展阶段，进一步减排空间有限，而富氢高炉工艺能在保留高炉设备的同时，能实现近 30%的降碳幅度。宝武、包钢、河钢和鞍钢均提出在 2030-2035 年实现减排 30%的目标，这意味着高炉富氢改造工程或在 2030 年前迎来快速发展期。

若富氢高炉在 2030 年渗透率达 50%，2021-2030 年我国高炉改造工程市场空间约 4400 亿元。八一钢铁高炉富氢改造单吨投资约 1444 元/吨，由于改造高炉的规模较小，并且技术尚未完全成熟，假设未来大型高炉改造单吨投资降至 1000 元/吨，参考我国 2020 年 8.8 亿吨生铁产量，若到 2030 年我国高炉改造渗透率达 50%，则对应的改造工程市场空间或达 4400 亿元。

富氢高炉技术难点在于安全高效地加热富氢煤气，对相关装置和材料提出新的要求。高炉热风加热已非常成熟，但煤气加热要比热风加热困难得多。一方面由于氧气高炉循环煤气中 CO 含量远远高于 H₂，所以煤气加热过程中 CO 会发生析碳反应，不但会降低有效煤气量，而且会影响煤气加热效率；另一方面煤气加热存在安全隐患，加热过程中容易发生爆炸和煤气泄漏等事故。国外直接还原工艺工程公司 Midrex 和 HYL 的煤气加热技术比较成熟，采用的是金属管式换热器，管壁的材质为高镍合金，可参考借鉴。

3.2 氢基直接还原铁：后劲足潜力大，或带动万亿投资规模

氢基直接还原铁减排潜力弹性极大，或在 2030-2040 年迎来大发展。由于我国钢铁行业高炉资产较重，并且通过高炉改造即有望实现 2030 年减排目标，因此短期内氢基直接还原铁工艺在我国规模或仍较为有限，仅综合实力较强且有新增产能待释放的钢企或有意愿提前布局。

氢基直接还原铁工程延展性极强，还将带动电弧炉更新换代、及配套新能源建设，工程空间或达万亿。不同于富氢高炉作为减碳的过渡技术，发展氢基直接还原铁的终极目的是“零碳”，因此它必然带动下游工序电弧炉和上游配套能源的整体变革。在电弧炉方面，需要朝着更大容量、冶炼效率更高的超级电弧炉方向发展，这将带动我国现有电弧炉设备的更新换代；在配套能源方面，用于钢铁生产的氢能和电力需由清洁能源作为一级能源，由于钢铁行业氢气和电力用量规模较大，未来氢基直接还原铁或直接联合新能源的配套投资。

4 投资建议：关注率先布局氢冶金的大型钢企，及相关工程和材料供应企业

发展创新性冶金技术是我国钢铁行业实现“碳中和”的必然选择。钢铁“碳中和”是一项系统而又复杂的艰巨任务，需有赖于冶金、碳循环及利用、氢能等多学科、多领域技术的综合利用。由于冶金领域是钢铁生产的碳输入源头，大幅提高废钢比例或对冶金技术进行创新型革新不可避免。

氢气冶金为重，电炉炼钢为辅。全废钢可代替铁矿石成为最绿色的铁源，全废钢短流程吨铁碳排放几乎为 0，并且全废钢的短流程技术成熟，但为何大型钢企并未将大力发展电弧炉作为短期减碳部署？我们认为，电弧炉大发展的客观条件在于充足的废钢资源、外部环境需要廉价电力配合、技术方面需要电弧炉装备升级。

富氢高炉工艺或是未来十年主流技术，氢基直接还原铁或在 2030 后迎来大发展。钢铁“碳中和”目标宏大，但仍需分步实施，我国主要大型钢铁集团计划在未来 10-15 年实现减排 30%，最终在 2050 年实现“碳中和”。由于富氢高炉工艺可基于我国钢铁行业现有资产，并且具备实现 30% 的减排潜力，未来十年或迎来快速成长。而钢铁“零碳”生产，还有赖于终极冶金技术——氢基直接还原铁的发展，由于我国直接还原铁基础仍较为薄弱，预计或在 2030 年之后迎来大规模推广。

“碳中和”重新焕发冶金工程活力，高炉改造市场规模未来十年或达千亿。若高炉富氢改造到 2030 年在我国渗透率能达 50%，参考八一钢铁高炉改造投资密度并考虑一定的优化空间，未来十年我国高炉富氢改造市场空间或达 4400 亿。其中安全高效的煤气加热装置是高炉富氢发展下出现的新应用，为更具有成长弹性的细分领域。

氢基直接还原铁将牵动上下游同步升级革新，远期投资或涉及万亿。氢基直接还原铁投资强度约为高炉改造的 1.3 倍，相应的市场空间显然更广，但发展氢基直接还原铁的最终目的并不是“降碳”，而是“零碳”，这意味着它还将带动下游工序电弧炉改造升级、上游清洁能源制氢的配套投资。其中高温气冷堆制氢具备安全性强、制氢规模大、能源利用效率高的优势，也成为氢冶金宏伟版图的发展方向之一。

综上所述，钢铁“碳中和”必然带动我国冶金技术升级和创新，并撬动冶金工程千亿市场。建议一方面关注综合实力较强、氢冶金领域研发积累深厚的钢铁企业，如宝钢股份(600019, 未评级)、八一钢铁(600581, 未评级)、河钢股份(000709, 未评级)、韶钢松山(000717, 未评级)等；另一方面关注于受益于钢铁碳中和的冶金工程公司，如中国中冶(601618, 未评级)、中钢国际(000928, 未评级)，及具备为新装置供应高等级材料能力的久立特材(002318, 买入)、受益于还原气体重整及水电解制氢对贵金属催化剂需求提升贵研铂业(600459, 未评级)。

风险提示

政策出台进度及方式不达预期。若钢铁行业“碳达峰”、“碳中和”政策出台进度和方式不达预期，则存在钢铁板块表现不及预期的风险。

技术发展不及预期。若新型冶金技术发展不及预期，则存在冶金工程市场规模不及预期的风险。

国内及海外新冠疫情反复的风险。若国内及海外新冠疫情反复，则存在铁矿石供给不及预期、矿价大幅上涨而钢价涨幅不及预期的风险。

假设变动对市场空间测算结果影响的风险。若氢冶金工程实际投资进度、投资强度、渗透率假设变化，则存在市场空间不及预期的风险。

信息披露

依据《发布证券研究报告暂行规定》以下条款：

发布对具体股票作出明确估值和投资评级的证券研究报告时，公司持有该股票达到相关上市公司已发行股份1%以上的，应当在证券研究报告中向客户披露本公司持有该股票的情况，

就本证券研究报告中涉及符合上述条件的股票，向客户披露本公司持有该股票的情况如下：

截止本报告发布之日，东证资管、私募业务合计持有宝钢股份(600019)股票达到相关上市公司已发行股份1%以上。

提请客户在阅读和使用本研究报告时充分考虑以上披露信息。

分析师申明

每位负责撰写本研究报告全部或部分内容的研究分析师在此作以下声明：

分析师在本报告中对所提及的证券或发行人发表的任何建议和观点均准确地反映了其个人对该证券或发行人的看法和判断；分析师薪酬的任何组成部分无论是在过去、现在及将来，均与其在本研究报告中所表述的具体建议或观点无任何直接或间接的关系。

投资评级和相关定义

报告发布日后的 12 个月内的公司的涨跌幅相对同期的上证指数/深证成指的涨跌幅为基准；

公司投资评级的量化标准

买入：相对强于市场基准指数收益率 15%以上；

增持：相对强于市场基准指数收益率 5% ~ 15%；

中性：相对于市场基准指数收益率在-5% ~ +5%之间波动；

减持：相对弱于市场基准指数收益率在-5%以下。

未评级 —— 由于在报告发出之时该股票不在本公司研究覆盖范围内，分析师基于当时对该股票的研究状况，未给予投资评级相关信息。

暂停评级 —— 根据监管制度及本公司相关规定，研究报告发布之时该投资对象可能与本公司存在潜在的利益冲突情形；亦或是研究报告发布当时该股票的价值和价格分析存在重大不确定性，缺乏足够的研究依据支持分析师给出明确投资评级；分析师在上述情况下暂停对该股票给予投资评级等信息，投资者需要注意在此报告发布之前曾给予该股票的投资评级、盈利预测及目标价格等信息不再有效。

行业投资评级的量化标准：

看好：相对强于市场基准指数收益率 5%以上；

中性：相对于市场基准指数收益率在-5% ~ +5%之间波动；

看淡：相对于市场基准指数收益率在-5%以下。

未评级：由于在报告发出之时该行业不在本公司研究覆盖范围内，分析师基于当时对该行业的研究状况，未给予投资评级等相关信息。

暂停评级：由于研究报告发布当时该行业的投资价值分析存在重大不确定性，缺乏足够的研究依据支持分析师给出明确行业投资评级；分析师在上述情况下暂停对该行业给予投资评级信息，投资者需要注意在此报告发布之前曾给予该行业的投资评级信息不再有效。

免责声明

本证券研究报告（以下简称“本报告”）由东方证券股份有限公司（以下简称“本公司”）制作及发布。

。本公司不会因接收人收到本报告而视其为本公司的当然客户。本报告的全体接收人应当采取必要措施防止本报告被转发给他人。

本报告是基于本公司认为可靠的且目前已公开的信息撰写，本公司力求但不保证该信息的准确性和完整性，客户也不应该认为该信息是准确和完整的。同时，本公司不保证文中观点或陈述不会发生任何变更，在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的证券研究报告。本公司会适时更新我们的研究，但可能会因某些规定而无法做到。除了一些定期出版的证券研究报告之外，绝大多数证券研究报告是在分析师认为适当的时候不定期地发布。

在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议，也没有考虑到个别客户特殊的投资目标、财务状况或需求。客户应考虑本报告中的任何意见或建议是否符合其特定状况，若有必要应寻求专家意见。本报告所载的资料、工具、意见及推测只提供给客户作参考之用，并非作为或被视为出售或购买证券或其他投资标的的邀请或向人作出邀请。

本报告中提及的投资价格和价值以及这些投资带来的收入可能会波动。过去的表现并不代表未来的表现，未来的回报也无法保证，投资者可能会损失本金。外汇汇率波动有可能对某些投资的价值或价格或来自这一投资的收入产生不良影响。那些涉及期货、期权及其它衍生工具的交易，因其包括重大的市场风险，因此并不适合所有投资者。

在任何情况下，本公司不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任，投资者自主作出投资决策并自行承担投资风险，任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。

本报告主要以电子版形式分发，间或也会辅以印刷品形式分发，所有报告版权均归本公司所有。未经本公司事先书面协议授权，任何机构或个人不得以任何形式复制、转发或公开传播本报告的全部或部分内容。不得将报告内容作为诉讼、仲裁、传媒所引用之证明或依据，不得用于营利或用于未经允许的其它用途。

经本公司事先书面协议授权刊载或转发的，被授权机构承担相关刊载或者转发责任。不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。

提示客户及公众投资者慎重使用未经授权刊载或者转发的本公司证券研究报告，慎重使用公众媒体刊载的证券研究报告。

东方证券研究所

地址：上海市中山南路 318 号东方国际金融广场 26 楼

电话：021-63325888

传真：021-63326786

网址：www.dfzq.com.cn