

## 深度报告——碳排放

全国碳市场扩容系列专题（三）：  
钢铁行业——电弧炉先行，氢冶金蓄势

走势评级：CEA：震荡  
报告日期：2024 年 12 月 22 日

## ★钢铁生产工序的主要碳排放环节

钢铁行业是我国仅次于电力行业的第二大碳排放行业,碳排放量约占全国碳排放总量的 15%。长流程炼钢在我国钢铁生产中占据主导地位,使得我国钢铁行业化石能源消费居高不下。其中,高炉工序是长流程炼钢过程中能耗和碳排放强度最高的环节,约占整个炼钢流程的 60%-70%,其次是焦化工序和烧结工序。

## ★钢铁行业各工序的平均碳排放强度测算

钢铁行业温室气体排放核算和报告范围包括消耗化石燃料排放、过程排放和固碳产品隐含排放。生产工序层级与企业层级的排放总量保持一致,均需进行核算和核查。我们认为配额分配方案可能会为各工序分别设置基准值,且主要工序大概率会全部纳入配额分配范围。经粗略测算,焦化、烧结、球团、高炉炼铁、转炉炼钢和电炉炼钢工序的化石燃料净消耗平均碳排放强度分别约为 0.578~0.601、0.150~0.171、0.099~0.109、0.571~0.578、-0.153~-0.090 以及 0.048 tCO<sub>2</sub>/吨产品。100%废钢电炉钢的碳排放强度比 15%废钢长流程钢低约 0.60~0.70 tCO<sub>2</sub>/吨粗钢。按照主要工序化石燃料碳排放强度计算,全国碳市场所覆盖的钢铁行业主要工序排放量约 7 亿吨,企业层级排放总量或达到 15~20 亿吨。对比大型钢铁生产企业高炉燃料比,宝钢、马钢、太钢、首钢等企业存在高炉工序排放优势,鞍钢、攀钢、包钢等企业存在一定劣势。

## ★钢铁行业减排路径

短期,我国钢铁行业减排将基于传统长流程炼钢进行改进,主要措施包括提升高炉入炉球团比及废钢比,以及通过其他各类技术手段降低高炉燃料比。电炉短流程炼钢的发展将大幅降低钢铁行业整体碳排放强度,但目前仍受到废钢供应量的掣肘,废钢资源的生长以及直接还原铁技术的发展将为电炉钢产能增长打开空间。更长期,氢冶金将成为钢铁行业深度脱碳最为重要和可行的路径。

## ★风险提示

碳排放核算方式变化,配额分配方案变化等。



金晓 首席分析师（能源与碳中和）

从业资格号：F3005393

投资咨询号：Z0012069

Tel: 8621-63325888-2483

Email: xiao.jin@orientfutures.com

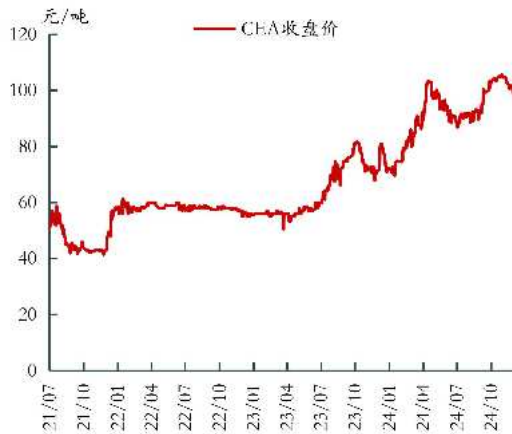
联系人：

张可可 分析师（碳排放）

从业资格号：F03117993

Email: keke.zhang@orientfutures.com

## 主力合约行情走势图（碳排放）



**重要事项：**本报告版权归上海东证期货有限公司所有。未获得东证期货书面授权,任何人不得对本报告进行任何形式的发布、复制。本报告的信息均来源于公开资料,我公司对这些信息的准确性和完整性不作任何保证,也不保证所包含的信息和建议不会发生任何变更。我们已力求报告内容的客观、公正,但文中的观点、结论和建议仅供参考,报告中的信息或意见并不构成交易建议,投资者据此做出的任何投资决策与本公司和作者无关。

**有关分析师承诺,见本报告最后部分。并请阅读报告最后一页的免责声明。**

## 目录

1、 钢铁行业概况.....	6
2、 钢铁生产过程中的能耗和温室气体排放.....	8
2.1、 长流程炼钢的主要能耗和排放环节.....	8
2.2、 电弧炉炼钢的主要能耗和排放环节.....	12
2.3、 成品钢生产其他工序的主要能耗和排放环节.....	12
2.4、 我国钢铁行业能耗现状.....	14
3、 钢铁行业即将纳入全国碳市场.....	18
3.1、 钢铁生产温室气体排放核算浅析.....	18
3.2、 钢铁行业主要工序化石燃料碳排放强度测算.....	22
4、 钢铁行业减排路径.....	32
4.1、 基于传统长流程炼钢的优化.....	32
4.2、 发展电弧炉短流程炼钢.....	36
4.3、 推广非高炉炼铁工艺.....	40
4.4、 加强各工序余热余能利用.....	45
5、 风险提示.....	46

## 图表目录

图表 1：2023 年世界粗钢产量分布.....	6
图表 2：2023 年世界成品钢表观消费量分布.....	6
图表 3：我国粗钢产量或已进入平台调整期.....	6
图表 4：我国成品钢人均消费量显著下降.....	6
图表 5：2023 年分省粗钢产量结构.....	7
图表 6：2023 年 TOP5 省份近年粗钢产量变化.....	7
图表 7：钢铁产业链.....	7
图表 8：传统长流程炼钢（BF-BOF）和短流程炼钢（EAF）简图.....	8
图表 9：焦化工序的能量流.....	9
图表 10：烧结工序的能量流.....	9
图表 11：球团工序的能量流（链篦机—回转窑球团工艺）.....	10
图表 12：高炉炼铁工序的能量流.....	11
图表 13：转炉炼钢工序的能量流.....	11
图表 14：电弧炉炼钢工序的能量流.....	12
图表 15：钢铁压延工序简图.....	13
图表 16：粗钢生产主要工序单位产品能源消耗限额等级.....	14
图表 17：电弧炉冶炼单位产品能源消耗限额等级.....	14
图表 18：2019-2023 年中钢协会员单位能耗统计.....	15
图表 19：2019-2023 年中钢协会员单位转炉工序能耗.....	15
图表 20：2019-2023 年中钢协会员单位电炉工序能耗.....	15
图表 21：2019-2023 年中钢协会员单位各品种钢加工工序能耗.....	16
图表 22：我国领先与先进水平钢铁生产工序产能占比.....	16
图表 23：2023 年度钢铁行业能效“领跑者”企业.....	17
图表 24：2023 年部分钢铁上市公司粗钢生产能耗强度.....	17
图表 25：2023 年部分钢铁上市公司粗钢生产碳排放强度.....	18
图表 26：钢铁生产温室气体排放核算边界.....	19
图表 27：企业层级排放计算相关参数.....	20
图表 28：主要工序化石燃料燃烧排放计算相关参数.....	20
图表 29：自产二次能源发电化石能源消耗排放计算相关参数.....	21
图表 30：常用化石燃料相关参数缺省值.....	21
图表 31：相关排放因子缺省值.....	22
图表 32：其他碳市场钢铁行业基准值设定.....	23
图表 33：焦化工序单位产品能耗计算相关参数.....	24

图表 34 : 焦化工序加工耗能的碳排放强度.....	24
图表 35 : 焦化工序实际碳排放强度.....	24
图表 36 : 烧结工序产品能耗计算相关参数.....	25
图表 37 : 烧结工序加工耗能的碳排放强度.....	26
图表 38 : 球团工序产品能耗计算相关参数.....	26
图表 39 : 球团工序加工耗能的碳排放强度.....	27
图表 40 : 高炉工序能耗统计范围.....	28
图表 41 : 高炉工序产品能耗计算相关参数.....	29
图表 42 : 高炉工序加工耗能的碳排放强度.....	29
图表 43 : 高炉工序实际碳排放强度.....	29
图表 44 : 转炉工序加工耗能的碳排放强度.....	30
图表 45 : 转炉工序实际碳排放强度.....	30
图表 46 : 电炉工序实际碳排放强度.....	31
图表 47 : 全国碳市场钢铁行业各主要工序的平均化石燃料碳排放强度.....	31
图表 48 : 我国主要钢铁生产企业大型高炉燃料比.....	32
图表 49 : 入炉铁品位变化对高炉指标的影响.....	33
图表 50 : 114 家钢铁企业含铁炉料入炉比.....	33
图表 51 : 2023 年重点钢铁企业烧结矿球团矿产量占比.....	33
图表 52 : 废钢性长期缺乏性价比优势.....	34
图表 53 : 长流程钢铁企业废钢比.....	34
图表 54 : 不同废钢比条件下高炉+转炉工序的碳排放强度.....	35
图表 55 : 富氢碳循环氧气高炉 (HyCROF) 为核心的高炉—转炉工艺.....	35
图表 56 : HyCROF 工艺不同工况下的燃料消耗.....	36
图表 57 : 主要国家电炉钢产量占比.....	36
图表 58 : 主要国家废钢比.....	36
图表 59 : 电炉钢利润空间收缩.....	37
图表 60 : 螺废价差收窄.....	37
图表 61 : 电炉产能利用率较低.....	37
图表 62 : 电炉钢产品结构相对单一.....	37
图表 63 : 我国电炉钢发展规划相关文件.....	38
图表 64 : 钢铁企业废钢回收量显著下降.....	38
图表 65 : 转炉中的废钢消耗量比重更大.....	38
图表 66 : 2023 年国内废钢供应结构.....	39
图表 67 : 我国废钢资源量预测.....	39
图表 68 : 我国部分地区短流程炼钢发展规划 (最新文件) .....	39
图表 69 : 100%废钢短流程碳排放强度 v.s. 15%废钢长流程碳排放强度.....	40

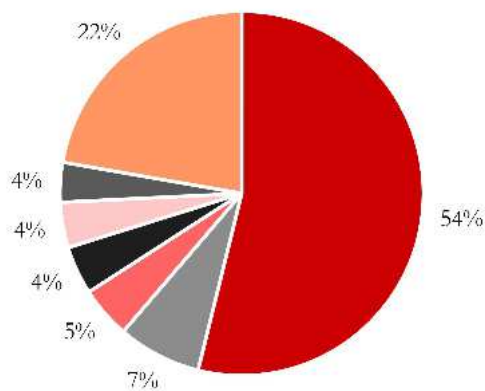
图表 70 : 全球部分地区 DRI 产量.....	41
图表 71 : 2023 年全球 DRI 产量按工艺分布.....	41
图表 72 : 2023 年全球竖炉 DRI 产量按工艺分布.....	41
图表 73 : 主流氢基竖炉工艺对比 (100%使用天然气) .....	42
图表 74 : MIDREX 竖炉还原系统.....	42
图表 75 : HYL/Energiron 竖炉还原系统.....	43
图表 76 : 我国 DRI 项目.....	43
图表 77 : 我国熔融还原炼铁项目.....	44
图表 78 : 非高炉炼铁工艺的能耗和碳排放强度对比.....	44
图表 79 : 钢铁生产主要工序的余热资源.....	45
图表 80 : 钢铁行业极致能效: 余热利用技术.....	45
图表 81 : 部分钢铁生产集团双碳目标汇总.....	46

## 1、钢铁行业概况

我国是全球最大的钢铁生产国和消费国，根据世界钢铁协会统计数据，2023 年，我国粗钢产量约 10 亿吨，占全球的 54%，成品钢表观消费量约 9 亿吨，占全球的 51%，人均成品钢表观消费量为 628.3 千克，仅次于韩国和中国台湾地区。在基建投资增速明显放缓的背景下，我国粗钢产量有一定程度的下降，可能已经进入平台调整期，消费量的下降幅度则更加显著。

图表 1：2023 年世界粗钢产量分布

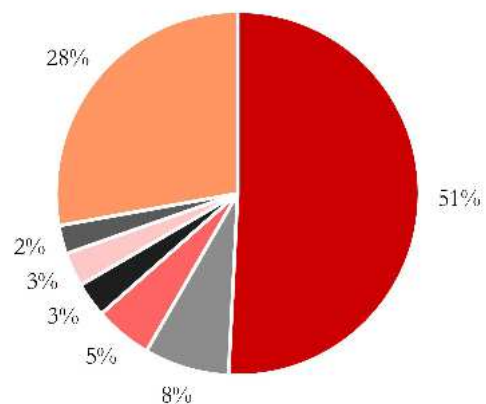
■ 中国 ■ 印度 ■ 日本 ■ 美国 ■ 俄罗斯 ■ 韩国 ■ 其他



资料来源：WSA，东证衍生品研究院

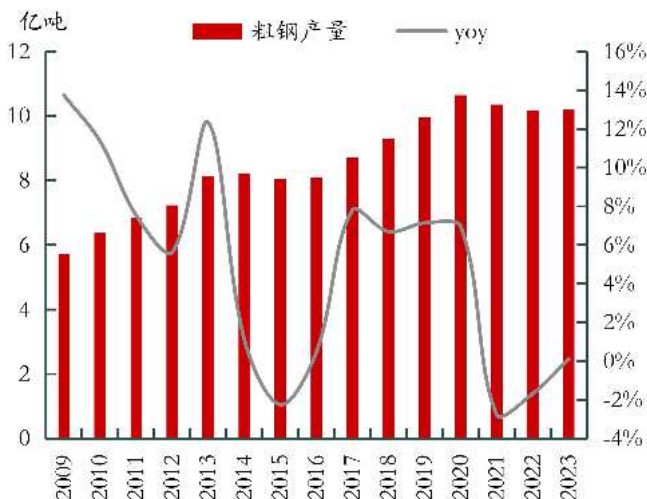
图表 2：2023 年世界成品钢表观消费量分布

■ 中国 ■ 印度 ■ 美国 ■ 韩国 ■ 日本 ■ 俄罗斯 ■ 其他



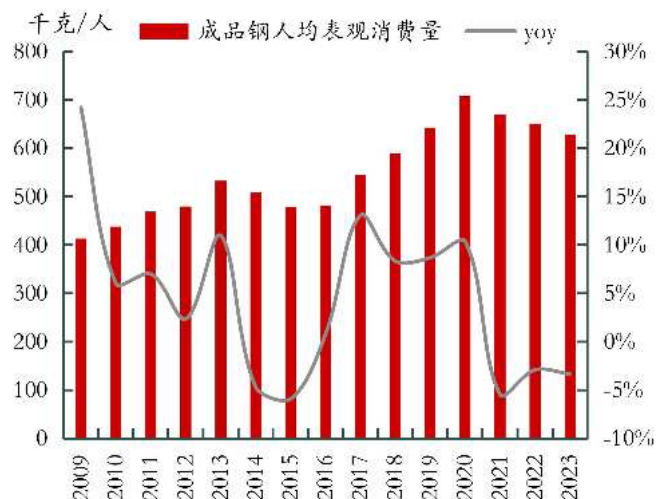
资料来源：WSA，东证衍生品研究院

图表 3：我国粗钢产量或已进入平台调整期



资料来源：国家统计局，东证衍生品研究院

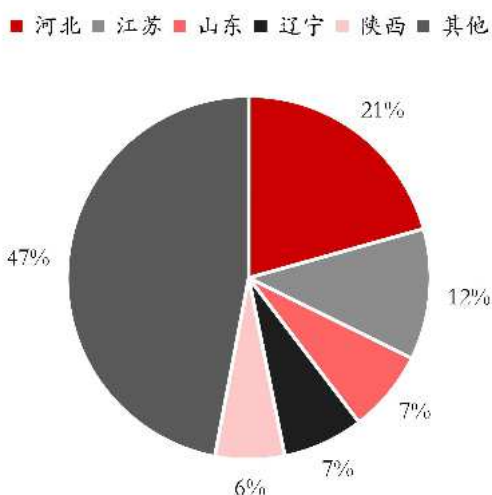
图表 4：我国成品钢人均消费量显著下降



资料来源：WSA，东证衍生品研究院

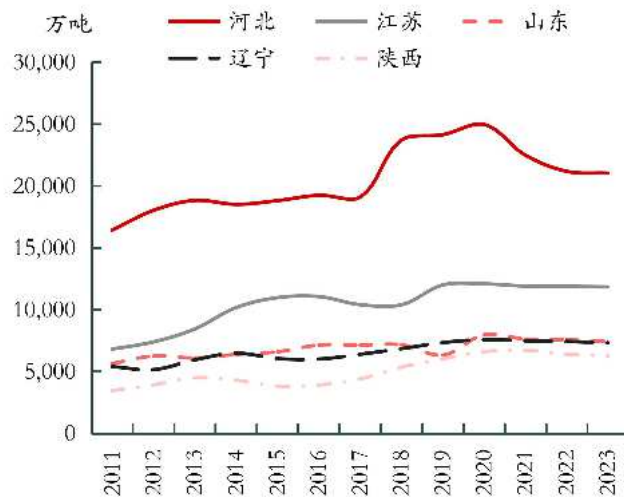


图表 5：2023 年分省粗钢产量结构



资料来源：国家统计局，东证衍生品研究院

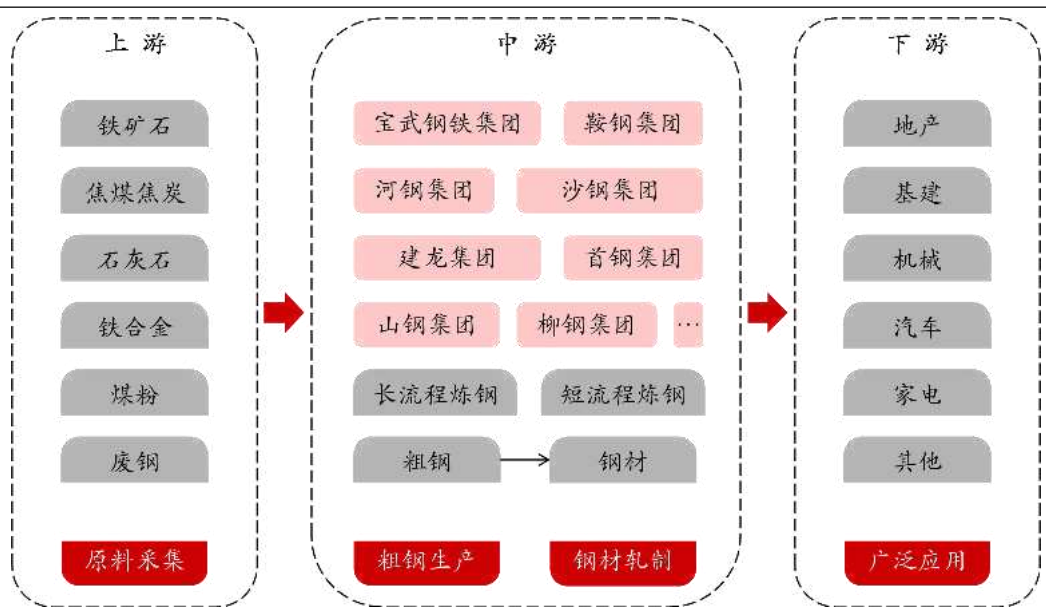
图表 6：2023 年 TOP5 省份近年粗钢产量变化



资料来源：国家统计局

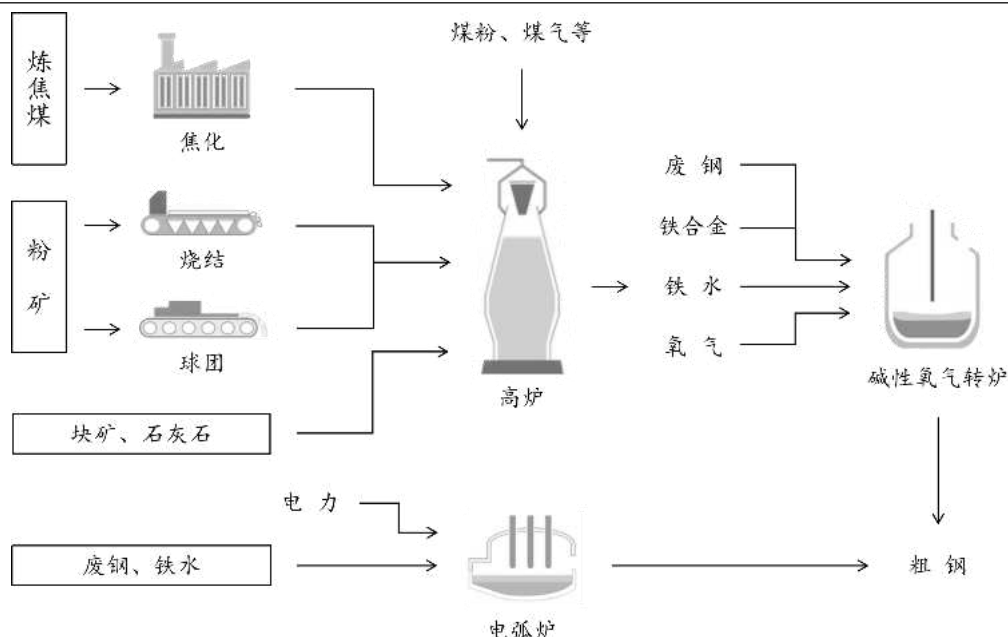
钢铁行业是我国仅次于电力行业的第二大碳排放行业，碳排放量约占全国碳排放总量的 15%。钢铁产业链上游主要是铁矿石、焦煤、铁合金、废钢等原材料。传统的炼钢工艺一般分为长流程和短流程两大类。长流程炼钢以高炉—转炉（BF-BOF）为核心，铁矿石在高炉中还原为铁水，再通过转炉精炼成钢水，最后通过轧钢得到制成各类钢铁产品。短流程炼钢与长流程炼钢的主要区别在于，短流程的原材料主要是废钢，通过电弧炉（EAF）直接将废钢熔化和精炼得到钢水，并浇铸为粗钢。

图表 7：钢铁产业链



资料来源：公开资料整理，东证衍生品研究院

图表 8：传统长流程炼钢（BF-BOF）和短流程炼钢（EAF）简图



资料来源：公开资料整理，东证衍生品研究院

## 2、钢铁生产过程中的能耗和温室气体排放

钢铁生产的一次能源消耗主要包括燃煤、焦炭和各类燃气等，煤炭是最主要的能量来源，此外，许多设备的运转也需要电力的供应。长期以来，高能耗的长流程炼钢在我国钢铁生产中占据主导地位，使得行业整体化石能源消费居高不下，也导致了大量的温室气体直接排放，因此是目前我国碳排放量最大的工业部门。

### 2.1、长流程炼钢的主要能耗和排放环节

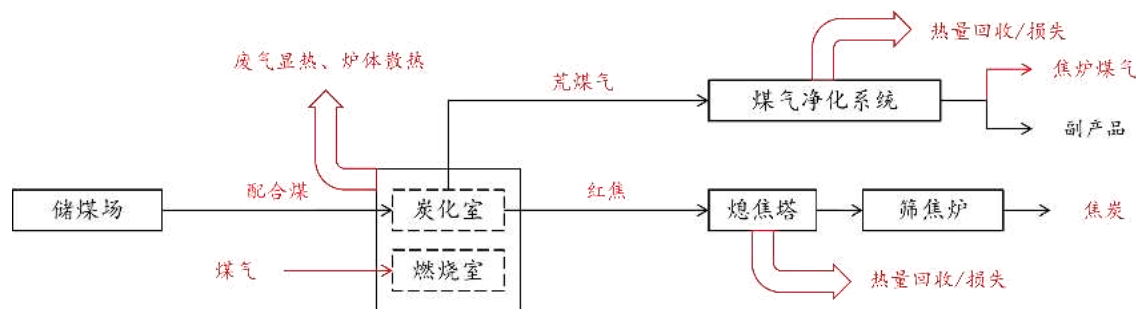
传统长流程炼钢的主要工序包括焦化、烧结、球团、高炉炼铁和转炉炼钢，除转炉炼钢工序外，每个环节都存在一次能源的净输入和碳排放的净输出。

#### 1、焦化工序

焦化工序的主要工艺过程是炼焦，洗精煤在炭化室内经封闭高温干馏得到焦炭，焦炭是高炉炼铁过程的燃料、还原剂和渗碳剂，并对高炉炉料起到支撑作用。干馏过程中会产生大量挥发性物质称为荒煤气，荒煤气被抽出炉外后经一定处理可以提取得到焦油、氨、粗苯等产品，并获得净焦炉煤气，其主要成分是  $H_2$ 、 $CH_4$  和  $CO$  等，也含有极少量的  $CO_2$ 。炼焦是在  $1000^{\circ}C$  的高温条件下进行的，其常用的供热燃料有高炉煤气和焦炉煤气。炼焦车间的能耗占焦化工序的 70%~80%，其中加热能耗占 80%~90%，电力消耗约占 8%，水、蒸汽、压缩空气等约占 2%~4%。



图表 9：焦化工序的能量流

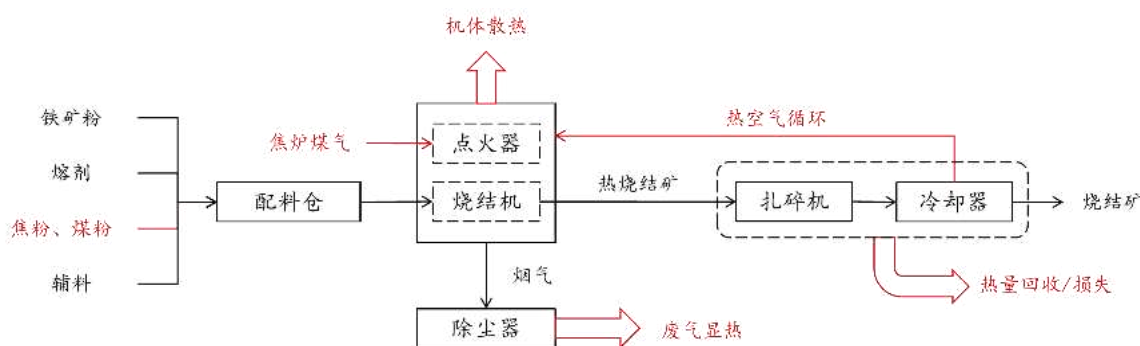


资料来源：公开资料整理，东证衍生品研究院

## 2、烧结工序

烧结工艺即将各种铁精矿粉与一定比例的燃料和熔剂等混合燃烧，经冷却粘结成块状的烧结矿，烧结矿的化学成分和物理性质较为稳定，满足高炉炼铁的要求。烧结机中，烧结料被煤气等气体燃料点燃，部分原料熔融产生液相将周围的未熔矿物粘结在一起，从而生成烧结矿。烧结料的熔化温度高达  $1200^{\circ}\text{C} \sim 1300^{\circ}\text{C}$ ，烧结混合料中使用的燃料主要是焦粉和无烟煤等固体燃料，点火器主要使用煤气、焦炉煤气等气体燃料。固体燃料消耗约占烧结工序能耗的 80%，电力消耗约占 10%，其余为煤气消耗。烧结矿是高炉炼铁过程中最主要的含铁原料。

图表 10：烧结工序的能量流



资料来源：公开资料整理，东证衍生品研究院

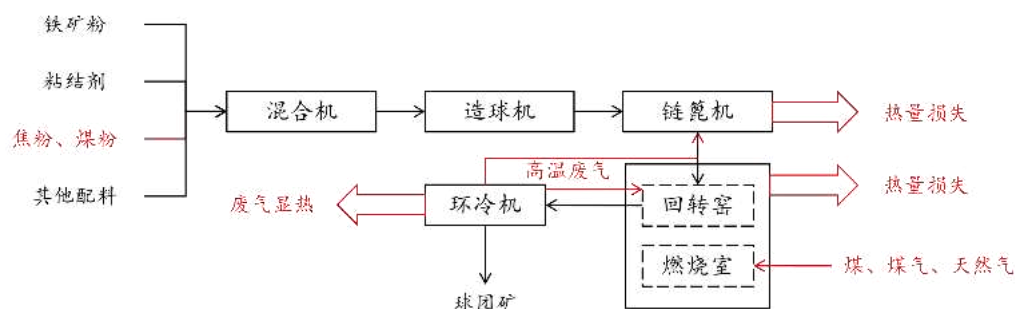
## 3、球团工序

球团工艺与烧结工艺的目的类似，也是将各类铁精矿粉固结形成含铁原料。烧结工序使用较粗的铁矿细粒，球团工序则使用精矿和超细粉，粒度过细会影响烧结矿的质量，而矿粉易于成球，形成的球团强度也更高。烧结依赖液相固结，形成不规则的多孔块矿，球团则依赖矿粉颗粒的高温再结晶固结，形成颗粒均匀的球团矿，因此其混合料中不额外添加燃料。

目前球团生产主要有竖炉、链篦机—回转窑、带式焙烧机三种工艺，竖炉工艺简单、投资成本低，但产品质量差，原燃料适应性差，单机规模难以大型化，且能耗较高，在国外已基本被淘汰，在我国也正处于被淘汰的过程中。链篦机—回转窑工艺的生产过程主要在链篦机、回转窑和环冷机三个设备上完成，人员配置高、耐材寿命短、原料种类适应性良好，使用赤铁精矿、磁铁精矿或赤磁混合铁精矿作为原料时可以生产高质量球团。带式焙烧机工艺的生产过程主要在同一台设备上完成，其突出的优点是布局紧凑、气体循环利用率高、能耗相对较低，适用于处理任何类型的铁矿石。

球团焙烧温度约为 1300℃，根据不同设备燃烧条件的不同，所使用的燃料类型也有较大差异。竖炉燃料主要为高炉煤气，带式焙烧机燃料主要为焦炉煤气或混合煤气（焦炉煤气混合高炉煤气），回转窑燃烧室使用的燃料通常为煤粉、煤气或天然气。由于造块方式、矿种、燃料种类以及燃烧条件等的差异，球团工序能耗更低，约为烧结工序的一半。

图表 11：球团工序的能量流（链篦机—回转窑球团工艺）

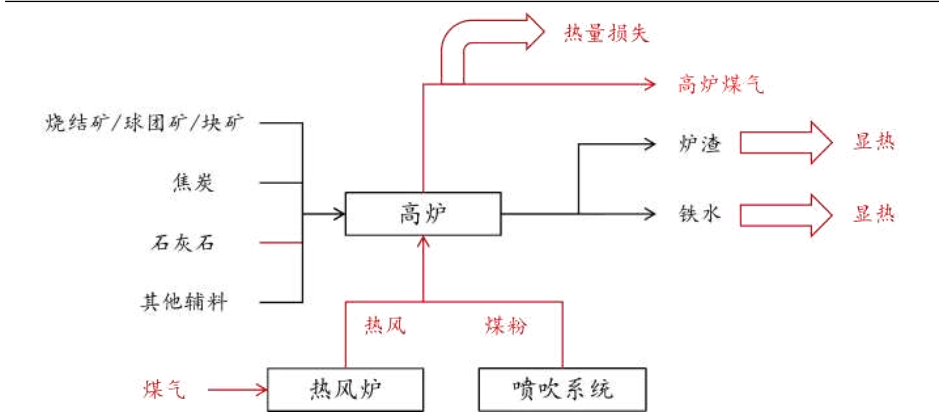


资料来源：公开资料整理，东证衍生品研究院

#### 4、高炉炼铁工序

高炉炼铁是将含铁原料、焦炭以及其他辅助原料装入高炉内，鼓入热风和辅助燃料使焦炭燃烧。高温条件下，焦炭燃烧产生 CO，并将铁氧化物还原为铁。高炉炼铁过程中的副产物主要包括高炉煤气和炉渣，高炉煤气的主要成分是 N<sub>2</sub>、CO 和 CO<sub>2</sub> 等，由于不可燃成分较多，高炉煤气热值较低。高炉通常配有喷吹系统，将煤粉喷吹至炉内，使炉内反应稳定进行，并降低生产成本。为提高炼铁效率并节约燃料消耗，热风炉将鼓风机送出的冷风加热后送入高炉，热风炉使用的燃料以高炉煤气为主，也可以掺入焦炉煤气、转炉煤气和天然气等提高热值。高炉工序是长流程炼钢过程中能耗和碳排放强度最高的环节，约占整个炼钢流程的 60%-70%。

图表 12：高炉炼铁工序的能量流

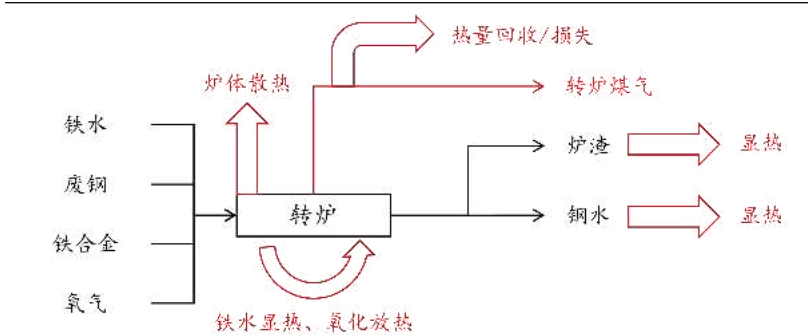


资料来源：公开资料整理，东证衍生品研究院

## 5、转炉炼钢

转炉工艺以铁水、废钢、铁合金等为主要原料，将氧气鼓入转炉中，使铁水中的碳以及硅、锰、硫、磷等杂质氧化，通常也会加入少量的生石灰提升造渣效果。该过程中废钢主要起到冷却并降低冶炼成本的作用，铁合金则作为脱氧剂和合金添加剂。氧化反应过程中会释放大量的热量，使炉内达到足够高的温度以完成炼钢过程，铁水自身也温度极高，因此该过程不需要额外使用化石燃料。同时，转炉炼钢过程中会产生转炉煤气，其主要成分是CO和CO<sub>2</sub>，热值约为高炉煤气的2倍。因此，转炉炼钢实际是负能炼钢，其能量利用对整个炼钢过程的能耗管理具有重要意义。

图表 13：转炉炼钢工序的能量流



资料来源：公开资料整理，东证衍生品研究院

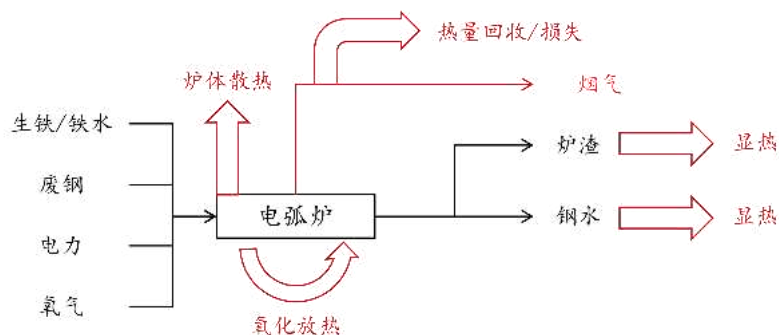
## 2.2、电弧炉炼钢的主要能耗和排放环节

短流程炼钢在工序上省去了焦化、烧结、高炉炼铁等高污染、高能耗的环节，主要能源输入为电力。电弧炉炼钢以废钢为基本原料，通常也会加入少量的生铁或铁水来提高炉料的含碳量，并降低生产成本。电弧热辐射使得电极周围的炉料熔化，随着温度的升高，部分杂质也逐渐氧化。

按照炉衬材料的不同，炼钢电弧炉可分做碱性电弧炉、酸性电弧炉和中性电弧炉。碱性炉主要用于冶炼优质钢，因为碱性渣能大量除去炉料中的有害杂质硫和磷。目前电弧炉炼钢厂所使用的几乎都是碱性炉。酸性炉对原料的要求比较高，其炼出的钢水流动性好，适合于浇制薄壁铸件，同时炼钢成本低，冶炼时间短，炉衬寿命高。中性炉的炉衬不受碱性和酸性炉渣的侵蚀，一般用来熔炼还原性很强的合金炉渣。

电弧炉炼钢过程的直接排放主要来自于铁水脱碳排放以及阳极消耗排放。在行业重点大、中型企业中，许多企业已经变成高炉+电炉的生产方式，电炉配加热铁水是目前我国电炉钢企业特有的生产工艺流程。因此，评估我国电炉工序的碳排放不能使用全废钢冶炼的计算方式，铁水脱碳所产生的碳排放也是不可忽视的一部分。此外，废钢熔化过程会消耗一定量的石墨电极等炭素材料，也会产生一定量的碳排放。电力消耗间接排放是电弧炉炼钢最主要的排放源，全废钢电弧炉的综合电耗约为 400 kWh/t，配加热铁水时的电耗会更低。大型钢铁企业通常都配套有自备电厂，利用外购燃煤、副产物煤气或余热发电供应钢铁冶炼。

图表 14：电弧炉炼钢工序的能量流



资料来源：公开资料整理，东证衍生品研究院

## 2.3、成品钢生产其他工序的主要能耗和排放环节

### 1、炉外精炼

炉外精炼也称为“钢包冶金”或“二次冶金”，即将转炉或电炉初炼的钢水倒入钢包或专用容器中，进行去气、脱氧、脱硫，去除非金属夹杂物，控制夹杂物的形态和分布，调整钢水成分和温度等，达到提高钢水质量、缩短生产周期、降低生产成本、改善工序衔接等目的。

钢包精炼炉所消耗的能源为电力，存在间接排放，根据中钢协数据，转炉精炼能耗约为 6 kgce/t，电炉精炼电耗约为 15 kgce/t。此外，钢包精炼炉通常使用石墨电极对钢水进行加热，电极消耗也会产生直接碳排放。

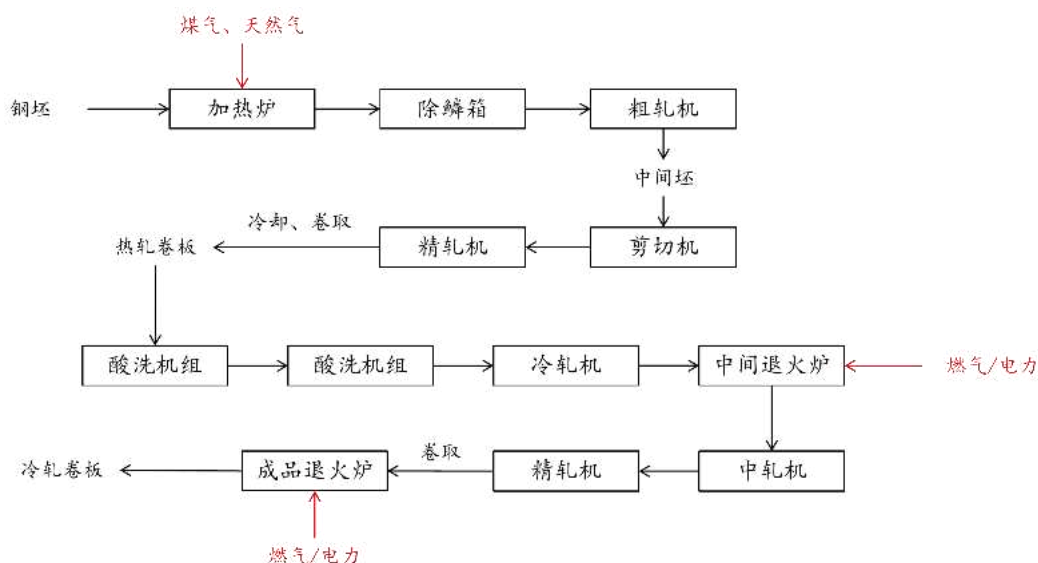
## 2、钢水连铸

连铸即将高温钢水连续地注入结晶器内冷却凝固，形成一定厚度的坯壳，坯壳在引锭杆的牵引下从结晶器的出口端连续不断地被拉出，得到无限长的铸坯，经切割后的铸坯可以直接供轧钢生产使用。连铸工序能耗约为 6~7 kgce/t。

## 3、钢铁压延

钢坯需经过轧制才能成为合格的钢铁产成品。在冶金工艺中，轧，也称为压延，即通过旋转的辊筒对钢锭、钢坯进行挤压拉伸。根据轧制温度的不同，轧钢可以分为热轧和冷轧两大类，热轧需要将钢坯加热到 1100℃~1250℃ 后再进行轧制，终轧温度约为 800℃~900℃，之后一般在空气中自然冷却，制成热轧卷板。冷轧即在常温条件下进行轧制，其以热轧卷板为原料，生产工艺更为复杂，加工过程中会使钢板形变升温，过高的温度会影响带钢的表面质量和尺寸精度，因此冷轧的过程会经历多次冷却，能耗损失相对更大。各类钢铁压延加工工序的平均能耗约为 50 kgce/t，热轧生产线配套加热炉对钢坯进行加热，加热炉使用气体燃料，主要包括焦炉煤气、高炉煤气、转炉煤气或天然气等，加热炉能耗约占轧钢能耗的 80%。

图表 15：钢铁压延工序简图



资料来源：公开资料整理，东证衍生品研究院

## 2.4、我国钢铁行业能耗现状

2022 年 8 月，《粗钢生产主要工序单位产品能源消耗限额》（征求意见稿）发布，拟替代现行的《粗钢生产主要工序单位产品能源消耗限额》（GB 21256-2013）和《电弧炉冶炼单位产品能源消耗限额》（GB 32050-2015）。与现行的两个标准相比，征求意见稿调整了烧结、球团和高炉工序的部分限额数值，删除了电力等价值折算系数下的限额值，新增了 70t 以下容量电炉的准入值。要求现有钢铁生产企业的各工序满足 3 级能耗要求，新建或改扩建企业满足 2 级能耗要求<sup>1</sup>。

图表 16：粗钢生产主要工序单位产品能源消耗限额等级

指标	能耗限额等级（修订征求意见稿）			能耗限额等级（GB 21256-2013）		
	1 级	2 级	3 级	先进值	准入值	限定值
烧结工序 (kgce/t)	≤45	≤48	≤54	≤45	≤50	≤55
球团工序 (kgce/t)	≤17	≤24	≤36	≤15	≤24	≤36
高炉工序 (kgce/t)	≤361	≤370	≤425	≤361	≤370	≤435
转炉工序 (kgce/t)	≤-30	≤-25	≤-10	≤-30	≤-25	≤-10

资料来源：国家标准化管理委员会

注：单位 kgce/t 分别指代生产一吨对应合格产品的能耗，如烧结工序对应烧结矿，下文同。

图表 17：电弧炉冶炼单位产品能源消耗限额等级

指标	能耗限额等级（修订征求意见稿）			能耗限额等级（GB 32050-2015）		
	1 级	2 级	3 级	先进值	准入值	限定值
30t<电炉容量<50t, 电耗 (kWh/t)				≤420	-	≤540
50t≤电炉容量<70t, 电耗(kWh/t)				≤380	-	≤450
电炉容量≥70t, 电耗 (kWh/t)					≤400	
30t<电炉容量<50t, 能耗 (kgce/t)	≤67	≤78	≤86	≤67	-	≤86
50t≤电炉容量<70t, 能耗(kgce/t)	≤61	≤66	≤72	≤61	-	≤72
电炉容量≥70t, 能耗 (kgce/t)	≤60	≤64	≤70		≤64	

资料来源：国家标准化管理委员会

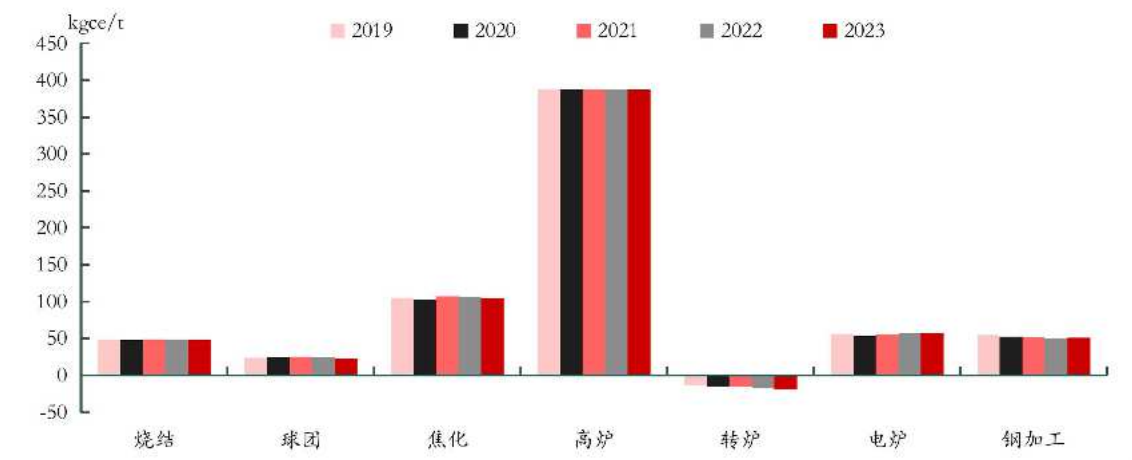
注：原料中每增加 1%铁水比，降低单位产品能耗 0.8kgce/t。

根据《2023 年中钢协会会员单位能源消耗述评》，2023 年会员单位吨钢综合能耗为 557.15 kgce/t，较 2012 年下降 7.4%，其中高炉工序能耗强度最大，为 397.42 kgce/t。从各工序的能耗变化来看，球团工序能耗降幅最大，2023 年较 2022 年下降 4.5%；转炉工序能源回收量提高 9.7%；钢加工能耗强度略有上升，主要来自热轧窄带钢轧机和涂层工序能耗的增加。

<sup>1</sup> 扣除回收的能量后实际消耗的各种能源总量。

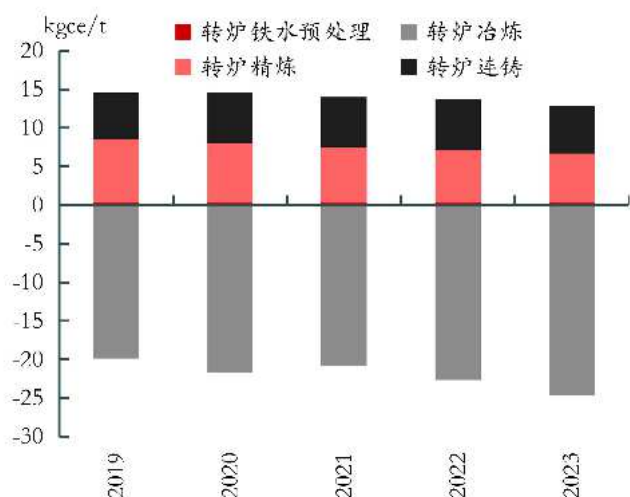


图表 18: 2019-2023 年中钢协会会员单位能耗统计



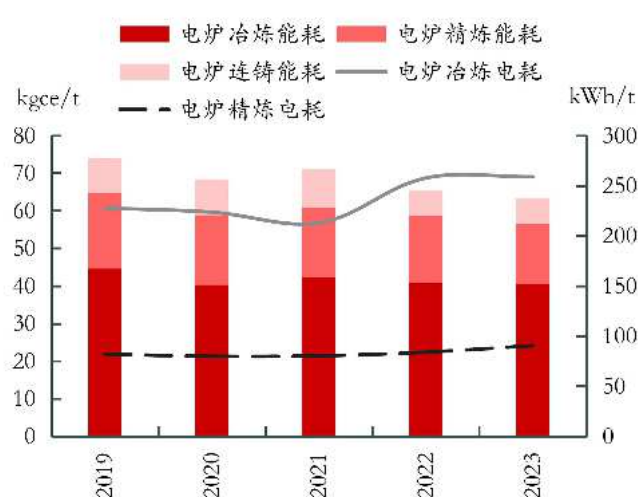
资料来源：中钢协，东证衍生品研究院

图表 19: 2019-2023 年中钢协会会员单位转炉工序能耗



资料来源：中钢协

图表 20: 2019-2023 年中钢协会会员单位电炉工序能耗



资料来源：中钢协

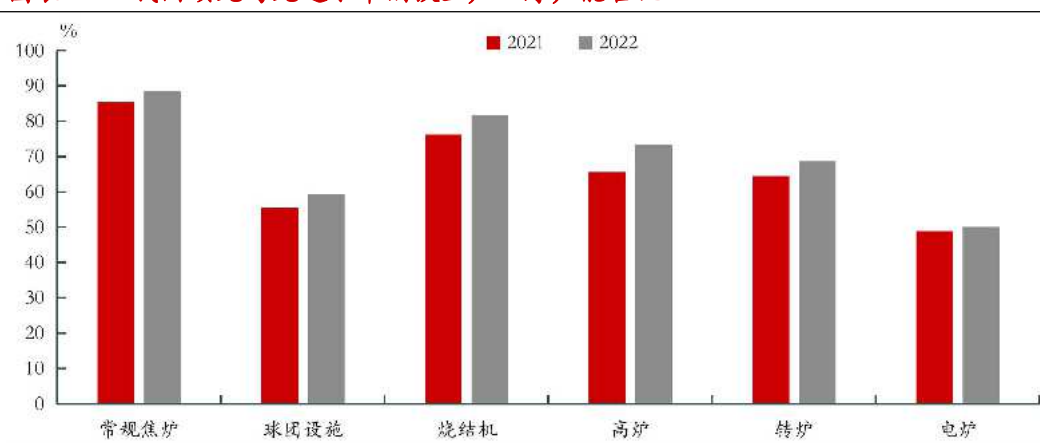
图表 21：2019-2023 年中钢协会会员单位各品种钢加工工序能耗

kgce/t	2023	2022	2021	2020	2019
钢加工工序能耗	50.57	50.44	52.37	52.52	54.26
其中：热轧工序能耗	44.59	44.65	46.27	46.13	47.56
大型轧机能耗	55.95	54.24	49.92	51.05	55.81
中型轧机能耗	39.79	40.89	42.23	44.08	46.09
小型轧机能耗	34.25	33.62	36.79	36.89	38.54
线材轧机能耗	47.6	46.59	48.28	49.19	48.77
中厚板轧机能耗	55.89	53.22	54.51	54.23	56.52
热轧宽带钢轧机能耗	44.78	44.85	47.28	47.49	48.07
热轧窄带钢轧机能耗	60.83	50.82	47.47	47.1	45.04
热轧无缝管轧机能耗	91.19	90.27	91.01	91.11	99.89
冷轧工序能耗	59.54	61.77	60.9	62.17	61.58
冷轧宽带钢轧机能耗	49.22	50.91	49.17	49.76	48.43
镀层工序能耗	51.85	50.93	51.57	50.021	51.03
涂层工序能耗	69.17	65.56	69.36	62.95	44.71

资料来源：中钢协

根据《2022 钢铁行业绿色发展水平评估报告》，各工序装备水平正在不断优化，常规焦炉、球团设施、烧结机、高炉、转炉和电炉的领先和先进水平产能占比在 2022 年分别达到 88.5%、59.3%、81.7%、73.5%、68.7%和 50.1%，电炉钢的装备水平略显逊色，且我国电炉钢产量占比仍远低于世界平均水平，增长潜力较大。

图表 22：我国领先与先进水平钢铁生产工序产能占比



资料来源：生态环境部，东证衍生品研究院

2024 年 4 月，工信部对 2023 年重点行业能效“领跑者”进行公示，钢铁行业 3 家企业入选，烧结工序单位产品能耗最低为 39.90 kgce/t，转炉工序单位产品能耗最低为-32.06 kgce/t，代表了我国钢铁行业的能效先进水平。

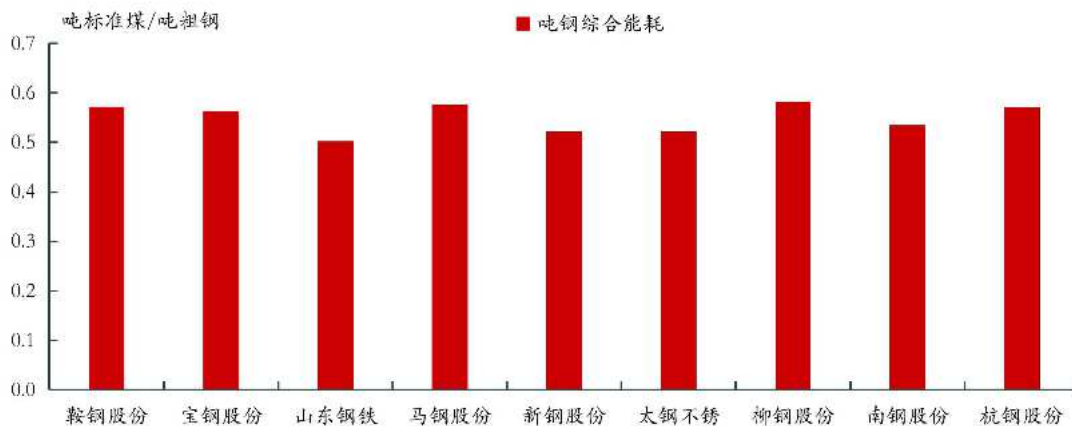
图表 23：2023 年度钢铁行业能效“领跑者”企业

	企业	单位产品工序能耗 (kgce/t)
煤制焦炭	宁波钢铁有限公司	100.14
	安徽首矿大昌金属材料有限公司	100.56
烧结工序	首钢京唐钢铁联合有限责任公司	39.90
转炉工序	常熟市龙腾特种钢有限公司	-32.06
	宝钢湛江钢铁有限公司	-31.32

资料来源：工信部

从相关上市公司的情况来看，在目前可公开查询到相关数据的钢铁生产集团中，山钢综合能耗强度最低，仅 0.50 吨标准煤/吨粗钢，柳钢能耗强度最高，达 0.58 吨标准煤/吨粗钢；碳排放方面，山钢直接排放强度最低，仅 1.65 tCO<sub>2</sub>/t，杭钢和宝钢直接排放强度最高，达 2.01 tCO<sub>2</sub>/t。

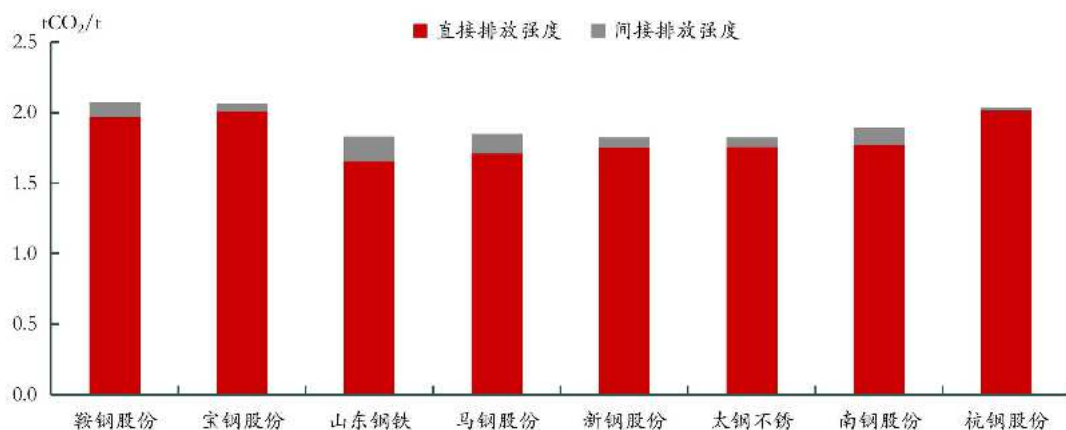
图表 24：2023 年部分钢铁上市公司粗钢生产能耗强度



资料来源：公司公告，东证衍生品研究院

注：鞍钢股份、杭钢股份 2023 年排放数据未公布，以 2022 年数据代替。

图表 25：2023 年部分钢铁上市公司粗钢生产碳排放强度



资料来源：公司公告，东证衍生品研究院

注：鞍钢股份、杭钢股份 2023 年排放数据未公布，以 2022 年数据代替。

### 3、钢铁行业即将纳入全国碳市场

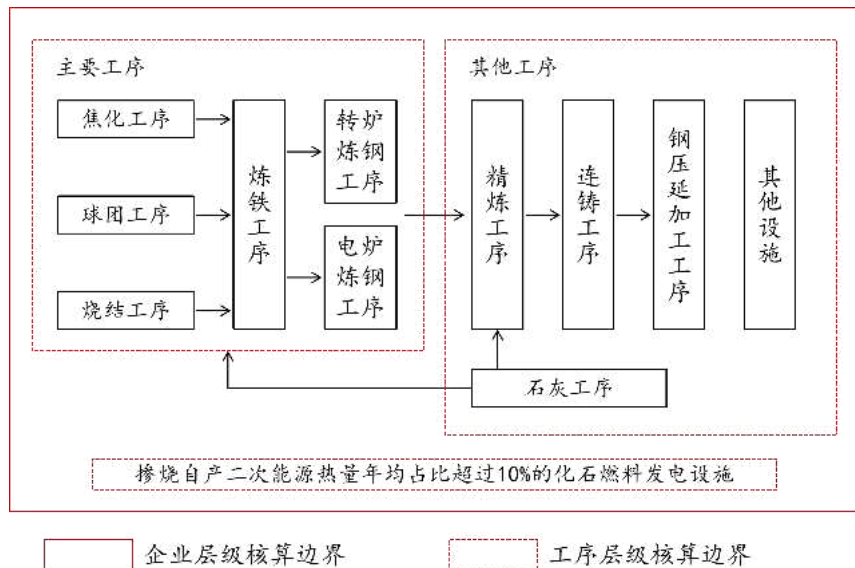
#### 3.1、钢铁生产温室气体排放核算浅析

根据生态环境部 2024 年 12 月 5 日发布的《企业温室气体排放核算与报告指南 钢铁行业》（征求意见稿）（以下简称《指南》），企业层级温室气体排放核算和报告范围包括消耗化石燃料排放、过程排放和固碳产品隐含的排放。纳入核算的钢铁生产工序包括焦化工序、烧结工序、球团工序、炼铁工序、转炉炼钢工序（不包括精炼、连铸/浇铸、精整）、电炉炼钢工序（不包括精炼、连铸/浇铸、精整）、精炼工序、连铸工序、钢压延加工工序、石灰工序、掺烧自产二次能源热量年均占比超过 10% 的化石燃料发电设施等。

工序层级温室气体排放源包括：a) 焦化、烧结、球团、炼铁、转炉炼钢和电炉炼钢工序的排放源包括化石燃料净消耗所产生的二氧化碳排放；b) 掺烧自产二次能源热量年均占比超过 10% 的化石燃料发电设施的排放源包括消耗外购化石燃料和自产二次能源的二氧化碳排放；c) 其他排放源包括上述工序和设施之外的消耗化石燃料排放，及企业层级核算边界内的过程排放和固碳产品隐含的二氧化碳排放。

从《指南》中的核算边界示意图来看，企业层级与钢铁生产工序层级的排放总量保持一致，均需进行核算和核查。两者的计算都采用物料平衡法，即不考虑系统内的具体反应过程，只考虑每个工序或整个企业输入和输出的碳，两者相减，即为企业和工序层级的碳排放量，但主要工序的排放计算仅考虑化石燃料的输入和输出，不考虑过程排放以及固碳产品隐含排放。

图表 26：钢铁生产温室气体排放核算边界



资料来源：生态环境部，东证衍生品研究院

企业层级排放量的计算公式为：

$$E_{\text{企业},j} = \sum_{i=1}^n \left( FC_{\text{化石燃料},i} \times NCV_{ar,i} \times CC_i \times \frac{44}{12} \right) + \sum_{p=1}^n \left( P_{\text{碳酸盐},p} \times EF_{\text{碳酸盐},p} \right) + \left( P_{\text{电极}} \times EF_{\text{电极}} \right) + \sum_{q=1}^n \left( M_{\text{含碳原料},q} \times EF_{\text{含碳原料},q} \right) - \sum_{k=1}^n \left( AD_{\text{固碳},k} \times EF_{\text{固碳},k} \right)$$

对于焦化、烧结、球团、炼铁、转炉炼钢和电炉炼钢工序，各工序消耗化石燃料产生的二氧化碳排放的计算公式为：

$$E_{\text{工序},j} = \sum_{m=1}^n \left( FC_{\text{化石燃料},m,j} \times NCV_{ar,m,j} \times CC_{m,j} \times \frac{44}{12} \right) - \sum_{w=1}^n \left( FC_{\text{化石燃料},w,j} \times NCV_{ar,w,j} \times CC_{w,j} \times \frac{44}{12} \right)$$

**图表 27：企业层级排放计算相关参数**

符号	内涵	单位	取值
$E_{\text{企业}}$	企业层级排放量	tCO <sub>2</sub>	计算值
$FC_{\text{化石燃料},i}$	第 i 种外购化石燃料的净消耗量	固体或液体燃料，t；气体燃料，10 <sup>4</sup> Nm <sup>3</sup>	实测值
$NCV_{ar,i}$	第 i 种化石燃料的收到基低位发热量	固体或液体燃料，GJ/t；气体燃料，GJ/10 <sup>4</sup> Nm <sup>3</sup>	实测值或缺省值
$CC_i$	第 i 种化石燃料的单位热值含碳量	tC/GJ	缺省值
$P_{\text{碳酸盐},p}$	第 p 种外购碳酸盐的消耗量	t	实测值
$EF_{\text{碳酸盐},p}$	第 p 种碳酸盐的二氧化碳排放因子	tCO <sub>2</sub> /t	缺省值
$P_{\text{电极}}$	外购电极的消耗量	t	实测值
$EF_{\text{电极}}$	电极的二氧化碳排放因子	tCO <sub>2</sub> /t	缺省值
$M_{\text{含碳原料},q}$	第 q 种外购含碳原料的消耗量	t	实测值
$EF_{\text{含碳原料},q}$	第 q 种含碳原料的二氧化碳排放因子	tCO <sub>2</sub> /t	缺省值
$AD_{\text{固碳},k}$	焦化工序、炼铁工序和炼钢工序固碳产品的输出量	t	实测值
$EF_{\text{固碳},k}$	焦化工序、炼铁工序和炼钢工序固碳产品的二氧化碳排放因子	tCO <sub>2</sub> /t	缺省值

资料来源：生态环境部

**图表 28：主要工序化石燃料燃烧排放计算相关参数**

符号	内涵	单位	取值
$E_{\text{工序},j}$	工序 j 的排放量	tCO <sub>2</sub>	计算值
$FC_{\text{化石燃料},m,j}$	工序 j 使用的第 m 种化石燃料的输入量	固体或液体燃料，t；气体燃料，10 <sup>4</sup> Nm <sup>3</sup>	实测值
$NCV_{ar,m,j}$	工序 j 使用的第 m 种化石燃料的收到基低位发热量	固体或液体燃料，GJ/t；气体燃料，GJ/10 <sup>4</sup> Nm <sup>3</sup>	实测值或缺省值
$CC_{m,j}$	工序 j 使用的第 m 种化石燃料的单位热值含碳量	tC/GJ	缺省值
$FC_{\text{化石燃料},w,j}$	工序 j 第 w 种化石燃料的输出量	固体或液体燃料，t；气体燃料，10 <sup>4</sup> Nm <sup>3</sup>	实测值
$NCV_{ar,w,j}$	工序 j 第 w 种化石燃料的收到基低位发热量	固体或液体燃料，GJ/t；气体燃料，GJ/10 <sup>4</sup> Nm <sup>3</sup>	自产焦炭采用缺省值；其余采用企业层级数据
$CC_{w,j}$	工序 j 第 w 种化石燃料的单位热值含碳量	tC/GJ	实测值

资料来源：生态环境部

对于掺烧自产二次能源热量年均占比超过 10%的化石燃料发电设施，各机组消耗化石燃料产生的二氧化碳排放的计算公式为：

$$E_{\text{掺烧},j} = \sum_{i=1}^n \left( FC_{i,x} \times NCV_{ar,i,x} \times CC_{i,x} \times OF_{i,x} \times \frac{44}{12} \right)$$



**图表 29：自产二次能源发电化石能源消耗排放计算相关参数**

符号	内涵	单位	取值
$E_{\text{掺烧},x}$	机组 x 掺烧发电的排放量	tCO <sub>2</sub>	-
$FC_{i,x}$	机组 x 第 i 种化石燃料的消耗量	固体或液体燃料, t; 气体燃料, 10 <sup>4</sup> Nm <sup>3</sup>	实测值
$NCV_{ar,i,x}$	机组 x 第 i 种化石燃料的收到基低位发热量	固体或液体燃料, GJ/t; 气体燃料, GJ/10 <sup>4</sup> Nm <sup>3</sup>	实测值或缺省值
$CC_{i,x}$	机组 x 第 i 种化石燃料的单位热值含碳量	tC/GJ	缺省值
$OF_{i,x}$	机组 x 第 i 种化石燃料的碳氧化率	%	缺省值

资料来源：生态环境部

**图表 30：常用化石燃料相关参数缺省值**

化石燃料品种		计量单位	低位发热量 (GJ/t, GJ/10 <sup>4</sup> Nm <sup>3</sup> )	单位热值含碳量 (tC/GJ)	碳氧化率 (%)
固体	无烟煤	t	25.024	0.02749	99
	烟煤	t	23.736	0.02618	
	褐煤	t	15.250	0.02797	
	洗精煤	t	26.344	0.02541	
	其他洗煤	t	12.545	0.02541	
	煤矸石	t	8.374	0.02541	
	煤泥	t	12.545	0.02541	
	焦炭	t	28.435	0.02942	
	石油焦	t	32.500	0.02750	
	其他煤制品	t	17.460	0.03356	
液体	原油	t	41.816	0.02008	98
	燃料油	t	41.816	0.02110	
	汽油	t	43.070	0.01890	
	柴油	t	42.652	0.02008	
	煤油	t	43.070	0.01960	
	其他石油制品	t	41.031	0.02000	
	液化天然气	t	51.498	0.01720	
	液化石油气	t	50.179	0.01720	
	煤焦油	t	33.453	0.02200	
	炼厂干气	t	45.998	0.0182	
气体	天然气	10 <sup>4</sup> Nm <sup>3</sup>	389.310	0.01532	99
	高炉煤气	10 <sup>4</sup> Nm <sup>3</sup>	33.000	0.07080	
	转炉煤气	10 <sup>4</sup> Nm <sup>3</sup>	84.000	0.04960	
	焦炉煤气	10 <sup>4</sup> Nm <sup>3</sup>	173.854	0.01210	
	其他煤气	10 <sup>4</sup> Nm <sup>3</sup>	52.270	0.01220	

资料来源：生态环境部

图表 31：相关排放因子缺省值

名称	二氧化碳排放因子 (tCO <sub>2</sub> /t)
石灰石	0.440
白云石	0.471
电极	3.663
镍铁	0.037
钼铁	0.018
硅铁	0.007
锰硅合金	0.092
低碳锰硅合金	0.011
高炉锰铁	0.275
电炉高碳锰铁	0.275
微碳锰铁	0.004
高碳铬铁	0.348
生铁	0.172
直接还原铁	0.073
废钢	0.037
粗钢	0.037
焦油	3.389
粗苯	3.382

资料来源：生态环境部

### 3.2、钢铁行业主要工序化石燃料碳排放强度测算

目前，将钢铁行业纳入管控范围的碳市场主要包括欧盟碳市场、美国加州碳市场，以及我国上海、广东、深圳、天津、重庆、福建和湖北试点碳市场。我国试点碳市场中，仅广东和福建碳市场使用基准线法，其余碳市场则使用历史排放法或历史强度法。但基于《全国碳排放权交易市场覆盖水泥、钢铁、电解铝行业工作方案（征求意见稿）》，在2024—2026年，仍然基于碳排放强度控制思路实施配额免费分配，即采用基准线法，不设置配额总量上限，并将企业的配额盈缺率控制在较小的范围内。但考虑到钢铁生产过程中工序较多，且多数生产原料可以外购，因此我们认为具体配额分配过程中，可能会为各工序分别设置基准值，且主要工序大概率会全部纳入配额分配范围，其他工序是否纳入仍有待最终方案确定。

图表 32：其他碳市场钢铁行业基准值设定

碳市场	适用时间	配额计算方法	基准值 (tCO <sub>2</sub> /t) / 计算公式
欧盟碳市场	2021-2025 年	基准线法	0.693
美国加州碳市场	2019 年至今	基准线法	0.742
上海试点碳市场	2023 年	历史强度法	历史碳排放强度：2020-2022 年加权平均值 直接发放配额比例：93%~94%
广东试点碳市场	2023 年	基准线法	炼焦：0.7892 石灰烧制：0.8709 球团：0.0746 烧结：0.1910 炼铁：1.3686 转炉炼钢：0.1393 电炉炼钢：0.3714
		历史强度法	钢压延与加工、外购化石燃料掺烧发电： 历史碳排放强度：2020-2022 年加权平均值 年度下降系数：1
深圳试点碳市场	2024 年	历史增强值强度法	历史碳排放强度：2021-2023 年加权平均碳强度 2024 年碳强度下降率：0.51%~9.86%
天津试点碳市场	2024 年	历史排放法	历史碳排放量：2023 年碳排放量 控排系数：0.96
重庆试点碳市场	2023 年	历史强度法	历史碳排放强度：2020-2022 年加权平均值 调节系数：0.94
福建试点碳市场	2023 年	基准线法	钢铁联合企业（普通钢）： 烧结矿：0.1238tCO <sub>2</sub> /t 生铁：1.3330tCO <sub>2</sub> /t
		历史强度法	除钢铁联合企业（普通钢）外： 历史碳排放强度：2020-2022 年加权平均值 减排系数：0.97
湖北试点碳市场	2022 年	历史排放法	市场调节因子：0.9836 控排系数：0.9763

资料来源：公开资料整理，东证衍生品研究院

## 1、焦化工序平均碳排放强度测算

基于 2023 年中钢协会员单位炼焦能耗，即 104.06 kgce/t，假设 2024 年能耗为 103 kgce/t。根据《焦炭单位产品能源消耗限额》（GB 21342—2013），焦炭产品单位产品能耗计算公式为：

$$E_{JT} = \frac{e_{yl} + e_{jg} - e_{jt} - e_{jf} - e_{jr}}{P_{JT}}$$

根据公开资料整理，我们大致可以参考如下表中所列出的能量输出和输入条件，经计算，焦炭生产实际加工能耗强度为 81 kgce/t，扣除电力、新水消耗后，输入的化石能源能耗约 71 kgce/t。

图表 33：焦化工序单位产品能耗计算相关参数

符号	内涵	参考条件	参考取值
$E_{JT}$	焦炭单位产品能耗 (kgce/t)	-	103 kgce/t
$e_{yl}$	原料煤携带的有效能量 (kgce)	生产 1 吨焦炭约消耗洗精煤 1.4 吨	1349 kgce/t
$e_{jg}$	加工耗能量 (kgce)	生产 1 吨焦炭约消耗电力 80 kWh、新水 1.6t	81 kgce/t
$e_{jt}$	焦炭产品携带的有效能量 (kgce)	焦炭低位发热量为 28.435GJ/t	970 kgce/t
$e_{jf}$	化工产品携带的有效能量 (kgce)	生产 1 吨焦炭约产生 400m <sup>3</sup> 焦炉煤气、0.04 吨煤焦油、0.01 吨粗苯	297 kgce/t
$e_{jr}$	余热回收量 (kgce)	干熄 1 吨红焦可回收蒸汽余热 50~60kgce, 荒煤气余热 8~10kgce	60 kgce/t
$P_{JT}$	焦炭产量 (t)	-	-

资料来源：东证衍生品研究院

焦化工序的化石燃料消耗主要来自燃烧炉，其常用的供热燃料有高炉煤气和焦炉煤气。焦炉煤气可燃成分较高，燃烧速度快，用焦炉煤气加热焦炉时，加热系统阻力小，煤气中的焦油、焦油渣等成分较多，容易堵塞管路和管件，且 NH<sub>3</sub>、HCN、H<sub>2</sub>S 等对管道设备腐蚀严重。而高炉煤气可燃成分较低，燃烧速度慢，高向加热均匀性好，可适当降低燃烧室温度，加热系统阻力大，因此通常情况下，只要高炉煤气量稳定，就尽量使用高炉煤气加热焦炉。假设全国钢铁行业炼焦工序燃烧炉中高炉煤气供能占比为 95%~100%，则加工耗能的碳排放强度约为 0.518~0.540 tCO<sub>2</sub>/t。

根据《指南》，计算排放量时，焦化工序输入的化石燃料包括洗精煤和高炉煤气、焦炉煤气、转炉煤气等，输出的化石燃料包括焦炭（含焦丁、焦粉）和焦炉煤气等，则焦化工序的实际碳排放强度约为 0.578~0.601 tCO<sub>2</sub>/t。

图表 34：焦化工序加工耗能的碳排放强度

能耗		供能占比 (%)		使用量 (m <sup>3</sup> )		碳排放强度 (tCO <sub>2</sub> /t)		
kgce/t	GJ/t	高炉煤气	焦炉煤气	高炉煤气	焦炉煤气	高炉煤气	焦炉煤气	合计
71	2.08	100	0	630.6	0	0.540	0	0.540
		98	2	617.9	2.4	0.529	0.002	0.531
		95	5	599.0	6.0	0.513	0.005	0.518

资料来源：东证衍生品研究院

图表 35：焦化工序实际碳排放强度

化石燃料输入量 (t 或 m <sup>3</sup> )			化石燃料输出量 (t 或 m <sup>3</sup> )		碳排放强度 (tCO <sub>2</sub> /t)				
洗精煤	高炉煤气	焦炉煤气	焦炭	焦炉煤气	洗精煤	高炉煤气	焦炭	焦炉煤气	合计
1.4	630.6	0	1	400	3.436	0.540	-3.067	-0.309	0.601
1.4	617.9	2.4	1	400	3.436	0.529	-3.067	-0.307	0.592
1.4	599.0	6.0	1	400	3.436	0.513	-3.067	-0.304	0.578

资料来源：东证衍生品研究院

## 2、烧结工序平均碳排放强度测算

基于 2023 年中钢协会会员单位烧结矿能耗，即 48.25kgce/t，假设 2024 年能耗为 48 kgce/t，根据《粗钢生产主要工序单位产品能源消耗限额》（GB 21256—2013），焦炭产品单位产品能耗计算公式为：

$$E_{SJ} = \frac{e_{sjz} - e_{sjh}}{P_{SJ}}$$

每生产 1 吨烧结矿约可以回收热量 10 kgce，则烧结工序实际能耗约 58 kgce/t，扣除电耗后，化石能源消耗约为 50 kgce/t，其中固体燃料能耗约 47 kgce/t，气体燃料能耗约 3 kgce/t。

**图表 36：烧结工序产品能耗计算相关参数**

符号	内涵	参考条件	参考取值
$E_{SJ}$	烧结工序单位产品能耗 (kgce/t)	-	48 kgce/t
$e_{sjz}$	烧结工序消耗的各种能源折标煤量 (kgce)	固体燃料消耗约占 80%，点火能耗约占 5%，电耗约占烧结工序能耗的 15%	<b>58 kgce/t</b>
$e_{sjh}$	烧结工序回收的能源折标煤量 (kgce)	每吨烧结矿可回收余热蒸汽 80~100kg/t	10 kgce/t
$P_{SJ}$	合格烧结矿产量 (t)	-	-

资料来源：东证衍生品研究院

我国烧结工艺所使用固体燃料品种主要以无烟煤、焦粉为主，其配比受到成本影响较大，但目前受到环保形势等因素的影响，钢铁企业更多使用焦粉，不足部分用无烟煤进行补充，也有少数使用兰炭或其他生物质替代燃料。此外，点火需要一定的气体燃料，通常为焦炉煤气、高炉煤气或转炉煤气。假设全国钢铁行业烧结工序固体燃料中焦粉占比为 70%~90%，在点火燃料分别使用焦炉煤气、高炉煤气和转炉煤气的情况下，则加工耗能碳排放强度约为 0.150~0.171 tCO<sub>2</sub>/t，使用高炉煤气时的碳排放强度最高。

根据《指南》，计算排放量时，烧结工序输入的化石燃料包括焦炭（一般为焦粉状态）、烟煤、无烟煤等固体化石燃料和高炉煤气、焦炉煤气、转炉煤气（主要用于点火）等，一般无输出的化石燃料，则烧结工序的实际碳排放强度与加工耗能碳排放强度保持一致。

图表 37：烧结工序加工耗能的碳排放强度

固体能耗		供能占比 (%)		使用量 (t)		碳排放强度 (tCO <sub>2</sub> /t)		
kgce/t	GJ/t	无烟煤	焦粉	无烟煤	焦粉	无烟煤	焦粉	合计
47	1.38	10	90	0.005	0.044	0.014	0.133	0.148
		20	80	0.011	0.039	0.027	0.118	0.147
		30	70	0.017	0.034	0.041	0.103	0.146
气体能耗		单一燃料使用量 (m³)			碳排放强度 (tCO2/t)			
kgce/t	GJ/t	焦炉煤气	高炉煤气	转炉煤气	焦炉煤气	高炉煤气	转炉煤气	
3	0.09	5.06	26.64	10.47	0.004	0.023	0.016	

资料来源：东证衍生品研究院

3、球团工序平均碳排放强度测算：

基于 2023 年中钢协会会员单位球团矿能耗，即 23.07kgce/t，假设 2024 年能耗为 22 kgce/t，根据《粗钢生产主要工序单位产品能源消耗限额》（GB 21256—2013），球团产品单位产品能耗计算公式为：

$$E_{QT} = \frac{e_{qtz} - e_{qth}}{P_{QT}}$$

球团生产过程产生的高温废气大部分会在前置工序中循环利用，中低温废气余热回收率较低，假定每生产 1 吨球团矿约可以回收热量 5 kgce，则烧结工序实际能耗约 27 kgce/t。

图表 38：球团工序产品能耗计算相关参数

符号	内涵	参考条件	参考取值
$E_{QT}$	球团工序单位产品能耗 (kgce/t)	-	22 kgce/t
$e_{qtz}$	球团工序消耗的各种能源折标煤量 (kgce)	链篦机—回转窑工艺电耗约 25kWh/t； 竖炉工艺电耗约为 35 kWh/t； 带式焙烧机工艺电耗约 30 kWh/t	27 kgce/t
$e_{qth}$	球团工序回收的能源折标煤量 (kgce)	球团余热回收装置普及率低	5 kgce/t
$P_{QT}$	合格球团矿产量 (t)	-	-

资料来源：东证衍生品研究院

竖炉一般使用气体燃料，我国新的竖炉结构较国外竖炉改善了炉内透气性，燃烧废气和冷却风穿透能力增加，气流分布均匀，有稳定的均热带，因此目前主要是高炉煤气，也可掺入转炉煤气。链篦机—回转窑工艺对原料适应性强、单机生产能力大，且温度易于控制、焙烧均匀，其燃料不但可以使用各类煤气及混合煤气，也可以使用辅助喷煤或全喷煤（一般为烟煤）。带式焙烧机同样具有对原料适应性强、单机生产能力大的优点，但其必须使用高热值气体燃料和重油作为燃料来保证焙烧气体中的供热强度和氧化气氛，



钢铁厂结合自身能源结构，可以采用焦炉煤气或混合煤气，与竖炉、链篦机—回转窑工艺相比，带式焙烧机在能源利用方面更加高效，能耗相对较低。

从三种工艺的产量情况来看，链篦机—回转窑球团占比最大，其次是竖炉球团，由于缺少近期的可靠数据来源，我们假定2024年三类球团的产量占比分别为链篦机—回转窑65%、竖炉20%、带式机15%，能耗平均水平分别为27 kgce/t、30 kgce/t、25 kgce/t，扣除电耗后，化石能源消耗水平约分别为24 kgce/t、26 kgce/t、22 kgce/t。综合来看，球团工序加工耗能碳排放强度约为0.099~0.109 tCO<sub>2</sub>/t，其中竖炉工艺的碳排放强度最高。

根据《指南》，计算排放量时，球团工序输入的化石燃料一般包括烟煤、无烟煤等固体化石燃料和高炉煤气、焦炉煤气、转炉煤气、天然气等，一般无输出的化石燃料；则球团工序的实际碳排放强度与加工耗能碳排放强度保持一致。

图表 39：球团工序加工耗能的碳排放强度

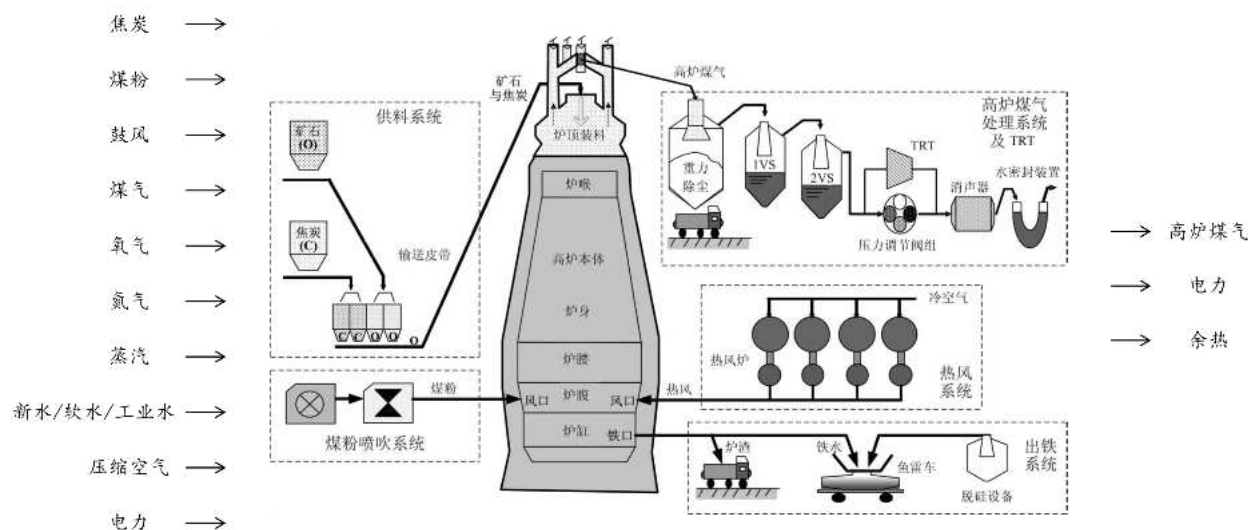
链篦机能耗		供能占比 (%)				碳排放强度 (tCO <sub>2</sub> /t)				
kgce/t	GJ/t	焦炉煤气	高炉煤气	转炉煤气	煤粉	焦炉煤气	高炉煤气	转炉煤气	煤粉	合计
24	0.67	20	10	20	50	0.006	0.018	0.026	0.035	0.085
		10	10	30	50	0.003	0.018	0.038	0.035	0.095
		10	10	20	60	0.003	0.018	0.026	0.042	0.089
竖炉能耗		供能占比 (%)		用量 (m³)		碳排放强度 (tCO <sub>2</sub> /t)				
kgce/t	GJ/t	高炉煤气	转炉煤气	高炉煤气	转炉煤气	高炉煤气	转炉煤气	合计		
26	0.73	100	0	230.9	0	0.198	0	0.198		
		95	5	219.4	4.5	0.188	0.007	0.195		
		90	10	207.8	9.1	0.178	0.014	0.192		
带式机能耗		供能占比 (%)		用量 (m³)		碳排放强度 (tCO <sub>2</sub> /t)				
kgce/t	GJ/t	焦炉煤气	高炉煤气	焦炉煤气	高炉煤气	焦炉煤气	高炉煤气	合计		
22	0.62	95	5	35.2	9.8	0.027	0.008	0.036		
		90	10	33.4	19.5	0.026	0.017	0.042		
		85	15	31.5	29.3	0.024	0.025	0.049		

资料来源：东证衍生品研究院

#### 4、高炉工序平均碳排放强度测算：

高炉工序是囊括能源种类最多的炼钢工序，其能耗涉及焦炭、煤、煤气、水、电、余热回收等十余种固体燃料和动力介质。能源消耗方面，固体燃料（焦炭、煤粉等）的消耗是最主要的部分，也是决定工序直接碳排放强度的主要指标。能源回收方面，主要涉及高炉煤气回收和 TRT 发电。

图表 40：高炉工序能耗统计范围



资料来源：公开资料整理<sup>2</sup>，东证衍生品研究院

基于 2023 年中钢协会会员单位高炉生铁能耗,即 387.42 kgce/t,假设 2024 年能耗为 385 kgce/t,根据《粗钢生产主要工序单位产品能源消耗限额》(GB 21256—2013),高炉工序单位产品能耗计算公式为:

$$E_{GL} = \frac{e_{glz} - e_{glh}}{P_{GL}}$$

能源回收方面,高炉每生产 1 吨生铁约可回收 1600 m<sup>3</sup> 高炉煤气,折合 180 kgce;高炉炉顶煤气具有的压力能及热能可以用来发电,借助高炉煤气余压透平发电装置(简称 TRT),吨铁发电量约为 40 kWh,折合 4.92 kgce;炉渣显热的回收主要是针对高炉冲渣水,通过换热器用于采暖或余热,吨铁产生的冲渣水回收的热量约折合 5 kgce。合计回收能量折标煤约 190 kgce/t,则高炉工序消耗的能源折标煤量约为 575 kgce/t。非化石能源消耗方面,能耗主要来自鼓风、氧气、氮气、电力、压缩空气、新水,大型高炉吨铁鼓风量约 1000 m<sup>3</sup>/t,折合 8.8 kgce/t;氧气消耗约为 60 m<sup>3</sup>/t,折合 0.48 kgce/t;氮气消耗约 40 m<sup>3</sup>/t,折合 0.68 kgce/t;电力消耗主要来自鼓风机,按照驱动方式的不同,鼓风机可以分为电动鼓风、汽动鼓风、BPRT 机组(煤气透平与电动机同轴驱动机组)和 BCSG 机组(高炉鼓风与汽轮发电同轴驱动机组),后两个鼓风机组的系统较为复杂,目前实际应用较少,气动鼓风吨铁电耗约 40 kWh/t,电动鼓风吨铁电耗约 120 kWh/t,取均值 80 kg/t,非鼓风电耗约 40 kWh/t,共折合 14.7 kgce/t;水资源消耗主要来自于炉渣冷却,吨铁新水消耗约 0.3 t,折合 0.12 kgce/t。综上,化石能源消耗强度约 550 kgce/t。

能源消耗方面,化石能源消耗主要涉及煤粉、兰炭、焦炭和煤气。目前我国钢铁企业高炉主要采用的是烟煤与无烟煤混合喷吹模式,烟煤的配比一般为 30%~40%,近年,兰炭

<sup>2</sup> 高炉炼铁过程示意图源:宋贺达等,高炉炼铁过程多元铁水质量非线性子空间建模及应用,自动化学报,2016,42(11)

也逐渐成为高炉喷吹的常规燃料，替代烟煤或无烟煤，但配加比例较低，目前常规配加兰炭的高炉仅 20 余台，配加比例不超过 30%。热风炉使用的燃料一般为高炉煤气。

图表 41：高炉工序产品能耗计算相关参数

符号	内涵	参考条件	参考取值
$E_{GL}$	高炉工序单位产品能耗 (kgce/t)	-	385 kgce/t
$e_{glz}$	高炉工序消耗的各种能源折标煤量 (kgce)	非化石能源消耗强度约 25 kgce/t	575 kgce/t
$e_{glh}$	高炉工序回收的能源折标煤量 (kgce)	高炉煤气、TRT 发电量、冲渣水余热利用	213 kgce/t
$P_{GL}$	合格生铁产量 (t)	-	-

资料来源：东证衍生品研究院

2023 年钢协会员单位平均高炉喷煤比为 152.8 kg/t，假设 2024 年高炉喷煤比为 154kg/t，热风炉吨铁煤气消耗约 500 m<sup>3</sup>/t，焦炭与焦丁比约 370 kg/t，合计供能约 16.10~16.15GJ/t，与上文倒推的化石能源消耗强度基本一致。在此基础上，得出的高炉工序加工耗能碳排放强度合计约 0.819~0.825 tCO<sub>2</sub>/t，主要的碳排放来自热风炉高炉煤气燃烧。

根据《指南》，计算排放量时，炼铁工序输入的化石燃料一般包括焦炭（含焦丁）、喷吹煤（一般为烟煤、无烟煤）、兰炭、高炉煤气、焦炉煤气、转炉煤气等，输出的化石燃料一般包括焦炭（焦粉状态）、高炉煤气等。高炉输出焦粉的主要与焦炭质量以及炉内温度和气流分布有关，假定焦粉输出量为输入量的 1%，则高炉炼铁工序的实际碳排放强度约为 0.571~0.578 tCO<sub>2</sub>/t。

图表 42：高炉工序加工耗能的碳排放强度

能耗		使用量 (kg 或 m <sup>3</sup> )					碳排放强度 (tCO <sub>2</sub> /t)				
kgce/t	GJ/t	无烟煤	烟煤	兰炭	高炉煤气	焦炭/焦丁	无烟煤	烟煤	兰炭	高炉煤气	合计
550	16.12	107.8	44.7	1.5	500	370	0.290	0.102	0.005	0.428	0.825
		100.1	52.3	1.5	500	370	0.269	0.119	0.005	0.428	0.822
		92.4	60.0	1.5	500	370	0.249	0.137	0.005	0.428	0.819

资料来源：东证衍生品研究院

图表 43：高炉工序实际碳排放强度

化石燃料输入量 (kg 或 m <sup>3</sup> )					化石燃料输出量 (kg 或 m <sup>3</sup> )		碳排放强度 (tCO <sub>2</sub> /t)					
焦炭	无烟煤	烟煤	兰炭	高炉煤气	焦炭	高炉煤气	焦炭	无烟煤	烟煤	兰炭	高炉煤气	合计
370	107.8	44.7	1.5	500	3.7	1600	1.124	0.290	0.102	0.005	—0.942	0.578
370	100.1	52.3	1.5	500	3.7	1600	1.124	0.270	0.120	0.005	—0.942	0.575
370	92.4	60.0	1.5	500	3.7	1600	1.124	0.249	0.137	0.005	—0.942	0.571

资料来源：东证衍生品研究院

### 5、转炉工序平均碳排放强度测算：

根据《指南》，转炉炼钢工序输入的化石燃料一般包括高炉煤气、焦炉煤气、转炉煤气等，输出的化石燃料一般包括转炉煤气等。其中，化石燃料的输入环节主要包括废钢预热和钢包烘烤。废钢预热可以减少炼钢过程中的能量消耗，加快炼钢反应速度，提高非废钢比，提升炼钢生产效率。钢包是盛储钢水的容器，如果使用前未充分烘烤升温，则钢水在转入钢包后会损失大量热量。根据燃烧气体条件的不同，废钢预热和钢包烘烤的燃烧模式可以分为直燃、富氧和纯氧三种，直燃即煤气与空气混合燃烧，富氧和纯氧通过提高助燃空气中的氧气浓度提高燃烧效率。加热使用的燃料通常为转炉煤气或高炉煤气，纯氧燃烧的热利用率约为直燃的 2 倍。

在纯氧燃烧条件下，吨废钢预热约消耗 100 m<sup>3</sup> 转炉煤气，按照废钢比 15%、总原料损耗 5% 计算，生产 1 吨钢水的废钢预热能耗约为 16 m<sup>3</sup> 转炉煤气。假定实际平均转炉煤气消耗强度为 15~30 m<sup>3</sup>/t，则废钢预热工序碳排放强度约 0.022~0.065 tCO<sub>2</sub>/t。钢包烘烤能耗约为 15~20 m<sup>3</sup> 转炉煤气/吨钢，则钢包烘烤碳排放强度约为 0.022~0.044 tCO<sub>2</sub>/t。

化石能源输出方面，根据中钢协数据，2023 年中钢协会员单位吨钢转炉煤气回收量为 125.11 m<sup>3</sup>/t,假设 2024 年回收量为 130 m<sup>3</sup>/t,则转炉工序实际碳排放强度为 -0.153~-0.090 tCO<sub>2</sub>/t。

图表 44：转炉工序加工耗能的碳排放强度

能耗		供能占比（%）		燃料消耗（m <sup>3</sup> ）		碳排放强度（tCO <sub>2</sub> /t）		
kgce/t	GJ/t	转炉煤气	高炉煤气	转炉煤气	高炉煤气	转炉煤气	高炉煤气	合计
4.3	0.183	100	0	15	0	0.023	0	0.022
		0	100	0	38	0	0.032	0.032
5.7	0.17	100	0	20	0	0.031	0	0.031
		0	100	0	51	0	0.044	0.044
8.6	0.25	100	0	30	0	0.046	0	0.046
		0	100	0	76	0	0.065	0.065

资料来源：东证衍生品研究院

图表 45：转炉工序实际碳排放强度

化石燃料输入量（m <sup>3</sup> ）		化石燃料输出量（m <sup>3</sup> ）	碳排放强度（tCO <sub>2</sub> /t）		
转炉煤气	高炉煤气	转炉煤气	转炉煤气	高炉煤气	合计
30	0	130	-0.153	0	-0.153
0	127	130	-0.199	0.109	-0.090

资料来源：东证衍生品研究院

## 6、电炉工序平均碳排放强度测算：

根据《指南》，电炉炼钢工序输入的化石燃料一般包括天然气等，一般无输出的化石燃料。电炉工序的化石能源输入环节与转炉相同，即废钢预热和钢包烘烤，对于独立电炉厂，由于缺少煤气资源，两类工序主要利用电炉烟气和天然气。假设 2024 年电炉整体废钢比为 70%，根据《钢铁企业节能设计标准》（GB/T 50632—2019），废钢比为 70% 时，吨钢水燃料消耗约 0.86GJ，则吨钢天然气消耗量约 22 m<sup>3</sup>/t，碳排放强度约为 0.048 tCO<sub>2</sub>/t。

**图表 46：电炉工序实际碳排放强度**

钢铁料结构		燃料消耗 (GJ/t)	燃料消耗 (m <sup>3</sup> )	碳排放强度 (tCO <sub>2</sub> /t)	
废钢	铁水		天然气	天然气	合计
70%	30%	0.86	22.1	0.048	0.048

资料来源：东证衍生品研究院

综上，我们汇总得到如下表的各主要工序平均化石燃料碳排放强度。其中，高炉工序的能耗优化是钢铁企业实现减排的最主要途径，即降低高炉燃料比。由于这一指标易受到原燃料质量、炉料结构、设备运行状态等多种因素的影响，往往存在较大波动，且不同钢铁企业的高炉燃料比存在较大差异。按照主要工序化石燃料碳排放强度计算，全国碳市场所覆盖的钢铁行业主要工序排放量约 7 亿吨；企业层级排放量或达到约 15~20 亿吨。

**图表 47：全国碳市场钢铁行业各主要工序的平均化石燃料碳排放强度**

炼钢工艺	碳排放强度 (tCO <sub>2</sub> /t)
焦化	0.578~0.601
烧结	0.150~0.171
球团	0.099~0.109
高炉炼铁	0.571~0.578
转炉炼钢	-0.153~-0.090
电炉炼钢	0.048

资料来源：东证衍生品研究院

据不完全统计，目前大部分大型钢铁公司或其主要炼铁厂的大型高炉燃料比均处于行业平均水平以下，其中，宝钢、马钢、太钢、首钢等企业大型高炉燃料比已经降至 500 kg/t 以下，存在明显能耗和排放优势。而鞍钢、攀钢、包钢等企业高炉燃料比则明显高于行业平均水平。根据鞍钢集团公告，其 2023 年高炉燃料比为 569 kg/t，根据其近期新闻报道中所公布的数据，鞍钢股份炼铁总厂高炉燃料比曾长期徘徊在 596 kg/t 左右，但近期正持续改善，下降到 550 kg/t 左右，但仍高于行业均值。

图表 48：我国主要钢铁生产企业大型高炉燃料比

钢铁企业	高炉燃料比 (kg/t)
2023 年行业均值	525.98
宝钢宝山基地	<495
湛钢东山基地	<495
梅钢梅山基地	~500
武钢青山基地	~505
马钢	~500
太钢	~500
新钢	~520
山钢	~500
鞍钢（鞍山/营口/朝阳）	~550
本钢板材	>520
攀钢西昌钢钒	~540
首钢京唐	~500
河钢邯钢	<510
河钢唐钢	~515
南钢	~510
柳钢	<520
包钢	~550
唐山东海	<510
沙钢	<500
杭钢	~505
方大萍安	~530

资料来源：公开资料整理，东证衍生品研究院

## 4、钢铁行业减排路径

传统长流程炼钢占比居高不下是我国钢铁行业高碳排放强度的主要原因，在此基础上，钢铁行业减排的技术路线主要包括，优化长流程炼钢、提升短流程炼钢占比，推广低碳炼铁技术、加强各环节余热利用等。

### 4.1、基于传统长流程炼钢的优化

#### 1、提高球团矿入炉比

入炉矿含铁品位是影响高炉炼铁能耗最主要的因素之一，高品质的铁原料是提高喷煤比、降低焦比和燃料比的基础条件。在入炉矿品位 57% 的条件下，品位升高 1%，焦比下降 1.0%~1.5%，产量增加 1.5%~2.0%，吨铁渣量减少 30 kg，允许多喷煤粉 15 公斤；入炉铁品位在 52% 左右时，品位每下降 1%，燃料比升高 2.0%~2.2%。



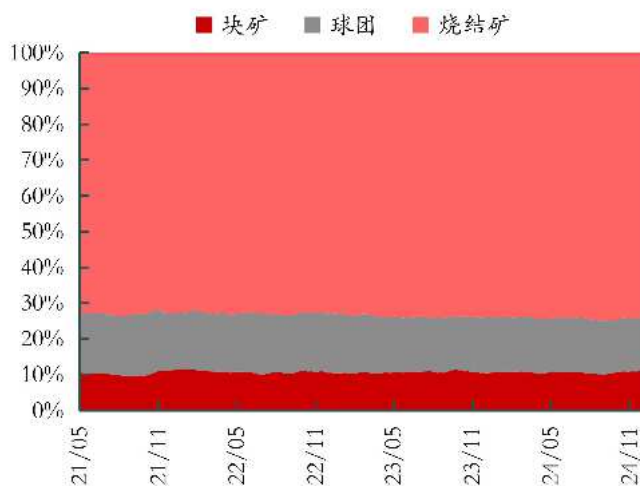
球团矿含铁品位比烧结矿高约 5%~9%，因此，提高烧结矿配比是提高入炉铁品位的主要措施之一。根据 Mysteel 统计的 114 家钢铁企业含铁炉料入炉比数据，块矿、球团和烧结矿的入炉比基本分别稳定在 11%、15%和 74%。根据中钢协统计，2023 年重点钢铁企业烧结矿产量约 88.71 亿吨，较 2022 年下降 0.24%，球团矿产量约 1.35 亿吨，较 2022 年下降 3.69%。2023 年，中钢协会员单位高炉矿石入炉品位为 57.27%，较 2022 年下降 0.32 个百分点。在低利润甚至是负利润的营运条件下，钢铁企业不再追求高精料，而是追求经济炉料。

图表 49：入炉铁品位变化对高炉指标的影响

入炉品位 (%)	燃料比 (kg/t)	焦比 (kg/t)	煤比 (kg/t)	铁矿石耗量 (kg/t)
58 (基准)	550	410	140	1724.14
57	+8.25	+6.15	+2.10	1754.39
56	+15.50	+12.30	+3.20	1785.71
55	+24.75	+18.45	+6.30	1818.18
54	+33.00	+24.60	+8.40	1851.85
53	+41.25	+30.75	+10.50	1886.79
52	+49.50	+36.90	+12.60	1923.08
51	+57.25	+43.05	+14.20	1960.78
50	+66.00	+49.20	+16.80	2000.00

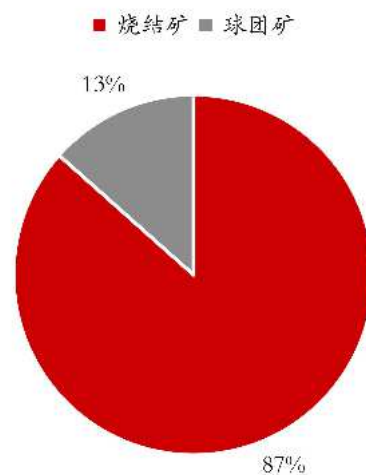
资料来源：世界金属导报

图表 50：114 家钢铁企业含铁炉料入炉比



资料来源：Mysteel

图表 51：2023 年重点钢铁企业烧结矿球团矿产量占比



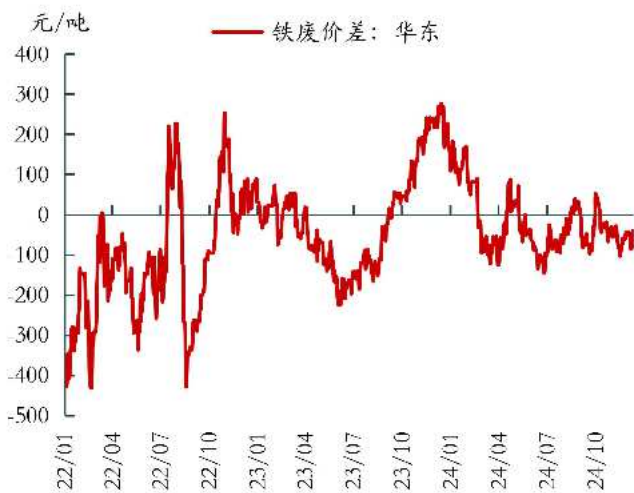
资料来源：中钢协

多种因素限制了我国高炉球团矿入炉比。首先是炉料酸碱度平衡问题，我国生产的烧结矿为碱性，而球团矿大多为酸性，在高炉冶炼过程中，炉渣的酸碱性质保持在一个合理的范围内才能确保高炉操作的稳定性和效率，因此目前我国高炉的炉料结构通常为高碱度烧结矿配加少量酸性球团矿和块矿。酸性球团矿与碱性烧结矿在冶金性能存在明显差异，这意味着当使用在高炉中使用高比例酸性球团矿时，需要对炉型设计、布料方式、炉热控制和送风制度等技术操作进行相应调整，才能实现高炉的高效稳定运行，存在一定的技术门槛。碱性球团矿（又称溶剂性球团）的冶金性能与碱性烧结矿更为接近，但是碱性球团矿的生产环境控制难度更大，且碱度过高会导致生球质量下降，我国在这方面的技术发展仍有待成熟。此外，球团矿生产需要高品位铁精粉，而我国国产铁矿石品位较低，采选成本较高，因此球团生产主要依赖进口原料，或直接使用进口球团矿，成本较高，叠加近年钢厂利润不佳，影响了企业使用球团矿的积极性。随着环保要求日趋严格，我国碱性球团矿的发展以及高炉高比例球团冶炼将成为传统高炉的重要发展方向。

## 2、提高转炉废钢比

成本效益是限制转炉废钢比的重要因素，通常情况下，当铁废价差达到 200 元/吨时，可以认为废钢相较铁水具有显著的性价比优势。近几年，铁废价差持续处于偏低位置，钢厂对于废钢的使用意愿有所下降。

图表 52：废钢性长期缺乏性价比优势



资料来源：富宝资讯

图表 53：长流程钢铁企业废钢比



资料来源：Mysteel

据前文计算，高炉每生产 1 吨铁水的化石燃料碳排放量约为 0.571~0.578 吨，每吨废钢加热工序的碳排放量约为 0.153 吨（使用转炉煤气），则当废钢比提高至 50%时，其吨钢碳排放成本比废钢比 15%时低约 15 元。在钢铁行业纳入碳市场后，废钢的性价比将较此前略有提高，且会随着碳价的上升而愈加明显。

图表 54：不同废钢比条件下高炉+转炉工序的碳排放强度

废钢比	铁水比	高炉碳排放强度（折吨钢水） (tCO <sub>2</sub> /t)	废钢预热碳排放强度 (tCO <sub>2</sub> /t)	合计碳排放强度	碳排放成本 (100 元/吨计)
15%	85%	0.489	0.023	0.512	51.2
50%	50%	0.288	0.076	0.364	36.4

资料来源：东证衍生品研究院

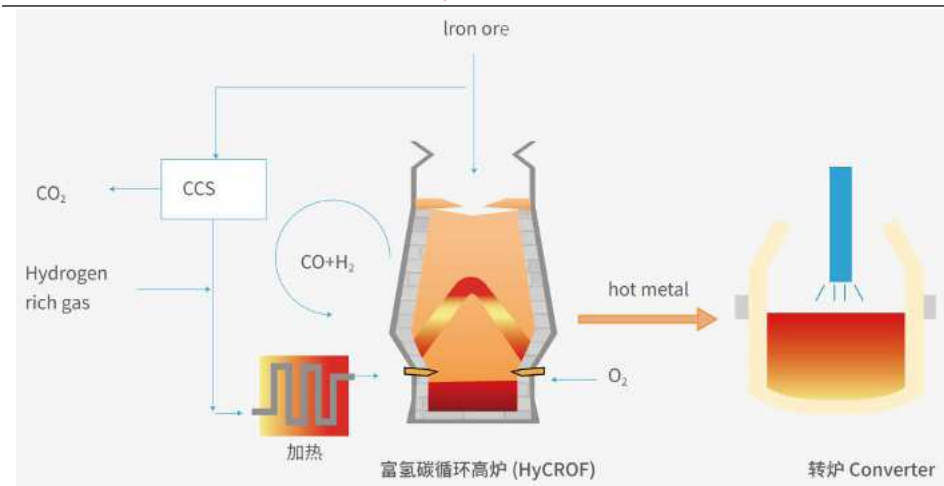
注：不考虑合金添加量以及原料损耗的影响。

### 3、高炉煤气充分利用：富氢碳循环氧气高炉

现代先进高炉燃耗强度已接近理论极限，但高炉碳的化学能利用率仍存在提升空间，先进高炉约 35% 的碳化学能以 CO 的形式被高炉煤气带走，但由于高炉煤气中不可燃成分较多，大多只能通过直接燃烧的方式进行利用。基于此，中国宝武集团自主开发了富氢碳循环氧气高炉（HyCROF）工艺，旨在通过碳循环实现对碳化学能的完全利用，同时使用氢替代碳还原和电替代碳加热，从而达到大幅减排的目标。

HyCROF 工艺对高炉煤气中的 CO<sub>2</sub> 进行分离提质得到高还原势煤气，经高温加热后发返回高炉重新利用，在煤气返回过程中喷入一定量的富氢气体替代部分还原耗碳，进一步减少高炉冶炼过程中的碳素输入。同时，HyCROF 工艺采用全氧鼓风，以减少炉顶煤气中的 N<sub>2</sub> 含量，避免循环过程中的 N<sub>2</sub> 富集。

图表 55：富氢碳循环氧气高炉（HyCROF）为核心的高炉—转炉工艺



资料来源：宝钢股份

通过碳循环和氢气补充，高炉冶炼固体燃料比可以实现大幅降低，在富氢+碳循环+超高温电加热的情况下，HyCROF 工艺的极限减排能力可以达到 86%<sup>3</sup>。2023 年 9 月，宝武八钢低碳冶金 2500 立方米 HyCROF 商业示范项目正式投运，全面进入商业化运作阶段。

图表 56: HyCROF 工艺不同工况下的燃料消耗

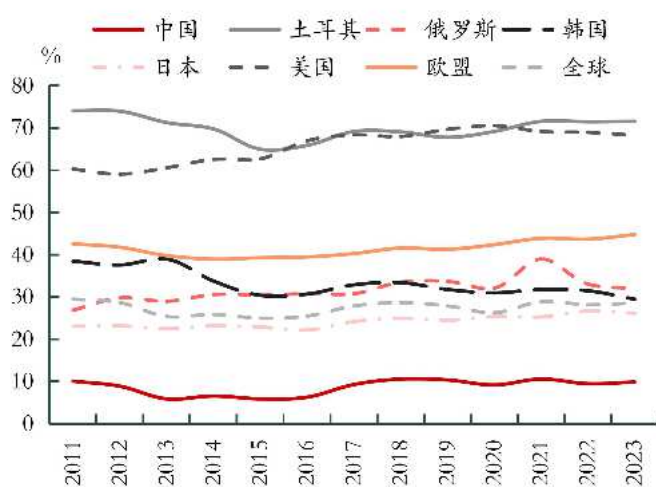
项目	焦比 (kg/t)	煤比 (kg/t)	氢 (m <sup>3</sup> /t)	循环煤气 (m <sup>3</sup> /t)	外送/补充煤气 (GJ/t)
常规高炉	303	181	0	0	2.8
碳循环	250	85	0	800	-0.8
碳循环+自平衡	250	115	0	750	0
富氢	250	0	200	800	-1.2
富氢+自平衡	250	42	200	800	0

资料来源：东证衍生品研究院

## 4.2、发展电弧炉短流程炼钢

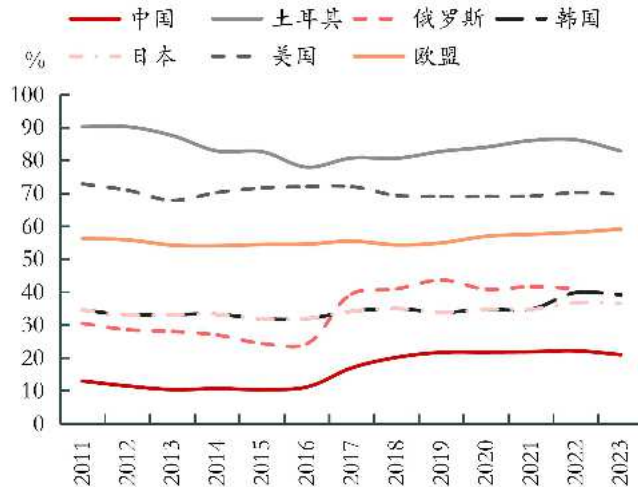
长流程炼钢对于废钢的利用程度始终有限，且其生产过程的化石能源消耗无法避免。因此电弧炉短流程炼钢的发展对于我国钢铁行业的低碳发展具有更为显著的积极作用。根据世界钢铁协会数据，2023 年全球平均电炉钢产量占比为 28.6%，其中土耳其和美国比例最高，分别为 71.6%和 68.3%。相应地，这两国的废钢比也排在世界前列。而我国目前的电炉钢产量占比仅约 10%，废钢比约 21%，与世界平均水平存在一定差距。盈利空间有限、废钢资源稀缺以及电炉炼钢工艺不成熟是目前制约我国电炉钢发展的主要因素。

图表 57: 主要国家电炉钢产量占比



资料来源：WSA

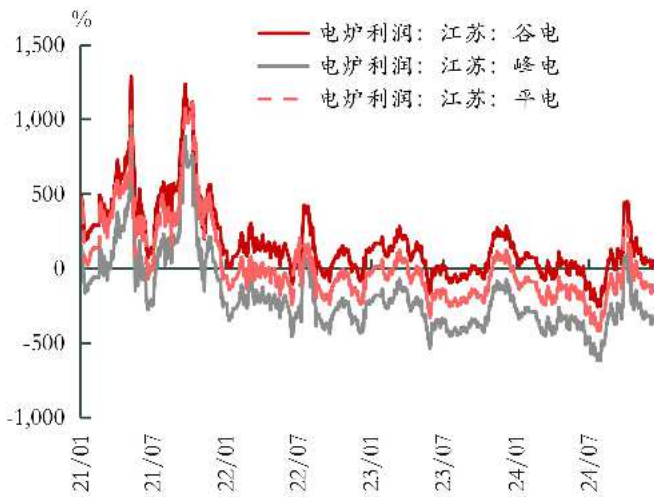
图表 58: 主要国家废钢比



资料来源：富宝资讯

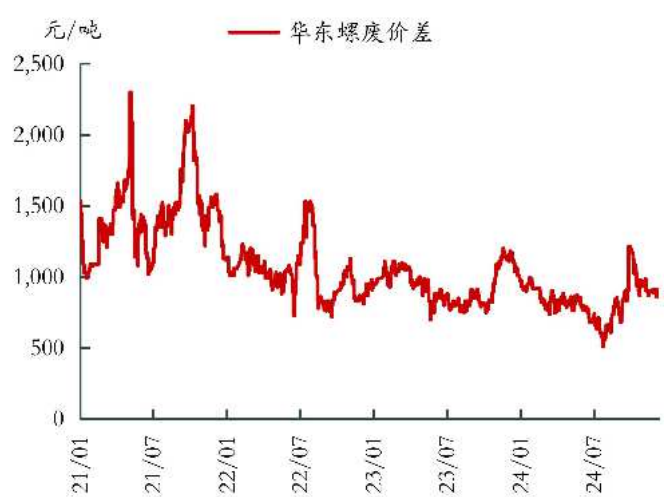
<sup>3</sup> 许海法等，富氢碳循环氧气高炉碳减排能力及工业实证，炼铁，2024，43(3)

图表 59：电炉钢利润空间收缩



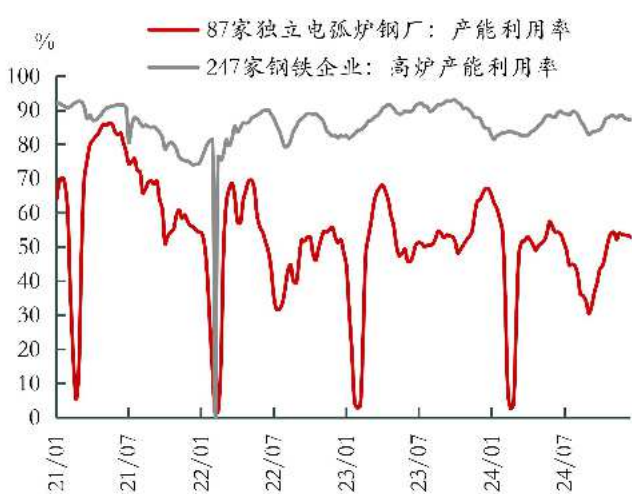
资料来源：富宝资讯

图表 60：螺废价差收窄



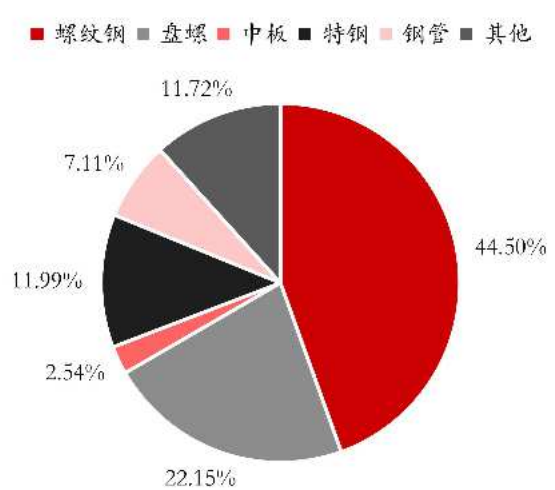
资料来源：富宝资讯

图表 61：电炉产能利用率较低



资料来源：Mysteel

图表 62：电炉钢产品结构相对单一



资料来源：Mysteel

2022 年 2 月印发的《关于促进钢铁工业高质量发展的指导意见》中提出，到 2025 年，电炉钢产量占比达到 15% 以上；2022 年 7 月印发的《工业领域碳达峰实施方案》中进一步提出，到 2030 年，电炉钢产量占比达 20% 以上。



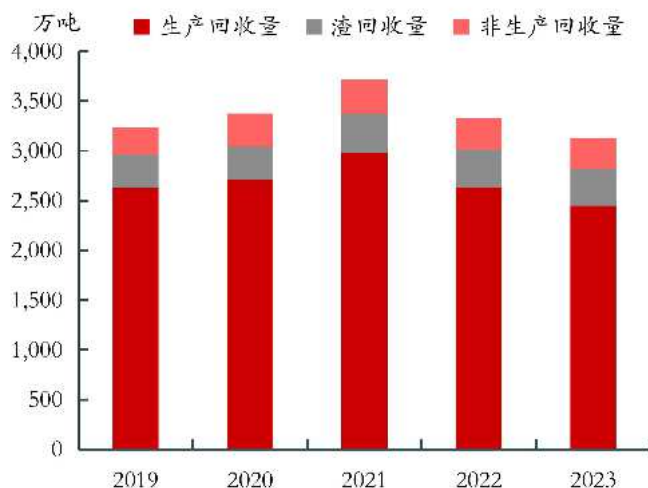
图表 63：我国电炉钢发展规划相关文件

时间	文件	主要内容
2021 年 10 月	《2030 年前碳达峰行动方案》	大力推进非高炉炼铁技术示范，提升废钢资源回收利用水平，推行全废钢电炉工艺。
2021 年 11 月	《关于深入打好污染防治攻坚战的意见》	推动高炉—转炉长流程炼钢转型为电炉短流程炼钢。
2022 年 2 月	《关于促进钢铁工业高质量发展的指导意见》	到 2025 年，电炉钢产量占粗钢总产量比例提升至 15% 以上。
2022 年 2 月	《钢铁行业节能降碳改造升级实施指南》	开展绿色化、智能化、高效化电炉短流程炼钢示范，推广废钢高效回收加工、废钢余热回收、节能型电炉、智能化炼钢等技术。
2022 年 7 月	《工业领域碳达峰实施方案》	到 2030 年，短流程炼钢占比达 20% 以上。
2023 年 8 月	《钢铁行业稳增长工作方案》	支持引导电炉钢有序发展。加快实施电炉短流程炼钢高质量发展引领工程，对全废钢电炉炼钢项目执行差别化产能置换、环保管理等政策，创建世界先进的电炉钢产业集群。
2024 年 5 月	《钢铁行业节能降碳专项行动方案》	到 2025 年底，废钢利用量达到 3 亿吨，电炉钢产量占粗钢总产量比例力争提升至 15%。

资料来源：公开资料整理，东证衍生品研究院

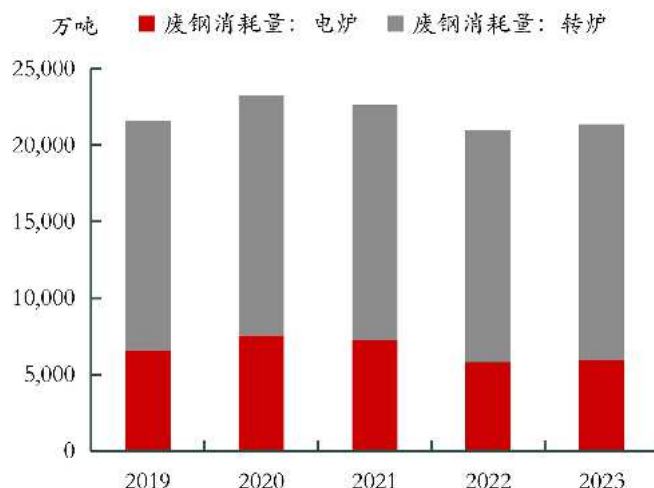
由于价格下跌、有效需求不足，企业废钢回收动力欠佳，2022、2023 年废钢回收量连续下降。同时，在目前的废钢利用结构中，转炉废钢消耗量占据绝对的主力地位，独立电弧炉企业只能是废钢价格的接受方，利润不佳极易导致产能利用率下降。按照目前的粗钢产量计算，电炉钢占比达到 20% 意味着其每年需要消耗约 1.4 亿吨废钢，如果对电炉铁水配比进行进一步限制，则所需的废钢量将更大。根据钢联的预测，2030 年我国废钢资源量将达到 3.5 亿吨。不考虑废钢进口量的大幅增长和粗钢产量的增长，如果要满足 20% 的电炉钢产量占比（铁水配比不超过 30%），则国内废钢资源利用率需要达到 85% 以上。

图表 64：钢铁企业废钢回收量显著下降



资料来源：Mysteel

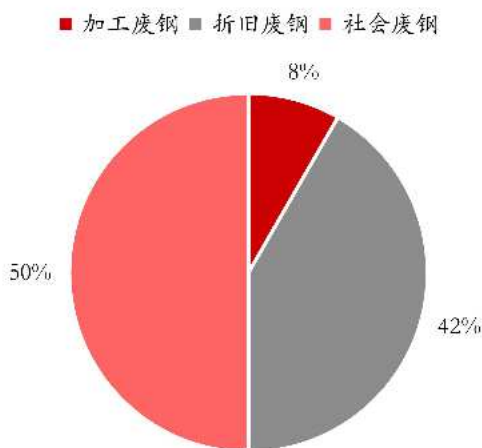
图表 65：转炉中的废钢消耗量比重更大



资料来源：Mysteel

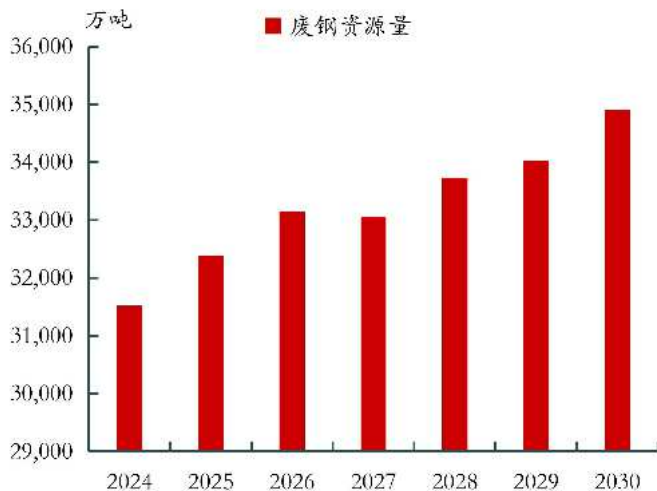


图表 66: 2023 年国内废钢供应结构



资料来源: Mysteel

图表 67: 我国废钢资源量预测



资料来源: Mysteel

图表 68: 我国部分地区短流程炼钢发展规划 (最新文件)

地区	时间	文件	主要目标
陕西省	2024 年 10 月	《关于深化大气污染治理推进实现“十四五”空气质量目标的实施意见》	到 2025 年, 短流程炼钢产量占比达 15%
江苏省	2024 年 8 月	《江苏省空气质量持续改善行动计划实施方案》	到 2025 年, 短流程炼钢产量占比力争达 20% 以上
青海省	2024 年 7 月	《青海省空气质量持续改善行动计划实施方案》	到 2025 年, 力争短流程炼钢产量占比达 15%
重庆市	2024 年 7 月	《重庆市空气质量持续改善行动实施方案》	到 2025 年, 短流程炼钢产量占比保持在 15% 以上
安徽省	2024 年 7 月	《安徽省空气质量持续改善行动方案》	到 2025 年, 短流程炼钢产量占比达 15%
山东省	2024 年 7 月	《山东省空气质量持续改善暨第三轮“四减四增”行动实施方案》	到 2025 年, 电炉钢占比达到 7% 左右
广西省	2024 年 6 月	《广西空气质量持续改善行动实施方案》	到 2025 年, 短流程炼钢产量占比达到 15%
河北省	2024 年 4 月	《河北省空气质量持续改善行动计划实施方案》	到 2025 年, 短流程炼钢产量占比达到 5%
云南省	2024 年 4 月	《云南省空气质量持续改善行动实施方案》	到 2025 年, 短流程炼钢产量占比达到 15%
吉林省	2024 年 4 月	《吉林省落实〈空气质量持续改善行动计划〉实施方案》	到 2025 年, 短流程炼钢产量占比达到 15%
河南省	2024 年 3 月	《河南省钢铁行业碳达峰行动方案》	到 2025 年, 电炉钢产量占比提升至 15% 以上
山西省	2024 年 3 月	《山西省落实〈空气质量持续改善行动计划〉实施方案》	到 2025 年, 短流程炼钢产量占比力争达 5% 以上
福建省	2024 年 3 月	《福建省钢铁行业碳达峰实施方案》	到 2025 年, 电炉钢产能占比达 20% 以上
江西省	2023 年 7 月	《江西省钢铁产业链现代化建设行动方案 (2023—2026 年)》	到 2026 年, 电炉钢产量占比达 15% 以上
贵州省	2023 年 3 月	《贵州省工业领域碳达峰实施方案》	到 2025 年, 短流程炼钢占比达 50% 以上
四川省	2022 年 12 月	《开展电炉短流程炼钢高质量发展引领工程的实施方案》	到 2025 年, 电炉炼钢产量占比达 40%, 废钢加工能力达 1,500 万吨
黑龙江省	2022 年 12 月	《黑龙江省工业领域碳达峰实施方案》	到 2025 年, 短流程炼钢占比达 12% 以上
天津市	2022 年 5 月	《天津市“十四五”节能减排工作实施方案》	到 2025 年, 电炉钢产能比例达到 25% 左右

资料来源: 公开资料整理, 东证衍生品研究院

以生产螺纹钢为主的全废钢电炉短流程炼钢企业普遍将螺废差作为判断企业盈亏的指标，当螺废差不低于 1000 元/吨时，电炉钢企业基本可以实现盈亏平衡。基于前文的计算结果，100%废钢电炉钢的碳排放强度比 15%废钢长流程钢低约 0.60~0.70 tCO<sub>2</sub>/吨粗钢，如果废钢预热不额外使用化石燃料，则短流程炼钢化石燃料直接碳排放量可以近似为零，碳成本优势将进一步凸显。但基于目前的碳价，碳成本差异尚不能明显推动长流程炼钢转向短流程炼钢。

图表 69：100%废钢短流程碳排放强度 v.s. 15%废钢长流程碳排放强度

工艺	工序	各工序吨钢碳排放强度 (tCO <sub>2</sub> /t)	合计
长流程	焦炭	[0.182, 0.189]	[0.67, 0.77]
	烧结矿	[0.142, 0.161]	
	球团矿	[0.019, 0.021]	
	高炉炼铁	[0.485, 0.491]	
	转炉炼钢	[-0.153, -0.090]	
短流程	电炉炼钢	[0.06, 0.07]	[0.06, 0.07]

资料来源：东证衍生品研究院

### 4.3、推广非高炉炼铁工艺

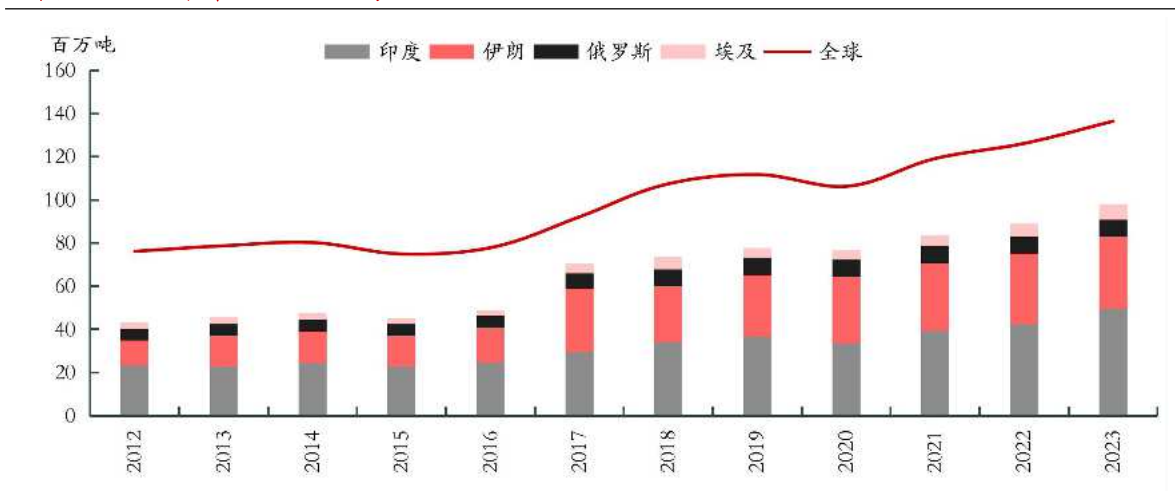
在目前废钢资源相对受限的情况下，非高炉炼铁工艺是钢铁行业的重要发展方向。非高炉炼铁工艺可以分为直接还原法、熔融还原法两大类。直接还原法即在固态条件下直接还原铁矿石获得直接还原铁（DRI），熔融还原法即在高温熔融状态下还原铁矿石。

#### 1、直接还原炼铁

按照不同的还原剂类型，DRI 工艺可以分为气基 DRI 和煤基 DRI 两类，其中气基 DRI 工艺是目前的主流生产方式，约占全球 DRI 产量的 70%。气基使用的还原气体主要是天然气、氢气、焦炉煤气等，实际生产使用最多的是天然气，因此，DRI 的相关产能大多分布在天然气资源丰富的地区。但使用天然气的过程同样会产生一定的碳排放，因此如果要实现完全的碳排放，最优的还原剂是绿氢。但由于绿氢成本较高，目前还没有具规模的 H<sub>2</sub>—DRI 生产线。

根据世界钢铁统计数据，2023 年全球 DRI 产量为 1.365 亿吨，较 2013 年增长约 73%。2023 年全球 DRI 产量已达到全球生铁总产量的约 10%。其中，印度和伊朗是全球主要 DRI 生产国，2023 年两国 DRI 产量合计超过全球的 60%，这主要得益于当地丰富的铁矿石和还原剂资源，印度主要采用煤基工艺，伊朗则主要采用气基工艺。DRI 是废钢的优质替代品，DRI—EAF 是极具减排潜力的炼钢工艺。

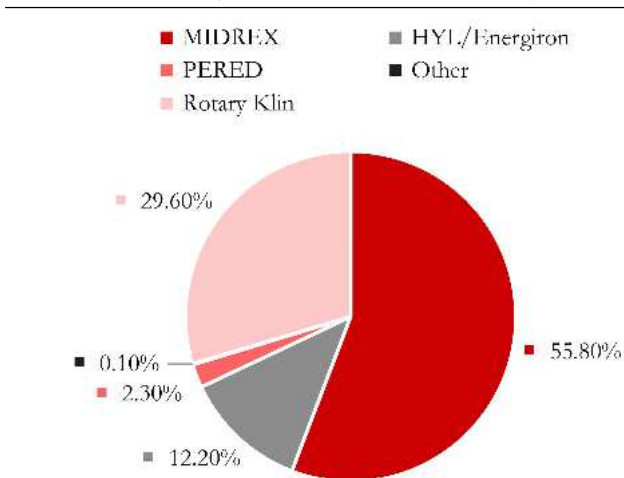
图表 70：全球部分地区 DRI 产量



资料来源：WSA，东证衍生品研究院

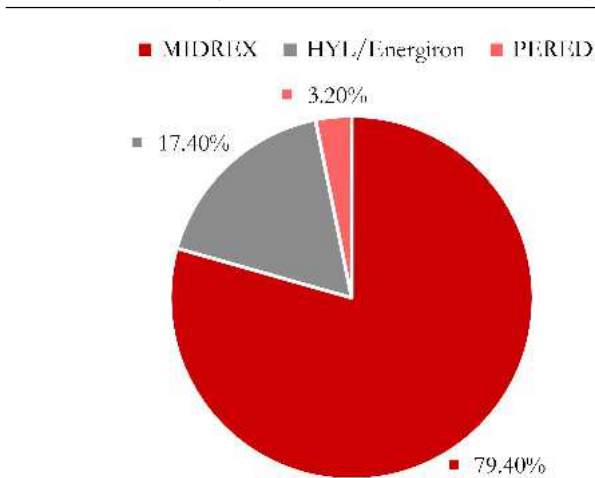
煤基还原需消耗大量煤炭，在碳减排方面作用有限，因此气基还原 DRI 将是未来的主要发展方向。目前主流的气基 DRI 工艺主要包括 MIDREX 工艺，HYL/Energiron 工艺和 PERED 工艺，其中 MIDREX 和 HYL 的应用更广泛。根据 MIDREX 的统计数据，MIDREX 工厂 2023 年生产了 0.757 亿吨 DRI，2023 年其 DRI 产量占全球竖炉 DRI 产量的 80%。

图表 71：2023 年全球 DRI 产量按工艺分布



资料来源：MIDREX

图表 72：2023 年全球竖炉 DRI 产量按工艺分布



资料来源：MIDREX

MIDREX 重整器将来自还原炉的再循环气体与天然气混合，天然气与  $\text{CO}_2$  发生重整反应，产生富含  $\text{H}_2$  和  $\text{CO}$  的还原气体，还原副产物  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$  以及未经处理的  $\text{H}_2$  和  $\text{CO}$  被回收利用，还原气中  $\text{H}_2$  与  $\text{CO}$  的比例约为 1.6。氧化铁球团和块状铁矿石在 MIDREX 竖炉中与还原气体发生反应，并通过控制天然气的流量向其中补充碳元素。

在 MIDREX 标准工艺的基础上还有两种进阶工艺，一种是用  $H_2$  替代任意比例的天然气原料（MIDREX Flex），另一种是使用 100% 氢气在竖炉中还原氧化铁（MIDREX  $H_2$ ）。因此，当足够数量的氢气以具有竞争力的价格供应时，一个标准的 MIDREX 工厂可以很容易地进行改造，以 100% 氢气替代天然气。

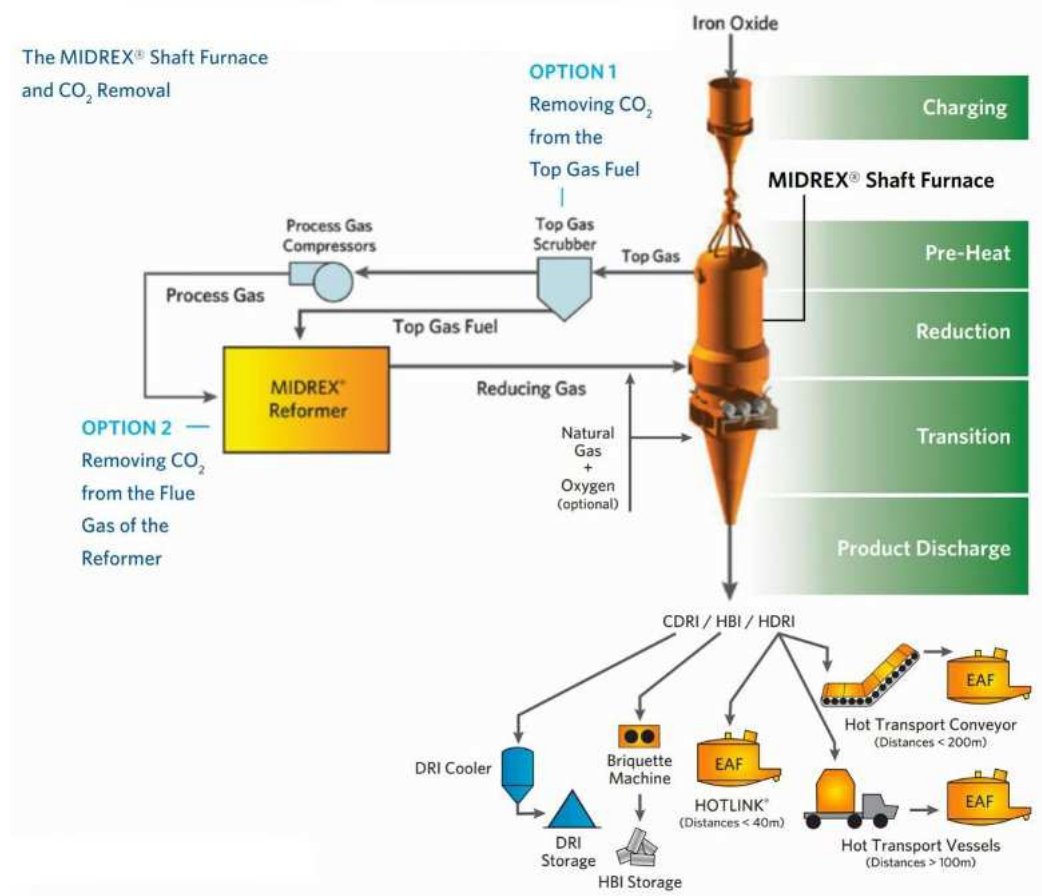
ENERGIRON 是在希尔法（HYL）的基础上开发的直接还原铁工艺，其还原气重整采用湿重整的方式，氧化剂为水蒸气，还原气中  $H_2$  与  $CO$  的比例约为 3.5，因此其碳排放强度较 MIDREX 工艺更低。ENERGIRON 零重整工艺（ENERGIRON ZR，即无外部重整炉）的还原气可采用天然气、合成气、焦炉煤气等，零重整工艺中  $CH_4$  可直接在竖炉内与  $H_2O$  发生重整反应产生还原气体。与 MIDREX 相同，ENERGIRON 工艺也可以很容易改造为使用纯氢气的进阶工艺。

图表 73：主流氢基竖炉工艺对比（100%使用天然气）

工序	重整方式	$H_2/CO$	压力 (MPa)	温度 ( $^{\circ}C$ )	碳排放强度 ( $tCO_2/t$ )
MIDREX	干重整	1.6	0.15~0.3	850~900	0.65
ENERGIRON	湿重整	3.5	0.5~0.8	900~950	0.53

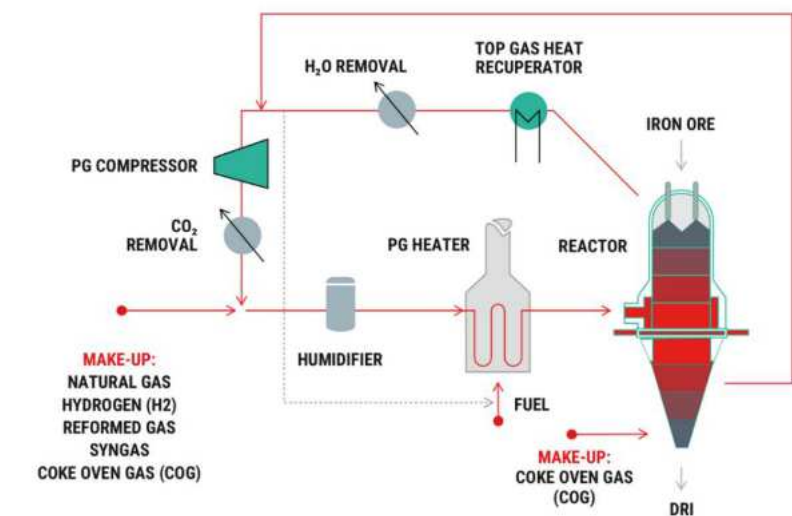
资料来源：公开资料整理，东证衍生品研究院

图表 74：MIDREX 竖炉还原系统



资料来源：MIDREX

图表 75: HYL/Energiron 竖炉还原系统



资料来源: Energiron

目前,我国已有4个氢基竖炉DRI项目处于试验或商业运行阶段,2个回转窑氢冶金项目获批,DRI发展已经拉开序幕。短期来看,我国天然气资源短缺,煤炭资源相对丰富,利用焦炉煤气的DRI生产工艺是短期内兼具经济效益和环境效益的方式。据市场测算,在满足目前钢铁生产各环节的加热需求后,我国剩余的焦炉煤气量仍超过1,000亿立方米,可以支持超过1亿吨DRI的生产。未来大规模制氢技术的发展将使得DRI—EAF得到更大范围的推广。

图表 76: 我国 DRI 项目

项目名称	原料气	产能	工艺	项目状态
中晋冶金氢基竖炉直接还原铁项目	焦炉煤气	30 万吨/年	自主研发	2022 年 12 月投产
河钢集团张宣科技氢基竖炉—近零碳排电弧炉项目	焦炉煤气	120 万吨/年	Energiron ZR	2023 年 5 月投产
中国钢研临沂纯氢竖炉直接还原铁项目	灰氢	50 万吨/年	自主研发	2024 年 7 月投产
宝钢股份湛江钢铁百万吨级氢基竖炉项目	天然气、焦炉煤气、氢气	100 万吨/年	Energiron ZR	2024 年 8 月投产
中氢冶控回转窑绿氢冶金中试基地项目	绿氢	1 万吨/年	回转窑	获批
四川兆强钛磁自热式回转窑绿氢微碳炼铁工艺	绿氢	10 万吨/年	回转窑	获批

资料来源:公开资料整理,东证衍生品研究院



## 2、熔融还原炼铁

传统熔融还原炼铁工艺以煤粉为燃料，在高温熔态下进行铁氧化物的还原，渣铁分离后即得到铁水，目前已实现工业化的熔融还原炼铁技术主要有 Corex 和 HIs melt 工艺。Corex 工艺以块矿或球团矿为原料，块煤为能量来源，HIs melt 工艺则直接利用铁矿粉和煤粉进行还原炼铁。尽管熔融还原炼铁技术取消了传统的焦化、烧结、球团工序，减少了一定的碳排放，但其炼铁工序仍然未能摆脱对化石燃料的依赖，且能耗甚至超过了传统高炉，因此其对钢铁行业的整体减排效果十分有限。在我国，相关熔融还原炼铁项目也并没有得到发展推广。

基于传统熔融还原炼铁工艺，钢铁行业正在探索更加绿色环保的熔融还原炼铁技术。由于该类项目存在较高的技术壁垒，相关研究仍有待成熟。目前已经落地的相关项目是我国建龙集团内蒙古赛思普科技有限公司在世界首创的氢基熔融还原法高纯铸造生铁项目，该技术以氢气作为主要还原剂，但仍需要部分煤碳、CO 等提供高温环境。

图表 77：我国熔融还原炼铁项目

项目名称	产能	项目状态
宝钢新疆八钢欧冶炉（Corex 炉）项目	150 万吨/年	2015 年 6 月投产
山东墨龙 ML-HIs melt 熔融还原炼铁项目	60 万吨/年	2015 年 6 月投产
邢钢 HIs melt 熔融还原炼铁项目	160 万吨/年	建设中
建龙集团内蒙古赛思普氢基熔融还原炼铁项目	30 万吨/年	2021 年 4 月投产

资料来源：公开资料整理，东证衍生品研究院

对比目前各类已经实现规模化应用的非高炉炼铁工艺，HYL/Energiron 工艺碳排放强度最低，且更适应我国目前的资源禀赋状况。同时，在各类非高炉炼铁工艺的基础上，未来氢冶金推广同样具有巨大的减排潜力。

图表 78：非高炉炼铁工艺的能耗和碳排放强度对比

工艺技术	还原剂	反应装置	能耗 (GJ/t)	碳排放强度 (tCO <sub>2</sub> /t)	零碳改进
MIDREX	天然气	竖炉	10	0.65	可使用 100% H <sub>2</sub>
HYL/Energiron	天然气/COG	竖炉	10	0.53	
煤制气竖炉直接还原	煤制合成气	竖炉	12	1	/
COREX 熔融还原	块煤/焦炭	预还原竖炉+熔融气化炉	16.5	1.15	/
HIs melt 熔融还原	煤	SRV 熔池	12.7	1.47	/
回转窑工艺	煤	回转窑	20	1.76	可使用 100% H <sub>2</sub>
隧道窑工艺	煤	隧道窑	25-30	2.42	/

资料来源：公开资料整理，东证衍生品研究院



#### 4.4、加强各工序余热余能利用

在传统长流程炼钢过程中，输入的能源大部分以余热余能的形式存在，包括各类可燃气体的潜热以及各类中间品或烟气携带的显热，且主要集中在炼焦、烧结和高炉炼铁三大工序。目前，大多数钢铁企业对于各类余能资源利用较为充分，而余热资源利用率则偏低，尤其是中低温余热。这类余热较为分散且热源波动频繁，回收难度较大，往往以各种形式被排放到环境中，造成资源浪费。如果能够提高这部分余热的利用率，则可以减少化石燃料的输入，从而降低整体碳排放强度。

图表 79：钢铁生产主要工序的余热资源

余热资源	温度 (°C)	热量 (kgce/吨钢)	可转化热量 (kgce/吨钢)
焦炭显热	1050	18.56	10.60
炼焦烟气显热	1300	2.92	1.80
焦炉煤气显热	745	6.19	3.07
烧结矿显热	790	23.90	12.18
烧结烟气显热	320	42.60	13.26
高炉铁渣显热	1450	12.33	8.01
热风炉烟气显热	290	12.49	4.32
转炉煤气显热	1200	6.50	3.80

资料来源：《钢铁企业余热资源量的“量”与“质”》<sup>4</sup>

在 2022 年 12 月启动的钢铁行业能效标杆三年行动方案中，中国钢铁工业协会发布了钢铁行业极致能效技术清单，共包含 50 项节能技术，其中与余热回收利用相关的技术共 9 项，回收的余热主要用于发电、采暖和工序内循环利用。其中，焦炉荒煤气、烧结烟气和转炉烟气的余热回收节能潜力较大。

图表 80：钢铁行业极致能效：余热利用技术

工序	技术	节能效果
炼焦	高温高压干熄焦技术	相比传统中温中压干熄焦技术，工序能耗降低 5 kgce/吨焦
	焦炉上升管荒煤气余热高效回收技术	工序能耗降低 7 kgce/吨焦以上
	焦炉循环氨水余热回收	工序能耗降低 0.5~1 kgce/吨焦
烧结	烧结烟气余热回收利用技术	工序能耗降低 12.5 kgce/吨矿
	烧结环冷废气低温余热利用（ORC 发电+热水）技术	吨烧结矿可发电约 3kWh，工序能耗降低 0.1 kgce/吨矿
	烧结废气余热循环利用工艺技术	工序能耗降低 0.2 kgce/吨矿
高炉	高炉淬渣余热高效回收技术	-
转炉	转炉烟气余热回收技术	转炉蒸汽回收 80~100 kg/吨钢
	转炉烟气全温域余热回收技术	工序能耗降低 5 kgce/吨钢以上

资料来源：中钢协，东证衍生品研究院

<sup>4</sup> 苑安民，张娣，钢铁企业余热资源量的“量”与“质”，冶金能源，2008，27(3)

目前，我国主要的钢铁生产集团均以制定了绿色发展方案，基本在 2025 年前后实现碳达峰，2050~2060 年实现碳中和。从减碳技术路线来看，短期方向主要集中在高炉大比例球团应用、转炉大比例废钢应用以及电炉短流程规模发展，中长期技术则包括富氢高炉、氢基竖炉以及 CCUS 等技术大规模应用。

图表 81：部分钢铁生产集团双碳目标汇总

集团	降碳目标	碳中和目标	主要技术路径
宝武钢铁集团	2023 年力争实现碳达峰，以 2020 年为基准年，2025 年减碳 8%，2030 年减碳 15%，2035 年减碳 30%	力争 2050 年实现碳中和	富氢碳循环氧气高炉；氢还原电熔炼工艺；铁矿石电解+电炉；高废钢比应用；CCUS
鞍钢集团	2025 年实现碳达峰，2030 年碳排放总量较峰值降低 4.5%	-	高废钢比应用；流态化氢基直接还原非高炉炼铁工艺
河钢集团	2025 年碳排放量较峰值降 10%以上，2030 年碳排放量较峰值降 30%以上	力争 2050 年实现碳中和	高炉大比例球团冶炼；DRI 应用；全废钢电炉短流程；氢冶金电炉工艺；CCUS
首钢集团	2025 年碳排放总量力争实现达峰，2030 年低碳产品专线具备吨钢碳排放强度比 2020 年降低 30%的能力，2035 年碳排放总量较峰值降低 30%	力争 2050~2060 年实现碳中和	高炉高富氧冶炼；高炉大比例球团应用；转炉大比例废钢应用；规划实施电炉炼钢；绿氢、绿电大规模应用；CCUS
包钢集团	2025 年实现碳达峰	力争 2060 年前实现碳中和	高炉高球团比例冶炼；冶金资源循环；富氢碳循环高炉；氢基竖炉；CCUS
建龙集团	2025 年实现碳达峰，2033 年碳排放总量较峰值下降 20%，碳排放强度较 2020 年下降 25%	力争 2060 年实现碳中和	高炉大比例球团冶炼；转炉大比例废钢应用；发展电炉短流程炼钢；高炉富氢喷吹；绿氢熔融还原冶炼；氢基竖炉+电炉；CCUS
中南钢铁	2023 年实现碳达峰，以 2020 年为基准年，2025 年减碳 10%及以上，2030 年减碳 30%及以上，2035 年减碳 40%	力争 2050 年实现碳中和	富氢碳循环高炉；氢基竖炉

资料来源：公司公告，东证衍生品研究院

整体看来，钢铁行业所涉及的碳排放环节较多，在传统长流程炼钢中，各工序均存在减排空间，高炉炼铁是目前碳排放强度最大且减排潜力最大的环节。基于现有的技术水平和资源状况，钢铁行业的总量减排将得益于以下几个方面：1) 球团矿对烧结矿的替代；2) 废钢比的提升；3) 高炉燃料比的降低；4) 电炉短流程炼钢的发展。长期来看，氢冶金技术的发展和推广将成为钢铁行业深度脱碳最重要和可行的路径。对部分无法避免的碳排放，同样需要借助 CCUS 技术。

## 5、风险提示

碳排放核算方式变化，配额分配方案变化等。

**期货走势评级体系（以收盘价的变动幅度为判断标准）**

走势评级	短期（1-3 个月）	中期（3-6 个月）	长期（6-12 个月）
强烈看涨	上涨 15%以上	上涨 15%以上	上涨 15%以上
看涨	上涨 5-15%	上涨 5-15%	上涨 5-15%
震荡	振幅-5%-+5%	振幅-5%-+5%	振幅-5%-+5%
看跌	下跌 5-15%	下跌 5-15%	下跌 5-15%
强烈看跌	下跌 15%以上	下跌 15%以上	下跌 15%以上

**上海东证期货有限公司**

上海东证期货有限公司成立于 2008 年，是一家经中国证券监督管理委员会批准的经营期货业务的综合性公司。东证期货是东方证券股份有限公司全资子公司。公司主要从事商品期货经纪、金融期货经纪、期货交易咨询、资产管理、基金销售等业务，拥有上海期货交易所、大连商品交易所、郑州商品交易所、上海国际能源交易中心和广州期货交易所会员资格，是中国金融期货交易所全面结算会员。公司拥有东证润和资本管理有限公司，上海东祺投资管理有限公司和东证期货国际（新加坡）私人有限公司三家全资子公司。

自成立以来，东证期货秉承稳健经营、创新发展的宗旨，坚持以金融科技助力衍生品发展为主线，通过大数据、云计算、人工智能、区块链等金融科技手段打造研究和技术两大核心竞争力，坚持市场化、国际化、集团化发展方向，朝着建设一流衍生品服务商的目标继续前行。

## 免责声明

本报告由上海东证期货有限公司（以下简称“本公司”）制作及发布。

本公司已取得期货投资咨询业务资格，投资咨询业务资格：证监许可【2011】1454号。

本研究报告仅供本公司的客户使用。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。

本研究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报告之外，绝大多数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投资标的的邀请或向人作出邀请。

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，投资者需自行承担风险。

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。

如需引用、刊发或转载本报告，需注明出处为东证衍生品研究院，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。

---

## 东证衍生品研究院

地址：上海市中山南路318号东方国际金融广场2号楼21楼

联系人：梁爽

电话：8621-63325888-1592

传真：8621-33315862

网址：[www.orientfutures.com](http://www.orientfutures.com)

Email：[research@orientfutures.com](mailto:research@orientfutures.com)