

作者：申学峰

邮箱：research@fecr.com.cn

## 国内钢铁行业碳中和路径

### 摘要

我国粗钢产量约占全球的 57%，是全球最大的钢铁生产国。而且在国内对钢材的强劲需求带动下，钢铁产量近三年仍在增长。目前国内钢铁产能的 90%采用的是高碳排放的高炉—转炉工艺，减碳任务艰巨。在中央确立碳中和目标后，钢铁产业已开始积极实施低碳改造，如行业龙头企业宝武钢铁就提出要在 2023 年实现碳达峰，2050 年实现碳中和。

钢铁行业碳中和是非常复杂的系统性工程，需要在冶炼技术、生产原料、配套设施等诸多方面进行革新。目前国内钢铁行业实现碳中和主要有如下几个可行路径，包括将部分产能由高炉—转炉法转向相对更低碳的电弧炉冶炼法，在冶炼过程中使用氢气等可再生能源，提升钢铁生产配套实施绿色水平，针对钢铁生产特点开发应用 CCUS 技术，购买“森林碳汇”等。其中部分路径已经有相对成熟的技术，在碳中和的前期阶段可以大量投入使用。但是目前 CCUS 技术的发展还处于起步阶段，离大规模应用还有很长距离。

未来在按照碳中和路径实施行业改造的过程中，钢铁企业将要新增大量的资本开支。根据相关机构估算，未来十年国内钢铁行业可能需要在低碳工艺技术上投入 1 万亿左右资金。碳中和背景下钢铁行业的竞争将更加激烈，部分钢企可能会被兼并，行业集中度预计会显著提升。更为重要的是，碳中和下的钢铁企业可能会逐步配套建设化工、能源等设施，钢铁生产将与其他行业深度融合，行业的风险特征也会随之改变。

### 相关研究报告：

- 1.《国内碳中和债券市场运行初探》，2021.04.14
- 2.《全球视角下的碳中和》，2021.04.09
- 3.《通往“碳达峰、碳中和”的路上，我国产业体系何去何从？》，2021.04.07

根据“十四五规划和2035远景目标”的要求，我国将“锚定努力争取2060年前实现碳中和”。为实现碳中和目标，未来要“深入推进工业、建筑、交通等领域低碳转型”“推进钢铁、石化、建材等行业绿色化改造”。目前中国CO<sub>2</sub>排放量中钢铁行业约占15%，钢铁行业减碳对实现碳中和具有重要意义。钢铁行业已经明确了十四五期间的减碳任务，即“完成5.3亿吨钢铁产能超低排放改造”，但这仅是实现碳中和的第一步，未来还需要在生产技术、产业链等方面进行深度改造。本文将从钢铁行业的现状出发，分析钢铁行业未来实现碳中和的可行路径，以及碳中和发展对行业的影响。

## 一、国内钢铁行业的现状

### （一）钢铁产量大且仍在增长

从1996年起，我国钢铁行业产能产量就一直位居世界第一。国家统计局数据显示，2020年中国粗钢产量10.53亿吨，约占世界总产量57%。而且在需求的带动下国内钢铁产量仍在增长，2020年粗钢产量同比增幅为5.69%，2021年1-5月的产量较2019年同期增幅为16.85%。

从钢材的消费结构来看，中国生产的钢材绝大部分都用于国内消费，出口占比很低。而在国内消费中有58%是用于建筑领域，另外约35%是用于工业制造业。我国在国民经济发展目标中提出2035年人均生产总值要达到中等发达国家水平，因此未来一段时间我国经济仍有较大的增长目标压力，建筑行业预计在投资的拉动下仍会保持增长，工业制造业作为国民经济支柱还会有大幅增长空间。相应地短期内钢材的消费应该还会维持在高位，国内粗钢产量很可能会保持在10亿吨左右的水平。

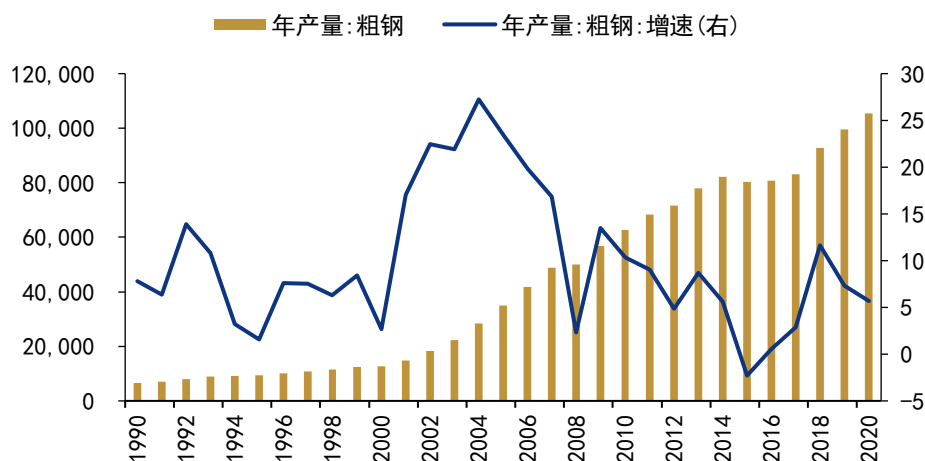


图1：中国粗钢年产量及增速（单位：万吨，%）

资料来源：Wind 资讯，远东资信整理

## （二）钢材生产仍主要采用高碳排放工艺

按照生产原材料的不同，全球主要粗钢生产工艺可分为两类：第一类是将铁矿石还原为粗钢的工艺，具体包括高炉—转炉法（BF-BOF）、熔融还原法（SR-BOF）和直接还原法（DRI）；第二类是将废钢重新冶炼为粗钢的工艺，即基于废钢的电弧炉冶炼法（Scrap-based EAF）。

其中高炉—转炉法、熔融还原法和直接还原法都需要使用煤、天然气或石油等化石能源作为原料，生产过程碳排放量很高。以高炉—转炉法为例，每生产1吨粗钢要排放1.8~2.2吨CO<sub>2</sub>。而电弧炉冶炼法则不需要直接添加化石燃料，生产过程主要以电力作为能源，每生产1吨电炉钢排放约0.4~0.8吨CO<sub>2</sub>。就吨钢碳排放量而言，电弧炉冶炼法较高炉—转炉法更加低碳环保。

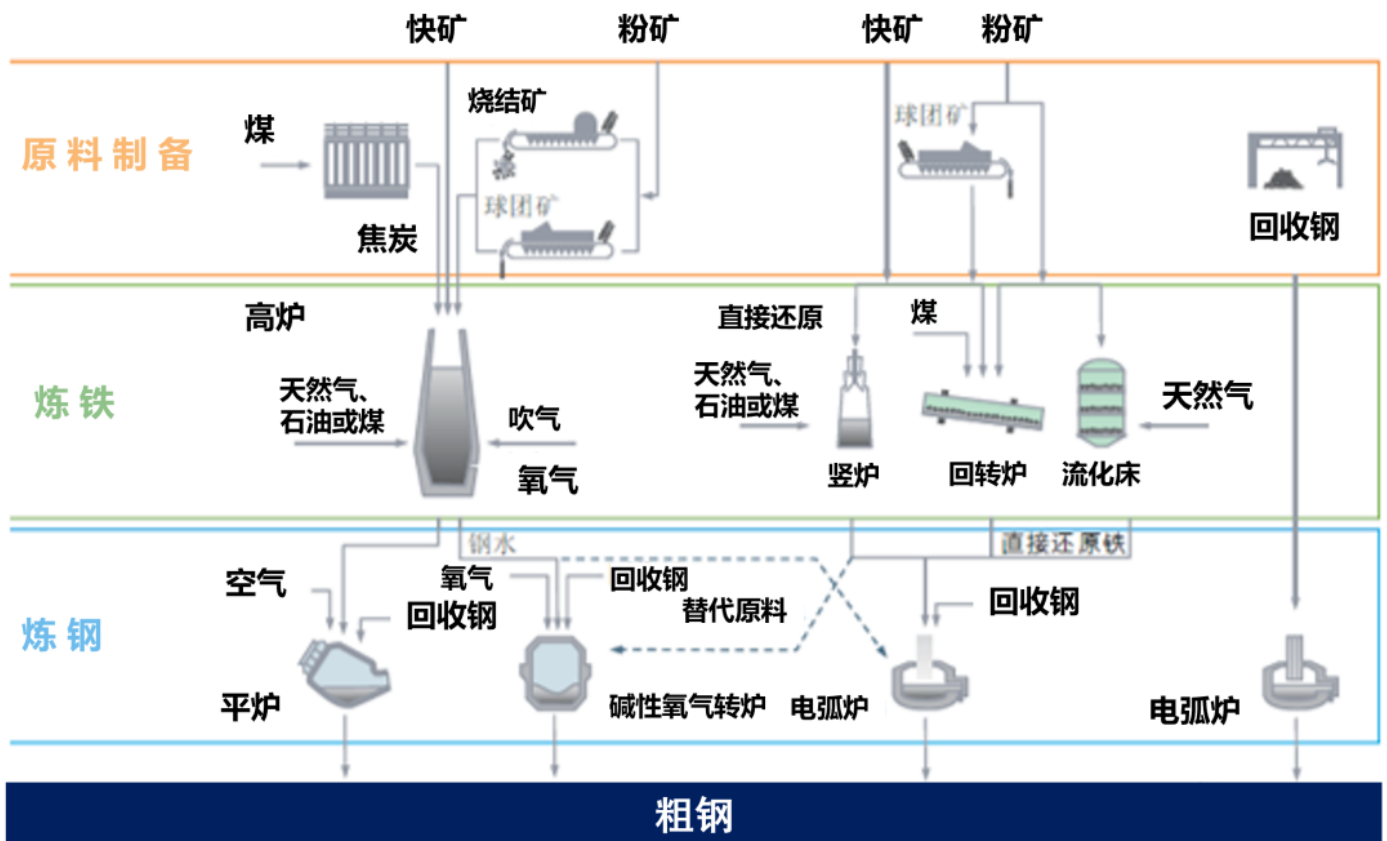


图 2：粗钢主要生产工艺路线

资料来源：国际钢铁协会，远东资信整理

但是目前我国钢铁行业工艺流程仍以碳排放量高的高炉—转炉法为主，其在粗钢总产量中的占比高达 90%，而排放量相对较低的电弧炉冶炼法产量仅占 10%左右。而目前全球粗钢生产中电弧炉冶炼法产量占比约为 28%，中国的电炉钢比例也远低于世界平均水平。过度依赖高炉—转炉工艺为中国钢铁行业碳减排任务带来巨大挑战。尽管产

业政策鼓励采用电炉法炼钢，但是国内废钢原料的供应量有限，从2017年开始废钢进口也受到管制，电炉法生产在原材料供应上遇到很大瓶颈。以当前条件想要提高电炉工艺的占比十分困难。

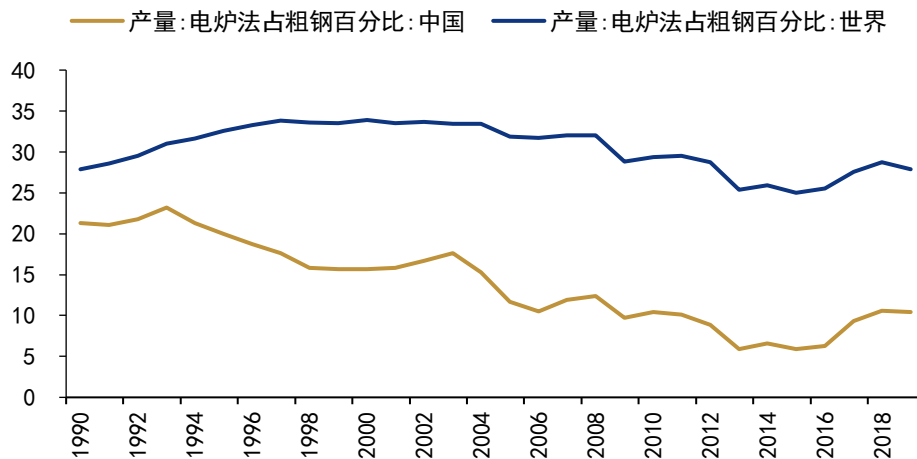


图3：电炉法占粗钢产量占比（单位：%）

资料来源：国际钢铁协会，远东资信整理

### （三）钢铁产业正在积极实施低碳改造

在碳达峰、碳中和的背景下，“十四五”时期，钢铁行业深化供给侧结构性改革进入新阶段，节能降碳将成为新的重要工作内容。各有关部门正在抓紧研究钢铁行业碳达峰行动计划，在统筹考虑碳达峰工作与产业发展的基础上，制定碳达峰碳中和路径与具体实施方案。

2021年4月22日，中国钢铁工业协会宣布设立“钢铁行业低碳工作推进委员会”，以加快推进钢铁行业低碳工作。6月2日，钢铁行业低碳工作推进委员会组织召开会议，明确了低碳发展、低碳技术和低碳标准方面的下一步工作内容和时间节点，具体工作内容包括：组织企业进行摸底统计，核算行业碳排放总量，建立碳排放统计体系；提出钢铁行业全国统一碳市场配额分配方案；编制《钢铁行业碳达峰路线图和行动方案》；组织开展钢铁行业减碳技术摸底；遴选部分重大项目，形成行业低碳共性技术的研发和推广应用；编制《钢铁行业低碳标准化体系》和《钢铁行业碳排放核定标准及基准值测算规范》等。

除中央部委及行业协会着手制定相关政策外，国内各主要钢铁企业也积极响应实施低碳改造。宝武钢铁提出要在2023年实现碳达峰，2035年实现减碳30%，2050年实现碳中和，并计划发布低碳冶金路线图。河钢集团提出2022年实现碳达峰，2025年实现碳排放量较峰值降10%，2030年实现降低30%以上，2050年实现碳中和。鞍钢集团也提出了目标，将在2025年前实现碳达峰，2035年碳排放较峰值下降30%，成为首批碳中和的大型钢铁企业。

## 二、钢铁行业实现碳中和的路径

钢铁行业碳中和是非常复杂的系统性工程，不是简单的节能环保问题，而是发展方式的问题，需要在冶炼技术、生产原料、配套设施等诸多方面对原有生产方式进行革新。

### （一）由高炉—转炉法转向电弧炉冶炼法

推广使用电弧炉冶炼法可以显著降低炼钢过程的CO<sub>2</sub>排放量，我国目前电弧炉冶炼法产量占比有很大的提升空间，因此可以通过将钢厂现有的大量高炉—转炉生产线转为电弧炉生产线来实现减碳。工信部在2020年12月31日发布《关于推动钢铁工业高质量发展的指导意见（征求意见稿）》，要求我国到2025年电炉钢产量比例提升至15%以上，力争达到20%。

但是电弧炉冶炼法并不可能完全替代高炉—转炉法等使用铁矿石为原料的炼钢工艺。电弧炉冶炼法使用废钢为原料，而钢材在使用过程中会有铁元素的损耗流失，全社会产生的废钢也不可能全部都得到回收。因此钢铁行业必须要通过开采冶炼铁矿石才能补充钢材使用产生的折旧，以铁矿石为原料的冶炼工艺仍将持续存在。

### （二）在冶炼过程中使用可再生能源

无论钢厂采用何种炼钢工艺，生产过程中都需要消耗大量电力。目前我国发电仍以消耗化石能源的火电为主，在2020年火电占比就达69%，水电、光伏发电、风电及核电的占比仍较低。为了降低耗电导致的CO<sub>2</sub>排放，钢铁企业可以通过布局余热余能发电系统、利用工厂空间建设光伏电站或风电站等方式提高自发电比例，也可以尽可能地利用水电资源来生产，例如电炉炼钢企业可以将生产线建设在水电资源丰富的西南地区。

对于传统炼钢过程中要用到的煤、天然气或石油，未来可以逐步用可再生的氢能予以替代。目前瑞典钢铁行业是全球第一个实现“无化石燃料钢铁制造”价值链的国家，其采用的就是新一代氢还原冶炼技术，国内也有部分钢企也已采用氢能炼钢。氢气可以通过不消耗化石能源的方式制取，例如电解水、收集其他化工生产中的副产氢。对于以铁矿石为原料的炼钢工艺来说，使用氢能是解决化石能源碳排放问题最可行的路径。

### （三）提升生产配套设施绿色水平

钢铁生产是复杂的系统过程，其中既涉及到钢的冶炼，也涉及到物流运输、库存管理等配套服务。因此要实现碳中和目标，同时也要提升钢铁生产配套设施的绿色水平。

例如，在绿色物流体系建设方面，以铁矿石为原料的钢铁产能应该布局在沿江沿海地区，充分利用水运的低碳优势，在铁矿石等原料的运输环节降低碳排放水平。而且目前我国的钢铁消费也主要分布在沿海地区，通过布局可以减少钢材销售环节不必要的物流运输，从而降低碳排放。



此外，在生产全流程管理方面，钢铁企业可以通过数字化、智能化改造全面提升节能和能效水平。比如宝钢就在可持续发展报告中披露，公司在四大基地推进行业最新节能减排技术的全流程覆盖，在过程提标及领先减排技术、工艺源头节能减排技术、节能低碳流程衔接技术、系统节能技术等方向对生产流程进行低碳改造。

#### （四）针对钢铁生产特点开发应用 CCUS 技术

所谓 CCUS (Carbon Capture, Utilization and Storage) 即碳捕获、利用与封存，通过 CCUS 技术可以把生产过程中排放的 CO<sub>2</sub> 进行提纯，继而投入到新的生产过程中，实现 CO<sub>2</sub> 资源化利用。钢铁行业在实现碳中和的过程中如果完全消除对化石能源的消耗，不仅在技术上实现难度很大，而且在经济上也会极大地增加钢铁生产成本。因此保留一定程度的化石能源使用可能才是钢铁行业实现碳中和最现实的情景。在这种情景下，钢铁行业就需要使用 CCUS 技术对这部分碳排放进行处理。

但目前 CCUS 技术的发展尚处于起步阶段，已得到应用的部分技术如二氧化碳降解塑料的生产成本很高，离大规模应用还有很长距离。未来钢铁行业可以根据钢材的生产工艺特点开发新型的 CCUS 技术，新技术可以结合化工、能源等钢铁相关产业，在更长的产业链条上实现 CO<sub>2</sub> 的收集利用。例如东北大学研发的钢铁-化工-氢能一体化网络集成 CCUS 技术（图 4），通过钢铁、化工协同，为我国以高炉—转炉法为主的钢铁产业实现碳净零排放提供了创新解决方案。这种技术下钢铁生产过程所排放的 CO<sub>2</sub> 可以最终制成多种化工产品。

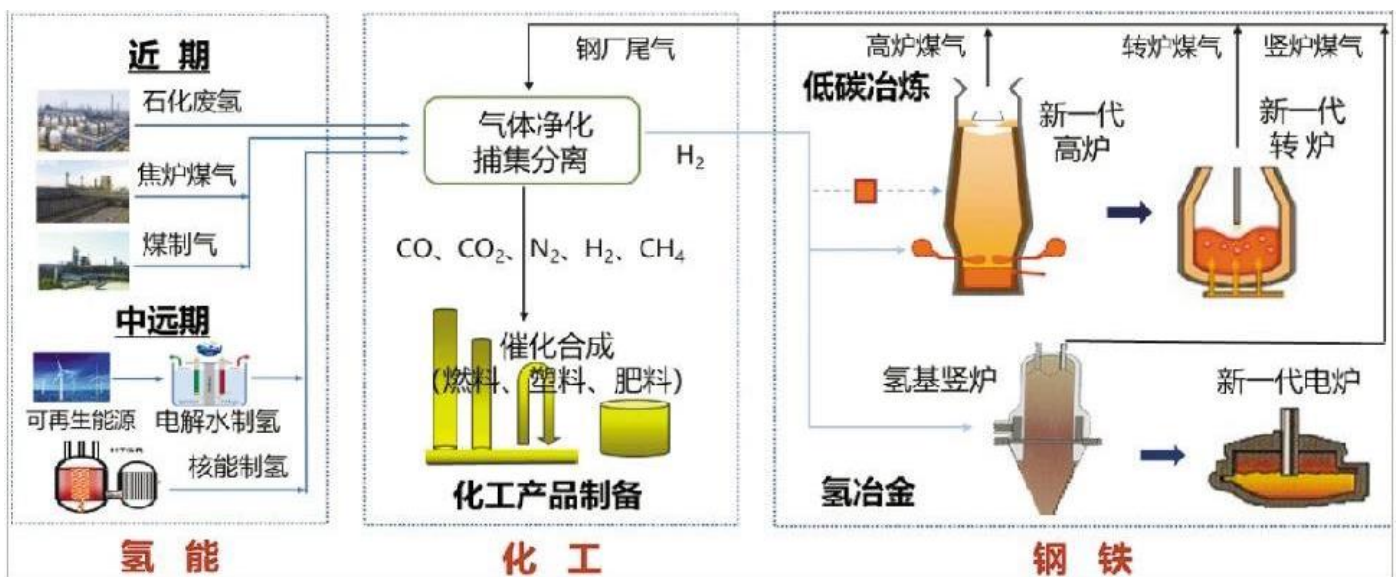


图 4：钢铁-化工-氢能一体化网络集成智能制造

资料来源：东北大学钢铁前沿技术研究院，远东资信整理

#### （五）购买“森林碳汇”

在钢铁行业仅依靠自身改造无法完全实现 CO<sub>2</sub> 净零排放的情况下，购买“森林碳汇”也是一个实现碳中和的可行路径。所谓“森林碳汇”是指通过植树造林、植被恢复等措施，吸收大气中的二氧化碳，从而实现“碳”的捕获

和固定。非经济林所有者可以对外出售“森林碳汇”，作为一种可交易的碳排放权。钢铁企业可以针对无法完全消除的CO<sub>2</sub>排放量购买“森林碳汇”，从而在全社会整体的层面实现碳中和。但购买“森林碳汇”将会给钢铁行业企业额外增加成本，且未来“森林碳汇”资产价格还可能出现大幅上涨。

### 三、碳中和发展对钢铁行业的影响

在钢铁行业按照碳中和路径发展的情况下，整个行业的资本开支、行业集中度、行业融合发展等方面都会受到巨大影响。

#### （一）减碳改造的资本支出规模庞大

碳中和下钢铁行业的生产工艺将发生巨大变化，因此钢铁企业需要投入大量资金用于生产设备及相关设施的更新改造。目前已经有部分相对成熟的技术可以大规模应用，比如电炉炼钢、球团改造、能效提升、DRI还原铁、高炉富氢等。应用这些技术可能并不足以完全实现碳中和，但在碳减排的前期阶段，预计会成为未来十年钢铁行业首先普遍实践的技术路径。

根据华宝证券估算的未来十年钢铁行业减碳投资规模：国内钢铁行业建设以电炉为核心的系统需要新增投资3000亿元；以球团替代烧结，同时对目前老工艺改造需要新增投资1800亿元；以直接还原铁部分取代高炉实现减碳，需要新增投资700~1000亿元；以富氢提升高炉能效，降低碳排放需要新增投资达到2000亿元；提高余热余能利用效率，提高自发电比例需新增投资超2000亿。

整体来看，未来十年左右时间国内钢铁行业需要增加万亿规模级别的低碳工艺技术投资。在2018、2019、2020三年和2021年1-6月期间，国内钢铁行业在境内债券市场上发行债券规模分别为2320亿元、3018亿元、3025亿元和1117亿元，其中绿色债券的规模分别是16.2亿元、80.8亿元、0亿元和5亿元。钢铁行业通过绿色债券渠道融资的比例非常低，未来在行业大规模低碳改造支出的带动下，钢铁行业绿色债券规模可能会有大幅的增长。

#### （二）行业集中度会显著提升

我国钢铁行业体量大但行业集中度低一直是产业发展存在的突出问题，较低的行业集中度使国内钢铁企业缺少市场话语权，导致行业盈利波动剧烈。工信部早在《钢铁工业调整升级规划（2016-2020年）》中就提出要促进兼并重组，在2020年实现前10家产业集中度达到60%。但实际发展情况是2020年前10大钢企的粗钢产量占比仅有37%，离目标相去甚远。

在碳中和背景下，钢铁行业在技术实力、管理水平、资本实力等方面的竞争将更加激烈，行业内竞争力相对较低的企业市场份额可能会逐步被侵蚀，或企业自身被同行所兼并，钢铁行业整体的集中度会随之显著提升。在影响钢铁企业竞争实力的要素当中，在低碳领域的技术实力可能是最重要的。钢铁行业龙头企业在低碳技术储备、工艺改进和新技术拓展上实力相对更强，可以利用自身技术实力在吨钢碳排放量上获得更优的表现，或者以更低的成

本实现碳减排目标。因此行业龙头企业无论在低碳环保达标和经营成本上可能都更有优势，未来在钢铁行业中会占据更高的市场份额。

### （三）钢铁行业将与化工、能源等其他行业深度融合

钢铁行业产业链牵涉甚广，其冶炼环节需要使用还原剂或电力提供能源，生产伴随的热能又可以用于发电、供热，生产的废弃物又可以用来生产其他化工产品，等等。在碳中和背景下，钢铁行业不仅需要革新自身的生产过程，还需要通过与化工、能源等其他行业进行融合发展，从全产业链的角度来降低 CO<sub>2</sub> 排放。

例如在前文提及的东北大学研发的钢铁-化工-氢能一体化网络集成 CCUS 技术路线下，钢铁企业的原料、中间产品、废弃物都与氢能源制造、化工生产链条相衔接。考虑到钢铁生产的各个模块需要集成在一定范围内，以保证生产过程的效率，未来钢铁企业很可能会自建与冶炼钢铁相配套的能源、化工等生产设施。在这种情形下的钢铁企业实际上已经赋予钢铁生产流程更多的功能，除了原本的钢铁产品制造功能之外，还将具有能源转换、大宗废弃物处理以及为关联行业提供原料等多种功能。

在钢铁行业与其他行业融合发展的情况下，钢铁产业链将更加复杂，企业的管理难度和技术要求也将更高。但更复杂的产业链也可以带来益处，例如企业生产成本的波动性会变小，企业销售的产品将不再局限于钢材，销售收入更加多元化，这些都有利于降低企业经营业绩的波动性。需要重点关注未来可能出现的这种融合发展新业态下钢铁行业的风险特征。



### 【作者简介】

中学峰，中央财经大学金融学硕士，研究部助理研究员。

### 【关于远东】

远东资信评估有限公司（简称“远东资信”）成立于1988年2月15日，是中国第一家社会化专业资信评估公司。作为中国评级行业的开创者和拓荒人，曾多次参与中国人民银行、证监会和发改委等部门的监管文件起草工作，开辟了信用评级领域多个第一和多项创新业务。

站在新的历史起点上，远东资信充分发挥深耕行业30余年的丰富经验，以准确揭示信用风险、发挥评级对金融市场的预警功能为己任，秉承“独立、客观、公正”的评级原则和“创新、专业、责任”的核心价值观，着力打造国内一流、国际知名的信用服务平台。



### 远东资信评估有限公司

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

#### 北京总部

地址：北京市东城区东直门南大街11号中汇广场B座11层  
电话：010-57277666

#### 上海总部

地址：上海市杨浦区大连路990号海上海新城9层  
电话：021-61428000

### 【免责声明】

本报告由远东资信提供。报告引用的相关资料均为已公开信息，远东资信进行了合理审慎的核查，但不应视为远东资信对引用资料的真实性及完整性提供了保证。

远东资信对报告内容保持客观中立态度。报告中的任何表述，均应严格从经济学意义上去理解，并不含有任何道德偏见、政治偏见或其他偏见，远东资信对任何基于这些偏见角度理解所可能引起的后果不承担任何责任。报告内容仅供读者参考，但并不构成投资建议。

本报告版权归远东资信所有，未经许可，任何机构或个人不得以任何形式进行修改、复制、销售和发表。如需转载或引用，需注明出处，且不得篡改或歪曲。

我司对于本声明条款具有修改和最终解释权。