

简版

废钢助力钢铁行业电炉短流程 发展研究



 中国钢研
钢研总院

 中国废钢铁应用协会
CAMU

目录

摘要	2
第一章 废钢产业发展现状	8
(一) 废钢产业在国民经济中的地位	8
(二) 废钢产业发展现状	8
(三) 废钢产业存在的主要问题	12
第二章 废钢资源供需预测分析	15
(一) 废钢市场区域供需现状	15
(二) 影响长短流程废钢利用的关键因素	16
(三) 转炉提高废钢比的探讨	17
(四) 废钢合理价格分析	18
(五) 废钢资源量供需预测	19
第三章 废钢产业助力电炉短流程发展路径	23
(一) 废钢资源区域分布预测	23
(二) 短流程发展模式及区域布局分析	24
(三) 废钢助力电炉短流程发展路径	26
第四章 废钢助力电炉短流程发展的措施建议	30
(一) 应对措施	30
(二) 政策建议	32
参考文献	33

摘要

当前双碳背景下，有效降低钢铁生产过程中的碳排放已成为钢铁行业乃至国家亟待解决的重大问题。其中，提高全废钢电炉短流程比例是实现钢铁工业碳减排的重要途径之一：与高炉-转炉长流程相比，全废钢电炉流程吨钢能耗约降低50%-67%，碳排放约减少75%，发展电炉短流程的节能减排优势非常明显。

在上述背景下，钢铁研究总院有限公司联合中国废钢铁应用协会共同组建研究团队，就我国废钢产业发展现状、废钢资源供给与需求、短流程钢厂的时空布局、废钢助力电炉短流程发展路径、政策建议等问题开展研究。研究成果如下：

一、我国废钢产业现状

根据本团队的调研分析，随着我国钢铁蓄积量的不断增加，再过20年左右全国废钢资源短缺的局面将彻底改变。虽然受疫情等因素的影响，2022年和2023年的废钢资源量略有回落，但是总体上我国废钢资源量呈逐年上升趋势。随着废钢产业在国民经济中的地位逐渐被重视，各地纷纷出台有利于废钢产业与电炉流程发展的政策措施，我国废钢产业与电炉流程发展已经具备初步条件。

但当下废钢产业还存在一系列问题有待解决，制约了近中期电炉短流程的发展：1) 总体来看我国废钢资源仍呈紧平衡状态，进而导致国内废钢资源局部供不应求，废钢价格持续高位运行；2) 我国的废钢回收渠道还不够畅通，一体化产业链还未完全建立，缺乏有效的回收体系和网络。规范加工企业废钢处理量占比低；3) 废钢铁加工企业上游以现金交易为主，下游用户又要求全额带票供货，导致中间环节增值税税负过高。没有“第一张票”抵扣增值税也导致了废钢加工企业收入虚高，需要缴纳更高的所得税。虽然“反向开票”政策已经正式推行，但由于政策发布时间较短，只有少部分企业试开过少量票据。“反向开票”政策落地进程及方案仍存在区域差异，其效果还有待进一步观察。

二、供需及市场分析

华北地区废钢消耗量比废钢资源产生量大，资源不足，需要从其他区域调入废钢。华东地区较为发达，废钢资源量相较于消耗量较为充足，但是受经济利益驱动，部分废钢流向外

地，导致华东地区的废钢资源实际处于紧平衡状态。东北、华南、华中、西南和西北也存在类似情况。

影响废钢在长、短流程中使用比例因素众多，并且不同影响因素之间相互关联，主要包括企业利润水平、废钢质量、产业政策等。根据本团队构建的碳排放量计算模型可得：从碳排放角度出发，废钢本身是一种载能资源，不管是在长流程还是在短流程中应用废钢都能实现大幅度降低钢铁生产过程的碳排放强度，但是我们仍然建议我国钢铁工业应该借助双碳的大背景，引导废钢资源尽可能流向电炉短流程，进而逐步调整全行业的铁素资源结构、产品结构和流程结构的布局，从而实现全行业的转型升级和高质量发展。

本团队综合考虑铁水的物理热、化学热所对应的能量价值、铁前系统吨铁折旧成本、环保成本以及废钢加工成本、物流成本，通过理论计算分析，认为1吨铁水与1吨废钢价格差的合理范围应为480~900元/吨，按铁水价格为2500元/吨来计算，废钢/铁水的合理价格比应为0.6~0.8。

三、我国废钢资源预测

我国未来废钢资源充足，可为电炉短流程发展提供充足的物质保障。根据本团队构建的废钢资源预测模型预测，我国2030年废钢资源量将达到约3.3亿吨；2045年前后达到峰值，约为5.8亿吨；2060年约为5.3亿吨。此外，按照发达国家经验预测我国未来废钢资源需求量：到2030年废钢资源需求量在3.2-3.3亿吨之间；到2050年废钢需求量在4.5-5.0亿吨之间；到2060年废钢需求量在4.3-5.1亿吨之间。可见，我国未来废钢资源充足，可为电炉短流程发展提供充足的物质保障。

四、未来电炉短流程发展模式

根据我国废钢资源布局的强地区性以及电炉短流程的生产特点，借鉴美国电炉发展的经验，本团队认为以“两链一流”系统为核心的“城市钢厂”是最适合我国短流程发展的模式：

——供应链：原料来自城市废钢、能源充分利用夜间电网弃电或清洁能源发电。

——服务链：产品为相邻相依城市产业服务，为城市消纳废弃物、中水等，服务-物流半

径为150公里左右。

——全废钢电炉生产流程：以1~2条电炉短流程生产作业线为主，以全废钢为原料，以建筑用螺纹钢、线材为主要产品。规模50万吨/年~200万吨/年，最高300万吨/年。

长远来看，电炉短流程的发展将以全废钢电炉短流程生产建筑用长材来替代以中、小高炉-转炉生产螺纹钢、线材等大宗产品作为切入口，并形成三类主要的发展模式：

- a. 全废钢电炉流程替代中小高炉-转炉流程，生产螺纹钢等长材；
- b. 返回法与近终型制造技术结合，生产优特钢、不锈钢、硅钢、热轧薄板带、超薄带产品等；
- c. 氢还原-电炉流程生产高新技术产业等所需的特殊钢材。

通过对未来城市钢厂时空布局的探讨，综合来看最适合发展电炉短流程的区域有：江苏、广东、福建、浙江等地区及周边拥有较充足的废钢资源，且钢材消费市场强劲；四川、贵州等地区还拥有丰富的水电资源，能够为电炉钢厂的发展提供充足的电力资源。

五、废钢助力电炉短流程发展路径

作为电炉短流程的主要原料，废钢的质、量、价是影响其发展的重要因素。废钢产业的健康发展是电炉短流程可持续发展的重要保障。因此，需要从政策支持与规范引导、资源整合与产业协同、技术创新与设备升级等方面发力，推动废钢产业的健康发展，实现废钢资源的质量稳定、价格可控、储量充足，进而助力电炉短流程可持续发展。

本团队参考钢铁行业低碳发展路线图，提出并制定了废钢助力电炉短流程发展的战略方案及目标：

碳达峰峰值平台期（2024-2030年）：此阶段废钢资源量增长缓慢，2030年有望增长到3.3亿吨，但总体上仍较为紧缺。因此，受废钢价格及冶炼成本影响，废钢资源大多流向长流程钢铁企业。

碳排放稳步下降期（2031-2040年）：此阶段废钢资源高速增长，预计到2040年将达到4.4亿吨。长流程废钢用量随着粗钢产量下降有所降低，部分长流程钢厂逐步转为短流程。电炉短流程将得到较快发展，并开始关注废钢的高质化利用。

深度脱碳期（2041-2050年）：此阶段废钢量将达到峰值，约5.8亿吨，资源量充足，行业进入流程结构深度调整阶段。多数内陆长流程退出或转为短流程，电炉短流程得到进一步发展。

碳中和阶段（2051-2060年）：此阶段废钢资源量略降，但总体仍在5亿吨左右波动，流程结构进一步优化并逐步稳定。

六、行业措施与政策建议

（一）行业措施

（1）多渠道获取废钢资源。通过加强自产废钢回收、提升加工废钢收集能力、加强社会废钢回收、拓展进口废钢渠道等措施，实现废钢资源的多元化获取和高效利用。

（2）完善废钢回收利用体系。建立健全废钢回收网络，鼓励社会各界参与废钢回收工作。继续开展废钢加工行业准入工作，将更多的废钢加工企业纳入规范管理；加强已公告企业的日常监管，建立有进有出的动态管理机制；同时推动废钢加工企业和钢铁企业之间的深度合作，进而推动废钢回收与利用的紧密衔接。

（3）推动废钢资源利用规范化。完善相应法律法规，补充健全行业标准，杜绝行业中劣币驱逐良币的现象。引导全废钢电炉流程企业优化产品结构，引导废钢合理利用方向。

（4）聚焦共性技术清单，整合行业内科研资源，加大对废钢加工利用技术的研发投入，支持企业开展技术创新和产业升级，提高废钢加工利用效率和产品质量，助力电炉流程发展。

（5）优化电炉短流程企业（城市钢厂）布局。借鉴美国电炉发展的经验，引导以“两链一流”系统为核心的“城市钢厂”布局到电力资源和废钢资源丰富的地区，比如江苏、山东、上海等废钢资源丰富的省市，四川、云南等电力资源丰富的地区。

（二）政策建议

（1）建议国家将废钢作为战略资源纳入《国民经济和社会发展五年规划纲要》，加强顶层设计，促进废钢产业合理布局。针对当前废钢资源统计数据不全的问题，建议将废钢数据统计纳入国家统计。

(2) 建议修订再生钢铁原料标准，放宽夹杂物含量等指标，出台再生钢铁原料进口增值税进行退税或免征，降低进口成本等政策，建立再生钢铁原料进口快速通道与利用示范园区，扩大再生钢铁原料进口。

(3) 建议出台相关政策，加快完善废钢回收利用体系，鼓励社会资本参与废钢回收体系建设，加强废钢回收网络建设、提高废钢分类和加工技术水平；通过政策扶持和市场引导，培育一批具有竞争力的废钢回收加工龙头企业，依托龙头企业打造全国性废钢资源交易服务平台，并在项目审批、信贷融资等方面给予政策支持。

(4) 建议出台稳定废钢价格政策措施。加强废钢市场的信息化建设，提高废钢资源配置效率。通过建设废钢交易服务平台、发布废钢价格指数等方式，为市场参与者提供及时、准确的信息，引导废钢资源的合理流动。

(5) 优化税收政策。一是优化所得税相关政策，减轻废钢回收企业税收负担；二是优化增值税相关政策，提高对符合条件的废钢铁加工准入企业增值税退税比例，打击利用“税收洼地”虚开增值税发票等行为，降低企业纳税风险。进一步推进“反向开票”落实工作，明确实施过程中的各项细则，加强“反向开票”工作宣传。

我国粗钢产量自1996年突破1亿吨以来，连续28年位居世界第一，2023年产量达10.19亿吨，约占世界粗钢总产量的54%。但是，长期以来，我国钢铁生产流程以高炉-转炉长流程为主，能源结构以煤炭为主，从而导致我国钢铁工业碳排放量大，占全国碳排放总量的16%左右。

与以铁矿石为原料的高炉-转炉长流程相比，以废钢为原料的电炉短流程的能源消耗降低50%-67%，同时废水、废渣、废气排放分别减少约76%、72%、86%，CO₂排放降低约75%。因此，合理高效地回收利用废钢资源，优化钢铁生产流程结构，是助力钢铁行业绿色低碳转型发展的重要路径之一。但据世界钢铁协会数据，我国2023年电炉钢比仅为9.9%，远低于世界平均水平（28.6%）。为此，近年来，国家出台的《工业领域碳达峰实施方案》《关于促进钢铁工业高质量发展的指导意见》等一系列政策文件都将有序引导全废钢电炉短流程的发展作为一项重要任务^[1]。

在上述背景下，钢铁研究总院有限公司联合中国废钢铁应用协会共同组建研究团队，就我国废钢产业发展现状、废钢资源供给与需求、电炉短流程钢厂时空布局、废钢助力电炉短流程发展路径、政策建议等问题开展研究。

第一章

废钢产业发展现状

（一）废钢产业在国民经济中的地位

（1）废钢是我国重要的战略资源。废钢产业是节能环保战略性新兴产业的重要组成部分。大力推动废钢资源综合利用，有利于缓解我国资源环境约束，适度降低铁矿石对外依存度，保障国家资源安全和产业链供应链稳定^[2]。

（2）废钢是唯一可以逐步替代铁矿石的原料。废钢是钢铁工业不可缺少的原料，是节能减排的“绿色资源”，是可以无限循环使用的再生物资，在节能、环保、减少原生资源的开采、维护生态平衡方面有着极高的开发利用价值，在发展“绿色钢铁”，发展低碳经济中起着重要的支撑作用。

（3）废钢产业健康发展具有重要的社会意义。废钢产业在“保就业”、“保民生”中正发挥不可替代的重要作用，除有持续不断的税务收入外，粗略估计可拉动上百万人就业。废钢产业作为再生资源产业、循环与低碳的朝阳产业，日益受到政府、钢铁行业等方面的关注，具有很好的发展前景。

（二）废钢产业发展现状

1. 废钢资源产生与利用现状

（1）废钢资源产生量

根据中国废钢铁应用协会统计，2023年全国废钢资源总量2.56亿吨。从废钢资源结构看，随着钢铁企业生产水平的提高，自产废钢在废钢资源总量中的占比呈下降趋势，由2011年的29%下降至2023年的22%；而随着钢铁制品陆续到达服务期限，社会废钢在资源总量中的占比将越来越大，由2010年的65.6%提高至2023年的78%。由于2017年的进口禁令，进口废钢数量锐减，尽管我国从2021年1月起放开废钢进口，但由于我国废钢进口标准较为严

格，加上在全球应对气候变化的大背景下，一些国家已经将废钢视为战略资源限制出口，因此进口废钢对国内废钢资源的供给贡献有限。我国废钢资源变化情况见图1-1。

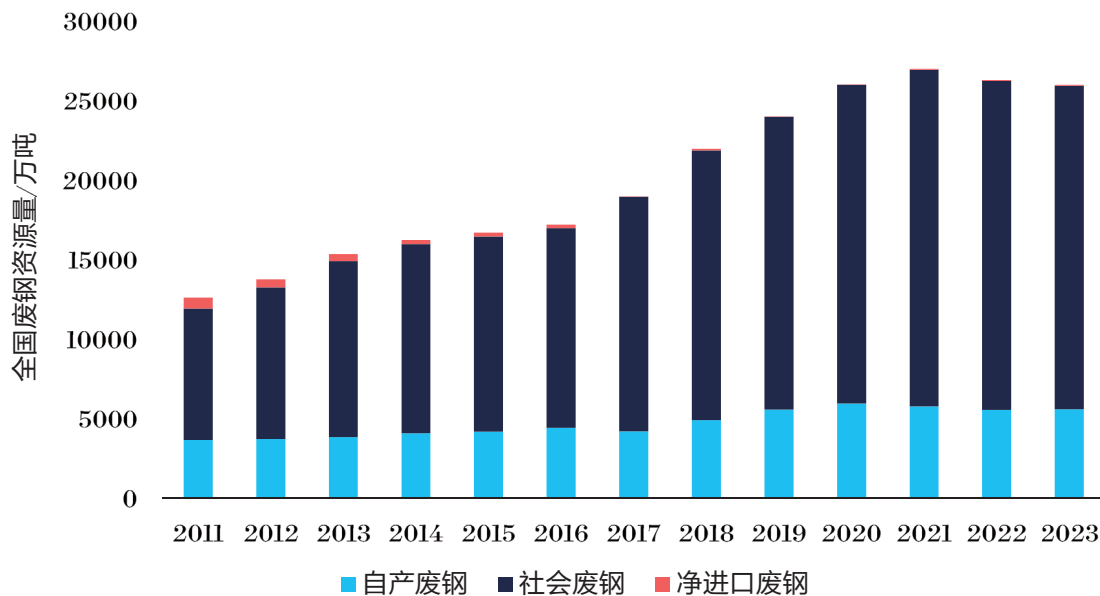


图1-1 2011年-2023年我国废钢资源变化情况

(2) 废钢资源利用量

2023年我国粗钢产量10.19亿吨，废钢消耗量2.14亿吨，是全球最大的废钢消费国，综合废钢比连续6年超过20%。从长短流程废钢资源消耗情况看，长流程废钢消耗占钢铁工业废钢消耗总量的比例从2011年的54%提高至72%，而短流程的废钢消耗占钢铁工业废钢消耗总量的比例则从2011年的46%下降至28%。由此可知，增加的废钢消耗量大部分流向了长流程企业。

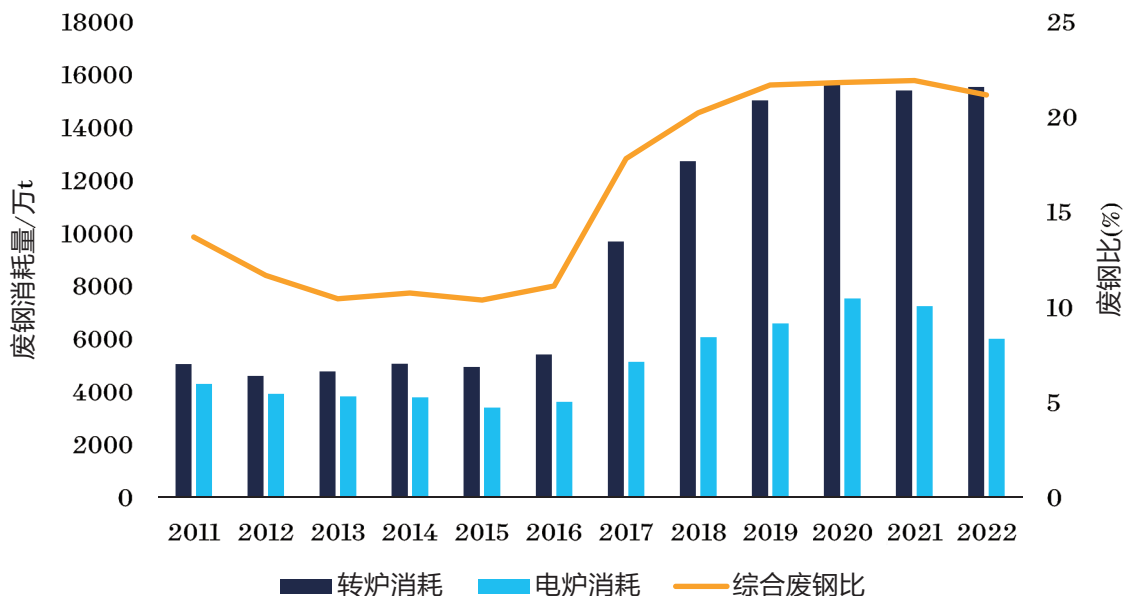


图1-2 2011年-2022年我国废钢消耗情况

2. 废钢回收加工体系现状

2012年工信部下发了《废钢铁加工行业准入条件》和《废钢铁加工行业准入公告管理暂行办法》，中国废钢铁应用协会受工信部委托，从“十一五”开始在全国范围内开展废钢加工准入企业评定工作。截至2023年底，共发布了十一批符合准入条件的公告企业共825家，年加工能力达到1.7亿吨左右，占2023年全国资源总量的66%，废钢铁加工配送工业化体系初步建成，为废钢产业的发展提供了有力支撑，但仍然存在缺乏有效的回收体系和网络、一体化产业链还未建立等问题^[3]。

3. 废钢市场价格现状

近五年来，我国废钢价格呈波动上升趋势。当前，废钢市场价格受多种因素制约，缺少统一的定价机制。据调研，多数情况下是各钢厂自己定价，而其采购价格会根据到货和库存情况随时调整。根据调研统计，2023年纯净废钢均价3104元/吨，重型废料均价2900元/吨，破碎料均价2899元/吨，均高于铁水成本。但是由于高炉-转炉长流程的总体成本低于电炉短流程，所以长流程企业在盈利时期有意愿通过多加废钢来提高产量，进一步导致国内废钢资源局部供不应求，废钢价格持续高位运行。



图1-3 2019年-2023年国内重型废钢平均价格走势

4. 废钢税收政策

为促进废钢产业健康可持续发展，废钢回收加工企业增值税、所得税和进出口关税等相关政策也在不断调整。

(1) 增值税政策

2021年12月31日，财政部、税务总局公告2021年第40号《关于完善资源综合利用增值税政策的公告》，从事废钢回收、加工、贸易的企业可以选择简易计税法按3%征收率缴纳增值税，符合工信部废钢铁加工准入的企业（简称“准入企业”）需要取得进项发票才能享受30%的增值税即征即退优惠^[4]，但废钢回收产业链的源头销售者一般是自然人，往往会采用“不带票销售”的方式出售废钢，导致目前大部分准入企业无法获得进项发票（“第一张票”），因此无法享受到该优惠。2024年4月11日，国务院发布的《推动大规模设备更新和消费品以旧换新行动方案》（国发〔2024〕7号文）提出：推广资源回收企业向自然人报废产品出售者“反向开票”做法，4月29日起正式实施，有望解决废钢回收行业“第一张票”难以获取的问题。

(2) 所得税政策

2018年6月，国家税务总局发布《企业所得税税前扣除凭证管理办法》，将税前扣除凭证分为内部凭证和外部凭证，企业用于成本、费用、损失和其他支出核算的会计原始凭证可作为内部凭证核定成本；但准入企业难以取得进项税票，即难以获取企业所得税扣除凭据。2024年4月29日起实施的资源回收企业“反向开票”政策同样有助于解决这一问题。

（3）进出口相关政策

2020年12月31日生态环境部等五部委印发的《关于规范再生钢铁原料进口管理有关事项的公告》明确了符合《再生钢铁原料》（GB/T 39733-2020）标准的再生钢铁原料可自由进口。公告自2021年1月1日起实施。关于废钢出口，根据2022年12月28日国务院关税税则委员会公告，其中涉及废钢的出口部分，维持40%出口关税税率，无暂定税率。

（三）废钢产业存在的主要问题

（1）废钢资源量不充裕，废钢比仍低于世界主要产钢国

随着钢铁制品报废期的到来，近年来我国废钢比超过20%，但是与世界主要产钢国40%-70%的废钢比水平相比，还有很大差距。据统计，2024年上半年全国炼钢用废钢铁消耗总量12254万吨，同比增加631万吨，增幅5.4%，随着钢铁行业节能降碳工作的持续推进，对废钢的需求量将继续增加。

（2）废钢循环利用体系不够健全

我国的废钢回收渠道还不够畅通，回收、拆解、加工、配送、应用等环节的一体化产业链还未完全建立，缺乏有效的回收体系和网络。回收站点布局仍需优化，回收网络覆盖面不广，一些地区的废钢无法及时得到回收，影响了废钢整体回收率。

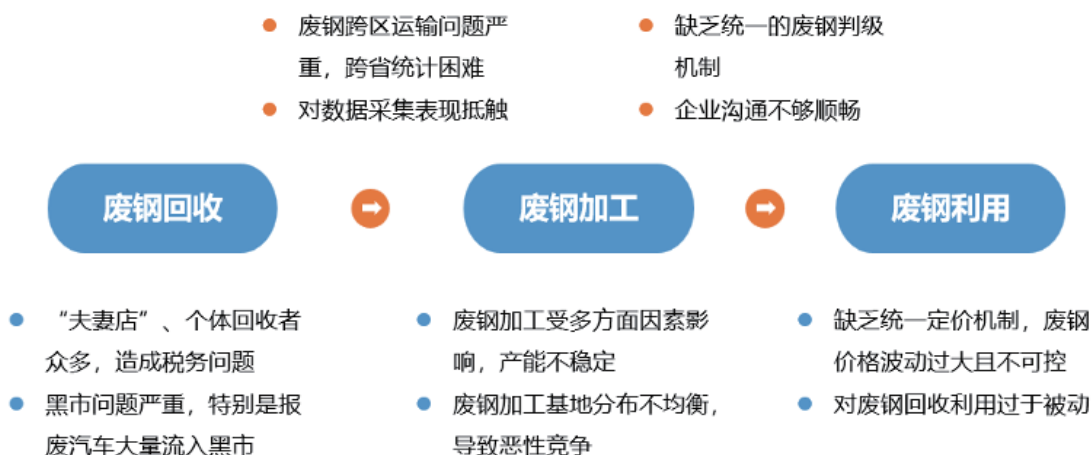


图1-4 我国废钢循环利用体系问题

调查发现，上游回收环节各回收站点规模不一，单月回收量从几十吨到数千吨不等，多采用现金交易，对资源回收数据采集多持谨慎、不配合、甚至抵触态度，企业间的沟通也不够顺畅，且废钢行情不好时前端收废意愿不强，缺乏有效的回收机制。

（3）规范加工企业废钢处理量占比低

目前825家规范企业年废钢加工能力约1.7亿吨，但从实际处理量来看，2023年全国钢铁企业消耗废钢2.14亿吨，其中规范企业的经营量仅1亿吨左右，仅占废钢消耗量的不到50%。另据统计，废旧汽车规范回收率仅42.8%，很多车主将报废汽车随意丢弃或是高价卖给黑市作坊等非法拆解点，造成了废钢资源统计和行业规范加工的困难。

（4）废钢资源价格持续高位运行

在“双碳”背景下，废钢利用成了钢铁行业降碳的重要抓手，无论是长流程还是短流程，对废钢的需求都大幅增加，进而导致国内废钢资源局部供不应求，废钢价格持续高位运行。

（5）税收政策落地存在障碍

由于历史发展的原因，废钢铁加工企业上游以现金交易为主，下游用户又要求全额带票供货，导致中间环节增值税税负过高。没有“第一张票”抵扣增值税也导致了废钢加工企业收入虚高，需要缴纳更高的所得税。虽然“反向开票”政策已经正式推行，但由于政策发布

时间较短，只有少部分企业试开过少量票据。其中阻碍反向开票实施的因素有：当地税收政策不明确，亟待地方政府制订详细方案；客户（尤其是中小客户及散户）不愿接受“反向开票”，担心税务风险；对于代收预缴的所得税跨年度汇算清缴未作规定，尚有风险等因素。总的来看，在短期内，废钢企业对反向开票持谨慎态度。长期来看，在“反向开票”政策执行以后，废钢行业在税务方面的规范性将大幅增强。

第二章

废钢资源供需预测分析

（一）废钢市场区域供需现状

根据中国废钢铁应用协会统计和上海钢联调研数据，2023年全国废钢资源供需呈现紧平衡状态，但各区域间情况不一：其中华北地区消耗量比资源量大，资源不足，需要从其他区域调入废钢，甚至发现有新疆和华东地区废钢流入华北地区——只要利润足以覆盖运费，跨区域的废钢流动就会发生；华东地区较为发达，废钢资源量最多，相较于消耗量较为充足，但是受经济利益驱动，部分废钢流向外地，导致华东地区的废钢资源实际处于紧平衡状态，东北、华南、华中、西南和西北也存在类似情况。

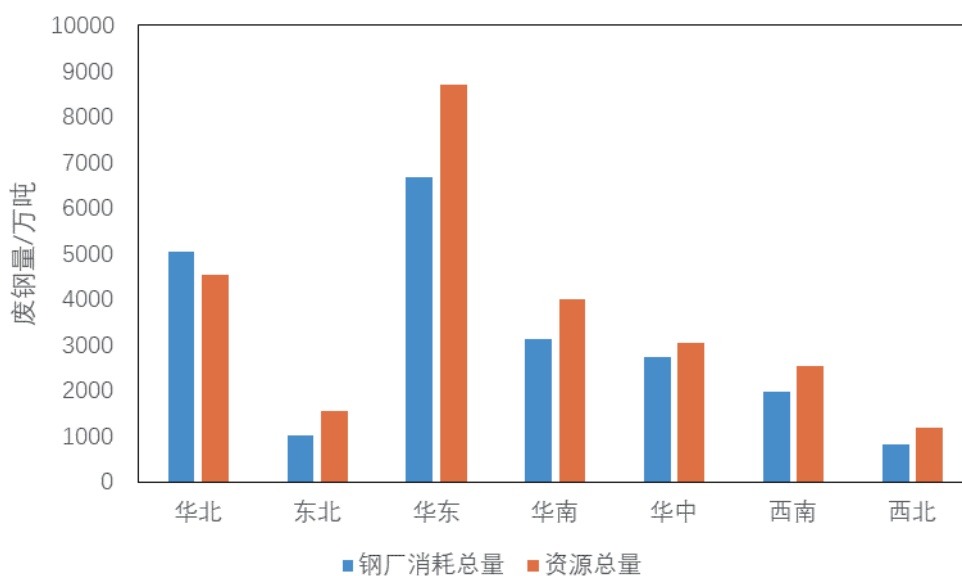


图2-1 2023年全国各区域废钢供需情况

（二）影响长短流程废钢利用的关键因素

目前来看，影响废钢在长、短流程中使用比例的因素众多，并且不同影响因素之间相互关联，主要包括企业利润水平、废钢质量、产业政策等。

（1）企业利润水平

目前，我国废钢资源量总体供不应求，废钢在长、短流程的使用比例主要受铁水成本、废钢价格和企业盈利水平的影响。当企业盈利时，即使废钢价格处于高位，长、短流程均愿意更多使用废钢增加粗钢产量；当企业亏损时，如果废钢价格低于铁水成本，长流程愿意使用更多废钢，但是如果废钢价格高于铁水价格，长流程则选择少用废钢，以减少亏损。大多数钢铁联合企业会根据当时的铁水成本和废钢价格制订废钢采购计划和废钢利用量，当废钢价格大于铁水成本90%甚至超过铁水成本时，企业往往会倾向于减少废钢的使用。

（2）废钢质量

废钢的质量直接影响炼钢过程中的废钢使用量。高质量的废钢杂质和有害元素较少，铁元素回收率较高。相反，低质量的废钢含有较多的杂质和有害元素，影响钢水质量，会增加精炼工序的负担，有些有害元素甚至无法通过精炼等手段去除，会在循环利用过程中不断富集。其主要的废钢质量指标有：废钢洁净度、废钢湿度、废钢中残留化学元素、废钢料重量和外形尺寸等。

（3）产业政策

产业政策是推动废钢使用的重要因素之一。国家和地方为此出台了多项支持政策，详见表1。

表2-1 支持废钢和电炉发展的相关政策

国家政策	《“十四五”循环经济发展规划》提出，到2025年，废钢利用量要达到3.2亿吨。
	《钢铁行业节能降碳专项行动计划》明确“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%。”
	《2024—2025年节能降碳行动方案》提出，到2025年底，电炉钢产量占粗钢总产量比例力争提升至15%，废钢利用量达到3亿吨。

地方政策	河北：到2025年，短流程炼钢产量占比达到5%以上。
	山东：到2025年短流程炼钢产量占比达15%。
	江西：进一步完善废钢加工配送体系建设，鼓励废钢资源回收利用和进口。
	四川：充分发挥四川省电炉短流程炼钢产业优势，先行先试，加快推动电炉短流程炼钢转型升级。

（三）转炉提高废钢比的探讨

废钢在转炉炼钢过程中主要有提高产量、降本增效、冷却的作用。但转炉废钢比提高对冶炼工艺也会产生不利影响，主要表现在在采用较大废钢比的情况下，钢中残余元素、全氧、全氮的含量会增加，这会扰乱炉外精炼工序的进行节奏，并可能对钢材质量产生影响。

为定量分析不同废钢比对长流程、短流程降碳量的贡献，本团队构建了不同废钢比下长流程碳排放量计算模型，设置了保证转炉出钢量不变和保证入炉铁水量不变的两种情景，并基于物料平衡及热量平衡分析了不同转炉废钢比（0%、10%、20%、30%）对应的钢铁生产流程的CO₂排放总量及CO₂排放强度的变化，结果如图 2-2所示。

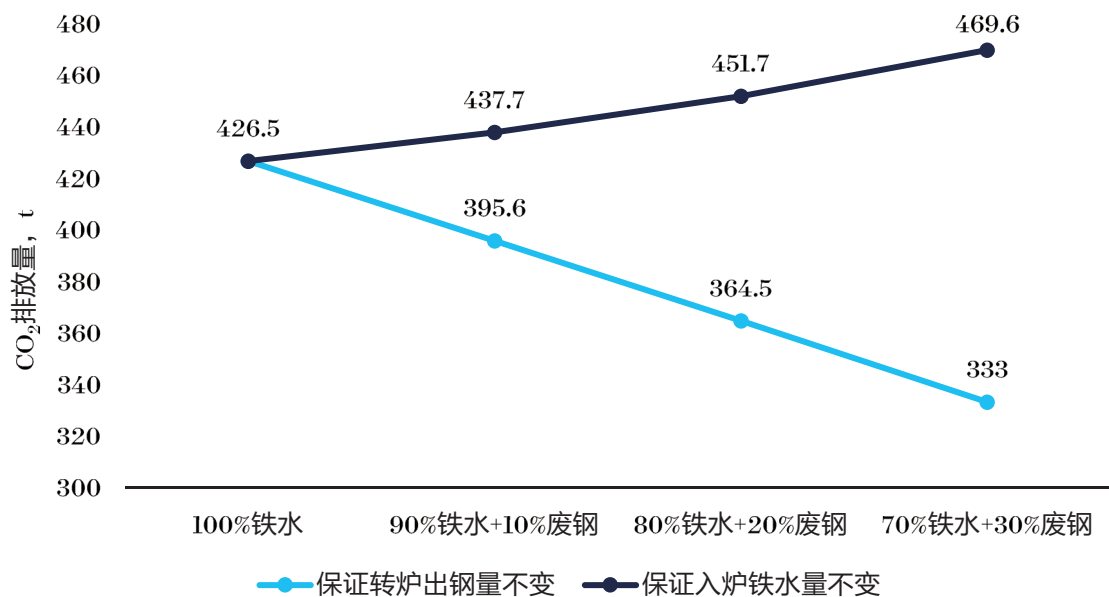


图2-2 两种模式下不同废钢比CO₂排放总量

可以得出结论如下：

（1）转炉中提升废钢比需要采取一些必要措施，如废钢预热、配加补热剂（碳质或硅质）等，相较于电炉中添加废钢，这些措施需要额外增加相应设备投资并增加燃料、电力或补热剂的消耗，从而相对电炉中配加废钢会带来更多的投资和CO₂排放。

（2）在保证入炉铁水量不变的模式下组织生产事实上是一种变相增产模式，这也是当前长流程消耗废钢资源的动力源，从而导致废钢价格居高不下，电炉流程生产成本偏高。虽然这种模式下，长流程的CO₂排放强度仍在降低，但是企业总的碳排放量是在增加的。

（3）在保证转炉出钢量不变的模式下组织生产，提高废钢比，势必要求铁前工序要减产，这样是有利于企业降碳的，也是应该在不影响产品质量的前提下适度鼓励发展的。

（4）高废钢比冶炼有利于CO₂排放强度的降低，但企业外购的社会废钢通常含有较多的杂质元素，如Cr、Ni、Cu、P、S等，转炉冶炼过程中若使用过多的该类废钢会极大影响钢水质量。因此，高废钢比冶炼，特别是生产高等级钢种时，需更加重视废钢的精细化分类，保证入炉废钢质量及稳定性。根据某钢厂的的实际生产经验，在现有废钢条件下（外购社会废钢占比60%以上）冶炼高等级钢种时废钢比应控制在20%以内，而这条路线应该是未来高炉-转炉长流程的发展方向^[5]。

（5）废钢本身是一种载能资源，不管是在长流程还是在短流程中，应用废钢来生产钢铁都是可以大幅度降低钢铁生产过程的碳排放强度。因此，在两种模式下，随着废钢比的提升，吨钢碳排放强度都呈现明显下降趋势。

（6）我国钢铁工业应该借助“双碳”的大背景，引导废钢资源尽可能流向电炉流程，进而逐步调整全行业的铁素资源结构、产品结构和流程结构的布局，从而实现全行业的转型升级和高质量发展。如在现阶段开始以全废钢电炉流程生产建筑用钢作为切入口来逐步替代中小高炉-转炉流程生产建筑用钢，产品质量可满足需求；现有大型高炉-转炉流程仍然以铁矿石作为主要原料，逐渐转向生产高端产品，如此也不需要增加额外的投资或研发投入（如废钢预热、高废钢比的产品质量控制技术等）。

（四）废钢合理价格分析

在不考虑铁素资源的成本条件下，废钢的价格主要取决于废钢的加工成本和物流成本；而铁水的成本则主要取决于生产1吨铁水所需要消耗的能源成本、吨铁折旧成本（铁前系

统)、环保成本(铁前系统)等。

考虑1吨铁水含有的化学热和物理热与生产1吨热铁水需要消耗的能源量,计算生产1吨铁水的能量与1吨铁水所含的化学热的价值,结果如表2所示。

表2-2 不同煤价对应生产1吨铁水实际消耗的能量和1吨铁水所含化学热的价值

无烟煤价格	无烟煤热量	生产1吨铁水所需要的能量+1吨铁水所含的化学热	生产1吨铁水所需要的能量+1吨铁水所含的化学热价值
800元/吨	25.12MJ/kg	15663MJ	499元
1000元/吨	25.12MJ/kg	15663MJ	624元
1200元/吨	25.12MJ/kg	15663MJ	748元
1600元/吨	25.12MJ/kg	15663MJ	998元

综合考虑铁前系统吨铁折旧成本(30~50元/吨铁)、铁前系统环保成本(100~150元/吨铁)、废钢加工成本(100~200元/吨钢),废钢物流成本(50~100元/吨钢),则可以计算出1吨铁水与1吨废钢价格差的合理范围应为480~900元/吨,按铁水价格为2500元/吨来计算,废钢/铁水的价格比应该为0.6~0.8,大体是合理的。但是目前废钢的价格远远高于这个比例,甚至出现废钢价格大于铁水价格的现象,这严重增加了电炉短流程企业的生产成本,不利于废钢资源的利用与短流程发展的推进。所以,稳定废钢市场,保证废钢的供应,使废钢价格维持在一个合理的范围之内,是重中之重。

(五) 废钢资源量供需预测

废钢资源产出量主要受社会钢铁蓄积量,同时也受未来粗钢产量的影响。随着我国社会钢铁蓄积量的不断增加,全国废钢资源短缺的局面将逐步得到改善。废钢资源量的预测是建立在粗钢产量预测结果的基础上的,本研究采用优化IPAT模型的方法,根据未来不同的GDP增速,对未来粗钢产量的三种情景进行了预测,分别对应2060年我国粗钢产量为7.3亿吨、6.7亿吨和6.2亿吨^[7],详见图 2-3。

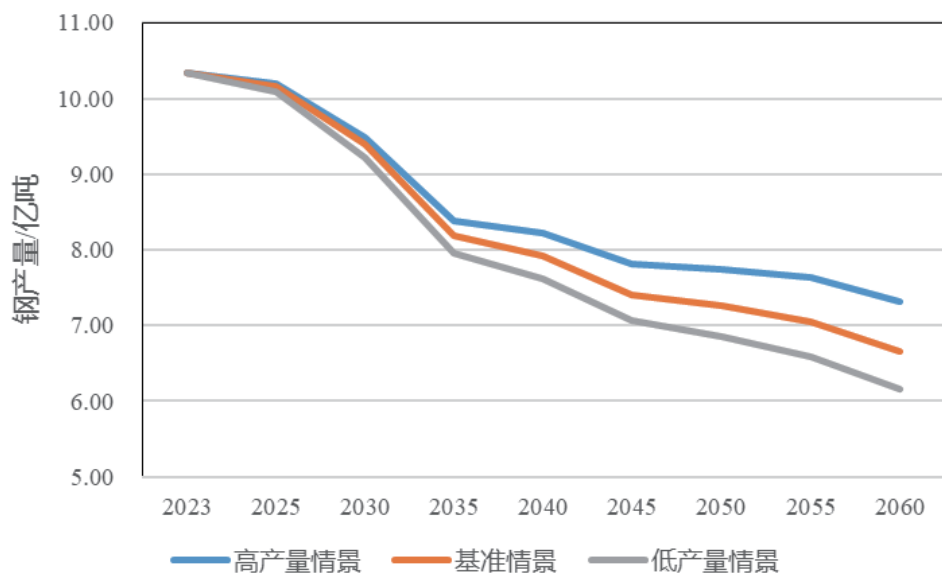


图2-3 三种情景下我国的粗钢产量预测结果

按照自产废钢、加工废钢、折旧废钢三类分别构建回收模型，并基于上述粗钢产量预测结果对废钢资源量进行预测，结果见图2-4。

另一方面，按照发达国家的发展经验，到2030年，我国废钢比预计将达到日本水平，按35%计，则三种情景下的废钢资源需求量在3.2-3.3亿吨之间；假设到2050年，我国废钢比达到65%，三种情景下的废钢需求量在4.5-5.0亿吨之间；到2060年，我国废钢比达到美国水平（70%）三种情景下的废钢需求量在4.3-5.1亿吨之间。

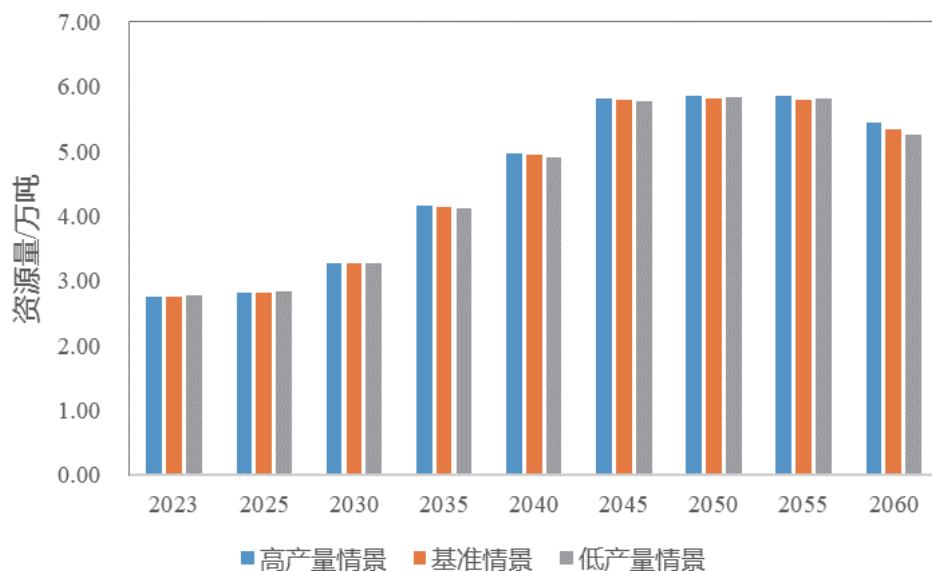
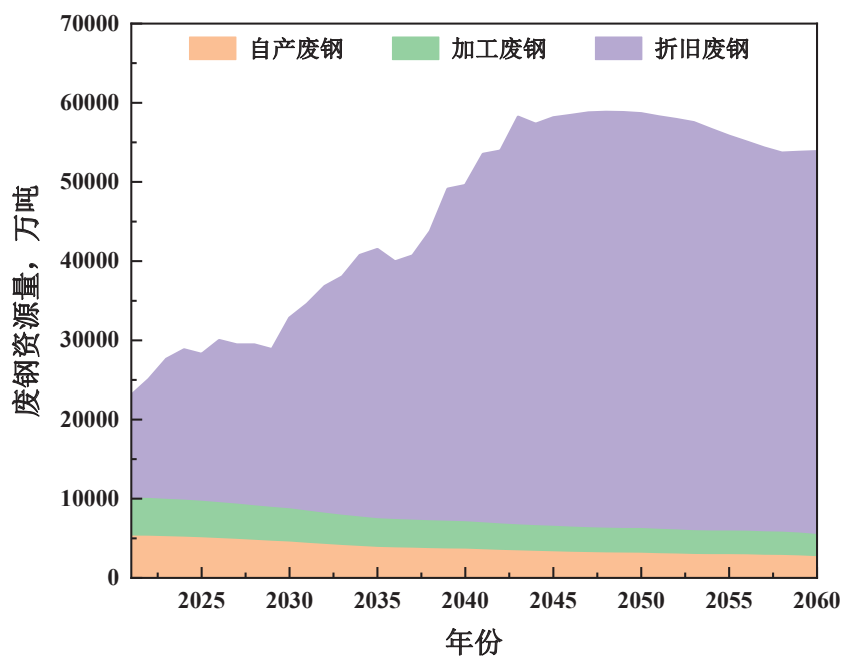


图2-4 三种情景下我国2023-2060年间的废钢资源量预测结果



注：社会废钢包括加工废钢和折旧废钢

图2-5 2023-2060年我国三类废钢资源量的变化情况（低产量情景）

根据预测结果，我国未来废钢资源主要呈以下趋势：

（1）废钢资源总量充足。在低产量情景下，我国2030年废钢资源量预计达到约3.3亿吨；2045年预计达到约5.8亿吨，此时废钢资源利用将超过铁矿石利用量；2060年预计达到5.3亿吨左右（见图2-5）。届时，废钢资源基本能满足粗钢生产需求（4.3亿吨），大大降低对铁矿石的依赖。

（2）废钢资源量逐年提高，且在2030年~2050年间增速较快，预计2045年前后达到资源量峰值，随后虽有所下降，但降幅不大。

第三章

废钢产业助力电炉短流程发展路径

电炉短流程的发展受到多个因素的影响：废钢资源量及分布，电力资源，下游市场需求等；本团队综合考虑上述因素，分析我国电炉短流程发展的最佳模式、发展时间表以及区域分布。

（一）废钢资源区域分布预测

电炉短流程的布局与废钢资源量及其分布息息相关：一方面因为废钢是短流程企业的最重要原材料，靠近废钢产地有助于减少运输成本；另一方面，废钢资源量多的地区往往是钢铁产品的主要市场，贴近市场布局有助于短流程企业降低成本。

在我国废钢资源产出量预测模型基础上，本团队对2060年前我国31个省级行政区域的废钢资源产出量进行估算，并按七大地理分区划分。结果如图3-1所示。

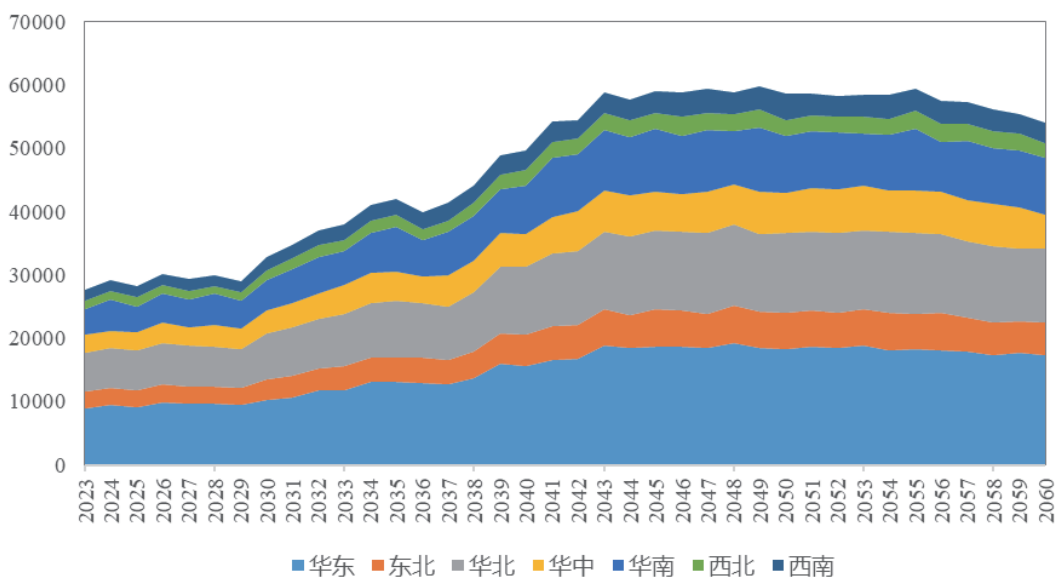


图3-1 七大地理分区废钢资源量变化趋势预测结果

不难看出，我国废钢资源预计一直主要来自华北和华东等经济发达和钢铁工业发达省份的城市及周边，并到2060年废钢资源量仍保持稳定。

（二）短流程发展模式及区域布局分析

1. 短流程最佳的发展模式

对比国外各类钢铁企业生产布局，再结合我国钢铁行业的发展现状及未来的发展蓝图，借鉴美国短流程钢厂的发展经验，本团队提出了以“两链一流”系统为核心的“城市钢厂”的概念设想，其发展理念如图3-2所示：

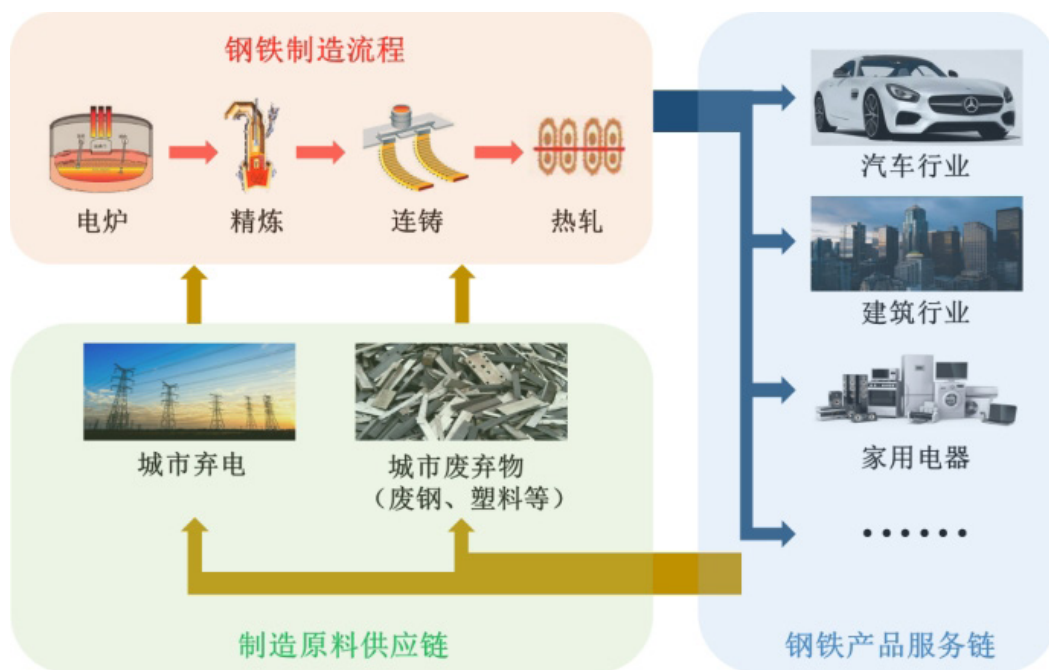


图3-2 城市钢厂发展理念图

——供应链：原料来自城市废钢、能源充分利用夜间电网弃电或清洁能源发电，兼顾了社会节能，未来随着可再生能源和核电的发展，将有可能实现“无碳化”炼钢。

——服务链：钢铁产品为相邻相依城市产业服务，并为城市消纳废弃物、中水等，服务-物流半径在150km左右。可见，城市钢厂主要布局在城市周边，也可减少原料或产品的物流

输送过程的温室气体排放。

——全废钢电炉生产流程：以1~2条电炉短流程生产作业线为主，以全废钢为原料，以建筑用螺纹钢、线材为主要产品。规模50万吨/年~200万吨/年，最高300万吨/年。

长远来看，电炉短流程的发展将以全废钢电炉短流程生产建筑用长材来替代以中、小高炉-转炉生产螺纹钢、线材等大宗产品作为切入口，并形成三类主要的发展模式：

- a. 全废钢电炉流程替代中小高炉-转炉流程，生产螺纹钢等长材；
- b. 返回法与近终型制造技术结合，生产优特钢、不锈钢、硅钢、热轧薄板带、超薄带产品等；
- c. 氢还原-电炉流程生产高新技术产业等所需的特殊钢材。

2. 短流程的区域布局

未来短流程“城市钢厂”的最佳区域布局除了受废钢资源影响，还需要考虑电力资源供应和钢材消费需求等因素。

湖北、四川、云南等地区具备丰富的水力资源，水力发电量极大；内蒙古、新疆等地区具备较为丰富的风光资源，可再生能源发电量较大；因此，上述地区可为电炉钢厂的发展提供较为充足的绿色电力资源。

华东市场是全国最大的钢材消费市场，市场规模优势异常突出，属于第一梯队区域市场；华南市场、华北市场的钢材市场份额连续2年保持在20%左右，属于第二梯队区域市场；西南市场的钢材市场份额保持在9%左右，属于第三梯队区域市场；东北、西北的钢材市场份额保持在4%左右，属于第四梯队区域市场。

综合考虑各地区废钢资源产出、钢材消费需求、电力资源供给等因素，建立了“城市钢厂”最优布局模型，预测结果如下图所示（单个厂区的生产规模为100~200万吨/年）：



图3-3 2045年我国城市钢厂布局图

现阶段，江苏、广东、福建、浙江等地区及周边拥有较充足的废钢资源，且钢材消费市场强劲；四川、贵州等地区还拥有丰富的水电资源，能够为电炉钢厂的发展提供充足的电力资源。因此，上述地区可以考虑作为电炉钢厂建设的试点区域。

（三）废钢助力电炉短流程发展路径

1. 废钢助力电炉短流程发展机制

作为电炉短流程的主要原料，废钢的质、量、价是影响其发展的重要因素。废钢产业的健康发展是短流程可持续发展的重要保障。因此，需要从政策支持与规范引导、资源整合与产业协同、技术创新与设备升级等方面发力（如图3-4所示），推动废钢产业的健康发展，实现废钢资源的质量稳定，价格可控，储量充足，进而助力电炉短流程可持续发展。

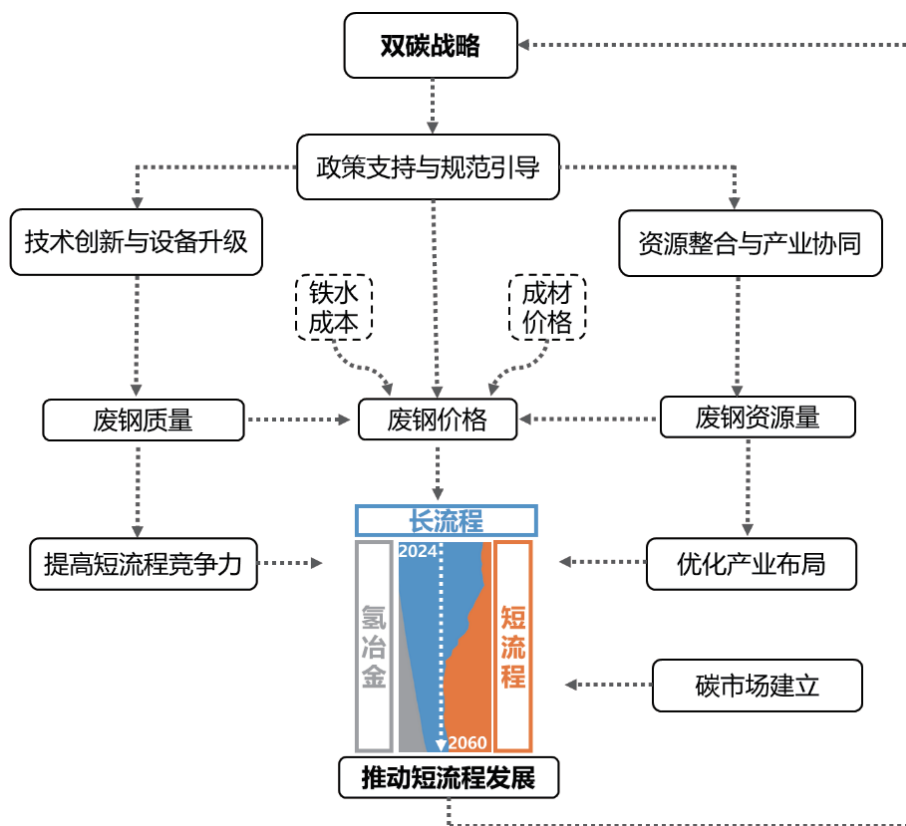


图3-4 废钢推动短流程发展机制

2. 废钢助力电炉短流程路线图

本团队提出并制定了废钢助力电炉短流程发展的战略方案及目标^[8]，具体如图3-5所示。

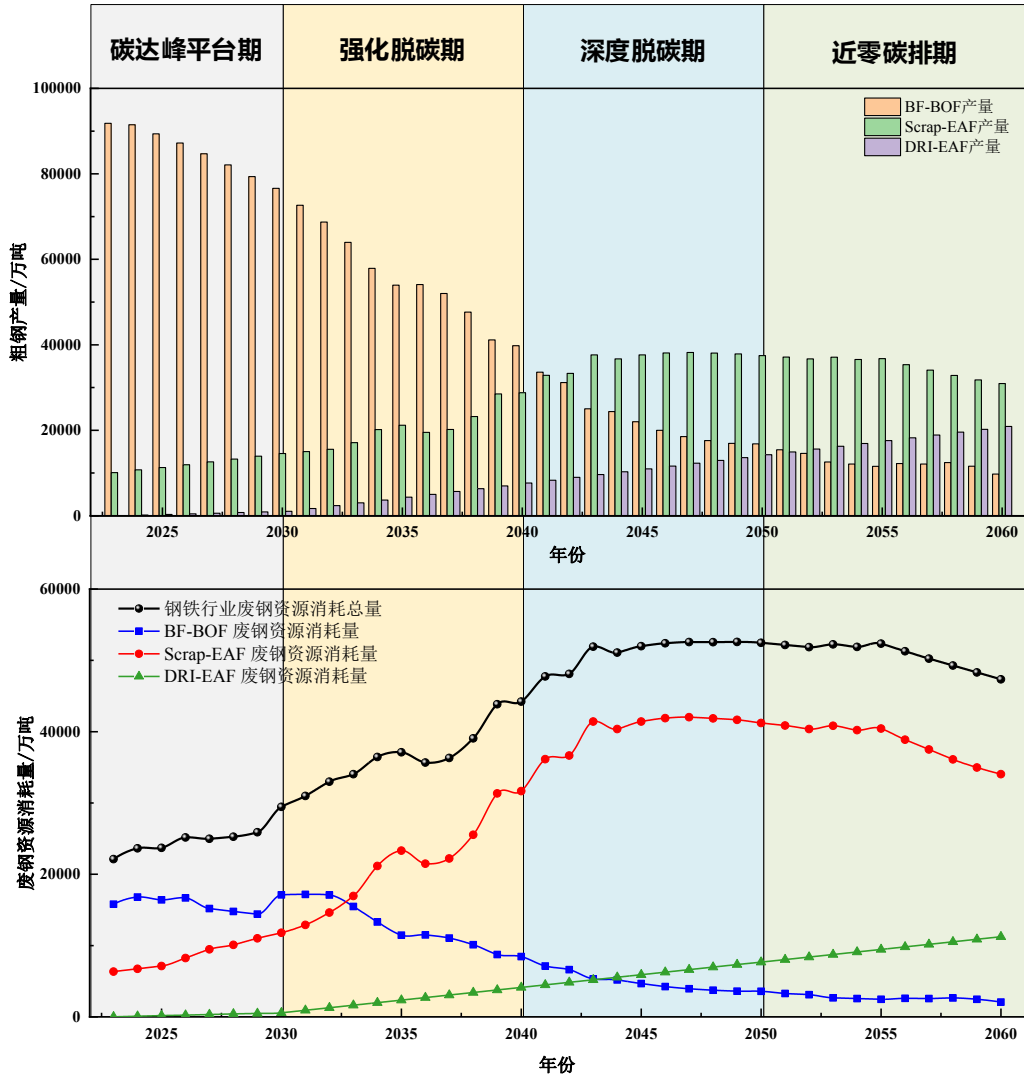


图3-5 废钢助力电炉短流程低碳发展的战略方案及目标

经研究分析，未来我国钢铁行业碳排放量受废钢资源及电炉短流程的变化影响较大，下文参考行业低碳发展路线，深入分析各阶段内电炉短流程的发展趋势：

碳达峰峰值平台期（2024-2030年）：该阶段内，我国钢铁行业废钢资源消耗量增长缓慢，到2030年将达到2.9亿吨左右，总体上废钢量仍然较为紧缺，高炉-转炉长流程仍占较大份额，受废钢价格及冶炼成本影响，废钢资源大多流向长流程钢铁企业，2030年预计长流程废钢消耗量将增长至1.7亿吨，较2023年增长约8.3%；同时受产品质量限制，长流程废钢比将从16%逐步提高到20%，个别钢铁企业采用更高废钢比冶炼，以满足下游用户市场的需求，

但数量有限；电炉流程逐步提高全废钢的比例，逐步减少兑铁水的情况，新建城市钢厂采用100%废钢，到2030年实现所有电炉流程均采用100%废钢，以生产建筑用长材为主，在有限的废钢资源条件下，电炉流程废钢资源消耗量将小幅下降，预计2030年短流程废钢资源消耗约1.2亿吨，较2023年增长约85.9%。

碳排放稳步下降期（2031-2040年）：此阶段内，我国钢铁行业废钢资源消耗量将经历一次高速增长，预计到2040年将达到4.4亿吨，废钢量较为充足。此时，长流程废钢用量随着粗钢产量下降，有所降低，部分内陆地区的长流程钢厂逐步退出或转为电炉流程；电炉流程得到较快发展，并开始关注废钢的高质化利用问题，同时适当布局汽车等高附加值领域用钢；氢冶金流程废钢比约50%，但受冶炼技术因素限制，该流程仍处于探索开发阶段，废钢资源消耗量有限。

深度脱碳期（2041-2050年）：该阶段内，我国钢铁行业废钢资源消耗量将达到峰值，约5.3亿吨，资源量充足，行业进入流程结构的深度调整阶段。长流程废钢用量随着粗钢产量下降，进一步降低至3500万吨，到2050年多数内陆长流程退出产能或转为电炉流程，长流程主要布局在沿海周边，生产薄板等产品；电炉流程得到进一步发展，主要布局在城市周边，特别是新能源丰富地区，电炉钢中除建筑用钢占30-40%外，其余部分为高附加值领域用钢，2050年短流程废钢资源消耗量将增长至4.1亿吨；氢冶金取得一定突破，布局在沿海或矿山周边以及新能源丰富地区。

碳中和阶段（2051-2060年）：该阶段内，我国钢铁行业废钢资源消耗量将较峰值有所下降，但总体仍在4.5亿吨以上，流程结构进一步优化并逐步稳定。长流程产量及占比进一步减少，废钢资源消耗量将逐步降低至2000万吨，电炉流程发展稳定，废钢资源消耗量维持在3.5亿吨，氢冶金流程产量及占比有所增长，废钢资源消耗量也将增长至1亿吨。

第四章

废钢助力电炉短流程发展的措施建议

我国目前已经是全球最大的废钢产生和消费国，虽然已经初步建立了废钢加工配送体系，但是废钢产业仍存在诸如废钢资源量不足、循环利用体系不健全、规范企业处理能力不大等问题。本团队研究结果为废钢产业的健康有序发展提出了以下行业应对措施与政策建议。

（一）应对措施

（1）多渠道获取废钢资源。通过加强自产废钢回收、提升加工废钢收集能力、加强社会废钢回收、拓展进口废钢渠道、推动技术创新等措施，实现废钢资源的多元化获取和高效利用。

- 1) 加强钢厂自产废钢回收：企业应优化内部废钢回收流程，提高废钢回收率，确保这些废钢资源得到充分利用。
- 2) 提升加工废钢收集能力：通过优化生产工艺，减少加工过程中的废钢产生，同时建立有效的废钢收集机制，确保这些废钢资源得到及时回收。
- 3) 加强社会废钢回收：鼓励社会各界参与废钢回收工作，包括个人、企业、回收站等。通过宣传教育，提高公众对废钢回收的认识和参与度。同时，建立规范的废钢回收市场，为回收者提供合理的回报，激发其积极性。
- 4) 拓展进口废钢渠道：为稳定有序的做好再生钢铁原料的进口工作，防止造成恶性竞争，可由国内大型钢铁企业和废钢加工企业组成采购联盟，建立信息沟通和协调机制；建立国内采购单位和国外供货商白名单机制，对于符合一定要求的企业，由海关总署在通关和检验等方面给予一定的鼓励政策。
- 5) 推动废钢产业技术创新：通过技术创新，提高废钢回收、加工和利用的效率。例如，研发新型废钢分类设备，实现废钢的自动化分类和高效回收；利用大数据、人工智能等技术手段，优化废钢回收和加工流程，提高资源利用效率。
- 6) 建立废钢信息共享平台：通过搭建废钢信息共享平台，实现废钢资源的供需对接。

平台可以发布废钢供应信息、需求信息、价格信息等，为废钢回收者、加工企业和钢铁企业提供便捷的信息服务。

(2) 完善废钢回收利用体系。建立健全废钢回收网络，鼓励社会各界参与废钢回收工作。继续推动废钢加工行业准入工作，将更多的废钢加工企业纳入规范管理；加强已公告企业的日常监管，建立有进有出的动态管理机制；同时推动废钢加工企业和钢铁企业之间的深度合作，进而推动废钢回收与利用的紧密衔接。

- 1) 建议行业着力培育废钢加工配送的龙头企业，并重点打造一批示范标杆企业，进一步提高废钢加工企业集中度的同时，形成可示范、可推广的商业模式，充分发挥标杆企业的示范引领作用，避免无效投资，以及扰乱行业发展和市场运行的行为。
- 2) 建议行业推动废钢企业实现回收-拆解-加工-分类-配送-应用一体化，组建区域废钢交易中心，进一步提高废钢行业产、供、销效率。
- 3) 延续汽车、家电等民用产品的以旧换新政策，完善农机、装备等强制报废政策，促进用钢产品及时报废。
- 4) 推动生产者责任延伸制度，鼓励生产单位建立有效的回收体系；与住建部门沟通，加强废旧房屋、厂房等含钢建筑的拆扒。

(3) 推动废钢资源利用规范化。完善相应法律法规，补充健全行业标准，杜绝行业中劣币驱逐良币的现象。引导全废钢电炉流程企业优化产品结构，引导废钢合理利用方向。

- 1) 推动行业标准的补充与完善，完善废钢产品的评级标准以及加强评价的规范性与可操作性。
- 2) 加强企业资质审查，定期组织业界专家进行评审，对不合规的企业进行处罚公示，维护准入企业的公信力，建立行业自律机制。
- 3) 加强行业市场监督，抵制打击黑市行为，制定监督管理制度，配合有关部门日常监督与检查。
- 4) 引导行业规范利用废钢，引导全废钢电炉短流程企业优化产品结构，不追求生产高端钢种；对于生产高品质钢种的长流程企业来讲，其废钢比应控制在20%以内。

(4) 聚焦共性技术清单，整合行业内科研资源，加大对废钢加工利用技术的研发投入，支持企业开展技术创新和产业升级，提高废钢加工利用效率和产品质量，助力电炉短流程发展。

- 1) 鼓励龙头企业加大科研投入，成立研发中心，解决共性关键技术，参与重点难点技

术公关突破。

- 2) 推动废钢管理和循环利用,重构废钢循环利用技术体系和创新废钢资源管理模式。
- 3) 创建废钢加工利用技术共享交流平台,推动成果的交流与产业转化,加强企业间协作。

(5) 优化电炉短流程企业(城市钢厂)布局。借鉴美国电炉发展的经验,引导以“两链一流”系统为核心的我国“城市钢厂”布局到电力资源和废钢资源丰富的地区:比如废钢资源丰富的江苏、山东、上海等地,电力资源丰富的四川、云南等地。

(二) 政策建议

(1) 建议国家将废钢作为战略资源纳入《国民经济和社会发展五年规划纲要》,加强顶层设计,促进废钢产业合理布局。针对当前废钢资源统计数据不全的问题,建议将废钢数据统计纳入国家统计。

(2) 建议修订再生钢铁原料标准,放宽夹杂物含量等指标,出台再生钢铁原料进口增值税进行退税或免征,降低进口成本等政策,建立再生钢铁原料进口快速通道与利用示范园区,扩大再生钢铁原料进口。同时,研究其他相关的鼓励政策,对于使用进口再生钢铁原料的钢铁企业在碳交易等方面给予一定的政策倾斜。

(3) 建议出台相关政策,加快完善废钢回收利用体系,鼓励社会资本参与废钢回收体系建设,加强废钢回收网络建设、提高废钢分类和加工技术水平;通过政策扶持和市场引导,培育一批具有竞争力的废钢回收加工龙头企业,依托龙头企业打造全国性废钢资源交易服务平台,并在项目审批、信贷融资等方面给予政策支持。

(4) 建议出台稳定废钢价格政策措施。加强废钢市场的信息化建设,提高废钢资源配置效率。通过建设废钢交易服务平台、发布废钢价格指数等方式,为市场参与者提供及时、准确的信息,引导废钢资源的合理流动。

(5) 优化税收政策。一是优化所得税相关政策,减轻废钢回收企业税收负担;二是优化增值税相关政策,提高对符合条件的废钢铁加工准入企业增值税退税比例,打击利用“税收洼地”虚开增值税发票的行为等,降低企业纳税风险。进一步推进“反向开票”落实工作,明确实施过程中的各项细则,加强“反向开票”工作宣传。

参考文献

1. 上官方钦, 酆秀萍, 周继程, 等. 中国废钢资源发展战略研究[J]. 钢铁, 2020, 55(6): 8-14.
2. 上官方钦, 周继程, 王海风, 等. 气候变化与钢铁工业脱碳化发展[J]. 钢铁, 2021, 56(5): 1-6.
3. 王方杰. 我国废钢产业发展现状和特点[J]. 冶金管理, 2023(10): 16-19.
4. 王华川. 废钢铁产业税收风险分析及相关建议[J]. 商业观察, 2022(9): 29-31.
5. 田春健, 臧喜民, 张利武, 等. 转炉高废钢比炼钢技术的发展状况与探讨[J]. 钢铁研究学报, 2024, 36(6): 692-706.
6. 上官方钦, 张春霞, 酆秀萍, 等. 钢铁企业CO₂排放计算方法及其应用探讨[C]//2011年全国冶金节能减排与低碳技术发展研讨会. 中国河北唐山, 2011: 6.
7. 2022—2060年中国废钢资源量分析预测 - 中国知网[EB].
8. 上官方钦, 刘正东, 殷瑞钰. 钢铁行业“碳达峰”“碳中和”实施路径研究[J]. 中国冶金, 2021, 31(9): 15-20.

