

炼钢工艺发展路径专题之一：短流程 VS 长流程

环保与经济加速短流程发展，上游原材料及耗材产业链或受益

分析师：李莎 S0260513080002

020-87574792

lisha@gf.com.cn

一、概况：我国电炉钢占比 6.4%、仅为全球的 1/4，海外在建短流程产能是长流程的 3.6 倍，国内减量置换新增 3118 万吨电炉钢产能

长流程和短流程是两种典型的钢铁生产流程，其中高炉-转炉、电弧炉分别为长流程和短流程核心设备。产量方面，根据国际钢铁协会统计数据，2016 年全球粗钢产量 16.29 亿吨，其中电炉钢产量达 4.18 亿吨，电炉钢占比为 25.66%；2016 年我国电炉钢产量达 5170 万吨，占比回升至 6.40%，但仍仅为全球平均水平的 1/4；新增产能方面，根据经合组织发布的《全球钢铁工业产能发展》报告，2017 年海外在建电弧炉产能超 3600 万吨，高炉-转炉产能仅 1000 万吨，在建短流程产能是长流程产能的 3.6 倍，其中伊朗新增电弧炉产能占比近 65%，印度新增高炉-转炉长流程产能规模最大；18~19 年海外计划新建电弧炉产能 8835.5 万吨，计划新建高炉-转炉产能 6332 万吨；国内已官方公布淘汰 4059 万吨炼钢产能置换为 3118 万吨电炉钢产能，云南、四川新增电弧炉产能规模最大。

二、产品差异：小批量合金钢多用电弧炉，大批量低合金钢多用转炉，炉外精炼技术缩小两种工艺生产钢种差异

工艺特性的差异决定了电弧炉炼钢适合冶炼小批量、多品种合金钢、中高碳钢，转炉炼钢适合冶炼大批量、低碳、低合金含量钢种，但炉外精炼技术的发展使转炉和电弧炉已逐步转变为炼钢初炼炉，钢种及产品界限已逐步模糊，目前长流程也已开始生产齿轮钢等特钢产品，短流程也逐渐开始生产低合金板材等普钢产品。

三、环保和能耗：短流程 SO₂、NO_x 排放对环境更友好，二噁英处理更容易，能耗仅为长流程炼钢工序的 1/9

环保方面，短流程吨钢 SO₂、NO_x 排放量分别仅为含烧结流程的长流程炼钢的 2%和 21%，且高效除尘器特别是袋式除尘器可明显减少短流程主要污染物——二噁英的排放，相比之下，长流程炼钢需进行脱硫、脱硝改造，环保投资和环保运行成本较高；能耗方面，短流程工序能耗也仅为长流程炼钢工序能耗的 1/9。因此电弧炉在污染物排放、能耗方面相比长流程炼钢更为友好。

四、经济性：生产成本取决于原料价差、能耗及石墨电极价格，短流程建设投资更低、周期更短，环保投资和运行成本更低

生产成本方面，短流程与长流程在生产成本方面的差异取决于原料价差、能耗及石墨电极等耗材价格，其中铁水与废钢价差为影响长短流程吨钢成本的核心变量，石墨电极价格高企自 2017 年下半年起影响力增强，废钢价格及石墨电极价格大幅上涨助推短流程炼钢综合成本高于长流程炼钢；建设投资与建设周期方面，短流程钢企建设投资、建设周期分别仅为长流程联合企业投资的 1/2 和 1/4~1/3，短流程钢企的吨钢折旧费用更低；环保投资与成本方面，吨钢环保设备投资仅为长流程的 7~8%，吨钢环保运行成本仅为长流程的 1/8。因此综合来看，短流程在经济性方面相较于长流程有明显优势。

五、投资建议：环保及经济性突出加速短流程炼钢发展，短流程上游原材料及耗材产业链或受益

短流程与长流程钢种生产差异日益模糊，但短流程环保性与经济性更为突出，从而加速了海外及国内短流程炼钢技术的发展。建议重点关注短流程上游原材料（如废钢及废钢加工产业链）、耗材（如石墨电极及针状焦产业链）等相关产业链投资机会。

六、风险提示：宏观经济大幅波动；废钢、钢材以及上游原材料价格大幅波动；上游原材料政策发生重大变化。

相关研究：

【广发钢铁李莎】钢铁工业国际比较专题之三：日美比较&“中国模式”分析-供给侧改革是有效手段、环保倒逼落后产能退出，兼并重组待加速、海外扩张仍可期 2018-02-04

【广发钢铁李莎】炭素行业专题报告之一：钢铁用炭素（I）-新增电炉投放驱动石墨电极需求，技术进步、集中度提升助长期发展 2017-06-25

目录索引

一、概况：我国电炉钢占比 6.4%、仅为全球的 1/4，海外在建短流程产能是长流程的 3.6 倍，国内减量置换新增 3118 万吨电炉钢产能.....	4
（一）长流程和短流程是典型钢铁生产流程，高炉-转炉、电弧炉分别为长流程和短流程核心设备.....	4
（二）产量：2016 年全球电炉钢产量达 4.18 亿吨、占比为 25.66%，我国电炉钢占比回升至 6.40%，仅为全球平均水平的 1/4.....	5
（三）新增产能：2017 年海外在建电弧炉产能超 3600 万吨、高炉-转炉产能仅 1000 万吨，国内淘汰 4059 万吨产能置换为 3118 万吨电炉钢产能.....	5
二、产品差异：小批量合金钢多用电弧炉，大批量低合金钢多用转炉，炉外精炼技术缩小两种工艺的钢种差异.....	9
（一）钢种：工艺差异决定电弧炉炼钢适合冶炼小批量、多品种合金钢、中高碳钢，转炉炼钢适合冶炼大批量、低碳、低合金含量钢种.....	9
（二）发展：炉外精炼技术致转炉和电弧炉转变为炼钢初炼炉，钢种及产品差异已逐步缩小.....	11
三、环保和能耗：短流程 SO ₂ 、NO _x 排放对环境更友好，二噁英处理更容易，能耗仅为长流程炼钢工序的 1/9.....	14
（一）污染物排放：短流程吨钢 SO ₂ 、NO _x 排放量分别仅为含烧结流程的长流程炼钢的 2%和 21%，但二噁英排放是其主要环保问题.....	14
（二）能耗：短流程炼钢工序能耗仅约为长流程炼钢工序能耗的 1/9.....	14
（三）污染治理：短流程二噁英排放可通过高效除尘器有效去除，长流程烧结、球团大气污染物需配合脱硫、脱硝工艺达标.....	15
四、经济性：生产成本取决于原料价差、能耗及石墨电极价格，短流程投资更低、建设周期更短，环保投资和运行成本更低.....	17
（一）生产成本：铁水与废钢价差、能耗及石墨电极价格为影响长短流程吨钢成本核心变量.....	17
（二）建设成本：短流程钢企建设投资、建设周期分别仅为长流程联合企业的 1/2 和 1/4~1/3，短流程钢企吨钢折旧费用更低.....	21
（三）环保成本：短流程吨钢环保设备投资仅为长流程的 7%~8%，吨钢环保运行成本仅为长流程的 1/8.....	22
五、投资建议：环保与经济性突出加速短流程发展，短流程原材料及耗材产业链或受益.....	24
（一）短流程与长流程钢种生产差异日益缩小，但短流程环保性与经济性更为突出，海外新建及国内置换短流程炼钢产能方兴未艾.....	24
（二）建议重点关注短流程原材料及耗材产业链投资机会.....	24
六、风险提示.....	24

图表索引

图 1: 炼钢的短流程与长流程对比示意图	4
图 2: 2016 年我国电炉钢产量占比达 6.40%，但仍远低于世界平均水平的 25.70%	5
图 3: 2016 年我国电炉钢产量回升至 5170 万吨、同比增长 5.94%，增速高于长流程转炉钢	5
图 4: 炉外精炼设备的发展拓展了电弧炉可生产的钢种范围	12
图 5: 配合铁水预处理技术和炉外精炼技术，转炉冶炼特殊钢的条件更加优越 ..	13
图 6: 国内铁精粉湿基均价、二级冶金焦含税均价及铁水价格估算值(单位: 元/吨)	17
图 7: 2012 年 6 月以来转炉炼钢吨钢材料成本始终高于电炉炼钢吨钢材料成本(单位: 元/吨)	18
图 8: 综合考虑能耗以及石墨电极价格，2014~2016 年转炉炼钢成本始终低于电炉炼钢成本，2017 年上半年铁矿石焦炭价格大幅上涨推动转炉炼钢成本高于电炉，2017 年下半年废钢价格上涨致电炉成本高企(单位: 元/吨)	19
图 9: 2014 年以来铁矿石、焦炭、废钢价格变化情况(单位: 元/吨)	20
图 10: 铁水与废钢价差为影响长短流程吨钢成本的核心变量，石墨电极价格自 2017 年下半年起影响力增强	20
图 11: 2016 年短流程钢企美国纽柯吨钢折旧费用仅为长流程国际钢企的 1/2 左右	22
表 1: 海外在建和计划建设的短流程炼钢产能中伊朗占比最大，在建和计划建设的长流程炼钢产能中印度占比最大	6
表 2: 官方已宣布的产能置换电弧炉设计产能为 3118 万吨，淘汰炼钢产能 4059 万吨，综合产能置换比例为 1.30:1	8
表 3: 长流程和短流程炼钢工艺差异对比	10
表 4: 电炉冶炼与转炉冶炼的特点及适用生产钢种	10
表 5: 常见炉外精炼工艺	11
表 6: 适用于转炉生产的特殊钢种类	12
表 7: 短流程炼钢在二氧化硫和氮氧化物等污染物排放方面对环境更为友好，但二噁英排放是其主要环保问题	14
表 8: 短流程炼钢工序能耗仅约为长流程炼钢工序能耗的 1/9 (单位: 千克标煤/吨)	15
表 9: 常用的三相(交流)电弧炉电耗率在 390~430kWh/t，石墨电极消耗率在 1.2~2.5kg/t	18
表 10: 部分电弧炉及其产线的投资情况	21
表 11: 技术方案 1、技术方案 2 各功能环节的吨钢环保投资	23
表 12: 技术方案 1、技术方案 2 各功能环节的吨钢环保运行成本	23

一、概况：我国电炉钢占比 6.4%、仅为全球的 1/4，海外在建短流程产能是长流程的 3.6 倍，国内减量置换新增 3118 万吨电炉钢产能

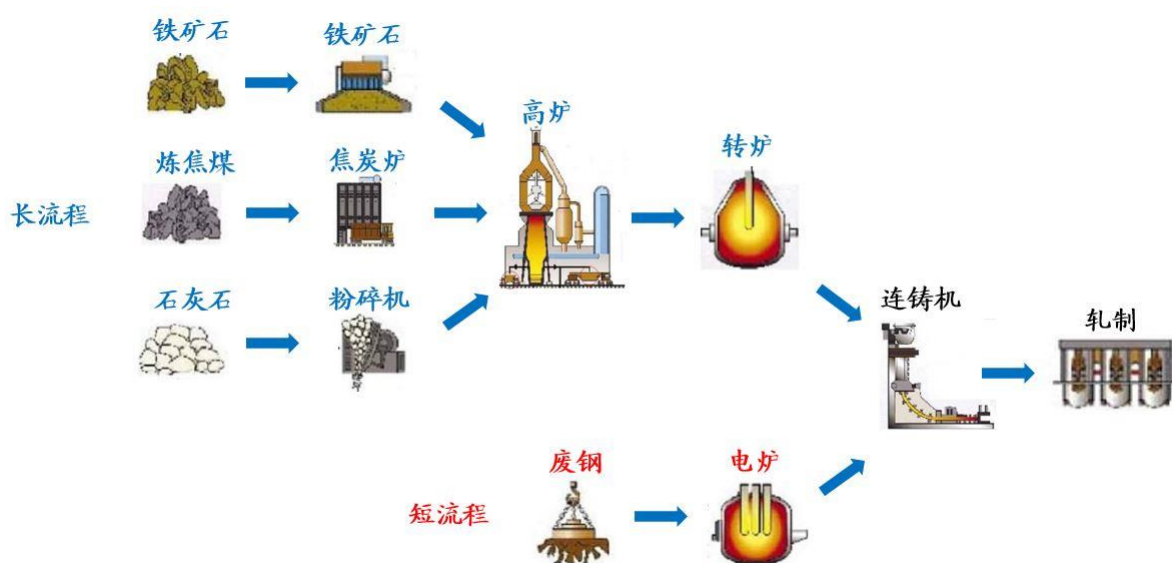
（一）长流程和短流程是典型钢铁生产流程，高炉-转炉、电弧炉分别为长流程和短流程核心设备

根据杜涛等 2006 年在中国冶金报文发表的典型钢铁生产流程的环境负荷分析及周建南等 2008 年在《山东冶金》发表的《钢铁制造流程技术进步与钢铁企业可持续发展》，目前我国比较典型的钢铁生产流程分为两类：一类为高炉—转炉—连铸—轧制工艺流程，即长流程；另一类为电炉—连铸—轧制工艺流程，即短流程。

长流程炼钢生产流程的源头是从矿石原料开始的，高炉和转炉是长流程关键设备。主要的矿物原料有三种：铁矿、炼焦煤、石灰石。铁矿经选矿工序先选成铁精矿，然后进一步制成烧结矿或球团矿；炼焦煤经过洗煤、配煤工序后经过焦炉干馏，释放出挥发成分而后得到焦炭；石灰石可直接用于高炉炼铁的造渣熔剂。以上三种主要原料进入现代炼铁高炉冶炼得到碳的质量分数在 4% 以上的液态铁水。高炉铁水经过氧气转炉吹炼配以精炼炉得到合格钢水。钢水经过浇铸连续浇铸或模铸成为钢坯或钢锭，再经过轧制工序最后成为钢材。

短流程炼钢生产流程的原材料是废钢，电弧炉是短流程炼钢的关键设备。废钢经简单加工破碎或剪切、打包后装入电弧炉中，利用石墨电极与铁料之间产生电弧所发生的热量来熔炼铁料，并配以精炼炉完成脱气、调成份、调温度、去夹杂等功能，得到合格钢水，后续轧制工序与长流程基本相同。

图1：炼钢的短流程与长流程对比示意图



数据来源：广发证券发展研究中心

(二) 产量: 2016 年全球电炉钢产量达 4.18 亿吨、占比为 25.66%, 我国电炉钢占比回升至 6.40%, 仅为全球平均水平的 1/4

产量: 2016 年全球电炉钢产量达 4.18 亿吨, 我国电炉钢产量 5170 万吨, 同比增长 5.94%、占全球电炉钢产量的 12.36%。根据国际钢铁协会统计数据, 2016 年全球粗钢产量 16.29 亿吨, 其中电炉钢产量 4.18 亿吨, 同比 2015 年增长 2.77%; 2016 年我国电炉钢产量达 5170 万吨, 同比 2015 年增长 5.94%, 占全球电炉钢产量的 12.36%。从历史统计数据看, 2000 年至 2011 年, 我国电炉炼钢产量处于上升阶段, 至 2011 年达到峰值 7094.60 万吨, 2012~2015 年电炉炼钢产量逐年下降, 但同比降幅逐渐缩小。

占比: 2016 年电炉钢占全球粗钢产量比例为 25.66%, 我国电炉钢产量占比回升至 6.40%, 结束了 2011 以来的五连降。根据国际钢铁协会统计数据, 2016 年全球电炉炼钢占粗钢总产量比重为 25.66%, 同比提升 0.50 个百分点; 美国、欧盟 28 国、日本、印度电炉钢占比分别为 67.00%、39.50%、22.20%、57.30%, 除日本之外, 其他国家地区占比同比均有所提升, 其中美国电炉钢占比大幅上升 4.33 个百分点; 中国电炉炼钢占比自 2011 年以来持续 5 年下降, 2015 年电炉粗钢产量占总产量百分比为 6.07%, 2016 年回升至 6.40%, 但仍仅为世界平均水平 25.66% 的 1/4。

图2: 2016年我国电炉钢产量占比达6.40%, 但仍远低于世界平均水平的25.70%

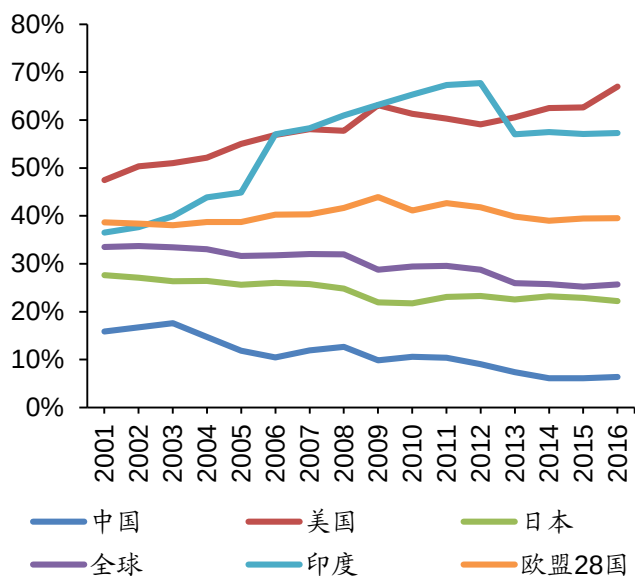
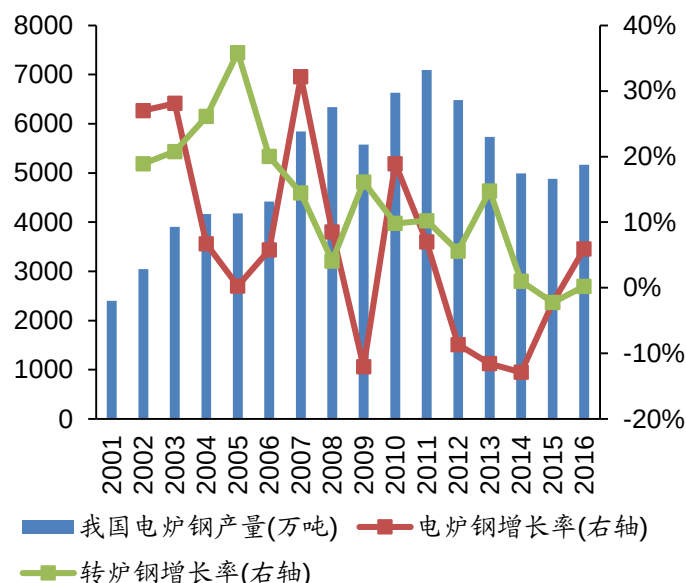


图3: 2016年我国电炉钢产量回升至5170万吨、同比增长5.94%, 增速高于长流程转炉钢



数据来源: 国际钢铁协会、广发证券发展研究中心

数据来源: 国际钢铁协会、广发证券发展研究中心

(三) 新增产能: 2017 年海外在建电弧炉产能超 3600 万吨、高炉-转炉产能仅 1000 万吨, 国内淘汰 4059 万吨产能置换为 3118 万吨电炉钢产能

1、海外: 2017 年海外在建短流程产能是长流程产能的 3.6 倍, 伊朗新增电弧炉产能占比近 65%, 印度新增高炉-转炉长流程产能规模最大

总量方面，2017 年**在建短流程产能是长流程产能的 3.6 倍**，18~19 年**计划新建短流程产能是长流程产能的 1.4 倍**。经合组织（OECD）于 2017 年 8 月 7 日发布了《CAPACITY DEVELOPMENTS IN THE WORLD STEEL INDUSTRY》（全球钢铁工业产能发展）报告，统计了 2017-2019 年全球已宣布的钢铁产能计划。我们在表 1 中给出了 2017 年海外在建（Underway）和 18~19 年计划建设（Planned）的电弧炉产能和所在国家/地区。**2017 年海外在建短流程电弧炉产能为 3676.2 万吨，在建高炉-转炉长流程产能为 1000 万吨；18~19 年海外计划新建电弧炉产能 8835.5 万吨，计划新建高炉-转炉产能 6332 万吨。2017 年**在建短流程产能是长流程产能的 3.6 倍**，18~19 年**计划新建短流程产能是长流程产能的 1.4 倍**。**

结构方面，海外在建和计划建设的短流程产能中**伊朗占比最大**，在建和计划建设的长流程产能中**印度占比最大**。根据经合组织（OECD）2017 年 8 月 7 日发布的《CAPACITY DEVELOPMENTS IN THE WORLD STEEL INDUSTRY》（全球钢铁工业产能发展）报告，2017 年海外在建短流程产能中，伊朗占比近 65%，在建长流程产能中，印度占比达 65%；18~19 年计划新建短流程产能中，伊朗占比近 60%，计划新建长流程产能中，印度占比近 68%。

表 1: 海外在建和计划建设的短流程炼钢产能中伊朗占比最大，在建和计划建设的长流程炼钢产能中印度占比最大

国别	短流程设计产能（万吨）		长流程设计产能（万吨）	
	2017 年 在建	18~19 年 计划	2017 年 在建	18~19 年 计划
阿尔及利亚	230	460	0	35
埃及	83	85	0	0
尼日利亚	0	0	0	260
突尼斯	0	70	0	0
孟加拉国	81.5	0	0	0
印度	0	0	650	4300
印度尼西亚	50	550	0	0
马来西亚	0	0	0	500
巴基斯坦	0	100	0	100
越南	0	170	0	100
格鲁吉亚	0	18	0	0
俄罗斯	240.7	495.5	180	857
塔吉克斯坦	0	15	0	0
吉尔吉斯斯坦	0	12	0	0
乌克兰	0	12	0	0
德国	0	40	0	0

意大利	0	357	0	0
玻利维亚	0	15	0	0
巴西	0	120	0	60
厄瓜多尔	0	100	0	0
秘鲁	0	65	0	0
委内瑞拉	0	6	0	0
伊朗	2570	5225	170	0
伊拉克	0	90	0	0
阿曼	120	20	0	0
沙特阿拉伯	241	150	0	0
墨西哥	60	340	0	0
美国	0	120	0	0
澳大利亚	0	0	0	120
土耳其	0	200	0	0
合计	3676.2	8835.5	1000	6332

数据来源：OECD《CAPACITY DEVELOPMENTS IN THE WORLD STEEL INDUSTRY》、广发证券发展研究中心

2、国内：官方已宣布的产能置换电弧炉设计产能为 3118 万吨，淘汰炼钢产能 4059 万吨，综合产能置换比例为 1.30:1

《钢铁行业产能置换实施办法》允许退出转炉建设电炉项目可实施等量置换。

2018 年 1 月 8 日，国家工业和信息化部原材料工业司公布《工业和信息化部关于印发钢铁水泥玻璃行业产能置换实施办法的通知》，正式发布《钢铁行业产能置换实施办法》（简称《方法》），《方法》规定：各地区钢铁企业内部退出转炉建设电炉的项目可实施等量置换，退出转炉时须一并退出配套的烧结、焦炉、高炉等设备。

总量看，官方已宣布的产能置换电弧炉设计产能为 3118 万吨，四川、云南两省合计占比超 66%。截止 2018 年 3 月 1 日，全国已公布产能置换方案的江西、湖北、湖南、河南、四川、云南、福建和重庆等地区共拟新增电弧炉产能 3203 万吨，其中四川省 1149 万吨，云南省 909 万吨，湖北省 400 万吨，河南省 359 万吨。

结构看，官方已宣布的钢企共淘汰炼钢产能 4059 万吨，其中电炉炼钢产能 2010 万吨，高炉-转炉炼钢产能 2049 万吨，淘汰电炉炼钢产能与高炉-转炉炼钢产能的比例为电弧炉钢：转炉钢= 0.98:1；综合产能置换比例为淘汰产能：新增产能 = 1.30:1。

表 2 官方已宣布的产能置换电弧炉设计产能为 3118 万吨，淘汰炼钢产能 4059 万吨，综合产能置换比例为 1.30:1

省份	公司	淘汰产能（万吨）	新建产能（万吨）	置换比例
江西省	江西新余钢铁集团有限公司	100	100	1:1
湖北省	湖北立晋钢铁集团有限公司	206	200	1.03:1
	湖北武汉顺乐不锈钢有限公司	200	200	1:1
湖北省合计		406	400	1.01:1
河南省	河南洛阳洛钢集团钢铁有限公司	80（普钢）	85（特钢）	0.94:1
	河南沁阳宏达钢铁有限公司	50（普钢）	50（特钢）	1:1
	河南昌泰不锈钢板有限公司	95	94	1.01:1
	河南鹏达金属制品有限公司	131	130	1.01:1
河南省合计		356	359	1:1
四川省	四川德润钢铁有限公司	183	183	1:1
	四川鑫阳钢铁有限公司	252	200	1.26:1
	四川盛泉钢铁有限公司	160	150	1.07:1
	四川成都市长丰钢铁集团	160	150	1.07:1
	四川眉雅钢铁有限公司	183	183	1:1
	四川成都冶金实验厂有限公司	344	283	1.22:1
四川省合计		1282	1149	1.12:1
云南省	云南天高镍业有限公司	110	95	1.16:1
	云南永钢钢铁集团巨利达钢铁有限公司	120	100	1.20:1
	云南大理大钢钢铁有限公司	80	77	1.04:1
	云南玉溪钢铁集团	1115	270	4.13:1
	云南曲靖钢铁集团	310	190	1.63:1
	云南德胜钢铁有限公司	180	177	1.02:1
云南省合计		1915	909	2.11:1
福建省	福建宏丰实业集团有限公司	171	100	1.71:1
重庆市	重庆足航钢铁集团有限公司	171	101	1.71:1
截止2018年3月1日，全国合计		4059	3118	1.30:1

数据来源：各省市市政府，发改委官网、广发证券发展研究中心

二、产品差异：小批量合金钢多用电弧炉，大批量低合金钢多用转炉，炉外精炼技术缩小两种工艺的钢种差异

（一）钢种：工艺差异决定电弧炉炼钢适合冶炼小批量、多品种合金钢、中高碳钢，转炉炼钢适合冶炼大批量、低碳、低合金含量钢种

1、工艺差异：电弧炉与转炉炼钢在原料、炉温、冶炼周期、单炉规模等方面存在较大差异

（1）电弧炉

优点：二次利用废钢合金元素，电弧高温可熔化难熔合金元素，可精确控制炉内温度。根据前文所述，电弧炉以废钢为主要原材料，因此电弧炉炼钢能够二次利用废钢中的合金元素；电弧炉利用石墨电极与铁料之间产生电弧所发生的热量来熔炼铁料，电弧区温度在3000℃以上，这使得电弧炉能够冶炼难熔合金元素；同时通过精确调节电流大小来控制炉内温度，电弧炉可长时间精确控制钢水温度；电弧炉工艺柔性强，可满足冶炼小批量/多品种特种钢。

缺点：钢水质量受废钢影响较大，冶炼周期较长，耗电量较大。根据前文所述，电弧炉以废钢为主要原材料，在冶炼过程中可能将较多的杂质引入钢水之中，造成钢水质量偏低；根据我们于2017年6月25日发布的《炭素行业专题报告之一：钢铁用炭素（I）-新增电炉投放驱动石墨电极需求，技术进步、集中度提升助长期发展》**深度报告**，目前广泛应用的第四代电炉的平均出钢时间为55~60分钟，冶炼周期相较转炉炼钢较长；耗电量在500kWh/t，对地方电网供电压力构成较大压力。

（2）转炉

优点：钢水纯度较高、冶炼周期较短、耗电量低。根据前文所述，转炉以高炉生产的铁水为主要原料，因此转炉炼钢钢水纯度较高，杂质合金元素较少；转炉炼钢工艺完全依靠铁水氧化带来的化学热及物理热来进行，无外部能量输入，因此耗电量较低；冶炼周期在20~30分钟，相较电弧炉炼钢冶炼周期较短，生产节奏较快。

缺点：炉温较低不适合熔化难熔合金元素，炉容较大工艺柔性较差。由于转炉炼钢工艺完全依靠铁水氧化带来的化学热及物理热来进行，无外部能量输入，因此转炉炉温通常在2000℃以下，不适合冶炼难熔合金元素；大型转炉炉容通常可达200吨以上，宝钢湛江钢铁基地1、2号转炉炉容达350吨，是目前国内最大的转炉，但较大的炉容也导致转炉单炉钢水规模较大，冶炼柔性较差，不适合冶炼小批量多品种的钢种。

表 3: 长流程和短流程炼钢工艺差异对比

冶炼方式	电炉炼钢	转炉炼钢
优点	1、有效二次利用废钢合金元素 2、冶炼温度持续 3000℃ 以上可冶炼高熔点合金 3、可精确控制炉内温度，工艺柔性强	1、纯铁水冶炼，钢水纯度较高 2、冶炼周期较短，生产节奏较快 3、耗电量较低
缺点	1、冶炼周期较长，效率较低 2、耗电量较大 3、杂质、碳、氧含量较高	1、炉温较低，不适用于冶炼高熔点合金 2、单炉规模大，冶炼柔性较差

数据来源：《钢铁生产工艺装备新技术》（冶金工业出版社）、广发证券发展研究中心

2、适合钢种：电弧炉炼钢适合冶炼小批量、多品种合金钢、中高碳钢，转炉炼钢适合冶炼大批量、低碳、低合金含量钢种

转炉和电炉加热熔炼钢水的工艺特点直接决定了转炉和电炉冶炼适合的钢种的不同。

（1）电弧炉：适合冶炼小批量、多品种的合金钢、中高碳钢，但不适合冶炼低碳钢或低氮钢

根据前文所述，电弧炉以废钢为主要原料，可二次利用废钢中的合金元素，因此适合冶炼各种类型的优质钢和合金钢；电弧炉炉容相对较小，工艺柔性较高，因此适合于冶炼小批量、多品种的钢种，如各种优质特殊钢等；然而，电弧炉加热会使钢水增碳，因此适合冶炼中、高碳钢而不适合生产低碳钢和超低碳钢；同时，电弧炉电弧区存在钢水吸氮问题，因此难以生产低氮含量钢种。

（2）转炉：适合大批量、低碳、低合金含量钢种，但不适合冶炼高合金钢或含有难熔合金元素的合金钢

根据前文所述，转炉生产原料以高炉铁水为主，铁水质量稳定性和纯净度均优于废钢，通过铁水预处理或炉外精炼纯净度会得到进一步提高，采用喂线等工艺可精确控制钢中碳、硫和一些易氧化元素，采用喷粉可降低钢中硫、磷含量，因此转炉炼钢适用冶炼低碳、超低碳、残余元素含量低钢种；同时，转炉的单炉规模大，冶炼时间短，因此适合冶炼大批量钢种；然而转炉冶炼是采用化学热和物理热，冶炼过程所需的能量主要依靠钢中易氧化元素与氧作用而释放的化学能供应，故不适合冶炼高合金钢，尤其不适宜炼合金工具钢、含有难熔合金元素如钨等合金钢；

表 4: 电炉冶炼与转炉冶炼的特点及适用生产钢种

冶炼方式	电炉炼钢				转炉炼钢		
冶炼特点	有效利用废钢合金元素	炉容相对较小，工艺柔性较高	电弧炉加热钢水会造成增碳	弧区存在钢水吸氮问题	原料以纯净度好的铁水为主	单炉规模大，冶炼柔性较差	无外部热源，炉温较低
对应钢种	适合冶炼优质合金钢	适合小批量、多品种的钢种如特钢等	适合冶炼中、高碳钢	难以生产低氮含量钢种	适用冶炼低碳、超低碳、残余元素含量低钢种	适合生产大批量低合金含量钢种	难以生产高合金钢、难熔元素合金钢

数据来源：申景霞 2011 年发表在《2011 年特钢年会会议论文集》的《转炉与电炉冶炼特殊钢的对比研究》、广发证券发展研究中心

(二) 发展：炉外精炼技术致转炉和电弧炉转变为炼钢初炼炉，钢种及产品差异已逐步缩小

炉外精炼是指在电弧炉、转炉之外的钢包内完成对钢水的精炼提纯任务，故可将电弧炉和转炉称为炼钢初炼炉。其冶金功能包括：(1) 熔池搅拌功能，即均匀钢水的成分和温度，保证钢材质量均匀；(2) 提纯精炼功能，即通过钢渣反应、真空冶炼以及喷射冶金等方法，去除钢中的硫、磷、碳、氮、氢、氧等杂质和夹杂物，提高钢水纯净度；(3) 钢水升温 and 控温功能，精确控制钢水温度；(4) 合金化功能，即对钢水实现窄成分控制；(5) 生产调节功能，即均衡、衔接炼钢-连铸节奏。常见炉外精炼工艺有LF、CAS-OB、AOD、VOD和RH等，根据钢种要求不同可以选择不同的炉外精炼工艺。

表 5：常见炉外精炼工艺

炉外精炼工艺	冶金功能	加热原理	加热功率	升温速度	升温幅度	控温精度
LF	钢包电弧精炼技术	电弧加热	130~180	2~4	40~60	± 5
CAS-OB	钢包化学加热精炼	铝氧化升温	120~150	5~12	15~20	± 5
AOD	氩氧精炼	脱碳升温	-	7~17.5	-	± 10
VOD	真空吹氧脱碳	脱碳升温	69~74	0.7~1.0	70~80	± 5
RH	真空循环脱气	脱碳二次燃烧	94.6	-	15~26	± 5

数据来源：王国宣《钢铁冶炼新技术讲座——电弧炉炼钢的时代特点及炉外精炼》、广发证券发展研究中心

1、电弧炉+炉外精炼

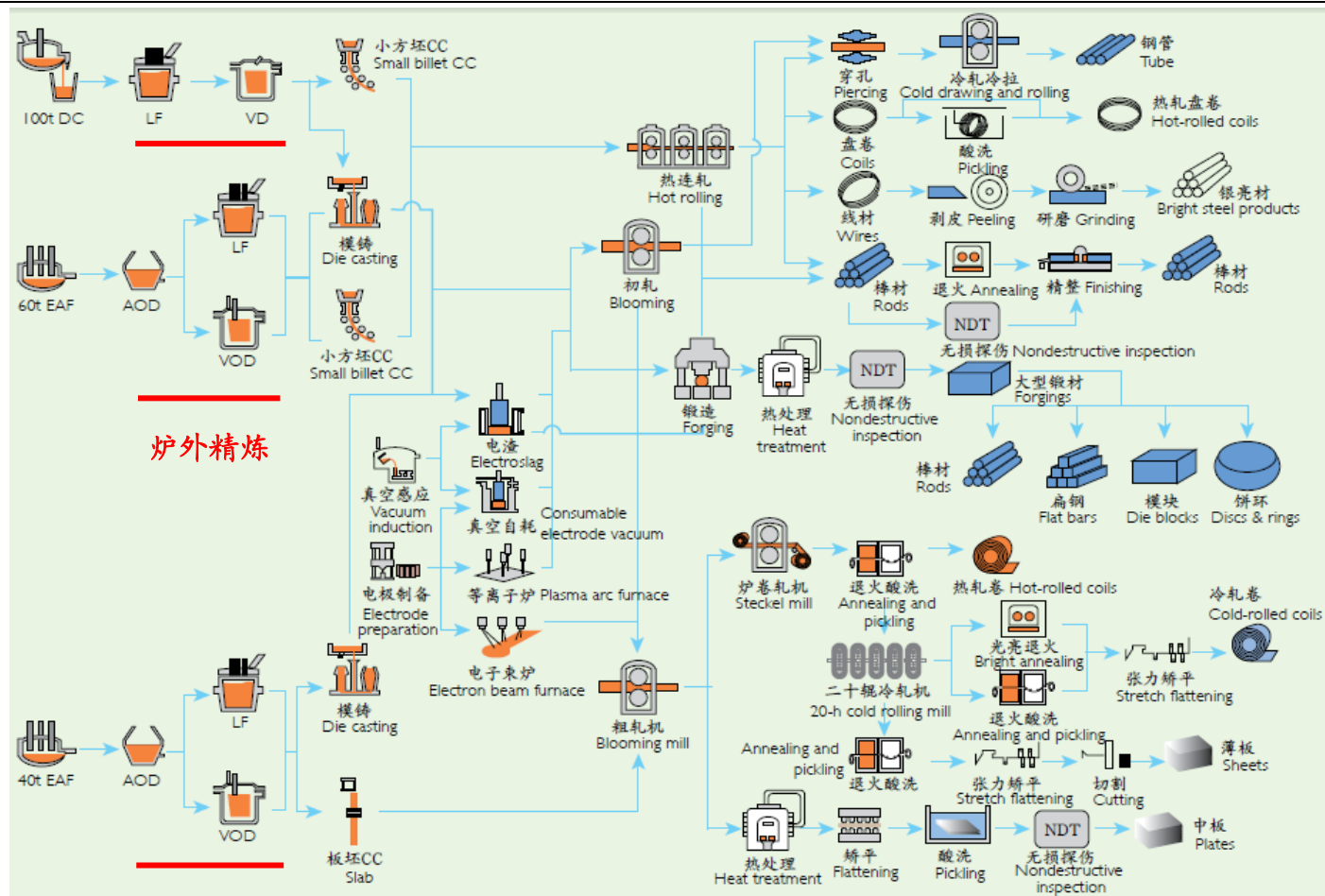
炉外精炼技术逐步使电弧炉仅作为炼钢初炼炉。随着炉外精炼技术、工艺、装备的快速发展，原冶炼工艺中需要在电弧炉内完成的合金钢、特殊钢的脱氧、合金化、除气、去夹杂工序均转移至炉外精炼炉，电弧炉仅作为向炉外精炼炉提供含碳、磷、硫、合金元素以及温度合格或基本合格的钢水即可，电弧炉即转变为炼钢初炼炉，从而改变了电弧炉熔时长、老三期操作（熔化期、氧化期、还原期）以及产量低、渣量大、炉容小、成本高的状况。

配合炉外精炼炉电弧炉可以生产部分高附加值板材和低合金钢等。根据潘宏涛等人于2011年发表于“第5届中国金属学会青年学术年会”的论文《电弧炉技术国内外现状及发展趋势》，配合炉外精炼炉，电弧炉亦可以生产一些过去仅能采用转炉流程生产的钢种，如高附加值的板材（薄板、中板和厚板）、优质高碳钢（如预应力钢绞线、钢帘线）和低合金钢（如合金冷锻钢）等。

国际上已有先进电炉短流程钢厂开始生产高附加值钢材产品。根据中冶赛迪公司杨宁川等于2010年发表于《中国冶金》期刊上的论文《炼钢短流程工艺国内外现状及发展趋势》，随着连铸、连轧技术的逐渐成熟和炉外精炼技术的推广应用，国际上面向高附加值产品、综合先进技术的电炉短流程钢厂的新扩建也越来越多，如Ezz带钢公司在埃及AinSukhna新建短流程钢厂，采用Danarc交流电弧炉、二次精炼、

半无头轧制和热态铁素体轧制，是世界上具竞争力的超薄带钢生产厂；美国AK钢铁公司投资18亿美元扩建俄亥俄州赞恩斯威勒特殊钢厂的电炉炼钢车间，投产新型高阻抗电弧炉、新型钢包精炼炉、新型连铸机和电炉钢精加工设备等设备用于生产高附加值的取向电工钢等钢材。

图4：炉外精炼设备的发展拓展了电弧炉可生产的钢种范围



数据来源：《宝钢核电用钢》、广发证券发展研究中心

2、转炉+炉外精炼

传统的转炉冶炼技术常用纯氧顶吹转炉，导致炉内维持氧化气氛，不利于去磷、去硫，甚至可能将原料中珍贵的合金元素氧化，因此并不适用于优质中、高合金钢生产。而近年来随铁水预处理技术和炉外精炼技术的发展，转炉冶炼原本仅电炉能够生产的特殊钢的条件更加优越，转炉生产的特殊钢品种逐渐增多。

表 6：适用于转炉生产的特殊钢种类

种类	钢种	性能要求	洁净度要求
钢丝	穿线钢丝	良好的拉拔性能、高强度	T[O] ≤ 10ppm; 无脆性夹杂物, ds ≤ 5μm; 细珠光体组织, 不会因偏析产生 Fe ₃ C
	气阀钢丝	良好的拉拔性能、疲劳性能、高强度	T[O] ≤ 10ppm

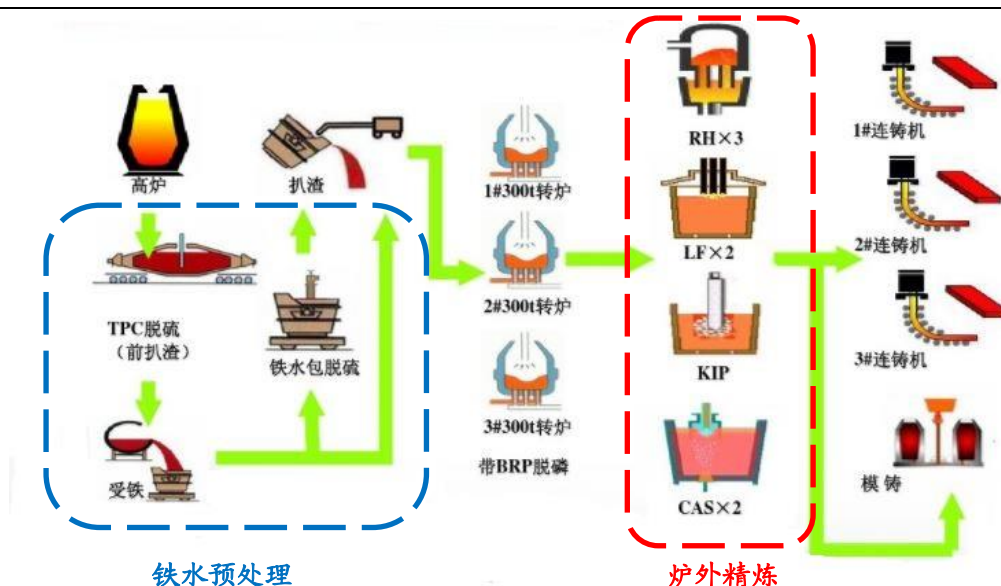
	弹簧钢丝	高的许用应力、疲劳性能	无脆性夹杂物, $ds \leq 5\mu m$
钢棒	齿轮钢	良好的成形性能、高的许用应力、疲劳寿命	高淬透性, $HRC \leq 4$ 、 $T[O] \leq 15ppm$, $ds \leq 5\mu m$
	轴承钢	高的强度、表面硬度、疲劳寿命、耐蚀性能	$T[O] \leq 10ppm$ 、 $ds \leq 20\mu m$; 无脆性夹杂物, $[Ti] \leq 15ppm$
	弹簧钢	高的许用应力、疲劳寿命	$T[O] \leq 15ppm$, 无脆性夹杂物
	冷锻钢	良好的冷加工性能、表面、塑性、高强度	$T[O] \leq 30ppm$, $ds \leq 20\mu m$ 无脆性夹杂物, 无任何表面裂纹缺陷
	非调质钢	高的强度、表面硬度、良好的韧性、疲劳性能和氢质裂纹性能	$T[O] \leq 30ppm$ 、 $ds \leq 20\mu m$ 微合金化窄成分控制
	易切削钢	良好的切削润滑性能	硫化物形态控制

数据来源: 申景霞等于 2011 年发表于《2011 年特钢年会论文集》的《转炉与电炉冶炼特殊钢的对比研究》、广发证券发展研究中心

铁水预处理已经成为现代化炼钢厂的重要工序之一, 其目的主要是降低铁水中的某些有害元素含量, 为炼钢提供合格的铁水。铁水预处理又分为普通铁水预处理和特殊铁水预处理两大类。普通铁水预处理包括: 铁水脱硫、脱硅和脱磷; 特殊铁水预处理则一般是针对铁水中含有的特殊元素进行提纯精炼或资源综合利用, 如铁水提钒、提铌、脱铬等预处理工艺。

炉外精炼工艺进一步提高了转炉炼钢的温度控制精度和钢水质量, 同时缓冲了转炉和连铸机之间的生产节奏。根据崔家峰等人于 2013 年发表于《华东技术》期刊上的《炼钢生产中的炉外精炼技术》论文, 炉外精炼工艺将真空处理、吹氩搅拌、加热控温、喂线喷粉、微合金化等技术以不同形式组合起来, 不仅有效地解决了转炉炼钢的不足, 进一步提高了温度控制精度和钢水质量, 同时缓冲了转炉和连铸机之间的生产节奏。

图5: 配合铁水预处理技术和炉外精炼技术, 转炉冶炼特殊钢的条件更加优越



数据来源: 《宝钢炉外精炼领域技术和发展》、广发证券发展研究中心

三、环保和能耗: 短流程 SO₂、NO_x 排放对环境更友好, 二噁英处理更容易, 能耗仅为长流程炼钢工序的 1/9

(一) 污染物排放: 短流程吨钢 SO₂、NO_x 排放量分别仅为含烧结流程的长流程炼钢的 2% 和 21%, 但二噁英排放是其主要的环保问题

短流程在 SO₂、NO_x 排放方面对环境更为友好, 但二噁英排放应受到重视。根据《废钢铁产业“十三五”规划》, 与铁矿石炼钢相比, 用 1 吨废钢铁炼钢可减少 1.6 吨二氧化碳的排放, 可减少 3 吨固体废物的排放。根据我们 2017 年 1 月 25 日发布的《供给侧结构性改革系列之二十一: 去哪些产能(三): 供给侧改革将再超预期, 重视短流程的发展机遇, 坚定看好钢铁行业投资机会》深度报告, 在同样生产 1 吨板坯/方坯时, 短流程炼钢排放的污染物明显低于含有烧结流程的长流程及含有球团的长流程, 特别是在二氧化硫、氮氧化物等主要大气污染物排放和废水排放方面有较大优势: 短流程吨钢 SO₂、NO_x 排放量分别仅为含烧结流程的长流程炼钢的 2% 和 21%, 颗粒物基本在同一水平; 但短流程炼钢二噁英的排放是其主要的环保问题。

表 7: 短流程炼钢在二氧化硫和氮氧化物等污染物排放方面对环境更为友好, 但二噁英排放是其主要的环保问题

炼钢流程	污染物									输出 (1吨)
	CO (kg)	CO ₂ (kg)	SO ₂ (kg)	NO _x (kg)	颗粒物 (kg)	粉尘 (kg)	可回收粉尘 (kg)	废水 (m3)	二噁英 (μg)	
长流程炼钢 (含烧结流程)	32.42	255.51	2.70	1.20	0.12	0.70	375.00	0.55	-	板坯/方坯
长流程炼钢 (含球团流程)	3.12	83.01	0.60	1.05	0.12	0.92	-	2.05	-	板坯/方坯
短流程炼钢	2.50	51.00	0.05	0.25	0.10	-	-	0.10	10.10	板坯/方坯

数据来源: 我的钢铁网、世界钢铁《提高生产率降低运行成本减少炼钢过程温室气体排放》、环境与发展《电弧炉炼钢过程的二噁英及抑制措施》、广发证券发展研究中心

注: “-”代表数据未知, 此处长流程炼钢(含烧结流程)包括烧结、炼焦、高炉、转炉流程, 长流程炼钢(含球团矿流程)包括球团、炼焦、高炉、转炉流程。

(二) 能耗: 短流程炼钢工序能耗仅约为长流程炼钢工序能耗的 1/9

短流程炼钢工序能耗仅约为长流程炼钢工序能耗的 1/9。尽管目前转炉工艺已实现负能炼钢, 但包含有球团/烧结、高炉、转炉的整个长流程中的工序能耗还是远高于短流程。由于长短流程都含有锻造、轧制工艺, 而本报告仅为对二者能耗进行对比, 因此暂不考虑后续的加工能耗。据中钢协 2017 年 4 月对全国重点企业的统计汇总, 含烧结、球团的长流程炼钢工序能耗分别为 522.78、500.07 千克标煤/吨, 而仅来源于电炉消耗的短流程炼钢工序能耗为 58.79 千克标煤/吨, 约为前者的九分之一。

表 8: 短流程炼钢工序能耗仅约为长流程炼钢工序能耗的 1/9 (单位: 千克标煤/吨)

工序能耗	烧结	球团	焦化	炼铁	转炉	电炉	合计
长流程炼钢 (含烧结流程)	48.66	-	97.58	390.57	-14.03	-	522.78
长流程炼钢 (含球团流程)	-	25.95	97.58	390.57	-14.03	-	500.07
短流程炼钢	-	-	-	-	-	58.79	58.79

数据来源: 中国钢铁工业协会、广发证券发展研究中心

(三) 污染治理: 短流程二噁英排放可通过高效除尘器有效去除, 长流程烧结、球团大气污染物需配合脱硫、脱硝工艺达标

1、短流程: 烟气和废钢预热系统是二噁英的主要来源, 高效除尘器特别是袋式除尘器可明显减少二噁英排放

电弧炉烟气和废钢预热系统是二噁英的主要来源。二噁英是两类三环芳香族有机化合物的统称, 在210种二噁英同系物汇总仅有17种是有毒的, 其中2,3,7,8-TCDD是毒性最强的二噁英异构体, 其毒性相当于氰化钾(KCN)毒性的1000倍。进行二噁英环境评价时一般将不同组分通过毒性当量因子折算成相当于2,3,7,8-TCDD的量来表征, 称为毒性当量(TEQ)。根据孙晓宇等于2014年发表于《环境与发展》期刊第5期的论文《电弧炉炼钢过程的二噁英及抑制措施》, 由于电弧炉炼钢主要原料废钢中普遍存在的氯化物和有机化合物会同时融入钢水, 冶炼过程烟气中将产生大量的二噁英; 同时, 作为电弧炉高效节能重要技术之一的废钢预热系统将使烟气中二噁英浓度显著增加。

目前电弧炉二噁英排放浓度标准为0.5ng-TEQ/m³。目前电弧炉二噁英污染物排放标准为2012年10月开始施行的《炼钢工业大气污染物排放标准》, 规定了现有和新建电弧炉炼钢企业二噁英排放浓度限值和特别排放限值均为0.5ng-TEQ/m³。

高效除尘器可明显减少二噁英排放, 袋式除尘器可达99%以上。根据孙晓宇等于2014年发表于《环境与发展》期刊第5期的论文《电弧炉炼钢过程的二噁英及抑制措施》, 由于在温度低于200℃时电炉烟气中的二噁英绝大部分是以固态形式吸附在烟尘表面, 因此采用高效除尘器可明显减少二噁英排放。湿法除尘对二噁英的净化效率为65%~85%, 静电除尘实测平均净化效率为95%, 而袋式除尘器则一般可达到99%甚至更高。

2、长流程: 烧结、球团过程是长流程炼钢主要大气污染物来源, 中温SCR协同净化工艺或活性炭协同治理工艺可实现达标排放

钢铁烧结、球团过程是长流程炼钢主要大气污染物排放来源。根据我们于2017年12月15日发布的《环保高压下的钢铁专题五: 烧结球团排放标准拟提升-环保投资与运行成本大增或致环保落后产能退出, 看好钢铁及工业环保行业投资机会》深度

报告，长流程中的烧结、球团过程烟粉尘、SO₂以及NO_x排放量分别占钢企总排放量的38.68%、59.15%和45.98%，均为钢企废气第一大来源。因此长流程炼钢污染治理的核心是烧结、球团过程污染物排放治理。

钢铁烧结、球团过程大气污染物排放标准拟降低。目前钢铁烧结、球团过程大气污染物排放标准为2012年10月开始施行的GB28662-2012《钢铁烧结、球团工业大气污染物排放标准》，烧结、球团过程中的颗粒物、SO₂和NO_x特别排放限值分别为40、180、300mg/m³；根据环保部2017年6月发布的“《钢铁烧结、球团工业大气污染物排放标准》等20项国家污染物排放标准修改单（征求意见稿）”，拟将钢铁烧结、球团过程中的颗粒物、SO₂和NO_x特别排放限值分别降至20、50、100mg/m³。

采用电除尘+半干法脱硫除尘+中温SCR协同净化工艺或电除尘+活性炭协同治理工艺均可实现达标排放。根据环保部2017年6月发布的“《钢铁烧结、球团工业大气污染物排放标准》等20项国家污染物排放标准修改单（征求意见稿）”，采用电除尘+半干法脱硫除尘+中温SCR协同净化工艺或采用电除尘+活性炭协同治理工艺均可将钢铁烧结、球团颗粒物、SO₂和NO_x排放浓度降至20、50、100mg/m³的特别排放限值以下。

四、经济性：生产成本取决于原料价差、能耗及石墨电极价格，短流程投资更低、建设周期更短，环保投资和运行成本更低

（一）生产成本：铁水与废钢价差、能耗及石墨电极价格为影响长短流程吨钢成本核心变量

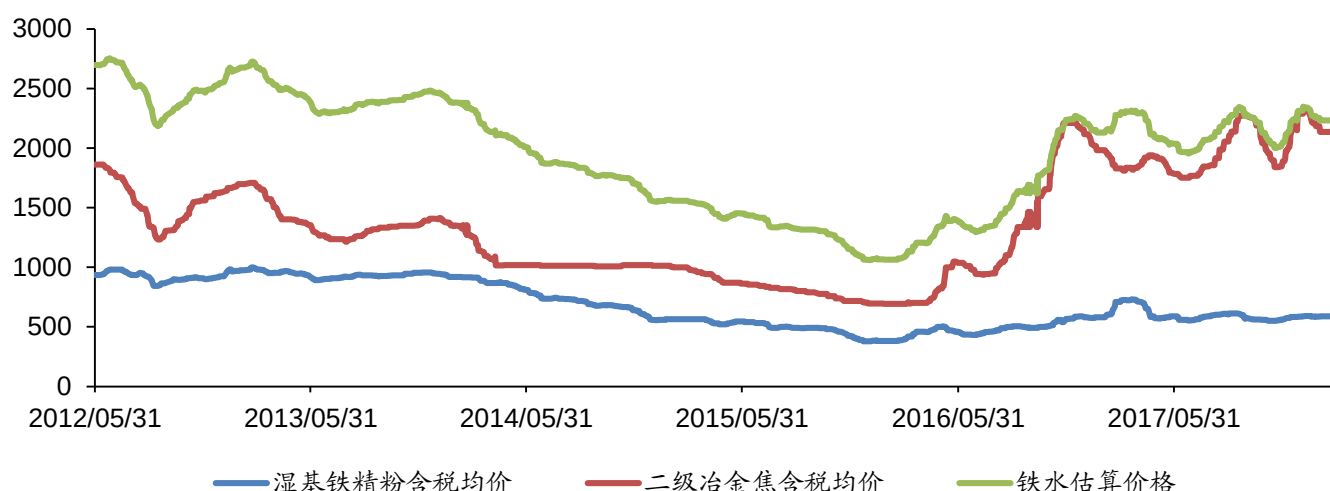
根据上海期货交易所2014年版的《钢铁交易基础知识与市场概况》，钢材的主要成本包括原材料成本及能耗成本；而考虑钢材的冶炼过程及原材料的来源，又可细分成炼铁成本和炼钢成本。由于长流程以高炉铁水为原材料，以此我们首先计算铁水成本，之后再讨论转炉炼钢和电炉炼钢工序的原料成本。

1、铁水成本

根据上海期货交易所2014年版的《钢铁交易基础知识与市场概况》，炼铁工艺的生产成本构成主要为原材料（铁矿石）、辅助材料（石灰石、白云石、耐火材料等）、燃料及动力（焦炭、焦煤、水电）等、直接工资和福利、制造费用以及由煤气、水渣、焦炭筛下物回收带来的成本扣除。根据高炉冶炼原理，生产1吨生铁，需要1.5-2.0吨铁矿石、0.4-0.6吨焦炭和0.2-0.4吨熔剂。

炼铁工艺中影响总成本的主要因素是原材料成本，而包括辅料、燃料、人工费用在内的费用与副产品回收进行冲抵后仅占总成本的10%左右。因此我们可以粗略估计自产生铁成本为： $\text{生铁} = (1.6 \times \text{铁矿石} + 0.5 \times \text{焦炭}) / 0.9$ 。我们分别采用国内铁精粉湿基均价及二级冶金焦含税均价作为两种原材料价格。

图 6：国内铁精粉湿基均价、二级冶金焦含税均价及铁水价格估算值(单位：元/吨)



数据来源：Wind、广发证券发展研究中心

2、粗钢吨钢成本

粗钢吨钢原料成本：目前实际炼钢操作上一般在电炉与转炉流程中均会加入不

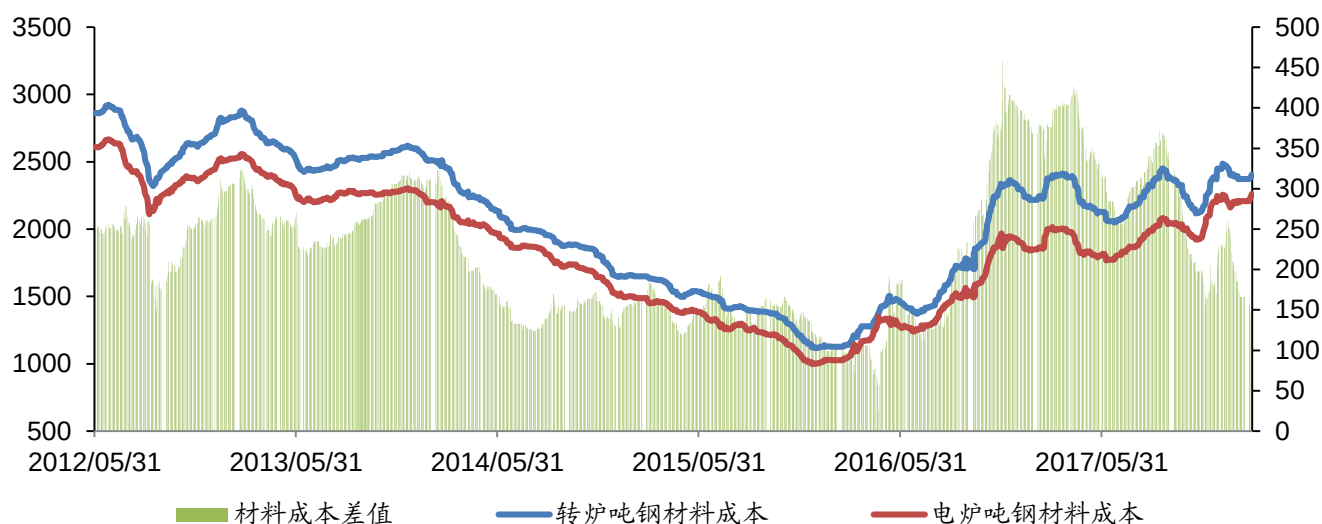
同比例的铁水及废钢。依据中钢协统计的钢铁企业技术经济指标平均值，2016年转炉炼钢废钢料消耗约为64kg/吨，钢铁料消耗约为1061kg/吨，而电炉炼钢中铁水消耗量约为592.10kg/吨，生铁消耗量约为52.90kg/吨，钢铁料消耗约为955kg/吨，金属料消耗（钢铁及合金）约为1123kg/吨。若暂不考虑合金成本和加工、能耗成本，则长流程和短流程炼钢的吨钢原料成本可如下计算：

长流程吨粗钢材料成本=0.997*铁水+0.064*废钢

短流程吨粗钢材料成本=0.592*铁水+0.053*生铁+0.31*废钢

我们以唐山炼钢生铁价格和唐山6-8mm废钢价格以及上文中计算的铁水价格计算得到转炉炼钢和电炉炼钢的粗钢吨钢原料成本。可以观察到，2012年5月31日以来转炉炼钢吨钢原料成本始终高于电炉炼钢，且在2016年底至2017年上半年维持在300元以上的价差高位，之后波动回落，截止至2018年2月27日，转炉与电炉炼钢吨钢原料成本价差为143.27元/吨，仅为2016年12月2日456.73元/吨的最高价差的31%。

图 7：2012 年 6 月以来转炉炼钢吨钢材料成本始终高于电炉炼钢吨钢材料成本（单位：元/吨）



数据来源：Wind、广发证券发展研究中心

考虑能耗与主要耗材的吨钢综合成本：由于目前转炉工序已实现负能炼钢，即炼钢过程中回收煤气和蒸汽能量大于炼钢过程中消耗的水、电、风、气等能量总和，因此可以认为转炉炼钢的能耗费用为零；电炉工序能耗较高，且主要耗材石墨电极价格出现大幅波动，需要综合考虑短流程能耗和主要耗材成本。根据高占彪等人2009年在《炭素技术》期刊上发表的《对电弧炉冶炼中石墨电极消耗及使用的探讨》一文，三相（交流）电弧炉耗电率在390~430kWh/t，石墨电极消耗率在1.2~2.5kg/t。

表9：常用的三相（交流）电弧炉电耗率在390~430kWh/t，石墨电极消耗率在1.2~2.5kg/t

项目	三相（交流）电弧炉	单相（直流）电弧炉	电阻电弧炉
电耗率/(kWh/t)	390~430（平均410）	360~400	360~410
电极消耗率/(kg/t)	1.5~2.5（平均2.0）	1.2~1.7	1.9~2.4

数据来源：《对电弧炉冶炼中石墨电极消耗及使用的探讨》、广发证券发展研究中心

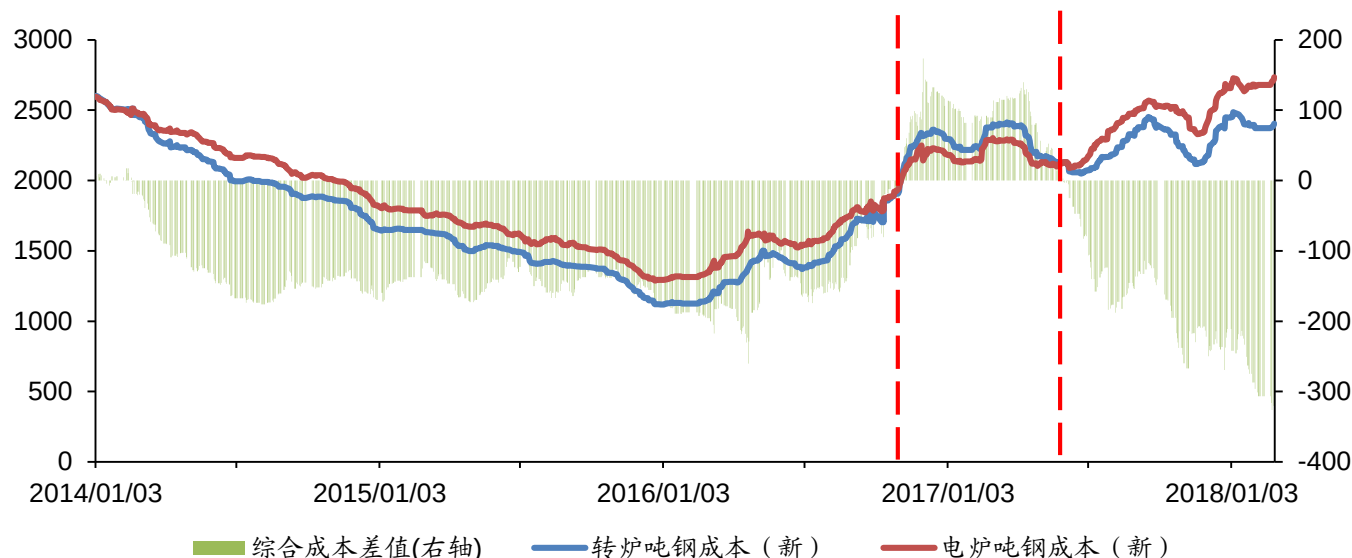
我们综合考虑长流程和短流程能耗与主要耗材费用，得到长流程和短流程的综合成本计算公式如下：

$$\text{长流程吨钢综合成本} = 0.997 \times \text{铁水} + 0.064 \times \text{废钢}$$

$$\text{短流程吨钢综合成本} = 0.592 \times \text{铁水} + 0.053 \times \text{生铁} + 0.31 \times \text{废钢} + 410 \times \text{电价} + 2.0 \times \text{石墨电极价格}$$

可以观察到2014年以来，转炉炼钢成本开始低于电炉炼钢成本且在2014年6月~2016年4月期间，转炉炼钢与电炉炼钢成本差值维持在200元/吨左右波动；2016年4月份起转炉炼钢与电炉炼钢成本差值开始收窄，直至2016年10月转炉炼钢成本开始高于电炉钢，且维持至2017年6月；之后转炉炼钢成本逐渐低于电炉钢且成本差值逐渐扩大。截止2018年2月27日，转炉炼钢与电炉炼钢的综合成本差值为330元/吨。

图 8: 综合考虑能耗以及石墨电极价格，2014~2016 年转炉炼钢成本始终低于电炉炼钢成本，2017 年上半年铁矿石焦炭价格大幅上涨推动转炉炼钢成本高于电炉，2017 年下半年废钢价格上涨致电炉成本高企（单位：元/吨）



数据来源：Wind、广发证券发展研究中心

3、铁水与废钢价差为影响长短流程吨钢成本的核心变量，石墨电极价格自2017年下半年起影响力增强

对应上述长短流程吨钢综合成本测算结果，我们从铁水与废钢价差以及石墨电极价格等两个因素来分析其变化过程。

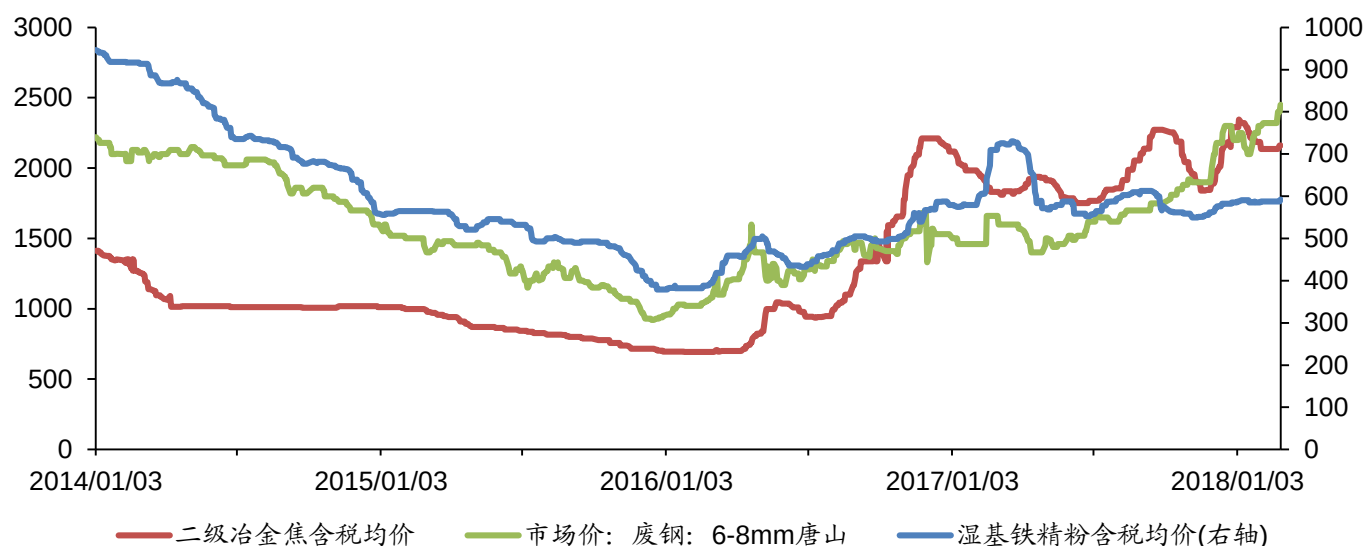
2014~2016年：转炉炼钢成本开始低于电炉炼钢成本，核心原因在于尽管铁水价格始终高于废钢价格，但价差始终维持在0~200元/吨窄幅波动，考虑到电炉工序电耗成本，则转炉炼钢综合成本低于电炉炼钢成本；此时间段500mm高功率石墨电极价格维持15000元/吨左右的低位且价格变化较小，因此对综合成本差值影响较小。

17年上半年：2017年上半年焦炭价格出大幅上涨、铁矿石价格小幅上涨共同推高了铁水成本，且铁水价格涨幅高于废钢价格涨幅，铁水与废钢价差迅速扩大至600

元/吨之上，转炉炼钢与电炉炼钢综合成本差值开始缩小并出现反转，电炉炼钢综合成本开始低于转炉炼钢。

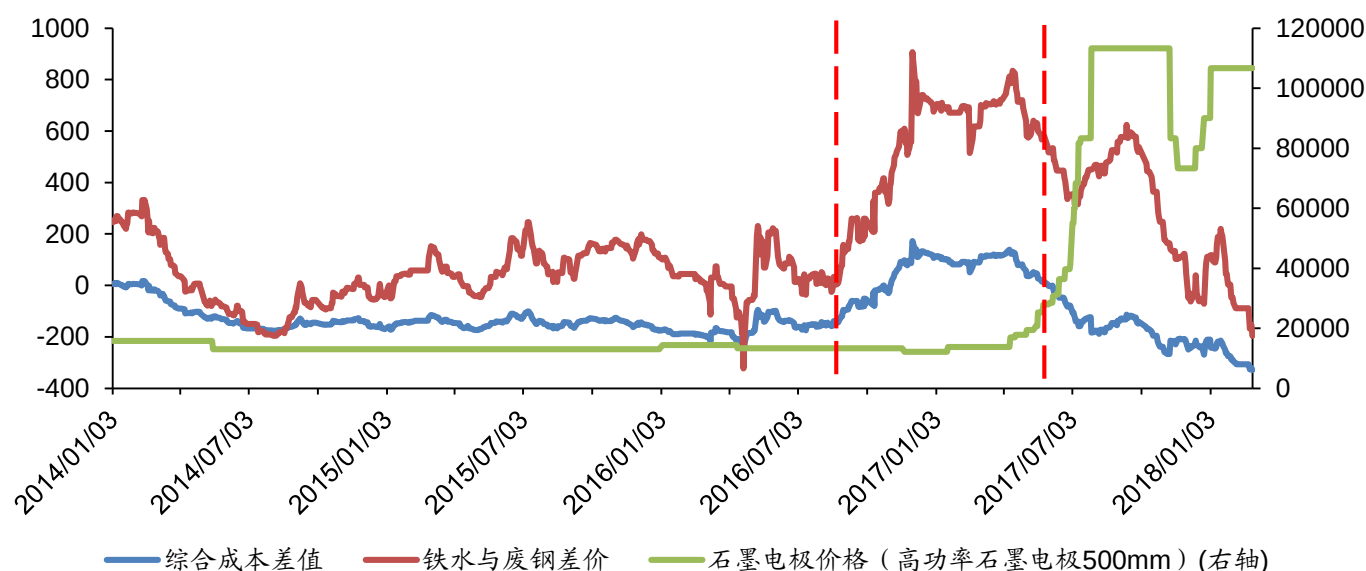
17年下半年：废钢价格进入快速上涨通道，推动电炉炼钢成本逐渐上升；而焦炭价格维持高位波动，铁矿石价格小幅上涨，使得铁水价格涨幅低于废钢价格涨幅，叠加17年6月30日“地条钢”取缔完全出清后部分电弧炉产能投产致石墨电极价格暴涨，电炉炼钢成本开始高于转炉炼钢。

图9：2014年以来铁矿石、焦炭、废钢价格变化情况（单位：元/吨）



数据来源：Wind、广发证券发展研究中心

图10：铁水与废钢价差为影响长短流程吨钢成本的核心变量，石墨电极价格自2017年下半年起影响力增强



数据来源：Wind、广发证券发展研究中心

(二) 建设成本：短流程钢企建设投资、建设周期分别仅为长流程联合企业的 1/2 和 1/4~1/3，短流程钢企吨钢折旧费用更低

1、建设投资与周期：相较于长流程，短流程吨钢投资更低，建设周期更短

短流程钢企建设投资仅为长流程联合企业投资的 1/2。根据徐匡迪等人 2005 年发表在《中国冶金》期刊上的《电炉短流程回顾和发展中的若干问题》一文，从长短流程钢铁企业总体建设投资看，建设高炉-转炉联合企业吨钢投资约 1000~1500 美元/吨，而废钢-电炉短流程吨钢投资约为 500~800 美元/吨，仅为高炉-转炉长流程企业吨钢投资的 1/2；

电弧炉及配套设施的吨钢投资更低。限于数据可得性，我们仅查询到了国内及国外共六家钢企的短流程产线建设及投资情况。若仅从电弧炉及配套设施投资看，其吨钢投资仅为 300~800 元/吨，即 50~120 美元/吨，如中冶东方江苏重工 2016 年开始建设的 Tenova220 吨超高功率电弧炉，其设计粗钢产能为 260 万吨，项目投资为 12 亿元，吨钢投资约 462 元/吨；若从电弧炉及连铸、轧钢产线总投资看，其吨钢投资也未超过 1000 元/吨，如福建省福华轧钢有限公司 2017 年开始建设的 70 吨康迪斯电弧炉以及配套的 LF 精炼、连铸机和高速线材产线，总投资为 3.33 亿元，吨钢投资约 666 元/吨。

表 10：部分电弧炉及其产线的投资情况

钢铁企业		电弧炉及配套设备	建设时间	设计粗钢产能 (万吨)	项目投资 (亿元)	吨钢投资 (元/吨)
仅电弧炉及 配套设施	太钢不锈	新日铁 UHF EAF-90t	2006	70	2.66	380
	北美不锈钢	奥钢联 EAF-90t	2006	90	3.16	351
	江苏重工	Tenova-220t	2016	260	12	462
	桂林平钢	西门子奥钢联 EAF Quantum-120t	2017	120	9.65	804
电弧炉及连 铸轧钢产线	华菱衡阳钢管	达涅利 EAF-100t、LF、 VD、连铸机	2006	100	6.00	600
	福华轧钢	Consteel EAF-70t、LF、 连铸机和高速线材产线	2017	50	3.33	666

数据来源：福建省经济和信息化委员会官网、《2006 年度国内外冶金动态纵览-炼钢》、平乐县官网、广发证券发展研究中心

短流程钢铁企业的建设周期仅为长流程联合企业的 1/4~1/3。根据徐匡迪等人 2005 年发表在《中国冶金》期刊上的《电炉短流程回顾和发展中的若干问题》一文，从长短流程钢铁企业总体的建设周期看，高炉-转炉联合企业建设周期约为 4 年，而废钢-电炉短流程建设周期可以缩短至 1~1.5 年，因此短流程钢铁企业的建设周期仅为长流程联合企业的 1/4~1/3；

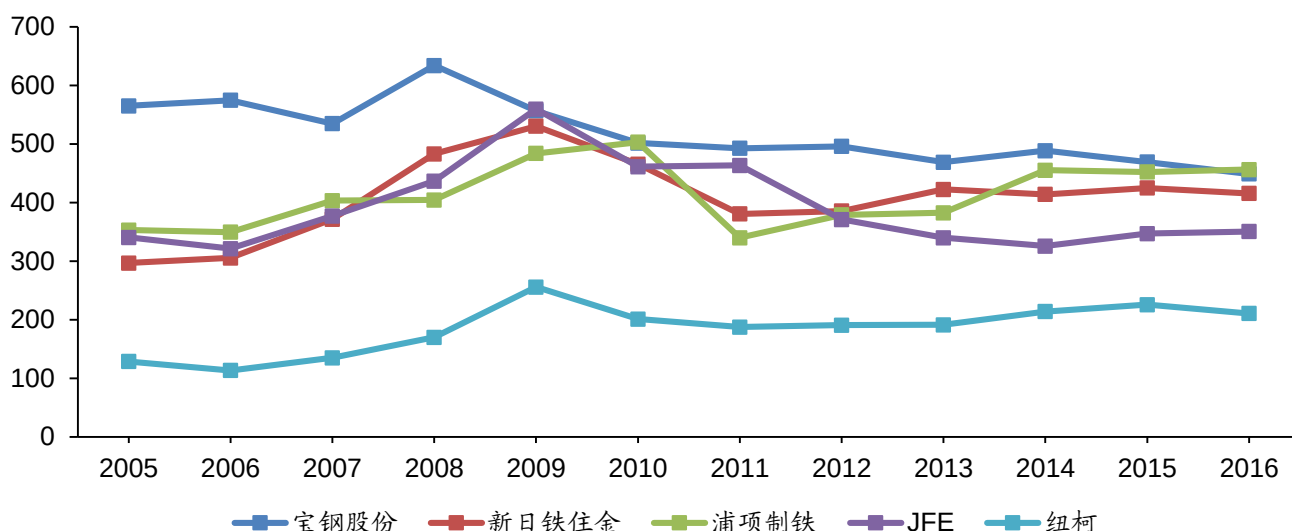
若仅安装电弧炉，建设周期为 6 个月。根据我们于 2017 年 7 月 11 日发布的《“新增电弧炉影响几何”专家会议-下半年新增电炉钢产量或对供给侧冲击较小，继续看好钢铁行业投资机会》专题报告，根据专家介绍，电弧炉产线如果从设计、环评、

基建、安装、调试全部流程下来，快的要一年，慢的要一年半；如果仅安装电炉，时间大概在6个月左右。

2、吨钢折旧：短流程钢企吨钢折旧费用相较于长流程钢企优势明显

根据前文所述，短流程钢企建设投资仅为长流程联合企业投资的1/2，且电弧炉及配套设施的吨钢投资更低，因此短流程钢铁企业的吨钢折旧费用较长流程企业也更低。我们以全球主要短流程钢企——美国纽柯以及以长流程为主的宝钢股份、新日铁住金、浦项制铁和JFE为例进行分析。凭借短流程炼钢的投资优势，美国纽柯吨钢折旧费用自2009年以来稳定在200元/吨左右，2016年仅为210.79元/吨；而长流程国际钢企——宝钢股份2016年吨钢折旧费用为448.83元/吨，浦项制铁为456.25元/吨，新日铁住金为415.73元/吨，JFE为350.56元/吨。短流程为主的美国纽柯吨钢折旧费用仅为长流程国际钢企的1/2左右，可见短流程钢企吨钢折旧费用优势较为明显。

图 11：2016 年短流程钢企美国纽柯吨钢折旧费用仅为长流程国际钢企的 1/2 左右



数据来源：Bloomberg、Wind、广发证券发展研究中心

（三）环保成本：短流程吨钢环保设备投资仅为长流程的 7%~8%，吨钢环保运行成本仅为长流程的 1/8

根据前文所述，钢铁烧结、球团过程排放的颗粒物、氮氧化物和二氧化硫是长流程炼钢主要大气污染物，而二噁英和颗粒物是短流程炼钢的主要大气污染物。对于长流程，采用电除尘+半干法脱硫除尘+中温SCR协同净化工艺或电除尘+活性炭协同治理工艺均可实现颗粒物、氮氧化物和二氧化硫等主要污染物达标排放；而对于短流程，高效除尘器可明显减少二噁英排放，如静电除尘器可达95%以上，袋式除尘器可达99%以上。显然，长流程和短流程主要污染物和处理方式决定了长短流程不同的环保投资和环保运行费用。

1、吨钢环保投资：短流程吨钢环保设备投资仅为长流程的7%~8%

根据我们于2017年12月15日发布的《环保高压下的钢铁专题五：烧结球团排放标准拟提升-环保投资与运行成本大增或致环保落后产能退出，看好钢铁及工业环保行业投资机会》深度报告，长流程采用技术方案1、2进行除尘、脱硫、脱硝的吨钢环保设备投资分别为54.78元/吨和66.80元/吨，而短流程烟气除尘、除二噁英仅需要匹配合适的高效除尘器即可，电除尘吨钢环保设备投资仅为4.58元/吨，仅为长流程烧结球团工序脱硫脱硝吨钢环保设备投资的7~8%。

表 11：技术方案 1、技术方案 2 各功能环节的吨钢环保投资

技术方案		吨钢环保设备投资（元/吨钢）
长流程烧结、球团工序脱硫脱硝	技术方案 1: 电除尘+半干法脱硫除尘+中温 SCR	54.78
	技术方案 2: 电除尘+活性炭协同治理工艺	66.80
短流程烟气除尘 除二噁英	电除尘	4.58

数据来源：《钢铁烧结、球团工业大气污染物排放标准》等 20 项国家污染物排放标准修改单（征求意见稿）、广发证券发展研究中心

2、吨钢环保运行成本：短流程吨钢环保运行成本仅为长流程的1/8左右

根据我们于2017年12月15日发布的《环保高压下的钢铁专题五：烧结球团排放标准拟提升-环保投资与运行成本大增或致环保落后产能退出，看好钢铁及工业环保行业投资机会》深度报告，长流程采用技术方案1、2进行除尘、脱硫、脱硝的吨钢环保运行成本分别为18.74元/吨和17.40元/吨，而短流程烟气除尘、除二噁英的电除尘吨钢环保运行成本仅为1.40~3.09元/吨，平均为2.25元/吨，仅为长流程烧结球团工序脱硫脱硝吨钢环保运行成本的1/8左右。

表 12：技术方案 1、技术方案 2 各功能环节的吨钢环保运行成本

技术方案		功能环节	吨钢环保运行成本(元/吨钢)	合计（元/吨钢）
长流程烧结、球团工序脱硫脱硝	技术方案 1: 电除尘+半干法 脱硫除尘+中温 SCR	循环流化床脱硫	11.34	18.74
		SCR 脱硝	6.00	
		电除尘	1.40	
	技术方案 2: 电除尘+活性炭 协同治理工艺	活性炭协同脱硫脱销	14.31	17.40
		电除尘	3.09	
短流程电弧炉除尘除二噁英	电除尘		1.40~3.09（平均为 2.25）	

数据来源：《钢铁烧结、球团工业大气污染物排放标准》等 20 项国家污染物排放标准修改单（征求意见稿）、广发证券发展研究中心

五、投资建议：环保与经济性突出加速短流程发展，短流程原材料及耗材产业链或受益

（一）短流程与长流程钢种生产差异日益缩小，但短流程环保性与经济性更为突出，海外新建及国内置换短流程炼钢产能方兴未艾

受益于炉外精炼技术的发展，短流程与长流程在可生产钢种的差异性方面逐渐缩小；同时短流程炼钢SO₂、NO_x排放、能耗水平相较于长流程炼钢更为友好，建设投资更低、建设周期更短，环保投资和运行成本更低，因此短流程炼钢的环保性和经济性更为突出；因此海外在建及计划新增电弧炉产能远超高炉-转炉产能，国内产能置换政策也鼓励长流程企业淘汰高炉-转炉产能，置换为短流程产能。海外及国内，短流程炼钢发展方兴未艾。

（二）建议重点关注短流程原材料及耗材产业链投资机会

根据前文所述，2017年海外在建电弧炉产能达3676.2万吨，18~19年计划新建电弧炉产能达8835.5万吨；同时，国内《钢铁行业产能置换实施办法》允许退出转炉建设电炉项目可实施等量置换，官方已宣布的产能置换电弧炉设计产能为3118万吨，淘汰炼钢产能4059万吨。海外及国内新增电弧炉设计产能较大且发展较快，因此建议重点关注短流程上游原材料（如废钢及废钢加工产业链）、耗材（如石墨电极及针状焦产业链）等相关产业链投资机会。

六、风险提示

- 1、宏观经济大幅波动；
- 2、废钢、钢材以及上游原材料价格大幅波动；
- 3、电弧炉、石墨电极、废钢等产业政策发生重大变化。

广发钢铁行业研究小组

- 李莎：首席分析师，清华大学材料科学与工程硕士，2011年进入广发证券发展研究中心。2016年新财富钢铁行业入围、金牛奖钢铁行业第二名，2014年新财富钢铁行业第二名（团队），2013年新财富钢铁行业第三名（团队），2012年新财富钢铁行业第三名（团队），2011年新财富钢铁行业第四名（团队）。
- 陈潇：研究助理，中山大学数量经济学硕士，2016年进入广发证券发展研究中心。2016年新财富钢铁行业入围（团队）、金牛奖钢铁行业第二名（团队），电话 020-87571273。
- 雷文：研究助理，华中科技大学金融学硕士，2017年进入广发证券发展研究中心，电话 020-87578481。
- 刘洋：研究助理，清华大学材料科学与工程硕士，2017年进入广发证券发展研究中心。

广发证券—行业投资评级说明

- 买入：预期未来 12 个月内，股价表现强于大盘 10%以上。
- 持有：预期未来 12 个月内，股价相对大盘的变动幅度介于-10%~+10%。
- 卖出：预期未来 12 个月内，股价表现弱于大盘 10%以上。

广发证券—公司投资评级说明

- 买入：预期未来 12 个月内，股价表现强于大盘 15%以上。
- 谨慎增持：预期未来 12 个月内，股价表现强于大盘 5%-15%。
- 持有：预期未来 12 个月内，股价相对大盘的变动幅度介于-5%~+5%。
- 卖出：预期未来 12 个月内，股价表现弱于大盘 5%以上。

联系我们

	广州市	深圳市	北京市	上海市
地址	广州市天河区林和西路9号耀中广场A座1401	深圳福田区益田路6001号太平金融大厦31层	北京市西城区月坛北街2号月坛大厦18层	上海浦东新区世纪大道8号国金中心一期16层
邮政编码	510620	518000	100045	200120
客服邮箱	gfyf@gf.com.cn			
服务热线				

免责声明

广发证券股份有限公司（以下简称“广发证券”）具备证券投资咨询业务资格。本报告只发送给广发证券重点客户，不对外公开发布，只有接收客户才可以使用，且对于接收客户而言具有相关保密义务。广发证券并不因相关人员通过其他途径收到或阅读本报告而视其为广发证券的客户。本报告的内容、观点或建议并未考虑个别客户的特定状况，不应被视为对特定客户关于特定证券或金融工具的投资建议。本报告发送给某客户是基于该客户被认为有能力独立评估投资风险、独立行使投资决策并独立承担相应风险。

本报告所载资料的来源及观点的出处皆被广发证券股份有限公司认为可靠，但广发证券不对其准确性或完整性做出任何保证。报告内容仅供参考，报告中的信息或所表达观点不构成所涉证券买卖的出价或询价。广发证券不对因使用本报告的内容而引致的损失承担任何责任，除非法律法规有明确规定。客户不应以本报告取代其独立判断或仅根据本报告做出决策。

广发证券可发出其它与本报告所载信息不一致及有不同结论的报告。本报告反映研究人员的不同观点、见解及分析方法，并不代表广发证券或其附属机构的立场。报告所载资料、意见及推测仅反映研究人员于发出本报告当日的判断，可随时更改且不予通告。

本报告旨在发送给广发证券的特定客户及其它专业人士。未经广发证券事先书面许可，任何机构或个人不得以任何形式翻版、复制、刊登、转载和引用，否则由此造成的一切不良后果及法律责任由私自翻版、复制、刊登、转载和引用者承担。