

《钢铁行业节能降碳改造升级实施指南》

中国钢铁工业协会
黄 导

背景

实现“碳达峰”、“碳中和”是党中央、国务院作出的重大战略决策，是推动实现高质量发展的内在要求。

按照《关于严格能效约束推动重点领域节能降碳的若干意见》《关于发布〈高耗能行业重点领域能效标杆水平和基准水平（2021年版）〉的通知》有关部署，为推动各有关方面科学做好重点领域节能降碳改造升级，2022年2月3日国家发展改革委、工业和信息化部、生态环境部、国家能源局四部门联合发布了《高耗能行业重点领域节能降碳改造升级实施指南（2022年版）》，钢铁行业和焦化行业也列入其中。

钢铁行业节能降碳改造升级实施指南

一、基本情况

- 钢铁工业是我国国民经济发展不可替代的基础原材料产业，是建设现代化强国不可或缺的重要支撑。我国钢铁工业以高炉-转炉长流程生产为主，一次能源消耗结构主要为煤炭，节能降碳改造升级潜力较大。

钢铁工业是国民经济发展不可替代的基础原材料产业

□钢铁工业作为国民经济的基础产业，是衡量一个国家综合国力和工业化程度的重要标志，是最硬核的制造业之一。

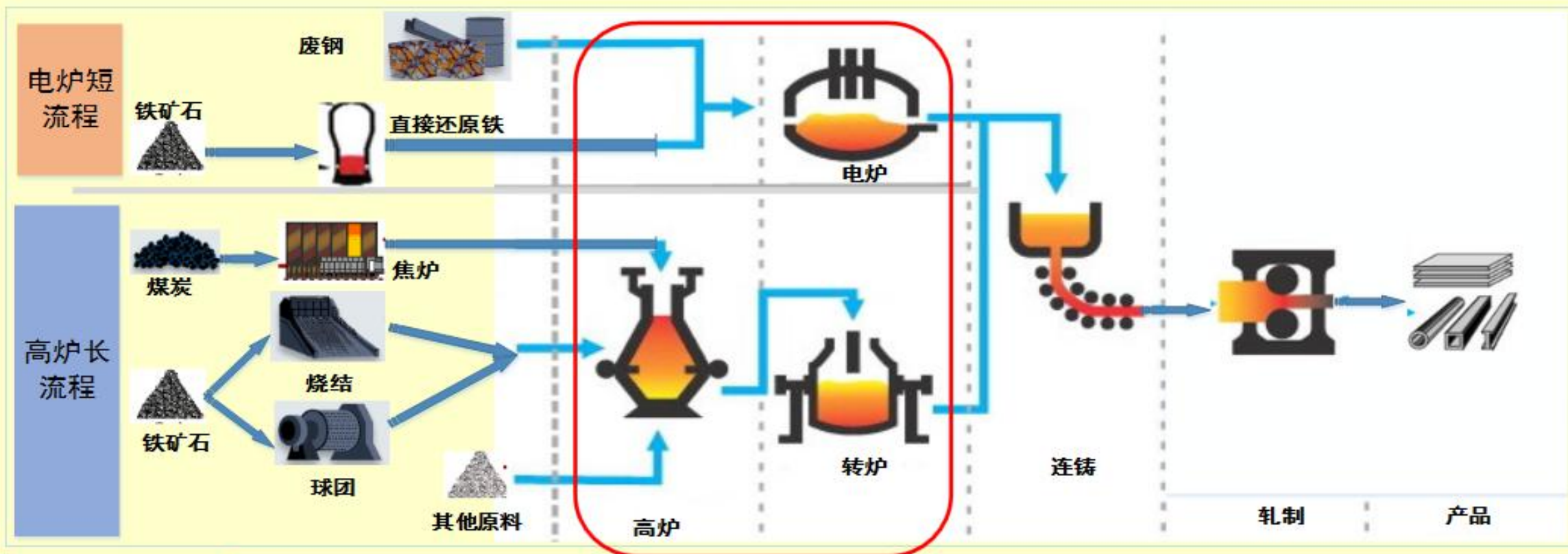
2019-2020年主要钢铁生产国

国家	2020		2019	
	排名	产量	排名	产量
中国	1	1064.8	1	995.4
印度	2	100.3	2	111.4
日本	3	83.2	3	99.3
美国	4	72.7	4	87.8
俄罗斯	5	71.6	5	71.7
韩国	6	67.1	6	71.4
土耳其	7	35.8	8	33.7
德国	8	35.7	7	39.6
巴西	9	31.0	9	32.6
伊朗	10	29.0	10	25.6

□ 重要基础原材料

钢铁是当今世界最具通用性、适用性及经济性的基础材料，钢铁生产原料储量大、分布广，工艺发展历史悠久,材料性质稳定,是历经时间考验的优良材料，在汽车、电工、交通、能源、建筑、石化等行业广泛应用，并可再制造、再利用、再循环，在世界工业化进程中发挥了重要作用，并将继续支撑全球经济发展和人类社会文明进步。

钢铁生产工艺流程



- **长流程生产工艺**：包括由烧结、焦化、炼铁、炼钢以及轧钢等各主要工序组成
- **短流程生产工艺**：主要包括由电炉炼钢、轧钢等主要工序组成；
- **钢铁联合企业（长流程生产企业）** 生产流程大致为铁矿石原料经过烧结、球团处理后，采用高炉生产铁水；铁水预处理后，由转炉炼钢、炉外精炼至合格成分钢水，然后连铸浇铸成钢坯；钢坯经过轧制，生产钢材产品。
- **电炉钢冶炼加工企业（短流程生产企业）**：主要以废钢等为原料，经电炉冶炼后进入连铸和轧钢生产钢材企业。

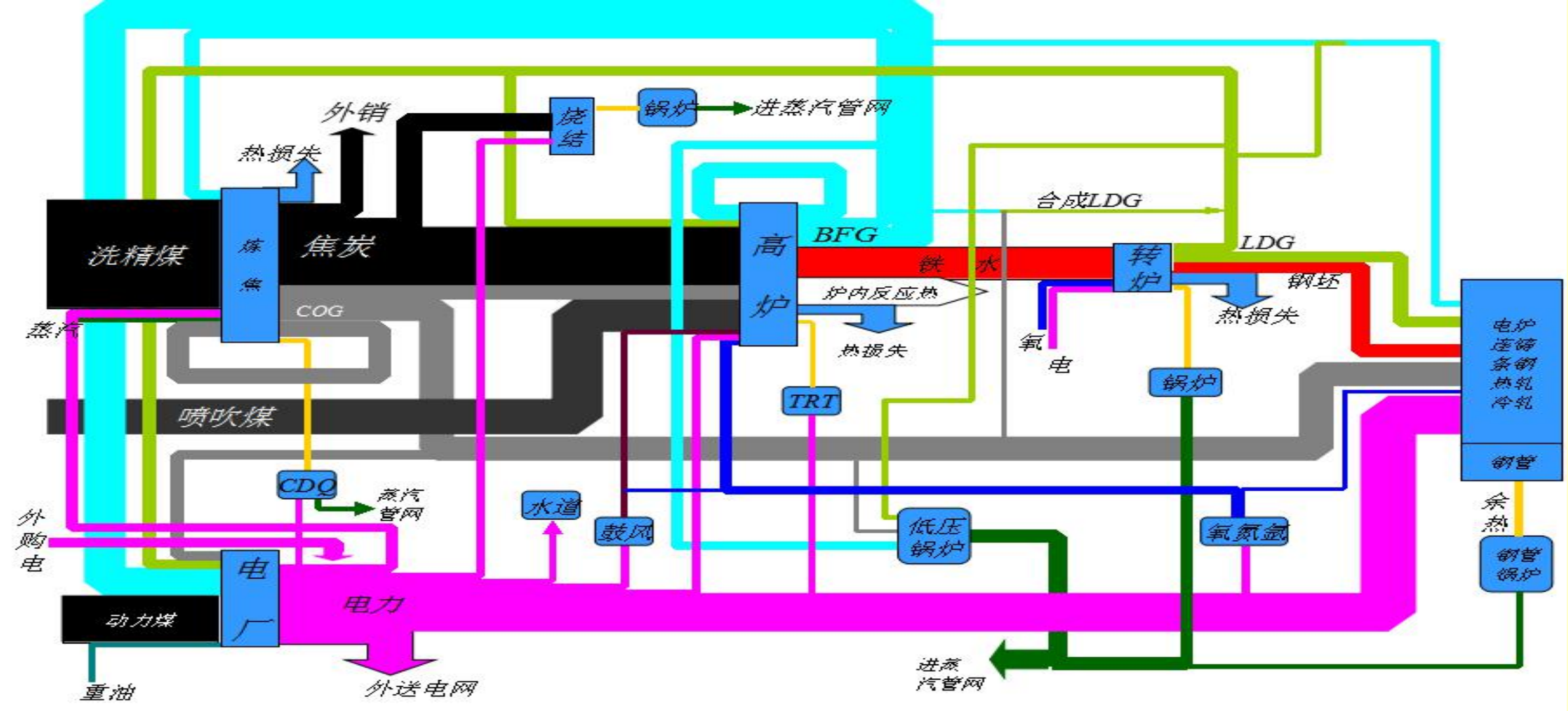
- 我国钢铁工业生产流程以高炉—转炉长流程为主，消耗的能源种类主要为煤炭、电力、石油和天然气，与世界主要产钢国钢铁工业的能源结构相比，我国钢铁工业消耗的煤炭比例偏高，而天然气和燃料油的比重明显低于发达国家。这是我国钢铁工业能源消耗量高的一个先天不利因素。

世界主要产钢国钢铁行业主要能源种类及结构 （单位：%）

	煤炭	石油	天然气	电力
日本	56.40	19.90		23.70
德国	55.80	20.70	8.20	15.30
美国	60.00	7.00	17.00	16.00
中国	69.90	3.20	0.50	26.40

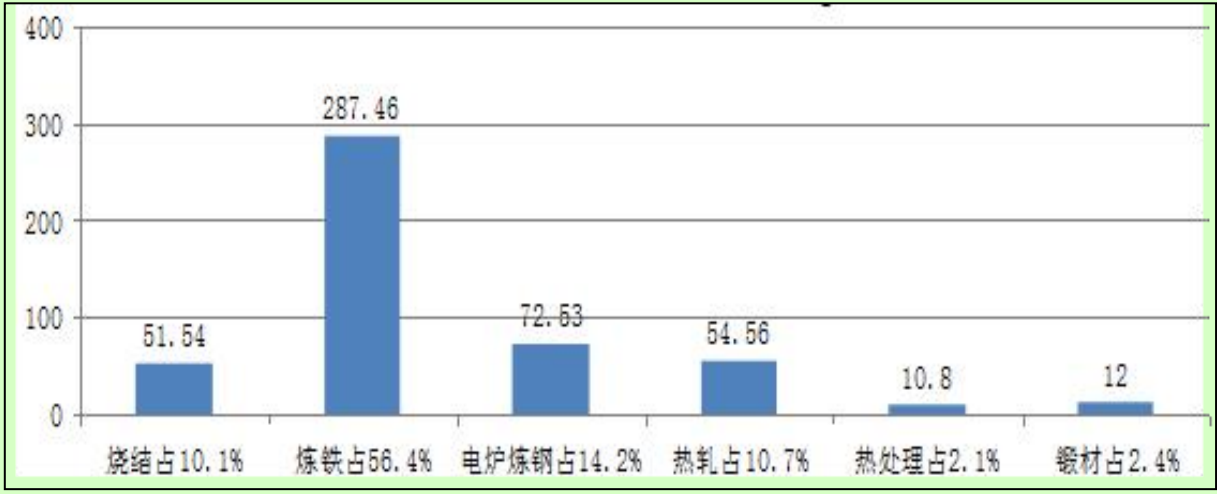
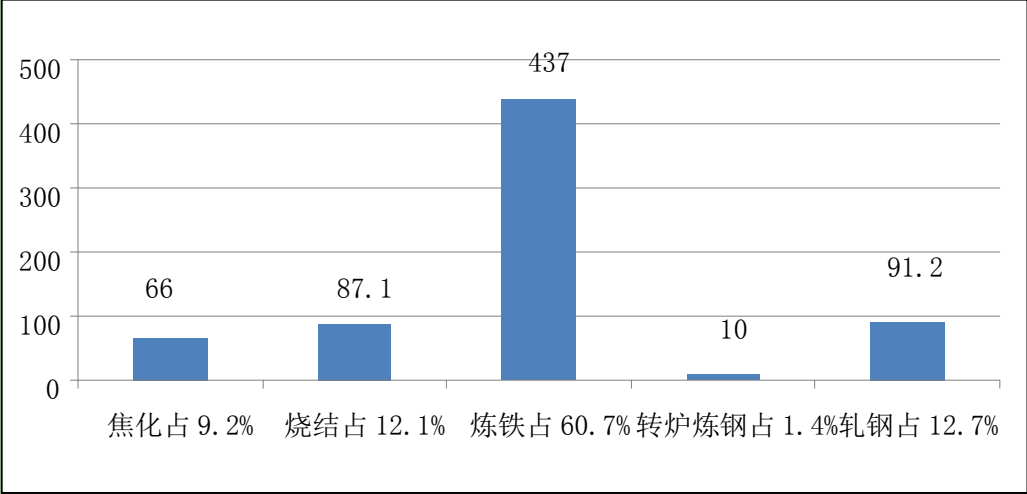
- 世界能源结构以石油、天然气和煤炭等一次能源为主；石油仍是全球主导性燃料，2015年占全球能源消费的32.9%；煤炭占比为29.2%，天然气占比23.8%。而我国“富煤、少气、贫油”的资源禀赋决定了我国以煤为主的能源消费结构。
- 世界主要产钢国钢铁行业煤炭占比均高于50%，远远超过煤炭在该国一次能源中的比重。

钢铁行业能源消费结构分析



钢铁行业能源消费结构分析

- 长流程生产钢铁联合企业能源消耗特点：煤的比重85%以上，电10%左右，其他5%左右；钢铁长流程生产过程中，以国家限额标准限定值为基准的能源消耗为基准，炼铁工序能耗最高，转炉炼钢工序能耗最低，各工序节能重点依次为炼铁、焦化、烧结、轧钢、炼钢。从降低吨钢能耗的占比上，各节能工序依次为炼铁、烧结、焦化、轧钢、炼钢。铁前各工序的吨钢能耗占企业能耗的70%以上。



- 短流程生产企业能源消耗特点：煤的比重15%~60%，电的比重20%~70%，其他15%~20%
- 电炉钢企业特别是在行业重点大、中型企业中，绝大部分企业已变为高炉+电炉的生产方式，电炉配加热铁水是现今电炉钢企业特有的生产工艺流程。

钢铁行业节能降碳改造升级实施指南

一、基本情况

- 根据《高耗能行业重点领域能效标杆水平和基准水平（2021年版）》，高炉工序能效标杆水平为361千克标准煤/吨、基准水平为435千克标准煤/吨；转炉工序能效标杆水平为-30千克标准煤/吨、基准水平为-10千克标准煤/吨；电弧炉冶炼（30吨<公称容量<50吨）能效标杆水平为67千克标准煤/吨、基准水平为86千克标准煤/吨，电弧炉冶炼（公称容量≥50吨）能效标杆水平为61千克标准煤/吨、基准水平为72千克标准煤/吨。

GB21256- 粗钢生产主要工序单位产品能源消耗限额标准

主要工序	限定值(三级)	准入值(二级)	先进值(一级)
	kgce/t产品	kgce/t产品	kgce/t产品
烧结工序	≤ 55	≤ 50	≤ 45
球团工序	≤ 36	≤ 24	≤ 15
高炉工序	≤ 435	≤ 370	≤ 361
转炉工序	≤ -10	≤ -25	≤ -30

粗钢生产主要工序单位产品能源消耗限额标准

GB21256-2013版在先进值取值是以行业已实现的第一名的能耗为先进值，由于粗钢生产主要工序单位产品能耗与装备规模、原燃条件、操作水平等密切相关，第一名实现的能耗值本身就具有一定的个例性；以前10的加权平均值取整为准入值，而Top10往往是先进值取值的依据，因此原标准现在仍具有一定的先进性。

工序名称	标准	限定值 kgce/t	准入值 kgce/t	先进值 kgce/t
烧结工序	GB21256-2007	≤56	≤51	≤47
	GB21256-2013	≤55	≤50	≤45
球团工序	GB21256-2007	/	/	/
	GB21256-修订版	≤36	≤24	≤15
高炉工序	GB21256-2007	≤446	≤417	≤390
	GB21256-修订版	≤435	≤370	≤361
转炉工序	GB21256-2007	≤0	≤-8	≤-20
	GB21256-修订版	≤-10	≤-25	≤-30
电炉工序	GB 32050-2015	公称容量≥50t: ≤ 72	公称容量≥70t: ≤ 64	公称容量≥50t: ≤ 61
		公称容量30~50t: ≤86		公称容量30~50t: ≤67
焦化工序	GB21342-2008	≤155（若使用捣固焦， 为160）	≤125（若使用捣固焦， 为130）	≤115
	GB21342-修订版	≤150（若使用捣固焦炉 为155）	≤122（若使用捣固焦炉 为127）	≤115

钢铁行业节能降碳改造升级实施指南

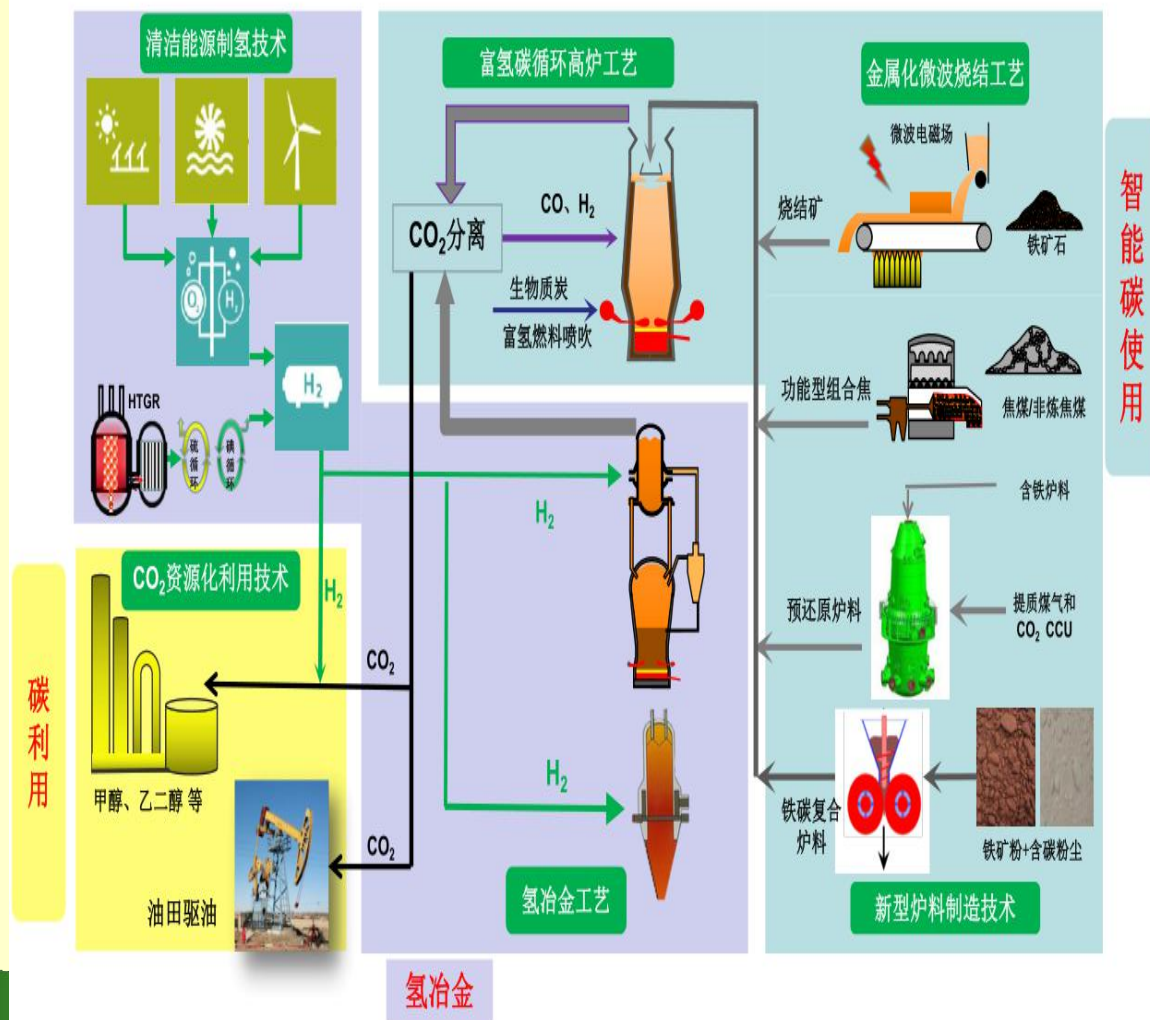
二、工作方向

（一）加强先进技术攻关，培育标杆示范企业。

- 重点围绕副产焦炉煤气或天然气直接还原炼铁、高炉大富氧或富氢冶炼、熔融还原、氢冶炼等低碳前沿技术，加大废钢资源回收利用，加强技术源头整体性的基础理论研究和产业创新发展，开展产业化试点示范。**

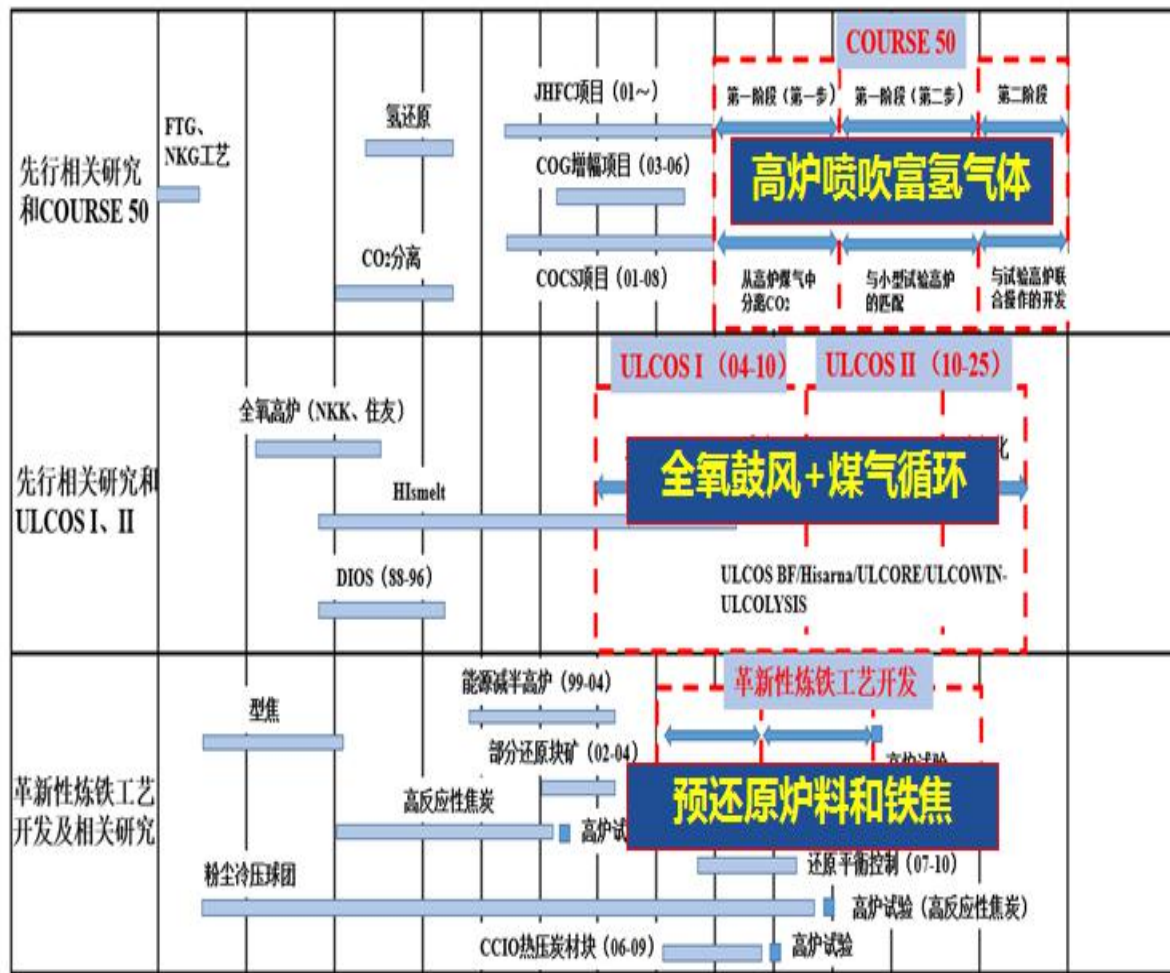
低碳冶金及相关技术创新

低碳冶金技术路径图

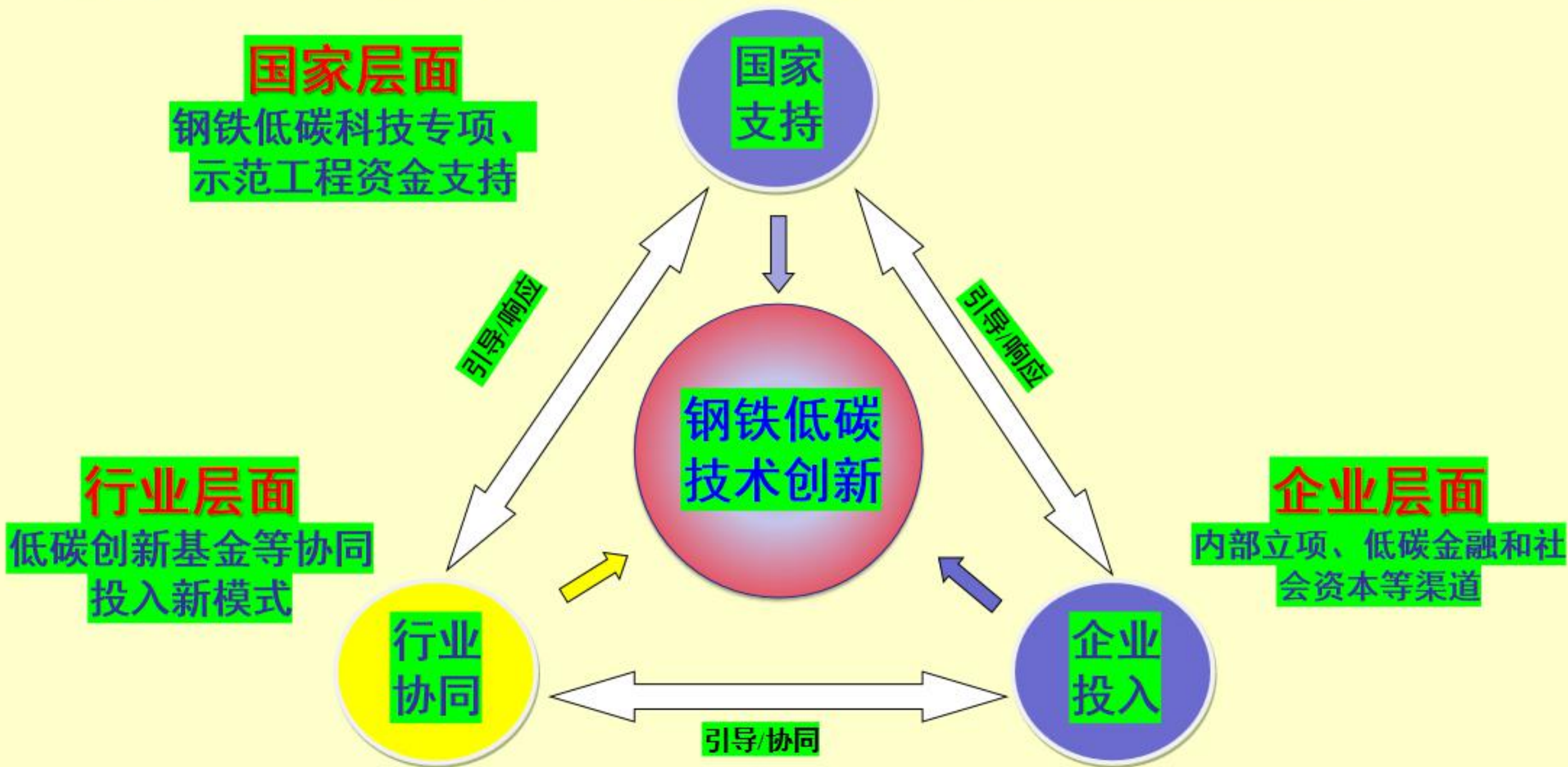


以低碳为目标的新一代炼铁法项目及相关研究总图

1970 1980 1990 1995 2000 2002 2004 2006 2008 2010 2012 2015 2020 2030 2050



加大钢铁低碳技术创新的科研投入



钢铁行业节能降碳改造升级实施指南

二、工作方向

(二) 加快成熟工艺普及推广，有序推动改造升级。

工艺及节能技术		
1	绿色技术工艺	① 烧结烟气内循环; ② 高炉炉顶均压煤气回收; ③ 转炉烟一次烟气干法除尘; ④ 界面技术(一罐到底、铸坯热送热装); ⑤ 薄带铸轧; ⑥ 在线热处理; ⑦ 加大熔剂性球团生产、高炉大比例球团矿冶炼; ⑧ 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; ⑨ 推动能效低、清洁生产水平低、污染物排放强度大的步进式烧结机、球团竖炉等装备逐步改造升级为先进工艺装备; ⑩ 推动独立烧结（球团）和独立热轧等逐步退出。
2	余热余能综合利用	① 重点推动各类低温烟气、冲渣水和循环冷却水等低品位余热回收; ② 推广电炉烟气余热、高参数发电机组提升、低温余热有机朗肯循环（ORC）发电、低温余热多联供等先进技术，通过梯级综合利用实现余热余能资源最大限度回收利用。加大技术创新，鼓励支持电炉、转炉等复杂条件下中高温烟气余热、冶金渣余热高效回收及综合利用工艺技术装备研发应用。

钢铁行业节能降碳改造升级实施指南

二、工作方向

(二) 加快成熟工艺普及推广，有序推动改造升级。

序号	工艺及节能技术	
3	能量系统优化	① 研究应用加热炉、烘烤钢包、钢水钢坯厂内运输等数字化、智能化管控措施，推动钢铁生产过程的大物质流、大能量流协同优化。 ② 全面普及应用能源管控中心，强化能源设备的管理，加强能源计量器具配备和使用，推动企业能源管理数字化、智能化改造。 ③ 推进各类能源介质系统优化、多流耦合微型分布式能源系统、区域能源利用自平衡等技术研究应用。
4	能效管理智能化	进一步推进5G、大数据、人工智能、云计算、互联网等新一代信息技术在能源管理的创新应用，鼓励研究开发能效机理和数据驱动模型，建立设备、系统、工厂三层级能效诊断系统，通过动态可视精细管控实现核心用能设备的智能化管控、生产工艺智能耦合节能降碳、全局层面智能调度优化及管控、能源与环保协同管控，推动能源管理数字化、网络化、智能化发展，提升整体能效水平。

钢铁行业节能降碳改造升级实施指南

二、工作方向

(二) 加快成熟工艺普及推广，有序推动改造升级。

序号	工艺及节能技术	
5	通用公辅设施改造	① 推广应用高效节能电机、水泵、风机产品，提高使用比例。 ② 合理配置电机功率，实现系统节电。提升企业机械化自动化水平。 ③ 开展压缩空气集中群控智慧节能、液压系统伺服控制节能、势能回收等先进技术研究应用。 ④ 鼓励企业充分利用大面积优质屋顶资源，以自建或租赁方式投资建设分布式光伏发电项目，提升企业绿电使用比例。
6	循环经济低碳改造	① 重点推广钢渣微粉生产应用以及含铁含锌尘泥的综合利用，提升资源化利用水平。 ② 鼓励开展钢渣微粉、钢铁渣复合粉技术研发与应用，提高水泥熟料替代率，加大钢渣颗粒透水型高强度沥青路面技术、钢渣固碳技术研发与应用力度，提高钢渣循环经济价值。 ③ 推动钢化联产，依托钢铁企业副产煤气富含的大量氢气和一氧化碳资源，生产高附加值化工产品。 ④ 开展工业炉窑烟气回收及利用二氧化碳技术的示范性应用，推动产业化应用。

高炉节能降耗对标竞赛报表（一）

企业名称：钢铁（集团）有限公司		2021 年	2020 年
高炉炉号		# 高炉	# 高炉
竞赛高炉年累计产量（t）			
高炉有效容积（m ³ ）			
高炉利用系数（t/m ³ d）			1.87
高炉休风率（%）			2.53
入炉矿含铁品位（%）			59.7
高炉工序能耗（kgce/t）			389.7
燃料比（kg/t）			517.4
燃料	入炉焦比（kg/t）		349.26
	小块焦比（kg/t）		20
	喷煤比（kg/t）	153	148.2
煤气消耗	吨铁高炉煤气消耗（kgce/t）	91.11	89.94
	吨铁焦炉煤气消耗（kgce/t）	1.38	1.46
	吨铁转炉煤气消耗（kgce/t）	0	0
吨铁电耗（kWh/t）		48.81	51.04
吨铁氧耗（Nm ³ /t）		67.73	59.22
吨铁风耗（Nm ³ /t）		980	1006

某企业高炉节能降耗措施

新技术应用

1. 喷煤枪使用单管喷枪。
2. 水渣皮带压缩空气吹扫改为冷风。
3. 高炉冲渣水余热高效回收。
4. 热风炉富氧烧炉、停用焦炉煤气。

技改工程

1. 水渣使用酚氰水冲渣。

操作方法改进

1. 护炉操作方法改进。
2. 优化操作保持炉况顺行。

管理措施

1. 加强炉役设备点检维护，避免非计划休风。
2. 细化检维修过程中能耗管控。
3. 完善能耗指标绩效进入班组。

某企业高炉节能降耗措施

新技术应用

1. 高球团比例+全精粉烧结技术。
2. 煤气系统干法布袋除尘+TRT发电。
3. 带前置炉的双预热顶燃式热风炉高温技术。
4. 高炉冲渣水余热高效回收。
5. 炉渣冲制高附加值的矿棉渣

技改工程

1. 炉顶打水控制模式改进。
2. 酚氰水补水冲渣改进。
3. 新增炉顶均压煤气回收系统

操作方法改进

1. 低燃料比操作。
2. 喷吹兰炭粉。

管理措施

1. 推进精细化管理。
2. 制定成本目标管理体系。
3. 制定电机、皮带启停管理办法。

钢铁行业节能降碳改造升级实施指南

三、工作目标

到2025年，钢铁行业炼铁、炼钢工序能效标杆（先进）水平以上产能比例达到30%，能效基准水平以下产能基本清零，行业节能降碳效果显著，绿色低碳发展能力大幅提高。

钢铁减碳主要方向路径技术措施减碳潜力

方向	路径	具体路径(代表性技术措施)	潜力 (达峰期)
结构优化	原料结构	增加废钢等铁素资源高效回收利用量	40~45%
	能源结构	清洁能源与生物质能源替代，富H ₂ 燃料，清洁能源与钢铁煤气余热发电调峰自供	
	工艺结构	逐步优化长短流程比例（鼓励发展电炉短流程）逐步增加球团比例（减少烧结）	
能效提升	界面技术	更高效衔接匹配的界面技术的升级应用	20~25%
	副产煤气等二次能源	提高各类钢铁二次能源利用提升改造 煤气脱碳与脱S脱N等协同高值资源化利用	
	高效电能使用转换	高效电机及电气化改造升级	
低碳突破性 技术创新	氢冶金等低碳技术 非高炉冶炼技术	基于煤气分离循环利用低碳高炉关键技术 氢在钢铁冶炼流程高效利用的关键技术	3~5%
多产业低碳合作	与建材建筑化工机械 农业社会协同	减碳固碳高值资源化利用碳技术 公转铁、清洁燃料运输技术	7~10%
智能制造赋能	5G智能制造管控优化	智能制造技术、大数据优化控制技术	3~5%
绿色低碳钢材消费	研发应用推广低碳高 性能钢材	用钢高效化轻量化减量化技术	6~10%

《焦化行业节能降碳改造升级实施指南》

一、焦化行业节能降碳改造升级工作方向

焦化工序能耗标杆及基准水平，kgce/t产品

重点领域	标杆水平	基准水平	参考标准
顶装焦炉	110	135	GB21342
捣固焦炉	110	140	

注：《高耗能行业重点领域能效标杆水平和基准水平（2021年版）》

截至2020年底，焦化行业能效优于标杆水平的产能约占2%，能效低于基准水平的产能约占40%。

一、焦化行业节能降碳改造升级工作方向

1、加强先进技术攻关，培育标杆示范企业

发挥焦炉煤气富氢特性，**有序推进氢能发展利用**，研究**开展焦炉煤气重整直接还原炼铁工程示范应用**，实现与现代煤化工、冶金、石化等行业的深度产业融合，减少终端排放，促进全产业链节能降碳。

一、焦化行业节能降碳改造升级工作方向

2、加快成熟工艺普及推广，有序推动改造升级

	工艺及节能技术	
1	绿色 技术 工艺	① 重点推动高效蒸馏、热泵等先进节能工艺技术应用。 ② 加快推进焦炉精准加热自动控制技术普及应用，实现焦炉加热燃烧过程温度优化控制，降低加热用煤气消耗。 ③ 加大煤调湿技术研究应用力度，降低对生产工艺影响。
2	余热 余能 回收	① 进一步加大余热余能的回收利用，推广应用干熄焦、上升管余热回收、循环氨水及初冷器余热回收、烟道气余热回收等先进适用技术，研究焦化系统多余热耦合优化
3	能量 系统 优化	① 研究开发焦化工艺流程信息化、智能化技术，建立智能配煤系统。 ② 完善能源管控体系，建设能源管控中心。 ③ 加大自动化、信息化、智能化管控技术在生产组织、能源管理、经营管理中的应用。

一、焦化行业节能降碳改造升级工作方向

2、加快成熟工艺普及推广，有序推动改造升级

序号	工艺及节能技术	
4	循环经济改造	① 推广焦炉煤气脱硫废液提盐、制酸等高效资源化利用技术，解决废弃物污染问题。 ② 利用现有炼焦装备和产能，研究加强焦炉煤气高效综合利用，延伸焦炉煤气利用产业链条，开拓焦炉煤气应用新领域。
5	公辅设施改造	① 提高节能型水泵、永磁电机、永磁调速、开关磁阻电机等高效节能产品使用比例，合理配置电机功率，系统节约电能。 ② 鼓励利用焦化行业的低品质热源用于周边城镇供暖。

二、工作目标

到2025年，焦化行业能效标杆水平以上产能比例超过30%，能效基准水平以下产能基本清零，行业节能降碳效果显著，绿色低碳发展能力大幅提高。

建议：创造节能降碳改造升级的良好市场化机制

➤ 政府有序引导



- ✧ 节能降碳有效监管约束倒逼节能低碳改造
- ✧ 知识产权保护保障低碳技术市场化兑现
- ✧ “揭榜挂帅” 激发低碳科技创新应用活力

➤ 市场有效推动



- ✧ 碳交易体现绿色溢价，引导资源配置
- ✧ 借助绿色金融、绿色债券、绿色股权等方式带动低碳领域产融结合

探索建立低碳共性技术研发应用平台

低碳共性技术研发平台

共建共享
共赢方式



揭榜挂
帅

协同创
新

深度融
合

突破关
键

研发平台
组织原则



需求导
向

强强联
合

风险共
担

成果共
享

低碳钢铁
创新利益
共同体



钢铁企业



中国钢铁工业协会

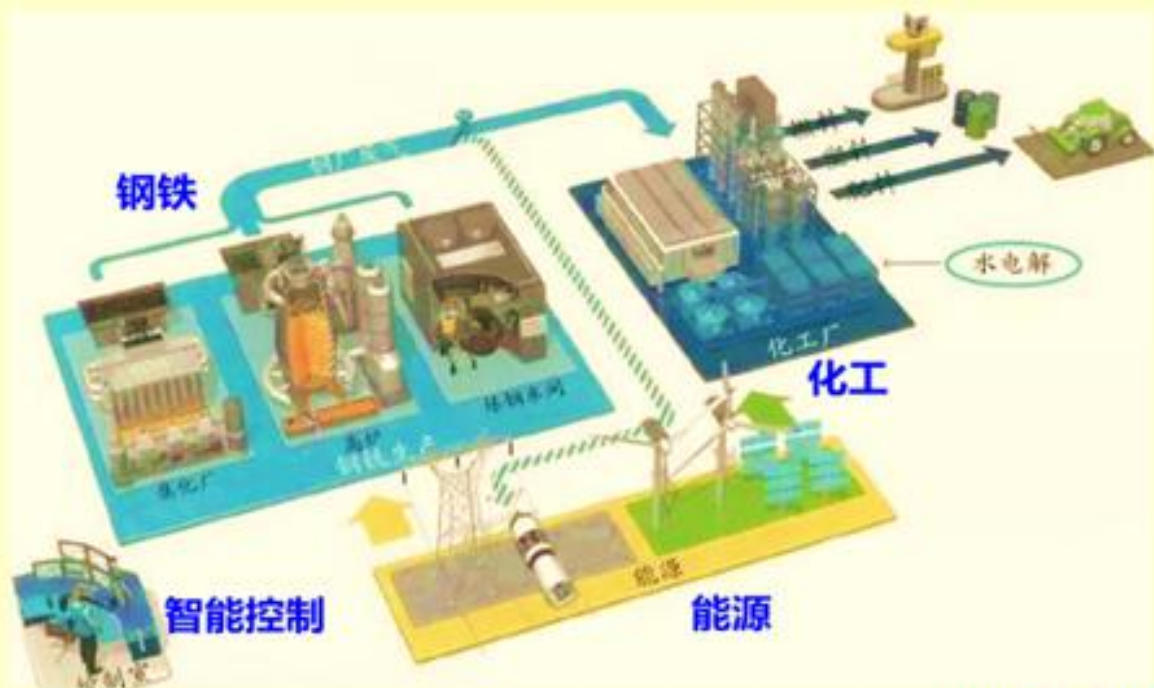


政府部门

- ✧ 行业低碳共性技术协同创新与研发
- ✧ 低碳产业技术创新战略和政策研究
- ✧ 低碳技术转移与成果产业化推广工作
- ✧ 推进低碳共性前沿技术协同创新

建议：强化多产业协同的节能降碳技术合作机制

- ❖ 充分发挥钢铁企业“三大功能”，推进钢化联产，实现冶金炉渣建材化、城市固废资源化、环境治理生态化。
- ❖ 鼓励钢铁行业与化工、石化、建材等行业开展协同降碳，共建钢铁生产绿色化、能源转换低碳化、产城共融循环化的生态圈，实现能源、资源的协同优化。



建议：加强节能降碳技术领域国际交流合作和人才培养

- ✧ 统筹全球节能降碳冶金生态圈资源，搭建信息和资源交流共享的平台。
- ✧ 鼓励钢铁行业积极参与国际节能降碳技术研发合作，推广中国低碳节能技术产品。
- ✧ 建立钢铁行业应对气候变化研究和节能降碳人才培养基地，培育低碳人才队伍。
- ✧ 建立钢铁行业节能降碳领域的专家库，为钢铁行业节能降碳升级改造等方面提供科学咨询和技术支持。



中国钢铁工业节能低碳绿色发展远景展望

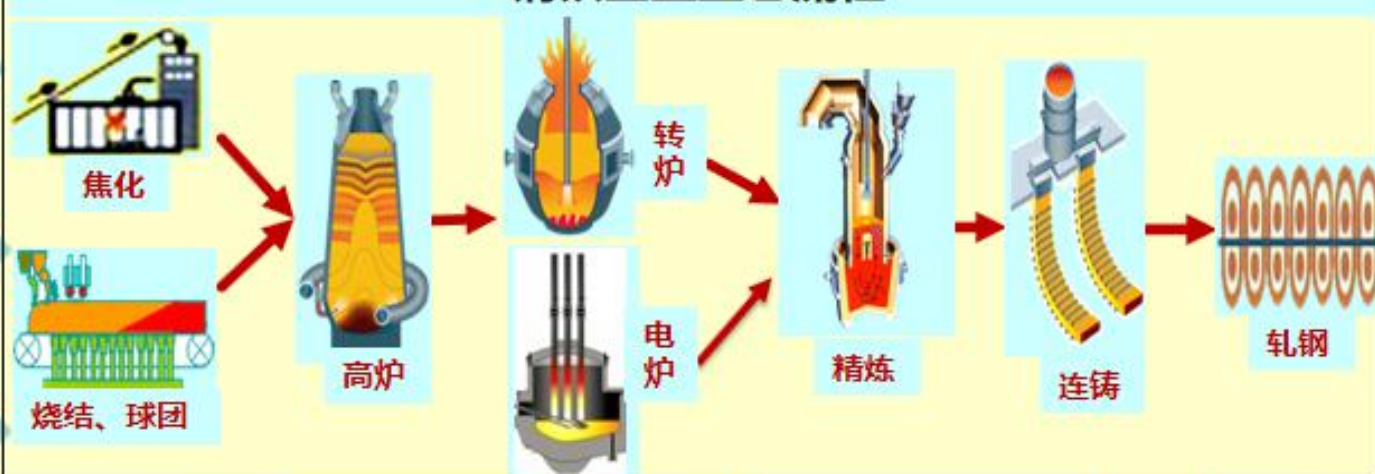


低碳排

工艺紧凑化高效化
生产智能化绿色化



钢铁企业工艺流程



绿色环境

绿色钢材

绿色服务

产品 产品高质化低碳化
物流清洁化便捷化



低消耗

余能高效回收利用

能源

铁素资源高效循环利用

原料

水、气减量化利用

水、气

清洁能源与二次能源
协同利用
废钢与清洁炉料高效
资源利用

废气

低污染

废水

废渣



加强绿色低碳发展和污染治理的协同，挖掘系统性和结构性减排空间

让节能降碳成为推进中国钢铁高质量绿色发展的重要引擎



感谢大家，让我们携手并肩共促钢铁工业绿色低碳高质量发展！

