



“双碳” 目标下的中国钢铁工业

周继程

中国钢研钢铁绿色化智能化技术中心

2021年7月28日 内蒙

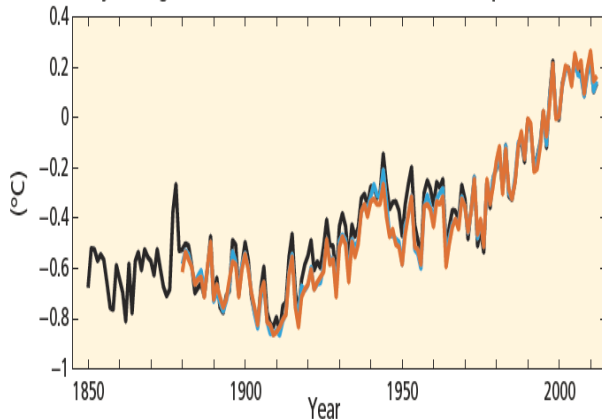
- 一、当前CO₂减排形势
- 二、我国钢铁行业的CO₂排放现状
- 三、我国钢铁工业碳达峰、碳中和的思考
- 四、中国钢研低碳技术开发布局及主要成果
- 五、结语

一、当前CO₂减排形势

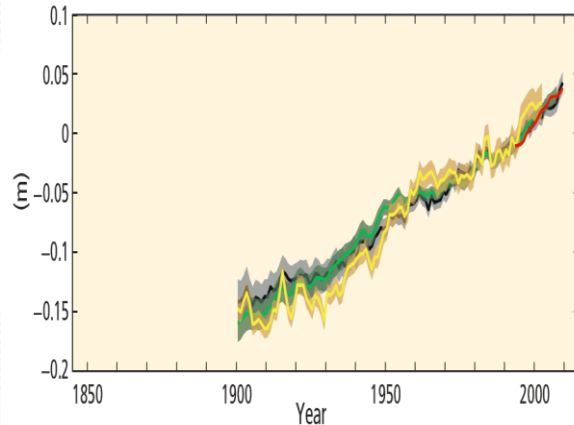
1.1 气候变化的压力

联合国政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 和世界气象组织 (WMO) 认为, 由人类活动造成的温室气体 (特别是CO₂) 的排放是导致全球气候变暖的主要原因, 这一观点已逐渐被各国政府接受, 形成共识。

(a) Globally averaged combined land and ocean surface temperature anomaly



(b) Globally averaged sea level change





一、当前CO₂减排形势

1.1 气候变化的压力

2015年12月12日在巴黎举行的《联合国气候变化框架公约》第二十一届缔约方会议通过了《巴黎协定》：把全球平均气温升幅控制在工业化前水平以上低于2°C之内（2065-2070碳中和），并努力将气温升幅限制在工业化前水平以上1.5°C之内，以降低气候变化所引起的风险与影响。

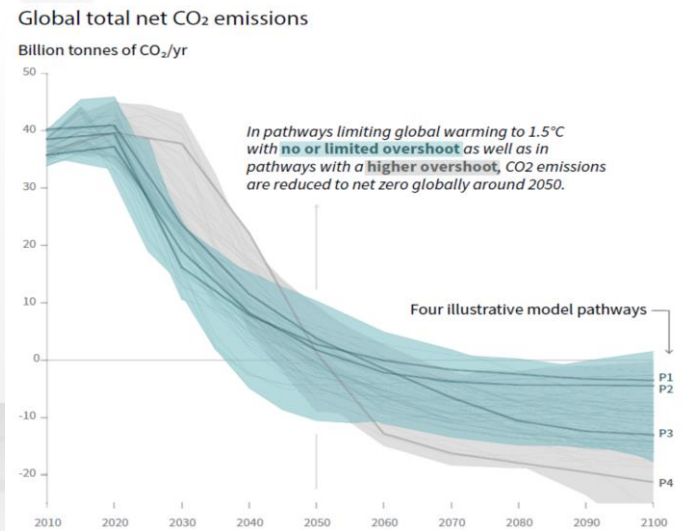
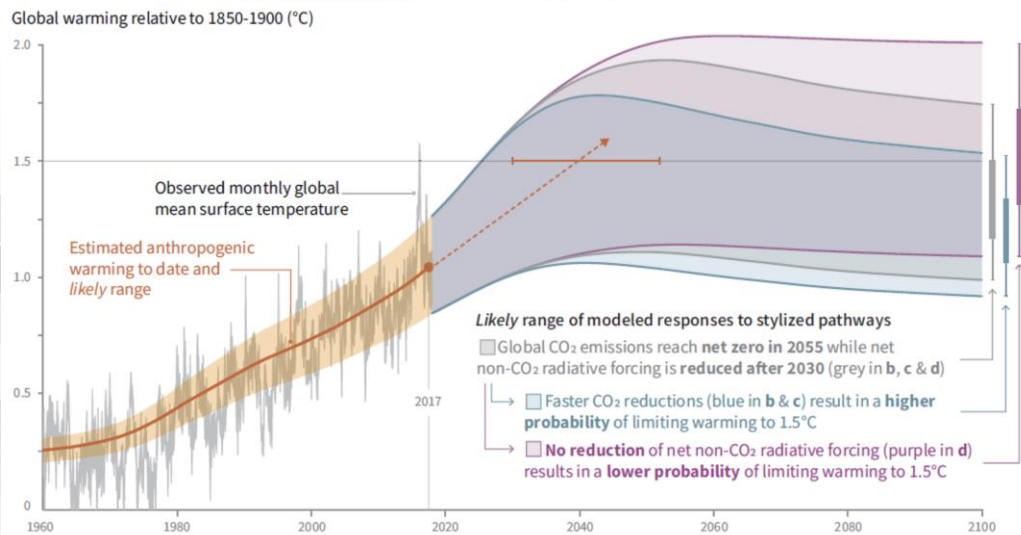




一、当前CO₂减排形势

1.1 气候变化的压力

《IPCC全球升温1.5°C特别报告》：将全球变暖限制在1.5°C需要在土地、能源、工业、建筑、交通和城市方面进行“快速而深远的”转型。到2030年，全球二氧化碳排放量需要比2010年的水平下降约45%，到2050年左右达到“净零”排放。



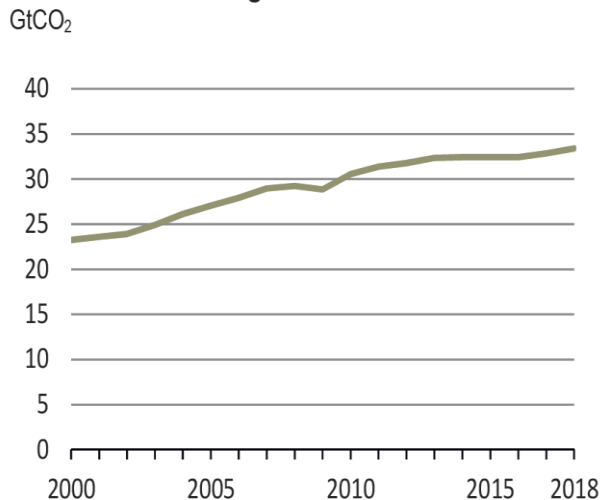


一、当前CO₂减排形势

1.2 全球由化石燃料燃烧产生的CO₂排放总量持续增长

60%

Figure 1. CO₂ emissions from fuel combustion: global trend



Source: values up to 2017 for World and 2018 for OECD are based on IEA (2019) CO₂ emissions from fuel combustion. The 2018 value for World is based on IEA (March 2019) Global Energy & CO₂ Status Report (<https://www.iea.org/geco/>).

World
Key indicators

205亿吨

328亿吨

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2017	%change 90-17
CO ₂ fuel combustion (MtCO ₂)	20521.1	21 387.2	23 239.8	27 074.8	30 571.4	32 430.9	32 839.9	60%
Share of World CO ₂ from fuel combustion	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
TPES (PJ)	367002	385 904	419 743	480 637	538 009	570 694	584 990	59%
GDP (billion 2010 USD)	37951.2	42 218.4	50 021.6	58 160.3	66 114.4	75 858.8	80 078.9	111%
GDP PPP (billion 2010 USD)	46097.5	51 513.0	61 778.6	74 409.7	89 251.2	106 129.7	113 555.3	146%
Population (millions)	5285.8	5 711.7	6 117.0	6 514.3	6 925.4	7 347.4	7 518.8	42%
CO ₂ / TPES (tCO ₂ per TJ)	55.9	55.4	55.4	56.3	56.8	56.8	56.1	0%
CO ₂ / GDP (kgCO ₂ per 2010 USD)	0.54	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	-24%
CO ₂ / GDP PPP (kgCO ₂ per 2010 USD)	0.45	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	-35%
CO ₂ / population (tCO ₂ per capita)	3.9	3.7	3.8	4.2	4.4	4.4	4.4	13%
Share of electricity output from fossil fuels	64%	62%	65%	67%	68%	67%	65%	
CO ₂ / kWh of electricity (gCO ₂ /kWh)	532	533	537	541	528	505	485	-9%
CO ₂ emissions and drivers - Kaya decomposition (1990=100) ¹								
CO ₂ emissions index	100	104	113	132	149	158	160	60%
Population index	100	108	116	123	131	139	142	42%
GDP PPP per population index	100	103	116	131	148	166	173	73%
Energy intensity index - TPES / GDP PPP	100	94	85	81	76	68	65	-35%
Carbon intensity index - CO ₂ / TPES	100	99	99	101	102	102	100	0%

1. Please see the chapter Indicator sources and methods for methodological notes. Based on GDP in 2010 USD, using purchasing power parities.



一、当前CO₂减排形势

1.2 全球由化石燃料燃烧产生的CO₂排放总量持续增长

338%

China (incl. Hong Kong, China)
Key indicators

21亿吨

93亿吨

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2017	%change 90-17
CO ₂ fuel combustion (MtCO ₂)	2122.2	2 936.8	3 140.0	5 448.9	7 874.7	9 145.3	9 302.0	338%
Share of World CO ₂ from fuel combustion	10%	14%	14%	20%	26%	28%	28%	
TPES (PJ)	36938	44 172	47 875	75 111	106 758	125 874	128 847	249%
GDP (billion 2010 USD)	933.7	1 613.8	2 390.5	3 758.5	6 329.3	9 172.7	10 441.4	1018%
GDP PPP (billion 2010 USD)	1848.5	3 222.0	4 800.3	7 578.9	12 816.1	18 613.8	21 200.6	1047%
Population (millions)	1140.9	1 211.0	1 269.3	1 310.5	1 344.7	1 378.5	1 393.8	22%
CO ₂ / TPES (tCO ₂ per TJ)	57.5	66.5	65.6	72.5	73.8	72.7	72.2	26%
CO ₂ / GDP (kgCO ₂ per 2010 USD)	2.27	1.8	1.3	1.5	1.2	1.0	0.9	-61%
CO ₂ / GDP PPP (kgCO ₂ per 2010 USD)	1.15	0.9	0.7	0.7	0.6	0.5	0.4	-62%
CO ₂ / population (tCO ₂ per capita)	1.9	2.4	2.5	4.2	5.9	6.6	6.7	259%
Share of electricity output from fossil fuels	81%	80%	83%	82%	80%	73%	71%	
CO ₂ / kWh of electricity (gCO ₂ /kWh)	911	918	893	846	749	651	623	-32%
CO₂ emissions and drivers - Kaya decomposition (1990=100) ¹								
CO ₂ emissions index	100	138	148	257	371	431	438	338%
Population index	100	106	111	115	118	121	122	22%
GDP PPP per population index	100	164	233	357	588	833	939	839%
Energy intensity index - TPES / GDP PPP	100	69	50	50	42	34	30	-70%
Carbon intensity index - CO ₂ / TPES	100	116	114	126	128	126	126	26%

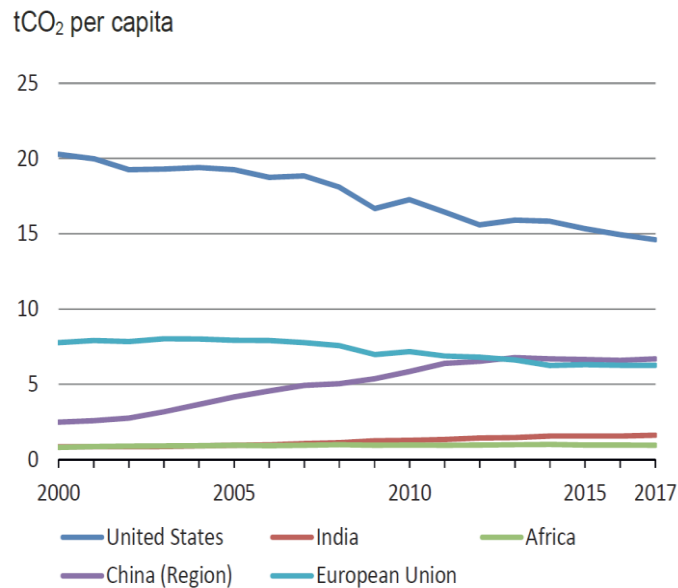
1. Please see the chapter *Indicator sources and methods* for methodological notes. Based on GDP in 2010 USD, using purchasing power parities.



一、当前CO₂减排形势

1.3 CO₂排放强度指标的压力

Figure 11. Per capita CO₂ emissions
in selected regions



来源: IEA

1971~2017年主要区域人均CO₂排放量的变化

年份	世界平均	美国	中国	欧盟	印度	非洲
1971	3.71	20.65	0.93	-	0.32	0.67
1990	3.88	19.20	1.86	8.42	0.61	0.84
2000	3.80	20.29	2.47	7.77	0.84	0.81
2010	4.41	17.28	5.86	7.17	1.29	0.97
2017	4.37	14.61	6.67	6.26	1.61	0.95



一、当前CO₂减排形势

随着我国经济的快速发展和生活水平的提高，中国二氧化碳排放总量已位于世界前列，人均二氧化碳排放已超过世界平均水平，因而面临着来自国际上的巨大压力。

节能、控煤、减碳、循环是实现绿色、和谐发展的重要标志。

面对减排、减碳压力，低碳发展已经是必须认真对待的十分紧迫的问题。



一、当前CO₂减排形势

1.4 我国政府关于CO₂减排的承诺

时间	2009年5月	2015年6月	2016年3月	2016年9月	2020年9月	2020年11~12月
我国政府承诺	2020年单位GDP碳排放相比2005年下降40%-45%	2030年CO ₂ 排放达到峰值并争取尽早实现	“十三五”期间单位GDP的CO ₂ 排放量下降18%	到2030年单位GDP CO ₂ 排放，比2005下降60%-65%，2030年前CO ₂ 排放达到峰值	CO ₂ 排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和。	到2030年单位GDP CO ₂ 排放，比2005下降65%以上，非化石能源占一次能源消费比重将达到25%左右。
相关文件	“落实巴厘路线图——中国政府关于哥本哈根气候会议立场”	“中国向IPCC提交中国国家自主决定贡献文件”	“十三五”规划纲要	人大常委会批准中国加入《巴黎气候变化协定》	第七十五届联合国大会	《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》
工业领域	● 2016年10月，国务院《“十三五”控制温室气体排放工作方案》，到2020年力争部分重化工业率先达峰，全国碳排放权交易市场启动运行。 ● 2016年7月，工业和信息化部《工业绿色发展规划（2016-2020年）》，明确提出2020年单位工业增加值二氧化碳排放要比2015年下降22%，绿色低碳能源占工业能源消费量比重达到15%。 ● 2020年12月28日，工信部部长肖亚庆在2021年全国工业和信息化工作会议上强调，坚决压缩粗钢产量，确保粗钢产量同比下降。 ● 2021年工信部今年将实施工业低碳行动和绿色制造工程，并制定钢铁、水泥等重点行业碳达峰行动方案和路线图。 ● 中国钢铁工业协会拟成立“中国钢铁工业协会低碳工作推进委员会”。					

一、当前CO₂减排形势 —— 碳达峰、碳中和

- 2015年12月12日, 《巴黎协定》, 中国承诺将于2030年左右使二氧化碳排放达到峰值并争取尽早实现。
- 2020年9月22日, 在第75届联合国大会期间, 习近平总书记代表中国提出将提高国家自主贡献力度, 采取更加有力的政策和措施, 二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值, 努力争取2060年前实现碳中和。





一、当前CO₂减排形势 —— 碳达峰、碳中和

碳中和是全经济部门、全部温室气体的中和

从2020年到2060年，要实现从能源相关的CO₂排放达峰到全部温室气体的中和。

碳中和更多的是战略问题：

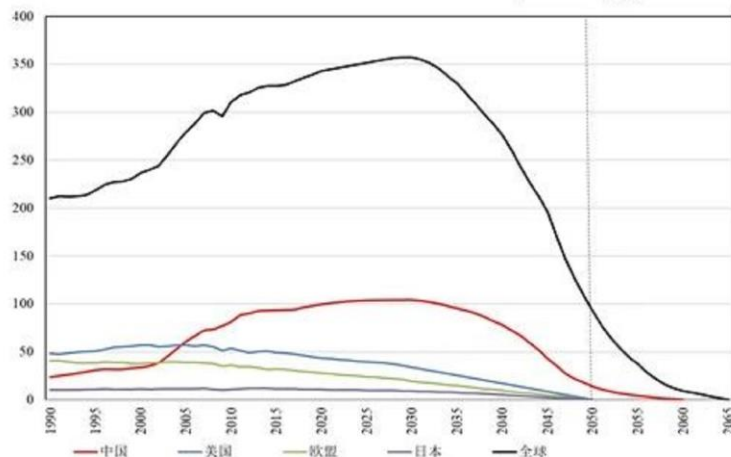
- **碳中和战略不是就低碳谈低碳，而是致力于建设公平繁荣的社会、富有竞争力的低碳经济；**
- **以碳排放总量控制为抓手推动能源体系和技术体系的转型；**
- **碳中和战略是社会经济发展战略，经济政策是实现碳中和战略的重要组成部分。**



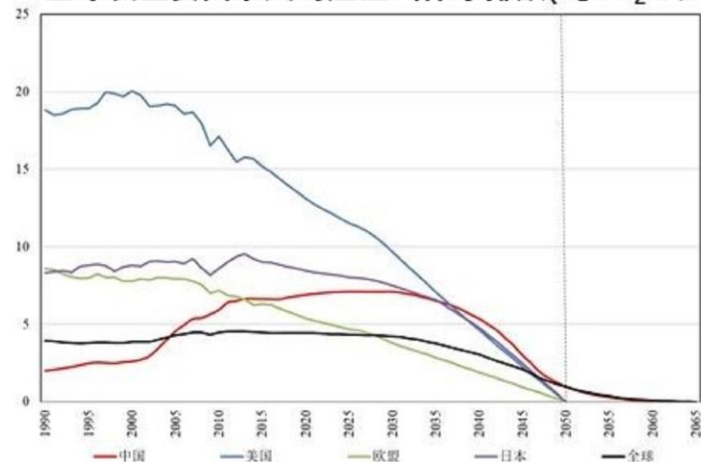
一、当前CO₂减排形势 —— 碳达峰、碳中和

- 实现长期碳中和目标，所有国家都要做出巨大努力，发展中国家将面临更大挑战。中国2060年实现碳中和，需比发达国家2050年碳中和付出更大努力。

全球及主要国家温室气体净排放(吨CO₂e)



全球及主要国家人均温室气体净排放(吨CO₂e/人)



- 欧、美从碳达峰到碳中和，有50~70年过渡期，中国只有30年，2030~2050年中国年减排率平均将达8~10%，远超发达国家减排的速度和力度。

一、当前CO₂减排形势——碳边境调节机制、碳边境税

碳边界调整机制，简称CBAM，由欧盟委员会提出，旨在避免自身气候政策的有效性因碳泄漏而受到破坏。

碳边界调整机制是欧盟委员会《欧洲绿色协议》的核心，其目的在于保护那些被要求减少“碳足迹”（Carbon Footprint）的欧洲企业，免受欧洲大陆以外“碳倾销”的影响。

中国对欧洲的钢铁出口属于可能被欧盟加征碳边境税的产品之列！

一、当前CO₂减排形势——碳边境调节机制、碳边境税

我国钢铁行业具有明显的高耗能和高碳排放的特点，因此一旦开始征收碳边境税（**碳关税**），会对我国钢铁行业及其产品的出口产生很大的影响。

就短期而言，碳关税实施后，低碳技术成本和碳标签等相关低碳成本的增加都将提高我国钢铁出口产品的成本，从而抑制我国出口贸易，使贸易条件恶化。

就长期而言，碳关税实施后，我国钢铁行业/企业会采取措施积极应对，加强技术改革创新，反而会促进我国钢铁行业低碳技术的形成，从而一定程度上改善贸易条件。

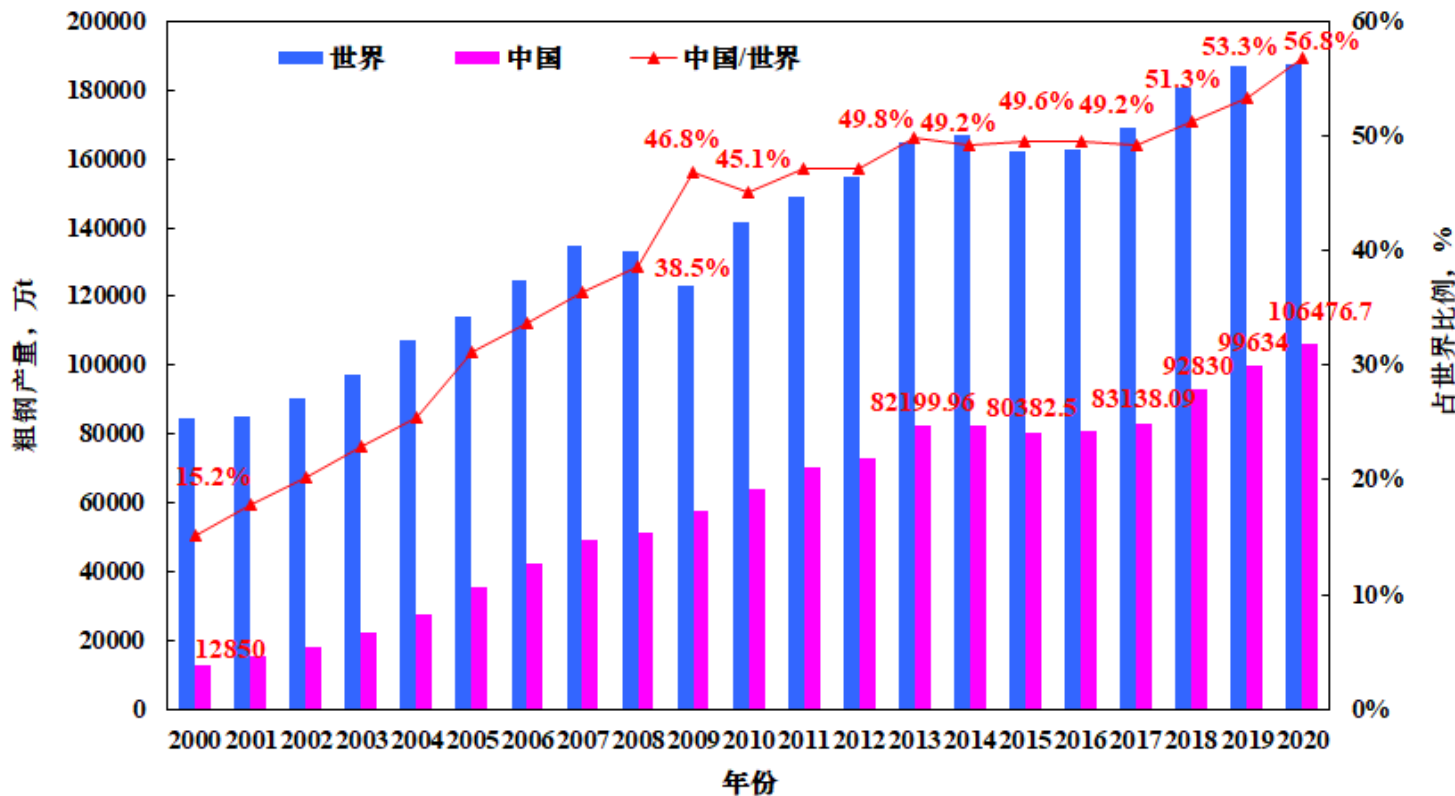
一、当前CO₂减排形势——碳边境调节机制、碳边境税

实施碳边境税的有利影响主要有：

- 1、推动技术创新发展，优化产品出口结构，加强高附加值产品研发力度；
- 2、建立并积极实行国内低碳标准，优化产能结构，淘汰不达标的企业；
- 3、推进清洁低碳能源革命，加强新能源领域国际合作；
- 4、加快工艺流程结构调整，加大节能减排力度，推动钢铁行业低碳循环经济发展。

二、我国钢铁行业的CO₂排放现状

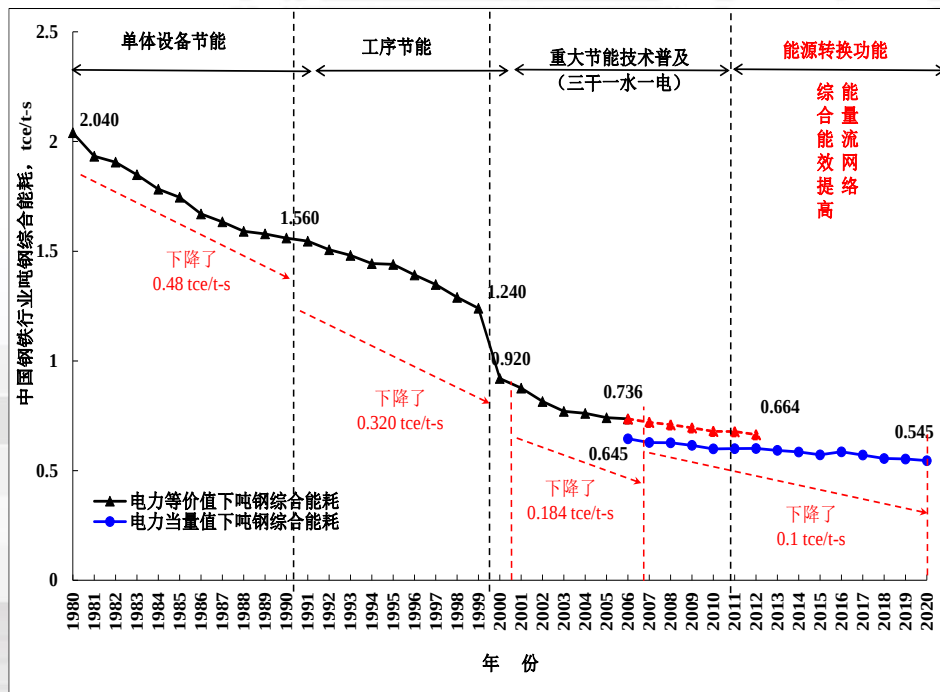
中国粗钢产量从1996年突破1亿t后,连续25年保持世界第一,2020年世界中国粗钢产量为10.65亿,约占全世界56.8%。



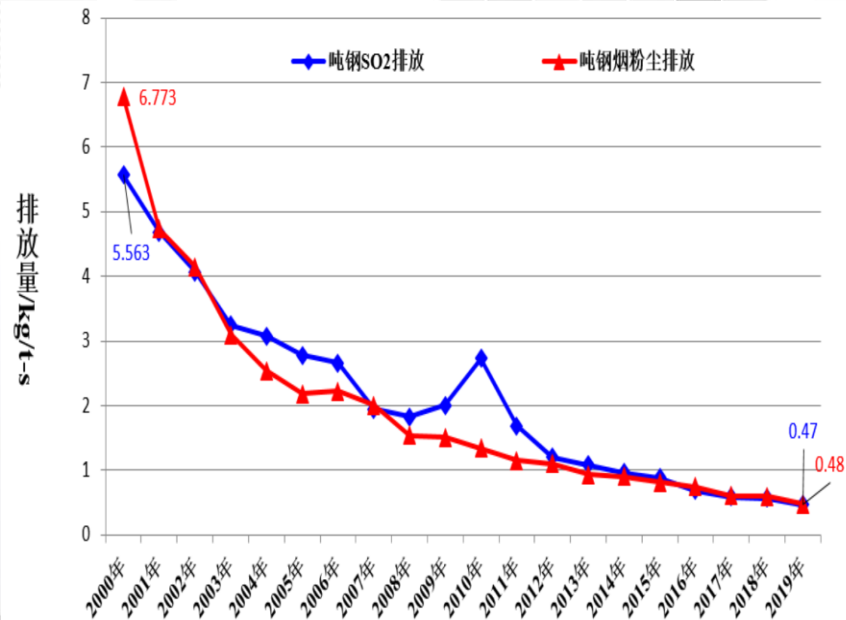
2000~2020年中国粗钢产量与粗钢产量的变化

二、我国钢铁行业的CO₂排放现状

中国钢铁工业的绿色化发展进程：节能-减排-脱碳



1980~2020年我国钢铁工业吨钢能耗的变化



2000~2019年中国重点钢铁企业吨钢SO₂和烟粉尘排放量的变化

二、我国钢铁行业的CO₂排放现状

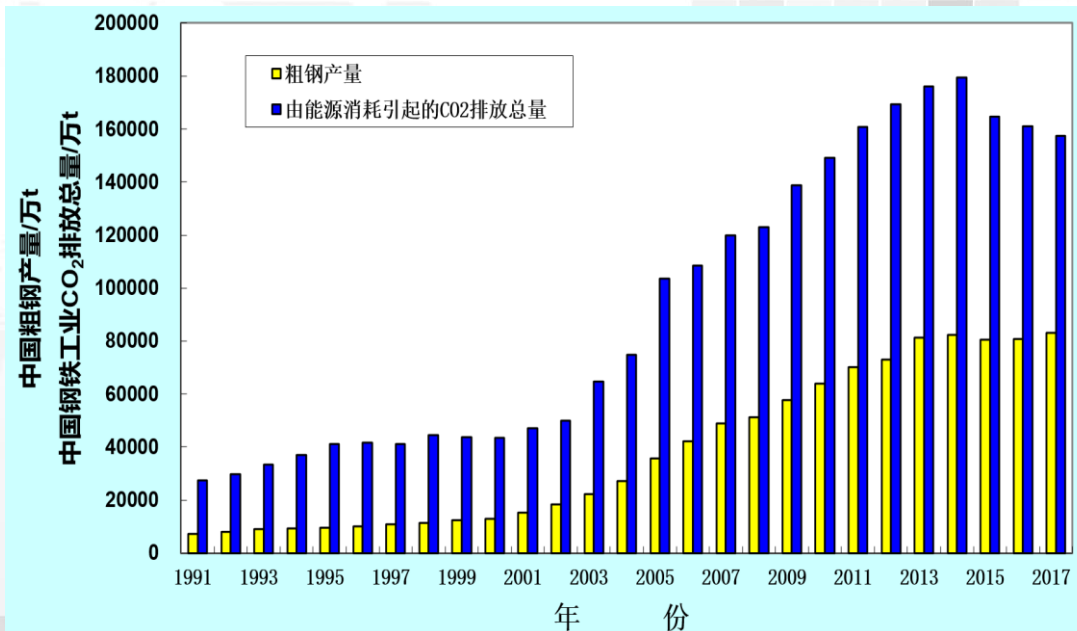
钢铁行业作为工业的重要领域，是能源消费大户，同时也是CO₂排放大户。钢铁工业由化石燃料消耗引起的CO₂排放（不含外购电力）占全国的1/8，占工业的1/4，约占流程工业的1/2。

数据来源：中国工程院咨询项目《过程工程与低碳经济》研究报告

二、我国钢铁行业的CO₂排放现状

■ 钢铁工业由能源消耗引起的CO₂排放总量

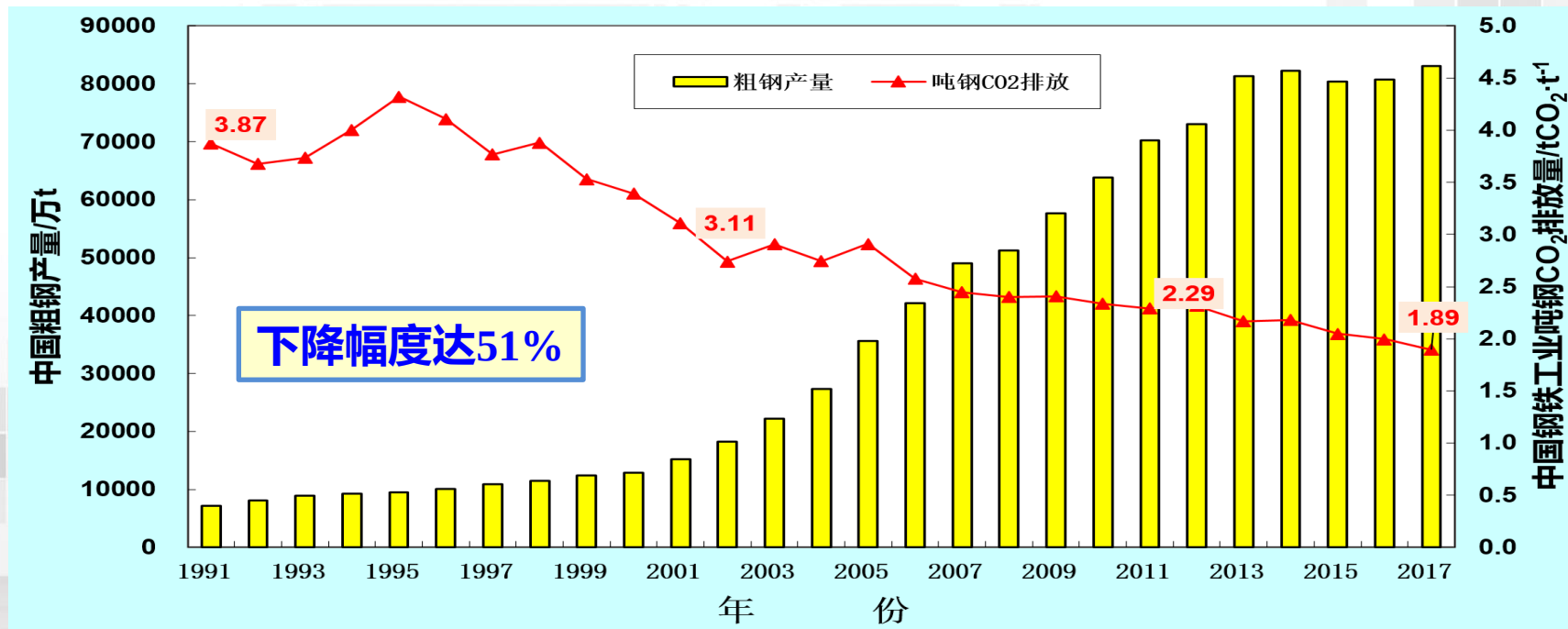
- 从1991年的2.75亿t增加到2014年的最高峰17.95亿t，随后开始呈现下降态势，2017年下降到15.74亿t。
- 我国粗钢产量巨大，造成了我国钢铁行业由能源消耗引起的CO₂排放总量占全国由化石燃料产生的CO₂排放总量的份额仍然较高（2017年约占17%）。



1991~2017年中国钢铁工业粗钢产量和由能源消耗引起的CO₂排放总量的变化

二、我国钢铁行业的CO₂排放现状

■ 钢铁工业由能源消耗引起的CO₂排放强度



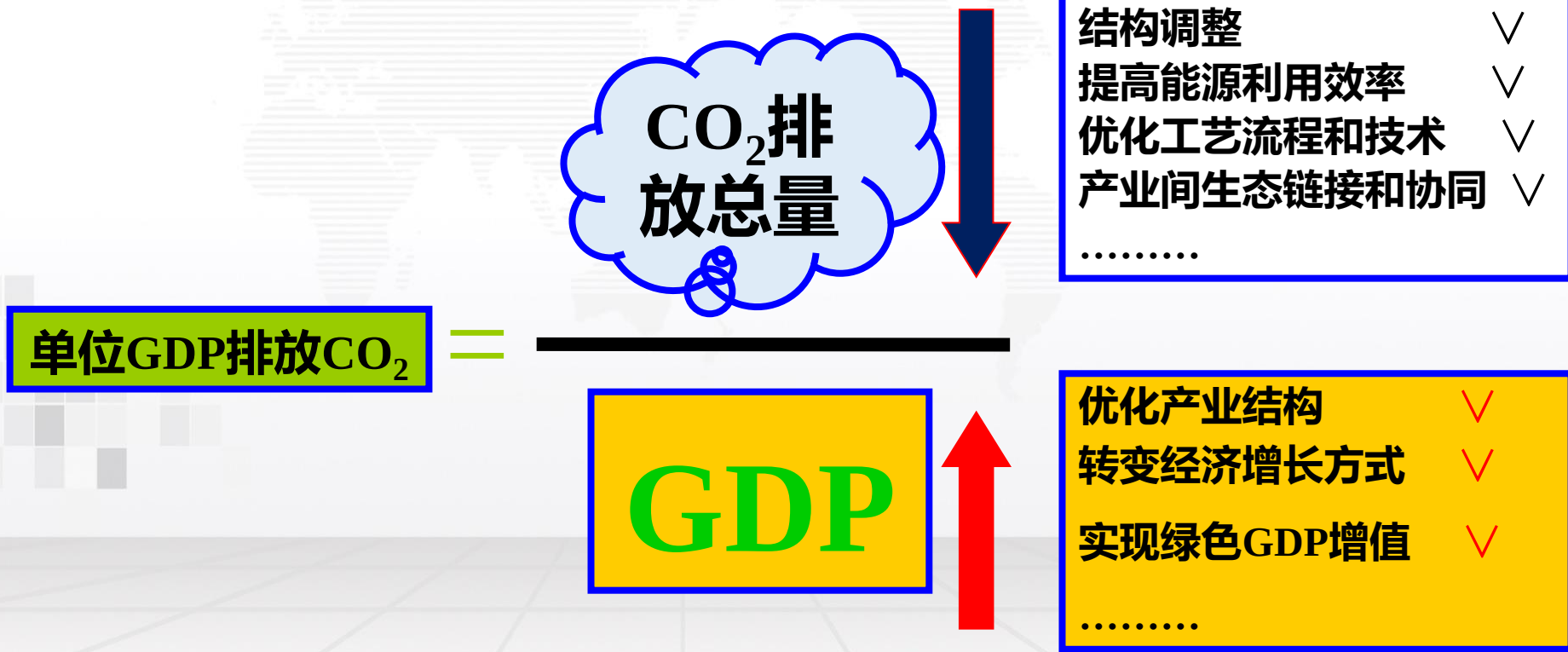
1991~2017年中国钢铁工业粗钢产量和由能源消耗引起的CO₂排放强度的变化

二、我国钢铁行业的CO₂排放现状

未来要实现国家的碳减排承诺（2030年前达到峰值，2060年前实现碳中和），我国钢铁工业仍然将面临着巨大的压力，必须走“脱碳化”发展道路。

三、我国钢铁工业碳达峰、碳中和的思考

3.1 钢铁工业发展低碳经济的思路



3.2 中国钢铁工业碳达峰、碳中和的关键切入口

3.2.1 总量控制与淘汰落后

3.2.2 钢铁生产流程结构调整

3.2.3 节能技术

3.2.4 传统高炉-转炉流程的工艺变革

3.2.5 开发高品质、长寿命的生态钢材产品

3.2.6 钢厂与相关行业形成产业生态链

3.2.7 化石能源的替代/可再生能源的利用

3.2.8 碳捕集、利用与封存 (CCUS)

3.2.9 碳排放权交易与碳税

3.2.1 总量控制与淘汰落后

(1) 控制产能和产量

引导钢铁工业发展从规模扩张转变到提高能源效率和产品质量升级上来。

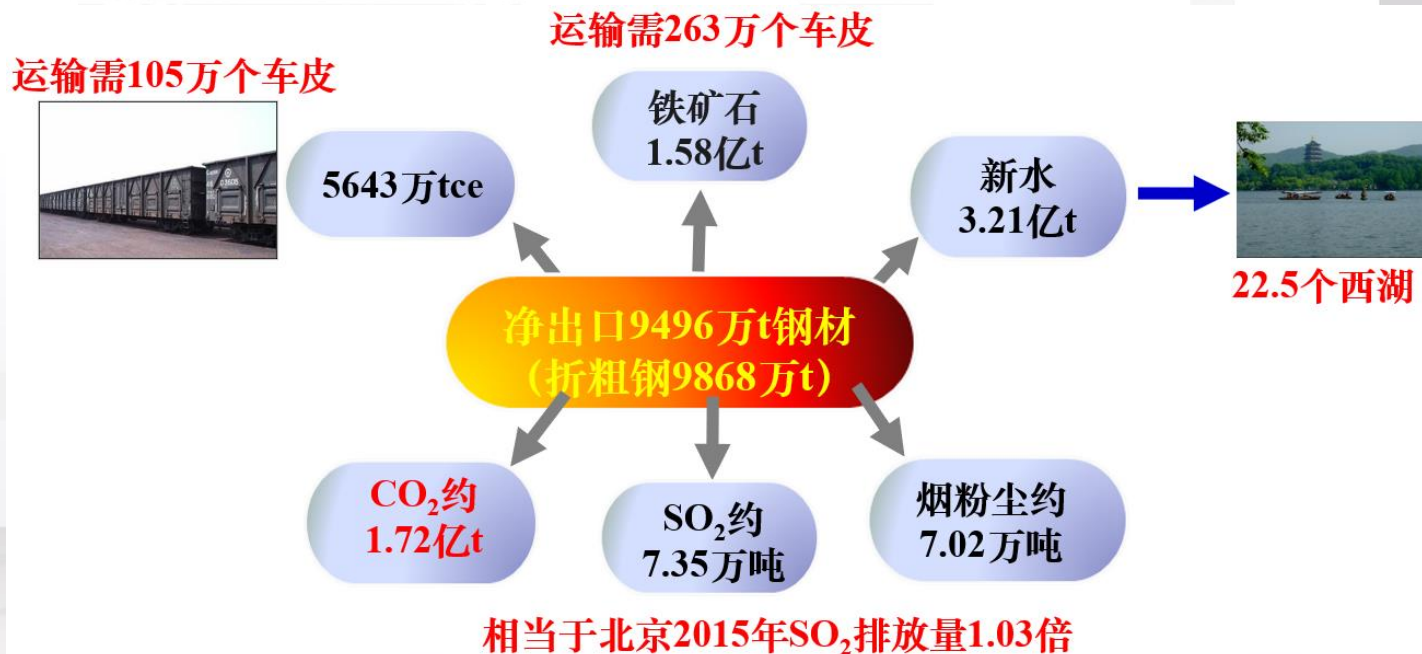
(2) 淘汰落后

淘汰落后对中国钢铁工业的节能和CO₂减排至关重要。

我国重点大中型钢铁企业由能源消耗引起的吨钢CO₂排放量比全国钢铁行业由能源消耗引起的吨钢CO₂排放量的平均值低22%~28%。

(3) 降低钢材出口量

2005年起我国成为钢铁产品净出口国，随后几年一跃成为世界最大钢材出口国。**2016年出口钢材10843万吨，净出口钢材总量约达9496万吨。**带来大量的资源、能源消耗，污染排放更加严重。



3.2.2 钢铁生产流程结构调整

全废钢电炉流程集成优化与创新（城市钢厂）将是我国钢铁工业推进节能减排、循环经济、绿色发展、低碳发展的重要抓手。

高炉-转炉长流程与全废钢电炉短流程的对比

流程	投资	占地	铁矿石消耗	CO ₂ 排放	废气排放		固体废物排放	能耗
	元/t钢	m ² /t钢	t/t钢	tCO ₂ /t钢	Nm ³ /t钢	t/t钢	t/t钢	kgce/t钢
高炉-转炉长流程	~ 3000 (不含焦化)	~0.75 (不含焦化)	~1.65	2.0~2.4	31249.3	40.31	铁尾矿: ~2.6 高炉渣: ~0.3 转炉渣: ~0.1	600~700
全废钢电炉短流程	~1200	~0.2	0	0.5~0.7	6837.9	8.82	电炉渣: ~0.1	~350

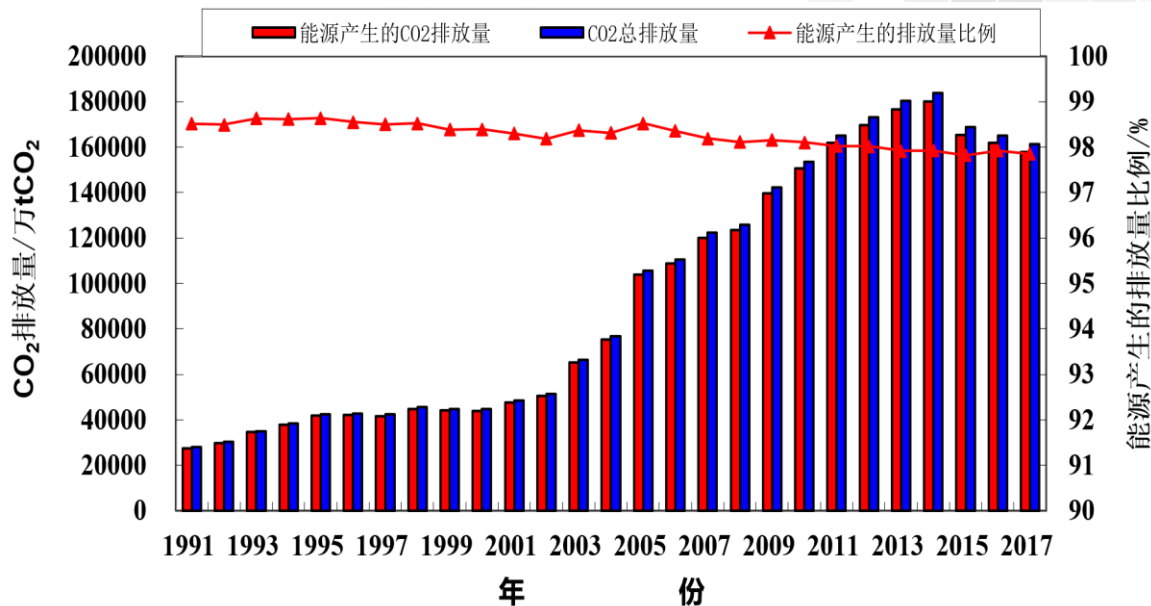
注：能耗计算中电力折算系数取等价值。

钢铁工业如果每年有3亿吨粗钢采用全废钢电炉流程生产，将减少CO₂排放约4.8亿吨/年。

3.2.3 节能技术

1) 单体节能技术的推广普及

由于钢铁工业CO₂排放主要是由能源消耗产生的，因此，采用先进的节能技术、装备，降低能源消耗、提高能源利用率是CO₂排放降低的主要途径。



1991~2017年我国钢铁工业由能源消耗产生的CO₂排放占总排放量的比例变化

2030年钢铁工业主要节能技术的减排潜力分析

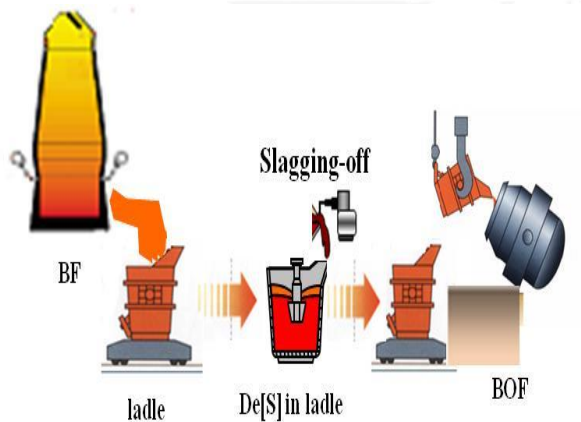
序号	节能技术	2005普及率	2030年	
			预计普及率	较2005年减排效果(kgCO ₂ /t-s)
1	CDQ	15.9%	100.0%	35.33
2	TRT	75.0%	100%	7.13
3	转炉煤气回收技术	37.5%	100.0%	61.88
4	蓄热式轧钢加热炉技术	10.0%	100.0%	45.00
5	铸坯热送热装技术	30.0%	100.0%	25.20
6	煤调湿 (CMC)	0	80.0%	15.36
7	烧结矿显热回收	10.0%	80.0%	7.70
8	转炉低压饱和蒸汽发电	3.0%	35.0%	4.48
9	能源管理中心	6.5%	90.0%	51.77
合计		/	/	253.84

数据来源：中国工程院咨询项目《过程工程与低碳经济》研究报告

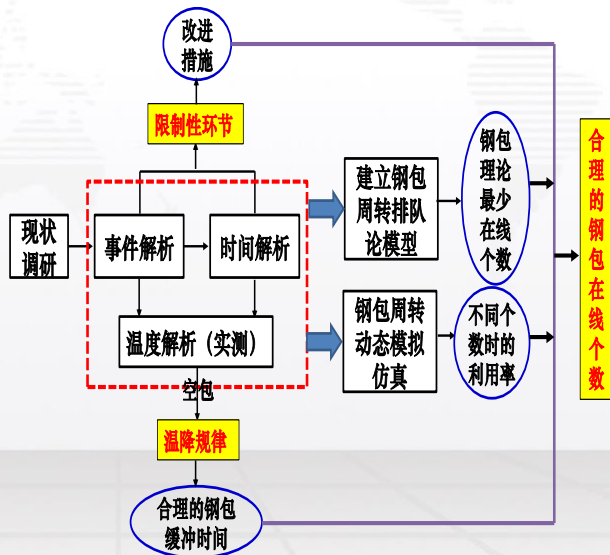
3.2.3 节能技术

2) 工序间衔接匹配的“界面”技术的优化和推广

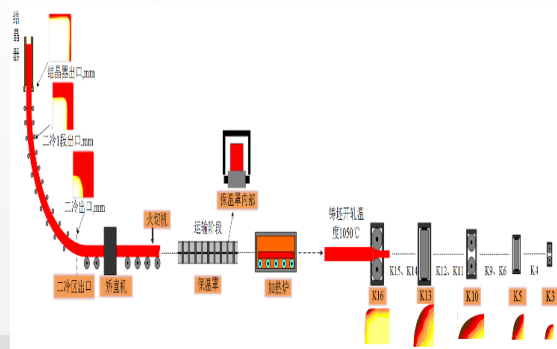
■铁-钢:一罐到底



■钢-铸:钢包高效周转



■铸-轧:长型材直轧



3) 节能前沿技术的开发和深化

- **钢铁制造流程能量流网络的集成和优化**

目前我国钢铁企业还停留在单体节能的层次，且多数“能源中心”只有壳，没有“瓢”。整体优化钢厂的能量流，使能量流和物质流协同发挥作用，使能源中心成为企业真正的核心，可使能效提高8~10%，同时带来大量的CO₂减排效益。

- **高炉渣、转炉渣显热回收**

高炉、转炉渣产生量很大、温度高，是非常优质的余热资源。回收熔融炉渣的显热对钢铁工业节能减排，提高能源效率有非常重要的意义。但目前高炉、转炉渣余热回收还没有成熟的工艺，基础研究非常缺乏，还需要深入、系统的理论研究和半工业试验。

3.2.4 传统高炉-转炉流程的工艺变革

- 1) 对现有高炉的改进：全氧高炉、低温冶金
- 2) 创新型炼铁新工艺的研发：电解法炼铁；氢还原炼铁等

不同钢铁生产流程的CO₂排放, tCO₂/t-s

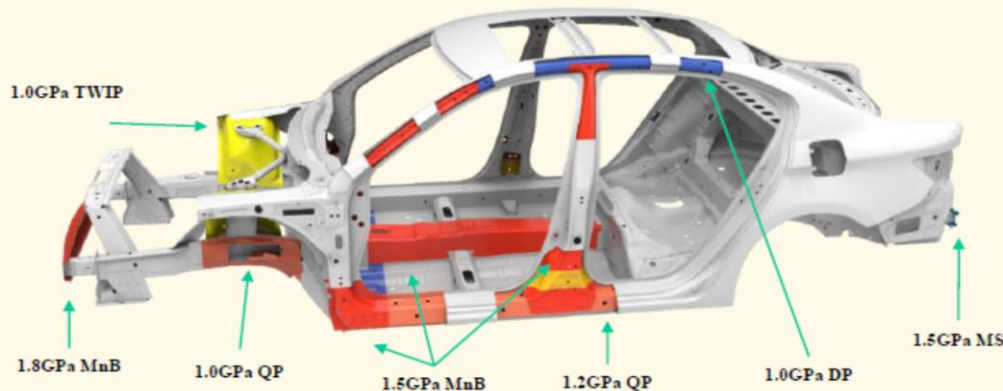
流程	总排放	冶金渣抵扣	发电抵扣	净排放
BF-BOF	2.74	0.26	0.32	2.16
COREX	4.14	0.44	1.98	1.72
O ₂ BF-BOF	2.94	0.24	0.97	1.73
Fastmelt (煤基直接还原)	2.46	0.31	0.00	2.15
HIsmelt (煤基直接还原)	2.28	0.00	0.43	1.85
Tecnored (煤基直接还原)	2.39	0.34	0.51	1.54
Midrex (气基直接还原)	1.96	0.00	0.00	1.96

- 技术?
- 工程?
- 经济?
- 绿电?
- 氢源?

需进一步探索!

3.3.5 开发高品质、长寿命的生态钢材产品

考虑钢铁产品从生产、使用、废弃到循环利用的生命周期全过程，以生产高性能钢材替代普通钢材，可减少最终产品生产的原料消耗；延长产品使用年限，从而提高资源效率、能源效率，削减CO₂。



使用高强度高性能的钢材，使汽车重量每减轻10%，可减少油耗4.5%。

- 1、实现白车身“性能-轻量化-成本”的高度平衡
- 2、白车身重量284kg，较标杆车和同级别商业化车轻17%~29%
- 3、扭转刚度23628Nm/°，碰撞安全5星，25%小偏置碰性能Good

3.3.6 钢厂与相关行业形成生态链

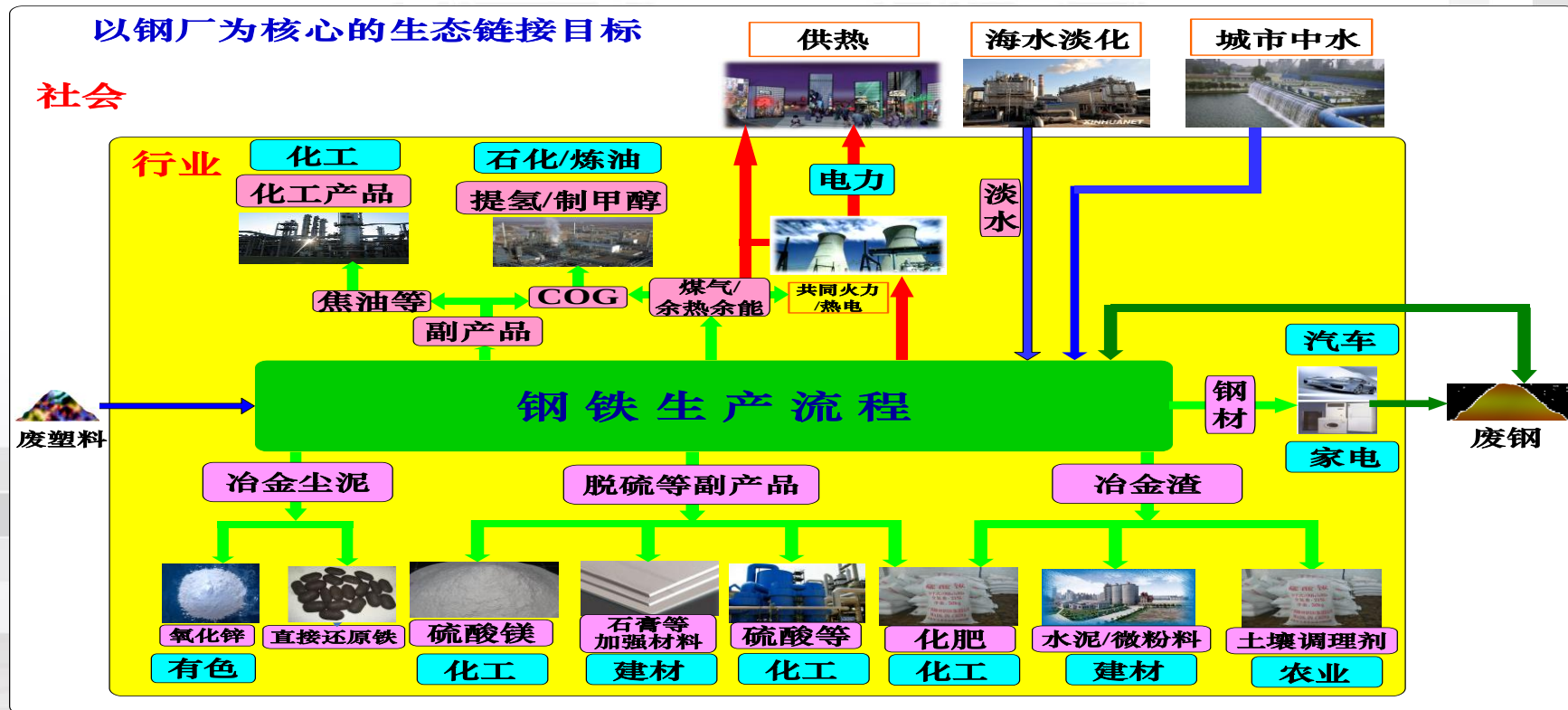
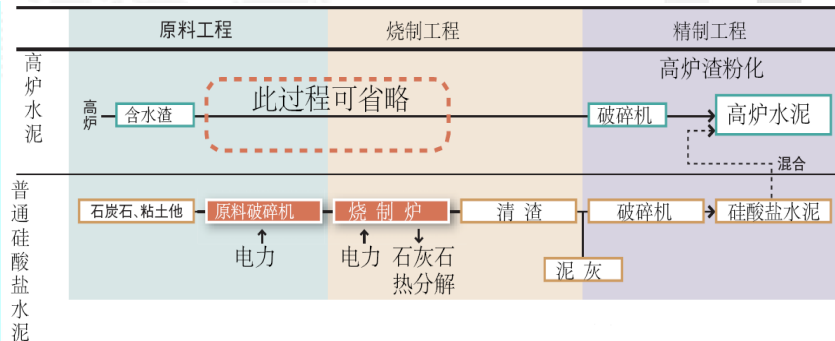


图 钢铁行业与其它行业及社会的生态链接

3.3.6 钢厂与相关行业形成产业生态链

- 利用冶金渣生产水泥和其它建材；
- 高炉或焦炉利用废塑料；
- 副产煤气发电及发展共同火力；
- 副产煤气资源化利用与化工行业链接。



高炉渣水泥与普通水泥主要物料能源消耗与CO₂产生量比较

项目		普通水泥A	高炉渣水泥B	削减量/%, (A-B) / A
石灰石消耗量/kg·t ⁻¹		1092.0	600.6	45
能源消耗	煤/kg·t ⁻¹	103.6	57.8	44
	电力/kWh·t ⁻¹	99.2	72.56	27
CO ₂ 产生量/kg·t ⁻¹		775.6	437.0	44

*: 高炉渣配比~40%。

3.2.7 化石能源的替代/可再生能源的利用

- 利用太阳能、风能等可再生能源替代化石能源，优化钢铁企业能源结构
- 绿电/无碳电力

践行“碳中和”目标：加快构建绿电为核心的现代能源体系

- 第一阶段：到2030年，着力推动**绿电对油、气等化石能源的替代**，存量火电全面参与调峰，消费侧大量布局储热/冷、电动车、电制氢等灵活性产业，可再生能源比例和终端电气化率继续快速提升，大幅减少对国际油、气资源依赖。
- 第二阶段：到2060年，着力推动**绿电对煤炭的替代**，储能、氢能技术实现大规模成熟应用，绿电为核心的能源体系成为我国能源优化配置的主要平台，存量火电替换基本完成。

关键在于要解决高比例可再生能源（>60%）对电网稳定性和安全性的冲击。

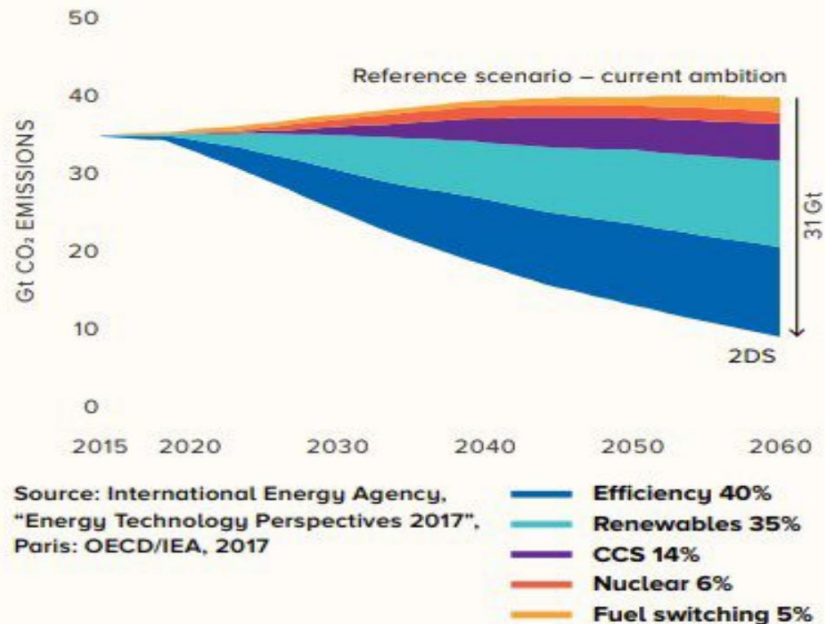
3.2.8 碳捕集、利用与封存 (CCUS)

目前钢铁行业开展的碳捕集和封存技术主要包括：将钢渣制品放于海洋促进植物光合作用、采用钢渣颗粒过滤床吸收 CO_2 、用氨吸收法分离 CO_2 、用氢氧化镁吸收 CO_2 等。

技术不成熟、成本高、碳封存受限制：

- CCS：2030年之后
- BECCS：2040年之后

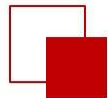
CCS in the 2DS



3.2.9 碳排放权交易与碳税

钢铁行业有望在电力工业之后启动全国碳排放权交易市场的建设，**未来必将是碳排放权交易市场和开征碳税的主要目标和核心参与者。**

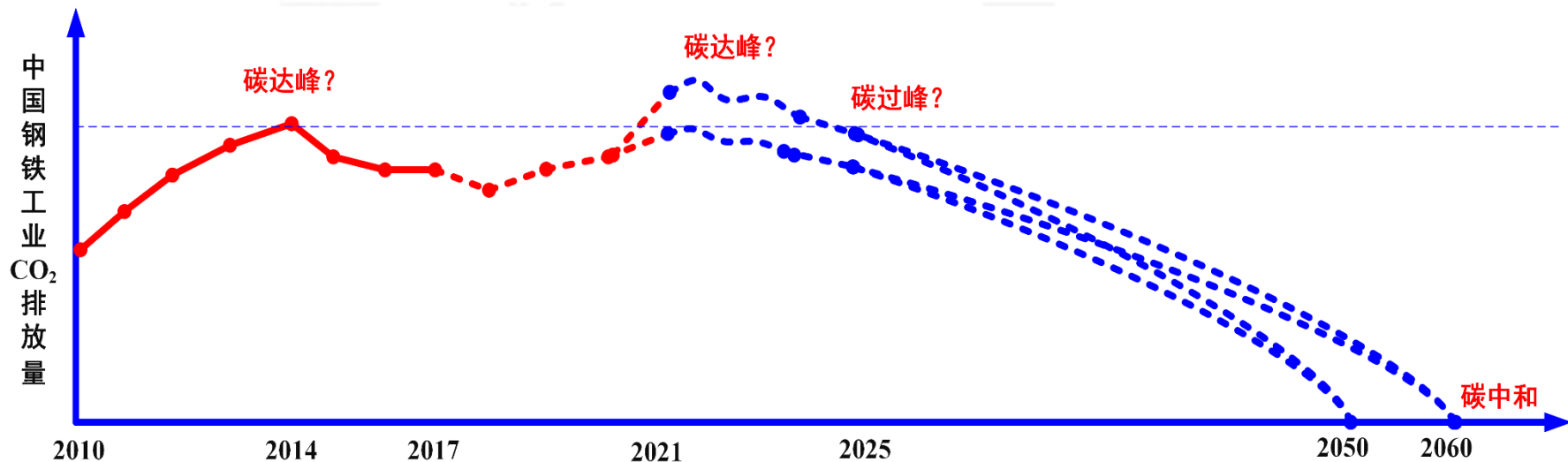
- 碳排放权是一种具备**金融属性**的“**商品**”，是企业一笔特殊的资产。
- **碳税**是一种以降低碳排放为目的的**庇古税**，其实质是将碳排放的**负外部性内部化**，从而校正市场失灵带来的效率损失，增加社会福利。
- 应**跟进国内外碳排放权交易市场和开征碳税的进展**，**提前布局**，把握碳排放权交易市场和开征碳税带来的机遇。
- 长期来看，碳排放权交易市场的建设和合理的碳税制度在增加钢铁行业碳排放的成本的同时可以提高钢铁企业的生产效率，刺激技术创新或加速转向低碳生产工艺，**促进钢铁行业的“脱碳化”发展。**

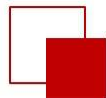


三、我国钢铁工业碳达峰、碳中和的思考

3.3 关键时间节点预判

- **碳达峰（容易）**：2014年/2021年/2022年
- **碳过峰**：2025年前
- **碳中和（困难，含CCSU、碳交易等措施）**：2050年/2060年前



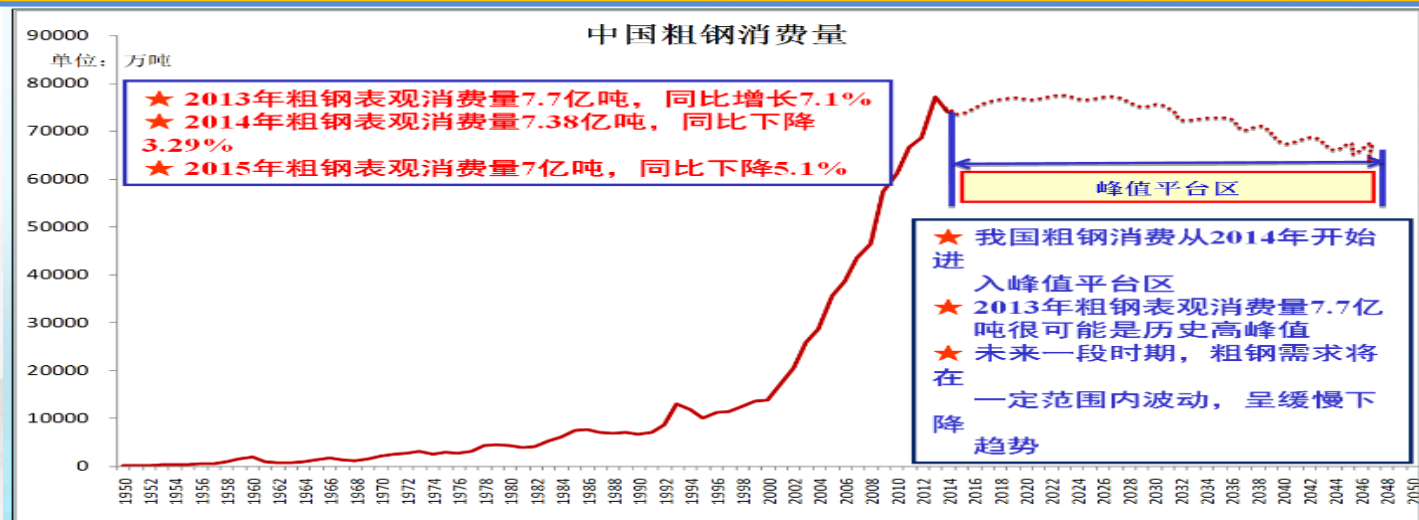


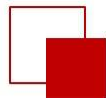
三、我国钢铁工业碳达峰、碳中和的思考

3.3 关键时间节点预判

钢铁工业的碳达峰既取决于吨钢的排放强度（包括高炉-转炉长流程和全废钢电炉短流程之间的比例），同时也受到粗钢总产量的影响（ $C_{\text{排放}} = I \times P$ ）

“过峰”并非完全取决于钢铁工业自身，可谓“达峰”不难，“过峰”不易。



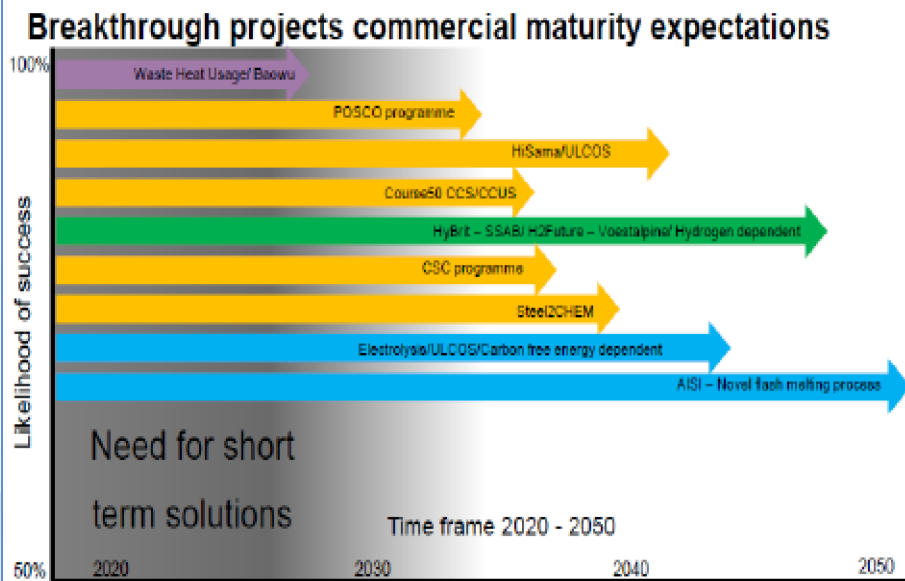


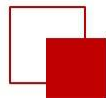
三、我国钢铁工业碳达峰、碳中和的思考

3.4 碳达峰、碳中和情景分析

钢铁行业的碳减排路径主要是从宏观上调整产业结构，控制粗钢产出量，限制低附加值钢材的出口量等；同时，通过增加废钢利用量（特别是发展全废钢电炉流程），推广普及节能技术，电力逐步采用非化石能源发电以及高炉渣、转炉渣的资源化利用等（氢冶金等一些突破性技术目前处于探索、研究阶段，预计到2030年才能作出清晰的分析判断，为此在情景分析中也暂不考虑此技术）。

各种突破性新技术路线的规模化应用时间预期





三、我国钢铁工业碳达峰、碳中和的思考



3.4 碳达峰、碳中和情景分析

假设我国钢铁行业粗钢产量从2021年起呈下降趋势，设置三种情景：

情景一：2030年粗钢产量为10亿t；2060年粗钢产量为8亿t。

情景二：2030年粗钢产量为8亿t；2060年粗钢产量为6亿t。

情景三：2030年粗钢产量为6亿t；2060年粗钢产量为5亿t。

我国钢铁行业碳排放达峰目标 单位：亿吨

名称	2018	达峰年2014/2020/2025	2030	2030	2030
粗钢产量	9.29	8.22/10.65/?	10	8	6
CO ₂ 排放总量	15.21	17-18	11.87	8.95	6.04

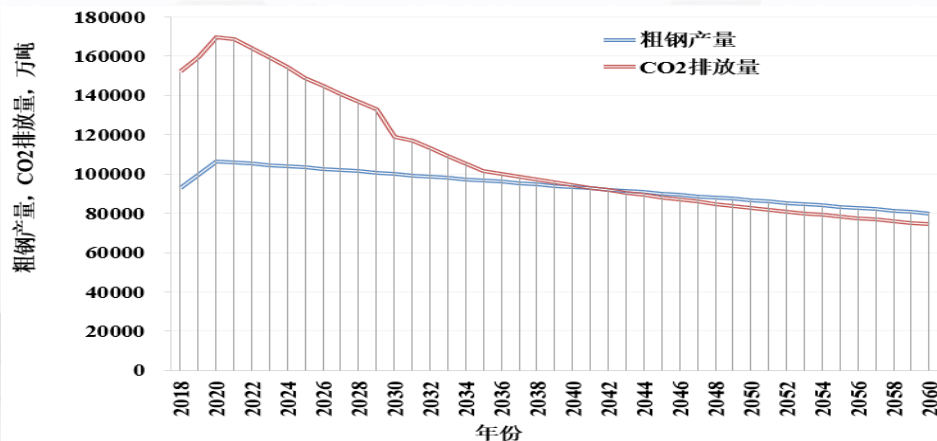
三、我国钢铁工业碳达峰、碳中和的思考

3.4 碳达峰、碳中和情景分析

我国钢铁行业碳中和目标（情景一） 单位：亿吨

名称	2030	2035	2050	2060
粗钢产量	10	9.67	8.67	8
CO ₂ 排放总量	11.87	10.15	8.27	7.45

2018-2060年我国钢铁行业CO₂排放趋势（情景一）



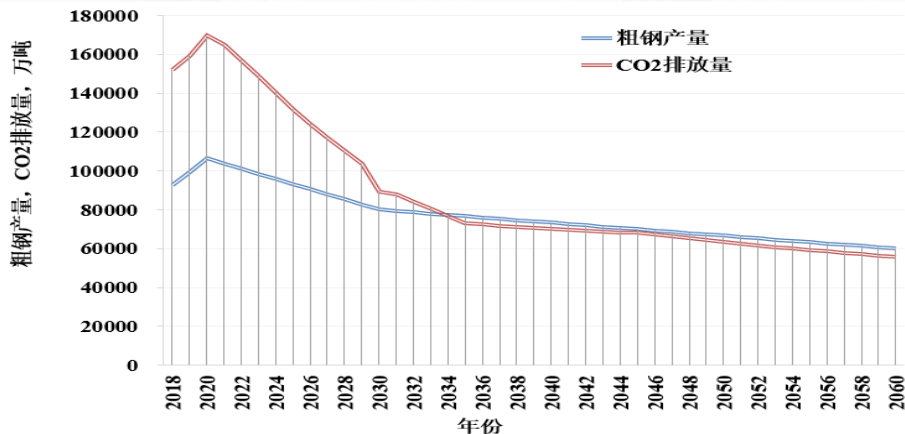
三、我国钢铁工业碳达峰、碳中和的思考

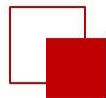
3.4 碳达峰、碳中和情景分析

我国钢铁行业碳中和目标（情景二） 单位：亿吨

名称	2030	2035	2050	2060
粗钢产量	8	7.67	6.67	6
CO ₂ 排放总量	8.95	7.31	6.33	5.87

2018-2060年我国钢铁行业CO₂排放趋势（情景二）





三、我国钢铁工业碳达峰、碳中和的思考

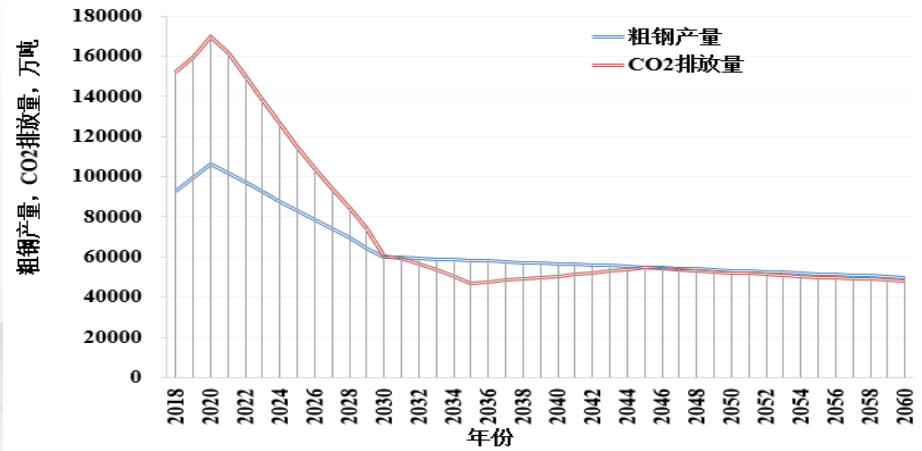


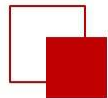
3.4 碳达峰、碳中和情景分析

我国钢铁行业碳中和目标（情景三） 单位：亿吨

名称	2030	2035	2050	2060
粗钢产量	6	5.83	5.33	5
CO ₂ 排放总量	6.04	4.70	5.22	4.82

2018-2060年我国钢铁行业CO₂排放趋势（情景三）





三、我国钢铁工业碳达峰、碳中和的思考

不管是哪个情景，钢铁行业要实现碳中和都还有**4.82-7.45亿tCO₂**需要通过技术创新、碳汇、CCUS和碳交易等措施才能实现。

在三种情景分析中，我们可以看到：无论哪种情景，**粗钢产出量是影响钢铁工业CO₂排放的首要因素**，而这一指标，并非完全取决于钢铁工业本身。**其次**，也可以看到钢铁工业的制造流程结构有着重要影响，全废钢电炉短流程的吨钢CO₂排放量约为高炉-转炉长流程的1/3。**而氢冶金等突破性技术**在2030年尚难作出是否可以工业化的判断，尚有诸多不确定性。

四、中国钢研主要成果及低碳技术开发的布局



- 冶金行业重大关键与共性技术创新基地
- 金属新材料研发创新基地
- 国家冶金分析测试技术权威机构
- 国家双创示范基地

- 行业共性技术的开发**平台**
- 国家重大工程、国防军工所需关键战略材料的自主创新保障供给**基地**
- “小核心大协作”的**核心**
- 国家、行业、企业创新发展的高端**智库**

4.1 高端智库：长期开展钢铁工业低碳发展战略研究

钢铁工业低碳发展相关战略咨询项目清单

序号	项目名称	来源	项目执行期
1	关于我国主要流程工业CO ₂ 排放的评估及对策报告	中国工程院	2006-2008
2	钢铁工业领域的CO ₂ 排放计算、评估及对策研究	中国工程院	2006-2008
3	中国主要钢铁企业二氧化碳排放现状研究	中国钢铁工业协会	2008
4	钢铁商贸进出口物品、进出口结构与资源、环境的关系	生态环境部	2008
5	钢铁工业温室气体减排	生态环境部	2008
6	过程工程与低碳经济	中国工程院	2009-2011
7	钢铁工业与低碳经济	中国工程院	2009-2011
8	钢铁工业温室气体减排途径及政策措施研究	工业和信息化部 中国钢铁工业协会	2011
9	Studies on Statistics & Calculation Methods of CO ₂ Emission and its Reduction Road Map in Iron and Steel Industry	The Energy Foundation	2011-2012
10	工业绿色发展工程科技战略研究	工业和信息化部 中国工程院	2013-2014
11	钢铁工业绿色发展工程科技战略研究		2013-2014
12	绿色制造发展战略研究		2015-2016
13	钢铁产业碳达峰、碳中和实施路径研究	中国工程院	2021

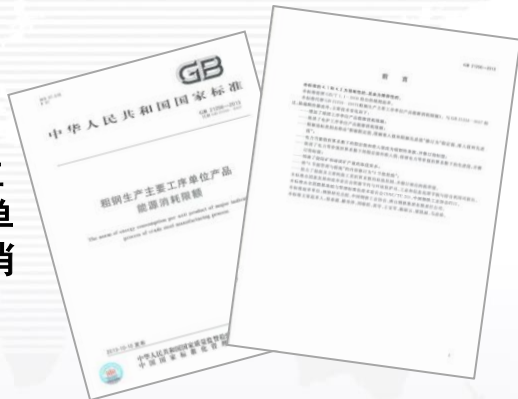
4.2 理论研究和应用：开展钢铁工业/企业CO₂排放计算方法学、标准、规范及碳盘查研究

- ① 钢铁制造流程碳素流运行规律研究以及碳素流模拟；
- ② 提出适合我国国情的钢铁工业（两种）/企业（三种）CO₂排放计算方法；
- ③ 量化中国钢铁工业和部分钢铁企业的CO₂排放量；
- ④ 研究流程结构对钢铁工业CO₂排放的影响；
- ⑤ 研究两类工序层面的CO₂排放情况；
- ⑥ 协助发改委制订《中国钢铁生产企业温室气体排放核算方法与报告指南》；
- ⑦ 参与制订《温室气体排放核算与报告要求第5部分：钢铁生产企业》GB/T 32515.5-2015；
- ⑧ 参与制订《钢铁企业温室气体排放核查技术规范》RB/T 251-2018；
- ⑨ 对重点钢铁企业CO₂排放进行盘查，为企业制定节能减排和低碳发展路径。

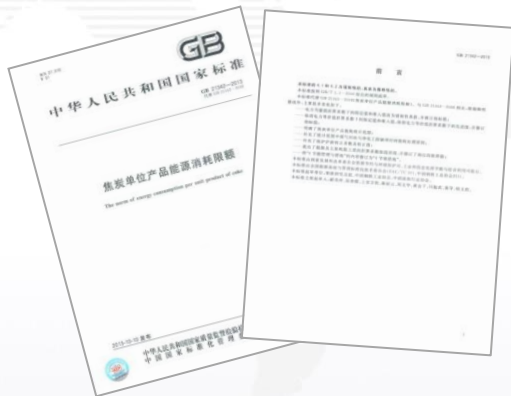
成果形式：论文、标准、著作、战略咨询报告

国家能耗限额标准制订与修订研究——为碳排放限额提供方法基础

GB21256-
2013 粗钢生
产主要工序单
位产品能源消
耗限额



GB21342-2013
焦炭单位产品能
源消耗限额



◎提出限额指标体系及取值方法。

◎提出标准各项指标统计边界与计算方法。

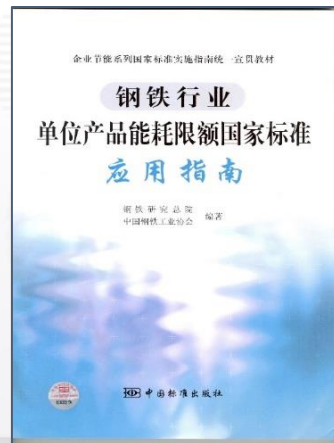
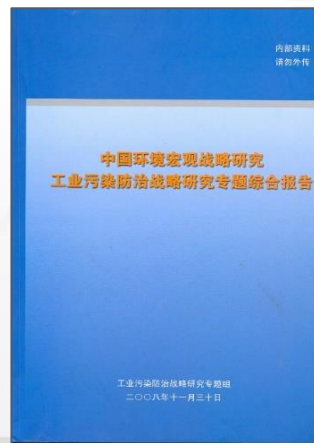
◎提出理论极限能耗计算模型，以理论极限能耗剔除基础数据不合理数据。

成果形式：论文、标准、著作、战略咨询报告

- 已发表钢铁工业低碳发展相关的论文100余篇，国家标准10余项，相关著作5部
- 提交战略咨询报告10余份
- 刚刚出版的著作：《钢铁制造流程中碳素流运行与碳减排途径》，全书共八章约20万字



多尺度、
全方位
解析钢
铁制造
流程碳
素流运
行与碳
减排途
径



4.3 低碳技术成果与技术开发布局

(1) 工序间的衔接匹配：提出“界面”技术的概念，并开发若干“界面”技术，在钢厂中成功应用

1) 炼铁-炼钢界面：“一罐到底”流程研发和应用



冶金科技奖二等奖

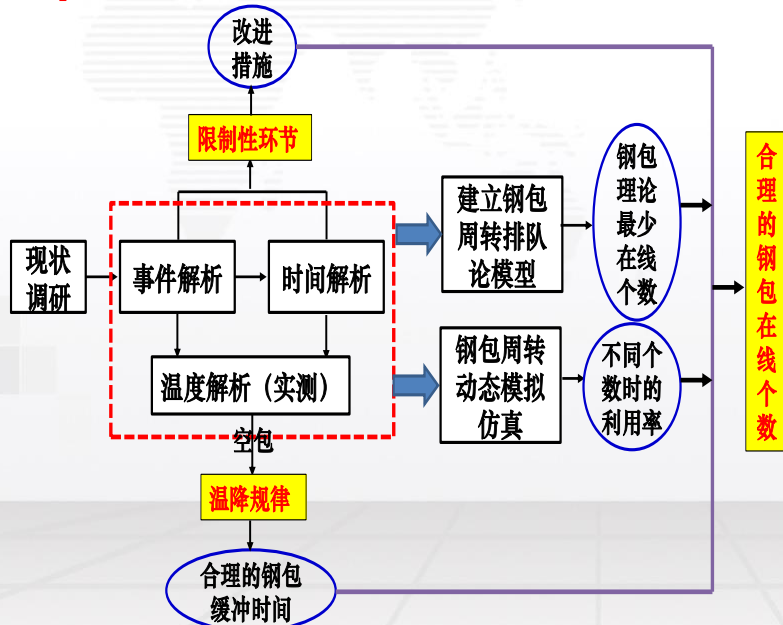
成功应用于沙钢、首钢京唐、重钢等企业的生产实践：

- 减少在线铁水罐个数1~2个，铁水温降减少30~45℃；
- 减少运行成本200万元/年；
- 节约能源~10000吨标准煤/年；
- 减少CO₂排放22000吨/年。

4.3 低碳技术成果与技术开发布局

(1) 工序间的衔接匹配：提出“界面”技术的概念，并开发若干“界面”技术，在钢厂中成功应用

2) 炼钢-连铸界面：钢包高效周转



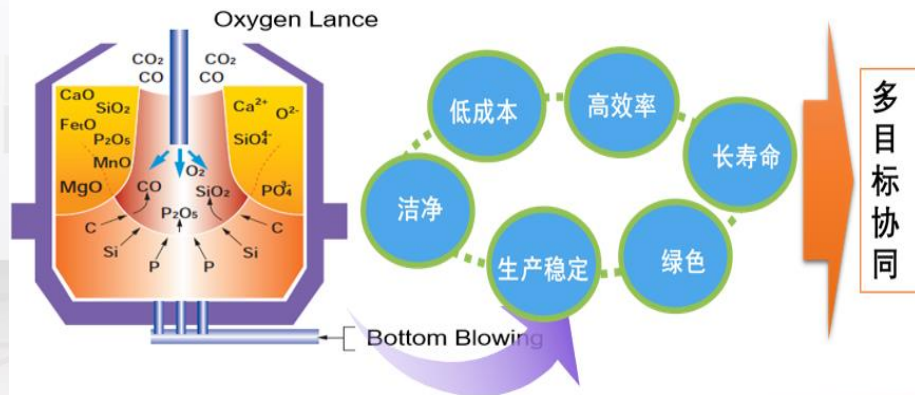
成功应用于马钢：

- 在线钢包个数由17个减少至14个；
- 红罐率由46%提高至91%；
- 出钢温度平均降低12.2 °C；
- 减少运行成本9882万元/年；
- 节约能源3290 tce/年；
- 减少CO₂排放8554 t/年。

(2) 节能减排单体技术：大型转炉洁净钢高效绿色冶炼关键技术

成功在马钢、宝钢和鞍钢等大型转炉上应用，取得显著技术和节能减排效果：

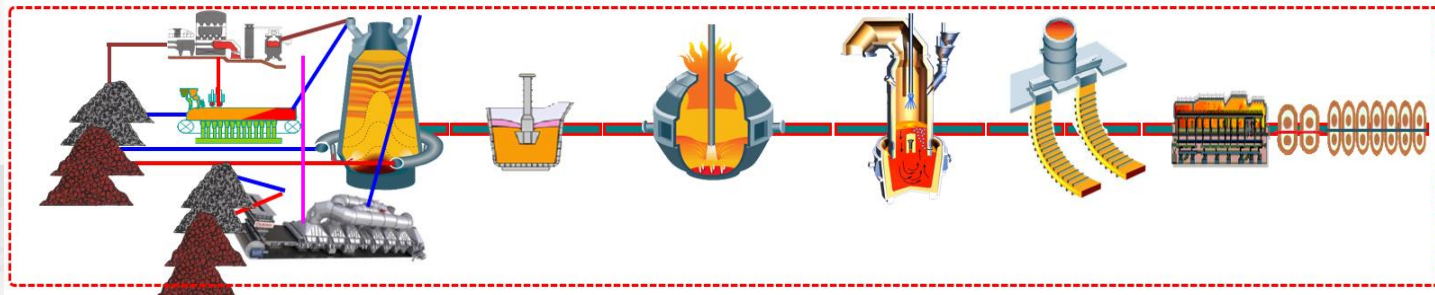
- 顶底吹强度达到 $3.72/0.20 \text{ Nm}^3/\text{t}\cdot\text{min}$
- 全炉役100%复吹比
- 全炉役平均碳氧积0.00133的**世界领先水平**
- 在较低渣量和较低氧化铁条件下实现高效率脱磷
- 100%不等样出钢，出钢速度70 t/min
- **转炉工序减少CO₂排放11~13kg/t钢**



(3) 全流程优化技术：钢铁流程关键要素协同优化和集成应用

由中国钢研牵头，联合首钢集团、首钢京唐、北科大等16家单位合作攻关“十三五”重点研发计划，目前项目相关技术在**首钢京唐**生产线上初步实现了较好的应用效果。

- **建立了流程能效评估的新方法，在项目示范工程上得到了初步应用，有望为钢铁流程进一步挖潜升级奠定基础；**
- **在高比例球团炼铁-多品种产线上，开发出多目标协同优化的炼铁-炼钢界面智能调配技术、铸-轧界面控制技术、钢铁产品生产与多种能源调配的协同匹配技术，实现了产品的提质、降耗；**
- **示范产线实现能效提升4.3%、吨钢能耗降低4%、吨钢气体污染物减排25%（2019年12月测算）。**



助力行业低碳发展

中国钢铁工业协会部门文件

钢协科〔2021〕4号

关于召开“钢铁行业低碳工作推进委员会” 成立大会暨“钢铁行业低碳发展路径研讨会” 的通知

各有关单位：

气候变化是一个全球性命题和挑战，习近平主席在联合国作出的“中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争于 2030 年前达到峰值，争取在 2060 年前实现碳中和”这一庄严承诺，体现了大国的担当。在这一目标的指引下，全国各行业积极响应，快速行动，分别制定各自低碳发展路径、碳达峰目标及行动计划。钢铁行业作为大型基础制造业，必须采取切实有力措施，全力推进碳减排工作，提前实现碳达峰，为国家总体实现碳达峰目标和碳中和愿景做出积极贡献。2月9日，钢铁协会发布了

—1—

1. 委员会成立

- (1) 颁布《钢铁行业低碳工作推进委员会工作条例》；
- (2) 宣布委员会组织机构；
- (3) 行业低碳研究基地授牌。

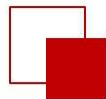
2. 钢铁行业低碳发展路径研讨

- (1) 相关部委领导讲话；
- (2) 钢铁行业低碳发展路径院士报告；
- (3) 钢铁行业节能减排工作进展报告；
- (4) 委员会低碳发展工作组组长单位发言；
- (5) 委员会低碳标准规范工作组组长单位发言；
- (6) 委员会低碳技术工作组组长单位发言。

3. 讨论确定委员会各工作组年度工作计划和方案。

钢铁行业低碳发展研究基地
钢铁行业低碳技术研究基地

组长单位



五、结语

提高占位 提高认识：碳中和是全经济部门、全部温室气体的中和，碳中和战略是社会经济发展战略，致力于建设富有竞争力的低碳经济，事关人类福祉，事关人类命运共同体。

提前谋划 尽早布局：行业/企业尽早开展碳盘查、碳资产评估，积极制定碳达峰、碳中和或低碳发展的“行动方案”和“行动路线图”，走高质量、减量化的发展道路！

我们愿与您一起携手迎接碳中和！

**敬请批评指正！
谢 谢！**

中国钢研钢铁绿色化智能化技术中心
周继程

手机号&微信： 15810127487

邮箱： jichengzhou2010@163.com