

铁前工序节能减排技术及应用

汇报单位：江阴兴澄特种钢铁有限公司

汇报时间：2021年7月



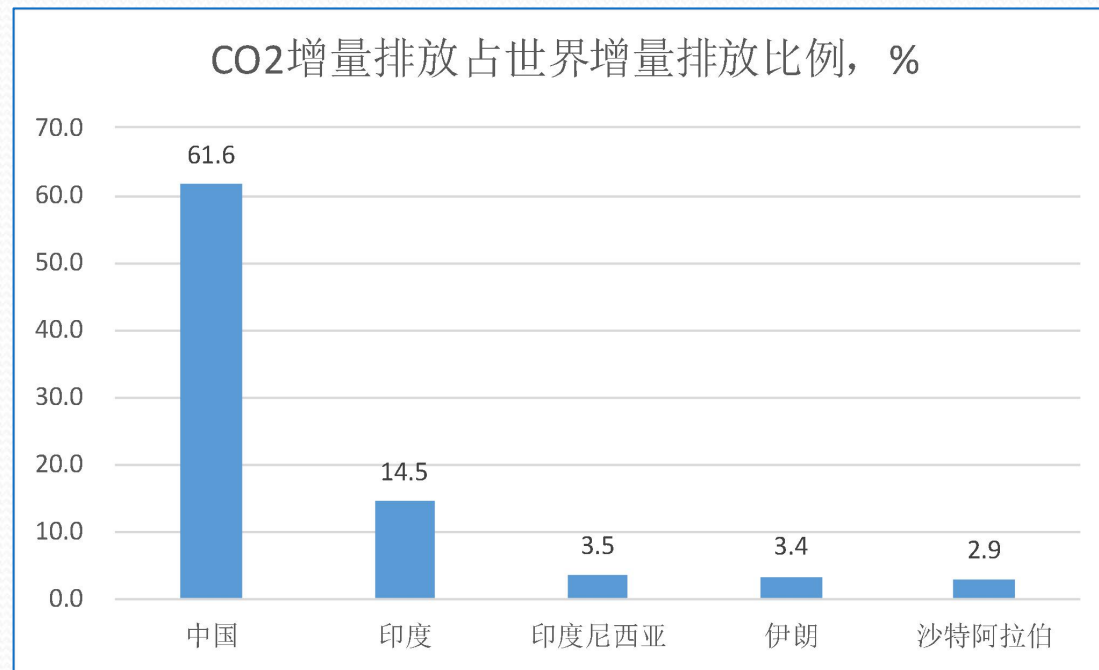
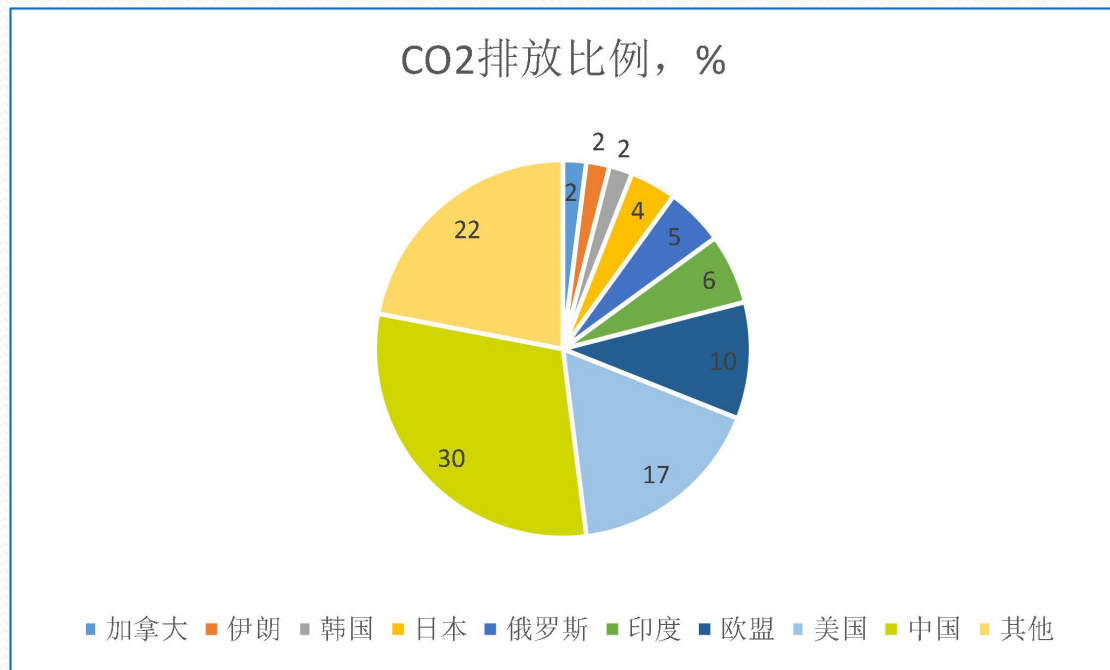


一、炼铁工艺现状及分析



1、碳排放现状及分析

(1) 碳排放情况



数据来源：碳交易网，2000年以来，二氧化碳增量排放情况统计。

- 中国的二氧化碳排放比例**位居第一**；占比达到**30%**左右；
- 在二氧化碳增量排放占世界增量排放比例**前5名**的国家，**中国排名第一**，5个国家合计占比**85.8%**。



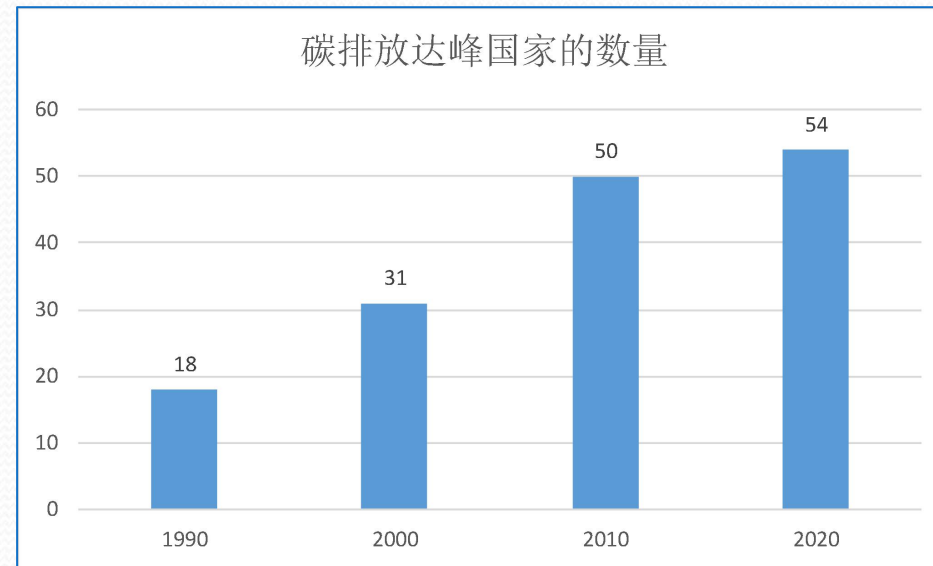
一、炼铁工艺现状及分析



(2) 碳达峰情况

- 世界主要国家碳排放达峰情况看，目前全球已经有**54**个国家碳排放实现达峰，占全球碳排放总量的**40%**。1990年、2000年、2010年和2020年碳排放达峰国家的数量分别为18、31、50、54个，这些国家大部分属于**发达国家**。

数据来源：李新创：我国钢铁行业如何实现碳达峰碳中和？



- 2020年排名前五位的碳排放国家中，包括美国、俄罗斯、日本、巴西等国已经实现达峰。中国等国家承诺到2030年前达峰，届时全球将有**58**个国家实现碳达峰，占全球碳排放量的**60%**以上。



一、炼铁工艺现状及分析



(3) 碳中和目标

- 截止2020年底，已有44个国家和地区明确提出碳中和目标；目前苏里南和不丹已实现“碳中和”；瑞典、英国等7个国家已立法；欧盟（作为整体）及其他3个国家和地区处于立法状态；中国、日本等15个国家发布政策宣示文件。

国家	目标年	承诺性质	目标内容
中国	2060年	政策宣示	2020年9月22日联合国大会上表示：“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。
欧盟	2050年	提交联合国	根据2019年12月公布的“绿色协议”，欧盟委员会正在努力实现整个欧盟2050年净零排放目标。
法国	2050年	法律规定	2020年4月，法国颁布法令通过“国家低碳战略”，设定2050年实现温室气体净零排放，完全实现碳中和。
德国	2050年	法律规定	德国第一部主要气候法于2019年12月生效，这项法律导言说，德国将在2050年前“追求”温室气体中和。
日本	2050年	政策宣示	2020年10月26日，日本首相菅义伟宣布，日本将在2050年实现温室气体净零排放，完全实现碳中和。
瑞典	2045年	法律规定	瑞典于2017年制定净零排放目标，根据《巴黎协定》，将碳中和的时间表提前5年。

数据来源：冶金工业规划研究院

一、炼铁工艺现状及分析



(4) 国内外钢铁企业低碳技术路线对比

数据来源：李新创：我国钢铁行业如何实现碳达峰碳中和？

国内外钢铁企业		钢铁低碳技术路线
国际	安赛乐米塔尔（安米）	实现碳中和目标依赖两种突破性的技术，智能碳路线+直接还原铁。
	瑞典钢铁行业	目前全球第一个实现“无化石燃料钢铁制造”价值链，提出到2045年完全按照无化石能源路线，主要是直接还原铁、制氢单元、无化石燃料球团、储氢实现低碳发展。
	韩国POSCO钢铁	提出通过智能化、部分氢还原、废钢利用、CCUS、氢基冶炼实现低碳发展。
	日本铁钢联盟	COURSE50：是通过焦炉煤气氢分离技术还原铁矿石和高炉煤气胺净化技术吸附分离捕集高炉二氧化碳，来实现低碳发展。
	印度TATA钢铁	提出到未来十年内将碳排放降低到30~40%，也是通过直接利用煤粉和粉矿的熔融还原技术加CCUS技术来实现低碳发展。
国内	宝武集团	提出在2023年实现碳达峰，2035年实现减碳30%，2050年实现碳中和，并提出六种措施。
	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，提出六个方面的措施。
	包钢集团	提出2023年力争实现碳达峰，2030年具备减碳30%的工艺技术能力，2042年力争碳减排较峰值降低50%，到2050年实现碳中和，提出四项措施。
	鞍钢集团	2025年前实现碳排放总量达峰；2030年实现前沿低碳冶金技术产业化突破，深度降碳工艺大规模推广应用，力争2035年碳排放总量较峰值降低30%；持续发展低碳冶金技术，成为我国钢铁行业首批实现碳中和的大型钢铁企业。



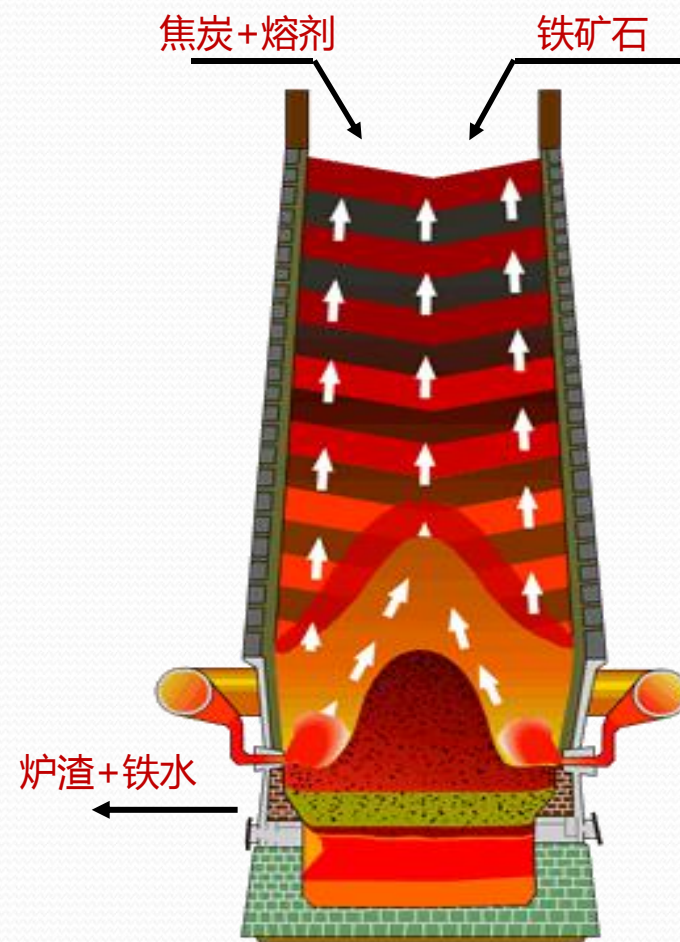
一、炼铁工艺现状及分析



2、我国炼铁工艺现状及存在问题

(1) “三高一低”

- 全世界**最高**的铁产量（2020年高炉生铁产量**8.88亿吨**）、**最大**体量炼铁装备（最多的高炉座数，约**1200余座**，**5000m³以上9座**）、**最多**的从业人数；**低**非高炉铁水比；
- 我国2020年粗钢产量**10.5亿吨**，较2019年增加5.2%，占全球粗钢产量的**56.7%**，这是粗钢产量连续增长的第五年，也是我国粗钢产量**首次超过10亿吨**，除少数非高炉炼铁、短流程炼钢外，其中绝大部分粗钢是使用高炉炼铁生产的。



一、炼铁工艺现状及分析



(2) 钢铁冶炼粉尘排放量大，污染严重，影响面广

- “节约资源、保护环境”是我国实现可持续发展战略的重要保证和手段。
- 钢铁固体废物(尾矿、高炉渣、钢渣、粉尘、粉煤灰等)年产生量达4亿吨，其中粉尘产量巨大，是钢厂中除冶炼渣外产量最大的固废。
- 钢铁冶金过程，各类粉尘的产生量总和一般为钢产量的8%~12%，按照我国钢铁产量10亿吨统计，目前钢铁粉尘年产量超过1亿吨。
- 钢铁粉尘属于烟气经除尘得到的固体废物，产量巨大，粉尘种类繁多，组分差异较大，对环境污染较大，需要进行无害化和资源化处理。

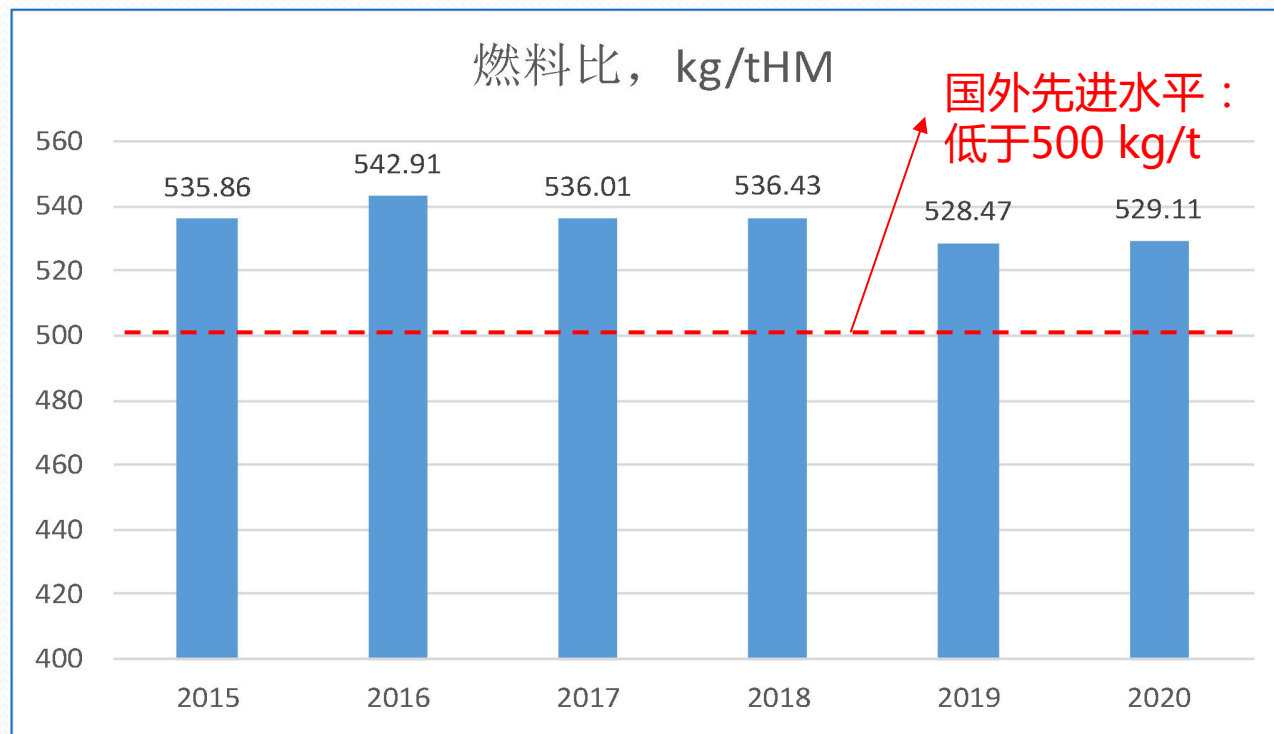


一、炼铁工艺现状及分析



(3) 技术水平总体水平有提升，但差异较大，部分企业燃料消耗长期偏高

- 有部分企业铁前操作指标已处于世界一流或领先水平，但多数钢厂落后于国外先进水平；
- 高炉平均炉容小，劳动生产率低，平均燃料比较发达国家平均高20~30kg/t，焦炭灰分及入炉矿石品位较差、不稳定；
- 近年来，随着环保加严，小高炉迅速减少、关停，高炉大型化趋势明显，但煤气利用率低、燃料比高的状况并未根本改变。



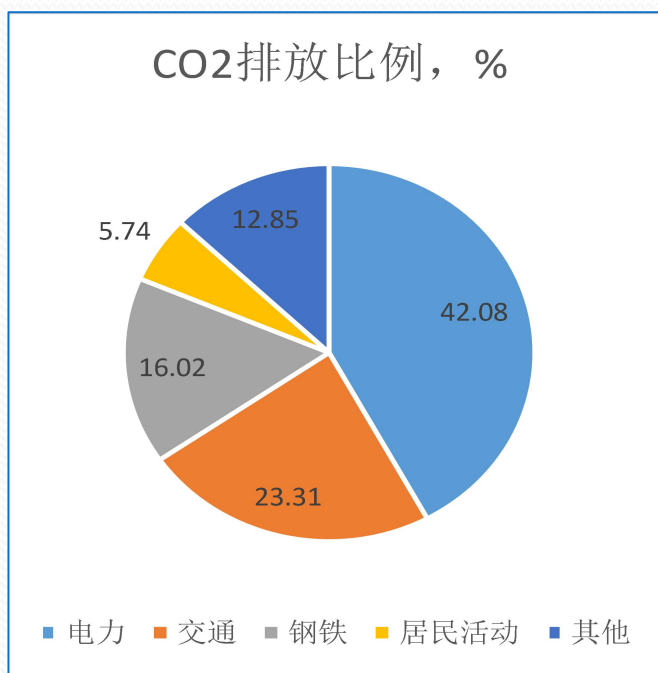
数据来源：王维兴，2018/2019/2020年我国炼铁技术发展评述

一、炼铁工艺现状及分析



(4) 碳减排工作任务艰巨

- 在今年两会上，国家明确**碳达峰**、**碳中和**的目标，对于碳排放大户钢铁行业来说，必须立即、马上着手**碳减排**工作。



- 以煤、焦炭为主的**高炉长流程工艺**结构在中国钢铁工业发展中长期**占主导地位**；
- 我国钢铁行业碳排放量占全球钢铁碳排放总量的**60%以上**，占全国碳排放总量的**16%左右**，是31个制造业门类中**碳排放量最大**的行业；
- 高炉炼铁的CO₂排放量占整个钢铁行业排放量的**80%以上**，控制高炉炼铁的CO₂排放量可以有效缓解整个钢铁行业的CO₂污染问题；
- 解决钢铁行业碳排放问题，会大大降低环境污染程度。

数据来源：朱仁良，未来炼铁技术发展方向探讨以及宝钢探索实践



目录



二、对炼铁发展的几点思考及看法



1、未来炼铁技术发展方向

时间维度	技术方向和重点	技术内容
短期内	对现有的工艺进行改革创新	设备大型化 ：焦炉大型化技术、烧结设备大型化、大型带式焙烧机球团核心技术以及高效低耗特大型高炉关键技术等。
		大数据、智能制造 ：通过炼铁工艺装备升级改造，提高效率，实现炼铁生产全流程的智能化、数字化、可视化，即智慧制造。
		经济炼铁 ：通过工艺、操作的改革创新，降低原燃料的消耗，或者寻找新的替代能源，多方面来降低铁水成本。
中长期	研发低碳环保的新炼铁工艺	清洁生产 ：包括节碳减排、资源回收综合利用与废弃物消纳等。
		非高炉炼铁 ：对比非高炉炼铁工艺的优劣，包括直接还原和熔融还原两大工艺；与此同时，也要继续努力开发氢冶金技术，实现从20世纪“氧时代”到21世纪“氢时代”的过渡。
		新工艺改进优化 ：对已投产的非高炉工艺持续改进与优化。



二、对炼铁发展的几点思考及看法



2、建议重点关注的工艺、技术

(1) “设备大型化”工艺及相关技术

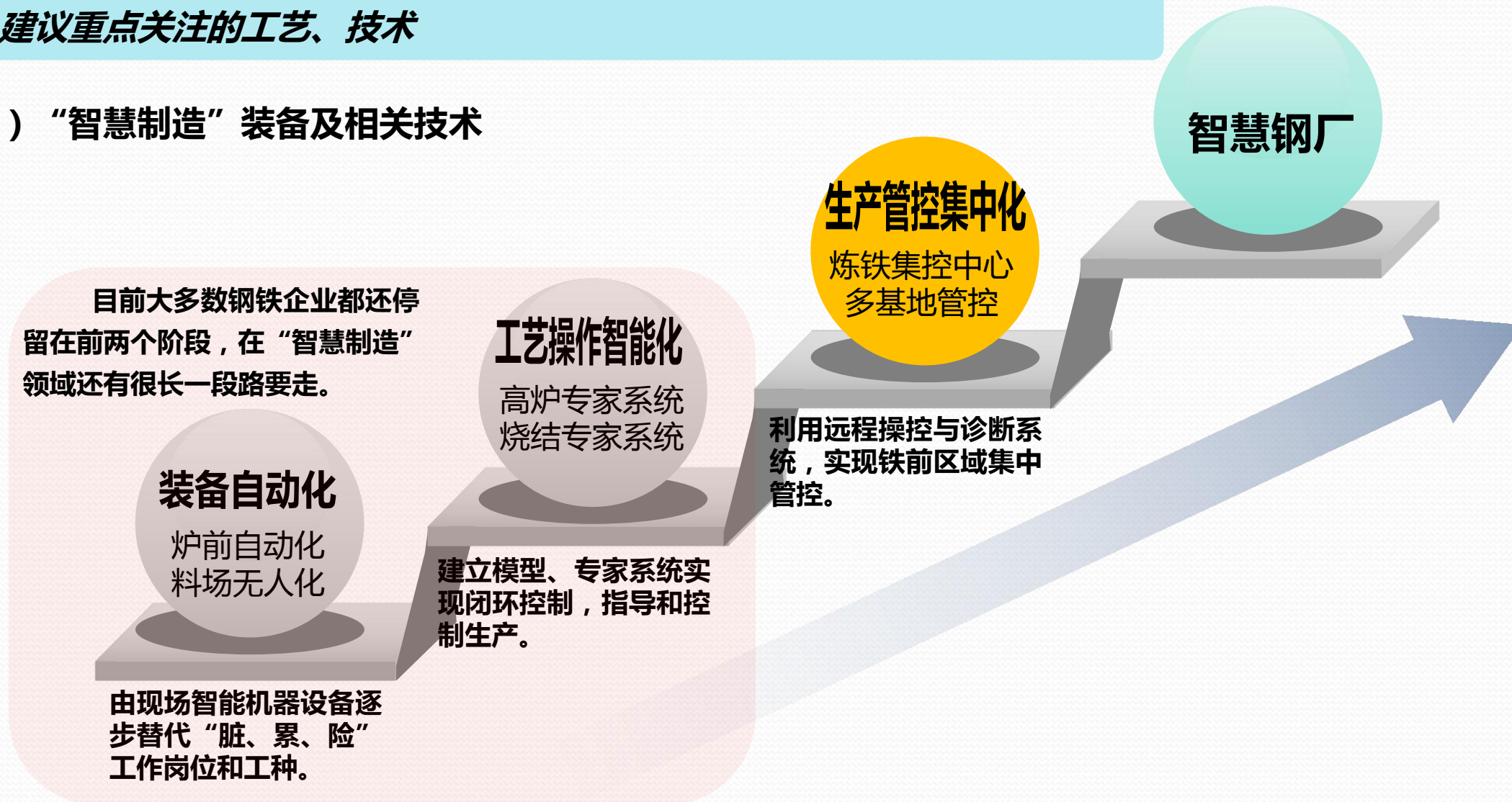
技术名称	相关技术内容	优势
焦炉大型化及配套技术	<ul style="list-style-type: none">• 超大容积焦炉技术• 焦炉煤气净化系统大型化• 超大型干熄焦技术	<ul style="list-style-type: none">• 焦炉大型化具有占地面积小，劳动生产率高，焦炭质量好，环保水平高，焦炉寿命长等优点。• 是实现焦化行业节能减排的重要途径。
烧结设备大型化	<ul style="list-style-type: none">• 烧结机大型化技术• 超厚料层烧结技术	<ul style="list-style-type: none">• 大型烧结机数量增加，能耗指标大幅度降低，环境指标明显改善。• 实施超厚料层烧结能够有效改善烧结矿转鼓强度，提高成品率，降低固体燃料消耗，提高还原性等。
球团设备大型化	<ul style="list-style-type: none">• 大型带式焙烧机技术	<ul style="list-style-type: none">• 由于带式球团具有原料适应性强、生产规模大，工艺成熟、技术可靠，再加上其大型化优势，将推动带式球团工艺的发展。
特大型高炉关键技术	<ul style="list-style-type: none">• 高炉大型化• 大型高炉长寿技术	<ul style="list-style-type: none">• 大型高炉生产效率高，能耗低，排放少，是炼铁业实现集约化绿色发展的重大技术。

二、对炼铁发展的几点思考及看法



2、建议重点关注的工艺、技术

(2) “智慧制造” 装备及相关技术



二、对炼铁发展的几点思考及看法

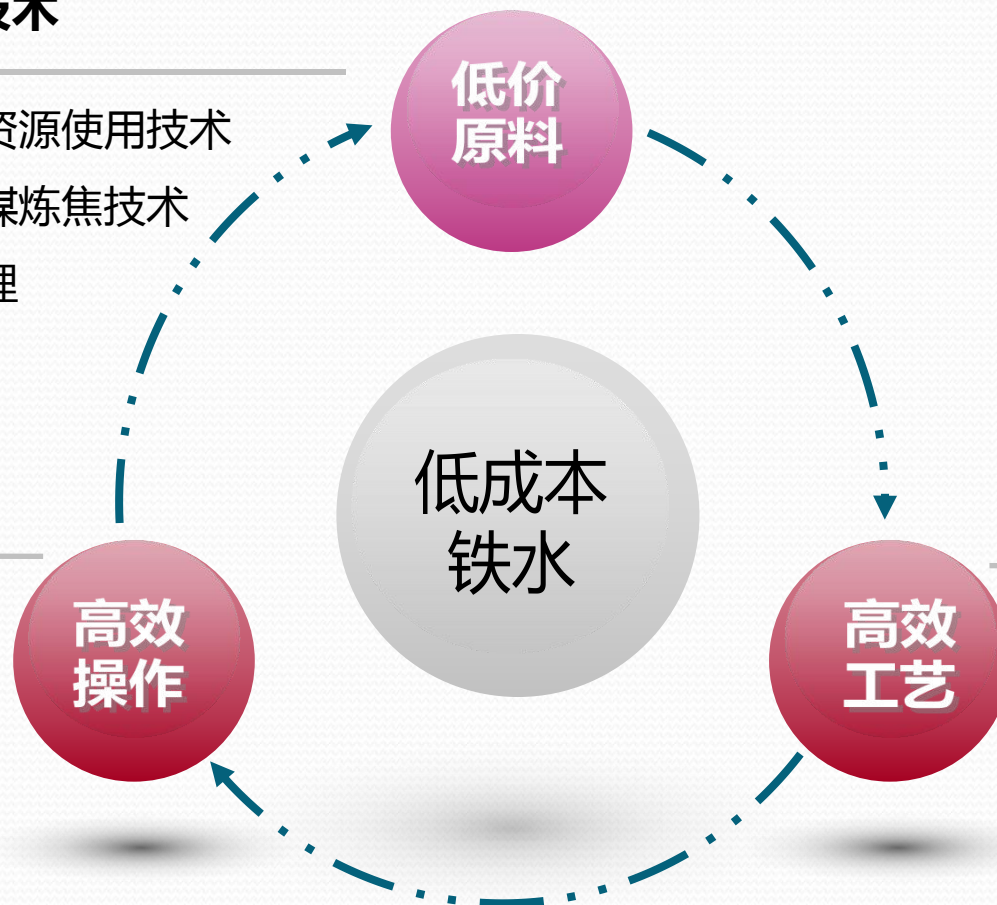


2、建议重点关注的工艺、技术

(3) “经济炼铁” 相关工艺、技术

- 低价非主流铁矿资源使用技术
- 大比例弱粘煤配煤炼焦技术
- 原燃料精细化管理

- 高炉高利用系数生产技术
- 调整高炉操作制度，提煤降焦技术



- 烧结料面喷吹蒸汽技术
- 超厚料层烧结技术



二、对炼铁发展的几点思考及看法



2、建议重点关注的工艺、技术

(4) “清洁生产” 相关工艺、技术

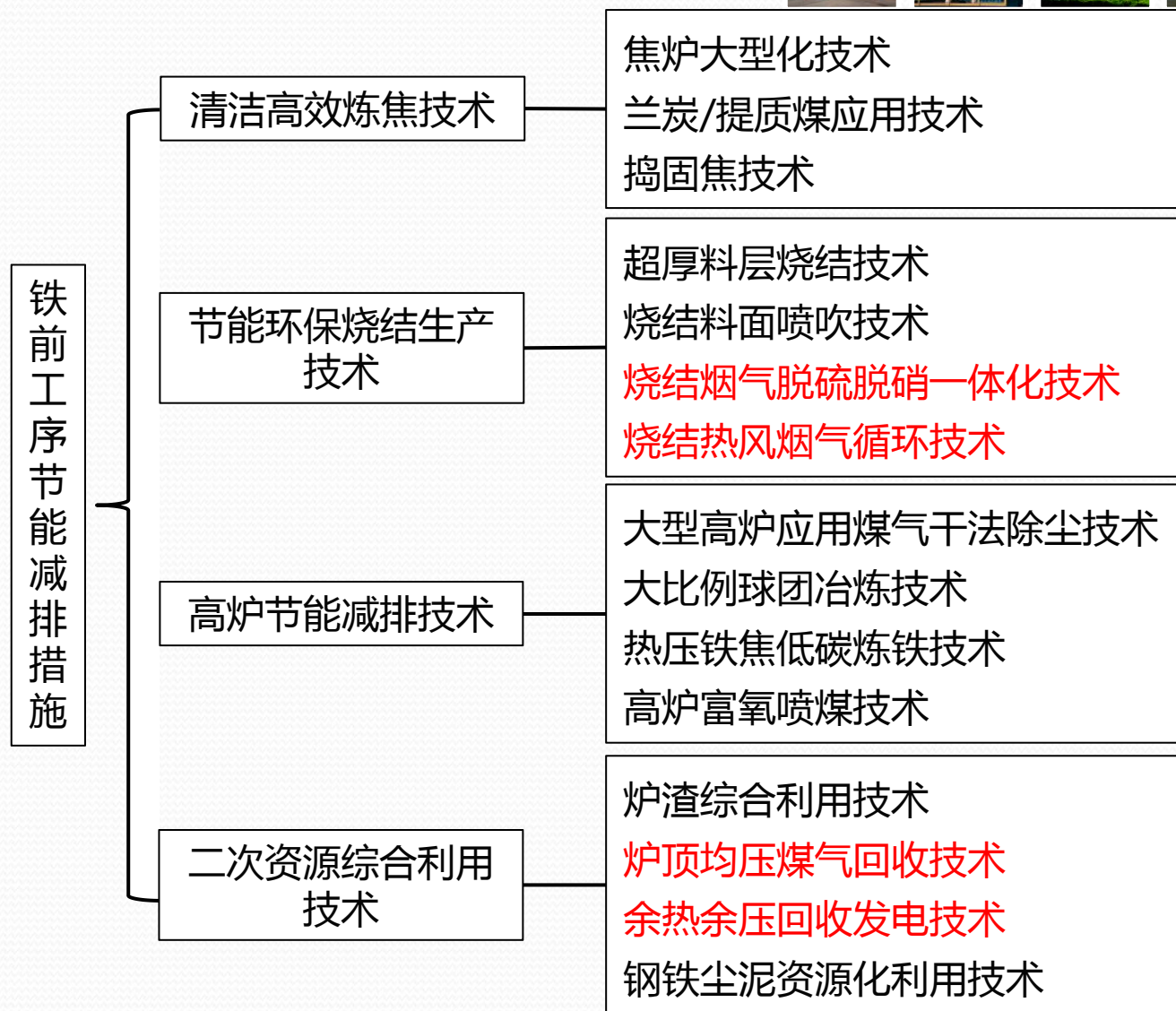




三、铁前工序节能减排技术及应用



- 当前，我国钢铁工业已进入**减量阶段**、**重组阶段**、**绿色阶段**三期叠加的关键时期，钢铁企业既迎来**减量化**和**高质量转型发展**的重要机遇，又面临愈发严苛的**环境约束**和**低碳发展**的巨大挑战。
- 传统炼铁工艺大量使用碳素作为热源和还原剂，是排放温室气体（CO₂）的重点工序之一。除碳排放之外，前置工序（烧结、球团、炼焦等矿煤造块工序）因碳引起的系列污染问题，也给炼铁流程的生存和可持续发展带来危机，实现**铁前工序节能减排**是从根本上解决生存问题的关键。



三、铁前工序节能减排技术及应用



1、烧结烟气脱硫脱硝一体化技术

《钢铁烧结、球团工业大气污染物超低排放标准》

颗粒物
10 mg/m³

SO₂
35 mg/m³

NO_x
50 mg/m³

- 国家出台严格的环保标准，钢铁企业环保压力增加，必须开发节能减排技术；
- 烧结烟气中含有大量显热和氧气，是优质的二次资源；
- 钢铁企业烧结烟气为满足达标排放的要求，必须采取脱硫脱硝措施。

- 采取分级治理方式，即针对不同污染物加装不同的去除装置，这种**分级治理**的方式存在**投资、运行费用高、占地面积大和烟气系统复杂**等缺点。
- 在同一个烟气治理设备中，将SO₂、NO_x，甚至包括二噁英以及其他重金属等污染物全部同时脱除，就可以避免分级治理的缺点。
- 开发**经济高效、简单可靠的同时脱硫脱硝**技术对我国工业烟气治理有着极为重要的意义。



三、铁前工序节能减排技术及应用



1、烧结烟气脱硫脱硝一体化技术

目前可供钢铁行业选择的烧结烟气脱硫脱硝的技术主要有：低温烟气循环流化床同时脱硫脱硝除尘技术、**活性炭技术**、烟气氧化脱硝+湿法脱硫+湿电组合技术、**循环流化床脱硫+SCR脱硝组合技术**。

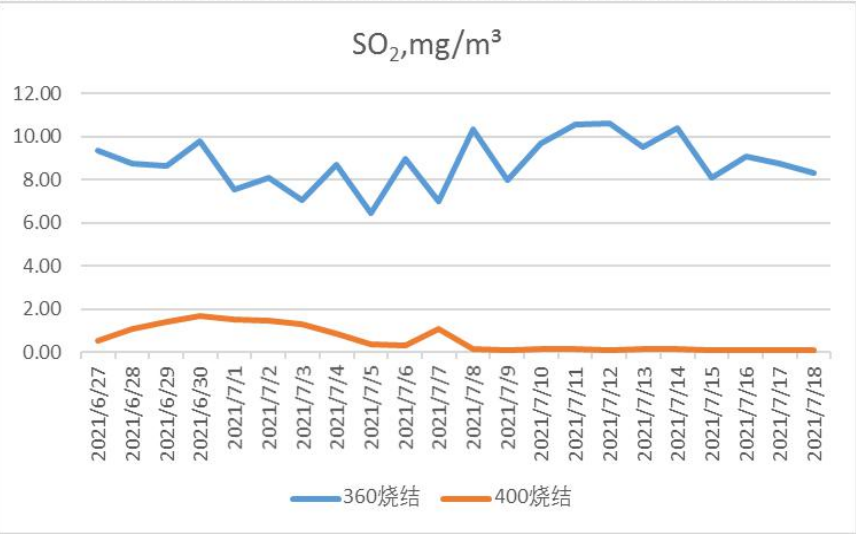
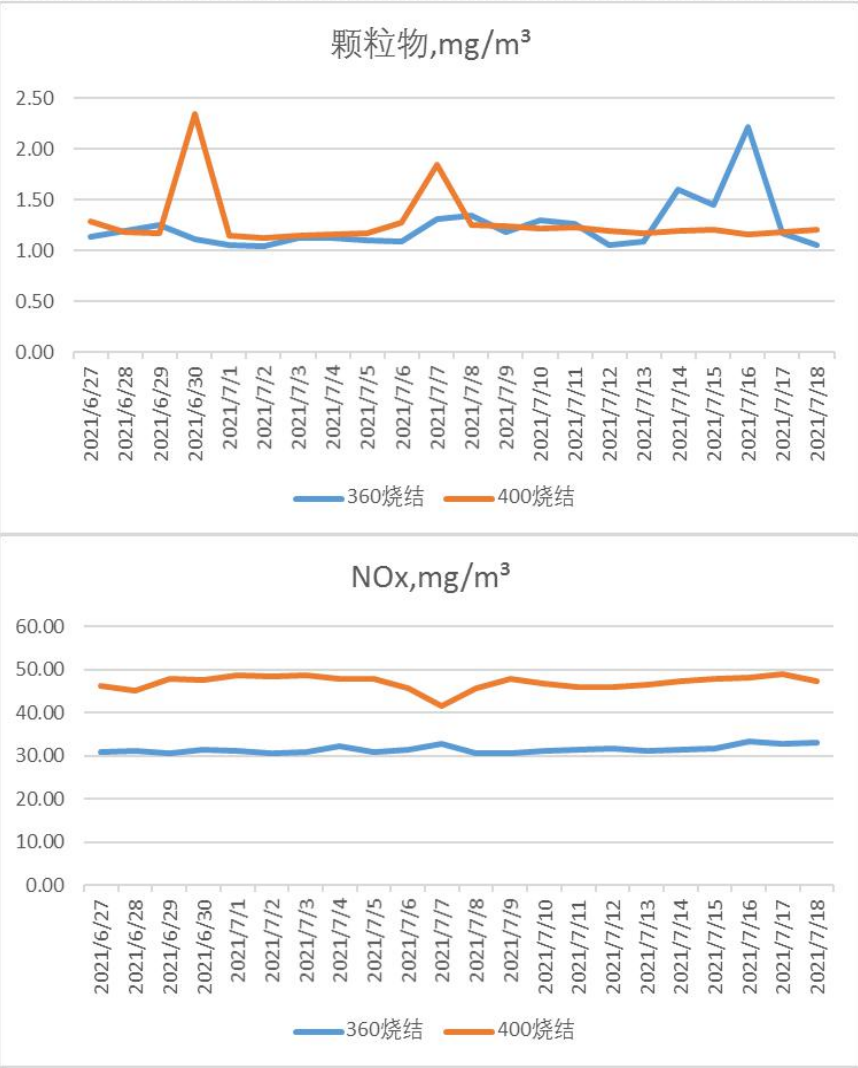
技术	原理	工艺特点
活性炭技术	活性炭表面化学吸附和氧化： $SO_2 + 1/2O_2 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$ 酸性气体回收： $H_2SO_4 \cdot H_2O \rightarrow SO_3 + 2H_2O$ $SO_3 + 1/2C \rightarrow SO_2 + 1/2CO_2$ 喷氨以后： $H_2SO_4 + NH_3 \rightarrow NH_4HSO_4$	<ul style="list-style-type: none">• 活性炭干法脱硫脱硝技术集脱硫、脱硝、脱二噁英、除尘、除重金属于一体，在烧结烟气治理中，脱硫效率$\geq 95\%$，氮氧化物脱除效率$\geq 80\%$，是在烧结机上工业化应用较为成熟的综合性烟气治理技术；• 工艺路线存在着系统复杂、自动控制要求高、工程总投资大等缺点，同时吸附剂活性炭年消耗量大，且对品质要求高，造成运行费用高。
循环流化床脱硫+SCR脱硝组合技术	脱硫机理为： $SO_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaSO_3 + H_2O$ 脱硝机理为： $4NO + 4NH_3 + O_2 = 4N_2 + 6H_2O$ $2NO_2 + 4NH_3 + O_2 = 3N_2 + 6H_2O$ $NO + NO_2 + 2NH_3 = 2N_2 + 3H_2O$	<ul style="list-style-type: none">• 分别进行脱硫脱硝，各分步技术相对成熟、污染物脱除效率高、适用范围广，可满足最严格的污染物排放标准要求，工程总投资和运行费用适中；• 对于目前已建设脱硫装置的烧结球团企业，为满足新标准对氮氧化物的排放要求，可继续建设脱硝部分，不存在重复建设问题；• 脱硫、脱硝副产物产生量大，尚无公认的最佳应用途径或资源回收价值，需作为废物进行处理。

三、铁前工序节能减排技术及应用



1、烧结烟气脱硫脱硝一体化技术—兴澄烧结脱硫脱硝技术应用效果

- 400m²烧结配套脱硫脱硝系统，应用“**活性炭脱硫脱硝**”技术，在满负荷生产条件下，超低排放**100%达标**。
- 360m²烧结配套循环流化床脱硫+**SCR脱硝**烟气过滤系统，实现超低排放标准，**全年环保排放零超标**。



平均排放	颗粒物 mg/m ³	SO ₂ mg/m ³	NOx mg/m ³
360烧结	1.24	8.81	31.52
400烧结	1.28	0.57	47.06

三、铁前工序节能减排技术及应用



2、烧结热风烟气循环技术

烟气循环 技术好处

回收余热

- 回收烧结烟气的余热，提高烧结工序的热利用效率，降低固体燃料消耗

消除有害成分

- 有害成分在烧结层中被热分解或转化，二英和NOx会被部分消除，抑制NOx的生成

捕获粉尘

- 粉尘和SOx会被烧结层捕获，减少粉尘、SOx的排放量

减少燃料消耗

- 烟气中的CO作为燃料使用，可降低固体燃料消耗

降低终端处理负荷

- 减少烟囱处排放的烟气量，减小终端处理负荷，可提高烧结脱硫装置的脱硫效率



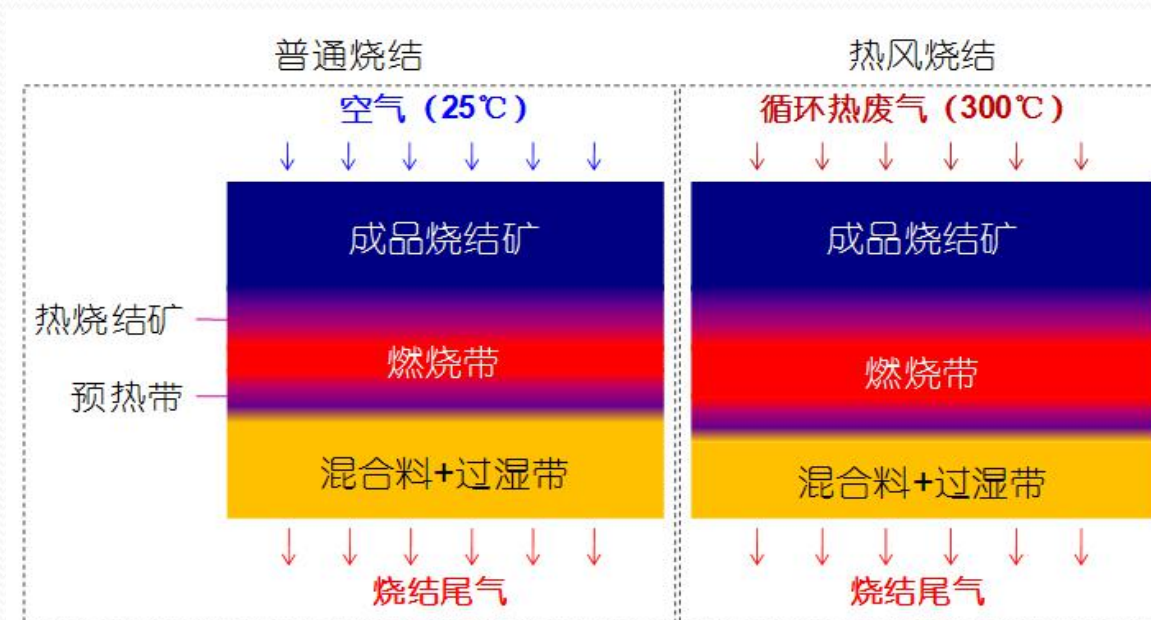
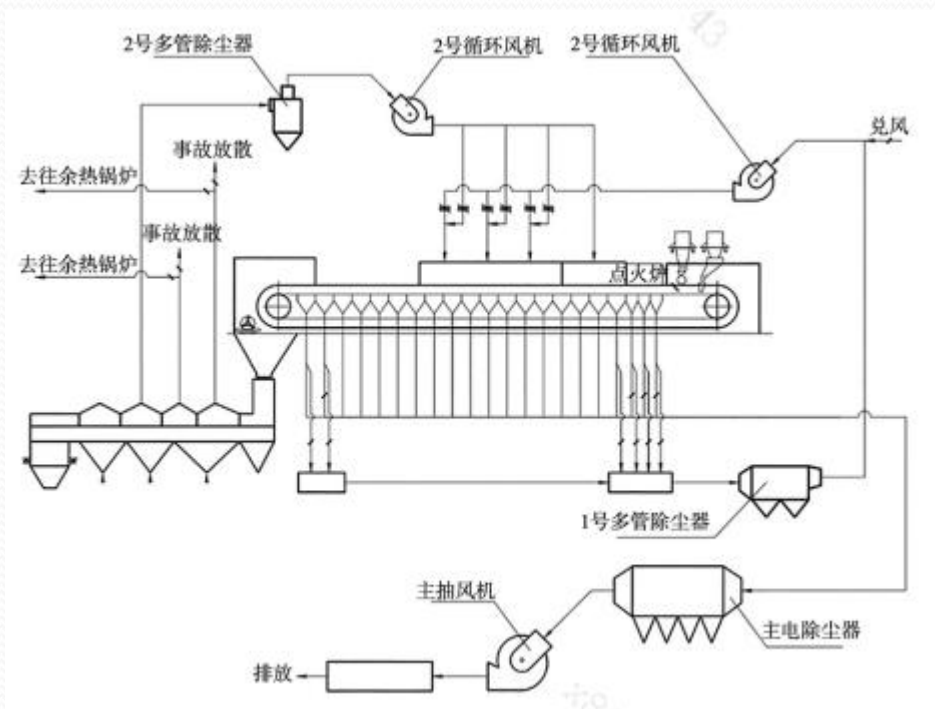
三、铁前工序节能减排技术及应用



2. 烧结热风烟气循环技术

烧结烟气循环技术应用效果分析

(一) 循环烟气使烧结温度场发生改变



三、铁前工序节能减排技术及应用



2、烧结热风烟气循环技术

(二) 循环烟气中绝大部分粉尘颗粒被料层吸收，**减排效果明显**

粉尘颗粒，mg/Nm ³	热风罩烟	6#风箱	8#风箱	料层脱除量	料层脱除率
PM2.5	51.45	42.02	38.54	46.13	89.65%
PM10	156.93	43.36	42.27	155.26	98.94%

(三) 二噁英、SO₂、NO_x等**有害物排放量大幅度降低**

- 采用烧结烟气循环技术后，烧结外排污染物总量全面下降，其中**粉尘排放降低13.57%**，**SO₂减排7.18%**，**NO_x减排10.81%**。

三、铁前工序节能减排技术及应用



2、烧结热风烟气循环技术

能源消耗情况对比

时期	固体燃耗, kg/t	电耗, 度/t	煤气消耗, m ³ /t
投用前	47.59	30.30	35.22
投用后	46.57	34.27	40.42
差值	-1.02	3.97	5.20

- 固体燃耗减少1.02kg/t，主要是因为热风余热进入料层上部，起到补充热量的作用，减少燃料的消耗；
- 电耗增加3.97度/t，主要是因为烟气循环系统的2台风机增加电力消耗；
- 煤气消耗增加5.2m³/t，主要是因为料层降低，透气性过好，煤气流量大，煤气消耗增加。

三、铁前工序节能减排技术及应用



3、炉顶均压煤气回收技术

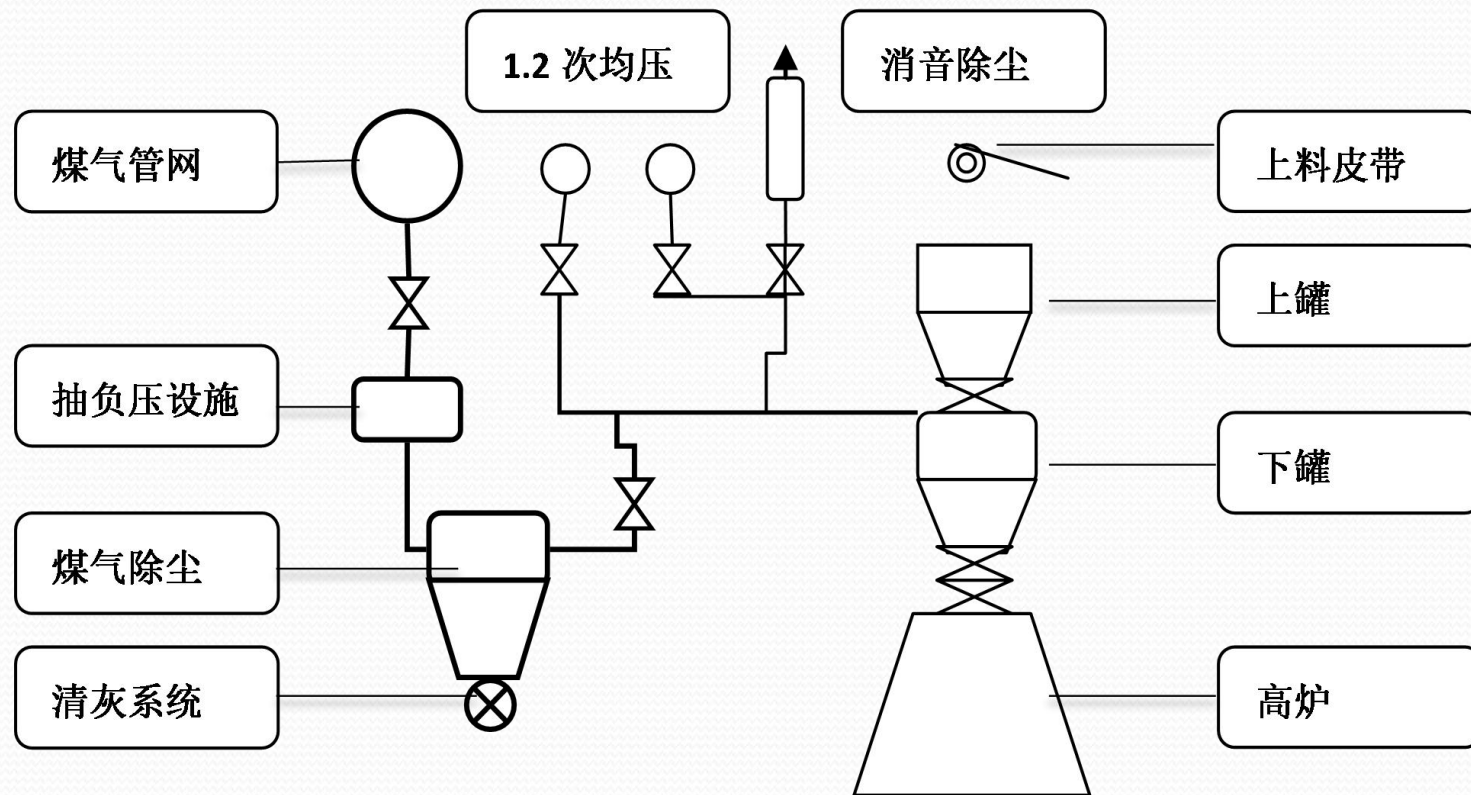
- 生产中表明,炉顶装料过程中有煤气均压放散,排入大气的工况煤气量为 $10\sim 20\text{m}^3/\text{tFe}$, 虽只占吨铁煤气发生量的 1% 左右 , 但基数大了其排放量是十分惊人的 , 年产200万吨生铁的 2500m^3 高炉年放散量 $2000\sim 3000\text{万m}^3$, 2020年全国高炉产生铁8.8亿多吨 , 仅此项排放将近 100亿m^3 , 全世界 ?
- 煤气中含 $\text{CO} : 23\sim 24\%$, $\text{CO}_2 : 16\sim 23\%$, 人在含有CO浓度 $500\text{mg}/\text{m}^3$ 的环境中只要20分钟就有中毒死亡的危险 , 有剧毒的高炉煤气是毒害人类的重武器 , 这些CO排入大气中虽得到稀释但仍危害人类健康 , 比 CO_2 温室气体要严重得多 , 而且与当前的“ 碳达峰、碳中和”政策相违背。
- 其能源损耗也十分惊人 , 1000m^3 高炉煤气约相当 100kg 标准煤。



三、铁前工序节能减排技术及应用



3、炉顶均压煤气回收技术



炉顶装料过程中均压放散煤气回收工艺简图

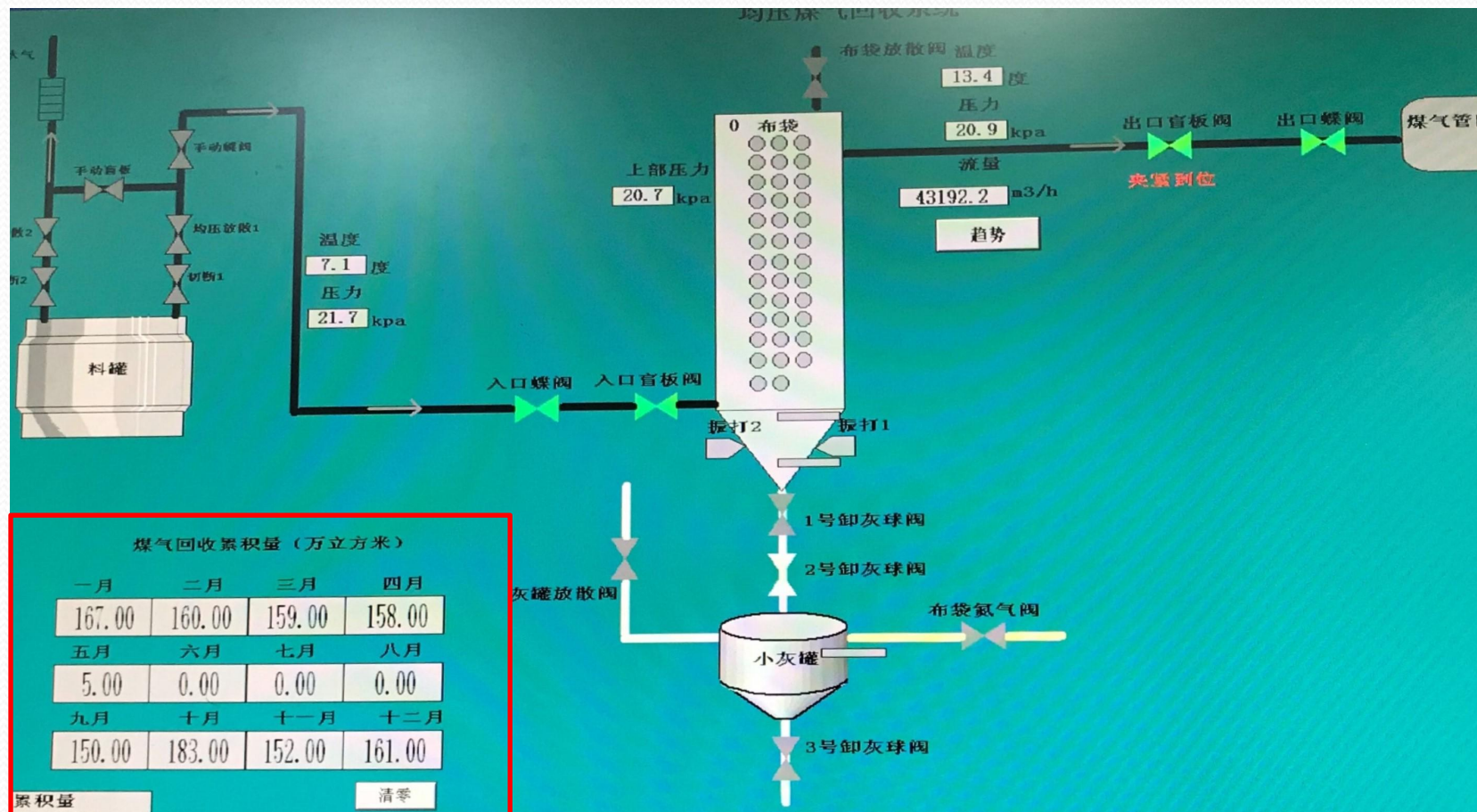
- 某厂—1280 m³高炉大修改造于2015.12.6投产并实现装料过程的均压煤气回收；
- 投产后从未间断过,实践结果是每装一罐料,均压回收称量罐中的煤气只需8~14秒,并不影响装料速度,而且对煤气管网压力无冲击；
- 顶压160~190kpa条件下回收煤气7~8m³/tFe；
- 根据企业煤气价格,年回收煤气120万元,当年回收投资,环保效益更可观,回收过程的粉尘与高炉布袋除尘一并回收。

三、铁前工序节能减排技术及应用



3、炉顶均压煤气回收技术

- 某3200高炉自2018年增设的均压煤气回收量

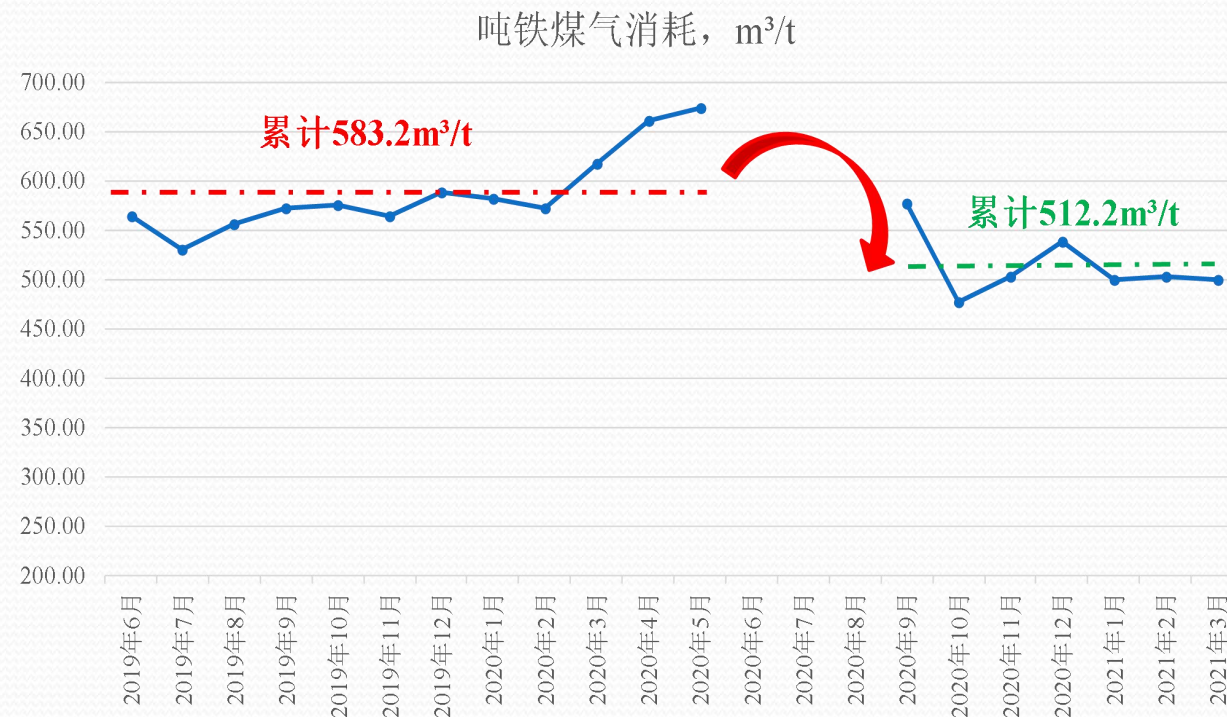
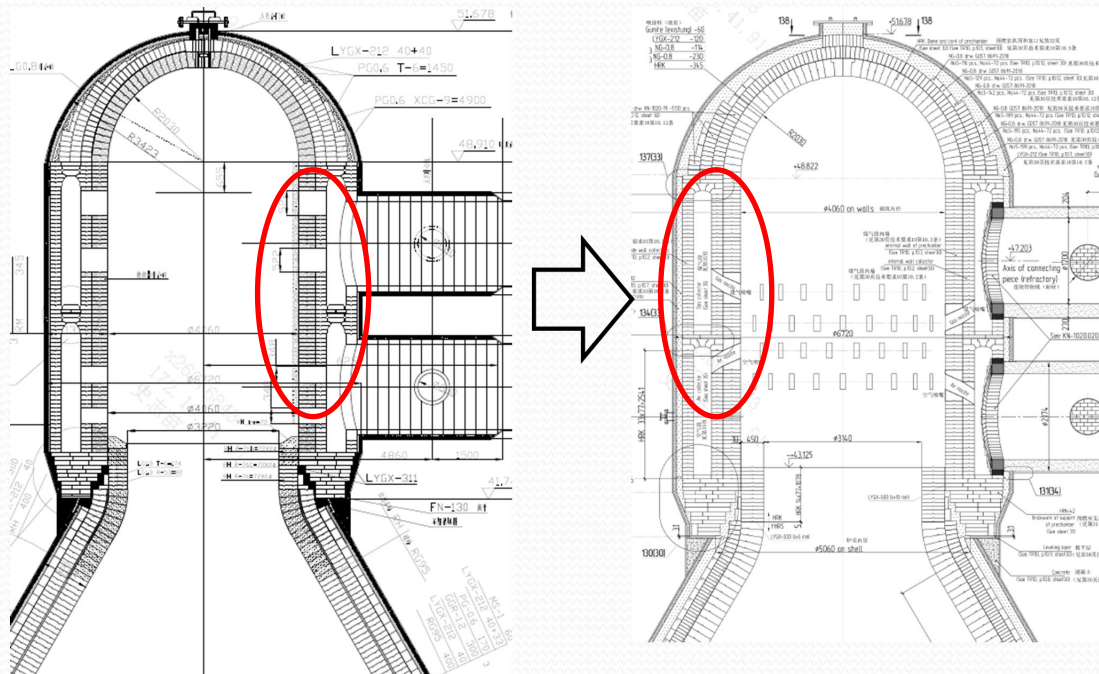


三、铁前工序节能减排技术及应用



4、热风炉低煤气消耗烧炉技术

- 加强设备点检维护，保持设备稳定运行，减少现场阀门泄漏；
- 投入热风炉**智能烧炉系统**，实时优化修正空燃比设定；
- 优化空气与煤气预热器烟气分配量，提高煤气预热后温度；
- **优化燃烧器结构**，使空煤气混合更均匀，燃烧更充分。



三、铁前工序节能减排技术及应用



5、烧结余热回收利用技术

- 烧结工序的富余热量主要来自烧结机尾高温烟气和冷却机废气两部分，其中烧结矿在环冷机冷却过程中排出大量温度为250~380℃低温烟气，其热能耗大约为烧结矿热能耗的30%左右，兴澄烧结采用双进烟气、自然循环立式、双压系统的余热锅炉，将烧结环冷机一、二、三段烟囱排出的气体作为热源进行回收利用；
- 充分利用烧结环冷机余热低压排空蒸汽，不再使用公司管网蒸汽，且因压力、温度稳定，从而保护设备，氨蒸发器温度也更加稳定，提升喷氨脱销效率，另外蒸汽冷凝水余热锅炉循环利用，达到零排放，零浪费，降低成本1元/吨矿；
- 利用烧结环冷余热对高炉槽下焦炭及块矿进行烘干，降低焦炭水分1%。



三、铁前工序节能减排技术及应用



6、其他节能减排技术

（一）热风炉废烟气热能回收利用技术

- 利用高温的热风炉烟气对喷煤的原煤进行干燥，有效回收利用废气热能，起到节能降耗作用。

（二）烧结用兰炭替代焦粉技术

- 在保证烧结矿产、质量的前提下，烧结过程配加兰炭对降低烧结矿成本具有积极的作用。

（三）高炉煤气精脱硫技术

- 高炉煤气脱硫工艺，可以降低企业环境治理成本、生产成本的同时，对钢铁行业的绿色、高效发展都将具有重要的意义。
- 按照超低排放A类企业要求，实施高炉煤气精脱硫，在高炉煤气进管网前进行脱硫，从源头控制硫排放，将在2021年完成高炉煤气精脱硫改造。





四、总结



中国炼铁工作者通过70年的不断努力，已经成功进入世界炼铁工业界先进行列。随着历史车轮不断前进，社会和自然的不断演变，人类对美好生活的追求与有限的自然资源及环境容量之间的矛盾不断增加，在经济形势存在诸多不确定因素的形势下，中国炼铁工业面对环境和资源的挑战，坚持可持续发展道路，这还有待广大科研人员、工程技术工作者和企业管理人员的不断努力奋斗：

- 科研人员需扎根基础理论和应用研究，在学术理论和工艺原理上取得突破；
- 工程技术工作者需要登高望远，勇于打破传统，实现前沿理论和技术的工业化；
- 企业管理者需在复杂多变的国内外政治和经济形势中制定高效的企业管理运营机制，保障新技术的持续推进。

在广大炼铁工作者的协同努力下，中国炼铁工业必将迎来更加灿烂辉煌的前景。



THANKS

汇报结束
谢谢大家！

