



低碳烧结 关键技术及节能环保

第十三期全国铁烧焦球培训班

汇报人：万 新 单位：重庆科技学院 时间：2023年3月28日

目录

Contents



1

烧结理论回顾

2

低碳烧结规范

3

关键技术进展

4

关于配矿技术

5

未来工作展望





烧结理论回顾

烧结理论回顾

低碳烧结规范

关键技术进展

关于配矿技术

未来工作展望

基石计划：钢协向四部委上报的计划，即通过国内新增铁矿开发、境外新增权益铁矿、废钢资源的开发，实现对铁矿石供给和价格的话语权。

目标明确：2025、2030、2035三大节点保障目标制定。以2025目标为例，测算产量10.65亿吨，国内矿和废钢对粗钢产量的贡献率可分别为21%和26%均比2022年提升六个百分点。

国内铁矿资源禀赋：

- 高品位铁矿资源稀缺，平均品位不足35%，低品位磁铁矿为主；
- 集中成片的铁矿较少，规模小、分散的资源分布较多；
- 露天开采占比小，以地下矿开采为主，成本高、风险大；
- 多元素共生的复合矿、难选矿多，采矿难度大查。



烧结理论回顾

烧结理论回顾

低碳烧结规范

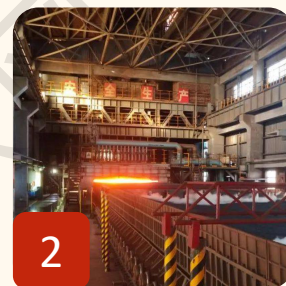
关键技术进展

关于配矿技术

未来工作展望

矿粉的基础特性

铁矿粉的基础特性包括常温特性和高温特性，充分认识这些特性才能合理选择矿种并真正实现优化配矿。



过程的传热与蓄热

烧结料层中热交换的特点和温度分布规律，燃料燃烧速度和传热速度对烧结过程的影响。



过程的物理化学变化

烧结过程中固体燃料的燃烧、结晶水及碳酸盐分解、铁矿物的氧化还原、水分的蒸发和冷凝等基本反应规律。

烧结矿的矿相组成

烧结矿矿物组成和结构与烧结矿质量的关系，同时原料性质和过程参数如何影响烧结矿的矿物组成和结构。

烧结理论回顾 — 矿粉的基础特性



烧结理论回顾

低碳烧结规范

关键技术进展

关于配矿技术

未来工作展望

铁矿粉常温性能

化学成分

传统配料是以化学成分为基础，以物质平衡的方式进行计算，其中对主要成分及有害元素进行约束。

粒度组成

进厂矿粉均一般可进入工序直接使用，3-0.35mm粉末最难成球，可结合工艺要求具体分析。

制粒性能

烧结用矿粉一般制粒性质可控，但有时一些辅料或回收料介入可能会对制粒性带来较大影响。

铁矿粉高温性能

同化性能

测定铁矿粉与CaO接触面发生反应(产生熔化特征)的最低温度，并以这个温度值表示铁矿粉的同化能力。

液相流动性

液相流动性

粘结相强度

粘结相强度

烧结理论回顾 — 过程的物理化学变化



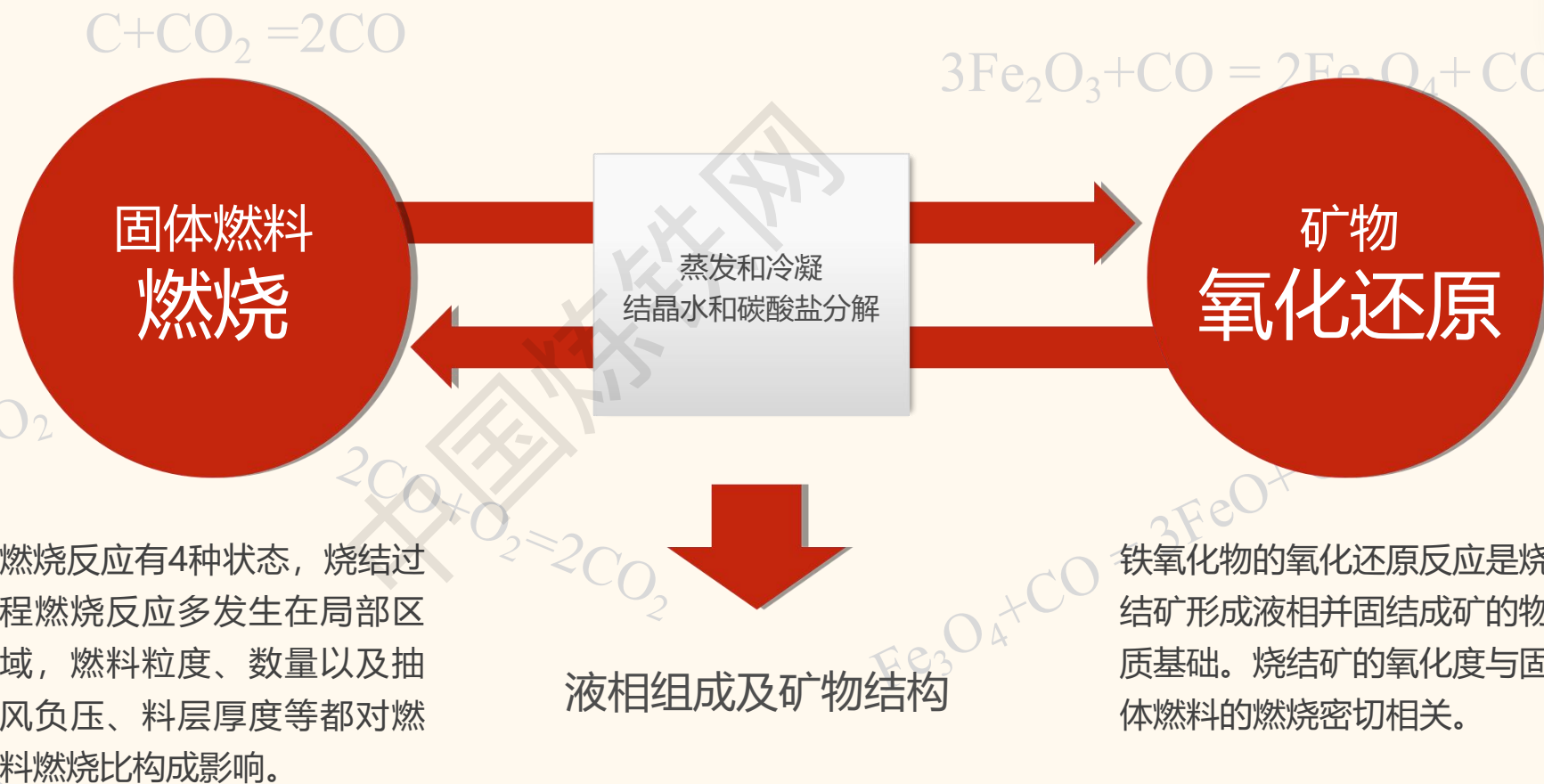
烧结理论回顾

低碳烧结规范

关键技术进展

关于配矿技术

未来工作展望





烧结理论回顾

—过程的传热与蓄热

烧结理论回顾

低碳烧结规范

关键技术进展

关于配矿技术

未来工作展望

关于传热与蓄热的几个关键问题

- ◆ **料层的透气性：**燃层透气性受料层结构的影响，包括混合料的平均粒径、形状系数、孔隙率等。料层透气性的恶化，不仅会造成产量下降，还会严重影响烧结矿质量。
- ◆ **燃烧速度与传热速度：**燃烧速度（火焰前峰）应与传热速度（热波前峰）保持同步移动。
- ◆ **烧结过程的自动蓄热：**烧结下部料层吸收上部料层热量形成了自动蓄热，计算表明料层的需热量自上而下断升高，利用该原理形成的技术包括偏析布料技术、热风烧结技术、双层烧结法等。
- ◆ **保持适宜的高温区厚度：**温度和厚度有利于反应进行和液相量充沛，过之则会产生过熔。调节燃料用量、热风烧结、返矿平衡、控制燃料粒度、平衡燃烧速度和传热速度等，可获得理想的高温区温度和较薄的高温区厚度。

烧结理论回顾

—烧结矿的矿相组成



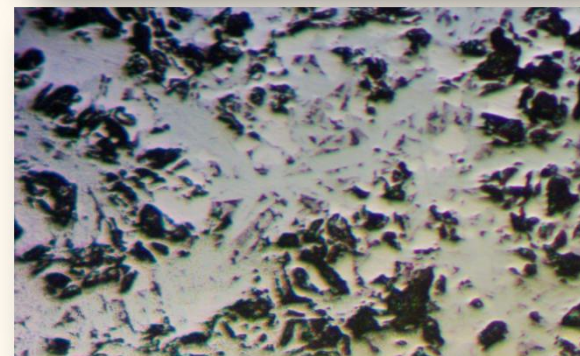
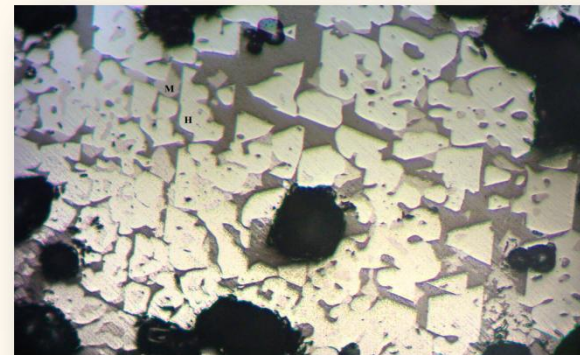
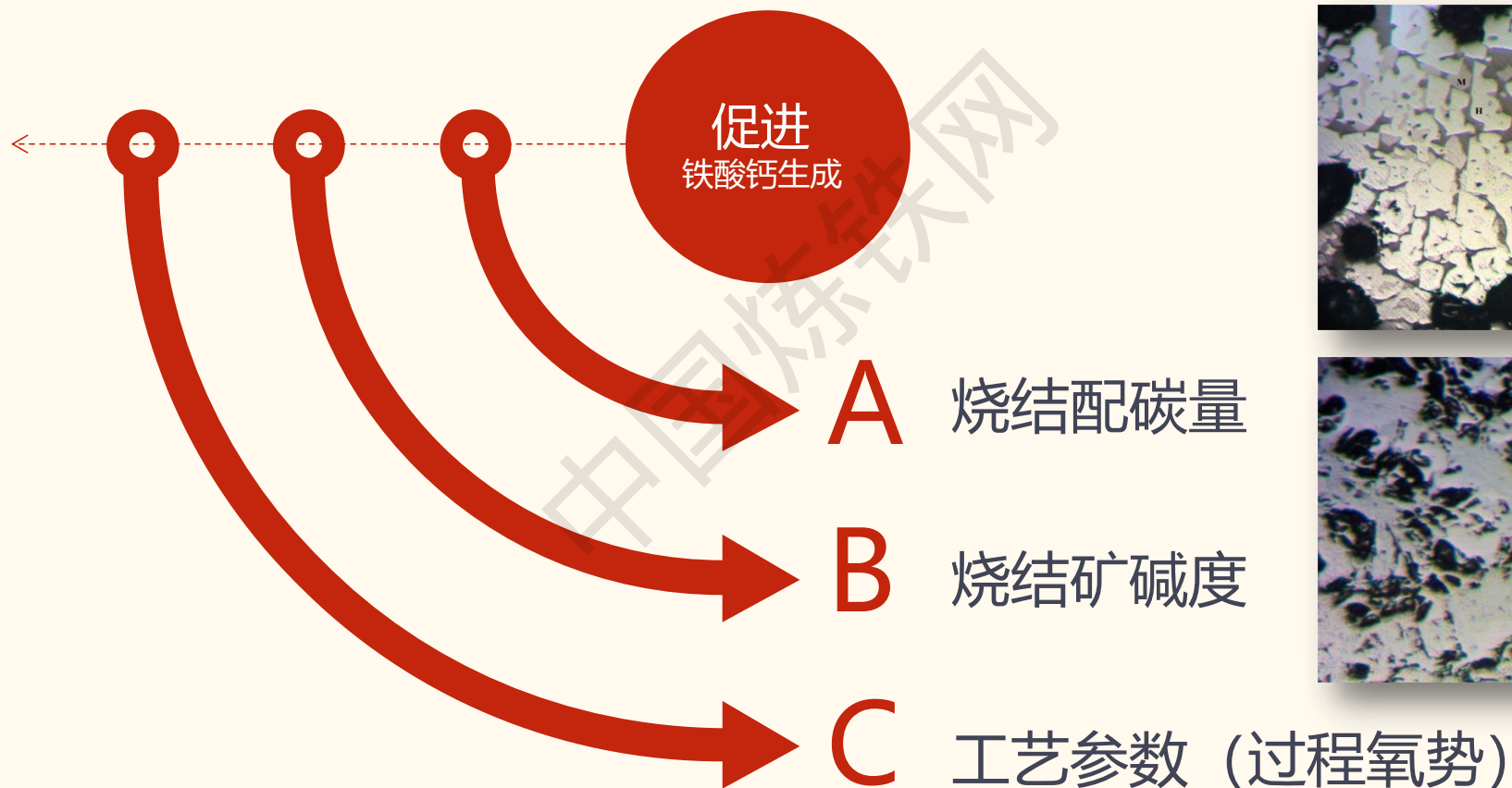
烧结理论回顾

低碳烧结规范

关键技术进展

关于配矿技术

未来工作展望



目录

Contents



1

烧结理论回顾

2

低碳烧结规范

3

关键技术进展

4

关于配矿技术

5

未来工作展望





低碳烧结规范

烧结理论回顾

低碳烧结规范

关键技术进展

关于配矿技术

未来工作展望



新国家标准《粗钢生产主要工序单位产品能源消耗限额》（GB21256—2013）替代了（GB21256—2007），对烧结工序能耗做了重新规定。
中国工业节能与清洁生产协会也于2022年11月颁布了团体标准：钢铁低碳烧结技术规范 T/CIECCPA 015—2022。



GB21256—2007				GB21256—2013			
折算系数	限额值 Kgce/t	准入值 Kgce/t	先进值 Kgce/t	折算系数	限定值 Kgce/t	准入值 Kgce/t	先进值 Kgce/t
0.40	≤65	≤60	≤55	--	--	--	--
0.12	≤56	≤51	≤47	0.1229	55	50	45

低碳烧结规范



烧结理论回顾

低碳烧结规范

关键技术进展

关于配矿技术

未来工作展望

团体标准

T/CIECCPA 015—2022

钢铁低碳烧结技术规范

Technical specification for low carbon sintering of
iron and steel



低碳烧结规范

烧结理论回顾

低碳烧结规范

关键技术进展

关于配矿技术

未来工作展望



低碳烧结



生物质燃料替代

采用生物质炭化燃料代替焦粉、无烟煤等化石燃料用于烧结过程

燃气喷吹

将气体燃料喷入点火后料面上，替代部分固体燃料参与烧结过程



烟气循环烧结

烧结生产过程中产生的部分热烟气返回烧结料面再次利用的烧结工艺



富氧烧结

助燃气体含氧量大于21%的烧结过程





低碳烧结规范

烧结理论回顾

低碳烧结规范

关键技术进展

关于配矿技术

未来工作展望

总体要求

- ◆ 低碳烧结技术的应用应满足**国家及地方环保相关政策及法规**要求，确保大气污染物排放指标及能效水平符合国家和地方相关标准要求。
- ◆ 低碳烧结不应影响烧结工序正常生产，烧结矿质量应**满足YB0421和企业高炉入炉原料的规定**。
- ◆ 采用低碳烧结技术工序能耗应达到钢铁行业（烧结、球团）**清洁生产评价指标体系**规定的一级基准值，烧结工序能耗（不含脱硝）应 $<45\text{kgce/tg}$
- ◆ 采用低碳烧结技术固体燃料消耗应**达到HJ/T426规定的一级指标**，烧结固体燃料消耗应 40kgce/t 。



低碳烧结规范

烧结理论回顾

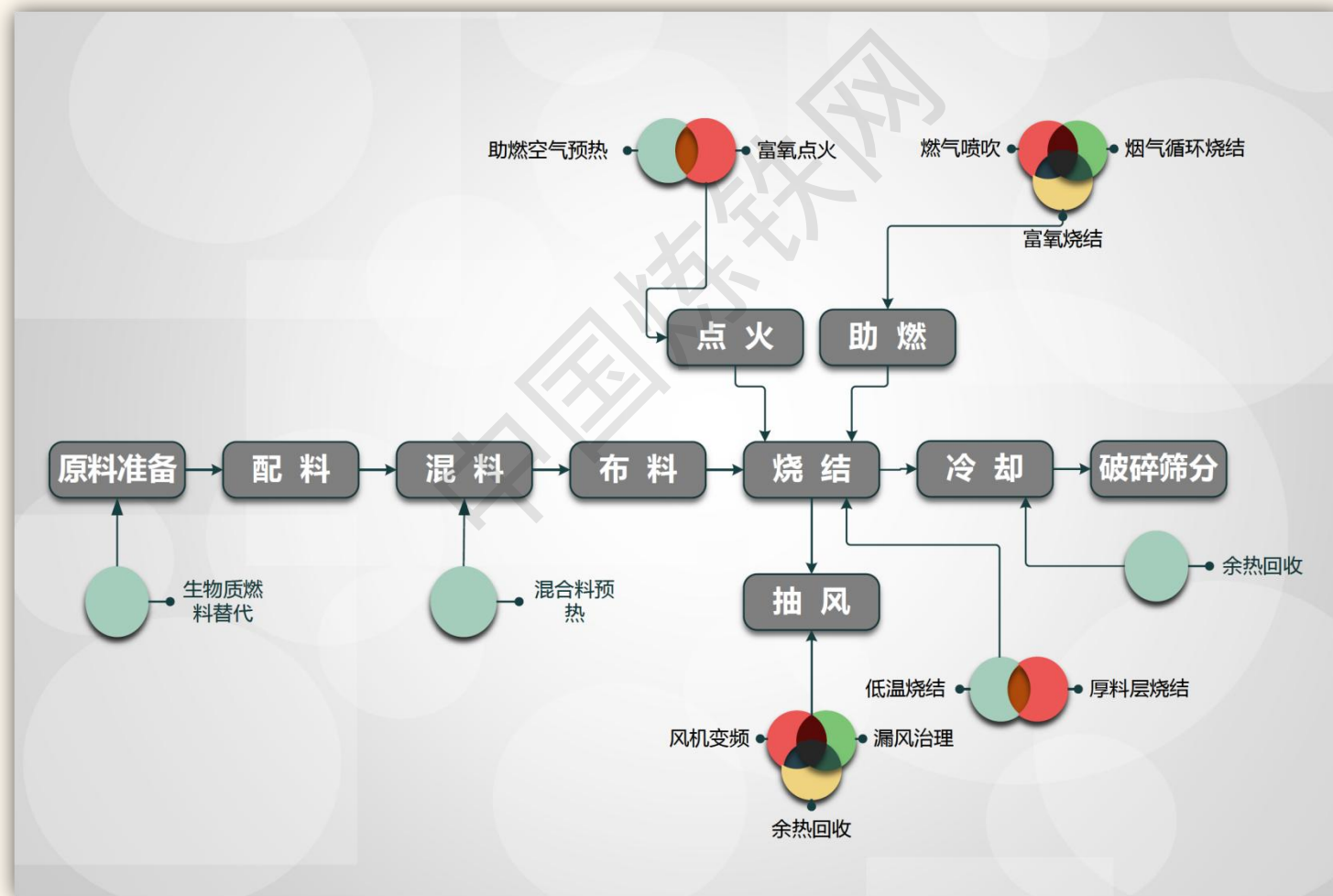
低碳技术的选择

低碳烧结规范

关键技术进展

关于配矿技术

未来工作展望





低碳烧结规范

烧结理论回顾

低碳烧结规范

关键技术进展

关于配矿技术

未来工作展望

设备要求

- 低碳烧结配料、混料、烧结、冷却、破碎筛分应符合GB50408和GB50632的规定，并优先选用新型节能装备。
- 烧结机的布料设备应采用梭式布料机、缓冲矿槽、圆辊给料机和辊式布料器或其他偏析布料装置，以改善烧结料层透气性。
- 带式烧结机头部和尾部应采用星轮装置，尾部应采用水平移动架，风箱端部宜采用整板浮动式密封装置，并定期开展漏风治理，烧结机漏风率通常小于35%。
- 烧结点火应采用节能型点火保温炉设备，以减少热损失。
- 烧结主抽风机应采用变频调速方式对风压、风速进行精细调节，以适应烧结生产波动。
- 烧结矿破碎筛分应采用筛分效率高、能耗低、运行可靠、使用寿命长、质量好、体积小、重量轻的设备。



低碳烧结规范

烧结理论回顾

低碳烧结规范

关键技术进展

关于配矿技术

未来工作展望

低碳烧结技术要求

(1) 烧结原料准备阶段技术要求

- 低碳烧结原料准备应符合GB50408的规定，并优先选用高铁低硅的优质原料。
- 烧结燃料在符合GB50408规定条件下，应采用生物质燃料替代技术，优先选用炭化后生
- 烧结熔剂在符合GB50408规定条件下，应优先选用生石灰。
- 烧结混料过程应优先采用混合料预热技术，应优先选用烧结余热预热，预热温度应 $>50^{\circ}\text{C}$ 。
- 烧结布料应配套铺底料措施。

(2) 烧结生产过程技术要求

- 烧结点火空气应优先选用高温环冷废气。
- 烧结点火空气应引入部分氧含量 $>21\%$ 的高氧气体实现富氧点火。
- 烧结助燃气应优先选用烧结主烟道或者环冷高温废气，废气氧含量应 $\geq 17\%$ 。
- 烧结助燃气应引入部分氧含量 $>21\%$ 的高氧气体实现富氧烧结，以提高燃料燃烧效率。
- 烧结料层表面应喷吹部分燃气辅助烧结，燃气种类应优先选用富氢燃气，减少碳排放。
- 采用烟气循环烧结、富氧烧结和燃气喷吹时，气体供应量应小于烧结料层吸入风量。
- 烧结生产过程应优先选择低温烧结，烧结生产温度应控制在 1250 、 1300°C 之间，以降低固体燃料用量，减少碳排放。
- 烧结料层高度应采用厚料层烧结技术，并根据原料装备情况和生产实际确定，不低于钢铁行业（烧结、球团）清洁生产评价指标体系规定的I级基准值，料层高度应 $\geq 800\text{mm}$ 。

(3) 烧结余热回收技术要求

- 烧结余热包括主烟气余热和冷却废气余热，回收余热应优先用于烧结混合料预热、点火空气预热、烟气循环烧结等低碳烧结过程。
- 主烟气余热回收后，烟气温度应高于露点温度 10°C 以上，以保证机头电除尘、烧结主抽风机不结露。
- 冷却废气余热回收应控制烧结终点在倒数第二个风箱或者适当后移。

目录

Contents



1

烧结理论回顾

2

低碳烧结规范

3

关键技术进展

4

关于配矿技术

5

未来工作展望



关键技术进展 — 富氢燃料烧结技术



烧结理论回顾

低碳烧结规范

关键技术进展

关于配矿技术

未来工作展望

- 长流程炼铁工艺可能还在一个时期内占主导地位，因此烧结作为长流程的一个支撑工序低碳化仍会是工作的一个重点。
- 氢冶金是彻底实现冶金低碳绿色化可持续发展的有效途径，而高炉富氢或纯氢竖炉还原是可预见的技术方向。
- 烧结主要采用焦粉或无烟煤等固体燃料供热，烧结过程能耗高、污染大（包括 CO_x 、 SO_2 、 NO_x 等气体污染物），过程富氢可深入降低能源消耗与污染物排放。



关键技术进展 — 富氢燃料烧结技术

烧结理论回顾

低碳烧结规范

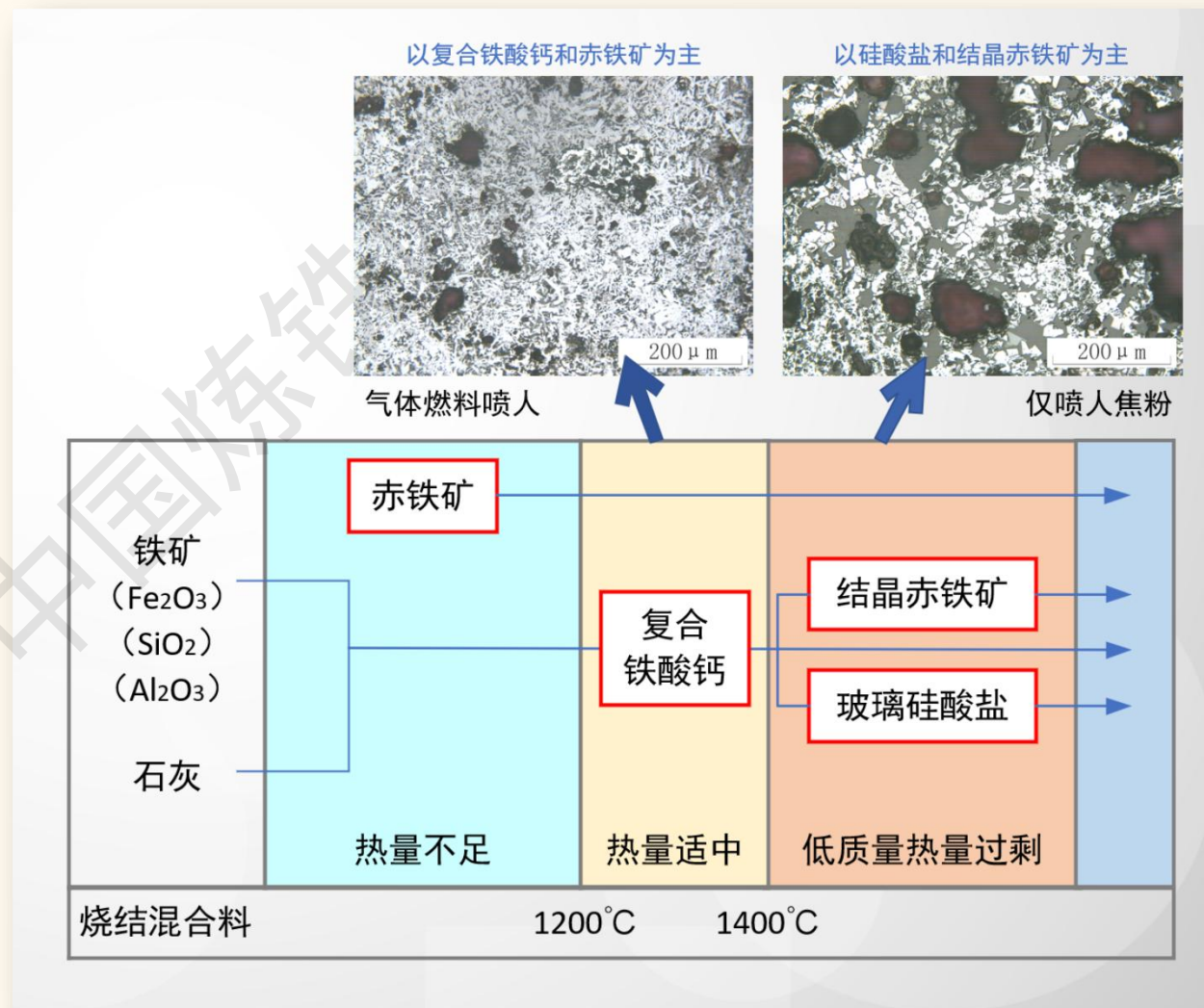
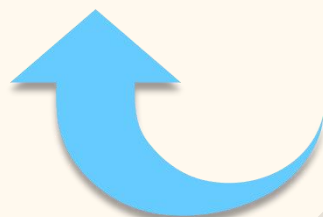
关键技术进展

关于配矿技术

未来工作展望

提高烧结矿强度，返矿率将减少，可降低碳耗。提高烧结矿还原性，则有利于降低高炉消耗。因此，高强度、高还原性的烧结矿可降低CO₂的排放，这点十分重要。

含氢燃料(简称气体燃料)喷入技术在JFE钢铁公司的京滨1号烧结机成功应用，通过改变烧结工艺中的冷热交换率能使烧结矿强度提高，但碳耗不增加。



关键技术进展 — 富氢燃料烧结技术



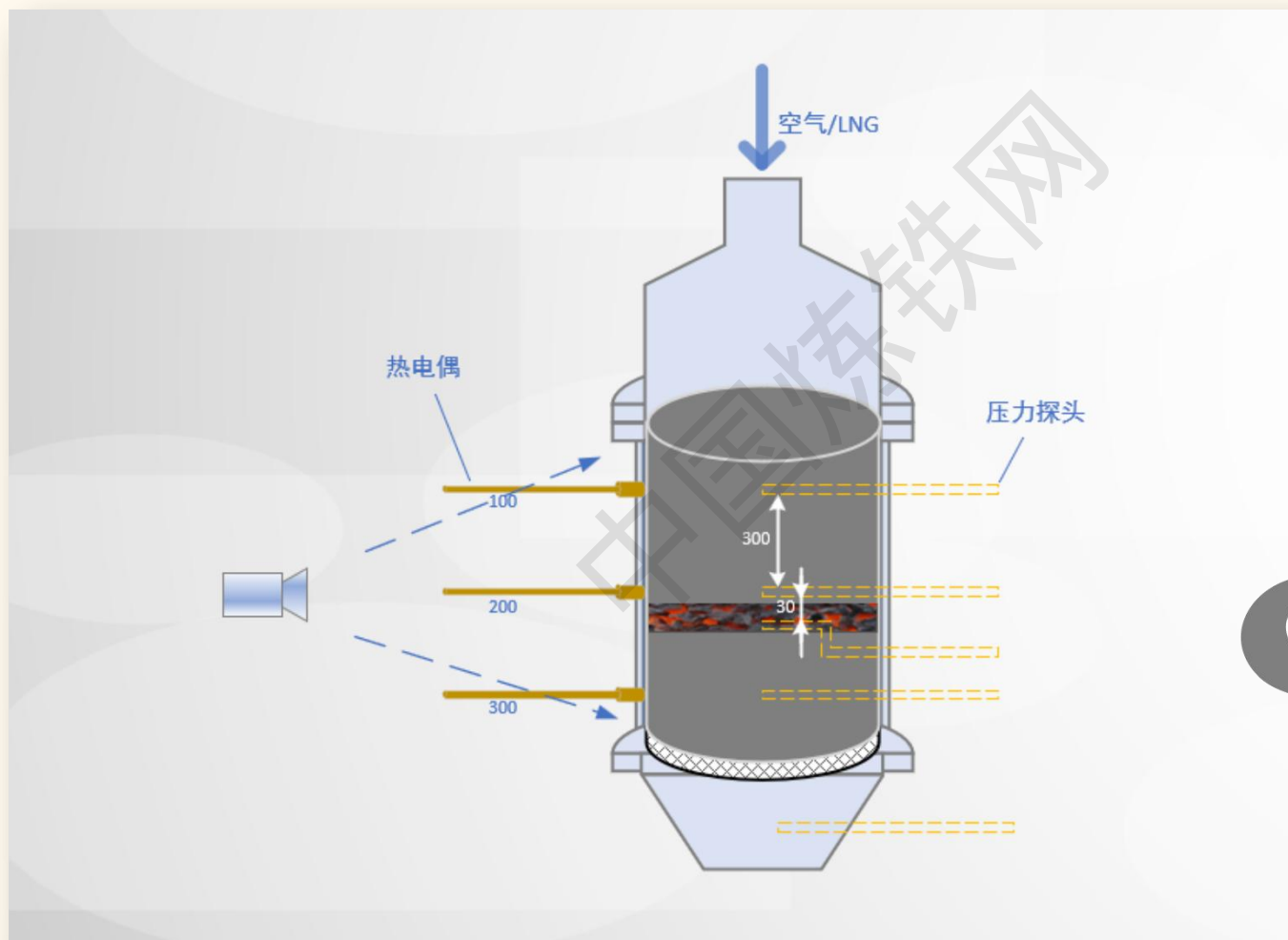
烧结理论回顾

低碳烧结规范

关键技术进展

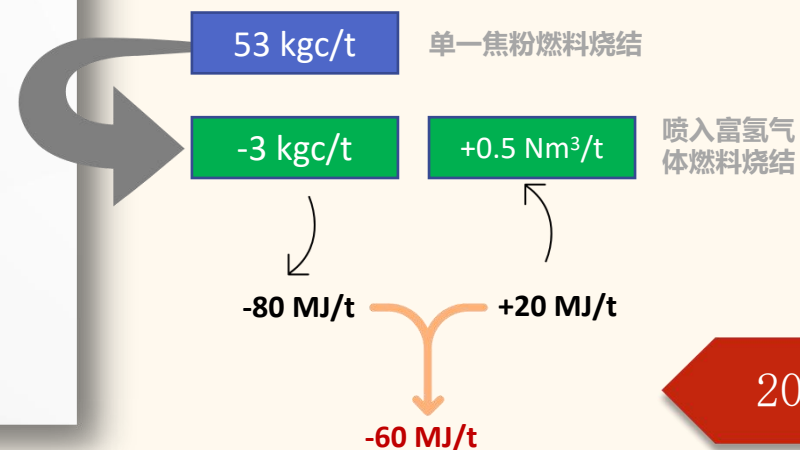
关于配矿技术

未来工作展望



气体燃料的燃烧位置比焦粉更易控制，延长1200 ~ 1400℃温度的持续时间更易实现。

LNG 喷入量为250 Nm³/h (0.5Nm³/t，燃烧热为20 MJ /t)。焦粉单耗从53 kg/t 减至50 kg/t (热能总量减少80 MJ /t)。热量降低量约4倍于喷入的LNG 热量。LNG喷在烧结头部1/3处，在料层表面点火，其强度比下层料面的低。





关键技术进展 — 富氢燃料烧结技术

烧结理论回顾

低碳烧结规范

关键技术进展

关于配矿技术

未来工作展望

指 标	焦炭质量分数为5.0% (传统方法)	焦炭质量分数为4.8% LNG体积分数0.4% (LNG 喷入方法)
石英玻璃锅 红热区域 微观成像		
烧结时间/min	16.0	16.7
烧结产率/%	69.0	72.8 (+3.8)
生产率/ (t · h ⁻¹ · m ⁻²)	1.56	1.64 (+0.8)
粉粹指数/%	70.7	72.9 (+2.2)
JIS-RDI/%	36.1	28.3 (-7.8)
JIS-RI/%	64.5	70.4 (+5.9)



关键技术进展 — 富氢燃料烧结技术

烧结理论回顾

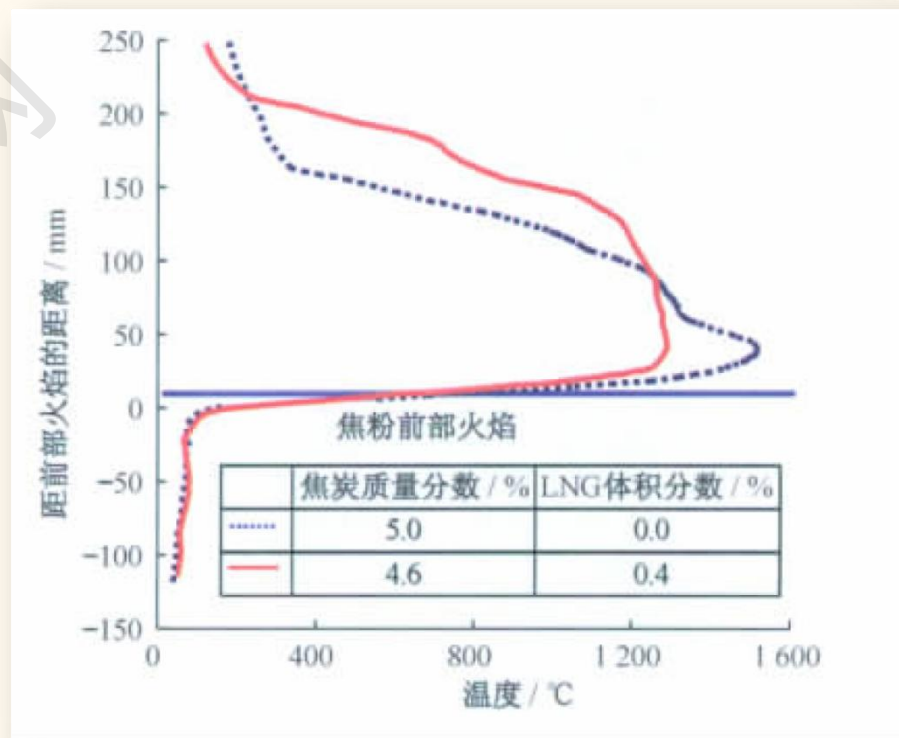
低碳烧结规范

关键技术进展

关于配矿技术

未来工作展望

- 喷入LNG 方法料层的红热层，厚度大幅增加，此区域燃烧与熔融并存。
- 喷入LNG在烧结时间相同时，烧结矿强度提高，返矿率明显降低。JIS-RI 与JIS-RDI 两个指标一般与烧结矿强度成反比，而喷入LNG 时却增加。
- LNG 是从料层顶部加入的，与焦粉在料层的燃烧位置不同，在到达焦粉前就已燃烧，温度在650 ~ 750℃之间，这是CH₄的燃烧温度(占LNG 成分90%) 。因料层不易冷却，因此超过1 200℃ 的料层宽度在上部会扩展。
- 气体燃料喷入方法，可使料层的最高温度下降，超过1 200℃的温度带宽明显增厚。
- 喷入LNG 方法与传统方法相比，大于5 mm 孔隙增多，1 ~ 5 mm 的孔隙减少，分析由于大于1200 ℃的料层维持时间延长造成空隙合并所致，同时也促进了SFCA的生成。
- 喷入LNG烧结矿SFCA转化率增加1.6 倍，玻璃相硅酸盐比例降低。





关键技术进展 — 富氢燃料烧结技术

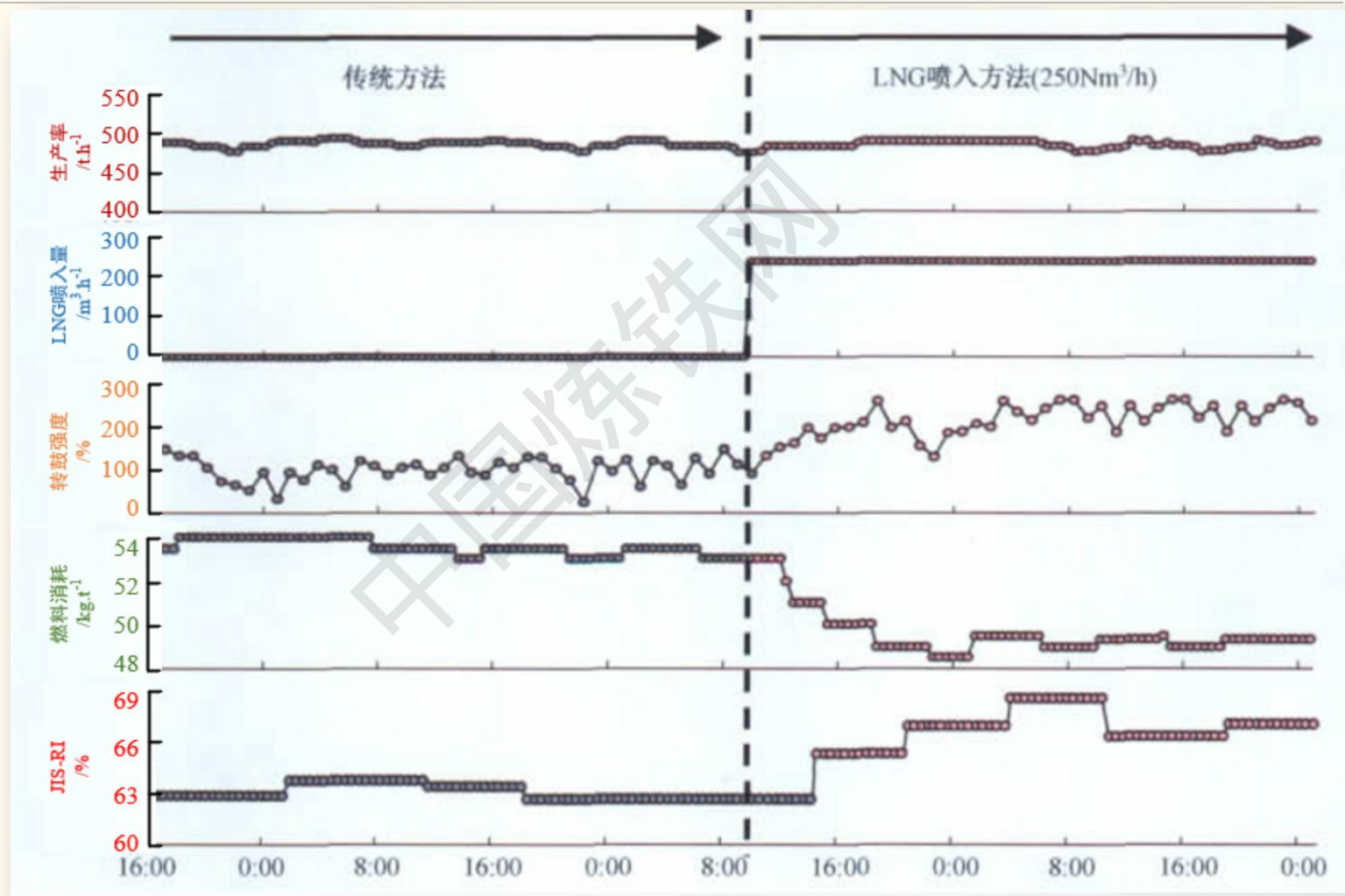
烧结理论回顾

低碳烧结规范

关键技术进展

关于配矿技术

未来工作展望



京滨1号烧结机喷入LNG后的烧结指标对比



关键技术进展 — 富氧烧结技术

烧结理论回顾

低碳烧结规范

关键技术进展

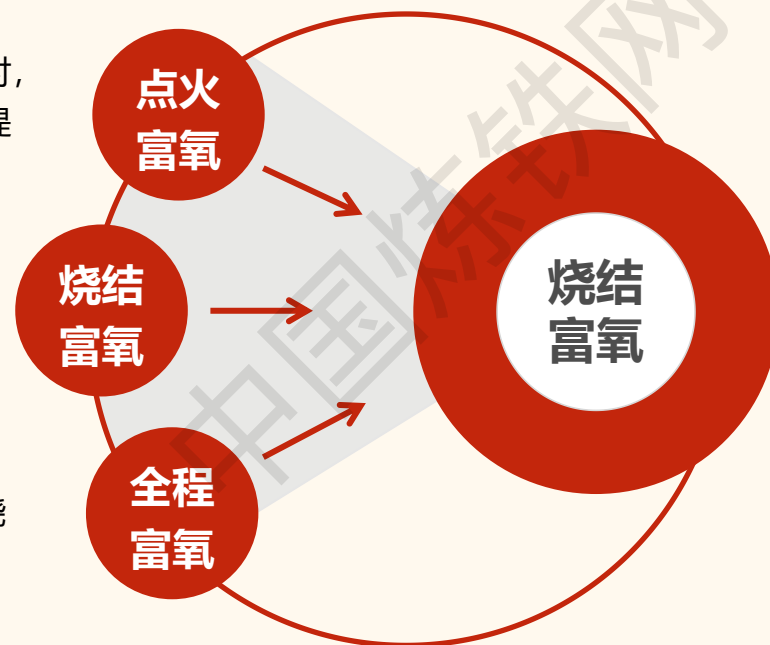
关于配矿技术

未来工作展望

点火燃气发热量不足时，
通过助燃风富氧达到提
高点火的温度。

提高抽风中的氧含量提高
烧结过程氧位，以强化烧
结过程、改善烧结矿质量。

全程富氧是在点火与烧
结全过程都加氧。



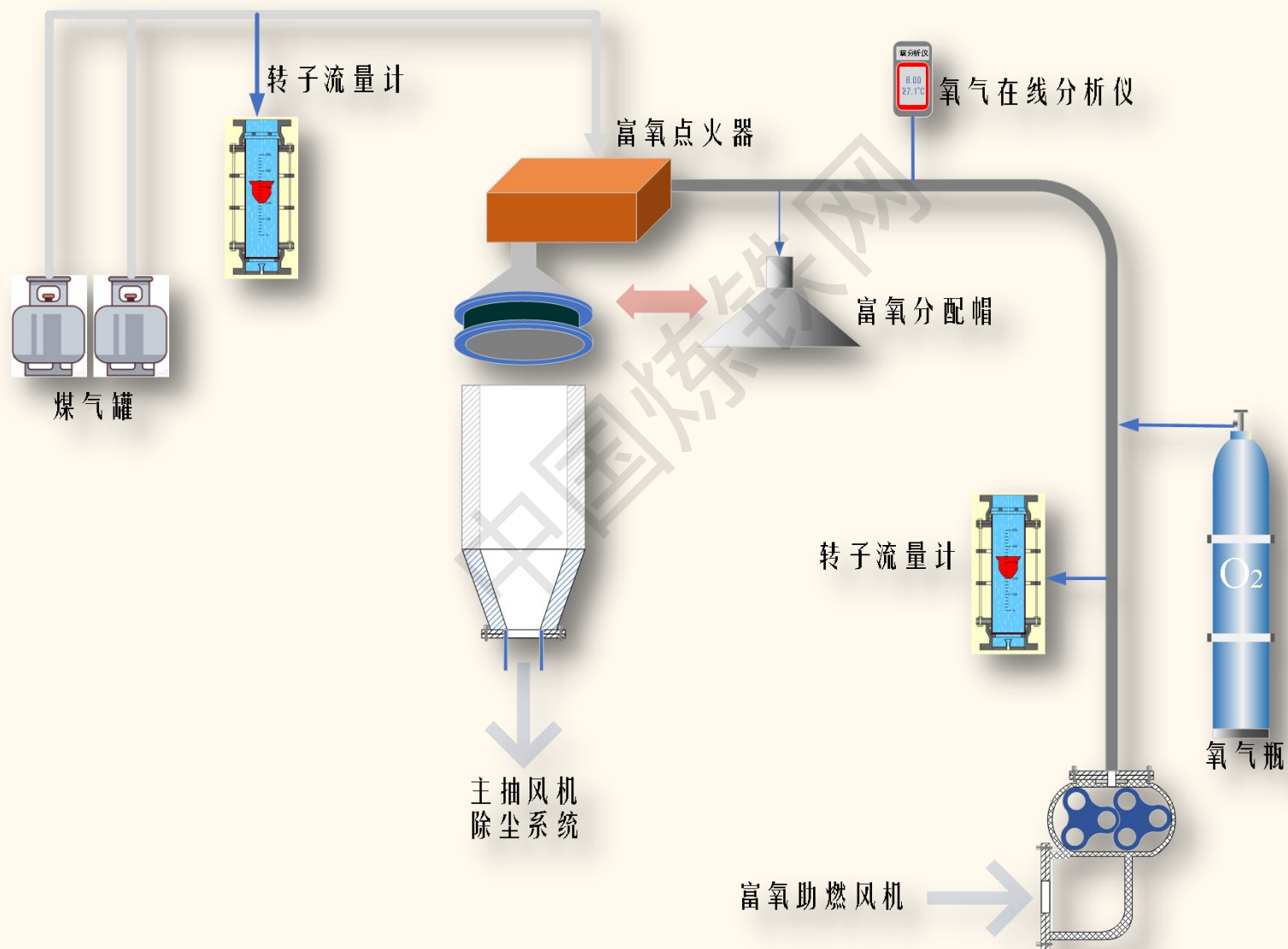
研究和实践证明烧结富氧的效果

- ◆ 提高烧结机产量；
- ◆ 改善烧结矿强度；
- ◆ 提高烧结矿还原性。

关键技术进展 — 富氧烧结技术



实验室搭建富氧烧结平台





关键技术进展 — 富氧烧结技术

烧结理论回顾

低碳烧结规范

关键技术进展

关于配矿技术

未来工作展望

工艺对象：240m²烧设计利用系数1.5t/m²·h，作业率90.4%，年产量280万吨，所在地常温常压条件下空气氧含量21.47%。

□ 点火富氧试验

助燃风中富氧1%、2%两组烧结杯实验，检测烧结过程参数的变化和烧结矿质量。

□ 烧结过程富氧试验

加富氧罩通过负压吸气对烧结过程进行富氧，氧气流量分别10L/min、15L/min、20L/min，检测烧结过程的参数变化和烧结矿的质量。



关键技术进展 — 富氧烧结技术

烧结理论回顾

低碳烧结规范

关键技术进展

关于配矿技术

未来工作展望

富氧点火烧结实验数据

试验 编号	助燃风氧 %	装料量 kg	料层厚度 mm	烧结饼 kg	垂烧速度 mm/min	成品率 %	利用系数 t/m ² . h
1	21.47	62.55	650	55.65	31.4	71.13	1.626
2	22.63	72.6	680	59.7	31.7	77.37	1.812
3	23.55	66.7	660	56.97	31.6	78.48	1.817



关键技术进展 — 富氧烧结技术

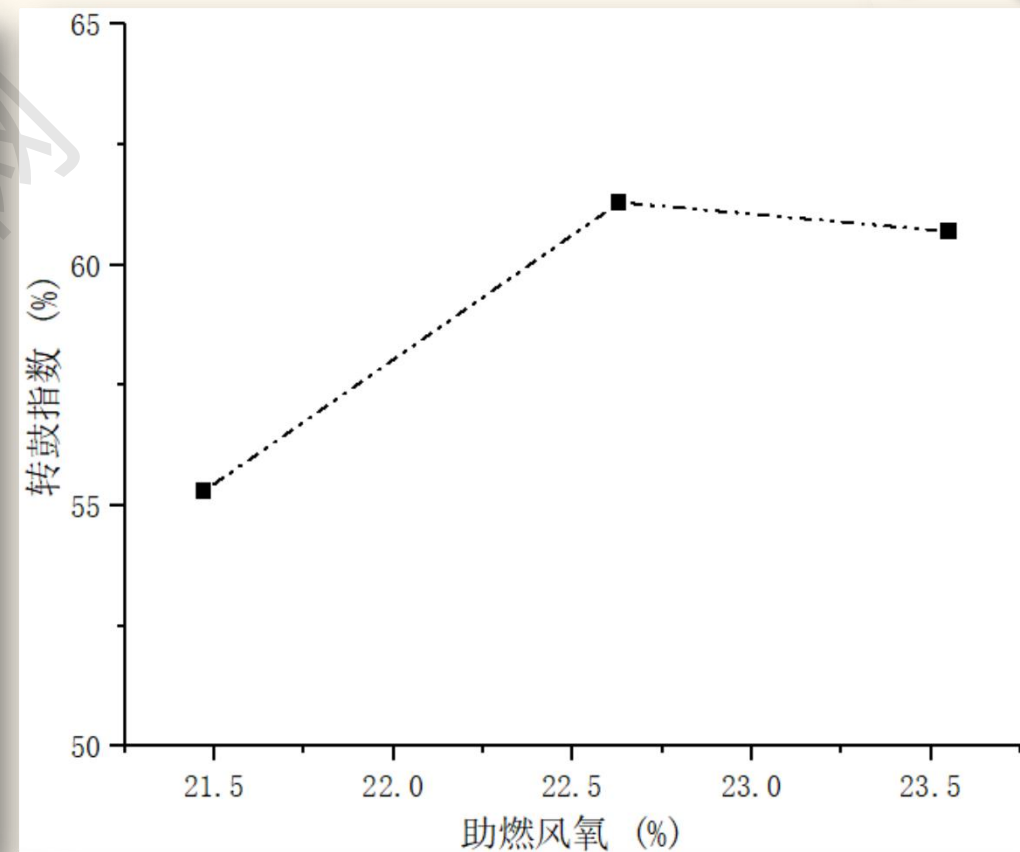
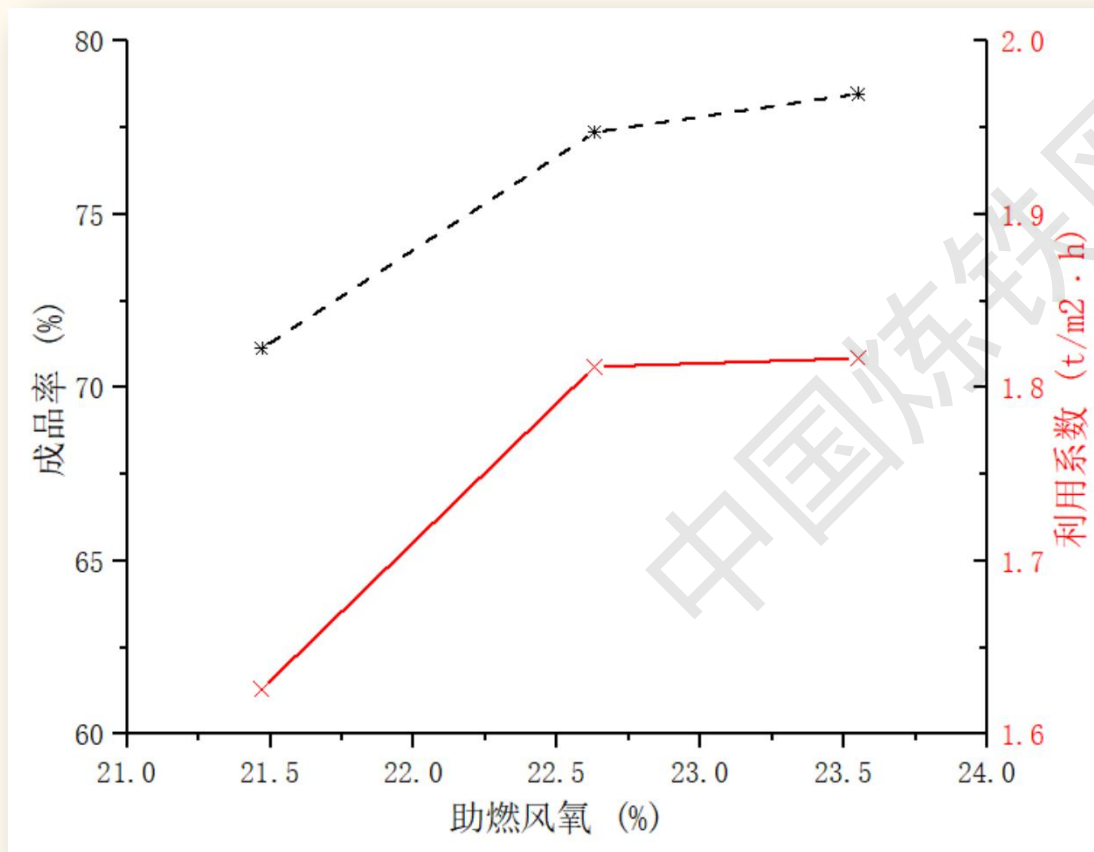
烧结理论回顾

低碳烧结规范

关键技术进展

关于配矿技术

未来工作展望





关键技术进展 — 富氧烧结技术

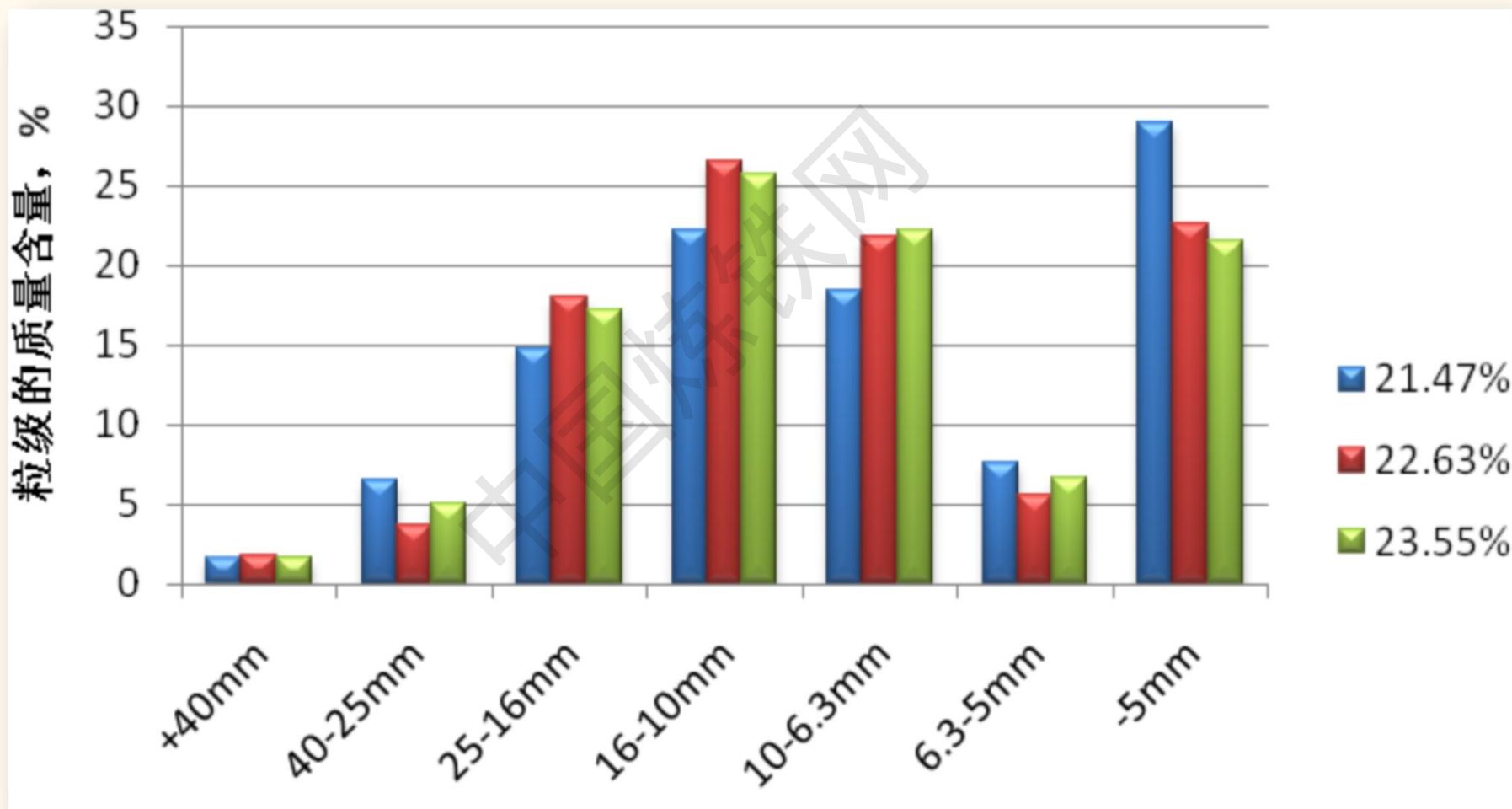
烧结理论回顾

低碳烧结规范

关键技术进展

关于配矿技术

未来工作展望





关键技术进展 — 富氧烧结技术

烧结理论回顾

低碳烧结规范

关键技术进展

关于配矿技术

未来工作展望

富氧 L/min	成品烧结矿重 kg	成品率 %	利用系数 t/m2·h	烧成率 %	转鼓强度 %	抗磨强度 %
0	39.4	70.04	1.467	78.27	54.67	4.4
10	42.75	78.69	1.666	77.44	54	6.4
15	43.8	74.29	1.829	84.75	59.33	5.6
20	43.15	78.48	1.872	85.71	58	5.2



关键技术进展 — 富氧烧结技术

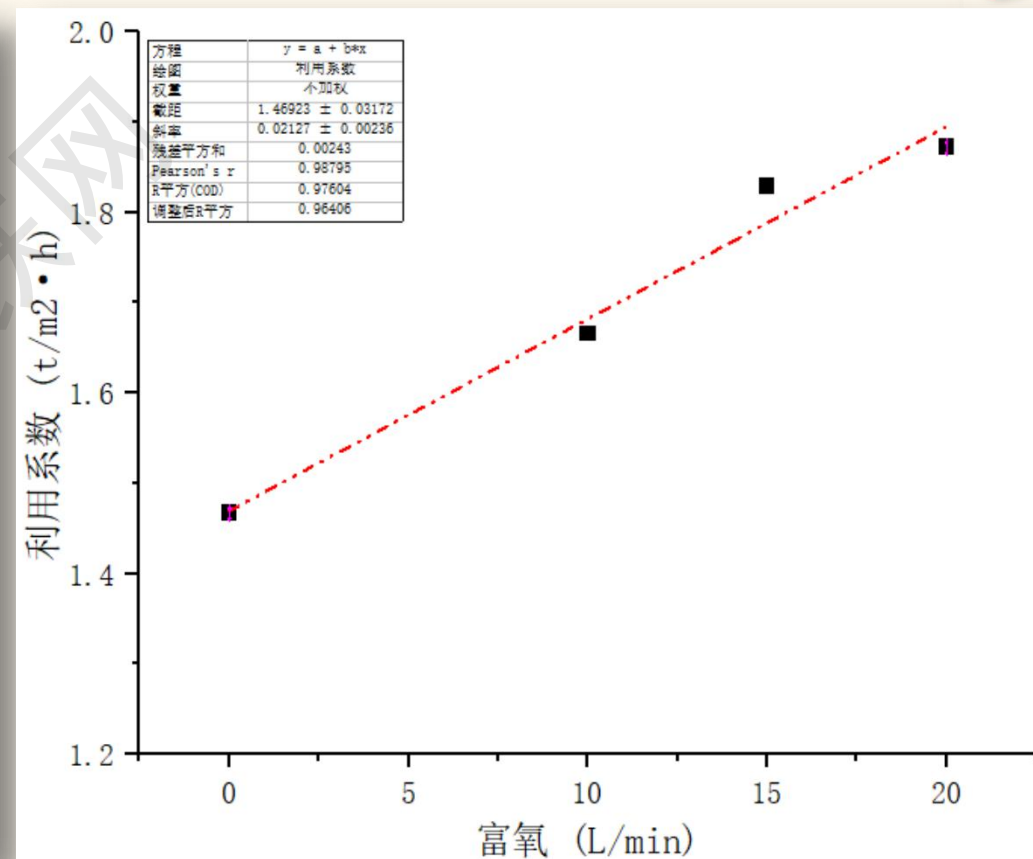
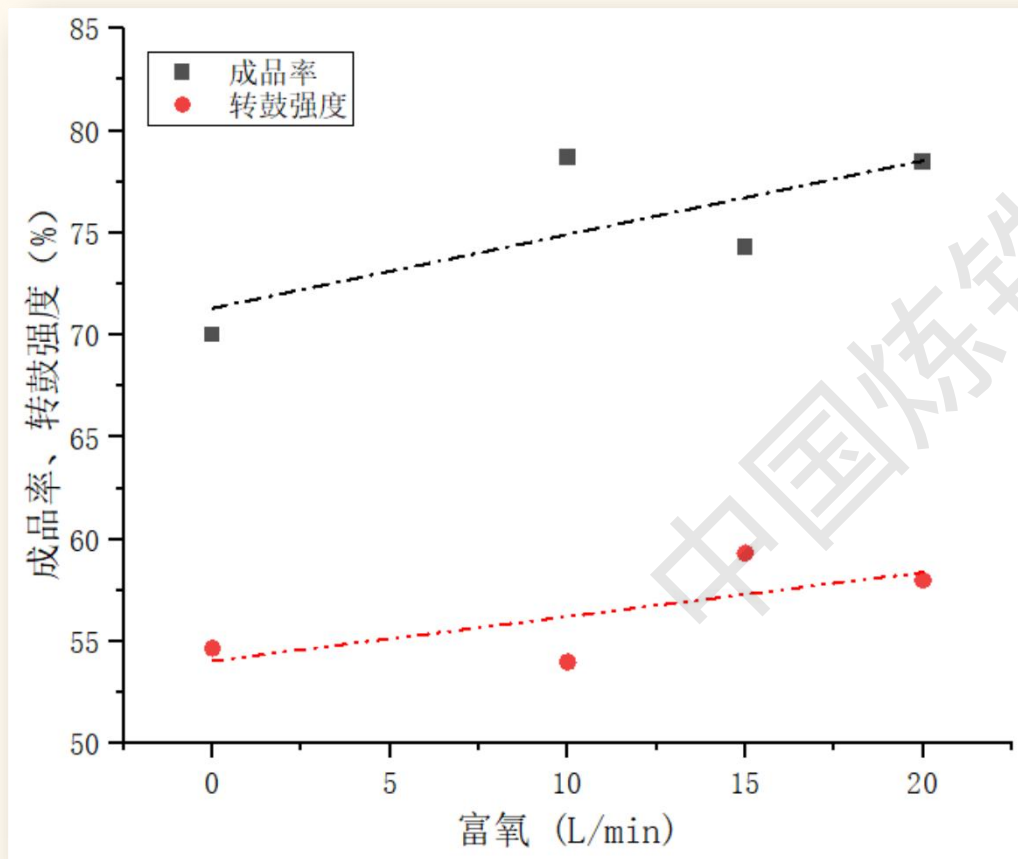
烧结理论回顾

低碳烧结规范

关键技术进展

关于配矿技术

未来工作展望





关键技术进展 — 富氧烧结技术

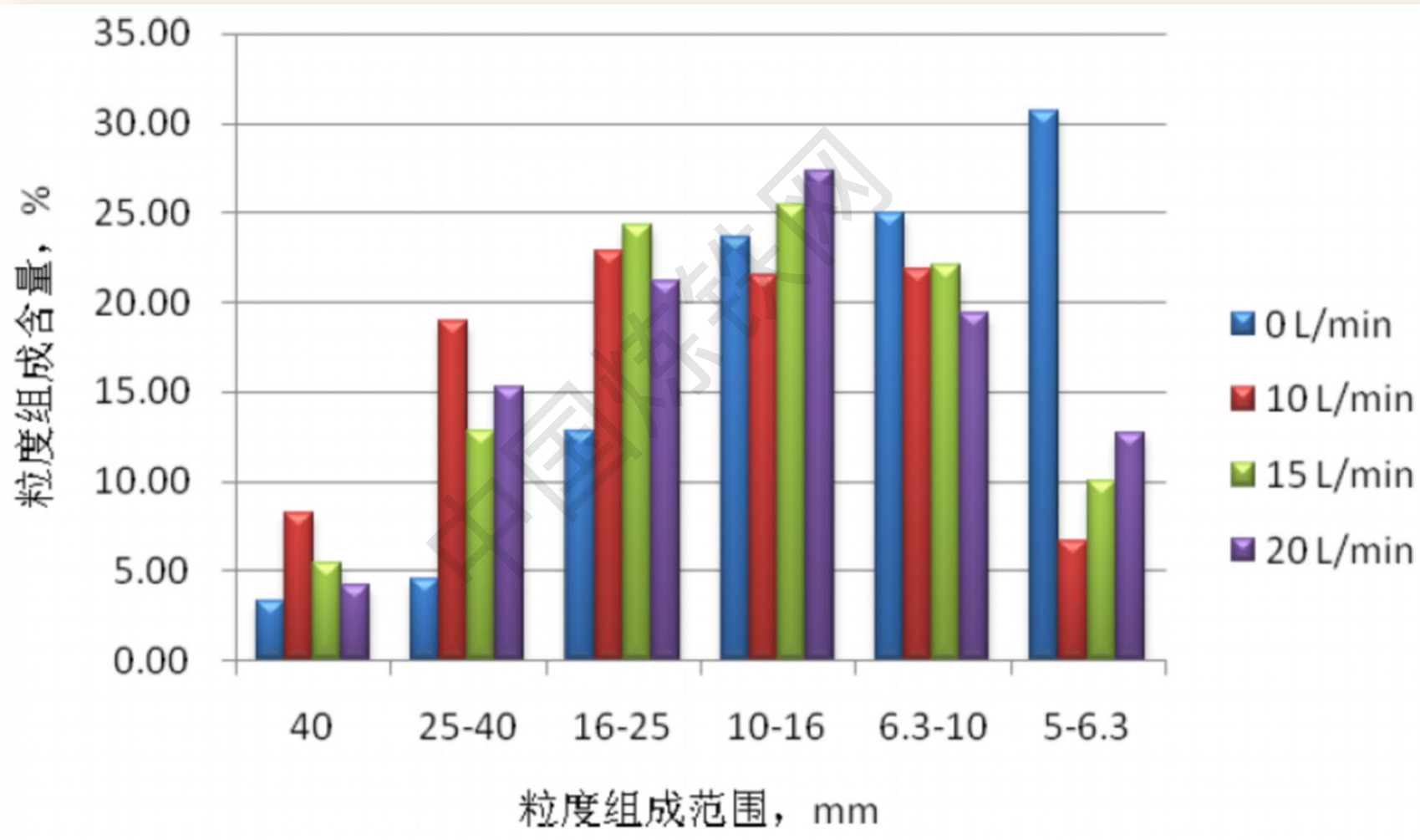
烧结理论回顾

低碳烧结规范

关键技术进展

关于配矿技术

未来工作展望





关键技术进展 — 富氧烧结技术

烧结理论回顾

低碳烧结规范

关键技术进展

关于配矿技术

未来工作展望

富氧， %	还原性	低温还原粉化		荷重软化特性	
	RI， %	RDI+3.15， %	RDI-0.5， %	T-4， °C	T-40， °C
0	80.6	66.83	8.8	1148	1259
10	76.3	69.3	7.4	1151	1242
15	81.5	68.90	9.2	1152	1276
20	78.7	71.34	8.3	1164	1277

上表数据看出，富氧后烧结矿的RI指标没有明显的趋势性变化，RDI指标改善的趋势明显。另外，荷重软化温度升高幅度不大但同样趋势明显。

关键技术进展 — 富氧烧结技术



烧结理论回顾

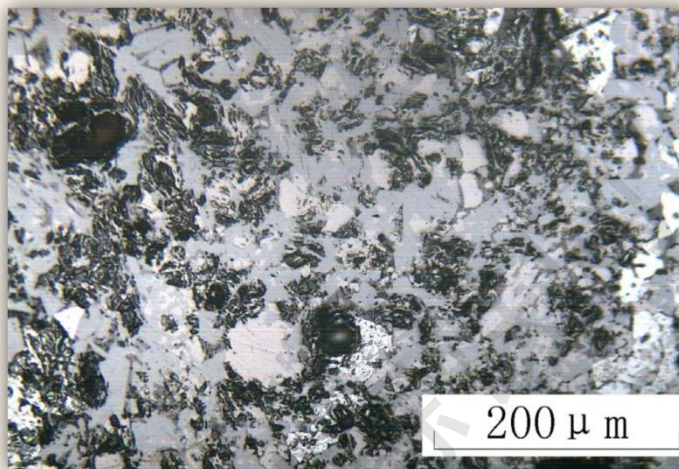
低碳烧结规范

关键技术进展

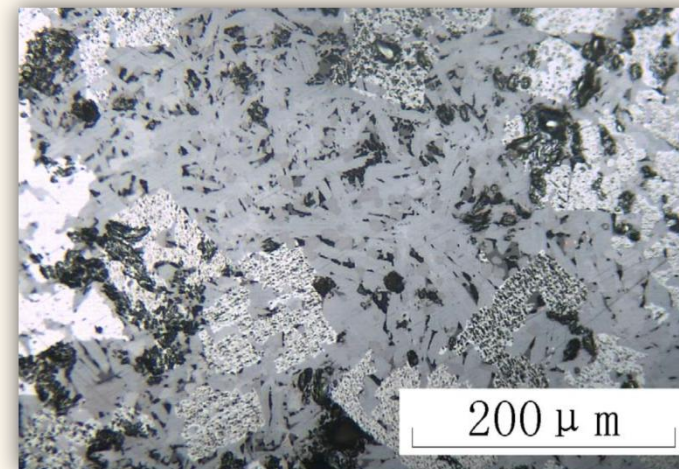
关于配矿技术

未来工作展望

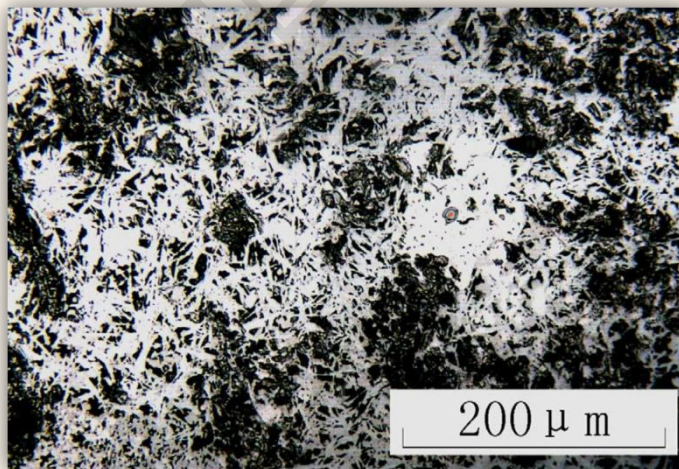
富氧提高铁酸钙的变化明显，基准样中的铁酸钙含量较少并且主要以柱状晶出现，长轴方向不超过 $50\text{ }\mu\text{m}$ 。随着富氧的进行，铁酸钙的晶体变大增多，柱状晶长轴方向达到 $100\text{ }\mu\text{m}$ 左右。继续增加氧气供养，可以看到铁酸钙晶体朝着细针状发展，表明Si、Al开始往铁酸钙中固溶，烧结矿的质量将得到改善。



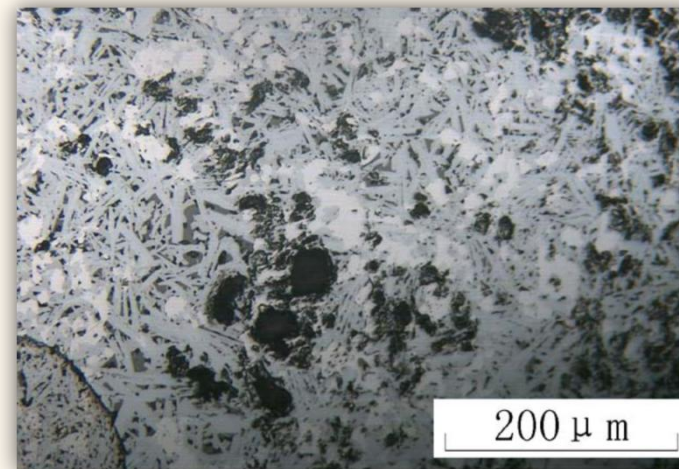
基准样 (内部)



富氧 10 L/min (内部)



富氧 15 L/min (内部)



富氧 20 L/min (内部)

关键技术进展 — 富氧烧结技术



烧结理论回顾

低碳烧结规范

关键技术进展

关于配矿技术

未来工作展望

几点体会：

- **实验室试验是烧结球团厂最佳工程的基础。**
(工程设计、设备选型、工艺优化)
- **富氧烧结的预期效果在具体生产条件下得到验证，有明确的量化关系。**
(实验室条件下)
- **工程应用仍然可能存在明显差距。**
(工艺条件变化、漏风率等)



关键技术进展

—烧结矿冶金性能的实践

烧结理论回顾

低碳烧结规范

关键技术进展

关于配矿技术

未来工作展望

关于钒钛烧结矿的低温还原粉化指数

某公司钒钛精矿消化量逐年提高，烧结矿碱度不得不长期维持在2.8以上的超高碱度，“白点”现象加剧、成品率下降，入炉产量严重下滑，以至于在实施攻关以前烧结矿入炉产量仅为6400t/d，严重制约了后面各工序的正常生产。在这种形式下，需要结合“科学炼铁、节约炼铁”的经营理念，围绕“以高炉为中心，服务好高炉”的生产组织方针，针对烧结生产工艺各环节，以提高烧结矿产量为目标，开展各项工作，使烧结矿入炉产量达到了现在的6750t/d以上，有力地促进高炉生产顺行，创造可观的经济效益。

钒钛烧结提产烧结实验方案

试样	TFe, %	FeO, %	CaO, %	SiO ₂ , %	TiO ₂ , %	R
T00	50.39	7.04	13.34	6.95	2.08	1.93
T30	47.63	10.50	15.69	7.70	4.24	2.81
T35	46.72	11.14	15.67	7.39	4.85	2.82
T40	46.41	13.52	16.34	6.99	5.08	2.84
T45	46.48	9.07	16.23	6.63	5.39	2.84

01

漏风严重

02

停机频繁

03

篦条堵塞



关键技术进展

—烧结矿冶金性能的实践

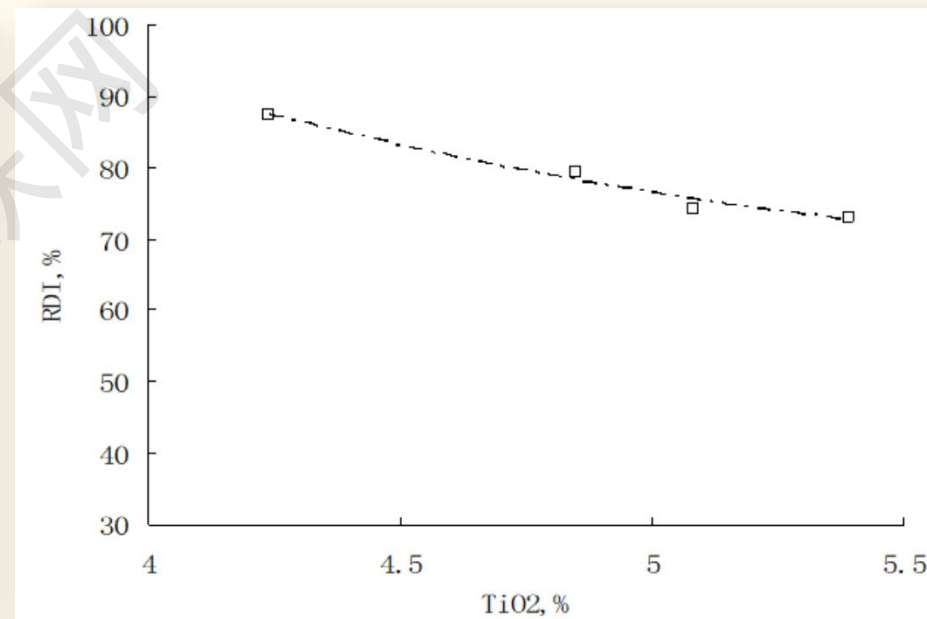
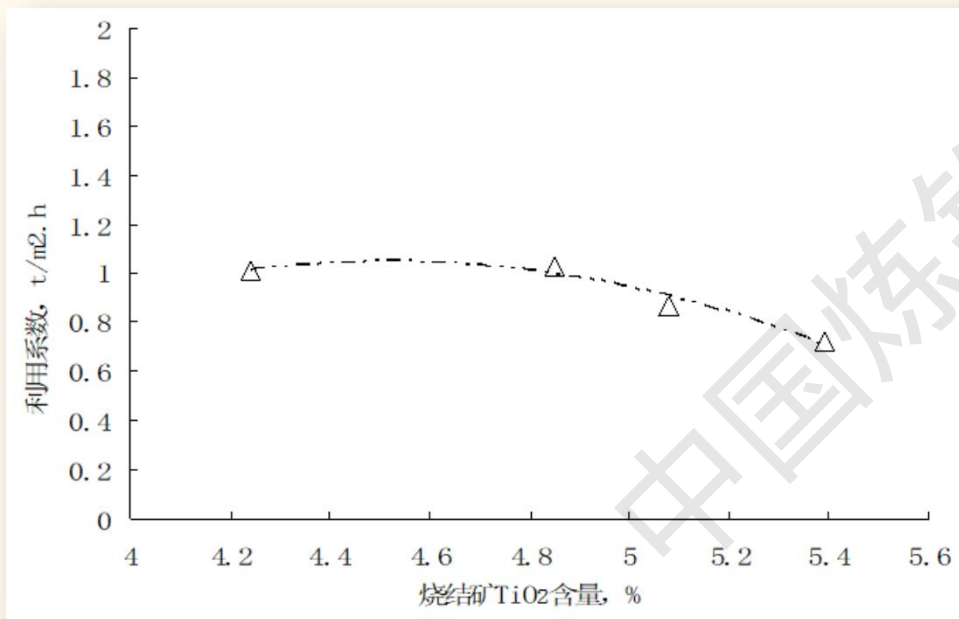
烧结理论回顾

低碳烧结规范

关键技术进展

关于配矿技术

未来工作展望



烧结杯实验的两个关键指标变化规律

关键技术进展

—烧结矿冶金性能的实践



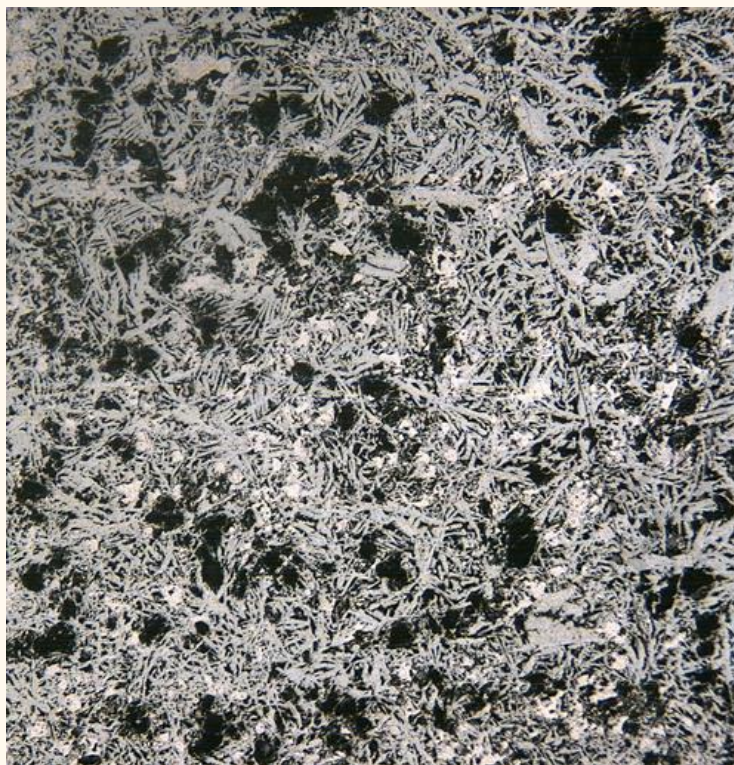
烧结理论回顾

低碳烧结规范

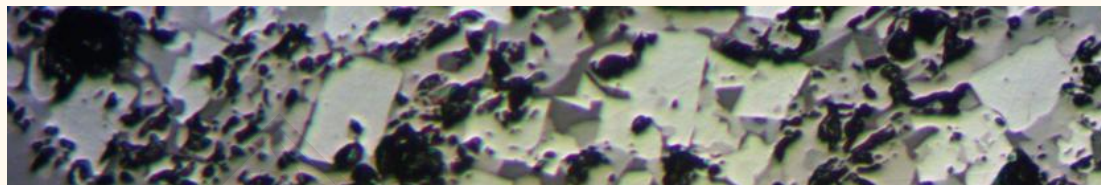
关键技术进展

关于配矿技术

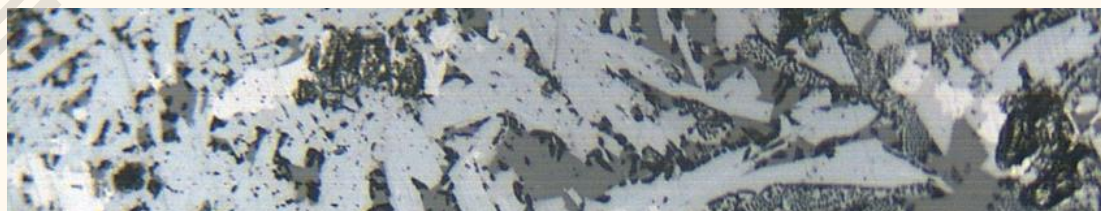
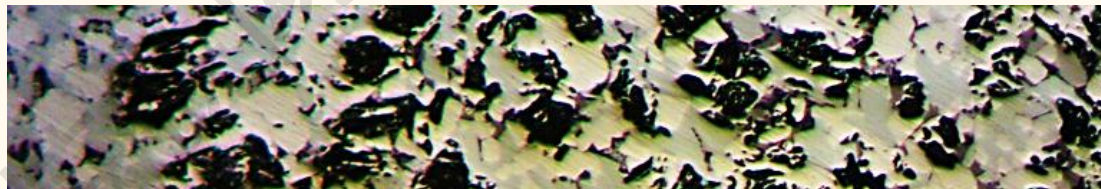
未来工作展望



某企业钒钛矿矿相结构（2010）



某企业钒钛矿矿相结构（2016）



某某企业钒钛矿矿相结构（2010）

关键技术进展

—烧结矿冶金性能的实践



烧结理论回顾

低碳烧结规范

关键技术进展

关于配矿技术

未来工作展望

观点：

- 钒钛烧结矿的RDI偏低可以通过烧结过程控制改善。
- 钒钛矿的低RDI冶炼提示需要正确认识块状带的透气性规律。
- 烧结矿的矿物微观结构分析对工艺过程具有重要指导作用。



关键技术进展

—烧结矿冶金性能的实践

烧结理论回顾

低碳烧结规范

关键技术进展

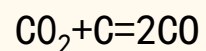
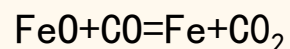
关于配矿技术

未来工作展望

烧结矿还原性指数对煤气利用率的影响

高炉本质上是在热量与还原需要的碳素，刚刚好达到平衡即为最佳的工作条件。

如果矿石的还原速度不够大，虽然所供给的CO量足够，但在间接还原区停留的时间内未能全部除去浮氏体的氧，则未还原的部分将下降到下部温度高于1000℃的区域，这部分氧无疑将被CO夺取而生成CO₂，而后者在此温度下被碳还原：



相加： $\text{FeO} + \text{C} = \text{Fe} + \text{CO}$



$$r_d > r_{d.\min}$$

扩大间接还原区和
提高烧结矿还原度
对降低高炉消耗有
重要意义。



关键技术进展

—烧结矿冶金性能的实践

烧结理论回顾

低碳烧结规范

关键技术进展

关于配矿技术

未来工作展望

研究还原度的几种方法：

- 等温试验
- 非等温试验
- CNRM试验
- Linder试验
- Gakushin试验
- 奇布试验
- BoRist试验
- 炉料整体还原性指标

铁矿石还原性的影响因素

(1) 碱度对还原性的影响

烧结矿的碱度对烧结矿还原性能影响较大。碱度为1.2时，烧结矿的粘结相以CS ($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) 为主，且大多为玻璃质，抑制烧结矿的还原。当碱度提高到1.4时，生成了CF ($\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$)，此时CS和CF共存，还原性有所提高。随着碱度的继续提高，烧结矿中铁酸钙量逐渐增多，从而烧结矿的还原性也逐渐提高。

(2) SiO_2 对高温还原性的影响

研究指出，烧结矿的还原性随烧结矿中 SiO_2 含量的增加而降低。因为 SiO_2 含量增高，增大了烧结时液相粘度及表面张力，对气流阻力增大，降低了烧结矿的气孔度，易形成致密的烧结矿。这虽有利于提高烧结矿的强度，但不利于改善烧结矿的还原性。

(3) FeO对高温还原性的影响

降低FeO，既可使烧结矿中最易还原的 Fe_2O_3 含量提高、最难还原的铁橄榄石含量减少，又可使烧结矿气孔率增加，从而提高烧结矿的高温还原度。



关键技术进展

—烧结矿冶金性能的实践

烧结理论回顾

低碳烧结规范

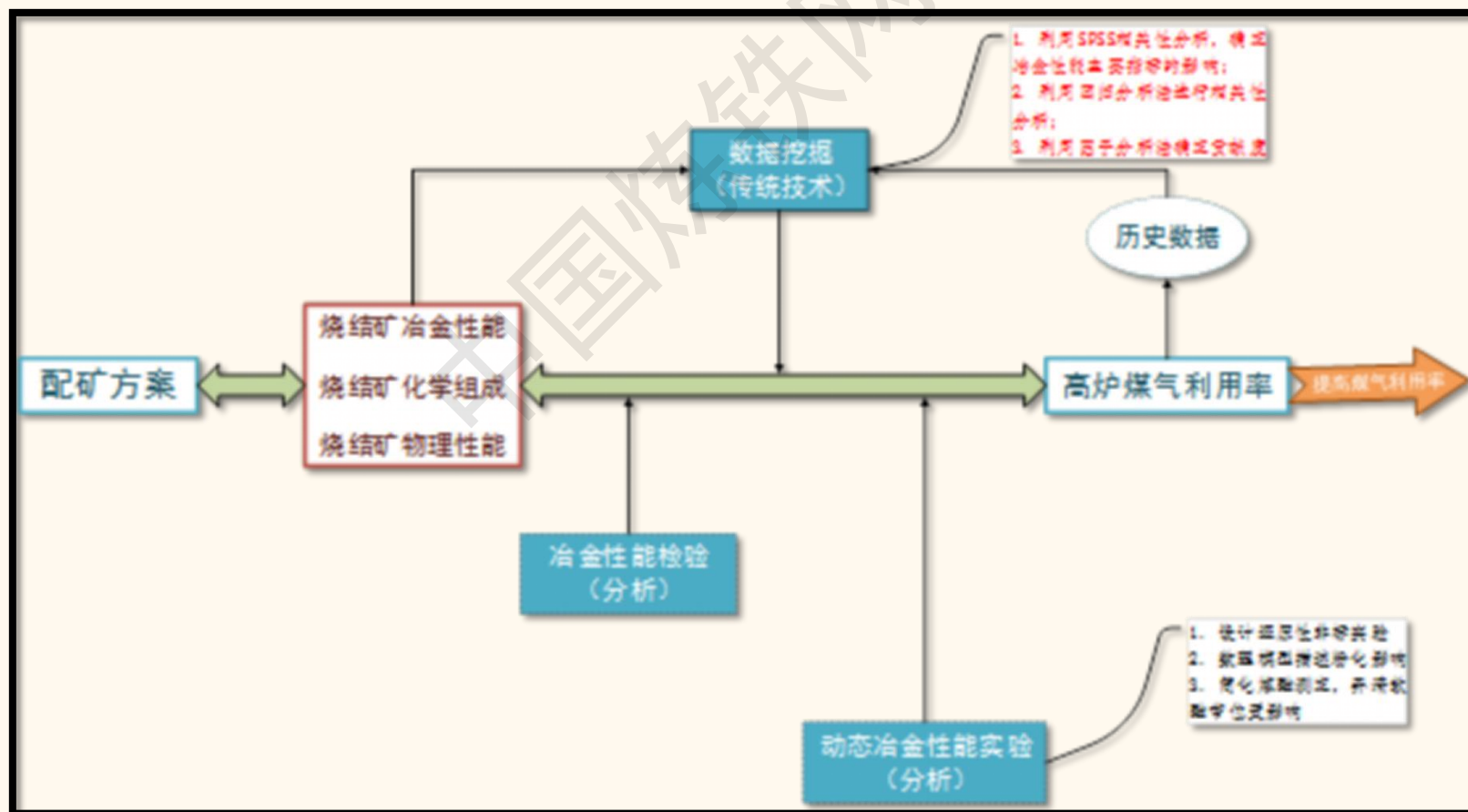
关键技术进展

关于配矿技术

未来工作展望

关注铁矿石还原性与煤气利用率的关系

基于高炉煤气利用率提升为目标，提出并系统研究高炉温度气氛条件下烧结矿还原-软熔机制，拓宽并完善了烧结矿冶金性能与高炉状态变化适应性，揭示烧矿冶金性能与高炉煤气利用之间的内在关系。



关键技术进展

—烧结矿冶金性能的实践



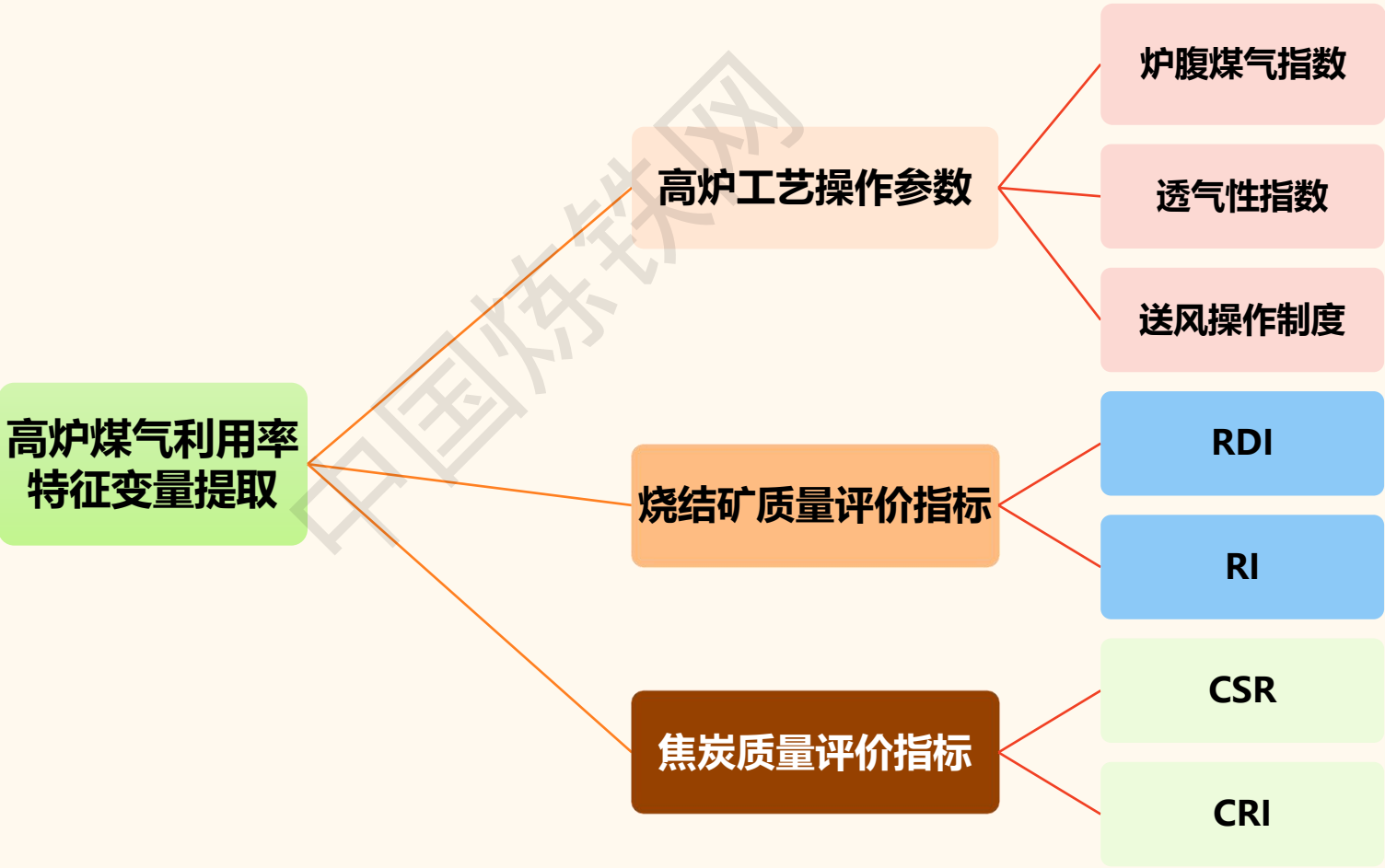
烧结理论回顾

低碳烧结规范

关键技术进展

关于配矿技术

未来工作展望





关键技术进展

—烧结矿冶金性能的实践

烧结理论回顾

低碳烧结规范

关键技术进展

关于配矿技术

未来工作展望

影响高炉煤气利用率的变量描述

特征变量	个案数	最小值	最大值	平均值	标准差
风量	5756	3028.5	5180.2	4981.9416	166.8760
风压		228.4	403.9	395.6856	10.7091
压差		109.2	172.1	164.3294	4.4835
氧量		4106.0	16766.0	13517.420	2297.66
风温		1029.2	1206.9	1164.1163	14.4694
湿分		5.9	28.7	14.6571	2.5346
透指		71.1	101.3	91.0273	2.6832
H2		0.7	4.1	3.0924	0.2735
炉腹煤气指		40.5	71.6	68.2957	2.6218
LINT(RDI)		55.1	79.6	68.8400	4.6058
TREND(RI)		76.8	87.4	83.3557	2.5408
TREND(CRI)		19.8	25.0	22.8985	0.8814
TREND(CSR)		64.3	71.6	68.3277	1.0601

关键技术进展

—烧结矿冶金性能的实践



烧结理论回顾

低碳烧结规范

关键技术进展

关于配矿技术

未来工作展望

■ 主成分分析——降维

主成分分析就是利用降维的思想，在损失最少信息的前提下将多个指标转化为几个互不相关的综合指标的多元统计方法。用该方法对表1的13个性能指标进行降维和缩减处理，求得综合特性指标的权重。

提取综合特性指标的步骤：

- (1) 指标数据标准化：实际应用时，要消除变量的量纲影响；
- (2) 指标之间的相关性判定：确定相关性，并利用标准化后的数据求出指标间的相关性矩阵 R ；
- (3) 计算 R 的特征值；
- (4) 确定主成分的个数：提取原则为主成分对应的特征值大于 1；
- (5) 确定主成分表达式：由特征值和单位征向量构成的矩阵求得降维后的因子线性表达式。



关键技术进展

—烧结矿冶金性能的实践

烧结理论回顾

低碳烧结规范

关键技术进展

关于配矿技术

未来工作展望

■ 主成分分析——确定主成分表达式

用主成分初始载荷矩阵结合特征解即可求解得主成分特征向量，与标准化后煤气利用率指标数据相乘，便可得出主成分表达式(式中 ZY1, ZY2...等代表 SPSS 标准化后的数据)：

$$F_1 = 0.453ZY_1 + 0.412ZY_2 + 0.347ZY_3 + 0.323ZY_4 + 0.091ZY_6 + 0.274ZY_7 + 0.217ZY_8 + 0.473ZY_9 + 0.022ZY_{10} + 0.106ZY_{11} + 0.053ZY_{12} - 0.179ZY_{13}$$

$$F_2 = 0.148ZY_1 + 0.256ZY_2 + 0.235ZY_3 - 0.122ZY_4 + 0.494ZY_5 - 0.324ZY_6 - 0.024ZY_7 - 0.399ZY_8 + 0.067ZY_9 - 0.050ZY_{10} - 0.310ZY_{11} - 0.146ZY_{12} + 0.457ZY_{13}$$

$$F_3 = -0.093ZY_1 + 0.206ZY_2 + 0.398ZY_3 - 0.099ZY_4 - 0.166ZY_5 + 0.557ZY_6 - 0.494ZY_7 + 0.184ZY_8 - 0.078ZY_9 + 0.201ZY_{10} - 0.230ZY_{11} - 0.060ZY_{12} + 0.251ZY_{13}$$

$$F_4 = 0.188ZY_1 - 0.060ZY_2 - 0.296ZY_3 - 0.427ZY_4 + 0.003ZY_5 + 0.251ZY_6 + 0.536ZY_7 + 0.260ZY_8 + 0.052ZY_9 + 0.275ZY_{10} - 0.334ZY_{11} - 0.244ZY_{12} + 0.160ZY_{13}$$

$$F = 0.47F_1 + 0.25F_2 + 0.16F_3 + 0.12F_4$$

高炉煤气利用的综合特性指标值

$$F = 0.47F_1 + 0.25F_2 + 0.16F_3 + 0.12F_4$$

F_1 ——透气性指数、炉腹透气指数

风量、风压、 ΔP 、氧量

F_2 ——风温、CSR

F_3 ——湿分。

敏感度排序：炉腹煤气指数>风量>风压> ΔP >氧量>透气性指数> H_2 >RI>湿分>CRI>RDI>风温>CSR



关键技术进展

—烧结矿冶金性能的实践

烧结理论回顾

低碳烧结规范

关键技术进展

关于配矿技术

未来工作展望

高炉用焦炭质量的两个疑问：

- ◆ 焦炭质量对高炉顺行和喷煤的影响的边界；
- ◆ 能被行业普遍认可，且不过剩的质是标准。

观点 1

理论：传统追求焦炭反应性低、溶损起始温度高的方向更有理论依据，但现行检测方法带来的强度差别过大。

试验：设计了固定失重下两种燃料混合后的失重和强度变化，以及高炉块状带条件下燃料的交互作用等试验。

结论：高反应性焦炭对冶金焦有钝化作用，也就是利用了焦炭的选择性溶损保护了冶金焦的强度，同时通过搭配小于20%的高反应性焦炭可以提高炉料进入软融带的金属化率而改善软融带透气性。

观点 2

理论：提高烧结矿还原度，保证铁氧化物在间接还原区充分还原，使得高炉炉料的直接还原度达到理想水平。

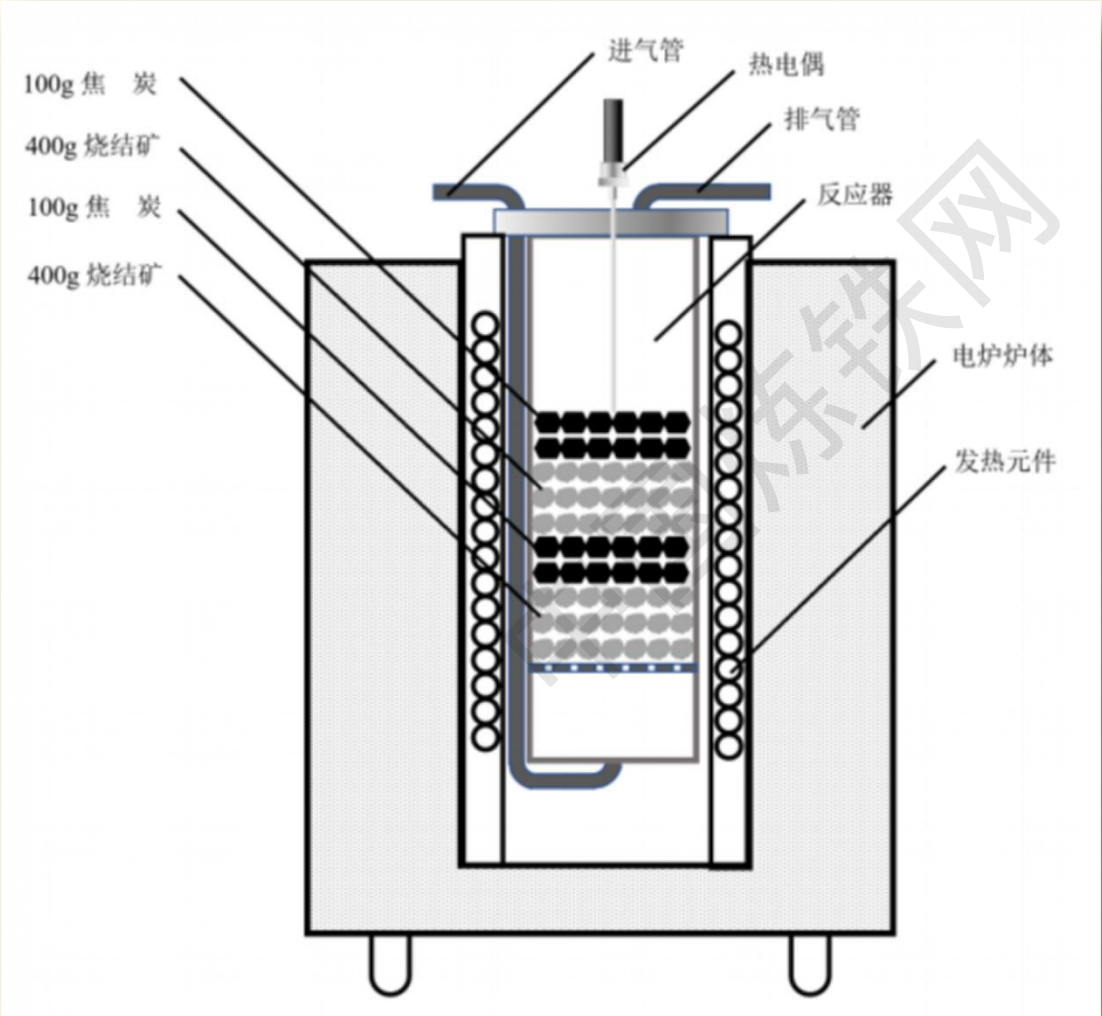
试验：设计了矿焦共存的试验环境，掌握焦炭在炉内条件下强度的衰减规律。

结论：不同热强度的焦炭其在炉内的强度衰减程度出现不同，尤其是熔损大的焦炭强度衰减减缓更明显。这为修正焦炭热强度控制也许提供新的参考。

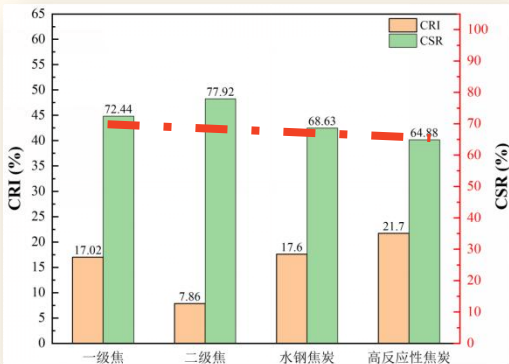
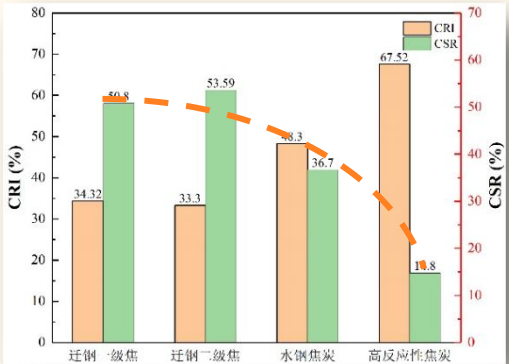
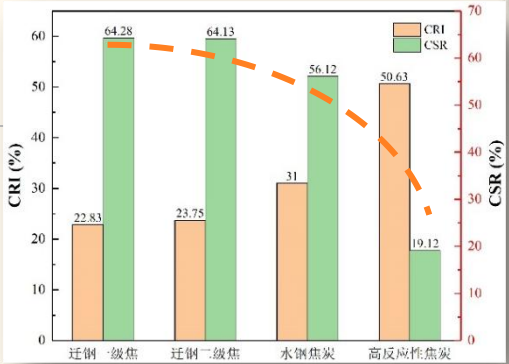
关键技术进展

—烧结矿冶金性能的实践

- 烧结理论回顾
- 低碳烧结规范
- 关键技术进展
- 关于配矿技术
- 未来工作展望



矿焦共存还原试验装置



目录

Contents

1

烧结理论回顾

2

低碳烧结规范

3

关键技术进展

4

关于配矿技术

5

未来工作展望





关于配矿技术

烧结理论回顾

低碳烧结规范

关键技术进展

关于配矿技术

未来工作展望

当前还有一些亟待推广的烧结低碳技术

- 烧结配矿技术
- 烧结矿竖式冷却技术
- 烧结烟气超低排放治理技术



关于配矿技术

烧结理论回顾

低碳烧结规范

关键技术进展

关于配矿技术

未来工作展望

- 配矿效果的好坏直接影响到混匀矿的化学成分及稳定性，并影响烧结矿的成本和产品质量，甚至影响到高炉冶炼综合经济技术指标。配矿的主要方法是在烧结试验基础上的优化配矿。

国外：矿种少，配矿简单；

国内：矿种多，配矿复杂。



1. 控制混合矿配矿成本
2. 稳定烧结矿冶金性能
3. 合理搭配进口矿与国内矿、粉矿与精粉
4. 适应矿粉的频繁变动

关于配矿技术



烧结理论回顾

低碳烧结规范

关键技术进展

关于配矿技术

未来工作展望





关于配矿技术

烧结理论回顾

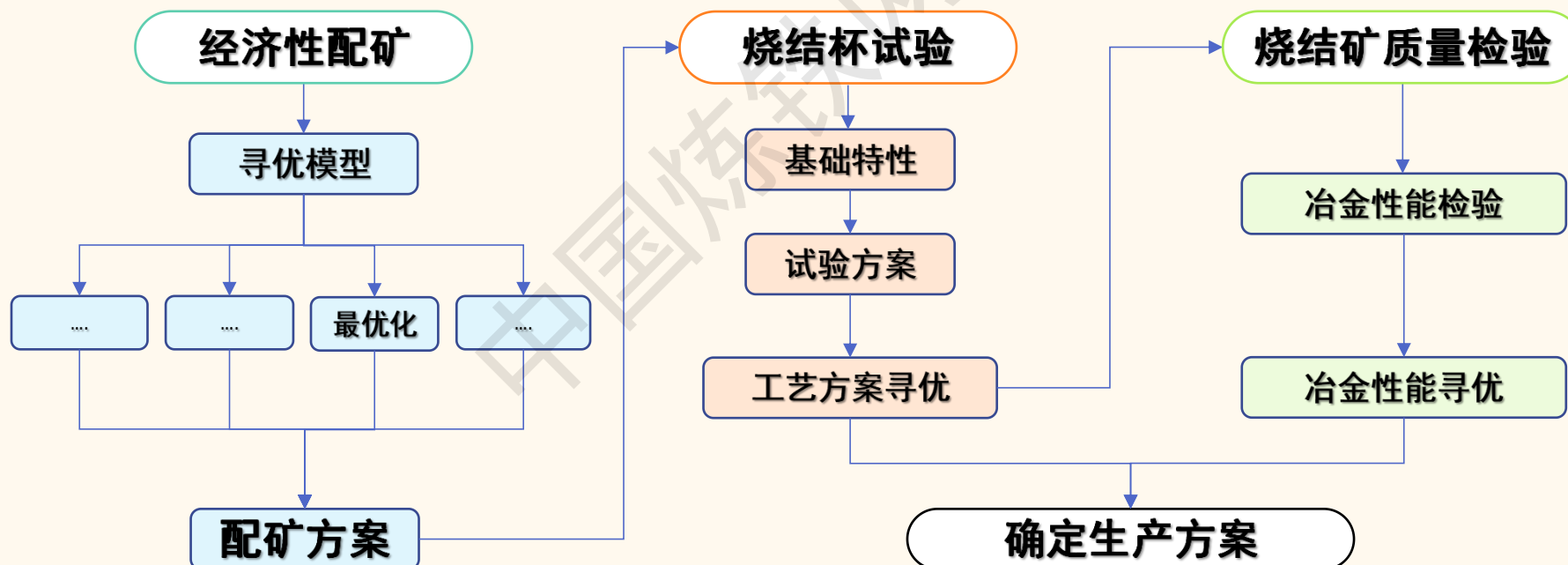
低碳烧结规范

关键技术进展

关于配矿技术

未来工作展望

配矿方案确定充分结合现场实践是完美应用的核心。



目录

Contents

1

烧结理论回顾

2

低碳烧结规范

3

关键技术进展

4

关于配矿技术

5

未来工作展望





未来工作展望

烧结理论回顾

低碳烧结规范

关键技术进展

关于配矿技术

未来工作展望

烧结未来工作的核心：

多目标的系统集成优化，达成低碳低污染目标^[1]。

多目标包括进一步降低工序能耗、提高烧结矿成品率、降低烧结返矿率、降低烧结漏风率、减少污染物排放，提高烧结成品率、实现二次资源的高效利用等，这是钢铁制造流程实现资源和能源“减量化、再循环、再利用”的重要技术途径。

源自：炼铁系统低碳技术发展前景与途径，张福明等

谢谢观看

汇报人：XXX

部门：XXX

时间：XXX

