

# 低碳智能 促进烧结工序高质量发展

中冶长天国际工程有限责任公司

李文林 13787230329

2021年4月



中冶长天 用心铸造世界  
*shape the world with love*

# 目录



01

前言

02

低碳赋能 推动烧结工序  
与自然社会融合发展

03

智能赋能 打造烧结工序  
发展新引擎

04

结论



PART 01

# 第一部分

## 前言



# 1 前言



## 习近平：有信心实现2030年左右二氧化碳排放达到峰值

国家主席习近平30日在巴黎出席气候变化巴黎大会开幕式并发表题为《携手构建合作共赢、公平合理的气候变化治理机制》的重要讲话。

新华网 2015/12/01 08:25 浏览 12.1w

字体：宋



图片来源：新华网

携手构建合作共赢、公平合理的气候变化治理机制

——在气候变化巴黎大会开幕式上的讲话

(2015年11月30日，巴黎)

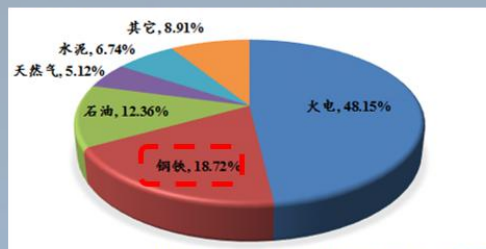


- 巴黎大会提出将于2030年左右使二氧化碳排放达到峰值并争取尽早实现，2030年单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降60% - 65%。
- 十九届五中全会提出要大力发展数字经济，智能制造是数字经济的皇冠，必将成为各国抢占数字经济制高点的主战场。

习近平总书记：低碳发展和智能制造将成为我国新发展阶段的重要方向



# 1 前言



引自——《中国环境年鉴（2019年版）》

表 1800万t钢铁联合企业CO<sub>2</sub>排放情况

项目	码头原料	焦化	烧结	球团	高炉炼铁	转炉炼钢	连铸	热轧	冷轧	硅钢	其他辅助
CO <sub>2</sub> 排量 (10 <sup>4</sup> t)	0.05	3.06	5.68	1.34	20.45	0.18	2.38	1.59	1.71	0.46	36.9
所占比例 (%)	0.15	8.28	15.4	3.62	55.41	0.5	6.46	4.3	4.64	1.24	

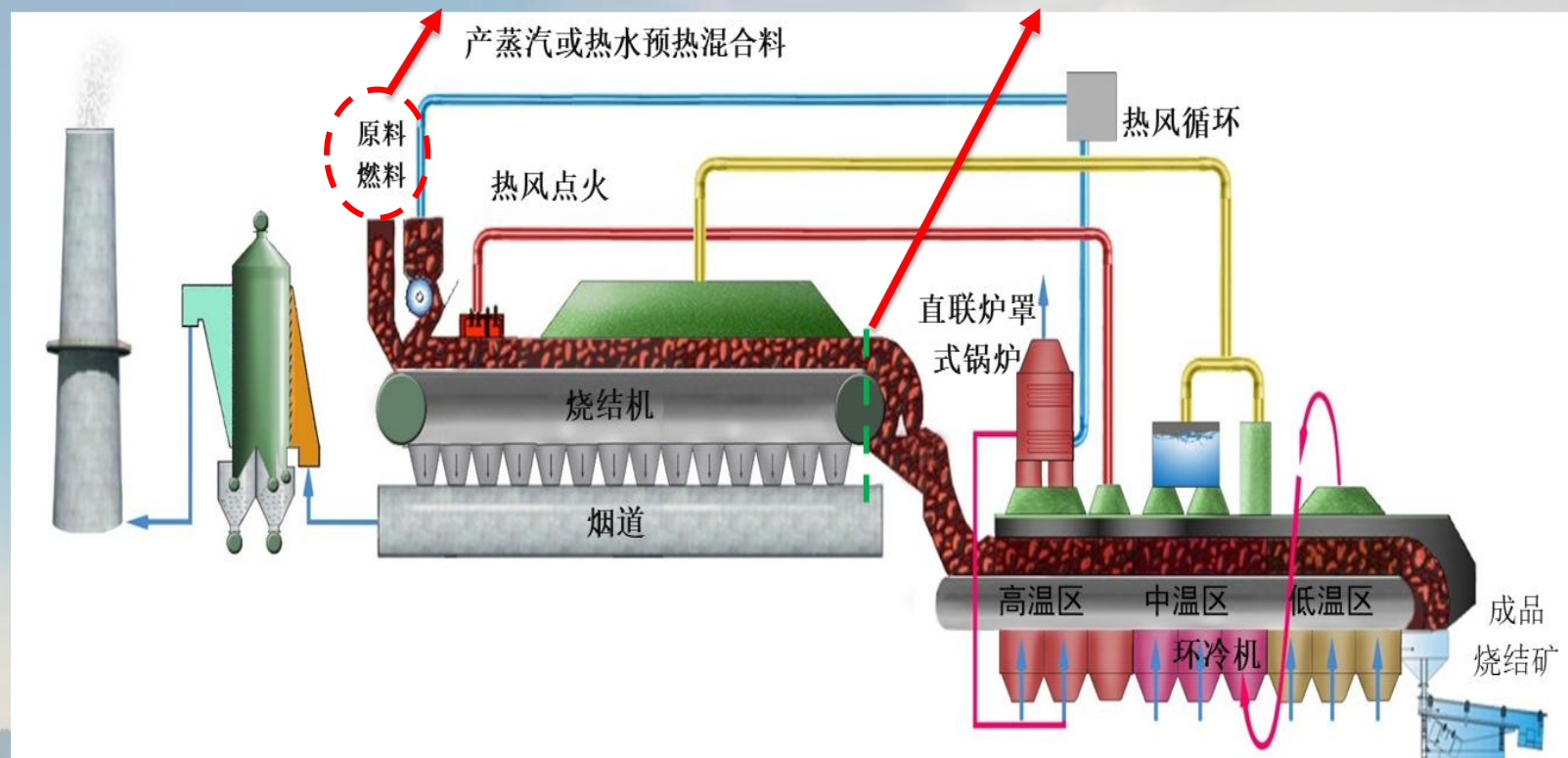
引自——《钢铁工业碳排放情况及碳减排进展》



➤ 钢铁行业碳排放量在全国工业总量中占比18.72%，其中**烧结工序占钢铁全流程约15%**

## (1) 能源低碳化

## (2) 烧结过程智能化



烧结技术的发展趋势是向**低碳化、智能化**发展



# 02

PART 02

## 第二部分

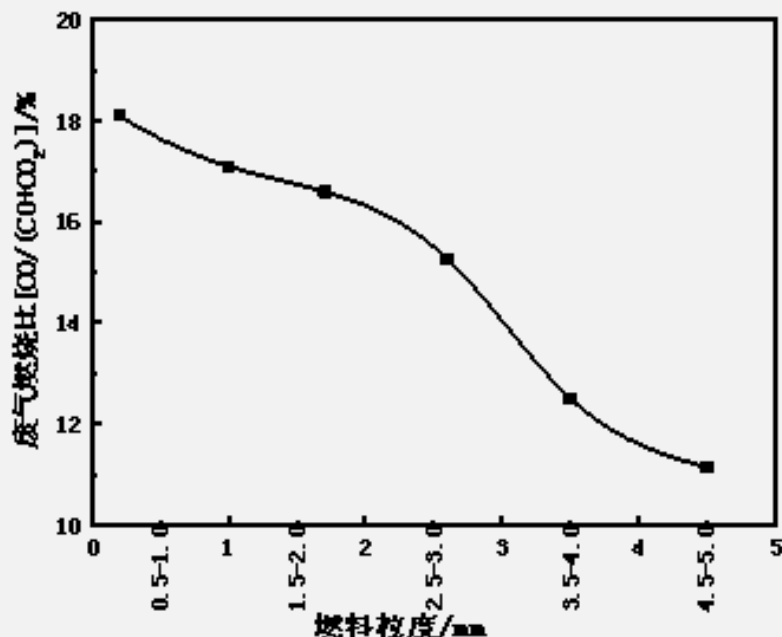
低碳赋能 推动烧结工序与自然社会融合发展



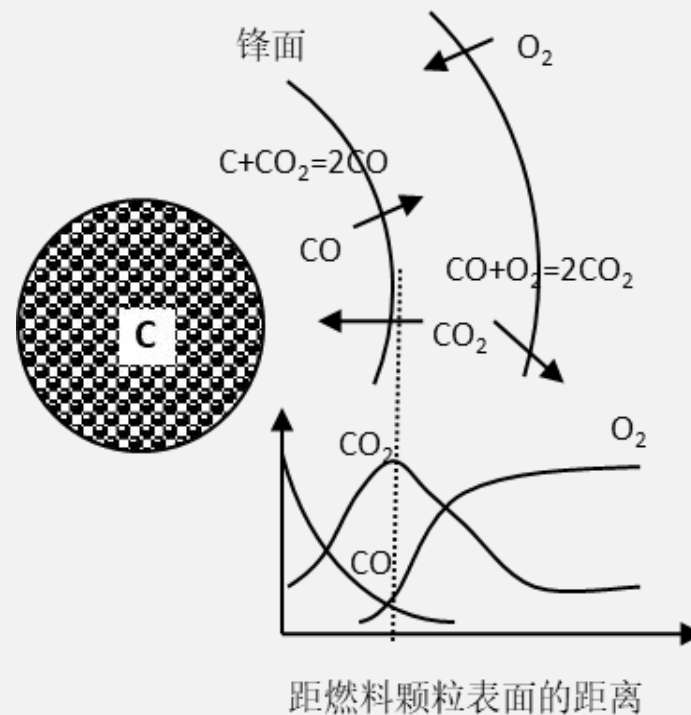
## 2.1 燃料粒度控制技术

燃料的粒度对**烧结热利用率**和**烧结工序能耗**有很大影响

- 粒度过粗，则燃烧速率过慢，燃烧带厚度加宽，烧结速率降低；粒度过细，则燃烧速率过快，高温保持时间短，烧结矿产量和质量下降。



燃料粒度与燃烧比关系



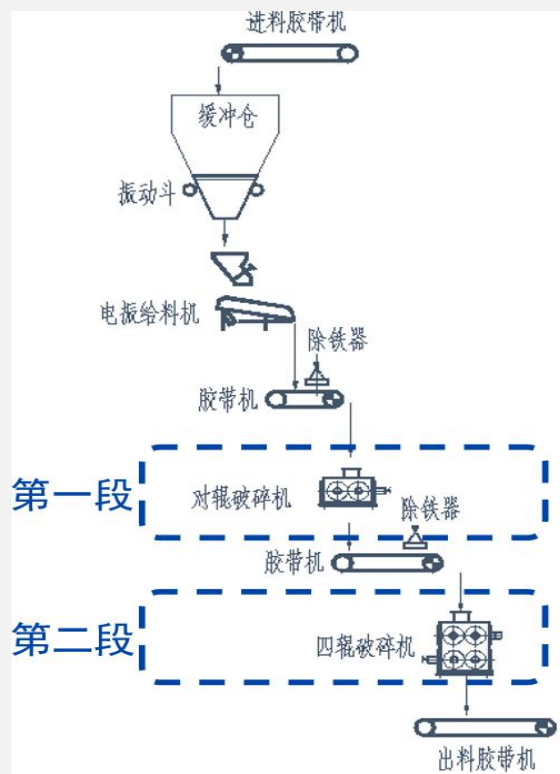
控制适宜的燃料粒度有助于提高烧结热利用率，降低烧结工序能耗。

## 2.1 燃料粒度控制技术

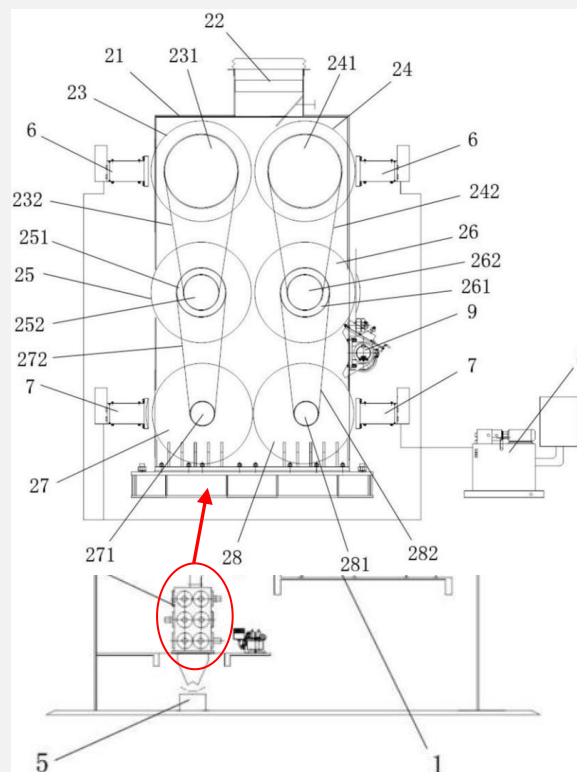
要将燃料粒度控制在合适范围，需采用**破碎设备**对烧结燃料进行破碎

**传统工艺：**粗破+细破的二段破碎（对辊+四辊）

**缺点：**破碎后燃料粒度组成不理想，容易出现过粉碎；工艺流程长；系统需配置的设备多；车间+通廊量大；投资、运行成本及设备维护工程量较高。



**新技术：**通过一套六辊设备，达到两段破碎的效果



**优势：**破碎后燃料粒度组成更加适合烧结；工艺流程短；可显著降低厂房的建设成本；以一台常规360m<sup>2</sup>烧结燃料破碎车间为例，预计可节省土建投资180万元。



## 2.2 厚料层大型化烧结技术

厚料层大型化烧结有助于充分利用烧结料层蓄热，是有效降低烧结工序能耗的关键技术。

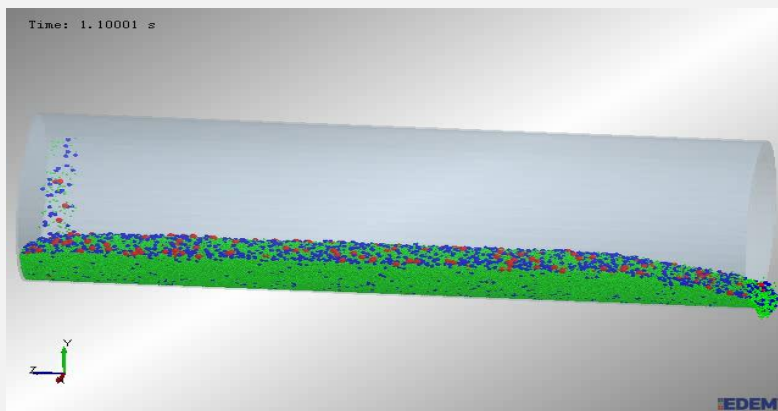
- 要实现厚料层大型化烧结须解决料层透气性问题，强力混匀、强化制粒和偏析布料是提高料层透气性的有效措施。



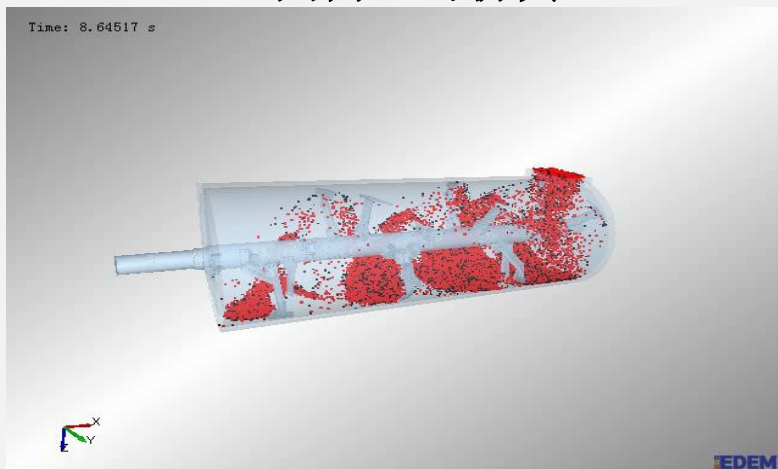
## 2.2 厚料层大型化烧结技术

### (1) 强力混匀技术

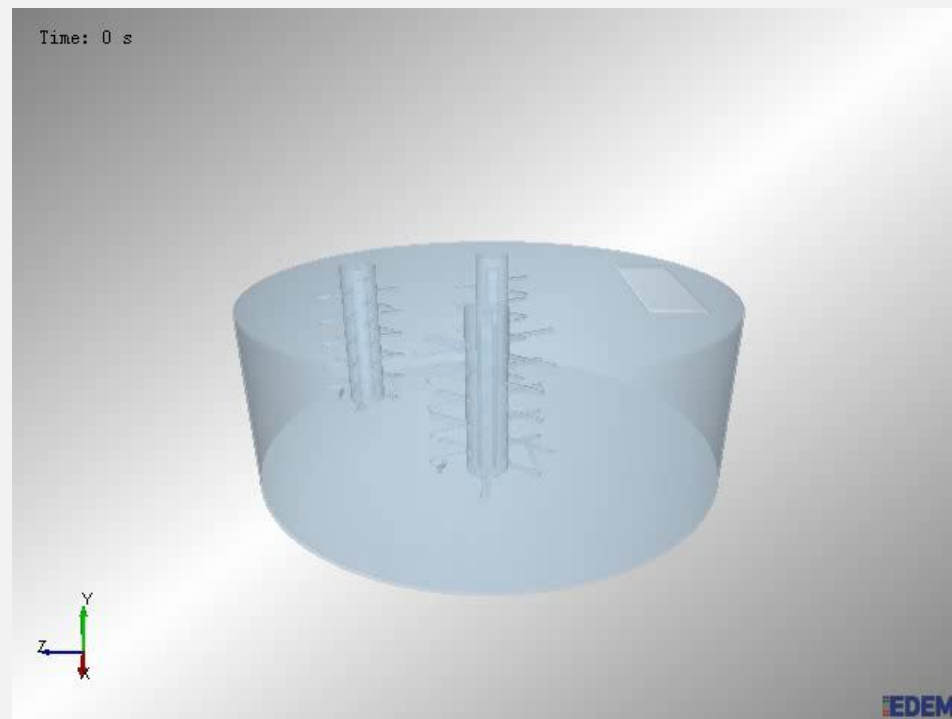
- 混匀效率的提高对改善混合料制粒至关重要。传统的圆筒混匀机依靠筒壁的旋转使物料滑动而实现混匀，而强力混匀机在桨叶的强扰动下物料将产生剪切和对流运动，混匀效果更好。



圆筒混匀仿真



卧式强力混合机混匀仿真



立式强力混合机混匀仿真



## 2.2 厚料层大型化烧结技术

### (1) 强力混匀技术

- 中冶长天开发的**强混→圆筒→圆筒**的三段混合制粒工艺已应用于本钢566m<sup>2</sup>烧结工程和宝钢600m<sup>2</sup>烧结工程，其中本钢为立式强混，使用后，3mm以上的粒度提高20%，主抽风压降低1000Pa。宝钢则采用卧式强混，使用后，料层厚度达900mm以上。
- 开发了有自主知识产权的立式强混，同工况下，与进口设备相比，一次性投资成本降低40%，运行成本降低20%，目前已应用于冷水江钢厂球团、永峰钢厂球团、龙腾特钢料场项目，运行状况良好。



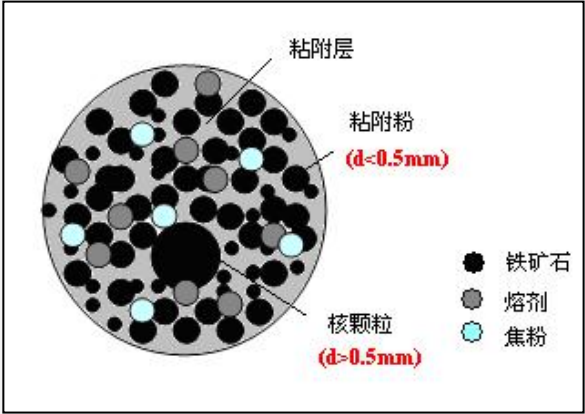
永峰球团立式强力混合机



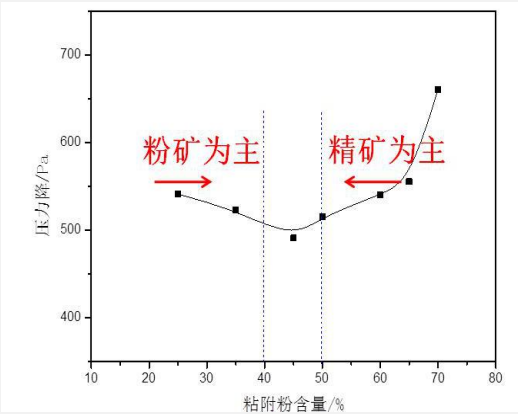
龙腾特钢料场用立式强力混合机

# 2.2 厚料层大型化烧结技术

## (2) 强化制粒技术



制粒小球结构模型

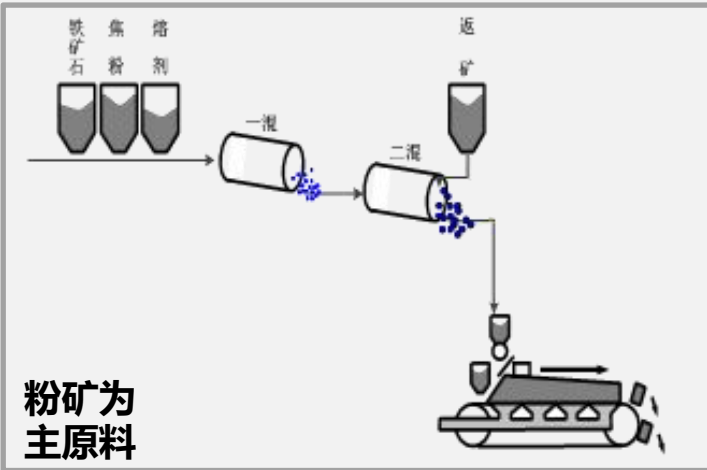


粘附粉含量对透气性的影响

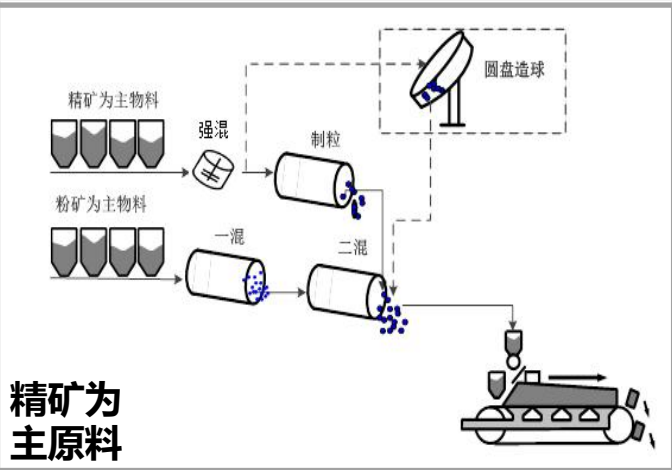
**粉矿为主原料：**黏附粉含量不足，核颗粒过剩，返矿充当造粒核心的功能有所弱化，可分流在制粒后期加入。

**精矿为主原料：**黏附粉含量过多，核颗粒不足，将一部分细粒精矿进行单独制粒，再与其他物料混匀后烧结。

返矿分流



粉矿为主原料



精矿为主原料



精矿分流



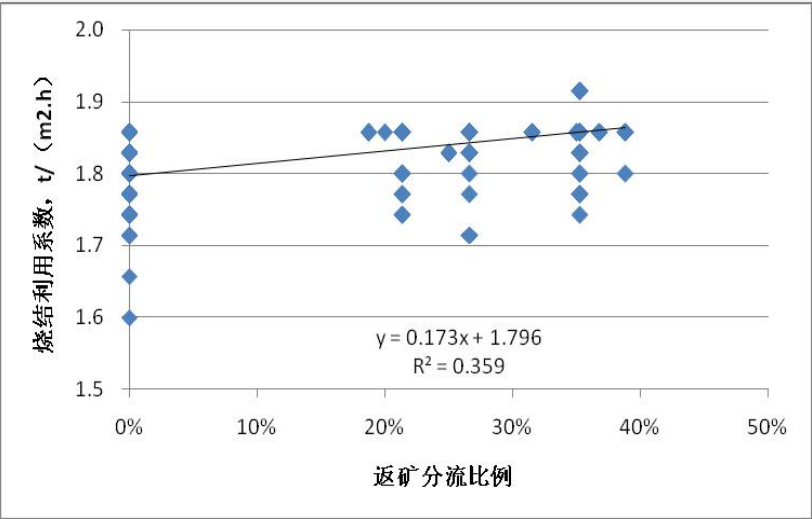
# 2.2 厚料层大型化烧结技术

## (2) 强化制粒技术 → 返矿分流

中天烧结返矿分流工业试验

分流方式	混合料水分/%	总管废气温度/℃	总管负压/kPa	利用系数/ $t \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$	转鼓强度/%
无分流	7.44	121.71	12.22	1.81	77.83
分流25%	7.22	127.84	11.89	1.84	78.03
分流37%	7.17	131.32	11.86	1.86	78.08

返矿分流25%：负压↓0.33kPa，烧结机系数↑1.7%，转鼓↑0.2%。  
返矿分流37%：负压↓0.36kPa，烧结机系数↑2.8%，转鼓↑0.25%。



中天钢铁返矿分流比例与烧结利用系数的关系



中天钢铁国内首台套返矿分流装置

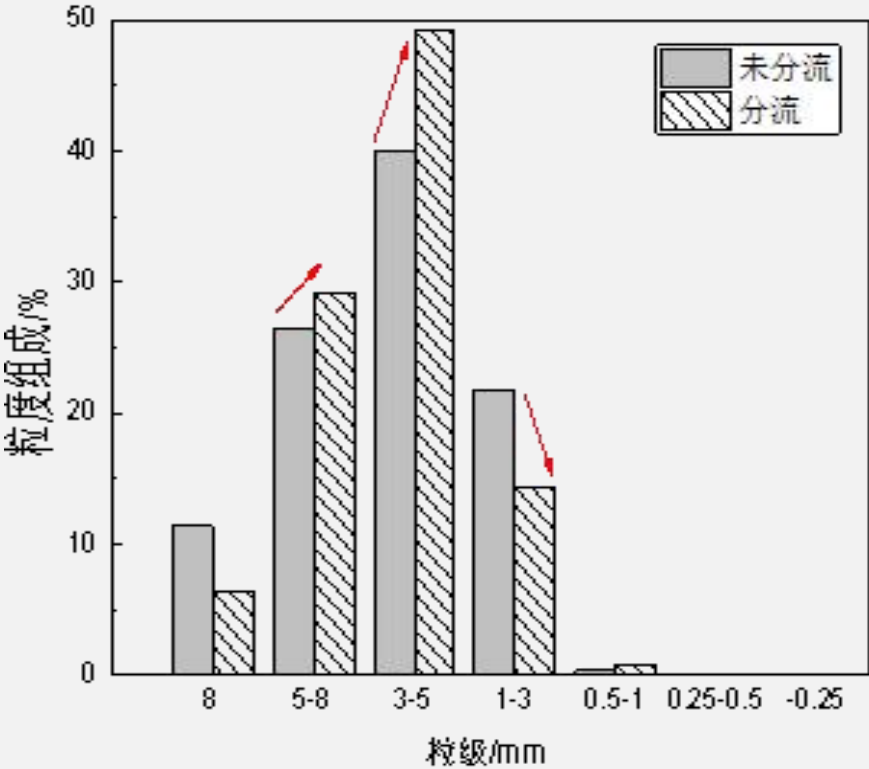
➤ 返矿分流后，可不破坏细粒料成球，改善制粒效果，增加料层的透气性，降低料层阻力，提高烧结机利用系数，增产约3%。

## 2.2 厚料层大型化烧结技术

(2) 强化制粒技术 → 精矿分流

精矿分流对料层高度和节能的影响

精矿是否分流制粒	焦粉总配比%	料层高度/mm	烧结速度/mm·min <sup>-1</sup>	成品率/%	转鼓强度/%	利用系数/t·m <sup>-2</sup> ·h <sup>-1</sup>	固体燃料耗kg/t
否	5.6	700	22.63	74.46	56.40	1.41	63.45
是	5.6	700	23.94	74.76	57.80	1.48	63.24
是	5.6	780	22.87	75.32	58.12	1.46	62.67



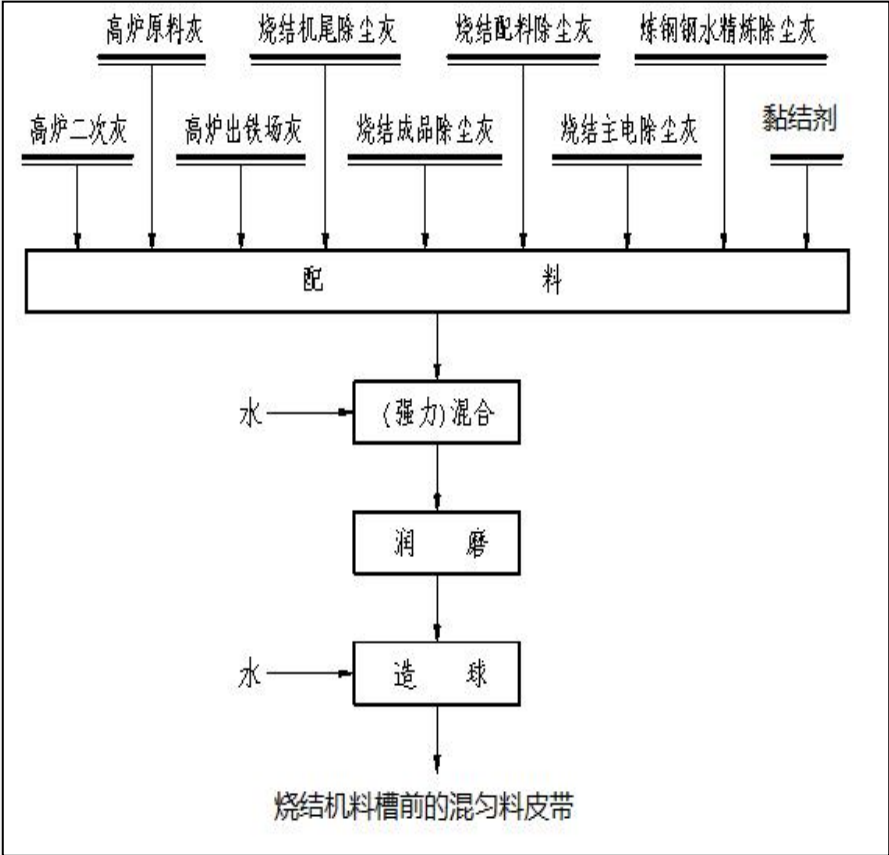
精矿分流对混合料制粒效果的影响

- 精矿分流可以改善制粒效果（3~8mm适宜烧结的颗粒增加）；料层高度可由700mm提高到780mm，固体能耗减少1kg。

# 2.2 厚料层大型化烧结技术

## (2) 强化制粒技术 → 粉尘预制粒

粉尘配比	烧结速度 /mm·min <sup>-1</sup>	成品率 /%	转鼓强度 /%	利用系数 /t·(m <sup>2</sup> ·h) <sup>-1</sup>	透气性指数 /J.P.U
直接添加					
0	21.14	75.64	65.80	1.472	0.273
4%	20.36	74.15	64.47	1.389	0.259
10%	18.99	73.36	62.63	1.306	0.232
15%	18.24	73.07	62.24	1.239	0.205
20%	14.96	72.71	61.60	1.037	0.187
预制粒后添加					
0	21.14	75.64	65.80	1.472	0.273
5%	21.27	75.21	65.38	1.471	0.276
10%	21.36	74.57	64.73	1.468	0.282
15%	21.55	73.93	64.52	1.469	0.296
20%	21.62	72.82	64.28	1.463	0.305



➤ 粉尘直接配加参与烧结，将恶化料层透气性；经润磨造球后使用，有利于提高料层透气性和烧结速度



## 2.2 厚料层大型化烧结技术

(2) 强化制粒技术 → 粉尘预制粒

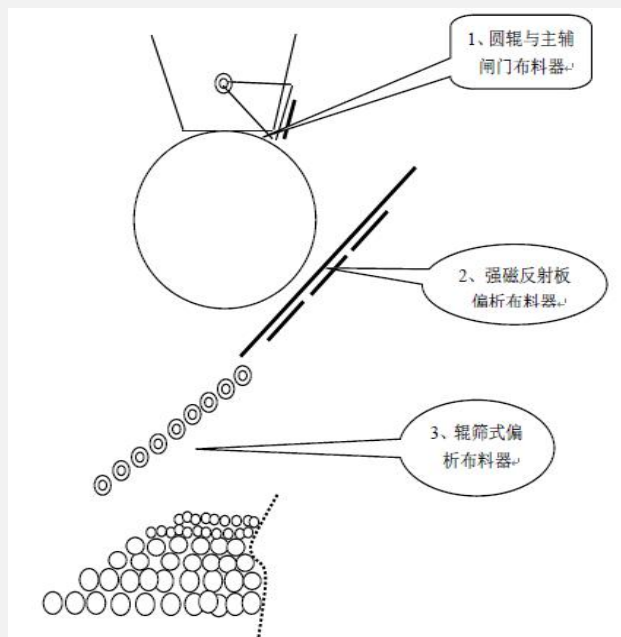


- 粉尘预制粒技术已应用于宝钢600m<sup>2</sup>烧结机，年处理粉尘~101万t，预制粒粒度为3-10mm，含铁~43%。预制粒后小球送至烧结机混合制粒后皮带。

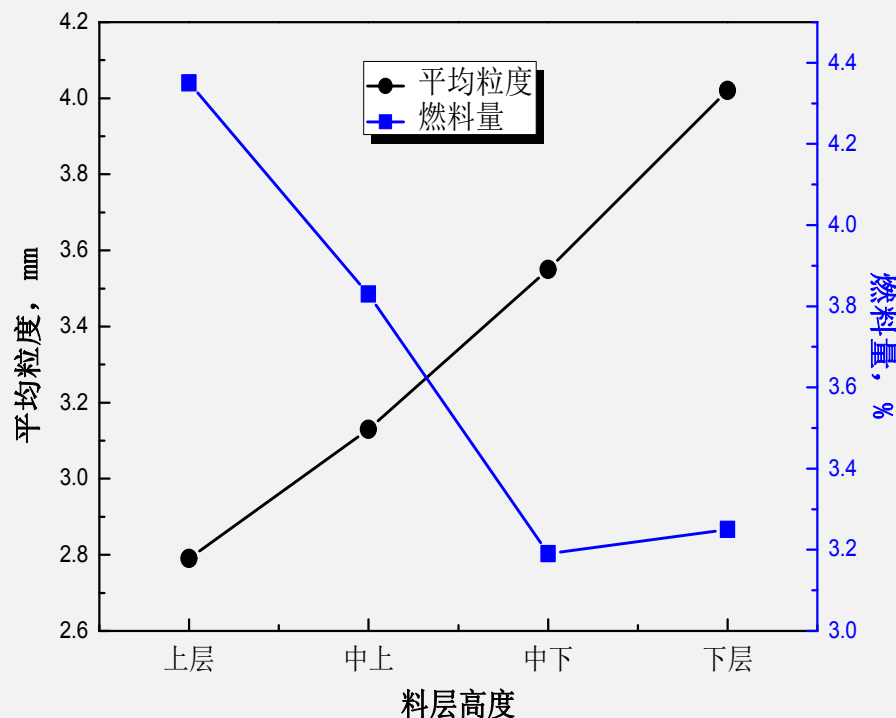


## 2.2 厚料层大型化烧结技术

### (3) 组合式偏析布料技术



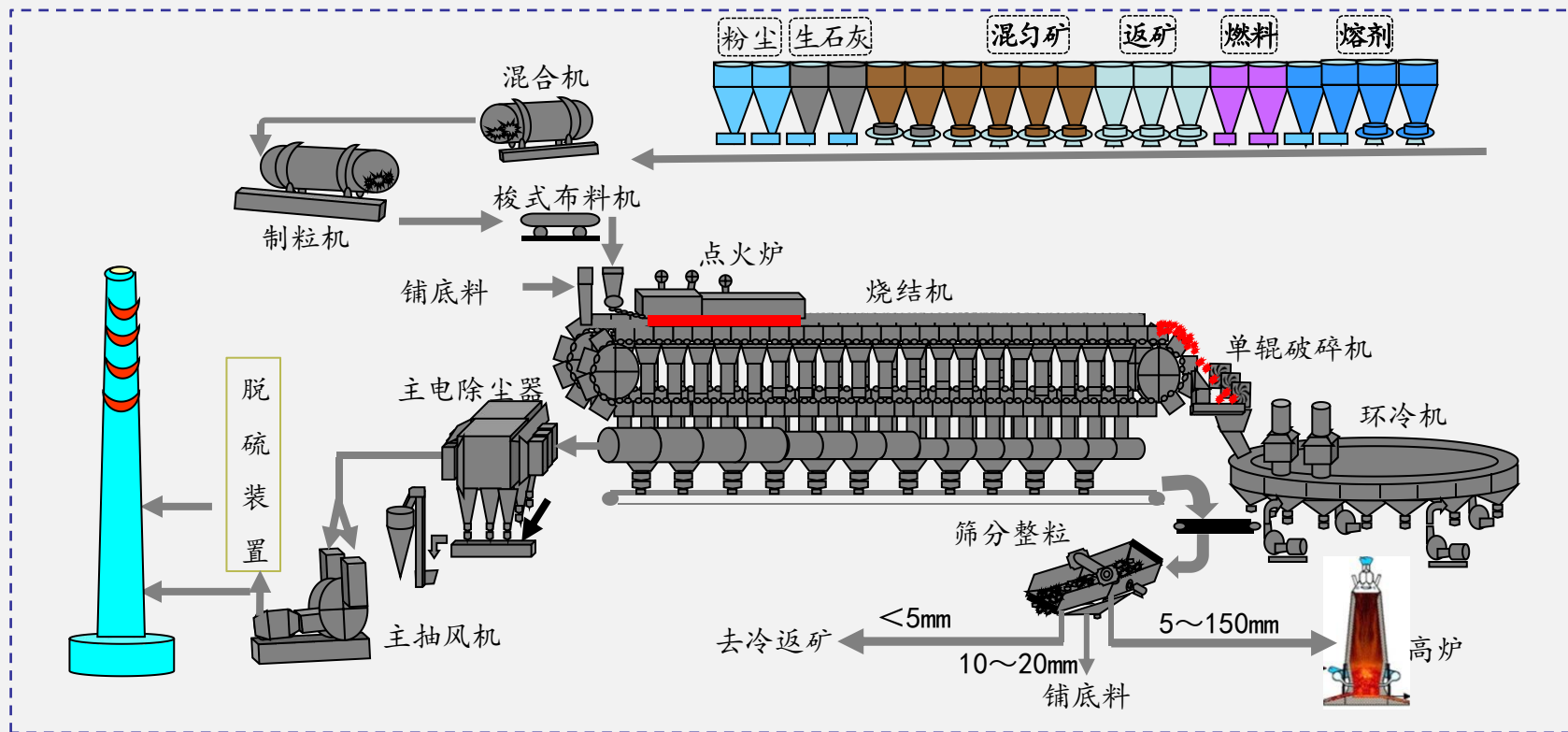
组合式偏析布料装置示意图



料层高度与平均粒度/燃料量关系

- 反射板加多辊的组合偏析布料偏析效果良好（宝钢3烧），上部料层平均粒径约2.8mm，燃料量约4.1%，下部料层平均粒径约4.3mm，燃料量约3.2%，实现了上部料层粒度小燃料多，中、下部料层粒度大燃料少的合理料层结构。为防止混合料落下时压紧密实，设置有透气棒装置。

## 2.2 厚料层大型化烧结技术



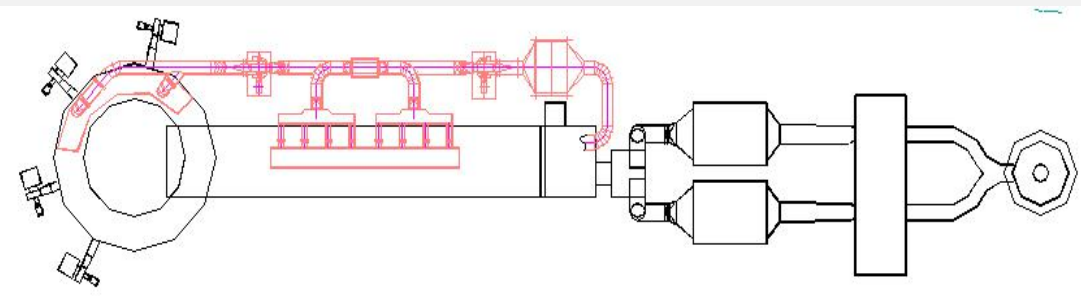
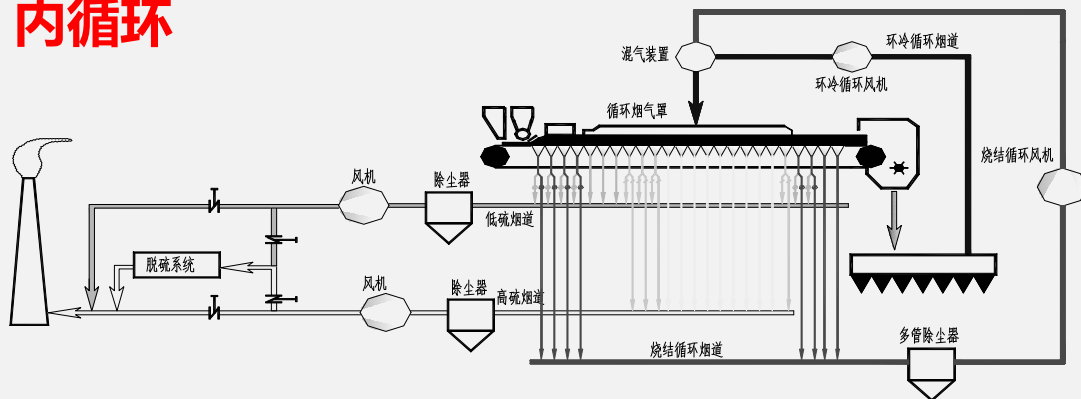
厚料层大型化烧结生产过程示意图

达到：烧结机单机规模**660m<sup>2</sup>**；烧结料层厚度**1000mm**；  
国际先进水平  
烧结固耗：**~45kgce/t.s**；  
烧结机漏风率**20%以下**（最优出口日本和歌山**16.75%**）

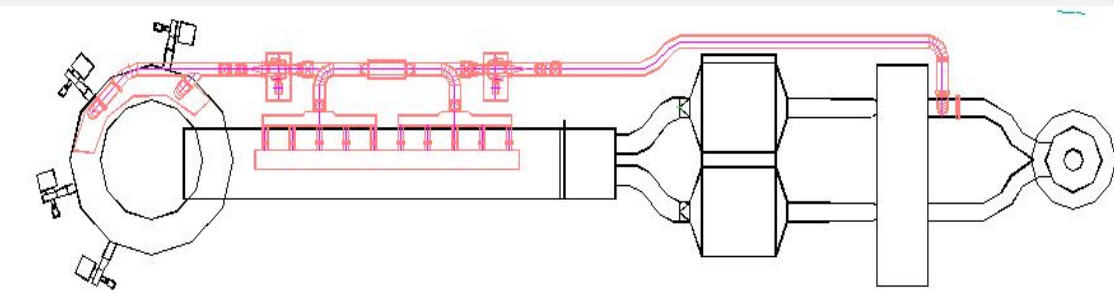
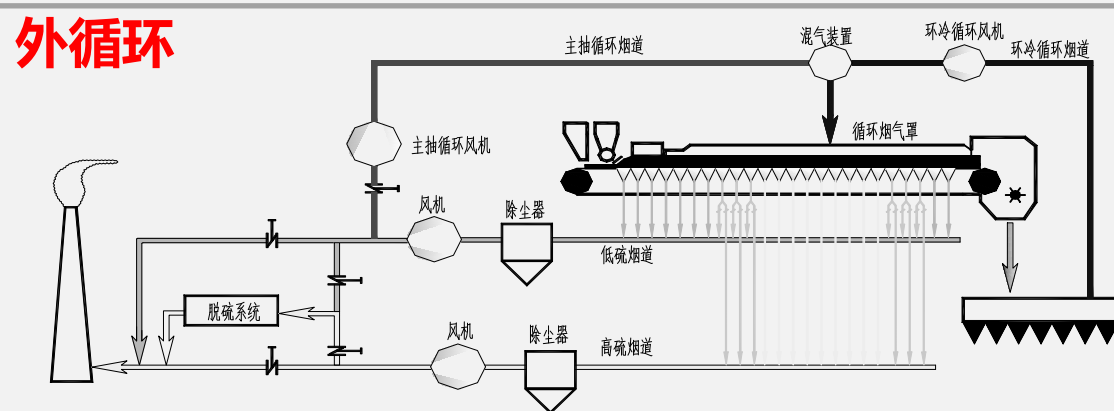
## 2.3 烧结烟气循环技术

- 烧结烟气循环是将20%~30%烧结原烟气返回至料面顶部再次参与烧结的方法。一方面可减少烟气排放总量，降解部分NO<sub>x</sub>和二噁英，降低烟气净化系统投资及运行成本；另一方面可回收部分烟气显热和潜热，**减少固体燃料消耗。**

### 内循环



### 外循环



## 2.3 烧结烟气循环技术

- 烟气循环技术已应用至宝钢600m<sup>2</sup>、燕钢300m<sup>2</sup>烧结等工程，烧结烟气循环率达20%以上，**工序能耗降低2kgce/t.s。**

【内循环典型工程——宝钢600m<sup>2</sup>烧结机】

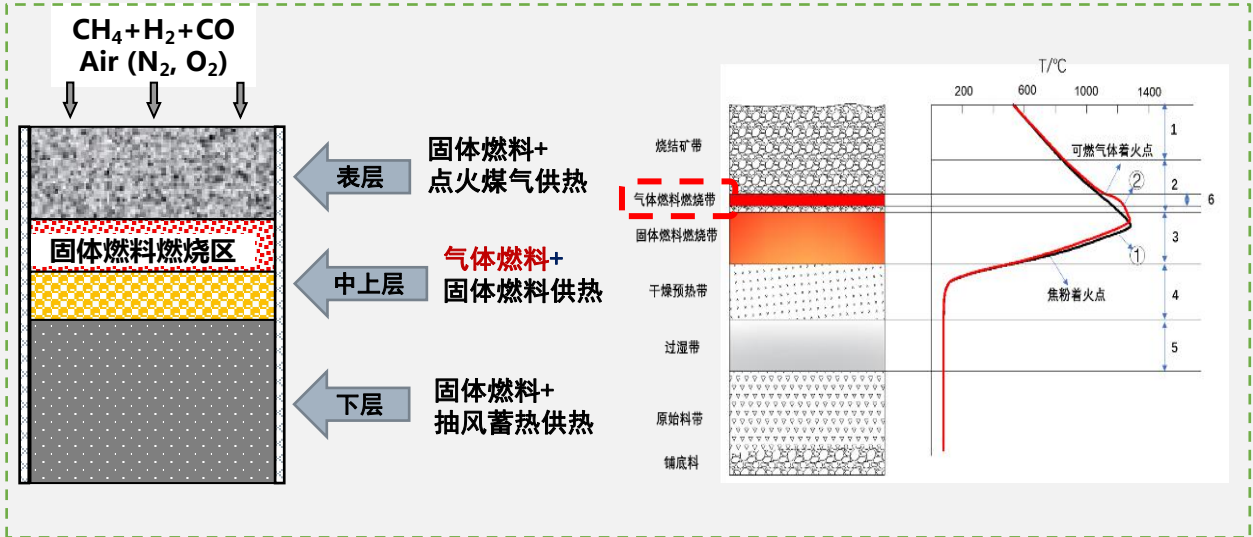
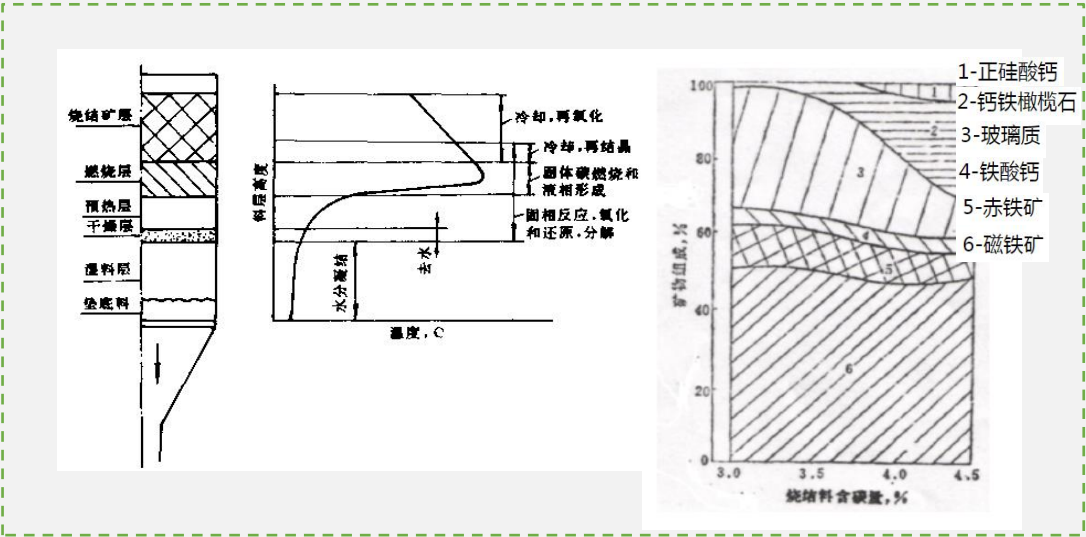


【外循环典型工程——燕钢300m<sup>2</sup>烧结机】





## 2.4 高配比富氢燃料烧结技术



### 固体燃料供热模式在烧结中的作用及影响

- ❑ 受蓄热效应影响，上部料层热量不足、下部料层热量过剩，热利用率低，烧结返矿率高。
- ❑ 碳基固体燃料燃烧废气污染物多、成分复杂。

### 气固燃料复合供热烧结机理

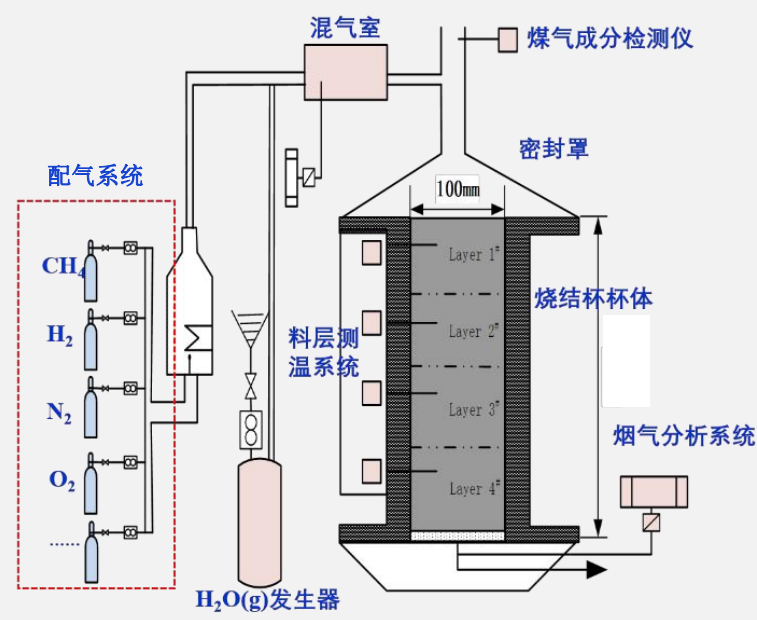
- ❑ 烧结前段喷吹氢系燃气补热，延长了上部料层液相冷凝结晶时间，整体固体燃料配比下降，实现均热烧结，强化优质铁酸钙生成。
- ❑ 以氢系燃料代替部分碳基固体燃料，燃烧产物清洁，趋于低碳化。

气固燃料复合供热烧结有助于提质增产、减少碳排放

# 2.4 高配比富氢燃料烧结技术

## ✓ 试验装置及原料条件

- 主要包括配气系统、点火系统、煤气喷加系统、烧结杯本体和烟气检测系统
- 烧结杯有效高度为1000mm，直径为100mm



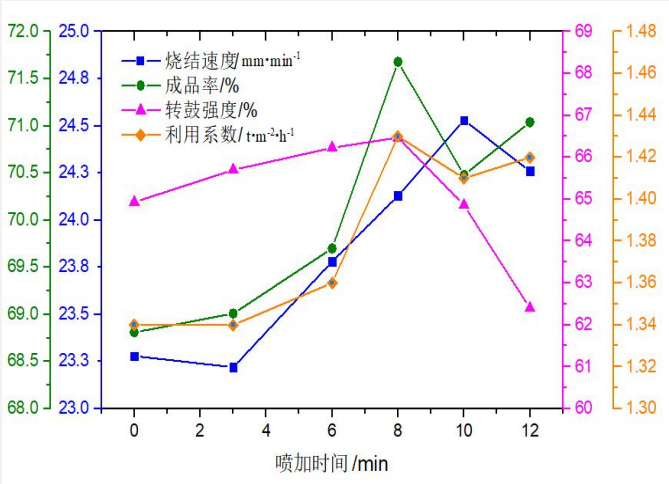
铁矿石的主要化学成分 /%

矿种	TFe	FeO	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P	S	LOI
澳洲筛下粉	63.20	0.59	2.82	0.14	0.06	1.71	0.087	0.024	5.05
国王粉	57.76	0.21	5.55	0.09	0.07	1.12	0.058	0.015	9.53
巴西精矿	66.98	0.25	3.62	0.09	0.03	0.63	0.03	0.005	0.76
安徽精矿	64.38	23.37	4.46	0.70	1.26	1.18	0.048	0.560	2.17
澳洲精矿A	64.33	26.50	8.50	0.15	0.49	0.30	0.021	0.010	0.67
巴西粉矿	57.08	0.44	12.84	0.20	0.09	0.82	0.100	0.007	3.61

Four photographs showing the sintering process at different stages. The first shows a bright red, glowing sintering cup. The second shows a dark, solidified sintering cup. The third shows a sintering cup with a dark, granular material inside. The fourth shows a sintering cup with a dark, granular material inside, with a small white object (possibly a sample) placed on top.

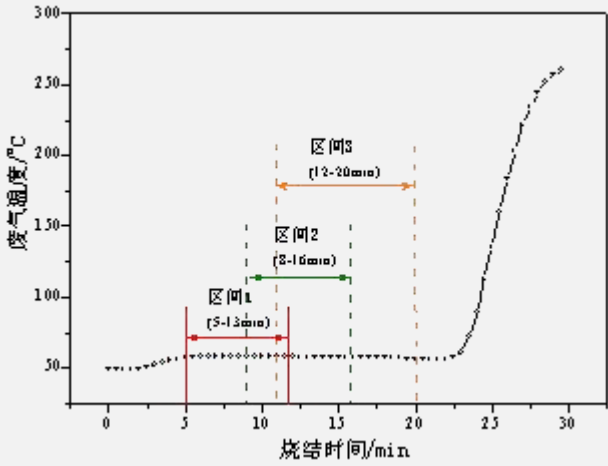
# 2.4 高配比富氢燃料烧结技术

## ✓ 工艺制度寻优试验研究



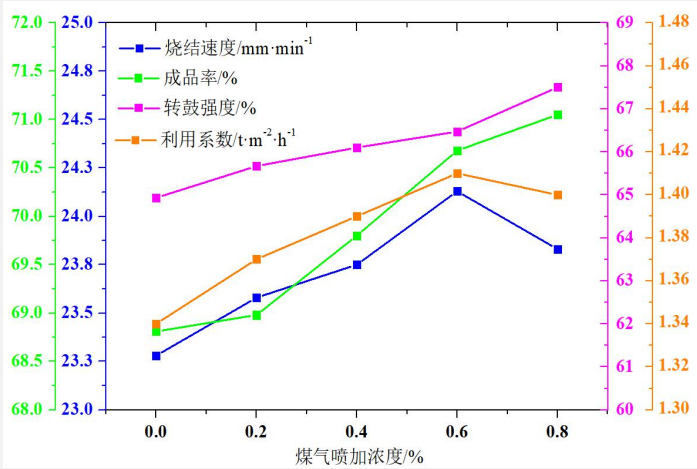
喷加时间 /min	烧结速度 /mm·min <sup>-1</sup>	成品率 /%	转鼓强度 /%	利用系数 /t·m <sup>-2</sup> ·h <sup>-1</sup>
0	23.28	68.81	64.93	1.34
3	23.22	69.01	65.70	1.34
6	23.78	69.70	66.23	1.36
8	24.13	71.68	66.47	1.43
10	24.53	70.48	64.86	1.41
12	24.26	71.04	62.40	1.42

不同持续时间对烧结指标的影响



喷加区间	烧结速度 /mm·min <sup>-1</sup>	成品率 /%	转鼓强度 /%	利用系数 /t·m <sup>-2</sup> ·h <sup>-1</sup>
-	23.22	70.70	65.37	1.38
-	23.28	68.81	64.93	1.34
1	24.05	71.84	68.40	1.44
2	24.13	70.68	66.47	1.41
3	23.76	70.19	64.93	1.36

不同喷加区间对烧结指标的影响



喷加浓度	烧结速度 /mm·min <sup>-1</sup>	成品率 /%	转鼓强度 /%	利用系数 /t·m <sup>-2</sup> ·h <sup>-1</sup>
0 (未减碳)	23.22	70.70	65.37	1.38
0.2	23.58	68.98	65.67	1.37
0.4	23.75	69.8	66.1	1.39
0.6	24.13	70.68	66.47	1.41
0.8	23.83	71.05	67.5	1.40

不同喷加浓度对烧结指标的影响



## 2.4 高配比富氢燃料烧结技术

✓ 实验室条件下焦炉煤气与天然气喷吹效果对比

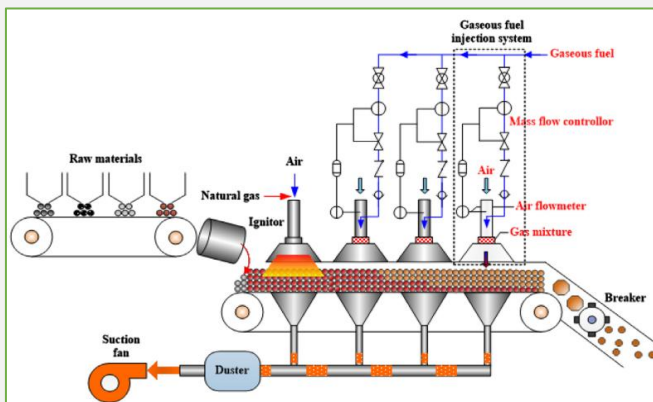
焦炉煤气	焦粉配比 /%	烧结速度 /mm·min <sup>-1</sup>	成品率 /%	转鼓强度 /%	利用系数 /t·m <sup>-2</sup> ·h <sup>-1</sup>
	5.60	23.22	70.70	65.37	1.38
	5.30	24.05	71.84	68.40	1.44
	5.15	23.51	69.01	66.30	1.35
	5.00	23.44	68.24	65.7	1.33
天然气	<b>5.00</b>	<b>23.50</b>	<b>70.65</b>	<b>67.47</b>	<b>1.38</b>
	焦粉配比 /%	烧结速度 /mm·min <sup>-1</sup>	成品率 /%	转鼓强度 /%	利用系数 /t·m <sup>-2</sup> ·h <sup>-1</sup>
	4.62	26.71	72.87	61.73	1.63
	4.22	26.99	72.80	62.93	1.62
	<b>3.62</b>	<b>26.14</b>	<b>72.30</b>	<b>62.67</b>	<b>1.60</b>

- 焦炉煤气：吨矿喷吹1.48m<sup>3</sup>，配碳从5.6%降至5.0%；在烧结矿质量指标基本不变的情况下，节约标煤5kg，节约成本4元（包括NOx净化成本），碳减排约10.2%；
- 天然气：吨矿喷吹1.48m<sup>3</sup>，配碳从4.62%下降至3.62%；在烧结矿质量指标基本不变的情况下，节约标煤8kg，碳减排约21.2%。

## 2.4 高配比富氢燃料烧结技术

### ✓ 工程应用

- 2009年日本JFE公司提出“super sinter”技术，将混合料整体减碳后，在料面喷加天然气，吨矿工序能耗降低**1.65公斤标煤**；2013年，梅钢实施焦炉煤气喷加，吨矿工序能耗降低**1.48公斤标煤**。
- 2017年中冶长天在韶钢5号烧结机上喷加焦炉煤气（ $1.15\text{m}^3/\text{t-s}$ ），吨矿工序能耗降低**1.99公斤标煤**；2020年5在中天钢铁550 $\text{m}^2$ 烧结机上喷加天然气（ $0.4\text{m}^3/\text{t-s}$ ），吨矿工序能耗降低**2.53公斤标煤**。



日本super sinter技术流程示意图



梅钢现场图



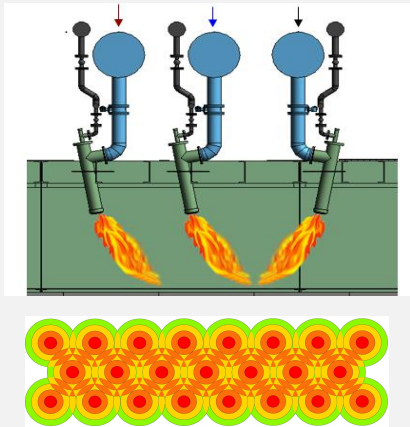
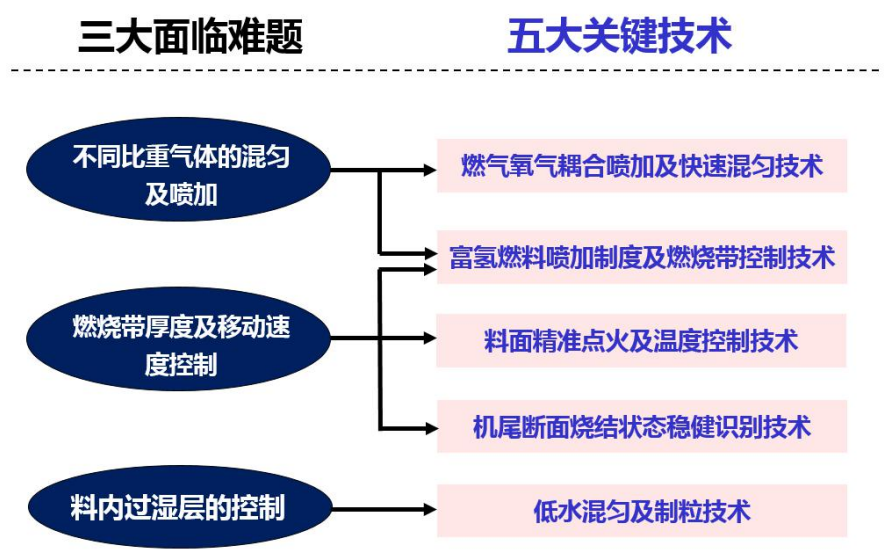
韶钢现场图



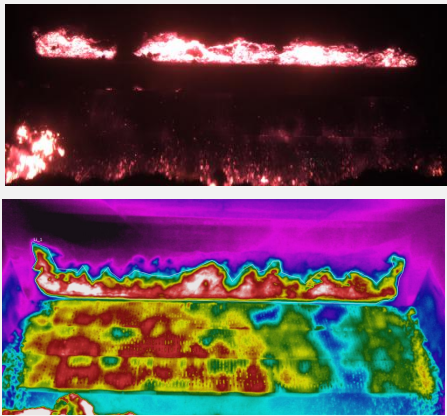
中天钢铁现场图

现有技术均未能完全挖掘以气代焦工况条件下烧结过程的最大潜力，工序净减碳比均在**7%以下**

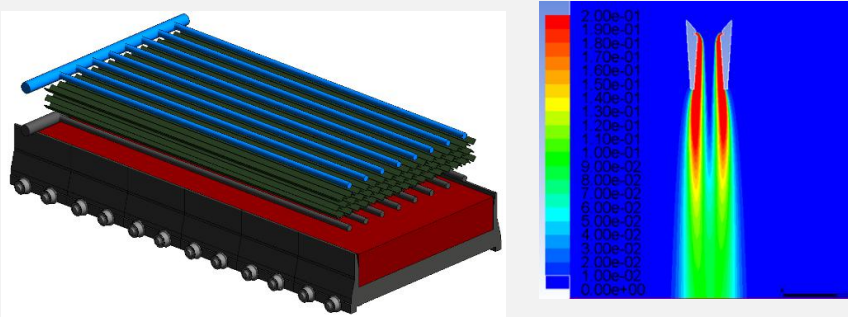
# 2.4 高配比富氢燃料烧结技术



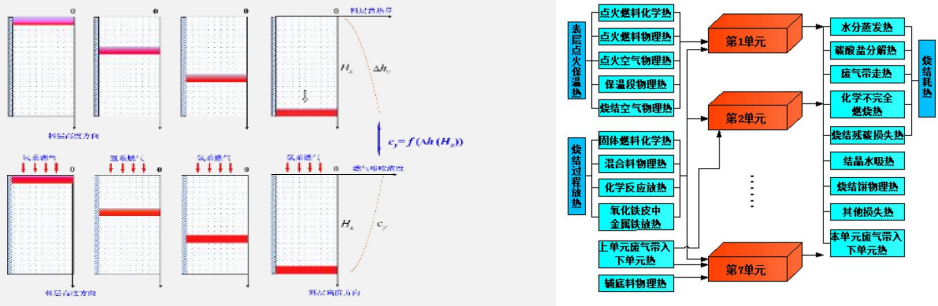
料面精准点火及温度控制技术



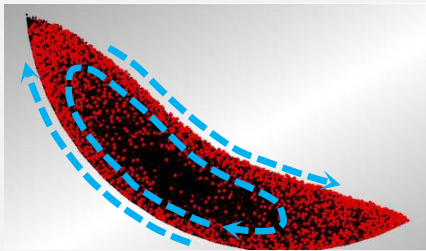
料层燃烧带检测与控制技术



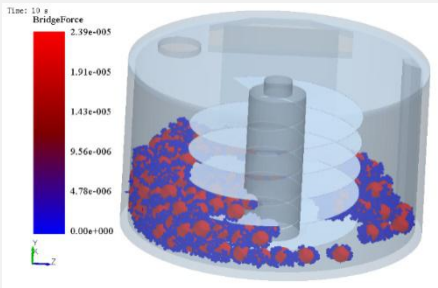
燃气&氧气耦合喷加及快速混匀技术



富氢燃料喷加制度及燃烧带控制技术



低水混匀及制粒技术



力求从工序全流程各环节实现“高配比富氢烧结”的瓶颈关键技术突破

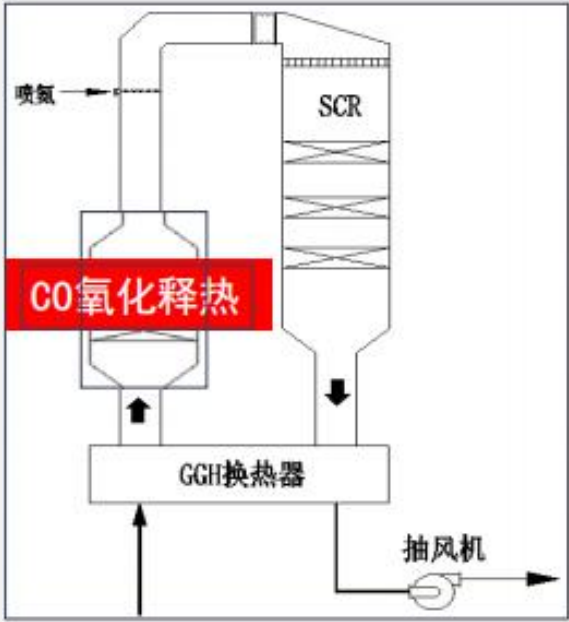


# 2.5 CO末端治理技术

➤ 2018年全国两会期间，有代表提出：应尽早制定钢铁行业一氧化碳排放标准，有效控制污染源排放，并出台污染治理技术指南；我国河北唐山地区、山西临汾地区明确出台了CO限排措施。

CO毒性和危害远大于CO<sub>2</sub>

比较项目	CO <sub>2</sub>	CO
8小时允许接触限值	5000 ppm	50 ppm
低浓度对健康的危害	/	心血管疾病
对环境的危害	温室效应	臭氧污染

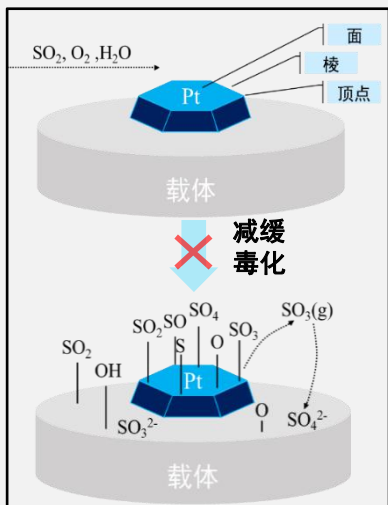


➤ SCR法是典型的脱硝工艺，其反应窗口温度要求 > 180℃，由于烧结烟气温度相对较低（ 120~ 150℃ ），需消耗大量燃气二次升温后再脱硝。而烧结烟气中5000mg/Nm<sup>3</sup>的CO完全氧化放热后则可使其升温约 45℃。将CO催化氧化释热与中低温SCR脱硝技术相耦合，可在脱除CO和NO<sub>x</sub>的同时，降低系统能耗。

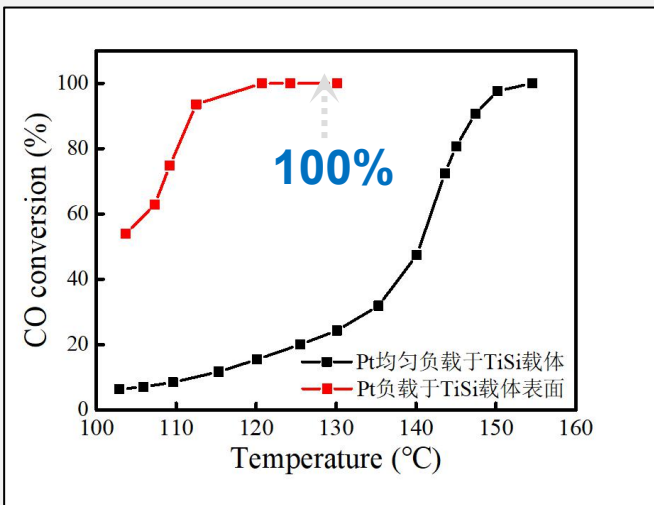
## 2.5 CO末端治理技术

### ✓ CO氧化催化剂的制备

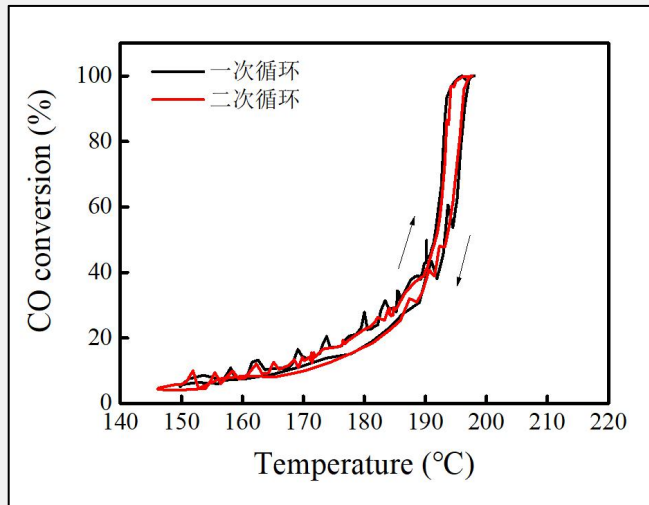
- 基于介孔TiO<sub>2</sub>有利于减缓催化剂毒化的特点，合成了低负载量Pt/钛硅基催化剂
- 催化剂在120°C无硫烟气条件下，CO的去除率~100%



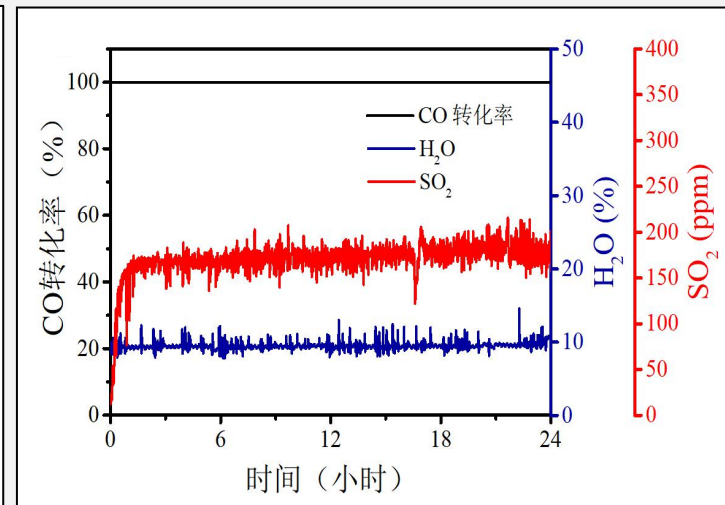
介孔载体结构减缓催化剂毒化示意



Pt催化剂在10%水气模拟烧结烟气中催化CO氧化反应的CO转化率随温度变化曲线



Pt催化剂在含高浓度200ppmSO<sub>2</sub>和10%水气的模拟烧结烟气中催化CO氧化反应的CO转化率随温度变化曲线



Pt催化剂在含高浓度200ppmSO<sub>2</sub>和10%的模拟烧结烟气中，210°C下的长时间工作效果

# 2.5 CO末端治理技术

湛江钢铁烧结烟气超低温(100℃~150℃)SCR 脱硝

中试研究协议

甲方：宝钢湛江钢铁有限公司  
乙方：中冶长天国际工程有限责任公司

2019年4月，铁行业超低排放的气经活性炭法处理SCR脱硝技术意义江钢铁)、中冶长天友好协商，决定据此，双方签订合

一、背景情况说明

烧结烟气超低温NOx≤50mg/Nm³。待进一步完善，从下超低温SCR被之一。另外，烧结可使烟气温度显著现NOx高效脱除。温SCR脱硝技术

二、研究目标

1、开展SCR

造成的损失。

2、若造成侵犯第三方知识产权的，由造成侵权的责任方承担全部经济赔偿责任。

3、双方如发生纠纷，未能协商解决的，双方有权向甲方所在地有管辖权的法院提起诉讼。

九、其他

1、在甲乙双方确认不再开展其他试验后，双方自由处置各自提供的装置。

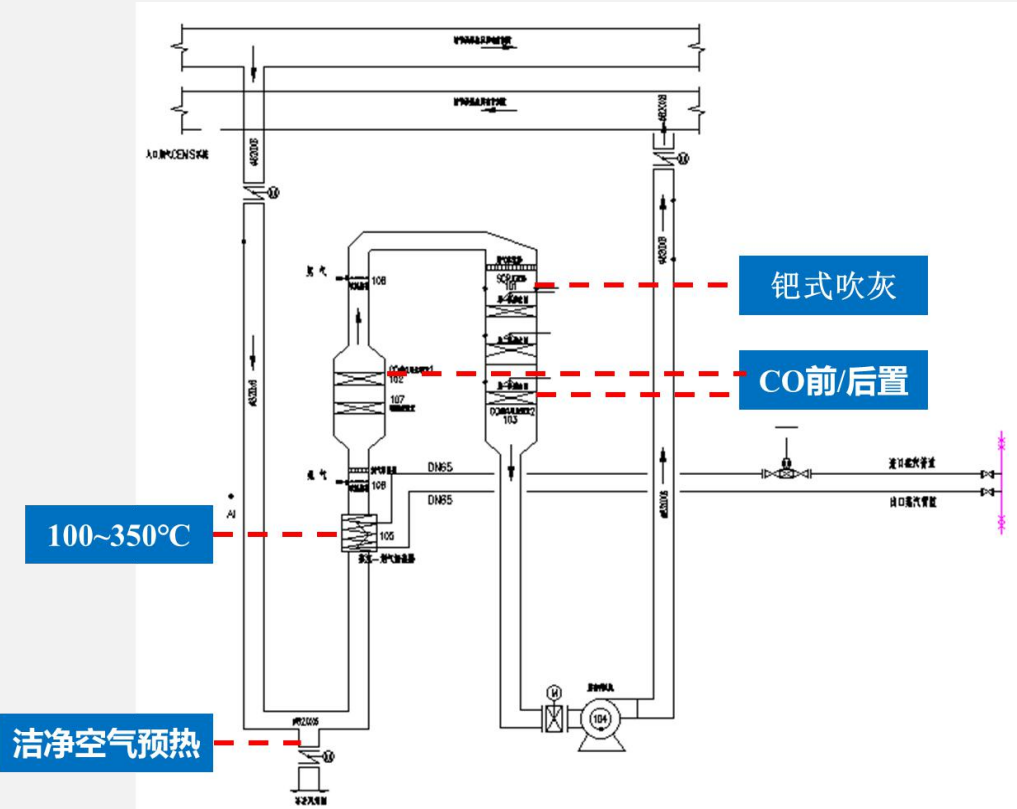
2、本协议自双方签字盖章之日起生效，有效期10年；合作试验期为本协议生效日至项目结题日止。

3、其他未尽事宜，由双方另行协商并达成书面补充协议，本协议所附附件作为本协议的一部分，与本协议具有同等法律效力。

4、本协议一式陆份，双方各执叁份，具有同等法律效力。

甲方：宝钢湛江钢铁有限公司  
法定代表人/委托代理人(签字)：[Signature]  
详细地址：湛江经济技术开发区东简街道办乌东大道18号  
签订日期：2020年6月29日

乙方：中冶长天国际工程有限责任公司  
法定代表人/委托代理人(签字)：[Signature]  
详细地址：湖南省长沙市梅溪湖路1152号  
签订日期： 年 月 日



关于烧结烟气中一氧化碳催化氧化脱除技术合作研究及应用框架协议

甲方：中冶长天国际工程有限责任公司

关于稀土基(无钒)低温SCR脱硝技术合作研究及应用框架协议

甲方：中冶长天国际工程有限责任公司

合同编号：[Blank Box] 密级：

科技课题协议书

项目名称：绿色冶金关键共性技术创新研究  
所属科技计划名称：中国科协学会联合体品牌建设项目  
项目依托单位(甲方)：中国金属学会  
课题承担单位(乙方)：中冶长天国际工程有限责任公司  
课题负责人：康建刚

起止年限：2020年01月至2020年05月  
签订日期：2020年01月22日

中试协议

设计思路

支持课题及催化剂联合开发协议

✓ 已与湛江钢铁签订中试协议，拟在今年开展中试研究





03

PART 03

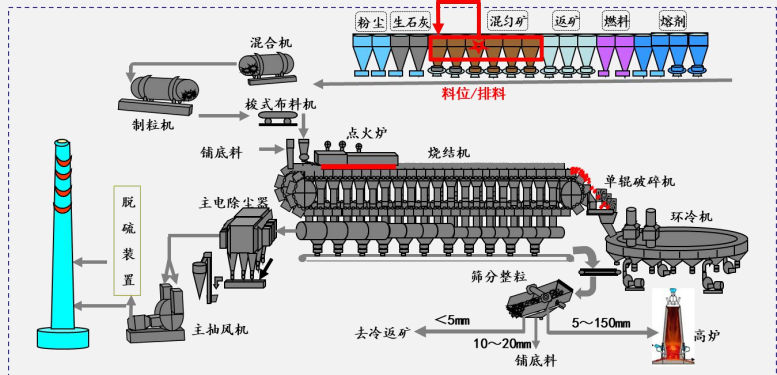
## 第三部分

智能赋能 打造烧结工序发展新引擎

# 3.1 整体解决方案

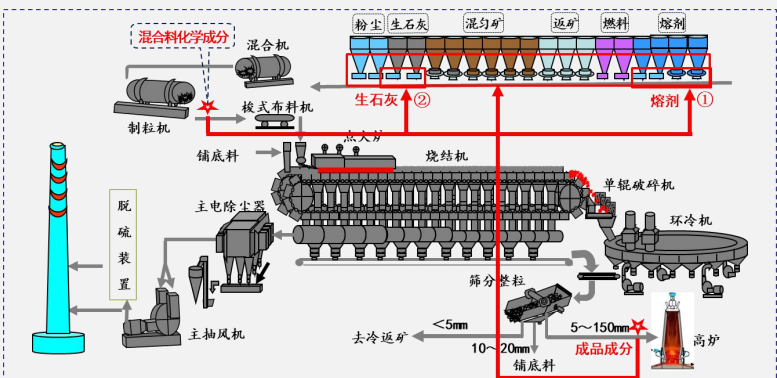


## 3.2 智能控制-配混



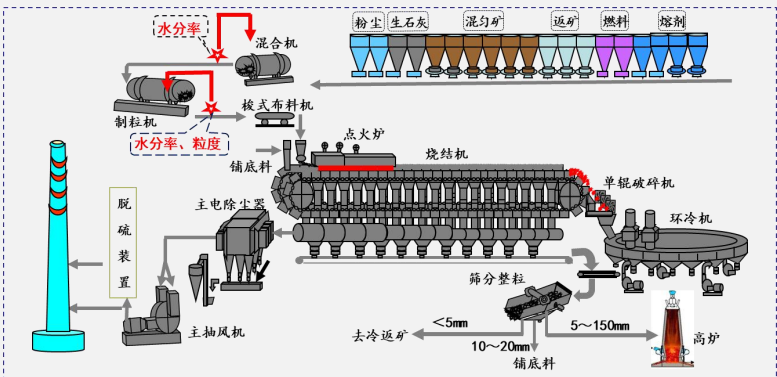
### 智能寻仓：

通过卸料小车的RFID读码装置，获取安装在轨道旁呈规律性布置的无线标尺，实时得到小车的精确位置，利用无线通信获取料仓料位，从而控制小车朝目标料仓卸料，实现移动小车控制安全化、无人化、精准化。



### 配比优化：

通过分析混合料成分，实现基于碱度目标的熔剂添加量闭环控制；将预测与实测成品矿成分进行对比后进行数据分析，建立配比优化模型，实现碱度稳定控制、配比优化控制。

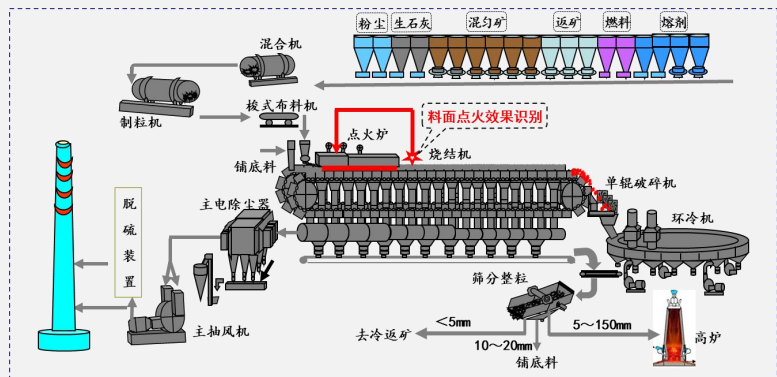


### 优化制粒：

首先实现一混后水分率控制要求。再通过分析制粒后实际粒度与目标粒度分布偏差，合理调节制粒机所需目标转速及所需目标加水量，实现优化制粒、增加混合料透气性、节约主抽能耗。

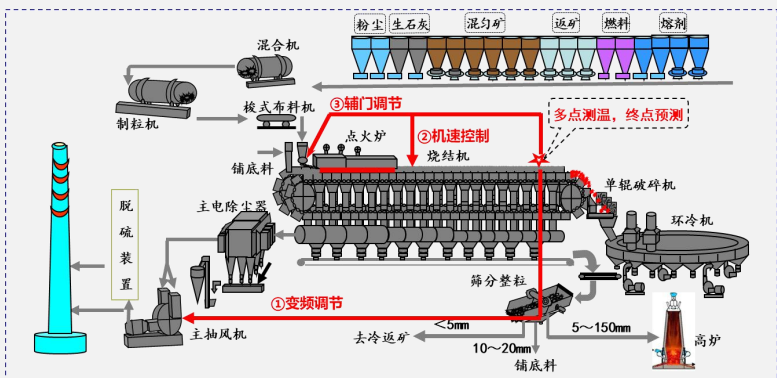


## 3.2 智能控制-烧结



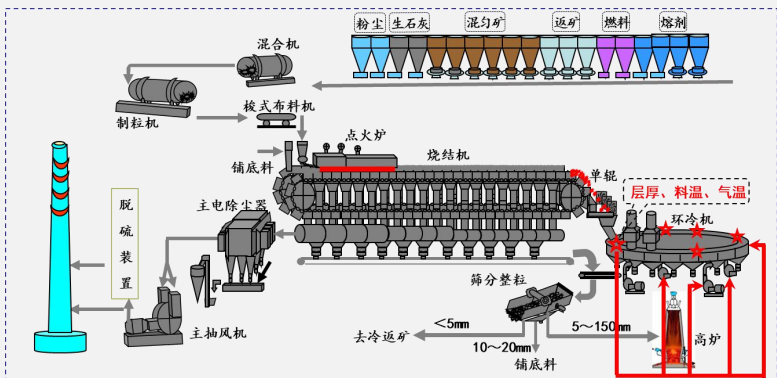
### 点火优化：

通过实时监测和分析料面点火状态，精准识别料面过熔、过生、大孔洞、裂缝等异常工况，并根据诊断结果指导调节对应烧嘴的空煤气支管阀门，实现基于点火深度及料面点火效果识别的精准点火。



### 终点控制：

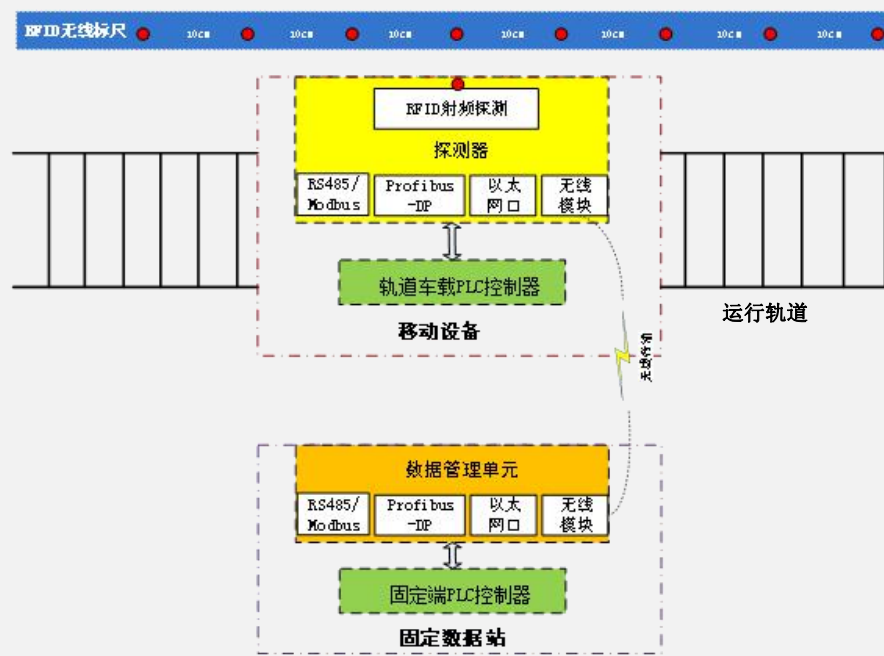
通过稳定合理的台车车速，以调节主抽风量优先，控制多数辅门对应料条区域烧结终点同步到达；通过调节辅门开度改变不同步区域的层厚，使各区域烧结终点均同步到达，实现基于烧结终点的变频调节、车速调节、横向层厚调节。



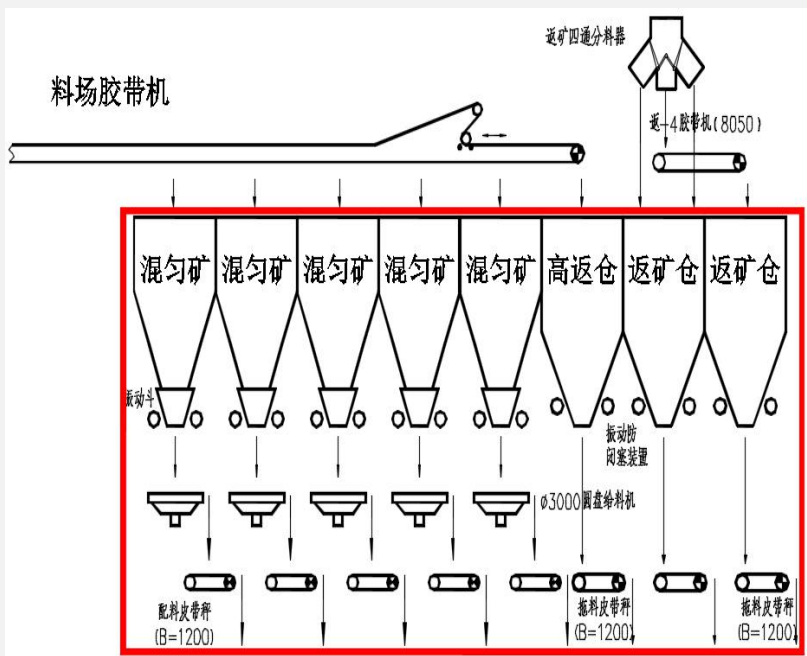
### 智能冷却：

通过对台车层厚、料温、气温的检测与跟踪，构建台车料层三维模型及温度场模型；分析对应区域料温与风温的关系，预测内部烧结矿冷却效果，将台车全范围的冷却过程数据可视化。

### 3.3 关键技术及装置-配混



混匀矿智能寻仓系统原理图



混匀矿仓卸料小车卸料示意图

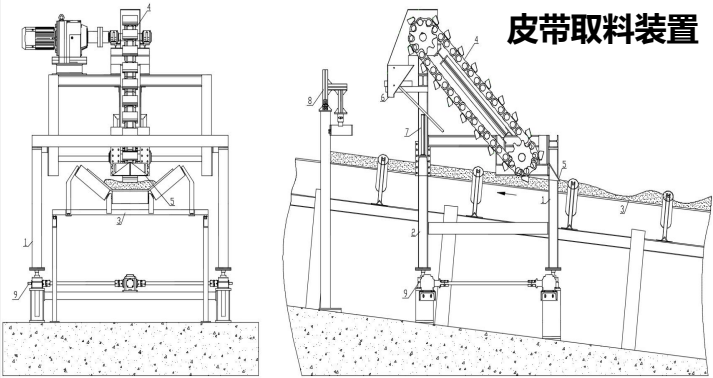


现场实物图

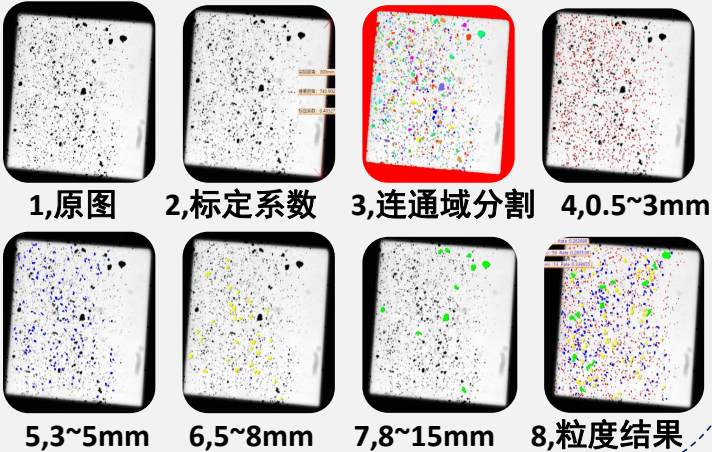
**混匀矿智能寻仓装置：**  
通过卸料小车上的RFID读码装置，获取安装在轨道旁呈规律性布置的无线标尺，实时得到小车的精确位置，从而控制小车朝目标料仓卸料，达到智能寻仓的目的。



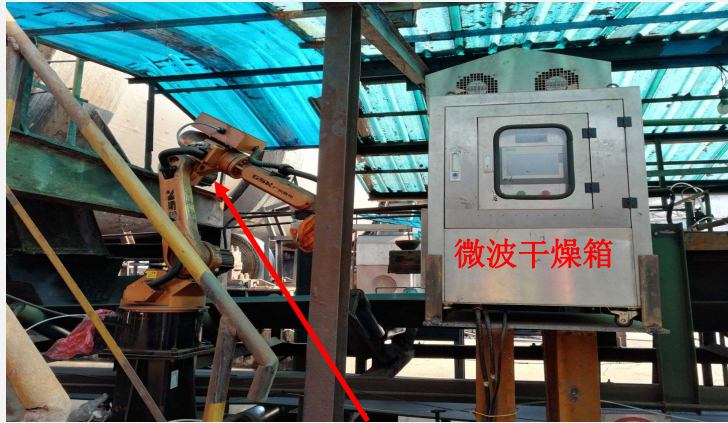
### 3.3 关键技术及装置-配混



混合料粒度图像分析过程

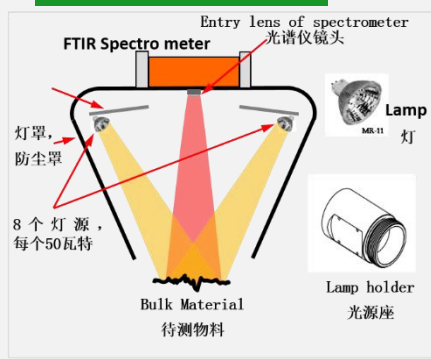


混合料粒度分析装置



混合料水分分析装置

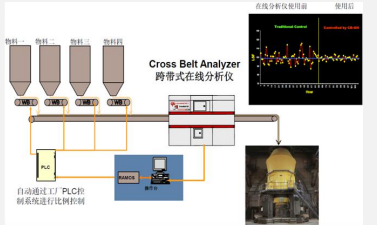
基于近红外原理



结构图



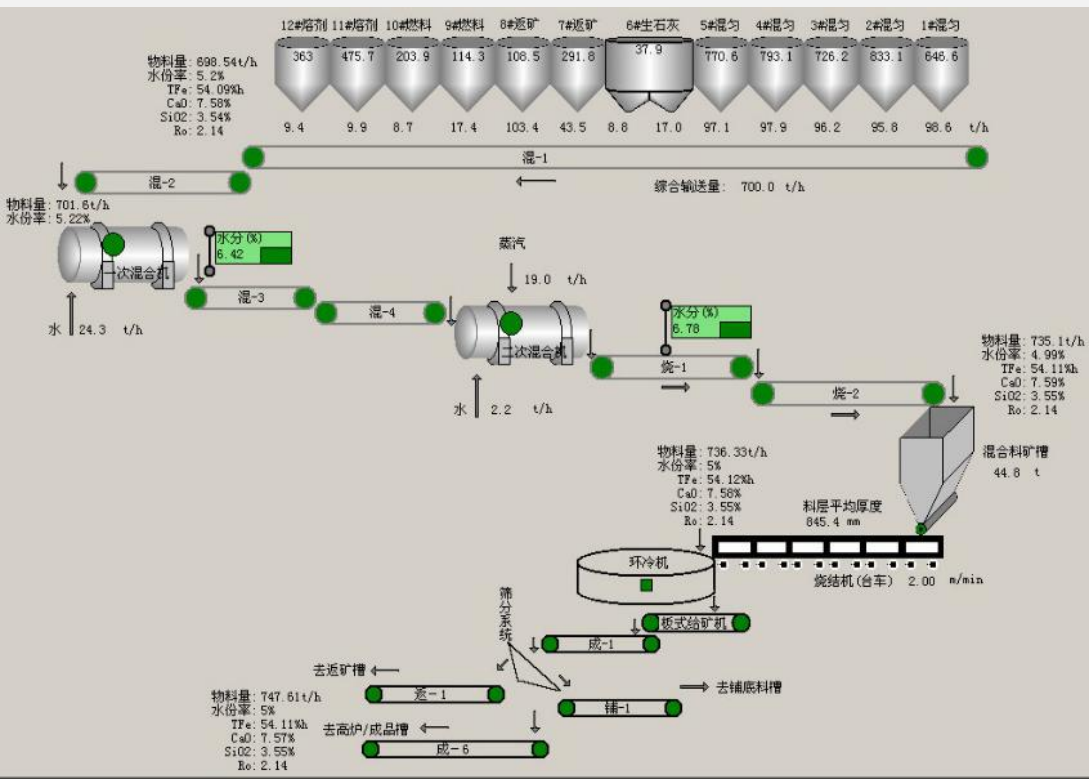
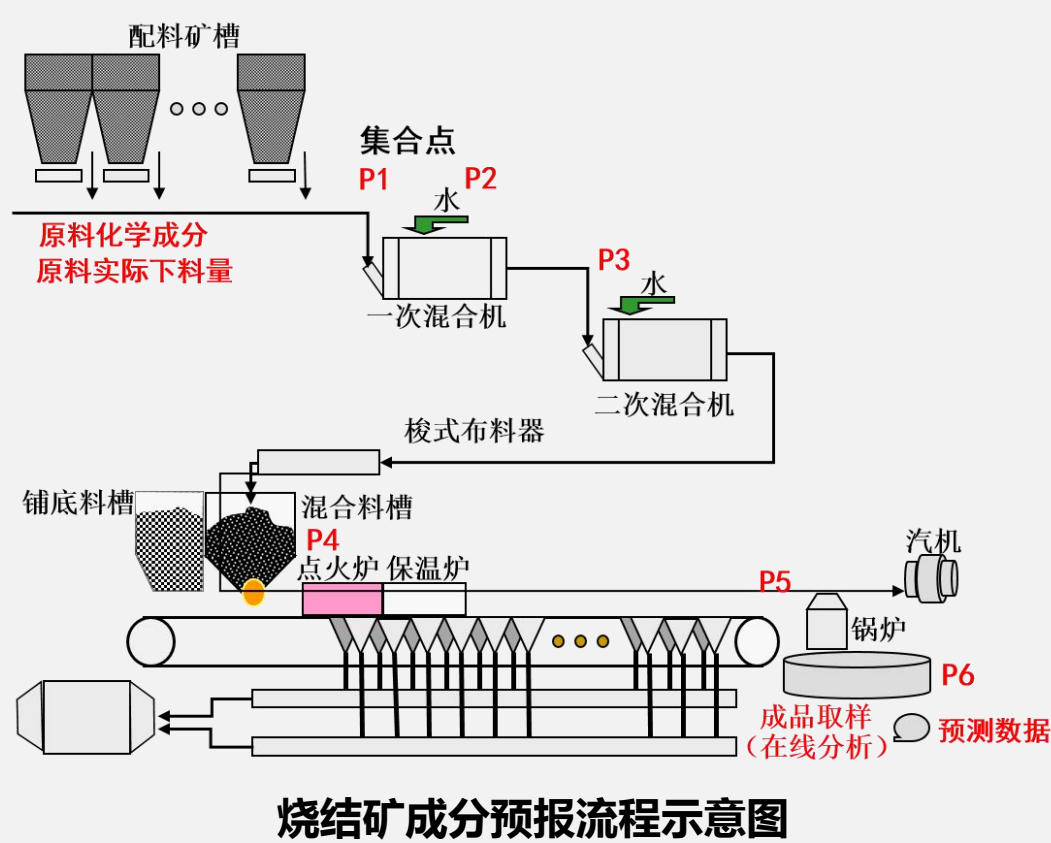
基于PGNAA原理



全成分分析装置

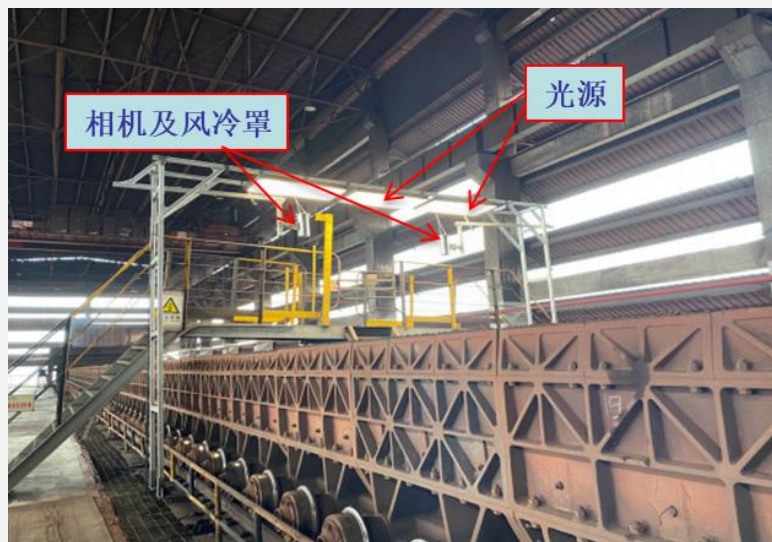


### 3.3 关键技术及装置-配混

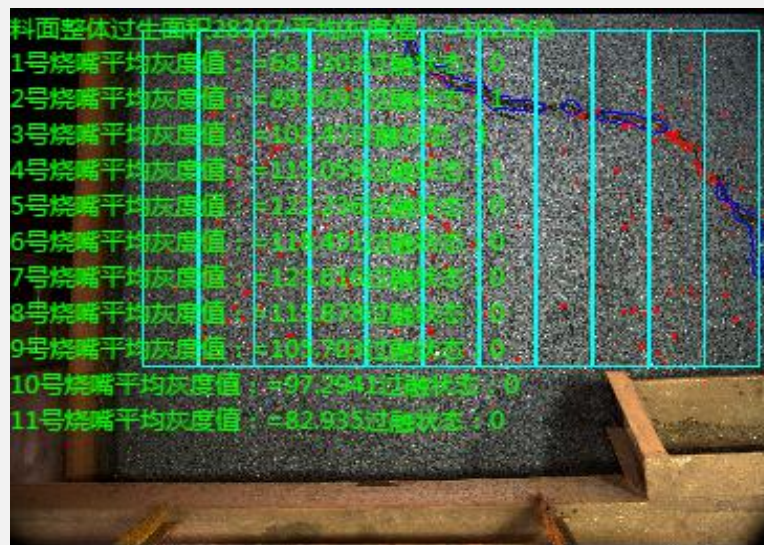


**烧结矿成分预报：**  
通过原料化学成管理、利用数据跟踪技术，建立烧结矿成分预报模型，实现烧结成品矿的成分预测，为配料优化模型提供依据。（成品矿化学成分信息获取，（录入或通信）检化验数据）

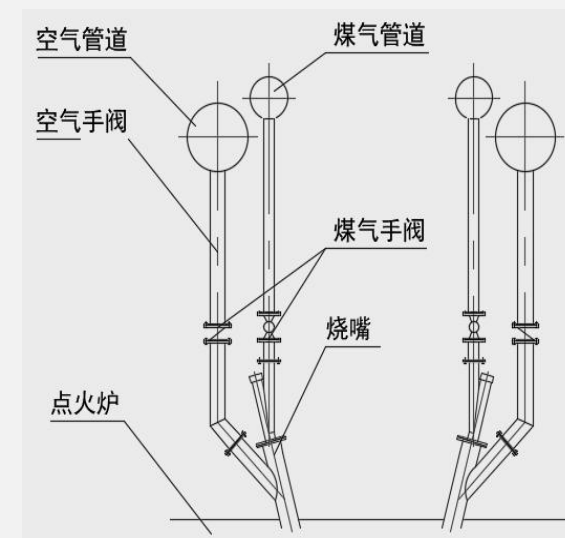
### 3.3 关键技术及装置-烧结



现场实物图



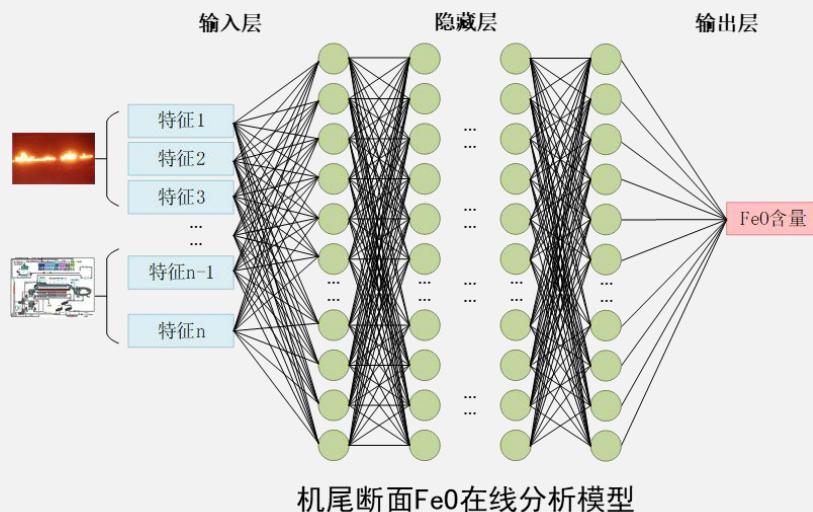
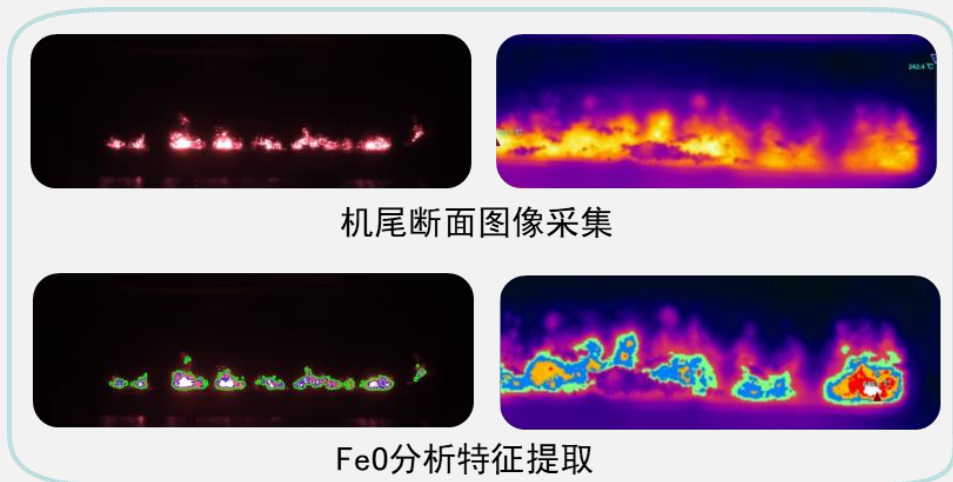
料面图像识别处理



#### 台车料面点火效果分析装置：

采用机器视觉与大数据分析技术，通过对出点火炉的料面点火状态进行实时监测和诊断，精准识别料面过熔、过生、大孔洞、裂缝等异常工况，并根据诊断结果指导现场人员在特定情况下对各分区对应烧嘴的空煤气支管阀门进行反馈调节，实现智能高效分区精准点火。

### 3.3 关键技术及装置-烧结



现场设备安装

#### 烧结机尾断面分析装置：

基于机尾断面分析的烧结矿FeO含量在线分析系统，通过对机尾断面热成像分析，结合成品化验成分，获取大量样本数据，综合运用热成像技术、深度学习、大数据等核心技术，最终目标为实现烧结矿FeO含量在线快速连续检测，大大缩短检测周期，有效提高FeO分析的准确性与代表性，为烧结智能制造提供准确、及时、可靠的关键基础数据。



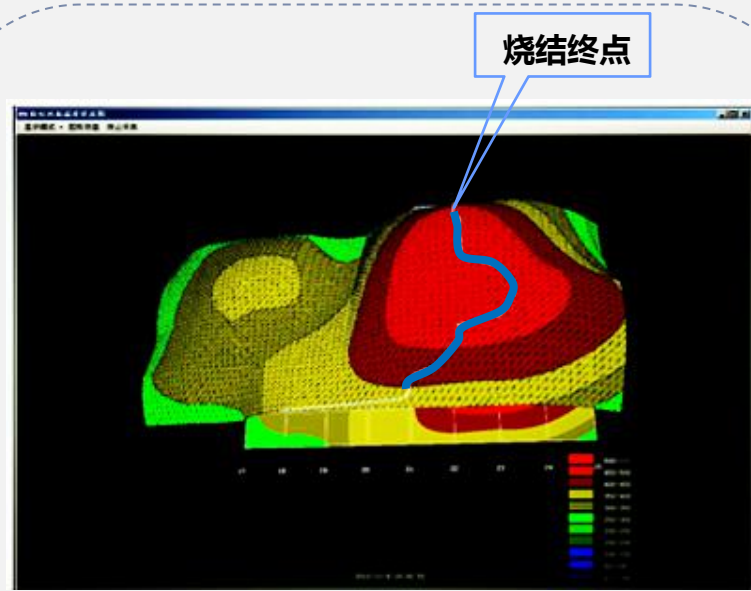
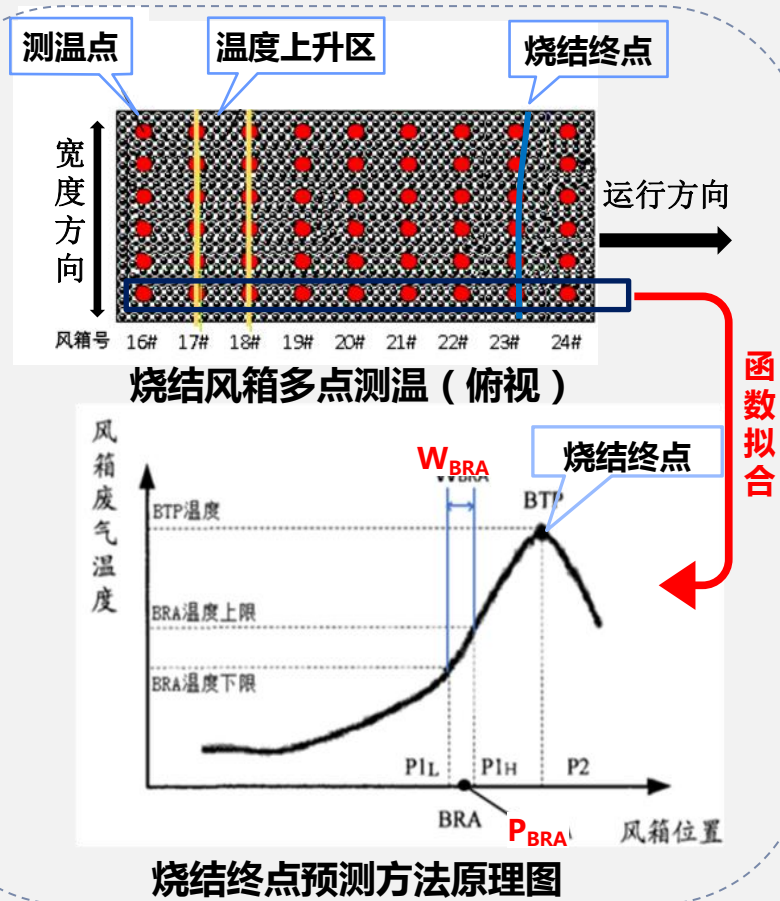
### 3.3 关键技术及装置-烧结



#### 横向层厚自适应控制：

解决烧结台车运行方向的大滞后及宽度方向烧结不均匀的问题，实现烧结机速度与料层厚度的自适应控制，使烧结机处于最佳运行状态。（调整时机匹配度提高35%以上，层厚控制的自适应能力提高20%以上）

### 3.3 关键技术及装置-烧结



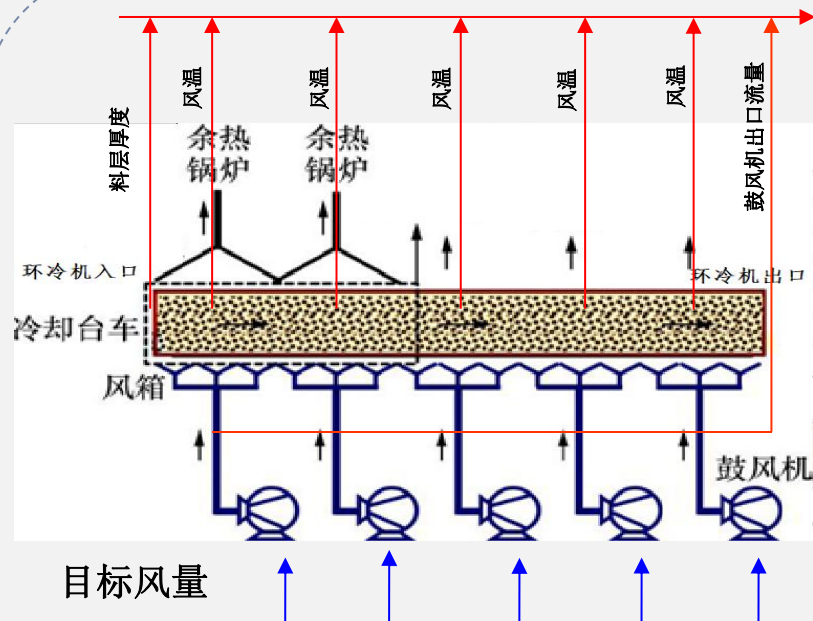
烧结风箱三维温度场

$$k = k_1 * \left(1 + \ln \frac{L_x}{L_0}\right) + k_2 * \frac{1}{Q_x} * \left(\frac{\Delta P}{L_x}\right)^{0.6}$$

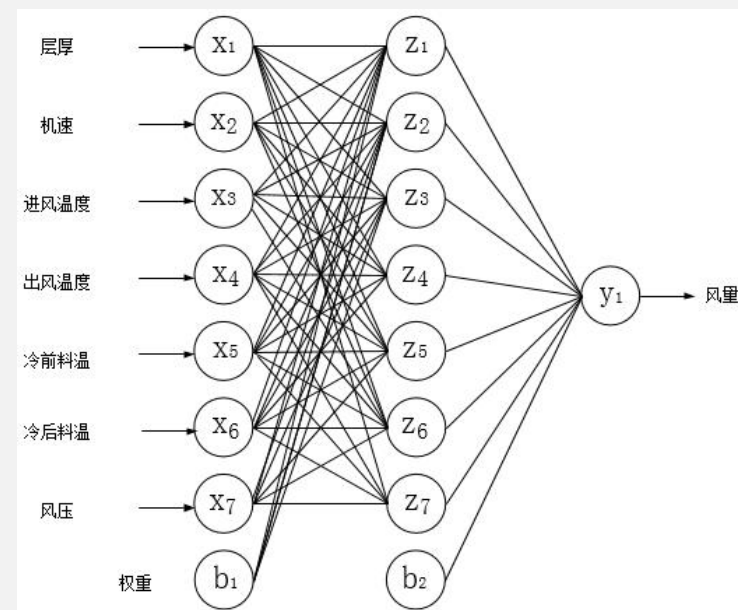
多参数影响系数

**烧结终点精准预测：**  
采用多点测温装置，形成矩阵式温度场数据，拟合多条温度曲线，构建烧结风箱三维温度场，实时预测  
烧结终点： $P_{BTP\_PRE} = \overline{P_{BTP\_PV}} + \lambda * (\overline{Y_{BRP\_PRE1}} - \overline{Y_{BRP\_PRE2}})$ ,  $Y_{PRE} = P_{BRP\_BRA} + k * W_{BR}$

### 3.3 关键技术及装置-冷却与成品



环冷机热矿冷却过程控制示意图



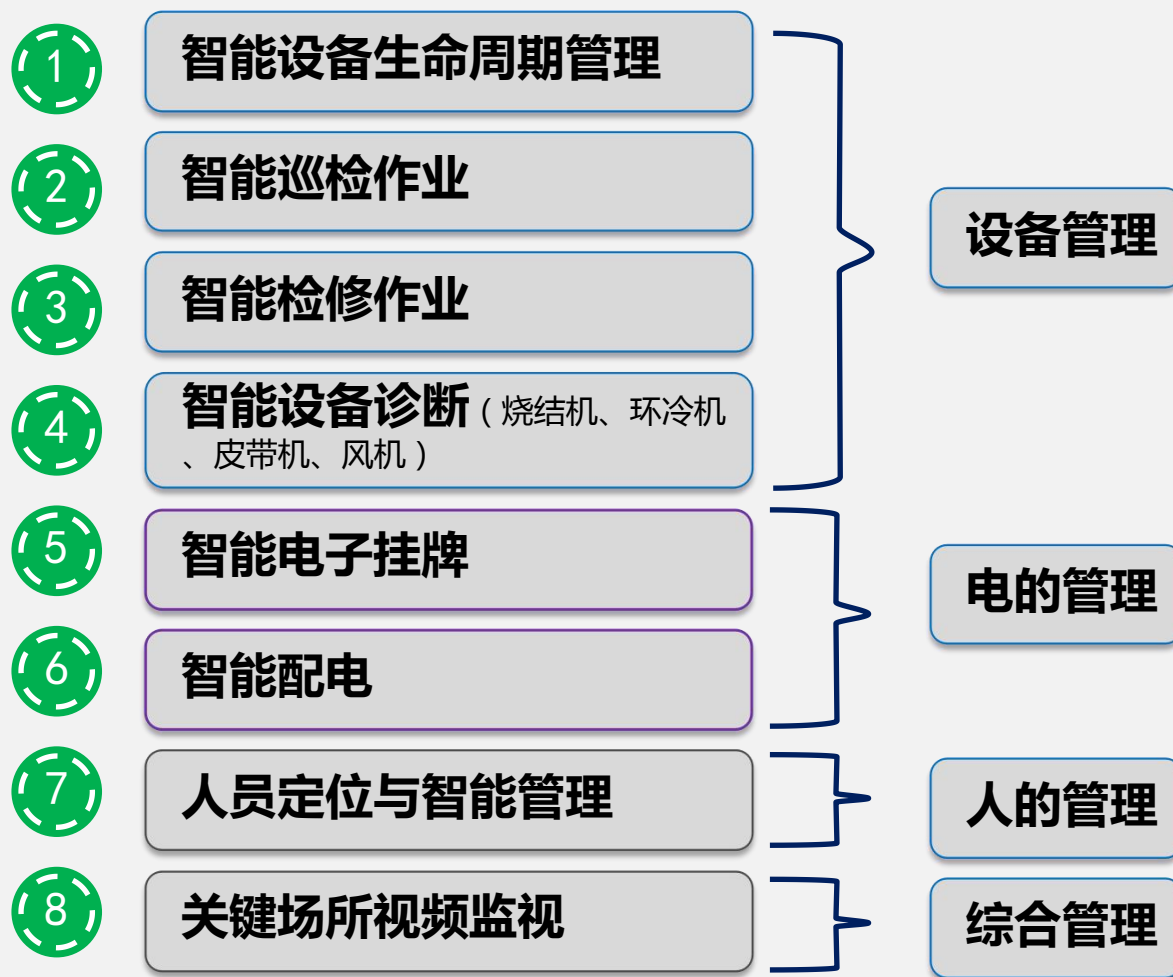
基于多参数耦合的BP神经网络模型

#### 热矿冷却控制：

通过对环冷机风流系统及热矿冷却规律研究，结合预测温度场与实际温度场的偏差，采用模糊规则与人工智能技术，构建环冷机热矿冷却控制模型，实现热矿冷却效果的前提下，产生余热最多。



## 3.4 智能运维

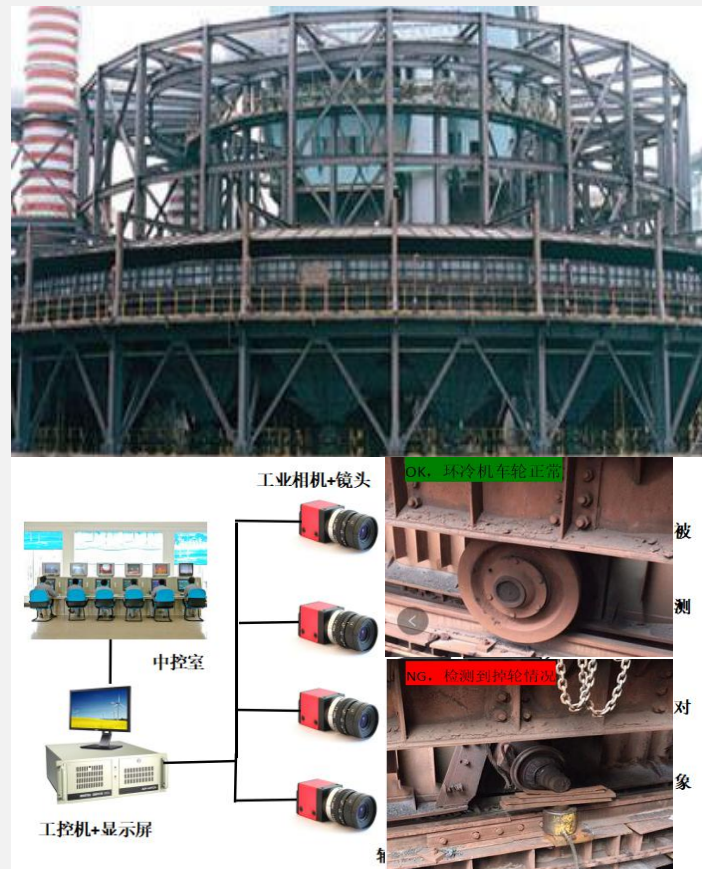


## 3.4 智能运维-设备管理



### 烧结机篦条在线诊断装置：

实现算条根数、倾斜角度、间距、糊堵程度状态参数的提取和故障智能诊断，对算条大面积缺失、糊堵及时报警，降低算条故障对烧结生产的影响和算条巡检人员劳动强度。



### 环冷机掉轮检测装置：

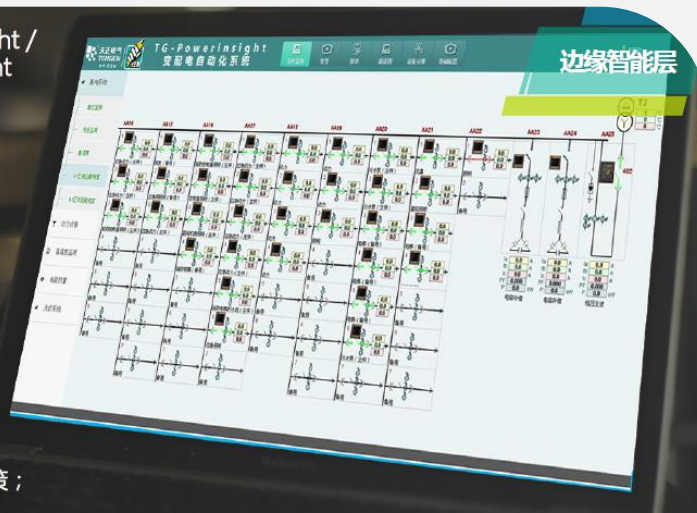
采用辅助补光，昼夜无间隙工作；可自诊断系统故障；采用视觉检测技术，连续稳定工作，结果精准；实时远程监测，故障时迅速反馈状态，并推送至责任人手机。

## 3.4 智能运维-电的管理

### 电能管理/ TG-EnergyInsight / 电力监控平台

- ✓ 能耗数据多维度分析、排名
- ✓ 全温度感知 + 老化分析
- ✓ 事故及时报警+精准定位
- ✓ 电能质量分析

- 全方位、多维度的展现能耗状况，助力决策；
- 发现企业日常运营中用能漏洞，优化运营；
- 改善用能规划、降低成本，提升管理；



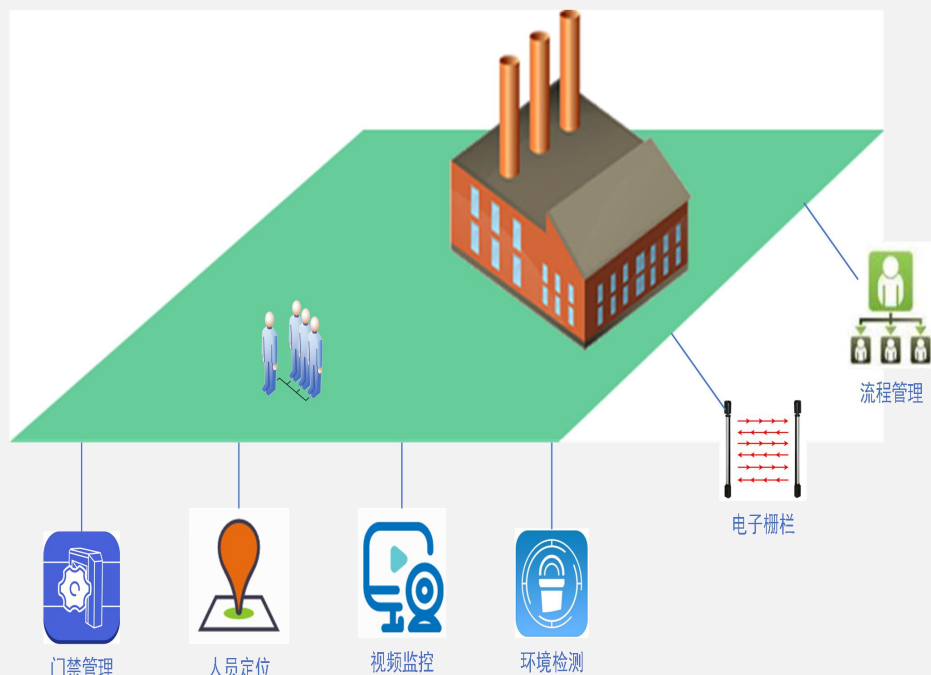
### 智能配电：

- ✓ 全能数据概览
- ✓ 运维日志查询
- ✓ 关键设备信息
- ✓ 运维记录查询
- ✓ 用电在线监测
- ✓ 定期巡检





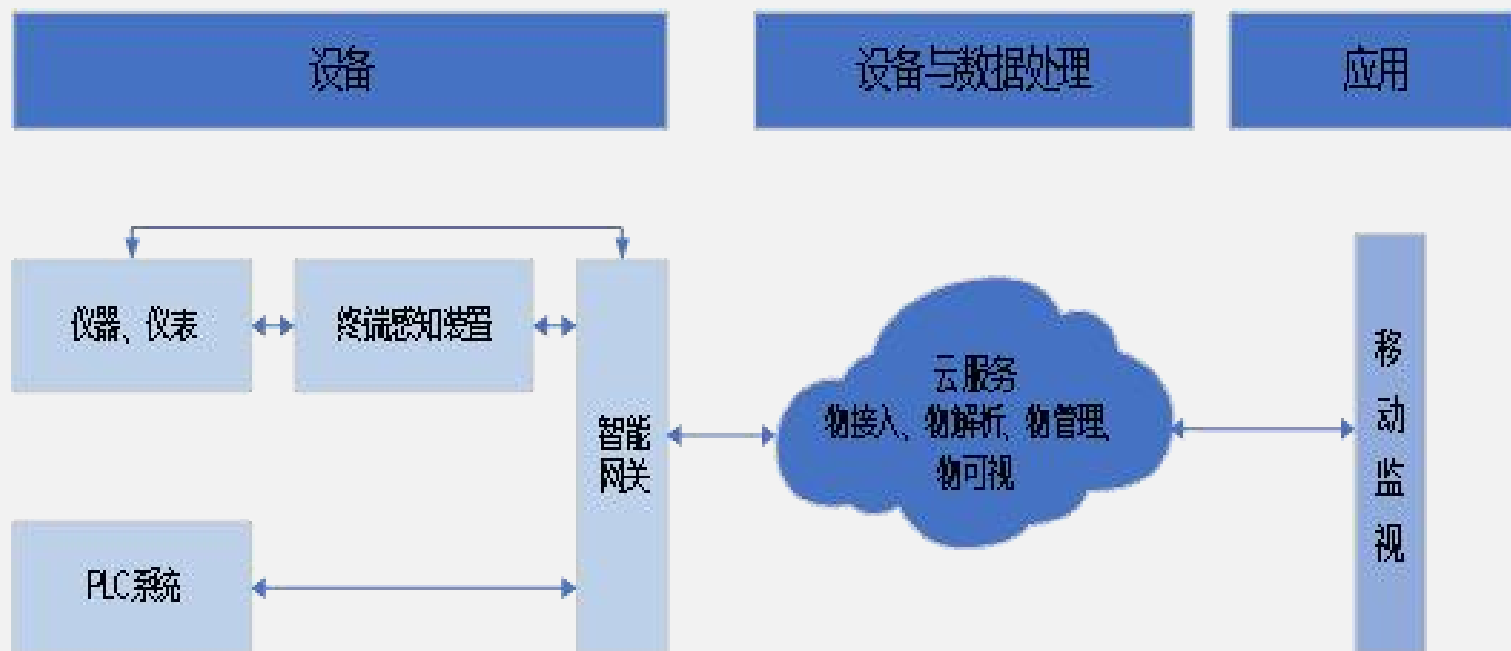
## 3.4 智能运维-人的管理



### 人员定位与智能管理：

通过研究各种软硬件定位技术和工厂管理规范，开发了基于工厂管理的人员安全定位方法；保障了工厂人员的人身安全；加强了对各类人员的管控；实现了管理手段与智能定位技术的融合。（工厂进出人员门禁管控；厂内人员的跟踪、定位；人员身份识别和确认）

## 3.4 智能运维-综合管理

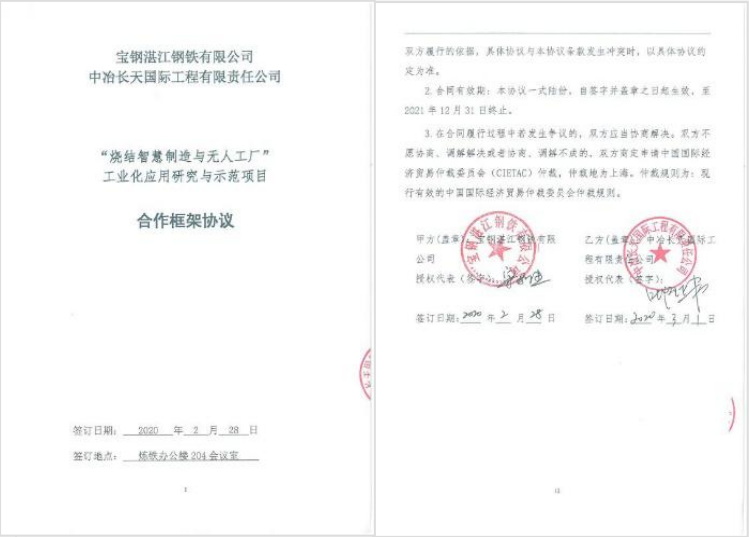


### 智能运维移动监视：

通过研究物联网开发技术、边缘计算技术，在智能设备与云端之间建立安全的双向连接，确保终端设备快速接入，并为各种应用提供数据支持与服务实现随时随地对设备运行情况及时掌控。（智能设备的数据采集；智能终端感知设备无线传输与采集；标准化的物联网通讯协议；可配置的物接入及物解析、灵活的物管理平台 and 2D (3D) 可视化展示界面；灵活可扩展的数据接口）

### 3.5 工程应用

2020年2月，正式与宝钢湛江签订《烧结智慧制造与无人工厂》框架合作协议，共同打造国内烧结智慧制造的标杆示范工厂，引领行业智慧制造升级。



大类	核心技术	技术内容
(1) 关键装备巡检无人化	①烧结机巡检无人化	台车算条和台车车轮检测与诊断
	②环冷机巡检无人化	
	③皮带机巡检少人化	基于5G皮带状态监测与皮带清料
	④燃料破碎无人化	
	⑤一键点火无人化	
(2) 烧结过程智慧制造	烧结矿成分智能控制【料】	基于中子源射线的混合料成分检测；成分配比控制模型。
	固体燃料智能控制【能】	燃料水分和粒度检测机器人；基于机尾的烧结矿指标智能识别；固体燃料智能控制模型。
	混合制造智能控制【水】	混合料水分和粒度检测机器人；混合制粒智能控制模型。
	烧结过程智能控制【风】	风量需求模拟；风量、层厚和机速等关键参数控制。





04

PART 04

## 第四部分

### 结 论

## 4 结论 Conclusion



- 通过应用低碳技术，烧结工序能耗降低到40-42kgce/t.s，碳排放减少20%。
- 通过应用智能化技术，劳动生产率提高10%以上；岗位工人（含管理人员、烟气净化与余热）由60人减少至40人以内，2030年实现5-8人，基本实现无人化。

中冶长天将持续追求“为全球钢铁行业的节能与环保，为建设水净天蓝空气清新的人类家园而不断创新”的梦想，努力推进烧结技术向低碳化、智能化发展！



# THANKS!

