

# 冶金行业环保技术交流



# 公司介绍



福建嵩屿电厂  
(中国首套脱硝设备)



越南广宁电厂  
(承接首个海外脱硫项目)



浙能嘉华电厂  
(中国首套低低温电除尘改造项目)



阳西电厂  
(中国最大环保岛)



2000

公司成立



上海电气石川岛脱硫工  
程有限公司

2004

引进脱硝技术

2005

公司更名



上海电气石川岛电站环  
保工程有限公司

2012

引进低低温  
电除尘

2013

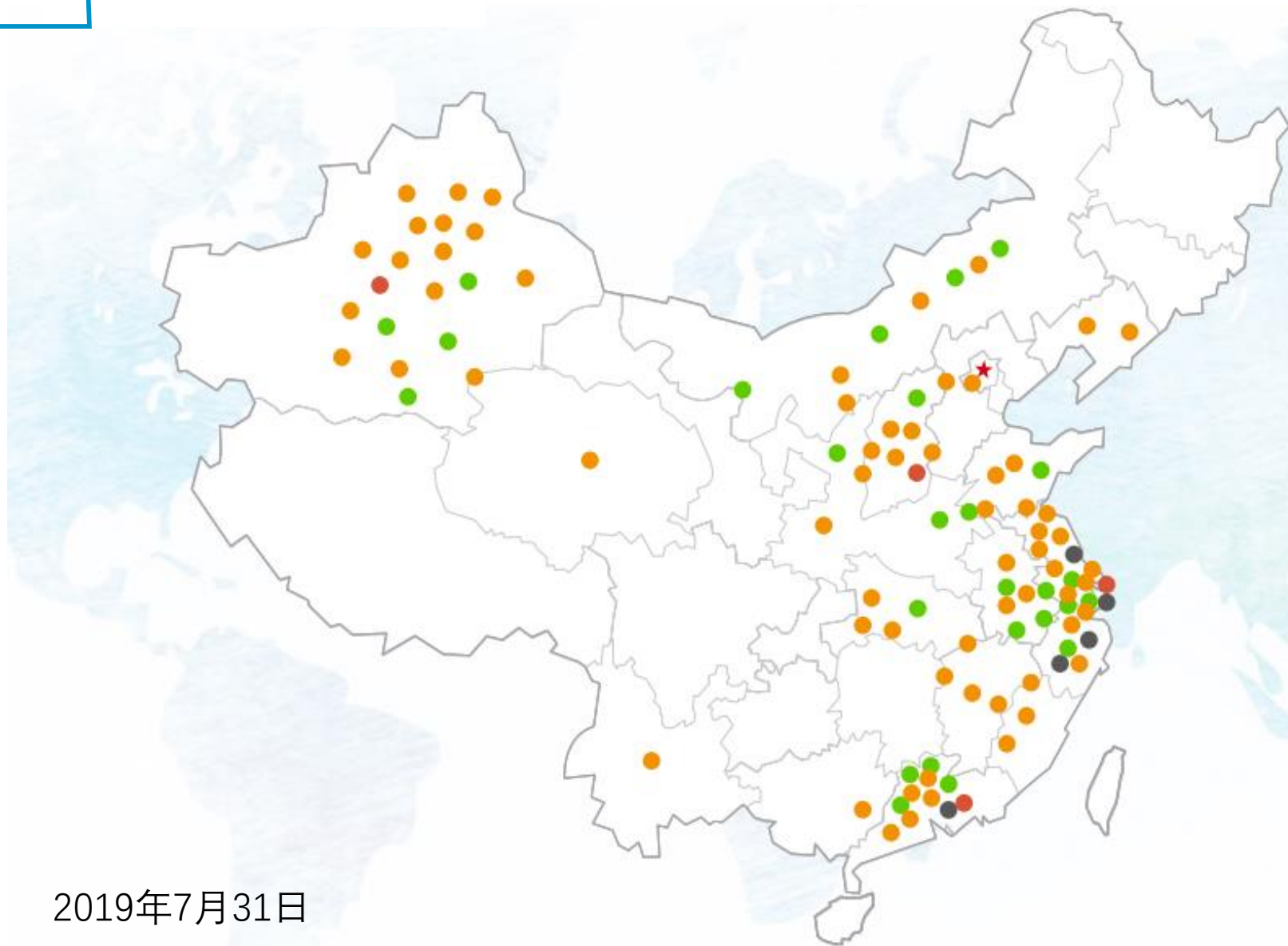
公司股权变更

2014

自主研发  
湿式电除尘



上海电气电站环保工程  
有限公司



**236** 脱硝项目

**67** 脱硫项目

**35** 低低温电除尘

**6** 环保岛

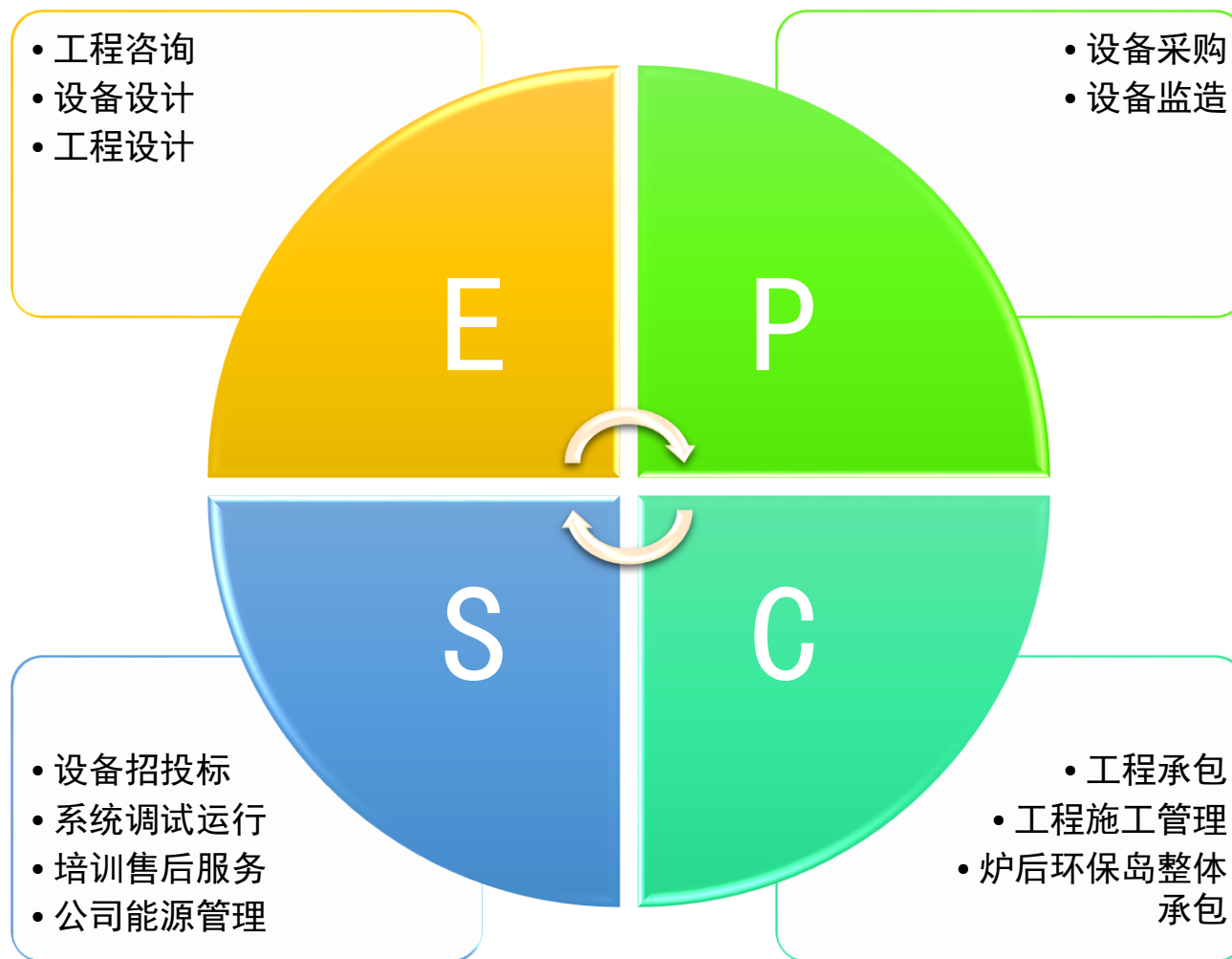
海外项目:

脱硝:	越南: 2
	土耳其: 1
脱硫:	越南: 4
低低温电除尘:	日本: 5
	韩国: 2
	印尼: 1

- ✓ 环境工程（大气污染防治工程）专项甲级
- ✓ OHSAS19001职业健康安全管理体系认证
- ✓ ISO14001环境管理体系认证
- ✓ ISO9001质量体系认证环保工程施工专业承包一级
- ✓ 安全生产许可证

.....

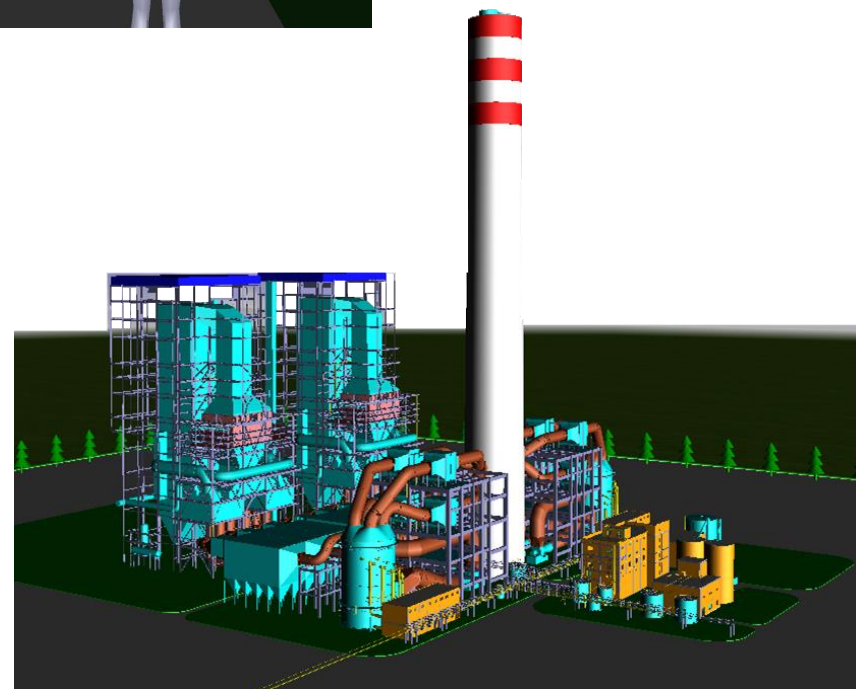
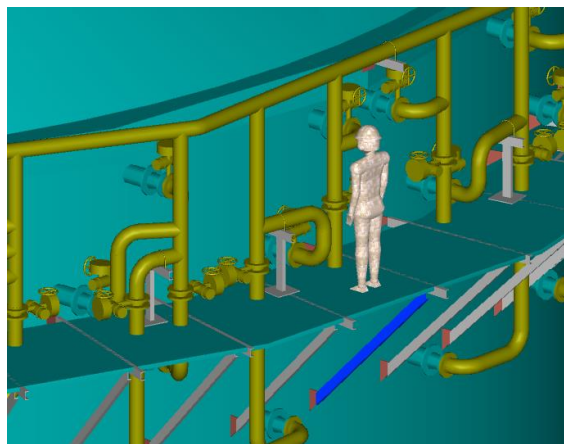
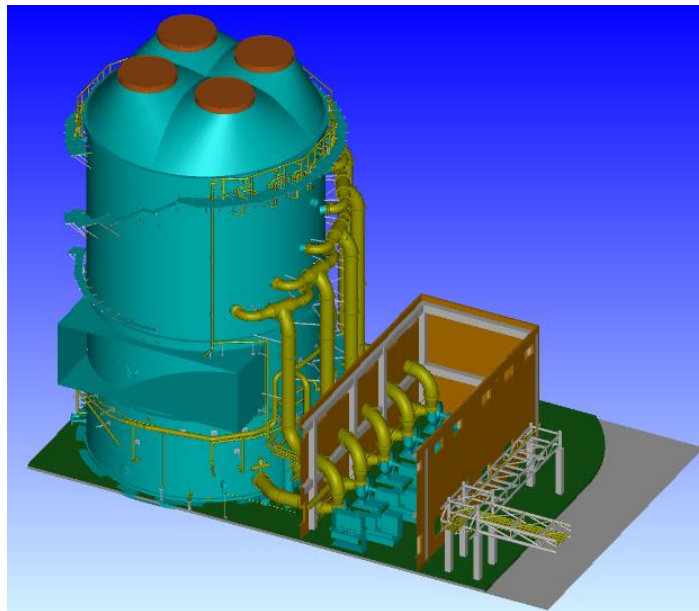






### 环保岛效果图

- 采用PDMS三维软件进行整体设计
- 各专业协同设计及数据统一管理
- 仿真效果更直观，时时碰撞检查更智能
- 提高设计质量和进度掌控
- 自动加手动出图更便捷
- 材料统计迅速准确
- 三维图纸指导施工



# 行业背景



序号	标准名称	标准编号	二氧化硫 (mg/m <sup>3</sup> )	氮氧化物 (mg/m <sup>3</sup> )	烟尘 (mg/m <sup>3</sup> )
1	钢铁烧结、球团工业大气污染物排放标准	GB28662-2012	180	300	40
	《关于征求<钢铁烧结、球团工业大气污染物排放标准>等20项国家污染物排放标准修改单（征求意见稿）意见的函》		50	100	20
2	炼焦化学工业污染排放标准	GB16171-2012	30	150	15

近日，环保部发布《关于京津冀大气污染传输通道城市执行大气污染物特别排放限值的公告》，该文件执行地区为“2+26”城市。根据公告要求，新建项目自2018年3月1日起将执行大气特别排放限值。现有企业，火电、钢铁、石化、化工、有色(不含氧化铝)、水泥行业，自2018年10月1日起执行大气特别排放限值。焦化工业现有企业，自2019年10月1日起执行。

## 烧结、球团

- SO<sub>2</sub>
- Nox
- 粉尘
- 有色烟雨

## 焦化

- SO<sub>2</sub>
- Nox
- 粉尘
- 有色烟雨

## 无组织排放

- 粉尘
- VOCs



# 工艺路线

方案一

高温脱硝

湿法脱硫

消白

方案二

低温脱硝

半干法脱硫

消白

方案三

低温脱硝

湿法脱硫

消白

方案四

高温脱硝

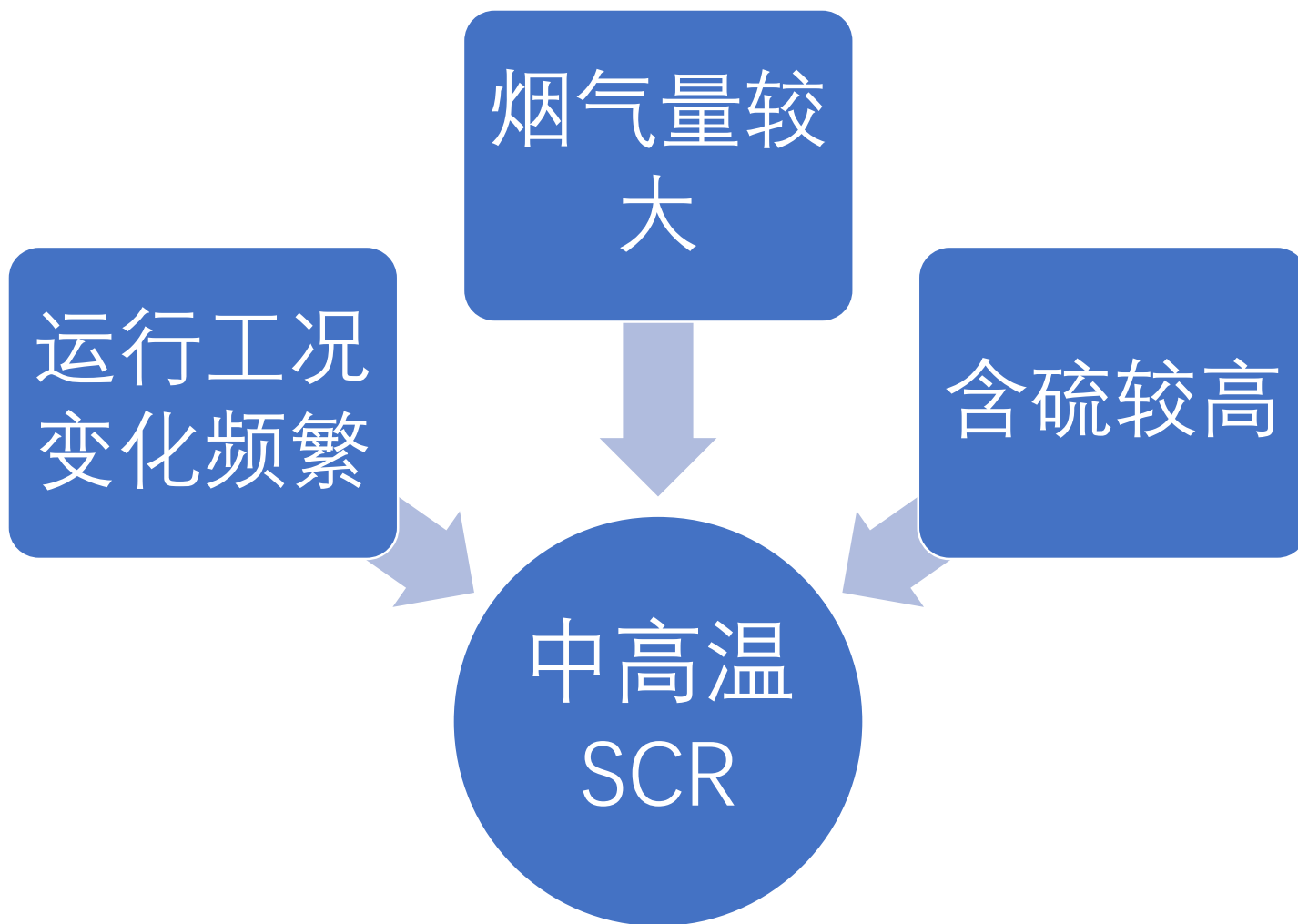
半干法脱硫

消白

方案五

活性焦  
一体化  
装置

# 烧结烟气处理路线——脱硝



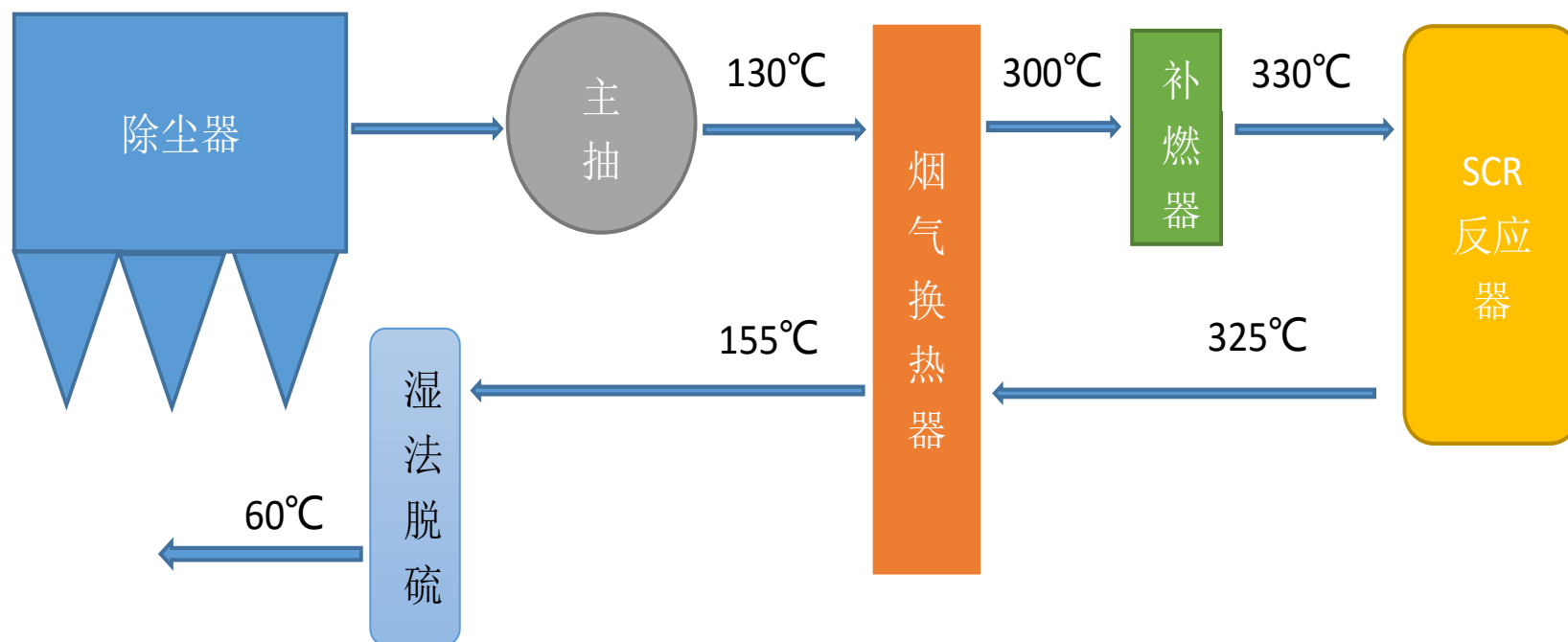
## ➤ 工艺介绍

烟气补燃后达到280 °C以上进入SCR反应器进行Nox脱除。反应器出口烟气利用无泄露式烟气换热器回收热量，节约能耗。

## ➤ 主要特点

- ✓ 脱硝效率高，可达90%以上。
- ✓ 催化剂寿命长，低中毒危险。
- ✓ 操作简单、运行稳定。
- ✓ 在线热解析技术，快速恢复催化剂活性。

# 高温脱硝特点



内容	数量
主抽出口	
NOx	400mg/Nm3
SO2	1500 mg/Nm3
脱硝出口	
NOx	40mg/Nm3
SO2	1500 mg/Nm3
脱硫出口	
NOx	40mg/Nm3
SO2	30mg/Nm3

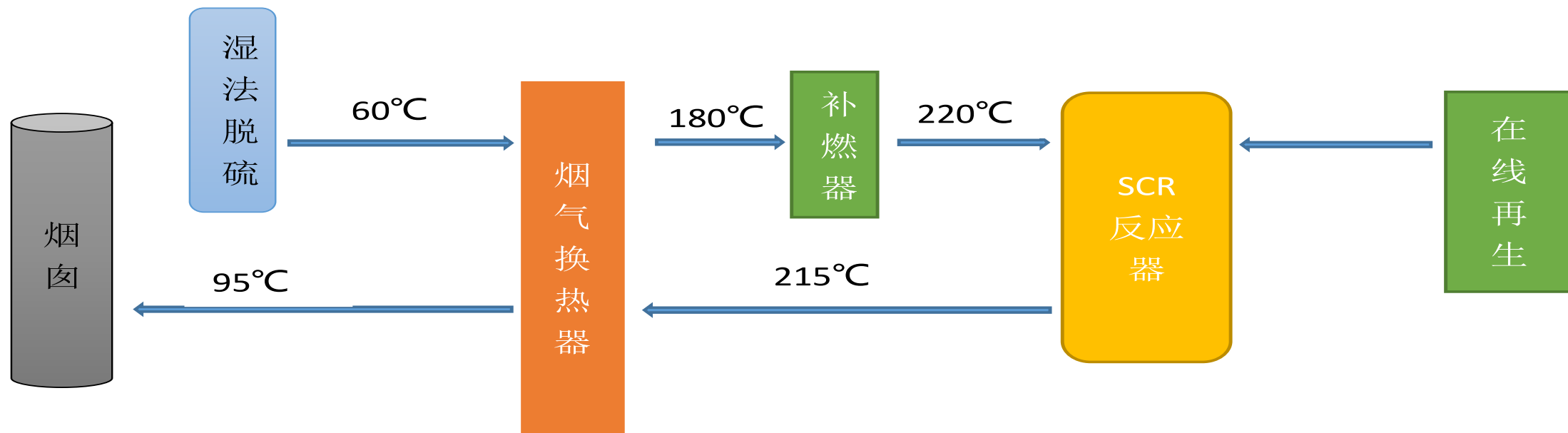
## ◆ 系统成熟可靠

- ✓ 脱硝效率可达90%以上。
- ✓ 催化剂寿命长，单价低。
- ✓ 适应高含水量、高含硫的运行工况
- ✓ 可以预留脱除二恶英的催化剂安装空间。

## ◆ 系统能耗高

- 烟气需要换热及补燃，出口烟温较高，造成能源浪费。

# 低温脱硝特点



## ◆ 系统能耗低

- ✓ 脱硝效率可达90%以上。
- ✓ 能耗低，升温到180~230°C即可。
- ✓ 可以脱除二恶英的催化剂，并且整套工艺无二恶英二次生成的温度区间。

## ◆ 运行条件要求高

- 建议布置在脱硫之后，避免催化剂堵塞、失活。
- 一般2~3个月需要在线再生一次，单次再生时间不低于48小时为宜。
- 催化剂价格昂贵、初装及更换成本大。

# 烧结烟气处理路线——脱硫



## ➤ 工艺介绍

干法、半干法改造成湿法脱硫提高效率。  
湿法脱硫提效改造，提效、节能。

## ➤ 主要特点

- ✓ 脱硫效率高，出口排放可低至个位数。
- ✓ 能耗低。
- ✓ 负荷适应性好、运行稳定。
- ✓ 具备协同除尘效果。



# 湿法脱硫

传统型  
喷嘴

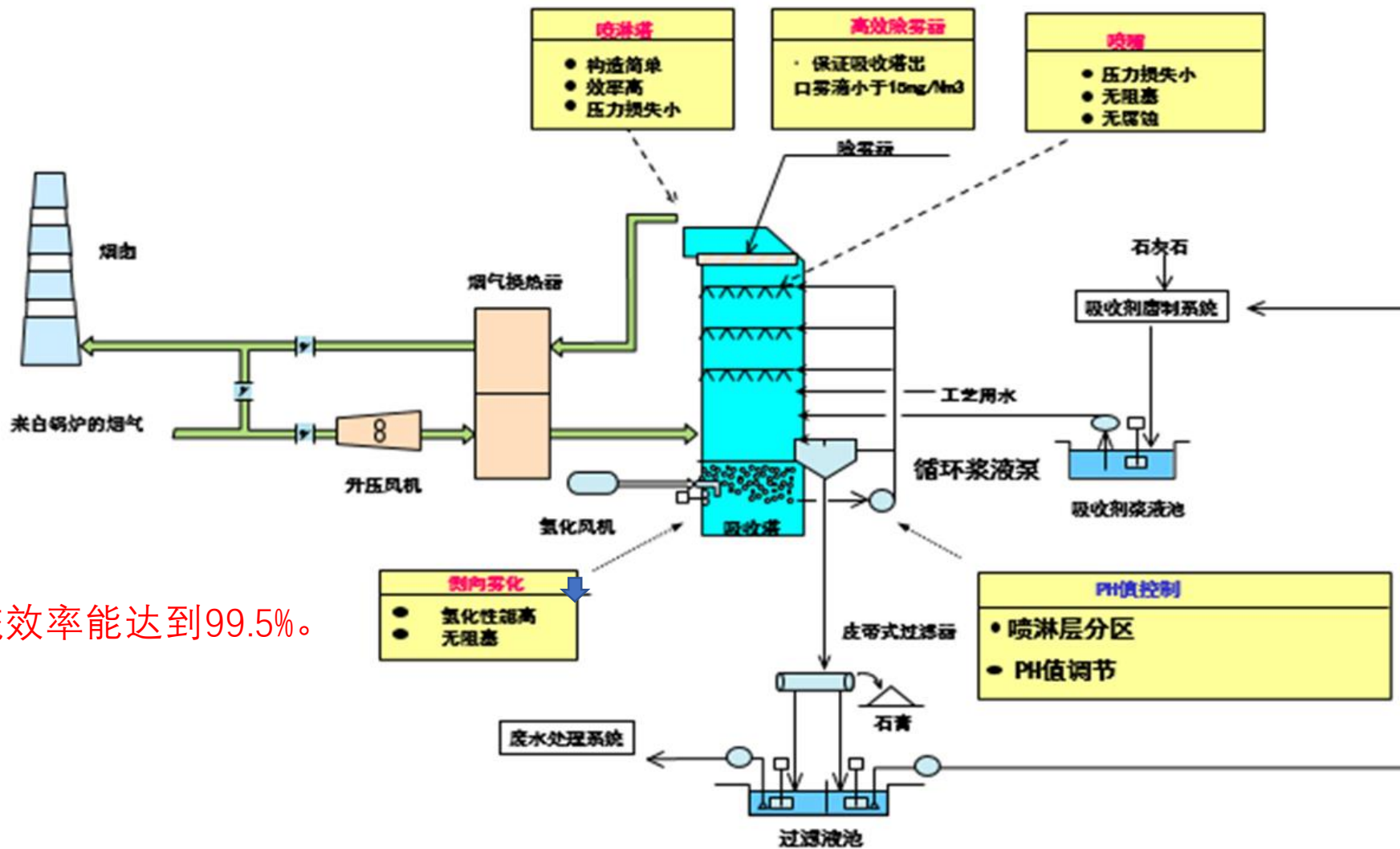
最新型  
喷嘴



- 三个方向切割
- 100度覆盖
- 粒径小于1650微米

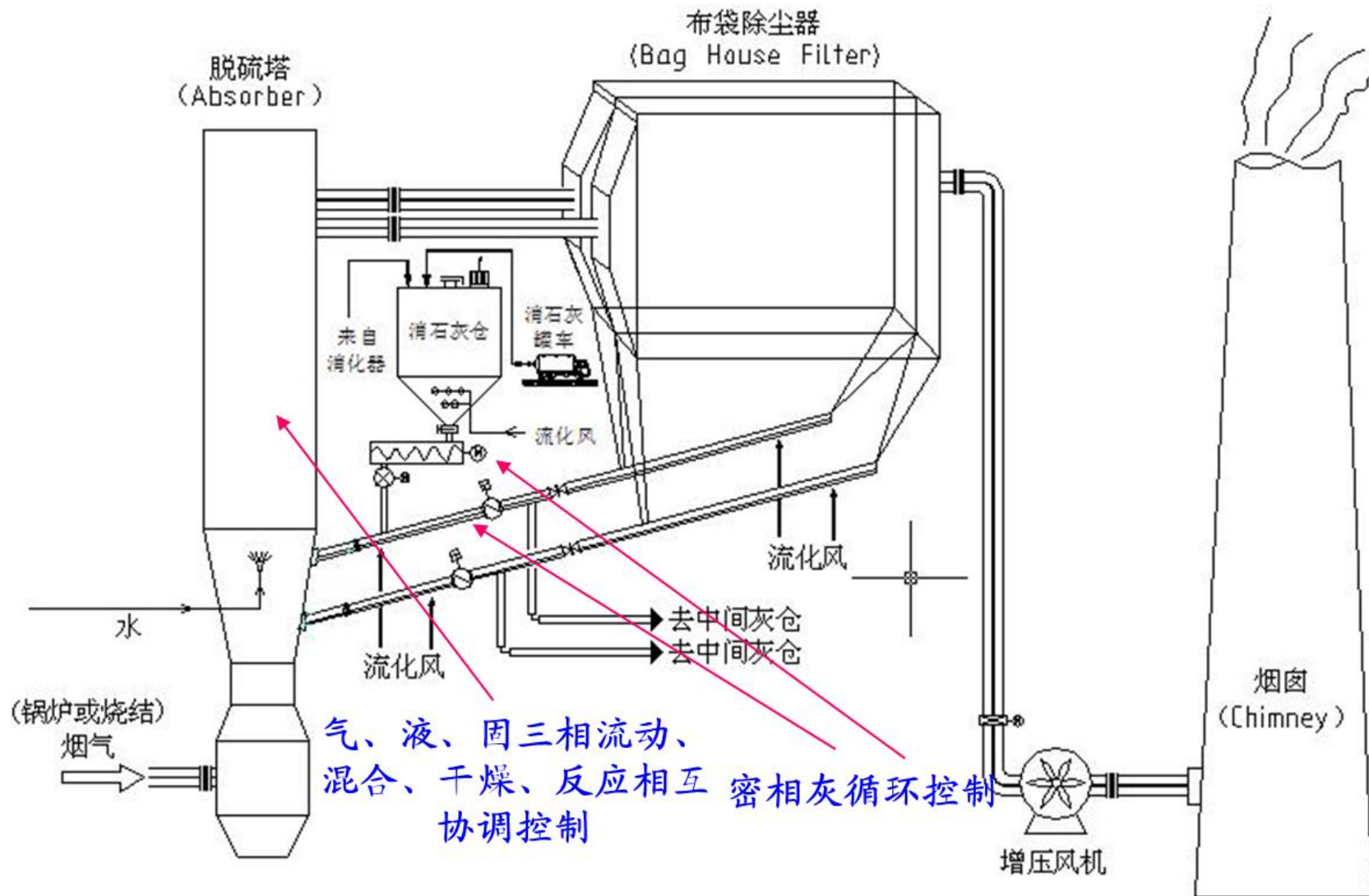
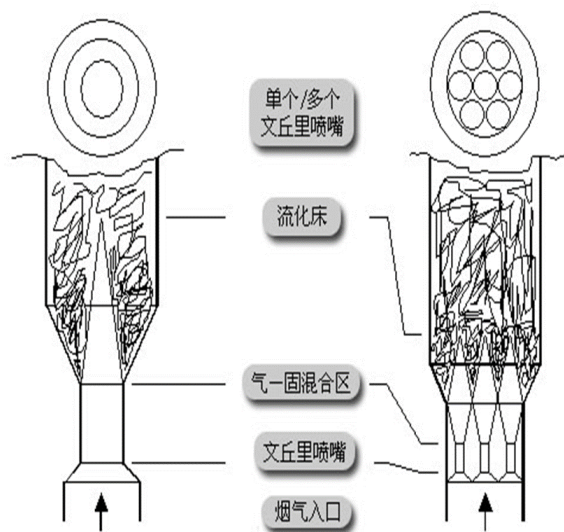
提高传质效率

脱硫效率能达到99.5%。

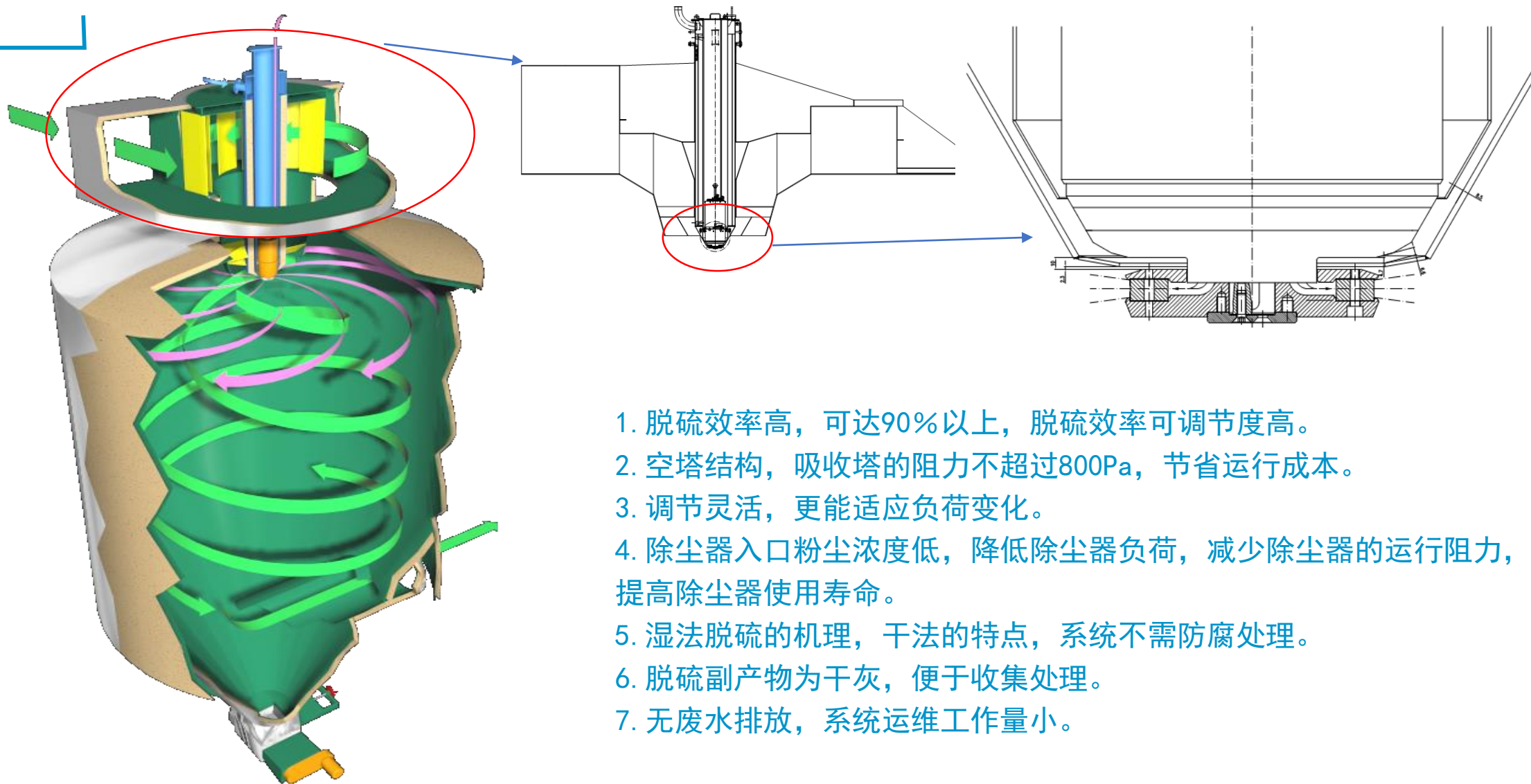


# CFB-干法脱硫

- $Ca/S : 1 \sim 2$
- 脱硫效率80%~95%
- 脱硫塔阻力 $\leq 2000 \text{ Pa}$
- 布袋除尘器阻力 $\leq 1500 \text{ Pa}$
- 烟尘排放 $\leq 10 \text{ mg/Nm}^3$

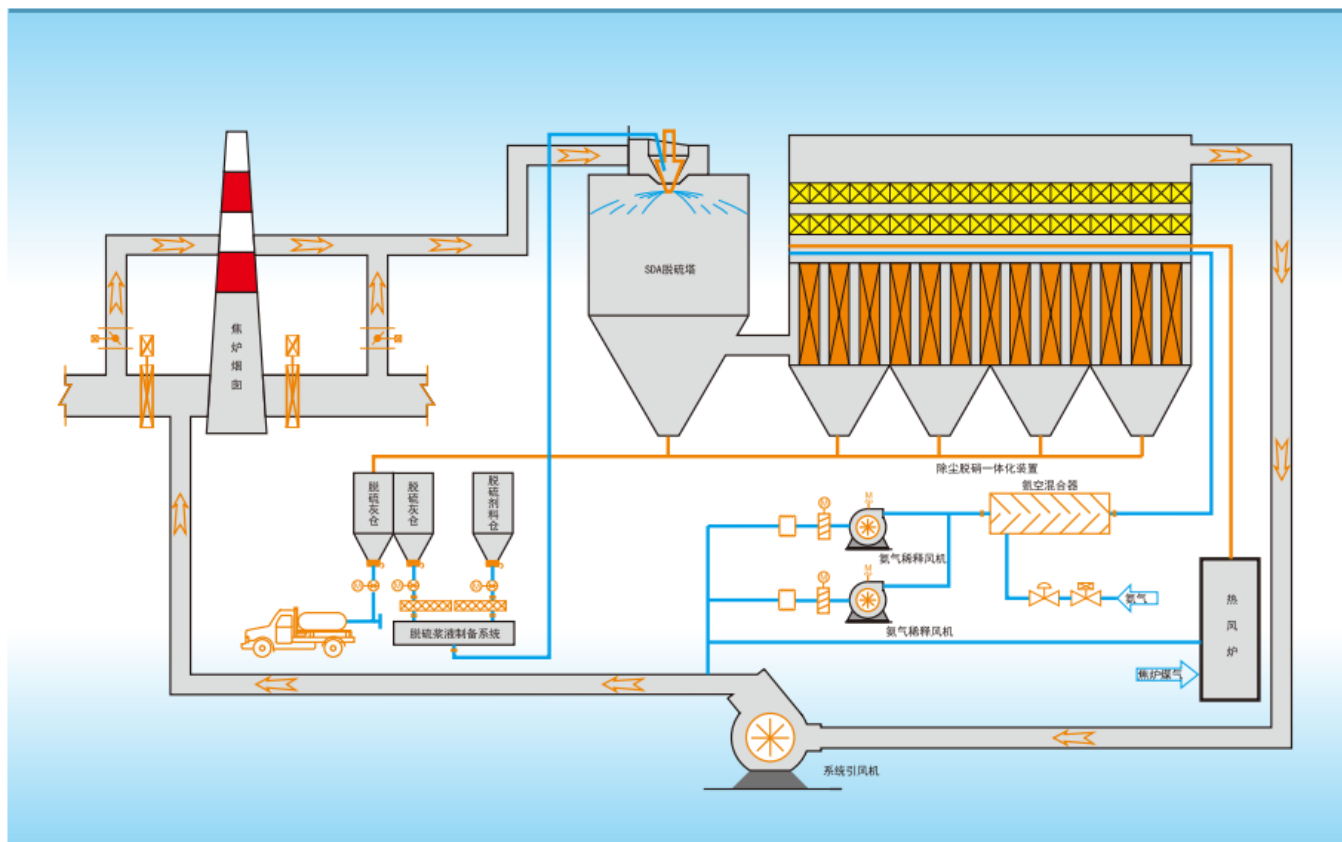


# 旋转喷雾干燥脱酸工艺 (SDA)



1. 脱硫效率高，可达90%以上，脱硫效率可调节度高。
2. 空塔结构，吸收塔的阻力不超过800Pa，节省运行成本。
3. 调节灵活，更能适应负荷变化。
4. 除尘器入口粉尘浓度低，降低除尘器负荷，减少除尘器的运行阻力，提高除尘器使用寿命。
5. 湿法脱硫的机理，干法的特点，系统不需防腐处理。
6. 脱硫副产物为干灰，便于收集处理。
7. 无废水排放，系统运维工作量小。

# 焦化烟气处理路线——高温烟气



## ➤ 工艺介绍

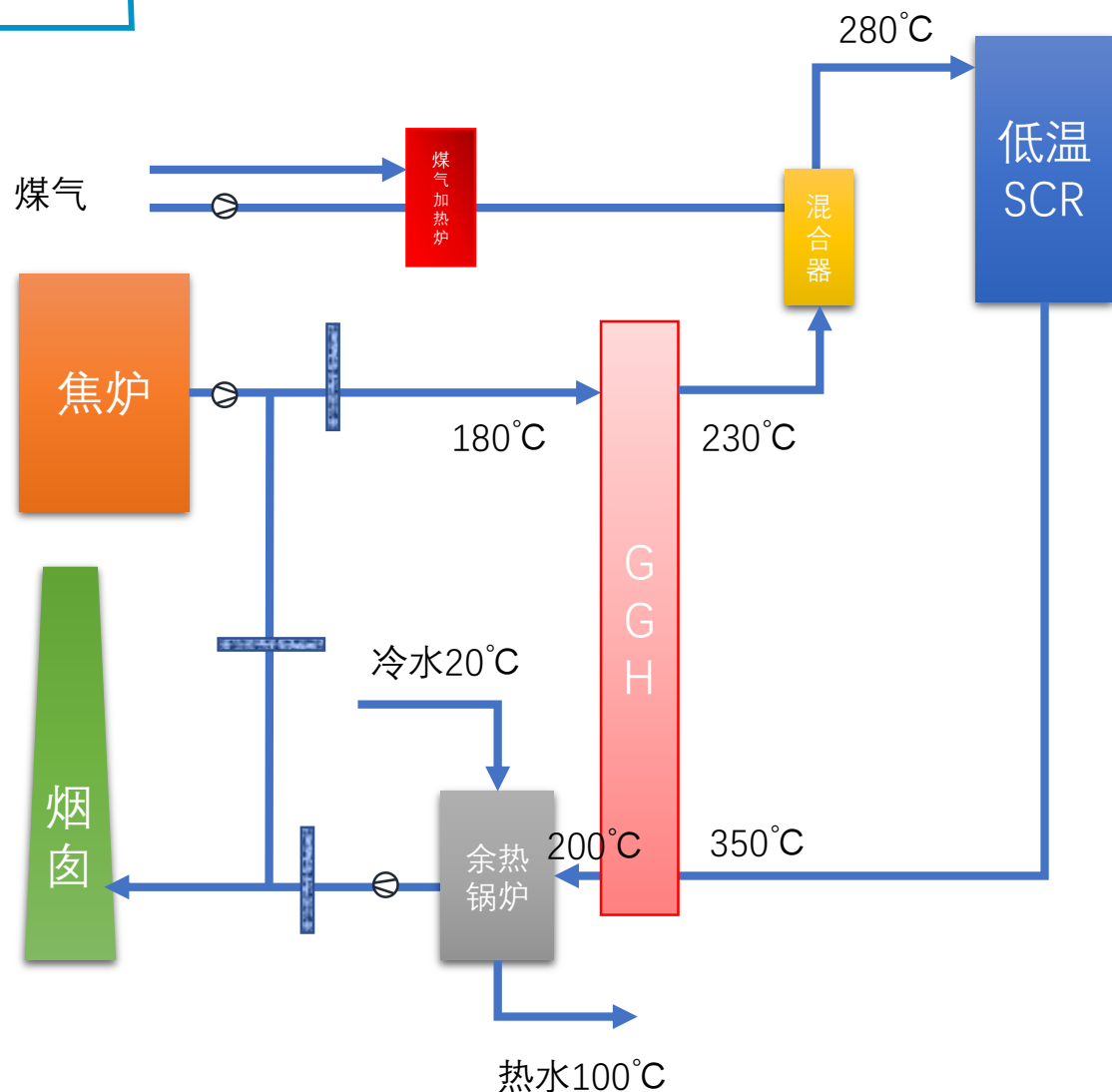
用于同时处理焦炉烟气中SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>及颗粒物使之达标排放。烟气在系统引风机的作用下先进入SDA脱硫系统，后进入除尘脱硝一体化装置再经过风机送回焦炉烟囱实现达标排放

## ➤ 主要特点

- ✓ SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>及粉尘均能达特限值排放要求
- ✓ 低温SCR脱硝技术，200℃以上条件，脱硝效率高于90%
- ✓ 前置脱硫、除尘，保证脱硝运行稳定，延长催化剂使用寿命
- ✓ 在线热解析技术，快速恢复催化剂活性

# SDA脱硫+除尘低温SCR脱硝一体化

# 焦化烟气处理路线——低温烟气



## ➤ 工艺介绍

烟气在系统风机的作用下先进入脱硝系统，之后进入余热回收，再由系统风机送入湿法脱硫系统，净化后达标直排。设置的空气预热器将空气与烟气换热后进入烟囱保持烟囱热备。

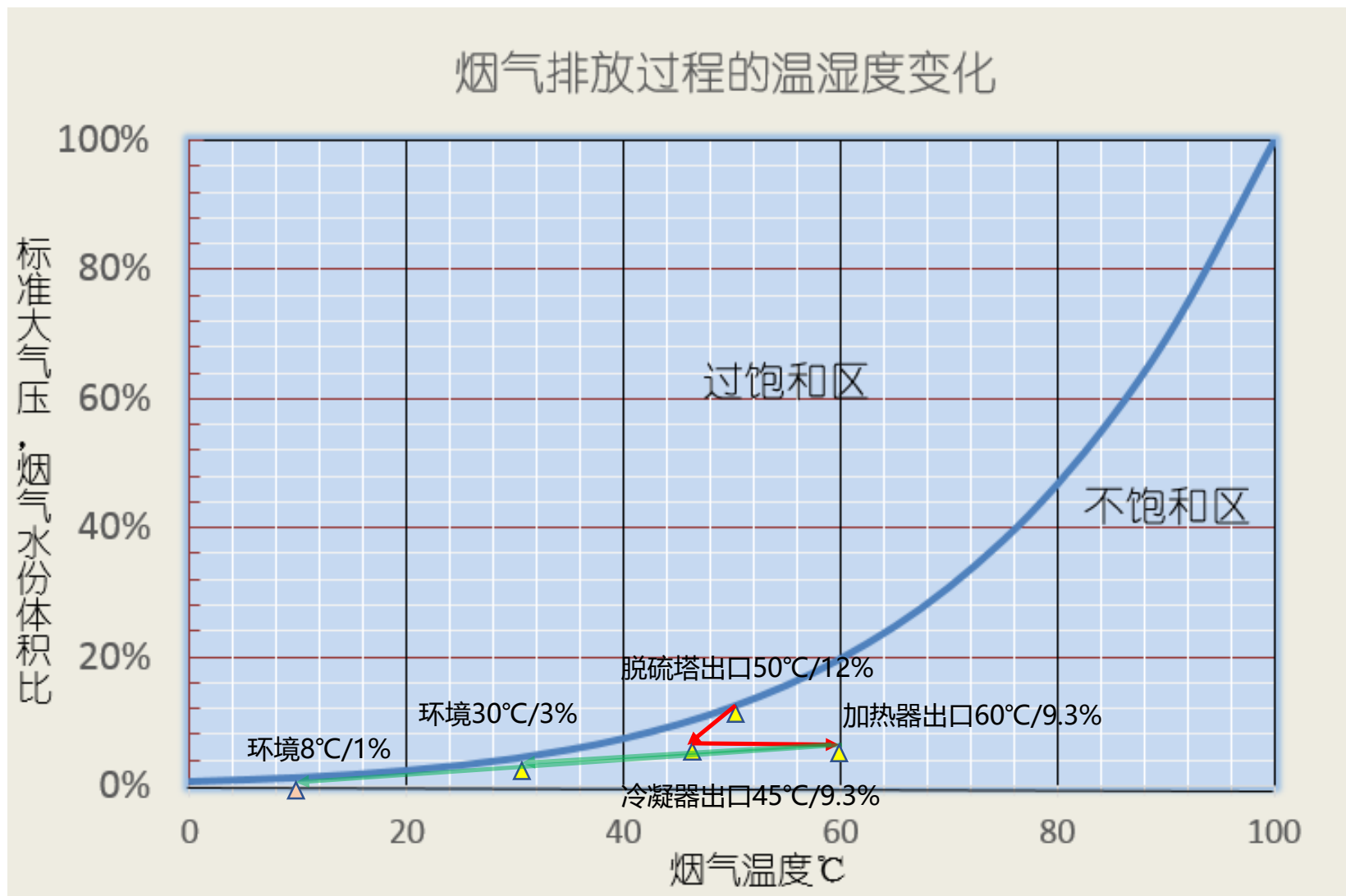
## ➤ 主要特点

- ✓ SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>及粉尘均能达特限值排放要求
- ✓ 低温SCR脱硝技术，200°C以上条件，脱硝效率高于90%
- ✓ 回收烟气热能产生蒸汽，降低运行费用
- ✓ 在线热解析技术，快速恢复催化剂活性
- ✓ 因地制宜选择脱硫方法，实现副产物资源化利用，无二次污染

中高温SCR脱硝+余热回收+湿法脱硫+湿式电除尘

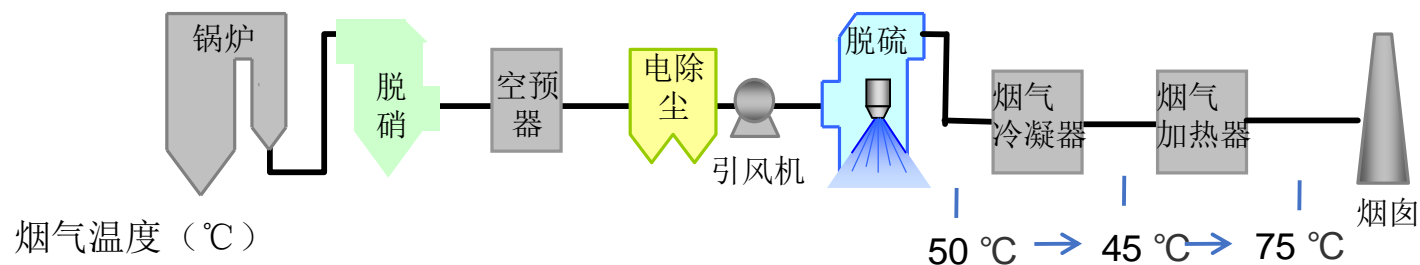


# 烟气处理路线——消除白烟



# 烟气处理路线——消除白烟

## 冷凝升温型



设备组成：烟气加热器、烟气冷凝器、烟气冷却器（若需）、循环泵等。

系统结构：先通过烟气冷凝器降低烟气温度，然后加热，降低烟气中的湿度又提高了烟气的温度。

设备特点：该套产品通过烟气冷凝器，烟气加热器的组合应用，改变决定烟羽的两个要素含湿量及温度，使消除白烟达到最佳的效果。烟气加热器无需将烟囱入口排烟温度提升至常规80°C，减轻了冬季工况对辅助蒸汽的需求。部分排烟温度较高的电厂还以将冷却器、冷凝器回收的热量加热汽机凝结水进一步节能。

# 烟气处理路线——消除白烟



增设烟气冷凝器的额外收益：

## （一）回收大量凝结水

机组容量	烟气中凝结水理论回收量
300WM机组	40t/h（温降5°C）
600WM机组	70t/h（温降5°C）
1000WM机组	100t/h（温降5°C）

注：1、烟气成分不同回收水量也将大大不同

2、烟气冷凝技术是目前比较成熟的技术可以帮助业主进一步降低水耗指标。

## （二）降低粉尘含量

- 烟气冷凝过程为相变过程，在换热管表面会形成液膜夹带部分烟尘进入冷凝水回收系统，实现一定的降尘功能。

项目	单位	数量
PH		3.3
COD	mg/l	54.10
CL <sup>-</sup>	mg/l	820.0
悬浮物	mg/l	33
电导率	μ s/cm	1300

凝结水回收水质分析

# 烟气处理路线——消除白烟



## 换热器材质的选择

	烟气冷凝器		烟气加热器		
壳体	316L		316L		
换热管	换热段	改性PTFE/ 改性塑料/ 2205	高温段	ND钢/316L	改性 PTFE/ 改性塑料
			低温段	316L	改性PTFE/ 改性塑料
			裸管段	2205	改性PTFE

改性塑料主要优点（1）耐腐蚀性。能够较好的解决金属烟气换热器的低温腐蚀问题（2）耐老化。可以使用寿命周期达到20年。尤其适用于脱硫塔后低温、低粉尘、高腐蚀区域。

# 烟气处理路线——消除白烟

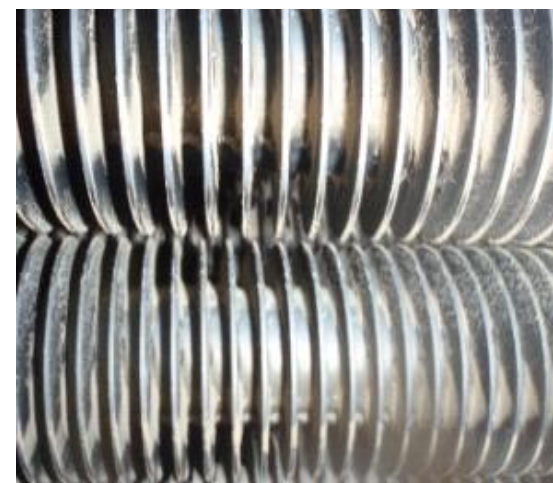
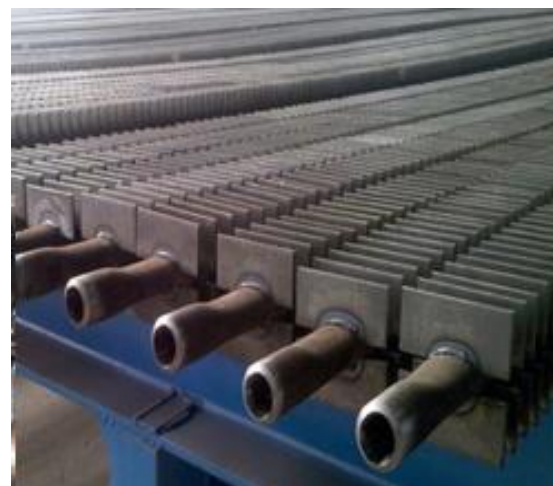
## 换热器形式的选择

### (一) 椭圆H型翅片：

1. 椭圆管型设计减小了烟气的流动阻力，对于同样的换热量，与圆管相比，阻力可降低15%~30%，能满足风机裕量不足の場合，并能降低风机的长期运行电耗
2. 秉承圆管H形肋片结构优点，不易积灰结垢，可以保持换热器长期运行的传热性能

### (二) 圆管螺旋翅片：

1. 烟气在通过螺旋形肋片时具有较强的扰动，所以具有良好的传热性能
2. 公司引进日本IHI技术使圆管螺旋翅片结构更紧凑，排列更合理，换热性能最大化





# 烟气处理路线——消除白烟

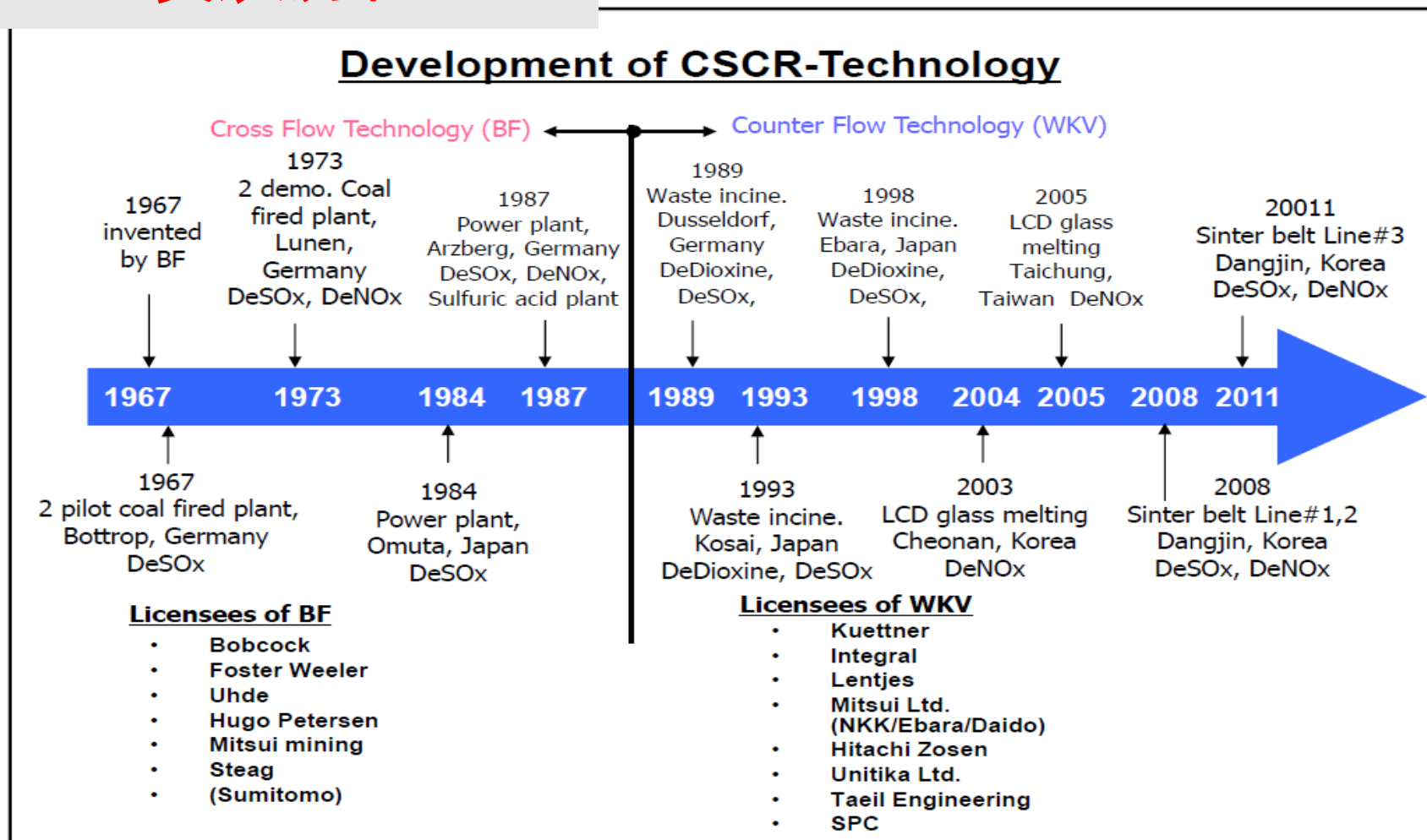
## 换热器形式的选择

### (三) 改性塑料圆管：

1. 化学性能稳定，几乎对所有的化学品和溶剂呈惰性，且几乎没有一种溶剂或化合物可在 $300^{\circ}\text{C}$ 以下溶解它。
2. 有固体材料中最小的表面张力，不粘附任何物质；管壁表面光滑且有适度的柔性，不易结垢。后期检修易清洗。
3. 氟塑料换具有极强的热稳定性和热膨胀性，极耐老化，正常情况下可使用15~20年。
4. 密集的结构形式及超薄的壁厚使其拥有较高的换热性能。



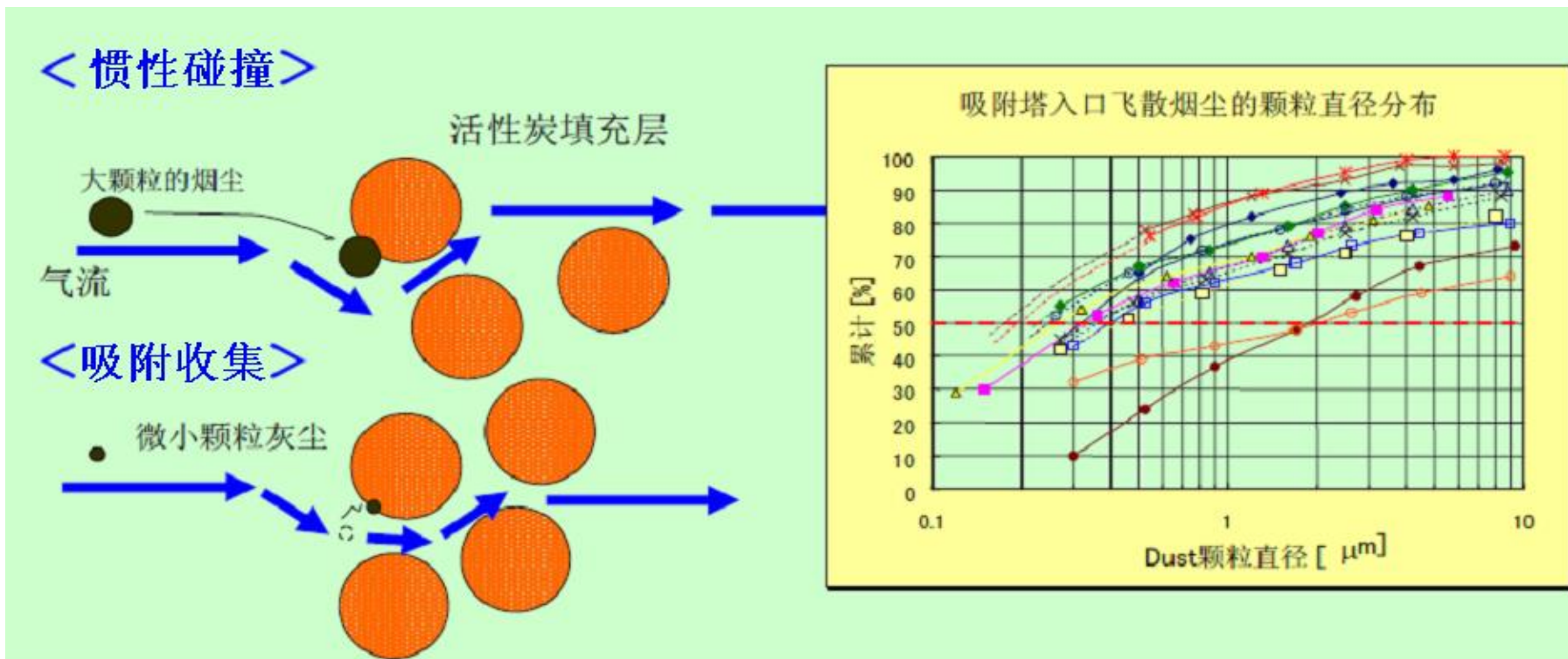
## 发展历程



# 活性焦污染物协同脱除原理

## 粉尘、重金属

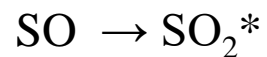
一	惯性碰撞	$> 1\mu\text{m}$ 的粒子
二	吸附收集	$< 1\mu\text{m}$ 的粒子



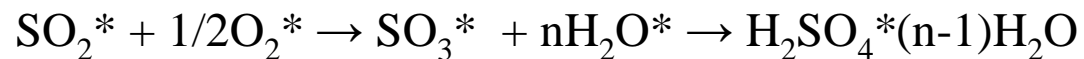
# 活性焦污染物协同脱除原理

## 脱硫

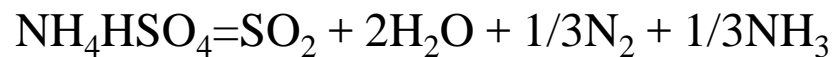
物理吸附



化学吸附



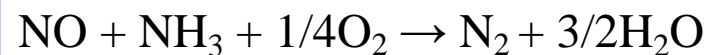
再生



# 活性焦污染物协同脱除原理

## 脱硝

### SCR反应



活性炭具有Ti-V系金属触媒作用

### Non-SCR 反应



活性炭再生时会生成还原性物质——C...Red

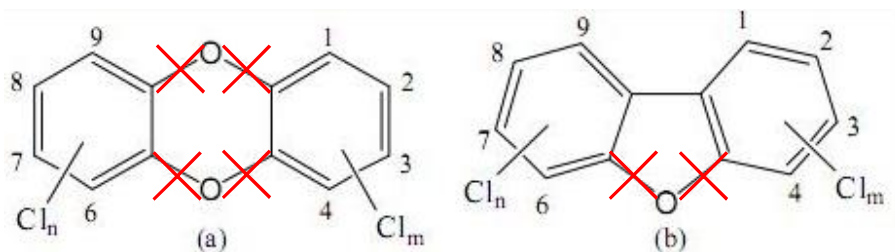
# 活性焦污染物协同脱除原理

## 二噁英

活性炭捕捉  
+  
加热热解

捕捉：反应塔内

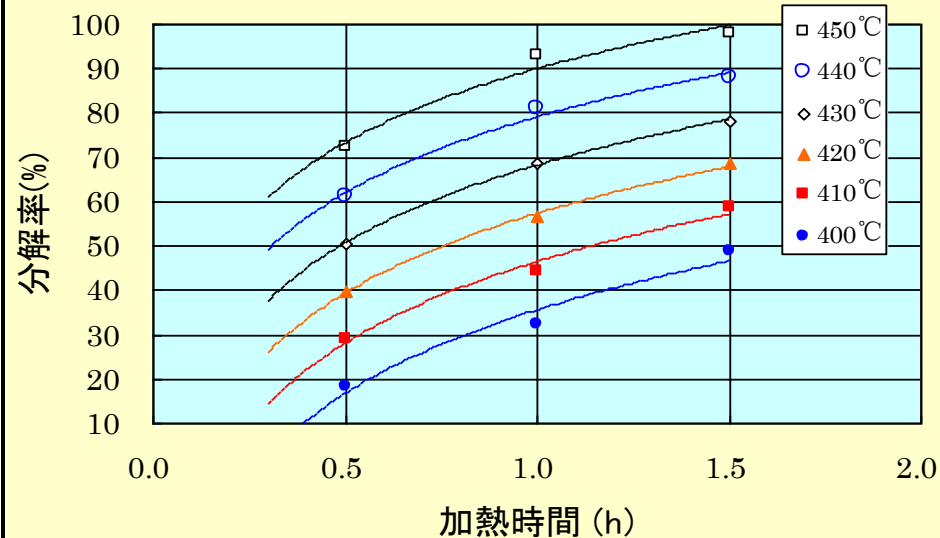
热解：再生塔内，加热到400℃



氧基破坏

无害化

DIOXIN類の分解試験結果

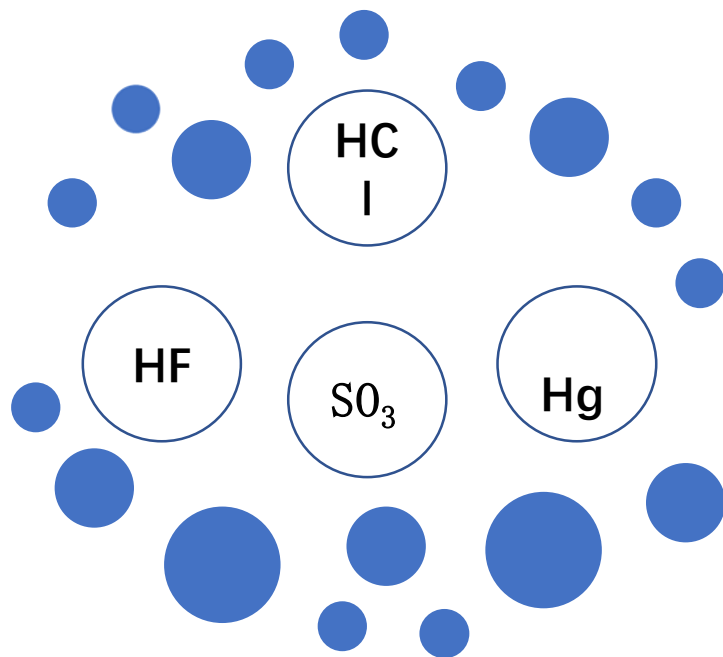




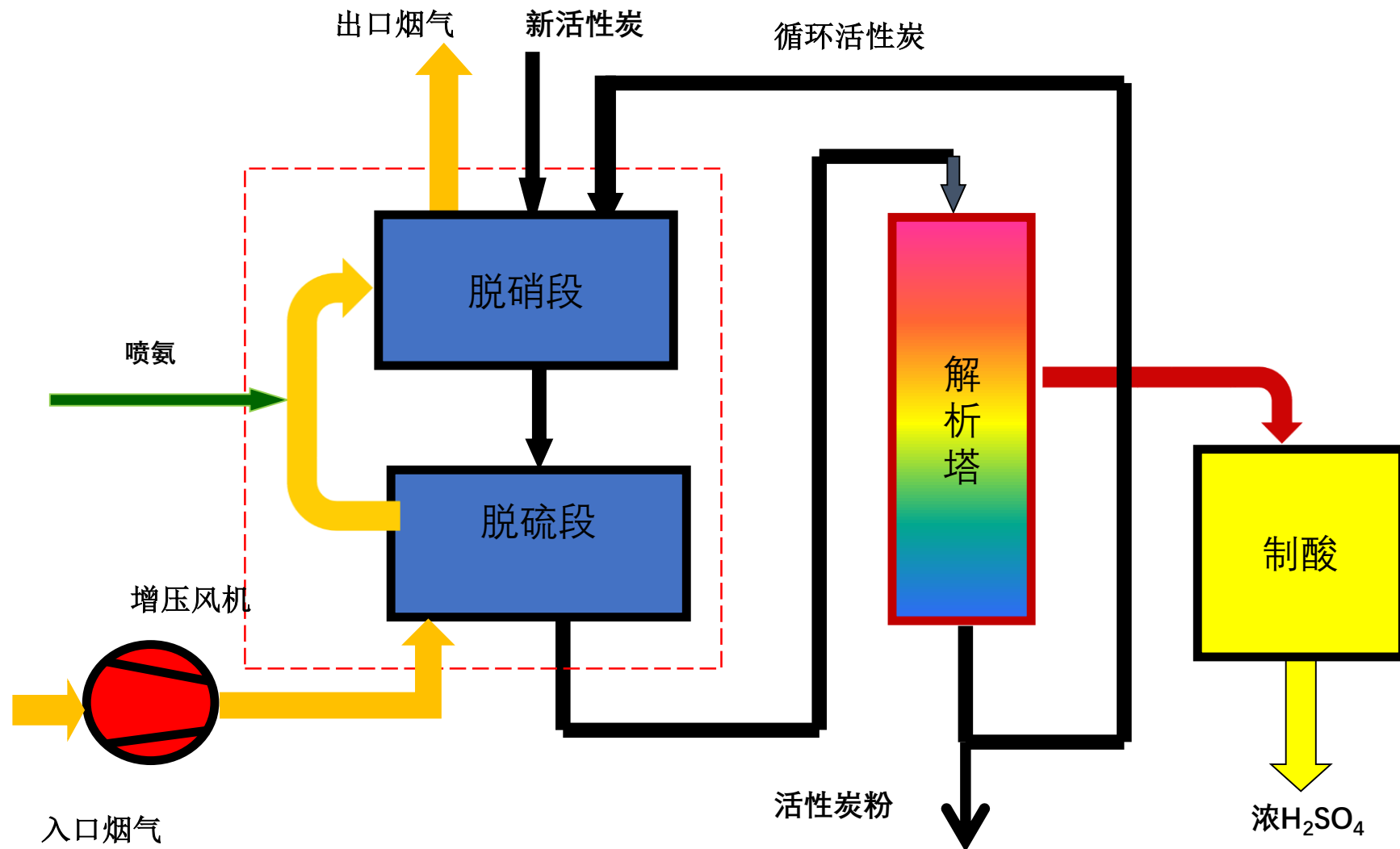
# 活性焦污染物协同脱除原理

## 其它物质

HCl (氯化氢), 氟化氢 (HF),  
SO<sub>3</sub> (三氧化硫) 等酸性气体



# 工艺流程



## 脱除效率

- 脱硫效率 > 99%;
- 脱硝效率 > 80%;
- 脱汞效率 > 90%;
- 粉尘排放浓度 < 10mg/Nm<sup>3</sup>
- 二噁英排放浓度 < 0.1ngTEQ/Nm<sup>3</sup>

## 协同脱除

- 协同脱除  
氟化物、重金属

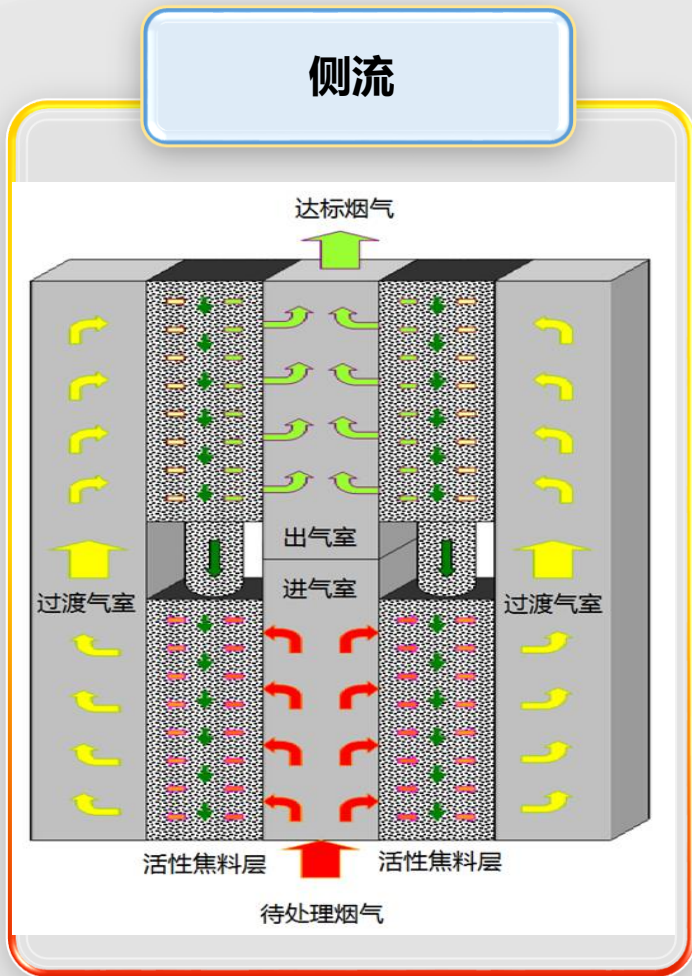
## 资源利用

- SO<sub>2</sub>资源化利用
- 制备硫酸、硫磺、焦亚硫酸钠等

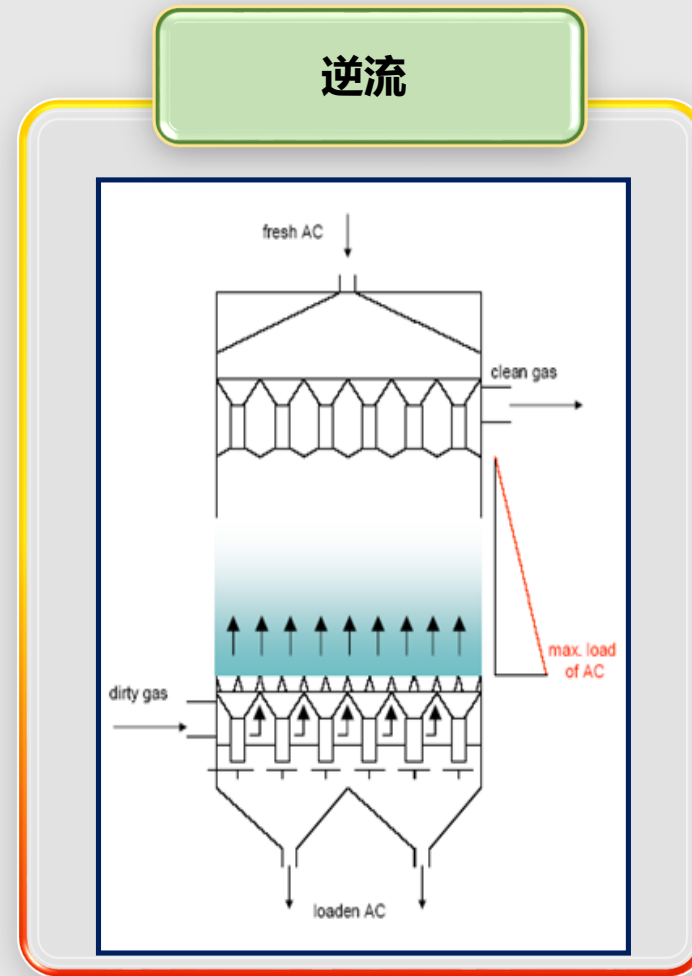
## 无二次污染

- 无“石膏雨”
- 无“烟羽”
- 不需烟囱防腐

## 侧流

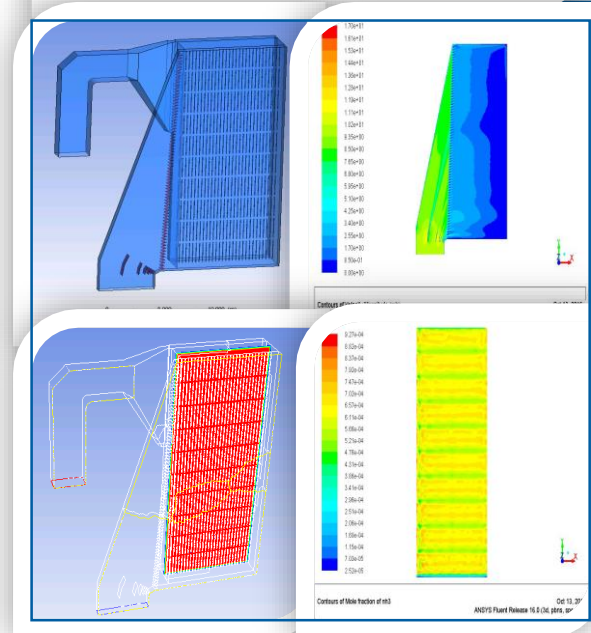
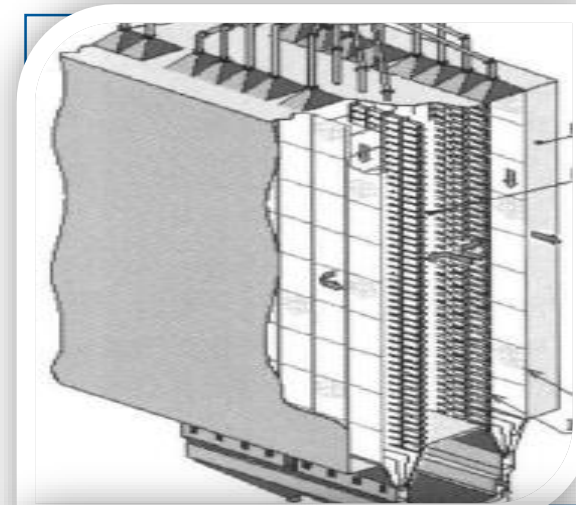


## 逆流



# 错流技术特点

- **空速提高** 设计空速提高，反应器处理能力提高，反应器体积减小。
- **结构改进** 模块化设计的“错流”对称结构反应器，气流分布更均匀、界面传质更快、系统阻力更低、设计和施工周期更短。
- **控制升级** 换热、增湿等多手段调节烟温，差异化温度监测，多指标预判控制，双重应急措施，系统可靠性大幅提高。
- **副产多样** 除硫酸外，可将二氧化硫转化为附加值更高的硫代硫酸钠，真正实现废物的“资源化”。



# 技术经济分析



—	初期投资	数据	对比分析	初期投资	数据	对比分析
1	高温SCR			低温SCR		
(1)	脱硝效率	≥90%		脱硝效率	≥90%	
(2)	催化剂	≈600万		催化剂	≈1860万	
(3)	其他设备、材料	≈6000万	设备少, 维护简单, 烟气量大	其他设备、材料	≈5500万	设备多, 维护工作量大, 烟气量小
2	石灰石-石膏湿法脱硫			半干法脱硫		
(1)	脱硫效率	≥99%	适用于中高硫烟气, 烟气量波动适应性强	脱硫效率	80%~90%	适用于低硫烟气, 可以适应烟气量的波动
(2)	设备、材料	≈15000万	设备多, 系统维护工作量大	设备、材料	≈13000万	设备少, 系统维护工作量小
三	运行成本	数据	对比分析	运行成本	数据	对比分析
1	高温脱硝			低温脱硝		
(1)	液氨	≈170kg/h	2000元/吨	液氨	≈170kg/h	2000元/吨
(2)	高温催化剂	≈200万/a	按3年更换一批考虑	低温催化剂	≈620万/a	按3年更换一批考虑
(3)	燃料	22000m <sup>3</sup> /h	高炉煤气0.08元/m <sup>3</sup>	燃料	22000m <sup>3</sup> /h	高炉煤气0.08元/m <sup>3</sup>
2	湿法脱硫			半干法脱硫		
(1)	湿法脱硫剂	2.6吨/h	200目石灰石, 到厂260元/吨	半干法脱硫剂	4.6吨/h	200目消石灰, 到厂700元/吨
(2)	电耗	3500kwh	0.5元/kwh	电耗	1500kwh	0.5元/kwh
(3)	水耗	100吨/h	1元/吨	水耗	60吨/h	1元/吨
四	运行成本折算					
	高温SCR	5.64元/吨矿		低温SCR	6.9元/吨矿	
	湿法脱硫	5.5元/吨矿		半干法脱硫	8.6元/吨矿	

## 主要设计参数：

烟气量：1100000Nm<sup>3</sup>/h  
 SO<sub>2</sub>：1500~35mg/Nm<sup>3</sup>  
 NO<sub>x</sub>：400~40mg/Nm<sup>3</sup>

烧结矿产量400万吨/a  
 年运行时间8000h  
 主抽出口温度：130C°



# 技术经济分析-脱硝

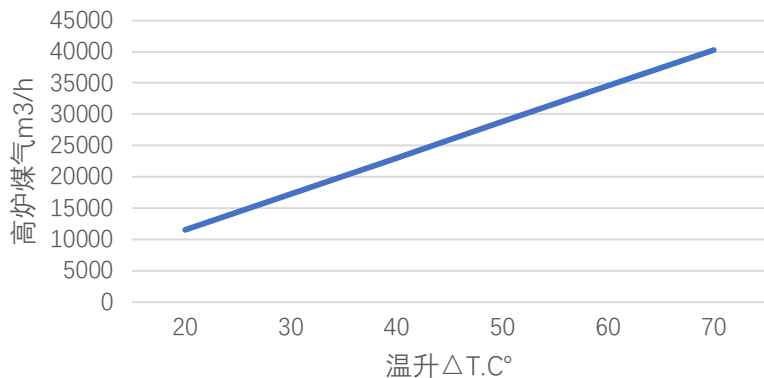


主要设计参数：  
 烟气量：1100000Nm<sup>3</sup>/h  
 烧结矿产量400万吨/a  
 SO<sub>2</sub>：1500~35mg/Nm<sup>3</sup>  
 年运行时间8000h  
 NO<sub>x</sub>：400~40mg/Nm<sup>3</sup>  
 主抽出口温度：130C°

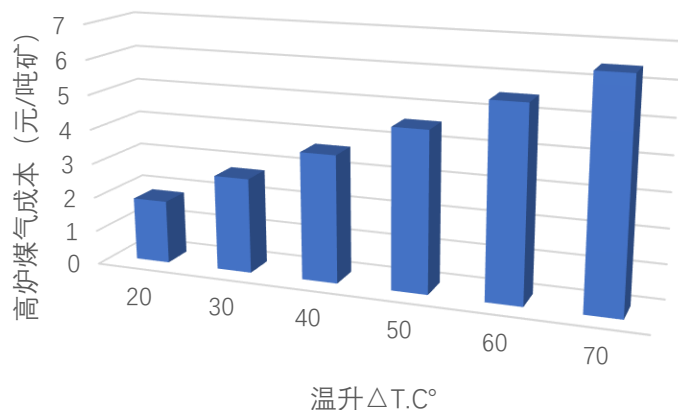
对比项目	高温SCR	低温SCR	备注
初期投资			
催化剂 (万元)	≈600万	≈1860万	
设备一次投资 (万元)	≈6000万	≈5500万	低温SCR需要每3个月左右在线再生一次。
运行成本			
液氨 (t/h)	0.17	0.17	0
催化剂更换 (万/a)	300	620	
系统电耗 (kw)	300	300	含GGH电耗
引风机电耗 (kw)	800	800	含GGH阻力
运行成本折算 (万/a)	924	1244	不含燃料
运行成本折算 (元/吨矿)	2.31	3.11	不含燃料
优缺点及方案适用情况	高温催化剂优点在于运行成熟稳定，催化剂价格低、效率高；缺点在于系统换热、补燃的能耗较高，而且脱硝后有300C°以上的温度区间，会导致PCDD生成。 低温催化剂优点在于安装在脱硫之后，运行温度低，能耗较少，无PCDD生成；缺点在于催化剂成本高，需要低硫甚至无硫的烟气环境，一般需要定期再生。		
方案推荐	在不考虑PCDD的情况下，建议优选高温催化剂，综合成本最低。如为了保证PCDD的排放限值≤0.1ng，则选用低温催化剂更为适宜。		

# 技术经济分析-脱硝

温升v.s燃料耗量曲线



温升v.s燃料耗量曲线



设计中，对于脱硝反应的温度选择，将严重影响到脱硝系统的前期投资和运行成本。如左图显示，按照某360平烧结机的烟气参数，烟气温度基本每升高 $10^\circ\text{C}$ ，脱硝运行成本增加约1元/吨矿。

在正常运行过程中，烟气加热主要的热源来自于烟气换热器（GGH），随着换热量的提高，将导致GGH换热面积的增加，增加初期投资和运行成本。

也就是说，根据烟气条件及排放指标，选择合适的脱硝工艺，同时，确定合理的烟气温度，运行过程中根据脱硝效率控制烟气温度，才能取得最为经济的脱硝效率。

# 技术经济分析-脱硫



对比项目	湿法脱硫	SDA半干法脱硫	CFB半干法脱硫
性能比较			
吸收剂	CaCO <sub>3</sub>	CaO	CaO
脱硫反应塔系统	一炉一吸收塔塔	一炉两SDA塔	一炉一CFB塔
脱硫效率	≥99%	80%~95%	80%~97%
Ca/S	1.03	1.8~2.5	1.3~2
系统阻力	1500pa	2900pa (含布袋除尘器)	3800pa (含布袋除尘器及净烟气烟道)
排烟温度	60C°	120C°	90C°
初期投资	15000万	12500万	12000万
	运行成本		
CaO (t/h)	1.45	3.53	2.82
水耗 (t/h)	90	50	70
系统电耗 (kw)	3500	600	1000
引风机电耗 (kw)	2000	3000	3500
运行成本折算 (万/a)	2246.285714	2614	2638
运行成本折算 (元/吨矿)	5.61571429	6.535	6.595
优缺点及方案适用情况	湿法的优点在于脱硫效率高、耐负荷冲击力强，副产物的石膏具有附加值，易于处理；缺点在于设备多，有废水产生	SDA的优点在于耐负荷冲击能力较强、设备少、维护简单、出口烟气温度高、无废水，适合与低温SCR连用；缺点在于脱硫效率较低，雾化器检修频率高，产生的干灰难以处理。	CFB的优点在于无废水产生、脱硫效率较高；缺点在于设备易磨损或堵塞，运行要求高、跟负荷能力较差，干灰难以处理。
方案推荐	从运行效果来看，半干法想要做到稳定的超低排放比较困难。一般情况，湿法还是最适用于烧结机组。半干法的优势在于无废水产生、无消白烟压力。建议业主统筹考虑投资、脱硫效率、运维工作量和废弃物处理的关系。		

# 技术经济分析

一	初期投资	数据	备注
	活性焦脱硫脱硝一体化		
1	脱硝效率	≥90%	
2	脱硫效率	≥99%	
3	其他设备、材料	≈22000万	活性焦初装量较大，安全控制系统要求高。
二	运行能耗	数据	
1	活性炭	1.10 kg	
2	电	12.82 kW h	
3	焦炉煤气	1.08 Nm <sup>3</sup>	
4	高炉煤气	24.70 Nm <sup>3</sup>	
5	新水	0.00675 m <sup>3</sup>	
6	压缩空气	3.40 m <sup>3</sup>	
7	氮气	29.60 m <sup>3</sup>	
8	蒸汽	0.015 t	
9	液氨	0.60 kg	
10	废水处理费用	0.78 元/t.s	
11	固碱	0.070 kg	
12	产酸量	5.50 kg	
13	活性焦粉	1.08 kg	
三	运行成本折算		
	活性焦脱硫脱硝一体化	19.40元/吨矿	活性焦市场价格现价

## 工艺路线选择



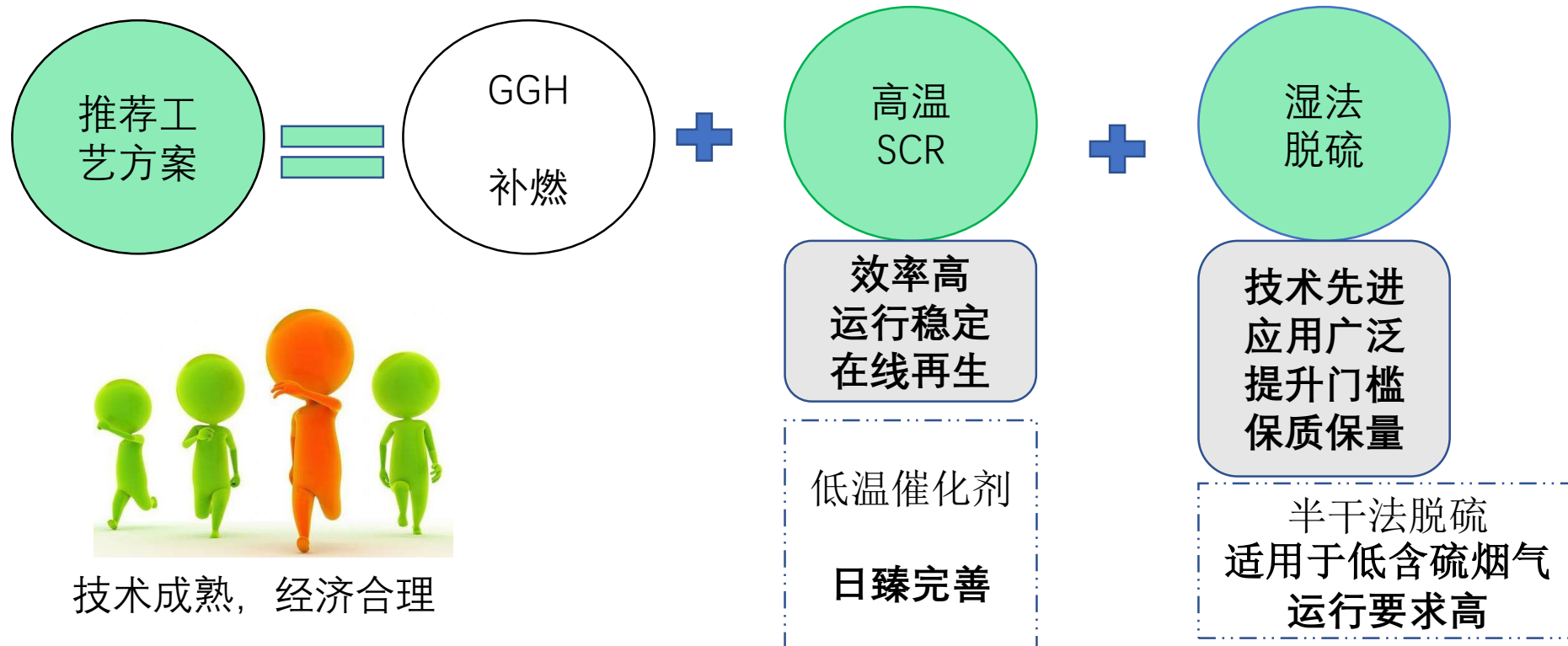
从技术经济对比可见，选择GGH+补燃+高温SCR+湿法脱硫最为经济、可靠，但是，因为SCR出口的烟气温度仍然高于300C°，会有二恶英再次生成。

而低温SCR催化剂技术已经日臻成熟，所以，大多数冶金企业会考虑选用GGH（或WGGH）+补燃+低温SCR+湿法脱硫工艺。

最为目前国内应用最为广泛的脱硫技术，石灰石-石膏湿法脱硫的对比市面上其他的工艺并不落后。同样是石灰石-石膏湿法脱硫工艺，某些脱硫公司为了中标，报价明显偏低，但随之而来的就是偷工减料、低价低质，造成很多项目应用效果差、业主风评不佳。。因此，业主企业应在选择脱硫公司时加强对其资质、公司背景、工程经验方面的检验。

半干法脱硫在冶金行业的应用也很广，虽然脱硫效率较低一些，但是通过技术改进也可以满足超低排放的要求。缺点在于虽然没有废水产生，但是废弃的干灰却让很多业主头疼，而且半干法对于运行的要求更高，一旦核心设备出现问题，势必影响脱硫效率。

# 工艺路线选择



## 活性焦一体化工艺

- 1、协同脱除多种污染物
- 2、废水量少，制酸资源化
- 3、投资、运行成本较高
- 4、安全运行是重点





THANK YOU

w w w . s h a n g h a i - e l e c t r i c . c o m