

2024年度“多喷嘴对置式煤气化技术 推广及应用研讨会”

多喷嘴对置式粉煤气流床气化 技术研发进展与工业示范

华东理工大学

2024.10.24



汇报内容

- 1. 项目研发背景**
- 2. 关键技术研发进展**
- 3. 工业示范装置运行成果**
- 4. 拟后续开展工作**

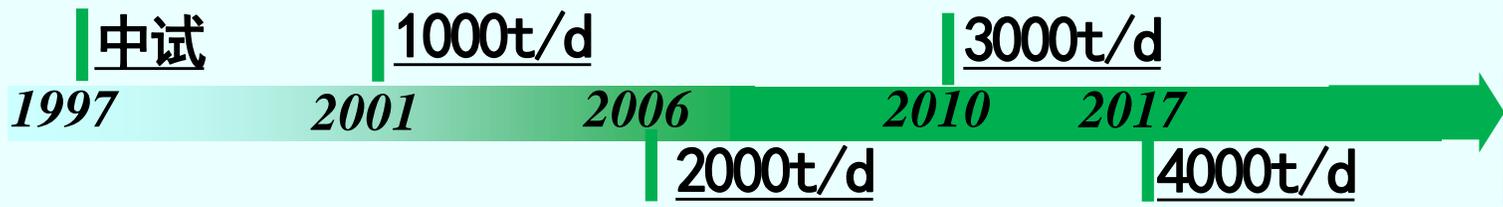


项目背景

近30年产学研用紧密合作，建立多喷嘴对置煤气化放大理论体系



多喷嘴水煤浆气化成功放大到日投煤4000吨级



世界单炉最大规模气化炉

多喷嘴粉煤气化成功放大到日投煤3000吨级



历经25年研发积累，成功实现100倍放大运行

世界首套日投煤3000吨级多喷嘴对置式粉煤加压气化工工业示范装置正式投产



项目背景

兖矿鲁化己内酰胺产业链配套节能减碳一体化工程项目

- 2019年10月12日 工艺软件包编制启动会（鲁化）
- 2019年11月26日 工艺软件包编制开工会（鲁化）
- 2019年11月30日 工艺软件包技术与分工（华理）
- 2020年01月18日 工艺软件包关键工艺技术交流（天辰）
- 2020年01月20日 工艺软件包初版审查（鲁化）
- 2020年04月15日 工艺软件包二版审查（鲁化）

推动兖矿鲁化当地劣质原料煤清洁高效利用

支撑山能集团现代大型煤化工产业基地跨越式发展



项目背景

■ 兴隆庄原煤

$A_d 29.6\%$, $FT > 1500^\circ C$

■ 营盘壕煤

$A_d 5.6\%$, $FT-1158^\circ C$

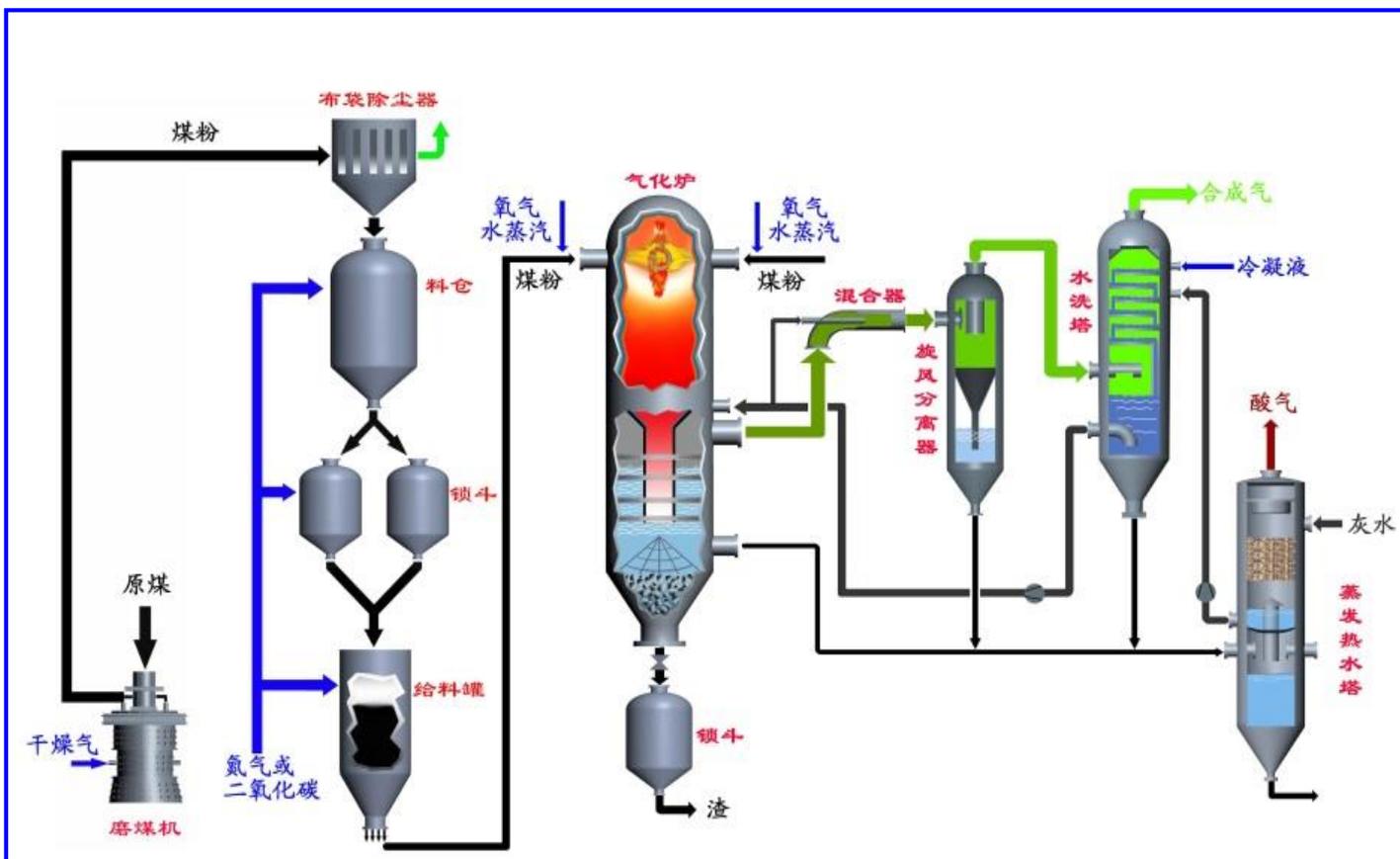
■ 协同处置己内酰胺废液

- 满足劣质煤气化需要，同时考虑配煤优化煤质，提升气化运行经济性
- 准东五彩湾煤，为山能集团新疆煤化工基地建设提供支撑

名称		兴隆庄洗煤	兴隆庄原煤-营盘壕煤7: 3	兴隆庄原煤-营盘壕煤5: 5	兴隆庄原煤-营盘壕煤3: 7	新疆五彩湾煤层B2
		设计煤	操作煤1	操作煤2	操作煤3	新疆煤
工业分析 wt%	A	20.00	22.39	17.57	12.73	9.88
	V	31.80	29.88	31.15	32.42	29.13
	FC	48.20	47.73	51.28	54.85	60.99
元素分析 wt%	C	64.08	63.61	68.43	73.27	71.91
	H	4.29	4.14	4.39	4.64	3.13
	O	9.65	8.02	7.70	7.39	13.56
	N	1.22	1.05	1.03	1.00	0.73
	S _t	0.76	0.79	0.87	0.96	0.78
煤灰化学组成 wt%	SiO ₂	56.03	50.51	46.83	43.15	28.09
	Al ₂ O ₃	31.87	28.51	26.27	24.02	12.52
	CaO	2.66	5.56	7.50	9.43	16.96
	Fe ₂ O ₃	2.9	7.08	9.86	12.64	11.10
	SO ₃	1.76	3.92	5.37	6.81	15.29
	MgO	1.08	1.02	0.98	0.93	5.64
	K ₂ O	1.19	0.95	0.79	0.62	0.59
	Na ₂ O	0.77	1.01	1.17	1.32	5.36
	P ₂ O ₅	0.32	0.24	0.18	0.12	0.52
	TiO ₂	1.26	1.07	0.94	0.81	0.61
	其它	0.16	0.13	0.11	0.15	0.23

关键技术研发

项目目标：实现适用于高灰分、高灰熔点煤的日投煤3000吨级多喷嘴对置粉煤加压
气化工工业示范装置长周期、安全、高效运行

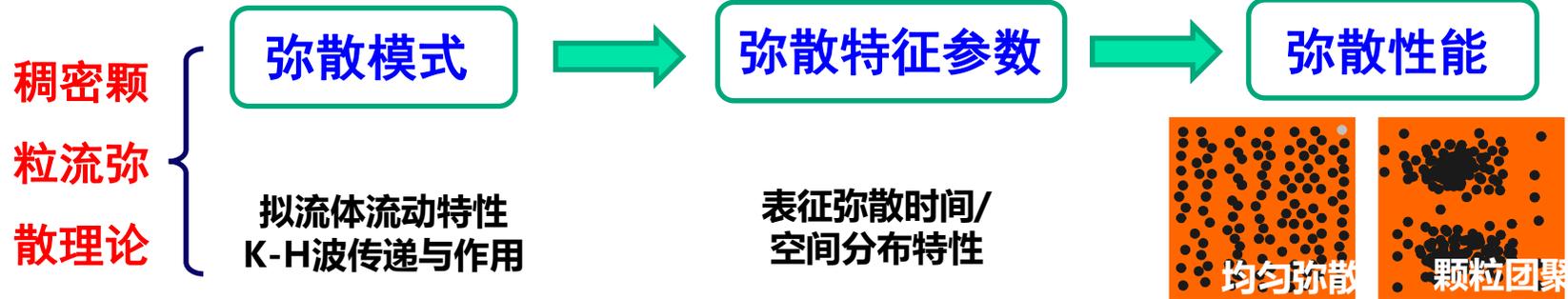
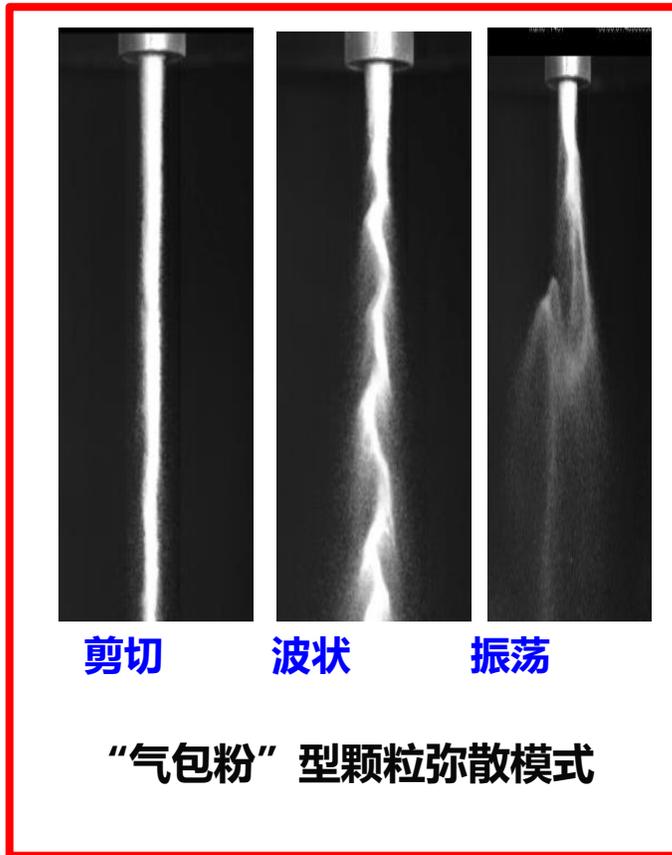


主要创新点

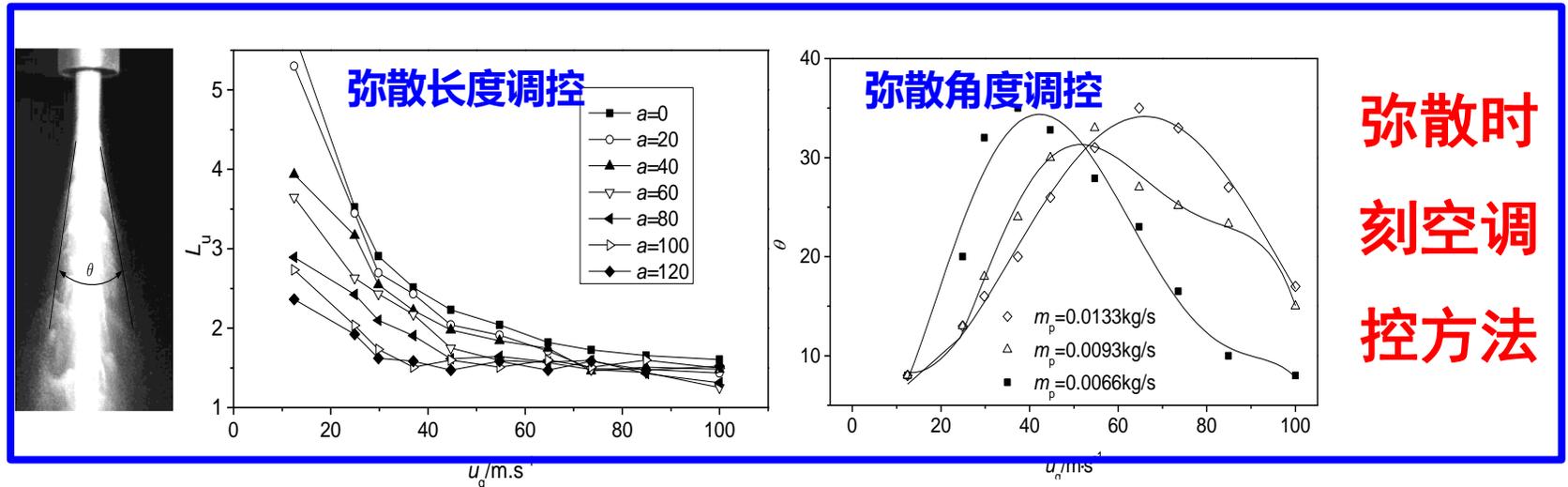
- 长寿命粉煤气化喷嘴
- 多功能点火开工喷嘴
- 耐高温列管式水冷壁
- 高效多喷嘴粉煤气化炉
- 单煤线干吨级粉煤密相输送
- 炉温在线监控软件
- 高温高压黑水直接回用技术
- 两级蒸发热水塔技术
- 协同处置有机废液技术
-

关键技术研发——长寿命粉煤气化喷嘴

发现稠密颗粒流的拟流体特性和多种同轴弥散模式



建立了不同模式下弥散特征参数对颗粒时空分布调控机制



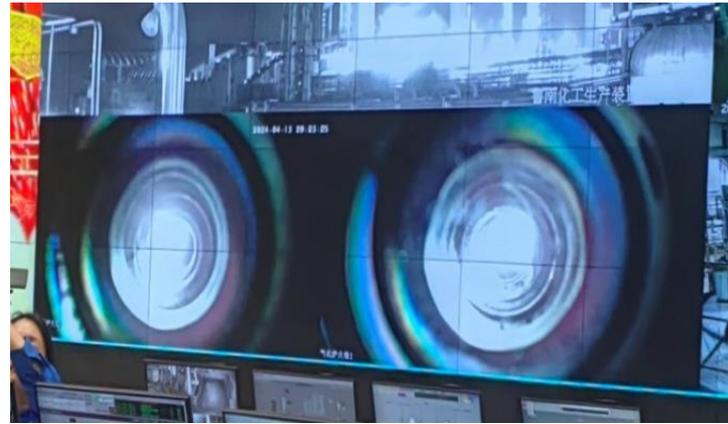
发展了基于气固界面K-H不稳定性的稠密颗粒流同轴弥散理论



关键技术研发——多功能点火开工喷嘴

■ 高可靠性点火开工喷嘴，并可协同处置己内酰胺废液

点火
火焰



纯氧开工火焰视频信号

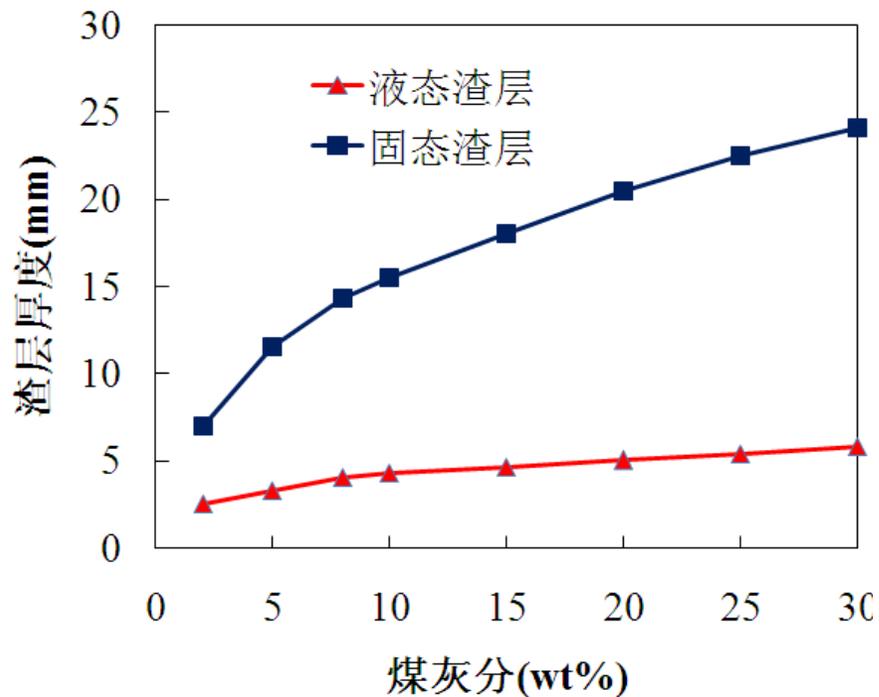


开工喷嘴有机废液雾化实验

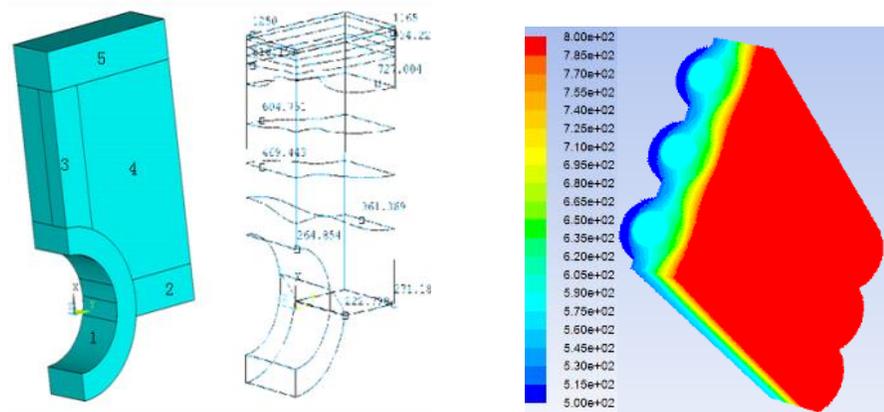
- ✓ 小火点大火方案：结合燃料气特点和喷嘴结构，优化匹配点火开工顺控，开工可靠性高，**成功率达100%**
- ✓ 纯氧开工火焰稳定，火检反应灵敏、强度稳定，安全联锁效果良好。
- ✓ 开工喷嘴兼具有机废液雾化功能，**可以协同高效处置废液**

关键技术研发——耐高温列管式水冷壁

■ 灰分调控实现安全防护



水冷壁熔渣沉积规律



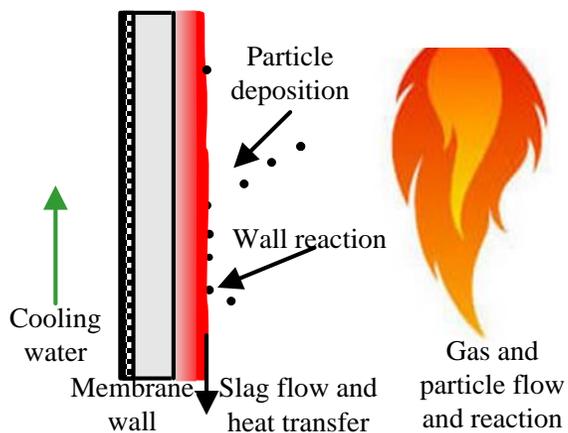
水冷壁传热模型

- 8%灰分水冷壁渣层厚度>15mm
- 炉温1500°C时，灰分需>10%

利用灰分调控水冷壁渣层厚度，实现高温条件下水冷壁防护

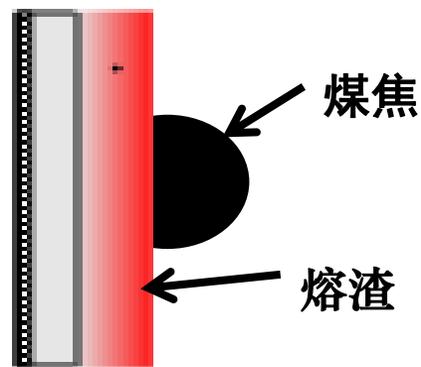
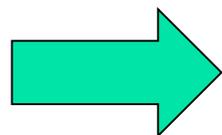
关键技术研发——高效多喷嘴粉煤气化炉

- 揭示熔渣界面反应机理，为气化炉优化设计与操控提供支撑

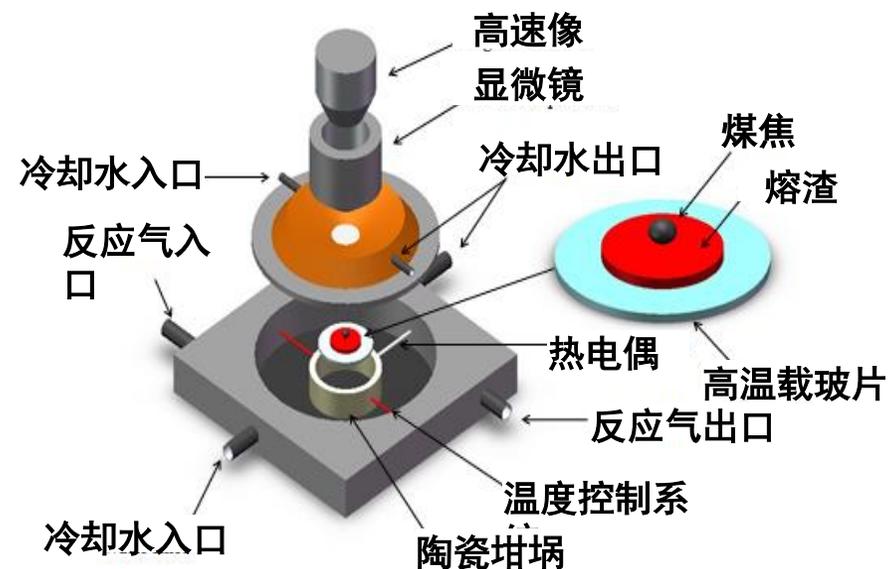


炉膛空间多相湍流反应流动

熔渣流动与传热过程



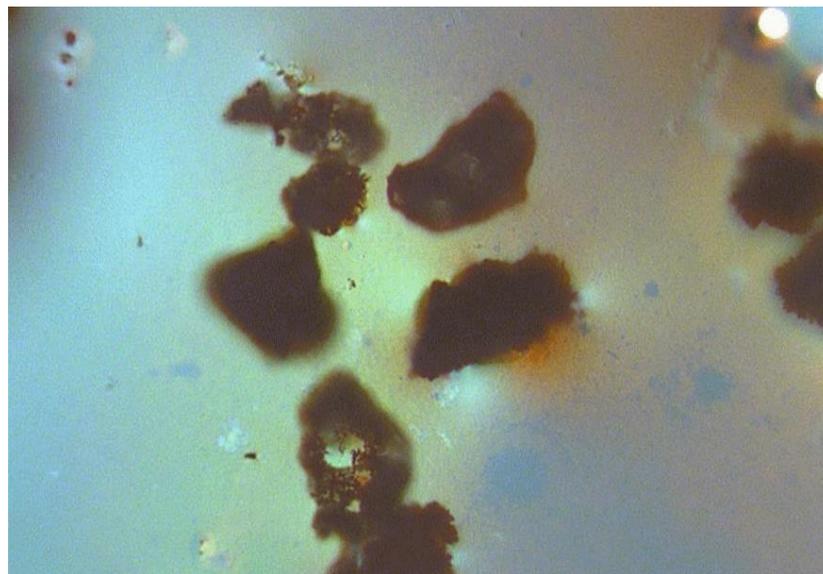
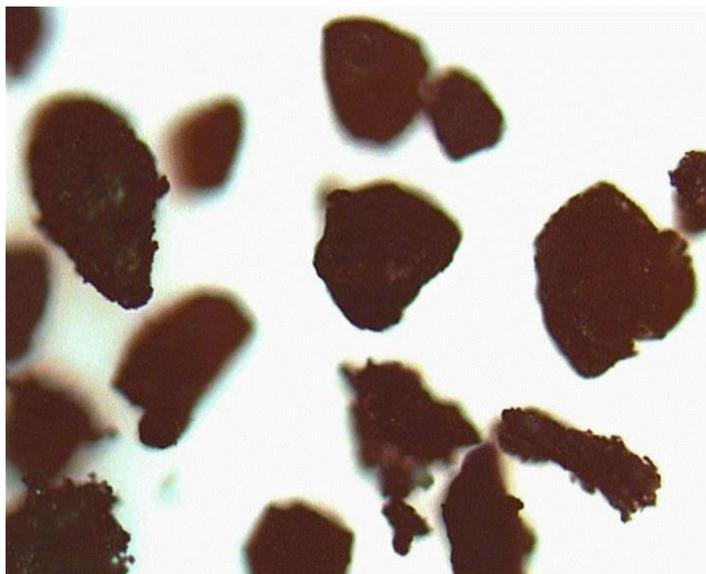
熔渣界面反应？



借助高温热台开展煤焦
原位气化反应过程研究

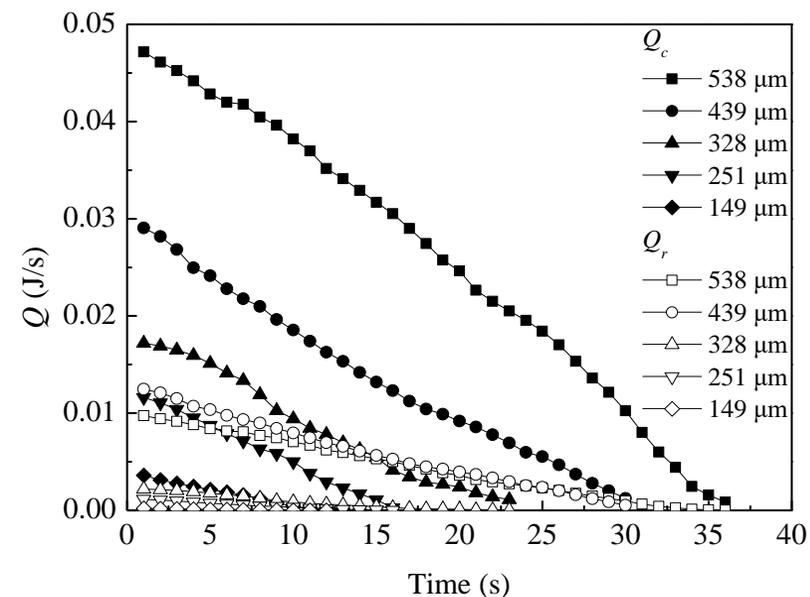
关键技术研发——高效多喷嘴粉煤气化炉

■ 熔渣界面煤焦气化反应速率是自由煤焦气化反应速率的2倍



自由煤焦原位气化反应过程

熔渣界面煤焦原位气化反应过程

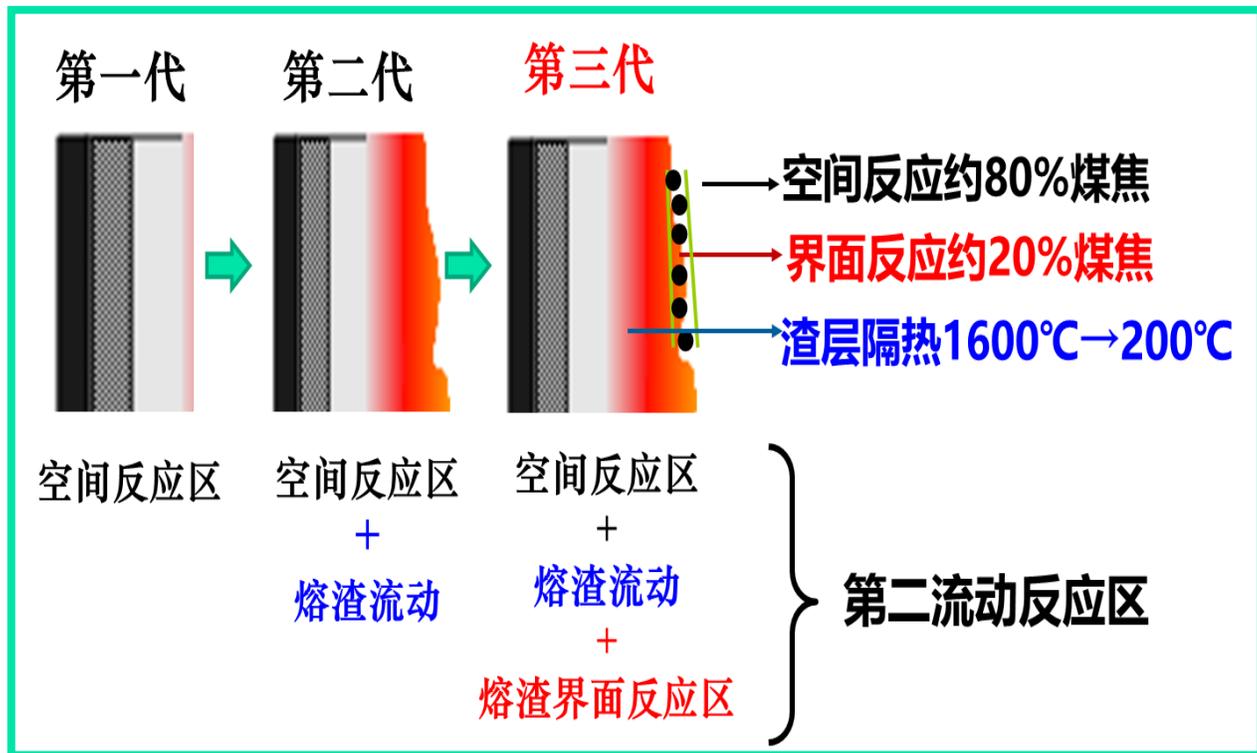


熔渣界面颗粒反应过程辐射传热速率(Q_r)和热传导速率(Q_c)比较

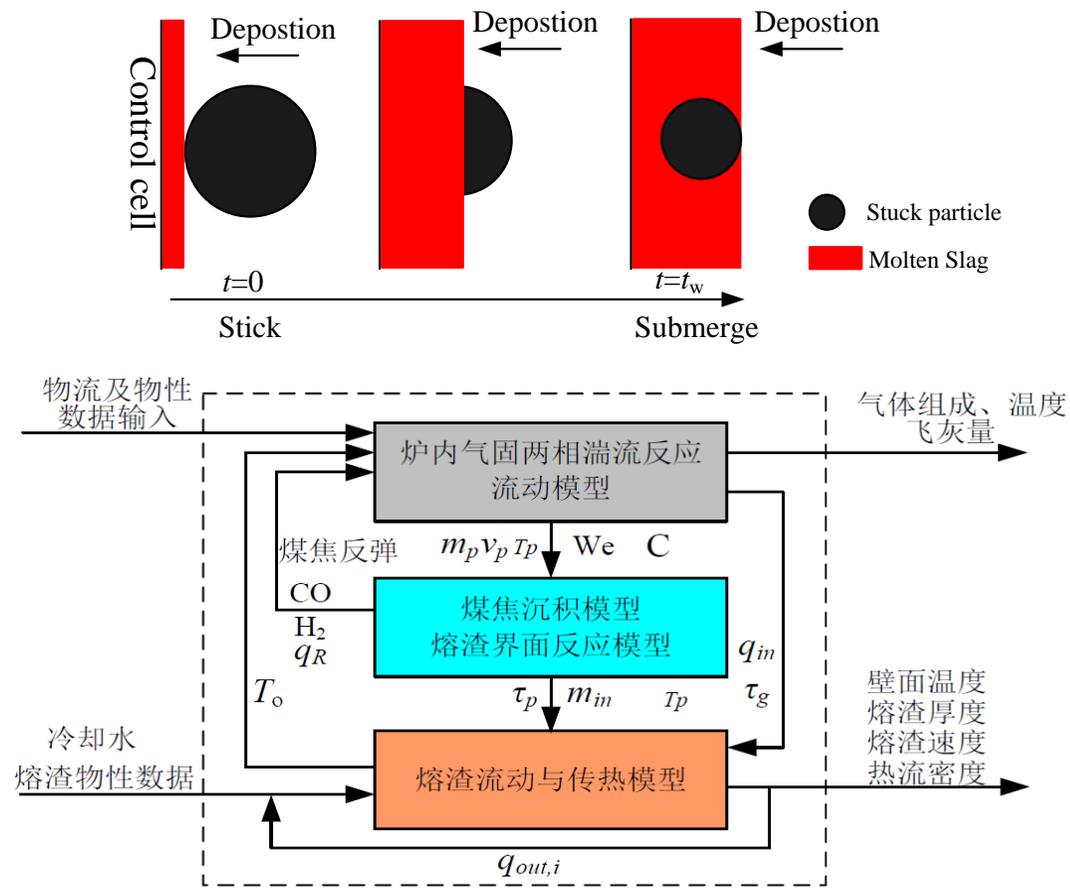
熔渣界面“热浴效应”显著促进煤焦气化反应

关键技术研发——高效多喷嘴粉煤气化炉

■ 建立熔渣界面反应模型，构建综合气化反应模型



揭示炉内第二反应区（约占20%煤焦）



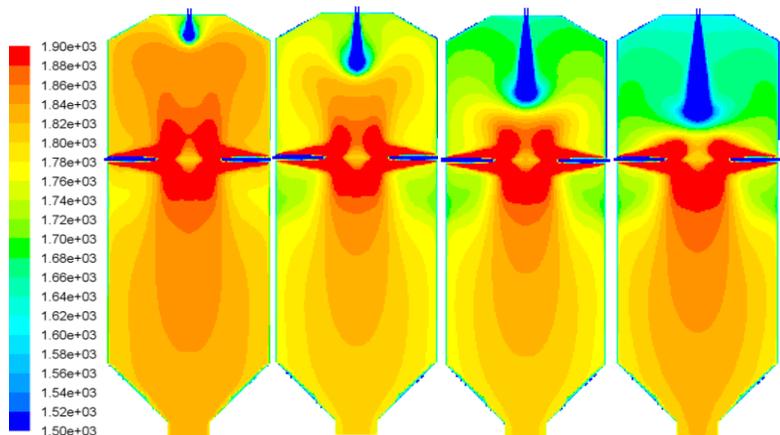
为气化炉优化设计与操作奠定关键基础

关键技术研发——高效多喷嘴粉煤气化炉

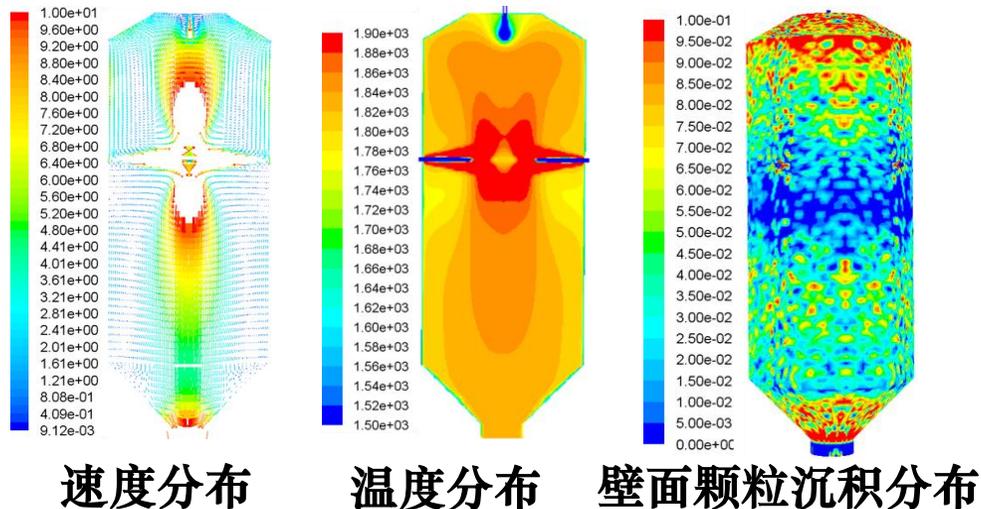
■ 成功开发适用高灰熔点、高灰分煤日投煤3000吨级多喷嘴对置粉煤气化炉

喷嘴与气化炉合理匹配：

- 侧部四个工艺喷嘴撞击流场
- 顶部开工喷嘴兼具拱顶调控
- 开工喷嘴协同处置有机废液



顶部废液加入比例对温度分布影响

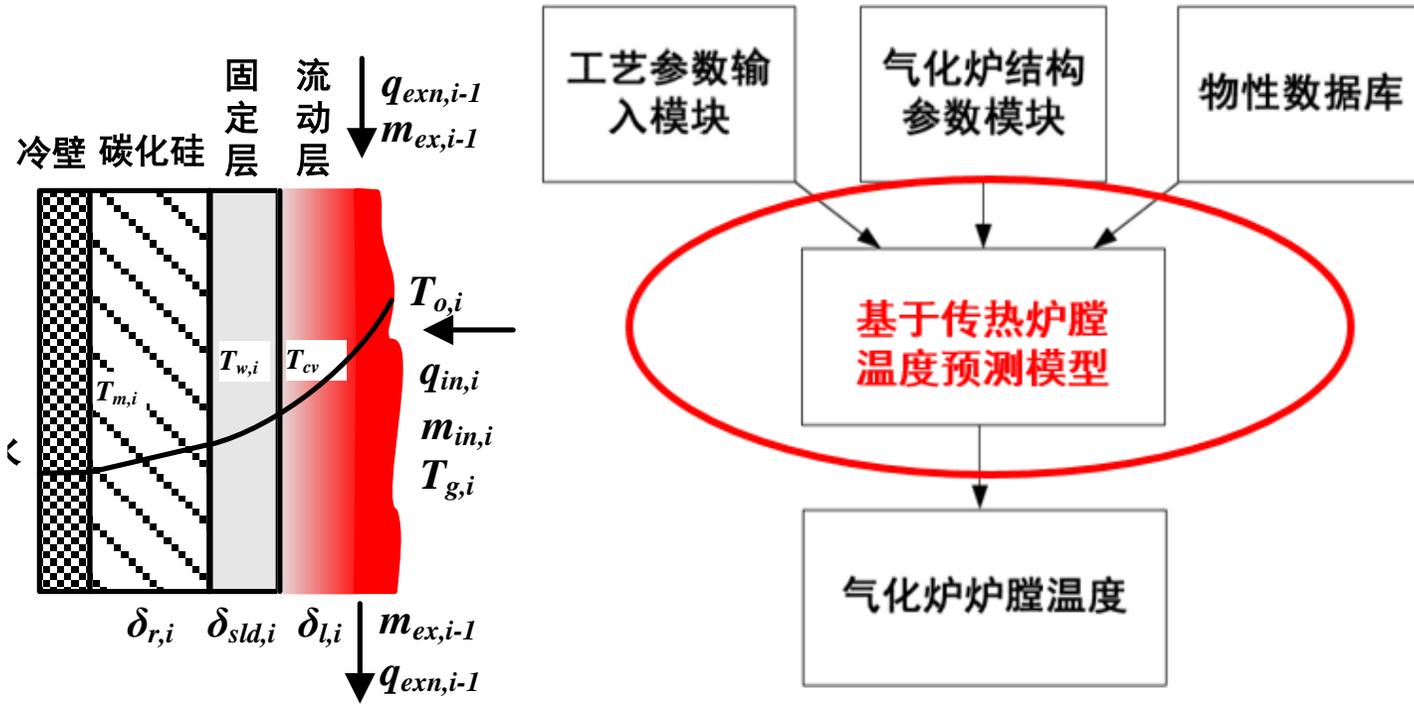


技术优势——

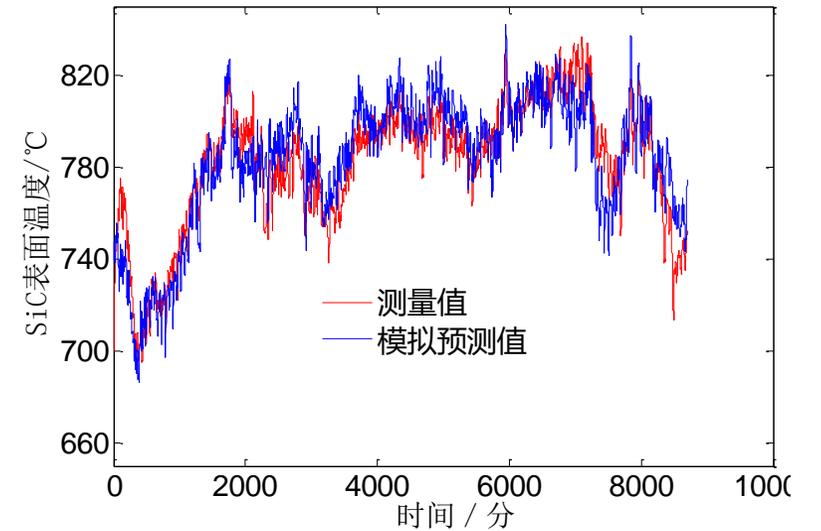
- 四喷嘴撞击充分混合，气化效率高
- 温度分布合理，渣层均匀，煤种适应性强
- 协同有机废弃物，环保成本大幅下降
- 超大规模应用，综合能效高、投资节省

关键技术研发——炉温在线监控软件

■ 提出基于熔渣流动传热的炉温预测方法



气化炉炉温预测逻辑框图



水冷壁碳化硅衬里表面温度

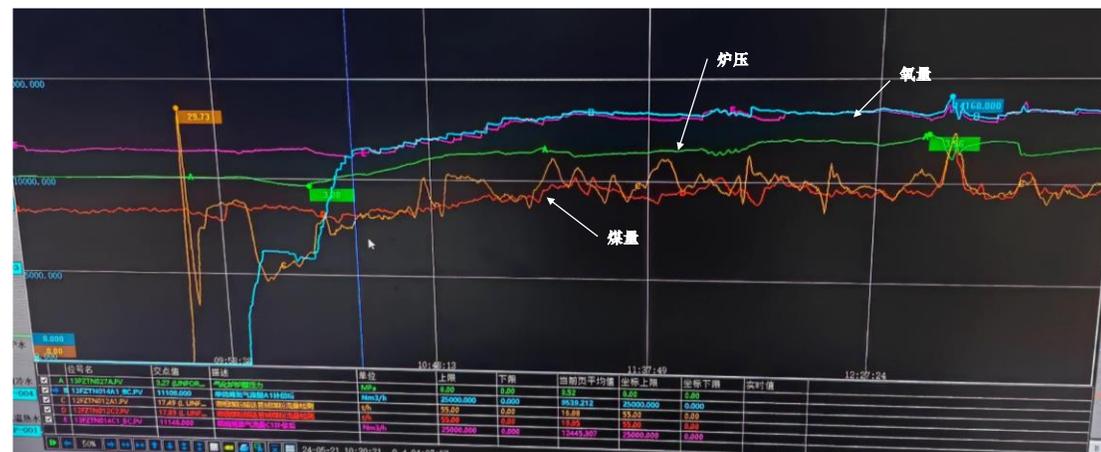
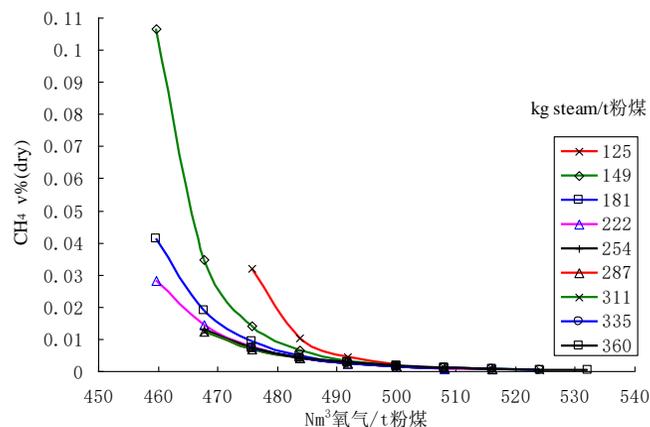
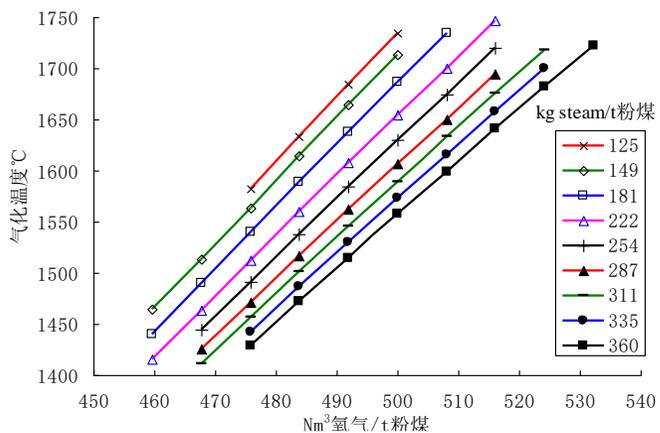
缺少气化炉炉膛温度

测量手段和方法

DCS传输数据：汽包蒸汽参数、煤粉流量参数；
在线模拟结果：炉膛温度、碳化硅表面温度、渣膜厚度等

关键技术研发——气化系统优化集成与操作运行技术

- 全系统各单元运行匹配良好，抗系统波动性能强
- 实现一对喷嘴顺控连投运行（高压连投），可靠性高
- 实现一对喷嘴长时间运行，负荷调控快速灵活



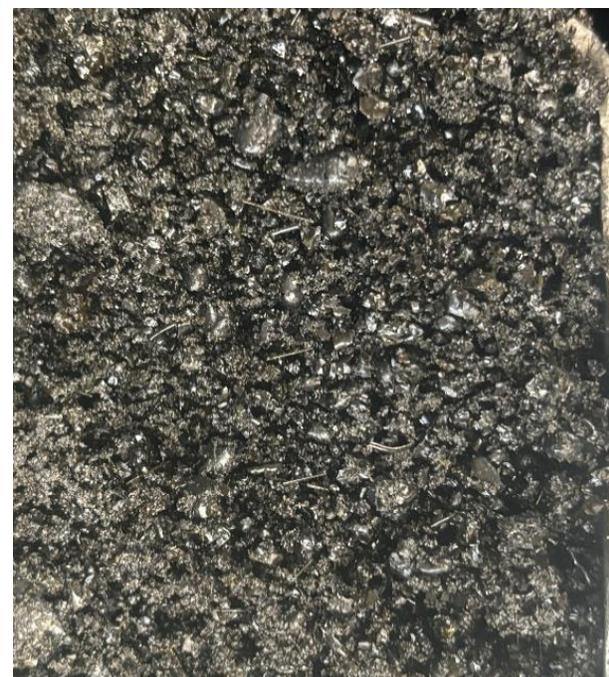


工业示范装置主要成果

成功实现30吨中试到3000吨级放大的世界首套多喷嘴粉煤气化工业示范运行，

工艺性能指标优良：

- **有效气成分90~92%**
- **粗渣可燃物平均~0.3%**
- **滤饼可燃物平均~20%**
- **碳转化率>99%**
- **灰渣比~4: 6**
- **副产高品质蒸汽(5.5MPa饱和蒸汽10~36t/h)**



玻璃态大颗粒粗渣

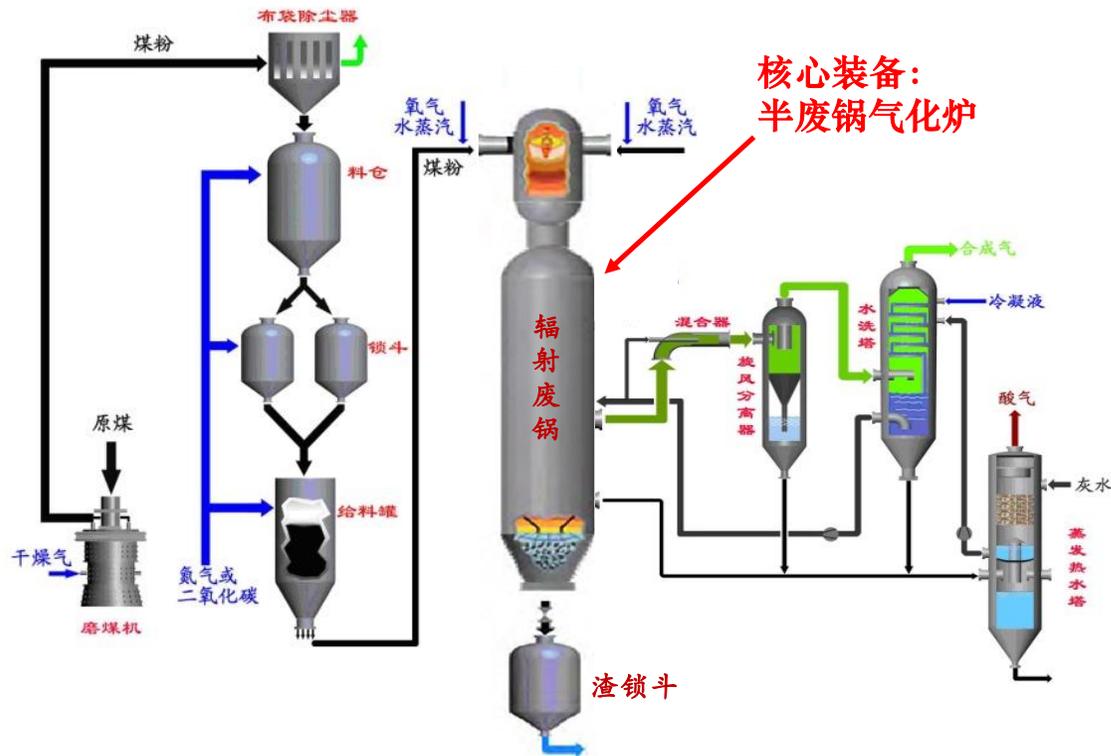


工业示范装置主要成果

- **未发生工艺原因导致停车（异物堵塞煤线和阀门故障），全系统无明显瓶颈，各单元运行匹配良好，体现了本装置工艺装备设计良好可靠性。**
- **突破传统供料方案，实现千吨级单线大规模粉煤密相输送，成功验证配套煤粉调节阀、煤粉流量计等关键仪表阀门。**
- **开车便捷，自动化程度高。**
- **可一对喷嘴长周期运行，操作灵活。**
- **自7月份首次投料以来，已连续稳定运行~100天。**

拟开展的后续工作

- 1、开展关键设备边界条件、工艺性能指标优化和原料消耗标定工作，实现气化装置安稳长满优运行，本年底完成考核验收。
- 2、开展不同煤种试烧工业试验，拓宽气化炉煤种适应性，完成新疆准东煤试烧。
- 3、将进一步贯彻新质生产力理念，未来继续全力紧密配合鲁化开展粉煤气化二期项目、新疆山能大型粉煤半废锅气化项目等，为集团技术创新提供关键技术支撑。



感谢各位专家，请多指导！

