

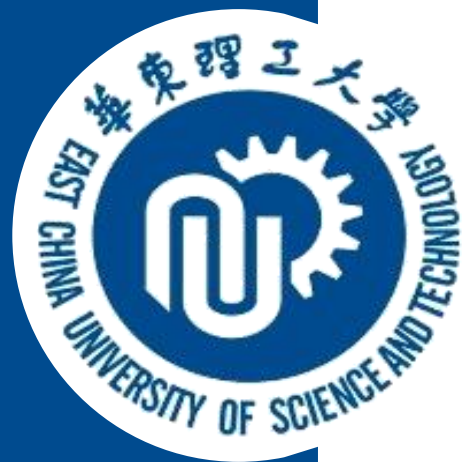
第八届多喷嘴对置式水煤浆气化技术推广及应用研讨会



煤气化技术在中国 ——回顾与展望

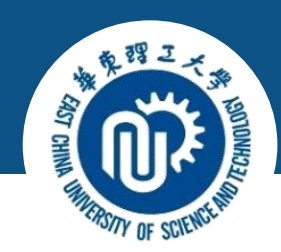
王辅臣

华东理工大学



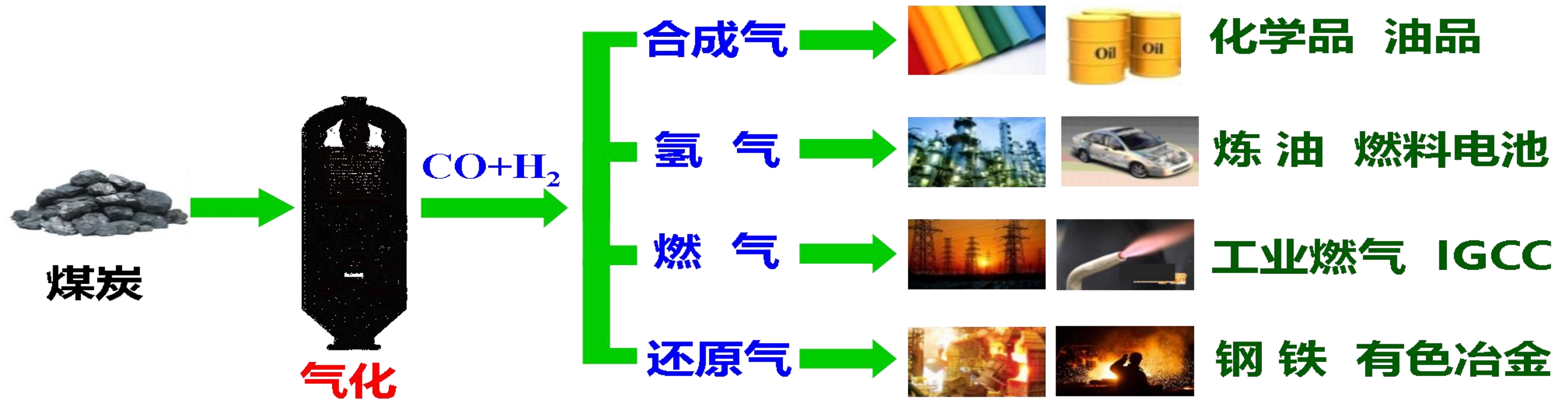
主要内容

- 1 煤气化的重要性
- 2 煤气化技术在中国的发展历程
- 3 大型煤气化技术开发的启示
- 4 煤气化技术展望



一、煤气化的重要性

以煤气化为龙头的煤基能源化工系统



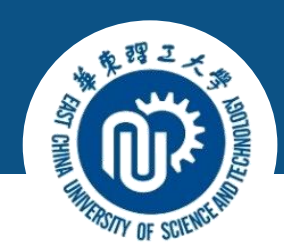
重大挑战

- 原料多样与劣质化
- 装备大型化
- 系统清洁高效化
- 产品网络化

学科前沿

- 苛刻条件多相反应流动耦合
- 复杂多相流动及传热
- 实时优化、控制与系统安全

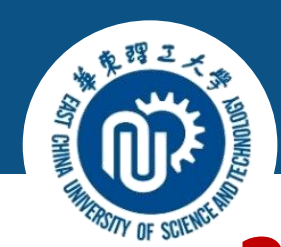
实现煤炭清洁高效转化，保障能源安全，促进生态文明



水煤浆气化与粉煤气化比较

技术各具特色、长期共存

比较内容	水煤浆	粉煤
原料干燥	无	干燥5-20%的水分
原料	煤+水	煤+蒸汽
煤种适应性	较低灰熔点煤	灰熔点范围较宽
投资比	1	~2
运行稳定性	好	较好
IGCC发电效率 (%)	~40	~41
IGCC发电+CO ₂ 捕集效率 (%)	32.6	30.6
吨甲醇消耗 (原料+动力, t干煤)	~2	~2
吨氨消耗 (原料+动力, t干煤)	~1.8	~1.9



水煤浆气化与粉煤气化比较

**2021年度合成氨、甲醇、煤化工行业重点耗能产品能效“领跑者”标杆企业
及指标公示（中国石油和化学工业联合会，2022-08-25）**

七、合成氨

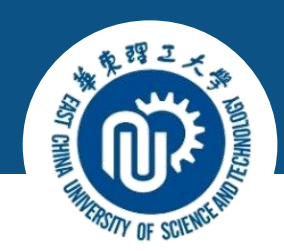
3.以烟煤（包括褐煤）为原料的合成氨生产企业

名次	企业名称	吨氨综合能耗/千克标准煤	吨氨电耗/千瓦时
1	河南心连心化学工业集团股份有限公司	1182.6	387
2	江苏华昌化工股份有限公司	1183.8	361
3	陕西陕化煤化工集团有限公司	1190.6	320

八、甲醇

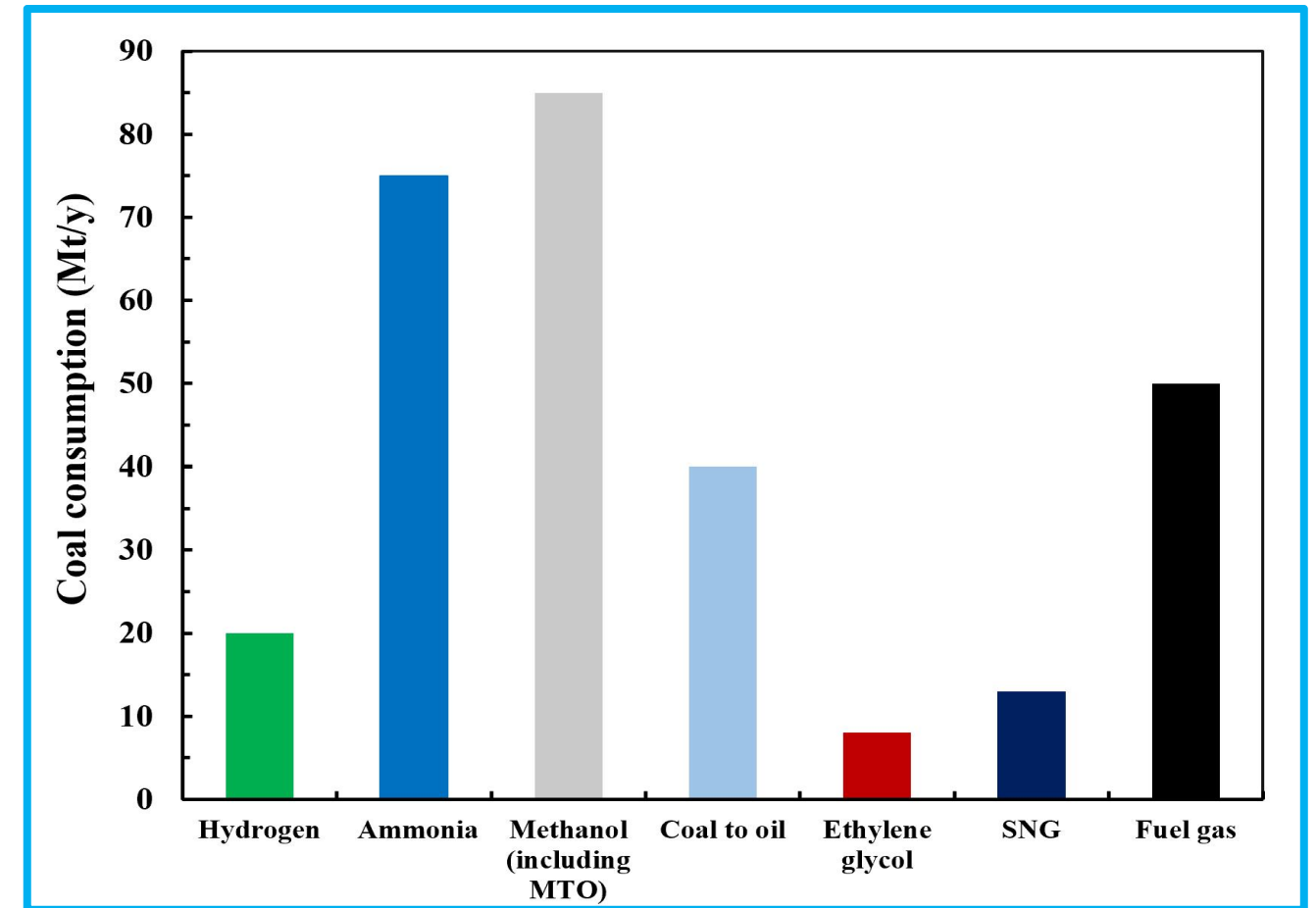
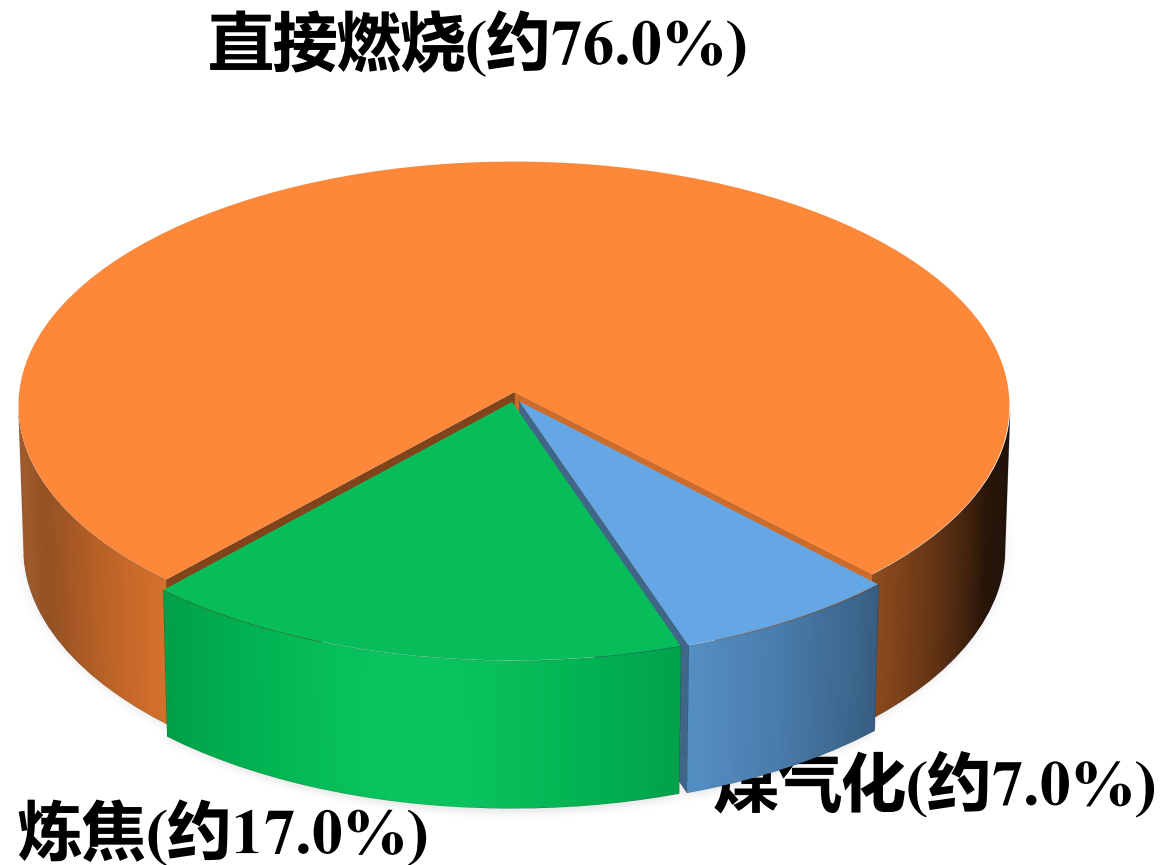
1.以烟煤（包括褐煤）为原料的甲醇生产企业

名次	企业名称	吨甲醇综合能耗/千克标准煤
1	恒力石化（大连）炼化有限公司	1294
2	安徽华谊化工有限公司	1319
3	安徽晋煤中能化工股份有限公司	1330

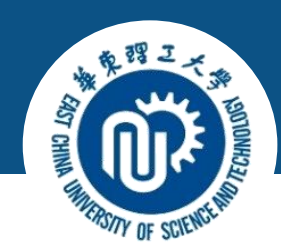


煤气化技术应用现状

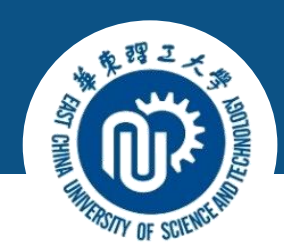
- **煤炭消费总量:** 2021年我国煤炭产量40.7吨, 增长4.7%, 进口3.23亿吨
- **气化应用领域:** 制氢、合成氨、甲醇(煤制烯烃)、乙二醇、SNG、燃气



煤作为原料具有不可替代性(生物质资源尚不足以满足对化工产品的需求)

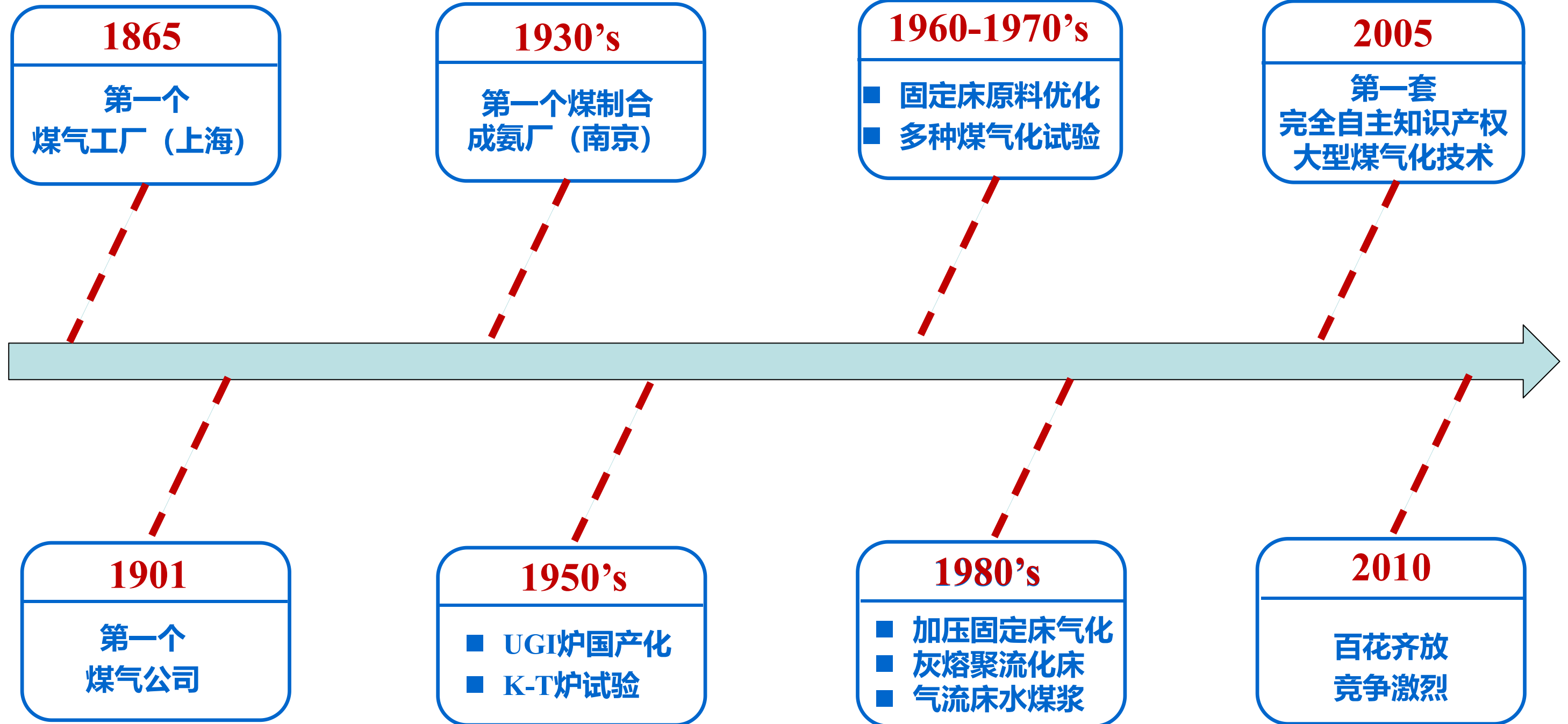


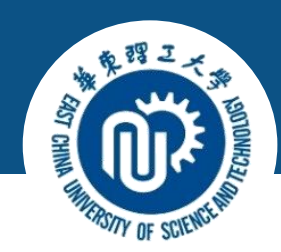
二、煤气化技术在中国的发展历程



中国煤气化技术发展历史

1865年中国第一个生产煤气的工厂在上海建成，产品用于照明





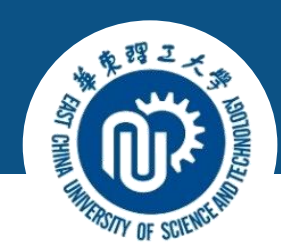
1949年前煤气化应用

首套用于城市煤气的煤气化装置

- **1861年**英国人亚历克斯·肯尼迪·史密斯 (Alex Kennedy Smith) 发起倡议
- **1862年**，组成了一个6人委员会，负责筹建
- **1865年11月**开始正式向用户供应煤气，这个工厂起初被称为“自来火房”，**1901年**这个工厂更名为上海煤气公司。
- **1932年**开始建杨树浦厂
- **1934年**建成投产



采用了当时先进的连续直立式伍特型焦化生产工艺，同时建有 $\Phi 1760\text{mm}$ 的增热水煤气炉2座，当时日产煤气11.3万立方米



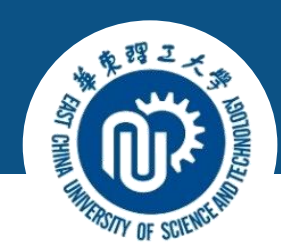
1949年前煤气化应用

首套用于化工的煤气的煤气化装置

- 1934年在南京长江北岸的六合县卸甲镇选址建设永利化学工业公司硫酸铔（铵）厂
- 这也是我国民族资本全资建设的第一家合成氨厂，同时建有硝酸、硫酸和硫酸铵生产装置
- 煤气化装置采用当时比较先进的UGI 固定床气化技术



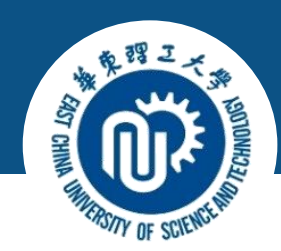
1936年12月建成投产，年产硫酸铵5万吨（折合成氨约1.4万吨）



1949-1978年煤气化技术研发与应用

引进（应用）的主要气化技术

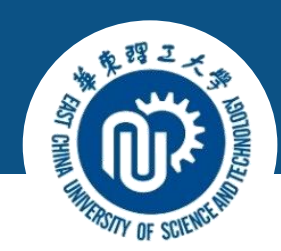
- **固定床：**一类以解放前永利铔厂引进的UGI炉为主，气化炉直径以 $\Phi 2740\text{mm}$ ；一类以太原重型机械厂从前苏联引进的煤气发生炉为主，直径为 $\Phi 3600\text{mm}$ ，两者在原理上是一样的，不同之处在于炉篦的结构。
- **沸腾床：**1950年代早期，从苏联引进常压沸腾床气化炉（类似于德国的Winkler炉），在兰州石化化肥厂和吉林石化化肥厂建立了4台气化炉，配套生产合成氨。国内改进，采用氧气和蒸汽连续吹风进料，制取不含氮的合成气，在此基础上发展出恩德炉。



1949-1978年煤气化技术研发与应用

基于工程应用的消化、吸收与技术创新

- 焦炭进料改无烟煤进料，拓展固定床的原料范围，降低原料成本；
- 空气-蒸汽间歇进料改为富氧-蒸汽连续气化，显著提高系统效率；
- 究无烟煤粉料的成型技术；
- 开发空气连续气化工艺；
- 适应烟煤的双炉气化工艺，降低甲烷、焦油；
- 变压气化、变径气化和双炉对吹气化等技术探索。



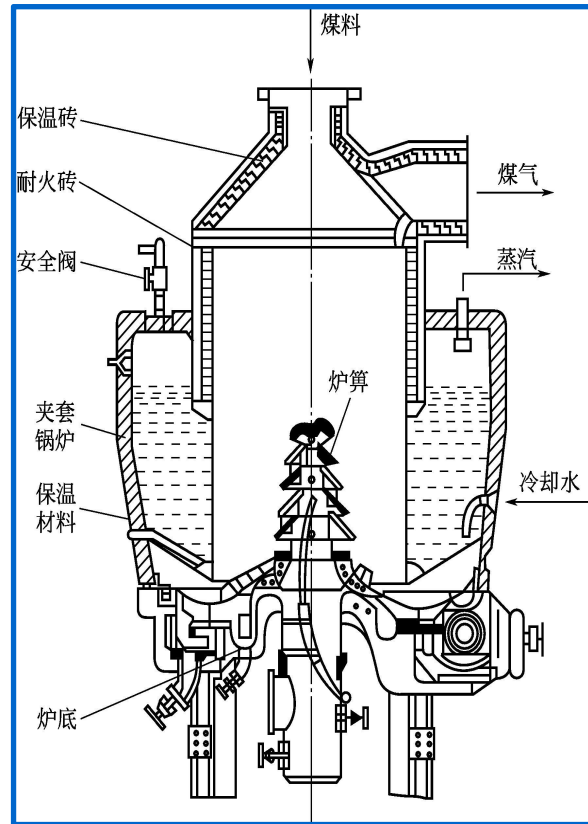
1949-1978年煤气化技术研发与应用

研究与开发工作

技术路线	主要研究单位	主要内容
固定床气化技术	北京煤化所、上海化工研究院、东北煤气化设计研究所、大连化物所、化工部二、四设计院等	<ul style="list-style-type: none"> ■ 1963年在沈阳建成了$\Phi 1120\text{mm}$褐煤加压中试装置 ■ 1966年在上海建成了$\Phi 520\text{mm}$碎煤常压气化中试装置 ■ 1974年云南解化建成$\Phi 2600\text{mm}$加压气化工业装置
K-T炉常压粉煤气流床气化技术	上海化工研究院、化工部第二设计院等	<ul style="list-style-type: none"> ■ 1959年建成中试装置 (K-T炉)，体积0.6m^3、投煤量160kg/h。 ■ 1960年开始，先后进行4种试烧实验 ■ 1966年12月放大气化装置施工图设计，炉膛内径$\Phi 2400\text{mm}$，气化室总体积11m^3 ■ 1969年开始在在新疆芦草沟建设首套工业示范装置，1971年至1974年进行了试生产
水煤浆气化探索	衢州化肥厂等	<ul style="list-style-type: none"> ■ 1969年在衢州化工厂建成了第一套水煤浆气化中试装置，投煤量约为17t/d。1971年因工程问题停产
常压旋流式粉煤气化炉	广西化工研究所、广西南宁化工厂等	<ul style="list-style-type: none"> ■ 1965年建成了第一台直径500毫米旋流式直筒型粉煤气化中试装置，煤处理能力为120kg/h (干基)的中试装置， ■ 1969年通过鉴定
空气-粉煤熔渣池气化	北京煤化所、北京锅炉厂等	<ul style="list-style-type: none"> ■ 1965年建成直径为$\Phi 1140\text{mm}$、底部渣池深0.6m的中试装置，试烧了5~6个煤种， ■ 1970~1972年建成直径为$\Phi 1600\text{mm}$试验装置，在工艺和结构上对气化炉进行了改进 ■ 1967年进行双室粉煤-空气熔渣池气化研究 ■ 1976年在浙江安吉建成内径为$\Phi 2000\text{mm}$的工业示范装置，半水煤气产量为$1200\sim 1300\text{Nm}^3/\text{h}$
流化床气化	北京煤化所等	<ul style="list-style-type: none"> ■ 1956~1969年，建立一台$\phi 200\text{mm}$的流化床气化试验炉，针对4种煤样做了试验

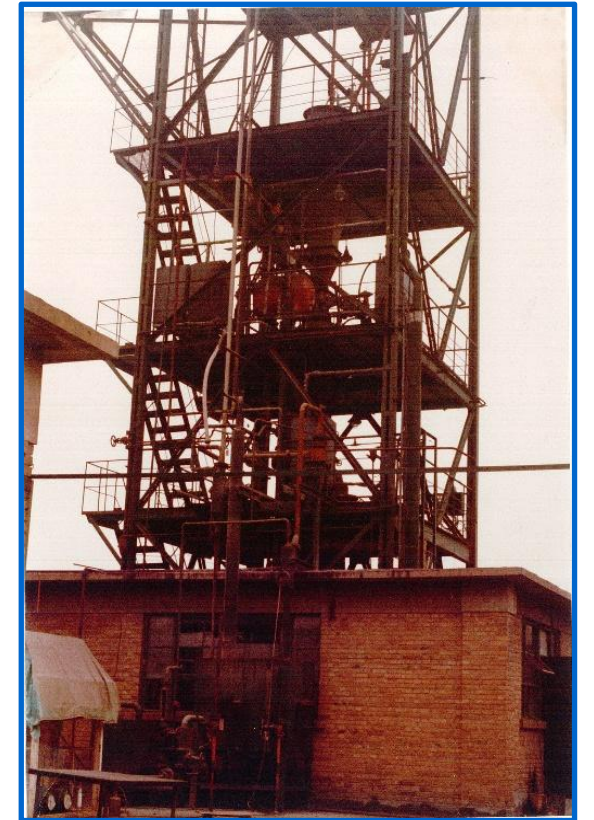
常压固定床气化技术

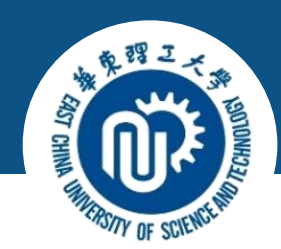
- 1979年，山东冶金机械厂结合国内UGI炉的运行经验，制造 $\Phi 2000$ mm固定床炉
- 1980年后，30台 $\Phi 2000$ mm的固定床炉应用于化工、陶瓷、玻璃、耐火材料等行业
- 1984年通过了技术鉴定
- 部分研究单位开展常压下煤在固定床内的气化反应特性



加压固定床气化技术中试

- 1978年，煤科院北京煤化所固定床加压气化技术研究
- 1983年建成 $\Phi 650$ 中试装置，1984年5月投入运转，装置运行压力2.0 ~ 2.5 MPa，投煤量200 ~ 500 kg/h，
- 1985年与美国Foster Wheeler公司合作，建成 $\Phi 100$ 加压固定床试验装置，压力5.0 MPa
- 完成21个典型煤种的气化特性试验
- 1986年，东北煤气化设计研究所建成 $\Phi 1000$ 试验装置，压力2.8 MPa，产气量1000 ~ 1300 Nm³/h，完成沈北褐煤和鸡西弱粘结性煤气化试验

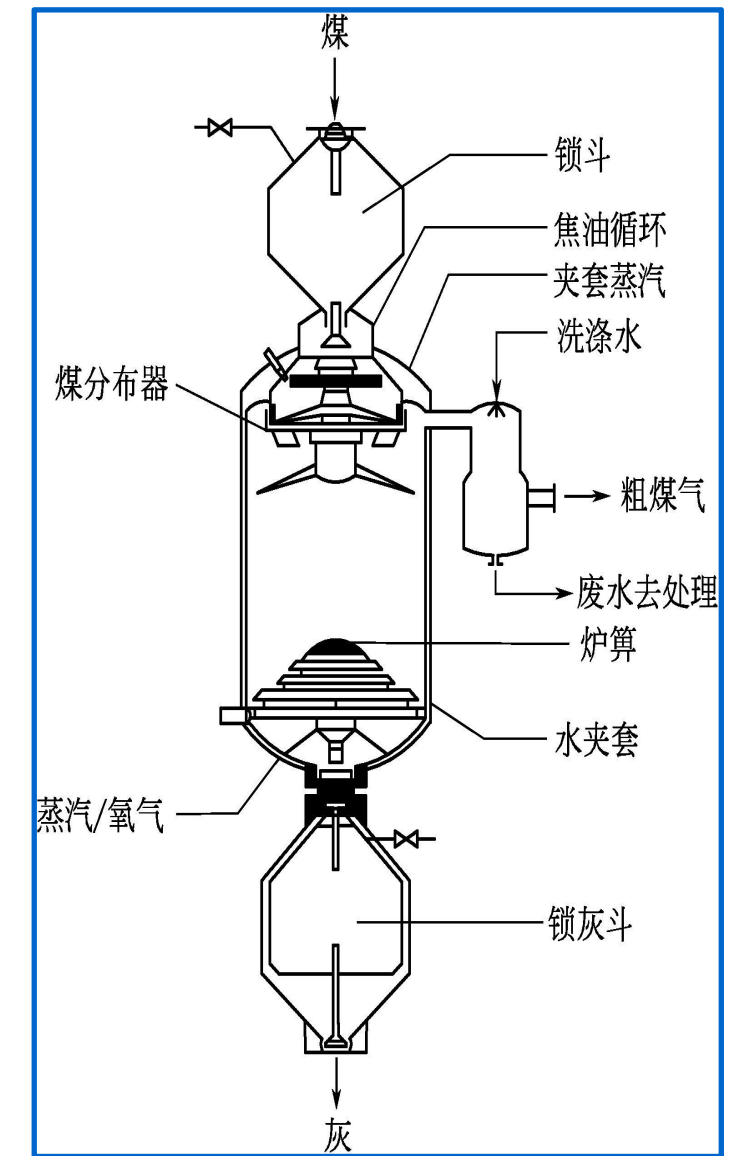


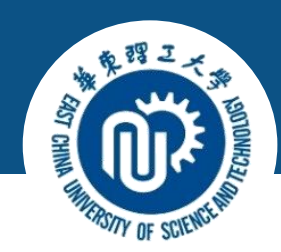


1978-2005年的主要研究工作

加压固定床气化技术工业试验

- **1980年**化工部第二设计院（现赛鼎工程公司）与太原重型机器厂合作，开展 $\Phi 2800\text{mm}$ 的固定床加压气化炉研制，年底完成气化炉施工图设计，通过国家科委组织的评议
- **1982年12月**气化炉制造完毕，1985年9月底完成配套装置的建设及气化炉安装
- **1986年7月**和8月先后进行了2次热态试验，因炉篦不能运转而停车拆炉改造。
- **1987年10月**改造后的气化炉重新安装就位，开始单体试车，1987年11月至1988年11月开展了三次热态试车，累计运行32天，操作压力 $2.2 \sim 2.4\text{MPa}$ ，产气量约 $7000\text{Nm}^3/\text{h}$
- 因依托的工厂公用工程无法满足气化炉长期运行而停止试验

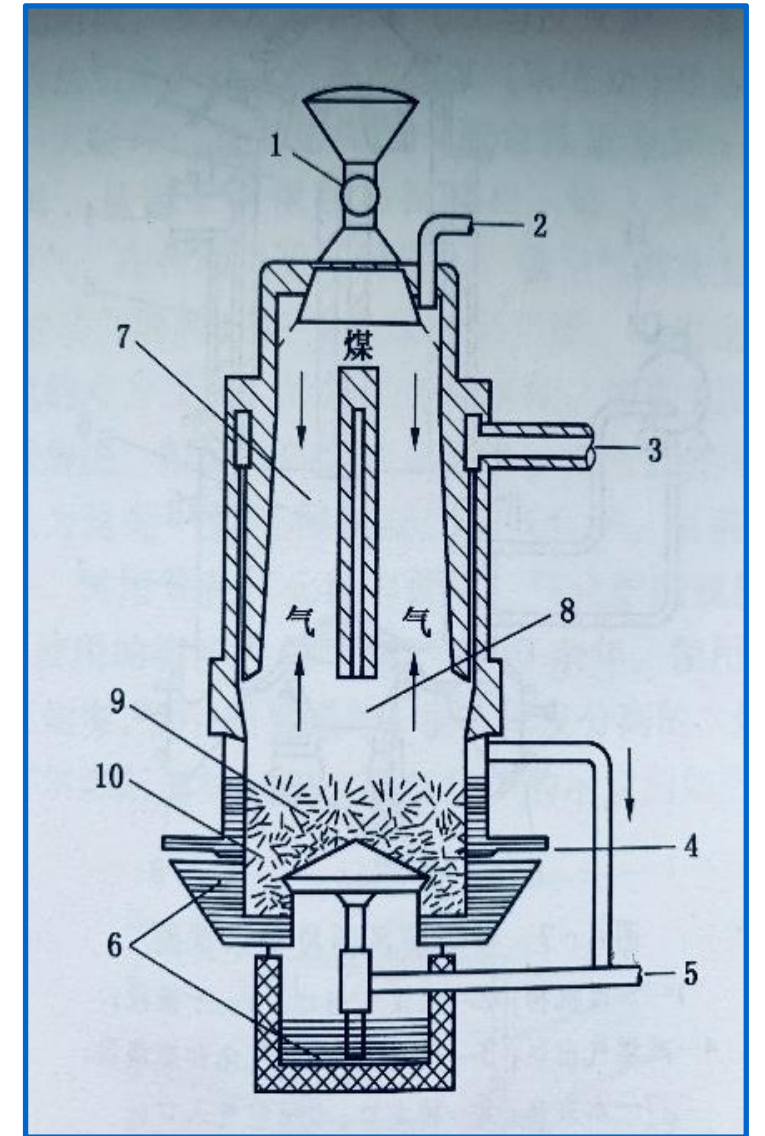


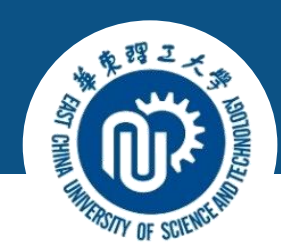


1978-2005年的主要研究工作

两段式固定床气化试验

- **上世纪80年代**，从波兰等国先后引进了两段式固定床气化技术，用于发展城市煤气。同时布置了相关的研究工作，主要由煤炭科学研究院北京煤化学研究所承担
- **1985年**煤炭部下达了“ $\Phi 1.6\text{m}$ 水煤气两段炉及其制气工艺的开发研制”科研任务，**1989年5月**在新汶矿务局建成投运，同年10月通过煤炭部组织的技术鉴定
- **“八五”期间**煤炭部将该技术作为重点推广的技术，同时开展 $\Phi 1.98\text{m}$ 和 $\Phi 2.26\text{m}$ 水煤气两段炉的研发工作
- **1980年开始**，中科院山西煤化所开展了两段固定床加压煤气化的小试和模试研究，但两段固定床加压气化技术在国内未得到工业化应用



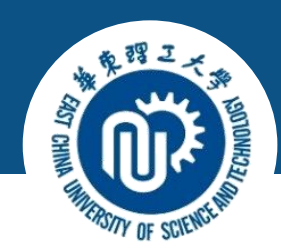


1978-2005年的主要研究工作

灰熔聚流化床气化技术

- **1980年**，中科院山西煤化所开始研究灰熔聚气化技术
- **1985年底**建成煤处理量1t/d的试验装置
- **1986年**，煤处理量24t/d的中试装置列入国家重点科技攻关项目，1991年8月通过中国科学院组织的专家验收和鉴定
- **1991年**列入国家“八五”科技攻关项目，1995年完成100吨煤/天示范装置放大与工程设计
- **示范装置地点**：陕西成化股份有限公司，气化炉投煤量100t/h，气化压力0.03MPa，粗煤气产量9000Nm³/h，配套生产合成氨成氨2万吨

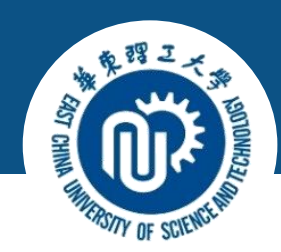




1978-2005年的主要研究工作

加压循环流化床气化技术

- **1986年开始**，煤科院北京煤化学研究所开展加压循环流化床粉煤气化研究，建成 $\Phi 100\text{mm}$ (扩大段 $\Phi 150\text{ mm}$)试验装置，设计压力3.0MPa，完成了5个煤种的试验
- **1991年**，列入国家重点科技攻关项目，煤科院北京煤化学研究所联合上海发电设备成套研究所开发加压循环流化床气化技术
- **1992年建成大型冷模装置**，**1994年建成 $\Phi 300\text{mm}$ 的中试装置**，设计压力2.5MPa，先后对5种煤炭或半焦进行了气化试验
- **1995年通过了机械工业部组织的专家鉴定**

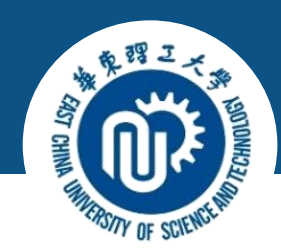


1978-2005年的主要研究工作

单喷嘴水煤浆（多元料浆）气化技术

- **1979-1984年**化工部化肥工业研究所开展了水煤浆气化模型试验，设计投煤量**4.8t/d**，气化压力为**2.0MPa**，连续操作**26小时**
- **1985年**建成中试装置，气化炉设计投煤量**36t/d**，操作压力**2.5 ~ 3.3MPa**，中试装置采用用辐射废热锅炉和对流废热锅炉串联回收合成气显热，副产**4.0 MPa**饱和蒸汽
- **1986年**在冷壁炉上完成了第一个煤种（陕西铜川煤）的试验，最长连续操作**82小时**
- **1990年7月**通过了化工部组织的专家鉴定
- 该装置后来被美国德士古开发公司（TDC）授权为煤种试验评价装置



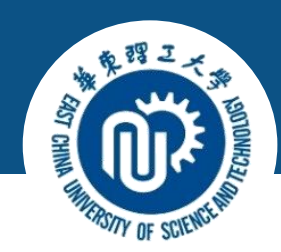


1978-2005年的主要研究工作

多喷嘴对置式水煤浆气化技术

- **1988年**华东理工大学在 $\Phi 300\text{mm}$ 冷模装置上首次对气流床气化炉内的流场特征和停留时间分布进行了研究
- **1991年**建成国内首套气流床气化炉大型冷模装置 ($\Phi 1000\text{mm}$, 高度可变), 提出气流床气化过程的层次机理模型
- **1995年**, 华东理工大学与鲁南化肥厂合作, 国内首先开发成功水煤浆气化喷嘴, **1996年5月**通过了化工部组织的专家鉴定,
- **1996年**, 列入国家“九五”重点科技项目计划, **1997年**建成多喷嘴对置式水煤浆气化炉大型冷模装置
- **2000年初**, 建成22t/d中试装置, 进行长周期运行, 完成了72小时连续运行考核, **2000年10月**通过中国石油和化工协会组织的鉴定



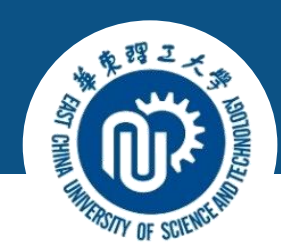


1978-2005年的主要研究工作

多喷嘴对置式粉煤气化技术

- 1998年建成粉煤输送实验装置，开始粉煤输送研究
- 2001年粉煤气化中试装置建设列入国家“十五”科技攻关项目
- 2004年7月，多喷嘴粉煤加压气化中试装置（热壁炉）在兖矿东鲁南化学工业（集团）公司建成，10月投入运行，气化压力1.0~3.0MPa，装置操作负荷：15~45吨煤/天
- 2005年1月通过科技部组织的验收
- 2005年6月，开展CO₂粉煤输送中试试验
- 2008年，完成水冷壁气化炉中试试验。



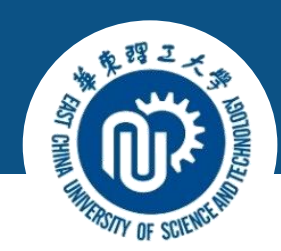


1978-2005年的主要研究工作

两段式粉煤气化技术 (华能)

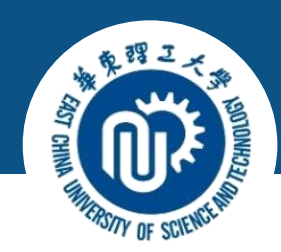
- 1997年建成0.7t/d小试装置
- 2003年，开始在陕西渭化建设投煤量36t/d中试装置
- 2005年，投煤量36t/d中试装置建成
- 2006年，完成了168小试运行考核试验



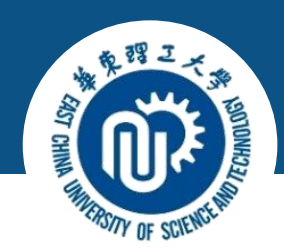


国内主要煤气化技术

类型	气化技术	研发单位	首套投运
气流床	多喷嘴对置水煤浆气化技术	华理、兖矿	2005年
	多喷嘴粉煤加压气化技术	华理、兖矿	2004年中试
	SE粉煤加压气化技术	华理、中石化	2014年
	多元料浆气化技术	西北化工研究院	2005年
	两段式粉煤加压气化技术	华能	2012年
	清华（晋华）炉	清华、阳煤（丰喜）	2007年
	航天炉	航天煤化工	2008年
	SE水煤浆气化技术	华理、中石化	2019年
流化床	灰熔聚流化床气化技术	中科院山西煤化所	2001年
	循环流化床气化技术	中科院工程热物理所	2011年
固定床	赛鼎炉	赛鼎工程有限公司	2012年

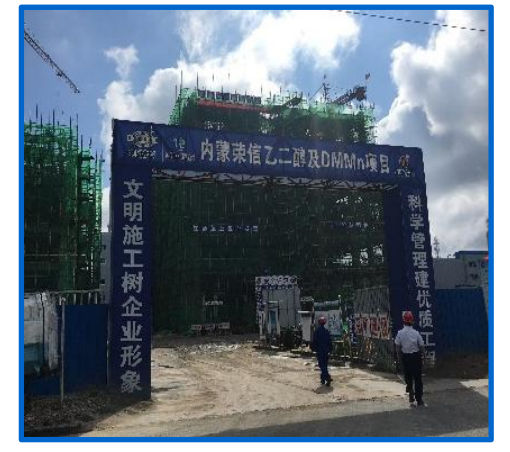


三、大型煤气化技术开发的启示



多喷嘴对置式水煤浆气化技术开发历程

- 1986-2005：消化吸收，解决从无到有
- 2006- 至今：掌握原理，实现从弱到强



技术发明
及中试
22TPD

1996~2000



工业示范
1150TPD
750TPD

2001~2005



大型化
2000TPD

2006~2010



大型化
3000TPD

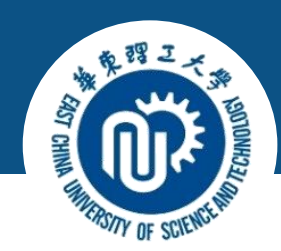
2011~2015



超大型化
4000TPD
废锅-激冷

2016~2020

三十多年持续研发，实现从跟跑、并跑到领跑的跨越



坚持问题导向

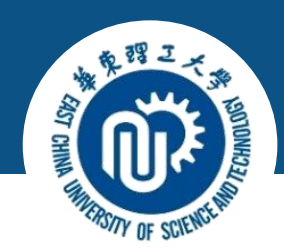
工程问题

- 喷嘴寿命短
- 耐火砖寿命短
- 气化炉结渣、堵渣
- 合成气洗涤系统积灰
- 大型化后效率降低

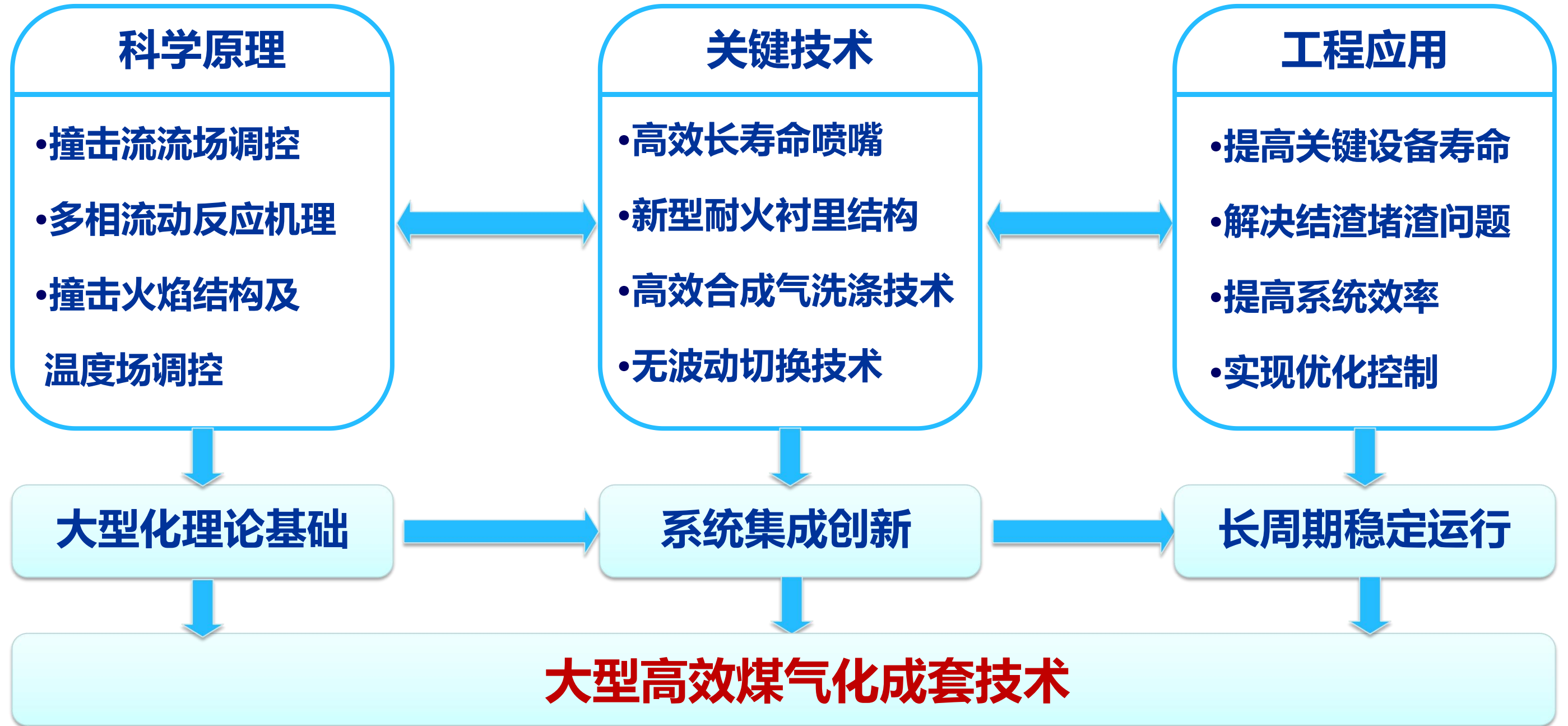
技术难题

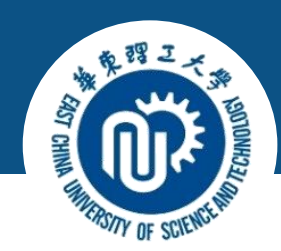
- 极端条件（1300~1400°C、4.0~8.7MPa）、有限空间内的湍流多相流动与过程强化
- 高温、高压下复杂反应产物分离
- 高温、高压、还原性气氛下熔渣形成机理、流变特性与传热机理

目标：大型、高效、长周期稳定运行



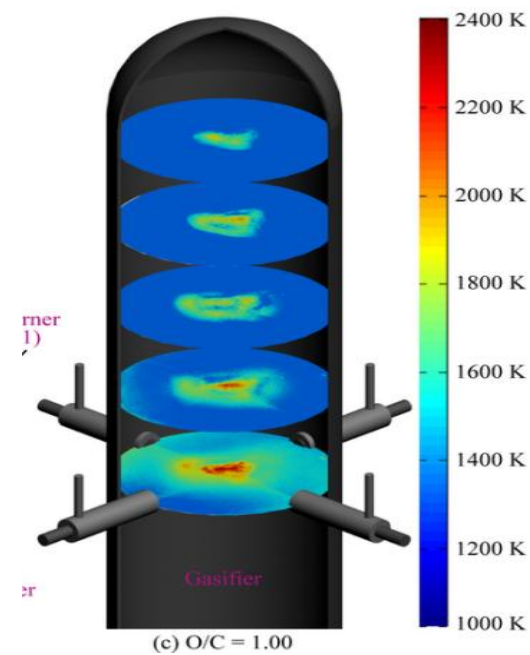
坚持问题导向



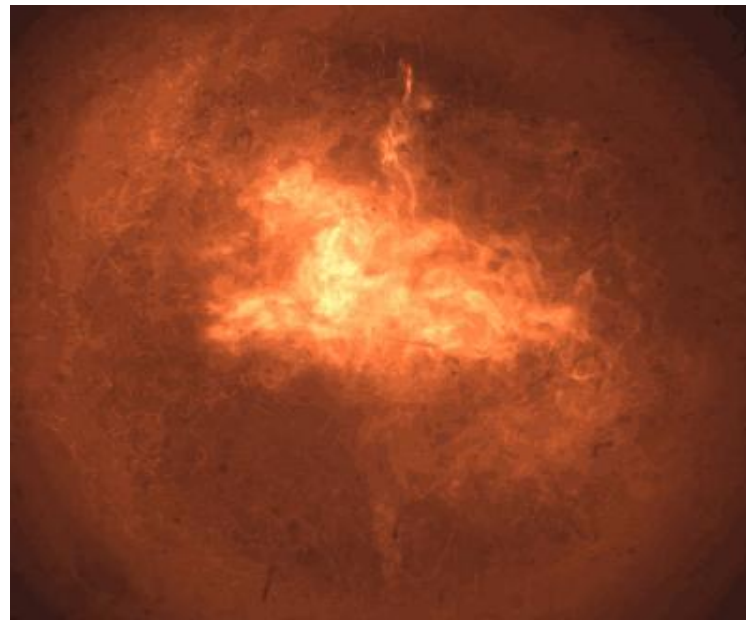


确立了基于速度场、温度场等多目标耦合的气化炉放大准则，建成了国际最大的水煤浆气化炉。

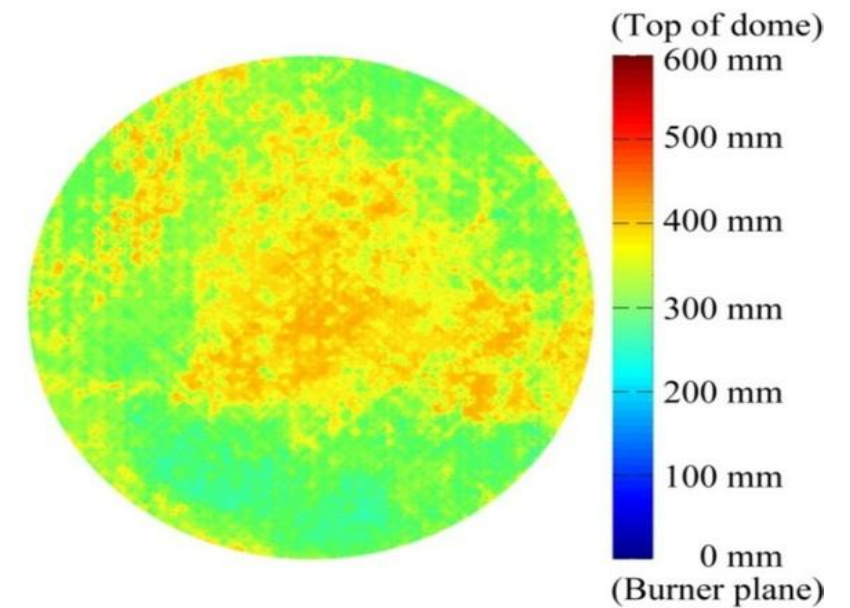
1. 在国际上首次揭示了水煤浆气化炉内三维温度场及火焰结构，形成了火焰结构调控技术。



水煤浆气化炉三维温度场



撞击火焰结构



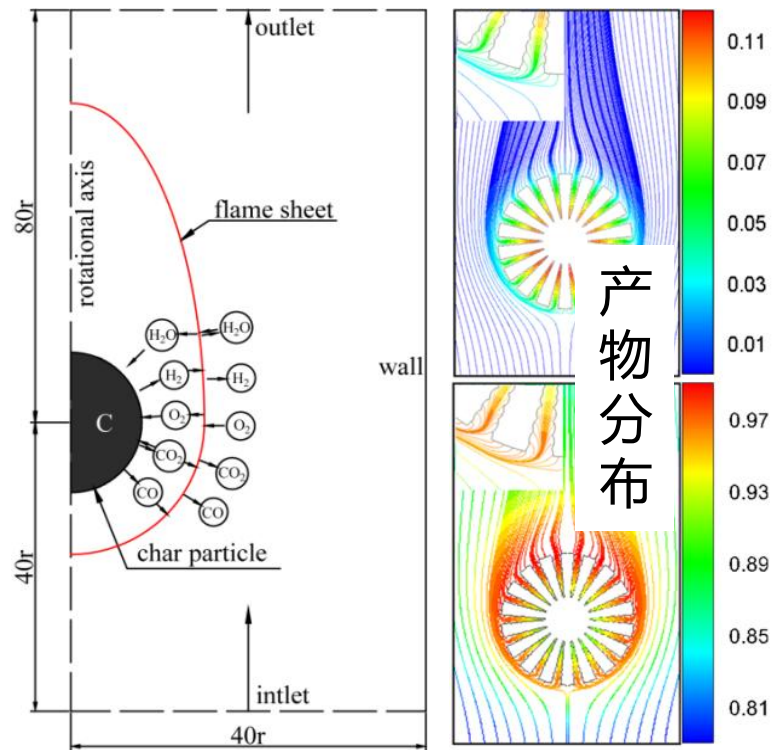
火焰高度变化规律

■ Ind. Eng.Chem. Res, 2012, 51: 7828-7837

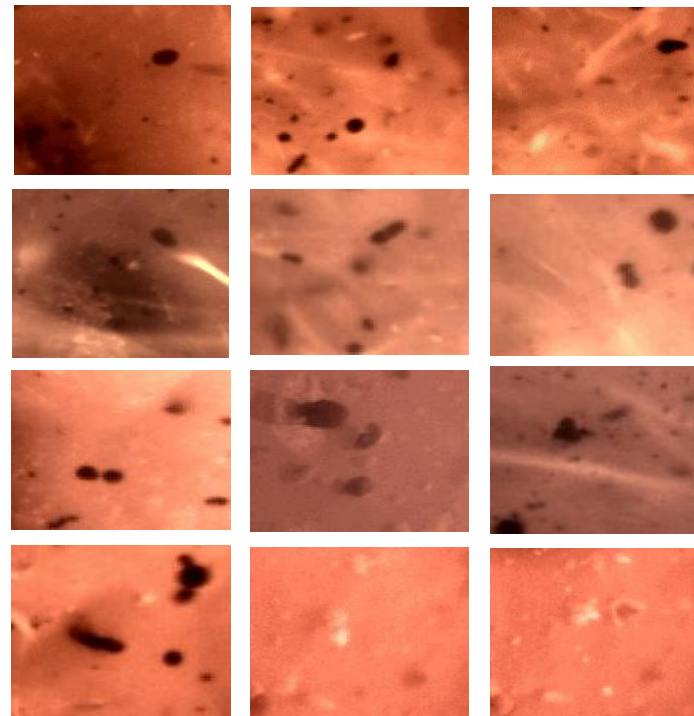
■ Chem. Eng. Sci., 2014, 117: 93-106

奠定了气化炉放大的燃烧学基础

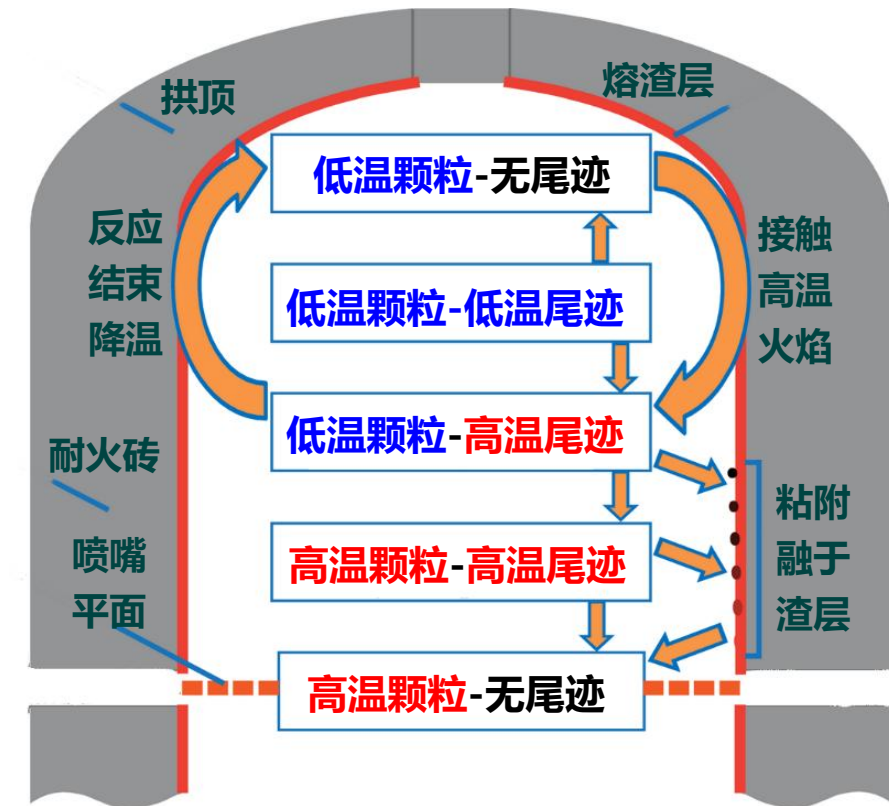
2. 揭示气化炉内颗粒群动态演化及壁面沉积机理



单颗粒反应特性



颗粒群动态行为

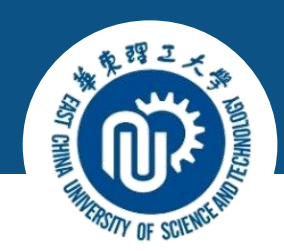


炉内颗粒反应演化规律

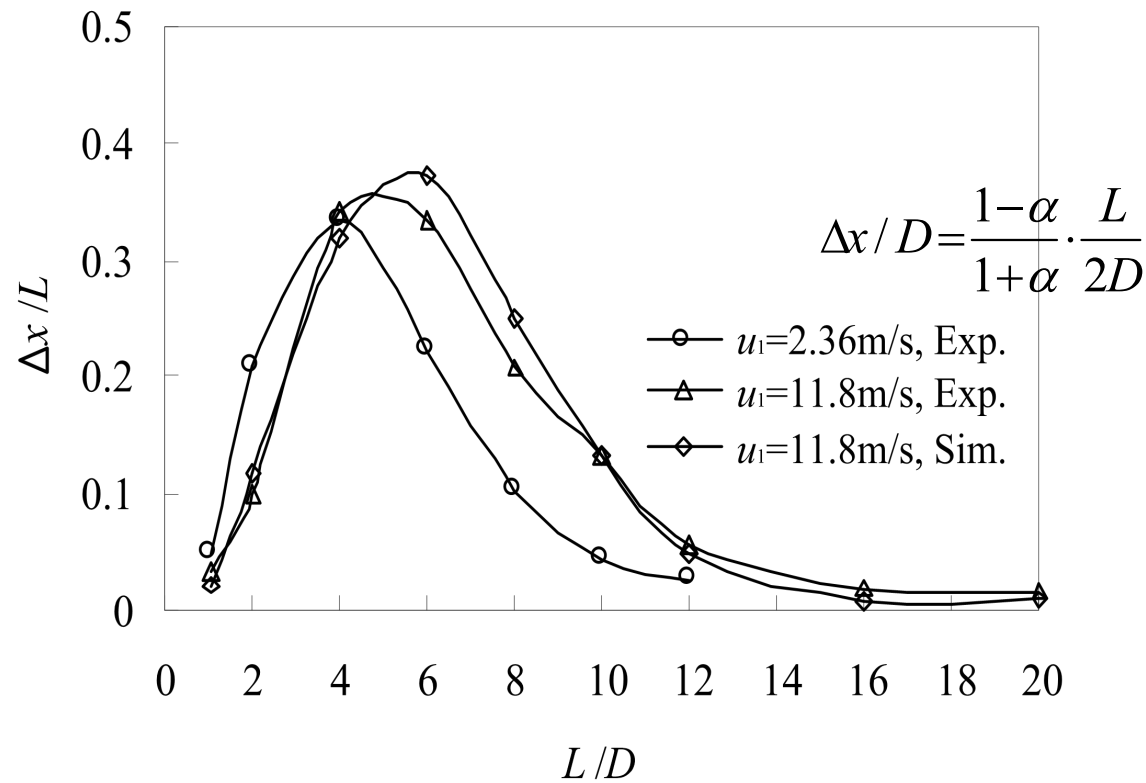
- *Chem. Eng. Sci.*, 2017, 162
- *Chem. Eng. Sci.*, 2015, 138

- *Chem. Eng. Sci.*, 2014, 117
- *Appl. Energ.*, 2017, 206

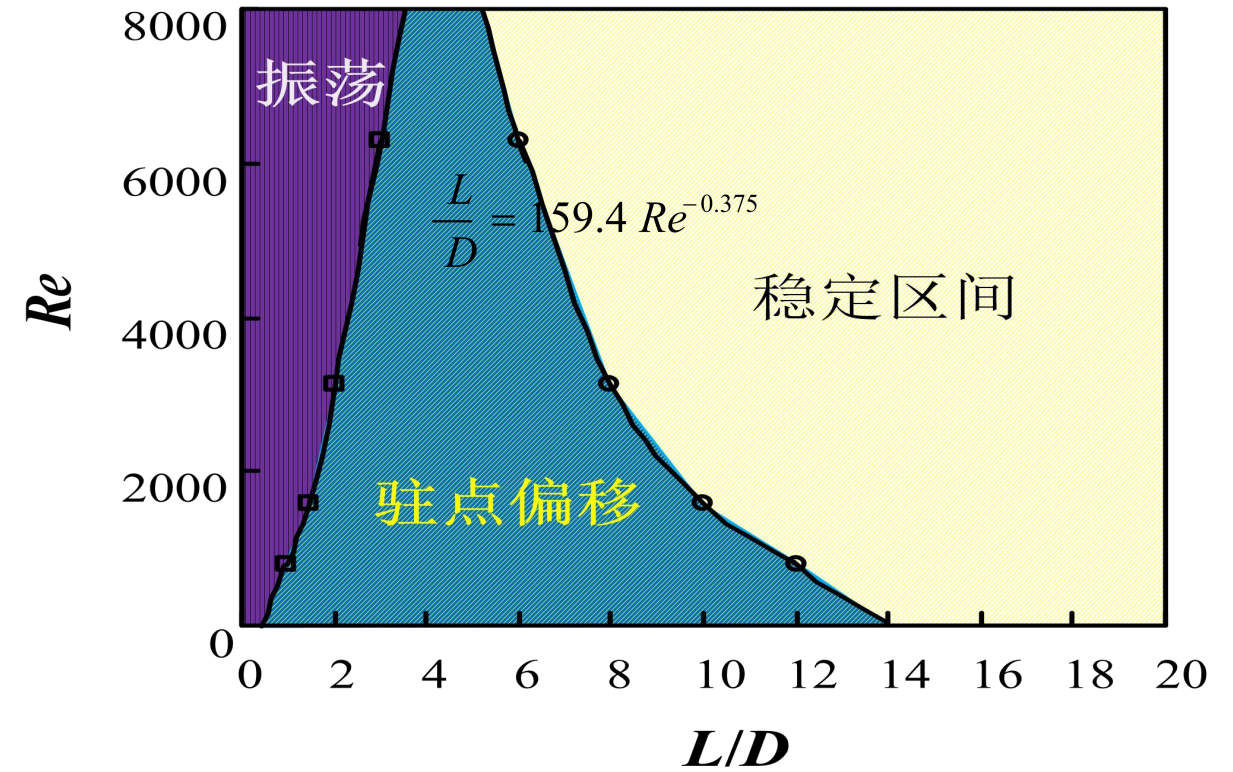
基于颗粒壁面沉积动态行为，提出了耐火衬里结构优化方法



3. 揭示了气化炉的流场特征和撞击流驻点偏移规律，实现了撞击流流场调控和过程强化。



不同喷嘴间距下驻点偏移规律



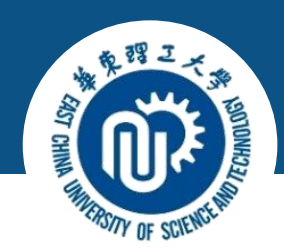
撞击流特性及稳定性

■ *AICHE J*, 2010, 56: 2513-2522

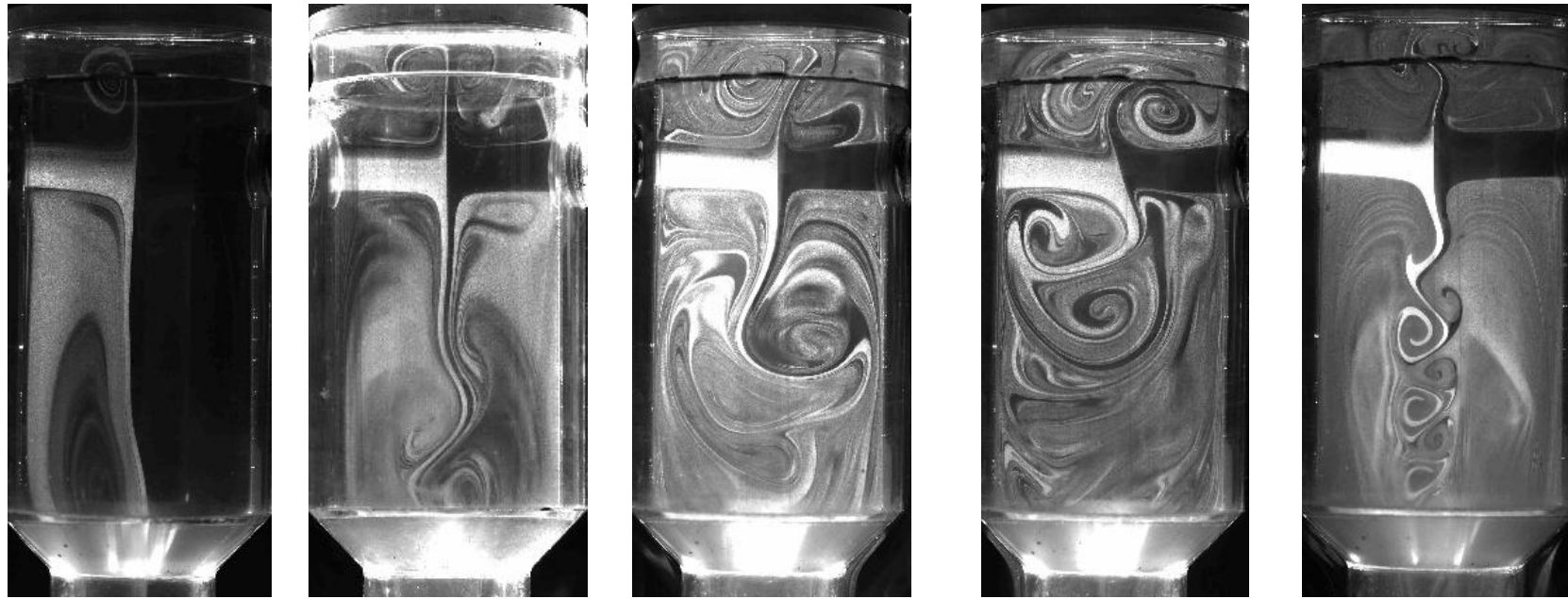
■ *AICHE J*, 2011, 57(6): 1434-1445

■ *Powder Technology*, 2012, 225: 118-123

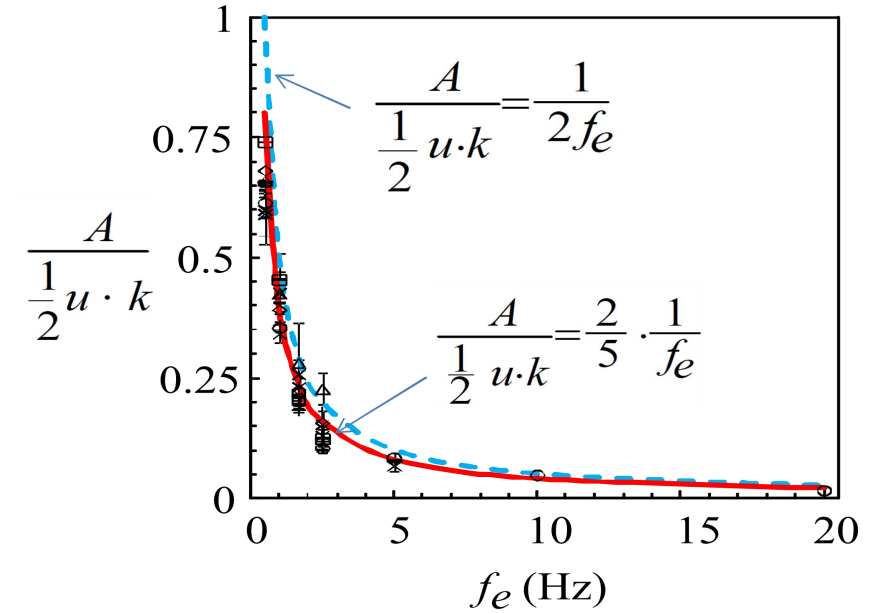
奠定了气化炉放大的流体力学基础



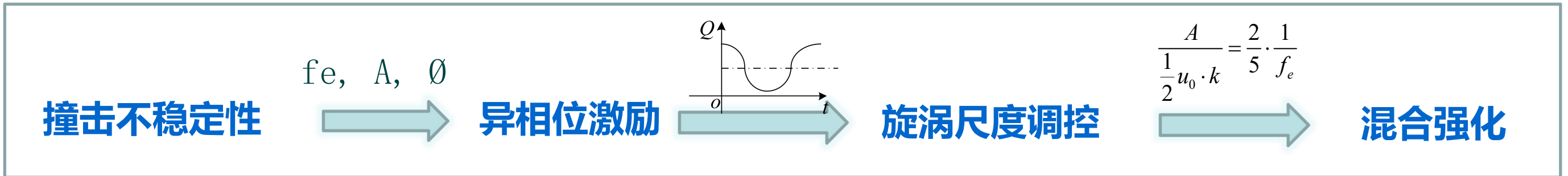
4. 发现撞击面振荡是撞击流强化混合的主要机制



随雷诺数增加撞击面呈现振荡 激励诱导振荡



激励振幅和频率关系



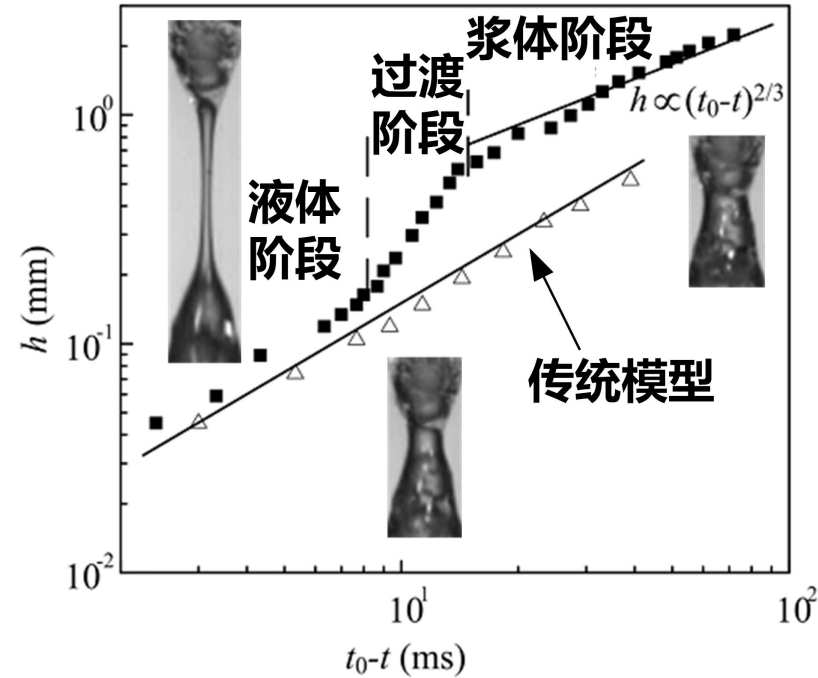
■ *AIChE J.*, 2013, 59(12); 2014, 60(8); 2015, 61(1) ■ *Chem. Eng. Sci.*, 2014, 116; 2015, 134; 2015, 138

提出了基于撞击流激励调控的流体相混合强化方法

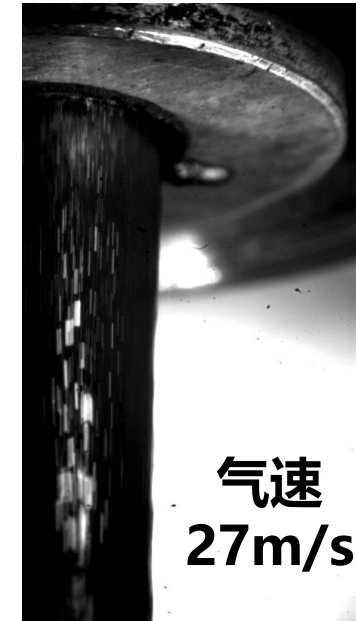
5. 揭示复杂浆体气液固界面动量传递及雾化机理



水煤浆二次雾化



浆体非均质破裂



气速
27m/s



气速
113m/s

喷嘴出口卷吸

准则
$$\sqrt{\frac{\sigma}{\rho_g D}} \left[C_1 + C_2 \left(\frac{\mu}{\sqrt{\rho_l D \sigma}} \right)^{C_3} \right]^{1/2} \leq U_g \leq \left\{ u_l - \frac{1}{c} \left[A u_l^2 - \left(1 - \frac{A}{c^2} \right) \frac{4\sigma}{\rho_l (D + 2a)} \right]^{1/2} \right\} / \left[\frac{\rho_g}{\rho_l} \left(1 - \frac{A}{c^2} \right) \right]$$

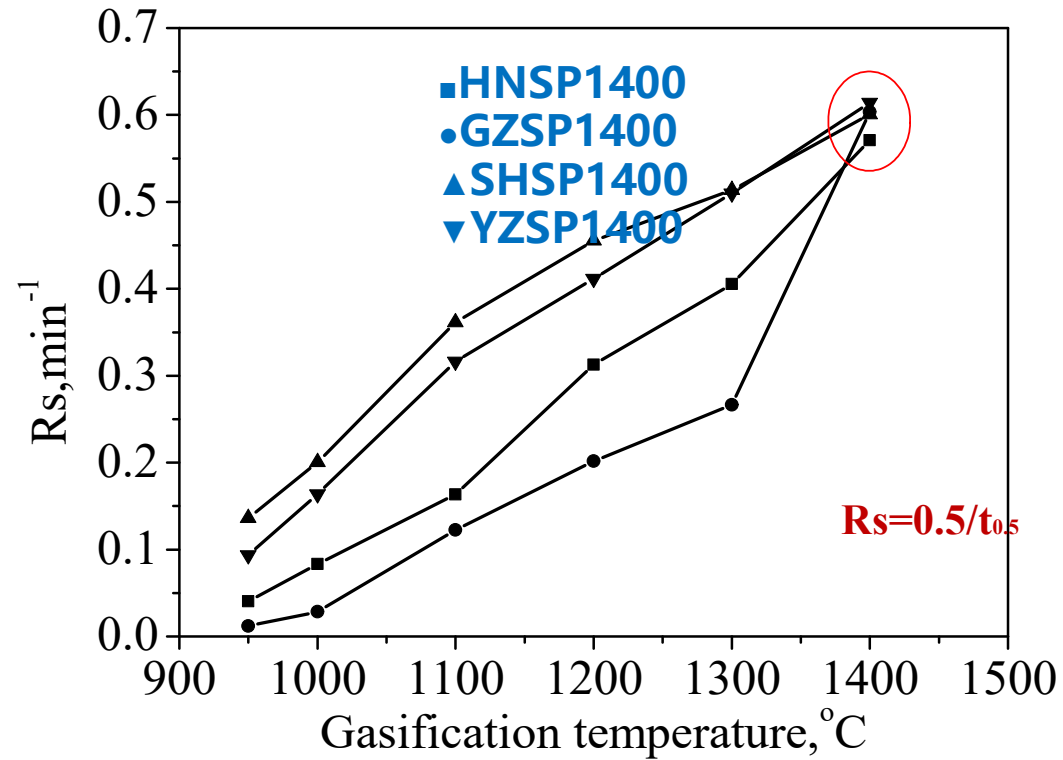
- *J. Non-Newton Fluid*, 2014, 211
- *AIChE J.*, 2014, 60(6)

- *Chem. Eng. Sci.*, 2014, 107
- *Phys. Fluids*, 2016, 28

建立水煤浆气化喷嘴放大设计准则

揭示了煤气化反应机理和灰渣熔融特性，建立了煤种数据库，形成了气化炉选煤配煤方法，拓展了水煤浆气化煤种适应性。

1. 典型煤种气化特性及数据库



典型煤种快速热解焦气化反应性指数



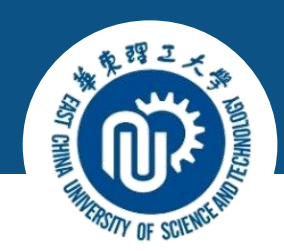
中国煤种气化特性数据库

■ Fuel, 2011, 90: 1723-1730

■ Fuel, 2014, 131: 59-65

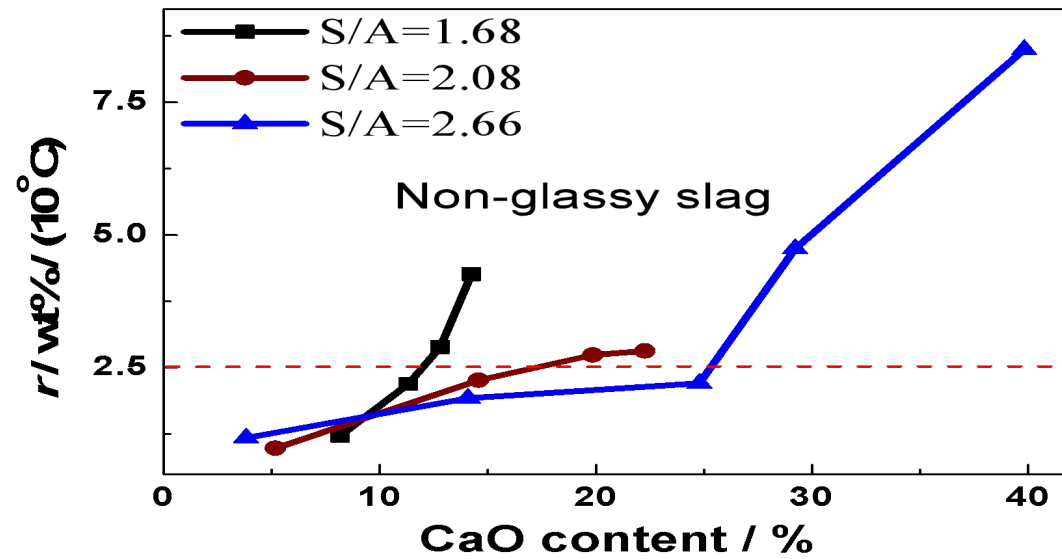
■ CEJ, 2014, 244: 227-233

指导水煤浆气化炉选煤、配煤

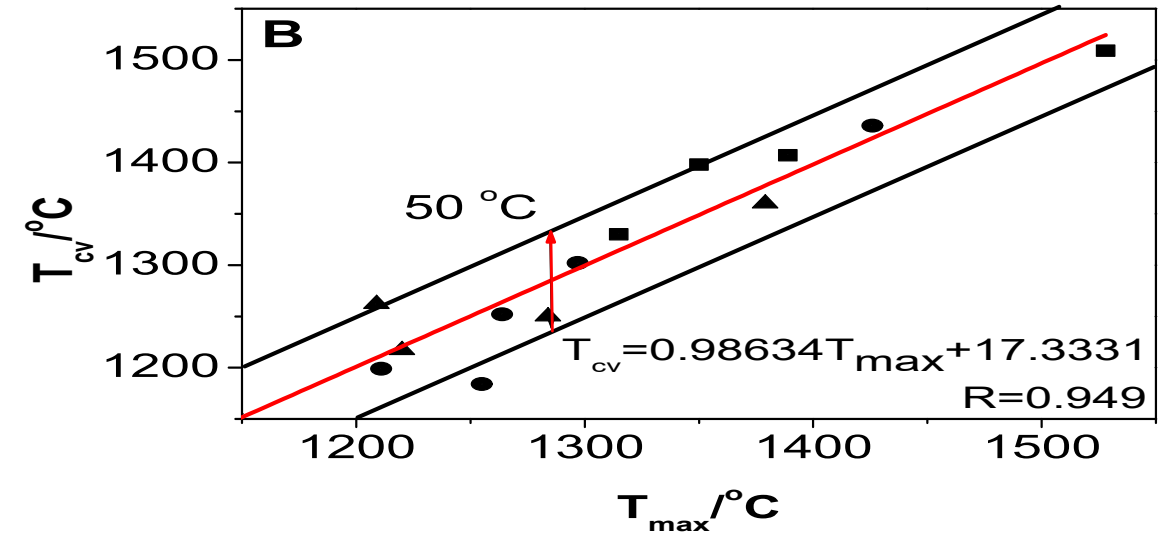


加强基础研究

2. 煤中灰渣熔融特性和熔渣流变性质的调控方法 (国家标准GB/T 31424 2015-中科院山西煤化所)



固相生成速率与黏温曲线



临界黏度温度的变化规律

高 Si+Al	$FT = -378 + 1.1290 \times T_{liq}$	0.94
高 Si/Al	$FT = 411 + 0.6156 \times T_{liq}$	0.81
高 Fe	$FT = 22 + 0.8621 \times T_{liq}$	0.90
高 Ca	$FT = 226 + 0.7541 \times T_{liq}$	0.80

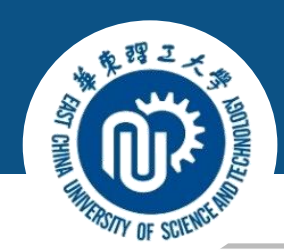
不适合液态排渣:

$$r \geq 0.25 \text{ wt\%/}^\circ\text{C}$$

排渣的下限温度:

$$T_{cv} = 0.9863 T_{max} + 17.3$$

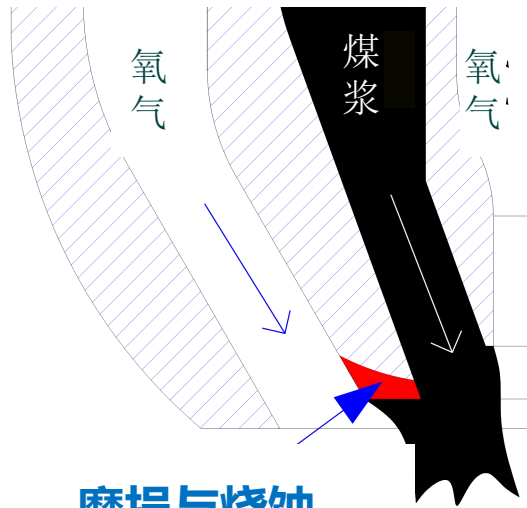
拓展了水煤浆气化原料适应性, 解决了气化炉结渣、堵渣的工程问题



优化关键技术

开发了长寿命喷嘴和分段支撑耐火衬里结构，独创了在线无波动切换技术，突破了气化装置长周期稳定运行的技术瓶颈。

1. 薄端部、低回流高效长寿命喷嘴 (专利ZL200710037138.9)



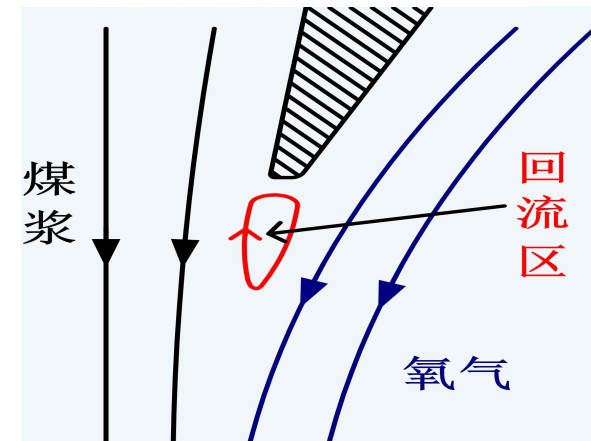
磨损与烧蚀



水煤浆雾化过程

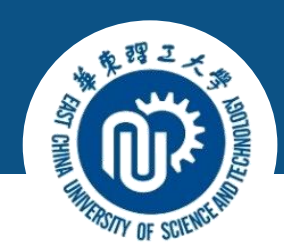


煤浆速度
7~8m/s



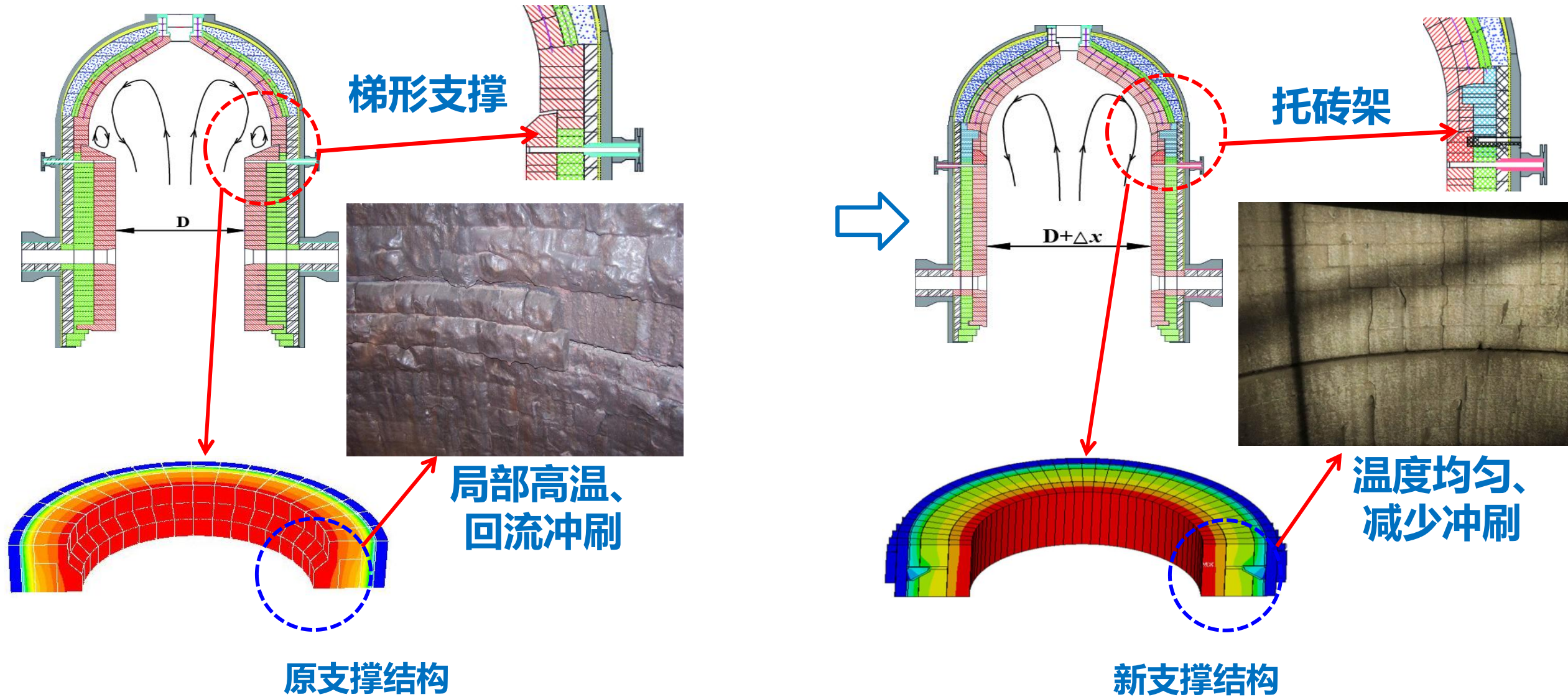
薄端部、低回流喷嘴结构

工程效果：喷嘴寿命从平均60-70天提高到90天以上，最长寿命152天

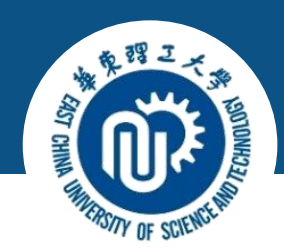


优化关键技术

2. 分段支撑的气化炉耐火衬里结构 (专利ZL200910195907.7)

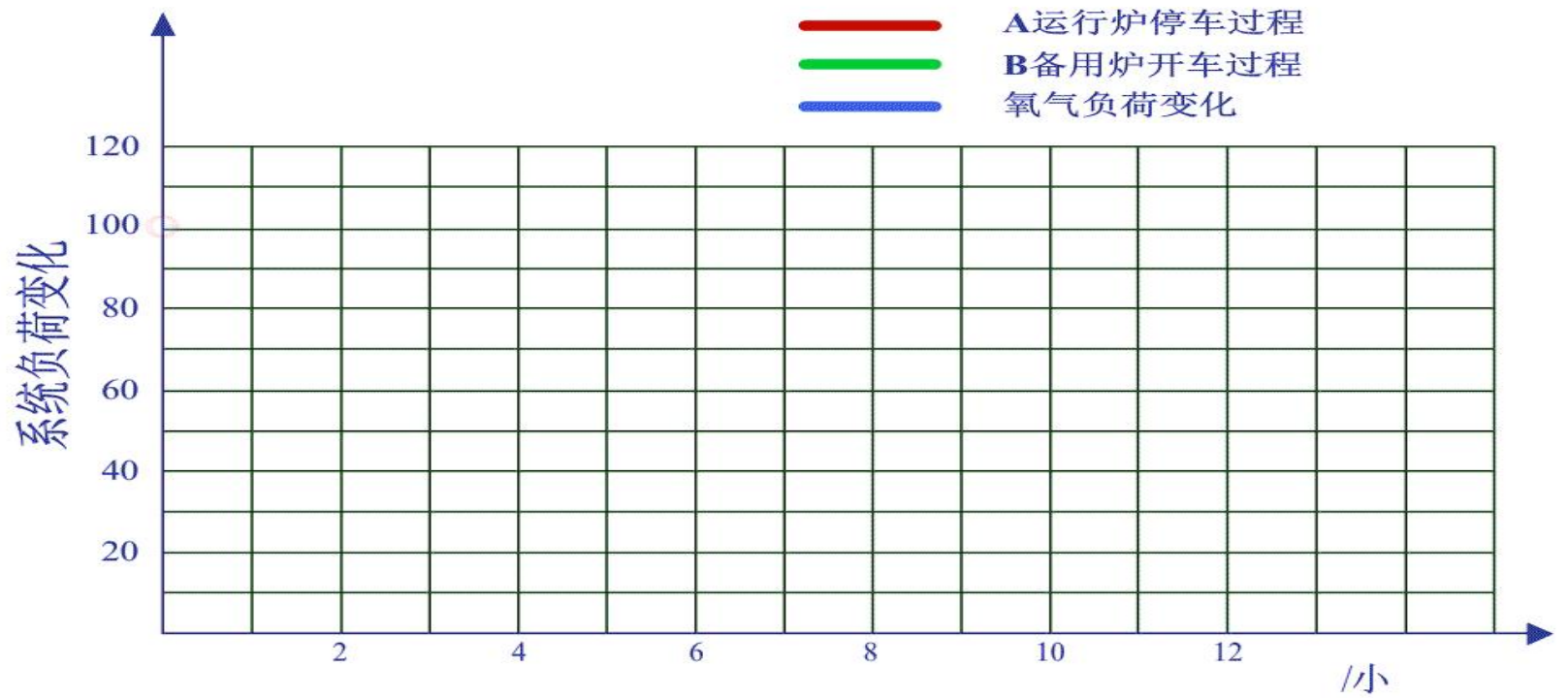
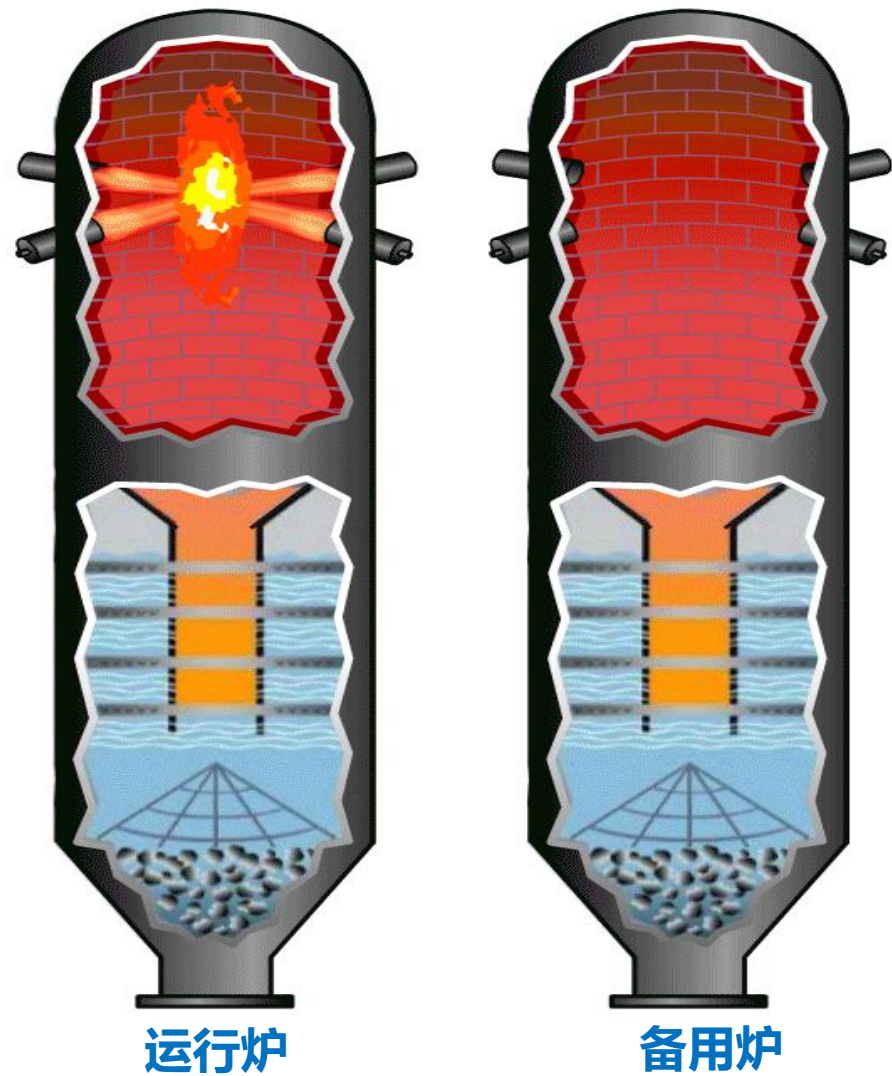


工程效果：耐火砖总体寿命延长2倍以上，气化炉有效容积增加15%



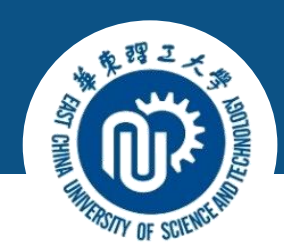
优化关键技术

3. 独创了气化炉在线无波动切换技术 (欧洲专利EP1959002B1)



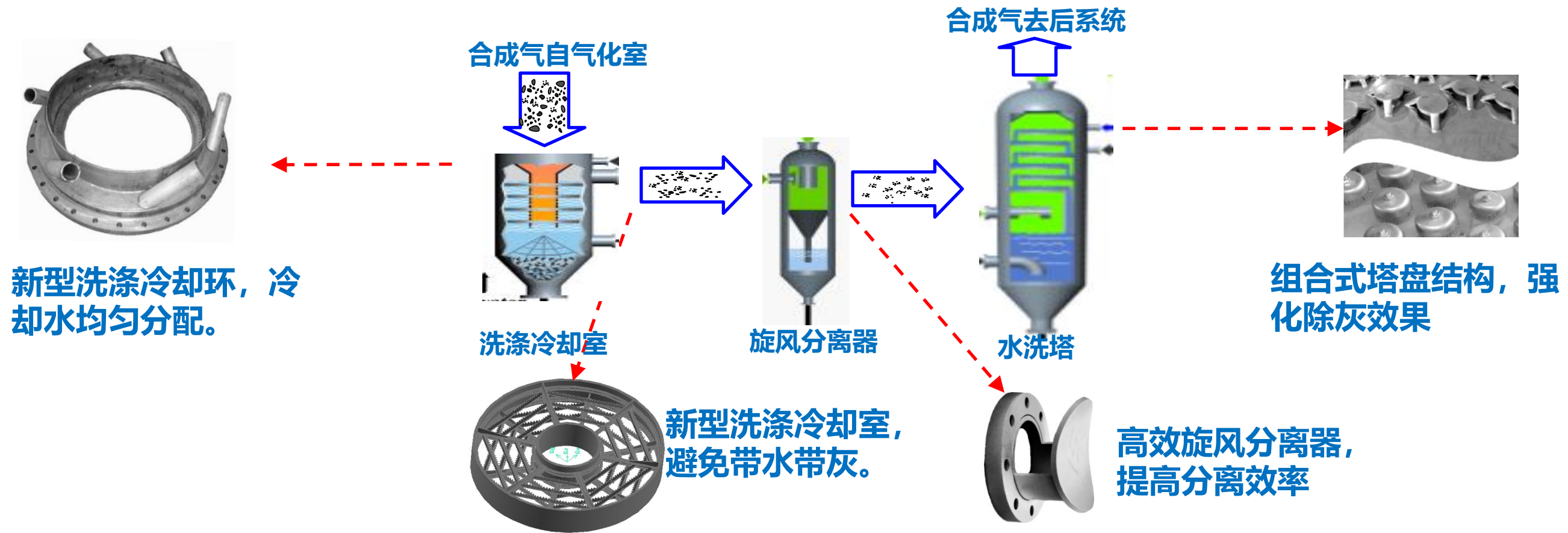
切换过程系统负荷变化

工程效果：装置年平均运行时间从320天提高到350天以上
气化炉备用率从50%降低到25%

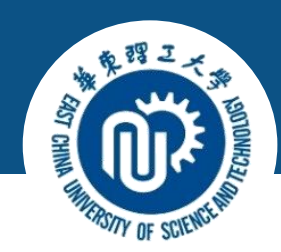


优化关键技术

4. 新型高效合成气洗涤冷却系统 (专利ZL200810039551.3、 ZL201310066387.6、 ZL201310460114.X)



工程效果: 合成气洗涤系统连续运行时间提高1倍以上
 洗涤后合成气中细灰含量低于 $1\text{mg}/\text{Nm}^3$



服务工程需要

➤ **大型化**

降低投资

➤ **高效率**

节能降耗

➤ **长周期稳定运行**

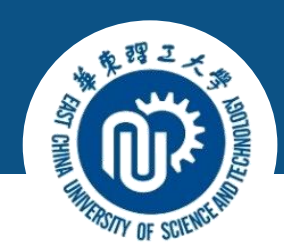
降低运行费用

➤ **拓展原料适应性**

降低成本

大型化效果——60万吨/年煤制烯烃装置为例

单炉规模/t/d	气化炉数量与配置/台	气化装置总投资/亿元
1000	9开3备	~ 13
3000	3开1备	~ 10



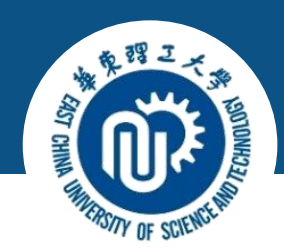
服务工程需要

3000TPD工业装置运行情况举例——内蒙荣信



项 目	考核指标	考核结果
煤气有效成分(CO+H ₂), %	≥80	80.98
比氧耗, Nm ³ O ₂ /1000Nm ³ (CO+H ₂)	≤400	388.3
比煤耗, kg/1000Nm ³ (CO+H ₂)	≤600	559.5
碳转化率, %	≥98	99.63
气化炉拱顶热面砖使用周期	大于 7000 小时	已达 7004 小时 (继续使用中)
烧嘴连续使用周期	大于 65 天	已达 102 天
冷煤气效率, %	--	75.2

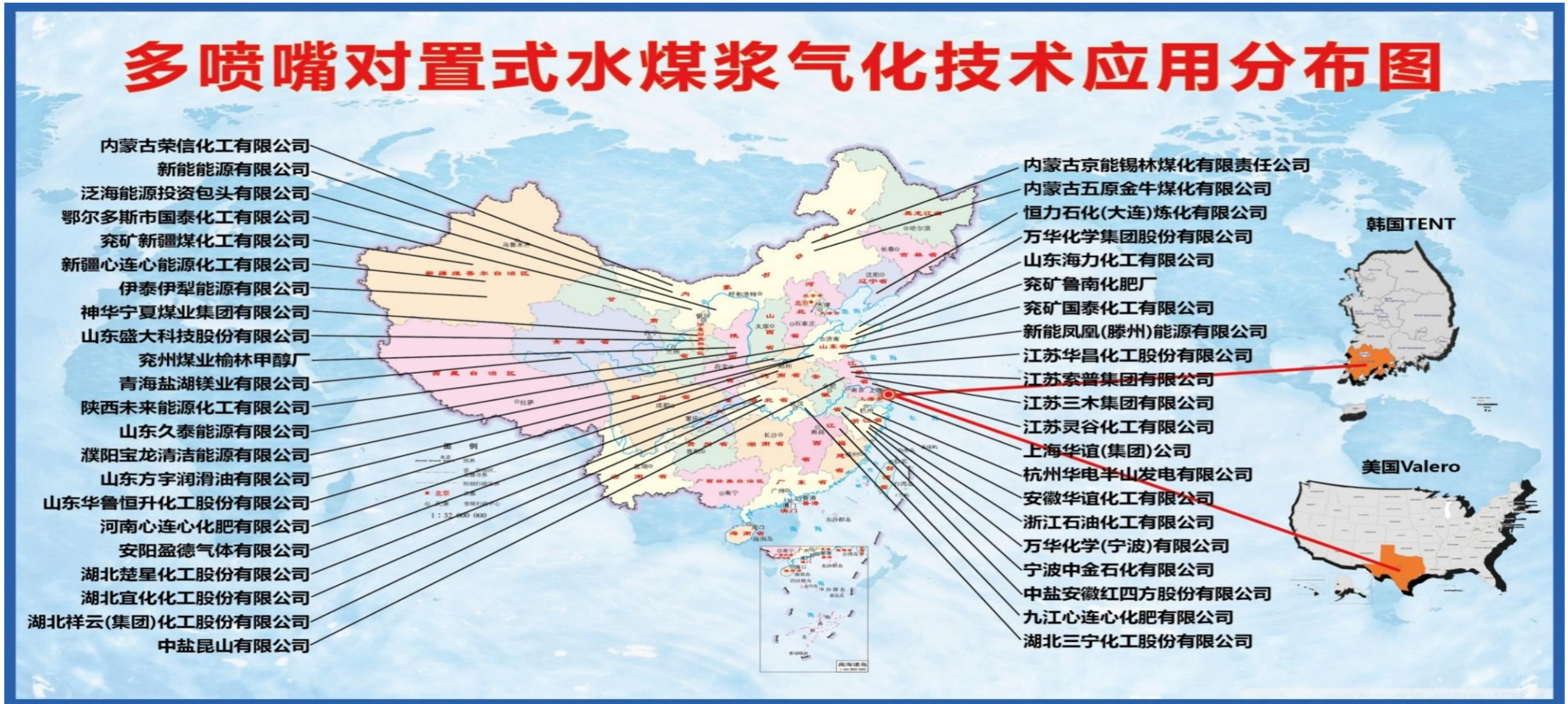


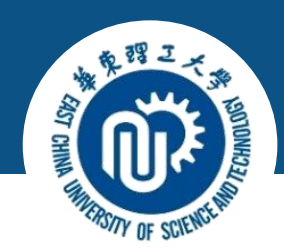


应用情况

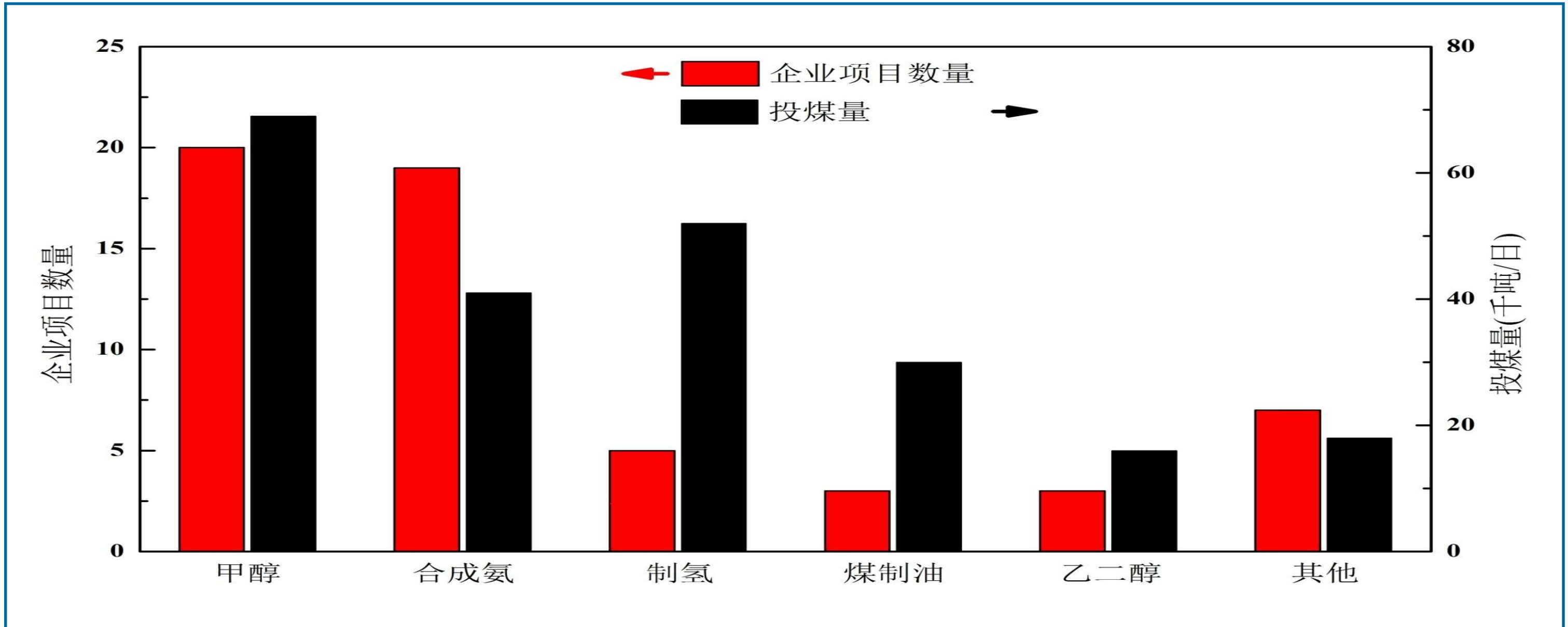
国内外70个项目，在建和运行气化炉202台

多喷嘴对置式水煤浆气化技术应用分布图

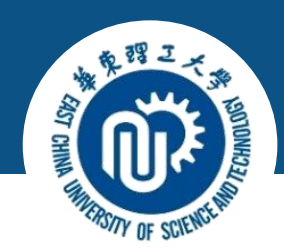




应用情况

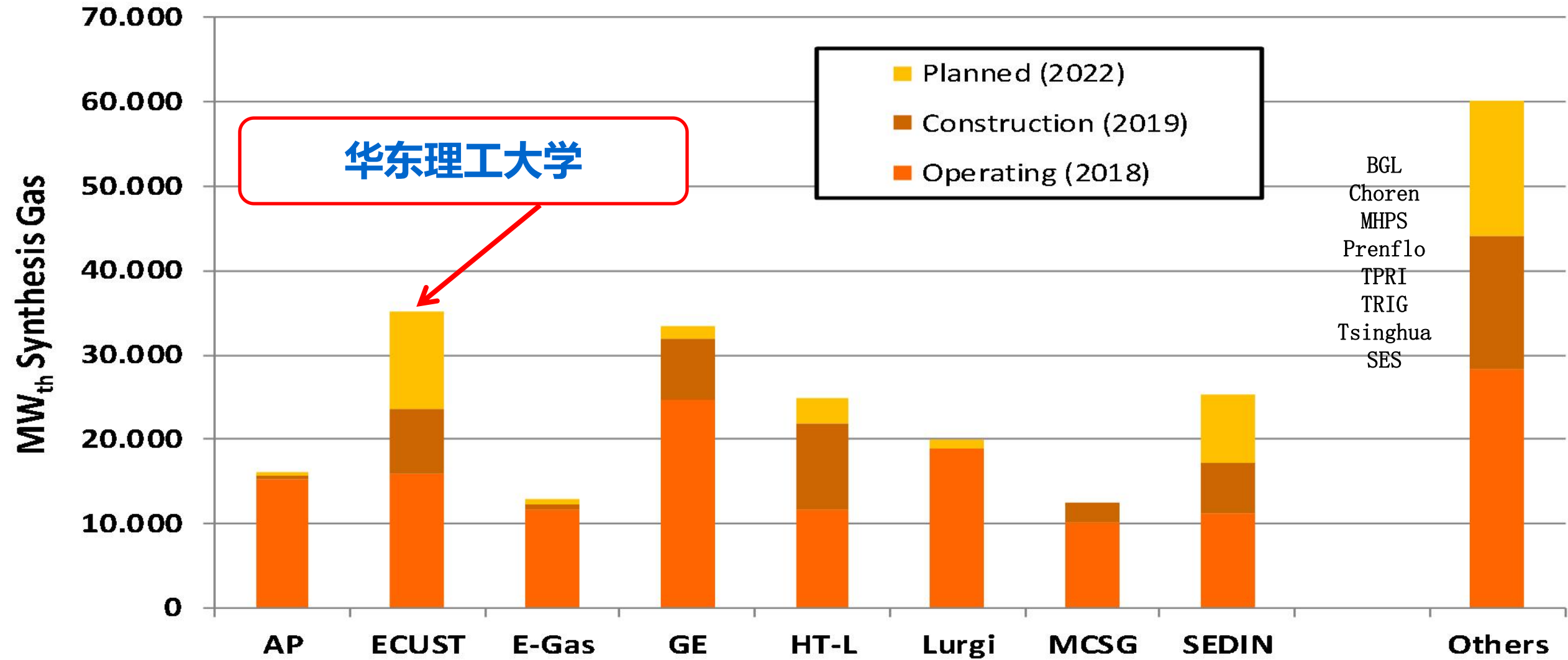


日处理煤量约25万吨，气化炉能力 1500 t/d 以上超过 90%

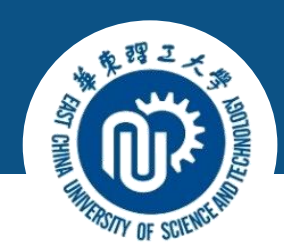


应用情况

市场占有率国内第一、煤气化技术产能世界第一



Higman. GSTC Syngas Database: 2019.



最新进展——4000吨级气化炉

4000TPD工业装置运行情况——内蒙荣信 内蒙古荣信化工有限公司二期项目

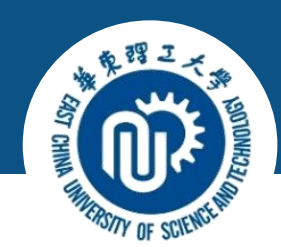
全球单炉最大水煤浆气化装置——单炉日处理煤4000吨级

- 气化炉数量：3台 (2+1)
- 单炉规模：日处理煤4000吨级
- 产品：甲醇、DMMn
- 单炉有效气量：210,000Nm³/h
- 气化压力：6.5MPa
- 投运时间：2019年10月29日



技术创新

- 首次采用单炉双合成气出口新结构
- 首次采用煤化工行业最大的国产化球磨机φ5.2*8.5m
- 首次采用煤化工行业最大的高压煤浆泵

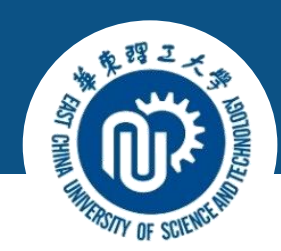


最新进展——废锅激冷型气化技术

OMB水煤浆气化废锅-激冷型技术开发及示范

- **项目地点：**陕西榆林（兖州煤业榆林能化有限公司）
- **项目内容：**单炉日处理煤2000吨级示范装置
配套生产50万吨/年聚甲氧基二甲醚
- **项目进度：**2020年1月废锅-激冷型气化炉及内件进厂
2020年5月吊装，12月10日投运。

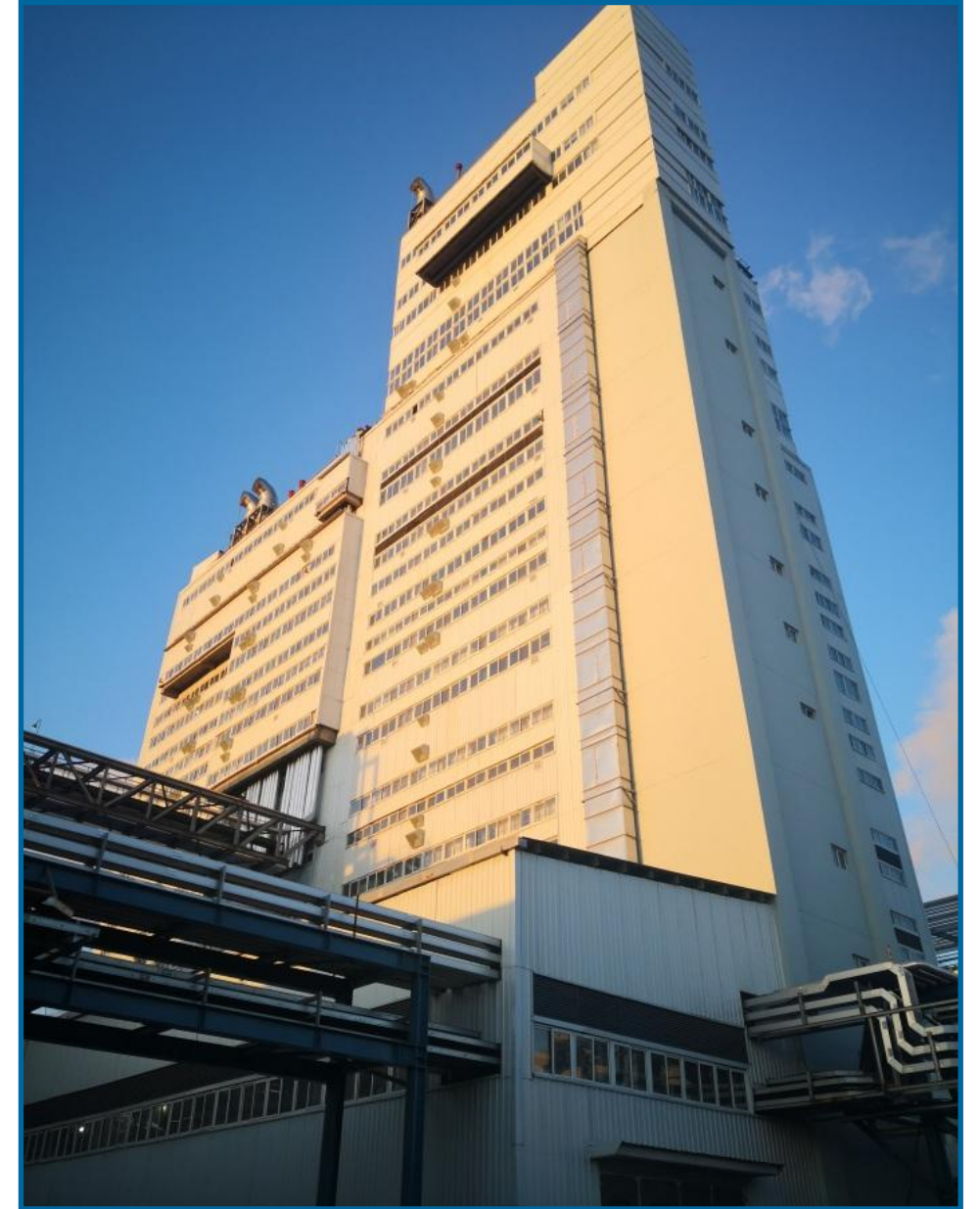


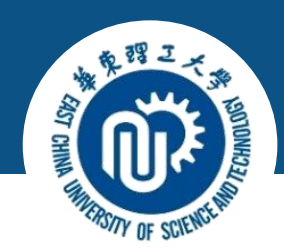


最新进展——废锅激冷型气化技术

- 有效气产量 (CO+H₂): ~120400Nm³/h
- 气化炉直径: Φ3600 (T/T)
- 操作压力: 6.5 MPaG
- 半废锅尺寸: Φ4200×20000(T/T)
- 副产高压蒸汽: ~99t/h (11 MPaG, 319°C)

- 比氧耗: 385 Nm³/kNm³(CO+H₂)
- 比煤耗: 560 kg/kNm³(CO+H₂)
- 有效气成分: 81.8%
- 合成气水气比: ~0.81





最新进展——多喷嘴对置粉煤气化技术

粉煤进料

+

水冷壁衬里



冷煤气效率
更高

煤种适应性
更强

- 高灰熔点、高灰分原料煤气化需要
- 高内水含量原料煤气化需要
- 超大规模粉煤加压气化技术市场需要



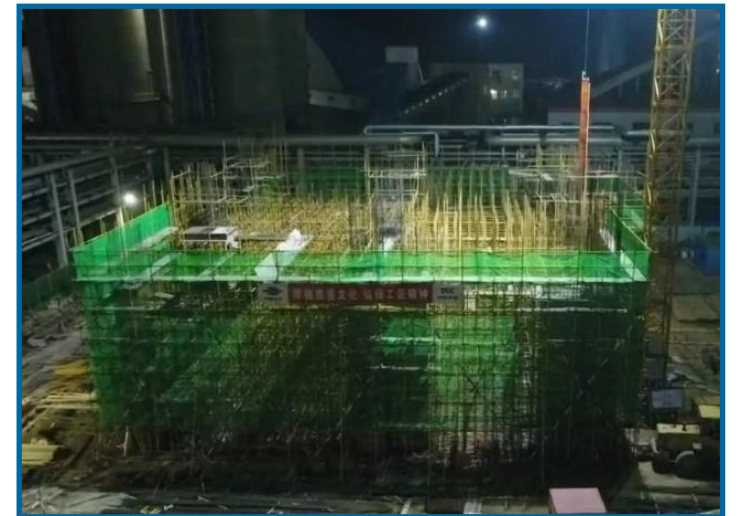
小试(2000年)



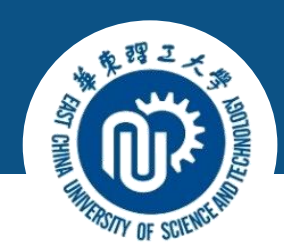
兖矿鲁化中试
(2004年)



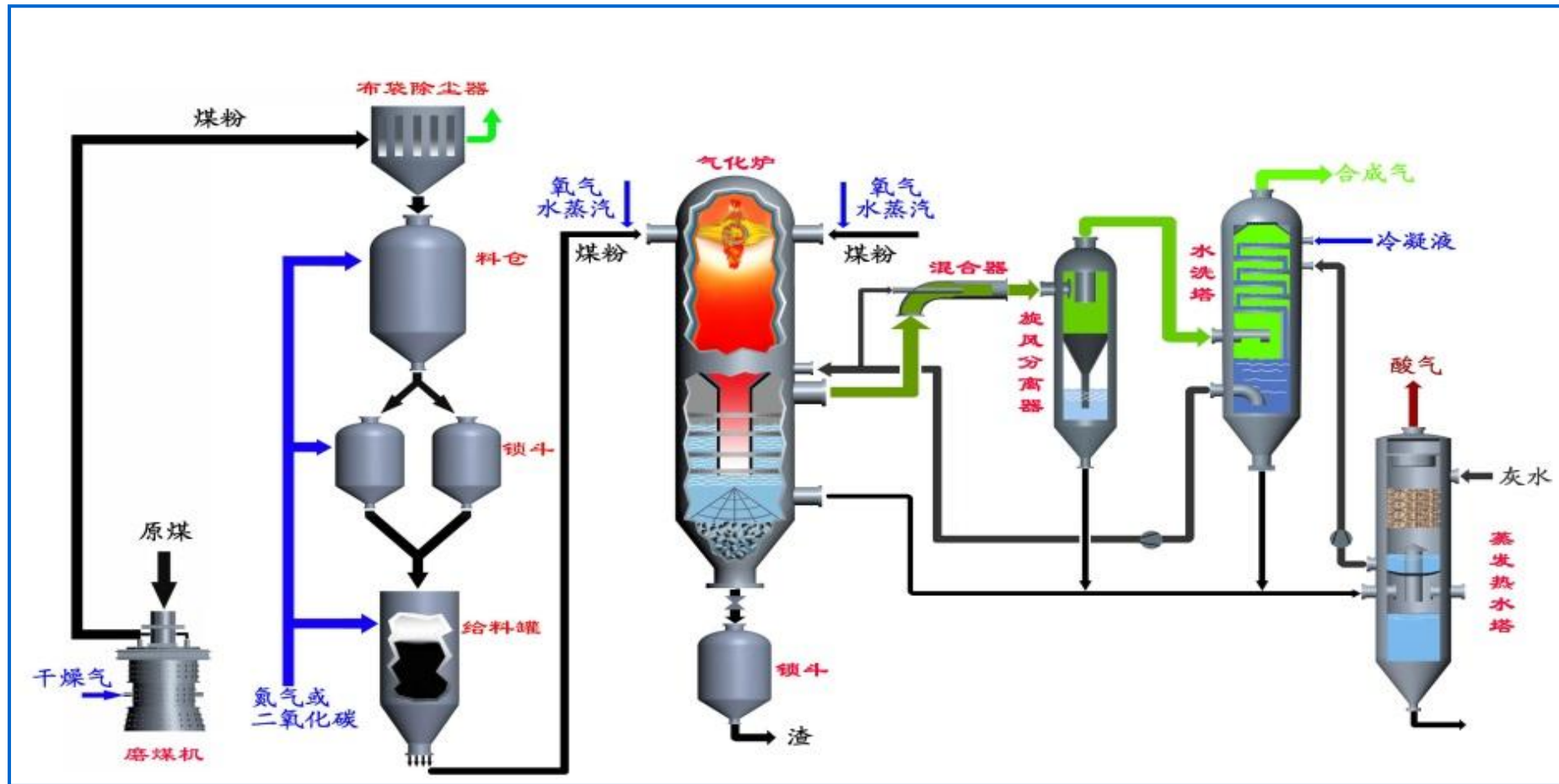
开阳化工1000吨/天
(2010年完成基础设计)



兖矿鲁化3000吨级示范
(2024年投运)



最新进展——多喷嘴对置粉煤气化技术



己内酰胺产业链配套节能减碳 一体化工程项目项目

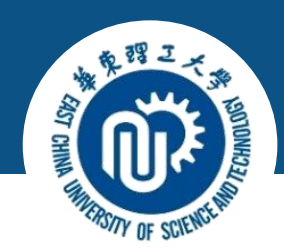
- 有效气产量21万方/小时
- 兴隆庄煤A_d 20%， FT>1500℃
- 协同处置己内酰胺废液 (~7t/h)
- 2020年4月通过PDP审查
- 2022年初开工建设

关键技术——

- 多喷嘴对置气化炉
- 长寿命粉煤气化喷嘴
- 高温高压黑水循环
- 二级蒸发热水塔

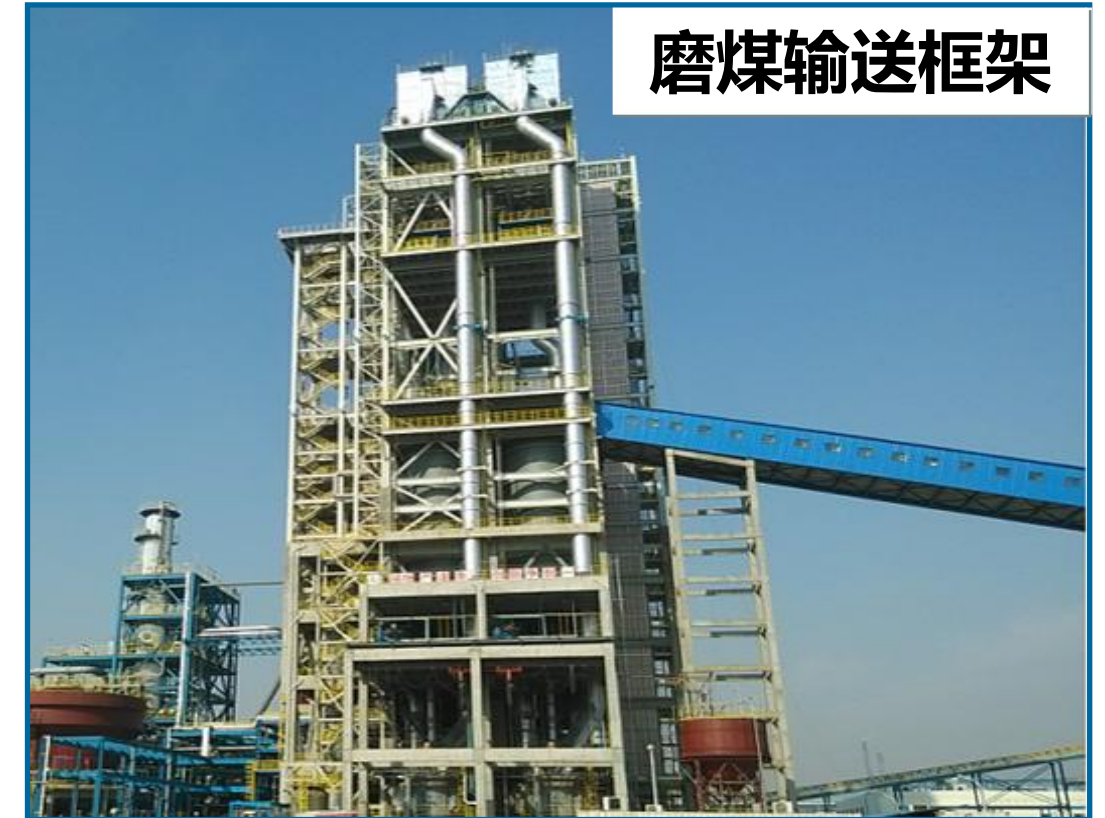


推动兖矿鲁化当地劣质原料煤清洁
高效利用，支撑山能集团现代大型
煤化工产业基地跨越式发展

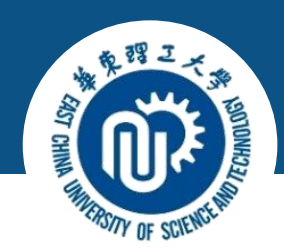


煤气化技术发展——SE粉煤气化技术应用

SE粉煤气化装置工业示范



示范地点: 扬子石化
气化压力: 4.0MPa
规模: 1000 t/d
产品: H₂



煤气化技术发展——SE粉煤气化技术

中石化中安联合, 2019年6月投料



气化框架



气化框架



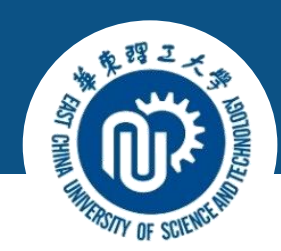
合成单元

地点: 安徽淮南 中安联合石化

压力: 4.0MPa

气化炉配置: 7×1500 t/d

产品: 甲醇/ 烯烃



煤气化技术发展——SE粉煤气化技术

中科炼化两台2000吨级SE东方炉，为千万吨级炼油基地供氢



地点：广东湛江市东海岛

产氢量：18万Nm³/h，两开互备

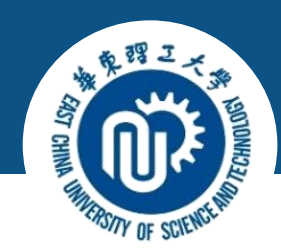
原料：国内或国外煤

投产：2020年7月

中石化四大炼化一体化基地之一

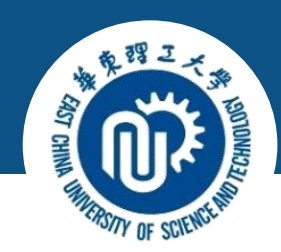


- 扬子石化二期——1000吨级1台
- 贵州能化60万吨烯烃项目——1500吨级6台（工程设计）

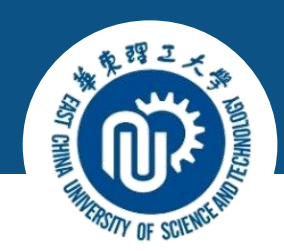


煤气化技术发展与应用启示

- **要虚心向发达国家学习，但时刻不能忘记自主创新**
- **扎实系统的应用基础研究是推动技术不断进步的动力源**
- **行业快速发展是煤气化技术进步的牵引力**
- **煤气化技术的选择一定要立足企业实际**

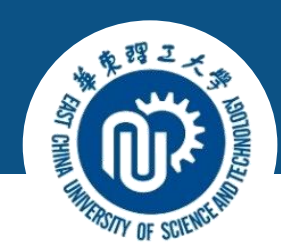


四、煤气化技术展望



发展展望





双碳愿景下的煤气化技术发展

- **双碳愿景为煤气化技术发展提出了新要求、赋予了新动能、孕育了新机遇**
- **双碳愿景的实现需要靠各个领域在技术上一点一滴的积累、踏踏实实的突破**
- **双碳的实现既要有大格局、大思路，又要落地、落实，做细、做精**

天下难事，必作于易；天下大事，必做于细。

——老子《道德经》



感谢团队的所有同仁和历届硕士生、博士生
感谢国家相关部门、有关企业的长期支持

谢谢各位专家、同仁
敬请批评指正！

