

煤炭清洁高效新路径 —— 多喷嘴气化技术在碳达峰碳中和中的应用实践

山东兖矿国拓科技工程股份有限公司
2025年11月

目录 contents



- 01 公司简介
- 02 “十四五”技术进展与成果
- 03 多喷嘴粉煤应用分享
- 04 “十五五”技术发展规划



山东能源集团
SHANDONG ENERGY GROUP



公司简介



山东能源集团



能源集团是山东省委、省政府于2020年7月联合重组原兖矿集团、原山东能源集团组建的大型能源企业集团，肩负保障能源安全、优化能源布局、优化能源结构的责任

产业布局

INDUSTRIAL LAYOUT



煤炭



高端化工



电力



新能源新材料



高端装备制造



现代物流贸易



2025年《财富》世界500强

山东能源年度营业收入1204.26亿美元

位列第82位

13

拥有13家上市公司

22

产业遍布国内22个省、
自治区、直辖市

17

境外17个国家（地区）

20

从业人员20万人

山东兖矿国拓科技工程股份有限公司

热烈祝贺

山东兖矿国拓科技工程股份有限公司

股票代码（872810）

隆重挂牌



公司简介

成立于2010年7月7日，2018年新三板挂牌（872810）；
兖矿能源旗下专业从事煤气化技术服务商
多喷嘴对置式煤气化技术独家许可实施单位

01

技术开发

02

技术许可

03

技术服务

04

专利专有设备

依托山东能源化工产业集群技术力量与专业人才储备，
实现技术研发、工程服务与现场保运的深度协同



多喷嘴技术转让、工艺包编制、工程设计、开车保运全链条服务



业务覆盖国内 30 余个省份及美国、韩国等国际市场



81

技术实施许可合同

233

台/套气化炉

145

台/套投入成功运行

技术转让	工艺包编制	工程设计	开车保运
1 可行性研究 2 技术适配 3 技术验证 4 技术选型	1 基础设计输入确认 2 工艺设计 3 仪表与控制方案 4 设备清单与规格书 5 安全与环保分析 6 操作与维护手册	1 总体设计 2 基础设计 3 详细设计	1 装置预调试 2 开车方案制定 3 现场操作指导 4 应急故障处理 5 人员培训 6 投料运行

山东省“专精特新”中小企业

山东省工业和信息化厅
有效期至2025年12月31日

山东省专精特新企业

高新技术企业

企业名称：山东兖矿国拓科技工程股份有限公司 证书编号：GR202137003385
发证时间：2021年12月7日 有效期：三年
批准机关：

高新技术企业

信息安全管理体系 认证证书

证书注册号：0482025H0207005

兹证明：

统一社会信用代码：91370000558927004N

山东兖矿国拓科技工程股份有限公司

注册地址：中国（山东）自由贸易试验区济南片区工业南路951号高新万达B写字楼9016室

生产经营范围：中国（山东）自由贸易试验区济南片区工业南路951号高新万达B写字楼9层

建立的信息技术服务管理体系符合标准：

ISO/IEC 20000-1:2018

通过认证范围如下：

向外部客户提供煤化工数字化、智能化软件

本证书有效期至：2025-09-08—2028-09-07

发证日期：2025-09-08

兹证明：

统一社会信用代码：91370000558927004N

山东兖矿国拓科技工程股份有限公司

注册地址：中国（山东）自由贸易试验区济南片区工业南路951号高新万达B写字楼9016室

生产经营范围：中国（山东）自由贸易试验区济南片区工业南路951号高新万达B写字楼9层

建立的信息安全管理体系符合标准：

ISO/IEC 27001:2022

通过认证范围如下：

与煤化工数字化、智能化软件设计相关的信息安全管理活动。

适用性声明：YKGTSM-SM-2024 B.0版

本证书有效期至：2025-09-08—2028-09-07

发证日期：2025-09-08

签发人：胡华

信息安全管理/技术服务体系

山东兖矿国拓科技工程股份有限公司

Shandong Yankuang Guotai Science&Engineering Co.,Ltd

has been successfully appraised and rated at

CMMI Maturity Level 3

for CMMI-DEV V2.0 Staged Representation

Benchmark Appraisal conducted from 13th to 17th Feb. 2023

For OU Intelligent Chemical Business Department, Coal Chemical Business Department

M. Rajamanickam
CMMI Institute Certified Lead Appraiser
ID #0500581-01

Appraisal ID: 63736

Expired Date: Feb. 17th, 2026

CMMI3软件能力成熟度

ITSS® 信息技术服务标准 符合性证书

按照工业和信息化部组织制定的信息技术服务标准，经评估，山东兖矿国拓科技工程股份有限公司符合要求，特发此证书。

业务领域：运行维护 评估等级：四级
评估依据：《信息技术服务 运行维护 第1部分：通用要求》（GB/T 28827.1—2012）
《信息技术服务 运行维护服务能力成熟度模型》（ITSS 1—2015）

证书编号：ITSS-YW-4-370020230001

证书有效期：2026年01月04日止

2025年12月06日 核发

ITSS信息技术服务标准

济南市“专精特新”中小企业

济南市工业和信息化局

有效期至2025年12月31日

济南市专精特新企业



质量管理体系

环境管理体系

职业健康安全体系

信息技术服务体系

信息安全管理体系统



山东能源集团
SHANDONG ENERGY GROUP

2

“十四五”技术进展与 成果



“十四五” 技术进展与成果-总览



2000吨级水煤浆
废锅工业示范



4000吨级水煤浆激
冷工业示范



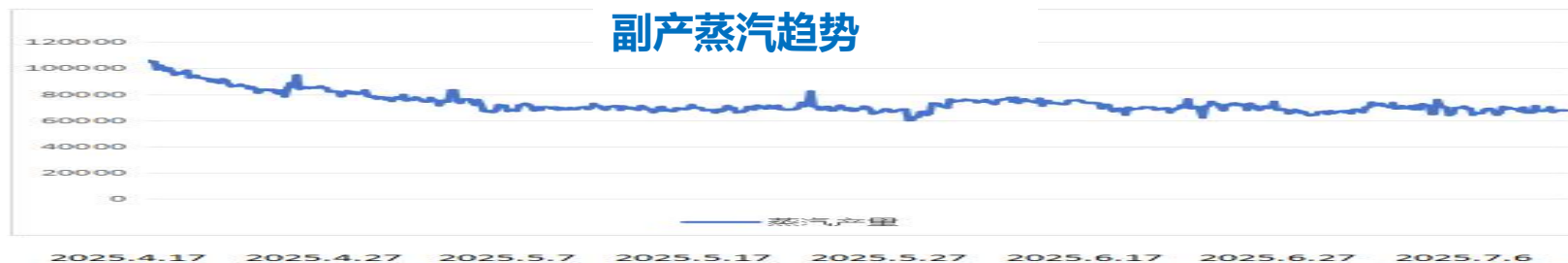
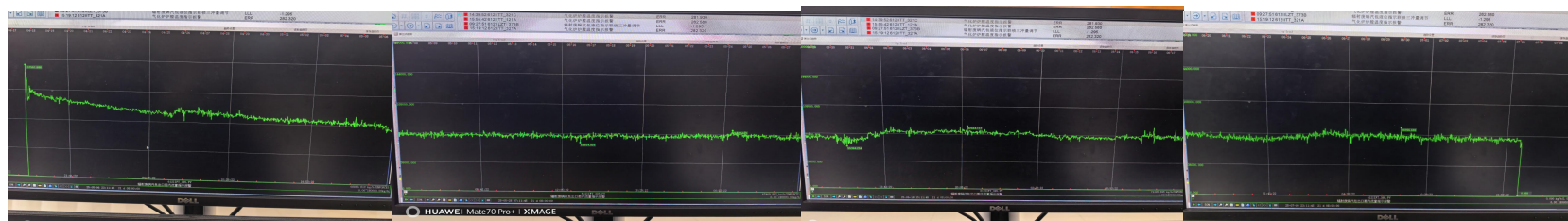
浆态床油渣气化国产
化示范



3000吨级粉煤工业
示范

2000吨级多喷嘴辐射废锅流程工业示范

- 气化炉数量: 3台 (2开1备)
- 有效气产量($\text{CO} + \text{H}_2$): $\sim 120400 \text{Nm}^3/\text{h}$
- 操作压力: 6.5 MPaG
- 投产时间: 2021年12月 项目地点: 兖矿榆林能化



4000吨级多喷嘴水煤浆气化装置工业示范



- 气化炉数量：3台
- 单炉规模：4000t/d
- 单炉有效气量：230000Nm³/h
- 气化压力：6.5MPa
- 产品：甲醇、乙二醇等
- 项目地点：兖矿荣信化工

浆态床油渣气化国产化工业示范



打破国外技术垄断，实现油渣资源化

- 原料： 浆态床油渣、乙烯焦油、催化油浆
- 投油量： 1090吨/天
- 单炉产有效气量： 120000Nm³/h
- 系列： 2开不备
- 工艺烧嘴： 多通道
- 开车时间： 2024年7月
- 项目地点： 浙江石油化工有限公司

3000吨级多喷嘴粉煤流程工业示范

- 单炉有效气量：210000Nm³/h
- 有效气（CO+H₂）含量：92%~95%
- 气化炉开车时间：2024年07月
- 气化压力：4.5MPa
- 项目地点：兖矿鲁南化工

已实现 **> 300**天满负荷连续运行

多喷嘴粉煤加压气化装置



3

多喷嘴粉煤应用分享



多喷嘴对置式煤气化技术研发历程



1985-1995

1996-2000

2001-2005

2006-2010

2011-2015

2016-2020

2021-2025

2025-2030

多喷嘴
水煤浆

基础研究

22t/d级
多喷嘴
水煤浆中试

1150t/d级
多喷嘴水煤浆
工业示范

2000t/d级
多喷嘴水煤浆
工业示范

3000t/d级
多喷嘴水煤浆
工业示范

4000t/d级
多喷嘴水煤浆
工业示范

2000t/d级
多喷嘴水煤浆
废锅-激冷流程
工业示范

5000t/d级
多喷嘴水煤浆
工业示范

多喷嘴
干煤粉

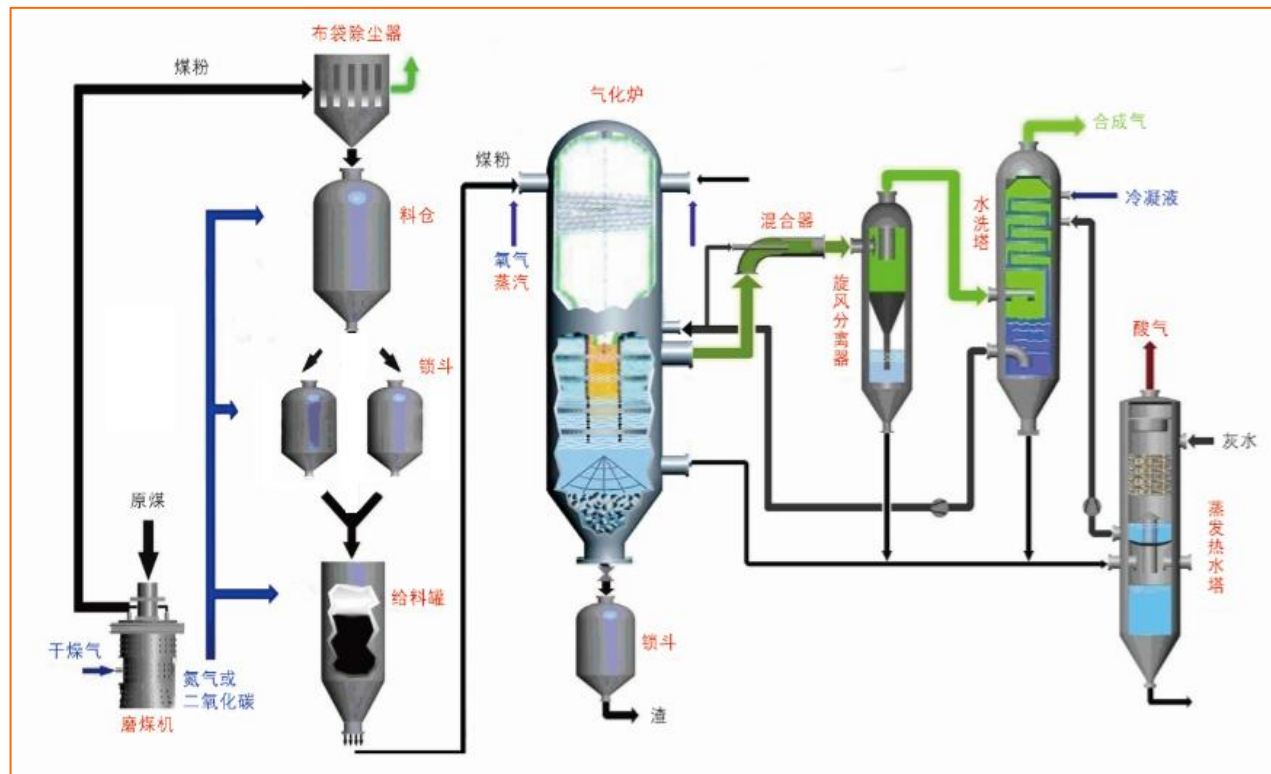
基础研究

30t/d级
多喷嘴
粉煤中试

3000t/d
级多喷嘴粉煤
工业化示范

3000t/d级
多喷嘴粉煤废锅
工业化示范

多喷嘴对置式粉煤气化技术特点



多喷嘴对置式激冷型粉煤气化工艺流程简图

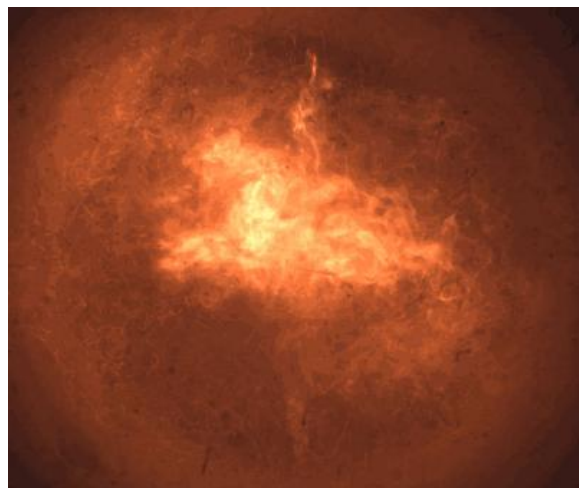
- 主要创新点
- 1. 长寿命粉煤气化喷嘴
- 2. 多功能点火开工喷嘴
- 3. 耐高温列管式水冷壁
- 4. 高效多喷嘴粉煤气化炉
- 5. 单线干吨级粉煤密相输送
- 6. 高温黑水热量回用技术
- 7. 协同处置有机废液技术
- 8. 气化安全联锁与控制技术
- 9. 多喷嘴粉煤气化操作运行技术



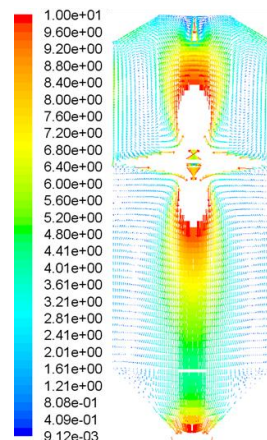
适用高灰熔点、高灰分煤多喷嘴对置粉煤气化炉

喷嘴与气化炉合理匹配:

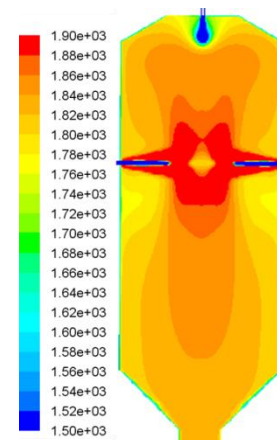
- 侧部四个工艺喷嘴撞击流场
- 顶部开工喷嘴兼具拱顶调控
- 开工喷嘴协同处置有机废液



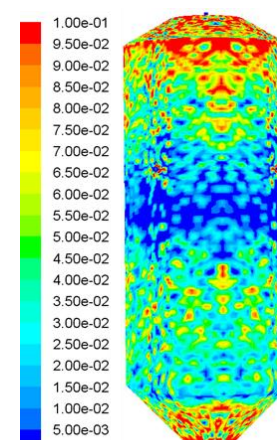
撞击流火焰实现物料充分混合



速度分布



温度分布



壁面颗粒沉积分布

技术优势——

- 四喷嘴撞击充分混合，最短停留时间长
- 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
- 单炉超大规模应用，综合能效高、投资节省

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



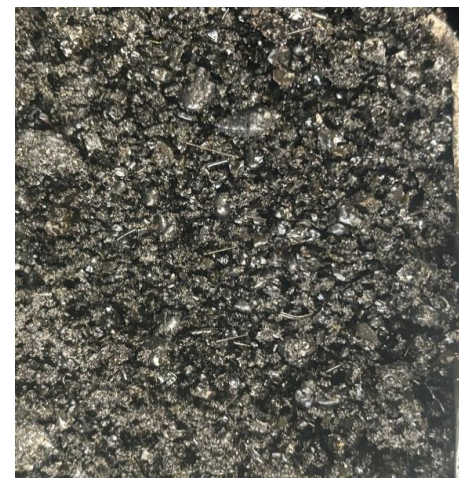
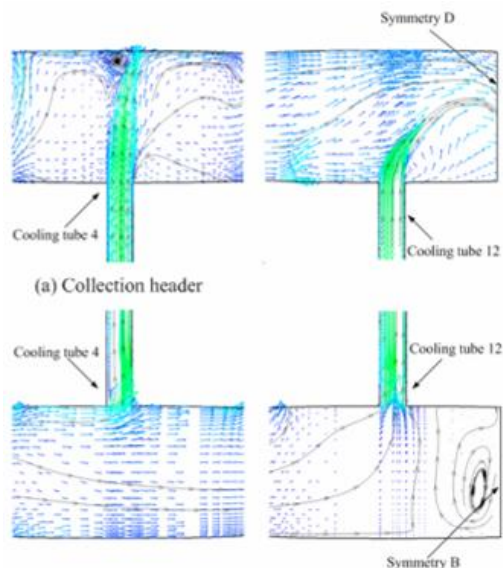
开工喷嘴有机废液雾化实验

- ✓ **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，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（10-20吨）**。



副产高等级蒸汽、耐高温的列管式水冷壁衬里

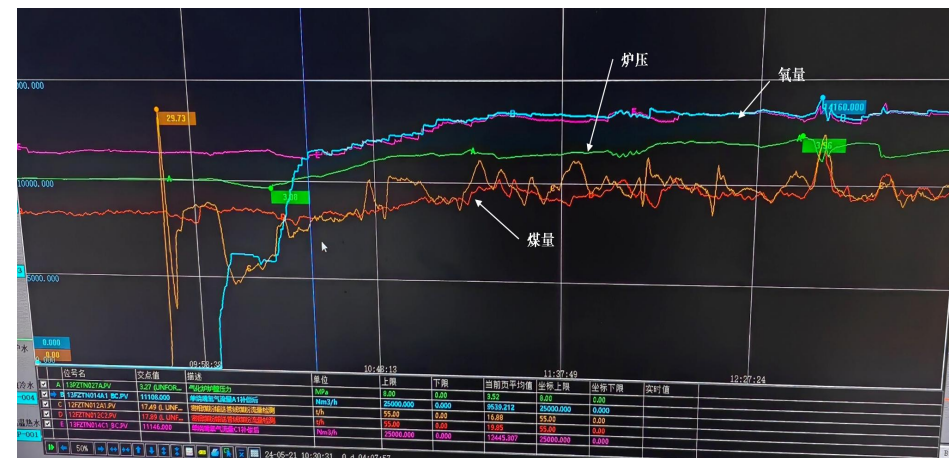
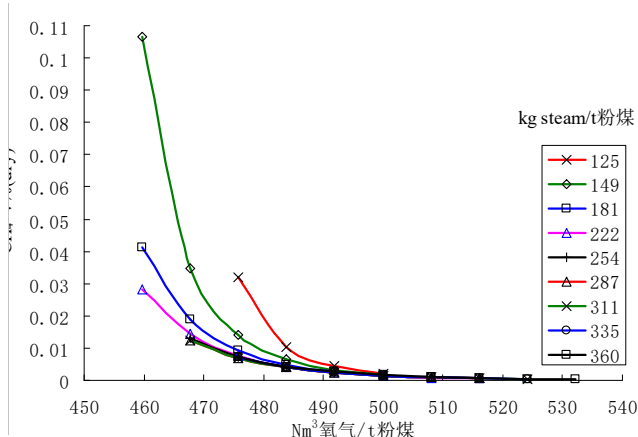
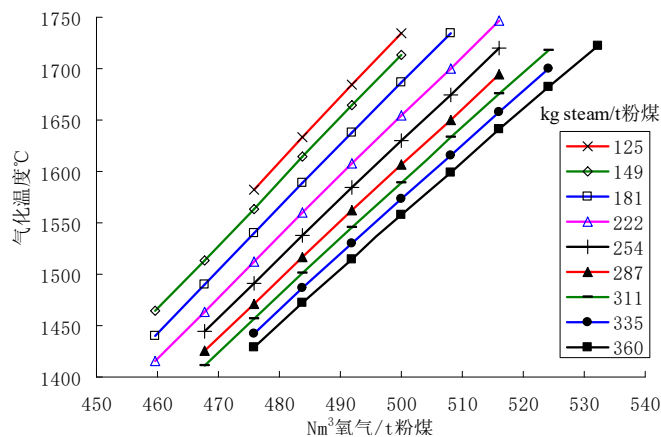
- 循环倍率低(~ 30), 无限流孔板, 水冷壁压降低, 能效高
- 对称性水冷管设置, 水流分布均匀, 耐高温性能优异
- 副产高品质蒸汽(5.5MPa饱和蒸汽 $\sim 12\text{t/h}$)





气化系统优化集成与操作运行技术

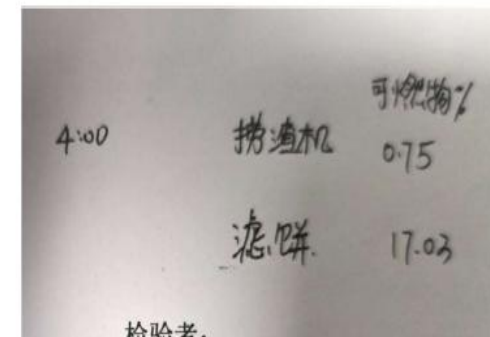
- ◆ 全系统各单元运行匹配良好，抗系统波动性能强
- ◆ 实现一对喷嘴顺控连投运行（高压连投），可靠性高
- ◆ 实现一对喷嘴长时间运行，负荷调控快速灵活



鲁南化工多喷嘴粉煤运行指标

A#粉煤气化炉分析检验台账 (合成气成分)							
出工段合成气							
分析项目	取样时间	H ₂	CO	有效气成分 ≥88%	CO ₂	CH ₄	N ₂
控制指标							
2025年8月28日	8:00	28.3	67.21	95.51	4.03	0.04	0.42
	16:00	28.56	63.5	92.06	7.44	0.04	0.46
2025年8月29日	0:00	29.36	66.1	95.46	4.03	0.07	0.45
	8:00	28.85	66.5	95.35	4.08	0.05	0.52
2025年8月30日	16:00	29.29	67.51	94.80	4.64	0.08	0.48
	0:00	29.12	66.33	95.45	4.06	0.05	0.43
2025年8月31日	8:00	27.55	67.24	94.79	4.68	0.1	0.43
	0:00	22.23	67.61	94.84	4.64	0.03	0.42
2025年9月1日	8:00	28.45	66.68	95.13	4.82	0.1	0.45
	0:00	28.15	66.3	94.45	5.02	0.1	0.42
2025年9月2日	8:00	28	66.66	94.66	4.82	0.1	0.42
	0:00	25.35	66.44	94.79	4.66	0.1	0.45
2025年9月3日	8:00	28.09	66.51	94.60	4.87	0.1	0.43
	16:00	28.32	66.31	94.63	4.85	0.1	0.42
2025年9月4日	0:00	28.1	66.83	94.93	4.5	0.1	0.44
	8:00	27.76	66.97	94.73	4.68	0.1	0.49
2025年9月5日	16:00	27.87	66.82	94.69	4.75	0.1	0.46
	0:00	28.81	66.3	95.11	4.36	0.1	0.42
2025年9月6日	8:00	28.06	66.75	94.80	4.61	0.1	0.5
	16:00	29.06	66.0	95.07	4.41	0.04	0.47
2025年9月7日	0:00	28.16	66.8	94.97	4.51	0.1	0.42
	8:00	28.02	65.05	94.09	4.5	0.05	0.42

- 有效气产量: 210000Nm³/h
- 有效气平均含量: 92~95%
- 粗渣可燃物平均~1%
- 滤饼可燃物平均~20%
- 碳转化率99.2%
- 2024年11月27日到25年9月24日连续稳定运行302天



已实现>300天长周期，目前满负荷运行中

4

“十五五”技术发展与 规划



“十五五”技术发展规划

01

粉煤废锅流程

新疆山能化工3000
吨级粉煤废锅气化
工业示范

02

5000吨级水煤浆

广西心连心5000吨
级水煤浆工业示范

03

单喷嘴气化炉改造

单喷嘴气化炉向多
喷嘴气化炉改造

04

含碳物料协同

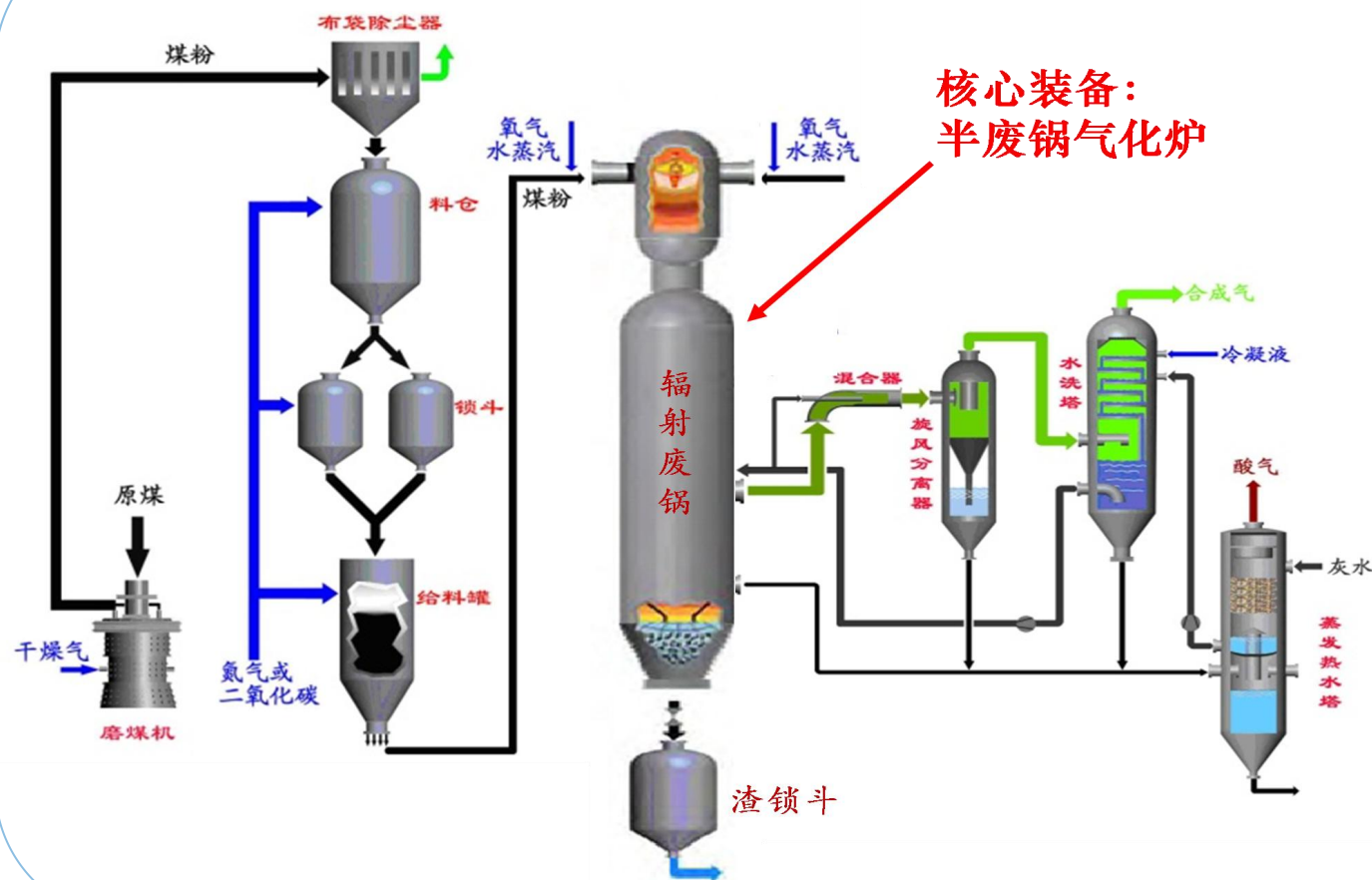
多喷嘴含碳物料协
同处置示范

05

煤浆提浓技术

推广与应用

规划一：3000吨级粉煤废锅气化工业示范



核心技术参数：

- 气化技术：
3000 吨级粉煤废锅气化技术
- 智能控制：
数字孪生装置+实时优化系统
同步设计
覆盖 200 + 关键工艺参数
- 能源利用：
副产蒸汽过热后并入 9.8MPa
蒸汽管网

融入先进过程控制（APC）+ 实时优化（RTO）系统设计，构建“工艺 - 控制 - 优化”一体化方案

动态优化能耗

根据蒸汽管网负荷，实时调整废锅换热参数，副产蒸汽利用率提升至 95% 以上

实时适配煤质波动

通过多变量预测算法，自动调整进料量、氧气配比，将气化炉温度波动控制在 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 以内

全流程动态模拟

工段级仿真：磨煤干燥单元建模要点
动态模拟：粉煤输送系统压力仿真
评分系统：操作规范性评价算法

APC-RTO系统架构设计

面临挑战：

新疆当地煤种高氯、高钾钠特性，随单炉规模扩大，设备腐蚀、结垢风险同步增加，对装置长周期稳定运行提出更高要求

应对措施：

开展高氯高钾钠煤气化特性专项研究

开发针对材料选择方案与防护结构设计

开展高氯高钾钠煤气化特性专项研究

规划三：单喷嘴气化炉向多喷嘴气化炉改造

改造方向一：单炉结构改造

核心目标：保留单炉主体，更换多喷嘴结构，提升单炉效率

适用场景：单炉处理量

多喷嘴



单喷嘴

改造方向二：整体系列改造

核心目标：多台小处理量单喷嘴整合为少台大型多喷嘴，减少系列数

适用场景：单炉处理量小（如1000-1500吨级）、系列数多（如5台以上）的园区级装置

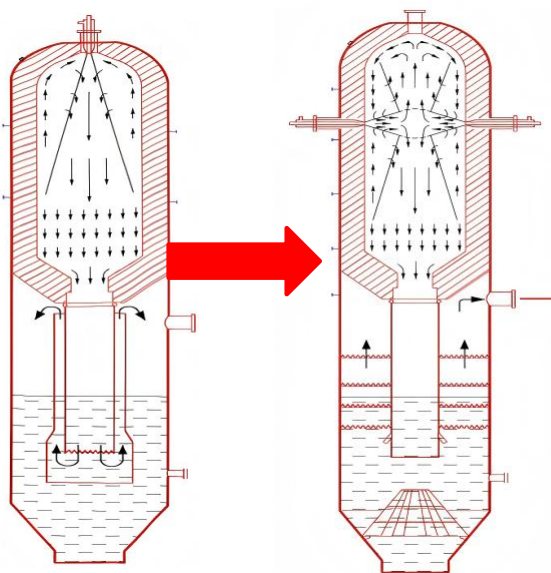
改造方向一：单炉结构改造

改造依据：

依托多喷嘴“撞击流场”核心优势——
— 碳转化率高（>99%）、有效气成分高，改造后可快速提升装置能效与环保水平

改造原则：

- “保留主体 + 更换核心”
- 更换核心部件，多喷嘴燃烧系统（适配原有负荷尺寸）、气化炉燃烧室



经济效益显著：

原料煤消耗降低：碳转化率**提升1个百分点**，年减少原料煤消耗约**6600吨**，按煤炭单价800元/吨计，年节约成本超**528万元**

碳减排：

原料煤消耗减少与能效提升双重作用，单套装置年减少CO₂排放约**1.5-2万吨**

固废减少：

碳转化率提升降低粗渣中可燃物含量，减少气化渣产生量，降低固废处置成本与环境压力



改造方向二：从“多台小”到“少台大”



项目名称：华鲁恒升气化平台升级改造项目

气化炉数量：3开1备

气化压力：6.8MPa

装置有效气产量：690000Nm³/h

单炉有效气量：230000Nm³/h

项目背景

改造背景：德州本部 1500 吨级单喷嘴气化炉 9台

单炉规模小、整体能耗高、运维复杂

核心痛点：德州本部综合能耗 > 荆州项目综合能耗 超出 **5%** 以上

直接降低企业经济效益，削弱产品市场竞争力

改造方案：淘汰现有老旧单喷嘴气化炉，新建 4 台 4000 吨级多喷嘴气化炉，保留并优化原有空分、水处理等公用工程系统，实现气化平台整体升级



降低整体消耗

原料煤消耗：单位产品煤耗降低 **3%**，
年节约煤耗**超 5 万吨**
能耗：整体气化单元能耗降低**8-10%**，
年节约标煤**超 3 万吨**



减少碳排放

原料煤消耗减少 + 能耗降低，年减少
CO₂ 排放超8 万吨
固废排放：碳转化率提升使气化渣可燃
物含量**从 5% 降至 < 1%**，年减少固废处
置量**超 2 万吨**



提升运营效率

运维成本：系列数减少 + 自动化程
度提升，年运维费用降低 **40%超**
2000 万元

	改造前	改造后	变化幅度
单炉日处理煤量	1500 吨 / 台	4000 吨 / 台	提升 166.7%
总气化系列数	9 台	4 台	减少 55.6%
气化系统总占地	约 3.6 万 m²	约 2.2 万 m²	减少 38.9%
运维人员需求	120 人	70 人	减少 41.7%

改造价值



对企业：实现 “低成本升级（无需全流程重建）+ 大型化转型（单炉规模翻倍）+ 效益提升（年降本超亿元）” 三重价值



对行业：为国内超 50 套 “单炉小、系列多” 的气化装置提供可复制方案，推动煤化工行业从 “分散低效” 向 “集约高效” 转型



对政策：助力 “双碳” 目标，单套整合改造项目年减排 CO₂ 超 8 万吨，符合国家节能降碳产业导向

规划四：含碳物料协同处置

技术优势：

依托多喷嘴“**多烧嘴布置**”独特优势，通过气化炉顶部专用烧嘴精准调控进料速率与配比，与主喷嘴原料煤协同气化，不影响主反应稳定性

处置物料范围：

◦**有机废液**：煤化工装置产生的**有机废液**、**甲醇残液**等（COD 值 $\leq 150000\text{mg/L}$ ）
固态含碳物料：**生化污泥**（含水率 $\leq 80\%$ ）、**生物质**（秸秆、木屑，破碎后粒径 $\leq 5\text{mm}$ ）



环保效益：

实现固废 / 废液资源化利用，替代传统焚烧、填埋处置方式，年减少危废处置成本超 800 万元，降低土壤、水体污染风险

节能降碳排：

可替代 10%-15% 原料煤，按单套装置日处理煤 4000 吨计，年替代原煤 14.6-21.9 万吨，减少化石能源消耗，对应减排 CO_2 8-10 万吨

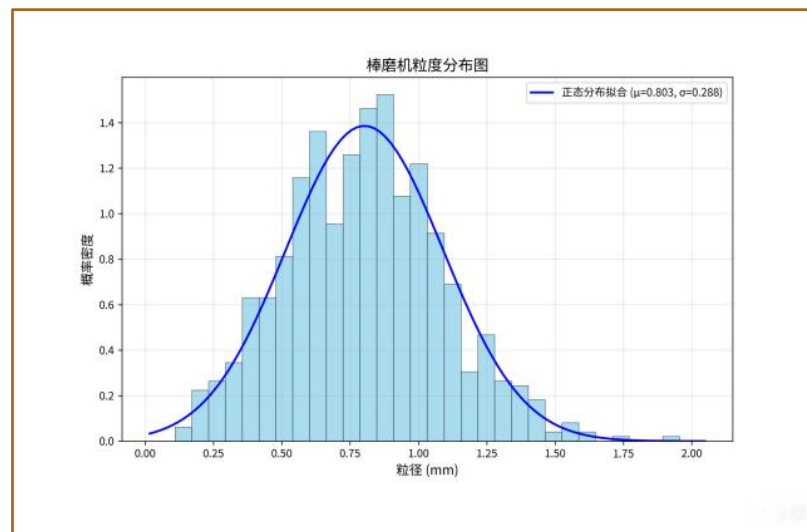
经济效益：

替代原煤降低原料采购成本，同时节省危废处置费用，单套装置年增综合收益超 1500 万元



规划五：煤浆提浓技术推广应用

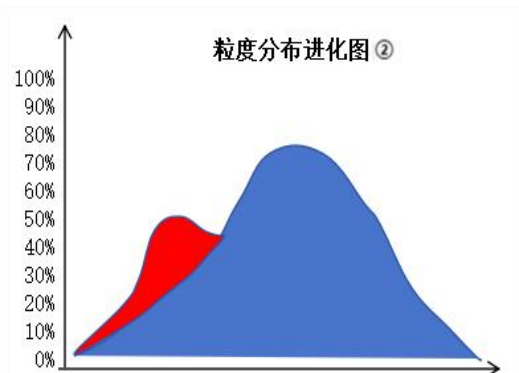
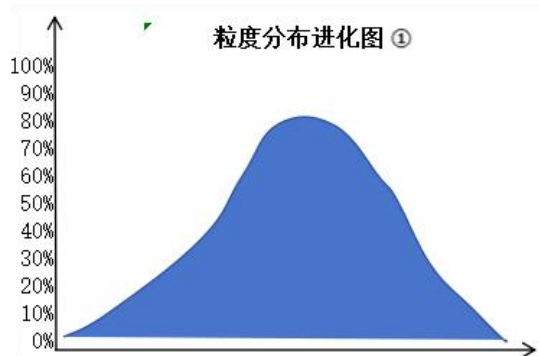
- 荣信化工一期采用棒磨机工艺，根据装置设计、原料煤等因素影响，卧式细磨提浓系统投用前水煤浆浓度在58%左右。煤浆浓度低导致气化效率较低，干标方有效气耗煤、耗氧偏高，不利于系统经济运行。
- 棒磨机产出的水煤浆粒度分布呈正态分布，存在一定缺陷。通俗讲“中间”颗粒过多，影响了级配关系，不能实现高密度堆积，成浆浓度不高。



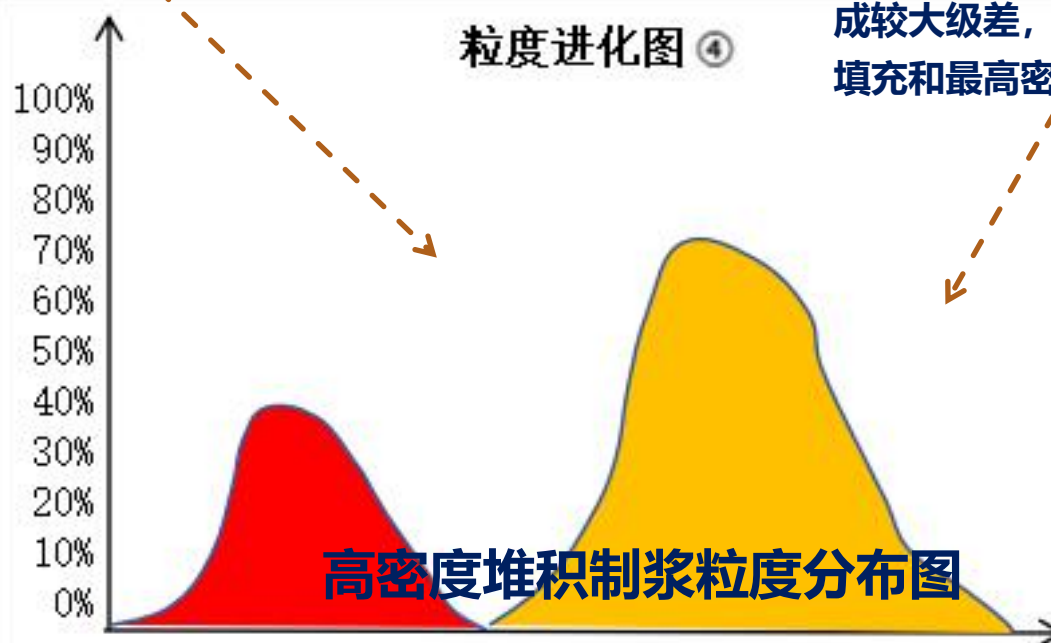
示范装置煤浆
提浓前

技术原理

- 为了改善煤浆粒度级配关系，可采取**干扰现有粒度分布**的措施，将现在的正态分布向哑铃型分布方向转移，可以通过技术手段**增加细颗粒占比**。



细颗粒作用：细颗粒润滑和输送大颗粒，与粗颗粒形成较大级差，实现100%填充。



粗颗粒作用：与细颗粒形成较大级差，实现100%填充和最高密度堆积。

卧式细磨提浓装置

实施过程



一

2025年1月1日：
完成项目可行性
研究报告

二

2025年1月28
日：图形审查
完成100%

三

2025年3月30
日：现场施工
进度完成95%

四

2025年4月15
日：管道吹扫、
清洗、试压

五

2025年4月29
日：煤浆提浓
装置投料试车

六

2025年6月26
日：煤浆提浓
装置性能考核



性能指标

提浓前后重要指标对比				
分项指标	单位	性能考核前 平均值	性能考核期间 平均值	对比
煤浆浓度（一期）	%	58.14	60.50	2.36
有效气含量（一期）	%	80.58	81.97	1.39
单方煤浆产气量（总计）	Nm ³ /m ³	1,310.91	1333.04	22.13
比煤耗（总计备煤皮带）	kg/kNm ³	563.69	554.26	-9.43
比氧耗（总计）	Nm ³ /kNm ₃	368.79	364.65	-4.17
吨甲醇耗煤（总计）	kg/t	1617.67	1544.25	-73.41

提浓装置运行电耗							
序号	设备名称	电压 KV	电流 A	台数	功率因 数	相位差 系数	电耗 Kw.h
1	卧式细磨机	10	14.5	3	0.85	1.732	640.41
2	配浆泵	0.380	65	1	0.85	1.732	36.36
3	粗浆泵	0.380	30	1	0.85	1.732	16.78
4	细浆泵	0.380	32	1	0.85	1.732	17.90
5	分子振动仪	0.380	1	3	0.85	1.732	1.68
6	煤浆槽搅拌器*2	0.380	15	1	0.85	1.732	8.39
合计							729.92

提浓装置自今年5月进入调试阶段，经工况优化，于6月26日—29日完成性能考核，煤浆**平均浓度为60.50%**，最高为61.02%，较提浓前浓度提高**2.36个百分点**；有效气成份增加**1.39%**，同时比煤耗、比氧耗和吨甲醇耗煤同步降低，**年约创效~2000万元**。

兼爱互利 合作共赢

通过“大型化示范 + 智能控制 + 低碳应用”
巩固“多喷嘴气化技术”全球领先地位
助力煤化工行业实现“碳达峰、碳中和”目标！