



中国石化
SINOPEC

SEBG生物质与煤共气化技术



中石化宁波工程有限公司
SINOPEC NINGBO ENGINEERING CO., LTD.

2024-12-12

Contents

目 录

一、生物质资源调研

二、生物质性质及气化难点

三、主要研究成果

四、经济效益与环境效益

1

生物质资源调研

一、生物质资源调研

□ 3060“双碳”目标

- 产业结构升级调整
- 能源绿色低碳清洁高效转型发展

□ 石化行业能源消耗、碳排放量大

□ 零碳能源——生物质

- 地球上最广泛存在的物质；
- 植物生物质的主要成分木质素与纤维素每年以1640亿吨的速度再生，如以能量换算相当于石油产量的15~20倍；
- 我国主要生物质资源年产生量约34.94亿吨，生物质资源作为能源利用的开发潜力为4.6亿吨标准煤。



一、生物质资源调研

- 我国生物质资源丰富，截至2019年底，全国森林面积2.2亿公顷，森林蓄积量175.6亿立方米，实现了30年来连续保持面积、蓄积量的“双增长”，林业生物质能源发展潜力巨大。2019年全国主要农作物秸秆理论资源量为10.4亿吨，可收集资源量为9.0亿吨，利用量为7.2亿吨。
- 现有煤化工装置采用原料煤煤质越来越差，灰含量和灰熔点高，而且原料煤价高（1000-1500元/吨），气化运行经济性差。稻壳、秸秆等农林废弃物价格低（约400-600元/吨，不含收储、成型加工及运输成本），同时生物质灰中碱金属含量较高，气化活性好，可有效降低入炉煤的灰熔点。生物质替代在碳减排方面有广阔的前景，并在相对价格合适时有望提升气化经济性。

生物质种类	低位热值 (kcal/kg)	售价(元/t)
块状花生壳生物质	3600-3800	400-500
颗粒花生壳生物质	3600-3800	500-600
稻壳生物质	3200	500-600
杂木生物质	3900	700-800
松木生物质	4200	1000-1200
樟子松生物质	4200	1200左右

一、生物质资源调研

◆ 安徽省生物质资源调研

- 安徽省作为农业大省生物质资源丰富，主要有：小麦秸秆、玉米秸秆、稻壳、水稻秸秆、大豆秸秆、棉花秸秆、树木、废弃板材等。
- 2021年安徽省农业农村厅发布《安徽省农作物秸秆综合利用五年提升行动计划》中提出推进秸秆收储运体系提标扩容。在现有秸秆收储体系的基础上，进一步完善以需求为导向、企业为龙头、专业合作经济组织为骨干、农户参与、市场化运作的秸秆收储运销体系建设，全省统筹构建乡镇有标准化收储中心、村有固定收储点的“1+X”的秸秆收储体系网络，逐步扩大实际收储产能，实现粮食主产区秸秆收储运销网络乡镇全覆盖。

表2.1-1 秸秆资源量较大县（市、区）名单

地市	区县
淮南市	寿县、潘集区、凤台县
淮北市	濉溪县、烈山区
合肥市	长丰县、肥东县、庐江县、巢湖市
六安市	霍邱县、金安区、裕安区、舒城县
蚌埠市	怀远县、固镇县、五河县、淮上区
阜阳市	临泉县、颍泉区、颍州区、阜南县、颍东区、界首市、颍上县、太和县
亳州市	利辛县、涡阳县、谯城区、蒙城县
宿州市	埇桥区、灵璧县、泗县、萧县、宿松县、砀山县
滁州市	定远县、凤阳县、天长市、明光市、全椒县、南谯区
池州市	贵池区、东至县
马鞍山	和县、含山县、当涂县
安庆市	桐城市、望江县、怀宁县、太湖县
铜陵市	枞阳县
宣城市	宣州区、郎溪县、广德县
芜湖市	鸠江区、无为县、南陵县

一、生物质资源调研

◆ 岳阳市生物质资源调研

芦苇

岳阳市芦苇面积约48万亩，芦苇年产量约为30万吨；

秸秆

岳阳市耕地面积523.36万亩，2023年农作物秸秆可收集量约315万吨；

竹子

竹林面积117.7万亩，立竹总株数2.23亿株，全市年产竹4468.5万株。

岳阳市生物质资源种类丰富，产量巨大，生物质资源利用前景远大。

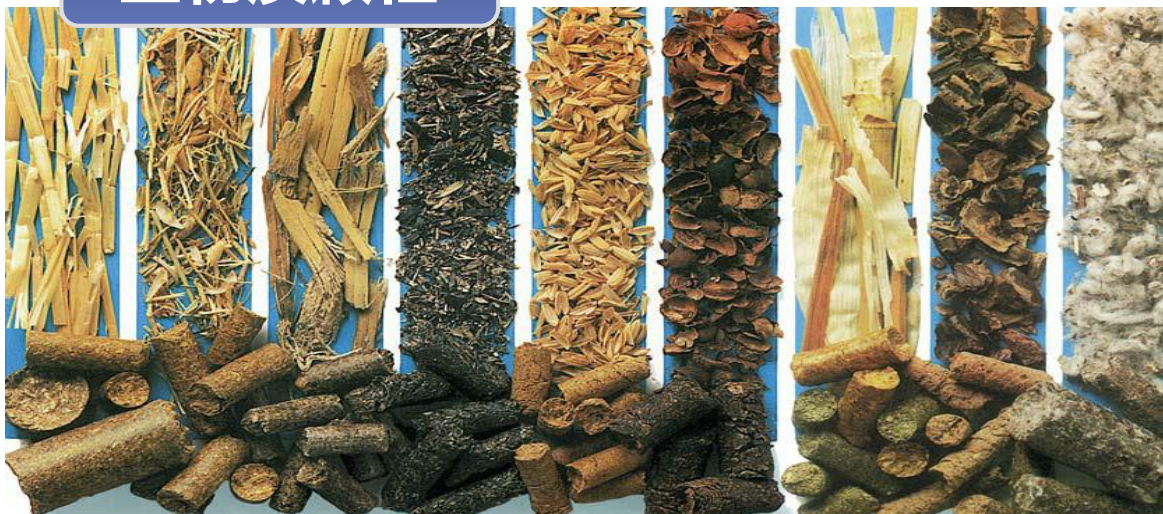
岳阳市及周边地区生有多家物质颗粒生产企业，总产能约2000吨/天，主要有纯木质颗粒、纯竹质颗粒、木竹混合颗粒三类，其中纯木质颗粒，占比约90%。



生物质颗粒生产厂原料堆场

一、生物质资源调研

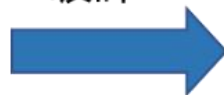
生物质颗粒



压制成型



破碎



过筛、



压制成型



2

生物质性质及气化难点

二、生物质性质及气化难点

1、生物质理化特性

➤ 高含水>40%

高含水导致天然生物质燃烧效率低。

➤ 高钾钠>4%

高钾钠导致生物质锅炉容易出现对流废锅盘管堵灰和碱金属腐蚀问题，影响长周期运行。

➤ 高挥发分>50%ad

高挥发分导致生物质在储运和磨煤单元容易自燃和爆炸，威胁安全生产。固定床气化炉和循环流化床气化炉使用生物质产生的粗煤气含有较多的焦油，气化污水中因为含有焦油难以处理。

➤ 低可磨指数<40

低可磨指数导致常规辊式磨煤机无法将纯天然生物质磨成粉煤锅炉需要的微米级粒度粉末。因此大容量的电站粉煤锅炉和粉煤气化炉无法单独使用生物质。仅小容量的炉排型工业锅炉、固定床气化炉和循环流化床锅炉可以使用生物质。

➤ 低密度<200kg/m³

低密度导致天然生物质运输效率低下、运输成本高。

➤ 低FT<1350℃

低FT导致生物质在锅炉和气化炉内容易结焦，影响长周期运行。

➤ 高度分散

天然生物质资源高度分散在田间山林，收集成本高。

二、生物质性质及气化难点

2、生物质气化难点

受限于生物质密度低、碱金属含量及氯含量高、热值低、氧含量高等特点，通过气化技术大规模高效处理生物质尚存在诸多问题。目前，采用固定床和流化床气化技术处理生物质已有较多研究和实践，但也存在气化炉堵渣、合成气含焦油等诸多问题。气流床生物质气化技术尚停留在理论研究阶段，现有的煤气化装置特别是粉煤气化技术利用生物质将对降碳和绿色转型具有重大现实意义。

气流床气化原料由煤扩展到生物质，需要在技术上解决：

- (1) 煤和生物质的均匀混配问题。
- (2) 煤和生物质的安全、经济制粉。
- (3) 生物质和煤的气化性能探索研究。生物质和煤的化学性质存在较大差异，怎样调整操作参数将对经济性具有重大影响。

3

主要研究成果

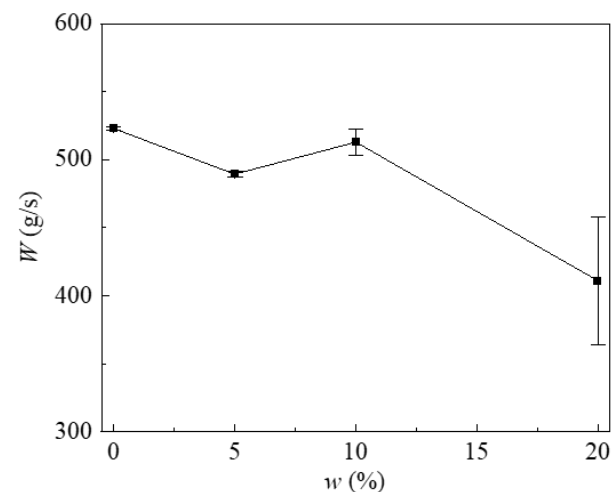
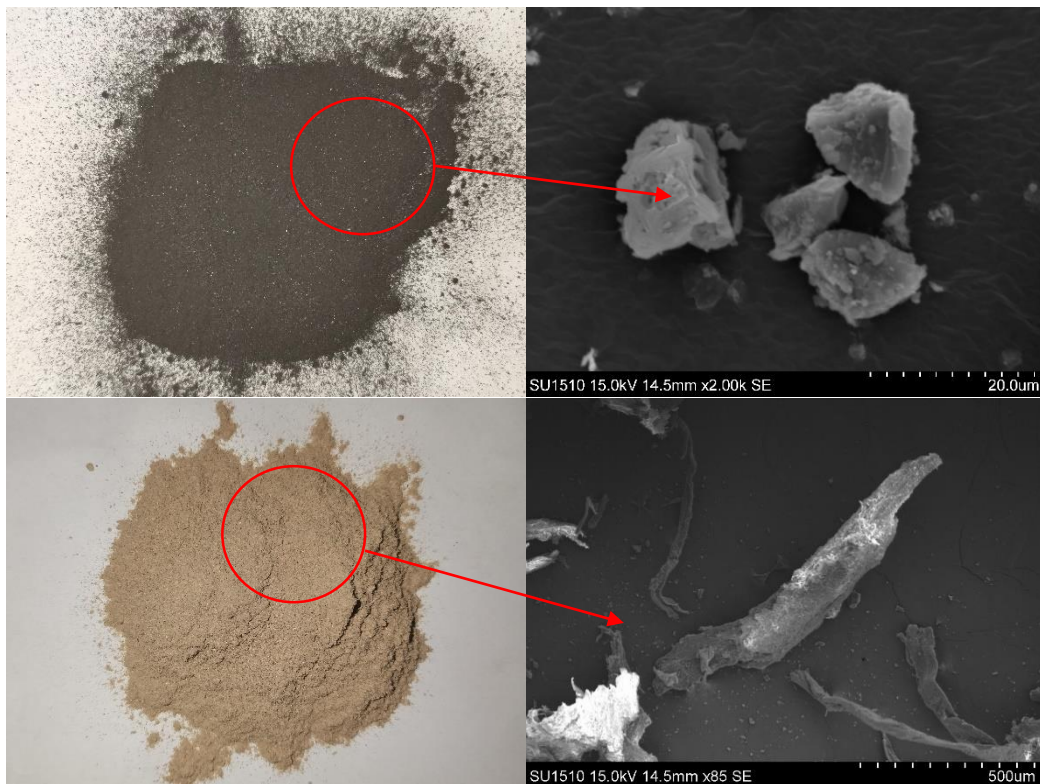
研究成果1

生物质粉与煤粉混合输送



□ 研究成果1：生物质粉与煤粉混合输送

掺混不同比例木粉的粉煤流动特性研究



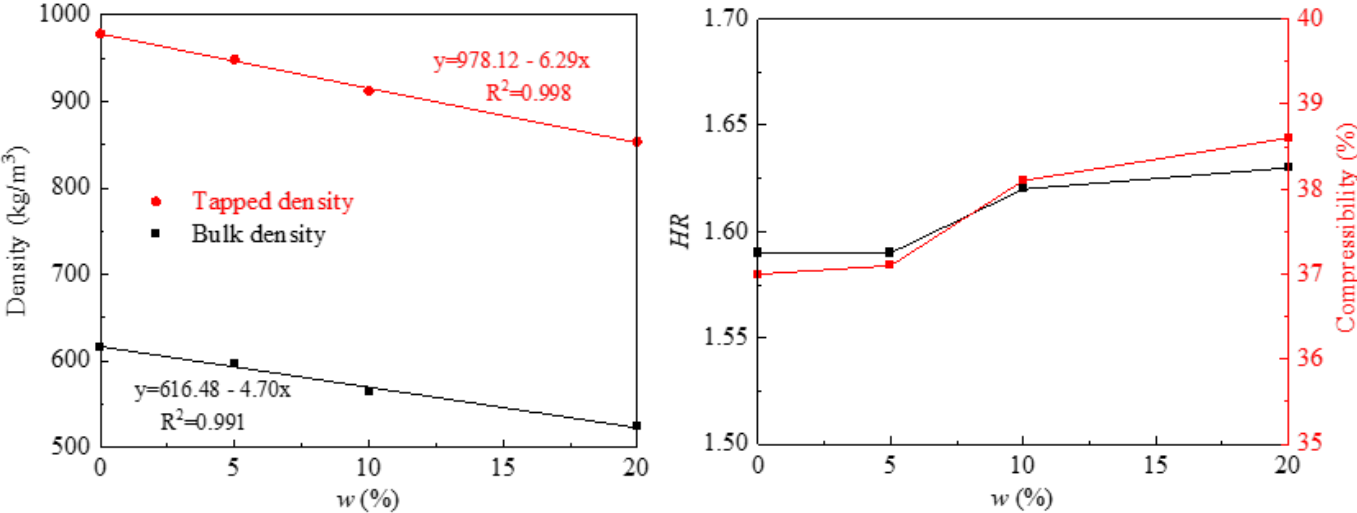
混合比例对料斗下料影响

料斗下料是最直接的表征颗粒流动性方式，也是供料系统中的关键工艺流程。混合比在达到20%时对煤粉流动性的影响最明显，相较于纯煤粉的下料流率下降了约21%。

研究成果1：生物质粉与煤粉混合输送

掺混不同比例木粉的粉煤流动特性研究

随着混合比的增加，混合物的堆积密度和振实密度都呈线性递减趋势。同时混合物的HR 指数和压缩度均有小幅增长。这表明添加木粉会在一定程度上降低粉煤的流动性。



混合比例对堆积性质影响

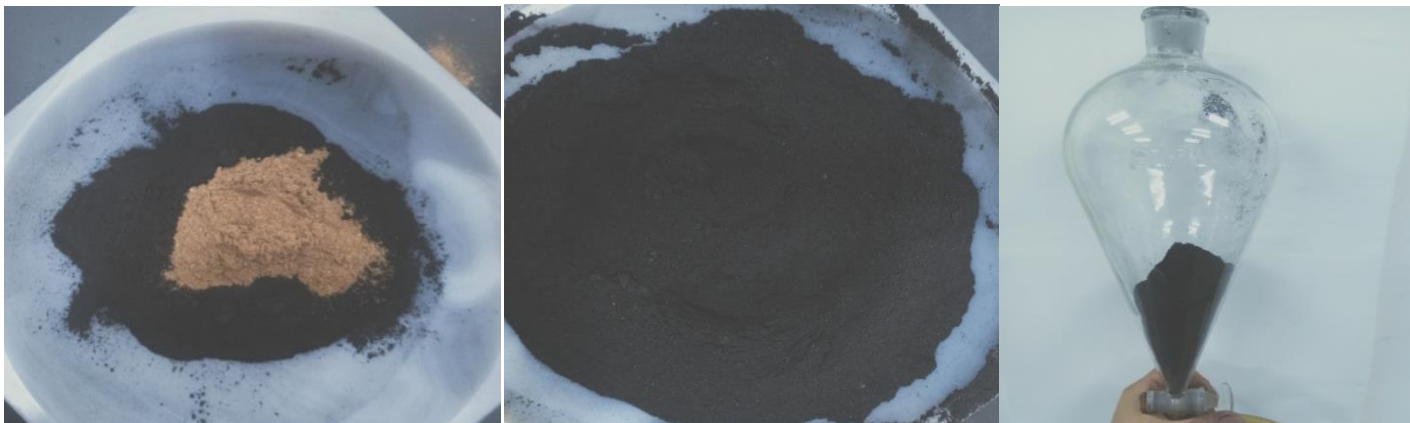
纯粉煤安息角为32.6°，纯生物质粉安息角为41.1°，添加2%生物质粉煤的安息角为39.7°，说明生物质对粉煤流动性影响大。

粉体安息角测试结果				
样品名称	高h	长l	半边长	安息角角度 (°)
纯生物质(100%生物质)	8.3	19.0	9.5	41.1
C线粉煤(添加2%生物质)	5.4	13.0	6.5	39.7
A线粉煤(添加0%生物质)	4.0	12.5	6.3	32.6
橡胶粉	4.0	16.8	8.4	25.5
200目杨木粉	7.5	20.5	10.3	36.2
200目黄竹粉	7.0	21.0	10.5	33.7
20目竹粉	7.3	16.0	8.0	42.4
40目竹粉	7.2	17.0	8.5	40.3
80目竹粉	6.8	18.0	9.0	37.1
100目竹粉	7.0	19.4	9.7	35.8

安息角测试结果

研究成果1：生物质粉与煤粉混合输送

生物质粉与粉煤混合均匀性研究

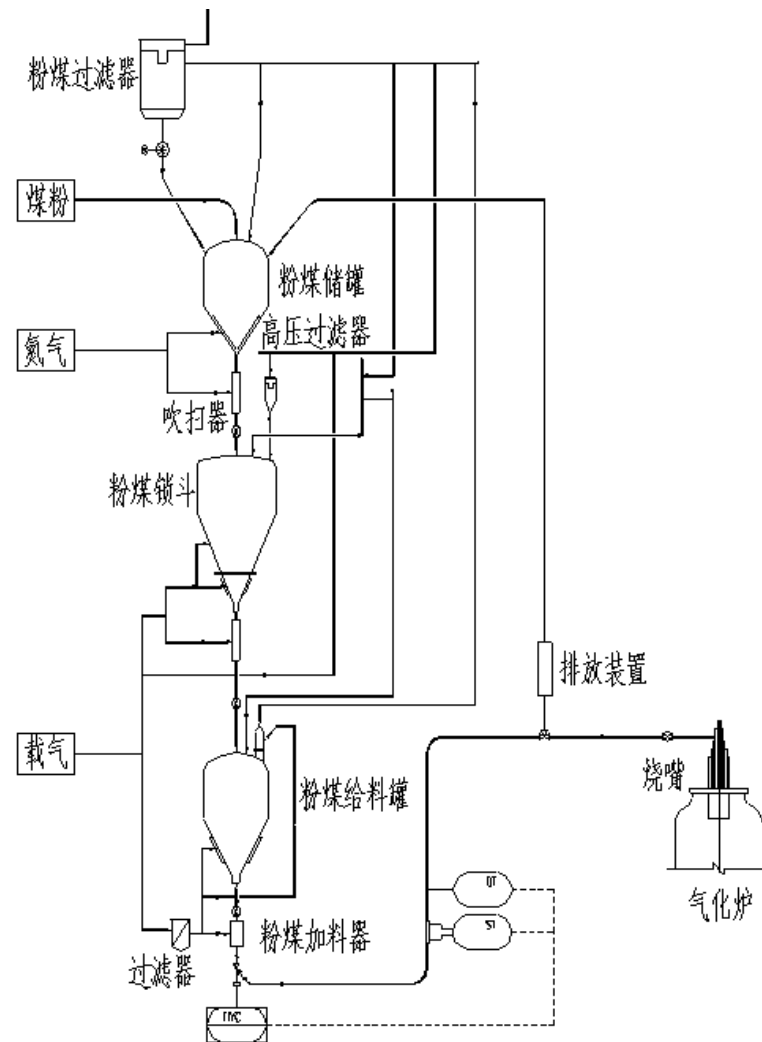


a

b

c

- a. 称取一定量粉煤，按5%比例加入纯木粉；
- b. 混配原料剧烈震动后混合；
- c. 连续通入氮气吹动后，混配原料均未出现明显分层。



□ 研究成果1：生物质粉与煤粉混合输送

生物质粉与煤粉混合物流量测量

粉煤质量流量由放射性密度计和电容式速度计组成。

• 电容式速度计

-速度计工作原理：建立在对固体颗粒电荷的检测上，粉煤在气力输送过程中颗粒之间互相碰撞、摩擦，产生静电，经过速度计时，引起静电场的波动感应出一个电压信号；相邻的一些粉煤颗粒相继经过速度计，感应出一个电压波形。速度计内部有2个圆环电极，2个电极的距离是一定的，根据2个电极接收到同一信号的时间差就能算得粉煤的流动速度。粒径、水分含量、温度等因素对测量有影响。



巴陵石化煤化工部利用备用速度计搭建速度计测试平台

研究成果2

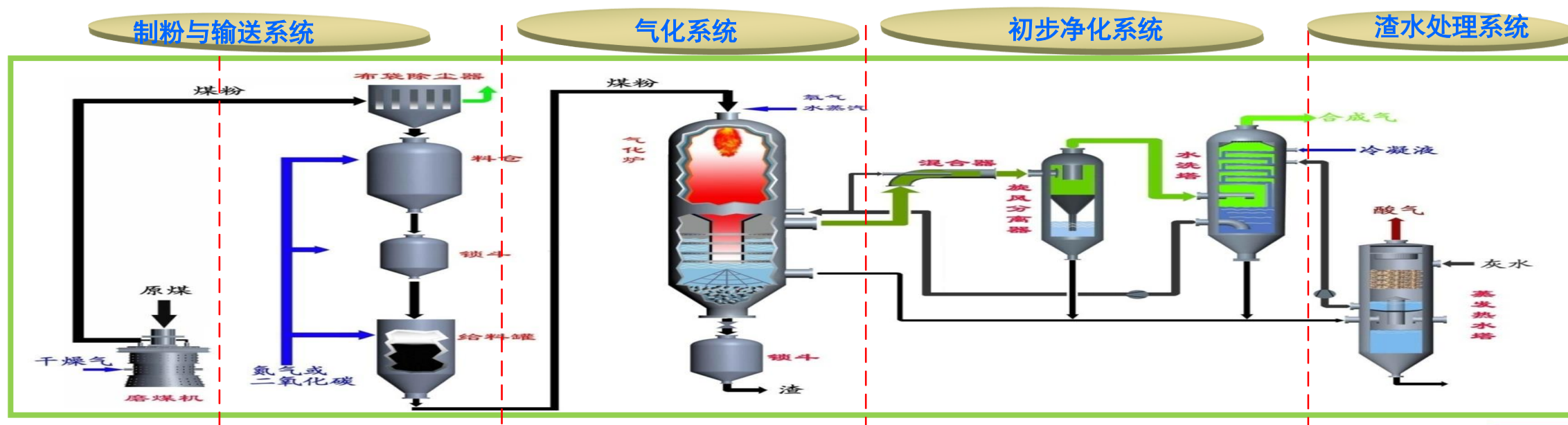
粉煤气化装置生物质与煤共气化
适应性研究



研究成果2：粉煤气化装置生物质与煤共气化适应性研究

粉煤气化装置组成及特点

SE-东方炉粉煤气化技术针对化工合成气的制备工艺特点，采用干燥煤粉加压气化配激冷流程，核心技术为单喷嘴水冷壁气化炉。气化部分配套的粉煤制备、加压输送、合成气激冷洗涤、除渣及灰水处理系统在国内已有成功的操作、运行经验，技术成熟可靠。该技术具有投资较省、运行可靠性较高、对煤种的适应性广、气化技术指标先进的特点。



□ 研究成果2：粉煤气化装置生物质与煤共气化适应性研究

生物质颗粒与原煤混合均匀性研究

生物质颗粒外壁光滑，如直接与原煤混配，容易从煤堆顶部滑落到底部。生物质颗粒在皮带上输送时，在皮带头部上方安装喷淋水管，喷入新鲜水，润湿生物质颗粒外表面，增加粗糙度，防止滑落。同时减少混配过程粉尘，防止粉尘燃烧和污染环境。喷水后，生物质颗粒与原煤混合均匀。

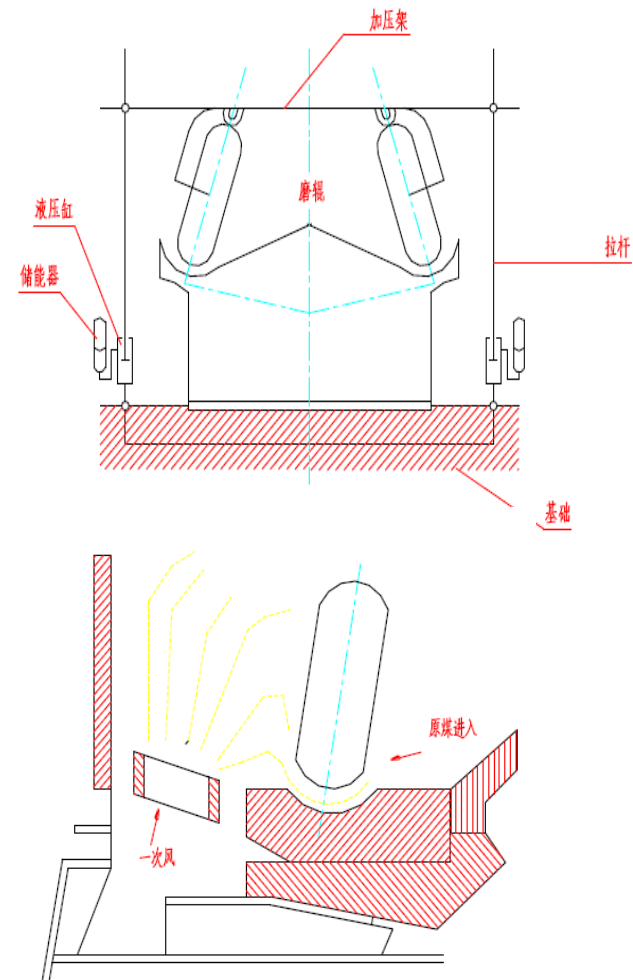


研究成果2：粉煤气化装置生物质与煤共气化适应性研究

原料可磨性研究

- 辊式磨煤机对入磨煤要求：
 - 可磨指数HGI40-170
 - 挥发分16-40%ad
- 高河：红柳林（1：1）混配煤中掺入5%、7%、10%的木质颗粒
 - HGI分别为81、80、75
 - 挥发分分别为24.5%、25.47%、27.05%
- 磨煤机内部安全性评估
 - 贫氧气氛下（氧含量<8%）测得含5%生物质颗粒原煤的燃点519℃
 - 惰性气体加热炉的热风出口温度为300℃
 - 磨煤机内部烟气氧含量为5%-7%

现有辊式磨煤机可以适应木质颗粒/原煤混合物



辊式磨煤机工作原理图

□ 研究成果2：粉煤气化装置生物质与煤共气化适应性研究

含生物质煤粉粒度控制

生物质可磨性差，制粉过程可能发生含生物质粉煤的中位径增加、粒度偏粗，可以通过上调磨辊加载压力制得中位径合格的含生物质粉煤。

2022年5月，巴陵石化第1轮生物质与煤共气化试验期间发现含生物质粉煤中位径为31.10 μm ，是纯粉煤中位径17.93 μm 的1.73倍。

2023年2月，第2轮生物质与煤共气化试验期间添加4%生物质颗粒时发现含生物质粉煤中位径从23 μm 上升到48 μm ，通过上调磨煤机磨辊加载压力和上调旋转分离器转速后，含生物质粉煤中位径恢复正常。

研究成果2：粉煤气化装置生物质与煤共气化适应性研究

木质颗粒和粉料储存安全性研究

空气气氛下测试木质颗粒与原煤混合物的燃点

	燃点℃	说明
木质颗粒	246	
原料煤	318	高河：杨伙盘：神优2#（1：1：2）配方
掺入5%wt木质颗粒的原料煤	312	
粉煤	329	高河：杨伙盘：神优2#（1：1：2）+1%石灰石配方制得的合格粉煤，中位径20um。
掺入5%wt木粉的粉煤	324	木粉粉碎到200目

空气气氛下木质颗粒燃点低于原料煤，掺入5%wt木质颗粒后的原料煤燃点下降6℃；含1%石灰石的粉煤在空气气氛下燃点为329℃，掺入5%wt木粉后粉煤燃点下降5℃

粉煤袋式过滤器影响研究

- 粉煤袋式过滤器滤袋材质为聚苯硫醚纤维永久抗静电覆膜滤袋，耐高温150℃
 - 煤粉出口温度正常设定105℃，112℃高报警，115℃高高报警，计时30秒后若没有降到115℃以下则联锁停磨（磨煤机小保护开关投入状态），120℃高高高报警，立即联锁停磨，主保护动作（主保护投入状态）。
 - 惰性气体发生器出口氧含量检测值和粉煤过滤器出口氧含量监测值之间的大值达到9%，发出高报警，当氧含量达到10%，主保护动作（在投入状态），系统停车。

□ 研究成果2：粉煤气化装置生物质与煤共气化适应性研究

粉煤角阀适应性研究

含生物质粉煤的中位径D50在10-70 μm 之间，在工业试验过程中偶尔发现有10*4mm的未磨碎木屑。

高压粉煤密相输送工艺由大半径管道、粉煤角阀、烧嘴粉煤通道、粉煤速度计和密度计构成。其中粉煤密度计设计采用非接触的放射性密度计，不影响粉煤输送。

粉煤速度计的一次测量元件为线圈，固化在玻纤增强的环氧树脂内件中。环氧树脂耐磨性能良好，线圈不直接接触粉煤，不影响粉煤输送。

大半径管道、烧嘴粉煤通道和粉煤速度计环氧树脂内件的内径相同，可以适应含生物质粉煤。

粉煤角阀是高压粉煤密相输送工艺中唯一的节流元件，角阀的阀芯过流通道尺寸为100*10mm，可以适应含生物质粉煤。

□ 研究成果2：粉煤气化装置生物质与煤共气化适应性研究

气化炉水冷壁适应性研究

粉煤锅炉以生产蒸汽为目标，因此粉煤锅炉水冷壁的迎火面大部分采用光管设计提高传热效率，不需要敷设耐火泥，也不希望水冷壁结渣降低蒸汽产量。生物质燃料中的钾、钠、氯元素含量高，直接在粉煤锅炉燃烧会产生严重的炉膛结渣堵渣和腐蚀问题，难以实现长周期稳定生产。

粉煤气化炉以生产高温高压粗煤气为目标，气化温度高达**1400-1700℃**，采用水冷壁和液态排渣工艺，气化炉采用“以渣抗渣”原理利用原料煤灰分实现了对水冷壁的有效保护。气化炉水冷壁迎火面全部敷设耐火材料，并且利用煤中灰分在迎火面形成固定渣层和流动渣层保护水冷壁。粉煤气化炉掺烧生物质时，固定渣层阻止钾钠氯元素与水冷壁接触，不会产生腐蚀钾钠碱金属腐蚀和氯化氢腐蚀。因此气化炉水冷壁可以适应含生物质粉煤。

研究成果3

生物质与煤共气化工业示范



□ 研究成果3：生物质与煤共气化示范

巴陵石化生物质与煤共气化可行性试验

巴陵石化第一阶段生物质与煤共气化试验：2022年5月10日至5月14日，生物质压缩颗粒原料为松树皮，生物质颗粒添加比例1%~2%，共消耗生物质压缩颗粒46.3吨。

巴陵石化第二阶段生物质与煤共气化试验：2023年2月8日至2月18日，生物质压缩颗粒原料为废旧家具，生物质压缩颗粒添加比例为2%-10%，共消耗生物质压缩颗粒882吨。

巴陵石化生物质与煤共气化试验证明，在不改变工艺流程、不改变操作方法、不对现有的设备进行改造的前提下，原料煤掺混生物质颗粒能够在气流床粉煤气化炉共气化，技术可行、操作稳定、风险低，可以满足粉煤气化装置满负荷生产需要。

研究成果3：生物质与煤共气化示范

中安联合生物质与煤共气化示范

1、基本情况

中安联合煤制甲醇及转化项目煤气化装置采用日投煤1500吨级SE-东方炉粉煤气化技术，共设置7台SE-东方炉，正常工况5开2备运行。合成气净化装置共2系列。在中安联合煤化有限责任公司进行的生物质与煤共气化试验期间（2024年4月12日至26日），净化装置单系列更换催化剂，气化装置三炉运行，即第1、2、3系列运行。

采用的生物质为中安公司所在地附近（100公里以内）废旧家具等制成的压缩颗粒，生物质掺混比例5%、10%、15%、20%，共消耗生物质压缩颗粒2431吨。

设计煤种与生物质性质对比

项目		设计煤	生物质
水分	Mar%	8	8.07
灰分	Ad%	20	6.13
挥发分	Vd%	28.2	71.51
固定碳	FCd%	52.2	
干基高位发热量, MJ/kg	HHVd	27.87	18.38

研究成果3：生物质与煤共气化示范

2、入炉煤质

试验采用的原料煤为中蒙煤、神优煤、朱集西煤，40%：35 %：25 % 比例的混煤，全煤工况与5%生物质掺烧工况原料性质如下表：

项目			全煤	5%生物质
工业分析	水分	Mar%	2.22	2.14
	灰分	Ad%	13.35	12.63
	挥发分	Vd%	32.50	32.85
	固定碳	FCd%	51.93	52.38
发热量，kJ/kg		HHVd	28158	27715
元素分析 (%)	碳 %	Cd	68.47	66.59
	氢 %	Hd	4.74	4.75
	氮 %	Nd	0.92	0.99
	硫 %	Sd	0.80	0.78
	氧 %	Od	9.53	11.73
	氯 %	Cl d	0.04	0.05

研究成果3：生物质与煤共气化示范

3、运行总体情况

生物质与煤共气化工业试验首先对第1、2、3系列进行全煤工况72小时标定，随后对1、2、3系列进行5%生物质掺烧72小时标定。

标定工作完成后，第1、2系列恢复全煤工况，第3系列继续提高生物质掺烧比例至10%、15%、20%，单系列掺烧试验时间共计96小时。

5%生物质掺烧72小时标定期间，各系列负荷：

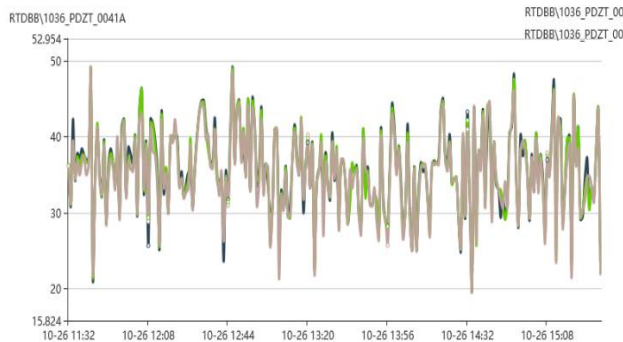
		设计值	考核值	考核负荷
全装置	日投煤量(干基, 吨)	7500	3732	49.76%
	投氧量, kg/h	255000	132769	52.07%
	有效气(CO+H ₂)产量Nm ³ /h	515000	277519	53.89%
第1系列	日投煤量(干基, 吨)	1500	1300	86.64%
	投氧量, kg/h	51000	47004	92.17%
	有效气(CO+H ₂)产量Nm ³ /h	103000	98250	95.39%
第2系列	日投煤量(干基, 吨)	1500	1091	72.72%
	投氧量, kg/h	51000	38784	76.05%
	有效气(CO+H ₂)产量Nm ³ /h	103000	81068	78.71%
第3系列	日投煤量(干基, 吨)	1500	1342	89.47%
	投氧量, kg/h	51000	46981	92.12%
	有效气(CO+H ₂)产量Nm ³ /h	103000	98201	95.34%

□ 研究成果3：生物质与煤共气化示范

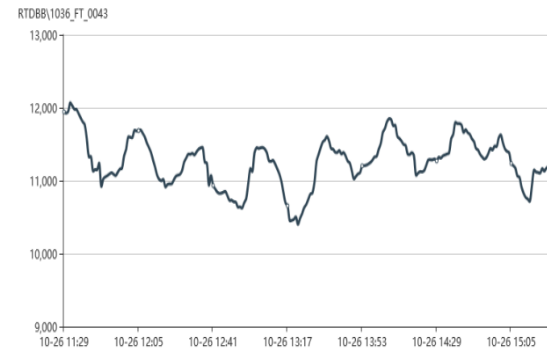
3、运行总体情况



煤线的稳定性评价趋势图



气化炉渣口压差变化趋势图



汽包产汽量波动情况

- (1) 粉煤加压输送单元总体运行情况良好，三条煤线流量稳定，各密度计、速度计无较大波动。
- (2) 气化及合成气冷却单元运行良好，气化炉渣口压差无较大波动，汽包产汽量稳定。
- (3) 除渣单元、灰水处理单元、气化公用工程单元总体运行正常。

□ 研究成果3：生物质与煤共气化示范

3、运行总体情况



图4.3-1 原料仓现场图



图4.3-2输煤皮带现场图

生物质比例10%~20%，原料煤输储系统运行基本正常，磨煤正常运行，粉煤过滤器压差正常，纤维分离器清理中，筛网较干净，出现少量木屑、纤维等异物。

- (1) 磨煤机提负荷后电流稳定。
- (2) 系统氧含量稳定。
- (3) 生物质与原煤混配现场及输送皮带处有粉尘。

□ 研究成果3：生物质与煤共气化示范

4、主要性能指标

		全煤工况	5%生物质掺烧工况
投料量(干基)	t/h	158.1	161.9
投料量(收到基)	t/h	182.1	184.8
投氧量	Nm ³ /h	92985	93101
总氧煤比		0.840	0.820
有效气产量	Nm ³ /h	273972	277519
干基有效气含量	%v	85.19	84.87
汽包蒸汽产量	t/h	33.58	31.83
比原料耗(干基)	kg/kNm ³	577	583
比氧耗	Nm ³ /kNm ³	339	335

在同样的氧气负荷及合成气产出下，掺烧5%生物质比氧耗335Nm³/kNm³，略低于全煤工况的339Nm³/kNm³；比煤耗583kg/kNm³，略高于全煤工况比煤耗577kg/kNm³。

研究成果3：生物质与煤共气化示范

5、外排废水分析数据

分析项目	单位	全煤工况			5%生物质掺烧工况		
悬浮物	mg/L	97	75		52	81	127
溶解性固体	mg/L	950	954	851	1433	1277	1388
pH值		6.8	6.8	6.9	6.4	6.7	6.4
电导率	μS/cm	1793	1800	1605	2704	2390	2619
硬度	mg/L	342.65	343.06	322.5	353.94	284.6	222.12
总碱度(以CaCO ₃ 计)	mg/L	191.44	189.37	197.65	90.03	150.05	91.06
氯离子	mg/L	224	223	214	279	264	310
氨氮	mg/L	103.64	108.71		116.13		113.8
COD _{Cr}	mg/L	218	232	277	227	211	249

相对于全煤工况，掺烧5%生物质工况外排废水中氯离子含量和氨氮含量略有上升，整体指标在正常控制范围内。

4

经济效益与社会效益

四、小结

在巴陵石化和中安联合煤气化装置进行的生物质与煤共气化试验中，装置运行稳定，气化装置各项参数均在正常范围内，特别是煤线速度计、密度计未出现明显波动，使得入炉煤粉流量稳定，气化炉炉温关键参数汽包产汽量在要求控制范围内波动，无较大偏差，渣口压差也无明显上涨趋势，气化炉渣口无结渣现象，并取得了较好的经济性指标。根据中安第二阶段生物质掺烧工业试验结果，3台气化炉同时掺烧5%生物质时，二氧化碳减排量为15.65t/h，显示出良好的减碳潜力。

在中安煤气化装置进行了较长时间、较大比例的生物质与煤共气化工业运行，特别是高标准完成了5%生物质掺烧的工业试烧标定，同时进行了20%比例的生物质工业试烧，在业界属于首次，为现有煤气化装置降碳减碳开辟了新的经济途径，意义重大。中国是全世界煤气化技术应用最广泛的国家，在无需对现有气化装置进行大幅度改造的前提下，实现生物质部分替代原料煤，为现有煤气化装置降碳减碳开辟了新途径。

谢谢

谢谢各位领导和专家！ 敬请指正！



中国石化
SINOPEC