



生物质与煤气流床共气化工业实践



第五届炼化企业创新发展大会暨新技术与解决方案交流会

1. “碳中和”与煤气化
2. 蓝氢、灰氢和绿氢
3. 生物质与煤共气化
4. 可行性评估
5. 工业试验进展
6. 创新点
7. 专利

Contents

目 录

1、“碳中和”与煤气化

1. 温室气体二氧化碳大量排放引发全球气候变暖。
2. 2020年9月中国明确提出2030年“碳达峰”与2060年“碳中和”目标。
3. 2023年全国两会期间，马永生董事长提交了《统筹推进废塑料和生物质资源化利用 加快推动炼化行业绿色转型发展》的提案。
4. 煤气化行业是仅次于火力发电的碳排放大户。
5. 煤气化工业用煤量占煤炭产量10%。全国煤炭产量40亿吨/年。
6. 碳排放压力很大。
7. 湖南石化公司日投煤2500吨气流床粉煤气化装置，AP粉煤气化技术，年耗煤约70万吨，是碳排放大户，低碳发展转型压力大。

2、蓝氢、灰氢和绿氢

- ① **绿氢**是可再生能源(如风电、水电、太阳能、生物质)等制氢，制氢过程完全没有碳排放或能够实现碳中和;
- ② **灰氢**是化石燃料制氢，如石油天然气、煤炭制氢，有碳排放;
- ③ **蓝氢**是指使用化石燃料制氢，同时使用碳捕集和碳封存。

	碳排放	可靠性	运行成本。元/kgH ₂	技术成熟	生产规模
绿氢	0	差	10-12（生物质） 15-20（再生电）	成熟中	可忽略（生物质） 小（再生电）
灰氢	11吨CO ₂ /吨H ₂ （煤） 3吨CO ₂ /吨H ₂ （天然气）	优秀	8-12（煤） 12-18（氯碱副产氢） 16-20（天然气） 40-45（火力电）	成熟	巨大（煤） 小（氯碱副产氢） 中（天然气） 可忽略（火力电）
蓝氢	11吨CO ₂ /吨H ₂ （煤） 3吨CO ₂ /吨H ₂ （天然气） 部分CO ₂ 封存捕捉。	优秀	12-15（煤） 24-30（天然气）	成熟	小（煤） 可忽略（天然气）

3、生物质与煤共气化

1. 可再生能源是指在自然界中能够循环再生的能源，不会枯竭或耗尽。可再生能源包括太阳能、风能、水能、生物质能等。零碳排放、资源丰富。
2. 当前主流绿色氢气生产工艺为太阳能发电、储能、电解水制氢。生物质气化制绿色氢气规模较小。
3. 可靠性差，稳定性差。太阳能风能发绿电，电压不稳，仅晴天合适。需要大规模智能电网匹配，绿电消纳能力有限。
4. 生物质能：多样性、普遍性、丰富性、可再生性、低污染、碳中性和高可靠性的特点。生物质具有类似煤炭的供应可靠性。
5. 湖南石化煤气化装置对原料供应可靠性和生产稳定性有较高要求。生物质方案是可靠性和稳定性相对较高的降碳技术路线。
6. 能否将熟悉的煤气化制氢技术与生物质能源相结合，形成中石化特有的绿色氢气生产技术？

3.1、天然生物质的特点

1. 生物质能是仅次于煤炭、石油、天然气的第四大能源，是最重要的可再生能源。再生速度每年**1640亿吨**，相当于石油产量的**15-20倍**。
2. 我国农林业废弃物（秸秆、竹屑、木粉、稻壳）产量**10亿吨/年**。
3. 天然生物质
 - 外观形态多样化，几何尺寸波动很大，质量不稳，难以大规模工业化应用。



3.1、天然生物物质理化性质

序号	项目	单位	典型生物质（锯木粉，岳阳某厂木质颗粒的原料）	湖南石化粉煤气化炉典型入炉煤理化性质（含石灰石）
1	灰中SiO ₂ /Al ₂ O ₃ 比	-	4.35	1.85
2	氯含量	%(m/m)	0.13	0.02
3	灰熔点FT	°C	1270	1380
4	全水分Mt	%(m/m)	45	12
5	灰分Aad	%(m/m)	4.65	18.58
6	灰中K ₂ O+Na ₂ O含量	%(m/m)	3.89	2.32
7	挥发分Vad	%(m/m)	75.6	21.8
8	总硫Stad	%(m/m)	0.14	0.30
9	空气气氛中燃点	°C	246	318
10	可磨指数	-	22	95
11	堆密度	kg/m ³	150	850
12	碳含量Cad	%(m/m)	49.28	70.09
13	氧含量Oad	%(m/m)	37.88	6.77



3.1、天然生物质理化性质

- 1)、低可磨指数HGI，20-30，而辊式磨煤机要求入磨机物料的HGI在40-170之间。
- 2)、低堆密度，100-200kg/m³。运输成本高。
- 3)、高含水，40%Ar-65%Ar，收到基热值。
- 4)、高度分散在田间山林，收集成本高。
- 5)、高钾钠，天然生物质灰中氧化钾和氧化钠含量在3%wt-40%wt之间。堵灰和碱金属腐蚀。
- 6)、高挥发分，50%ad-80%ad。易自燃。

3.1、天然生物质理化性质

- 7)、低灰熔点FT，1100-1350°C之间，易结焦，气化反应温度偏低，碳转化率低于95%，粗煤气含有较多的焦油。
- 8)、低燃点，木质颗粒在空气气氛下的燃点为246°C，易自燃。
- 9)、粉尘多。
- 10)、高氯含量，0.13%-0.22%，氯化氢腐蚀、奥氏体不锈钢氯离子应力腐蚀。

3.1、天然生物质理化性质

- 11)、特低硫，0.03%-0.14%，降低SO_x排放，耐硫变换催化剂反硫化失活。
- 12)、低灰分，一般小于6%，减少排渣、补加床料、水冷壁过热损坏。
- 13)、高硅铝比，硅铝比一般为2.0-8.0，有利于降低灰熔点。

3.1、天然生物质理化性质

14)、碳含量低，30.0%-50.0%。

15)、氧含量高，30.0%-45.0%。天然生物质中氧含量在煤气化工艺中可以当纯氧用，有利于降低氧耗。天然生物质中氧含量在燃烧工艺中可以当空气用，有利于降低锅炉风煤比。

小结：天然生物质在资源利用（发电、气化）方面存在15个技术难题，其中影响天然生物质资源化利用的关键难点为：高含水、高度分散和低堆密度。

3.2-生物质颗粒理化性质

天然生物质内主要含有纤维素（48%wt）、木质素（25%wt）、半纤维素（24%wt）。天然高分子物质。塑料加工行业成熟的粉碎干燥挤压造粒成型技术将天然生物质加工成高密度低水分生物质颗粒。

2010年来，生物质能源行业已经广泛成功应用粉碎干燥挤压造粒成型技术，利用农业废弃物如稻壳、秸秆、木竹材加工边角料、旧家具，经过干燥、粉碎、挤压等工序，通过控制合适的干燥温度，干燥过程只脱水不产生焦油，成功生产出高密度低水分生物质颗粒，解决了天然生物质高度分散、高含水 and 低密度问题。生物质颗粒生产过程中不产生易堵塞设备的焦油，设备运行正常。

3.2-生物质颗粒理化性质

序号	1	2	3	4
	堆密度	全水	真密度	资源分散评估
	kg/M3	%ar	kg/M3	
天然生物质	100-200	40-65		高度分散
生物质颗粒	500-600	<15	1000-1100	相对集中在生物质压缩颗粒工厂，每天产能约20-60吨
烟煤	800-900	<15		高度集中
无烟煤	900-1000	<10		高度集中

以农林业废弃物为原料生产生物质颗粒，不与家具、模板行业争夺原材料，具有低成本优势。生物质颗粒的资源相对集中在颗粒工厂，基本匹配大规模煤气化工艺。

3.3-生物质利用现状

1. 生物质气化
 - 主要采用流化床气化炉和固定床气化炉；
 - 气化温度800-1000℃, 碳转化率在90%-95%；
 - 气化污水中COD含量为1200-6200mg/L、酚含量约2.3-2.6mg/L和焦油含量26-89mg/L, 难处理。
 - 2022年前国内外生物质气流床气化技术尚无成功工业运行的案例。

3.3-生物质利用现状

2. 生物质燃烧

- 可磨指数低，粉煤锅炉直接燃用生物质时锅炉出力远低于额定值。
- 目前生物质直接燃烧主要采用层燃和流化床燃烧工艺。
- 层燃工艺以水冷振动炉排锅炉为主，操作方便，运行费用低。生物质中钾钠碱金属盐在尾部受热面结垢，引起受热面碱金属腐蚀。烟气中的氯在高温条件下加速燃烧系统腐蚀。
- 流化床燃烧工艺以循环流化床锅炉CFB为主。燃料适应性强，直接燃烧生物质。生物质中钾钠碱金属可能与床料反应形成低熔点的共晶化合物而引起团聚,造成流态恶化。CFB锅炉床料磨损管道，检修频率高。
- 热值偏低，燃烧生物质产蒸汽发电成本高于煤，需要经济补贴。
- 国内外生物质直接燃烧发电主要采用CFB锅炉，技术层面基本可行，有成本高和设备磨损问题。

3.4-湖南石化粉煤煤气化装置运行现状

1. 采用壳牌粉煤气化技术，以煤为原料生产粗煤气，装置规模日处理煤2300吨，有效气（ H_2+CO ）产量142000NM³/hr，年耗煤70万吨。降碳任务艰巨。
2. 2020年湖南石化煤化工部科研团队开始尝试摸索煤气化装置减煤降碳技术。
3. 2022年3月总部下达科研任务《生物质颗粒部分替代原料煤气化技术研究》（课题编号：CHG22065），由湖南石化公司和宁波工程公司共同承担。利用现有气流床粉煤气化装置，不改变工艺流程、操作方法、设备设施的前提下，开展生物质颗粒部分替代原料煤气化技术研究，使用生物质部分替代原料煤生产绿色氢气，从源头减少二氧化碳排放。

3.5-突破口：生物质颗粒

2010年起，利用农业废弃物如稻壳、秸秆、木竹材加工边角料，采用可靠挤压造粒工艺生产生物质颗粒，具有稳定的几何尺寸和质量，基本可靠地解决了低密度、高含水、高度分散“三大难题”。



3.6-湖南石化的解决方案

1. 生物质颗粒与煤气流床共气化制氢。
2. 将市场可获得的生物质压缩颗粒资源，当新煤种处理，采用多元混配煤技术，选择一种或两种高可磨指数、低钾钠、低挥发分、高FT原料煤与生物质压缩颗粒混配制成生物质原煤混合物，符合粉煤气化炉入炉煤质量标准，解决生物质颗粒低可磨指数、高钾钠、高挥发分、低FT等4大难题，采用粉煤气化行业成熟可靠的磨煤干燥、高压密相输送、气流床气化工工艺将生物质原煤混合物气化生成高温高压粗煤气，同步解决废热锅炉堵灰、碱金属腐蚀、堵渣、自燃等问题，形成自主知识产权的生物质气化成套技术。
3. 目标：生物质颗粒掺配比例在5%-10%之间。碳转化率>98%、不堵渣、不堵灰、气化污水COD<500mg/L、粗煤气中不含焦油。

4-可行性评估

粉煤气化炉入炉粉煤质量标准

序号	项目	单位	合格范围
1	灰中SiO ₂ /Al ₂ O ₃ 比		1.8-2.8
2	灰中Fe ₂ O ₃ 含量	% (m/m)	≤8
3	灰熔点FT	°C	1350-1420
4	全水分Mt	% (m/m)	≤3.0
5	灰分Aad	% (m/m)	13.0-19.0
6	灰中K ₂ O+Na ₂ O含量	% (m/m)	≤3.0
7	挥发分Vad	% (m/m)	20-28

1、187:155:316（8:12:1）混煤预评价报告

HM187为山西潞安集团高河矿，具有低硅铝比、低铁、低硫、高灰分、高灰熔点的特点。

HM155为陕西神木红柳林矿，具有高硅铝比、中铁、低硫、中灰分、中灰熔点特点。

HM316为湖南临湘羊楼司镇某公司产木粉压缩颗粒。

2、187:155:316（8:12:1）粉煤的硅铝比1.98、氧化铁含量4.21%，添加1.2 %石灰石后灰分为16.29%、挥发分为26.47%、灰中氧化钙含量11.98%、HGI为75，符合粉煤气化炉入炉煤质量标准，气化炉堵渣堵灰风险低。掺混的生物质比例仅5%，相当于新煤种，无安全风险。

5-工业试验进展

1. 运用中石化自有混配煤技术，选择低挥发分、低钾钠、高FT、高可磨指数的二元混配原料煤与木质颗粒混配，成功解决生物质高挥发分、高钾钠、低FT、低可磨指数难题。
2. 2022年完成木质压缩颗粒与煤共气化成套技术。
3. 2023年2月8日-18日，在湖南石化粉煤气化装置顺利完成木质颗粒与潞安：红柳林（1:1）混配煤的共气化工业试烧。
4. 木质颗粒的原料为岳阳市区旧家具。
5. 掺烧比例2%-10%，气化炉掺烧5%比例生物质颗粒的72小时性能测试。
6. 共使用含木质压缩颗粒混煤17866吨, 其中木质压缩颗粒882吨。

5-工业试验进展



5-工业试验进展

序号	参数	单位	生物质掺烧5%工况标定值	全煤对比工况
1	气化炉压力	MPaG	4.0	4.0
2	氧气流量	Nm ³ /h	46509	46003
3	有效气产量	Nm ³ /h	127734	122834
4	比氧耗	Nm ³ /kNm ³	364	374.5
5	比煤耗（干基）	kg/kNm ³	594	610
6	碳转化率	%wt	99.1	98.8
7	干基有效气（CO+H ₂ ）含量	%vol	84.92	84.13
8	干基合成气甲烷含量	ppm	147.29	331.72
9	综合能耗	GJ/kNm ³	19.63	20.55
10	飞灰产量	t/d	59.5	62.6
11	滤饼产量	t/d	23.6	24.5

5-工业试验进展：结论

- 本次试烧生物质掺烧比例达到10%，运行稳定，操作可控。
- 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，工业运行有经济性。
- 原料煤储运混配装置正常运行，日产含生物质颗粒混配煤2500吨，可以满足粉煤气化装置满负荷生产需要，没有发生生物质粉尘自燃着火事件。
- 生物质颗粒和煤混配均匀，粉煤气化装置正常运行，碳转化率为99.1%、气化炉运行正常不堵渣不堵灰、气化污水COD为414mg/L。
- 相对于全煤工况，掺烧5%生物质颗粒时每天可以减少二氧化碳排放167吨。

6-创新点

- (1) 不改变现有气流床粉煤气化装置工艺流程，世界上首次实现生物质颗粒与原料煤气流床共气化工业实践。
- (2) 在煤气化行业首次建立了适合气流床气化工艺的生物质颗粒采购质量标准。
- (3) 形成生物质颗粒与煤气流床共气化成套技术。
- (4) 利用生物质高钾钠的特点实现催化气化提升碳转化率；
- (5) 建立了生物质颗粒成套分析方法，包含：元素分析、工业分析、灰组成分析、可磨指数分析和灰熔点分析。

7-专利

国别	申请号	专利号	名称
中国	202320433135.1	ZL202320433135.1	一种水冷壁气化炉渣层厚度监测装置
中国	202321002369.7	ZL202321002369.7	一种煤气化中有效气的流量计量装置
中国	CN201721511723.3	CN207659404U	一种粉煤气化炉渣屏除渣装置
中国	CN220573353 U	ZL202321570020.3	一种生物质颗粒与煤混配装置
中国	2023213260270	ZL2023213260270	一种提升水煤浆浓度的制浆装置
中国	202110338386.7	-	一种生物质制粗煤气的方法

7-展望

- (1) 研发生物质与煤水煤浆气流床气化技术。
- (2) 研发粉煤锅炉掺烧生物质颗粒成套技术。

谢谢

www.sinopec.com



中国石化
SINOPEC