



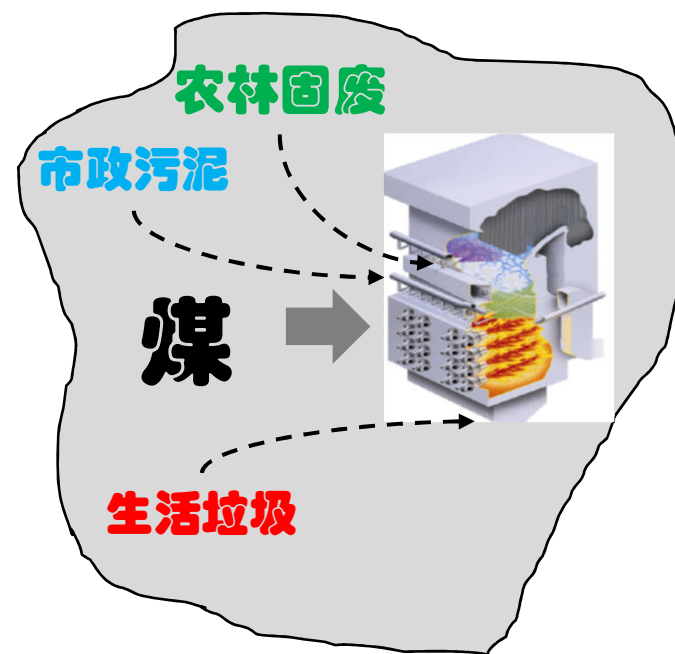
燃煤机组-多源有机固废无氧热解碳化 灵活性耦合技术

王学斌 教授 博导

西安交通大学 热能工程系

电话：13991108401

Email：wxh005@mail.xjtu.edu.cn



报告的主要内容

1. 燃煤电厂耦合多源有机固废的双碳背景和现状

- 当下燃煤电厂为什么要耦合有机固废
- 耦合多源有机固废遇到的政策和技术问题

2. 燃煤电厂多源有机固废无氧热解碳化灵活性耦合技术

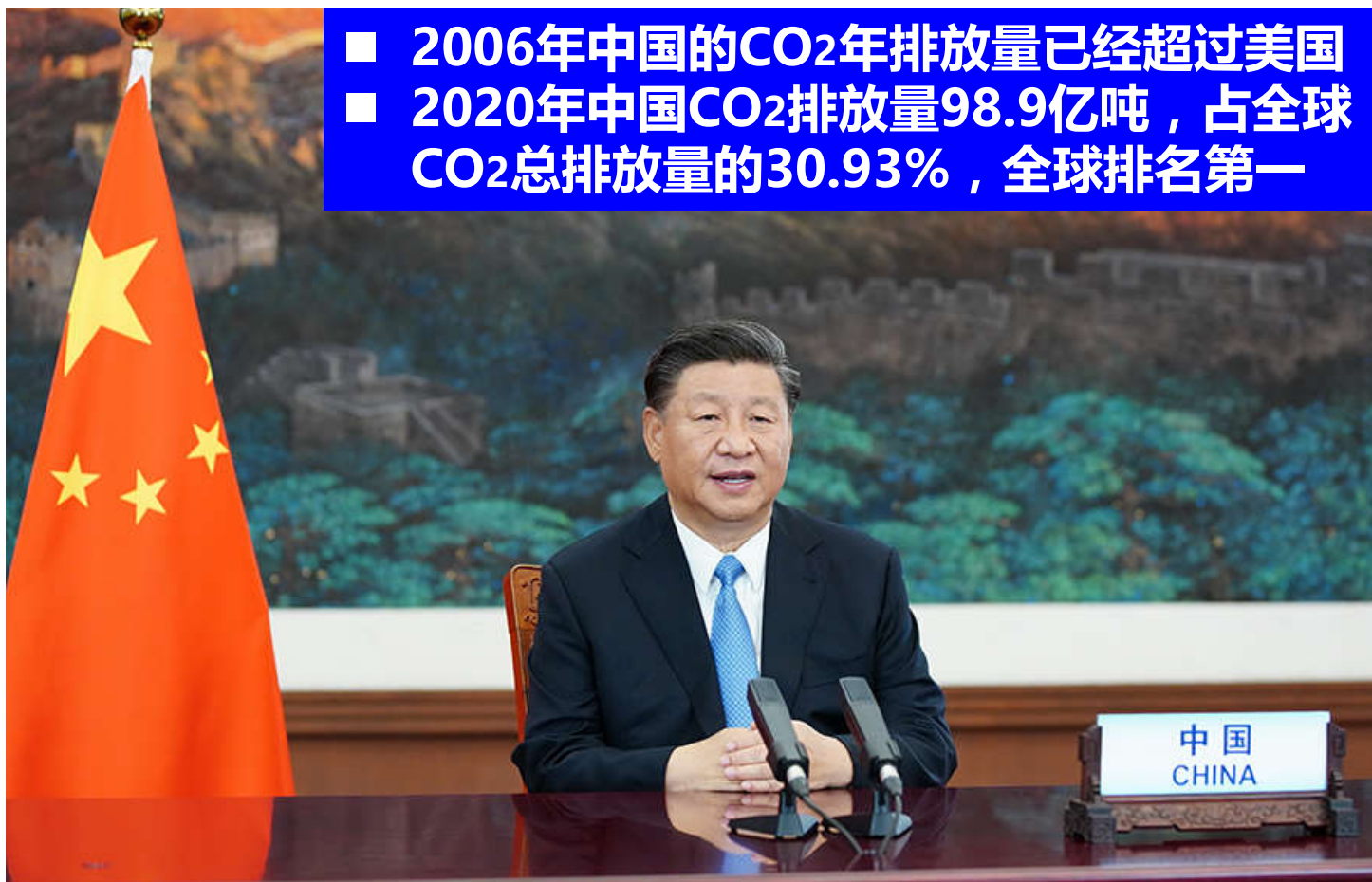
- 无氧热解碳化灵活性耦合工艺及优势
- 项目研究进展
- 示范项目实施进展

3. 云南宜石200t/d多源有机固废无氧热解示范项目

- 无氧热解工艺流程视频
- 无氧热解技术优势

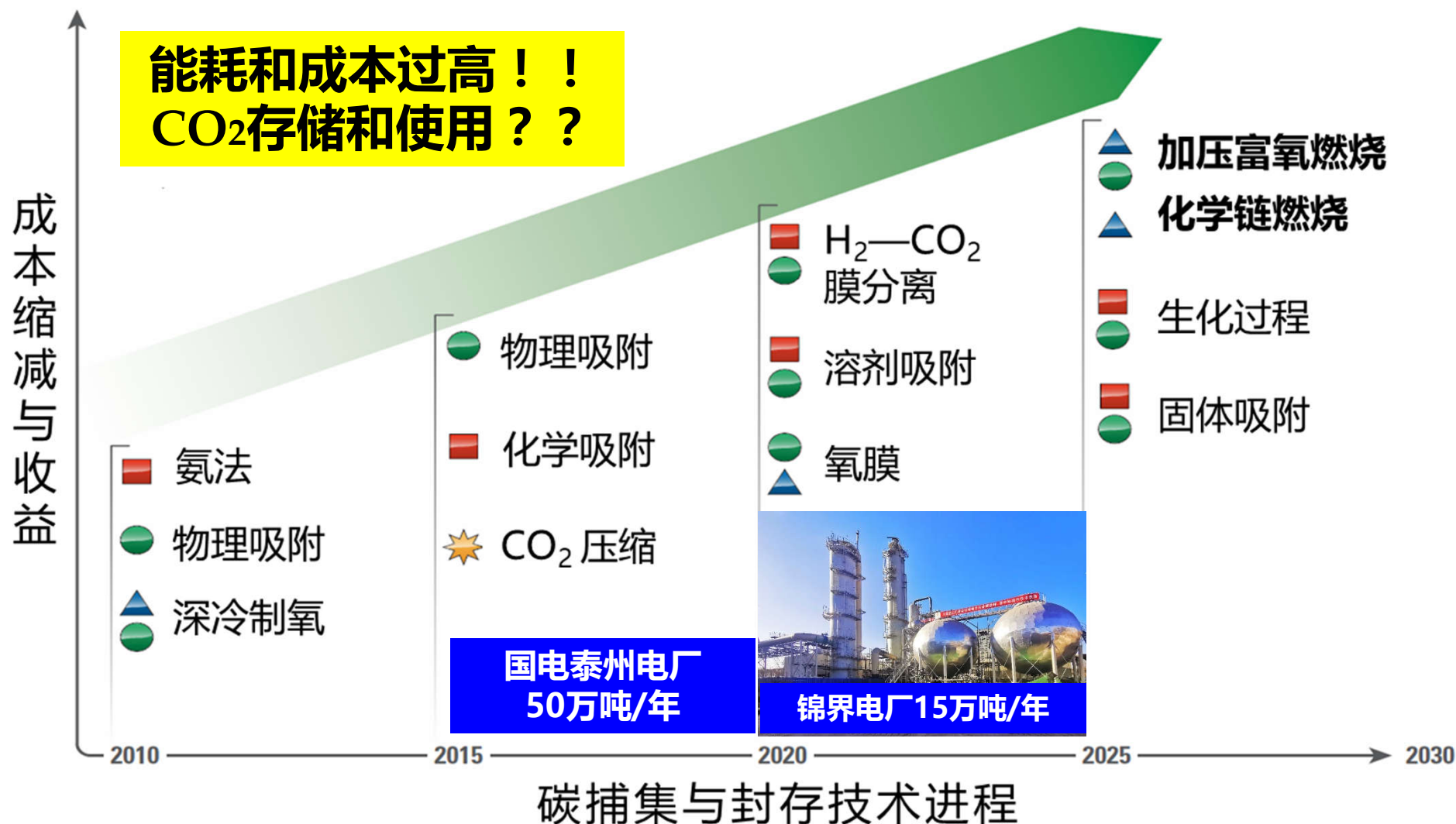
4. 报告小结和展望

1. 燃煤电厂耦合多源有机固废的 双碳背景和现状



中国2030年碳达峰/2060年碳中和

燃煤火电如何生存？减碳-CCUS



燃煤火电如何生存？功能转型(固废)



农业秸秆



林业废物



市政污泥



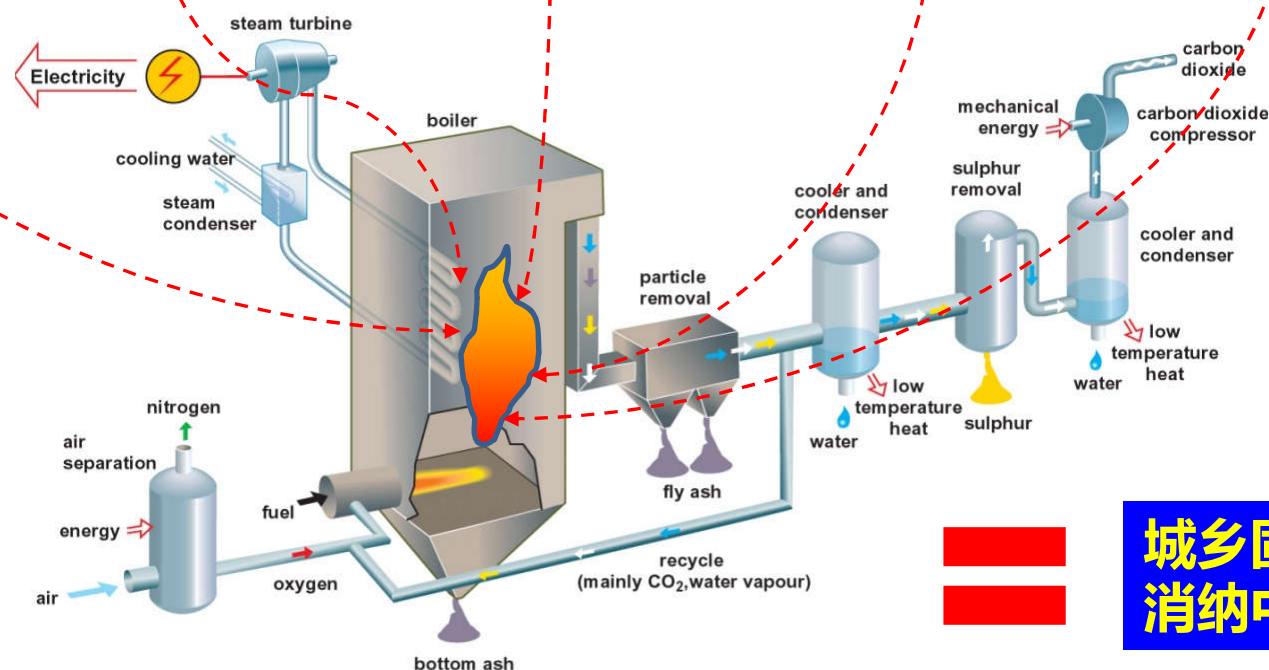
生活垃圾



工业固废



煤



城乡固废
消纳中心

在一定程度上解决部分机组的服役延寿问题

有机固废的低碳/零碳性质



农业秸秆



林业废物



市政污泥



生活垃圾



工业固废

燃料	燃料	元素分析			C/H 质量比	C/H 质量比范围
		C _{ad}	H _{ad}	N _{ad}		
煤	无烟煤#1	72.02	2.5	0.59	28.81	13~29
	烟煤#1	66.30	4.10	1.00	16.17	
	褐煤#2	58.95	4.35	0.53	13.55	
生物质	麦秆	45.10	5.60	0.57	8.05	7.5~8.8
	玉米芯	45.25	5.86	0.31	7.72	
	玉米秆	38.47	4.7	1.11	8.185	
	棉花秆	43.22	5.13	0.92	8.425	
	松木屑	50.78	5.83	0.10	8.71	
	松木	45.27	5.78	0.24	7.83	
	稻秆	42.66	5.68	1.03	7.51	
污泥	污泥#1	23.97	3.59	4.27	6.68	6.5~7.1
	污泥#2	20.40	3.08	2.91	6.62	
垃圾	垃圾#1	12.47	1.84	0.34	6.78	6.5~7.1
	垃圾#2	14.08	1.99	0.36	7.08	

燃煤耦合多源有机固废的政策支持和现状

国家能源局

国能函电力〔2017〕9号

国家能源局关于支持吉林大唐长山热电厂 开展燃煤耦合生物质气化发电技术 改造试点工作的复函

吉林省能源局、中国大唐集团：

报来《关于开展生物质耦合发电试点项目的请示》(吉能电力〔2016〕263号)、《关于大唐长山热电厂生物质耦合发电项目的补充意见》(吉能电力〔2017〕78号)、《关于开展吉林长山热电厂生物质耦合发电技术改造示范工作的请示》(大唐集团规〔2016〕1301号)收悉。现就吉林大唐长山热电厂开展燃煤耦合生物质气化发电技术改造试点工作函复如下：

一、为加快推进能源生产和消费革命，贯彻落实《电力发展“十三五”规划》《能源技术创新“十三五”规划》相关要求，探索能源清洁低碳、安全高效的发展方向，发挥高效环保煤电机组污染物集中治理平台作用，优化生物质资源配置，破解田间秸秆露天焚烧治理难题，促进农民增收和生态文明建设，推动经济社会绿色发展，我局支持吉林大唐长山热电厂先行先试，开展燃煤耦合生物质

国家能源局 环境保护部 文件

国能发电力〔2017〕75号

国家能源局 环境保护部关于开展 燃煤耦合生物质发电技改试点工作的通知

各省(区、市)发展改革委(经信委、经委、工信厅)、能源局、环境保护厅(局)、新疆生产建设兵团发展改革委、环境保护局，国家电网、南方电网公司，华能、大唐、华电、国家能源、国电投集团公司，国投、华润电力公司，电力规划设计总院(国家电力规划研究中心)，清华大学、浙江大学、南京林业大学：

为深入贯彻落实党的十九大精神，以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，推进能源生产和消费革命，构建清洁低碳、安全高效的能源体系，持续实施大气污染防治行动，加强固废和垃



2017年11月27日

2017年：一个好的开端

面实施煤电行业节能减排升级改造，在超低排放要求和新的能耗标准。目前，排放改造5.7亿千瓦、节能改造5.3亿电厂超低排放和节能改造工作方案》提瓦和6.3亿千瓦的目标。组织燃煤耦合建设，旨在发挥世界最大清洁高效煤电现役煤电高效发电系统和污染物集中不保平台，兜底消纳农林废弃残余物、生活垃圾以及污水处理厂、水体污泥等生物质资源(属危险废物的除外)，破解秸秆田间直焚、污泥垃圾围城等社会治理难题，克服生物质资源能源化利用污染物排放水平偏高的缺点，增加不需要调峰调频调压等配套调节措施的优质可再生能源电力供应，促进电力行业特别是煤电的低碳清洁发展。

农林废弃物、污泥、生活垃圾



西安交通大学
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY



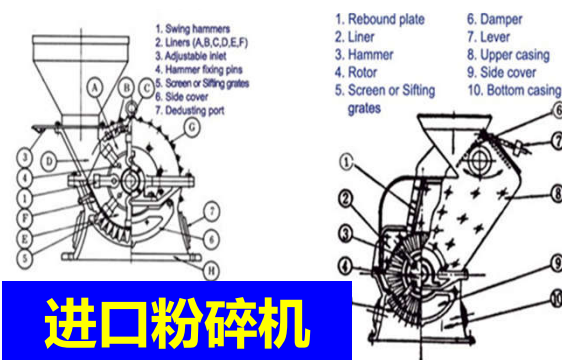
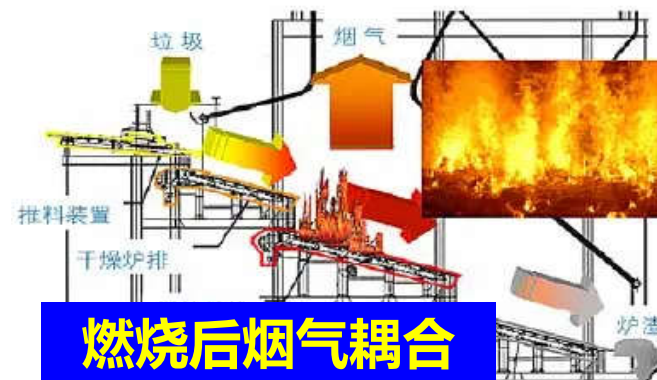
汇潮科技
HCTEC

“燃煤+”耦合低碳发电及综合利用学术沙龙，2022年4月23日

单一来源有机固废耦合-大家都在研究什么？



预处理



燃煤机组耦合多源有机固废的难点

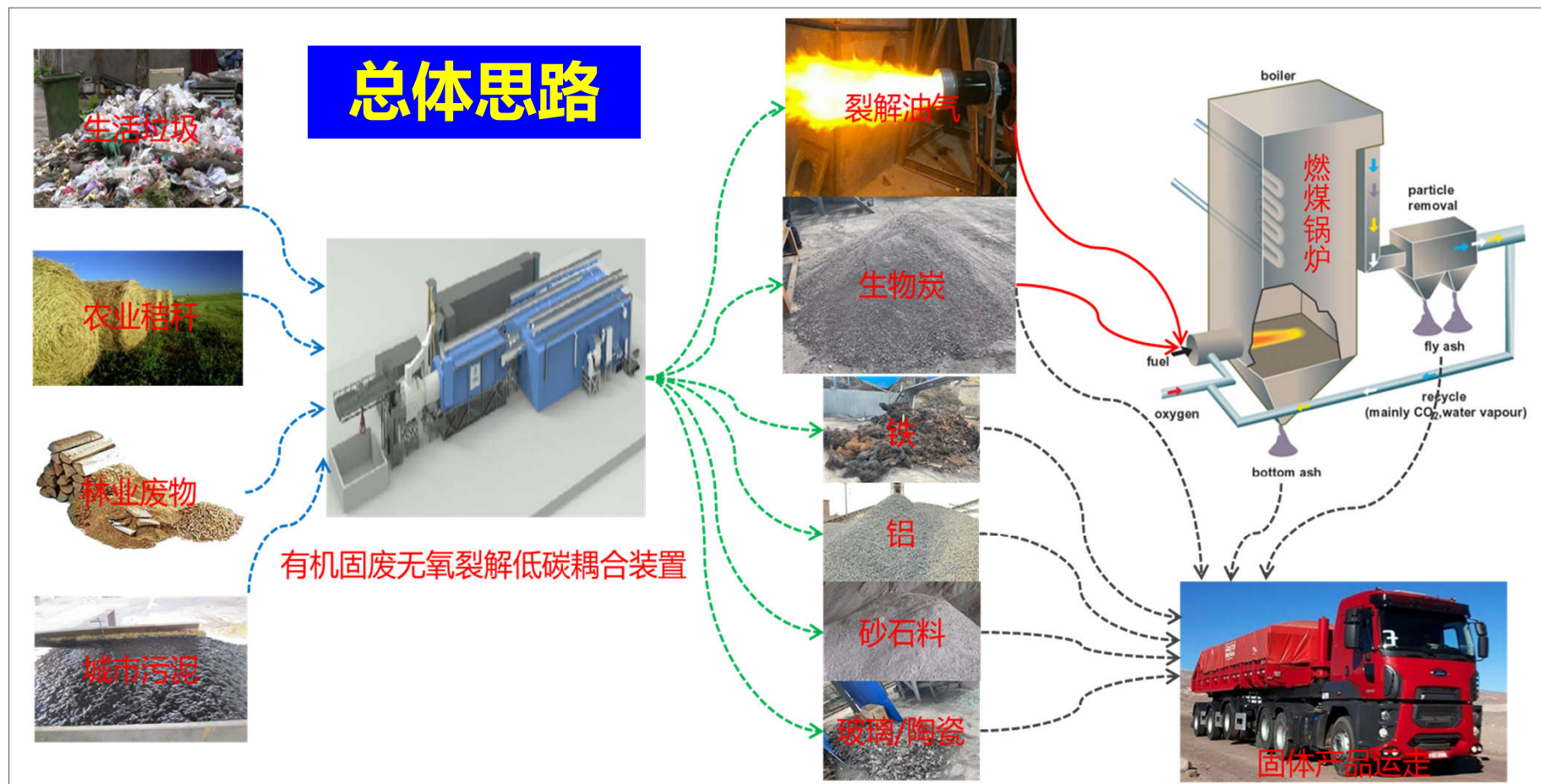
1、预处理程度仍然不够！



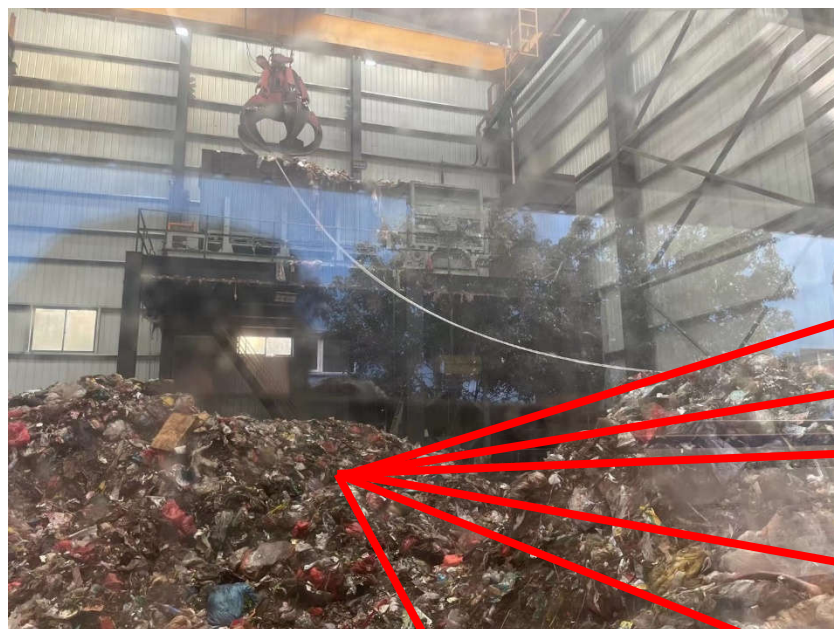
2、灵活性不足！燃煤机组停运如何办？



2. 燃煤电厂多源有机固废无氧热解 碳化灵活性耦合技术



汇潮新能源/西安交通大学 云南宜良垃圾裂解项目(200t/d)



油气

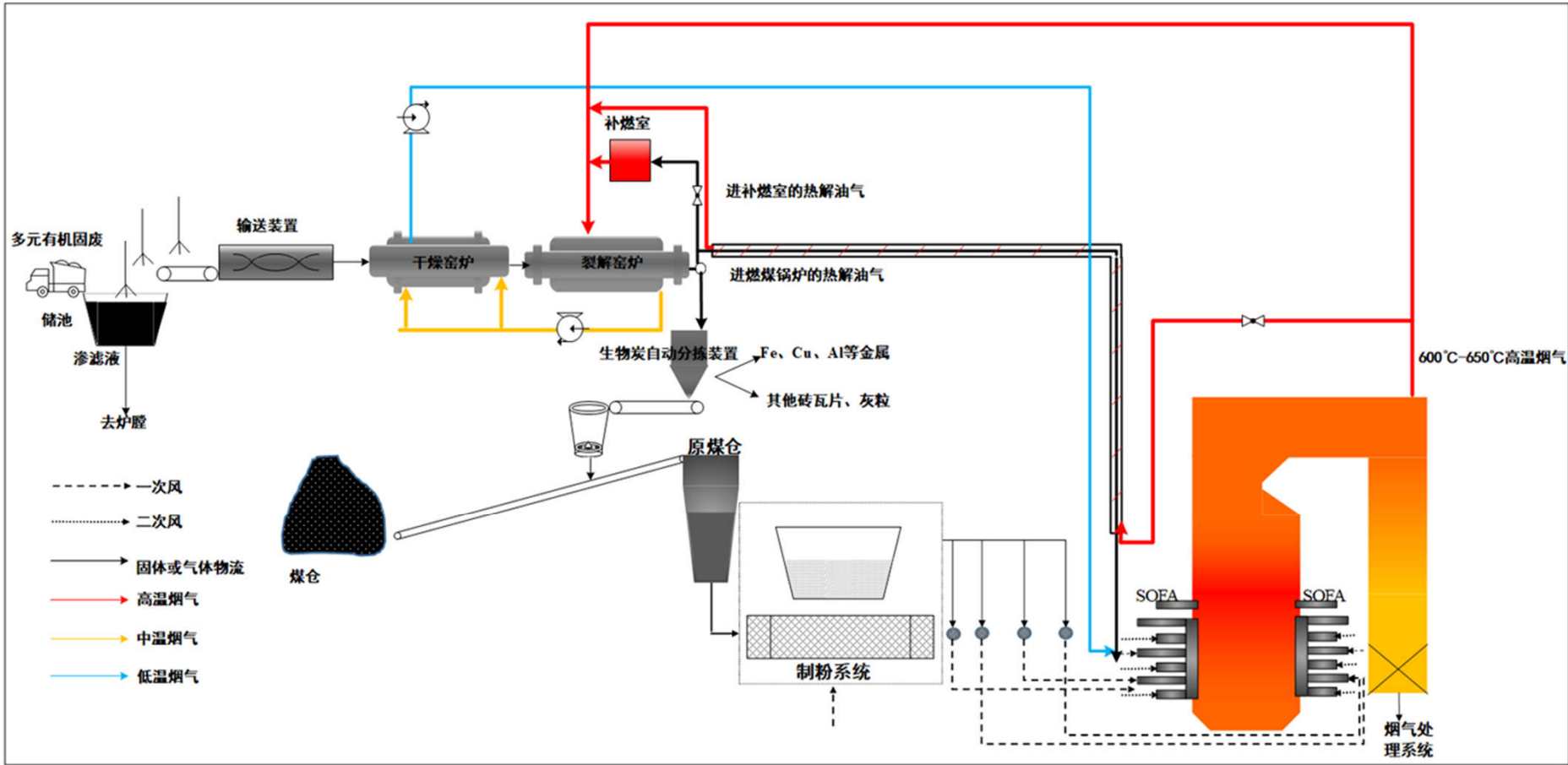


碳粉

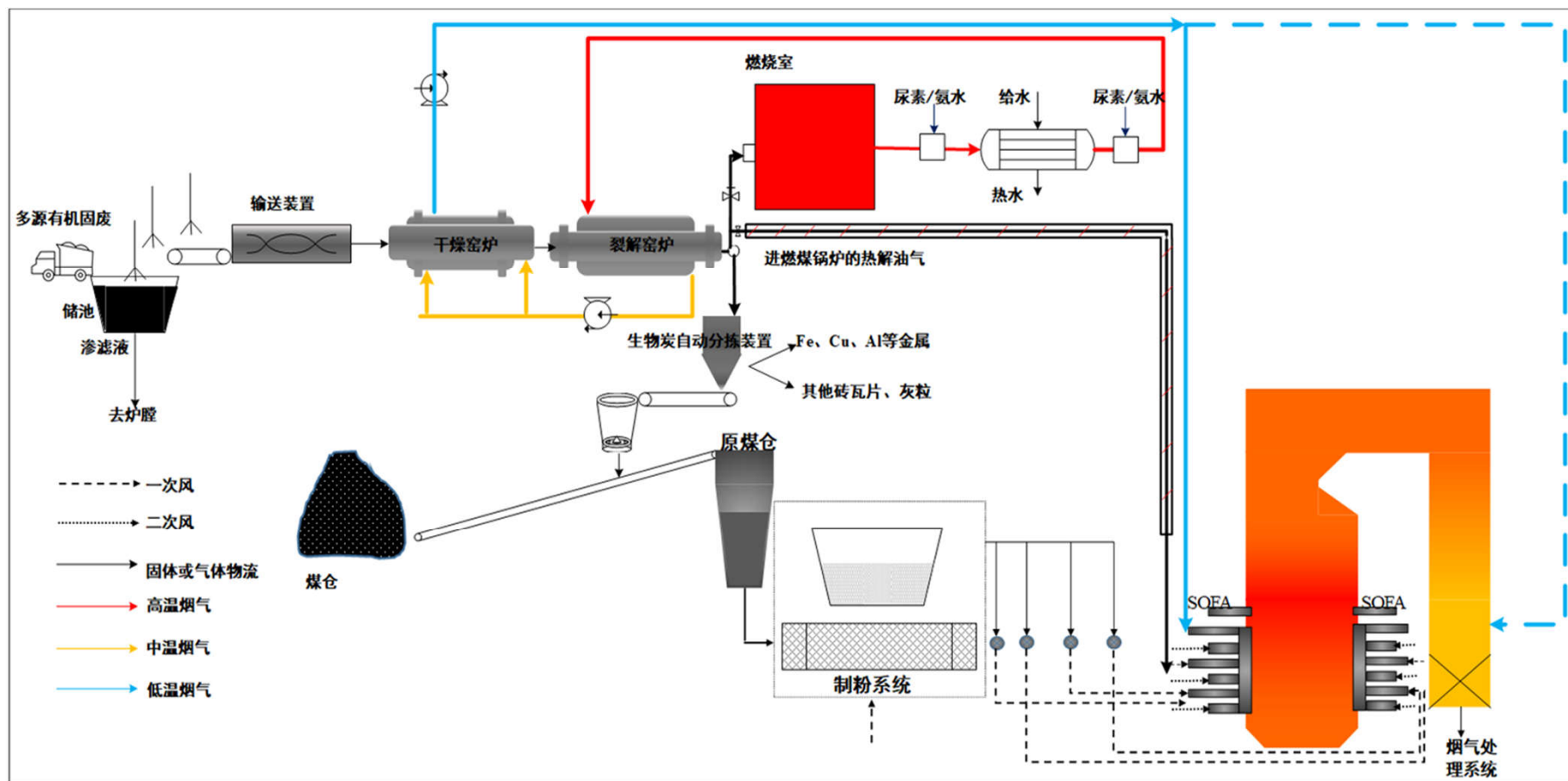


铁

工艺路线介绍：耦合运行模式I



工艺路线介绍：解耦独立运行II



多源有机固废无氧热解碳化灵活性耦合技术优势

1. 处置固废运行模式的灵活性

- 运行灵活性：耦合/解耦两种模式，可在燃煤机组停机时独立运行

2. 有机固废热解的高热值油气用于灵活性调峰助燃

- 热解油气热值 $>3000\text{kcal/kg}$ ，可用于助燃

3. 最大程度上减少了低品位顽劣固废对锅炉的影响

- 显著减少了水分和灰渣进入煤粉锅炉的量
- 提前分离了碳粉中的铜铁铝和玻璃砂石

4. 无需对制粉系统进行改动或调整/对锅炉本体影响小

多源有机固废无氧热解碳化灵活性耦合技术研究

卷册检索号

61-FA0241K-A-01

陕西 XXXX 发电有限公司 200t/d 生活垃圾热解耦合发电改造工程 可行性研究阶段

总的部分说明书

2×55MW燃煤机组耦合垃圾

中国能源建设集团陕西省电力设计院有限公司
工程咨询单位甲级资信证书 916100002205242365-18ZYJ18
二〇二二年三月 西安



“燃煤+”耦合低碳发电及综合利用学术沙龙，2022年4月23日

新华网 陕西频道
sn.xinhuanet.com

西咸新区将建成国内领先的污泥处理项目

2022-03-30 12:10

来源：新华网



1100t/d污泥干化热解项目

3月28日，由中国铁工投资集团旗下中铁水务集团投资、建设、运营的沣西污泥处置项目第一台核心设备薄层干化机正式吊装。

为破解污泥“围城”，2021年6月，中铁水务集团在西咸新区投资6亿元新建沣西新城污泥处置项目。着力打造污泥处置新样板，中铁水务集团环保研究院与“赵浩”创新工作室将两段式干化与热解气化联合应用到污泥处置中，实现了污泥减量化、无害化、稳定化和资源化处理。

打造固废无害化和破解污泥处理难题

2×55MW燃煤机组耦合垃圾热解-助燃油气分析

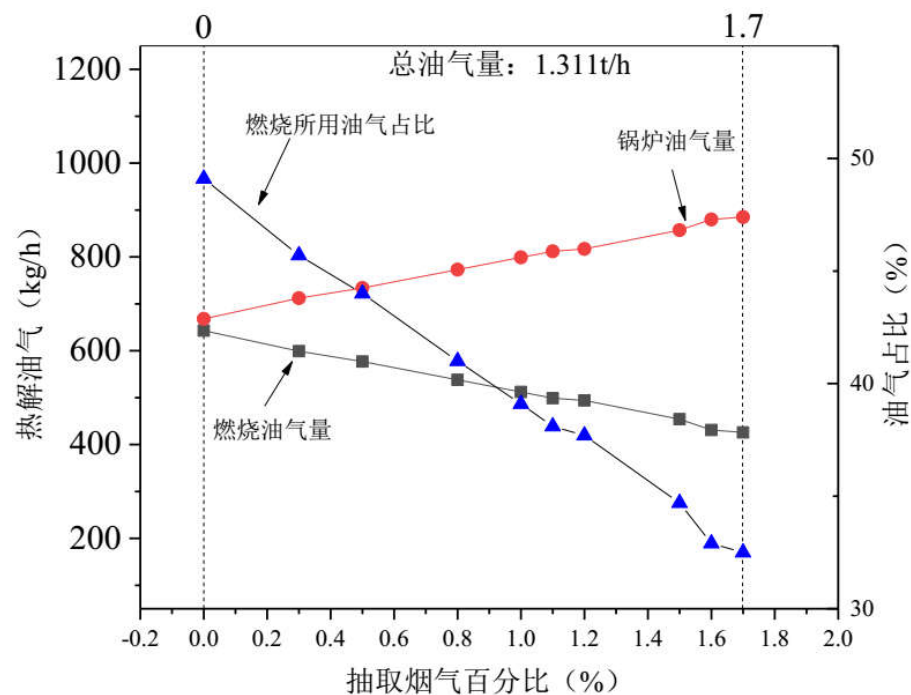


图4 无内筒烟气循环

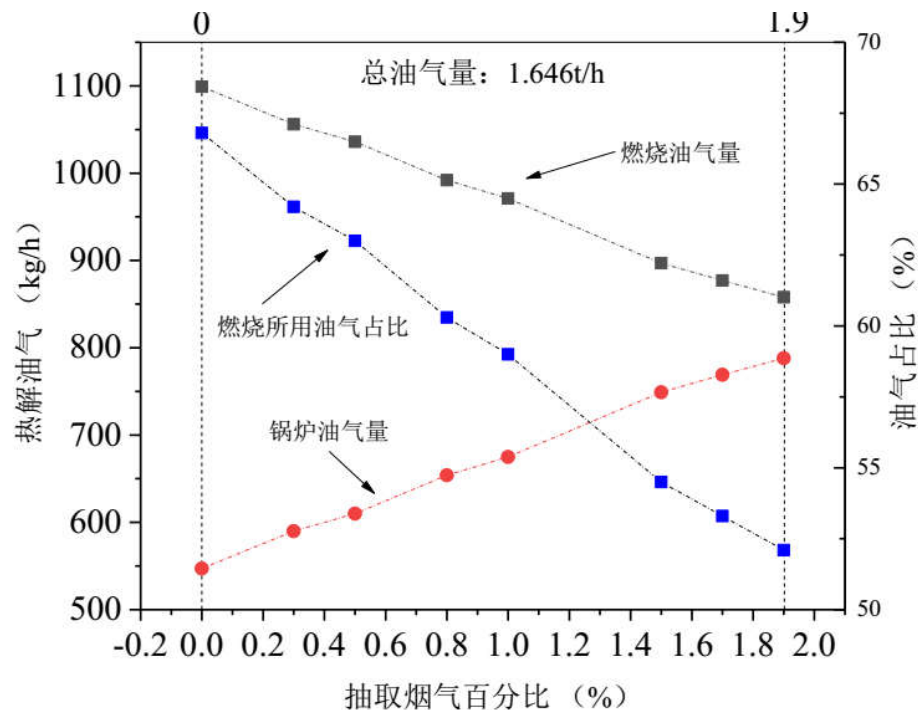
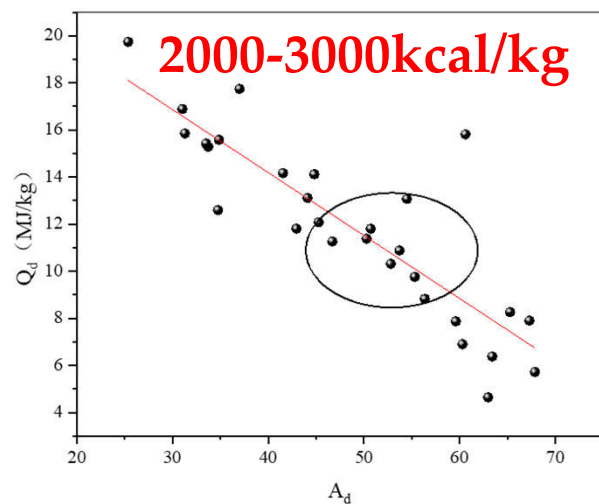
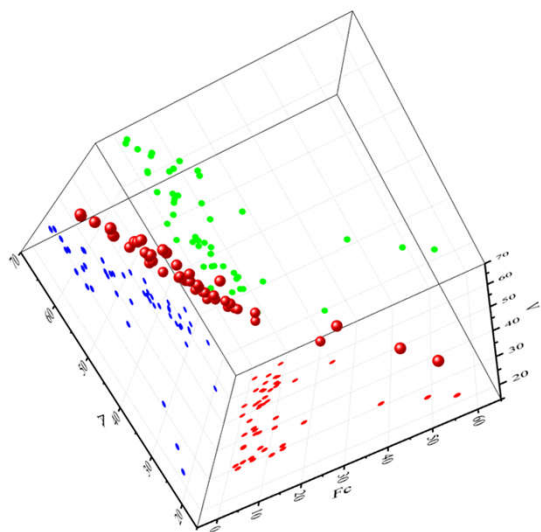


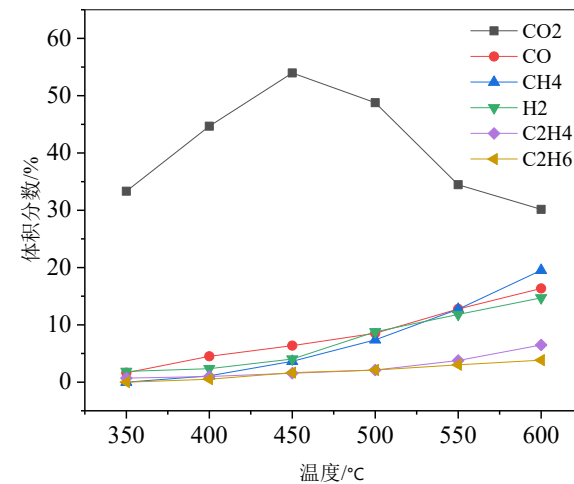
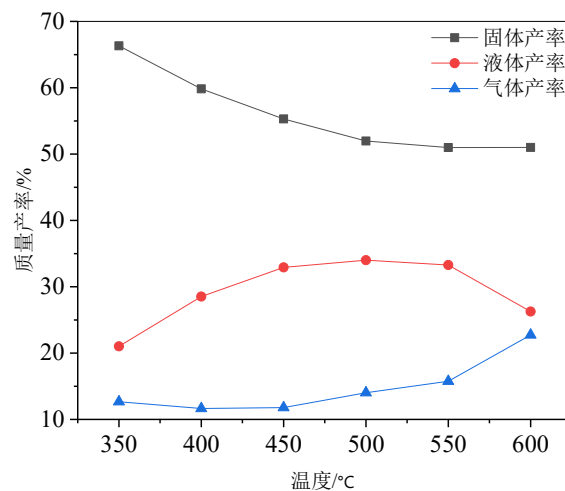
图5 有内筒烟气循环

- 日处理100t/d垃圾(4.167t/h)热解后油气扣除掉用于热干化和热解耗能，还能外供锅炉550kg-900kg/h油气用于助燃(3000kcal/kg)
- 回抽550-600℃的锅炉烟气量低(<2%)，对锅炉运行性能影响可忽略

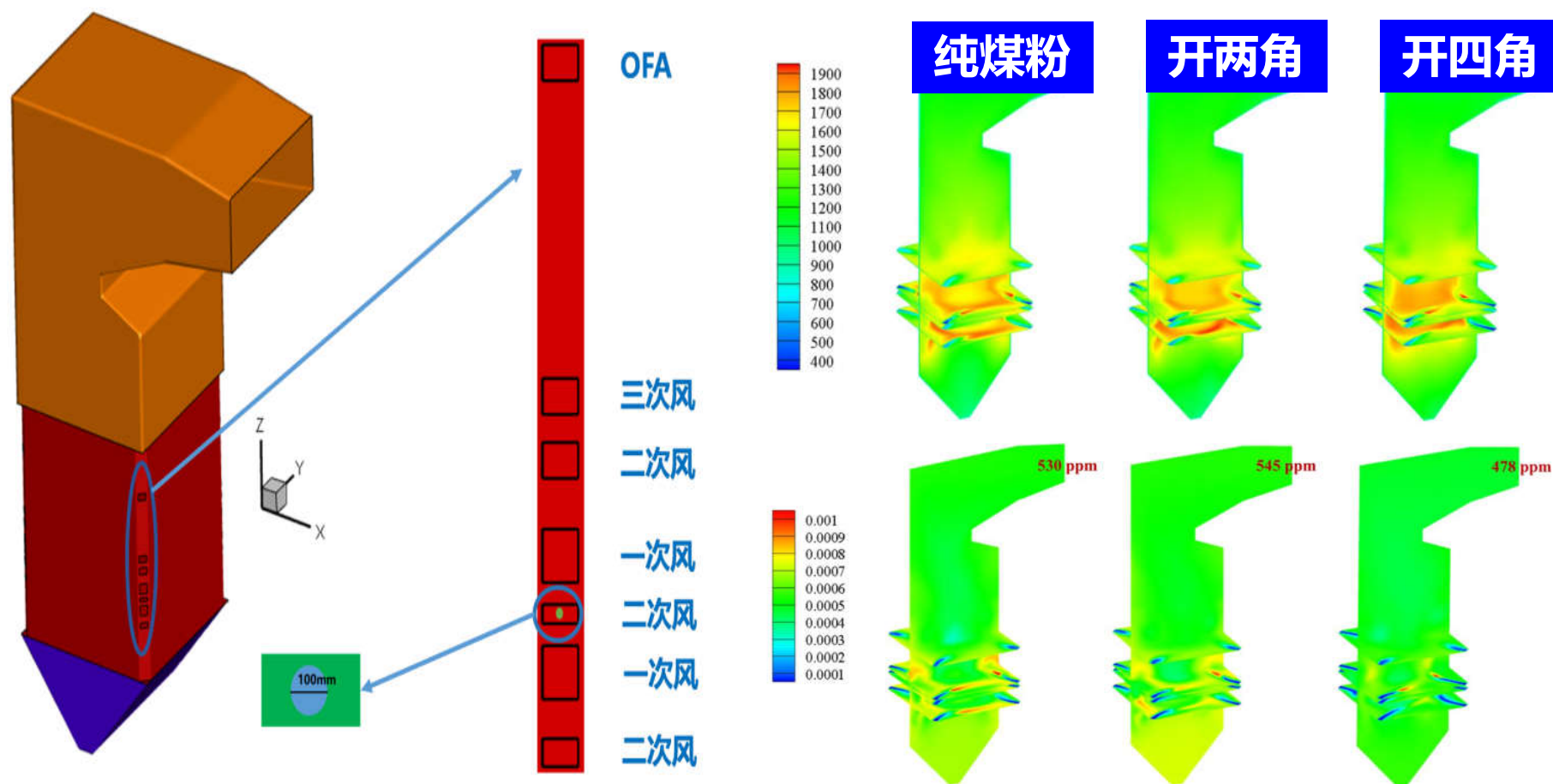
低品位固废自维持热解碳化工艺参数优化-试验验证



低品位固废碳化热解连续反应系统



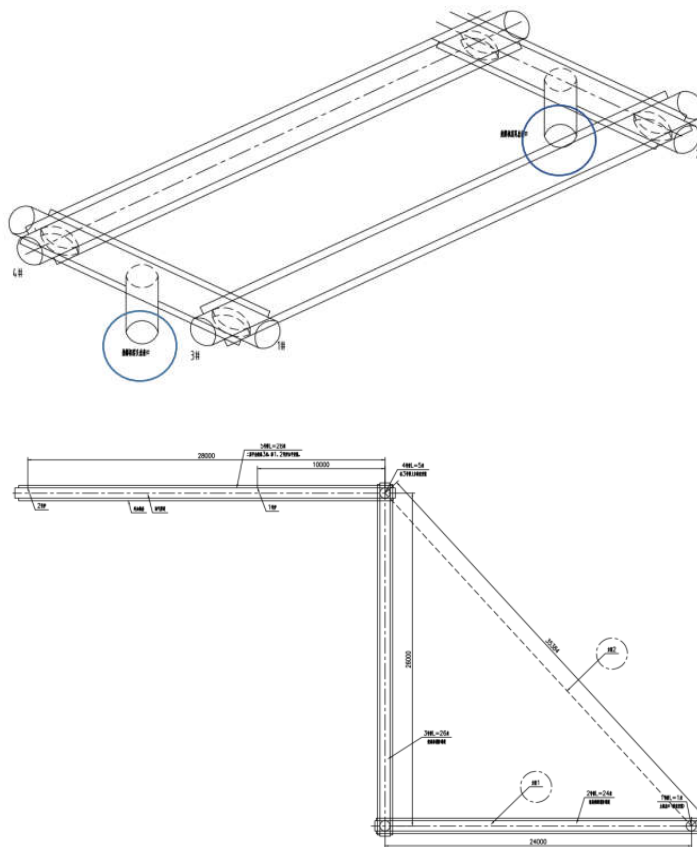
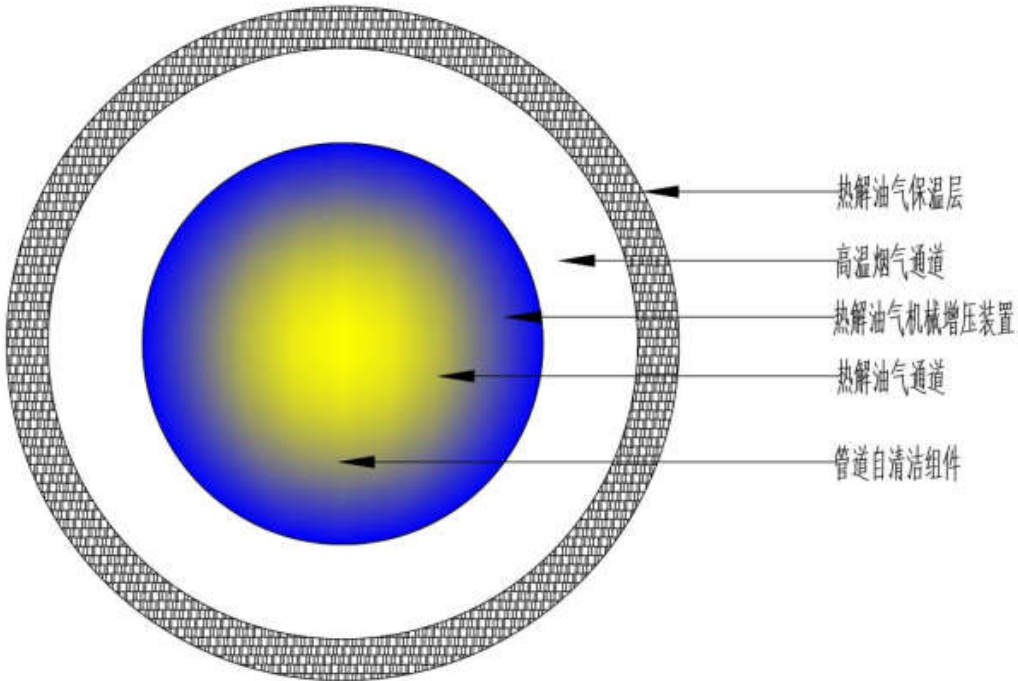
煤粉炉耦合燃烧垃圾热解油气/碳粉的CFD数值评估



- 热解油气入炉时还是“热可燃气”，体积流量大，与助燃油枪区别大
- 热解油气起到助燃效果，还能一定程度上降低NO_x排放



垃圾无氧热解碳化煤粉炉耦合关键技术-油气输送防堵



- 多重措施防堵：高温烟气加热、油气机械增压、管道自清洁
- 专利技术：云南长周期运行的示范项目输送距离>50m

垃圾无氧热解碳化煤粉炉耦合-有关重金属二噁英考虑

ICS 13.040.40
CCS Z60

DB31

上海市地方标准

DB 31/1291—2021

燃煤耦合污泥电厂大气污染物排放标准

Emission standard of air pollutants for coal & sludge co-fired power plant

(发布稿)

2021-4-7 发布

2021-6-1 实施

上海市生态环境局
上海市市场监督管理局

发布

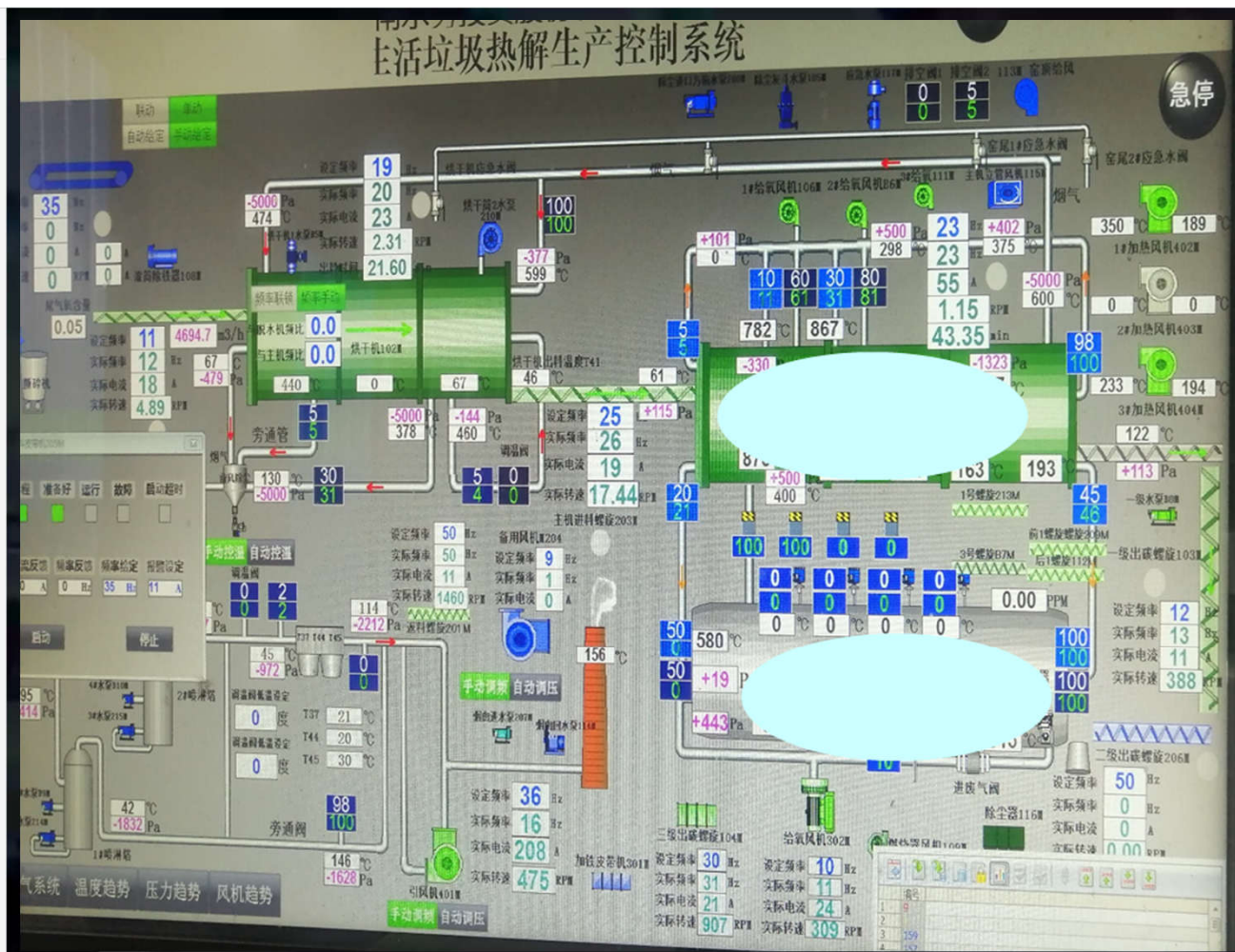
表1 燃煤耦合污泥发电锅炉大气污染物排放限值 (单位: mg/m³)

序号	污染物项目	限值	监测位置
1	颗粒物	5	烟囱或烟道
2	二氧化硫	35	
3	氮氧化物 (以NO ₂ 计)	50	
4	氯化氢(HCl)	10	
5	汞及其化合物	0.03	
6	镉, 铊及其化合物* (以Cd+Tl计)	0.005	
7	锑、砷、铅、铬、钴、铜、锰、镍、钒及其化合物* (以Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+N i+V计)	0.05	
8	二噁英类* (ngTEQ/m ³)	0.01	烟囱
9	烟气黑度/级	1	

- 耦合量小, 碳粉也可以去水泥窑
- 煤粉炉高温和高硫对二噁英的抑制效应

3. 云南宜石200t/d多源有机固废无氧热解示范项目

云南超级热解运营群 (11)



西安交通大学
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY



“燃煤+”耦合低碳发电及综合利用学术沙龙，2022年4月23日

无氧热解工艺相对于气化工艺的优势-1

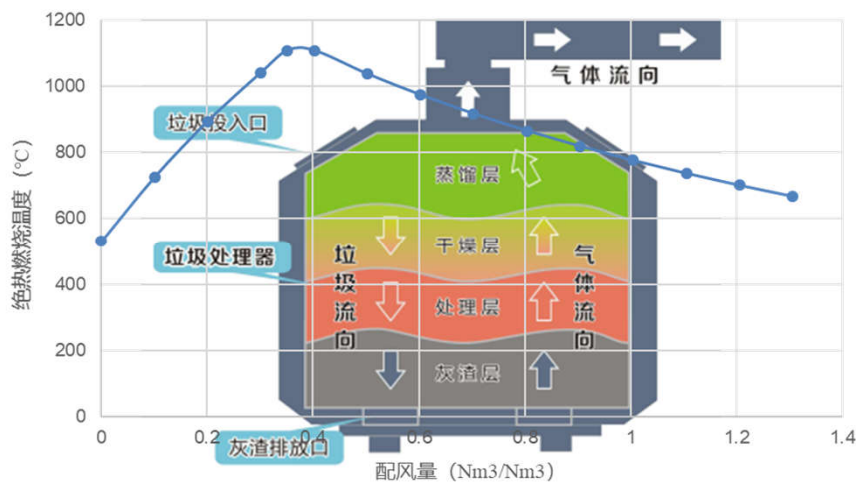
序号	项目	气化炉	低温绝氧热解工艺
1	炉床及炉体特点	单个竖炉，靠炉体的旋转或垃圾物料自身重力实现垃圾的进和出。 缺点：炉内易架桥导致下料不畅而停机。	三个卧式的独立反应器：干燥、绝氧热解反应器、燃气炉。 优点：卧式的绝氧热解反应器与依靠内部的抄板实现物料的进和出，具有处理量大，功耗低、运转故障率低。
2	垃圾预处理	需要，破碎及分选均需要 ，否则极易导致气化炉内架桥故障而不得不停机	不需要，仅简单粗破碎 就可实现进料。
3	设备占地	中	小
4	炉渣热灼减率	原生垃圾不易达标	产品为生物炭，无炉渣热灼减率要求
5	垃圾炉内停留时间	长	长
6	过量空气系数	大	小
7	单炉最大处理量	~150t/d	~300 t/d
8	垃圾燃烧空气供给	不易调节，由于气化气为极低热值燃气，燃烧空气供给调整过大易导致二燃室内熄火。	易调节，热解油气热值高，绝热燃烧温度远远大于850℃，因此宽幅度范围内调整空气供给也能确保炉内燃烧温度。

无氧热解工艺相对于气化工艺的优势-2

序号	项目	热解气化炉	低温绝氧热解工艺
9	垃圾含水量的适应性	很弱，难以适应含水率高、低热值垃圾的处理。	独立的预干燥单元设置确保仅少量的水分进入到热解碳化系统中，避免了水分这一高吸热量气体对热解油气稳定燃烧的影响，因此垃圾对含水量适应性更强，最大60%含水率的垃圾也可实现稳定热处理
10	垃圾不均匀性的适应性	很弱，竖式炉设置，易架桥，炉内垃圾难以混合均匀，底渣中常出现未燃尽的炉渣。	热解碳化炉内设置有动构件，实现热态下垃圾物流反转和均匀化；此外，充分利用垃圾物料在受热状态的热脆性，进行热解的同时的热破碎，因此垃圾物流仅简单粗破碎即可进行热处理
11	烟气中含尘量	高	低
12	燃烧工况控制	不易	易
13	烟气处理	难以达标，需配备全套尾气净化设施； 工况不稳，烟气排放不稳定，造成烟气污染物经常性超标；	较易，不需要配备全套尾气净化设施； 工况稳定，烟气排放稳定；
14	综合评价	对垃圾适应性弱，故障多，成本高	对垃圾的适应性强，故障少，处理性能和环保性能好，成本低
15	对本工程的适用性	不合适	合适

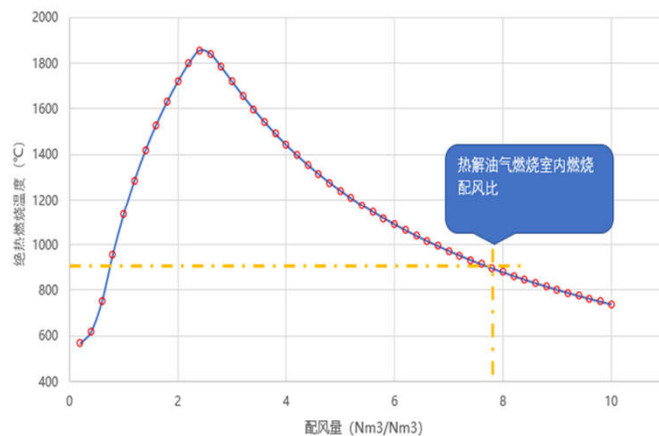
无氧热解工艺相对于气化工工艺的优势-油气热值高

一燃室出口气体二燃室绝热燃烧温度随配风量变化曲线

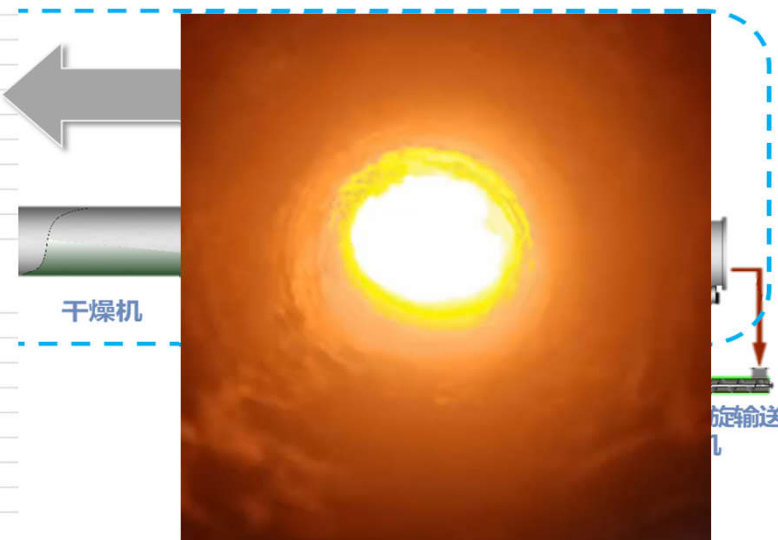


燃气 < 1000 kcal/Nm³, 最高温度 1080°C

热解油气的绝热燃烧温度随配风量的变化曲线



热解油气		
Nm ³ /h	kg/h	°C
4114.5	3290.96	400
体积组成 (vol%)		
H ₂ O	45.94%	
N ₂	0.04%	
S	0.02%	
H ₂	36.09%	
Cl ₂	0.01%	
HCL	0.00%	
CO	5.73%	
CO ₂	6.69%	
CH ₄	2.24%	
C ₂ H ₄	1.12%	
C ₆ H ₈ O	2.12%	

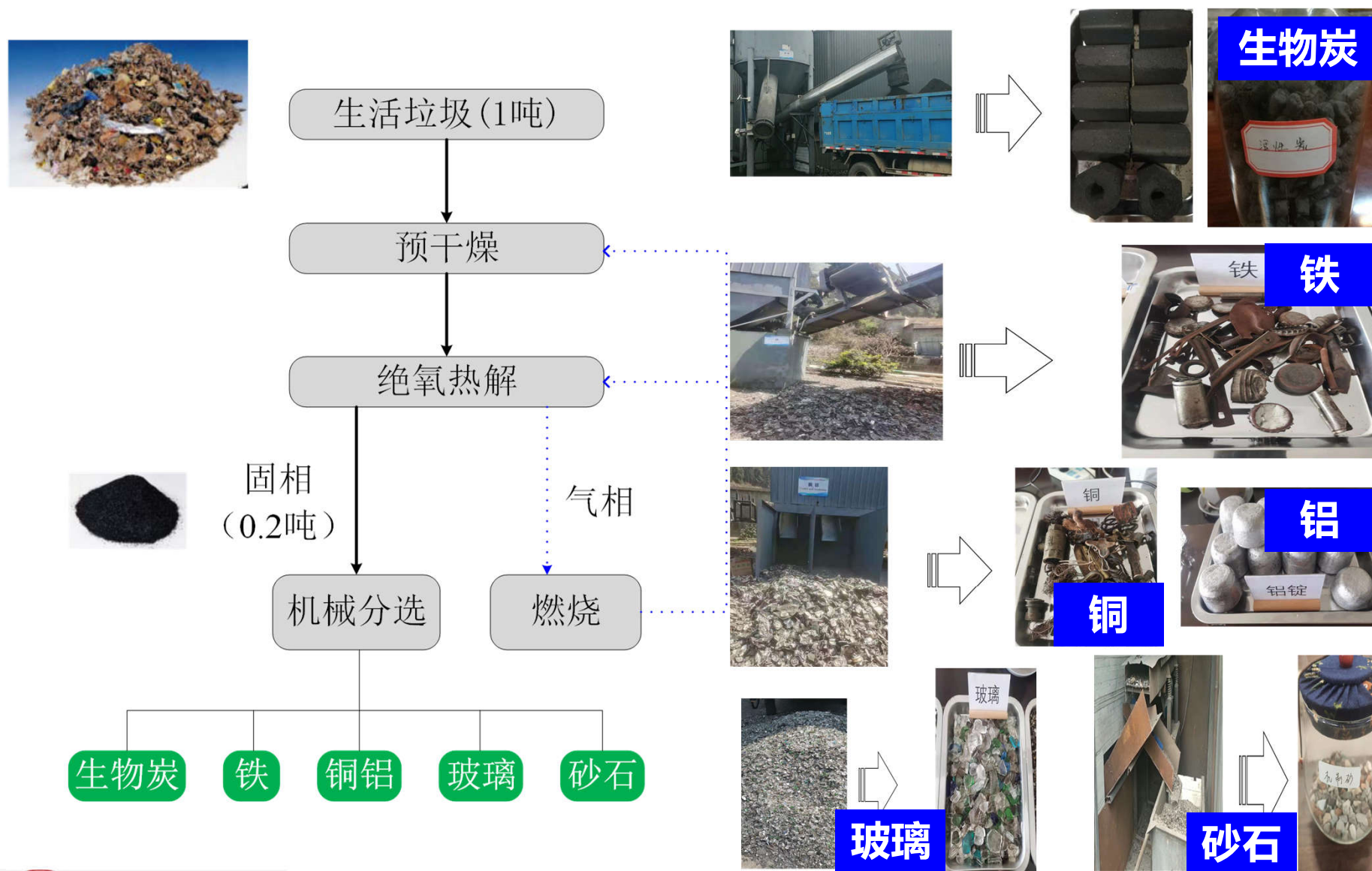


垃圾无氧热解碳化的技术优势-无害化

项目	炉排焚烧技术							低温绝氧热解碳化技术						
环保方面	过程中产生大量烟气污染物							烟气污染物约为焚烧工艺的1/10乃至更低						
烟气处理前 主要污染物浓度 单位: mg/Nm ³	粉尘	CO	HCl	SO ₂	NO	NO ₂	二噁英 (ng-TEQ/Nm ³)	粉尘	CO	HCl	SO ₂	NO	NO ₂	二噁英 (ng-TEQ/Nm ³)
	3000~ 6000	10~20 ✓	700~ 1000	300~ 500	300~ 350	200~ 250	5~20	200~400	~0.1 ✓	6~20 ✓	10~ 30 ✓	100~ 180	2~4 ✓	~0.1 ✓
烟气主要污染物 排放指标 GB18485-2014 单位: mg/Nm ³	粉尘	CO		HCl		SO ₂		NO _x		二噁英 (ng-TEQ/Nm ³)				
	小时均值30	小时均值100		小时均值60		小时均值100		小时均值300		0.1				
	日均值20	日均值80		日均值50		日均值80		日均值250						

- 废气：同等处理规模下，出垃圾焚烧炉与绝氧热解工艺热风炉炉膛的烟气中其他污染物原始浓度，二噁英排放~0.1ng-TEQ/Nm³。
- 废液：储池的垃圾渗滤液送入到热风炉内进行高温无害化处理，工艺无废液外排。
- 废渣：热解炭化后的炭渣经渗出毒性检测为一般固体废物，可用作水泥厂原料、辅助燃料使用，或用作制砖、路基土、覆盖土等，进一步的还可用作吸附剂、炭基肥等高附加值的产品。

垃圾无氧热解碳化的技术优势-资源化



4. 报告小结和展望

- ① 多源有机固废(生物质、污泥、垃圾) 具有低碳和零碳属性，在燃煤发电机组开展多源有机固废的耦合是现阶段火电厂减碳和功能转型的重要可行性途径之一。
- ② 多源有机固废与大型燃煤机组(煤粉炉)耦合的关键核心问题在于现有预处理技术对有机固废的预处理程度不够，导致其入炉燃料与传统油气和煤粉燃料的性质差异过大。
- ③ 多源有机固废无氧热解技术可将有机固废彻底转化为与常规油气和煤粉燃料性质相近的热解油气和生物炭，从而实现燃煤电厂高效、清洁和灵活的耦合协同处置，彻底解决燃煤机组耦合协同处置多源无定型有机固废的行业难题。

致谢



杨翠广 博士 高工

参与
本课
题研
究生



感谢汇潮新能源科技有限公司、陕西省电力设计院、中节能宁夏新能源、新元热力、新龙热力、西安热工院、《洁净煤技术》期刊编辑部等单位对现场研究工作的支持和提供技术资料。

王学斌 教授 博导

西安交通大学 热能工程系

Tel.: 13991108401

Email: wxb005@mail.xjtu.edu.cn

