

农林废弃物类生物质循环流化床气化 耦合燃煤发电技术研发及应用

王勤辉

浙江大学



<http://www.ceu.zju.edu.cn>

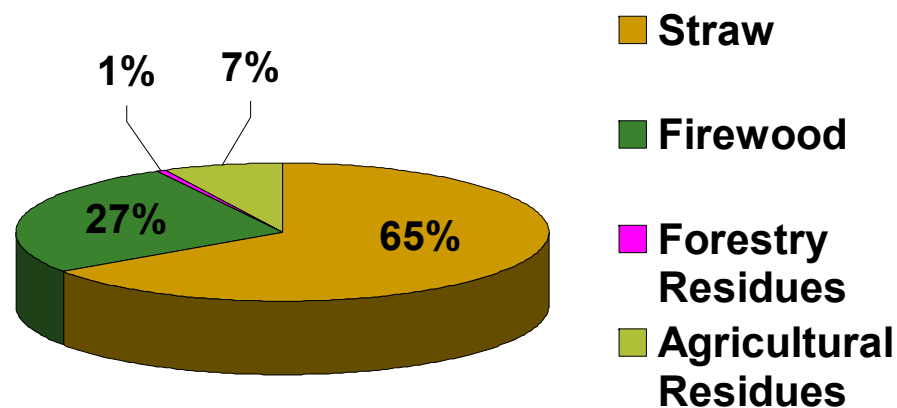
能源清洁利用国家重点实验室

State Key Laboratory of Clean Energy Utilization



我国生物质资源特点

- ◆ 我国的生物质资源在本质上是农、林废弃物
- ◆ 每年农、林废弃物产量巨大：7+3.5亿吨，折合5.5亿吨标煤，全部能源化利用可减排CO₂约15亿吨
- ◆ 生物质弃置、露天焚烧引发严重的污染、安全等问题
- ◆ 国务院下发《关于加快推进农作物秸秆综合利用的意见》



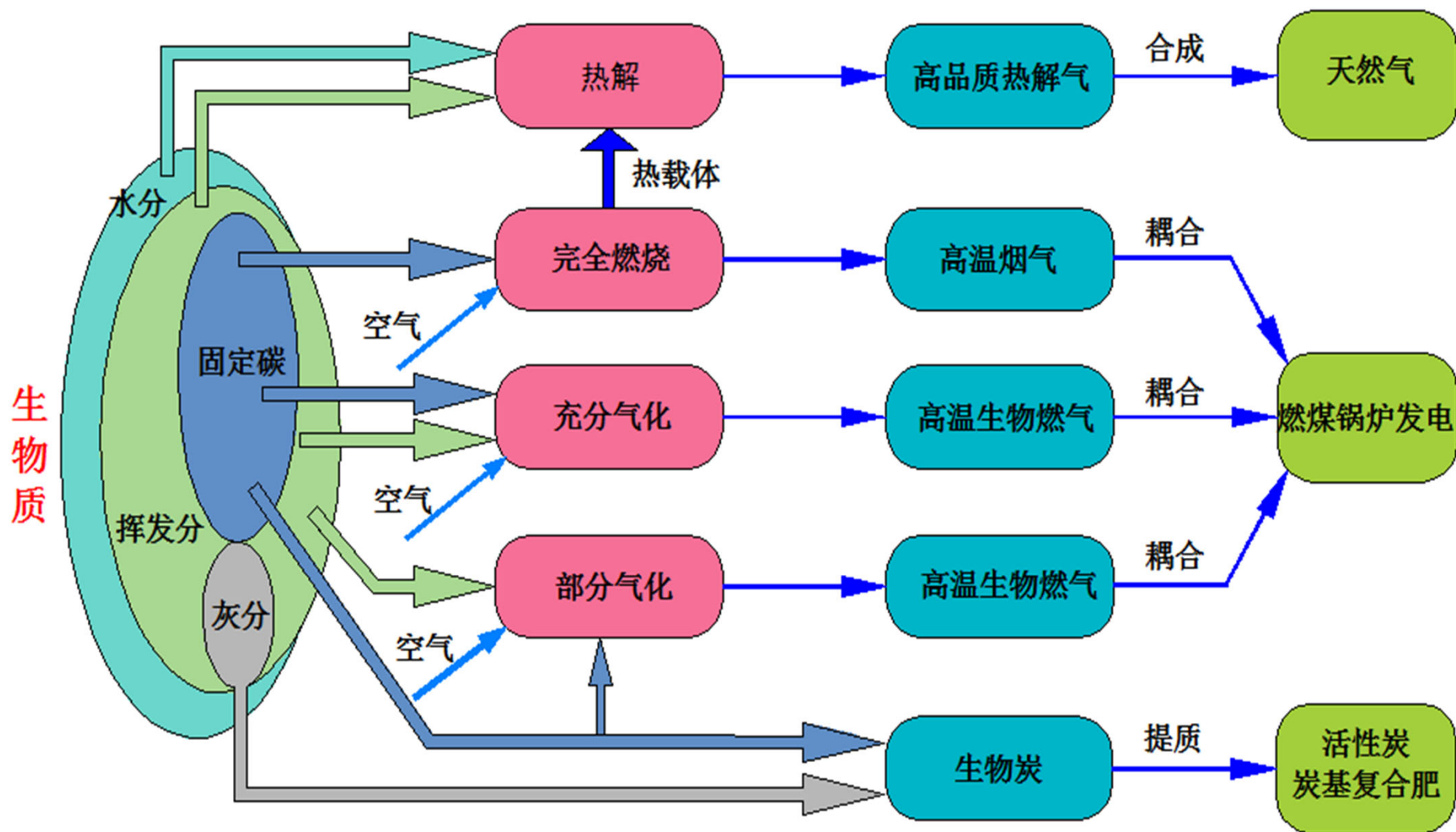
农林废弃物类生物质高效清洁利用是国家重大需求！

- 现有肥料化、饲料化、基质化、原料化等途径利用规模小，目前总利用量不足50%;
- 生物质是主要的可再生能源资源，能源化利用是发展方向
- 农林废弃物类生物质热解、燃烧、气化等热转化技术是实现生物质大规模清洁高效利用的主要途径

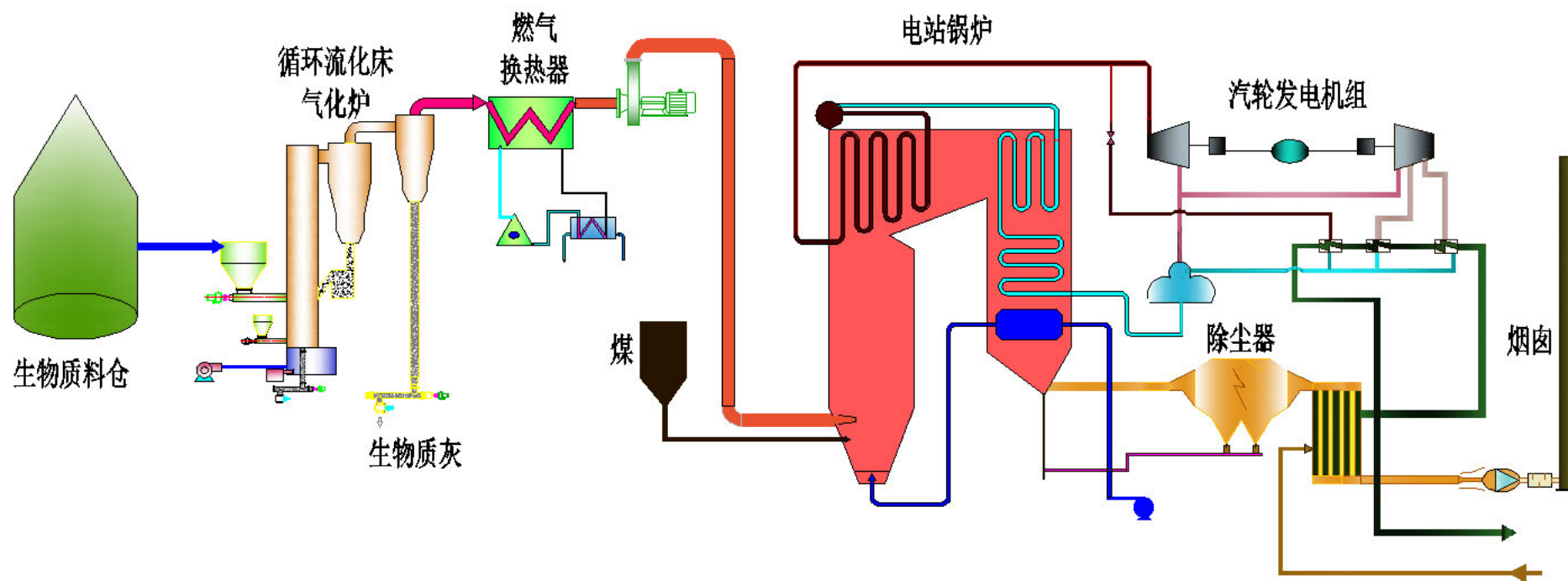
- 环境友好：二氧化碳中性排放
- 高挥发份
- 水分变化大
- 低灰，低密度
- 炭的反应活性高
- 低硫
- 许多生物质高碱(KCl等)

Different with coal

浙江大学在生物质高效率、高价值的热转化及其耦合发电技术的工作



1. 生物质循环流化床气化及其耦合发电



燃气冷却系统：

- 导热油冷却系统
- 高温蒸汽或高温水冷却系统（耦合发电厂）
- 独立蒸汽冷却系统（与发电系统联系少）

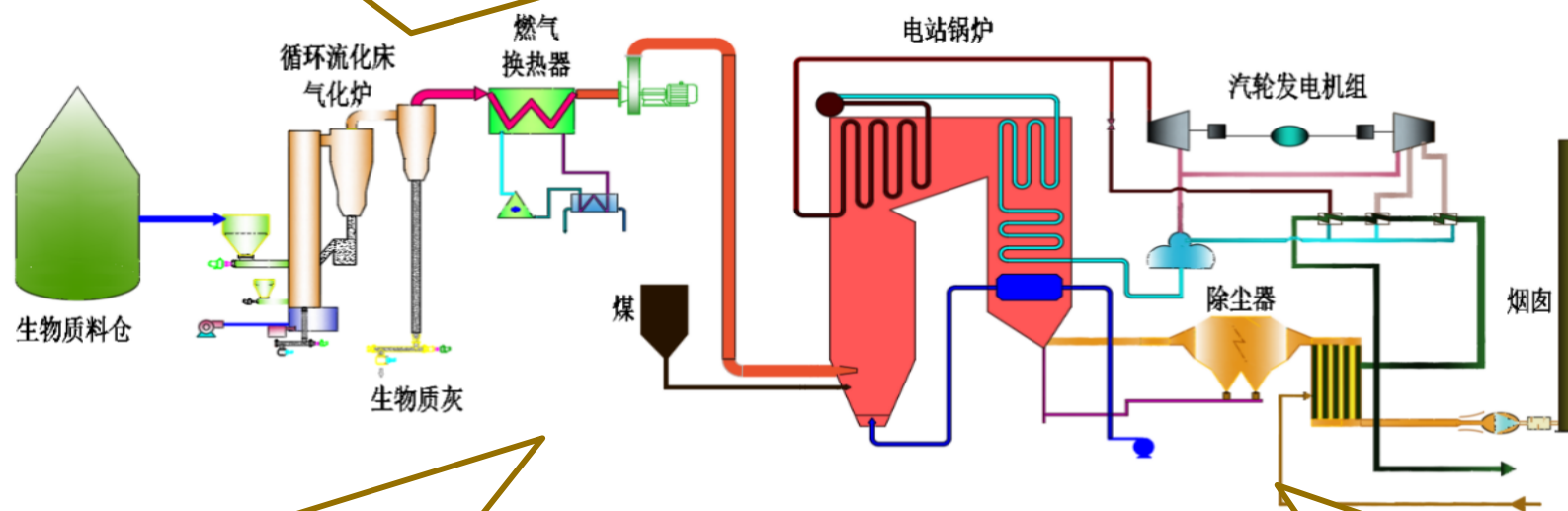
气化耦合燃煤发电是生物质大规模高效利用的有效途径

	生物质直燃	耦合发电	
		直接耦合燃烧	气化耦合
利用方式	100%生物质燃烧发电	破碎制粉送入煤粉锅炉混合燃烧发电	气化产生燃气送入煤粉锅炉混合燃烧发电
发电规模	受收集半径限制通常小于100MW	依据生物质资源量灵活调整	依据生物质资源量灵活调整
发电效率	由于规模限制和高温腐蚀等原因，发电参数低，发电效率一般低于30%	依托燃煤高参数发电机组，净供电效率高	依托燃煤高参数发电机组，净供电效率高
锅炉运行可靠性	受热面高温腐蚀和低温腐蚀问题，影响锅炉设备稳定连续运行	生物质所含k和Cl的影响对燃煤锅炉影响较大	气化燃气送入锅炉前将生物质灰分离，对燃煤锅炉影响很小。
燃料适应性及预处理	燃料适用性好	生物质制粉系统复杂，能耗高	本项目技术可适用于未成型非规则的不同农林废弃物
生物质灰利用	生物质灰可以单独利用	与煤灰混合在一起，影响煤灰利用	气化生物质灰可以单独利用，如还田利用。
发电量计量	100%生物质电量电量	生物质入炉量准确计量困难，难以校核	进料量和气化燃气输送热值可相互核对，符合计量要求
单位投资	约8000-12000元/kW	可利用燃煤机组现有设施	可利用燃煤机组现有设施

生物质气化耦合燃煤发电的难点和挑战

1. 宽燃料适应性气化技术

- 高钾氯秸秆为主的农林废弃物存在的结渣、沉积及腐蚀问题；
- 本项目之前没有气化技术实现高钾氯秸秆的规模化工业应用；
- 没有可处理多种不同特性农林废弃物混合气化技术；



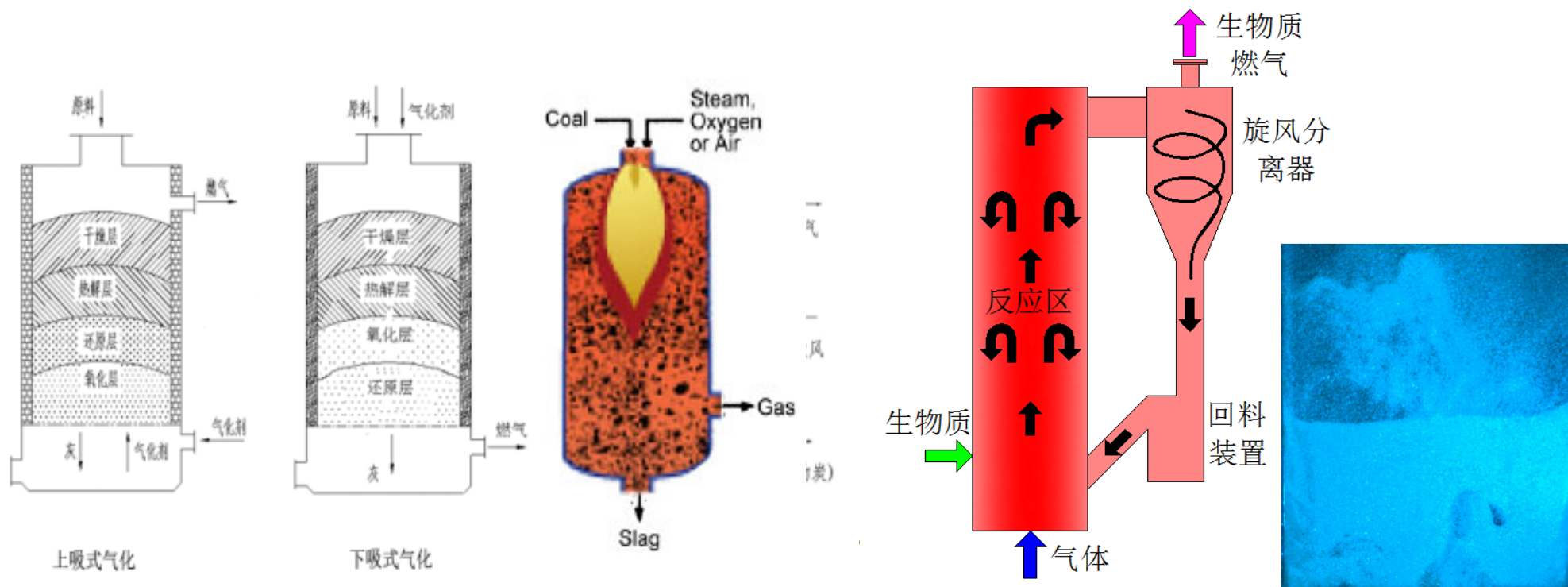
2. 适应于大型煤粉锅炉的气化燃气耦合燃烧工艺

- 含焦油高温燃气的冷却与输送
- 高温燃气入炉燃烧器

3. 生物质发电量的在线自动计量方法：生物质特性复杂多变，计量困难；高温燃气热值计量

生物质气化技术

- 移动床气化: 均匀粗颗粒, 燃料适应性差, 温度控制难, 难以适用于高碱生物质, 焦油含量高, 大型化困难
- 气流床气化: 细粉颗粒, 预处理要求高, 温度控制困难, 高温气化则难以耦合燃烧, 目前无工业应用
- 循环流化床气化: 燃料适应性强, 温度控制易, 气化强度大, 大型化容易, 已实现工业化应用



- 燃料适应性好:适用于各种不同的燃料
- 气固相混合剧烈
- 通过循环物料的控制, 可实现循环回路的温度均匀
- 可实现低温气化, 控制碱金属的析出量, 同时在进入燃煤锅炉前收集绝大部分的生物质灰, 避免锅炉的结渣及后续碱金属导致的问题
- 采用生物质热燃气利用技术 (燃气温度 $>400^{\circ}\text{C}$)
，系统整体热效率高, 且无焦油、废水污染;
- 生物质灰不熔融, 可实现含碱生物质灰的回用

研究开发工作

- 不同生物质气化特性的实验研究
 - 小型循环流化床气化特性试验研究
 - 循环流化床气化中试试验研究
 - 开展工业示范
 - 工业化推广
-

■ 生物质循环流化床直接燃烧 技术研发及100多台装置工业化 应用经验

2007年：
中温中压参数
12MW级别



2009年：
中温次高压参数
15MW级别



2011年：
次高温次高压参数
20MW级别



2012年：
高温高压参数
50MW级别



2012年：
高温高压参数
25-30MW级别



不同生物质特性的研究及数据库建立



稻壳试样，粒状，松散



竹屑试样，薄片状，松散



成型燃料1试样，棒状，坚硬



成型燃料2试样，块状，坚硬



棉杆试样，杆状，松散



稻杆试样，杆状，松散

(超过100种)
More than 100

- 碱金属赋存形态
- 碱金属析出特性
- 生物质灰熔融特性

生物质中碱金属的赋存形态

- 不同形态具有不同的活性及转化迁徙途径
- 通过化学分馏方法

典型秸秆的碱金属形态

	Water water-solu bility 水溶 性物质 (%)	iron exchangeab le (%)	Acid solubility (%)	Residue (%)
High activity				
Si	0	0	0	1
Ca	1	0	32	66
Na	93	7	0	0
K	87	13	1	0
S	16	0	0	84
Cl	100	0	0	0



- Ceramic furnace, Diameter:120 mm, Height:2600mm
- Coal feeding system
- Gas supplying system: CO₂, O₂
- DCS control system



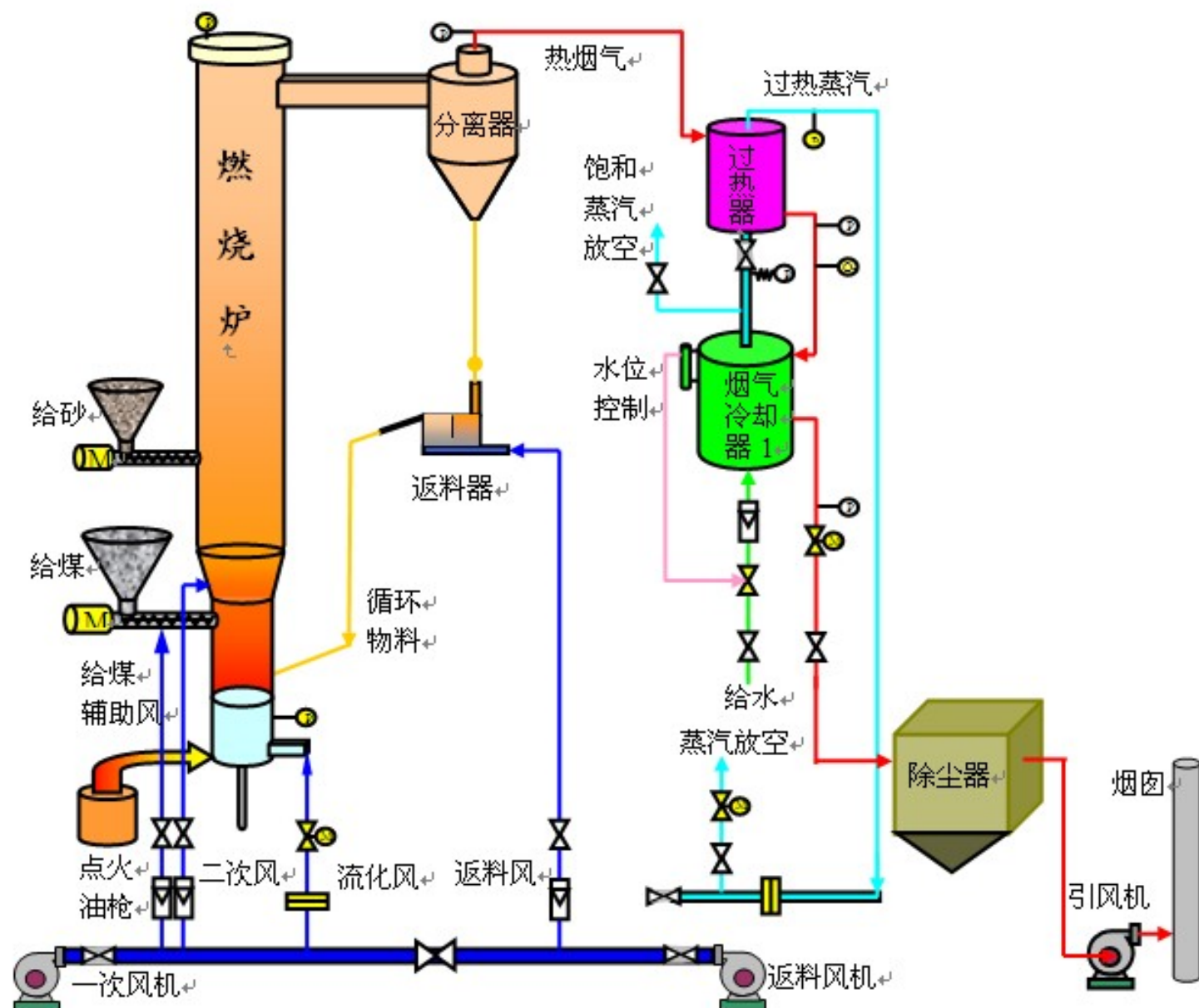
- Air preheater:350℃
- Steam generation:180℃
- Gas-solid separation

开展的实验研究

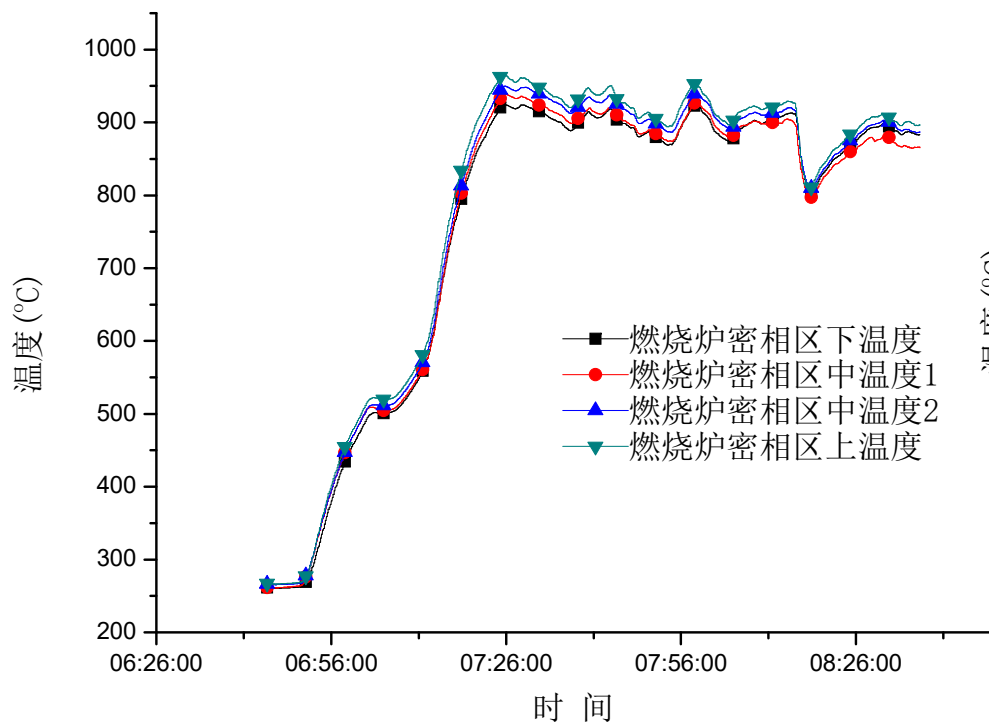
开展不同燃料款在不同温度及空气燃料比下的气化性能特性（气体成分、转化率、焦油等）

- 不同燃料：木屑、稻壳、玉米秸秆、稻草、麦秆
- 不同温度：600~900℃
- 不同空气-燃料比

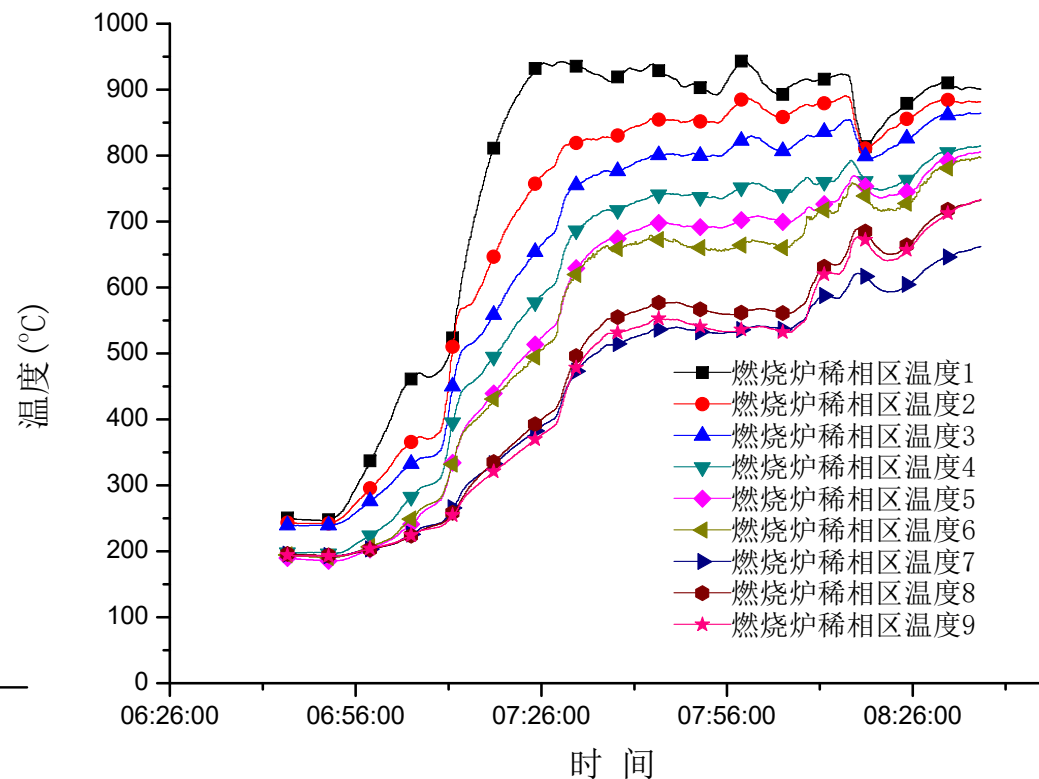
生物质循环流化床气化中试试验研究



燃烧炉的启动曲线



燃烧炉密相区温度变化曲线



燃烧炉稀相区升温曲线

工程案例：襄阳电厂 The project under construction: Xiangyang

-8 t/h 稻壳及成型秸秆颗粒 **8 t/h**
rice husk and straw particles

-耦合**600MWe**超临界煤粉锅炉燃烧发电 **coupling with 600MWe SC PC boiler**



襄阳电厂原料的元素及工业分析

项目 \ 原料	Rise husk 稻壳 (收到基)	Wheat straw 麦秸 成型 (收到基)	Rice straw 稻秸 成型 (收到基)
全水 %	7.50	14.60	12.60
灰分 %	15.27	15.32	14.17
挥发分 %	60.65	58.27	59.00
固定碳 %	16.58	11.81	14.23
高位发热量 MJ/kg	15.64	14.15	14.73
低位发热量 MJ/kg	14.51	12.92	13.49
全硫 %	0.08	0.15	0.11
碳 %	38.85	34.98	36.39
氢 %	4.68	4.35	4.63
氮 %	0.54	0.71	0.65
氧 %	33.09	29.89	31.45

10. 8MW农林废弃物循环流化床气化耦合燃煤发电示范工程

- 8t/h处理量，10.8MW生物质发电量
- 耦合600MWe超临界煤粉发电机组
- 燃料：玉米秸秆、芦苇秆、林业废弃物、花生壳、稻壳等
- 2018年9月通过72小时连续运行考核
- 2020年运行5200小时以上



玉米秸秆（成型） 芦苇秆（破碎） 林业废弃物（破碎）

**是国内外首个实现大规模高钾
氯秸秆气化长期稳定运行的工
业装置！**



该方向目前的研发工作

- 大型(**15~30MW**)生物质循环流化床气化装置及其耦合发电系统
- 生物质气化联产生物质炭的耦合燃烧发电技术

特点

- 降低了气化要求：只需将生物质中“高活性组分”气化，气化残余“低活性组分”送入循环流化床燃烧炉进行燃烧，从而实现了生物质的分级气化转化
- 生物质过程无需纯氧作为气化剂，降低了气化过程运行成本及设备建设费用。
- 生物质合成气品质高，可应用于后续合成利用
- 煤气中甲烷含量高，利于后续制气工段

Thanks!

qhwan@zju.edu.cn

13957163926