



EPTCHINA.CN

中国电力科技网

# 第二届燃煤锅炉耦合生物质发电技术应用研讨会



**孙锐**

哈尔滨工业大学教授，博导。从事煤粉、城市垃圾和生物质等固体燃料清洁燃烧和转化技术和基础研究工作。1988年12月获哈工大博士学位，2005年8月至今任哈工大教授/博导，2003年4月至2004年4月英国Sheffield大学化学工程系Swithenbank教授城市固体废物焚烧课题组访问学者研究。承担国家973、863计划，国家重点研发计划，自然科学基金重点及面上项目等二十余项。发表论文200余篇，SCI/EI检索100余篇，授权发明专利30余项。获国家技术发明二等奖2项，黑龙江省科技进步及技术发明一等奖3项，2006年教育部新世纪优秀人才支持计划基金获得者。

## 火电厂煤-生物质耦合发电技术对比分析

2019年4月17-18日 中国·石家庄

# 火电厂煤-生物质耦合发电技术 对比分析

孙锐、孙绍增

哈尔滨工业大学燃烧工程研究所  
燃煤污染物减排国家工程实验室

2018年4月17日

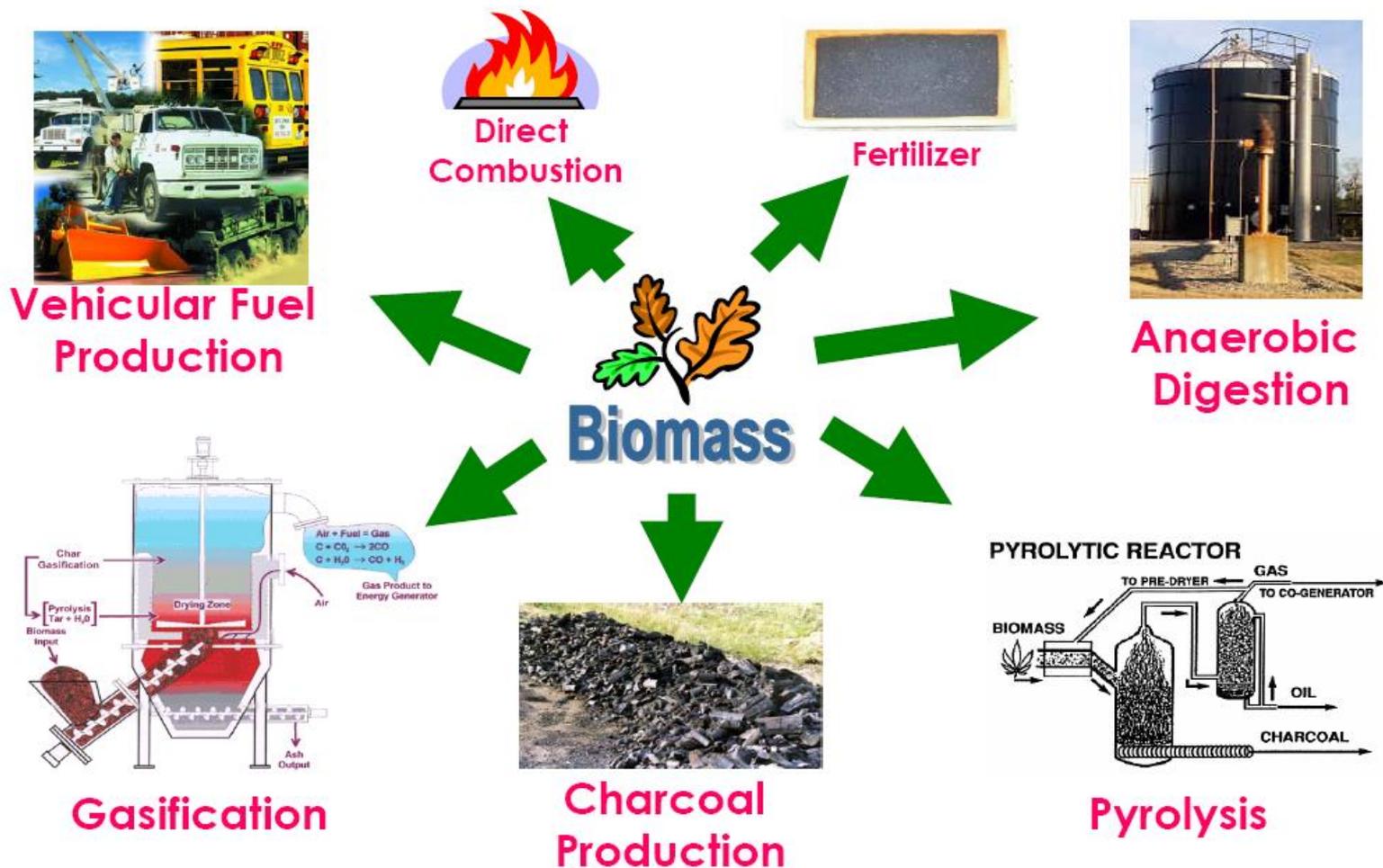
# 研究的需求背景

- 碳减排是绿色低碳可持续发展重要组成部分
  - 缓解能源危机：生物质能源成为新能源形式
  - 可再生清洁能源：CO<sub>2</sub>零排放可再生资源
- 煤电转型升级、灵活性改造势在必行
- 生物质资源总量每年约4.6亿吨标准煤
- 生物质能利用率仅7.6%

# 煤-生物质耦合发电技术主要途径

# 生物质利用途径

- 热化学转化是生物质利用主要方式
- 其中直接燃烧是生物质能主要应用方式，占生物质能利用95%



# 煤粉炉内生物质与煤混燃的研究

生物质混燃指将生物质在传统燃煤锅炉中与煤混合燃烧，**充分地利用现有燃煤发电厂投资和基础设施**，是一种低成本、低风险可再生能源利用方式，可**减缓常规电站对传统化石燃料依赖**，**减少传统污染物（SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、PM 等）和温室气体（CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> 等）**的排放，可进一步保护生态环境，促进生物质燃料市场形成，发展区域经济，提供就业机会。

在许多发达国家，生物质混燃技术作为可再生能源与化石能源最佳综合利用、实现 CO<sub>2</sub>减排最佳技术选择。

广义上混燃技术可分为：

- **直接混合燃烧**( 经预处理生物质直接输入锅炉燃烧利用)
- **间接混合燃烧**( 将生物质气化后燃气输入锅炉燃烧利用)
- **并联燃烧**( 生物质在传统锅炉并联独立锅炉中燃烧，将所产蒸汽供给发电机组)



狭义上混燃技术主要为直接混合燃烧，具体方案：

- **共磨方案**--最简单，生物质燃料在给煤机上游与煤预混，在磨煤机中与煤共同磨碎后由送粉管道送至对应煤粉燃烧器
- **共管方案**，生物质燃料经单独破碎机后，输入原磨煤机出口送粉管道中，与煤粉混合后进入原锅炉燃烧器，该方案管道布置及切换控制系统复杂
- **独立喷燃方案**，生物质燃料经独立设置的粉碎机后，吹送入锅炉主燃烧区专用燃烧器燃烧
- **再燃方案**，是独立喷燃方案的优化版，将生物质燃料作为再燃燃料，吹送入锅炉炉膛上部再燃燃烧器处燃烧，进一步控制炉内  $\text{NO}_x$  污染物生成

# 解决生物质燃烧应用的典型预处理



- ▶ 生物质燃烧可以有两种方式，在**生物质层燃炉**内**直接燃烧**或者在**大型粉煤机组**与煤进行**混燃**
- ▶ 燃烧过程存在结渣腐蚀的影响，主要由碱金属和氯元素相互作用引起的，引入烘焙可以减少烘焙生物质中**氯元素**，进而**减少渣生成**
- ▶ 烘焙可改善生物质**可磨性和物化结构**，**提高能量密度**（可提高至与低品质褐煤相当的程度）



# 煤粉炉内生物质与煤混燃研究和应用

- 从 20 世纪 90 年代开始，欧洲及北美等一些发达国家就已经开展了生物质混燃试验研究工作；
- 1995 年，丹麦 Studstrupvaerket 电站 1 号煤粉锅炉进行生物质与煤混合燃烧器试验成功，4 号机组混燃改造工程于 2002 年投运，原 24 台墙式对冲旋流煤粉燃烧器中 **4 台被改成秸秆燃烧器（独立喷燃方案）**，对应最大秸秆混燃能力为 **20 t/h**，**年消耗量在 10 万吨以上。**
- Studstrupvaerket 项目煤粉炉混燃生物质的成功实践表明：
  - (1) 火焰具有良好燃烧稳定性；
  - (2) 锅炉积灰状态取决于原锅炉设计煤及生物质混燃比；
  - (3) 过热器腐蚀速率并无变化；
  - (4) 锅炉低 NO<sub>x</sub> 排放性能没有变化；
  - (5) 生物质预处理系统可用率达到 90% 。
- 结论：**大容量煤粉炉混燃是一种非常安全可靠生物质能发电技术。**



## 煤粉炉内生物质与煤混燃研究和应用

欧洲著名生物质煤粉炉混燃示范项目——波兰 Ostroleka B 厂，该电厂 $3 \times 200$  MW 机组于 2005 年开始实施共磨方案，加装了整套生物质仓储、上料系统，将生物质颗粒直接混入上煤系统，生物质颗粒与煤共同进入原配置 E 型中速磨煤机制粉，燃烧系统并未进行改造。

欧洲相关经验表明，将生物质直接混入原煤，限制混合比在5%以内，并不会对共磨方案原制粉系统造成显著影响。Ostroleka B 投运 5 年来，由于混燃比较大，受生物质燃料与原煤的特性差异，磨煤机制粉系统存在一定程度不适应，故障较高。**锅炉系统尚未发现明显异常。**

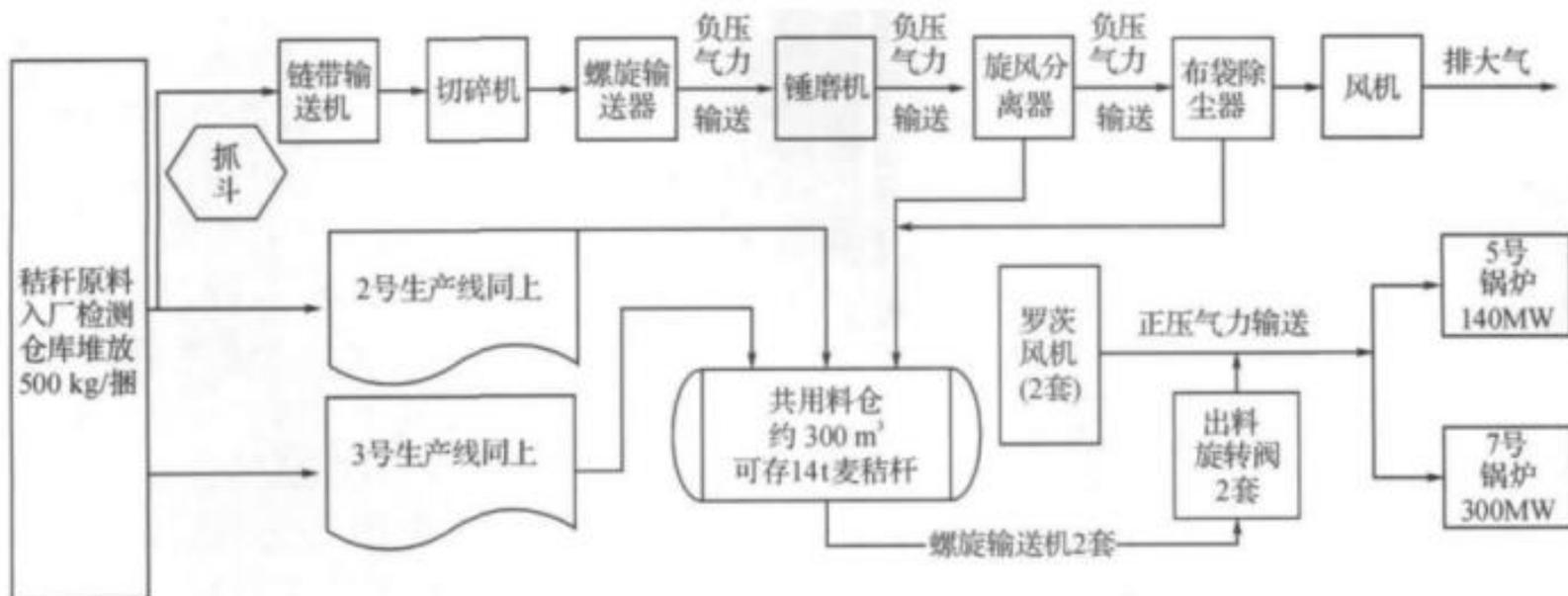
该电厂通过技术改造于 2011 年开始投运新设计**独立喷燃系统**，混燃量维持在  $2 \times 30$  t/h 左右，单套系统可为单台 200 MW 等级机组混燃约 30% 生物质燃料。

Ostroleka B 电站工程实践表明，**独立喷燃方案优于共磨方案**。未来**独立喷燃方案和再燃**等混燃技术方案，**将成为生物质燃烧大规模推广、发展方向。**

# 煤粉炉内生物质与煤混燃研究和应用

山东十里泉电厂 140 MW 机组混燃秸秆示范项目，项目于 2005 年引进丹麦 BWE 公司技术，投资 8000 万元，使用独立喷燃系统混燃麦秸秆，可供 5 号 140 MW 机组或者 7 号 300 MW 机组之间切换使用。

设计混燃生物质量约为  $3 \times 5 \text{ t/h}$ ，热量为 **60 MW**，占 7 号机组 300MW 容量 **20%**。投运 6 年多来，该系统整体运行状态良好，除少量检修工作时间外，全年可长期稳定运行，项目享受山东省电网电价补贴，具有很好经济收益。



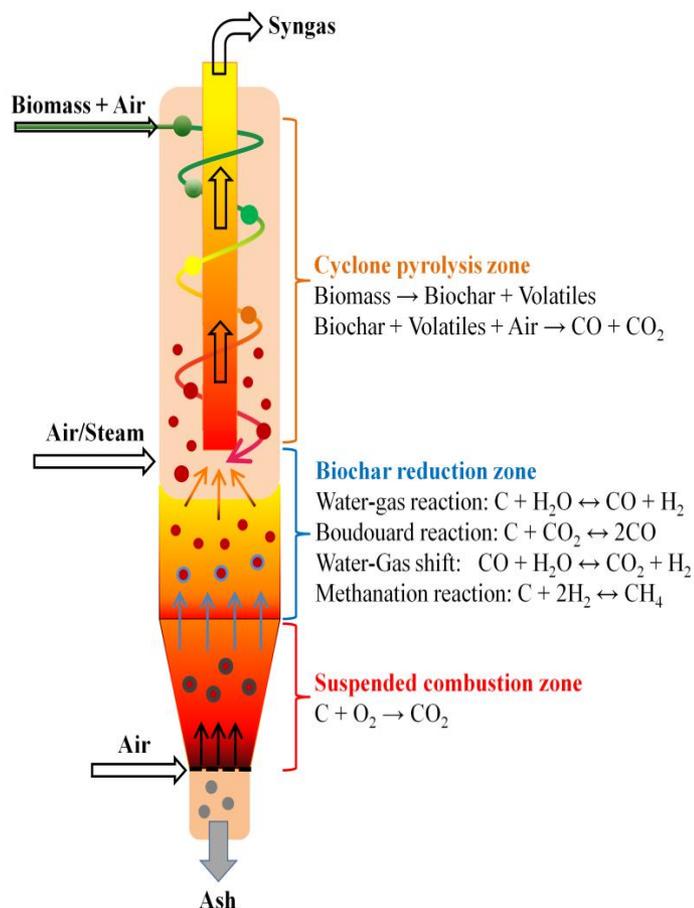
山东十里泉电厂混燃预处理系统

---

# 煤-生物质气化耦合发电技术

# 生物质旋风气化原理

采用分级的方式在一个反应装置内将反应解耦，实现生物质燃料热解、气化（还原反应）、燃烧（氧化反应）的热化学梯级转化。



- 由**旋风热解室**和**悬浮燃烧室**组成。
- 副空气流携带生物质燃料从气化炉上部旋转向下运动，在旋风热解室内形成旋流流场。
- 在气化炉下部形成高浓度的生物质焦炭区，加入主空气流，通过悬浮燃烧的方式形成主燃烧区。

# 生物质旋风气化的特点

- 气化强度大，可多炉联用，适合工业化应用
- 气化炉结构简单，初投资低，且易于操作运行
- 反应过程中自除尘，燃气中飞灰含量低
- 燃气中焦油含量低

# 研发进展

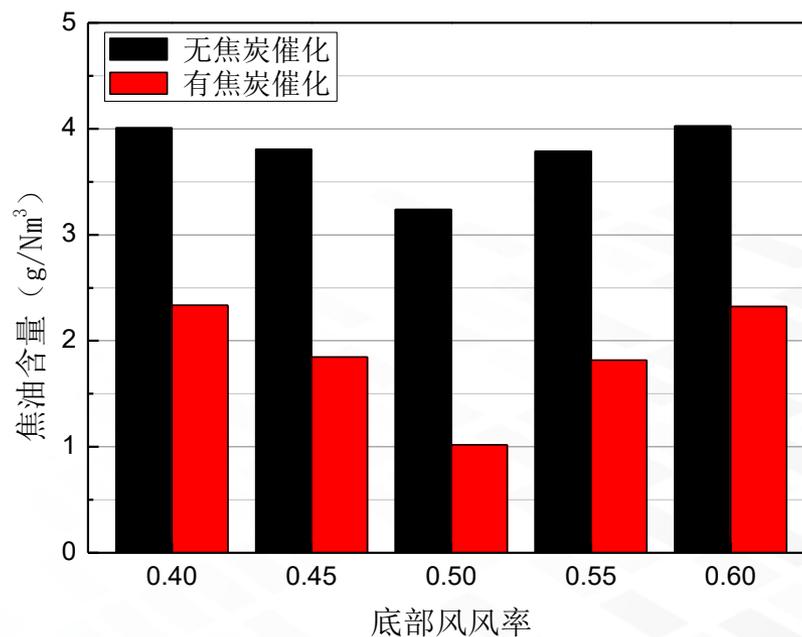
- 旋风热解-悬浮燃烧复合气化方式试验研究
- 旋风气化性能参数优化试验研究

30KW旋风气  
化炉试验系统



# 部分成果-气化产品

原料	气化介质	燃气热值 (MJ/Nm <sup>3</sup> )	产气率 (Nm <sup>3</sup> /kg)	冷气化效率 (%)
木屑	空气	5.71	1.70	61.2
稻壳	空气	5.37	1.18	48.3



# 知识产权

[1] 生物质旋风热解-悬浮燃烧复合气化装置及其气化方法.

专利号：ZL 20140100392202.5

[2] 一种生物质旋风分级气化方法及装置. 专利号：ZL

2010 1 0113897.0



# 已取得的成果

生物质气化技术相关论文SCI 28篇，EI 12篇。

Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

Contents lists available at [ScienceDirect](http://ScienceDirect)

Contents lists available at [ScienceDirect](http://ScienceDirect)

Cleaner Production

ELSEVIER

Contents lists available at [ScienceDirect](http://ScienceDirect)

Bioresour. Technol. (2018) 228, 1–10

Journal homepage: [www.elsevier.com/locate/biortech](http://www.elsevier.com/locate/biortech)

Short Communication

**Experimental study of cyclone pyrolysis – Suspended combustion air gasification of biomass**

Yijun Zhao<sup>a</sup>, Dongdong Feng<sup>a,\*</sup>, Zhibo Zhang<sup>a</sup>, Shaozeng Sun<sup>a</sup>, Xinwei Zhou<sup>a</sup>, Jiyi Luan<sup>b</sup>, Jiangquan Wu<sup>a</sup>

<sup>a</sup>School of Energy Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China  
<sup>b</sup>School of Mechanical Engineering, Jiamusi University, Jiamusi 154003, China

**HIGHLIGHTS**

- Bottom wind ring was equipped for the biochar suspension combustion zone.
- The tar cracking device with biochar was installed at the gasifier outlet.
- Two materials were used successively to preheat the cyclone gasification system.
- With bottom air rate as 0.50, the gasification efficiency was the best.

**GRAPHICAL ABSTRACT**

**Cyclone pyrolysis zone:**  
Biomass + Biochar = Volatile  
Biochar + Volatile + Air → CO + CO<sub>2</sub>

**Biochar reduction zone:**  
Biochar + H<sub>2</sub>O = CO + H<sub>2</sub>  
Biochar + CO<sub>2</sub> = 2CO  
Water-Gas shift: CO + H<sub>2</sub>O = CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>  
Methanation reaction: C + 2H<sub>2</sub> → CH<sub>4</sub>

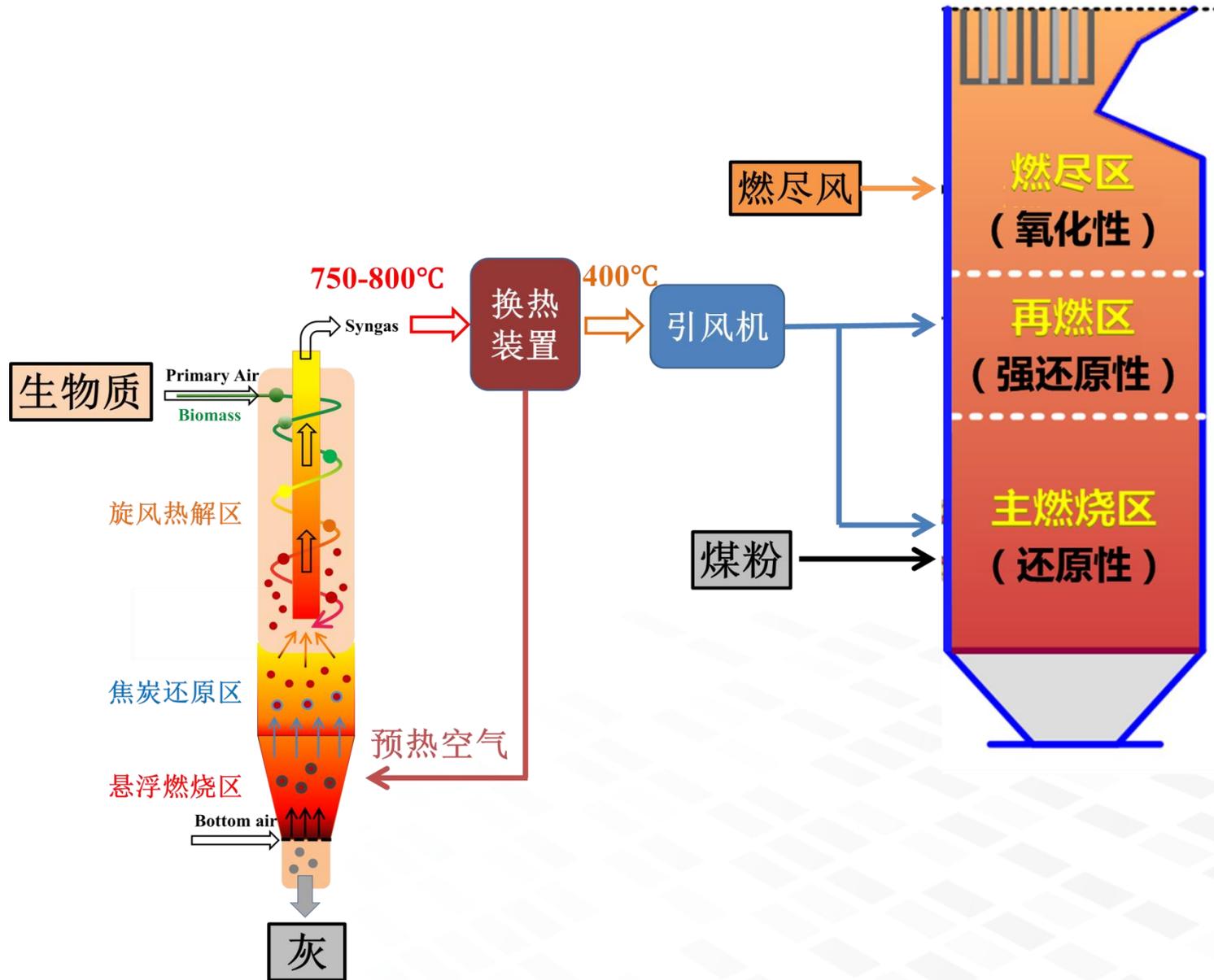
**Suspended combustion zone:**  
C + O<sub>2</sub> → CO<sub>2</sub>

**Cyclone pyrolysis – suspended combustion gasification system**

# 旋风气化与燃煤融合发电的优势

- 旋风气化炉技术设备体积小，系统及结构简单；
- 与煤粉锅炉进行紧密耦合布置，占地面积小；
- 气化燃气和气化半焦协同还原NO<sub>x</sub>；
- 燃气-生物炭综合生产。

# 生物质旋风气化-混燃技术



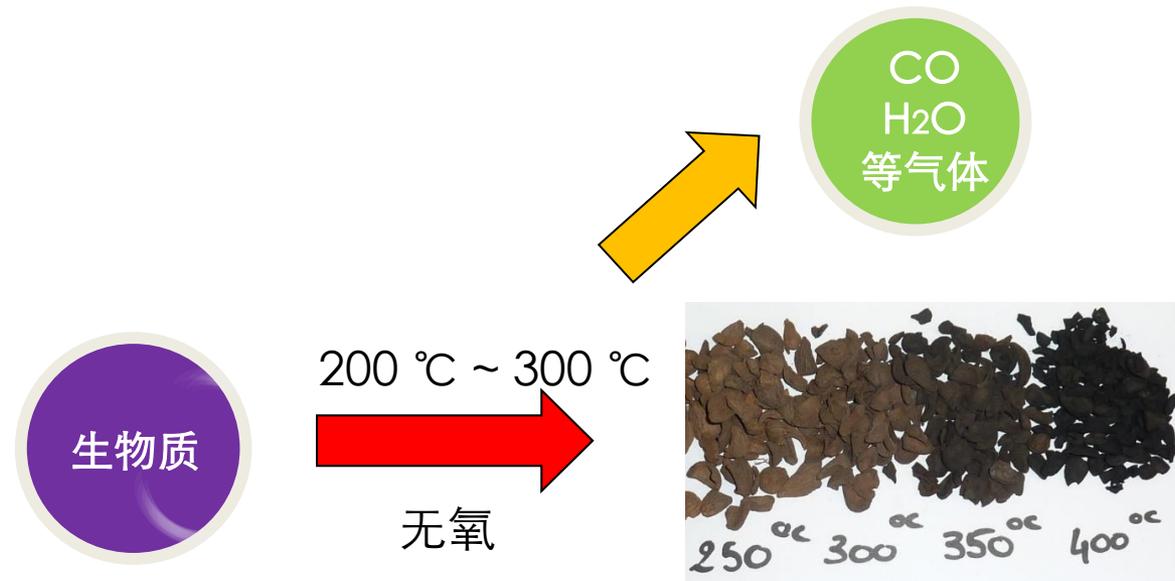
---

# 煤-生物质混燃预处理技术



# 生物质烘焙技术

◆ **烘焙过程**实质是在少氧和无氧条件下低温热解



- 有效降低生物质含水量、含氧量、含氮量等
- 减少燃烧过程中污染物排放，减少结渣和腐蚀问题
- 提高燃料能量密度
- 改善生物质的可磨性和物化结构

# 解决生物质混燃问题的思路

原生物质燃烧 → **烘焙** → 烘焙生物质燃烧、混烧



实现应用过程中氯、硫、氮等释放

# 生物质烘焙后成分的变化

Compositional changes during Torrefaction						
Forest residue	Cellulose (% wt)	Hemi-cellulose (% wt)	Lignin (% wt)	Heating value (Btu/lb)		
Non-torrefied (10% m.c.)	43.1	18.4	20.9	7,774		
Torrefied at 220°C	40.7	12.0	25.1	8,474		
Torrefied at 250°C	37.3	5.0	31.8	9,376		
Torrefied at 280°C	20.6	2.9	47.3	10,167		

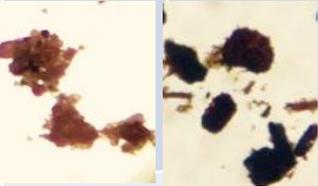
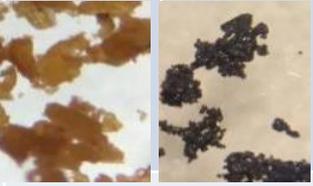
Forest residue	C	H	O	N	S	Ash (% wt)
Non-torrefied (10% m.c.)	45.3	5.9	48.5	0.3	0.1	0.6
Torrefied at 220°C	49.4	5.5	44.1	0.3	0.0	1.1
Torrefied at 250°C	50.5	5.4	41.8	0.4	0.0	1.2
Torrefied at 280°C	56.4	5.4	36.1	0.9	0.1	1.4

From reference: *Sudhagar Mani, University of Georgia*

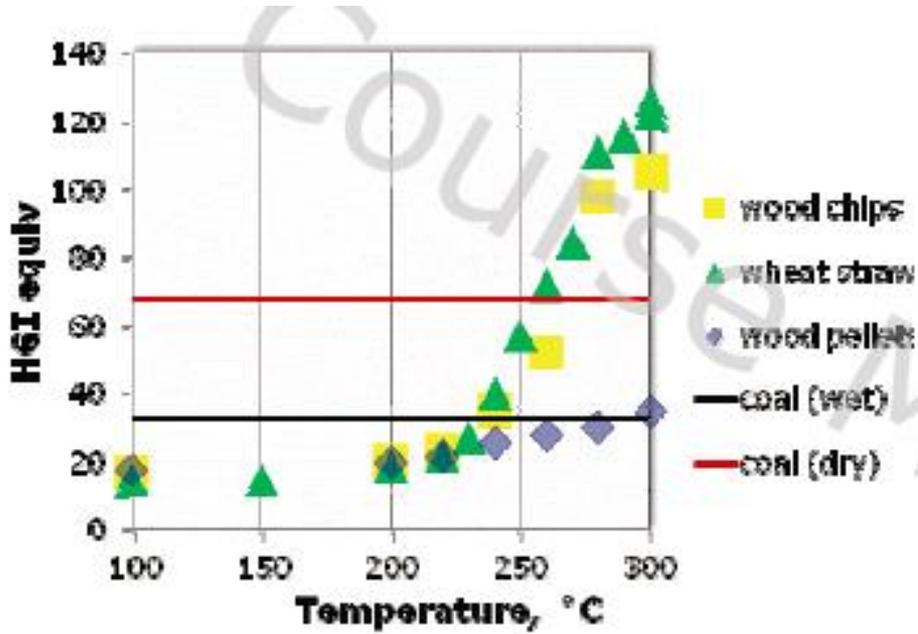


# 生物质烘焙前后热值变化

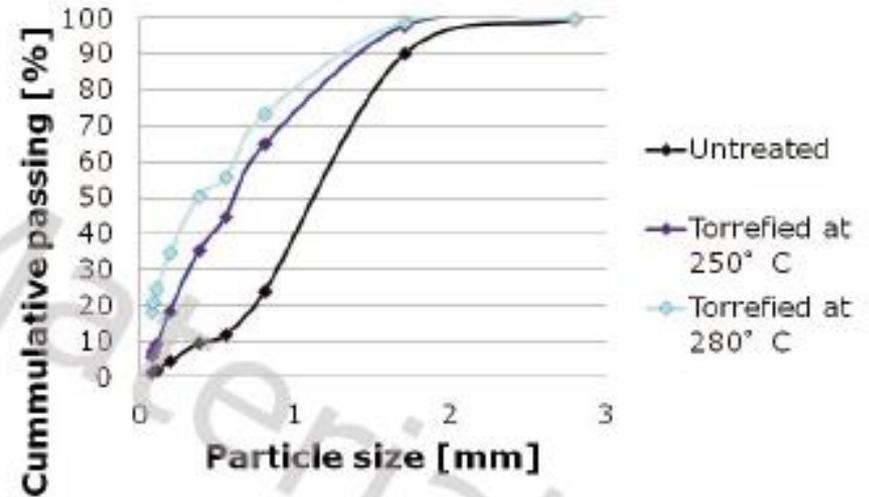
玉米秆	室温	250 °C	275 °C	300 °C	350 °C	400 °C
低位发热量 (MJ/kg)	16.8	18.5	19.4	19.8	20.3	21.1

275 °C 烘焙	玉米秆 Raw / Torrefied	橄榄废弃物 Raw / Torrefied	玉米酒糟 DDGS Raw / Torrefied
			
低位发热量 (MJ/kg)	16.8 / 19.4	17.6 / 21.4	18.4 / 23.7

# 生物质烘焙后可磨性变化

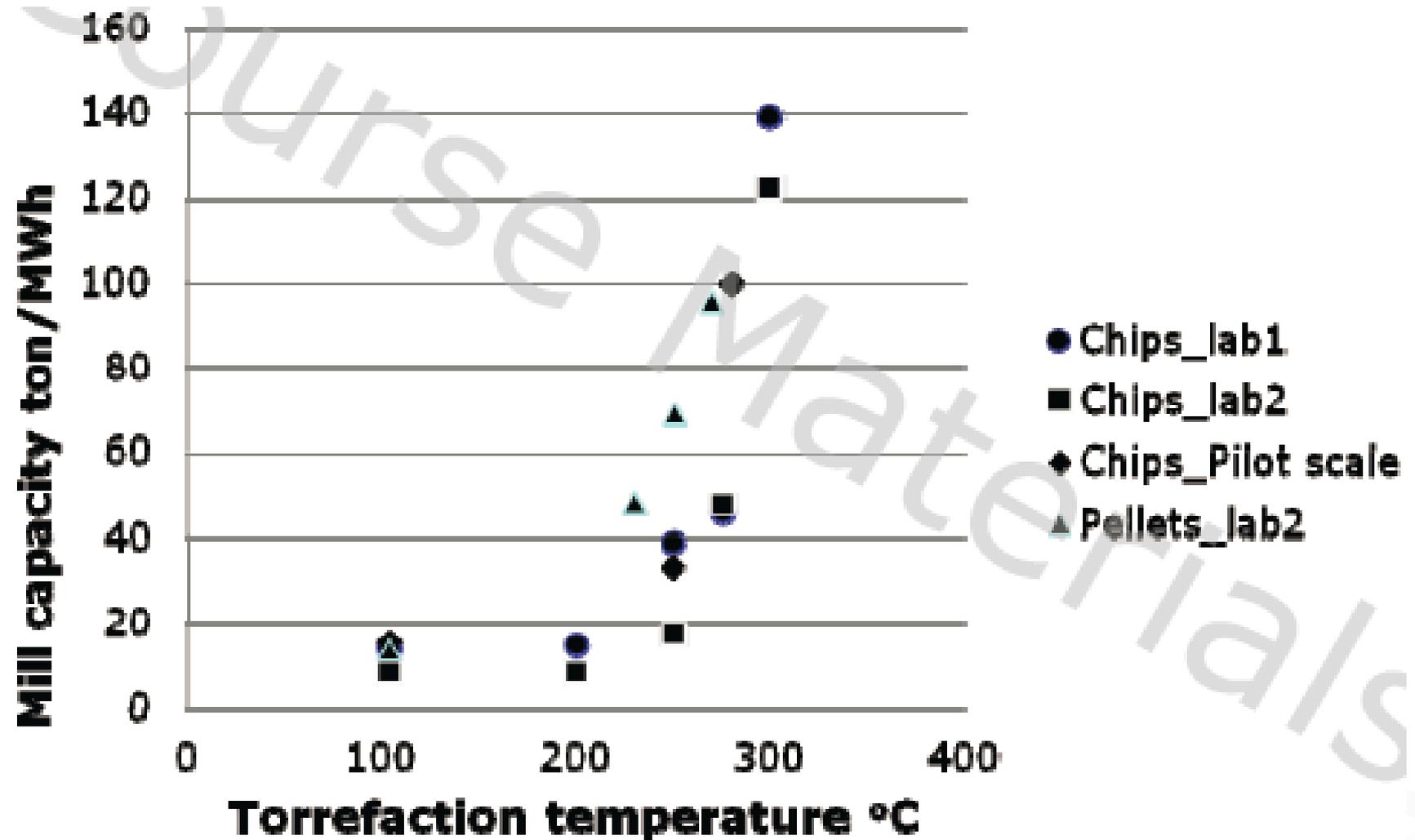


Particle size distribution example  
- torrefied wood chips milled  
down in pilot mill



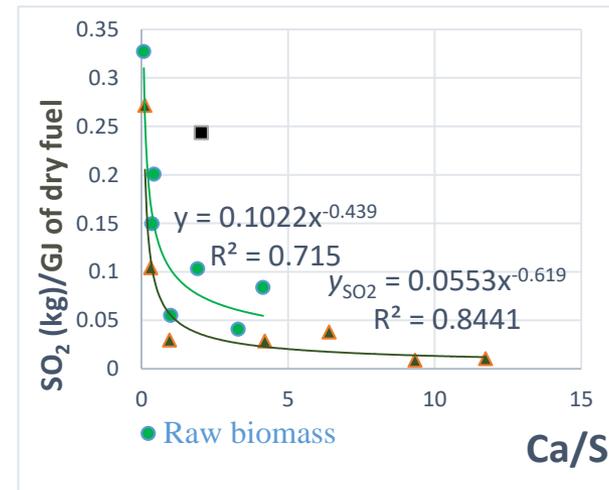
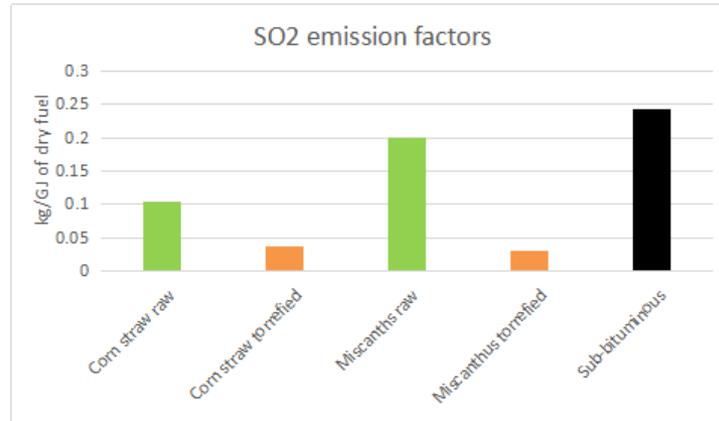
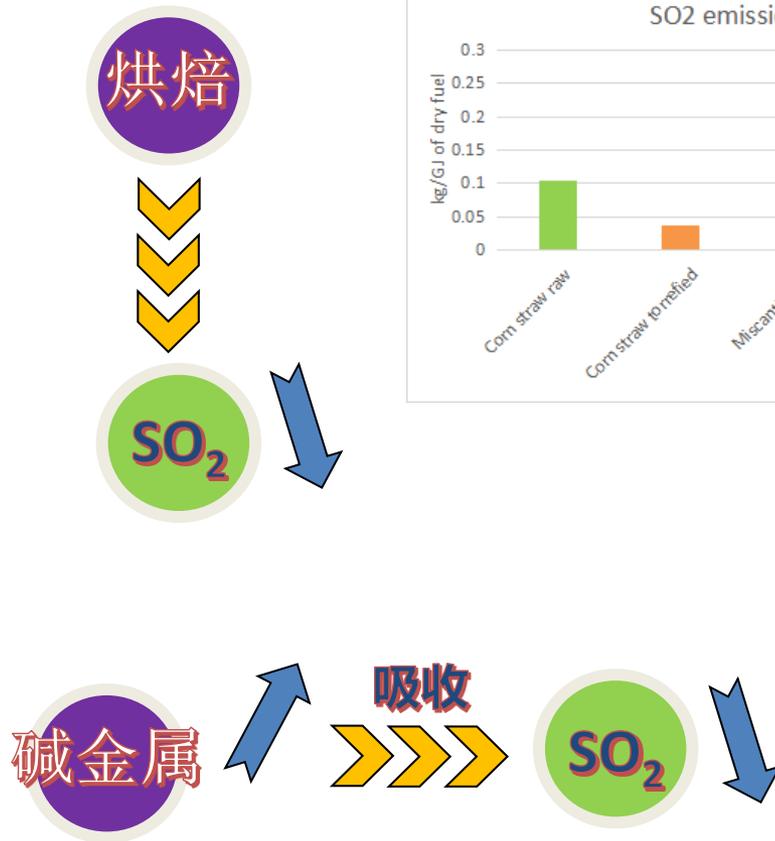
Untreated  $d_{50} = 1.2$  mm  
Torrefied at 250° C  $d_{50} = 0.7$  mm  
Torrefied at 280° C  $d_{50} = 0.4$  mm

# 生物质烘焙后可磨性的变化

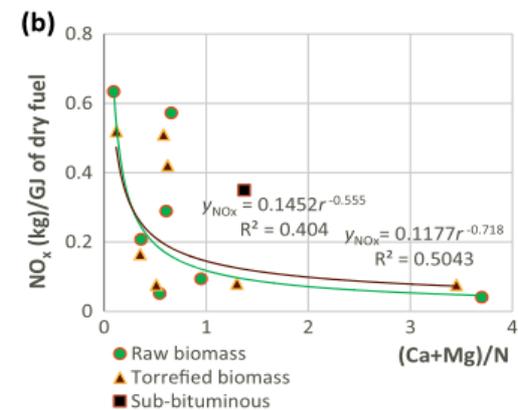
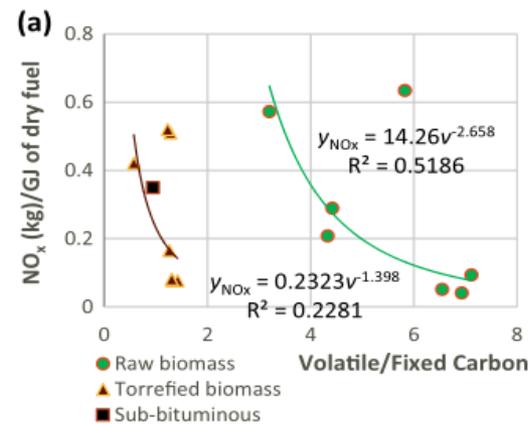
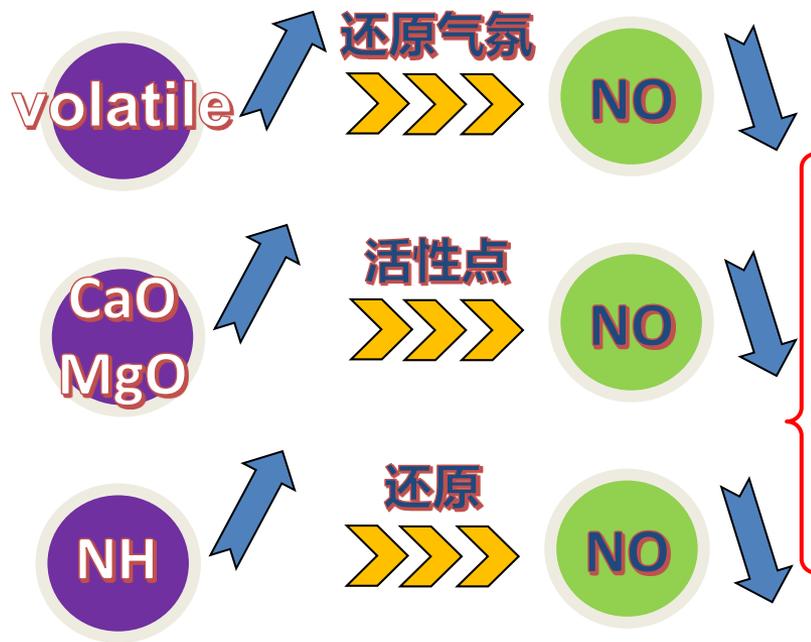


# 烘焙生物质燃烧过程SO<sub>2</sub>释放

XH.Ren, R.SUN et al,  
Fuel,188,310-323



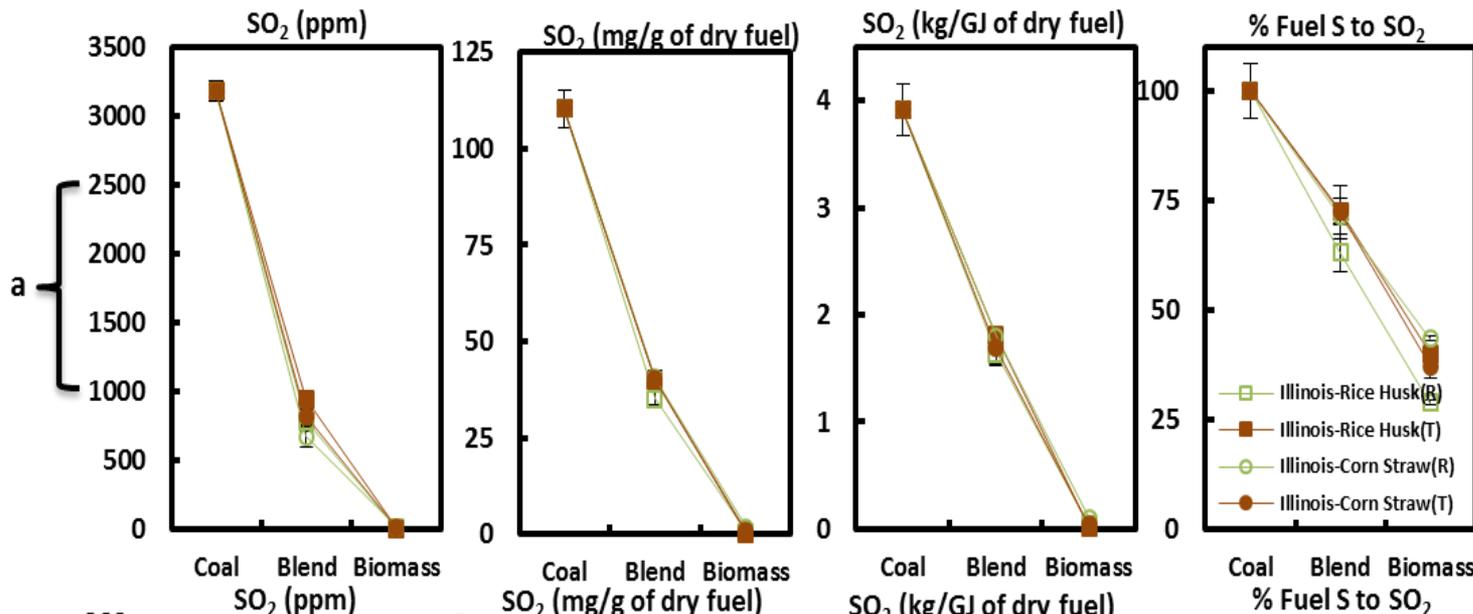
# 烘焙生物质燃烧过程NO<sub>x</sub>释放



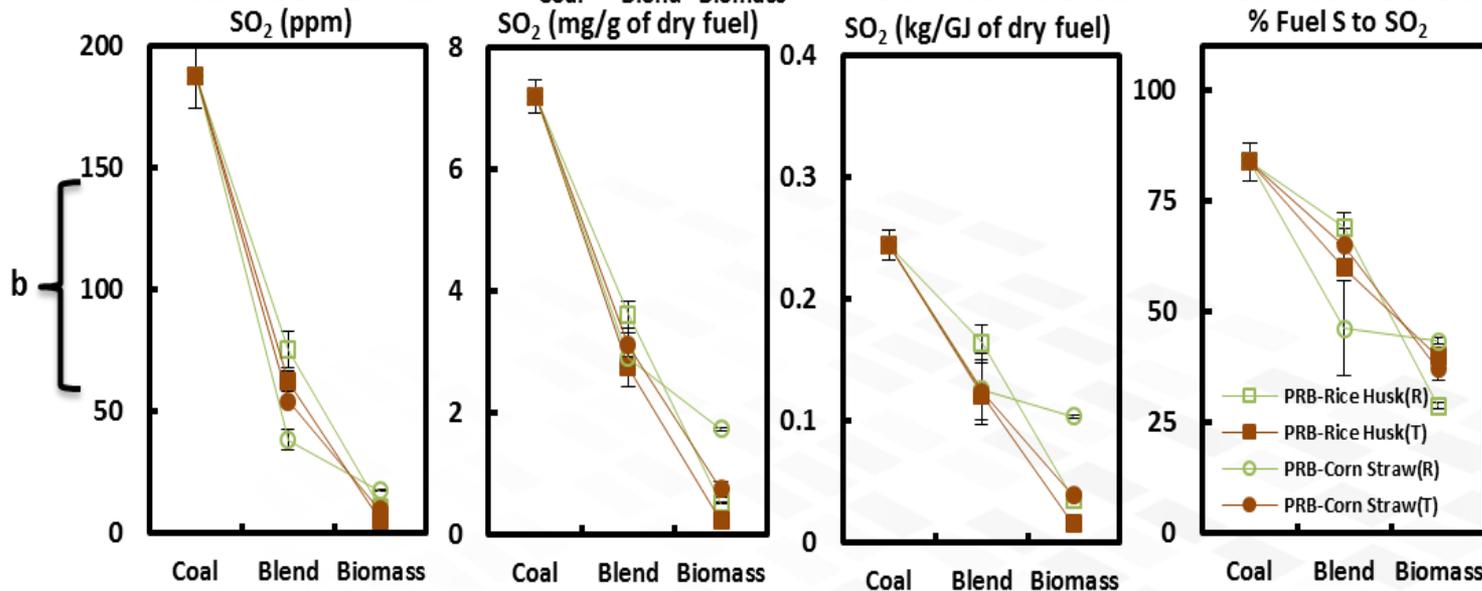
# 烘焙生物质与煤混燃过程中酸性气体释放规律的研究

Illinois  
高硫烟煤

混燃降  
低SO<sub>2</sub>

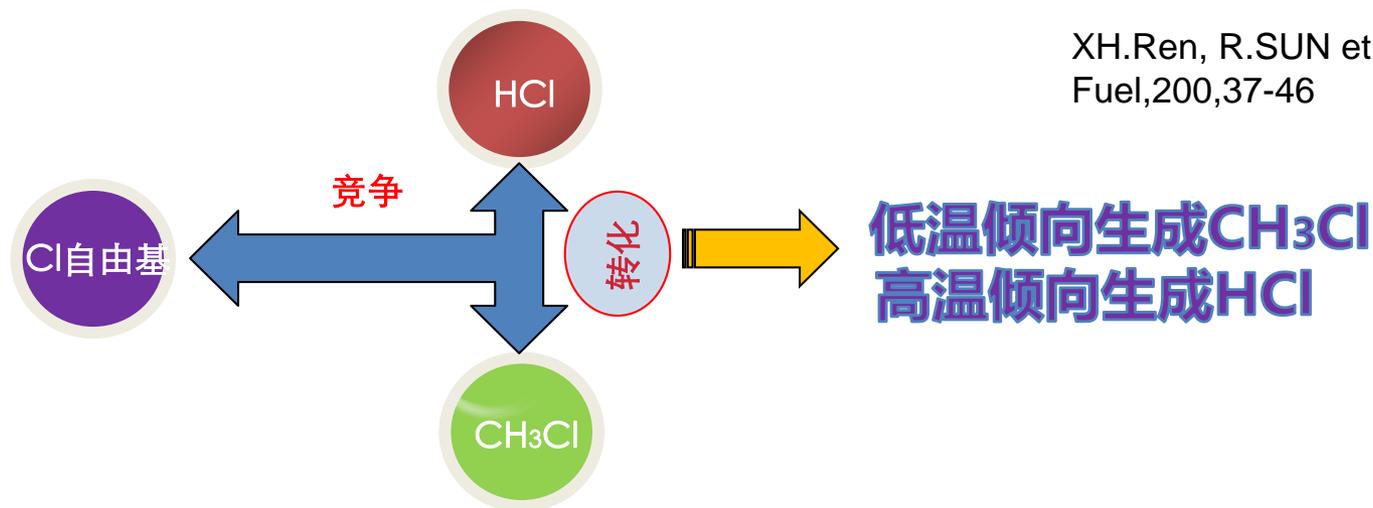


PRB  
次烟煤



# 烘焙过程HCl、CH<sub>3</sub>Cl等污染物释放规律

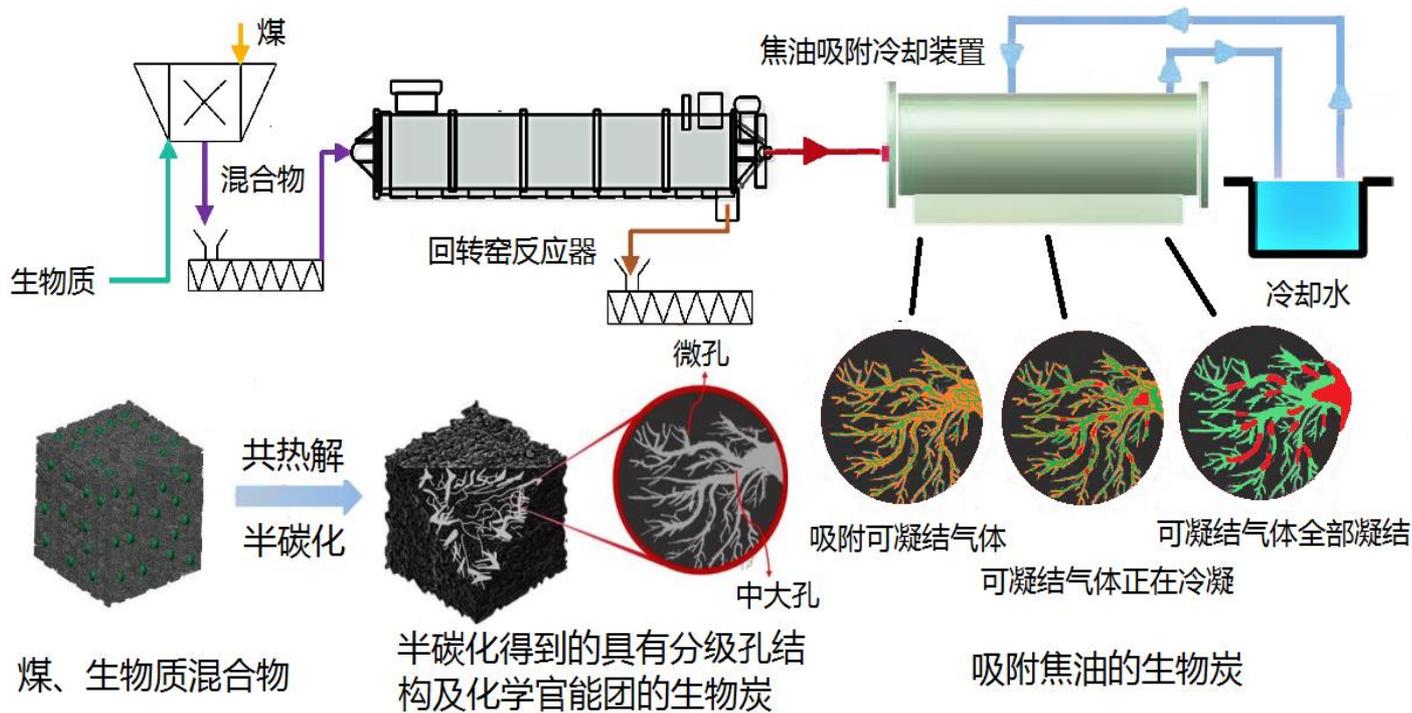
XH.Ren, R.SUN et al,  
Fuel,200,37-46



生物质烘焙、燃烧中Cl释放

Cl含量	烘焙释放	燃烧释放	灰中残存	未计入
原生玉米秸秆	--	51.6	8.3	40.1
烘焙玉米秸秆	77.4	9	5.7	7.9
原生橄榄渣	--	35.2	34.6	30.2
烘焙橄榄渣	59.1	11.8	28.9	0.2
原生谷渣	--	60.2	36.6	3.2
烘焙谷渣	60.8	18.3	22.1	-1.2

# 烘焙供气、供热系统、制取生物炭



烘焙+气化+制炭→清洁燃料用于发电和区域供热

**请各位专家批评指正**