

第二届燃煤锅炉耦合生物质发电技术应用研讨会



鲁许鳌

华北电力大学动力工程系博士。2013-2014在加拿大能源研究中心（Canmet）访学。长期从事生物质耦合燃煤技术和流化床生物质气化技术的研发。参加国内第一个国电荆门（2009年）耦合燃煤发电中试研发项目和第二个华电襄阳生物质耦合燃煤发电项目（2015年）。

生物质耦合燃烧发电研究探讨

2019年4月17-18日 中国·石家庄

生物质耦合燃煤发电研究探讨

鲁许鳌

2019.4.18 石家庄



华北电力大学

North China Electric Power University

能源动力与机械工程学院

School of Energy, Power & Mechanical Engineering



● 生物质耦合燃煤发电背景

● 生物质混合燃烧类型及特征

● 气化耦合发电热力学分析

● 气化耦合发电环保性分析

● 基于气化耦合技术的优化运行



华北电力大学

North China Electric Power University

能源动力与机械工程学院

School of Energy, Power & Mechanical Engineering

国外发展现状



- 《联合国气候变化框架公约》，1992年6月4日在巴西里约热内卢举行的联合国环发大会（地球首脑会议）上通过。该公约是世界上第一个为全面控制二氧化碳等温室气体排放
- 《京都议定书》全称《联合国气候变化框架公约的京都议定书》，1997年日本京都通过，并于1998年3月16日至1999年3月16日间开放签字，共有84国签署，
- 《巴黎协定》是2015年12月12日在巴黎气候变化大会上通过、2016年4月22日在纽约签署的气候变化协定，是人类历史上应对气候变化的第三个里程碑式的国际法律文本，形成2020年后的全球气候治理格局。



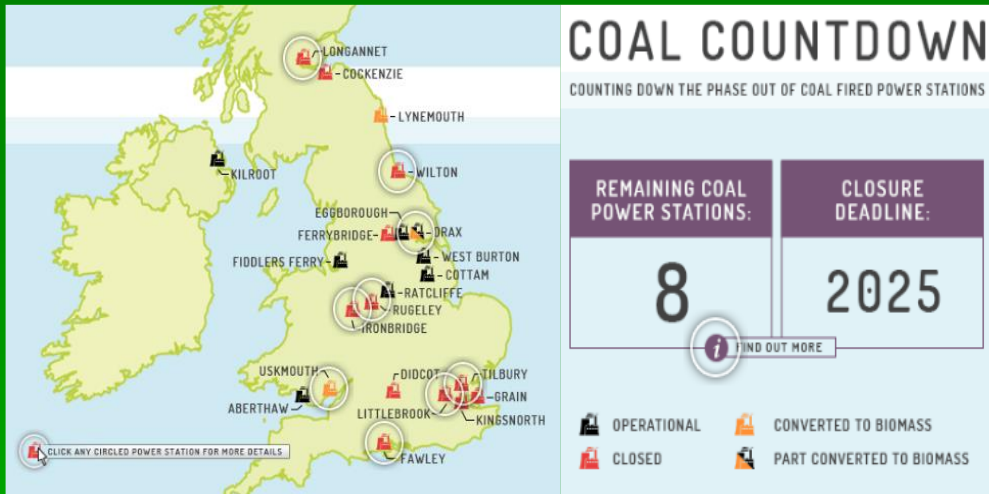
华北电力大学

North China Electric Power University

能源动力与机械工程学院

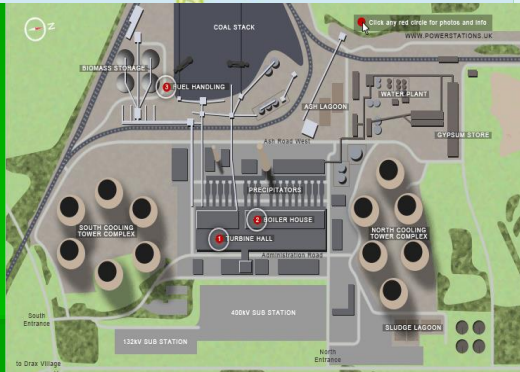
School of Energy, Power & Mechanical Engineering

英国生物质共燃发电前景



Working coal powered stations

berthaw B ; Cottam
Drax ; ggborough
Fiddlers Ferry ; Ratcliffe
Uskmouth ; West Burton A



6台亚临界自然循环前后墙对冲燃烧方式锅炉
主汽压力: 160bar 再热蒸汽压力: 40bar
主汽温度: 565 再热蒸汽温度: 565

汽轮发电机组发电容量:
6*660MW



华北电力大学

North China Electric Power University

能源动力与机械工程学院

School of Energy, Power & Mechanical Engineering

日本生物质共燃发电前景

Haramachi (原町火力発電所)	2,000	Coal
Hekinan (碧南火力発電所) [1]	4,100	Coal
Hitachinaka (常陸那珂火力発電所)	2,000	Coal (Bituminous)
Ishikawa	312	Coal (Bituminous)
Kashima	507	Coal (Bituminous)
Kin	440	Coal (Bituminous)
Maizuru (舞鶴発電所)	1,800	Coal
Matsuura	2,700	Coal (Bituminous)
Misumi	1,000	Coal (Bituminous)
Naie (奈井江発電所)	350	Coal
Nakoso	1,625	Coal (Bituminous)
Nanao-Ohta	1,200	Coal (Bituminous)
Niihamanishi (新居浜西火力発電所)	150	Coal
Reihoku (苓北発電所)	1,400	Coal
Sakata	700	Coal
Sendai	525	Coal
Sunagawa (砂川発電所)	250	Coal
Tomato-Atsuma[5] (苫東厚真発電所)	1,650	Coal

共燃电站数目：9个，直接掺烧

平均掺混比例：3%质量比例

机组类型：煤粉炉；流化床锅炉；IGCC

生物质燃料类型：木质颗粒

	平成 24年度	平成 25年度	平成 26年度	平成 27年度	平成 28年度	平成 29年度	平成 30年度	平成 31年度
事業用太陽光 (10kW以上)	4 0 円	3 6 円	3 2 円	2 9 円 ^{※1}	2 4 円	2 1 円 ^{※3}	今年度では 決定せず	今年度では 決定せず
	※1 7/1～（判断年度開始終了後）					※3 2MW以上は入札（平成29年10月に第1回予定）		
住宅用太陽光 (10kW未満)	4 2 円	3 8 円	3 7 円	3 3 円 ^{※2}	3 1 円 ^{※2}	2 8 円 ^{※2}	2 6 円 ^{※2}	2 4 円 ^{※2}
	※2 2出力割増対応価格設置費あり							
風力	2 2 円 ^{※4} (20kW以上)					22 円 ^{※4}	21 円 ^{※4}	2 0 円 ^{※4}
	5 5 円 ^{※4} (20kW未満)					据え置き	据え置き	1 9 円 ^{※4} (20kW以上)
地熱	2 6 円 ^{※4} (1500kW以上)					据え置き		
	4 0 円 ^{※4} (1500kW未満)					据え置き		
水力	2 4 円 ^{※4} (1000kW以上30000kW未満)					24 円 ^{※4}	2 0 円 ^{※4} (30000kW以上300000kW未満)	2 7 円 ^{※4} (10000kW以上50000kW未満)
	2 9 円 ^{※4} (200kW以上1000kW未満)					据え置き		
	3 4 円 ^{※4} (200kW未満)					据え置き		
バイオマス	3 9 円 ^{※4} (49トン/燃焼)					据え置き		
	3 2 円 ^{※4} (間伐材等由来の木質バイオマス)		4 0 円 ^{※4} (20000kW未満)		4 0 円 ^{※4} (20000kW以上)		据え置き	
	2 4 円 ^{※4} (一般木質バイオマス・農作物残)		2 1 円 ^{※4} (20000kW以上)		2 4 円 ^{※4} (20000kW未満)		据え置き	
	1 3 円 ^{※4} (建設資材廃棄物)				据え置き			
	1 7 円 ^{※4} (一般廃棄物・その他バイオマス)				据え置き			
※4 風力・地熱・水力の7のブレースについては、別途、新規認定より低い買取価格を適用								

※4 風力・地熱・水力のリプレースについては、別途、新規認定より低い買取価格を適用。



Mitsubishi Hitachi Power Systems, Ltd. (MHPS)
(EPC) Cofiring Ratio of 34% at 112 MW Coal-Fired
Power Plant using Wood Pellet (Soma Energy Park
LLC) 2018.5



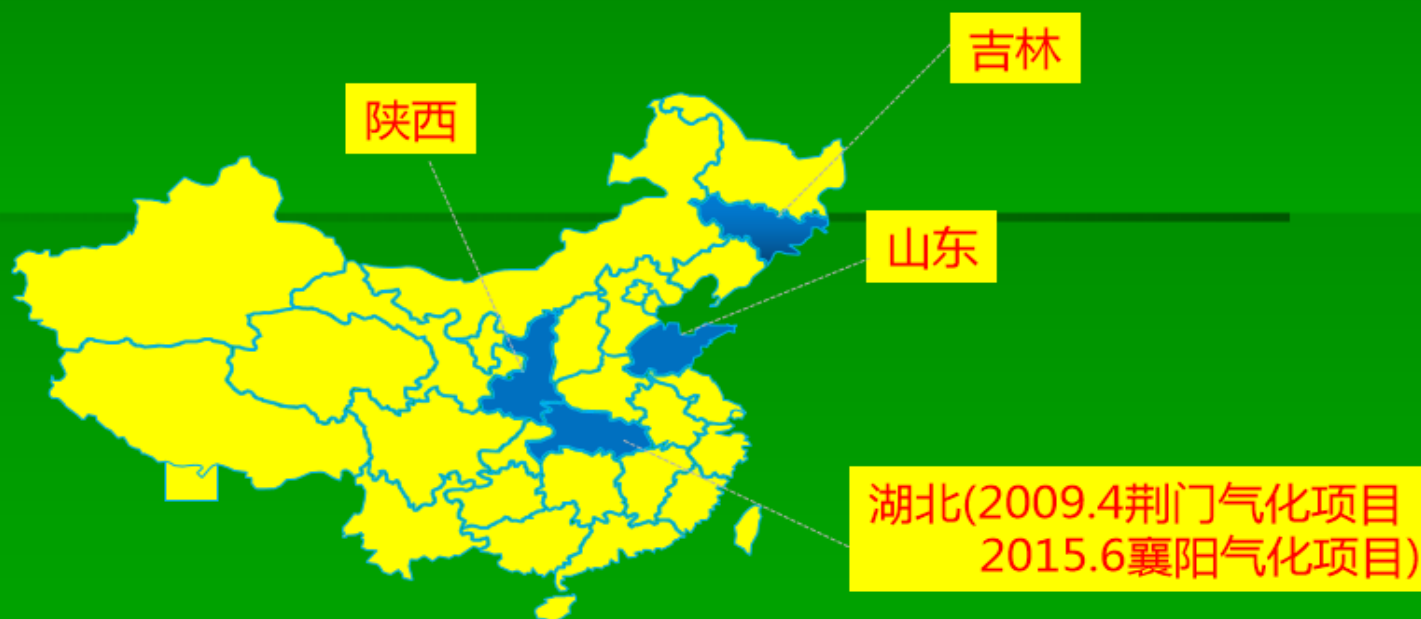
华北电力大学

North China Electric Power University

能源动力与机械工程学院

School of Energy, Power & Mechanical Engineering

国内发展现状



- 中国全国人大常委会于2016年9月3日批准中国加入《巴黎气候变化协定》，成为第23个批准协定的缔约方。

远景目标——相对于工业革命前不高于 2°C ，并探讨不高于 1.5°C 的可能性

中期目标——是在21世纪下半叶实现温室气体净零排放

近期目标——是尽早实现温室气体排放峰值

- 2015年11月，习近平承诺中国在2017年将启动全国碳排放交易体系。中国还承诺单位国内生产总值二氧化碳排放2030年比2005年下降60%—65%
- 2018年12月15日，联合国卡托维兹气候变化大会完成《巴黎协定》实施细则谈判。



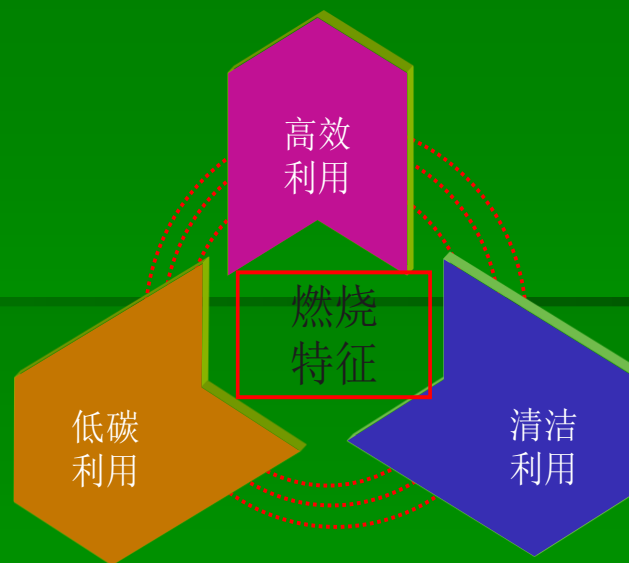
华北电力大学

North China Electric Power University

能源动力与机械工程学院

School of Energy, Power & Mechanical Engineering

燃烧设备：大容量煤粉炉
大容量CFB锅炉



2005

2009

2020

2030

直接耦合
145MW

气化耦合
(600MW)
直接耦合

气化耦合
直接耦合
再热侧蒸汽耦合

直接耦合
过热侧蒸汽耦合
300MW生物质
直燃

直接耦合
600MW生物质
直燃



华北电力大学

North China Electric Power University

能源动力与机械工程学院

School of Energy, Power & Mechanical Engineering



生物质耦合燃煤发电背景

生物质混合燃烧类型及特征

气化耦合发电热力学分析

气化耦合发电环保性分析

基于气化耦合技术的优化运行



华北电力大学

North China Electric Power University

能源动力与机械工程学院

School of Energy, Power & Mechanical Engineering



河南浚县调研照片



江苏国信如东



华北电力大学
North China Electric Power University

能源动力与机械工程学院

School of Energy, Power & Mechanical Engineering

ADVANTAGES

Co-firing in utility power stations （耦合发电优势）

- Compared to independent biomass boilers
 - Higher efficiency （效率较高）
 - Lower investment （投资较低）
 - Massive utilization of agricultural wastes （大规模利用）



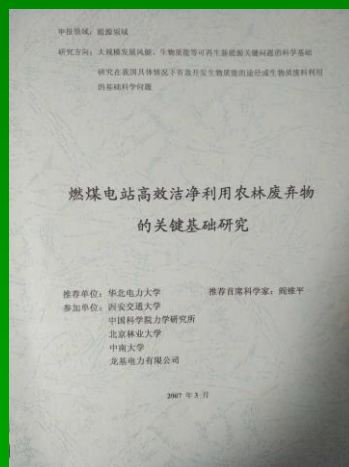
华北电力大学

North China Electric Power University

能源动力与机械工程学院

School of Energy, Power & Mechanical Engineering

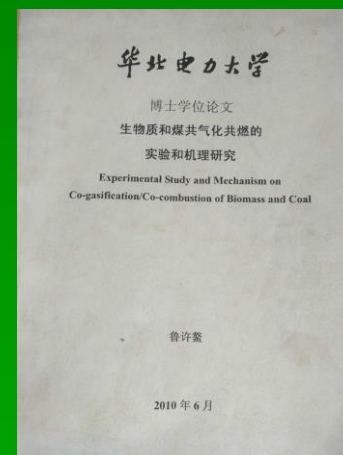
重点文献成果



燃煤电站高效清洁利用
农林废弃物的关键基础研究
2007.3



生物质与煤共热解
的试验研究
2003-2007.3



生物质与煤共气化共燃的
的试验和机理研究
2006-2010



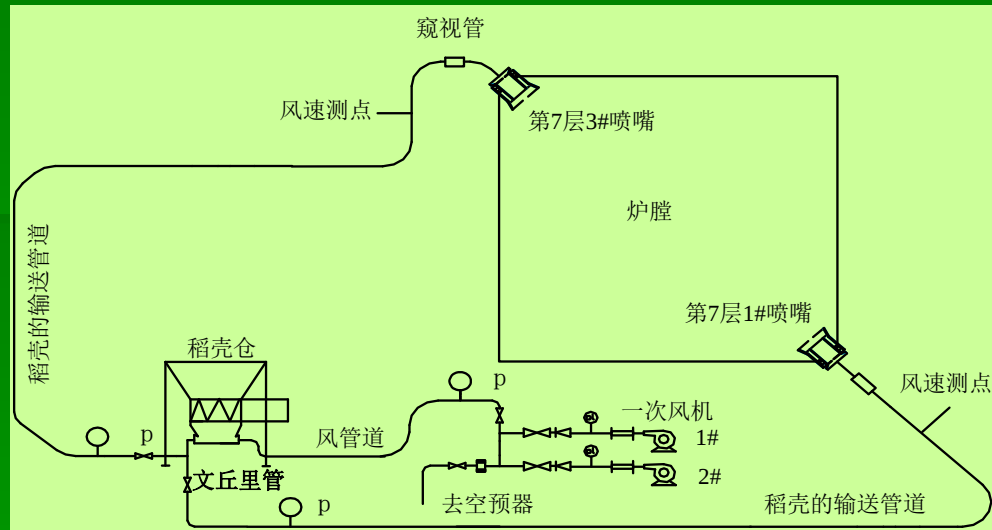
华北电力大学

North China Electric Power University

能源动力与机械工程学院

School of Energy, Power & Mechanical Engineering

Co-combustion system in a 300MW pc boiler



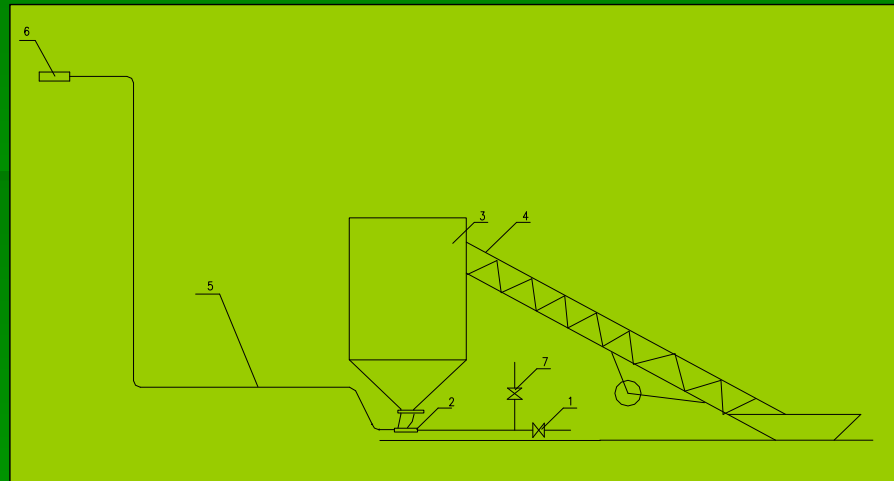
华北电力大学

North China Electric Power University

能源动力与机械工程学院

School of Energy, Power & Mechanical Engineering

Co-combustion system in a 600MW pc boiler



华北电力大学

North China Electric Power University

能源动力与机械工程学院

School of Energy, Power & Mechanical Engineering

Experiments

- Hot air transport to the burners 热风输送
- Effect of delivery air temperatures 风温的影响
- Straw crush and pipe transport 破碎和输送试验
- Co-firing blending ratio 混合比例
- Fly ash properties tests 飞灰性能试验
- Effects on the boiler operation 对电站锅炉影响



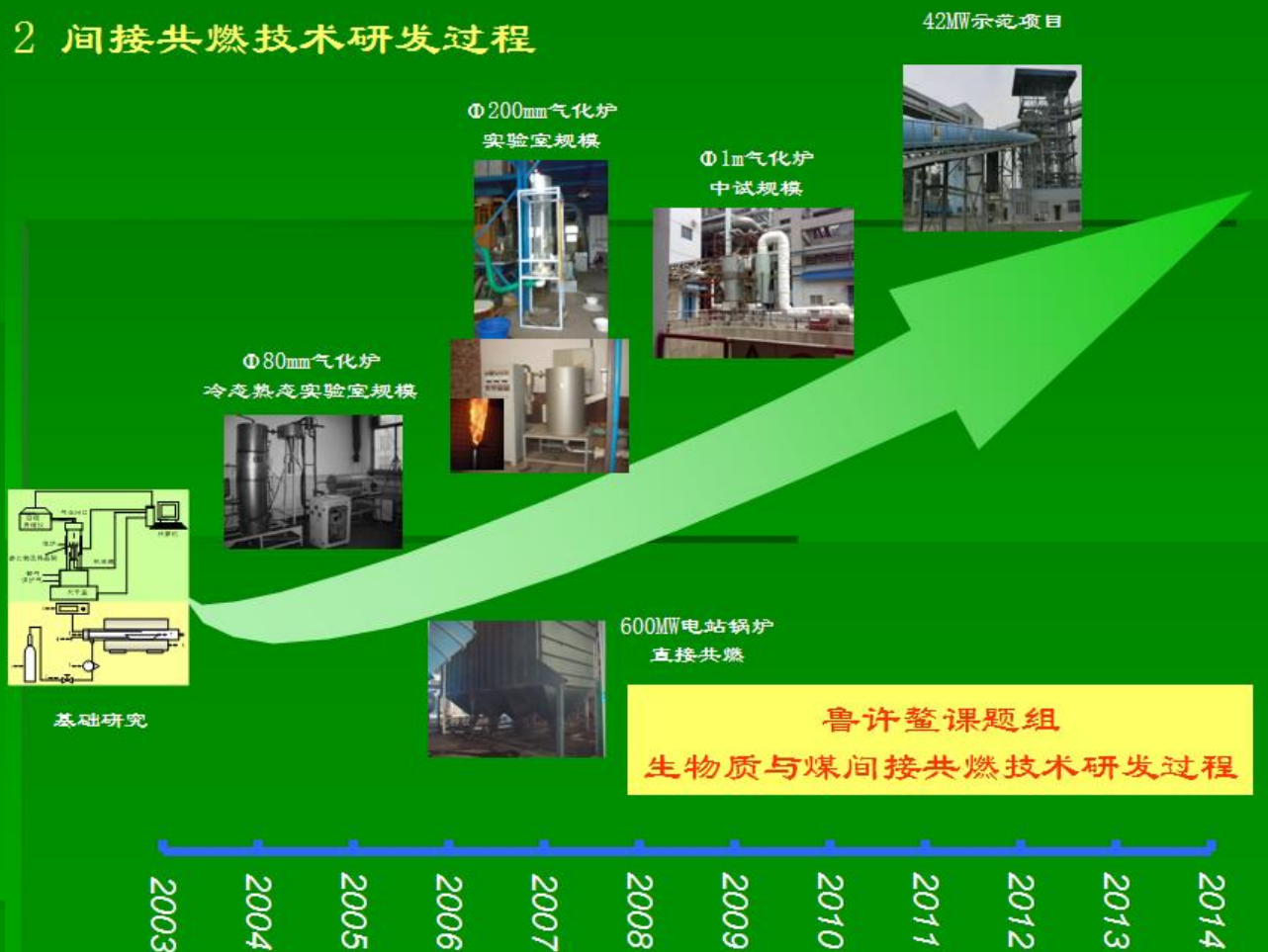
华北电力大学

North China Electric Power University

能源动力与机械工程学院

School of Energy, Power & Mechanical Engineering

2 间接共燃技术研发过程



气化耦合技术凝结着我们十多年的汗水！



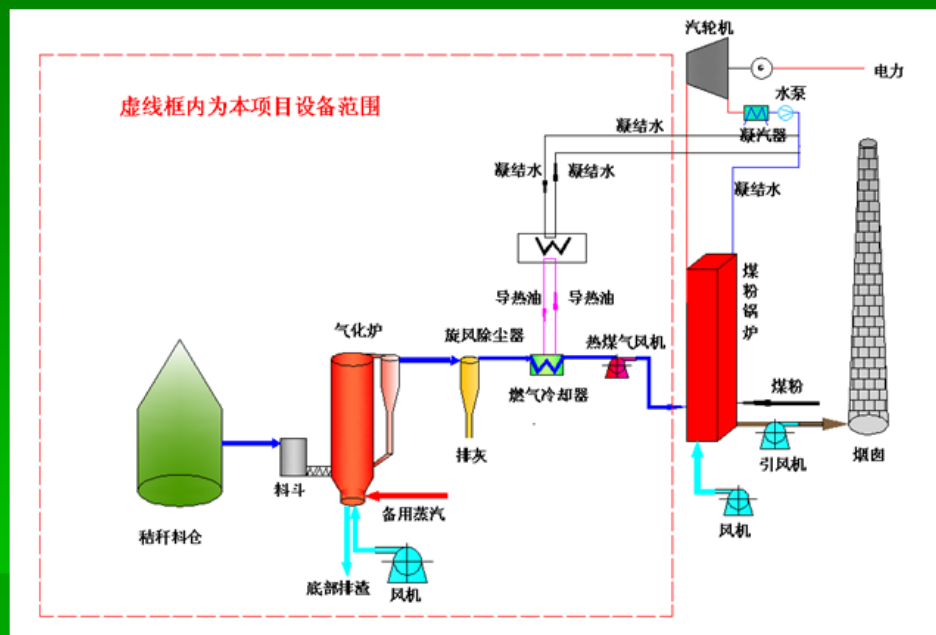
华北电力大学

North China Electric Power University

能源动力与机械工程学院

School of Energy, Power & Mechanical Engineering

间接共燃系统



间接共燃系统



发明专利：在超临界燃煤发电机组中整合秸秆气化发电方法

超临界燃煤机组耦合秸秆气化发电是解决我国国情，能源形式下的减排，环保，支农问题的一种可行办法。它可以看作是一种独立的新的生物质利用方式，具有一定创新性，扩展性。比较而言，气化共燃不是效率最高，但确实也有其比较优势：投资较低，独立的生产单元，效率较高，对煤粉锅炉影响较小。

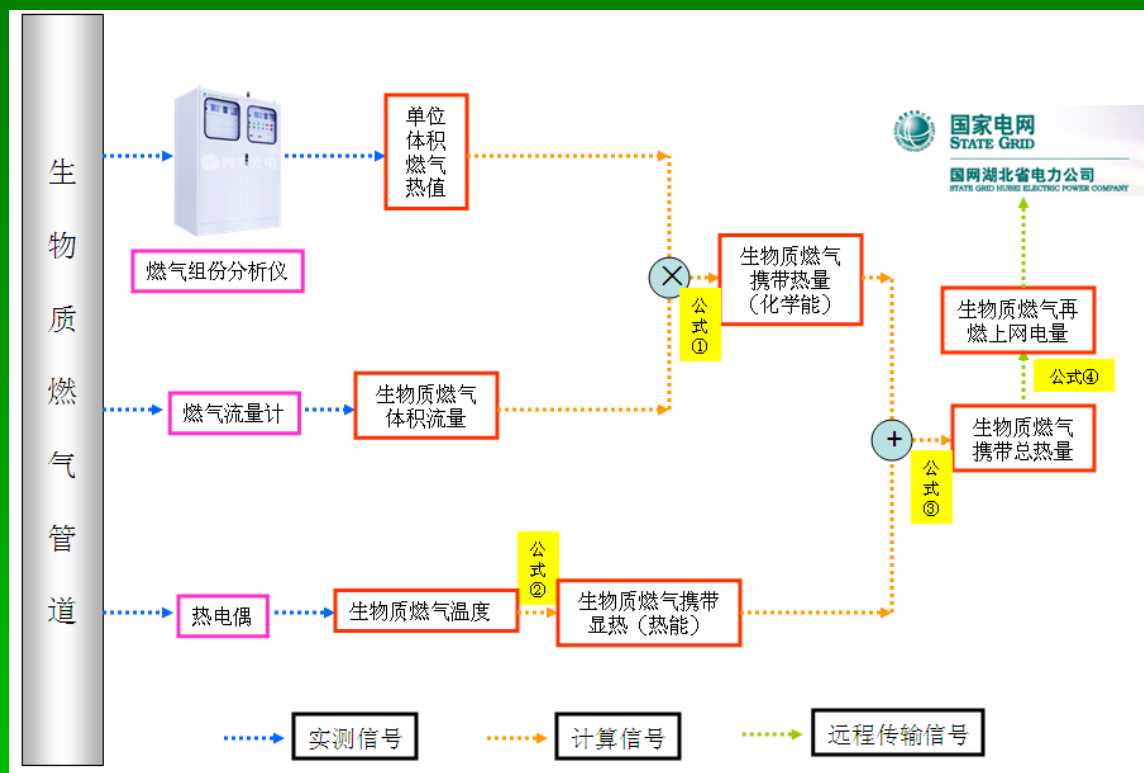


华北电力大学

North China Electric Power University

能源动力与机械工程学院

School of Energy, Power & Mechanical Engineering



气化耦合技术中
输入燃煤锅炉的热量

基本原理+测控技术
比较：汽包炉热量信号



华北电力大学

North China Electric Power University

能源动力与机械工程学院

School of Energy, Power & Mechanical Engineering

Indirect co-combustion in 600MW pc boilers

- Direct gasification of Rice straw in fluidized bed reactor
- 稻秆在流化床反应器中的气化
- High temperature fuel gas delivered into furnace without cooling and purification 高温燃气输送
- Reburning of fuel gas to reduce flue gas NO_x 再燃降氮
- Hot air as gasification media 热风气化
- Most of the ash collected as fertilizer 气化除尘



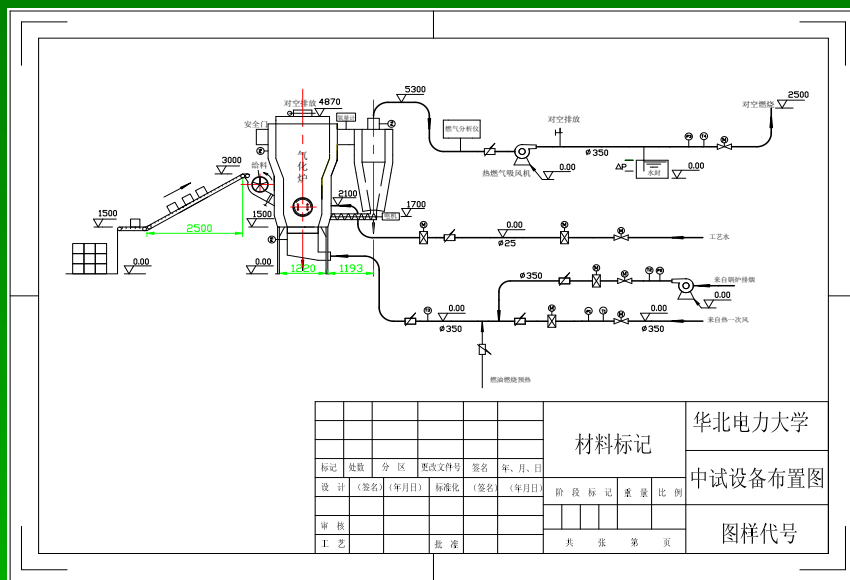
华北电力大学

North China Electric Power University

能源动力与机械工程学院

School of Energy, Power & Mechanical Engineering

Pilot-scale biomass gasification system (荆门项目)



bimass

Hot primary air

Flue gas

slagging

ejector



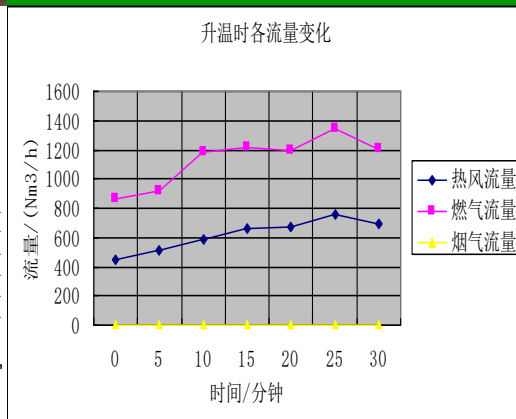
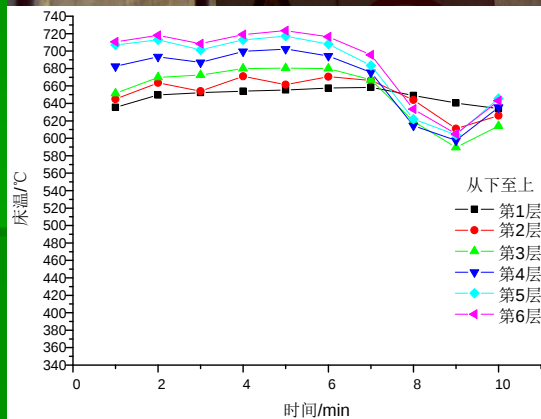
华北电力大学

North China Electric Power University

能源动力与机械工程学院

School of Energy, Power & Mechanical Engineering

Mid-scale test facility in a 600MWe coal fired SC Unit 2MWth straw gasification (荆门项目)



华北电力大学

North China Electric Power University

能源动力与机械工程学院

School of Energy, Power & Mechanical Engineering

10.8MW Indirect co-combustion in 600MW pc boilers (襄阳项目)



全工况设计：大范围涵盖启停和运行工况点，强化气化系统对燃料性质、负荷变化、运行状态切换等因素影响的鲁棒性。

安全冗余设计：增加事故状态下的紧急处理措施，消除或缓解故障的发生和扩大。

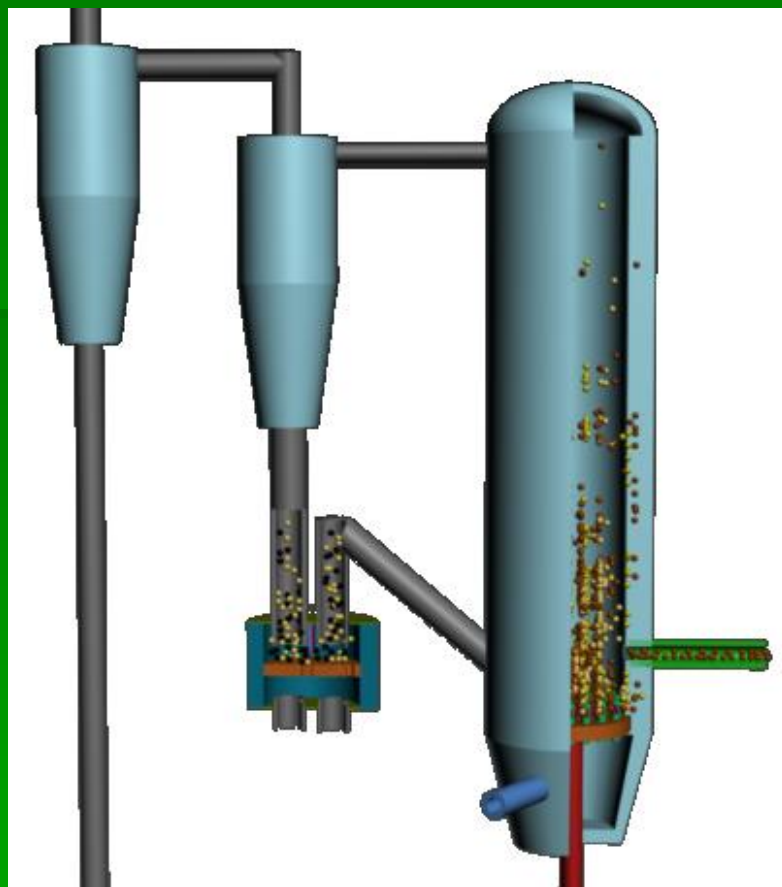


华北电力大学

North China Electric Power University

能源动力与机械工程学院

School of Energy, Power & Mechanical Engineering



- 华北电力大学（保定）拥有耦合发电技术(Co-firing)和生物质流化床（鼓泡流化床（BFBG），循环流化床（CFBG），双流化床(DFBG)）气化技术，欢迎大家交流。



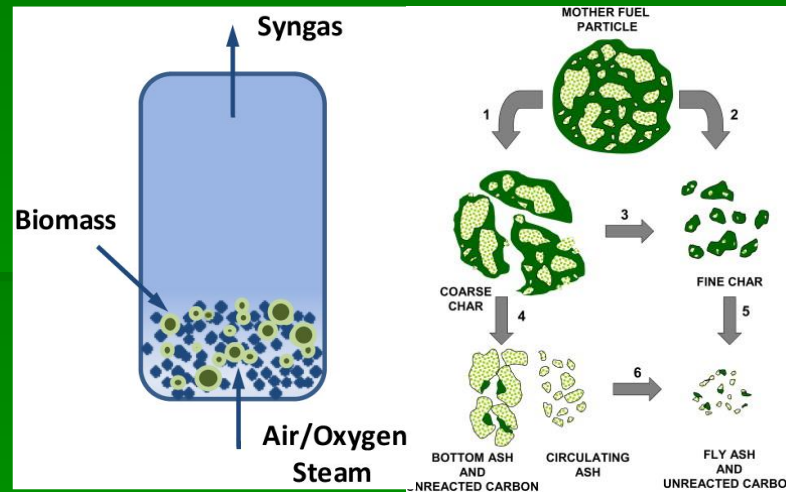
华北电力大学

North China Electric Power University

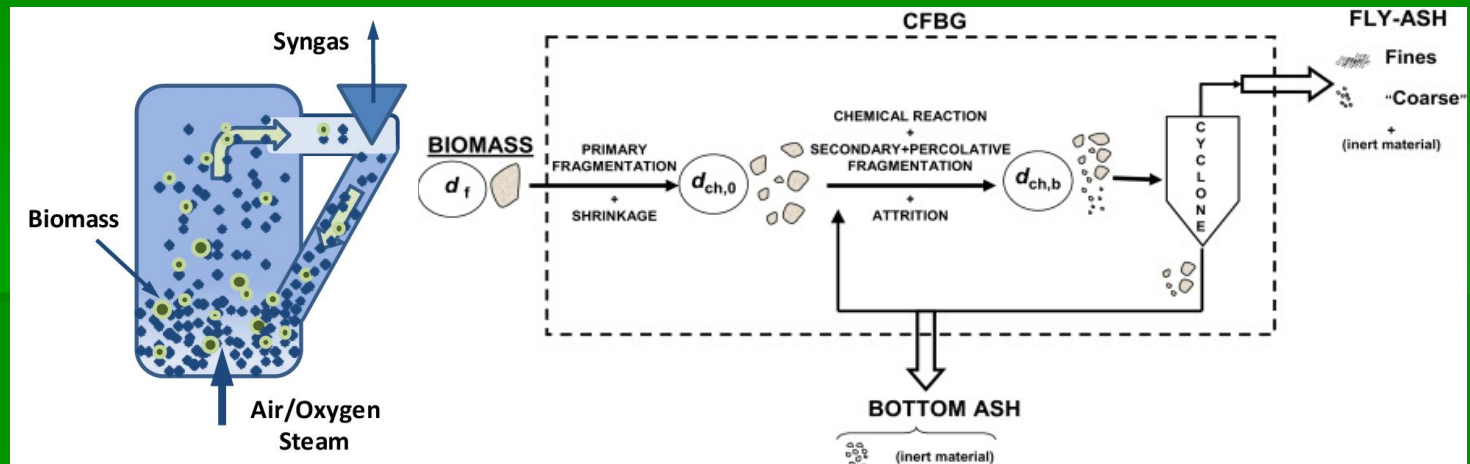
能源动力与机械工程学院

School of Energy, Power & Mechanical Engineering

Comminution of solid particles



BFBG Commintion of fuel and char



CFBG

Particle transformation

From Ref (Modeling of biomass gasification in fluidized bed)

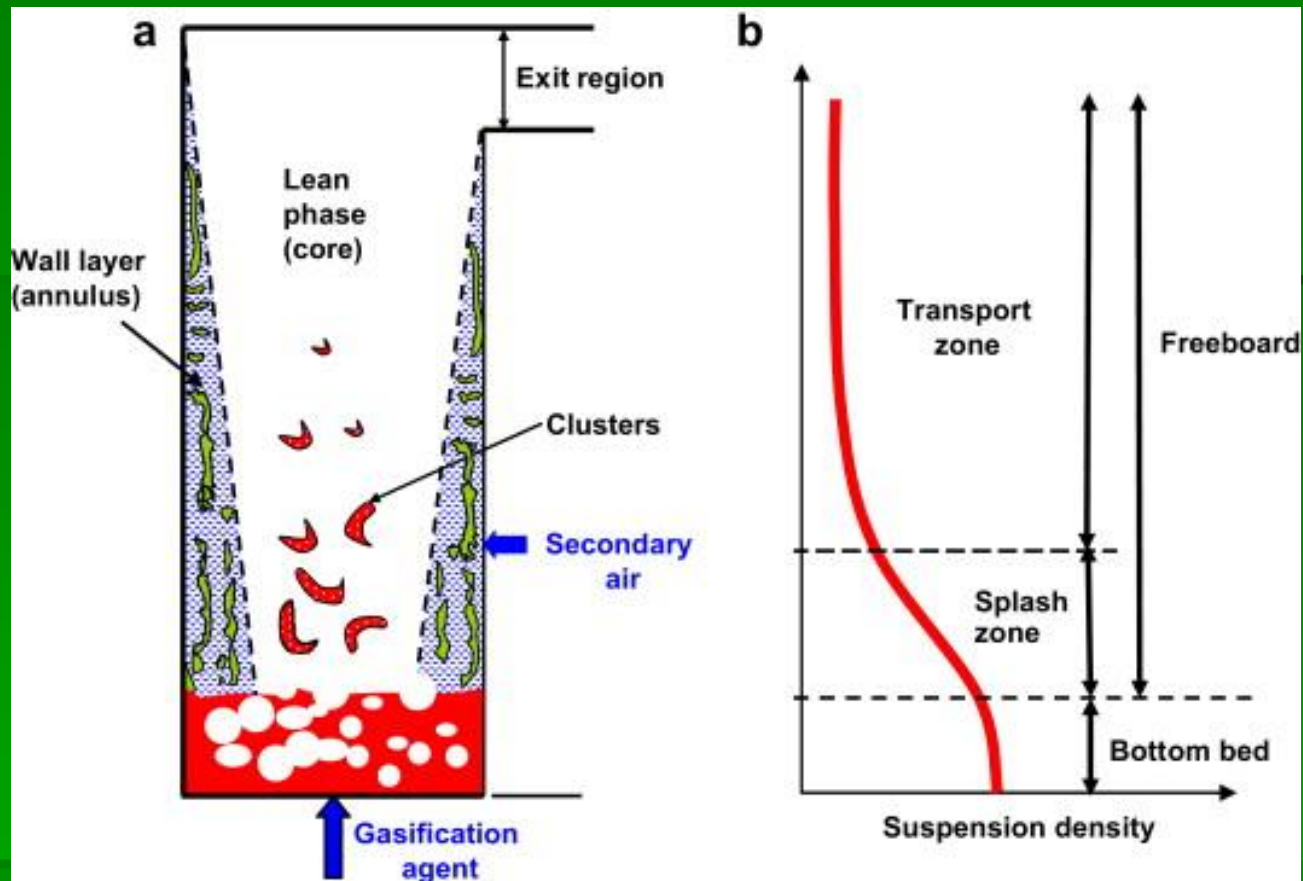


华北电力大学

North China Electric Power University

能源动力与机械工程学院

School of Energy, Power & Mechanical Engineering



Flow pattern in CFBG

From Ref.(Modeling of biomass gasification in fluidized bed)



参数	单位	数值
生物质燃料量	kg/h	8000
生物质燃气单位体积热值	MJ/Nm ³	4.876
生物质燃气体积流量	Nm ³ /h	18200
生物质燃气携带热量(化学能)	MJ/h	88743.2
生物质燃气携带显热（热能）	MJ/h	18670
生物质燃气携带总热量	MJ/h	88761.87
上网电量	MW	10.08

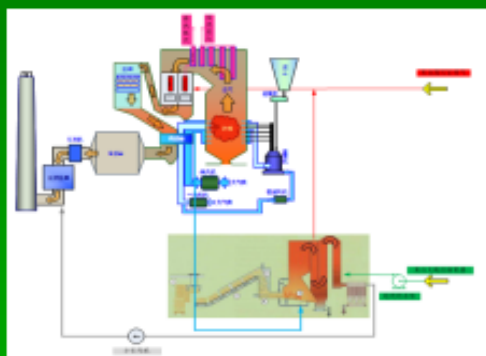


华北电力大学

North China Electric Power University

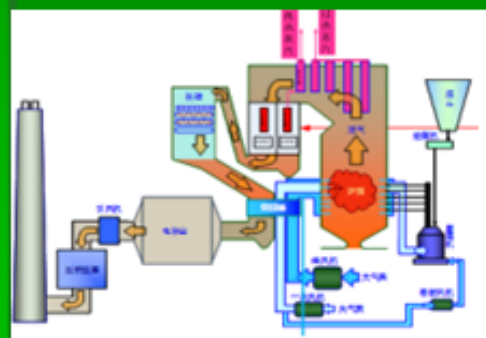
能源动力与机械工程学院

School of Energy, Power & Mechanical Engineering



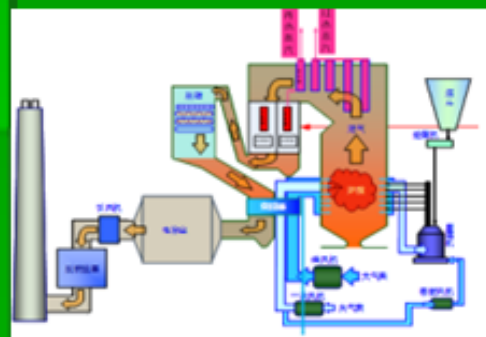
(生物质次高温次高压锅炉)

再热侧蒸汽耦合



(生物质小容量超临界锅炉)

过热侧蒸汽耦合



(生物质旋风炉预燃室)

烟气耦合





生物质耦合燃煤发电背景

生物质混合燃烧类型及特征

气化耦合发电热力学分析

气化耦合发电环保性分析

基于气化耦合技术的优化运行



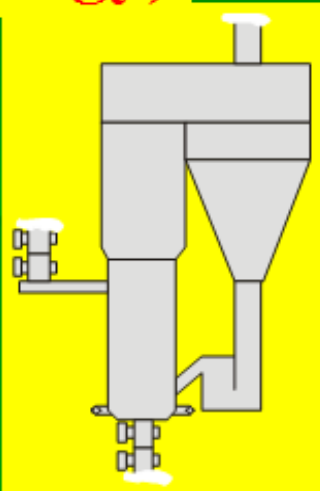
华北电力大学

North China Electric Power University

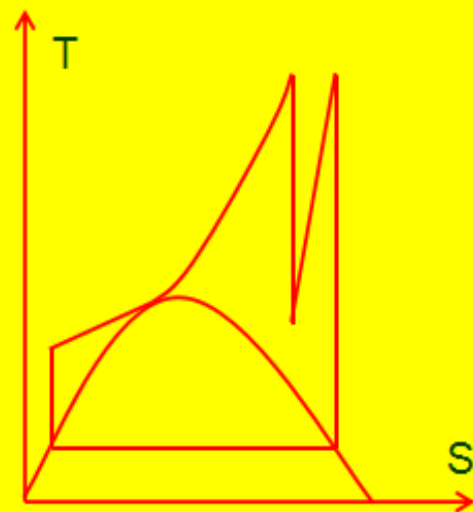
能源动力与机械工程学院

School of Energy, Power & Mechanical Engineering

效率(Energy)



+



BG (biomass gasification) +supercritical Rankine cycle

气化耦合=生物质气化+超临界朗肯循环

比较: 生物质气化+朗肯循环
生物质气化+CC (内燃机循环+朗肯循环)
生物质气化+CC (燃气轮机循环+朗肯循环)

煤气化+CC (IGCC)
增压化学链燃烧+CC
(PCLC+CC)



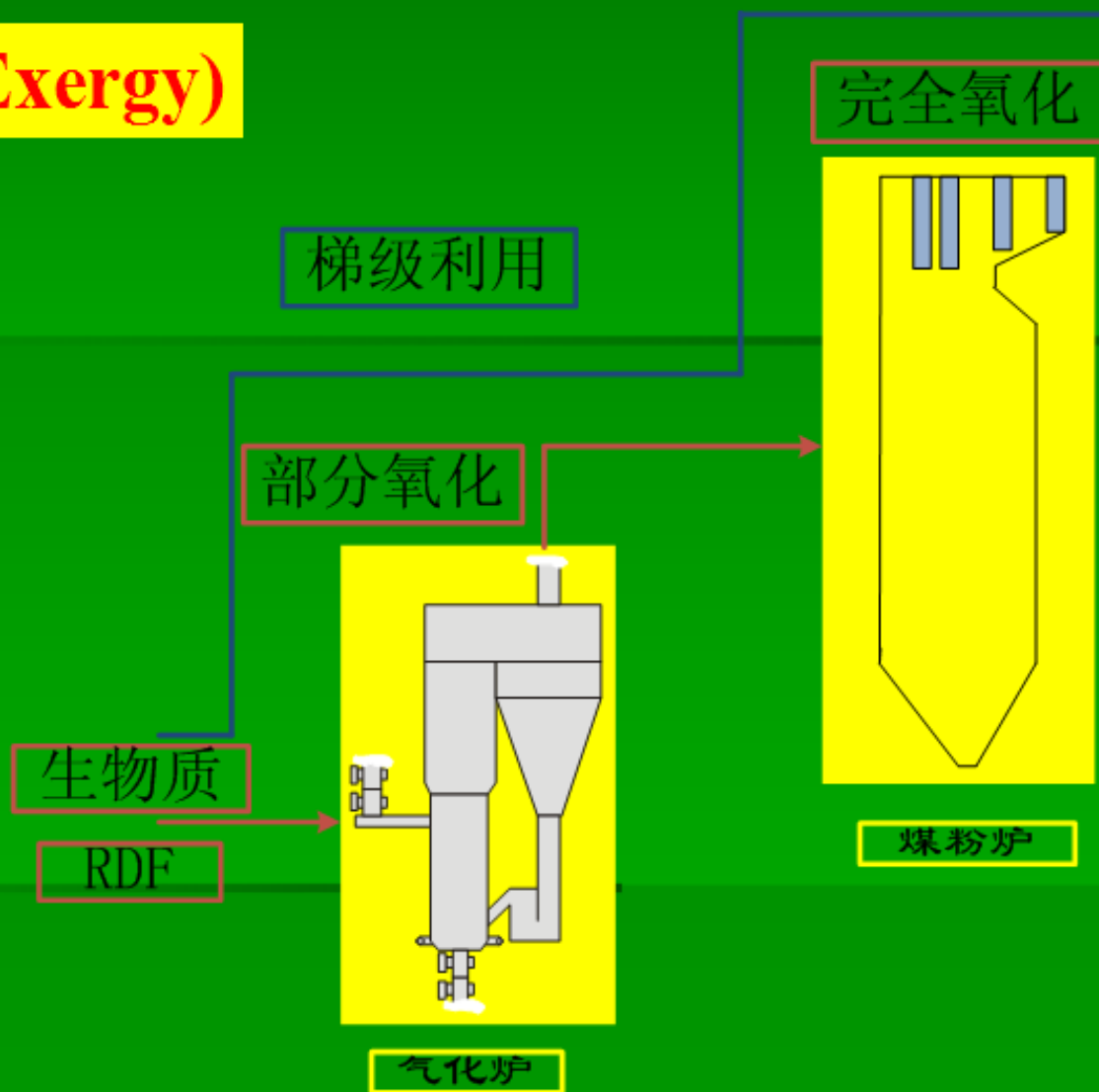
华北电力大学

North China Electric Power University

能源动力与机械工程学院

School of Energy, Power & Mechanical Engineering

效率(Exergy)

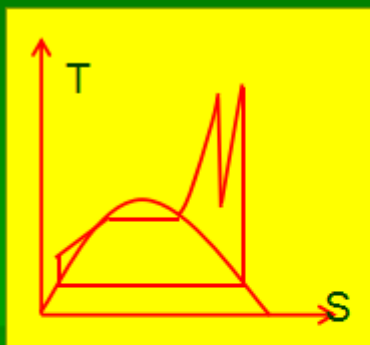


华北电力大学

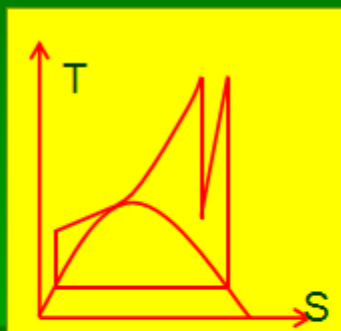
North China Electric Power University

能源动力与机械工程学院

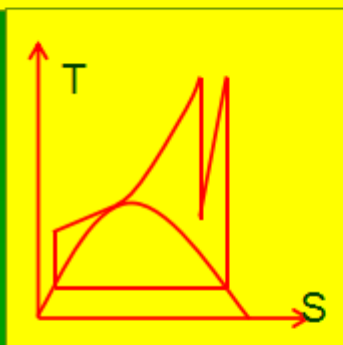
School of Energy, Power & Mechanical Engineering



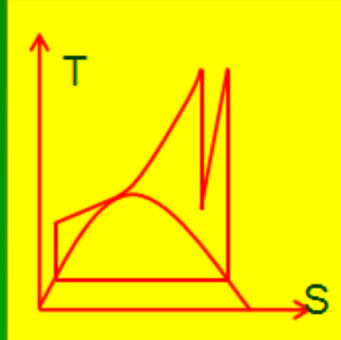
+



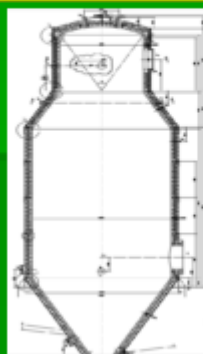
再热侧蒸汽耦合



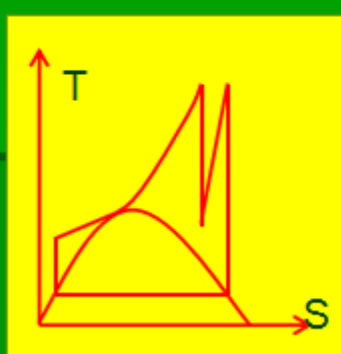
+



过热侧蒸汽耦合



+



烟气耦合



华北电力大学

North China Electric Power University

能源动力与机械工程学院

School of Energy, Power & Mechanical Engineering



生物质耦合燃煤发电背景

生物质混合燃烧类型及特征

气化耦合发电热经济性分析

耦合发电环保性分析

基于气化耦合技术的优化运行



华北电力大学

North China Electric Power University

能源动力与机械工程学院

School of Energy, Power & Mechanical Engineering

清洁利用

煤

农林废弃物

垃圾衍生燃料

干化污泥

污染物控制

大于1400℃
的高温环境

SO₂、SO₃、HCl
等酸性气体脱除单元

NO_x脱除单元

灰等固体颗粒脱除单元

近零排放



华北电力大学

North China Electric Power University

能源动力与机械工程学院

School of Energy, Power & Mechanical Engineering



表3.1-1 生活垃圾及RDF成分分析

序号	名称	单位	生活垃圾	RDF
1	收到基碳 C_{ar}	%	14.60	27.28
2	收到基氢 H_{ar}	%	2.42	3.69
3	收到基氧 O_{ar}	%	9.85	15.03
4	收到基氮 N_{ar}	%	0.39	0.66
5	收到基硫 S_{ar}	%	0.04	0.06
6	收到基氯 Cl_{ar}	%	0.073	0.05
7	收到基水分 M_{ar}	%	54.13	30.00
8	收到基灰分 A_{ar}	%	18.50	23.23
9	低位发热量 LHV	kJ/kg	5019	9002

300MWCFB锅炉中垃圾衍生燃料耦合燃煤发电



华北电力大学

North China Electric Power University

能源动力与机械工程学院

School of Energy, Power & Mechanical Engineering

能源系统新概念：燃煤和生物质发电一体化



农林生物质和生活垃圾
焚烧发电一体化



燃煤锅炉

生物质直燃锅炉

垃圾焚烧炉

蒸汽母管

汽轮发电机组

燃煤和生物质发电一体化



华北电力大学

North China Electric Power University

能源动力与机械工程学院

School of Energy, Power & Mechanical Engineering



生物质耦合燃煤发电背景

生物质混合燃烧类型及特征

气化耦合发电热力学分析

气化耦合发电环保性分析

基于气化耦合技术的优化运行

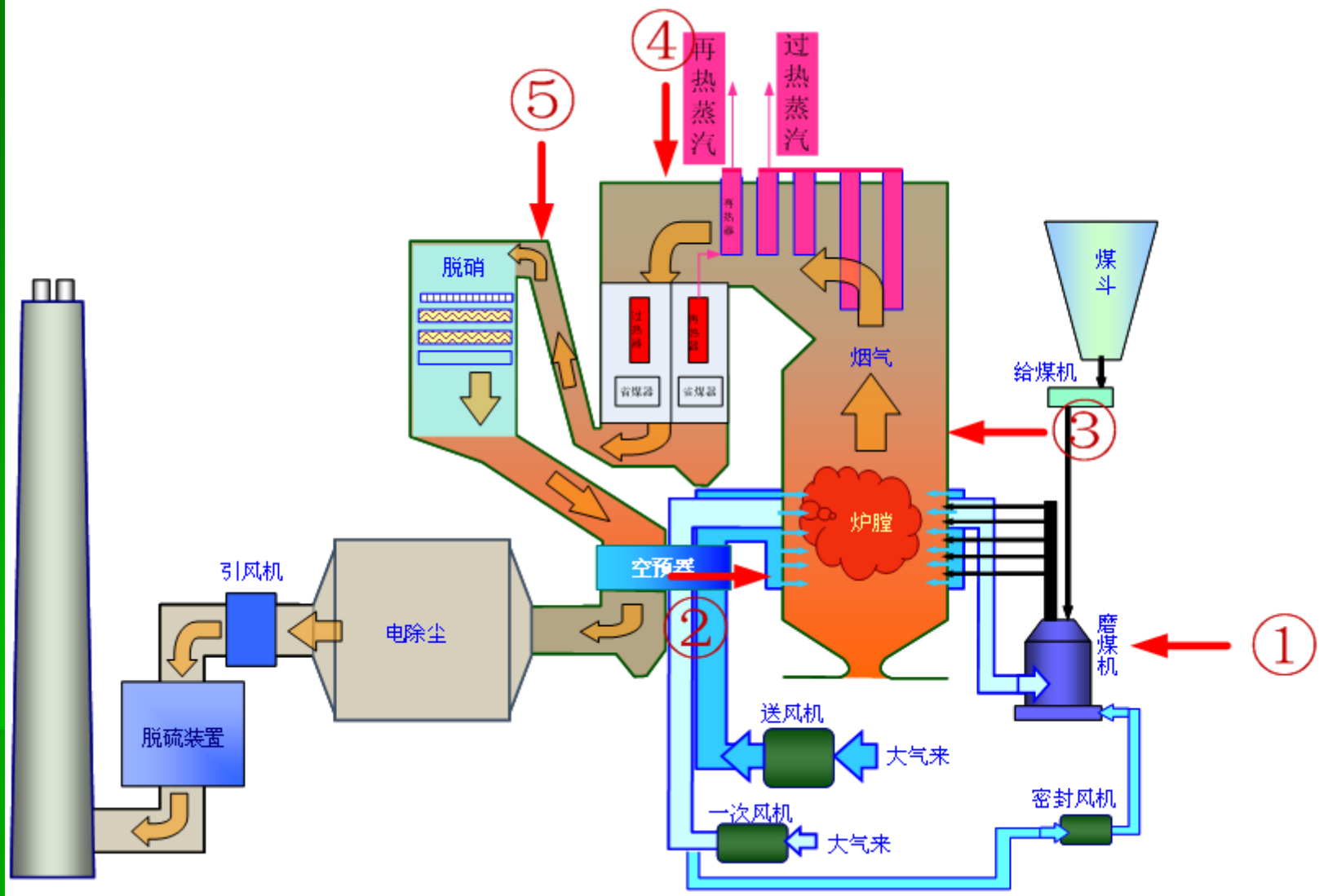


华北电力大学

North China Electric Power University

能源动力与机械工程学院

School of Energy, Power & Mechanical Engineering

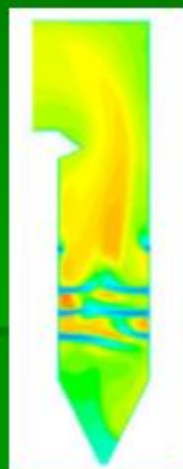
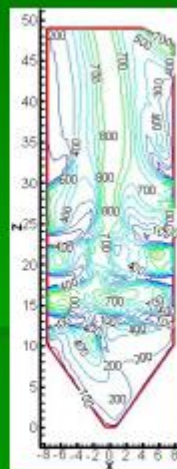
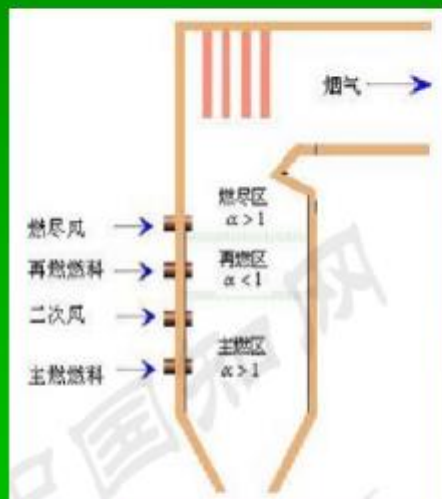


华北电力大学

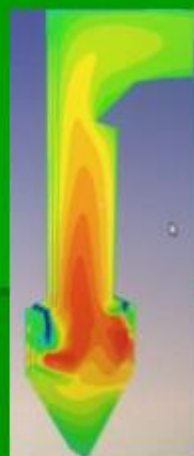
North China Electric Power University

能源动力与机械工程学院

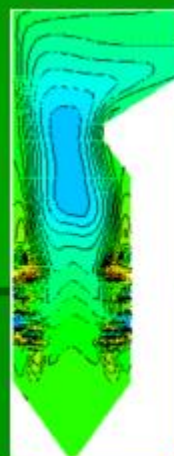
School of Energy, Power & Mechanical Engineering



前后墙对冲（烟煤、褐煤）



W型



四角切圆

已完成常见炉型的生物质气化耦合辅助设计平台。



华北电力大学

North China Electric Power University

能源动力与机械工程学院

School of Energy, Power & Mechanical Engineering

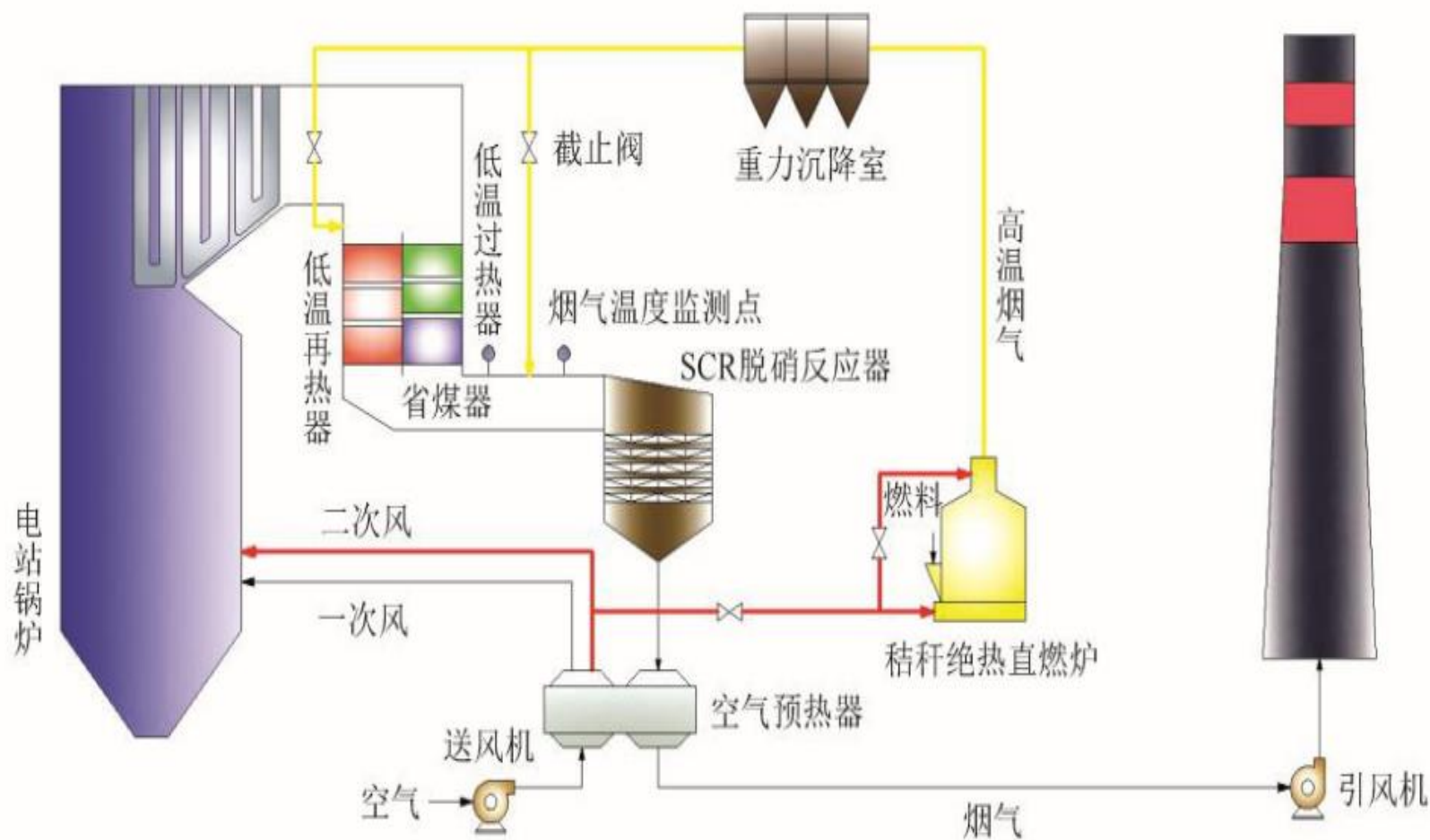


图1 尾部烟道补燃系统

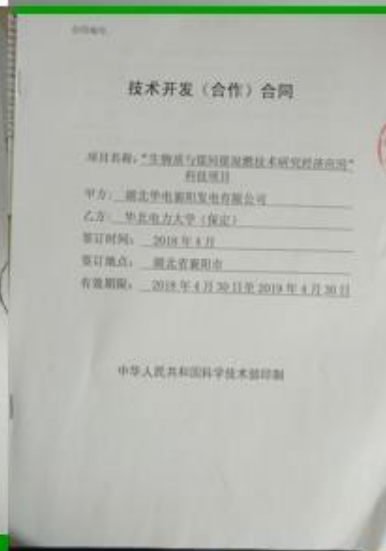
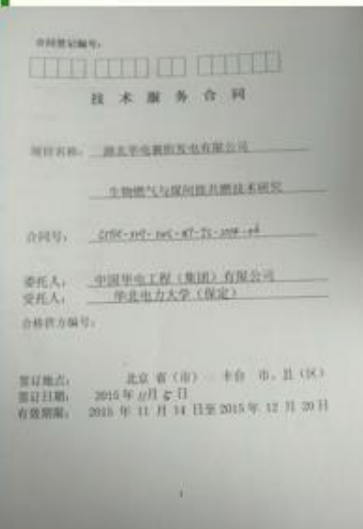
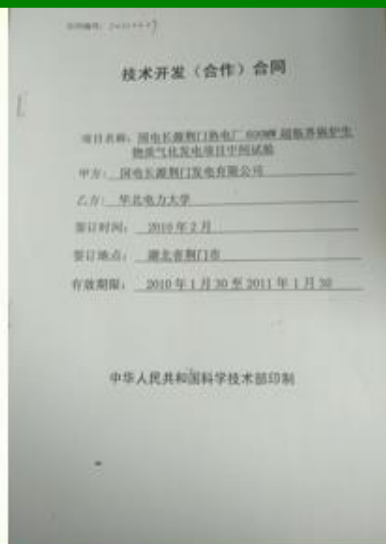


华北电力大学

North China Electric Power University

能源动力与机械工程学院

School of Energy, Power & Mechanical Engineering



华北电力大学

North China Electric Power University

能源动力与机械工程学院

School of Energy, Power & Mechanical Engineering

展 望

生物质耦合燃煤发电优势在于既一方面解决农林、城市有机垃圾等废弃物的循环利用问题，另一方面又在高效能量转化系统中供给侧充分挖掘低品位资源潜力，对促进节能减排、环境保护、经济发展等方面具有重要意义，同时进行煤电转型升级模式的有益探索。



华北电力大学

North China Electric Power University

能源动力与机械工程学院

School of Energy, Power & Mechanical Engineering

Thank you for your attention!

Lu Xuao

**North China Electric Power University
(NCEPU)**



华北电力大学

North China Electric Power University

能源动力与机械工程学院

School of Energy, Power & Mechanical Engineering