

燃煤锅炉改用生物质的清洁燃烧技术

罗永浩 曹阳 张睿智 邓睿渠 张敏

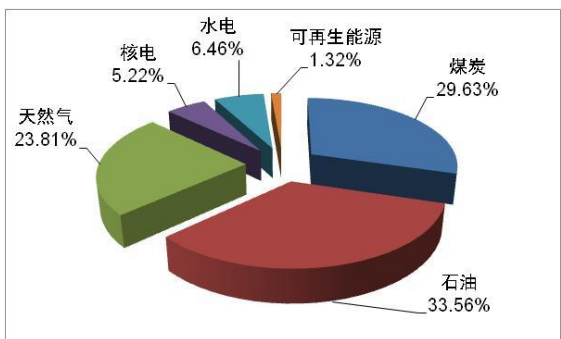
上海交通大学机械与动力工程学院

杭州 2016. 3. 18.

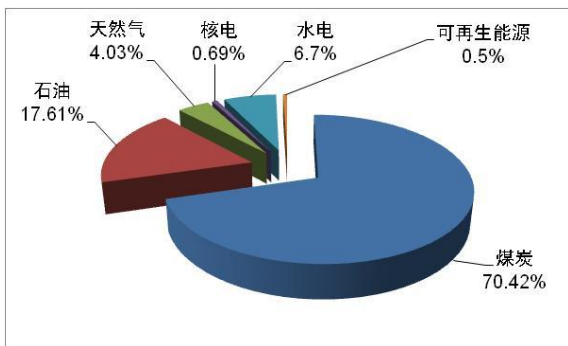
背景

全世界能源体系正面临变革

旧的能源体系



2010年世界一次能源消费结构图



2010年中国一次能源消费结构图

驱动力



地缘冲突 → 能源安全



气候变化 → 人类生存



雾霾天气 → 身体健康

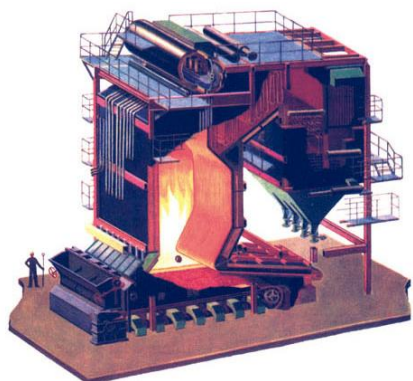
如何构建新的能源体系

治理雾霾，给我国生物质能推广应用带来契机



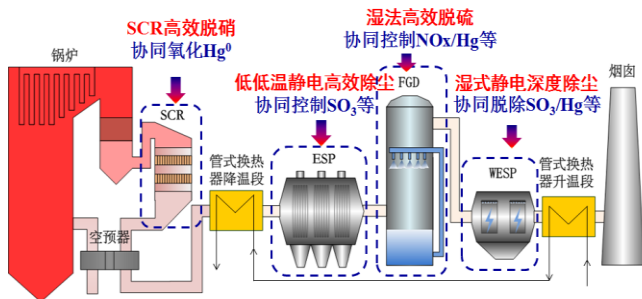
当前我国关注重点

雾霾天气 → 身体健康



燃煤工业锅炉的出路？

清洁改造

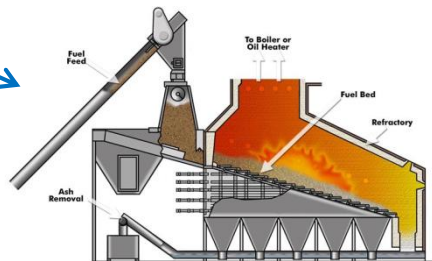


燃煤电厂提出“近零排放”，树立了标杆

替代能源



天然气资源、价格问题



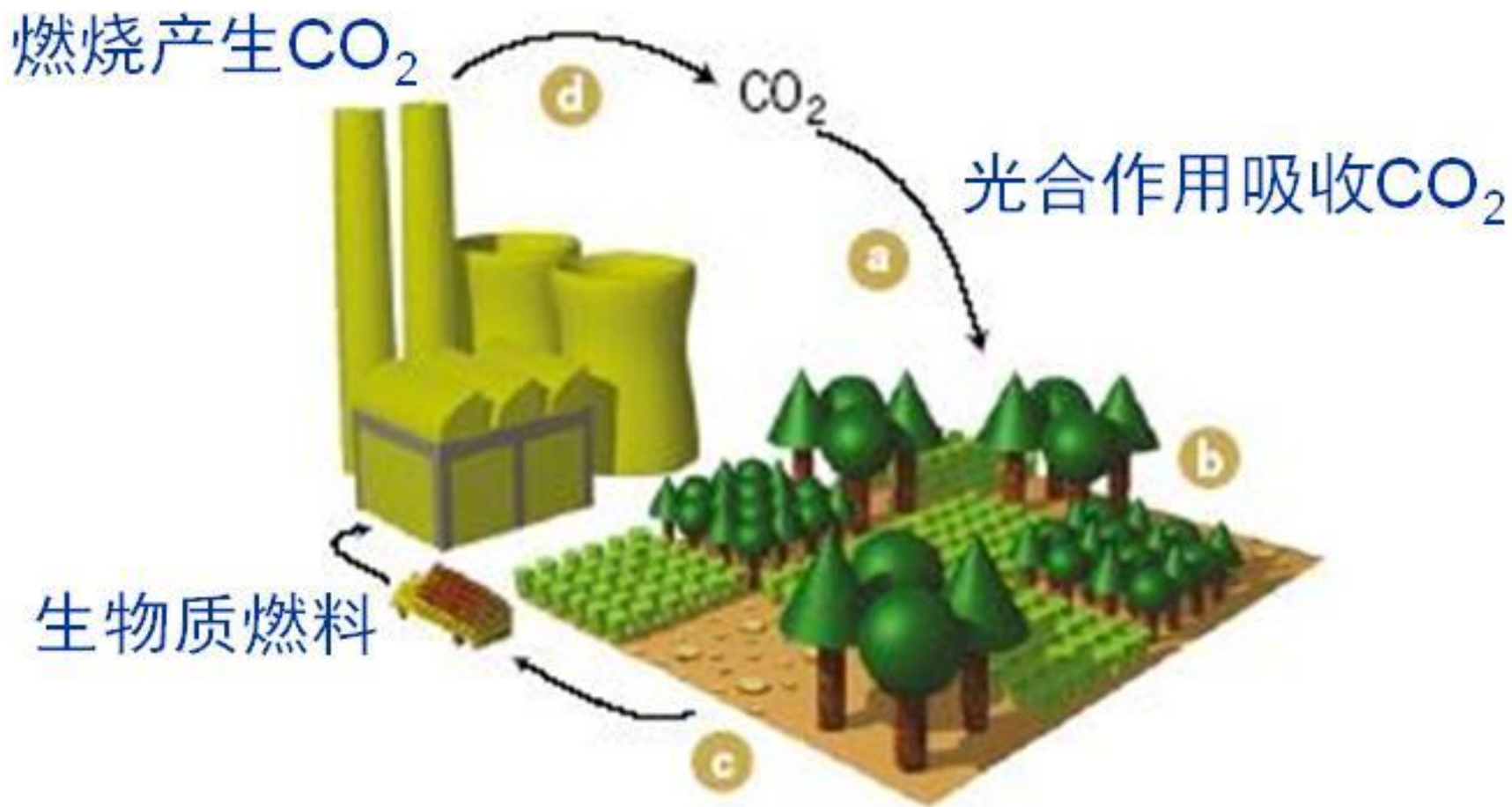
生物质锅炉应运而生



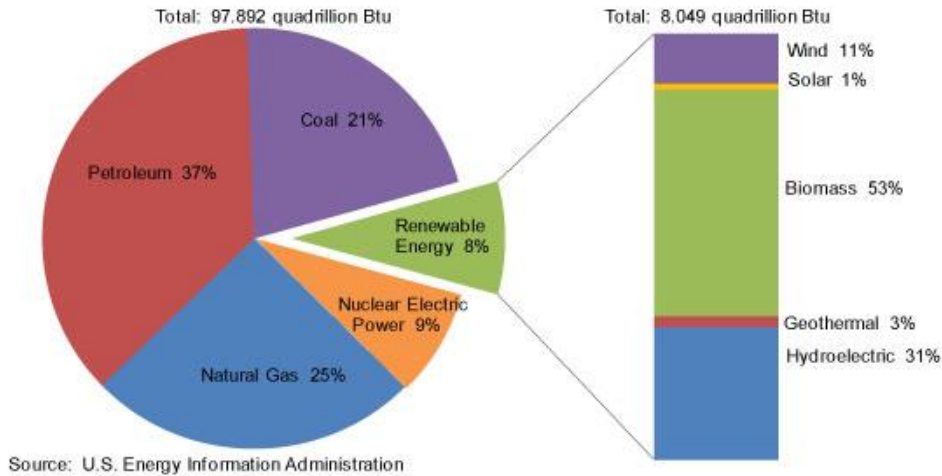
同时解决田野烧秸秆

为什么要开发利用生物质能？

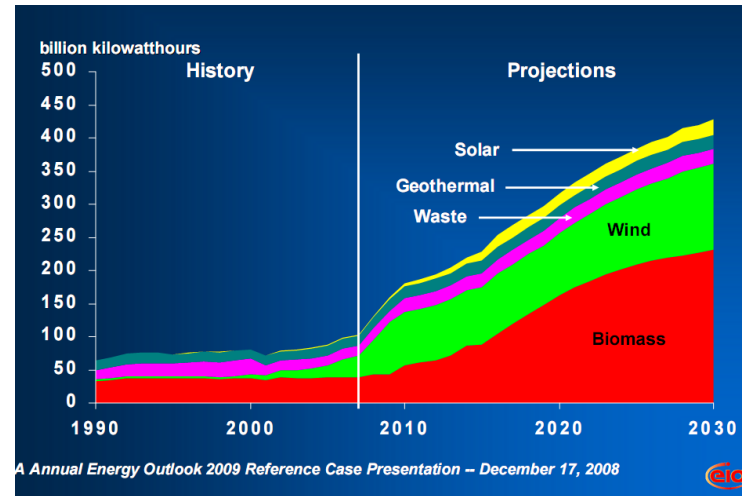
可再生 含硫低 平衡CO₂



欧美生物质能的重要地位



美国2010年能耗分布



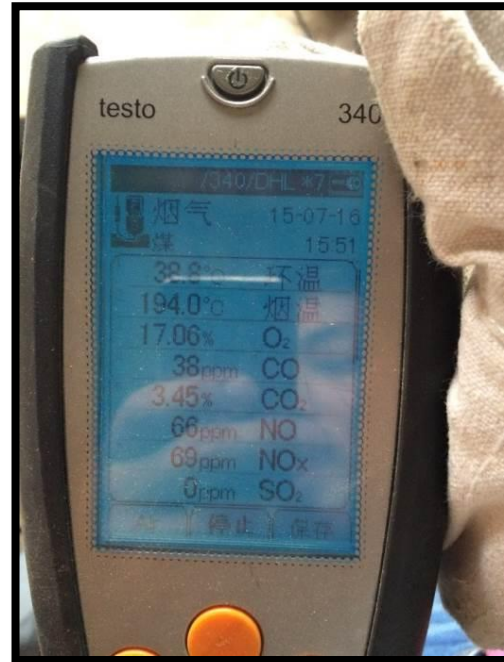
美国未来可再生能源发电比例预测
资料来源：美国能源部能源信息局

2005年，欧盟在可再生能源中，生物质能占63%，占总能耗4%

2020年，欧盟交通能源消耗中，生物燃料至少要占10%

我国燃煤锅炉改用生物质 问题、原因、改进

上海某台燃生物质成型颗粒 导热油炉实测数据

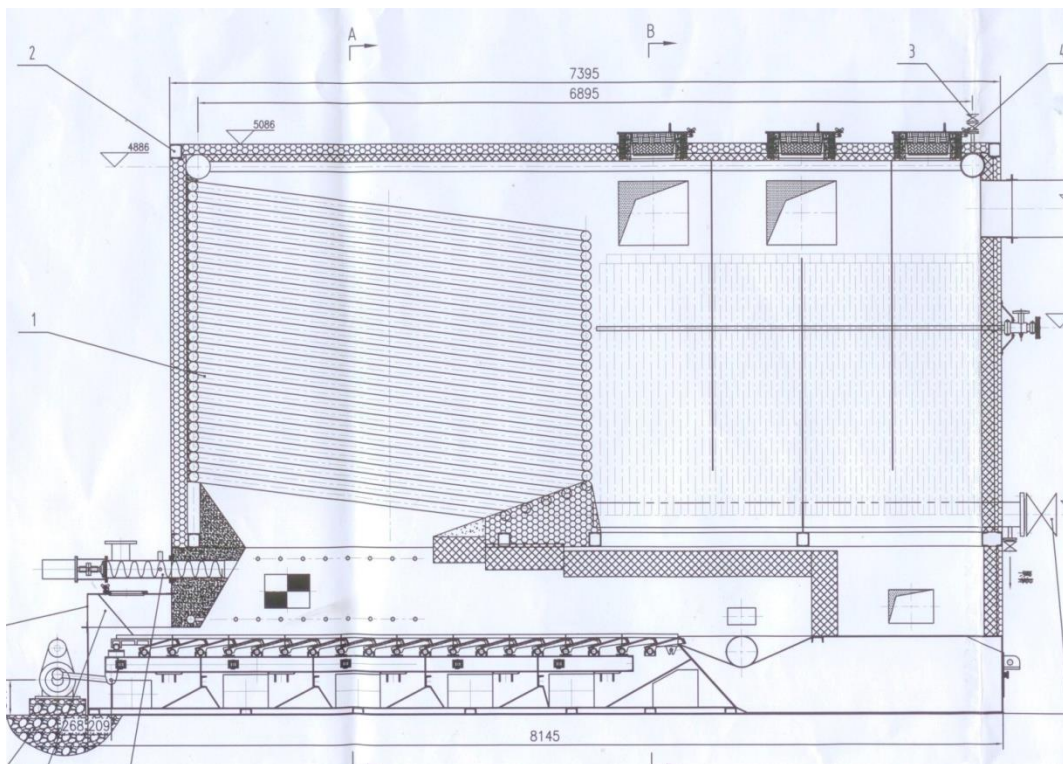


空预器前测量值（在9%氧量下折算）

空气过量系数	NOx mg/Nm ³	CO mg/Nm ³
5.33	431	144

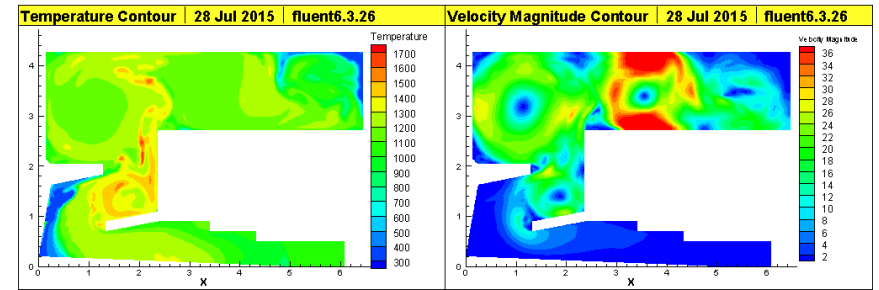
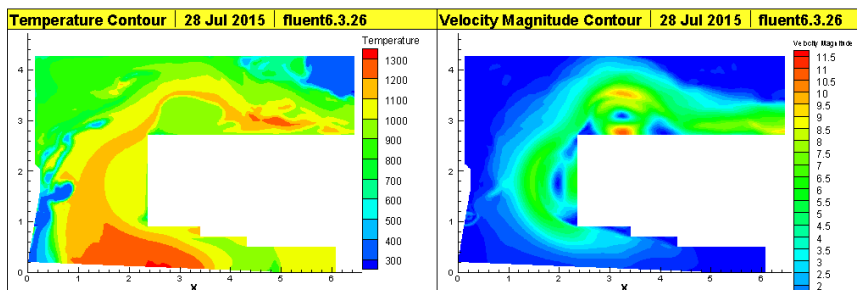
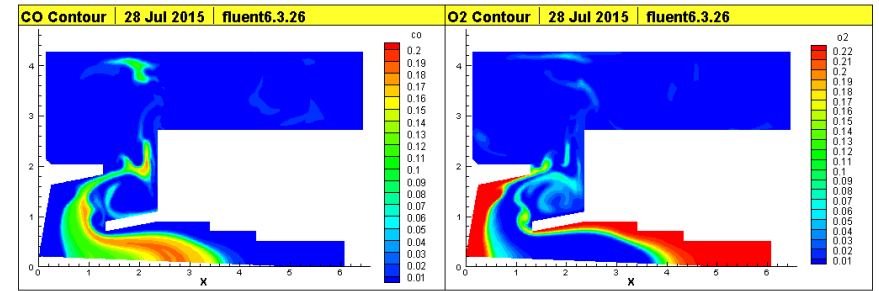
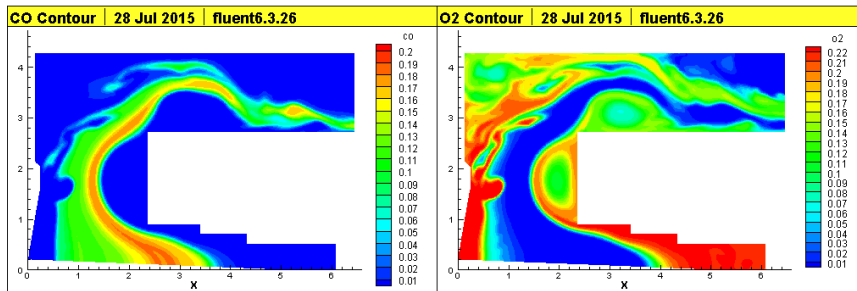
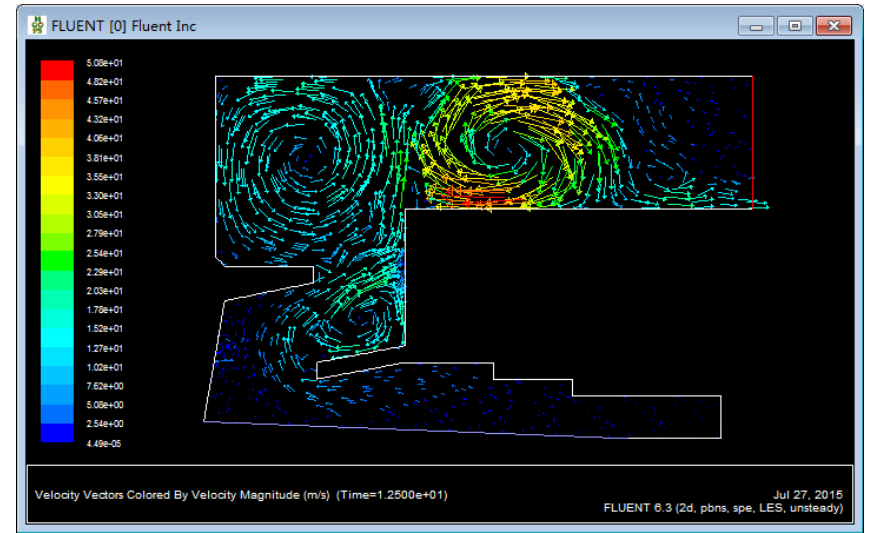
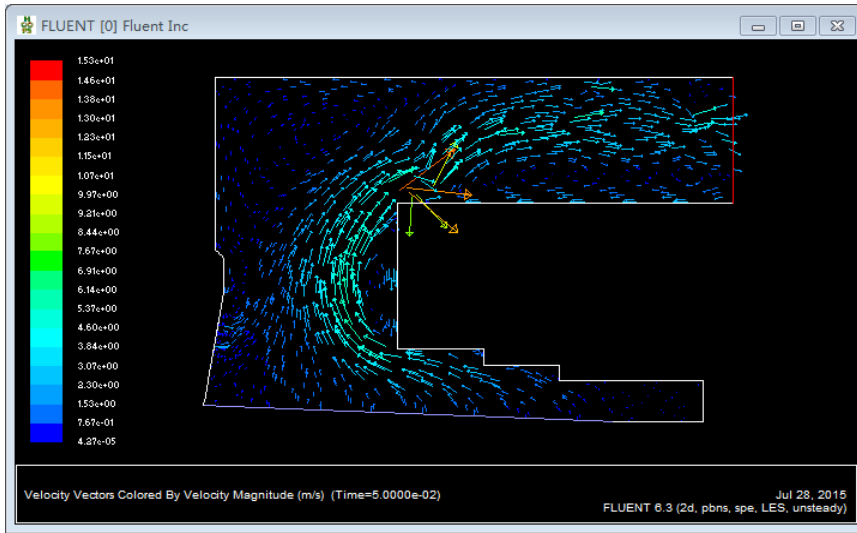
由层燃煤锅炉简单改成的生物质成型颗粒锅炉

上海市标准：NOx 150mg/m³，CO 100mg/m³



现有炉膛结构

改进后炉膛结构



不同的燃料特性需配相应的炉膛结构

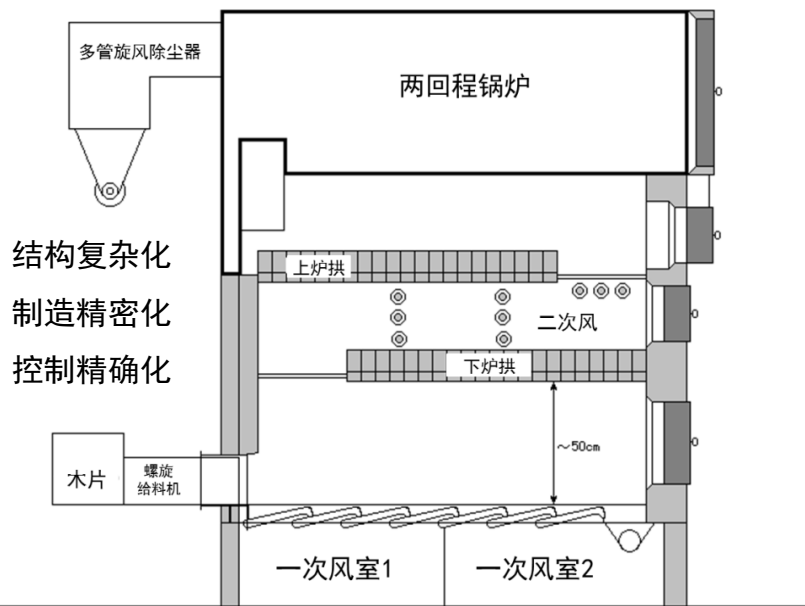


生物质挥发分约80%

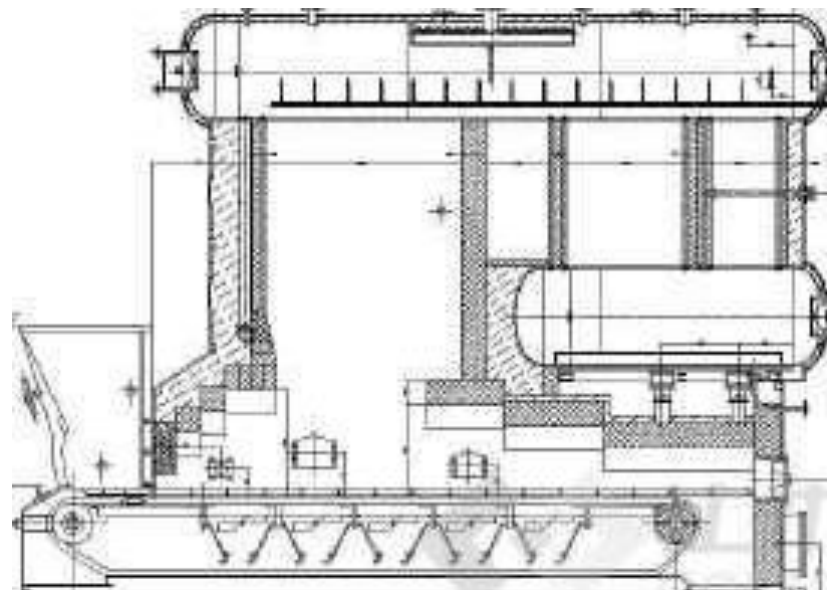
高挥发份燃料
复杂炉膛空间
空气分级燃烧



煤炭挥发分约20%

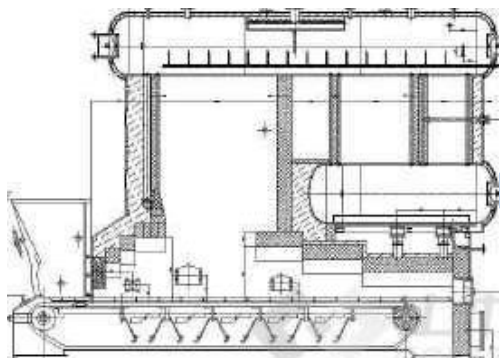


德国生物质锅炉：双炉膛，二次风

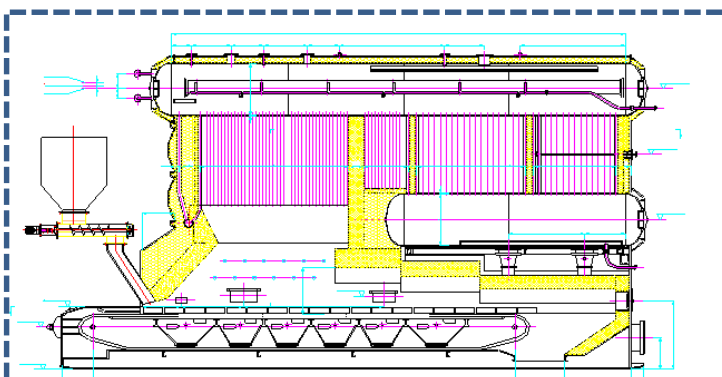


我国燃煤锅炉：单炉膛，一次风

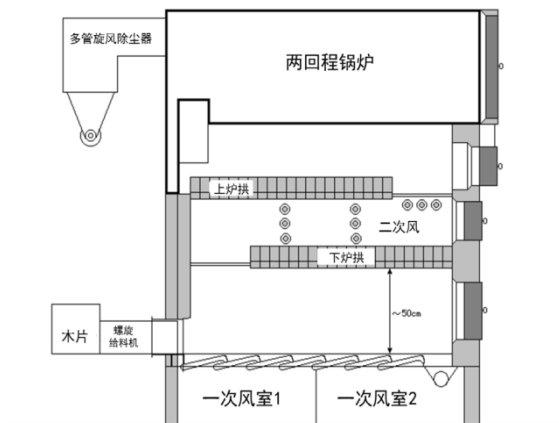
生物质锅炉必须采用专门设计的炉膛结构



燃煤链条炉排锅炉



链条锅炉改成的生物质锅炉

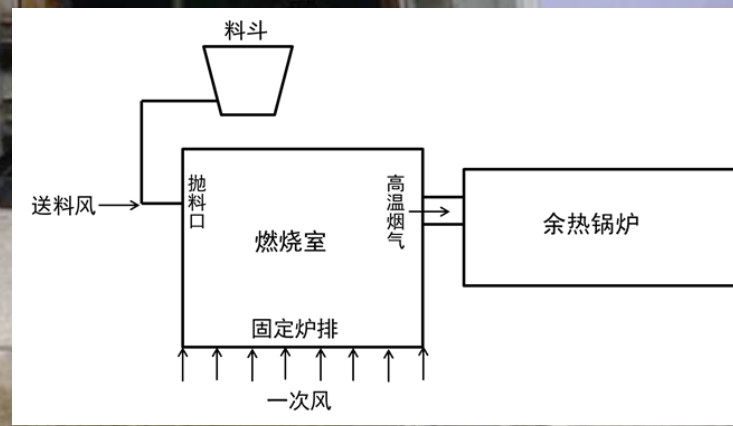
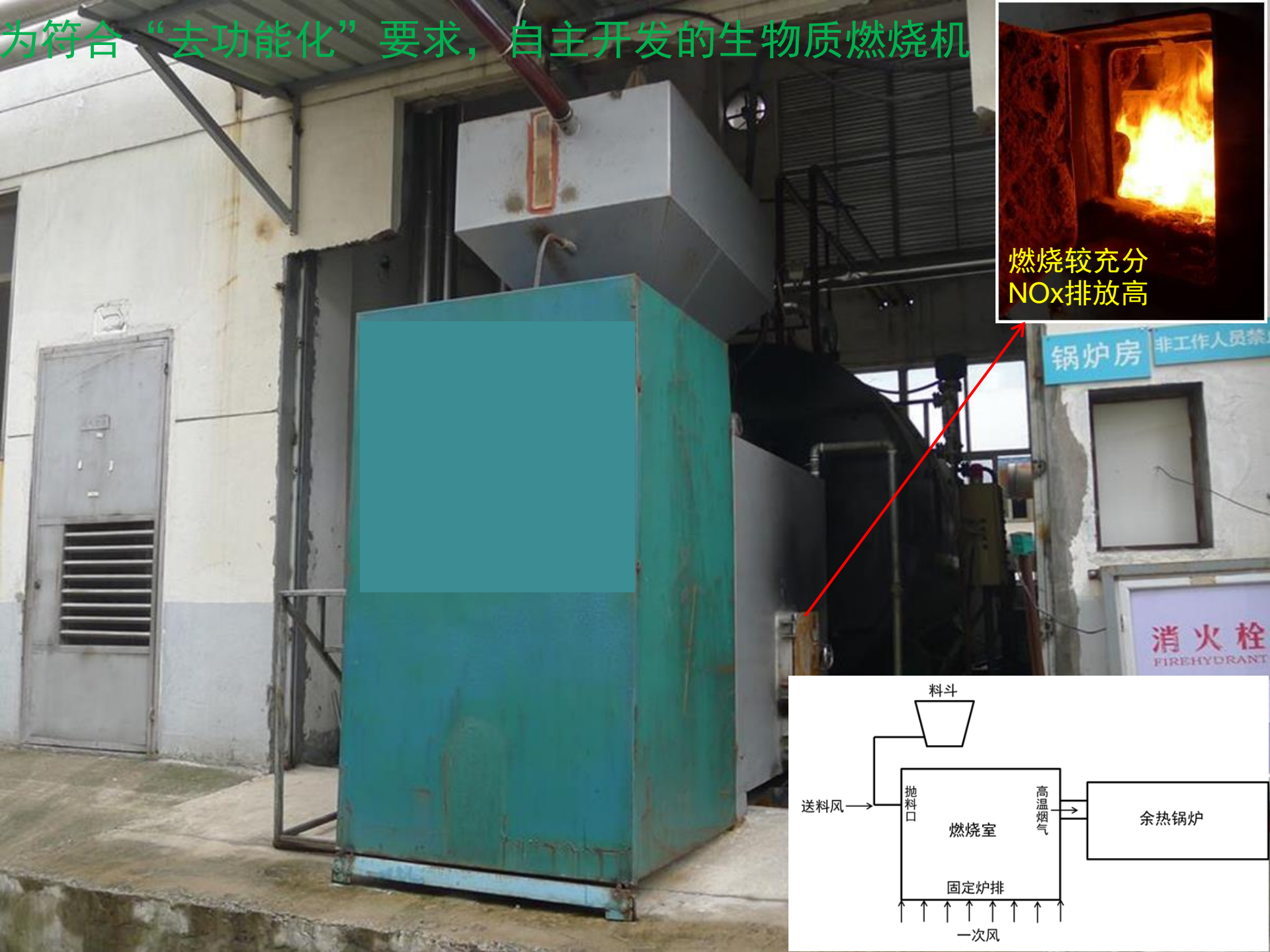


德国生物质往复炉排锅炉

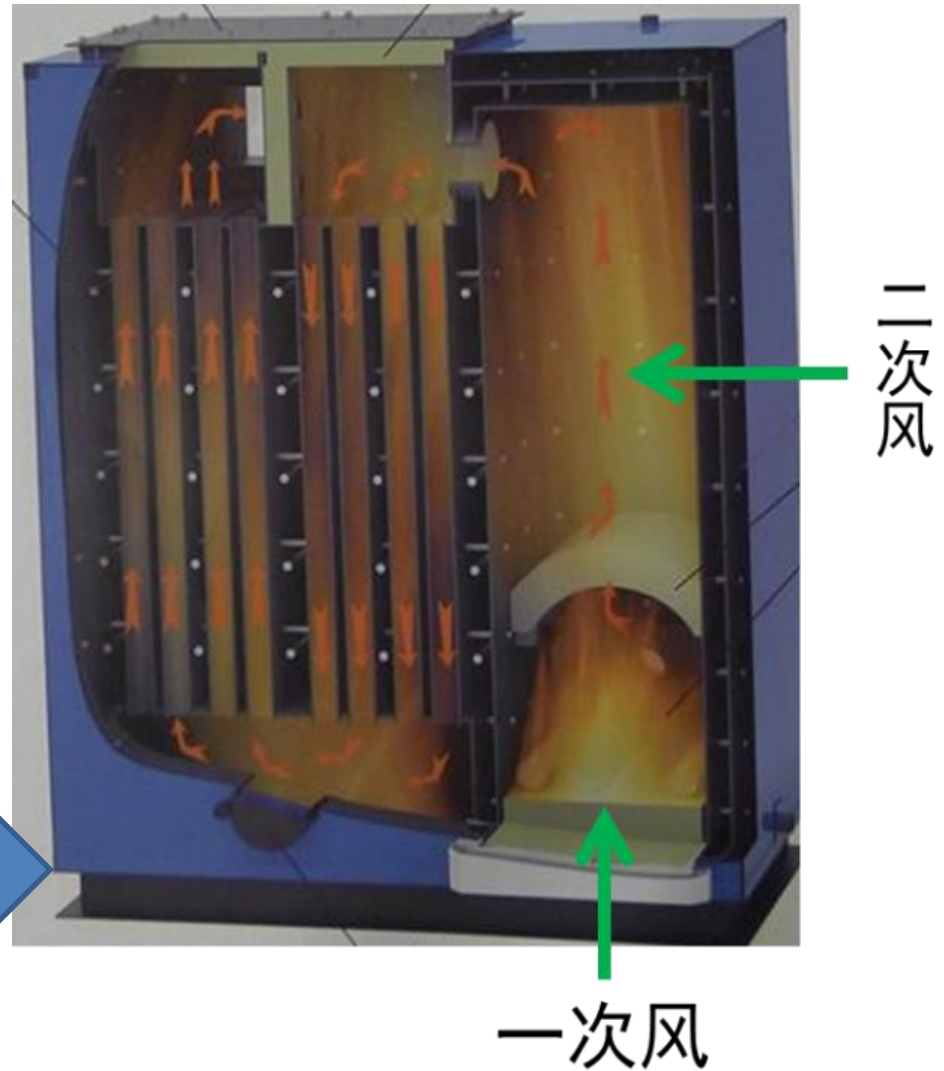
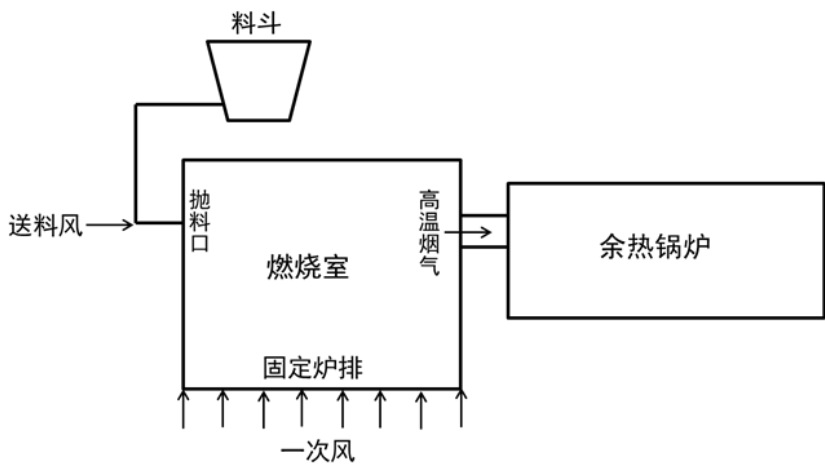


后部裸露的炉排，残碳，漏风

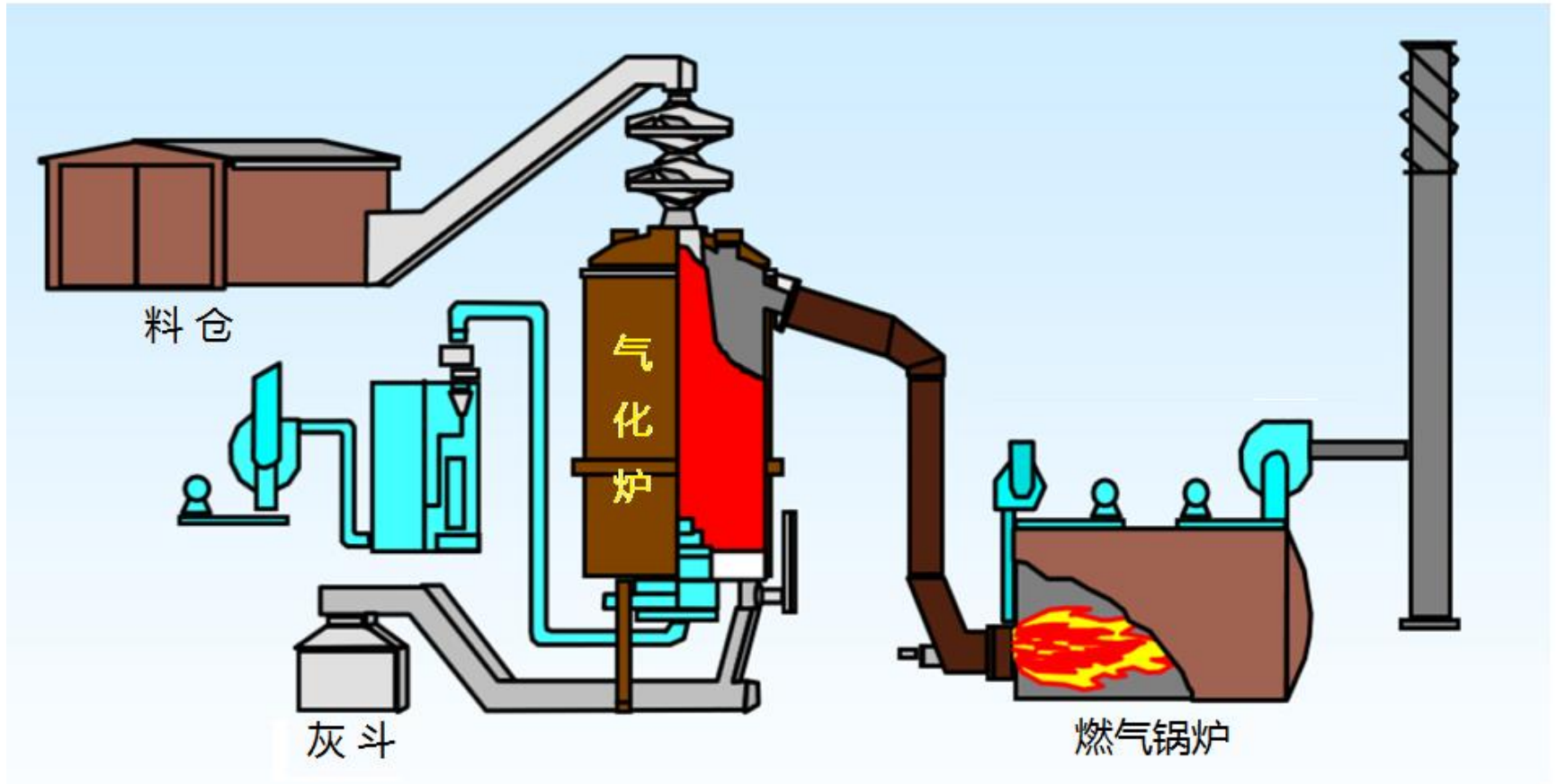
为符合“去功能化”要求，自主开发的生物质燃烧机



分级燃烧，紧凑化设计



生物质气化-燃烧系统

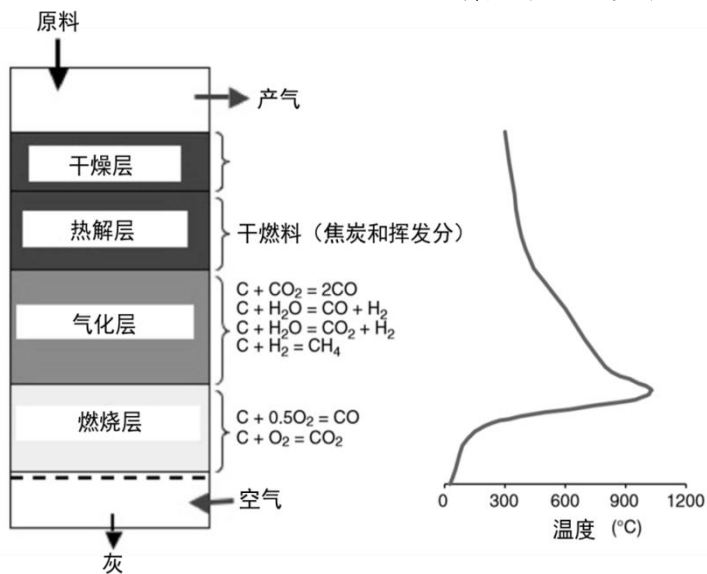


燃烧效率高，相对清洁；生物质含K等碱性金属，气化炉设计不当会结焦；
气化气含焦油，含N，燃气系统设计不当，管道堵塞，CO、NO_x排放都会高。

生物质气化-燃烧一体化技术



气化-燃烧-余热锅炉-烟气净化系统集成



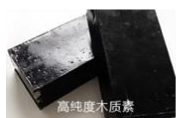
上吸式固定床气化炉原理

1. 对于灰熔点低的生物质，合理设计气化炉和优化运行，控制局部高温；
2. 设计分级燃烧室，保证气化气燃尽，降低NO_x排放。

生物质燃料特性

层燃过程

生物质主要组成成分



高纯度木质素

木质素：15~25%
★ 复杂的芳香结构
★ 很高的能量含量



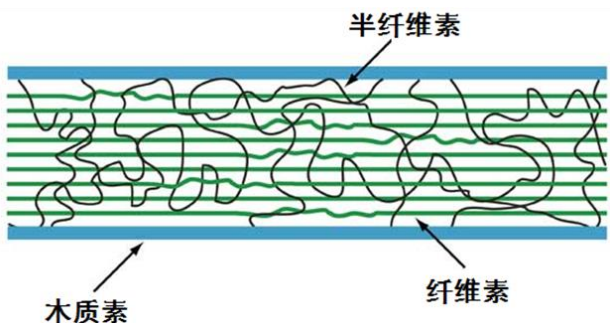
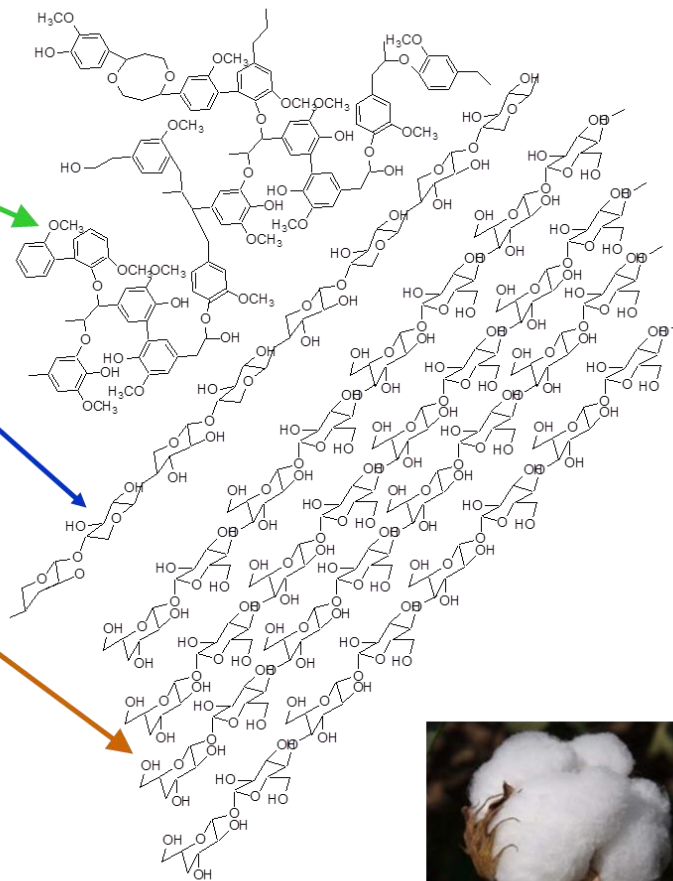
半纤维素
(竹材提取)

半纤维素：23~32%
★ 5碳和6碳糖的高分子聚合物



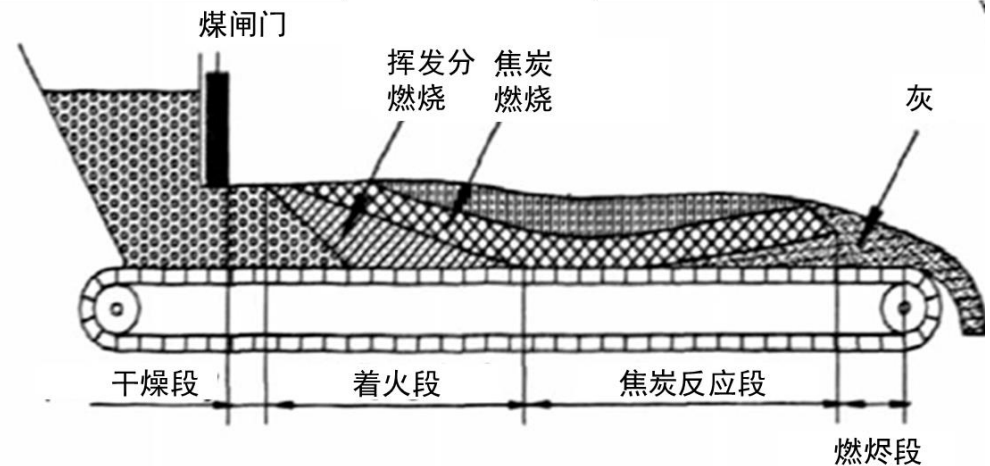
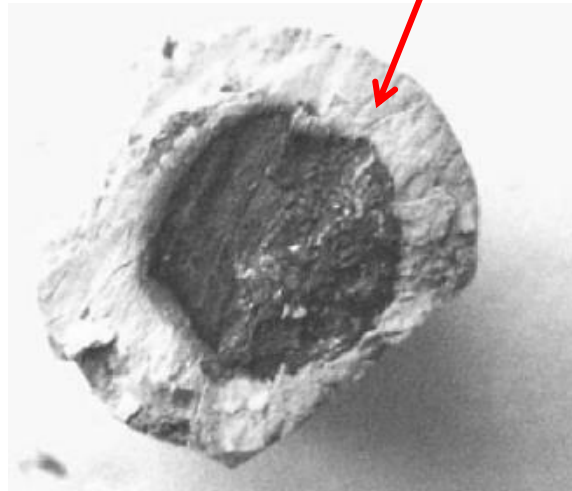
纤维素
(竹材提取)

纤维素：38~50%
★ 葡萄糖高分子聚合物
★ 优良的生物化学转化原料



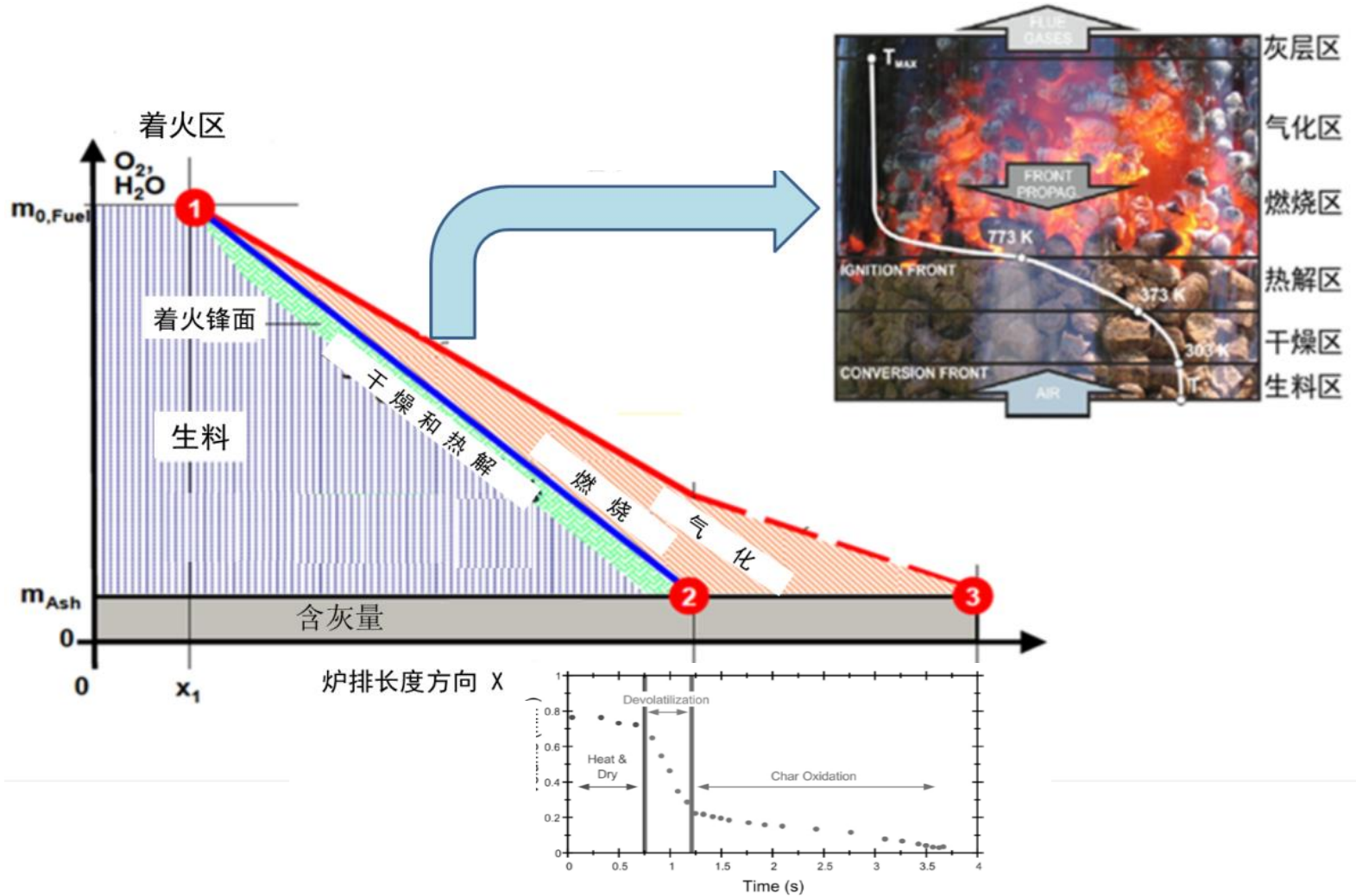
生物质与煤具有不同的燃料特性

样品	工业分析 (wt%)				元素分析 (wt%)				
	水分	灰分	挥发分	固定碳	C	H	O	N	S
硬纸板	6.84	19.04	65.53	8.58	33.12	4.849	38.85	0.19	0.106
木片	9.17	0.55	75.38	14.9	46.175	6.797	37.14	0.155	0
烟煤	12.20	11.30	31.00	45.5	70.62	4.78	9.32	1.59	0.80



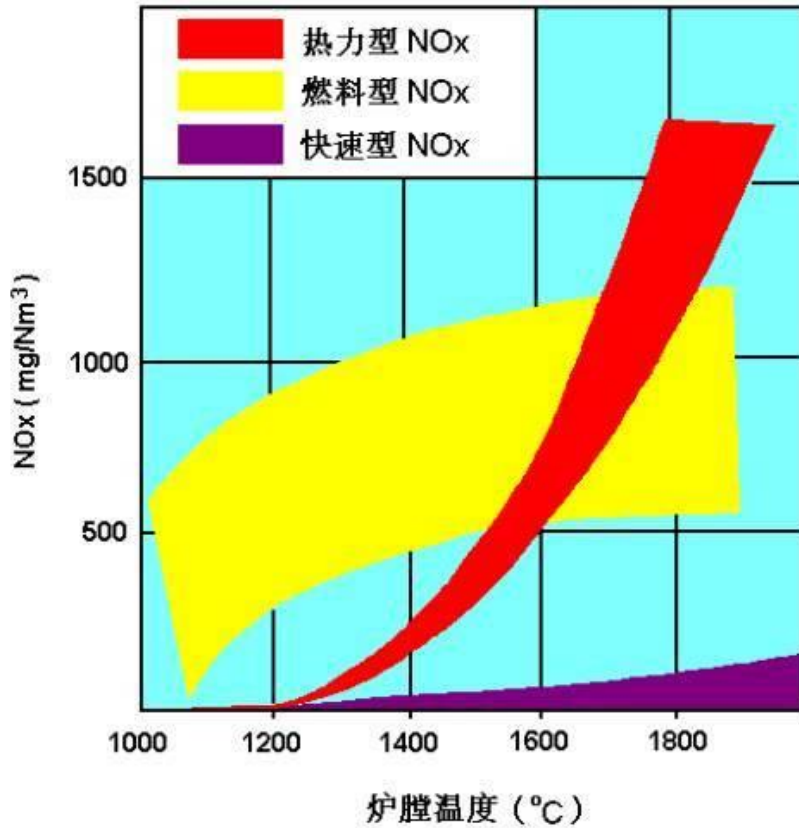
燃煤链条锅炉层燃过程

生物质层燃过程



生物质低NO_x燃烧技术

NO_x生成途径



热力型NO_x (Thermal NO_x)

空气中的氮气在高温下氧化而生成的NO_x

燃料型NO_x (Fuel NO_x)

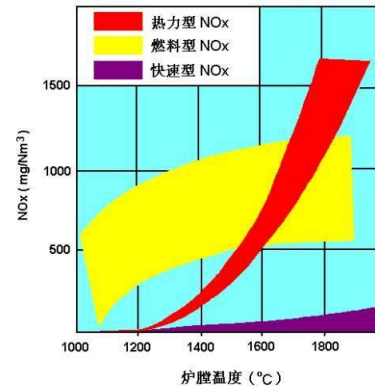
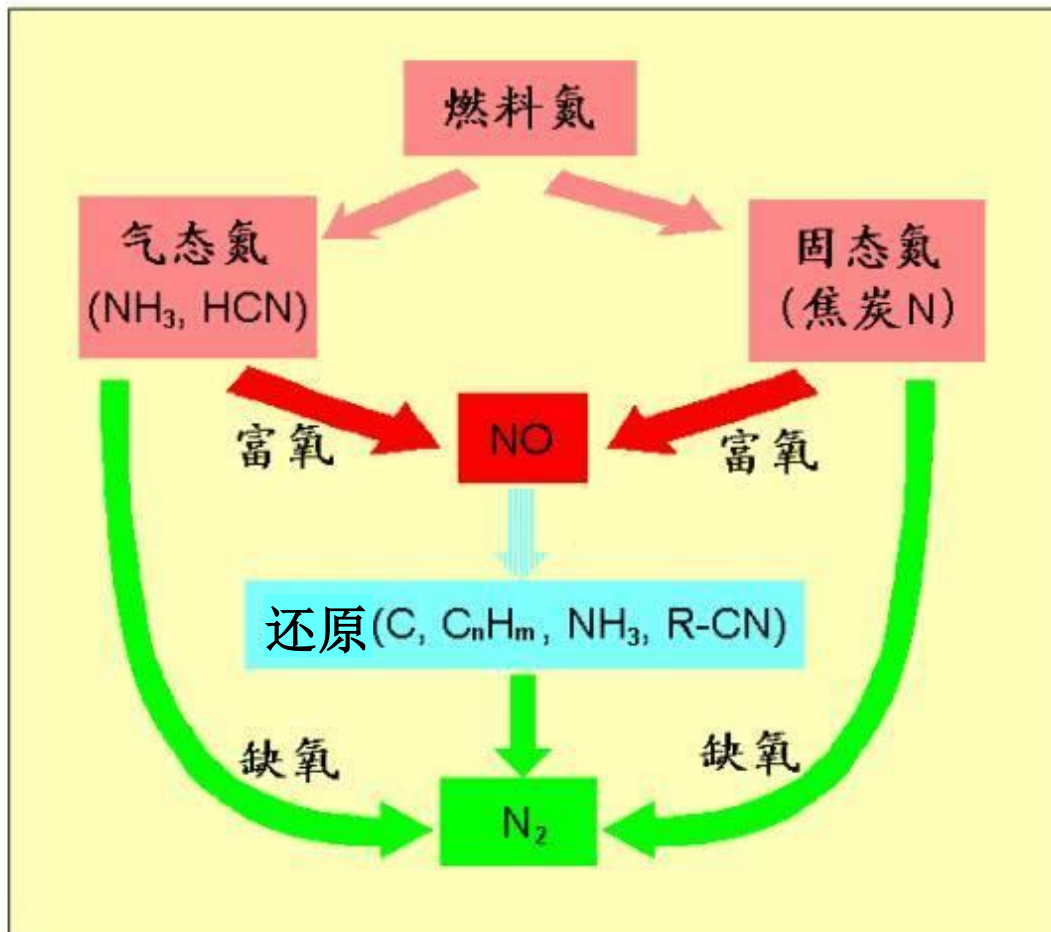
燃料中含有的氮化合物在燃烧过程中热分解而又接着氧化而生成的NO_x

快速型NO_x (Prompt NO_x)

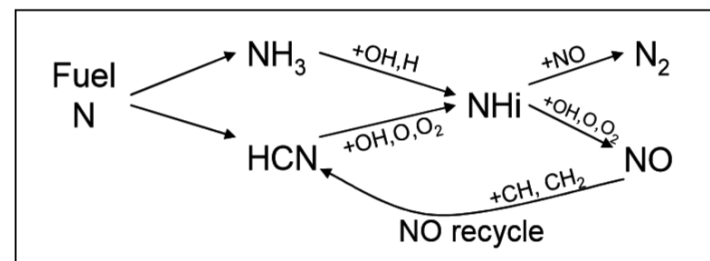
燃烧时空气中的氮和燃料中的碳氢离子团如CH等反应生成的NO_x

燃烧产生的NO_x与温度的关系

燃料氮转化机理



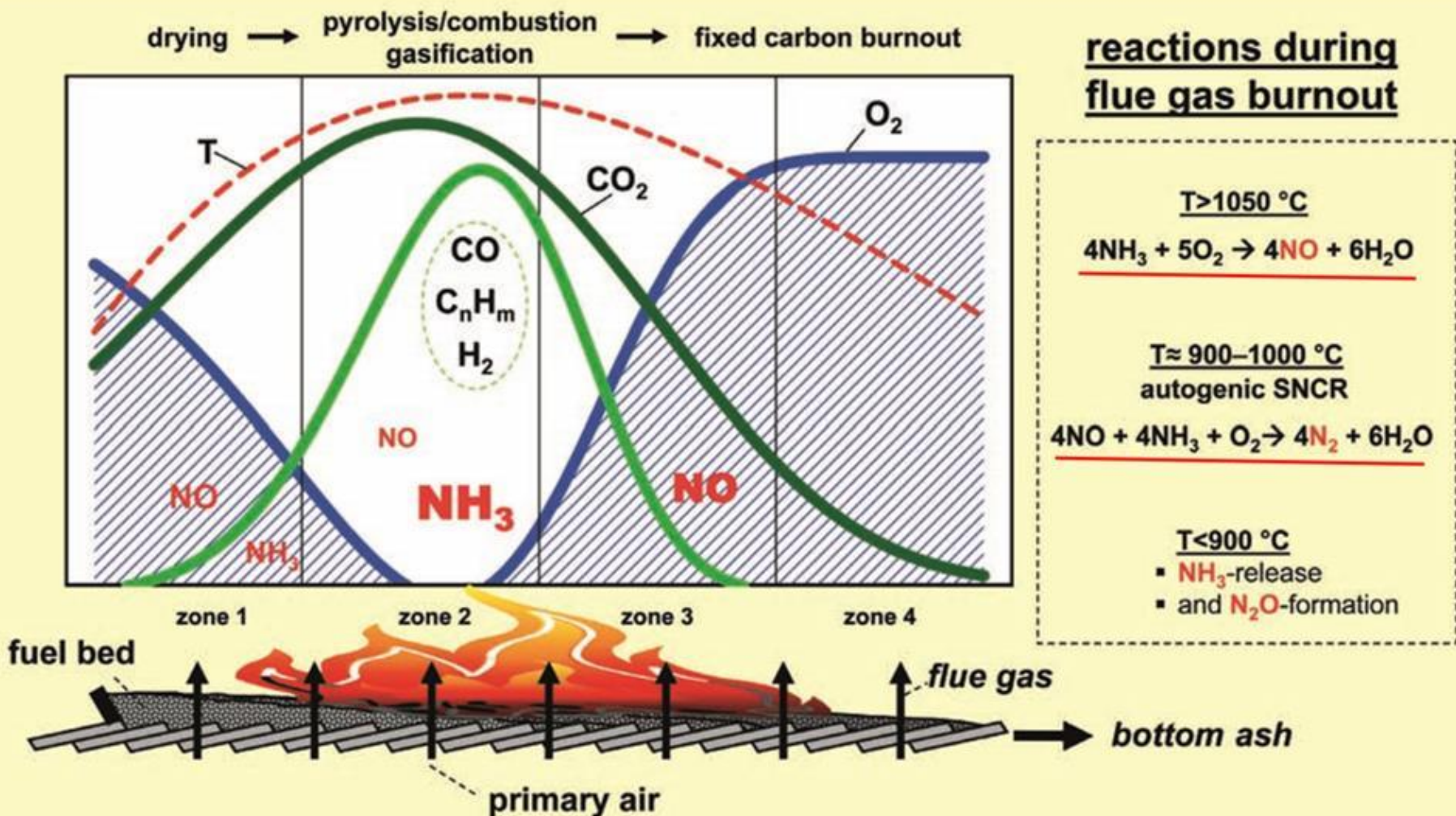
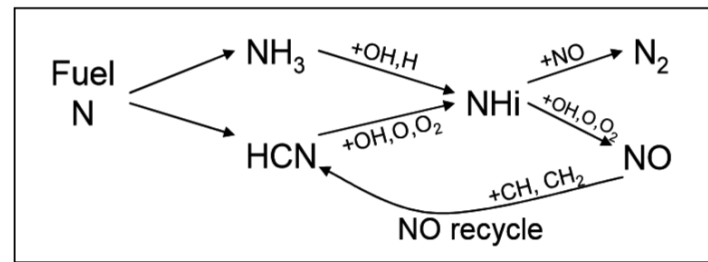
- 1) HCN转化为 NH_i
- 2) NH_i 转化为 N_2 或NO
- 3) NO被 CH_i 分解



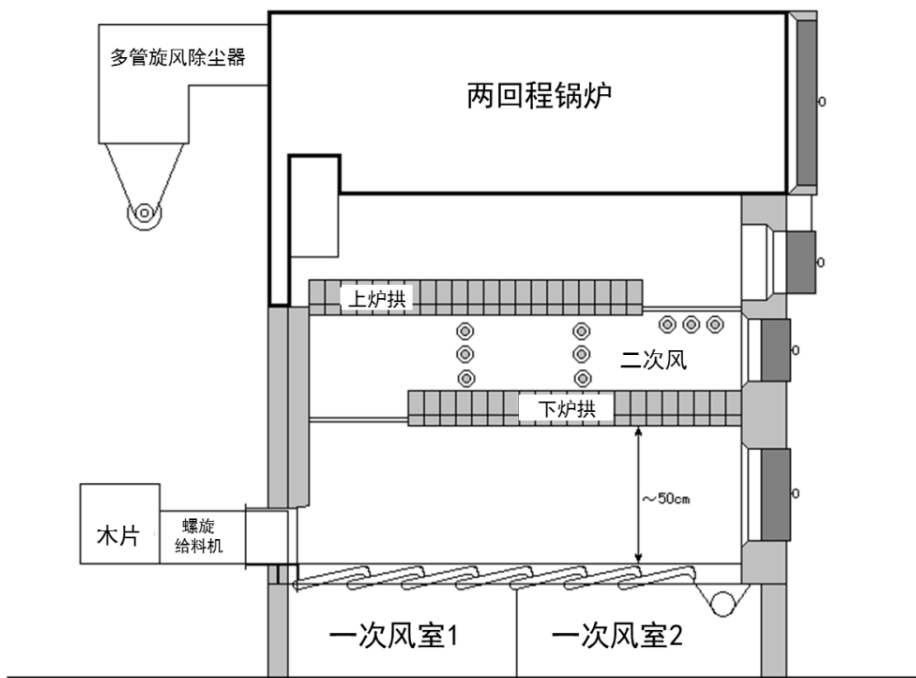
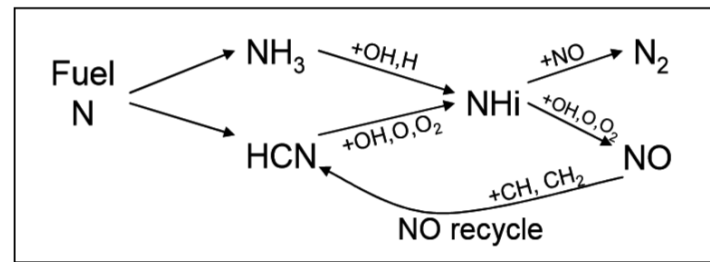
燃料氮在燃烧过程中，有一部分随挥发份析出为气态氮，一部分留在焦炭中为固态氮，在缺氧的条件，这些燃料氮转化为无害的 N_2 ，在富氧的条件下，生成有害的NO，NO在缺氧的条件下，可以被碳氢化合物或喷入氨等还原成 N_2 ，实现脱硝的目的。

空气分级低NO_x燃烧技术

利用自生NH₃还原NO的原理

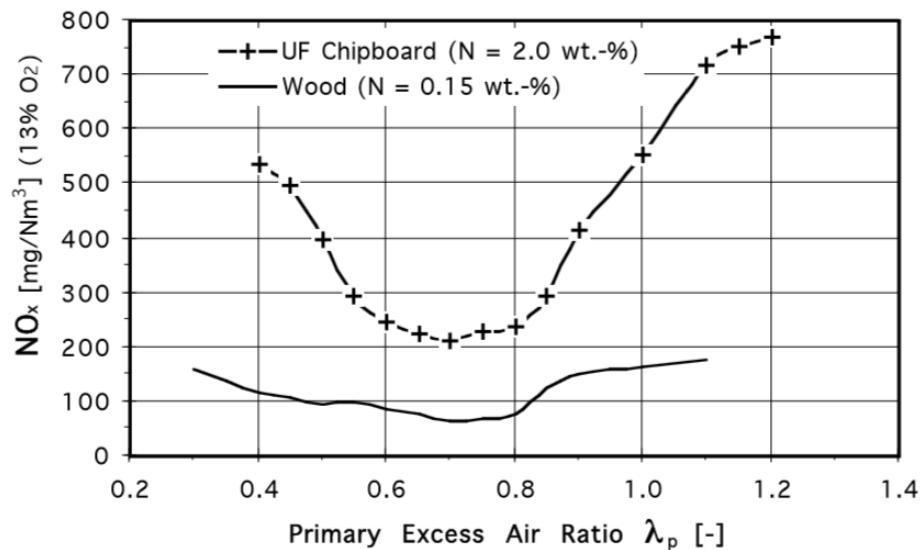


空气分级低NO_x燃烧技术 (小型炉排锅炉)



一次风缺氧形成还原区

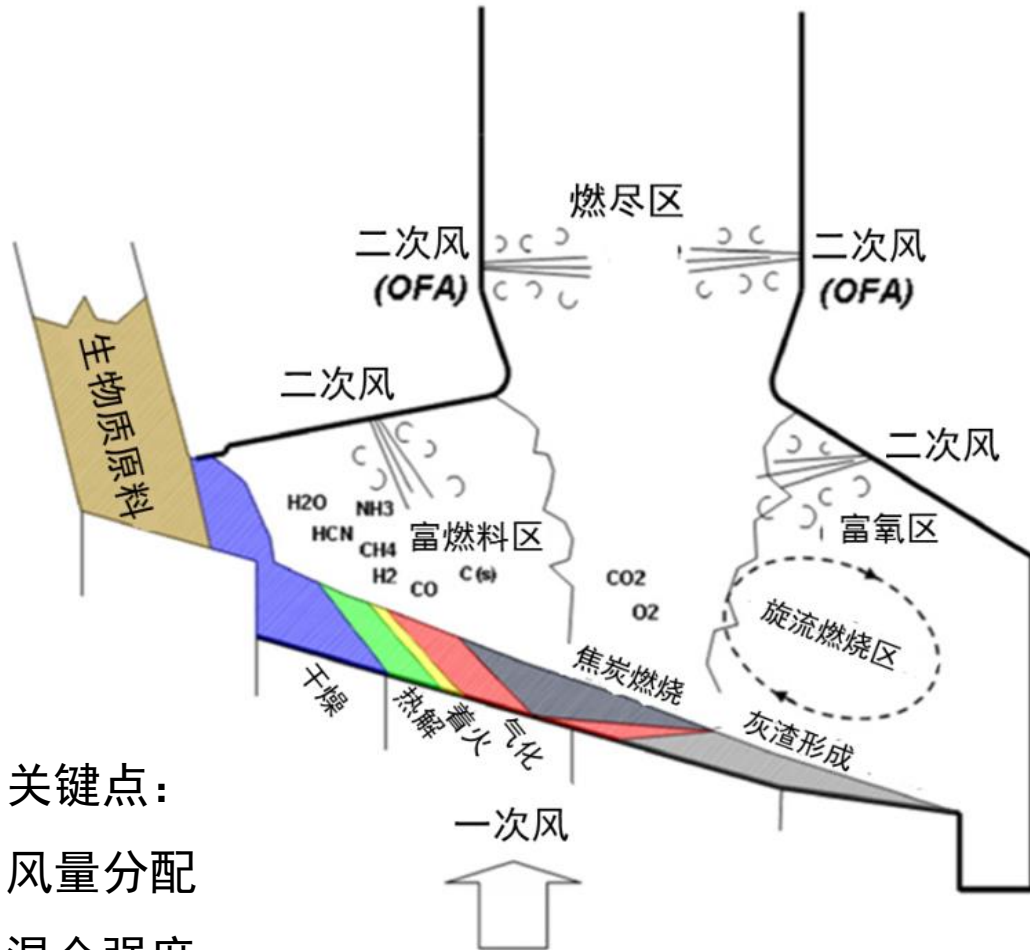
二次风分级，适当氧量



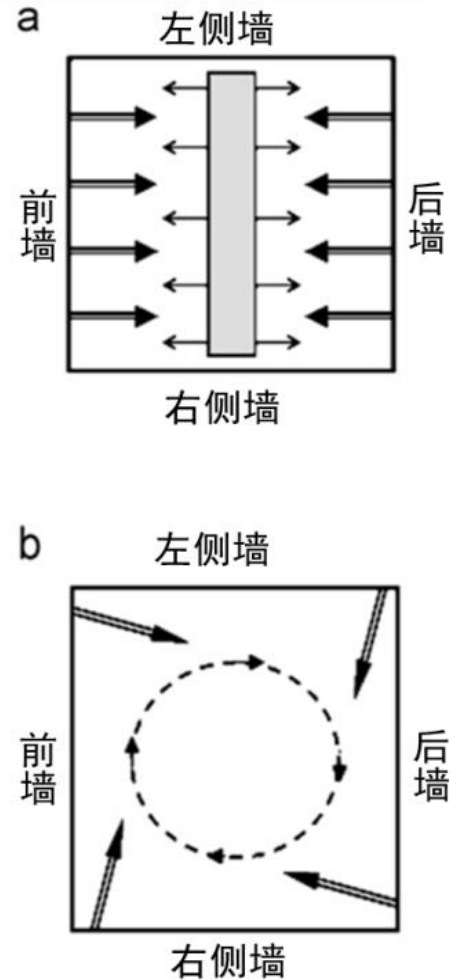
过高的一次风量将使较多的NH₃氧化为NO

过低的一次风量，未反应的NH₃滑移至二次风富氧区，升高NO

空气分级低NO_x燃烧技术 (大型炉排锅炉)

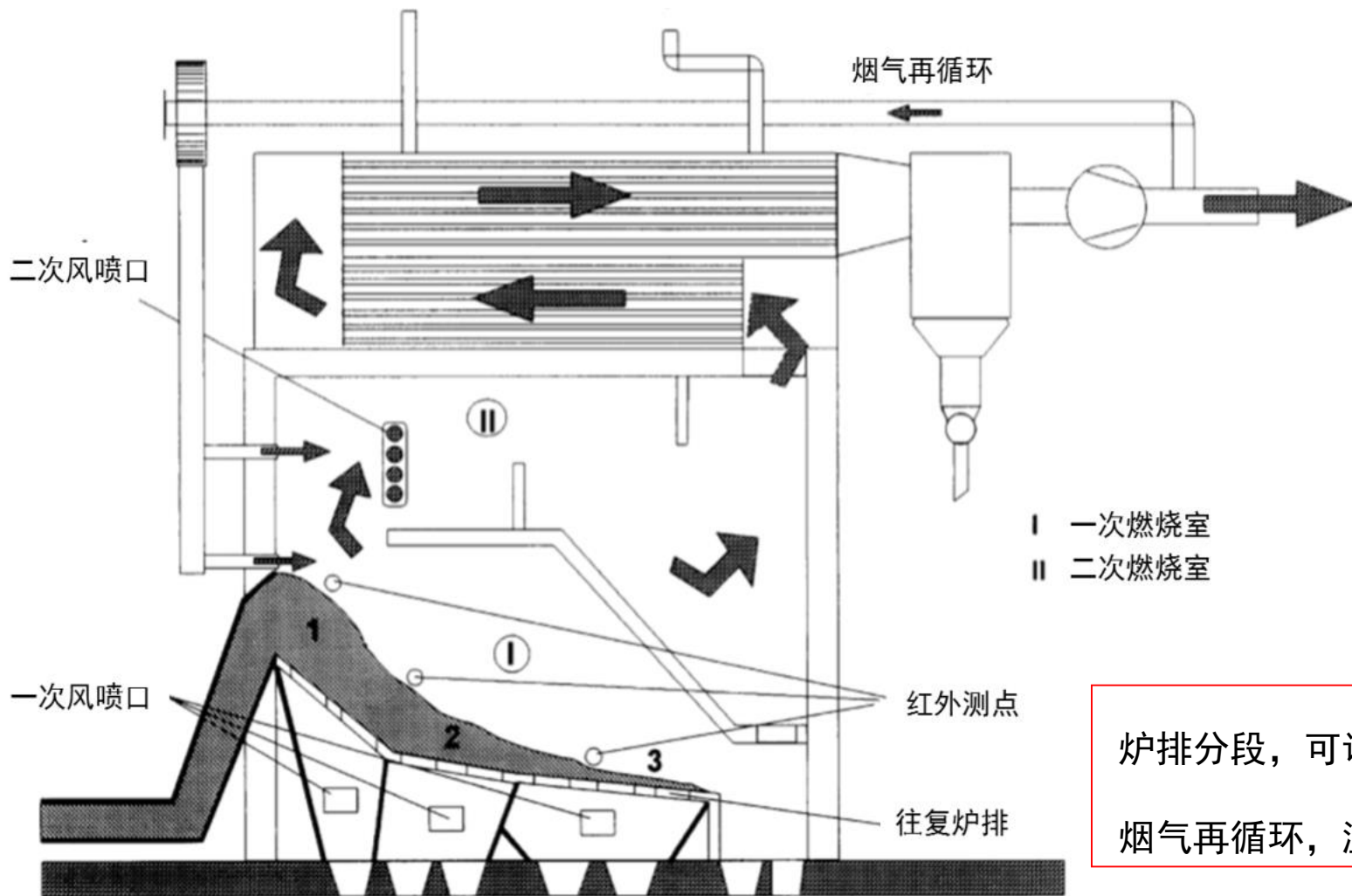


关键点：
风量分配
混合强度



空气分级+烟气再循环 低NO_x燃烧技术

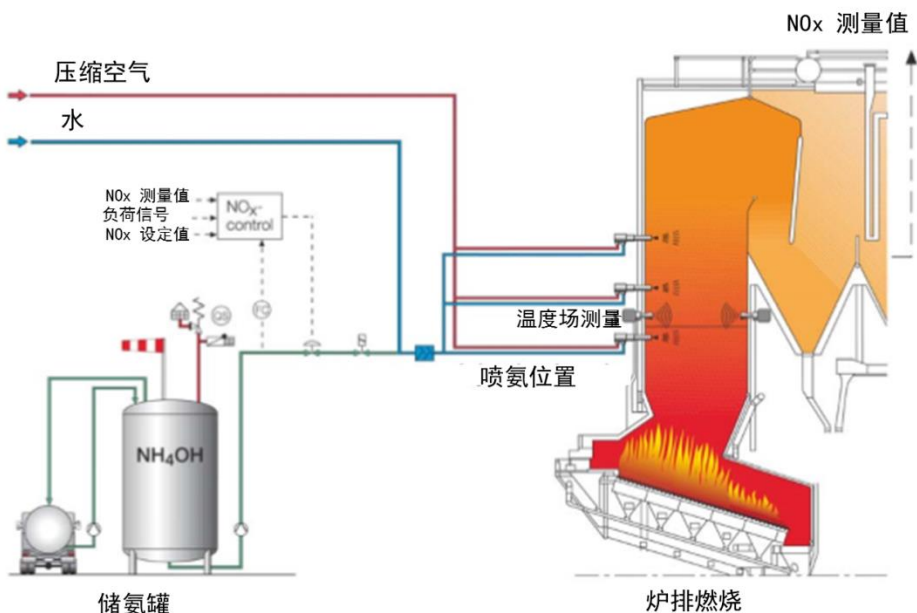
空气分级燃烧+烟气再循环的炉排锅炉



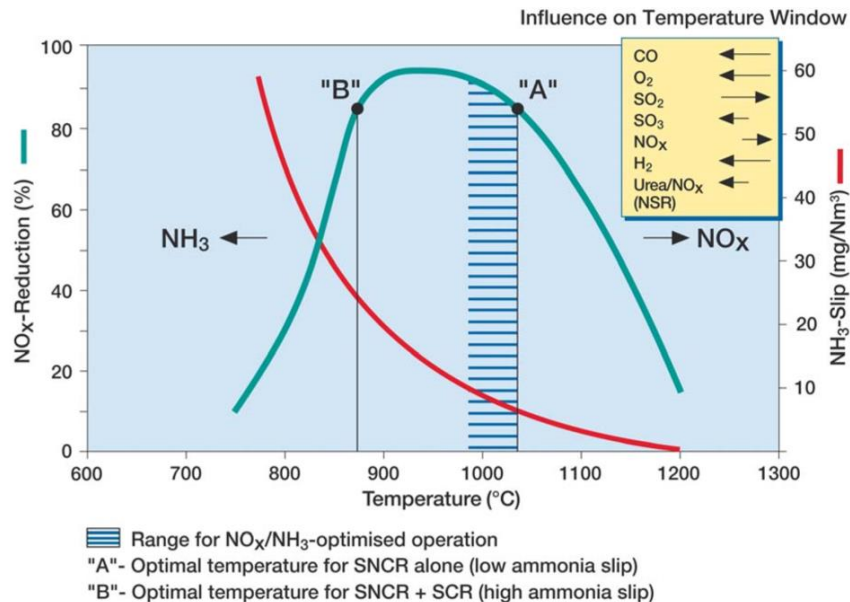
炉排分段，可调移动速度
烟气再循环，温度与混合

选择性非催化还原 (SNCR) 技术

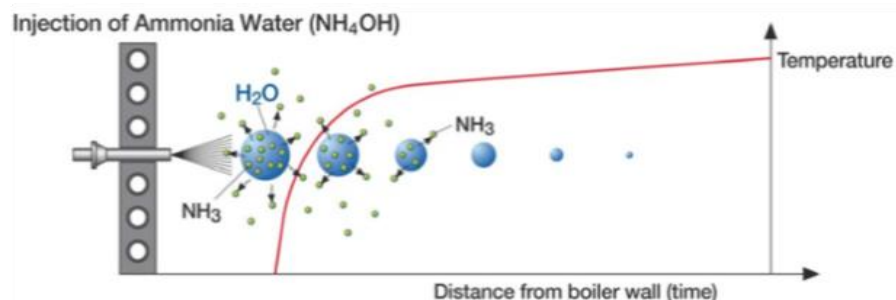
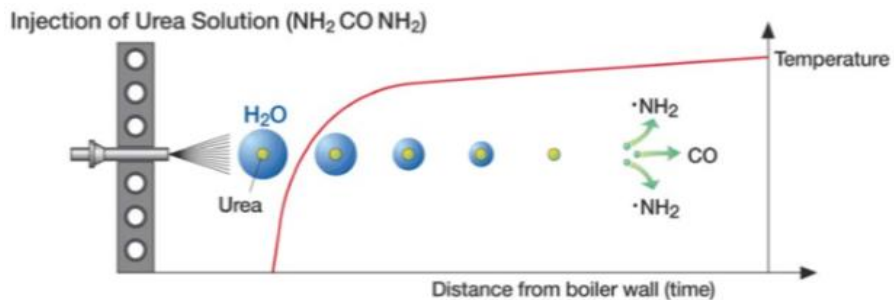
SNCR应用注意事项



炉排锅炉采用SNCR的示意图（考虑负荷变化）



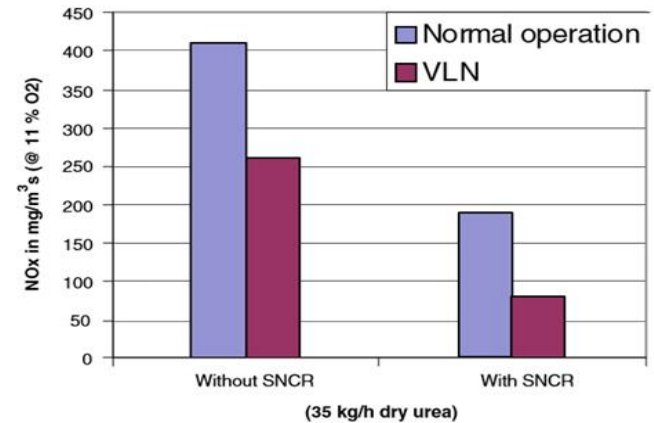
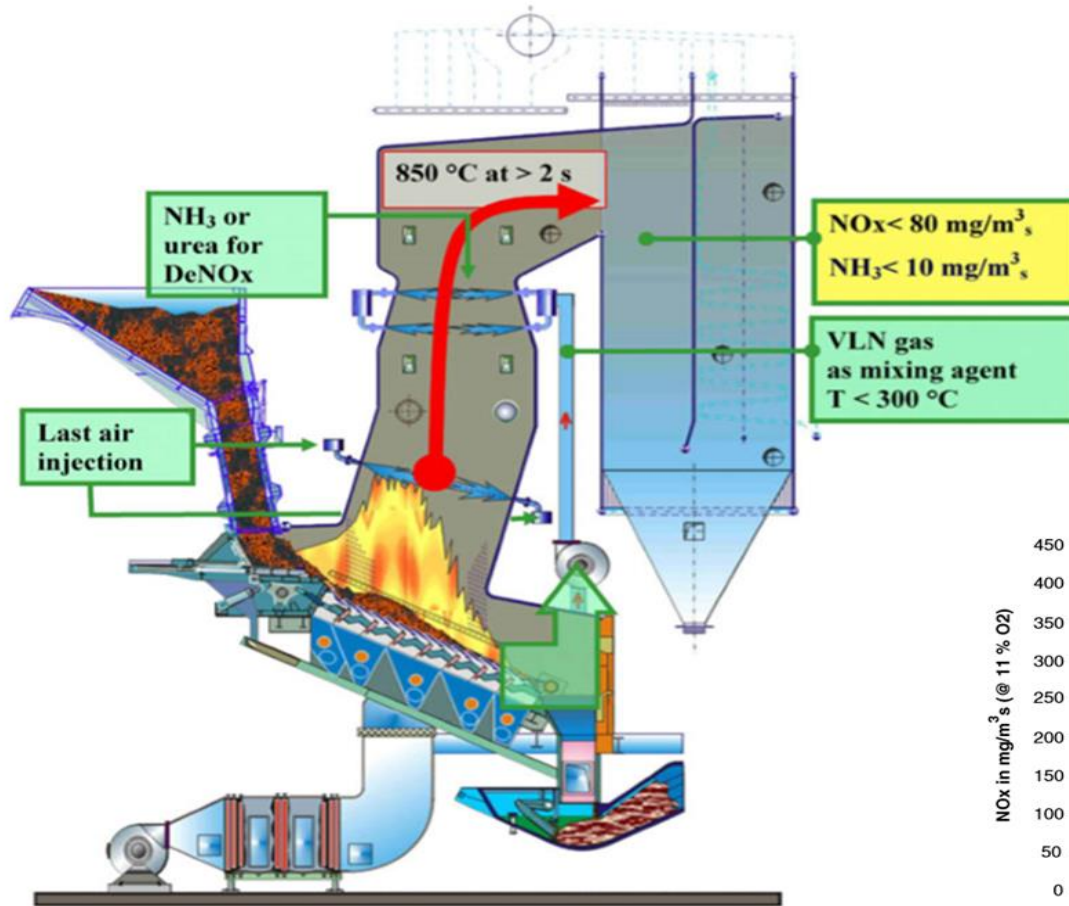
SNCR反应温度窗口



水溶液尿素和氨在炉内喷射过程中演化示意图

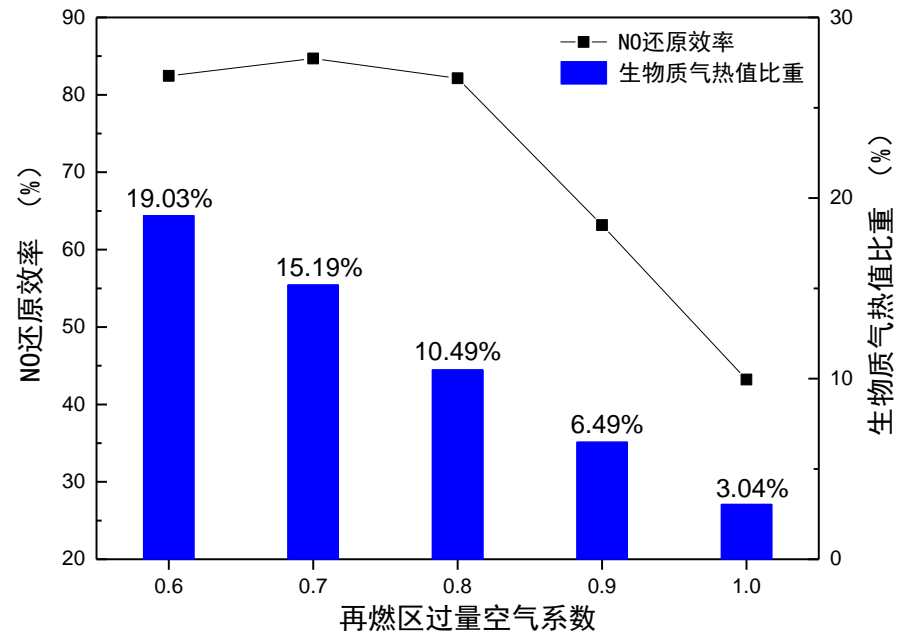
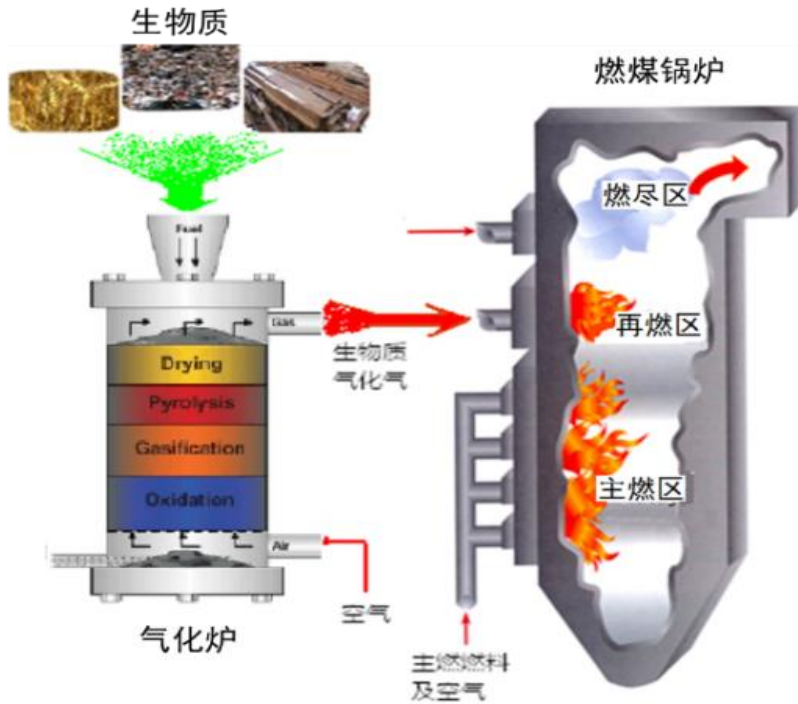
空气分级+烟气再循环+SNCR 低NO_x燃烧技术

用于生活垃圾的超低NO_x燃烧组合技术



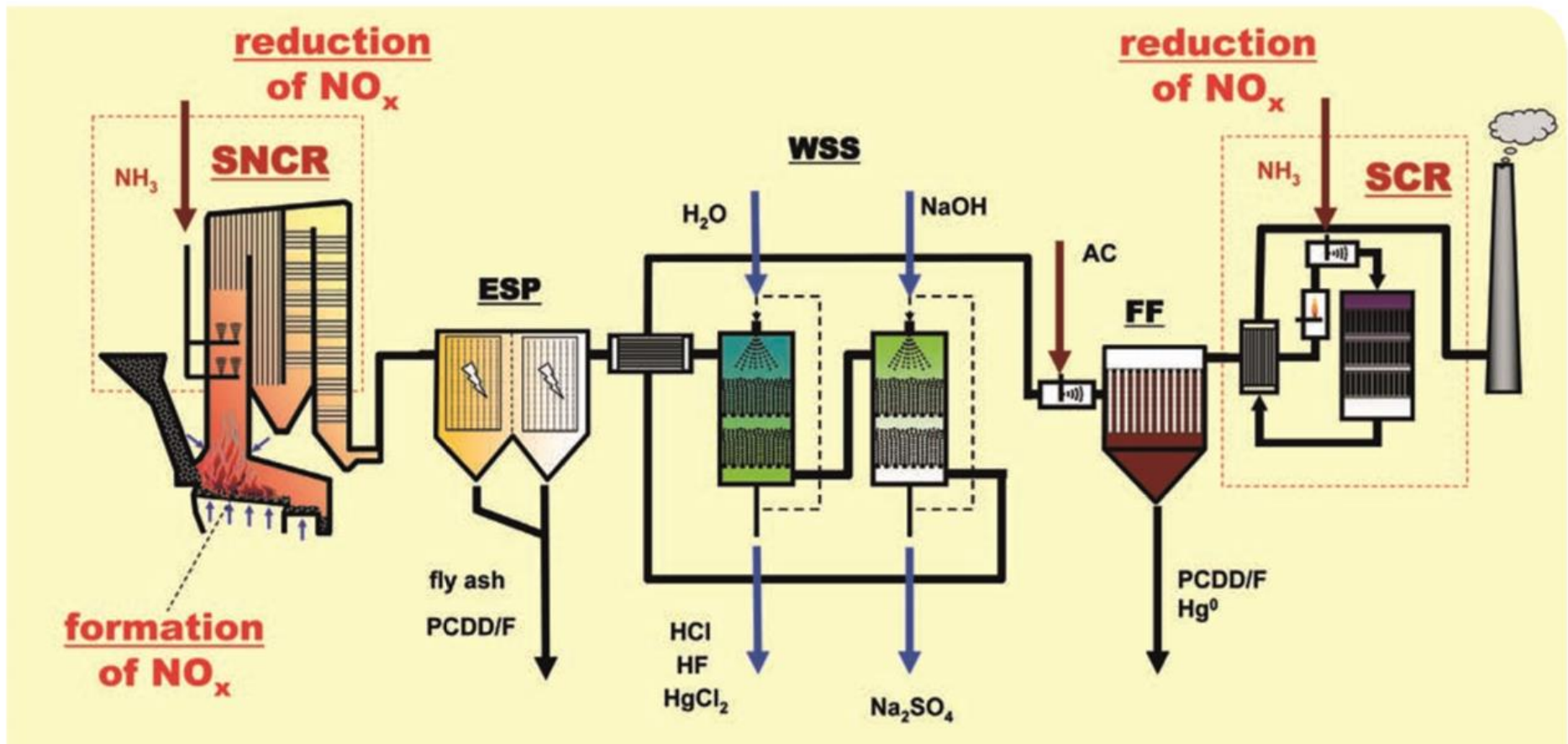
VLN清洁燃烧系统及实炉效果 (NO_x值对应11%的O₂浓度)

生物质与煤混烧技术



生物质气化气用于燃煤锅炉再燃及NO还原效率

满足严格环保要求的烟气净化系统



尽量通过精细化设计的低NO_x燃烧组合技术，避免采用SCR（生物质灰含碱性金属问题）

我国燃煤锅炉改用生物质的适用技术建议

研发体系建立

培育全产业链的龙头企业

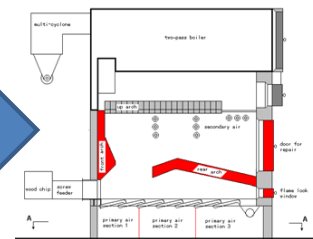
全过程管理的封闭式商业模式



原料收集



成型燃料



锅炉供汽

燃料质量

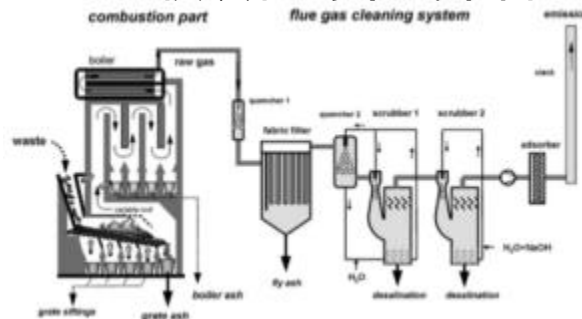
设备能耗

污染排放

通过科技进步，制定相应标准，提高准入门槛

打造网络化研发体系，延伸产业链并形成产业集群

模块化的中试平台



国际分析
经验、趋势

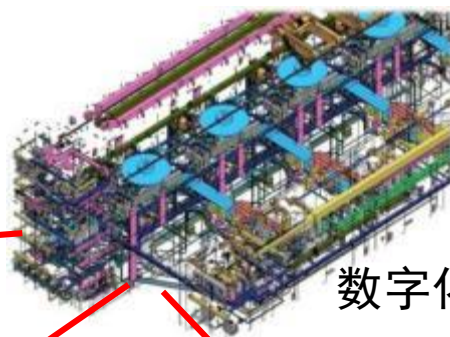
差距

开展国际合作
针对中国问题

研究、设计、制造、应用相结合的研发平台
机理、中试、示范

国内调研
现状、问题

工程总承包



数字化设计平台



常规部件就近采购



核心部件定点生产



适用技术建议

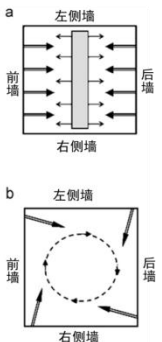
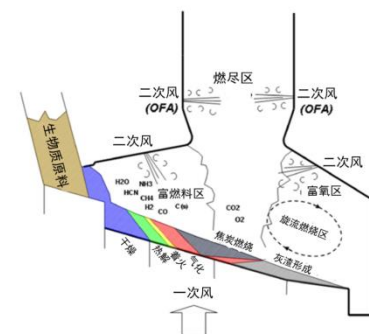
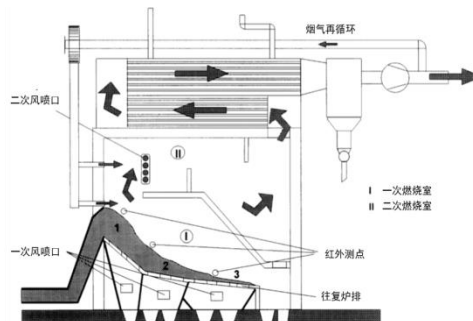
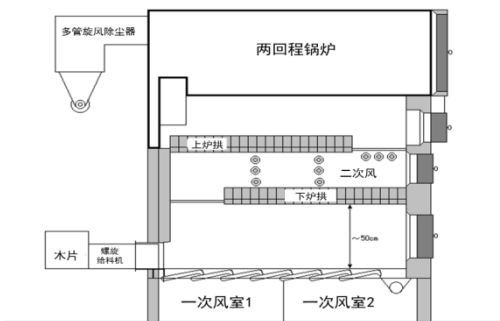
预处理技术

1. 稻草类生物质存在灰熔点低等问题，可以对不同种类生物质进行混合制成成型燃料，改善其燃料特性
2. 有些成型燃料企业从垃圾中挑选可燃废弃物制成成型燃料，如果混入含氯塑料以及其他有害成分，只能在环保设施严格的设备中使用，以免产生二噁英等污染物排放
3. 对于树枝类生物质，制成木片比成型燃料更加经济



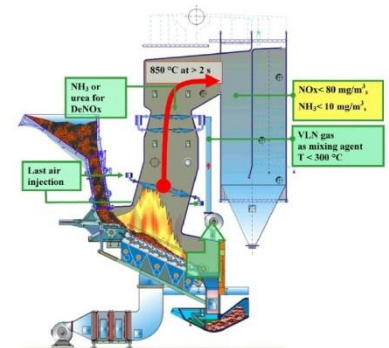
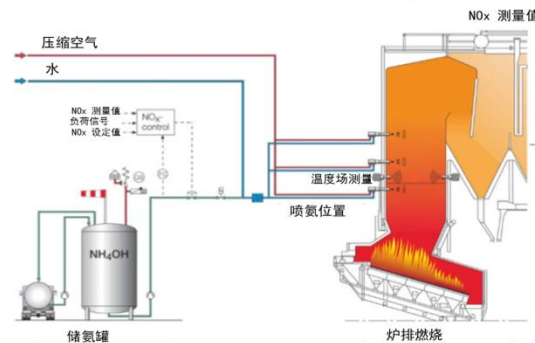
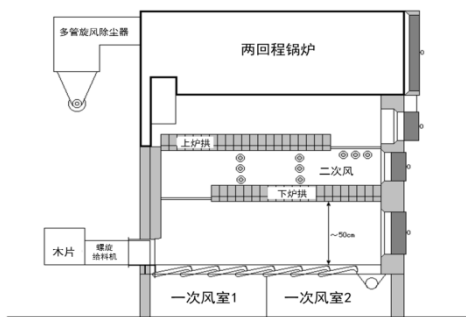
锅炉炉型选择

生物质锅炉应根据生物质的燃料特性而专门设计炉膛结构，小型工业锅炉一般采用炉排燃烧方式。中大型工业锅炉采用炉排燃烧方式或流化床燃烧方式。在欧洲，大型工业锅炉采用炉排燃烧方式十分普遍，炉排锅炉实现清洁高效燃烧的关键是合理组织配风。由于国内缺乏对炉排锅炉清洁燃烧技术的研究，为应对环保要求，并考虑到经济性，有的企业认为25t/h蒸发量以上才采用流化床燃烧方式。



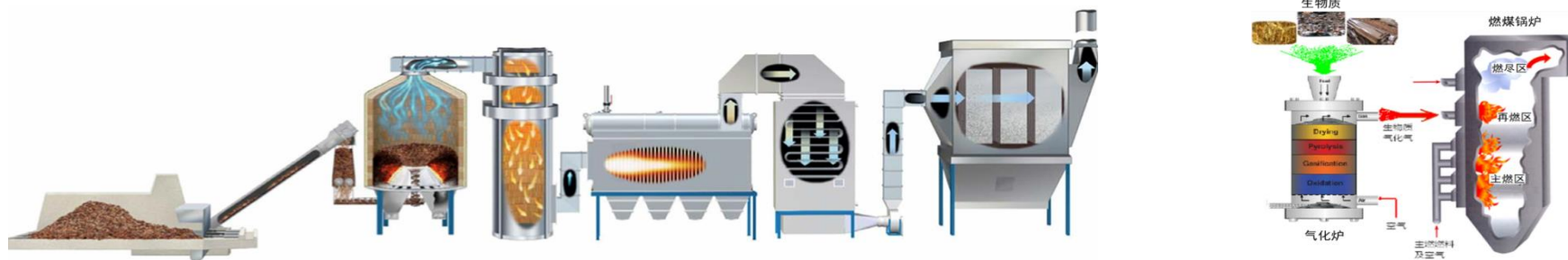
NO_x排放控制技术

NO_x排放是生物质实现清洁燃烧的难点，对于含氮量低的生物质燃料，一般采用空气分级低NO_x燃烧技术，就可以满足环保要求。对于含氮量高的生物质，需采用空气分级、烟气再循环及SNCR组合技术。



生物质气化-燃烧一体化技术

生物质气化-燃烧一体化技术可实现高效率 and 低排放，要注意的是，生物质燃料含有氮，气化气采用空气分级低 NO_x 燃烧技术是关键。此外，我国有大量的燃煤锅炉，采用生物质气化气再燃的方式，可实现生物质的经济高效利用，同时降低燃煤 NO_x 排放。





谢谢!