

燃煤锅炉改用生物质的清洁燃烧技术

罗永浩

上海交通大学机械与动力工程学院

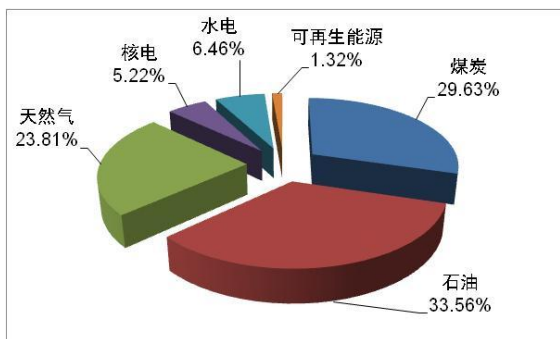
大连 2016. 10. 19.

背景

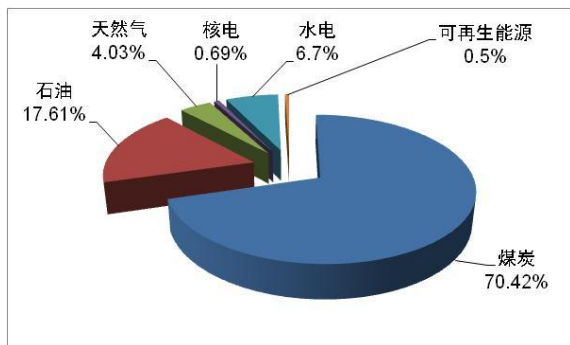
全世界能源体系正面临变革

旧的能源体系

驱动力



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



地缘冲突 → 能源安全



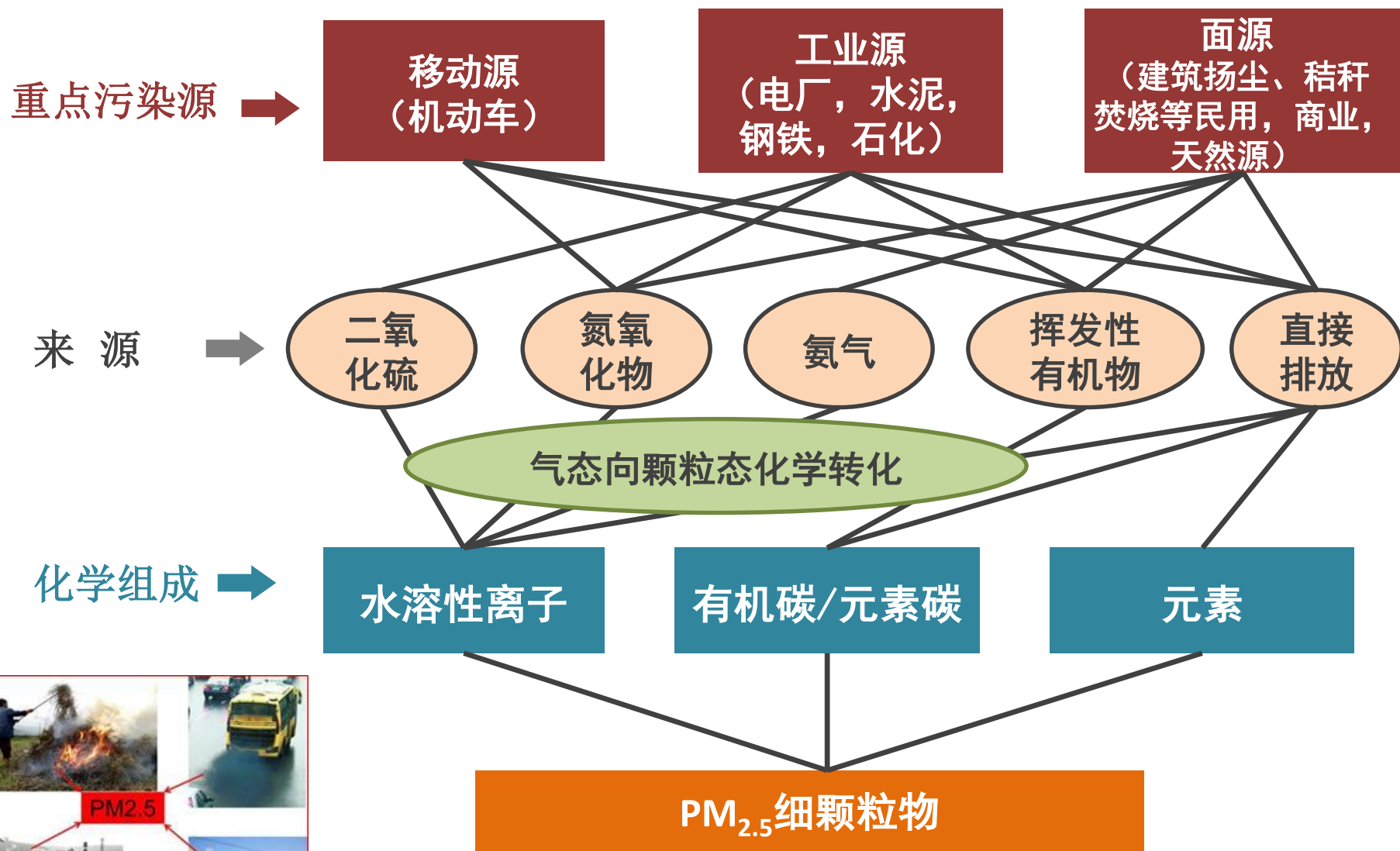
气候变化 → 人类生存



雾霾天气 → 身体健康

如何构建新的能源体系

形成雾霾的PM2.5为多因素，需标本兼治，长期任务

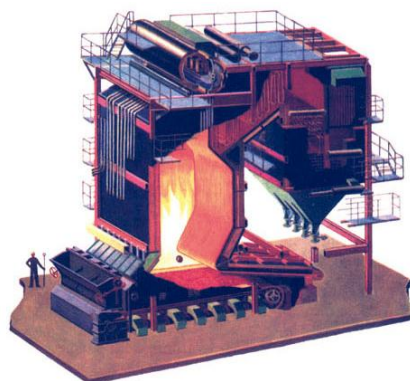


治理雾霾，燃煤工业锅炉路在何方？



当前我国关注重点

雾霾天气 → 身体健康

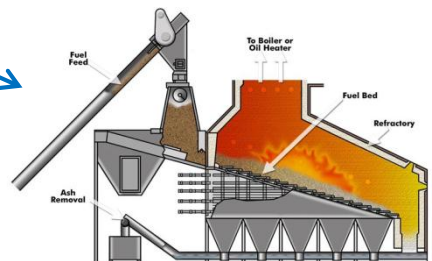


燃煤工业锅炉的出路？

替代能源

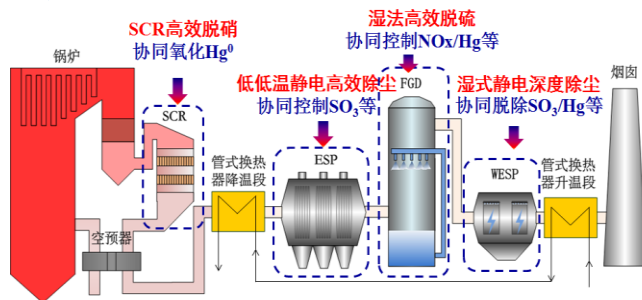


天然气资源、价格问题



生物质锅炉应运而生

大型燃煤工业锅炉
清洁改造



燃煤电厂提出“超低排放”，树立了标杆

关键是控制排放
要依靠科技进步



同时解决田野烧秸秆

什么是生物质？

包括植物、动物及其排泄物、垃圾及有机废水几大类。



稻草



树木



生活垃圾



甘蔗



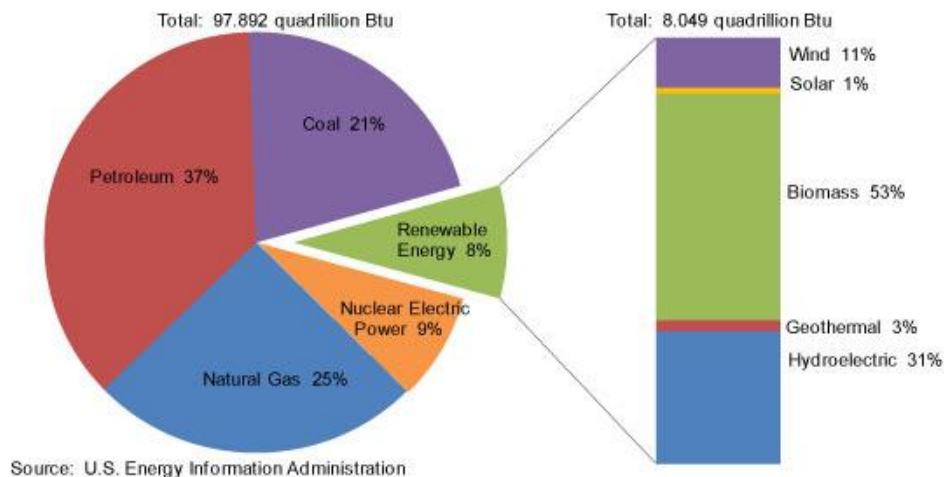
油菜



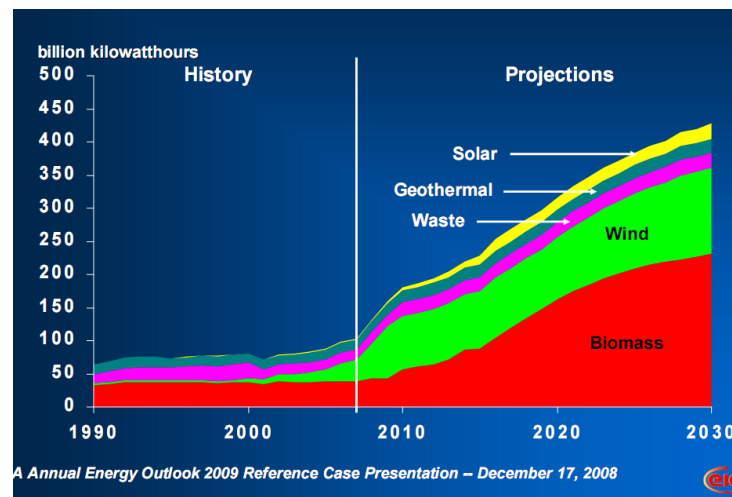
下水污泥

生物质能是太阳能以化学能形式储存在生物中的一种能量形式，一种以生物质为载体的能量，它直接或间接地来源于植物的光合作用

欧美生物质能的重要地位



美国2010年能耗分布



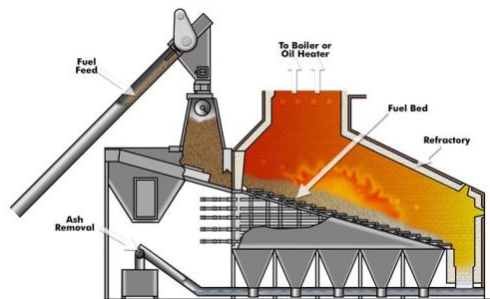
美国未来可再生能源发电比例预测
资料来源：美国能源部能源信息局

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%

我国废弃生物质清洁能源化利用 是综合解决环境问题的有效途径



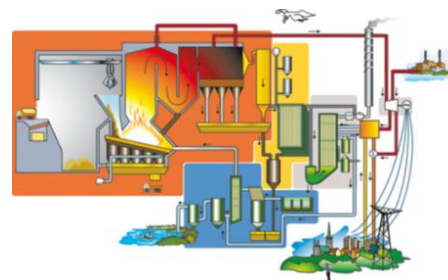
秸秆田野焚烧



成型燃料锅炉



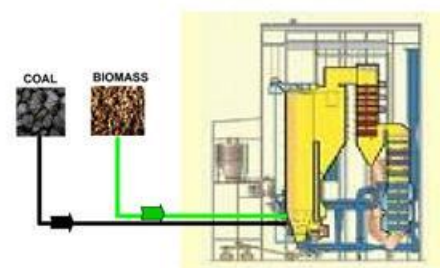
垃圾包围城市



垃圾燃烧发电

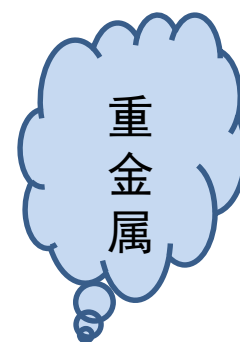
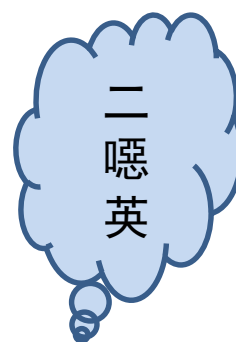
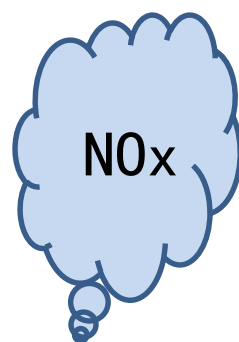
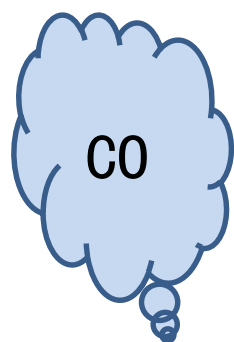
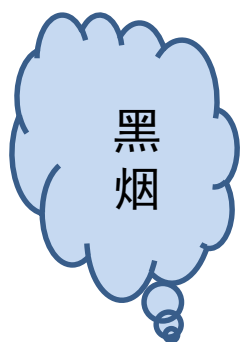


无处堆放的污泥



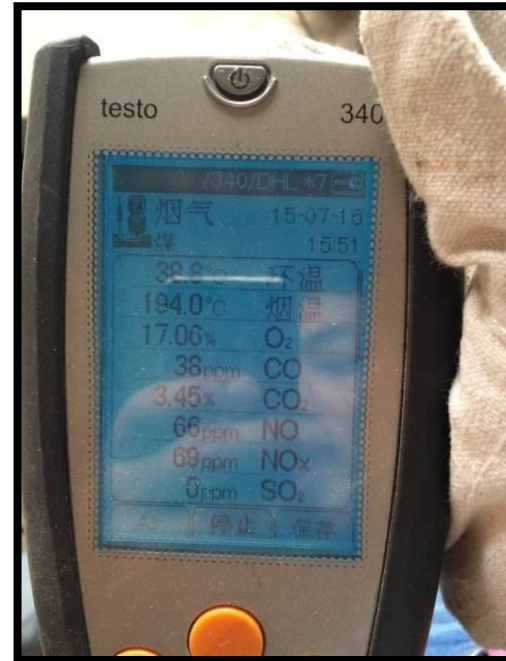
燃煤锅炉掺烧

开发污染物排放控制技术 实现废弃生物质清洁燃烧



生物质成型燃料清洁燃烧

上海某台燃生物质成型颗粒 导热油炉实测数据

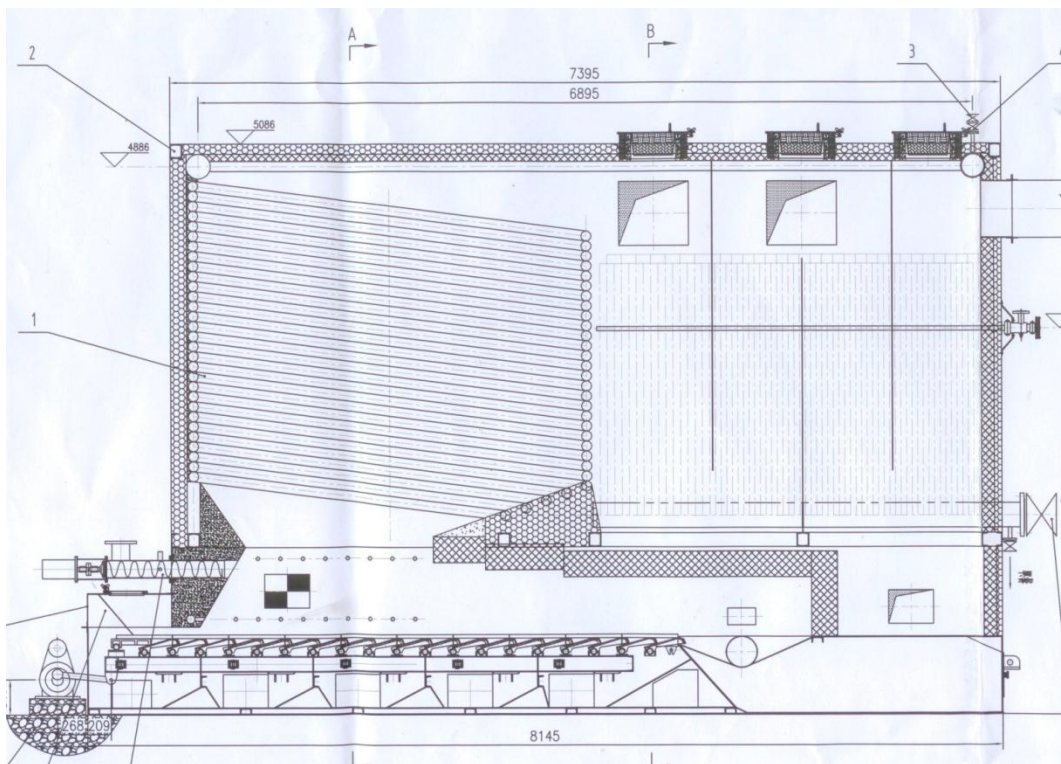


空预器前测量值（在9%氧量下折算）

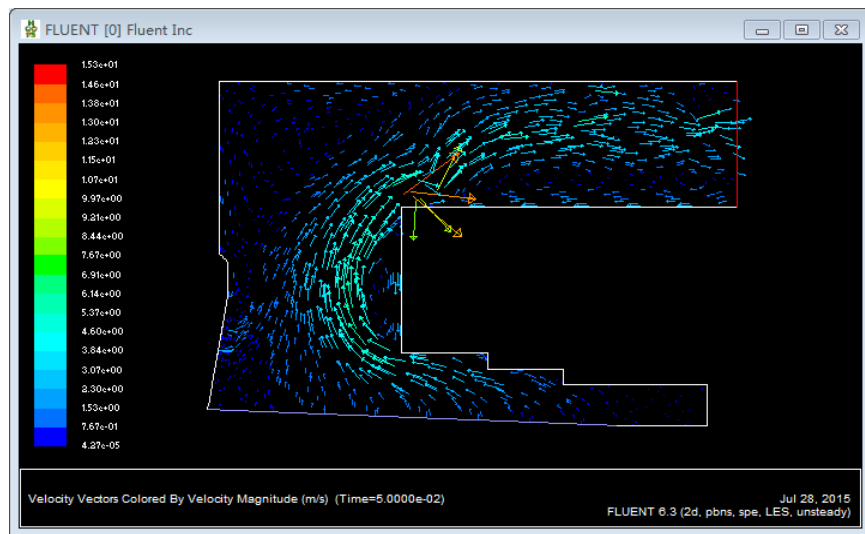
空气过 量系数	NOx mg/Nm ³	CO mg/Nm ³
5.33	431	144

由层燃煤锅炉简单改成的生物质成型颗粒锅炉

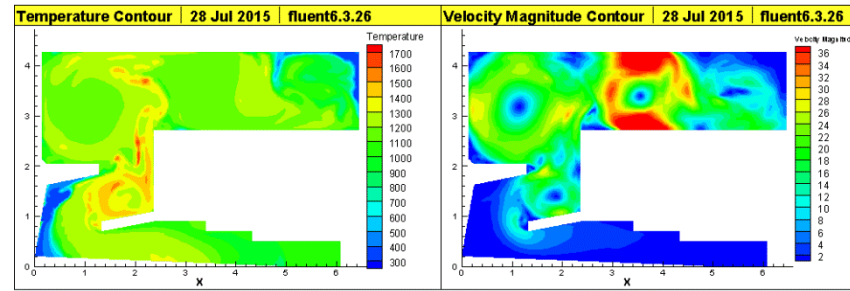
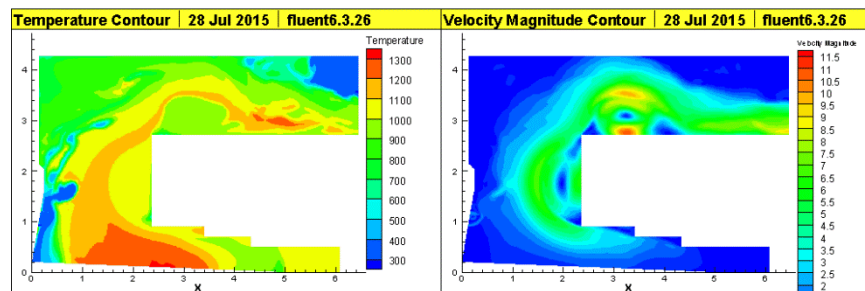
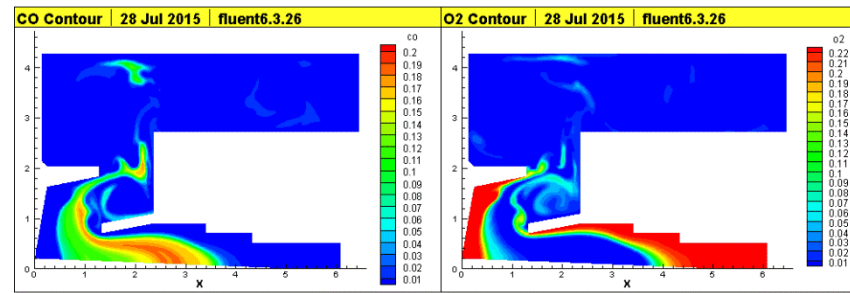
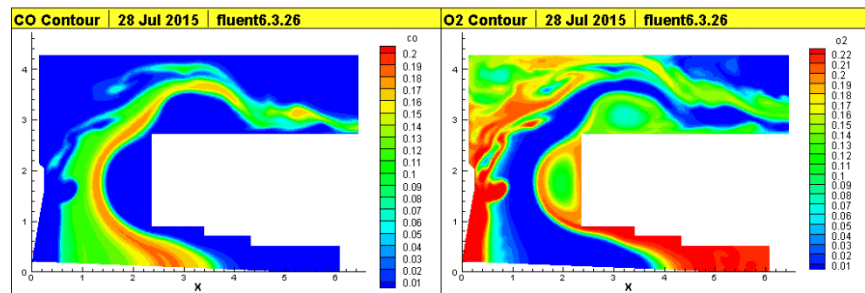
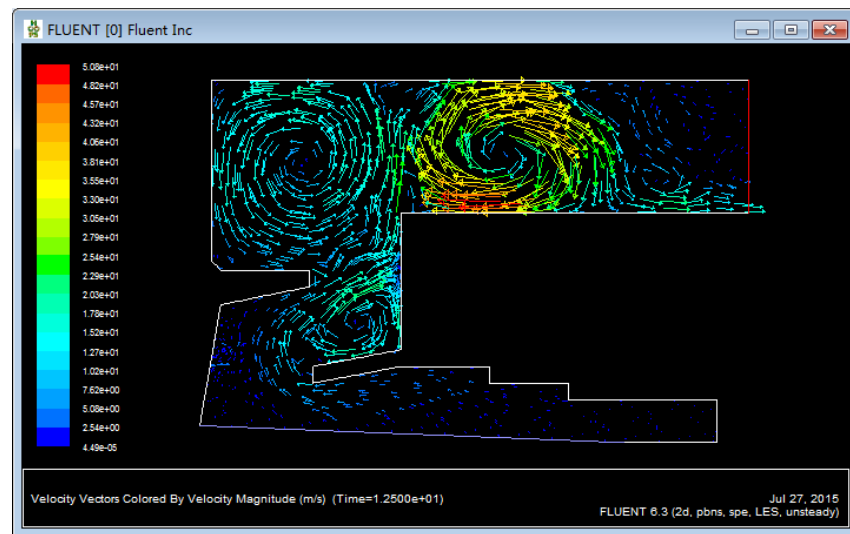
上海市标准：NOx 150mg/m³，CO 100mg/m³



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

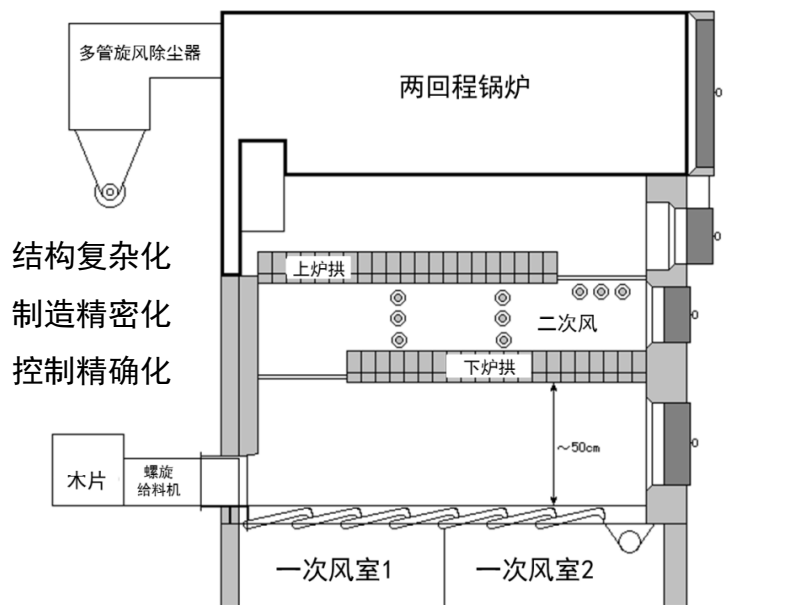


生物质挥发分约80%

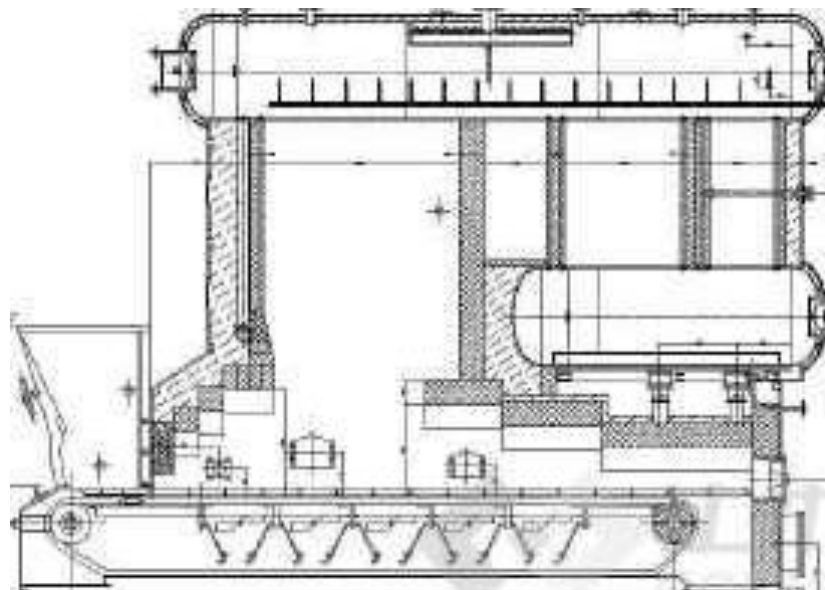
高挥发份燃料
复杂炉膛空间
空气分级燃烧



煤炭挥发分约20%

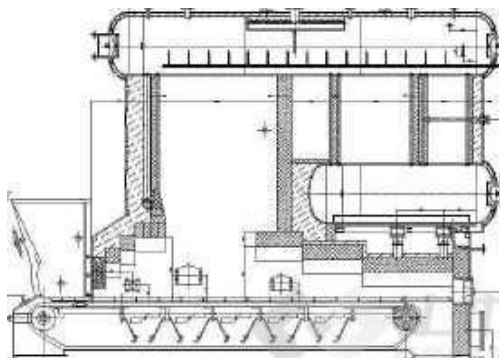


德国生物质锅炉：双炉膛，二次风

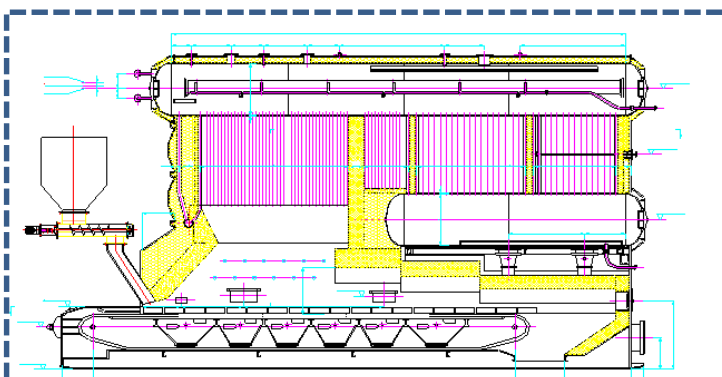


我国燃煤锅炉：单炉膛，一次风

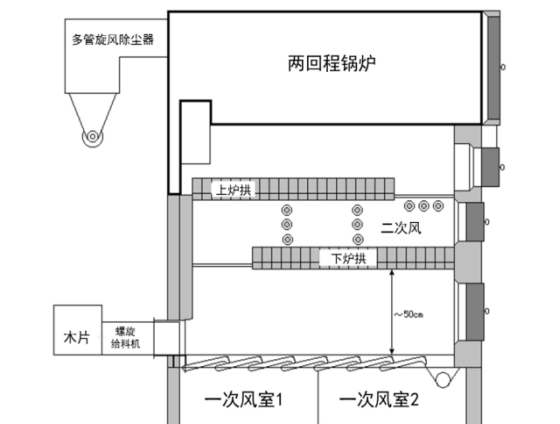
生物质锅炉必须采用专门设计的炉膛结构



燃煤链条炉排锅炉



链条锅炉改成的生物质锅炉



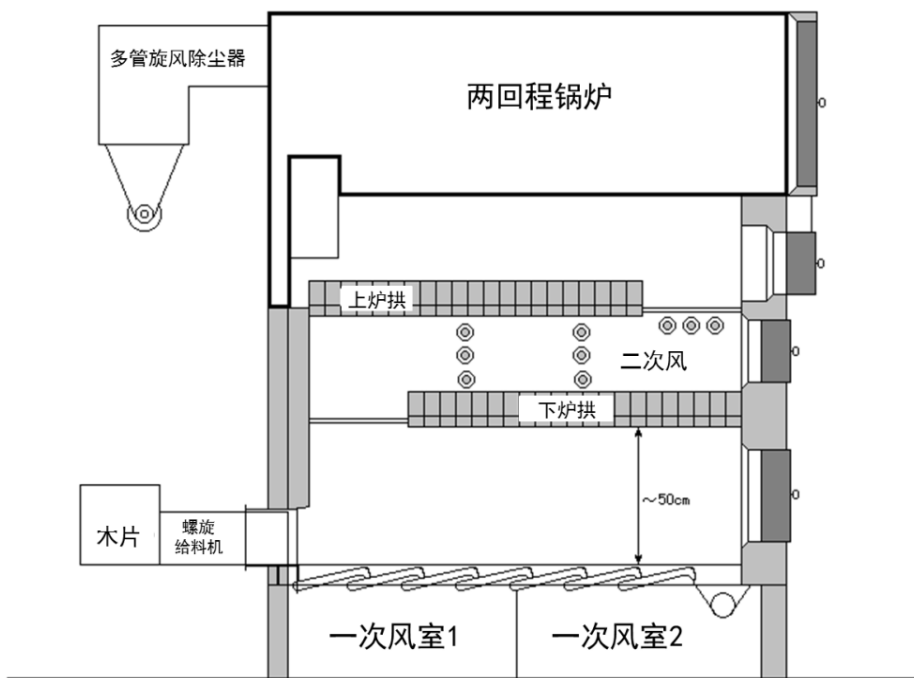
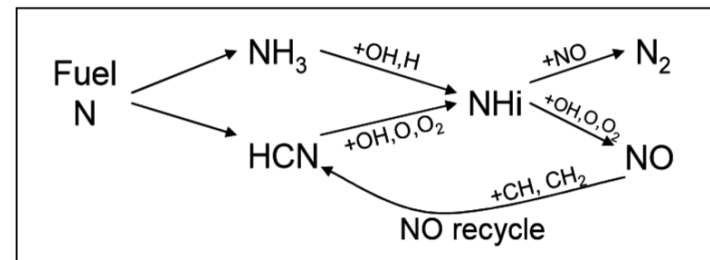
德国生物质往复炉排锅炉



后部裸露的炉排，残碳，漏风

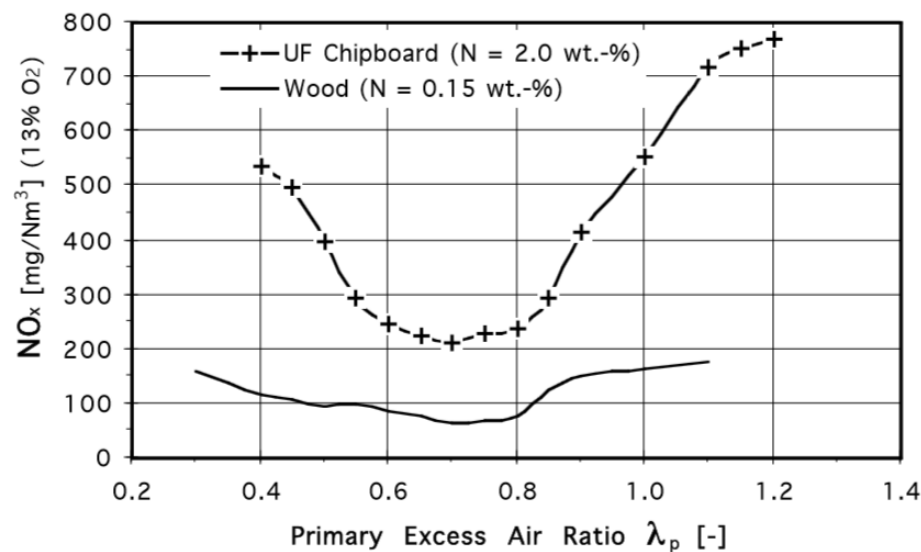
空气分级低NO_x燃烧技术

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

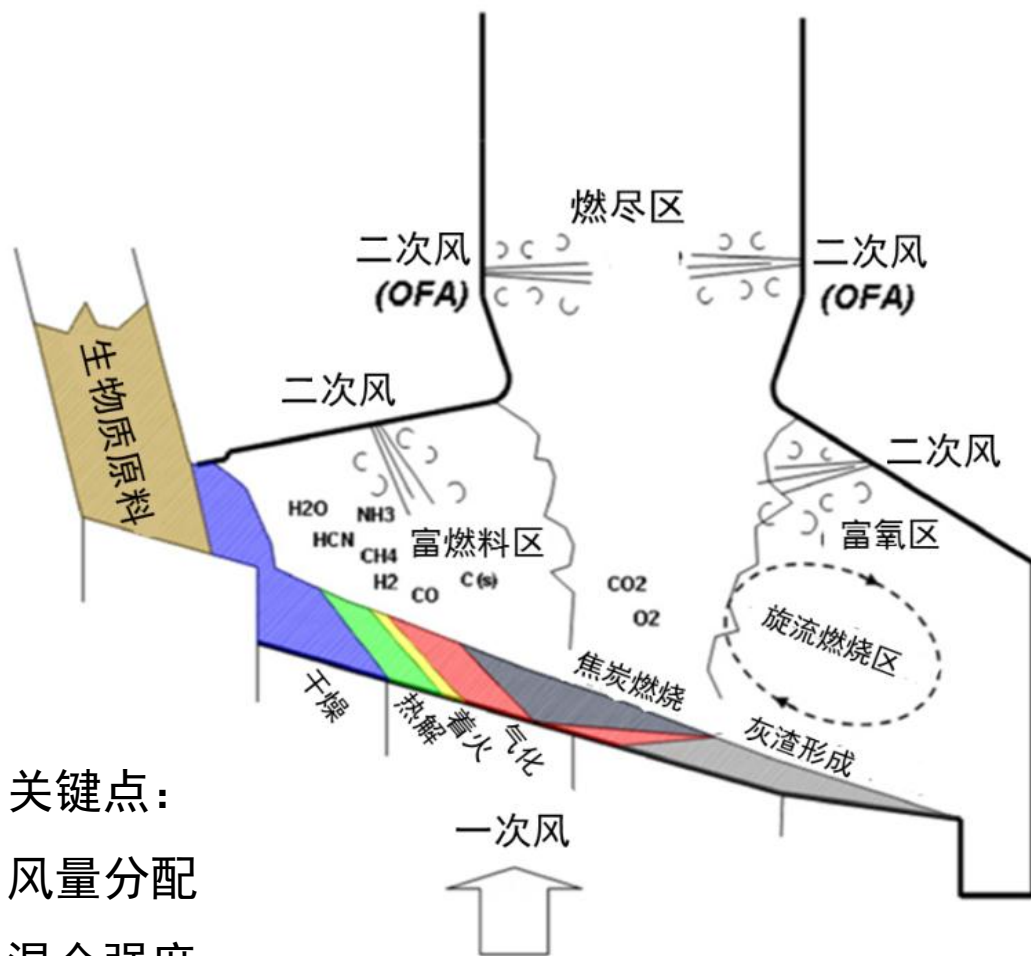
二次风分级，适当氧量



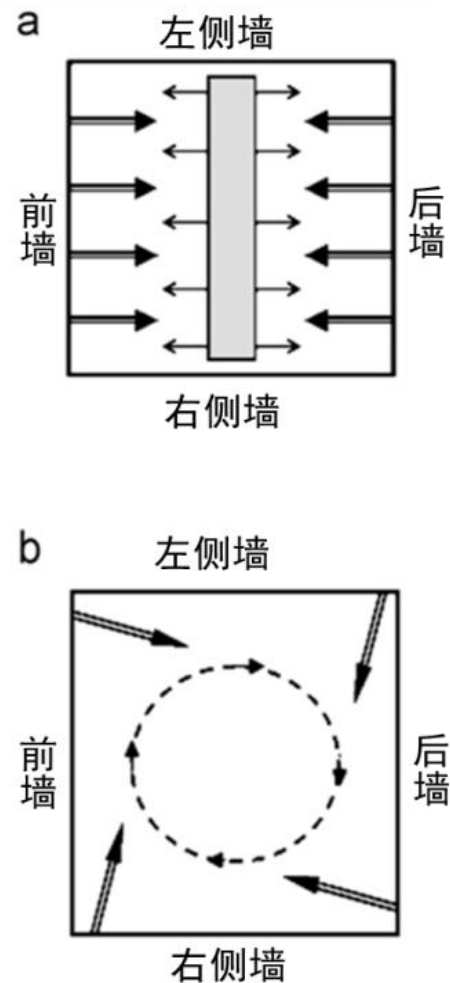
过高的一次风量将使较多的NH₃氧化为NO

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)

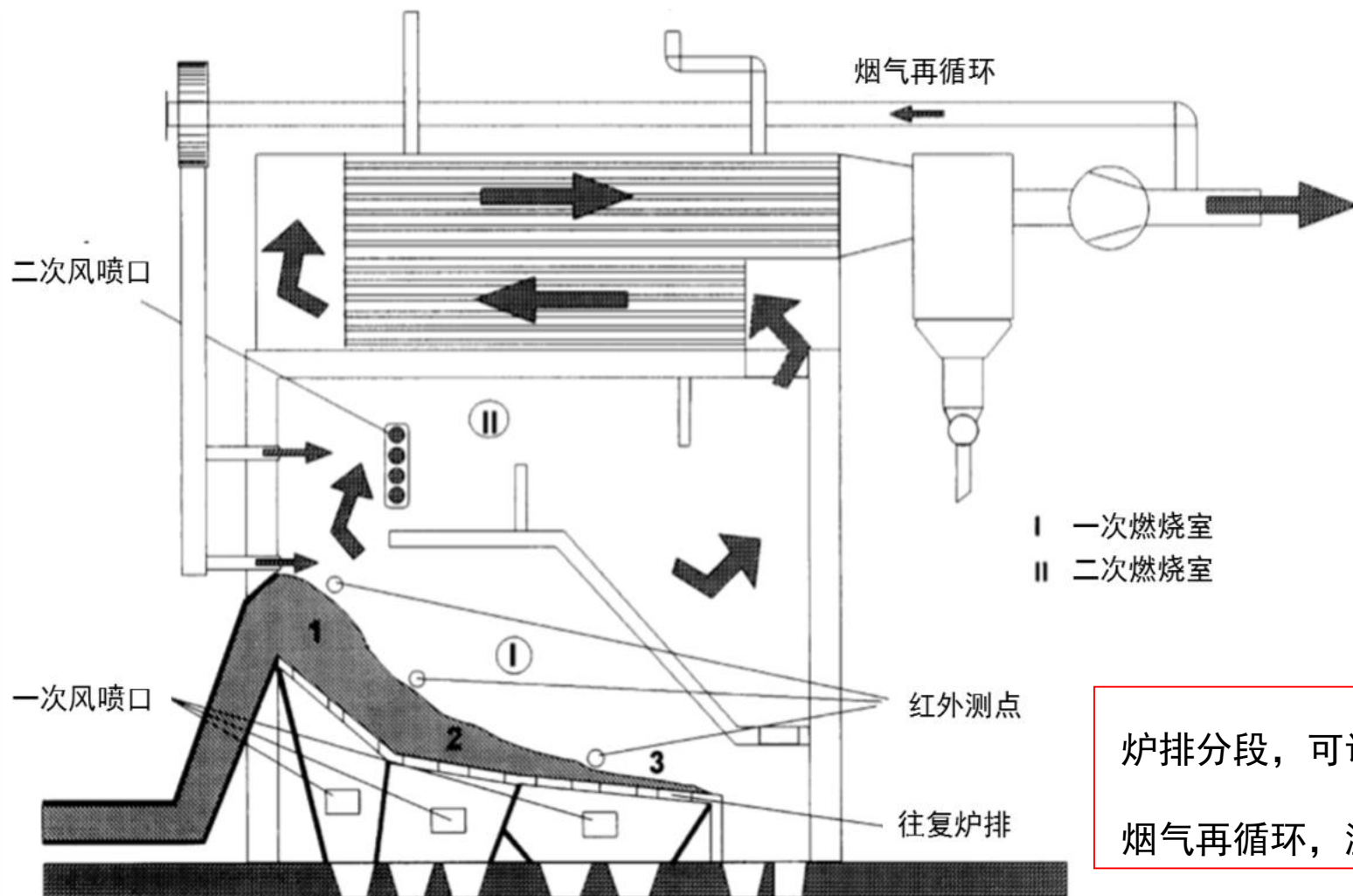


关键点:
风量分配
混合强度



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

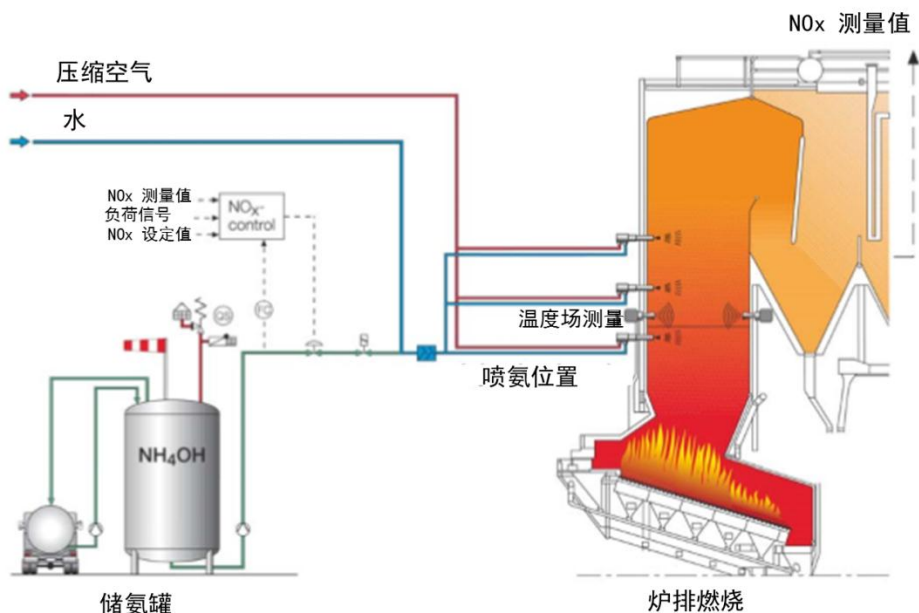


炉排分段，可调移动速度

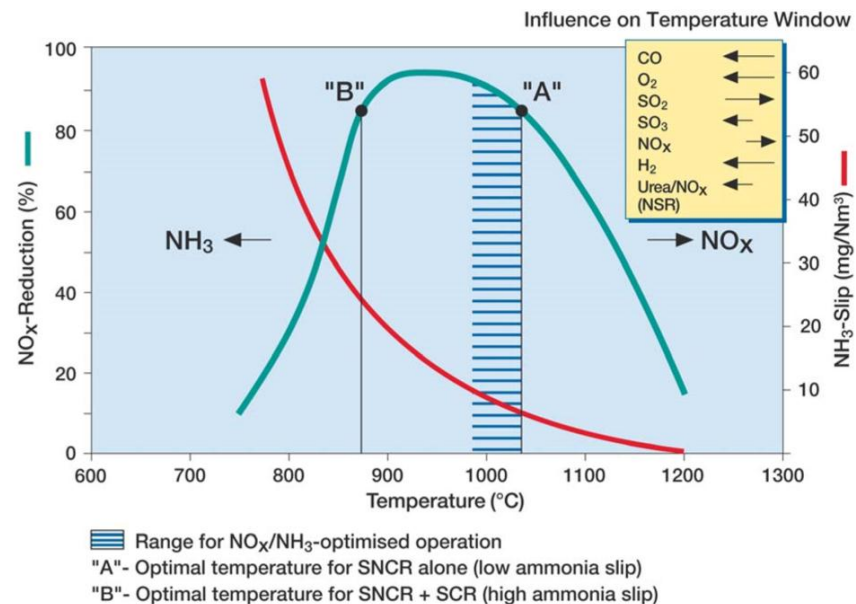
烟气再循环，温度与混合

选择性非催化还原（SNCR）技术

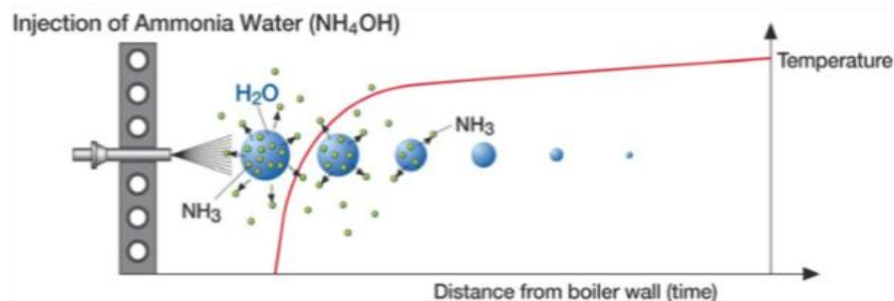
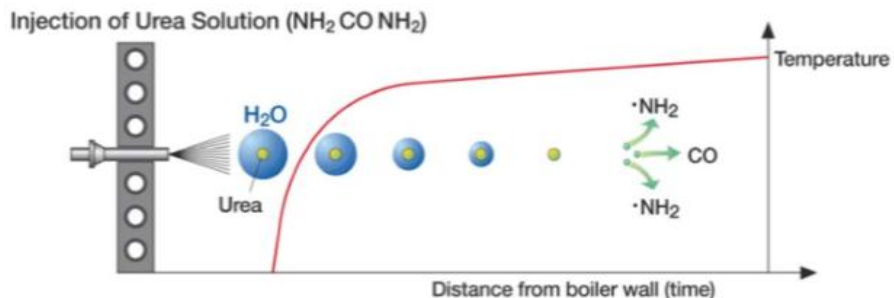
SNCR应用注意事项



炉排锅炉采用SNCR的示意图（考虑负荷变化）



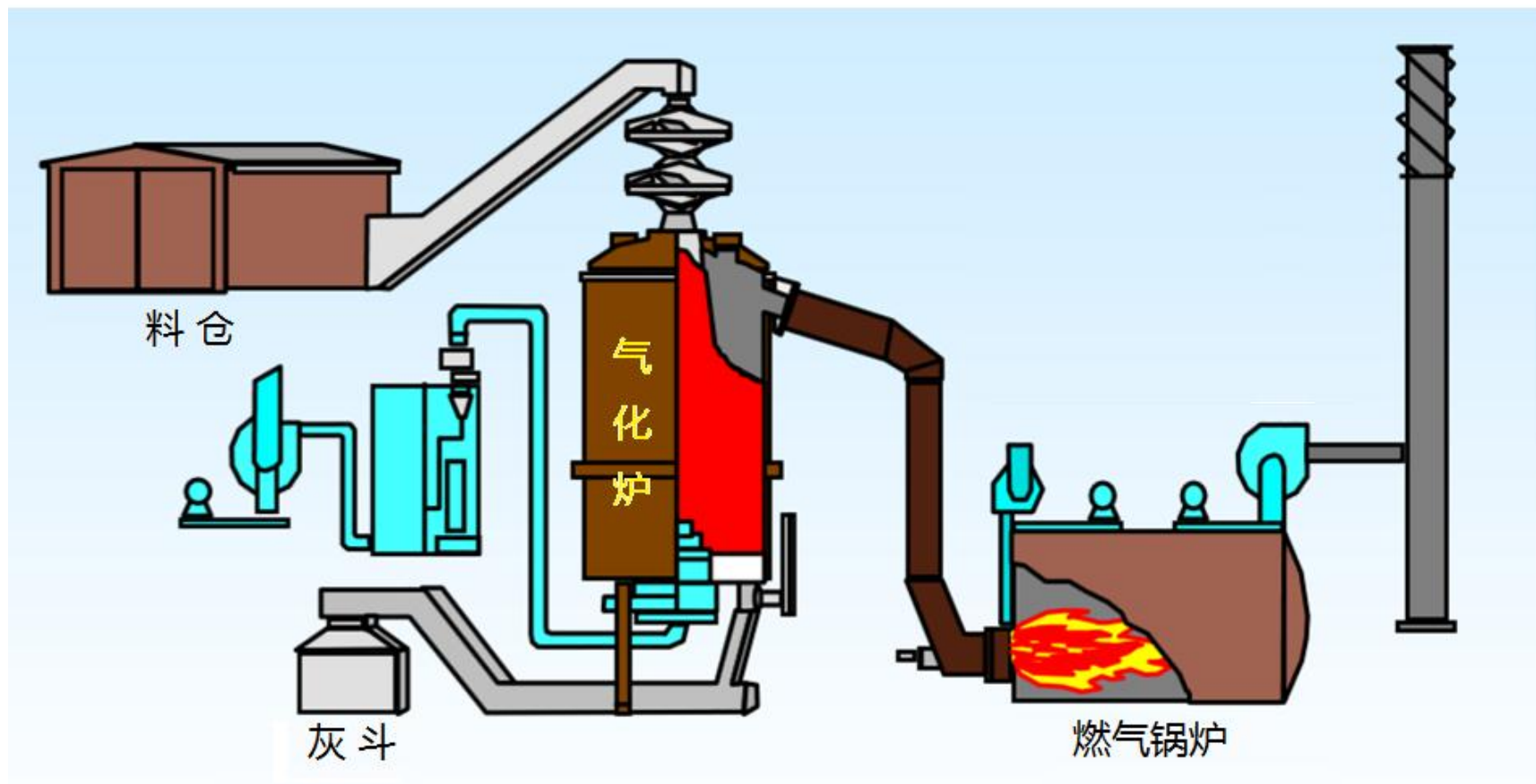
SNCR反应温度窗口



水溶液尿素和氨在炉内喷射过程中演化示意图

生物质气化技术

生物质气化-燃烧系统

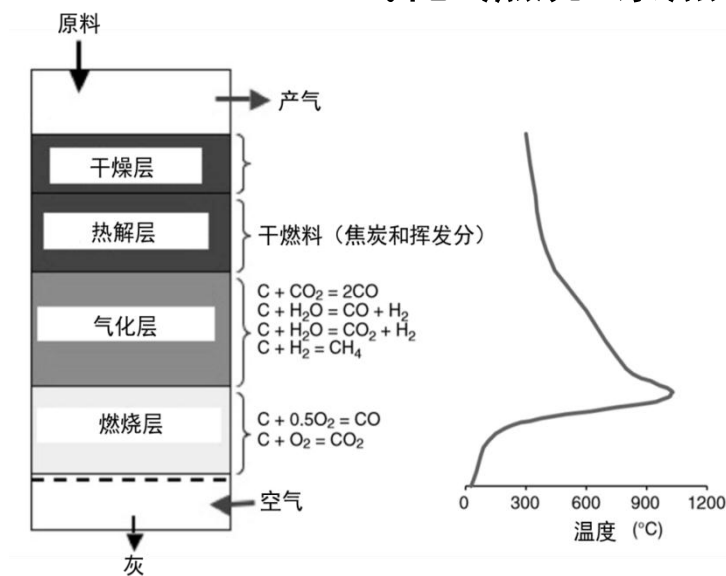


燃烧效率高，相对清洁；生物质含K等碱性金属，气化炉设计不当会结焦；
气化气含焦油，含N，燃气系统设计不当，管道堵塞，CO、NO_x排放都会高。

生物质气化-燃烧一体化技术



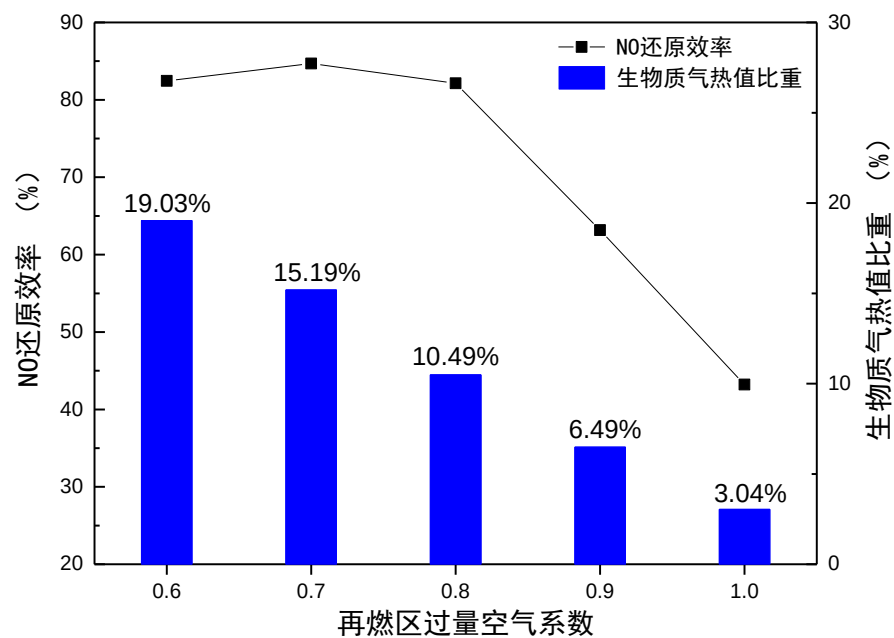
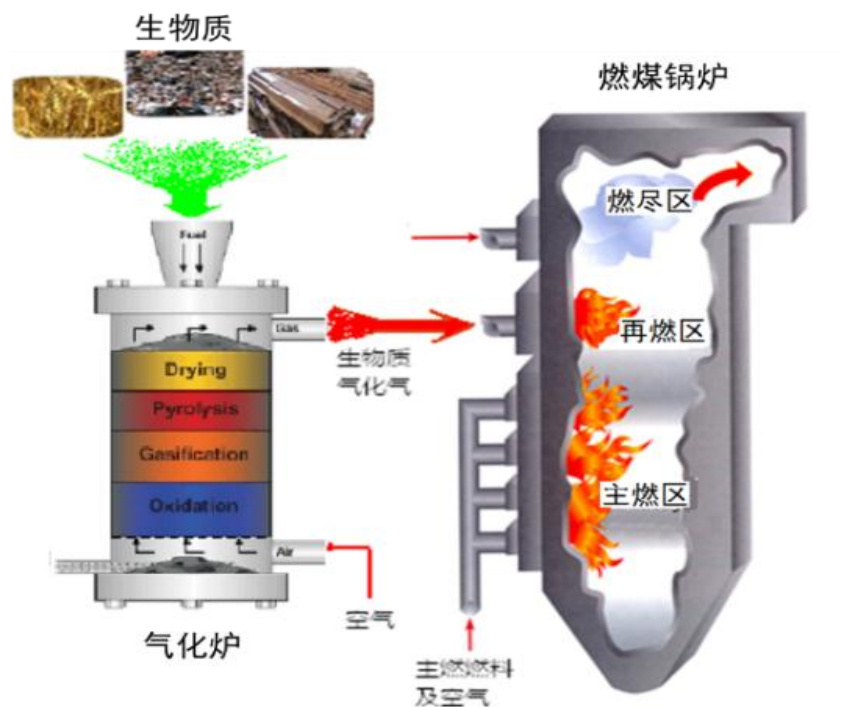
气化-燃烧-余热锅炉-烟气净化系统集成



上吸式固定床气化炉原理

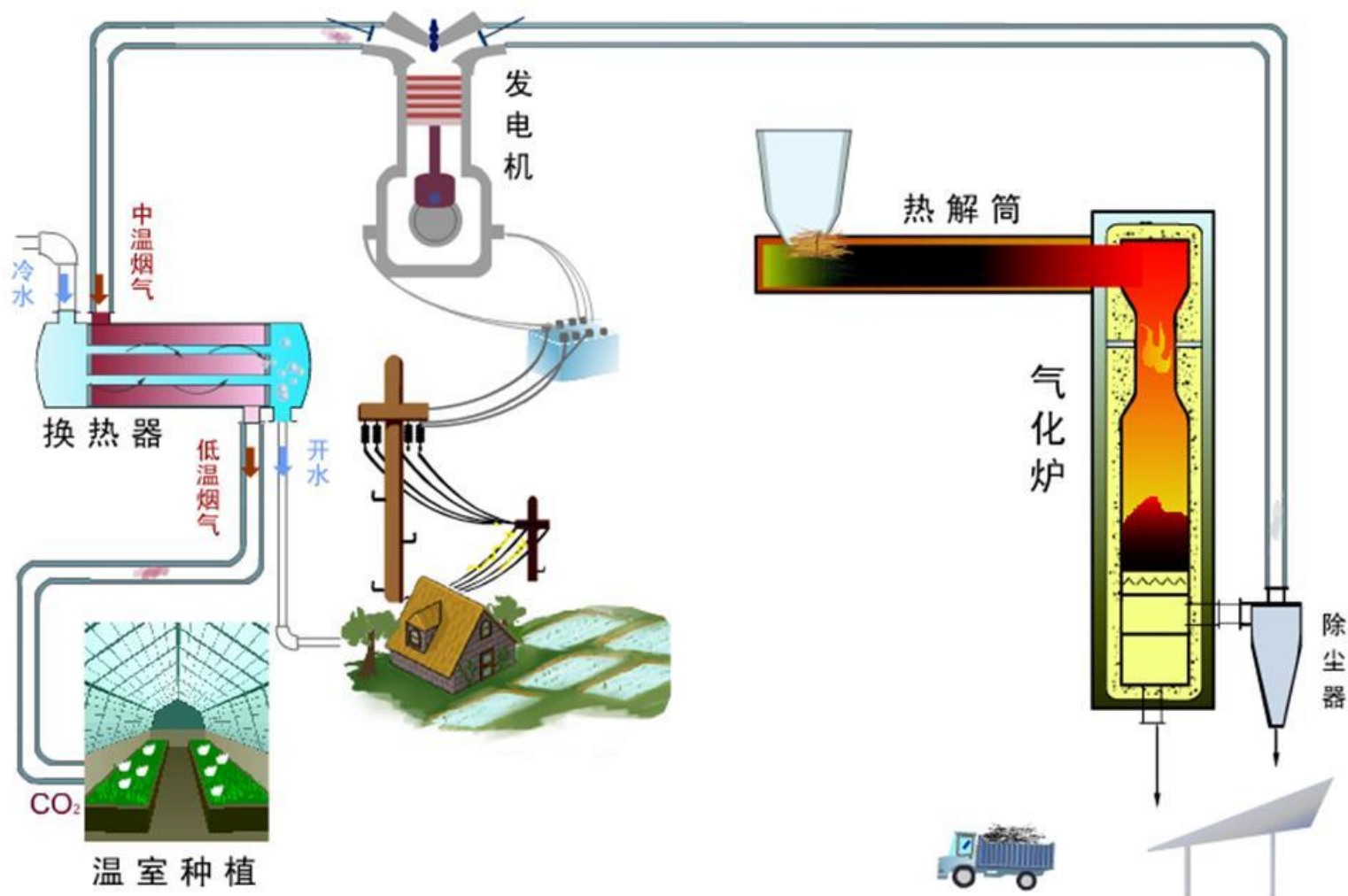
1. 对于灰熔点低的生物质，合理设计气化炉和优化运行，控制局部高温；
2. 设计分级燃烧室，保证气化气燃尽，降低NO_x排放。

生物质气化与煤混烧技术

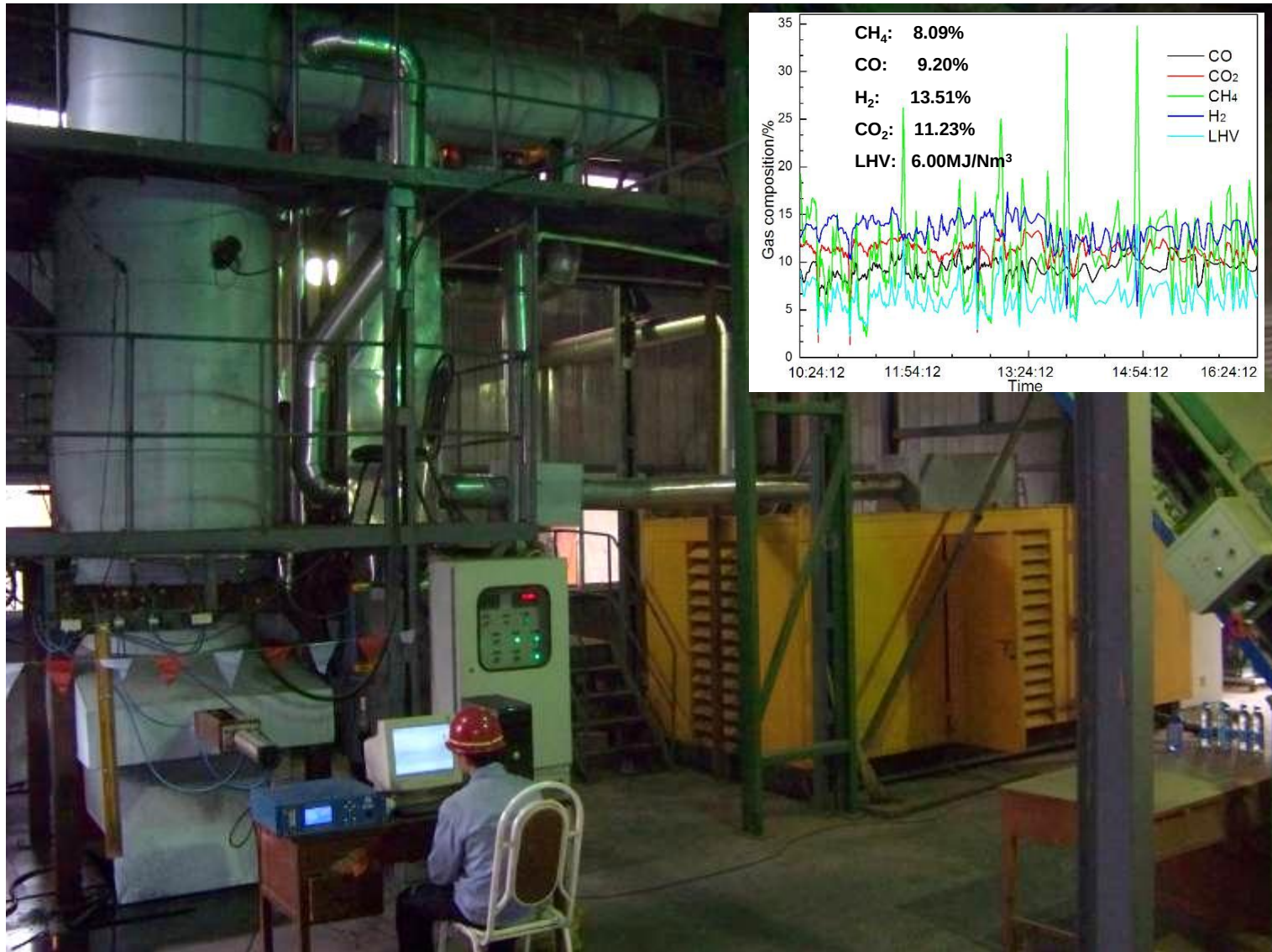


生物质气化气用于燃煤锅炉再燃及NO还原效率

以村为单位的生态循环型 生物质气化分布式供能系统

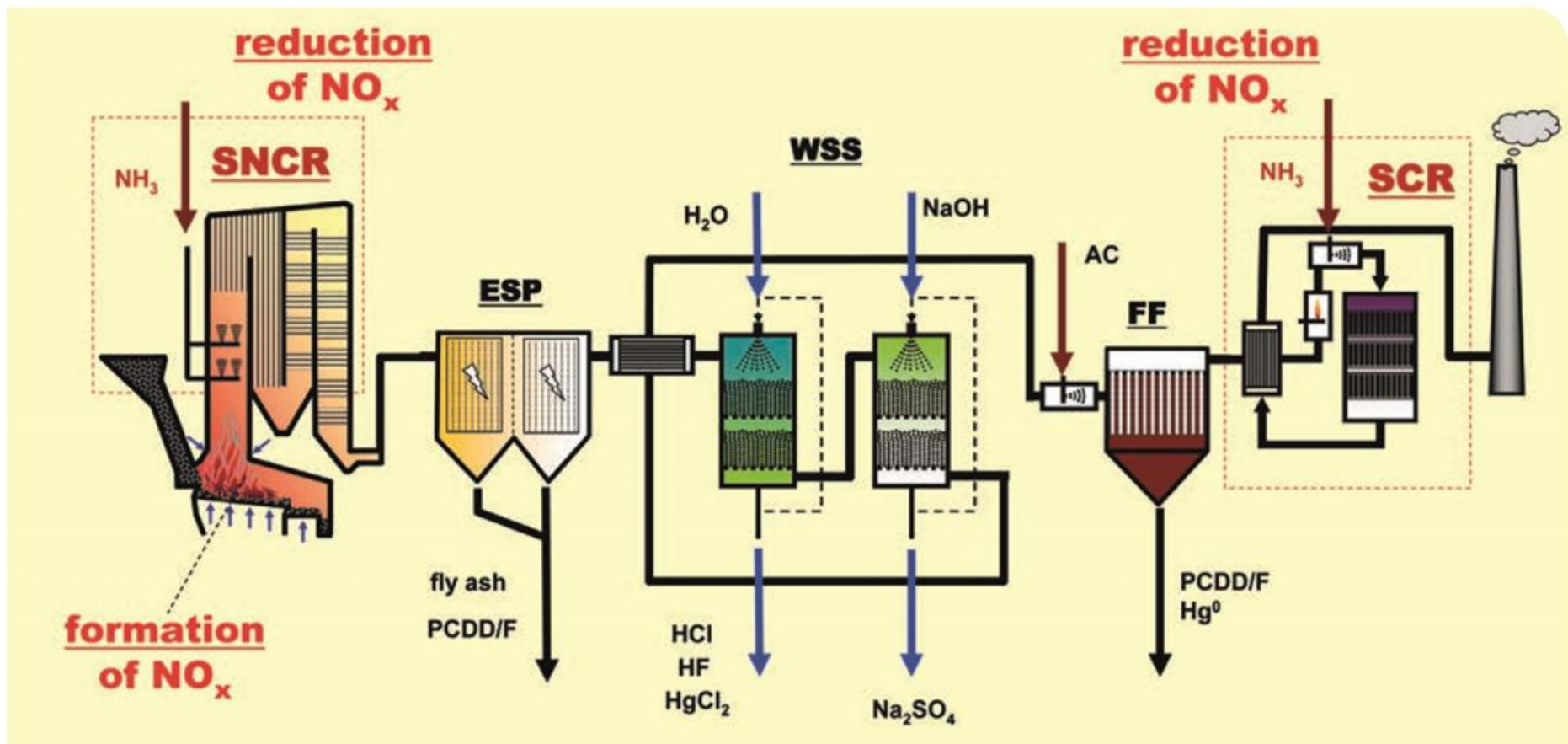


60kW稻草气化发电示范工程



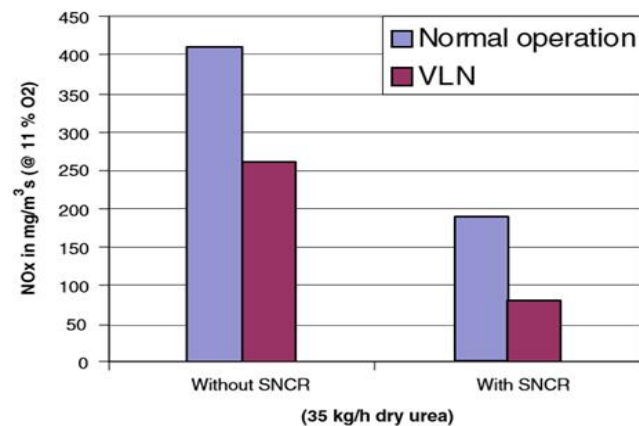
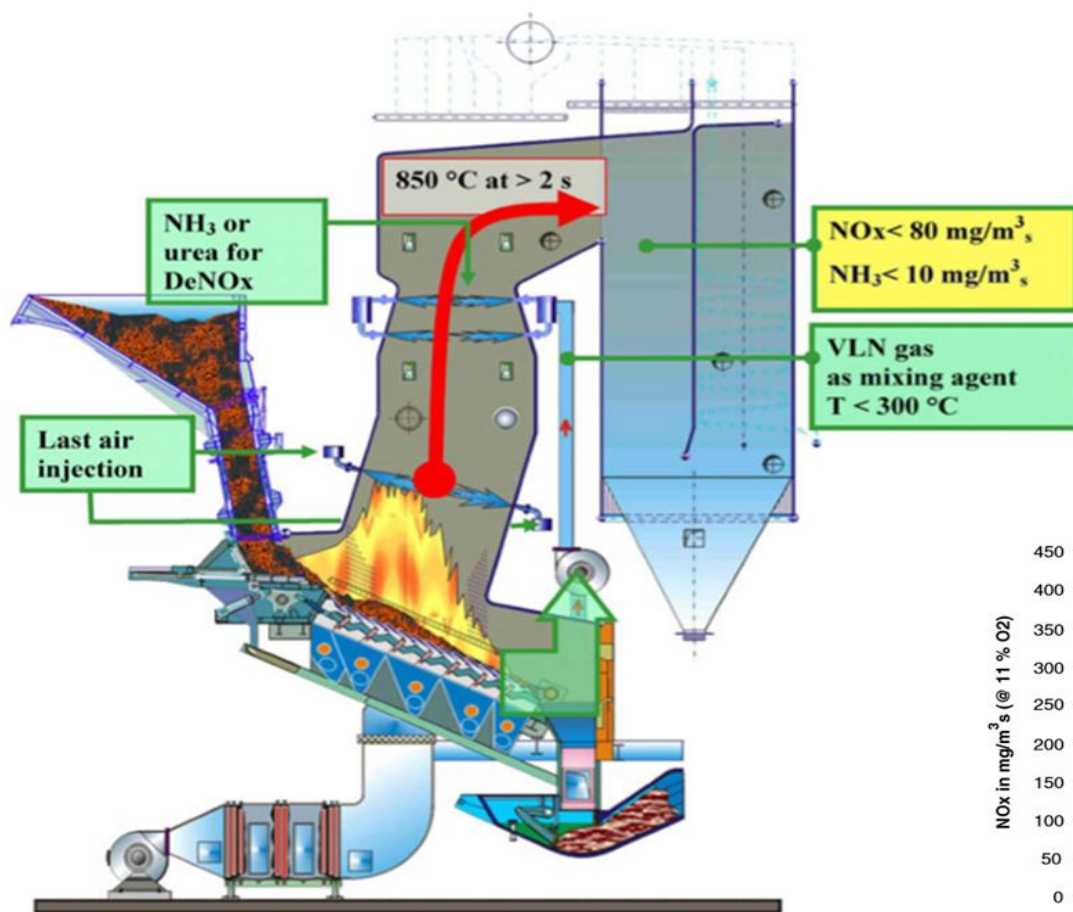
生活垃圾清洁燃烧与气化

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）

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）

燃烧过程中二噁英的生成

气相合成



500~800°C 燃烧区

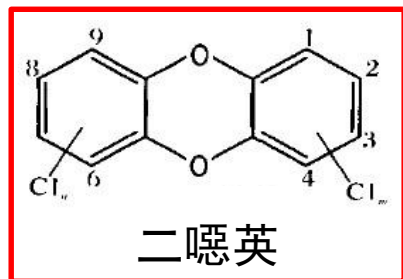
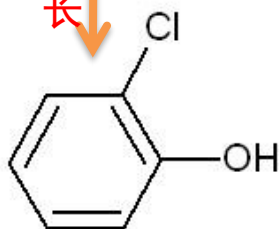
不完全燃烧

短链氯代烃

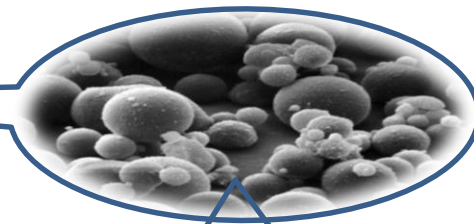
如 CH_2Cl_2

链增长

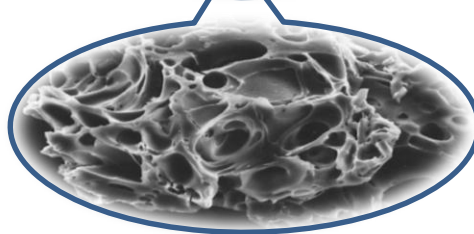
二噁英前驱物



异相合成



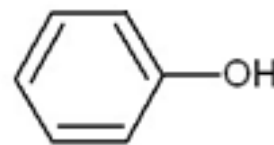
飞灰表面



300~400°C 尾部低温区

缺陷石墨结构的残碳

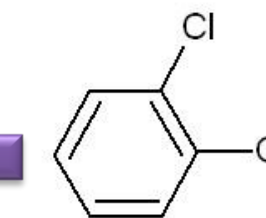
金属催化
氧



芳香族物质

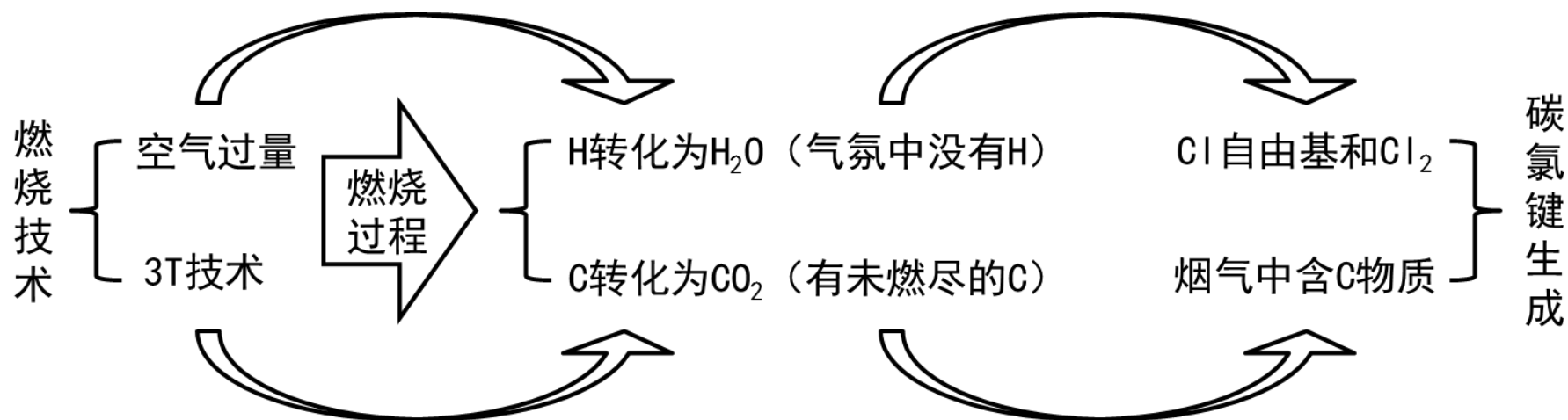
氯化

金属催化

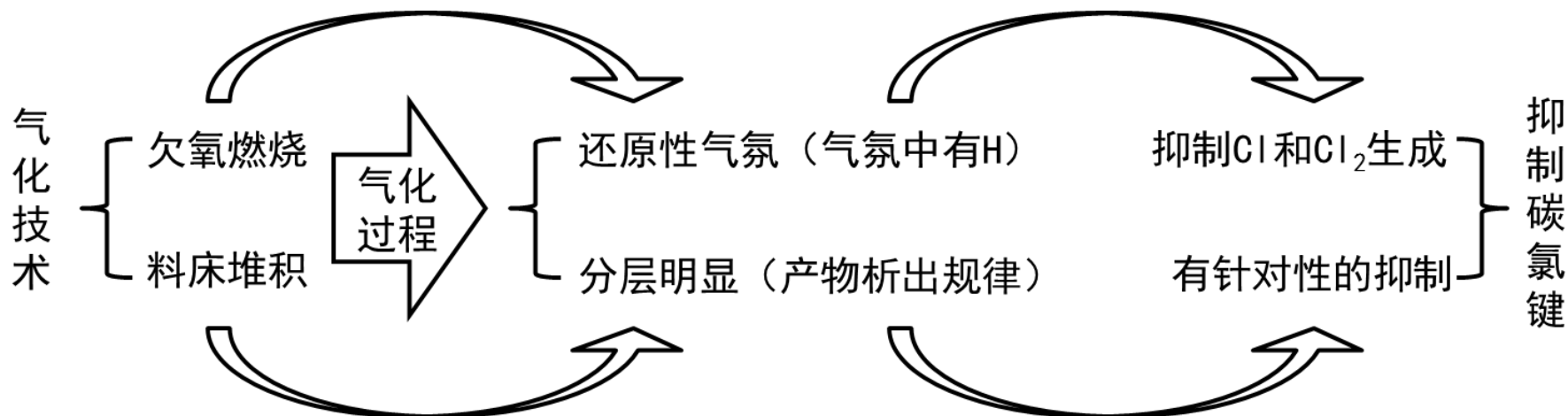


二噁英前驱物

燃烧技术：“以C为核心的竞争反应”



气化技术：“以Cl为核心的竞争反应”



垃圾气化并均相转化对二噁英的抑制效果



主要烃类和含氯产物的分布规律



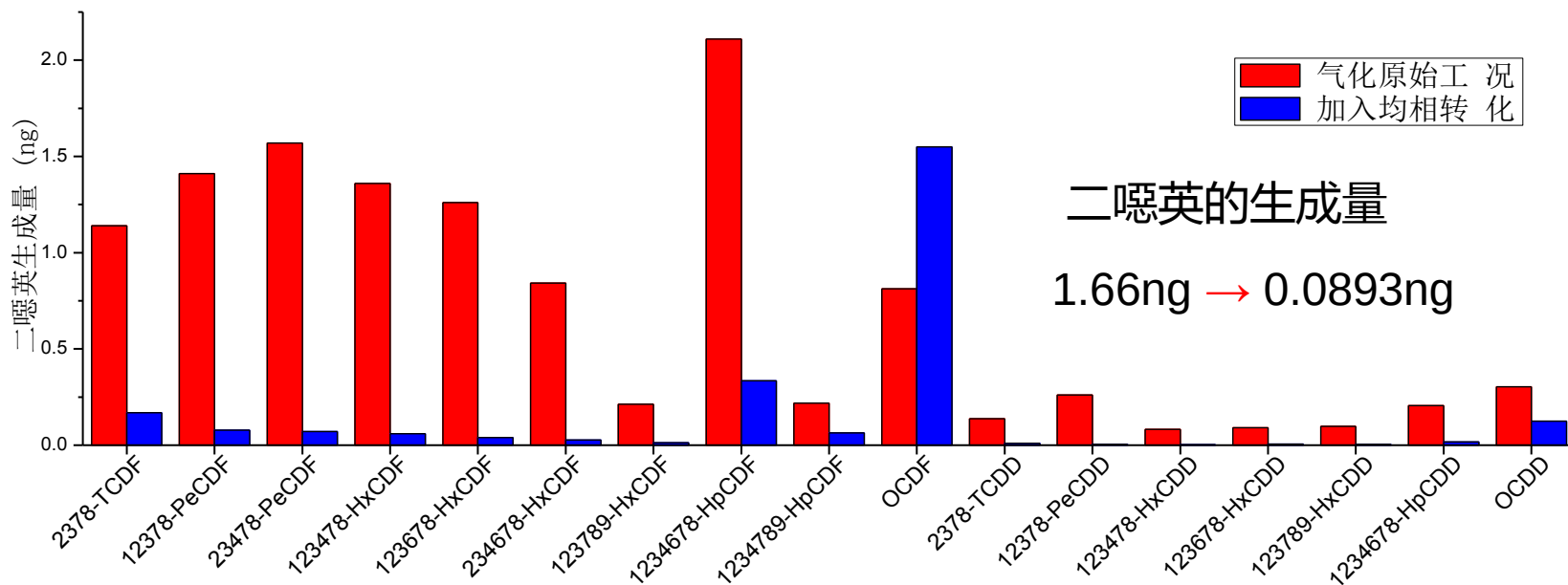
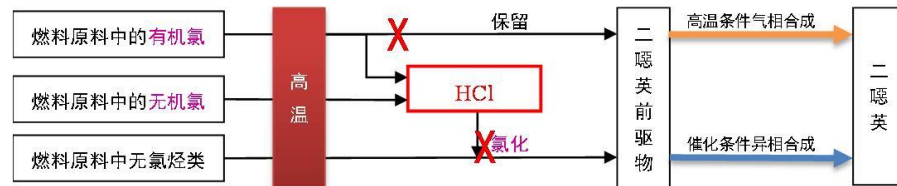
H₂对典型烃类分子氯化 and 脱氯的影响



典型塑料热解产物中Cl向HCl的定向转移



真实气化产物中C-Cl和二噁英向HCl的定向转化



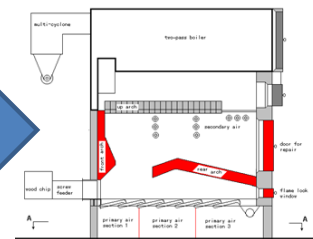
在实验中使用了20%PVC和80%松木（质量分数）配置成的高氯含量燃料。

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



燃料质量

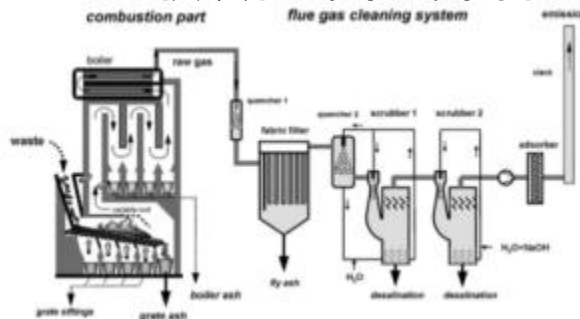
设备能耗

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

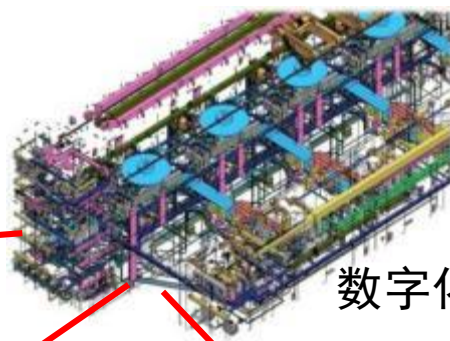
差距

开展国际合作
针对中国问题

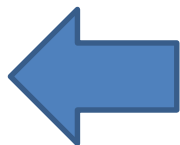
研究、设计、制造、应用相结合的研发平台
机理、中试、示范

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

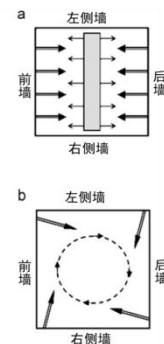
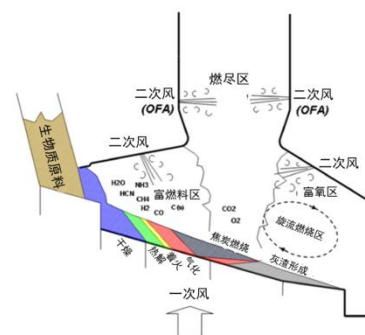
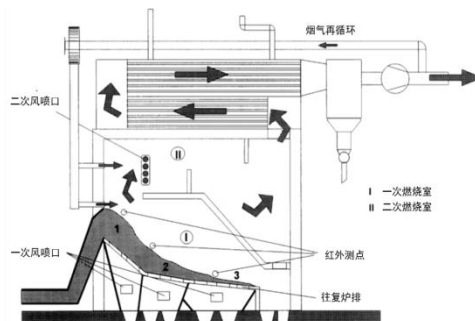
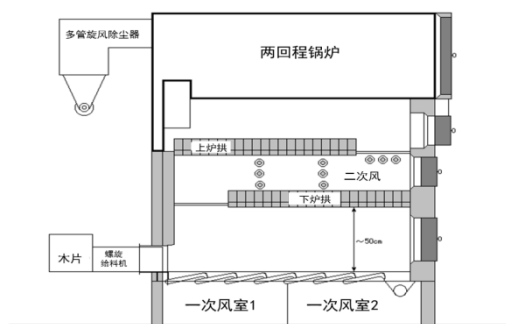
预处理技术

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



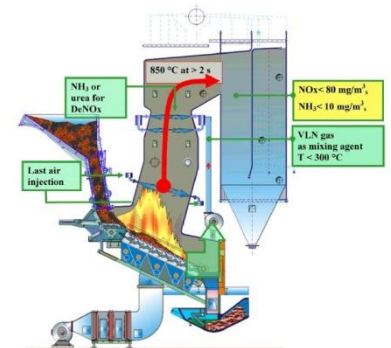
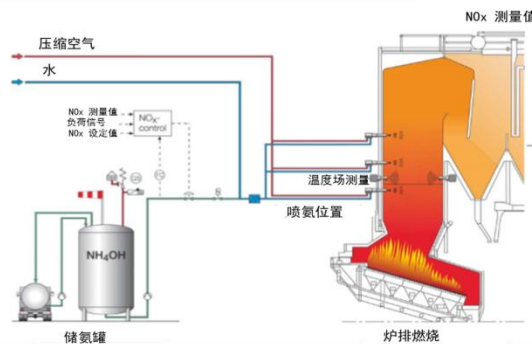
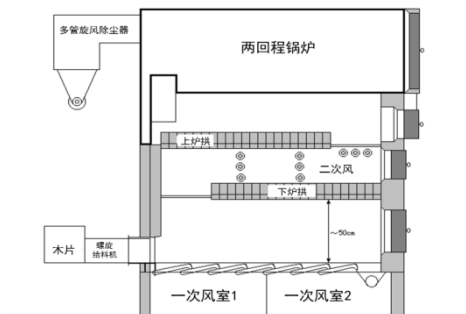
锅炉炉型选择

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。



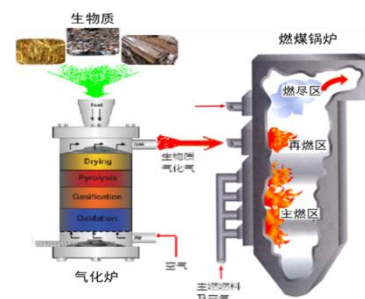
NO_x排放控制技术

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和低排放，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。





生物质能研究中心

Biomass Energy Research Center



上海交通大学

SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY

谢谢！