



# 生物质循环流化床直燃发电锅炉技术研究和开发

李诗媛 博士

中国科学院工程热物理研究所

2011年11月1日

# 报告主要内容

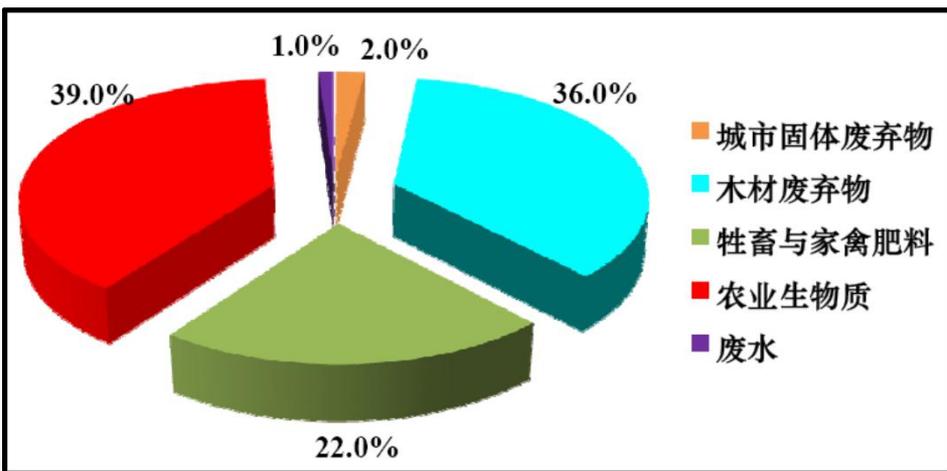
- 1 背景
- 2 国内外生物质直燃发电技术现状
- 3 生物质锅炉需解决的技术问题
- 4 生物质锅炉关键技术
- 5 75 t/h次高温次高压生物质锅炉介绍
- 6 结语

# 一、背景

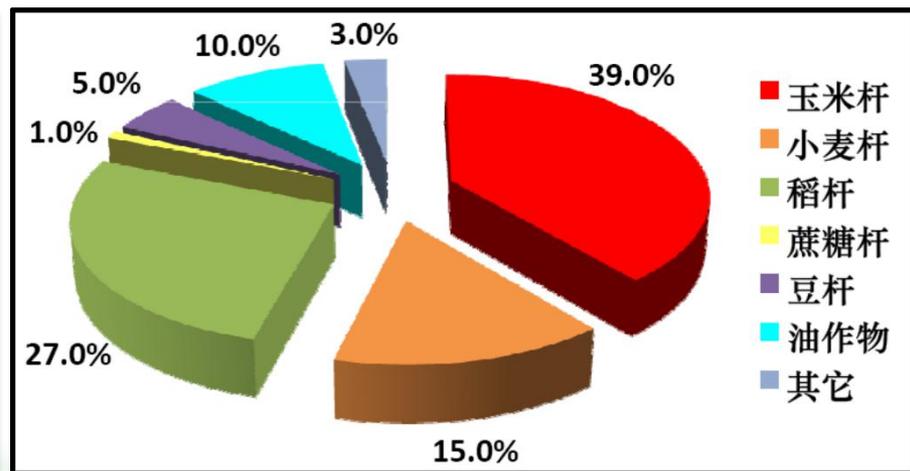
- 生物质能资源是可再生能源资源的重要组成部分。
- **生物质规模化燃烧**是在近中期能够规模利用生物质能的现实技术。
- 根据国家《可再生能源中长期发展规划》到2020年生物质发电装机达到**3000万千瓦**；2011年7月全国农村能源工作会议上提出力争到2015年生物质发电装机达到**1300万千瓦**。
- 生物质直接燃烧供热和发电是生物质能**规模化利用**的主要方式之一，它具有处理量大、能源转化速度快以及二氧化碳近零排放等突出的优点。

# 一、背景

- 我国农业生物质资源丰富；
- 生物质种类繁多，要求多种生物质混燃；
- 国外技术局限于**林业生物质**和**单一生物质的燃烧**，  
无法满足我国**多种农业生物质混烧**的要求；



我国生物质组成



我国农业生物质组成

## 二、国内外生物质直燃发电技术现状

国外：与煤混燃；水冷振动炉排炉；单一燃料

国内：

### BWE水冷振动炉排燃烧技术

国能生物发电集团有限公司

75-130t/h  
(12-25MW)

特点

- 国外技术成熟，商业运行较多；
- 适用于单一生物质燃料；
- 燃烧效率低；
- 锅炉本体造价高；
- 关键技术和设备需引进和进口；

### 循环流化床燃烧技术

中科院工程热

浙大、东南大学等

其他

10-220t/h

(-50MW) 中国科学院工程热物理研究所

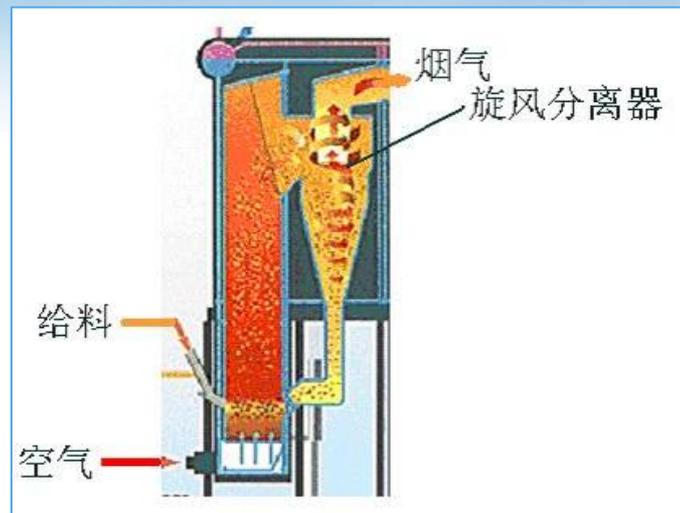
特点

- 适用于多种生物质燃料；
- 燃烧效率高；
- 锅炉本体造价低；
- 关键技术和设备完全自主知识产权；

# 循环流化床燃烧特征与优点:

## 燃烧方式: 流态化, 循环燃烧

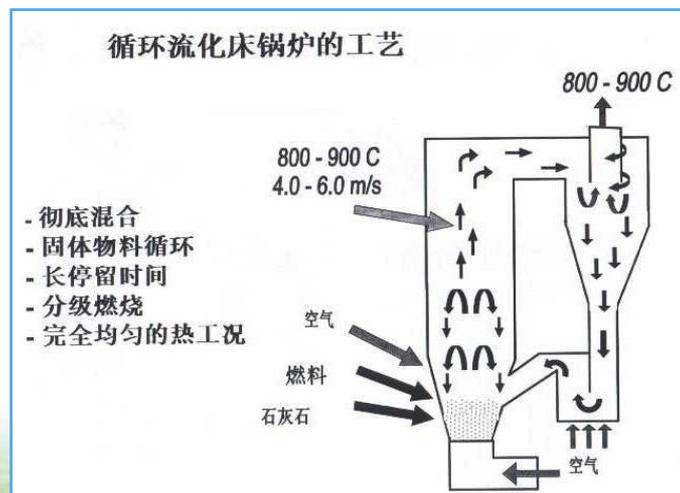
- ❖ 物料在炉膛下部始终处于**流化燃烧**状态。
- ❖ 随烟气带出炉膛的物料被分离装置回收, 经返料装置返回炉膛循环再燃, 即**循环燃烧**。



## 循环流化床燃烧技术已成为当前生物质燃烧研究及应用的热点。

### 循环流化床锅炉的优点:

- 燃料适应性广, 燃用常规原煤, 及劣质煤和劣质燃料。
- 环保性能好, 高效脱硫, 氮氧化物排放低, 满足环保要求。
- 易操作, 燃烧稳定安全, 燃烧效率高
- 负荷调节范围大, 调节比达0:110%。
- 灰渣易于综合利用。



# 三、生物质锅炉需解决的技术问题

## 生物质自身特性:

- 能量密度小
- 水分变化大

给料问题

- 挥发分高
- 氢碳比、氧碳比高
- 灰分低

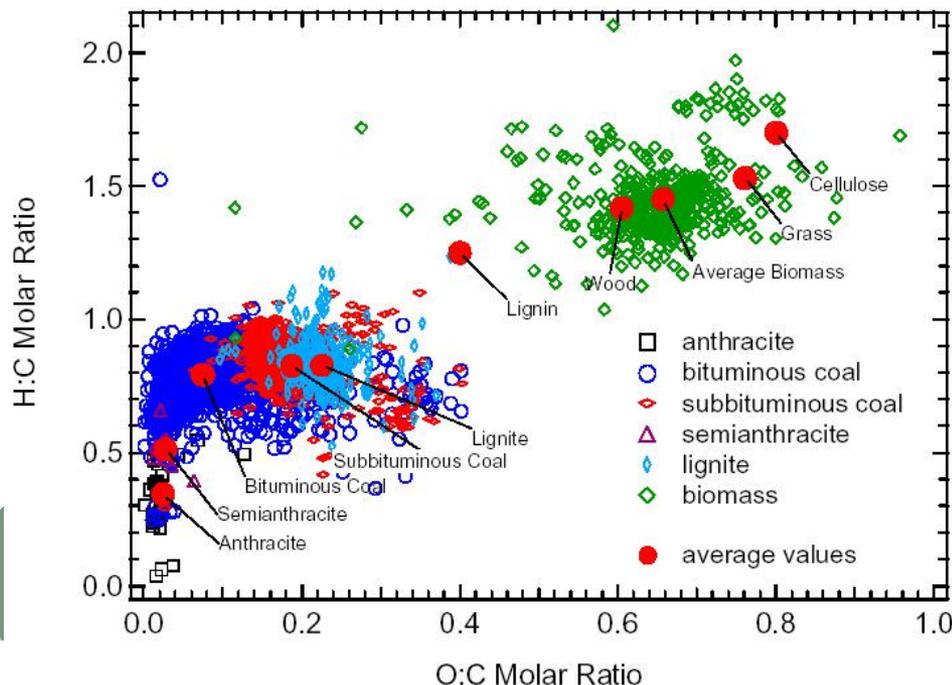
燃烧问题

- 碱金属元素 (K) 含量高
- 碱土金属元素 (Ca、Mg) 含量高
- Cl 含量高

粘结积灰  
腐蚀问题

- 硫含量低
- 氮含量略高于煤

排放问题



# 生物质灰成分

| 灰成分                            | 单位 | 典型烟煤  | 小麦    | 玉米秸秆  | 果木枝条  | 棉秆    | 稻壳    | 沙柳木   | 玉米芯   |
|--------------------------------|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO <sub>2</sub>               | %  | 47.04 | 52.9  | 45.64 | 20.31 | 15.76 | 80.17 | 14.96 | 18.3  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | %  | 17.93 | 3.53  | 6.04  | 2.49  | 4     | 3.25  | 6.75  | 1.05  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | %  | 15.08 | 1.41  | 2.16  | 3.33  | 1.57  | 1.39  | 2.75  | 0.92  |
| CaO                            | %  | 6.05  | 6.55  | 9.35  | 47.32 | 18.92 | 4.92  | 53.04 | 2.92  |
| Na <sub>2</sub> O              | %  | 0.14  | 2.44  | 0.29  | 0.88  | 5.82  | 0.58  | 0.57  | 0.38  |
| K <sub>2</sub> O               | %  | 0.88  | 26.1  | 10.14 | 11.09 | 31.76 | 5.02  | 5.9   | 45.16 |
| MgO                            | %  | 0.71  | 3.61  | 16.24 | 6.83  | 8     | 1.53  | 8.27  | 3.63  |
| SO <sub>3</sub>                | %  | 6     | 5.06  | 3.3   | 2     | 5.46  | 0.6   | 0.66  | 1.21  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | %  | 0.19  | 1.3   | 3.91  | 5.123 | 3.78  | 0.19  | 5.34  | 4.82  |
| Cl                             | %  | 0.03  | 1.137 | 0.574 | 0.08  | 0.226 | 0.091 | —     | 0.263 |

# 生物质中无机元素含量（等离子体发射光谱ICP-OES检测）

| ICP-OES<br>结果 | 单位   | 麦秆    | 棉杆    | 玉米秸秆  | 皇竹草   | 毛竹    | 巨菌草   |
|---------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Al            | ug/g | 324.9 | 692.4 | 2920  | 348.0 | 131.5 | 200.2 |
| Ca            | ug/g | 3375  | 8162  | 12479 | 6003  | 179.9 | 1041  |
| Fe            | ug/g | 732.9 | 1205  | 4766  | 863.5 |       | 225.9 |
| K             | ug/g | 17962 | 8529  | 10231 | 12043 | 993.5 | 16129 |
| Mg            | ug/g | 1773  | 2442  | 7021  | 2157  | 119.8 | 767.5 |
| Na            | ug/g | 1016  | 1175  | 296.7 | 110.8 | 13.19 | 318.3 |
| P             | ug/g | 487.6 | 1186  | 1548  | 1222  | 38.17 | 888.0 |
| Si            | ug/g | 237.4 | 103.4 | 500.7 | 454.1 | 209.7 | 3806  |

## 四、生物质锅炉关键技术

### 生物质锅炉需要解决的技术问题：

- ❖ 给料问题
- ❖ 燃料多样性，水分含量高、波动大问题
- ❖ 如何合理组织燃烧问题
- ❖ 床料粘结问题（造成分离器和返料腿堵塞）
- ❖ 受热面积灰腐蚀问题（沾污腐蚀）

### 生物质锅炉关键技术：

- 不同种类生物质燃料输送技术；
- 不同种类循环流化床燃烧技术；
- 床料粘结、结团控制技术；
- 受热面积灰控制技术；
- 高、低温腐蚀控制技术；

# 生物质流态化燃烧粘结问题

固体颗粒粘结对于燃烧设备的影响主要表现为：

- ❖ 一方面是发粘的生物质灰沉积在受热面上，很难清除，不仅降低受热面的换热效率，同时造成受热面的严重腐蚀；
- ❖ 另一方面，固体颗粒的粘结将形成床层内结块，分离器下部锥段、料腿以及返料器堵塞，当结块越来越多，体积越来越大，将影响流化床的流化和物料循环，最终导致流化床不能运行。



# 生物质循环流化床锅炉受热面积灰腐蚀机理

## — 固体颗粒粘结 (Agglomeration) 以及沾污 (碱金属) 腐蚀流态化粘结机理

### ❖ 固体颗粒共熔物包裹机理

#### — 两个条件

- (1) 以碱金属为主体的共熔物形成—物理化学变化;
- (2) 发生Si元素参与的化学反应。

### ❖ 固体颗粒碰撞式粘覆机理

— 剧烈地颗粒碰撞 → 液态共熔物的传递 → 固体颗粒的团聚

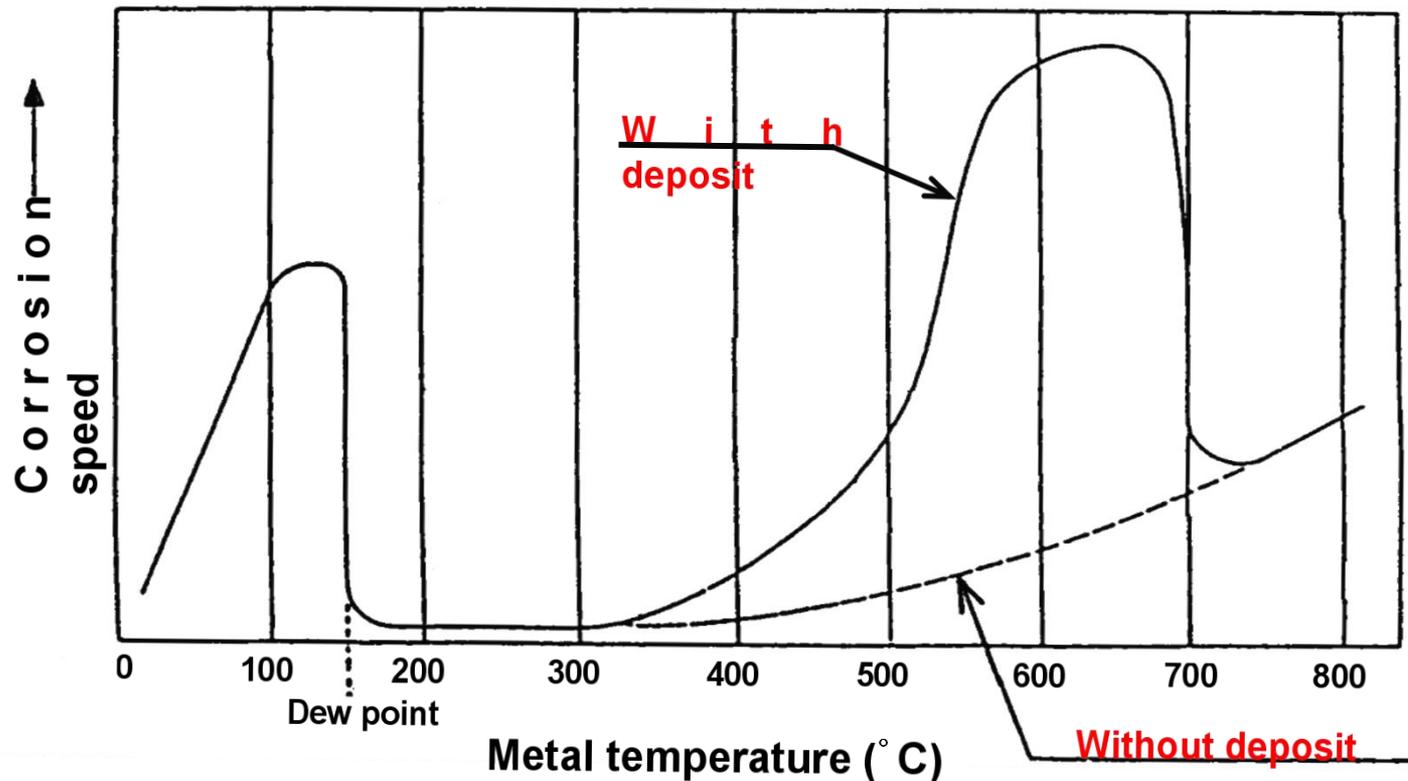
## 积灰机理

### ❖ 固体颗粒撞击粘结机理

#### — 两个条件

- (1) 固体颗粒温度 (主要);
- (2) 受热面管壁温度 (次要)。

## 金属腐蚀速度



- 积灰沾污和高温腐蚀现象同时存在；
- 控制过热器高温腐蚀的措施应重点考虑减少过热器受热面积灰沾污和降低管壁温度。

# 控制高、低温腐蚀关键技术

## (1) 合理的过热器设计

将过热器蒸汽高温段以屏的形式布置在炉膛内，颗粒剧烈冲刷，无积灰，避免高温腐蚀；过热器的中温段和低温段布置在尾部烟道内，采用低烟气流速和蒸汽顺流逆流串联混合布置方式，有效降低受热面管壁温度，减少受热面积灰沾污，进而降低尾部过热器的高温腐蚀。

## (2) 尾部烟道内烟气流速的选取

尾部烟道内采用低烟气流速。

## (3) 控制床料粘结

通过设计炉膛水冷屏控制较低的炉膛温度，同时采用添加选择性惰性床料等措施减少床料中低熔点物质的生成，将有效降低锅炉受热面的积灰沾污，从而大大降低高温腐蚀。

## (4) 提高过热器管材品质等级

炉膛内的过热蒸汽屏材料采用耐高温耐腐蚀材料TP347H，将有效延长过热器使用寿命。空气预热器低温段采用耐腐蚀材料Corten钢或ND钢。

# 控制床料粘结、结团关键技术

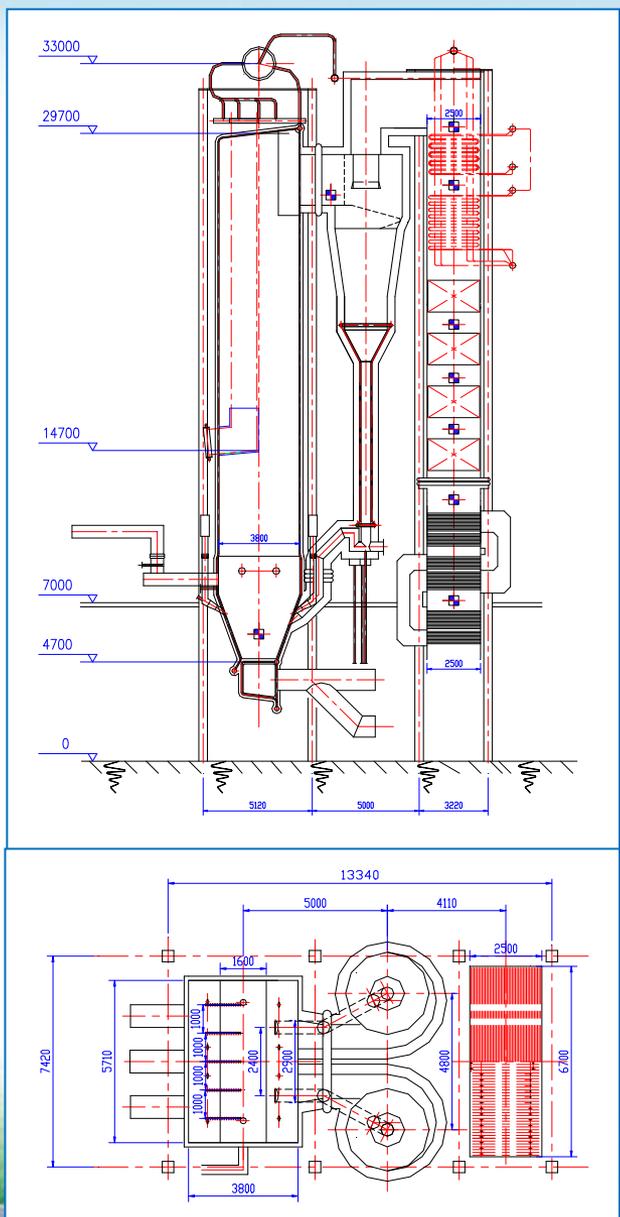
- 控制炉膛温度；
- 炉膛内布置水冷蒸发屏和过热蒸汽屏；
- 较高的炉膛高度；
- 采用具有高分离效率的蜗壳式旋风分离器；
- 采用选择性床料和循环物料。

## 五、75 t/h次高温次高压生物质锅炉介绍

### 浙江长广2×75 t/h生物质循环流化床发电锅炉项目

- 中国科学院工程热物理研究所提供技术，负责锅炉的性能设计；
- 长沙锅炉厂有限责任公司负责锅炉的详细设计和制造；
- 浙江长广（集团）有限责任公司生物质发电分公司负责锅炉的建设、调试和运行。

# 总体技术方案及技术特点



## 总体布置:

- 岛式布置、全钢架支吊结合，三跨布置；
- 炉膛尺寸：5710×3800 mm；
- 2个Φ3400 mm蜗壳式旋风分离器；
- 2台U型自平衡返料器；
- 新型内嵌逆流柱型风帽；
- 3片高温过热屏；
- 2片水冷屏；
- 3个方形给料口尺寸：1000×600 mm；
- 两级无轴双螺旋直推式给料方式；
- 卧式空气预热器；
- 顺排光管省煤器。

# 生物质锅炉主要技术特点

- 全膜式壁炉膛结构，炉内上方布置水冷屏，控制较低炉膛温度；
- 炉内高温过热屏+尾部中、低温过热器的过热器布置方式；
- 蜗壳式高温旋风分离器；
- 水冷布风板等压风室；
- 新型内嵌逆流柱型风帽；
- U型自平衡返料器；
- 大开口直推式双螺旋二级给料，进料口采用双层风冷套结构；
- 采用大直径、高流速二次风喷口设计；
- 采用床下点火方式；
- 添加高岭土、选择性炉渣作为循环物料控制粘结、结团和结焦；
- 采用燃气脉冲吹灰方式。

# 生物质锅炉主要技术特点

## 过热器布置特点:

### ■ 低温过热器:

单管圈、逆流布置

横向节距:  $S1=100\text{mm}$

纵向节距:  $S2=150\text{mm}$

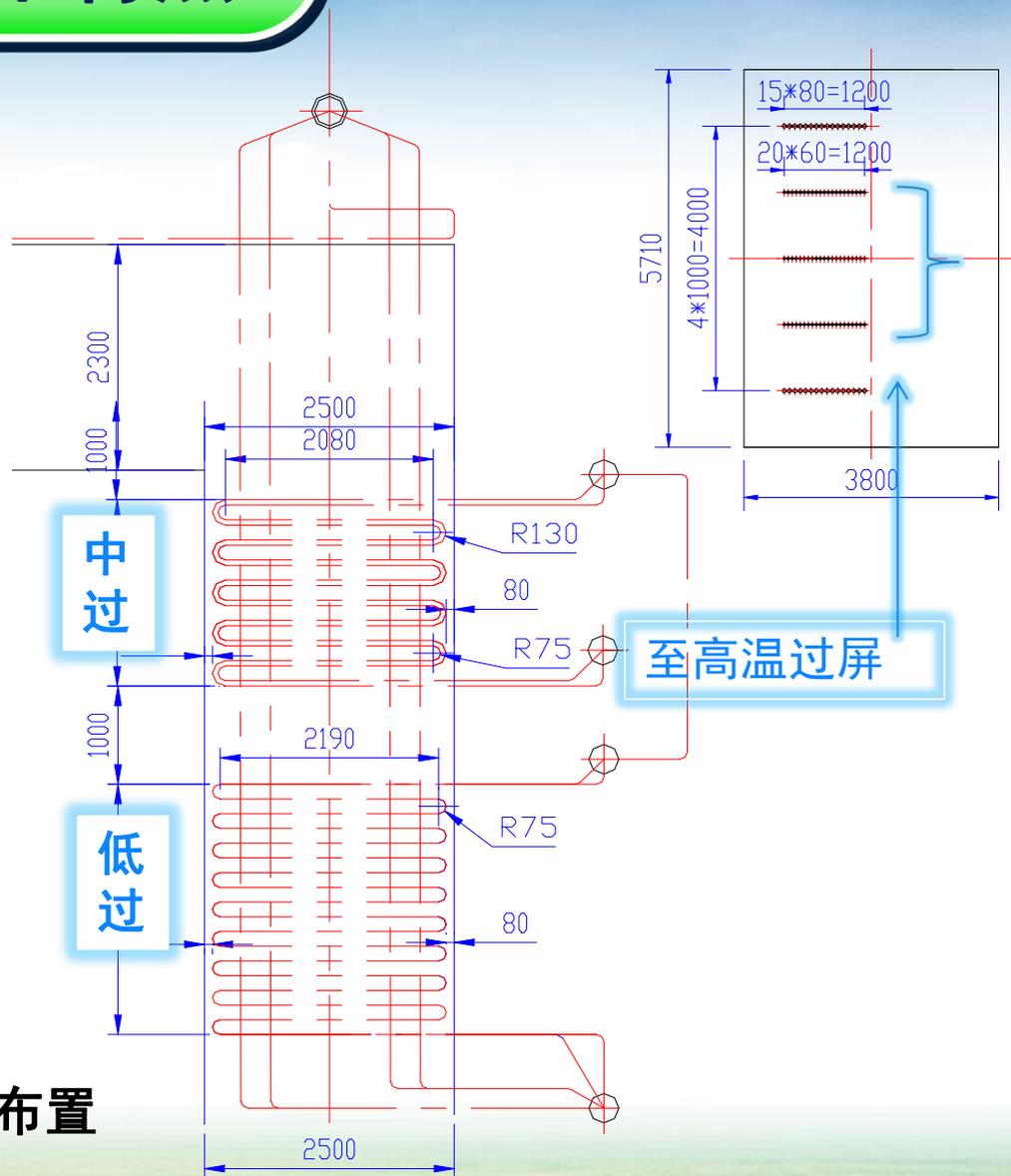
### ■ 中温过热器:

两管圈、顺流布置

横向节距:  $S1=200\text{mm}$

纵向节距:  $S2=100\text{mm}$

### ■ 高温屏式过热器: 3片, 炉内布置



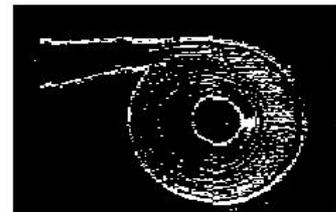
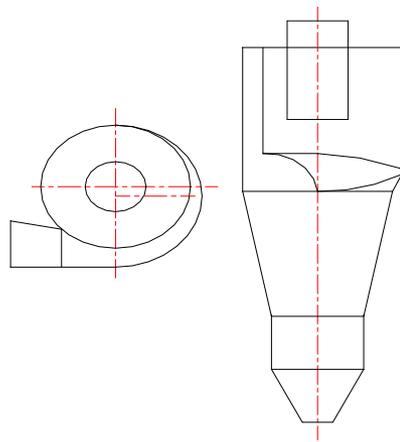
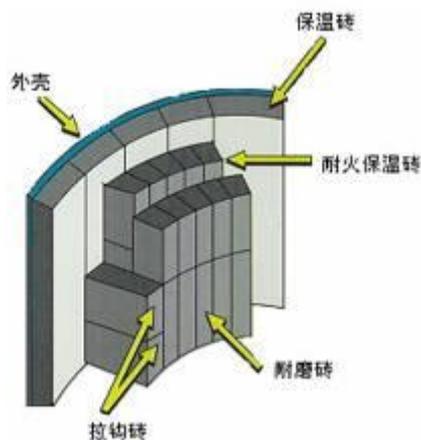
# 生物质锅炉主要技术特点

- 全膜式壁炉膛结构，炉内上方布置水冷屏，控制较低炉膛温度；
- 炉内高温过热屏+尾部中、低温过热器的过热器布置方式；
- 蜗壳式高温旋风分离器；
- 水冷布风板等压风室；
- 新型内嵌逆流柱型风帽；
- U型自平衡返料器；
- 大开口直推式双螺旋二级给料，进料口采用双层风冷套结构；
- 采用大直径、高流速二次风喷口设计；
- 采用床下点火方式；
- 添加高岭土、选择性炉渣作为循环物料控制粘结、结团和结焦；
- 采用燃气脉冲吹灰方式。

# 生物质锅炉主要技术特点

## 蜗壳式高温旋风分离器：

- 大容量低阻，适应生物质燃烧分离场合，蜗壳式结构可有效捕捉烟气中的细小颗粒，提高分离效率，减少循环物料的加入量；
- 采用耐磨砖内衬结构，在“靶区”附近可有效防止磨损。



专利技术 ZL 00205996.7



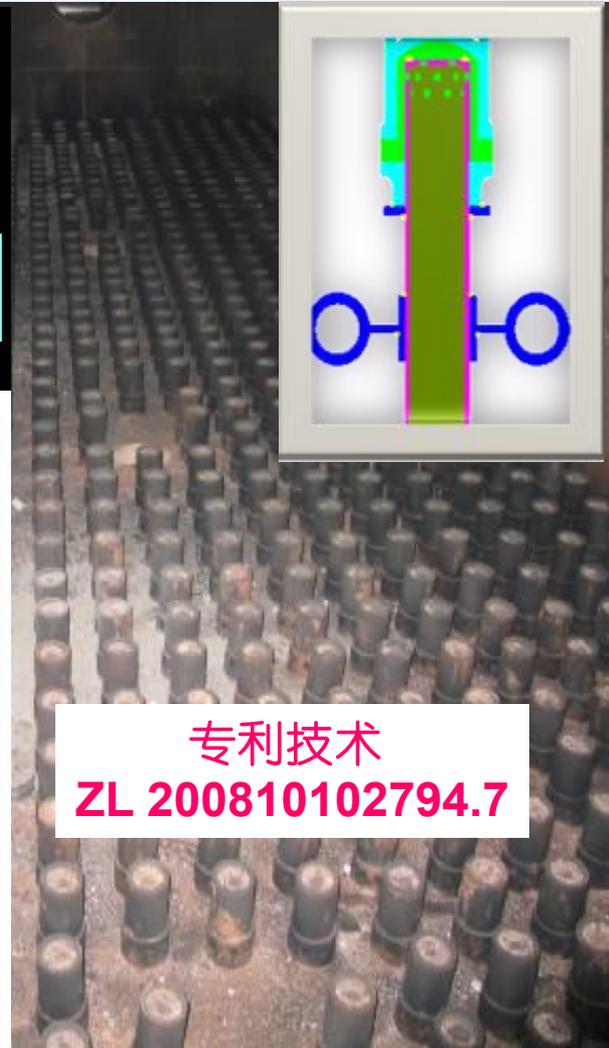
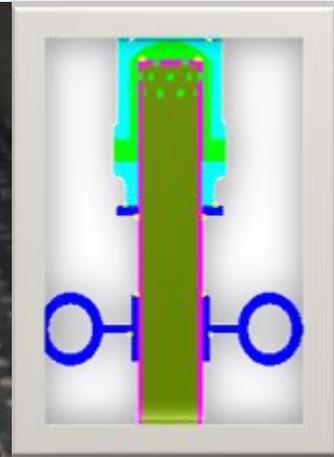
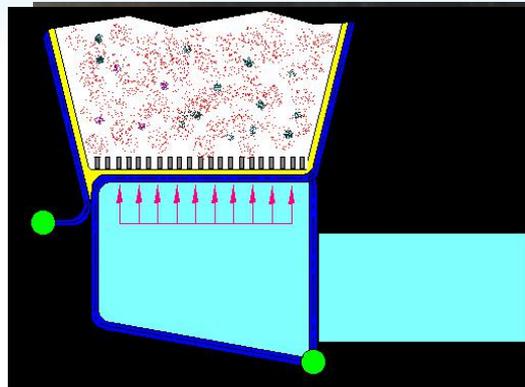
# 生物质锅炉主要技术特点

- 全膜式壁炉膛结构，炉内上方布置水冷屏，控制较低炉膛温度；
- 炉内高温过热屏+尾部中、低温过热器的过热器布置方式；
- 蜗壳式高温旋风分离器；
- 水冷布风板等压风室；
- 新型内嵌逆流柱型风帽；
- U型自平衡返料器；
- 大开口直推式双螺旋二级给料，进料口采用双层风冷套结构；
- 采用大直径、高流速二次风喷口设计；
- 采用床下点火方式；
- 添加高岭土、选择性炉渣作为循环物料控制粘结、结团和结焦；
- 采用燃气脉冲吹灰方式。

# 生物质锅炉主要技术特点

## 新型内嵌逆流风帽：

- 水平水冷布风板；
- 床面平整、掺混均匀；
- 流化质量好、燃烧稳定；
- 具有防漏渣防堵塞功能；
- 抗磨损，可靠性高；
- 放宽入炉燃料粒度；
- 检修维护方便。



专利技术  
ZL 200810102794.7

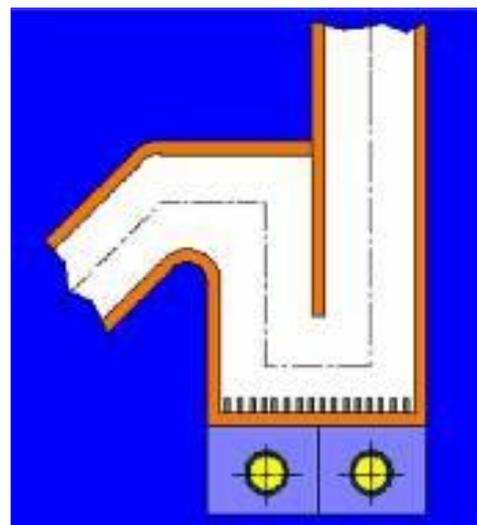
# 生物质锅炉主要技术特点

- 全膜式壁炉膛结构，炉内上方布置水冷屏，控制较低炉膛温度；
- 炉内高温过热屏+尾部中、低温过热器的过热器布置方式；
- 蜗壳式高温旋风分离器；
- 水冷布风板等压风室；
- 新型内嵌逆流柱型风帽；
- U型自平衡返料器；
- 大开口直推式双螺旋二级给料，进料口采用双层风冷套结构；
- 采用大直径、高流速二次风喷口设计；
- 采用床下点火方式；
- 添加高岭土、选择性炉渣作为循环物料控制粘结、结团和结焦；
- 采用燃气脉冲吹灰方式。

# 生物质锅炉主要技术特点

## U型自平衡返料器：

- 低阻，料位自平衡；
- 无侧吹风设计，结构简单；
- 返料流畅；
- 无需调节，无磨损；
- 有效防止烟气反窜。



# 生物质锅炉主要技术特点

- 全膜式壁炉膛结构，炉内上方布置水冷屏，控制较低炉膛温度；
- 炉内高温过热屏+尾部中、低温过热器的过热器布置方式；
- 蜗壳式高温旋风分离器；
- 水冷布风板等压风室；
- 新型内嵌逆流柱型风帽；
- U型自平衡返料器；
- 大开口直推式双螺旋二级给料，进料口采用双层风冷套结构；
- 采用大直径、高流速二次风喷口设计；
- 采用床下点火方式；
- 添加高岭土、选择性炉渣作为循环物料控制粘结、结团和结焦；
- 采用燃气脉冲吹灰方式。



# 生物质锅炉主要技术特点

- 全膜式壁炉膛结构，炉内上方布置水冷屏，控制较低炉膛温度；
- 炉内高温过热屏+尾部中、低温过热器的过热器布置方式；
- 蜗壳式高温旋风分离器；
- 水冷布风板等压风室；
- 新型内嵌逆流柱型风帽；
- U型自平衡返料器；
- 大开口直推式双螺旋二级给料，进料口采用双层风冷套结构；
- 采用大直径、高流速二次风喷口设计；
- 采用床下点火方式；
- 添加高岭土、选择性炉渣作为循环物料控制粘结、结团和结焦；
- 采用燃气脉冲吹灰方式。

# 75 t/h次高温次高压生物质锅炉介绍

证书号第 619651 号



## 发明专利证书



发明名称：一种生物质循环流化床燃烧方法及生物质循环流化床锅炉

发明人：吕清刚；王东宇；高鸣；那永洁；包绍麟；孙运凯；贺军  
矫维红

专利号：ZL 2006 1 0088935.5

专利申请日：2006 年 07 月 27 日

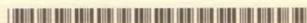
专利权人：中国科学院工程热物理研究所

授权公告日：2010 年 05 月 12 日

本发明经过本局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，颁发本证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。

本专利的专利权期限为二十年，自申请日起算。专利权人应当依照专利法及其实施细则规定缴纳年费。本专利的年费应当在每年 07 月 27 日前缴纳。未按照规定缴纳年费的，专利权自应当缴纳年费期满之日起终止。

专利证书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。



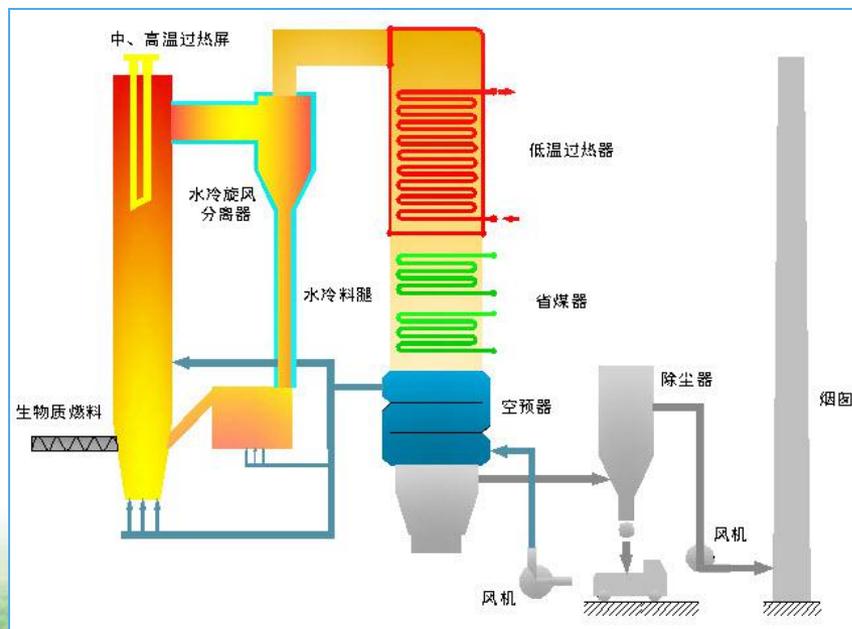
局长

田力普



第 1 页 (共 1 页)

## 一种生物质循环流化床燃烧方法及生物质循环流化床锅炉 (ZL200610088935.5)



中国科学院工程热物理研究所

# 75 t/h次高温次高压生物质锅炉介绍

2010年12月通过75 t/h次高温次高压生物质循环流化床锅炉产品鉴定；  
2011年9月通过由中国电力企业联合会和中国机械工业联合会联合组织的  
科技成果鉴定。 **鉴定结果：达到同类型直燃生物质锅炉的国际先进水平。**

## 鉴定意见

受湖南省经济和信息化委员会委托，湖南省机械行业管理办公室于2010年12月18日在长沙组织召开长沙锅炉厂有限责任公司与中国科学院工程热物理研究所联合研发的10~130t/h生物质循环流化床系列锅炉新产品鉴定会，鉴定委员会听取了产品的研制总结报告、标准化审查报告、工艺审查报告、热工、环保测试报告、科技查新报告及用户使用报告等，审查了相关资料，考察了生产现场，经讨论，形成鉴定意见如下：

1. 提供鉴定的产品技术文件齐全、完整、统一，符合产品鉴定要求；
2. 10~130t/h生物质循环流化床系列锅炉燃料适应性广，可燃用玉米芯、小麦秸秆、稻壳、锯木屑、山林薪柴、竹制品废料等不同类型生物质；
3. 该锅炉采用了负压给料装置，独特的布风结构，锅壳式高温绝热旋风分离器，屏式高温过热器，大节距对流受热面，激波吹灰装置，总体上提高了燃烧稳定性和传热有效性，有效减少积灰，缓解了高温腐蚀；
4. 产品标准化、通用化程度高，便于组织生产；
5. 经对10t/h稻壳炉、14MW玉米芯炉、75t/h秸秆炉等代表性炉型进行热工、环保测试，热效率分别达到88.67%、89.53%和90.75%，符合国家节能法规和能效标准的要求。

该系列生物质循环流化床锅炉符合国家节能减排产业政策，锅炉结构、制造工艺及性能指标达到国内先进水平。在给料、布风流化、循环燃烧、防止积灰和锅炉连续运行可靠性等方面达到国内领先水平。

鉴定委员会一致同意通过产品鉴定，可以投入批量生产。

主任委员：徐通模

副主任委员：陈皓林 郭东

2010年12月18日

## 鉴定意见

2011年9月16日，中国电力企业联合会和中国机械工业联合会在北京联合组织召开了中国科学院工程热物理研究所、长沙锅炉厂有限责任公司和浙江长广（集团）有限责任公司生物质发电分公司共同开发的“75t/h次高温次高压生物质混合燃料直燃循环流化床发电锅炉”科技成果鉴定会。鉴定委员会听取了项目研发单位的研究开发报告、锅炉运行情况介绍、锅炉热工与环保性能检测报告和查新报告，审查了鉴定资料，经讨论，形成鉴定意见如下：

1. 提供的鉴定资料齐全，内容完整，符合科技成果鉴定要求；
2. 该锅炉是我国运行的首台具有自主知识产权的75t/h次高温次高压容量的生物质混合燃料直燃循环流化床发电锅炉，主要技术创新点：
  - (1) 采用辐射高温段过热器屏专利技术，减少因燃用生物质燃料引起的受热面过热器积灰腐蚀问题；
  - (2) 采用添加高岭土、选择性灰渣抑制灰粘附的方法，解决了燃烧生物质的流化床物料结团、结焦及分离器堵塞等问题；
  - (3) 该锅炉采用双层风冷套进口技术，结构简单、冷却效果好，利用余热加强了炉膛燃料燃烧；
  - (4) 采用锅壳入口旋风分离器、内嵌风帽等专利技术，形成了适应生物质燃烧特性的集成技术。
3. 锅炉热工性能测试：额定出力下的锅炉热效率为90.75%，优于设计值；环保性能检测，NO<sub>x</sub>排放浓度为140.86 mg/Nm<sup>3</sup>，SO<sub>2</sub>排放浓度为44.43 mg/Nm<sup>3</sup>，烟尘排放浓度为36.39 mg/Nm<sup>3</sup>，均符合国家排放标准要求；
4. 锅炉自2010年3月投运以来，运行稳定，安全可靠，主要运行指标达到设计要求。

鉴定委员会认为：该锅炉设计采用自主创新技术，达到同类型直燃生物质锅炉的国际先进水平，一致同意通过科技成果鉴定。

建议将该技术推广应用到更大容量、更高参数的生物质循环流化床发电锅炉。

鉴定委员会主任：吴永康

副主任：车福福 江哲生

2011年9月16日

# 75 t/h次高温次高压生物质锅炉介绍

## 锅炉热力计算结果：设计燃料

| 序号 | 项目           | 符号       | 单位      | 山林薪柴  | 山材加工剩<br>余物 | 油菜杆+稻壳 | 油菜杆+稻壳+稻草 |
|----|--------------|----------|---------|-------|-------------|--------|-----------|
| 1  | 收到基碳         | Car      | %       | 33.54 | 29.64       | 38.78  | 38.87     |
| 2  | 收到基氢         | Har      | %       | 3.49  | 3.53        | 4.65   | 4.70      |
| 3  | 收到基氧         | Oar      | %       | 29.25 | 24.16       | 34.11  | 34.46     |
| 4  | 收到基氮         | Nar      | %       | 0.46  | 0.09        | 0.80   | 0.76      |
| 5  | 收到基硫         | Sar      | %       | 0.08  | 0.01        | 0.27   | 0.26      |
| 6  | 收到基水分        | Mt, ar   | %       | 30.40 | 42.10       | 12.55  | 11.80     |
| 7  | 收到基灰分        | Aar      | %       | 2.80  | 0.43        | 8.86   | 9.16      |
| 8  | 干燥无灰基<br>挥发份 | Vdaf     | %       | 54.90 | 47.76       | 65.15  | 65.38     |
| 9  | 收到基低位<br>发热量 | Qnet, ar | kcal/kg | 2795  | 2396        | 3337   | 3379      |

# 设计燃料和校核燃料-林业生物质与农业生物质混合燃料

## 混合燃料比例

| 序号 | 项目        | 单位 | 数据来源 | 设计燃料 | 校核燃料1 | 校核燃料2 |
|----|-----------|----|------|------|-------|-------|
| 1  | 山林薪柴      | %  | 设计数据 | 80   | 70    | 50    |
| 2  | 山材加工剩余物   | %  | 设计数据 | 10   | 10    | 0     |
| 3  | 油菜杆+稻壳    | %  | 设计数据 | 10   | 0     | 50    |
| 4  | 油菜杆+稻壳+稻草 | %  | 设计数据 | 0    | 20    | 0     |

# 设计燃料和校核燃料

## 锅炉设计燃料（混合燃料）

| 序号 | 项目       | 符号       | 单位      | 设计燃料  | 校核燃料1 | 校核燃料2 |
|----|----------|----------|---------|-------|-------|-------|
| 1  | 收到基碳     | Car      | %       | 33.67 | 34.22 | 36.16 |
| 2  | 收到基氢     | Har      | %       | 3.61  | 3.74  | 4.07  |
| 3  | 收到基氧     | Oar      | %       | 29.23 | 29.78 | 31.68 |
| 4  | 收到基氮     | Nar      | %       | 0.46  | 0.48  | 0.63  |
| 5  | 收到基硫     | Sar      | %       | 0.09  | 0.11  | 0.17  |
| 6  | 收到基灰分    | Aar      | %       | 3.17  | 3.84  | 5.83  |
| 7  | 收到基水分    | Mt, ar   | %       | 29.79 | 27.85 | 21.48 |
| 8  | 无灰干燥基挥发份 | Vdaf     | %       | 55.21 | 56.28 | 60.03 |
| 9  | 收到基低位发热量 | Qnet, ar | kcal/kg | 2809  | 2872  | 3066  |

## 生物质锅炉蒸汽参数汇总一览表（节选）

|   |        |                 |     |      |     |
|---|--------|-----------------|-----|------|-----|
| 1 | 额定蒸发量  | D               | t/h | 设计数据 | 75  |
| 2 | 额定蒸汽压力 | P               | MPa | 设计数据 | 5.3 |
| 3 | 额定蒸汽温度 | T               | °C  | 设计数据 | 485 |
| 4 | 给水温度   | t <sub>gs</sub> | °C  | 设计数据 | 150 |

# 生物质锅炉热力计算汇总一览表（节选）

| 序号 | 项目名称       | 符号              | 单位     | 数据来源  | 设计燃料     | 校核燃料1    | 校核燃料2    |
|----|------------|-----------------|--------|-------|----------|----------|----------|
| 1  | 环境空气温度     | t <sub>lk</sub> | °C     | 设计数据  | 25       | 25       | 25       |
| 2  | 一次热空气温度    | trk1            | °C     | 设计数据  | 180      | 180      | 180      |
| 3  | 二次热空气温度    | trk2            | °C     | 设计数据  | 180      | 180      | 180      |
| 4  | 排烟温度       | θ <sub>py</sub> | °C     | 设计数据  | 138      | 138      | 138      |
| 5  | 排烟损失       | q <sub>2</sub>  | %      | 计算结果  | 6.58     | 6.50     | 6.27     |
| 6  | 气体不完全燃烧损失  | q <sub>3</sub>  | %      | 设计数据  | 1.03     | 1.03     | 1.03     |
| 7  | 固体不完全燃烧损失  | q <sub>4</sub>  | %      | 计算结果  | 2.21     | 2.62     | 3.73     |
| 8  | 散热损失       | q <sub>5</sub>  | %      | 查图5-1 | 0.80     | 0.80     | 0.80     |
| 9  | 灰渣物理热损失    | q <sub>6</sub>  | %      | 计算结果  | 0.00     | 0.00     | 0.00     |
| 10 | 总热损失       | q <sub>e</sub>  | %      | 计算结果  | 10.63    | 10.95    | 11.84    |
| 11 | 锅炉热效率      | η               | %      | 计算结果  | 89.37    | 89.05    | 88.16    |
| 12 | 保热系数       | φ               |        | 计算结果  | 0.991    | 0.991    | 0.991    |
| 13 | 排污率        | R <sub>pw</sub> | %      | 设计数据  | 2        | 2        | 2        |
| 14 | 锅炉有效利用热量   | Q <sub>yx</sub> | kcal/h | 计算结果  | 4.97E+07 | 4.97E+07 | 4.97E+07 |
| 15 | 计算燃料消耗量    | B <sub>j</sub>  | kg/h   | 计算结果  | 19339    | 18907    | 17685    |
| 16 | 燃料消耗量      | B               | kg/h   | 计算结果  | 19777    | 19416    | 18370    |
| 17 | 山林薪柴（小竹枝条） | B <sub>1</sub>  | kg/h   | 计算结果  | 15821    | 13591    | 9185     |
| 18 | 山林薪柴（小竹枝条） | B <sub>11</sub> | 吨/天    | 计算结果  | 379.7    | 326.2    | 220.4    |
| 19 | 山材加工剩余物    | B <sub>2</sub>  | kg/h   | 计算结果  | 1978     | 1942     | 0        |
| 20 | 山材加工剩余物    | B <sub>22</sub> | 吨/天    | 计算结果  | 47.5     | 46.6     | 0        |
| 21 | 油菜杆+稻壳     | B <sub>3</sub>  | kg/h   | 计算结果  | 1978     | 0        | 9185     |
| 22 | 油菜杆+稻壳     | B <sub>33</sub> | 吨/天    | 计算结果  | 47.46    | 0.00     | 220.44   |
| 23 | 油菜杆+稻壳+稻草  | B <sub>4</sub>  | kg/h   | 计算结果  | 0        | 3883     | 0        |
| 24 | 油菜杆+稻壳+稻草  | B <sub>44</sub> | 吨/天    | 计算结果  | 0        | 93.2     | 0        |

# 生物质锅炉热力计算汇总一览表（节选）

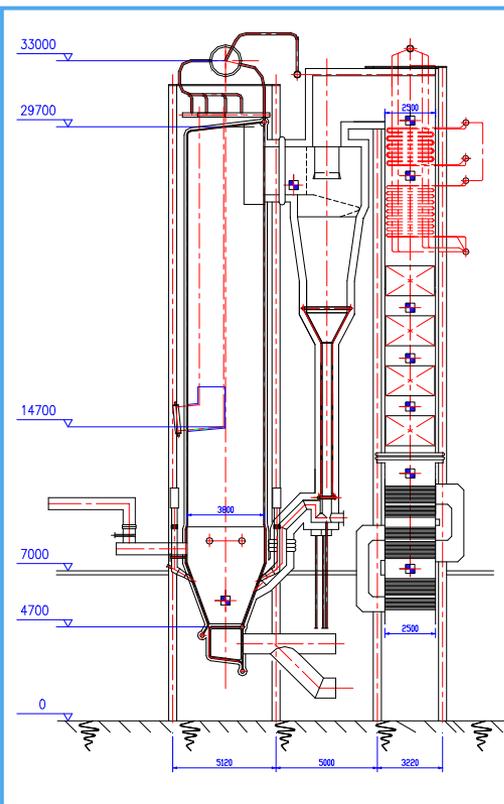
| 序号                        | 项目名称               | 符号                            | 单位                 | 数据来源 | 设计燃料  | 校核燃料1 | 校核燃料2 |
|---------------------------|--------------------|-------------------------------|--------------------|------|-------|-------|-------|
| <b>锅炉负荷</b>               |                    |                               |                    |      |       |       |       |
| 1                         | 锅炉体积热负荷            | qv                            | KW/m <sup>3</sup>  | 计算结果 | 128   | 128   | 128   |
| 2                         | 锅炉截面热负荷            | qs                            | KW/m <sup>2</sup>  | 计算结果 | 2907  | 2906  | 2901  |
| <b>锅炉减温</b>               |                    |                               |                    |      |       |       |       |
| 1                         | 减温器喷水量（屏过进口）       | D <sub>ju</sub>               | kg/h               | 计算结果 | 2672  | 2672  | 2817  |
| 2                         | 减温器减温能力            | Δt                            | °C                 | 计算结果 | 37.0  | 37.0  | 39.0  |
| 3                         | 减温器喷水温度            | t                             | °C                 | 计算结果 | 150   | 150   | 150   |
| <b>锅炉烟风流量</b>             |                    |                               |                    |      |       |       |       |
| 1                         | 空预器出口烟气量           | Q <sub>py</sub>               | Nm <sup>3</sup> /h | 计算结果 | 90559 | 89873 | 87869 |
| 2                         | 空预器进口一次风量          | Q <sub>1</sub>                | Nm <sup>3</sup> /h | 计算结果 | 41000 | 40947 | 40822 |
| 3                         | 空预器进口二次风量          | Q <sub>2</sub>                | Nm <sup>3</sup> /h | 计算结果 | 26500 | 26457 | 26355 |
| 4                         | 高压流化风机风量           | Q <sub>3</sub>                | Nm <sup>3</sup> /h | 计算结果 | 500   | 500   | 500   |
| <b>锅炉渣灰流量</b>             |                    |                               |                    |      |       |       |       |
| 1                         | 灰渣总流量              | M                             | kg/h               | 计算结果 | 3804  | 3886  | 4108  |
| 2                         | 添加的床料量             | M <sub>h</sub>                | kg/h               | 计算结果 | 1200  | 1200  | 1200  |
| 3                         | 炉膛底渣量占总灰量比例        | R <sub>s</sub>                | %                  | 计算结果 | 0%    | 0%    | 0%    |
| 4                         | 底渣流量               | M <sub>s</sub>                | kg/h               | 计算结果 | 0     | 0     | 0     |
| 5                         | 飞灰流量占总灰量比例         | R <sub>f</sub>                | %                  | 计算结果 | 100%  | 100%  | 100%  |
| 6                         | 飞灰流量               | M <sub>f</sub>                | kg/h               | 计算结果 | 5004  | 5086  | 5308  |
| <b>锅炉SO<sub>2</sub>排放</b> |                    |                               |                    |      |       |       |       |
| 1                         | 原始排放               | E <sub>o</sub>                | mg/Nm <sup>3</sup> | 计算结果 | 391   | 459   | 694   |
| <b>锅炉NO<sub>x</sub>排放</b> |                    |                               |                    |      |       |       |       |
| 1                         | NO <sub>x</sub> 排放 | E <sub>o</sub>                | mg/Nm <sup>3</sup> | 计算结果 | 190   | 190   | 190   |
| <b>锅炉本体尾部粉尘排放</b>         |                    |                               |                    |      |       |       |       |
| 1                         | 粉尘排放浓度             | A <sub>p</sub> f <sub>0</sub> | g/Nm <sup>3</sup>  | 计算结果 | 28    | 29    | 32    |

# 锅炉开发与运行

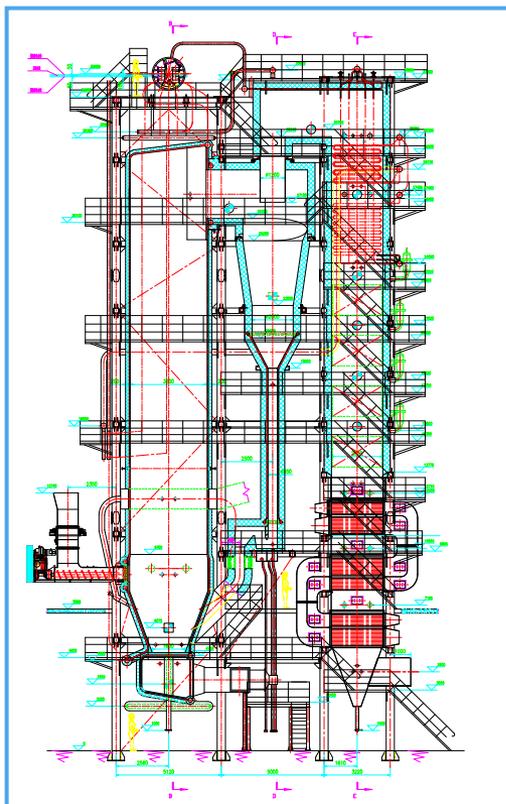
- 2009年7月18日，浙江长广（集团）有限责任公司生物质发电分公司一期工程正式开工建设；
- 2009年9月7日，#2锅炉开始安装；
- 2009年12月2日，#2锅炉一次性通过水压试验；
- 2010年3月28日，#2机组实现首次并网发电；
- 2010年4月5日，#2机组顺利完成72+24小时运行考核；
- 2010年4月，电厂第二期工程1#机组开工；
- 2010年12月9日，#1机组首次并网发电；
- 2010年12月16日，#1机组顺利完成72+24小时运行考核。

# 锅炉开发过程与运行

方案总图



施工总图

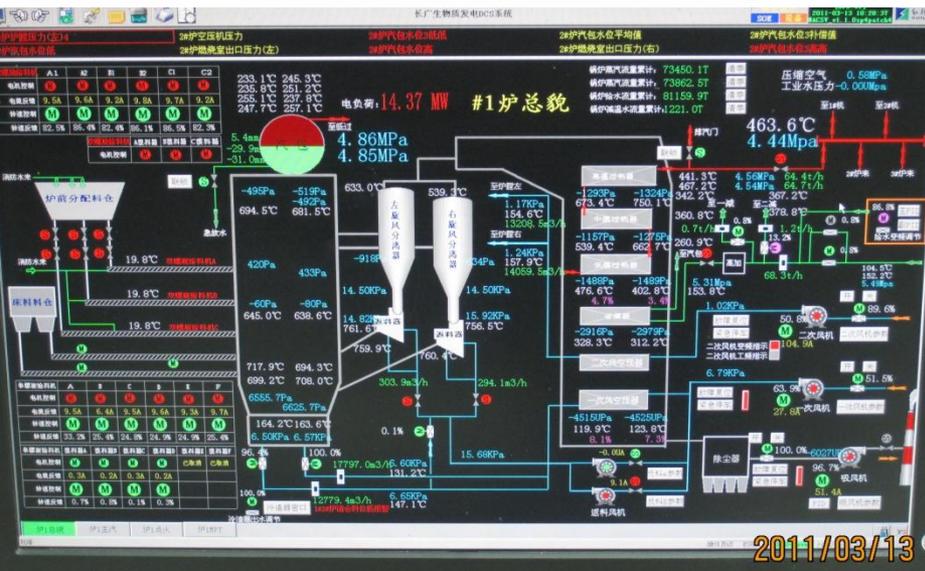


锅炉全景

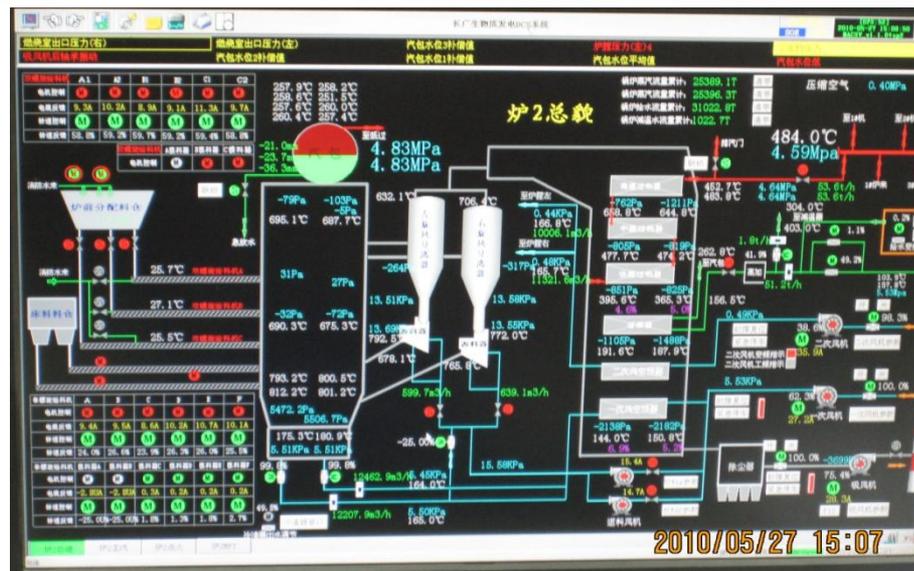


# 锅炉开发过程与运行

## #1炉运行画面



## #2炉运行画面



## 生物质燃料



# 锅炉运行性能

■2010年8月25~27日，机械工业锅炉及环保产品质量监督检测中心对浙江长广（集团）有限责任公司生物质发电分公司#2锅炉（75 t/h循环流化床锅炉）进行了性能鉴定试验。

机械工业锅炉及环保产品质量监督检测中心 报告编号: 10001G02  
共 8 页

**MA**  
证书编号: 2010000218A

### 检测报告

#### 锅炉热工性能

(报告编号: 10001G02)

锅炉型号 CSG-75/5.3-J  
委托单位 长沙锅炉厂有限责任公司  
试验地点 浙江长广(集团)有限责任公司  
生物质发电分公司

编制 张峰  
审核 孙立  
批准 孙立  
日期 2010年9月10日

机械工业锅炉及环保产品质量监督检测中心  
地址: 上海市宝善路 297 号 邮编: 200071  
电话: 021-51020808 传真: 021-51803265  
网址: www.sibrj.com.cn

第 1 页

机械工业锅炉及环保产品质量监督检测中心 报告编号: 10001H02  
共 8 页

**MA**  
证书编号: 2010000218A

### 检测报告

#### 锅炉环保性能

(报告编号: 10001H02)

锅炉型号 CSG-75/5.3-J  
委托单位 长沙锅炉厂有限责任公司  
试验地点 浙江长广(集团)有限责任公司  
生物质发电分公司

编制 张峰  
审核 孙立  
批准 孙立  
日期 2010年9月10日

机械工业锅炉及环保产品质量监督检测中心  
地址: 上海市宝善路 297 号 邮编: 200071  
电话: 021-51020808 传真: 021-51803265  
网址: www.sibrj.com.cn

第 1 页

# 锅炉运行性能

## 锅炉热工性能检测试验燃料 (设计燃料: 山林薪柴、山材加工剩余物, 油菜杆、稻壳混合燃料)

### (一) 燃料特性

|   |           |             |           |          |          |       |    |
|---|-----------|-------------|-----------|----------|----------|-------|----|
| 1 | 燃料收到基碳    | Car         | 29.31     | 28.84    | 28.22    | %     | 化验 |
| 2 | 燃料收到基氢    | Har         | 3.54      | 3.50     | 3.45     | %     | 化验 |
| 3 | 燃料收到基氧    | Oar         | 22.52     | 22.31    | 21.98    | %     | 化验 |
| 4 | 燃料收到基硫    | Sar         | 0.02      | 0.04     | 0.05     | %     | 化验 |
| 5 | 燃料收到基氮    | Nar         | 0.64      | 0.63     | 0.62     | %     | 化验 |
| 6 | 燃料收到基灰份   | Aar         | 1.77      | 3.38     | 3.18     | %     | 化验 |
| 7 | 燃料收到基水份   | Mar         | 42.20     | 41.30    | 42.50    | %     | 化验 |
| 8 | 煤干燥无灰基挥发份 | Vdar        | 79.39     | 79.70    | 80.10    | %     | 化验 |
| 9 | 煤收到基低位发热量 | Qnet. v. ar | 10,020.00 | 9,720.00 | 9,470.00 | KJ/Kg | 化验 |

# 锅炉运行性能

## 检测结果与设计值和排放限值的对比

| 考核内容               | 性能参数设计值和排放限值          | 实测参数                      |
|--------------------|-----------------------|---------------------------|
| 额定蒸发量              | 75000 kg/h            | 75175 t/h                 |
| 锅炉保证效率             | 89.37%                | 90.75%                    |
| 烟尘浓度               | <50 mg/m <sup>3</sup> | 36.39 mg/Nm <sup>3</sup>  |
| SO <sub>2</sub> 排放 | <400mg/m <sup>3</sup> | 44.43 mg/Nm <sup>3</sup>  |
| NO <sub>x</sub> 排放 | <450mg/m <sup>3</sup> | 140.86 mg/Nm <sup>3</sup> |

- 锅炉从启动调试到投入商业运行至今18个月，锅炉主要性能指标均达到或优于性能保证值，锅炉燃烧稳定，主要运行参数与设计参数吻合；
- 全面验证了本项目的技术方案，并形成了开发设计平台。

# 技术创新性

- 首次在该容量生物质混合燃料循环流化床发电锅炉上采用了辐射过热蒸汽屏专利技术，可有效减少因燃用生物质燃料引起的受热面过热器积灰腐蚀问题；
- 首次在该容量生物质混合燃料循环流化床发电锅炉上采用了蜗壳式进口形式的旋风分离器，可有效提高分离器的分离效率，减少床料的加入量，降低锅炉的运行成本；
- 首次在该容量生物质混合燃料循环流化床发电锅炉布风板上采用了新型内嵌式柱型风帽和水平水冷布风板，它可保持床面平整、物料掺混均匀、流化质量好、燃烧稳定，不漏渣；
- 首次在该容量生物质混合燃料循环流化床发电锅炉上采用了生物质循环流化床锅炉的双层风冷套进料口技术，它具有结构简单、冷却效果好、可利用余热加强炉膛燃料燃烧等特点；
- 首次采用添加高岭土、选择性灰渣抑制灰粘结的方法，有效提高生物质锅炉蒸汽参数、锅炉负荷，解决床料结团结焦引起的分离器堵塞等问题。

## 六、结语

- 针对生物质燃料的特性以及生物质锅炉存在的问题，解决了生物质循环流化床燃烧过程中的关键技术，已建立生物质直燃循环流化床发电锅炉设计准则；
- 根据提出的设计准则，自主研发的生物质循环流化床锅炉技术通过75t/h次高温次高压等级工程验证，表明锅炉运行稳定，各项参数均达到设计要求，烟气排放低于我国环保标准；
- 证明了该项技术是适合我国国情、造价成本远低于炉排式生物质锅炉的一项可行的生物质直燃发电锅炉技术。



**谢谢！**

**Thank You for Your Attention!**