

燃生物质锅炉空气动力场冷态模化试验研究

刘聿拯, 袁益超, 张明

(上海理工大学, 上海200093)

摘要: 针对生物质燃料的特性, 运用相似理论建立了燃酒糟锅炉空气动力场冷态模化试验系统, 得到了不同一次风速下炉内空气动力场的变化规律, 为燃生物质锅炉设计和运行的优化提供了必要依据。

为了解决能源危机和环境问题, 人们不断致力于开发研究低污染、可再生的新能源。在众多的可再生能源中, 生物质能以储量庞大、清洁方便、可再生的特点, 成为最突出的一种。我国生物质资源丰富, 主要是农林废弃物、城镇生活垃圾及人畜粪便。根据我国的基本国情, 在众多的生物质能源转换技术中, 生物质直接燃烧无疑是最为切实可行的高效利用生物质资源的方式之一。生物质直接燃烧技术不仅可以大大提高生物质的有效利用率, 减少有害气体的排放从而改善环境质量状况, 还可以逐步调整我国以化石燃料为主的能源生产和消费结构, 尤其是它还能有效地解决我国城市生活垃圾的处理问题, 并为农村地区因地制宜地提供清洁方便的高品位能源。

1 生物质燃烧技术的发展现状

生物质燃料与化石燃料相比, 在成分和结构等方面存在着很大的差异。生物质的燃烧主要分为挥发份的析出和燃烧、残余焦炭的燃烧和燃尽两个独立阶段, 其基本特点是: 生物质水分多, 产生的烟气体积大, 排烟热损失高; 密度小、结构松散, 悬浮燃烧比例大; 挥发份析出后, 焦炭颗粒受到灰烬包裹燃尽困难。

目前, 采用流化床技术开发生物质能在国内外已具有相当的规模和一定的运行经验。流化燃烧燃料与高温烟气、空气间混合充分, 适合燃用水分大、热值低的生物质燃料。但对于类似稻壳、木屑等比重小、流化蓄热能力差的生物质燃料, 流化床需加入石英砂等作为床料, 产生的灰分也较硬, 容易磨损锅炉的受热面。同样, 国内外采用层燃技术开发生物质能也取得了不少研究成果。层燃锅炉结构相对简单, 炉膛空间较大利于挥发份析出后的悬浮燃烧, 但由于挥发份析出的速度很快, 燃烧时需要大量的空气, 如不及时将燃料与空气充分混合, 将难以保证生物质得到完全地燃烧, 从而影响锅炉的燃烧效率。

上海理工大学等针对酒厂酒糟的燃烧特性, 研制了燃酒糟锅炉。该锅炉采用了层燃与室燃相结合的新型燃烧方式, 实现了节能、环保以及灰渣的综合利用, 收到了良好的经济效益和社会效益。综上所述, 由于生物质的种类繁多, 不同种类生物质之间物理、化学性质和燃烧特性千差万别, 不可能找到一种统一的燃烧方式, 以实现其资源化利用。因此, 需根据不同种类生物质的特点, 开发不同类型的燃烧技术, 并研制相应的燃烧设备。本文将针对稻壳、树叶、酒糟等生物质的燃烧利用, 结合燃酒糟锅炉的设计与运行经验, 在相似理论的基础上, 通过模化试验研究燃生物质锅炉空气动力场的分布状况, 从而提高生物质燃烧设备的燃烧效率, 为燃生物质锅炉的设计与运行优化提供科学依据。

2 燃生物质锅炉空气动力场模化试验系统

由于锅炉炉内空气动力场模化试验的复杂性, 在冷态等温模化过程中, 炉内气流被认为是不可压缩粘性流体。根据相似理论, 模化试验必须遵循:

模型和原型保持几何相似; 模型和原型对应工况下, 保持气流的流动状态进入第二自模区; 模型和原型的边界条件相似, 即保证进入炉内的各股射流动量比相等。

本文以参考文献[6]中的燃酒糟锅炉为原型, 将其按1/3的比例缩小构建炉内空气动力场冷态等温模化试验系统(图1)。

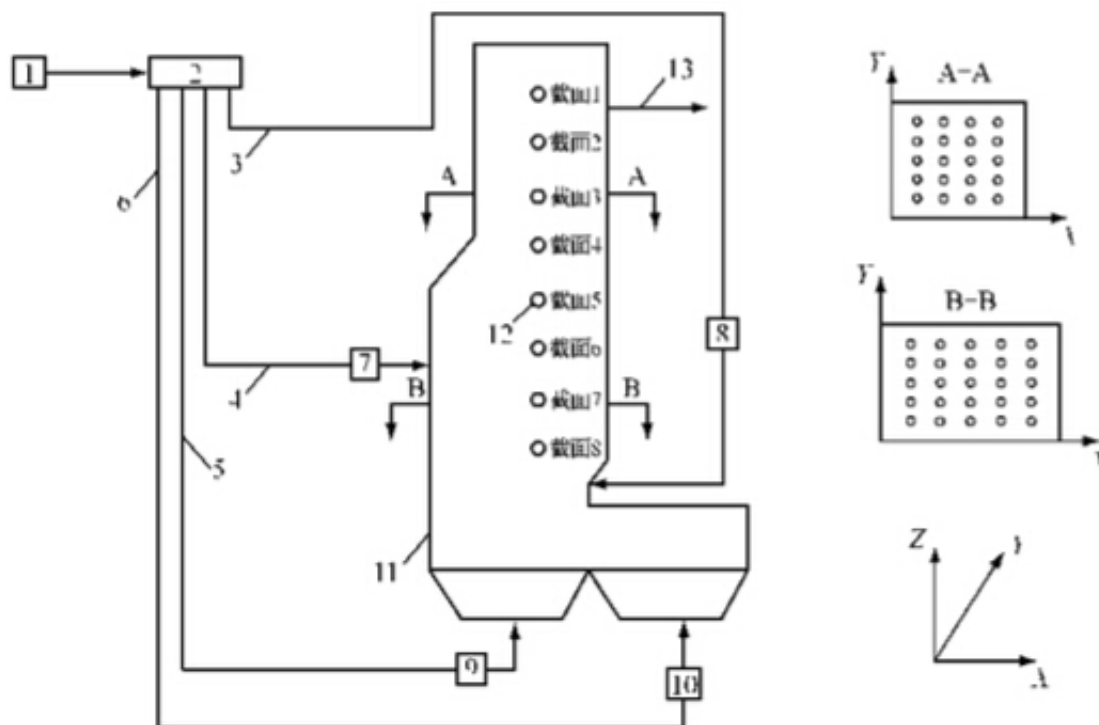


图 1 炉内空气动力场模化试验系统流程图

Fig 1 Sketch of aerodynamic field modeling system in biomass fired boilers

1 风机 2 风箱 3 二次风风道 4 一次风风道 5 6 炉排风风道
7 8 9 10 测风段 11 炉膛 12 测点 13 炉膛出口

外界空气由风机引入风箱，经风箱分成一次风、二次风和炉排风三路送入炉膛，三股气流在炉内混合向上流动，最后从炉膛上部的出口通道排出。在模化试验过程中，炉排风和二次风风速、方向都保持不变，以原型锅炉额定负荷下对应的模型一次风风速18.95m/s为基准量，调整一次风风速大小，研究一次风风速变化对炉内空气动力场的影响。试验工况如表1所示。

表 1 模化试验工况

Table 1 Condition of modeling experiment

工况	一次风风速 (m/s)	二次风风速 (m/s)	炉排风风速 (m/s)
1	13.27 (70%)		
2	16.11 (85%)		
3	18.95 (100%)	32.53	16.27
4	21.79 (115%)		

试验采用毕托管测量炉排风风速。由于一次风、二次风风道直径较小，若使用毕托管测速会影响管内流场分布，故采用喷管测量一次风、二次风风速。喷管进出口压差用DT4020C型电子微压计测量。炉膛内气流分布采用球型五孔探针和DT4020C型电子微压计进行测量。

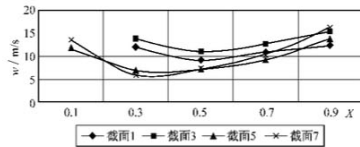


图 2 工况 1 时沿炉膛深度方向流速变化曲线

Fig. 2 Air velocity distribution along furnace depth at condition 1

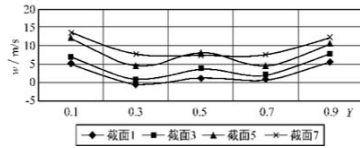


图 3 工况 1 时沿炉膛宽度方向流速变化曲线

Fig. 3 Air velocity distribution along furnace width at condition 1

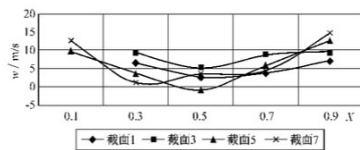


图 4 工况 2 时沿炉膛深度方向流速变化曲线

Fig. 4 Air velocity distribution along furnace depth at condition 2

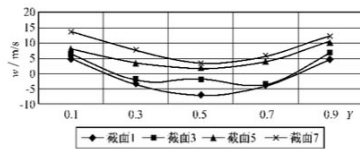


图 5 工况 2 时沿炉膛宽度方向流速变化曲线

Fig. 5 Air velocity distribution along furnace width at condition 2

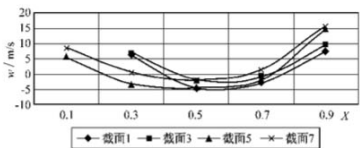


图 6 工况 3 时沿炉膛深度方向流速变化曲线

Fig. 6 Air velocity distribution along furnace depth at condition 3

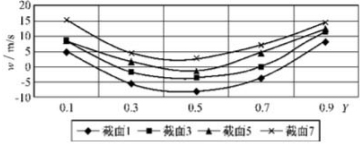


图 7 工况 3 时沿炉膛宽度方向流速变化曲线

Fig. 7 Air velocity distribution along furnace width at condition 3

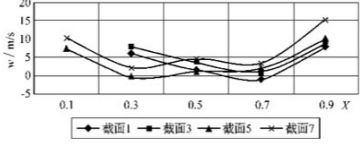


图 8 工况 4 时沿炉膛深度方向流速变化曲线

Fig. 8 Air velocity distribution along furnace depth at condition 4

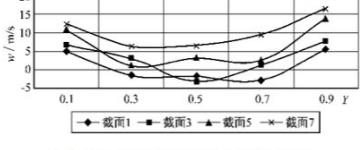


图 9 工况 4 时沿炉膛宽度方向流速变化曲线

Fig. 9 Air velocity distribution along furnace width at condition 4

如图1所示，沿炉膛高度Z轴方向从上往下等间距共布置8个水平平面，沿炉膛宽度Y轴方向等间距布置5排测孔。在1、2、3、4平面上，沿炉膛深度X轴方向等间距布置4排测点；在5、6、7、8平面上，沿炉膛深度X轴方向等间距布置5排测点。分别针对4个工况进行冷态模化试验研究，可以得到炉内空气动力场的变化规律。

3模化试验结果及其分析

在不同试验工况下，炉内空气动力场模化试验结果如图2～图9所示。仔细观察工况1至工况4可以发现：沿炉膛深度方向贴近前、后墙的气流流速较高，而随着气流不断接近炉膛中心，流速逐步衰减，并且在炉膛中心位置附近出现流速的最低值。同样，沿炉膛宽度方向的气流流速变化趋势与沿炉膛深度方向相似，贴近左、右两侧的气流流速较高，在炉膛中心处的气流流速较低。说明在一次风、二次风和炉排风三股气流相互混合的作用下，炉膛中心附近产生了相应的涡旋回流区，各股气流之间发生强烈地混合，从而造成强烈的动量、质量和热量交换。这将有助于生物质燃料在锅炉内的及时着火和高效、稳定燃烧。

从不同试验工况的试验结果还可以看出：沿炉膛高度方向，水平截面5、7相对水平截面1、3而言，炉膛中心附近形成的回流区和回流量较大，这说明由于炉膛下部截面5、7靠近一次风、二次风和炉排风射流喷口，3股气流之间交汇、混合的效果更为显著，炉内气流流速衰减更加剧烈，有助于生物质的燃烧和燃尽。进一步比较分析4个工况的试验结果还可以发现：工况1时炉膛中心位置虽然产生了回流区，但回流区范围较小且回流量不大；随着一次风风量的增大，在工况2和工况3时，炉膛中心回流区范围逐渐扩大且回流量明显增加，由此可以看出提高一次风风速能够促进一次风与二次风、炉排风之间互相交汇、扰动，有利于组织良好的炉内空气动力场；而当再增大一次风送风量时，比较工况3和工况4，发现一次风风速过大反而会削弱炉内气流的混合程度，使得回流区缩小，回流量下降，流速呈现波动起伏，气流混合的稳定性较差，对炉内流场产生不利的影响。

综合上述比较分析可以看出：冷态模型在工况3时(即原型锅炉额定负荷时)，炉内气流的混合程度较为理想。

4结论

通过对燃酒糟锅炉炉内空气动力场冷态模化试验结果的分析，可以得出以下结论：

(1)沿炉膛深度和宽度方向，气流在炉膛中心位置的流速衰减较为显著，说明在一次风与二次风、炉排风三股气流相互交汇作用下，炉膛中心形成了回流区，有利于生物质燃料与空气的充分混合，从而保证生物质燃料的及时着火和完全燃烧。

(2)不同试验工况下炉内空气动力场的模化试验结果表明，在额定负荷时原型锅炉具有良好的空气动力场特性，运行情况较为理想。

(3)一次风风速大小影响着炉内气流的分布状况。在一定的范围内，提高一次风风速，可以促进一次风与二次风、炉排风之间的相互混合，气流流速衰减越加剧烈，形成的回流区范围也越大，有利于燃烧、燃尽；但一次风风速过大反而会削弱一次风与二次风、炉排风的相互混合，导致流速衰减波动较大，回流区缩小、回流量下降，从而缩短燃料在炉内的停留时间，降低锅炉的燃烧效率。因此，在设计和运行时因对各股风的风量进行合理的分配，以满足生物质燃料燃烧的特殊需求。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/96493.html>