

生物质密致燃料层燃锅炉温度场的研究

侯中兰，贾孟立，刘圣勇，赵廷林

(河南农业大学农业部可再生能源重点实验室。河南郑州450002)

摘要：生物质密致燃料与煤相比其燃烧性质有较大差别。本次试验根据生物质密致燃料的特点采用双层炉排锅炉，均匀布点并用热电偶温度计和红外测温仪测出各点温度，得出各个方向上的温度分布图。对其进行分析比较，为水冷壁的合理布置、进风量选择及锅炉稳定燃烧、经济燃烧提供了参考。

1引言

生物质密致燃料也称为生物质成型燃料，是经过高压而形成的块状燃料，其结构与组织特征决定了它既不同于原生物质，也不同于煤。为了较好反映燃料的燃烧特性并使排烟符合环保要求，提高锅炉效率，本试验采取双层炉排锅炉。炉膛温度直接影响炉膛均匀燃烧程度及经济燃烧性，同时也是锅炉布置受热面的重要依据。通过对温度场的试验可以找出温度分布规律，确定最佳燃烧状态，同时也可以找出燃烧设备存在的问题，为炉膛优化及燃烧设备改进提供依据。

2实验内容

2.1试验设计

该锅炉为双层炉排，此状态下上炉膛放料上炉门打开，安装在下炉门后墙的风机把空气从上炉门吸入上炉膛并由上至下经过燃料层，与燃料发生燃烧反应后，烟气被风机抽走。所用的生物质块直径约为120mm。

以炉膛为研究对象，适当选取炉排一端为原点，分别以炉膛的深度方向、高度方向及宽度方向为x、Y、z轴。根据有限元分割方法将炉膛分为若干截面，每个方格的对角线交叉点即为测点的位置。本试验装置考虑到实际加工情况，在炉膛右侧对称线上留下35个孔，主要研究炉膛对称线上温度场的情况。

燃烧设备分别在四种工况下燃烧^[4]: 工况 1 $a_{py} = 1.6$, 工况 2 $a_{py} = 2.2$, 工况 3 $a_{py} = 53.2$, 工况 4 $a_{py} = 4.4$, 其中 a_{py} 为排烟处过热空气系数。

2.2 试验设备^[5]

(1) 铂铑 - 铂热电偶温度计, 测温范围为 $0 \sim 1200^{\circ}\text{C}$, 分辨率 1°C , 稳定度 $\pm 2^{\circ}\text{C}$, 传感器 K.S 铠装, 响应时间 10 s, 环境温度 $-10 \sim 50^{\circ}\text{C}$, 湿度 $\leq 85\%$ 。

(2) Raynger3iLTDL2 便携式红外测温仪: 测温范围为 $-30 \sim 1200^{\circ}\text{C}$, 光分辨率 75:1, 光谱范围 $8 \sim 14\mu\text{m}$, 双激光瞄准方式。

(3) SWJ - III 精密数字式温度计、秒表、米尺。

2.3 试验方法^[5]

试验开始之前, 先用米尺量得炉膛宽度 $X = 73\text{cm}$, 深度 $Y = 55\text{cm}$, 高度 $Z = 37\text{cm}$, 炉膛一侧测温口的直径 $d = 3\text{cm}$, 各测温口间距 $m = 8\text{cm}$, 均匀分布。将宽度方向值 10 等分, 每等分 8cm , 并做标记。

将热电偶温度计与数字温度计连接, 待读取显示的温度数值。

试验开始等待燃烧状态稳定后, 在深度方向和宽度方向上炉膛烟气空间处可将热电偶(也可用热传导较好的其他器材代替)分别放入x轴、z轴测温口, 放入长度为炉膛宽度值。计时3min后, 将红外测温仪测温点对准热电偶10等分的每个点, 读取温度值, 记录; 深度方向及宽度方向其他在炉膛烟气空间测温方法同上。测取宽度方向燃料层温度时,

可将热电偶埋入燃料层，分别测取10等分各点的温度值。各工况测温方法相同。所测得的各点温度在每个方向上求平均值得出各面温度，从而建立各个方向上的温度分布图。

3实验数据分析

3.1垂直方向温度分布分析

上炉膛燃料层由上至下依次是干馏层、氧化层、还原层、灰渣层，且各层的高度及温度分布随着工况的不同而异。

如图1所示：随着风门由小变大，氧化层被降低，氧化层的厚度增加，还原层厚度减小。由工况4至工况1其最高温度依次降低。燃料层温度上方烟气温度工况3最高，工况1次之。工况4最低。受进风量大小的影响，工况1，温度分布均匀。工况2、工况3次之，工况4烟气温度变化幅度最大。

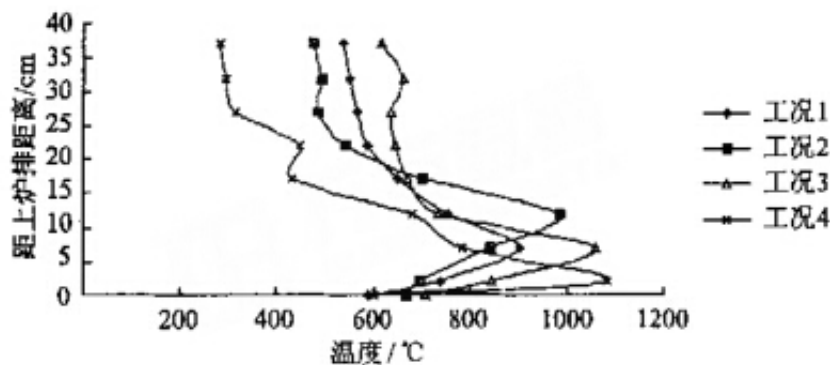


图1 双层炉排上炉膛垂直方向温度分布

氧化层的温度和厚度是布置锅炉受热面的一个重要因素。安装在下炉门后墙的风机把空气从上炉门口吸入，使之进入上炉膛，由上至下经过燃料层，与燃料发生燃烧反应后，烟气被风机抽走。当风门较小进空气量较少时，空气与炉膛热交换少，燃料层总高度为35cm，在距炉排12cm处，即达到最高温度。若高于12cm空气与炉膛燃料热交换大，难以达到最高温度；若低于12cm，虽空气与炉膛燃料热交换量进一步减小，但因空气量不足，燃料不能完全燃烧，形成还原层，亦难以达到最高温度；而当风门较大，如工况3，受进风量较多的影响，热交换量增加，氧气充足，所以其氧化层与还原层的分界点，也即此工况最高温度距炉排较工况1、工况2近，由图1可知为7cm。工况4进风量最大，所以其还原层几乎与灰渣层混合。氧化层与还原层分界点降至炉排2cm处。进空气量由小变大燃料的燃烧也更加完全，因此氧化层厚度由大变小。

由炉膛垂直方向温度变化可知，由于高温燃料层的热辐射降低，炉膛内烟气随着炉排高度的增加，温度逐渐降低。当风门较小。如工况1、工况2，空气换热量小，降温梯度较小约为200 ；风门较大，如工况3、工况4，与空气换热量大，温度降低也非常大，正对炉口处出现较明显的降温趋势，工况4可达400 。

试验中下炉门没打开，所以其温度总变化趋势降低。但由于烟气经过水冷壁，所以在炉排处温度较距12cm处低。同样，由于受风门的影响，工况1、工况2温度变化小，工况3、工况4，氧化层温度高易结渣会使燃料层中通风不畅而使下炉膛温度忽高忽低，温度变化梯度大，如图2所示。

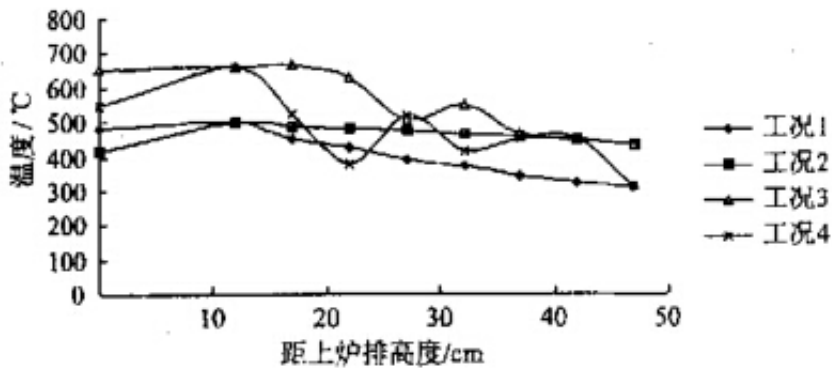


图2 双层炉排下炉膛垂直方向温度分布

3.2深度方向温度场分布分析

从炉口到炉膛直至后炉壁，由于各工况进风量及空气压力、速度的不同，影响其深度方向温度分布的原因也不同，主要有三个因素：空气与燃料及烟气的热交换；受炉拱形状影响进入炉膛内的空气的压力和流速，此因素决定空气是否能与燃料充分接触并与可燃气良好混合，即是否能组织气流使其有利于燃烧；与炉壁的热交换。

本实验中锅炉的炉膛呈较规则六面体而非流线型，在一定程度上未能有效使空气与炉膛内各点的燃料烟气良好混合。在上炉膛炉口处，空气与烟气的热交换量最大，在此进入炉膛的空气更多地是与距炉口一段距离的烟气和燃料混合，致使此处形成死角，燃烧差，温度低；在距炉口7cm处，被加热的空气与烟气及燃料的热交换较炉口处小，且此处空气的压力、速度很大，形成了有利于燃烧的气流，燃烧状况最好，因此温度骤然上升；炉膛更深处空气压力、速度降低，燃烧状况较差，温度降低。由于空气与燃料及烟气的热交换减小，温度亦慢慢升高，在距炉口约42cm处出现第二个波峰；由于与后炉壁的热交换增加致使炉膛温度再次下降。

试验中上下炉膛温度分布是有差别的，下炉膛最高温度出现在炉膛中心(即距炉口32cm处)。由于此状态下炉门未打开，影响温度分布的因素主要有：燃料层的温度；与炉壁的热交换；燃料层是否通风顺畅。上炉排燃料燃烧时，最高温度出现在燃料层中间，且在此处与前后炉壁的热交换最少。致使在炉膛中央出现最高温度；而上炉门须打开，受空气热交换影响使温度出现两个波峰，且最高温度出现在距中心后方10cm处，即距炉口42cm处。

由图3可知，在上炉膛深度方向，工况4因风门最大，且燃料及烟气发生热交换量偏高。排烟热损失大+导致其温度最低；工况2、工况3温度分布大致相同，工况2略高于工况3，且由于受炉膛形状的影响，在炉口至距炉口12cm处都出现了波动；工况1温度较工况2、工况3偏低。

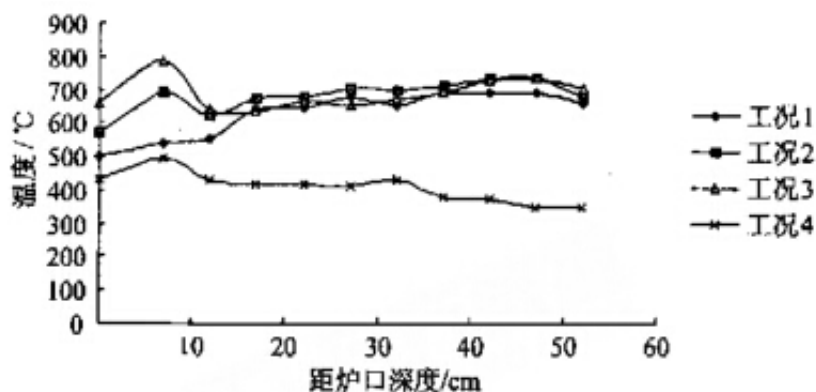


图3 上炉膛深度方向温度分布

由图4可知，在试验过程中，当风门较大时因氧化层温度偏高易使燃料层结渣，造成通风不畅而使下炉膛温度忽高忽低。如工况3、工况4；当风门较小时，空气量及压力、速度都较小，料层极易发生堵塞，使燃料燃烧不完全，炉膛温度偏低；工况2燃烧状况最好，不易结渣，不易堵塞，温度分布较为均匀。

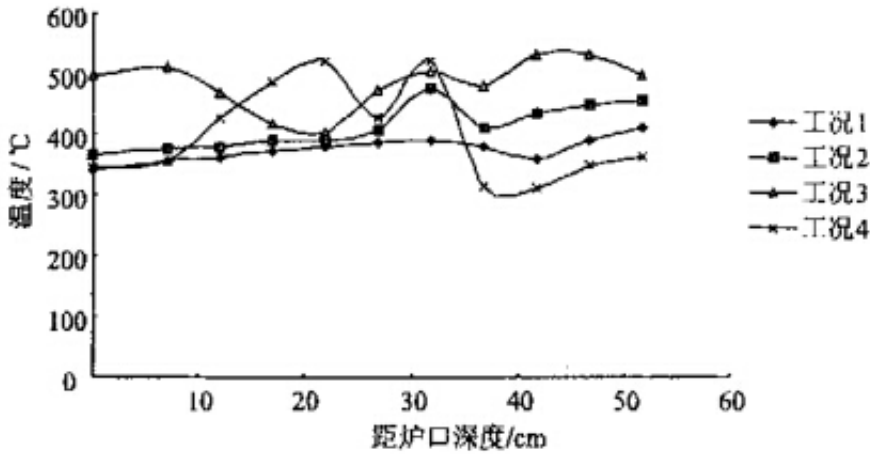


图4 双层炉排下炉膛深度方向温度分布

3.3 宽度方向温度分布分析

决定锅炉炉膛宽度方向温度分布的主要因素有：燃料层的温度；与炉壁的热交换；与燃料、烟气和空气热交换量。

由于空气直接从炉口进入，增加了因素对炉温的影响。使正对炉口的宽度方向出现较低的温度，图5所示第3点和第8点处，从而使得温度分布图倒过来看像鹿角，风门较大，这种形状最为明显，如工况4所示。在上炉膛中，工况2、工况3偏高，且工况2温度梯度小、分布均匀；工况1温度分布曲线亦较为平滑但温度偏低；工况4温度最低且温度梯度大。下炉膛温度分布呈现较规则的抛物线(如图6所示)，在第7点出现的温度陡然降低应是炉壁或炉门处漏风增加了热交换损失所致。如图6所示，各工况温度相差不大，其中工况2、工况3温度仍偏高，工况1最低。

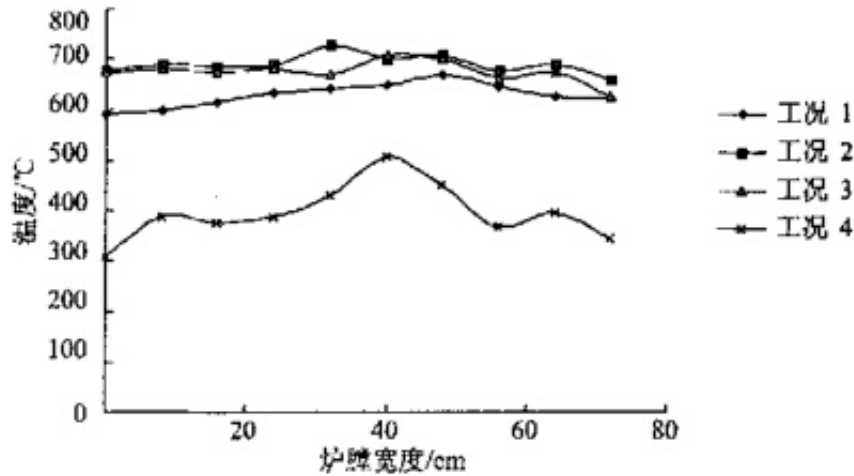


图5 双层炉排上炉膛宽度方向温度分布

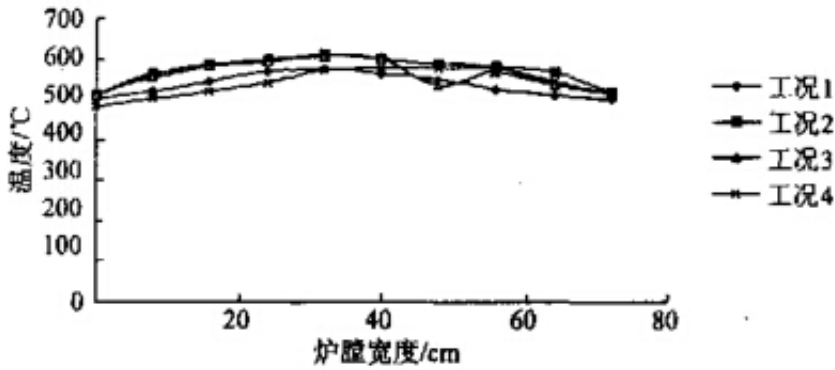


图6 双层炉排下炉膛宽度方向温度分布

4 试验结论

4.1 本次锅炉实验温度特点

(1) 工况1燃料燃烧较不完全，燃料层容易发生堵塞而熄火，温度偏低；工况2燃料燃烧完全，燃料层不发生堵塞，不易结渣，温度较高且分布均匀；工况3较易结渣，温度偏高但分布较不均匀；工况4氧化层温度高，极易结渣，空气与炉膛内烟气热交换量大。温度偏低且温度梯度很大；

(2) 炉膛烟气温度偏高促进了燃烧的良好进行，同时增加了排烟热损失，其中烟箱温度随风门大小而变化： $T_{\text{工况4}} > T_{\text{工况3}} > T_{\text{工况2}} > T_{\text{工况1}}$ 。

(3) 各工况炉膛宽度方向温度分布都比较均匀，其他方向温度分布不均匀；工况1各方向温度分布都比较均匀。

4.2 各工况状况比较

(1) 在本实验中，工况1风门过小，未能及时供给足够的空气量，燃烧速度慢且不完全；工况4风门过大，虽然空气量大，但温度梯度也很大，炉温较低。而工况2、工况3温度较高且分布均匀。由各工况下的炉膛温度可知，工况2、工况3最佳。

(2) 工况3排烟热损失较工况2大，且耗电量大，因此工况2为最佳状态。

综上所述，在炉温较高的条件下，燃烧速度很快，空气迅速被消耗掉，所阻必须供给足够的空气量。空气量太少，不仅限制了燃烧反应速度，而且会使烟气中的气体不完全燃烧产物CO等增加，造成燃烧损失增大。但是，过多的空气量会降低炉温，同时也使排烟量过大，导致排烟热损失增加。本次锅炉实验中工况2为最佳工况，温度较高，分布均匀，热损失小，耗电量少，效率高，已达到经济运行。

5 对改进生物质密致燃料锅炉的几点建议

(1) 烟气中可燃物质(包括未完全燃烧的挥发分、焦碳反应产物CO及单层炉排状态时从炉膛吹起的细粒)在炉膛空间一边运动一边燃烧，烟气流动很快，高温烟气在炉内来不及更充分与锅炉受热面发生热交换，即离开炉膛，增大了排烟热损失。所以，锅炉设计应注意保证烟气在炉膛内的停留时间，增大锅炉受热面积或添加烟气回流装置，充分利用烟气。减小排烟热损失。

(2) 炉膛的形状应使气流有良好的充满度，以保证炉膛容积得到充分利用。本实验中炉膛是由几乎平直的几个面组成，而空气流及烟气流是呈曲线流动，平直的炉膛未能达到很好地组织气流，一方面使部分容积的炉膛形成死角处于未工作状态，另一方面未能使空气与烟气燃料混合均匀，增加了热损失。因此炉膛形状应改进为符合炉膛内气体流动规律的曲线型。

(3) 由于双层炉排状态上炉膛温度较高，所以可在上炉膛顶部布置受热面以增大锅炉热效率。

(4) 所用的生物质块直径都为120mm，在以后的试验中，应注意对不同直径的生物质燃料进行试验，以更好地确定

最佳工况。

参考文献

- [1]刘圣勇, 赵迎芳, 张百良, 生物质成型燃料燃烧理论分析[J]能源研究与利用, 2002, (6): 26—28
- [2]Obbernberger I, Decentralized biomass combustion state of the att and future development[J]Biomass and Enemy, 1998, t4(1): 94—96,
- [3]马孝琴, 李刚, 小型燃煤锅炉改造成秸秆成型燃料锅炉的前景分析[J], 农村能源, 2001, (5): 20—22
- [4]田宜水, 张鉴铭, 陈晓夫, 等, 秸秆直燃热水锅炉供热系统的研究设计[J], 农业工程学报, 2002, 18(2): 87—89
- [5]陈焕生温度测试技术及仪表[M]北京: 水利电力出版社, 1987, (9): 150—152

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/94188.html>