

锯木屑沸腾炉

王若晶* 孙秀娣 孟繁政 任阿宝

[提要] 本文论述了研制我国第一台燃锯木屑沸腾炉时所解决的主要技术问题,包括媒体床料的选择,流化风速及悬浮段风速的确定,分级燃烧的组织及炉体结构设计。运行试验表明该炉运行稳定,燃烧效率高于99%。

主题词 沸腾炉 结构设计 媒体选择

前 言

锯木屑是每个木材加工厂都有的副产品。黑龙江省各林业局所属的制材厂年生产能力约为230万立方米成材,产生的锯木屑约为每年78.2万立方米。锯木屑可用作生产酒精的原料,也可用作填料,保温材料等。但是各林业局所属的制材厂,多数处于交通不便的林区,锯木屑变成难于处理的废物。如能将锯木屑作为燃料,燃烧后产生的热量用于木材干燥或其它生活用热,则可变废为宝,产生很大的经济效益。本沸腾炉的研制是以燃料,锯木屑为燃烧后产生的高温烟气用于干燥木材。

一、锯木屑的性质

锯木屑的发热值与被锯的树种及其含水率有关。本研究中,所用的是不同树种的混合木屑,对所燃锯木屑曾三次取样分析,其应用基低位发热值分别为1 889.93、1 832.05及1 876.77kcal/kg。可见锯木屑的发热值是很低的。由元素分析得到燃料应用基水份为35.67%、37.2及36.01%。而燃料应用基元素:硫为0.03%、氮为0.08%。说明木材含硫量及含氮量均很低,燃烧后可能产生的有害气体污染物将很少,这是一种清洁的燃料。燃料的应用基灰分均低于1%,燃烧过程中产生结渣结焦的可能性很小,锅炉除灰问题易于解决。由于木材水份很高,且发热值很低,燃烧时将需要大量的热用于干燥及预热锯木屑以达到着火条件。锯木屑的可燃基挥发物一般均大于80%。

锯木屑的粒度与木材品种、含水率、锯的规格及锯削速度等有关。本研究所用锯木屑曾四次取样求其平均筛分特性。当燃料于干燥前的平均粒径 $d_p = 0.88mm$,而干燥后的平均粒径 $d_p = 0.68mm$ 。锯木屑的堆积比重150至170kg/m³。煤的堆积比重为820至

* 为本文执笔。本文收到日期:1986年12月1日。

1200kg/m³, 比锯木屑大5至7倍。

锯木屑粒子表面极不光滑, 粒子间极易互相卡住。属于不易流化的粒子。

二、锯木屑燃烧方式的选择

目前我国多用倾斜炉篦炉膛燃烧锯木屑, 由于锯木屑堆积比重小, 发热值低, 因此炉篦上燃料层厚度很大, 因而通风阻力增大。加之木屑的水份很高, 预热热源不足, 不易及时着火, 析出的挥发份不能燃尽而形成黑烟, 木屑也不易燃尽, 造成很大的未完全燃烧损失。这种方法是必须改进的。

日本和西德分别发展为将木材废料进行加工的技术[1], 一般是将木屑与聚乙烯片或其它粘合剂混合, 在特殊的压力机上挤压成棒状或球状, 使木屑的密度大为增加, 发热值也得以提高, 然后按常规固体燃料来燃烧。效果很好。这种方式需要一套木屑的加工设备和附加的粘合剂, 对我国目前林区的状况是不合适的。

采用旋风炉, 将锯木屑用风力切向送入一圆柱形炉膛, 在高速旋转的气流中燃烧, 有可能做到很高的燃烧效率, 苏联曾用类似的方法燃烧最近似于木屑的泥煤[2]。但这种燃烧方式点火较困难, 一般是用重油, 炉子需要暂时停火或热负荷变化较大时, 难于适应。

芬兰奥斯龙公司发展了一种快速循环床沸腾炉, 可以适应不同粒度及湿度的木材废料。燃烧效率可达98%或更高, 已取得较好的商业应用。但这种炉子要求配用风压高达1000mm水柱以上的风机, 炉子结构及控制系统复杂, 对产热量较小的炉子不经济。

美国爱达荷能源产品公司发展了一种流化床燃烧系统, 用以燃烧木材废料。1980年11月投入运行, 采用陶瓷耐火材料作床料, 布风装置为管式, 炉体为等直径圆柱形。由于高温床料具有很大的热容量, 为湿木材提供了稳定的预热及干燥热源, 使着火稳定, 该炉床温为649℃~980℃, 空床风速3.65m/s, 静止料层高为356mm。

我国流化床燃煤锅炉的发展已有近20年经验, 拥有的流化床锅炉数量居世界第一。在流化床锅炉中曾稳定地燃烧过工作基水份高达58%的褐煤, 在布风板设计等方面, 均已具备较成熟的理论及实践经验, 选择流化床燃烧方式以燃用锯木屑在技术上是可行的, 也比较适合我国的实际情况。

三、燃锯木屑流化床炉子的研制要点

1. 媒体床料的选择

我国的燃煤流化床锅炉均以煤燃烧后的灰粒作为床料。而锯木屑的灰份极少, 不能形成床料, 必需选择一种固体粒子作为床料, 这称为媒体床料。作为床料的粒子, 其流化特性应与锯木屑相近, 使锯木屑在媒体床料中流化时能混合良好, 而且作为媒体床料的粒子在高温下应具有稳定的化学及物理性能, 不易变性, 有足够的耐磨性, 价格相宜, 易于得到。

我们选择了八种不同的物料进行了实验室试验研究, 测得它们的临界流化速度(列

于表1)

表1 在室温下不同物料临界流化速度

床 料	平均粒径 d, mm	堆积比 θ $r_a, kg/m^3$	临界流化速度 $u_{mf}, m/s$
耐火砖末	0.558	1320	0.28
耐火砖末	0.681	1300	0.33
耐火砖末	0.929	1213	0.56
河 砂	0.692	1543	0.32
石英砂	0.262	1476	<0.07
石英砂	0.491	1470	0.18
石英砂	0.905	1430	0.66
石英砂	1.15	1410	0.74
锯木屑	0.678	154	0.13

自表1可见,只要选择合适的平均粒径,耐火砖末,河砂和石英砂均有可能取得和锯木屑相近的临界流化速度。实验表明,耐火砖末耐磨性能较差,在流化状态下,粒子互相碰撞磨擦,使粒径不断变小。河砂中常混杂很细的泥土杂质,高温下此类杂质性质难以预测,因此选用了粒径为 $0.491mm$ 的石英砂作为媒体床料。将所选的床料与锯木屑混合,锯木屑与石英砂的混合重量比例为1:24。在操作风速下流化,沿床层高度取样分析表明,物料混合良好。

2. 入炉空气量及其分配

为了最大限度地直接利用燃烧后的烟气热量用以干燥木材,炉内不宜布置受热面,用空气过剩量来控制炉温。热计算结果表明,在负荷为115%工况下,为保持悬浮段出口烟温为 $820^{\circ}C$,该处空气过剩系数应为1.9。因锯木屑挥发份很高,为保证挥发份及细粒锯木屑燃烬,应组织流化床内及悬浮段内的二级燃烧。取床内燃烧份额为0.75,把总空气量的15~20%作为二次风送入悬浮段。这样,即可决定送入床内及悬浮段内的总空气量。

3. 床内及悬浮段内空截面流速的确定

平均粒径为 $0.491mm$ 的石英砂冷态试验床层压降曲线示于图1。

自图1可见,其临界流化速度为 $0.18m/s$,良好流化速度为 $0.55m/s$ 。取室温时的操作风速为 $0.55m/s$,则流化数为3。

目前计算临界流化速度的关联式已有几十个,其中以 Wen 和 Yu 的公式[8]应用最

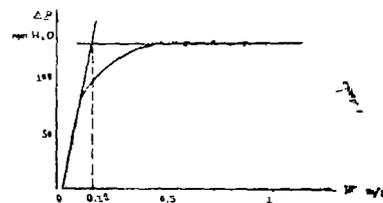


图1 石英砂(粒径=0.491mm)冷态试验床层压降曲线

广，其准则表达式为：

$$R_{c.m.f} = (33.7^2 = 0.0408 A A r)^{0.5} - 33.7 \quad (1)$$

按式(1)计算所得0.491mm石英砂的临界流化速度列于表2。

表2 平均粒径为0.491mm的石英砂的临界流化速度 ($u_{m.f}$ m/s)

床温 °C	20	500	600	700	800	900
$u_{m.f}$ m/s	0.19	0.115	0.106	0.099	0.093	0.088

可见室温下计算值十分接近实验值。随着温度的增高，流化更加良好。因此可以取室温下的实测良好流化速度作为床内的空截面流速。

为防止小粒子飞出悬浮段，悬浮段内的空截面流速应低于小粒子的终端速度。

可按式(2)计算终端速度 u_t 。

$$u_t = \left[\frac{4(\rho_s - \rho_g)^2 g^2}{225 \cdot \rho_g^2 \cdot \gamma} \right]^{1/2} \cdot d \quad (2)$$

- 式中 ρ_s, ρ_g ——粒子的比重 kg/m^3 ；
 γ ——气流的动力粘度， m^2/s ；
 d ——粒子直径， m ；
 g ——重力加速度， m/s^2 。

上式适用于 $0.4 \leq Re \leq 500$

根据上式计算，对0.315mm的细锯木屑，在800°C时的终端速度为0.63m/s。实测锯木屑粒度组成中，直径小于0.315mm的粒子只占1.5%以下。因此选取800°C对悬浮段中的烟气流速为0.65m/s。

4. 炉子主要几何尺寸的决定

已知送入床内及悬浮段的空气量，则可通过燃烧产物计算求得相应的烟气流量，考虑到床内和悬浮段烟温的差别，可求得悬浮段横截面积应为床面积的3.6倍左右，床和悬浮段间可用倒锥形过渡。为使0.315mm以下的细锯木屑得以在悬浮段内燃烬，取烟气在悬浮段内的平均时间为3秒，从而可求得悬浮段的高度。如此，炉子的主要几何尺寸得以确定。

5. 炉子其它结构的确定

布风板采用密排小风帽结构，以使布风均匀，并使石英砂不致漏洩。为简化给料口结构，采用自重负压给料，配以给料风，以防止阻塞。为防止炉内压力不稳定时引起给料口回火，采用动作灵敏的EXON舌板式锁气器。

为使结构简单并降低造价，选用了重型炉墙。

为尽可能降低烟气含尘量，采用下降烟道及沉降室。

炉子的结构示于图2。

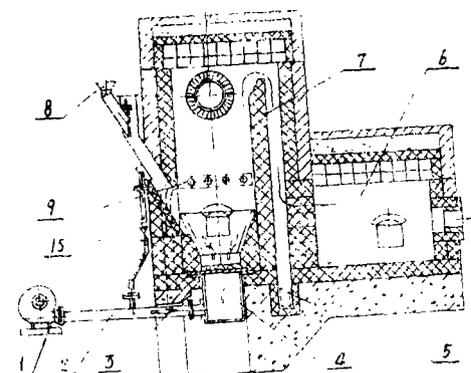


图2 锯木屑沸腾炉结构图

四、炉子的运行效果及结论

本炉在运行320余小时后，进行了三次全面的热工测试，主要测试结果列于表3[9]。

表3 锯木屑沸腾炉主要测试结果

序号	项目名称	符号	单位	工 况		
				第1工况	第2工况	第3工况
1	锯木屑发热量	Q_{DW}^0	kcal/kg	1889.93	1832.05	1876.77
2	锯木屑耗量	B	kg/h	183	122	180
3	气体不完全燃烧损失	q_3	%	0.0352	0.049	0
4	固体未完全燃烧损失	q_4	%	0.576	0.5304	0.577
5	燃烧效率	η_r	%	99.388	99.369	99.423
6	散热损失	q_5	%	7.774	6.685	7.690
7	炉子产热量	Q	kcal/h	3.45×10^5	2.35×10^5	3.38×10^5
8	床层温度	T_b	℃	737	523	728
9	悬浮段出口温度		℃	818	614	804
10	一次风流量	G_1	NM^3/h	842	842	842
11	二次风流量	G_2	NM^3/h	200	133	200
12	二次风率		%	19.2	14	19.2

从上表可见，炉子在额定负荷的78~115%范围内，燃烧效率均高于99%。

运行实践表明，本沸腾炉燃烧稳定，启动、停炉、运行控制及负荷调节方便灵活，对负荷变化的适应性好，燃烧适应性好，能稳定燃烧不同湿度的锯木屑。

炉子排烟含尘量极低，烟囱排烟黑度低于林格曼1级，夏季运行时肉眼看不到烟囱排出烟气。

实践证明，本沸腾炉设计正确，结构合理，采用媒体流化床燃烧高水份的锯木屑是经济可靠的。

参 考 文 献

1. NAOMASA NAKAJIMA & OTHER. "Study on Multi-purpose Stirling Engine driven with wood fuel", June 1981
2. Г.Ф.Кюппе, "Топочные процессы"
3. Arnold Almgvist, Hylte Bränsfab "PYROFLOW—A STATE OF THE ART REVIEW" .- AHLSTROM PYROFLOW SYMPOSIUM, Jan. 27—23 1986
4. Stave Northcross, Associate Editor. Fluid-Bed Eliminates Dual problems Timber processing Industry, June 1982.
5. L. CROSSE. wood-burning fluidized-bed combustion retrofit at NSP Slashes fuel cost by 90% Electric light & power Magazine, June 1982.
6. Energy products of IDAHO Fluidized bed combustion system, EPI Dec, 1982
7. FLuid flame system, EPI June, 1983
8. 国井大藏(日), O列文斯比尔(美)著 流态化工程石, 石油化学工业出版社
9. 锯末沸腾炉热工试验报告. 机械工业部哈尔滨电站设备成套设计研究所. 1986.8.



编 者 按

由哈尔滨七〇三研究所设计的媒体流化床燃锯木屑沸腾炉于1986年10月9日在黑龙
江省科委主持下, 于绥棱林业局通过了省级鉴定。

有关专家对该炉研制成功作出了高度评价。评语说: 沸腾炉的设计是成功的。采用
石英砂媒体流化床燃锯木, 方向正确, 方案合理。由于石英砂蓄热能力大, 具有可以
燃烧水份较高的锯木, 保证及时着火, 能稳定燃烧不同含水率的锯木的能力。有运行可
靠, 启动、停炉灵活, 对负荷适应性好, 能灵活调节出口温度, 反应灵敏等明显优点。

该炉结构合理, 发热量满足用户要求, 燃烧效率为99.4%。炉烟排放符合国家有关
规定标准。锯末沸腾炉的研制填补了国内空白, 由于燃烧锯末废料, 燃烧效率高具有国
内先进水平。经济效益显著, 对开发利用林区能源具有重要意义。该炉有广阔的应用前
景。

Synopsis

This paper discusses the major technical problems solved during the development of the first sawdust-fired fluidized-bed boiler in China, such as the selection of medium bed materials, the determination of fluidized-bed and suspended section wind velocity, the organization of combustion by stages, and boiler structural design. Operating experience has shown that the boiler operation is stable with a combustion efficiency higher than 99% being attained.

- 6. Soviet small capacity boilers

..... Translated by Huang Zhengxin (23)

MEASUREMENT AND TESTING TECHNIQUES

- 7. A simple and accurate method for monitoring gas turbine reduced speeds

.....Li Jiuxing (27)

Synopsis

Gas turbine characteristics are normally expressed in terms of nondimensional or reduced parameters, because the performance of a gas turbine depends on the atmospheric conditions under which it works. During shore testing, the working conditions of marine gas turbines are also set by using respective reduced speeds in order to bring into correspondence with their operational points. This paper introduces a simple and accurate method for monitoring reduced speeds.

- 8. The dynamic balance test on a test rig of a cantilever-type single disc flexible rotor by use of a three-circle method

..... Sun Guoweī (33)

- 9. Combustor liner wall temperature measurements for naval gas turbines

.....Wang shuxia, Ma Shaolu, Zhu Zuhong (38)

Synopsis

A brief description is given in this paper of the measurements of combustor liner wall temperature fields of a naval gas turbine during its start-up, acceleration, off-design operation as well as under maximum and normal load by use of temperature data acquisition system with a microprocessor serving as its main component. The measurement results have given a truthful picture of the dynamic variation characteristics of the liner wall high temperature sections following the adoption of a series of new cooling techniques. The paper has provided designers and operators with a solid basis for making a technical appraisal of combustor liners.

COMPUTING TECHNIQUES

- 10. Algebraic interpolation of multivariate functions and its use in axial-radial diffuser design