

# 10~100 mm 长度的棉秆在流化床中的燃烧特性

孙志 翱 金保升, 章名耀

(东南大学 能源与环境学院, 江苏 南京 210096)

**摘 要:** 在热功率为 0.2 MW 流化床试验装置上研究了 10~100 mm 纯棉秆在不同工况下的燃烧特性, 分析了棉秆及棉秆灰的物理化学特性, 试验采用高铝矾土替代床料。结果表明, 当流化数  $N > 3$  时, 密相区温度能维持在 850~880 °C, 并保持稳定燃烧, 说明棉秆和床料能够较好地混合。试验过程中对主要污染物排放浓度进行了测定, 经过 38 h 连续运行, 床料基本保持原来的形貌, 没有出现结块现象。试验表明, 10~100 mm 纯棉秆能够适合流化床燃烧, 这对于大规模的商业应用具有重要的指导意义。

**关 键 词:** 流化床; 长棉秆; 床料; 燃烧特性

中图分类号: TK6; TK16 文献标识码: A

## 引 言

秸秆具有“两小两多”的特点, 即: 热值小, 密度小; 钾含量多, 挥发分多<sup>[1~2]</sup>。针对其特点, 直燃锅炉设计时应应对燃烧室、受热部件以及供风系统在结构上进行适当调整。流化床燃烧技术具有较高的燃烧效率、良好的燃料适应性和优越的环保性能, 同样能够适用于秸秆燃烧<sup>[3~4]</sup>。前人对通过造粒或者切碎成几毫米的秸秆在流化床中的燃烧特性进行了研究, 但是, 对长秸秆的相关研究还很少报道。我国棉秆储量十分丰富, 对于棉秆流化床燃烧发电厂, 为了减少预处理工作量, 从经济性和可行性考虑, 一般只能把棉秆加工到 10~100 mm 左右, 并对 10~100 mm 长棉秆流化床燃烧特性进行可行性分析。

## 1 棉秆的基本性质

### 1.1 棉秆的元素分析及工业分析

棉秆的真实密度在 450 kg/m<sup>3</sup> 左右, 长度为 10~100 mm 棉秆堆积密度为 90~130 kg/m<sup>3</sup>。棉秆成份分析结果如表 1 所示, 棉秆中 S 和 N 含量都不高, 燃烧后烟气容易做到达标排放。棉秆灰分含量较

低、挥发分较高, 但属高氧含量, 其热值比较低。采用 ICP 技术 (Inductively Coupled Plasma Methodology) 对棉秆中其它元素主要是碱金属进行了测定, 测试结果如表 2 所示, 从表中可以看出, 棉秆中碱金属含量较高, 流化床燃烧时, 部分碱金属残留在棉秆灰中, 另一部分碱金属在加热的条件下会释放到气态烟气中, 这都会对锅炉的正常运行造成不利影响。

表 1 棉秆的成份分析 (%)

元素分析		工业分析	
C	44.58	W	8.41
H	5.46	A	1.75
O	39.43	V	67.97
N	0.23	FC	21.87
S	0.14		

表 2 棉秆 ICP 元素分析 (%)

元 素	数 值
K	0.99
Ca	0.25
Cl	0.29
Mg	0.12
P	0.096
Si	0.086
Na	0.11
Al	0.008 6
Fe	0.007 1
Ti	0.003

### 1.2 棉秆热值的估算

固体燃料和液体燃料发热量一般用氧弹测热仪测出, 对于生物质燃料, 在没有测量数据的情况下, 可以用文献[5]中两个经验公式来计算干燥基下的高位发热量 (HHV)。

收稿日期: 2008-03-23; 修订日期: 2008-12-08

基金项目: 国家重点基础研究发展计划基金资助项目 (2007CB210208)

作者简介: 孙志翱 (1971-) 男, 江苏高邮人, 东南大学博士研究生。

用 Dulong 公式估算煤的高位发热量比较准确, 但用来估算生物质燃料其计算误差就相对较大, 所以, 需要对 Dulong 公式进行修正, 修正后的 Dulong 公式为:

$$HHV = (33.5C + 142.3H - 15.4O - 14.5N) \times 10^{-2} \quad (1)$$

另一种估算方法是根据固定碳的含量计算其高位发热量, 计算公式为:

$$HHV = 0.196FC + 14.119 \quad (2)$$

式中元素符号分别代表该元素在干燥基下的质量百分比, 根据表 1 棉秆成份分析数据, 用式(1)计算得棉秆干燥基 HHV 为 18.12 MJ/kg, 用式(2)计算得棉秆干燥基 HHV 为 18.80 MJ/kg, 两种方法计算的结果相差不大。

### 1.3 棉秆灰成份及灰性质分析

按照化学性质不同, 灰中成份可以分为酸性氧化物和碱性氧化物。酸性成份包括  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{TiO}_2$  等; 碱性成份包括  $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$  和  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  等。棉秆灰成份分析结果如表 3 所示, 从表中看出, 棉秆灰中碱金属特别是  $\text{K}_2\text{O}$  含量较高, 在流化床燃烧过程中, 一方面会造成普通石英砂床料结块, 即生成了低熔点的物质; 另一方面, 由于灰的烧结强度较大, 过热器受热面易发生高温烧结性积灰。

表 3 棉秆灰成份分析 (%)

组 分	数 值
$\text{SiO}_2$	7.33
$\text{Al}_2\text{O}_3$	3.36
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	1.61
$\text{CaO}$	10.33
$\text{MgO}$	4.45
$\text{Na}_2\text{O}$	3.36
$\text{K}_2\text{O}$	18.76
$\text{TiO}_2$	0.61
$\text{P}_2\text{O}_5$	6.12

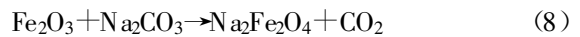
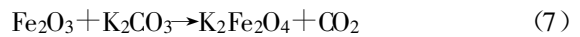
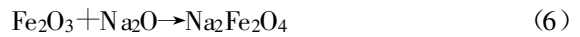
#### 1.3.1 床料结块特性分析

生物质燃料流化床燃烧时存在的主要问题是床料的结块, 一方面由于生物质灰本身的灰熔点比较低; 另一方面, 当选用石英砂床料时, 生物质燃烧过程中, Na 和 K 在一定条件下会与  $\text{SiO}_2$  生成  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$  和  $\text{K}_2\text{O} \cdot 4\text{SiO}_2$  低温共熔混合物, 其熔点分别为 874 和 764  $^{\circ}\text{C}$ , 从而引起与石英砂床料相互粘结, 导致流化床温度和压力波动较大, 最终使得床层无法

正常流化, 其反应方程式为<sup>[9]</sup>:



但是, 如果灰中含有较多的  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 碱金属化合物会首先和  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  发生式(5)~式(8)的反应, 反应生成物熔融温度超过了 1135  $^{\circ}\text{C}$ , 而式(3)~式(4)的反应就得到抑制, 床料结块可能性减弱。



根据以上分析, 为了表征不同生物质燃料流化床燃烧时床料结块特性, 引入结块指数 BAI (the Bed Agglomeration Index) 的概念, 其表达式为<sup>[7]</sup>:

$$BAI = \frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}} \quad (9)$$

当燃料灰  $BAI < 0.15$ , 流化床燃烧时, 普通石英砂床料就会出现结块现象。计算得棉秆灰 BAI 值为 0.073, 可以看出, 如果不采取相应措施, 棉秆流化床燃烧时, 石英砂床料结块是不可避免的。为了减小床料结块的可能性, 可以采取以下措施: (1) 采用水洗的方法, 通过水洗能够去除 80% 以上的碱金属, 同时也能去除 90% 以上的氯, 这样就能适当提高水洗后棉秆灰的熔融温度<sup>[8]</sup>; (2) 流化床燃烧温度不能太高, 最好控制在 900  $^{\circ}\text{C}$  以下。另外, 可以采用替代床料防止普通床料的结块, 替代床料有石灰石、白云石和高铝矾土等<sup>[9~11]</sup>。Saxena 等人研究花生壳和其它燃料在流化床中混烧特性<sup>[12]</sup>, 比较了石英砂和高铝矾土床料的结块情况, 研究发现, 当采用石英砂床料时容易造成床料的结块, 当炉膛温度超过 1 000  $^{\circ}\text{C}$  时, 床料结块严重, 不能正常流化; 而采用高铝矾土床料就没有出现结块现象。

#### 1.3.2 棉秆灰烧结性分析

灰分的烧结性是指灰分在高温对流受热面(比如过热器)生成高温烧结性积灰的能力, 同样, 灰分的烧结性主要与灰的成份有关。灰中所含碱性物质(主要是  $\text{Na}_2\text{O}$  和  $\text{K}_2\text{O}$ ) 愈多, 灰的烧结性愈强, 过热器就愈容易积灰, 现引入以下两种灰分烧结指数<sup>[7]</sup>:

(1)  $R_{b/a}$  (the base-to-acid ratio) 指数, 为碱性氧化物与酸性氧化物质量比:

$$R_{b/a} = \frac{\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}}{\text{SiO}_2 + \text{TiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3} \quad (10)$$

随着  $R_{b/a}$  值增加, 生物质灰的烧结性能增加, 当  $R_{b/a} > 0.75$  时, 就会出现烧结现象; 计算得出棉

秆灰  $R_{b/a}$  值为 3.74, 表明棉秆灰烧结性能很强。

(2) 强碱金属氧化物指数  $AI$  (the Alkali Index) 也可预测灰分的烧结性, 其为强碱性金属氧化物质量与燃料热值之比:

$$AI = \frac{A_{dry}(K_2O + Na_2O)}{HHV} \quad (11)$$

式中:  $HHV$ —燃料干燥基高位发热值,  $GJ/kg$ ;  $A_{dry}$ —干燥基灰分。当  $AI$  数值在  $0.17 \sim 0.34 \text{ kg/GJ}$  之间, 发生灰分烧结的可能性很大; 当  $AI > 0.34 \text{ kg/GJ}$  时, 会发生比较严重的烧结现象。计算得棉秆的  $AI$  值为  $2.45 \text{ kg/GJ}$ , 说明棉秆流化床燃烧时一定要注意高温过热器的烧结性积灰, 有必要采取有效的吹灰措施。

## 2 棉秆流化床燃烧试验

### 2.1 替代床料

由于长度为  $10 \sim 100 \text{ mm}$  棉秆形状很不规则, 当量直径相差较大, 密度又比较小, 因此, 纯棉秆在流化床中很难单独流化, 需要加入惰性床料形成混合物一起帮助流化。为了防止棉秆流化床燃烧时发生床料结块现象, 试验选择了高铝矾土床料, 其粒径分布如表 4 所示, 高铝矾土真实密度和堆积密度分别为  $2760$  和  $1480 \text{ kg/m}^3$ 。

表 4 高铝矾土床料粒径分布

泰勒目数	$d_1/mm$	$d_2/mm$	粒径范围内床料所占重量百分比/%
16~24	1.0~0.7	0.842	34.8
24~42	0.7~0.355	0.515	23.7
42~80	0.355~0.18	0.253	20.6
80~150	0.18~0.106	0.147	13.4
150~270	0.106~0.053	0.082	7.5

### 2.2 试验装置

热态试验装置如图 1 所示, 流化床密相区高  $1.2 \text{ m}$ , 截面积为  $230 \text{ mm} \times 230 \text{ mm}$ ; 稀相区高  $4.5 \text{ m}$ , 截面积为  $460 \text{ mm} \times 395 \text{ mm}$ , 过渡段高  $0.2 \text{ m}$ , 炉体内部用耐火砖砌筑而成, 在  $1.8 \text{ m}$  处布置有二次风入口, 距离布风板不同高度上装有温度测点。布风装置为风帽式布风板, 共有 22 个风帽, 每个风帽上有 4 只  $\phi 4 \text{ mm}$  孔, 开孔率为  $2.1\%$ 。由于长棉秆不适宜螺旋加料器加料, 所以采用星型加料器, 总体上星型加料器能使棉秆加料稳定, 并保证加料口具有较好的密封性, 不致漏入太多的空气。

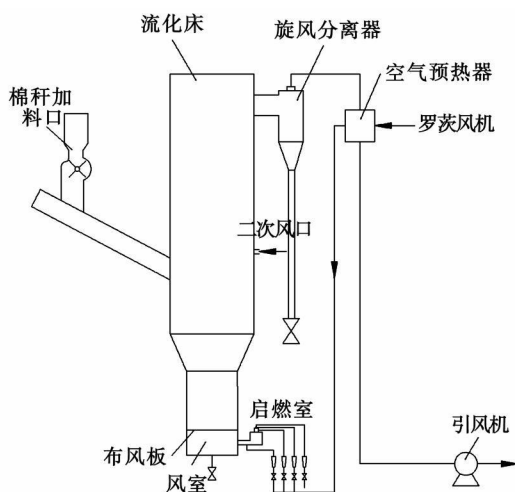


图 1 0.2 MW 试验装置示意图

### 2.3 试验目的

由于棉秆挥发分较多, 析出速度较快, 析出后很快就能燃烧。合理调整一、二次风配比, 对于均匀床温, 提高燃烧效率非常重要, 试验结束后观察高铝矾土床料结块情况。

### 2.4 试验结果与分析

试验时棉秆平均加料量在  $35 \text{ kg/h}$  左右, 床层的临界流化速度为  $0.44 \text{ m/s}$  左右, 运行时发现当流化速度小于  $1.4 \text{ m/s}$ , 对应的流化数  $N < 3$  时, 密相区床温会出现波动, 燃烧不太稳定, 说明此时棉秆和床料混合得很不均匀, 这和冷态试验结果是一致的<sup>[13]</sup>。为了确保密相区稳定燃烧, 试验时主要采取表 5 所示的燃烧工况, 在表 5 运行工况下, 床层压降比较稳定, 没有太大的波动, 整个试验过程没有排渣。

表 5 棉秆流化床燃烧典型工况

工 况	过量空气系数 $\lambda$	一次风量 / $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	流化速度 / $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	二次风量 / $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	一、二次风流量比
1	1.14	100	2.11 ( $N=4.80$ )	60	1: 0.6
2	1.14	80	1.69 ( $N=3.84$ )	80	1: 1
3	1.36	120	2.53 ( $N=5.76$ )	70	1: 0.58
4	1.36	100	2.11 ( $N=4.80$ )	90	1: 0.9
5	1.36	80	1.69 ( $N=3.84$ )	110	1: 0.38
6	1.50	120	2.53 ( $N=5.76$ )	90	1: 0.75
7	1.50	100	2.11 ( $N=4.80$ )	110	1: 1.1

图 2 为表 5 不同工况下沿床高的温度场分布。从图中可以看出, 以上运行工况下密相区温度能控制在  $850 \sim 880 \text{ }^\circ\text{C}$ , 说明当流化数  $N > 3$  时, 棉秆和床料混合得较好。从图 2(a) 可以看出, 在相同的过量空气系数  $\lambda = 1.14$ , 流化风量降低时, 密相区床温有

所下降, 二次风量增加, 稀相区温度上升, 整个炉内温度升高并趋于均匀, 这主要由于棉秆燃烧时有较多的挥发分析出, 当二次风量适当增加时, 稀相区的燃烧份额也会增加; 从图 2(b)看出, 当过量空气系

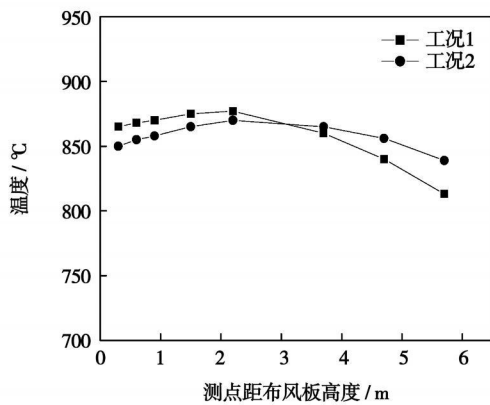
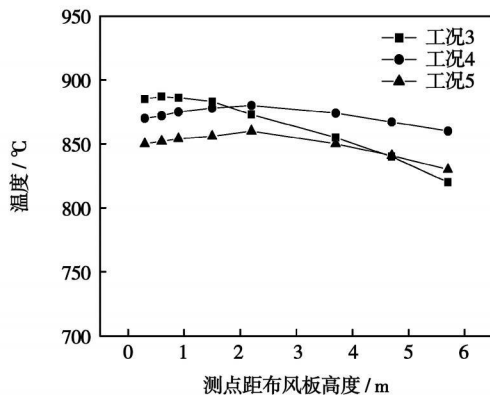
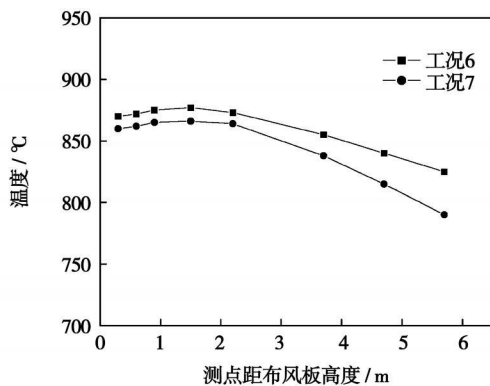
(a)  $\lambda=1.14$ (b)  $\lambda=1.36$ (c)  $\lambda=1.50$ 

图 2 典型工况下沿床高的温度分布

数增加到  $\lambda=1.36$ , 一、二次风比率为 1:0.9 时, 整个炉膛温度已相对一致, 但是, 如果二次风继续增大到过量时, 稀相区乃至整体床温会有较大幅度的下降。二次风量对棉秆流化床燃烧特性的影响是以下两个因素综合作用的结果: 一方面, 二次风增加后, 稀相区有了充足的氧气, 使得棉秆挥发分能够完全燃烧; 另一方面, 当二次风过量时, 会冷却烟气, 使得床温

下降, 造成 CO 不能完全燃烧。因此, 为了保证流化床稳定燃烧, 并尽可能提高燃烧效率, 二次风量最好选择合理, 从图中可以看出, 在工况 4 运行下, 沿整个床层高度温度都控制在  $875^{\circ}\text{C}$  左右, 说明此时棉秆和床料混合得较好, 一、二次风配比比较合理, 能达到棉秆流化床燃烧要求。图 2(c) 中试验结果说明如果过量空气系数太大, 燃烧状况会变差, 特别稀相区温度难以控制。

试验过程中对不同工况烟气成份进行了测量, 烟气首先通过过滤器, 用 NGA2000 烟气分析仪测量了烟气中  $\text{O}_2$ 、CO、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{SO}_2$  和  $\text{NO}_x$  浓度, 分析结果如表 6 所示。其中由于烟气中  $\text{NO}_2$  和  $\text{N}_2\text{O}$  较低, 可以忽略, 烟气中  $\text{SO}_2$  和 NO 浓度主要取决于棉秆中硫和氮的含量, 由于棉秆中硫和氮的含量较低, 烟气中  $\text{SO}_2$  和 NO 排放浓度都不是太高, 折算到氧体积含量为 6% 时,  $\text{SO}_2$  体积浓度为  $32 \times 10^{-4}\%$  ~  $60 \times 10^{-4}\%$ , NO 体积浓度为  $120 \times 10^{-4}\%$  ~  $183 \times 10^{-4}\%$ 。

根据烟气中 CO 浓度和飞灰中残碳量, 可以近似计算生物质燃烧效率, 对于棉秆流化床燃烧, 因为棉秆灰含量为 1.75%, 试验测得飞灰中含碳量在 4% 左右, 因此飞灰不完全燃烧引起的热损失可以忽略不计。棉秆流化床燃烧效率可以按式 (12) 计算, 从表 6 的计算结果可以看出, 棉秆在流化床中燃烧效率超过 99.5%, 在工况 4 运行下, 燃烧效率达到 99.88%, 棉秆基本上能做到完全燃烧。

$$\eta = \frac{\text{CO}_2[\%]}{\text{CO}[\%] + \text{CO}_2[\%]} \quad (12)$$

整个试验过程连续进行了 38 h, 待试验结束炉体冷却后放出了底料, 发现燃烧后替代床料没有出现结块现象, 基本保持原来的形貌。根据以前的试验结果, 用石英砂作为床料, 经过 4 h 燃烧, 就会出现严重的床料结块现象<sup>[10]</sup>, 说明高铝矾土床料能够适合棉秆流化床燃烧。底渣中几乎看不到棉秆灰, 大部分棉秆灰以飞灰的形式排出。综上所述, 长度为 10~100 mm 的纯棉秆流化床燃烧是切实可行的。

表 6 棉秆流化床燃烧烟气成份分析(氧体积含量为 6%)

工况	CO/%	CO <sub>2</sub> /%	SO <sub>2</sub> /%	NO/%	燃烧效率/%
1	$496 \times 10^{-4}$	10.69	$54 \times 10^{-4}$	$151 \times 10^{-4}$	99.54
2	$460 \times 10^{-4}$	11.91	$37 \times 10^{-4}$	$132 \times 10^{-4}$	99.62
3	$270 \times 10^{-4}$	13.77	$49 \times 10^{-4}$	$183 \times 10^{-4}$	99.80
4	$190 \times 10^{-4}$	15.92	$32 \times 10^{-4}$	$148 \times 10^{-4}$	99.88
5	$268 \times 10^{-4}$	12.74	$60 \times 10^{-4}$	$120 \times 10^{-4}$	99.79
6	$275 \times 10^{-4}$	10.40	$46 \times 10^{-4}$	$165 \times 10^{-4}$	99.74
7	$295 \times 10^{-4}$	9.86	$52 \times 10^{-4}$	$136 \times 10^{-4}$	99.70

### 3 结 论

(1) 长度为 10~100 mm 棉秆真实密度为 450 kg/m<sup>3</sup>, 堆积密度在 90~130 kg/m<sup>3</sup> 之间, 棉秆中 S 和 N 含量都不高, 棉秆灰分较低、挥发分较高, 其热值比较低, 试验棉秆的干燥基高位发热量在 18.5 MJ/kg 左右。棉秆中碱金属含量较多, 普通床料很容易结块, 试验中采用了高铝矾土替代床料。由于棉秆灰烧结强度很高, 实际运行中需采取相应措施, 防止高温过热器发生烧结性积灰。

(2) 在 0.2 MW 流化床试验装置上对 10~100 mm 纯棉秆燃烧特性进行了研究, 结果表明, 棉秆具有很好的着火性能, 当流化数  $N > 3$  时, 棉秆与一定粒径分布的高铝矾土床料能较好地混合, 密相区保持稳定燃烧, 温度控制在 850~870 °C。过量空气系数及一、二次风配比对棉秆燃烧效率影响较大, 炉内过量空气系数  $\lambda = 1.2 \sim 1.4$  为宜; 在相同的过量空气系数下, 随着流化风速降低, 密相区床温下降, 稀相区温度升高, 整个炉内温度升高并趋于均匀, 但二次风不能过量; 当一、二次风配比为 1:0.9 时, 炉膛温度场比较均匀, 此时燃烧效率较高。试验后高铝矾土床料没有发生结块现象, 试验结果为 10~100 mm 纯棉秆流化床燃烧的工业应用提供了参考依据。

#### 参考文献:

- [1] 赖艳华, 吕明新, 马春元等. 秸秆类生物质热解特性及其动力学研究[J]. 太阳能学报, 2002, 23(2): 203-206
- [2] 蒲 舸, 张 力, 辛明道. 王草的热解与燃烧特性实验研究[J].

中国电机工程学报, 2006, 26(11): 65-69.

- [3] KUPRIANOV V I, PERMCHART W, JANVIJITSAKUL K. Fluidized bed combustion of pre-dried thai bagasse[J]. Fuel Processing Technology, 2005, 86(8): 849-860.
- [4] FANG M, YANG L, CHEN G, et al. Experimental study on rice husk combustion in a circulating fluidized bed[J]. Fuel Processing Technology, 2004, 85(11): 1273-1282.
- [5] DEMIRBAS A. Combustion characteristics of different biomass fuels[J]. Progress in Energy and Combustion Science, 2004, 30(2): 219-230.
- [6] WERTHER J, SAENGER M, HARTGE E U, et al. Combustion of agricultural residues[J]. Progress in Energy and Combustion Science, 2000, 26(1): 1-27.
- [7] VAMVUKA D, ZOGRAFOS D. Predicting the behaviour of ash from agricultural wastes during combustion[J]. Fuel, 2004, 83(14): 2051-2057.
- [8] JENKINS B M, BAKKER R R, WEI J B. On the properties of washed straw[J]. Biomass and Bioenergy, 1996, 10(4): 177-200.
- [9] SHIMIZU T, HAN J, CHOI S, et al. Fluidized-bed combustion characteristics of cedar pellets by using an alternative bed material[J]. Energy and Fuels, 2006, 20: 2737-2742.
- [10] 孙志翱, 金保升, 章名耀, 等. 流化床燃烧棉秆的混合流化特性及床料的选择[J]. 动力工程, 2007, 27(6): 943-948.
- [11] LIN W, JOHANSEN K D, FRANSEN F. Agglomeration in bio-fuel fired fluidized bed combustors[J]. Chemical Engineering Journal, 2003, 96(3): 171-185.
- [12] SAXENA S C, RAO N S, KASI A N. Fluidized bed incineration of peanut-hull pellets // Proceedings of the 12th International Conference on Fluidized Bed Combustion[C]. San Diego, CA, 1993, 1189-1199.
- [13] 孙志翱, 金保升, 章名耀, 等. 流化床燃烧棉秆与床料的混合特性及混合质量评判标准[J]. 东南大学学报, 2007, 37(6): 996-1000.

(编辑 单丽华)

#### 新技术、新工艺

## 涡轮机组轴系法兰连接装配工艺的改进

据《Электрические Станции》2008年5月号报道, 涡轮机轴系法兰连接多次的分解—装配往往会导致轴系弯曲度和转子轴线角偏差的改变, 这种现象是200和300 MW 汽轮机高压转子—中压转子法兰连接紧固件破坏原因之一。这时, 常常是3~4个螺栓同时破坏。

为此, ВТИ(全俄热工研究所)对此问题进行了分析研究, 并对涡轮机组轴系法兰连接的装配工艺提出了改进。

为了提高振动可靠性, 减少耗费的时间和避免在半联轴器内膛孔的破坏, 建议利用锥形套筒和紧固件液力拉伸进行联轴器的装配。

易拆卸的紧固件允许减少销钉截面内的当量应力并增加强度安全系数。

使用易拆卸紧固件的重复装配排除了内槽道和螺栓配合部分的破坏、弯曲度的产生, 并允许在装配后保证转子中心线较小的角偏差。

(吉桂明 供稿)

as the bed layer coke distribution under the following two operating conditions, i. e.  $O_2/N_2=21:79$  and  $O_2/N_2=25:75$ . The simulation results show that when the oxygen concentration of the primary air is increased from 21% to 25% (by volume), the average temperature of the combustion zone on the surface of MSW bed layer will rise from 1 350 K to 1 466 K, namely, an increment of 116 K. The combustible (coke) content of ash slag will decline from 3.9% to 0.1% (by weight). With an increase of oxygen concentration, the ignition location of the MSW will shift forward with the MSW entering a steady combustion stage ahead of schedule. The simulation results are in good agreement with the test ones measured by predecessors. **Key words:** municipal solid waste (MSW), incineration, oxygen enrichment, numerical simulation, Martin reciprocating grate

10 ~ 100 mm 长度的棉秆在流化床中的燃烧特性 = **Combustion Characteristics of Cotton Stalks of 10 to 100 mm in Length Burnt in a Fluidized Bed** [刊, 汉] / SUN Zhi-ao, JIN Bao-sheng, ZHANG Ming-yao (College of Energy Source and Environment, Southeast University, Nanjing, China, Post Code: 210096) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2009, 24(2). — 252 ~ 256

Described were the physicochemical characteristics of cotton stalks of 10 to 100 mm in length and their ash. With high alumina bauxite serving as bed material, and on a fluidized bed test rig having a thermal power output of 0.2 MW, the combustion characteristics of pure cotton stalks in question were studied under different operating conditions. It has been found that when the fluidization number  $N$  is greater than 3, the temperature in a dense-phase zone ranging from 850 to 880 °C, and a stable combustion can be maintained, indicating that the cotton stalks and the bed material can be mixed relatively well. During the test, the concentration of main pollutant emissions was measured. After a continuous operation of 38 hours, the bed material has basically kept its original shape and appearance unchanged, and no agglomeration phenomena emerged. The tests show that the pure cotton stalks can adapt themselves to combustion in fluidized beds, and this is of major significance for guiding commercial applications on a large scale. **Key words:** long cotton stalk, bed material, fluidized bed, combustion characteristics

混流式水轮机导叶叶道内湍流场的大涡模拟 = **Large Eddy Simulation of the Turbulent Flow Field in Guide Vane Flow Passages of a Mixed-flow Type Water Turbine** [刊, 汉] / WANG Wen-quan, ZHANG Li-xiang, YAN Yan, et al (Department of Engineering Mechanics, Kunming University of Science and Technology, Kunming, China, Post Code: 650093) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2009, 24(2). — 257 ~ 260

By using the  $N-S$  control equation of a nonsteady incompressible fluid and the dynamic sub-grid turbulence model of a large eddy simulation, and based on mixed grid techniques, the authors have employed SIMPLC algorithm to seek separate solutions to velocity and pressure variables. As a result, obtained were the distribution of velocity field, pressure field and vorticity field in the whole flow passages of the movable guide vanes of an A55x type test-model water turbine. The calculation results show that the eddy belt formed by the stream encircling the movable guide vanes further develops downstream, leading to a nonuniform velocity and pressure distribution at the inlet of the rotating wheel and exercising a direct influence on the flow state inside the wheel. In the meanwhile, studied were the dynamic characteristics of the nonuniform flow field after the guide vanes. It has been found that the closer to the downstream, the smaller the time-averaged pressure and speed nonuniformity. However, the values of transient nonuniformity at various cross sections have a relatively big difference. It is proposed that to identify the cross section, which always has the minimum time-averaged speed nonuniformity after the blades, should become an important design effort and index for the hydraulic design of future water turbines. **Key words:** energy source and power engineering, flow field dynamic characteristics, guide vane flow passage, large eddy simulation, dynamic sub-grid model