

生物质气化燃气低位热值影响因素的试验研究

吉恒松,王 谦,成 珊,王 爽

(江苏大学 能源与动力工程学院 江苏 镇江 201013)

摘 要: 针对生物质气化燃气的低位热值受气化温度、蒸汽与生物质质量配比(简称质量配比) 及当量比等多种因素影响, 且这些因素又相互作用的实际情况, 采用正交设计的试验方法研究上述 3 个主控因素对生物质气化燃气低位热值影响的敏感程度, 再用极差分析和方差分析方法对试验结果进行分析, 得到影响燃气低位热值的显著性关系以及因素组合的最佳水平。试验结果表明: 在试验条件范围内, 各因素及其交互作用对热值影响的主次顺序为: 当量比 > 气化温度 > 质量配比 > 质量配比与当量比的交互作用 > 气化温度与质量配比的交互作用 > 气化温度与当量比的交互作用, 其中当量比、气化温度、质量比对燃气低位热值的影响特别显著。交互作用分析获得生物质气化制取燃气的优化方案: 气化温度 750℃, 质量配比 0.75, 当量比 0.25, 在该条件下燃气的低位热值最高(6.530 MJ/m³)。

关 键 词: 生物质; 气化; 低位热值; 影响因素; 正交试验

中图分类号: TK6

文献标识码: A

引 言

生物质气化是指将生物质在高温下部分氧化产生低热值燃气的技术, 气化过程仅仅产生燃气和灰烬残余物、少量的氮氧化物和硫氧化物, 经济性高, 是生物质清洁利用的一种主要形式^[1~3]。生物质气化产生的燃气可直接燃烧或用做燃气轮机的燃料发电, 热值越高, 发电效率越高。生物质气化燃气的低位热值主要受气化温度、蒸汽生物质质量配比、当量比等因素的影响^[4~10]。目前, 生物质气化的试验研究通常采用单因素分析法, 即先固定其它影响因素, 只改变一个影响因素, 然后逐个因素优化, 该方法仅停留在分析某个因素对热值的影响, 由于没有考虑多种因素的交叉和综合作用, 存在着明显的局限性, 而交互正交设计^[11~13]不仅考虑到每个因素的单独

作用, 且兼顾因素间的交互作用对燃气低位热值的影响。

本研究以空气和蒸汽为气化剂, 在基于感应加热的生物质气化试验装置上进行生物质气化试验^[14], 采用交互正交试验设计方法, 考察气化温度、蒸汽生物质质量配比、当量比 3 个因素及其交互作用对燃气低位热值的影响。通过极差分析和方差分析, 对各因素及其交互作用进行显著性检验, 掌握了影响燃气低位热值的因素主次关系, 得出各参数优化匹配组合, 为生物质气化装置的工业应用补充基础数据及提供理论指导。

1 试 验

1.1 试验原料

试验中所用原料为江苏省某地的稻壳, 经粉碎、筛分, 选取粒度为 0.1~0.3 mm(20~30 目) 的物料进行试验, 其工业分析、元素分析如表 1 所示。根据稻壳的元素分析, 可以计算出其化学表征式: CH_{1.7}O_{0.8}。

表 1 稻壳的工业分析、元素分析(收到基)

Tab. 1 Industrial and elementary analysis of rice husk(as - received basis)

工业分析 / %			元素分析 / %					
M _{ar}	FC _{ar}	V _{ar}	A _{ar}	C _{ar}	H _{ar}	O _{ar}	N _{ar}	S _{ar}
7.89	14.77	75.78	1.56	40.06	5.61	43.88	0.9	0.1

1.2 试验装置

生物质气化试验装置如图 1 所示。该装置由螺旋进料装置、流化床气化反应器、感应加热装置、蒸

收稿日期: 2013 - 04 - 23; 修订日期: 2013 - 05 - 27

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51276084); 江苏高校优势学科建设工程项目(苏政办发[2011]6 号); 江苏大学研究生创新基金资助项目(1291130016)

作者简介: 吉恒松(1979 -), 男, 江苏泰州市人, 江苏大学博士生。

汽发生器、空气压缩机、预热器、旋风分离器、喷淋塔等组成,其中流化床反应器总高度 1 640 mm,由上、中、下 3 段组成,上段和下段是 304 不锈钢制成的反应器壳体,上段高度 640 mm、内径 60 mm,下段高度 500 mm、内径 30 mm;中段安装有感应加热装置,刚玉材质的壳体(高度 500 mm、内径 40 mm)外部缠绕有 8 匝空心铜管(管径 10 mm)作为感应加热线圈(线圈内径 55 mm),壳体内部垂直方向均布 5 根耐高温不锈钢 310S 棒材(高度 500 mm、直径 10 mm)作为感应加热件。流化床气化反应器的上段布置 3 个测温点,采用 JK-16U 温度巡检仪在线监测各测温点的温度,取 3 个测点温度平均值为气化温度。

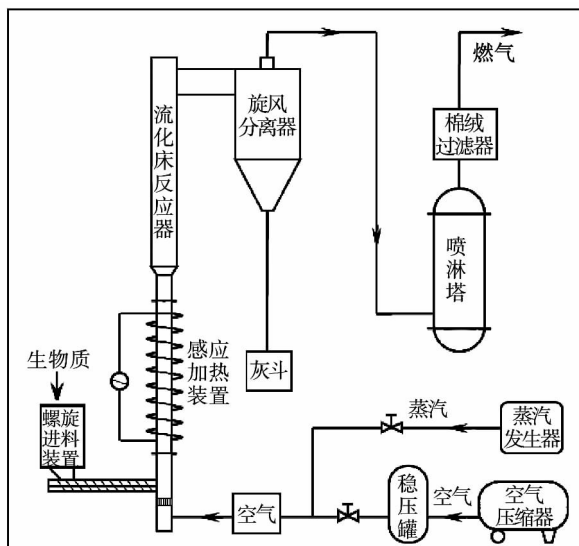


图 1 生物质气化试验装置

Fig. 1 Biomass gasification test device

生物质颗粒通过螺旋进料装置加入到流化床反应器内部,空气压缩机产生的高压空气(0.4 MPa)经稳压罐稳压后,与蒸汽发生器产生的饱和蒸汽(0.4 MPa、143 ℃)混合,经预热器过热至 250 ~ 350 ℃通入流化床反应器底部的风室内,通过布风板上的小孔进入反应器内部,促使颗粒状生物质原料和石英砂床料在反应器内流化,并与表面高温的感应加热件发生强烈热交换,生物质颗粒发生热解和气化反应,挥发分析出,热解气体产物和剩余固态物质与空气和蒸汽发生化学反应,生成 H₂、CO、CH₄、CO₂ 等气体。反应器出口的燃气依次进入旋风分离器、喷淋塔和棉绒过滤器,脱除焦油、细微粉尘和雾滴。

生物质进料速率由变频器控制,蒸汽流量通过

调整蒸汽发生器功率控制,空气流量由储气罐的出气阀门控制。通过调整感应加热电源的功率控制感应加热件的温度,进而控制气化温度。

试验中,每次调整生物质进料速率、蒸汽流量或空气流量后,运行 15 min 再微调感应加热装置的功率,使气化反应器工作于预定温度,系统在预定温度下稳定运行 20 min 后,开始进行相关参数的测量。用便携红外煤气成分及热值仪(Gasboard-3100P)在线测量产物气的低位热值。每个试验工况稳定运行 1 h,每隔 20 min 测量一次,共测量 3 次,试验结果取平均值。

1.3 试验因素确定和试验方案设计

试验中,控制空气流量为 13 g/min,进料速率分别设为 8 ~ 11.2 g/min,蒸汽流量为 6 ~ 14 g/min,通过调整感应加热装置功率控制气化温度为 600 ~ 750 ℃。在生物质气化过程中,通入适量蒸汽可以提高产物气的质量,蒸汽生物质质量比是指蒸汽流量与生物质进料速率的比值,其值一般在 0.4 ~ 4.0 之间^[15-17];当量比是指实际的空燃比与理论上完全燃烧时空燃比的比值,与空气流量和生物质进料速率有关,是生物质气化反应的重要参数,其值一般在 0.25 ~ 0.45 之间^[3,17-19]。经计算得出本试验中当量比为 0.25 ~ 0.35,蒸汽生物质质量比为 0.75 ~ 1.25。

由于该研究涉及多因素多水平,为减少试验量同时能获得较全面的数据分析效果,采用正交试验设计方法对该试验进行设计。以产物气热值为考察指标,选取气化温度、蒸汽生物质质量比、当量比 3 个因素进行研究。为每个因素分别确定 3 个水平,组成因素水平表,如表 2 所示。

表 2 因素水平表

Tab. 2 Table of factor levels

水平	气化温度 A/℃	蒸汽与生物质质量比 B	当量比 C
1	600	0.75	0.25
2	700	1.00	0.28
3	750	1.25	0.35

为考察上述 3 个因素及其交互作用对燃气低位热值的影响程度,选用正交表 L₂₇(3¹³),设计交互试验方案如表 3 所示,表中第 1、2、5 列分别为气化温度、蒸汽生物质质量比、当量比 3 个因素列,第 3、4、

6、7、8、11 列为上述 3 个因素的交互作用列,第 9、10、12、13 列为用于误差分析的空列,最右侧 1 列为试验结果。

2 试验结果及数据分析

2.1 极差分析

交互正交试验的极差分析法是根据各个因素极

差的大小直观判断因素的影响程度。极差最大的那个因素是最主要的因素,对试验结果影响最大。各因素的极差 R 可由式(1) 计算得到:

$$R = \max\{K_{ij}\} - \min\{K_{ij}\} \quad (1)$$

式中: i —水平数; j —因素数; K_{ij} —因素 j 在 i 水平下的各试验结果之和。各因素及其交互作用的极差分析结果如表 4 所示。

表 3 交互正交试验方案和试验结果

Tab.3 Interactive orthogonal test scheme and results

试验号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	燃气低位热值/MJ·m ⁻³
	A	B	(A×B) ₁	(A×B) ₂	C	(A×C) ₁	(A×C) ₂	(B×C) ₁	空列	空列	(B×C) ₂	空列	空列	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6.271
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	5.757
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4.685
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3	6.165
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1	5.846
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2	4.741
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2	6.093
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3	5.612
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1	4.577
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	6.438
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1	5.906
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2	4.799
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2	6.324
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3	6.004
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1	4.866
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1	6.242
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2	5.747
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	4.679
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	6.530
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3	5.996
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1	4.854
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1	6.41
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	5.893
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3	4.783
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3	6.322
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1	5.817
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2	4.731

文献[12]指出,当因素的水平数≥3 时,交互作用的分析比较复杂,不便于用极差分析方法进行分析。因此在采用极差分析时,暂不考虑因素间的交

互作用对燃气低位热值的影响。从表 4 的极差分析结果可以看出,在试验条件范围内,C 因素的最大极差值 R 为 14.08,表明当量比对燃气低位热值的影

响程度最大。各因素对产物气中燃气低位热值影响的主次顺序为: $C > A > B$, 即当量比 $>$ 气化温度 $>$ 质量配比。较优方案为 $A_3B_1C_1$, 即气化温度 $750\text{ }^\circ\text{C}$ 、蒸汽生物质质量比 0.75 、当量比 0.25 。

表 4 极差分析表

Tab. 4 Table of the range analysis

	A	B	C
K_1	49.75	51.24	56.80
K_2	51.01	51.03	52.58
K_3	51.34	49.82	42.72
极差 R	1.59	1.42	14.08
因素主次	$C > A > B$		
优方案	$A_3B_1C_1$		

为了更进一步分析因素的交互作用对燃气低位热值的影响及其显著性,有必要对试验结果进行进一步分析。

2.2 方差分析

方差分析可以对影响因素及因素间交互作用进行显著性检验,确定每个因素及因素间的交互作用

表 5 方差分析表

Tab. 5 Table of the variance analysis

方差来源	偏差平方和 S_j	自由度 f	偏差均方和 \bar{S}_j	F 值	显著性	置信度/%
A	1.56E-01	2	7.81E-02	78.12	* * *	99
B	1.30E-01	2	6.51E-02	65.13	* * *	99
C	1.16E+01	2	5.80E+00	5804.10	* * *	99
$A \times B$	1.49E-02	4	3.73E-03	3.73	*	90
$A \times C$	1.25E-02	4	3.13E-03	3.13	*	90
$B \times C$	2.12E-02	4	5.31E-03	5.31	* *	95
误差 e	8.00E-03	8	1.00E-03			
总和	1.19E+01	26				

注: $F_{0.01}(2, 8) = 8.65$, $F_{0.05}(2, 8) = 4.46$, $F_{0.10}(2, 8) = 3.11$, $F_{0.01}(4, 8) = 7.01$, $F_{0.05}(4, 8) = 3.84$, $F_{0.10}(4, 8) = 2.81$ 。

由表 5 中偏差均方和 \bar{S}_j 的计算结果可知,各因素及因素间的交互作用对燃气低位热值的影响主次顺序为: $C > A > B > B \times C > A \times B > A \times C$, 即当量比 $>$ 气化温度 $>$ 蒸汽生物质质量配比 $>$ 蒸汽生物质质量配比与当量比的交互作用 $>$ 气化温度与蒸汽生物质质量配比的交互作用 $>$ 气化温度与当量比的交互作用。各因素对生物质气化燃气低位热值的影响主次顺序,方差分析结果与极差分析结果一致。

对考察指标的影响是否显著,以及显著性的大小,给出误差大小的估计,这就弥补了极差分析方法的不足。

首先,各因素的偏差平方和 S_j 可由式(2)计算得到:

$$S_j = \frac{t}{n} \sum_{i=1}^n K_{ij}^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n K_{ij} \right)^2 \quad (2)$$

式中: t —每个试验因素的水平数; n —因素 j 在 i 水平下的试验次数; S_e —交互正交表中所有空列的列偏差平方和相加,称为随机误差平方和; f_e —对应列的自由度相加,称为误差自由度。

其次,各因素的偏差均方和 \bar{S}_j 以及随机误差均方和 \bar{S}_e 可由式(3)和式(4)计算得到:

$$\bar{S}_j = S_j / f_j \quad (3)$$

$$\bar{S}_e = S_e / f_e \quad (4)$$

式中: f_j —第 j 列因素的自由度 $f_j = t - 1$ 。交互作用列的自由度为两个因素自由度的乘积。

各因素对应的统计量 F_j 可以表示为:

$$F_j = \bar{S}_j / \bar{S}_e \quad (5)$$

各因素及因素间的交互作用方差分析结果如表 5 所示。

做 F 检验,已知常用的显著性水平 α 为 0.01 、 0.05 、 0.10 ,当因素的 F 值大于相应自由度的 $F_{0.01}$ 时,称因素对指标有高度显著影响,记作“* * *”;当因素的 F 值介于 $F_{0.05}$ 和 $F_{0.01}$ 之间时,称因素对指标有显著影响,记作“* *”;当因素的 F 值介于 $F_{0.10}$ 和 $F_{0.05}$ 时,称因素对指标有一定影响,记作“*”;当因素的 F 值小于 $F_{0.10}$ 时,称因素对指标没有影响,不作标记。由表 5 中 F 值的计算结果可

知,对于给定显著水平 $\alpha = 0.01$, $F_C > F_A > F_B > F_{0.01}(2, 8)$ 表明置信度为 99% 时,因素 A、B、C 对指标(燃气的低位热值)的影响特别显著,记为“**”;对于给定显著水平 $\alpha = 0.05$, $F_{0.01}(4, 8) > F_{B \times C} > F_{0.05}(4, 8)$ 表明置信度为 95% 时,交互作用 $B \times C$ 对指标(燃气的低位热值)影响显著,记为“*”; $F_{0.05}(4, 8) > F_{A \times B} > F_{A \times C} > F_{0.1}(4, 8)$ 表明交互作用 $A \times B$ 和 $A \times C$ 对指标(燃气的低位热值)有一定影响。

2.3 交互作用分析

由以上分析表明,交互作用 $B \times C$ 对考察指标(燃气的低位热值)影响显著,交互作用 $A \times B$ 和 $A \times C$ 对考察指标(燃气低位热值)有一定影响。为进一步得到生物质气化工艺以燃气低位热值为优化目标所对应的优化参数组合,通过交互作用的权重大小二元分析,对各因素参数进行优化匹配。由表 5 中显著性分析可知,交互作用的影响程度主次顺序为: $F_{B \times C} > F_{A \times B} > F_{A \times C}$,即蒸汽生物质质量配比与当量比的交互作用 > 气化温度与蒸汽生物质质量配比的交互作用 > 气化温度与当量比的交互作用,各对交互作用的影响权重大小二元分析如表 6 ~ 8 所示。

表 6 气化温度与蒸汽生物质质量配比交互作用权重二元分析

Tab. 6 Two element analysis of the interactive weight of the gasification temperature and the steam/biomass mass proportion

蒸汽生物质质量配比	气化温度/°C		
	600	700	750
0.75	16.713	17.143	17.380
1	16.752	17.194	17.086
1.25	16.282	16.668	16.870

表 7 蒸汽生物质质量配比与当量比交互作用权重二元分析

Tab. 7 Two element analysis of the interactive weight of the steam/biomass mass ratio and the equivalent ratio

当量比	蒸汽生物质质量配比		
	0.75	1	1.25
0.25	19.239	18.899	18.657
0.28	17.659	17.743	17.176
0.35	14.338	14.39	13.987

考虑 3 对因素交互作用的影响权重大小以及相互关联性因素,得出生物质气化制取燃气最佳的参数匹配 $A_3B_1C_1$,即气化温度为 750 °C,蒸汽生物质质量配比为 0.75,当量比为 0.25 时,匹配得到的燃气低位热值为 6.530 MJ/m³。分析结论与极差分析(不考虑交互作用)得到的较优方案一致。

表 8 气化温度与当量比交互作用权重二元分析

Tab. 8 Two element analysis of the interactive weight of the gasification temperature and the equivalent ratio

当量比	气化温度/°C		
	600	700	750
0.25	18.529	19.004	19.262
0.28	17.215	17.657	17.706
0.35	14.003	14.344	14.368

3 结 论

基于交互正交试验方法,进行了生物质气化试验,针对燃气低位热值影响因素的分析表明:

(1) 对试验结果的方差分析和极差分析均表明,各因素及因素间的交互作用对燃气低位热值的影响主次顺序为:当量比 > 气化温度 > 蒸汽生物质质量配比。

(2) 极差分析还表明,当量比、气化温度、蒸汽生物质质量配比对燃气低位热值的影响高度显著(置信度 99%);蒸汽生物质质量配比与当量比的交互作用对燃气的低位热值影响显著(置信度 95%);气化温度与蒸汽生物质质量配比的交互作用、气化温度与当量比的交互作用对燃气的低位热值有一定影响(置信度 90%)。

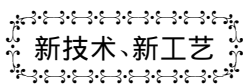
(3) 在本试验的研究范围内,以燃气的低位热值为考察指标的生物质气化试验方案,考虑交互作用与不考虑交互作用时得出的较优方案一致,即气化温度 750 °C,蒸汽生物质质量配比 0.75,当量比 0.25 时,燃气低位热值达到最大值 6.530 MJ/m³。

参考文献:

[1] 中国科学院,国家自然科学基金委员会. 未来 10 年中国学科发展战略: 能源科学 [M]. 北京: 科学出版社, 2012. Chinese Academy of Sciences, National Natural Science Fund Committee. Tactics for the development of disciplines in China in the future 10 years: energy source science [M]. Beijing: Science Press, 2012.

- [2] Brown R C. Thermochemical processing of biomass: Conversion into fuels, chemicals and power [M]. Chichester: John Wiley & Sons Ltd. 2011.
- [3] Basu P. Biomass gasification and pyrolysis: Practical design and theory [M]. Burlington: Elsevier Science & Technology 2010.
- [4] Franco C, Pinto F, Gulyurtlu I, et al. The study of reactions influencing the biomass steam gasification process [J]. Fuel, 2003, 82(7): 835-842.
- [5] Kumar A, Eskridge K, Jones D D, et al. Steam-air fluidized bed gasification of distillers grains: Effects of steam to biomass ratio, equivalence ratio and gasification temperature [J]. Bioresource Technology, 2009, 100(6): 2062-2068.
- [6] Shen L H, Gao Y, Xiao J. Simulation of hydrogen production from biomass gasification in interconnected fluidized beds [J]. Biomass and Bioenergy, 2008, 32(2): 120-127.
- [7] Gao N B, Li A M, Quan C. A novel reforming method for hydrogen production from biomass steam gasification [J]. Bioresource Technology, 2009, 100(18): 4271-4277.
- [8] Gordillo G, Annamalai K. Adiabatic fixed bed gasification of dairy biomass with air and steam [J]. Fuel, 2010, 89(2): 384-391.
- [9] Campoy M, Gomez-Barea A, Villanueva A L, et al. Air-steam gasification of biomass in a fluidized bed under simulated autothermal and adiabatic conditions [J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2008, 47(16): 5957-5965.
- [10] 王立群, 张俊如, 朱华东, 等. 在流化床气化炉中生物质与煤共气化的研究 (I) -以空气-水蒸汽为气化剂生产低热值燃气 [J]. 太阳能学报, 2008, 29(2): 246-251.
WANG Li-qun, ZHANG Jun-ru, ZHU Hua-dong, et al. Study of the co-gasification of biomass and coal in a fluidized bed gasifier (I) -Production of low heating value fuel gases with the air-steam serving as the gasification agent [J]. ACTA Energetica Solaris Sinica, 2008, 29(2): 246-251.
- [11] Lu Y J, Guo L J, Zhang X M, et al. Hydrogen production by supercritical water gasification of biomass: Explore the way to maximum hydrogen yield and high carbon gasification efficiency [J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2012, 37(4): 3177-3185.
- [12] 李云雁, 胡传荣. 试验设计与数据处理 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
LI Yun-yan, HU Chuan-rong. Test design and data processing [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2008.
- [13] 任露泉. 试验设计及其优化 [M]. 北京: 科学出版社, 2009.
REN Lu-quan. Test design and its optimization [M]. Beijing: Science Press, 2009.
- [14] 江苏大学. 基于感应加热的生物质气化制氢反应器 [P]. 中国 ZL201010195744.5. 2012.
Jiangsu University. Induction-heating-based biomass gasification hydrogen preparation reactor [P]. China, ZL201010195744.5. 2012.
- [15] Wei L G, Xu S P, Zhang L, et al. Steam gasification of biomass for hydrogen-rich gas in a free-fall reactor [J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2007, 32(1): 24-31.
- [16] Corella J, Toledo J M, Molina G. Biomass gasification with pure steam in fluidised bed: 12 variables that affect the effectiveness of the biomass gasifier [J]. International Journal of Oil Gas and Coal Technology, 2008, 1(1-2): 194-207.
- [17] Lv P M, Xiong Z H, Chang J, et al. An experimental study on biomass air-steam gasification in a fluidized bed [J]. Bioresource Technology, 2004, 95(1): 95-101.
- [18] Higan C, Van Der Burgt M. Gasification [M]. Burlington: Gulf Professional Publishing, 2008.
- [19] 朱锡锋. 生物质热解原理与技术 [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2006: 156-157.
ZHU Xi-feng. Biomass pyrolysis theory and technology [M]. Hefei: China University of Science and Technology Press, 2006: 156-157.

(陈滨 编辑)



新技术、新工艺

MT30 的电力用于英国航母的舰船

据《Gas Turbine World》2013 年 3-4 月刊报道,用于英国皇家海军新的“伊丽莎白女王”级航母的 4 台 MT30 燃气轮机的第一台已在苏格兰的 Babcock 造船厂安装。这两艘航母计划分别于 2016 和 2018 年服役。

2 台 MT30 燃气轮机发电机驱动装置将提供驱动每艘 65 000 t 航母所需要的 109 MW 的三分之二功率。

利用发热值为 18 492 kJ/kg 的液体燃料,船用 MT30 燃气轮机 ISO 条件下的额定连续功率为 40 MW,效率为 40.1%,包括 102 mm 水柱进气损失和 152 mm 水柱排气损失。

被结合为燃气轮机交流发电机的一部分,由 MT30 发动机生产的电力将满足航母对能量的要求,诸如推进电动机、武器和导航系统、以及用照明和电源插座的整个低电压要求。

MT30 已成功地驱动了美国海军 Freedom 级近海战斗舰,并将驱动美国海军新的 DDG-1000 级驱逐舰,以及现在已被选用于韩国海军新的 FFX II 级护卫舰。

(吉桂明 摘译)

words: thermodynamics ,obliquely-finned tube ,CaCO₃ ,crystal precipitation-caused foul

生物质气化燃气低位热值影响因素的试验研究 = **Experimental Study of the Factors Influencing the Low Heating Value of a Biomass Gasified Fuel Gas** [刊 汉]JI Heng-song ,WANG Qian ,CHENG Shan ,et al(College of Energy Source and Power Engineering ,Jiangsu University ,Zhenjiang ,China ,Post Code: 201013) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2013 28(5) . - 529 ~ 534

In the light of the fact that the low heating value of a biomass gasified fuel gas is influenced by multiple factors ,such as gasification temperature ,steam/biomass mass ratio(referred to as mass ratio for short) and equivalent ratio etc. and these factors are interacted ,the orthogonally designed test method was used to study the sensitivity extent of the three dominant factors influencing the low heating value of the biomass gasified fuel gas and the test results were analyzed by using the range and variance analytic method to obtain the significance relationship influencing the lower heating value of the fuel gas and the optimum factor combination level. The test results show that in the range of the test conditions ,the priority order of various factors and their interaction influencing the lower heating value is as follows: equivalent ratio > gasification temperature > mass ratio > interaction of the mass ratio and equivalent ratio > interaction of the gasification temperature and equivalent ratio ,among them ,equivalent ratio ,gasification temperature and mass ratio have a particularly remarkable influence on the lower heating value of the fuel gas. The version optimized for preparing the fuel gas from the gasification of biomass through an analysis of the interaction is given as follows: gasification temperature 750 °C ,mass ratio 0. 75 and equivalent ratio 0. 25. Under such conditions ,the lower heating value of the fuel gas will be the highest(6. 530 MJ/m³) . **Key words:** biomass ,gasification ,low heating value ,influencing factor ,orthogonal test

7 m² 多槽式 CPC 聚光集热装置性能研究 = **Performance Study of a 7 m² Multi-trough Type CPC(Compound Parabolic Collector) Light Concentration and Heat Collector** [刊 汉]MENG Li ,ZHU Yue-zhao ,YANG Mou-cun ,et al(Jiangsu Provincial Key Laboratory on Process Enhancement and New Energy Source Equipment Technology ,College of Mechanical and Power Engineering ,Nanjing University of Technology ,Nanjing ,China ,Post Code: 211816) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2013 28(5) . - 535 ~ 539

To combine the merits of the linear Fresnel type and compound parabolic collector and fuse with the heat pipe vacuum tube heat accumulation and heat transfer technologies ,developed was a 7 m² multi-trough type CPC(Compound