

# 下吸式气化炉中生物质气化发电的运行与测试

吴正舜<sup>1)</sup> 马隆龙<sup>2)</sup> 吴创之<sup>2)</sup>

**摘 要** 对 25 kW 下吸式生物质气化发电机组进行了运行测试. 结果表明: 下吸式生物质气化发电机组运行稳定, 操作方便; 所产生的燃气中焦油较低, 可达  $1.9 \text{ g/Nm}^3$ ; 燃气中的气体成分为:  $\text{H}_2, 13\% \sim 14\%$ ;  $\text{CO}, 19\% \sim 24\%$ ;  $\text{CH}_4, 1\% \sim 3\%$ ;  $\text{CO}_2, 11\% \sim 16\%$ ;  $\text{N}_2, 49\% \sim 50\%$ . 气体的高位热值为  $4\,326 \text{ kJ/Nm}^3 \sim 6\,005 \text{ kJ/Nm}^3$ ; 产气比为  $1.65 \text{ Nm}^3/\text{kg} \sim 2.28 \text{ Nm}^3/\text{kg Fuel}$ ; 气化过程中碳的转化率为  $32.34\% \sim 43.36\%$ ; 气化效率为  $41.1\% \sim 78.85\%$ , 系统总效率为  $11.5\% \sim 22.8\%$ .

**关键词** 下吸式气化炉, 生物质气化发电, 运行与测试

**中图分类号** TK6

## 0 引 言

能源与环保是当今社会发展的两大主题. 然而, 由于矿物、石油燃料资源的有限性以及它们燃烧时所排出的  $\text{SO}_2$  和  $\text{NO}_x$ , 将加剧环境污染, 所排出的  $\text{CO}_2$  将加剧全球的温室效应. 人们不得不重新考虑使用那些在自然界不会枯竭的可再生能源的可能性, 生物质能的利用就是其中的一种. 许多国家早就开始把新能源和可再生能源发展作为未来的重要能源组成部分而加以重视. 但由于生物质的特殊特性 (灰熔点低、碱金属元素含量高、直接燃烧易结渣和产生高温碱金属元素腐蚀和直接燃烧产生蒸汽推动透平发电投资大等), 目前许多国家把注意力集中在大型生物质气化发电技术研究上.<sup>[1-3]</sup>

由于生物质的气化过程中伴随产生大量的焦油, 造成在燃气净化过程中产生大量含焦废水; 此外燃气中未彻底除尽的焦油冷凝后与未分离下来的飞灰黏附在一起, 堵塞管道影响常生产; 另一方面, 燃气中夹带的少量焦油随燃气一起进入发电机组气缸中, 因不完全燃烧在气缸中容易形成积碳, 需定期清理, 影响燃气发电机组的连续正常进行和使用寿命. 因此, 如何降低燃气中焦油的含量的研究引起广泛关注. 除对燃气中的焦油进行催化裂解外, 采用降低燃气中的焦油含量的气化方式也不失为一种有效的

方法. 尽管气化方式很多, 包括上吸式气化、下吸式气化、循环流化床气化、双流化床气化以及携带式气化, 但因下吸式气化炉的热解产物通过炽热的氧化层而得到充分裂解, 因此产生的燃气中其焦油含量与其他方式相比要低得多.<sup>[4,5]</sup> 本文通过对 25 kW 下吸式气化炉中生物质气化发电系统的运行与测试, 以便了解其操作特性和运行结果, 为其进一步工业放大作准备.

## 1 实验部分

为了了解 25 kW 下吸式气化炉中生物质气化发电的操作特性和运行结果, 对其运行系统进行了测试, 见第 80 页图 1. 所使用的生物质燃料的分析见第 80 页表 1. 木块物料尺寸为  $70 \text{ mm} \sim 90 \text{ mm}$ . 气化炉产生的燃气通过 HP3830 气相色谱分析其组成, 燃气中焦油的含量采用国际通用采样方法测定, 其采样流程图见第 80 页图 2, 通过采用电加热保温夹套使采样管线中燃气温度维持在  $150 \text{ }^\circ\text{C} \sim 350 \text{ }^\circ\text{C}$  范围内, 以使燃气中的焦油不会冷凝下来. 采样管线中有玻璃纤维过滤器以便使随燃气的灰粉不进入吸收瓶. 冷阱吸收瓶中采有二氯甲烷作为吸收液, 以溶解燃气中的焦油; 冰浴中采用  $\text{NaHCO}_3$  碱液作为吸收液, 以吸收气化过程中所产生  $\text{HCl}, \text{NO}_x$  和  $\text{NH}_3$ . 测试完毕后取一定体积的二氯甲烷溶液于容器中,

1) 博士、副教授; 2) 研究员, 中国科学院广州能源研究所, 510070 广州  
收稿日期: 2003-06-30; 修回日期: 2003-08-09

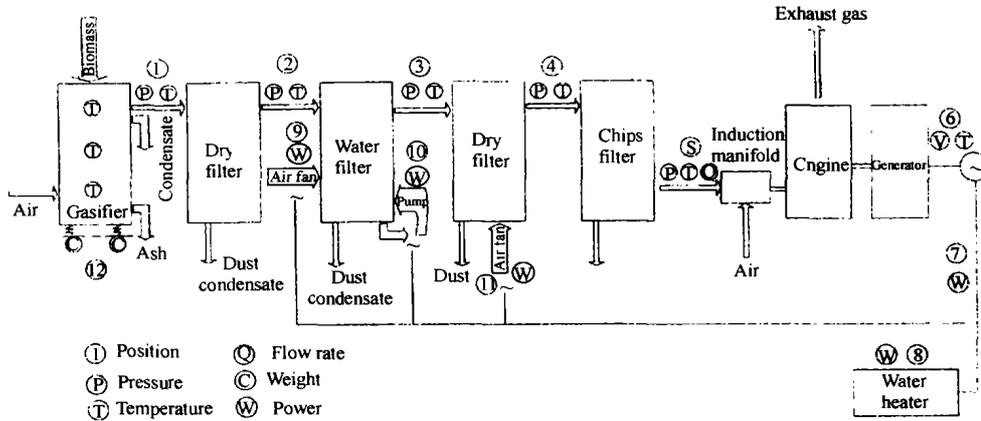


图 1 生物质气化发电系统工艺流程图

Fig. 1 Schematic diagram of power generation system from biomass gasification

表 1 生物质原料的工业分析和元素分析

Table 1 Proximate analysis and ultimate analysis of biomass fuel

Item	Proximate analysis				Ultimate analysis/%					
	Density/(kg · m <sup>-3</sup> )	A/%	Heat value/(kg · kJ <sup>-1</sup> )	V/%	FC	C	H	O	N	S
Woody chip	635	3.98	17363	81.92	14.39	50	6	43.3	0.1	0

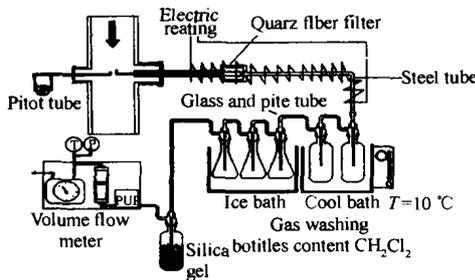


图 2 燃气中焦油分析采样流程图

Fig. 2 Tar collecting flow chart in fuel gas for analysis

让二氯甲烷挥发后,确定其剩余物的重量即为对应二氯甲烷体积中所含的焦油质量.至于焦油中的具体组分通过 HP6890GC-MS 分析.此外取冰浴中的溶液在 HPICDX300 上用 SX12 色谱柱分析溶液中所含的组分.其中燃气中焦油含量的计算式为:

$$C = \frac{m_{ka} \times v_{TL} \times (T_{kN} + 273)}{v_1 \times V_{kN}} \quad (\text{g/Nm}^3)$$

式中:  $m_{ka}$ —— $v_1$  二氯甲烷溶液中溶解的焦油重量, g;  $v_{TL}$ ——二氯甲烷总体积数;  $V_{kN}$ ——采样期间所通过的燃气体积数, m<sup>3</sup>;  $T_{kN}$ ——对应燃气体积的温度.

## 2 结果与讨论

在下吸式气化炉的操作过程中,主要是通过改变内燃机的抽吸气能力(即改变发电机的输出功率)

和床料高度来改变运行工况,包括产气比、气化炉的运行温度以及对外输出功率等.

### 2.1 温度

气化炉的正常操作温度在 900 °C~1 100 °C 左右,气化炉中的从下到上的 5 个测点的温度见图 3.

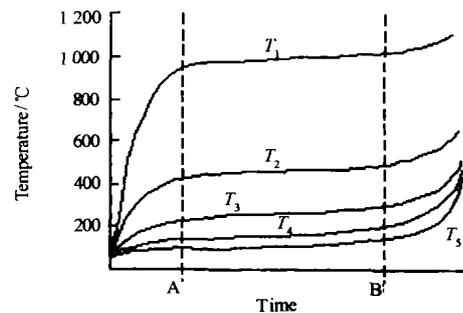


图 3 炉内温度与时间的关系

Fig. 3 Relation of temperature with time

从图 3 可以看出:在 A 时间以前属于加料阶段, B 时间以后停止加料阶段, AB 为正常运行工况时的温度分布. 气化炉内温度的调节主要是通过改变燃气发电机组的抽吸气能力以及气化炉内床料高度来控制. 这一点可以从发电机的输出功率与气化炉的出口温度以及床料高度与温度的关系(第 81 页图 4 和图 5)中可以看出.

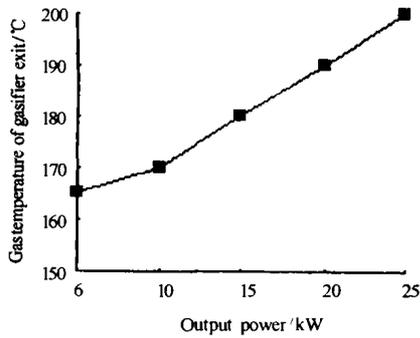


图 4 功率输出对气化气温度的影响

Fig. 4 Relation of output power with temperature

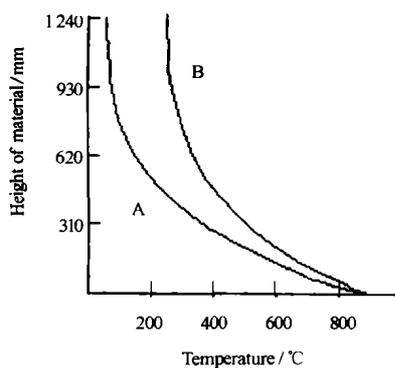


图 5 料层高度与温度的关系

Fig. 5 Relation of height of material with temperature

## 2.2 发电机输出功率与气体成分的关系

发电机输出功率与气体成分的关系见图 6。从图 6 可以看出,发电机的输出功率即抽吸气能力的改变对气化炉产生的气体成分几乎没有影响。即它们的体积成分为:  $H_2$ , 13%~14%;  $CO$ , 19%~24%;  $CH_4$ , 1%~3%;  $CO_2$ , 11%~16%;  $N_2$ , 49%~50%。气体的高位热值为: 4 326 kJ/Nm<sup>3</sup>~6 005 kJ/Nm<sup>3</sup>。

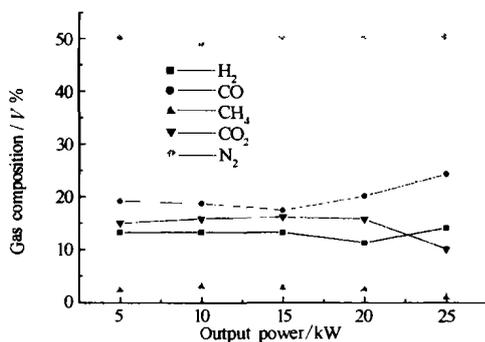


图 6 功率输出对产气成分的影响

Fig. 6 Effect of output power on gas composition

## 2.3 发电机输出功率对产气比以及系统总效率的影响

发电机输出功率对产气比以及系统总效率的影响分别见图 7 和图 8。从图中看出,随发电机的输出

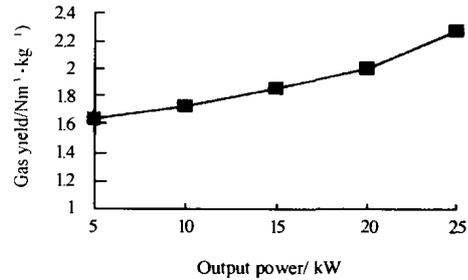


图 7 功率输出对产气比的影响

Fig. 7 Effect of output power on gas yield

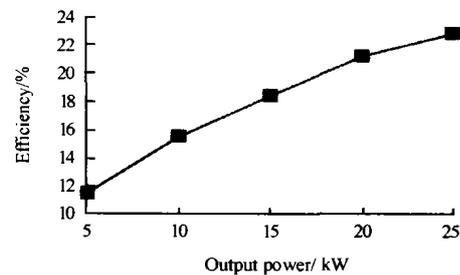


图 8 功率输出对总效率的影响

Fig. 8 Effect of output power on total efficiency

功率增大,产气比和系统的总效率的增大,当发电机的输出功率在 5 kW~25 kW 之间变化时,产气比在 1.65 Nm<sup>3</sup>/kg~2.28 Nm<sup>3</sup>/kg 燃料之间变化,而碳的转化率为 32.34%~43.36%;气化效率为 41.1%~78.85%,系统总效率在 11.5%~22.8% 间变化。其中碳的转化率、气化效率和系统总效率的定义如下:

碳的转化率 =

$$\frac{\text{单位时间所反应的碳的摩尔数}}{\text{对应时间所加入的燃料中碳的总摩尔数}}$$

气化效率 =

$$\frac{\text{单位时间产生的可燃气发热量}}{\text{对应时间的加入燃料的化学热}} \times 100\%$$

系统效率 =

$$\frac{\text{单位时间输出的电能}}{\text{对应时间所加入生物质燃料的热能}} \times 100\%$$

## 2.4 燃气中焦油含量测定

按实验部分中焦油测定方法对燃气中的焦油进行了测定。其中在正常操作条件下,燃气中焦油的总含量为 1.9 g/Nm<sup>3</sup>。其中焦油中所含的具体组分分

析见图9。主要各组分的含量见表2。

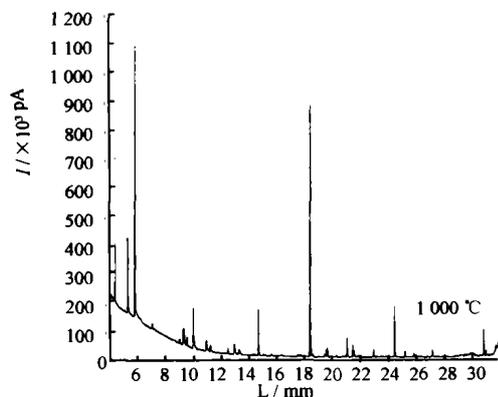


图9 燃气中焦油成分分析

Fig. 9 Tar composition analysis in fuel gas

从图9和表2中可以看出:焦油中所含的成分复杂,且多为有机物质,其中含量最高为甲苯,占50.3%,由于采用的是下吸式气化炉,燃气经过喉部区域时,温度较高,在1000℃左右,导致燃气中焦油通过高温氧化区时,大部分裂解,因此燃气中焦油含量比较低,只有1.9 g/Nm<sup>3</sup>。与其他气化炉产生的燃气中焦油含量相比要低得多。

### 3 结 论

(1) 下吸式气化炉操作方便,运行稳定,所产生的燃气能满足内燃机发电的要求。

(2) 经下吸式气化炉可产生燃气的体积成分分

表2 焦油中各主要组分含量

Table 2 Main composition content in tar

Naphthalene	1-methylnaphthalene	2-methylnaphthalene	Acenaphthalene	Acenaphthene	Fluorene	Phenanthrene	Anthracene	Toluene	Ethylbenzene	p-Xylene	o-Xylene	Plend
4.8	2.7	2.6	5.3	2.6	0.4	0.6	0.3	50.3	7.1	5.7	9.1	8.3

别为: H<sub>2</sub>, 13%~14%; CO, 19%~24%; CH<sub>4</sub>, 1%~3%; CO<sub>2</sub>, 11%~16%; N<sub>2</sub>, 49%~50%。气体的高位热值为: 4 326 kJ/Nm<sup>3</sup>~6 005 kJ/Nm<sup>3</sup>。

(3) 在操作过程中,改变发电机的输出功率,在5 kW~25 kW之间变化时,可导致产气比在1.65

Nm<sup>3</sup>/kg~2.28 Nm<sup>3</sup>/kg 燃料之间变化,而碳的转化率为: 32.34%~43.36%; 气化效率为: 41.1%~78.85%, 系统总效率在11.5%~22.8%间变化。

(4) 下吸式气化炉所产生的燃气中焦油含量较低,可达1.9 g/Nm<sup>3</sup>。

### 参 考 文 献

- [1] Beenackers A C M. Solar Energy R & D in the European Community Series E, Advanced Gasification. London: D Reidel Publishing Company, 1986
- [2] Reed T B. Biomass Gasification Principle and Technology. United States of America by Noyes Data Corporation, New Jersey, 1981
- [3] Palz W, Chartier P, Hall D O. Energy From Biomass. London: Applied Science Publishers Ltd, 1981
- [4] 吴正舜, 吴创之, 郑舜鹏. 1 MW 木粉气化发电系统的运行特性分析. 太阳能学报, 2003(4), 24: 390-393
- [5] Wu Z S, Wu C Z, Huang H T. Test Results and Operation Performance Analysis of 1 MW Biomass Gasification Electric Power Generation System. Energy & Fuels, 2003, 17: 619-624

## PERFORMANCE AND TESTING OF POWER GENERATION FROM BIOMASS GASIFICATION BY DOWNDRAFT GASIFIER

Wu Zhengshun Ma Longlong and Wu Chuangzhi

(Guangzhou Institute of Energy Conversion, Chinese Academy of Sciences, 510070 Guangzhou)

**ABSTRACT** The performance and testing of 25 kW power generation from biomass gasification by downdraft gasifier were carried out in this paper. The results indicated that the power generation system was stably and conveniently operated, the tar content in fuel gas was very low and reached 1.9 g/Nm<sup>3</sup>. The gases content in fuel gas were as follows: H<sub>2</sub>, 13%~14%; CO, 19%~24%; CH<sub>4</sub>, 1%~3%; CO<sub>2</sub>, 11%~16%; N<sub>2</sub>, 49%~50%. During the testing, gas yield 1.65 Nm<sup>3</sup>/kg~2.28 Nm<sup>3</sup>/kg Fuel, conversion efficiency of carbon 32.34%~43.36%; gasification efficiency 41.1%~78.85% and system efficiency 41.1%~78.85% could be obtained.

**KEY WORDS** downdraft gasifier, power generation from biomass gasification, performance and testing