

生活污水与煤混烧的热重试验研究

楼 波, 王小聪

(华南理工大学 电力学院 广东省绿色能源技术重点实验室, 广东 广州 510640)

摘 要: 选取广州某污水处理厂污泥进行不同比例混煤掺烧的热重分析试验, 研究发现: 失重较为明显区域在 200 ~ 700 °C 范围。掺煤比例较小 (< 30%) 时, 低温段 DTG 峰的跨度大; 当掺煤比例较大 (> 70%) 时, DTG 峰宽且值大, 与煤燃烧特性接近。随着污泥掺煤比例的提高, 着火温度提高。通过分析燃尽温度和燃尽特性指数, 得出本试验条件下燃尽的最佳的掺混比例范围为 40% 左右。化学动力学研究发现, 随着污泥比例的降低和煤比例的增加, 活化能增加, 反应速率减慢。

关 键 词: 污泥; 掺煤混烧; 热重实验; 着火温度; 燃尽特性指数

中图分类号: X703; TK16

文献标识码: A

引 言

焚烧是大批量处理污泥的较佳方式, 但污泥水分大, 需与煤等辅助燃料混合才能实现。污泥与煤成分的区别决定了污泥与煤混燃的特性与单纯煤燃烧不一样。国内外很多学者采用热重分析法对不同类型污泥与煤混烧进行了研究。Gómez-Rico M F 等人针对 17 种污泥进行了热重分析试验, 根据裂解和燃烧曲线的不同, 将污泥分成 3 类^[1]。Otero M 等人对煤掺混 2%、5% 和 10% 比例的污泥进行热重实验, 发现在污泥比例低于 10% 时, 对煤燃烧的影响较小^[2]。Folgueras M B 针对煤混烧污泥热重实验发现, DTG 曲线有两个峰值, 而且挥发分逸出的温度更低^[3]。国内学者也对煤与污泥混烧的特性进行热重分析实验, 得到热解与燃烧特性, 进而求出化学动力学参数^[4-6]。

本研究选取广州某污水处理厂污泥进行不同比例混煤的热重分析试验, 采用层燃炉焚烧处理方式^[7], 研究了泥煤不同掺混比例对试样着火、燃尽特性的影响。

1 热重分析

1.1 试验设备及条件

采用德国 Netzsch 公司产的 STA 409PC 型热重一差热分析仪进行热重分析。试验气氛: 氧气流量为 17 ml/min, 氮气流量为 43 ml/min; 保护气氮气流量为 20 ml/min; 升温速率 30 °C/min; 干燥煤和污泥总质量为 10 mg。

1.2 燃料成分

污泥与煤的工业分析如表 1 所示。

表 1 试样样品的工业分析 (% (wt))

试样	M _{ar}	V _{ar}	FC _{ar}	A _{ar}	低位发热量/kJ·kg ⁻¹
污泥	2.66	35.31	5.42	56.61	8 515
煤	10.86	12.81	45.4	30.93	23 334

2 试验结果

对污泥含量为 100%、70%、50%、30% 和 0% 的污泥混煤掺烧进行热重分析试验, 得到 TG 和 DTG 曲线如图 1 和图 2 所示。

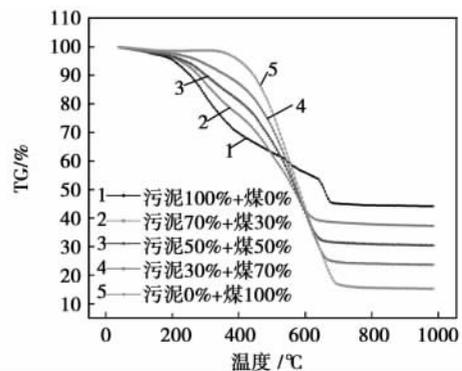


图 1 污泥和煤不同比例掺混 TG 图

收稿日期: 2009-07-29; 修订日期: 2010-05-07

基金项目: 广东省科技开发基金资助项目(2008B080701004)

作者简介: 楼 波(1965-), 男, 浙江义乌人, 华南理工大学副教授, 博士。

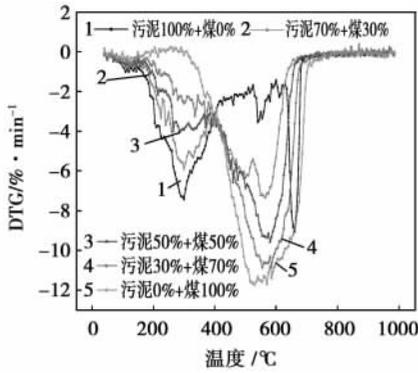


图 2 污泥和煤不同比例掺混 DTG 图

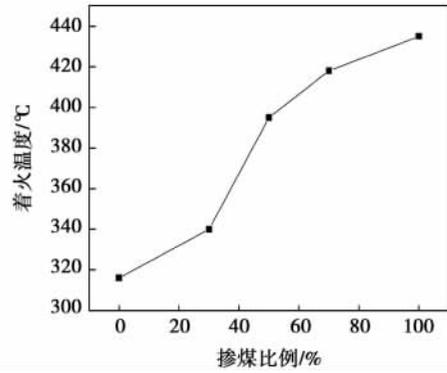


图 3 污泥混煤的着火温度曲线

3 试验结果分析

由图 1 和图 2 的 TG 和 DTG 曲线可以看到,失重较为明显区域为 200 ~ 700 °C,掺煤比例小时,温度在 200 ~ 400 °C 区域的失重率大,掺煤比例大时,温度在 400 ~ 700 °C 区域失重率大。污泥单独燃烧时低温段的 DTG 峰较宽,高温段的 DTG 峰较窄,可见燃烧集中在低温段。掺煤燃烧时,DTG 主要表现为两个峰,掺煤比例较小 (< 30%) 时,污泥焚烧析出的挥发分含量高且成分复杂,低温段 DTG 峰的跨度大,各挥发分的析出相互叠加交叉在一起,其峰值大;而当掺煤比例较大 (> 70%) 时,由于混合试样的挥发分含量低,低温段 DTG 峰窄且峰值低,高温段固定碳燃烧的 DTG 峰宽且值较大。在固定碳的燃烧阶段,最大失重率对应的温度比较相近,随掺煤比例的增大,试样中的固定碳含量增大,最大失重率迅速增加。

3.1 燃烧特征值点的确定

用 TG - DTG 法即切线法来确定掺混试样的着火温度,以烧掉 98% 可燃质时的温度点为燃尽点,定义该温度为燃尽温度^[8]。

3.2 燃尽特性指数

按文献 [10] 的方法确定燃尽特性指数,将 TG 曲线上着火点对应的试样失重量与煤中可燃质含量的比值定义为初始燃尽率 f_1 ,将试样燃烧失重从开始到燃烧 98% 可燃质的时间定义为燃尽时间 τ_0 , τ_0 时刻所对应的试样失重量与试样中可燃质含量的比值定义为总燃尽率 f ,则后期燃尽率 $f_2 = f - f_1$ 。定义煤样的燃尽特性指数为:

$$C_b = (f_1 \cdot f_2) / \tau_0 \quad (1)$$

C_b 反映了试样的燃尽特性, C_b 越大,试样的燃尽性能越佳。

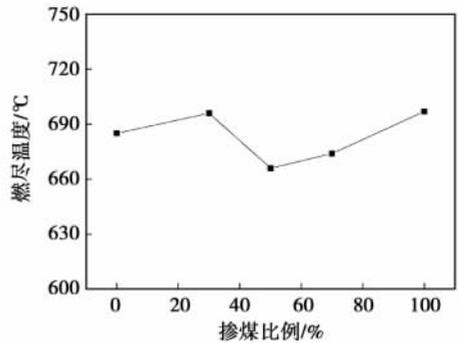


图 4 污泥混煤的燃尽温度曲线

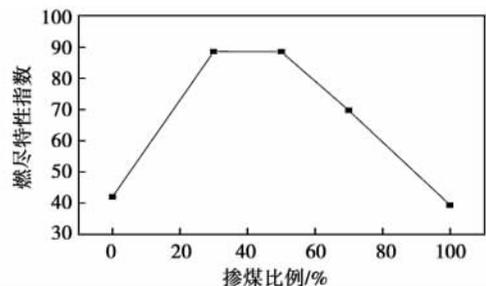


图 5 污泥混煤燃尽特性曲线

根据 TG 和 DTG 曲线绘制着火温度和燃尽温度曲线如图 3 和图 4 所示。纯污泥的挥发分含量高,着火温度在 317 °C,随着掺煤比例的提高,着火温度提高,直到接近 400 °C。由图 4 可知,随着掺煤比例增加,燃尽温度表现出先升高后降低再升高的规律,这是挥发分和发热量同时变化的共同影响结果,掺混比例在 50% 左右燃尽温度最低,约 670 °C。按式 (1) 计算燃尽特性指数绘得混煤燃尽特性曲线如图 5 所示,在本试验的污泥和煤成分及颗粒粒度下,掺煤比例在 40% 左右,燃尽程度最高,而偏离此范围,燃尽程度下降。可见污泥掺煤燃烧,其燃尽特性存在一个最佳的比例范围。

表 2 污泥掺混煤燃烧动力学参数

试样	温度区间 $T/^\circ\text{C}$	机理方程 $f(\alpha)$	活化能 $E/\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$	指前因子 $A/\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$	相关系数 R
100% 污泥	150 ~ 300	$(1 - \alpha)^{1/2}$	30	68	0.980 42
	300 ~ 510	$(1 - \alpha)^{3/4}$	51	1 458	0.980 2
	510 ~ 640	$(1 - \alpha)^{2/5}$	85	112 565	0.985 5
70% 污泥 + 30% 煤	150 ~ 390	$(1 - \alpha)^{1/2}$	31.41	188	0.987 59
	390 ~ 525	$(1 - \alpha)^{1/3}$	52.02	1 531	0.984 3
	525 ~ 640	$(1 - \alpha)^{2/3}$	87.15	133 600	0.982 46
50% 污泥 + 50% 煤	150 ~ 395	$(1 - \alpha)^{1/3}$	27.44	63	0.983 15
	395 ~ 640	$(-\ln(1 - \alpha))^{-1}$	127.45	13 920 281	0.982 39
30% 污泥 + 70% 煤	150 ~ 420	$(1 - \alpha)^{2/5}$	29.62	78	0.976 43
	420 ~ 640	$((1 - \alpha)^{-2/3} - 1)^{-1}$	170	6 989 098 268	0.986 98
100% 煤	315 ~ 435	$(1 - \alpha)^{2/5}$	103.93	60 641 946	0.990 47
	435 ~ 690	$((1 - \alpha)^{-2/3} - 1)^{-6/5}$	176.48	18 603 533 666	0.975 19

4 化学动力学研究

热重分析仪中气体和固体之间的反应速率可以表示为:

$$d\alpha/dt = kf(p_{O_2})f(\alpha) \quad (2)$$

式中: $f(\alpha)$ —与固体未燃反应物和反应速率有关的函数,大小取决于反应机理; α —在燃烧中消耗的燃料份额; $f(p_{O_2})$ —氧气浓度的函数,热重试验中氧气流速恒定,可认为 $f(p_{O_2})$ 为一常数, $k = A_0 e^{-E/(RT)}$ 。

可将式(2)整理为:

$$d\alpha/dt = kf(p_{O_2}) e^{-E/(RT)} f(\alpha) = A e^{-E/(RT)} f(\alpha) \quad (3)$$

式中: $A = A_0 f(p_{O_2})$ 。

对式(3)两边取对数,用微分法求解,得:

$$\ln [(d\alpha/dt) / f(\alpha)] = \ln A - E/(RT) \quad (4)$$

选择正确的表达式 $f(\alpha)$, 求出参数 E 和 A , 得到污泥掺混煤燃烧动力学参数,如表 2 所示。从表 2 可以看出,上述 5 种掺混比例试样各步失重过程的机理方程各不相同,各个失重过程也遵循不同的反应机理,对同一个试样的各个不同失重过程,其反应方程也不同。如污泥掺混煤比例为 50% 时,第一步反应为 $(1 - \alpha)^{1/3}$,在此温度下主要受动力反应控制;第二步反应为 $(-\ln(1 - \alpha))^{-1}$,此温度下主要受扩散反应控制。随着污泥量减少和煤的比例增加,活化能增加,反应速率减慢。

5 结 论

选取广州某污水处理厂污泥进行不通比例混煤掺烧的热重分析试验,得出结论:

(1) 通过污泥与煤不同掺混比例试验发现,失重较为明显区域为 200 ~ 700 $^\circ\text{C}$,掺煤比例较小($< 30\%$)时,低温段 DTG 峰的跨度大,而当掺煤比例较大($> 70\%$)时,DTG 峰宽且值大,与煤燃烧特性接近。

(2) 随着污泥掺混比例的提高,着火温度提高。通过研究燃尽温度和燃尽特性指数发现,燃尽最佳的掺混比例约 40%。

(3) 通过化学动力学研究发现,随着污泥量减少和掺混煤的比例增加,活化能增加,反应速率减慢。

参考文献:

- [1] GÓMEZ RICO M F, FONT R, FULLANA A, et al. Thermogravimetric study of different sewage sludges and their relationship with the nitrogen content [J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2005, 74: 421 - 428.
- [2] OTERO M, GÓMEZ X, GARCÍA A I, et al. Effects of sewage sludge blending on the coal combustion: a thermogravimetric assessment [J]. Chemosphere, 2007, 69: 1740 - 1750.
- [3] FOLGUERAS M B, DÍAZ R M, XIBERTA J. Pyrolysis of blends of different types of sewage sludge with one bituminous coal [J]. Energy, 2005, 30: 1079 - 1091.
- [4] 张云都, 喻剑辉, 郭建全, 等. 煤与城市污泥混燃的热重法研究 [J]. 煤炭转化, 2005, 28(5): 67 - 71.
- [5] 张云鹏, 李海滨, 赵增立, 等. 利用热重分析不同废水污泥的热解和燃烧 [J]. 环境科学与技术, 2005, 28(5): 34 - 36.
- [6] 丘纪华, 程纪东. 污泥的焚烧特性和化学动力学分析 [J]. 华中科技大学学报, 2005, 33(8): 25 - 26, 47.
- [7] WANG X C, LOU B. Sludge incineration system with high temperature low oxygen air combustion based on genetic algorithm optimization design // Proceeding of the 6th International Symposium on Coal Combustion [C]. WuHan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2007. 218 - 223.
- [8] MORGAN P A, ROBERTSON S D, UNSWORTH J F. Combustion studies by thermogravimetric analysis [J]. Fuel, 1986, 65(11): 1546 - 1551.

nance and the reduction zone at a relatively low equivalent ratio (ranging from 0.1 ~ 0.35) of air. The heating value produced by the fuel gas can be over 6.5 MJ/m³, the gasification efficiency can reach 65% and the average gasification efficiency is over 55%, thus the gasification performance is regarded as relatively perfect. **Key words:** biomass gasification, downdraft type gasifier, temperature in the reduction zone, equivalent ratio of air

生物质熔融碳酸盐燃料电池排气催化燃烧实验研究 = **Experimental Study of Catalytic Combustion of Exhaust Gas From a Biomass Melted Carbonate Fuel Cell** [刊, 汉] DAI Li-ming, WENG Yi-wu, LIU Ai-guo (Education Ministry Key Laboratory on Power Machinery and Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai, China, Post Code: 200240) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2011, 26(1) . - 110 ~ 113

On a self-developed catalytic combustion test stand, studied were the catalytic combustion characteristics of the exhaust gas from a biomass melted carbonate fuel cell using four different catalysts. The research results show that as viewed from the overall tendency, the reaction efficiency of the catalytic combustion will increase with an increase of the catalytic combustor inlet temperature. The volumetric concentration of hydrogen in the exhaust gas from the biomass gas high temperature fuel cell has a very big influence on the catalytic reaction characteristics. When the hydrogen concentration is below 3%, the catalytic reaction efficiency will conspicuously increase with an increase of the hydrogen concentration. Different exhaust component concentrations and catalysts will have different catalytic reaction characteristics, thus different catalyst should be chosen, depending on the composition of the exhaust gas released from the melted carbonate fuel cell. **Key words:** melted carbonate fuel cell, catalytic combustion, catalyst, combustor inlet temperature, hydrogen volumetric concentration, combustion reaction efficiency

生活污水与煤混烧的热重试验研究 = **Thermogravimetric Experimental Study of Mixed Combustion of Sewage Sludge and Coal** [刊, 汉] LOU Bo, WANG Xiao-cong (Guangdong Provincial Key Laboratory on Green Energy Technology, College of Electric Power, South China University of Science and Technology, Guangzhou, Post Code: 510640) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2011, 26(1) . - 114 ~ 116

A thermogravimetric analysis and experiment was performed of coal mixture in different proportions by choosing a sewage water treatment factory in Guangzhou City. It has been found that the temperatures at which a relatively conspicuous weight loss occurs range from 200 ~ 700 °C. When the coal proportion is relatively small (< 30%), DTG (derivative thermogravimetric) peaks have a large span in the low temperature section. When the coal proportion is relatively big (> 70%), DTG (derivative thermogravimetric) peaks are large in both width and value, approximating to the coal combustion characteristics. With an increase of the proportion of coal mixed in the sewage sludge, the ignition temperature will rise. An analysis of the burn-out temperature and characteristic index induces one to conclude that under the present test conditions, the optimum burning-out dilution and mixing proportion is around 40%. The chemical kinetics research results show that with a decrease of the sewage sludge proportion and an increase of the coal proportion, the activation energy will increase and the reaction speed will slow down. **Key words:** sewage sludge, combustion of coal mixture, thermogravimetric test, ignition temperature, burn-out characteristic index