

# 油焦浆、水焦浆燃烧特性的试验研究

熊源泉<sup>1</sup>, 沈湘林<sup>1</sup>, 郑守忠<sup>2</sup>

(1. 东南大学 热能工程研究所, 江苏 南京 210096; 2. 国家电力公司 物资局, 北京 100016)

**摘要:** 运用热重分析法研究了慢速加热条件下油焦浆(石油焦粉和重油混合物)、水焦浆(石油焦粉和水混合物)的燃烧特性, 并与石油焦和煤粉的燃烧特性进行了比较。同时, 对上述结果作了机理性分析。

**关键词:** 油焦浆; 水焦浆; 燃烧特性; 热重分析法

中图分类号: TK229.7 文献标识码: A

## 1 引言

我国是一个能源资源比较丰富的国家, 其中煤占绝大部分。煤炭资源分布主要集中于西北等地, 工业发达、能源需求多的华东、东北和华南地区, 煤炭资源却严重不足。由于煤运输的困难, 加上绝大多数直接燃烧煤的装置效率低、污染大。因此, 合理、高效和洁净地利用煤炭是我们的主要研究目标。

重油、煤单独燃烧情况研究得比较多, 各类文献报道极其丰富。20世纪70年代的世界石油危机, 促使西方国家纷纷寻找代油燃料。首先发展起来的是油煤浆(COM), 80年代水煤浆也发展起来了<sup>[1~4, 10]</sup>, 并先后应用于工业。我国七八十年代由浙江大学、中科院和清华大学等有关单位开展了煤浆研究技术, 并对单滴煤浆燃烧特性进行了较多的试验研究<sup>[5~9, 11~12]</sup>。但是, 人们对石油焦粉燃烧研究得相对较少些, 而石油焦粉加重油后的燃烧特性研究就更少。尤其是重油加石油焦粉后性能变化较大, 国外在这方面已有一定的研究, 但国内尚缺乏有关方面的足够的实验和设计数据。为了更好地了解油焦浆雾化燃烧特性, 我们在油焦浆雾化前对其作燃烧试验, 并与水焦浆、石油焦粉烟煤以

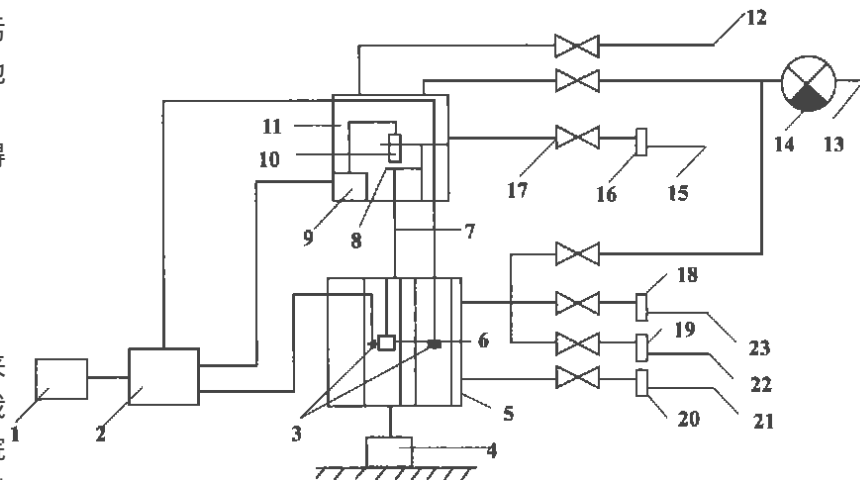
及无烟煤燃烧特性进行比较, 以便进一步摸清油焦浆的燃烧特性, 更好地配合油焦浆雾化燃烧在燃油锅炉上的改造、设计工作的圆满完成。

## 2 试验装置及条件

### 2.1 试验装置

试验是在本所自制的双炉膛热重分析仪上进行, 即同时测定炉膛环境温度和试样温度。实验装置系统如图1所示。试验数据用计算机采集, 经试验检验, 其数据比较可靠, 测量最小感量为0.4 mg。

### 2.2 试验条件



1—计算机; 2—精密温控仪; 3—热电偶; 4—电动推杆; 5—加热炉; 6—吊蓝; 7—吊线; 8—弹簧片; 9—位移传感器; 10—探头; 11—上高压容器; 12—保护气排气管; 13—抽真空管; 14—真空泵; 15、23—氮气入口管; 16、18、19—压力流量计; 17—单向阀; 20—常压流量计; 21—炉气排气管; 22—干空气入口管

图1 实验装置系统图

为了对油焦浆燃烧特性得到更好的感性认识, 我们分别对油焦浆(含石油焦粉为33%)、水焦浆(含石油焦粉为62%)、石油焦粉以及韩桥烟煤分别作了燃烧试验, 以便彼此加以比较分析。试验中重油和石油焦粉来自金陵石油化工有限公司, 石油焦

粉和煤粉的粒径均为 100 μm; 试验中环境气氛为空气, 气体流速为 120 L/h; 环境温度升温速率为 30 °C/min, 升温至 1 000 °C 后恒温。

### 3 试验结果与分析

试验结果中记录了 TG、DTG 和 T-t 三条曲线, 其中, TG 代表燃烧样品的失重过程, DTG 代表失重的微分曲线, T-t 代表样品温度与时间的关系。试验结果见图 2 ~ 图 5。

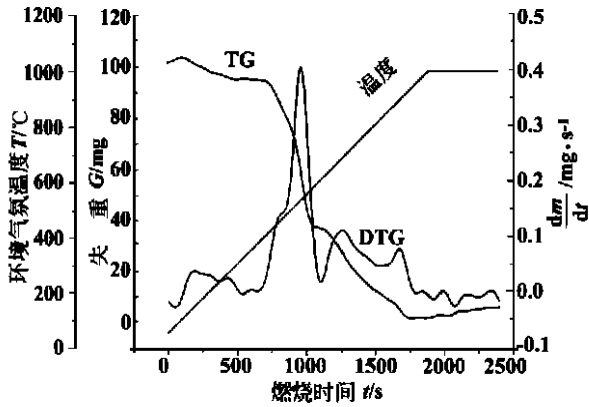


图 2 油焦浆(含 33%石油焦粉)燃烧的热重曲线

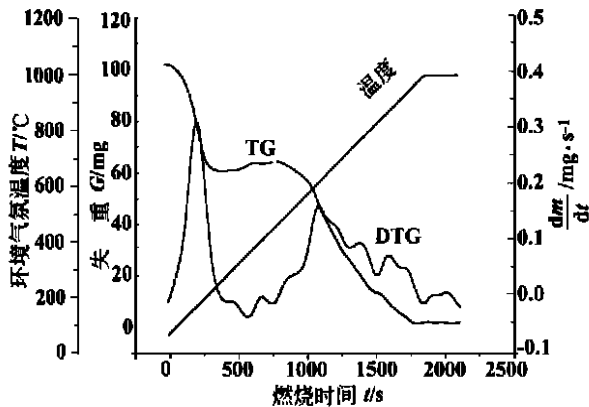


图 3 水焦浆(含 62%的石油焦粉)燃烧的热重曲线

从图 2、4、5 中的 TG 曲线可看出, 油焦浆的燃烧过程可分为三个阶段: 预热着火阶段、挥发物火焰扩散燃烧阶段及焦炭燃烧阶段, 其后期燃烧接近煤粉和石油焦粉燃烧。油焦浆总体燃烧速率大于石油焦粉的燃烧速率, 这主要可能是由于属气相燃烧的重油燃烧造成油焦浆的胞粒结构不同所致。但是, 由于油焦浆的后期焦炭燃烧速率较慢且占居油焦浆燃烧的大部分时间, 因而其总体燃烧速率小于韩桥烟煤的燃烧速率, 其原因主要是由于油焦浆挥发份析出后的残炭与韩桥烟煤挥发份析出后残炭的微孔结

构不同所致, 油焦浆燃烧时石油焦结团现象, 使得油焦浆的后期燃烧速率大大降低。此外, 加热速率也是一个不可忽略的因素。

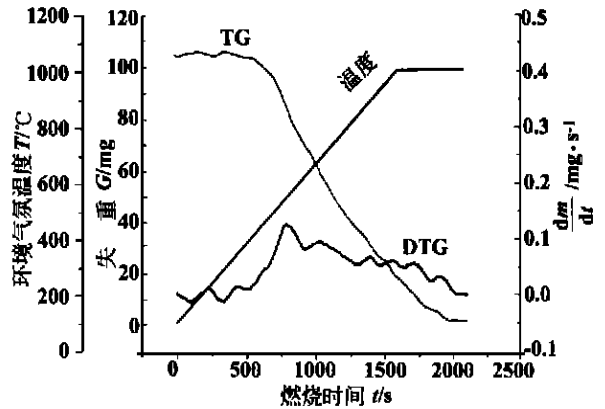


图 4 石油焦粉燃烧的热重曲线

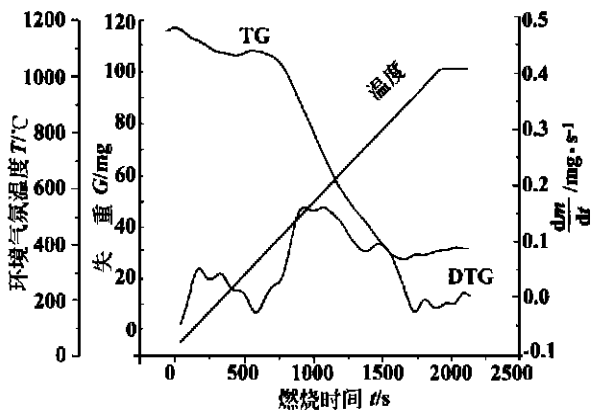


图 5 韩桥烟煤燃烧的热重曲线

从图 3 ~ 图 5 中的 TG 曲线可看出, 油焦浆的燃烧过程可分为: 加热干燥阶段、挥发物析出及燃烧阶段和焦炭燃烧阶段。水焦浆的着火气氛温度比焦粉的着火气氛温度高, 即水焦浆比焦粉着火更困难。但水焦浆的后期焦炭燃烧速率大于石油焦粉的焦炭燃烧速率, 这说明水分对水煤浆燃烧具有一定的促进作用。其原因可能是水焦浆在水分蒸发时使石油焦颗粒形成了多孔结构, 因而使石油焦颗粒的比表面积增大, 使燃烧反应速率增大; 此外, 有研究者对水煤浆研究得出结论<sup>[13]</sup>: 水煤浆在挥发份析出过程中会出现膨胀现象, 使粒子的孔隙率也随之增大, 这可能也是水焦浆燃烧反应速率增大的原因之一。但是, 水煤浆的燃烧速率却小于韩桥烟煤的燃烧速率, 这可能是水焦浆燃烧过程中石油焦产生结团现象所致, 这一结团现象在水煤浆试验研究中已得到验证<sup>[11]</sup>。另外, 从图 3、图 4 中可看出, 水焦浆的总燃尽时间及燃尽率与焦粉基本接近。

## 4 结论

(1) 油焦浆的燃烧过程不同于石油焦和煤粉, 其燃烧过程可分为三个阶段: 预热着火阶段、挥发物火焰扩散燃烧阶段及焦炭燃烧阶段, 其后期燃烧接近煤粉和石油焦粉燃烧。油焦浆的燃烧速率较石油焦的燃烧速率大; 但由于油焦浆燃烧时发生结团现象, 使得其燃烧速率小于韩桥烟煤的燃烧速率。

(2) 油焦浆的燃烧过程可分为: 加热干燥阶段、挥发物析出及燃烧阶段和焦炭燃烧阶段。水分对水煤浆燃烧具有一定的促进作用, 使得水煤浆的后期焦炭燃烧速率较石油焦的燃烧速率大, 但总体燃烧时间及燃尽率两者基本一致。此外, 水煤浆的燃烧速率却小于韩桥烟煤的燃烧速率。

### 参考文献:

- [1] EKMARM J M, MOCANN C R, PMATHUR M, *et al.* Parametric studies of COM combustion[ A ] . 1<sup>st</sup> Int Symp on COM combustion [ C ] . USA: US DOE PETC, 1978.
- [2] LAW C K, LEE C K N, KRINIVASAN. Disruptive combustion of COM droplets[ A ] . 1<sup>st</sup> Int Symp on COM combustion[ C ] . USA: US DOE PETC, 1978.
- [3] Klinzing G E, Ekmann J M. Characterization of coal/oil mixtures by a pseudo diffusive parameter[ J ] . *Fuel*, 1983, 62(10): 1153—1156.

- [4] LAW C K, LAW H K, LAW C H. Combustion characteristics of droplet of coal-oil and coal/oil/water mixture[ J ] . *Energy*, 1979, 4(2): 20—38.
- [5] 傅维标, 卫景彬. 单颗粒水煤浆蒸发、着火与燃烧规律的研究 [ M ] . 北京: 清华大学出版社, 1983.
- [6] 赵翔. 油煤混合燃料在试验炉内燃烧过程的试验研究[ D ] . 杭州: 浙江大学, 1981.
- [7] CAO Yuan-quan, KANG Chyi-fwu. Experiment study of COM combustion process in tunnel furnace[ A ] . 3<sup>rd</sup> Int Symp on Coal Slurry combustion[ C ] . USA: US DOE PETC, 1981. 482—503.
- [8] 任有中. 单颗粒油煤混合燃料燃烧及其机理的实验研究[ D ] . 杭州: 浙江大学, 1981.
- [9] KANG Chyi-fwu, REN You-zhong, ZHAO Xiang, *et al.* Experiment Study of combustion process of single COM droplet and COM spray [ A ] . 4<sup>th</sup> Int Symp on coal slurry combustion[ C ] . USA: US DOE PETC, 1982. 882—903.
- [10] MASAHIRO SAITO, Masayoshi sadakata and takeshi sakai. single droplet combustion of coal/oil/methanol/water mixtures[ J ] . *Fuel*, 1983, 62(12): 1481—1486.
- [11] 黄镇宇. 单颗粒煤泥浆的沸腾燃烧试验研究[ D ] . 杭州: 浙江大学, 1984.
- [12] 黄兆祥, 高景, 姚永庆. 煤浆混合物燃烧特性的实验研究[ A ] . 中国工程热物理学会第五届年会[ C ] . 苏州: 中国工程热物理学会, 1985. 351—379.
- [13] Donaldj, Holvo, Thomas H, 等. 超细煤粉和煤浆的燃烧[ A ] . 水煤浆技术通译文集—第七届国际煤浆会议文选[ C ] . 北京: 中国煤炭加工利用协会, 1986.

(何静芳 编辑)

## 川崎重工的 20 MW 级新燃机

据《Diesel & Gas Turbine Worldwide》2001 年 4 月号报道, 川崎重工开发出一型新的 20 MW 级燃气轮机。基于该公司中小功率燃气轮机研制的经验, L20A 燃机的额定功率是 18 000 kW, 涡轮进口温度为 1 250 °C, 进口空气流量为 57 kg/s, 压比是 18:1, 热效率为 35%。

L20A 设计的大修寿命为 40 000 h, 借助于结构上采用水平中分面机匣和孔探仪检查孔, 显著改进了检查和维修。

排气温度为 545 °C, 适用于回收余热, NO<sub>x</sub> 排放低于 23 mg/m<sup>3</sup>。

压气机是高压轴流式装置, 具有 11 级, 1 到 6 级动叶是钛合金结构, 7 到 11 级动叶片是耐热不锈钢的, 静叶均是耐热不锈钢的。

装有 5 级可转导叶, 包括进口可转导叶, 使压气机能稳定运行, 燃机在部分负荷下具有高的效率。

三级轴流式涡轮, 动叶和静叶均是由镍基超耐热合金制造的。1 和 2 级是空气冷却的。

低 NO<sub>x</sub> 预混贫燃燃烧室。燃机装有 8 套单管式燃烧室。

L20A 燃机长 6.6 m, 宽 2.2 m, 高 2.7 m, 重量约为 14 t。

(思 娟 供稿)

spray technique both the steam humidification activation and spray-water humidification activation can contribute to an enhancement of desulfurization efficiency. However, the spray-water activation is much more effective than steam activation. Moreover, there will be an enhancement in desulfurization efficiency in case of an increase in Ca/S ratio and a decrease in saturation approach temperature, SO<sub>2</sub> concentration and flue gas speed. As regards desulfurization by spray-water humidification activation the desulfurizer droplets play a by far greater role in desulfurization than the desulfurizer moisture sorbent. **Key words:** desulfurization, humidification activation, experimental investigation

油焦浆、水焦浆燃烧特性的试验研究 = **An Experimental Study of the Combustion Characteristics of Oil-coke Slurry and Water-coke Slurry** [刊, 汉] / XIONG Yuan-quan, SHEN Xiang-lin (Thermal Energy Engineering Research Institute under the Southeastern University, Nanjing, China, Post Code: 210096), ZHENG Shou-zhong (materials Bureau of National Electric Power Co., Beijing, China, Post Code: 100016) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(5). — 494 ~ 496

Under low-speed heating conditions the combustion characteristics of oil-coke slurry (mixture of petrol-coke powder and heavy oil) and water-coke slurry (mixture of petrol-coke powder and water) were studied through the use of a thermogravimetric analytical method. These combustion characteristics are compared with those of petrol-coke and pulverized coal. Furthermore, the above results were analyzed from the perspective of a work mechanism. **Key words:** oil-coke slurry, water-coke slurry, combustion characteristics, thermogravimetric analytical method

利用电厂粉煤灰再生劣化抗燃油的试验研究 = **An Experimental Study on the Utilization of Power Plant Pulverized Coal Ash for Regeneration of Deteriorated Fire-resistant Oils** [刊, 汉] / LI Zhi (Testing Research Institute of Guangdong Electric Power Industrial Bureau, Guangzhou, China, Post Code: 510600) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(5). — 497 ~ 498

A contrast analysis was conducted of pulverized coal ash and several kinds of commonly used adsorbent. Optimum technological conditions were explored through an orthogonal test of regeneration by the use of a contact method. Moreover, a quality contrast analysis has also been performed of the fire-resistant oil prior to and after the regeneration. **Key words:** pulverized coal ash, regeneration, fire-resistant oil, test

气动系统中管路的二维粘性流场计算 = **Calculation of a Two-dimensional Viscous Flow Field in the Pipe of a Pneumatic System** [刊, 汉] / BAO Gang, LI Yu-jun, LI Jun, WANG Zu-wen (Pneumatic Technology Center under the Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(5). — 499 ~ 502

With the help of an algorithm SIMPLE a two-dimensional viscous flow field was calculated with respect to a pipe, which has its two ends fitted with a throttle orifice. This is performed for facilitating an in-depth study of pipe flow characteristics in a pneumatic system and the law of variation of various parameters. A stagnation pressure and stagnation temperature were set at the pipe inlet. On the basis of the pipe geometric characteristics and flow features a calculation zone has been divided into five domains with corresponding domain algorithm being given. The results of numerical calculation indicate that the algorithms provided can clearly reflect the flow characteristics in the pipe and the variation trend of relevant parameters. With the method under discussion it is possible to calculate not only the flow field within the pipe but also the flow field of the jet flow zone at the end of the pipe. **Key words:** algorithm SIMPLE, pipe, pneumatic system, sub-domain algorithm

恒热流时污垢对管内对流换热过程热力学性能影响的分析 = **An Analysis of the Effect of Fouling on the Thermodynamic Performance of Convection Heat Exchange Process in a Tube under Constant Heat Flux Conditions** [刊, 汉] / WU Suang-yin, ZENG Dan-ling, LI You-rong (Power Engineering Institute under the Chongqing University, Chongqing, China, Post Code: 400044) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(5). —