

煤焦油替代重油作为动力燃油的热天平分析

廖勇波¹, 于 娟²

(1. 广东省轻纺建筑设计院, 广东 广州 510080;

2. 上海交通大学机械与动力工程学院热能所, 上海市 200240)

摘 要:用微量热天平研究了煤焦油和重油的热解特性和燃烧特性,并在此基础上初步分析了用煤焦油代替重油作为动力燃料时应该注意的因素。结果显示,不能简单用煤焦油替代重油直接在重油燃烧器上燃烧,为了防止煤焦油中挥发份过早析出导致结焦积炭,进燃烧器之前煤焦油的加热应注意采用较低的加热温度和加热强度。

关键词:煤焦油;热解;燃烧;热天平;重油

Abstract: The pyrolysis and combustion characteristics of coal tar and heavy oil are analyzed using thermobalance to study the factors needing attention for substituting the coal tar for the heavy oil as power fuel. The results show that the coal tar cannot be burned directly using the burner designed for heavy oil. In order to avoid agglomeration and char accumulation resulting from the volatile matter of the coal tar liberating too early, the temperature and the intensity should be lower in heating the coal tar before entering into the burner.

Key words: coal tar; pyrolysis; combustion; thermobalance; heavy oil.

中图分类号: TM721.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-6954(2008)02-0091-04

目前,中国仍有相当多工矿企业采用重油作为企业动力设备燃料。随着近年来中国社会经济的飞速发展,各种能源油品的消耗也大量增加,使中国的工业用重油价格大幅上涨,企业生产成本的负担仍然很重^[1,2]。由于煤焦油的价格比重油便宜,热值只比重油略低,市场供应较充足,如果能将煤焦油替代重油用于锅炉及工业窑炉上,对于缓解能源紧张状况、减轻企业经济负担将起到重要作用。然而,由于煤焦油的主要成分是芳香族及稠环芳香族化合物,碳元素含量较大,而氢元素含量很低,因此在燃烧时会大量生成不易燃烧完全的碳黑,造成周边环境的严重污染。

所以开发适用于煤焦油的燃烧技术对于煤焦油的成功应用至关重要。下面通过热天平实验,对煤焦油的热解及燃烧特性进行初步分析,并与重油进行比较,希望在此基础上能为煤焦油燃烧系统的设计提供参考和依据。

1 实验

1.1 实验样品分析

煤焦油是有刺激性气味的黑色或黑褐色的粘稠状液体,其成分与性质主要依赖于原料煤的性质及加

表 1 常用燃料重油与煤焦油的主要特性^[3]

检测项目	120 号	180 号	煤焦油	试验方法
恩氏粘度(100℃)			2~3	GB/T266
闪点(开口)℃	≥80	≥80	96~105	GB/T267
灰分%	≤0.1	≤0.13	≤0.13	GB/T508-85
水分%	≤0.3	≤0.5	≤4	GB/T260
硫含量%	≤1	≤1	≤0.8	GB/T387
密度 g/cm ³ (20℃)	0.96	0.9	1.1 左右	GB/T1884
发热量(kcal/kg)	≥10 400	≥10 400	9 000 左右	

注:上表中重油分类是市场上常用的种类;作为比较,其中 120、180 号重油常用于锅炉和工业窑炉燃料;

上表中重油数据是按照燃料油的行业标准,煤焦油是按照资料上查得的大致范围。

工时的情况,所以不同种类煤焦油之间的性质可能有很大的差别。表1是中高温煤焦油的主要特性。

由表1来看,煤焦油的发热量比重油略低,水分含量较高,密度也较大,粘度、闪点、灰分和硫分与重油相似,其中灰分和硫分较低,对燃烧和环境有利。

在马弗炉中对重油和煤焦油进行脱挥发分实验,即在 920 °C 的温度下精确加热样品 7 min, 每种样品重复实验两次,最后得到脱除水分和挥发分后的样品残碳含量为:重油 12.83%,煤焦油 17.64%。如果忽略灰分的影响,在此加热条件下,重油和煤焦油的残碳含量差别不是很大。考虑到挥发分的析出特性对燃烧很重要,下面将借助热天平对重油和煤焦油的热解和燃烧过程进行测量分析。

1.2 热天平实验

本实验采用的实验仪器是 WRT-2P 型微量热天平。它是一台具有微机数据处理系统,能够在设定好的温度程序下测量物质的质量随温度变化的热重实验分析仪器。由于微量热天平比常量热天平所用的试样量少,样品中温度梯度小,测定试样内部不致产生二次效应,所以失重曲线明显,分辨率高,适宜于重量大而失重小的试样。

本次实验样品用量约 7 mg, 升温速率 30 °C/min。实验分成热解和燃烧两类实验,其中热解实验所用气氛为高纯氮气,燃烧实验氧气浓度设定为 10%, 气体总流量为 160 ml/min。分别对重油和煤焦油进行实验,结果如图1~图4所示,下面分别对这两个过程进行分析。

2 热解特性分析

由图1可以看出,重油的热解失重过程可分为3个温度区间:第一区间中,TG曲线出现一段幅度很小的下降,DTG曲线出现较小波动,试样有略微的失重。该温度区间一般是试样随着温度的升高失去残留水分的阶段。第二区间中,TG曲线急剧下降,同时DTG曲线剧烈变化。该温度区间是试样热解失重过程的主要阶段,试样的绝大部分失重发生在该区间,失重率可高达70%以上。第三区间中,TG曲线和DTG曲线都开始趋于平缓。该温度区间是残留物的缓慢分解过程,并在最后生成固定碳和灰分。

由图2可以看出,煤焦油的热解失重过程可分为2个温度区间:第一区间,TG曲线先缓慢下降再急剧

下降然后又缓慢下降,DTG曲线始终剧烈变化,无法区分出水分蒸发和热解两段。与重油相比,煤焦油挥发分释放早,但最大失重率小,热解反应过程长。第二区间,TG曲线和DTG曲线都开始趋于平缓,是残留物的缓慢分解过程。

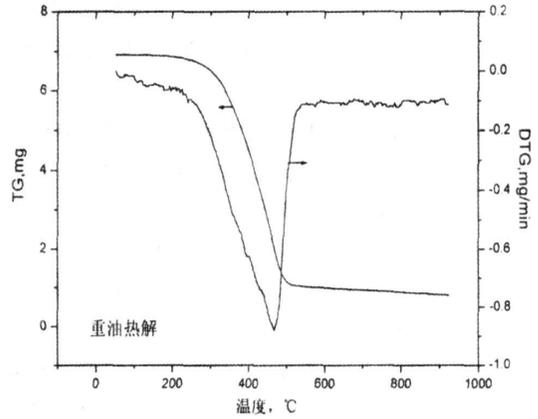


图1 重油的热解失重曲线及微分曲线

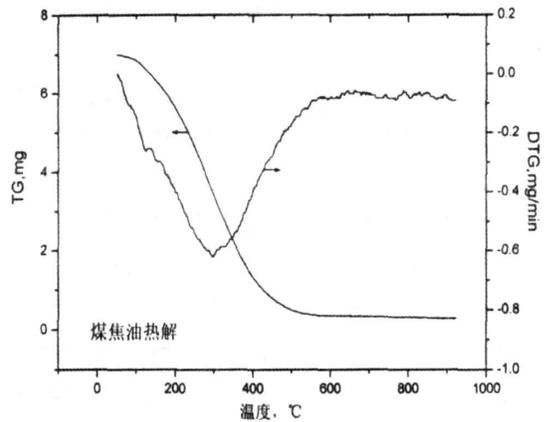


图2 煤焦油的热解失重曲线及微分曲线

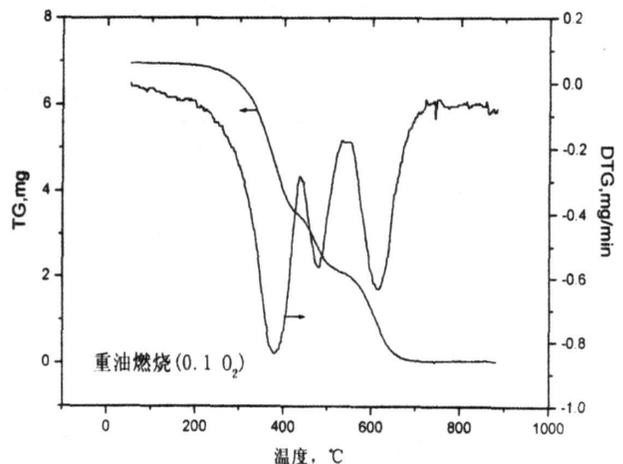


图3 重油的燃烧失重曲线及微分曲线

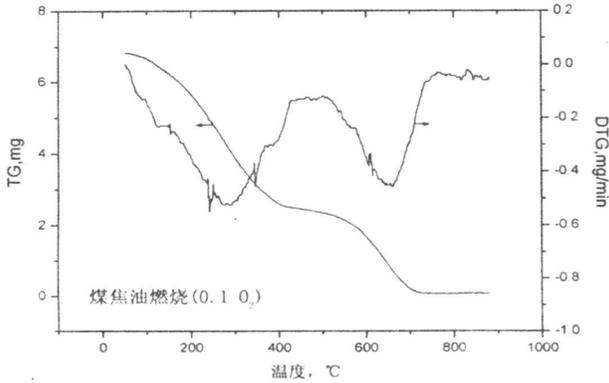


图4 煤焦油的燃烧失重曲线及微分曲线

图4 煤焦油的燃烧失重曲线及微分曲线

为克服燃料油的粘度,提高管输和泵送效率,习惯上采用提高油温的方法。从上述分析可知,对于重油和煤焦油,应采用不同的油温加热制度。如果加热温度过高和多次重复加热,由于导热管高热的界面会造成油中胶质沥青质的部分焦化,并使油中胶质沥青质的沉降和团状集聚的速度加快,形成底层油密度增高,上层油密度小的反差,在燃烧时易发生严重的结焦积碳,给燃烧设备造成损坏,加大维修工作的强度。由于煤焦油挥发分析出早,因此,对煤焦油的加热要特别注意,采用较低的加热温度,并减少加热次数。

为比较重油和煤焦油热解的难易程度,定义一个表征热解特性的指标——热解指数如下:

$$I = (d\alpha/dt)_{\max} / (T_{\max} \times \Delta T) \quad (1)$$

式中: α 为试样消耗份额; $\alpha = (W_0 - W) / (W_0 - W_\infty)$; $(d\alpha/dt)_{\max}$ 为最大失重率; W_0 为试样初始质量; W 为试样在温度为 T 时的质量; W_∞ 为试样最终质量。 T_{\max} 为对应于最大失重率的温度。 ΔT 为 $\Delta T = T_2 - T_1$; T_1 为失重率达到 5% 时的温度; T_2 为失重率急剧减小并趋于平缓时的温度。显然, I 越大,越容易热解; T_1 越小,挥发份开始释放的时间就越早; $(d\alpha/dt)_{\max}$ 越大, ΔT 、 T_{\max} 越小,总体热解反应进行过程就越集中,物质就越容易被热解;反之,则不易热解。

表2 重油和煤焦油热解过程中的特征点及热解指数

名称	加热速率(°C/min)	T_1 (°C)	T_2 (°C)	T_{\max} (°C)	$(d\alpha/dt)_{\max}$ (%/min)	$I \times 10^{-6}$ (%/min·K ²)
重油	30	292	543	468	0.881	7.500
煤焦油	30	121	553	299	0.620	4.800

根据实验结果图线,重油和煤焦油热解过程中的特征点及热解指数列于表2。

由表2可见,煤焦油的热解指数要小于重油的热解指数,说明煤焦油更难热解,在燃烧时更难着火。

3 燃烧特性分析

在气氛氧浓度为 10% 的条件下,重油和煤焦油的燃烧实验结果如图3和图4所示。由图3可见,重油的燃烧过程分为3个区间:第一区间, TG 曲线失重平缓,是重油的干燥阶段。第二区间,重油着火,发生剧烈失重。由 DTG 曲线可知,该区间又可分为三个子阶段,分别对应不同物质的燃烧。与热解曲线相比,可以知道,前两个 DTG 峰是挥发分的燃烧峰,最后一个 DTG 峰对应的是残碳的燃烧。第三区间, TG 曲线不再失重,是燃烧结束阶段,剩下的物质是灰分。

由图4可见,煤焦油的燃烧过程分为4个区间:第一区间,对应 DTG 曲线的第一个峰,与热解曲线相比,是挥发分的燃烧阶段。第二区间, TG 曲线下降变缓, DTG 曲线变化较平。第三区间,对应 DTG 曲线的第二个峰,与热解曲线相比,是残碳的燃烧阶段。第四区间是燃烧结束阶段。

从重油和煤焦油的燃烧过程可以看出,重油不同阶段的燃烧紧凑,前面的燃烧对后续的燃烧影响显著,残碳易燃烧。煤焦油的两个燃烧阶段相隔较远,比起重油,残碳燃烧滞后。原因在于,重油相比煤焦油,是一种组分更为复杂的燃料油,至少包括两类燃烧特性截然不同的组分。而正是这两类组分的挥发燃烧,特别是第二个峰所对应的组分对重油残碳的着火燃烧起了关键作用。煤焦油挥发分类别较单一,热解早,燃烧时间长,燃烧强度不高,对残碳的燃烧作用小,残碳难以着火、燃尽。

4 结论

1) 为了防止煤焦油中挥发份过早析出导致结焦积炭,进燃烧器之前的煤焦油的加热和伴热相对一般

燃料重油均应注意采用较低的加热温度和加热强度。

2)煤焦油的燃烧特性和一般燃料重油特性不尽相同,煤焦油的热解和燃烧时挥发份与水份同时析出。因此,能否利用煤焦油简单替代重油在直接在重油燃烧器上燃烧还有待进一步研究。

3)对煤焦油燃烧技术仍需进一步的深入研究。在实际工程技术中,对燃料输送过程中燃烧器喷嘴的改进和配风是提高煤焦油燃烧效率的重要途径。

参考文献

- [1] 于连海. 煤基合成燃料油的研究与开发[M]. 杭州:浙江大学, 2005.
 - [2] 何宏舟, 吴德华. 重油燃烧技术的现状与展望[J]. 锅炉技术, 2004, 35(3): 40-44.
 - [3] 张同翔. 合成燃料油的开发[M]. 杭州:浙江大学, 2004.
- (收稿日期: 2007-11-15)

(上接第74页)

表1 2节点电压凹陷各程度幅值发生频次

2节点发生的电压凹陷幅值 K	需要计算的线路	一年发生的次数
$0.9 \leq K \leq 1$	1-2, 2-3, 2-4	9.4
$0.8 \leq K \leq 0.9$	1-2, 2-3, 2-4, 3-4	12.1
$0.7 \leq K \leq 0.8$	4-5	2.3
$0.6 \leq K \leq 0.7$	4-5	1.9
$0.5 \leq K \leq 0.6$	4-5	1.1

5 结论

上面针对实际情况中较易发生的三相对称短路故障所造成的电压凹陷,提出了对线路上故障概率密度函数积分的方法,从而对一定时间内电压凹陷的幅值和发生的频次进行预测,以及进一步分析电压凹陷在更大范围电网中传递。再由电压凹陷矩阵提供的信息,减小需要计算的线路数。电压凹陷矩阵直接可以由网络节点阻抗矩阵得到。所提方法与前文所提临界距离法^{[4][5]}相比的优势在于本方法适应于实际中更常见的环形网络。而与同样针对环网的故障点法^[8]相比,本方法优点在于完全不需要对故障点发生位置进行预设。与蒙特卡罗仿真法^[2]相比,本方法优点在于大大简化了计算过程和步骤。

所提方法需要进一步研究和探讨的问题包括:仅考虑了网络系统发生三相对称短路故障,而没有考虑实际中更常见的各种不对称短路故障的情况。综合考虑各种对称与不对称短路故障情况所造成的电压凹陷以及根据此方法对电压凹陷的特征量的预测值进一步对电压凹陷造成的经济损失性评估是值得更深入探讨的问题。

参考文献

- [1] Quaia, S.; Tosato, F. A method for analytical voltage sags prediction [J]. Power Tech Conference Proceedings, 2003 IEEE Bologna Volume 4, Issue.
- [2] 宋云亭, 郭永基, 张瑞华. 电压骤降和瞬时供电中断概率的蒙特卡罗仿真[J]. 电力系统自动化, 2003 27(18): 21-24.
- [3] 张伯明, 高景德. 高等电力网络分析[M]. 北京:清华大学出版社, 1996.
- [4] 李妍, 段余平, 邱军, 熊信良, 尹项根. 环网配电网电压暂降分析的临界比距法[J]. 电网技术, 2006, 30(11): 51-55.
- [5] Bollen M H J. Fast assessment method for voltage sags in distribution systems [J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 1996, 32(6): 1480-1487.
- [6] Olguin, G.; Bollen, M. H. J. Stochastic assessment of unbalanced voltage dips in large transmission systems [J]. Power Tech Conference Proceedings, 2003 IEEE Bologna Volume 4, Issue, 23-26 June 2003 Page(s): 8 pp. Vol. 4: 23-26.
- [7] E. E. Juarez; A. Hernandez. An analytical approach for stochastic assessment of balanced and unbalanced voltage sags in large systems [J]. Power Delivery, IEEE Transactions on Volume 21, Issue 3, July 2006, 1493-1500.
- [8] Lim, Y. S.; Strbac, G. Analytical approach to probabilistic prediction of voltage sags on transmission networks [J]. Generation, Transmission and Distribution, IEE Proceedings - Volume 149, Issue 1, Jan 2002, 7-14.
- [9] IEEE Std 1159-1995. IEEE Recommended Practice on Monitoring Electric Power Quality New York: IEEE Press, 1995.

作者简介:

曾智(1981~),男,硕士研究生,研究方向为电能质量与电力市场。

杨洪耕(1949~),男,博士,教授,博士生导师,长期从事电能质量监测和控制技术方面的教学和研究工作。

(收稿日期: 2008-01-24)