

煤基合成油燃烧性能试验研究

刘金林, 马小森, 赵鹏, 杨志民
(中国航发沈阳发动机研究所, 沈阳 110015)

摘要:为了考查煤基合成油的燃烧性能,在航空发动机主燃烧室试验台上采用同一个全环燃烧室试验件,对燃用RP3航空煤油和煤基合成油进行燃烧室性能对比试验。试验结果表明:燃用RP3航空煤油和煤基合成油时所测区间火焰筒的壁温分布无较大区别;在同一试验状态下,燃用RP3航空煤油和煤基合成油的燃烧室出口平均温度和燃烧效率无较大区别,燃烧室出口温度分布热点位置相同,热区分布一致,OTDF相差并不大;燃用RP3航空煤油和煤基合成油在相同的主燃烧室起动状态下均可正常起动。

关键词: 燃烧性能;主燃烧室;煤基合成油;燃烧试验;RP3航空煤油;航空发动机

中图分类号: V216.5+2

文献标识码: A

doi:10.13477/j.cnki.aeroengine.2018.04.014

Experimental Study on Combustion Characteristics of Coal-Based Synthetic Oil

LIU Jin-lin, MA Xiao-sen, ZHAO Peng, YANG Zhi-min

(AECC Shenyang Engine Research Institute, Shenyang 110015, China)

Abstract: In order to examine the combustion characteristics of coal-based synthetic oil, the combustion characteristics fueled with RP3 aviation kerosene and coal-based synthetic oil using same full annular combustion chamber test article in the main combustion chamber of aeroengine test-bed were compared. The test results show that the wall temperature distribution of the interval flame tube fueled with RP3 aviation kerosene and coal-based synthetic oil have no significant difference; The average outlet temperature and the combustion efficiency of combustion chamber fueled with RP3 aviation kerosene and coal-based synthetic oil have no significant difference in the same test condition; The heat point of temperature distribution and the hot zones distribution at the combustion chamber outlet are both same, the OTDF has little difference. The combustion chamber fueled with RP3 aviation kerosene and coal-based synthetic oil can start normally in the same starting condition.

Key words: combustion characteristics; main combustion chamber; coal-based synthetic oil; combustion test; RP3 aviation kerosene; aeroengine

0 引言

随着航空飞行器飞行速度和发动机推重比的逐渐增大,航空发动机主燃烧室总油气比也显著提高,向着高温升、高热容的方向发展。为此,对主燃烧室冷却技术设计提出了挑战。研究人员提出液态碳氢燃料在进入燃烧室燃烧之前先冷却火焰筒壁面等高温部件^[1-4],使得液态碳氢燃料不再仅作为推进剂,还要用作冷却剂为发动机或飞行器的高温部件降温冷却,这就要求液态碳氢燃料要有优良的热安定性能^[5]。

中国侧重于通过改善炼制工艺来提高喷气燃料的热安定性^[6]。煤基合成油是以煤炭为主要原料,通过化学加工过程使其液化,转变为汽油、柴油和煤油等液态烃类燃料和高附加值的化工产品^[9]。目前中国的煤基合成油产能已经初具规模,其产品性能指标的热安定性高于常用作航空燃料的3号喷气燃料的^[10]。

燃料性能对发动机的安全有极大影响^[6-8],与燃料最直接相关的发动机部件就是燃烧室,所以热安定性燃料不仅应达到其在受热情况下的热氧化安定性,还应该保证其燃烧性能不变。因此,利用航空发动机主燃烧室试验台研究燃烧煤基合成油对燃烧室性能的

收稿日期:2017-12-30 基金项目:航空动力基础研究项目资助

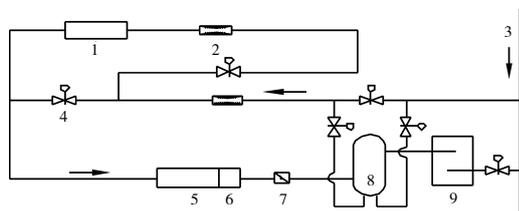
作者简介:刘金林(1986),男,硕士,工程师,从事航空发动机主燃烧室试验研究工作;E-mail:ljl5128@163.com。

引用格式:刘金林,马小森,赵鹏,等.煤基合成油燃烧性能试验研究[J].航空发动机,2018,(4):76-79.LIU Jinlin,MA Xiaosen,ZHAO Peng, et al. Experimental study on combustion characteristics of coal-based synthetic oil[J].Aeroengine,2018,44(4):76-79.

影响就显得尤为重要^[11-15]。本文使用同一个全环燃烧室试验件,对燃用 RP3 航空煤油和煤基合成油进行燃烧性能对比试验研究。

1 试验流程及试验方法

航空发动机主燃烧室试验台的试验原理如图 1 所示。试验时,燃烧室试验件进口有长直管段和整流装置,能够保证试验件进口空气温度和压力均匀,满足进口流场均匀性的要求。进口空气流量和压力的调节通过进气、放气和排气阀门的配合来实现。



1-直接加热器;2-标准流量测量装置;3-进气总管;4-电动阀门;5-试验段;
6-出口测量段;7-调压电动阀门;8-回热器;9-排气消声塔

图 1 试验原理

试验前要对试验件及试验器各系统进行检查。管路吹风加热,同时检查管路的密封性。确认无问题后开始试验。

燃烧室进口空气流量由安装在进气管道上的标准孔板测量,通过测量孔板前静压、温度和孔板前后静压差,利用该孔板的计算公式计算。

试验供油量由安装在试验件燃油总管前的涡轮流量计测量,燃烧室进口气流总压由压力受感部及压力扫描阀采集,进口气流总温由总温受感部采集,然后通过数据采集处理系统进行处理和传送。所有受感元件的堵塞面积不大于通道面积的 5%。

燃烧室试验件出口测量段是 1 个水、气双冷的旋转测量装置。旋转机构上布置 4 支梳状热电偶,电偶沿径向有 5 个测点,测点位于测量通道等环面的中心。热电偶沿周向间隔 3°采集,通过旋转测量得到周向 120 个测量位置。燃烧室壁温由预埋的 K 型热电偶测量。

试验燃油系统主要由总进油阀、燃油过滤器、燃油流量计、回油调节阀、电磁阀、涡轮流量计、燃油泵、变频电机及管路等组成。试验时通过调节燃油泵的电机频率和回油调节阀的开度来控制燃油流量,使其达到试验状态要求。

2 试验工况

试验用的煤基合成油是根据 RP3 航空煤油的理化特性特制的,因此在试验过程中,试验程序参数对 2 种燃油密度、热值和碳氢比的设置相同,只是在热安定性能上有所不同,RP3 航空煤油满足 260 °C、2.5 h、压力降不大于 3.3 kPa 的要求,而煤基合成油则满足 355 °C、3.5 h 压力降不大于 3.3 kPa 的要求。

采用有主、副油路的全环燃烧室试验件,分别进行 RP3 航空煤油和煤基合成油燃料的燃烧室性能与壁温试验,录取燃烧室出口的温度分布和燃烧效率,并记录壁面温度的数值。试验状态见表 1。

表 1 试验状态参数

状态	进口总压 / MPa	进口总温 / K	空气 流量 / (kg/s)	燃油 流量 / (kg/h)	燃油比 /%	
					主油路	副油路
1	0.48	675.2	21.1	1784	88	12
2	0.48	790.0	21.3	1512	88	12

3 试验结果分析

3.1 火焰筒壁温数据分析

在火焰筒壁温试验中,火焰筒壁温在状态 1、2 下,均不超过火焰筒材料的许用温度。2 种状态下的壁温对比如图 2 所示。从图中可见,燃用 RP3 航空煤油和燃用煤基合成油的火焰筒壁温在同状态下温度基本相同,说明二者在火焰筒壁面温度分布方面无较大区别。

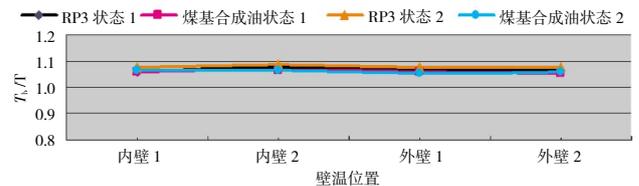


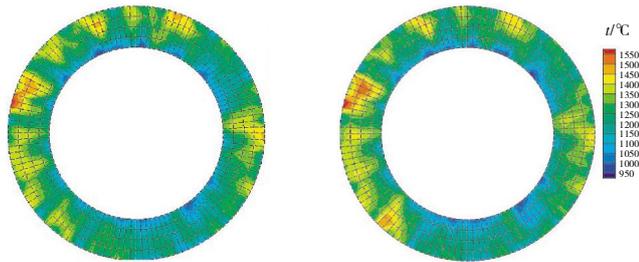
图 2 火焰筒壁温对比

3.2 燃烧室性能数据分析

在航空发动机主燃烧室试验中评价燃烧室的性能参数主要以燃烧室出口温度分布和燃烧效率等参数为主。

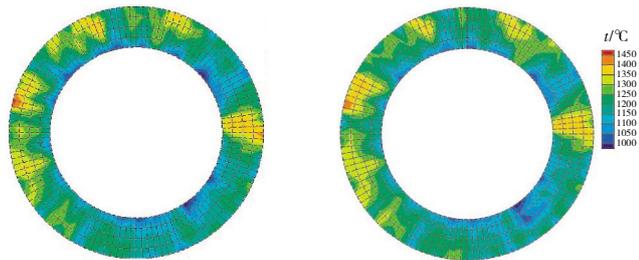
燃用 RP3 航空煤油和燃用煤基合成油在 2 种状态下的出口温度场分布分别如图 3、4 所示。受喷嘴结构和燃料、空气量分配等的影响,在燃烧室出口温度分布方面会存在部分高温区,如在出口温度分布云图的 10 点钟方向一直存在 1 个高温区,这是由于点火

器安装位置引起了流场畸变所造成,但此现象不影响燃料的燃烧性能对比试验研究。通过对比2图可知,在相同试验状态下燃用RP3航空煤油和燃用煤基合成油的出口温度分布热点相同,热区分布一致。在不同试验状态下燃用同种燃油的热点位置相同,热区分布一致,唯有热点温度值略有不同。说明燃油种类的不同对燃烧室出口温度分布无影响。



(a) RP3 航空煤油 (b) 煤基合成油

图3 在状态1下的出口温度场



(a) RP3 航空煤油 (b) 煤基合成油

图4 在状态2下的出口温度场

2种状态下的燃烧效率对比如图5所示。从图中可见,燃用RP3航空煤油和煤基合成油的燃烧效率都在99%以上。在状态1、2下,燃用煤基合成油的燃烧效率比燃用RP3航空煤油的分别高0.15%、0.18%,但数值上相差不大。考虑到在试验过程中还存在一定的系统误差,可以得出燃用煤基合成油在燃烧室燃烧效率方面无较大影响的结论。

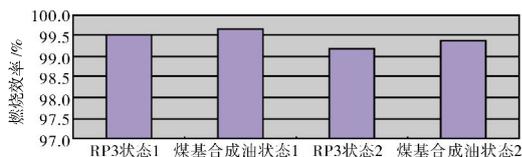


图5 燃烧效率对比

热点(λ_{OTDF})是衡量燃烧室出口温度分布品质的关键指标之一,该指标的好坏关系到涡轮导叶的寿命。其计算公式为

$$\lambda_{OTDF} = \frac{t_{4max} - t_{4ave}}{t_{4ave} - t_{3ave}} \quad (1)$$

式中: t_{4max} 、 t_{4ave} 分别为燃烧室出口的最高和平均温度;为燃烧室进口的平均温度。

燃烧室出口平均温度和 λ_{OTDF} 对比如图6所示。从图中可见,在相同试验状态下,燃用RP3航空煤油和煤基合成油的出口平均温度基本相同, λ_{OTDF} 相差不大;在不同试验状态下,燃用煤基合成油的 λ_{OTDF} 比燃用RP3航空煤油的稍高,但其差值较小,说明燃用煤基合成油与燃用RP3航空煤油在热点品质方面相差不大。

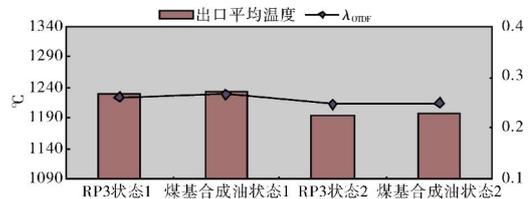


图6 燃烧室出口平均温度和 λ_{OTDF} 对比

在主燃烧室试验流程中,要求先启动燃烧室试验件再启动加热器进行加温。而在本项试验研究过程中,燃烧室试验件无论燃用RP3航空煤油还是煤基合成油在相同的主燃烧室启动状态下都能顺利启动,说明燃用2种燃料的主燃烧室启动状态相似。

4 结论

在航空发动机主燃烧室试验台上用全环燃烧室试验件开展了RP3航空煤油和煤基合成油的燃烧性能试验,通过对比2种燃料在火焰筒壁温、燃烧室出口温度分布和燃烧效率等参数上的差异,得出以下主要结论:

(1)火焰筒壁温未超过材料许用温度值,燃用2种燃料时火焰筒的壁温分布无较大区别。

(2)在同一试验状态下,燃用2种燃料的出口平均温度和燃烧效率无较大区别。

(3)在同一试验状态下,燃用2种燃料的燃烧室出口温度分布热点位置相同,热区分布一致;在不同试验状态下燃用同种燃油的热点位置相同,热区分布一致,唯有热点温度值略有不同。

(4)燃用RP3航空煤油和煤基合成油燃料在相同的主燃烧室启动状态都可以正常启动。

为全面了解煤基合成油的燃烧性能,进一步深入研究本课题,建议对煤基合成油的熄火和点火性能进

行对比试验,并继续完成排放、熄火和采用扇形段的可靠性加速模拟试验。

参考文献:

- [1] Dreitser G A, Myakochin A S, Janovski L S, et al. Investigation of hydrocarbon fuels as coolants of spacecraft high-temperature structures [R]. Proceedings of the 1st International Conference on Aerospace Heat Exchanger Technology, 1993:31-43.
- [2] Edwards T, Anderson S D, Pearce J A, et al. High temperature thermally stable jet fuels: an overview [R]. AIAA-92-0683.
- [3] Korabelnikov A V, Kuranov A L. Thermochemical conversion of hydrocarbon fuel for the ajax concept [R]. AIAA-99-3537.
- [4] 孙海云, 郭永胜, 方文军, 等. 吸热型碳氢燃料热安定性研究[J]. 浙江大学学报, 2004, 31(2):167-170.
SUN Haiyun, GUO Yongsheng, FANG Wenjun, et al. Study on thermal stability of endothermic hydrocarbon fuels [J]. Journal of Zhejiang University, 2004, 31(2):167-170. (in Chinese)
- [5] Edwards T. USAF supercritical hydrocarbon fuels interests [R]. AIAA-93-0807.
- [6] 张冬梅, 张怀安, 曹文杰. 喷气燃料热安定性对飞机发动机的影响[J]. 航空制造技术, 2008(13):91-93.
ZHANG Dongmei, ZHANG Huaian, CAO Wenjie. Effect of thermal stability of jet fuel on aircraft engines [J]. Aerospace Manufacturing Technology, 2008(13):91-93. (in Chinese)
- [7] 贺芳, 米镇涛, 孙海云. 提高烃类燃料热沉的研究进展[J]. 化学进展, 2006, 18(7):1041-1048.
HE Fang, MI Zhentao, SUN Haiyun. Progress in the study of increasing thermal sink of hydrocarbon fuels [J]. Chemical Progress, 2006, 18(7):1041-1048. (in Chinese)
- [8] 郭瑞卿, 唐正府, 尚守堂, 等. 替代燃料对航空发动机燃烧室性能影响的计算研究[J]. 航空发动机, 2016, 42(1):21-24.
GUO Ruiqing, TANG Zhengfu, SHANG Shoutang, et al. Study on the effect of alternative fuels on the combustion chamber performance of Aeroengine [J]. Aeroengine, 2016, 42(1):21-24. (in Chinese)
- [9] 唐宏青. 我国煤制油技术的现状和发展 [J]. 化学工程, 2010, 38(10):1-8.
TANG Hongqing. Current situation and development of coal oil production technology in China [J]. Chemical Engineering, 2010, 38(10):1-8. (in Chinese)
- [10] 冉国朋. 中国喷气燃料的发展近况 [J]. 国际航空, 1995(9):35-36.
RAN Guopeng. Recent developments in China's jet fuels [J]. International Aviation, 1995(9):35-36. (in Chinese)
- [11] 黄勇. 燃烧与燃烧室 [M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2009:70-135.
HUANG Yong. Combustion and combustion chamber [M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2009:70-135. (in Chinese)
- [12] 金如山. 航空燃气轮机燃烧室 [M]. 北京:宇航出版社, 1988:10-59.
JIN Rushan. Aviation gas turbine combustion chamber [M]. Beijing: Aerospace Publishing House, 1988:10-59. (in Chinese)
- [13] Lefebvre A H. Gas turbine combustion [M]. 2nd ed. Philadelphia, PA, USA: Taylor & Francis, 1999:2-33.
- [14] 张宝诚. 航空发动机试验和测试技术 [M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2005:5-62.
ZHANG Baocheng. Aircraft engine testing and testing techniques [M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2005:5-62. (in Chinese)
- [15] 王振华, 王亮. 航空发动机试验测试技术发展探讨 [J]. 航空发动机, 2014, 40(6):47-51.
WANG Zhenhua, WANG Liang. Development of aero-engine test and test technology [J]. Aeroengine, 2014, 40(6):47-51. (in Chinese)

(编辑:刘 亮)