

RP-3 和 RP-5 煤油对飞机动力装置和燃油系统试飞的影响

任 伟, 王 涛

(中国飞行试验研究院发动机所, 陕西 西安 710089)

摘 要: RP-3 号航空煤油是军用飞机和民航客机最为常用的燃料, 但是舰载飞机通常使用 RP-5 号航空煤油, RP-5 号煤油突出特点是密度大、闪点高。此外, 两种燃油在成分、黏度、饱和蒸气压、比热容、导电率等方面有诸多差异。这些差异会对飞机重心、燃油系统通气增压、供油流动损失、燃烧热值等造成影响, 分析这些影响对飞机试飞具有重要的价值。

关键词: RP-3 燃油; RP-5 燃油; 燃油系统; 动力装置; 试飞

中图分类号: V312⁺.1

文献标识码: B

doi: 10.3969/j.issn.1674-3407.2014.01.014

Effects of RP-3 and RP-5 Kerosene on Flight Test of Aircraft Power Plant and Fuel System

Ren Wei, Wang Tao

(Chinese Flight Test Establishment, Xi'an 710089, Shanxi, China)

Abstract: No. RP-3 aviation kerosene is the most common fuel for military aircraft and civil aircraft, but navy aircraft usually use RP-5 aviation kerosene. The kerosene is characterized by high density, high flash point. The two kinds of fuel have many differences in composition, viscosity, saturated vapor pressure, specific heat capacity, conductivity and so on. These differences will affect the airplane center of gravity, fuel system ventilation, flow loss, fuel combustion heat and so on. Analysis of these effects has important value for aircraft flight test.

Keywords: RP-3 fuel; RP-5 fuel; fuel system; power plant; flight test

1 概 述

RP-3 号航空煤油是我国陆基战斗机、运输机、直升机以及民航飞机首选燃料, 而 RP-5 号燃油适用于舰载飞机的动力装置, 分析两种燃油的差异, 以及它们对动力装置和燃油系统的影响很有必要。

燃油使用性能的主要指标是: 燃烧热、黏度、饱和蒸气压、热氧化安定性、与飞机结构和材料的相容性、积炭和抗磨性等。但是, 为达到上述使用性能指标而采取的方法往往又是相互排斥和矛盾的, 所以, 单一品种的燃油不能满足现代喷气飞机的需要。为

此, 我国研制和生产了 6 个品种的燃油, 使其具有不同性能, 以满足不同使用要求。

RP-1、RP-2、RP-3 为煤油型, 其性能主要差别在于结晶点、硫醇性硫含量、闪点、低温黏度等。RP-4 为宽馏分燃油, 其闪点低、黏度小、结晶点高, 由于生产效率高, 在燃油短缺的情况下, 可用作增加产量的一种措施。RP-5 为高闪点煤油型燃油, 用于舰载飞机。RP-6 为高密度 (20℃ 时, $\rho \geq 0.835\text{g/cm}^3$) 燃油, 采用加氢工艺生产, 其热氧化安定性好, 用于高超声速飞机^[1]。下面将着重对 RP-3 和 RP-5 号航空煤油进行对比分析。

[收稿日期] 2013-12-30

[作者简介] 任 伟(1981-), 男, 硕士学历, 工程师, 主要研究方向: 航空发动机试飞。

2 燃油的性能差异及对比分析

2.1 馏分组成差异及影响

馏分组成表示燃油在一定温度范围内,含有馏出各种馏分的量,以体积百分数表示。初馏点和10%回收温度,可以评定燃油的蒸发性及火灾的危险性、启动性、燃油泵及燃油系统的气蚀性能。该温度越低,燃油的蒸发损失越大,对燃油系统的工作越不利。90%回收温度和终馏点温度表示燃油内高分子的含量。该温度越高,其燃烧的完全性越差,排烟和积炭倾向越大。RP-3 和 RP-5 煤油的馏分差异见表1。

表1 RP-3 和 RP-5 煤油的馏分差异

馏程(℃)	RP-3(兰州出产) (GB6537)	RP-5(南京出产) (GJB560A-97)	试验方法
初馏点	145.5	191	GB/T6536
10%回收温度	163.0	204	GB/T6536
20%回收温度	169.0	206	GB/T6536
50%回收温度	186.0	214	GB/T6536
90%回收温度	215.0	231	GB/T6536
终馏点	229.5	246	GB/T6536

影响分析:RP-5 号燃油的各级馏分回收温度均高于 RP-3 号燃油,说明 RP-5 号燃油的蒸发性及火灾的危险性、燃油泵及燃油系统的气蚀性能将优于 RP-3 燃油,而动力装置启动性、燃烧完全性会差于 RP-3 号航空煤油,排烟和积炭倾向也更大。燃油的蒸发性、气蚀性能应参考燃油饱和蒸气压,蒸发损失增大时,气蚀可能性也将增加,其影响可以在燃油系统高温试验科目(如高空性)、吸力供油高度试飞、负过载试飞、升限试飞中考核^[2]。高温条件下,燃油的蒸发会加快;抽吸供油时,燃油管路的油压降低,增加了蒸发可能性;负过载试飞和升限试飞时,油箱的压力均会降低,蒸发可能性增大。动力装置启动性在发动机地面启动试验和空中启动试飞中予以考虑。排烟和积炭则在发动机的长期使用维护过程中进行评价。

2.2 密度差异和影响

燃油密度与燃油的化学组分和馏分组成有关。燃油密度对于确定飞机的重量载荷、航程有一定影响,是流量调节、油量测量的重要依据。表2中显示了两种燃油的密度,可以看出,在20℃时,RP-5 号燃油比 RP-3 号燃油密度大4.7%。一般来说,煤油的密度与温度具有很强的线性关系,因此,在不同温度下,RP-5 号航空煤油密度均会高出 RP-3 号。

表2 RP-3 和 RP-5 煤油的密度和燃烧热值

对比项目	RP-3(兰州出产) (GB6537)	RP-5(南京出产) (GJB560A-97)	试验方法
密度(20℃) (kg/m ³)	779.1	815.9	GB/T1884
净热值(MJ/kg)	43.547	43.1	GB/T384, GB/T2429

影响分析:

(1)增加了飞机满油时的燃油质量。假设飞机装载 RP-3 燃油,全机满油量10000kg,则装载 RP-5 燃油,则质量增加至10470kg,相应地挂装相同武器时,飞机起飞重量会增加,最大起飞重量一定时,可以挂载的武器将会适当减少。

(2)密度的增大会增加发动机单位质量的燃烧热值。表2显示,两种燃油单位质量的热值相当,那么发动机相同状态下,燃油体积流量相当时,则大密度的 RP-5 燃油单位时间燃烧释放的热量也大。

(3)密度增加,各油箱载油重量增加,飞机重心将会变化。

(4)相同飞机燃料装载空间,装载质量增加,总的燃烧热值增加,也将增加飞机的航时和航程。

2.3 黏度的差异及影响

黏度的大小与燃油的输送、油泵的寿命、低温启动、喷嘴雾化有着密切关系。燃油的黏度分为动力黏度和运动黏度,两者之间的关系为:

$$\nu = \mu / \rho$$

式中: ν 为运动黏度, m^2/s ; μ 为动力黏度, $\text{Pa} \cdot \text{s}$; ρ 为燃油密度, kg/m^3 。

RP-3 和 RP-5 燃油在不同温度下的黏度值如表3所示,RP-5 的黏度明显比 RP-3 燃油的黏度大得多,且温度越低,越明显。

表3 RP-3 和 RP-5 燃油在不同温度下的黏度值($\times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$)

温度(℃)	RP-3(大庆)	RP-5(任丘)
-40	5.84	11.3
-20	3.27	—
0	2.14	—
20	1.48	2.02
40	—	—

影响分析:黏度大,流动阻力就大,供油压力损失就大很多。对于燃油系统来说,高空飞行、发动机大状态、吸力供油来说,供油压力已经处于比较小的状态,如果流动阻力加大,会进一步加剧供油压力的降低,对燃油系统供油性能造成不利影响。此外,燃油运动黏度的加大还会对低温启动、喷嘴雾化等方面造成不利影响,应该予以关注。

2.4 闪点的差异及影响

闪点是用来表示燃油的火灾危险性的,其定义为:能在燃油表面上方产生燃爆的燃油蒸气的温度。通常,可燃液体闪点低于 45℃ 的谓之易燃液体,闪点低于 28℃ 的液体为 I 类易燃液体;闪点在 28~45℃ 的液体为 II 类易燃液体;闪点在 45~120℃ 的液体为 III 类易燃液体。我国燃油的闪点在各自的标准中都有明确规定:RP-3 不低于 38℃;RP-5 不低于 60℃,为高闪点燃油。

影响分析:RP-5 之所以主要用于舰载飞机,很大的一个原因就是高闪点。闪点高,说明同样的舰载环境下,RP-5 号燃油没有 RP-3 号煤油易燃,这对飞机来说是有利的。飞机压力加油、空中加油过程中,静电积累量较大,发生静电点火爆炸的可能性较高。因此,应在飞机地面压力加油和空中加油过程中评价燃油的安全性。

2.5 饱和蒸气压

饱和蒸气压是在一定温度下,汽液相处于动平衡状态时的蒸气压,它不仅取决于燃油的组分和温度,而且还与容器中汽液相容积比有关。饱和蒸气压影响燃油的蒸发损失,以及油泵的气蚀、发动机的启动和火灾的危险性。测量 RP-3 和 RP-5 号燃油的饱和蒸气压,可以有效预测出对升限飞行、吸力供油高度、负过载试飞的影响。

2.6 电导率

电导率是表述物质传导电流能力的物理量。电导在数值上等于电阻的倒数,电阻为 1Ω 导体的电导为 1 西门子,单位为 S。电导率为单位长度(1m)物质的电导,单位为 S/m。燃油为电介质,其电导很小,通常用皮西门子表示($1\text{pS}=10^{-12}\text{S}$)。

燃油的电导率直接影响燃油在流动输转过程中的静电产生的大小^[3],特别是空中加油过程中。舰载机通常都需要伙伴加油,加油时,燃油从加油机通过加油吊舱,沿着橡胶软管输转至受油机。因为流量大,容易产生静电。燃油静电测量是空中加油科目中应该考核的重要指标,在空中加油的国军标^[4]

明确规定,静电密度不超过 $1.0 \times 10^{-6} \text{C/m}^2$ 。静电积累大,则有可能在燃油箱中发生静电起火,引爆油箱事件,因此应当引起重视。

3 结 论

本文从 RP-3 和 RP-5 号航空煤油的馏程、密度、黏度、闪点的差异,分析了两者的性能差异以及对动力装置和燃油系统造成的影响。从分析中可以看出:

(1)馏程和饱和蒸气压的差异对燃油系统的通气增压及供油安全造成影响,特别是对高空性试飞、吸力供油高度试飞、负过载试飞、升限试飞等科目造成影响。

(2)密度的差异,影响了飞机的重心、发动机推力以及飞机的航时航程。

(3)燃油黏度的差异性导致了燃油流动阻力的差异,从而影响吸力供油高度、负过载飞行等科目。

(4)高闪点的 RP-5 号航空煤油可以降低舰载飞机油箱闪燃的可能性,是有利的。

(5)电导率的差异对油箱静电差造成影响,应在空中加油科目中予以考核。

本文对 RP-3 和 RP-5 号两种航空燃油的性能进行了分析,对舰载飞机的试飞具有重要价值。不过,因掌握资料的局限性,关于两种燃油的数据不全面以及燃油性能参数分析的复杂性,只能做定性分析。

参考文献

- [1] 王昂. 飞机设计手册·动力装置系统设计(第 13 分册)[M].
- [2] GJB3212-98 飞机燃油系统飞行试验要求[S].
- [3] 于格非. 轻质油品装卸和运输过程中静电安全关键技术的研究[D]. 上海海事大学, 2006.
- [4] GJB2487-95 飞机空中加油地面和飞行试验[S].

《工程与试验》

欢迎刊登广告

发布产品信息

联系电话:0431-85117100

传真:0431-85193252

联系人:王暖春

E-mail:bianjibu@ccss.com.cn