

燃油喷嘴对燃烧性能的控制研究

王宏明 全 中 甘晓华

(空军第一研究所)

摘要: 在WP-7 发动机单管燃烧室上采用三种不同形式的燃油喷嘴(离心式、空气雾化式及气旋离心式)进行燃烧试验以研究燃油喷嘴对燃烧性能的控制作用。

实验显示了不同形式的喷嘴产生出燃烧性能的差别。通过考察该三种喷嘴对出口温度场燃烧效率、温度不均匀系数、点火、火焰稳定等的控制程度得出: 根据需要, 可以选择适当的喷嘴来控制性能。特别是本文研究的气旋离心式喷嘴易于控制出口温度场的热点位置, 具有离心式和空气雾化式两种喷嘴的优点。

主题词: 燃料喷嘴, 燃烧性能, 控制, 研究

AN INVESTIGATION ON FUEL NOZZLES ON COMBUSTION PERFORMANCE

Wang Hongming Quan Zhong Gan Xiaohua

(Air Force Aeronautical Engineering Research Institute)

Abstract: In this paper, three types of fuel nozzle differet in atomization principle are separately tested on a jet engine combustion apparatus to examine their performance. These nozzles are characterized by pressure-swirl, airblast and air-assist pressure-swirl. Experiments show that changing in combustor inlet air velocity can slightly improve exit temperature profile, when whichever nozzle is used. pressure-swirl atomizer has the features of good ignition and flame stabilization, but lower combustion efficiency and higher exit extreme temperature. Compared with pressure-swirl atomizer, airblast atomizer is of higher combustion efficiency, better ignition at high air velocity and poorer at low air velocity, and poorly lean fuel-extinction limit; Air-assist pressure-swirl atomizer is of higher combustion effeciency, better ignition and flame stabilization, and with

本文1991年4月11日收到

easy to control the position of exit extreme temperature.

Keywords: Fuel nozzle, Combustion performance, Control, Research.

符 号 表

δ	温度不均匀系数	θ	旋流器出口锥角($^{\circ}$)
T_{3}^{*}	燃烧室出口总温 (K)	m_a	气流量 (kg/s)
T_{3max}^{*}	最大 T_{3}^{*} (K)	m_f	燃油流量 (kg/s)
T_{2}^{*}	燃烧室进口总温 (K)	f	油气比
η	燃烧效率	u_a	燃烧室进口气流速度 (m/s)
α	余气系数		

一、前 言

航空发动机燃烧性能的优劣对发动机性能有重要作用,而决定燃烧性能主要部件之一的燃油喷嘴对燃烧性能的控制方法和程度尚缺少研究。在我国,为改善或提高发动机燃烧性能,往往侧重改进燃烧室火焰筒结构。即使对燃油喷嘴上进行改进,也局限于调整燃油流量及喷嘴头部开小孔以期达到吹除积炭等措施。随着研究的不断深入,燃油喷嘴对燃烧性能的贡献程度已越来越受到人们的重视,研究喷嘴本身的性能也十分广泛和深入。研究它对燃烧性能的控制已成为一项重要课题。本文将通过几种不同结构喷嘴在WP-7发动机火焰筒上进行单管燃烧试验,来探索燃油喷嘴对燃烧性能的控制程度和特点,以供设计、改进燃烧性能参考。

二、试 验 设 备

试验用气源流量 1 kg/s, 压力为环境大气压, 动压头 35kPa。试验段前采用燃油燃烧直接加热, 空气的污染物在数据处理中被扣除。出口温度用24点热电偶测量, 其测量位置见图 1。

采用的燃油喷嘴有三种: WP-7发动机上采用的离心式喷嘴, 为本文研究而专门设计的空气雾化喷嘴及气旋离心式喷嘴(本文所称)。离心式喷嘴见图 2 示。它是双油路双喷口式, 靠压力雾化燃油。该种喷嘴仍在我国航机上广泛采用。空气雾化喷嘴采用了二种结构, 一种是喷溅式(示于图 3), 其副油路为离心式, 位于喷嘴中心。主油路通过喷嘴外径边缘上的六个沿周向均布的小孔射向喷嘴旋流器后, 被气流带进火焰筒内。另一种是预模式, 其副油路同喷溅式, 主油路通过将油旋转成膜与气流作用后离开喷嘴。这种喷嘴具有良好的雾化性能, 广泛用于现代燃气轮机上(但结构形式不一定和本文设计的一样)。气旋离心式喷嘴在图 2 所示的离心式喷嘴头部外缘增加了气流旋流器, 意在加剧及提前燃油与气流的相互作用(见图 4 示), 故称气旋离心式喷嘴。

被测数据通过计算获得有关参数, 其中不均匀系数由下式定义

$$\delta = \frac{T_{3max}^{*} - T_{3m}^{*}}{T_{3m}^{*} - T_{2}^{*}} \quad (1)$$

其中 T_{3*} 是 T_3 的算术平均值, 燃烧效率通过温升, 查焓值表得出。

三、试验结果

1. 离心式喷嘴

采用离心式喷嘴试验, 当保持燃烧室进口参数一定时改变燃油流量 (余气系数), 考察

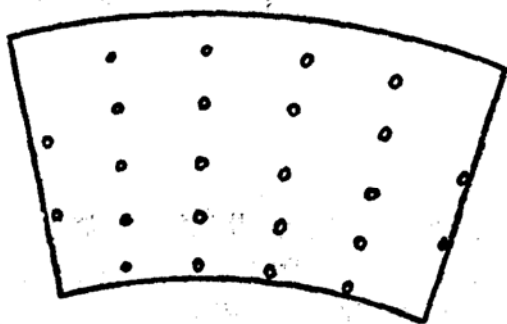
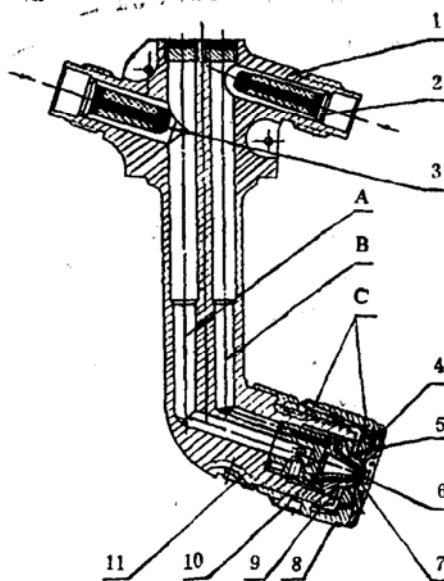
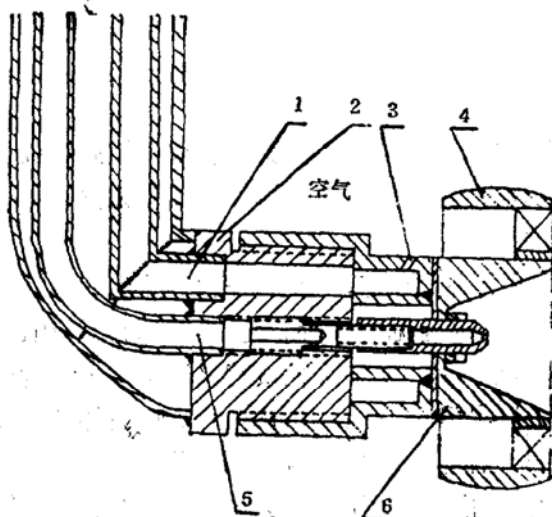


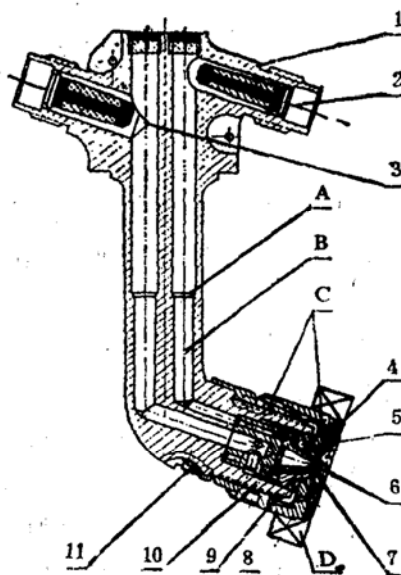
图1 出口温度场测量位置



A、B.油路 C.气路 1.壳体 2.油滤 3.油滤
4.屏板 5.垫圈 6.慢车喷口 7.主喷口 8.喷嘴螺帽 9.封严圈 10.分油衬筒 11.锁圈
图2 离心式喷嘴



1.主油路 2.喷嘴体 3.主油路出油孔
4.旋流器 5.副油路 6.旋流杯
图3 空气雾化喷嘴



A、B.油路 C.气路 D.涡流器 1.壳体
2.油滤 3.油滤 4.屏板 5.垫圈 6.慢
车喷口 7.主喷口 8.喷嘴螺帽 9.封
严圈 10.分油衬筒 11.锁圈
图4 气旋离心式喷嘴

燃烧室出口温度场热点位置及其它燃烧性能参数变化。实验发现出口温度场热点随余气系数 α 减小而移动。见图5示,燃烧室进口参数 $u_o = 210\text{m/s}$, $m_o = 0.9\text{kg/s}$, $T_2^* = 580\text{K}$, 在余气系数 $\alpha = 7.0$ 时, 出口温度场的热点在出口截面的中部; 当 $\alpha = 4.93$ 时, 热点移至出口截面右部; 当油量进一步增加至 $\alpha = 3.58$ 时, 热点移至出口截面的右上部。随 α 减少, 热点向右上方移动的同时, T_3^* 从 930K 左右增至 1300K ; 燃烧效率从 0.96 降至 0.91 ; 温度不均匀系数 δ 从 0.25 上升至 0.27 。

另外当保持其它参数不变(其中 α 不变, 但 m_o 随 u_o 增加而增加), 气流速度从 130m/s 至 208.2m/s 变化过程中, 热点位置基本不移动。但燃烧效率稍有下降, 从 0.95 降至 0.92 , 温度不均匀系数从 0.23 升到 0.26 。

实验还表明: 该种喷嘴点火性能好(图6), 贫油熄火边界较宽(图7)。

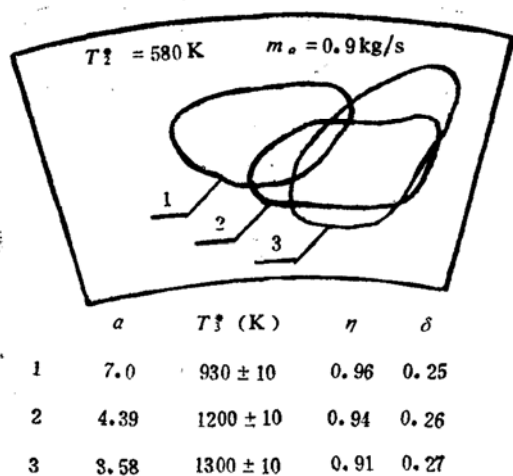


图5 温度场热点位置

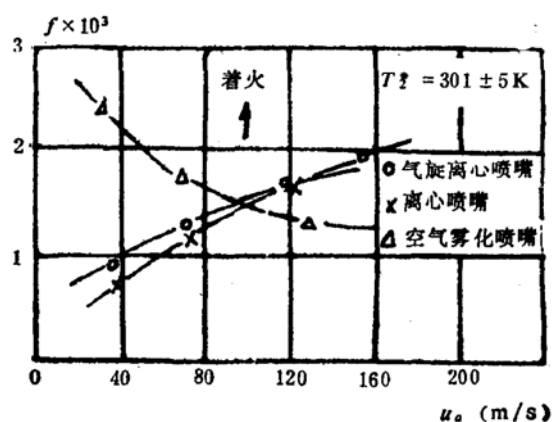


图6 点火边界

2. 空气雾化喷嘴

与离心式喷嘴相比, 空气雾化喷嘴在 $\alpha > 5$ 后, 其热点位置并不居中且 α 变化从 5 至 7.32 的实验过程中, 其热点位置基本不移动。也即与离心式喷嘴相比, 其出口温度场不易受供油量的控制。当改变雾化气流旋流器的旋转锥角从 90° 至 150° 时, 其出口温度场中的热点位置都位于出口截面的右上方(图8)。这表明使用该种喷嘴, 其出口温度场热点位置不易受雾化气流旋转方向的控制。而温度场的结构主要受火焰筒本身产生的气流结构控制, 至少在因雾化气流使头部余气系数增加 $\Delta\alpha = 0.056$ 左右的程度下还是如此。

实验还表明, 空气雾化喷嘴比离心式喷嘴燃烧效率略高, 尤其是在大的供油量下。温度不均匀系数略低, 但有时表现并不明显。其贫油熄火边界比离心式要窄(图6)。点火边界在低风速下窄, 而在高风速下要宽(图7)。

3. 气旋离心式喷嘴

与前两种喷嘴相比, 使用气旋离心式喷嘴易于控制出口温度场。喷嘴雾化气流锥角为 90° 时, 温度场的位置偏左上(图9)。当气流旋转锥角为 120° 时, 其热点位置居出口截面之中; 为 150° 时热点位置移至出口截面的右方。实验表明, 与前两种喷嘴一样, 改变气流速

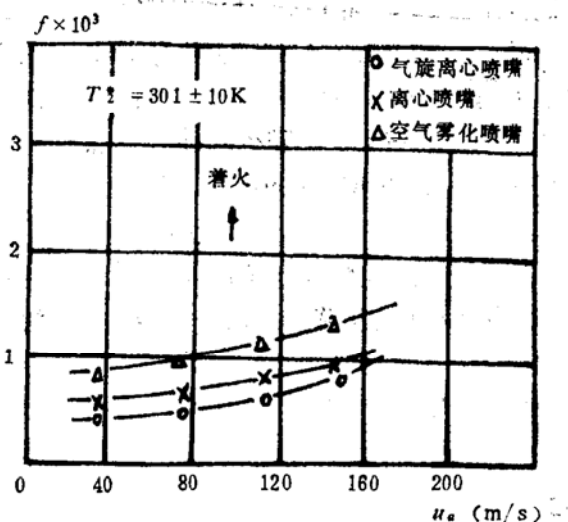


图7 熄火边界比较

度 (130~220m/s) 对出口温度场热点位置影响不大。当风速及旋流器角度一定, 余气系数从3.58增至6.0, 没有发现热点明显的位置移动。即与离心式喷嘴相反, 与空气雾化喷嘴相同, 出口温度场不受供油量的明显控制。

与离心喷嘴相比, 该种喷嘴燃烧效率略高, 尤其在富油状态要高出0.01~0.02左右。但随 α 减少 (当 $\alpha < 4.5$ 左右时) 其燃烧效率降低的趋势和离心式喷嘴相同。该种喷嘴的贫油点火性能和离心式基本相当, 但火焰比离心式稳定, 即使在贫油状态下, 其熄火边界比离心式明显要宽广 (图6、7)。

四、讨 论

离心式喷嘴靠油压雾化, 并且雾化的燃油比较集中, 因而具有点火性能好, 火焰稳定的特点。但由于燃油的过分集中使局部富油。当总余气系数较小 (供油量大) 时, 易出现局部过热, 在火焰筒头部没有将燃油烧尽。在我国机种WP-7乙型上曾有这种特征。测量表明, 有的发动机在涡轮二导前缘测出热点温度为1300℃。由于在很大程度上, 火焰筒内的气流结构决定了出口温度场, 对于使用离心式喷嘴, 在不变化气流结构的前提下, 又通过调整有限的油量很难达到出口温度场的热点转移。因出口温度场的弊端主要是由于燃烧室内的气流场造成的, 而燃烧室内的气流速度的改化不易改变火焰筒内的流场结构, 故而使用本文论及的哪种喷嘴都不能随气流速度而改变出口温度场的热点位置。同样, 也由于离心式喷嘴的出口燃油较为集中及火焰筒的头部富油设计, 使燃烧效率降低, 尤其在大油量下, 下降明显。

空气雾化喷嘴的特点是靠气动力 (气流速度) 雾化, 具有较短的雾化距离及较好的雾化性能。加上雾化气流增加了火焰筒头部进气量改善了头部局部富油状况, 使燃烧效率提高。由于雾化距离短及良好的雾化使火焰较短, 掺混距离长, 出口温度不均匀系数降低。头部富油的改变伴随着贫油点火边界窄。但由于风速较高时, 雾化质量的提高而使贫油点火边界在

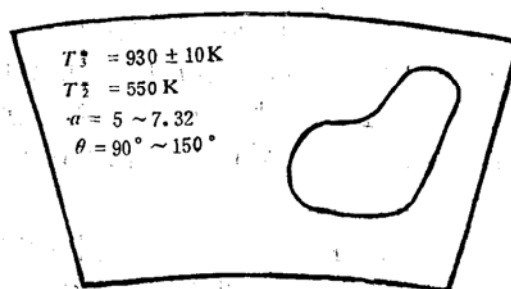


图8 温度场热点位置

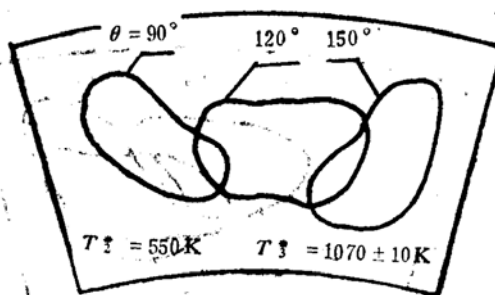


图9 温度场热点位置

气旋离心式喷嘴的雾化特性对燃烧室出口温度场的影响。

气旋离心喷嘴除了具有离心喷嘴靠供油压力雾化的特点外,还具有空气雾化喷嘴的气流改善局部富油的特点。由于带有外旋气流而改善了火焰筒头部局部富油及改善雾化使燃烧效率有所提高,而且出口温度不均匀系数降低。但由此也导致贫油点火边界略窄(或相当)于离心式。其雾化气流不象空气雾化喷嘴内那样稀释了喷雾锥角内的油雾,在火焰筒头部中心仍保持了局部富油的特点。加上气流促进良好雾化及在火焰筒头部形成一个小回流区(形成双回流)因而其火焰稳定边界比离心式喷嘴更宽广。由于外旋雾化气流随燃油的喷出,不断与燃油相互作用,而又不象空气雾化喷嘴那样,燃油一流出喷嘴即雾化成雾,其气液相互作用距离长,气流的旋转方向对燃油的运动控制作用大,使外旋雾化气流角度能在很大程度上控制出口温度场的热点位置。

五、结 论

通过以上用三种不同燃油喷嘴在WP-7火焰筒上燃烧试验,可以得出:喷嘴对控制燃烧性能有重要作用。喷嘴方式和结构不同产生的燃烧效果也不同,表现出不同的性能特点。尤其是气旋离心式喷嘴具有良好性能,易于控制燃烧室出口温度场,具有离心式和空气雾化两种喷嘴的优点。鉴于燃油喷嘴对控制燃烧性能的重要作用,在设计或改进燃烧性能时,应充分注意选择或改进燃油喷嘴。

由于实验条件等限制,有些工作还不够充分和完善。应当继续深入研究喷嘴的喷雾,喷嘴改变引起火焰筒气流场的差别,富油点火及富油稳定边界等。还应当深入研究燃油喷嘴对燃烧性能的控制作用及规律,为燃烧部件的设计、改进,提高热部件寿命,提高性能提供依据和参考。

从以上研究,可以归纳以下几点主要结论。

1. 在WP-7发动机燃烧室上使用离心式、空气雾化式及气旋离心式三种工作喷嘴燃烧时,燃烧室进口气流速度对出口温度场没有明显影响。
2. 使用离心式喷嘴时,出口温度场受余气系数 α 的明显影响。当 $\alpha < 5$ 时,增加燃油量,热点向出口截面的右上方偏移,且随 α 减小,燃烧效率下降。但点火性能和火焰稳定性较好。
3. 使用空气雾化喷嘴时,出口温度场不易受余气系数的控制。受雾化气流的控制较小。其燃烧效率较高,贫油熄火边界较窄。点火边界在低风速下较窄,而在高风速下较宽。
4. 使用气旋离心式喷嘴,出口温度场不易受余气系数的控制,但易受喷嘴雾化气流的控制,燃烧效率较高,火焰稳定,其熄火边界宽,点火性能好。
5. 喷嘴形式及性能对燃烧性能有重要的控制作用。

参 考 文 献

- (1) 甘晓华、赵其寿.空气雾化模型及其计算.第二届中国航空动力年会,1989,11,桂林. CSAA P-89-109(C)