

# 中心分级燃烧室点火性能试验研究

张卓娅 李彩云 雷 熠

中国航空发动机集团有限公司 湖南动力机械研究所 湖南 株洲 412002

**摘 要：**试验研究了中心分级燃烧室在常温常压下的点火性能，针对中心分级单头部燃烧室，采用了不同喷口直径（ $\varphi 0.4\text{mm}/\varphi 0.6\text{mm}$ ）的燃油喷嘴和不同叶片旋向（同向/反向）的值班级涡流器，开展了单头部燃烧室点火性能试验。试验结果表明： $\varphi A = 0.4\text{mm}$ 喷嘴点火成功油气比明显低于 $\varphi A = 0.6\text{mm}$ 喷嘴，点火性能更好；当喷嘴雾化性能较差时，点火成功油气比随压损的增加先降低后升高，此时点火主要受到燃油雾化的影响，但当喷嘴雾化性能较好时，点火成功油气比随压损的增加而升高，此时点火主要受到燃气停留时间的影响；压损较小时，值班级涡流器同向状态点火性能优于反向状态，但是当压损升高后，值班级涡流器同向状态点火性能劣于反向状态。

**关键词：**中心分级；单头部燃烧室；喷口直径；叶片旋向；点火性能

## 1 引言

航空发动机从年发展至今，推重比不断提高，从而要求燃烧室的进出口温度不断升高，这就导致了未来的发动机工作循环中不可避免地排放更多的氮氧化物，而国际民航组织ICAO从环保角度对发动机的氮氧化物排放提出了严苛要求。目前，贫油燃烧是有效降低NO<sub>x</sub>排放的手段之一，但同样带来了点火边界变窄、燃烧火焰不稳定等问题。

中心分级燃烧室采用分区燃烧的方式，在值班级内采用扩散火焰，提供稳定的点火源来稳定火焰，因此值班级的点火性能对燃烧室至关重要。但目前公开的资料显示中心分级燃烧室的研究大多集中在污染排放、燃烧效率、燃烧不稳定等方面，针对点火边界的研究较少，如Dhanuka S K等<sup>[1]</sup>采用PLIF手段研究了TAPS燃烧室预燃级和主燃级之间的火焰影响，分析了贫油燃烧不稳定的原因；林宇震等人<sup>[2]</sup>研究了复合式收扩套筒空气雾化喷嘴在各状态下的雾化质量，并在常温常压下开展了点火试验，试验结果表明雾化质量影响点火性能；黄兵等人<sup>[3]</sup>采用变频变能点火装置对中心分级燃烧室常温常压下的点火性能进行了试验研究，试验结果表明了点火能量和点火频率对中心分级燃烧室点火性能的影响；付镇柏等人<sup>[4-5]</sup>研究了不同的台阶高度和点火位置对点火性能的影响；薛鑫等人<sup>[6]</sup>研究了火焰筒压降对点火特性的影响。

本文采用不同值班级副油路喷口直径的喷嘴和不同叶片旋向的涡流器，在中心分级单头部燃烧室上进行点火性能试验，对比分析了各结构参数在不同状态下对点

火性能的影响，为中心分级燃烧室结构设计提供参考。

## 2 研究对象及试验方案

### 2.1 研究对象

本文采用一种中心分级单头部燃烧室进行点火性能试验研究，试验件主要包括机匣、火焰筒内外环、火焰筒头部燃烧室组织结构。火焰筒头部燃烧室组织结构由一个三油路燃油喷嘴、共三级旋流的值班级涡流器和主燃级涡流器组成。燃油喷嘴共三条油路，包含一个值班级喷嘴（双油路离心喷嘴）和一个主燃级喷嘴，在点火状态时，只有值班级燃油喷嘴供油，随着状态增大，值班级主油路逐渐供油并参与燃烧，到起飞及爬升等大状态时，主燃级喷嘴开始供油。

### 2.2 试验方案

为研究燃油喷嘴和涡流器结构对燃烧室点火性能的影响，试验中采用两种方案的燃油喷嘴和两种方案的值班级涡流器进行组合研究。两个方案燃油喷嘴的值班级副油路喷口直径 $\varphi A$ 不同，喷嘴A的喷口直径 $\varphi A = 0.4\text{mm}$ ，喷嘴B的喷口直径为 $\varphi A = 0.6\text{mm}$ ，通过燃油喷嘴流量试验测得不同供油压差下的值班级副油路的燃油流量。

值班级涡流器为双级轴向涡流器，两种方案的涡流器两级叶片旋向不同，按叶片旋向分为同向涡流器和反向涡流器，两种涡流器的一二级流量数等参数保持一致。

试验件组合方案见表1，试验中保持主燃级涡流器和火焰筒不变，采用4种值班级涡流器和燃油喷嘴组合方案开展点火性能试验。

表1 点火性能试验方案

| 编号   | 喷嘴喷口直径（ $\varphi A$ , mm） | 涡流器叶片旋向 |
|------|---------------------------|---------|
| SCH1 | 0.4                       | 同向      |
| SCH2 | 0.4                       | 反向      |

**作者简介：**张卓娅（1992—），硕士，工程师，研究领域为航空发动机燃烧室设计。E-mail: 17373394010@126.com

续表:

| 编号   | 喷嘴喷口直径 (φA, mm) | 涡流器叶片旋向 |
|------|-----------------|---------|
| SCH3 | 0.6             | 同向      |
| SCH4 | 0.6             | 反向      |

2.3 点火性能试验

点火试验系统主要由主管路系统、排气系统、空压机系统、电加热器系统、燃油系统、测试系统、操纵系统、电气系统、点火器试验系统等组成。进口空气流量采用涡街流量计进行测量,精度为±1%;燃油流量采用质量流量计进行测量,精度为±0.5%;进出口总压采用总压管测量,精度为±0.5%;进口总温采用K分度热电偶测量,精度为±3℃;出口总温采用B分度热电偶测量,精度为±5℃。

点火试验具体流程如下:调节进口空气至试验状态要求参数,在保证进口空气参数不变的条件下,启动点火电嘴,采集燃烧室进出口参数,然后给燃烧室供油并开始计时:

- ①如果点火成功,则保持燃烧室进口参数不变,逐步减少燃油流量,继续进行点火试验,直到点火不成功为止;
- ②如果点火不成功,则保持燃烧室进口空气参数不变,逐步增加燃油流量,继续进行点火试验,直到点火成功;
- ③在点火边界上,重复试验,确保数据准确可靠。

本文点火成功的判定标准为:以单头部燃烧室出口的热电偶测量结果为准,若在点火系统持续工作20s内,热电偶测量的最大温升超过200℃,且点火系统停止工作后的20s内,燃烧室出口热电偶测得的温升仍大于200℃,即认为点火成功。

3 试验结果和分析

3.1 燃油流量试验

对喷嘴A和喷嘴B进行了不同供油条件下的值班级副油路燃油流量特性试验,试验结果见图1。两种方案喷嘴的值班级副油路燃油流量差异在40%~60%之间,流量系数分别为0.4和0.3。马尔文试验结果表明:喷嘴A值班级副油路的索太尔平均直径(SMD)为24.26μm,喷嘴B值班级副油路在同一条件下的SMD为33.53μm。这一差距表明喷嘴A的雾化质量更好。

3.2 点火边界油气比对比

各方案试验结果见图2,图中明显能够看出:喷嘴A在所有压损条件下的点火成功油气比均低于喷嘴B;当压损Δp = 1%时,喷嘴B匹配同向涡流器的点火成功油气比低于反向涡流器,点火性能优于反向涡流器,但随着压

损升高,匹配同向涡流器的点火性能劣于反向涡流器。喷嘴A有类似趋势,但在压损Δp = 2%时,匹配两个方案的涡流器点火性能相近,没有明显优劣,而在压损Δp = 3%时,匹配同向涡流器时的点火失败油气比较高,试验中止。

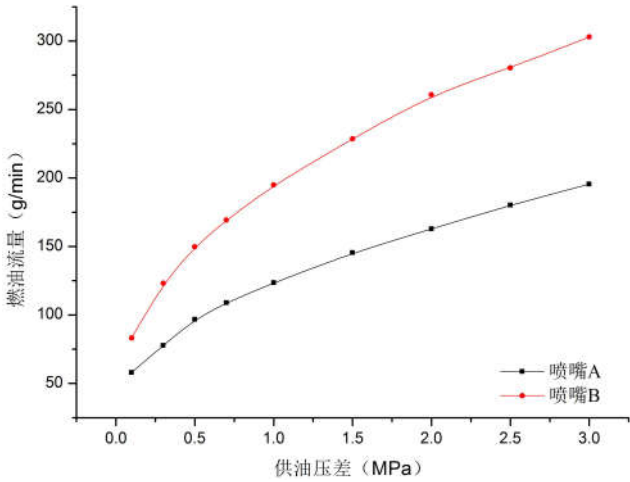


图1 喷嘴燃油流量特性图

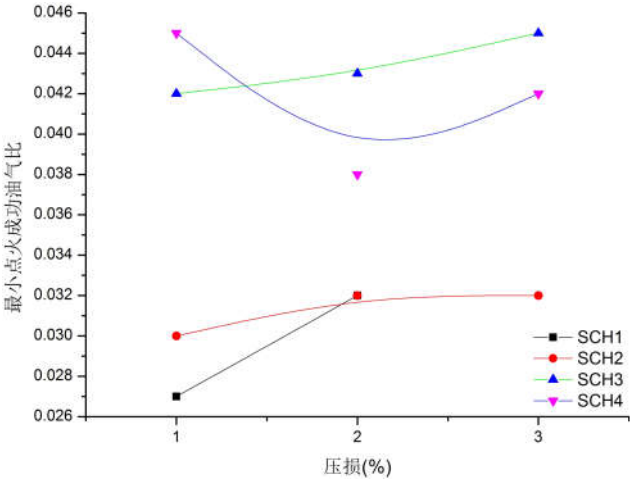


图2 各方案点火试验结果

根据3.1节试验结果,喷嘴A的雾化质量更好,在相同的点火条件下,喷嘴A的油雾与空气的混合效率更高,因此喷嘴A的点火性能优于喷嘴B。

喷嘴B的点火油气比先降后升的原因是由于在不同压损条件下,点火的影响因素不同,在低压损条件下,燃油喷出的油雾中存在较多的大液滴,需要值班级涡流器和主燃级涡流器的气流对其进行二次雾化,此时的点火主要受涡流器对喷嘴油雾的二次雾化的影响;但油雾粒径对点火性能的影响具有局限性,当压损更高时,二次雾化的影响达到阈值,此时燃气停留时间起主要作用,燃气停留时间与气流速度相关,气流速度随压损升高而增大,燃气停留时间减小,因此点火油气比升高,点火

性能变差。

而对于雾化性能较好的喷嘴A,在低压损时已经达到了二次雾化影响阈值,点火主要受燃气停留时间的影响,点火性能随着压损的升高而变差。

在压损较小的状态下,值班级涡流器同向状态的点火性能更好,压损较大时,反向状态的点火性能更好。这同样是因为在小状态时,具有更大旋流数的同向涡流器对油雾中较大液滴的二次雾化效果更好,而到了大状态时,同向涡流器由于其旋流数更大,旋流更强,气流流速更大,反而不利于油雾和空气的充分混合燃烧。

#### 4 结论

本文开展了中心分级燃烧室点火性能试验研究,设计了四种不同试验方案以验证喷嘴及值班级涡流器对点火性能的影响,得到以下结论:

① $\varphi_A = 0.4\text{mm}$ 喷嘴点火成功油气比明显低于 $\varphi_A = 0.6\text{mm}$ 喷嘴,点火性能更好;

②当喷嘴雾化性能较差时,点火成功油气比随压损的增加先降低后升高,此时点火主要受到燃油雾化的影响,但当喷嘴雾化性能较好时,点火成功油气比随压损的增加而升高,此时点火主要受到燃气停留时间的影响;

③压损较小时,值班级涡流器同向状态点火性能优

于反向状态,但是当压损升高后,值班级涡流器同向状态点火性能劣于反向状态。

#### 参考文献

[1]Dhanuka S K, Temme J E, Driscoll J F, et al. Vortex-shedding and mixing layer effects on periodic flashback in a lean premixed prevaporized gas turbine combustor [J]. Proceeding of the Combustion Institute, 2009,32(2):2901-2908

[2]林宇震,林培华,许全宏.复合式收扩套筒空气雾化喷嘴燃烧室点火研究[J],航空动力学报,2007,22(3):342-346

[3]黄兵,邱伟,房人麟.中心分级燃烧室变频变能点火性能试验[J],航空动力学报,2019,34,(3):532-537

[4]付镇柏,林宇震,傅奇慧.不同台阶高度对中心分级燃烧室点火熄火性能的影响[J],航空动力学报,2014,29(5):1062-1070

[5]Fu Zhenbo, Lin Yuzhen. Experimental investigation on ignition performance of LESS combustor[R]. ASME Paper GT2011-45786, 2011.

[6]薛鑫,林宇震,张弛.火焰筒压力损失对点火特性的影响[J],航空动力学报,2012,27,(10):2229-2235