

火焰稳定器综述

金 莉, 谭永华

(陕西动力机械设计研究所, 陕西 西安 710100)

摘 要: 火焰稳定器是冲压发动机的一个重要部件。简要介绍了火焰稳定器的工作原理和国外的应用概况; 重点论述了已经在冲压发动机和航空发动机加力燃烧室上应用的几种火焰稳定器的结构特点、流场特征和应用情况, 还对另外几种未能实际应用的火焰稳定器进行了一般评论; 最后简要总结了各种火焰稳定器的使用范围。

关键词: 冲压发动机; 火焰稳定器; 结构特点; 使用

中图分类号: V434

文献标识码: A

文章编号: (2006)01-0030-05

Study on flameholders

Jin Li, Tan Yonghua

(Shaanxi Power Machine Design and Research Institute, Xi'an 710100, China)

Abstract: Flameholder is an important element of ramjet. The operation principle of flameholders is summarized. The configuration characteristics, flow field and applications of some flameholders, which were used in ramjet and afterburner, are emphatically described. At the same time, some other flameholders, which aren't used, are discussed briefly. The application fields of flameholders are also summarized.

Key words: ramjet; flameholder; configuration; application

1 引言

对于航空涡轮发动机和冲压发动机燃烧室来说, 燃烧稳定是其最基本的要求之一。要求燃烧室一旦着火后, 在不同的工作条件下都能使火焰维持稳定的传播。燃烧稳定, 一方面是指燃烧室要在适当的、尽可能宽的油气比范围内工作; 另一方面是指在燃烧过程中, 在一定的进口气流速

度情况下, 要满足火焰稳定的基本条件。由于热容强度大, 进口气流速度高, 给稳定火焰带来较大困难。因此, 无一例外地设置了火焰稳定器。

国外从上世纪 40 年代初就开始着手研究各种非流线型物体的火焰稳定性能。上世纪 70、80 年代, 美国和印度都对气动火焰稳定器进行过研究。但至今未见使用, 由于用于气动稳定的吹气是一种消耗, 引气量大了是不行的, 而且单靠气流稳定不很可靠。法国的“斯塔塔尔泰克斯”冲压发

收稿日期: 2005-07-05; 修回日期: 2005-08-06

作者简介: 金莉 (1980—), 女, 硕士研究生, 研究领域为亚燃冲压发动机燃烧室技术。

动机采用了翅碟形火焰稳定器,断面形状为 U 形的 8 根翅碟。英国的“卓尔 BT-1”和“卓尔 BT-2”液体冲压发动机均采用三个径向和一个 V 形截面的环形稳定器。“奥丁 (Odin) MK801”液体冲压发动机采用筐型火焰稳定器。美国的 RJ43-MA-3、RJ43-MA-11、MR 215XAC 液体冲压发动机和 SLAT 整体式冲压发动机均采用不同布局形式的 V 形火焰稳定器。18"RR 液体冲压发动机采用罐式燃烧室,其壁面上开有小孔,具有形成高紊流度的低速回流区起稳定火焰的作用。俄罗斯的宝石整体式冲压发动机和英国的斯贝发动机都采用了蒸发式火焰稳定器。

火焰稳定器一般是钝体障碍物。迎面来流沿钝体表面流到钝体后缘,产生附面层分离,因粘性而产生尾迹旋涡,形成回流区,回流区内某些局部流速等于或低于紊流火焰传播速度,这样就具备了火焰稳定的必备条件,一旦有功率足够大的点火源,就可使可燃混气点燃。高温燃烧产物通过回流区返回上游,形成稳定连续的点火源。回流区起着储热器的作用,以紊流传热和换热的形式,为可燃混气传输热量和活性物质,使火焰得以在燃烧室中迅速传播。

对火焰稳定器的要求是稳定工作范围广,流体阻力小。火焰稳定器的结构形式有多种,各有其结构特点和适用范围。

2 各种火焰稳定器比较

2.1 V 型槽火焰稳定器

在各种钝体火焰稳定器中,最常见的是 V 型火焰稳定器,其结构示意图如图 1 所示。

V 型槽火焰稳定器的截面呈 V 形,张角一般为 $30^\circ \sim 60^\circ$,是最基本的火焰稳定器,一般取 30° ,因为在 30° 时燃烧稳定性、燃烧效率和流体阻力三者折衷的性能最好。顶角半径在 $6 \sim 15\text{mm}$ 内选取。由于它简单有效,在冲压发动机和涡喷发动机加力燃烧室中被广泛采用。

常采用 V 型槽环及辐射式径向稳定器,最大优点是结构简单、使用经验丰富。但为了满足所要求的稳定特性,这种稳定器需要有一定的流动堵塞比,这导致较高的冷阻损失。该稳定器稳焰边界窄,燃烧效率不高,低温下稳定性差,火焰

比较长,稳定器壁温不均匀,易产生结构变形。这些缺点使得 V 型火焰稳定器已不能满足现代先进航空发动机燃烧室的要求。

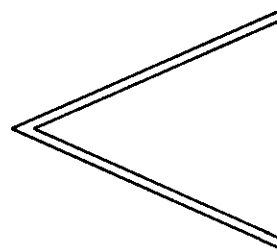


图 1 V 型稳定器示意图

Fig.1 V-gutter flameholder

为了改善稳定器性能,对 V 型火焰稳定器进行了不同程度的结构改进,例如,采用裙边式 V 型火焰稳定器等,它使得火焰面变长,利用周向小波纹的自由伸缩来补偿和缓解冷热应力变形,并使横向二次流增强,有利于燃油在稳定器后方的掺混和燃烧。

2.2 吸入式稳定器

吸入式稳定器设计简单,性能优良,经过较长时期的研究和试验工作,这种稳定器已经应用到某型发动机的加力燃烧室中。

吸入式稳定器是在普通 V 型火焰稳定器或其它钝体火焰稳定器的二个侧壁上,开出一些专门设计的进气口,让前方来的油气流分出一部分提前进入稳定器的背风区和回流区。其结构如图 2 所示。

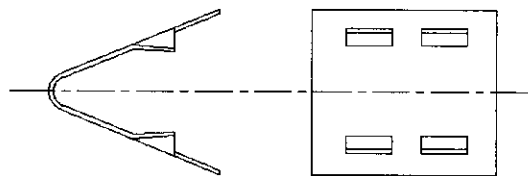


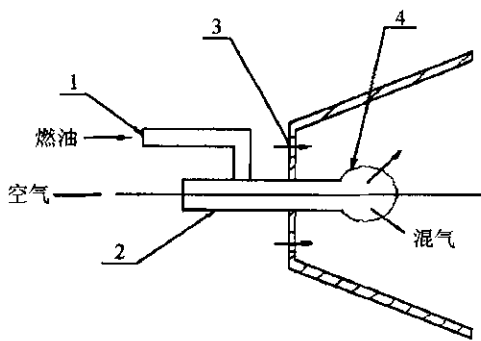
图 2 吸入式稳定器示意图

Fig.2 Inhale flameholder

这种稳定器的燃烧稳定边界较大,贫油状态下点火比较容易,并在冷气流下容易组织燃烧,而且稳定器耐高温抗变形。所以吸入式稳定器有良好的发展前景。

2.3 蒸发式火焰稳定器

蒸发式火焰稳定器是向其内部供应部分燃油，燃油通过进油喷嘴射到装在稳定器进气嘴中的溅板上。稳定器进气嘴从来流吸入空气，并和燃油一起形成乳油混物流入装在稳定器内的分布管。在分布管中的许多对小孔，使油气混合物沿分布管流入稳定器中，和分布管对齐的稳定器背上开有缝隙，作用是利用来流空气进一步雾化燃油，冷却稳定器壁，强化稳定器的回流区。其结构如图 3 所示。

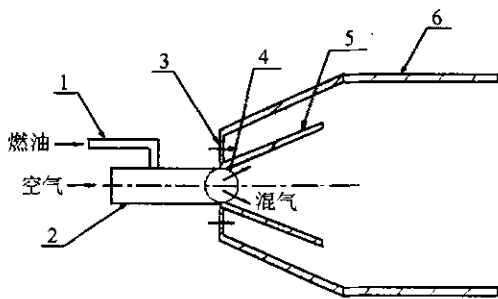


1—燃油供给；2—带有整体溅板的进气嘴；
3—与分布管对齐的许多对空气缝；4—分布管

图 3 蒸发式火焰稳定器简图

Fig.3 Vapor flameholder

V 型槽稳定器油气比的最低值为 0.03，蒸发式稳定器相应的油气比是 0.003 左右，贫油工作范围有很大提高，改善蒸发管燃料的雾化和蒸发，可以提高点火和稳定燃烧性能。



1—燃油供给；2—进气嘴；3—空气缝；4—分布管；
5—小 V 型稳定器；6—加长的尾部

图 4 特种 V 型蒸发式火焰稳定器简图

Fig.4 Special evaporating v-gutter flameholder

还有一种特种 V 型蒸发式稳定器，如图 4 所示。它的不同在于：稳定器外壁有一加长的尾部；

蒸发管装在封闭的小 V 型稳定器内，由 V 型稳定器后缘和波纹形成间断缝隙进气。由于它具有前后两处主要回流区结构，以适应蒸发管供油量的变化，因此具有良好的低压点火性能和宽广的稳定工作范围。

2.4 尾缘吹气式火焰稳定器

尾缘吹气式火焰稳定器是一种有发展前途的新型火焰稳定器，它是一种可控高效低阻火焰稳定器。

尾缘吹气式火焰稳定器的前部为 U 形壳体，后部为大顶角 V 形槽，也可为平板。其尾缘形成吹气窄缝，前后部形成的内腔为混合室，其前端有供气、供油管，其上分别开多个吹气孔和多个喷油孔，组成气动雾化喷油装置，雾化燃油与空气形成的油气混气由稳定器尾缘窄缝吹出形成气动稳定。前端为半圆形的 U 形壳体，实际为稳定器的整流罩。

新型稳定器回流区由于尾缘吹气作用而显著变宽，使回流区体积、回流率，回流量都大大增加，改善了燃烧性能，且由于内部通气而得到冷却，将适合在更高温度下工作。

2.5 筐型火焰稳定器

筐型火焰稳定器由 8 条不良流线体纵梁周向均布，构成伞状，纵梁截面呈梯形。为使气流从发动机轴线方向转向接近垂直稳定器纵梁的方向，设置了 4 个导向叶盆，其轴向间距随叶盆尺寸变小而增大。8 个纵梁末端交会于碟形孔盘，碟心孔直径 25mm；四周还有两环孔，每环 8 个，内环孔直径为 10mm，外环孔直径为 15mm。

奥丁发动机的环形预燃室上有 8 个分流叶片，分别与稳定器纵梁周向呈 45° 夹角，这样迫使预燃室火焰通往稳定器回流区。喷油杆，环形预燃室和筐型稳定器相配合，在海平面可在油气比为 0.01~0.07 范围内工作，在高空也有良好的稳定性。

2.6 楔型稳定器

楔型稳定器也属于 V 型稳定器。V 型稳定器的 V 型槽相对中心线是对称的，而楔型稳定器则不对称。

楔型稳定器后的涡形不对称,楔形边后面的回流区比平直边后的回流区大。整个回流区向主流气流的一边偏转。因此降低燃烧段筒体壁温的作用,特别适合作外稳定器。

2.7 双 V 型火焰稳定器

双 V 型火焰稳定器是在 V 型稳定器顶端开一缝隙,它由两股气流组成,一股是绕过主稳定器的主流,一股是绕过小稳定器,流入主稳定器内部的预燃流。其后回流区由这两股气流所产生的回流区共同作用而成。

双 V 型火焰稳定器已为某型涡喷发动机加力燃烧室所采用,试用性能表明这种稳定器具有点火性能好、流动损失小、燃烧效率高等优点。

但双 V 型火焰稳定器在一定的来流参数下,对应有一个能形成最佳流场即大小回流区合为一个回流区的缝隙宽度,但发动机的工作状况是变化的,所以并不能保证稳定器后的流场一直是最佳的。

还有一种 U 型火焰稳定器,它和双 V 型火焰稳定器结构相似,具有双 V 型火焰稳定器的特点,不同的是 U 型稳定器的环缝由主稳定器和前缘的 U 型稳定槽构成。只有一部分经过环缝进入稳定器,而另一部分则经过 U 型槽内的射流孔垂直进入环缝,从而强化了主稳定器后方的回流区。同时通过 U 型槽引入一次风有利于燃油的雾化和混合以及火焰稳定,提高了燃烧效率。

2.8 驻涡火焰稳定器

驻涡火焰稳定器结构如图 5 所示。

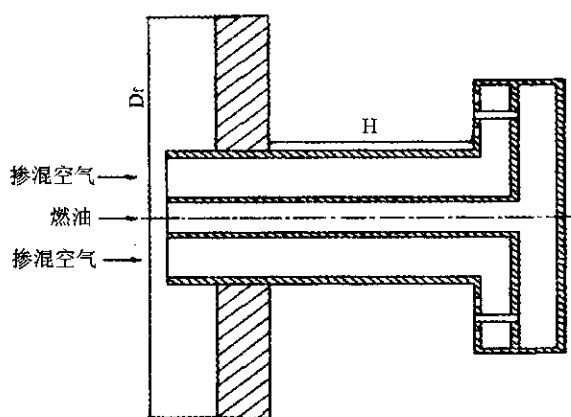


图 5 驻涡火焰稳定器剖面图

Fig.5 Trapped vortex combustor

驻涡火焰稳定器沿流动方向放置了两个钝体(均为圆盘),后钝体前表面均匀分布有喷油孔和喷气孔,流体在两钝体间空腔中产生稳定的涡,利用此涡来稳定火焰,燃料和掺混空气由中心体进入空腔中。

中心体处壁温较高,但它可以通过流过中心体腔内的空气来起到冷却作用。和双 V 型稳定器相似,驻涡稳定器也只有在一定来流参数下,对应有一形成正向稳定涡的 H/D_f 。

2.9 沙丘驻涡火焰稳定器

沙丘驻涡火焰稳定器的形状类似于将天然存在的两堆新月形沙丘上下对称拼合。它的特殊形状使其产生了与一般二维及三维钝体尾流旋涡截然不同的旋涡气流结构。

沙丘驻涡火焰稳定器阻力小,稳定性高,燃烧性能好,在我国现役发动机的加力燃烧室上得到成功应用。但加工比较复杂,由于其特定的形状,在燃烧室布置较为困难。

将沙丘驻涡稳定器和蒸发式稳定器相结合组成了另一种沙丘驻涡蒸发式稳定器,它的基本结构是在沙丘驻涡稳定器的稳定器表面开有进气孔,主流从表面进气孔进入稳定器,并从稳定器内壁与蒸发盘形成的狭缝流出。蒸发盘为夹层,呈弧形,气流与燃油从进气口进入,由蒸发盘后表面上的出气孔喷出。

沙丘驻涡蒸发式稳定器在一定程度上优于 V 型蒸发式稳定器,若进一步加以改进,其总体可能会超过 V 型蒸发式稳定器。

还有预燃式火焰稳定器,只要合理设计、布局预燃式火焰稳定器和径向稳定器,可以得到将其作为长明灯所必需的点火性能和稳定燃烧性能。多孔毛细陶瓷稳定器具有火焰稳定范围宽,再点火性能好,能减弱或消除振荡燃烧等特点,其性能明显占优势,但强度可靠性有待进一步研究,距实用仍有相当长距离。还有针对冲压发动机燃烧室中氢燃料的燃烧特点研制的强混火焰稳定器,这种新型稳焰器有较高的燃烧效率和较低的总压损失,性能强于 V 型稳焰器。

3 结论

本文通过分析比较不同结构形式火焰稳定器的流场特征和工作原理,对火焰稳定器的应用有

了初步认识。结论如下:

(1) 冲压发动机主要为一次性使用, 并且火焰稳定器伴随着发动机一直工作, 所以一般选用结构较简单, 能满足稳定火焰要求的稳定器, 如 V 型稳定器、吸入式稳定器、楔形稳定器、预燃式稳定器、蒸发式稳定器、筐型稳定器、强混火焰稳定器、多孔毛细陶瓷稳定器和尾缘吹气式稳定器, 也可以根据需要进行多个同种稳定器的不同安装形式。

(2) 加力燃烧室用于起飞、爬升和战斗中急剧加速等短时工作状态, 因此它的工作状态变化并不太悬殊, 可以选用双 V 型稳定器、U 型稳定器、驻涡稳定器、沙丘驻涡稳定器、沙丘驻涡蒸发式稳定器, 也可以用 V 型稳定器、吸入式稳定器、楔形稳定器、预燃式稳定器、蒸发式稳定器、多孔毛细陶瓷稳定器和尾缘吹气式稳定器。

(3) V 型稳定器是最基本的火焰稳定器, 大多数稳定器的稳定机理都和它相似, 而且它们的结构也基于 V 型槽稳定器。

参考文献:

- [1] 王洪卓. 楔型稳定器的应用分析[J]. 航空发动机. 1999, 2.
- [2] 高歌, 宁槐. 沙丘驻涡火焰稳定性的理论及实验研究[J]. 工程热物理学报. 1982, 2.
- [3] 张洪滨, 王纪根. 双 V 型稳定器的研制及应用[J]. 推进技术. 1994, 6.
- [4] 付藻群. 吸入式稳定器设计与试验[J]. 航空发动机. 1998, 3.
- [5] 郑殿峰, 张会强, 林文漪, 王家骅. 带 U 型槽射流缝隙式稳定器燃烧性能的试验研究[J]. 航空动力学报. 2003, 18 (6).
- [6] 肖新鹰, 王东明, 王洪卓. 预燃式火焰稳定器高空低压试验研究[J]. 航空发动机. 1999, 4.
- [7] 何小民, 王家骅. 驻涡火焰稳定器冷态流场特性的初步研究[J]. 航空动力学报. 2002, 17 (5).
- [8] 韩启祥, 王家骅. 沙丘驻涡蒸发式稳定器低压性能的试验研究[J]. 推进技术. 2001, 22 (2).
- [9] 岳连捷, 杨茂林, 黄勇, 徐行. 尾缘吹气式火焰稳定器流场计算[J]. 航空发动机. 1998, 2.
- [10] 刘亚洲. 飞航导弹动力装置 (上册) [M]. 北京: 宇航出版社, 1992, 12.
- [11] 郎坚, 张振家, 张家华. 流向旋涡强化混合技术的试验研究[J]. 推进技术. 1998, 8.
- [12] 杜声同, 孙惠贤, 顾恒祥. 多孔毛细陶瓷稳定器背后火焰和回流区分析[J]. 推进技术. 1996.4.
- [13] 刘鸿, 王方, 王家骅. 特种 V 型蒸发式火焰稳定器的总压损失试验研究[J]. 江苏石油化工学院学报. 2002.14 (3).

(编辑: 王建喜)