

蒸发型双腔大温升高均匀出口温度场 燃烧室设计技术

西北工业大学 陈炳禄** 唐明 吴二平

【摘要】介绍了一种用于热校准风洞作加热装置的新型蒸发式双腔高温燃烧室。这种燃烧室的出口平均温度可达到 1850°C , 温升可达 1600°C , 具有出口温度场均匀等特点。本文总结了我们在研制这种高温燃烧室工作中的一些经验及关键技术。

主题词: 燃烧室 火焰筒 温度场

分类号: TK121

1 燃烧室结构及工作原理简介

图1为高温燃烧室结构的示意图。燃烧室的出口温度要达到 1850°C , 必须采取一些特殊的方法。根据以前的经验^[1], 将火焰筒分成前后配置的两个火焰筒: 中心蒸发腔火焰筒3和环型蒸发腔火焰筒5; 将空气流分成4路和燃油通过燃油分配器分别供给两个火焰筒。工作时两个火焰筒同时燃烧, 以中心蒸发腔火焰筒为辅, 环形蒸发腔火焰筒为主。

图中燃油由进口8进入螺旋型换热管6后, 再引入燃油分配器2, 在这里燃油分成两路进入中心喷嘴1和环形喷嘴4, 并分别喷入各自的火焰筒蒸发腔内。进入两个火焰筒蒸发腔的燃油量由喷嘴的孔数来决定, 从而也就决定了中心火焰筒和环形火焰筒的供油比例。

进入燃烧室的空气流基本上分成4路进入火焰筒, 即中心火焰筒蒸发腔内与燃油预混的一次气和主燃, 掺混, 壁面冷却所用的二次气; 环形火焰筒蒸发腔内与燃油预混的一次气和主燃, 掺混, 壁面冷却所用的二次气。燃烧室启动时用点火器9先点燃中心火焰筒, 再由伸长的火焰点燃环形火焰筒, 两个燃烧腔高温气体汇合后通过高温陶瓷喷管7喷出。改变整个燃烧室的

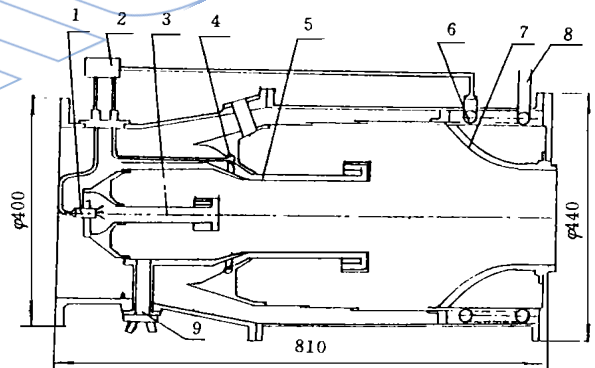


图1 高温燃烧室结构示意图

供油量,两个火焰筒内燃烧状况相应改变,就可使燃烧室出口温度在规定的范围之间变化。

本燃烧室是在常压下试验调试完成的,进口空气压力为 $0.1 \sim 0.14 \text{ MPa}$, 温度为 $80 \sim 200^\circ\text{C}$, 气流速度为 $10 \sim 20 \text{ m/s}$, 空气流量为 $0.7 \sim 1.1 \text{ kg/s}$, 燃油流量为 $20 \sim 53 \text{ g/s}$, 燃烧室出口温度范围为 $900 \sim 1850^\circ\text{C}$, 出口气流速度最大为 350 m/s 。本燃烧室所用的燃料为国产航空煤油, 高温燃烧室燃油的进口压力不大于 1 MPa_0 。

2 燃烧室的主要性能及特点

高温燃烧室的出口温度高是最主要的特点。燃烧室的出口温度用双铂铑热电偶进行测量,实测可达到 1700℃。在这样高的温度下,用裸露形热电偶(偶丝直径 0.5 mm)测量温度,其辐射误差很大,根据文献[2]对测量结果进行修正,则出口温度可达 1850℃左右。燃烧室的热力计算表明,要想产生这样高的出口温度,就要使燃烧室的总余气系数达到 1.39,且参加燃烧的空气占总空气量的 72% 以上,用于掺混和冷却火焰筒的空气最多只占 28% 左右。

采用了蒸发腔型火焰筒燃烧室的结构,在主环形蒸发腔火焰筒前增加了一个中心蒸发腔火焰筒,用于给环形蒸发腔火焰筒的内筒提供蒸发燃油用的热量。在工作状态,环形蒸发腔火焰筒的内外筒均处于高温燃气之中,其冷却主要依靠环形蒸发腔火焰筒的一次空气和燃油蒸发时的吸热,设计调试时要认真处理,不致于使火焰筒壁面损坏。

燃烧室工作时,中心火焰筒产生的高温燃气对环形火焰筒的蒸发环腔内筒加热,随着燃油量的增加,环形火焰筒蒸发环腔内的燃油所需的蒸发热量也需要增加。采用中心蒸发管火焰筒,恰好提供了环形蒸发腔内燃油蒸发所需的热量,使燃油吸热、雾化、蒸发,为其充分燃烧创造了条件,这样才使燃烧室的出口温度能够达到 1850°C 。

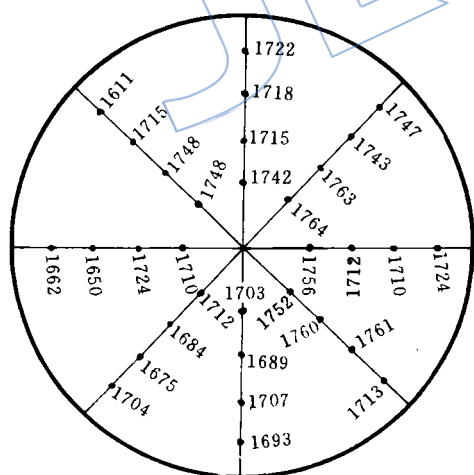


图2 出口温度场分布(单位: $^{\circ}\text{C}$)

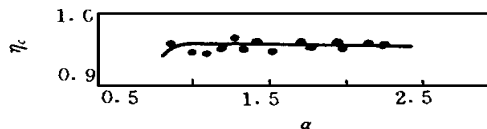


图 3 燃烧室的效率特性

高温燃烧室另一主要特点是出口温度场分布均匀。衡量温度场的指标用最大相对温差 $\Delta T_m = T_{3m \max}^* - T_{3m \min}^*$ 和最大不均匀系数 $\delta_{rm} = \Delta T_m / (T_{3m}^* - T_2^*)$ 。图 2 所示为众多的用单支双铂铑热电偶在出口截面按等环面规律转动测量的出口温度场。由图中可看出, 温度分布很均匀, ΔT_m 不大于 155°C , $\delta_{rm} = 0.09$, 最大温升为 $T_h = T_{3m}^* - T_2^* = 1600^\circ\text{C}$ 。出口温度 T_3^* 在 $900 \sim 1850^\circ\text{C}$ 变化

中, ΔT_m 和 δ_{rm} 的变化较小, 这主要是因为随着供油量的变化, 环形蒸发环腔由中心蒸发腔火焰筒的出口燃气和环形火焰筒自身的燃烧区内获得了热能, 其次是采取了给燃油预加温的措施。实验证明, 这对提高温度场的品质及燃烧效率有很好的作用。

在高温燃烧室中,采用的火焰筒(中心蒸发腔火焰筒和环形蒸发腔火焰筒)都是蒸发腔类燃烧室,这类燃烧室都具有较高的燃烧效率。本燃烧室的燃烧效率 η 与燃烧室的余气系数 α 特性如图 3 所示,在整个工作范围内, η 变化不大且都在 0.95~0.96 之间,燃烧效率高。

3 高温燃烧室设计调试中的几个关键问题

前后重叠的两个火焰筒配置方案:为了实现大温升的目的,燃烧室结构有多种选择,例如采用前后两次燃烧加温、前后两级燃烧或双腔燃烧室。燃烧室采用在同一个燃烧室壳体内,前后配置互相重叠的双火焰筒结构。中心火焰筒的后段就是环形火焰筒的内筒,中心火焰筒产生的高温燃气,为环形火焰筒蒸发腔提供蒸发热源。内外两股燃气掺混后进入收敛出口段。这种结构既克服了前后两级燃烧方案的结构复杂、第二次燃烧受第一次燃烧废气的影 响等缺点,又避免了双腔火焰筒互相产生流动干扰,相互争燃烧空间的缺点,实现了结构简单、空间利用合理、燃烧效率高,使燃烧室出口温度达到 1850℃。

燃料分配:两个火焰筒的燃料分配比例,直接影响着燃烧效率、工作范围、出口温度场等性能。分配比例的大小应与两个火焰筒的燃烧空间和空气流量相匹配。在设计时,采用先按火焰筒燃烧区横截面积比 $A_{s环}/A_{s中}$ (约为 1:6)确定供油量分配比 $m_{s环}/m_{s中}$ 。在调试中,调整空气流量比,最后达到满意的燃烧室性能。喷油嘴采用多个直射式油针结构,每个油针流通面积相同,加上供油压力相同,因此两个火焰筒的供油分配比就是两个喷嘴的油针个数之比 $n_{环}/n_{中}$ 。即: $m_{s环}/m_{s中}=A_{s环}/A_{s中}=n_{环}/n_{中}$ 。实践证明,采用燃油分配比设计方案,获得了预计的效果。

燃油的预热与蒸发:在高温燃烧室中,放置在燃烧室后段外壳的螺旋管换热器,具有理想的预热特性。随着燃油流量增加,燃烧室出口温度增加时,燃油预热温度也增加,最高可达 80℃。从燃油蒸发理论可知,燃油温度的提高,不仅增加了燃油的热焓,而且减少了燃油的粘度和表面张力,并使其表面蒸汽压增加,为燃油在蒸发管内充分蒸发创造了有利的条件。

在蒸发管内存在着复杂的传热和传质过程。一方面是灼热的蒸发管金属表面对液态燃油(油针将油喷到蒸发管内壁上)进行加热,使其蒸发成油气,而一次空气流高速吹过液态油表面,产生气动雾化作用,同时燃油蒸汽和雾化油滴与空气进行扩散和混合。与航空蒸发管燃烧室不同,我们的设计扩大了蒸发管加热面积,加强了蒸发管的换热作用。蒸发管换热面积按此公式确定: $A_{蒸}=m_s/q_{蒸}$, $q_{蒸}$ 为单位时间、单位蒸发管加热面积的燃油蒸发量(完全蒸发)。它与燃油的预热温度,一次空气的温度速度等有关。根据蒸发管燃烧室的理论和实践,由经验确定。

结束语 高温燃烧室,出口温度高,温度脉动小,燃烧稳定,出口温度场的品质高。燃烧室采用前后重叠配置的两个火焰筒、大面积蒸发筒、燃油换热器、陶瓷收敛出口段等关键措施,成功地组织了航空煤油在高速气流中的汽化和燃烧,实现了大温升和燃烧室各项性能指标,特别适用于作高温热风洞的气源以及在高温高速条件下对各种材料进行试验提供了一种手段。目前,用航空煤油作燃料能产生出口温度达 1850℃的燃烧室设计,在国内尚属首次。本文的研究结果及方法,可供今后从事此类大温升高均匀度出口温度场燃烧室设计提供参 考。

参 考 文 献

- 1 唐明等 蒸发型双腔燃烧室的试验研究 工程热物理学报, 1980, 1(3),
- 3 米哈依洛夫等 燃气轮机燃烧室的工作过程和计算 北京:国防工业出版社, 1960

(责任编辑 杨再荣)

influence the distribution and magnitudes of bird impact loads, the coupling of the bird impact with blade deformation has a remarkable influence on the transient responses of the blade. A simple and effective method is provided to analyze the responses of blades with consideration of this coupling. Taking a model blade as an example, its influence extent is also sized up.

Key Words Blade Bird impact Coupling Response analysis

A DOUBLE- CHAMBER VAPORIZING COMBUSTOR WITH HIGH TEMPERATURE RISE AND UNIFORM EXIT TEMPERATURE FIELD

Chen Binglu, Tang Ming, Wu Erping

(7th Dept. Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072)

ABSTRACT A new type of combustor, a double- chamber vaporizing combustor has been developed for heating apparatus of heating calibration tunnel. Its average exit temperature can reach 1850°C, the highest temperature rise from inlet to exit can reach 1600°C. In addition, this combustor has many other excellent characteristics, such as constant exit temperature field. Some experiences and keys to its development are described herein.

Key Words Combustion chambers Flame tubes Temperature field

3- D NUMERICAL SIMULATION OF BLADE- ANGLE SLOTTED HUB TREATMENT

Li Ling and Lu Yajun

(4th Dept. Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083)

ABSTRACT Three- dimensional incompressible steady time- averaged N - S equation, continuity equation and $k-\epsilon$ turbulence model equations are applied to calculation of the flow field in the cascade passage with blade- angle slotted hub treatment. The mechanism of extending stability by blade- angle slotted hub treatment is elaborated by means of a three- dimensional viscous numerical simulation. It is revealed that a pressure difference between suction and pressure sides induces a strong flow which enters in the rear of the slot and pours out from the front of the slot. This flow blows off the low energy boundary layer and retards stall emergence. The SIMPLE algorithm with non- stagger grid is employed to solve the problem of the pressure oscillation.

Key Words Compressor Wheel hub Treatment Nonsteady flow
Numerical simulation