

射流屏点火方案及其验证

沈阳航空发动机研究所 尹 群^{*}

一、射流屏点火方案

1. 高速燃烧室点火条件 高速燃烧室内通常存在外层的高速主动流, 它不但用作燃烧的氧源, 而且带动核心气体形成稳定火焰的涡流结构, 同时还起隔离火焰与室壁的作用。它的外层一般情况下是净空气, 内层掺有燃油。

为了在工作状态下点火器不被火焰烧毁, 点火器的插入深度受到限制, 其端部接近含油层的外边界。所以端部表面的释能点(放电电极)处在高速主动流中。高速气流使点火器释能表面紊流度高, 热交换率大, 又使电火花持续时间内流过电极的气体质量增加。两者都使火花生热不能集中加温质量恰当的气团, 不利于生成温度足够高的火焰核心。高速气流还使火焰核心在燃烧区的停留时间缩短, 往往尚未充分发展便被吹出燃烧区。凡此都能导致点火失败。可见火焰核心的生成位置处在燃烧区流速较高的部位, 因此使点火过程关键的早期阶段环境恶化, 使高速燃烧室的点火工况范围不宽。

2. 射流屏点火方案原理 射流屏点火方案是一种以气体射流干扰燃烧区, 实现其流态转变的点火方案。适用于电火花等集中释能点火方式, 扩大其点火工况范围。下面以半导体高能电嘴点火方式为例说明其工作原理。

在半导体电嘴的迎气流方向, 在燃烧室火焰筒壁面处设置一个弧形窄喷口, 它的喷射方向与电嘴轴线接近平行, 它的凹面对正电嘴轴线。通过这个喷口向燃烧区喷射速度足够高的弯幕状气体射流, 构成挡在火焰筒内沿壁高速气流与电嘴端部间的弯曲屏障, 使电嘴端部不接触沿壁高速流, 因此称作射流屏, 如图 1 所示。

对于沿壁高速气流, 射流屏相当于处在流路中的钝体。沿壁流被它分

离, 并在其凹面所面对的下流重新会合。被射流屏分离而成的沿壁流表面, 带动屏后气体形成一个被动双涡构造。涡区流速较低, 中心是与沿壁主动流流向相逆的回流区。在点火期

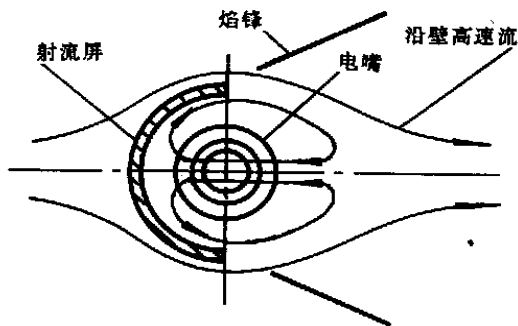


图 1 射流屏形成的流态

间, 沿壁流所携带的油雾通过质量交换而进入屏后被动环流中。电嘴电极就处在低速可燃混气中, 使火焰核心的产生获得有利环境。当火焰传至被动流域的外层时, 高温燃烧产物与沿壁主动流接触而将其点燃。此后射流屏充当置于含油高速流中的火焰稳定器, 维持位置固定的屏后火焰, 改善了火焰向整个燃烧区传播的条件。

受射流凹面的带动, 屏后被动区内应存在指向燃烧区中心的流动, 如图 2 所示, 当建立屏后稳定燃烧结构后, 高温燃烧产物沿射流凹面向燃烧区中心流动, 形成直接穿越燃烧区外层的、有传焰能力的热介质流。

当借助射流屏完成点燃整个燃烧区的过程之后, 射流屏已完成使命。关闭射流介质源, 使射流屏消失, 燃烧区内的流态就自动恢复其固有的、有利于维持正常燃烧的流态, 电嘴重新处在无焰高速流中。由于射流屏仅在点火过程中建立, 其工作周期和耗气量都很有限。

3. 射流屏点火器及射流介质 为便于安装、调整射流屏对于电嘴的方位角、固定喷口与电嘴电极的相对位置, 和不使燃烧室结构复杂化, 设计一体化的射流屏点火器很可取, 包含射流介质输送通道、射流喷口和处于中心的点火电嘴。一体化结构还有利于以射流屏点火系统取代已定型发动机的点火系统。由于射流屏用作干扰流态工具, 射流介质可以选择容易获得和储备的气体。采用参与燃烧并能使之强化的气体形成射流屏, 介质兼作反应物质能够进一步扩大点火工况范围。对氧射流屏的研究获得极满意的结果。

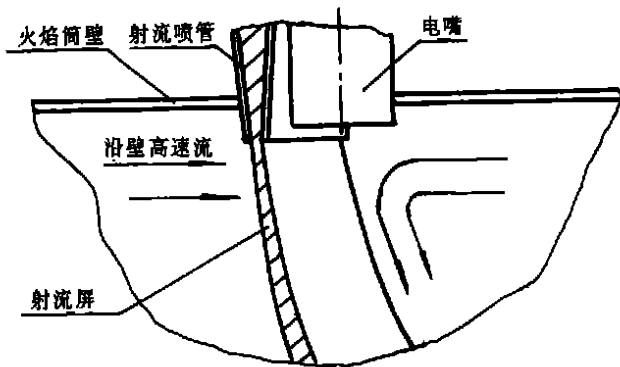


图 2 在射流屏对称面上的屏后流态

二、方案验证试验

1. 点火系统、点火对象和试验设备 点火系统由 DHQ-18A 型高能点火装置, 恒流量空气介质源和一体化射流屏点火器构成。点火器装有 BDZ-6 型半导体电嘴, 电嘴端面大致与射流喷口齐平。以某过渡型环形燃烧室为点火对象, 它的燃烧区流速较高, 点火性能不好。试验取该室的三分之一扇形部分制成试验燃烧室。在点火器的安装位置, 电嘴中心电极距燃油喷嘴端面 45mm, 电嘴端面超出火焰筒壁 2mm。试验设备是燃烧室高空点火性能试验台。

2. 试验方法 为使试验结论可靠, 采取如下措施: (1) 点火操作由可编程控制器按确定的时序执行, 以消除人为影响; (2) 试验对比无射流屏的高能直接点火系统和以它为基础形成的射流屏点火系统。全部内容在不间断的一次试验中完成, 其间不做任何装拆、调整试验器、燃烧室和点火系统的操作, 认为不供射流介质的射流屏点火器等同半导体电嘴; (3) 在每个工况下连续点火三次, 全部成功才记为点火成功; (4) 取 m_s (射流流量) 为 1g/s , 介质为压缩空气; (5) 保持燃烧室进口总温 $t_2^* = 10$ 。

3. 试验结果及讨论 试验结果见图 3 和表 1 (p_2^* 为燃烧室进口空气总压 MPa, λ_2 为进口空气速度系数, α 为总余气系数)。图 3 是两种点火方案在不同 p_2^* 下的点火边界高速段。表 1 对固定的 λ_2 值比较了点火边界贫油 $\alpha_{p.}$ 和富油 $\alpha_{r.}$ 。这个特定的 λ_2 取为无射流屏点火达到的最

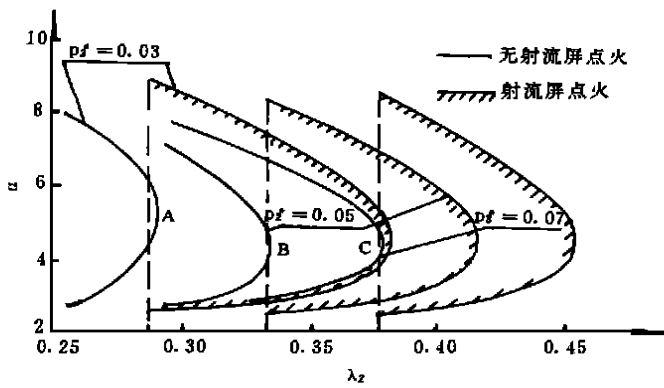


图 3 射流屏对燃烧室点火范围的影响 (P_2^* 的单位为 MPa)

大点火速度 λ_{2max} ，并比较了 λ_{2max} 。上述结果表明射流屏的建立，在无须改变燃烧室结构、电嘴位置和进深的情况下，显著展宽了燃烧室点火工况范围。在无射流屏点火的 λ_{2max} 下，射流屏使可点火的 α 范围扩大到 3 至 8。射流屏使 λ_{2max} 提高了 19% 到 32%。 p_2^* 越低， λ_{2max} 提高的幅度越大。这是因为 p_2^* 降低使喷口反压降低，对于不变的 m_s ， λ 提高，射流屏的穿透能力增强，屏后低速区扩大。由图 3 还可以看出 $p_2^* = 0.03\text{MPa}$ 下的射流屏点火范围甚至比 $p_2^* = 0.07\text{MPa}$ 下的无射流屏点火范围还宽。

表 1 在特定速度下的点火边界余气系数与最大点火速度对比

p_2^* (MPa)	λ_2	无 射 流 屏			有 射 流 屏		
		$\alpha_{b.p}$	$\alpha_{b.r}$	λ_{2max}	$\alpha_{b.p}$	$\alpha_{b.r}$	λ_{2max}
0.03	0.287	5.8	4.5	0.289	8.7	2.5	0.381
0.05	0.334	4.4	3.8	0.335	8.3	2.5	0.415
0.07	0.378	4.8	3.9	0.380	8.6	2.5	0.454

对于射流屏的贡献，可能做出不同解释：可能解释成射流介质影响燃烧区化学配比；也可能解释成射流屏的气体动力学作用改变了燃烧区流态，进而改善了点火条件。对于所获得的试验结果，如果前一种解释成立，考虑到空气射流不能改变燃烧区氧的浓度而只能使 α 增大，使燃烧区贫化，射流介质的加入只能使点火范围向富油方向移动，不能使 $\alpha_{b.p}$ 增大。显然与射流屏使点火范围同时向贫、富油方向显著扩展的事实不符。所以射流屏的贡献确实是对燃烧区流态的改变所致，这正是建立射流屏点火方案所依据的原理和追求的目标。

结论 (1) 在点火期间，通过改变燃烧区的流态创造一个有利点火的环境是改善高速燃烧室点火性能的有效措施；(2) 所建立的射流屏（变流态）点火方案，经试验验证方案构想成立，效果显著。由于其系统简单可靠，实用性良好。

be expressed quantitatively as $\text{MMD} \propto V_a^{-1.75}$. The mechanism of the secondary atomization may be described as follows: Some of the liquid drops in the spray are gathered by the flameholder and form a fuel film in its surface, the air flow forces the wavy film to move forward to the lip of the flameholder, further the fuel film breaks up at flameholder lip under a pincer attack of high speed turbulent flow and low speed recirculation flow.

THE EXPERIMENTAL STUDY ON THE PERFORMANCE OF EVAPORATOR MODEL

Wang Hongming, Zhu Zhiwei, Chang Shunong
(*Beijing University of Aeronautics and Astronautics*)

ABSTRACT An evaporator fitted on a model combustor is investigated to provide uniform circumferential gas temperature profile. It is shown that less fuel vapor exhausts from the primary holes with uniform outlet area along the evaporator, so that the lower gas temperature is behind these holes, and the more vapor from the final holes makes the gas temperature higher. The vapor flow is proportional to the outlet area as the evaporativity is 100% for the final holes. Uniform vapor flow and uniform circumferential temperature profile can be achieved with larger primary outlet holes and even final holes.

THE JET SCREEN IGNITION SCHEME AND ITS EXPERIMENTAL VERIFICATION

Yin Qun (*Shenyang Aeroengine Research Institute*)

ABSTRACT A jet screen ignition scheme has been developed based on the investigation of the ignition environment of the burning zone in the high-speed flow combustor. It features a short-time change of the flow pattern in the high-speed flow near the wall during the ignition period, which is caused by a thin and bend high speed gas jet. A specially-designed ignition experiment on a model of an aerogasturbine combustor verified success of the proposed scheme and showed its potentiality in enlarging the ignition range of the high-speed flow combustor.

A RANDOM VORTEX METHOD FOR PREDICTION OF MAXIMUM INSTANTANEOUS INLET TOTAL PRESSURE DISTORTION

Wu Hu and Cheng Fuqun
(*Northwestern Polytechnical University*)

ABSTRACT An improved random vortex model for predicting maximum instantaneous pressure distortion is presented based on the statistical behavior of turbulence-type dynamic inlet total field generated by plate-type turbulence generator. A new statistical method is put forward for determining the vortex core size. The numerical results show good accuracy of the prediction. This method also decreases the dynamic inlet pressure measurements. The effectiveness of the method in decreasing both cost and time is proved well.