

国外技术报道

侧边-突扩固体燃料冲压发动机燃烧室的评述

固体燃料冲压发动机不仅能达到接近液体燃料冲压发动机的性能水平,而且有比它更简易的优点。图1可见,与中心-突扩固体燃料冲压发动机的燃烧室结构相比较,侧边-突扩方案具有改善推进剂/燃料装填的特点。

在本研究中,对 180° 周向相对的二个进气道(两者分别具有 60° 和 90° 的突扩角)进行了试验。共试验了四种侧边-突扩进气道结构,并评述了气流导向器的有效性。

设备的简图和单边-突扩燃烧室的试验结构示于图2,一些测试设备用于确定空气和氧的流量(见图3,进气道/燃烧室装置的简图)。

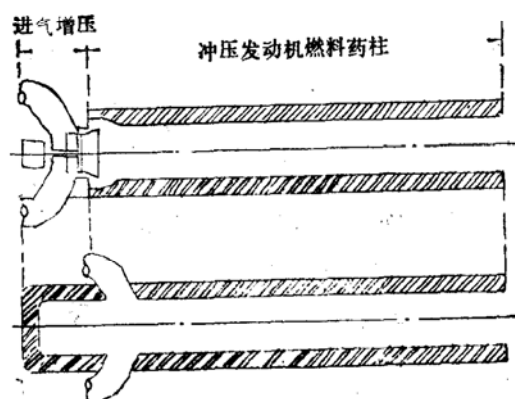


图1 同轴和侧边-突扩固体燃料冲压发动机的燃烧室

上图: 通常的带有孔式管喷射器的同轴固体燃料冲压发动机

下图: 侧边-突扩固体燃料冲压发动机的燃烧室

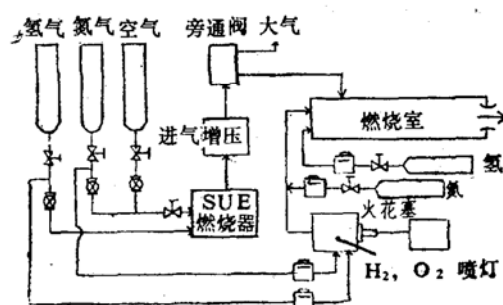


图2 设备和试验装置

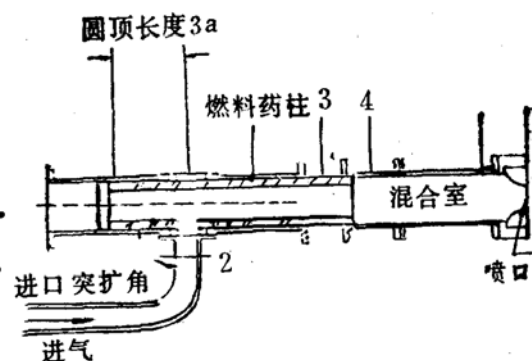


图3 单边-突扩固体燃料冲压发动机简图

部分空气与氢在突扩燃烧器内燃烧使空气加热,并进行补氧。在达到正确的试验条件之前,污染的进气通过旁路排入大气。然后空气流经燃烧室,约 $4s$ 后点燃。氢氧火舌点燃燃烧。

室中的 H_2 /空气混合物,进而点燃燃料药柱。试验燃烧时间约持续12s。将氮气引入燃烧室头部,空气通过旁路排入大气,药柱熄火试验终止。

在整个试验期间燃烧稳定表明,燃烧是持续的。当出现不稳定燃烧或过早熄火时被认为是临界或局部持续燃烧。低的燃面递减率也是局部持续燃烧的特征。如果燃烧室未能点着火或只在点火器工作时才燃烧,则认为燃烧没有持续。这些准则用于确定试验燃烧室的火焰稳定极限。

在1980年和1987年的研究中共试验了50种结构,其中七个用同轴燃烧室,目的是检验设备和与侧边-突扩燃烧室性能比较。其余的结构都采用具有单一进气道的侧边-突扩燃烧室。进气道出口 M_2 范围从0.2到0.8;药柱出口处 M_2 范围从0.2到0.5和燃烧室的混合室进口处 M_4 从0.1到0.2。

作者试图把所有对火焰稳定有重要影响的参数与火焰稳定数据关联起来。其结果示于图4。参照图4,方程(1)是流体性质的函数,方程(2)是进气道/燃烧室几何尺寸的函数:

$$F = \left| \frac{1}{W_{oi} V_3 M_2 - C I M_3} (T_{2a}) \right| \quad (1)$$

$$G = \left| \left(\frac{A_3}{A_5} - 1 \right)^2 \left(\frac{l_g - l_o}{l_d - l_{op} \sin \theta_2} \right)^{-1.25} \frac{1}{(\theta_2)^2} \right| \quad (2)$$

方程(1)中的 $M_2 - C I M_3$ 项是一个“强”参数,它是衡量进气道动量通量与燃料药柱动量通量相等程度的参数。火焰稳定性与此项成反比。

方程(2)中 $A_3/A_5 - 1$ 项是保证燃烧室保持节流的几何条件,在实际应用中当 A_3/A_5 小于1时火焰就能获得稳定。

进气道突扩角对火焰稳定有显著影响。突扩角从 90° 降到同轴突扩结构(突扩角 0°),有效的圆顶长度增加。从而增加了回流区的尺寸并改善了火焰稳定性。回流区有一个极限长度,可由圆顶区的燃面递减率与燃料药柱的燃面递减率之比来确定。希望 $\dot{r}_{\text{圆顶}}/\dot{r}_{\text{药柱}} = 1$ 。

图5所示的流动模型被认为是引起所观察到的不均匀燃面递减的原因。图5a和5b分别是设想的 90° 、 60° 突扩角结构的二维流场。空气沿其突扩角进入燃烧室并撞击到对面壁上。部

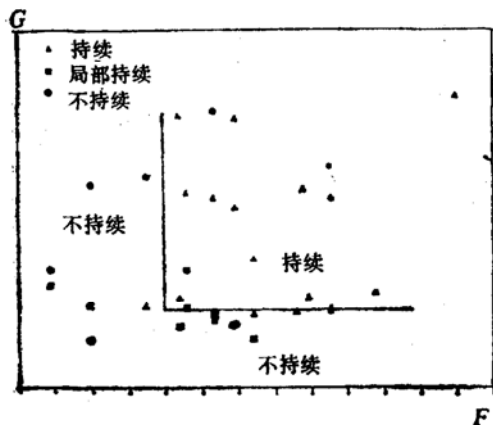


图4 燃烧室火焰稳定

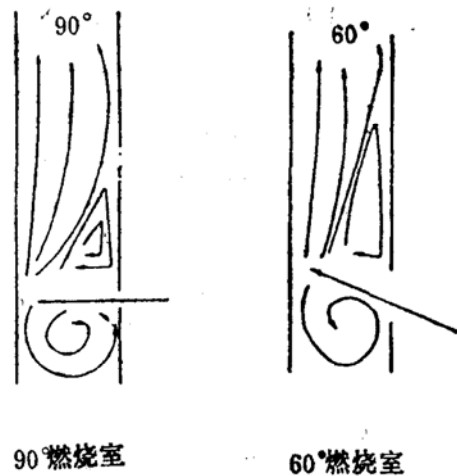


图5 设想的二维流场

分气流流入圆顶并形成一个回流区。剩余的空气流入下游，再附着于燃烧室的进气侧壁，在再附着点和进气突扩之间形成第二个回流区。这现象对 60° 突扩角的结构不太显著。最终，当突扩角变为 0° （同轴突扩）时就消失了， 60° 突扩角的燃面递减不均性要比 90° 的小。

在燃烧期间，进气道/燃烧室相互作用的典型声响应对进气道和燃烧室分别表示于图7~10。

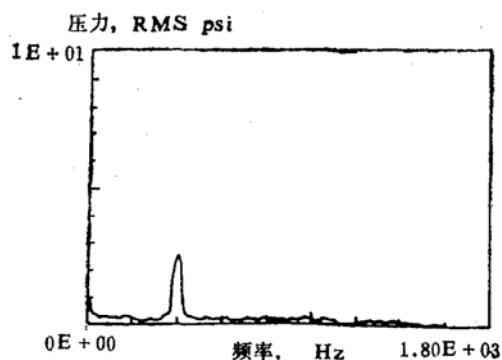


图6 进气道的频率响应

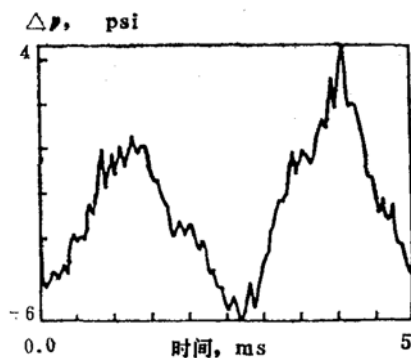


图7 进气道的声响应

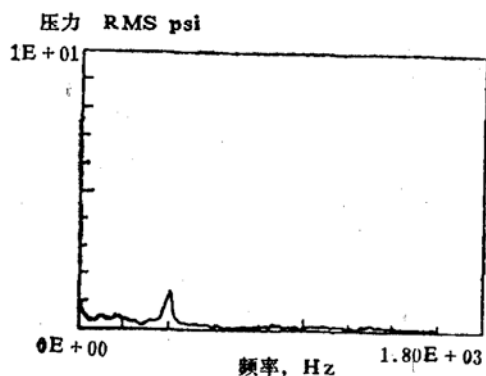


图8 燃烧室的频率响应

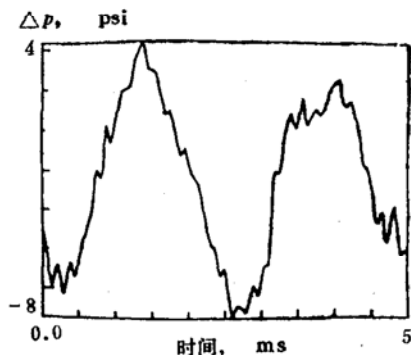


图10 燃烧室的声响应

在很宽广的几何尺寸范围内单边-突扩燃烧室显示出稳定的燃烧性能。进气道/燃烧室几何尺寸和流体性质的方程表示出每个参数火焰稳定的影响。侧边-突扩的回流区与中心突扩相类似。火焰稳定的最佳值 l_d/D_{30} 是1.8。

60° 突扩角和114.3mm长的结构能使圆顶区内燃料充分利用。这时对燃料利用的最佳值 l_d/D_{30} 也是1.8，与火焰稳定的最佳值相同。

与所有连续工作的燃烧室相比，试验燃烧室压力振荡是低量级的。这是固体燃料冲压发动机的特征。

义平摘译自AIAA-88-3072