

低压对加力燃烧室压力脉动 和放热脉动的影响

南京航空航天大学 章晓梅* * 徐圃青 张 屹 王家骅

【摘要】 运用 CH 离子浓度传感器及其测试系统, 研究燃烧室内低压对两态混气紊流燃烧的压力脉动和放热脉动的影响。结果表明, 燃烧装置的结构参数决定了燃烧装置的固有频率, 随着压力升高, 剧烈化学反应区向上游移动, 对蒸发式稳定器而言, 低压下油气比对压力脉动值影响较小。

主题词: 低压 燃烧 压力脉动

分类号: V231.2

1 引 言

对低压引起燃烧性能恶化的原因, 大都从化学动力学角度加以分析, 认为压力降低不利于燃烧和空气之间的化学反应, 从而影响正常的燃烧速度, 这无疑是正确的。然而两态混气紊流燃烧性能不仅决定于化学反应速度, 也决定于气流紊流特性、混气形成特性及物理和化学过程的相互作用^[1]。

当压力降低至一个大气压以下, 两态混气紊流燃烧的物理化学过程发生了很大变化: (1) 随着压力降低, 稳定器回流区缩小, 回流量减少, 紊流强度、雷诺应力减少, 紊流尺度变大^[2]; (2) 油雾场索太尔平均直径增大, 且均匀度有所提高^[3]; 点火性能和火焰稳定性变差, 燃烧效率下降^[4], 但由于稳定器结构和喷嘴型式不同, 降低程度有所不同。

本文研究燃烧室内低压对两态混气紊流燃烧的压力脉动和放热脉动的影响, 对理解低压对燃烧室内物理和化学过程的影响及其相互作用有重大意义。为了研究低压对放热率的影响, 自行研制了测 CH 离子浓度的传感器及测试系统。

2 试验设备及测试仪器

试验设备如图 1 所示。试验段为两元, 截面积为 $150\text{ mm} \times 100\text{ mm}$ 。一侧面有多个石英玻璃窗, 用来测量不同截面 CH 离子浓度及观察火焰。

进气由压气机供给, 排气由多台水环式真空泵抽出, 并造成给定的真空度。利用压气机和真空泵管道上多个阀门调节至给定的工况, 水环式真空泵进口温度不能大于 45°C , 因此试验中必须供给大量冷却水, 将 1500°C 以上燃气冷却到 45°C , 并适时将低压室冷却水排出。

试验件为蒸发式火焰稳定器, 如图 2 所示。蒸发管独立供油, 主燃油在离稳定器 2 m 多远处供油, 籍以模拟气态燃料。试验工况温度为 400°C , 速度为 80 m/s , 压力为 $0.055\text{--}0.085\text{ MPa}$ 。研究低压对放热率影响时, 各工况下蒸发管内和主流油气比相同。

测试仪器为自行研制的 CH 浓度测试系统, 由于放热率和燃烧区的 CH 离子浓度成线性关系^[5], 因此可以通过测量燃烧区的 CH 离子浓度来测量放热率。CH 离子光波峰值波长为 435.5 nm, 可选择接受相应峰值波长的光电倍增管, 以保证高的频响。

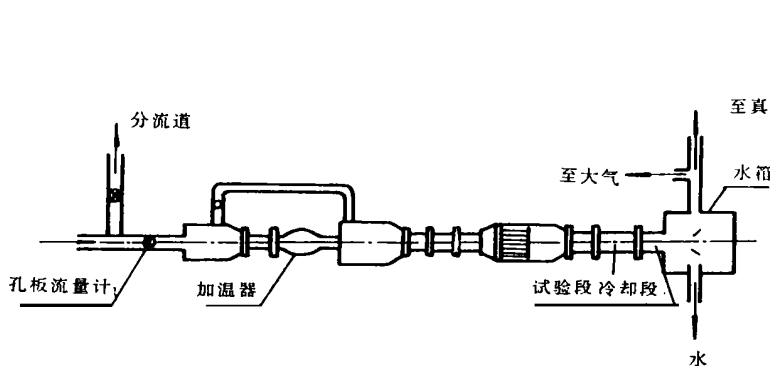


图 1 试验设备示意图

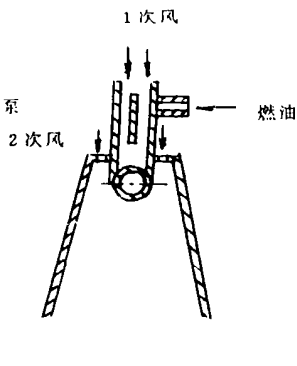


图 2 蒸发稳定器结构图

放热率测量的传感器及其系统如图 3 所示。CH 离子发出的光信号, 经过试验段的石英玻璃窗、滤光片和透镜组成的光路系统后, 输入光电倍增管。光电倍增管由负直流高压电源供电工作。光电倍增管将输入光信号转换为电信号。电信号通过分压和采样电阻, 将电流信号转换为电压信号, 经信号放大器后, 输入磁带机。通过频谱分析仪 (FFT-920) 和打印机, 得到放热率脉动随机信号、频谱图及放热脉动值。

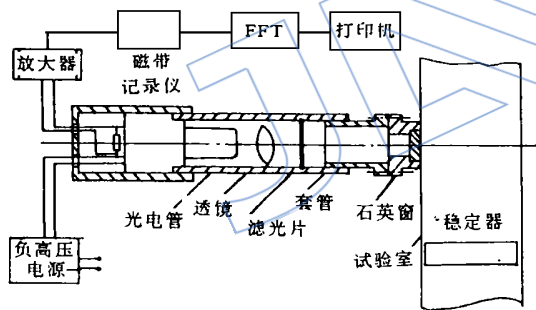


图 3 CH 离子浓度传感器及其系统示意图

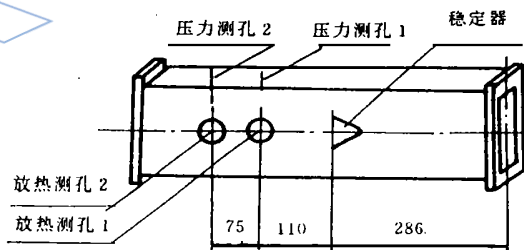


图 4 试验件及放热率测量孔、压力测量孔位置

为了测量燃烧室内压力的变化, 在测放热率同一截面, 安装动压传感器。测量截面处于回流区后尾流区, 放热传感器及动压传感器安装位置见图 4。

3 试验结果

图 5 和图 6 为放热和压力脉动的随机信号。由图可知, 在稳定器尾流区, 放热和压力是脉动的。图 7 和图 8 为放热和压力脉动频谱分析图, 由图可知放热和压力脉动, 都出现两个峰值, 一个频率在 5 Hz, 另一个在 150 Hz 左右, 这两个频率相当试验设备中两个气柱振荡频率。一个相当于排气冷却室和管道组成的 Helmholtz 共振腔频率, 另一个相当于试验设备管长构成 1/4 波长的频率。

图 9 为放热率脉动值随压力和油气比的变化。放热率脉动值是放热率随机信号的均方根

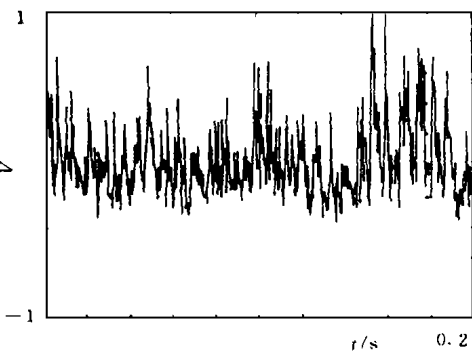


图 5 放热脉动随机信号图

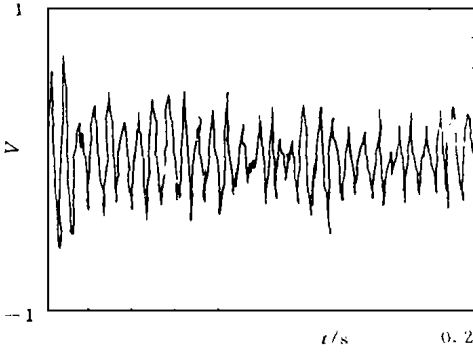


图 6 压力脉动随机信号图

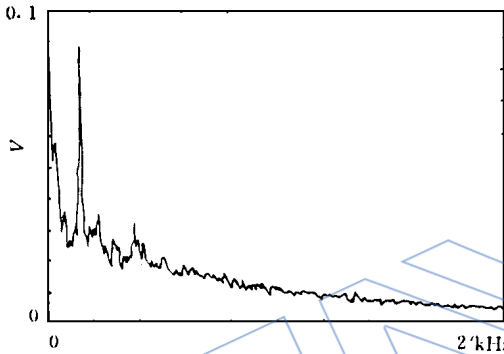


图 7 放热脉动频谱图

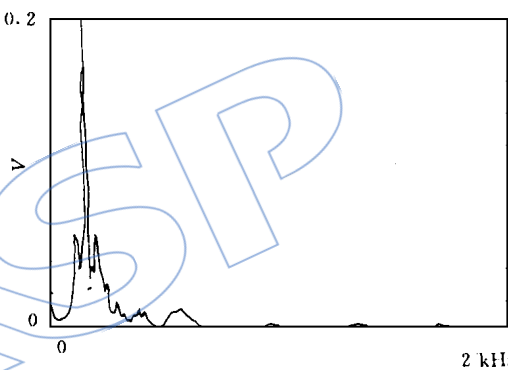


图 8 压力脉动频谱图

平均值,由图可知:(1)随着油气比升高,放热脉动值逐渐升高,这是由于油气比增加,参加燃烧的燃料增多的缘故。油气比继续增加,放热率反而降低。这是由于蒸发管内富油燃烧化学反应速度降低,因而放热脉动值降低。当压力降至 0.055 MPa 时,由于蒸发管内雾化和蒸发条件差,因此气相油气比始终不大,所以放热脉动值随着油气比的增加,放热脉动值逐渐增加。(2)压力在 0.055–0.075 MPa 范围内,随着压力下降,放热脉动下降,说明在低压下两态混气燃烧的物理化学过程发生了显著变化。压力在 0.075–0.085 MPa 范围内,随着压力上升,放热脉动反而下降,说明压力升至 0.075 MPa 以上后,剧烈化学反应区移至测点上游,通过移动测点位置 1 至位置 2,当压力为 0.085 MPa, $F/A = 0.02$ 时,位置 2 点的放热脉动值约是 1 点的 2.5 倍,证实了这一点。

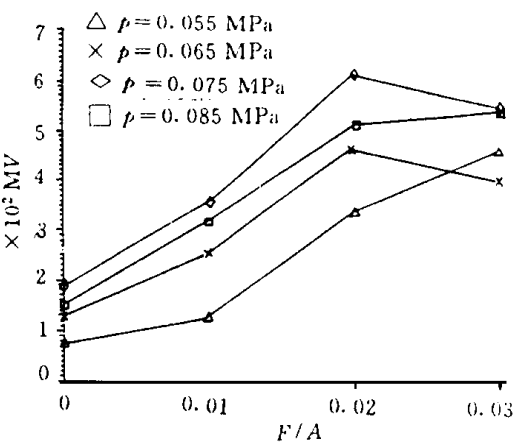


图 9 放热率脉动值随压力变化

图 10 为压力脉动值随压力和油气比的变化。压力脉动值是压力随机信号的均方根平均值, 由图可知: (1) 随着压力下降, 压力脉动值下降, 这是因为随着压力降低, 作为驱动压力脉动源的放热脉动值有所下降, 故压力脉动值下降。(2) 在 0.055–0.085 MPa 范围内, 压力脉动值随油气比变化不大, 此意为对蒸发式稳定器而言, 在此压力范围内, 油气比对压力脉动影响较小。

4 结 论

(1) 燃烧装置的结构参数决定了燃烧装置的固有频率, 燃烧装置可能有几个固有频率, 本试验装置有两个固有频率。

(2) 当压力升至 0.075 MPa 以上时, 随着压力升高, 剧烈化学反应区向上游移动。

(3) 对蒸发式稳定器而言, 低压下油气比对压力脉动值影响较小。

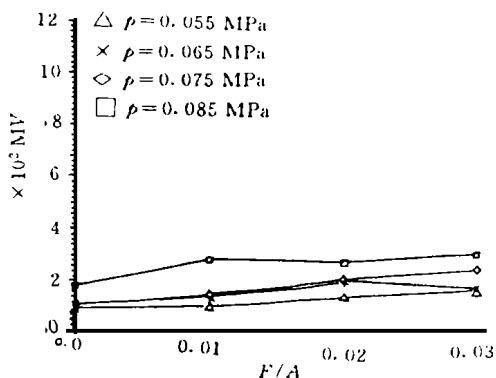


图 10 压力脉动值随压力的变化

参 考 文 献

- 1 Arthur H Lefebvre. Gas Turbine Combustion.
- 2 李概奇, 王家骅. 低压对回流区及其流动性影响. 中国航空科技文献, HJL900069
- 3 徐圃青, 王家骅. 低压对喷嘴雾化特性及油气分布影响的研究. CSAA-92-1992
- 4 王家骅, 李概奇, 郑殿峰, 徐圃青. 低压对燃烧综合性能的研究. CSAA-92-26
- 5 Yu K, Troune A, etc. Low Frequency Pressure Oscillations in A model Ramjet Combustor- the Nature of Frequency Selection. AIAA 89-0623

(责任编辑 杨再荣)