

燃烧诊断用多功能药条燃烧器系统

张平 张训文 张群星 周生国

(北京理工大学)

摘 要

本文指出了将固体推进剂药条燃烧器用于实验室燃烧诊断的重要性和必要性, 介绍并评述了三十余年来药条燃烧器的发展历程, 提出了一种具有多种功能的充压视窗药条燃烧器的设计方案和性能指标, 对这种燃烧器的初步实验结果进行了分析讨论, 并预示了它的应用前景。

主题词: 推进剂燃烧, 固体推进剂, 实验, 激光技术, 应用

一、引 言

研究固体推进剂的燃烧机理, 建立合理的燃烧模型, 有效地控制固体火箭发动机的工作过程, 都需要仔细观察和了解燃烧过程的各个细节, 测量燃烧流场的各种参数。采用药条燃烧器装置可在实验室内模拟火箭发动机的燃烧环境, 并利用各种先进的测量手段实现上述研究目的。它结构简单、试验方便、耗资少, 适宜作大量对比实验, 从而大大减少全尺寸试验和现场试验的次数, 这对缩短研究周期、节约试验经费无疑具有重要意义。本文介绍一种自行设计的、具有多种诊断功能的充压视窗药条燃烧器系统。

二、固体推进剂药条燃烧器

固体推进剂药条燃烧器的种类很多, 可粗略分为以下几类:

1. 经典的无视窗药条燃烧器。它只具有单一的测量推进剂平均燃速的功能, 简称燃速仪, 它是药条燃烧器的原型。
2. 常规的有视窗药条燃烧器。由于燃烧器上开有允许光线通过的透明视窗, 故能用照相方法记录燃烧过程, 以及应用各种光学非接触诊断技术。
3. 燃面恒位的视窗药条燃烧器。它能使药条燃烧表面在燃烧过程中始终保持在空间的某一恒定位置上, 因而能较长期地观察燃面或燃面上方某一点处燃烧过程的细节, 或允许有足够的时间进行重复测量。为此, 国外已作出了三十多年的努力, 国内也已有类似装置出现^[1-4]。

本文1988年5月21日收到

各种燃烧器虽然都采取原理类同的伺服控制系统,但因研究和应用的目的不同,其功能各不相同,并有其自身的局限性。例如有的恒位精度不高,有的排除烟雾及其它干扰的能力差,有的跟踪滞后大,有的测量时间短,有的测量和观察功能少等。本文所介绍的燃烧器系统,是在吸取前人成功经验的基础上,具有多种测试功能、燃面恒位精度高、抗干扰力强且经济实用的实验室用燃烧器,能为进行固体推进剂燃烧诊断研究创造条件。

三、药条燃烧器系统

多功能药条燃烧器系统由一个主系统(燃面恒位控制系统)和六个辅助系统(气瓶充压系统、测压系统、点火控制系统、燃面移动模拟系统、数据记录系统和排烟通风系统)组成。系统的工作原理示于图1。

激光器发出的一束激光由分光镜分成光强相近的两束光Ⅰ和Ⅱ,它们穿过药条燃烧器上的透明窗后分别由两个光电检测器所接收。其中光束Ⅰ为信号光束,光束Ⅱ为参考光束。光电检测器分别输出对应的信号电压 u_I 和参考电压 u_{II} 。其中 u_{II} 不变, u_I 变化:当药条未点燃时,光束Ⅰ完全由药条挡住, u_I 为零;当药条点燃后,燃面以药条燃速向下移动,激光开始被光电检测器所接收, u_I 逐渐增大。 u_I 和 u_{II} 经放大器放大成电压 U_I 和 U_{II} ,经除法器后得到 $U = U_I / U_{II}$ 。该合成输出电压 U 经电压频率转换器转换成与 U 成正比的频率脉冲信号 f , f 经电机驱动器驱动步进电机旋转。每输入一个脉冲,电机就对应转过一个步距角。电机转轴与一个精密螺杆相连,螺杆的旋转带动导向螺母向上移动,将药条上推。此时若上推速度小于药条燃速,燃面位置将上移,使越过燃面上方的激光通光量增大,从而使 u_I 、 U 和 f 增大,电机转速增加,上推速度加大,最后与药条燃速达到平衡状态。反之亦然。以此来保证药条燃面的恒位性。不同燃速的药条若处于相同的光电系统中,其燃面在激光束中的恒定位置也不同。

控制电路中的除法器兼有除法和放大两种功能,控制仪则用于自控(工作状态)与手控(安装药条)方式的转换、电机正转与反转的转换,以及点火电压与点火时刻的控制。

图2是药条燃烧器的结构简图。燃烧器是钢制承压容器。它上筒的四周等距布置有四个直径50mm、厚12mm的透明视窗,其中一对供定位激光器作燃面恒位控制用,另一对供各种非接触式光学燃烧诊断用。设计较大面积的视窗是为了扩大被测燃烧流场的范围。上筒顶端的调压器组件用于调节试验压强并在试验前节约保护氮气。上筒与中筒间采用螺纹联接是为了便于安装药条。各筒间的联接均采用“O”形橡胶圈密封。燃烧器的设计承压能力为1.5MPa。

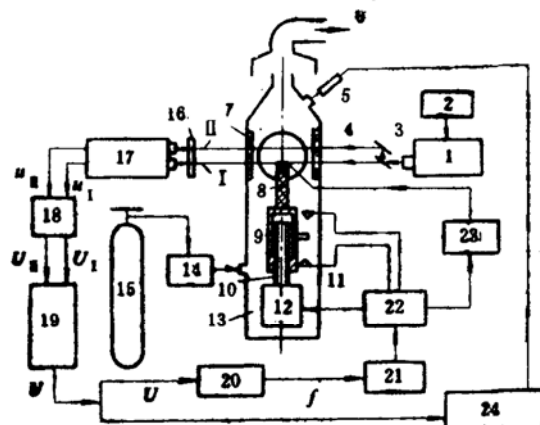


图1 多功能药条燃烧器系统工作原理图

- 1.激光器 2.激光电源 3.分光镜 4.双激光束 5.测压传感器 6.排气口 7.透明窗 8.推进剂药条 9.螺母 10.螺杆 11.限位器 12.步进电机 13.燃烧器 14.调压器 15.高压氮气瓶 16.滤光片 17.双光电检测器 18.直流放大器 19.除法器 20.电压频率转换器 21.电机驱动器 22.控制仪 23.点火电源 24.记录系统

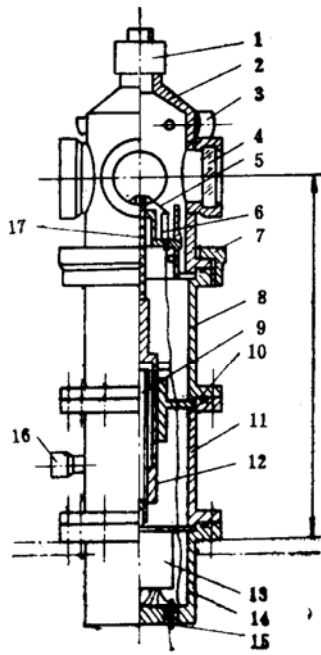


图2 多功能药条燃烧器结构简图

1.调压器组件 2.上筒 3.测压接头 4.透明窗 5.点火线 6.点火接线柱 7.大螺母 8.中筒 9.精密螺杆 10.“O”形密封圈 11.下筒 12.导向螺母 13.步进电机 14.底筒 15.接线柱 16.充气接头 17.推进剂药条

若能在测量中采取一些相应的措施(如选用高质量的步进电机和光电器件,严格保证加工质量和装配精度,采用有效的光电路系统和药条燃面移动模拟器等),则可使测量恒位误差大大减小。根据实验示波曲线定出的本燃烧器装置的燃面测量恒位误差(即燃面波动量)为 0.04mm 。

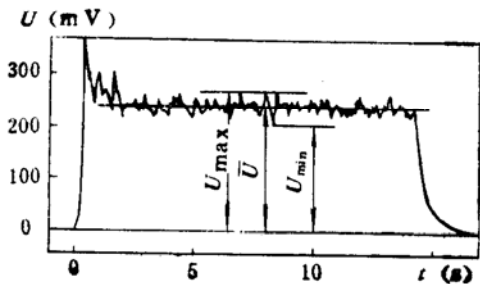


图3 典型的电压-时间曲线

步进电机安装在底筒内。不把电机安装在燃烧器外部是为了解决电机轴转动时保证密封性和摩擦力过大之间的矛盾。药条尺寸为 $6 \times 6 \times 105\text{mm}$,用电阻丝点火。采用充压氮气在视窗内侧形成气帘,以阻止燃气中的凝相颗粒接近视窗内表面。

四、燃面恒位精度分析

可以认为燃面的计算恒位误差由步进电机的转动误差所引起。根据步进电机的工作原理,在电机正常工作时其最大转动误差应为 ± 0.5 步距角。因本装置的步距角 α 为 1.5° ,螺杆螺距 t 为 4mm ,故计算恒位误差

$$\Delta h = \pm \alpha t / 4\pi = \pm 0.0083\text{mm}.$$

影响测量恒位误差的因素很多,它们的综合影响反映在记录曲线上。图3是一条典型的 $U-t$ 示波曲线。根据输入电压 U 和燃面位置 h 的标定曲线(图4, a),可从图3中的电压及其波动值确定出对应的燃面位置及其波动值(见图4, b)。

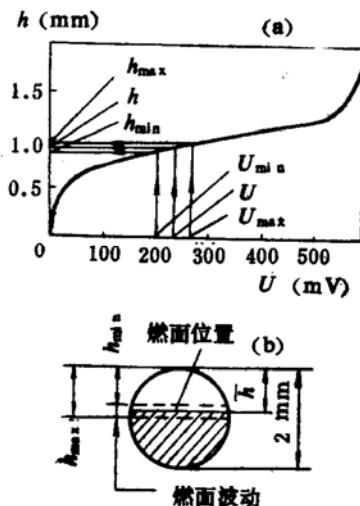


图4 输入电压与燃面位置的标定曲线
以及燃面在激光束中的位置
(a)标定曲线 (b)燃面位置

五、实验情况及分析

应用本装置曾在常压下做过以下实验,以判别各因素对药条燃烧器系统工作性能的影响。

1. 包覆层和推进剂种类的影响

从实验情况看,对于各种试验用的推进剂,尚未找到一种合适的包覆层材料,它即能有效起到侧面阻燃作用,又不会产生残渣阻挡光束的通过。其中双基推进剂采用包覆层时的实验效果更差。

从对三种双基推进剂(双芳铜、双铅和PT-12)、两种复合推进剂(聚硫型、HTPB型)和一种改性双基推进剂药条的实验情况看出,复合推进剂比双基推进剂有较好的燃面恒位控制性能,其中以聚硫复合推进剂的效果最佳。这主要是因为复合推进剂比双基推进剂有较低的临界压强,因而在常压下的燃烧稳定性较好。改性双基推进剂的情况与双基推进剂基本类似。

2. 火焰光干扰的影响

试验结果表明,双基推进剂与复合推进剂的火焰光对硅光电池的信号输出都有影响,甚至用烛光代替推进剂火焰时对信号输出仍有影响。在对光路加以改进并增强滤光措施后,其影响可基本消除。

3. 激光束数量及配置方式的影响

用插入与撤出滤光片的方法模拟随机烟雾和颗粒沉积产生的挡光效果对单光束和双光束系统分别作了试验。结果表明,在单光束的记录曲线上出现了一个明显的凹坑,双光束的则无此现象。从这一点来看,双光束对燃面恒位性的控制优于单光束。

对双光束系统两光束水平配置和垂直配置的方式分别作了试验,结果表明两者无明显差别。其原因可能是由于两光束的间距太大(15mm),光束所处条件的差别已不明显。

六、应用前景

本药条燃烧器系统具有下列功能:

1. 可测定推进剂的瞬态燃速和平均燃速。
2. 本燃烧器系统若与激光多普勒测速系统相配合,可测出燃面上方某点处的气流速度。若与激光喇曼散射光谱仪相配合,可测出该点的气流温度^[5]。
3. 本燃烧器系统若与纹影仪或干涉仪相配合,可测出燃烧流场气体的定性或定量的密度数据。若与激光诱导荧光光谱仪相配合,可检测燃烧气体组分的浓度。
4. 本燃烧器系统若与颗粒尺寸干涉仪、全息摄影仪、激光透射仪或阴影仪等相配合,可测出颗粒的尺寸及其分布。
5. 本燃烧器系统可充当推进剂火焰发生装置,若与激光源、红外源或微波源相配合,可测定激光、红外和微波通过推进剂火焰后的衰减。
6. 本燃烧器系统若与显微近摄系统相配合,可测得燃面及近燃面处的微观结构。若采用熄火技术和扫描电镜设备,可获得放大倍率极高的燃面显微照片。

七、结 论

1. 本燃烧器系统操作简便、工作稳定、视野开阔、抗干扰较强,可用它进行燃烧流场的参数测量。
2. 本系统的计算燃面恒位误差小于 $\pm 0.01\text{mm}$,测量燃面恒位误差小于 $\pm 0.05\text{mm}$,充气压强不大于 1.5MPa ,被测药条燃速不大于 30mm/s 。
3. 常压下的试验表明,复合推进剂药条的燃面恒位控制性能优于双基推进剂,双光束系统的燃面恒位控制性能优于单光束。
4. 本系统尚有工作压力低,高燃速受限制及缺少初温控制环境等不足,有待进一步改进。

参 考 文 献

- (1) Razdan, M.K. and Kuo, K.K., Erosive Burning Studies of Composite Solid Propellants by the Reacting Turbulent Boundary Layer Approach, AD A-033723, 1976.
- (2) Goetz, F. and Mann, D.M., Design and Use of a Servo-Controlled High Pressure Window Bomb in Spectroscopic Studies of Solid Propellant Combustion, AD A-094820, 1980.
- (3) Caveny, L.H. et al, Direct Measurements of Acoustic Admittance Using Laser Doppler Velocimetry, AIAA Journal Vol. 19, No. 7, 1981.
- (4) Renie, J.P. et al, Aluminum Particle Combustion in Composite Solid Propellants, AIAA 82-1110, 1982.
- (5) 张平: 燃烧诊断学, 兵器工业出版社, 1988.

MELTIFUNCTIONAL BURNER SYSTEM FOR COMBUSTION DIAGNOSES OF SOLID PROPELLANT STRAPS

Zhang Ping Zhang Xunwen Zhang Qunxing Zhou Shengguo

(Beijing Insitute of Technology)

Abstract

The importance and necessity of solid propellant strap burner in combustion diagnoses at laboratory are clarified. The development of strap burners in the past three decades is explained. A multifunctional strap burner with pressurized window and its performance are also presented. The results of preliminary experiments with this burner are discussed, which predicts good prospect for its applications

Keywords: Propellant combustion, Solid propellant, Experimentation, Laser technique, Application

INVESTIGATION ON THRUST MEASUREMENT OF TURBOJET ENGINE IN ALTITUDE SIMULATION FACILITY

Zhu Qing Tang Shifu

(The 31st Research Institute)

Abstract

Thrust measurment is one of important research subjects in altitude simulation test. At present, the thrusts of turbojet engines in flight are always examined by means of simulation test in a altitude chamber. The technology in simulation and measurement, the facility, and the measured results are introduced in this paper by showing the thrust measurement conducted in some altitude chamber. Meanwhile, the correction on thrust measurement and the measurement accuracy are discussed emphatically.

Keywords: Thrust measurement, Engine test, Simulated test, Turbojet engine, Altitude simulated test cell