

文章编号: 1001-2486 (2000) 05-0023-03

微小型固体火箭发动机点火特性试验*

孙丕忠, 秦子增, 张晓今, 郭健

(国防科技大学航天与材料工程学院, 湖南 长沙 410073)

摘要: 设计了一种适用于某微小型固体火箭发动机的点火器, 对某微小型固体火箭发动机的点火特性进行了大量试验研究, 引入了初始点火压强的概念, 找出了影响点火延迟时间散布的主要规律, 确定了能满足微小型固体火箭发动机点火性能的点火方案。

关键词: 点火特性; 延迟时间; 散布

中图分类号: V435 **文献标识码:** A

Test Research on the Ignition Characteristics of Minute Solid Rocket Motor

SUN Pi zhong, QIN Zi zeng, ZHANG Xiao jin, GUO Jian

(College of Aerospace and Material Engineering, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: A kind of igniter has been designed for minute solid rocket motor. Many tests have been done to determine the ignition characteristics of minute solid rocket motor. A concept of initial ignition pressure has been introduced the principal principle which effected ignition delay time scatter has been found and determined the ignition scheme satisfying the demand for ignition performance of minute solid rocket motor determined.

Key words: ignition characteristics; ignition delay time; scatter

微小型固体火箭发动机常作为火箭系统、子母弹以及其它飞行器的弹(轨)道修正、姿态控制、系统分离的动力。当接到指令后, 微小型固体火箭发动机必须能够准时启动, 并按设计要求提供推力, 这就要求微小型固体火箭发动机推力曲线平稳、点火过程工作稳定、点火延迟时间散布小。本文对某微小型固体火箭发动机的点火特性进行了大量的试验研究, 设计了一种适用于某微小型固体火箭发动机的点火器, 找出了影响点火延迟时间散布的主要规律, 分析了影响点火延迟时间散布的主要因素, 确定了能满足微小型固体火箭发动机点火性能的点火方案。

1 点火器设计

根据微小型固体火箭发动机的特点, 点火装置采用整体式电发火装置点火器, 它主要由电引火头、点火药和点火药盒三部分组成。电引火头选用某厂生产的成品, 在正常电流情况下其熔断时间 $< 1\text{ms}$ 。点火药选用黑火药, 黑火药的优点是热敏感度高(发火点低, 约为 300°C), 点燃特性好, 燃烧产物中固相成分比较多(约含有60%的固体炽热粒子), 机械敏感度低, 有较好的性能稳定性和安全性。但它可能产生较高的初始压强峰, 为平滑压强峰, 可在黑火药中加入适量的烟火剂。烟火剂的优点是能量高(燃气温度可超过 3000K), 固体含量高; 缺点是发火点较高, 不易点燃。点火药量计算采用由状态方程得到的点火药量计算公式, 其表达式为^[1]

$$W_{ig} = \frac{p_{ig} \cdot V_c}{(1 - \varepsilon) R_g T_g} \cdot \frac{1}{\xi_Q} \quad (\text{kg}) \quad (1)$$

其中:

T_g : 点火燃气温度 (K);

R_g : 点火燃气的气体常数 (J/(kg·K));

* 收稿日期: 1999-11-18
基金项目: 部委级重大科研项目资助
作者简介: 孙丕忠 (1969), 男, 博士生, 讲师

ε : 点火燃气中固体微粒的百分比;

p_{ig} : 点火压强 (Pa);

V_c : 包括喷管收敛段在内的燃烧室初始自由容积 (m^3);

ξ_Q : 热损失系数, 由实验确定, 一般 $\xi_Q < 1$ 。

点火药盒为钢制圆形药盒, 其盒盖开孔, 点赛璐珞密封, 盒盖与药盒由螺纹联接。

2 影响点火延迟时间散布的规律及主要因素

点火延迟时间为从点火电路接通到建立起初始平衡压强的时间间隔^[1] (或从点火电路接通到推力或压强达到额定值的 80% 的时间间隔^[2])。因而, 建立初始平衡压强时间的散布也即为点火延迟时间

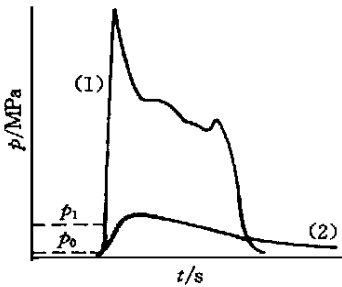


图1 压力曲线比较

Fig. 1 The pressure-time curve of analog ignition test and the pressure-time curve of static firing test

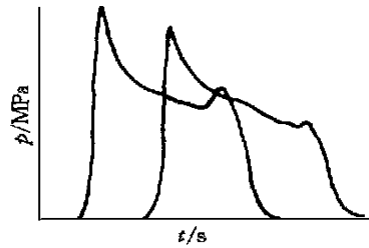


图2 压力曲线

Fig. 2 The pressure-time curve of minute solid rocket motor

的散布。图1将相同点火条件(相同的点火药盒、相同的点火药及相同的点火药量、相同的装填方式)的热试车试验压强曲线(1)与模拟点火试验压强曲线(2)进行了比较,从图中可以看出在燃烧室压强达到 p_0 以前热试车试验压强曲线(1)与模拟点火试验压强曲线(2)完全重合,从 p_0 以后热试车试验压强曲线(1)急剧上升,而模拟点火试验压强曲线(2)上升平缓,这是因为热试车试验中当燃烧室压强达到 p_0 时主装药已开始局部被点燃,主装药燃气迅速释放而充满燃烧室,而模拟点火试验中燃烧室内的钢制假药柱不参与燃烧所致。定义 p_0 为初始点火压强,即主装药某一局部表面刚被点燃时燃烧室内的压强值。于是,点火延迟时间可以分为以下三部分组成,即 $t_{延} = t_{1引火头} + t_{2点火器} + t_{3主装药点燃}$,式中, $t_{1引火头}$ 为从点火电路接通到电引火头熔段的时间间隔; $t_{2点火器}$ 为从电引火头熔段开始到建立初始点火压强的时间间隔; $t_{3主装药点燃}$ 为从建立初始点火压强到建立初始平衡压强的时间间隔。其中 $t_{1引火头}$ 及其散布由电引火头产品特性决定,对选定的电引火头在正常电流情况下熔段时间极短($< 1ms$),因而 $t_{1引火头}$ 散布也极小。对燃速较快的主装药($> 20mm/s$),从主装药局部被点燃到建立初始平衡压强的时间间隔也很短,即 $t_{3主装药点燃}$ 很短,因而其散布也很小。因此,对电引火头发火时间短主装药燃速较快的微小型固体火箭发动机,其点火延迟时间的散布主要集中在从电引火头熔段开始到建立初始点火压强的时间散布上,即 $t_{2点火器}$ 时间散布,如图2所示。这也表明:主装药通气面积、初始自由容积、喷管堵塞强度、推进剂表面状态的适度偏差对点火延迟时间散布影响很小。而影响 $t_{2点火器}$ 时间散布的主要因素可通过模拟点火试验确定,这样就可大量减少热试车试验次数,极大降低试验经费。

影响 $t_{2点火器}$ 时间散布的可能因素有三个:(1)点火药量散布的影响;(2)点火药装填方式的影响;(3)黑火药和烟火剂混合均匀程度的影响。试验发现:

(1)黑火药与烟火剂混合的均匀程度对点火延迟时间及其散布影响较大,是影响 $t_{2点火器}$ 时间散布的主要因素。纯烟火剂的点火延迟时间明显比纯黑火药的点火延迟时间长,这主要与烟火剂和黑火药在发火点温度及燃速上有较大差异相关。对所设计的点火器,用纯烟火剂点火时点火延迟时间均值为

39.8ms、偏差为 13.0ms; 用黑火药与烟火剂按 2: 1 的重量比混合作点火药时点火延迟时间均值为 34.8ms、偏差为 11.7ms; 用纯黑火药点火时点火延迟时间均值为 18.2ms、偏差为 3.1ms (以上偏差均按 3σ 原则统计得出)。因此, 对燃烧室压强高、点火延迟时间散布要求较小的微小型固体火箭发动机宜采用纯黑火药点火。

(2) 用纯黑火药点火时点火药量在天平精度范围内的称量误差对点火延迟时间散布影响很小。

(3) 对所设计的点火器点火药装填方式对点火延迟时间散布影响很小。这是因为点火药是装在钢制药盒中, 其装填密度主要靠药盒盖的螺纹旋进量来控制, 装填点火药的“捣匀”方式虽比“摇匀”方式“紧”, 但两者的差异相对较小。

3 结论

(1) 对电引火头发火时间短主装药燃速较快的微小型固体火箭发动机, 其点火延迟时间的散布主要集中在从电引火头熔段开始到建立初始点火压强的时间散布上, 即 $t_{2\text{点火器}}$ 时间散布。影响 $t_{2\text{点火器}}$ 时间散布的主要因素可通过模拟点火试验确定, 这样可大量减少热试车试验次数, 极大地降低试验经费。

(2) 虽然在黑火药中加入适量烟火剂有助于平滑初始压强峰, 但对于燃烧室压强较大 ($> 20\text{MPa}$) 的微小型固体火箭发动机, 这种平滑作用不明显, 而且, 在黑火药中加入适量烟火剂会导致较大的点火延迟时间散布。因此, 对燃烧室压强高、点火延迟时间散布要求较小的微小型固体火箭发动机宜采用纯黑火药头部点火。大量实验表明, 这种点火方案能满足微小型固体火箭发动机点火性能要求。

参考文献:

- [1] 陈汝训. 固体火箭发动机设计与研究 (下) [M]. 北京: 宇航出版社, 1992.
- [2] 李健松等. 固体火箭发动机设计 [M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 1991.