

药盒式可燃点火器的 设计和应用*

屠小昌

(西安长峰机电研究所, 西安, 710065)

摘 要: 可燃点火器常被用作中小型固体火箭发动机的点火器。阐述了可燃点火器的分类、特点和设计内容, 并给出了可燃点火器的应用实例。

主题词: 固体推进剂火箭发动机, 点火器, 可燃性点火具

分类号: V435.12, V512.5

THE DESIGN AND APPLICATION OF CASE-TYPE COMBUSTIBLE IGNITOR

Tu Xiaochang

(Xi'an Chang Feng Electro-Mechanical Inst., Xi'an, 710065)

Abstract: Case-type combustible ignitor is often used as ignitor in solid propellant rocket motors with middle or small size. Its type characteristics design method, and application are presented in the paper.

Subject terms: Solid propellant rocket engine, Igniter, Igniter with combustible case

1 引 言

可燃点火器减少了发动机的消极重量, 因而在点火器设计中得到了广泛应用。可燃点火器的结构形式一般为药盒式(或钵式), 按其壳体材料可分为多种类型, 最常用的是赛璐珞(或硝化棉)型和近年出现的可燃药筒型点火器。可燃点火器具有下列特点:

(1) 由于点火药盒采用可燃轻质材料, 密度小, 相对重量轻。

(2) 赛璐珞型点火器的药盒耐压小(一般不大于1.5MPa), 药盒上一般不开孔, 发火管(或点火头)发火点燃点火药后点火药燃气炸开(或撕裂)药盒, 把燃烧的点火药粒子散布到主装药表面上, 从而全面引燃发动机主装药。但因有部分未点燃点火药粒子而降低了点火效果, 而且点火曲线重现性差, 只适于点燃易点燃的黑火药, 不适于点燃难点燃的高能点火药。可燃药筒型点火器的药盒可承受较高的压力(2.5~4.0MPa), 药盒上开有一定数量的传火孔, 发火管发火点燃点火药后点火燃气冲破药盒孔上的密封薄膜, 全面引燃发动机装药。既适于点燃黑火药, 亦适于点燃高能点火药。

(3) 点火器一般为不可拆卸式整体结构, 粘结固定在推进剂装药或发动机壳体上。

(4) 可燃点火器燃烧后形成的碎片不存在损伤或堵塞发动机喷口的危险, 因此很适用于中小直径喉道发动机的点火。

2 可燃点火器的设计及有关计算

2.1 药盒设计

赛璐珞(硝花棉)药盒一般选取表面光洁无瑕疵的板材, 用热冲压方法冲压成圆台或圆柱状后粘结而成。赛璐珞(硝化棉)的密度为 0.85g/cm^3 , $J=40\text{MPa}\sim 50\text{MPa}$, $\epsilon=13\%\sim 20\%$ 。

可燃药筒药盒应按调整的火炮用可燃药筒材料配方, 选用先进的抽滤型成型工艺成型。可燃药筒材料密度为 $0.9\text{g/cm}^3\sim 1.1\text{g/cm}^3$, $\sigma=16\text{MPa}\sim 20\text{MPa}$, $\epsilon=4\%\sim 10\%$ 。

药盒的壁厚一般可用圆筒体的分析方法计算。假设药盒的外壁半径为 b , 内壁半径为 a , 忽略发动机起始燃气的外压力 p_r , 则当 $\delta < b/10$ 时, 即可按薄壁圆筒计算方法。按照第四强度理论, 则壁厚 δ 应满足如下条件: $\delta = (3^{0.5} p_i \times b) \div 2 [\delta]$ 。式中, p_i 为药盒内的点火燃气压力; 当 $\delta \geq b/10$ 时, 应按厚壁圆筒的应力分析计算方法。按照第四强度理论, 可得: $[\delta] \geq (p_i \times a^2) \{ [(3 \times b^4) \div r^4] + 1 \} \div (b^2 - a^2)$ 。式中, r 为筒体半径, $a \leq r \leq b$ 。

上述计算只是一个近似的估算值, 它未考虑到短期内的点火药燃气和发动机燃气对筒体的热影响。综合工艺等因素, 一般情况下取可燃药筒的厚度 $\delta \leq 5\text{mm}$, 赛璐珞的厚度 $\delta \leq 0.7\text{mm}$ 。

赛璐珞药盒表面上不开传火孔。根据经验, 可燃药筒盒传火孔的总面积占药盒表面积的 $4\%\sim 15\%$, 孔径不大于 5mm 。

2.2 点火药选取

通常双基推进剂对应黑火药点火药, 复合推进剂对应高能点火药, 如硼-硝酸钾、镁-聚四氟乙烯点火药等。对于药盒式点火器, 一般把点火药制成粒子型, 粒径视发动机参数而定, 通常不大于 10mm 。

点火药量的估算公式很多, 各有一定的局限性, 现推荐使用如下公式:

$$M_{ig} = (1/K)(V_{c(i)} \times p_i) / ((1 - \epsilon) \times (R/M) \times T_{ig})$$

式中 $K = 0.28 \times (L_p)^{0.5} \times (A_p)^{-0.25}$, K 为装药形状修正系数, 不小于 1, 当计算值 $K < 1$ 时, 取实际值 $K = 1$ 。 M_{ig} 为点火药量; p_i 为点火压强, 取推进剂的临界燃烧压强 p_{cr} , 对于双基推进剂一般取 $p_{cr} = 4.5\text{MPa}$; 对于复合推进剂一般取 $p_{cr} = 1.5\text{MPa}$; $V_{c(i)}$ 为发动机燃烧初始自由容积; ϵ 为点火药燃气中固体微粒的百分数; R 为通用气体常数; M 为点火燃气平均分子量; T_{ig} 为点火药燃气温度; L_p 为发动机装药长度; A_p 为发动机初始通气面积, 一般取发动机的最小初始通气面积。

2.3 点火器的粘结要求

可燃点火器通常布置在发动机前端, 粘结在发动机金属前封头上或装药前端面上。为了防止发动机刚点火启动时点火器整体脱落, 或在非设计位置炸裂(撕裂)意外堵塞发动机燃气通道造成局部压力突升, 因而必须核算发动机与点火器之间、点火器药盒之间的粘结力, 要求发动机与点火器之间的粘结力 F_1 大于药盒体之间的粘结力 F_2 , 药盒体之间的粘结力 F_2 大于设计的点火器炸裂(撕裂)力 F_3 。 F_1 和 F_2 可以粘结面积与拉伸(或剪切)粘结强度的乘积表示, F_3 则应大于或等于炸裂处点火器断面积与点火器内部最大燃气压力的乘积。这是所用静态数据的估算, 选取粘结胶时通常选用与点火药盒材料相近的赛璐珞胶、硝化棉胶或其它

可燃粘结胶。

2.4 电发火管（电点火头）设计及选择

为了减少弹上电源能量的供给，一般选用中等电阻（ $0.8\Omega\sim 1.2\Omega$ ）电发火管。通常把电发火管设计成双桥电路，并且在点火器中两个发火管并联，从而确保了发火可靠性。要求依据不同种类的点火药和点火药量，选用不同型号的发火管，以提供足够的发火能量。另外电发火管还应满足对摩擦、冲击、振动等敏感性低，防潮、防水等其它要求。

2.5 发动机点火保险机构

为了满足导弹发动机防静电、防射频和 $1A-1W-5min$ 不发火技术指标，通常选用低通的 RC 或 LC 无线电干扰滤波器与点火器串接方案。低通无线电干扰滤波器的作用有：（1）构成直流点火电流的通路；（2）有效地阻止了射频电磁能量的干扰；（3）具泄放静电的能力。采用了低通滤波器的电点火线路中，容易实现 $1A-1W-5min$ 不发火的技术要求，构成了钝感电爆系统，因而减少了弹上电源能量的供给，增强了产品的使用范围。

另外，随着技术的不断进步，小型激光器点火技术已开始应用于具体的发动机型号中，如美国的先进动能导弹点火系统。该种点火系统的点火器中没有电桥丝（带）发火线路，因而无需串接低通滤波器，彻底排除了外界杂散电流、无线电信号和静电对发动机点火器的干扰，确保了发动机的安全可靠点火。小型激光器点火技术是一种未来的发展方向。

3 应用实例

某固体火箭发动机，装药为四组元复合推进剂，贴壁式浇注，头部点火方式。点火器最初设计为铝药盒式点火器^[6]，拧紧在发动机金属前堵头上。点火器内装镁-聚四氟乙烯高能点火药粒子和可燃发火管，药盒表面开有传火孔，点火器上的传火孔用涤纶薄膜粘结密封，堵盖与药盒采用粘结连接方式。发动机热试车后发现试验 $p-T$ 曲线上存在有二次峰及小台阶扰动现象。此后，用可燃药筒药盒代替铝药盒，把点火器粘结固定在金属前堵头上，发动机试验 $p-T$ 曲线上消除了上述异常现象，取得了满意的点火效果，当该发动机由单室单推力改为单室双推力时，用可燃药筒型点火器同样取得了满意的点火效果。

参 考 文 献

- 1 王光林,蔡 峨等编. 固体火箭发动机设计. 航空专业教材编审室,1985
- 2 李纯厚等译. 可燃药筒. 北京:国防工业出版社,1990
- 3 孙治平. 某固体火箭发动机低通滤波技术说明书. 航天工业总公司 210 所,1990
- 4 刘于儒,刘 劲. 激光点火技术在固体火箭发动机上的应用展望. 中国航天工业总公司第四研究院情报研究报告(二),1993
- 5 王永寿译. 先进动能导弹发动机壳体复合材料技术. 飞航导弹,1993(10)
- 6 屠小昌,张素君,王健生. 可燃药筒在某型号发动机点火器中的应用. 推进技术,1996(2)