

2 国外低易损性固体火箭发动机研制概况

1984 年,美国海军为了改善弹药贮存和处理的安全性能,以及战机、战舰的战斗生命力,提出了包括低易损性发动机的钝感弹药方针。要求武器弹药在遇到意外的热、撞击、电荷、冲击波等刺激时,不造成比燃烧更剧烈的反应。为此,美国海军开始实施先进的钝感弹药发展计划(IMAD),安排海军武器中心等单位积极进行研制;同时下命令所有海军舰载导弹都要降低敏感性,至 1995 年生产的武器都要符合低易损性的军用标准。1988 年 4 月 12 日海陆空三军达成联合协议(JSRIM/MOI),要求 1993 年 10 月以后全部武器系统的首件装备和 1995 年 10 月以后生产的武器都要符合低易损性军用标准。1989 年 1 月,国防部确定了钝感武器的要求,明确规定了试验条件和准则。至此,美国统一了固体火箭发动机及战术武器的低易损性研究试验要求和规范。

1987 年英国、加拿大、澳大利亚和美国的许多科学家,研讨了弹药和固体发动机对枪弹/碎片撞击、静电荷放电、成形装药喷气冲击、慢速自燃、快速自燃和感应爆轰的响应;并建议在初步获得共识的基础上,制订一个计划以进一步研究反应机理及探索预测响应结果的可能性。1988 年 7 月,已取得了较显著的进展。在以后几年的努力中,技术合作计划的 WAG11 小组对高能材料危险性及其与弹药生存力的关系得出了结果,确定了危险性评价定则和协议。

在北大西洋公约组织及其许多成员国之间达成对钝感弹药要求的共识后,建立了钝感弹药信息中心(NIMIC),为各国提供数据和分析服务。同时,对耗资巨大的固体火箭发动机低易损性和钝感弹药的试验方法进行了研究,逐渐形成了通用的评估方法。

3 固体发动机低易损性试验与评估

正在实施的美国国防部标准 DOD-STD-2105A(海军)规定,每一武器系统都要进行如下 5 项全尺寸发动机对刺激的响应试验:(1)快速自燃试验,(2)慢速自燃试验,(3)枪击(弹丸撞击)试验,(4)碎片撞击试验,(5)感应爆轰试验。此外,还需进行静电或电磁影响试验。

3.1 小规模实验室试验

鉴于适当的模拟筛选试验数据加之工程判据,可提供所需的信息。因而在固体发动机的低易损性研究过程中,发展了一系列的小规模实验室模拟试验。

(1)弹道撞击室(BIC)实验。美国海军武器中心研制的 BIC 试验装置,是借测量推进剂试样在撞击中释放的能量和产生的压力上升速率,来度量推进剂危险性响应的。推进剂受撞击所释放的能量,可用反应产生的热气体对弹丸所做的功来度量。压力传感器可测出反应气体的压力-时间曲线和弹丸的能量。

(2)霍普金森棒和猎枪试验。这两个方法都是用以测定推进剂高速撞击敏感性的高应变速率($10^3\text{s}^{-1}\sim 10^4\text{s}^{-1}$),并可用来研究点燃和引燃事件。这两种试验的结果,除非常软的推进剂外,都是可比较的。用这个试验与端面燃烧火箭发动机的弹丸撞击野外试验相比,两者之间的相关性是好的。尽管弹丸撞击试验中其他因素(如流体动力学冲击和热材料的高速穿透)都对响应起着作用,但总的影响和相对顺序与小规模试验是相关的。

(3)小规模模拟间隙试验。高能材料冲击波感应危险性的间隙试验,以不同厚度的阻化介质传递爆轰来测定高速冲击波的起爆感度。间隙试验与诸多因素有关,包括加载到高能材

料上的压力-时间、高能材料的尺寸和约束、临界直径和冲击反应性。用这少量的试样进行冲击敏感性试验,即可得到有用的数据,并可辅助确定高能材料的临界直径。

(4) 自燃试验。赫克里斯公司用有限考察法和小型烘箱法进行了自燃响应的试验。结果认为,慢速自燃领域的问题尚需继续研究,因为固体推进剂的自燃响应非常复杂,并对组分变化很敏感。

(5) 电火花与静电放电试验。电火花敏感试验,一般以美国矿务局对炸药的试验方法为基础,用电容放电法测定。但该方法对推进剂的试验一般不呈现反应,只有在用较大的样品、较长的火花时间和较高的火花能量时,对典型的推进剂试验才能有可靠的结果。Bellerby 等研究了影响静电放电引燃复合推进剂的因素,求得一定电容贮能下引起点燃的电路时间常数,以此作为推进剂静电放电敏感性的比较。

3.2 评估方法

测定推进剂小规模试验的各种参数和发动机受各种刺激的危险性响应,可以得到给定发动机的危险性评估/响应图。它以逻辑为评估基础,并与武器在真实环境中承受真实威胁直接关联,比功能试验更有价值,已作为初步设计中预先考虑潜在危险性的协议。

(1) 碎片撞击危险性评估。碎片撞击在由壳体壁-推进剂装药-壳体壁的理想化的发动机上,是冲击波瞬间跃迁为爆轰,还是穿透壳体产生爆炸或燃烧,还是反弹/跳弹不引起反应,需按碎片直径、推进剂临界直径、碎片的质量和速度、推进剂燃速、燃烧面积、压力和排气大小等数据,根据响应图进行评估。

(2) 静电放电危险性评估。美国海军武器中心为评估推进剂与弹药的静电荷放电敏感性,在SNPE初步工作的基础上,改进和研制了一个5步逻辑/协议。评估任何推进剂的静电荷放电敏感性必须完成以下程序:渗流系数计算和电阻率、介电常数、介电击穿和阻-容放电测量。

4 低易损性固体发动机设计

4.1 发动机壳体设计的低易损性考虑

试验表明,铝合金和钢壳体发动机受到碎片撞击时,有爆炸和压力上升引起壳体爆破的倾向,铝合金壳体在碎片速度较低时有可能仅仅减弱到燃烧;条带层压板壳体在大多数情况下为燃烧,只是在低温时有中等程度的爆炸。复合材料壳体对一般火灾加热有很强的绝热性;中弹或受金属碎片撞击时不会产生火花,可以降低壳体内推进剂的着火概率。即使内部的推进剂着火爆炸也不会有硬片飞出,可以减轻事故危害程度。可见,发动机壳体的复合材料化是对低易损性有重大贡献的技术。选择壳体易自破设计和通气装置设计可降低危险性。条带层压板以合成树脂粘接成圆形壳体,受热或中弹后层压板的粘接面分离,使推进剂露出燃烧,可减小损害。Vetter提出了钢质火箭发动机壳体采取隔热涂层加局部易破实现低易损性方案。涂层是一种隔热涂料或一种膨胀材料,能有效保护火箭发动机,未经涂层覆盖的部分为裸露区。这种耐火的发动机能在易着火的范围内安全使用,即能经受一个小的局部的壳体破裂而防止爆炸的危险。

4.2 低易损推进剂

粘合剂的结构与特性对推进剂的低易损性有较大的影响。对具有优良力学性能的耐损推进剂,通常要求粘合剂预聚体具有吸收能量的骨架,在正常交联间有长的柔韧性结构。聚醚预聚体是最有希望的粘合剂,因为聚醚预聚体具有上述要求的主链结构,有优异的热稳定性、

柔韧性,能满足海军 IMAD 计划的要求,能抗拉长和撞击的损害,能吸收机械能,从而降低起爆或引燃敏感度。在低易损推进剂的有效设计中,热和机械应力下个别组分的机械特性预测是非常重要的。同时应能预测个别组分在发生脱粘的应变范围内的体积特性和应力-应变,并能以适当的工艺设计避免此问题。

4.3 外部防护装置

在固体发动机和弹头外部的膨胀(耐火)涂层,也是一种外部防护缓解技术,在快速自燃条件下可使标准燃料反应时间延长 10min 左右。用各种钢屏障还可减轻碎片撞击的影响,例如,6mm 的钢屏障将使 74g 的碎片的撞击危险移出爆轰区,18mm 钢屏障对这些碎片的影响不仅可移出爆轰区,而且还移出燃烧到剧烈反应区。

5 结论和建议

迄今为止,战术导弹固体发动机要经过一系列低易损性试验考核,已成为公认的方针。由上述综合分析,可提出如下的结论和发展建议。

(1) 确定低易损性目标和方针

低易损性涉及热、机械和电磁等各种刺激响应,这一问题的研究是一项复杂的技术,需耗费大量资金。在认识实现低易损性方针的重要性和迫切性的基础上,应一方面跟踪国外的技术发展,借鉴已取得的理论研究成果和有效的试验方法,另一方面逐步扩展炸药和推进剂安全性的研究领域,一项一项地指导低易损性固体发动机的研制,达到少投入多发展的目的。

(2) 建立模拟试验方法并逐步标准化

在不断完善现有推进剂危险性试验标准的基础上,开始研究建立能表征危险性综合响应(以低易损性为目标)的模拟试验方法,然后逐步标准化。在战术导弹固体推进剂配方研究与组合筛选中,尤应尽快向这一目标努力。

(3) 研究建立危险性评估通用方法

危险性评估方法对低易损性固体发动机研制十分有用。鉴于综合响应的复杂性,影响因素多,所需试验数据又多,因而评估方法需建立在深入研究试验的基础上。为此,应有目的地进行一些探索,寻求不同因素的影响,积累各种研究试验结果。同时利用国外的研究成果,分析和验证各类模型和程序的可用性,为建立适合我国国情的评估方法奠定基础。

(4) 低易损性设计要求与准则

在固体发动机的低易损性设计中,主要应选择对高能刺激源响应小的壳体材料。壳体的复合材料化是降低易损性的重要方向。发动机壳体容易自破又是实现低易损性的一个途径。因而隔热和排气装置是设计时应遵循的重要准则。

选用低易损性推进剂,提高推进剂本身的耐热性,降低推进剂的撞击感度,又是解决固体发动机低易损性的关键。在推进剂研制中应特别注意降低感度的研究,发展优良力学性能的坚韧推进剂。

总之,战术导弹固体发动机的低易损性研究涉及多种技术,其中低敏感性的推进剂是 90 年代固体推进剂所面临的一个最难解决的问题。现在各国都加强了低易损性的研究,预计,为满足实战需要的低易损性技术将取得新的进展。

金属化凝胶推进剂的性能评估*

陈志刚 杨荣杰

(北京理工大学化工与材料学院, 北京, 100081)

摘要: 综述了金属化凝胶推进剂的需求背景和配方的基本特点, 重点对金属化凝胶推进剂的比冲、载荷性能、燃烧性能、稳定性能和流变性能进行了综合评价, 指出了发展金属化凝胶推进剂的重要性。

关键词: 胶凝火箭推进剂, 金属推进剂, 凝胶, 推进剂性能

分类号: V512

EVALUATION ON PERFORMANCE OF METALLIZED GELLED PROPELLANT

Chen Zhigang Yang Rongjie

(School of Chemical Engineering and Material Science, Beijing Inst. of Technology, Beijing, 100081)

Abstract: Basic formulation properties of metallized gelled propellant are reviewed. Its impulse, payload capability, combustion characteristics, stability properties and rheological properties are evaluated. It is considered that research of metallized gelled propellant is important.

Subject terms: Gelled rocket propellant, Metal propellant, Gel, Propellant performance

1 引言

金属化凝胶推进剂 (metallized gelled propellant) (以下简称 MeGe 推进剂), 即将金属添加剂悬浮在凝胶化的液体推进剂中形成的一种推进剂^[1,2]。它的发展已有几十年的历史^[3], 但真正受到重视和全面深入的研究是近十年左右的事, MeGe 推进剂的特点是比冲和密度高, 推进剂的可控性和安全性好^[4,5]。

近十多年里, 美国空军、国防部以及 NASA 致力于研究运载能力超过现有惯性级推进剂 (IUS)、大力神-IV 和 Cetaur G-Primed 的推进剂系统^[4,6], 这其中 MeGe 是主要的研究对象。MeGe 推进剂用于火箭上面级可以在一定程度上增加 LEO-GEO 的输送能力, 在星际飞行中可以大幅度缩短飞行时间。此外, 未来导弹要求具有灵巧的推进剂, 具备依指令瞬时反应、改变冲量、加速、减速、转向、停机、重新启动等方面的能力^[7]。鉴于 MeGe 推进剂不易泄漏, 对穿透推进剂贮箱的高能粒子 (如空间破片或地面爆炸碎片等) 不敏感, 使用及操作简易、安全, 同时又具有液体推进剂的可控性等优点, 因而在寻找灵巧推进剂的工作中, 研究方向转向了 MeGe 推进剂。

2 MeGe 推进剂的配方组成与能量特性

在凝胶推进剂体系中, 氧化剂常用液氧以及 H_2O_2 , ClF_3 , N_2O_4 , IRNFA (抑制的红色发

* 收稿日期: 1997-09-12, 修回日期: 1997-12-06