

文章编号: 1001-1455(2004)06-0499-04

固体火箭推进剂起爆技术*

于川 池家春 门举先 仝延锦 桂毓林 张远平

(中国工程物理研究院流体物理研究所冲击波物理与爆轰物理实验室 四川 绵阳 621900)

摘要: 针对便携式防空导弹的聚醚复合推进剂进行了余药起爆试验。试验表明, 在聚能装药起爆器作用下成功地起爆了推进剂药柱。该技术对战斗部-发动机一体化设计有重要应用价值。

关键词: 爆炸力学 起爆技术 板痕试验 推进剂 超压

中图分类号: O381

国标学科代码: 130·3510

文献标志码: A

1 引言

火箭推进剂是为导弹飞行提供动力的含能材料。通常情况下, 当导弹飞达目标后, 火箭推进剂的使命完成。但对于像便携式防空导弹一类的小型导弹, 当用于攻击低空目标, 到达目标时, 发动机内还有大量的推进剂余药。一般情况, 便携式防空导弹的推进剂余药可达 1kg 以上, 而战斗部的炸药仅约 1kg。如果将推进剂余药利用起来, 产生爆炸反应, 将在较大的程度上提高导弹的综合毁伤威力。为此, 近年来, 国外军事强国将此作为小型导弹的战斗部-发动机一体化设计的关键技术之一, 开展了深入的研究。俄罗斯已在“针”式便携式防空导弹中应用了推进剂余药起爆技术, 固体火箭推进剂余药起爆后, 爆炸的 TNT 当量系数达 1.1 以上^[1~3]。

针对小型便携式防空导弹, 本文中开展固体火箭推进剂余药起爆技术的初步研究。通过推进剂起爆装置设计和试验, 起爆聚醚复合推进剂药柱, 试图为小型便携式防空导弹的战斗部-发动机的一体化设计奠定基础。

2 推进剂爆轰性能测试与板痕试验

为检验固体火箭推进剂药柱在起爆装置作用下的爆轰性能, 以及推进剂药柱爆轰的作功能力, 进行了三发推进剂爆轰性能测试与板痕试验, 试验装置见图 1。试验使用的固体火箭推进剂是由高氯酸铵、RDX、铝粉、增塑剂、胶粘剂等组成的密度为 1.784g/cm^3 的聚醚复合推进剂, 药柱直径为 68mm, 外带 1mm 厚的发动机壳体, 试验时, 加工成 20mm 或 40mm 长的多段药柱, 总长度约为 230mm, 装药总质量约为 1.35kg。

在推进剂装药的上端, 设置了固体火箭推进剂的起爆装置。该起爆装置是一个外形尺寸为 $\varnothing 70\text{mm} \times 73\text{mm}$ 的聚能装药, 其为炸药装药为密度 1.71g/cm^3 的 RHT-901 炸药, 装药质量约为 296g。该聚能装药起爆器的药型罩采用曲面形状设计, 材料为无氧铜。

为检验推进剂药柱爆轰的作功能力, 在推进剂装药的底端设置了钢验证板, 以测试推进剂装药爆炸在验证板上的凹痕深度。验证板材料为 45 号钢, 尺寸为 $\varnothing 200\text{mm} \times 60\text{mm}$ 。

采用电雷管、 $\varnothing 20\text{mm} \times 5\text{mm}$ 太安传爆药柱和聚能装药起爆器起爆推进剂装药。

由锰铜应力传感器测试推进剂装药内不同位置处不同时刻的压力, 爆轰速度和压力信号用数字示波器记录见图 2, 测得推进剂装药内爆轰传播速度平均为 5.54km/s , 压力平均为 11.6GPa 。

三发试验中, 推进剂爆炸后钢验证板上形成凹痕见图 3, 中心坑由聚能装药起爆器射流作用产生。

* 收稿日期: 2003-08-27; 修回日期: 2004-08-13

作者简介: 于川(1961—)男, 博士, 研究员。

万方数据

三发试验凹痕直径平均为 76.7mm。由曲线拟合得到 3 发板痕试验的最大凹痕深度分别为 5.62, 6.28, 5.61mm, 凹痕深度平均为 5.84mm。

另外,进行了 3 发与推进剂装药直径和装药质量相同、带发动机壳体的 TNT 炸药的板痕试验,测试 TNT 炸药爆炸后在钢验证板上的凹痕深度,与推进剂装药爆炸后在钢验证板上的凹痕深度对比,确定推进剂的作功能力。

三发 TNT 炸药的板痕试验的凹痕直径平均为 89.4mm,深度分别为 12.2, 12.1, 12.1mm, 深度平均为 12.1mm。

为考核聚能装药起爆器本身对板痕试验的影响,进行了 1 发粘土对比板痕试验。长度 230mm 的发动机壳体内装满密度 $1.92\text{g}/\text{cm}^3$ 、质量 1.648kg 的粘土,粘土上端面放置聚能装药起爆器。本试验装置中,除发动机壳体内装粘土外,其余状态与推进剂的板痕试验、TNT 炸药的板痕试验一致。

粘土对比板痕试验回收的钢验证板上,除中心有聚能装药起爆器射流形成的小坑外,表面无任何凹坑痕迹,说明聚能装药起爆器本身对板痕试验不产生影响,推进剂板痕试验钢验证板上的凹坑,完全由推进剂爆炸作用引起。

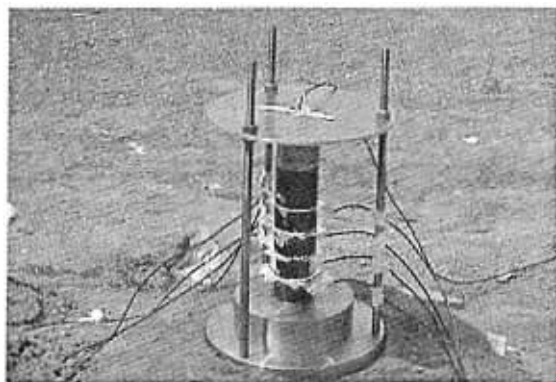


图 1 推进剂爆轰性能测试与板痕试验装置

Fig.1 Experimental setup for the propellant detonation property and dent test

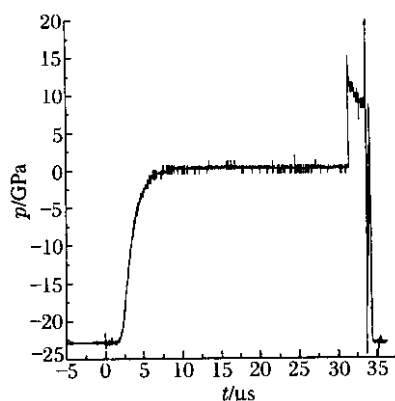


图 2 推进剂的爆轰速度和压力的示波器记录信号

Fig.2 Oscillogram of detonation velocity and pressure of the propellant

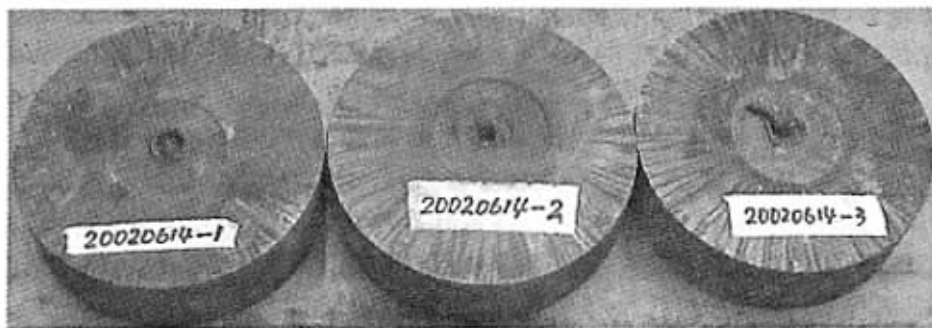


图 3 推进剂爆炸后在钢验证板上形成的凹痕

Fig.3 The concavity on steel plate after the explosion of propellant

3 推进剂爆炸冲击波超压测试

小型便携式防空导弹的发动机壳体仅约 1mm 厚,即使推进剂发生爆轰,也难以使发动机壳体形成毁伤威力较高的破片。推进剂余药将主要以爆炸冲击波超压作为毁伤手段,来提高小型便携式防空导弹的综合毁伤威力。

为检验推进剂的爆炸冲击波毁伤威力,进行了 2 发推进剂装药的爆炸冲击波超压测试试验,试验布

置见如图4(a)。在聚能装药起爆器的下方安装1个发动机壳体,发动机壳体内装有约1.3 kg的推进剂装药,固定在超压测试杆上。由聚能装药起爆器起爆推进剂装药。推进剂装药周围1.0,1.5,2.5 m处布置了多个距地面3 m的爆炸冲击波超压测试探头。用传感器进行推进剂爆炸冲击波超压测试。试验得到推进剂炸药的爆炸冲击波超压的典型测试信号见图4(b)。

为标定爆炸冲击波超压测试系统,在进行推进剂装药的爆炸冲击波超压测试前,利用1 kg的RHT-901炸药球进行了2发爆炸冲击波超压标定试验。同时,为获得推进剂装药的爆炸冲击波超压增值,还进行了2发聚能装药起爆器的爆炸冲击波超压测试试验。

根据RHT-901炸药球的爆炸冲击波超压标定、聚能装药起爆器的爆炸冲击波超压测试,和推进剂装药的爆炸冲击波超压测试试验的超压测试信号,经分析处理2发试验中1.3 kg的推进剂装药,爆炸冲击波超压TNT当量为2.039 kg,推进剂装药的爆炸冲击波超压TNT当量系数为1.568。

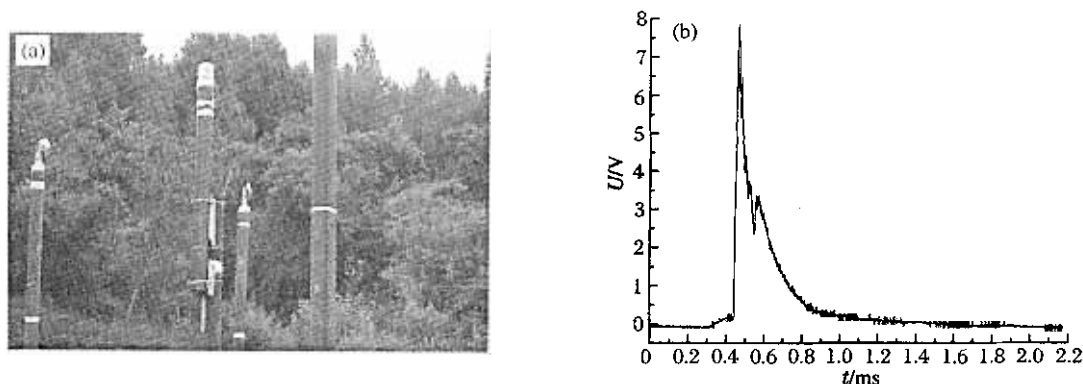


图4 推进剂装药的爆炸冲击波超压测试装置布置照片及测试信号

Fig. 4 Experimental setup and oscillogram of excessive pressure test for the propellant

4 结 论

(1)推进剂的起爆与板痕试验、爆炸冲击波超压测试结果表明,聚能装药起爆器可成功地起爆推进剂,推进剂的爆炸有可观的毁伤威力。

(2)按不同的毁伤形式,推进剂具有不同的TNT当量系数。板痕试验中推进剂的TNT当量系数为0.48。爆炸冲击波超压测试得到推进剂的TNT当量系数达1.568。推进剂装药1.3 kg时,发动机爆炸残骸的散布范围达50 m以上。

(3)固体火箭推进剂余药起爆技术具有重要的应用价值,可直接用于便携式防空导弹的战斗部-发动机一体化设计。如果在便携式防空导弹的战斗部中增设1个聚能装药起爆器,起爆推进剂余药,可在相当大程度上提高爆炸冲击波超压毁伤威力。

感谢李斌、李国洋、杨晋晏、王广军、龚晏青、郝建中、张光升、高宁、林俊等同志在本文工作中给予的合作和帮助。

参考文献:

- [1] Murphy M J. Shaped Charge Penetration in Concrete: A Unified Approach[R]. UCRL-53393, 1983.
- [2] Murphy M, Weimann K, Doeringsfeld K, et al. The effect of explosive detonation wave shaping on EFP shape and performance[A]. 13th International Symposium on Ballistics[C]. Stockholm, 1992: 29-36.
- [3] Blache A, Weimann K. Generation of different detonation wave contours[A]. 16th International Symposium on Ballistics[C]. San Francisco: CA, 1996: 337-346.

**An experimental research on initiating technique
of solid rocket propellant**

YU Chuan* , CHI Jia-chun , MEN Ju-xian , TONG Yan-jin ,
GUI Yu-lin , ZHANG Yuan-ping

(*Laboratory for Shock Wave and Detonation Physics Research , Institute of Fluid Physics ,
China Academy of Engineering Physics , Mianyang 621900 , Sichuan , China*)

Abstract : This paper introduces the initiating experimental study on the remainder of propellant that is made of the ployether composite propellant and used in the portable anti-aircraft missile. Results indicated that the propellants were successfully initiated under the action of the shaped charge. Such a technique could be useful for the application of warhead and engine integral design.

Key words : mechanics of explosion ; initiating technique ; dent test ; propellant ; excessive pressure

* Corresponding author : YU Chuan
Telephone : 0816-2484164

**“ 中国力学学会学术大会 2005 ”
——爆炸力学学术分会征文通知**

中国力学学会将于 2005 年 8 月 26 日 ~28 日在北京举办“ 中国力学学会学术大会 2005(CCTAM 2005) ”。大会将设 12 个分会场和多个 mini-symposium , 爆炸力学学术分会由北京理工大学负责。

会议内容

- 1. 含能材料起爆机理与爆轰理论 ;
- 2. 高速与超高速碰撞问题 ;
- 3. 动态载荷作用下材料的损伤、破坏和失效研究 ;
- 4. 材料与结构的动态响应行为 ;
- 5. 爆炸成型与加工 ;
- 6. 爆炸冲击效应与应用 ;
- 7. 爆炸与冲击动力学数值模拟理论与方法 ;
- 8. 爆炸与冲击动力学实验技术与方法。

稿件要求

- 1. 提交 1 页以内 A4 纸的摘要(电子稿) , 具体格式参照《力学学报》 ;
- 2. 论文必须是未公开发表过的 , 语言为中文 ;
- 3. 稿件截止日期为 2005 年 4 月 1 日 , 2005 年 5 月 1 日前发录用通知 ;

- 4. 录用论文(摘要) 将由大会汇集成册 , 正式出版。
其它事宜

- 1. 爆炸力学学术分会只负责组稿、审稿和分会报告 , 其它有关会议事宜(如注册、住宿) 由中国力学学会负责安排 ;
- 2. 有关会议的动态信息可参阅中国力学学会网站 <http://www.cstam.org.cn>。

爆炸力学学术分会联系方式

- 负 责 人 黄风雷教授 , 张庆明教授
- 联 系 人 陈 利 , 刘 彦
- 通 讯 地 址 北京理工大学爆炸灾害预防、控制国家重点实验室(邮编 100081)
- 联 系 电 话 010-68914087 转 11 , 010-68914284
- 传 真 010-68461702
- E-mail 地址 lichenme@bit.edu.cn
liuyan@bit.edu.cn