

文章编号: 1003-1480 (2009) 05-0035-04

小尺寸传爆药爆轰反应区厚度研究

徐新春¹, 焦清介¹, 秦国圣², 褚恩义², 王可暄², 金兆鑫³

(1. 北京理工大学爆炸科学与技术国家重点实验室, 北京, 100081; 2. 中国兵器工业第213研究所 火工品安全性可靠性技术国防科技重点实验室, 陕西 西安, 710061; 3. 西安电子工程研究所, 陕西 西安, 710100)

摘要: 利用双灵敏度 VISAR 测试了小尺寸传爆药装药的爆轰反应区厚度。试验采用 JO-9C 和 HNS 传爆药, 装药直径为 6mm 和 4mm, 约束条件为 45#钢和有机玻璃, 利用 4 μ m 厚的铝箔作为粒子速度载体, 得到了装药与 LiF 窗口界面粒子速度的全过程。结果表明: JO-9C 小尺寸装药的反应时间约为 40ns, 相应的反应区厚度约为 0.22mm 和 0.23mm; HNS 小尺寸装药的反应时间约为 120ns, 相应的反应区厚度约为 0.60mm。

关键词: 传爆药; VISAR; 小尺寸装药; 反应区厚度

中图分类号: TQ560 文献标识码: A

Study on Reaction Zone Length of Small Booster Charges

XU Xin-chun¹, JIAO Qing-jie¹, QIN Guo-sheng², CHU En-yi², WANG Ke-xuan², JIN Zhao-xin³

(1. State Key Laboratory of Explosion Science and Technology, Beijing Institute of Technology, Beijing, 100081; 2. National Defence Key Laboratory of Pyrotechnical Safety and Reliability Technology, The 213th Research Institute of China Ordnance Industry, Xi'an, 710061; 3. Xi'an Electronic Engineering Research Institute, Xi'an, 710100)

Abstract: Detonation zone length of small booster charges were measured by Bi-sensitivity VISAR. The diameters of small charges of JO-9C and HNS booster were 6mm and 4mm with confinement of 45 steel and PMMA. The interface velocities of charge/LiF were measured by using aluminum foil with thickness of 4 μ m as the carrier of particle velocity. Experimental results show that the reaction time of small JO-9C charge is about 40ns while HNS is about 120ns, and the corresponding detonation zone lengths are 0.22mm and 0.23mm for JO-9C while 0.60mm for HNS.

Key words: Booster; VISAR; Small charge; Detonation zone length

随着新型舰载、机载弹药向着灵巧化、高能化和钝感化不断发展,对传爆序列的可靠性、安全性和小型化提出了更高要求^[1]。传爆序列的能量传递能力主要通过爆速、爆压等参数来表征,传爆序列小型化使得直径效应对小尺寸传爆药装药爆轰参数的影响更为明显。Jones^[2]和 Eyring^[3]分别利用流管理论和弯曲波阵面理论给出了爆速直径效应的半经验关系式。二者的研究表明,随着装药直径的变化,影响小尺

寸装药爆速的参数除了约束条件外,另一重要参数即为装药的爆轰反应区厚度。因此,小尺寸装药的反应区厚度对于研究相应装药的直径效应具有重要意义。

测试反应区厚度的实验方法主要有自由表面速度法^[4]、电磁法^[4]、光电法^[5]和任意反射面激光干涉测速(VISAR法)^[6]等。其中由于VISAR法能够直接检测爆轰反应区的波剖面及其随时间的变化过程,并且精度较高,近年来被国内外学者广泛应用^[6-8]。学者们测

收稿日期: 2009-08-12

作者简介: 徐新春(1983-),男,在读博士研究生,从事小尺寸装药隔爆传爆机理研究。

试了多种装药的反应区厚度,但装药直径较大,均在30mm以上。

JO-9C和HNS是近年来国内自主研发的高能钝感传爆药,由于其能量高、安全性好,被广泛应用于火工品的传爆序列中。本文利用VISAR技术,测试了两种传爆药在小尺寸装药条件下的反应区厚度,可以为小尺寸传爆序列的设计提供依据。

1 测试系统和测试原理

本实验采用的VISAR为中国工程物理研究院研制的两点双灵敏度速度干涉仪,相比于单灵敏度VISAR,该仪器能很好地解决条纹丢失问题,提高测试精度。两点双灵敏度速度干涉仪包括高灵敏度和低灵敏度两套干涉系统,相应的条纹常数 F_0 分别为630m/s和1200m/s。测试系统如图1所示,系统主要包括VISAR主机、激光器、平衡分光与耦合系统、脉冲恒流源、数字示波器和数字延时同步机。

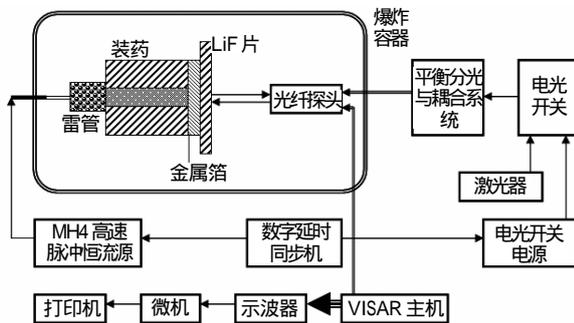


图1 小尺寸装药爆轰反应区厚度试验装置图

Fig.1 The sketch of experiment set-up for measuring the reaction zone length of small charge

测试原理为:利用数字延时同步机控制脉冲恒流源的输出和电光开关的同步性,恒流源起爆雷管并起爆微直线装药,小尺寸装药爆轰,驱动附着在其端部的金属箔运动;光纤探头输出激光经LiF窗口材料传输至金属箔表面,激光在金属箔表面发生漫反射,漫反射光携带多普勒信息,经过LiF窗口材料和光纤传输,由VISAR的外差干涉和光电倍增管的转换放大后,最后由示波器记录下来。采用中国工程物理研究院开发的ORI-VISAR分析软件处理数据可得到金属箔的粒子速度随时间变化的具体参数,从而得到爆轰反应区的持续时间。

2 测试条件和测试结果

文献[6]指出,为保证试验数据的准确性,作为粒子速度载体的金属箔不宜太厚,建议采用几微米厚的金属箔,以防止因金属箔太厚而引起的爆轰粒子速度降低。本文选用4 μ m厚的铝箔作为粒子速度载体,该铝箔附着在25 μ m厚的聚酰亚胺膜上,由于聚酰亚胺的密度较小,其对铝粒子速度的影响很小。小尺寸装药的约束壳体选择外径为20mm、高度为38mm的有机玻璃或45#钢。药剂采用JO-9C和HNS传爆药,装药密度为90%TMD,压药方式选择定位压药。为了降低LiF窗口材料对铝箔粒子速度的影响,选择厚度较小的LiF晶体,其厚度为2.15mm。VISAR测试小尺寸装药反应区厚度的试验步骤为:开启激光器;调节分光耦合系统;对靶;调节激光干涉系统;调整系统的相位关系;调节光阑和幅度;外接试验爆炸装置;通电起爆试验装置;数据处理及分析。

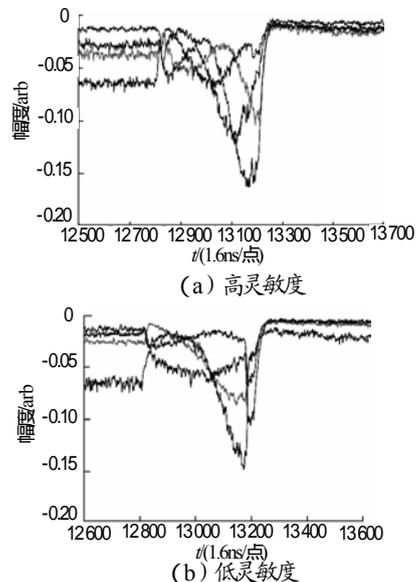


图2 双灵敏度VISAR的原始干涉信号

Fig.2 Original data of Bi-sensitivity VISAR

以45#钢约束、装药直径为6mm的JO-9C小尺寸装药的试验信号为例,对得到的试验结果进行分析,该测试条件下得到的原始干涉信号如图2所示,采用ORI-VISAR分析软件对原始信号进行处理得到小尺寸装药与LiF窗口材料界面的粒子速度随时间的变化曲线,如图3所示。

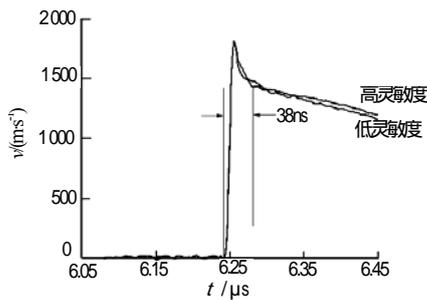


图3 小尺寸装药与LiF窗口材料界面速度—时间曲线
Fig.3 Velocity—time curve of charge/LiF interface

从图3可以看出,该测试条件下高灵敏度和低灵敏度两套干涉系统得到的信号符合得很好,证明了试验结果的可靠性。根据爆轰波的ZND模型,从速度—时间曲线可以得出,粒子速度最大值所对应的应为Von Neumann峰,在大约38ns后,粒子速度—时间曲线上出现了一个明显的拐点,这个拐点即为该小尺寸装药爆轰的CJ点,所以该小尺寸装药爆轰反应区的持续时间 τ 为38ns。

反应区厚度 Δ 可以根据以下公式求得:

$$\Delta = (D_j - u_j)\tau \quad (1)$$

式(1)中: u_j 为粒子速度; D_j 为装药爆速。

根据爆轰理论, u_j 与 D_j 的数学关系为:

$$u_j = \frac{1}{\gamma+1} D_j \quad (2)$$

式(2)中: γ 为爆轰产物的等熵指数。

将式(2)代入式(1)可得:

$$\Delta = \frac{\gamma}{\gamma+1} D_j \tau \quad (3)$$

利用探针法测得45#钢约束下6mm装药直径时的JO-9C爆速为 $D_j=7\ 980\text{m/s}$,用爆轰产物法计算JO-9C的等熵指数 $\gamma=2.67$ 。将相应参数代入式(3)得:反应区厚度 $\Delta=0.22\text{mm}$ 。

利用VISAR测得不同装药条件下小尺寸装药的反应区厚度,如表1所示。

表1 不同小尺寸传爆药装药的反应区厚度

Tab.1 The reaction zone length of different small booster charges

序号	药剂	约束条件	装药直径/mm	装药密度/ $(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	爆速/ $(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	反应时间/ns	反应区厚度/mm
1#	JO-9C	45#钢	6	1.707	7 980	38	0.22
2#	JO-9C	有机玻璃	4	1.707	7 820	40	0.23
3#	HNS	有机玻璃	4	1.566	6 602	120	0.60

3 分析与讨论

为了便于分析和讨论,将表1中的试验条件所对应的速度—时间曲线绘制于图4中,在此只取高灵敏度干涉腔所得到的信号来讨论。

从图4中可以看出,对于JO-9C装药的1#和2#曲线,CJ点出现的时间和CJ点对应的粒子速度几乎相同,即两种装药条件下的爆轰反应持续时间和CJ面压力相差不大;在CJ面以后,相比于1#曲线,2#曲线的粒子速度下降得更为迅速,即Taylor膨胀波对粒子速度的影响更为明显。这是由于2#曲线的装药条件为有机玻璃,其约束强度比45#钢约束的1#曲线弱,稀疏波更易侵入爆轰产物而导致的。

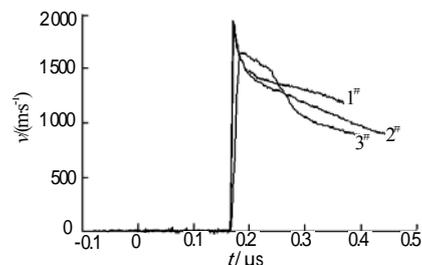


图4 3种不同小尺寸装药条件下的速度—时间曲线
Fig.4 Velocity—time curves of three different small charges

图4中2#和3#曲线的约束条件相同,对比两条曲线可以看出,3#曲线CJ点的出现时间比2#曲线迟约80ns,即HNS的爆轰反应持续时间比JO-9C长80ns;相比2#曲线,3#曲线在Von Neumann峰至CJ面之间粒子速度迅速下降,3#曲线在Von Neumann峰之后粒子速度先缓慢下降,经过约75ns后,粒子速度下降的趋势变缓,说明HNS在Von Neumann峰之后的约75ns内发生的化学反应很少,大部分药剂均在之后约45ns内完成化学反应。分析其原因应为:HNS为单质炸药,JO-9C的成分为95% HMX和5%氟橡胶,由于氟橡胶的存在,在冲击波作用下,小尺寸装药JO-9C比HNS更易形成热点,能够迅速完成化学反应。

4 结论

利用双灵敏度VISAR对JO-9C和HNS的3种

小尺寸装药进行了测试,得到以下结论:

(1) 对于 JO-9C 传爆药, 45[#]钢约束下、装药直径为 6mm 的小尺寸装药的反应区厚度为 0.22mm; 有机玻璃约束下、装药直径为 4mm 的小尺寸装药的反应区厚度为 0.23mm。

(2) 有机玻璃约束下、装药直径为 4mm 的 HNS 小尺寸装药的反应区厚度为 0.60mm。

(3) 对于同为有机玻璃约束、装药直径 4mm 的 JO-9C 和 HNS 小尺寸装药, JO-9C 的爆轰反应持续时间比 HNS 短约 80ns。

(4) 在冲击波作用下, JO-9C 小尺寸装药的内部会迅速形成热点, 发生化学反应; HNS 小尺寸装药在冲击波作用后约 75ns 内化学反应缓慢, 之后约 45ns 内化学反应迅速完成。

参考文献:

- [1] 王凯民, 蔡瑞娇, 严楠, 等. 国外传爆序列技术研究与发展分析[J]. 火工品, 2001(1): 42-46.
- [2] H. Jones. A theory of the dependence of the rate of detonation

of solid explosives on the diameter of the charge[J]. Proceedings of the Royal Society (London) Series A, 1947 (189): 415-426.

- [3] H. Eyring, R. E. Powell, G. H. Duffey, R. H. Parlin. The stability of detonation[J]. Chem. Revs., 1949, 45(1): 69-181.
- [4] 张宝坪, 张庆明, 黄风雷. 爆轰物理学[M]. 北京: 兵器工业出版社, 2001.
- [5] 赵同虎, 张新彦, 李斌, 等. 用光电法研究钝感炸药 JB-9014 反应区结构[J]. 高压物理学报, 2002, 16(2): 111-118.
- [6] 彭其先, 马如超, 刘俊, 等. VISAR 测试技术研究炸药反应区厚度[J]. 流体力学实验与测量, 2003, 17(1): 43-45.
- [7] Alexander V. Utkin, Sergey A. Kolesnikov, Sergey V. Pershin, et al. Reaction zone transformation for steady-state detonation of high explosives under initial density increase[C]// Shock Compression of Condensed Matter. Atlanta: American Physical Society Topical Group, 2001: 938-941.
- [8] Ralph Menikoff. Detonation wave profile in PBX9501[C]// Shock Compression of Condensed Matter. Baltimore: American Physical Society Topical Group, 2005: 986-989.

欢迎订阅《火工品》

火工品是武器弹药、航空航天、矿山开采、石油开采、工程爆破、建筑物拆除、森林采伐、灭火装置、爆炸焊接及加工以及烟花爆竹不可缺少的能源及动力源。

刊登内容: 主要刊登国内外军民用火工品与烟火的新技术、新产品、药剂配方、加工工艺、分析测试方法、国内外烟花及国内外科研生产发展水平及动态。

主要栏目: 研究论文、专题报告、文献综述、国内外烟花、民用爆破、经验交流、新产品新技术介绍、安全管理、火工烟火及化工专业民品信息。

读者对象: 可供从事本专业及有关民用部门的科研、生产、使用、设计、管理等各类人员及有关的大专院校师生阅读与参考。欢迎各单位及广大读者积极投稿、踊跃订阅。

《火工品》为大 16K, 双月刊, 全年定价 60 元, 您可信汇或邮寄, 请注明具体份数、详细收刊地址。

开户银行: 中国工商银行西安南大街支行 帐号: 3700020109088101414

收款单位: 中国兵器工业第二一三研究所

通信地址: 西安市 99 号信箱《火工品》编辑部

联系人: 史红漫

邮政编码: 710061 联系电话: (029) 85333475

E-mail: huogongpin@sina.com ; huogongpin@163.com