

文章编号:1006-9941(2005)02-0121-03

硝基甲烷-铅合金组合式平面波透镜研制

金柯,周显明,刘晓海,习锋

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

摘要:设计了硝基甲烷作为主发炸药,铅锡铋合金作为整形器的简易平面波透镜。通过调节起爆点高度,调整平面波透镜输出波形。实验表明,硝基甲烷-铅锡铋合金组合式平面波透镜的输出波形差在 $\phi 50$ mm范围内小于20 ns,并具有较好的轴对称性。

关键词:爆炸力学;平面波透镜;硝基甲烷;铅锡铋

中图分类号: TJ35; O381

文献标识码: A

1 引言

平面波透镜是爆炸力学实验中不可缺少的实验工具,是一种将球形爆轰波转化为平面爆轰波的爆炸元件。平面波透镜的研制,可以通过多种途径实现。目前采用较多的是使用高、低两种爆速炸药组成炸药平面波透镜^[1];使用空气或者有机玻璃作为惰性层的惰性材料平面波透镜^[2~4]。前者,具有性能稳定、波形差小等优点,但生产成本低、药量大、加工危险性大;后者机械加工工艺较简单、生产制备过程不含有毒物质、经济实用,而且采用惰性材料替代低爆速炸药降低了透镜的TNT爆炸当量;但是对部件的公差及安装工艺要求严格,波形差较大。基于组装简单、小药量和经济实用等因素,本文采用后者作为设计思路。

研制液体炸药-惰性材料组合式平面波透镜,必须选定液体炸药类型和惰性材料。硝基甲烷是具有爆炸性的最简单的有机硝基化合物,在一定的引爆条件下,可以形成类似固体炸药的爆轰,其爆速 D_1 约6.10 km/s,爆压约14.4 GPa。惰性材料的选取原则为:对主发炸药波形具有整形作用;对被发炸药具有起爆能力;物理性能、化学性质稳定;易于加工,能满足加工精度要求。根据冲击动力学基本关系式,可以推算出铅锡铋合金与硝基甲烷接触爆轰时,铅锡铋合金中产生的冲击波速度^[1] $D_2 = 3.20$ km/s,并且冲击波衰减较小^[2]。因而,依据费马原理,这种结构的平面波透镜的锥底角 $\sin\alpha = D_2/D_1 = 0.525$,即 $\alpha = 32^\circ$ 。可以看出,铅锡铋合金降低了平面波透镜高度,从而减

小整个爆轰系统的TNT爆炸当量。

2 界面坐标计算结果

设计炸药平面波透镜,确定界面坐标是核心问题。而一个较好的理论模型及相应的实验修正方法对设计的成败起着关键作用。精确的液体炸药的相关数据和惰性材料的雨贡纽参数对设计参数的确定也至关重要。另外,整形板材质的均匀性、装置部件的加工和安装定位精度是取得高质量波形的关键和难点。

在硝基甲烷和铅锡铋合金接触爆轰条件下,可以根据阻抗匹配法确定铅锡铋合金中的冲击压力,并由其冲击雨贡纽参数计算出整形板中的冲击波速度,按照费马原理设计出液体炸药/整形板界面坐标。本文所设计液体炸药平面波透镜的界面方程近似为 $X = (194.582 + 0.402 \times Y^2)^{1/2} - 13.950$ 。

3 实验装置及实验结果分析

3.1 实验装置及探针布局

实验以检验平面波透镜输出波形和重复性为目的,进行了两发重复性实验,实验装置示意图如图1所示。编号FL-01和FL-02的实验分别测量了透镜底部 $\phi 80$ mm和 $\phi 50$ mm范围内的输出波形。起爆点高度定义为传爆药柱底面到整形器顶点的长度,实验装置各部件名义尺寸见表1。

3.2 波形修正与数据处理方法

为了反映出冲击波阵面的实际状态,为后期理论分析和整形板界面修正提供精确可靠的实验数据,沿用以往成熟的布局方式,实验均采用图2的探针布局。

根据化爆加载波形对称性较好的特点,采用以装置轴线为中心的同径等位波形修正技术,由同一圆周上布置到基板面上的探针测得的冲击波到达时间

收稿日期:2004-06-25;修回日期:2004-09-02

基金项目:中国工程物理研究院重大基金(2002Z01041)

作者简介:金柯(1976-),男,硕士,助理研究员,从事动态加载技术和材料特性研究。

表1 实验装置参数
Table 1 Parameters of experimental device

| experimental No. | height of initiation point /mm | donor explosive | shaper | total height /mm | acceptor explosive | | test specification /mm |
|------------------|--------------------------------|-----------------|------------------------|------------------|--------------------|---------------|------------------------|
| | | | | | material | thickness /mm | |
| FL-01 | 40 | nitromethane | lead-tin-stibium alloy | 64 | JO-9159 | 30 | φ80 |
| FL-02 | 40 | nitromethane | lead-tin-stibium alloy | 64 | JO-9159 | 30 | φ50 |

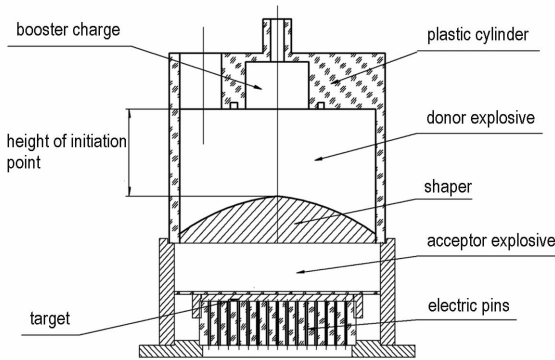


图1 实验装置示意图
Fig. 1 Schematic of experimental set-up

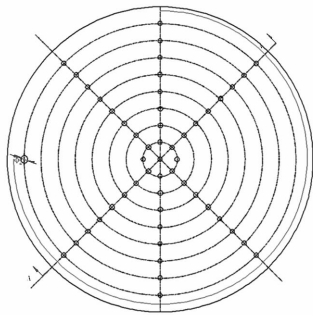


图2 探针布局图
Fig. 2 Arrangement of electric pins

$t_i (i = 1, 2, \dots, n, n$ 为该圆周上基板面探针数) 拟合出倾斜平面方程:

$$t_i = Ax_i + By_i + C \quad (1)$$

其中 (x_i, y_i) 为探针二维位置坐标, A, B, C 为平面方程系数。利用获得的平面方程进行内插和外推, 计算出冲击波阵面沿最大倾斜方向和最大倾斜正交方向 (即冲击波阵面倾斜最小的方向) 的波形差, 并绘制冲击波阵面的三维视图。

3.3 实验结果与分析

FL-01 实验中, 平面波透镜输出波形如图3、图4所示。可以看出, 透镜输出波形具有非常好的平面性, 波形差在 $\phi 50$ mm 范围内小于 20 ns, 且局部起伏小于 8 ns; $\phi 60$ mm 范围内波形差小于 60 ns; 由于受到来自

炸药边侧反射稀疏波的影响, 波形差在 $\phi 80$ mm 范围内达到了 150 ~ 200 ns。波形整体具有较好的对称性, 但是略有倾斜, 究其原因, 应为实验装置整体组装的同轴度和平行度的精度较差造成波形出现倾斜现象。在严格控制安装工艺的情况下, 进行了平面波透镜输出波形重复性检验实验 (FL-02)。

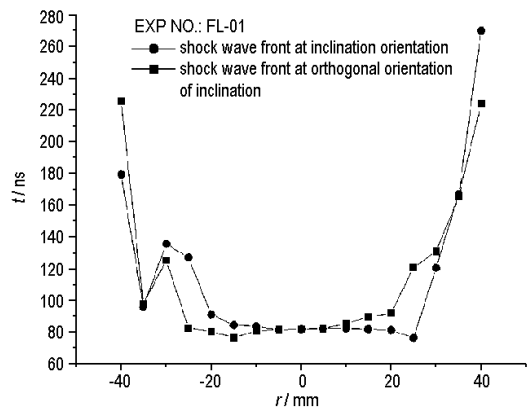


图3 FL-01 径向波形
Fig. 3 Shock wave front arrival time of FL-01

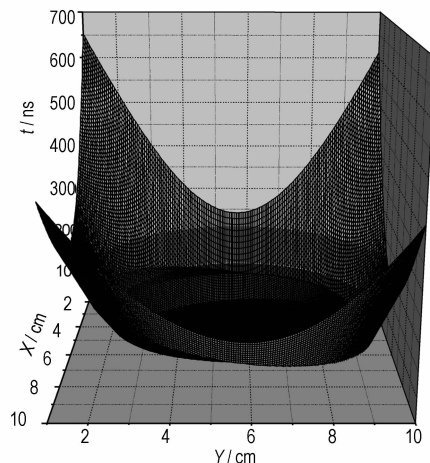


图4 FL-01 三维视图
Fig. 4 Three-dimensional view of FL-01

FL-02 实验实测波形如图5所示。与 FL-01 的实验结果相比, FL-02 的透镜输出的波形差在 $\phi 50$ mm 范围内同样小于 20 ns, 且波形倾斜明显改善, 倾斜量仅 10

余个纳秒。可见透镜输出的波形有良好的重复性和对称性,说明安装工艺和加工精度是液体炸药平面波透镜输出稳定优良波形的基础。结果表明,硝基甲烷-铝合金组合式平面波透镜的输出波形可达到很高的平面度,该透镜的总高较低、药量较小且重复性和对称性较好。

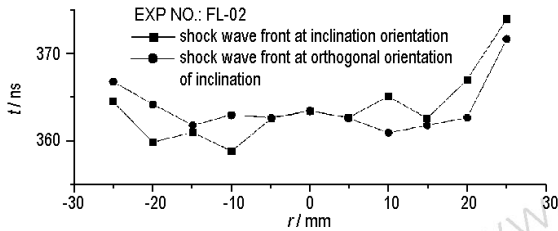


图 5 FL-02 径向波形

Fig. 5 Shock wave front arrival time of FL-02

表 2 为本文与国内外研究结果^[2-4]的对比。可看出,文献中所述的平面波透镜均用 RHT-901 或者 C-4 等固体炸药作为主发炸药,加工制备过程需将固体炸药熔融和浇注,本文主发炸药采用硝基甲烷液体,其具有良好的流动性和均匀性,安装制备过程简单;另外,文献[2]中引用的 Yadav 研制的透镜和 J. N. Fritz^[4]研制的透镜高度均太高,且采用高爆速、高爆压炸药,与硝基甲烷相比其 TNT 爆炸当量较大。综上所述,采用液体炸药硝基甲烷和铝合金组成平面波透镜具有 TNT 当量小、加工制备和安装操作简单、费用低廉,且透镜输出波形平面度较好等优点。但铅蒸气以及铅粉尘对人体具有较大的毒性,不宜大量和长期使用。

表 2 实验结果对比

Table 2 Comparison of experimental results

| planar wave lens | | diameter of planar wave lens /mm | total height /mm | acceptor explosive | | shock wave front arrival time | |
|------------------------|------------------------|----------------------------------|------------------|--------------------|---------------|-------------------------------|-----------------------|
| donor explosive | shaper | | | material | thickness /mm | test specification /mm | time differential /ns |
| Nitromethane | lead-tin-stibium alloy | 100 | 64 | JO-9159 | 30 | φ60 | 60 |
| RHT-901 ^[2] | lead | 100 | 66 | RHT-901 | 20 | φ100 | 70 |
| RHT-901 ^[2] | soft steel | 75 | 135 | RHT-901 | 64 | φ70 | 70 |
| C-4 ^[4] | polymethymetharylate | 100 | 113 | PBX9501 | 7 | φ75 | 80 |

4 小 结

硝基甲烷-铅锡铋合金组合式平面波透镜输出波形具有很高的平面度,波形差在 φ50 mm 范围内小于 20 ns, φ60 mm 范围内小于 60 ns。利用硝基甲烷-铅锡铋合金研制的平面波透镜具有总高低、药量小、制作简单、费用低廉且透镜输出波形平面度好等优点。在平面波透镜研制中用惰性材料代替低爆速炸药是一个较好的方法,经过深入研究和调试,可获得输出波形差小于 10 ns 的液体炸药平面波透镜,并应用于冲击加载实验。

参考文献:

[1] 经福谦. 实验物态方程导引(第二版)[M]. 北京:科学出版社, 1999: 134 - 138.
 JING Fu-qian. Introduction to Experimental Equation of State(Second Edition)[M]. Beijing: Science Publishing Company, 1999: 134 - 138.
 [2] 张春生. φ100 铅-炸药组合式平面波发生器[J]. 高能密度物理, 1981, (5):12.
 [3] Stanley S P. Explosive Plane-Wave Lens[P]. U. S. A, 4729318. 1988.
 [4] Fritz J N. A Simple Plane-Wave Explosive Lens[P]. U. S. A, DE91-004297. 1990.

Design of Plane-wave Lens Utilizing Nitromethane and Lead

JIN Ke, ZHOU Xian-ming, LIU Xiao-hai, XI Feng

(Laboratory for Shock Wave Physics and Detonation Physics Research, Institute of Fluid Physics, CAEP, Mianyang 621900, China)

Abstract: A simple plane-wave lens, using lead wave shaper and nitromethane donor explosive, has been designed. The arrival time deviation of wave front of plane-wave lens is controled by adjusting the height of initial explosion point. The experimental results show that the arrival time deviation of wave front of plane-wave lens designed in this subject is less than 20 ns within 50 mm diameter and have good symmetry.

Key words: explosion mechanics; plane-wave lens; nitromethane; lead