

文章编号: 1006-9941(2003)03-0113-03

# 化爆加载装置系列化设计

金 柯, 习 锋, 杨慕松, 周显明

(中国工程物理研究院流体物理研究所, 四川 绵阳 621900)

**摘要:** 简要介绍了系列化化爆加载装置的设计方法。实验结果表明, 采用新型平面波透镜的化爆加载装置可以在标准样品材料产生 40~230 GPa 的冲击压力, 且  $\Phi 40$  mm 范围内击靶波形弯曲量、倾斜量都很小, 波形轴对称性好, 能够满足材料物态方程参数、力学特性参数测量对击靶波形的高精度要求。

**关键词:** 爆炸力学; 化爆加载; 标准材料; 压力; 波形

**中图分类号:** TJ45<sup>+</sup>6

**文献标识码:** A

## 1 引 言

化爆加载装置是进行材料物态方程参数、力学特性参数测量最广泛使用的冲击加载装置之一。其优点是测试范围大、可布局多个样品、获取的信息量大及压力跨度大。

中国工程物理研究院自 60 年代以来, 对化爆加载装置进行了长期的、系统的研究<sup>[1]</sup>, 获得了大量的实验数据以及系列化实验装置, 但普遍存在平面波范围小、波形弯曲量大、波形重复性差等缺点, 难以满足材料物态方程参数、力学特性参数测量中对击靶波形的高精度要求。随着新型平面波透镜的研制成功<sup>[2]</sup>, 我们需要对采用此爆轰系统的化爆加载装置进行系列优化设计, 以满足实验精度要求。本文阐述了化爆加载装置的设计思路, 并在 40~230 GPa 压力范围内设计了五套实验装置, 实验结果与理论预估符合得很好。

## 2 化爆加载装置设计思路

### 2.1 化爆加载装置总体结构

典型的空腔增压化爆加载装置如图 1 所示。它由雷管、平面波透镜、主装药、组合飞片、空腔支撑、靶系统等组成。空腔增压原理为: 雷管点火导致平面波透镜引爆, 向主装药中传入一个准一维平面爆轰波, 驱动飞片沿空腔运动, 最终与靶碰撞, 由靶向标准样品和待测样品中传入冲击波, 进而在样品中产生所要求的冲击压力。

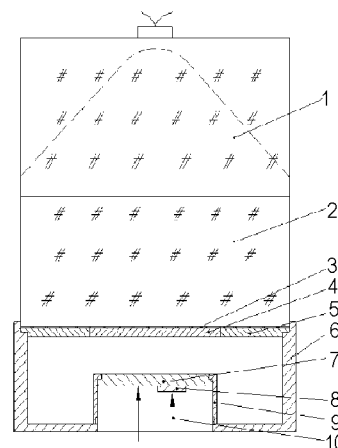


图 1 化爆加载装置示意图

1—平面波透镜, 2—主药柱, 3—有机玻璃垫片,  
4—飞片, 5—飞片套环, 6—空腔支架, 7—靶板,  
8—样品, 9—探针架, 10—探针

Fig. 1 Schematic diagram of explosive-loading device

1—planar wave lens, 2—explosive slabs, 3—PMMA cushion,  
4—flyer, 5—flyer ringer, 6—support, 7—target,  
8—sample, 9—electric pins support, 10—electric pins

### 2.2 爆轰系统质量

高质量爆轰系统是保证获得高精度材料物态方程参数、力学特性参数的重要条件。透镜界面方程、界面稳定性、炸药密度均匀性和加工工艺等都将直接影响初始波形质量。压装  $\Phi 200$  mm 平面波透镜经过多轮实验检验, 其初始波形质量较以往有很大提高, 且重复性较好。本文设计的系列化化爆加载装置均采用压装

收稿日期: 2003-03-13; 修回日期: 2003-04-04

作者简介: 金柯(1976-), 男, 硕士研究生, 研究实习员, 从事凝聚态物理研究。

$\Phi 200$  mm 平面波透镜与一定厚度的 J09-159 组成爆轰系统。

### 2.3 爆轰系统中部有效装药长度

爆轰系统有效装药长度<sup>[3-6]</sup>的大小直接影响飞片的击靶速度,所以需要针对不同厚度主药柱的有效装药长度进行计算和实验验证。针对铸装  $\Phi 200$  mm 平面波透镜与不同厚度 TNT 主药柱组成的爆轰系统的有效装药长度,中国工程物理研究院进行了大量的实验研究,并得出了较为准确的结果。但压装  $\Phi 200$  mm 平面波透镜和 J09-159 主药柱组成的爆轰系统的有效装药长度尚未进行系统研究,我们利用一维抛体方法根据实验数据进行反推,初步得到了压装  $\Phi 200$  mm 平面波透镜与不同厚度 J09-159 主药柱组成的爆轰系统的有效装药长度。具体数值见表 1。不难看出,压装  $\Phi 200$  mm 平面波透镜比原有铸装  $\Phi 200$  mm 平面波透镜的有效装药长度要长。

表 1 两种爆轰系统的有效装药长度

Table 1 Effective charge length of two detonation systems

主药柱厚度/mm	爆轰系统有效装药长度/mm	
	新透镜与 J09-159	老透镜与 TNT
0	55	
30	95	
100	116	105
200	190	160

### 2.4 空腔高度的确定

由爆轰系统产生的爆轰波传入飞片,在飞片中经“冲击—稀疏”多次反射,使飞片在飞行过程中不断吸收爆轰产物的能量,因此为了获得较为理想的加速效果,必须选择合适的空腔高度。

飞片在空腔中的飞行距离  $x$  及运动速度  $u_f$  随时间的变化由下式给出:

$$x = Dt \left( 1 + \frac{\theta - 1}{\eta\theta} \right) \quad (1)$$

$$u_f = D \left( 1 + \frac{\theta - 1}{\eta\theta} - \frac{L_B \theta}{Dt} \right) \quad (2)$$

$$\theta = \left[ 1 + 2\eta \left( 1 - \frac{L_B}{Dt} \right) \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (3)$$

$$\eta = \frac{16 m_B}{27 M} = \frac{16 \rho_{0B} L_B}{27 (\rho_{0f} \delta + \rho_{0\Pi} h_{\Pi})} \quad (4)$$

$D$  为爆轰波速度,  $L_B$  为有效装药长度,  $m_B$  为炸药质量,  $M$  为飞片质量,  $\delta$  为飞片厚度,  $\rho_{0B}$  为炸药密度,  $\rho_{0f}$  为飞片密度,  $\rho_{0\Pi}$  为有机玻璃垫片密度,  $h_{\Pi}$  为有机玻璃垫片厚度,  $t$  为时间,  $\eta$ 、 $\theta$  均为中间变量。

从(1)、(2)式可以看出,空腔越长,飞片速度就越接近其极限值。原则上说,为了提高飞片速度并使飞片本身接近于零压的初始状态,应该选择较长的空腔。但是由于侧向稀疏影响,将导致飞片在飞行过程中边部不断滞后,飞片中心区域超前,随着飞行距离的增加,飞片会变得越来越弯曲,致使飞片击靶波形偏离一维平面波要求。一般来说可以根据在样品中所要达到的压力,推算出飞片击靶速度,利用(1)、(2)式计算出所要求的空腔高度,再通过实验对空腔高度的选择进行微调,以达到最佳效果。

### 2.5 飞片系统

#### 2.5.1 飞片结构形式

飞片系统结构如图 2 所示,它是由托盘、套环、飞片以及有机玻璃垫片组合而成。有机玻璃垫片直接贴附于主装药端面,飞片贴附在有机玻璃垫片下表面。在炸药与飞片之间增设有机玻璃垫片是为了消除主装药中化学反应峰值压力对飞片的冲击破坏和层裂影响。托盘主要用于支撑炸药和飞片,一般由钢或铝制成。飞片系统在中心区域是一块完整的飞片,通过直口与套环相连,套环又与托盘相连。采用套环的目的在于保证中心飞片具有良好的加工精度。实验表明,在冲击驱动下,中间飞片的运动基本上不受外环运动滞后的影响,从而确保飞片具有良好的运动状态。

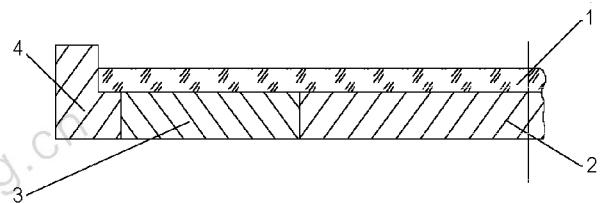


图 2 飞片结构形式示意图

1—有机玻璃垫片, 2—飞片, 3—飞片套环, 4—托盘

Fig. 2 Schematic diagram of flyer configuration

1—cushion of PMMA, 2—flyer, 3—flyer ringer, 4—support

#### 2.5.2 飞片厚度计算

若已知样品中需要达到的压力值,可以推出飞片击靶速度  $u_f$ ,并结合有效装药长度和空腔距离,可以初步得到飞片厚度的预估值。即:由(1)、(2)、(3)、(4)式组成的方程组中,因为未知变量为  $\eta$ 、 $\theta$ 、 $t$ 、 $\delta$ ,所以方程组封闭,解之可得到飞片厚度  $\delta$ 。

至此,通过选择合适的爆轰系统、空腔高度和确定材料、厚度的飞片,即可设计得到一定压力范围的化爆加载装置。

### 3 实验结果与分析

针对上述分析,我们设计了在无氧铜标准材料中达到 40 ~ 50 GPa、60 ~ 70 GPa、80 ~ 90 GPa、110 ~ 120 GPa、210 ~ 230 GPa 的五套装置,并进行了实验。五套实验

装置均采用无氧铜作为靶板和样品材料,装置 EPL-1、EPL-2、EPL-3、EPL-4 采用 H62 黄铜作为飞片材料,装置 EPL-5 采用纯钨作为飞片材料,具体实验装置参数、理论预估值和实验值对比结果见表 2,部分实验波形见图 3、4、5。

表 2 实验装置参数、计算压力值和实验压力值比较

Table 2 Parameter of experiment device, comparison of calculated pressure value with experimental result

装置编号	实验装置主要参数					样品中压力值		$ p_0 - p /p_0$
	主药柱厚度 /mm	飞片厚度 /mm	空腔高度 /mm	靶板厚度 /mm	样品厚度 /mm	计算压力 /p/(GPa)	实测压力 /p <sub>0</sub> /(GPa)	
EPL-1	0	6.5	15	4.0	4.5	44	47	6.4%
EPL-2	0	5.0	40	4.5	3.0	65	68	4.4%
EPL-3	30	4.0	15	4.0	4.5	85	87	2.3%
EPL-4	100	4.0	40	4.5	3.0	115	116	0.8%
EPL-5	200	1.5	40	3.0	3.0	219	222	1.4%

在 40 ~ 230 GPa 压力范围内,通过上述方法设计的化爆加载装置在标准材料中产生冲击压力的理论预估值与实验值符合的很好,Φ40 mm 范围内击靶波形弯曲量、倾斜量都很小,且波形轴对称性很好。现今,动高压加载条件下的精密物理测量中,冲击加载装置所提供的高质量飞片击靶波形对实验压力状态的精确确定和测试结果的不确定度分析提供了有力保障。

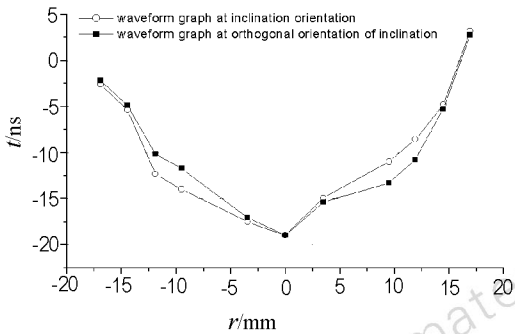


图 3 EPL-2 实验波形图

Fig. 3 Waveform graph of experiment No. EPL-2

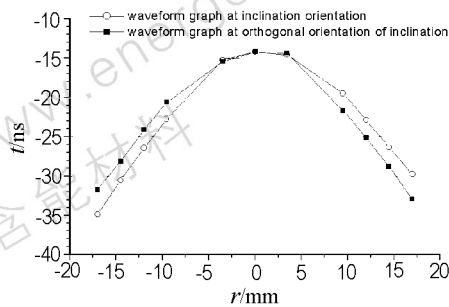


图 4 EPL-4 实验波形图

Fig. 4 Waveform graph of experiment No. EPL-4

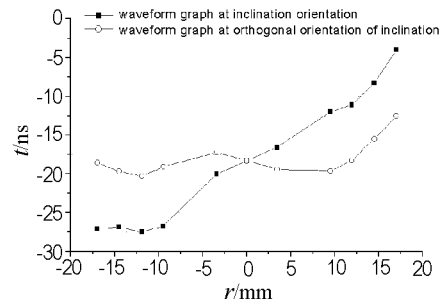


图 5 EPL-5 实验波形图

Fig. 5 Waveform graph of experiment No. EPL-5

### 4 结论

新型空腔增压式化爆加载装置采用压装 Φ200 mm 平面波透镜与 JO9-159 组成爆轰系统,与以往使用铸装 Φ200 mm 平面波透镜与 TNT 主装药的加载装置相比,在 40 ~ 230 GPa 压力段均能提供波形弯曲小、倾斜量小,且波形轴对称性好的优质击靶波形。通过调节加载装置各部件参数,在满足物理参数测量设计对波形质量要求的前提下,压力范围可以得到相应的延伸,从而形成化爆加载条件下的系列化定型实验装置。

致谢:衷心感谢 102 室谢庆海、刘晓海、李赛男、靳开诚在实验装置安装、测试方面的支持和帮助。

(下转 122 页)

## Ab Initio Study on the Intermolecular Interaction of Methyl Azide Dimers

XIA Qi-ying, XIAO He-ming, JU Xue-hai, GONG Xue-dong

(Department of Chemistry, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

**Abstract:** Geometries and electronic structures of methyl azide and its dimers have been calculated firstly by using ab initio method at the HF level with the 6-311G\*\* basis set. The intermolecular interaction energy is calculated with MP2 electron correlation correction, basis set superposition error (BSSE) correction and zero point energy (ZPE) correction. The most stable dimer (the binding energy of  $9.49 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ) possesses a six-membered ring with two C—H $\cdots$ N hydrogen bonds and belongs to  $D_{2h}$  group. The effect of methyl internal rotation on the interaction energy is investigated. Natural bond orbital (NBO) analysis is performed to reveal the origin of the interaction. The harmonic vibrational analysis is used to study the optimized structure of the monomer and six dimers, and IR spectrum shifts are discussed. Based on the statistical thermodynamic method, the changes of thermodynamic properties from the monomer to dimer with the temperature ranging from 273.15 K to 800.00 K have been obtained.

**Key words:** physical chemistry; methyl azide dimer; intermolecular interaction; ab initio method; natural bond orbital (NBO) analysis; IR spectrum; thermodynamic property

(上接 115 页)

参考文献:

[1] 杨中正. 常用化爆压力装置系列[R]. 绵阳: 中物院流体物理研究所, 1979.

[2] 魏智勇. 高精度平面波透镜研制[A]. 中物院科技年报[C]. 成都: 四川科学技术出版社, 2000, 1 - 15.

[3] 经福谦. 实验物态方程导引[M]. 北京: 科学

出版社, 1999.

[4] 董海山. 高能炸药及相关物性能[M]. 北京: 科学出版社, 1989.

[5] 谭振南. 关于几种复合装药的计算结果[R]. 绵阳: 中物院流体物理研究所, 1979.

[6] 孙承纬. 炸药平面波透镜的有效药量[R]. 绵阳: 中物院流体物理研究所, 1998.

## Design of Serialization Explosive-Loading Device

JIN Ke, XI Feng, YANG Mu-song, ZHOU Xian-ming

(Institute of Fluid Physics, CAEP, Mianyang 621900, China)

**Abstract:** The methods of designing the explosive-loading devices is briefly described. The experimental results show that explosive-loading devices using new planar wave lens can produce high pressure of 40 ~ 230 GPa in standard material sample. Simultaneously, the devices can provide waveform with better symmetric construction, less distortion, less inclination than old one did. We had a time distortion of 30 ns. So the high quality impacting waveform meets the demand in measuring the EOS (Equation of State) parameters and mechanics characteristic of some material.

**Key words:** explosion mechanics; explosive-loading; standard material; pressure; waveform