

[3] Rock, W. Jr., Helt, W. H., *AD - A 036775*, (1976).

[4] Seigel, A. E., *AD - 475660*, (1965).

## A FIRING VALVE FOR 57 MM GAS GUN WITH 1400 M/S PROJECTILE VELOCITY

Lin Junde

### Abstract

A new high speed firing valve for gas gun with 1400m/s projectile velocity is recommended in this paper. Its minimum opening time is about 2 ms. The design and structural characteristics of the valve is demonstrated. The experimental results on a 57mm gas gun equipped with such valve is presented.

# 多火花式动态光弹性仪 在爆炸力学实验中的初步应用

朱振海 杨永琦

(1984年5月2日收到)

本文介绍了国产多火花式动态光弹性仪在爆炸力学实验中的应用。给出了几组典型模型中的动态条纹照片，为爆破机理的研究提供了新的实验手段。

## 一、前言

在动光弹研究中，Dally等人<sup>(1)</sup>曾用Faster照像机记录了氨基甲酸乙酯的二维模型中由爆炸而产生的动态条纹。随着沙丁照像机的应用，Dally等人<sup>(2)</sup>又用CR-39 ( $E_s = 335000$  psi)作模型对半平面中应力波传播进行了研究。以后，国外用沙丁照像机在采矿工程、地球物理学方面也进行了一些研究。最近，我们用国产多火花式动态光弹性仪成功地记录了爆炸载荷作用下的环氧树脂 ( $E_s = 38000$  kg/cm<sup>2</sup>)做成的一维和二维模型中的动态条纹图。这一研究成功，为爆炸力学的理论研究提供了有效的实验方法。

## 二、实验系统简介

### 1. 多火花式动态光弹性仪

多火花式动态光弹性仪的结构和工作原理在有关文章中已有较详细介绍<sup>[1]</sup>。在此仅简述其主要的动态技术性能。该光弹仪每次动作能同时获得16幅照片。其幅速可以在2.5~100万幅/s之间分七个不连续的挡级选择。像机的视场有效工作直径为180mm,相应的照片直径为50mm,有效曝光时间小于0.5μs。对于以1950m/s运动的条纹动态分辨率上限为28.25条/cm。照片的最大几何像差小于3%。根据记录的光强-时间曲线确定曝光时刻。图1为光弹仪的多火花电路。图2为光弹性仪的光学照像系统。

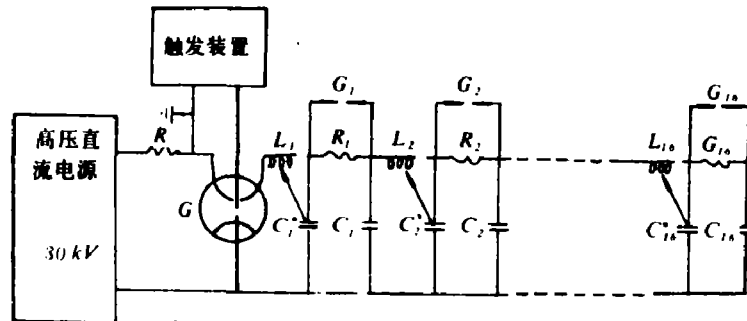


图1 多火花放电电路原理图

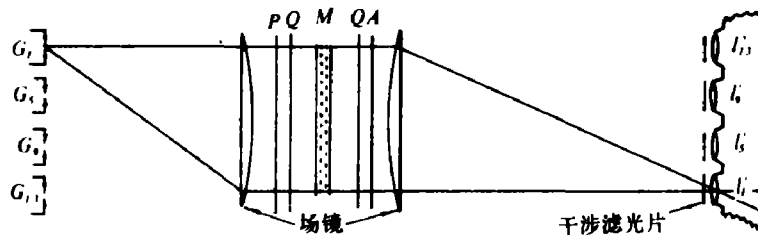


图2 光学照像系统示意图

### 2. 模 型

所用模型为环氧树脂板制作而成。据我们测定,材料的静态条纹值 $f_{11} = 12.8 \text{ kg/cm} \cdot$ 及,静态扬氏模量 $E_{11} = 38000 \text{ kg/cm}^2$ ,泊松比 $\nu = 0.355$ ,重量密度 $\rho = 1.2 \text{ g/cm}^3$ 。

### 3. 加载方法

用普通雷管的起爆药制成各种规格和形状的药包,用高压脉冲起爆器起爆药包完成加载力作。为保护光学系统不受损坏,对于不同的加载情况采取相应的防护措施。

#### 4. 同步控制系统

爆炸现象与动光弹仪闪光球隙的闪光都是超动态现象。所以，二者的同步极为关键。图3是同步控制系统的方框图。闭合点火线路中的开关S，点火线路就同时输出三个脉冲，一个高压脉冲送给起爆线路，使药包爆炸；另两个低压脉冲信号，其中一个送给低压箱，使延时器动作，另一个给瞬态记录仪（或示波器）作为外触发信号。延时器经过一段预定的延时后，输出一个约为12伏的脉冲给触发器，使球隙开关击穿，从而使16个火花球隙依次放电，完成动态现象的记录过程。与此同时，光电转换器把接收到的火花球隙发出的光信号变成电信号输入瞬态记录仪（或示波器）贮存起来。拍照完毕后，可由瞬态记录仪拨码读数，或由示波器上的光强—时间曲线确定各幅照片的闪光时刻。典型的光强—时间曲线见图4。

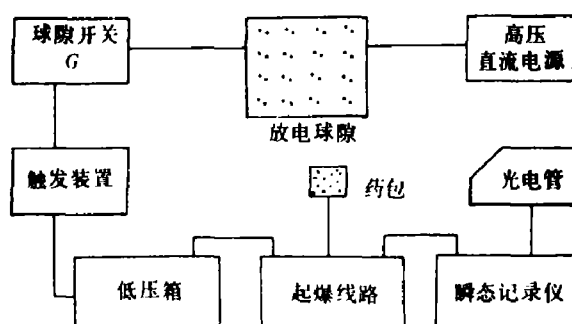


图3 同步控制系统方框图

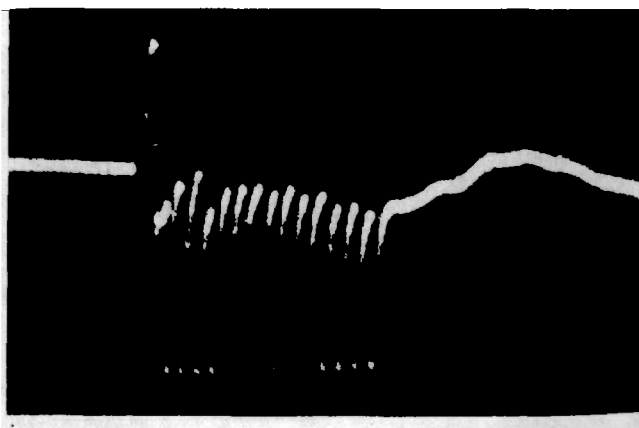


图4 典型的光强—时间曲线（ $20\mu s/\text{格}$ ）

### 三、典型的试验结果

#### 1. 一维杆中应力波的传播

图5是用3号药包在杆状模型端部爆炸而得到的一组动态条纹图。从第一、二幅照片上可见，波阵面仍为园弧形，波阵面后边的条纹非常密集，故一片模糊。从第三幅照片开始，就可以见到从两个侧面边界来的反射波已与向下传播的应力波发生干涉，波阵面的曲率半径越来越大。在波头没有从底边反射之前，波阵面近于平面波。又因这些条纹与侧面边界垂直，侧面为自由面，故 $\sigma_2 = 0$ ，所以，由一维应力光性定律就可以得到杆中的应力分布：

$$\sigma_i = N \frac{(f_o)_d}{t}$$

式中:  $\sigma_i$ ——条纹运动方向上的应力;  $N$ ——条纹级数;  $(f_o)_d$ ——材料的动态条纹值;  $t$ ——模型的厚度。

图6是从图5所示的7张照片上获得的各级条纹的运动位置随时间的分布曲线,由这些曲线立刻可以得到一维应力波速度大约为  $C_1 = 1980 \text{ m/s}$ 。在反射波进入后,条纹分布比较杂乱。



图5 长杆中由爆炸产生的动态应力条纹图(暗场)  
(图下数字为炸药起爆后的时刻,单位:  $\mu\text{s}$ )

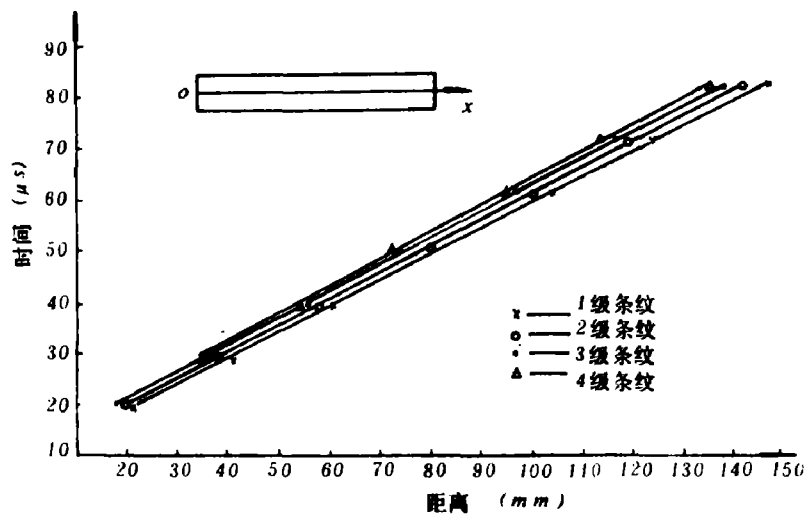


图6 长杆受爆炸冲击时,1、2、3、4级  
应力条纹的运动距离随时间的分布曲线

## 2. 变截面杆中应力波的传播

图7是2号药包爆炸后在变截面杆中产生的动态条纹照片。在应力波没有到达变截面处时,其条纹运动形式与前面所述的相同。当应力波到达变截面处时,一部分继续在细的杆中向前传播,另一部分则向上反射,反射波不是平面波,而是曲面波。这主要是因变截面处反

射自由面很窄，再加上两侧边界的影响所致。由此可见，通常在计算一维反射波能量时，按平面波考虑是一种近似

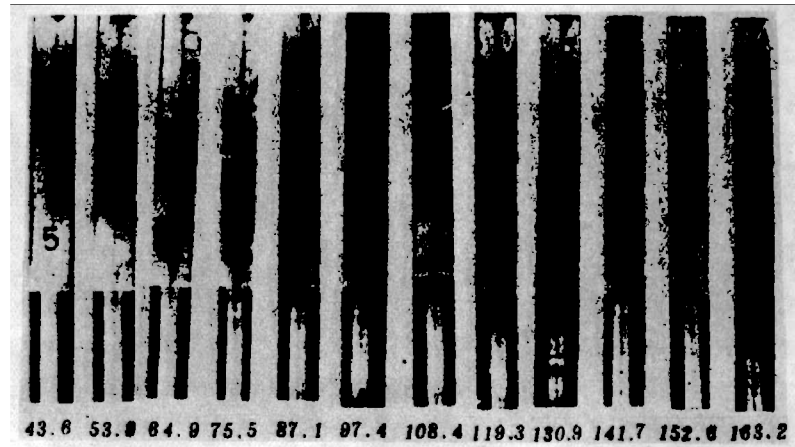


图7 变截面杆中动态应力条纹图(明场)  
(图下数字为炸药起爆后的时刻,单位:  $\mu s$ )

### 3. 炮孔加载产生的应力波的传播

图8是用1号药包在环氧树脂大板中心加载而得到的一组动态应力条纹照片。从图中可见,在 $t = 58.6\mu s$ 时刻应力波恰好到达边界,在 $t \leq 58.6\mu s$ 时间内得到的3张照片上都可以完整地见到P波和S波。从照片上可以得到二维波速 $C_p = 2106m/s$ 。典型的P波和S波的传播见图9。

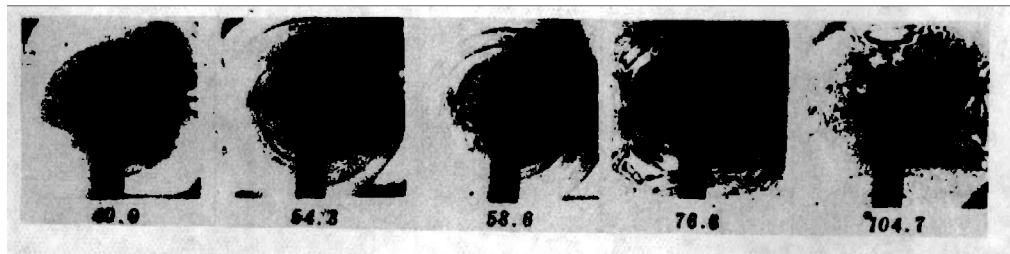


图8 炸药在炮孔中爆炸后的大板中动态应力条纹图  
(明场)(图下数字为起爆后的时刻,单位:  $\mu s$ )

根据光弹性分析方法,对于P波没有到达边界之前,可以从照片上得到不同时刻的条纹级数随距离的分布曲线。由这组曲线还可以得到最大剪切应力、最大条纹级数、径向位移、径向和切向应力和应变随距离的分布曲线。从而获得无限平面中炮孔周围的应力场动态定量分析结果。

图10为 $t = 54.3\mu s$ 时刻的裂纹A、C、D位置的照片。A、D两条裂纹从图8的照片都能见到,而C裂纹可能由于运动速度较低或后来已止裂而被赶上来的爆烟遮住,所以在照片上不能都见到。图11表示了A、D两条裂纹尖端位置 $r$ 随时间变化的曲线,由这两条曲线可以得到裂纹A的最大扩展速度是 $391m/s$ ,而裂纹D的最大扩展速度是 $297m/s$ 。另外,从图上还

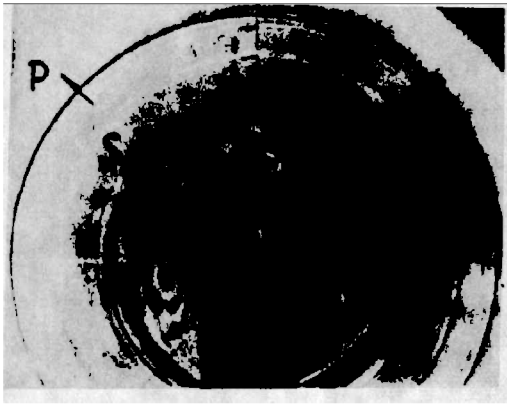
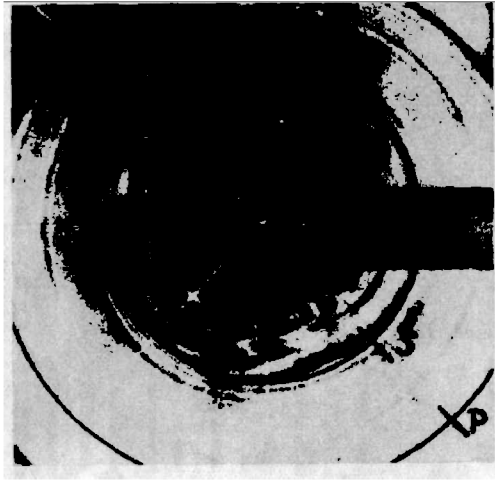


图9 P波和S波的传播

图10  $t = 54.3\mu s$ 时刻裂纹A、C、D的位置

可知, 在  $t = 80\mu s$  左右, 裂纹的速度开始降低。

在  $t = 58.6\mu s$  以后, P波开始反射, 产生PP波。图12表示了PP波的产生。由于反射波是拉伸波, 所以在往回传播的过程中, 不断地与入射P波尾部叠加, 使其携带的能量不断损失因而波阵面渐趋扁平。随着反射的传播, PP波与PS波分开, 从图13

中可以见到这一现象。当S波到达边界时, 也产生反射SP波和SS波。最后从四个侧边界来

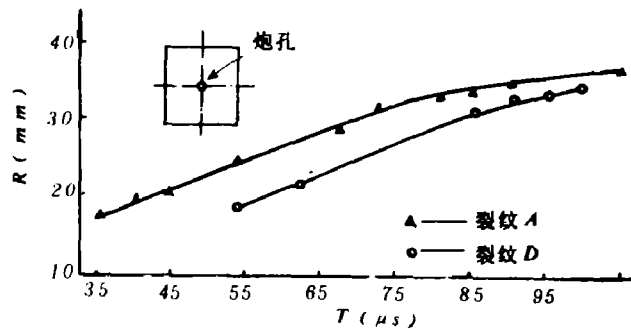


图11 裂纹A和D的尖端离炮孔中心的距离随时间的分佈曲线



图12 PP波的产生



图13 PP波与PS波分开

的反射波在模型的对角线上叠加, 引起拉应力集中, 从图14中可清楚地见到这一动态现象。图15是实验完成后收集的破片拼合起来后拍的照片。

#### 4. 爆炸冲击下的平板中的应力波

图16是用2号药包在平板的上沿中点施加爆炸冲击载荷得到的半平面中应力波传播的动态应力条纹图。从图中可见, 随着应力波的传播, 在上自由面产生的衍射作用下, 使向下传播的P波尾部的条纹发生畸变, 这与炮孔爆炸加载情况不同。图17表示了在大板中由炮孔加



图14



图15

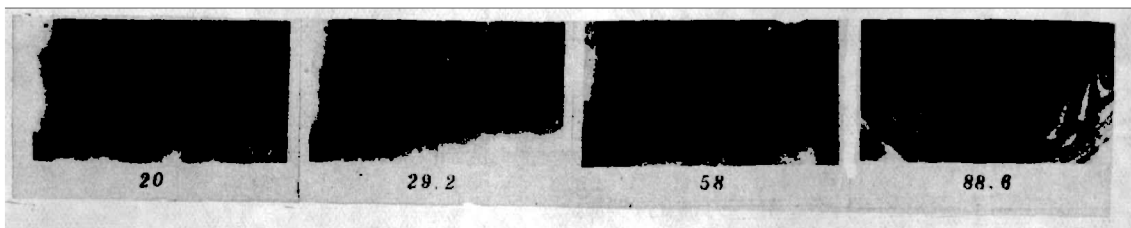


图16 (图下数字为起爆后的时刻, 单位:  $\mu s$ )



(a) 炮孔加载

(b) 边沿加载

图17

载和边缘加载时的应力波传播的动态条纹比较

### 5. 双孔同时加载时的应力波的传播

图18是用两个4号药包同时起爆而在模型中产生应力条纹的照片(两药包起爆时差约 $2 \mu s$ )。由图可见,左行波在没有与右行波相遇之前,各自的传播情况和单炮孔加载时的情况相同。当二者相遇时,发生应力叠加现象。图19表示在两炮孔联心线的中点处左行P波与右行P波叠加时的动态条纹。从图19上可见,二者相遇后,各自仍向前传播,中间出现了压应力区。图20则表示了左行S波与右行S波相遇时的动态现象

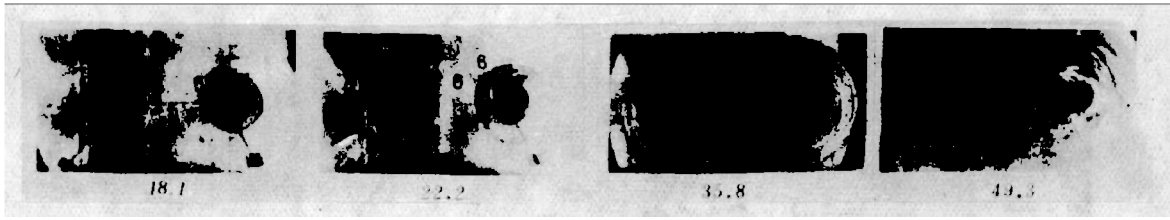


图18 双孔同时起爆时引起的动态应力条纹图(明场)  
(图下数字为起爆后的时刻, 单位:  $\mu s$ )

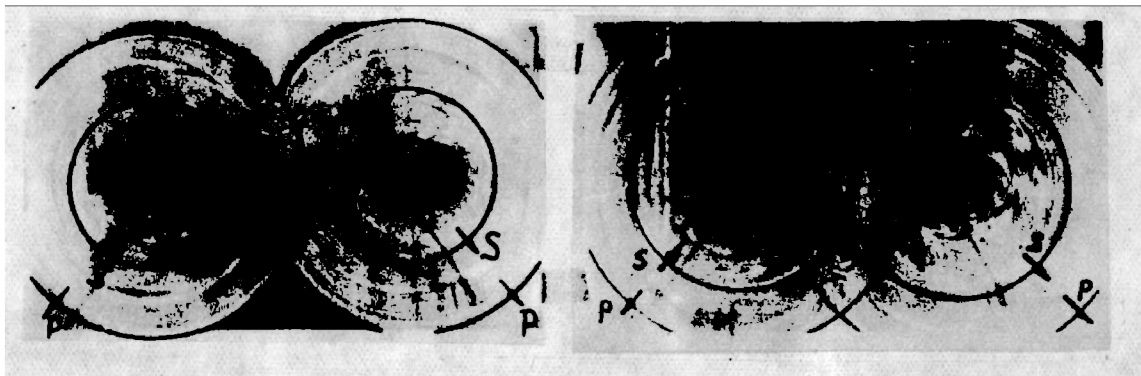


图19 左行P波与右行P波相遇时的动态应力条纹图

图20 左行S波与右S波相遇时的动态应力条纹图

### 6. 带有 $\square$ 形孔的模型中应力波的传播

图21是用1号药包在模型上沿中点施加爆炸冲击载荷而得到的动态条纹图。从图22上可以清楚地见到,当应力波与孔相遇后,一部分沿孔两侧继续向前传播,一部分则从孔顶向上反射,并在拐角处引起应力集中,与没有孔的半平面情况完全不同了。图23表示了孔的下角是 $90^\circ$ ,应力集中现象严重;孔的上边是半圆弧与直线相切,应力集中程度较轻。



图21 爆炸冲击下带 $\square$ 形孔的板中动态应力条纹图  
(暗场)(图下数字表示起爆后的时刻, 单位:  $\mu s$ )

### 7. 雷管爆轰过程

图24是自装雷管爆轰过程的一组照片。从照片上可以知道,在 $t = 9 \mu s$ 时雷管已经爆轰完毕,底壳开始沿轴向运动,爆轰产物沿轴向运动的速度比沿径向的速度高,沿轴向的平均速度约为 $1500 m/s$ 。

## 四、结 论

多火花式动态光弹性仪可以应用于爆炸力学的和防护结构的多种实验中,用动光弹技术





图22 应力波与孔相遇时的条纹图

图23 孔边应力集中现象条纹图

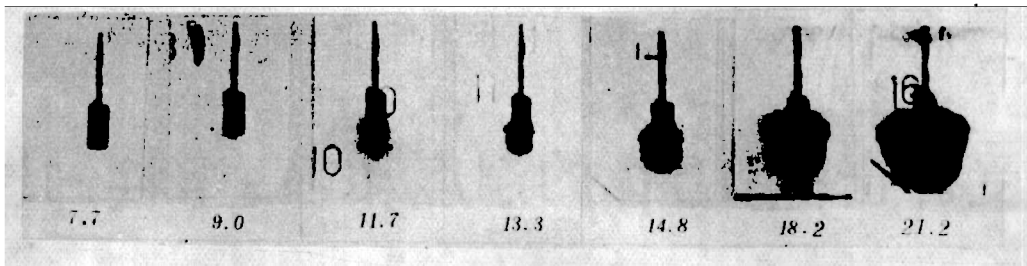


图24 雷管爆轰增长过程的动态照片

(图下数字为起爆后的时刻, 单位:  $\mu\text{s}$ )

可以得到爆炸加载的平面模型中应力分布的整场形象化的描述, 能够直接用于研究应力波在杆、板中传播的规律。对于轴对称的无限平面场可以由照片直接得到二维模型中炮孔周围爆炸应力场的动态定量描述。

单孔加载和双孔同时起爆加载的动光弹试验为爆破机理的研究提供了新的实验手段。可以用于研究矿山爆破中的光面爆破和子裂爆破的机理以及井巷开拓中的多孔掏槽时的应力分布。

该仪器还可以代替高速摄影机直接用于研究小型的爆炸现象。

爆炸-动光弹实验方法的探讨为“实验应力分析”的理论和技术的提出了新的课题。

本文是在王树仁付教授直接指导下进行的。笔者对方文儒老师和杜玉兰同志在实验中所做的帮助表示衷心的感谢。

### 参 考 文 献

- [1] Dally J. W., Riley W. F., and Durelli A. J., *SESA Proc.* 17 (2) (1960), 33-50.
- [2] Dally J. W. and Riley W. F., *Developments in Theoretical and Applied Mechanics*, 3 (1967), 357-377.
- [3] 苏先基、马连芬, *爆炸与冲击*, 4(1) (1984), 56.

PRELIMINARY APPLICATIONS OF MULTIPLE  
SPARK DYNAMIC PHOTOELASTIC  
APPARATUS IN THE TESTS OF  
EXPLOSION MECHANICS

Zhu zhenhai Yang yongqi

Abstract

The preliminary application of multiple spark dynamic photoelastic apparatus in the tests of explosion mechanics is described in the present paper. Several groups of dynamic photoelastic fringe patterns in typical models is presented. It provides a new way for the study of explosion mechanism.

## 受冲击NaI晶体的温度和弹-塑性卸载

谭 华 徐 达

(1984年12月25日收到)

本文给出了用光学方法测量碘化钠晶体在34万巴至74万巴下的冲击温度,给出了它的冲击熔化区,对样品在固相区,固液两相区及液相区的弹-塑性卸载特性进行了估算和分析。发现用弹-塑性声速计算得出的冲击熔化区与温度实测结果完全一致。

### 一、引 言

自从Kormer 等人在六十年代用光学方法测量了受冲击透明材料(NaCl、KCl等晶体)的温度以来,这一方法在凝聚材料状态方程的研究中受到了越来越多的关注,并在实验应用中得到了进一步的发展。近年来,R. G. McQueen等又将这一方法应用于测量某些金属材料(2024Al等)的弹-塑性声速。

本文报道了用光学方法测量受冲击NaI闪烁体晶体样品的温度的实验技术和结果。对于弹性和塑性追赶稀疏波进入样品后引起的卸载现象进行了估算和分析。实验测量的是 $\lambda = 6011\text{\AA}$ 单个波长下的亮度。采用NaI晶体样品,是由于它在受冲击压缩状态下有很高的发射率。

### 二、原理和实验

用光学方法测量透明材料在受冲击状态下的温度是以经典热辐射定律为基础的。受冲击