

# 错位散斑干涉在固体燃料 检测中的应用

常延馥 逯晓琴 田 中

(郑州工学院 激光室)

**提 要:** 本文论述错位散斑干涉对固体燃料“装药部件进行无损检测,其检测最小脱胶面积为 $3 \times 7 \text{ mm}^2$ ,与实际燃烧压强曲线相对照吻合很好。

**关键词:** 散斑法、干涉测量法、无损检验、固体燃料。

固体装药作为飞行器的动力能源,其固体药柱与外层胶套的粘接质量好坏,直接影响药柱的燃烧压强和燃烧速度,进而影响整个飞行系统运行精度和安全。因此,对固体药柱粘接质量的检测具有重要意义。

近年来,国内外激光干涉法已成功的应用于橡胶材料、复合材料、及蜂窝结构的无损检测,在工业、军事等方面已得到广泛的应用。而用于上述用途的激光散斑无损检测报导却很少。

我们针对装药这种部件的高曲率、高强度粘接及两种材料复合体的特殊被测物,将常规散斑错位干涉仪加以改进。对130多个装药进行了检测,而后进行实际点火实验,把记录到的燃烧压强曲线与用激光法测得的错位散斑条纹图相对照,两者结果能很好吻合。

## 1 工作原理

激光散斑错位干涉原理参见<sup>[1]</sup>。其记录光路如图1所示。图中被测物表面是较平坦的。

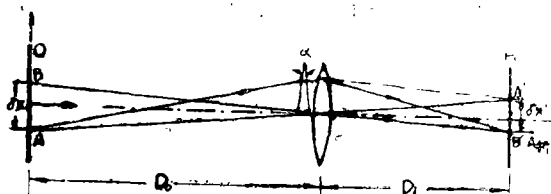


图1 记录光路示意图

为观察条纹采用付氏滤波法进行全场分析。按图1所示沿x方向错位,且使照明方向及观察方向与z轴夹角近似为零。这时可单独得到 $\frac{\partial w}{\partial x}$ 的值:

\* 参加研究工作的有: 丁勋、赵才福、王伶俐、姚刚

收到日期: 1988. 05. 15,

$$\delta u = \frac{\partial w}{\partial x} = \frac{(2n+1)\lambda}{4\delta_x} \quad (1)$$

式中,  $n$  为条纹级数。  $\delta_x$  为错位量, 它是由下式决定的,

$$\delta_x = D_0(\mu - 1)\alpha \quad (2)$$

上式中,  $D_0$  为记录光路中的物距。  $\mu$  为光楔折射率。  $\alpha$  为楔角。光路布置一定后, 上述因素均为已知量, 可求得  $\frac{\partial w}{\partial x}$  的值。记录底片上得到的是沿观察方向(图1中为沿  $z$  轴方向)的表面位移梯度。

而对于一个高曲率的圆柱形装药, 记录到底片上的位移梯度为外表面上各径向方向位移梯度在观察方向上(沿  $z$  轴观察)的分量, 见图2。

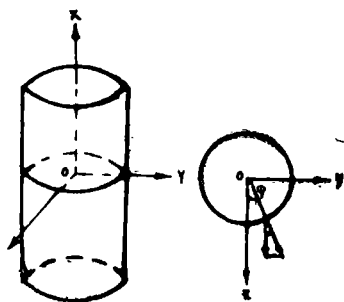


图2 位移梯度示意图

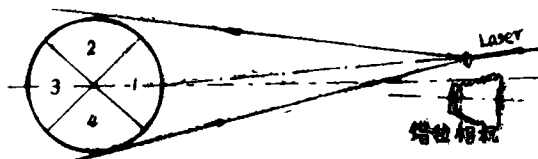


图3 错位散斑干涉仪的光学部分示意图

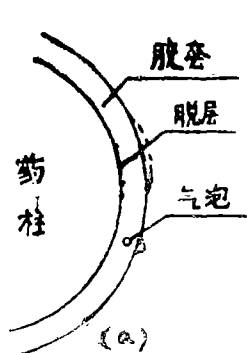
即  $\delta u_z = \delta u \times \cos \varphi$  (3) 式中,  $\varphi$  为被测点的径向与  $Z$  轴的夹角。  $\delta w_z$  为记录在底片上装药柱侧表面上各点的位移梯度。  $\delta u$  为装药侧表面上各点的径向位移梯度。

## 2 实验与测试

实验是应用本室研制的激光错位散斑干涉仪进行的, 装置的光学部分如图3所示。

装药柱的结构如图4所示。固体药柱与外橡胶套是用502胶粘接的。它具有很强的粘接能力。为了解检测精度, 在实测之前, 我们以具有人工脱层缺陷的装药为试件, 作了大量的试验。由于502胶粘接强度高, 在脱层区四周的束缚力很强。在实际粘接中, 橡胶层的内表面也难免粘合一薄层502胶而形成一硬壳。所以, 由此缺陷产生的变形曲率小, 也就是位移梯度小, 表现相应变形面积较大, 而条纹级次较低。对于外橡胶层内部气泡缺陷, 在同样条件下, 由于橡胶质地松软, 受载荷后易变形, 所以橡胶内含气泡缺陷而引起的变形位移梯度较大。在同样缺陷尺度下, 与脱层相比, 其条纹面积小, 条纹级次较高, 见图4所示。因此在阅读条纹图时, 条纹面积大而条纹级次又较低者为脱层缺陷的重要标志。从现有检测结果看胶套内的缺陷不易影响装药的燃烧特性。

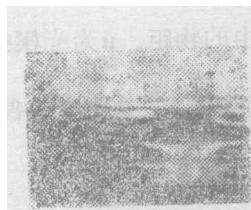
经大量模拟实验验证, 用错位散斑干涉法实测脱层的最小面积为  $3 \times 7 \text{ mm}^2$ , 见图5所示。5(a)为5(b)人工脱层装药的错位散斑干涉条纹图。而可测外胶层内含气泡的最小直径为  $\phi 1 \text{ mm}$  [1]。



(b)



(c)



5 (a)

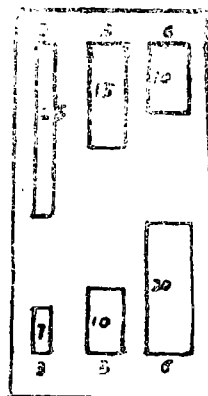


图4 (a) 装药柱缺陷变形示意图

(b) 由脱胶引起变形条纹示意图

(c) 由橡胶套内含气泡引起变形条纹

图5 (a) 人工脱胶缺陷的散斑错位条纹图

(b) 5(a)装药的人工脱胶缺陷示意图

具体检测过程如下:

1、为增加散射光强, 将装药外表面喷涂专用增白剂。

2、装药为曲率较大的圆柱体, 为能清晰显示条纹、以利判读、提高可靠性, 我们每次拍照180°的圆周侧面, 但φ角的有效测试范围仅取以z轴为对称的±45°区域, 使与相邻侧面有90°的复盖区。这样在规定的有效测试区边缘处, 即  $\delta w_x = \delta w \cdot \cos 45^\circ \approx 0.7 \delta w$ 。

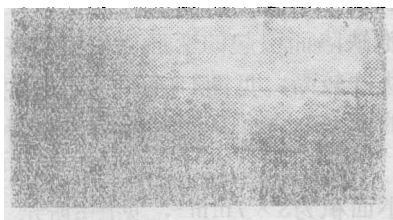
3、由于装药侧面为曲面, 我们采用广角、短焦、缩小孔径记录使景深加大, 可使全试件处在有效景深范围之内而不受离焦的干扰。

4、光源为30mmw的氦氖激光器。近轴垂直照明, 如图3所示。采用真空负压加载。对试件在二种不同压强下进行两次曝光。底片为柯达SO253型。记录后进行相应的显影、定影、干燥后即成负片。

5、用付氏滤波法观察条纹。

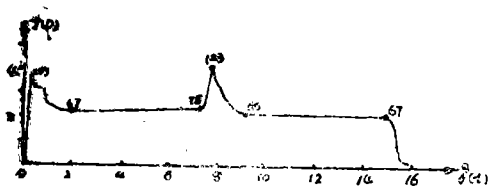
### 3 实测结果和分析

在上述实验的基础上, 我们分别承担了有关单位提供的上百只正式实用装药试件的测试任务。图6(a), 7(a)为用错位散斑干涉法获得较典型的装药试件干涉条纹图。图6(b)、7(b)



6 (a)

图6 (a) 粘接良好装药的错位散斑干涉条纹图



6(b)

(b) 粘接良好装药的实际点燃压强曲线

分别为与6(a)、7(a)相对应的燃烧压强曲线。其中所拍图6的装药试件为粘接良好, 点燃压强曲线6(b)也显示正常。而图7(a)中条纹区为脱胶部位。点燃时, 在脱胶部位燃烧面积将沿脱层而扩展加大, 使对应的压强曲线也偏高, 见图7(b)。激光测试结果与实际点火实验结果能很好相符。



图 7(a) 具有自然脱胶缺陷装药的典型错位散斑条纹图

实验表明, 用错位散斑干涉法检测装药准确率较高, 它具有散斑检测的优点, 对防震条件要求不高, 设备简单, 可用于实际生产检测。为此类产品的无损检测提供了一个有效测试方法, 为研制专用检测仪提供了可靠的实验基础。

在此, 我们对〇一四中心十一室的有关同志为我们提供有关实验曲线表示衷心感谢!

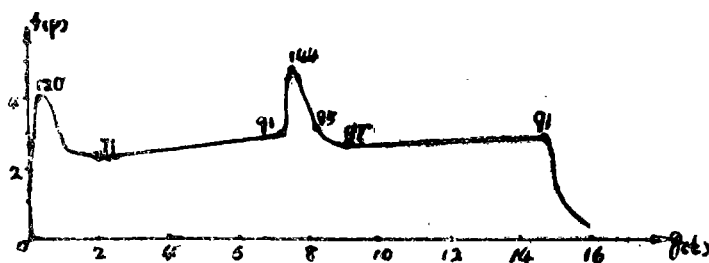


图 7(b) 具有自然脱胶缺陷装药的实际点燃压强曲线

### 参 考 文 献

- [1] Y.Y.Hung "A speckle-shearing interferometer a tool for measuring derivatives of surface displacements, Optics Comm 11(2)1974
- [2] Speckle Shearing Interferometry and its Applications "proceeding of spiz vol3701

## Applitation of Shearing Speckle Interferometry in Test of Solid Propellant

(Chang yanfu Lu xiao bin Tian zheng)

(Laser lab)

**Abstract** The NDT of solid propellant by shearing speckle interferometry is presented. the minimale tested area achieved  $3 \times 7 \text{ mm}^2$  and accord with the experiment.

**Keywords:** Speckle method, interferomeery, non-deseructtive -(ests), solidtulls