

炸药物理性能研究中的光学测试技术

黄 涛

(中国工程物理研究院化工材料研究所)

摘要 本文介绍了在炸药爆轰、感度和力学等物理性能的实验研究中应用的光学测试技术,其中包括高速摄影测试技术、光带法测试技术、激光干涉测速技术、瞬态高温测试技术、光纤传感器测试技术、阴影纹影测试技术和云纹测试技术等。

关键词 炸药物理性能 光学测试技术

引 言

光是一种重要的自然现象,光学与天文学、几何学、力学一样,是一门最早发展起来的学科。近代科学实践证明:光是个十分复杂的物体,具有“波动”和“粒子”的二象性。因此,利用光学进行各种物理量的精密测量,一直是测试技术领域中采用的主要方法之一。光学测试方法所具有的非接触性、高灵敏度、高精度以及光学图象的二维计量性,在工程应用上十分有意义。

在炸药的爆轰性能、力学性能、感度性能和无损检测等实验研究中,光学测试技术也起着非常重要的作用。

1 高速摄影测试技术

高速摄影测试技术在绝大多数情况下均属于非接触测量,对被测对象不产生任何干扰。该技术具有足够各种测试项目需要的时间分辨本领和空间信息容量,以较高的测试精度获得定量结果。测试结果直观、生动、易于保存和再现,具有“时间放大”的效果。

目前,高速摄影测试技术在炸药爆轰性能研究方面已经应用得非常普遍了,如爆轰速度、波剖面、冲击波速度、自由面速度及飞片速度的测量等,这当中采用了诸如光探板法、水箱法、倾斜反射镜法和棱镜法等光学技术^[1]。

普通高速摄影作为一种记录手段,本身就有一些不尽人意之处,如底片冲洗费时、费工,有时还会影响实验的成败,且底片判读的困难使整个数据处理比较复杂。而采用录像技术进行高速摄影,其操作简单,拍摄后可立即重现,无需冲洗,回播时可慢速或定格放映,且可以接电子拷贝机将显示的图象硬拷贝输出,使之成为永久的资料;此外,还可以与计算机联机,使数据处理非常迅速简单,直接得到试验所需的位移、速度、加速度、角度、角速度和角加速度等物理量。我所引进的美国柯达爱泰宝 1000 运动分析仪便是这样一套高速录像系统。该仪器的最高拍摄频率为 1000 幅/s,分割画面时可达 6000 幅/s。但是,目前

高速录像的时间分辨本领和空间分辨率还不如其它的高速相机,故其应用范围有一定的限制。

2 光带法测试技术

高速摄影和高速录像都需要价钱昂贵的高速相机或高速录像机,而且对照明条件都有较高的要求,能否有另一种途径来完成同样的功能呢?回答是肯定的。光带法便是这样一种测试技术^[2,3]。

光带法测试技术的测量原理是:用光学方法组成一条光带,让被测物体通过光带,检测光强的变化,从而获得物体运动的信息。该测试技术由功率为毫瓦量级的氦氖激光器、扩束光学系统、光电转换系统、瞬态数据采集系统和计算机数据处理系统组成。

扩束光学系统比较简单,只需几个透镜便可。光电转换系统可以采用光电二极管、光电倍增管或CCD器件等组成。显然,该测试技术所需的仪器设备比较简单,其记录速度取决于瞬态数据采集系统的采样频率,测量数据便于计算机处理,主要适用于弹速、管壁膨胀速度、碰撞等非发光物理现象的研究,如枪管、炮管发射时挠度与振动测量,弹丸飞行速度与航角测量,弹丸撞靶测量以及圆筒试验测量。不足之处是该测试技术只能获得一维信息。

如上所述,当用高速摄影、高速录像或光带法技术测量各种速度时,实际上是测位移随时间的变化,然后微分求解速度,或测时间间隔,求得平均速度,故测速精度不太高,下面将要介绍的激光干涉测速技术可直接获得速度参量,可以提高速度测量精度。

3 激光干涉测速技术^[1,4]

激光干涉测速技术的基本原理是用干涉法检测运动物体产生的多普勒频移,因该频移是物体运动速度的函数。

这种测速技术的主要特点是:既可测量位移随时间的变化,也可直接测速度随时间的变化。位移测量精度可达到 3×10^{-5} mm量级,速度测量也在1%左右;可以测量局部范围物体的速度和位移。此外,该测试系统抗干扰能力强,可应用于漫反射面物体的测量。

这种测试技术的典型仪器有:激光位移干涉仪,法布里-珀罗标准具激光速度干涉仪,任意反射表面速度干涉仪(VISAR)和光学记录速度干涉仪(ORVIS)等。

4 瞬时高温的测量^[1,4]

温度描述了物体内部分子、原子微观运动状态的统计规律。测温对研究炸药的爆轰机理具有重要的意义。

从能量的观点出发,利用温度辐射的基本定律测量热辐射体的温度都是基于基尔霍夫定律和黑体辐射定律。应用温度辐射诸定律测定高温的方法,称为光测高温法,其中的瞬时辐射体温度测量可分为光电方法和扫描光谱方法。

光电方法是先用标准光源标定,然后求出两个不同波长的亮温和色温,再测得辐射体的光谱辐射率,从而求出辐射体的真实温度。

现代的光谱辐射计配有单色仪,有较高的光谱分辨率,采用高灵敏度的光电倍增管作

传感器,输出可以是模拟量,也可以是由计算机进行数据处理的数字量,但每次只能测一个波长的辐亮度。

扫描光谱方法是把高速扫描相机同光栅光谱仪结合在一起,一次可记录多条扫描谱线。由于是记录在胶片上,故数据处理复杂。

5 光纤传感器技术^[1,4]

光纤利用光的全反射原理传输光波,光在光纤中的传播途径为折线。光纤芯径一般约为 $60\mu\text{m}$,外径为 $100\mu\text{m}$ 左右,具有抗电磁干扰,损耗低,频带宽,信息容量大,尺寸小且柔软易弯曲等特点。

光纤在传输光时,外界环境的变化将影响传输光波的强度、位相、干涉特性和偏振状态等参数,测量这些参数的变化,便可求出外界环境的变化,这就是光纤传感器的基本依据。光纤温度传感器的测量原理是这样的:把光纤置于待测温度场中,当温度改变 ΔT 时,由于光纤材料的热膨胀和折射率的变化,使传输光波相应地产生相移 $\Delta\varphi$,用干涉仪测出 $\Delta\varphi$,即可求出 ΔT 。在爆轰试验中,光纤传感器主要是用来传递光信号。比如把光纤埋在炸药中便可测爆速,利用它对外界强电磁场的不敏感,可代替电探针在强电磁场环境中工作。

6 阴影纹影技术^[1,4]

阴影纹影技术在空气动力学实验中有广泛的应用,是流场显示的一种经典方法。它能测量光学折射率发生变化的区域,使空气中的激波或温度场等物理现象成为人眼可见的图象。配合高速相机,可显示电雷管爆炸后管壳表面微粒子喷射和表面冲击波的情景,显示爆轰产物小孔射流时微物质喷射等精细结构。

在炸药安全性能研究的 Susan 试验中采用了阴影纹影技术来显示弹丸撞击钢靶时的形变状态以及撞击时产生的冲击波。

7 云纹技术^[1,4]

云纹技术适应范围广,设备简单,量程大,对被测物体没有特殊的物理或化学性能要求。采用这项技术,可以得到较大范围的全场位移、相对转动、弹塑性形变、裂纹的形成及发展和振动特性等参量随时间变化的连续信息,已广泛用于实验力学研究中,特别是在冲击载荷下物体的瞬时应力-应变场的测量,三维形变的测量,破裂机理研究以及物体受力后的振动特性分析等方面,应用日益广泛。

云纹技术也可用来测量炸药压制加工过程的应力-应变场,测量炸药部件的热应力-应变,以及测量炸药在瞬态作用下的裂纹过程。

8 结束语

激光给古老的光学带来了勃勃生机,使许多光学技术在工程上的应用成为可能,近代光学测试技术正是在此基础上发展起来的。光学技术不仅用于炸药的物理性能测量,而且也用于炸药的化学性能测量,本文限于篇幅,未能涉及这方面的内容。光是一种信息载

体,可反映和携带各种研究对象的信息,因而可把光学技术应用于不同的研究课题中。此外,光电技术与计算机技术的结合一直是测试技术研究的重点,在某种意义上也体现了掌握和发展现代测试技术的水平。

参 考 文 献

- 1 谭显祥. 光学高速摄影测试技术. 北京: 科学出版社, 1992.
- 2 Eisenreich N, Kugler H P, Liehman W. An Optical Method to Investigate the Dynamics of Motion and Deformation in Ballistics. Seventh International Symposium on Ballistics, 1983.
- 3 Penner S S, Wang C P, Bahaori M Y. Laser Diagnostics Applied to Combustion System. Twentieth Symposium International on Combustion, The Combustion Insitute. 1984.
- 4 杨国光. 近代光学测试技术. 第1版. 北京: 机械工业出版社, 1986.

OPTICAL MEASURING TECHNIQUES IN RESEARCH OF EXPLOSIVE PHYSICAL PROPERTIES

Huang Tao

(*Institute of Chemical Materials, CAEP*)

ABSTRACT This paper reviews the application of the optical measuring techniques in the research of explosive physical properties, such as the high speed photography, optical band method, laser velocity interferometer, dynamic high temperature measurement, optic-fibre sensor, shadow photography, schlieren photograph, moire photography and so on.

KEY WORDS explosive physical properties, high-speed photography.