

一种高精度重锤落体测速装置*

李党娟 刘唐唐 孙浩 刘群华

(西安工业大学光电工程学院 西安 710021)

摘要:在火工品验收检测中,爆炸冲量是一个非常关键的参量。炸药在空中爆炸时生成的空气冲击波的峰值和冲量是衡量弹药爆破及杀伤效果的一项重要指标,其准确测量具有重要的意义。针对火工品爆炸元件测试的需求,在现有测试技术的基础上,提出并实现了重锤落体测速装置;利用双狭缝探测结构,使光源和重锤的速度同步;设计红外发射和红外接收阵列,对电路进行抗干扰设计;在强电磁场等恶劣环境下,系统可自动完成多组数据连续测试,并给出测量数据;与铅柱法冲量测量进行了对比,测量精度大于 $\pm 1\%$ 的设计要求,证明本测试装置稳定可靠。

关键词:火工品;重锤;测速;双狭缝

中图分类号: O384 TQ564 TN219 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 130.35

High accuracy velocity device work on falling bodies

Li Dangjuan Liu Tangtang Sun Hao Liu Qunhua

(School of Optoelectronics Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710021, China)

Abstract: In the explosive detection, explosion impulse is a key parameter. The peak value and impulse of the explosion generation when they are in the air are important parameters, and it is an important index to measure the effect of blasting and kill, especially ammunition damage. A high accuracy velocity device work on falling bodies was given for the measurement needs of initiating explosive devices based on the current measure technique. For keeping the synchronization of light source and the hammer speed, double aperture slit was used in the device. The infrared transmitter, infrared receiver array and the circuit anti-jamming were designed to keep the device working in harsh environments such as strong electromagnetic fields. The system can give the measured data, and realize the multiple sets of data automatically and continuously. The impulse measure result was compared between chamber column and this method. The measurement accuracy is greater than $\pm 1\%$. The results prove that this test device can work stable and reliable.

Keywords: initiating explosive devices; hammer; velocity measurement; double aperture slit

1 引言

火工品是一种受到很小外界能量激发即可按预定时间、地点和形式发生燃烧或爆炸的元件或装置,能产生各种预期效应。评价火工品性能的优劣,除必须的质量检查外,最终要靠试验来确定,所以火工品的检测至关重要^[1]。炸药在爆炸时产生的冲量是炸药能量特性的一项重要参数,也是衡量炸药特别是爆破及杀伤能力的一项重要指标,对其准确测量具有重要意义。火工品在瞬间起爆,起爆后残骸面目全非,因此爆炸冲量测量一直困扰科研人员。重锤落速装置可以直接反应爆炸冲量,在火工品爆炸低速精确

测量领域具有应用价值^[2]。

2 常规冲量测量方法

目前的火工品爆炸实验一般通过重复性尝试测试方法确定炸药起爆的瞬时速度,而这种试验方法是一次性而且产生永久性的破坏,每一次的成本高达几万元,实验成本高,而且费时费工。测试时,通过假定的自由落体测试速度也存在误差,影响到对炸药起爆瞬时速度的评定,因此对其性能的判断也会不够准确。

对于炸药爆炸威力的测定,主要通过铅柱法和白炮法等传统方法测量炸药的做功能力和猛度。对于爆炸或辐照

收稿日期:2015-06

* 基金项目:陕西省教育厅科技(2013JK1053)项目

产生的冲量测量,目前主要采用冲击摆、压电传感器、水平和垂直导轨实验以及电荷耦合器件(CCD)照相机等方法^[3-5]。冲击摆的冲量测量原理是将待测冲量与冲击摆的摆角联系起来,数学模型易于建立。该方法具有较强的抗干扰能力的优点,但冲击摆通常是复摆,实验中复摆的质心和打击中心难以准确确定,对冲量测试精度影响较大。

对于部分用于军事弹药以及鱼雷、水雷等水中兵器的含铝炸药,对其性能的研究,水下爆炸法是最好的方法之一。通过对不同含铝炸药水下爆炸的冲击波压力剖面 and 气泡脉动周期进行测量,可以确定水下爆炸冲击波的峰值压力、冲量、冲击波能和气泡能,进而评估炸药的总能量,对军事弹药和水中兵器的研究都大有帮助^[6-8]。但仍存在测试条件苛刻,测试精度低等缺点^[9]。

传统的测试冲量方法有^[10-15]:

1) 如果物体所受的力是大小和方向都不变的恒力 F , 冲量 I 就是 F 和作用时间 t 的乘积;

2) 以旋转编码器为核心部件建立的一套冲击摆冲量测试系统,实现了冲击摆系统转动惯量等系统参数的高精度标定;

3) 针对微型固体推进器测试动力性能和内弹道性能的要求,提出通过综合测试位移和加速度参量获得冲量和推力变化的测试方法,建立测试装置力—位移通道的数学模型。

以上各种冲量测试方法,成本高,操作步骤复杂,费工费时,自动化程度低,测量精度低,数据处理也比较烦琐。重锤落体测速装置就是为解决以上问题、克服现有技术的不足,填补国内外目前在检测炸药起爆瞬时效能低速测试方面的空白等而提供一种高精度、实时测量,自动记录和显示数据、抗干扰、结构简单以及使用方便的测速装置。

3 技术方案

火工品在瞬间起爆,起爆后连残骸都面目全非,因此爆炸冲量的测量难度很大。在本装置研究中,关键技术体现在以下3个方面。

1) 较强的抗干扰能力:无论是结构上的设计、光学系统的精确计算、电路的设计等,都有很大的难度,特别是光学系统中的红外发射和红外接收光源阵列,不仅要考虑光接收效率,还要消除双狭缝带来的光学干涉的不利影响,必须经过精确的理论推导和计算来实现。

2) 提高测量精度:在光源的选择上也必须考虑发射光源的合理位置和器件性能,并对装置的机械结构进行创新设计,使发射光源发出的光线近似于一个线性平行光源,大大提高了测量精度。

3) 提高智能化:为应对复杂或几近恶劣的测试环境,对测试处理电路等的设计也是技术难点,而本装置可以实现无人干预的全自动测量,提高了智能化测量水平。

重锤落体测速装置,主要用于重锤下落速度的精确测量。测试原理如图1所示。

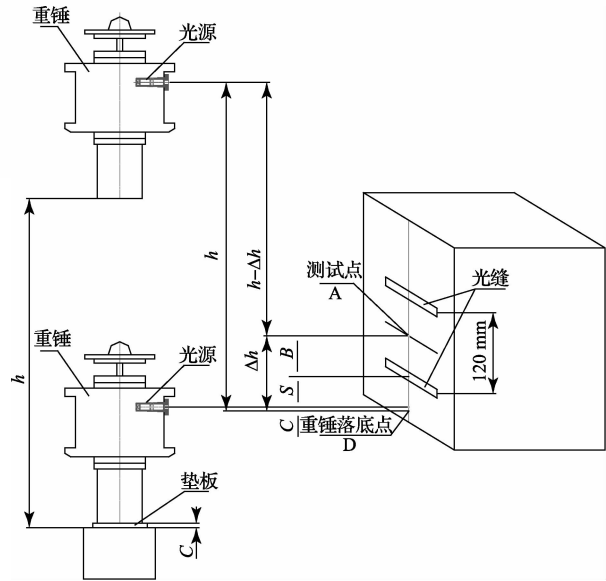


图1 重锤落体测速原理

在重锤上装一个光源,发出一束细光束,对向测时仪,测时仪上有两条 $S=120\text{ mm}$ 的光缝,当光束依次经过上下光缝时,光幕传感器采集重锤到达两个光幕的信号,将其传输到测时仪的输入端。时间间隔测试仪测量重锤经过两个光缝的时间差 t 。重锤经过两个光缝的平均速度: $v = \frac{S}{t}$ (m/s),要得到重锤落到底的速度,需做修正。

由图1可见,重锤落底时速度 v_h ,测试点的速度 $v_{h-\Delta h}$ 是有差异的,其下落高度差 Δh 。为了简化计算,在这段小的距离上,假设重锤落下的运动为自由落体运动(重锤沿垂直导轨下落,由滚动轴承支撑,其摩擦阻力应该不大,可以近似按照无摩擦阻力的自由落体运动来计算),根据自由落体运动公式:

$$h = \frac{1}{2}gt^2 \quad (1)$$

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad (2)$$

式中: $g = 9.8\text{ m/s}^2$ (西安地区 $g = 9.7944\text{ m/s}^2$)。

重锤落底时计算速度:

$$v_h = gt = g\sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{2gh} = 4.4272\sqrt{h} \quad (3)$$

测试点的理论计算速度为:

$$v_A = v_{h-\Delta h} = \sqrt{2g} \times \sqrt{h-\Delta h} = 4.4272\sqrt{h-\Delta h} \quad (4)$$

式中: $\Delta h = S+B+C$,是重锤落底时光点到测试点的距离(mm); S 是重锤落到垫板时光点到下边光缝的距离(mm),测试时,此值应尽量调小,以便减小误差;一般 $S=8\text{ mm}$; $B=6\text{ mm}$,是测速点到下边光缝的距离; $C=1\text{ mm}$,是垫板厚度;故 $\Delta h=15\text{ mm}$ 。

两者速度差为:

$$\Delta v = v_h - v_{h-\Delta h} = 4.427 2(\sqrt{h} - \sqrt{h-\Delta h}) \quad (5)$$

重锤落底时实际速度:

$$v_D = v_A + \Delta v = v_A + 4.427 2(\sqrt{h} - \sqrt{h-\Delta h}) \quad (6)$$

如果要标定重锤下落 X 时的速度 v_X , 则需将重锤提升到 $h = X + \Delta h$ 的位置。则:

$$v_A = v_{h-\Delta h} = v_{X+\Delta h-\Delta h} = v_X \quad (7)$$

4 实验结果及分析

由于冲量 Ft 和动量 $m v$ 均是矢量, 所以动量定理是一个矢量表示式。动量的方向与其速度的方向相同(因为把动量和速度看做两个向量, 那么根据共线向量定理 $b = \lambda a$, $a \neq 0$ 所以 λ 为正时动量的方向与速度相同, λ 为负时动量的方向与速度方向相反, 同理可得冲量的方向与力的方向相同或相反)。动量的运算符合矢量运算规则, 如果物体运动在同一直线上, 在选定一个正方向以后, 动量的运算就可以简化成代数运算。本实验中, 相关参数如表 1 所示。

表 1 参数取值

S	8 mm	m	100 g
B	6 mm	s	120 mm
C	1 mm	g	9.794 4 m/s ²

为评定测试装置的测量精确度, 对 TNT 和 Tetryl 两种炸药进行了冲量测量和计算, 并与铅柱法测量结果进行了对比^[16], 结果如图 2 所示。

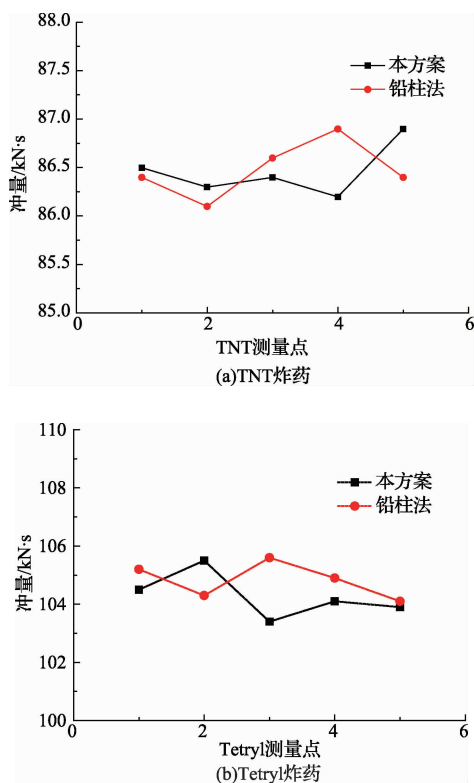


图 2 两种测量方法比较

重锤落体测速装置是将光电探测技术和精密机械结构以及数据采集传输技术相结合, 设计研制的高精度实时显示的测试装置。本设计成功的解决两个核心问题:

1) 设计光幕传感器, 使光幕间距固定, 测量精度高, 采用红外阵列作为接收器件, 提高抗干扰能力和灵敏度高。

2) 设计的计时测速电路, 不仅可以测量速度和时间间隔, 还可用来测量射频; 可现场打印出所测数据。

从测试结果看, 对于 TNT 炸药的冲量测量, 平均误差为 0.02 kN·s; 对于 Tetryl 炸药的冲量测量, 平均误差为 0.54 kN·s。该方案测量的结果与使用铅柱法进行了比较, 二者具有较好的一致性。证明了本方法的可靠有效, 并能够满足测量精度大于 $\pm 1\%$ 的设计要求。

5 结论

测量装置采用双狭缝探测结构, 通过设计并精确确定双狭缝的位置、宽度, 保证了光源和重锤的速度同步; 避免了光源之间的干涉, 使得重锤落底的速度测量更加精确和准确; 机构紧凑。设计红外发射和红外接收阵列, 对电路进行抗干扰设计, 使用非接触式的光电探测方法, 测量安全可靠、抗干扰性强、灵敏度高, 可在强电磁场等恶劣环境下正常工作。测量电路在设置完成后, 无需人工干预, 可自动完成多组数据连续测试, 自动给出测量数据; 保证了数据的及时性和测量人员的人身安全。

参考文献

- [1] 胡晓艳, 沈兆武, 刘迎彬, 等. 炸药参数对高锰钢爆炸硬化性能的影响[J]. 爆炸与冲击, 2015, 35(2): 255-260.
- [2] 信强, 刘群华, 赵新林, 等. 红外光幕靶信号采集与调理电路设计[J]. 电子设计工程, 2010, 18(4): 99-102.
- [3] 刘群华, 陈霞, 杨波, 等. 光幕性能测试系统数学建模和软件设计[J]. 光学技术, 2009, 35(2): 217-220.
- [4] 林鹏, 王长利, 李迅, 等. 压杆式压电应力传感器在爆炸冲量测试中的应用[J]. 应用数学和力学, 2015, 36(增刊): 29-35.
- [5] 袁帅, 文尚刚, 李平, 等. 强爆轰驱动飞片的数值模拟研究[J]. 爆炸与冲击, 2015, 35(2): 197-202.
- [6] 张远平, 池家春, 龚晏青, 等. 含铝炸药水下爆炸性能的实验研究[J]. 高压物理学报, 2010, 24(4): 316-320.
- [7] 徐立松, 李佩玥, 葛川, 等. 高精度 D/A 电路的设计与实现[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(12): 21-25.
- [8] 李党娟, 吴慎将, 杨远生. 基于 LabVIEW 的冲量测试系统开发[J]. 国外电子测量技术, 2012, 31(1): 63-66.
- [9] 王鹏, 程芸, 董书莉. 基于 FPGA 的多格式数据传输设计[J]. 电子测量技术, 2014, 37(1): 70-75.
- [10] FENG D CH, QIN H Y, ZENG Y. Study on straw incineration monitoring based on the combination of remote sensing image[J]. Instrumentation, 2014, 1(3): 25-42.

- [11] 周翟和,汪丽群,沈超,等. 基于 CPLD 的磁致伸缩高精度时间测量系统设计[J]. 仪器仪表学报, 2014,35(1): 103-108.
- [12] 胡梅,胡列峰,明德祥. 模拟电路统一软故障诊断的研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2013, 27(11): 1060-1066.
- [13] 严蓉,陈伟民,章鹏,等. 温度对相位法微波测距测相精度的影响研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2014,28(2): 192-197.
- [14] 胡进忠,余晓芬,刘媛媛. 基于激光多边法的坐标测量系统自标定研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2014, 28(2):130-137.
- [15] 童晓,孔德仁,李丽萍,等. 冲击波压力比冲量求取方法探讨[J]. 弹箭与制导学报, 2014,34(5):94-97.
- [16] Л. П. 奥尔连科(俄). 爆炸物理学[M]. 第3版. 孙承伟译. 北京:科学出版社,2011.

作者简介

李党娟,1978年出生,副教授。主要研究方向为光学检测、电路设计。
E-mail:xxatu@163.com

横河发布示波记录仪 DL850E/DL850EV 全新模块

横河公司10月15日发布3款全新插拔模块,适用于示波记录仪 DL850E/ DL850EV,包括:4通道隔离模块(采样率:1 MS/s,分辨率:16 bits),高速隔离模块(采样率:100 MS/s,分辨率:12 bits)和 SENT 模块。SENT 模块是通用测试仪器领域首款支持 SENT 通信协议的模块。

开发背景

随着节约能源和保护全球环境意识的持续提高,要求电力电子设备、家电产品和车辆更加节能。为了减少能量消耗,生产效率更高的逆变器和电机显得尤为重要,因此需要在开发阶段对很多不同的项目进行测量和评价。另外,随着可再生能源和智能电网应用的迅速增长,电力和能源市场对于高速记录多种信号能力的需求也不断增加。而在汽车行业,依赖于 SENT 协议与 ECUs₂通信的高分辨率数字传感器应用越来越多,因此需要能够监控这些通信的解决方案。

为了满足这些需求,横河针对 DL850E/DL850EV 系列示波记录仪开发出3款全新模块,这使得可用插拔模块数量增长到19个,极大扩展了 DL850E/DL850EV 系列示波记录仪的应用。

新模块主要指标

1)型号 720254:4通道隔离模块(采样率:1 MS/s,分辨率:16 bits)

使用这款模块,输入通道的数量增加了1倍。在单台 DL850/DL850EV 示波记录仪上最多可安装8个这样的模块,使其隔离记录数据的能力最高可达32个高速高分辨率通道。此外,该模块可测量高达600 V的电压,在长期监测和分析大型发电机组及多输出电源的供电信号以及车辆 ECU 和动力传输系统的多点测量方面均有很好的应用。该模块多点同时记录的优异性能也可以有效应用于故障排查。

2)型号 720211:高速隔离模块(采样率:100 MS/s,分辨率:12 bits)

除了具有12 bits分辨率和高达1 kV的隔离能力,这款2通道模块具有100 MS/s的采样率,使其成为市场上最快的数据记录器之一。单台 DL850E/DL850EV 示波记录仪最多可安装8个这样的模块,能以100 MS/s的采样率高速监测并记录多达16个通道。针对电机、逆变器和其他高电压条件下工作并具有先进控制功能的电力设备的开发和评估,该模块是记录逆变器多点信号波形的理想工具。

3)型号:720243:SENT-监测模块(仅适用于 DL850EV)

作为业界首款 SENT 模块,通用测量仪器安装该模块后可使用 SENT 协议对数据传输进行监测。此模块可用于研发和生产使用 SENT 输出传感器的汽车,并且也支持通过 SENT 输出值反复确认物理量变化以确定其一致性的应用。

主要应用

- 设计和开发过程中测得的电压、电流和物理量等传感器信号的记录、计算和分析。

- 出于实验目的所进行长期数据的记录和评估

注:

- *1:每秒百万次采样,表示采集一个波形时的速率

- *2:电子控制单元:汽车中用于控制各种电气系统和子系统的嵌入式系统。

关于 DL850E/DL850EV 示波记录仪

示波记录仪 DL850E/ DL850EV 的主要特点是,可以长时间监测物理信号输出,尤其对机电一体化开发时在噪声验证方面特别有用。示波记录仪既是一台可以捕捉瞬态事件的示波器,也是一台具有高分辨率和超长趋势记录功能的数据记录仪。