

DL-32/16型多路时间间隔 测量仪及其应用

邵英斌 董金轩 曹科峰

(中国工程物理研究院流体物理研究所 成都 610003)

摘要 基于模拟内插原理,研制了一种精密多路时间间隔测量仪。该仪器有一个公共起始通道和32或16路停止通道,测时范围50ns~820ms,分辨力1ns,精度优于 ± 5 ns。由于采用了内部微处理器,仪器具有内部自检、通道识别、差错指示和测量数据自动显示、打印、处理及掉电保护等功能,并能给出多次测量的平均值、最大值和最小值。实验测量了T/Γ炸药的爆速和钨合金中的冲击波速度,得到满意的结果。

关键词 模拟内插 多路时间间隔测量仪 冲击波 爆轰波

中国分类号 TM932

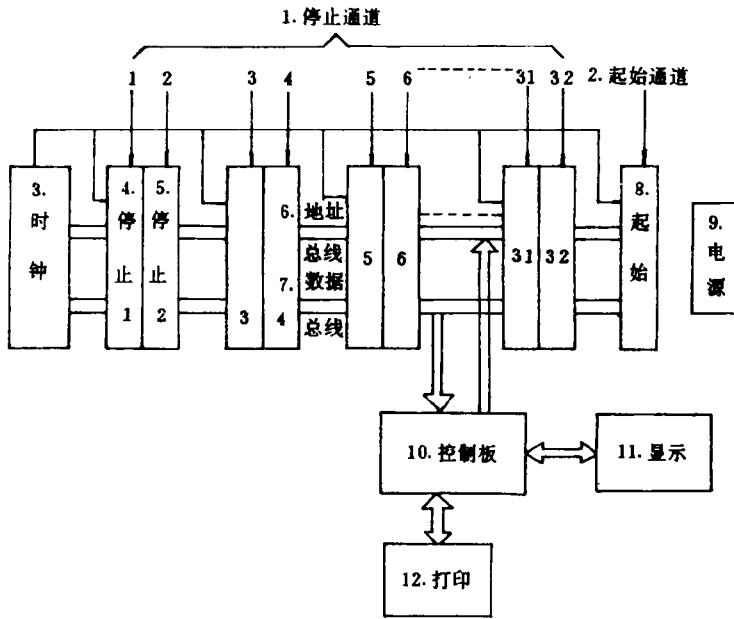
时间间隔测量在爆轰与冲击实验研究中占有十分重要的地位。为了确定某些复杂炸药的爆轰波形,往往需要测量几十甚至上百个时间数据。为了评估某些爆炸装置的威力,常常需要测量几十乃至上百毫秒范围的走时。在高速碰撞现象研究中,为了确定碰靶的角度,要求在几百纳秒的测时范围内的测量精度为几个纳秒。以往进行这种类型的实验,只能使用大量的单路精密测时仪或快速示波器,测试系统庞大复杂,可靠性差,效率低。为满足爆轰与冲击实验中多路、宽量程、高精度的测时要求,我们研制了DL-32型和DL-16型多路时间间隔测量仪。该仪器采用模拟内插和微处理器技术,具有32路或16路测量通道,测时范围50ns~820ms,分辨力1ns,精度优于 ± 5 ns。仪器采用16位高亮度LED显示,具有内部自检、通道识别、差错指示、显示打印和测量数据掉电保护等功能。测量通道输入阻抗为低阻50 Ω ,具有较强的抗电磁干扰能力。关键电路采用进口军用器件,保证了仪器的可靠性。两年来已在国内许多单位推广使用。

1 仪器结构和原理

DL-32/16型时间间隔测量仪采用模拟内插原理^[1]和微处理器技术。整个仪器由起始板、停止板、控制板、时钟、显示打印电路和电源等七部分组成,其方框图如图1。

DL-32型有一个公共起始通道,32个独立的停止通道。各个通道的工作原理完全相同,参看图2。

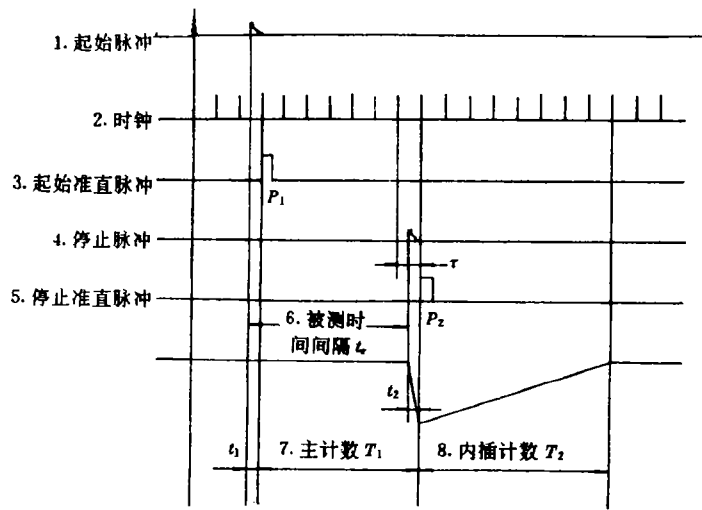
起始信号和停止信号经衰减、比较、整形后,分别送入起始、停止脉冲准直电路,形成两个与时钟完全同步的起始准直脉冲 P_1 和停止准直脉冲 P_2 。 P_1 用来开启主计数器, P_2 用来



1. "Stop" channel; 2. "Start" channel; 3. Clock; 4. Stop; 5. Stop; 6. Address bus; 7. Data bus; 8. Start; 9. Power supply; 10. Controller; 11. Display; 12. Print

图 1 DL-32 型原理方框图

Fig. 1 The block diagram of DL-32 Multichronometer



1. "Start"; 2. Clock; 3. "Start" alignment; 4. "Stop"; 5. "Stop" alignment; 6. Interval being measured; 7. Main count; 8. Interpolation count

图 2 模拟内插和时间放大原理

Fig. 2 Schematic diagram of analog interpolation and time amplification

关闭主计数器,计得的时间为 T_0 。由于 P_1 、 P_2 是与时钟同步的,故 T_0 的计数 N_0 是完全确定的,不存在非同步引起的计数误差。

起始脉冲和 P_1 之间的时间差 T_1 由起始准直电路检出,停止脉冲和 P_2 之间的时间差 T_2 由停止准直电路检出,两者分别送入起、停内插时间放大器进行放大。所用时间放大器线性很好,且放大倍数 K 很稳定,在所用时钟与主计数时钟相同的情况下, T_1 和 T_2 的测量精度将是直接计数法的 K 倍。

从图 2 不难看出,被测起始信号和停止信号之间的时间差 t_x 可用下式表示

$$t_x = T_0 + T_1 - T_2 = [N_0 + (N_1 - N_2)/K] \cdot \tau \quad (1)$$

式中: N_0 为主计数器计数; N_1 为起始内插计数器计数; N_2 为停止内插计数器计数; K 为内插时间放大器的放大倍数; τ 为时钟周期。

2 测量误差

由仪器的工作原理,可知仪器的测量误差由三部分组成,主计时误差、内插计时误差和触发误差。

如前所述,由于用来启闭主计数器的准直脉冲 P_1 和 P_2 与时钟是完全同步的,因此主计数器的计数 N_0 是完全确定的,不存在通常直接计数法因非同步所产生的 ± 1 个计数误差,故主计时误差仅与被测时间间隔 t_x 和时钟稳定度 p 有关。本仪器晶振时钟的稳定度优于 10^{-8} ,故此项误差为 $10^{-8}t_x$ 。

触发误差取决于输入信号的电压上升速率和输入比较器延时晃动及触发阈值漂移。当信号幅度为 150V 左右,前沿 t_r 小于 30ns 时,使用 20 倍衰减头,此项误差一般在 0.05 t_x 以内。

内插计时误差原因较多,包括准直脉冲检出误差,时间放大器非线性误差,放大倍数 K 值误差,时间放大波形过零检测误差及 ± 1 个内插计数误差。本仪器所用时钟频率为 20MHz,时间放大倍数 $K=100$,相当于内插计数时钟间隔为 0.5ns,故内插计数 N_1 和 N_2 不确定性所引起的总误差为 ± 1 ns。加上前述几项内插误差在内,总的内插计数误差为 ± 3 ns,可以看作是仪器本身的基本测量误差。

综上所述,本仪器的测量误差可用经验公式表述

$$\text{测量误差} = \text{基本误差} + \text{触发误差} + \text{时钟误差} = (\pm 3\text{ns}) \pm 0.05t_x \pm 10^{-8}t_x \quad (2)$$

实验室检测和爆轰试验考核表明,仪器的单次测量精度一般优于 ± 5 ns。

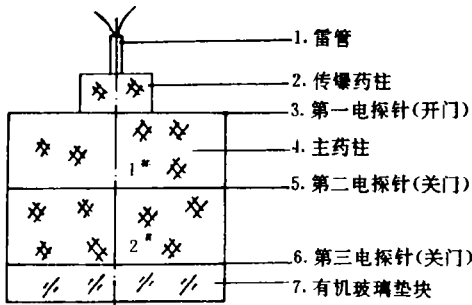
3 应用

作为例子,这里给出了 DL-32/16 型多路时间间隔测量仪在测量爆速和冲击波速度方面的应用。

3.1 爆速测量

实验装置如图 3 所示,仪器连接见图 4。实验中用 24-1-3D 型高压雷管起爆,起爆脉冲电压为 12kV。第一电探针安装在传爆药柱和 1 号主药柱之间,并联产生的两路信号分别作为两台 DL-16 型的开门信号。第二、第三电探针分别安装在 1、2 号主药柱的底面,各并联产生 6~8 路信号作为关门脉冲。起始和停止脉冲都由 CM01 型网络信号产生器产

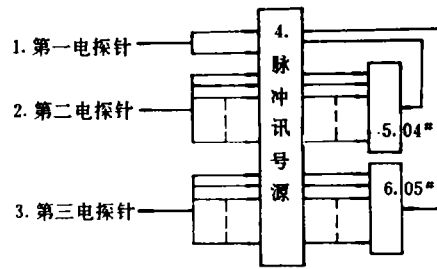
生,其幅度约 150V,前沿优于 20ns。共进行了三发试验,测得的同一组信号的最大极差为 7ns,最小极差为 3ns,所得爆速测量的相对误差为 0.1%~0.4%,见表 1。



1. detonator; 2. explosive; 3. probe "start"; 4. explosive
5. probe "stop"; 6. probe "stop"; 7. lucite pad

图 3 爆速测量装置

Fig. 3 Experimental arrangement for detonation velocity measurements



1. 2. 3. probes; 4. pulse generator;
5. 6. DL-32 multichronometer

图 4 仪器连接

Fig. 4 Interlink of instruments

表 1 实测爆速结果

Table 1	Experimental detonation velocity				mm/ μ s
试 验 序 号	第一发	第二发	第三发	相对误差	
1,2 探针间爆速/(mm/ μ s)	7.73	7.74	7.68	0.4%	
1,3 探针间爆速/(mm/ μ s)	7.78	7.78	7.77	0.1%	
2,3 探针间爆速/(mm/ μ s)	7.83	7.82	7.84	0.1%	

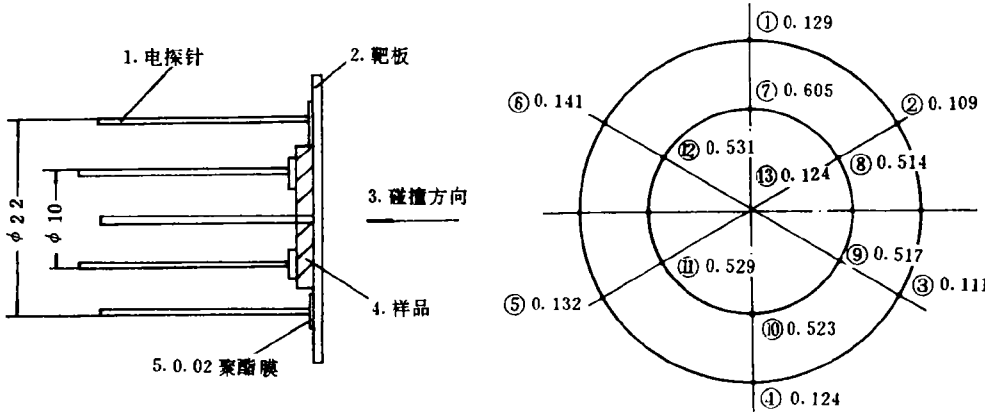
3.2 冲击波速度测量

在 37mm 口径二级轻气炮上,用 DL-32 型测量 93W 钨合金中的冲击波速度。实验装置如图 5 所示。在靶板被撞面,装有两根精细加工的抗气流干扰的同轴盖帽式探针,并联接至有一个放电电路上形成仪器的开门信号,其余探针都装在靶板背面。在 $\phi 22$ mm 圆周上均匀布置 6 根探针,用来给出冲击波到达下表面的时间。中心处的一根探针与这 6 根探针在同一平面上,它的到达时间与 $\phi 22$ mm 圆周上 6 根探针到达时间的差异反映冲击波阵面的波形差。在 $\phi 10$ mm 圆周上也布有 6 根探针,它们给出冲击波传播样品厚度的到达时间。由样品平面和靶板平面记录的时间差确定冲击波速度。

碰撞板、靶板和样品均为 93W 合金。用立式光学计测得样品厚度为 2.5467mm,准确度 1μ m,相对测量误差 0.04%。用磁飞行体技术测得弹丸速度 $w=3.680$ km/s,预期冲击波在样品中传播时间约为 100~500ns,在此量程内,所用 13 个测量通道经标定最大误差为 $(+3/-2)$ ns。用 HP54111D 高速数字示波器测量信号在所设定的 450mV 触发阈上信号

前沿的分散性在 0.4ns 以内。因此本实验中测量误差由 DL-32 型本身的基本误差所决定, 相比之下触发误差、样品厚度误差及探针定位误差可以忽略。

实验测得各探针冲击波到达时间如图 6 所示。其中 $\phi 22\text{mm}$ 圆周上 6 根探针到达时间按三个直径平均为: $\bar{t}_{1,4} = 0.1265\mu\text{s}$; $\bar{t}_{2,5} = 0.1205\mu\text{s}$; $\bar{t}_{3,6} = 0.1260\mu\text{s}$ 与中心探针的到达时间 $t_{13} = 0.124\mu\text{s}$ 最大只差 3.5ns, 说明碰撞板引进的冲击波波形差很小, 在仪器精度之内可以看作是平面碰撞。而周围 6 根探针的平均到达时间 $\bar{t}_{1\sim 6} = 0.1243\mu\text{s}$, 与中心探针仅差 0.3ns, 说明仪器的实际测量精度很高。



1. Probe; 2. Target; 3. Impact direction

4. Sample; 5. Insulate film

图 5 冲击波速度测量装置(单位:mm)

图 6 各探针记录的冲击波到达时间(单位:μs)

Fig. 5 Setup for shock wave velocity measurement

Fig. 6 Shock wave arrival times recorded by probes

由实测数据算得的冲击波斜碰的动态角为 0.4° , 93W 中的冲击波速度为 $D = 6.3827\text{mm}/\mu\text{s}$ 。

根据钨合金 93W 的化学组分, 利用迭加原理处理出 93W 的冲击绝热线为

$$D = 3.990 + 1.292u \quad (3)$$

式中 u 为粒子速度, 本实验中 $u = v/2 = 1.840\text{mm}/\mu\text{s}$ 。将实验测得 $D = 6.3827\text{mm}/\mu\text{s}$, 代入 (3) 式, 算得的 $u' = 1.8519\text{mm}/\mu\text{s}$, $|(u' - u)/u| = 0.6\%$, 说明迭加原理给出的冲击绝热线与实验结果符合得极好。

邓德忠、林学跃、杨嘉、李晓强、廖汉宁、卢敏等参与仪器研制。王圣平、王金贵、马冰等同志提供了实验资料。谨此致谢。

参 考 文 献

1 TSN632M Multichronometer Technical Manual, THOMSON-CSF, France, 1981

MODEL DL-32 MULTICHRONOMETER AND ITS APPLICATIONS

Shao Yingbin, Dong Jinxuan, Cao Kefeng

(*Southwest Institute of Fluid Physics of CAEP, Chengdu, 610003, P. R. China*)

ABSTRACT Based on the principle of analogous interpolation, a precise multichronometer has been developed. It has one common start channel and 32 or 16 individual stop channels, each with 50ns~820ms range, 1ns resolution and an accuracy better than ± 5 ns. Controlled by a built-in microcomputer, it features self test, trigger recognition, error indication and automatic data display /print. In multi-measurement mode, it can provide the maximum, minimum and average values. Experimental measurements of detonation velocity in T/ Γ explosive and shock wave velocity in 93W alloy have been successfully carried out with satisfactory results.

KEY WORDS analog interpolation, multichronometer