

WPG-30型微机控制 铍转镜扫描相机及其应用

谭显祥 许婉倩 朱美娟

(西南流体物理研究所)

摘要 本文阐述了新研制的WPG-30型微机控制铍转镜扫描相机的主要技术性能、特点及其在爆炸力学实验中的初步应用情况。该机采用铍镜透平,扫描速度达15 km/s,并保持相机的强光大,因而提高了它的时间分辨本领。使用微机控制台,提高了相机的自动控制程度和测速精度。通过爆轰实验表明,这种新相机对波形差的分辨能力和时间间隔的测量精度都有很大提高。

关键词 高速转镜扫描相机 爆轰学 微处理器应用

1. 引言

高速转镜扫描相机是爆炸力学实验研究中重要的测试仪器,经常用于测量飞片或冲击波的运动距离随时间变化过程,从而求得运动参数,确定材料的物态方程。计算表明,当铜样品中压力为360 GPa时,对厚度为2 mm的样品,仅由于测试仪器1 ns的时间误差,就会导致压力测试误差达5 GPa,相对误差为1.3%。因此,提高仪器的时间分辨本领,降低时间测试误差是十分必要的。

现有的钢转镜扫描相机,最高时间分辨本领为5 ns左右,显然满足不了高压测试的要求。而且,所用的控制台,过去都从性能稳妥可靠出发,采用电子管线路,致使控制台体积庞大笨重,电源功耗大。针对以上存在的这些问题,在原来SJZ-15型相机基础上,我们重新设计研制了一种新的WPG-30型相机。这种相机采用铍镜透平和微机控制,提高了相机的时间分辨本领、自动控制程度和测速精度,使其性能更符合爆炸力学研究工作的需要。

2. 铍转镜的特点及相机主要技术性能

转镜扫描相机中,扫描速度 V_s ,转镜边缘线速度 u 和对底片相对孔径 A 之间有如下关系

$$V_s = 4u \cos \phi / A \quad (1)$$

其中 ϕ 为主光轴与转镜法线的夹角。要提高仪器的时间分辨本领,就要提高相机象面上的扫描速度。从式(1)可知,提高扫描速度的一种途径是降低 A 值,也就是增加扫描半径。但实践证明,这种方法在多数情况下不可取。另一种是我们采用的途径,即提高转镜边缘线速度 u 。但 u 增加后,转镜平面在离心力作用下将变为柱面,产生柱面象散,使象质变坏。根据柱面焦距 f'_c 的大小与柱面象散成反比的关系,可用它来表征动态象质的好坏。 f'_c 由下式给出

$$f'_c = E / (\mu \rho b \omega^2) \quad (2)$$

式中, b 为转镜厚度; ω 为转镜角速度; E 为材料弹性模量; μ 是泊松系数; ρ 为密度。 $E/(\mu\rho)$ 值总称为转镜材料特性常数。当 $b\omega^2$ 一定时, $E/(\mu\rho)$ 值越大, 则 f' 越大, 动态象质就越好, 反之则差。因此, $E/(\mu\rho)$ 值大的材料最适宜于制作高速转镜。研究表明, 铍的这一特性常数大致是钢的52倍。因此, 铍和钢两种材料做成同样尺寸转镜并在相同转速下运转时, 铍镜的动态象质比钢镜好得多。实践证明, 钢镜允许的最大边缘线速度为200 m/s左右; 铍镜在空气中旋转时, 允许的最大边缘线速度约420 m/s。这时的象质主要受铍镜周围空气扰动的影响。如果在真空中运转, 其速度还可进一步提高。

采用铍镜透平和微机控制台以后, 相机的主要技术性能如下

- (1) 扫描速度为1.5~15 km/s, 可调。
- (2) 最高时间分辨本领为1~2 ns。
- (3) 反射镜转速, 自 3×10^4 致 30×10^4 r/min 变化。
- (4) 对底片相对孔径为1/10。
- (5) 最高转速时的动态目视分辨率不低于25 IP/mm。
- (6) 相机组合焦距为1.5 m, 1.2 m和0.6 m 三种。
- (7) 控制台测速误差(按符合显示), 当转速小于 15×10^4 r/min时, 不大于 $\pm 0.3\%$; 当转速大于 15×10^4 r/min时, 不大于 $\pm 0.6\%$ 。能打印出各转的实际周期值
- (8) 高压三台, 幅度大于15 kV, 前沿小于 $2 \mu\text{s}$ 。
- (9) 延时分三路, 5~230 μs 延时两路及零延时。图1为相机外形。右边为分立组件微机控制系统。左边为光机部分, 第一物镜焦距0.6 m, 相机组合焦距1.2 m。

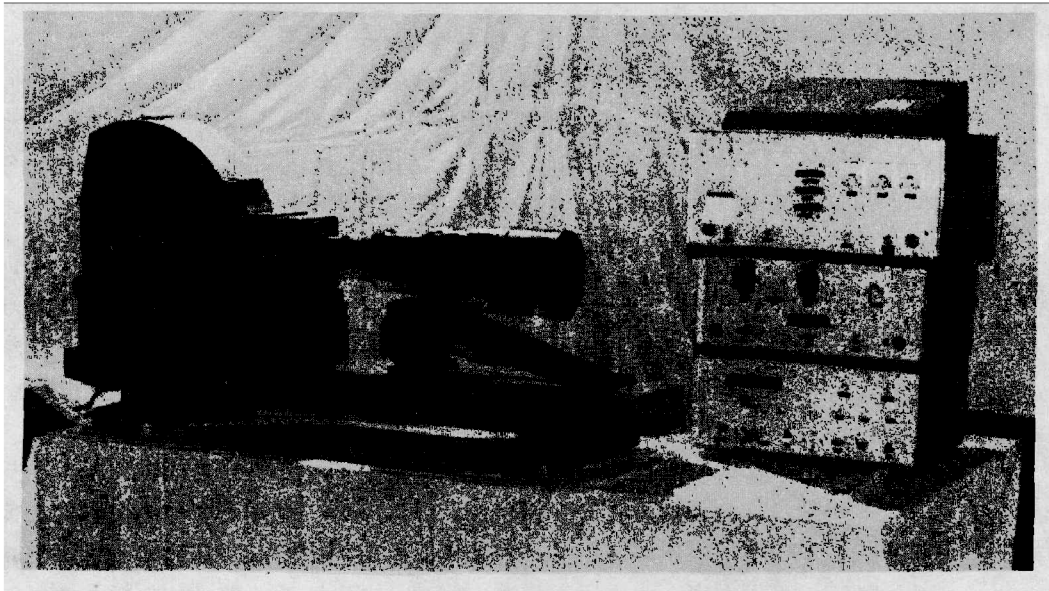


图1 WPG-30型相机外貌

Fig.1 General view of Model WPG-30 camera

3. 微机控制

微机控制台由TP801-Z80 单板机, TP801 P 打印机和接口线路组成。它的功能与SJZ-

15型和FJZ-30型高速相机控制台基本相同。但微机控制台既可按固化程序实现控制，也可执行手编程序，并将执行过程中有关数据一一打印出来，供测试者分析判断。它对转镜每隔一转的周期值进行测量，连续显示转镜速度的变化。并可按指令打印出开、闭电磁快门的转镜周期，符合周期和引爆-拍摄周期等。图2是微机控制台的主要工作流程。

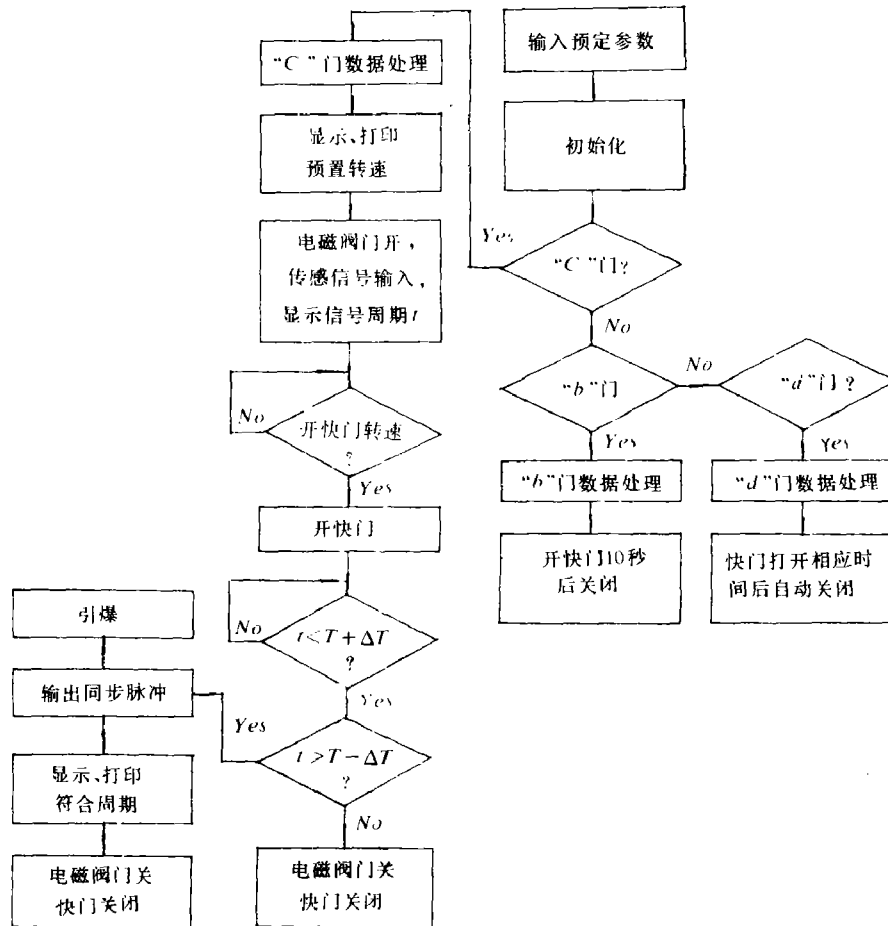


图2 微机控制台主要工作流程

Fig. 2. Main working program of micro-processor control unit

根据实验需要，首先装入预定的转镜速度，选定快门工作方式。然后系统清零进入初始化程序，并把输入信息送内存。接着，微处理器对快门工作方式判断，如果执行“c”门操作，则按“c”门参数（包括快门打开和关闭的转镜转速，符合测速误差 ΔT 的指定等）和程序执行。并在控制台面板上显示和打印预置转速。这时，按下执行键，即可启动电磁快门，压缩空气进入透平。设预置转速的周期为 T ，指定误差为 ΔT （本控制台用10MHz晶体测速，故 $\Delta T \geq 0.1 \mu s$ ），则转镜的实际旋转周期 t 应满足以下关系

$$T - \Delta T < t < T + \Delta T \tag{3}$$

式(3)规定的周期值 t 即称为符合周期。符合后，输出同步脉冲，引爆被摄对象，同时发

出指令关闭快门和电磁阀门, 结束程序。如果在操作过程中, 不等式(3)不完全成立, 例如 $t > T - \Delta T$ 的情况很快被越过而没有符合时, 控制台也会发出指令, 自动关闭快门和电磁阀门。

由以上工作程序可以看出, 转镜速度测量误差, 如果以符合转速为准, 则取决于 ΔT 的大小。相对误差为 $\pm \Delta T/t$ 。减小 ΔT 值固然对测速精度有利, 但同时也减小了符合输出的几率。此外, 符合后的第二个转镜周期, 即为引爆-拍摄周期, 它也能直接被测出。以此作为相机扫描速度的计算依据。实践证明: 转镜的升速过程有振动, 使周期值出现左右摆动。造成符合周期与引爆-拍摄周期的偏差, 最大偏差可达1%。因此, 实时测速方法提高了转镜的测速精度。

微机控制台最后打印输出的格式, 举例如下: (右边括号内的文字为输出结果的解释)

Result.

Rotation speed, $24 \times 10^4 r/min$ (预置转速),

RC(open), $00304.2 \mu s$ (开快门时相应转镜周期),

RC(before trig), $\dots 00251.2 \mu s, 00251.2 \mu s, 00251.1 \mu s, 00251.3 \mu s, 00251.1 \mu s, 00251.1 \mu s$ (符合之前任意个转镜周期——相邻数据间隔一个周期)。

RC(Trigger), $00251.0 \mu s$ (符合周期),

Close time $00250.9 \mu s$ (关快门时转镜周期, 或引爆-拍摄周期)。

以上数据, 有助于测试工作者对拍摄结果的分析。

4. 应用实例

WPG-30型相机, 已用于爆炸力学实验研究工作中。图3是用它测试 $\Phi 100$ 炸药平面波发生器底部波形的拍摄结果。同一批号的平面波发生器, 当相机扫描速度为 3 km/s 时, 波形

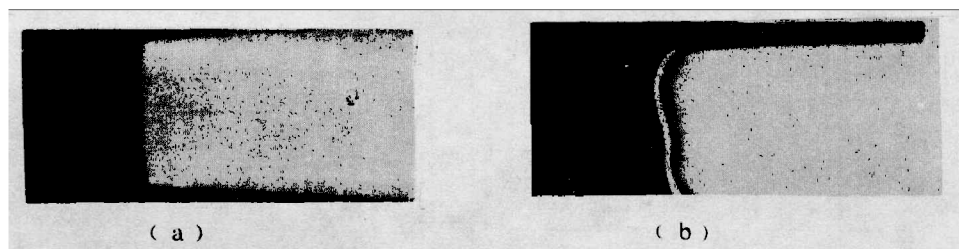


图3 波形测量

Fig. 3 Measurement of wave pattern

见图3(a), 整个平面波发生器底部波形“平直”, 波形差测试精度低。当扫描速度提高到 15 km/s 后, 所得波形信号见图3(b)。此时波形差明显, 分辨能力大大改善, 提高了波形差的测量精度。

图4为另一种爆轰试验装置, 在平面波发生器中心紧贴厚度 $\delta \approx 3 \text{ mm}$ 的炸药样品。取扫描速度分别为 3 km/s , 7.5 km/s , 15 km/s 拍摄装置底部直径方向波形, 所得结果见图5(a), (b), (c)。

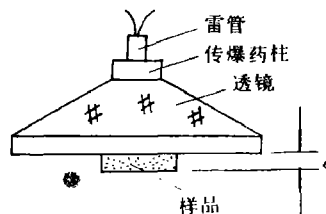


图4 炸药实验装置

Fig. 4 Experimental set-up of explosive

由图可以看出, 扫描速度提高到 15 km/s 时, 所得图象清晰, 表明该相机具有强的物理光学力。随着扫描速度的增加, 爆轰波在炸药薄片传播时间 Δt ($\Delta t = \delta/V$) 的测试精度也相应提高。实测结果, 当 $V_s = 15$ km/s 时, $\Delta t = 0.472 \pm 0.004 \mu\text{s}$, 时间间隔测量相对误差为 $\pm 0.9\%$ 。而当 $V_s = 3$ km/s 时, 这一时间间隔测量的相对误差高达 $\pm 5\%$ 。说明随着相机时间分辨本领的提高, 小时间间隔的测量精度才有保障。同时, 也增加了揭示爆轰实验细微现象的能力。例如反映在图 4 和图 5 中炸药平面波发生器底部波形的弯曲等。

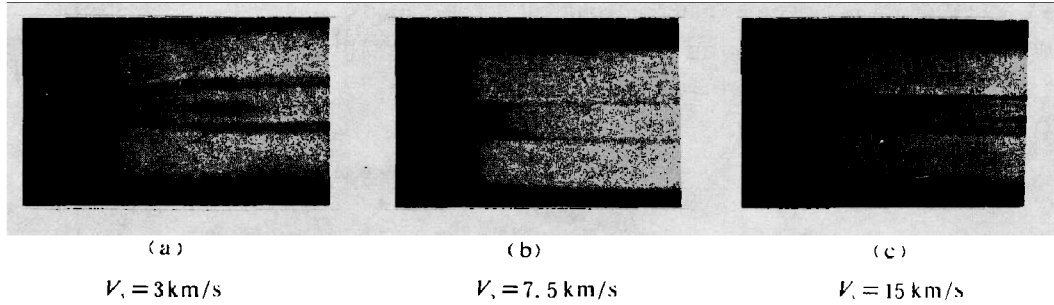


图 5 不同扫描速度的时间间隔测量

Fig. 5 Time interval measurement for different streak velocity

经较长时期爆轰试验考核表明, WPG-30 型扫描相机具有良好的使用性能。它于 1988 年 5 月由核工业部组织国内同行专家鉴定后认为: “整机具有扫描速度高, 动态象质好, 时间分辨本领高, 实时测速, 自动化程度高, 操作简便, 性能稳定可靠等特点”。可以在爆炸力学等实验研究领域发挥好的作用。

相机主要研制人员包括景成生、桑永生、刘常龄等同志。爆轰试验考核工作得到了许多同志的大力支持, 特别是黄福同志自始至终参加了这一工作。笔者谨致谢意。

MODEL WPG-30 HIGH-SPEED ROTATING BERYLLIUM MIRROR STREAK CAMERA CONTROLLED BY MICRO-PROCESSOR CONTROL UNIT AND ITS APPLICATIONS IN DETONATION

Tan Xianxiang, Xu Wanqing, Zhu Meijuan

(Southwest Institute of Fluid Physics)

ABSTRACT The main specifications and some experimental examples of the model WPG-30 high-speed rotating beryllium mirror streak camera controlled by micro-processor control unit are described in this paper. The camera is produced recently for the use in explosion dynamics. The main specifications are as follows:

Writing rate: from 1.5 to 15 km/s.

Max. time resolution: 1–2 ns.

Relative aperture at the film: 1/10.

Dynamic visual space resolution in Max. rotating mirror speed is better than 25lp/mm.

Total recording time: from 170 to 17 μ s.

Film record: 24 \times 255 mm².

Measurement accuracy of rotating mirror period values are better than $\pm 0.6\%$ when rotating mirror speed is in 15×10^4 to 30×10^4 r/min. In the same time, the rotating mirror period value at photographing time can be measured in real time.

Because of in advance of cameras technical specifications, some experimental examples in detonation have shown that the wave pattern resolving ability and the time interval measurement accuracy are all improved clearly.

KEY WORDS rotating mirror streak camera, detonation, micro-processor application.