

文章编号: 1001-1455(2005)06-0574-03

FJZ-1000 型超高速转镜分幅相机及其应用*

李 剑¹, 畅里华¹, 谭显祥¹

(1. 中国工程物理研究院流体物理研究所, 四川 绵阳 621900)

摘要: FJZ-1000 型超高速转镜分幅相机最高摄影幅频为 1×10^7 幅/s, 画幅总数 160 幅, 尺寸 7.5 mm × 10 mm。光学系统中新加入场镜以使相机的所有画幅均完整成像, 使相机摄影频率全面达到标称值的技术指标。配备了新型数字化微机控制台, 使相机的操作更加方便, 并且实现了两台气动相机的联合拍摄, 与脉冲 X 光机也进行了联动实验。相机达到了设计技术性能指标, 实验取得了满意的结果。

关键词: 爆炸力学; 高速摄影; 高速转镜相机; 爆轰实验

中图分类号: O381

国标学科代码: 130 · 3599

文献标志码: A

1 引言

高速摄影仪器中, 超高速转镜分幅相机的摄影频率主要集中在 $10^4 \sim 10^6$ 幅/s 段, 在研究各种快速流逝过程时, 应用极广泛, 是最主要的测试手段之一。诸如火花放电、爆炸、激光及等离子体诊断等^[1]。超高速转镜分幅相机的摄影频率的高端与高速变像管相机衔接, 摄影频率仅次于变像管相机。因转镜式分幅相机在成像质量、摄影频率不均匀性以及画幅总数等方面的优势, 使其使用经久不衰。

FJZ-1000 型超高速分幅相机最高摄影频率 1×10^7 幅/s, 是目前我国在用转镜式相机中具有最高技术性能的设备。过去, 该相机的四排图像只有中间两排可用, 故摄影频率除该两排间达到 1×10^7 幅/s 以外, 其余均只能达到 3.33×10^6 幅/s。

本文中, 阐述了使相机全面达到 1×10^7 幅/s 摄影频率技术指标所需做的光学工作, 经完善这些光学工作后, 该相机已在爆轰试验中获得了高质量的试验结果。

2 相机技术性能指标

摄影频率: $2 \times 10^6 \sim 1 \times 10^7$ 幅/s;

动态摄影分辨率: 15 mm^{-1} ;

总画幅数: 160 幅;

等效相对孔径(对底片): 1/28.6;

画幅尺寸: 7.5 mm × 10 mm;

主物镜焦距: 1 000 mm, 300 mm;

静态目视分辨率: 22 mm^{-1} ;

工作方式: 同步。

3 光学更新

为实现孔径光阑与入瞳之间的良好匹配, 并尽可能减小入瞳(主物镜通光口径)的尺寸, 在主物镜和第一转像物镜之间的视场光阑处, 设置适当光焦度的场镜^[2]。显然, 场镜不会影响整个系统的光焦度, 对光学系统最终成像的质量影响也可忽略, 但它为光阑共轭、减小光学系统外形尺寸的要求创造了灵活的设计条件。图 1 是孔径光阑与主物镜通光口径共轭的光学系统图。为达到光阑共轭和减小主物镜通光口径限制的目的, 除了孔径光阑的位置要合适外, 场镜最佳焦距 f'_0 的计算, 应按式(1)进行。

$$f'_0 = (b + a\beta) / (1 - (b + a\beta/d')) \quad (1)$$

$$\beta = a' / a \quad (2)$$

* 收稿日期: 2004-11-24; 修回日期: 2005-04-21

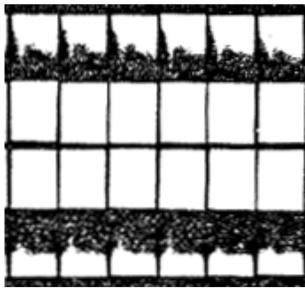
作者简介: 李 剑(1976—), 男, 硕士, 工程师。

式中： β 是孔径光阑经第一转像物镜的放大率； d' 是主物镜 ($f' = 1\ 000\ \text{mm}$) 在常用物距 $10\ \text{m}$ 时的像距。

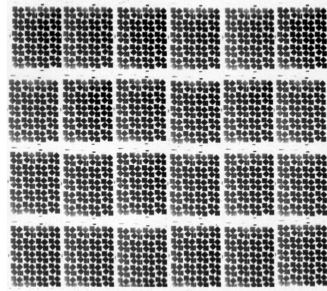
经过上述光学更新后，所有的画幅均可完整成像，相机更新前后在底片上的成像情况如图 2 所示。每幅图像的有效曝光时间 t_e 直接由共轭光阑宽度 W 和转镜扫描速度确定

$$t_e = \frac{W}{4\pi Rn} \quad (3)$$

式中： R 为排透镜环的半径； n 为转镜转速。当 $n = 5\ 000\ \text{r/s}$, $t_e = 0.1\ \mu\text{s}$ 。即相机时间分辨率为 $10^{-7}\ \text{s}$ 。



(a) Before improved



(b) After improved

图 2 光学更新工作前后相机画幅比较
Fig. 2 Frames before and after improved

4 控制系统^[3]

控制台由计算机、电控柜、气控柜三部分组成。计算机单元提供了一个虚拟仪器面板，向单片机控制系统传递操作人员设置的工作方式、转镜速度、延时时间等数据，实时接收控制单元传来的整个系统状态信息并显示，完成实验数据的处理和输出，如拍摄过程曲线、存储实验结果报告、打印实验结果报告等。转镜驱动的新气控系统在压力控制的基础上增加了流量控制，加入了电动调节阀。电动调节阀的最大相对误差为 $\pm 1.5\%$ ，最大流量为阀门全开时，定位为 100% ，阀门全闭流量截止时定位为 0 。新增的流量控制功能还可实现微量调节，使低气压小流量供气更加稳定。新控制台在设置摄影频率时可按要求连续调节，转镜转速测量相对合成不确定度（相对于标准信号源）不大于 0.1% 。并具有多台气动高速相机实现同步拍摄的功能。

5 金属圆柱体破裂实验

用圆筒实验可以获得炸药加速金属时金属壁的比动能（单位质量的壁所获得的动能），也可给 JWL 状态方程提供某些参数^[4]。不同材料做成的金属圆柱体，在炸药爆轰驱动下，其膨胀和破裂过程和相关现象，是断裂力学研究中最关心的问题之一。

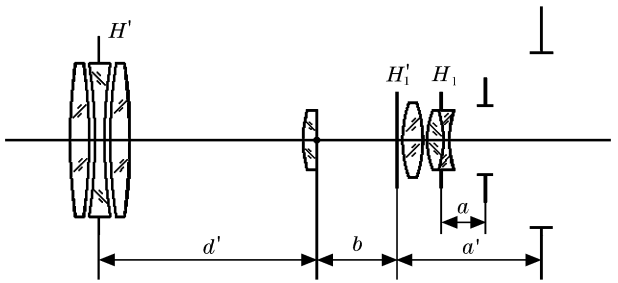


图 1 孔径光阑与主物镜间的共轭关系
Fig. 1 Conjugation of aperture stop and edge of the objective

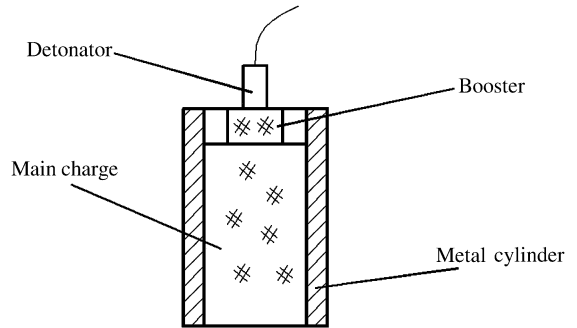


图 3 金属圆柱体破裂实验装置图
Fig. 3 Experimental setup



图 4 20 钢膨胀破裂过程
Fig. 4 Experimental results of steel

图3是研究金属圆柱体破裂的实验装置图。获得的金属圆柱体膨胀发展过程如图4、图5所示。图4采用金属材料是20钢,相机用 0.8×10^7 幅/s的频率拍摄。图5采用的金属材料是紫铜,相机的拍摄频率为 0.4×10^7 幅/s。实验图片清晰完整。此外,还对圆柱壳体剪切失稳破坏模式进行了高速分幅摄影系列实验研究^[5]。

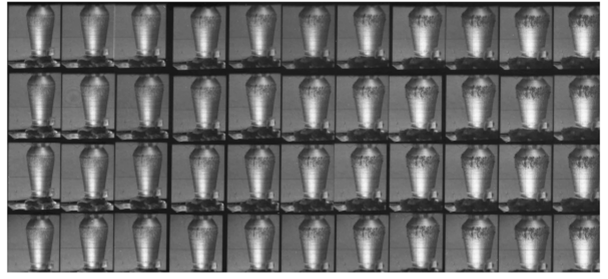


图5 紫铜膨胀破裂过程

Fig. 5 Experimental results of copper

6 结论

FJZ-1000型超高速转镜分幅相机的光学系统经光阑共轭关系的改善后,实现了全部高性能技术指标。在新型微机控制系统的控制下,除单台拍摄外,还与FJZ-250型相机一道实现了两台气动相机的联合拍摄,与脉冲X光机也进行了联动拍摄。实验表明,该相机达到了设计技术性能指标,并取得了好的实验结果。

参考文献:

- [1] 许家隆. 转镜式高速摄影(高速摄影之三)[M]. 北京:科学出版社,1985.
- [2] 光学仪器设计手册编辑组. 光学仪器设计手册上册[M]. 北京:国防工业出版社,1971.
- [3] 吴云峰,叶玉堂,刘宁文,等. 转镜式高速相机控制系统[J]. 仪器仪表学报,2004,25(1):134—137.
WU Yun-feng, YE Yu-tang, LIU Ning-wen, et al. Control system of high-speed rotating-mirror camera[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2004,25(1):134—137.
- [4] 谭显详. 高速摄影技术[M]. 第2版. 北京:原子能出版社,1992.
- [5] 胡海波,汤铁钢,胡八一,等. 金属柱壳在爆炸加载断裂中的单旋现象[J]. 爆炸与冲击,2004,24(2):97—107.
HU Hai-bo, TANG Tie-gang, HU Ba-yi, et al. A study of uniform shear bands orientation selection tendency on explosively loaded cylinder shells[J]. Explosion and Shock Waves, 2004,24(2):97—107.

Model 1000 ultra-high speed rotating mirror framing camera and applications

LI Jian^{1*}, CHANG Li-hua¹, TAN Xian-xiang¹

(1. Institute of Fluid Physics, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, Sichuan, China;)

Abstract: Model 1000 Ultra-high speed Rotating Mirror Camera is a synchronised camera. It has framing rate from 2×10^6 to 1×10^7 fps, number of frames 160, frame size $7.5 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$, photographic dynamic resolution 15 mm^{-1} . By use of a field lens located at the image plane of the main objective, the camera images whole, and achieve all the technical targets. The camera runs conveniently under new control system, and two sets of air turbine high speed camera have been simultaneously used. A set of Model 1000 Camera and the pulsed X-ray Cameras have also been synchronistically used in the explosive test field.

Key words: mechanics of explosion; high-speed photograph, high-speed rotating mirror camera, detonation experiment

* Corresponding author: LI Jian
E-mail address: lijiana@yahoo.com.cn
Telephone: 0816-2492104