

· 特邀文章 ·

## F. 特种高速摄影技术

张禹康

(中国科学院西安光机所)

摘 要

本文主要介绍了激光散斑和莫尔摄影、纹影摄影、光纤技术、频闪光源和立体摄影等特种高速摄影技术。

关键词：激光散斑；纹影摄影；立体摄影

### 激光散斑和莫尔形貌摄影

英国剑桥大学卡文迪许实验室 J.M.Huntly 利用激光散斑和莫尔摄影技术对动态裂纹作了研究。以前，他们曾应用了光弹技术和全息干涉等技术对动态裂纹进行了研究。通过对比可以看出：一般的莫尔形貌摄影对相机的分辨率有严格的要求，并对条纹分析要化较多的精力。他们采用了如图 1 所示的高分辨率高速莫尔摄影系统，相机仅需分

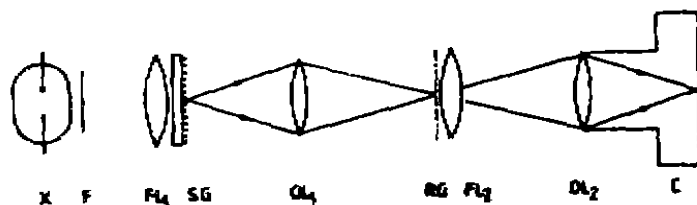


图 1 高分辨率 Moiré 摄影实验装置

Fig. 1 Experimental arrangement for high resolution moiré photography.

X: xenon flash lamp; F: Kodak Wratten filter No.44; FL1, FL2: field lenses;  
SG: specimen grating; RG: reference grating; OL2, C: recording camera with lens.  
OL1: high quality objective lens with masked aperture;

etric techniques and 3-D flow field testing; third, high speed real-time holographic interferometry and their some applications for dynamic measurements of thermal field, microparticle field and combustion process of solid breedingfire materials, etc. Finally, the author gives his comments to recent tendency for research in the fields of high speed laser holography and laser instantaneous interferometry

**Keywords:** High speed holography; Laser interferometry.

辨由样品光栅和参考光栅作用结果的条纹，然后利用计算机对条纹进行付里叶变换的分析，就能得到条纹的定量分析。图1系统的特点是OL1是高质量物镜，它把样品光栅SG成象在参考光栅RG上，在此镜的光阑面上放置一条纹片，此条纹间隔可根据样品光栅的空间频率来选择。用此法来调谐透镜可增大条纹的对比度和景深。SG和RG的空间频率可达150 lp/mm。

更简单易行的双曝光散斑摄影可对裂纹扩展速度达290米/秒的高速裂纹扩展进行有效的研究。

国内同济大学用非相干成像系统的频率响应概念，分析了灵敏度问题。并采用夹片散斑方法提高动态白光散斑法的灵敏度，取得了实验结果。实现了物镜在低分辨率条件下，测量高弹模硬性材料的小变形，以进行结构物的动态应变分析。西安光机所采用矩形光栅代替了正弦光栅作剪切元件，进行散斑剪切干涉计量。从实验中，已观察到经滤波后获得条纹图的条纹数随着衍射角的增加而增加的现象。因此，改变入射光束入射至光栅的角度，即可改变条纹数。这为无损检验场合提供了方便。天津大学用实时莫尔等差法测量物体的动态变形，并把此法与交叉光路投影法作了比较，给出了定性的和部分定量的分析结果。

## 纹影摄影技术

纹影技术广泛用于流场显示，是用来显示透明介质不均匀性的一种光学方法。在这次18届国际会议上，纹影技术的应用有了新的发展，不仅在流场显示方面的应用开拓了新的领域，例如，对湍流场中激波的研究；对油膜起爆的波动过程和波结构的研究等等，而且由于采用了滤波技术而得到了信息量更丰富的纹影图。

西德弗琅和费研究所H. Reich-enbach利用纹影技术对一个复杂的湍流场——冲击波与具有不同声速的多层气体介质作用时所产生的波衍射现象作了研究。对此湍流场的结构和旋涡源的形成得到了形象的图片，为理论分析作出了实验验证。此光学系统的特点是把24个点频闪光源用入了此纹影系统，见图2。

此系统中，光学鉴别率主要受物镜孔径的限制。由于长焦距反射镜 $f=350$  mm和窄的测试空间，所以视差减至最小。此外，还可得单幅Mach-Zehnder干涉图。加入滤波器还可得彩色干涉图。

南朝鲜机械和金属学院J.G.Moon等人利用纹影技术拍摄了油膜起爆的照片。摄影频率 $5 \times 10^5$  fps。由此得到了油膜起爆的波动机理。在物镜前带上最佳密度的四色滤波

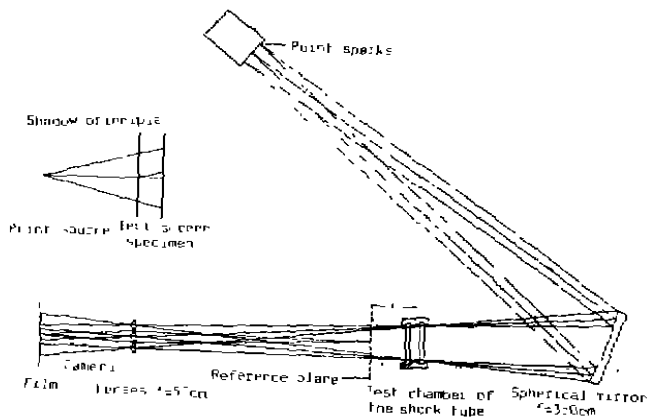


图2 Cranz-Schardin相机原理

Fig. 2 Cranz-Schardin camera principle.

器，得到了对比度更好的照片。

国内的浙江大学把方形彩色滤波片用于纹影系统，用于对飞机机翼模型跨音速测试。得到了信息量丰富色彩鲜艳的纹影图，可进行定性定量分析。它与用压力传感器所测得机翼各表面的压力分布有很好的一致性，此外还新发现许多有用的信息，有待进一步分析。

## 光纤技术的应用

奥地利 AVL 公司 P. Werlberger 先生首次把内窥镜技术与高速摄影相结合，研究了内燃机燃烧室内的四冲程现象，把内窥镜与高温测温仪相结合对燃烧室火焰作温度测量。装置见图 3 和图 4。这种技术的新颖性就在于使用了能装入内燃机的非常小型的光学器件——内窥镜。此镜的光纤外壳直径为  $\phi 5$  mm。由于此光学元件的耐热温度是  $110^{\circ}\text{C}$ ，故在内窥镜内还有冷却系统以防点燃引擎时光纤的损坏。内窥镜的视场角为  $80^{\circ}$ ，由于内窥镜物镜的孔径小，景深可从 1 mm 到无穷远。所以不用调焦，就能得到整个燃烧室的清晰照片。

国内天津大学把光导纤维用于照明系统，组成了一种高亮度冷光源——光导纤维冷光源。把此光源应用于显微摄影，研究体内红细胞的流变性。解决了一般光源的光强与色温的矛盾。拍摄时不会由于温度问题影响红细胞的流动，这样对单个细胞流经典型循环时的流态和变形进行了记录和分析。为阐述不同流场对红细胞变形所作的力学机理提供了数据资料。

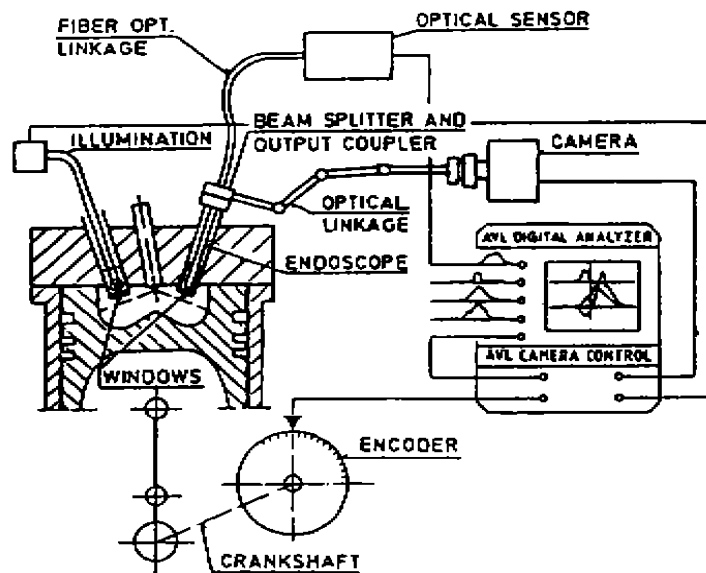


图 3 内窥镜摄影系统

Fig. 3 Endoscopic photography system.

### 高速频闪摄影

高速频闪摄影以它的简单易行，成本低、使用方便而得到了广泛应用。从应用情况来看，大致有两种形式：一种是由多个短脉冲火花隙光源与相机的组合；一种是由闪频可变的频闪光源与相机的组合。此两种光源应用于高速摄影应具有高光强度和短辐射时间的特点。为此南朝鲜的 J. S. Lee 先生等研制了一种圆弧槽型的火花隙光源，它使放电局限在沟槽内，而火花道圆形的特征可保证放电的连续性而不致光减弱，使发光的稳定性变好（圆弧型通道为：圆弧 $225^\circ$ ，平均曲率半径 $10.9\text{ mm}$ ，宽 $1.5\text{ mm}$ ，深 $5\text{ mm}$ ）。光响应时间 $0.8 \pm 0.2\ \mu\text{s}$ ，发光时间可调。

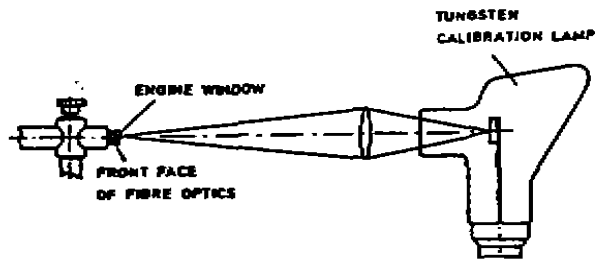
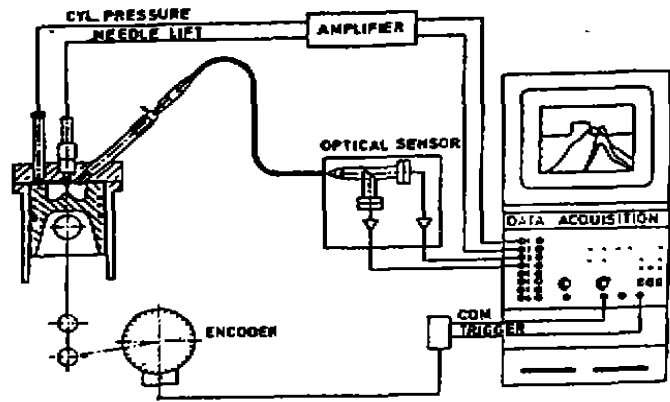


图4 火焰温度谱测量系统  
Fig. 4 Spectroscopic flame temperature measurement system.

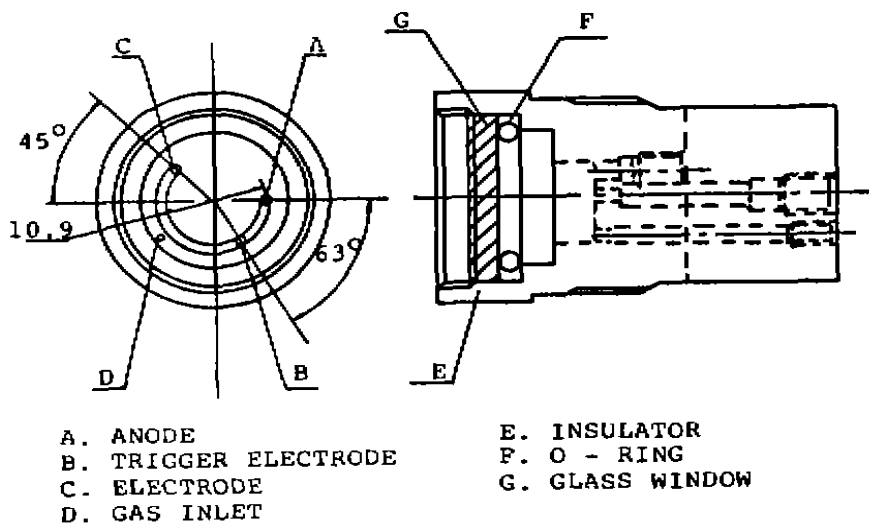


图5 圆弧槽火花隙  
Fig. 5 Circular arc groove spark gap.

16个火花隙光源排成 $4 \times 4$ 阵列与16个物镜的 $4 \times 4$ 阵列组成一个Cranz-Schardin相机, 摄下了细铜线爆炸而引起聚碳酸酯变形的动态光弹条纹图。

国内华东工学院研制成YA-16多闪光高速摄影机, 采用微处理器做时序控制器, 实现从 $10^2 \sim 10^6$ 幅/秒大范围任意不等间隔连续改变的幅频控制。保证时间分辨率 $10^{-7}$  s, 空间分辨率可高于40 lp/mm, 视差小于 $0.3^\circ$ 。北京机械电器研究所把频闪摄影用于弹道的测试中, 采用的是调Q红宝石脉冲激光器, 得到了很好的结果。浙江大学光仪系把一种幅频可捷变的频闪高速摄影系统应用于工业、体育等各个方面。闪光持续时间调节范围:  $8 \mu\text{s} \sim 2000 \mu\text{s}$ ; 每张135胶片上象的个数:  $1 \sim 8$ 个; 胶片容量256张。

## 高速立体摄影

在18届会议上作了有关高速立体摄影的报告主要是国内的两个单位。西安光机所根据立体摄影测量的实际情况, 推导了更一般情况下的“直接线性变换”解析式, 并把它用于风洞中飞机投弹运动的三维高速摄影测量。长沙矿冶研究院对“直接线性变换”用于爆破过程高速立体摄影测量的可行性和精度问题作了探讨。“直接线性变换”的高速立体摄影测量, 已在许多场合得到了令人满意的结果。

高速摄影应用范围之广、技术内容之多, 实在是本文难以概括的, 以上综述仅仅是一个局部方面的缩影, 有些应用方面的内容在18届国际会议上另有特邀报告作了更为详细、深刻的论述, 例如, 有关高速摄影在力学方面的应用, 以及在爆轰物理上的应用。

本文作者水平有限, 文中有不妥错误之处请专家们批评指正。

\* Invited paper \*

## SPECIAL TECHNIQUE IN HIGH SPEED PHOTOGRAPHY

Zhang Yukong

*Xian Institute of Optics and Precision Mechanics, Academia Sinica*

### Abstract

From the point of view of technology for high speed photography, this paper summarizes the development of special techniques in high speed photography in the 18th ICHSPP, such as applications of laser speckle and moire photography, schlieren photography, optical fibre technology, stroboflash light and stereo photography in high speed photography.

**Keywords:** Schlieren photography; Stereo photography. Laser speckle.