

电光分幅式激光全息术

任国权 叶志生 王升平 高慧敏

(天津大学精仪系, 天津 300072)

提要 提出了一个记录多幅激光全息图的“电光分幅式曝光法”。它可按预置时序连拍多幅全息图或全息干涉图, 具有帧频高、画幅多、光程稳定和计时准确等优点。

关键词 激光全息图, 电光分幅, 全息干涉图

1 引言

脉冲激光全息术, 作为一种高精度非接触式的动态检测手段, 已在实验室得到实际应用。但这些装置一般多为双脉冲激光全息照相系统, 因此在研究非重复性事件的瞬变过程时, 则无法连续拍摄不同瞬时信息的全息图或全息干涉图。为此国内外十分重视高速多幅全息术的研究。早在1970年第九届国际高速摄影年会上, M. A. Lowe 首次发表了转镜式高速全息多幅相机的方案。随后还报道过多种类型的机械分幅式全息图记录装置, 以及采用单棒多腔全息红宝石激光器和多台全息红宝石激光器构成的高速多幅全息干涉图记录系统^[1,2]。此期间德、美和我国还先后报道了将声光调制器作为光束分离器以及空间多路声光偏转器构成的高速多幅全息图与全息干涉图的记录系统^[3]。

我们着重研究了电光分幅式全息术, 并研制了“内控电光分幅式高速全息摄影仪”与“电光八分幅脉冲全息照相系统”。近几年还配合几个院所的国家级重点实验室将该技术用于“掺水乳化油微爆机理的研究”、“液体燃料雾化机理的研究”、“煤粉燃烧特性的研究”和“气流纺纱动态过程的研究”等课题。

2 电光分幅式全息照相原理

由于体积全息图具有存储量大, 并对角度很灵敏的衍射特性, 所以在寻求记录多个物光波的方案中, 通常选用物光波至全息干板的光路恒定, 而仅改变参考光入射角的方法。对其进行再现时, 只要使照明光方向分别与上述参考光方向一致, 便可先后再现各幅全息图所记录的物光波。

通常由于乳胶层的厚度及感光微粒大小的变化, 使得它不能严格遵守上述的衍射特性, 即体积全息图都存在一个有限大小的角度范围, 它限制了重复记录全息图的幅数。理论计算和实验均表明各路参考光必须转动的最小角度为 $8\sim 10^\circ$, 以便分别读出每幅全息图的再现物光波, 而又不产生重迭的再现图像^[4]。

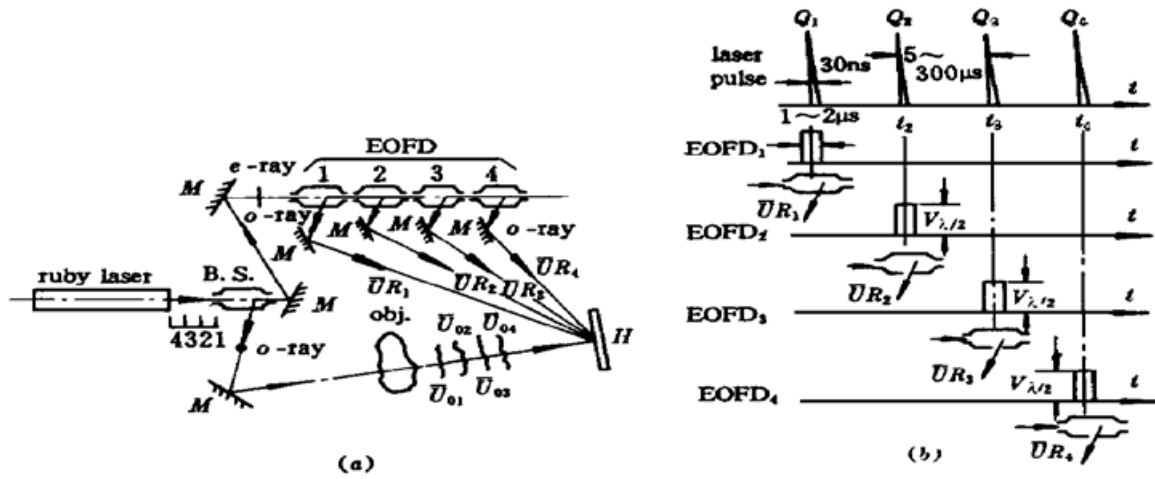


Fig. 1 A scheme of the holography with electro-optical framing
 (a) optical path; (b) synchronization of the laser pulse and switch signal

我们用电光分幅技术可以快速改变各路参考光束的入射角,以便记录多幅全息图和全息干涉图。其光路与控制原理如图1所示。在图1(a)所示的光路中,令电光分幅器入射光的电矢量为水平方向,并与KD*P晶体的光轴X或Y以及OE棱镜的光轴重合,则电光分幅器侧面窗口输出o光的强弱将受控于KD*P晶体高压的突变幅度。若KD*P电压为零,因其相移函数 $\Gamma = (2\pi/\lambda) n_0^3 \gamma_{63} V_K$ 也为零,则该分幅器只有透射输出的水平偏光,而其侧面窗口没有垂直偏振的参考光输出^[5]。但是当KD*P脉冲高压突变到半波电压($V_K = U_{N/2}$)时,因其相移函数 $\Gamma = \pi/2$,则该分幅器可从侧面窗口输出最强的垂直偏光作为参考光。

根据银盐干板的振幅透射率与曝光量特性($t-E$)曲线,得知线性记录的条件是参物光强比为 $10 \cdot 1 \sim 4 \cdot 1$ 。但考虑其衍射效率具有随着参物光强比减小而增强的效应,故通常选用参物光强比为 $7.5 \cdot 1 \sim 4 \cdot 1$ 。在电光分幅式曝光法中,为获得理想的体积全息图,必须考虑分幅器对参考光强的衰减。为此,首先选用高透射率的优质晶体,令KD*P的透射系数为 $q = 90\%$,OE全输出棱镜对e光透射系数为 $q_e = 80\%$,对o光透射系数为 $q_o = 90\%$ 。则每个分幅器对o光透射系数为 $Q_o = q \cdot q_o = 81\%$,对e光透射系数为 $Q_e = q \cdot q_e = 72\%$ 。于是分幅器对光强传输的情况,约为 $I_{10} = 0.81I_e, I_{20} = 0.58I_e, I_{30} = 0.42I_e, I_{40} = 0.30I_e$ 。

如若提高第四幅的参物光强比,则应先调节光束分离器,使第四幅参考光增强一些,再依次降低其余分幅器的晶体高压。任一分幅器输出的O光强与其晶体高压的关系式如下^[6]

$$I_{no} = I_{ne} \cdot T_{no} \cdot \sin^2 \left[\frac{\pi}{2} \cdot \frac{V_n}{V_{N/2}} \right]$$

式中 I_{no} 为第n个分幅器输出的o光强; I_{ne} 为第n个分幅器输入的e光强; T_{no} 为第n个分幅器对o光透射系数; V_n 为第n个分幅器KD*P的工作电压; $V_{N/2}$ 为每个电光分幅器KD*P的半波电压。

可见各幅全息图的参考光强,均可通过晶体高压获得很好的调节效果。同时由图1(b)可知,还必须使各分幅器上的晶体高压脉冲(幅值约4~5kV),要与脉宽仅有30ns的多个激光脉冲分别保持对应的同步关系。为此可把分幅高压的脉冲宽度适当加宽到几个微秒量级,使之略小于激光脉冲的最小间隔时间,即电光分幅器不难达到微秒量级的控制速率。根据上述特性,调Q激光多脉冲与分幅器高压脉冲的同步控制时序如图1(b)所示。

3 应用与实验技术

因为电光分幅器均由纵向运用的 KD^*P 晶体和 OE 输出棱镜串联而成, 所以在高压电场控制下具有高速旋光和全偏分光特性。因此, 光束传播方向将按 OE 棱镜的全内反射方向而作大角度偏转, 其偏转速度仅受控于脉冲式高压电场的速率。同时各路参考光的光程均有理想的稳定性、重复性, 以及物参光偏振态的一致性, 故便于二次顺序曝光法拍摄多幅全息干涉图。采用电光分幅器可构成四分幅或八分幅高速全息照相系统, 如图2所示。

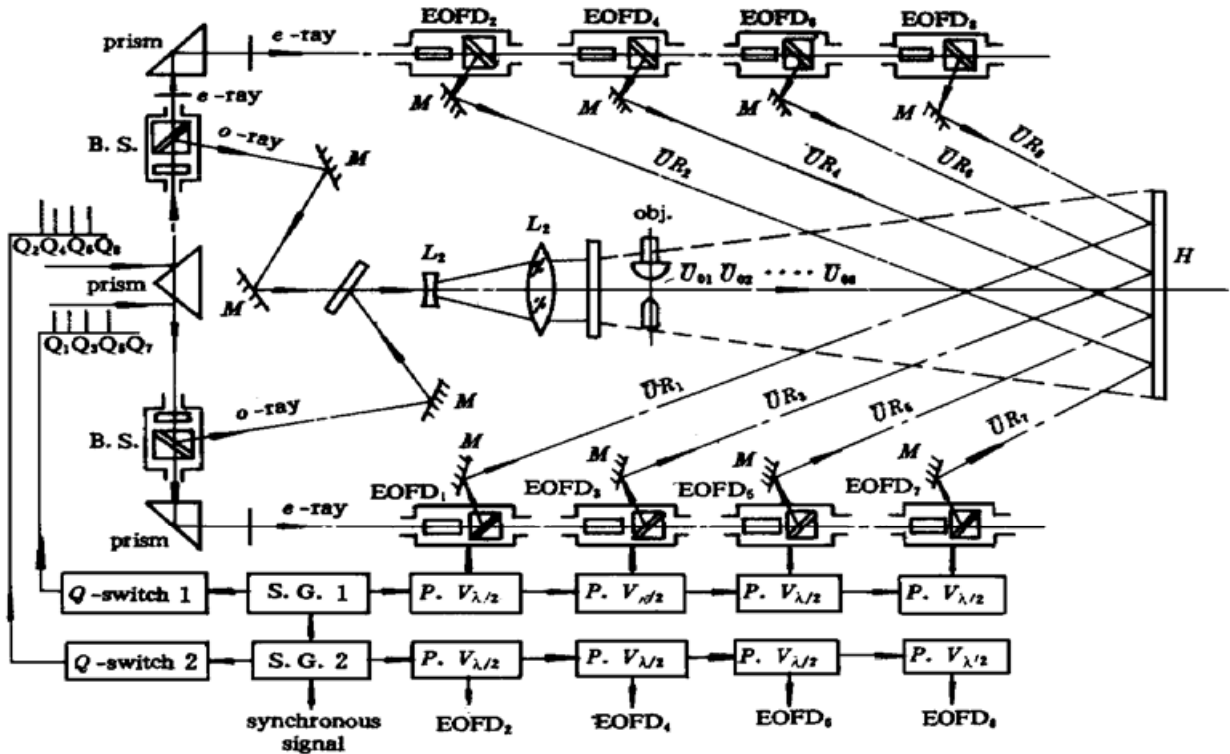


Fig. 2 A scheme of the holographic camera with eight electro-optical framers
S. G.: signal generator; P. $V_{\lambda/2}$: pulsed $V_{\lambda/2}$

现以图2所示的八分幅系统为例, 说明连拍八幅全息干涉图的曝光法。该系统采用单棒双腔全息型红宝石调 Q 激光器, 其激活介质选用 $\Phi 10 \times 100$ mm 的优质红宝石晶体, 它被并行插入谐振腔内的二块电光晶体 KD^*P 分割成二个分立的激活介质区。因并行安置的两块晶体 ($\Phi \times 14$ mm), 可使激活介质区相隔足够大的间距(1~ 1.5 mm), 所以两个腔的反转粒子数可独自运转而互不干扰^[7]。在两套电光开关器件的控制下, 全息红宝石激光器将按单棒双腔调 Q 方式工作, 可并行发射有时序关系的两路激光多脉冲。每一路四脉冲激光束, 分别通过光束分离器(均由半波片和 OE 格兰傅科棱镜组成) 获得正交偏振的二束光脉冲。其中两路垂直偏振光被全反镜与半反半透镜合成为同轴光束, 再经准直透镜作为照明光射向目标。这八个脉冲光将携带不同时刻的物光信息射入全息干板, 在全息干板的指定部位先后与八路参考光分别相干并完成八幅全息图的顺序曝光过程。实验中为拍摄球隙高压放电后产生激波的传播规律, 需要精确控制引发事件激波、发射调 Q 激光脉冲与电光分幅偏转高压之间保持同步关系, 并完成记录动态物光波的第二次八分幅顺序曝光过程。再现时, 每一幅全息图均为有时序关系的两次曝光构成的全息干涉图, 本实验的幅间隔 $\Delta t = 10 \mu s$, 其照片如图3所示。

该技术已在几个研究所和高校科研中获得应用, 但仍需改进结构, 使样机更易于调试。

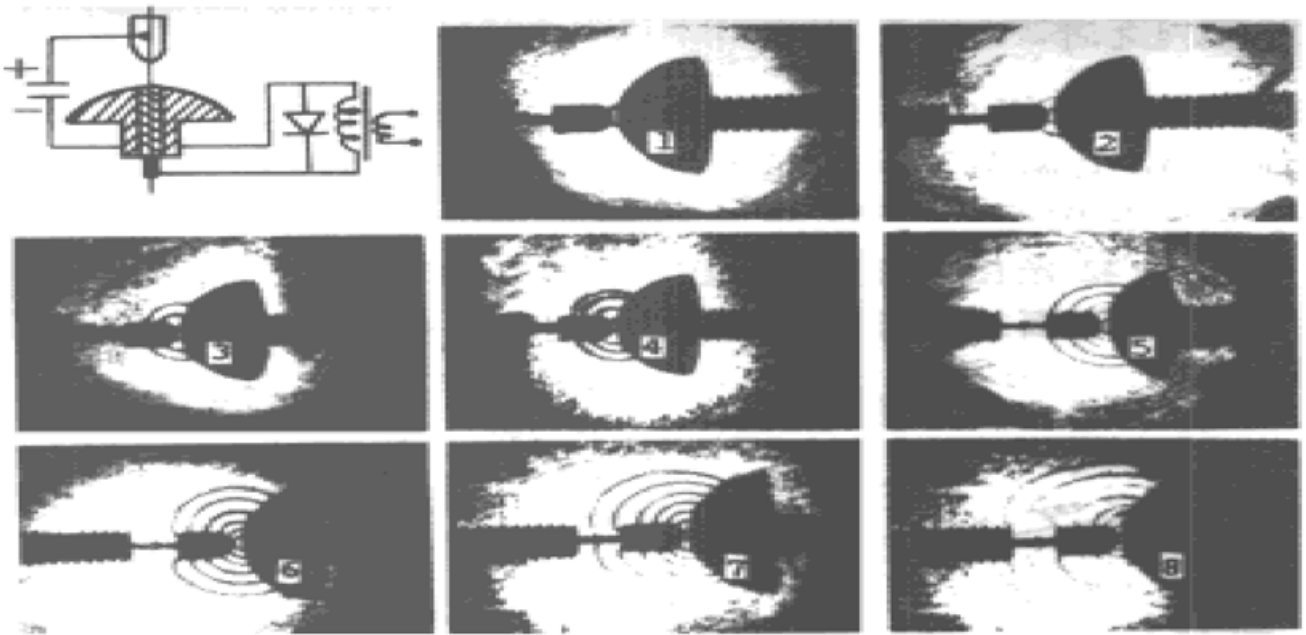


Fig. 3 Holographic interferograms of shock wave by high voltage discharging between two balls ($\Delta t = 10 \mu s$)

参 考 文 献

- 1 M. J. Landry, A. E. McCarthy. Use of the multiple cavity laser holographic system for EBW and lysis. *Opt. Eng.*, 1975, **14**(1) ·69~ 72
- 2 R. E. Siemon, F. C. Jahoda. Three-frame pulsed holographic interferometry of a helical plasma. *SPIE Seminar Proceedings*, 1971, **25** ·199~ 202
- 3 K. J. Ebeling, W. Lauterborn. High-speed holocinematography of cavitation bubbles. *Appl. Opt.*, 1978, **17**(13) ·2071~ 2076
- 4 H. M. Smith 著, 中国科学院物理所“全息学原理”翻译组译校. 全息学原理. 北京: 科学出版社, 1973. 77~ 82
- 5 A. Yariv 著, 李宗琦 译. 光电子学导论. 北京: 科学出版社, 1983. 266~ 267
- 6 任国权, 张俊林, 徐康德. 电光分幅式激光高速全息相机的设计. 天津大学学报, 1981, (2) ·53~ 67
- 7 M. J. Landry. Variably spaced giant pulses from multiple laser cavities a single lasing medium. *Appl. Phys. Lett.*, 1971, **18**(11) ·494~ 496

A Holography with Electro-optical Framing

Ren Guoquan Ye Zhisheng Wang Shengping Gao Huimin

(Department of Precision Instrument Eng., Tianjin University, Tianjin 300072)

Abstract A method of electro-optical framing was described. It can sequentially record multi-holograms or multi-holographic interferograms according to a presetting program. The holocamera which bases on the method has features of high frame frequency, more frame number, steady optical path and accurate time-controlling.

Key words hologram, electro-optical framing, holographic interferogram