

平行式向列液晶实现相移剪切电子散斑干涉术的研究*

姜力军 刘 伟 谭玉山

(西安交通大学机械工程学院激光红外研究所, 西安 710049)

摘 要 研究了向列型液晶的相位调制特性, 采用平行式向列液晶作为相移器建立了相移剪切电子散斑干涉计量系统。该方法将相移技术引入到剪切电子散斑干涉术中, 提高了检测精度; 采用相关条纹法求解相位, 简化了计算; 相移方法简单、可靠。用该系统进行应变场的测量实验, 取得了满意的效果。

关键词 向列型液晶, 剪切电子散斑干涉术, 相移。

剪切电子散斑干涉术(SESPI)由于采用参、物光共光路结构, 大大提高了抗干扰能力, 是一种非常有发展前途的检测方法。但由于是采用非平滑参考场, 条纹的质量受到影响。采用相移方法, 可以改善条纹质量, 提高测量精度。目前, 实现相移剪切电子散斑干涉的方法有偏振相移法、电光调制器法等, 但都有较大的局限性。1990年, Kadono等人提出了用扭曲式液晶(TNLC)作为相移器实现相移的方法^[1], 但该方法光强变化剧烈, 容易导致光学场的失相关。为了得到较好的效果, 需要仔细调整液晶、偏振片的角度, 调整工作繁琐。

本文提出了采用平行排列液晶(PALC)实现相移的方法, 并成功地用于相移剪切电子散斑干涉中, 得到了较好的实验结果。该方法目前在国内外尚未见报道。

1 平行式向列液晶的相位调制特性

向列型液晶具有的电控双折射效应使其具有相位调制能力。为了研究液晶的相位调制特性, 采用马赫干涉仪光路进行了实验, 干涉条纹由CCD摄入图像板, 由计算机进行图像处理。图1是由实验测得的ZLI-1565型平行排列的向列液晶的电压-相位特性。其中纵坐标表示相位变化量。从实验结果可以看出, 当电压从0至5V的变化过程中, 这种液晶相移器的相位调整量达

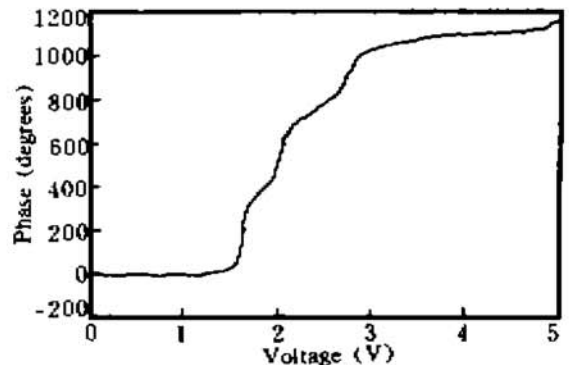


Fig. 1 Phase modulations of the parallel-aligned liquid crystal ZLI-1565 as a function of applied voltage

* 国家产学研联合工程资助课题。

收稿日期:1994年12月25日; 收到修改稿日期:1995年2月27日

6π ，完全满足了相移电子散斑干涉系统所需的相移量要求。

平行式向列液晶与扭曲式向列液晶相比，由于液晶二基面分子排列方向一致，削弱了扭曲效应，减弱了光强的变化，而仍具有电控双折射效应，具有相位调制能力，且具有低压驱动、体积小、透明等特点，使其能够用于相移剪切电子散斑干涉中作为相移器。

2 测量原理

2.1 测量系统的组成

相移剪切电子散斑干涉系统的组成如图 2 所示。光源为 He-Ne 激光器 ($\lambda = 632.8 \text{ nm}$) 光束经扩束系统 L_1 扩束后照亮被测物面形成散斑场，经剪切镜、液晶相移器，由 CCD 摄像机摄入 PCVISION-PLUS 图像采集卡数字化为 $512 \times 512 \times 8 \text{ bit}$ 的数字图像。根据液晶相移器的特殊需要，设计了接口控制板，所有操作均在计算机控制下自动完成，整个系统非常简单。

剪切镜采用 Hung 提出的楔形结构^[3]。液晶相移器是直径与剪切镜相同的圆形结构，沿直径分成两部分，与剪切镜光楔和平板部分对应，分别加上不同的驱动电压时，就可改变通过光楔和平板的二束光束的位相差，从而实现相移。

2.2 测量方法

剪切电子散斑干涉场可以看作是双光束散斑干涉的一个特例，因此在条纹处理上可以采用相同的方法。

传统的电子散斑干涉变形信息的提取方法是利用变形前后散斑图直接相减获取减模式相关条纹的方法。该方法存在高频散斑噪声项，难以进行定量分析。利用相移技术，可以直接求出反映变形大小的相位变化量 $\Delta\varphi(x, y)$ ，在剪切干涉系统中可利用液晶相移器在通过剪切镜的光楔和平板两束光间引入相移。

相位的求解可采用变形前后相位相减的方法^[4]。该方法由于需进行两次两步相移，共需拍摄六幅图，数据采集时间长，计算量大、易受环境的干扰。本文依据变形前后干涉场的强度相关，利用减法处理产生的二次相关条纹求解相位，只需一次两步相移，共需四幅图，若在变形前移相、取图，则变形后只需取一幅图(0.04 s)，可大大减小计算量，缩短采样时间。

在变形后散斑干涉场中参、物光间引入相移量 β ，

$$I_n(x, y) = I_0 \{1 + m \cos [\varphi_n(x, y) + \beta]\}, \quad i = 1, 2, 3 \quad (1)$$

式中 I_0 为平均光强， m 为调制度， $\varphi_n(x, y)$ 为变形后物散斑场相对参考散斑场的相位， I_n 为变形后第 i 步移相后的散斑场的光强。

令 $I_0(x, y)$ 为变形前散斑场的光强，则变形前后减模式二次相关条纹为：

$$I_i(x, y) = I_n(x, y) - I_0(x, y) \quad i = 1, 2, 3 \quad (2)$$

取 $\beta = 0^\circ, 120^\circ, 240^\circ$ ，可由(2)式解得 $\varphi_1(x, y)$ 、 $\varphi_2(x, y)$ ，从而求得

$$\Delta\varphi(x, y) = \arctg \left[\sqrt{3} (I_3 - I_2) / (2I_1 - I_2 - I_3) \right] \quad (3)$$

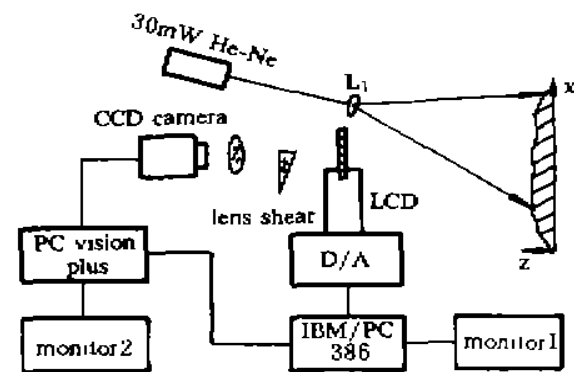


Fig. 2 Schematic diagram of the phasestepping SESPI for measuring derivative

由上式可算得物面应变变化的原始相位图。经反正切计算得出的 $\Delta\varphi$ 经值域扩展、量化处理，得到相位条纹。再通过相位展开，得到连续分布的相位图。

根据展开后的相位图可以得到物面应变场的三维分布图。如图 2 所示剪切沿 X 方向情况下，且剪切角、入射光与物面法线的夹角很小时，应变与相移的关系为：

$$\frac{dz}{dx} = \frac{\Delta\varphi(x, y)}{4\pi} \frac{\lambda}{s}, \tag{4}$$

其中 s 为物方剪切量。

3 实验结果

3.1 实 验

采用图 2 所示的相移剪切电子散斑干涉系统对一直径为 10 cm 的周边固定的金属圆板进行了测量，图 3(a) 为其中心加载时的减模式相关条纹图。该图的相关条纹对比度低，散斑



Fig. 3 Fringe pattern of the measured result
(a) correlation fringes, (b) phase fringes

噪声很大，定量分析很困难。图 3(b) 为经二步相移后，计算所得的相位图。

在相移得到的相关条纹图中，由于剪切干涉双散斑场干涉的影响，条纹对比度较差，采用灰度级平方变换的方法，将灰度级拉开；对图中的噪声点采用 3×3 或 5×5 的邻域平均及中值滤波的方法进行消除。相位图展开后，还进行了大窗口的中值滤波和邻域平均。图 4 为所得的试件中心加载时的应变分布的三维图形。

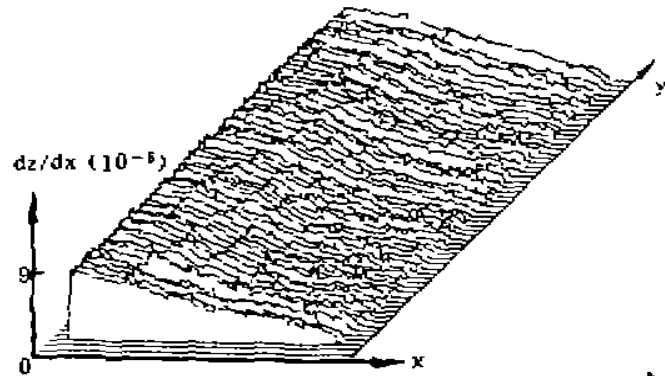


Fig. 4 Three-dimensional display of derivatives distribution

3.2 误差分析

1) 液晶在开始移相时，都存在一阈值电压。本系统中采用的 ZLI-1565 液晶的阈值电压，如图 1 所示的约为 1.5 V 左右。在阈值电压附近，会伴有光强变化，尽管这一变化与扭曲液晶相比弱得多，但仍会减弱散斑图的相关性，引入计算误差。

2) 剪切干涉术由于采用散斑参考场，剪切干涉条纹质量不高，虽然采用各种平滑、滤波等图像处理操作，可以改善图像质量，但仍会使测量精度有所降低。

3) 液晶本身特性对温度较敏感，环境温度的变化或实验时的温度与标定时温度不同，都可能引入误差。

结 论 平行式向列液晶相移剪切电子散斑干涉计量系统, 利用液晶这一新型器件作为相移器, 将相移技术引入剪切电子散斑干涉系统中, 可以快速、可靠、准确地获取物体应变场的定量信息。液晶相移器具有体积小、透明、驱动电压低等优点, 大大提高了相移技术的实用性, 该系统将为实际工程中的应力分析、无损检测提供一个有效的方法。

参 考 文 献

- [1] H. Kadono, S. Toyooka, Liquid crystal phase modulator used in DSPI. *Proc. SPIE*, 1991, 1554A: 628~638
- [2] 金子英二著, 王新久译, 液晶电视, 北京, 电子工业出版社, 1991, 3~70
- [3] Y. Y. Hung, C. Y. Liang, Image-shearing camera for direct measurement of surface strains. *Appl. Opt.*, 1979, 18(7): 1046~1051
- [4] 郑 文, 谭玉山, 双散斑场相移数字干涉计量. *光学学报*, 1991, 11(3): 273~277

A Study on PALC Phase-Shifting Shearing ESPI

Jang Lijun Liu Wei Tan Yushan

(*Institute of Mechanical Engineering, Xian Jiaotong University, Xian 710049*)

(Received 25 December 1994; revised 2 February 1995)

Abstract Characteristics of phase modulation of a nematic liquid crystal is studied. A new phase-shifting shearing ESPI system which uses parallel-aligned liquid crystal as a phase modulator is developed. This method increases the measuring accuracy of shearing ESPI by combining phase-shifting technology with shearing ESPI. The phase modulation is simple. The correlation fringe method is used for phase calculation. Satisfactory results are acquired in the experiments on deformation measurement.

Key words nematic liquid crystal, shearing electronic speckle pattern interferometry, phase shifting.