

激光散斑图自动读出技术的研究

齐红 金观昌

(清华大学工程力学系)

提要: 本文介绍一台用于逐点分析法数据处理的条纹数据自动读出仪的原理以及应用该仪器进行应变分析实验的实例和误差分析。该仪器为激光散斑技术的应用提供了方便。

Research of automatic readout technique for laser specklegram

Qi Hong, Jin Guanchang

(Qinghua University)

Abstract: An instrument used for point by point analysis of laser specklegram was designed and made in the lab. The principle of automatic fringe readout and data process is described. An example which uses this instrument in strain analysis is shown and error analysis is also discussed. This instrument facilitates the application of laser speckle technique.

一、引言

激光散斑干涉计量方法作为一种新的实验应力分析方法已得到了较为广泛的应用。它可以测量面内位移、离面位移、板的弯曲斜度、振动物体的振型以及瞬态变形。散斑图的数据处理有二种方法,可以得到类似全息图的等位移线或斜度等值线的全场分析法和逐点分析法。逐点分析法灵敏度高,变形数据简单易求,但要逐点测量,需要耗费大量时间和繁琐劳动,并且由于存在观察误差使精度受影响。为此研究一台散斑数据自动读出仪是十分必要的。仪器采用模拟化条纹分析技术,能测量2~50个条纹,测量误差小于 $\pm 5\%$ (当条纹大于10条时误差约在 $\pm 2\%$

以内),平均每点扫描速度约为5秒,图1为仪器的外观图。

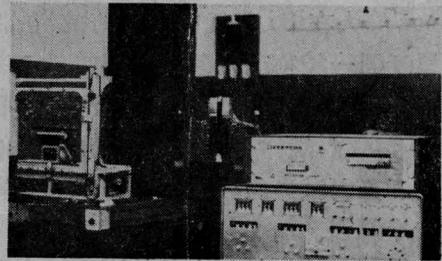


图1 激光散斑数据读出仪

二、散斑图自动数据读出仪原理

把散斑图用一点光源照明,在散斑图后若干距离 L 处放一观察屏,则可观察到杨氏条纹。在屏上的光强分布

收稿日期:1981年7月14日。

$$I(u_1, u_2) = I_0 4 \cos^2(k \mathbf{u} \cdot \mathbf{d} / 2L) \quad (1)$$

其中 \mathbf{u} 为位置向量; \mathbf{d} 为象上散斑位移向量; L 为屏离散斑图距离。

由(1)可以得到条纹方向垂直于 \mathbf{d} , 大小为

$$d = \frac{L\lambda}{MS} \quad (2)$$

其中 M 是象放大系数; S 是条纹间距。由此只要测出条纹间距就可算出 d 。

自动数据读出仪由坐标移动台、光电探测器、电子控制器及打印机四部分组成, 分别叙述如下:

1. 自动精密坐标移动架

由于散斑逐点测量点数很多, 要求精确的坐标位置控制。移动架由两台步进电机驱动, 分别沿水平和垂直方向按给定程序自动逐点移动, 使激光束逐点对准散斑图。每一点坐标位置送到打印机记录, 并同时在仪器上用数码管显示。点距在 0.5~10 毫米之间选择, 坐标架行程 200 毫米(水平方向), 150 毫米(垂直方向), 重复精度 0.05 毫米。

2. 光电探测器是一个 100 个 2×12 毫米² 的硅光电池组成的阵列, 硅光电池排成长方阵列安装在圆盘上, 由步进电机带动旋转, 以使阵列方向和条纹方向一致。所旋转角度自动显示并打印。

3. 电子控制器, 它包括坐标移动控制、转盘转动控制、节拍控制器以及条纹模拟信号分析器等几部分组成。控制器采用数字集成电路, 其结构原理见图 2。仪器的关键部分是条纹模拟信号分析器, 着重说明如下。

条纹分析器的作用是把光电探测器送来的电信号放大, 然后求出信号的极值(对应于亮、暗条纹的极大值和极小值), 并同时给出对应的条纹位置, 这样由条纹级数和其位置就可得到条纹间距。但从式(1)可以看到条纹的光强是在 I_0 的包络下的余弦调制条纹(见图 3), 因此用一般鉴幅的方法是有困难的。一种可行的方法是用计算机进行分析比

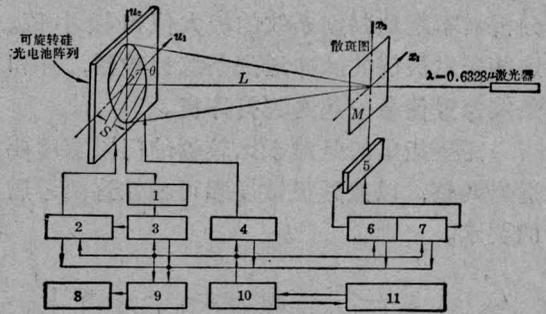


图 2 散斑图自动数据读出系统原理图

- 1—前置放大器; 2—扫描控制; 3—条纹分析器, 4—转动控制器; 5—X-Y位移架; 6—X位移器; 7—Y位移器; 8—打印机; 9—多路器; 10—节拍控制器; 11—操作面板与显示

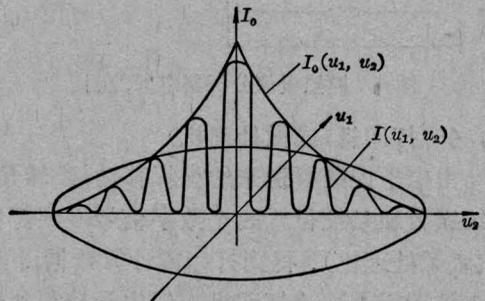


图 3 条纹光强分布

较, 但实现有困难。我们采用模拟极值分析器, 它由运算放大器构成峰值检波器和电压比较器组成, 图 4 是原理图, 它有上下两通道峰值检波器分别检出光强信号的极大、极小值, 然后分别到二个电压比较器与输入光强信号比较。具体过程是: 输入信号上升时, 正峰值检波器输出跟随上升, 比较器 1 两输入端电压相同时其输出为低电位, 这样一直到光强信号达到极大值。当光强信号由极大值开始下降时, 正峰值检波器记忆该极大值, 电压输出不变, 此时比较器电压由低突然变高, 并经微分电路输出一窄脉冲给负峰值检波器复位, J_2 闭合, 放掉记忆电容的电荷。这样负峰值检波器开始随光强信号下降, 电压比较器由于两输入端相同输出低电位, 直到信号到达极小值时, 负峰值检波器记忆该极小值。光强信号上升时, 下通道比较器也同样输出

一窄脉冲给正峰值检波器复位。就这样极值分析器不断地判别条纹的极大值和极小值。这些表示极值的脉冲送到条纹计数器，并和条纹位置信号一起送到打印机。

需要指出的是对于比较器的门限宽度要适当调整，以兼顾灵敏度和可靠性这两矛盾的要求。

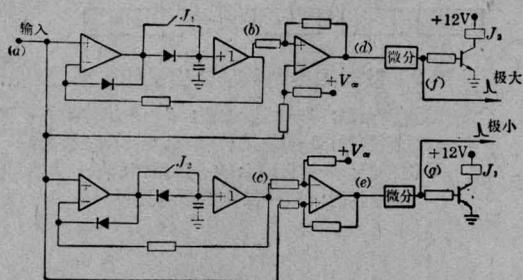


图4 模拟极值分析器电原理图

4. 打印机(或微处理机)

由电子控制器送来的坐标移动架、转角、条纹级数和条纹位置四个数字信号送到打印机(或微处理机)，得到打印或计算数据。目前本仪器用LY-4打印机，但电子控制器输出的数字信号，完全可以输入微处理机进行数据处理，直接得到位移、应变数据。

三、实验验证和测量应用

按以上方案设计和制造了一台SDP-I型散斑数据自动读出仪，并用该仪器进行了实测标定和测量应用。

1. 标定试验：用固定在一精密微动架上金属片位移的散斑图进行仪器的标定，表1列出了千分表测量和读数仪测量数据比较的结果。当位移较大时，误差在2%左右。

2. 等强度梁挠度测量：用四只千分表在梁的四个不同点量出挠度，并计算出挠度曲线和读出仪所得散斑测量数据比较，图5是实验与计算曲线的比较，误差在5%以内。

3. 转盘测量：用千分表测出圆盘外缘的切向位移，并计算沿半径上各点的位移值。

表 1

千分表位移读数 (微米)	10.5	50.7	100.0	150.2	180.0
读数仪测量条纹 间距(毫米)	94	18.67	9.28	6.20	5.20
计算位移值 $\bar{d} = \frac{L\lambda}{MS}$ (微米)	10.1	50.8	102.3	153.2	183.0
偏差(微米)	-0.4	0.1	2.3	3.0	3.0
相对误差 %	-4	0.2	2.3	2.0	1.6

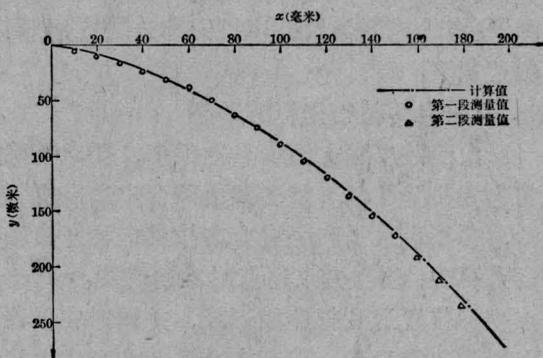


图5 实验与计算曲线的比较

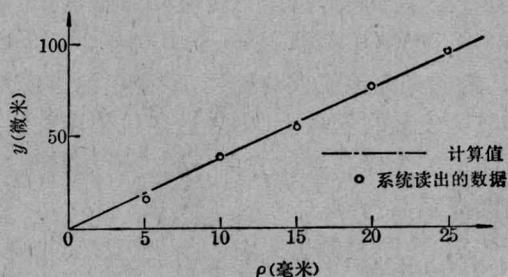


图6 计算值与读出值比较

图6表示与读数仪数据比较，结果两曲线吻合得很好，特别在大位移时误差很小。

四、误差分析

1. 由于光电池宽度为2毫米，占总阵列的 $\frac{1}{100}$ ，相当于间隔2毫米采样，这项由采样而引起的相对误差一般小于1%。

2. 模拟分析器由于电压比较器门限电

压使极值脉冲滞后,当波形不对称时,这个滞后不一致引起偏差。当条纹多于8条时小于1%,而条纹少于6条时增大到4%。

其它尚有放大器漂移、光电池输出受环境影响等,但数值较小,可以忽略。

五、结 束 语

本文根据实际情况采用模拟化分析器进行散斑数据的自动读出、打印。大大节省了数据处理的劳动强度和时间,且提高了精度,基本上满足了数据处理的初步要求。仪器的输出可直接到微处理机进行数据计算加工,

而进一步得到位移场、应变场的分布是十分有意义的,作者将在今后完成这一工作。仪器也可适用于一般干涉条纹的数据处理。

袁维本、章伟宝、刘春阳同志曾参加过本仪器的部分设计加工工作,作者在此表示谢意。

参 考 文 献

- [1] Khetun P. P., Chiang F. P.; *Appl. Opt.*, 1976, **15**, No. 9, 2205-2215.
- [2] Chiang F. P., Juang R. M.; *Appl. Opt.*, 1976, **15**, No. 9, 2199-2204.
- [3] Chiang F. P., Juang R. M.; *Opt. Acta*, 1976, **23**, No. 12, 997-1009.
- [4] Maddax G. E. *et al.*; 1979 S. E. S. A., Spring Meeting.

(上接第 215 页)

置在 -22.5 米处。实验值和计算值很好地符合。

另一个例子是对非稳腔振荡器输出激光的补偿。在光路中原有一个 $r_1=1.5$ 米的平凸透镜,而且已在子午面内倾斜 $\varphi_0=18^\circ$ 。用哈特曼板测得焦线位置分别为 $l_m=55.8$ 米, $l_s=-32$ 米。根据补偿公式(13),最佳倾角 φ 应满足

$$f(\varphi) = f(\varphi_0) + F\left(\frac{1}{l_m} - \frac{1}{l_s}\right),$$

即 $\varphi=26^\circ$ 。因此平凸透镜还需在子午面内再增加倾角 8° 。实验完全证实了上述预测。

综上所述,用倾斜球面透镜补偿像散具

有下列优点:调整方便;可利用光路中原有的透镜;补偿后的波面发散度可达到任何预先给定的值;准确度较高,倾角误差在 $\pm 1^\circ$ 左右。

致谢:本项工作得到邓锡铭教授的指导和关心,谨表谢忱。

参 考 文 献

- [1] F. A. Jenkins, H. E. White; "Fundamentals of Optics", 4th edition (McGraw-Hill, 1976), § 9.9.
- [2] 范滇元,余文炎;《激光》,1980, **7**, No 9, 1.
- [3] Deng Ximing, Yu Wenyan; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1981, **QE-17**, No9. 1650.