

动态光电显微镜

杨进堂

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘要 介绍了用于检测光学度盘的动态光电显微镜的原理、光学系统、电子学系统及瞄准精度。

关键词: 动态光电显微镜; 线纹检测; 光电脉冲

1 引言

动态光电显微镜是动态线纹测量中瞄准线纹的一种设备。它能将线纹的黑度中心转换成前沿很陡的脉冲,对光学精密尺子和度盘的刻线进行采样,测出其刻划误差。

我们研制的动态光电显微镜,主要用来测量光学度盘的刻划误差。被测度盘的刻线被动态光电显微镜瞄准而发出脉冲,对圆分度标准器——多头多缝读数的圆光栅——产生的单位数值为 $0.05''$ 的数字信号进行采样,最终测出被测度盘的刻划误差。由于测量过程是动态的,因此能对度盘上每一条刻线进行测量,为全面了解度盘的刻划误差(如长周期、中周期、短周期及封闭差)提供了测试手段。使用动态光电显微镜不但提高了测量精度,而且大大提高了测量效率,测量一块光学度盘只要5分钟时间。

我们研制的动态光电显微镜结构紧凑,体积较小,调整方便。

2 原理

我们研制的动态光电显微镜采用的是双管差动式系统。将恒光源的光,较集中地照到被测盘的刻线上,这刻线通过物镜将放大像呈现在一定的像平面上。为了使得刻线的黑度中心正好对应刻线光电信号斜率较大的线性部分,必须有错开一定位置的两列信号。为此在物镜与像面之间插一个分光板,把一个像分成亮度大约相等的两个像同时呈现在不同位置上,对应像的位置各自放置一个狭缝,狭缝后的光电元件将接收的刻线像转换成光电信号(图1)。

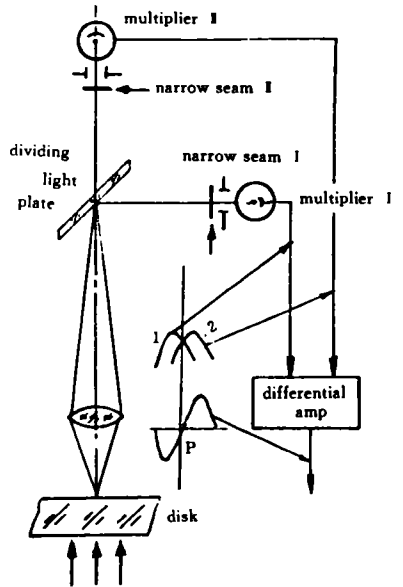


图1 动态光电显微镜工作原理图

Fig. 1 Working principle schematic drawing of dynamic photoelectric microscope

由于刻线像边缘的衍射与狭缝具有一定的宽度,刻线的光电信号成为钟形脉冲。两列钟形波经差分放大形成差分信号,差分信号 P 点正处在斜率较大的线性段上,也正对应刻线的黑度中心。为此动态光电显微镜发出的脉冲代表刻线的位置中心。

3 光学与照明系统

光学系统与照明系统表示在图 2 中。图中的物镜为 $8\times$,是专门设计的。为了适应光电倍增管的光谱灵敏区,物镜在 $4000\sim 12000\text{ \AA}$ 消色差。分光板镀的是半反半透的析光膜。为使光电显微镜结构紧凑又调整方便,使读数狭缝置于同一平面上,两者相距 50 mm ,并对称于 $8\times$ 物镜的光轴。在分像的光路中,于透射侧设置一个斜方棱镜,使光轴向左位移 25 mm ;于反射侧设置直角转向棱镜,使反射光折过 90° ,与物镜光轴平行且相距 25 mm ,这就形成刻线像处在同一个平面上。两个读数狭缝的位置可作一定范围内的调节,使狭缝的位置与刻线影像重合。狭缝宽度不能调节。为适应不同宽度的刻线,可方便地更换狭缝。光电器件采用光谱灵敏区为红光的国产 GDB-28 型光电倍增管。

为观察刻线的像,还设计了一个 $10\times$ 的观察显微镜,物镜为 $1\times$,目镜为 $10\times$ 。

透射照明系统用 $6\text{ V } 5\text{ W}$ 线状灯丝的仪用钨丝灯泡降低 4 V 使用。灯泡安装在光电显微镜之上,用非球面透镜产生平行光,经双直角棱镜改变 180° 方向以会聚光照明刻线。为了照明均匀,灯丝像不要呈现在度盘表面。本光学系统经调整后杂光较小,信号的对比较好,能达到 $5:1$ 以上。

4 电子学系统

动态光电显微镜的电路逻辑部分,就是将光电倍增管输出的两列钟形波的交点“0”,通过一系列的电路交换,转换成与此在时间上对应的负脉冲,作为检测被测件(度盘、光学刻尺等)

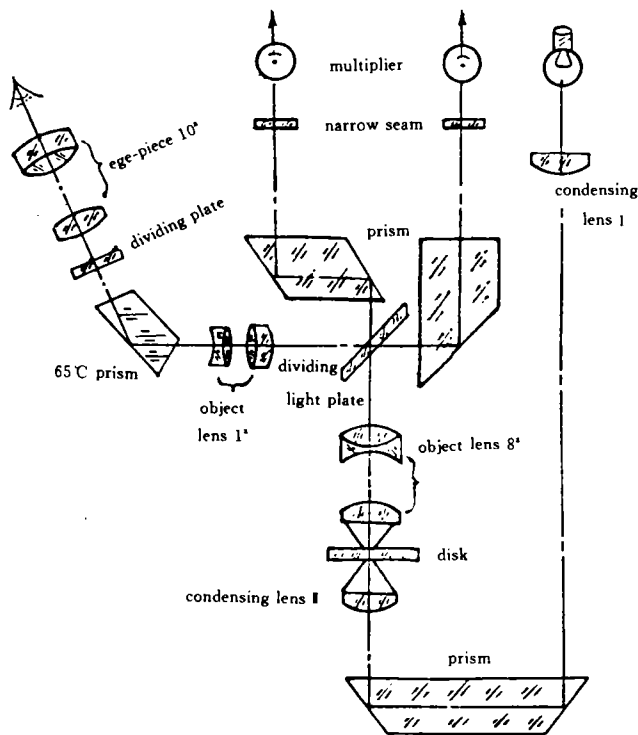


图 2 光电显微镜的光学系统

Fig. 1 Optic system of photoelectric microscope

刻线的指令(即采样脉冲)。

度盘上除了有正常的刻线外,还不可避免的有划痕伤迹或污点灰尘等,这些东西通过显微镜同样也会产生错误的采样指令。这些错误的采样指令必须排除。我们采用了可调的高电平触发器和一系列的电路变换,来根除错误指令的产生。

具体的工作过程如下(参阅图 3):

从差分放大器输出的:差分信号分两路,一路通过双向对称限幅放大,施密特触发器过零触发,形成对准刻线的方波(方波的上升沿对应刻线中心点 P),此为“主路”。另外,防止出错误信号的电路称“副路”。其逻辑是这样的差分信号经放大,去触发“高电平”触发器,经倒相延时,形成“副路”方波。只有“主路”方波与“副路”方波同时加到正与非门上,正与非门才有脉冲输出。再经单稳延时、倒相、形成负沿很陡的、与黑度中心 P 点一致的采样脉冲指令。

5 瞄准精度

影响动态光电显微镜的瞄准精度,与构成显微镜的光、机、电三部分及度盘的质量有关。

首先通过调整显微镜的光学系统,使得输出信号质量要好,就是说信号的波形、对比度和信噪比要好。我们在检测度盘刻线宽度为 $5\mu\sim 10\mu$,狭缝线宽为 $20\mu\sim 40\mu$ 的情况下,信号波形接近钟形;信号的对比度(即信号的亮电平 E_{max} 与暗电平 E_{min} 之比),可调整到 $5:1$;信号的信噪比优于 $70:1$ 。差分信号在零电位处,在 $\pm 20\text{ mV}$ 范围内,不差一个数字当量—— $0.05''$ (度盘直径为 230 mm)。

至于电路部分,取决于较长时间内的稳定性、频率响应及采样脉冲的前沿。经测试,采样脉冲前沿 $< 0.2\ \mu\text{s}$,其它电性能均满足要求。

由于受实验装置等条件的限制,动态光电显微镜的瞄准精度从六十进制光电圆分度检验仪⁽¹⁾的总体测量中,从多次测量的重复性来判断。我们对一块刻划直径为 230 mm ,刻线为 720 条线的度盘进行多次测量,测量按两种转速进行。

(1)度盘相对主轴旋转一周的时间为 9 min ,三次连续重复测量,其测试数据见表 1。

由表 1 求出 $\sum V^2 = [VV] = 24.45$

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{[VV]}{12 \times 2}} = \pm 0.85 \text{ 格}$$

1 格的定标值为 $0.05''$,所以用角量表示, σ 为 $\pm 0.042''$

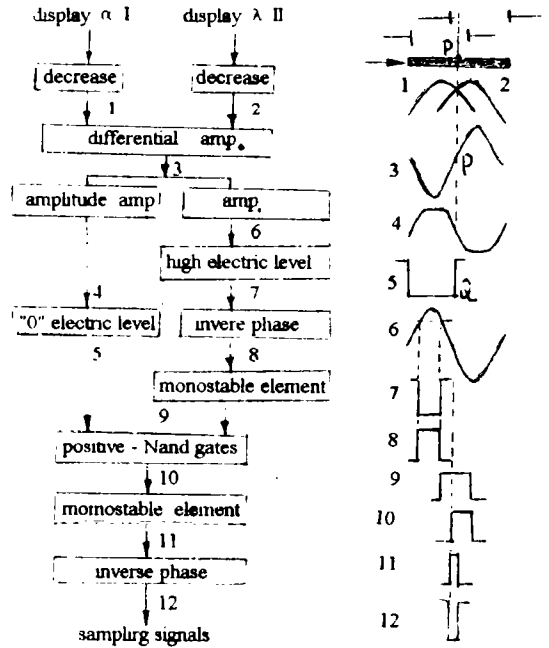


图 3 动态光电显微镜电原理及波形图

Fig. 1 Principle and wave schematic drawing of dynatoelectric microscope

(Table 1 Measured data I of accuracy of dynamic photoelectric microscope (time of revolution: 9 minutes))

reading angle	time	observed value and $\Sigma, \Sigma/3$					V			V ²		
		1	2	3	Σ	$\Sigma/3$	1	2	3	1	2	3
0		-20.8	-21.8	-22.7	-65.3	-21.8	1.0	0	-0.9	1.00	0	0.81
30		-14.0	-14.0	-13.0	-41.0	-13.7	-0.3	-0.3	0.7	0.09	0.09	0.49
60		6.2	7.0	5.5	18.7	6.2	0	0.8	0.7	0	0.64	0.49
90		10.0	11.0	12.0	33.0	11.0	-1.0	0	1.0	1.00	0	1.00
120		22.0	25.0	23.5	70.5	23.5	-1.5	1.5	0	2.25	2.25	0
150		21.5	23.3	22.4	67.2	22.4	-0.9	0.9	0	0.81	0.81	0
180		19.2	19.2	18.2	56.6	18.9	0.3	0.3	-0.7	0.09	0.09	0.49
210		14.2	15.2	14.5	43.9	14.6	-0.4	0.6	-0.1	0.16	0.36	0.01
240		23.0	24.0	24.0	71.0	23.7	-0.7	0.3	0.3	0.49	0.09	0.09
270		24.2	24.0	22.5	70.7	23.6	0.6	0.4	-1.1	0.36	0.16	1.21
300		25.0	26.2	25.5	76.7	25.6	-0.6	0.6	-0.1	0.36	0.36	0.01
330		-18.6	-17.0	-19.3	-54.9	-18.3	-0.3	1.3	-1.0	0.09	1.69	1.00

(Table 2 Measured data I of accuracy of dynamic photoelectric microscope (time of pre revolution: 4.5 minutes))

reading angle	time	1	2	3	4	5	6	7	8	Σ	$\Sigma/8$
		0	-3.8	-4.2	-4.0	-2.0	-4.5	-3.2	-3.5	-3.0	-28.2
30	-4.5	-3.0	-4.0	-6.0	-4.5	-3.5	-5.5	-2.0	-33.0	-4.1	
60	-1.0	-0.6	-1.0	2.0	0.5	0.5	3.2	2.5	6.1	0.8	
90	-10.8	-9.7	-8.8	-10.0	-10.0	-8.5	-8.5	-8.0	-74.3	-9.3	
120	-12.5	-11.5	-12.0	-10.0	-10.0	-9.0	-9.0	-10.0	-84.0	-10.5	
150	-13.2	-13.8	-12.5	-12.8	-11.2	-12.8	-12.0	-12.5	-100.8	-12.6	
180	-16.0	-15.0	-15.3	-17.0	-14.8	-16.0	-15.0	-16.0	-125.1	-15.6	
210	-10.2	-10.4	-9.5	-10.0	-10.5	-9.4	-9.0	-9.0	-78.8	-9.7	
240	8.0	8.0	7.6	8.0	8.4	9.0	8.5	8.2	65.7	8.2	
270	33.5	34.2	32.5	32.0	33.0	31.2	33.6	32.5	262.5	32.8	
300	39.2	37.5	38.5	36.0	37.5	37.0	36.0	36.0	297.7	37.2	
330	6.2	6.5	7.0	4.8	7.5	7.5	7.0	5.5	52.0	6.5	

如果用线量表示,由公式 $\frac{360 \times 60 \times 60}{\pi D(\mu\text{m})} = \frac{0.042}{\sigma(\mu\text{m})}$

其中 D 为 230 mm,则 $\sigma = \pm 0.023 \mu\text{m}$

$3\sigma \approx \pm 0.07 \mu\text{m}$

(2)度盘旋转一周的时间为 4.5 min,8 次连续重复测量,测试数据见表 2,计算同表 1,得出:

$\sigma = \pm 0.027 \mu\text{m}$ $3\sigma \approx \pm 0.08 \mu\text{m}$

由上看出,虽然在每周旋转 9 min 仅 3 次重复测量,但测量的重复性比 4.5 min 且 8 次重复测量要好些,这主要是转速慢时,转合的振动小所致。

经过大量测试,我们研制的动态光电显微镜的瞄准精度 $< \pm 0.1 \mu\text{m}$ 。

本工作是在朱应时的指导下进行的,孙自力参加了这项研究工作。机械设计和光学设计为李赫忠,李剑白。

参 考 文 献

[1] 曹向群主编,光学刻划技术论文精选. 北京:机械工业出版社,1991

Dynamic Photoelectric Microscope

Yang Jintang

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun, 130022)

Abstract

In this paper the principle, optical system, electronics system and aiming accuracy of dynamic photoelectric microscope are described, which is used for calibrating optical limbs.

Key words: Dynamic photoelectric microscope, Line calibrating, Photoelectric pulse.

杨进堂 男,生于 1941 年 9 月,1966 年毕业于太原工业大学无线电技术专业,副研究员。工作后一直从事线纹计量工作。两项课题获得中科院科技进步一等奖,其中“角度基准”获国家进步二等奖。曾在“光学机械”、“计量技术”、“计量学报”发表五篇专业性论文。