

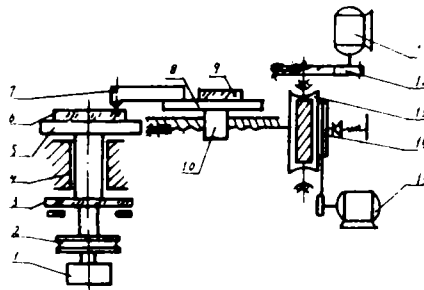
光盘伺服槽及预制格式刻划机 计算机检测系统及机械传动链频谱分析

王 一 凡

摘要： 本文详细地论述了光盘刻槽机电光检测系统的设计、工作原理和检测系统的误差。设计了专用计算机接口板和有效的计算机软件程序，并对机械传动链作了理论分析和实际误差曲线的频谱分析。

一、光盘刻槽机主机的传动部件与工作原理

光盘刻槽机是国家“七五”重点攻关项目之一，又是用作制备光盘的母机。它由精密机械、光电检测系统、电子计算机、氦离子激光器、声光调制器等组成。其作用是用来刻划螺旋线螺距为1.5、1.6和2.0 μm 螺距，误差 $\pm 0.1\mu\text{m}$ 光盘母盘。光盘刻槽机机械传动系统如图1所示。



1. 圆回转直流力矩机、 2. 联轴节、 3. 圆编码器、 4. 空气轴承、
5. 圆工作台、 6. 光盘、 7. 光刻头、 8. 直线运动工作台、 9. 光栅干涉仪、 10. 丝杠副、 11. 直线进给电机、 12. 齿轮副、
13. 蜗轮副、 14. 皮带轮、 15. 直线快速电机。

图1 光盘刻槽机机械传动系统图

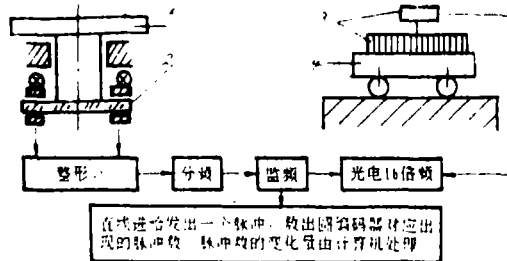
该机械传动系统的运动可分为两部分。一部分包括有直流力矩电机1、联轴节2、空气轴承4。直流力矩电机1通过联轴节2带动空气轴承作圆周运动。另一部分是直流力矩电机11经由齿轮副、蜗轮副、丝杠副，推动直线位移工作台在导轨上作直线运动。

以下简称光盘刻槽机

在直线位移工作台上装有光学系统，光学头在所刻制光盘的上方，随工作台一起作直线进给运动。

二、光盘刻槽机检测系统

光盘刻槽机检测系统是由圆编码器、直线光栅干涉仪组成的光栅式光电检测系统，其数据采集及处理由计算机完成。检测系统如图 2 所示。



1. 圆回转工作台 2. 圆编码器 3. 光栅干涉仪 4. 直线进给工作台

图 2 光栅式光电检测系统

圆编码器与圆回转工作台同装在主轴上，并力求与光盘有较高精度的同轴度，光栅干涉仪的衍射光栅装在直线进给工作台上，并且使工作面与直线进给工作台运动方向保持平行。

圆编码器刻线数为14400条线，则其线周期90弧秒，光栅干涉仪光栅的刻线数为625线/mm，并且经光电16倍频，脉冲单无为 $0.1\mu\text{m}$ ，刻划线距与直线进给和圆编码器发出脉冲的关系如表 1 所示。

表 1

线距 S (μm)	直线进给一个脉冲对应 圆编码器发出的脉冲 N	14400 线可分割份数 $K = 14\ 400/N$
1.5	960	15
1.6	900	16
2.0	720	20

检测系统的作用是检测刻槽机直线运动和圆回转运动所复合成的阿基米德螺线轨迹形成的螺距误差。当要求刻制的光盘阿基米德螺线线距为 $1.6\mu\text{m}$ 时，从表 1 中可以看出，直线光栅干涉仪每发出一个脉冲，对应圆编码器发出脉冲数为 900，由于刻制光盘阿基米德螺线线距存在着误差，那么每差一个圆编码器发出的脉冲，在螺距方向上产生的误差量为： $(90 \times 10) / (360 \times 3600) = 1.1 \times 10^{-4}\mu\text{m}$ ，这样通过测量两组脉冲之间的比例关系，就能测量出计人的误差量的大小。该检测系统的分辨率为 $1.1 \times 10^{-4}\mu\text{m}$ ，精度为 $1 \times 10^{-2}\mu\text{m}$ 。

三、检测系统的误差分析

1. 圆光栅测角系统

使用昆明机床研究所研制的 $\pm 1''$ 精度的数显转台，对整台编码器进行精度测试，将编

码器每一转分36点，测试间隔 10° ，重复测试三次，整台编码器极限误差 $\pm 2''$ 。

$$\Delta_1 = 2.5 \times 10^{-6} \mu\text{m}$$

2. 直线光栅干涉仪

直线光栅干涉仪的基本误差有：

(1) 相邻线距偏差

实际线距的距离与理论值之差称之为相邻线距偏差。根据检定误差 $\leq 0.01 \mu\text{m}$ 。经过均化后，取 $\Delta_2 = 0.005 \mu\text{m}$ 。

(2) 螺距线距误差

单位长度上线距的距离与理论值之差称之为螺距线距误差。根据检定误差为100mm长度上最大累积差为 $7 \sim 8 \mu\text{m}$ 。因只考虑均匀性误差，这一项可不考虑。

(3) 由于光栅摆角引起的线性计量误差 $\Delta_3 = (i/\gamma + i) \times a/2m$

式中： γ -分光束面与半波相位差面间夹角； i -光栅摆角误差（或工作台摆角误差）；

a -光栅线距；

m -衍射级次。

在自准情况下，光栅方程式为： $2a \sin \alpha = m\lambda$

刻槽机干涉仪所用中心波长 $\lambda = 900 \text{nm}$ ，干涉条纹宽度 $b = 8 \text{mm}$ 。根据导轨综合检验结果，工作段直线性误差为 $0.53''$ ，而光栅干涉仪工作时只是在很微小的一段上，所以其误差是非常小的，刻线间距为 $1.6 \mu\text{m}$ ，估计导轨的非线性误差量为 $0.05''$ ，将上述数据代入公式，则由此误差影响的线性测量误差为： $\Delta_3 = 0.05 \times (1/2 \times 625) / (5.8 + 0.05) = 6.9 \times 10^{-9} \mu\text{m}$

(4) 由于光栅安装时引起的误差

直线光栅在安装时，首先用电感测微仪测量一下刻划平面与导轨的平行度，其误差控制在 $10 \mu\text{m}/100 \text{mm}$ 。由于直线光栅表面和导轨平面不平行带来余弦误差，在 $1.6 \mu\text{m}$ 长度上引起的误差量为： $\Delta_4 = 8 \times 10^{-9} \mu\text{m}$

3. 测量系统误差对测量精度的影响

测量系统的总误差（即不确定度）按均方值相加结果

$$\Delta = (\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \Delta_4^2)^{1/2} = 8.4 \times 10^{-9} \mu\text{m}$$

对于我们测量系统测量到 $0.02 \mu\text{m}$ 的值是要精确的，测量系统的精度系数为

$$\eta = (0.0084/0.02) \times 100\% = 42\% < 50\%$$

所以该检测系统能满足测量要求。

四、计算机数据采集及数据处理

此系统应用在上述装置上，主要用来检测光盘刻槽机长、圆运动所复合成阿基米德螺旋线螺距的均匀性。系统框图如图3所示。

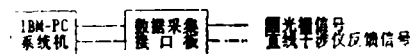


图3 采集系统框图

系统的工作原理：圆光栅信号和直线干涉仪的反馈信号经过脉冲整形电路，送入8253

-PIT计数器的CLK端，以直线干涉仪的反馈信号为中断信号，每来一个直线脉冲，产生一次中断，读取一次圆光栅信号，并存入计算机中指定的数据缓冲区内，留作数据处理待用。

程序软件设计采用了混合编程方法，采集程序选用8088汇编语言编制，控制及数据处理过程用BASIC高级语言编制。这种混合编程方法是数据采集与处理系统较理想的方法，它发挥了汇编语言执行速度快的特点，也发挥了高级语言控制及计算能力强的特长。

五、光盘刻槽机机械传动链的误差频谱分析

我们在测量刻槽机传动链误差时，发现其误差曲线基本是有规律的，每经过一段时间误差曲线的轨迹总是重复的。它满足 $f(t) = f(t+T)$ 式中 T -周期

由此我们知道刻槽机的误差是时间的周期函数。忽略余项，可以把一个周期函数展开成有限富氏级数，即 $f(\omega t) = A_0 + \sum (a_1 \cos i\omega t + b_1 \sin i\omega t)$

对于有限富氏级数如果忽略相位用的影响，则可以用实线频谱来表示。这就是说刻槽机机械传动链的误差可以用误差频谱来表示，误差频谱的横坐标表示各次误差谐波的频率，纵坐标表示各次误差谐波的幅值。

我们在分析传动链频谱时，采用了计算机处理检测系统所采集到的数据的方法。其结果与理论分析的结果基本上是吻合的。

六、结 论

1. 通过对光盘刻槽机机械传动链检测结果分析看出，开环系统刻线轨迹线距的最大误差 $\pm 0.03\mu\text{m}$ (3σ)，取 2σ 时则为 $\pm 0.02\mu\text{m}$ ，它仅为设计指标 $\pm 0.04\mu\text{m}$ 之半，这对刻划光盘有足够的保险系数。与国外同类刻槽机相比，其传动链精度具有国际先进水平。诚然，这样高的精度却给机械传动链检测带来了难题。

2. 光盘刻槽机机械传动链动态检测系统是在没有国内外现成仪器又缺乏参考资料条件下，自行设计的高精度、高分辨率的动态测试系统。通过精度分析，该检测系统的不确定度为 $\pm 0.0084\mu\text{m}$ (3σ)，它能够满足被测传动链对检测系统的精度要求。

3. 计算机接口电路本着实用、简单的设计原则，利用 IBM-PC 系统计算机方便、监视直观、软件多样化的特点，设计出高效、实用的应用软件。在检测方法确定中充分地利用检测元件的设计参数，避免了由于电细分而带来误差的影响，顺利地完成了光盘刻槽机的动态检测任务。

4. 通过对传动链误差的理论分析和频谱分析，找出了在传动链传递误差过程中，丝杠副的周期误差是影响传动链传动精度的主要误差源，因丝杠副是传动链的末端传动件，其它传动副对传动精度影响量很小。

**Computer Measuring System and Spectrum Analysis of
Mechanical Transmission System in Laser Cutting
Machine of Optical Disk for Serve Grooves
and Performed Information**

Wang Yifan

Abstract

In this paper, the designing, working principle and error of the photoelectricity measuring system of cutting machine are described. The special computer interface board and practical computer software programs are designed. The theoretical analysis of transmission system of machine and the spectrum analysis of error curve are given.