

# 光盘伺服槽间距的控制与检测

邢 忠 宝 辛 晓 光

**摘要** 运用先进的计算机控制理论和计算机控制技术,论述了计算机对光盘刻槽机刻划道间距的控制方法和检测方法,详细分析了检测系统的误差原因并提出了解决的办法。

## 一、前 言

光盘伺服槽及预制格式刻划机是制备光盘母盘并进行预制格式刻划的高精密系统,该系统由机械、光学、电控和计算机系统四大部分组成,其中计算机系统是整个刻划系统的控制和状态监测的中心。

为了能适应光盘不同尺寸的需要,光盘刻划系统提出了以下几种刻划沟槽的间距指标:

1.5 $\mu\text{m}$ ; 1.6 $\mu\text{m}$ ; 1.8 $\mu\text{m}$ ; 2.0 $\mu\text{m}$

根据这些技术指标,由计算机控制整个刻划系统进行光盘母盘的制备。

## 二、光盘伺服槽刻划机的总体结构

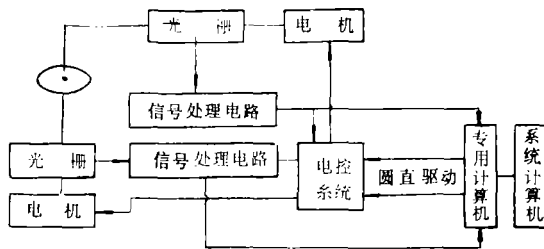


图1 光盘刻槽机系统示意图

光盘刻槽机的总体结构示意图如图1。刻槽机刻划的沟槽间距是指光刻头的直线运动和圆盘回转运动的相对位移量,直线运动和圆回转运动的相互配合,决定了实际刻划道间距的大小。

由图1可以看出,直线运动和圆回转运动是由两台直流电机分别驱动的,控制两台直流电机的转速,即控制了直线运动和圆回转运动的位移速度,最终在被刻划的母盘上将刻划出不同槽距的阿基米德螺旋线。

计算机输出的标准TTL电平或脉冲信号经电控系统的转换,将变成相应的直流电压,

控制直流电机的转速。

图 1 中所示的光栅系统作为圆回转运动和直线运动的实时检测系统,把检测到的表征直线运动和圆回转运动当前情况的参量经信号处理电路转化为相应的光栅脉冲信号,分别送电控系统和计算机控制系统。电控系统利用这个信号进行锁相控制;计算机系统利用这个信号进行道间距的实时控制和伺服槽间距的测量。

机械系统是刻槽机系统各种位移的传动和执行装置,是整个刻槽机系统的基本组成部分。

### 三、伺服槽刻划间距的控制

计算机对伺服槽刻划间距的控制,最终可归结为,根据电控系统的技术指标要求,输出两路可变频的脉冲信号。

表1 圆回转标准驱动脉冲频率/转速转换表

驱动脉冲频率 (Hz)	转 速 (r/s)
3 600	1
7 200	2
10 800	3
11 100	1
18 000	5

表2 标准直线运动驱动脉冲频率/位移转换表

直线位移速度 ( $\mu\text{m/s}$ )	脉冲频率 (Hz)
1.5	15
1.6	16
1.8	18
2.0	20
4.5	45

电控系统要求计算机输出两路控制信号,其频率值同圆回转转速和直线位移速度的对应关系如表 1, 表 2

#### 1. 专用控制计算机

如何输出可变频的高精度、稳定的脉冲信号是专用控制计算机的主要任务。

经过分析比较,我们利用定时计数电路产生变频的脉冲信号。输出脉冲信号的频率是由cpu对定时计数电路初始化时,设置的初始常数决定的。利用这种方法产生脉冲方波,初始化完计数定时电路后,cpu便可以进行其它工作,计数定时电路按cpu初始化时设置的工作方式进行工作,勿须cpu参与,在刻槽机系统中,利用这种方法产生可变频驱动脉冲是可行的。

但这种方法产生的驱动脉冲有以下几个缺点:(1)输出脉冲高电平有效宽度太窄,若系统时钟为4MHz,输出驱动脉冲高电平有效宽度仅为(0.5~0.625) $\mu\text{s}$ ,这样的驱动脉冲不满足电控系统对控制信号的技术指标要求,必须经脉冲整形加宽驱动脉冲高电平的有效宽度。

为了加宽驱动脉冲高电平的有效宽度,采用双单稳多谐振荡器(74LS123)或D触发器(如74LS74)对计算机输出脉冲信号进行整形,经整形后的驱动脉冲,高低电平占空比可达1:1°

(2)计算机输出脉冲信号的频率值连续性太差,变频后,脉冲频率值的跳跃性太大,这样就使计算机实际输出的驱动脉冲频率值同系统要求的标准脉冲频率值之间的偏差太大。

造成这种现象的主要原因是,计数定时电路的分频常数只能为整数,而无法对高频脉冲进行小数或分数分频,改善这一问题的主要办法是提高系统时钟,减少过程通道中其他环节的分频级数,但即使是这样,也很难达到表 1 中所列的系统参数要求,只能减小实际输出的

驱动脉冲频率同标准值之间的偏差，但是，若把这一偏差作为一个参数，对圆直驱动脉冲的频率值进行校正，使两者在配合时消除偏差，将不会对刻划盘片的道间距产生影响。

### 2. 专用控制程序设计

计算机运行速度除同系统时钟和电路的开关速度有关，更重要的是取决于软件的运行时间，所以降低软件的运行时间是提高计算机系统运行速度的主要渠道。

在刻槽机系统中，为实现计算机的群控，就要求计算机在控制过程中提高cpu的利用率。根据上述分析，专用控制软件采用的是中断方式进行编写的。

专用控制软件大致由三个部分组成，其中包括：主程序；数据采集中断子程序；圆光栅零脉冲中断子程序；道间距数据传送中断子程序；系统命令传送中断子程序和状态出错中断子程序。在系统运行过程中，各中断子程序可以相互嵌套。

## 四、伺服槽间距的检测

### 1. 基本检测方法

运用计算机对刻划的道间距进行测量，如何选择被测量和测量单位呢？

计算机测试中，对脉冲波形进行计量是最行之有效和简便的方法。系统刻划道间距值的大小是由光刻头的直线位移运动和圆回转运动共同决定的，因此我们可以通过对长圆光栅脉冲波形的分析，进一步研究系统刻划道间距值的大小。根据上述分析运用计算机对刻划的道间距进行测量，可选择长光栅脉冲作为被测量，选择圆光栅反馈脉冲作为测量单位。

下面我们分析运用计算机对刻划的道间距进行测量的测量方法。

圆回转运动和光刻头位移有严格的速度和位置配合，如果系统要求的道间距值为 $\delta$ ，那么，圆回转每转一周光刻头必须进给 $\delta$ ，否则，实际的道间距值相对标准值即发生了偏差，这种测量的基本原理是先以道间距的标准值为参照量，测量光盘的转动量，然后再以圆盘的一周为参照量求出实际的道间距值。

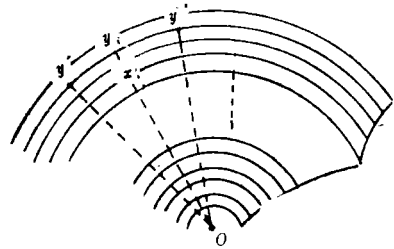


图2 光盘沟槽示意图

比如，如图2，计算 $x_i$ 处的道间距值为例。若以 $x_i$ 处为起点，光盘转到 $y_i$ 处为一周，道间距值为 $\lambda_i = y_i - x_i$ 。若系统要求的道间距标准值为 $\delta$ 。我们先以 $\delta$ 为参照量，求光盘的转动量，若光刻头进给 $\delta\mu\text{m}$ ，光盘恰好转动一周，实际的道间距值相对标准值没有发生偏差；但若光刻头位移 $\delta$ ，光盘从 $x_i$ 处转到 $y'$ 处，则 $\delta = y'_i - x_i$ ，这个 $\delta$ 并不是实际的道间距值，因为实际的道间距值 $\lambda_i$ 应为光盘转动一周时光刻头的位移量，即 $\lambda_i = y_i - x_i$ ，由于沟槽为阿基米德螺旋线，由图2可知 $\lambda_i > \delta$ ，即实际被刻划的道间距值要大于系统要求的标准值；反之，若光刻头位移 $\delta$ ，光盘由 $x_i$ 处转到 $y''$ 处，则 $\delta = y''_i - x_i$ ，用同样的道理可分析出， $\lambda_i < \delta$ ，即实际被刻划的道间距值要小于系统要求的标准值。因此，我们就利用圆回转运动同直线运动的相对位置关系，可计算出每道上不同位置处的道间距值。

若长光栅每进给 $0.1\mu\text{m}$ ，计算机可接受到一个反馈脉冲，圆盘每转一周计算机可接收到7200个反馈冲，则道间距值的计算公式为

$$\lambda_i = \delta (\theta - M/7200) \tag{1}$$

其中 $M$ 为光刻头位移 $\delta$ ，计算机接收到的圆反馈脉冲数。

## 2. 检测的软件设计

检测的软件主要分为两部分，第一部分为系统机程序设计，第二部分为专用机程序设计，检测的软件主要完成以下基本任务：

- (1) 道间距数据采集及处理
- (2) 每道中不同位置处道间距值的计算
- (3) 道间距值的误差分析

## 3. 检测误差分析

如果系统要求的标准道间距值为 $\delta$ ，而经过计算机检测计算后，得到实际道间距值为 $\lambda$ ，则 $\Delta\zeta = \delta - \lambda$ ， $\Delta\zeta$ 即为计算机检测到的道间距值的误差，这个误差可将其分为四部分设 $\Delta\zeta = \Delta\zeta_1 + \Delta\zeta_2 + \Delta\zeta_3 + \Delta\zeta_4$ 。

1.  $\Delta\zeta_1$ ，这是实际道间距值的偏差，这个误差产生的原因是多方面的，机械、电控、光栅计算机综合起来产生了这种误差，具体的表现形式是盘片的道间距值比标准值偏差了 $\Delta\zeta_1$ ，这是我们要进行误差分析的主要对象，检测的目的也正要真实地反映这个值的大小。

2.  $\Delta\zeta_2$ ，这部分是由于圆光栅信号的抖动和干扰造成的，实际盘片上的道间距值并没有这个误差。由于圆光栅反馈脉冲是测量单位，所以它的偏差，将直接影响检测精度。因为这个偏差不是道间距值的真值偏差，是由于检测系统的误动作造成的，所以在检测的过程中，应尽量采取措施加以克服。

但这种误差而引起的道间距值偏差很小，一个误差脉冲，只会造成道间距值偏离其真值的7200分之一，这样，偶然的几个干扰脉冲不会降低检测的精度。同时在信号处理电路中还采取了许多防干扰措施，这种偏差也极少发生。

3.  $\Delta\zeta_3$ ，这是由于长光栅反馈脉冲的干扰和精度不够造成的，由于长光栅反馈脉冲是被测量，它的误差将对检测结果产生很大的影响。

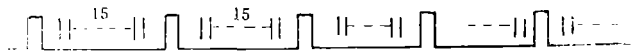


图3 长光栅反馈脉冲细分示意图

长光栅信号可分为两部分：如图3，一部分为光电信号，一部分为细分的电信号。其中的光电信号比较稳定，精度较高，对检测的误差值影响很小。但第二部分的细分电信号精度较差，由于光栅信号能识别的长度量最小值为 $0.1\mu\text{m}$ ，所以，它的误差将对检测精度产生很大的影响，如何克服这种影响是该高精度系统检测的主要任务。

为了克服这个矛盾，需要对 $A-1$ 的道间距值的算法进行修改。采用的方法是按细分的均值折算，由图3我们可以看出，每隔15个脉冲有一个高精度、稳定的光电反馈脉冲，若检测过程中，计数的起始点和结束点都能落在光电信号点上，就可以克服检测过程中电细分信号的影响。

我们把计数的起点放在光电信号点上，不考虑实际的计数结束点的位置，都把计数结束点放在光电信号点上，然后再按均波的十六细分找到计数结束点的实际位置，依此计算检测的道间距值，这样就有效地克服了电细分信号检测结果的影响，针对不同道间距值的计算公式如下：

- (1)  $1.6\mu\text{m}$ 道间距值的计算公式同(1)

(2) 1.5μm道间距值的计算公式:

$$\lambda = 3 - M/5120 \tag{2}$$

(3) 2.0μm道间距值的计算公式:

$$\lambda = 4 - M/2880 \tag{3}$$

4.  $\Delta\zeta_4$ , 这个误差是计算机在数据采集的过程中造成的。当然它也不是道间距值的真实偏差。

计算机在对圆光栅反馈脉冲进行计数时, 是采用cTc计数通道级联, 如图4。



图4

每次采集2字节数据, 若数据在低8位向高8位进位时, 进行数据采集会造成较大偏差。

为了克服这一矛盾, 我们采用软件进行校正。首先采集计数器1、2的值分别为 $x_1$ 、 $x_2$ , 紧接着再采集计数器1的值, 设其为 $x_1'$ , 若判别 $x_1$ 是否同 $x_1'$ 的值相等, 若相等, 暂存 $x_1$ 、 $x_2$ , 若不相等, 说明在计数器1向计数器2进位时进行了数据采集, 需重新进行数据采集, 这样就克服了由此而产生的误差。

当然, 若计数值需重新进行数据采集, 可能比正常的数据采集时间要延时一段时间, 但这时间很小, 最大不能超过 $\delta/7200$ (μm), 完全不能对道间距值的计算造成任何影响。

计算机在计数的过程中还会产生一种误差如图5

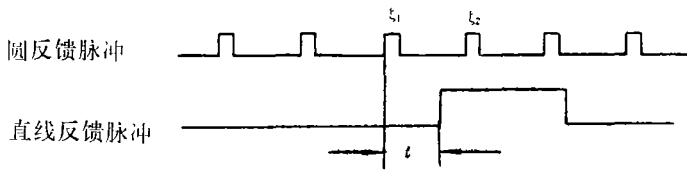


图5 长圆光栅偏差分析示意图

计算机在计数圆反馈脉冲时, 每两个圆反馈脉冲的中间位置是它的检测盲区, 即来一个圆反馈脉冲, 计算机计数一次, 在每个圆反馈脉冲的上升沿来到之后, 计算机可以确定目前光盘的所在位置, 但在两个反馈脉冲的中间位置, 计算机就无法进一步更精确的确定出圆盘的实际位置, 这样, 当长光栅反馈脉冲到达以后, 计算机只能报告出最后接收到圆光栅反馈脉冲时圆光栅盘的实际位置, 当直线反馈脉冲到来以后, 计算机开始采集数据。若数据采集点在 $\zeta_1$ 和 $\zeta_2$ 之间, 这样 $t$ 这段时间就被舍弃了, 这在每次道间距的计算中可能会发生一次, 它的最大偏差是一个圆反馈脉冲的周期, 将其转换成直线位移的误差值可由下列公式求得:

$$\zeta = \delta/72000 \text{ (}\mu\text{m)} \tag{4}$$

经过以上误差分析可以看出, 由于在数据采集、数据处理中采取了一系列措施, 直线微位移的检测基本上可以满足下列公式要求:

$$\Delta\zeta \approx \Delta\zeta_1$$

## 五、结 论

1. 经联机调试, 控制系统运行稳定可靠, 输出信号精度高, 具有较高的实用价值。

2. 软件设计功能强, 各部分工作时序配合合理, 使计算机能在有限的时间内完成较复杂的控制任务。

3. 在实时控制中应注意计算机系统的防干扰问题。

4. 检测系统准确地报告了系统的刻划精度为分析伺服系统的刻划精度提供了高精度的试验数据, 见表 3、4, 其中表 4 为中国计量院的测量结果报告。表 3 为检测系统的部分检测结果报告。经比较分析可见, 该计算机检测系统及选择的检测方法都是完全可行的。证明了文中对检测系统的误差分析及提出的解决办法是完全正确的。

表3 计算机检测系统的检测数据结果报告

道号	序号	1	2	3	4	5	6	7	8
1		1.5978	1.5964	1.5942	1.5907	1.5889	1.5907	1.5951	1.5987
		1.5996	1.6018	1.6049	1.6058	1.6053	1.6049	1.6031	1.6022
2		1.6013	1.6040	1.6062	1.6089	1.6093	1.6084	1.6040	1.6013
		1.6000	1.5973	1.5982	1.6009	1.6018	1.6027	1.6044	1.6040
3		1.6040	1.6018	1.6009	1.6036	1.6049	1.6062	1.6089	1.6098
		1.6084	1.6089	1.6053	1.6027	1.6022	1.6044	1.5982	1.5996
4		1.6018	1.6022	1.6018	1.5978	1.5969	1.5947	1.5938	1.5924
		1.5951	1.5969	1.5978	1.5987	1.5982	1.6000	1.6010	1.6036
5		1.6018	1.6022	1.6031	1.6022	1.6031	1.6036	1.6031	1.6044
		1.6036	1.6027	1.6036	1.6022	1.6022	1.6009	1.5964	1.5947

表4 中国计量科学研究院检测结果报告

序号	0°			90°			180°			270°		
	内圈	中圈	外圈	内圈	中圈	外圈	内圈	中圈	外圈	内圈	中圈	外圈
1	1.57	1.61	1.57	1.63	1.59	1.59	1.62	1.58	1.56	1.59	1.57	1.57
2	1.59	1.60	1.63	1.61	1.61	1.60	1.60	1.60	1.58	1.58	1.63	1.58
3	1.61	1.59	1.59	1.58	1.58	1.59	1.61	1.59	1.59	1.60	1.62	1.60
4	1.65	1.58	1.58	1.62	1.61	1.60	1.58	1.58	1.59	1.56	1.56	1.61
5	1.61	1.63	1.60	1.61	1.64	1.60	1.63	1.60	1.60	1.61	1.59	1.61
6	1.61	1.59	1.62	1.58	1.56	1.61	1.60	1.60	1.62	1.60	1.60	1.60
7	1.66	1.59	1.58	1.59	1.64	1.61	1.59	1.62	1.61	1.63	1.60	1.55
8	1.56	1.62	1.62	1.56	1.62	1.60	1.60	1.56	1.60	1.59	1.63	1.60
9	1.60	1.55	1.59	1.62	1.55	1.58	1.59	1.61	1.57	1.62	1.59	1.61
10	1.59	1.61	1.63	1.60	1.57	1.61	1.60	1.60	1.59	1.60	1.62	1.62

在这项工作中, 王立鼎、刘玉章、赵周伦、杨厚民、葛慧琴、王志琴等同志, 给予了多方面的帮助, 在此致谢。

参 考 文 献

[1] 周朋德主编,《微型计算机接口电路及应用》,清华大学出版社, 1987

## The Controlling and Testing of the Groove Pitch of Optical Disk

Xing Zhongbao, Xin Xiaoguang

### Abstract

This paper presents a method by which the grooves pitch of the optical disk can be controlled and tested according to the advanced computer control theory and techniques. It also analyzes the reason why the deviation may exist on the testing system and suggests a method for improvement.