

# 圆光栅用于角度基准研究的电子学设计和实践

周 世 红

**摘要** 介绍一台高精度圆分度测量仪的整个电路工作原理、性能、用途、各单元结构原理及有关技术。

## 一、前 言

为缩短我国角度计量与世界先进水平的差距,我们研制成一台高精度圆分度测量仪。本仪器所具有的高分辨率、高精度、自动测量、通用性和自检等特点与微机和电子技术的应用紧密相关。而仪器高分辨率、高精度特点是通过采用独特的采保一调制电细分法的高精度莫尔条纹细分器对一个高质量的莫尔条纹进行2万等分的电细分,得到千分之一角秒的分辨率,并通过微机进行数据处理和误差补偿修正。

自动测量特点是通过微机控制,实现其工作台自动调速和转位,使仪器的整个测量过程按预定程序运行。仪器电系统的同一输入电路以切换功能开关,换接不同外接输入信号,以适应仪器进行不同组合各种测量用途。仪器还设置了输入自检信号检查仪器和其各环节工作可靠性。

此仪器是一种比较测量设备。采用“平均”方法处理的高质量光栅标准盘电信号,经电子学莫尔条纹细分器“量化”和“细分”处理作为“基准”,而通过瞄准采样系统将被测的线纹或角面转换成参考的采样信号,然后输入莫尔条纹细分器与上述“基准”进行比较。接着由计算机和其外围设备进行数据处理。该仪器按其结构和功能可分为四个部分:主机部分(指此仪器主体,包括光学、机械和前置信号等部分);外接测试件和仪器部分(指被测对象和外接瞄准采样系统部分);系统计算机部分,(指此准仪器专用微机系统及其外围设备);电路部分,(指仪器的总电路,包括仪器的全部六个单元电控箱)。

## 二、电路已达到的主要技术指标

1. 测角范围:  $0 \sim 360^\circ$ ;
2. 细分份数: 20000,角分辨率:  $0.001''$ ;
3. 细分精度:  $\pm 0.001$  (采用自检信号检测);
4. 读数方式: 以度、分、秒10位数字显示,  $0 \sim 359^\circ 59' 59.999''$ 或微机采集;
5. 工作台转速:  $0.2\text{rpm} \sim 0.025\text{rpm}$ ,可手控和微机控制;
6. 零位光栅脉冲: 零位光栅信号与一个固定标准盘光栅正弦信号一致;
7. 浮动零位脉冲: 浮动零位信号与被测盘信号一致;
8. 抗干扰能力: 满足第一机械工业部“机床数字控制装置检验暂行标准”关于抗干扰

试验的要求。

9. 交流供电电源电压: 220V ± 10%。

### 三、工作 原 理

此仪器电路工作原理详见图 1，检测过程简述如下：在人工装调好被测对象之后，由外部来的采样瞄准信号经过采样处理环节的选择和分频处理，输入到莫尔条纹细分环节，而由主机来的一对光栅标准盘正交信号也输入到莫尔条纹细分环节。经模拟量变成数字量处理，把空间角位移量变成了对应数字量，并把一个20角秒的莫尔条纹细分到2万等分，其分辨率为0.001"。然后输给微机，进行细分误差修正。同时，莫尔条纹计数环节记下相应的莫

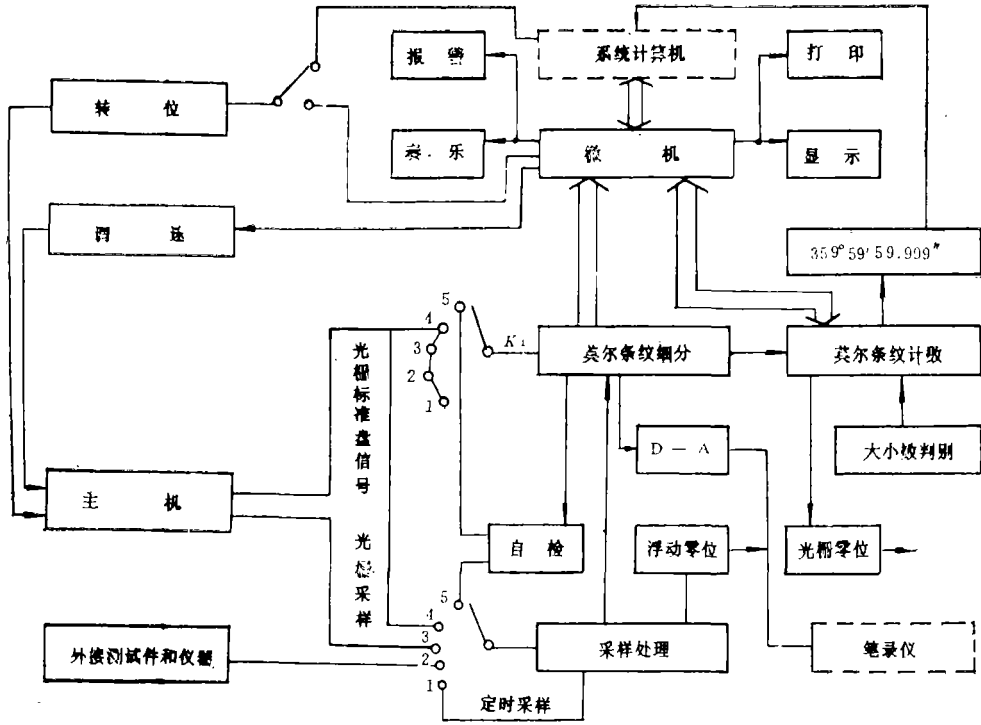


图 1 仪器整个电路功能框图

尔条纹数目，每个莫尔条纹等于20角秒，并将此数再输给微机，按有关数值对莫尔条纹细分值再进行位置误差修正，并依大小数判别电路输出值、修正误差后的细分值和莫尔条纹数值、进行大小顺序和数进位重新排列。这样经过细分和误差修正就得到高精度的角度位置数数值。微机将此数值一方面输给大数单元的显示系统显示，另一方面输给系统计算机进行数据处理。系统计算机可与微机进行对话。在进行组合测试时，通过系统计算机或微机控制继电器带动换位机构，使被检测对象相对主机的光栅标准盘转动一定角度，完成自动换位。

为适应仪器采用积木式结构，通过各种组合测量不同被检测对象角度精度通用性特点，我们通过功能开关换接外部不同的输入信号，来实现多种测量用途。详见图 1 和表 1。

表 1 角度基准仪器五种基本测量形式

项 目	采样输入	细分输入	测量方式	被 检 测 对 象
1	定 时	光栅标准盘信号	静 态	不需用采样信号被测对象
2	外 接	光栅标准盘信号	动 态	需用采样信号被测对象
3	主机信号	光栅标准盘信号	动 态	光栅盘
4	光栅标准信号	光栅标准盘信号	动 态	整个仪器自检
5	自检信号	自 检 信 号	动态和静态	整个电路和系统计算机自检

自检作用的实现是通过模拟实际正常工作状态，给出“理想”的输入信号，此时仪器各环节工作状态的输出应为已知固定值，用它可判断工作正常否。

### 四、单元结构原理

根据总体要求，按功能和连接关系，我们设计制做了六个单元电控箱：细分单元、智能单元、大数单元、电源单元、点（灯）偏（置）电源和动力电源，各单元都能独立使用，除电源单元专供细分单元外，都有独立电源和自检信号，各单元电箱电路主要结构和功能分述如下：

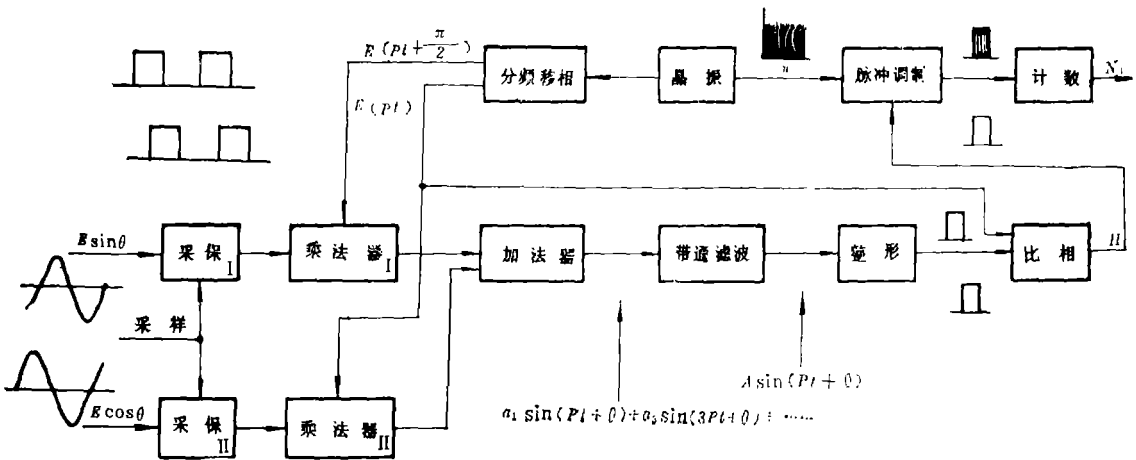


图 2 采保-调制电细分原理框图

#### 1. 细分单元

细分单元主要包括莫尔条纹电细分和有关作用电路。

##### (1) 采样保持——电载波调制细分原理

从刻划、获取信号和使用考虑，我们确定角度基准仪器不但要求高分辨率、高精度，而且要求能进行动态测量，以提高检测效率，这对莫尔条纹细分电路提出了难题。目前国内外

的最高分辨率为 $0.01''$ ，国内最高细分数为1000，且多限于静态测量。

根据电载波调制细分原理，在动态测量时，对很高倍数细分，细分电路难以实现。详见文献<sup>[1]</sup>。为了保证动态测量精度 $1/N$ ，光栅信号最高工作频率 $\omega_0 = P/N$ ， $P$ 为载波调制频率， $N$ 为细分数。则脉冲填充频率 $n = P \cdot N = \omega_0 N^2$ ，从以上式子看出， $n$ 与 $P$ 成比例，而与光栅工作频率和细分数平方乘积相等。当要求 $N$ 很高时， $n$ 值亦特别高，这样就使电路最高工作频率特别高，电路亦很难实现。

我们从改进信号处理方式入手，降低电路最高工作频率，使之易于实现。为了保证 $1/N$ 动态测量精度，原方案载波调制频率 $P$ 应是光栅信号最高工作频率 $\omega_0$ 的 $N$ 倍，才能保证得到精确的模拟量信息。我们选用频响高的采样保持器替代上述电路作用。好的采样保持器保证能获得高精度的模拟量信息，这样可降低调制频率。从测量原理方面讲，因为光栅系统是采用比较法测量，即用被测件的采样信号与基准光栅信号比较，所以采样保持器要用采样信号来控制取数。根据采样定理，为使信号不失真，调制频率应大于2倍光栅信号最高工作频率 $\omega_0$ ，即 $P > 2\omega_0$ 。经全面权衡，我们取 $P = 4\omega_0$ ，则脉冲填充频率 $n = PN = 4\omega_0 N$ 。与原载波调制方案比较， $P$ 和 $n$ 工作频率可大大降低，电路也容易实现。就这样，我们把采保技术和载波调制细分结合起来完成了电细分目的。新的细分方案是先通过被测件采样信号控制采样保持器，把需要的模拟信息量选取和保存下来，再通过原载波调制细分电路，把此模拟量信息变成相应数字量信息，具体见图2。将正交标准盘光栅信号 $E \sin\theta$ 和 $E \cos\theta$ 分别输入到二个采样保持器，当来采样信号时，就把对应需要的模拟量信息选取和保持下来，接着再通过相乘和加法运算，即：

$$\begin{aligned} f(\theta \cdot t) &= E \sin\theta \cdot E(Pt + \pi/2) + E \cos\theta \cdot E(Pt) \\ &= E \sin\theta (\cos Pt - \cos 3Pt + \cos 5Pt + \dots) \\ &\quad + E \cos\theta (\sin Pt + \sin 3Pt + \sin 5Pt + \dots) \\ &= a_1 \cdot \sin(Pt + \theta) + a_3 \sin(3Pt + \theta) + \dots \end{aligned}$$

通过带通滤波去掉高次谐波，即得到： $A \sin(Pt + \theta)$ 项，再通过 $A \sin(Pt + \theta)$ 与 $F(Pt)$ 比相，取出相位差 $H$ ，进一步通过脉冲调制和记数，得到相位差 $H$ 相对数字量 $N_1$ ，详见文献<sup>[2][3]</sup>。一对正交光栅信号通过莫尔条纹电分器，把模拟量电细分，再经过量化和编码处理，由模拟量变成数字量，以此就把空间域的光栅位置信息与数字量联系起来。

## (2) 自检

为标定上述细分器本身精度，我们设计制作了自检电路，详见图3。由自检电路产生一对理想的正弦、余弦信号和一同步的具有准确时间间隔的采样信号，将这些信号分别输入到细分器，通过微机计算和控制，可迅速自动得到细分精度。这可定量得出细分器实际输出与理论值符合程度。然后根据此误差，调整细分器的有关电路环节和元件参数，直达到要求的细分精度为止。在此要特别强调，自检电路产生的一对理想正、余弦信号，在幅值、相角差和谐波量等指标必须满足规定要求，可参考有关文献。图4是此细分器自检的一个例子，共测40个点，即每隔 $9^\circ$ 测一个点。当自检信号频率 $f = 250\text{Hz}$ 时，最大误差为 $\pm 4 \times 10^{-4}$ ，所以此细分相对最大误差 $\pm 0.001$ 。

细分单元除了上述细分器的电路外，还包括其他有关电路。考虑到仪器的通用性，添置了采样处理和标准信号转换二个环节。此时仪器除能进行自检，也能进行动、静态测量。细分器的检测数据通过接口电路输出给智能单元和发光二极管矩阵显示，也可通过 $D-A$ 输出给记录仪。另外还有浮动零位电路，它是使一个较宽原始浮动零位脉冲套住一个窄的采样信

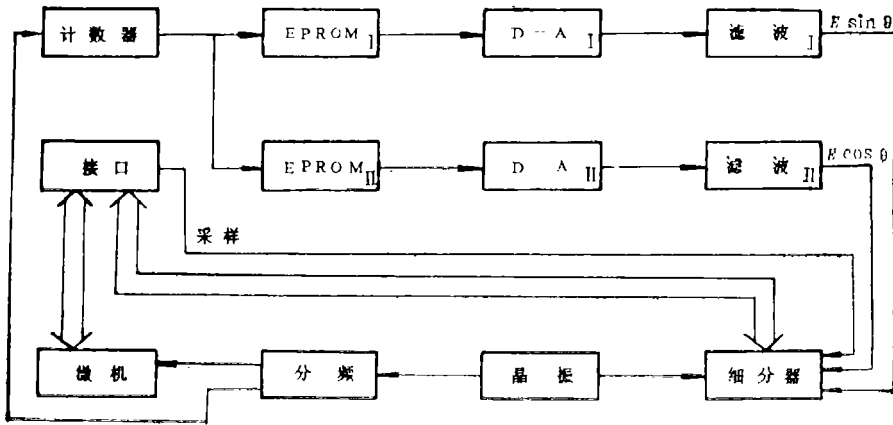


图3 电细分自检电路框图

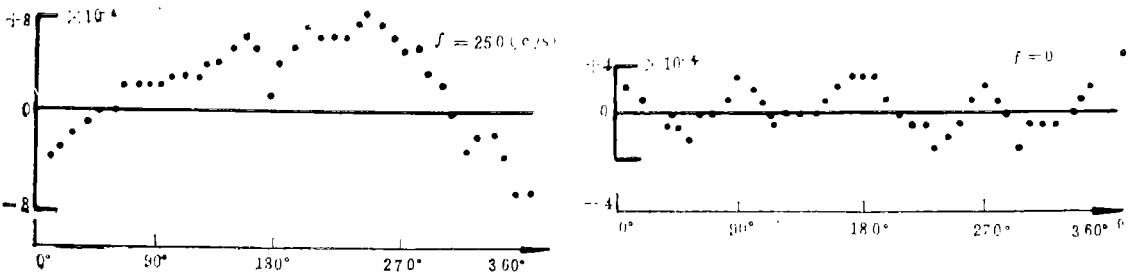


图4 电细分器自检误差

号的符合电路。

## 2. 智能单元

智能单元是整个仪器的神经中枢，是整个电路的控制中心。它的结构主要分硬件和软件两种。

智能单元是以通过的Z80单板机为基础，再配以大容量的外接存储器、PIO和8255等外围接口电路和配以奏乐、显示、报警等功能电路。

智能单元的测量控制应用程序采用模块式结构，使用时，可根据需要来调用。具有控制灵活适应性强的特点。此单元与其他电路单元相连主要功能见图1。

## 3. 大数单元

此单元主要是记莫尔条纹数目和其有关作用电控箱。

莫尔条纹记数分二种，一种是60进制可逆计数器记数。可输出以20角秒为最小单位数值，根据此数值、大小数判别电路值和误差修正后的细分小数，由微机进行大小数连接运算后，输给显示系统显示位置信息。另一种是用零位光栅信号清零的二进制可逆计数器记数，可输出以1°为最小单位的位置信息，供微机做位置误差补偿修正。而光栅零位环节是用原始零位光栅信号套住一个固定的窄标准光栅零位信号输出电路。此外还有倍频马达调速反馈信号等其他电路。

#### 4. 动力电源单元

此单元电控箱包括自动调速和转位两部分电路。

调速电路能用微机控制, 具有宽调速、瞬时转速均匀和高精度等优点。

驱动元件采用 160LCZ003 永磁直流力矩测速机组。它利用永磁直流力矩电动机输出低转速、大转矩、反映速度快线性度好的优点。

调速控制可用手动和微机。自动控制通过两种方式: 一是经过D—A给出控制电压, 控制转速快慢; 二是通过继电器控制电机启动和停止。

调速系统采用模拟量输入, PID 补偿, 用精确的主机的标准光栅盘信号做位置反馈控制结构。具体电路可参考有关文献, 我们为了提高电路性能和可靠性做了一定改进。

#### 5. 直流稳压电源

电源单元有16路电压输出供细分单元用, 点偏电源单元有12路电压输出供主机点灯和前置电路用。我们采用三端固定式和可调式三端稳压器, 故设计、应用简单方便, 使用安全可靠。另外, 我们采用了交流噪声抑制器, 抗干扰变压器, 交流稳压和直流二次稳压措施等, 提高了电压稳定性, 防干扰性等。电路所用直流稳压电源经过长时间带载运行、工作稳定、可靠。象标准灯电源电压输出6V带6A负载工作8小时, 输出电压仅变化5mV。

## 五、结 束 语

经一段时间运行和测试, 证明仪器的电路工作稳定可靠, 达到了预定的要求。

参加此项研制工作的还有张建华、胡卫兵、高淑琴、张洪胜、董智萍、王跃琼、王英芳。

### 参 考 文 献

- [1] A.H.Mcilraith, A.D.L.scott, J.Sci.Instrum., 43, (1966), 585—587
- [2] 周世红; 光学机械, 1983第2期, 19~24
- [3] Zhou Shihong; Application of Moire fringe electric interpolation in calibration instrument for radial gratings, 309~311, preprints of papers, Australasian Instrumentation and Measurement, 1989

## The Electronic Design and Practice of Research Using Circular Gratings as a National Angular Standard

Zhou Shihong

### Abstract

This paper introduces the operation principles, performances and usage of whole circuits in a calibration angular instrument with high accuracy, and the structure principles of each unit in the instrument and relative technique.