

光栅尺动态测量仪数据处理系统

龙科慧 刘岩 王立朋 季思

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘要 主要介绍了光栅尺动态测量仪的数据采集和数据处理系统部分。该系统采用了软硬件相结合的方法, 因而体积小、造价低、功能强、操作简便, 且又在软件上注意了对激光波长的修正、被测光栅尺的修正及测试数据的平均处理, 从而保证了仪器的总体精度。

关键词: 光栅尺; 数据处理系统; 激光干涉仪

1 引言

我们研制的大量程、高精度的光栅尺动态测量仪, 它采用一台双频激光干涉仪做为基准, 通过与光栅尺数显箱的接口电路, 实现对光栅尺的自动测试^[2]。本文介绍我们研制的光栅尺动态测量仪的数据处理系统。

本系统的中心处理单元采用 8031 单片机, 由单片机控制测量数据的采集、测量值的计算和显示、测量误差的计算和打印。整个系统功能强、可靠性高且体积小。在软件中采取了对激光波长等参数的修正以及采样数据平均处理, 从而保证了整个系统的精度。

2 系统的设计

光栅尺检测仪的核心是一台双频激光干涉仪。双频激光干涉仪的基本原理如图 1 所示。光源是一支能发出两个光频率的氦氖激光器, 其中一个频率为 f_1 , 另一个为 f_2 。 f_1 与 f_2 的差别不大, 通常 $f_2 - f_1$ 约为 1MHz 左右。用光电二极管 D_1 接收激光器负极输出的光做为参考信号 (f_R), 其频率为 $f_2 - f_1$ 。正极输出的光被偏振分光

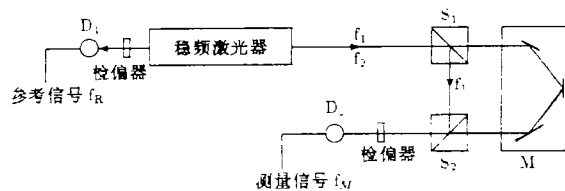


图 1 双频激光干涉仪的基本原理框图

镜 S_1 分为两束光, 频率为 f_1 的一束被反射到偏振分光镜 S_2 , 光频为 f_2 的一束透射到可动的大空心锥体棱镜 M , 最后, 这两束光又沿同一条轴线经过拍频后, 由光电二极管 D_2 接收, 形成测量信号。

当可动棱镜 M 不动时, 光电二极管 D_2 检测到的频率为 $f_2 - f_1$, 而当可动棱镜移动时, 从它那里反射回来的光却包含了多普勒频移, 它反映了可动棱镜移过的距离 L 的大小:

$$L = \frac{\lambda}{2} \int_0^t (f_M - f_R) dt = \frac{\lambda}{2} \int_0^t \Delta f dt = \frac{\lambda}{2} N$$

其中 $f_R = f_2 - f_1$ 为参考信号; $f_M = f_2 - f_1 \pm \Delta f$ 为测量信号的频率; λ 为激光的波长; t 为测量时间, N 为对应于 Δf 的累计计数值。在测量过程中, 上述运算是通过电路来完成的, 显然电路应完成以下功能:

- 1 完成对参考信号的计数: $N_R = \int_0^t f_R dt$ 和测量信号的计数: $N_M = \int_0^t f_M dt$
- 2 具有减法器功能, 计算对应于 Δf 的累计计数值 N :

$$N = N_M - N_R$$

- 3 具有乘法器的功能, 计算位移量的:

$$L = \frac{\lambda}{2} N$$

为完成以上功能, 并考虑到仪器的功能、造价、体积、稳定性、使用等, 我们采用了单片机系统。

MCS-51 系列单片机是美国 Intel 公司继 MCS-48 系列之后推出的 8 位高档微型计算机系列, 也是目前应用最普遍的单片机之一, 8031 则是 MCS-51 系列单片机的典型代表。因此, 采用 8031 单片机作为本检测仪数据处理系统的核心部件。数据处理系统的原理如图 2 所示。下面将该系统各组成部分及其功能介绍一下:

(1) 计数器部分

本系统采用两列计数分别对参考信号 N_R 和测量信号 N_M 进行计数。通常仪器要求工作 8 小时以上, 这就要求这两列计数器在 8 小时以内不能产生溢出。为此, 我们采用了 40 位二进制计数器。一般情况下 N_R 和 N_M 的频率为 1MHz 左右, 因此, 这两列计数器可工作 $2^{40}/1\text{MHz} = 1099511 \text{ 秒} > 305 \text{ 小时}$ 而不产生溢出。由于 8031 单片机的内部定时/计数器的响应频率达不到 1MHz 以上, 因此不能直接采用其内部计数器。我们采用了软、硬件相结合的方法实现两列计数器的计数, 即每列计数器的低 16 位采用外部计数器, 高 24 位则采用了 8031 中的 16 位定时/计数器外加一个 8031 内存单元作软件计数器。在本系统中外部计数器用的是速度较高的 TTL 器件, 计数频率可到几十兆赫。这样既满足了计数频率要求又简化了硬件电路。

(2) 单片机控制及数据处理电路

采用一片 4K 字节的 EPROM2732 做为 8031 单片机的外部程序存储器, 2K 字节的

SRAM6116 做为外部数据存贮器，用来存贮测量误差值 ΔL 。该电路是本系统的核心，控制数据的采集、完成 L 值的计算、误差值 ΔL 的计算、波长的修正以及各控制信号的产生等。

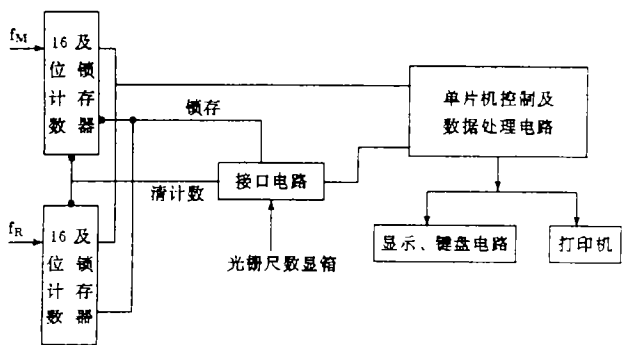


图2 光栅尺动态测量仪数据处理系统原理框图

(4) 接口电路

接口电路是本系统的关键部分之一，它是测量误差值准确与否的保证。该电路有两个用途，第一个用途是产生一个清零 (Clear) 信号，该信号在将光栅尺显示值清零的同时将检测仪的显示值也清零，使它们的测量起始点相同。第二个用途是使光栅尺每隔10mm 时产生三个脉冲：INT、Latch₁、Latch₂。INT 为中断脉冲，Latch₁、Latch₂为计数器锁存脉冲。当 INT 产生时，单片机转入中断服务子程序中，将此时计数器的值读入并计算出长度值 L_i ，最后计算出此刻的测量误差值 ΔL_i ：

$$\Delta L_i = L_i - i \times 10\text{mm}$$

3 程序的设计

本系统程序除了能完成长度值 L 、误差值 ΔL 的计算和产生各控制信号外，在程序设计时我们还注意了以下几个问题：

a 激光波长的修正

条纹计数式干涉仪是以波长为基准进行测量的，即

$$L = \frac{\lambda}{2} N = \frac{\lambda_0}{2n} N$$

式中， λ_0 是激光在真空中的波长，是个常量； n 为测试环境的空气折射率，随着测量环境的温度、气压、湿度等因素的变化其值也发生变化。只有实时地测出 n ，才能计算

(3) 打印、显示及键盘电路

打印电路包括打印接口电路和打印机，其用途是将误差值 ΔL 打印出来。

显示电路包括驱动、显示器，显示器采用了八个 8 段数码管外加一个 \pm 号共九位。用来显示长度值 L 。

键盘电路包括接口电路和按键，完成仪器的清零、复位及各修正量的输入。

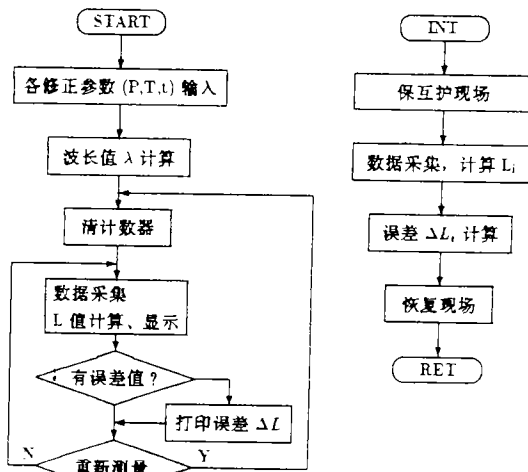


图3 数据处理系统程序流程图

只有实时地测出 n ，才能计算

出实际的波长 λ , 但折射率 n 的测量是比较复杂和困难的, 为此我们采用间接方法测量 n , 或其变化量 Δn 。目前广泛使用的修正公式为 Edlen 所推导的一组公式, 当环境温度为 t , 气压为 p , 湿度为 f 时有:

$$\Delta n_{t,p,f} = [-93(t - 20) + 0.27(p - 101325) - 0.045(f - 1333.22)] \times 10^{-8}$$

或:

$$\Delta \lambda_{t,p,f} = [588(t - 20) - 1.7(p - 101325) + 0.354(f - 1333.22)] \times 10^{-9}$$

由上式可以看出湿度 f 的影响很小, 可忽略, 于是可写成:

$$\Delta \lambda_{t,p,f} = [588(t - 20) - 1.7(p - 101325)] \times 10^{-9}$$

经计算当温度每变化 1°C 时, 本测量仪可动梭镜 M 移动 1m 所引入的误差大约为 $0.6\mu\text{m}$ 。那么在仪器整个测量范围 (2.2m) 内, 由于温度变化 1°C 所产生的误差将会在 $1.32\mu\text{m}$ 以上, 因此应对其进行修正。

b 被测光栅尺的修正

考虑到被测光栅尺在温度变化时由于热胀冷缩也会产生变化, 因此在程序设计时我们还注意了对光栅尺的修正。

一般光栅尺采用玻璃作为基底, 其温度系数为 $8.6 \times 10^{-6} \mu\text{m}/^\circ\text{C}$, 这就是说, 在光栅尺温度偏离标准状态 (20°C) 1°C 时, 对 1m 长的光栅尺, 引入的误差为 $8.6\mu\text{m}$, 因此必须在测量中消除这一影响。通常测量一把光栅尺所需时间不超过三分钟, 因此只要在测量的三分钟内光栅的温度 t_1 不产生变化, 就可采用下面的方法进行修正。设玻璃的膨胀系数为 α , 则温度影响为 $\alpha(t_1 - 20)L_0$, 这里 L_0 为 20°C 时的长度值。再考虑到环境温度、气压对波长的影响, 进而对测量长度的影响, 则修正后的测长公式为:

$$L = \frac{\lambda + \Delta \lambda_{t,p}}{2} N = [1 + \alpha(t_1 - 20)] L_0$$

于是有

$$L_0 = \frac{(\lambda + \Delta \lambda_{t,p}) N}{2[1 + \alpha(t_1 - 20)]} = \frac{(\lambda + \Delta \lambda_{t,p}) N}{2} [1 - \alpha(t_1 - 20)]$$

c 示值稳定处理

在实时数据采集系统中, 经常有干扰信号从传感器通道串入, 从而影响了显示值的稳定。为了消除这种干扰, 我们除了在硬件上采用了一些相应的滤波电路外, 软件编程上也采取了一些措施。主要采用了以下两种方法:

(1) 比较舍取法：对一点数据连续采样8次，去掉两个最大点，去掉两个最小点，这样可以剔除个别错误数据的影响。

(2) 算术平均法：将比较舍取后剩下的4次采样数据进行平均，以平均值作为该点采样结果。这样可以减少系统的随机干扰对采集结果的影响。

本系统的程序流程图如图3所示。

4 结 束 语

由于我们在本系统程序设计时注意了对影响仪器精度的各参数进行修正，从而使仪器的总体精度有了保证。通过实测，在2.2m 范围内仪器精度为 $\pm 1.5\mu\text{m}$ 。另外，本系统的测量范围(2.2m) 是受导轨长度限制的，如果增加导轨的长度，那么本系统的测量范围也将随之增加(大于2.2m)。

迄今为止，我们这套系统已交用户使用了三年，由于其具有可靠性高、功能强、操作简便、测试速度快等特点，得到了用户的好评。

参 考 文 献

- [1] 关信安等，双频激光干涉仪。中国计量出版社，1987
- [2] 刘岩等，光栅尺动态测量仪。光学精密工程，1993，(2)
- [3] 何立民，MCS-51系列单片机系统设计。北京：北京航空航天大学出版社，1990

Data Processing System for Dynamic Measurement of Grating Liner Scale

Long Kehui, Liu Yan, Wang Lipeng and Ji Si

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences,
Changchun130022)

Abstract

The data acquisition and processing system for dynamic measurement of grating linear scale is described. Adopting both software and hardware, it is characterized by small volume, cheapness, strong function and easy operation. The correction of both laser wavelength and tested grating linear scale and the data averaged processing are considered in the program to ensure the whole precision.

Key Words: Grating linear scales, Data Processing system, Laser interferometer