

33-36

第 11 卷 第 2 期

电子测量与仪器学报

Vol. 11 No. 2

JOURNAL OF ELECTRONIC

1997 年 6 月

MEASUREMENT AND INSTRUMENT

· 33 ·

⑦

# 力矩电机自动调节的大量程 数显卡卷尺测长技术

刘建国 魏庆农 李斌

(中科院安徽光学精密机械研究所, 合肥 230031)

TM359.6  
TG81

[摘要]本文在数字显示卡尺技术和力矩电机技术的基础上,把卡尺量程扩大到 20 米做成卡卷尺,运用力矩电机作为卡卷尺的卷紧机构和保证光栅编码器标尺光栅平直度的施力元件,发展了力矩电机自动调节的大量程数字显示卡卷尺测长技术,同时为力矩电机设计了线性自动调节电流源,并在实际应用中检测了其测量精确度。

关键词: 数字显示卡卷尺 力矩电机 长度测量

## 一、引言

在现代科研和生产中,经常需要对长度进行精确测量。能够精确测量长度的仪器如激光测距仪、超声波测距仪等一般都造价较高。近几年发展起来的基于莫尔条纹技术的数字显示卡尺测长技术成本较低,其测量精度可达 0.05mm 甚至更高。把这种卡尺做成卡卷尺可使测量范围达到 20m。在实际应用中,卡卷尺的平直度会影响测量的精度。笔者在研制大型五自由度平台系统中,使力矩电机工作在堵转状态作为保持卡卷尺平直的施力元件,并设计了自动调节的力矩电机电源。对系统的检测表明,在 20m 测程内测量精度为 0.1mm。

## 二、数显卡卷尺和力矩电机的基本原理

### 1. 数显卡卷尺的光栅编码器

数显卡卷尺的关键部件是其直线光栅编码器,其工作原理如图 1 所示。两块光栅分别是标尺光栅和参考光栅。标尺光栅是反射式光栅,它实际上就是经过每毫米数条线刻划的可卷缩刚性标尺。与标尺光栅成一很小角度的参考光栅是透射式光栅。当标尺光栅以一定速度运动时,在接收元件前面形成与光栅运动方向垂直的莫尔条纹,而且标尺光栅左右运动时,莫尔条纹作上下移动,两只接收元件间距为 1/4 莫尔条纹宽度,得到两路相位差 90° 的正弦亮度信号,经处理后,输出 A、B 两路相位差为 90° 的等幅方波信号,如图 2 所示。

### 2. 力矩电动机的结构特点

直流力矩电动机是伺服系统中的一个执行元件,可不经齿轮减速而直接驱动负载,可以

本文于 1995 年 11 月收到。刘建国:助理研究员;魏庆农:副研究员;李斌:讲师。

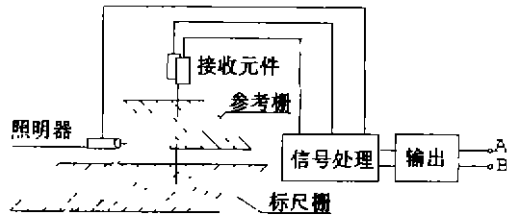


图 1 直线光栅编码器原理示意图

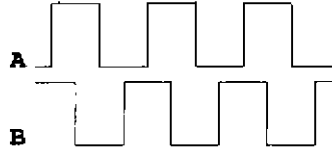


图 2 编码器输出信号

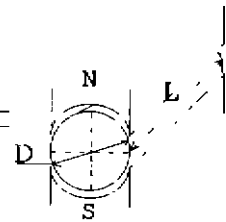


图 3 力矩电机模型

工作在低速状态,输出大的转矩,且机械特性和调节线性度较好,更重要的是它可以连续工作在堵转状态,所以也称之为堵转电机。

直流力矩电动机的工作原理和普通的直流伺服电动机相同,只是在结构和外形尺寸的比例上有所不同。一般直流伺服电动机为了减小其转动惯量,大都做成细长形,而直流力矩电动机为了能在相同的体积和电枢电压下产生较大的转矩和较低的转速,一般做成圆盘状,电枢长度和直径之比一般为 0.2 左右,从结构合理性来考虑,一般做成永磁多极的。为了减少转矩和转速的波动,选取较多的槽数,换向片数和串联导体数。对于图 3 所示力矩电机模型,它的电磁转矩为:

$$T = NB_p Li \frac{D}{2} \quad (1)$$

空载转速为:

$$n_0 = \frac{120}{\pi} \frac{U_a}{B_p LN} \frac{1}{D} \quad (2)$$

式中  $N$  为电枢绕组的总导体数;

$B_p$  为一个磁极下气隙磁通密度的平均值;

$L$  为电枢铁芯轴长度;

$i$  为电枢导体中的电流;

$U_a$  为电枢电压;

$D$  为电枢的直径。

可见,在电动机体积、气隙平均磁通密度、导体中的电流不变的情况下,电磁转矩大致和直径成正比。当电枢电压和气隙平均磁通密度不变时,理想空载转速  $n_0$  和电枢铁芯直径近似成反比。这就是直流力矩电动机做成圆盘状的原因。

### 三、力矩电机自动调节的数显卡卷尺测长系统硬件设计

在数显卡卷尺测长系统中,标尺光栅的平直度是影响测量精度的关键性因素,实验表明,对于不锈钢材料制作的标尺光栅,在测量中要施加不小于 9 牛顿的张紧力,才可以保证测量的精度。

在具体测量中,对于图 1 所示光栅编码器用力矩电机的主传动轴作为标尺光栅的回伸卷紧牵引机构。在外牵引力矩和力矩电机输出力矩的共同作用下,标尺光栅有静止、向左伸出和向右缩进三种运动状态,而且标尺栅相对于参考栅的运动速度也随外牵引力变化而有

所不同,因此要使标尺所受外应力保持相对稳定,就需要对力矩电机的输出力矩进行自动调节,可通过对力矩电机电枢电流的自动调节来实现。

图 2 中光栅编码器输出的相位差 90° 信号 A 和 B 经图 4 所示脉冲判向电路后,输出方向信号 Dir 和加、减计数信号 CU、CD。标尺光栅向左运动时,信号 A 相位超前信号 B,Dir 和 CD 维持高电平,CU 端有脉冲输出;在反向时,信号 B 相位超前信号 A,Dir 输出低电平,CU 为高电平,CD 端有脉冲输出。时序如图 5 所示。

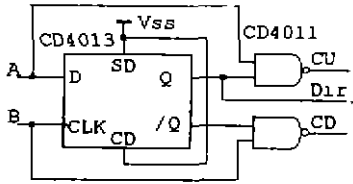


图 4 脉冲判向电原理图

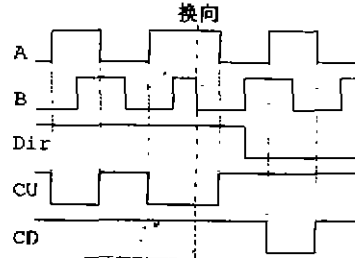


图 5 判向电路时序

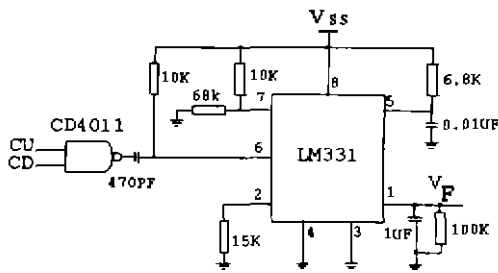


图 6 频率电压转换电路

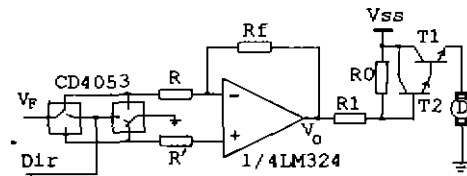


图 7 力矩电机电枢电流的自动调节

信号 CU 和 CD 首先作为距离计数器的加计数和减计数脉冲送硬件计数器,再经转换后送数码显示器。这种硬件计数方法可消除由于机械振动而引起的累计误差。另一方面,信号 CU 和 CD 经过逻辑与运算后进行频率—电压转换,如图 6 所示,输出电压  $V_F$  反映了标尺光栅的相对运动速度大小。信号 Dir 的高低电平反映了标尺光栅相对于参考光栅的运动方向。

$V_F$  和 Dir 作为反馈信号对力矩电机电枢电流进行线性自动调节的原理如图 7 所示。其作用原理是:当标尺光栅相对于参考栅静止时,运放输出电压  $V_o = V_F = 0V$ ,功率管 T1 和 T2 在电阻 R0 的固定偏置下给电机供给电流  $I_0$ ;当标尺光栅被牵引伸出时,Dir 为高电平,两组双向模拟开关 CD4053 同时动作,运算放大器 LM324 工作在反相放大状态,输出电压  $V_o = -(R_F/R)V_F$  通过电阻 R1 使电枢电流线性减小,当标尺光栅卷入尺盒时,Dir 变为低电平,两组双向模拟开关同时翻转,使运算放大器工作在同相放大状态,输出电压  $V_o = [1 + (R_F/R)]V_F$  通过电阻 R1 使电枢电流线性增加,因为此时力矩电机既是标尺光栅的施力元件,又是整个卡卷尺的卷紧机构。

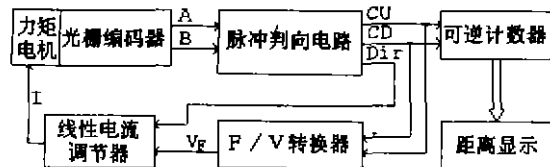


图 8 数显卡卷尺堵转测长系统结构

图 8 是数字显示卡卷尺力矩电机堵转测长的系统框图。在实际应用中,光栅编码器标尺

栅一端与力矩电机主动轴刚性联接,另一端与工作联接并由工件拖动其伸缩。光栅编码器的输出信号经过处理后,既作为距离计数器的计数脉冲,又作为反馈信号,实现了对力矩电机电枢电流的自动调节。

## 四、系统指标检测

中国计量科学研究院 JC 字第 920108 号测试报告证明,数字显示卡卷尺力矩电机堵转测长系统在标尺光栅施加 9 牛顿拉力的条件下,在 0~20m 测量范围内,测量精度 $\leq \pm 0.1\text{mm}$ 。

在实际应用中,考虑到不锈钢材料标尺光栅的平直度是引起测量误差的主要原因,忽略温度等因素的影响。针对光栅平直度的要求,安装以后的检测主要是检验系统运转时施加在标尺光栅上的拉力是否在预期的范围之内。一种可行的方法是,在标尺光栅与工件联接处加入桥式应力传感器,采集的信号经 A/D 转换后送计算机进行分析处理。

## 五、结 语

该技术已于 1993 年底用于上海航天局某系统中,系统检测表明,在 20 米测量范围内,当工件运动速度在 $\pm(0.02-1.0)$ 米每秒范围内变化时,施加在标尺光栅上的应力在 9—12 牛顿范围内。在这一测量范围内,测距精度优于 0.1mm。

这种数显卡卷尺力矩电机堵转长度测量方法,可应用于许多需要一定的测距精度的低成本系统设计中。距离计数器记录的距离数据经电平转换后可方便地与各类自动化测控系统接口。

### 参 考 文 献

- [1]侯松涛,数字显示卡尺,电气自动化,1987.4,P53~55
- [2]陈隆昌,控制电机,西北电讯工程学院出版社,1984.6
- [3]Linear Circuits and Applications, National Semiconductor Corporation,1989

Torque Motor Self-adjusted Large Scale Digital Caliper Flexible Rule Technique

Liu Jianguo Wei Qingnong Li bin

(Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics  
of Chinese Academy of Sciences, Hefei, 230031)

**Abstract:** In this paper, the principle and design of torque motor self-adjusted large scale digital caliper flexible rule are reported. It is based on digital caliper flexible rule technique and torque motor technique. Simultaneously, a self-adjusted current source is designed. As a result, the measure precision is within 0.1mm in the range of 20m.

**Key words:** Digital caliper flexible rule; Torque motor; Length measurement