2016 年 12 月
第 36 卷 第 6 期

宇航计测技术
Journal of Astronautic Metrology and Measurement

Dec.,2016
Vol.36,No.6

文章编号:1000-7202(2016) 06-0025-04　　中图分类号:TN911.7　　文献标识码:A

增量式多零点角度编码器自动寻零方法研究

麦　吉　胡　睿　陈善志　王昱峰　张新磊
(北京航天计量测试技术研究所,北京 100076)

摘　要　光电式角度编码器作为角度反馈器件,广泛应用于测试、计量、控制领域。本文以 HEIDENHAIN 公司编码器为例,介绍了多零点编码器的工作原理与编码方式。针对多零点编码器的特点,研究了一种自动寻零方法,并在某转台控制系统进行试验数据采集及分析。结果表明,该方法准确可靠。

关键词　多零点角度编码器　自动寻零

Research on Auto Home Control Method of Incremented Multi-Reference Mark Encoder

MAI Ji　HU Rui　CHEN Shan-zhi　WANG Yu-feng　ZHANG Xin-lei
(Beijing Aerospace Institute for Metrology and Measurement Technology, Beijing 100076)

Abstract　The multi-reference mark encoder is used widely in metrology measurement and autocontrol as angle measuring device.The principle and coding mode of multi-reference mark encoder were introduced with an encoder of HEIDENHAIN company as on example. A research on a new auto home control method was taken based on the characteristics of multi-reference marks encoder. This method was used to collect and analyze the test data for a certain rotary table.The control method was proved reliably and accurately in test.

Key words　Multi-Reference marks encoder　Auto home

1　引　言

角度编码器主要用于高精度角度测量,随着科学技术的不断发展,要求对角度进行数字控制和数字化测量,在角度编码器中,又以光电式编码器应用最广。光电式角编码器,又称光电角位置传感器,它以高精度计量圆光栅为检测元件,通过光电转换,将输入的角位置信息转换成相应的数字代码,并可与计算机及显示装置相连接,不仅能够实现数字测量与数字控制,而且与其它同类用途的传感器相比,具有精度高,测量范围广,体积小、重量轻,使用可靠,易于维护等优点,具有较高的性能价格比。因此已普遍应用在航空航天、雷达、光电经纬仪、地面指挥仪、机器人、数控机床和高精度闭环调速系统等诸多领域,是自动化设备理想的角度传感器。

光电式编码器按照编码方式的不同,分为绝对式编码器与增量式编码器。绝对式编码器与增量式编码器相比,具有固定零位参考点,掉电后无需重新标定,但绝对式编码器制造工艺复杂,成本较高,不易于小型化。因此,在高精度闭环调速领域,多采用增量式编码器,增量式编码器结构简单,响应迅速,但在上电后需要寻零操作确定零位参考点,以供系

收稿日期:2016-05-30, 修回日期:2016-11-24
作者简介:麦吉(1982-),男,工程师,主要研究方向:惯导测试技术研究。

统控制使用。以转台闭环系统为例,转台使用时,需要确定唯一零位参考点,用来作为检测精度及标定试验的唯一基准,因此,对转台进行自动寻零操作,保证零位参考点的准确性及重复性,是十分必要的。

2 多零点角度编码器工作原理

2.1 光电式角度编码器原理

HEIDENHAIN 公司生产的角度编码器广泛应用于机床、自动化机器及电子制造领域。大多数 HEIDENHAIN 公司生产的编码器都采用光电成像扫描原理。简单的说,成像扫描原理是用透射光产生信号:两个具有相同栅距的光栅-光栅尺和扫描光栅彼此相对运动。扫描光栅的基体是透明的,而作为测量基准的光栅尺可以是透明的也可以反射。当平行光穿过一个光栅时,在一定距离处形成明暗区。具有同栅距的扫描光栅就位于这个位置处。当两个光栅相对运动时,穿过光栅尺的光得到调制。如果狭缝对齐,则光线穿过。如果一个光栅的刻线与另一个光栅的狭缝对齐,则光线无法通过。光电池将这些光强变化转化成电信号。特殊形式的扫描光栅将光调制为近正弦输出信号。工作原理示意图如图 1 所示。

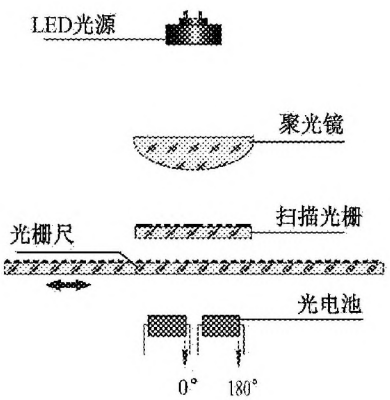


图 1 光电式角度编码器原理示意图

采用增量测量法的光栅采用周期性的光栅刻线。位置信息是通过计算自某点开始的增量数(测量步距)获得的,在光栅尺或光栅带上还刻有一个带零位参考点的轨道。因此使用增量式角度编码器时,必须扫描零位参考点来建立绝对零位位置。然而,扫描过程中,有时需要旋转近 360°才能找到零位参考点,不仅寻零扫描时间较长,而且针对运动范围受到限制的应用场合,这种旋转扫描方法并不适用。

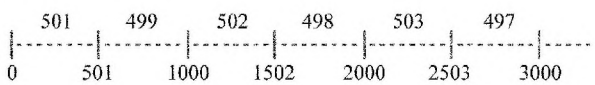
2.2 多零点编码机制

为了快速和简化扫描寻零过程,往往采用多零点编码机制来解决此类问题。多零点编码方法是指在光栅式上刻有一定数量带距离编码的参考点,这些参考点彼此之间的距离按照数学算法来确定,扫描寻零时,只要扫描过任意两个参考点,通过数学算法及编码器名义增量值就可以得到绝对零位位置。常见编码器名义增量值如表 1 所示。

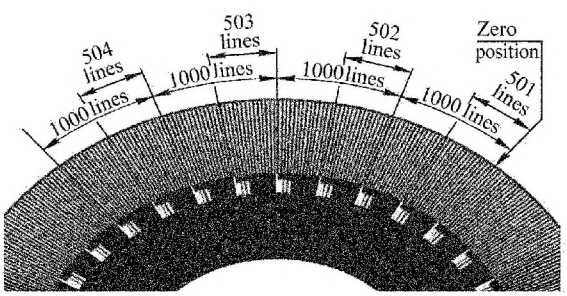
表 1 常见编码器名义增量值

线 数	参考点数	名义增量值
90000	180	4°
45000	90	8°
36000	72	10°
18000	36	20°

以 18000 线编码器为例,参考点数为 36 个,具体编码原理如图 2 所示。以 1000 线为一个周期,将编码器分为 18 个编码区域,每个区域包含两个参考点,彼此两个参考点之间的距离按照图 2(a)中所示的数学规律进行编码。



(a)



(b)

图 2 多零点编码原理

当扫描寻零过程中,经过任意两个参考点,通过后续电子设备采集到彼此之间的编码距离,通过如下公式即可以计算出绝对零位位置。

$$\alpha=(\mathrm{abs}A-\mathrm{sgn}A-1)\times\frac{1}{2}+(\mathrm{sgn}A-\mathrm{sgn}D)\times\frac{\mathrm{abs}M_{RR}}{2} \tag{1}$$

$$A=\frac{2\times\mathrm{abs}M_{RR}-In}{GP} \tag{2}$$

式中：α——第一个移过的参考点至绝对零点的绝对角度值；abs——绝对值；sgn——代数符号函数（“+1”或“-1”）；A——过程计算量，(°)；D——旋转方向，由轴侧方向向右转为“+1”；M_{RR}——移过参考点间的被测距离，(°)；In—— 固定参考点之间的名义增量值；GP——栅距。

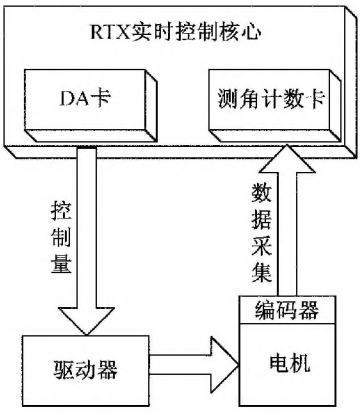


图 3　系统组成

3　自动寻零方法实现

3.1　系统组成

本文采用某单轴测试转台来验证多零点编码器自动寻零方法。系统组成如图 3 所示，控制算法采用 RTX8.1 实时环境下运行，采用 VC6.0 编译环境。系统硬件包括直流伺服电机、电机驱动器、增量式多零点编码器、测角计数卡、高精度 DA 卡。编码器作为控制系统反馈通过测角计数卡实时采集，选用 HEIDENHAIN 公司的 RON886C 编码器，测角计数卡选用 HEIDENHAIN 公司的 IK121 计数卡。

转台控制框图如图 4 所示，控制方法采用工程上比较成熟的三环控制结构，从内到外依次为电流环、速率环和位置环。电流环特性通过合理设置驱动器参数来保证，速率环和位置环在核心控制器中通过程序算法实现，无论速率、位置还是仿真模式的控制均采用位置牵引方式。校正网络通过数字方式实现，通过调整速度环增益 V_P，反馈增益 F_P 及位置环增益 P_P 三个比例环节，即可满足系统控制要求，并且使系统具有较好的快速响应及鲁棒性。控制算法中在位置指令输出和速率控制输出都设置有限幅保护。

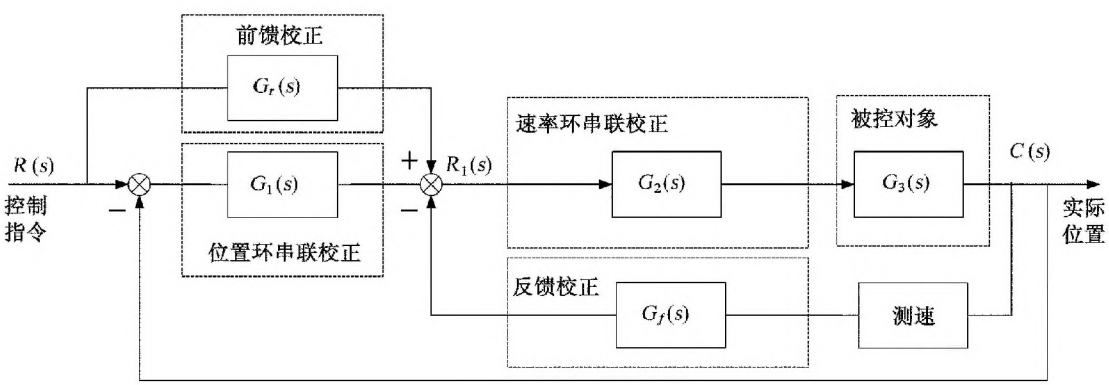


图 4　控制系统框图

3.2　寻零方法的计算机实现

自动寻零过程的控制算法在定时中断内实现，定时周期为 1ms，控制系统按照控制规律计算实时控制量、通过 DA 卡和校正电路，向电机驱动器发出控制信号。软件实现流程图如图 5 所示。在程序初始化 IK121 计数卡时，通过向参考点控制寄存器写入状态字 0x0015，当扫描过第二个参考点时，可将两点之间的距离值锁存，通过调用寄存器，用来计算清零后的距离绝对零位参考点的角度值。

4　试验验证

采用光电自准直仪和高精度 391 齿盘检测角位置重复性，数据如表 2 所示。

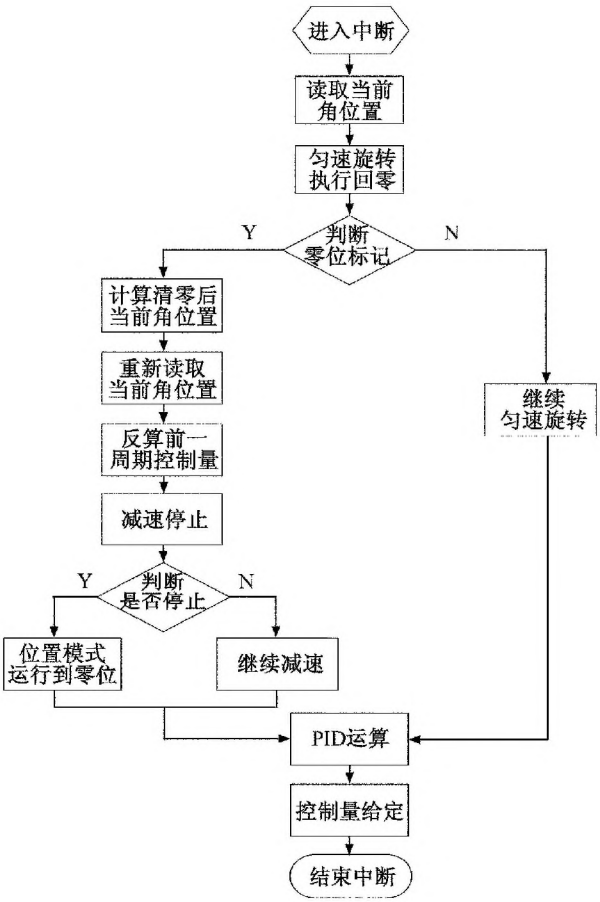


图 5　软件实现流程图

表 2　角位置定位重复性

角位置	正转			反转			残差 ν
	光管读数	误差	相邻角测量值	光管读数	误差	相邻角测量值	
0°	5.55″	0″	0″	5.4″	0″	−0.2″	0.2″
15.6522°	5.55″	0″	0.05″	5.2″	−0.2″	0.05″	0″
31.3043°	5.6″	0.05″	0.05″	5.25″	−0.15″	0″	0.05″
46.9565°	5.65″	0.1″	0″	5.25″	−0.15″	−0.05″	0.05″
62.6087°	5.65″	0.1″	−0.1″	5.2″	−0.2″	0″	−0.1″
78.2609°	5.55″	0″	−0.05″	5.2″	−0.2″	0.05″	−0.1″
93.9130°	5.5″	−0.05″	−0.1″	5.25″	−0.15″	0″	−0.1″
109.5652°	5.4″	−0.15″	−0.1″	5.25″	−0.15″	−0.15″	0.05″
125.2174°	5.3″	−0.25″	0.1″	5.1″	−0.3″	0.05″	0.05″
140.8696°	5.4″	−0.15″	0.05″	5.15″	−0.25″	0.05″	0″
156.5217°	5.45″	−0.1″	0.05″	5.2″	−0.2″	−0.05″	0.1″
172.1739°	5.5″	−0.05″	−0.1″	5.15″	−0.25″	0″	−0.1″

续表 2

角位置	正转			反转			残差 ν
	光管读数	误差	相邻角测量值	光管读数	误差	相邻角测量值	
187.8261°	5.4″	−0.15″	−0.1″	5.15″	−0.25″	0.05″	−0.15″
203.4783°	5.3″	−0.25″	0.2″	5.2″	−0.2″	0″	0.2″
219.1304°	5.5″	−0.05″	0.05″	5.2″	−0.2″	0.1″	−0.05″
234.7826°	5.55″	0″	0″	5.3″	−0.1″	−0.15″	0.15″
250.4348°	5.55″	0″	−0.05″	5.15″	−0.25″	0″	−0.05″
266.0870°	5.5″	−0.05″	0″	5.15″	−0.25″	−0.05″	0.05″
281.7391°	5.5″	−0.05″	−0.2″	5.1″	−0.3″	0.1″	−0.3″
297.3913°	5.3″	−0.25″	0.3″	5.2″	−0.2″	0″	0.3″
313.0435°	5.6″	0.05″	−0.05″	5.2″	−0.2″	0.2″	−0.25″
328.6957°	5.55″	0″	−0.15″	5.4″	0″	0″	−0.15″
344.3478°	5.4″	−0.15″	0.05″	5.4″	0″	0.1″	−0.05″
回零	5.45″			5.5″			
定位重复性　$\Delta S = \pm\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\nu_i^2}{2n}} = \pm 0.1''$							

5　结束语

试验结果表明，采用该种寻零方法得到的绝对零位参考点，运行可靠，重复性好，在测试、计量、自控领域中，具有良好应用价值，满足大多数工况下增量式编码器的寻零需求，可作为转台伺服控制系统设计的参考依据。

参考文献

[1]　陈赟，张红胜.光电轴角编码器的编码方式及其发展趋势[J].中国光学与应用光学，2009(2)：126～133.

[2]　徐州，胡晓东，罗长洲等.增量式轴角编码器的电子细分及零位处理[J].光子学报，2002，31(1)：1 497～1 500.

[3]　吴麟.自动控制原理[M].北京：清华大学出版社，2002.

[4]　谭浩强.C 程序设计[M].北京：清华大学出版社，1995.

[5]　User's Manual IK121 PC Counter Card for HEIDENHAIN Encoders[C]. 德国海德汉公司.