

文章编号 1674-2915(2009)02-0134-06

# 基于运动控制技术的编码器自动检测系统

赵柱<sup>1,2</sup>, 续志军<sup>1</sup>, 王显军<sup>1</sup>

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

**摘要:** 为了改进编码器误差检测方法, 提高检测效率, 基于对光电轴角编码器误差检测现状的分析, 设计了一种编码器误差自动检测系统。介绍了自动检测系统的工作原理, 系统的硬件设计和软件设计。利用运动和全闭环控制技术, 以24位高精度增量式光电轴角编码器为反馈元件, 该自动检测系统可自动完成对编码器测试点的定位、数据获取和误差数据分析, 定位精度为2", 可以检测18位以下各类光电轴角编码器的误差, 检测效率是标准检测装置的6倍。该实验结果验证了方案的可行性。

**关键词:** 光电轴角编码器; 误差; 运动控制; 自动检测

中图分类号: TN762 文献标识码: A

## An automatic detection system of encoder error based on motion control technology

ZHAO Zhu<sup>1,2</sup>, XU Zhi-jun<sup>1</sup>, WANG Xian-jun<sup>1</sup>

(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,*

*Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;*

2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)*

**Abstract:** In order to improve detection methods and detection efficiency for encoders, an automatic detection system for encoder errors is brought forward based on the analysis of encoder error detection status. The working principle and the design of hardwares and softwares for the proposed system are introduced in detail. Experimental results show that the automatic detection system can realize the positioning of measuring points, data acquisition and error analysis for encoders automatically by using motion control and all closed-loop control in taking a 24 bit incremental encoder as the feedback element. It has the positioning accuracy of 2" and can be used to detect the errors of all kinds of encoders less than 18 bits. In the experiment, the detection efficiency of the automatic detection system is 6 times as high as that of the standard device, which proves the feasibility of the project.

**Key words:** Optical encoder; error; motion control; automatic detection

## 1 引言

光电轴角编码器是角度测控系统的重要传感元件,用于将角位移转换成电脉冲信号<sup>[1]</sup>,因具有高分辨率和较强的抗干扰等优点,在现代航天、医学、工业和生物工程等各个领域的精密测量与控制设备中得到了广泛应用<sup>[2]</sup>。随着编码器应用领域的不断拓展、精度的不断提高<sup>[3,4]</sup>,对编码器检测系统的精度、性能和效率也提出了更高的要求,改进编码器误差检测方法,提高检测效率在实践应用中具有积极意义。

## 2 编码器检测现状

目前世界上已经研制出很多具有先进水平的检测设备,这些设备检测精度高、检测速度快,但由于价格定位高,目前国内厂家能够引入这些设备的不是很多。

国内一些编码器研制单位和生产厂家对编码器的精度检测最常使用的是直接比较法,即按精度要求将被检测编码器与角度标准器比较来测定误差,主要装置有以下几种:

(1)多面体检测。将被检测编码器的轴端与附件相连,将标准多面棱体同被检编码器同轴安装,然后调整多面体与准直光管的相对位置,使多面体的轴线与准直光管的轴线垂直,且多面体的所有棱面垂线都与光管的轴线重合。手动转动多面体,用光管瞄准,与被检编码器所记录的转角值做比较。如图1所示。

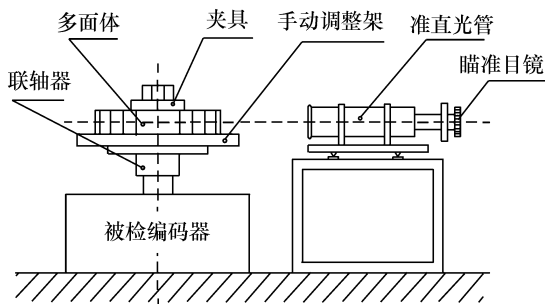


图1 多面体检测系统组成

Fig. 1 Principle of polyhedron detection system

(2)多齿分度台检测。多齿分度台是检测角度的精密工具,与光电自准直仪配合使用可以检测基数为 $360^\circ/n$ ( $n$ 为齿数)的各种多面棱体、角度块规、光学棱镜等高精度角度器件。多齿分度台的细分和组合差动还可进行高精度的任意角度测量。因此,用它来检测编码器误差时,与多面体检测相比检测点数不再局限于多面体的面数,可以较好地体现误差特性。

(3)高精度编码器检测。这种检测方法要求高精度编码器的精度和分辨率应高于被检编码器精度和分辨率3倍以上,这样才能采用高精度编码器作角度基准器。用联轴器将被检编码器轴与高精度编码器的轴头相连,调整同心后,转动编码器,对比被检编码器和角度基准器的角度输出数据,完成对被检编码器的误差检测。如图2所示。

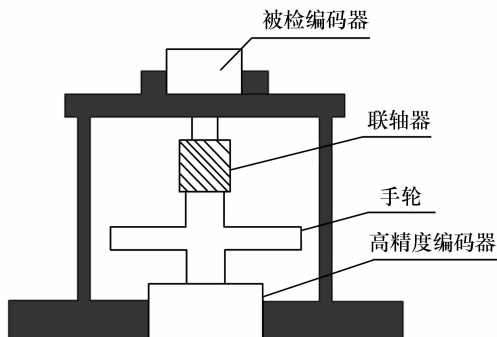


图2 高精度编码器检测系统组成

Fig. 2 Components of high-precision-encoder detection system

以上3种方法均为手动检测,需要人工旋转编码器,特定位置的调节较困难;人眼读数引入较大的读数误差,检测结果也略有差别;检测中需要人工记录,得到数据后需进行计算和误差分析;人工检测过程限制了检测点数的增加,使全周检测受到限制。

## 3 自动检测系统工作原理

本文采用高精度编码器检测法,以24位高精度增量式编码器为角度基准器,利用运动控制技

术,借助计算机的数据存储和处理能力,设计了一种新的编码器的自动检测装置。该系统的工作原理如图3所示。

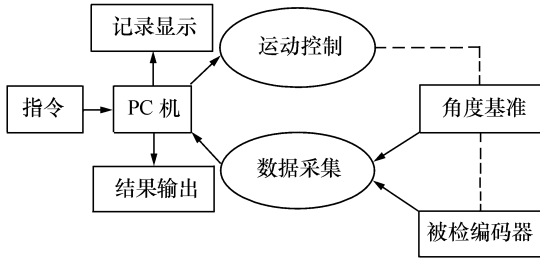


图3 自动检测系统工作原理

Fig. 3 Principle of automatic detection system

检测人员通过PC机设置检测指令,如检测参数(产品信息、检测时间、检测点数以及精度要求)以及运动参数(运动模式、输入输出脉冲信号模式)等,运动控制模块接收PC机发送过来的运动指令,控制电机的旋转,从而带动被检编码器和高精度编码器旋转。当旋转到相应检测点位置时完成自动定位,使被检编码器和高精度编码器处于瞬间相对静止状态,此时进行数据采集。PC机对采样数据进行误差分析,然后记录显示该检测位置的误差数据,并绘制误差曲线。接着运动控制模块再控制电机转动到下一个相应的检测位置,如此反复直到把预先设置的所有检测位置都检测完。检测完成后PC机输出检测结果,输出结果可以选择保存或者打印。保存时输入保存路径以及文件名称,将检测记录(包括被检编码器信息,检测时间、误差数据、误差曲线等)保存为电子文档,打印时选择打印内容(如检测数据或者误差曲线)进行打印,形成纸质文档。

### 4 自动检测系统设计

检测系统设计可分为硬件和软件两大部分,硬件设计主要是指运动控制系统设计,保证实现编码器的自动定位,工作台的定位精度为2"。软件设计主要实现运动控制系统的程序开发,以及检测过程的人机对话界面编制。

### 4.1 硬件设计

运动控制系统的上位控制方案一般有单片机系统、专业运动控制PLC系统和“PC+运动控制卡”。采用单片机系统来实现运动控制,成本较低,但开发周期较长。专业运动控制PLC系统一般适用于运动过程比较简单、运动轨迹固定的设备。“PC+运动控制卡”的方案可充分利用计算机资源,将是运动控制系统一个主要的发展趋势<sup>[5]</sup>。本文采用的就是“PC+运动控制卡”方案。

PC机与运动控制卡构成主从式控制结构<sup>[6]</sup>:PC机完成人机交互界面的管理、控制系统的实时监控、控制指令的发送、系统状态的显示和外部信号的监控等功能;控制卡完成脉冲和方向信号的输出、自动升降速的处理、原点和限位等信号的检测等功能。

考虑到在数据采集时要求实现编码器的自动同步,系统的执行电机采用步进电机。步进电机在工作时将输入的数字脉冲转换成电机轴的输出角度,每个脉冲使转轴转动一个步距角,并依靠电磁力矩将转轴准确地锁定在相应的步距位置上<sup>[7]</sup>,使被检编码器和高精度编码器处于瞬间相对静止状态。电机和工作转台之间再通过涡轮蜗杆连接起来,目的是利用涡轮蜗杆的高传动比进一步提高工作转台的定位精度。系统采用全闭环控制,以获得较高的静态定位精度。位置和速度的反馈信号均来自高精度编码器<sup>[8]</sup>。

根据上述思路设计的自动检测系统的硬件组成如图4所示。运动控制卡采用ADLINK公司生

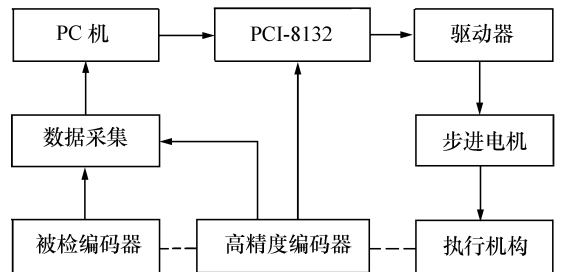


图4 自动检测系统的组成

Fig. 4 Composition of automatic detection system

产的 PCI-8132 双轴伺服/步进电机运动控制卡,该卡具有 32 位 PCI 总线,即插即用,脉冲输出频率可达 2.4 MHz;指令输出选项(包括 DIR/OUR 模式与 CW/CCW 模式)使得与不同类型步进或伺服电机驱动器的连接都非常简易;可编程控制电机加速与减速时间;操作方式有多种;具有用于位置反馈的编码器接口;支持在 Windows NT/98/95 平台上的 VC++/VB 使用 DLL 编程。反馈元件采用 24 位增量式高精度编码器。

把运动控制卡安装到 PC 机相应的插槽中之后进行驱动,PC 机与运动控制卡便可以实现通话。通过 PC 机设定运动参数,运动控制卡接收到 PC 机的指令后,给步进电机驱动器发出控制脉冲信号,经驱动器放大后驱动电机,使电机按照相应的角速度运行,工作台的最终位置精确地到达预先给定位置并瞬间处于静止状态。当系统完成该检测点的数据采集后,运动控制卡再发送脉冲信号控制电机转动到下一个相应的检测位置,如此反复,直到把预先设计的所有检测位置都检测完。

## 4.2 软件设计

检测系统的软件设计采用面向对象的设计方法,使用 Visual C++ 6.0 在 Windows 平台下进行开发。软件设计主要有两个任务:一是对运动控制卡进行编程,二是编制人机界面,实现人机对话。因为 PCI-8132 运动控制卡配有开放的函数库供用户在 DOS 或 Windows 系统平台下自行开发、构造所需的控制系统,所以对运动控制卡的编程很简单,只是在 VC 中调用所需要的函数便可实现。

人机界面的编制采用 VC 基于对话框的 MFC 编程<sup>[9]</sup>,主要包括以下几个模块:

(1)初始化模块。该模块有两个功能,一个是在检测开始之前检查被检编码器和标准编码器的安装情况,另一个功能是设置检测信息,如产品信息、检测点数、精度要求等,并在检测开始之前进行清零操作。为了与标准检测方式兼容,初始化模块中检测方式可以选择手工检测,此时需要检测者手工转动转台到相应的检测位置,运动控制模块不起作用。

(2)数据记录显示模块。该模块主要功能是通过计算机在检测过程中分析所采集到的数据得到相应的误差信息,然后在界面上显示这些误差信息并绘制误差曲线。另外,为了使界面更加友好美观,在程序运行过程中,PC 机不仅记录显示误差信息,同时还将用户设定的指令信息,电机转动信息(转速、转角位移)以及当前相应检测点的信息显示出来,方便检测人员对检测过程进行监视。同时,人机界面上还有一个帮助按钮,点击帮助按钮时,程序会将该检测系统的检测原理以及该检测软件的使用等相关文档以文本框的形式显示出来。

(3)检测结果输出模块。该模块的功能是对检测结果与被检编码器的精度要求做误差分析,判断被测编码器合格与否,并实现数据的保存与打印等功能。系统运行主界面如图 5 所示。



图5 系统运行主界面

Fig. 5 Main interface of automatic detection system

## 5 实验结果及分析

表 1 是 5 台 16 位编码器使用两种检测装置进行误差检测所得到的误差数据,被检编码器精度  $\sigma \leq 30''$ ,分辨率为  $20''$ 。通过实验验证了该自动检测系统的测量原理及方法的正确性和可行性。

表1 实验数据对比  
Tab.1 Comparison of experimental data

序号	检测结果		检测耗时	
	高精度编码器检测	自动检测	高精度编码器检测	自动检测
1	23.69"	24.78"	30 min/2 人	5 min/1 人
2	20.18"	22.89"	27 min/2 人	4 min/1 人
3	20.09"	22.81"	27 min/2 人	3 min/1 人
4	18.98"	21.22"	30 min/2 人	3 min/1 人
5	17.53"	17.88"	25 min/2 人	3 min/1 人

## 6 结 论

对比检测结果可以看出,自动检测系统的误差数据比高精度编码器检测装置的误差结果稍大。其原因在于,自动检测系统的数据采集是随机完成的,不用对被检编码器测试点做严格的沿面要求,造成的数据稍大也在误差允许的范围之内。另一方面,在检测时间上自动检测比高精度编码器检测时间节省5倍多,大大提高了检测效率。

本文利用运动控制技术,采用全闭环控制,以24位光电轴角编码器为反馈元件,设计了编码器自动检测系统,控制定位精度为2",实现了对18位以下的光电轴角编码器误差的测量。该自动检测系统可以完成编码器测试点的自动定位,采样数据的自动获取,以及误差数据自动处理分析等功能,检测点数不限,解决了标准检测过程中由于人工读数而带来的误差,明显提高了检测效率。

## 参考文献:

- [1] 叶盛祥. 光电位移精密测量技术[M]. 成都:四川科技出版社,2003.  
YE SH X. *Accurate Measurement about Photoelectric Shift* [M]. Chengdu: Science and Technology Press, 2003. (in Chinese)
- [2] 洪喜,续志军,杨宁. 基于径向基函数网络的光电编码器误差补偿法[J]. 光学精密工程,2008,(4):598-604.  
HONG X, XU ZH J, YANG N. Error compensation of optical encoder based on RBF network[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008,(4):598-604. (in Chinese)
- [3] 熊文卓,孔智勇,张炜. 光电轴角编码器光电信号正交性偏差的相量校正方法[J]. 光学精密工程,2007,(11):1745-1748.  
XIONG W ZH, KONG ZH Y, ZHANG W. Phase correction of quartering deviation of photoelectric rotary encoder[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007,(11):1745-1748. (in Chinese)
- [4] 董丽丽,熊经武. 光电轴角编码器的发展动态[J]. 光学精密工程,2000,8(2):198-202.  
DONG L L, XIONG J W. Development of photoelectric rotary encoder[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2000,8(2):198-202. (in Chinese)
- [5] 贺虎城,刘卫国. 电机运动控制及其相关技术发展研究[J]. 电机与控制应用,2006,(3):3-6.  
HE H CH, LIU W G. Research on development of motor motion control and its related technology[J]. *Electric Machines Control Appl.*, 2006,(3):3-6. (in Chinese)
- [6] 张宏,李富平. 基于PC+运动控制卡的开放式数控系统的研究[J]. 机械设计与制造,2008,6(6):171-172.  
ZHANG H, LI F P. Research on open-CNC based on PC and motor control card[J]. *Machinery Design Manufacture*, 2008,6(6):171-172. (in Chinese)
- [7] 廖高华,谢云敏. 多轴步进电机运动控制系统的设计[J]. 微特电机,2008,(6):30-33.  
LIAO G H, XIE Y M. The design of multi-axis motion control system for stepping motor[J]. *Small Special Electrical*

*Machines*,2008,(6):30-33. (in Chinese)

[8] 周志明. 基于运动控制卡的步进电机控制系统[J]. 煤矿机械,2004,(3):95-97.

ZHOU ZH M. Step-by-step motor control system based on motion control card[J]. *Coal Mine Machinery*,2004,(3):95-97. (in Chinese)

[9] LIPPMAN S B,LAJOIE J. C++ primer[M]. 北京:中国电力出版社,2002.

LIPPMAN S B,LAJOIE J. C++ primer[M]. Beijing:China Electric Power Press,2002. (in Chinese)

作者简介:赵柱(1985—),女,汉族,山东泰安人,硕士研究生,主要研究方向为电子技术应用。

E-mail:nyxzz\_333@163.com

续志军(1953—),男,山东汶上人,研究员,博士生导师,主要研究方向为计算机测控技术。

E-mail:xuzj538@ciomp.ac.cn

## 向您推荐《液晶与显示》期刊

- 中国最早创办的液晶学科专业期刊
- 中国惟一的液晶学科和显示技术领域综合性学术期刊
- 中国物理学会液晶分会会刊,中国光学光电子行业协会液晶分会会刊
- 英国《科学文摘》(SA)、美国《化学文摘》(CA)、俄罗斯《文摘杂志》(PЖ)、美国《剑桥科学文摘》(CSA)、“中国科技论文统计源期刊”等20余种国内外著名检索刊物和文献数据库来源期刊
- 中文核心期刊,影响因子为1.156

《液晶与显示》由中国科学院长春光学精密机械与物理研究所和中国光学光电子行业协会液晶专业分会主办,科学出版社出版。

《液晶与显示》以研究报告、研究快报和综合评述等栏目集中报道国内外液晶学科和显示技术领域最新理论研究、科研成果和创新能力,及时反映国内外本学科领域及产业信息动态,内容丰富,涵盖面广,信息量大,可读性强,是我国专业期刊发行量最大的刊物之一。

《液晶与显示》为双月刊,国内定价30.00元。国内邮发代号:12-203;国外发行代号:4868BM。

地址:长春市东南湖大路3888号

《液晶与显示》编辑部

邮编:130033

E-mail:yjxs@ciomp.ac.cn

国内统一刊号:CN 22-1259/04

国际标准刊号:ISSN 1007-2780

电话:(0431)6176059

网址:www.yejingyuxianshi.org