

DOI: 10.3724/SP.J.1187.2010.00569

## 21 位光电编码器数据处理系统

赵长海 万秋华 王树洁 卢新然

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033)

**摘要:** 为了减少绝对式光电编码器的体积, 增强编码器的数据处理能力, 设计了一种 21 位光电编码器数据处理系统。该编码器码盘采用矩阵码盘形式, 分为粗码和精码, 粗码 12 位, 其中一位校正码道, 精码为一周 4 096 对线。数据处理部分采用 DSP 芯片和 AD 转换器相结合, 将所有码道的信息全部输入到 AD 转换器, DSP 根据 AD 转换器的值将原始信号转换为 21 位编码器的角度信息并显示。该编码器外径为 160 mm, 采用自准直仪和正 17 面体对该编码器精度进行检测, 精度均方差为 1.09 s。

**关键词:** 编码器; 数据处理; 码盘; 自准直仪

中图分类号: TP212 文献标识码: A 国家标准学科分类代码: 510.20

### Data processing system of 21 bit photoelectric encoder

Zhao Changhai Wan Qiuhua Wang Shujie Lu Xinran

(Changchun Institute of Optics Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

**Abstract:** In order to reduce the volume of absolute photoelectric encoder, enhance the ability of data processing, a 21 bit photoelectric encoder data processing system is designed. The code disk of the encoder uses matrix code disk form, which has coarse and fine code. There are 12 bit coarse codes on the code disk. One of coarse code plays a role in correcting. The fine code has 4 096 pairs of lines in a circle. Data processing section adopts a combination of DSP chip and AD converter. All information in code channels are put into the AD converter. DSP converts original signal into angle information of the 21 bit encoder and display based on the value of AD converter. The diameter of encoder is 160mm, and the accuracy of encoder is detected by using autocollimator and regular polyhedron which has 17 sides, the mean square deviation of accuray is 1.09 seconds.

**Keywords:** encoder; data processing; code disk; autocollimator

## 1 引言

光电轴角编码器, 又称光电角位置传感器, 是一种集光、机、电为一体的精密数字测角装置。光电轴角编码器以高精度计量光栅为检测元件, 通过光电转换, 将轴的机械角位移信息转换成相应的数字代码, 用它可以实现角位移、角速度、角加速度及其他物理量的精确测量。光电轴角编码器的输出信号与计算机相连接, 能够实现数字测量与数字控制, 与其他同类用途的传感器相比, 它具有精度高、测量

范围广、使用可靠、易于维护等优点, 因此广泛应用于雷达、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位移传感器<sup>[1-4]</sup>。

纵观国内外光电轴角编码器的发展现状, 其发展趋势是高精度、高频响、智能化、小型化、高分辨力。伴随航空、航天技术的飞速发展, 对光电编码器精度的要求越来越高, 并且要求编码器能够在恶劣的环境和复杂的条件下, 快速进行精密角度测量。为了适应工业自动化及航天、航空技术发展的需要,

国外对光电编码器元器件展开广泛而深入的研究:采用新工艺、精密加工技术,研制发光器件和接收器件的阵列,精密光栅等元件,使编码器的性能得到进一步的提高,应用也更为广泛。

Heidenhain 公司为意大利伽利略望远镜控制系统设计制作的增量式与绝对式混合的光电编码器已达 27 位,分辨力  $0.01''$ ,精度为  $0.036''$ ,是当今精度最高的编码器<sup>[5-8]</sup>。

本文详细介绍了 21 位绝对式光电轴角编码器的结构及数据处理系统。该编码器属于高精度的空心轴编码器,该编码器的码盘刻划分为粗码、中精码和精码。精码经过细分与粗码结合达到 21 位分辨率。光电编码器输出的原始信号经放大器放大后全部进入 AD 转换器,DSP 通过读取 AD 转换器的值将编码器头部输出的信号转换为编码器的位置信息。与传统编码器相比,该编码器设计为大空心轴编码器,更适合于使用现场的安装,编码器输出的信号全部进入 AD 转换器,通过高速的处理芯片能够快速将编码器的原始信号转换为位置信息,且更容易发现编码器的故障原因。通过自准直仪和多面体检测该编码器的精度,精度优于 2 s。

## 2 编码器结构

### 2.1 码盘

码盘是编码器的核心元件,它是一块具有若干同心圆码道的玻璃盘,每条码道由若干等周期的透明与不透明的线条组成,本编码器采用的是 12 位矩阵码盘,具有 14 位的分辨率。

传统的循环码二进制码盘设计时一圈仅输出一位,而矩阵码盘采用码道压缩技术,使粗码道一圈可输出许多位码道信息。使码道数成倍减少,码盘直径成倍缩小<sup>[9-12]</sup>。矩阵码盘的精码道仍采用一圈输出一位的设计方案,并采用裂相方案保证 4 路精码信号相位依次错开  $90^\circ$ 。在分辨率较高情况下(13 位以上),矩阵码盘的外圈线条也很细,因此高位数编码器在设计时需要采取对径读数、校正、细分等技术措施提高编码器的精度与稳定性。

本编码器的码盘分粗码及精码两部分,粗码道按矩阵式排列共 12 位,仅刻 4 圈;精码道 A14 整圈刻划,共刻 2 圈(线对数 4096);次精码道 A12 整圈刻划,共刻 2 圈(线对数 1024)。

精码 A14 靠狭缝裂相后可获得四路相位差  $90^\circ$  的 14 位光电信号,该信号经电路差分处理后,形成两路正交的正、余弦信号,经过 128 细分后,产生分辨力为  $0.6''$  的精码,并作为基准校正 A13 及以下的码道的偏差,校正范围  $\pm 40''$ ,完成精码对次精码的校正。

为防止次精码 A12 在环境温度变化较大或光源使用时间较长后,误差超出校正范围,码盘上 A12 位也刻了 2 圈,通过差分提高其稳定性。次精码 A12 靠狭缝裂相后获得四路相位差  $90^\circ$  的 12 位光电信号,经电路差分处理后,成为两路正交的正、余弦信号,校正 A11 及以下的粗码道的偏差,校正范围  $\pm 160''$ ,实现精码对粗码的校正。图 1 所示是码盘图案。

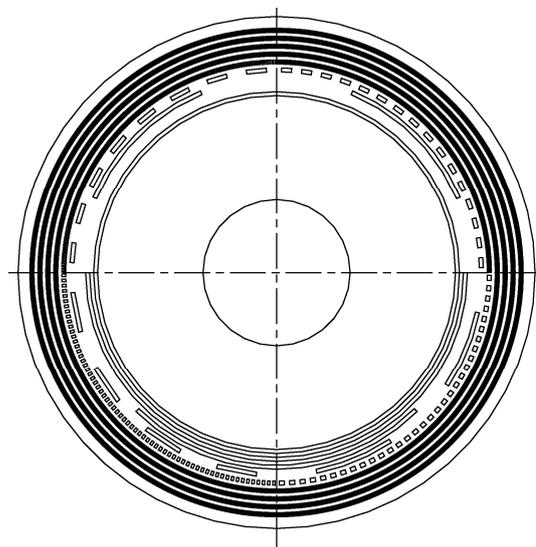


图 1 码盘图案

Fig. 1 Picture of code disk

### 2.2 读数部分

该编码器共设有 6 个读数头,各个读数头分别用各自的光电接收器组件及光源组件。2 个精码读数头对径读取码盘最外圈精码道的信息,对径数字量相加后,可减少码盘安装偏心及轴系晃动对精度的影响。4 个粗码读数头读取码盘内圈 12 位粗码及中精码信息。编码器读数头输出的信号送到处理电路进行处理,编码器读数头的位置如图 2 所示。

光电编码器工作时由光源照明码盘,光敏元件分别收集各路透过码盘和读取狭缝的光,并转换成电信号送入各自对应的放大器,粗码

道、中精码道和精码信号经放大后都送入模数转换电路。

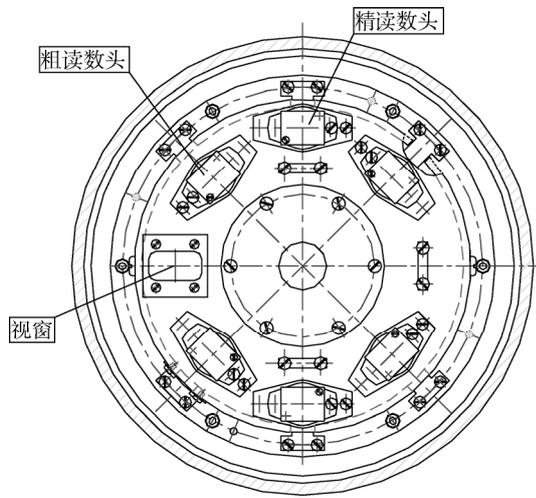


图 2 读数头位置  
Fig. 2 Position of the reading head

### 3 数据处理

#### 3.1 系统组成

该编码器的数据处理系统如图 3 所示, 图 3 包括数据采集部分和数据处理部分。数据采集装置包括: 照明系统、码盘、读取狭缝、光敏元件、轴系及固定结构。数据处理装置包括: 放大电路、模/数转换电路、微控制器处理系统、电可擦除读写存储器、输入输出接口电路、LED 显示接口电路等。

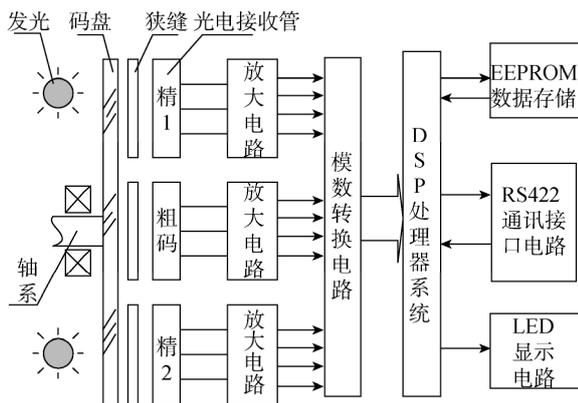


图 3 系统组成  
Fig. 3 Constitution of system

在采样脉冲到来后, DSP 发出采样/保持信号, 锁存各路精码及粗码信号, 然后 DSP 依次

读入各路数据。读入数据后首先进行精码细分运算, 将 14 位精码信号细分到 21 位; 然后把粗码由格雷码转换成自然二进制代码, 再用精码对粗码进行校正, 最后形成 21 位总代码  $2^{20} \dots 2^0$ 。DSP 运算完成后通过 RS422 通讯接口和 LED 显示电路根据上位机要求分别输出和显示。

#### 3.2 精码细分

从精 1 码道对应的光敏元件送出的四路信号 C1-0、C1-180、C1-90、C1-270 和从精 2 码道对应的光敏元件送出的四路信号 C2-0、C2-180、C2-90、C2-270 经差分放大抑制了偶次谐波和共模量的影响, 使信号质量得到改善, 经放大电路放大后送出的四路信号  $A\sin Q$ 、 $A\cos Q$ 、 $A\sin Q'$ 、 $A\cos Q'$  送入模/数转换器 MAX1312。在时统采样信号到来时, 由 DSP 控制器发出控制信号, 使 A/D 转换器内部四路采样/保持电路同时进行采样/保持, 经过 4 次 A/D 转换后, 由 DSP 读入 4 路信号数字量, 然后进行细分处理, 软件细分流程如图 4 所示, 图中的  $n$  代表编码器一个细分周期的细分份数, 本系统  $n=128$ 。

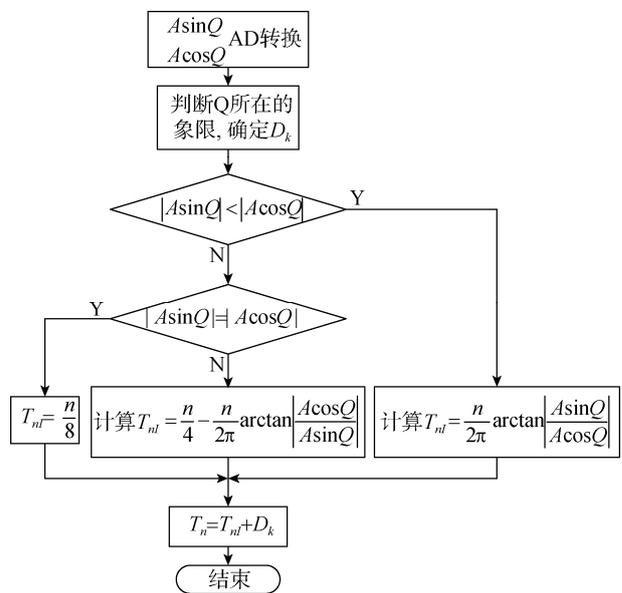


图 4 细分流程图  
Fig. 4 Flow chart of subdivision

#### 3.3 精粗校正

该编码器粗码原始信号输出一共 12 路, DSP 经

粗码译码后转换成编码器的 12 位角度代码，编码器中精码经差分放大输出到 AD 转换器的信号一共 4 路，中精码细分得到 3 位角度代码，精码细分得到 7 位角度代码。粗码的最低位和中精码的最高位所代表的角度是一样的，中精码的最低位与精码的最高位所代表的角度是一样的。

为了避免编码器精码、中精码、粗码进行组合时，头尾衔接处出现不定状态，处理时不得不舍去最高位代码，使精码、中精码有效读数周期缩短一半。实际校正时首先用精码校正中精码，然后精码和中精码组合，精码和中精码的组合值校正粗码，再和粗码组合组成 21 位编码器的角度值。

### 4 实 验

对该 21 位绝对式光电编码器进行精度检测，检测装置如图 5 所示。多面体采用正 17 面体，相邻两个面的法线之间夹角是  $21^{\circ} 10' 35.3''$ ，将正 17 面体和编码器进行同轴连接，以多面体和自准直仪作为角度基准，当多面体的任一反射面和自准直仪发射的光束垂直时，自准直仪发射的光束将按原路返回，不垂直时，通过自准直仪能够直接读出多面体反射面的法线和自准直仪发射光束之间的夹角。检测时，首先将多面体的第 1 个反射面调整到和自准直仪的发射光束垂直，且自准直仪示值为 0 的位置，旋转编码器，当编码器的显示值为  $21^{\circ} 10' 35.3''$  时停下，此时自准直仪的显示值就是编码器在该位置的误差，继续旋转编码器到  $42^{\circ} 21' 10.6''$ ，以此类推，检测到该编码器在不同位置的误差曲线如图 6 所示，图 6 中的两条曲线分别为编码器正向旋转和反向旋转时的误差曲线。

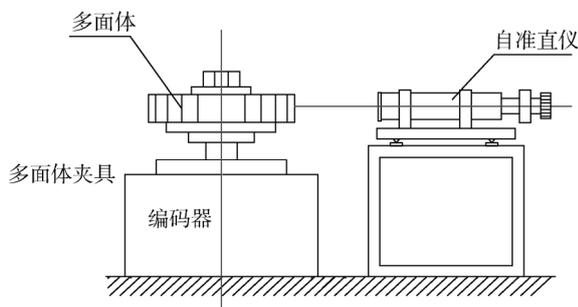


图 5 精度检测装置  
Fig. 5 Equipment of detecting

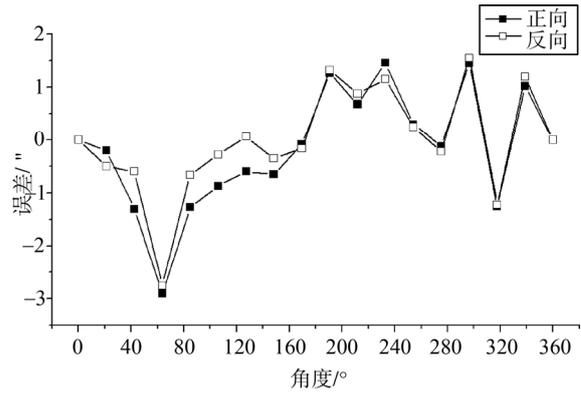


图 6 误差曲线图  
Fig. 6 Graph of errors

通过图 6 得到编码器误差的均方差为: 1.09”，误差峰峰值为: 4.36”。

与同精度编码器相比，该编码器主要优点为空心轴，且内径大，外径为 160 mm，内径为 80 mm。采用 2 个精码读数头代替 4 个读数头，利用 DSP 强大的数据处理能力对编码器的误差进行修正，提高了编码器的精度，减小了体积<sup>[13-16]</sup>。

表 1 传统编码器和本编码器比较  
Table 1 Conventional and this encoder

	传统编码器	本编码器
外径	>200 mm	160 mm
处理器	单片机	DSP
读数头	四个	两个
提高精度措施	多读数头	通过软件修正

### 5 结 论

本文设计了一种高精度光电编码器的数据处理系统，该编码器码盘采用矩阵码盘，大大的减小了编码器结构尺寸，整个编码器采用空心轴结构设计，安装非常方便；编码器的处理系统采用 TMS-320F2812 作为主处理芯片，大大的缩短了数据的运算周期，提高了编码器的响应速度，编码器在常温检测精度为均方差 1.09 s，整个工作温度范围为  $-40^{\circ}\text{C}\sim+55^{\circ}\text{C}$ ，完全可以适用于各种不同的场合的应用。

#### 参考文献:

[1] 董莉莉, 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]. *Optics and Precision Engineering*, 2000, 8(2): 198-202.
- [2] 余林, 冯长有, 丁林辉. 两步法测量编码器测角误差[J]. *光学精密工程*, 2004, 12(1): 66-70.
- SHE L, FENG C Y, DING L H. Measurement of encoder errors with two-step method[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2004, 12(1): 66-70.
- [3] 李洪, 冯长有, 丁林辉. 光电轴角编码器细分误差动态评估方法[J]. *传感技术学报*, 2005, 18(4): 927-930.
- LI H, FENG C Y, DING L H. Dynamic evaluation method for interpolation errors in photoelectric encoder[J]. *Chinese Journal of Sensors and Actuators*, 2005, 18(4): 927-930.
- [4] 刘汉平, 冯长有, 丁林辉. Lissajous 曲线拟合法评估编码器细分误差[J]. *传感器与微系统*, 2006, 25(2): 70-72.
- LIU H P, FENG C Y, DING L H. Evaluation of interpolation errors of optical-electric encoders based on the fitted curves of lissajous[J]. *Transducer and Microsystem Technologies*, 2006, 25(2): 70-72.
- [5] 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, 5(11): 1745-1748.
- XIONG W ZH, KONG ZH Y, ZHANG W. Phase correction of quartering deviation of photoelectric rotary encoder[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2007, 5(11): 1745-1748.
- [6] 肖松山, 兰子穆, 赵友全. 码盘偏心对编码器测量的影响[J]. *光电工程*, 2007, 34(10): 66-68, 117.
- XIAO S SH, LAN Z M, ZHAO Y Q. Effect of shaft eccentricity on measurement signal of optical encoder[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2007, 34(10): 66-68, 117.
- [7] 邓方, 陈杰, 陈文颀, 等. 一种高精度的光电编码器检测方法及其装置[J]. *北京理工大学学报*, 2007, 27(11): 977-980, 1008.
- DENG F, CHEN J, CHEN W J, et al. A high precision test method and apparatus for photoelectric encoder[J]. *Transactions of Beijing Institute of Technology*, 2007, 27(11): 977-980, 1008.
- [8] 赵柱, 续志军, 王显军. 基于运动控制技术的编码器自动监测系统[J]. *中国光学与应用光学*, 2009, 2(2): 134-139.
- ZHAO Z, XU Z J, WANG X J. An automatic detection system of encoder error based on motion control technology[J]. *Chinese Journal of Optics and Applied Optics*, 2009, 2(2): 134-139.
- [9] MANCINI D, CASCONI E, SCHIPANI P. Galileo high-resolution encoder system[J]. *SPIE*, 3112: 328-334.
- [10] LU X D, TRUMPER D L. Self-calibration of on-axis rotary encoders[J]. *Annals of the CIRP*, 2007, 56(1): 499-504.
- [11] KAO CH F, LU M H. Optical encoder based on the fractional Talbot effect[J]. *Optics Communications*, 2005, 250: 16-23.
- [12] KAO CH F, HUANG H L, LU SH H. Optical encoder based on Fractional-Talbot effect using two-dimensional phase grating[J]. *Optics Communications*, 2010, 283: 1950-1955.
- [13] ALEJANDRE I, ARTES M. Method for the evaluation of optical encoders performance under vibration[J]. *Precision Engineering*, 2007, 31: 114-121.
- [14] JUST A, KRAUSE M, PROBST R. Comparison of angle standards with the aid of a high-resolution angle encoder[J]. *Precision Engineering*, 2009, 33: 530-533.
- [15] 吴永芝, 余容红, 李兴红, 等. 光电信号参数的动态提取方法[J]. *电子测量与仪器学报*, 2009, 23(5): 69-73.
- WU Y ZH, SHE R H, LI X H, et al. Dynamic extracting method of photoelectric signal signal parameters[J]. *Journal of Electronic Measurement and Instrument*, 2009, 23(5): 69-73.
- [16] 刘丰文, 邓文和. 25 位绝对式编码器[J]. *光电工程*, 2000, 27(6): 66-68.
- [17] LIU F W, DENG W H. 25-Bit Absolute Type Encoder[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2000, 27(6): 66-68.

#### 作者简介:

赵长海: 1980 年出生, 男, 博士, 中科院长春光学精密机械与物理研究所助理研究员, 主要从事光电轴角编码器及光电位移转换技术的研究。

E-mail: changhai403@163.com

Zhao Changhai: male, born in 1980, doctor, assistant of researcher of CIOMP, His research direction is photoelectric rotary encoder and the photoelectric displacement transform.