

文章编号: 1003-501X(2008)12-0141-04

超小型准绝对式编码器的研制

杨 鹏^{1,2}, 艾 华¹, 刘长顺¹

(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033;
2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 针对编码器日趋小型化的技术要求, 本文提出一种全新的编码方式和独特的读数头设计结构, 成功研制出了超小型准绝对式编码器。该新型编码器采用准绝对式编码方式, 即距离编码与增量式编码进行组合编码, 只用两圈码道进行编码, 极大减少码道数量, 整周设多个绝对参考位置, 可迅速获得绝对位置信息。采用单读数头结构和相位补偿技术, 缩小结构尺寸, 直径 $\Phi 25$ mm, 经过电子学细分后可到达 16 位的分辨力, 从而实现高精度编码器小型化。

关键词: 准绝对式编码器; 距离编码; 增量式编码器; 读数头; 电子学细分

中图分类号: TP212.14

文献标志码: A

Super Miniature Virtual Absolute Encoder and Its Applications

YANG Peng^{1,2}, AI Hua¹, LIU Chang-shun¹

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;
2. Graduate school of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: To satisfy the requirement of encoder miniaturization, a fire-new encoding method and inimitable design structure of reading head are proposed to develop super miniature virtual absolute encoder. The new encoder adopted virtual absolute encoding method and single reading head. The new method combined distance-coded method with incremental encoding method and only used two rings in favor of miniaturizing encoder. This new encoder designed many absolute references in the whole disk, which quickly acquired current absolute position of code disk. Due to using single reading head, the technology of phase compensation was adopted to minish the size of structure. It has smaller size ($\Phi 25$ mm) and lighter weight, and the resolution can achieve 16 bits with processing error analysis and electric subdivision.

Key words: virtual absolute encoder; distance-coded; incremental encoder; reading head; electric subdivision

1 引 言

光电轴角编码器作为一种采用光电技术进行非接触角度计量和测量的仪器, 在工业生产、国防科技、仪器仪表等领域中得到广泛应用。根据编码器的工作原理, 传统的编码器可分为增量式和绝对式两种类型。增量式编码器把位移量变为电脉冲, 响应迅速、结构简单、易小型化, 测量准确度可以达到很高, 但由于其相对测量方式, 初上电时需要转过很大角位移才能获得基准起始位置, 并且一旦测量中断电则会丢失测量数据; 绝对式编码器是将位置信息以编码的形式刻制在编码盘上, 具有抗干扰能力强、不怕掉电等优点, 但制造工艺复杂、不易小型化^[1]。另外, 要提高测量准确度, 二者都要增加刻线数, 这给码盘制作带来诸多困难, 特别是对绝对式编码器, 提高准确度就意味着加大码盘的直径, 从而制约其小型化、轻便化和集成化。因此, 码盘尺寸和分辨力对传统绝对式编码器小型化来说是一对不可调和的矛盾。近年来在编码器的研究和应用方面, 有所创新和发展, 特别是在绝对式编码器高精度、高分辨力、小型化方面取得了一定的进展, 但在码盘的码道结构上, 没有本质的突破。

收稿日期: 2008-05-26; 收到修改稿日期: 2008-09-03

作者简介: 杨鹏(1981-), 男(汉族), 河南南阳人, 博士研究生, 主要研究方向为光电位移测量。E-mail: aih@ciomp.ac.cn

本文介绍一种超小型准绝对式编码器^[2], 采用全新的编码方式, 即距离编码与增量式编码进行组合编码, 只用两圈码道进行编码, 减少码道的数量, 采用单读数头结构, 极大缩小编码器结构尺寸, 直径 $\phi 25\text{mm}$, 经过电子学细分后可到达 16 位分辨力。目前在国内是一种全新的编码方式, 突破了传统的编码原理, 克服了传统编码器实现的局限性, 从而实现高精度编码器小型化, 可满足各部门对编码器轻便性、小型化、高可靠性的要求。

2 技术原理

超小型准绝对式编码器是一种空间角位置测量设备, 主要由光学机械系统和电路系统^[3]两大部分组成, 其原理及系统组成如图 1 所示: 码盘与编码器的主轴相连, 在码盘的一侧装有光源, 另一侧装有狭缝及光电接收器, 当主轴转动时, 带动码盘同步转动, 这样码盘与狭缝发生相对运动, 光源发出的光线被切割调制成为有规律的断续光线, 经光电接收元件转换成电信号, 送入处理电路进行放大、整形、译码等处理, 以二进制代码电平输出, 供用户采集使用^[4]。

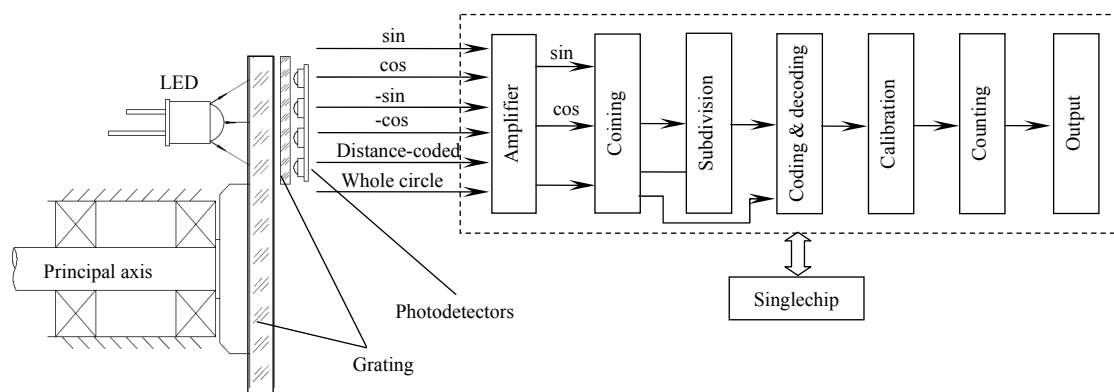


图 1 系统原理框图

Fig.1 Block diagram of the system

码盘是编码器的核心元件, 图 2 为新型编码器所采用的距离式的码盘示意图, 外径 $\Phi 16\text{ mm}$ 。码盘由两圈码道构成: 外圈为增量式编码, 提供测量精度基准, 内圈为距离编码, 提供测量的绝对位置信息。外圈刻线密度较细, 用作细分提高编码器测量精度, 通过计数出到初始点增量数(步距), 可以得到相对位置信息, 如果要得到绝对位置信息, 则需要内圈的距离编码来确定。内圈码道为标记不同角距离的零位标记点, 将整周分成了 N 个绝对位置不同的区, 其中每两个相邻标记点之间距离是变化的, 且在整周上该距离的大小是唯一的, 这样通过移动扫描任意两个相邻的距离编码点, 则可读出该区的绝对位置, 从而判断出码盘所在的绝对位置^[5]。传统的增量式编码器整周只设一个零位点, 初上电时需要转过很大的角位移才能获得零初始位置, 而该编码方式只需走过任意两个零位标记点即可获得绝对位置信息。因为是要经过两个零位才能确定绝对位置, 所以要尽可能减小绝对基准判定所需要的步距, 即 N 值越大需要扫描的角度就越小。

该小型编码器, 采用距离编码与增量式编码进行组合编码, 只用两圈码道进行编码, 缩减了码道数量。不仅如此, 对于大直径、超高精度的编码器来说, 距离码也具有明显优势, 只用两圈编码极大地减少了码道数量, 减少加工成本、加工周期和码道加工精度误差, 码道数量的减少又可缩减电路元器件的数量, 使整个编码器的体积减小, 而且能更好地保证测量精度。但是, 准确来说距离码并不是真正意义上的绝对式编码, 它在掉电重新启动后无法记住绝对位置, 必须经过两个参考标记点后才能确定绝对位置信息, 这个判断盲区是由两个参考标记点之间的距离决定, 如果要减少盲区的判断距离, 就需增加参考标记的数量^[6]。

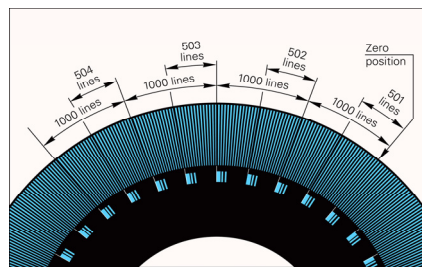


图 2 码盘图片

Fig.2 Diagram of coded disc

3 读数头结构

传统编码器采用多读数头读数, 需要多个光源照明, 这样编码器读数头系统的体积非常大, 不利于编码器的小型化。考虑到整体结构尺寸, 新型编码器整周采用单头读数, 读数头用一个光源照射六个接收部分。狭缝是由通圈、增量码和距离码三部分组成, 距离码部分是采用多缝零位提取方法, 提高零位的信号质量, 负责提取码盘内圈距离码的绝对角位移信息。狭缝增量式编码部分为多刻线, 应用莫尔条纹技术, 负责提取码盘外圈的增量式码道所对应的相对角位移信息, 采用“田”字型裂相排列^[7], 提供四路位相依次相差 90° 的信号, 以便于后续电子学细分和误差补偿。

光源采用红外发光二极管, 峰值波长 950 nm , 其寿命长、体积小、功耗小、温度特性好, 具有较强的抗冲击和耐恶劣环境能力, 极适合在野外条件下工作。编码器的接收器采用贴片式红外光电三极管, 偏压为 $+5\text{ V}$, 光谱频响高, 温度稳定性好, 体积非常小, 同样具有较高的抗冲击和耐恶劣环境, 可以快速将光强变化转化为高质量的正弦电信号输出。

由于采用单光源 LED 照明, 且发光 LED 的体积非常小, 光源本身的发散角在这四路信号中会引起相位改变(如图 3), 这样原本四路相差 90° 的信号便无法实现, 从而光电器件接收到的信号就不能直接用来鉴相。编码器为了减缩结构尺寸, 没有安装光源准直系统。为了克服因发散角太大而引起的相位改变, 该编码器狭缝的增量码部分是按照光源发散角对四路信号的影响进行相位补偿设计的。如图 4 所示, 对相位为 0° 的狭缝 W_0 说, 因为莫尔条纹具有平均效应, 以过狭缝中心的光线为主光线, 其它入射光在其上产生的平均作用效果是相同, 则入射光相对于狭缝的发散角 θ , 由于入射光与光轴有一定的夹角 θ , 这相当于相逢 W_0 垂直方向向上移动了位移 Δx , 则引起一定的相位差 $\Delta\phi$ 。裂相为 90° 的狭缝 W_{90} 狭缝 W_0 称分布, 则在其上引起的相位移动为 $-\Delta\phi$ 。其它两个狭缝的相位移动可同理求出, 这样后续的电子学部分可根据此相位差进行补偿运算, 进而进行差分放大、整形及细分^[8]。

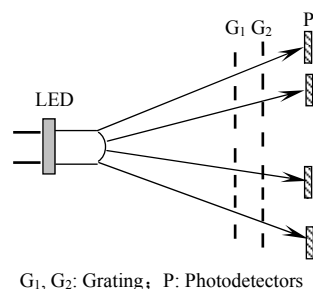


图 3 读数头结构图

Fig.3 Diagram of reading head configuration

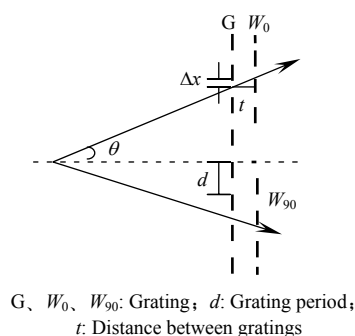


图 4 相位补偿示意图

Fig.4 Diagram of phase compensation

4 电子学处理

电子学处理部分采用整片结构, 完全集成在编码器内部, 实现了编码器与电子学处理的一体化。如图 1 所示, 信号处理部分具体由放大、整形、A/D 模数转换、软件细分、单片机处理系统、外部接口电路部分组成。系统首先对光电接收器送来的四路增量信号进行差分放大, 经整形、模数转换后由单片机完成软件细分, 细分为 64 份, 可获得 16 对位移信息; 零位距离码经放大、整形后由单片机译成绝对位置信息与增量信息一道, 经译码、校正等逻辑处理, 由串行 RS422 接口输出直接可用的 16 位自然二进制绝对位置信息。电路采样频率 $\geq 1\,000\text{ Hz}$, 串行数据输出达到 115.2 kb/s , 可满足各场合实时、动态快速量测的要求。

5 精度检测

码盘外圈增量部分刻线是 1 024 线对, 经 64 倍电子细分可至 $19.8''$, 达到 16 位分辨力。经过对系统各部分的改善和数据修正, 系统最终实现的静态重复性精度可达到 $4''$, 实际分辨力达到 $5''$, 编码器精度可达到 $25''(1\sigma)$ 。表 1 是用 24 面棱体分别正转和反转检测所得的两组数据, 检测数据证明此编码器设计合理, 满足使用要求。

表 1 超小型准绝对式编码器的检测数据

Table 1 Measuring data of the encoder												
Angle	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°
Measuring error (prograde↓)	0"	0"	10"	0"	5"	20"	0"	-5"	-5"	-30"	-40"	-40"
Measuring error (reversal↑)	0"	0"	10"	0"	0"	20"	0"	-5"	-5"	-30"	-40"	-40"
Angle	180°	195°	210°	225°	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
Measuring error (prograde↓)	-55"	-60"	-45"	-55"	-60"	-30"	-55"	-55"	-30"	-40"	-25"	5"
Measuring error (reversal↑)	-55"	-60"	-45"	-55"	-60"	-30"	-55"	-55"	-30"	-40"	-25"	0"

6 结 论

按上述原理和结构，利用距离编码与增量式编码进行组合编码的方式简化了码道，采用相位补偿技术缩小了读数头尺寸，成功地解决了小型化、高精度、高分辨力、绝对式等技术，成功研制出 16 位超小型准绝对式编码器。新型编码器(如图 5)采用整装结构，体积小、结构紧凑，其直径 Φ25 mm，整体高度为 25.5 mm，体积非常小，仅重 23 g，分辨力达到 19.8"，精度(1σ)25"(具体技术指标见表 2)。该编码器可在高低温、冲击振动环境中长期正常工作，在军事、航天、科技等领域中有很广泛的用途(如可用于光学导引头)。



图 5 实物图
Fig.5 Diagram of real object

表 2 技术指标

Table 2 Technical index			
Line count	1 024	Light source	LED
System accuracy	1σ=25"	Mech. permissible speed	4 000rpm
Reference mark	32	Operating temperature	-40~+60 ℃
Resolving power	20"	Weight	25 g (Including plug and cable)
Electrical characteristic	Serial interface RS422, Baud rate 115.2 kbps, Sampling frequency ≥1 000 Hz	Vibration (55 to 2 000 Hz)	10 g
Power supply	DC 5 V ±5%	Shock	120 g (6 ms)

参考文献:

[1] 董莉莉,熊经武,万秋华. 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 Li-li, XIONG Jing-wu, WAN Qiu-hua. Development of photoelectric rotary encoders [J]. **Opt. Precision Eng**, 2000, 8(2): 198-202.

[2] 罗长洲,陈良益,孙岩. 一种新型光学编码器 [J]. 光学 精密工程, 2003, 11(1): 104-108.
LUO Chang-zhou, CHEN Liang-yi, SUN Yan. A new optical encoder [J]. **Opt. Precision Eng**, 2003, 11(1): 104-108.

[3] 刘丰文,邓文和. 25 位绝对式编码器[J]. 光电工程, 2000, 27(6): 66-68.
LIU Feng-wen, DENG Wen-he. 25-Bit Absolute Type Encoder [J]. **Opto-Electronic Engineering**, 2000, 27(6): 66-68.

[4] 赵波,何金其. 组合编码器的结构和原理 [J]. 长春理工大学学报, 2004, 27(4): 58-60.
ZHAO Bo, HE Jin-qi. The structural property and operating principle of building-up encoder [J]. **Journal of Changchun University of Science and Technology**, 2004, 27(4): 58-60.

[5] The Haidenhain Companies, Inc. Technical Information-Linear Encoders for NC-Controlled Machine Tools [K]. Germany: Heidenhain, 2006.

[6] Akedo Jun, Kato Yoshiaki, Kobayashi Hiroshi. High precision detection method for the reference position in an optical encoder [J]. **App. Opt**, 1993, 32: 2315-2319.

[7] 孔智勇,赵红颖,熊文卓,等. 采用衍射、干涉技术提高光电轴角编码器的测角精度和分辨力 [J]. 光学 精密工程, 2001, 9(3): 260-264.
KONG Zhi-yong, ZHAO Hong-ying, XIONG Wen-zhuo, et al. Improving angle-measuring precision and resolution of photoelectric rotary encoders using diffraction interference technology [J]. **Opt. Precision Eng**, 2001, 9(3): 260-264.

[8] Leviton Douglas B, Kirk Jeff, Lobsinger Luke. Ultra-high resolution Cartesion absolute optical encoder [J]. **SPIE**, 2003, 5190: 111-121.