

260M 光电轴角编码器结构及原理

曹振夫

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘要 本文介绍了光电轴角编码器光学、机械结构及原理; 码盘设计及各码道功能; 校正及电调零原理。

关键词: 光电轴角编码器; 机械结构; 码盘

1 概述

光电轴角编码器是数字式轴角传感器, 它分为增量式和绝对式两大系列。本文介绍的是绝对式 23 位高分辨率(可达 8388608 个), 高精度(达到 $\sigma=1''$)编码器。它用于大型光电跟踪仪器中, 用来测量方位角及高低角, 还可替代测速机测速。

光电编码器由光学机械及电路系统两大部分组成。其光学机械部分包括: 轴系、码盘、光源及光学系统、狭缝、光电接收器件等; 其电路部分由放大、整形、单片机软件细分及逻辑处理、显示、供电电源等。

工作原理简述如下(图 1):

由光源发出的光经光学系统分别传到粗码照明区及两个精码照明区, 光线射过码盘和狭缝被光电转换器件所接收。当主轴带动码盘转动时, 码盘、狭缝发生相对角位移, 光强就会发生有规律的强弱变化, 这些光信号经光电管转换成强弱变化的电流, 经负载电阻后以电压的形式送入放大器进行放大、整形、细分和编码处理等, 处理成并行自然二进制电平码, 供用户采集、应用。

主要技术指标:

位数: 23 位

分辨率: $0.15''$

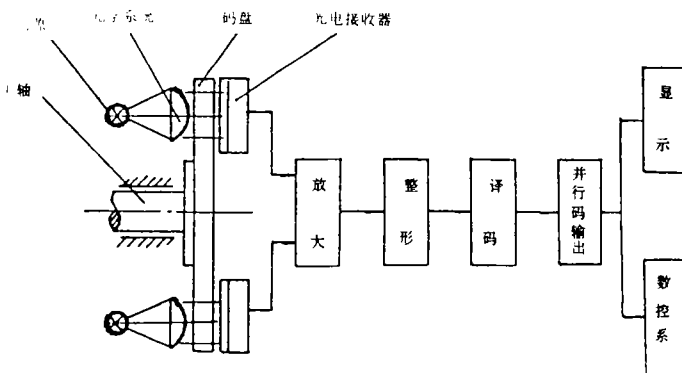


图 1 编码器工作原理图

测角精度: $\sigma=1''$

测角范围: $0^\circ\sim 360^\circ$

转速: $90^\circ/\text{s}$

信号输出形式: 23 位二进制并行, TT 电平, 高、中、低三段 8 位接口输出

采样频率: $>1\text{kHz}$

供电电源: $\text{AC}220\text{V}\pm 5\%$

工作温度: $-40^\circ\text{C}\sim +55^\circ\text{C}$

编码器结构尺寸: $\varphi 302\times 130$

(不含电路)

重量(不含电路): 23kg

2 轴 系

本编码器轴系采用密珠轴系。所谓密珠轴系就是在轴承中有许多钢球, 密集的钢珠被排列在近乎多头螺旋线的保持架中, 主轴与轴套二者之间的钢球, 采用过盈装配, 主轴、轴套、钢球都有较高的尺寸精度和严格的几何形状, 通过钢球的密集分布及过盈配合, 使轴系具有较高的回转精度, 本编码器主轴的径向跳动量不大于 0.001mm 。这是因为钢球的密集分布具有平均效应, 有助于减小某单件的误差对轴系精度的影响, 以提高主回转轴的回转精度; 钢球近乎多头螺旋线排列, 每个钢球都沿自己特定轨道运行, 减小了轨道的磨损, 以利长期保持主轴的回转精度。钢球的过盈相当于预加载荷, 通过微量的弹性变形起到消除间隙的作用, 以减少尺寸误差和几何形状误差对轴系的影响。不仅提高了轴系的精度, 还增加了轴系的刚度, 增加轴系的承载能力, 使轴系长期稳定的保持高精度。

3 码 盘

码盘是编码器中基础分度元件, 它是一个直径为 276mm 的圆形玻璃盘, 上面刻有二十二圈不同弧长, 不同功能的码道(图 2)。所谓码道就是玻璃圆盘上刻有的通光与不通光的弧线, 这些若干通光信号的组合, 确定了回转轴转角的绝对位置。

下面介绍各码道功能。

图 2 中 G_0 、 G_{90} 、 G_{180} 、 G_{270} 四圈码道称为精码道。它们的刻划位为 16 位。角截距为:

$$\frac{360}{2^{16-2}} = 79.10 \text{ 秒}$$

G_0 与 G_{180} 差分放大获得正弦信号, G_{90} 与 G_{270} 差分放大获得余弦信号(图 3)。两路正、余弦信号送入模数转换器 A/D 与单片机, 将其插值细分成 512 份, 由原来的刻划位 16 位细分达到 23 位。分辨率达到 0.15 秒。

G 码细分后自成封闭读数系统, 循环角周期为 79.1 秒, 与之相接的高位码道为 E_2 , 其刻划位为 15 位。 E_2 码与 G 码之间需经校正, 这里称为第一次校正, 校正区为 ± 20 秒。为了实现校正, 必须设有校正码道 E_1 。

F_0 、 F_{90} 、 F_{180} 、 F_{270} 是四圈中精码, 由于线周期较长, 衍射光成份很小, 故光电信号成三角波。

F_0 与 F_{180} 经差分放大获得一三角波 u_1 , F_{90} 与 F_{270} 差分放大获得一相位差 90° 的三角波 u_2 , 信号 u_1 再经倒相获得一与 u_1 相位差 180° 的三角波 $-u_1$, 利用这三路信号经电阻链移相细分 8 份(电路图从略)。

这里 E 码和 F 码称为中精码。

$A_1 \sim A_{13}$ 称为粗码, 由图 2 可以看出, A_{13} 与 F_{180} 共用一圈码道, 即粗码狭缝与精码狭缝均取第 13 圈码道作为 A_{13} 和 F_{180} , 这样粗码道实际只有 12 圈, 加上精码道 10 圈共 22 圈。

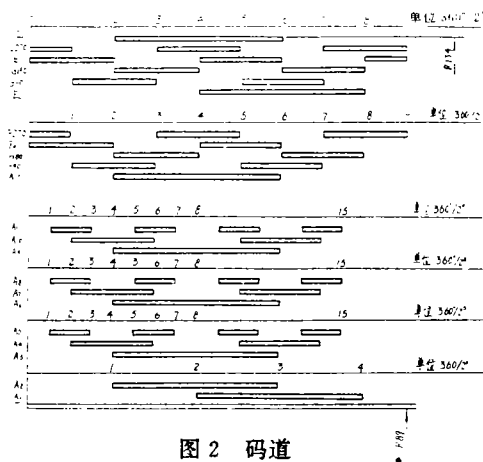


图 2 码道

4 光源及光学系统

本编码器光源采用 6V15W 白炽灯, 降压至 4.3V 使用, 大大延长其使用寿命, 实际使用证明, 白炽灯光源的寿命在 8 年以上。

本编码器共设三个读数头, 一个粗码读数头, 二个精码读数头(图 4), 照明区也相应的有三处。由一支白炽灯照明, 经光学系统分光三处, 达到三处照明的目的(此不详述)。

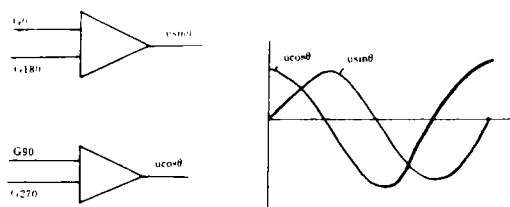


图 3 精码道差分放大后的正弦和余弦信号

5 校正

由于码盘刻划、装调及电路调整等环节都不可避免的存在误差, 码道的半径越小, 误差越大, 线数越疏误差越大。因此在码盘设计中都把线对数最多的精码放在外圈。图 2 中的 4 圈 G 码即为精码。往里设中精码和粗码。这就是说在一个码盘中, 不同直径处, 不同位数的码道精度不同, 里圈半径小, 误差大, 如 $A_1 \sim A_{12}$ 的精码道, 误差可达 10 秒以上, 可一个编码器总精度要求均方差 1 秒, 这是如何实现的呢?

要使一个编码器的总精度提高, 首先要保证精码($G_0 \sim G_{270}$)有较高的精度, 这里的精码精度直径误差在 $0.8''$ 以内。以此精码为基准, 通过校正电路对中精码及粗码进行误差修正。

下面介绍校正原理(图 5)

图 5 中 x_{15} 、 x_{16} 分别为精码中高位及次高位, 它们自成循环系统, 向高位进位需由 E_2 完成, 设 E_2 码道超前。(图中 x'_{14}), 那么 E_1 、 E_2 异或后得出的校正码 x'_{15} 必超前, B 点与 A_1 点只有对齐时才不至于错码, A_1 点超前进位, 造成错码。若 E_1 、 E_2 滞后如图中的 x'_{14} 、 x'_{15} , A_2 点滞后于 B 点, 也会错码, 故须经过校正, 将其错误(超前量和滞后量)修正, 才可保证系统连续进位。

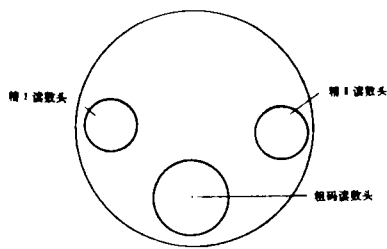


图 4 读数头示意图

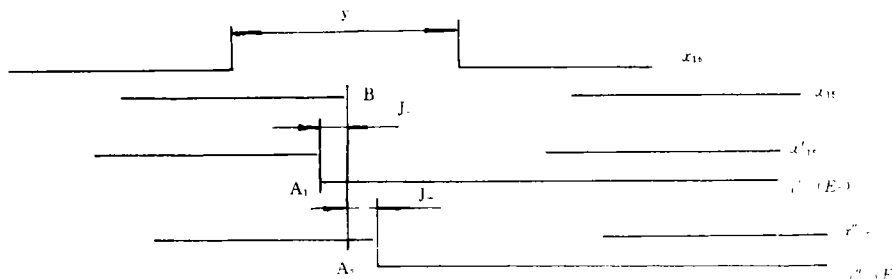


图 5 校正原理图

图中 J_- 表示中精码 E_2 进位超前, 称负校正, 反之为正校正, 其逻辑式为:

$$J_+ = x_{15} \cdot \bar{x}'_{15} \cdot y = 1$$

$$J_- = \bar{x}_{15} \cdot x''_{15} \cdot y = 1$$

实际 x'_{15} 、 x''_{15} 是一路电信号, 故可写成通用式:

$$J_+ = x_{15} \cdot \bar{x}'_{15} \cdot y = 1 \text{ 时 负校正}$$

$$J_- = \bar{x}_{15} \cdot x''_{15} \cdot y = 1 \text{ 时 正校正}$$

$$y = x_{15} \oplus x_{16}$$

式中 y 为校正区。所谓校正区又称校正范围, 就是在本区间内发现和纠正错误的的能力。这里的校正区为 $\pm 20''$ 。

E_2 与 F 码之间设第二次校正, 校正范围为 $\pm 40''$; 在 F 码与粗码之间设第三次校正, 校正范围为 $\pm 80''$ 。

电路系统设有上面三次校正, 这就保证了编码器稳定可靠地工作。

6 对径相加平均

为克服轴的晃动和码盘安装偏心带来的误差, 提高编码器的精度, 我们采用对径双边读数平均的方法, 就是将相对径放置的两个读数头所读取的二组二进制自然码进行相加再除以 2, 得出一组平均数。这里相加求和, 平均都由单片机来完成。

7 绝对码电调零

作为大型光电跟踪定位系统水平角和高低角一般都要求有绝对零位, 过去的经纬仪绝对零位的精细调整是靠机械微调, 结构复杂, 手续烦琐, 稳定性差, 采用电子技术进行绝对码电调零, 省去了复杂的调零机构, 调整简便, 省时省力, 稳定可靠, 不受断电影响。

电调零原理就是设若干组二进制开关, 打入若干二进制数, 即预置数, 它和编码器的二进制数相加即可得出一组新的二进制数, 实现了绝对码电调零(图 6)。

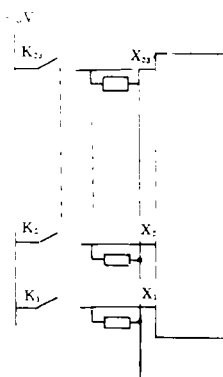


图 6 绝对码电调零原理图

参考文献

- [1] 邹自强, 论圆光栅多头读数系统. 光学机械, 1983, (2): 39~48
- [2] 邢瑞祥等, 21 位增量式光电轴角编码器. 光电工程, 1986, (2): 1~12
- [3] 邓文和, 高质量莫尔条纹信号的提取. 光电工程, 1990, 17(3): 8~19
- [4] 叶盛祥, 数字式位移测量系统中光电信号的提取和精化处理. 光学工程, 1985, (5): 6~15

260M Photoelectrical Angle Encoder's Structure & Principle

Cao Zhenfu

(*Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022*)

Abstract

The optical and mechanical structure and principles of photoelectrical angle encoder are introduced, furthermore, the design of code disk and the function of every code track are presented, as well as the principles of correction and electrical zero—adjustment.

Key words: Photoelectrical angle encoder, Mechanical structure, Code disk.