

# 光电编码器的应用

## ——分类源于角度测量基准

王显军

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

**摘要:** 为了在应用方案中选取合适的光电编码器, 需要了解其原理和特点, 本文对编码器的分类和编码原理进行了总结。编码器的角度测量基准是光栅盘, 所谓增量式、绝对式和准绝对式的区别, 取决于采用光栅盘的类型。说明了编码的原理和编码效果, 总结比较了不同种类编码器的特点。

**关键词:** 光电编码器; 轴角编码原理

**中图分类号:** TP212.12

**文献标识码:** A

**DOI:** 10.3788/OMEI 20102710.0022

### 1 引言

光电轴角编码器是一种具有代表性的轴角位移传感器, 它是集光、机、电于一体的一种数字测角装置<sup>[1]</sup>。其测量精度高、寿命长、工作可靠性好, 是机电设备中重要的基本部件, 因而在工业生产、国防科技、仪器仪表等方面有着广泛的应用。

传统的光电编码器主要分成两种类型, 增量式(计数式)和绝对式(编码式)。随着技术的发展, 这两种形式的编码技术已经相互融合, 形成了多种新型的光学编码。相继诞生了各种准绝对式编码; 为了减少绝对式码盘的码道数量, 减小码道径向尺寸, 绝对编码方式从格雷码发展到四象限矩阵编码、八象限矩阵编码、直至单圈绝对编码。

码盘光电信号的获取, 最早是采用原始的成像扫描技术, 基于这种成像扫描的技术离不开扫描掩膜狭缝, 狭缝与码盘的间隙较小, 使这种编码器的结构特性受到限制。目前, 已从四场成像扫描技术发展到场优化<sup>[2]</sup>扫描技术, 新技术采用了干涉扫描原理, 提高了分辨力, 使透射变为反射, 间隙变大, 对编码器的安装公差要求相对宽松。同时, 采用干涉扫描原理实现了柱面光栅信号的获取。

干涉扫描技术促进了钢鼓光栅和钢带光栅<sup>[3]</sup>的发展和应用。与金属材料相比, 基于光学玻璃的码盘受到限制, 尺寸不能太大, 分辨力难以提高, 而且, 尺寸越大, 结构性能越差。使用钢带光栅的测角编码器直径越做越大, 最大直径已超过了 10 m, 分辨力超过 31 位。实际上, 衡量钢带光栅, 采用全周分

辨力的指标已不再合适。

为了在应用方案中选取合适的光电编码器,需要了解其原理和结构特点,本文主要依照角度测量基准介绍编码器的分类,比较各类产品的特点。有关成像扫描技术、优化扫描技术、干涉扫描技术等对产品的性能有不同的影响,编码器系统的组成、分辨力、精度、误差等内容,将在以后论文中介绍。

## 2 分类源于角度测量基准

编码器的测量基准是光栅,所谓增量式、绝对式和准绝对式的区别,取决于采用光栅盘的编码类型。

增量式编码器的测量基准通常称为光栅盘,其光学图案主要由循环码道和零位标记码道组成,零位标记码道也称之为索引码道或参考点码道。带零位标记的增量式光栅盘图案如图1所示。

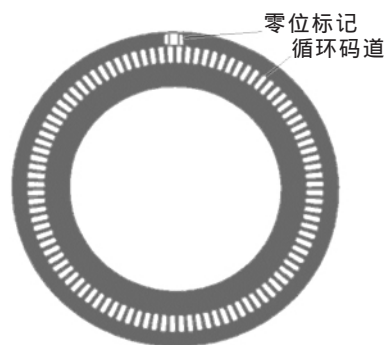


图1 增量式光栅盘

循环码道由一系列均匀交错的透光和不透光的光栅线条组成。角度测量通过计算自某点开始的增量数,即计数测量步距数,获得位置信息。零位标记只有一个,零位光栅图案比较特殊,零位光栅图案与循环码道光栅的空间分辨率相同。零位标记用于确定绝对参考点的位置值,通过扫描零位标记来建立绝对基准点或确定上次选择的原始点。有时,这需要旋转角度近 $360^\circ$ 。

绝对式编码器的测量基准通常称为码盘,码盘图案如图2所示。

码盘光学图案主要由一系列同心的编码码道组

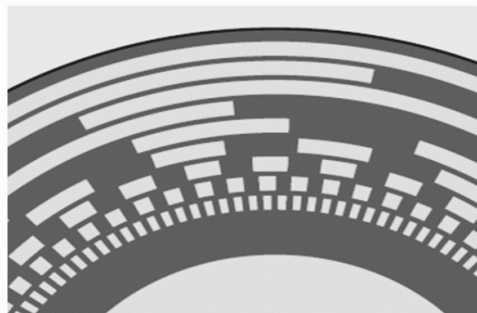


图2 绝对式码盘

成,位置编码的各有效编码位沿半径方向位于不同的编码码道上,随着码道半径的增加,每圈码道信号的周期成倍增加。沿半径方向并行读取码道的信号代表唯一的绝对角位置信息,即角度位置信息直接刻划记录在码盘上。

比较增量式编码器,为加快和简化“确定基准点”的操作,在码盘上刻有带距离的参考零点。一种常见的准绝对式码盘如图3所示,是带距离码参考点的圆光栅,称作距离码<sup>[2]</sup>式编码。

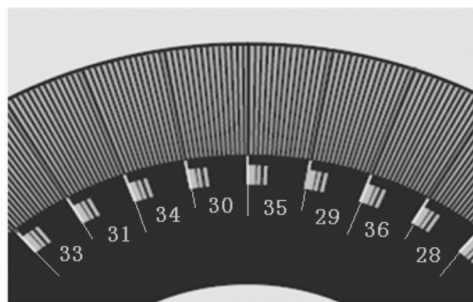


图3 带距离码的圆光栅

测量基准采用带距离码参考点的圆光栅。其光学图案主要有两圈码道,一圈为增量圆光栅,另一圈为索引码道,标记着不同角距离的参考点。相邻参考点的距离在全周是单一的,它将测角分成了 $N$ 个区,通过移动扫描两个相邻的距离码,即可读出区,后续电子设备就能找到绝对参考点,从而判断出码盘绝对位置。这种准绝对式的编码在柱面光栅中易于实现,如图4所示。

另一种准绝对式的编码也是由循环码道和索引码道组成的,循环码道仍然由一系列均匀交错的遮光和透光光栅线条组成,其码盘图案如图5所示<sup>[4]</sup>。

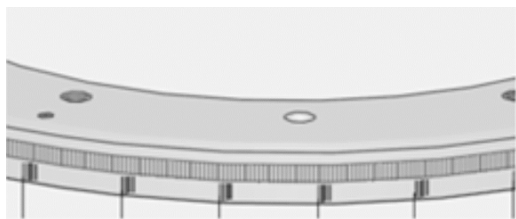


图4 带距离码的柱面光栅

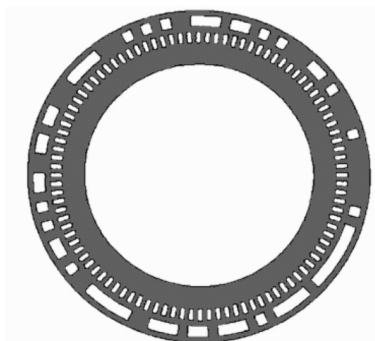


图5 带索引位置编码的准绝对式编码盘

图中外圈的索引码道, 连续的图案数据类似于条形码, 某一位置“条码”各不相同, 由此确定了不同的位置区。扫描经过一个小的位移后即可获得绝对位置编码数据。

根据准绝对式编码器码盘光学图案的特点, 位置编码的各有效位沿圆周连续分布, 减少了位置编码的码道数量, 因此, 码盘体积得以有效地缩小。由于位置编码有效位沿切向分布在同一码道上, 使得应用系统上电后, 不能立刻获得位置的编码, 而要经过一个引导过程, 即经过扫描一个小的位移后方能获得位置编码数据。无论这个初始位移方向如何, 从何处开始发生, 只要步长足够, 应用系统都可以获知确切的绝对位置编码数据。

绝对式编码器的角度位置信息直接刻划记录在码盘上。系统掉电又重新上电后, 同一位置的测量值是绝对唯一的, 如果某一位置的测量结果出现错误, 下一次测量会得到纠正, 这一错误不会影响其它位置的测量结果。显然, 这一特点比准绝对式和增量式具有极强的抗干扰能力, 绝对式产品多用于各种军工产品。

典型的绝对编码有自然二进制编码、格雷码、

矩阵编码、八象限绝对编码、M 序列伪随机编码<sup>[5]</sup> (即单圈编码)。

早期的自然二进制编码码盘如图 6 所示, 是一个典型的 5 位自然二进制编码码盘。

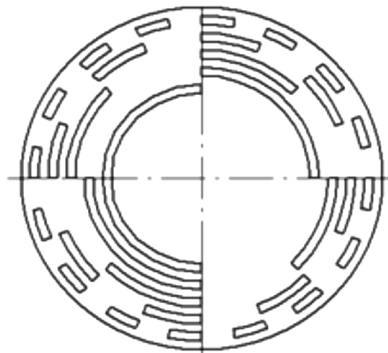


图6 自然二进制编码码盘

自然二进制编码多数位置存在两条及两条以上码道信息同时变化的情况, 如在“0”附近, 即图 6 所示的下部中间, 自左向右, 由 11111 过渡到 00000, 5 位数据同时变化。实际上, 信号跳变不会同时进行, 通过光电器件接收的信号不可能同时变化, 这就产生了错码, 要采取一些纠错措施才能使用。因此, 自然二进制编码已极少采用, 取而代之的是格雷码编码。避免两条码道同时跳变, 这个技术特征也是绝对编码的基本要求。

格雷码编码码盘如图 7 所示。

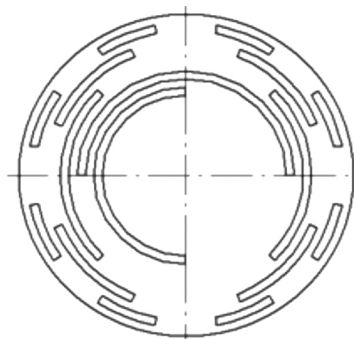


图7 格雷码编码码盘

格雷码码道图案是小码骑在相邻大码沿面上, 大码挑着小码, 没有两个码同时跳变的情况。采用格雷码设计一个高分辨力绝对式编码器时, 其码道数往往很多, 码盘径向尺寸也大, 如果要 10 位绝对

码, 就要有 10 条码道。格雷码的优点显而易见, 每次只有一位变化。因此, 目前国内外的绝对式编码器多数采用这种编码方法。德国 Heidenhain 生产的绝对式编码器主要采用格雷码编码。

为了减少绝对式码盘的码道数量, 减小码道径向尺寸, 实现绝对式光电编码器的小型化, 出现了其它编码。

前苏联科学家发明了一种矩阵编码方法<sup>[6]</sup>, 图 8 所示为一个用矩阵编码方法编制的 10 位绝对式码盘。



图 8 10 位矩阵码编码码盘

编码将码盘的码道分成 4 个扇区, 然后把格雷码依次分布到各区中, 最内圈码道图案与格雷码内圈相同, 不同的是, 在此码道上设置 2 个读数头, 取 2 路信号, 2 路信号相差 90°。这两路信号的变化确定了码盘的 4 个扇区, 用以区分外圈码道读数头读取码道信号是对应哪一位的格雷码。

矩阵编码各扇区的图案与格雷码相同, 也不存在 2 条码道信号同时跳变的情况。与格雷码编码码盘相比, 其径向尺寸小了许多。目前, 国内比较小型的绝对式编码器较多地采用了矩阵编码码盘。

最近, 长春光机所又研制出八象限绝对编码<sup>[7]</sup>, 如图 9 所示。八象限原理与矩阵原理相同, 两圈绝对编码既具有 9 位的分辨能力, 加一圈精码后再细分, 又可以轻松实现 16 位分辨力, 非常实用。

采用一种 M 序列伪随机编码技术可以编制单圈绝对码。M 序列是伪随机二进制序列的一种形式, 具有循环特性。如图 10 所示, 是一种采用 M 序列方法编制的 3 位单圈绝对编码码盘。

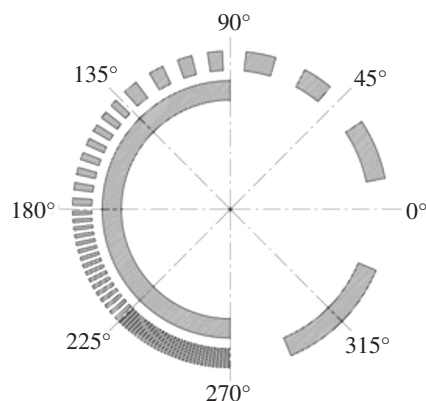


图 9 八象限码盘示意图

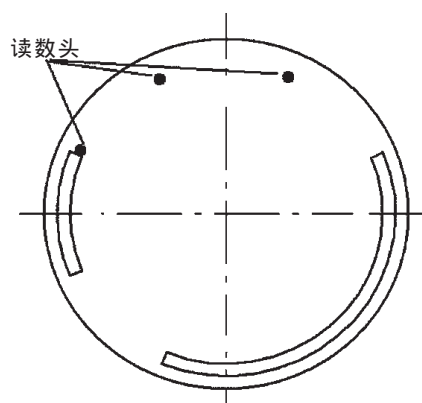


图 10 3 位伪随机编码码盘示意图

编码将整周均分 8 份, 分辨力 45°, 在码道上设置 3 个读数头, 相邻 45°。如图所示, 逆时针转动码盘, 右边的读数头先进入亮区变成 1, 读数信号变化的顺序是 000-001-011-111-110-101-010-100, 依次循环, 8 个位置代码互不相同, 是与轴角位置一一对应的, 具有循环特性。

图 11 是单圈 7 位编码图案<sup>[8]</sup>。由图可见, 单圈绝对编码类似于条形码, 不同的位置读数窗口内的数

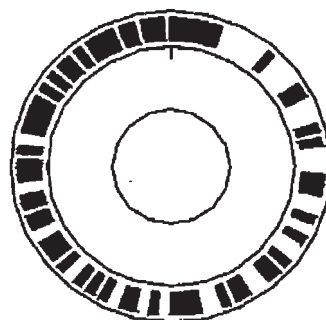


图 11 单圈绝对编码码盘

据组合不相同,形成绝对位置的编码。

以上提到的编码盘,除了柱面光栅,均采用平板式的圆形码盘。角度信息通过透射成像扫描技术获得光电信号,其原理如图12所示<sup>[2]</sup>。

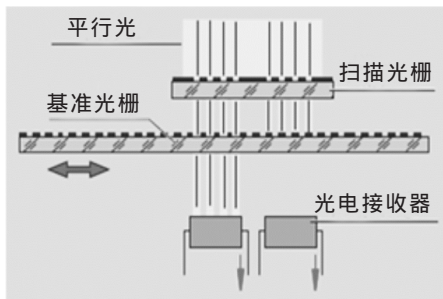


图12 成像扫描原理示意图

显然,刻划在金属材料上的光栅不透光,不能用透射成像扫描技术获得光电信号,反射式的干涉扫描技术解决了这一问题,它的工作原理如图13所示<sup>[3]</sup>。

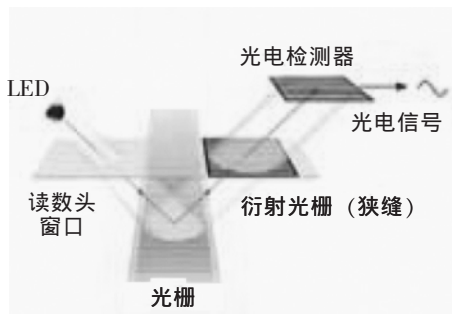


图13 干涉扫描原理示意图

近年来,基于钢带光栅和钢鼓光栅的编码器应用越来越多,如图14和图15所示。这种编码器采用反射式读数、从侧面读数、无内置轴承,依编码原理属于增量式或距离码准绝对式;但是,这种编

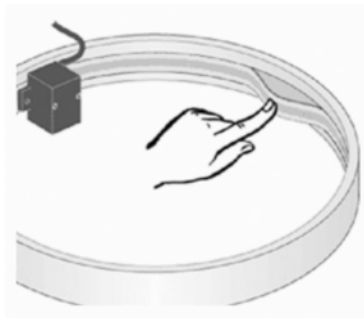


图14 钢带光栅编码器



图15 钢鼓光栅编码器

码器的“角度测量基准”与图1和图3所示的光栅盘有很大的区别。

### 3 编码器基本特点对比

增量式编码器码道少,需要处理的信号少,处理电路相对简单,角位移采用增量计数方式,某些场合应用不方便。绝对式编码器码道多,体积大,处理电路复杂,绝对式编码器的绝对角位置直接从码盘读出,抗干扰能力强。距离码式编码器电路复杂程度与增量式相同,上电初始时状态与增量式相同,通过转动小角度即可扫描到参考点,从而获得绝对角位置信息。

绝对式、增量式和准绝对式3种编码器的基本特点对照如表1所示。

表1 编码器的基本特点对比

	绝对式	增量式	准绝对式
机械尺寸(等精度)	大	小	小
光栅盘(等精度)	复杂	简单	较简单
光电元件数	多	少	少
数据处理电路	复杂	简单	简单
细分	可以	可以	可以
扫描参考点标记	不用	用(最大转一周)	用(转动小角度)
抗干扰性能	好	差	中
价格	高	低	中

### 4 总结

为了在应用方案中选取合适的光电编码器,需

要了解其原理和特点。对编码器的分类,目前学界没有共识的标准,本文所述的增量式、绝对式和准绝对式的提法,仅是从编码的规则方面区分。从应用角度出发,这种说法易于操作。

在运动控制系统中,例如用于稳速的控制传感器,选择增量式编码器,最为合理。在目前的市场上,增量式编码器产品种类最多,应用最广,且产品价格相对较低,甚至很低。

在有些对电子学处理可靠性要求高的场合,例如军用光电经纬仪类的设备,最好采用绝对式产品。准绝对式编码器也是较好的方案,但目前市场上产

品种类很少。

在中高档产品中,基于钢鼓光栅和钢带光栅的编码器逐渐增多,但这类产品的安装技术增加了用户的“工作量”。

做为角度测量传感器,光电编码器是众多方案中的常用产品,已成为很多新设备的开发首选方案。对于开发设计者,要轻松地使用,就需要了解大量的技术资料。快速简单地了解针对使用方面的问题正是本文的目的。此“分类”以外的内容将在以后的文章中介绍。

## 参考文献

- [1] 叶盛祥. 光电位移精密测量技术[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2003.
- [2] HEIDENHAIN. 技术资料[OL/EB]. [www.heidenhain.com.cn](http://www.heidenhain.com.cn)
- [3] RENISHAW. 技术资料[OL/EB]. [www.renishaw.com.cn](http://www.renishaw.com.cn)
- [4] 罗长洲, 陈良益, 孙岩, 等. 一种新型光学编码器[J]. 光学 精密工程, 2003, 11 (1): 104-108.
- [5] 罗世魁, 王国强, 王继新, 等. 伪随机码在绝对式光电轴角编码器中的应用 [J]. 光学 精密工程, 2003, 11(6): 596-601.
- [6] 曹振夫. 小型绝对式矩阵编码器[J]. 光学机械, 1985(5): 65-70.
- [7] 刘长顺, 王显军, 韩旭东, 等. 八矩阵超小型绝对式光电编码器[J]. 光学 精密工程, 2010, 18(2): 326-333.
- [8] 陈赞, 孙承浦, 何惠阳. 单圈绝对式码盘编码方法的研究[J]. 光子学报, 2006, 35(3): 460-463.

作者简介: 王显军(1965-), 男, 汉族, 吉林长春人, 学士, 研究员, 1988年于天津大学获得学士学位, 主要从事光电传感技术和电子技术方面的研究。E-mail: [yh8875@yahoo.com.cn](mailto:yh8875@yahoo.com.cn)