

第四章 编码器

一、定义

1、定义：编码器是将信号或数据进行编制、转换为可用以通讯、传输和存储的信号形式的设备。编码器把角位移或直线位移转换成电信号，前者称为码盘，后者称为码尺。按照读出方式编码器可以分为接触式和非接触式两种；按照工作原理编码器可分为增量式和绝对式两类。增量式编码器是将位移转换成周期性的电信号，再把这个电信号转变成计数脉冲，用脉冲的个数表示位移的大小。绝对式编码器的每一个位置对应一个确定的数字码，因此它的示值只与测量的起始和终止位置有关，而与测量的中间过程无关。



编码器

二、编码器分类

1、按码盘的刻孔方式不同分类

- (1) 增量式编码器
- (2) 绝对值式编码器

(3) 混合式编码器：

2、按信号的输出类型分为：电压输出、集电极开路输出、推拉互补输出和长线驱动输出。

3、以编码器机械安装形式分类

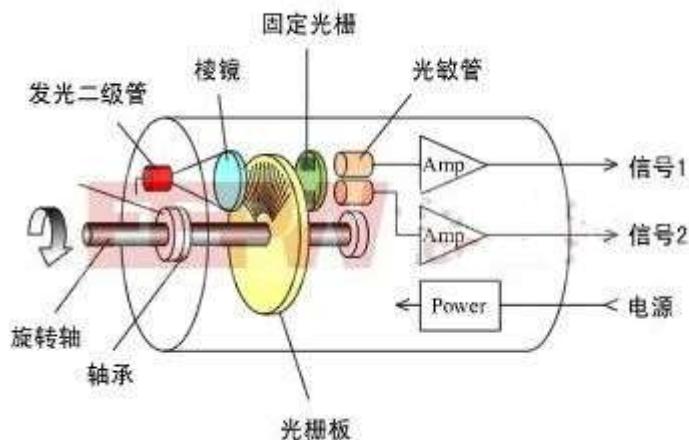
(1) 有轴型：有轴型又可分为夹紧法兰型、同步法兰型和伺服安装型等。 [2]

(2) 轴套型：轴套型又可分为半空型、全空型和大口径型等。

4、以编码器工作原理可分为：光电式、磁电式和感应式和电容式。

三、常见编码器及其工作原理介绍原理

1、光电式增量编码器

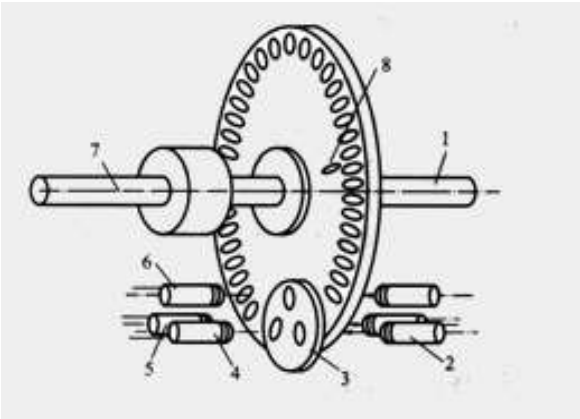


光电式增量编码器原理

①光电增量式编码器：增量式编码器可以将位移转换成周期性的电信号，再把这个电信号转变成计数脉冲，通过计数设备来知道其位置。增量式光电编码器的特点是每产生一个输出脉冲信号就对应于一个增量位移，但是不能通过输出脉冲区别出在哪个位置上的增量。它能够产生与位移增量等值的脉冲信号，其作用是提供一种对连续位移量离散化或增量化以及位移变化（速度）的传感方法，它是相对于某个基准点的相对位置增量，不能够直接检测出轴的绝对位置信息。一般来说，增量式光电编码器输出 A、B 两相互差 90° 电度角的脉冲信号（即所谓的两组正交输出信号），从而可方便地判断出旋转方向。同时还有用作参考零位的 Z 相标志（指示）脉冲信号，码盘每旋转一周，只发出一个标志信号。标志脉冲通常用来指示机械位置或对积累量清零。

增量式光电编码器结构如下图所示。在它的编码盘边缘等间隔地制出 n 个透光槽。发光二

极管(LED)发出的光透过槽孔被光敏二极管所接收。当码盘转过 $1/n$ 圈时，光敏二极管即发出一个计数脉冲，计数器对脉冲的个数进行加减增量计数，从而判断编码盘旋转的相对角度。为了得到编码器转动的绝对位置，还须设置一个基准点，如图中的“零位标志槽”。为了判断编码盘转动的方向，实际上设置了两套光电元件，如图中的正弦信号接收器和余弦信号接收器。

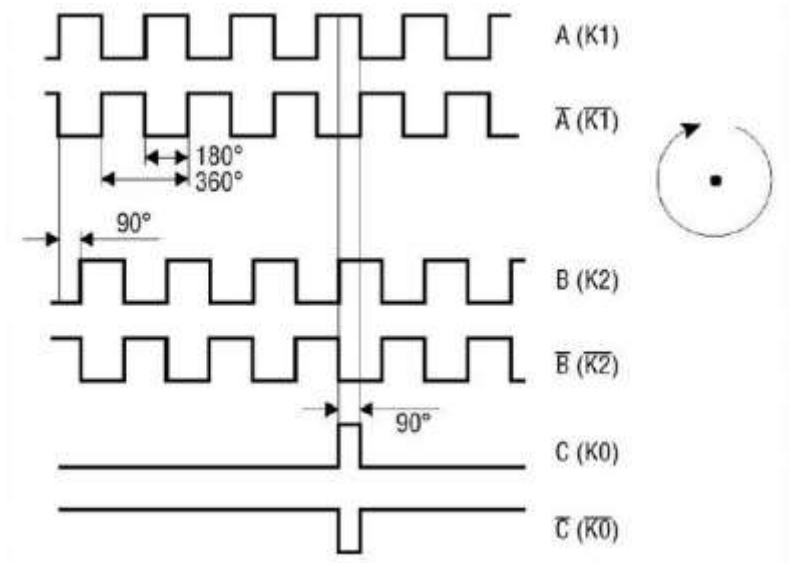


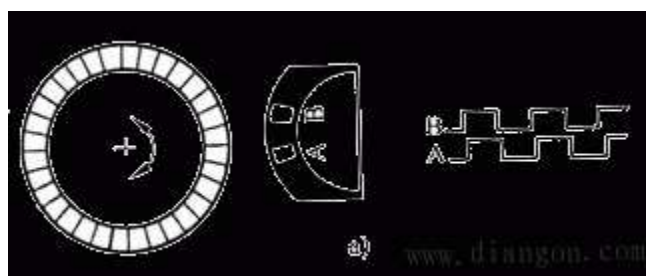
增量式光电编码器结构示意图

1-均匀分布透光槽的编码盘 2-LED 光源 3-狭缝 4-正弦信号接收器 5-余弦信号接收器 6-零位读出光电元件 7-转轴 8-零位标记槽

编码器测量精度取决于它所能分辨的最小角度，而这与码盘圆周上的槽缝条纹数 n 有关，即能分辨的最小角度为 $\alpha=360^\circ/n$ ，分辨率 $=1/n$ 。例如，条纹数为 1024，则分辨角度 $\alpha=360^\circ/1024=0.325^\circ$ 。

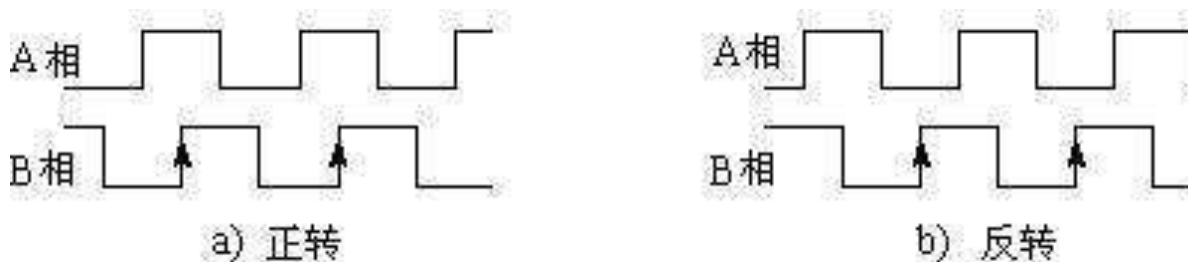
运动方向的确定：为了区分正反转及检测零点，如下图所示，通常包括三个部分：A 相，B 相和 Z 相，A 相与 B 相相差 $1/4$ 周期（相位差 90° ），可以用来区分正转还是反转；Z 相为单圈脉冲，码盘转一圈产生一次，可以用作编码器的参考零位。而且，为了传送数据稳定性，通常采用差分长线驱动。





增量式编码器检测运动方向原理

当编码正转时，A 信号超前 B 信号 90° ；当码盘反转时，B 信号超前 A 信号 90° 。如下图所示，正转时，A 路波形超前 B 路波形 90° ，即当 B 路脉冲由 0 上跳为 1 时，A 路脉冲已是高电平；反转时，A 路波形滞后 B 路波形 90° ，即当 B 路脉冲由 0 上跳为 1 时，A 路脉冲已是低电平。



正反转判别

②光电绝对式编码器：绝对式编码器每一个位置对应一个确定的数字码，因此它的示值只与测量的起始和终止位置有关，而与测量的中间过程无关。其位置是由输出代码的读数确定的。当电源断开时，绝对型编码器并不与实际的位置分离。重新上电时，位置读数仍是当前的。绝对编码器能够直接进行数字量大的输出，在码盘上会有若干的码道，码道数就是二进制位数。在每条码道上都会由透光与不透光的扇形区域组成，通过采用光电传感器对信号进行采集。在码盘两侧分别设置有光源和光敏元件，这样光敏元件则能够根据是否接受到光信号进行电平的转换，输出二进制数。并且在不同位置输出不同的数字码。从而可以检测绝对位置。但是分辨率是由二进制的位数来决定的，也就是说精度取决于位数。优点：可以直接读出角度坐标的绝对值，没有累积误差，电源切除后位置信息不会丢失。编码器的抗干扰特性、数据的可靠性大大提高了。



③混合式绝对值编码器：混合式绝对值编码器，它输出两组信息：一组信息用于检测磁极位置，带有绝对信息功能；另一组则完全同增量式编码器的输出信息。

④正余弦伺服电机编码器：正余弦伺服电机编码器由一个中心有轴的光电码盘，其上有环形通、暗的刻线，有光电发射和接收器件读取，获得四组正弦波信号组合成，正余弦伺服电机编码器可以不采用高频率的通讯即可让伺服驱动器获得高精度的细分，这样降低了硬件要求，同时由于有单圈角度信号，可以让伺服电机启动平稳，启动力矩大。

2、磁电式编码器

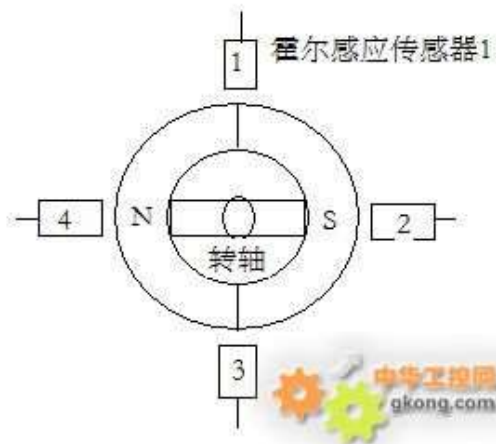
磁电式编码器是一种新型的角度或者位移测量装置，其原理是采用磁阻或元件对变化的磁性材料的角度或者位移值进行测量，磁性材料角度或者位移的变化会引起一定电阻或者电压的变化，通过单片机处理后输出脉冲信号或者模拟量信号，达到测量的目的。同心码道从磁编码器码盘的中心出发，向外扩展直到码盘外部，每一层码道都比其内层多了一倍的分区。第一层只有一个透光扇区和一个不透光扇区，位于中心的第二层就具有两个透光扇区和两个不透光扇区；而第三层码道的透光扇区和不透光扇区就各有四个。内置式感应头体积小，适用于小安装空间，并采用高保护等级设计，可使用于恶劣环境，在工业用场合可避免一般光学式环境污染的敏感性，增加系统长期稳定性。

磁编码器由一个中心有轴的光电码盘，其上有环形通、暗的刻线，有光电发射和接收器件读取，获得四组正弦波信号组合成 A、B、C、D，每个正弦波相差 90 度相位差，将 C、D 信号反向，叠加在 A、B 两相上，可增强稳定信号；另每转输出一个 Z 相脉冲以代表零位参考位。由于 A、B 两相相差 90 度，可通过比较 A 相在前还是 B 相在前，以判别磁编码器的正转与反转，通过零位脉冲，可获得的零位参考位。磁编码器码盘的材料有玻璃、金属、塑料，玻璃码

盘是在玻璃上沉积很薄的刻线，其热稳定性好，精度高，金属码盘直接以通和不通刻线，但由于金属有一定的厚度，精度就有限制，其热稳定性就要比玻璃的差一个数量级，塑料码盘是经济型的。

磁电编码器原理类似光电编码器，但其采用的是磁场信号。在磁性编码器内部采用一个磁性转盘和磁阻传感器。磁性转盘的旋转会引起内部磁场强度的变化，磁阻传感器检测到磁场强度的变化后再经过电路的信号处理即可输出信号。磁性转盘的磁极数，磁阻传感器的数量及信号处理的方式决定了磁性编码器的分辨率。采用磁场原理产生信号的优势是磁场信号不会受到灰尘，湿气，高温及振动的影响。

磁场周边感应型磁电绝对值编码器原理图



3、电容式编码器

电容式编码器通过测量调制旋转电场的原理测量单圈绝对角度，实现高分辨率和高精度的角度测量。通过发射电极发送载波信号，运动的金属转盘或者运动的介质转盘调制空间电场并反射回差分接收电极后，对信号进行调理并经 ADC 采样后，利用 FPGA 进行同步解调并实时地解算出角度值。采用双通道测量的技术进行绝对位置认址，实现编码器上电就可以输出单圈内任意角度值，从而避免开机回零点的操作，提高生产效率并降低错误率。通过集成了超低功耗的磁多圈计数，实现了电池供电的多圈编码器。电容式编码器的感应部分取消光学元件和刻线码盘，代替的是成熟电路板制造的图案，大大降低制造成本；探测器感应面积为全圆周的环形面，探测面积大，信噪比高，对机械偏心或其他安装造成的误差做均化处理，大大降低对安装精度的要求，以致可以取消轴承，采取无轴承的安装方式。在算法上实现了李萨茹圆的零次和高次谐波误差的实时计算和补偿，真正地做到了自适应，使得编码器精度对安装的要求

大大降低。



四、编码器参数

1、分辨率

指编码器能够分辨的最小单位。

对于增量式编码器，其分辨率表示为编码器转轴旋转一圈所产生的脉冲数，即脉冲数/转 (Pulse Per Revolution 或 PPR)。

码盘上透光线槽的数目其实就等于分辨率，也叫多少线，较为常见的有 5-6000 线。

对于绝对式编码器，内部码盘所用的位数就是它的分辨率，单位是位(bit)，具体还分单圈分辨率和多圈分辨率。

2、精度

首先明确一点，精度与分辨率是两个不同的概念。

精度是指编码器每个读数与转轴实际位置间的最大误差，通常用角度、角分或角秒来表示。

例如有些绝对式编码器参数表里会写 $\pm 20''$ ，这个就表示编码器输出的读数与转轴实际位置之间存在正负 20 角秒的误差。

精度由码盘刻线加工精度、转轴同心度、材料的温度特性、电路的响应时间等各方面因素共同决定。

3、最大响应频率

指编码器每秒输出的脉冲数，单位是 Hz。计算公式为：

$$\text{最大响应频率} = \text{分辨率} * \text{轴转速} / 60$$

例如，某电机的编码器的分辨率为 100（即光电码盘一圈有 100 条栅格），轴转速为 120 转每分钟（即每秒转 2 圈），则响应频率为 $100 \times 120 / 60 = 200\text{Hz}$ ，即该转速下，编码器每秒输出 200 个脉冲（电机带动编码器转了 2 圈）。

4、信号输出形式

对于增量式编码器，每个通道的信号独立输出，输出电路形式通常有集电极开路输出、推挽输出、差分输出等。

对于绝对式编码器，由于是直接输出几十位的二进制数，为了确保传输速率和信号质量，一般采用串行输出或总线型输出，例如同步串行接口(SSI)、RS485、CANopen 或 EtherCAT 等，也有一部分是并行输出，输出电路形式与增量式编码器相同。

五、码盘测速原理

1、编码器倍频

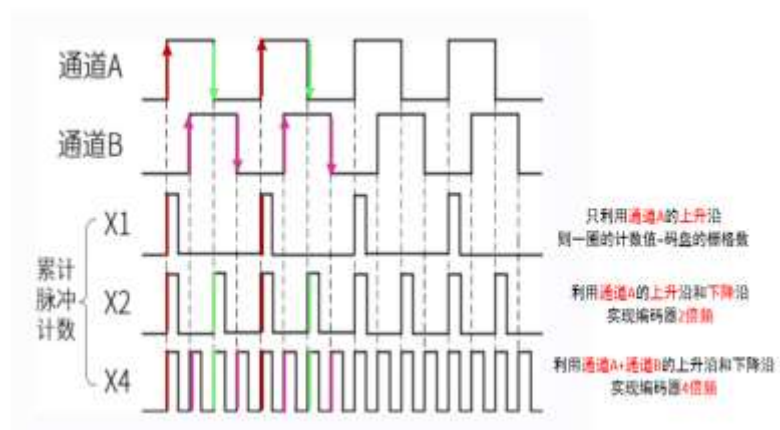
编码器倍频是什么意思呢，比如某光栅编码器一圈有 N 个栅格，理论上电机带动编码器转一圈，只能输出 N 个信号，通过倍频技术，可以实现转一圈，却能输出 $N \times n$ 个信号，这里的 n 为倍频数。增量式编码器输出的脉冲波形一般为占空比 50% 的方波，通道 A 和 B 相位差为 90° 。

①如果只使用通道 A 计数，并且只捕获通道 A 的上升沿，则一圈的计数值=码盘的栅格数，即为 1 倍频（没有倍频）

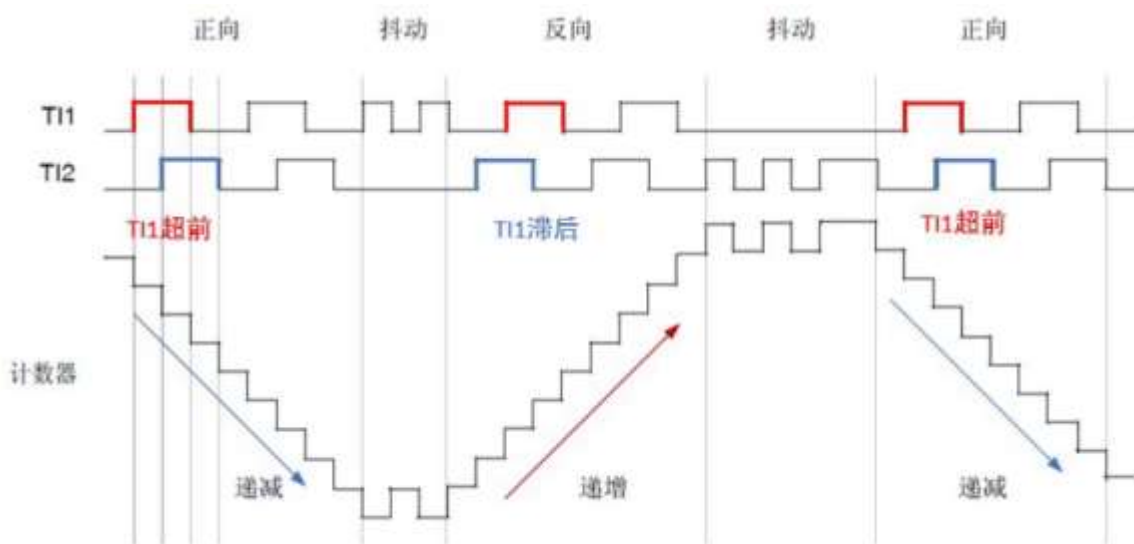
②如果只使用通道 A 计数，并且捕获了通道 A 的上升沿和下降沿，则编码器转一圈的计数值翻倍，实现 2 倍频

③如果既使用通道 A 计数，又使用通道 B 计数，且都捕获了上升沿和下降沿，则实现了 4 倍频。

假设有一个增量式编码器，它的分辨率是 600PPR，能分辨的最小角度是 0.6° ，对它进行 4 倍频之后就相当于把分辨率提高到了 $600 \times 4 = 2400\text{PPR}$ ，此时编码器能够分辨的最小角度为 0.15° 。



四倍频不但能够提高测量精度，还能消除抖动，如下图所示。



2、M 法测速

又叫做频率测量法。该方法是在一个固定的时间内（以秒为单位），统计这段时间的编码器脉冲数，计算速度值。M 法适合测量高速。

假设：

- ①编码器单圈总脉冲数为 C（常数）；
- ②统计时间为 T₀（固定值，单位秒）；
- ③该时间内统计到的编码器脉冲数为 M₀（测量值）；

则：转速 n（圈/秒）的计算公式为：

$$n = \frac{M_0}{(C * T_0)}$$

3、T 法测速

又叫做周期测量法。这种方法是建立一个已知频率的高频脉冲并对其计数。T 法适合测量低速。

假设：

- ①编码器单圈总脉冲数为 C （常数）；
- ②高频脉冲的频率为 F_0 （固定值，单位 Hz）；
- ③捕获到编码器相邻两个脉冲的间隔时间为 T_E ，其间的计数值为 M_1 （测量值）；

则：转速 n 的计算公式为：

$$n = \frac{1}{(T_E * C)} = \frac{F_0}{(M_1 * C)}$$

4、M/T 法测速

这种方法综合了 M 法和 T 法各自的优势，既测量编码器脉冲数又测量一定时间内的高频脉冲数。

在一个相对固定的时间内，假设：

- ①编码器脉冲数产生 M_0 个（测量值）；
- ②计数一个已知频率为 F_0 （固定值，单位 Hz）的高频脉冲，计数值为 M_1 （测量值），计算速度值；

- ③码器单圈总脉冲数为 C （常数）；

则转速 n 的计算公式为：

$$n = \frac{F_0 * M_0}{(M_1 * C)}$$

六、常用编码器的简单安装

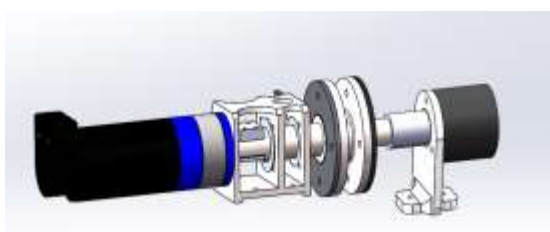
编码器一般用于测量电机的位置，并由此得到其转速及加速度，在实际使用中，一些电机内部已经集成了编码器用于测量信息，这时直接使用即可



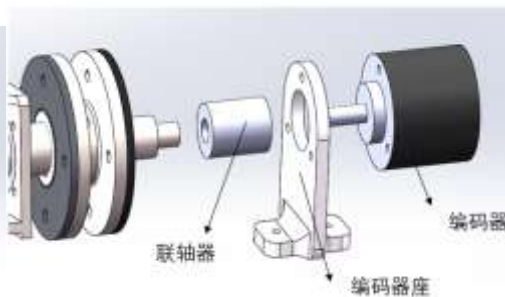
当电机未集成编码器或编码器不能满足使用要求时需要外加编码器，按照安装方式分类，常

用的主要有有轴式编码器和磁钢式编码器。

对于有轴时编码器，主要利用法兰盘、联轴器等等与电机的旋转轴直接或者间接相连，如下图所示，编码器与电机轴通过联轴器固连在一起

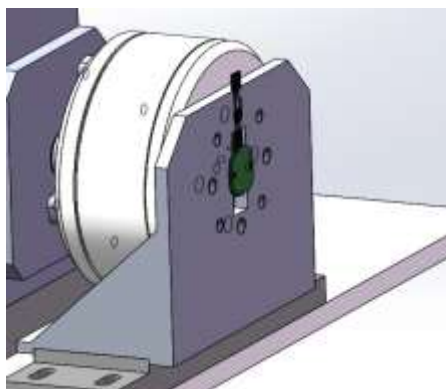


连接示意图

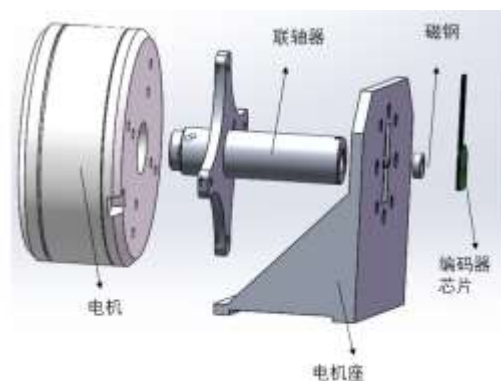


爆炸示意图

对于磁钢式编码器，磁钢需要固定在电机轴上与电机轴一同运动，而编码器芯片需要固连在电机座上，磁钢与芯片需要保持一定的距离。下图所示编码器芯片与电机定子均连接在电机座上而磁钢通过联轴器与电机转子相连。



连接示意图



爆炸示意图