

一、步进电机结构

步进电动机是一种将**电脉冲信号**转换成机械位移的机电执行元件。每当一个脉冲信号施加于电机的控制绕组时，其转轴就转过一个**固定的角度**（**步距角**），顺序连续地发给脉冲，则电机轴**一步接一步地**运转。

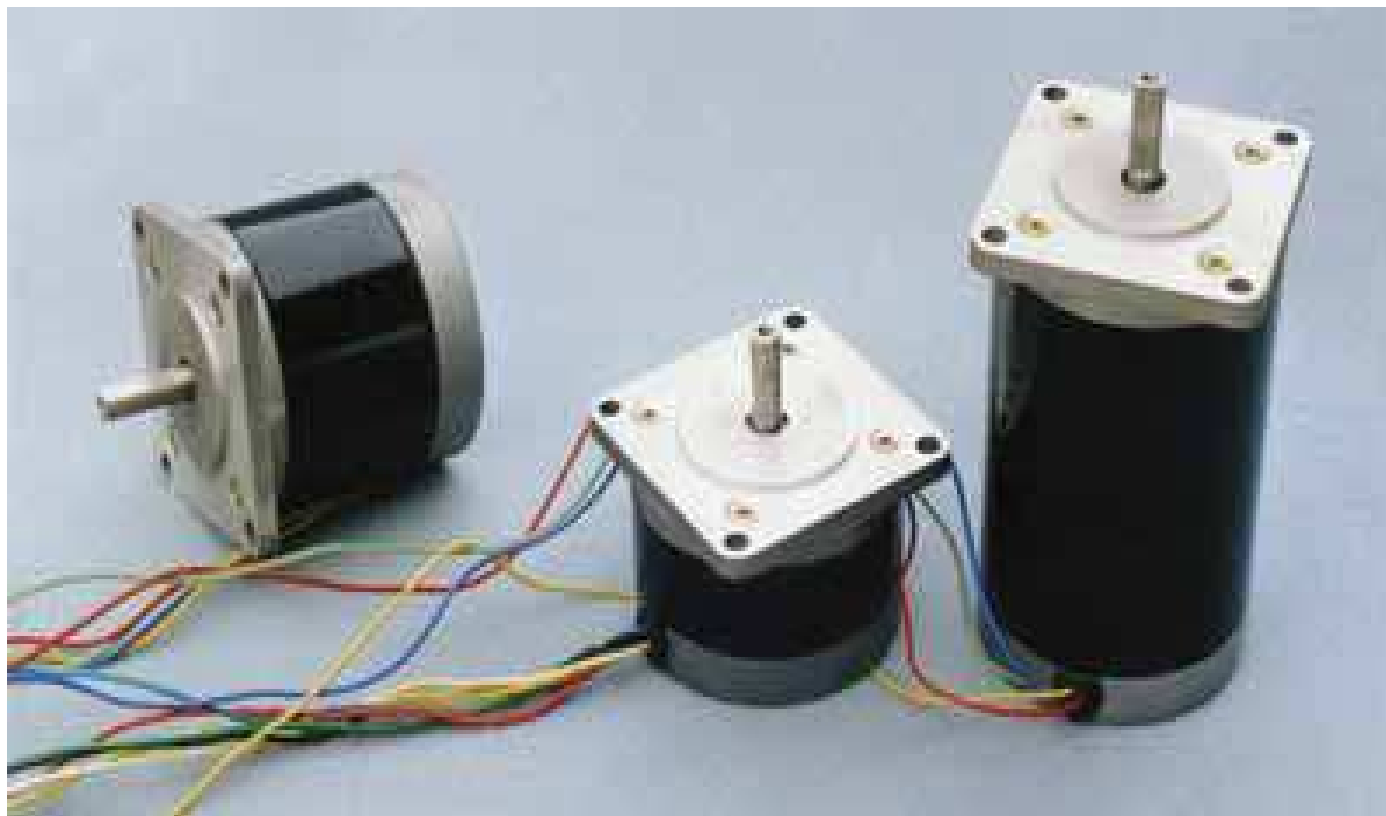




图1 步进电机结构图

二、步进电机的分类

1: 按工作原理分

反应式、永磁式、混合式（**Hybrid**）三种。

(1)、反应式步进电动机：转子铁芯用硅钢片或是软磁性材料做成，没有励磁绕组；

(2)、永磁式步进电动机：转子铁芯是用永久性磁铁做的，没有励磁绕组。

(3)、混合式步进电机：混合式步进电机综合了反应式、永磁式步进电动机两者的优点，它的步距角小，出力大，动态性能好，是目前性能最高的步进电动机。它有时也称作永磁感应子式步进电动机。

2: 按输出转矩大小分:

快速步进电机 (输出转矩 $0.07\sim 4\text{N}\cdot\text{m}$), 可控制小型精密机床的工作台;

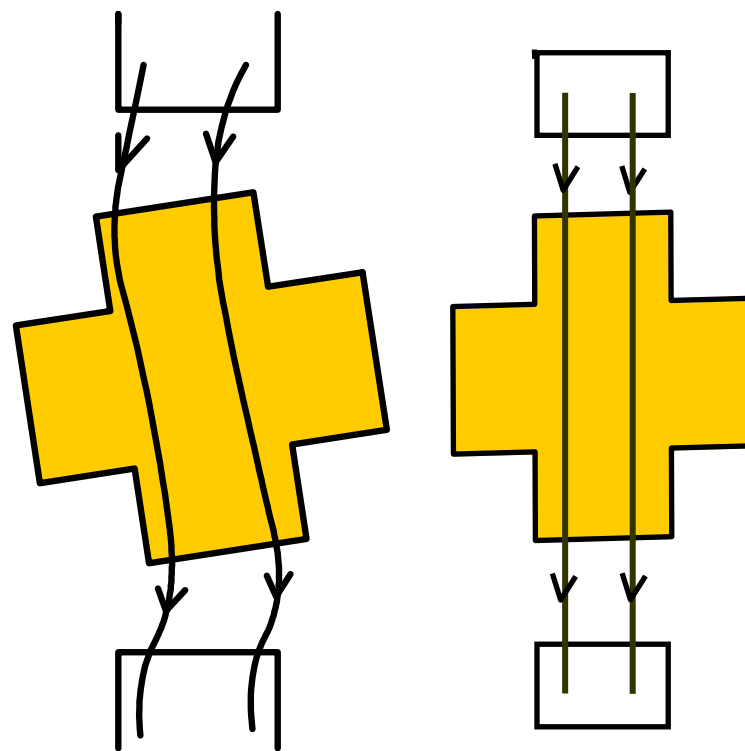
功率步进电机 (输出转矩 $5\sim 40\text{N}\cdot\text{m}$), 可直接驱动机床移动部件。

3: 按励磁相数分有二、三、四、五、六、八相等。

三、步进电机的工作原理

当给A相通电时，由于定子A齿和转子的1齿对齐，没有切向力，转子静止。接着给B相绕组通电时，转子位置如图（a），转子齿偏离定子齿一个角度（ 30° ）。由于励磁磁通力图沿磁阻最小路径通过，因此对转子产生电磁吸力，迫使转子齿转动，当转子转到与定子齿对齐位置时(图b)，因转子只受径向力而无切线力，故转矩为零，转子被锁定在这个位置上。

由此可见：错齿是助使步进电机旋转的根本原因。



图a

图b

四、步进电动机的通电方式（以三相步进电机为例）

1. 单相通电方式：“单”指每次切换前后只有一相绕组通电。

正转：A—B—C—A时，转子按顺时针方向一步一步转动。

反转：A—C—B—A时，转子按逆时针方向一步一步转动。

2. 双拍工作方式：“双”是指每次有两相绕组通电。

正转：AB—BC—CA—AB

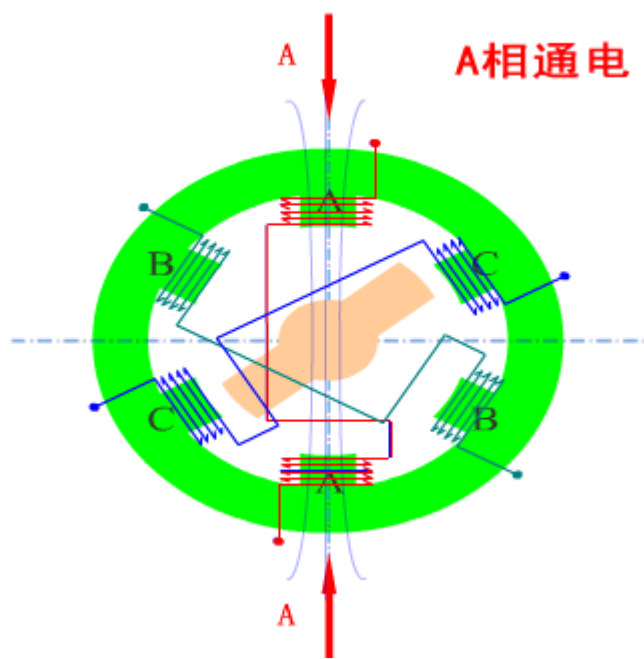
反转：AC—CB—BA—AC

3. 单、双拍工作方式：单双两种通电方式的组合应用

正转：A—AB—B—BC—C—CA—A

反转：A—AC—C—CB—B—BA—A

- 对于上述三相反应式步进电机，其运行方式有单三拍、单双拍及双三拍等通电方式。
- “单”、“双”、“拍”的意思是：“单”是指每次切换前后只有一相绕组通电，“双”就是指每次有两相绕组通电；而从一种通电状态转换到另一种通电状态就叫做一“拍”。
- “相”指步进电机定子绕组的对数

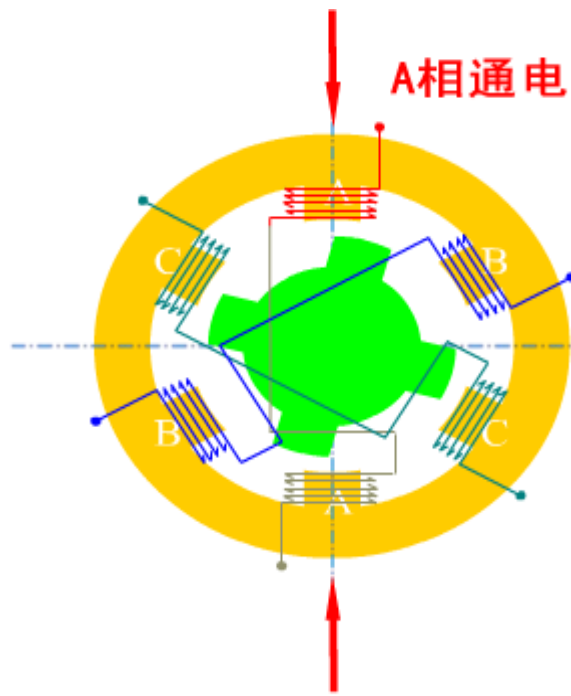


三相三拍通电方式

当A相绕组通以直流电流时，根据电磁学原理，便会在AA方向上产生一磁场，在磁场电磁力的作用下，吸引转子，使转子的齿与定子AA磁极上的齿对齐。若A相断电，B相通电，这时新的磁场其电磁力又吸引转子的两极与BB磁极齿对齐，转子沿顺时针转过 60° 。通常，步进电机绕组的通断电状态每改变一次，其转子转过的角度称为步距角。图示步进电机的步距角等于 60° 。

如果控制线路不停地按A→B→C→A...的顺序控制步进电机绕组的通断电，步进电机的转子便不停地顺时针转动。

若通电顺序改为A→C→B→A...，同理，步进电机的转子将逆时针不停地转动。



图中的步进电机，定子仍是A，B，C三相，每相两极，但转子不是两个磁极而是四个。当A相通电时，是1和3极与A相的两极对齐，很明显，当A相断电、B相通电时，2和4极将与B相两极对齐。这样，在三相三拍的通电方式中，步距角等于 30° 。

还有一种三相六拍的通电方式，它的通电顺序是：顺时针为A → AB → B → BC → C → CA → A ...；逆时针为A → AC → C → CB → B → BA → A...。若以三相六拍通电方式工作，当A相通电转为A和B同时通电时，转子的磁极将同时受到A相绕组产生的磁场和B相绕组产生的磁场的共同吸引，转子的磁极只好停在A和B两相磁极之间，这时它的步距角等于 15° 。当由A和B两相同时通电转为B相通电时，转子磁极再沿顺时针旋转 15° ，与B相磁极对齐。其余依此类推。采用三相六拍通电方式，可使步距角缩小一半。

齿距角 $\tau = 360^\circ / Z$ ， Z 为转子的齿数。

步距角的定义： 由一个通电状态改变到下一个通电状态时，电动机转子所转过的角度称为**步距角**。

$$\beta = 360^\circ / ZKm$$

其中： Z —转子齿数， m —定子绕组相数

K —通电系数，当前后通电相数一致时 $K=1$ ，否则 $K=2$

例如：若二相步进电动机的 $Z=100$ ，**单拍运行时**，其步距角

$$\beta = \frac{360^\circ}{2 \times 100} = 1.8^\circ$$

若按**单、双通电方式**运行时，步距角

$$\beta = \frac{360^\circ}{2 \times 2 \times 100} = 0.9^\circ$$

由此可见，步进电动机的转子齿数 Z 和定子相数(或运行拍数)愈多，则步距角愈小，控制越精确。

当定子控制绕组按着一定顺序不断地轮流通电时，步进电动机就持续不断地旋转。如果电脉冲的频率为 f (HZ)，步距角用弧度表示，则步进电动机的转速为：

$$n = \frac{\beta f}{2\pi} 60 = \frac{\frac{2\pi}{KmZ} f}{2\pi} 60 = \frac{60}{KmZ} f$$