

# 步进电机原理

我们将通过这篇教程与大家一起学习步进电机的原理。步进电机是数字控制系统中一种十分重要的自动化执行元件。目前，普遍应用于贴片机、3D 打印机、激光切割机、OA 产品，具有广泛的应用前景。

## 1. 步进电机的优点

相比之前介绍的直流有刷电机，步进电机具有以下优点：

- ① 步进电机没有电刷，寿命更长。
- ② 开环控制即可达到较高的精度，是低成本的数控系统的首选。
- ③ 没有累积误差，有较好的位置精度。
- ④ 可以不经过减速器直接带负载。

其中，以上第④点应该是大家最兴奋的。我们知道，国产的微型齿轮减速电机之间很难保证一致性，并且一些品控较差的厂家生产的减速器，噪声和回程间隙也很大，当然一部分原因是受限于成本，使用高端品牌(如 Maxon)的相同功率的空心杯行星减速电机成本要增大 20 倍以上，一般在大型比赛如 Robocon 或者纵向课题经费充裕的时候使用。使用国产的微型齿轮减速电机制作的小车有两个较大的缺点：

- ① 减速器的差异导致小车开环的时候很难走直线。
- ② 齿轮减速器的回程间隙导致平衡小车在直立的时候会有一定的晃动。

使用步进电机这两个问题基本可以随之解决。此时，大家可能会问，既然如此，为什么很少使用步进电机做小车的呢？当然是因为步进电机自身的一些缺点，为了不影响大家学习的热情，也方便大家更好的消化，关于步进电机的缺点放在后面的章节。

## 2. 步进电机原理

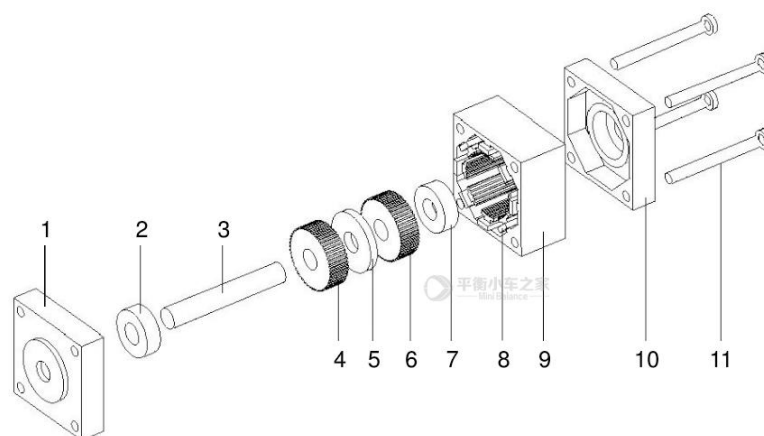
步进电机在构造上有三种主要类型，反应式、永磁式和混合式。按定子上绕组来分，共有二相、三相和五相等系列。最受欢迎的是两相混合式步进电机，根据信浓提供的数据，约占 97% 以上的市场份额，其原因是性价比高，配上细分驱

动器后效果良好。这里我们将着重讲解。下面是分析 2 相 4 混合式步进电机的实物图解，如图 1 所示。



图 1

一般这种电机定子上面有八个绕有线圈的磁极，八个线圈串接成 A、B 两相绕组。引出 A+、A-、B+、B- 四根线。因为电机内部是线圈，所以使用万用表测量时，A+和 A- 是导通的，B+和 B- 也是导通的，这是分辨步进电机接口定义很实用的技巧。为更加详细的描述 2 相 4 线混合式步进电机内部的结构，下面给出模型图。



1、不导磁前端盖，2、前端轴承，3、不导磁转轴，4、第一段转子，5、永磁铁，6、第二段转子，7、后端轴承，8、定子励磁绕组，9、定子，10、不导磁后端盖，11、螺钉

图 2

其中第一段转子 4 和第二段转子 6 均由软磁材料硅钢片叠压而成，转子上均

匀分布 50 个小齿，两段转子上的小齿互错 1/2 齿距。定子由硅钢片叠压而成，均匀分布有 8 个定子磁极，每个定子磁极上均匀分布一定数量的定子小齿，定子齿距和转子齿距相同。转子 N 极与 S 极分布在两个不同的软磁圆盘上，因此可以增加转子极数，从而提高分辨率，比如有些 42 步进电机转子齿数可达 100。而永磁式步进电机转子 N 极与 S 极分布于转子外表面，要提高分辨率，就要提高极对数，通常 20mm 的直径，转子可以配置 24 极。如果再增加极数，会增大漏磁通，降低电磁转矩。如图 3 是混合式步进电机的剖面图。

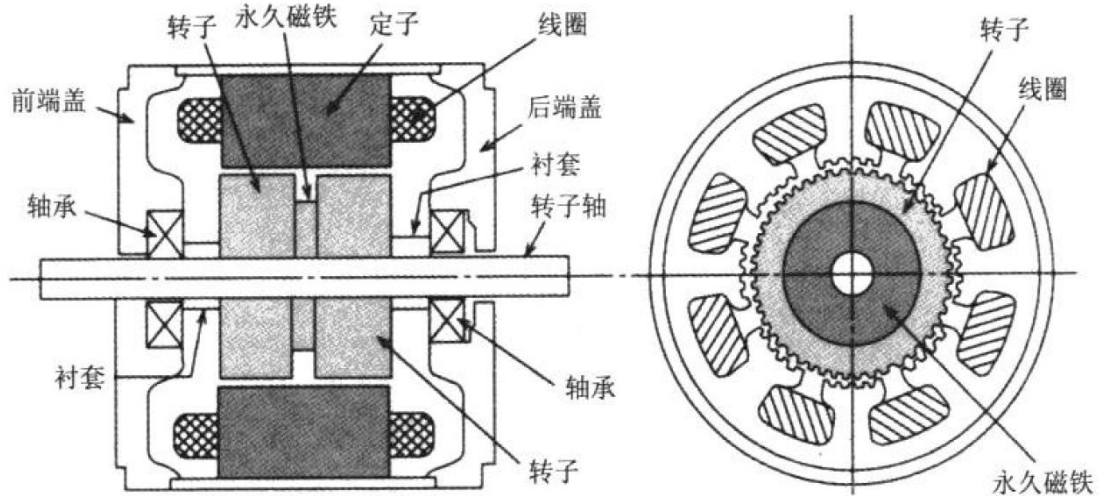


图 3

如图 4 所示，是 2 相 4 线混合式步进电机的工作过程。

在图 4(1)中，当 A 相绕组通电时，在定子磁极绕组 1 产生的 S 磁极吸引转子 N 极，使得磁极 1 下是齿对齿，磁力线由转子 N 极指向磁极 1 的齿面，磁极 5 下也是齿对齿，磁极 3 和 7 是齿对槽。由于两段转子铁芯上的小齿相互错开半个齿距，在转子 S 极端原理和 N 级类似，限于篇幅，不再赘述。因转子上共有 50 个齿，其齿距角为  $360^\circ / 50 = 7.2^\circ$ ，定子每个极距所占的齿数不是整数，因此当定子的 A 相通电，在转子 N 极，磁极 1 的 5 个齿与转子齿对齿，旁边的 B 相绕组的磁极 2 的 5 个齿和转子齿有 1/4 齿距的错位，即  $1.8^\circ$ 。

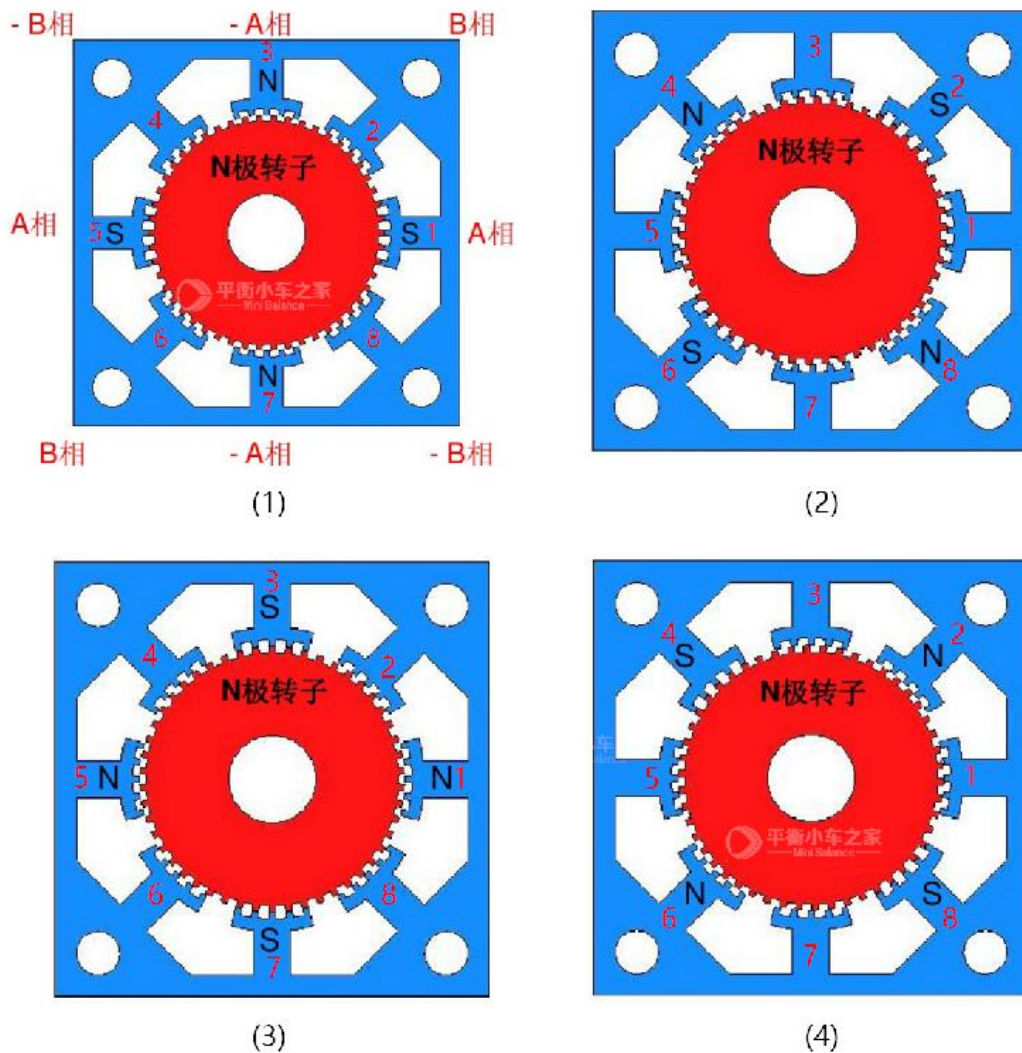


图 4

在图 4(2) 中, 当 B 相绕组通电时, 在定子磁极绕组 2 产生的 S 磁极吸引转子 N 极, 使得磁极 2 下是齿对齿, 磁力线由转子 N 极指向磁极 2 的齿面, 磁极 6 下也是齿对齿, 磁极 4 和 8 是齿对槽, 此时, 电机转过  $1.8^\circ$ , 这也就是所谓的步距角。

在图 4(3) 和 (4) 中的运动情况可以根据上面的原理分析, 不在赘述。以上就是步进电机工作的过程, 从中我们得到一个重要的参数: 步距角。显然, 步距角越小, 电机运动越平滑。从刚才的描述, 我们知道, 步距角和相数、转子的齿数都相关。下面是混合式步进电机步距角  $\theta_s$  的计算公式:

$$\theta_s = 180^\circ / PN_r$$

P: 步进电机相数

$N_r$ ：步进电机转子 N 级或者 S 级的齿数

通过以上方法算出来的步距角，我们称之为步进电机的固有步距角。要大幅度减小步距角，显然可以通过提高相数和增加转子的齿数，但是也相应的增加了成本。而我们实际应用过程中，一般使用细分驱动器，可以对步距角进行细分，如三洋半导体推出的 LV8731V，最高细分 16，可以减弱或消除步进电机的低频振动，大幅度提高电机的运转精度，细分之后的步距角，我们称之为细分步距角。细分驱动器的出现，让步进电机的相数和转子齿数显得“没那么重要”了，因此，性价比极高的两相混合式步进电机现在占据了大量的市场份额。在我们的小车上，也使用了这种步进电机。