

# 自动控制实践 异步电机的机构和工作原理

哈尔滨工业大学空间控制与惯性技术研究中心 伊国兴





# 异步电机概述

## ❖ 交流电源——交流电动机

### ■ 异步电动机（感应电动机）

- 三相电机：生产中作为动力使用。
- 两相电机：两相伺服电动机。
- 单相电机：使用单相电源的家用电器和小设备。

### ■ 同步电动机



# 异步电机概述

## ❖ 优点

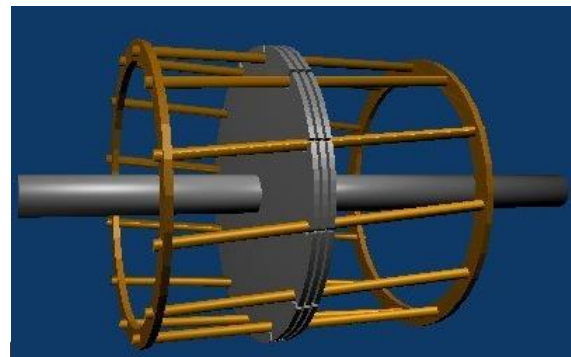
- 没有换向器和电刷，可以消除一系列缺点。
- 转矩、转速和功率不受电机换向条件的限制。
- 结构简单，坚固耐用。
- 电源方便。
- 有较高的效率和相当好的工作特性。

## ❖ 缺点

- 控制性能差，控制装置复杂，成本高，位置控置难。
- 目前尚不能经济地在较大范围内平滑调速，以及它必须从电网吸收滞后的无功功率。

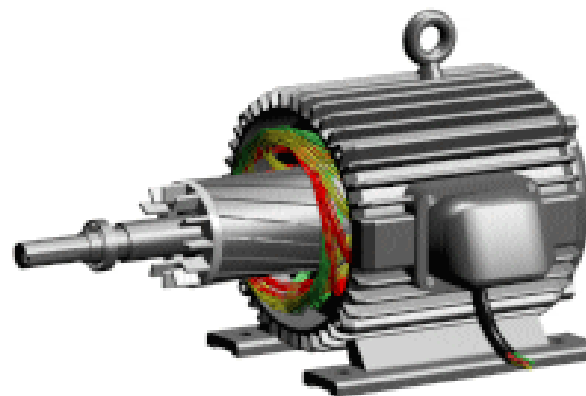
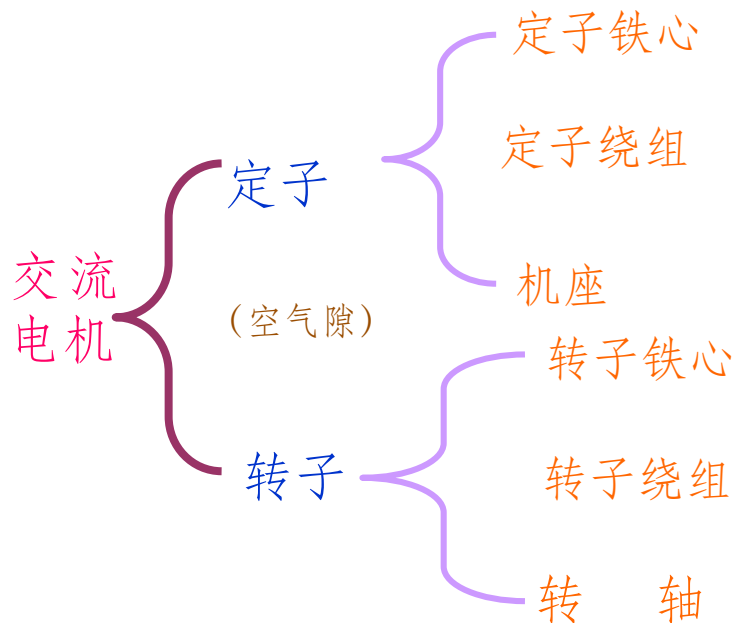
# 异步电机概述

- ❖ 三相交流异步电动机的转子电路不需要和外电路相联接，转子绕组由两侧端部互相短接的铜条或铝条(俗称鼠笼条)构成，可以自成回路，形状象个“鼠笼”，故常称为笼形电动机。
- ❖ 异步电机在结构简单、坚固耐用方面，在所有电动机中首屈一指。具备使用寿命长、易于维修、以及价格低廉。
- ❖ 约占整个电力拖动容量70%以上的不变速拖动多采用异步电动机。
- ❖ 随着交流异步电机调速系统性能的逐步提升，在工业应用中，在一般性能（调速比约在100:1范围）调速应用领域，变频异步电动机调速系统的应用日益普及。

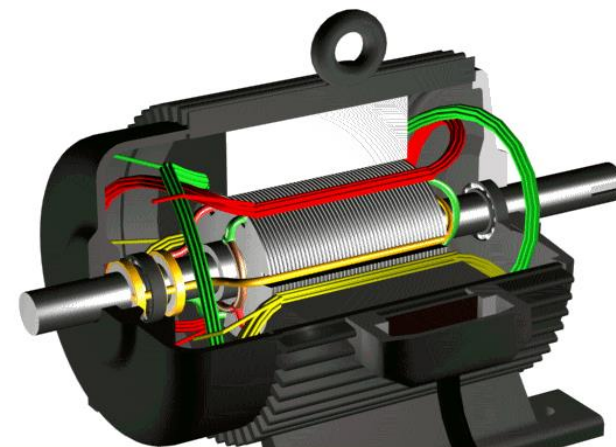




# 异步电机结构

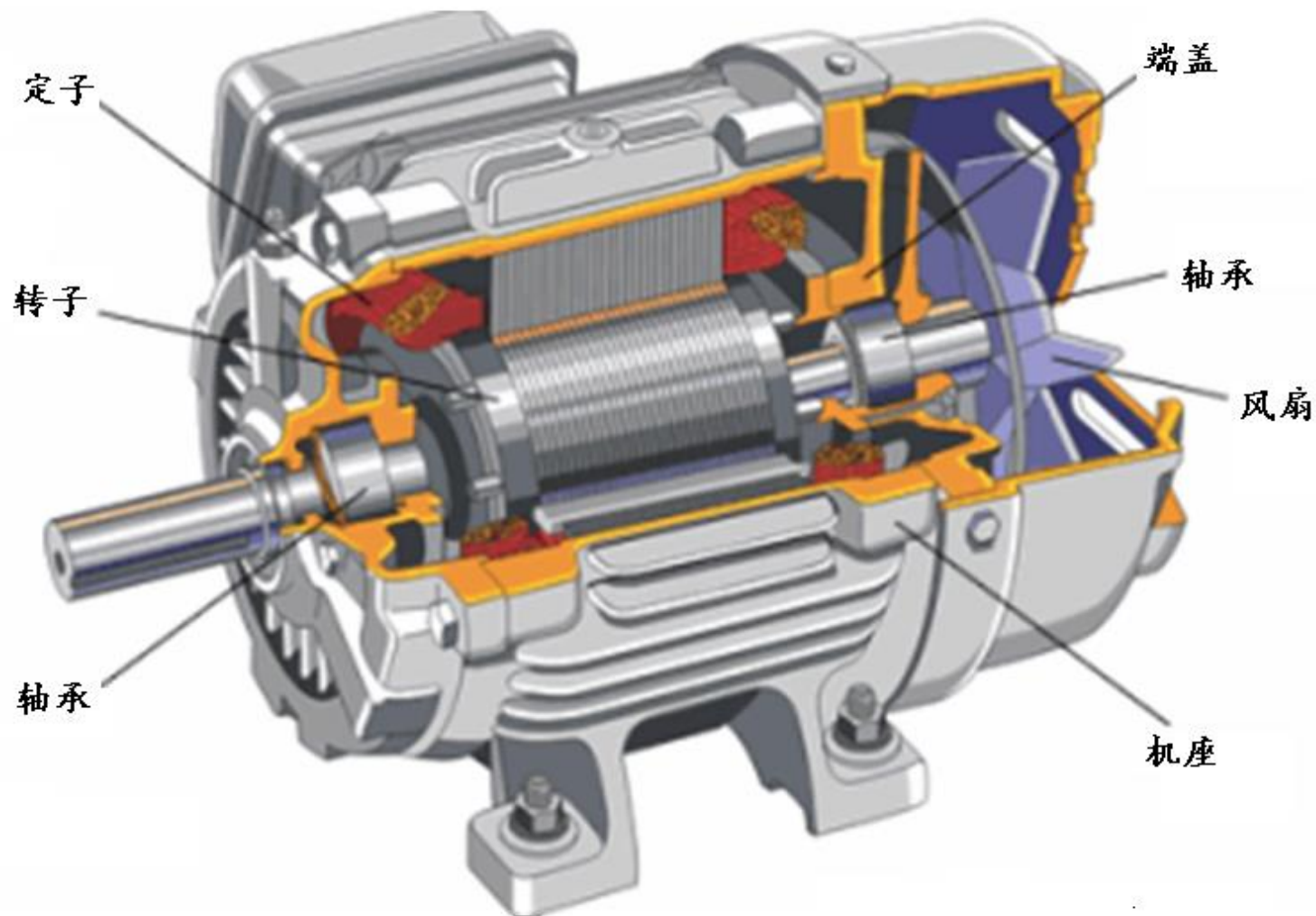


鼠笼型异步电动机



绕线型异步电动机

# 异步电机结构

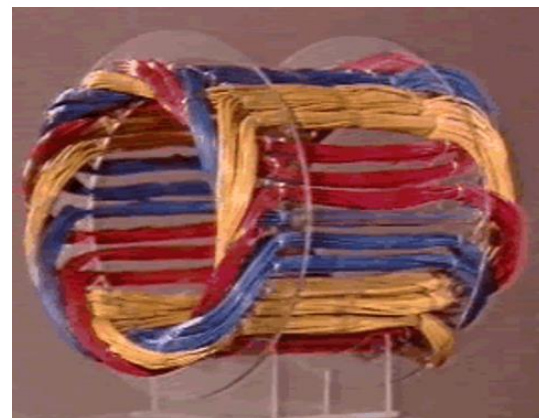
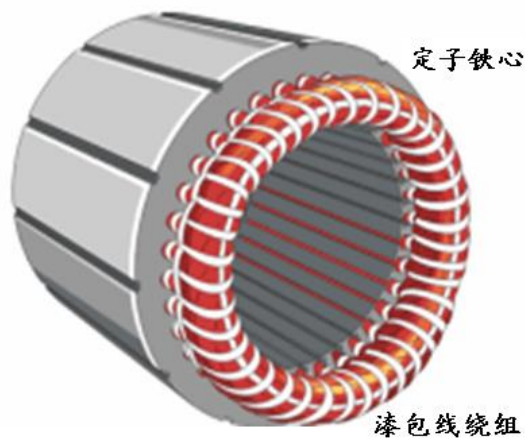
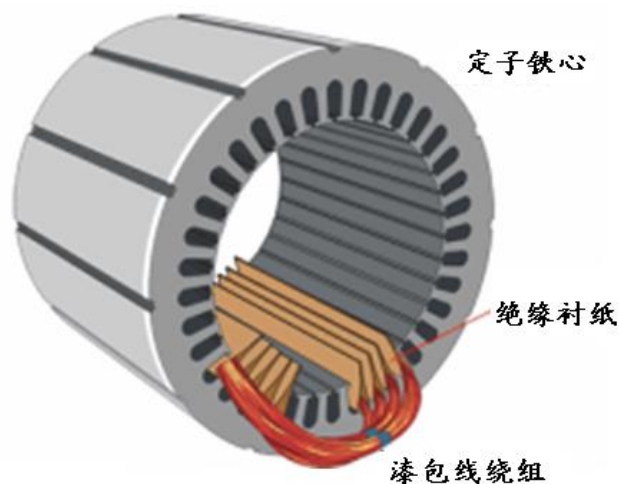




# 异步电机结构

## 1、定子

- ❖ 定子铁芯：主磁路的一部分由0.5mm厚的硅钢片冲叠而成。
  - 每片之间互相绝缘→减少涡损
  - 定子铁心内圆开有许多小槽→嵌放定子绕组。
- ❖ 定子绕组：构成电路部分。其作用是感应电动势、流过电流、实现机电能量转换。



# 异步电机结构

## 2、基座

❖ 固定和支撑定子铁心。因此要求有足够的机械强度。





# 异步电机结构

## 2、转子

❖ 异步电机的转子由转子铁心、转子绕组和转轴组成。

❖ 转子铁心

- 电机主磁路的组成部分并放置转子绕组。
- 由厚度为0.5mm的硅钢片叠装而成在转子外圆周上冲制均匀分布的形状相同的槽。

❖ 转子绕组

- 构成电路部分。
- 有两种结构型式：笼型绕组和绕线型绕组。

❖ 转轴

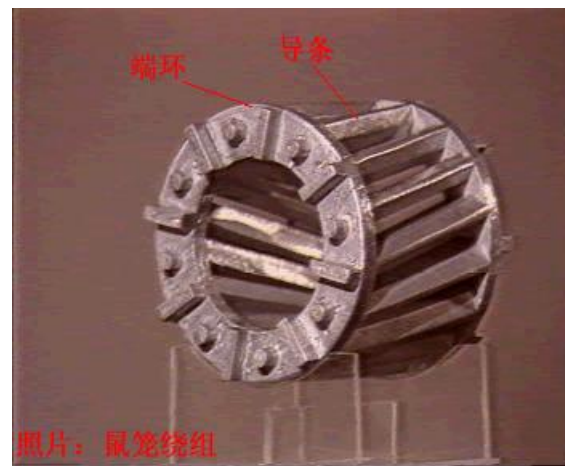
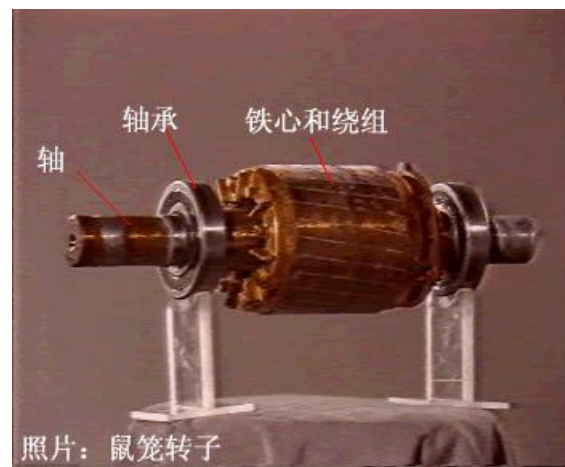
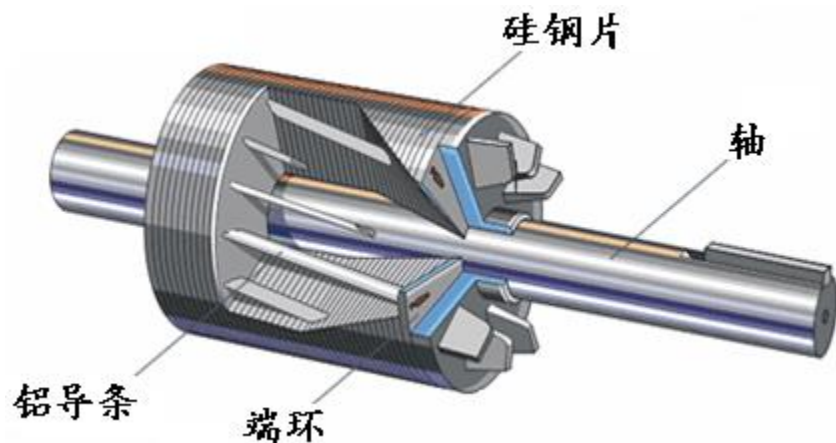
- 支撑转子铁心和输出、输入机械转矩。



# 异步电机结构

## ❖ 笼型绕组

- 在转子铁心均匀分布的每个槽内各放置一根导体，在铁心两端放置两个端环，分别把所有的导体伸出槽外部分与端环联接起来。这种笼型绕组一般为铝浇铸的，对中小型电机为减小损耗、提高效率，往往采用铜条焊接而成。

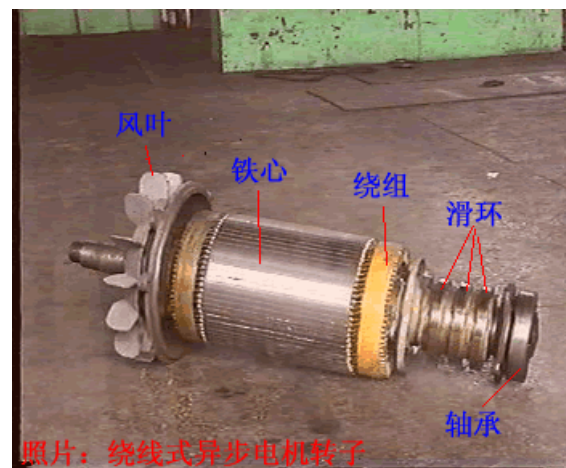
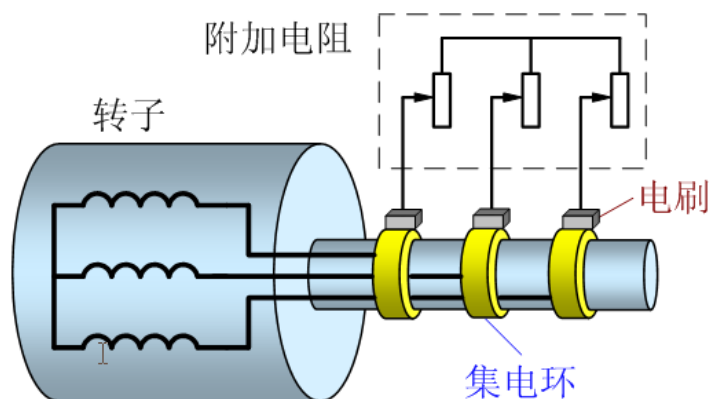




# 异步电机结构

## ❖ 绕线型绕组

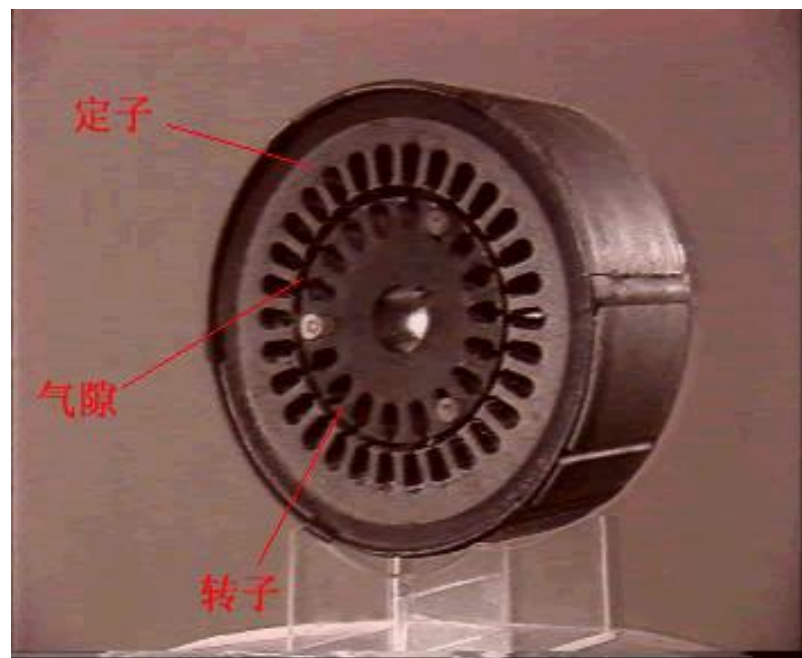
- 与定子绕组相似、极数相同的三相对称绕组。一般接成星形。将三相绕组的三个引出线分别接到转轴上三个滑环上，再通过电刷与外电路接通。绕线型转子的特点是通过滑环电刷在转子回路中接入附加电阻，以改善电动机的起动性能、调节其转速。



# 异步电机结构

## 3、气隙

- ❖ 定、转子之间的间隙，也是电机主磁路的组成部分。
- ❖ 气隙大小对异步电机的性能影响很大。
- ❖ 为了减小电机主磁路的磁阻，降低电机的励磁电流，提高电机的功率因数，气隙应尽可能小。异步电机气隙长度应为定、转子在运行中不发生机械摩擦所允许的最小值。
- ❖ 中、小型异步电机中，气隙长度一般为 $0.2 \sim 1.5\text{mm}$ 。





# 三相异步电动机的额定值

## ❖ 额定功率， $P_N$ (kW)

- 电动机额定运行时转轴输出的机械功率。

## ❖ 额定电压， $U_N$ (V, kV)

- 额定运行时电机定子绕组上的线电压。

## ❖ 额定电流， $I_N$ (A)

- 定子绕组上加额定电压、转轴输出额定功率时，定子绕组的线电流。

## ❖ 额定频率， $f_N$ (Hz)

- 我国规定标准工频为50Hz。

## ❖ 额定转速， $n_N$ (r/min)

- 定子绕组上加额定频率的额定电压、转轴输出额定功率时电动机的转速。

# 三相异步电动机的额定值

## ❖ 额定功率因数， $\cos\varphi_N$

- 额定运行时定子侧的功率因数。

## ❖ 额定效率， $\eta_N$

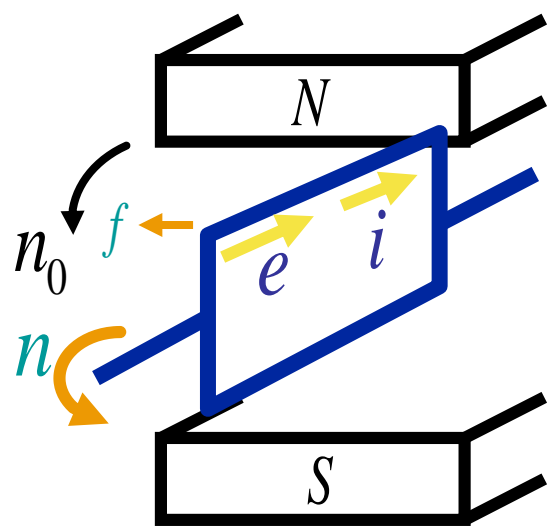
- 额定运行时输出机械功率（即 $P_N$ ）与定子侧输入的电功率（即额定输入功率 $P_{1N}$ ）的比值。

## ❖ 额定功率与额定电压、额定电流之间的关系

$$\begin{aligned}P_N &= P_{1N}\eta_N \\&= \sqrt{3}U_N I_N \cos\varphi_N \eta_N \\P_N &= T_{2N}\Omega_N = \frac{2\pi n_N}{60} T_{2N} \\T_{2N} &= 9550 \frac{P_N}{n_N}\end{aligned}$$



# 异步电动机运行原理



磁极  
旋转



导线切割磁力线  
产生感应电动势

$$e = B \cdot l \cdot v \quad \text{右手定则}$$

闭合导线产生电流  $i$

通电导线在磁场中受力

$$f = B \cdot l \cdot i \quad \text{左手定则}$$

线圈跟着磁铁转→两者转动方向一致  
线圈比磁场转得慢  $n < n_0$

# 异步电动机运行原理

电动机转速和旋转磁场转速的关系

电动机转速： $n$

电机转子转动方向与磁场旋转的方向一致，

但  $n < n_0$

如果  $n = n_0$

→ 转子与旋转磁场间没有相对运动

→ 无转子电动势（转子导体不切割磁力线）

→ 无转子电流 → 无转距

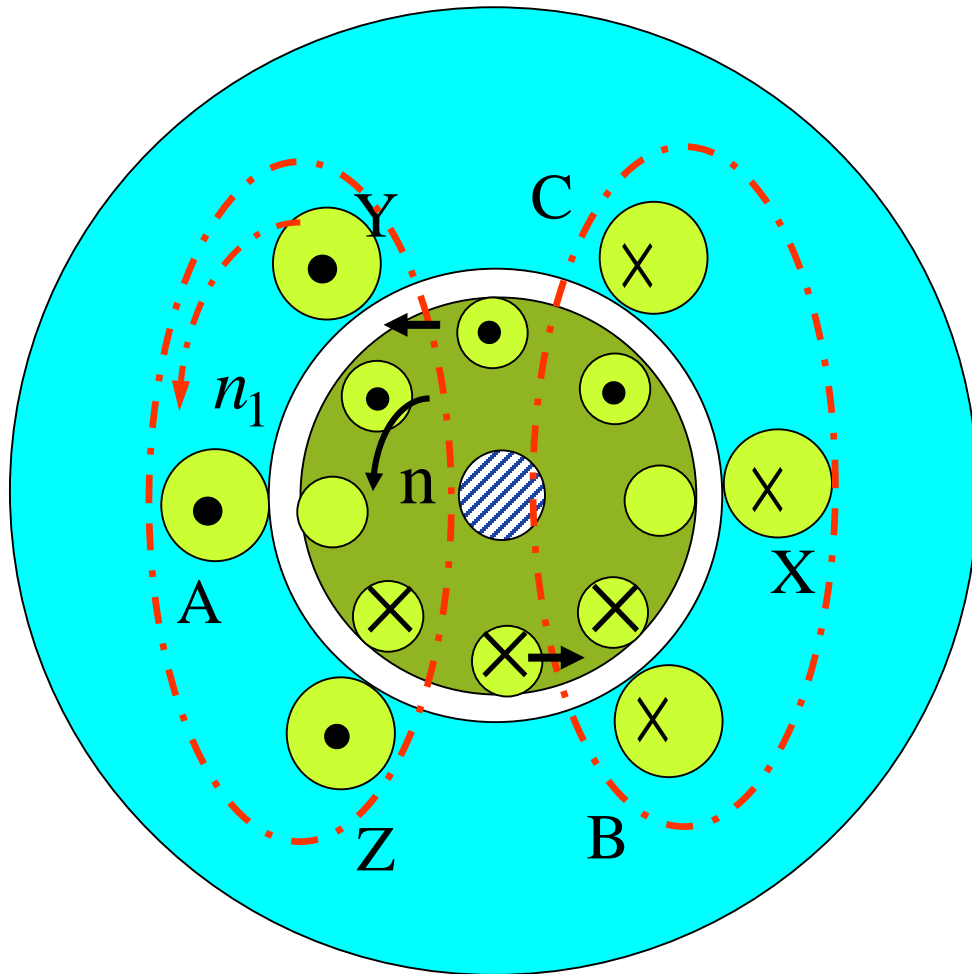


# 异步电动机运行原理

(1)电生磁：三相对称绕组通往三相对称电流产生圆形旋转磁场。

(2)磁生电：旋转磁场切割转子导体感应电动势和电流。

(3)电磁力：转子载流（有功分量电流）体在磁场作用下受电磁力作用，形成电磁转矩，驱动电动机旋转，将电能转化为机械能。

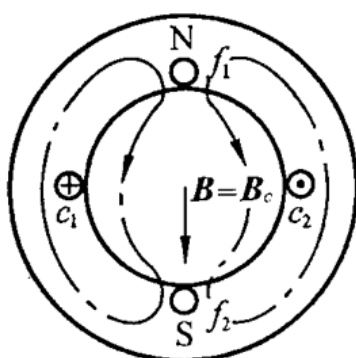
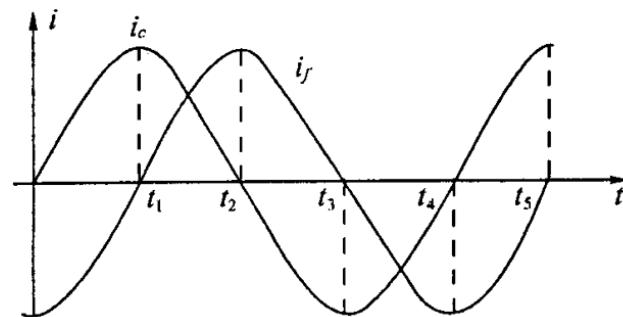


# 两相对称绕组的磁场

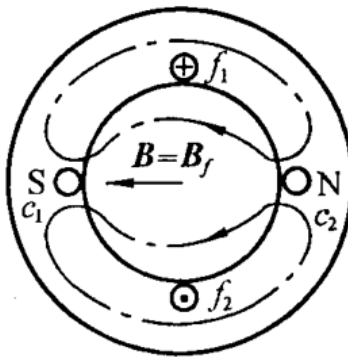
❖ 两相对称电流：幅值相等，相位相差 $90^\circ$ 。

$$i_c = I_m \sin \omega t$$

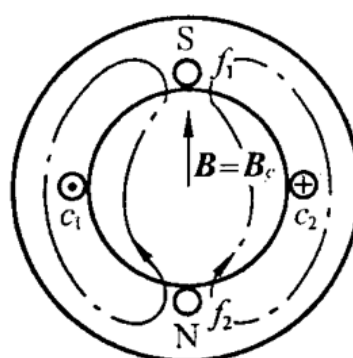
$$i_f = I_m \sin(\omega t - 90^\circ)$$



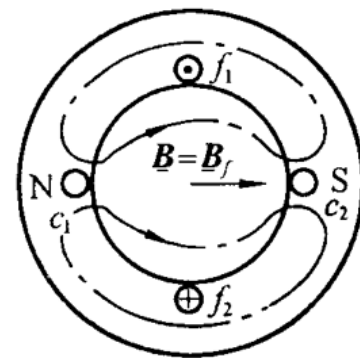
(a)  $t=t_1$



(b)  $t=t_2$



(c)  $t=t_3$



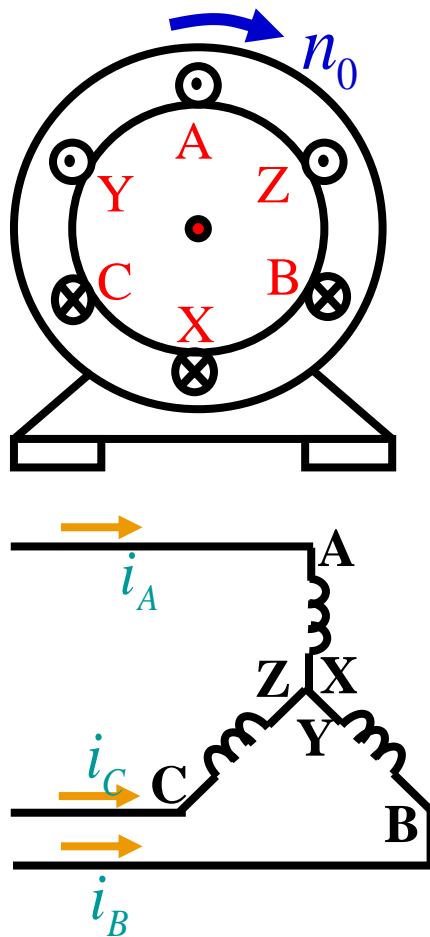
(d)  $t=t_4$

两相两极电动机，电流变化一个周期，磁场在空中旋转一周。  
一相电流反相，磁场反转。

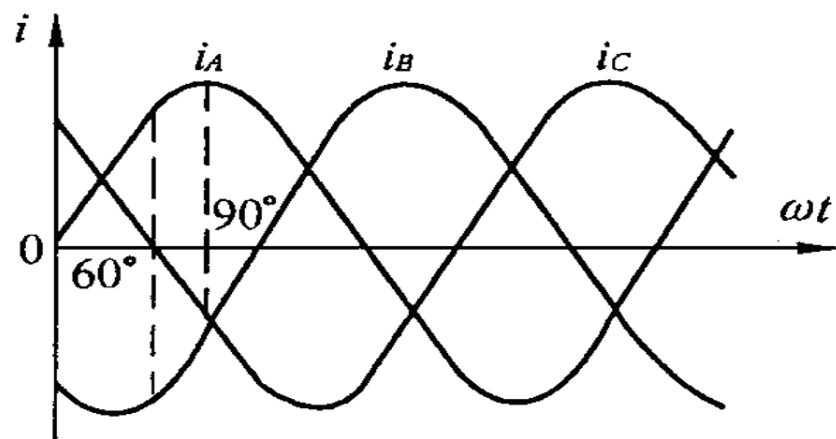


# 三相绕组的磁场

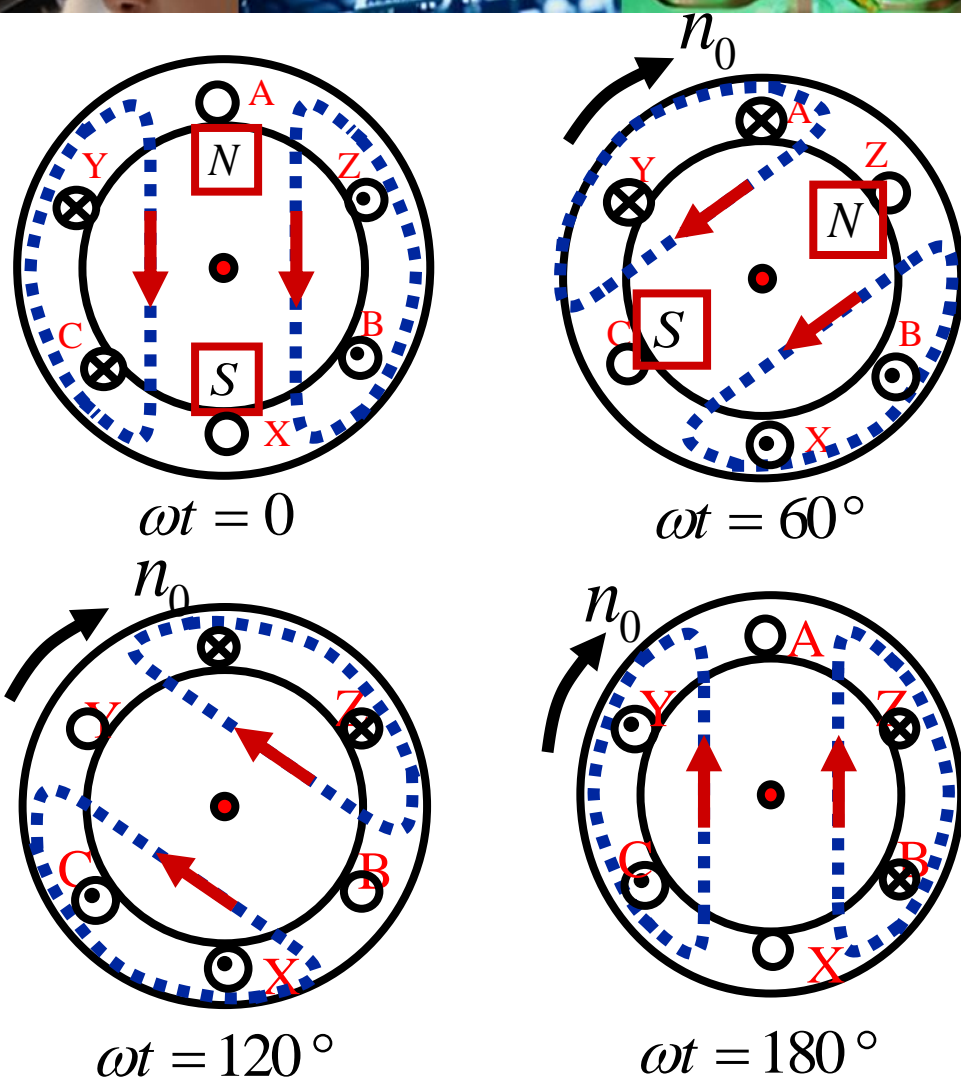
❖ 异步机中,旋转磁场代替了旋转磁极。



$$\begin{cases} i_A = I_m \sin \omega t \\ i_B = I_m \sin (\omega t - 120^\circ) \\ i_C = I_m \sin (\omega t - 240^\circ) \end{cases}$$



# 三相绕组的磁场

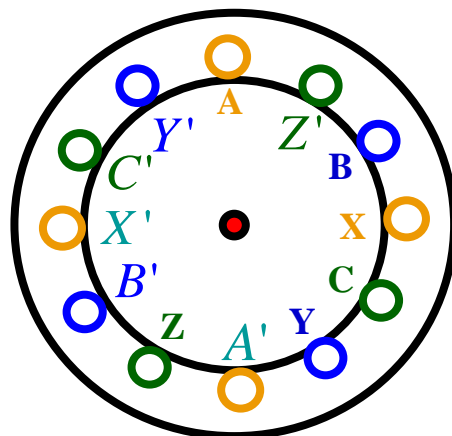
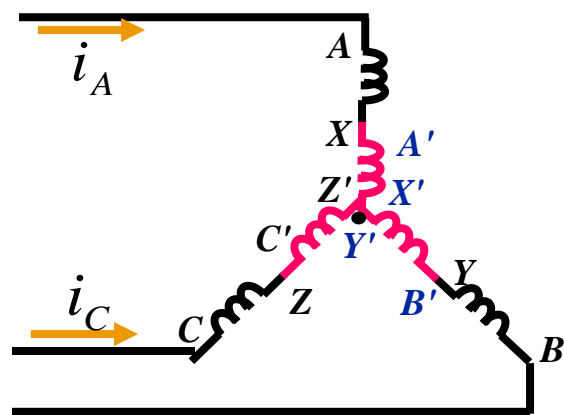


- ❖ **旋转方向**：取决于三相电流的相序。
- ❖ **改变电机的旋转方向**：换接其中两相
- ❖ 电流变化一周期，旋转磁场在空间转过 $360^\circ$ 。所以旋转磁场在每秒钟的转速，等于电流的频率，**由于同步转速（旋转磁场的速度）通常是指每分的转速**，因此转数为：

$$n_0 = 60f(\text{转/分})$$

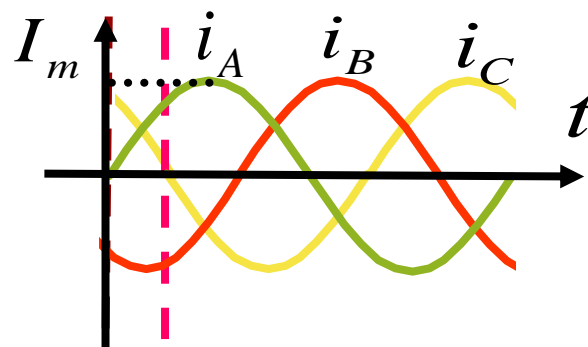
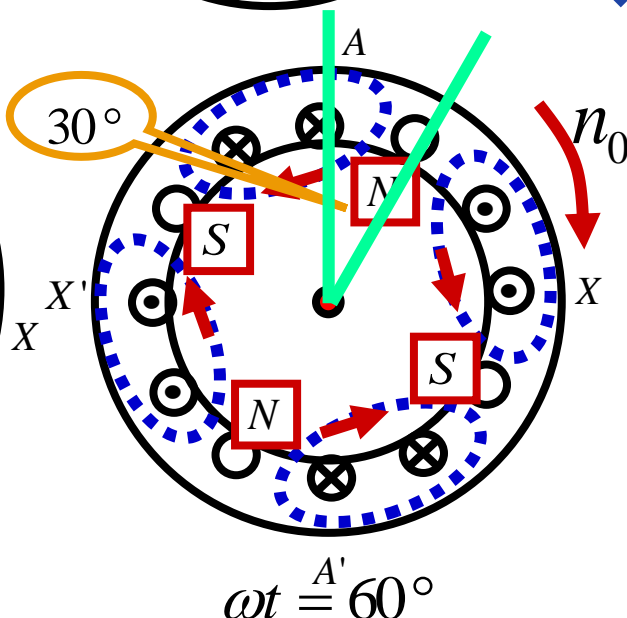
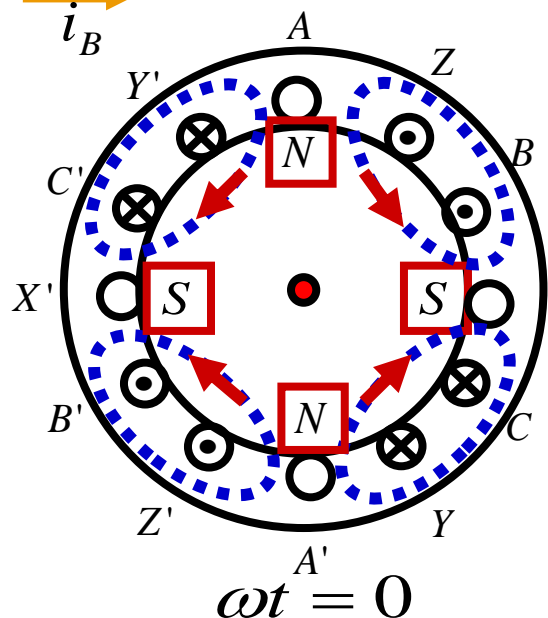


# 三相绕组的磁场



❖ 将每相绕组分成两段，按右下图放入定子槽内。形成的磁场则是两对磁极。

❖  $P=2$



# 三相绕组的磁场

## 三相异步电动机的同步转速

$$n_0 = \frac{60f}{p} \text{ (rpm)}$$

极对数	每个电流周期 磁场转过的空间角度	同步转速 $n_0$ ( $f = 50\text{Hz}$ )
-----	---------------------	-------------------------------------

$p = 1$	$360^\circ$	3000 (转/分)
---------	-------------	------------

$p = 2$	$180^\circ$	1500 (转/分)
---------	-------------	------------

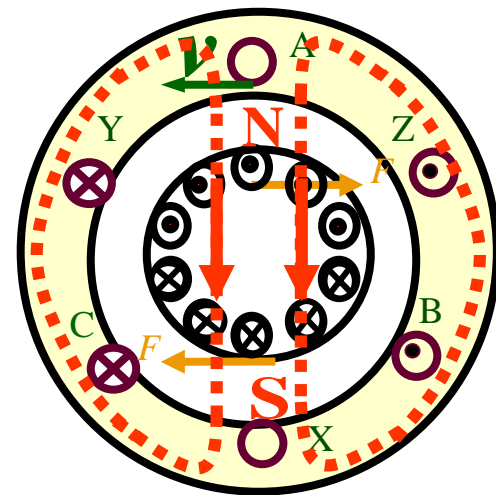
$p = 3$	$120^\circ$	1000 (转/分)
---------	-------------	------------



# 三相绕组的磁场

定子三相绕组通入三相交流电

→ 旋转磁场  $\left\{ \begin{array}{l} n_1 = \frac{60 f_1}{p} \text{ (转/分)} \\ \text{方向: 顺时针} \end{array} \right.$



→ 切割转子导体  $\xrightarrow[\text{右手定则}]{Blv}$  感应电动势  $E_{20}$

→  $\left\{ \begin{array}{l} \text{感应电流 } I_2 \\ \text{旋转磁场} \end{array} \right. \xrightarrow[\text{左手定则}]{Bli}$  电磁力  $F$

→ 电磁转矩  $T \longrightarrow$  转子转速  $n$

# 三相绕组的磁场

- ❖ 由前面分析可知，电动机转子转动方向与定子所产生的同步磁场旋转的方向一致，但转子转速 $n$ 不可能达到与旋转磁场的转速相等，即

$$n < n_1 \Rightarrow \text{异步电动机}$$

- ❖ 因此，转子转速与旋转磁场转速间必须要有差别。而异步电动机之所以被冠以“异步”二字，是因为其转子的转速 $n$ 永远也跟不上旋转磁场的转速 $n_1$ 。两者存在转速差。



# Thank You !

伊国兴

ygx@hit.edu.cn

