

第1章 直流电动机

❖ 概述

- ❖ 直流电动机的运行原理
- ❖ 直流电动机的工作特性

1.1节 概述

直流电机

- ❖ 调速范围宽广，调速特性平滑；过载能力较强，起动和制动转矩较大。由于存在换向器，其制造复杂，成本较高（无刷直流电机）。
- ❖ 作为拖动，用于轧钢机、无轨机车、龙门刨床等调速宽的地方。

直流电机的分类

—按能量转换

- 直流发电机 直流电动机

—电刷

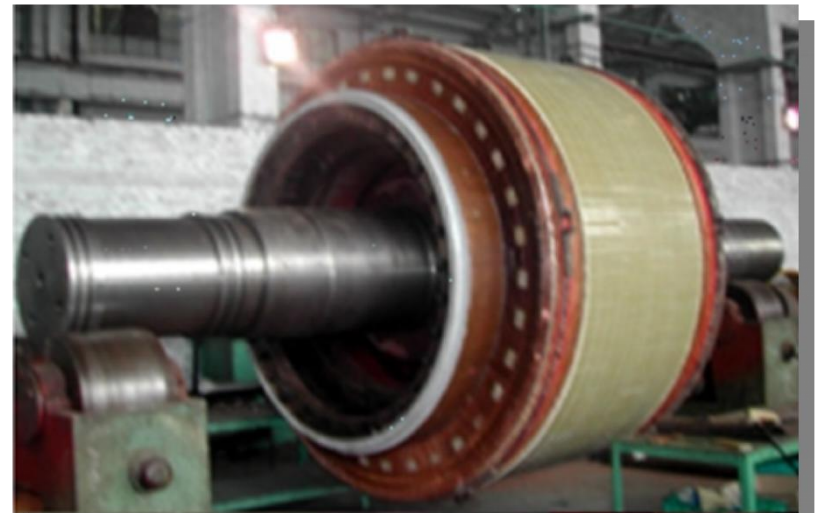
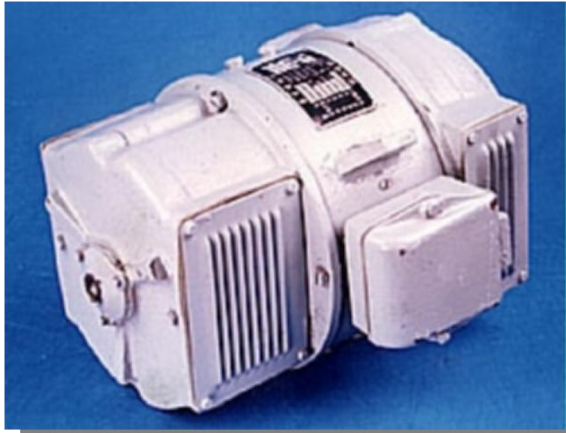
- 有刷直流电机
- 无刷直流电机（三相永磁同步电动机）

—应用领域

- 用于能量转换（电能——机械能）
- 信号转换（机械信号——电信号）

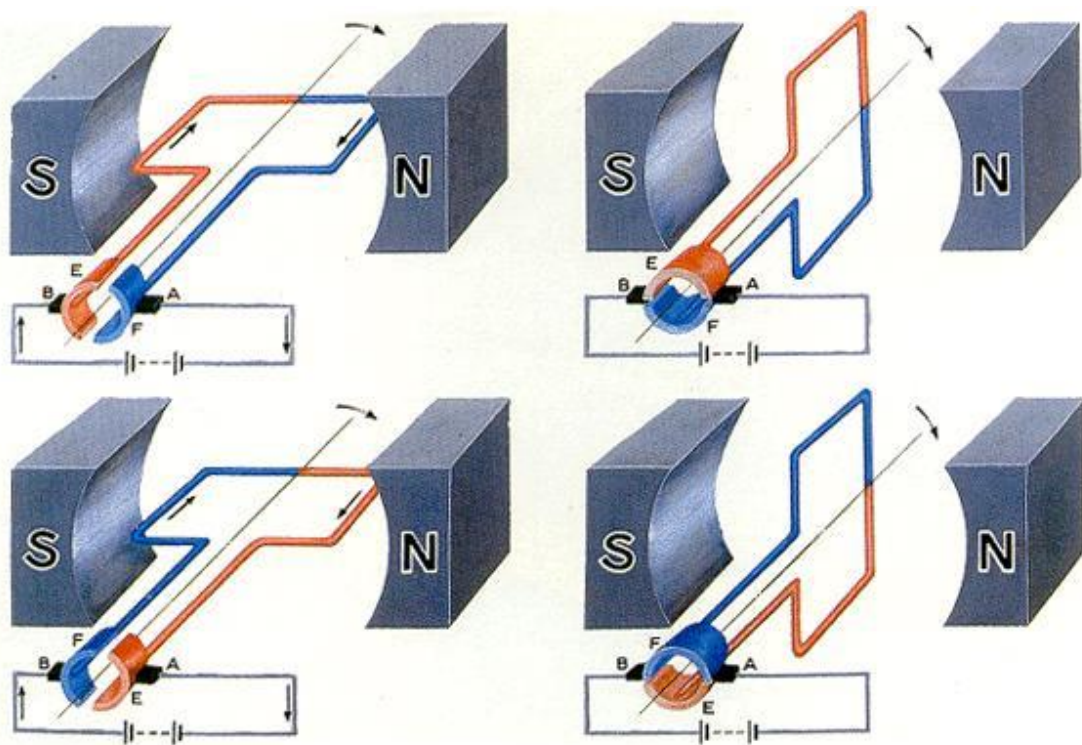
直流测速发电机：机械信号——直流电信号

直流伺服电动机：直流电信号——机械信号





直流电机的基本工作原理



换向器和电刷配合的结果

转矩形成的条件：同性磁极下电流相同，异性（相邻）磁极下电流相反。

转矩方向恒定的条件：每个磁极下导体的电流方向应保持不变。

直流电动机的基本结构

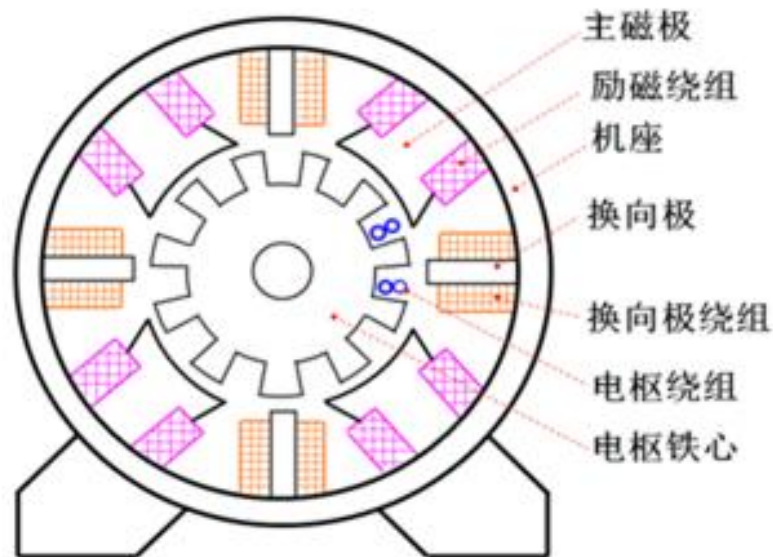
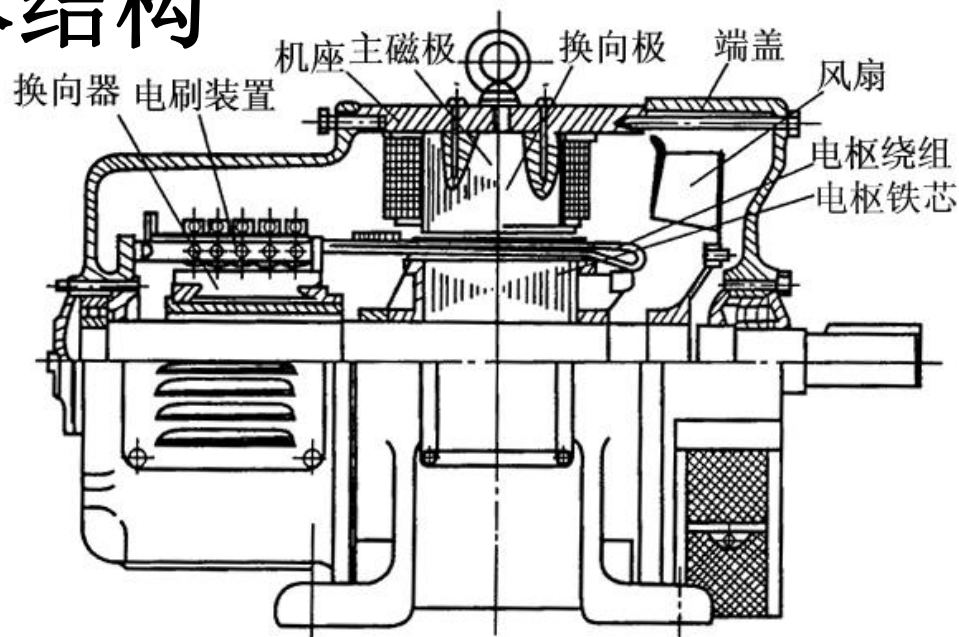
定子

主磁极
换向磁极
电刷装置
机座
端盖

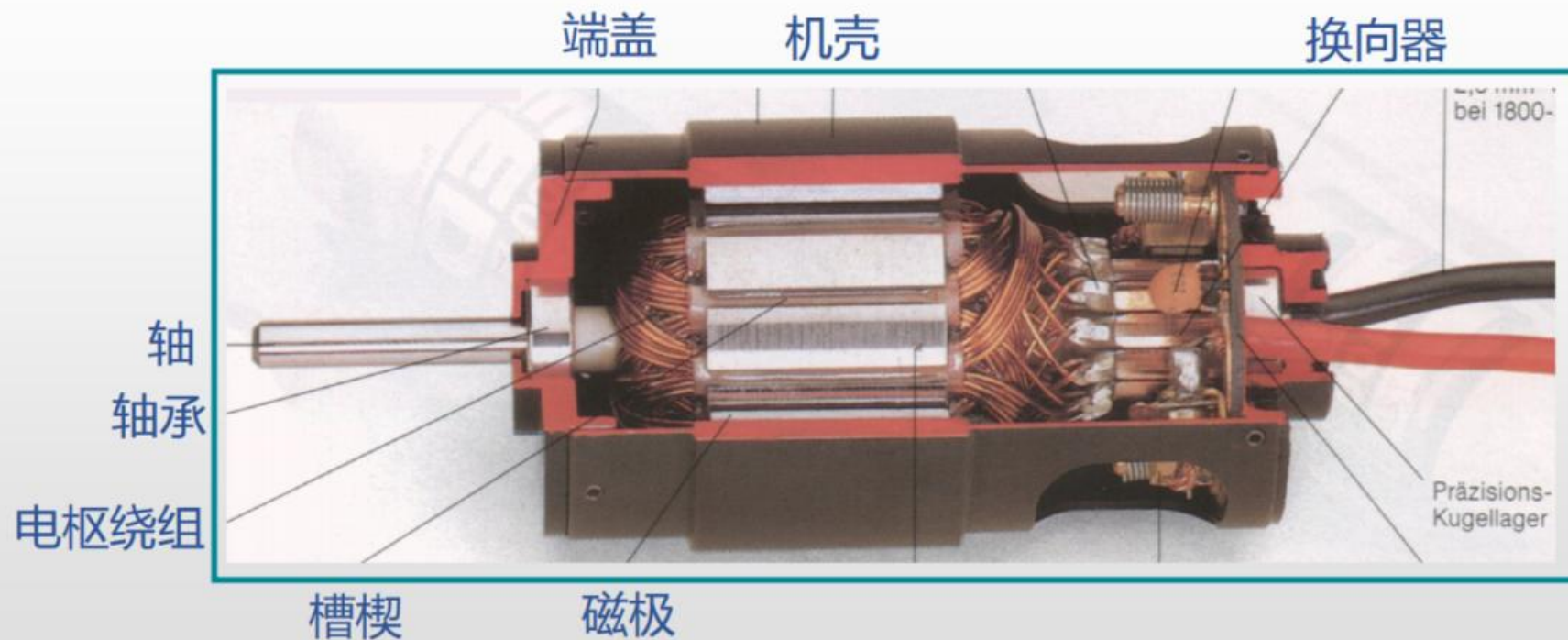
气隙

转子

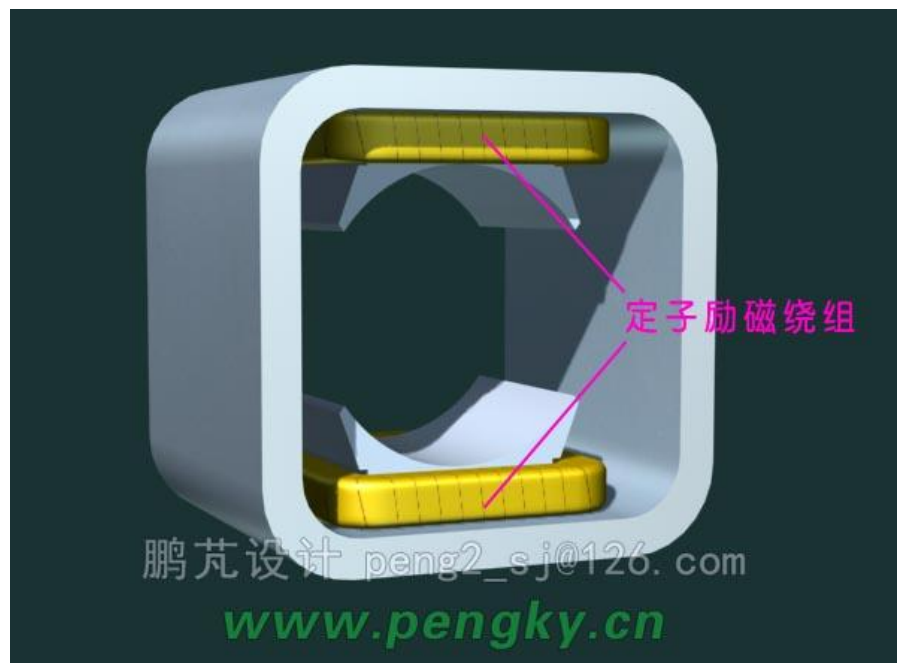
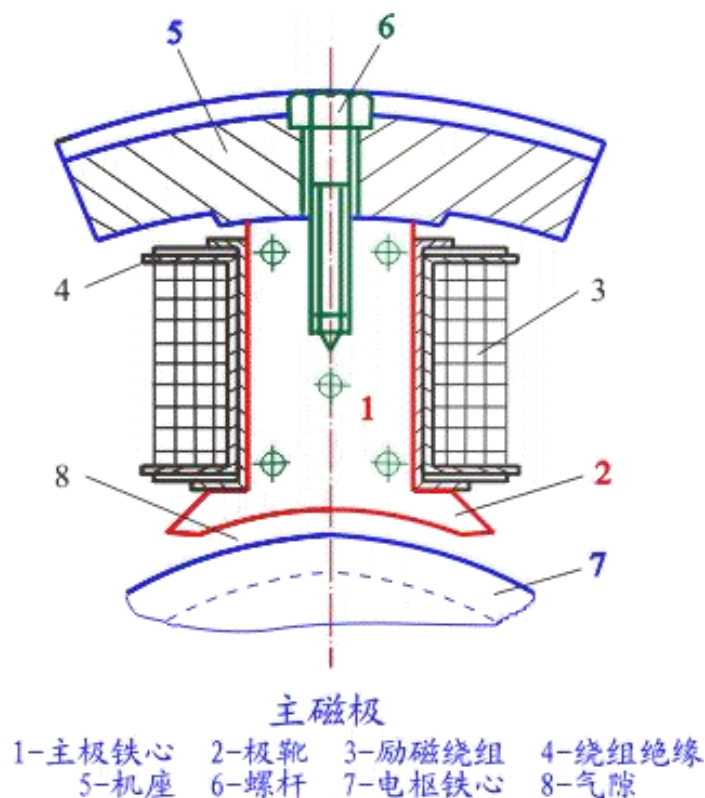
电枢铁心
电枢绕组
换向器
转轴
轴承



直流电动机的基本结构

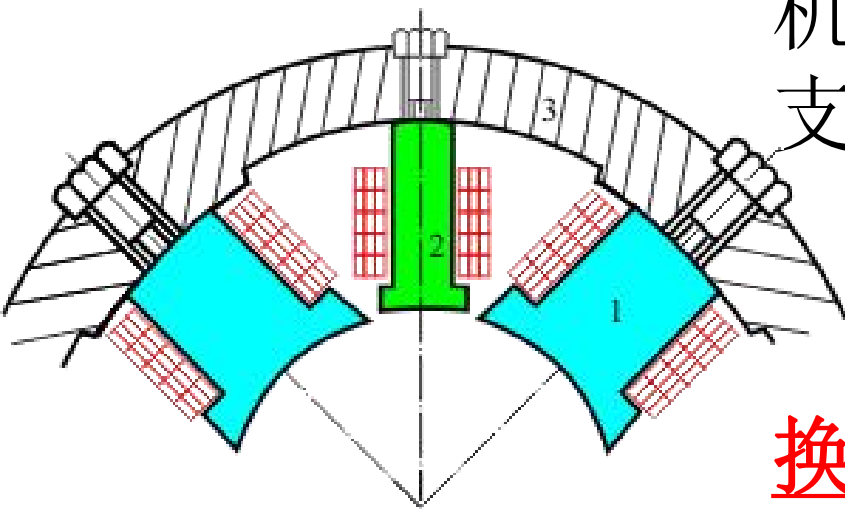


主磁极建立主磁场，铁心采用低碳钢板冲压叠装固定而成。个数为偶数，励磁绕组的连接使相邻主磁极的极性按 N，S 极交替出现。



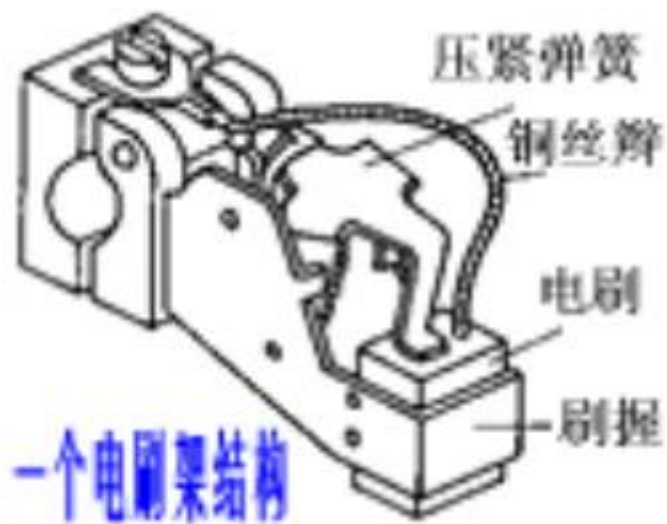


机座作为主磁极的一部分以及电机的结构框架。机座中作为磁通通路的部分称为**磁轭**。机座两端装有**端盖**，通过轴承支撑转子，将定转子连为一体。

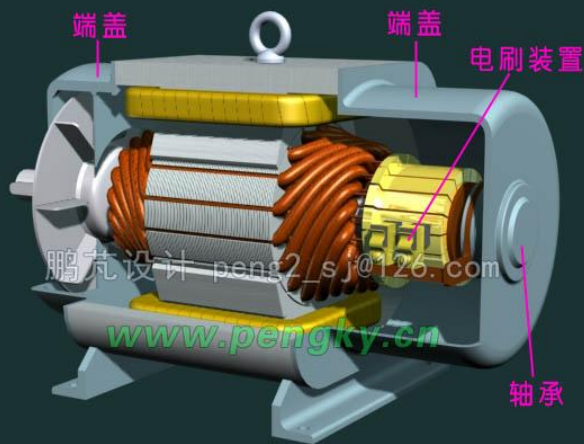


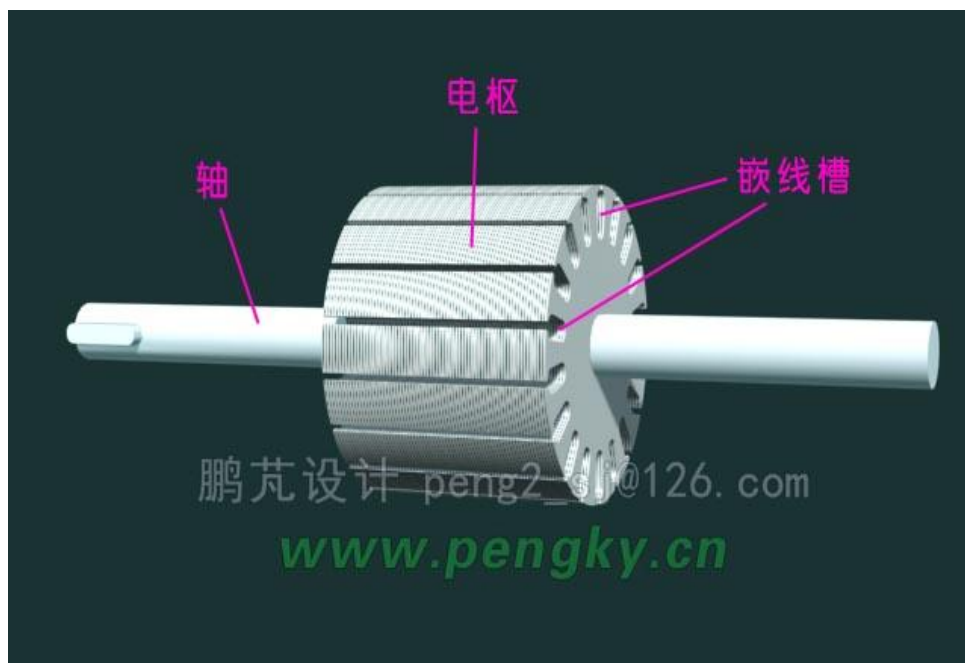
电机中的主极和换向极
1-主极 2-换向极 3-磁轭

换向极改善电机的换向时产生的火花。个数一般与主磁极的极数相等。绕组一般和电枢绕组串联。

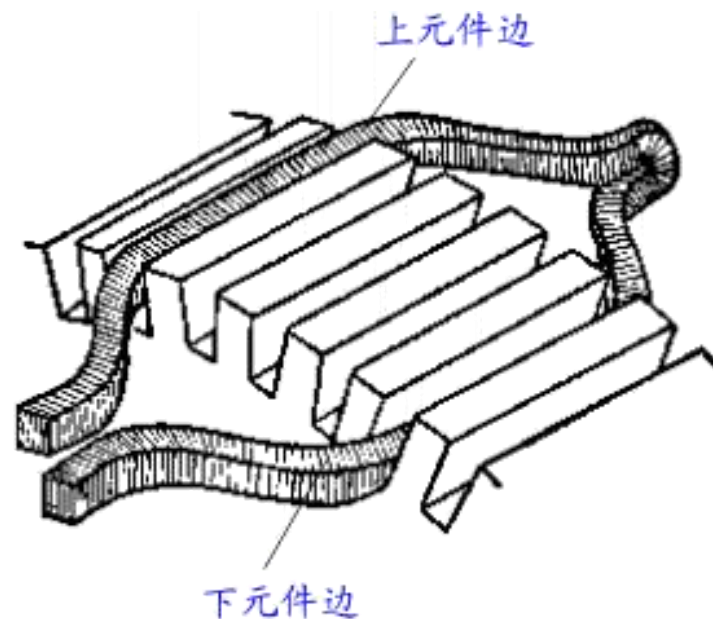
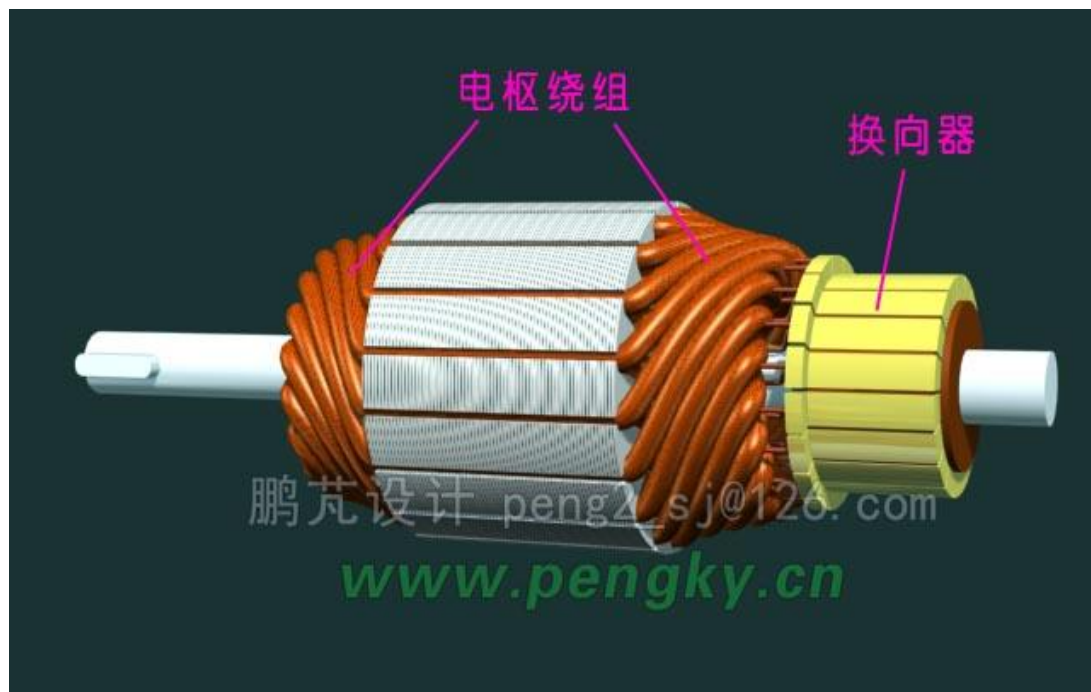


电刷装置是电枢电路的引出（或引入）装置。以一定的压力按放在换向器的表面，旋转时与换向器表面形成滑动接触。





电枢铁心是主磁路的组成部分，电枢绕组嵌放在电枢铁心槽内。为减少电枢铁心内的涡流损耗，铁心一般用厚0.5mm且冲有齿、槽硅钢片叠压夹紧而成。



电枢绕组元件在槽内的放置

电枢绕组由一定数目的电枢线圈（绕组元件）按一定的规律连接组成，每个元件两个有效边分别嵌放在电枢铁芯表面的槽内，元件的两个出线端分别与两个换向片相连。**电枢绕组的作用是产生感应电势和电磁转矩，是实现机电能量转换的枢纽。**

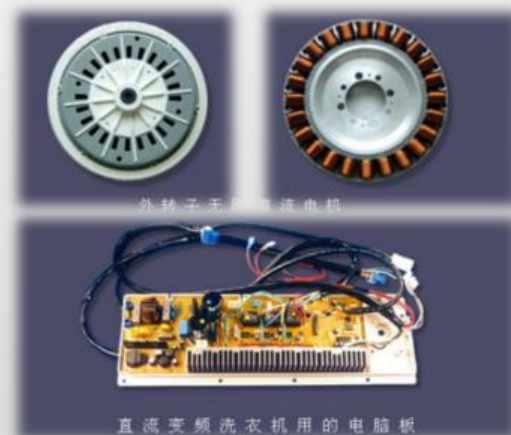


换向器由许多相互绝缘的换向片组成，作用是将电枢绕组中的交流电整流成刷间的直流电（发电机），或将刷间的直流电逆变成电枢绕组中的交流电（电动机）。

无刷直流电机（Brushless,补充）

近年来发展起来的融合多学科技术的一种新型电机，是典型的机电一体化产品。

BLDC电机广泛应用于航空航天、军事、医疗器械、仪器仪表、过程控制、机车工业、纺织工业以及家用电器等领域。



无刷直流电机 (Brushless, 补充)

永磁电机

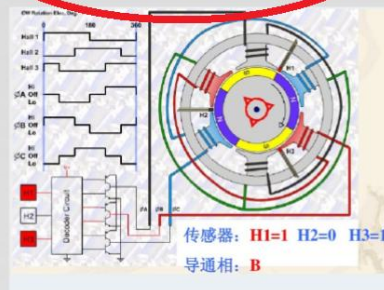
有刷



无刷

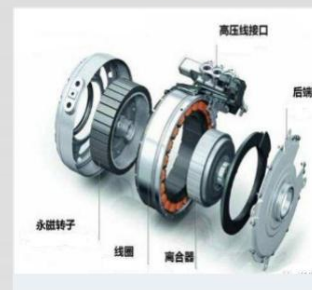
DC

无刷直流



AC

永磁同步



无刷直流电机（Brushless,补充）

有刷的问题：

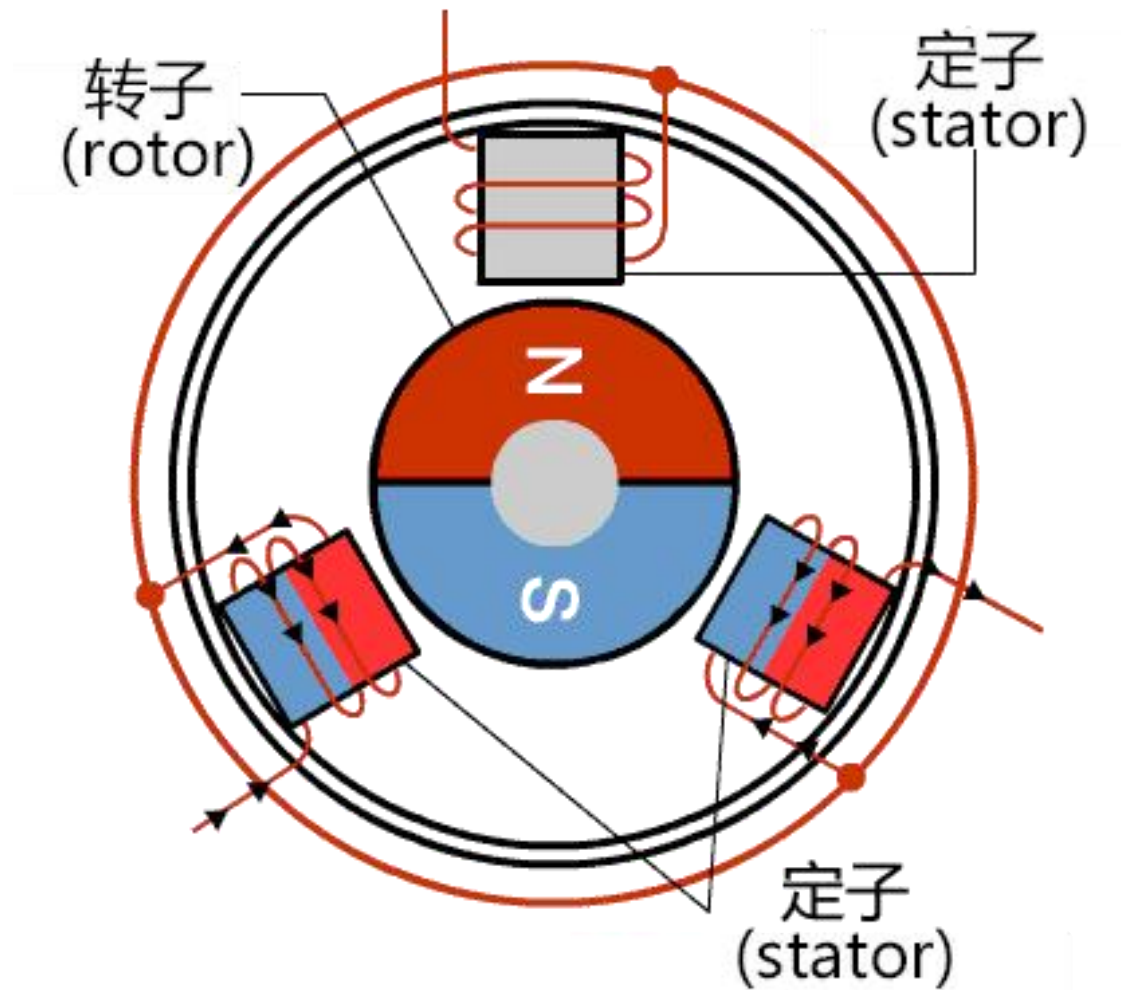
- 1、机械换向产生的火花引起换向器和电刷摩擦、电磁干扰、噪声大、寿命短。
- 2、结构复杂、可靠性差、故障多，需要经常维护。
- 3、由于换向器存在，限制了转子惯量的进一步下降，影响了动态性能。

无刷直流电机（Brushless,补充）

无刷的思路：

- 由电动机主体和驱动器组成
- 由永磁体转子、多极绕组定子、位置传感器等组成。
- 位置传感按转子位置的变化，沿着一定次序对定子绕组的电流进行换流（即检测转子磁极相对定子绕组的位置，并在确定的位置处产生位置传感信号，经信号转换电路处理后去控制功率开关电路，按一定的逻辑关系进行绕组电流切换）。定子绕组的工作电压由位置传感器输出控制的电子开关电路提供。

无刷直流电机 (Brushless, 补充)



4. 直流电机额定值

额定值（铭牌值）：根据设计数据和试验数据确定的正常运行时各项参数，电机在额定运行时总体上会处于额定状态。额定值包括额定功率、额定电压、额定电流、额定转速、额定励磁电压等。

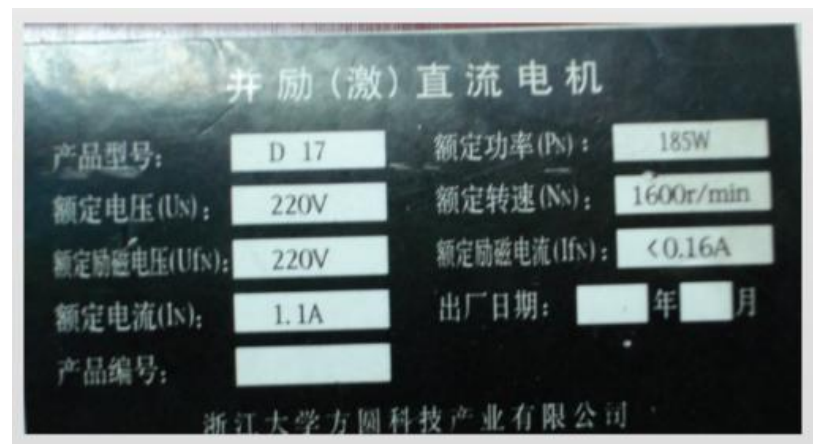
额定状态下电机的输出功率

发电机： $P_N = U_N I_N$ （电功率）

电动机： $P_N = U_N I_N \eta_N$ （机械功率）

- ❖ 额定功率 P_N （W，kW）
- ❖ 额定电压 U_N （V，kV）
- ❖ 额定电流 I_N （A，kA）
- ❖ 额定转速 n_N （r/min）
- ❖ 额定励磁电压 U_{fN} （V，kV）

4. 直流电机额定值



4. 直流电机额定值

实际运行时，电机不一定运行于额定状态

$$I < I_N$$

欠载（轻载），

电机的设备容量不能充分利用对设备及能源都是一种浪费，降低了电机的效率

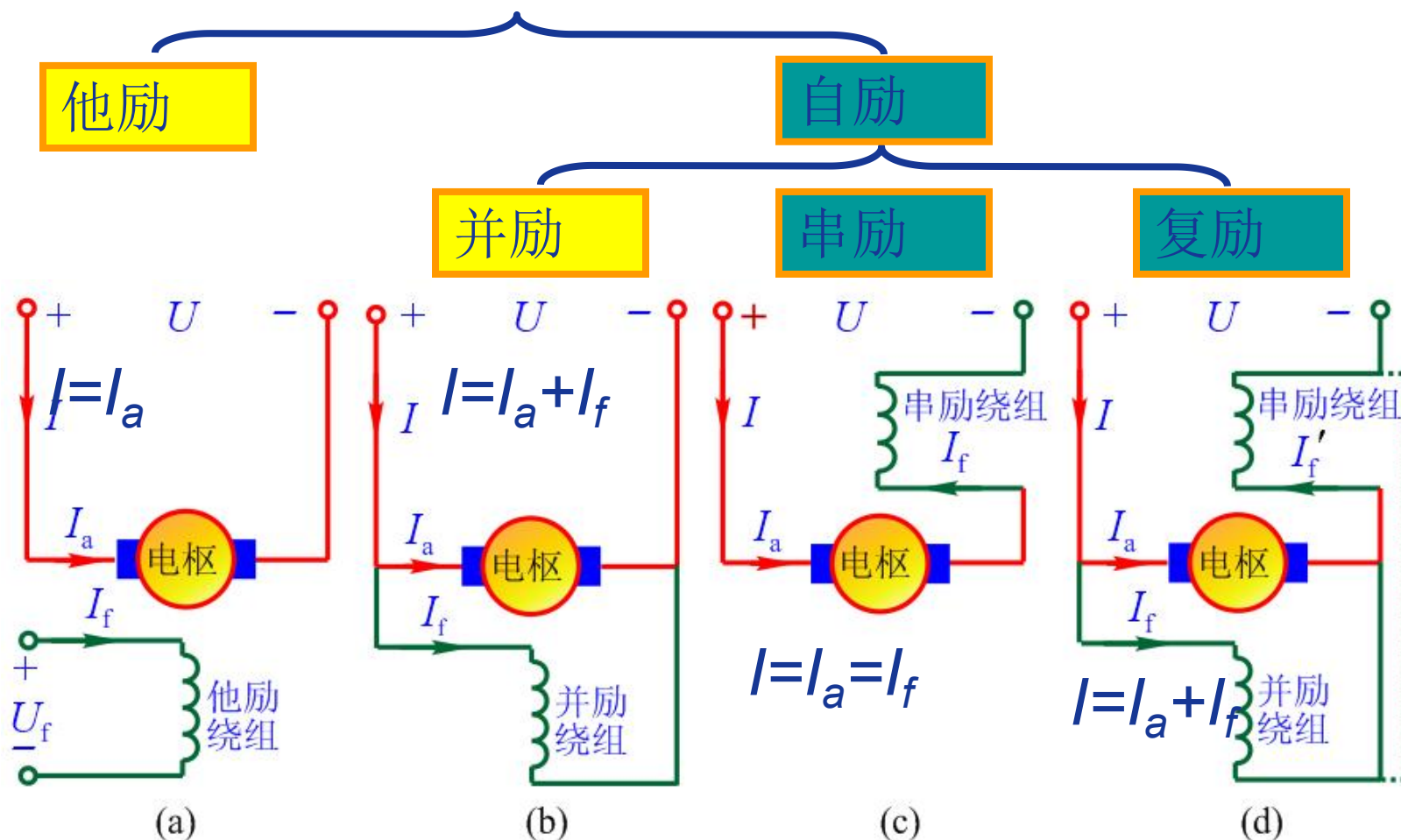
$$I = I_N$$

满载，长期运行，充分利用

$$I > I_N$$

过载（超载），电机过热，降低电机寿命，甚至损坏电机

5 直流电动机的励磁方式



直流电动机各种励磁方式的接线图

(a) 他励 (b) 并励 (c) 串励 (d) 复励