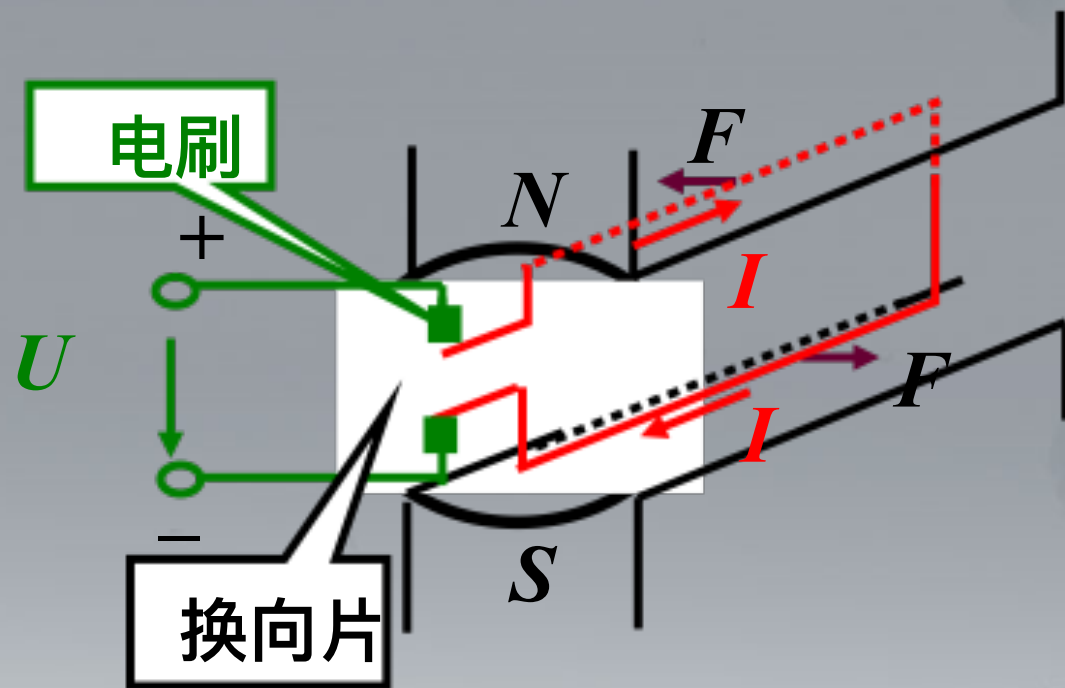


直流电机的工作原理

直流电机的可逆原理

在直流电机的电刷上加直流电源，将电能转换成机械能，是作为电动机运行；若用原动机拖动直流电机的电枢旋转，将机械能变换成电能，从电刷引出直流电动势，则作为发电机运行。同一台电机，既可作电动机运行又可作发电机运行的原理，在电机理论中称为可逆原理。

直流电动机的工作原理



直流电源

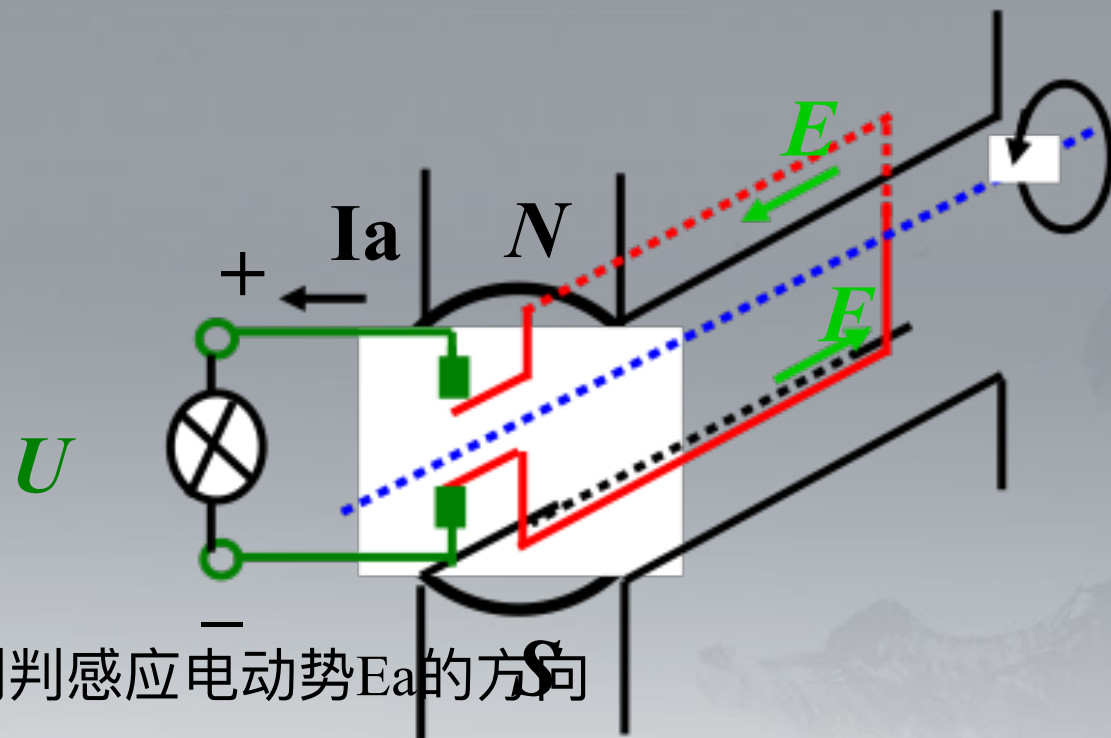
电刷

换向器

线圈

• 换向片和电源固定联接，线圈无论怎样转动，总是上半边的电流向里，下半边的电流向外。电刷压在换向片上

直流发电机的工作原理



- 用右手定则判感应电动势 E_a 的方向

直流电机的结构与分类

- 直流的结构

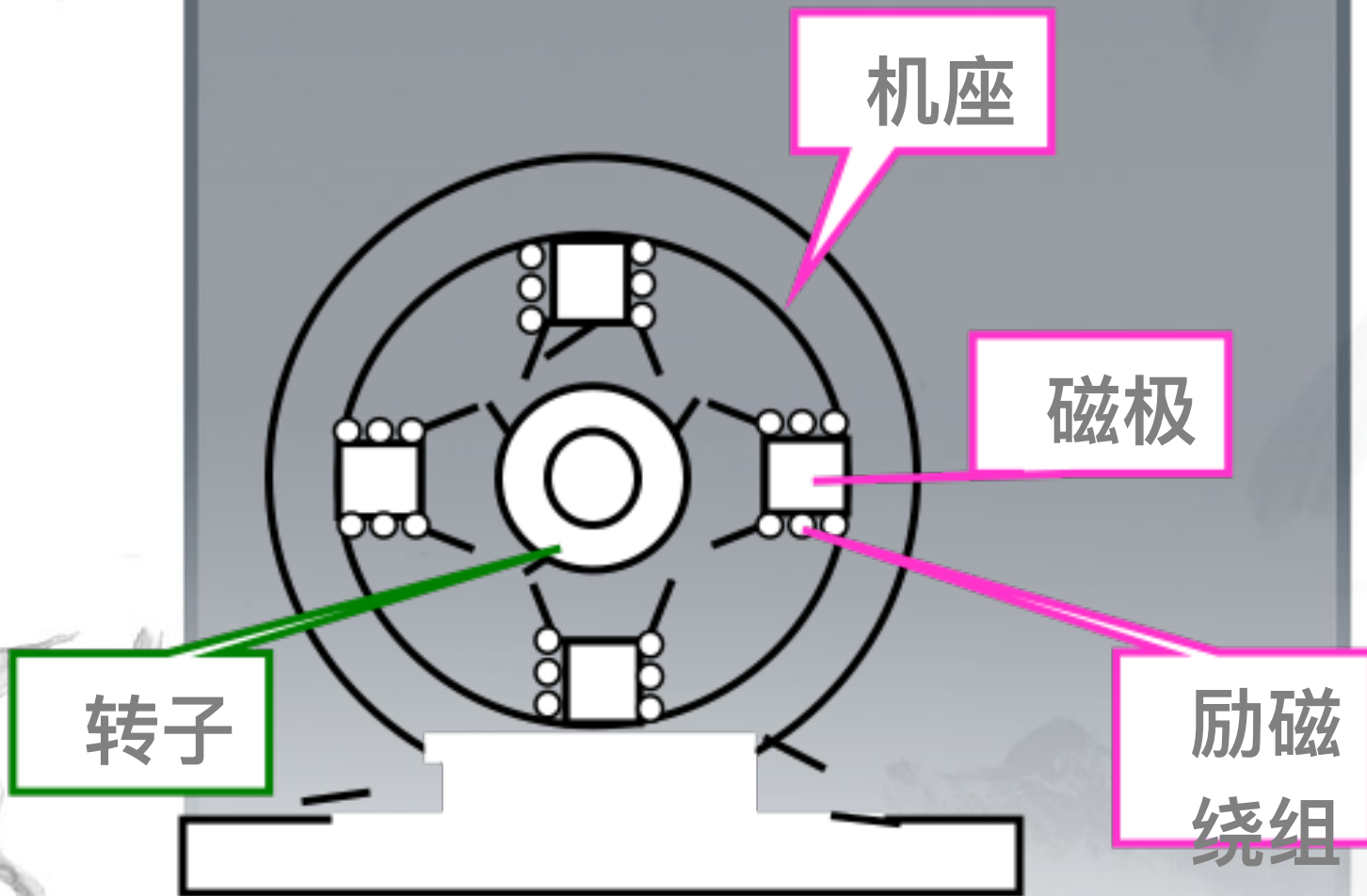
- 定子 产生磁场和作电机的机械支撑，它包括主磁极、换向极、机座、端盖、轴承、电刷装置等。
- 转子又称电枢，用来产生感应电动势实现能量转换。包括电枢铁心和电枢绕组、换向器、转轴、风扇等。

- 直流电动机的分类

按它励磁绕组在电路中联接方式（即励磁方式）可分为他励、并励、串励和复励四种。

- 他励电动机——励磁绕组和电枢绕组分别由不同的直流电源供电。
- 并励电动机——励磁绕组和电枢绕组并联，由同一直流电源供电。
- 串励电动机——励磁绕组和电枢绕组串联后接于直流电源。
- 复励电动机——有并励和串励两个绕组，它们分别与电枢绕组并联和串联。

直流电机的结构



直流电机的铭牌数据

凡表征电机额定运行情况的各种数据，称为额定值。额定值一般都标注在电机的铭牌上，所以也称为铭牌数据，它是正确合理使用电机的依据。

- 额定电压 U_N (V) 在额定情况下，电刷两端输出（发电机）或输入（电动机）的电压。
- 额定电流 I_N (A) 在额定情况下，允许电机长期流出或流入的电流。
- 额定功率（额定容量） P_N (kW) 电机在额定情况下允许输出的功率。
- 额定转速 n_N (r / min) 在额定功率、额定电压、额定电流时电机的转速。
- 额定效率 η_N 输出功率与输入功率之比，称为电机的额定效率

直流电机的电枢电势和电磁转距

• 感应电势

电枢通入电流后，产生电磁转矩，使电机在磁场中转动起来。通电线圈在磁场中转动，又会在线圈中产生感应电动势（用 E 表示）。根据右手定则知， E 和原通入的电流方向相反，其大小为：

$$E = c_e \phi n$$

c_e ：与电机结构有关的常数

ϕ ：磁通

n ：电动机转速

• 电磁转矩

$$T = c_T \Phi I_a$$

c_T ：与线圈的结构有关的常数

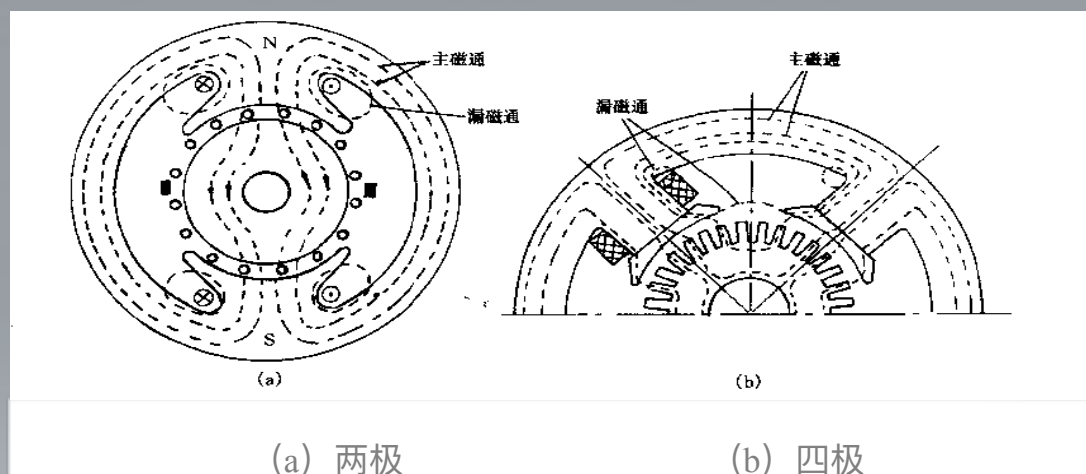
（与线圈大小，磁极的对数等有关）

Φ ：线圈所处位置的磁通

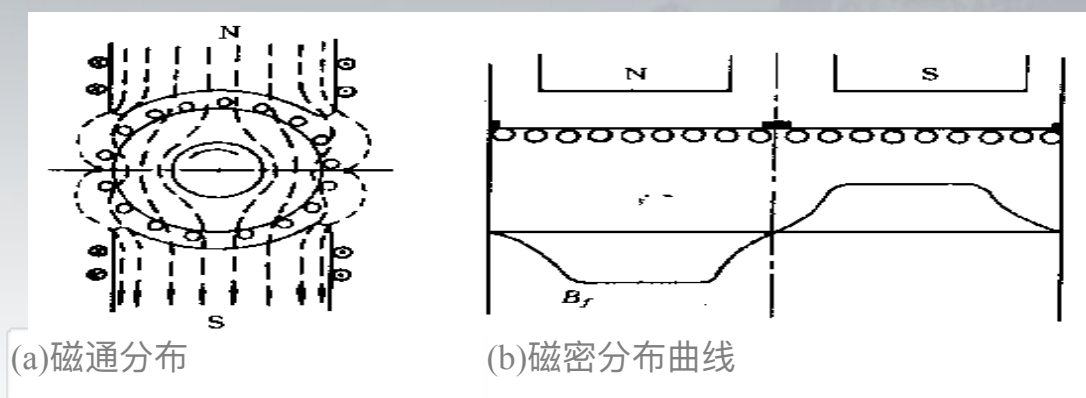
I_a ：电枢绕组中的电流

直流电机的空载磁场

- 直流电机的磁路

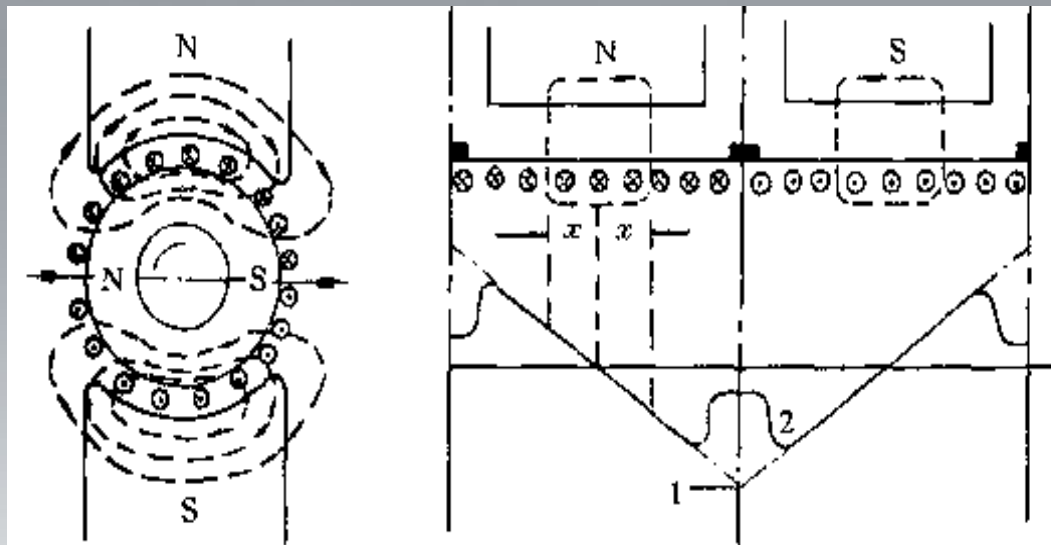


- 直流电机的空载磁场



直流电机负载时的磁场

电机负载运行时，电枢绕组中有电流流过，它将产生一个电枢磁势。电机的气隙磁场是由主极磁势和电枢磁势共同建立的。



(a) 电枢磁场 (b) 电枢磁动势和磁场的分布

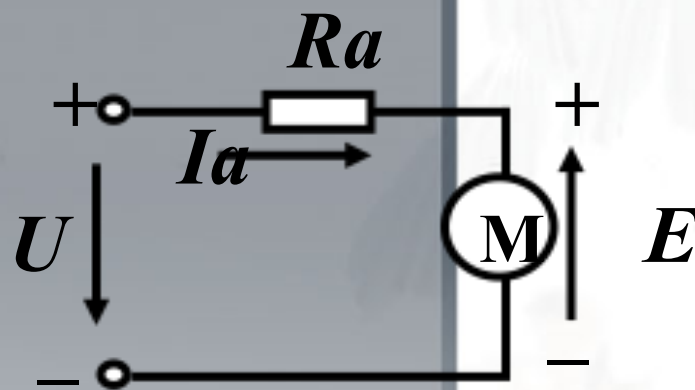
直流电动机电压平衡方程式

- 因为 E 与通入的电流方向相反，所以叫反电势。

$$U = E + I_a R_a$$

U : 外加电压

R_a : 绕组电阻



以上公式反映的概念：

- (1) 电枢反电动势的大小和磁通、转速成正比，若想改变 E ，只能改变 Φ 或 n 。
- (2) 若忽略绕组中的电阻 R_a ，则可见，当外加电压一定时，电机转速和磁通成反比，通过改变 Φ 可调速。

转距平衡方程式

电磁转矩 T 为驱动转矩，在电机运行时，必须和外
加负载和空载损耗的阻转矩相平衡，即

$$T = T_L + T_0$$

T_L ： 负载转矩

T_0 ： 空载转矩

转矩平衡过程：当负载转矩（ T_L ）发生变化时，通过电机转速、电动势、电枢电流的变化，电磁转矩自动调整，以实现新的平衡。

$$n = \frac{U - I_a(R_a + R_c)}{C_e \Phi}$$

励磁回路的电动势方程为

$$U = I_f(r_f + r_\Omega) = I_f R_f$$

当 $T=T_L$ 时，电机稳态运行。

并励直流电机从电源输入的电功率为

$$\begin{aligned} P_1 &= UI = U (I_a + I_f) = \\ &[E_a + I_a (R_a + R_c)] I_a + U I_f = \\ &E_a I_a + I_a^2 (R_a + R_c) + U I_f = \\ &P_M + p_{CUa} + p_{CUf} \end{aligned}$$

$$P_M = E_a I_a = T \Omega = (T_2 + T_0) \Omega = P_2 + p_0$$

$$p_0 = p_{Fe} + p_m + p_{ad}$$

