

直流电机的磁场

直流电机的励磁方式是指励磁绕组获得励磁电流的方式。除永磁式微直流电机外，直流电机的磁场都是通过励磁绕组通入电流激励而建立的。

按励磁方式不同可分为四种：他励、并励、串励和复励。

Ö Á ð ø ú Ã ø Å Æ ½

Ë Æ Æ ½

× Æ Æ ½

1. ' Æ Æ ½
2. ² Æ Æ ½
3. , Æ Æ ½

» ý Æ ø

² î Æ ø

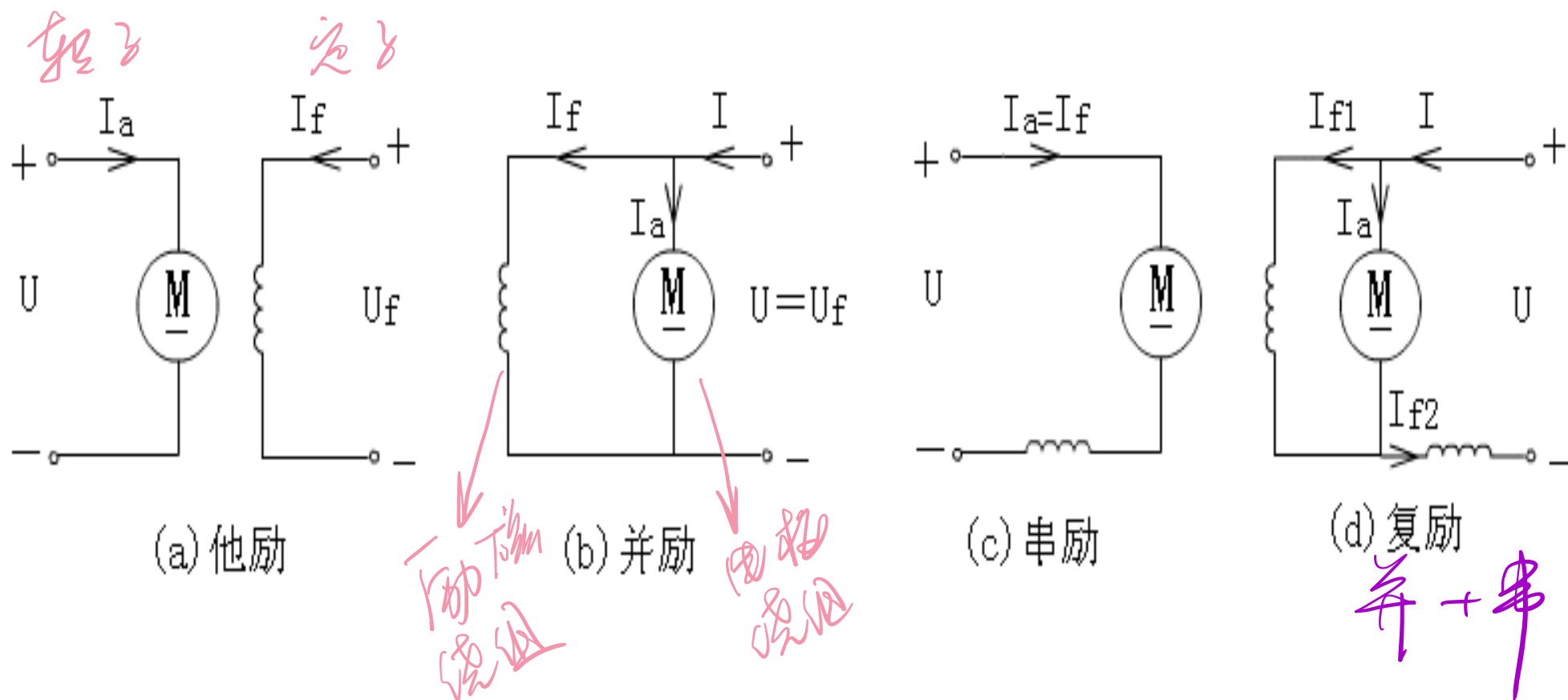
(一) 他励直流电机

励磁电流由其他直流电源单独供给，励磁绕组和电枢绕组相互独立。

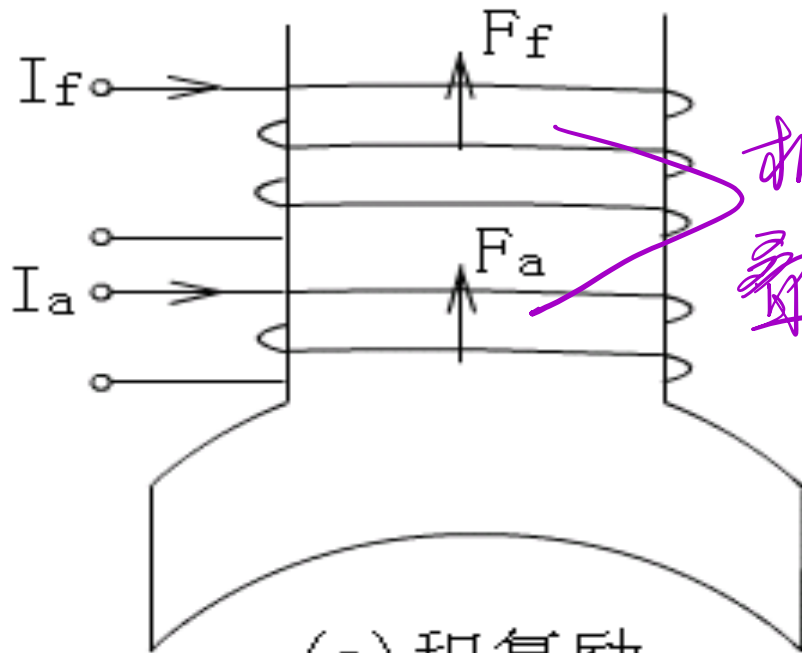
(二) 自励直流电机

顾名思义，励磁电流由电机自身供给。而根据自励方式即电枢绕组和励磁绕组的连接方式的不同，自励式又分为串励式、并励式和复励式：

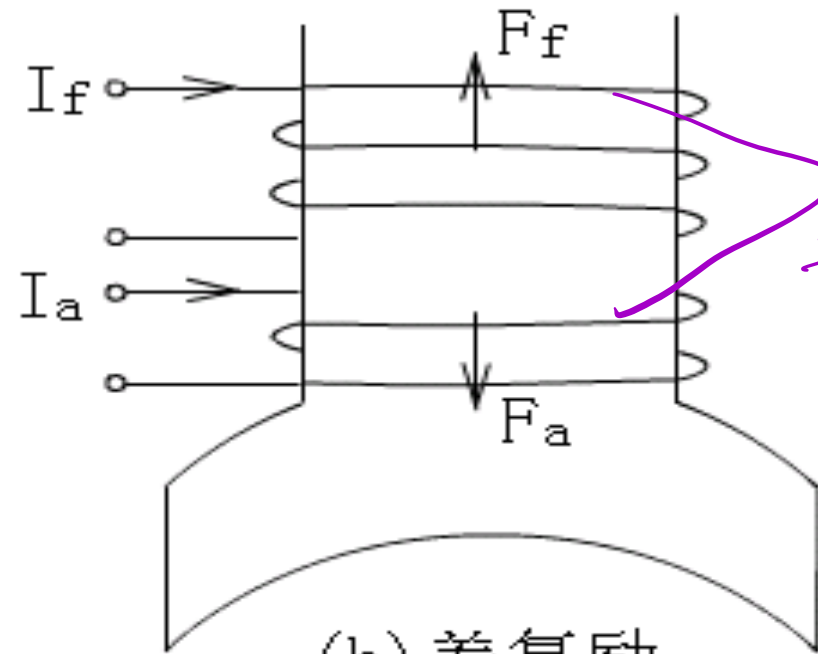
直流电机的励磁方式



直流电机的励磁方式



(a) 积复励



(b) 差复励

1) 串励式：电枢绕组和励磁绕组相串联，满足：

$$I = I_a = I_f$$

2) 并励式：电枢绕组和励磁绕组相并联，满足：

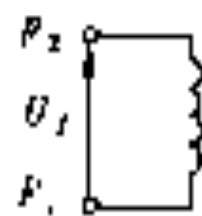
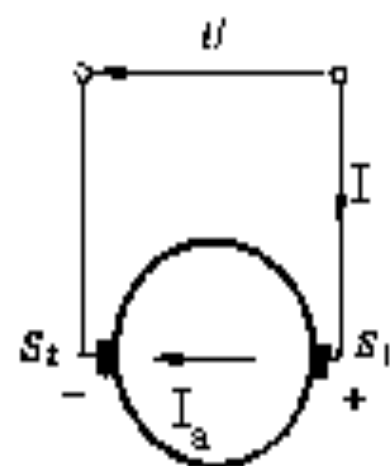
$$I = I_a + I_f$$

$$U_f = U_a$$

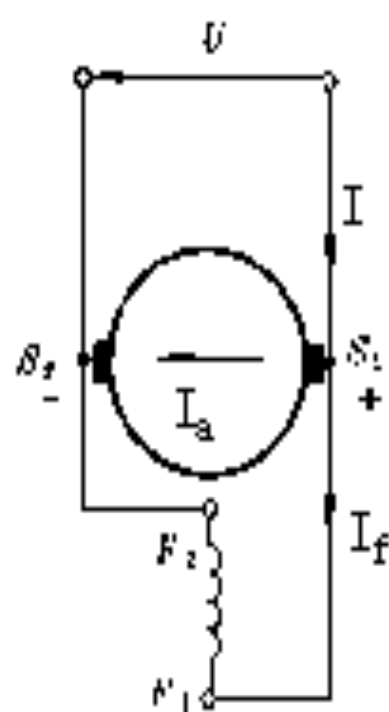
3) **复励式**：在整个励磁回路中，有两套励磁绕组，一套和电枢绕组相并联，一套和电枢绕组相串联，根据两个励磁绕组所产生的磁动势的关系，又可分为积复励和差复励：

积复励：串励绕组和并励绕组所产生的磁动势方向一致，互相叠加，反之，叫做差复励：

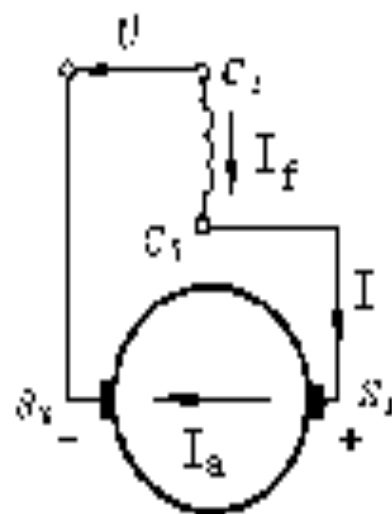
$$\sum F = F_f + F_s$$



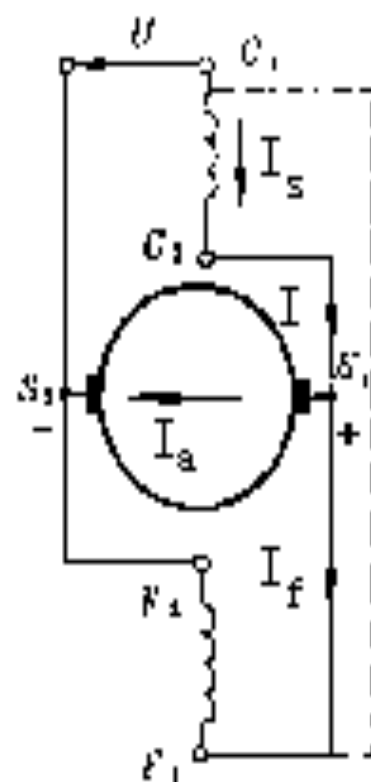
b)



b)



c)



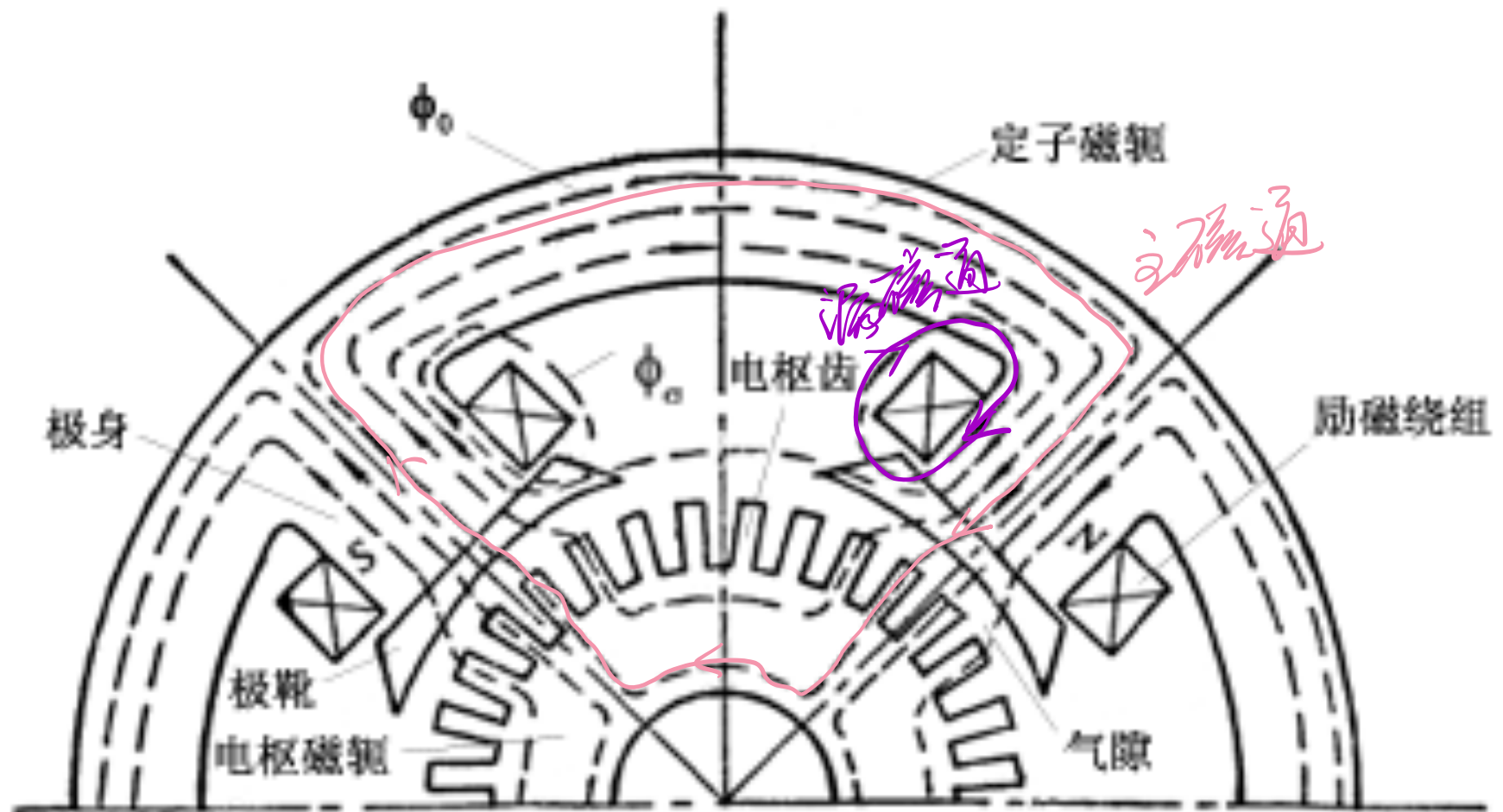
d)

直流电机的空载磁场

(一)、空载时直流电机的磁场分布：

空载：发电机出线端没有电流输出，电动机轴上不带机械负载，即电枢电流为零的状态。那么，这时的气隙磁场，只由主极的励磁电流所建立，所以直流电机空载时的气隙磁场，又称励磁磁场。

直流电机空载时的磁场



主磁通

绝大部分磁通经主磁极、气隙、电枢铁心及定子磁轭闭合，这部分磁通同时链绕励磁绕组和电枢绕组，称主磁通，记作 F_0 ，主磁通参与机电能量转换，能产生感应电动势和电磁转矩，是工作磁通。

主磁通通过的磁路称主磁路，主磁路中气隙较小，故磁阻较小。

漏磁通

有一小部分磁通不穿过电枢，仅与励磁绕组自身链绕，称漏磁通，记作 F_s ，漏磁通不穿过电枢表面，不参加机电能量转换，不是工作磁通。

漏磁通通过的磁路称漏磁路，漏磁路中空气隙较大，磁阻大。

漏磁通比主磁通小得多，约占主磁通的20%左右。

1:5

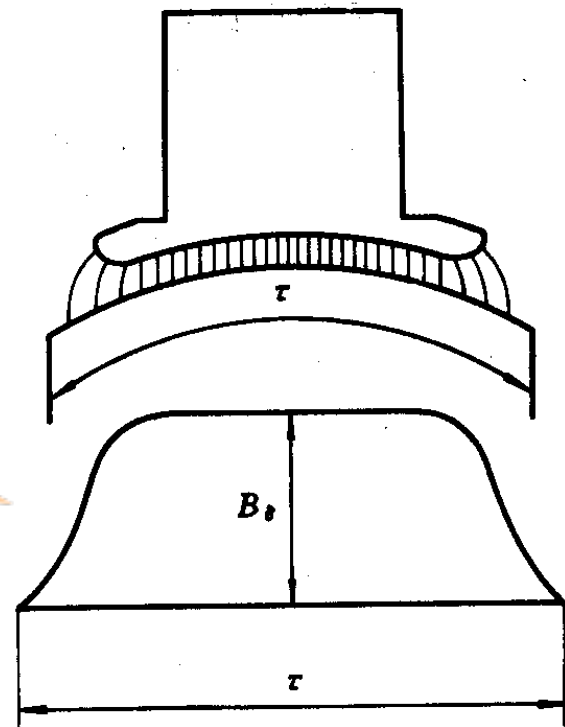
特点：

- 1) 由同一个磁动势所产生
- 2) 所走的路径不同，这就导致了他们对应磁路上所产生的磁场的分布规律不同，在这里，气隙磁场的大小和分布直接关系到电机的运行性能，所以，这一点将是我们主要研究的方向。

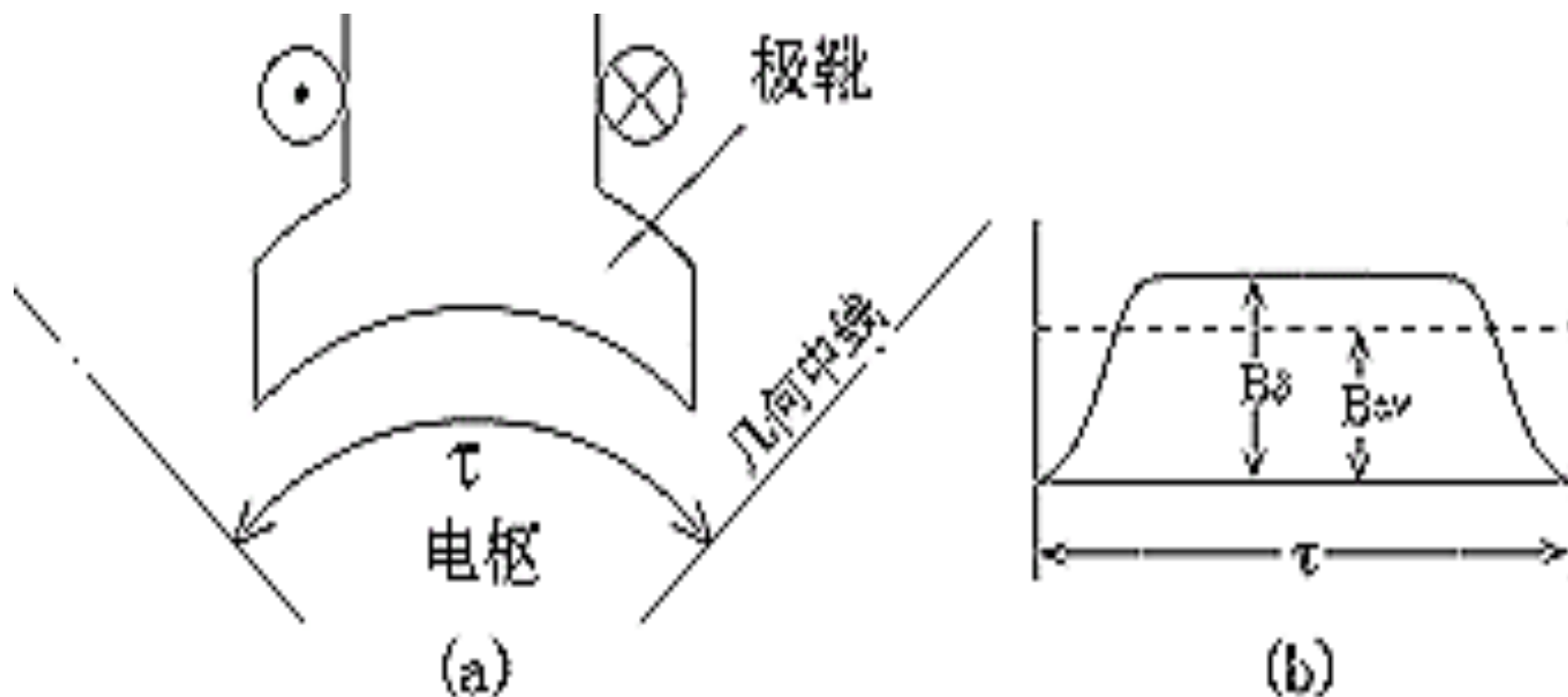
气隙磁密分布曲线

在研究电机时，还需要知道气隙磁密的分布情况。根据磁路欧姆定律，某处磁通或磁密的大小，取决于该处的磁势和磁路磁阻的大小。忽略铁心材料磁阻，可认为磁势全部消耗在气隙中，即气隙磁密分布由主极气隙形状决定。

在主极直轴附近的气隙较小，并且气隙均匀，磁阻小，即此位置的主磁场较强。在此位置以外，气隙逐渐增大，主磁场也逐渐减弱，到两级之间的几何中线处时，磁密等于0。



空载时气隙磁密分布



极靴下的气隙远远小于极靴之外的气隙，
显然，极靴下沿电枢圆周各点的主磁场将明显大于极靴范围以外，在两极之间的几何中心线处，磁场等于零。对于这一点，我们可以通过数学形式来看一下：

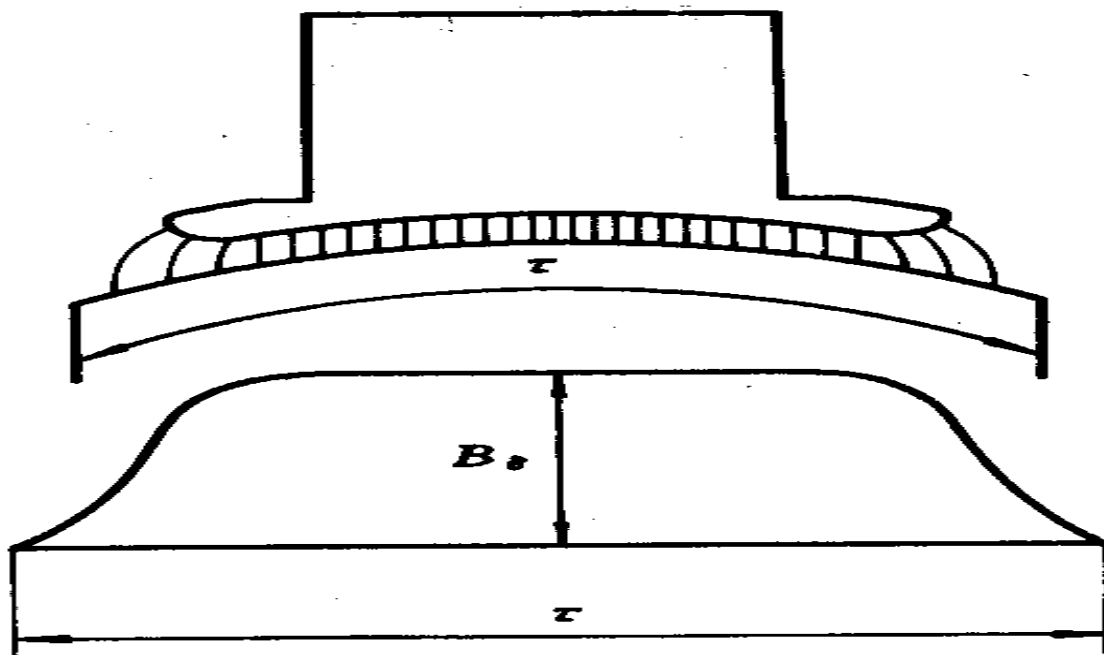
设电枢圆周为 x 轴而磁极轴线处为纵轴，又设电枢长度为 l ，则离开坐标原点为 x 的范围内的气隙主磁通为：

$$d\Phi_x = B_x l dx$$

则空载时每极主磁通为：空载时的每极磁通是随磁动势或励磁电流的变化而变化。

$$\Phi_0 = \int d\Phi_x = \int_{-\frac{\tau}{2}}^{+\frac{\tau}{2}} B_x l dx = l \int_{-\frac{\tau}{2}}^{+\frac{\tau}{2}} B_x dx$$

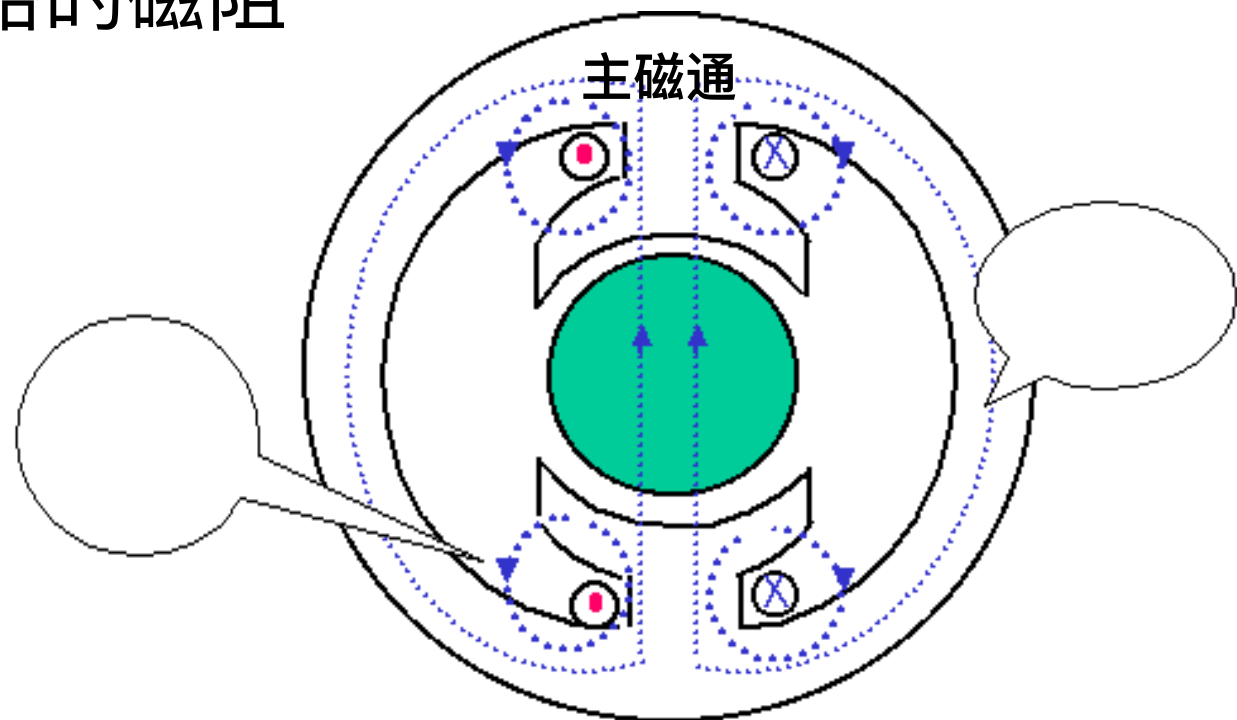
$$= B_{av} \tau l$$



$$\Phi' = \frac{2F_f \text{ 总磁势}}{2R_{m\delta} + 2R_{mt} + R_{m\alpha} + 2R_{mm} + R_{mj}}$$

$$R_{m\delta} \quad R_{mt} \quad R_{m\alpha} \quad R_{mm} \quad R_{mj}$$

分别是^{最大}气隙.电枢齿.电枢磁轭.主磁极和定子磁轭等段磁路的磁阻



$$\Phi' = \frac{2F_f}{2R_{m\delta}} = \frac{F_f}{R_{m\delta}}$$

$$R_{m\delta} = \frac{\delta}{\mu_0 \Delta l_i}$$

$$\Phi' = \frac{F_f}{\frac{\delta}{\mu_0 \Delta l_i}}$$

$$B_x = \frac{\Phi'}{\Delta l_i}$$



$$B_x = \frac{\Phi'}{\Delta l_i} = \frac{F_f}{\frac{1}{\mu_0} \frac{\delta}{\Delta l_i} \Delta l_i} = \mu_0 \frac{F_f}{\delta} (\text{Wb/m}^2)$$

磁通

磁通

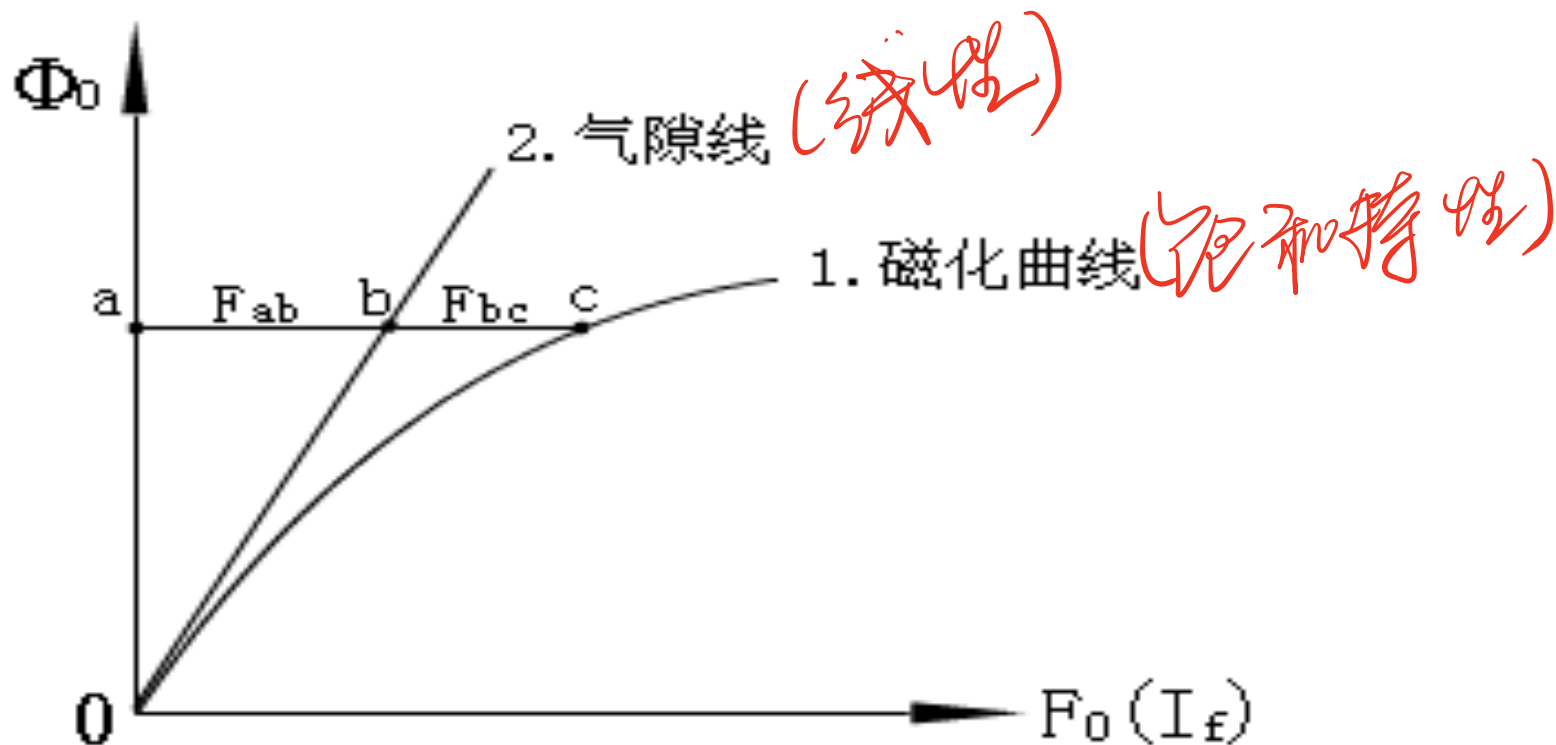
磁通

电机的磁化曲线

指电机主磁通 F_0 与励磁磁动势 F_f 的关系曲线，
即有 $F_0 = f(F_f)$ 。当励磁绕组的匝数 N_f 一定时，改变励磁电流 I_f 就可改变磁动势，磁化曲线也可用 $F_0 = f(I_f)$ 表示。

电机的磁化曲线可通过试验或电机磁路计算得到。

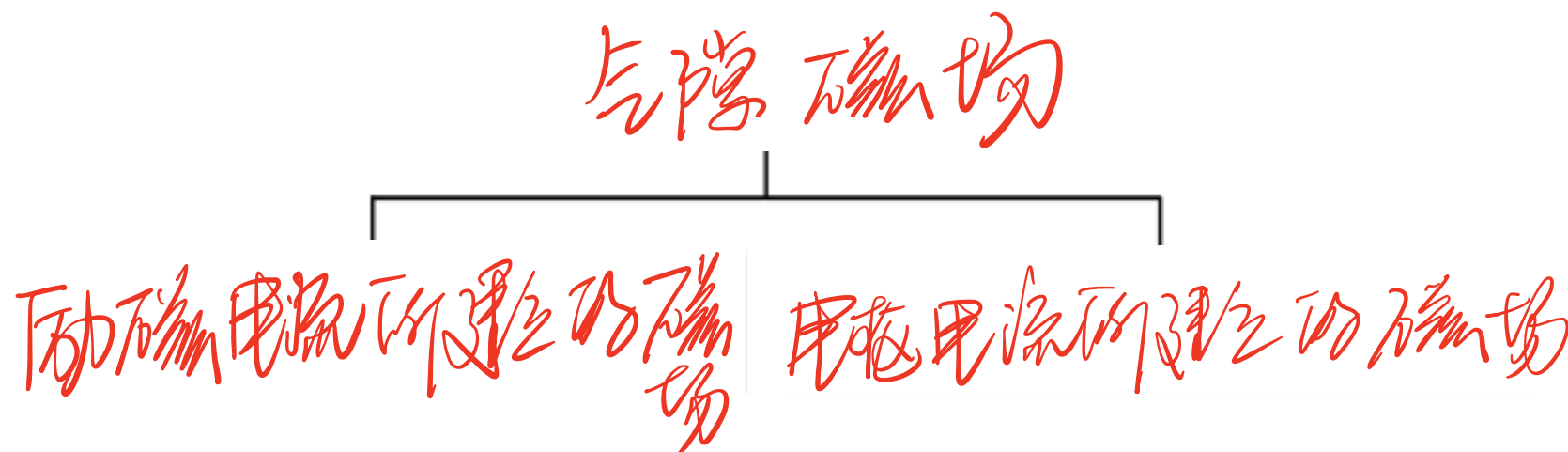
电机的磁化曲线



在额定状态下，电机往往工作在饱和点附近，这样即可以获得较大的磁通，又不致需要太大的励磁磁动势，从而可以节省铁心和励磁绕组的材料。

(一) 电枢磁势和磁场

1、负载时的气隙磁场：



直流电机负载运行时，电枢电流 I_a 不为零，气隙中的磁动势由励磁电流 I_f 产生的励磁磁动势 F_f 和电枢电流 I_a 产生的电枢磁动势 F_a 共同建立。

由于电枢磁动势的出现，气隙磁场将会发生变化。

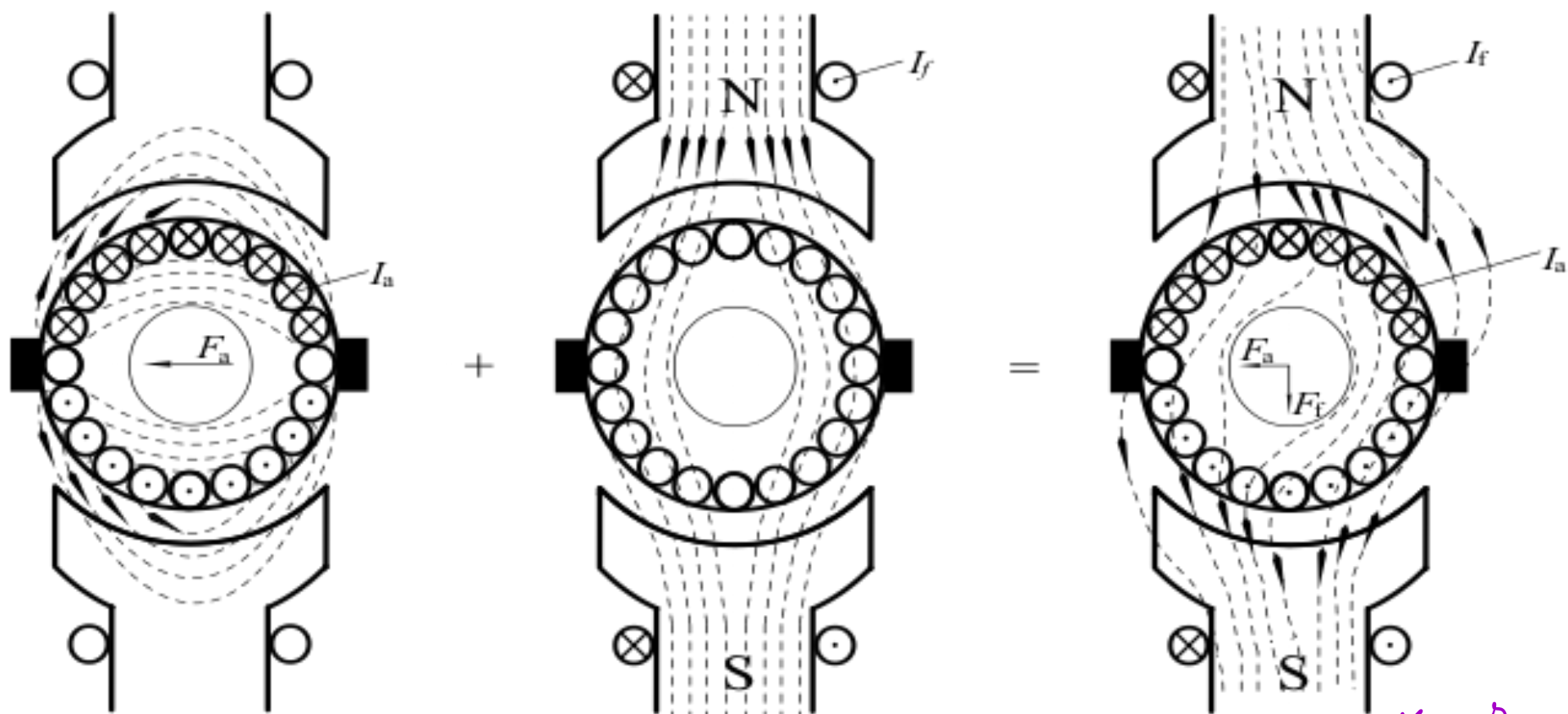
有
误

电枢反应：电枢磁动势对主极气隙磁场的影响称为电枢反应。

而电枢反应的性质又根据其反应方向的不同，分为交轴电枢反应和直轴电枢反应，下面我们就来具体的看一下他们二者对我们的气隙磁场的分布到底会有怎样的影响，而这个影响又和电刷在电机上位置的摆放密切相关：

电刷在几何中性线上的电枢磁动势和磁场：

直流电机负载时的磁场



(a) 电枢磁场 + (b) 空载磁场 \Rightarrow (c) 负载磁场

线负荷

为了分析电枢磁动势沿电枢表面分布情况，现引入电枢线负荷的概念，线负荷是指在电枢表面单位长度上的安培导体数，用 A 表示。设 N 为电枢

绕组总导体数， i_a 为导体电流， D_a 为电枢直径，则根据线负荷定义有：

$$A = \frac{Ni_a}{\pi D_a}$$

→ 单位面积内通过的导体数

→ 周长

此时产生的是交轴磁动势，对此时的电机进行数学分析，我们得到一个有关磁动势分布的表达式：

$$F_{ax} = Ax$$

其中，A为电枢线负载，也就是电枢表面单位周长上的安培导体数，x是沿圆周方向的距离，

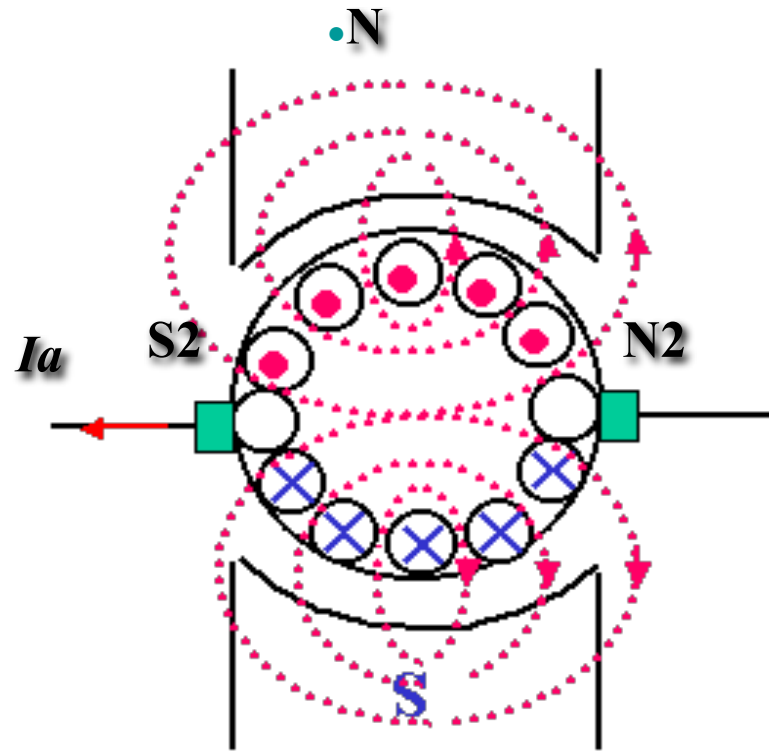
可得到磁密的空间分布式：

$$B_{ax} = \mu_0 \frac{Ax}{\delta'}$$

$$B_{ax} = \mu_0 \frac{Ax}{\delta'}$$

其中， δ 为气隙计算长度，可见， δ' 磁密的分布和气隙的大小是成反比关系的。

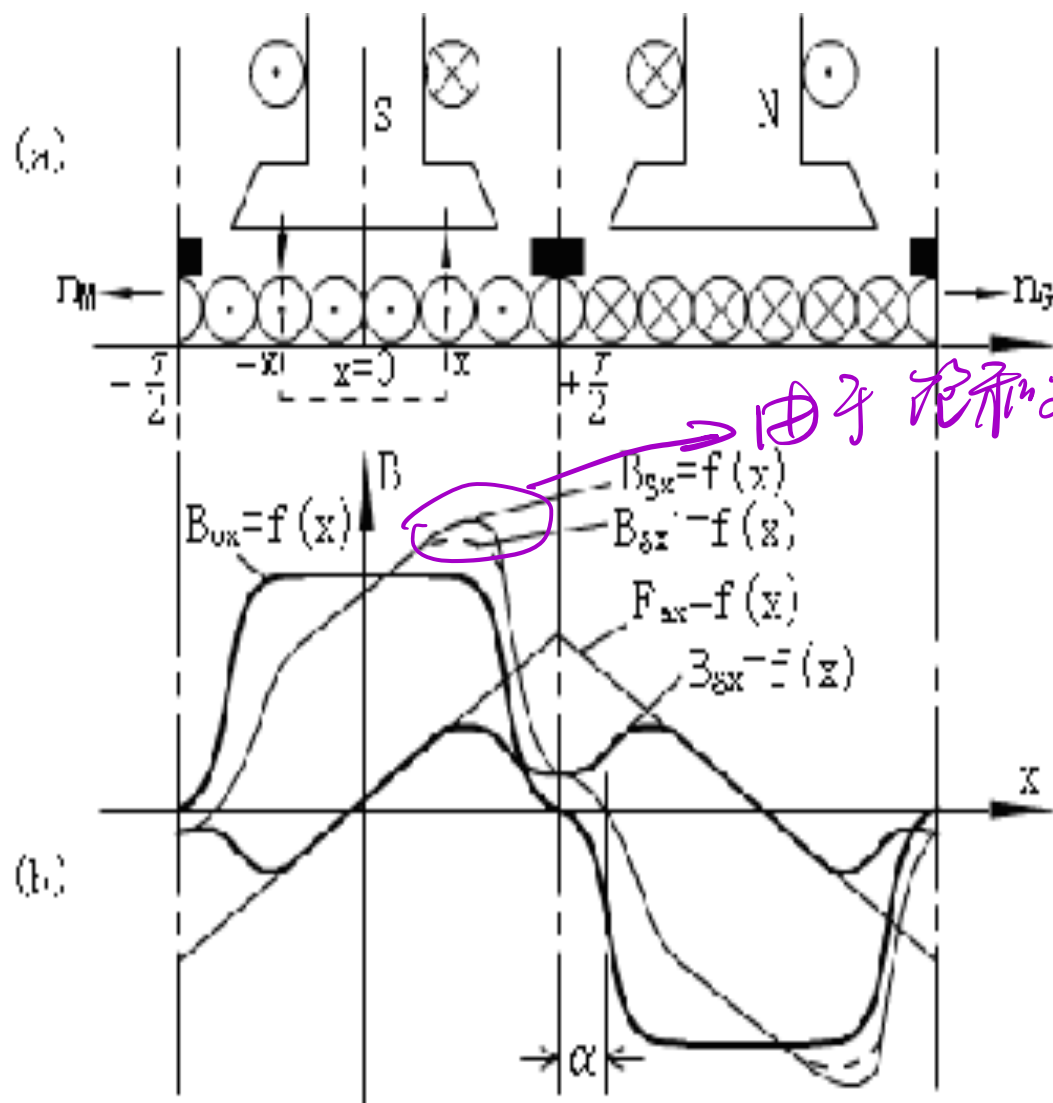
几何中性线



结论：电枢磁势在其表面呈三角波分布；而磁密呈马鞍形分布

S

负载时气隙磁密波形



由于饱和效应, 还不到顶峰

$F_{sk} = f(x)$ — 电枢磁势

$F_{ck} = f(x)$ — 励磁磁通密度

$B_{sk} = f(x)$ — 电枢磁通密度

$B_{sk}' = f(x)$ — 气隙磁通密度 (磁路饱和)

$B_{sk} = f(x)$ — 气隙磁通密度 (磁路不饱和)

直流电机的电枢反应

当电机带负载后，电枢绕组流过电流，出现电枢磁动势。

电枢磁动势对主磁极产生的磁场有影响，故对电机的运行性能也会产生一定的影响。

把电枢磁动势对励磁磁动势产生的影响称为电枢反应(the armature reaction)。

电刷正常时的电枢反应

当电刷位于几何中性线时，电枢反应表现：使气隙磁场发生畸变并使物理中性线偏移，当磁路饱和时有祛磁作用。

电刷偏离几何中性线时

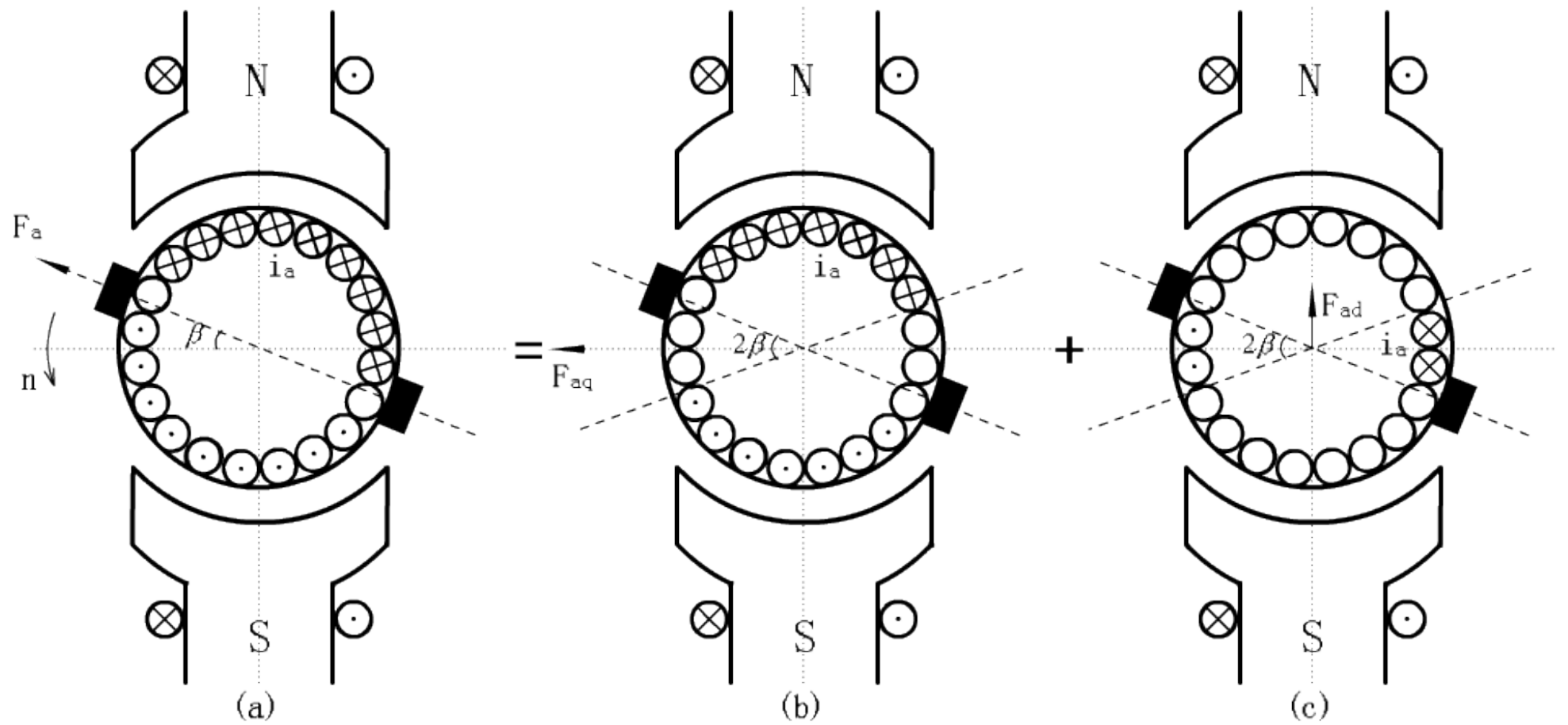


图1—25电刷偏离几何中线 β 角时的电枢反应

电刷偏离几何中性线时

交轴电枢磁动势 F_{aq} 对主磁场的影响与上面分析的电刷位于几何中性线的电枢反应情况一样，而直轴电枢磁动势 F_{ad} 与主磁极轴线重合，方向相反，故有祛磁作用；同理，当电刷顺电动机旋转方向偏离 b 角时，产生的直轴电枢磁动势 F_{ad} 有助磁作用。

- **交轴电枢反应：**
- 1) 将主磁场扭曲，磁场为零的位置发生偏转至物理中性线。
- 2) 主磁通量减少，称为电枢反应的附加去磁。
- 3) 呈去磁作用

