



电机与拖动**课件**之二

# 直流电机

胡梦月、韩谷静

纺大电子电气



# 章节目录

1.1 直流电机的基本工作原理与结构

1.2 直流电机电枢绕组简介

**1.3 直流电机的电枢反应**

1.4 直流电机的电枢电动势和电磁转矩

1.5 直流电机的换向

1.6 直流发电机

1.7 直流电动机

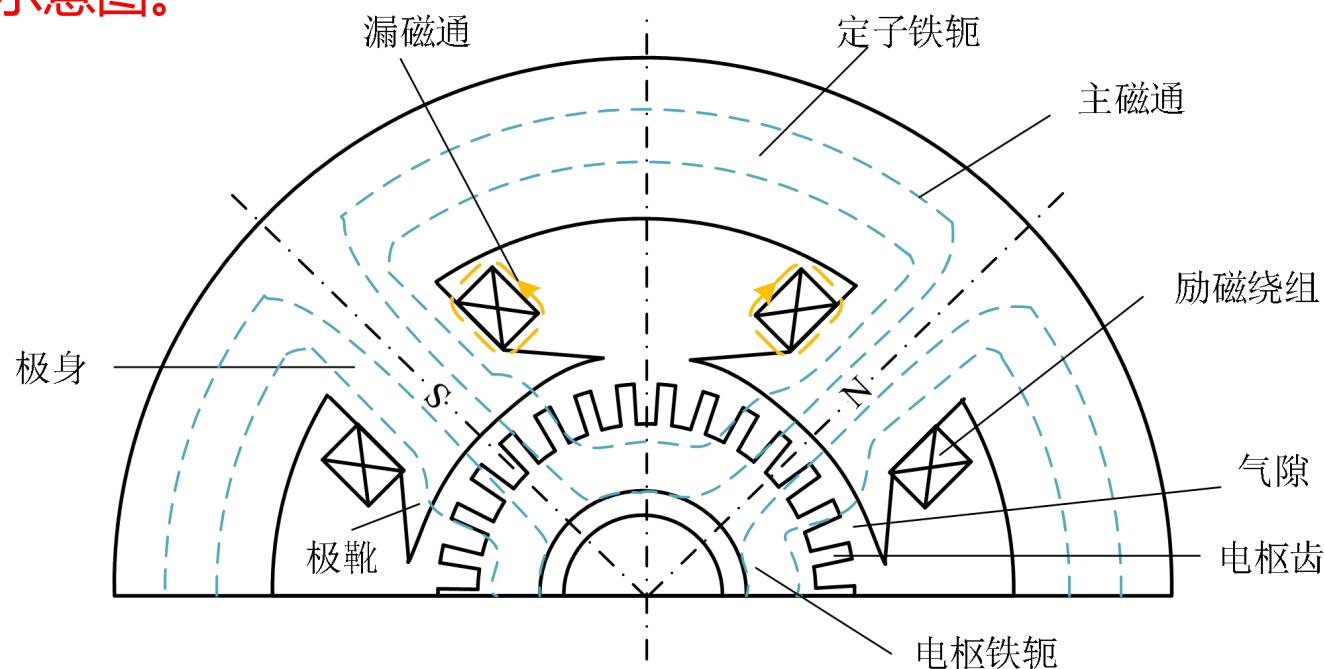
直流电机工作中，主磁极产生主极磁动势，电枢电流产生电枢磁动势。电枢磁动势对主极磁动势的影响称为 **电枢反应**。

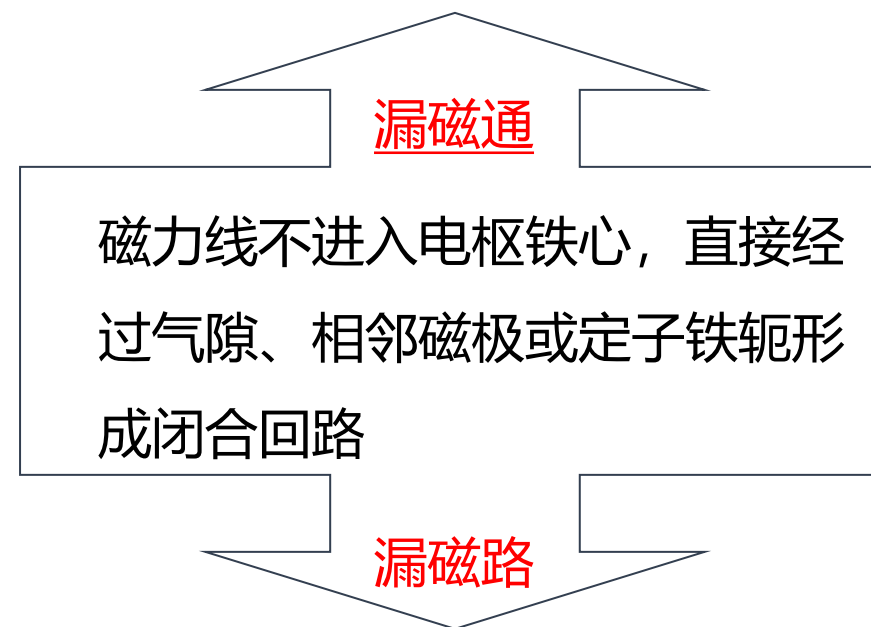
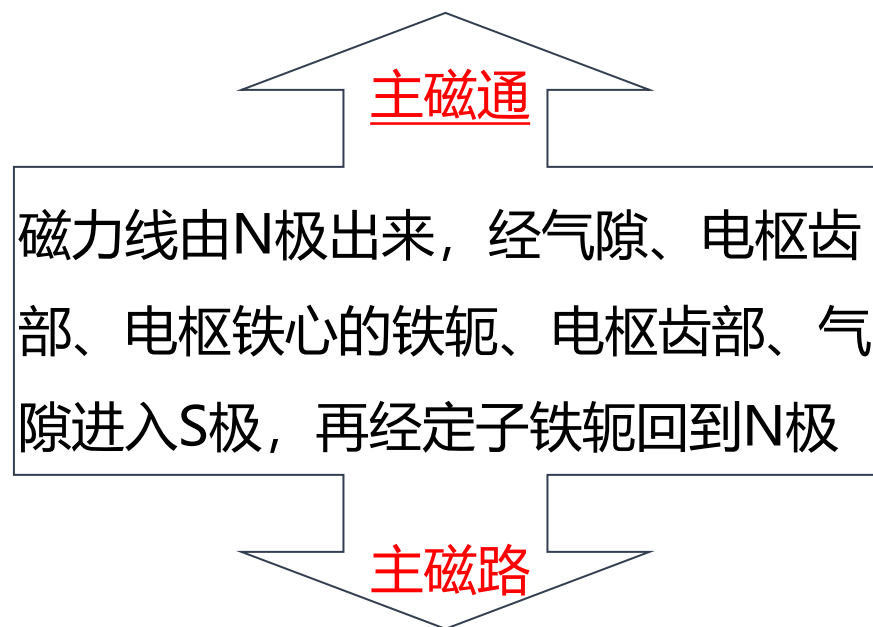
右图为一台四极直流电机空载时的磁场示意图。

当励磁绕组的串联匝数为  $N_f$ ，流过电流  $I_f$ ，每极的励磁磁动势为：

$$F_f = I_f N_f$$

$$\Phi = F_f / R_m$$





直流电机中，**主磁通**是主要的，它能在电枢绕组中感应电动势或产生电磁转矩，而**漏磁通**没有这个作用，它只是增加主磁极磁路的饱和程度。在数量上，**漏磁通**比**主磁通**小得多，大约是主磁通的20%。



### 磁极中心及附近

- 气隙小且均匀
- 磁通密度较大且基本为常数

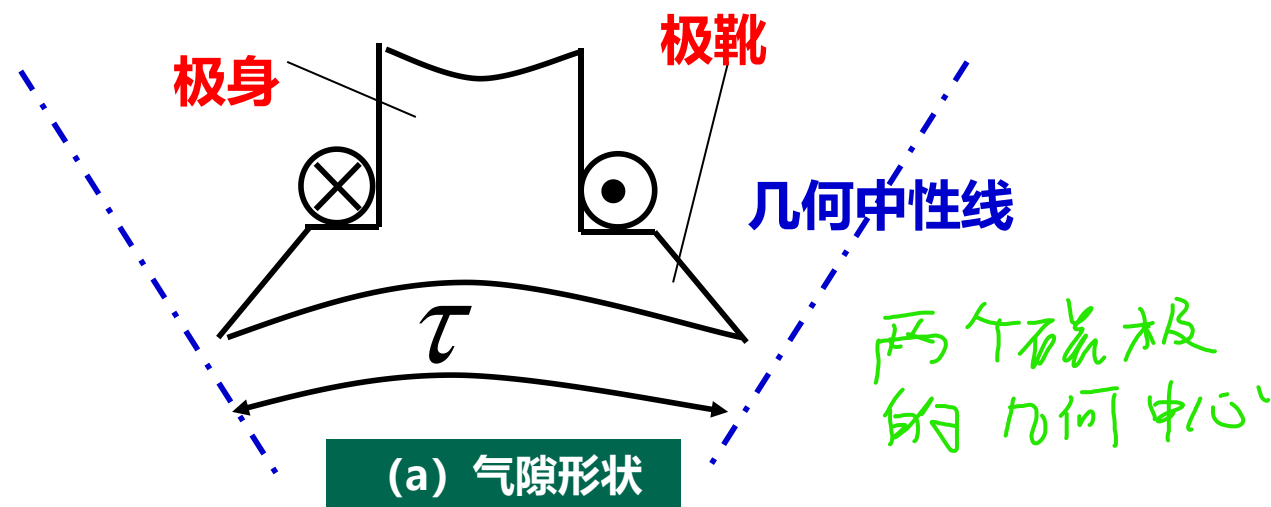
### 靠近极尖处

- 气隙逐渐变大
- 磁通密度减小

### 极尖以外

- 气隙明显增大，磁通密度显著减少
- 在磁极之间的几何中性线处，气隙磁通密度为零

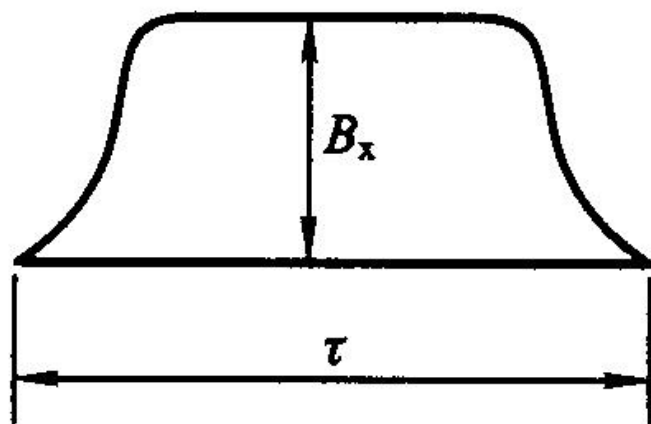
空载时，励磁磁动势主要消耗在气隙上。当忽略铁磁材料的磁阻时，主磁极下气隙磁通密度的分布就取决于气隙的大小和形状。



$$\Phi = F_f / R_m$$

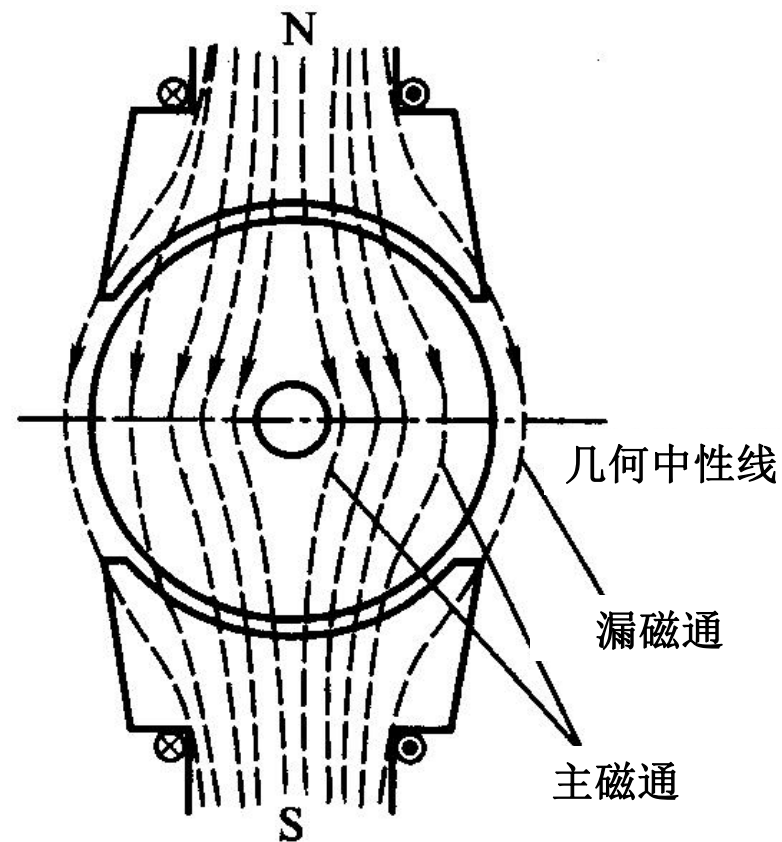


空载时的气隙磁通密度为一平顶波，如下图(b) 所示。



(b)气隙磁密分布

空载时主磁极磁通的分布情况，如右图(c) 所示。

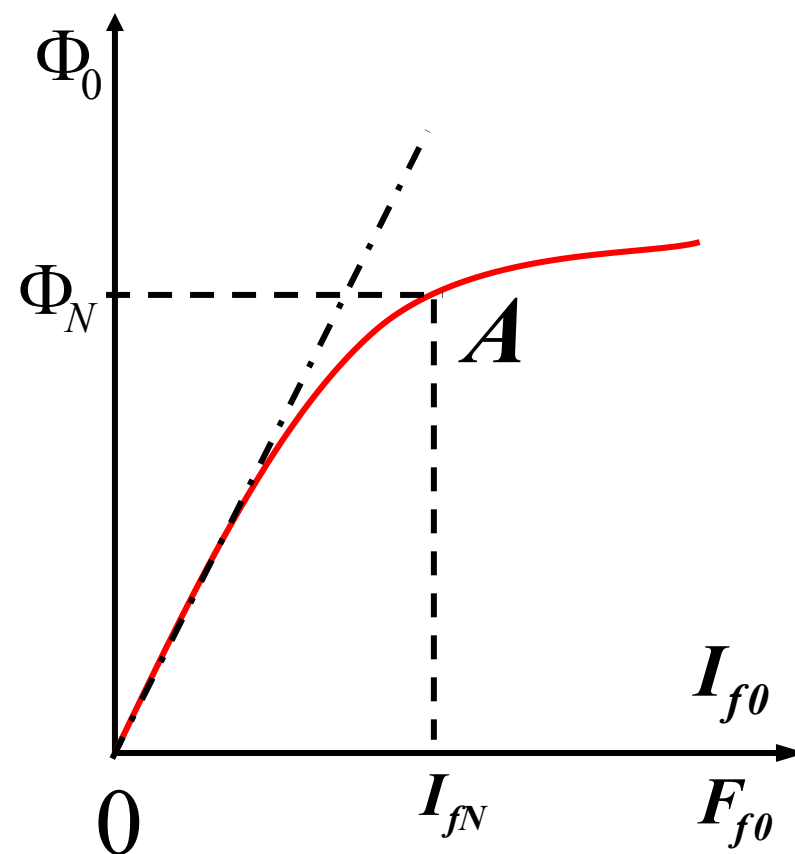


(c)主磁通与漏磁通



空载时，气隙磁通  $\Phi_0$  与空载磁动势  $F_{f0}$  或空载励磁电流  $I_{f0}$  的关系，称为直流电机的**空载磁化特性**。如右图所示。

为了经济、合理地利用材料，一般直流电机额定运行时，额定磁通  $\Phi_N$  设定在图中 A 点，即在磁化特性曲线开始进入饱和区的位置。



空载磁化特性



直流电机带上负载后，电枢绕组中有电流，电枢电流产生的磁动势称为电枢磁动势。



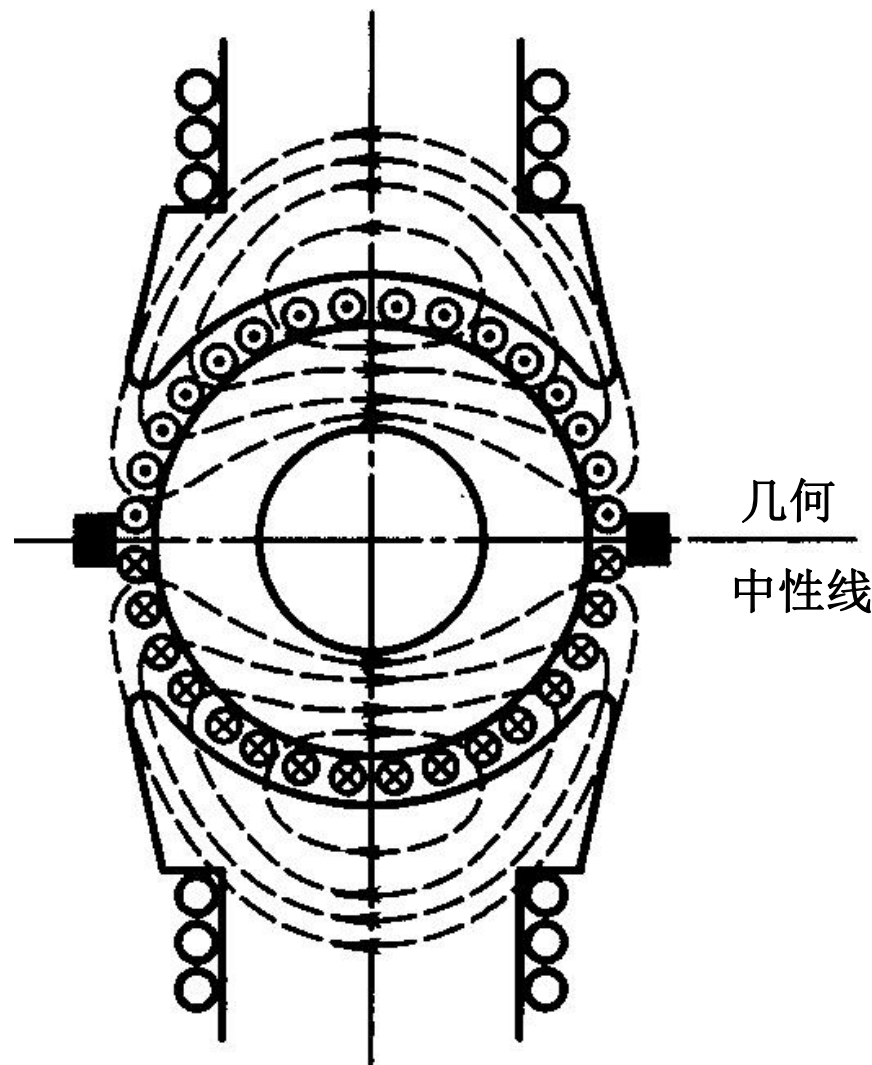
使电机的磁场发生变化



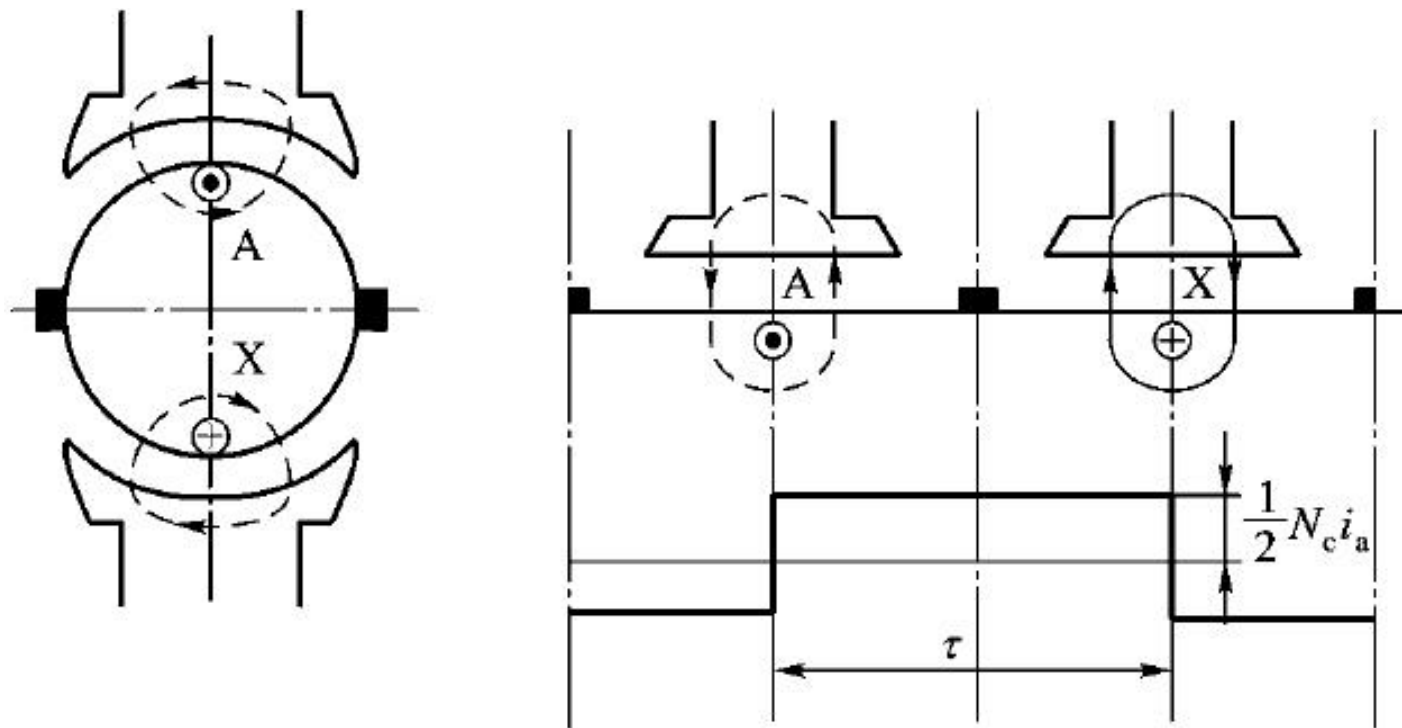
假设励磁电流为零，只有电枢电流。



由图可见电枢磁动势产生的气隙磁场在空间的分布情况，电枢磁动势为交轴磁动势。





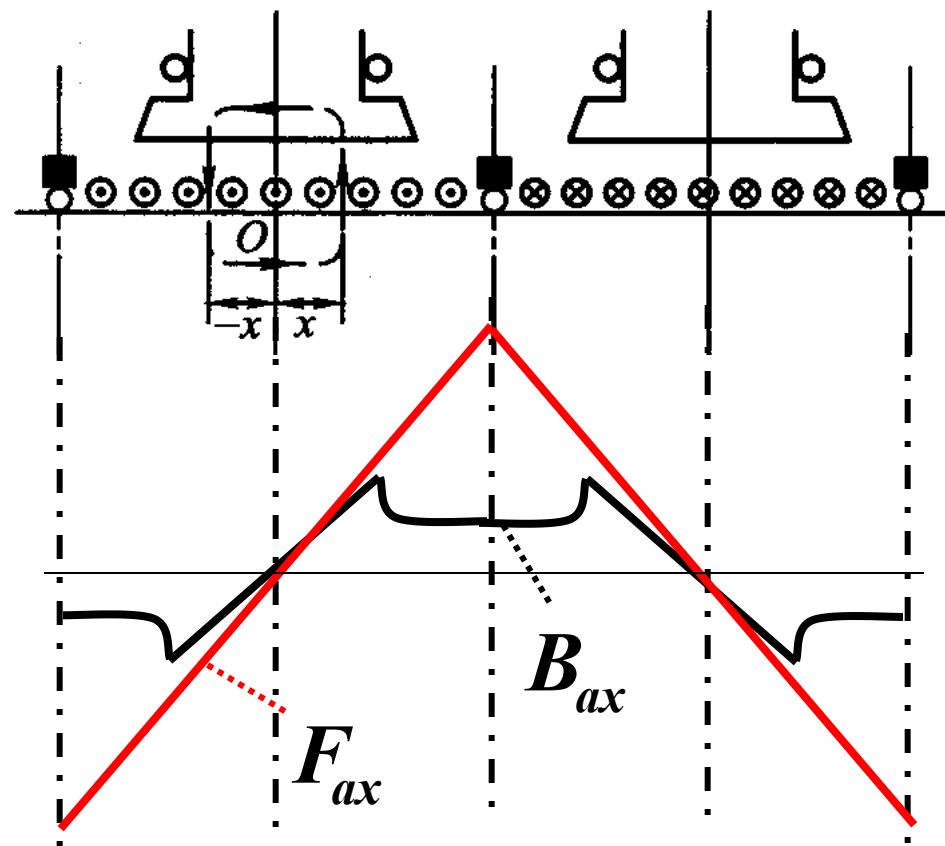


一个绕组元件产生的磁动势



如果认为直流电机电枢上有无穷多整距元件分布，则电枢磁动势在气隙圆周方向空间分布呈三角波，如图中  $F_{ax}$  所示。

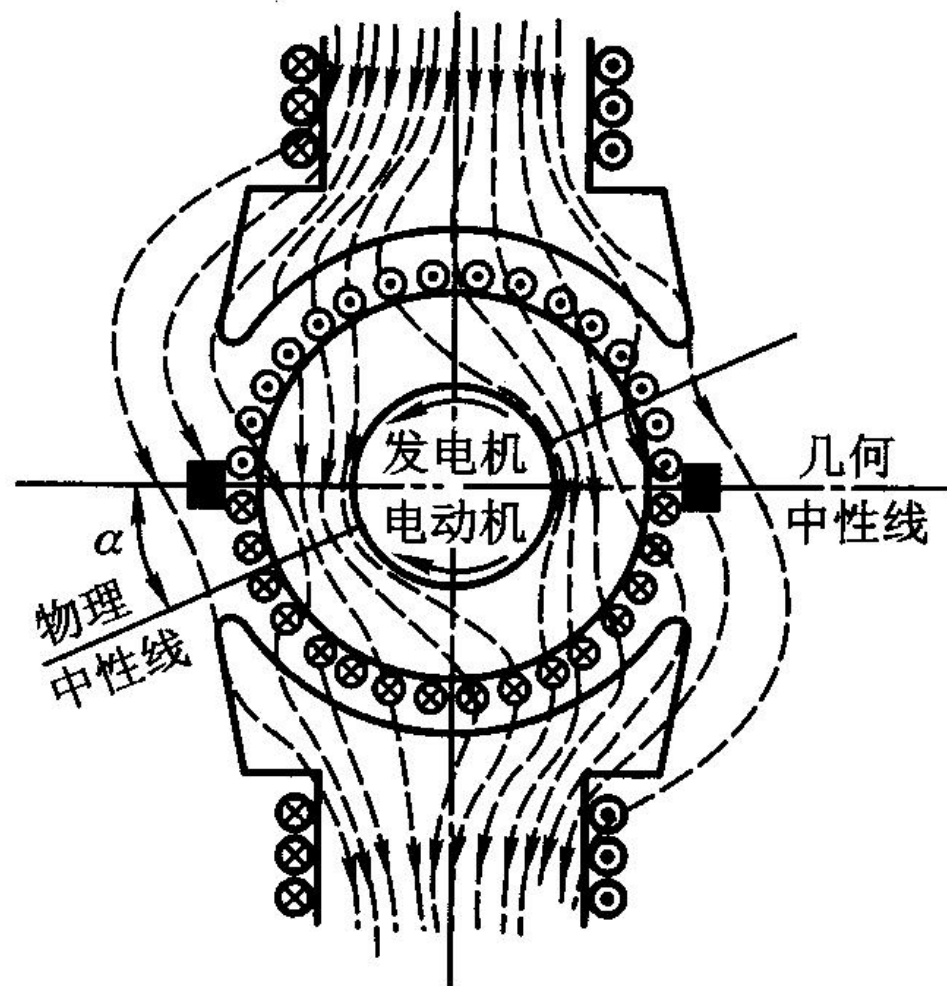
主磁极下气隙长度基本不变，而两个主磁极之间，气隙长度增加得很快，致使电枢磁动势产生的气隙磁通密度为对称的**马鞍型**，如图中  $B_{ax}$  所示。



当励磁绕组中有励磁电流，电机带上负载后，气隙中的磁场是励磁磁动势与电枢磁动势共同作用的结果。电枢磁场对气隙磁场的影响称为**电枢反应**。

### 一、当电刷在几何中性线上时

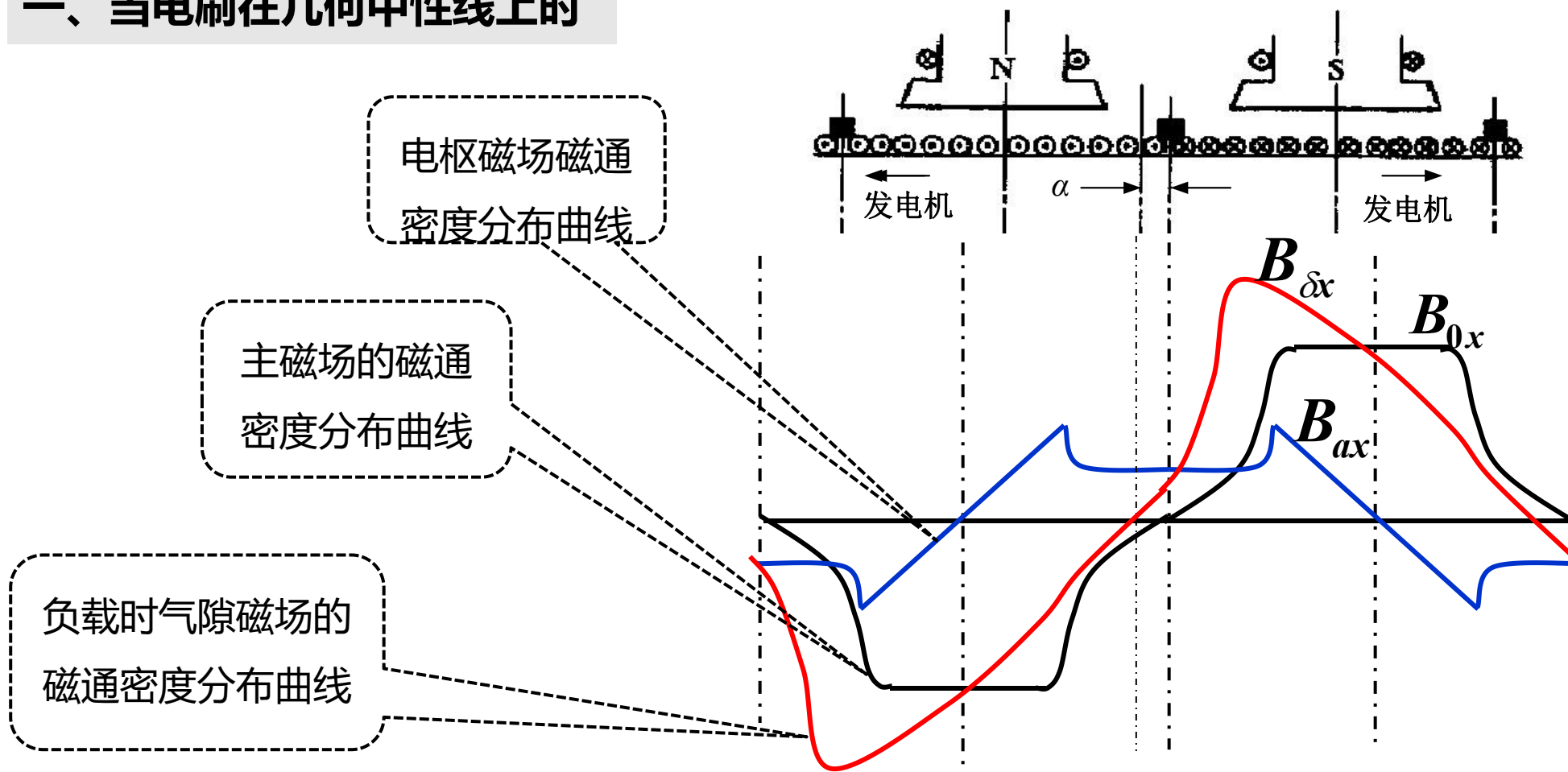
将主磁场分布和电枢磁场分布叠加，可得到负载后电机的磁场分布情况，如图（a）所示。



(a) 磁场分布



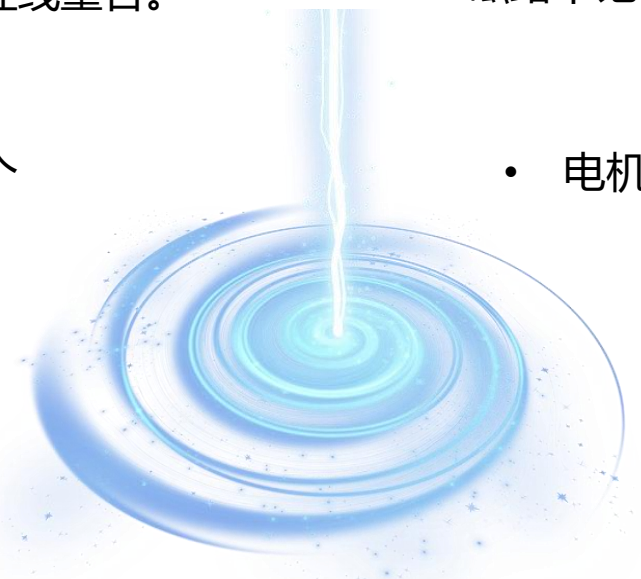
## 一、当电刷在几何中性线上时



### 一、当电刷在几何中性线上时

#### 1、使气隙磁场发生畸变

- 空载时电机的物理中性线与几何中性线重合。
- 负载后由于电枢反应的影响，每一个磁极下，一半磁场被增强，一半被削弱。
- 物理中性线偏离几何中性线  $\alpha$  角，磁通密度的曲线与空载时不同。



#### 2、对主磁场起去磁作用

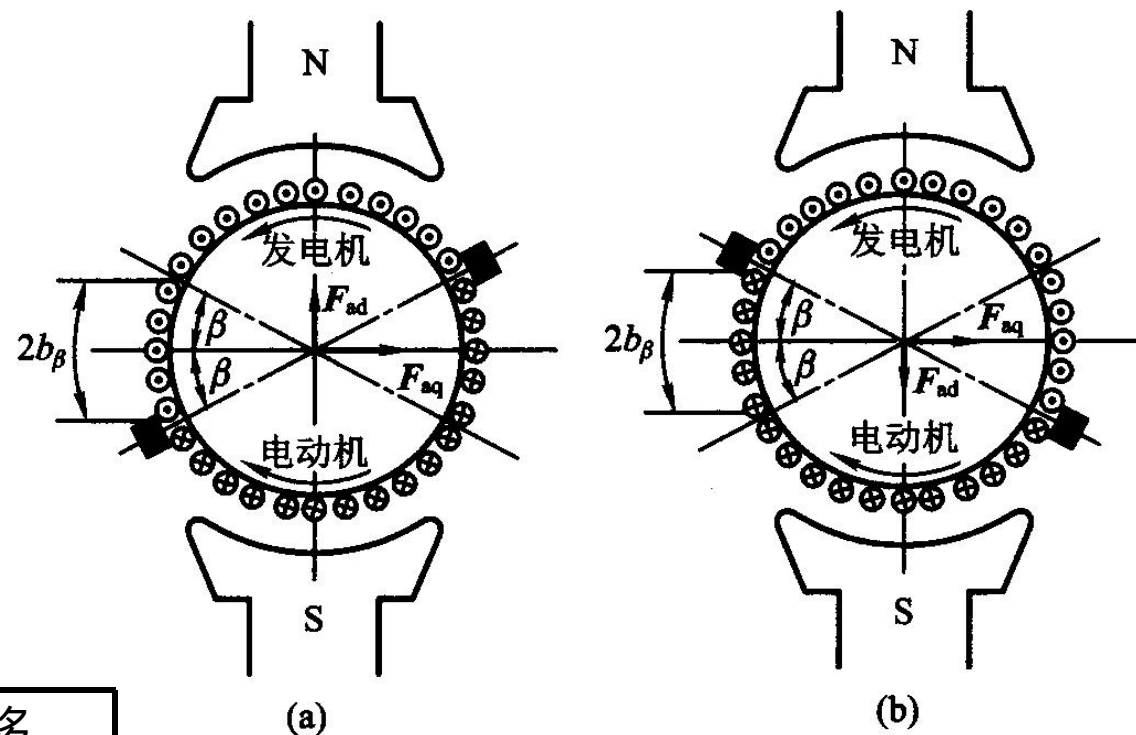
- 磁路不饱和时，主磁场被削弱的数量等于加强的数量。
- 电机正常运行于磁化曲线的膝部，主磁极增磁部分因磁密增加使饱和程度提高，增加的磁通少些，因此负载时每极磁通略为减少。
- 即对主磁场起到去磁作用。综上，电刷在几何中性线时的电枢反应为交轴去磁性质。



## 二、当电刷不在几何中性线上时

电刷从几何中性线偏移  $\beta$  角，电枢磁动势轴线也随之移动  $\beta$  角，如图(a)(b)所示。

电枢磁动势可以分解为两个垂直分量：交轴电枢磁动势  $F_{aq}$  和直轴电枢磁动势  $F_{ad}$ 。

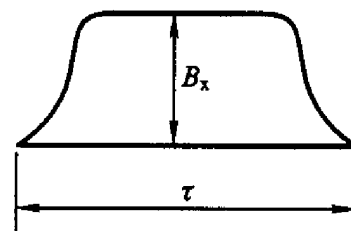
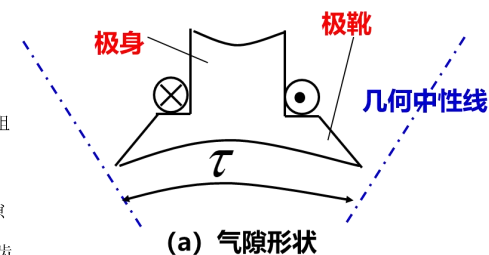
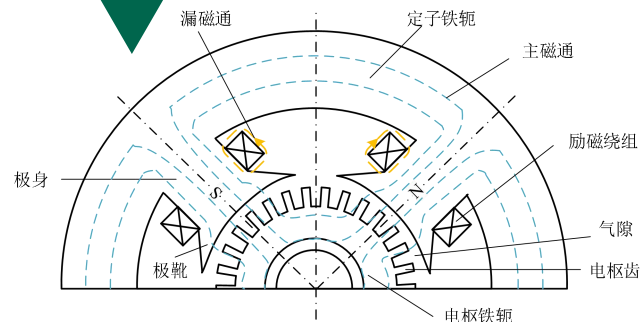


|     | 电刷顺转向偏移 | 电刷逆转向偏移 |
|-----|---------|---------|
| 发电机 | 交轴和直轴去磁 | 交轴和直轴助磁 |
| 电动机 | 交轴和直轴助磁 | 交轴和直轴去磁 |

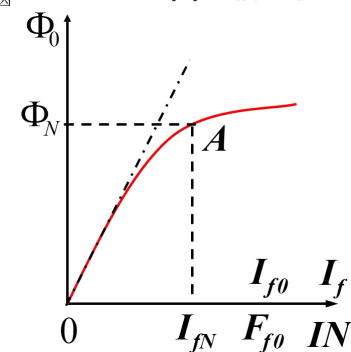


# 小结

- 1、直流电机空载磁场
- 主磁通与漏磁通
  - 空载磁场、磁化特性



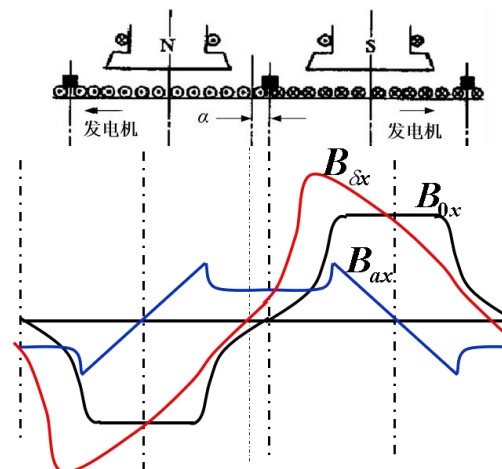
(b) 气隙磁密分布



空载磁场

- 2、直流电机负载磁场
- 电枢磁动势：交轴磁动势
  - 负载磁场

- 3、电枢反应
- 电枢磁场对气隙磁场的影响称为电枢反应
  - 电刷在几何中性线上
    - 气隙磁场发生畸变
    - 交轴去磁
  - 电刷不在几何中性线上



负载磁场

|     | 电刷顺转向偏移 | 电刷逆转向偏移 |
|-----|---------|---------|
| 发电机 | 交轴和直轴去磁 | 交轴和直轴助磁 |
| 电动机 | 交轴和直轴助磁 | 交轴和直轴去磁 |