

三相鼠笼电动机修理

梁 灿 彬 编



农 业 出 版 社

三相鼠笼电动机修理

梁灿彬 编

农业出版社出版 新华书店北京发行所发行

农业出版社印刷厂印刷

850×1168 毫米 32 开本 7.125 印张 140 千字

1979 年 6 月第 1 版 1979 年 6 月北京第 1 次印刷

印数 1—110,300 册

统一书号 15144·559 定价 0.70 元

目 录

第一章 构造和工作原理	1
第一节 构造	1
第二节 旋转原理	6
第三节 多极电动机	20
第四节 额定数据	23
第五节 铭牌	30
第六节 起动	38
第七节 转矩曲线〔选读〕	41
第二章 故障判断	56
第一节 机械故障	56
第二节 电磁故障	59
第三节 修前检查	76
第三章 拆包重下	87
第一节 定子绕组常见型式	87
第二节 拆包重下工艺过程	103
第三节 双层短距绕组改善起动性能的分析〔选读〕	114
第四章 绕组计算	123
第一节 匝数计算	123
第二节 线径计算	132
第三节 导线替代	138
第四节 空壳重算	142
第五节 绕组系数〔选读〕	145
第五章 修后检验	153
第一节 主要电磁性能指标	153

第二节	修后检验项目	163
第三节	从 I_0 、 U_k 估计电磁性能	168
第四节	土法短路试验	177
第五节	变压定匝〔选读〕	180
第六节	“ I_0 、 U_k 一对大”电动机的修理〔选读〕	187
第七节	用“降压空载起动法”估计起动性能〔选读〕	192
第六章	改压改极〔选读〕	194
第一节	改压	194
第二节	改极	197
附表 1	常用漆包圆线规格	206
附表 2	三相鼠笼电动机槽配合	206
附表 3	分布系数 (K_d)	207
附表 4	短距系数 (K_p)	207
附表 5	接法改变时的电压比 (U'/U)	208
附表 6	小型三相鼠笼电动机空载电流	209
附表 7	小型三相鼠笼电动机技术数据	210

第一章 构造和工作原理

第一节 构造

甲：什么叫做三相鼠笼电动机？

乙：三相鼠笼电动机是三相感应电动机的一种。

三相感应电动机从结构上可以分为两大部分，即静止部分和转动部分。静止部分叫做定子，转动部分叫做转子。

定子的主要组成部分是机座、定子铁芯和定子绕组。机座是电动机的支架，起着支撑整个电动机的作用，一般多用铸铁制成。机座的里面是一个圆柱形的空间，用来安装定子铁芯、定子绕组以及整个转子。定子铁芯一般用许多 0.5 毫米厚的硅钢片叠成。硅钢片形状如图 1—1 所示。铁芯的外表面呈圆柱形，内表面则形成许多与轴平行的槽，用来镶嵌定子绕组。整个定子铁芯固定在机座的内膛里，如图 1—2 所示。定子绕组由带有绝缘外皮的铜线（例如漆

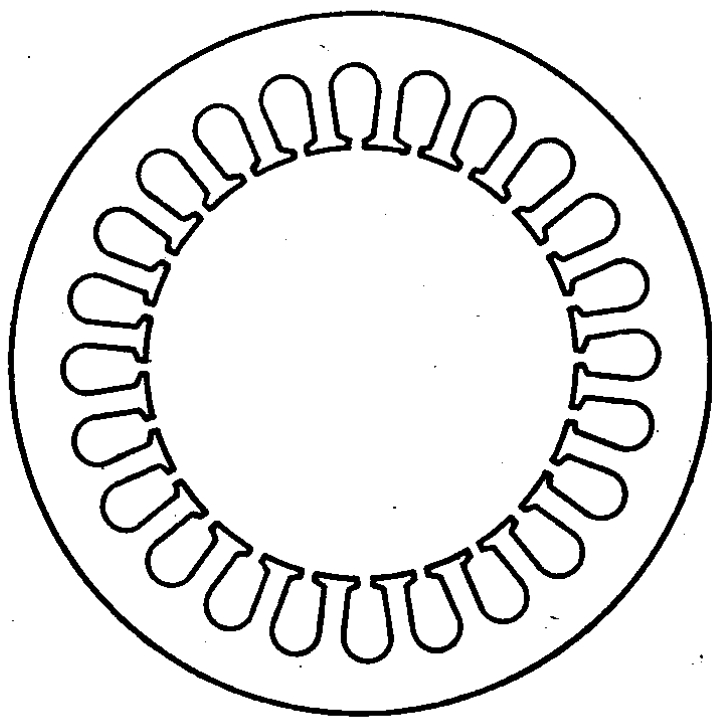


图 1—1 定子冲片

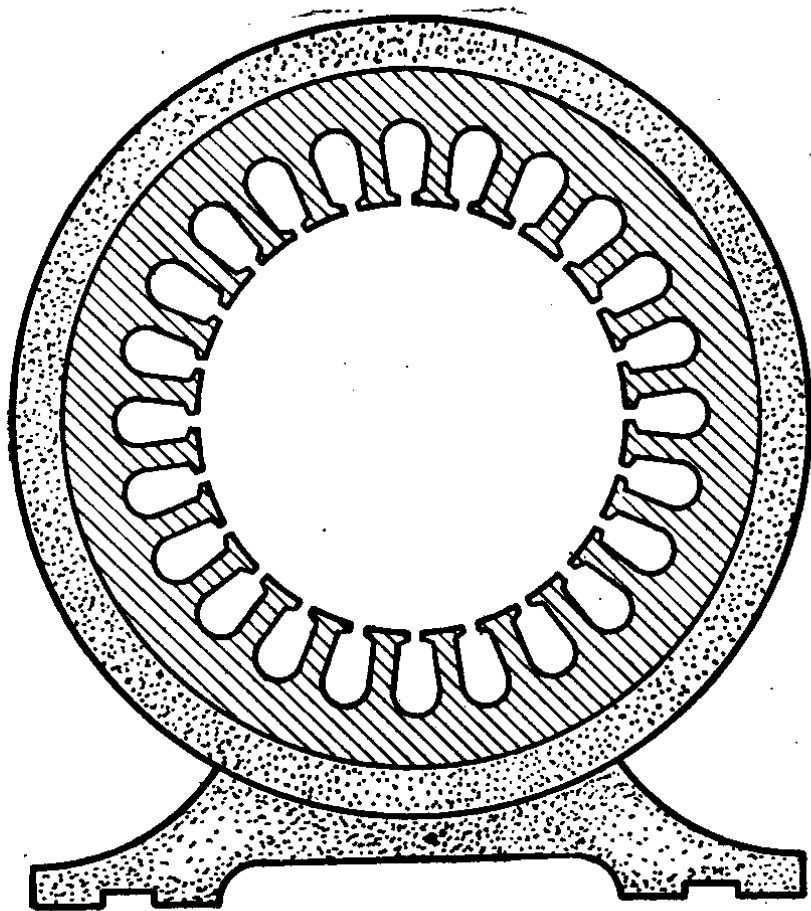
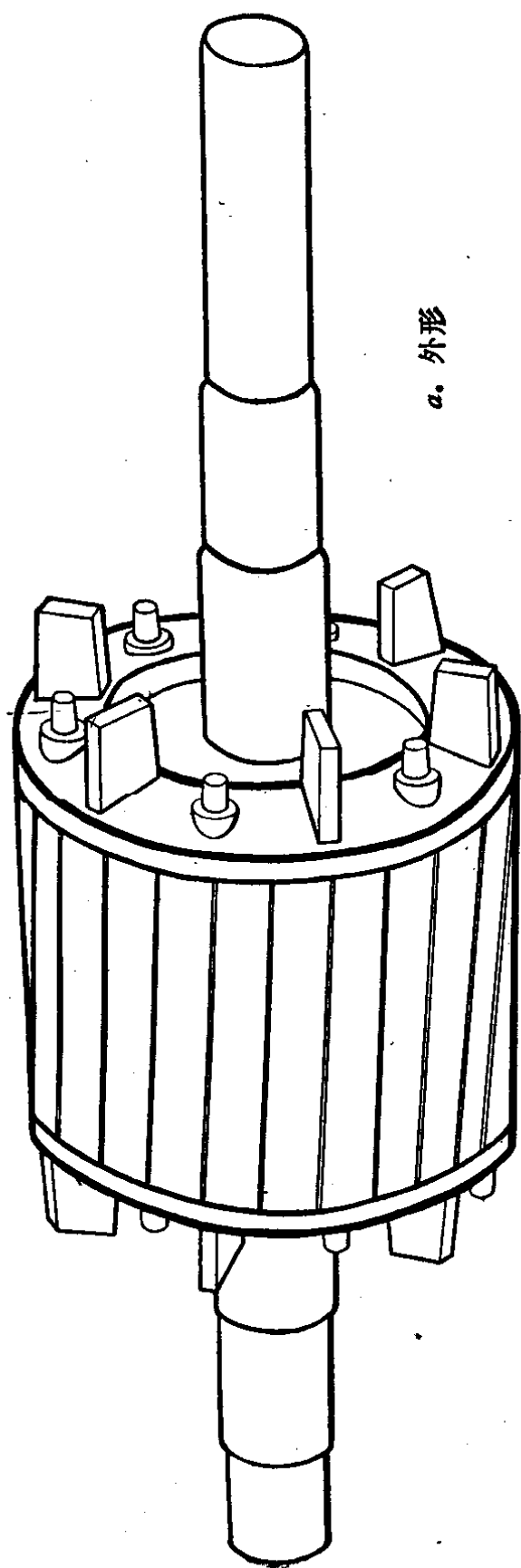


图 1—2 定子铁芯装在机座内膛中

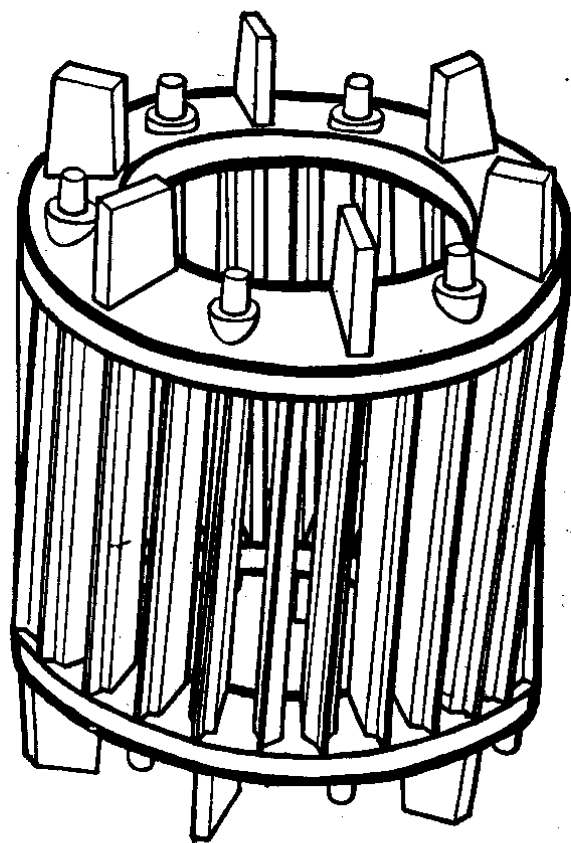
包线)绕成〔1〕,它们分成互相独立的三个部分,工作时通入三相电流,所以整个绕组又叫做三相绕组,其中每一个独立部分叫做一相绕组,简称为一个相。三相绕组按一定的规律镶嵌在定子铁芯的槽内并伸出六个引出线头联到机座的接线盒中,以便使用时与三相电源相接。

三相感应电动机的转子分为鼠笼式转子和线绕式转子两种。采用鼠笼式转子的感应电动机叫做鼠笼式电动机;采用线绕式转子的感应电动机叫做线绕式电动机。由于三相鼠笼式电动机具有结构比较简单、使用和维修方便、价格便宜等优点,所以得到广泛的应用。本书重点介绍三相鼠笼电动机。

〔1〕 为了节约铜材,定子绕组也有用铝线绕成的,这种电动机叫做铝线电动机。



a. 外形



b. 鼠笼(笼条、端环及内风扇)

图 1-3 鼠笼式转子

鼠笼式转子的外形如图 1—3a 所示。转子铁芯也由硅钢冲片叠成，冲片形状如图 1—4 所示。冲片中心的大圆孔可穿转轴，四周的小孔则形成转子槽，槽内铸铝，同时在铁芯两端用铝铸成两个圆环（端环），与槽内各铝条联通。铝条及两个端环合在一起组成转子绕组（用铝铸成）。如果只画出转子绕组本身，其形状好象一个鼠笼如图 1—3b 所示。因此这种转子叫做鼠笼式转子。转子中的铝条相应地叫做笼条（导条）。在铸造鼠笼时，一般同时用铝铸出许多风扇叶片，当转子转动时，叶片便起散热作用。

甲：为什么图 1—3 中的笼条要作成倾斜的呢？

乙：转子斜槽可以削弱由齿谐波造成的附加力矩。

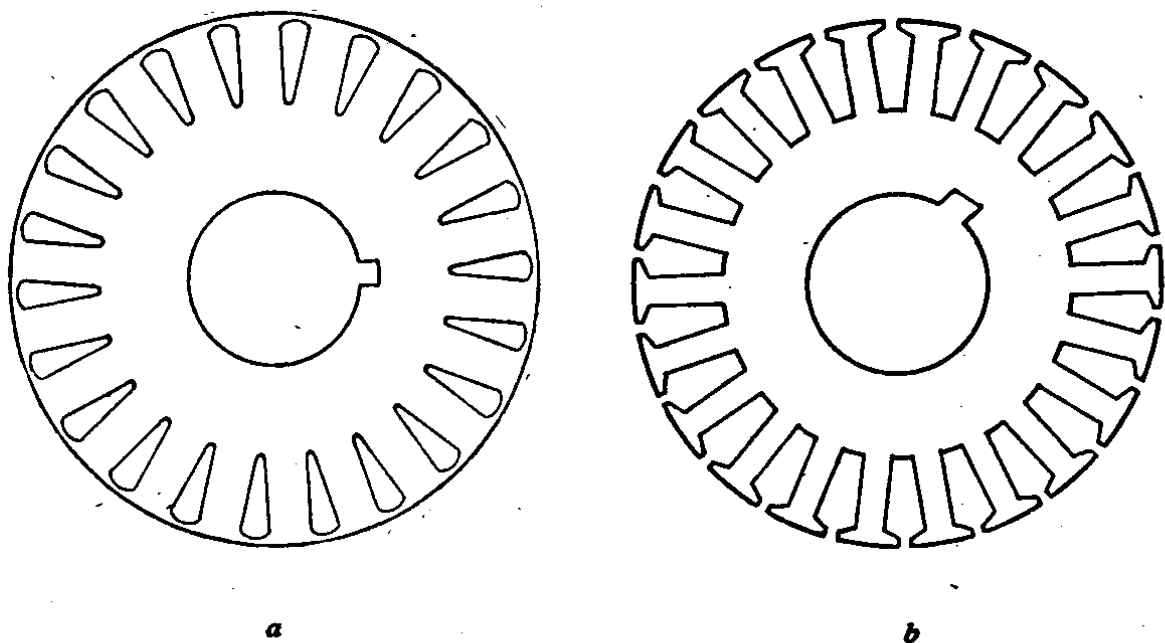


图 1—4 转子冲片（举例）

与鼠笼式转子不同，线绕式转子的绕组是由铜线按三相绕组的方式绕成的。它既没有笼条也没有端环，使用时需要附设一些其他结构。

除了以上主要部件之外，鼠笼式电动机还有端盖、轴承、外风扇、风扇罩及接线盒等零部件（图 1—5）。端盖用螺钉固定在机座上，轴承的外圈紧套在端盖中心的圆孔中，内圈则紧套在转子

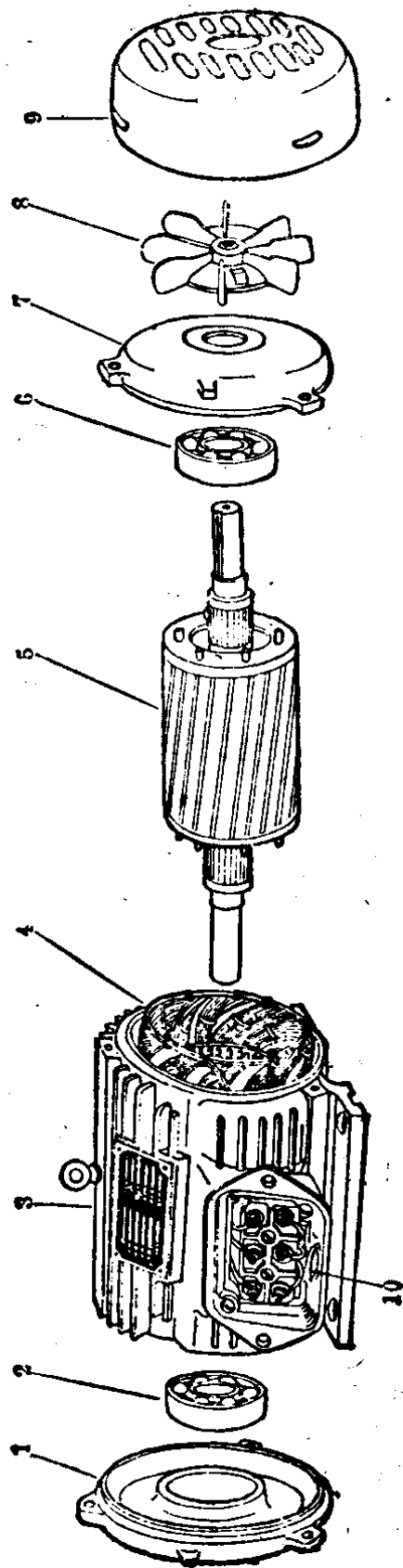


图 1—5 封闭式三相鼠笼电动机构造

1.端盖 2.轴承 3.机座 4.定子绕组(端部) 5.转子 6.轴承
7.端盖 8.风扇 9.外风扇罩 10.接线盒

轴上。当转子转动时，内圈随之转动，外圈则因与端盖紧配合而不动。两圈之间装有滚珠并涂有润滑油以减轻摩擦。

为了使转子能在定子内部自由转动，转子与定子之间必须留有空气间隙（气隙）。气隙长度（指沿径向的长度）一般很小，100千瓦以下小型电动机的气隙长度约为0.25—1.5毫米。由于气隙很短，所以转子在定子内膛中的位置必须端正，否则转子转动时就会与定子内膛相碰擦（扫膛）。

第二节 旋转原理

1. 旋转磁场

甲：为什么三相鼠笼电动机的转子一通电就能转动？

乙：为了回答这个问题，我们先看一个演示实验。把一个可以转动的铝框放在一个可以转动的马蹄形磁铁两极之间，如图1—6所示。摇动手柄使磁铁转动，就会看到铝框也跟着转起来。

甲：铝框与磁铁没有机械上的联系，磁铁的转动为什么会带动铝框呢？

乙：磁铁周围存在磁场，铝框就处在这个磁场之中。当磁铁旋转时，它产生的磁场也随之旋转，因此铝框与磁场之间就发生相对运动，或者说，铝框就要切割磁力线，因而出现在感应电流。这个电流既然处在磁场之中，就要受到磁场的作用

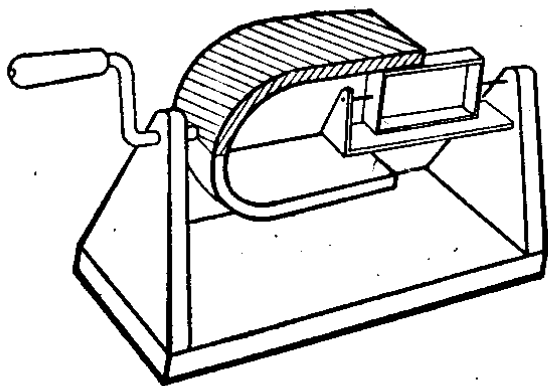


图1—6 手摇磁铁产生旋转磁场的演示

力。这力对铝框的转轴形成一个力矩，铝框就是在这个力矩的作用下转动的。由此可见，旋转的磁场是使铝框转动的主要条件。

甲：电动机应该是一个提供动力的机械，但图 1—6 中的旋转磁场是靠摇动手柄产生的，而摇动本身就要有机械动力，这个动力又从何而来呢？

乙：这个实验只说明一个问题，就是旋转磁场可以使铝框转动。至于电动机中如何产生旋转磁场，是下面要重点讨论的问题。实际上，电动机是利用电流产生磁场的。旋转的磁场必定是一种变化的磁场，例如在图 1—6 中，当磁铁转动时，空间每点的磁力线密度〔1〕都随时间而变化。这就给我们一个启发：是否可以用变化的电流来产生旋转磁场呢？我们再看一个演示实验。取三个结构相同的线圈，让它们的平面互成 120° 角地固定在木座上，如图 1—7 所示。把这三个线圈的尾端接在一起，三个首端分别接到木座的三个接线柱上，木座的正中放一个可以转动的铝框。从三个接线柱引出三根导线与低压三相电源接通，线圈就有三相电流通过（三个线圈与低压三相电源的联接方式见图 1—8）。与此同时，铝框不停地向一个方向转动。在这里，通有三相电流的线圈起到图 1—6 中转动着的磁铁的作用。可见三个互成 120° 角的线圈通过三相电流时能够产生旋转磁场。

图 1—7 左边的装置就是三相感应电动机最简单的模型，三个线圈相当于定子的三相绕组，而铝框则相当于转子。这样的电动机所能输出的功率是很小的，要能提供足够的输出功率，就要产生强大的磁场。因此必须把线圈绕在一定形状的铁芯上。

甲：刚才只是从实验中看到三相电流能产生旋转磁场。可以从理论上对这种现象加以解释吗？

乙：可以。用图 1—9 的简单模型代表三相感应电动机的定子，其中阴影部分代表定子铁芯，六个小圆代表三相绕组，A、

〔1〕 在一个磁场中，磁力线的疏密程度可以处处不同。磁力线密的地方磁场强，磁力线疏的地方磁场弱。在电工学中就利用磁力线密度（磁密）这个物理量来描写磁场的强弱。

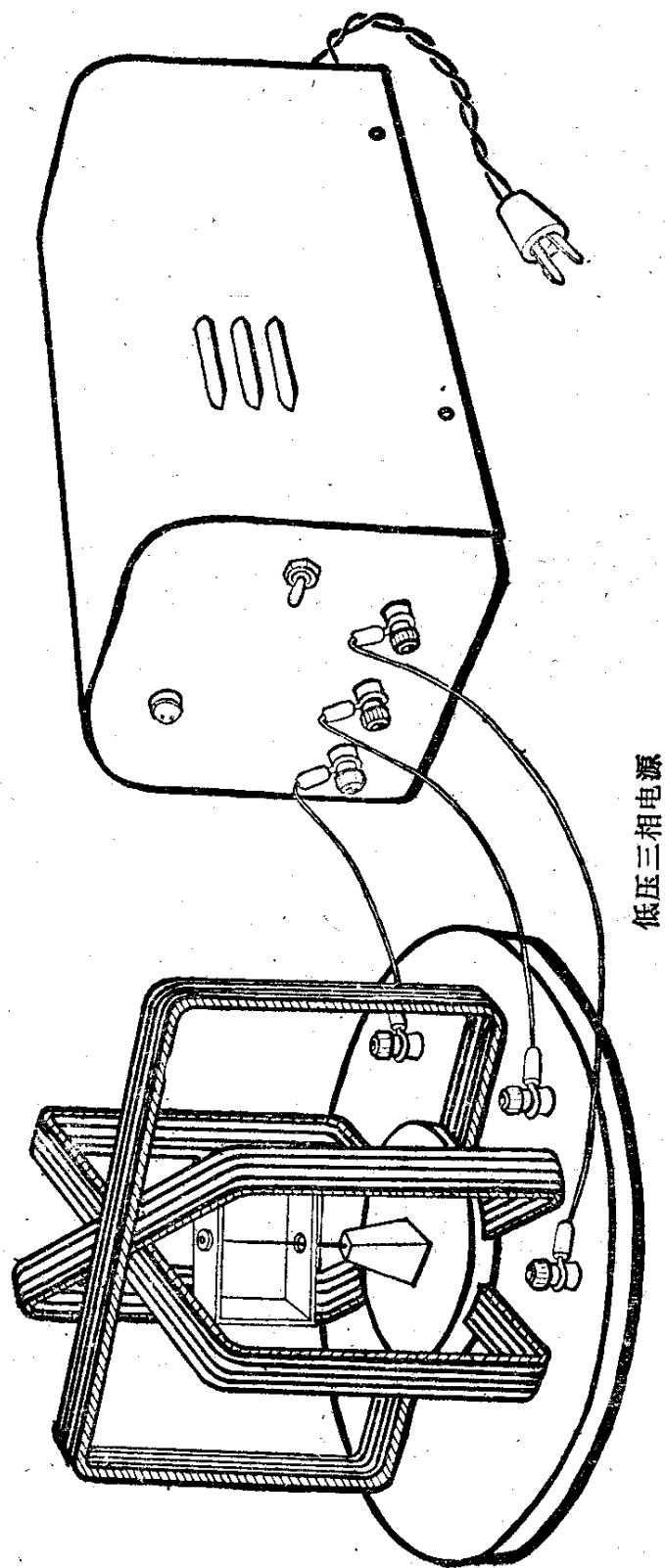


图 1—7 三相电流产生旋转磁场的演示

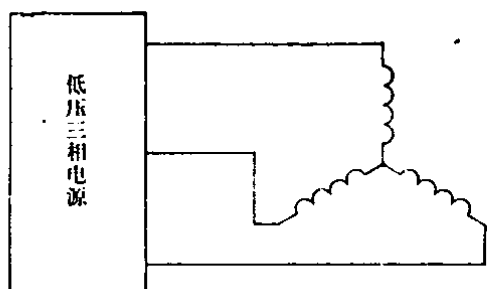


图 1—8 三个线圈与低压三相电流的联接方式

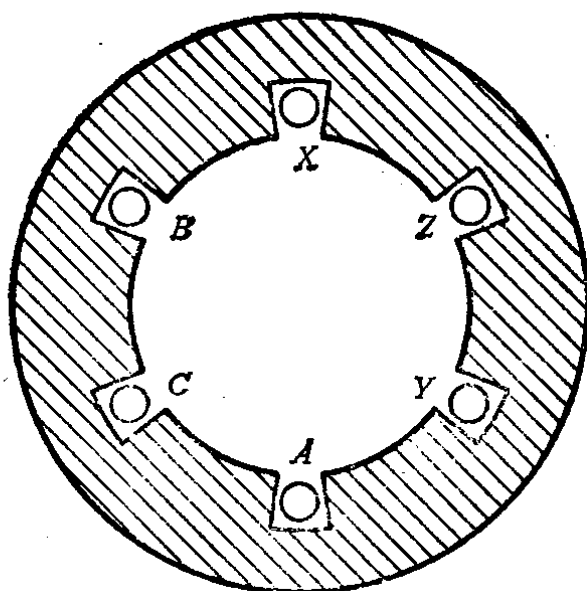


图 1—9 定子的简单模型

B 、 C 代表每相绕组的首端（相头）， X 、 Y 、 Z 代表每相绕组的末端（相尾）。以 i_A 、 i_B 、 i_C 分别表示每相电流的瞬时值。因为是对称三相电流，所以随时间的变化规律可用图 1—10 表示。

确定 i_A 为正是指 A 相电流从相头（ A ）流进绕组再从相尾（ X ）流出，而 i_A 为负，则相反。同样可确定 i_B 及 i_C 的正负。

由图 1—10 可知，在 t_1 时刻， i_A 为零， i_B 为正， i_C 为负。根据上述确定，知道 i_B 是从 B 流进 Y 流出， i_C 则是从 Z 流进 C 流出。所谓从 B 流进，是指 B 槽中的电流方向背离我们（流进绕组），可以用 $\otimes$ 表示；所谓从 Y 流出，是指 Y 槽中的电流方向指向我们（从绕组流出），可以用 $\odot$ 表示。同理， C 槽为 $\odot$ 、 Z 槽为 $\otimes$ ，因此 t_1 时刻各槽电流分布如图 1—11 所示。

现在再看这些电流产生的合成磁场。讨论时，每个

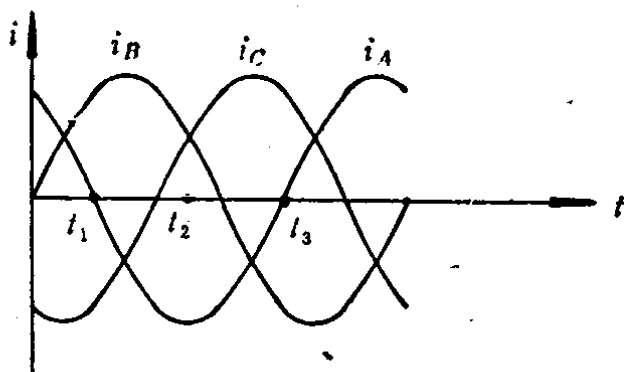


图 1—10 三相电流随时间的变化规律

槽内的导线可以看成一根直长导线，又因 B 和 Z 都是 $\otimes$ ，两者可以合起来看成一根带 $\otimes$ 的导线，所以应有许多封闭的磁力线围绕 B 和 Z ，而且磁力线的方向与电流方向的关系，符合右手螺旋法则。同理， C 和 Y 可以合起来看成一根带 $\odot$ 的导线，因此也应有许多封闭磁力线围绕它们，如图 1—12 所示〔1〕。

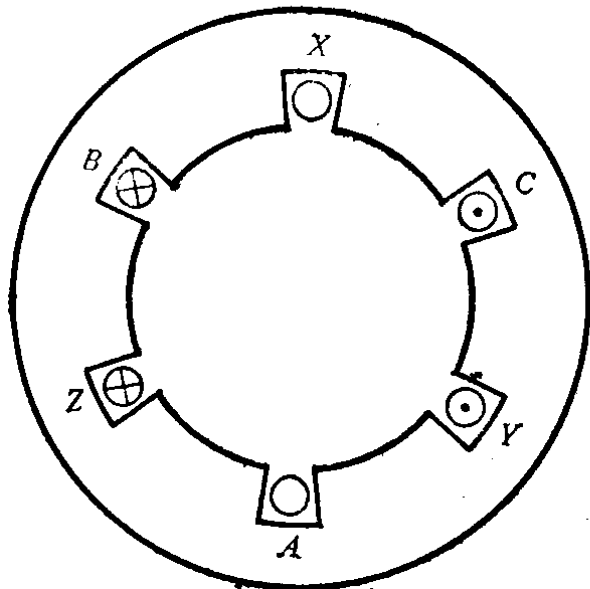


图 1—11 t_1 时刻各槽电流的分布

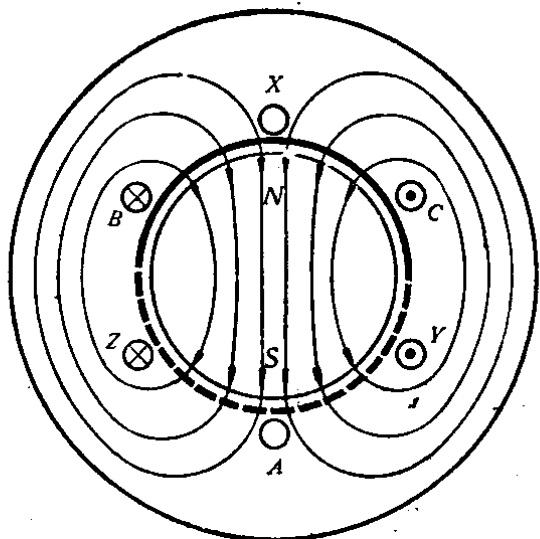


图 1—12 二极磁场

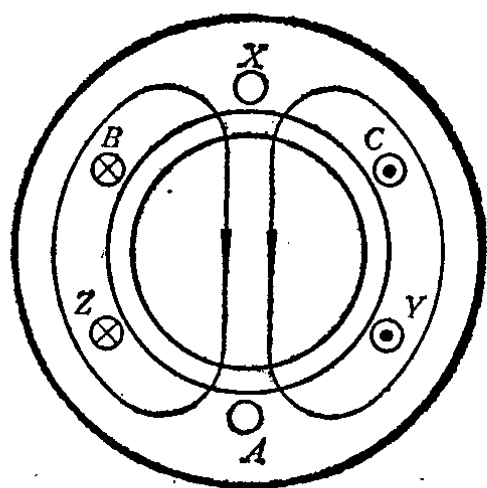
观察图 1—12 会发现这样一个特点：整个定子铁芯的内壁可以等分为两大段，在用粗实线表示的一段中，磁力线都从定子铁芯出来进入气隙（再进入转子）；而在用粗虚线表示的一段中，磁力线则从气隙进入定子铁芯。对一块磁铁来说，磁力线总是从 N 极发出而从 S 极进入的。如果把定子铁芯也看作一块磁铁（电磁铁），那么铁芯内壁发出磁力线的一段（粗实线）就应看作 N 极，而有磁力线进入的一段（粗虚线）就应看作 S 极。整个定子铁芯，

〔1〕 右手螺旋法则本来是对一根孤立的直长导线总结出来的，在那种情况下磁力线是同心圆在图 1—12 中，带电流的导线不止一根，铁芯的存在对磁力线的分布又有很大影响，所以磁力线不再是同心圆。但是理论表明，这种情况下的磁力线仍然是围绕电流的许多封闭曲线，其方向与电流方向的关系仍可按右手螺旋法则确定，其形状大体上与图 1—12 相符。

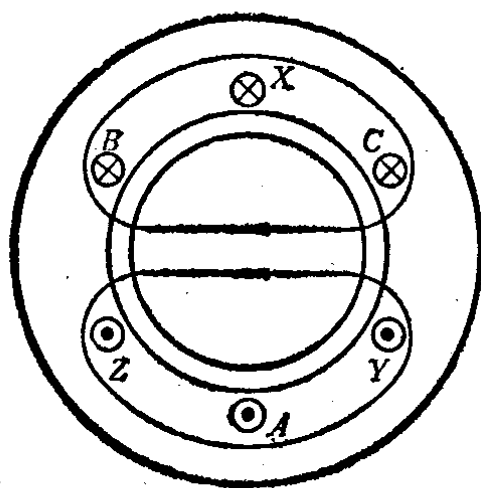
内壁可以分成 N 、 S 两个极面，所以这种磁场叫做二极磁场。

甲：这个二极磁场是旋转磁场吗？

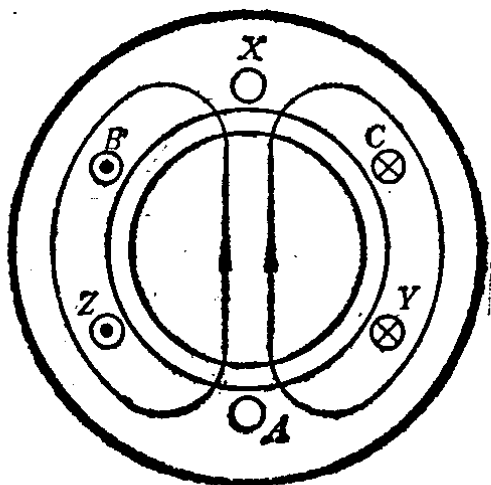
乙：要知道是否是旋转磁场，可以把图1—12简化成图1—13a，再画出下一个时刻 t_2 的磁力线与它对比。由图1—10可知，在 t_2 时刻， i_A 为负， i_B 及 i_C 为正，故电流的 $\otimes$ 、 $\odot$ 情况及磁力线形状如图1—13b所示。对比图1—13a、b两图，整个磁力线(连同两个极面)沿顺时针方向转了 90° 角。所以，尽管定子导线不动，只要通进三相电流，它们产生的磁场就是可以旋转的。再看 t_3 时刻。由图1—10可知，这个时刻的 i_A 为零， i_B 为负， i_C 为正，电流的 $\otimes$ 、 $\odot$ 情况及磁力线形状如图1—13c所示。对比b、c两图，发现磁



a. t_1 时刻



b. t_2 时刻



c. t_3 时刻

图1—13 旋转磁场示意

场又转了 90° 角。从 t_1 到 t_3 , 电流变化了半个周期, 磁场旋转了 180° 角。由此推知, 电流变化一周, 磁场应旋转一圈。因为电流每秒变化 50 周, 所以磁场每秒旋转 50 圈, 或者说每分钟旋转 3000 圈。

〔选读〕

为了更深入地理解旋转磁场, 有必要介绍一下电动机内部磁场的特点。钢铁是磁的良导体, 它的磁导率比空气高得多。因此, 电动机内的磁力线总是集中在铁芯内部, 不会向定子铁芯外面散开。当磁力线从定子走向转子 (或相反) 而必须通过气隙时, 它也总是在气隙中走尽可能短的路径, 即总是与定子铁芯内表面及转子铁芯外表面垂直如图 1—12 所示。因此, 对于任何时刻, 气隙中每点的磁场方向都是不变的。

所谓旋转, 并不是指磁场的方向, 而是指磁密的大小, 当然也可以说是极面在旋转。气隙中的磁密是既与位置又与时间有关的物理量。取定一个具体时刻 (图 1—10 中的 t_1), 磁力线分布大致如图 1—12 所示。由图看出, 导线 A 和 X 处磁力线最密, 即磁密最大。如果约定磁力线从定子进入转子时磁密为正值, 那么导线 X 处的磁密有正最大值, 而 A 处的磁密有负最大值。在导线 B、Z 的中分点磁力线最疏, 磁密为零 (恰好位于正、负磁密的交界处, 故为零)。同理, 导线 C、Y 的中分点磁密也为零。理论和实验证明, 在实际的电动机中, 磁密沿气隙圆周从大到零的变化规律接近于正弦规律, 如果从 B、Z 的中分点把气隙圆周剪开并拉成直线, 磁密的分布情况可近似用图 1—14 的正弦

曲线表示。或者, 为直观起见, 磁密从大到中再到零的变化情况也可用图 1—15 a 表示, 但这只是 t_1 时刻的情况。到了 t_2 时刻, 磁力线的分布变成图 1—13b 的样子, 于是磁密的分布就如图 1—15b 所示。对比图 1—15 中的 a、b 两图, 可知气隙中的磁密

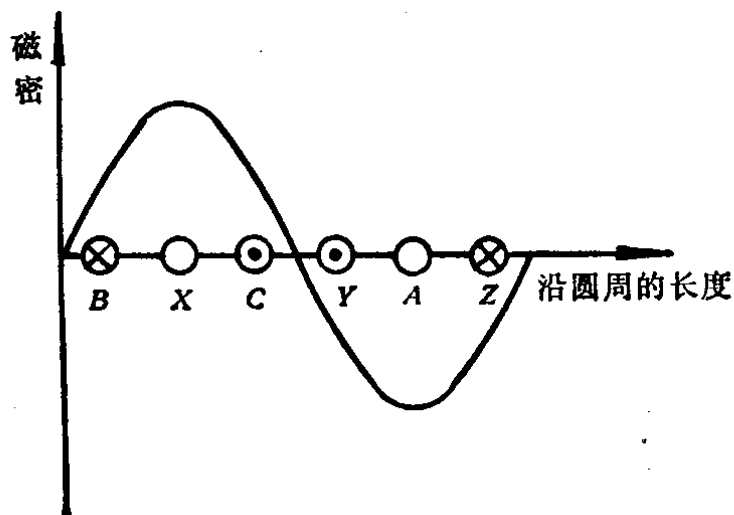


图 1—14 气隙磁密沿圆周作正弦分布

分布状况，顺时针地旋转了 90° 角。由此可见，所谓旋转磁场，对于气隙来说不是磁场方向在旋转（磁场方向始终与两铁芯表面垂直），而是磁密大小的分布状况在旋转。

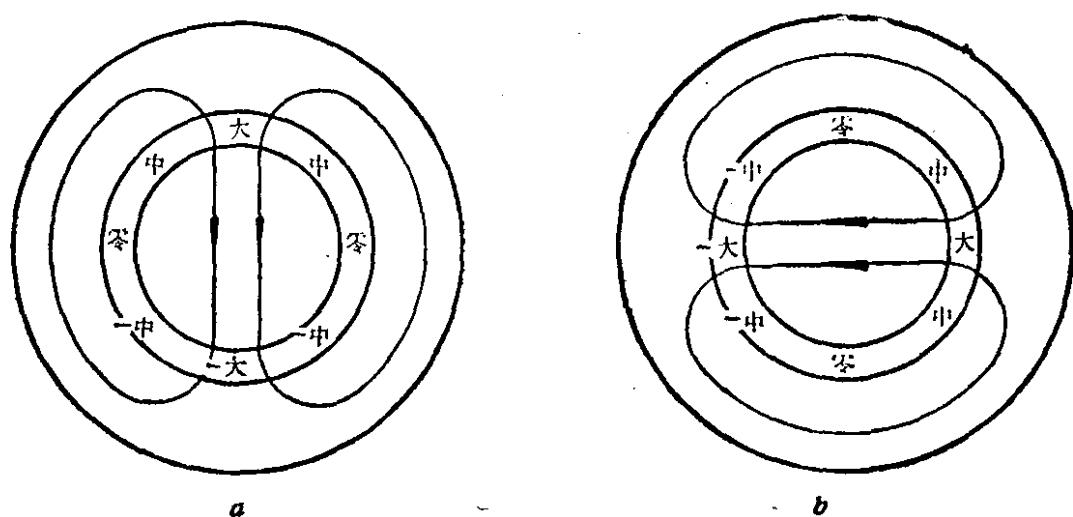


图 1—15 磁密分布旋转示意图

2. 转子的转动

鼠笼转子是由许多笼条和两个端环组成的。当定子绕组产生的磁场旋转时，每根笼条都因切割磁力线而出现感应电动势〔1〕。由于端环把所有笼条联接成一个闭合电路，所以每根笼条和端环就有感应电流流过。笼条的感应电流既然处在磁场之中，就会受到磁场的作用力。转子就是在这种力的作用下转动的。

我们用图 1—16 来分析笼条电流及其受力的方向。图中定子导线不再画出，转子笼条也只画出 a_1 和 a_2 两根。如果磁场顺时针方向旋转，就相当于 a_1 逆时针方向（向左）地切割磁力线。根据

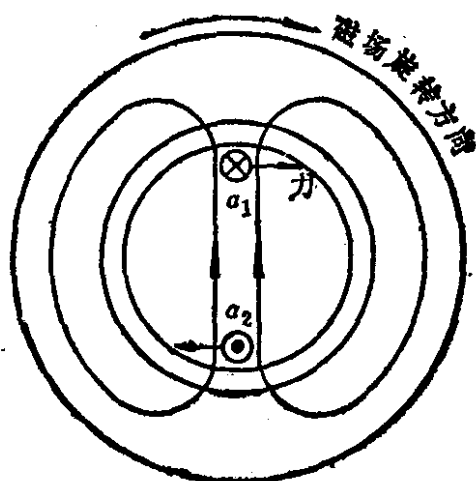


图 1—16 转子电流及受力方向示意图

〔1〕 “电动势”在电工学及电机学书籍中一般简称“电势”。