

三相异步电动机使用与维修

电机修理技术丛书



金续曾 主编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

电机修理技术丛书

三相异步电动机使用与维修

金续曾 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书系统全面地介绍了三相异步电动机的原理、构造、绕组构成原理、定转子绕组实际接线；以及异步电动机的安装、维护和其电气故障的检查、修理等。书后并附有部分常用系列电动机的绕组接线图及铁心、绕组技术数据，以备修理中查阅参考。

本书是一本内容丰富、资料翔实、源于实际但又高于实际的电机修理用书，可供电机使用、维护、修理人员，以及职业中专、技工学校师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

三相异步电动机使用与维修/金续曾主编. -北京: 中国电力出版社, 2003

(电机修理技术丛书)

ISBN 7-5083-1000-4

I. 三... II. 金... III. ①异步电动机, 三相-使用②异步电动机, 三相-维修 IV. TM343

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 019324 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

治林印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2003 年 7 月第一版 2003 年 7 月北京第一次印刷

850 毫米 × 1168 毫米 32 开本 9.375 印张 245 千字

印数 0001—5000 册 定价 17.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)



三相异步电动机由于具有结构简单、价格便宜、操作方便和可靠耐用等优点，因而被广泛地应用于国民经济各个领域。所以三相异步电动机的使用、维护和修理工作也日显重要。实践也证明电动机的损坏大多是因使用不当、维护不周及修理不及时所造成。

本书为《电机修理技术丛书》之一，书中系统全面地介绍了各类三相异步电动机的原理、构造、绕组构成原理，定、转子绕组实际接线；以及异步电动机的安装、运行、维护及其机械故障，电气故障的检查、修理等内容。全书重在实际经验的总结和提高，以及电机理论与实践经验的有机结合。希望广大从事电机运行、维护、修理的有关人员，能从本丛书中得到电机理论与实践上的收益。

附录中还绘制和整理有常用三相异步电动机部分绕组接线图，以及铁心和绕组技术数据，供读者查阅参考。

全书由金续曾主编，彭先觉、刘啟文、郑红、区达智、赵正其参编。

由于作者学识有限，书中难免有错漏和不足之处，敬请读者批评指正。

作者



前言

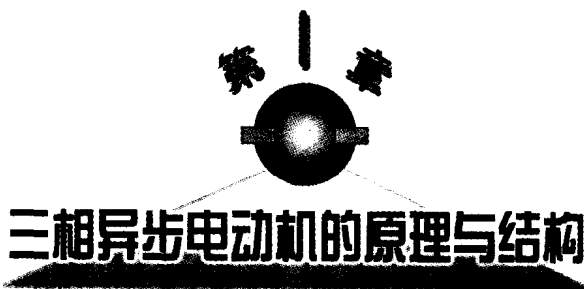
第 1 章	三相异步电动机的原理与结构	1
第 1 节	三相正弦交流电	1
第 2 节	旋转磁场的产生	6
第 3 节	异步电动机工作原理	11
第 4 节	异步电动机的运行特性	12
第 5 节	异步电动机的结构	15
第 2 章	三相异步电动机的类型和选择	21
第 1 节	异步电动机的类型	21
第 2 节	异步电动机的型号	23
第 3 节	异步电动机的铭牌及线端标志	25
第 4 节	异步电动机的性能数据	28
第 5 节	异步电动机的选择	29
第 3 章	三相异步电动机的使用与维护	35
第 1 节	异步电动机的安装	35
第 2 节	异步电动机常用控制电器	39
第 3 节	异步电动机的起动与控制	63
第 4 节	异步电动机的运行与维护	80
第 4 章	三相异步电动机机械故障的修理	85
第 1 节	电动机的拆卸与装配	86
第 2 节	转轴的故障与修理	89
第 3 节	轴承的故障与修理	91

第4节	机座及铁心的修理	96
第5节	集电环及刷握的修理	97
第5章	三相异步电动机的绕组及其连接	100
第1节	绕组的常用名词及其含义	101
第2节	三相异步电动机绕组的图示法	105
第3节	三相异步电动机绕组的类型	112
第4节	三相异步电动机定子绕组的连接	119
第5节	三相异步电动机转子绕组的连接	136
第6节	三相异步调速电动机绕组的连接	151
第6章	三相异步电动机绕组故障的修理	172
第1节	定子绕组的故障及修理	172
第2节	鼠笼型转子绕组故障的检查及修理	182
第3节	绕线型绕组故障的检查及修理	184
第4节	定子重换绕组的修理	186
第5节	绕线转子重换绕组的修理	205
第7章	电动机修后的必要检查与试验	221
第1节	外观检查	221
第2节	绝缘电阻测量	222
第3节	直流电阻测量	224
第4节	绕组耐压试验	227
第5节	空载试验	231
第6节	短路试验	232
第7节	转子开路电压测量	235
附录 A	三相异步电动机绕组接线展开图	237
附图 A-1	2 极 30 槽双层叠绕组 1 路接法展开图	237
附图 A-2	2 极 24 槽单双层混合绕组 1 路接法展开图	237
附图 A-3	2 极 18 槽单双层混合绕组 1 路接法展开图	238
附图 A-4	2 极 24 槽双层叠绕组 1 路接法展开图	238
附图 A-5	2 极 24 槽单层叠绕组 1 路接法展开图	239

附图 A-6	2 极 36 槽单层同心式绕组 1 路接法展开图	239
附图 A-7	2 极 30 槽单层同心式绕组 1 路接法展开图	240
附图 A-8	2 极 36 槽双层叠绕组 2 路接法展开图	240
附图 A-9	2 极 42 槽双层叠绕组 1 路接法展开图	241
附图 A-10	2 极 36 槽单双层混合绕组 2 路接法展开图	242
附图 A-11	2 极 42 槽双层叠绕组 2 路接法展开图	242
附图 A-12	2 极 30 槽双层叠绕组 2 路接法展开图	243
附图 A-13	2 极 48 槽单双层混合绕组 2 路接法展开图	243
附图 A-14	4 极 12 槽双层叠绕组 1 路接法展开图	244
附图 A-15	4 极 12 槽单层链式绕组 1 路底极接法展开图	244
附图 A-16	4 极 18 槽双层叠绕组 1 路接法展开图	245
附图 A-17	4 极 18 槽单层交叉式绕组 1 路底极接法展开图	245
附图 A-18	4 极 24 槽单层链式绕组 1 路接法展开图	246
附图 A-19	4 极 18 槽单层交叉式绕组 1 路底极接法展开图	246
附图 A-20	4 极 24 槽双层叠绕组 1 路接法展开图	247
附图 A-21	4 极 24 槽单层同心式绕组 1 路底极接法展开图	247
附图 A-22	4 极 24 槽双层叠绕组 2 路接法展开图	248
附图 A-23	4 极 36 槽双层叠绕组 2 路接法展开图	248
附图 A-24	4 极 48 槽单层链式绕组 1 路接法展开图	249
附图 A-25	4 极 36 槽单层交叉式绕组 1 路接法展开图	249
附图 A-26	4 极 48 槽双层叠绕组 2 路接法展开图	250
附图 A-27	4 极 48 槽双层叠绕组 4 路接法展开图	250
附图 A-28	6 极 36 槽双层叠绕组 2 路接法展开图	251
附图 A-29	4 极 36 槽 a 类波形绕组接线展开图	251
附图 A-30	4 极 36 槽 b 类波形绕组接线展开图	252
附图 A-31	6 极 36 槽 a 类波形绕组接线展开图	253
附录 B	电动机新老产品代号对照表	254
附录 C	三相异步电动机技术数据	258
附表 C-1	Y 系列 (IP23) 三相异步电动机技术数据	258
附表 C-2	Y 系列 (IP44) 三相异步电动机技术数据	261
附表 C-3	J2 系列三相异步电动机技术数据	267

附表 C-4	JO2 系列三相异步电动机技术数据	269
附表 C-5	YR 系列 (IP23) 绕线转子三相异步电动机技术数据	273
附表 C-6	YR 系列 (IP44) 绕线转子三相异步电动机技术数据	275
附表 C-7	JS2 系列中型三相异步电动机技术数据	278
附表 C-8	JR2 系列中型三相异步电动机技术数据	281
附表 C-9	JRO2 系列三相异步电动机技术数据	283
附表 C-10	YX 系列高效率三相异步电动机技术数据	285
附表 C-11	YZ 系列冶金及起重用三相异步电动机技术数据 (380V、50Hz)	288
附表 C-12	YZR 系列冶金及起重用三相异步电动机技术数据	289

三相异步电动机是基于气隙旋转磁场与转子绕组中感应电流相互作用产生电磁转矩,从而实现机电能量转换的一种交流电动机。由于其转子绕组不需与任何电源相连接,而定子电流则来自交流电网,与其他电机相比具有结构简单,制造、使用和维护方便,运行可靠及重量较轻、成本较低等优点。根据对比分析,三相异步电动机的重量和成本分别约为同功率、同转速的直流电动机的 $1/2$ 和 $1/3$ 。同时,三相异步电动机还具有较高的效率和接近恒速的负载特性,能满足大多数工农业生产机械的拖动要求。因此,它是各种电动机中产量最大、使用最广的一种电动机。



三相异步电动机又称感应电动机,因具有较多的优点而广泛应用于社会生产、生活的各个方面。如起重设备、运输机械、鼓风机和机床设备等。三相异步电动机的缺点是功率因数低和调速性能差,但随着电子技术及交流调速技术的发展,其调速方式和调速性能均得到极大的改观。本章将简介三相异步电动机的原理与结构。

第1节 三相正弦交流电

三相正弦交流电就是由三个频率相同而相位不同并按正弦规律变化的电动势。如果构成三的各相电压或电流大小相等及相



位差相同，则这种三相交流电又称为对称三相正弦交流电，图 1-1 所示即为三相对称电动势的相量图。

一、三相正弦交流电的产生

三相正弦交流电是由三相发电机产生的，图 1-2 所示为三相交流发电机的示意图。从图中可以看出，在发电机的定子铁心中嵌放着三个独立绕组 Ax、By 和 Cz，三个绕组的始端 A、B、C 在

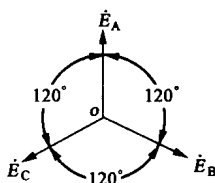


图 1-1 三相对称交流电势相量图

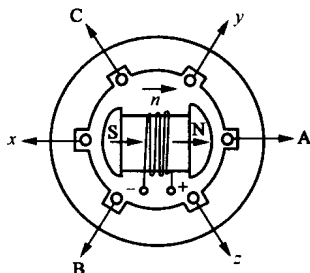


图 1-2 三相交流发电机示意图

定子上各相差 120° ，末端 x、y、z 在定子上也各相差 120° 。其转子构造与单相交流发电机一样，为分析方便起见，将转子简化成一个条形磁铁。当转子顺时针方向等速旋转时，各相绕组中将产生频率相同、振幅值相等的感应电动势。由于发电机在结构上的对称性，致使它所产生的电动势，在正常情况下均认为是对称的三相正弦交流电动势。假设以 A 相电动势向正值增加过程中经过零值的瞬间作为计算时间的起点，则 A 相的瞬时电动势 (V) 为

$$e_A = E_m \sin \omega t \quad (1-1)$$

B 相的瞬时电动势较 A 相滞后 120° ，即

$$e_B = E_m \sin(\omega t - 120^\circ) \quad (1-2)$$

C 相的瞬时电动势较 B 相滞后 120° ，也就是比 A 相滞后 240° 或者超前 A 相 120° ，即

$$e_C = E_m \sin(\omega t - 240^\circ) \quad (1-3)$$



图 1-3 所示为这三个电动势的正弦波形图。如果将这三个电动势的相量加起来, 则如图 1-4 所示, 它们就构成了一个闭合的三角形。即

$$\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C = 0 \quad (1-4)$$

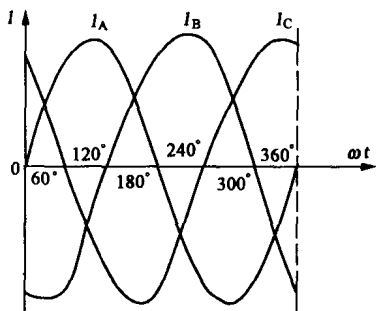


图 1-3 三相电动势的正弦波形图

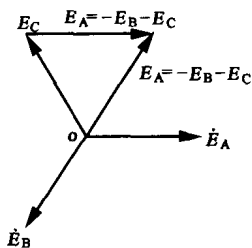


图 1-4 三相对称电动势的相量图

从上式可以看出三相对称电动势的相量和等于零。如果将这三个电动势的瞬时值相加, 也可以得到

$$e_A + e_B + e_C = 0 \quad (1-5)$$

因此在三相电动势的正弦波形图上, 若将任一瞬间三个电动势的大小数值相加均会得到同样的结果, 即三相对称电动势在任一瞬间其代数数和都等于零。

二、星形连接和三角形连接

三相交流发电机的三个绕组是按照一定的接线方式连接成一个整体后, 向外输送电能的。其连接方法则有星形(Y)连接和三角形(Δ)连接两种, 现分别简述如下。

1. 星形连接

星形连接是将三相绕组的末端 x、y、z 连接在一起, 而将三个始端 A、B、C 分别作为引出连接线的接法, 如图 1-5 所示。

采用星形连接时, 三个末端连接在一起的结点, 通常称为中性点或零点, 并用“0”表示。从中性点引出的连接线称为中性



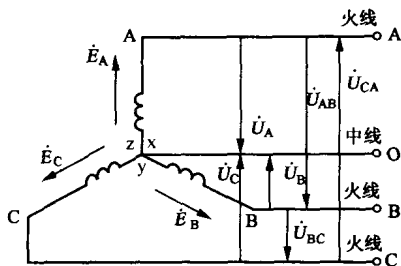


图 1-5 三相发电机的星形连接 (带中线)

线 (俗称零线), 而由始端引出的三根引出线则称为端线 (或称相线、火线)。

电机绕组接成星形连接时即可得到两种电压。在图 1-5 中用电压表测得每相绕组其始端与末端之间的电压 (或者为火线与零线之间的电压), 称为相电压。相电压的有效值则用 U_A 、 U_B 、 U_C 或一般地用 U_{ph} 表示。从测量中可以看出三个相电压的有效值大小相等, 即 $U_A = U_B = U_C = U_{ph}$ 。电压表测得的各绕组始端与始端之间的电压 (或者各火线之间的电压), 则称为线电压。线电压的有效值用 U_{AB} 、 U_{BC} 、 U_{CA} 或一般地用 U_L 表示。从测量中可以看出, 三个线电压的有效值的大小也相等, 即 $U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = U_L$ 。

进一步可以证明, 在三相对称的情况下线电压与相电压之间的关系如下

$$\left. \begin{aligned} U_{AB} &= \sqrt{3} U_A \\ U_{BC} &= \sqrt{3} U_B \\ U_{CA} &= \sqrt{3} U_C \end{aligned} \right\} \quad (1-6)$$

或

$$U_L = \sqrt{3} U_{ph} \quad (1-7)$$

即电源连接成星形时其线电压为相电压的 $\sqrt{3}$ 倍。

如果此时电源连接的三相负载也是对称的星形接法, 则便构



成三相对称电路，即如图 1-6 所示。这时线电流 I_L 和相电流 I_{ph} 是相等的。即

$$I_L = I_{ph} \quad (1-8)$$

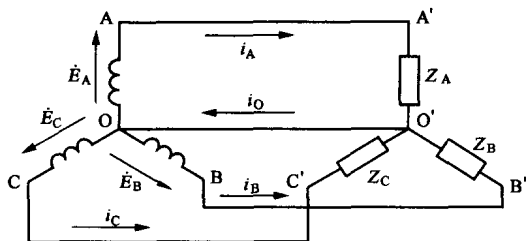


图 1-6 星形连接时的三相对称电路

2. 三角形连接

三角形连接则是把一相绕组的末端与另一相绕组的始端顺序连接，如 x 接 B、y 接 C、z 接 A，以此接成一个闭合绕组。然后再从三个连接点引出三根导线向外送电，如图 1-7 所示。

从图 1-7 可以看出，三相绕组按三角形连接，其线电压等于相电压，即

$$U_L = U_{ph} \quad (1-9)$$

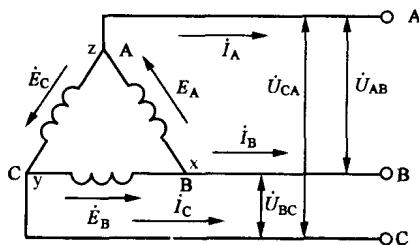


图 1-7 三相发电机的三角形连接

在三角形接法中虽然三相绕组已形成一个闭合回路，但只要绕组连接正确，则合成的三相电动势便仍为零。即 $e_A = e_B = e_C = 0$ ，三角形回路中不会产生环行电流。但是，实际上三相发电



机每相的电动势只是一个近似的正弦波，三相的合成电动势并不是绝对等于零，因而在三角形连接回路中有可能出现某种环行电流，所以三相交流发电机的绕组很少接成三角形连接，通常都是接成星形连接。

采用三角形连接时其线电流和流过每相绕组的相电流，在三相负载对称的条件下则应有如下的关系

$$\left. \begin{aligned} I_A &= \sqrt{3} I_{xA} \\ I_B &= \sqrt{3} I_{yB} \\ I_C &= \sqrt{3} I_{zC} \end{aligned} \right\} \quad (1-10)$$

或

$$I_L = \sqrt{3} I_{ph} \quad (1-11)$$

式中的 I_A 、 I_B 、 I_C 分别为 A、B、C 的线电流，而 I_{xA} 、 I_{yB} 、 I_{zC} 则分别为 A、B、C 相的相电流。该式说明当三相绕组连接成三角形时其线电流等于相电流的 $\sqrt{3}$ 倍。

第2节 旋转磁场的产生

当异步电动机定子三相绕组中通入三相对称电流时，在定子气隙中就会产生一个旋转磁场，并将定子从交流电源获得的电能经过电磁能量转换传递到转子而以机械能输出。现分析这个旋转磁场是怎样形成的。

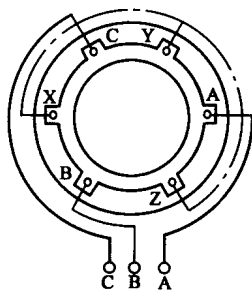


图 1-8 互差 120° 电气角度的三个线圈

如图 1-8 所示，在定子铁心圆周上对称分布有在空间位置互差 120° 电气角度的 A_x 、 B_y 、 C_z 三个线圈，也即最简单的三相绕组。将这三相绕组按星形接法连接，并将它们接到在相位互差 120° 电气角度的三相对称电源上，如图 1-9 所示。于是，在该三相绕组中就会出现三相对称电流。



为了分析方便，规定电流为正值时绕组中电流由始端流向末端；电流为负值时绕组内电流则从末端流向始端。根据这个规定，分析在不同瞬间由三相电流所产生的磁场情况。

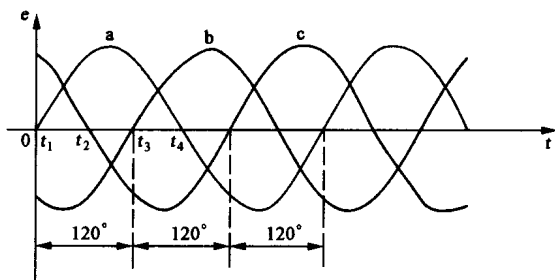


图 1-9 互差 120° 的三相对称电源

首先分析在 t_1 瞬间三相对称电流在绕组中建立的磁场。从图 1-9 可以看出，在 t_1 瞬间 ($\omega t = 0$)，这时 $i_A = 0$ 、 i_B 为负值、 i_C 为正值，并且 i_B 和 i_C 的数值大小相等、方向相反。这时，电流通过三相绕组的情况如图 1-10(a) 所示。 i_B 为负值即，电流从 B 相绕组的末端 y 流向始端 B； i_C 为正值则电流从 C 相绕组的始端 C 流向末端 z；而电流 i_A 则为零。这也就是说在 y、C 导体 (By、Cz 线圈的两个有效边) 中，电流是由外流入纸面。而在 B、z 导体 (By、Cz 线圈的另外两个有效边) 中，电流为自纸面向外流出，因此，这三个绕组的六个有效边除 A、x 中没有电流通过外，其他四个有效边可以按照电流在 t_1 瞬间的方向划分为两组。一组的 y、C 两个边中电流为流入纸面，另一组的 B、z 两个边中电流是从纸面流出。电流所产生的磁场方向则可以根据右螺旋法则来确定，图 1-10 (a) 即为由 i_B 和 i_C 所产生磁场用磁力线表示的情况，这个磁场的轴线为垂直向上。

再看图 1-9 中的 t_2 瞬间 ($\omega t = 60^\circ$)，这时 i_A 为正值、 i_B 为负值、 $i_C = 0$ 。即 i_A 是从 A 相绕组的始端 A 流向末端 x； i_B 则从 B 相绕组的末端 y 流向始端 B。也就是说在 A、y 导体中电流为



流入纸面，而在 x、B 导体中电流为从纸面向外流出，其情况则如图 1-10 (b) 所示。用同样的方法也可以确定出，由电流 i_A 和 i_B 所产生的合成磁场方向比 t_1 瞬间依顺时针方向旋转了 60° 电气角度。同样的道理可以继续分析 t_3 和 t_4 瞬时的情况，就可以得到由图 1-10 (c) 和图 1-10 (d) 所表示的合成磁场方向。在 t_3 瞬时 ($\omega t = 120^\circ$)，磁场方向比 t_2 瞬时又顺时针方向转了 60° 电气角度；在 t_4 瞬时 ($\omega t = 180^\circ$)，则磁场方向又继续转了 60° 电气角度。比较图 1-10 (a)、(b)、(c)、(d) 就可以看出，当三相对称电流的相位变化 60° 时，由它们所产生的合成磁场方向在空间就旋转了 60° ；三相电流的相位变化 120° 时，合成磁场的方向在空间就旋转了 120° ；电流在相位上变化 180° 时其合成磁场方向在空间也转过 180° 。所以，当三相对称电流完成一个周期的变化时，它们所产生的合成磁场在空间也就旋转了一周。显然，三相电流随时间周而复始地变化，而由三相电流所产生的合成磁场也就在不停地旋转。由此，就得到了三相异步电动机所需要的旋转磁场。

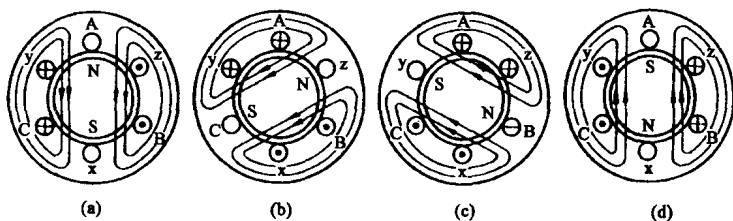


图 1-10 三相对称电流产生的两极旋转磁场
(a) t_1 瞬间；(b) t_2 瞬间；(c) t_3 瞬间；(d) t_4 瞬间

综上所述，产生一个三相旋转磁场的条件是：

- (1) 有一套在定子铁心空间位置上互差 120° 电气角度的三相对称绕组；
- (2) 在这套对称的三相绕组中通过在时间上相位互差 120° 电气角度的三相对称电流。



以上分析的是两极旋转磁场，当 ωt 变化 360° ，即变化一个周期时，旋转磁场在空间也正好运转一周（即 360° ）。电流每秒钟变化 f 周，则旋转磁场每秒钟也在空间变化 f 转。在我国交流工频为 $f = 50\text{Hz}$ ，所以三相两极异步电动机的旋转磁场转速为

$$n_1 = f = 50\text{r/s} \quad (1-12)$$

或

$$n_1 = 60f = 3000\text{r/min} \quad (1-13)$$

如果电动机定子绕组由六组线圈组成（仍用单个线圈代表一组线圈，这样比较简单明了）。每组线圈的始端（或末端）之间在定子圆周上按相差 60° 电气角度顺序排列，如图 1-11 (a) 所示。图中 A1、B1、C1、A2、B2、C2 六个始端各相差 60° 电气角度，同样 x1、y1、z1、x2、y2、z2 六个末端也各相差 60° 电气角度。这样，线圈的空间位置是对称分布的。如图 1-11 (b) 所示，每相绕组均由两个线圈串联而成。即 A 相绕组由线圈 A1-x1、A2-x2 串联组成；B 相绕组由线圈 B1-y1、B2-y2 串联组成；C 相绕组由 C1-z1、C2-z2 串联组成。

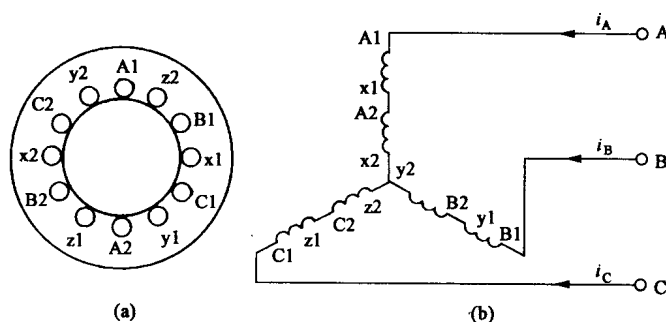


图 1-11 产生四极旋转磁场的定子绕组

(a) 绕组的空间排列；(b) 绕组的组成

绕组由 C1-z1、C2-z2 串联组成。三相绕组按星形接法接到三相电源上，此时在三相绕组内通过的对称电流，如图 1-12 (a) 所示。仍按上述分析方法先画出不同瞬间由三相电流产生的合成磁场情况，如图 1-12 (b) 所示。从图中可以看出由三相电流产生的合

