



第一集 第二版

感应电动机文辑

王群祐主编

上海科学技术出版社

感应电动机文輯

第一集

王群祐 主編

(第二版)

上海科学技术出版社

內 容 提 要

本文輯是將已出版的四集“感應電動機文輯”重新加以選擇與整理，並補充近年來“電世界”月刊上發表的有关文章編輯而成，分兩集出版。第一集主要介紹有关感應電動機的基础知識與应用常識，包括感應電動機繞組的联接和改制、起動和控制、保護方法以及感應電動機的特種型式和特種应用等等。可供从事電工的技术人員参考。

感應電動機文輯 第一集(第二版)

王 群 祐 主 編

上海科学技术出版社出版 (上海瑞金二路450号)

上海市书刊出版业营业許可証出 093 号

商务印书館上海厂印刷 新华书店上海发行所发行

开本 850×1168 1/32 印張 6 2/32 排版字數 160,000

1963 年 4 月第 2 版 1963 年 4 月第 1 次印刷 印數 1—13,000

統一書号 15119·1718 定价(十) 0.72 元

編者的話

交流感应电动机結構簡單、易于控制和維修，因此应用广泛，目前各工矿企业中，在运用的感应电动机数以千百万台計。应用的数量一多，相应的运用中产生的各种問題也多，对維護檢修的参考資料的需要也愈迫切。感应电动机文輯系將“电世界”月刊十卷二期以前的有关文章选輯而成，先后共出四集，其中維護檢修方面的內容比重很大，切合客观需要，因此出版以后，很受讀者欢迎。原书虽已經过部分修訂，但目前看来有些內容已不符合客观需要，而“电世界”月刊十卷以后又陸續发表了不少較新的資料，还未选入书內，为了使本书更切合讀者需要，特再予以重編。这次从原书 99 篇中选取 46 篇，并从“电世界”月刊上新选 30 篇，經過整理归类，部分合并改写成为 75 篇，分为两集出版。第一集系基础知識和应用常識，第二集系檢查、試驗和維修知識。

第一集中，第一部分为繞組联接及改制方面的文章，共 9 篇，对于各种繞組的接綫原理、联接方法，以及改接、改制以适应改变轉速、改变电压和改变相数的要求，內容比較詳細，是修理电动机繞組的必要基础知識。第二部分为电动机起動和控制方面的文章，共 7 篇，不特介紹了鼠籠式电动机的各种起動控制方法，还介紹了三相整流子电动机(快慢馬达)自动控制的几种方法；对于鼠籠式电动机起動用自耦变压器及电抗器的選擇和滑环式电动机起動电阻的計算和分析，都有較詳細的介紹，这些都是切合实际工作需要的內容。第三部分系电动机各种保护方法方面的文章，共 8 篇，其中有熔断器的簡易選擇方法，有过电流保护的 analysis，有防止起動时誤操作和反向起動时短路的方法，以及防止三相电动机单相運轉燒坏的各种措施，这些都是电动机运用中經常碰到而必須解決的問題。第四部分为电动机应用常識方面的文章，共 9 篇，从選擇电动机的类型，如何試車到試車運轉中各种故障的处理方法和容易造成不必要損失的几种似是而非的故障都有較詳的介

紹;这一部分还介绍了电源频率和环境温度对电动机的影响,矿井水泵和卷扬机的电动机容量及电动机补偿电容器的计算,以及预热防潮的方法。第五部分为感应电动机特种型式和特种应用的文章,共4篇,对于三相整流子电动机的原理和构造、滑环式电动机改作变频机和同步电机的方法,以及感应电动机同步并列运转的方法,都有详细的介绍。

第二集中,第一部分为各种故障检查方面的文章,共5篇,有电动机绕组和机械部分各种故障的检查方法,有鼠笼式转子缺陷的各种精密和简易的检查方法,并有应用推断方法确定电动机故障的办法,都是检修工作中必备的知識。第二部分为各种测试方法方面的文章,共16篇,其中有辨别绕组起端、末端和从引线头确定旋转方向的方法,有测量表面和绕组温度的方法,有测量转差率和简易测定电动机负载的方法,有测定各种功率损失及绝缘情况,无铭牌电动机的各种数据,以及几种主要的负荷试验方法。第三部分为绕组修理和换新方面的文章,共7篇,详细介绍了绕组的局部修理和全部更新的方法,包括万能式绕线模和快速拆线法,也介绍了维修工作者迫切需要的参考资料——电动机旧壳绕新线的简易算法。第四部分为浸漆与烘干方面的文章,共5篇,既有各种正规的浸漆烘干方法,也有简易的办法,适合于各种不同场合下选用,特别是生石灰干燥的方法更是简单易行,即使在农村条件困难的情况下也可采用。第五部分为电动机机械部分检修方面的文章,共5篇,对于轴承的维修和转子动平衡的方法都有较详细的介绍。

经过这次修订,全书内容绝大部分都与电动机的应用和维修有关,较前更切实用;并由于有关文章编在一起,更便于查阅。文中互相雷同之处或实用价值不大之处已予适当删节,虽比过去有系统,但文辑究竟是由许多篇文章汇编而成,局限性还不可避免。书中内容经过改编、改写、校核,限于笔者水平,错漏仍所难免,希望读者随时指正。

王群祐 1983年8月

目 录

1. 感应电动机繞組的联接和改制.....	1
1-1 三相电动机繞組淺說.....	張 广 (1)
1-2 再談电动机繞組的原理.....	范錫普 (11)
1-3 三論三相电动机繞組的原理.....	張 广 (19)
1-4 三相波形繞組的实际联接法.....	林剛汉 (24)
1-5 三相感应电动机的重迭式繞組.....	花柱彤 (29)
1-6 双速感应电动机繞組.....	林剛汉 (35)
1-7 单繞組多速电动机.....	刘慎功 (43)
1-8 如何改接电动机繞組以适应运用的电压.....	表 表 (52)
1-9 三相鼠籠电动机改为单相使用.....	洪 頤等 (56)
2. 感应电动机的起动和控制.....	62
2-1 鼠籠式感应电动机的控制綫路.....	束 立 (62)
2-2 三相整流子电动机的自动控制.....	安继成 (79)
2-3 备用泵浦自动工作的装置.....	叶新材 (85)
2-4 用一只起动机起动多只电动机.....	傅守善 (87)
2-5 起动自耦变压器及起动电抗器的选择.....	陈敦錫 (88)
2-6 用图解法計算滑环式电动机的起动电阻.....	金乃文 (91)
2-7 轉子三相电阻不对称起动的分析.....	于庆禎 (95)
3. 感应电动机的保护.....	99
3-1 感应电动机的过电流保护.....	周潜杰 (99)
3-2 鼠籠式感应电动机起动保护装置的改进.....	仇叔平 (103)
3-3 鼠籠式电动机保护熔断器的簡易选择方法.....	陈敦錫 (105)
3-4 鼠籠式电动机熔絲选择的商討.....	叶尔青 (108)
3-5 防止滑环式电动机起动时誤动作的装置.....	陈家鼎 (110)
3-6 防止高压电动机反向起动时短路的方法.....	薛茂新 (111)
3-7 三相Y接电动机一相断路的保安装置.....	(112)
(一)断电指示器.....	潘里平 (112)
(二)电动机断綫自动停止器.....	洪思沂 (113)
3-8 加强檢修預防电动机单相运轉.....	首茅椿 (117)

4. 感应电动机的应用常識.....	121
4-1 如何选择电动机.....	王群祐 (121)
4-2 如何試車.....	王群祐 (125)
4-3 运轉中出烟的电动机如何处理.....	王群祐 (130)
4-4 电动机几种似是而非的故障.....	王群祐 (138)
4-5 50 和 60 周的电动机可混淆应用嗎.....	王群祐 (145)
4-6 在不同环境温度时电动机容量的計算.....	姚一清 (149)
4-7 矿井水泵和卷揚机的电动机容量的計算.....	宋宝愷 (152)
4-8 感应电动机补偿电容器容量的簡捷決定法.....	陈 坚 (156)
4-9 矿井排水用电动机預热的新方法.....	宋执濂 (161)
5. 感应电动机的特种型式和特种应用	165
5-1 三相整流子电动机.....	史鍾奇 (165)
5-2 感应变频器.....	楼朝城 (176)
5-3 感应电动机的同步并列运轉.....	程礼椿 (180)
5-4 滑环式电动机的同步运行.....	刘乾业等 (185)

1. 感应电动机

繞組的联接和改制

1-1. 三相电动机繞綫淺說

張 廣

三相感应电动机需要三組繞組，因为每一相电流需要一組繞組的。但是此三組繞組如何分布在綫槽內，則是一个大問題。要了解分布的情形，必須先知道电动机有几个磁极，因为繞組的分布完全依磁极数为标准的。感应电动机的磁极与速度有一定的关系，普通都說每分钟多少轉，很少有說几个磁极的，其同步轉速与磁极的关系如下面公式：

$$\text{磁极数} = \frac{120 \times f}{\text{每分钟轉数}}。$$

f 为电源的頻率，若頻率為每秒 50 周，

$$\text{磁极数} = \frac{6,000}{\text{每分钟轉数}}。$$

例如，一只电动机的同步轉速是每分钟 1,500 轉，則其磁极必为 $6,000 \div 1,500 = 4$ 。

但实际情形与此稍有不同，一只 4 个磁极的电动机，即或一点負載沒有，也不会轉到 1,500 轉，在滿載时，其最高轉速只不过 1,450 轉左右，这是为什么呢？因为 1,500 轉是同步轉速，1,450 轉是实际轉速，这两种轉速要差一个极小的数量。这个差量叫作“轉

速差”。如果沒有轉速差，轉子就不能轉動；但是有了轉速差，上面公式所算出的磁極數就不是整數。如上面的例子， $6,000 \div 1,450 = 4.13$ ，難道磁極還有小數嗎？所以在这里特別提出來，算磁極數只算整數，小數不算，象上面的 4.13 即是 4 個磁極。但一般用公式時，都用同步轉速，就沒有小數的麻煩了。

迭 繞 組

磁極數決定後，我們就可以把三組的繞組每一組分成和磁極數相等數目的部分，分別放在磁極下面的槽槽中去。例如一只電動機有 4 個磁極、12 個槽，則可以把每組繞組分成四部分，每一部分作成一只線圈的样子，放在每個磁極下面相同的地位。此電動機共有 4 個磁極及 12 個槽，所以每個磁極占着三個槽，如图 1 所示。又因為有三相的繞組，第一、四、七、十個槽中的四只線圈串接成為一相的繞組；其餘按次序接成第二及第三相的繞組。

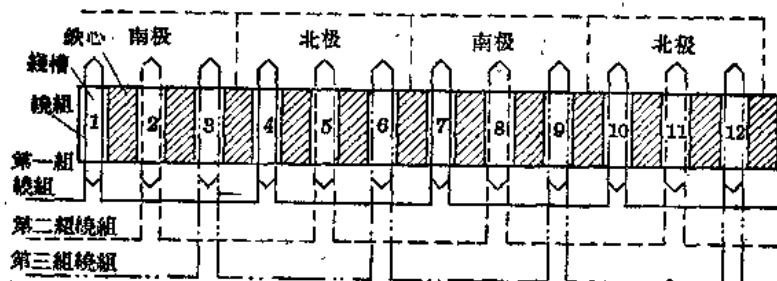


图 1 將一只線圈的两边全放在一个槽內是錯誤的

不过这种接法是錯誤的，一只線圈的两边導線是不能放在一个槽內的。因為電流從一端流入必從他端流出，兩邊導線內的電流方向相反，大小相等。因此所形成的磁場彼此對消，如图 2。所以欲使其產生磁極，必須設法使在同一槽內的導線載有方向相同的電流。欲達到此目的，方法極為簡易，只要將每一只線圈的两邊分開，放入本組線圈所應占的槽槽中去，图 3 即為此種布置。請注意同一線圈的两邊已不是放在同一槽中了！而同時同一槽內的兩

根导线所流过的电流是同一个方向了,因此产生了磁极。

此处四只线圈的接法請特别注意,如第一只中的电流从左面进,则第二只电流必从右边进,一正一倒的接下去。如果不是这样的接法,则仍不能产生磁场。又因相邻两线圈内的电流流动方向相反,所以产生的磁极也是相反,比如第一只线圈产生北(N)极,则第二只线圈产生南(S)极。

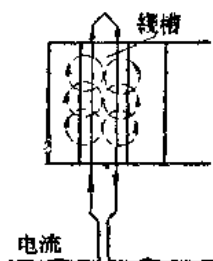


图2 因为一只线圈两边电流方向相反,如果两边同在一个槽内,结果将无磁场产生

感应电动机的构造很简单,铁心只有线圈槽,并无突出的磁极。所谓4极、6极或8极者,是对线圈所产生的磁极而言,因此感应电动机的磁极又称为隐极。

图3中的电动机共有12个槽、4个磁极,所以每个磁极要占三个槽;换句话说,就是每三个槽要产生一个磁极。但是在每一个磁极下面要包括三相电流,所以每相电流的线圈只占一个槽。用一句比较专门的术语说,就是“每极每相的线圈槽等于1”。

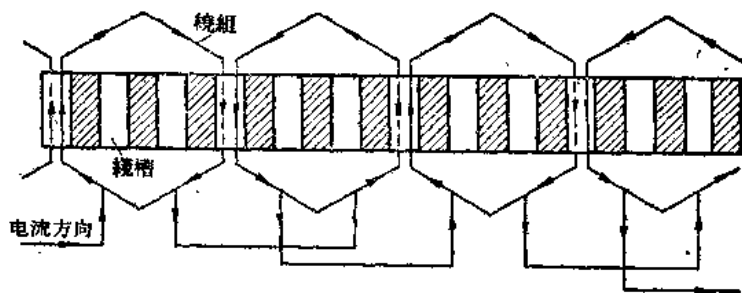


图3 线圈的正确分布方式

一个线圈两边放在不同的槽内,这两个槽又是属于相反磁极的

线圈两边所跨接的槽数,名为线圈节距(俗名开档)。开档数即等于每极的槽数。这是因为一只线圈的一边在N极下某地位时,另一边必须在相邻的S极下面相应的地位,这叫作整节距绕

組。圖3的繞圈開檔為三，就是說如果繞圈的一邊在第一槽內，則另一邊必須在第四槽內。

圖3內的四只繞圈開檔完全一樣。在雙層繞組中，每槽內有兩個繞圈邊，一在上層，一在下層（每一繞圈邊可能包括不只一根導線，要看繞圈的圈數而定）。放入槽內時，應注意一點，即繞圈的第一邊如果在第一槽內的上層，則第二邊必須在第四槽的下層。每一只繞圈都必須一邊在一槽的上層，另一邊則在另一槽的下層，如圖4。

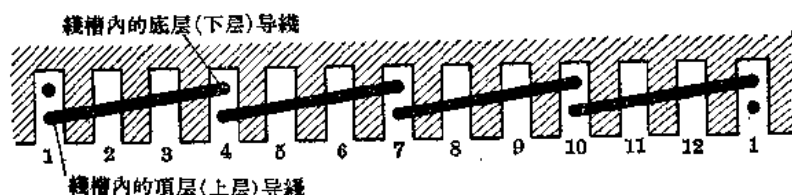


圖4 在雙層繞組中，繞圈的一邊在一槽的上層，另一邊必在另一槽的下層，如圖中斜線所示

這樣安排的方法有一優點，就是所有繞圈都是一樣寬一樣大，所以在實際繞線時，不必用手一根根的去繞，而可以用模子作出許多大小一樣的繞圈來，分別按次序嵌入槽內，然後把繞頭聯接起來即可。聯線時應注意電流流動的方向，應使在同一槽內的導線中的電流是同方向；也就是說，

相鄰的繞圈要一正一倒的聯接起來。

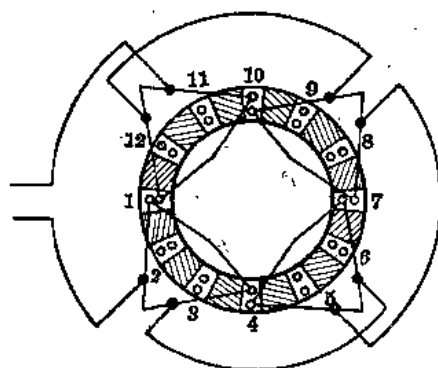
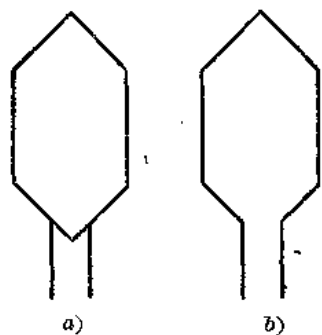


圖5 雙層繞組的聯接法
把圖3重復的畫成圓形，見圖5。圖中只畫出一組繞組，其餘二組

以上所繪各圖均為展開圖，就是把電動機縱着切開，然後再把它拉直，讀者可想象其形狀。比如圖4，兩端的槽均為第一槽，就是為了便于看圖，將第一槽畫二次，其實只有一個第一槽，現在

讀者可自行画出。

所謂一只綫圈是什么意义呢？并不是一根导綫繞一圈的意思，实际上是可用多根导綫并起来繞的，也可能包括不只一圈的。圈数的多少，要看承受电压的高低及鉄心的磁通密度、鉄心截面而定的；所用导綫的根数，要看所载电流的大小（視馬力大小而定）及容許的电流密度而定的。綫圈的形状，画起来不一定象图 6b，有时如图 6a 的画法，表示不只一圈。



如上面所述 12 槽 4 极双层三相繞組的例子，在图 7 中全部显示出来。图中实綫画出的从 a 到 b 的是一組的繞組屬第一相， a_1b_1 用单点虛綫画出的是第二組属于第二相， a_2b_2 用双点虛綫画出的是第三組属第三相。由图中可以看出，每相的繞組包括四个綫圈串联着（因为有 4 个磁极）。因为是 12 槽三相 4 极，每极占三槽，每极每相占一槽。如图中第一、四、七、十等四槽属第一相，二、五、八、十一属第二相，三、六、九、十二属第三相。第一相繞組跨于第一至第四，第四至第七，第七至第十，再由第十

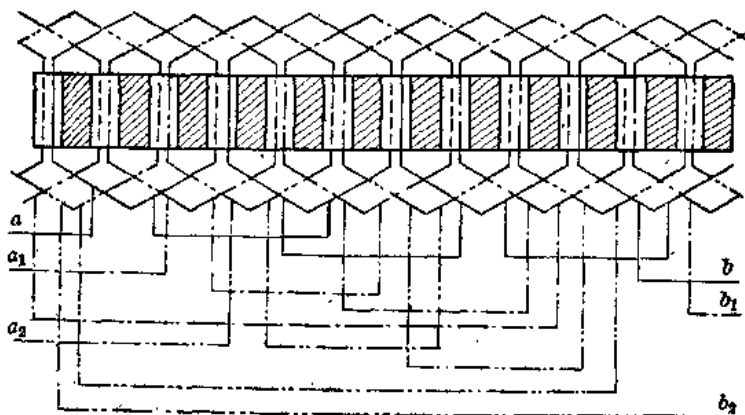


图 7 三相电动机接綫全图

回至第一槽。其他两相可以类推。

现在再举一个例，有一只三相、1,500 轉、50 周、24 綫槽的电动机，将如何繞制？

由前面所讲，我們知道 1,500 轉的电动机要有 4 个磁极，24 个綫槽由 4 个磁极分配，每磁极占 $24 \div 4 = 6$ 槽；6 个槽里分布着三相电流的綫圈，每相綫圈占 $6 \div 3 = 2$ 槽；就是說这只电动机“每极每相有二槽”。綫圈开档与每磁极下的槽数相等，就是說等于 6，

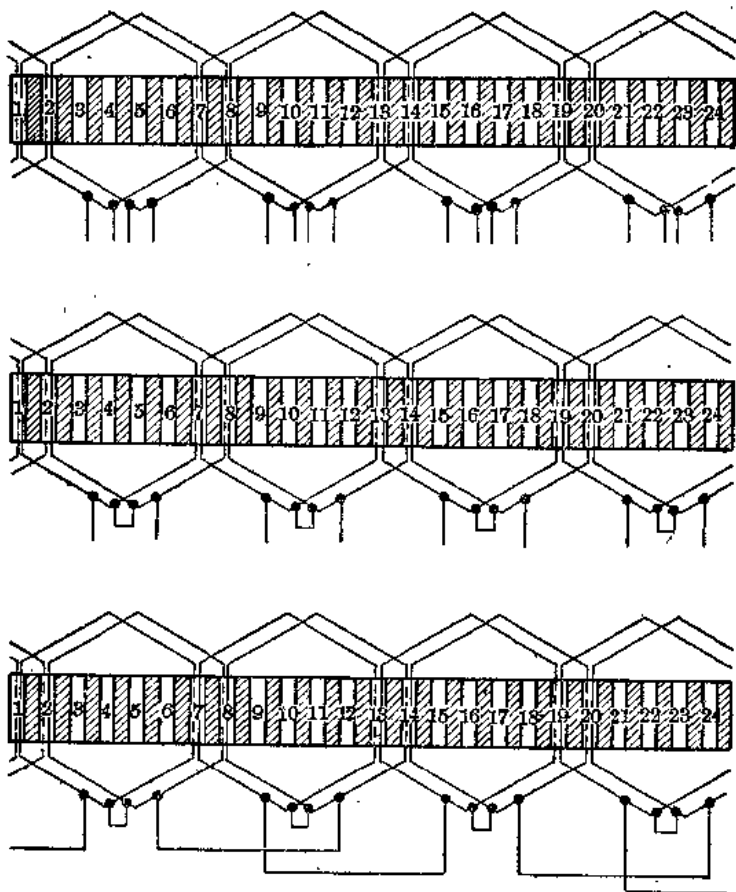


图 8 每相每极有二槽的繞綫图

(上图示每极每相两只綫圈，中图示两只綫圈串联起来，
下图示一相綫圈全部串联起来)

例如某一繞圈的两边应在第一及第七槽內，余类推。因为每相繞圈在每一磁极下占有两槽，所以相邻两槽內的繞圈必属于一相而相串联，其联繞法如图 8 所示。在該图中只画出一相的繞組，其余二相完全一样。图 8 中接繞的次序如下：

→1 上—7 下—2 上—8 下—14 下—8 上—13 下—7 上—
13 上—19 下—14 上—20 下—2 下—20 上—1 下—19 上→
(上表示在槽上层的導綫，下表示在下层的導綫)。

其各相所占槽数如下：

第一相	槽	1、2、7、8、13、14、19、20
第二相	槽	3、4、9、10、15、16、21、22
第三相	槽	5、6、11、12、17、18、23、24

試再举一例，三相电动机有 54 槽，其同步轉速为每分钟 1,000 轉，頻率為每秒 50 周，則其繞繞法如何？

$$\text{磁极数} = \frac{6,000}{1,000} = 6$$

$$\text{每极槽数} = \frac{54}{6} = 9$$

$$\text{每极每相槽数} = \frac{9}{3} = 3$$

开档=9(繞圈两边跨接第一至第十槽，依此类推)，相邻的三只繞圈相串联。

繞繞时，先把繞好的繞圈嵌入槽內，相邻的三繞圈串联后成为一个单元，这个单元与在不相同而相邻的磁极下的另一个单元，用一倒一正的联法，联成一組繞圈，其程序与图 8 同。

三組繞組联接法

依着上述的方法可以接成三組繞組，每組有两个綫头，共得六个綫头，如图 7 中的 ab 、 a_1b_1 及 a_2b_2 。現在还要将这六个綫头联接起来，接到三相的电源。普通用两种接法，一种是三角形接法(或称 Δ 接法)，一种是星形接法(或称 Y 接法)。

1. 三角形接法 在三角形接法中，三相繞組首尾相銜接，有三个公共点接于电源的三根相綫。如图 9a, ab 的 b 端和 a_1b_1 的 b_1 端相接, a_1 和 a_2b_2 的 a_2 端相接, b_2 和 ab 的 a 端相接, 得到三个公共端。

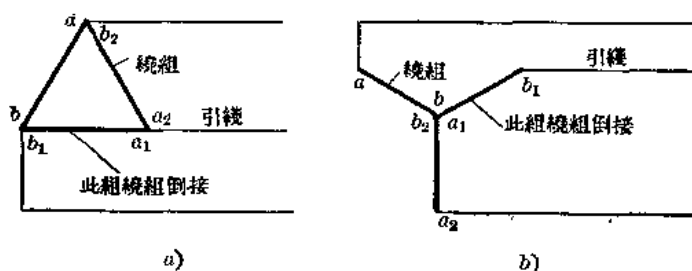


图 9 三角形接法(a)和星形接法(b)

为什么将 a_1b_1 的一組繞組倒过来和其他二相联接呢? 就是说, 为什么不是 $aba_1b_1a_2b_2a$, 而是 $abb_1a_1a_2b_2a$ 的次序呢? 这必須从图 7 中这六个綫端的注字法来看了。

我們知道三相电流是相差 120° 电的时间角度的, 也就是說在时间上相差三分之一周的 (因为一周以电的角度来表示是 360° , 三分之一周是 120°) 三相的繞組在定子槽內也必須相差 120° 电的空间角度。在定子上面, 怎样去計算电的空间角度呢? 我們通常以一对磁极所占的空间为 360° 电的空间角度。例如在图 7 中, 共有 4 极 12 槽, 每对磁极占 360° 电的空间角度, 也占有六个槽, 可以說每相邻两槽間所占的角度是 $360^\circ \div 6 = 60^\circ$ 。同理, 相隔 120° 电的空间角度时, 必須占有两个槽距, 即第一与第三槽間、第三与第五槽間、第二与第四槽間、第四与第六槽間, 各相隔 120° 电的空间角度。

ab 組繞組內第一綫圈跨于第一及第四两槽, a_1b_1 組繞組內第一綫圈跨于第二及第五两槽, a_2b_2 組內第一綫圈跨于第三及第六两槽。所以如以 ab 組繞組为依据, 則 a_1b_1 組較 ab 相差 60° , a_2b_2 較 ab 相差 120° 。为了使三組繞組各相差 120° 而不是相差 60° , 所以必須將 a_1b_1 組繞組顛倒过来和其他二組相接。因为顛倒过来

就是作 180° 的变换, 所以 a_1b_1 組倒过来接, 即表示 b_1a_1 組較 ab 組相差 $180^\circ + 60^\circ = 240^\circ$ 电的空间角度。因此, a_2b_2 較 ab 相差 120° , b_1a_1 又較 ab 相差 240° , 即較 a_2b_2 相差 $240^\circ - 120^\circ = 120^\circ$ 。这就是三相繞組的正常分布情形。

2. 星形接法 在星形即 Y 形接法中, 将三个互差 120° 的三个繞組的三点接在一起成一公共端(称为中性点), 另外三端接至三相电源。所必須注意的, 接出的三端必須相差 120° 电的时间角度。

如上一段所說的, ab 、 a_2b_2 和 b_1a_1 是互差 120° 的, 因此可以将 b 、 b_2 、 a_1 接在一起, 将 a 、 a_2 和 b_1 三端接出, 如图 9b 所示。反之, 如果将 a 、 a_2 、 b_1 接在一起, 就可以将 b 、 b_2 和 a_1 三端接出。

3. 三角形接法和星形接法的分別 其区别在于各繞組所受电压的不同。假若每組繞組是为 220 伏設計的, 如作三角形接法, 每相繞組既是跨接于电源二綫之間, 則电源的綫路电压也必須是 220 伏。如作星形接法, 每两相繞組跨接在两电源綫之間, 两相互差 120° 而相串联的繞組的电压等于每相电压的 $\sqrt{3} = 1.732$ 倍, 所以星形联接时可承受 $220 \times 1.732 = 380$ 伏的电源电压。

一般少数的电动机是将繞組的三个綫端在机內已經接妥, 只接出三个綫头, 但大多数是将六个綫端引出接在机座上的接綫板上, 使用者可随意接成三角形或星形联接。图 10a 表示三相繞組的六个綫端和其注字; 图 10b 将 $a b_1 a_2$ 相接, b_2 及 b 、 a_1 引出, 即成星形接法; 图 10c 是 a 与 b_2 、 b_1 与 b 、 a_2 与 a_1 各相联接, 即成三角形接法。用这种接綫板, 还可以应用 Y- Δ 启动开关, 此处不詳述。

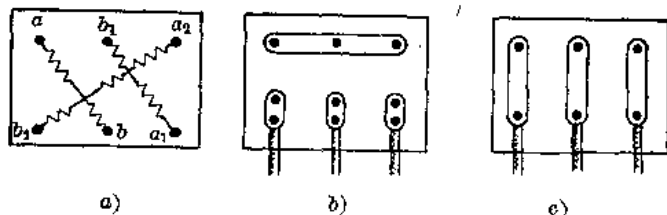


图 10 用接綫盒的实用接綫法

接綫参考图

电动机接綫工作如果不熟练,极易弄錯,如果先画出一張参考图出来,按图接綫就方便得多,錯誤也可减少。

作参考图时不管每极每相有几个綫槽,总是画出磁极数三倍的綫圈来,每个綫圈代表每极每相的一組綫圈,然后依箭头表示的方向順序联接起来。

(1) 如图 11 所示是一个 4 极电动机,先画出 12 个綫圈。为便于分別三相起見,可以用不同的符号,或不同的顏色来画。

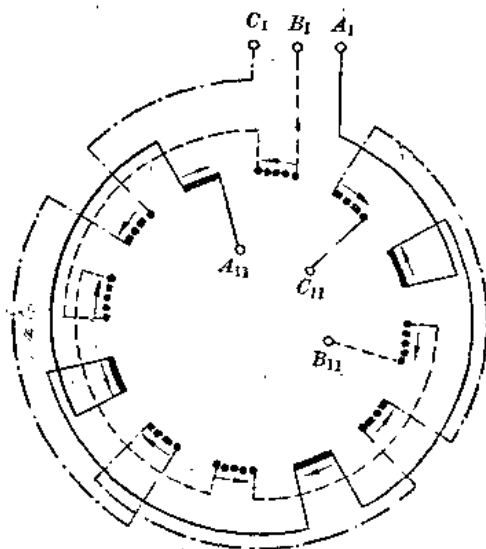


图 11 三相繞組的接綫参考图

(2) 从任何一个綫圈开始,在里面画一个箭头,然后按次序一正一反画下去。

(3) 因为是三相繞組,每隔两个綫圈必須相串联,一直将四个綫圈連齐成为一相的繞組,得到两个綫端。在图 11 中,如由 A_1 出綫沿箭头方向将用实綫所表示的綫圈联接起来到 A_2 为止。

(4) 用同法将其他二相也联接起来,得 B_1B_2 及 C_1C_2 两相繞組。