

感应电动机文辑

第一集 · 第二版

上海科学技术出版社

统一书号 15119·1718

定 价 0.70 元

最高指示

领导我们事业的核心力量是中国共产党。

指导我们思想的理论基础是马克思列宁主义。

中华人民共和国第一届全国人民代表大会第一次会议开幕词

我们应当相信群众，我们应当相信党，这是两条根本的原理。如果怀疑这两条原理，那就什么事情也做不成了。

《关于农业合作化问题》

勤俭办工厂，勤俭办商店，勤俭办一切国营事业和合作事业，勤俭办一切其他事业，什么事情都应当执行勤俭的原则。这就是节约的原则，节约是社会主义经济的基本原则之一。

《勤俭办社》一文的按语

我们能够学会我们原来不懂的东西。我们不但善于破坏一个旧世界,我们还将善于建设一个新世界。

《在中国共产党第七届中央委员会第二次全体会议上的报告》

要把一个落后的农业的中国改变成为一个先进的工业化的中国,我们面前的工作是很艰苦的,我们的经验是很不够的。因此,必须善于学习。

《中国共产党第八次全国代表大会开幕词》

读书是学习,使用也是学习,而且是更重要的学习。从战争学习战争——这是我们的主要方法。没有进学校机会的人,仍然可以学习战争,就是从战争中学习。革命战争是民众的事,常常不是先学好了再干,而是干起来再学习,干就是学习。

《中国革命战争的战略问题》

感应电动机文輯

第一集

(第二版)

上海科学技术出版社

内 容 提 要

本文辑是将已出版的四集“感应电动机文辑”重新加以选择与整理,并补充近年来“电世界”月刊上发表的有关文章编辑而成,分两集出版。第一集主要介绍有关感应电动机的基础知识与应用常识,包括感应电动机绕组的联接和改制、起动和控制、保护方法以及感应电动机的特种类型和特种应用等等。可供从事电工的技术人员参考。

感应电动机文辑 第一集(第二版)

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许可证出 093 号

中华印刷厂印刷 新华书店上海发行所发行

开本 850×1156 1/32 印张 6 1/16 排版字数 160,000

1963年4月第2版 1968年7月第5次印刷

印数 59,001—139,000

统一书号 15119·1718 定价(科四) 0.70 元

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	(1)
1-2 再談电动机繞組的原理	(11)
1-3 三論三相电动机繞組的原理	(19)
1-4 三相波形繞組的实际联接法	(24)
1-5 三相感应电动机的重迭式繞組	(29)
1-6 双速感应电动机繞組	(35)
1-7 单繞組多速电动机	(43)
1-8 如何改接电动机繞組以适应运用的电压	(52)
1-9 三相鼠籠电动机改为单相使用	(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	(62)
2-2 三相整流子电动机的自动控制	(79)
2-3 备用泵浦自动工作的装置	(85)
2-4 用一只起动器起动多只电动机	(87)
2-5 起动自耦变压器及起动电抗器的选择	(88)
2-6 用图解法計算滑环式电动机的起动电阻	(91)
2-7 轉子三相电阻不对称起动的分析	(95)
3. 感应电动机的保护	99
3-1 感应电动机的过电流保护	(99)
3-2 鼠籠式感应电动机起动保护装置的改进	(103)
3-3 鼠籠式电动机保护熔断器的簡易选择方法	(105)
3-4 鼠籠式电动机熔絲选择的商討	(108)
3-5 防止滑环式电动机起动时誤动作的装置	(110)
3-6 防止高压电动机反向起动时短路的方法	(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	(112)
(二) 电动机断綫自动停止器	(113)
3-8 加强檢修預防电动机单相运轉	(117)

4. 感应电动机的应用常識	121
4-1 如何选择电动机	(121)
4-2 如何試車	(125)
4-3 运轉中出烟的电动机如何处理	(130)
4-4 电动机几种似是而非的故障	(138)
4-5 50 和 60 周的电动机可混淆应用嗎	(145)
4-6 在不同环境温度时电动机容量的計算	(149)
4-7 矿井水泵和卷揚机的电动机容量的計算	(152)
4-8 感应电动机补偿电容器容量的簡捷決定法	(156)
4-9 矿井排水用电动机預热的新方法	(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	(165)
5-2 感应变頻器	(176)
5-3 感应电动机的同步并列运轉	(180)
5-4 滑环式电动机的同步运行	(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

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，若頻率为每秒 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綫槽中去。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，每一部分作成一只綫圈的样子，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 4 個槽中的 4 只綫圈串接成爲一相的繞組；其餘按次序接成第二及第三相的繞組。

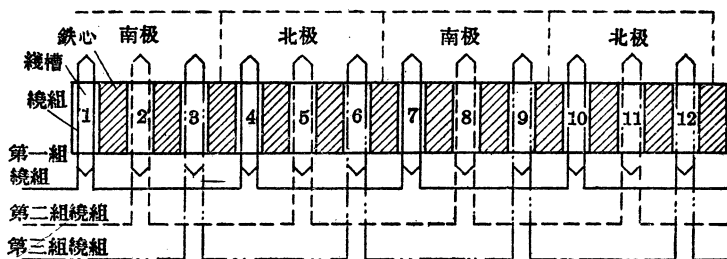


图 1 將一只綫圈的两边全放在一个槽內是錯誤的

不过这种接法是錯誤的，一只綫圈的两边導綫是不能放在一个槽內的。因为电流从一端流入必从他端流出，两边導綫內的电流方向相反，大小相等。因此所形成的磁場彼此对消，如图 2。所以欲使其产生磁極，必須設法使在同一槽內的導綫載有方向相同的电流。欲达到此目的，方法极为簡易，只要將每一只綫圈的两边分开，放入本組綫圈所应占的綫槽中去，图 3 即为此种布置。請注意同一綫圈的两边已不是放在同一槽中了！而同时同一槽內的两

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。

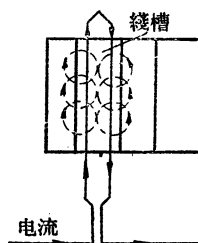


图2 因为一只线圈两边电流方向相反,如果两边同在一个槽内,结果将无磁场产生

感应电动机的构造极简单,铁心只有槽,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“每极每相的槽数等于1”。

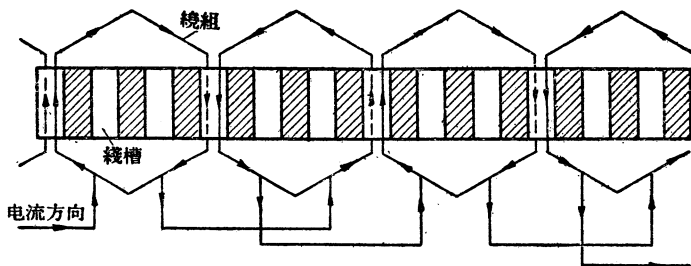


图3 绕组正确分布方式

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 的綫圈開檔為三，就是說如果綫圈的一邊在第一槽內，則另一邊必須在第四槽內。

圖 3 內的四只綫圈開檔完全一樣。在雙層繞組中，每槽內有兩個綫圈邊，一在上層，一在下層（每一綫圈邊可能包括不只一根導綫，要看綫圈的圈數而定）。放入槽內時，應注意一點，即綫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。每一只綫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。

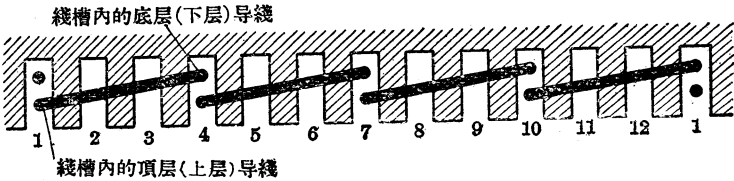


圖 4 在雙層繞組中，綫圈的一邊在一槽的上層，另一邊必在另一槽的下層，如圖中斜綫所示

這樣安排的方法有一優點，就是所有綫圈都是一樣寬一樣大，所以在實際繞綫時，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綫圈來，分別按次序嵌入槽內，然後把綫頭联接起來即可。联接時應注意電流流動的方向，應使在同一槽內的導綫中的電流是同方向；也就是說，

相鄰的綫圈要一正一倒的联接起來。

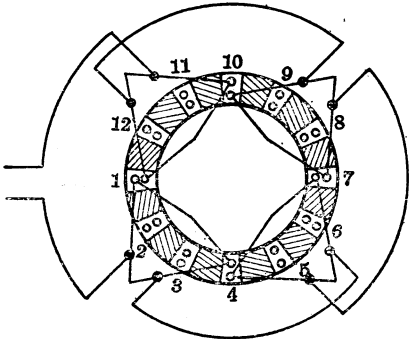
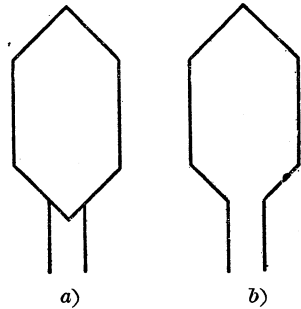


圖 5 雙層繞組的联接法
把圖 3 重複的畫成圓形，見圖 5。圖中只畫出一組繞組，其餘二組

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,要看所載电流的大小(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 6 綫圈形状(左面表示一个綫圈內包括不只一圈)

图中实綫画出的从 a 到 b 的是一組的繞組属第一相, 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

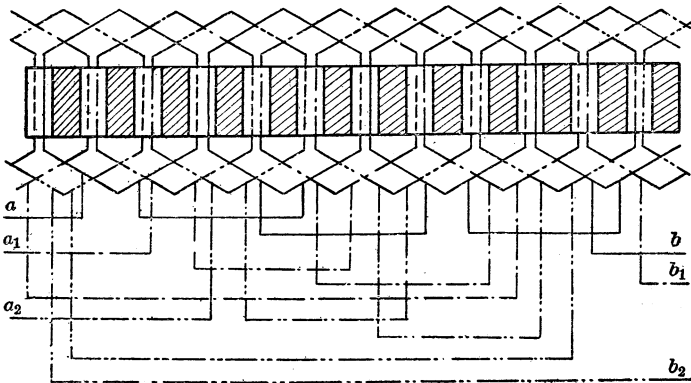


图 7 三相电动机接綫全图

回至第一槽。其他两相可以类推。

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

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,

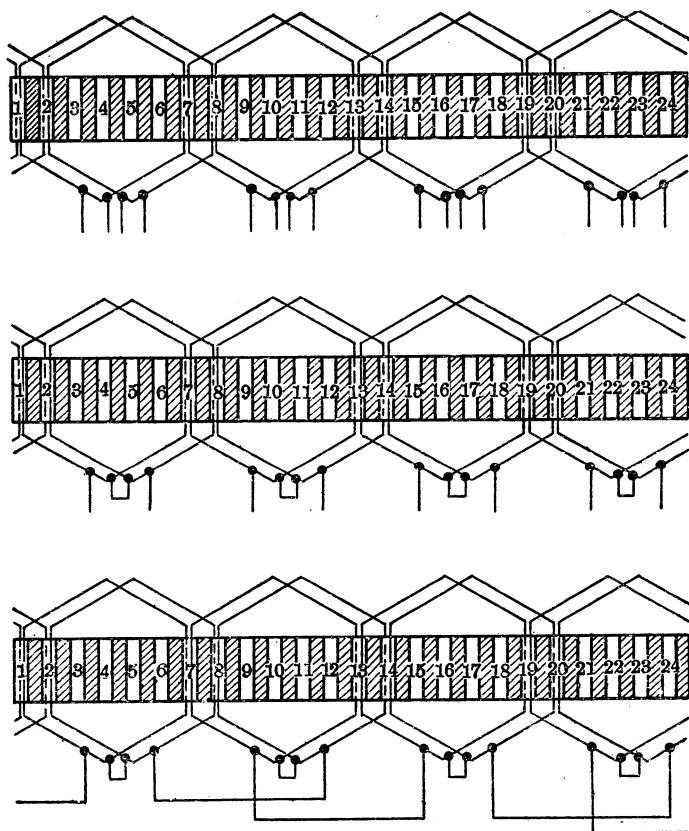


图 8 每相每极有二槽的繞綫图

(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)

例如某一綫圈的两边应在第一及第七槽內，余类推。因为每相綫圈在每一磁极下占有两槽，所以相邻两槽內的綫圈必属于一相而相串联，其联綫法如图 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 中接綫的次序如下：

→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→
(上表示在槽上层的导綫，下表示在下层的导綫)。

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，頻率每秒 50 周，則其繞綫法如何？

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

$$\text{每极槽数} = \frac{54}{6} = 9$$

$$\text{每极每相槽数} = \frac{9}{3} = 3$$

开档=9(綫圈两边跨接第一至第十槽，依此类推)，相邻的三只綫圈相串联。

繞綫时，先把繞好的綫圈嵌入槽內，相邻的三綫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，联成一組綫圈，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。

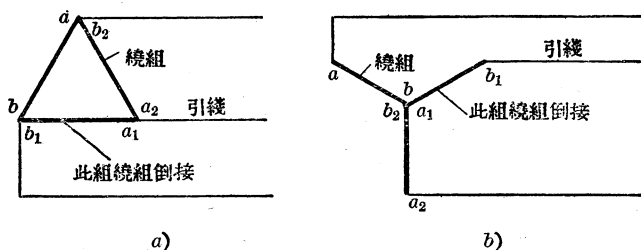


图 9 三角形接法(a)和星形接法(b)

为什么将 a_1b_1 的一組繞組倒过来和其他二相联接呢? 就是說, 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, 也就是說在時間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° 电的空間角度。在定子上面, 怎样去計算电的空間角度呢? 我們通常以一对磁极所占的空間为 360° 电的空間角度。例如在图 7 中, 共有 4 极 12 槽, 每对磁极占 360° 电的空間角度, 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° 电的空間角度时, 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° 电的空間角度。

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 ab_1a_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。

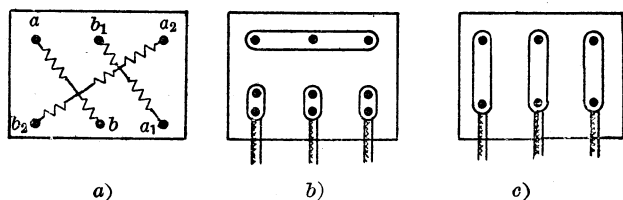


图 10 用接綫盒的实用接綫法

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。

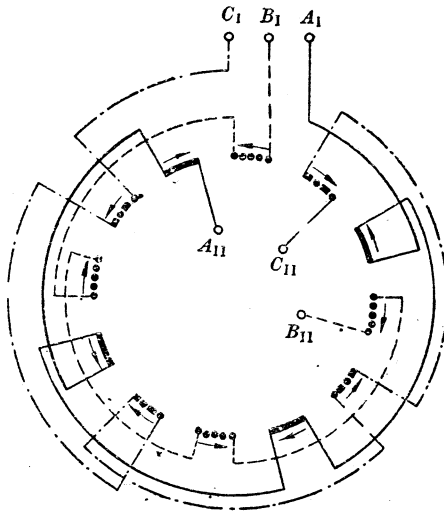


图 11 三相繞組的接綫参考图

(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。

(5) 在作星形联接时, 以 $A_I B_I C_I$ 三端接在一起, $A_{II} B_{II} C_{II}$ 三端接出; 或者反其道而行之。作三角形联接时, 依下列次序联接即可, $A_I B_{II} - B_I C_{II} - C_I A_{II}$ 。

〔注意〕 在图 11 中, $A_I B_I C_I$ 是互差 120° 的, $A_{II} B_{II} C_{II}$ 亦同, 所以毋需再有颠倒联接的必要。

(原载“电世界”月刊 4 卷 11 期)

1-2. 再談电动机繞組的原理

电动机有多少电的空間度数

电动机的每一极代表 180° 电的空間度数, 一对极代表 360° 电的空間度数。因为导綫經過每一对极, 对电的方面說起来等于經過一周, 所以一对极对电的关系来讲, 应是 360° 电的度数, 4 极的电动机共有 $4 \times 180 = 720^\circ$ 电的度数。

机工空間度数与电的空間度数是不同的。电动机的一圓周只有 360° 机工空間度数, 但前已說过, 4 极的电动机便有 720° 电的空間度数, 6 极电动机有 $6 \times 180^\circ = 1,080^\circ$ 电的空間度数, 2 极的电动机有 $2 \times 180 = 360^\circ$ 电的空間度数。由此可見,

电的空間度数 = 机工空間度数 $\times$ 磁极对数

由上面計算, 已知电动机的极数与电动机圓周所代表的电的空間度数后, 我們才可着手进行計算关于綫圈联接的工作。

綫圈联接步驟

假如某电动机是 36 槽, 并且需要的轉数是 1,440 轉/分, 我們按照下面的方法和步驟, 即可得出某一槽該嵌入某一相綫圈, 然后将同相的綫圈按下面步驟联接起来, 便成为一完善的繞組。

第一步 将所有槽数等距离的画在一紙上,如图 1 所示,且标明每槽次序,以后联接綫圈即較方便。

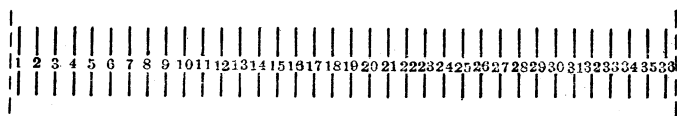


图 1 标明綫槽次序

第二步 从第一槽的前半槽起,至最末一槽后半槽止,在图 1 的頂部繪一长綫,綫的长度代表該电动机的电的空間度数,然后照电动机极数,将此长綫分为若干等分。如电动机为 4 极便分为四等分,每一等分代表 180° 电的空間度数。

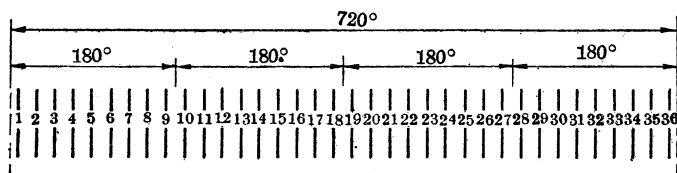


图 2 4 极电动机有 4 个 180° 的等分

第三步 在每一等分內又包含有三相綫圈,所以应当再量出每一等分之长,以 3 除之,即把每一等分,再分为 3 小等分,那么每一小等分便代表每一相綫圈在每极应占的闊度。然后将每一小等分依次重复注以記号,图 3 中用的記号是 A、B、C, A、B、C, A、B、C, A、B、C。

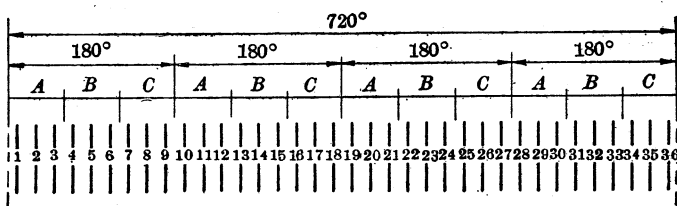


图 3 每一等分再分为 3 小等分,并以 A、B、C 記号注明

有了以上的記号帮助,对联接綫圈工作有莫大便利,我們只要把属于同一記号的綫圈,加以适当的联接起来,便成一可用的繞組。

第四步 假定我們所要繞的是单层繞組 (就是說每槽一个綫圈边), 开始联接第一相繞組, 就是把所有属于同样記号下的綫圈联接好作为第一相繞組, 通常是从最左面較為方便。由图 4 可見, 凡是属 A 字下面的導綫都已联好, 即为第一相繞組 (图示为鏈形繞組)。

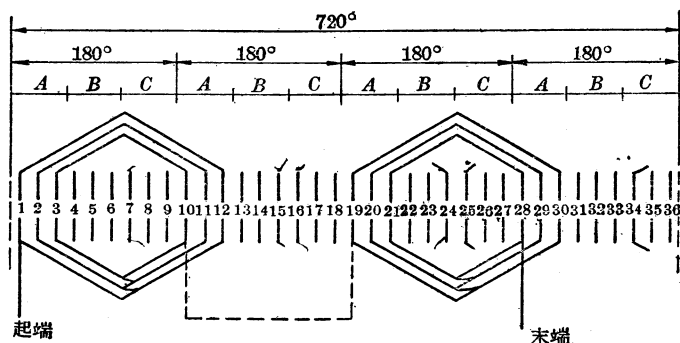


图 4 已联接好的单层繞組中第一相繞組

第五步 現在还有 B 、 C 二記号下的導綫, 也可依第一相的办法将属于同一記号下的完全接好。不过这里要注意一件事, 第二相綫圈的起点, 决不是随便定的。第二相綫圈的起点必須与第一相綫圈的第一槽相距 120° 电的空間度数。由图 5 所示, 从左起第一个 C 字下面的第一槽, 便与第一相的第一槽相距 120° 电的空間度数, 即为第二相綫圈的起点, 由起点开始, 把 C 字下面的導綫联接好便完成第二相繞組。

第六步 第一、二相既已联好, 剩下來的綫槽自然都属于第三相, 但是决定起点也要注意。第三相的起点, 必須与第二相的起点相距 120° 电的空間度数, 与第一相的起点相距 240° 电的空間度数。从第三相的起点把所有 B 字下未接好的綫槽, 依第一相或第

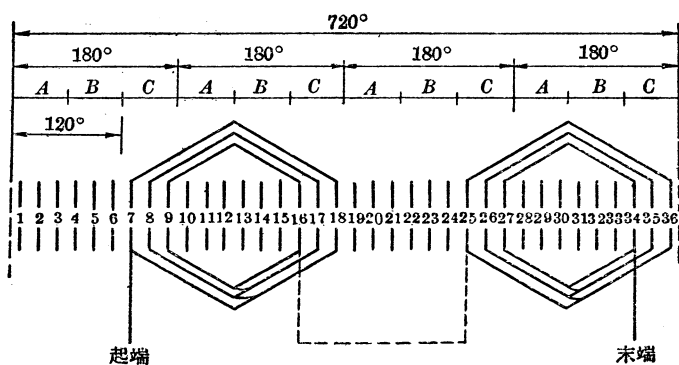


图 5 第二相繞組

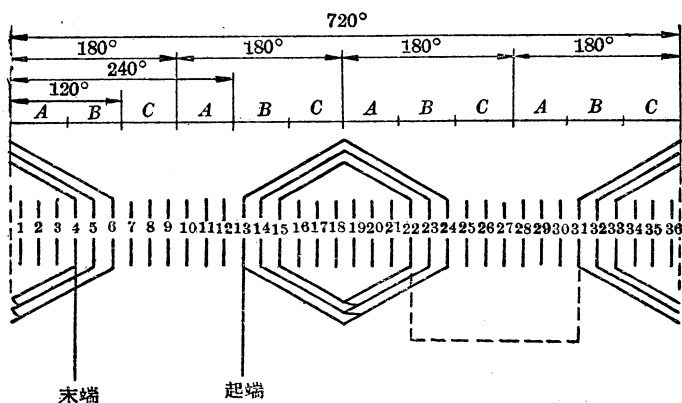


图 6 第三相繞組

二相繞圈的联接法联完为止,見图 6。

至此三相繞組都联完了,可說电动机繞組已初步成功(見图 7)。如再把三相繞組的起端用 R 、 S 、 T 表明,末端用 U 、 V 、 W 表明($R-U$ 是一相, $S-V$ 是一相, $T-W$ 是一相)以后接到电动机接綫匣上,这样整个繞組的繞綫工作即告全部完成。完整的繞組接綫图如图 7 所示。

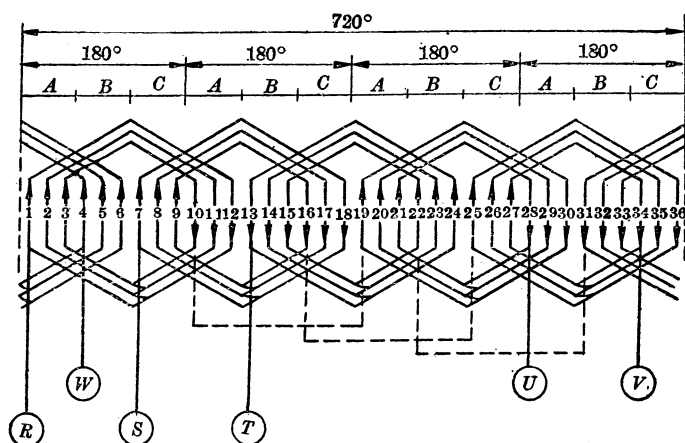


图7 完整的36槽、1,440轉/分电动机的单层繞組图

核 对 极 数

我們为了知道繞好的电动机是否符合所需要的极数，可以由三相电的原理簡單証明。

三相电中如第一、二两相电流为正时，第三相电流必为負。故假定第一相电流是由 R 流入， U 流出，第二相电流是由 S 流入， V 流出；那么第三相电流便恰好与第一、第二相电流相反，而是由 W 流入， T 流出。依照各相电流的方向，在每一槽上画一箭头表示出来。待全部槽子都画完箭头后，可以明白地看到同方向的箭头，表示同一极。如1,440轉/分的电动机应有4极，在图7中，箭头所指者亦正为4极。

双层繞組的联接法

以上虽只說明了单层繞組的联接法，重繞新綫圈只要依照上述方法逐步做下去，一定可以完成你需要的繞組。至于双层繞組的联接法和单层繞組的联接法，仅有少許不同而已。

双层繞組的联接法，可照单层联接法一样，先决定好上层綫圈的記号， A 、 B 、 C …等，然后再选择綫圈节距。所謂“綫圈节距”

者，即是綫圈兩邊相隔的距離。一般電動機所用的綫圈節距都小於 180° ，而大於 120° 電的空間度數。當綫圈節距選定以後，由上層第一個 A 起量一段距離等於綫圈節距作為下層記號的起點。再由此起點以 $a、b、c\cdots$ 記號仿上層一樣，把下層綫槽都標明完畢，如圖 8 所示為 36 槽 1,440 轉/分的電動機雙層綫圈的聯接圖，圖中 $A、B、C\cdots$ 是上層綫槽的記號， $a、b、c\cdots$ 是下層綫槽的記號，只要把上層中 A 記號下的導線，與下層中相隔一綫圈節距，而在 a 記號下的導線一相一相的聯接起來，便成為雙層繞組。

在圖 8 的例子中，節距選定為 140° ，依着 4 極 36 槽的布置，每 180° 電的角度內有 $36 \div 4 = 9$ 槽，用比例推算， 140° 電的角度應該相隔 $9 \times \frac{140}{180} = 7$ 槽。

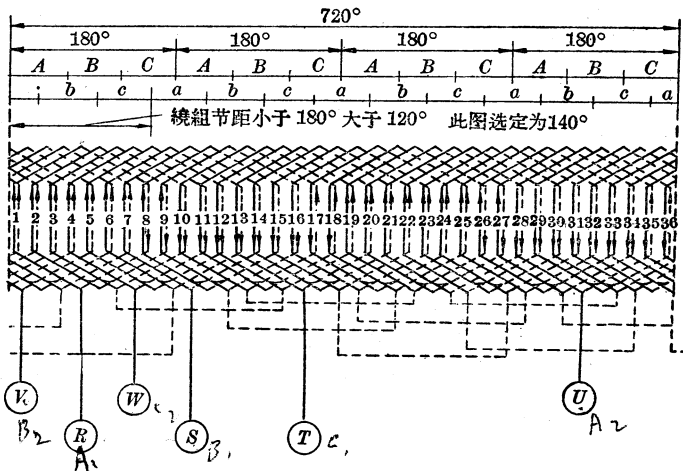


圖 8 36 槽、1,440 轉/分電動機的雙層繞組圖

在單層繞組中，每一個綫圈的末端和同相次一個綫圈的起端，是相隔 180° 電的空間度數，所以可以順着聯接，如圖 4 至圖 7 等。但是在雙層繞組中，每一槽上層導線必須與相隔若干槽的下層導線相接，要上下層導線都聯接到而不遺漏，綫圈是要重迭着的。在聯接各個綫圈的時候，就必須一正一倒，否則電流方向不對，必致

不能产生应有的磁极数。

如图 8 所示的,以 A 相线圈为例:

第一个线圈—R—1 上—8 下—2 上—9 下—3 上—10 下

第二个线圈—19 下—12 上—18 下—11 上—17 下—10 上

由 10 下引出的线头不能接到 10 上 (因为它们在同一槽内电流方向是相同的),必须联接到 19 下。其他可以类推。

其他实例

以下再将 24 槽、2,940 转/分电动机的单层绕组和双层绕组的联接法,照上述步骤画出来以作参考。图 9 是单层链形绕组的联接法,图 10 是双层绕组的联接法。

在图 9 中表示的是链形绕组,和图 7 中的链形绕组是相同的。因为这是 2 极 24 槽,每 180° 占有 12 槽,取节距为 150° ,即每线圈两边应相隔 $12 \times \frac{150}{180} = 10$ 槽。即第三槽与第十三槽,第四槽与第十四槽相联。但这是一个链形的,好象盘香一样的由外边大线圈逐渐缩小到内层小线圈。所以在图 9 内,第三槽接第十四槽,回到第四槽再接第十三槽,联成一个线圈。

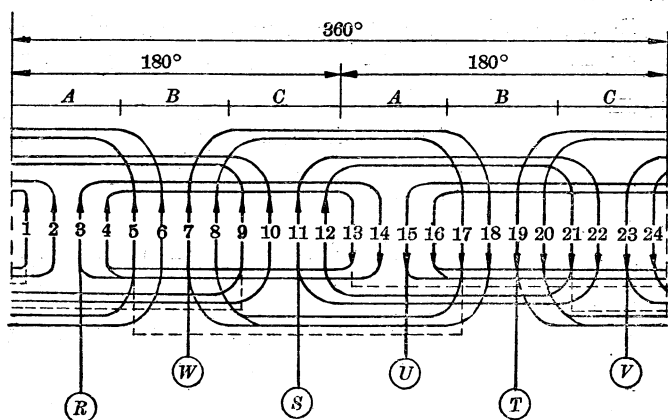


图 9 24 槽、2,940 转/分电动机的单层链形绕组图

在图 10 里是 2 极 24 槽双层繞組，用 150° 的节距，即 $\frac{150}{180} = \frac{5}{6}$ 的节距。例如第一槽联至第十一槽，余类推，如下表所列：

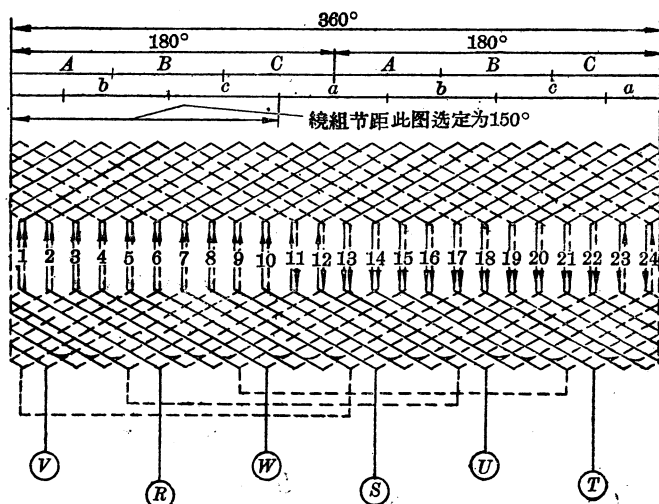


图 10 24 槽、2,940 轉/分电机的双层繞組图

第一相

R—1 上—11 下—2 上—12 下—3 上—13 下—4 上—14 下—
2 下—16 上—1 下—15 上—24 下—14 上—23 下—13 上—U

第二相

S—9 上—19 下—10 上—20 下—11 上—21 下—12 上—22 下—
10 下—24 上—9 下—23 上—8 下—22 上—7 下—21 上—V

第三相

T—17 上—3 下—18 上—4 下—19 上—5 下—20 上—6 下—
18 下—8 上—17 下—7 上—16 下—6 上—15 下—5 上—W

由于节距是 $\frac{5}{6}$ ，不是全节距，所以有同槽内包含有两相导线的
事实。例如：

第三、四、十五、十六槽有第一相第三相的导线；

第七、八、十九、二十槽有第二相第三相的导线；

第十一、十二、二十三、二十四槽有第一相第三相的导线。

(原载“电世界”月刊5卷2期)

1-3. 三論三相电动机繞組的原理

在《三相电动机繞綫淺說》一文中所談的是整节距整槽数的迭繞組。但在实际制造中,此种整节距整槽数繞組应用較少。因为6极以上的电动机的槽数常不是相数乘极数的整倍数,每极每相的槽数不是整数。在这种情形下,便非用分数槽数不可(分数槽数的繞組,綫圈要用分数节距),并且2极和4极的电动机,如用迭繞組,綫圈伸出槽外的部分过长,嵌綫时也不方便。在这种情形下,使用分数节距来补救了。

分数节距繞組

在整节距繞組中,綫圈的节距(俗称开档)等于磁极数除綫槽数,这是大家知道的。例如有36槽4极的电动机,其綫圈的开档为9。然而在分数节距繞組中則不然,故意使开档略小,使其綫圈开档为8或7,或为6。

一定有人要問,为什么这样作呢?这样作有什么好处呢?其比較重要的有下列四点:

(1) 可縮短銅綫的长度。因为綫圈开档小(見图1),綫圈槽外部分減短,虽然圈数要增加,但圈数增加率小于槽外部分的减少率,整个銅綫长度便減短,于是其电阻减小。电阻减小就是說銅損損失減少,銅損損失一减少,电动

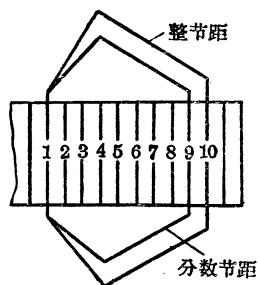


图1 整节距綫圈开档为9,連接第一第十两槽;
分数节距綫圈开档为8,連接第一第九两槽

机的温度可减低,效率也增加。

(2) 在设计时,可以调节线圈的圈数。比如一位设计者计算出来的结果,每只线圈中用六根导线时稍嫌多,但用五根导线又略嫌少。实际上又不可能用五根半导线,于是便利用分数节距绕线法用六根导线,使线圈开档缩小,所产生的磁力线减少。因之虽用六根导线,而所得的结果可以和用五根半一样。

(3) 从图 1 可以看出,在分数节距绕组中,线圈沿轴所量得的长度减短了,这在 4 极和 2 极的电动机更显著,电动机因此可以做得较短。电动机短了,两轴承间的距离减短,转子的轴不但可以缩短,直径也可同时缩小,这使得电动机体积减小、重量减轻,非但省料,搬运也较方便。

(4) 由于线圈两端联接线的缩短,可减低两端联接线的电感。再因在分数节距绕法中,每极下必有数槽容纳两个异相绕组的导体,在此等槽内的互感较小。以上两原因,均足以使整个绕组的电感减小,因而改善电动机的运用情况。

还有一个重要原因,是减少磁通中的三次以上谐波。因所涉及比较专门,此处从略。

关于分数节距线圈的绕法,在“再谈电动机绕组的原理”中已有举例,此处不再赘述。

分数槽数绕组

制造厂有时为了节省人工及材料,常把一种铁心绕制两种或两种以上速度的电动机,有时用一种铁心绕制三相电动机,也绕制单相电动机。因此槽数的数目与“相数乘极数”之积,有时不成整倍数的关系,而是成分数的关系,这种电动机的绕组需用特殊办法处理。

例如一只电动机的铁心有 90 槽,预备作 6 极及 8 极两种绕组,绕 6 极则为整槽数,即每极每相槽数为 $90 \div (3 \times 6) = 5$, 每极槽数为 $90 \div 6 = 15$; 但绕 8 极时则成为分数槽,每极每相槽数为 $90 \div (3 \times 8) = 3\frac{3}{4}$, 每极槽数为 $90 \div 8 = 11\frac{1}{4}$ 。

繞制这种分数綫槽数的电动机，其每組綫圈（每相每极的綫圈）的綫圈数的分配和排列的方法有下列二种：(1)用“电工角度”計算；(2)用“最小公倍”計算。

1. 用“电工角度”計算法

(1) 画出 90 个橫格来，代表 90 只綫槽（见图 2）。

(2) 在随便两綫槽中間画一条綫作为起点，如 X 綫。

(3) 按次序一槽一槽的把其“电的角度”数写出——每极的槽数共占 180° 电角度，每极有 $11\frac{1}{4}$ 綫槽，故每槽占 $180 \div 11\frac{1}{4} = 16^\circ$ （此数如不是整数也沒关系）。

(4) 在剛剛大于 60° 、 120° 、 180° 、 240° 、 300° 及 360° 各处各画一綫，如 Y_1 、 Y_2 、 $Y_3 \dots$ 。

(5) 在 X 、 Y_1 、 $Y_2 \dots$ 各綫的中間空处，写出 ABC —— A 代表第一相， B 代表第二相， C 代表第三相。属于 A 相內的綫圈皆串联成为一相的綫圈， B 、 C 两相也是一样。

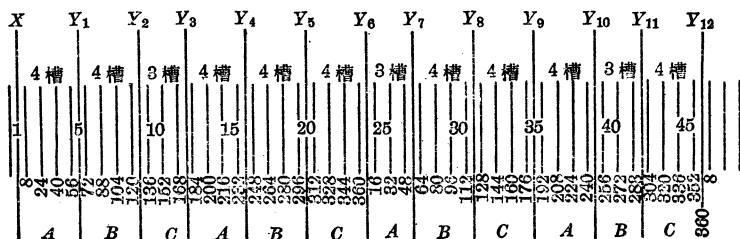


图 2 (1)图中只画出 45 只綫槽，因为另外 45 只和已画出的 45 只完全一样，所以不重复画出；(2)短綫代表綫槽；(3)数字代表“电工角度”

A 相：4—4—3—4； B 相：4—4—4—3； C 相：3—4—4—4

(6) 应特别注意的，每极每相綫圈內的綫圈数不相等，有的包含四只綫圈，有的包含三只綫圈，然而每相所包含的綫圈总数則必須相等，即每相有 30 只。請看图 2，画图的目的即是找出何处应三只綫圈串联，何处应是四只綫圈串联。

(7) 从图 2，我們找出各相每极綫圈中的綫圈数应为：

A 相 4—4—3—4—4—4—3—4
 B 相 4—4—4—3—4—4—4—3
 C 相 3—4—4—4—3—4—4—4

(8) 按照上述的次序画出接綫参考图来,参看图 3。

由图 3 可以看出, 24 組綫圈中, 有 18 組包含四只綫圈, 有六組包含三只綫圈。这六組綫圈平均分配在三相中, 并且是摆在对称的地位, 因此三相电流及轉子所受轉矩仍是平衡的。如果六組比較小的綫圈放得不对称, 电动机将发生不良的运行情况。

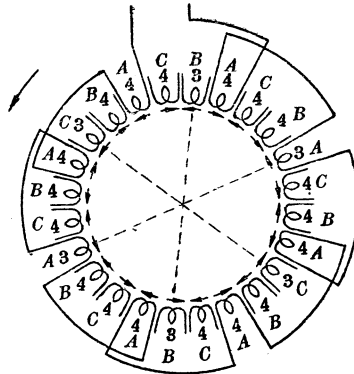


图 3 接綫参考图

1. 数目字表示所包含的綫圈数; 2. 由箭头的方向, 照 A、B、C 次序联出各相綫圈; 3. 注意包含 3 只綫圈的位置恰好对称(虚綫表示其地位); 4. 图中只画出 A 相(按箭头方向接綫); 5. B 及 C 各相的接法和 A 相一样

2. 用“最小公倍”計算法

(1) 求出槽数和“相乘极”数的小公倍, 此处槽数为 90, “相乘极”为 24, 先求 90 和 24 的小公倍。

$$90 = 3 \times 3 \times 5 \times 2, \quad 24 = 2 \times 2 \times 2 \times 3,$$

$$\text{最小公倍} = 3 \times 3 \times 5 \times 2 \times 2 \times 2 = 360.$$

$$(2) 360 \div 24 = 15, \quad 360 \div 90 = 4.$$

(3) 画如图 4 的布置图, 横画 45 点, 表示每相占 15 点, 三相共 45 点; 然后由左向右由第一点开始, 每隔 4 点画一 V 符号。

极	A 相	B 相	C 相
1	↙ 4 ↘	↙ 4 ↘	↙ 4 ↘
2	↙ 3 ↘	↙ 4 ↘	↙ 4 ↘
3	↙ 4 ↘	↙ 3 ↘	↙ 4 ↘
4	↙ 4 ↘	↙ 4 ↘	↙ 3 ↘
5	↙ 4 ↘	↙ 4 ↘	↙ 4 ↘
6	↙ 3 ↘	↙ 4 ↘	↙ 4 ↘
7	↙ 4 ↘	↙ 3 ↘	↙ 4 ↘
8	↙ 4 ↘	↙ 4 ↘	↙ 3 ↘

图 4 用最小公倍法求出分数线槽绕组中的各相绕组的线圈数

(4) 每相内 V 符号的数目及其次序，即为每组线圈内的线圈数及次序。由直行读下去，A、B、C 三相的线圈数目是：

A 相 4—3—4—4—4—3—4—4

B 相 4—4—3—4—4—4—3—4

C 相 4—4—4—3—4—4—4—3

(5) 画出接线参考图来，即可接线。

〔注意〕 此处 ABC 三相各组的线圈数目的次序虽与上法所求的次序不相同，但接成绕组时仍是相同的。因为三只线圈的排列仍是对称的，请参阅图 5。另外也应该注意的，就是当分数线槽绕组并联时，每相并联电路中的线圈数必须相等，否则线圈少的电路中，将因电流过大而线圈发热，并且转子所受转矩可能不平衡而剧烈振动，使电动机不能应用。

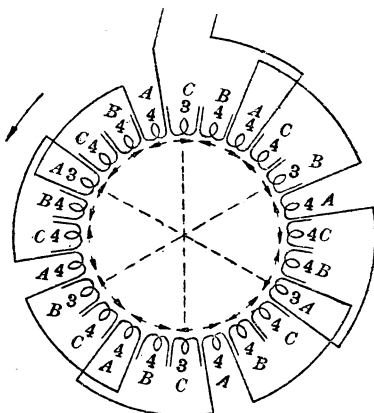


图 5 接线参考图

兹为使读者易于了解起见，将图 5 展开画出其接线图来，如图 6。图中只画出 A 相一相，并且只画出前 45 个线槽来，后 45 个线槽因为和前 45 个线槽完全一样，故未画出。

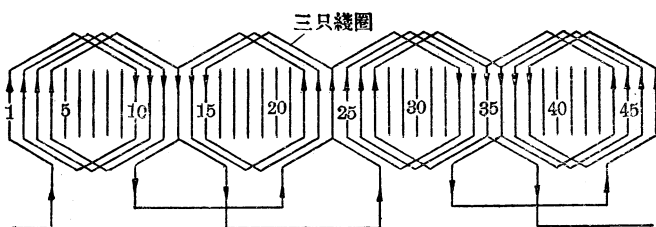


图6 图5的展开图

(原载“电世界”月刊5卷4期)

1-4. 三相波形繞組的实际联接法

交流电机的波形繞組与直流电机的波形繞組的基本公式完全相同。設整流子片距为 y_0 ，綫圈节距各为 y_1 及 y_2 ，每槽圈边数为 C_s ，槽数为 S ，极数为 p ，則：

$$y_0 = \frac{2}{p} \left(\frac{C_s}{2} S \pm K \right),$$

$$y_0 = \frac{y_1 + y_2}{2};$$

$$\frac{2}{p} \left(\frac{C_s}{2} S \pm K \right) = \frac{y_1 + y_2}{2},$$

$$S = \frac{2}{C_s} \left(\frac{p}{2} \cdot \frac{y_1 + y_2}{2} \pm K \right)。$$

上二式中 y_1 及 y_2 系以圈边数表之，但交流电机繞組除小部分 $C_s = 4$ 外，一般 $C_s = 2$ ，所以 y_1 、 y_2 多即以槽数表之，上下两圈边分別以 T 、 B 区别，故 $\frac{2}{C_s} = 1$ ， $\frac{y_1 + y_2}{2}$ 可改作 $y_1 + y_2$ ；上式可改作

$$S = \frac{p}{2} (y_1 + y_2) \pm K,$$

K 为任何整数。

(1) 如 $K=0$, $S=\frac{p}{2}(y_1+y_2)$, 此时繞組称为相式波形繞組。

(2) 如 $K=1, 2, 3, 4\cdots$, 此时繞組称为整流式波形繞組。下面介紹前一种的联接法。

由 $S=\frac{p}{2}(y_1+y_2)$ 可知, 此式繞組系当 S 能为 $\frac{p}{2}$ 所除尽时 (因 y_1, y_2 須为整数), 例如 $p=6, S=36$; 或 $p=10, S=45$ 等是。今以前后二間距之和恰等于 2π 的緣故, 繞組每經一次周行 (即經過所有磁极下同相位的槽子一次的意思), 就回到原来开始的槽子, 为使繞組不閉合起見, 最后节距应予减少或增加一槽, 以便繞組繼續进行。习惯上制造波形繞組多用后退式, 所以常用减少一槽方法。又前举 $p=6, S=36$ 与 $p=10, S=45$ 二例, 36 可为 6 所除尽, 45 仅可为 3 所除尽, 因此相式波形繞組又再分为两类 (見表 1)。

【例 1】 $p=6, S=36$, 每极每相槽数 $q=2$, 綫圈节距 $=\frac{36}{6}=6$ 。

(注: 波形繞組通常不用分数节距)

繞組表如下 (图 1 用 Y 联接以下同):

表 1 繞組表

上	下	上	下	上	下	上	下	上	下	上	下
A1	7	13	19	25	31	36	6	12	18	24	30
B35	5	11	17	23	29	34	4	10	16	22	28
C33	3	9	15	21	27	32	2	8	14	20	26
A31	1	7	13	19	25	30	36	6	12	18	24
B29	35	5	11	17	23	28	34	4	10	16	22
C27	33	3	9	15	21	26	32	2	8	14	20

由表 1 可見, 如节距連續为 6 时, 繞組的进行应为 1 上—7 下—13 上—19 下—25 上—31 下—37 上 (即 1 上), 此处如不予弦接, 則繞組不能进行, 所以减用节距为 5, 变成 1 上—7 下—13 上—19 下—25 上—31 下—36 上。

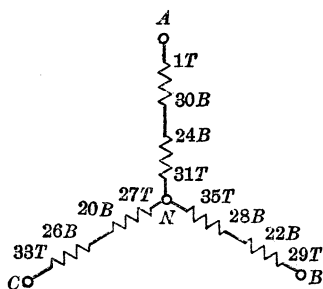


图1 繞組联接图

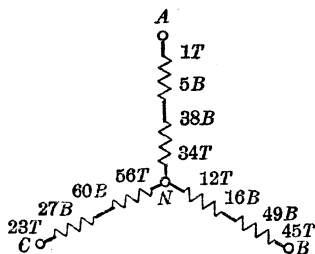


图2 繞組联接图

(注: 图内 T 表示上, B 表示下)

【例 2】 $p=12$, $S=90$, $q=2\frac{1}{2}$ 。

綫圈节距 $= \frac{90}{12} = 7.5$, 用 7 及 8 (用 8 及 7 不佳, 見后)。

按此处 q 不是整数, 可根据迭繞組所用方法, 很容易地决定繞組各相占槽順序各为:

A 相——3232...

B 相——2323...

C 相——3232...

即整个繞組可照 3, 2, 3, 2... 分开, 繞組表如下:

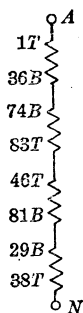
表 2 繞組表

	上	下	上	下	上	下	上	下	上	下	上	下
$A1$	8	16	23	31	38	46	53	61	68	76	83	—
90	7	15	22	30	37	45	52	60	67	75	82	—
89	6	14	21	29	36	44	51	59	66	74	81	A
$B88$	5	13	20	28	35	43	50	58	65	73	80	—
87	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	79	B
$C86$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	78	—
85	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	77	—
84	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	76	C
$A83$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	75	—
82	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	74	A
$B81$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	73	—
80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	72	—
79	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	71	B
$C78$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	70	—
77	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	69	C

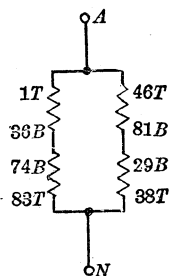
又根据交流电机繞组分路并联方法，以上二例必要时均可使用分路并联接法。如例 1 可联成三分路，例 2 可联成二分路或三分路，但各分路相互并联的数接头必須同相位。以例 2 的 A 相說，如一分路的出綫头为 1 上，与其同相位者有 16 上、31 上、46 上、61 上、76 上等。但各該綫头均在不适当地点，如要联接，必須將繞組分裂。今設繞組須联成二分路，即繞組可于 46 上处分裂如下：

表 3 繞組表

上	下	上	下	上	下	上	下	上	下	上	下
A1	8	16	23	31	38	44	53	61	68	76	83
90	7	15	22	30	37	45	52	60	67	75	82
89	6	14	21	29	36A	44	51	59	66	74	81A
...											
A83	90	8	15	23	30	38	47	53	60	68	75
82	89	7	14	22	29A	37	46	52	59	67	74A



a)



b)

图 3 繞組联接图

图 3b (仅示 A 相) 即示各綫圈組的联接法 (二分路并联)。如欲联成串联，可将 46 上与 83 上联接，如图 3a。制造厂常将电机設計成既可并联又可串联，只須將外面綫头接法調整一下，便可用于两种电压值 (最普通的如串联用于 440 伏，并联用于 220 伏，輸出額不变)。

前面曾提及($p=12, S=90$ 例內)綫圈节距最好不用 8 及 7, 系指当使用表 3 时而言, 因为用 8 及 7 时, 表內“上”处数值照旧, 但“下”处的数值均加一, 以起头两行为例, 应改写作:

1—9—16—24—31—39 46—54—61—69—76—84
90—8—15—23—30—38 45—53—60—68—75—83

由上段可見繞組分裂时, 中間处繞組节距仅 6 ($39 \rightarrow 45$), 不但使电压損失少許, 且使一个繞組具有三种不同节距, 容易发生錯誤。

【例 3】 $p=10, S=45, q=1\frac{1}{2}, S$ 仅能为 3 所除尽。

决定此类型繞組的联結, 亦可參用如例 1 或例 2 方法, 但亦可照表 4 与图 4、5 进行, 較為簡單。

表 4 繞組表 (B, C 两相从略)

上	下	上	下	上	下	上	下	上	下	上	下
1	5	10	14	19	23	28	32	37	41		
45	4	9	13	18	22	27	31	36	40		
				45	41	36	32	27	23	18	14
								9	5		

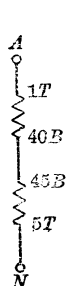


图 4 繞組联接图

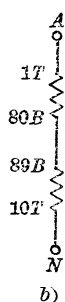
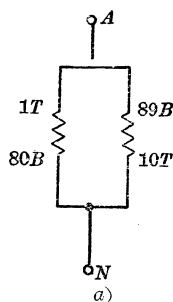


图 5 繞組联接图

因繞組的占槽順序为 2、1 ($q=1\frac{1}{2}$), 所以第一段写两排, 第二段即照第一段最末一排的首槽开始, 但上改为下 (例內为 45 上改为 45 下), 同时倒写回去, 至填满 A 相应該占的槽位为止。

【例 4】 $p=10, S=90$, 分路并联 $q=3$ 。

此繞組系相式波形繞組的第一类, 即 $S/6$ 为整数者, 亦可用例 3 法写出繞組表。

表 5 繞組表(B, C 兩相從略)

上	下	上	下	上	下	上	下	上	下	上	下	上
1	—	10	—	19	—	28	—	37	—	46	—	55
64	—	73	—	82	—	90		81	—	89		80
89	—	80	—	71	—	62	—	53	—	44	—	35
26	—	17	—	8	—	90		9	—	1		10

并联系将第二段反过来再与第一段相接，因二者的电压原相差 180° ，反接后即同相位(經作者实际应用，并无問題)。

(原載“电世界”月刊 6 卷 6 期)

1-5. 三相感应电动机的重迭式繞組

普通小型三相感应电动机，大部分采用双层迭繞式繞組。但由于在制造上尤其是重換繞組时有相当困难，故現在已有将迭繞式改进为重迭式。普通迭繞式繞組綫圈跨过的槽数，等于一极节距(以槽数表示)或等于一分数节距。自一槽頂部繞至另一槽的底部，綫圈装入已有綫圈的槽时，必須把頂部的綫圈拉出，始能将此綫圈放进，或必須将綫圈穿过槽內。如此做法，不但繞制困难，而且浪費了人力与時間。为了克服此困难，故有将迭繞式改进为重迭式的必要。

重迭式的綫圈，并不完全自槽的頂部繞至另一槽的底部，而分为三种类型：(1)首先繞制自槽底繞至槽底的綫圈；(2)再自槽底繞至槽頂綫圈；(3)最后繞制自槽頂繞至槽頂的各綫圈。如此繞制方法，則任何一綫圈均有二空槽位可装入，而不致受其他綫圈的阻碍。故此种方法，在工作上甚为便利，而且节省人工。綫圈在槽中的徑向位置改变时，其漏阻抗自然亦改变，重迭式繞組虽三相分布

不完全平衡,但若每相間有相同的導綫,則三相間不致有不平衡電流。若將普通迭繞式改為重迭式,對於性能不會有何影響,亦不致發現電流不平衡等不良情況。

重迭式繞組亦有其缺點,因三種綫圈形狀不同,故在綫圈成型時比較麻煩,綫圈的槽外部分相與相間的絕緣必須注意。

重迭式繞組綫圈分布的方法和原則

1. 槽底繞至槽底綫圈(以 $B-B$ 代表)

(1) 自槽底繞至槽底的綫圈數必等於綫圈節距。例如定子有 24 槽,則共有綫圈 24 只,綫圈自第一槽繞至第八槽,節距為 7,即 $B-B$ 綫圈數為 7。

(2) 相與相間的綫圈必須用較好的外加絕緣,以免損傷,形成短路。

(3) 每相 $B-B$ 綫圈數,由 $B-B$ 綫圈總數除每組綫圈數而得(組數為相數與極數乘積),若商數為 2,則 A 、 B 兩相各有相等的 $B-B$ 綫圈;若商數為 3,則 A 、 B 、 C 三相均有相同數目的 $B-B$ 綫圈;若商數為一分數,則 C 相 $B-B$ 綫圈數,等於上述二數相除所得的餘數。

【例 1】 定子有 36 槽,4 極、三相,則綫圈有 $4 \times 3 = 12$ 組;若節距為 8,則 $B-B$ 綫圈總數為 8,每組綫圈 $= \frac{36}{12} = 3$ 只。 $\frac{8}{3} = 2\frac{2}{3}$,即商數為 2,餘數亦為 2,故 A 相有 3 只 $B-B$ 綫圈; B 相亦有 3 只 $B-B$ 綫圈; C 相有 2 只 $B-B$ 綫圈,另有一槽底至槽頂綫圈。

【例 2】 定子有 72 槽,4 極、三相,則綫圈有 $4 \times 3 = 12$ 組,每組綫圈 $= \frac{72}{12} = 6$ 只;若節距為 15,則共有 $B-B$ 綫圈 15 只;15 除以 6 得商數 2 余 3,故 A 、 B 兩相各有 6 只 $B-B$ 綫圈; C 相有 3 只 $B-B$ 綫圈,再加 3 只槽底至槽頂綫圈。

2. 槽底至槽頂綫圈(以 $B-T$ 代表) $B-T$ 綫圈的總數,等於總綫圈數減去 2 倍的綫圈節距。此種綫圈自節距數加 1 的槽開

始,装完后有数槽頂与槽底已有圈边,可加楔固定。

3. 槽頂至槽頂綫圈(以 $T-T$ 代表) $T-T$ 綫圈的总数,亦等于节距数。若上述二种綫圈已繞完后,除有部分槽底与槽頂已有圈边且已加楔外,其他各槽底均已有圈边,此等仅底部有圈边的槽数,必等于綫圈节距的二倍。故 $B-T$ 綫圈繞至与 $B-B$ 綫圈第一槽相邻时,即表示 $B-T$ 綫圈已完,而应开始 $T-T$ 綫圈。

綫圈在三相中的分配

$B-T$ 、 $T-T$ 綫圈在三相中的分配,与 $B-B$ 綫圈在三相中的分配相似。茲举例說明如下:

【例 3】定子有 18 槽,三相、2 极,綫圈节距为 6,則共有 $B-B$ 綫圈 6 只; $B-T$ 綫圈数 $=18 - (2 \times 6) = 6$; $T-T$ 綫圈亦有 6 只。 $2 \times 3 = 6$ 組,每組有 $\frac{18}{6} = 3$ 綫圈。因 $\frac{6}{3} = 2$, 故 A 相与 B 相有相同的 $B-B$ 。将 $B-B$ 、 $B-T$ 、 $T-T$ 在各相的分配数按順序分配于各組,如第一組有 3 只 $B-B$,第二組有 3 只 $B-B$ 。

因 $B-T$ 綫圈的分配亦为 $\frac{6}{3} = 2$, $T-T$ 綫圈数亦为 6, $\frac{6}{3} = 2$, 故均可分配二相, 得: 1 組 3 只 $B-B$, 2 組 3 只 $B-B$, 3 組 3 只 $B-T$, 4 組 3 只 $B-T$, 5 組 3 只 $T-T$, 6 組 3 只 $T-T$ 。共有 6 組, 每极应相距 $\frac{6}{2} = 3$ 組, 故 A 相由第一組接至第四組, B 相自第二組接至第五組, C 相自第三組接至第六組。即

$$A \text{ 相} = 3(B-B) + 3(B-T)$$

$$B \text{ 相} = 3(B-B) + 3(T-T)$$

$$C \text{ 相} = 3(B-T) + 3(T-T)$$

【例 4】定子有 36 槽,三相、4 极,綫圈节距为 8,有 $3 \times 4 = 12$ 組,每組有 $\frac{36}{12} = 3$ 綫圈。按前述原則,应有 8 只 $B-B$, $36 - (2 \times 8) = 20(B-T)$ 及 8 只 $T-T$ 。因 $\frac{8}{3} = 2\frac{2}{3}$, 故得 1 組 3 只 $B-B$, 2 組 3 只 $B-B$, 3 組 2 只 $B-B$ 加 1 只 $B-T$ 。

20 除以 3 得商 6 余 2。故

4 組 3 只 $B-T$, 5 組 3 只 $B-T$, 6 組 3 只 $B-T$,

7 組 3 只 $B-T$, 8 組 3 只 $B-T$, 9 組 3 只 $B-T$ 。

8 除以 3 得商 2 余 2, 故

10 組 1 只 $B-T$ 加 2 只 $T-T$, 11 組 3 只 $T-T$,

12 組 3 只 $T-T$ 。

每极应相距 $\frac{12}{4}=3$ 組, 故

$$A \text{ 相} = 1 + 4 + 7 + 10 (\text{組})$$

$$B \text{ 相} = 2 + 5 + 8 + 11 (\text{組})$$

$$C \text{ 相} = 3 + 6 + 9 + 12 (\text{組})$$

为了更具体明了繞綫的步驟, 茲再举一例, 并繪图說明之。

【例 5】 若定子有 24 槽, 三相、2 极, 則有 $2 \times 3 = 6$ 組, 每組有 $\frac{24}{6} = 4$ 綫圈。若节距为 8, 則有 8 只 $B-B$, $24 - (2 \times 8) = 8$ 只 $B-T$ 及 8 只 $T-T$ 。

因 $\frac{8}{4} = 2$, 故 1 組 4 只 $B-B$, 2 組 4 只 $B-B$ 。

由于 $B-T$ 与 $T-T$ 綫圈总数亦各为 8, $\frac{8}{4} = 2$, 故

3 組 4 只 $B-T$, 4 組 4 只 $B-T$

5 組 4 只 $T-T$, 6 組 4 只 $T-T$ 。

A 相 = 第一組 + 第四組 = $4(B-B) + 4(B-T)$

B 相 = 第二組 + 第五組 = $4(B-B) + 4(T-T)$

C 相 = 第三組 + 第六組 = $4(B-T) + 4(T-T)$

繞 綫 步 驟

1. 第一組綫圈 將定子槽內加以規定的絕緣后, 即可开始繞第一組綫圈。因节距为 8, 即綫圈应自第一槽跨至第九槽。起端 B_1 开始于第九槽, 經端接而至第一槽, 再自第一槽繞至第九槽成一綫圈(第一綫圈); 再經端接而入第二槽, 由第二槽繞至第十槽成第二

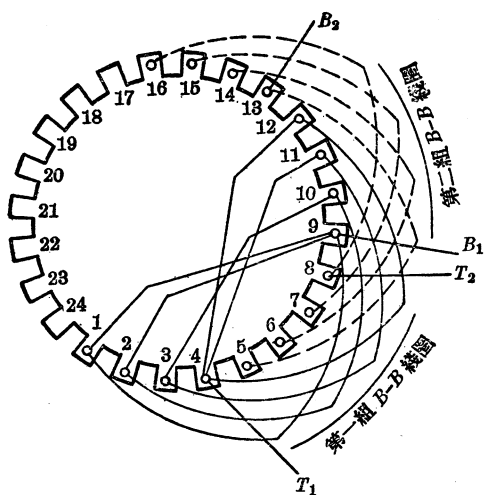


图1 第一組和第二組綫圈

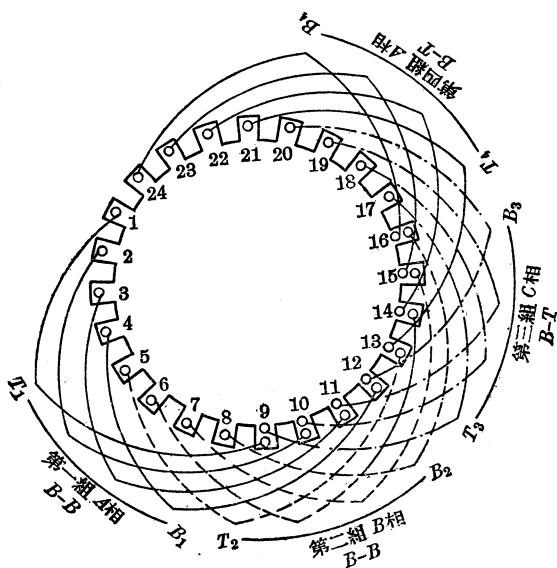


图2 第一、二、三、四組綫圈

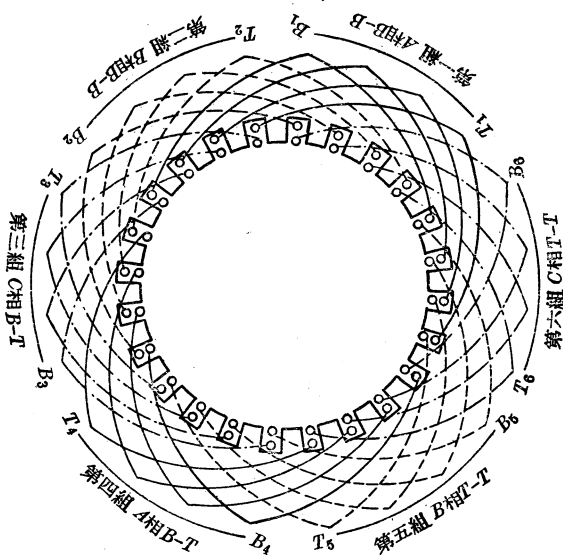


图3 全部各組綫圈

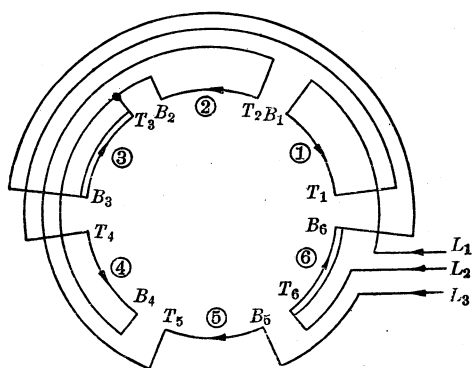


图4 繞組接成星形

綫圈；自第十槽經端接至第三槽而至第十一槽，依次至第四、十二槽，再經端接回至第四槽，末端 T_1 即由第四槽引出，如图 1 所示。

2. 第二組綫圈 第二組亦为 $B-B$ 綫圈,起端 B_2 开始于第十三槽,末端 T_2 接于第八槽,其繞綫方法与第一組完全相同,亦如图 1 所示。

3. 第三組綫圈 第三組綫圈为槽底至槽頂 ($B-T$)。起端 B_3 起于第十七槽,末端 T_3 自第十二槽接出。繞綫方法与前相同,如图 2 所示。第九、十、十一、十二等四槽頂部与底部已有綫圈,故可将楔加入。

4. 第四組綫圈 B_4 自第二十一槽接出, T_4 自第十六槽接出,第十三、十四、十五、十六等四槽可加楔。此組綫圈繞完后,已无全空的綫槽。如图 3 所示。

5. 第五組与第六組綫圈 第五組与第六組綫圈的繞法与前相同,不再重述。接綫如图 3 所示。

6. 各組綫圈的联接 各組綫圈在 A 、 B 、 C 三相中的分配,前已說明,即 A 相中第一組与第四組相联, B 相中第二組与第五組相联, C 相中第三組与第六組相联。如将三相繞組接成 Y ,可如图 4 所示。

(原載“电世界”月刊 6 卷 9 期)

1-6. 双速感应电动机繞組

三相感应电动机在构造上和运用上有許多优点,但有一个缺点,就是轉速能够变化的范围不大。

从理論上看,变化鼠籠式感应电动机的轉速的常用方法有:
(1) 变更繞組极数; (2) 变更电源頻率; (3) 使用特殊控制设备。

就鼠籠式感应电动机來說,目前比較常用的还是第一种方法,就是变更极数。但由于极数只能是 2、4、6、8..., 因此这一种变速只能是分級式的变化,而不能是逐漸的均匀的变化。变更极数

的办法,是把电机繞組改接,或使用多組繞成不同极数的繞組(通常使轉速較低的一組繞在槽的頂部,較高者繞在底部),鼠籠式轉子繞組的极数,可适用于任何定子极数。从成本上考虑,用一組定子繞組改接比較簡單便宜。因为所有繞組在每一种轉速都被完全利用到;而在多組繞組情形下,每次仅一部分繞組在使用。改接一組繞組所得的轉速,通常为双級式变化,成2:1的关系,如1,500与3,000、1,500与750、1,000与500轉/分等。一般最多为四种轉速,即在双层繞組中,上下层都使能改接作两种轉速運轉。这种变速法,固然也可适用于滑环式电动机,但在变速时,轉子繞組的联接也需要改变,因使轉子的构造相当复杂,很少采用。

在变更极数的方法中,最常使用的为变更繞組中一部分綫圈的电流方向。图1、2、3示轉速成2:1关系的改接原理。

在图1中,两半部綫圈互相串联,将产生两个南极,其中間部分将成为两个北极,即此时繞組的极数为4。如将图1的两半綫圈反接(图2)或并联(图3),則此两部分各产生一个北极和一个南极,即繞組改接成为2极。一般地說,如图1时轉速为 n ,图2及图3时轉速将为 $2n$ 。

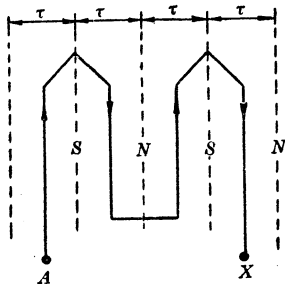


图1 双极方法(甲)

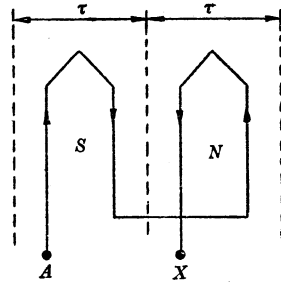


图2 双极方法(乙)

应用上面原理于三相繞組,可以得到很多种接法,但以图4、5、6、7、8五种最为常用。在不同接法中,电动机的所有特性以及气隙磁通密度,都将随着产生相当变化。今每相感应电压为:

$$E = 4.44 f W k_w \phi \times 10^{-8} \text{ 伏,}$$

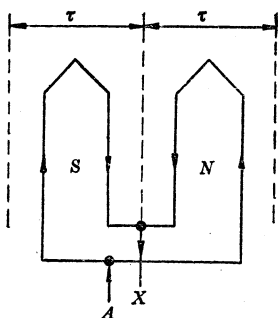


图3 双极方法(丙)

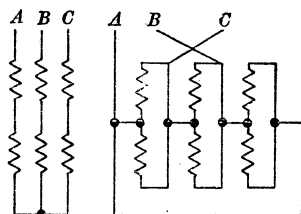


图4 三相繞組換接(甲)

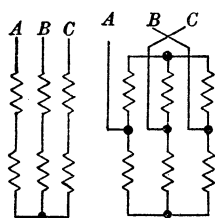


图5 三相繞組換接(乙)

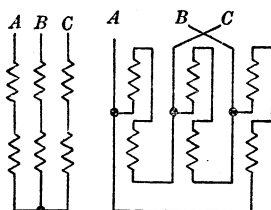


图6 三相繞組換接(丙)

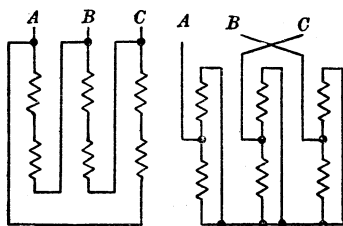


图7 三相繞組換接(丁)

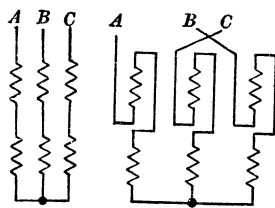


图8 三相繞組換接(戊)

W 为繞組每相匝数, k_w 为繞組因数, ϕ 为每极磁通量。設气隙磁通为正弦波形, 則

$$\phi = \frac{2}{\pi} \cdot B_m \cdot \frac{\pi D}{p} \cdot L,$$

或

$$\phi = B_m \cdot \frac{2DL}{p}$$

B_m 为气隙最大磁通密度(高斯), D 及 L 各为定子内径及长度。
如以 a 、 b 分别表示转速为 $2n$ 与 n 时数值, 则:

$$\frac{E_a}{E_b} = \frac{W_a \cdot k_{wa} \cdot B_{ma} \cdot p_a}{W_b \cdot k_{wb} \cdot B_{mb} \cdot p_b},$$

或

$$\frac{B_{mb}}{B_{ma}} = \frac{E_b \cdot W_a \cdot k_{wa} \cdot p_a}{E_a \cdot W_b \cdot k_{wb} \cdot p_b}。$$

在电源电压不变时, 如 $k_{wa} = k_{wb}$,

则 $\frac{B_{mb}}{B_{ma}}$ 的关系(如图 4 ~ 8) 如表 1。

表 1 B_{mb}/B_{ma} 比率表

接法如图	极数为 $2p$ 时(符号 b)		极数为 p 时(符号 a)		B_{mb}/B_{ma}
	两半接法	三相接法	两半接法	三相接法	
图 4	串联	星形	并联	三角形	0.53
图 5	串联	星形 (或三角形)	并联	双星形 (或三角形)	1.00
图 6	串联 (或并联)	星形	如 $2p$ 时接法	三角形	1.16
图 7	串联	三角形	并联	双星形	1.73
图 8	串联 (或并联)	星形 (或三角形)	如 $2p$ 时接法	星形 (或三角形)	2.00

又三相电动机转矩 $= \frac{p}{4\pi f} \times (\text{转子总输入})$

$$= \frac{p}{4\pi f} (3E'_2 I'_2 \cos \psi)$$

(设在变速时转子的功率因数不变)

$k_{wa} = k_{wb}$, 则变速后转矩比率将为:

$$\frac{M_b}{M_a} = \frac{W_b \cdot I'_{2b} \cdot p_b \cdot \phi_b}{W_a \cdot I'_{2a} \cdot p_a \cdot \phi_a}$$

(I'_2 为转子等值电流)

今 $W_b \cdot I'_{2b} \cong W_a \cdot I'_{2a},$

$$p_a \cdot \phi_a = p_a \cdot B_{ma} \frac{2DL}{p_a} = 2D \cdot L \cdot B_{ma},$$

$$p_b \cdot \phi_b = p_b \cdot B_{mb} \cdot \frac{2DL}{p_b} = 2D \cdot L \cdot B_{mb},$$

$$\therefore \frac{M_b}{M_a} \cong \frac{B_{mb}}{B_{ma}}.$$

变速电动机設計为恒轉矩者，即 $M_b = M_a$ ；要得这样的結果，那就必須 $B_{mb} \cong B_{ma}$ ，或者說必須用图 5 及图 6 接法（見表 1）。如果維持輸出一定，而需要 $\frac{M_b}{M_a} \cong 2$ 时，那就要用图 7 及图 8 接法。如果要轉矩随着轉速减低而减少时（如鼓风机或风扇类型的負載），那就用图 5 的接法。

表 2 介绍以下情况：1,500/750 轉/分、三相、380 伏鼠籠式感應电动机的主要数据。由表 2 可以看到：(1)在两种轉速下，电动机的輸出不变；(2)轉速較低时，效率較佳，轉差率較小（因轉子电流通路較短，有效电阻較低）；(3)轉速較低者，功率因数較差；(4)其余特性差別較少。

表 2 电动机主要数据

輸 出 (瓩)	n (轉/分)	轉差率 (%)	效 率 (%)	功率因数	起動电流 (%)	起動轉矩 (%)	最大轉矩 (%)
4.0	750	2.4	80.5	0.778	420	130	200
4.5	1500	3.1	79.0	0.820	460	140	190
10.8	750	2.6	83.5	0.790	500	150	230
10.8	1500	3.1	82.5	0.935	550	150	220
46.0	750	1.4	90.5	0.825	640	150	280
46.0	1500	2.1	88.5	0.935	530	100	230

双速定子繞組的繞法与普通繞法相同。茲举出单层迭繞組三个实例作为讀者参考之用。

【例 1】 三相、2/4 极、48 槽（由三角形改接为三角形）。

綫圈所用节距（或間距）通常为极数較少者的 $\frac{2}{3}$ ；則在极数为 $2p$ 时，綫圈将超距 $1\frac{1}{3}$ 或 $\frac{4}{3}$ 。在两种情形节距因数仍相等。因节

$$\begin{aligned} \text{距因数} &= \cos \frac{1}{2} \times \left(1 - \frac{2}{3}\right) \times 180^\circ = \cos 30^\circ = 0.866, \text{ 或等于 } \cos \frac{1}{2} \\ &\times \left(1 - \frac{4}{3}\right) \times 180^\circ = \cos(-30^\circ) = \cos 30^\circ = 0.866. \end{aligned}$$

$$\therefore \text{线圈节距} = \frac{2}{3} \times \frac{48}{2} = 16 (\text{以槽数表示})$$

但单层绕组的节距必须为奇数，所以应改用 15，即嵌 15 槽。
整个绕组绕成三相六组，如图 9——每相的组数与转速较高时的极数相同。

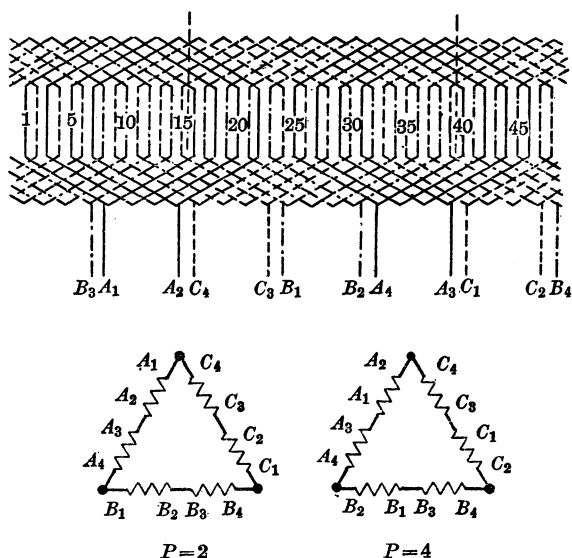


图 9 绕组接法 $\Delta-\Delta$

改接以后，按图 4~8 所示，接电时应将 B 、 C 两相的出线头交换，否则电动机的旋转方向会相反。因为在极数为 p 时，如果 B 、 C 二出线头与 A 的关系为：

$$0^\circ, 120^\circ, 240^\circ.$$

则在极数变为 $2p$ 时，三者的角度关系将为：

$$\begin{aligned} &2 \times 0^\circ \quad 2 \times 120^\circ \quad 2 \times 240^\circ \\ &0^\circ \quad 240^\circ \quad 480^\circ \text{ 相当于 } 120^\circ \end{aligned}$$

換句話說，即相序方向在變速後原來相序相反，所以 B 、 C 必須對調。

【例 2】 三相，6/12 極、108 槽（由串聯星形改接為雙星形）。

$$\text{綫圈節距} = \frac{2}{3} \times \frac{108}{6} = 12, \text{用 } 1 \sim 12, \text{即嵌十一槽。}$$

現在綫圈仍為弦接 $\frac{2}{3}$ ，每組槽數為 $\frac{108}{3 \times 6} = 6$ ，我們不必再將整個繞組畫出，只須排出繞組表，就可以得到接法。

如第一槽為 A 相出綫頭，則 B 相出綫頭在 13， C 相在 25（因每槽角度 $= \frac{6 \times 180}{108} = 10^\circ$ ）。

繞組表為（每相六組）：

A 相：

1—12—3—14—5—16—
 37—48—39—50—41—52—
 73—84—75—86—77—88—
 19—30—21—32—23—34—
 55—66—57—68—59—70—
 91—102—93—104—95—106。

B 相：

13—24...89—100—
 31—42...107—10。

C 相：

25—36...101—4—
 43—54...11—22。

接法如圖 10 所示。

【例 3】 三相，4/8 極、72 槽（由三角形改接為雙星形）。

雙速綫圈的節距，有時可為極數較多者的滿節距，則在極數為一半時，節距將被弦接 $\frac{1}{2}$ （節距因數 $= 0.707$ ）。

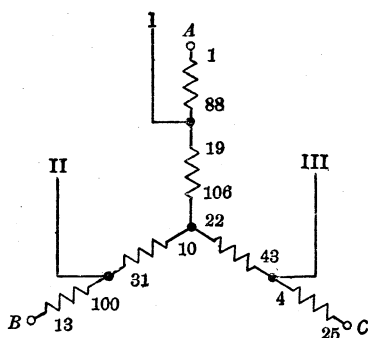


图 10 繞組接法 Y-YY

$ABC: P=12, I, II, III:$

$P=6(ABC \text{ 短接})$

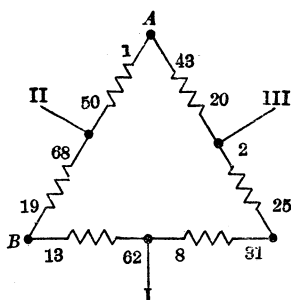


图 11 繞組接法 Δ -YY

$ABC(\text{短接}): P=4, I, II, III(\text{短接}):$

$P=8$

由上面規律，我們可以直接排出如下的繞組表。綫圈節距
 $=\frac{1}{2} \times 72 / 4 = 9$ ，即 1~10，每相四組：

A 相：

1—10—3—12—5—14—
 37—46—39—48—41—50—
 68—59—66—57—64—55—
 32—23—30—21—28—19。

B 相：

13—22—...53—62—
 8—71—...44—31。

C 相：

25—34—...65—2—
 20—11—...52—43。

接法及改接方法如图 11 所示。

(原載“电世界”月刊 7 卷 5 期)

1-7. 单繞組多速电动机

基本原則

在設計制造新的或将旧电动机換綫改制多速电动机时，必須考虑下列几項基本原则：

(1) 由于电动机的功率 P 与轉矩 M 的关系为：

$$P = M \times \frac{2\pi n}{60}。 \quad (1)$$

所以当多速电动机极数变换时，可以在功率不变或轉矩不变两者之一的条件下进行。略去一些公式的演化，可以得到下式：

$$\frac{M'}{M} \approx \frac{B'_\delta}{B_\delta}， \quad (2)$$

式中 B_δ ——气隙磁通密度(高斯)，附有标志“'”的代表低轉速的。

按对多速电动机工作性能不同的要求，可以选择相适应的繞組联接法，以得到等功率或等轉矩的多速电动机。

(2) 适当地选择繞組型式使在变更极数时，磁动势的波形尽可能的近似正弦曲綫，双层繞組比单层繞組的优点是能选用适当的短节距，以消除高次諧波对轉矩的不良影响，改善磁动势的波形。

(3) 为了消除因变换极数而可能有恶化的附加力矩，最好采用斜槽的轉子。定子与轉子槽数的配合不应有下列的关系，轉子应该是双数槽的：

$$z_1 - z_2 = \pm 2p；$$

$$z_1 - z_2 = 1 \pm 2p；$$

$$z_1 - z_2 = \pm 2 \pm 4p. \quad (3)$$

否則电动机将会不能運轉或发生强烈噪音。

(4) 設計或改制多速电动机时,應該使得电机的銅、鉄有效材料在低速时得到最大的利用率。通常将单速电动机改制为多速电动机时,都是提高轉速(例如将 4 极电动机改为 2、4 极,或 8 极电动机改为 2、4、8 极),如果改制是降低轉速的(例如将 4 极电动机改为 4、8 极),則应将原来电动机的气隙磁通密度降低 10~15%,否則空載电流将会增大很多。

(5) 将单速电动机改制为多速电动机时,應該事先考虑到电动机的机械强度。例如当轉速增加时,轴承是否会过热或寿命减短;轉子受到过大的离心力是否会损坏。此外,繞組的出綫头还应尽可能减少,使操作簡便。

繞組的接綫法

1. 速度变换的比率为 2:1 的繞組接綫法 見图 1。

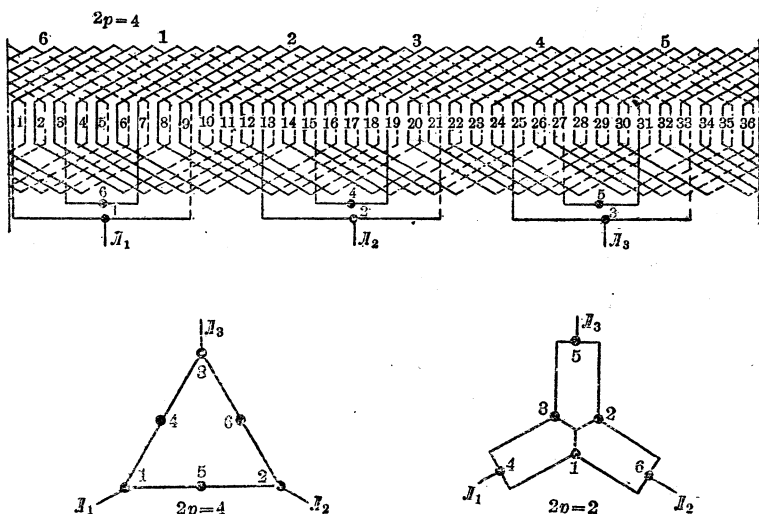


图 1 双速电动机繞組的接綫图
 $2p=4:2, \Delta/Y$

电动机工作于等轉矩时,

通常采用 $\frac{B'_6}{B_6} \approx 1.0$ 的 Y/YY,

或 $\frac{B'_6}{B_6} \approx 1.16$ 的 Y/ Δ 接綫法;

而当电动机工作于等功率时,

则多半采用 $\frac{B'_6}{B_6} \approx 1.73$ 的 Δ /YY,

或 $\frac{B'_6}{B_6} \approx 2.0$ 的 Y/Y 和 Δ/Δ 接綫法。

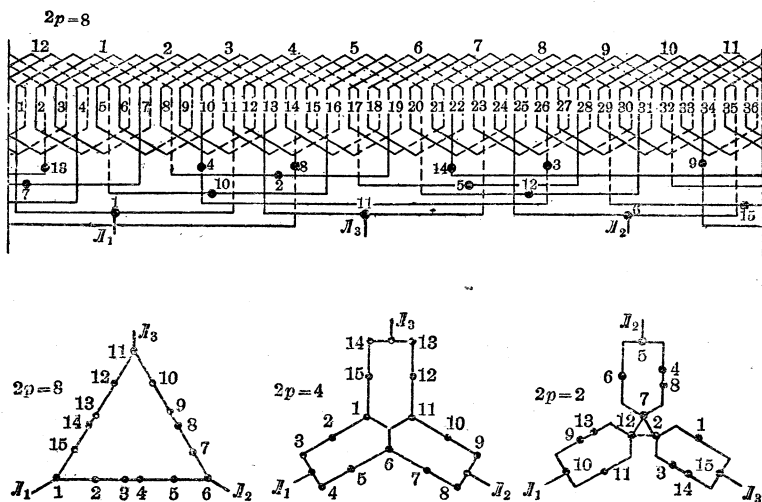


图2 三速电动机繞組的接綫图

$2p=8:4:2, \Delta/YY/YY$

2. 极数变换的比率为 8:4:2 的繞組接綫法 见图2。

等轉矩法用

Y/YY/YY,

或

YY/ $\Delta\Delta/\Delta\Delta$ 接綫法;

等功率法用

Δ /YY/YY,

或

YY/ $\Delta\Delta/\Delta\Delta$ 接綫法。

3. 极数变换的比率为 6:4:2 的繞組接綫法 见图 3。

等轉矩法用 $Y/\Delta/\Delta$,

等功率法用 $\Delta/\Delta/\Delta$ 。

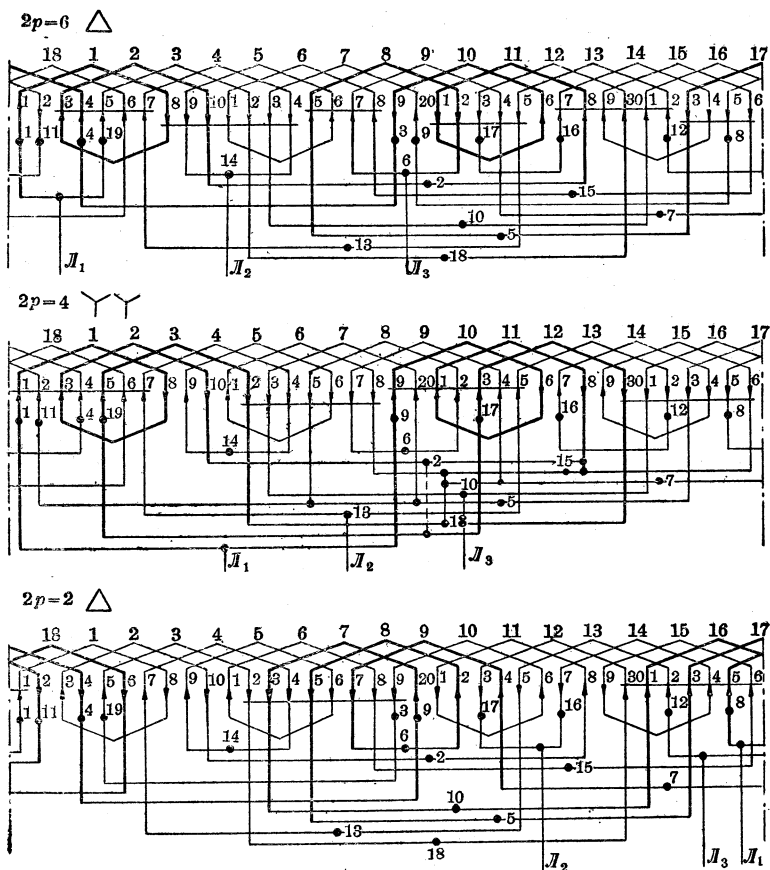


图 3 三速电动机极数 $2p=6:4:2$ 的接綫图

4. 极数变换的比率为 8:6:4:2 的繞組接綫法 见图 4。

等轉矩法用 $YY/\Delta/YY/\Delta$, $\Delta/\Delta/\Delta/\Delta$;

等功率法用 $YY/Y/Y/Y$, $\Delta/YY/YY/YY$ 。

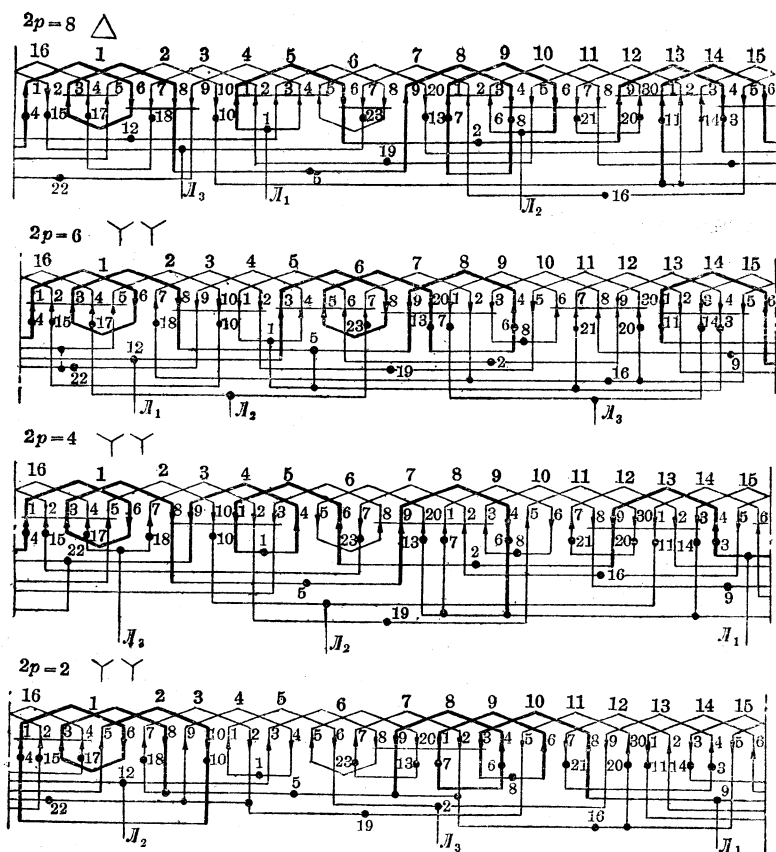


图4 四速电动机极数 $2p=8:6:4:2$ 的接线图

改制的计算方法

有些普通的单速电动机,可将定子绕组的接线改变一下,以适合变更极数的要求,成为一台多速电动机。但有时因为旧有绕组不适用,不得不重新换以合适的绕组。多速电动机的电磁计算,基本上和单速电动机是一样的。在拆下旧绕组时,应确切记录电动机的铭牌数据和绕组的型式、匝数、并联支路数、接线法、线号、跨距等,并测量定子内外直径和长度、轭高和槽的尺寸,以便设计新绕组时作为依据。计算的方法和步骤如下:

1. 每相綫圈的串聯匝數 極數變換時, 由於繞組接綫法的改變(例如由 Δ 換到 YY), 每相的串聯匝數 w 也改變了, 通常在低速時, 如果是串聯連接的, 而當高速時不宜超過三路并聯, 即 $w'/w = 1, 2$ 或 3 。此外, 多速電動機 wk 的乘積 (k 為定子繞組系數) 在最低轉速時, 應與單速電動機相仿, 使得在最高轉速時, 軛部磁通密度不致超過允許值(參見公式 5)。

$$w = \frac{S_n z_1}{2 \times 3 \times 2a} \quad (4)$$

式中 S_n ——每槽導體數;
 $2a$ ——并聯支路數;
 z_1 ——槽數。

2. 繞組系數 在不同的轉速時, 由於極距的變更而影響繞組系數在寬廣的範圍內 ($0.9 \sim 0.4$) 變動, 對磁路各部的影響很大。在多速電動機中綫圈的跨距多半採用略大於最多極數時的極距。

$$k = k_p k_y = \frac{\sin\left(\frac{\pi}{2m}\right)}{q \sin\left(\frac{\pi}{2mq}\right)} \sin\left(\frac{\pi}{2} \times \frac{y}{\tau}\right) \quad (5)$$

式中 k_p ——繞組分布系數;
 k_y ——短距因數;
 q ——每極每相槽數;
 y ——綫圈跨距;
 τ ——極距 $= z_1/2p$;
 m ——相數。

3. 氣隙磁通密度 當電動機工作於等功率或等轉矩時, 為了避免當高速時磁路過飽和, 應該選取等於或略小於原來數值的氣隙磁通密度, 而且通常 $\frac{B'_\delta}{B_\delta} \geq 1$, 所以在低速時, B'_δ 應是最大的。

$$B_\delta = \frac{(U - IR) \times 10^8}{1.44 l \tau w k} \text{ 高斯。} \quad (6)$$

式中 R ——每相繞組 75°C 的電阻,

$$R = \frac{w \times l_{cp}}{46 \times 2a \times q_{cn}} \text{ 欧姆};$$

l_{cp} ——每匝平均长度,米;

q_{cn} ——每根銅綫截面积,平方毫米;

l ——定子鉄心实长,毫米;

τ ——极距 $=\pi D/2p$,毫米。

4. 定子齿部磁通密度 和气隙磁通密度一样,在最低轉速时,决定于齿的寬度。假如在普通的单速电动机中, $B_z=14,000 \sim 16,000$ 高斯,那么在多速电动机中,低速时 $B_z=16,000 \sim 17,500$ 高斯。

$$B_z = \frac{B_{\delta} t}{0.93 b_2} \text{ 高斯}, \quad (7)$$

式中 t ——齿距 $=\pi D/z_1$ 毫米;

b_2 ——齿寬,毫米。

5. 定子軛的磁通密度 同样在最低轉速时按軛高决定。且由于多速电动机在高速时极距的增长,所以当高速时 B_j 不得超过允許值。在普通单速电动机中,如果 $B_j=15,000 \sim 16,000$ 高斯,那么在多速电动机中,高速时 B_j 不应超过 18,000 高斯。

$$B_j = \frac{0.35 \tau B_{\delta}}{h_j} \text{ 高斯}, \quad (8)$$

式中 h_j ——定子軛高,毫米。

实 例

这是笔者在实际工作中改制的一台双速电动机。它的銘牌数据为: $P=4.5$ 瓩, $U=380$ 伏, $I=11$ 安, $n=730$ 轉/分, $\cos \phi=0.76$, $\eta=83.5\%$, 为鑄鋁鼠籠式三相感应电动机。起初打算利用原来繞組(系 Y 接綫, 双层短距繞組, 1~6 槽的跨距)改变接綫法, 使成为一台 4、8 极双速电动机。8 极时 YY 接綫, 4 极时 Δ 接綫。但由于綫圈跨距太短, 空载电流在高轉速时超过額定电流, 于

是拆去定子繞圈,按下列方法換算,設計新的繞圈。在拆去旧繞圈时,記錄以下各数据:定子槽数 $z_1=48$ 槽,轉子槽数 $z_2=54$ 槽,定子每槽 72 根導綫,直徑 1.2 毫米单紗漆包綫,兩路并聯;轉子为鑄鋁鼠籠式。定子外徑 $D_{\text{nap}}=328$ 毫米,定子內徑 $D_{\text{en}}=230$ 毫米,定子軛高 $h_j=19$ 毫米,定子长度 $l=80$ 毫米,气隙 $\delta=0.35$ 毫米。

1. 定子繞組电流密度

$$\Delta = \frac{1}{2a \times q_{cn}} = \frac{11}{2 \times 1.13} = 4.87 \text{ 安/毫米}^2。$$

2. 每相串聯匝数

$$w = \frac{S_n \times z_1}{2 \times m \times 2a} = \frac{72 \times 48}{2 \times 3 \times 2} = 288。$$

3. 在发热状态下的定子每相电阻

$$R = \frac{wl_{cp}}{46 \times 2a \times q_{cn}} = \frac{288 \times 0.46}{46 \times 2 \times 1.13} = 1.27 \text{ 欧}。$$

4. 极距

$$\tau = \frac{\pi D_{\text{en}}}{2p} = \frac{3.14 \times 230}{8} = 90 \text{ 毫米}。$$

5. 齿距

$$t = \frac{\pi D_{\text{en}}}{z_1} = \frac{3.14 \times 230}{48} = 15 \text{ 毫米}。$$

6. 定子繞組系数

$$\begin{aligned} k &= k_p k_y = \frac{\sin\left(\frac{\pi}{2m}\right)}{q \sin\left(\frac{\pi}{2mq}\right)} \sin\left(\frac{\pi}{2} \times \frac{y}{\tau}\right) \\ &= \frac{\sin\left(\frac{180^\circ}{2 \times 3}\right)}{2 \sin\left(\frac{180^\circ}{2 \times 3 \times 2}\right)} \sin\left(\frac{180^\circ}{2} \times \frac{5}{6}\right) \\ &= 0.967 \times 0.965 = 0.933。 \end{aligned}$$

式中 q ——每极每相槽数,

$$q = \frac{z_1}{2p \cdot m} = \frac{48}{8 \times 3} = 2;$$

y ——綫圈跨距, 1~6 槽。

7. 气隙磁通密度

$$\begin{aligned} B_\delta &= \frac{(U - IR) \times 10^8}{1.44 \times l \times \tau \times w \times k} \\ &= \frac{(220 - 11 \times 1.27) \times 10^8}{1.44 \times 80 \times 90 \times 288 \times 0.933} \\ &= 7,400 \text{ 高斯。} \end{aligned}$$

8. 定子齿部磁通密度

$$B_{z1} = \frac{B_{st}}{0.93b_{z1}} = \frac{7,400 \times 15}{0.93 \times 7} = 17,000 \text{ 高斯。}$$

9. 定子轭部磁通密度

$$B_j = \frac{0.35\tau B_\delta}{h_j} = \frac{0.35 \times 90 \times 7,400}{19} = 12,300 \text{ 高斯。}$$

按等功率法改制上述单速电动机为 4、8 极双速电动机, 采用 Δ/YY 接綫。

在 8 极时, Δ 接綫, 取 $y=7$, 即 1~8 槽, $k=0.933$, $S'_n = \sqrt{3}$,

$$S_n = \sqrt{3} \times \frac{72}{2} = 62, \text{ 不用并联,}$$

所以
$$w = \frac{S'_n z_1}{m \times 2} = \frac{62 \times 48}{3 \times 2} = 496;$$

定子电流
$$I = \frac{11}{\sqrt{3}} = 6.36 \text{ 安;}$$

采用綫徑 1.3 毫米双紗包銅綫,

$$q_{cn} = \frac{\pi \times 1.3^2}{4} = 1.33 \text{ 毫米}^2,$$

因而
$$\Delta = \frac{I}{q_{cn}} = \frac{6.36}{1.33} = 4.78 \text{ 安/毫米}^2;$$

$$R = \frac{496 \times 54}{46 \times 1.33} = 4.37 \text{ 欧;}$$

$$B_{\phi} = \frac{(380 - 6.36 \times 4.37) \times 10^8}{1.44 \times 80 \times 90 \times 496 \times 0.933} = 7,330 \text{ 高斯};$$

$$B_z = \frac{1.5}{0.93 \times 0.7} \times 7,330 = 16,900 \text{ 高斯}。$$

在 4 极时, YY 接綫, 繞組系数

$$k = 0.96 \times 0.795 = 0.763,$$

$$w_{2p=4} = \frac{w_{2p=8}}{2} = \frac{496}{2} = 248;$$

$$I_{2p=4} = 2I_{2p=8} = 2 \times 6.36 = 12.7 \text{ 安};$$

$$R_{2p=4} = \frac{R_{2p=8}}{4} = \frac{4.37}{4} = 1.1 \text{ 欧};$$

$$B_{\phi 2p=4} = \frac{(220 - 12.7 \times 1.1) \times 10^8}{1.44 \times 80 \times 180 \times 248 \times 0.765} = 5,230 \text{ 高斯};$$

$$B_{z 2p=4} = \frac{1.5}{0.93 \times 0.7} \times 5,230 = 12,000 \text{ 高斯};$$

$$B_{j 2p=4} = \frac{0.35 \times 180}{19} \times 5,230 = 17,400 \text{ 高斯}。$$

(原載“电世界”月刊 11 卷 3 期)

1-8. 如何改接电动机繞組以适应运用的电压

繞組改接問題, 最常遇到的例子就是电动机原来銘牌上所載的电压, 和实际供电的电压不对。由于电源都是接在交流电动机的定子繞組上, 所以本文所談以定子繞組为限。还有, 所謂改接, 以仅仅改变定子繞組的极相組間的彼此联接情形为限, 并不拆动每一极相組中的綫圈, 或将每一綫圈中的原匝数分割开来。

在着手进行改接之先, 我們必須先要考虑一下电动机的絕緣和繞組綫圈每匝所承受的电压。

电动机繞組一經改接后，当然其所能承受的运用电压值也改变了。我們就得注意，这只电动机絕緣的情形，在新的电压值下是否仍属适当。关于这一点，倘若改接后的运用电压較原来銘牌上的电压为低，当然没有什么問題；反之，倘若繞組改接后的运用电压較原来銘牌上的电压为高，我們就得仔細考虑。

一具电动机在設計制造时，其繞組部分絕緣，除了导綫本身上的紗包层或漆包层以外，还有包裹在外面的紗帶、黃蜡帶或云母帶，以及衬垫在槽內的青壳紙、云母紙等，将相与相之間和繞組与鉄心之間絕緣。

在电动机制造厂方面有一定标准，而并非随便决定。一般說来，一具电动机整个絕緣的等級約可分为四級：

級 別	适 用 电 压
第 一 級	600 伏以下
第 二 級	600 伏至 1500 伏
第 三 級	1500 伏至 3500 伏
第 四 級	3500 伏至 6000 伏

倘若 380 伏的电动机改接后的电压是在 1,500 伏以上，就不能保証安全使用了。

改接后的电动机尽可能使每匝承受的电压不变，在三相电动机中，三相繞組可以接成星形，也可以接成三角形。加上串联、并联以及星形、三角形等的变化，于是我們可以列出一个电动机繞組改接后的电压改变情形表(表 1)。

关于这个表的用法，后面还要讲到，暫且不談。这里有一点須加注意的，就是：有时候我們所需改变的电压倍数，并不恰好与表中所列者相符合。換句話說，我們没办法使繞組中每匝綫圈所承受的电压值不因改接而发生改变。那末應該怎样办呢？倘若我們采用表列改接后較低的数值，使改接后每匝綫圈实际所承受的电压較改接前为高，我們就得考虑鉄心磁通密度是否还容許再增加，否則要大大的增加鉄心功率消耗和激磁电流。

表 1 电动机繞組改接后电压表

(原来繞組电压=100)

繞組改接情形 原来繞組 联接法	串 联 星 形	二 路 并 联 星 形	三 路 并 联 星 形	四 路 并 联 星 形	五 路 并 联 星 形	六 路 并 联 星 形	串 联 △ 形	二 路 并 联 △ 形	三 路 并 联 △ 形	四 路 并 联 △ 形	五 路 并 联 △ 形	六 路 并 联 △ 形
串 联 星 形	100	50	33	25	20	17	58	29	19	15	12	10
二路并联星形	200	100	67	50	40	33	116	58	39	29	23	19
三路并联星形	300	150	100	75	60	50	173	87	58	43	35	29
四路并联星形	400	200	133	100	80	67	232	116	77	58	46	39
五路并联星形	500	250	167	125	100	83	289	144	96	72	58	48
六路并联星形	600	300	200	150	120	100	346	173	115	87	69	58
串 联 △ 形	173	86	58	43	35	29	100	50	33	25	20	17
二路并联△形	346	173	115	87	69	58	200	100	67	50	40	33
三路并联△形	519	259	173	130	104	87	300	150	100	75	60	50
四路并联△形	692	346	231	173	138	115	400	200	133	100	80	60
五路并联△形	865	433	288	216	173	144	500	250	167	125	100	83
六路并联△形	1038	519	346	260	208	173	600	300	200	150	120	100

另一方面,倘若我們挑选了較高的数值,也就是使改接后每匝綫圈实际所受电压較改接前为低,减少了鉄心內的磁通量,也就是减少了輸出功率。究应如何取舍呢?在改接后每匝綫圈所受电压若較改接前稍稍高出一些,在10%以下,一般尚不致使鉄心发热过甚。若高出甚多,宁可采用表內一个較高的电压比值,使改接后的每匝綫圈电压較改接前低一些。当然,这样一改,出力就要减少一些。

改接繞組的实例

【例 1】 有一具 2,200 伏,8 极电动机,茲拟改接使用于 350 伏电源上,其原来极相組联接法乃串联星形接法。問应如何改接?

【解答】 先計算电压改变倍数

$$\frac{\text{改接后电压}}{\text{原来电压}} = \frac{350}{2,200} = \frac{15.9}{100}$$

在表 1 原来联接法項下第一行(串联星形接法),橫的找去,至末尾第三列找到最近的数字 15, 这一列頂上注明改接情形应为四路并联三角形接法,所以欲令在 350 伏电源下运用, 应该按照图 1 所示情形改接。

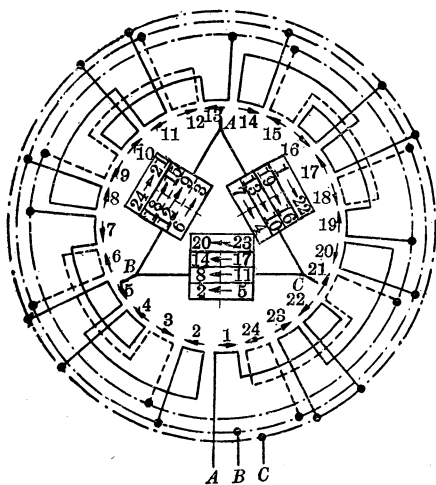


图 1

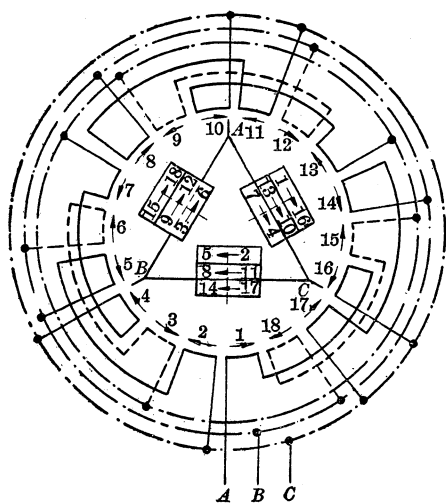


图 2

【例 2】 有一具 3,300 伏 6 极电动机拟改接以便在 2200 伏电源上运用，其原来繞組系接二路并联三角形接法联接的。問应如何改接？

$$\text{[解答] 电压倍数} = \frac{2,200}{3,300} = \frac{67}{100}$$

在表 1 原来联接法項下第八行（二路并联三角形接法）找去，找至倒数第四列的数字为 67，該列頂上所载改接情形为三路并联三角形接法。所以应照图 2 情形改接。

（原載“电世界”月刊 5 卷 8 期）

1-9. 三相鼠籠电动机改为单相使用

（一）

三相鼠籠电动机比单相的結構簡單、价格低廉、維護便当，但单相的也有一定的用途，譬如只有单相电源的地方，或者只需要小型电动机作为驅动用的处所，都是經常使用的。

在談到三相鼠籠电动机改为单相使用之前，先要說明单相鼠籠电动机旋轉磁場的建立問題。

单相电动机只有在建立起旋轉磁場以后，才能够起动。‘它之所以沒有初始起动轉矩，是因为在单相繞組中建立起的磁場不是旋轉的，而是脉动的。换言之，它对定子来讲是不动的。在这种情况下，定子的脉动磁場与轉子导綫內的电流相互作用的結果，是不能产生轉矩的。

只有当电动机內有两个繞組位置在相差 90° （电的角度）的地位，并且通过的电流在時間上也相差一定的相角时，才能造成旋轉磁場，使电动机起动。因此，在定子上除了主要的工作繞組（PO）

外,还須加一个起動繞組(ΠO),这个繞組仅在起動时参加工作,如图1所示。

起動电动机时,应把切换开关(Π)放在位置1的地方,再把上面的閘刀(P)合上;这样,工作繞組(PO)便与有效电阻(AC)串联,而起動繞組(ΠO)和自感綫圈(KC)串联。到电动机的轉速接近額定值时,把切换开关(Π)放到2的位置;此时,自感綫圈和起動繞組就不再在回路里面,而有效电阻变成了工作繞組回路的一个分路。

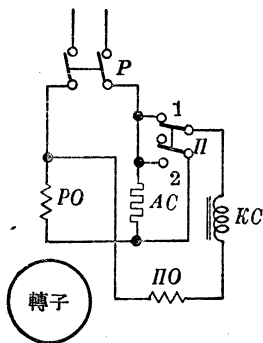


图1 带自感綫圈的单相鼠籠电动机接綫图

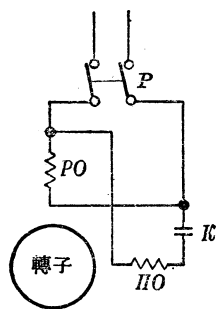


图2 带电容器的单相鼠籠电动机接綫图

假如把图1中的自感綫圈换成电容器(K)与起動繞組串联(图2),也同样可以得到旋轉磁場。在这种情况下,起動繞組里的电流比工作繞組里的电流超前一定的角度,而不是滞后。而且,在工作繞組的回路里不需要接上有效电阻,而只要直接把閘刀(P)合上,电动机便能運轉。

要把三相电动机改为单相使用,可将三相中的二相的极相組首先串联,然后接成串联并联作为工作繞組,第三相却当作起動繞組。这时,两个繞組里的磁通量在空間上虽然互成 90° 。但由于工作繞組和起動繞組是接在同一个电源上的,如按時間来讲,电流是同相的;因此,只有在起動繞組上串联一只电感綫圈、电阻或电容器,才能造成相位差。这样的电动机,它的起動方法,与图1所示

者完全相同。

把三相电动机改为单相的另一个方法,是把定子繞組重繞(图3)改成单相后,电动机的容量約为原来容量的 70%。

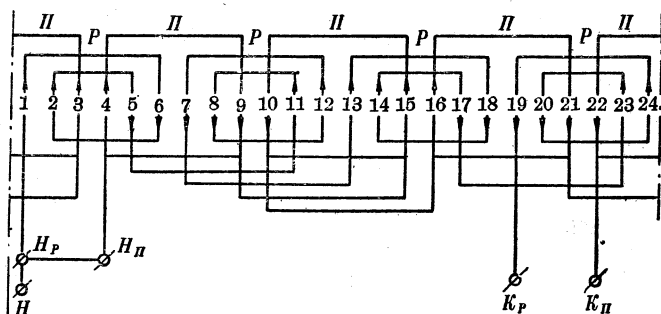


图3 单相电动机的工作繞組(P)和起动繞組(II)的接綫图

三相电动机改繞成单相以后, 起动繞組的导綫截面比工作繞組小得很多, 起动轉矩需要不大时, 起动繞組可不必另行串接电阻。

(原載“电世界”月刊 10 卷 2 期)

(二)

三相感应电动机要改接成单相电动机时, 一定先看一下电动机的銘牌上功率、电压、轉速及頻率。改接后的电压是否符合現有的单相电源电压, 功率和轉速是否适合要求, 电动机的頻率是否和单相电源的頻率相同等。如果都能符合, 就可以进行改接。

例如一台三相感应电动机, 其銘牌上載着功率为 4 瓩, 电压为 380/220 伏, 轉速为 1,420 轉/分, 頻率为 50 周(其他数据从略)。繞組改接的第一步是 A、B 两相极相組的首尾相联, 然后合理联接, 可接成三种型式, 也就是可用在三种不同的单相电源电压上。如

图 4, 繞組(運轉)兩路并聯, 起動繞組也是兩路并聯(起動繞組最好是串聯較為合理), 即适用于 220 伏单相电源上。图 5 是起動繞組和運轉繞組都是串聯, 适用于 440 伏单相电源。图 6 是運轉繞組和起動繞組(起動繞組最好兩路并聯較為合理) 都是四路并聯, 适用于 110 伏单相电源上。

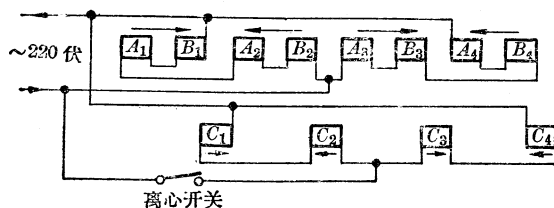


图 4

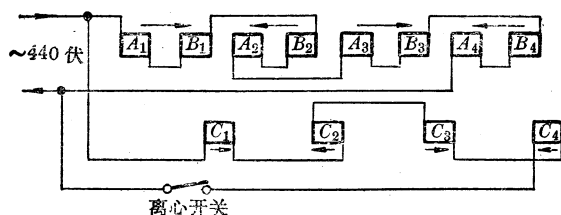


图 5

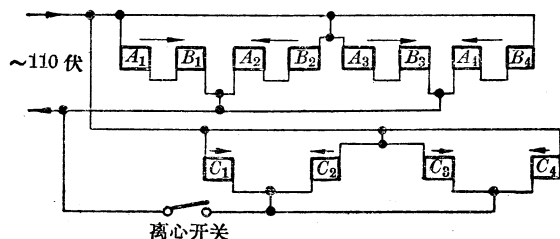


图 6

从上面的一例中可知三相感应电动机繞組改接单相电动机, 可接成适用于三种不同的单相电源电压。但其轉速不变, 电压是成倍的变化。

三相感应电动机改接成单相电动机时的出力近似降低 $1/3$ 左右。因为 C 相绕组不参加运转工作。

(原载“电世界”月刊 13 卷 9 期)

(三)

起动绕组上接入的电阻 R (图 7) 的数值应当与定子绕组的相电阻 R_ϕ 相接近。并且应当能够承受得住起动电流。这种接法的起动力矩很小, 约为电动机原来的额定转矩的 $0.1 \sim 0.12$, 因此只能在不带负荷情况下起动。电动机转动达到额定转速时把电阻 R 断开。这种方法在实际中用得不多。

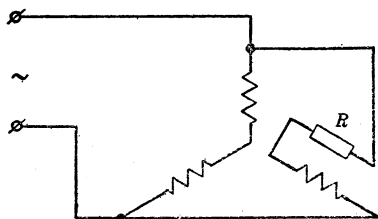


图 7

图 8 是加接电容器的方法 (见图 8 a, b)。

工作电容器 C_2 的计算方法如下:

$$C_2 = 1,950 \times I_N / U_N \cdot \cos \varphi \text{ (微法)}。$$

I_N 、 U_N 、 $\cos \varphi$ 是电动机原来铭牌上的电流、电压及功率因数。

【例】有 1 瓩电动机, 电压为 220/380 伏, 电流 4.2/2.4 安, $\cos \varphi = 0.8$, 要接入 220 伏单相电源, 问所用电容器的容量为若干?

$$C_p = \frac{1,950 \times 4.2}{220 \times 0.8} = 46.5 \text{ 微法}。$$

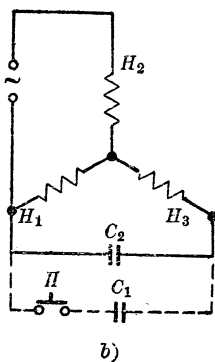
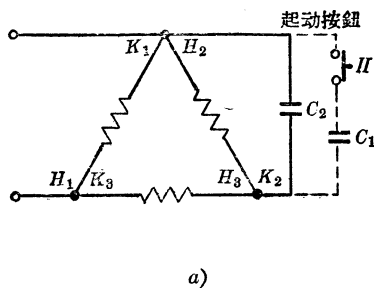


图 8

电动机除了接入工作电容器 C_2 外，最好再与 C_2 并联一起启动电容器 C_1 ，因为仅是依靠工作电容器 C_2 产生的起动力矩是很小的，比额定力矩要小好几倍。但是实际上 1 瓩以下的电动机可以不加启动电容器，只要把工作电容器的容量适当加大一些即可。一般每 0.1 瓩用工作电容器约为 6.5 微法 (220 伏)。

启动电容器可根据电动机启动时的负荷大小而选择，通常为工作电容器的 1~4 倍。

当电动机达到额定转速时，应立刻断开启动电容器，否则电动机会烧坏。因为启动电容器与工作电容器并联，所以总电容增加好几倍，此时起动力矩约比额定力矩大一倍左右，定子会发热，时间一长会烧坏绝缘。

(原载“电世界”月刊 13 卷 9 期)

2. 感应电动机的 的起动和控制

2-1. 鼠籠式感应电动机的控制綫路

电动机控制的基本操作

控制鼠籠式感应电动机, 仅需施以一些简单的操作, 因而这类电动机的控制方法基本上是很简单的。

中、小型容量电动机常采用在定子綫圈内通入額定电压的方法直接起动。只有在必須限制起动电流或起动轉矩的大小时, 才用降压起动的方法, 就是将定子綫圈經過电阻(电阻器起动)或自耦变压器(自耦变压器起动或补偿起动)后再接至电路。

电阻器起动的优点是起动快而又很平稳(因为定子电压是按照轉差率逐步减少而不断增加的), 功率因数高, 定子电源不間断, 綫路简单, 电阻器的价格便宜而且操作也很方便。定子所有各相中通常都接入电阻。

用自耦变压器起动的結果是: 电路的起动电流小(在同样起动轉矩时), 起动电力小損耗低。因而自耦变压器起动适用于大、中型容量的电动机, 而又主要要求起动电流小的場合。在两种起动方法中, 将定子从低压换接成高压时, 一般都在一个步驟內完成; 而换接用的控制器則是按照時間函数而制成的。

電動機的制動常在定子內輸入直流電流（動力制動）來完成的。這樣可以保證在小量功能的消耗下，相當迅速的使它停車。直流電可自直流電源接入，如沒有直流電源，可由交流經固體整流器供給。待電動機停車以後，直流電源便斷路。制動器的控制亦是按時間函數而制成。不需直流電而採用反接法來制動是較少的，在這種情形下，為了防止電動機的倒轉，必須要用繼電器來控制電動機的旋轉方向，使它在停車時便于電源脫離。有了這種繼電器以後，就需要附屬的連鎖機構，因而大大地使控制方法複雜化。而且用反接法制動時，電動機的發熱遠較動力制動時為高。

欲使電動機倒轉，只需很簡單地把電動機定子的兩相電源互換一下即成。如果要限制在倒轉時所可能引起的動力增加（尤其是金屬切削機床），可在反接時在電動機定子內接入電阻以減少電流和轉矩。對小容量電動機，如其目的僅為了減少在制動時的轉矩，只需在一相內接入電阻。

電動機轉速的變換，可借換接磁極的對數來完成。現有最普遍的是雙速（定子內一組線圈）和四速（定子內二組線圈）電動機。如以接觸器控制來換接四速電動機，必須要用許多接觸器，因而使線路大大地複雜化，並增大了接觸器控制板的尺寸。因此換接轉速常採用非自動的轉換開關，而控制用的按鈕則僅留作起動和停止之用。多速電動機控制線路的本身已經相當複雜，如果其中再要包含一個電力制動的因素時，那更不待言了。

再複雜一些的電動機控制線路內，又包含了為產生一連串預定操作所引用的各種連鎖機構，以及按一定過程或時間函數輪換的電動機自動操作。類似的線路亦用於大多數金屬切削機床的操作機構方面。電動機的過電流保護，常用熔斷器和熱繼電器。熔斷器是用作電動機電路內短路時保護電源電路和熱繼電器之用；而熱繼電器則是防止電動機過載和單相運轉之用。為了保護電動機，所選擇熔絲的熔斷電流必須較電動機的額定電流大得很多，以便在正常熔斷電流通過前不致因起動電流的影響而發生作用。由於電動機和繼電器性能調節的困難，所以作間歇短時運轉用的電

动机,并不采用热继电器保护。

瞬时动作的过电流继电器,对保护感应电动机是不合适的,然而仍有若干工厂出品带有该种继电器的控制板。继电器电流的调节高出于起动电流,因而它只有在电动机电路短路时才起作用;对电动机作单相运转或制动的情形,并不起保护作用。在这种情况下,短路由接触器来截断。这些接触器的设计,可能不是供截断大电流用的,在这种情况下就要采用比按电动机容量所需还要大一些的接触器,以便它的截断容量能配合短路电流。

为了保护电动机,有时也利用三个瞬时动作的继电器作为混合性过电流保护。调节其中一个的电流使高出于电动机的起动电流,保证电动机在它的电路内短路时截断。调节其余二个继电器,使所选择的电流能保证电动机在作单相运转时截断。在起动期间内,这两个继电器的触头,均和一个特殊的时间继电器相并接,这样保证了这两个继电器只有在起动完了之后才能起作用。采用这类过电流继电器而无此种连锁者,仅有在低压起动时才能适用。

自行起动的防止(无电压保护)常由线路接触器自行担任,在没有电压时或电压相当低落时便行断开。因触头间相互粘牢或熔接在一起,常形成倒、顺接触器同时闭合而引起短路。为防止此种短路,倒、顺控制器内必须要用机械连锁,以免同时闭合。电气连锁的接触器也常用到,新型接触器已可不要用机械连锁。为了控制在运动中机件的行程,如果必需时,可采用限制开关再作用于线路接触器上。

电动机起动控制线路图

供小容量鼠笼式感应电动机起动常用的器具,叫做磁力起动器。磁力起动器的本身包括一个(单向起动)或二个(倒、顺起动)交流接触器。在一般情形下,磁力起动器又可借助于它附属的热继电器来防止电动机受到过载。

图1表示用单向起动器的鼠笼式感应电动机的控制线路图。

按下“起动”按钮时,接通起动器 DM , 它的线圈便自电路

$J3-3-1-J2$ 中获得电源。起动器的主触头接通了电动机,同时它的辅助触头和“起动”按钮并接起来,虽将起动按钮放松电路仍通。按下“停止”按钮时,起动器线圈的电源在图上 2—1 地方中断,起动器便跳开,而电动机亦脱离了电源。

过载保护是由热继电器 PMT 来担任的,它的发热元件和定子单相串联。如果电动机在热继电器作用下脱离电源以后,为了再度起动,必须按动一个特殊按钮,使继电器 PMT 的触头重新回复至原位。要使触头复位,必须在继电器 PMT 开断以后经过一个相当时间,以便该继电器的冷却。

起动器的接触器也作为失压保护之用,在沒有电压时或电路电压相当低落时便行断开。在电压恢复以后,只有再按“起动”按钮,才能将 $ИМ$ 线路重行接通,因为在起动器断开以后和按钮相并接的辅助触头也已断开了。

短路电流由熔断器 $ИП$ 来保护。这些熔断器常一齐装在供给电动机电源用的配电板上。在上面也可装置刀型开关,以便修理时切断电源。

连接按钮和起动器,只须接三个线头,各相当于线路图的 1、2 和 3 三点。

在需要变换电动机旋转方向时,可采用倒、顺电磁起动器。它是由装在同一盒内的二个接触器所组成的。为了防止它们同时闭合的可能起见,相互之间装有机机械或电气连锁。

采用倒、顺起动器的线路见图 2,借 BII (顺转)、 $H3$ (倒转) 和“停止”三个按钮控制。

按下按钮 BII , 接通接触器 B , 使电动机获得电源。要变更电

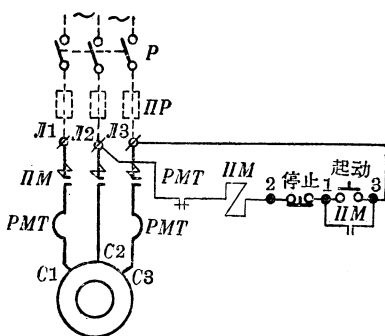


图 1 用单向起动器的电动机控制线路图

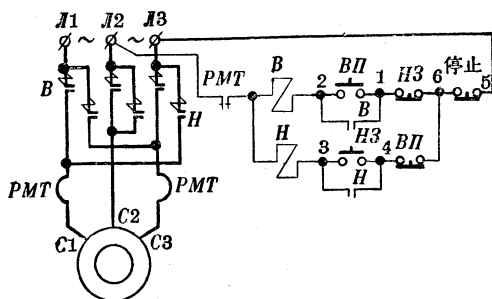


图2 用倒、顺磁力起动器的电动机控制线路图

动机的旋轉方向，繼續按下按鈕 $H3$ 。这样，接触器 B 的綫圈电路便在 1、6 二点之間断开，而接触器 H 則自电路 $J2-3-4-6-5-J3$ 中获得电源，使后者閉合。这时換接了定子的单相，使电动机的旋轉方向倒了过来。按下“停止”按鈕便可使电动机停轉，因为閉合接触器的綫圈电路在 6 和 5 二点之間断开，接触器也就随着跳开，如 BII 和 $H3$ 二个按鈕采用常开 ($H.O.$) 和常合 ($H.3.$) 的双路触头，那末就可使电动机立即倒轉，并消除因同时按下二个按鈕而使接触器 B 和 H 同时閉合的可能。

与大、中型容量电动机起动用磁力起动器相連系的，是采用磁力控制站的方法(控制台或控制板)。在这些控制板的上面装有接触器、过电流继电器或熔断器，有时也装有热继电器和刀型开关。采用这种控制板的控制綫路和磁力起动器的綫路相似，和后者相較不过是零件上的差別而已。

因鉴于交流接触器在断、合頻繁的使用中并不太好，为了控制間歇短时運轉下的操作机构，就常采用直流电器。图 3 表示用交流接触器的控制器綫路图。它的綫圈是由直流电源来供給的。

这里，和倒、顺磁力起动控制器綫路不同的地方，便是沒有过载保护和失压的保护(防止它在交流电源电压消失后自行起动)。由过电流继电器来司保护电动机綫路內的短路之用，使倒、顺接触器的綫圈电路断开。在这种情况下，接触器将短路电流切断。必須注意的，过电流继电器的綫圈最好放在接触器的主触头綫路上，

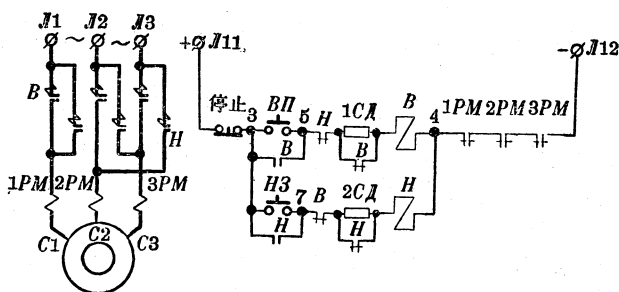


图3 用直流控制电路的电动机、顺控制线路图

因为在这些触头间发生閃絡时,继电器可以保护电路。

在所采用的电路里,借常合联鎖触头 B 和 H 的作用,不仅是机械方面而且电气方面也有連鎖,以免倒、順接触器的同时閉合。例如接通了起动机 B 后按下 $H3$ 按钮。但对接触器 H 的綫圈却并不供給电源,这样可以減輕机械連鎖的任务,却能提高其作用的可靠性。在前述綫路图中,由于采用双路按钮,輔助連鎖就可不必要了。

附加电阻 $1C$ 和 $2C$ 增加了接触器直流綫圈的电阻,控制电流至額定数值。在接触器閉合时,电阻是和常合的联鎖触头 B 及 H 并联而被短路的,使接触器产生了足够的吸力。

图4所示的一种綫路图較前面更为完善一些,常供間歇短时运轉的各种金属切削机床操作机构控制之用。綫路內采用各种标准直流电器,这样增加了运行的可靠性,并允許操作机构可作多次的开断和閉合。由于五个单相直流接触器所占的地位較二个三相交流接触器小,所以接触器控制板的尺寸也就减少。

这个綫路的基本特点是用三个过电流继电器来保护电动机。其中二个继电器 ($1PM$ 和 $2PM$) 用来保护电动机的过载,整定其电流使略小于电动机作两相运轉时的制动电流值。整定第三个继电器 ($3PM$) 的电流,使大于电动机的起动电流,并使电动机在遇到短路时断开。为了使继电器 $1PM$ 和 $2PM$ 在起动和倒轉时不起作用,其触头是与时间继电器 PB 的触头相并接的。后者的延时性

必須大于电动机启动(或倒轉)时所需的時間。这样使电动机在最常見的緊急運轉情況下——接成单相时的过载，获得最理想的保护。

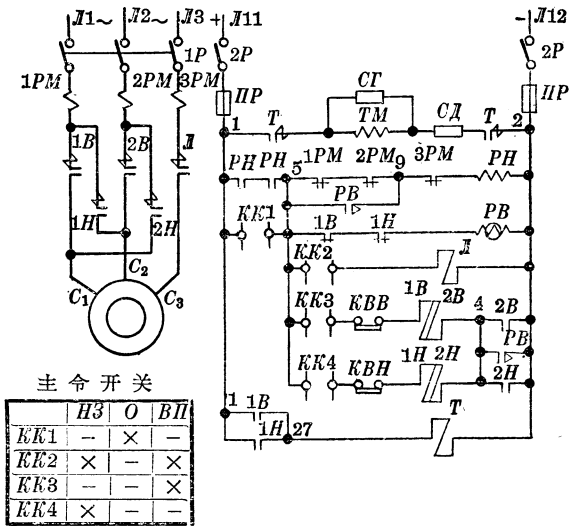


图4 用直流电器的鼠籠式感应电动机倒、順控制綫路图

綫路的另一特点是用一个主令开关来供給控制信号、控制电磁制动和管制操作器轉換的限制开关的作用。所有这些元件常供間歇短时運轉操作器之用。

綫路的操作过程如下：在主令开关位于零点时，它的触头KK1是閉合的，因而继电器PH和PB得以閉合。继电器PH的触头在通电时閉合；它保証在接触器KK1断开后供給控制电源，并作为直流电路內电压低落时无电压保护之用。继电器PH內二个接成串联的触头，是为了减少电路內較高电感(三个接触器的綫圈有較高的电感)的作用。继电器PB和继电器1PM和2PM的触头相并接，以备供給倒、順接触器电流之用。

将主令开关的手柄放在順向位置时，触头KK1断开，而触头KK2和KK3閉合。由于接触器J、1B、2B的閉合就将电源接入电

动机。联锁触头 1B 使制动接触器 T 闭合,这样保证将电磁制动器接通,使制动器张开。常合的联锁触头 1B 切断继电器 PB 线圈的电路。具有延时特性的继电器 PB ,在电源断后触头才断开。5—9 间触头 PB 是用来保护过载的。由于 4—2 间常开联锁触头 2B 的闭合,该触头的断开对线路的工作并无作用。当扳动主令开关的手柄时,由于倒、顺接触器的迅速转换,继电器 PB 不一定会跳开。4—2 间触头 PB 就是用来清除线路工作之用。4—2 两点之间只有在继电器 PB 跳开,倒或顺接触器闭合之后才准接通,这样可以保证过电流继电器 $1PM$ 和 $2PM$ 与联锁触头相并接的控制作用。

这个线路的缺点是:当交流电中断以后,不能防止自行起动。此外,在接触器 1B 或 1H 失去作用以后,继电器 PB 在所有时间内仍获得电源,在这段时间内,电动机接成二相便失去防止过载的保护作用。为了消除后一缺点,不是采用辅助连锁机构使线路复杂化,或是更简单一些采用二极接触器。

当鼠笼式感应电动机起动时不允许在电网产生较大电压降时,可以采用降压起动的方法以降低起动电流。

图 5 所示的线路常供中型电动机起动之用。在定子三相内接入起动电阻,以降低电压。按照时间函数将低压换接成为高压。按

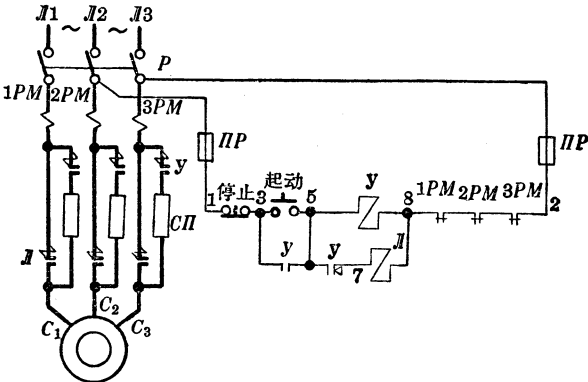


图 5 定子内用起动电阻的电动机控制线路图

下“起动”按钮时,接通起动器 $\mathcal{Y}$, 使电源经过起动电阻 CII 后接至电动机。当接触器闭合时, 浮动继电器靠吸力随着接触器的运动部分开始作用。按照继电器的调节的时间将常开触头 5—7 闭合, 接触器 $\mathcal{I}$ 沿着电路 1—3—5—7—8—2 接通, 同时它的主触头与起动电阻相并联。

电路内用熔断器来防止电路的短路。用瞬时过电流继电器来保护是不可能成功的, 因为防止了电路受到短路或起动电阻损坏而造成大起动电流外, 不能防止电动机的过载。

容量较大的电动机的起动也可采用类似线路; 且常用电抗器代替起动电阻。

图 6 表示用自耦变压器起动的线路图。起动时由三极接触器 $\mathcal{I}$, 五极接触器 $\mathcal{Y}$ 和瞬时继电器 PY 来控制电动机。

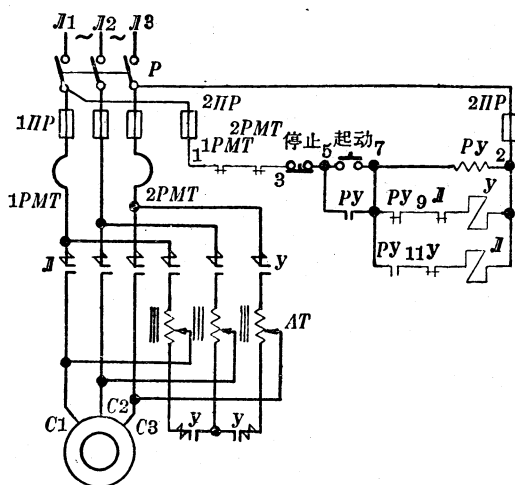


图 6 鼠笼式感应电动机用自耦变压器起动线路图

按下“起动”按钮, 使接触器 $\mathcal{Y}$ 和继电器 PY 闭合, 常开触头 5—7 便立即和起动按钮相并接。经过延时继电器所调节的时间, 常闭触头 7—9PY 开断了接触器 $\mathcal{Y}$, 而常开触头 7—11PY 闭合了接触器 $\mathcal{I}$ 。

要注意热继电器发热元件的位置是否确当。热继电器最好直接接在电动机线路的接触器的前面。

按照控制线路内所用导线截面大小,用熔断器 $2IP$ 来防止控制线路内的短路。

采用动力制动的控制线路

图 7 所示的线路图,一方面可以允许电动机起动,同时又可利用在电动机定子线圈内输入直流电来制动电动机。

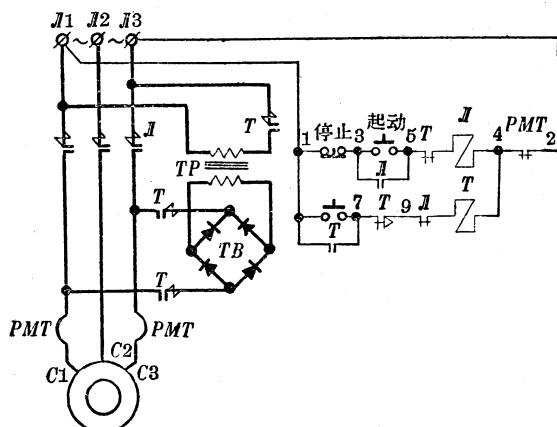


图 7 单向运转电动机及其动力制动的控制线路图

用固体整流器 TB 供应直流电源,用变压器 TP 降低电压至所需的大小。

依靠附于接触器 T 的瞬时继电器的作用,在制动完了以后切断直流电源。把“停止”按钮按下时,接触器 J 断开,接触器 T 则自电路 1—7—9—4—2 中获得电源而闭合。常开的“停止”按钮的触头和联锁触头 T 相并接。延时浮动继电器断开了常闭触头 7—9,接触器 T 跳开,制动器断电,线路回复原状。

图 8 所示线路图与上面一样解决问题,但它是供断续短时运转操作机构用的。这个线路图是图 4 所讨论的线路图的另一种形式。

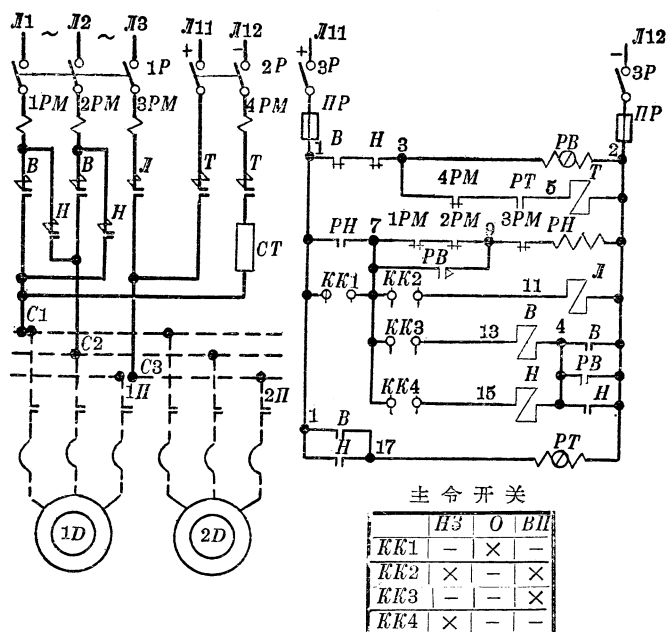


图 8 具有动力制动的电动机倒、顺控制线路图

图 4 和这个线路图的差别仅是改用二极管倒、顺接触器而已。这样可以增加线路的可靠性，不用机械制动和限止开关而另用动力制动。

在电动机运转时，继电器 PT 经由倒、顺接触器中常开的联锁触头中的一个而获得电源，其常开触头即行闭合。欲使电动机停转，将主令开关的手柄放至零位，倒、顺接触器跳开，接触器 T 自电路 1—3—5—2 获得电源而闭合。继电器 PT 在 1—17 间断开。

由接触器 T 将直流电源经限流电阻 CT 接入定子线圈，电动机立刻停止。

待制动終了，由常开触头 PT 的作用在预定时间内使接触器 T 断开。

该线路亦可按图 8 虚线所示，用来控制一群电动机（例如辊道输送机部分）同时接入之用。为了可以单独使电动机停转起见，可

以另备非自动起动器(1Π、2Π)及热继电器。

图9所示线路图是用反接制动方法的电动机倒、顺控制线路的另一种形式。为了在制动过程完了后使电动机脱离电路，要采用控制转向的继电器 *PHB*。这个继电器的构造保证电动机在顺向旋转时触头 1—9 的闭合；或倒向旋转时触头 1—13 的闭合；而电动机在停顿时则两者断开。在目前线路图中，继电器 *PHB* 的触头 1—13 并未用到。

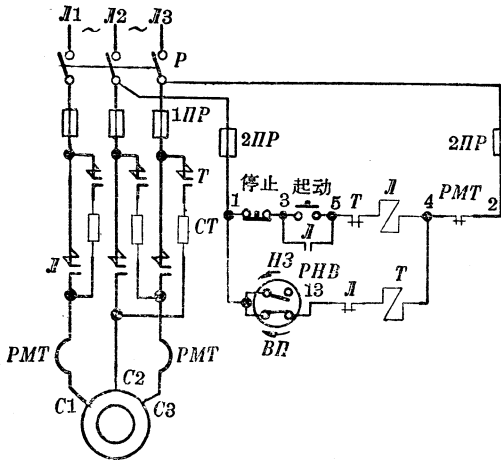


图9 反接制动,单向运转电动机控制线路图

按动了“停止”按钮，接触器 *K* 断开，常闭触头 *K* 接通了接触器 *T*，它的线圈自电路 1—9—4—2 中获得电源，这时变换了定子线圈的相序，电动机即在反接情况下被制动。

当电动机停顿时接触器 *T* 断开，分断了继电器 *PHB* 的触头 1—9。为了减少机器操作机构上所受到的动力并减小反接时的冲击电流，在定子内接入电阻 *CT*。

图10所示是利用反接制动的电动机倒、顺控制线路的一例。线路图内决定倒、顺的部分和一般倒、顺线路图并无区别。按下“停止”按钮即可使电动机停转。如果电动机正在作顺向运转，则在按下“停止”按钮时使继电器 *PH* 闭合，其线圈自电路 1—15—

—4—2 获得电源。常閉触头 1—3 $P\Pi$ 的開断, 切断接触器 B 线圈的电源, 后者便跳开。接触器 H 的线圈經由閉合了的常开触头 1—17 $P\Pi$ 和继电器 PHB 的触头 17—11, 自电路 1—17—11—4—2 获得电源而閉合。

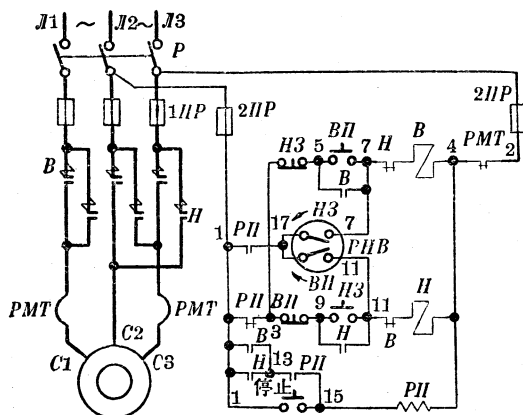


图 10 反接制动的电动机倒、顺控制线路图

待常开触头 13—15 $P\Pi$ 和联鎖触头 1—13 H 閉合后, “停止”按钮即被接通, 那时电动机即在反接状况受到制动。当电动机停頓后, 继电器 PHB 的触头 17—11 即断开。接触器 H 跳开, 因而使主触头和电路分离, 又联鎖触头 $P\Pi$ 断开。线路准备下次起動之用。

线路內因采用多触头继电器 $P\Pi$ 而更形复杂。要防止操作机构发生振蕩, 否則当后者在空車制动时, 可能由于电动机轉子的慣性作用而越过中間位置, 使继电器 PHB 的触头 17—7 发生作用而閉合。线路也具有缺点, 就是当线圈 $P\Pi$ 断开后便失去 “停止” 按钮来断开电动机的可能性。

多速电动机的控制线路

图 11 所示线路图用来控制額定电流小于 5 安的四速电动机, 这样就可以用中間继电器来代替接触器。线路內采用 8 只由常开

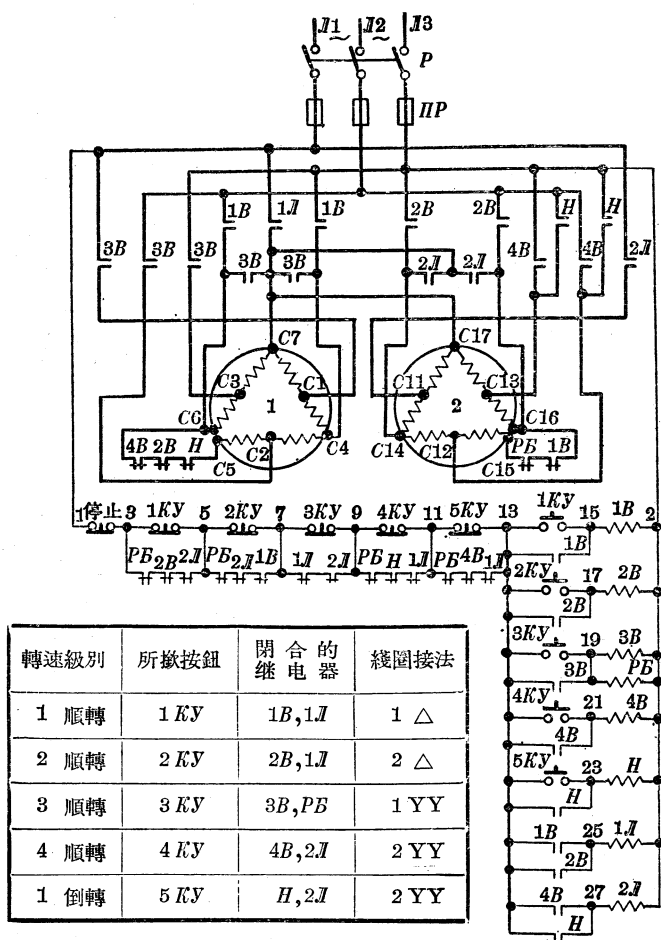


图 11 四速电动机的按钮控制线路图

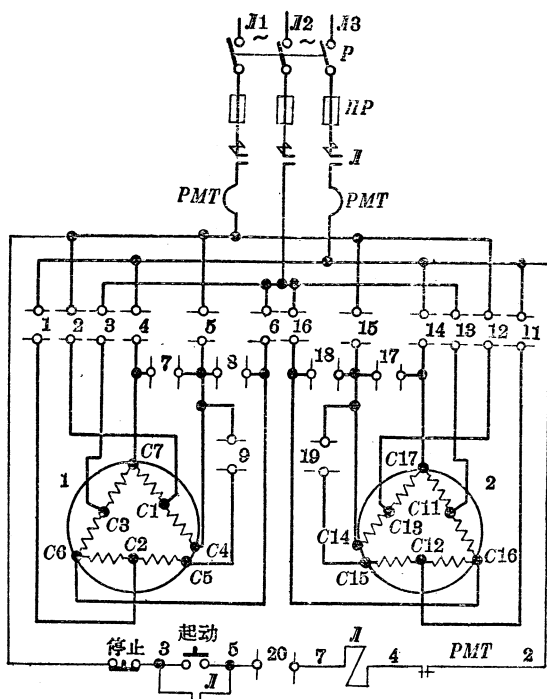
或常閉触头混合組成的 6 极继电器。綫路保証获得四种順向轉速和一种最高的倒向轉速,这样可以符合許多机床操作机构的要求;即电动机順向運轉时作功,倒向運轉时走空車。在綫路內并有連鎖机构保証在一个綫圈通电时其他綫圈即行断开,以免因綫圈之間所产生的感应作用而产生环路电流。在目前的电路內,所有綫

圈均由继电器的常閉触头来控制。当一个綫圈接通时，其余綫圈便断开。

这个綫路允許按动任何一个按钮，便可立刻获得相当的轉速而事前不必先按“停止”按钮，也不必計較电动机在工作时的運轉轉速，因所有继电器綫圈的电源供应都和各常閉的按钮触头相串联。为了使按下某一个按钮即能使相当继电器閉合起見，每个按钮的常閉触头都与继电器的常閉触头相并接（在現有綫路內并未列入）。例如正在順向按第二档轉速運轉工作中的电动机，欲使其繼續按該方向改为第四档轉速时，可按下按钮 $4KY$ 。当电动机在第二档轉速運轉时，继电器 $1J$ 是閉合的，而它在 9—11 間的常閉触头是分离的。因此在按下“按钮” $4KY$ 时切断了控制綫路的电源，继电器 $2B$ 和 $1J$ 跳开。继电器 $1J$ 的常閉触头閉合，并接通继电器 $4B$ 和 $2J$ 。这二个继电器綫圈自电路 1—3—13—21—2 和 1—3—13—27—2 获得了电源。电动机即改接在第四档轉速下運轉。

如继电器的触头容量不足以作主电路之用，而采用接触器时，則又会使綫路复杂化和增大接触器控制板的面积时，图 12 所示的綫路可供較大容量、单向、四速电动机控制之用。在这种情形下，用手動轉換开关来变更电动机的旋轉方向。又为减小其尺寸，所用触头并不計入电动机起动时或運轉中断开时的大电流。現在图中的連鎖是由轉換开关触头 20 来担任的，它在每次轉換方向时，主电路触头开断前先行断开。

欲得到第一档轉速（低速），可将轉換开关放在 1 的位置。这样閉合了触头 4、5、6 和 9。首先将綫圈接成三角，然后触头 20 即准备把接触器 J 綫圈接通。按下“起动”按钮时接通了接触器 J ，通过它的主触头将电源接入电动机。欲变换电动机轉速，再扳动轉換开关。触头 20 断开，綫圈 J 的电源中断，电动机和电源分开。触头 4、5、6 和 9 則在电动机电路断开时分开。相当于轉換开关手柄的新位置，另一組触头閉合，将所需电动机的綫圈接通。触头 20 亦被閉合准备綫圈 J 下次的閉合。



轉速級別	轉 換 開 關 位 置	轉換開關的閉合觸頭	繞圈接頭
1 順轉	I	4, 5, 6, 9, 20	1 △
2 順轉	II	14, 15, 16, 19, 20	2 △
3 順轉	III	1, 2, 3, 7, 8, 9, 20	1 YY
4 順轉	IV	11, 12, 13, 17, 18, 19, 20	2 YY

图 12 用轉換开关的四速电动机控制線路图

在有些轉換开关內并不采用触头 20，控制線路中 5—7 两点是利用轉換开关手柄与“停止”按钮間的連鎖来閉合的。在轉动轉換开关手柄时，必須先沿軸的方向向外拉出，然后再轉。就在將轉換开关外拉时按下“停止”按钮，將接触器 J 断开，并在电动机断开时換接繞圈。待轉換开关的手柄轉过以后，要起动机，必須再按“起动机”按钮。在这种情形下欲使电动机停轉，只須按动轉換开

关的手柄便得。

图 13 所示的线路图是双速电动机倒、顺控制的另一种形式，

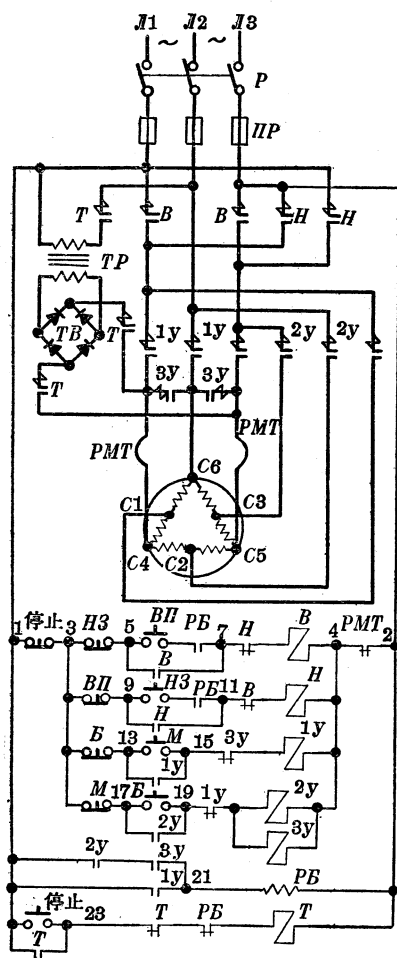


图 13 动力制动、双速电动机的控制线路图

并采用动力制动的方法使电动机停顿。欲起动电动机，首先要按下相当的按钮调定所需的转速。这样便使接触器 2Y 和 3Y 闭合，将定子线圈接成双星形；或是闭合接触器 1Y 将电动机线圈接成三角形。然后按照所需电动机旋转的方向按动按钮“BII”或“H3”，使操作线圈自方向接触器中的一个获得电源。欲转换成为另外一个转速，可按下按钮 B 或 M。这时原来闭合的速度控制接触器便跳开，以便使所需转速的那个接触器可以闭合。在这情况下，定子线圈短时间电源的中断，并不会影响到电动机工作的性能。

在按下“停止”按钮时，电动机便和电路分离，而定子线圈接触器 T 则获得了直流电源，即所谓动力制动。定子线圈内通入直流电流时间的长短，由附属于接触器 T 上面的浮动继电器来控制。

大量的联锁触头降低线路在运用时的可靠性。目前在接触器 B 和 H 之间以及 1Y 和 2Y—3Y 之间有可靠的机械连锁，便可省去

电气連鎖，以减少常閉触头的数目。調整继电器 PB ，使接触閉合的程序为先選擇所需的轉速，然后再將电动机接至电路。

(原載“电世界”月刊 8 卷 3 期及 8 卷 4 期)

2-2. 三相整流子电动机的自动控制

三相整流子电动机的构造和控制速度的原理

三相整流子电动机，一般称做交流变速电动机，俗称快慢馬达，是感应电动机的一种特別型式。其容量自数馬力乃至一、二百馬力，变速比可为 1:3 或 1:4，因調速簡便，起动容易，功率因数高，所以为一般需要变速的工业所乐用。小容量的可用人工控制，較大容量的則采用自动装置。

三相整流子电动机的构造見图 1。它具有三个繞組：一次繞

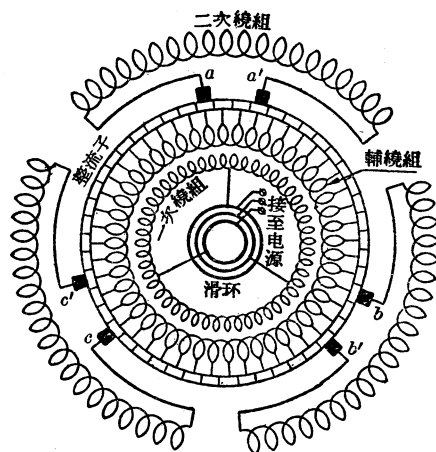


图 1 三相整流子电动机的构造接綫簡图

組繞在轉子上,由滑環引入電源;定子上的是二次繞組,第三輔繞組是調速用的,繞于轉子槽口的上部,和直流電機繞組相似,各綫圈分別接于整流片上。整流子裝于機軸的另一端。在整流子上每隔 120° 電角度有兩組碳刷,各接于二次繞組的兩端。碳刷組可借鉄軛作用,在整流子上相對往返移動。

假設每相有兩組碳刷,將其移動使重合于一塊整流片上,即圖1中碳刷 $a、a'$ 重合于軸向同一平面內($b、b';c、c'$ 也是同樣情況),如此,二次繞組被短路。此時若將電源由滑環送入,轉子上即產生旋轉磁場,如普通感應電動機一樣,定子繞組內即有感應電流。因定子不能旋轉,而將轉子推向與旋轉磁場相反方向轉動,變速電動機即被起動。

變速電動機起動後,移動整流子上的碳刷,就可控制電機的轉速。

控制速度的自動裝置

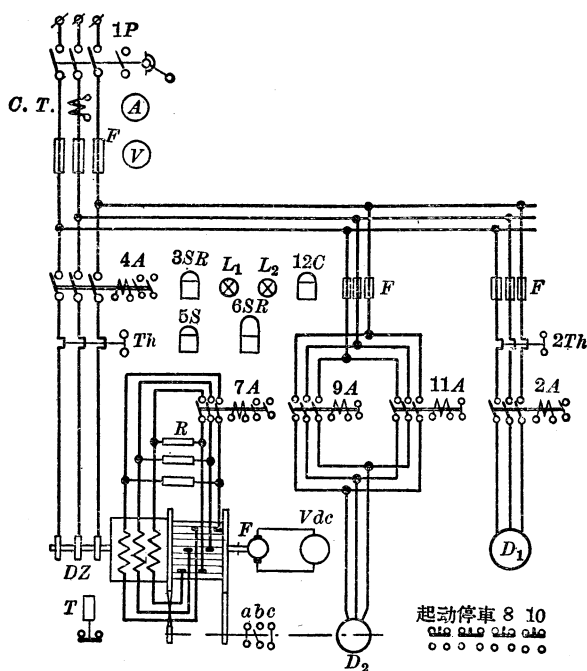
在自動裝置中,我們借一小型伺服電動機來傳動齒輪而將碳刷移動。圖2中伺服電動機 D_2 由電磁開關 $9A$ 和 $11A$ 控制旋轉方向。

DZ 是變速電動機,它靠本身鼓風是不能滿足冷卻要求的,因此需要鼓風機 D_1 來冷卻。 D_1 是由電磁開關 $2A$ 來控制。

$4A、7A$ 是有滅弧裝置的電磁開關,作為控制變速電動機的主開關。 $3SR、6SR$ 是 $4A、7A$ 的合閘輔助繼電器, R 是 D 的起動電阻。

變速電動機的全部設備是遙遠控制的。電動機本体、開關櫃和控制屏,可視工作需要裝于不同位置。變速電動機的控制方法如下(可參考圖3):

(1) 變速電動機起動控制,是先按下起動按鈕,使 $2A$ 獲得電源後合閘開動鼓風機,輔助開關 $2A$ 將本身的合閘綫圈接于電源上,使起動按鈕返回後 $2A$ 不致掉開;同時合閘輔助繼電器 $3SR$ 也接上電源而動作,使 $4A$ 的電磁合閘綫圈通電合閘,變速電動機從



而接上电源而起动。此时 $7A$ 仍在断开位置，二次绕组内串有起动电阻 R ，因而起动电流不致过大。 $4A$ 合闸后其辅助开关接通了时间继电器 $5S$ 的电路， $5S$ 的动作时间是 M 起动所需的时间。 $5S$ 动作后，其触头闭合，使合闸辅助继电器 $6SR$ 通电。 $6SR_1$ 闭合，使 $6SR$ 不致断路； $6SR_2$ 闭合 $7A$ 的合闸电路，使 $7A$ 合闸。起动电阻 R 被短路，此时电动机 DZ 完成起动，可以投入运行。

(2) 变速电动机快速控制, 是先按下按钮 8, 此时 $4A_2$ 已接通, $9A$ 因而通电合闸; 伺服电动机 D_2 起动顺转, 传动齿轮使碳刷组作顺向的相对移动, 碳刷间的电压与二次绕组的电压方向相同, 使二次绕组的电压增高, 因此变速电动机 DZ 的转速渐增; 当电动机达到某一需要速度时, 将按钮 8 释放, $9A$ 失去电源而掉闸, D_2 停止, 变速电动机即维持在該转速下运转。

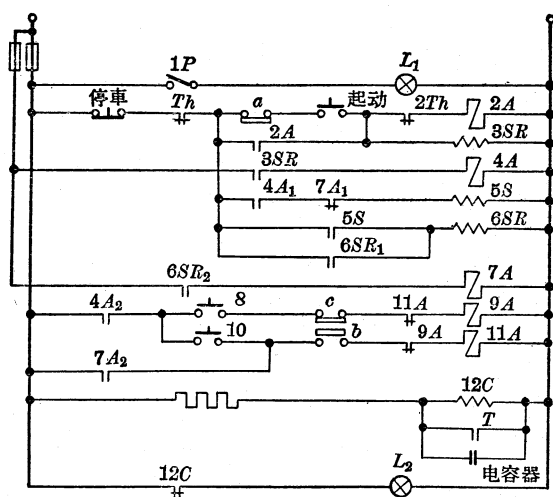


图3 变速电动机控制电路图

(3) 变速电动机慢速控制，是先按下按钮 10；由于 b 是慢速终点开关，除最慢转速外经常闭合，如此 11A 获得电源合闸； D_2 反转，碳刷组反向的相对移动，其间电压与二次绕组电压方向相反，致使二次绕组的电压被减弱，从而电动机的转速也就渐低；至一定转速时将按钮 10 释放，电动机即保持在该转速下运转。

碳刷移动是慢而均匀的，因此电动机的转速变化也是均匀而连续的。

按下停车按钮时，控制电路的电源被切断，各开关相继掉闸，电动机亦就停止运转。

联锁、信号和保护装置

为了安全运转、控制灵便和不致误动作，本电动机的控制系统内，须有严密的联锁装置以及有必要的信号指示和保护装置（仍见图 2）。

1. 保证慢速起动的联锁装置 a 是起动辅助触头，经常开路，仅当碳刷在最慢转速位置时闭合。如此当碳刷不在最慢位置时，

沒有控制电源,电动机不能起動。

2. 伺服电动机自动停車裝置 伺服电动机往返移动碳刷,到两极端位置时,若仍旋轉勢将损坏机件。 b 、 c 两开关是慢速和快速的終点开关。 b 在規定的最慢轉速时断开,此外常閉; c 在規定的最快轉速时断开,此外也常閉。如此伺服电动机到达任一极限位置时,即自动停車。

3. 碳刷自动返回至最慢位置的联鎖裝置 变速电动机停車,7A 掉閘,7A₂ 閉合,使 11A 合閘, D_2 反轉;当碳刷回到最慢位置时, b 断开,11A 失去电源掉閘, D_2 自动停車。

4. 倒順开关不同时動作的联鎖裝置 9A 和 11A 若同时動作,将造成电源短路。9A 和 11A 的輔助触头接成联鎖回路,保証不同时動作。

5. 警報信号裝置 在定子二次繞組內,装有触头溫度計 T 。当电动机达到額定溫升时, T 的触头閉合,将經常通电的中間继电器 12C 的綫圈短路。12C 動作后,其触头接通指示紅灯。工作人員看見信号,可作紧急处理。

6. 远距离測速裝置 变速电动机是遙远控制的。为了使工作人員能知道电动机轉速,在变速电动机的軸上装着一只小容量直流发电机 F (图 2), F 的外特性曲綫是直綫,其端电压与轉速成正比,轉速計 V_{ao} 实际是一只伏特表,上面刻着轉速,如此在控制屏上也可看到电动机轉速。

7. 保护裝置 本系統的电动机都装有熔断器,以保护綫路短路。变速电动机有过負荷热继电器 Th ,伺服电动机也有热继电器 $2Th$ 。其触头在控制电路的首端接成联鎖电路。当 Th 或 $2Th$ 動作时,控制电源切断,2A、4A、7A 都相继跳閘而保証安全。

小型三相整流子电动机的簡便自动裝置

小型三相整流子电动机的轉速控制,是以人工轉动手輪来移动碳刷的。为了提高工作效率,減輕劳动,也可以把这种小型电动机改装为按鈕控制。改装方法非常簡便,費用不多而效果很高。

图 4 是一般中小型变速电动机改装成的自动装置。

图中 D 是一只分馬力的三相电动机, 当作伺服电动机用。其傳动軸偶合在手柄軸上, 再配四只按钮。在碳刷的轉动軸上装三只輔助开关 a 、 b 、 c , 借軸轉动的作用, 能使起动开关 a 在碳刷到最慢位置时閉合, 其他位置常开; 慢速終点开关 b 在最慢轉速时断开, 其他位置則常閉; 快速終点开关 c 在最快速度时断开, 其他位置时常閉。

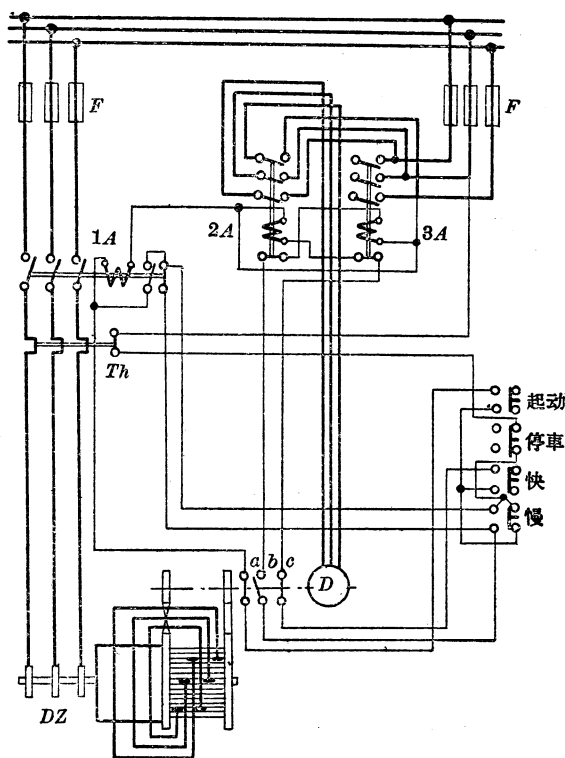


图 4 小型三相整流子电动机的自动装置綫路图

电磁起动器 $1A$, 是变速电动机 DZ 的主开关, $2A$ 、 $3A$ 是 D 的倒順开关, 可用小型电磁开关。

小型三相整流子电动机控制方法可由图 5 說明 (參看图 4)。

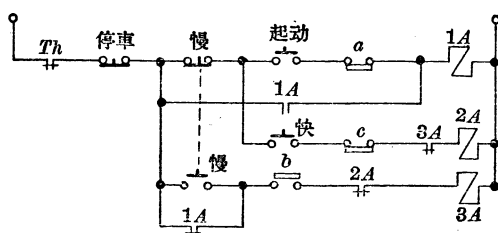


图5 小型三相整流子电动机控制电路图

当起动按钮按下时, 1A 通电合闸, 变速电动机 DZ 即起动; 快速按钮按下时, 2A 合闸使 D 顺转, 变速电动机转速即渐增高; 慢速按钮按下时, 3A 合闸使 D 反转, DZ 转速降低。

这个改装后的变速电动机, 和前述自动装置一样, 也有慢车起动, 伺服电动机自动停车, 碳刷自动返回最慢位置; 顺倒开关不同时动作, 快慢按钮不同时作用的自动联锁装置; 也有热继电器的过负荷保护装置。

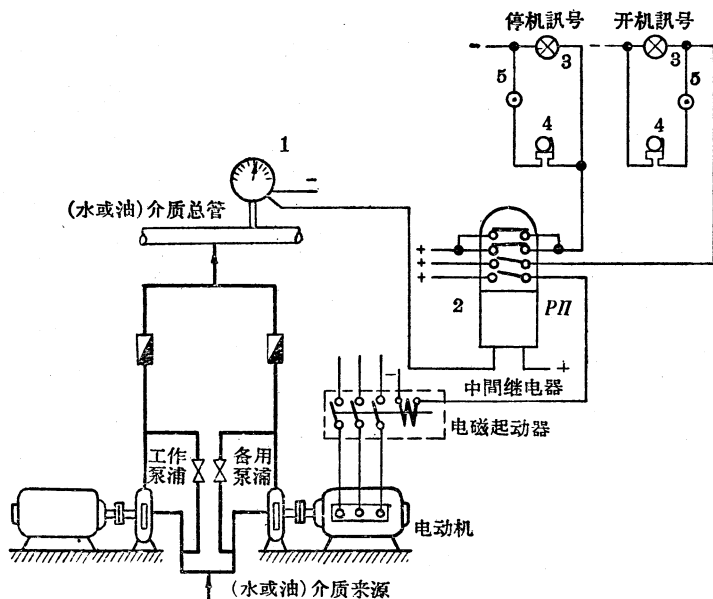
(原载“电世界”月刊 10 卷 12 期)

2-3. 备用泵浦自动工作的装置

为了防止正在工作中的泵浦发生故障, 而影响到输送液体介质(水或油)工作的中断, 必须加装备用泵浦, 以便当工作泵浦发生故障时起而代之。备用泵浦如由运转人员管理, 不但浪费人力, 还可能由于疏忽而造成严重事故(例如发电厂中备用给水泵浦), 因此就要求泵浦自动工作的必要。

输送液体介质总管中的压力变化情况, 可作为备用泵浦自动工作的依据, 我们可将测量总管中介质压力的压力表(在泵浦出口管道上都装有压力表)上加装一副可调整的接触点, 以便根据要求调节至额定低压数值。由于此触点容量较小, 不能通过较大的电

流，必須裝一具中間继电器，把中間继电器的一对常开接点，用引綫联接到电磁开关的起动綫圈；再把另一对常开接点及另一对常閉接点联接到信号回路，这台备用泵浦就可自动而又准确的工作，并能发出声光信号，使运轉人員确切地了解到备用泵浦处于工作或备用状态。



这个装置并不复杂，如图：(1)改装成带低压接触点的压力指示表；(2)中間继电器；(3)指示灯；(4)电鈴；(5)普通灯用开关。此装置的动作原理是：当工作泵浦或带动泵浦的电动机发生故障时，介质总管中压力降低至額定值之下，压力表指針即向反时針方向偏轉在預先校正好的低压額定值处，指針上附帶的接点和定接点相接触，中間继电器动作，接通电磁起动器而使备用泵浦自动工作。此时中間继电器常閉接点打开，停机信号熄掉（綠灯），而另一副常开接点关上，开机信号就亮起来了（紅灯），电鈴同时亦响起来；为了不使电鈴連續地响，把普通灯开关(5)撥至断开位置，电鈴就不再响了。信号灯及电鈴、普通灯用开关和中間继电器等可装

在配电室的配电盘上，运转人员在配电室中就可了解备用泵浦处于停机或工作位置。

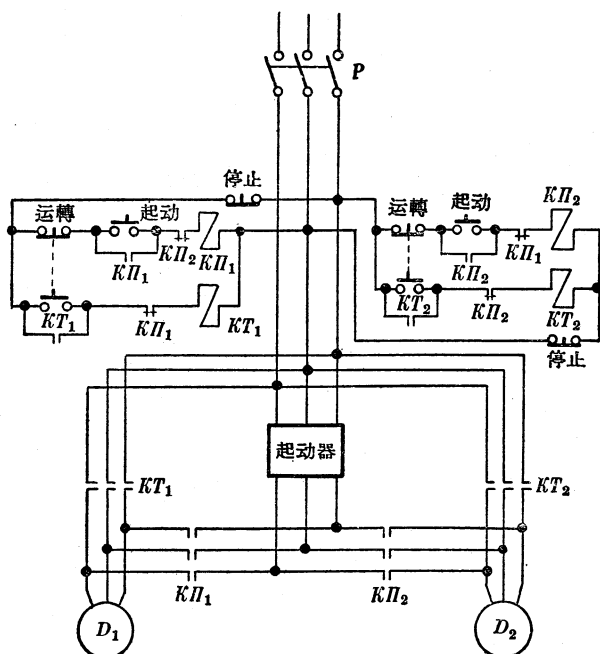
(原载“电世界”月刊 9 卷 10 期)

2-4. 用一只起动器起动多只电动机

在电动机不经常起动而且器材缺乏时，可以采用一只起动器来起动多只电动机。

线路图如图所示。其操作步骤如下：

起动时，先合上闸刀开关 P ，揷电动机 D_1 的电磁接触器 $K\Pi_1$



的起動按鈕，則 KII_1 主觸頭接通，輔助觸頭自保。

到轉速近於額定時，撤運轉按鈕使 KII_1 主輔助觸頭斷開，並即使運轉接觸器 KT_1 合上，電動機 D_1 即開始正常運轉。

其他電動機的起動步驟亦完全相同。

KII_1 線圈電路中串入 KII_2 的常閉聯鎖觸頭，使 KII_2 在吸合時 KII_1 不能動作； KT_1 線圈電路中的常合觸頭 KII_1 使 KII_1 未斷開前 KT_1 不能吸合。

但有三只或多只電動機時，則每一起動接觸器的線圈電路中，必須串入其他接觸器的常閉聯鎖觸頭，使電動機不可能同時起動。無論在起動或運轉位置，當撤停止按鈕時，均能使電動機停止轉動。

起動器可用電阻、電抗或變壓起動器。過電流保護可在每一只電動機電路中加裝適當的繼電器或熔斷器。

(原載“電世界”月刊 11 卷 2 期)

2-5. 起動自耦變壓器及起動電抗器的選擇

起動自耦變壓器的選擇

電動機起動時，自耦變壓器的起動功率等於

$$P_{н\gamma\kappa} = P_{KVA} \cdot K \cdot U_n^2,$$

式中 P_{KVA} ——電動機的額定功率，千伏安；

K ——起動電流的倍數；

U_n ——自耦變壓器在起動階段的電壓（減壓），以線路全壓的分數表示。

在 n 次起動之後，“千伏安·分”的總數將為 $P_{н\gamma\kappa}nt$ ，其中 t 為

一次起动的延續時間,以“分”表示。

因为起动自耦变压器的功率系按 2 分钟計算,因而常須符合条件

$$2P_{aom} > P_{nyck}nt,$$

式中 P_{aom} ——自耦变压器以千伏安計的在目录上規定的功率。

起动自耦变压器的抽头,一般为額定电压的 25、35、45、55、65 及 75%。对于电压为 25、35、45% 的三种,应采取在 35% 額定电压时,其功率为 P_{aom} ; 对于 55、65、75% 的三种,則应取在 65% 时,其功率为 P_{aom} 。

【例】电动机的功率为 500 千伏安;在全压起动时 $K=5$ 。

在起动时的最小电压 U_n ——0.5 (按計算)。选择 $U_n=55\%$ 額定电压。根据計算所决定的起动時間 $t=30$ 秒或 0.5 分, 起动次数 $n=3$ 。

求得 $P_{nyck} = P_{KV\Delta} K U_n^2 = 500 \times 5 \times 0.55^2 = 760$ 千伏安。

在三次启动后的“千伏安·分”的总数。

$$P_{nyck}nt = 760 \times 3 \times 0.5 = 1,140 \text{ 千伏安} \cdot \text{分}。$$

由此值,我們选取在 65% 的电压下定額两分钟功率为 700 千伏安(第三类)的自耦变压器,因为此型号符合条件。

$$2P_{aom} > P_{nyck}nt,$$

或 $2 \times 700 = 1,400 > 1,140 \text{ 千伏安} \cdot \text{分}。$

起动电抗器的选择

起动电抗器选择的任务,在于确定在已知值 U_n 及 K 的情形下所必需的电抗器的額定电抗值。此額定电抗可由下式求得:

$$X_p\% = \frac{1}{K} \left(\frac{1}{U_n} - 1 \right) \cdot 100\%。$$

式中 $K = \frac{I_{nyck}}{I_{ном}}$ ——起动电流的倍数。

起动时最小必需电压 U_n 由条件决定:

$$\lambda_{\text{мреб}} = \lambda_{\text{ном}} \left(\frac{U_n}{U_{\text{ном}}} \right)^2,$$

式中 $\lambda_{\text{мреб}}$ ——在起动时电动机要求的起动轉矩的倍数;
 $\lambda_{\text{ном}}$ ——直接接入全压电路上起动轉矩的額定倍数 (根据目录查得者);
 U_n ——减压值;
 $U_{\text{ном}}$ ——綫路額定电压值。

【例】 要求选择功率 750 千伏安, 电压 6 千伏, $I_{\text{ном}}^2 = 72$ 安, $n = 500$ 轉/分, $\frac{I_{\text{ниск}}}{I_{\text{ном}}} = 5.5$, $\frac{M_{\text{ниск}}}{M_{\text{ном}}} = 1.9$ 的电动机的起动电抗器。起动轉矩必須不低于 0.6 額定轉矩。

由条件, 我們求得在起动时的最低电压:

$$0.6 = 1.9 U_n^2,$$

$$\text{从而 } U_n = \sqrt{\frac{0.6}{1.9}} = 0.56。$$

全压启动时的起动电流

$$I_{\text{ниск}} = 5.5 \times 72 = 395 \text{ 安。}$$

因为电抗启动时, 起动电流倍数的变化与电压变化的一次方成正比, 故在减压启动时的起动电流将等于

$$I'_{\text{ниск}} = 0.56 \times 395 = 222 \text{ 安。}$$

在起动时适当的电抗将是:

电动机各相

$$x_{\partial} = \frac{6,000}{\sqrt{3} \times 395} = 8.80 \text{ 欧};$$

电动机各相及电抗器

$$x_{\partial} + x_{\epsilon} = \frac{6,000}{\sqrt{3} \times 222} = 15.6 \text{ 欧。}$$

我們求得在电流为 222 安时电抗器的电抗 $x_p = 15.6 - 8.8 = 6.8$ 欧。

由标准电抗器的目录选择跟电抗器的最小电抗值最接近的为每相 5.7 欧, 6 千伏, 180 安 (标准功率 50 千伏安), 应用此电抗器

时的起动电流为：

$$I''_{н\gamma\kappa} = \frac{6,000}{\sqrt{3} (8.8 + 5.7)} = 238 \text{ 安},$$

起动电压：

$$U'_n = \frac{I'_{н\gamma\kappa}}{I_{н\gamma\kappa}} = \frac{238}{395} \approx 0.6 \text{ 或 } U'_n = 6 \times 0.6 = 3.6 \text{ 千伏}.$$

起动时间为 15 秒或 0.25 分，起动次数为 3 次。

标准电抗器按 1 分钟额定电流计算。在非额定电流下工作时，延续时间 t 与电流的平方成反比的变化。

因此，电抗器必须符合条件

$$I_p^2 \times 1 \geq (I''_{н\gamma\kappa})^2 t n,$$

式中 n ——起动的次数。

上选 180 安的电抗器不符合这个条件，因为

$$180^2 \times 1 < 238^2 \times 0.25 \times 3.$$

因此必须选取另一型号同为 5.7 欧的电抗器，但电流为 320 安（标准功率 180 千伏安），此电抗器则符合这个条件，即： $320^2 \times 1 > 238^2 \times 0.25 \times 3$ 。

如果起动的次数限制为两次，则仍可用第一种型号的电抗器，因为此时也会符合条件

$$180^2 \times 1 > 238^2 \times 0.25 \times 2 \text{ 或 } 32,400 > 28,322.$$

（原载“电世界”月刊 8 卷 11 期）

2-6. 用图解法计算滑环式电动机的起动电阻

交流感应电动机的起动，是经常运用中的一项重要工作。容量较大的感应电动机中，滑环式转子较多，因为此种感应电动机有着较好的起动特性。

滑环式电动机起动时，须在转子电路中串以外加的电阻，随着

电动机轉速的增加,外加电阻也相应的减少;待电动机达到正常轉速时,这外加的电阻,也已完全去掉,这样就完成了电动机的起动工作。

但滑环式感应电动机起动特性的好坏,决定于轉子中的外加电阻。因此,起动电阻值的正确选定,对电机的起动特性有着重要的影响。用图解法計算起动电阻较为简单,其方法如下:

用图解法計算起动电阻,首先要知道电动机的机械特性,电动机的自然起动特性;电动机的額定轉矩 M_H ; 額定轉数 N 以及最大轉矩 M_{H0} 与額定轉矩 M_H 的比 λ 。

根据电动机轉矩与轉差率的关系公式:

$$\frac{M}{M_H} = \frac{2\lambda}{\frac{S}{S_K} + \frac{S_K}{S}}$$

就可以知道电动机的自然起动特性。交流感应电动机最理想的起动情况是起动轉矩能达到一个恒定不变的数值。这种恒定不变的起动轉矩,在实际上是得不到的。因为这样,轉子中的外加电阻分段的数目将为无限大。

滑环式感应电动机的起动轉矩,通常允許在一定範圍內变化,这个範圍的上限轉矩 M_1 小于最大轉矩的 20~25%, 其下限轉矩 M_2 大于額定轉矩的 15~20%。

图 1 已选定了的轉矩上下限与电动机起动的机械特性曲綫交于 a 、 b 两点,通过 a 、 b 两点作直綫与轉差率 ($S=0$) 綫交于 O' 点,然后联接 M_1O' 与 M_2 直綫交于 K 点。从 K 作水平綫 Kh ,联接 hO' 与 M_2 直綫交于 g 点。从 g 作水平綫 gf ,再联接 fO' 与 M_2 直綫交于 e 点。过 e 作水平綫 ed ,联接 dO' 与 M_2 直綫交于 c 点,最后联接 cb (見图 1)。

这样,得出的每段电阻为:

$$R_1 = R_0 \frac{bd}{nb}; \quad R_2 = R_0 \frac{df}{nb};$$

$$R_3 = R_0 \frac{fh}{nb}; \quad R_4 = R_0 \frac{hl}{nb}。$$

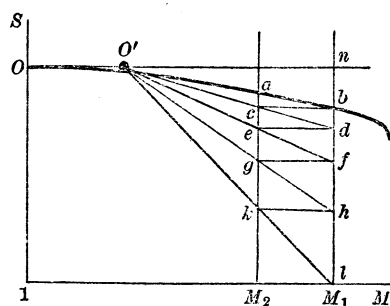


图1 用图解法计算的起动电阻

R_0 为转子内每相的电阻。

下面是用图解法计算起动电阻的例子。

某电动机的功率为 400 瓩，使用金属电阻片，起动转矩范围的下限转矩 M_2 选定为 $1.2M_H$ ，上限转矩选定为 $1.8M_H$ 。此电动机的转子电压为 525 伏，转子电流为 570 安， $\lambda=2.2$ 。在产生最大转矩时，转差率为 $S_K = S_H (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) = 0.023(2.2 + \sqrt{2.2^2 - 1}) \approx 0.096$ 。

在每种转差率的情况下相应的转矩如下式：

$$\frac{M}{M_H} = \frac{2\lambda}{\frac{S}{S_K} + \frac{S_K}{S}} \circ$$

下表为从计算中得出的一些数值：

S	$\frac{S}{S_K}$	$\frac{S_K}{S}$	$\frac{S}{S_K} + \frac{S_K}{S}$	$\frac{2\lambda}{\frac{S}{S_K} + \frac{S_K}{S}}$
0.01	0.104	9.6	9.704	0.452
0.02	0.208	4.8	5.008	0.878
0.023	0.239	4.17	4.409	1.00
0.05	0.52	1.92	2.44	1.80
0.075	0.78	1.28	2.03	2.14
0.096	1.00	1.00	2.00	2.2
0.10	1.04	0.96	2.00	2.2
0.20	2.08	0.48	2.56	1.72
0.5	5.22	0.192	5.412	0.812
0.7	7.30	0.137	7.437	0.592
1.0	10.4	0.096	10.496	0.42

根据上表画出此电动机的起动特性曲线,如图2所示。转矩上限 M_1 直线与电机的起动特性曲线交于 b 点,与同期线 ($S=0$) 交于 n 点;下限 M_2 与特性转矩曲线交于 a 点,通过 a 、 b 二点的直线与转差率线交于 O' 点。联接 M_1O' ,与 M_2 线的交点 m ,从 m 作水平线 ml ,联接 lO' 与 M_2 交于 k 点,再从 k 作水平线交 M_1 直线于 h 点。依此类推,最后联接 dO' ,则在 M_1 直线上,各段的比例长度即代表电阻的比例数值。

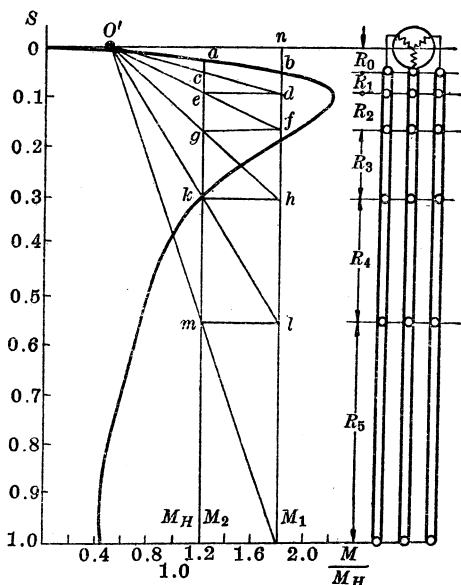


图2 起动电阻计算举例

电动机转子电阻为:

$$R_0 = \frac{U_P S_H}{1.73 I_P}。$$

式中 R_0 为转子每相电阻, S_H 为在转矩 M_H 时的转差率;在此例中 $S_H=0.023$, U_P 为转子电压, I_P 为转子电流。

则每段的起动电阻应为:

$$R_0 = \frac{525}{1.73 \times 570} \times 0.023 = 0.0121 \text{ 欧};$$

$$R_1 = \frac{bd}{nb} R_0 = \frac{8}{10} \times 0.0121 = 0.0096 \text{ 欧};$$

$$R_2 = \frac{df}{nb} R_0 = \frac{15}{10} \times 0.0121 = 0.0182 \text{ 欧};$$

$$R_3 = \frac{fh}{nb} R_0 = \frac{28}{10} \times 0.0121 = 0.0339 \text{ 欧};$$

$$R_4 = \frac{hl}{nb} R_0 = \frac{49}{10} \times 0.0121 = 0.0594 \text{ 欧};$$

$$R_5 = \frac{lM_1}{nb} R_0 = \frac{90}{10} \times 0.0121 = 0.109 \text{ 欧}。$$

起动时的轉子各相全部电阻:

$$R_{c\phi} = 0.0121 + 0.0096 + 0.0182 + 0.0339 + 0.0594 \\ + 0.109 = 0.242 \text{ 欧}。$$

各相外加的总电阻值为:

$$R_{\text{доп},\phi} = R_{c\phi} - R_0 = 0.242 - 0.0121 = 0.23 \text{ 欧}。$$

(原載“电世界”月刊 9 卷 3 期)

2-7. 轉子三相电阻不对称起动的分析

当感应电动机轉子内接有不对称的起动电阻时, 将在轉子繞組中产生一不对称的电流。此不对称的电流可分解为两个相序相反的对称部分, 其中一为正相序, 一为逆相序。正序电流建立一个与轉子旋轉方向相同的正磁动势; 逆序电流建立一个与轉子旋轉方向相反的逆磁动势。二者对轉子相对轉速等于

$$n_c - n_p \text{ 与 } -(n_c - n_p)。$$

对空間而言

$$n_{np} = n_p + (n_c - n_p) = n_c,$$

$$n_{os} = n_p - (n_c - n_p) = n_c(1 - 2s)。$$

式中 n_c ——同步轉速；
 n_p ——轉子轉速；
 n_{np} ——正序磁動勢的空間轉速；
 n_{os} ——逆序磁動勢的空間轉速；
 s ——轉差率。

由上式看出，正序磁動勢在空間以同步轉速向轉子旋轉方向旋轉，即與定子的磁動勢間無相對運動，它建立一與轉子內接有對稱電阻時相同的磁通與轉矩。

逆序磁動勢所建立的磁通對定子的轉速為 $n_c(1 - 2s)$ ，使定子內產生一電動勢，頻率為

$$f_{os} = f_c(1 - 2s)，$$

式中 f_c ——電源的頻率。

在定子內的感應電動勢，使定子繞組內產生一頻率為 f_{os} 的電流。該電流經過電源網絡而閉路，這樣將在電動機中產生一以轉速為 $n_c(1 - 2s)$ 的附加旋轉磁場。

定子的合成電流，由基本頻率為 f_c 的電流和頻率為 $f_c(1 - 2s)$ 的電流相加而得。

當轉速等於同步轉速的一半時 ($s = 0.5$)，逆轉磁場對於定子將為不動的，因而在定子中只有基本頻率的電流。

作用於轉子上的電磁轉矩，將由定子上的兩個磁場和轉子的“正”、“逆”序磁場的相互作用而產生。定子磁場的“基本磁場”以轉速 n_c 旋轉；而另一個“附加磁場”則以轉速 $n_c(1 - 2s)$ 旋轉。“正”、“逆”序的轉子磁場，對於定子而言，和定子各磁場有相同的旋轉速度。

由上述推知，電動機的總轉矩 M ，將由兩部分組成：

(1) 定子主磁場與轉子“正”序磁場的相互作用，而引起的正序轉矩 M_{np} ；

(2) 轉子“逆”序磁場與由其所產生的定子附加磁場相互作用，而引起的逆序轉矩 M_{os} 。

总轉矩

$$M = M_{np} + M_{os}$$

当 $s > 0.5$ 时, 轉子的逆轉磁場对于定子的旋轉方向, 与轉子和主磁場的旋轉方向相反, 因此 M_{os} 为加速轉矩。而当 $s < 0.5$ 时, 轉子的逆轉磁場对于定子旋轉方向与轉子和主磁場的旋轉方向同相, 因此 M_{os} 为制动轉矩。当 $s = 0.5$ 时, 逆轉磁場对定子无相对运动, 因而在定子中不感应电流, 所以 $M_{os} = 0$ 。 M_{np} 则与普通轉子三相电阻对称时的轉矩特性相同。

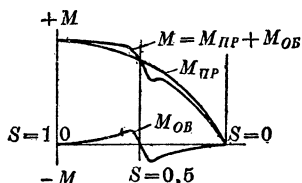


图1 感应电动机轉子接有三相不对称电阻时的机械特性曲线

图1为当轉子内接有三相不对称电阻时, 感应电动机的正序轉矩、逆序轉矩及两者的总轉矩特性曲线图。

显然, 当轉子电阻的不对称程度愈大时, 则 M_{os} 的峰值越大, 因此总轉矩曲线下陷程度越大。此情况可以下述反量系数来判断其电阻的不平衡程度。

逆序电流 i_{os} 与正序电流 i_{np} 之比, 叫反量系数。即:

$$\xi = \frac{i_{os}}{i_{np}}。$$

如忽略轉子电路中的电感时, 反量系数则是三相电阻的函数:

$$\xi = \sqrt{1 - \frac{3(R_a R_b + R_b R_c + R_a R_c)}{(R_a + R_b + R_c)^2}},$$

其中 R_a, R_b, R_c 为轉子的三相电阻。如 $R_a = R_b = R_c$, 则 $\xi = 0$ 为对称系统。 ξ 之最大值为 1, 即 $i_{os} = i_{np}$, 正、逆序轉矩相等, 轉子将不能起动。

在图2中, 表示具有不同的 ξ 时的特性曲线, 其中 $\xi_1 < \xi_2 < \xi_3 < \xi_4$ 。由图可知, 因曲线下陷很可能产生加速轉矩小于負載轉矩, 这时电动机将要停止加速。

同时由图2中看出, 最严重情况将发生在 $s = 0.5$ 附近。为使电动机继续加速

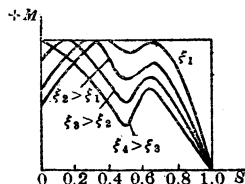


图2 具有不同反量系数时的机械特性

到額定轉速，必須將 $s=0.5$ 附近的轉矩提高，使其大於負載轉矩。要達到這一目的，有如下兩種方法：

(1) 使三相電阻在加速達 $s=0.5$ 時，切換為對稱系統。此方案需很複雜的計算，因其要個別地計算出不同的分段電阻值，並且要對各種負載情況予以驗算。同時在切換為對稱系統時，可能要造成大電流的衝擊。

(2) 在起動過程中維持不變的反量係數，因之三相電阻的比值在所有的分段電阻中是不變的（即各級電阻成等比關係）。這是在實際應用中最常見的方法。

（原載“電世界”月刊 12 卷 3 期）

3. 感应电动机的保护

3-1. 感应电动机的过电流保护

感应电动机的工作情况，是由电动机的轉矩 M_{ap} ，負載阻矩 M_{np} 与轉差率 S 的函数而决定。負載的阻矩可分为两种主要的类型：一种为不随轉速变化的固定阻矩，另一种为具有“通风机特性”而随轉速变化的阻矩。負載阻矩可用与額定阻矩 $M_{np, ном}$ 相比的相对阻矩 m_{np} 表示，即

$$m_{np} = \frac{M_{np}}{M_{np, ном}}。 \quad (1)$$

滑环式电动机的相对轉矩 m_{ap} (与額定轉矩相比的轉矩)，可用下式表示[公式演算过程，參閱燃料工业出版社出版“电力驱动原理”一书]：

$$m_{ap} = \frac{M_{ap}}{M_{ном}} \approx \frac{2k_H^2 b}{\frac{S}{S_K} + \frac{S_K}{S}}。 \quad (2)$$

式中 $M_{ном}$ ——电动机的額定轉矩；

k_H ——端电压与額定电压的比值；

b ——电动机过载能力系数 = $\frac{\text{最大轉矩}}{\text{額定轉矩}}$ ，感应电动机的 $b \approx 1.8-2$ ；

S_k ——临界轉差率,或称疲倒轉差率。

图1表示滑环式电动机在各种不同电压时相对轉矩 m_{ep} (曲綫 1、2、3、4)、固定阻矩 m_{np} (曲綫 5) 与轉差率的特性曲綫。电动机的特性曲綫可分成两部分,从 $S=0$ 到 $S=S_k$ 的一段称为“稳定的”,从 $S=S_k$ 到 $S=\infty$ 的一段称为“不稳定的”。当电压为額定,电

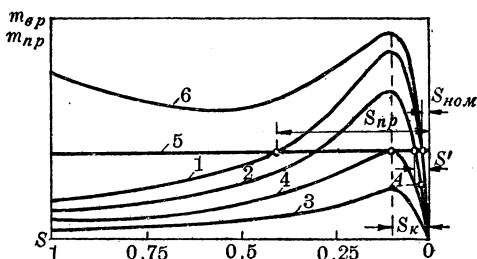


图1 曲綫 1~4 为滑环式电动机在不同电压值时轉矩与轉差率的关系; 曲綫 5 为固定阻矩与轉差率曲綫; 曲綫 6 为深槽或双鼠籠式电动机轉矩与轉差率的关系

动机正常工作在“稳定的”部分,这时电动机的轉差率即是額定轉差率 $S_{ном}$ (曲綫 1)。如果負載是具有固定阻矩的,当电压略为降低时 (曲綫 2), 在开始的瞬間,电动机的轉速不变,仍以額定轉差率 $S_{ном}$ 工作,即在曲綫 2 的 A 点。显然,这时电动机的轉矩小于負載阻矩。由于电动机的轉矩与端电压的平方成正比,倘若电压比額定降低 10%, 則轉矩即降低到原值的 0.81 倍,而使电动机的轉速也相应地减低,也即是轉差率增加。如果轉差率增加到 S' , 則电动机的轉矩重新等于負載阻矩,轉差率即不再增加,于是电动机的运轉情况即趋于稳定。若电压降低很大,如曲綫 3 所示,轉差率無論如何增加,电动机的轉矩总是小于負載阻矩,电动机将被迫而停止轉动。

維持电动机工作的最小工作电压 $U_{мин}$ (曲綫 4), 可以从公式 (2) 中求出, 此时 $S=S_k$, 电动机以其最大轉矩工作, 所以 $m_{ep, макс} = m_{np} = 1$, 則 $U_{мин} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{b}}$ 。若 $b=2$, 則电动机的最小

工作电压 $U_{\text{min}} \approx 0.7U_{\text{ном}}$ 。

当轉差率 S 大于极限轉差率 S_{np} 时,由于轉矩小于負載阻矩,电动机即不能工作,即使在額定电压时也是如此。因此,对于負載具有固定阻矩的电动机而言,倘若电压低于最小工作电压,所持續的时间足使轉差率 $S \geq S_k$ 时,即使电压恢复到額定值,电动机也不能工作。

但是这种情况,对深槽式或双鼠籠式电动机則例外。因为这种特殊型式的电动机可从其特性曲綫(曲綫 6) 看出,当供电系統的短路故障消除后,电压恢复到額定值后,在任何 S 值时,电动机的轉矩都大于負載阻矩。

倘若电动机的負載具有“通风机特性”的阻矩(属于这种特性的負載有离心式水泵、通风机等),当电压降低时,电动机将被制动而降低轉速(图 2);但是当电压恢复时,即使連滑环式电动机在起动电阻短路的情况下,电动机的轉矩也大于負載阻矩,此时电动机可能从供电綫路上吸取对电动机有危害性的巨額电流。

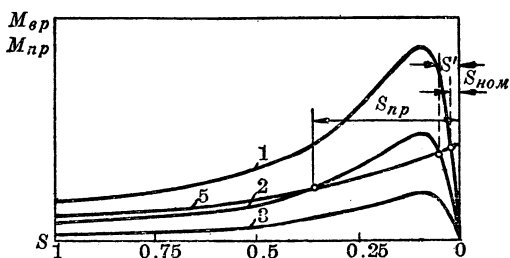


图 2 滑环式电动机当不同电压时轉矩和“通风机型”阻矩对轉差率的关系

在电动机电压略为减低的情况下,电动机所受到的过电流也是相当小的。图 3 的曲綫表示各种不同励磁电流的电动机定子电流与电压的关系。这种过电流与过負荷过电流一样,仅按其其对电动机綫圈絕緣的热力作用來說,是有危害性的。在供电系統中发生短路故障,电压驟然降低的結果,电动机将向故障点送出电流,其值約为額定电流的 5~10 倍,同时在电压恢复时,电动机内又产

生起动电流。起动电流的周期分量随轉差率变化的特性表示在图 4 上。起动电流的最大值 $I_{n, \text{макс}}$ (不計及非周期分量时, 此值約等于額定电流的 4~8 倍), 发生在当电动机完全制动时, 即轉差率 $S=1$ 和当电压恢复到額定电压 $U_{\text{ном}}$ 电动机重新起动时。当电

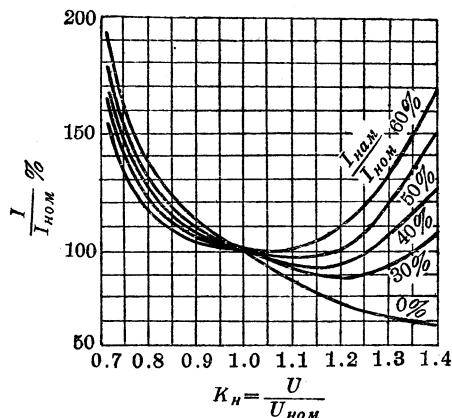


图 3 电动机具有各种不同励磁电流 $I_{\text{ном}}$ 时
电压与定子电流 I 的关系

动机在临界轉差率工作时, 定子电流約为最大起动电流的 0.6~0.7 倍。滑环式电动机在制造时也估計到当外部綫路短路时电动机向故障点送出电流的电动力作用, 因此, 也必然能經受相当于临界轉差率 S_k 时定子电流的电动力作用的影响。

短路故障消除后, 电压恢复时电动机賴以自动起动的电压, 一般都低于額定电压, 所以自动起动电流小于最大起动电流。同时在电压恢复的瞬间, 电动机已經完全停轉的可能性在实际上是很少的, 在 $S < 1$ 的时候, 起动电流总小于当 $S=1$ 时的起动电流。由于这个原因, 自动起动电流的电动力作用, 即使对滑环式电动机而言亦是无妨的。应考虑的是当不許可自动起动时, 起动电流对綫圈的热力作用。

綜合上述, 可以得出下列的結論, 当电动机电压降低和恢复时所引起过电流的保护对策为:

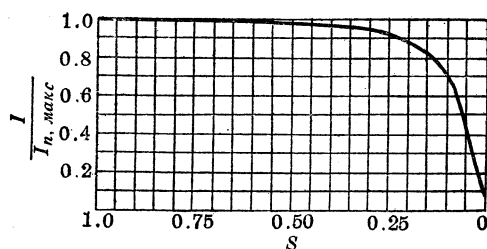


图4 起动电流作用值与轉差率的关系

(1) 对于驱动固定阻矩的滑环式电动机，必須有过电流的保护装置。其主要用途是当电压恢复，电动机的轉差率 $s \geq s_k$ 时，保护电动机的綫圈不致因过电流而引起过热現象。为实现这种保护措施，可以用两种原則上不同的保护方法：可以用过电流保护；也可以用低电压保护，当电压低于最小工作电压时，用帶时限的低电压继电器将电源切断；

(2) 当系統发生短路故障时，为了保证較重要的电动机自动起动，低电压保护也可用以切断部分較次要的电动机。因为在工业企业中，电动机自动起动的总容量受供电变压器容量的限制，所以利用低电压保护装置断开部分电动机，使較重要的电动机自动起动时有足够的电流供給，同时亦保护了不許可自动起动的电动机；

(3) 按照技术安全或技术生产过程，不允許电动机自动起动时，也应装置低电压保护設備。

(原載“电世界”月刊8卷4期)

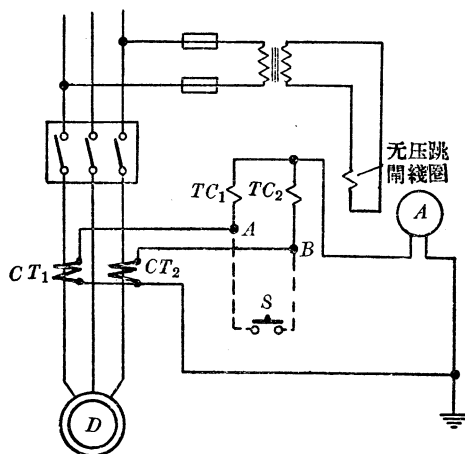
3-2. 鼠籠式感应电动机起动保护裝置的改进

鼠籠式电动机的起动电流很大，在直接起动时，常达到額定电流的5~6倍。

虽然用了变压起动器，它的起动电流仍常达到額定电流的2

~3 倍；如果将自动油开关的跳闸电流整定为额定电流的 2 倍以下时，常因起动电流超过了跳闸电流以致无法起动；如果跳闸电流整定过大，在电动机发生了故障的时候，自动油开关的跳闸装置常常不够灵敏而失去保护作用，这样很容易引起较大的事故。

自动油开关是用两个电流互感器及两个跳闸线圈（内部接线如附图所示），为了不影响电动机的起动，而且在运转时能达到理想的保护作用，可按照附图的虚线改装一下，就可得到很好的效



果，費用也很少。

图中 CT_1 是 A 相的电流互感器， CT_2 是 C 相的电流互感器，分别通过跳闸线圈 TC_1 及 TC_2 后，再合并而经过电流表。现在将 CT_1 及 CT_2 的 A、B 两点接在一个按钮开关 S 上（可附装在变压器起动器上），在起动时接通开关 S ，使 A、B 两点短路，这时，跳闸线圈 TC_1 及 TC_2 只通过 B 相电流的一半，即每个跳闸线圈只通过实际电流的一半，电动机可以正常的起动。在电动机进入运转阶段后，将 A、B 分开， TC_1 及 TC_2 便又通过各相的全部电流了。

（原载“电世界”月刊 9 卷 12 期）

3-3. 鼠籠式电动机保护熔断器的簡易选择方法

电动机及其联接綫，在生产上通常是用熔断器作为保护。正确地选择熔断器的容量或作为熔断絲的紫銅絲（或合金絲）的直徑，是正确保护电动机及其联接綫短路的保証。

在生产上，鼠籠式电动机的应用最广。因此下面只談及鼠籠式电动机。

为了决定熔断器的額定电流，按一般应用的公式，必須知道电动机的功率、电压、額定电流、工作电流、起动电流、起动电流对額定电流的倍数、功率因数、效率和負荷系数。

熔断器的熔断电流与周圍介质的温度、湿度、熔断器的預热情况、熔断絲的长度以及电动机运轉的时间有关。

利用比較复杂的計算公式，在車間是不方便的，但如車間操作人員不去使用用以决定熔断器額定电流的公式，而是約略的选择。这样最易招致大的錯誤和引起电动机的损坏。

在本文中，决定熔断器的額定电流可以很簡單。

熔断器的电流根据下列条件选择：

$$I_{\text{ном. вст}} \geq I_{\text{раб}}, \quad (1)$$

$$I_{\text{ном. вст}} \geq \frac{I_{\text{пуск}}}{2.5}, \quad (2)$$

式中 $I_{\text{ном. вст}}$ ——熔断器的額定电流，安；

$I_{\text{раб}}$ ——电动机的工作电流，安；

$I_{\text{пуск}}$ ——电动机的起动电流，安；

2.5——在电动机的正常起动情形下的系数。

$$\text{假定} \quad I_{\text{раб}} = \alpha \cdot I_{\text{ном}}; \quad (3)$$

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{н}}}{\sqrt{3} U_{\text{н}} \cos \varphi \eta}; \quad (4)$$

$$I_{\text{пуск}} = K \cdot I_{\text{ном}}. \quad (5)$$

并将公式(4)和(5)代入公式(2), 公式(3)代入公式(1), 则熔断器的电流的选择条件用下式决定:

$$I_{\text{ном. вст}} \geq a \cdot I_{\text{ном}}; \quad (6)$$

$$I_{\text{ном. вст}} \geq \frac{K \cdot P_{\text{н}}}{\sqrt{3} \times 2.5 U_{\text{н}} \cos \varphi \eta}. \quad (7)$$

式中 a ——电动机的负荷系数;

$P_{\text{н}}$ ——电动机的额定功率, 瓩;

$U_{\text{н}}$ ——网络的额定电压, 千伏;

$\cos \varphi$ ——电动机的功率因数;

η ——电动机的效率;

K ——起动电流对额定电流的倍数。

在生产上, 每一电动机通常都用个别的熔断器保护。因此在公式(7)满足的条件下公式(6)总是成立, 即熔断器的选择首先决定于起动电流。

兹以数值代入公式(7)。

鼠笼式电动机的起动电流与额定电流之比约自 5~8, 即

$$K = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{ном}}} = 5 \sim 8.$$

取 $K=8$ 。 K 的值选取最大值, 为了保证在特别重的起动任务下保护电动机, 此外还由于在公式(2)和(7)中的系数 2.5 为不定值, 它可以为 2 甚至 1.6。

鼠笼式电动机的功率因数, 可以采用等于 0.8, 效率 $\eta=0.85$; 系数 $a=1$ ——在单个电动机的保护情况下。

知道了网络的额定电压和考虑到上面的假定之后, 则熔断器的额定电流可以根据电动机的功率来选择:

$$U_{\text{н}} = 500 \text{ 伏},$$

$$I_{\text{ном. вст}} \geq \frac{8 \times P_{\text{н}}}{\sqrt{3} \times 2.5 \times 0.5 \times 0.8 \times 0.85}$$

$$=5.45P_H \approx 5.5P_H; \quad (8)$$

$$U_H = 380 \text{ 伏},$$

$$I_{\text{ном.вст}} \geq \frac{8 \times P_H}{\sqrt{3 \times 2.5 \times 0.38 \times 0.8 \times 0.85}} \\ = 7.16P_H \approx 7P_H; \quad (9)$$

$$U_H = 220 \text{ 伏},$$

$$I_{\text{ном.вст}} \geq \frac{8 \times P_H}{\sqrt{3 \times 2.5 \times 0.22 \times 0.8 \times 0.85}} \\ = 12.3P_H \approx 12P_H. \quad (10)$$

因此，对于功率 100 瓩以下的单个鼠籠式电动机用熔断器作为短路保护时，車間操作人員为了很快地决定熔断器的額定电流，可以应用简单公式：

$$U_H = 500 \text{ 伏}; I_{\text{ном.вст}} = 5.5P_H;$$

$$U_H = 380 \text{ 伏}; I_{\text{ном.вст}} = 7P_H;$$

$$U_H = 220 \text{ 伏}; I_{\text{ном.вст}} = 12P_H.$$

在利用此公式时，必須記着它是近似的。因此，若发现熔断器被熔断时，必須仔細地分析原因。如果熔断器的熔断是由于电动机的不正規的起动的，則必須設法改进；若是由于上述公式不适用于任何特別情况的毛病，或由于网络电压减低的緣故，則必須采用額定电流比按公式計算大一級的熔断器。

【例 1】試选一只用以保护功率 $P_H = 20$ 瓩， $U_H = 380$ 伏的感应电动机的熔断器。

$$I_{\text{ном.вст}} = 7P_H = 7 \times 20 = 140 \text{ 安}.$$

相应的用作熔絲的紫銅絲的直徑为

$$d_M = 1.45 \text{ 毫米} \textcircled{1}$$

【例 2】条件同上，但 $U_H = 500$ 伏。

$$I_{\text{ном.вст}} = 5.5P_H = 5.5 \times 20 = 110 \text{ 安},$$

$$d'_M = 1.23 \text{ 毫米}.$$

或 当 $I_{\text{ном.вст}} = 100 \text{ 安}$ ， $d''_M = 1.16 \text{ 毫米}$ ；

① 見“能学手册”1952，第 162 頁。

当 $I_{\text{ном. дсн}} = 120$ 安, $d_M = 1.31$ 毫米。

(原載“电世界”月刊 9 卷 3 期)

3-4. 鼠籠式电动机熔絲选择的商討

編者按 我們在本文中對鼠籠式電動機的熔絲選擇, 提出了新的見解, 希望各地工業企業運行方面有經驗的同志們, 對此加以驗證。

熔絲又名保險絲, 因為它有着許多的優點, 如使用方便、構造簡單、价格便宜, 以及對短路電流的遮斷時間較快, 故在電氣設備上廣泛的用作保護設備。但熔絲也存在着不少的缺點, 例如: (1) 對鼠籠式感應電動機的長期過載不起保護作用; (2) 易受外界條件的影響, 性能不穩定; (3) 當熔斷時容易引起火災。現就前兩種缺點進行商討。

根據已往的統計, 鼠籠式感應電動機燒毀的原因, 有 60% 以上是由於一相熔絲熔斷後電動機處在長時間單相運轉以致過熱而燒毀。然而被熔斷的一相熔絲, 大多數是由於機械的損傷、接觸不良或本身性能差所致。在不嚴重的過載情況下, 三相熔絲同時熔斷的機會是很少的。通常引致熔絲熔斷的原因多屬於下列幾種: (1) 電動機啟動電流大而時間長; (2) 熔絲接觸不良; (3) 使用日久而變質; (4) 安裝時外表皮受傷; (5) 電動機內部或線路短路; (6) 電壓過高。因此, 當三相中熔斷一相其餘兩相仍照常接通, 很少是因電動機過載而熔斷; 並且熔絲尚能忍受 130~150% 過載不致熔斷的。

通常鼠籠式感應電動機熔絲的選擇是:

$$\text{熔絲的額定電流} \geq \frac{\text{啟動電流}}{2 \sim 2.5};$$

以啟動電流相當於正常額定電流的 5~6 倍, 則

熔絲的額定電流 $\geq 2.5 \times$ 額定電流。

這樣，電動機長期過載 250% 或者更大一些也不會引致熔絲的熔斷了。由此看來，既然熔絲不起過載保護作用，所以選擇熔絲時根本就不必考慮這方面，只要考慮到電動機的啟動和短路保護就够了，這樣可以將熔絲的額定電流值適當放大些，取

$$\text{熔絲的額定電流} \geq \frac{\text{啟動電流}}{1 \sim 1.5},$$

只要求熔絲起短路和過載啟動的保護作用，这样就大大的避免了已往因熔絲額定電流選擇過小而致部分熔斷造成電動機單相運轉燒毀的事故。

經驗證明，一般工廠機械加工車間電動機的燒毀，極少數是由于三相均衡過載所致，而大多數是由于單相運行而燒毀的。另外，對熔絲額定電流值的選擇放寬之後，則正常啟動時熔絲易于熔斷的情況也不存在。同時過去採用大熱容量的熔絲（鉛錫合金），存在着很大的缺點，就是短路時由于熔絲的熔斷時間較長，故往往給系統帶來不利，如果改用小熱容量的熔絲（銅線），就可以克服這一點，使其性能比較穩定。

根據以上情況的分析提出下列具體意見：

(1) 一般功率在 10 瓩以下的鼠籠式感應電動機直接啟動時，熔絲的額定電流選擇可取：

$$\text{熔絲的額定電流} \geq \frac{\text{啟動電流}}{1 \sim 1.5},$$

$$\text{熔絲的額定電流} \geq \text{額定電流} \times 3.5;$$

(2) 熔絲採用小熱容量的銅絲，不用大熱容量的鉛錫合金絲（鉛 75%、錫 25%）。

根據我們半年的經驗證明，這樣選擇熔絲在 120 多台的電動機中，從未發生過兩相運行燒毀的事故（過去差不多每月都發生過）；同時也準確的起了短路保護作用，也就是說 60~70% 的消除了電動機燒毀的原因，有利的保證了生產。

以上所談只是初步的見解，與“規程”上的規定是有出入的，特

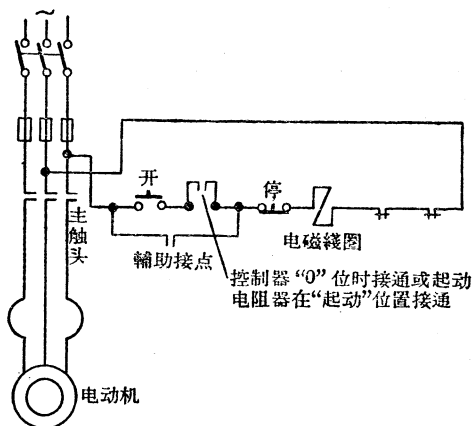
作为一个新問題,提請大家进一步的研究和討論,以便对这个問題作出正确的結論。

(原載“电世界”月刊 13 卷 2 期)

3-5. 防止滑环式电动机起動时誤動作的裝置

大家都知道滑环式电动机在起動时,轉子电路內是必須加入电阻才能得到很好的起動性能。

电动机在起動时,如果电阻器部分或全部短路,就产生过大的起動电流使电气设备及电网受到影响。



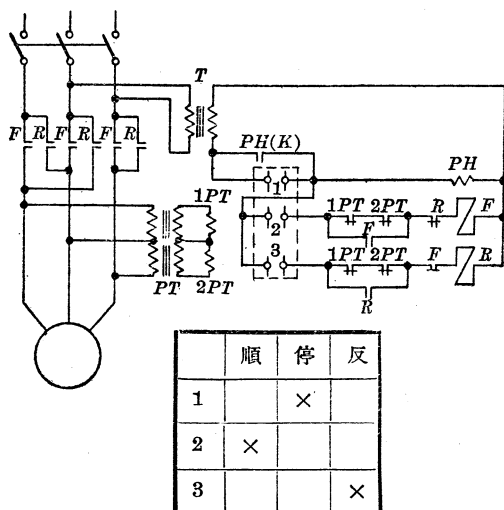
如果在控制綫路內加一联鎖接触如附图,只有控制器在“0”位或起動电阻器在“起動”位置时接通,电磁起動器方可合閘,这样便可防止上述事故了。这种装置在我国虽已普遍采用,但原有老的設備中可能还没有加装。为了减少事故,这种簡單的設備是需要加装的。

(原載“电世界”月刊 10 卷 11 期)

3-6. 防止高压电动机反向起动时短路的方法

交流感应电动机的反向,要将电源任二相調換一下,用空气式接触器控制高压电动机,虽然利用了机械的和电的联鎖,但也会发生电源的短路現象。这是因为当接触器的触头开断时会产生电弧,而且电弧持續時間很长,当順轉的触头虽已完全开断,但电弧可能尚未消灭,因此,正当此时反轉的触头闭合,就会发生严重的短路事故。

防止短路的产生,可利用附图装置,采用电压互鎖继电器的作用,保証順、反轉的触头正确閉合。图中所示: K 为主令开关, F 及 R 为順、反轉接触器, PH 为欠压釋放继电器, T 为控制变压器, PT 为电压互感器接于反轉触头 R 的負載方面, $1PT$ 及 $2PT$



高压电动机反向起动时的短路保护原理线路图

为电压互鎖继电器,接于互感器 PT 的次級方面。

这种装置的作用原理如下:

当主令开关的把手从順轉位置迅速旋至反轉位置时,順轉接触器 F 断电,但此时 F 触头因电弧的存在而繼續接通电源,同时电压互感器也还是有电而使电压互鎖继电器 $1PT$ 及 $2PT$ 繼續接通,这样其常閉触头 $1PT$ 、 $2PT$ 仍打开。反轉接触器 R 无法接通,直到 F 触头电弧已完全消灭,电压互感器 PT 才完全断电, $1PT$ 、 $2PT$ 也才完全断电,其常閉触头 $1PT$ 、 $2PT$ 才恢复原位,而使反轉接触器通电,电动机才能由 R 触头供电而反向運轉。

同样当主令开关的把手从反轉位置迅速旋至順轉位置的时候,其情况与上述一样。

因此,利用了这种装置中的电压互鎖继电器,就能防止了順轉接触器与反轉接触器同时接通电源的危險,亦即防止了高压电动机反向起动时短路的危險。

(原載“电世界”月刊 11 卷 5 期)

3-7. 三相 Y 接电动机一相断路的保安裝置

(一) 断电指示器

三相滑环式感应电动机或鼠籠式感应电动机,在运行中很可能由于三相电源的一相断电(例如一相熔絲熔断或开关接触不良等原因),以致三相电动机变为“单相”运行,時間一久便促成电动机燒毀的事故。这是电动机燒毀事故中比較常見的一种原因。

为了保障三相电动机不因三相电源中的一相断电而燒毀,使在一相断电时能及时发觉修复,凡是一般未装有自动油开关的小型电动机,如在額定电压时为 Y 接法的,都可以装用如图 1 所示

的指示器。

如电源供电正常,电动机三相平衡时,中性点接地线没有电流通过,指示器的铁心便没有磁力产生(实际上由于电源不平衡和电动机三相阻抗不平衡,中性点接地线常有微小电流通过,指示器的铁心也有微弱的磁力产生),衔铁在脱开位置。当三相电源任何一相断电时,中性点接地线就有电流通过,铁心产生强大的磁力,吸引衔铁上举,触及铁心下的两个小触头联通电路,此时接在该电路上的指示灯(或电铃)作出指示,人们就可立刻发觉一相断电而加以修复。当拉断三相电源或三相电源恢复正常后,衔铁仍返回脱开位置。

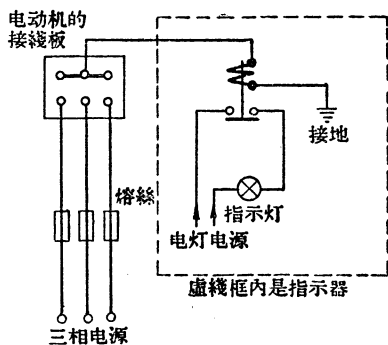


图 1

触头联通电路,此时接在该电路上的指示灯(或电铃)作出指示,人们就可立刻发觉一相断电而加以修复。当拉断三相电源或三相电源恢复正常后,衔铁仍返回脱开位置。

三相Y接法的感应电动机,将其三相绕组的共同接头接地(如图1的中性点接地线),如果装用的是三相四线三元件的电度表,不论中性点接地线有无电流通过,对电度表的记录度数没有影响;但若装用三相三线二元件的电度表,在电源显著不平衡时,中性点接地线有电流通过,将会造成电度表的记录度数与实用度数有悬殊的出入,当三相电源中任何一相断电时,都要招致电度表测量的度数失准。装了指示器,就会立即发觉将它恢复正常,所以影响不大。

(二) 电动机断线自动停止器

针对经常发生的电动机单相运转烧毁事故,我们制造了一种电动机断线自动停止器,这种保护设备,能够减少星形接法电动

机的燒毀事故。

电动机断綫自动停止器是一种保护星形接法电动机的装置。它可以保証：当三相熔絲熔断一相时，电磁开关自动断路；当一相碰鉄壳时，不待熔絲熔断，开关即迅速断路；当三相开关一相接触不良甚至不接触时，开关也立即断路。

三相电动机在运转中熔断一根熔絲，即成单相继续运转，若負荷不减輕，綫路电流增大，轉速减低，电动机可能因此损坏。本来三根熔絲都是同样大小，好象应该同时熔断，然而熔絲的质量不是那样理想，熔断电流不完全一样，而且我們装熔絲时，螺絲的松紧不同，熔絲长短不同，都将大大影响熔断电流。因此我們厂里就发生过許多这样的事实，一相熔絲熔断，其他二相电流增加許多，熔絲还是不断，結果把电动机燒坏。

电动机在运转中，往往因絕緣不好，使一相碰鉄壳，电动机断綫停止器可以保証在一相碰鉄壳时，只要电动机外壳电位升至 20 伏，开关立即跳开，即使接地綫松脫，开关也会跳开。

开关的三相接触点，往往不是同样紧密接触，有时一相接触較差，甚至不接触，在这种情况下，就相当于一相断路，电动机断綫自动停止器会使开关跳开，使我們便于及时檢修。

这种保护装置构造非常简单，一个鉄心、一个綫圈和一个接触点（如图 2）。綫圈的一端接电动机的中性点，另一端接电动机外壳并接地，接触点串联在电动机电磁开关的控制綫路里。当电动机正常运转时，中性点 O 对 E' 的电位差为零，綫圈中无电流通过。若有一相熔断， O 、 E' 两点电位差立即升高，綫圈产生吸力，使电磁开关的控制綫断路，开关跳开，电动机停止运转。由于綫圈中不是經常有电流流过，鉄心只要用普通的熟鉄就可以了，不必用硅鋼片。

我們在試制中所做的是图 3 这种形式，鉄心直徑 9 毫米，电磁綫圈用英規 38 号漆包綫繞 2,500 圈，調整彈簧使电压在 20 伏时就可以将上面的鉄片吸下断开接触点，这样使綫圈两端的电压升高到 20 伏以上，即吸下鉄片 (2)，使电磁开关断开。由于电动机启动时，开关的三相不是十分准确地同时接触，并且往往在开动电动机

时，触点有稍許跳动，所以接触点一定要串联在控制线路的副路 DD' 之間，如图 2 这样才不影响电动机正常开动。

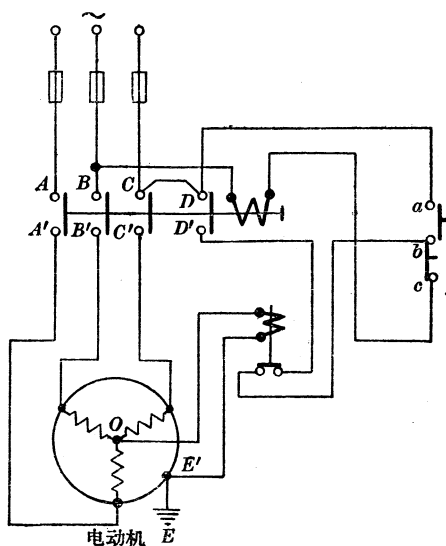


图 2

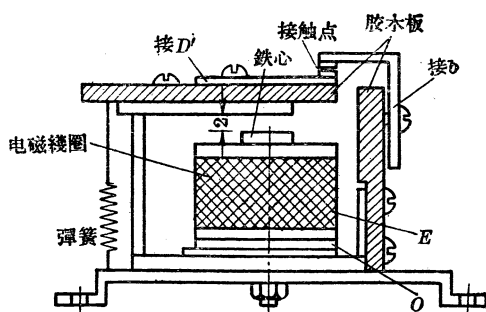


图 3

我們在試用時曾經發生過一些問題，因為彈簧太松，机床开动时有些震动，使接触点脫开，电动机停轉。經將彈簧調整，使得电磁綫圈一定要到 20 伏时才能吸动鉄片，就完全可以避免这种缺点。

为了有把握地掌握星形接法电动机一相断綫时中性点对地电

电动机规范(均系 Y 接)	三 相 平 衡 时			断 一 相 时		
	中性点对地电位差/线路电流			中性点对地电位差/线路电流		
	空 載	半 載	滿 載	空 載	半 載	滿 載
2 馬力、380 伏、3.45 安、1,440 轉/分	5 伏/2 安	3.5 伏/2 安	3 伏/2 安	16 伏/3 安	29 伏/4 安	35 伏/6 安
3 馬力、380 伏、4.8 安、1,450 轉/分	8 伏/2 安	7 伏/2 安	6 伏/3.5 安	24 伏/3.5 安	25 伏/3.5 安	30 伏/9.5 安
7.5 馬力、380 伏、12.5 安、1,440 轉/分	7.5 伏/2.5 安	6 伏/3 安		21 伏/3 安	33 伏/15 安	
8 馬力、380 伏、12 安、2,800 轉/分	5 伏/2 安	2 伏/6.5 安		10 伏/4 安	30 伏/14 安	
8 馬力、380 伏、12 安、2,800 轉/分	3 伏/1.5 安	1.5 伏/8 安		11.5 伏/4 安	30 伏/17 安	
13.4 馬力、380 伏、20 安、1,430 轉/分	4 伏/6 安	4 伏/6 安		13.5 伏/8 安		
13.4 馬力、380 伏、20 安、1,430 轉/分	11 伏/6.8 安	11 伏/6.8 安	11 伏/7 安	19 伏/10 安	20 伏/11 安	
25 馬力		10 伏/13.5 安			16 伏/22 安	

說明：(1) 半載系指电动机带动机床車头。

(2) 滿載系指吃刀后的負載；試驗時因有些机床吃刀很小，电表讀數与未吃刀時无多大差异，故未記下讀數。

位差变化的規律，以便設計电动机断綫自动停止器的电磁綫圈及使用範圍，我們曾以 2 馬力到 25 馬力的机床电动机做了二十多次試驗，試驗結果如上表。

因为厂里有一些单相电气设备，使三相电源稍有不平衡。試驗时由于所用仪表有些誤差，机床工作情况有变化，不是一个比較稳定的負載，机床工作中，电动机的实际負載未測定，因此試驗紀錄不够理想，但根据这些数字，至少可以看出下列几点：

第一，当三相电动机正常運轉时，中性点对地电位差理論上應該是零，但因三相电源不平衡，也能量得較小的电压；

第二，当三相电源断一相，电动机成单相運轉时，中性点对地的电位差与电动机負載成正比，負載越大，电位差越大。这由于負載增加时轉差率增加所致，綫路电流比三相正常運轉时約增加一倍；

第三，中性点对地电位差的变化与电动机容量无多大关系。

根据这些，我們可以掌握下列制造与使用上的要点：

(1) 电磁綫圈可設計在电压約为 20 伏时起作用，这可用增、减彈簧压力来調节开始动作的电压；

(2) 当电动机負載越大，断一相时，中性点对地的电位差也越大。这就是說，加于电动机断綫自动停止器电磁綫圈两端的电压也越大，更保証它能灵敏动作（在輕載时常不起作用，但电动机也不易损坏）；

(3) 同样的电动机断綫自动停止器可适用于各种大小星形接的电动机。

（原載“电世界”月刊 8 卷 11 期）

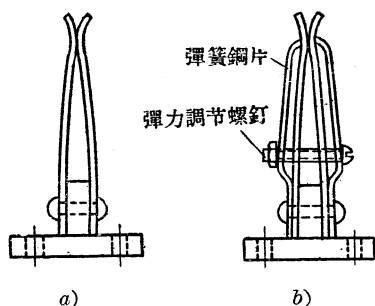
3-8. 加强檢修預防电动机单相運轉

防止电动机单相運轉的方法，一般多偏重于已經发生单相运

轉后的自动切断,因此有一个共同的缺点,就是需要增加保护装置而花費一些費用。另外这些保护装置目前还没有成品可买,必須各个厂矿自行制造;自制的零件成本較高,还难于保证有良好的质量和可靠的运行性能;同时也增加了维护工作的复杂性。为此我們結合过去发生的电动机单相运转事故,进行了一次大檢查。在檢查中發現一些普遍地造成电动机单相运转的故障事例,归納为下列几点,供电气維修人員作参考。

(1) 金属切削机床配綫使用的插接式母綫盒,其刀形接触部分用紫銅制成,原来的結構如附图 a 所示。由于长期使用經常发热,接触压力减小以至接触不良;每当启动时接触部分产生火花,

最严重的甚至把母綫燒蝕成孔洞。由此原因产生电动机单相运转事故后,不易找到故障,要造成重复事故。



經研究改制成如附图 b 所示,增加两片鋼质彈簧,彈簧材料可用厚度为 0.8~1.0 毫米的 65Г 鋼板 (經热处理),表面最好发藍或鍍鋅,以防銹蝕。

(2) 电动机的电源綫多从动力配电箱直接引出,部分动力配电箱的 60~100 安熔断器的插座結構与附图 a 相仿,沒有鋼质彈簧,长期使用后接触压力不够,产生高热;个别严重的使接触部分变色,附着一层較厚的氧化层;同时 60 或 100 安熔片由于维护不当,接触面积减小,造成熔絲插头部分不应有的过热;于是电动机并不过載,綫路也沒有短路,而熔片却熔断,造成单相。熔断器插座的改进方法与附图 b 相似。

(3) 金属切削机床(或其他設備)内部配綫使用的螺旋形熔絲插头——HE-27 型及管形熔絲插头——ПР-1М 型,其熔絲本应用錫焊在銅质(或鉄质)端头上。經过檢查,发现大多数未焊接,而是压在端头下,极易因接触不良而熔断。个别情况甚至直接用熔絲

纏在熔絲座上,更易造成事故。

这就需要事先准备好各种容量的熔絲插头备品,以便迅速更换,减少停工損失。

應該指出,用两根小容量的熔絲代替一根容量大一倍熔絲(甚至有用三、四根代替一根)的方法,由于散热情况不同,两根熔絲并联后容量并不是增加一倍,准确数值要由試驗确定;再加上沒有焊好,如果第一根熔絲接触不好,那么全部电流都通过另一根熔絲使它熔断,然后第一根熔絲也会跟着熔断,以致产生事故。这就需要經常备有各种容量的熔絲。

熔絲的容量一般应为电动机額定电流的 2.5 倍,但是对于經常反正轉的电动机,例如車制螺紋的車床傳动电动机,需要 3~3.5 倍左右。部分維修电工沒有照这样做,总认为熔絲小一些保險,反正断了可以更换。其实熔絲并不能保护过载,經常熔断熔絲,反而导致单相運轉事故的增多。

(4) 电动机引出綫的接綫板、电磁开关接点的引出端,以及一切震动处所的电气联接端子,都必須使用合适的彈簧墊圈(也需要平墊圈),以防接綫螺釘松动。曾經有这样一件事例:某車間牛头刨床的傳动电动机不时发出嗡嗡的响声。电动机經拆卸試驗,一切性能良好,只得又装上試車,响声同前。最后找到了故障,原来是操作电磁开关的接綫端沒有装用彈簧墊圈,以致在开关操作时磁鉄的撞击震动使一个接綫螺釘处接触不良,不时产生火花。嗡嗡的响声就是单相運轉产生的。

(5) 电动机如装有保护过载用的继电器,如 PT-1 型热继电器(即以此为例),只要整定值正确,同样也能保护单相運轉。經過檢查也发现一些問題:

1) 电动机装用的电磁开关,有的本身附帶热继电器,它們出厂时的整定值,大多按照开关所能控制的电动机的最大容量而調整。实际使用中,电动机的容量往往小于此数,因此热继电器并不能起到应有的保护作用;必須根据实际使用电动机的額定电流,重新調整热继电器的脱扣电流值。

2) 部分維修电工缺乏調整热继电器的知識,隨便擰动了調節螺釘,使继电器丧失了原有的整定值。热继电器的試驗,首先通以額定电流,应不动作,然后通以 1.2 倍額定电流,热继电器应在 20 分钟內动作。

3) 在抽查試驗热继电器时,还发现有些热继电器在通电发热以后,双金属片的弯曲方向反了,象这样的热继电器当然不能起任何保护作用。造成这种現象的原因,大多是在修理拆卸后不注意装反了。因此在拆卸前应先做一个記号,就不会发生这种錯誤了。

經過这次大檢查后,显著的降低了事故次数。这就証明:只要加强檢查、提高責任心、改进管理、注意每个細小的問題,貫徹以預防为主和節約的精神,在不增加保护設備投資的情况下,完全可能大大降低以至消除电动机的单相运轉。

(原載“电世界”月刊 13 卷 2 期)

4. 感应电动机 的应用常識

4-1. 如何选择电动机

选择电动机是一项重要的工作,如果选择得不适当,非但違反了經濟原則,还可能不合用而影响了生产。选择电动机要根据負荷性质、电源情况和工作环境決定。电动机的起动轉矩和運轉性能是否符合要求?电源容量是否允許有較大的起动电流?电动机的型式是否能安全運轉?起动設備是否配置适当?設備費用是不是較低?这一連串的問題,都必須事先作周密的考虑。下面將介紹选择电动机和起动設備的一些原則。

感应电动机种类的选择

鼠籠式电动机的构造簡單,坚固耐用,起动設備也比較簡單,設備費用最低,應該尽量的采用。但是它的起动电流大,起动轉矩一般較小,轉速不能調節,因此它的应用还受到一定的限制,不能在任何情況下都能适用。滑环式电动机可在轉子內加入电阻,用以減低起动电流并增加起动轉矩,因此它的构造虽比較复杂,設備費用也比較昂貴,但在有些情況下,尤其在电源容量較小,或有調速要求的时候,仍非采用不可。如果負荷所需的起动轉矩不大或近于空載起动,又不需要調節轉速时,例如一般的机床、离心水泵

及离心通风机等，可采用鼠籠式电动机。有些需要的起动轉矩虽大，但需用的电动机容量不大的工作机，例如紡織厂的梳棉机、織布机等，也可用特制的鼠籠式电动机。但由于鼠籠式电动机的起动电流大，在电源容量接近电动机容量时，即使象起动轉矩需要不大的离心水泵，也不得不改用滑环式电动机去拖动。滑环式电动机不但可以調速和調节起动电流及轉矩，还可以借起动电阻器作比較平滑的起动，使工作机或工作物不致因突然的起动而受到损坏。但是它的調速作用的应用范围，还受到相当的限制，在轉矩固定时，調速范围不宜超过 20%，因为这时电动机的輸入不变，轉速的减低，是由于部分的功率消耗在电阻器內的原故，效率很低。用于离心水泵等轉矩随轉速降低的負荷时，調速范围也不宜超过 40%，否則也是不經濟的。只有用在吊車等断續運轉的負荷，調速范围可不受上述限制，因为这种机械的起动時間可能大于運轉時間，運轉时的效率問題显得次要了。值得注意的是：滑环式电动机的調速作用还不够平滑，調速范围不够大，而且負荷轉矩减小时調速作用也减小，負荷轉矩很小或空載運轉时几乎不能調速。因此在輕載时需要調速或需要平滑而較大的調速范围时，就必须采用三相整流子电动机或直流电动机了。如果忽視了这些情况，在有較高的調速要求的机械，如需要变速的造紙机、印染机等，也采用滑环式电动机，那一定不能适合工作要求的。鼠籠式电动机虽不能調整轉速，但是它能用变更极数的方法作等級的变速，例如有 4 极和 6 极双层繞組时，它可以有 1,500、1,000、750、500 轉/分等四个同步轉速，适用于一些作等級变速的机床。

感应电动机护体型式的选择

电动机要在多种多样的环境下工作，为了防止电动机被周圍的媒质所損害，或因电动机的故障引起灾害，就必须选择适当的护体型式。在干燥而清洁的环境中，应采用开启式或防滴式的；环境不过分潮湿，但有水滴或屑粒自上方落下时，应采用防滴式的；在很潮湿的、灰尘很多的、有引起火灾危險的以及有腐蝕性蒸汽或气

体的地方，一般应采用封闭式的电动机。封闭式的较开启式的价值高（各种半封闭式的价值与开启式的相仿），容量越大相对的价值越高，因此在灰尘对绝缘无害，又容易用压缩空气吹净时，可以改用开启或防滴式的，以减低设备费用。但是在多尘的环境里，如果不经常清除积在电动机内的灰尘，势必将铁心及线圈表面遮没，妨碍散热而将电动机烧坏，有些碾米厂或石粉厂的开启式电动机，便是在上述情况下烧坏的。有些工作环境的纤维很多，如装在梳棉机内的电动机，采用封闭扇冷式的便可能将进风口遮没，那就选用封闭自冷式的。在检修工作比较困难而又断续运转时，象装在高架上的吊车电动机，即使环境并不恶劣，也常采用封闭式的，因为这不但减少了检修工作的麻烦，而且选用短时定额封闭式的，价值并不显著的增高。在电动机的容量较大或总容量较大时，为了减低设备费用，可以采用管道通风式的代替封闭式的，但要另设电动机进出风口的通风管道，增加建筑费用，是否值得？是否允许？均应事先作充分的考虑。有爆炸危险的环境下，必须采用特制的防爆式的，以防止因电动机的故障引起严重的爆炸事故。

起动方法和设备的选择

小型鼠笼式电动机常采用直接起动的方法，起动设备很简单，只需要一只铁壳闸刀开关或一只电磁开关。大中型的也可以直接起动，但受到下列限制：第一是电动机很大的起动电流，可能使发电机或变压器超负荷，并使线路电压波动很大，影响了其他用户；第二是转子铜条内（尤其是双鼠笼式外笼铜条内）引起过大的电流，并使铜条受到很大的电动力，常在槽口或与端环焊接处断裂。因此在没有足够的电源容量，或电动机转子构造没有足够的强度时，就必须采用降压起动法。

降压起动的方法，我国习惯上常采用Y-△起动法和自耦变压器降压起动法。Y-△起动的方法，是在起动时将电动机Y接，运转时△接，用一只Y-△开关转换接法，这相当于在起动时将电压降低 $\frac{1}{\sqrt{3}}$ ，使起动电流降低到 $\frac{1}{3}$ （指自电源吸取的电流）。这种方

法不适用于大型、高压或 Y 接的电动机，而且起动电压不能调节，负荷转矩较大不能起动时，也便不适用了。自耦变压器法是利用自耦变压器降低起动电压，并可借变压器的抽头改变起动电压；它也能使电动机自电源吸取的起动电流，与电压平方成正比的降低。自耦变压器法除了设备费用较高外，它的应用不受容量、电压或电动机接法的限制。自耦变压器和转换电压的开关在一起，叫做变压起动器。小容量的用户采用直接起动法，要受到各地电业局或电厂规章的限制，应该事先查询清楚。

滑环式电动机常采用满压起动，起动电流用起动电阻器调节。在需要起动转矩不大，而要求有较小的起动电流时，电阻器要根据起动电流设计；需要较大的起动转矩，又不要严格的限制起动电流时，电阻器要根据起动转矩设计；既要作起动又要作调速用的电阻器，要根据所需各级转速设计。对于负荷变动而经常起动的地方，电阻器的设计，既要照顾起动电流又要照顾起动转矩。在配起动电阻器时，除了要说明对起动电流、起动转矩或调节转速的要求外（这些要求如果不能具体的提出，可说明应用的地方和使用概况），还须将转子电压、转子电流、转子电阻（或转差率）等数据供给制造厂，否则是不能满足使用要求的。

起动电阻器有三类：第一类是仅作起动用而且也不经常起动的，每次起动时间常在 1 分钟以内，电阻器所需的材料较少，电阻器常和电阻器分级短路的开关装在一起，合称电阻起动器。第二类是起动兼调速用的，电阻器常要求能连续使用而不过热，电阻器和调速控制器常分开装置。第三类是需要调速而且反向和经常起动断续应用的，电阻器的定额要和电动机相适应，而且要和一只可逆控制器同时应用。应用这三类电阻器的电动机，构造上也有区别，第一类的电动机转子要有短路及提刷装置，以减少电力损耗及碳刷的磨蚀，后两类则无需。上述各点，定购时也必须说明。

除了用 Y- Δ 起动法的鼠笼式电动机以及 220 伏的电动机外，常采用 Y 接，因为 Y 接使电动机有适用于两种电压的可能性。例如 380 伏 Y 接的电动机，改成 Δ 接便可用于 220 伏了，并且 Y 接

降低每相繞組所受的电压,使电动机便于制造。

有些人在选择电动机时,只注意容量的大小(但也往往选择的容量过大,运转时的效率和功率因数均不好),而常忽视了起动方法和设备的选择,例如将Y接的电动机配上一只Y- Δ 开关,将调速运转的滑环式电动机,配上一只仅作起动用的电阻器,当然不合用了。因此起动方法和设备的选择,应该认为是选择电动机工作中不可忽视的一部分。

(原载“电世界”月刊9卷4期)

4-2. 如何試車

电动机装好通电試車时,往往不能起动或运转时有各种故障现象,因而不能及时投入生产,造成一定的损失。試車时所发生的故障,除了少数是真的故障或电动机及起动方法选择不当外,大多不是真的毛病。如果試車前能做好检查工作,按照一定的程序进行試車,发生問題又能及时适当的处理,便不致延誤生产了。

試車前的檢查和試車步驟

先查对电动机的銘牌、电压与频率是否与电源相符? 轉速是否符合要求? 在电动机未接綫前,首先檢查定子是否断綫、碰壳或相与相間短路,并檢查絕緣电阻是否良好? 电动机的絕緣电阻是否合格? 应该依照各地电业局或电厂的規定。但在室温时,低压电动机的絕緣电阻值在1兆欧以上,可以进行試車,只要負荷逐渐增加,让电动机的温度不致突然增加,使絕緣电阻值突然下降很多(每温度增加 10°C ,絕緣电阻要降到50%以下),不会发生問題的。絕緣电阻值降到0.5兆欧左右,还可用空車运转的方法使它升高;再低,如不先进行烘干工作,便难保証安全运转了。

其次根据銘牌規定的接法,将电动机接成Y或 Δ ,例如

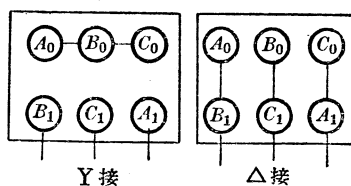


图 1

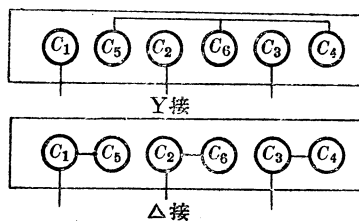


图 2

220/380 伏 Δ /Y 接时, 380 伏时应当 Y 接。有接綫板时, 要接 Y 或 Δ , 只須依照图 1 的接法。但是有一种接綫板, 将 6 个綫头排成一长条, 其中 C_1 、 C_4 属一相, C_2 、 C_5 属一相, C_3 、 C_6 属一相, Y 及 Δ 接法应如图 2 所示。由于这种联接的方法和我們过去所看到的不同, 因此往往在 Y 接时将 C_1 、 C_5 、 C_2 或 C_6 、 C_3 、 C_4 联在一起, 电动机不能起动, 又不能及时找出原因所在, 常誤认为是电动机发生故障, 引起不必要的忙煩和損失。此点必須注意。沒有接綫板时, 应该将各相的綫头綫尾查清, 再作适当的联接。綫端的标志虽有 C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 、 C_5 、 C_6 , A_0 、 B_0 、 C_0 、 A_1 、 B_1 、 C_1 及 X、Y、Z、U、V、W 等不同的形式, 所代表的意义都是一样的。

滑环式电动机还要檢查轉子的絕緣情况, 并清除滑环及碳刷表面上的灰尘和油污。碳刷彈簧的压力也要校正, 过松要产生火花, 过紧要加速滑环和碳刷的磨損, 适当的碳刷压力, 約为每平方厘米 150 克。

其次要檢查綫路方面了, 檢查綫路是否有短路、接地等故障, 熔絲大小是否适当, 过小在起动时要爆断, 过大又减低保护的作用。鼠籠式电动机所用的熔絲的选择方法, 見本书 3-3 节 105 頁。滑环式电动机的起动电流不大, 所用熔絲的額定电流应比鼠籠式

的小得多，一般可近于电动机額定电流的150%。所有开关要檢查操动机构是否灵活？接触是否良好？买来的油开关还要在油箱內加变压器油，尤其不能忘記在老式过負荷脫扣装置或过負荷继电器的油杯內加油，否則在电动机起动时立即动作使开关脫扣而沒有延时作用。这件事常为沒有經驗的工作者所忽視，因之电动机无法开动，而当作故障处理，影响了生产。用机油潤滑的軸承，出厂时沒有加油，要事先加好油，否則运轉时要將軸承燒坏。最后檢查电动机及所有开关等的外壳是否接地良好？这是有关安全的工作，不可忽視。

电动机通电运轉前，首先將它和負荷分开，并檢查开关有未接錯，Y-△开关很容易接錯，更要仔細核对。滑环式电动机轉子的短路圈要和滑环分开，并且將起电电阻器的手柄放在起动位置上。做好这些准备工作，便可通电試車。空載运轉情况正常，軸承也不发热，半小时后便可逐漸增加負荷。如果电动机的絕緣电阻低，可让它空載运轉几小时，借电动机內的热和风，將潮气蒸发吹走(封闭式电动机应用这种方法烘干时效果較差)，自行烘干。在負荷运轉时檢查軸承是否发热？空載时不热，負荷时发热，大多由于皮帶过紧或偶合器装置不良，要設法改善。电动机在起动或开始負荷时，鼠籠轉子銅条和槽內的油污和潮气突然蒸发出来，形成白色的烟雾，好象綫圈燒坏出烟，所不同的是这种烟雾沒有焦臭气味，停車檢查綫圈，各处的温度也平均而不过高。电动机負荷几小时后，綫圈的温度升高了，要用溫度計或电阻法求出温升，确定它的温升是否超过标准？但是有人將量出的温度当做温升，也有人用手摸摸外壳便断定它是否发热，这都是錯誤的，常要因此引起不必要的忙煩。

試車时常見的故障和处理方法

电动机在試車过程中，可能发生一些故障，即使事先經過周密的檢查，也还不能完全避免的。如果不明了这些故障的原因和处理方法，便可能因而妨碍生产。茲將試車时常見的故障和处理方法列表如下，以供参考。

故障現象	原因	處理方法	檢查要點
電源接通后， 电动机不轉动。	(1) 电源断綫。 (2) 开关接触不良。 (3) 滑环式轉子开路。	将断处查出修好。 改善接触情况。 将轉子电路中断处修好。	先檢查熔絲是否燒断，再檢查綫路和开关。滑环式轉子电路也要檢查是否开路。
電源接通后电 动机尚未起 动，熔絲即爆 断或开关即 脫扣。	(1) 綫路有接地或相间短路处。 (2) 熔絲过小。 (3) 过载保护装置用以延时的油杯内未加油。 (4) 过载保护装置无延时作用。 (5) 一相反接或Y錯接成△。 (6) 滑环或起动机电阻器在起动机短路，或轉子内有短路处。	查出故障点予以修理。 适当加粗。 加油至规定的油面綫。 此种开关不适用，須調換或加装延时設備。 改正接法。 将手柄放到起动机位置后通电，将短路处修好。	开关推上，熔絲立即爆断，大多是接地或短路故障，可用兆欧計（或其他工具）查出来。檢查开关或继电器有无延时裝置，油杯内是否有油，核对熔絲的熔断电流是否小于起动机电流，再檢查联接有无錯誤。滑环式电动机的滑环及电阻器是否在起动机已短路，轉子内部短路则开路时滑环间电压不等。
电动机負荷起 动时轉不快。	(1) 負荷过大。 (2) 起动机电压或方法不当。 (3) 电动机的起动机轉矩不够（类型选择不当）。 (4) 轉子銅条断裂。 (5) 轉子电路中一相断路。	适当减低負荷。 改变起动机电压或方法。 調換电动机。 焊接断处或更換銅条。 将中断处查出修好。	先适当减低負荷起动机，无效时，改变起动机电压或方法。起动机轉矩需要特别大时，普通鼠籠式的不合用。轉子銅条断裂或一相断路，降压极慢轉动时，电流表指針来回摆动。

Y-△开关起 动, Y位置正常, △位置电动机停 动或三相电流不 平衡。	(1) 开关接错, △时三相不通。 (2) △时开关接触不良, 成 V 形联 接。	改正接法。 将接触不良的接触片修好。	检查开关和电动机接綫板上的标志是 否相对应? V 形接时, 一相的电流近于 其他二相的 $\sqrt{3}$ 倍。
空载运转还正 常, 加上负载后 转速即降低或停 动。	(1) 将 △ 接的誤接成 Y。 (2) 电压过低。 (3) 轉子銅条断裂。	改正接法。 提高电源电压。 修理轉子。	接錯电流小, 銅条断裂时电流大, 而且 极慢轉动时定子电流大小变动。电压低 可用伏特表試出。
启动或负载不 久, 鼠籠式电动 机出白烟。	(1) 轉子銅条及槽內的潮气因温度 升高蒸发出来。	先空载启动和运转几小时, 再行 加负载。	除了白烟无焦臭外, 定子綫圈温度各 处平均而低。
軸承发热。	(1) 电动机出厂时未处理好, 或搁 置日久。 (2) 潤滑油过少或油质不好。 (3) 皮带过紧或偶合器裝得不好。	空载运转, 走热停車, 冷后再走, 反复走几次。 加油或換油。 将皮带張力适当調整, 或改善偶 合器裝置。	新电动机大多是第一种原因, 用机油 潤滑的軸承或旧电动机大多是第二种原 因。空载时不热, 负载时发热即系第三 种原因。
电动机空载或 负载时, 电流表 指针来回摆动。	(1) 有一相的碳刷接触不良。	将碳刷和滑环表面揩淨, 并調整 碳刷压力。	如果摆动是有規律的, 即可断定是轉 子因接触不良而有一相开路, 空载时更 可看出摆动有規律。

上表所述各种故障系試車时所常見的, 至于电动机本身的各种故障, 将在另文詳細討論。

(原載“电世界”月刊 9 卷 4 期)

4-3. 運轉中出烟的电动机如何处理

三相感应电动机的构造比較簡單,发生故障的机会較少,但由于各种內在和外在的因素,还常在運轉中有发热出烟的現象。一只出过烟的电动机,可能已經燒坏了,但是沒有燒坏的机会很多,也許这一只电动机还没有毛病,也許稍加整理便可照常应用。在这种場合下,如果处理不当,不是将好的电动机当作坏的处理,便是将小毛病弄成大毛病,因而造成不必要的直接和間接的損失。如果是生产上一只主要的电动机,因停工减产而招致的損失可能很惊人的。怎样的处理比較适当呢?首先要研究出烟的現象和原因,才可知道适当的处理方法。

運轉中出烟的主要原因和現象

1. 軸承部分发热 軸承內缺油或軸与軸承盖相擦,均可使軸承部分发热出烟;高速电动机还可能因摩擦故障将軸或軸承盖擦伤,并因此停止轉动造成严重的事故。这种故障很容易用手檢查出来。

2. 定子和轉子相擦 定子硅鋼片外圓尺寸不一,又沒有压紧,經過剧烈振动后,可能有少数的硅鋼片突出,使定子和轉子相擦(制造不良的小电动机常有此情况)。机座与端盖的企口配合过松,軸承磨損过多或定子內圓与轉子外圓本身的偏心,均可使定子和轉子相擦。擦得比較严重时,不但擦的地方出烟,而且将硅鋼片擦坏使綫圈絕緣損坏,引起短路和接地故障,同时电动机有不正常声音和振动。

3. 負荷过载或电压过低或三相电压相差过大 电动机的負荷超过额定容量或电源电压过低时,三相电流同时增大,綫圈温度

升高,情况严重时,电动机有嗡嗡的声音,而且可能热得出烟。出烟后应立即停車檢查,綫圈各处的温度是否高而均匀?綫圈表面是否同时变色?三相电压相差过大时也有上述发热现象,但三相电流不平衡。出烟后的綫圈完全燒坏的机会較少,但絕緣物已在不同程度上被燒焦,通常还可繼續应用,但已比較容易破損,縮短使用寿命。

4. 电源断綫 电动机負荷運轉时,如果电源有一相中断,电动机仍能繼續運轉(两相断綫,电动机即停止運轉,反不致燒坏), $\triangle$ 接时,一相繞組的电流增加如图 1a, Y 接时两相繞組中的电流增加如图 1b,电动机并有嗡嗡的声音。此时負荷愈大发热愈快,短時間內便出烟,常将电动机燒坏。拆开檢查,可查出三相繞組的温度和顏色不一致,燒得严重时更可一看而知。

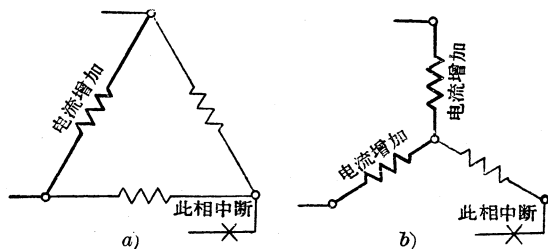


图 1 电源一相断綫

5. 繞組断綫 电动机有一相繞組断綫,一切現象和电源断綫相仿,但 $\triangle$ 接时两相电流增加如图 2,与上述情况不同。断綫的原因,大多由于各种焊接不好,或 Y- $\triangle$ 开关接触不良。

6. 定子同相綫圈局部短路 同一相綫圈匝間短路时,电动机有显著的嗡嗡叫声(小型电动机短路匝数很少时,声音不显著)。短路部分的綫圈里仍然有感应电压,而且这几匝綫的阻抗很小,要产生很大的短路电流,使短路部分发热出烟;時間不长,这一部分的絕緣变得比較光亮,好象燒融的情形,時間长了便要炭化脫落。图 3 是同一綫圈中的四匝綫,第三和第四匝在 X、Y 处短路,形成一匝短路綫圈如粗綫所示。綫圈的两边在不同的磁极下,因此感应所生的瞬时电压 e_1 和 e_2 同向而相加,而这一匝綫的阻抗又很小,

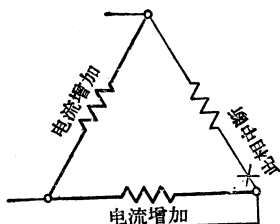


图2 电动机一相断线

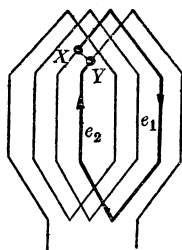


图3 线圈匝间短路

所以形成的短路电流相当大,并使三相电流不平衡,空载时电流也增大。

7. 定子相与相間短路 定子繞組相与相間短路时,不但被短路的部分产生短路电流,短路的两相的相电流也增加(另一相电流

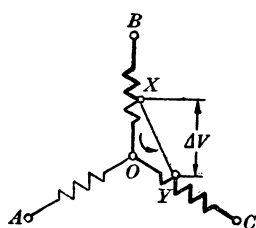


图4 相間短路

也稍有增加)。短路处两点間的电压相差很小时,例如Y接时短路处接近中点,則短路电流不大,发热的现象还可能不显著。两相間短路处的电压差很大时,一經短路便可发生火花将銅綫燒断。所以在多数的情況下,相間短路常將綫圈燒断的。图4 OB、OC两相在X、Y处

短路,除BX、CY部分电流增加外, OXY部分也要产生短路电流,此时的短路电流比同匝数的匝間短路时小,因为匝間的感应电压不是全部同向直接相加的。如X、Y两点間的电压 ΔV 不大,电流的增加不大,如果 ΔV 相当大,則一經两点相接,銅綫便燒断,但綫圈的絕緣可能还未燒焦。相間短路未將銅綫燒断前,电动机也有嗡嗡的声音。

8. 定子綫圈接地 定子綫圈絕緣破損后,导綫与鉄心或机座相接触,如果机座和电源变压器的次級均有接地綫,便产生接地电流使綫圈发热出烟。繞組如有两处碰鉄心,相当于短路的情形,即使机座沒有接地,繞組內也要产生短路电流呈显与短路相仿的現象。

9. 轉子斷綫 电动机負荷運轉時，轉子導綫如有部分中斷，不但轉子未斷部分的電流增加，定子電流也相應的增加，而且电动机有嗡嗡的聲音，轉速降低，重負荷時便要發熱出煙。斷綫的滑環式轉子，空載及重載時均使定子電流不穩定；斷綫的鼠籠式轉子，空載正常，但起動轉矩小，並且很慢的轉動時，將使定子電流大小變動。

轉子的短路或接地故障，只影響电动机的起動情況，運轉時幾乎沒有影響的，更不會因此而使運轉中的电动机發熱出煙。至於电动机的各種由接綫接錯所引起的故障，只有在製造和修理時才能碰到，此處從略。

檢 查 步 驟

要確定處理辦法，首先要迅速而確切的找出故障原因。要達到這一目的，除了懂得上述各種故障原因和現象外，還須按一定的步驟仔細的檢查。不能因為出煙而慌亂，更不能粗枝大葉隨便處理，初步檢查盡可能在原地舉行，以爭取時間。檢查所需的儀表，在條件允許時要備置，否則靠簡單的工具而又沒有豐富的經驗時，判斷難免錯誤的。檢驗中常用的工具有兆歐計（搖電箱）、鉗形電流表、交流電壓表等。如果限於經濟條件用校燈（構造見圖5）代替兆歐計，在試驗接地時，必須先將和燈泡串聯的綫頭碰機座，如果燈泡亮了（因為機座一般是接地的），表示這一頭是相綫（俗稱火綫），須改用另一頭碰機座，否則要將好的电动机誤認為有接地故障。用校燈時也不能將

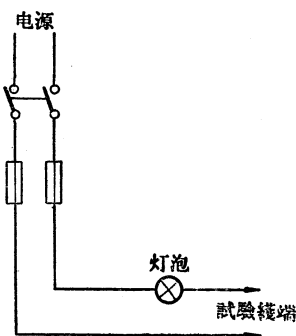


圖5 校燈綫路

不和燈泡串聯的綫頭先碰機座，因為如果這是一根相綫，要將熔絲燒斷並引起其他斷電事故。校燈電源最好改用較低的電壓如36伏或更低，並且要和電源隔開，這樣便可免于在使用時引起誤會

和事故。

检查工作一般可按下列次序进行：

看見电动机出烟时，要立即切断电源，并檢查軸承部分温度是否正常？如果不正常，便須將軸承盖打开檢查是否有油？是否有摩擦現象？并将負荷分开，用手輕旋轉子，如果到某一位置旋不动时，表示定子和轉子或軸和軸承部分相擦。但定子与轉子可能在靜止时不擦而在运轉时相擦，所以用手旋动轉子查不出有相擦現象，还不能肯定，須进一步拆开檢查。如果軸承部分情况正常，即檢查綫圈的温度，是否有不正常的部分或整个繞組发热？同时察看綫圈的絕緣有无变色的地方？不拆开端盖无法檢查綫圈情况的电动机，必須立即拆开檢查。因为時間稍长，各部綫圈的温度已漸趋平均，如果电动机出烟的时间很短，燒焦的形迹不十分显著，便难于从察看查出故障所在了。綫圈局部发热或絕緣局部变色，大多是短路故障，接地故障虽可能使綫圈呈显相仿的現象，但这种机会并不多。繞組有一相或二相整个的发热或燒焦变色，則系电动机繞組或电源有一相断綫。綫圈全部发热或燒焦变色，表示定子电流过大，系負荷过大、电压过低、三相电压不平衡或轉子断綫所造成；如果綫圈燒焦的情况不严重，可不需拆开檢查。有时因为拆端盖的工作比較困难，端盖拆开后，局部短路的綫圈，已不能靠着“温度較高”的帮助查出时，可靠近綫圈仔細聞嗅气味，焦臭气味特別濃的地方便是故障所在。

不論电动机是何种故障，都必須再用兆欧計或校灯檢查它有无断綫、接地或相間短路現象（只出三个头的电动机不便試相間短路）。除了电动机和电源断去一相以及三相电流过大而綫圈发热的情况不严重时，电动机有时可以不需拆开檢查外，其他故障均須拆开檢查，方可全面的了解綫圈损坏的情况。轉子和定子相擦时，鉄心上有擦的痕迹，严重时齿端也被擦坏，甚至损坏了綫圈。相与相間短路时，大多將綫燒断。这些情况，都可很容易的檢查出来。如系一相或二相綫圈发热，电动机内部又无断綫处，必須檢查电源的熔絲是否燒断及开关的接触是否良好？

整个繞組发热的情况,不能从以上的檢查确定究系何种故障,还須用伏特表測量三相电压是否过低和是否平衡。滑环式轉子是断綫?可从仔細的檢查和兆欧計的帮助找出断綫所在,但有时碳刷和滑环接触不良,也可造成轉子断路(无短路和提刷裝置的电动机),檢查时应予注意。鼠籠式轉子銅条断裂,不易直接察看出来,如无特殊工具,需要装好后試驗。

处 理 方 法

故障查出后,要根据具体情况作不同的处理。下列处理方法,可供参考。

1. 軸承部分发热和鉄心相擦 軸承部分发热出烟,軸或軸承已大多损坏。須先将损坏部分修整或换新,然后清洗加油,装好后先空載運轉,声音和温度正常时再負荷運轉。定子和轉子鉄心相擦时,定子上一般只有局部有擦痕,轉子周圍均有擦痕,此系定子偏心或有硅鋼片突出,或轉子由于端盖企口松和軸承磨損等原因而偏向一边所造成。須将突出的硅鋼片磨平,将端盖另車企口或将軸承修整。如果綫圈还未擦坏,便可試車運轉了。关于这些机械部分的檢查,可参考“电世界”月刊8卷7期。

2. 一相二相或整个繞組发热 由于电动机或电源一相断綫或負荷电流过大而发热时,如果綫圈发热的情况不严重,而且电动机内部不断綫,可不必拆开檢查。将熔絲和开关檢修后,即可进行空載運轉,用鉗形电流表檢查三相电流,如果电流平衡又无不正常的嗡嗡声时,表示綫圈尚可用,可試行負荷,电流如仍正常,便可投入生产。如果綫圈已热得比較严重,但尚未显著炭化时,在空載試驗正常后,要在綫圈上涂一层絕緣漆,烘干后再行应用,这样比較經久。如果絕緣已燒枯,碰到就破碎时,必須从新換綫了。旧銅綫要仔細的拆下来,除非电动机原来的温升較高接近限度,旧綫包紗后仍可再用的;即使不能回用,还可改小留作其他地方应用。这不但比較經濟,而且有时还可解决材料供应的困难。綫圈尚未全部燒枯,拆綫工作有困难时,可将未燒枯的一相通入3~5倍的額定

电流,經過相当時間后,即可全部燒枯而便于拆开了。

3. 匝間短路和相間短路未断綫 匝間和相間的短路处常在槽外部分,如果短路处在两只相邻或上下两层的綫圈間,而綫圈热得不严重,絕緣物还不容易破碎时,可用木板插入两綫圈間,輕敲木板将两綫圈槽外部分分开,中間垫衬絕緣物后,作空載試驗(也可在未装好时通入較低的电压,从三相电流的平衡与否,决定短路故障的是否消除);如果三相电流平衡而且声音正常时,再拆开将故障处涂絕緣漆,然后先空載运轉数小时,再負荷运轉。如果經過这样仔細的处理还不能修好,只好将这一部分的綫圈拆去,局部换新。但是迭繞組局部拆綫換綫在操作时要十分仔細,否則,很容易将其他綫圈弄坏,不能修好,徒然浪費人力、物力,这点必須充分注意。短路处在一只綫圈的匝間,不容易分开隔好时,即使勉强修好也不耐用,只可临时应用,仍須抽空重修。如果綫圈已燒焦或絕緣已剝落,当然只能局部或全部換綫了。

4. 定子繞組断綫 短路故障造成的断綫很容易看出来的,如果是繞組的联接綫燒断或只有少数几根綫燒断,可将它仔細的联接起来。并将燒断时产生的銅粒仔細清除,以免因此产生短路故障。断綫处在槽內,也要改在槽外焊接,否則接头处也可引起短路等毛病。有两根以上断綫时,可能要接錯,例如圖 6 中 a_1 应和 a_2

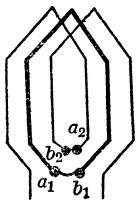


图 6 断鏢处
联接錯誤

相联, b_1 应和 b_2 相联,如果錯将 a_1 接到 b_1 , b_2 接到 a_2 ,則形成一个短路线匝,运轉时要呈显短路現象,不能使用。这一綫匝不与整个繞組相連,用兆欧計很容易檢查出来,联接时加以檢查即可发觉糾正。由于焊接不好的断綫,不一定可以看出来,必須借助于兆欧計和校灯,查出断綫处后很容易修好。但是既經发热出烟,繞組很可能燒坏,必須仔細檢查后再决定处理方法。

5. 定子繞組接地 电动机引出的綫端接地,只要将絕緣破損处重新包扎便可应用。槽口或上层綫圈接地,可設法在故障处垫衬絕緣物,用天然云母片比較方便。接地处在槽底,必須將槽內綫

匝仔細拆出后加墊絕緣物。接地故障消除后，還須將修理處塗絕緣漆烘干后应用。如果絕緣已脆无法完整拆出时，只可进行局部換綫。有一只綫圈接地或匝間短路，必要时可將它和整个的繞組分离来，但这將使某一相繞組缺少一只綫圈，三相电流会显著的不平衡而且增加，电动机運轉时的效率及功率因数均减低，振動要加剧，这对于連續運轉的电动机不相宜。又由于三相电流不平衡，可能將一相的熔絲先燒断而引起其他故障，因此，这仅可在不得已时应用，不能在任何情况下都适用的。

6. 轉子断綫 滑环式轉子運轉时断綫的原因，大多是焊接不良，重焊也比較容易。如果是碳刷和滑环間接触不良，只須將油污清除，調整彈簧压力便可以了。鼠籠式轉子导体的断裂，多数在与端环相連处；双鼠籠轉子断的全是外籠导体，將断处查出后，在故障处將端环开一缺口或钻一圓孔，更換断的銅条后再予焊接。断的銅条多，可將端环的外緣車去露出外层銅条为止，更換外籠銅条并另用一銅圈作端环。銅圈截面与車去的端环截面相仿。鑄鋁轉子不可用上述方法修理，只可將原来的鋁設法清除后重鑄（需要适当的設備，非一般企业单位所能做到），或改用銅的端环和导体。

上述各种方法均是出了故障后的处理办法，即使处理适当，也已停工减产，使生产蒙受相当損失了，因此对于电动机的故障，也应以預防为主。

从所述各种綫圈出烟的原因可以看出，出烟是由于一相以至三相电流的增加，如果在电流增加后能及时切断电源，便可保护电动机免于燒坏；即使相間短路燒断銅綫的事故还不能完全防止，但也可縮小燒坏的范围，减小損坏的程度，因此电动机要有过载保护装置的开关，并且过载脫扣电流也要調节适当。至于熔絲，是不能对电动机有过载的保护作用的。經常的檢查，定期的檢修，是預防电动机发生故障的主要环节，不但可减少电气故障的发生，并使上述机械故障发生的可能性也减少了。

4-4. 电动机几种似是而非的故障

在制造、应用或检修电动机的时候，往往遇到几种似是而非的故障现象。如果不能彻底明了它们的原因和适当的处理方法，势必当作故障处理，不但费时费事，并可能引起不必要的损失，或严重地影响生产。虽然这些故障现象的处理方法很简单，但没有深入分析，便不能将它们和真的故障区别开来，更不能作简单有效的处理。从各地用户的反映以及所闻事例中，曾经有下列情形：有一个制造厂的用户来反映，该厂的电动机轴承发热并有漏油现象，该厂派人检修时，既不发热又不漏油，他们认为这台电动机运行正常，而用户却说事实千真万确，使问题不能得到解决。又有一家用户在检修电动机的时候，一相通电，发现其他两相（三相已分开）以及机座，均可用测电器试出带电，因而认为电动机有故障而不敢使用，以致生产受到影响。仅从上述事例中便可看出，这些小问题往往引起很严重的后果。

电动机出白烟

1. 现象 新制或长久不用的电动机，在开始负荷运转或作制动试验时，常发出白烟，这时电动机的电流正常，声音也正常，无焦臭气味。如果继续运转或试验，白烟便由浓而淡以至于无，停车后可用手试出线圈各部的温度正常而平均。鼠笼式电动机常有此现象，滑环式的很少见，而且只有新制或长久不用的电动机，才可能发生此种现象。

2. 原因 新制的双鼠笼式电动机的转子，槽内附有不少油污和潮气，在作制动试验或负荷起动时，转子的外层铜条温度增加很快，使油污和水分急速蒸发，形成浓厚的白烟。长久不用的开启式

电动机，綫圈表面以及鼠籠式轉子槽內或許受潮，在起動或開始負荷運轉時，綫圈以及轉子銅條溫度增加很快，也要使潮氣蒸發形成白煙。由於實際上並非故障，所以電流及聲音正常，也無焦臭氣味，綫圈表面和槽內的油污及水分有限，所以白煙能在短時間內自行消滅。

3. 處理 看見新制或長久不用的电动机，在上述情況下出白煙時，先檢查白煙有無焦臭氣味，聽它的聲音是否正常，既無焦臭又無異常聲音，可讓它繼續運轉或試驗，白煙會自行消滅。如果不能確定它是否有故障，可立即切斷電源，仔細檢查电动机綫圈的溫度是否平均而正常，有無焦臭氣味。如無異常現象，可將电动机空載運轉；如果電流和聲音正常，可繼續運轉或試驗。為了防止這種現象的產生，新制电动机的轉子和長久不用的电动机，要先烘乾再行運轉，如烘乾設備有困難，可空載運轉數小時，也可達到烘乾的目的。

滑環式电动机轉子開路時能轉動

1. 現象 將滑環式电动机的轉子開路，用額定電壓通入定子，轉子往往能夠慢慢的轉動。這時电动机的聲音正常，定子三相電流和空載相仿（轉得很慢時，電流大小略有變動，使電流表指針擺動），轉動的力矩不大，通常能用手停止轉動。停轉後測量轉子電壓三相平衡。這種現象，如果僅從表面去看，不深入分析研究，便要認為故障，不敢應用。曾經有製造廠和用戶因此發生長久不能解決的爭執，也曾經有用戶因此而將轉子拆開一修再修。

2. 原因 电动机的轉子一定要有電流，才能和主磁通作用產生轉矩。轉子開路時，繞組內沒有電流，怎能產生轉矩使轉子轉動呢？是的，轉子繞組內沒有電流，但是轉子內有鐵損耗，鐵耗的主要部分是渦流損失；渦流損失是由轉子鐵心內渦電流產生的。這種渦電流也能和磁通作用產生力矩，大型电动机的渦流損耗大，產生的轉矩也較大。如果电动机的軸承和碳刷沒有摩擦力，所有电动机都能轉動的，由於摩擦力的大小不同、渦流損耗的差異等，便

有的能轉動,有的不動了。渦電流所產生的轉矩不大,再減去摩擦力的作用,所以常可用手停止轉動。電動機轉動後轉子磁通的頻率隨轉速的增加而變小,因而渦流減少,轉矩減小,而摩擦力、風阻力等反作用轉矩却因轉速加高而增大,因此轉子不能轉得過快。這是一種正常現象,所以電流、聲音及轉子電壓均正常。

3. 處理 在轉子開路時,電動機能轉動,可能是轉子有毛病。但未經仔細檢查分析前,不要草率地斷定它是故障。如果是轉子有故障(短路或接錯),所有現象和前述情形有很大的差別。因為有故障時,三相制動電流不等,轉子電壓也不平衡,有嗡嗡的叫聲(轉快後聲音正常);轉矩較大,起動較快,可能達到額定轉速;起動時轉子可能有火花,而且將它制動後,有局部發熱現象。如果電動機經仔細檢查後沒有上述故障現象,便可確定它不是故障,能照常應用,不要遲疑不決,影響生產。

軸承發熱和漏油

1. 現象 新制電動機的軸承(球形或圓柱形)往往發熱,大型和高速的幾乎只只發熱,新加油的舊電動機也常有軸承發熱現象。這種現象絕大部分不是故障,經過簡單的處理便不發熱了。發熱的軸承常引起嚴重的漏油現象,溫度過高,厚質的潤滑油變成薄質的油流出來。新加油的電動機,也有時在軸承不熱的情況下漏出厚質的油來。這些漏油現象,有的隨著軸承溫度的降低而消滅,有的也只須經過簡單的處理便不漏了。

2. 原因 電動機的機座和端蓋是分开加工的,因此兩只端蓋軸承孔的中心,可能因加工的差誤而稍有不共軸的現象。使軸承的內外鋼圈不平行,增加了軸承內部的摩擦力,使軸承發熱。軸承發熱後更增加了摩擦力,使溫度繼續升高。軸承發熱的另一原因(故障發熱的原因不予討論),是新加油時軸承內部沒有全部加到潤滑油。習慣上為了方便,僅從軸承的外側加油,在高速時,潤滑油不易從外側進入內側,軸承沒有潤滑油的部分便要發熱。軸承溫度過高,使厚質的潤滑油融化(或分解)成薄質的油漏出,形成嚴

重的漏油現象。至于軸承不热的漏油現象,是由于加油过多,或者軸上附着了很多的油,在運轉时便要漏出。

3. 处理 新制电动机軸承发热,只須空載運轉,加工时所形成的少許差誤,即可因逐漸的自动調整作用而改善(運轉时有使兩端蓋軸承孔共軸的傾向)。但为了防止摩擦和温度增加的循环作用以致发生潤滑油融化漏出的現象,当軸承热到 60°C 左右时,应即停車,待冷后再走,走热再停,通常經過一两次处理便不发热。如果經過几次处理后,温度不显著下降,表示軸承有故障,須另作处理。走走停停的另一作用,是使潤滑油在起动和停止前的慢轉中,将油从外側帶到內側,因而能减低温度。为了防止一側加油所引起的发热現象,大型和高速电动机在加油时,內側也要同时加点潤滑油。

軸承发热时的漏油現象,不須另作处理,等軸承温升正常后会自然消灭。軸承不热的漏油現象,只須将外軸承盖拆开,清除軸上的潤滑油或取出部分潤滑油便不再漏。大型电动机軸与軸承盖間的空隙較大,必須設法在两者中間墊衬毛毡,防止空隙間的漏油情形。

絕緣电阻高的电动机有漏电現象

1. 現象 在檢驗电动机的时候,往往发现一种似乎矛盾的現象。一只絕緣电阻很高的电动机,如果放在絕緣物上(如木板、水泥地等),用一相电源通入电动机,可用高电阻的伏特表(如万能电表等)量出机座和地間有电位差,用测电器也可試出机座带电,用手触机座,还时有麻电現象,接触后便不再麻电。不但如此,将三相分开,一相通电,可用测电器試出其他两相也带电。电动机三相同时通电,不論电动机是否運轉,机座和地間量不出电压,也不能用测电器試出有电。

2. 原因 絕緣电阻很高的电动机,发现有漏电現象,似乎是一件矛盾的事,实际上一点也不矛盾。我們知道所謂絕緣体并不是絕對能隔电,只不过是絕緣电阻很高。电动机相与相間和相与

地間的絕緣电阻高,并不表示相与相間和相与地間不漏电,只表示

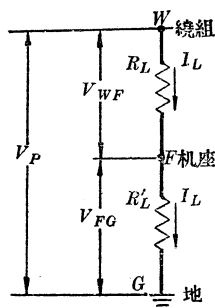


图 1

泄漏电流不大,因为泄漏电流的大小,須受欧姆定律支配的。一相通电,相与地間即有泄漏电流。如果电动机放在絕緣物上,机座与地間也有很高的絕緣电阻,絕緣电阻虽高,泄漏电流总无法避免的。相与机座和机座与地間的絕緣电阻以及泄漏电流,使机座和地間有电位降,即有电位差存在。以上抽象的說明,或許不够清楚,可用图 1 再予說明:

繞組和机座間的絕緣电阻是 R_L , 机座和地間是 R'_L 。

繞組和地間的泄漏电流 $I_L = \frac{V_P}{R_L + R'_L}$, 式中 V_P 是电源的相

电压。

相与机座間的电压降 $V_{WF} = I_L R_L$, 机座和地間的电压降 $V_{FG} = I_L R'_L$ 。

假設

$$R_L = R'_L, V = 220 \text{ 伏},$$

則

$$I_L R_L = I_L R'_L = \frac{1}{2} V_P$$

$I_L R'_L = \frac{1}{2} \times 220 = 110 \text{ 伏}$, 所以机座和地間可以量出电压。但

是量出的电压由伏特表的电阻而变更, 因为伏特表接到机座和地間, FG 間便并联了一只电阻 R_V , 使 FG 間的总电阻减小, 因而使 V_{FG} 降低, 这可从图 2 以及具体数字看出来。

电压表接到 F 、 G 后, $R_{FG} = \frac{R_V R'_L}{R_V + R'_L}$

假設 $R_L = R'_L = 5 \text{ 兆欧}$, $R_V = 1 \text{ 兆欧}$

$$R_{FG} = \frac{1 \times 5}{1 + 5} = \frac{5}{6} \text{ 兆欧}$$

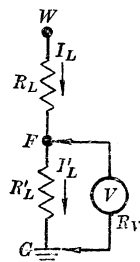


图 2

$$\text{則 } V_{FG} = 220 \times \frac{5/6}{5+5/6} = 31.4 \text{ 伏 (机座和地間的电位差)}$$

$$\text{当 } R_V = 0.1 \text{ 兆欧时,}$$

$$R_{FG} = \frac{0.1 \times 5}{0.1 + 5} = 0.098 \text{ 兆欧,}$$

$$V_{FG} = 220 \times \frac{0.098}{5 + 0.098} = 4.2 \text{ 伏}$$

从上例可以看出,伏特表的电阻愈高,量出的电压愈大。普通伏特表的电阻常小于每伏 1,000 欧, 0~100 伏的伏特表, 内电阻小于 0.1 兆欧。用以测量上例中机座和地間的电压常小于 4 伏, 4 伏的电压在 0~100 伏的表上是不易看出讀数来的。

因为机座和地間有 110 伏的电位差, 所以用手接触机座可能有麻电现象。由于人体手至足的电阻不到 0.1 兆欧, 相当于将机座和地間接一低值的并联电阻, 通过人体的

$$\text{电流 } I_L < \frac{220}{R_L} \left(= \frac{220}{5 \times 10^6} = 0.044 \text{ 毫安} \right) \text{ 很小,}$$

不再麻电。如果人也立在良好的絕緣体上, 相当于将机座和地間接一高值的并联电阻, 机座和地間的电位差减少不多, 但經過人体的泄漏电流更小, 所以也不致感觉麻电。

三相分开后, 一相通电, 其他两相也带电的现象, 可用图 3 予以說明。

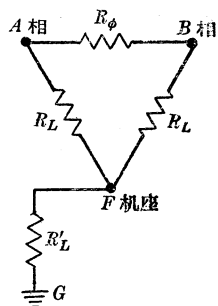


图 3

A 相和 B 相間的絕緣电阻是 R_ϕ , A 和 F 間 (A 相和机座間) 的总电阻

$$R_{AF} = \frac{R_L(R_L + R_\phi)}{2R_L + R_\phi},$$

AF 間的电压降

$$V_{AF} = V_P \times \frac{R_{AF}}{R_{AF} + R'_L},$$

B 相和地間的电压降

$$V_{BG} = V_P - V_{AB} = V_P - V_{AF} \times \frac{R_\phi}{R_L + R_\phi},$$

假設

$$R_L = R_\phi = R'_L = 5 \text{ 兆欧}; \quad V_P = 220 \text{ 伏};$$

$$R_{AF} = \frac{5 \times (5+5)}{2 \times 5+5} = \frac{10}{3} \text{ 兆欧};$$

$$V_{AF} = 220 \times \frac{10/3}{5+10/3} = 88 \text{ 伏};$$

$$V_{BG} = 220 - 88 \times \frac{5}{5+5} = 176 \text{ 伏};$$

又假設

$$R'_L = 0, \text{ 即机座接地时,}$$

$$V_{AF} = V_P = 220 \text{ 伏},$$

$$V_{BG} = V_{BF} = 220 - 220 \times \frac{10}{10+10} = 110 \text{ 伏}.$$

所以一相通电时,其他两相和地間也可以量出电压,如果机座放在絕緣物上,机座和地間也有电位差。

三相同时通电时,为什么沒有漏电現象呢? 这可用图 4 予以

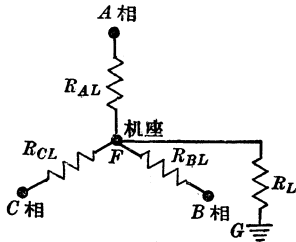


图 4

說明: 三相繞組和机座的絕緣电阻 R_{AL} 、 R_{BL} 、 R_{CL} 通常近于相等,因此三相繞組到机座的电压降也近于相等,而且互差 120 度。这三相电压被机座接成 Y,机座是中性点,因此中性点的机座和地間量不出电压来,如果三相相对机座的絕緣电阻相差很大,机座和地就可能有电位差。

3. 处理 用一相电源通入电动机,发现有漏电現象,不要粗心地肯定它是碰壳故障。要測量它的絕緣电阻是否良好,并通入三相电源檢查机座是否帶电(机座放在絕緣体上),如果絕緣良好,机座也不帶电,可肯定它无碰壳故障。假使繞圈碰壳,不但量不出絕緣电阻,如以一相电源通入电动机,还可用普通电压表量出机座和地間的电位差等于相电压。Y 接的电动机,三相通电时还要注意下述情形: 如果碰壳的地方近于 Y 点,这一点和地的电位差近于零,因此和这一点接近同电位的机座和地間的电位差,不能用电

压表量出来；如仅从三相通电时机座不带电的情形就认为无碰壳故障，又要造成錯誤了（在以上的討論中，为了便于說明問題，略去了相与相間和相与地間的容抗）。

（原載“电世界”月刊 7 卷 8 期）

4-5. 50 和 60 周的电动机可混淆应用嗎

国内各地的电源頻率，主要的有 50 和 60 周两种，因之电动机也有 50 和 60 周的两种。电动机混淆应用后，虽有不良影响，但因頻率相近，有时尚可勉强应用，以致电动机頻率是否与电源相符，常被忽視，造成了意外的损失。本文将对此作較為具体的討論。

型式、功率、电压和极数相同的电动机，頻率不同，它們的設計便不相同。60 周的电动机用于 50 周电源固不相宜，50 周的电动机用于 60 周电源也不十分妥当，混淆应用后究有什么影响呢？这要牵涉到电动机的額定和基本理論了。

一只 10 馬力的电动机，并不是說它只能拖 10 馬力的負荷，多了便拖不动；事实上，它可以拖 15 馬力或 20 馬力或更多的負荷。所以不額定做 15 馬力或 20 馬力，是受了某些条件限制的。一只电动机出力的額定，主要决定于温升和轉矩；至于效率、功率因数、轉差率等虽也有关系，但不是决定的因素。一只电动机的效率、功率因数、轉差率等都好，如果温升高过限度或轉矩不够，便不合用了。温升高，减短絕緣物的寿命，甚至在短期内将电动机燒毀。电动机的轉矩分起动和运轉两种情形，运轉的最大轉矩，通常設計为滿載轉矩的 200% 左右，在最大轉矩範圍內，电动机能适应負荷的增加而增加轉矩，最大轉矩过小时，电动机运轉情形将不稳定；但比 200% 的数值稍低，除特殊用途外，对电动机的运用无影响。因此最大轉矩尚不足作为电动机額定的主要限制条件。至于起动轉矩便不相同了，有的电动机負荷起动时，如果没有足够的轉矩，便可

有不能起动的情形；因此适当的起动转矩是电动机合用的主要条件之一。效率、功率因数、转差率的高低，只表示电动机品质的优劣，还不足以决定是否合用。因此 50 和 60 周的电动机是否能混淆应用，将主要地从温升和转矩两点去讨论。

同一马力转数不同的电动机，如果定子内径相同，通过空气隙的磁通量与转速成反比；假定设计时所用磁通密度相等，定子内圆的圆柱面便与转速成反比。因此转速慢的电动机体积较大，用料较多；同一规格的电动机，50 周的要比 60 周的材料用得更多。如果一只 60 周的电动机用于 50 周电源，磁通量必须增加 20%，方能维持出力不减。定子内圆面积固定了，要增加磁通量，只有增加磁通密度，因而使激磁电流增加。由于磁通密度已至磁化曲线的饱和部分，激磁电流的增加要超过 20%。磁通密度增加，并使铁损增加，铁损包括磁滞损耗 $K_1 f B_m^{1.6}$ 和涡流损耗 $K_2 f^2 B_m^2$ 两部分。上二式中只有频率 f 和最大磁通密度 B_m 两个变数，其他有关铁损的因数，在这里无变化，所以都包括在常数 K_1 和 K_2 中。现在 f 从 60 变到 50， B_m 增加为原来的 $\frac{6}{5}$ ，铁损变为

$$\begin{aligned} K_1 \left(\frac{5}{6} f \right) \left(\frac{6}{5} B_m \right)^{1.6} + K_2 \left(\frac{5}{6} f \right)^2 \left(\frac{6}{5} B_m \right)^2 \\ = 1.12 K_1 f B_m^{1.6} + K_2 f^2 B_m^2 \\ > K_1 f B_m^{1.6} + K_2 f^2 B_m^2. \end{aligned}$$

不但铁损增加，激磁电流的大量增加，使电动机的负荷电流增加，功率因数减低外，并增加铜损；铜铁损耗增加，使电动机的温升增加，尤其转速的减低使风量减小，更使电动机的温升显著增加。因此 60 周的电动机用于 50 周电源，常因过热而不能使用。

电动机的转矩和频率有什么关系呢？这要从转矩的公式来分析：

$$T = \frac{P V_1^2}{4\pi f_1} \frac{S r_2}{(r_1 S + r_2)^2 + S^2 (x_1 + x_2)^2}$$

式中 V_1 是外施电压， r_1 、 x_1 是定子的电阻和电抗，转子电阻 r_2 、电

抗 x_2 是折合到定子綫圈圈数后的值, P 和 S 是极数和轉差率, f_1 是电源頻率。为了便于討論, 下面将以单鼠籠或滑环式的电动机加以分析。

在运轉时, S 在 5% 左右, $r_1 S$ 比 r_2 小得多, $S^2(x_1+x_2)^2$ 比 $(r_1 S+r_2)^2$ 小得多, 所以

$$T \doteq \frac{PV_1^2}{4\pi f_1} \cdot \frac{Sr_2}{r_2^2} = \frac{SK}{f_1}, \text{ 式中 } K = \frac{PV_1^2}{4\pi r_2},$$

即运轉时如轉差率不变, 轉矩与电源頻率近于成反比。50 周的电动机用于 60 周电源, 轉矩减为 $\frac{5}{6}$, 轉速增至 $\frac{6}{5}$, 所以出力并不减少。事实上电源从 50 周变到 60 周, 轉差率要稍大, 出力可維持不变。这从

$$T = \frac{PV_1^2}{4\pi f_1} \cdot \frac{Sr_2^2}{(r_1 S+r_2)^2 + S^2(x_1+x_2)^2}$$

中可以看出, 要 T 和 f_1 成反比关系,

$$\frac{Sr_2}{(r_1 S+r_2)^2 + S^2(x_1+x_2)^2} \text{ 要保持不变, 即}$$

$$\frac{S}{(r_1 S+r_2)^2 + S^2(x_1+x_2)^2} = C,$$

$[C(x_1+x_2)^2 + Cr_1^2]S^2 - (1-2Cr_1r_2)S + Cr_2^2 = 0$, 式中 x_1+x_2 因頻率增加而增加后, S 必須稍大, 方能維持上式的关系, 但变动极小, 可略而不計。最大轉矩和頻率的关系, 要从最大轉矩的公式来看

$$T_m = \frac{PV_1^2}{4\pi f_1} \cdot \frac{1}{2[r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_1+x_2)^2}]}$$

式中 x_1+x_2 比 r_1 大得多, 所以

$$T_m \doteq \frac{PV_1^2}{8\pi} \times \frac{1}{f_1(x_1+x_2)},$$

当頻率增加时, x_1+x_2 也与頻率成正比的增加, 所以最大轉矩的絕對值近于和頻率平方成反比, 它和滿載轉矩的比值則与頻率近于成反比。起動轉矩与頻率的关系, 和最大轉矩相仿, 当起動时,

$$S=1,$$

$$T = \frac{PV_1^2}{4\pi f_1} \cdot \frac{r_2}{(r_1+r_2)^2 + (x_1+x_2)^2}$$

$$= \frac{K}{f_1[(r_1+r_2)^2 + (x_1+x_2)^2]}$$

式中常数 $K' = \frac{PV_1^2 r_2}{4\pi}$, 当 f_1 从 50 周变到 60 周时,

$$T_{60} = \frac{K'}{6/5 f_1 [(r_1+r_2)^2 + (6/5 x_1 + 6/5 x_2)^2]}$$

$$= \frac{K'}{1.2 f_1 [(r_1+r_2)^2 + 1.44 (x_1+x_2)^2]}$$

假設 $x_1+x_2=r_1+r_2$, $T'_{60} = \frac{K'}{2.93 f_1 (r_1+r_2)^2}$,

$$\frac{T'_{60}}{T_{50}} = \frac{\frac{K'}{2.93 f_1 (r_1+r_2)^2}}{\frac{K'}{f_1 (1+1) (r_1+r_2)^2}} = 0.68,$$

假設 $x_1+x_2=2(r_1+r_2)$, $T''_{60} = \frac{K'}{8.1 f_1 (r_1+r_2)^2}$

$$\frac{T''_{60}}{T_{50}} = \frac{\frac{K'}{8.1 f_1 (r_1+r_2)^2}}{\frac{K'}{f_1 (1+4) (r_1+r_2)^2}} = 0.62。$$

从上面分析的结果看来, 当 x_1+x_2 的值在 r_1+r_2 和 $2(r_1+r_2)$ 之間时, 轉矩的变化和 $\left(\frac{50}{60}\right)^2$ 或 0.69 相近, 即起動轉矩的絕對值和頻率平方近于成反比, 起動轉矩与滿載轉矩的比值和頻率近于成反比, 而通常設計时, x_1+x_2 的值多在 r_1+r_2 和 $2(r_1+r_2)$ 之間的。綜上所述, 50 周的电动机用于 60 周电源, 最大轉矩和起動轉矩与滿載轉矩的比值要减低約 20%; 最大轉矩减小 20%, 除特殊情形外, 对电动机的使用无妨碍; 起動轉矩减少 20%, 当电动机負荷时, 可以发生不能起動的情形。但在一般情况下是无妨的, 尤其

滑环式电动机, 起动轉矩可用电阻器調节, 不致有起动轉矩不够的情形; 电动机的出力可維持不变, 但效率将因风阻損耗的增加而稍减小(銅鉄損耗减少, 但常小于风阻損耗的增加), 效率的稍有变更, 对电动机的使用是无妨的。

基于上面分析的結果, 可知 60 周的电动机用于 50 周电源, 除功率因数降低外, 将因过热而不能使用; 50 周的电动机用于 60 周电源, 除效率、起动和最大轉矩稍低外, 在一般情况下尚可应用, 但未免大材小用了。

(原載“电世界”月刊 6 卷 7 期)

4-6. 在不同环境温度时电动机 容量的計算

电动机的額定容量是以周圍空气温度为 $+35^{\circ}\text{C}$ ① 来标定的, 也就是說, 当周圍空气温度为 $+35^{\circ}\text{C}$ 时, 电动机能以其額定容量連續运行而温升不超出容許范围。因此, 如果周圍空气温度高于 $+35^{\circ}\text{C}$ (譬如在冶金工厂的炼鋼車間、軋鋼車間以及高炉車間里), 而电动机仍以額定容量連續工作, 則电动机的温升要超出容許值, 使各部分的絕緣很快焦枯損坏; 相反地, 如果周圍空气温度低于 $+35^{\circ}\text{C}$, 而电动机的負荷仍为額定值, 則电动机的容量就沒有被充分利用, 因为此时电机繞組的温升尚低于容許值。

所以, 电动机在周圍空气温度与标准温度 ($+35^{\circ}\text{C}$) 不同的环境下运行时, 其容量应作相应的增减。关于这方面的近似的計算方法, 介紹如下。

电动机运行时, 其发热温度不應該超出一定的容許值, 因此, 当周圍空气温度不同时, 其容許的温升值就不相同。我們都知道,

① 目前国家标准已規定环境温度为 40°C 。——編者

電動機的額定容量主要取決於溫升（電動機的過載能力還要取決於其他條件，不能無限制地隨環境溫度的降低而增大容量），就是說當電動機的容許溫升值大時，其能發揮的容量也增大，反之亦然。電動機的溫升與它的損耗有一定的關係，即

$$\tau_H = C(P_0 + P_{MH}), \quad (1)$$

式中 τ_H ——當周圍空氣溫度為 $+35^\circ\text{C}$ 時，電動機的容許溫升（視電動機絕緣等級而異）；

P_0 ——不變損耗，其中包括電動機的鉄損、風損和摩擦損等，它與電動機的負荷大小無關；

P_{MH} ——電動機在額定負荷下運行時的銅損；

C ——比例常數。

當周圍空氣溫度高於或低於 $+35^\circ\text{C}$ 時，相應於此時電動機溫升為：

$$\tau_X = C(P_0 + P_{MX}), \quad (2)$$

式中 τ_X ——當周圍空氣溫度為 θ 時，電動機的容許溫升；

P_{MX} ——相應於此溫度時電動機的銅損。

我們知道，電動機的銅損是與其負荷電流的平方成正比，用公式表示即為：

$$P_{MH} = K \cdot I_H^2, P_{MX} = K \cdot I_X^2. \quad (3)$$

如果以 X 來表示電動機的未知容量 P_X （周圍溫度為 θ 時所能發揮的容量）與其額定容量 P_H 之比，則

$$X = \frac{P_X}{P_H} = \frac{I_X}{I_H}. \quad (4)$$

以公式(4)代入公式(3)中得：

$$P_{MX} = K \cdot I_X^2 = K \cdot X^2 \cdot I_H^2 = P_{MH} \cdot X^2. \quad (5)$$

因此，

$$\tau_X = C(P_0 + P_{MX}) = C(P_0 + P_{MH} \cdot X^2). \quad (6)$$

一般感應電動機在正常工作情況下，其不變損耗 P_0 約等於銅耗 P_{MH} ，即

$$P_0 \approx P_{MH} \quad (7)$$

綜合以上各式得：

$$\begin{aligned}\frac{\tau_X}{\tau_H} &= \frac{P_0 + P_{MH} \cdot X^2}{P_0 + P_{MH}} \\ &= \frac{P_{MH} + P_{MH} \cdot X^2}{2P_{MH}} = \frac{1 + X^2}{2} \circ \\ X &= \frac{P_X}{P_H} = \sqrt{\frac{2\tau_X - \tau_H}{\tau_H}} \circ\end{aligned}$$

即

$$P_X = P_H \sqrt{\frac{2\tau_X - \tau_H}{\tau_H}} \circ \quad (8)$$

現在我們來討論下述三種情形：

(1) 當 $2\tau_X - \tau_H > 0$ 時，即 $\tau_X > \frac{\tau_H}{2}$ ， τ_X 為一正值，表示在這種溫升下，電動機能發揮出 P_X 的容量。

(2) 當 $2\tau_X - \tau_H = 0$ 時， $\tau_X = \frac{\tau_H}{2}$ ， P_X 等於 0，表示在這種溫升下，電動機由於它的不變損耗 P_0 已經使其發熱達到極限程度，因而不能再負荷運行了。

(3) 當 $2\tau_X - \tau_H < 0$ 時，即 $\tau_X < \frac{\tau_H}{2}$ ，根號里面得一負數， P_X 變成一個虛數；在物理意義上來講，表示在這種溫升下，電動機即使空載運行也是不可能的，因為此時電動機的不變損耗 P_0 已經使得它的發熱溫度超出容許值了。在 (2)、(3) 兩種情況下，必須採用人工通風等方法以減低環境溫升，電動機方能正常運行。

在我們利用上述公式進行計算時，首先必須知道該電動機的容許溫升，電動機的溫升與其絕緣等級有關，在周圍空氣溫度不超過 $+35^\circ\text{C}$ 時，A 級絕緣的電動機，其容許溫升 τ_H 為 60°C （用溫度計測定），B 級絕緣的為 $+75^\circ\text{C}$ （也為溫度計法）。

【例】 試確定容量為 28 瓩的 AO 型電動機在周圍空氣溫度為 $+15^\circ\text{C}$ 時，其所能發揮的容量。電動機繞組的絕緣為 A 級。

【解】 當周圍空氣溫度為 $+15^\circ\text{C}$ 時，其容許溫升為

$$\tau_x = \tau_H + 35 - \theta = 60 + 35 - 15 = 80^\circ\text{C}$$

代入公式(8)得:

$$P_x = P_H \times \sqrt{\frac{2\tau_x - \tau_H}{\tau_H}} = 28 \times \sqrt{\frac{2 \times 80 - 60}{60}} \\ = 28 \times 1.29 = 36 \text{ 瓩。}$$

在各种电动机里,其不变损耗 P_o 与额定负荷时的铜损 P_{MH} 并不相等,因而公式(8)应作一些修正。假定以 a 表示不变损耗与铜损之比,即

$$a = \frac{P_o}{P_{MH}} = \frac{P_o}{K \cdot I_H^2}, \text{ 则 } \frac{\tau_x}{\tau_H} = \frac{a + x^2}{a + 1}$$

即

$$x = \sqrt{\frac{\tau_x}{\tau_H} (a + 1)} - a = \frac{P_x}{P_H} \quad (9)$$

a 值的范围约如下述:

复激电动机	0.5(低速) ~ 1.0(高速)
并激电动机	1.0(低速) ~ 2.0(高速)
普通工业用感应电动机	0.5 ~ 1.0
吊车用感应电动机	0.5 ~ 1.5

(原载“电世界”月刊 11 卷 8 期)

4-7. 矿井水泵和卷扬机的电动机容量的计算

为了避免简捷地用最大负荷容量去选择电动机的极端浪费现象,和消除功率因数长期低劣的不合理现象,精确的计算矿井水泵和卷扬机的电动机容量,是有着重要的意义。现在我们把计算水泵和卷扬机的电动机容量的方法介绍在下面。

离心水泵的电动机容量

离心水泵所需电动机的容量,可用下式计算:

$$P = \frac{K \cdot r \cdot Q \cdot H}{3,600 \times 102 \eta_H} \text{ 瓩}$$

式中 K ——备用系数(大約 1.1~1.15);
 r ——水的比重(大約 1,020~1,050 公斤/立方米);
 Q ——水泵排水量,每小时立方米;
 H ——揚程高度,米;
 η_H ——水泵效率。

【例】挑选主要排水设备 АЯП-300×180 离心水泵上的电动机,其已知条件如下:

- (1) 揚程高度 $H=170$ 米;
- (2) 矿井水的比重 $r=1,020$ 公斤/立方米;
- (3) АЯП-300×180 离心水泵特性如图 1 所示;
- (4) 水泵的級数等于 3。

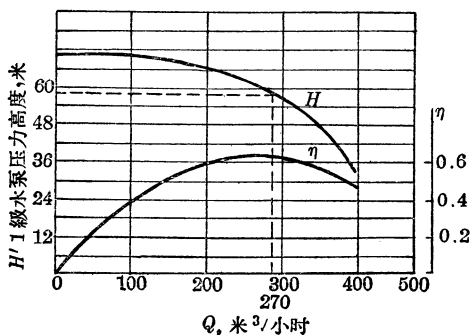


图1 АЯП-300×180 离心水泵特性

先把总的压力高度化成 1 级水泵的压力高度,然后从另一的特性曲线找出水泵的效率和排水量。

总揚程高度 $H=170$ 米,
 一级水泵的压力高度

$$H' = \frac{170}{3} = 56.7 \text{ 米,}$$

从图 1 得出 $Q = 270$ 立方米/小时,

$$\eta_H = 0.63;$$

再代入上面的公式

$$P = \frac{1.1QHr}{3,600 \times 102 \eta_H} = \frac{1.1 \times 270 \times 170 \times 1,020}{3,600 \times 102 \times 0.63} = 222.4 \text{ 瓩.}$$

从产品目录内挑选:

ДAM-6-126-4 容量 225 瓩转速 1,480 转/分的电动机。

卷扬机的电动机容量

假定电动机的负荷使在周期时间 $t_1, t_2, t_3 \dots t_n$ 内的负荷电流顺次为 $I_1, I_2, I_3 \dots I_n$ (如图 2、3 所示)。

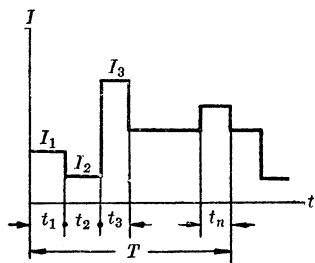


图 2 电动机负荷变化图

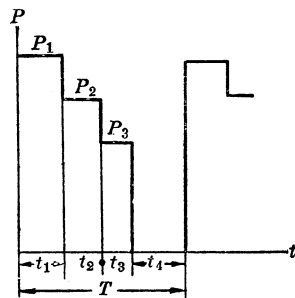


图 3 瞬时周期负荷曲线

那时电动机的等值电流可以用下面的公式表示

$$I_s = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}, \quad (1)$$

则电动机的等值容量为

$$P_s = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \dots + P_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}. \quad (2)$$

但是在卷扬机上的电动机,因起动及停车的关系,不是直线负荷曲线而是斜形负荷曲线,因此不能直接应用公式(2)去计算电动机容量。主要原因是由于散热问题。因为 P_s 系由温升来决定的,

而且散热能力已假定为在任何负荷下不变的。但是在起动和停車时，轉子从零增到額定轉速，或自額定轉速減至零，風扇的散热能力受到影响。卷揚机的电动机的負荷如图 4 所示。所以电动机的容量可用下式計算：

$$P_s = \frac{1}{\eta} \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + (P_2^2 + P_2 P_3 + P_3^2) \frac{t_2}{3} + P_4^2 t_3}{t_1 + t_2 + t_3 + \frac{t_4}{3}}}$$

【例】 如图 4 所示

$$t_1 = 12; \quad t_2 = 21; \quad t_3 = 8; \quad t_4 = 18 \text{ 秒};$$

$$P_1 = 375; \quad P_2 = 225; \quad P_3 = 180; \quad P_4 = 40 \text{ 瓩}。$$

求电动机的容量。

运用到滾筒軸的效率 $\eta = 0.95$ ，电动机容量：

$$P_s = \frac{1}{\eta} \sqrt{\frac{375^2 \times 12 + (225^2 + 225 \times 180 + 180^2) \times \frac{21}{3} + 40^2 \times 8}{12 + 21 + 8 + \frac{18}{3}}},$$

$$= \frac{1}{0.95} \times 233 \approx 245 \text{ 瓩}。$$

从产品目录表中挑选：

AM6-138-8、容量 245 瓩、735 轉/分、380 伏电动机。

上面計算時間的 T 值亦有限度，一般均不超过 15 分钟。因为周期太长，溫升曲綫的起伏离开平均溫度太远的緣故。如果 T

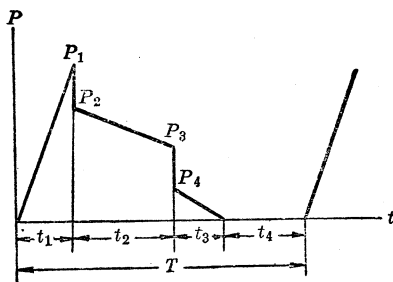


图 4 卷揚机容量曲綫

值超过 15 分钟,应该用温升曲线去解决。这样才能使我们挑选的电动机可以达到合理和完善的地步。

(原载“电世界”月刊 8 卷 1 期)

4-8. 感应电动机补偿电容器容量 的簡捷决定法

工厂中的电气工作人员要很好地完成限制无功负荷和减少电能损失的任务,就必须知道如何选择适当容量的补偿电容器,因此,就需要知道整个工厂的功率因数以及各个用电单元,尤其是容量较大的感应电动机的功率因数。

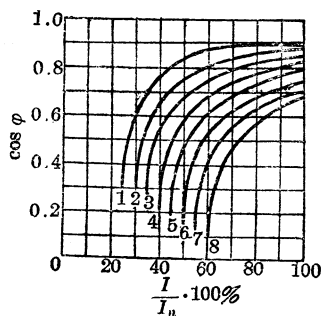
我们常采用另一个避免测量功率而能很快地决定电动机功率因数的方法。

我们只要测出电动机的工作电流 I 和空载电流 I_0 (这是指电动机在与带动的机械分开后单独运转时的空载电流)。测量电流可用钳形电流表,再从电动机的铭牌上找出额定电流 I_n , 标出百分率 $\frac{I_0}{I_n} 100\%$ 和 $\frac{I}{I_n} 100\%$; 然后从斯赫莱尔氏 $\cos \varphi = f\left(\frac{I}{I_n}\right)$ 的关系曲线 (如图 1 所示), 就能读出该电动机工作时的功率因数了。

如果在测量时端电压 U 的数值与额定电压 U_n 相差很大,应代入下式算出额定电流

$$I'_n = I_n \cdot \frac{U_n}{U}$$

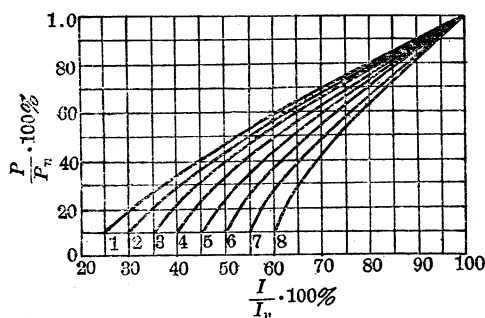
但是有的时候由于受运行条件的限制 (例如电动机与被带动的机械难以分开的), 不可能测得空载电流 I_0 , 在这种情况下我们只要测出工作电流 I , 算出百分率 $\frac{I}{I_n} 100\%$, 并在电动机的铭牌



曲 綫	1	2	3	4	5	6	7	8
$\frac{I_0}{I_n} \cdot 100\%$	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%

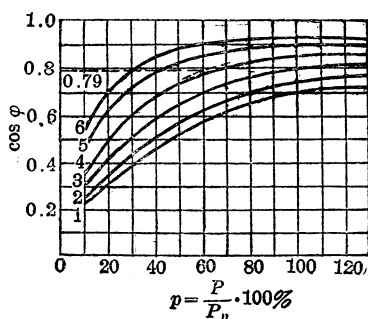
图 1 斯赫莱尔氏曲线图

(或产品样本——编者)上找出额定功率因数 $\cos \varphi_n$, 再按照已知的百分数 $\frac{I}{I_n} \cdot 100\%$ 在图 2 曲线中决定出负荷因数 $P = \frac{P}{P_n} \cdot 100\%$; 然后从图 3 曲线中就能读出该电动机在负荷因数为 P 时的功率因



$\cos \varphi_n$	0.92	0.89	0.86	0.83	0.79	0.76	0.73	0.69
曲 綫	1	2	3	4	5	6	7	8

图 2 各种额定功率因数 $\cos \varphi_n$ 的感应电动机
负荷因数与电流百分率的关系曲线



曲 线	1	2	3	4	5	6
$\cos \varphi_n$	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.92

图3 各种不同额定功率因数 $\cos \varphi_n$ 的电动机
工作时的功率因数与负荷因数的关系曲线

数。

为了更好地利用设备,我们应该努力使功率因数能达到0.95。

如果我们知道了电动机的工作电流 I 和工作功率因数 $\cos \varphi$,
要将功率因数改善为 $\cos \varphi'$ 。

则电容器的电流按下式决定:

$$I_c = I (\sin \varphi - \operatorname{tg} \varphi' \cdot \cos \varphi) \quad (\text{安})$$

($\sin \varphi$ 和 $\operatorname{tg} \varphi'$ 的数值可由函数表中查出)。

电容器的容量 $Q_c = \sqrt{3} U \cdot I_c \cdot 10^{-3}$ (千乏), 然后根据计算结果
选择出适当规格的电容器。

【例】 有一台感应电动机, 铭牌数据如下:

$P_n = 50$ 瓩, $U_n = 380$ 伏, $I_n = 98$ 安, $\cos \varphi_n = 0.86$ ($n = 1,000$
转/分, $\eta = 0.9$)。要决定它的功率因数, 并求出适当的补偿电容
器的容量。

我们只能测出平均工作电流 $I = 64$ 安, $U = U_n = 380$ 伏, 而空
载电流 I_0 无法知道。

$$\text{首先算出百分率 } \frac{I}{I_n} 100\% = \frac{64}{98} \cdot 100\% \approx 65\%。$$

从图 2 可以看出,当 $\frac{I}{I_n} 100\% = 65\%$, $\cos \varphi_n = 0.86$ 时, 负荷因数 P 为 60%, 然后从图 3 就可知道, 电动机工作时的功率因数为 0.79。

这样的功率因数, 显然不能令人满意, 因此我们决定将它改善, 使 $\cos \varphi'$ 的数值达到 0.95。

代入上述计算电容器电流的公式得出

$$I_c = 64(0.613 - 0.828 \times 0.79) = 22.6 \text{ 安};$$

电容器的容量

$$Q_c = \sqrt{3} \times 380 \times 22.6 \times 10^{-3} \approx 15 \text{ 千乏}$$

约为电动机出力的 30%。

我们再来看一下, 在接入 15 千乏容量的电容器后, 电动机在额定出力时的功率因数 $\cos \varphi''$,

从计算电容器电流的公式得

$$\operatorname{tg} \varphi'' = \frac{I_n \sin \varphi_n - I_c}{I_n \cos \varphi_n} = \frac{98 \times 0.51 - 22.6}{98 \times 0.86} = 0.325,$$

从表中查得 $\cos \varphi'' = 0.951$ 。

电容器的容量也可用图解法来决定 (如图 4 所示), 从图读出电容器电流 I_c , 再将它代入计算电容器容量的公式 ($Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_c \cdot 10^{-3}$ 千乏)。

在我们所举的例子中, 在图上画出电流矢量 $I = 64$ 安而使它的 $\cos \varphi = 0.79$, 如果我们要将它补偿为 0.95, 从原点向圆弧画一虚线而使它的 $\cos \varphi = 0.95$, 从电流矢量 $I = 64$ 安的末端水平地画出电容器电流 I_c 的矢量, 从这一线段就可以

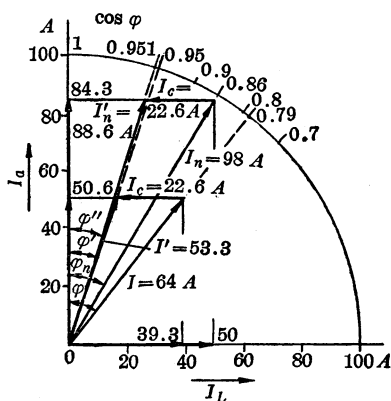


图 4 电容器容量图解决定法

量出 $I_c = 22.6$ 安。为了查明在额定负荷时的功率因数, 用同样的

比例尺画出额定电流矢量 $I_n=98$ 安, 而使 $\cos \varphi_n=0.86$, 从它的末端水平地画出已知的电容器电流矢量 $I_c=22.6$ 安, 自原点画一直线与矢量 I_c 的末端相连, 这样就得出电动机并联了 15 仟乏电容器后, 在额定负荷时的电流和功率因数 $\cos \varphi''$ 的数值。

从图 4 也可以看出, 当电动机的负荷相同时, 补偿后工作电流由 64 安减为 53.3 安, 亦即当有效功率不变时, 有效电流 50.6 安 (在纵轴上) 是保持不变的。这样一方面减轻了变压器和线路的负载, 另一方面大大地减少了铜损, 因为铜损是随电流的平方而变化的。

为了更容易地决定由任一功率因数 $\cos \varphi$ 补偿为 $\cos \varphi'=0.95$ 时所需要的补偿电容器的容量, 我们可利用图 5 曲线。电流在 100 安以下的用比例尺 a (这是为了使读出来的数值 Q_c 更精确些), 电流较大的用比例尺 b , 然后在相应的刻度 a 与 b 上就可读出电容器容量的大小。如果我们决定一台工作电流较大 (如 400 安培) 的电动机所需电容器的容量, 可将电流和电容器容量的比例尺 a 的数字放大 4 倍, 这与刻度 b 在数字上比刻度 a 大 3 倍是同样的道理。

上例中电流 $I=64$ 安, $\cos \varphi=0.79$, 从图 (比例尺 a) 可读出

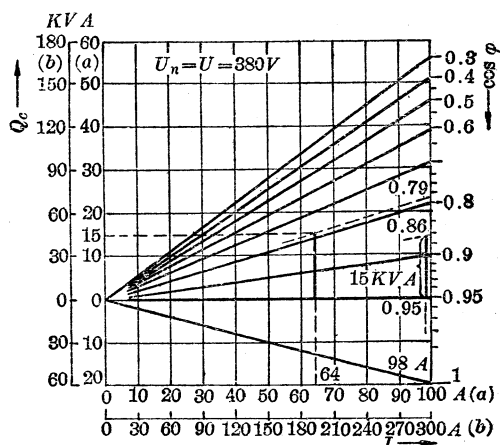


图 5 决定电容器容量的图表

$Q_c = 15$ 千乏 (假定 $U = U_n = 380$ 伏)。如果在电动机的端子上接入 15 千乏的补偿电容器, 我們可很容易地从图中看出电动机在各种負載时的功率因数 ($\cos \varphi''$)。当 $I = I_n = 98$ 安时 (按同一比例尺), $\cos \varphi'' = 0.951$ 。如我們欲将功率因数补偿为大于或小于 0.95, 利用这个曲綫图也能很快地决定出所需的补偿电容器的容量。

(原載“电世界”月刊 12 卷 4 期)

4-9. 矿井排水用电动机預热的新方法

矿井排水设备是最重要的装置之一, 在这个装置中特别是电动机部分, 工作时要具有很高的可靠性。

矿井中大气的特点是含有大量的水分。在高压电动机工作长期間断的情况下, 是要經常的預热綫圈, 或者在起动前先干燥它, 以防綫圈受潮。

大家知道, 如果机器的温度高于周圍介质温度在 $5 \sim 10^\circ\text{C}$ 时, 絕緣是不会受潮的, 在实际运行的排水装置中, 当电动机停止工作时广泛的采用了經常預热的方法, 也就是保持机器的温度高于周圍介质的温度在 $5 \sim 10^\circ\text{C}$ 。

設計部門預热电动机的基本方法是采用了短路損失法来进行預热, 而在实际上往往采用真空、烘炉和良好的通风来进行干燥。

当利用电动机定子綫圈的短路損失来預热时, 接入的三相电压要等于电动机額定电压的 $5 \sim 10\%$, 而且轉子綫圈

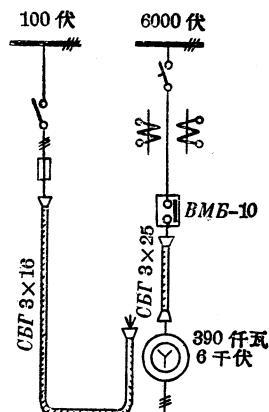


图 1 利用低压短路損失預热电动机的綫路图

亦要短路(滑环式电动机)。

接入低压电于定子线圈的接线图,如图1所示。但这种方法具有下列缺点:

- (1) 预热电动机的接线维护比较复杂;
- (2) 维护具有危险性;
- (3) 在电动机预热时功率消耗比较大;
- (4) 功率因数比较低。

同时当要把电动机的额定电源取下,接入低压预热电源时,又必须进行下列的手续:

- (1) 要全面的检查给水泵的标准线路图;
- (2) 要卸去电动机引入线匣的盖子;
- (3) 从电动机定子线圈引出头,拆去高压电缆线;
- (4) 接入低压电缆线到电动机定子线圈的引出头;
- (5) 重新装上专门制造的盖子,象原来的线匣盖在接入低压电缆线之后就装不上了;
- (6) 关上供给定子线圈低压的闸刀开关;
- (7) 将转子短路(如果是滑环式电动机)。

通常矿井中的水泵站都设置了三四个水泵的联动机,其中仅有一台是正常工作的。为了所有电动机的工作都要以适当的顺

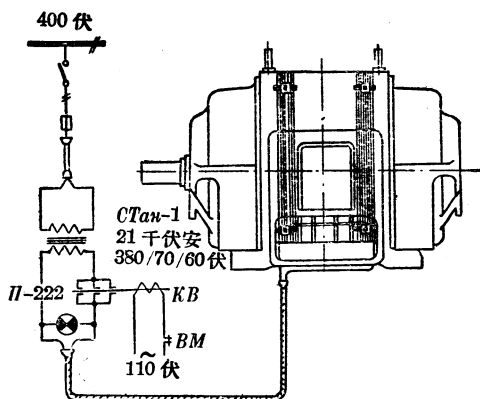


图2 利用感应损失预热电动机的线路图

序,按照接入預熱的手續适当的調換,因此不可能完全避免手續上的錯誤,這樣的結果就可能產生設備的破壞和不幸的情況。

為了避免以上列舉的缺點,作者建議按照圖 2 的方法在電動機機身上利用感應損失來進行預熱。採用這個方法的主要優越性是:進行預熱的過程中不用接入繞圈;進行維護沒有危險性;預熱的過程簡單。

預熱 AM6-138-4 型 300 瓩和 AMCO-148-4 型 390 瓩電動機,以 ПП-380 型號、斷面積 16 平方毫米、30 匝的導線組成了磁化繞圈,其接線的方法,如圖 3 所示。供給繞圈的電源採用具有限流能力的電焊變壓器,以便使用調整電流來改變繞圈的安匝。

當周圍介質溫度在 $15\sim 18^{\circ}\text{C}$ 時,利用繞圈的磁化損失保持着機器溫度在 $25\sim 30^{\circ}\text{C}$ 時,電壓為 45 伏,而電流為 $35\sim 40$ 安。

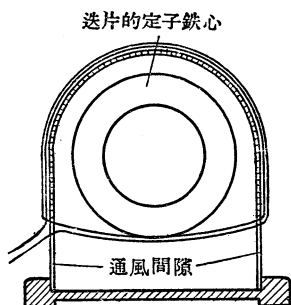


圖 3 磁化繞圈的裝置圖

在長期工作的情況下,СТАН-1 型電焊變壓器輸出電流量是 265 安。這對於預熱四個功率為 400 瓩的電動機是十分充足的。從電焊變壓器到接入預熱繞圈,採用帶有同時接觸點的電磁起動器。當帶有輔助接觸點的油開關跳開時,起動器自動的進入工作。為了檢查預熱繞圈,在預熱的同時接入了信號燈。這樣,電動機預熱的接入和停止,就不需要人員去看管。

下面說明了預熱的方法是比較經濟的:當利用感應方法干燥時,四個電動機消耗的功率為 12.3 千伏安;當接入短路方法預熱時,消耗的功率在 2 倍以上或是 28 千伏安。

如根據帶有 2×300 和 2×390 瓩電動機的四個水泵聯動機的排水設備的情況,在利用感應方法加熱四個電動機時消費了 12.3 千伏安,或採用設備的近似功率因數為 0.2 時是 2.46 瓩。

因為在連續 240 小時中四個水泵中僅有一個在經常的工作

着，在一个月里，計算一下，四个电动机在繼續 660 小时的預热上的平均消耗量。于是在一个月中消耗在預热上的电能为 $660 \times 2.46 = 1,620$ 瓩-小时，一年为 19,440 瓩-小时。而利用短路損失的方法在預热上消耗了 28 千伏安，在功率因数类似时为 5.6 瓩，按这个电能的消耗在一月中为 $5.6 \times 660 = 3,700$ 瓩-小时，在一年中为 44,400 瓩-小时。因此利用感应預热的方法在一年中就能节约 $44,400 - 19,400 = 25,000$ 瓩-小时，或近于 60%，所以是比较經濟的。

(原載“电世界”月刊 9 卷 8 期)

5. 感应电动机 的特种型式和特种应用

5-1. 三相整流子电动机

感应电动机在工业方面的应用很广,不过其轉速約近恒定,对于某种用途很感不便。要使得轉速可以广泛地作連續的变动,只有引入电压于轉子一法。

电压变更轉速的原理

感应电动机在有負載时,其轉軸上受有反轉矩,欲使电动机能胜任此負載,其轉子所生的轉矩必須能克服此反轉矩。欲产生此需要的轉矩,其轉子必須有相当的感应电势以产生适足的电流,由于轉矩与轉子电流及磁通成比例,在感应电动机中磁通約近恒定,所以轉矩随轉子电流为轉移。因此在負載加重时,电动机轉子的轉速必須降低,即轉差率加大,方能以較大的相对轉速割切旋轉磁場而产生适当的感应电势。

反之,如負載不变而变更其轉速,則轉子感应电势也随之变更。若减低其轉子轉速,則轉子与磁場間的相对轉速加大,感应电势变大而轉子电流变大,其产生的轉矩将超过負載所施的反轉矩。反之,若升高其轉速,則产生的轉矩将不足应付負載。所以在負載恒定时,唯有引入电压于轉子內,以輔助或抵消其感应电势,然后

轉速才能變更。

若引入的电压与轉子感应电势为同相而互相輔助，則欲产生与某值反轉矩相当的电流，其轉子本身所需的感应电势可以减少。就是說轉子与磁場間的相对轉速可以降低，即轉子可以較快的轉速而運轉。外加的电压愈大，轉子的轉速也愈大，就是轉差率愈小。如果外加电压和轉子电动势相等，則轉差率为零，感应电动机可以在有負載时以同步轉速而旋轉。再进一步，如果外加电压大于轉子感应电势，則轉差率为負值，轉子的轉速可大于同步轉速，而仍作电动机的运用。

反之，如外加电压和轉子感应电势反相，則轉子內的淨电压被减少，为維持負載时所需的轉矩，其轉子感应电势必須加大，方能在克服外加电压之余产生适量的轉子电流。就是說轉子必須以更大的相互轉速割切磁力綫，其轉速必須降低，而轉差率变大。外加反相电压愈大，其轉速愈低。

所以說，我們可利用一个与轉子感应电势同相或反相的电压，引入轉子內，使电动机的轉速在同步轉速上下任意变动。当然，这外加电压的頻率必須和轉子本身的頻率相等，这就是所以要整流子的道理，后面当加解釋。

外加电压可以調整功率因数

上面已經解釋，变更外加电压的值，可以調节感应电动机的轉速，同时如变更外加电压的相位，也可以調整电动机的功率因数。功率因数由定子电流 I_1 与定子电压 V_1 間的相角 ϕ_1 决定。如图 1a， E_{2s} 为轉子的感应电势，假定轉差率很小，轉子只有电阻 R_2 ，轉子电流 I_2 与电阻 R_2 的乘积即 E_{2s} ，即 $I_2 = E_{2s}/R_2$ ，且与 E_{2s} 同相。再假定定子繞組与轉子繞組圈数相等，并略去定子的电阻及漏磁等不計，定子感应电势 E_1 和电源施于定子的电压 V_1 相反而相等，即 $V_1 = -E_1$ ， V_1 也和 E_{2s} 及 I_2 相反，如图 1a。但因为定子电流 I_1 一部分克服轉子电流的效应，一部分供給励磁电流 I_m ，即 I_1 为 I_m 及 $-I_2$ 的矢量和，在图 1a 中較 V_1 落后 ϕ_1 角度，功

率因数为 $\cos \varphi_1$ 。

如果外加一电压 V_c 于轉子內，而 V_c 較轉子感应电势 E_{2s} 超

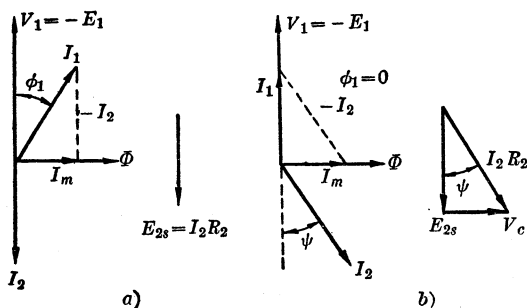


图1 引入电压相位与功率因数的关系

前 90° ，此两者的矢量和为轉子总电势，仍等于 $I_2 R_2$ ，不过现在的 $I_2 R_2$ 較 E_{2s} 相差一 ψ 角度，如图 1b。若 V_c 的值选择适当，則 I_2 的有功部分和 E_{2s} 同相的仍和图 1a 相同，使能担任同样的負載。而 I_2 現在多了一个和 E_{2s} 相差 90° 的无功部分，确能和励磁电流 I_m 相抵消。以 I_m 和 $-I_2$ 求得的矢量和得 I_1 ，可以和 V_1 同相，而 $\varphi_1 = 0$ ，即功率因数为 1。如果加大 V_c 的值，則 I_2 的无功部分也加大，其 $-I_2$ 和 I_m 的矢量和可以較 V_1 超前，而得超前的功率因数。

但是实际上引入轉子的电压，并非和轉子电势 E_{2s} 确实超前 90° 的。如超前的角度大于 90° ，則 V_c 可分析为两部：一部和 E_{2s} 相差 90° 发生調相的作用；另一部和 E_{2s} 反相发生調速作用（见图 2）。若超前的角度小于 90° ，則其調速部分和 E_{2s} 同相。

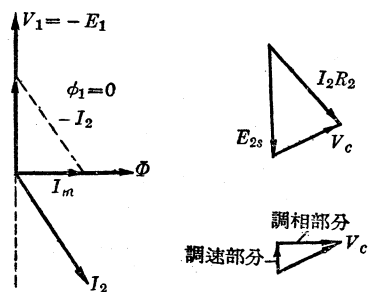


图2 引入电压的变速与調相部分的分析

为什么要用整流子

三相整流子电动机的定子繞組和普通电动机的三相繞組相同，其轉子具有一直流电机的繞組及整流子，在整流子上有三套电

刷,每兩鄰刷的位置互成 120° 電的角度。若為 2 極電動機則有三組電刷,每兩刷互成 120° 機械角度;4 極電動機有六組電刷,相鄰兩刷互成 60° 機械角度。其大概布置見圖 3。該圖示 2 極的情形,

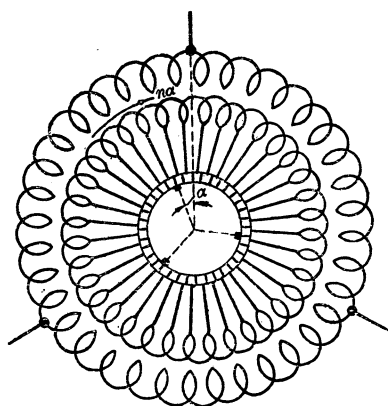


圖 3 換向器與電刷的一般
聯接方式

外圈為定子繞組,引出三綫接至電源,內圈為轉子繞組,最內圈為整流子,三黑小塊為電刷。

在直流發電機中,磁場靜定不動,電樞導體因旋轉而割切磁力綫產生交流電勢,經整流子與電刷的換向作用,在電刷端出現者為直流電壓,其值視電樞的轉速及電刷的位置而定。如果將電刷也旋轉起來,這情形就不同了。因為當某一電樞導體由 N 極旋轉至 S 極下時,與其相接的整流片並不能由正刷區移至負刷區,所以在電刷上出現的是交流電壓。此交流電壓的頻率視電刷旋轉的轉速而定,與電樞旋轉的轉速無關。如果電刷轉速和電樞轉速相等,其頻率與電樞的頻率也相等。

在感應電動機中,磁場是以同步轉速 n_s 旋轉着的,如果電刷靜定不動,其作用相當於磁場靜定不動,而電刷以同步轉速旋轉着。所以在電刷間出現的是交流電勢,其頻率和定子頻率 f 相等,與轉子的轉速無關。但是當轉子以轉速 n 旋轉時,轉子以 $n_s - n$ 的相對轉速割切磁場的磁力綫,轉子導體內感應電勢的頻率為

$$f_2 = \frac{n_s - n}{n_s} f_1 = s f_1,$$

式中 s ——轉差率。

由上述可見,在多相整流子電動機電刷端的交流電壓頻率和定子相同,可以和定子繞組同時接在同一電源上,與轉子的轉速無關。而整流子的作用,就是將電源或定子的頻率 f_1 ,轉變為轉子

的頻率 sf_1 輸入轉子，以便轉子繞組可自电源輸入与其本身相同頻率的电压，起調相与調速作用。

三相串联整流子电动机

三相整流子电动机中，其引入轉子电压的方法，分串联与并联两种。在串联式电动机中，其定子繞組系一普通三相繞組，各相的一端接于电源，另一端直接或經過一中間变压器接于整流子的电刷上，如图 4 所示。其定子与轉子系串联的。变压器的作用在降低电压以利换向。

电刷的位置是可以变更的，变更其位置即可控制轉子的轉速。如图 4 所示，定子磁場的軸在 U 处，电刷的軸和磁場的軸成一角度 α 。在电动机內的总磁通势，为定子磁通势与轉子磁通势的总和，而轉子磁通势的軸随电刷的軸为轉移，所以总磁通势也随电刷的軸为轉移。

总磁通势产生旋轉磁場，在定子繞組中产生一感应电势，在轉子內也感应一电势，此二者合成的电压与外施原电压相平衡（阻抗降略去不計）。因为总磁通是由电刷軸的角度 α 及电流决定的，若負載及电刷位置不变，則定子感应电势亦为恒定，此时轉子轉速即自行变化，至所生轉子感应电势适足达到电压平衡而后止。在同步轉速时，轉子感应电势为零；在其他轉速时，此感应电势的值决定轉速在同步之上或同步之下的程度，其方向則决定轉速在同步之上抑同步之下。所以移动电刷的位置，即可任意变动轉子的轉速。

其轉速除随电刷位置而变动外，尚与电流有关。在輕載时电流小，磁通量也小，轉子需产生高电压以保持电压平衡，故轉速增

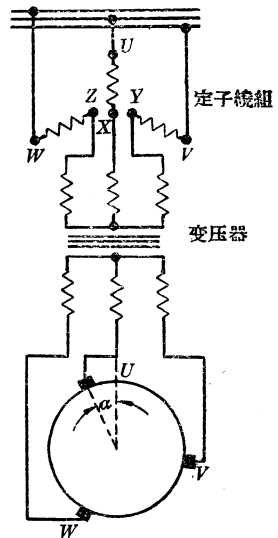


图 4 串联整流子电动机的联接线路图

加。反之，負載加重則轉速減低，此种特性和直流电动机相同。

串联式在低速时运用不很稳定，所以一般可达到的轉速比最大不过 3:1 左右。另一缺点即轉速随負載的增加而減低的串联特性。但是，如果在任何轉速下欲轉矩不变，串联式极为适用且亦价廉。串联式电动机常用以轉动离心抽水机、吹风机及通风机等。

定子供电式并联整流子电动机

并联整流子电动机有两种：一种以定子繞組作为原繞組，功率自定子輸入的，称为定子供电式；另一种功率自轉子輸入，称为轉子供电式。

定子供电式整流子电动机如图 5 所示，定子接于电源，另自电源接出一变压器，其副綫圈經整流子及电刷接于轉子。电源频率的电压，經整流子的轉变，輸入一种和轉子频率相等的电压于轉子內，变更变压器上的分接头用以調节引入电压，即可控制轉速。不

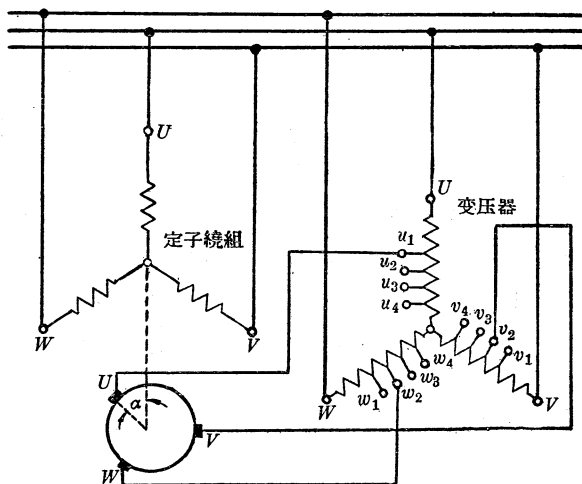


图 5 定子供电式并联整流子电动机的綫路图
(用中間变压器)

过其轉速的变化非連續的而系分級的,故其应用不广。

如果省去一套变压器,而直接利用定子繞組作自耦式变压器,其联接方法如图 6 所示。

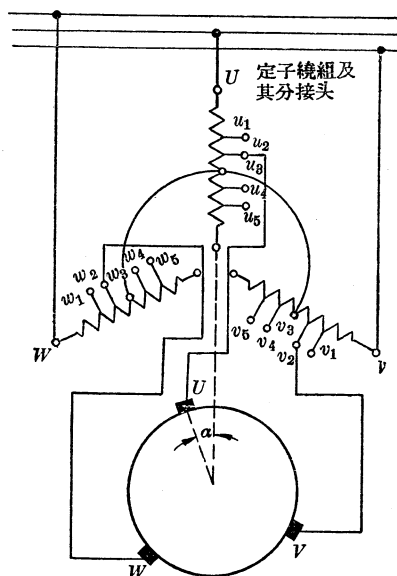


图 6 定子供电式并联整流子电动机的綫路图
(不用中間变压器)

另一种联接方式,需用一套三相的感应調压器(即副綫圈可以轉动的变压器,用以变更輸出电压的),其原綫圈接于电源,副綫圈接于整流子的电刷。此調压器供給一部分的轉子电压;另一部分电压由定子上設置的輔助綫圈供給(见图 7),因此輔助綫圈的作用能减少調压器所需的容量。由于定子輔助綫圈供給的电压与調压器供給的电压的矢量和,是經整流子供給于轉子的电压,所以变更調压器副綫圈的位置,即变更引入轉子的电压,因此能变更轉子的轉速。不过在調整电压时,引入电压的相角也随之而变,所以电刷的位置必須同时变换。用这种联接方式,轉子的轉速可以連續地調节。

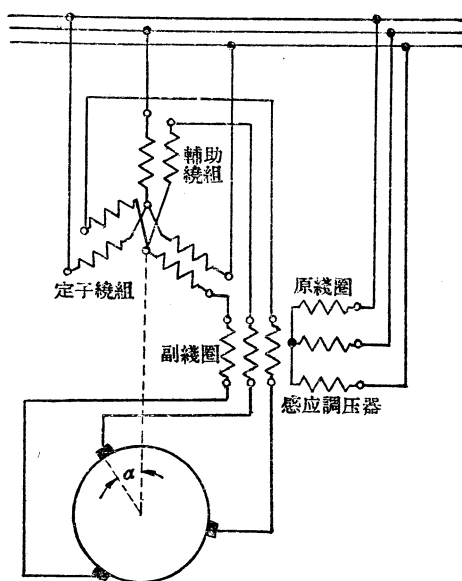


图7 定子供电式并联整流子电动机的线路图
(用感应调压器及辅助绕组)

转子供电式整流子电动机

转子供电式整流子电动机,通常称为“许拉格”变速电动机。

其定子铁心及其绕组与普通感应电动机相似,但其三相并不接成Y形或三角形,其每相的两端分接于整流子上的一对电刷(2极三相电动机应有三对电刷,余类推),每对电刷与邻对电刷的位置互差 120° 电的角度,如图8所示。此定子绕组并不由电源直接输入功率,而是经转子的转移而输入功率的,所以定子绕组是副绕组而转子的绕组为原绕组,这和普通感应电动机的情形正好相反。

其转子内有两组绕组,一组经滑环及电刷接于电源,是为原绕组。另一组绕组接于整流子上,其作用在转变转子的频率 sf_1 为电源的频率 f_1 而供给于定子(副)绕组,同时供给定子绕组以外加电

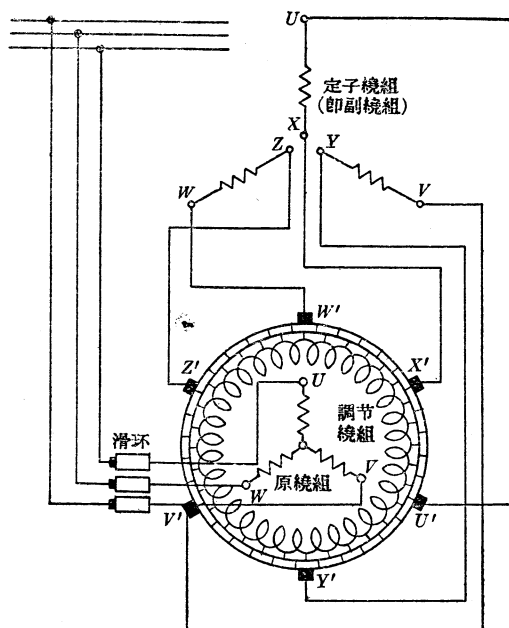


图 8 轉子供电式并联整流子电动机的线路图

压,为变速及調相之需,通常称为調節繞組。

变更每对电刷內两刷的間隔,即可变更外加电压的大小,用以調節轉速。若每对电刷的位置在同一整流片上,即将定子繞組的每相繞組短接,外加电压为零,此时电动机的作用与普通鼠籠式感应电动机相似。每对电刷的距离愈大,則引入的电压也愈大,轉速也隨之作較大的变动。如将每对电刷的连接掉換,即反轉引入电压的相位;如将每对电刷循同一方向移轉而保持相互距离不变,則引入电压的相角隨之而变。所以变速及調相均可利用电刷的移动来获得。为便利計每对中电刷之一,如图 8 中之 U' 、 V' 及 W' 可裝于同一轉环上,其余三刷 X' 、 Y' 及 Z' 也裝于另一轉环上,可借手輪移动任何一环或两环的位置。如果再用小电动机来推动手輪,則电动机的轉速可加以遙控。

欲逆轉电动机的旋轉方向,可将电源引入綫中任何二綫掉換

即可，与普通感应电动机同。通常为调整在某一重要转速下的功率因数，常将电刷偏向于一方，若令电动机循反方向转动，则其功率因数及效率均较顺向时为小，温度也较高。所以作反方向时，仅可作短期运用。

图 9 示一只 7.5 馬力轉子供电式整流子电动机的转速与转矩的关系，此曲线下部约与垂直线相近，表示由满载（即 100% 转矩）至空载（即 0% 转矩）间的转速降落甚少。该机的设计适使最大转矩发生于启动之际，在最低速启动时，其启动转矩约为满载转矩的 2 倍，毋需插入电阻于定子（副）绕组中。

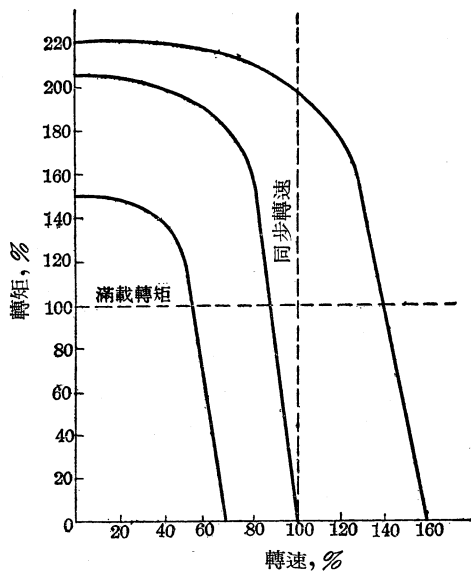


图 9 7.5 馬力、220 伏、500~1500 轉/分轉子供电式
整流子电动机的转矩转速曲线

在低于同步转速时，整流子引入电压是和定子（副）绕组中感应电压相反的，两电压之差产生副绕组中的电流，所以副电流可保持合理之值不致过大。再则反映于原电路中的磁通势，为调节绕组与副绕组中两磁通势之差，若启动时副电流为其满载值的 2 倍，则原电流或仅为满载值的 1 倍余，所以也毋需特殊启动设备，仅在

电刷轉輪上最低速位置裝一連鎖裝置即可。有此連鎖裝置，可在最低速时启动而无差錯。

图 10 示 7.5 馬力整流子电动机的功率因数与負載的关系，在最高轉速滿載时功率因数为 1，在其他負載及低速时，其功率因数仍很高，由半載以上，功率因数常在 60% 以上。至于效率亦佳，常在 80% 以上，以在同步轉速及滿載时为最大。

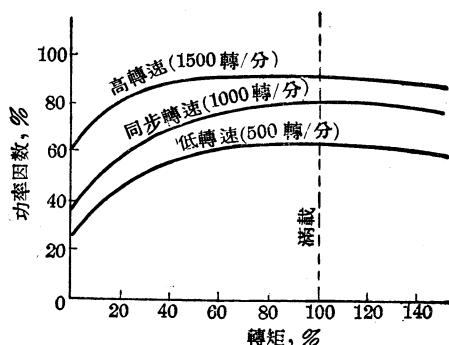


图 10 7.5 馬力、220 伏、500~1500 轉/分整流子电动机的功率因数与負載曲綫

又此机的輸入与輸出功率是与轉速成比例的，例如轉速比若为 3:1，則在低速时的輸出为在高速时 1/3 的。因在普通运用範圍內，并联机的磁通量及副电流均屬恒定，轉矩也屬恒定，輸出功率当然和轉速成比例了。

轉子供电式整流子电动机的优点

(1) 此式电动机的轉速，可借电刷的移动作广泛的变动，普通低速与高速之比为 1:3，最大可达 1:30，較滑环式的調速範圍为大。又控制轉速时，仅須轉动电刷的手輪，甚为便利；

(2) 此机的轉速变动，系用調节繞組的电压經整流子引入副繞組內，不增加額外功率損失，其效率較滑环式的为高；

(3) 在移动电刷以变速时，調节繞組电压的相角也自动随着調整，在任何轉速及負載下，其功率因数均較普通电动机为高。但

由于調相关系,此机仅能循指定方向(即机座上箭头指示的)運轉,若反向運轉,功率因数将减小而温度升高;

(4) 启动此机时,毋需启动装置,仅备一普通油开关或磁力启动器即可。启动时将电刷移至最低速位置,将开关拉上即可。且在最低速位置上有連鎖机构,只有在最低速时方能启动,甚为安全。

(原載“电世界”月刊 3 卷 10 期)

5-2. 感应变频器

在实际工作中,有时需要采用不同于普通工业用频率(50 周)的交流电。

在一般工业企业中,制造变频器没有什么大的困难,因为这种变频器可用普通的滑环式感应电动机,其轉子向着定子磁場同方向或反方向由另一电动机驱动而构成。

感应变频器的频率换算

如果滑环式感应电动机接在频率为 f_1 的綫路上,并且它的轉子向着定子磁場同方向由另一电动机驱动,那末在轉子中感应电动势的频率当为

$$f_2 = \frac{n_c - n_p}{n_c} \cdot f_1 \quad \text{或} \quad f_2 = \frac{n_p - n_c}{n_c} \cdot f_1 \text{ ①};$$

如果轉子向着定子磁場反方向旋轉,那末感应电动势的频率当为

$$f_2 = \frac{n_c + n_p}{n_c} \cdot f_1。$$

① 轉子旋轉速率 n_p 可能大于也可能小于定子磁場的旋轉速率 n_c 。

式中 n_c ——定子磁場旋轉速率(同步轉速);

n_p ——轉子轉速。

所以 $f_1 = 50$ 周, 轉速為 1,000 轉/分(同步轉速)的感應電動機接到綫路上時, 當它的轉子被另一電動機所驅動, 向着磁場反方向的轉速為 1,500 轉/分(同步轉速)時, 轉子滑環上感應電動勢的頻率當為

$$f_2 = \frac{n_c + n_p}{n_c} \cdot f_1 = \frac{1,000 + 1,500}{1,500} \times 50 = 125 \text{ 周};$$

如果該電動機的轉子, 以上述同樣轉速向着磁場同方向旋轉, 那末

$$f_2 = \frac{n_p + n_c}{n_c} \cdot f_1 = \frac{1,500 - 1,000}{1,000} \times 50 = 25 \text{ 周}^{\text{①}}。$$

感應變頻器的電壓

採用轉數可調整的補助(即驅動)電動機時, 可以獲得各種不同頻率的變頻。自轉子滑環上所測得的變頻電壓, 視轉子的綫圈數據而定。為要得到所需的電壓, 選作變頻器的感應電動機應選配適宜的轉子綫圈數據, 使滑環間的電壓與頻率成比例變化。

要得到所需電壓的較簡便的方法, 是在提高頻率後的電路中採用一個次級可調整的變壓器, 因為在負載時, 變頻器中產生很大的電壓降。

滑環上電壓的調整, 也可採用在變頻器定子電路中接入一個自耦變壓器的方法, 但是這樣將使在負載時的電壓降落更多。

選作變頻器的電動機, 建議採用最小的滑環電壓, 因為要提高頻率(如 200 周), 滑環間電壓可能到 500 伏或以上, 這是很不好的。在這種情況下, 轉子應改到所需的電壓。

還必須考慮到, 為要獲得 100 周以上的頻率, 變頻器的轉子必

① 25 周也可以轉子轉速為 500 轉/分時得出, 演算如下:

$$f_2 = \frac{n_c - n_p}{n_c} \cdot f_1 = \frac{1,000 - 500}{1,000} \times 50 = 25 \text{ 周}。$$

須加大轉數。因此,如果轉速增加至額定轉速的1.5至2倍,那末必須增加轉子繞圈端接部分的机械强度。

感应变频器的功率

感应变频器虽然需要由两台电动机組成,但它的构成却十分简单,且較他种变频器为方便,因为每台电动机只計算次級綫路的

功率 P_2 。詳細說明如下:

在次級綫路中产生的全功率 P_2 ,由两部分組成

$$P_2 = P_1 + P_D。$$

式中 P_1 是由变压器作用,从变频器的初級电路(即从频率为 f_1 的綫路)傳輸至次級电路的。 P_D 是由驱动电动机的軸,傳輸至变频器的轉子的。可見第一部分 P_1 相当于由变频器自身所产生的功率,而第二部分 P_D 为驱动变频器的电动机的功率。

因此,要知道频率为 f_2 的次級綫路的功率,可按式来决定每台电动机的功率:

变频器的功率

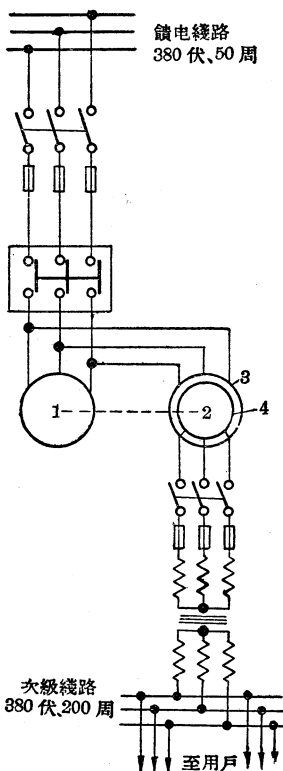
$$P_1 = P_2 \frac{f_1}{f_2};$$

驱动电动机的功率(在与磁場反方向驱动时)

$$P_D = P_2 \frac{f_2 - f_1}{f_2}。$$

在选定了电动机作为变频器以

后,必須審核轉子繞圈是否适合次級綫路的电流負載。如果发现



感应变频器的接綫图

1—驱动电动机; 2—变频器(滑环式感应电动机); 3—变频器定子; 4—变频器轉子; 5—变压器

导綫截面不足,那末应設法用并聯綫圈的方法改接繞組的接綫,上图表示感应变頻器的接綫示意图①。

下面我們举一个計算感应变頻器用电动机的例子。

【例】要組成一个变頻器,能从額定电压 $U_1=380$ 伏,頻率 $f_1=50$ 周的綫路上,將頻率提高到 $f_2=200$ 周。变頻器供給不变負載,次級电路在电压 $U_2=380$ 伏及 $\cos \varphi=0.7$ 时, $I_2=20$ 安。

〔解〕次級电路的功率

$$\begin{aligned} P_2 &= \sqrt{3} \cdot U_2 I_2 \cos \varphi \cdot 10^{-3} \\ &= \frac{1.73 \times 380 \times 20 \times 0.7}{1,000} \\ &= 9.2 \text{ 瓩。} \end{aligned}$$

变頻器的功率

$$P_1 = P_2 \frac{f_1}{f_2} = 9.2 \times \frac{50}{200} = 2.3 \text{ 瓩。}$$

我們选作变頻器用的滑环式感应电动机其数据如下: AK 52-6 型,功率 2.8 瓩,定子电压 220/380 伏,轉速 $n_1=920$ 轉/分(同步轉速 $n_c=1,000$ 轉/分),轉子滑环間电压 91 伏。

驅动电动机的功率

$$P_D = P_2 \frac{f_2 - f_1}{f_2} = 9.2 \times \frac{200 - 50}{200} = 6.9 \text{ 瓩。}$$

決定轉数 n_p 时,必須使变頻器能获得頻率 $f_2=200$ 周,將轉子向磁場反方向轉动,从公式

$$\begin{aligned} f_2 &= \frac{n_c + n_p}{n_c} \cdot f_1 \\ n_p &= \frac{n_c(f_2 - f_1)}{f_1} = \frac{1,000(200 - 50)}{50} = 3,000 \text{ 轉/分。} \end{aligned}$$

我們选择鼠籠式感应电动机: AO 52-2 型,功率 7.0 瓩,电压 220/380 伏,轉速 $n_2=2,900$ 轉/分。

当頻率增大 4 倍以后,变頻器的滑环間电压应为

① 图中这一型式的变頻器,其功率因数較低。

$$U_p = 91 \times 4 = 364 \text{ 伏}$$

估計在負載時次級電路中的電壓降約在 15~20% 之間，次級綫路中所需接入的變壓器的變壓比為

$$K = \frac{1.2U_2}{U_p} = \frac{1.2 \times 380}{364} = 1.25。$$

既然已選好的驅動電動機需有 3,000 轉/分的轉速，它可以與變頻器安裝在同一个基礎上。同時必須考慮到由於負載時電動機的轉差率，變頻器的實際頻率，將略小於 200 周。當驅動電動機的轉數與所需值相差太大時，可利用皮帶輪或變速齒輪傳動。這時傳動系數可按公式 $\alpha = n_p/n_o$ 求得。

結 論

構成一台感應變頻器，在經過簡單計算之後，實際上就相當於選擇兩台感應電動機。這種電動機通常可以在一般的工廠中找到。至於變壓器則不一定需要，因為大都可依照次級綫路所需的電壓與電流而改變變頻器轉子的繞組數據，就能達成任務。

（原載“電世界”月刊 8 卷 7 期）

5-3. 感應電動機的同步並列運轉

感應電動機是一種構造簡單、應用最廣的電動機。在很多特殊拖動或其他工程問題上，我們應當盡量設計利用簡單的感應電動機代替複雜的機械，或用於其他機械難以辦到的地方。

例如，現在要設計一座大閘閘門的啟動裝置。這裡，當然也可以考慮用機械的方法，但機械方法往往是比較麻煩，而且很難做到準確。因為要保證閘門在啟閉的過程中，不發生絲毫歪斜現象（如圖 1）是比較困難的事。例如閘門如果發生歪斜現象，則閘門與孔

壁間將產生摩擦阻力，阻碍閘門的動作。在長距離的傳動問題上，利用機械方法就更難辦到。

再如有一座巨型可開合的鐵橋，在橋的兩端需要裝置開合鐵橋的動力設備，它的要求是橋的左右兩段在開合的過程中，任何時間內兩段的行程必須完全相等。如果用機械的方法來開合是很難辦到的事。類似這樣的問題，我們怎樣解決呢？例如用同步電動機可以解決嗎？當然，在一定條件下是可以的。但同步電動機有其缺點：第一就是價錢貴；第二是沒有足夠的起動轉矩；第三是在負載有較大變動時可能發生振盪現象。因此利用感應電動機同步運轉^①的方法，則就可完全圓滿地得到解決。

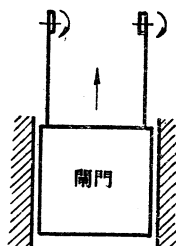


圖1 閘門啟動示意图

同步并列運轉的基本原理

我們知道，感應電動機的同步轉速是 $N_s = \frac{2f}{P}$ ，其中 f 為電源頻率， P 為極數，其實際轉速為 $N = (1 - S)N_s$ 。是隨負載的大小而變的（ S 為轉差率），所以感應電動機並不是一個恒速機。我們的目的是要使兩部（或多部）並聯運用的感應電動機，以同樣轉速運轉，要快同快，要慢同慢，即要达到同步運轉。

如圖2，設有兩具規格完全相同的感應電動機（綫繞轉子），將其定子按照一定的相序，聯接於同一電源上，而轉子線圈則按其相

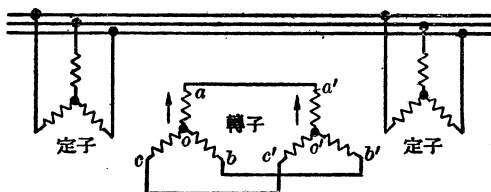


圖2 兩電動機同步運轉接線圖

① 本文所稱同步運轉，系指若干并聯運轉的感應電動機轉速相同之意，并非能达到同步轉速。

对应的相序,彼此联接(即 a, a' 相联, b, b' 相联, c, c' 相联)。如两转子在空间的位置相当(即每相线圈在相当的位置),当定子电源接通时,两机的转子并不旋转起来。这是什么原因呢?因为我们所用的电动机完全相同,其匝比亦相等,两电动机定子既接于同一电源,其由定子感应到两转子线圈中的感应电势也必大小相等,但恰恰相反而相消(如图 3a),即 $E_{oa} + E_{oa'} = 0$ 。当然就没有电流和转矩,所以一定不会转动。如果我们将其其中任一电动机的转子搬动一角度 θ (电的角度),那么另一电动机的转子也会跟着转动一个 θ 角。因为当我们一电动机的转子转动 θ 角时,其中的感应电势也跟着偏了 θ 角(注意:感应电势的偏转,是由于转子线圈在空间位置的改变,使其互感有所变更而产生的),这时,两转子的感应电势便不能抵消而形成一合成电势 E_r (如图 3b)。因有 E_r 的存在,便会产生一电流,流入另一电动机的转子,由此电流产生的转矩,使另一电动机的转子转到与第一电动机的转子的相当位置时为止。同样理由,若第一电动机以某种转速旋转时,则另一电动机也必跟着以同样的转速旋转,这就是感应电动机能同步运转的基本原理。

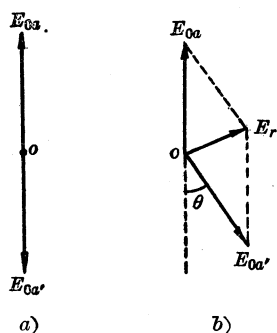


图 3

子搬动一角度 θ (电的角度),那么另一电动机的转子也会跟着转动一个 θ 角。因为当我们一电动机的转子转动 θ 角时,其中的感应电势也跟着偏了 θ 角(注意:感应电势的偏转,是由于转子线圈在空间位置的改变,使其互感有所变更而产生的),这时,两转子的感应电势便不能抵消而形成一合成电势 E_r (如图 3b)。因有 E_r 的存在,便会产生一电流,流入另一电动机的转子,由此电流产生

的转矩,使另一电动机的转子转到与第一电动机的转子的相当位置时为止。同样理由,若第一电动机以某种转速旋转时,则另一电动机也必跟着以同样的转速旋转,这就是感应电动机能同步运转的基本原理。

需要辅助机的同步并列运转装置

在实际的感应电动机同步运转的系统中,往往不能使用两个或多个单独的感应电动机如图 2 的方法联结运用。

这里所讲的一种方法是用两具主要的感应电动机来担负整个负载的拖动,而另外两具感应电动机(辅机)只作为保证这两具主机的完全同步之用。因此,我们称为“需要辅助的感应电动机的同步运转”。

以两具大小相同的感应电动机作为主机(这是指两部分负载

相等时的情况，如负载不等，亦可用两具大小不同的感应电动机，但其转速转矩特性必需相同），另两具感应电动机（綫繞轉子）作为辅助机，如图 4 联接。每組主机和辅助机系装于同一軸上，而辅助机則依图 2 的方法將轉子繞組互相联接。当两主机的负载相等时（此时转速相等），則两辅助机轉子的感应电势互相抵消而无电流流过，因此在负载相等时，辅助机是空轉着。現假定主机 2 由于某种原因使负载突然减小，則其转速必将增高，于是辅助机 2 的轉子的相对位置必超前于辅助机 1，根据同步并列運轉的原理，两轉子中将有一合成电势 E ，而产生电流和转矩；但两輔机的转速必須相等，而主机与辅助机之間均有机械連接（見图 4），使辅助机将强迫两主机保持相同的转速運轉。

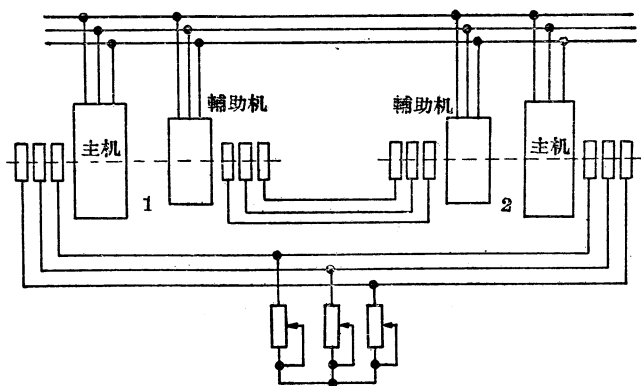


图 4 感应电动机同步運轉綫路图

功率分配情形是这样的：設主机 1 的负载为 100%，主机 2 为 80%，則輔机 2 將運轉若一发电机，由主机 2 取入功率，輸送到輔机 1，輔机 1 則運轉为一电动机，將此功率輸入主机 1，使主机 1、2 的负载达到平衡。此时，輔助机便停止其作用（空轉）。

以上是就一方面的情形來說的，如果两方面负载均有变动，則负载分配情形，亦可由上述原理推得。

輔助机在整个系統中有两种装置法：一种是使轉子轉动的方向与其定子旋轉磁場同向。采用这种装置，則輔助机的輔助轉矩

較小，因当两轉子产生角移时，旋轉磁場与轉子导体間的相对轉速較小，因之产生的电势和轉矩也小了。另一种装置是使轉子轉动方向与其定子旋轉磁場方向相反。显然这种装置法产生的輔助力矩較大。采用哪一种为佳，需視具体要求而定。

为了适应另一些特殊变速負載，往往将上述的感应电动机(指主机)改用直流电机，它的綫路如图 5。这种方法的特点是轉速完全可以任意調节，而且可以均匀变化，故应用也很广。但缺点是需要一直流电源。

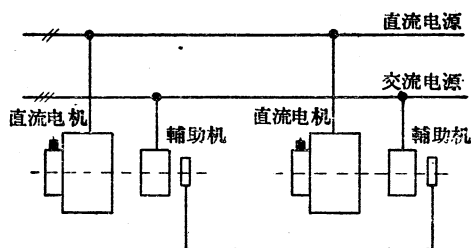


图 5

不需要輔助机的同步并列運轉裝置

感应电动机同步運轉系統，也有另一种联接法，它是将多个感应电动机依图 6 的方法联接起来，各机間均无机械联接，另加一具总电动机(直流或交流均可)，与其中的任意一感应电动机相联接(机械的联接)，这具总电动机的容量一定要大于或等于其他各单个感应电动机容量之和。

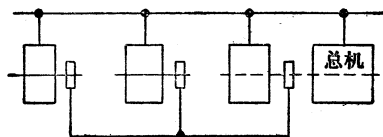


图 6

但必須說明一点，这种同步并列運轉裝置系統在开动以前，必須預先將所有要求如图 4 接綫的感应电动机(图 4、5 中的輔助机

和图 6 中的单个感应电动机),“整列”起来,否则,转子中的感应电势可能倒转过来而不能抵消,这时,各机间将产生极大的电流,有如短路使起动电流很大。

(原载“电世界”月刊 7 卷 9 期)

5-4. 滑环式电动机的同步运行

由于同步电动机能够在功率因数等于 1 或向系统中吸取超前电流的情况下运转,往往利用它来提高供电系统的功率因数。另一方面由于同步电动机的本身具有转速恒定不变的性能,对电压

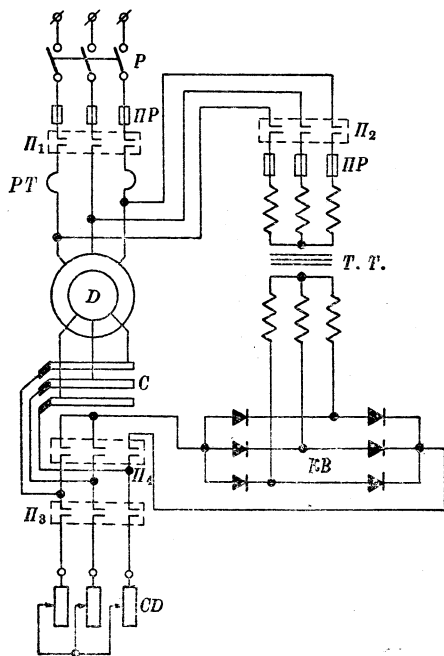


图 1

变动的敏感性也較感应电动机为差，因而适合于工业上某些需要恒速原动机的場合。但是，同步电动机的启动性能远不能和感应电动机相比，而且价值較高，因此就有使感应电动机同步运行的需要；而且可利用閑置的滑环式电动机改装，更有其經濟上的价值。

滑环式电动机的同步运行的原理接綫图，如图 1 所示。图中各元件的名称及作用說明如下：

P ——三极閘刀，用以接通或切断整个电路的交流电源； Π_1 、 Π_2 、 Π_3 、 Π_4 ——电磁开关； ΠP ——熔断器； PT ——过电流继电器； D ——滑环式电动机； C ——电动机轉子的滑环； CD ——电动机的起变动阻器； $T.T.$ ——380/12 伏的整流变压器； KB ——硒整流器，用以供給轉子的直流电源（也可用其他整流器）。

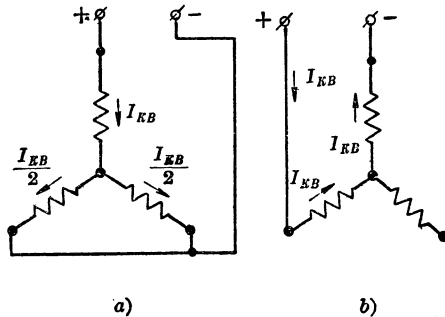


图 2

关于整流变压器和硒整流器的选择，是根据图 1 中轉子的接綫方式来决定的，轉子接綫如图 2 所示的情况时，电动机轉子的励磁电流 I_{KB} 和整流器的輸出电压 U 可由下式計算：

在图 2a 中：

$$I_{KB} = 1.4 I_{2H} \approx 1.4 \frac{570 P_H}{E_{2H} (1 - S_H)}, \quad U = 1.2 E_{2H} \cdot S_H$$

在图 2b 中：

$$I_{KB} = 1.23 I_{2H} \approx 1.23 \frac{570 P_H}{E_{2H} (1 - S_H)}, \quad U = 1.4 E_{2H} \cdot S_H$$

I_{2H} 为該电动机轉子中原来的額定电流； P_H 为电动机的額定

容量(瓩); E_{2H} 为轉子滑环上的电压; S_H 为电动机非同步运行满载时的轉差率。

在起动电动机时,先合上刀閘 P ,再合上电磁开关 Π_1 和 Π_3 ,用变阻器 CD 使电动机开动起来。在电动机起动后,合上电磁开关 Π_2 、 Π_4 ,断开电磁开关 Π_3 ,将低压直流电送进轉子,电动机即同步运行。

为了满足工业上的要求,可以采用自动化的控制机构。同时为了防止电动机由于瞬間过载而失去同步的可能,必需在过载情况发生时,自动地将电动机从同步运行改为异步运行。在过载去掉后,又自动拉入同步运行。自动化控制綫路如图 3 所示。其原理說明如下:

按下起动按钮,于是电磁开关 Π_1 、 Π_3 的綫圈与电源接通而閉合其触点。 Π_1 的輔助触点 Π'_1 也同时合上。

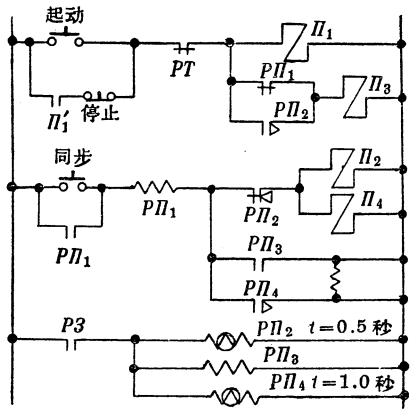


图 3

当起动变阻器短路后,按下同步按钮,使电磁开关 Π_2 、 Π_4 的綫圈經中間继电器綫圈 $P\Pi_1$ 和中間继电器定时限触点 $P\Pi_2$ 与电源接通而閉合其触点,将整流后的直流电源送进电动机的轉子,电动机拉入同步运行。中間继电器 $P\Pi_1$ 的作用在其触点能保持 Π_2 、 Π_4 的綫圈与电源接通和切断电磁开关 Π_3 綫圈的电路。

在电动机过负荷时,其保护系统的继电器触点 $P3$ 闭合,使中间继电器 $P\Pi_2$ 、 $P\Pi_3$ 、 $P\Pi_4$ 按照整定的时限先后动作, $P\Pi_2$ 常闭触点打开,切断电磁开关 Π_2 、 Π_4 的线圈电路,同时将电磁开关 Π_3 的线圈经中间继电器常开触点 $P\Pi_2$ 而接通电源,于是 Π_2 、 Π_4 断开, Π_3 闭合,电动机作异步运行。在过负荷情况消除后,由于 $P3$ 触点的断开,使中间继电器 $P\Pi_2$ 、 $P\Pi_4$ 复位,电动机恢复同步运行。中间继电器 $P\Pi_2$ 、 $P\Pi_3$ 、 $P\Pi_4$, 采用不同时限整定值的目的是,为了保证在按下同步按钮后,中间继电器 $P\Pi_1$ 的动作线圈始终保持与电源接通,以保证在过负荷情况消除后电动机能够自动地恢复同步运转。因为过负荷时, $P3$ 接通后 $P\Pi_3$ 先动作,将常开触点 $P\Pi_3$ 闭合,使 $P\Pi_2$ 动作后 $P\Pi_2$ 常闭触点断开时, $P\Pi_1$ 线圈仍不断电。过负荷情况消除后, $P3$ 断开, $P\Pi_4$ 最后复位,使常闭触点 $P\Pi_2$ 未闭合前常开触点 $P\Pi_4$ 不断开。

(原载“电世界”月刊9卷8期)