



第二集 第二版

感应电动机文辑

王群祐主编

上海科学技术出版社

感应电动机文輯

第二集

王群祐 主編

(第二版)

上海科学技术出版社

內 容 提 要

本文輯是將已出版的四集“感應電動機文輯”重新加以選擇與整理，並補充近年來“電世界”月刊上發表的有关文章編輯而成，分為兩集出版。第二集主要介紹有关感應電動機的檢查、試驗與維修知識，包括感應電動機故障的檢查、各種測試方法、繞組的修理和換新、電動機的浸漆與烘焙以及電動機機械部分的檢修等等。可供從事電工的技术人員參考。

感應電動機文輯 第二集(第二版)

王 群 祐 主 編

上海科學技術出版社出版 (上海瑞金二路 450 号)

上海市書刊出版業營業許可証出 093 号

商務印書館上海廠印刷 新華書店上海發行所發行

開本 850×1168 1/32 印張 5 10/32 排版字數 139,000

1963 年 7 月第 2 版 1963 年 7 月第 1 次印刷 印數 1—11,500

統一書号 15119·1737 定價(十) 0.64 元

目 录

6. 电动机故障的检查.....	1
6-1 怎样診察电动机繞組的病症.....	王季梅 (1)
6-2 推断电动机障碍的原因.....	王群祐 (10)
6-3 感应电动机鼠籠式轉子中缺陷的檢定.....	胡汝鼎 (19)
6-4 用鉄粉檢查鼠籠式轉子.....	刘绳祖 (24)
6-5 电机机械部分故障的检查.....	周祥义 (25)
7 电动机的各种測試方法.....	31
7-1 辨别电动机繞組的“起端”和“末端”.....	李慧生 (31)
7-2 从感应电动机的引綫头測定旋轉方向.....	李文化 (33)
7-3 电机部件表面溫度測定方法.....	顾文郁 (34)
7-4 測量低压交流繞組溫升的新方法.....	王季梅 (35)
7-5 求繞組溫升的簡易图表.....	陆 清 (38)
7-6 縮短电机溫升試驗的时间.....	王群祐 (39)
7-7 怎样量度感应电动机的轉差率.....	王季梅 (42)
7-8 閃光測定电动机轉差率的方法.....	王仲甫 (48)
7-9 測定感应电动机負載的簡單方法.....	厉以暘 (54)
7-10 感应电动机的功率損失的測量.....	楊志彬 (56)
7-11 感应电动机的互饋試驗.....	王秋儂 (60)
7-12 感应电动机的反饋試驗.....	謝兴仪 (63)
7-13 試驗三相感应电动机的不平衡电压負荷法.....	王群祐 (66)
7-14 无銘牌感应电动机額定数据的測定.....	楊春芳 (81)
7-15 交流电动机的絕緣試驗.....	樊元武 (86)
7-16 低压电机絕緣的电容試驗法.....	卢为愚 (90)
8. 繞組的修理和換新.....	95
8-1 如何拆換电动机的繞組.....	王群祐 (95)
8-2 用穿綫法拆換电动机的部分繞組.....	張蓉生 (104)
8-3 电动机轉子的快速拆綫.....	甄九卿 (105)
8-4 轉子波形繞組的联接法.....	詹宏亮 (106)
8-5 电动机繞組万能繞綫模.....	倪福泉 (108)

8-6	感应电动机旧壳繞新綫的簡捷計算法	蔣鴻金	(110)
8-7	电机修理中若干計算問題的图解法	李文昉	(116)
9.	电动机的浸漆与烘焙		121
9-1	电动机的浸漆与烘焙	陈常兴	(121)
9-2	电机的烘焙經驗	洪 頤	(127)
9-3	电动机繞組的烘干	謝兴仪	(129)
9-4	电机的感应加热干燥法	胡汝鼎	(139)
9-5	生石灰干燥电动机	叶毓鈴	(144)
10.	电动机机械部分的檢修		147
10-1	拆装电动机的专用设备	王湧鏗	(147)
10-2	电动机軸承发热的处理方法	王群祐	(148)
10-3	电动机軸承的維護	施松生	(152)
10-4	感应电动机轉子的动平衡	尹桐文	(154)
10-5	再談电动机轉子的动平衡	季 梅	(163)

6. 电动机故障的检查

6-1. 怎样診察电动机繞組的病症

王 季 梅

交流电动机繞組的病症，大概可划分为五大类，即通地（俗称碰壳）、短路、断路、反接及接錯。

潮气侵入繞組，損及繞組的絕緣；金属細屑侵入繞組，或者因为皮帶上一个靜电的放电使絕緣物穿一小孔，均可招致通地或短接。有时在重繞后，也可能发生新的故障，而不能正常运用，如反接或錯接等，也可能在修理过程中因为不当心而酿致短路或断路故障。

一个中小型感应电动机在正常運轉时，差不多没有什么杂声的，大型机也只不过发出很有規則的哼声。哼声是由于鉄心迭片在交变磁場中的振动以及由于槽数配合不好所致，和所通过交流电流的頻率相呼应的。除此之外，就是一种呼啸声，是由于轉子鼓风所致，在切断电流轉子未停时，这呼啸声仍存在的，不过音調漸低直到全停为止。如果除上述两种声音外，还有一种低沉的吼声，表示繞組中的磁場必有不平衡情形存在，电动机内部必有故障。

用手接触机壳而觉得麻震，可能有一部分繞組通地（即碰鉄），这是很危險的情形，尤以电压超过 220 伏的电动机为甚。所以，电动机鉄壳必須接地，以保障人員的安全，因为人是在地电位的，机壳如已接地，若有一部分繞組通地，必使熔断器燒断，切断电源。

下面介紹几种檢察上述五种故障的方法，不但在制造厂內可用于試驗新的机器，而修理时也很适用的。

通地的檢察和修理

檢察繞組通地的方法很多，一种最簡便的方法，是准备几只干电池和一只小电灯泡串联起来，将两端接在两根試驗針上。以一端触及机壳，另一端依次搭在电动机繞組的两端引綫上，如有通地情形，小灯即亮；如不用干电池，可用 220 伏电源及 220 伏白熾灯泡，在試驗时，电动机的总开关須先拉开。

对于三相电动机，須先将三相的 Y 或三角形联接拆开，分別檢察各相的繞組。

至于在一組繞組中，究竟哪一圈或哪几圈是通地的呢？可采用分組淘汰法。先将一整个繞組分为兩組，將兩組間的連接短綫拆去，分別檢試每一組，可以找出有故障的一組。将有故障的一組再分为兩組或几組，分別檢試，如是繼續測試下去，直至寻出有故障的一圈或几圈为止。

如果故障不是直接通地，而是因为絕緣受潮以致繞組的銅綫和鉄心間有漏電的，这繞組和鉄壳間有較高的漏電电阻存在，不是用灯可以測試得出的。只好用几只干电池和一只電話听筒串联，以試驗針触及鉄壳及繞組端时，如有故障应听得克察声，好的繞組就沒有。

另一种檢驗絕緣情形的方法，是用試驗用变压器，其次級一端接机壳，另一端接繞組。試驗电压强度通常为电机的額定电压之 2 倍加 1,000 伏，試驗時間 1 分钟。如要測試的电机很多，可將試驗時間縮短至一秒钟，試驗电压提高到 1.25 倍。对于旧的电动机，这种电压将不能忍受，因此，可將試驗电压降低到額定电压的二倍。对于修理后的电机，重繞的新綫圈部分可用标准电压試驗，但和旧綫圈連接后，整个繞組仍宜用額定电压的二倍來測試。

在綫圈嵌入綫槽，包裹着絕緣物，盖上槽楔（即槽盖）以后，应立即举行絕緣測驗，用銅綫將全部引綫端連接起来，接变压器次級

的一端，他端接机壳，如有通地存在，装在变压器初级电路里的熔断器或小断路器将立即跳开切断电源。在通地之处，可看出绕组与铁心间有閃絡或小电弧发生，或者絕緣物燒焦冒出一小陣濃烟。如用此法不能立刻找出通地之处，可采取分組淘汰法。

在裝置綫圈时，往往在鉄心的末端，用力將綫圈拗曲，因此，絕緣物常被鉄心轉角处的尖銳邊緣所割破，这是最容易发生通地的所在。

在修理时，应将有故障的一个綫圈自槽內举起，再行檢視故障原因予以修理。在綫圈与槽間加衬絕緣物，加衬的部分应伸出燒毀部分。还須注意，該通地的部分，是否因試驗时所发生的电弧而使导綫受伤。如果故障处已燒毀或銅綫已熔蝕，應該換接一段新的綫，否則燒伤处易发热。

如果綫圈嵌入槽內以前，是已經包扎过，而仍有通地故障时，应拆去燒毀之絕緣物，用新的絕緣物包裹，并用絕緣漆处理过。并再檢視相邻綫圈間之絕緣有沒有受到損伤，如有損伤应填入小片黃蜡布。

短接綫圈的檢察与修理

短接系由兩銅綫彼此接触供給一低阻抗的环路，如短路綫圈的阻抗为 0.01 欧，綫圈內感应电压有 1 伏，即产生 100 安的电流。此巨量电流足使电机加速发热，使外裹絕緣物老化，甚至燒毀。

图 1 显示两邻圈互触而形成短路的情形。电流自綫圈的 A 端流入，經綫圈边 1、11 及 2 至互触点 X，越 13 由 B 端出。同时被短路的綫圈边 3 及 12 內，由于在旋轉磁場內割切磁力綫而感应一电压，引起电流

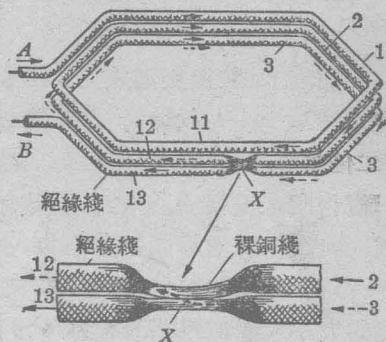


图 1 綫圈短接的情形

經 3X 及 12 而返 3, 如图中虛綫箭头所示。其电流强度两倍以至十倍于正常值, 該綫圈迅速热至最高温度。

檢察短路故障时, 可利用其綫圈边的过度发热现象。当电动机定子繞組已装竣后, 先使該机在零載下运轉約 10 至 30 分钟 (如有焦臭气味或出烟现象, 須立即停車), 然后停机以手触綫圈末端, 如有一两个綫圈較其他部分为热, 即表示有短路存在的可能。

最有效的檢察方法是利用短路檢察器, 这是一个在鉄心上繞有綫圈的感应器, 其底部系曲面的, 以便和定子的內周的弧形相吻合。

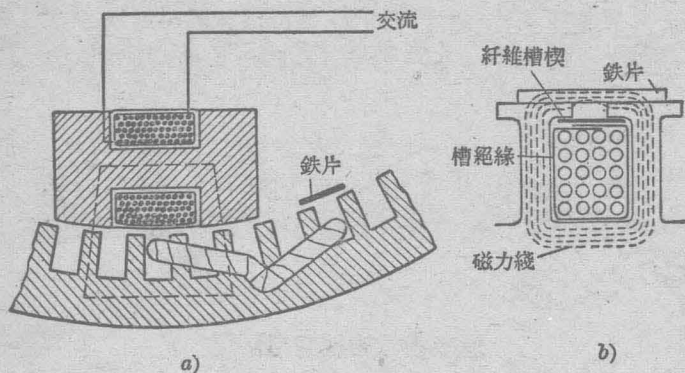


图 2 a) 用短路檢察器安置在一个槽上, 如短路, 綫圈內有感应电流。虛綫示磁力綫;
b) 短接綫圈另一边产生磁力綫而吸引放在槽上的鉄片

如图 2, 將檢察器放在定子上面, 正好放在所要檢察的一个綫圈边的槽上。在試驗时, 定子繞組不和外界相接, 以电流通入檢察器內, 磁通即由檢察器的左面入綫圈左面的定子槽齿、鉄心, 由右面槽齿回入檢察器。檢察器綫圈成为变压器的初級, 被測試綫圈成为次級。如該綫圈系良好的, 就没有什么反应, 因为該綫圈的电路不通。如該綫圈被短路, 即产生电流, 使初級的电流增大, 其电流的大小視感应电压及电路的阻抗而定, 在檢察器綫路內接一安培計, 可从电流变化察出短路所在。

如果不用安培計，用一块小鉄片，安放在該圈另一边所在的槽上，因該边有电流，槽齿有磁性，即能吸引鉄片。其理由見图 2 下部，因該綫圈边有电流，其磁力綫自左槽齿經槽口至右槽齿，將鉄片盖在槽上，磁力綫經過鉄片，使鉄片被吸引，將檢察器沿定子移动，鉄片也随之移动保持等距离，可以将全部綫圈加以檢察。

在一个槽內往往有两个綫圈边，必須檢察其每一个的另一边，即將鉄片放在左面槽上（与檢察器所在的槽相隔一个圈距）再移到右面相隔一个圈距的槽上各測一次。

如果一組繞組在其末端連接處相短路，用檢察器时，可連續寻出几个槽均使鉄片被吸，而且鉄片振动发出哼声，应仔細观察末端連接綫，將絕緣不良的部分移去。在移去后，鉄片无动作，即肯定故障所在，重加絕緣。

在一个槽內最容易发生短路之处，是同极同相相邻綫圈槽外的部分，在制造或修理时应在綫圈間加添絕緣。

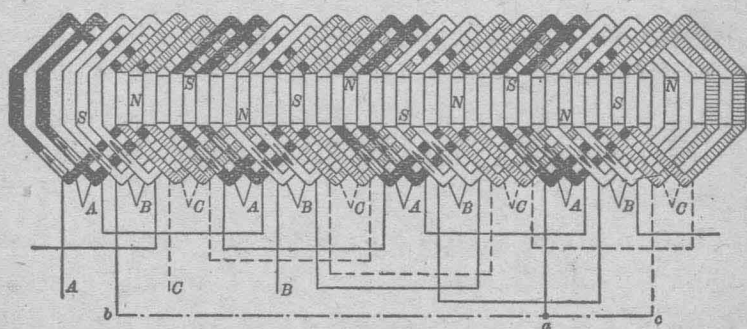


图 3 正确接法內之 SN 极排列情形

断路的檢察

一个或几个綫圈，因为銅綫断裂或末端連接綫松脫，就成为断路，可以用电池及小灯泡，或普通电源与灯泡串联来測試。先測各相整个的繞組，如灯不亮，該相必中断。然后在該相各磁极下的一組綫圈分別拆試，最后將該磁极下一組中各圈，逐一檢試，在檢試时可毋需將連接綫拆开，松去外裹絕緣帶即可將試驗針搭在每圈

的两端。

如果断路是由于末端接綫松脫或断裂，只要仔細观察也可以查出来的。末端連接可重行焊接。如故障在槽內而絕緣未损坏，可在槽外焊接，否則該圈必須重繞換新。

反接的檢察

反接的繞組中，电流方向和他圈中的相反。可分为繞組內一个綫圈反接；一相內某极上一組綫圈反接；及整个一相繞組反接。这种故障，可由細致核对綫圈末端連接檢察出来，因磁路的不平衡，該机運轉時必有震动及杂声，甚至不能起動。下面所介紹的是最便捷的磁針檢察法。

預备一低压直流电源，使綫圈內通过額定电流的 $1/6$ 至 $1/4$ 为度，再預备一个磁針（指南針），如用一变阻器和直流电源串联就可調节电流。如沒有直流电源，可用 6 伏蓄电池，变更电池串联的只数調节电流。

1. 极相組反接 电动机三外接引綫用粉笔各注以 A、B、C 或 I、II、III 字样或其他标志，直流两引綫也分別注以 +、- 标志。图 3 示一三相 Y 联接的定子繞組 Aa 、 Bb 及 Cc 各为一相， a 、 b 、 c 三端連接为中点。

先将直流正端接 A，負端接 B，以磁針沿定子移动观察其极性，将 N 及 S 用粉笔注在鉄心下部。然后以 B 接正端，C 接負端，用同法注出 N 及 S 于鉄心中部，最后以 C 接正端 A 接負端，将极性用 N 及 S 注于鉄心上部。如果繞組連接无誤，其次序應該是 $SNSNSNS\cdots$ 。同一方法，也适用于三角形連接。

如果在 A 相內，有一个磁极下面的一組綫圈接錯，如图 4 所示，A 相中第二組倒接了（正确的接法是 $Aa_1-A_2a_2-A_3a_3-A_4a$ ，現在是 $Aa_1-a_2A_2-A_3a_3-A_4a$ ），其极性次序为 $SNSSSNSNSNSN$ 。由此可見，在 A 相中有三个 S 极連續出現而不是 S 与 N 交錯，其中必有一組綫圈反接。

在檢察时，也可用如图 4 的接法，将直流一端接 A，他端接公

共的中綫。如系三角形連接，必須將連接拆開分別測試一相。但用如图 3 的接法，也可得同样結果。

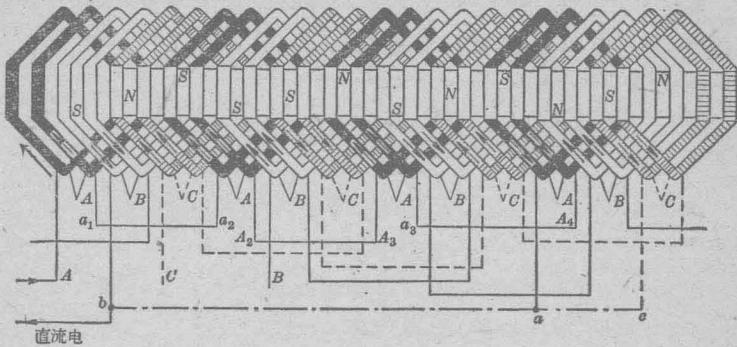


图 4 A 相中第二极綫圈組反接时，磁性次序紊乱

2. 綫圈反接 用磁針檢察一組綫圈中某一綫圈反接，比較不甚容易。在一相繞組中通入直流，將磁針沿定子緩緩移過，磁針應逐漸由 *S* 變為 *N*，再變為 *S*。如图 5 所示，在槽 1 上磁針橫臥，至槽 3 上漸漸變為直立，顯示 *N* 極，至槽 5 上又漸變為橫臥，漸至槽 6 與 7 之間變為直立顯示 *S* 極，而在槽 7 與 8 之間突然反轉為 *N* 極。此種突然變化，指示在這幾個槽內有反接的綫圈邊存在。設再加觀察，即可確定反接綫圈邊在槽 7 內。該綫圈的另一邊在槽 11 內，也可由磁針移過槽 11、12、13 時指示的突變看出來。



图 5 一相繞組中有一只綫圈接反 (7 至 11 槽中的綫圈)，

图中示一相通入直流时，磁針在不同位置所指的方向，小箭头代表磁針方向，虛綫代表磁力綫方向

3. 一相反接 在三相中有一相反接，其用磁針檢察的結果為 *SSSNNNSSSNNN* 和 *SN* 交錯分布的情形不同，即表示第二相繞組反接，在电动机空載運轉時，如有反接相組存在，轉速很低，且有很响的呼吼声，发热甚快。

接錯的檢察

若繞組內的磁極數接錯，在用轉速計試驗時可以察出。下表表示 50 周時由 2 極至 16 極之同步轉速。

磁極數	繞組組數		同步轉速	磁極數	繞組組數		同步轉速
	串 聯	并 聯	每分轉數		串 聯	并 聯	每分轉數
2	2	0	3,000	12	12	0	600
	0	2			6	2	
4	4	0	1,500		4	3	
	2	2			3	4	
	0	4					
6	6	0	1,000		2	6	
	3	2			0	12	
	2	3			16	0	
	0	6					
8	8	0	750	16	8	2	375
	4	2			4	4	
	2	4			2	8	
	0	8			0	16	

短路檢察器

上面談到的短路檢察器，為了便於自制應用，特將其結構介紹如下。

短路檢察器實際上是一只有鉄心的繞組，以便感應電流到被試驗的短路綫圈。鉄心用 5 吋×6 吋硅鋼片迭置而成，如圖 6 中 *a* 所示，鋼片沖成圖中所示的式樣。每片上鉗有 3/16 吋直徑的小孔六個，經手壓機或水壓機壓緊，或用鉗床夾緊亦可。將鉚釘穿入小孔，釘的兩個尾端都襯鋼質墊環，用來加大鋼片被夾住的面積。鋼片迭置厚度約為 3.5 吋。

將鉄心自夾緊機上卸下來，在缺口部分繞三層 0.007 至 0.010 吋厚的青殼紙，在缺口兩邊襯二片 3/16 吋厚的硬纖維板作為繞組與鉄心間的絕緣，如圖 6 中 *a* 及 *b* 所示。硬纖維板截面一邊須切

开以便插入鉄心,插入后再用 $1/16$ 吋纤维板胶封切开部分。

用于 220 伏交流电源的短路檢察器繞組,用美規 14 号双紗包綫分繞 16 层,每层 30 圈,总共 480 圈。以比較柔韌不易折断的橡皮綫焊接于短路檢察器两端,綫圈每层間須隔以紙片或黃蜡布,以保护繞組間的絕緣。綫圈全部繞毕后,即浸入絕緣漆处理,取出烘干后用紗帶扎紧。

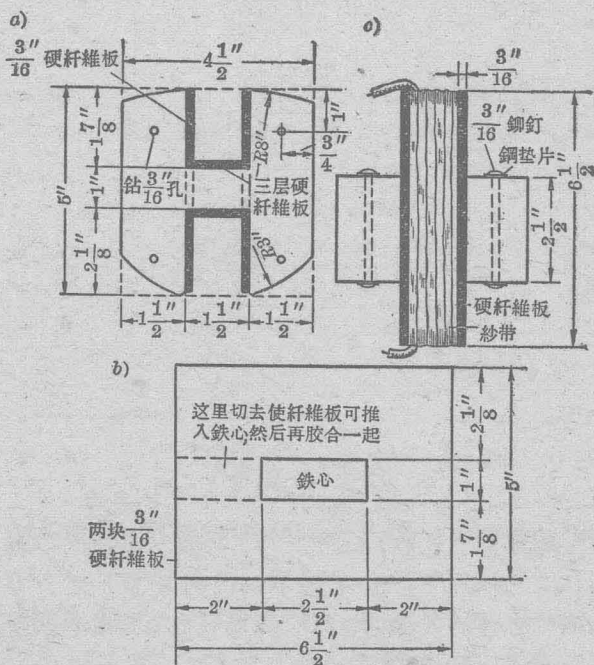


图 6 短路檢察器的构造

比較小型的檢察器,用以診察小型电动机,可用 E 形及 I 形硅鋼片,拼成日字形鉄心。然后截去日字上下两根橫档成 H 形。拼合后,用四块木板或硬纖維板将鉄心夹住,夹在 H 形的两直柱处,在夹板两端用两条长螺栓及螺絲帽旋上,将其夹紧。硅鋼片約 $3 \frac{1}{2}$ 吋 $\times$ $4 \frac{1}{2}$ 吋,迭成 1 吋厚即可,在上部及下部再截成所需要的形状。

綫圈可用美規 31 号双紗包綫繞制。

(1"=25.4 毫米,如果沒有上述規格的材料可用相近的材料——編者注)

(原載“电世界”月刊 4 卷 7 期)

6-2. 推断电动机障碍的原因

王 群 祐

电机的种类很多,从事各部門的电机工作同志,对于所接触的每一种电机的各种障碍現象,既不可能完全熟悉,熟悉了也不一定准确的判断电机的障碍所在。尤其是损坏了的电机,因为损坏前的現象,已不能完全查考,要判断它的损坏原因,更要困难。本文介紹一种理論和經驗相結合的分析推断方法,去寻找电动机的障碍和损坏原因,大多数的問題是可迎刃而解的。下面所举的例子虽仅限于习見的三相交流感应电动机,但是这种方法,其他电机也可同样应用的。

电动机发生障碍,就好象人体发生疾病一样。同一样的电动机的发热,可以有各种病源,要确定发热的原因何在,就象医生診斷人体发热的原因一样,必須將許多发热的原因加以分析,然后观察病者在发热以外的各种病象,区别出病者可能发热的原因。再参照病者的身体情况,生活环境,以及过去患病的經歷等等才能診斷出病源来,进行对症下药。

同样,要确定电动机的故障,并不簡單,尤其新制或重新換綫的电动机,其障碍更形复杂。有許多障碍的一般現象相同,很易混淆,非詳加分析,无从区别。例如一只三相鼠籠式电动机,空載運轉时三相电流不平衡,便可有許多原因:(1)电源电压不平衡;(2)定子与轉子間磁路的不平均;(3)相与相間短路;(4)一相內綫圈与綫圈間短路;(5)一綫圈內綫与綫間短路;(6)每相每极的綫圈組接錯;(7)每极每相綫圈組內部分綫圈接錯(这种錯誤大多发生在每

极每相的綫圈不連續在一起的情形下);(8)双路或多路并联时,有一路断路;(9) $\triangle$ 联接时有一相断路等。要确定究竟是那一种原因,非进一步了解其他現象和熟悉各种障碍的区別是不可能的。纵然熟悉各种障碍的区別,假使观察現象不够仔細,也还不能找出确实的原因。寻找故障最有效的办法,便是从所有故障現象和电动机的构造,应用基本理論和熟悉現象,予以逐步分析和推断,必要时再进一步观察其他的現象,最后总可找出故障所在。至于坏了的电动机,在损坏以前的現象,已不可完全追寻,只可从损坏后的現象去寻找损坏的原因,更非詳加分析,仔細推断不可。至于怎样去分析推断呢?下面介紹分析一种故障的步骤:

(1) 先尽可能的明了这一电动机的規格和构造,旧的还要明了过去的使用情形。

(2) 仔細观察所有現象,如电压、电流、声响、振动情形,以及有无焦臭气味及发热出烟等。

(3) 利用基本理論和熟悉的現象,先假定所有可能的原因,再逐步分析淘汰;或从比較異常的現象,追求原因,便可寻出故障所在。

(4) 最初查出的故障現象和电动机的构造或許不够,可在初步分析后,再予观察和查考。

以上面的电动机三相电流不平衡为例,一只旧的电动机,过去运轉情形正常,它是 6 极 $\triangle$ 联接, $Y-\triangle$ 开关起动,繞組是双路并联(这应当在平常檢修时查明記出,假若沒有查过,也不必先将电动机拆开去查)。現在空載时三相电流大小相差 20% 以上,电源电压相差 1%,无嗡嗡叫声,亦不发热出烟。从基本理論和普通經驗可断定:电流不平衡不是由于电压不平衡或磁路的不平均,因为这两种原因不致使电流相差过多的。也不是有短路故障,因为嗡嗡叫声和发热出烟是短路的必有現象。又因为这是一只旧的电动机,过去运轉情形正常,不可能有接錯情形。分析到这里,初步观察的現象,已不能再行分析了,須进一步观察电动机的空載运轉現象。經查出三相电流中两小一大,振动較平常剧烈。从前面分

析的結果，已知可能的故障只有断路。如果繞組一相断路如图 1 X 处，从基本理論可以知道 I_B 大于 I_A 及 I_C ，但一相內所有磁极的位置是对称的，一相整个断电，轉子所受其他两相的轉矩仍是平衡的。电动机的振动所以加剧，是由于轉子所受轉矩不平衡，因此可推断不是整相断路，可能是双路繞組中部分断路。再看图 1， CA 相繞組如在 Y 处断路，三相电流也是两小一大，并且轉子所受轉矩不平衡。图 2 是这一只电动机繞組的联接图，只画出第 III 相的联接綫，这一相的 6 組綫圈在对称位置，如果左面的一路断路，轉子只受到一边的轉矩，因此而振动。从上面分析的結果，可确定这一电动机的故障是双路繞組中有一路断路。要証明分析的結果是否准确，可量这一电动机的各相电阻（各相分开量，不要連成 Y 或 Δ ，否則不易直接看出故障），有故障的一相电阻比其他两相高出一倍。

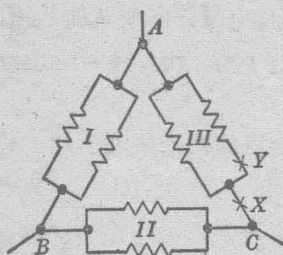


图 1 三相繞組中 CA 相在 X 处断綫，电流两相小一大

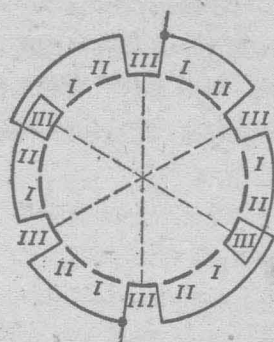


图 2 电动机繞組的联接图，一相的六組繞組在对称位置上

从上面的例子看来，这种方法应用起来好象很麻煩，实际上在初步分析时，所有可能的障碍不需要分得过分仔細，只需分成几类，确定某一类后再詳細分析。例如前例 3~9 的障碍先分成短路、断路、接錯三类，分析时便简单得多了。下面再举几个实例，来証明这一方法的可靠而且并不麻煩。

【例 1】 有一 20 馬力双鼠籠式电动机，用一时期后，重車不能起動，負荷減輕后方可起動，但負荷運轉情形尚正常。