

前 言

自从本书初版“同步調相机的运行”出版以后，六年来动力系统中的調相机設備发生了很大的变化。出现了新型的同步調相机及其新的安装方法，增大了单位机組的容量，与同步調相机設備有关的人員也相应地增加了。他們不仅过去需要，而且現在和将来都需要更深入地了解同步調相机的結構、維護方法及其工作过程。

在这六年多的時間內，对大型同步电机运行方面若干問題的观点有了改变，并且进一步搞清楚了許多涉及同步电机的异步运行方式及自同步投入方式等复杂問題。这样，就有可能更加詳尽地闡述当同步調相机正常工作时和起动时，在調相机中所发生的物理現象，从而可在一定程度上滿足各級运行人員的需要。因此，本版中沒有压缩有关实用知識方面的篇幅。

氢冷調相机現時还处于特殊的地位。这种机組的数量虽然增加得很快，但目前还不太多。它們的运行時間不十分长，还没有积累成熟的运行經驗。因此，本书中关于氢冷同步調相机的篇幅較少，并且大都是屬於叙述性质的。大部分篇幅是讲屋外式空气冷却同步調相机。

在編写第一版及第二版时，除了参考所列的文献資料以外，还利用作者直接在同步調相机設備上工作的多年經驗，以及莫斯科动力系统和其他动力系统的高压电网工作人員在更长时期內所作的讲课材料。同时，也利用了莫斯科动力系統中許多同步調相机运行人員的經驗。作者謹对所有这些同志，以及所有对編写本书提出意見与批評的同志，致以衷心的感謝。

作 者

目 录

前 言	
緒 論	1
第一章 空气冷却的同步調相机的結構	3
1-1 調相机組的布置及基础	3
1-2 調相机的定子	4
1-3 調相机的轉子	16
1-4 軸承	24
1-5 联軸器	33
第二章 励磁	34
2-1 励磁結线	34
2-2 励磁机	35
2-3 电刷	41
2-4 电刷的接触	53
2-5 励磁調整	59
2-6 灭磁	76
第三章 同步調相机的附屬設備	83
3-1 起动电动机及附屬起动設備	83
3-2 空气冷却器和过滤器	85
3-3 軸承的水冷却	94
3-4 軸承的油冷却	96
第四章 氬冷同步調相机的特点	99
4-1 氬冷同步調相机的結構	100
4-2 氬冷同步調相机的供气設施	105
4-3 附屬設備的特点	110
4-4 起重作业的特点	112
第五章 同步調相机的起动	116
5-1 起动結线	116
5-2 起动的控制	122

5-3	用电抗器起动时的起动状态	129
5-4	自同步时的起动状态	131
第六章	同步调相机的正常运行状态	135
第七章	调相机的损失和发热	144
7-1	损失	144
7-2	发热	146
7-3	冷却	151
第八章	绝缘与焊接头的检查和试验	158
8-1	绕组绝缘的检查	158
8-2	轴端绝缘的检查。磁不对称	164
8-3	调相机检修时对焊接头的检查	167
第九章	同步调相机的拆卸和组装	172
9-1	计划性检修的组织	172
9-2	拆卸和组装的顺序	173
9-3	调相机转子的抽出和安装	178
9-4	起动电动机的拆卸和组装	189
9-5	联轴器的组装特点	192
9-6	起重作业中的一些特殊情况	192
9-7	检修作业计划	197
第十章	检修同步调相机时的测量工作	203
10-1	测量的范围和性质	203
10-2	轴承间隙的测量	204
10-3	空气间隙的测量	206
10-4	直径的测量	211
10-5	圆周精确度的测量	213
10-6	轴的晃度的测量和调整	216
10-7	轴线的测量和调整	226
10-8	振动的检查和测量	236
第十一章	变电站中同步调相机的检修	244
11-1	调相机的定子	245
11-2	调相机的转子	252
11-3	联轴器	259

VI

11-4	軸頸和軸承	260
11-5	其他各种检修作业	264
11-6	找平衡	269
11-7	烘燥	284
附录 1	同步調相机在同步和異步运行方式下的主要 物理現象	293
附录 2	KCB系列氙冷同步調相机的一些数据資料	331
附录 3	“电力”工厂根据电机制造工业部第1271号产品 目录生产的KC系列同步調相机的一些数据資料	332
参考文献		333

緒 論

調相機運行方式可理解為：同步電動機在軸上沒有制動轉矩，或者更準確地說，制動轉矩很小，並且定子繞組內的無功電流滯後或超前於勵磁電流時的工况。

同步發電機在上述條件下，且如這時汽輪機只補償發電機中的損失，則亦能以調相機方式運行。

同步調相機是單獨裝設的、不與任何傳動裝置相聯的、並且預定只以補償方式運行的同步電動機。對同步電動機來說，補償運行方式實質上就是在過勵磁或欠勵磁的情況下空載運行的方式；這時，電動機中的損失係由電網供給其定子的有功電能來補償。

同步調相機在供電網中是一個均勻調整的容性或感性負荷。當此負荷相當大時，對供電網的運行狀態，亦即對電網中的損失和電壓數值，均有顯著程度的影響。

同步調相機能象同步發電機一樣地快速增加勵磁，這對供電網在事故時恢復正常运行狀態來說具有很大的意義。在這些情況下，裝置在負荷中心附近地區的同步調相機，可使用戶的電壓維持在較高的水平；同時，也使整個高壓電網的電壓保持在較高的水平，從而提高了動力系統中所有同步電機並列運行的穩定性。

在現代動力系統的巨型樞紐變電站中運行的同步調相機，都是大型高壓同步電機。

繞線式感應電動機也能以補償方式運行（感應調相機的勵磁機是一種特殊的電機，它將額定頻率的三相電流變換為感應電機的轉差頻率的三相電流）。但是，大型感應調相機有着嚴重的缺點，所以沒有廣泛應用。

同步汽輪發電機及水輪發電機在某些情況下，也可作為同步調相機使用。在實際運用中，對於長期當作調相機運行的同步發

电机，可以象电动机一样地起动。

在苏联动力系统中运行的同步调相机，絕大部分为国产设备，主要是由列宁格勒“电力”工厂生产的。最近几年中生产的同步调相机，无论在机组型式方面或其附属设备方面，都有相当大的改变。“电力”工厂在伟大的卫国战争结束后，恢复生产大型同步调相机，并且在结构方面作了一系列根本的改进。

“电力”工厂及“烏拉尔电器”工厂生产的 KC 及 KCB 新系列同步调相机，比战前生产的 CK 型调相机又有了一些改进。KC 型调相机在容量、布置及电机的冷却方法上，与 CK 型调相机相同，二者的区别是在许多结构特点上。屋外装置的氢气冷却 KCB 型调相机，是一种完全新型的設備；其容量比 CK 及 KC 型调相机来得大，这是因为采用氢气冷却不仅可以提高有效材料（导磁钢材及绕组铜材）的利用，而且得以制造比采用空气冷却时容量更大的调相机。已经安装在伏尔加水电站至莫斯科送电线路上的某些变电站中的 KCB 型同步调相机，容量为 75 兆伏安，轉速为 750 轉/分。

由此可见，同步调相机的数量、容量及设备的复杂性，是在不断地增加中。同时，由于改进了机组本身的质量以及扩大了自动控制与监视装置的应用，也提高了它们的可靠性。另一方面，运行可靠性的提高，与运行人员及检修人员的功績也是分不开的，它们为了消除制造和安装过程中的某些缺陷和結尾工作，作了许多的努力。

当然，同步调相机设备运行的好坏，是完全决定于运行人员，决定于他们对设备的熟悉程度以及对设备的运行和维护要求的了解程度。

第一章 空气冷却的同步調相机的結構

1-1 調相机組的布置及基础

到目前为止，同步調相机均做成凸极、臥式、轉速較低的电机。励磁机和副励磁机总是与主机联接在一起。当有起动电动机时，它装在与励磁机相反的那一側。

机組的轉向，如从励磁机側看去，一般是逆时針方向的。当調相机組安装在室內时，它布置在二楼，并且沿着主机室纵向布置，以减小桥式起重机的尺寸。主机室的建筑物常与变电站的变压器修理間毗連，这样一来，虽然变压器修理間的拉式大門使主机室冬季保温变得困难，但却可以提高桥式起重机的利用率。

机組的下面布置着空气过滤器或空气冷却器。泵、起动設備及其他附屬設備則占用了主机室底层的其余部分。为了减小同步調相机中的損失及保証其轉子的机械强度，制造厂对轉子的圓周速度規定了一定的极限〔文献 1〕。过去和現在生产的容量为15兆伏安的同步調相机，轉速为750轉/分（轉子为8极），而30兆伏安的調相机的轉速为600轉/分（轉子为10极）。“电力”工厂生产的7.5兆伏安新型調相机的轉速为1000轉/分（轉子为6极），而旧产品則为8极的轉子。

只有采用氢气冷却的方式，才可制成37.5兆伏安、750轉/分的調相机，这时电机的单位重量也有所降低（見表1）〔文献1〕。

整个机組安装在焊接的、箱形截面的底架上，底架用很大的地脚螺栓固定在基础上，然后进行二次灌浆。

同步調相机的基础由四根支承在整块鋼筋混凝土地基板上的立柱組成，立柱的上部以粗大的鋼筋混凝土框架联接在一起。励磁机和起动电动机布置在主机基础平台的外伸部分上。为使机組

振动尽小地传到主机室的地坪和桥式起重机的柱子上，在基础和楼板之間总是留着縫隙，而在縫隙中充填松软材料。开放式通风冷却的調相机，在基础范圍內設置两个冷风室及一个热风室，并且往往在它們之間設置供热风送入冷风室用的通风道。

表 1

容 量 (兆伏安)	电 压 (伏)	总 重 量 (吨)	单 位 重 量 公斤/千伏安	冷 却 方 式
7.5	6600	26.4	3.52	空气冷却
15.0	6600	57.6	3.84	
15.0	10500	57.8	3.86	
30.0	10500	132	4.4	
37.5	10500	137	3.65	氢气冷却

从后面所述的情况显然可見，这些通风道是用不着的。

当采用密闭式通风冷却系統时，空气冷却器安装在調相机的下面。在这种情况下，热风室为鋼制的风道，調相机机座內的热风經由該风道出口孔排到空气冷却器。风室的其余部分即冷风室。

以后所述的同步調相机的各个結構部件，均指“电力”工厂制造的調相机而言（WR-446-Z-750系列，7500千伏安；OK及KC系列，15000及30000千伏安）。在个别情况下，也述及哈尔科夫汽輪发电机工厂制造的10000千伏安的同步調相机。

1-2 調相机的定子

調相机的定子的主要部件是：机座、端盖、带引出綫端的繞組及有效鉄心。

定子机座（图1-1）是一个箱形体7，通常以内部隔板分隔成三个风室9。其中中間一个是热风汇集室，它与下面的风道相通，热风經由此风道自电机中排出。

定子的底脚供定子支承在底架上之用，底脚借許多大螺栓与底架固定在一起，当机组附近发生短路时，这些螺栓将承受很大的力。

在底脚的筋上有孔，以便起吊定子时插入与机轴平行的吊杠，吊索系在吊杠的两端露头上。在定子上部活絡板的下面，有效鉄心的上面，有两根纵杠焊接在定子机座箱形体的横隔板中。

“电力”工厂生产的30兆伏安的調相机，因其定子較重，在定子两侧都有供固定吊索用的柱状吊耳。

定子的有效鉄心是由厚0.5毫米的扇形电工鋼片（厚0.35毫米者用得較少）迭成，各片之間涂有漆膜彼此絕緣。

定子有效鉄心用拉紧螺栓6压紧（图1-1），后者位于有效鉄心与定子机座之間的空气間隙中。螺栓6的螺帽压紧着压板5，而压板5又压在压指4上（压指就是安在筋上的鋼条）。由于压指可以压在定子每个齿的邊緣上，所以拉紧螺栓的全部作用力就通过压指传递到有效鉄心上。制造厂在压紧有效鉄心以后，即将拉紧螺栓的螺帽与压板5焊牢。因此，在运行中就不应再进行压紧鉄心的任何工作。但是，在运行中有时也可利用拉紧螺栓而适当地将鉄心进一步压实。

現代的調相机的定子繞組，是做成所謂鏈形模型繞組的类型，它比旧式电机中所用的綫圈形繞組具有許多优点。鏈形繞組只作成双层的，属于定子繞組的不同綫圈的两根綫棒，在定子槽中作上下排列。

1941年以前生产的同步調相机又采用鏈形迭繞組。“电力”工厂在新系列的补偿机中，也曾用过鏈形波繞組。

同所有的低速电机一样，同步調相机在一个极距上定子的槽数不应很多。例如中容量的8极的調相机，定子常作成108槽，极距值以齿距数表示时为：

$$\tau = \frac{Z}{2p} = \frac{108}{8} = 13.5.$$

迭繞組的节距 y_1 （图1-2， a ），等于从定子槽中的一个綫棒

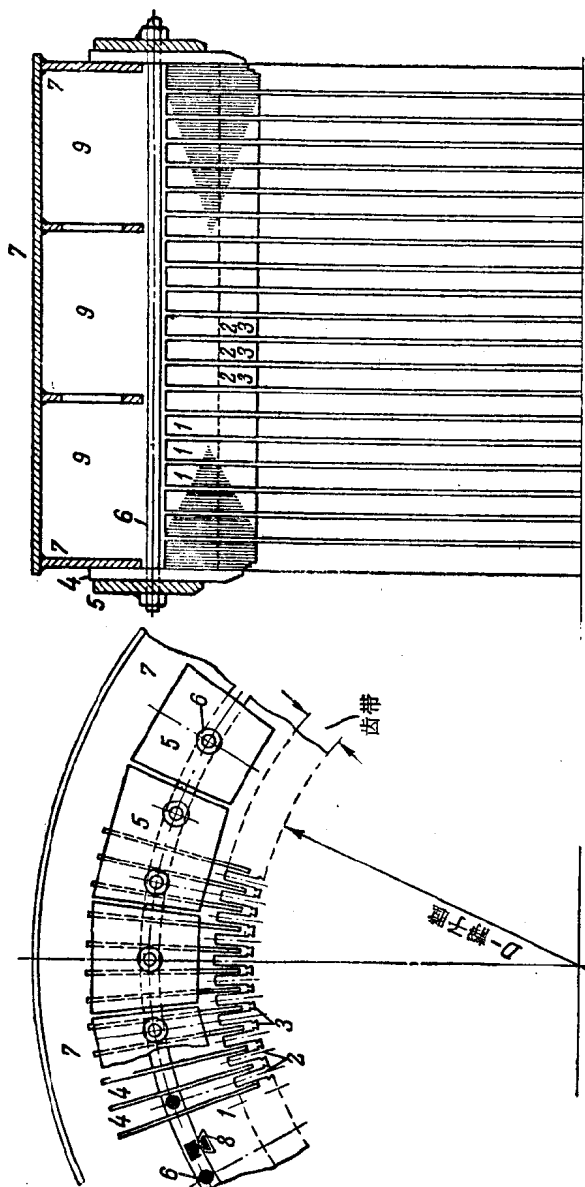


图 1-1 同步照相机的定子机座及有效铁心

1—有效铁心迭片；2—槽；3—齿；4—压指；5—压板；6—拉紧螺栓；7—定子机座；8—支持有效铁心扇形片的齿条；9—热风室

繞接到轉子另一極對面槽中的下一個綫棒時的齒距數。在通常情況下，它小於極距 τ 。縮短繞組的節距，除了減少端部連接用的銅消耗量以外，還可以改善定子電動勢的波形。

在波繞組中（圖1-4），當 y_1 為短節距時，由於要遵守條件 $y_1 + y_2 = 2\tau$ ，所以第二個節距 y_2 大於 τ 。在這種情況下，不同相繞組的綫棒沿定子槽的分布，對迭繞組和波繞組來說，可以完全相同（比較圖1-2， a 和 1-4）。

在極距 τ 以內有三組槽，槽中安置着定子三個相繞組的綫棒。一相的一組綫棒平均占有 $q = \frac{Z}{m \cdot 2p}$ 槽，或者，對上述例子

來說： $q = \frac{108}{3 \times 8} = 4.5$ 槽。

當 q 為分數時，有效鐵心的齒所引起的空氣間隙中磁感應值局部波動的影響較小。因此，在每極每相的槽數為分數時，由於磁通的齒部波動而產生的損失減小。

在相鄰的槽組中放置不同數目的綫棒時，每極每相便具有分數槽。例如，在相鄰的槽組（或常稱為“綫圈”組）中，輪換綫棒的數目為 4—5—4—5—4……，就得到 $q = 4.5$ 。因此，若能區分出綫棒組或綫圈組的分界點，例如在端部的中間連接處（圖1-3及1-5），而且知道兩個組的所屬相（為方便起見最好是與定子引出綫端相連接的那兩組），那麼，即使不用繞組結綫圖，也能很容易地確定繞組的任何一個綫棒或綫圈的所屬相。

下面就分別研究調相機定子的迭繞組及波繞組的兩個這樣的例子。

第一個例子為迭繞組（圖1-2及1-3）。

假定欲求如圖1-2， a 中實綫所示的 No 30 槽中的上層綫棒的所屬相。（槽號可任意編排，通常以底下一個槽作為 No 1 槽。編號的次序最好是按照轉子的旋轉方向。這時，從定子引出綫端，通常也就是從勵磁機一側看去，槽號是逆時針方向而增加的。）

因為在迭繞組的端部，帶弧形連接綫的綫圈的两端連接處，

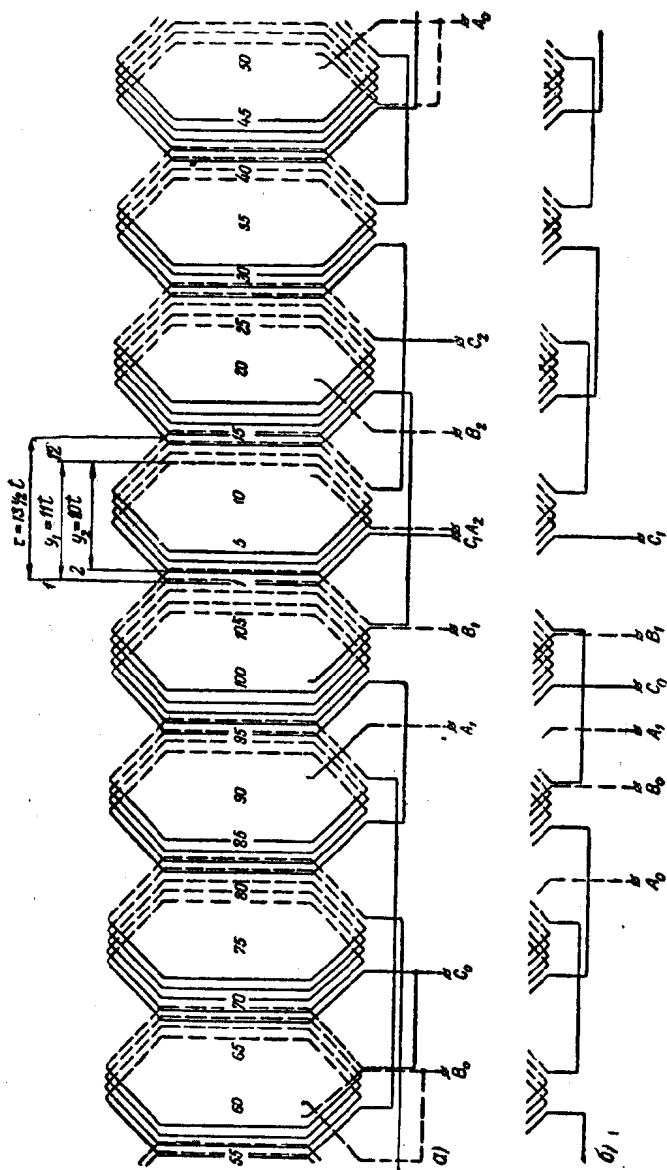


图 1-2 定子的迭绕组
 a —两个并联支路; 0 —不分裂的绕组

是线圈组的明显分界点，所以很容易看出，包含有№30槽上层线棒的线圈组的上层边线棒是安置在№28槽内。（在定子上可以很明显地看出该线圈组的分界点，按照图 1-3 上所示的槽号，它的上层边线棒和下层边线棒处于下列两个槽内：№28—№42。）下面的两个线圈组（№38—№23及№33—№19）是属于另外相的（这些线圈组的边线棒的槽号完全不必在定子上表示）。再下面的线圈组（№29—№14）就与№30槽的上层线棒属于同一相绕组。这一线圈组与定子引出线端 C_2 相连接，这样，便确定出所求的相。然而，该定子的所有各相绕组都有两个并联支路，因为根据引出线端的数目和引出线端与绕组之间没有支线（中性线除外），可

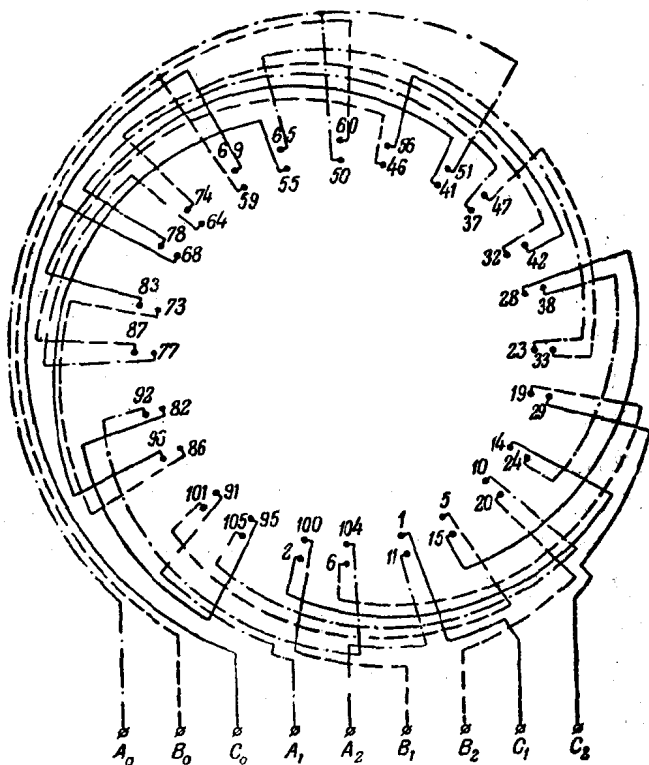


图 1-3 具有两个并联支路的定子迭绕组的线圈组的连接

以清楚地看出这一点。沿着定子圆周順次布置的綫圈組，是輪流与各并联支路相連接的。因此，所求的綫棒不应属于并联支路 C_2 。在繼續往下查寻綫圈組时，仍再放过两个另外相的綫圈組（№24—№10及№20—№5）。最后，由与引出綫端 C_1 相連接的下一个綫圈組（№15—№1），确定出№30槽內上层綫棒的所屬相。

这样分析的正确性，可从对图1-2a所示的結綫图的研究中得到証实。这时，应考虑到在图1-2，a中沒有表明带定子引出綫端为（图1-3）。

$A_0, B_0, C_0, A_1, A_2, B_1, B_2, C_1, C_2$ 的下列各相繞組

$A_0, B_0, C_0, A_1, B_1, C_1, A_2, B_2, C_2$ 的两端的中間連接。

“电力”工厂在第一批生产的CK-30型30兆伏安調相机中，曾采用过沒有并联支路的单匝綫圈的迭繞組。图1-26示这种类型繞組的一相的結綫图，图中只表示了綫圈組之間的連接。

第二个例子为波繞組（图1-4及1-5）。“电力”工厂在KC-15型15兆伏安的調相机中初次应用这种繞組。工厂将这种繞組做成单匝的；并且用半綫圈来代替整綫圈。因此，在定子两端的繞組端部上都有焊接头。

必須指出，“电力”工厂在迭繞組的情况下（KC-30型30兆伏安的調相机），同时也曾应用过半綫圈。不能认为这种繞組的焊接头数目較整綫圈的繞組增加一倍是一个缺点，因为在調相机正确运行的情况下，定子繞組中焊接头脫焊的机会是极少的，而在运行中为了检修局部故障需要局部地（和全部地）拆开繞組时，半綫圈却要比整綫圈方便得多。

波繞組在每相中两个半綫圈組間的端接部分，当沒有并联支路时，只有一个短連接綫（图1-4）。因此，如图1-5的結綫所示，所有三相波繞組的端部連接，从端部看去要比迭繞組简单得多。特别是从半綫圈的首端分出的支綫較少，不象迭繞組那样明显地围着綫圈組。所以，标定波繞組的半綫圈的所屬相是要比迭

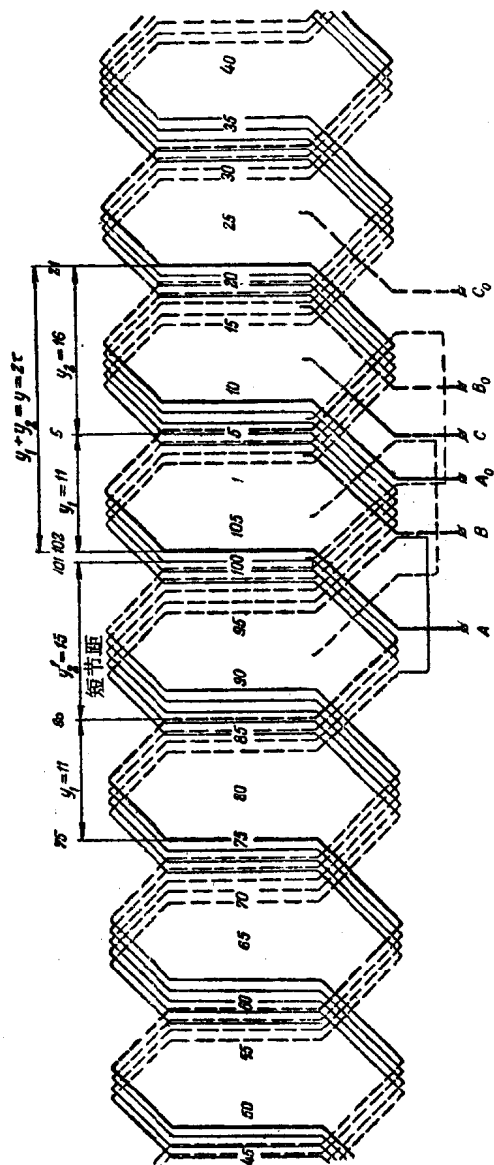


图 1-4 不分裂的定子波绕组

繞組來得困難。

根據展開結綫圖（圖 1-4），以及在察看實物時，很容易看出繞組（例如從引出綫端 A 開始出發）沿定子圓周向右作完全的環繞。波繞組的綫圈的全節距等於兩個極距。為了在沿圓周作完全環繞時不致落入同一槽中，須將最後一個節距縮短，使 $y_2' < y_2$ 。因此，繞組在作下幾次環繞時，根據綫圈組由 4 個綫圈組成的關係，一個綫圈對於另一個綫圈相對地向左移動。

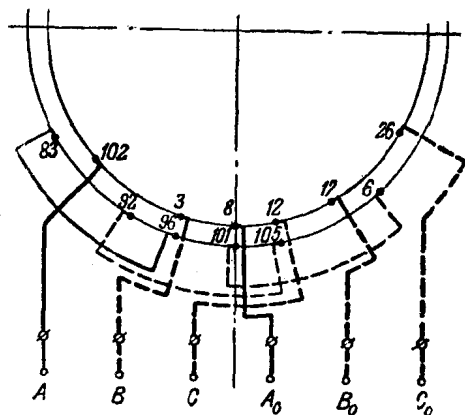


圖 1-5 不分裂的定子波繞組的連接

在繞組作完四次環繞後，由 №83 槽沿着外部連接綫轉入 №96 槽，向左作五次完全的環繞。這時，綫圈組由五排綫圈組成。這樣一來，就保證了在 108 槽的情況下所必需的 4—5—4—5……的輪換。

同迭繞組的情況一樣，如已知任何兩個綫圈組的所屬相，就足以標定綫圈首端的所屬相。

邊綫棒安置在 №102 和 №83 槽（圖 1-4 及 1-5）中的綫圈組屬於 A 相，它的綫圈的首端都布置在至引出綫端 A 的支綫與至中間連接綫的最左側的支綫之間。同樣，可以確定邊綫棒安置在 №3 及 №92 槽中的綫圈組屬於 B 相。因之，安在它們之間的首端都是

屬於C相線圈的。這樣，當遵照相的輪換及4—5—4—5……的輪換次序時，就有可能從引出線側沿定子圓周標定出所有線圈首端的所屬相。

定子繞組的多匝和單匝線圈以及半線圈，均由銅線棒做成，而後者又由許多矩形截面的並聯導體組成，各導體間用耐熱的絕緣材料（例如厚約0.15毫米的石棉）隔開，絕緣材料承受的電壓是不大的。這些銅導體（稱為導體元件）在線棒中垂直排列成2~3列。

在垂直的各列之間，有時敷以用云母紙帶作成的附加的薄絕緣層。

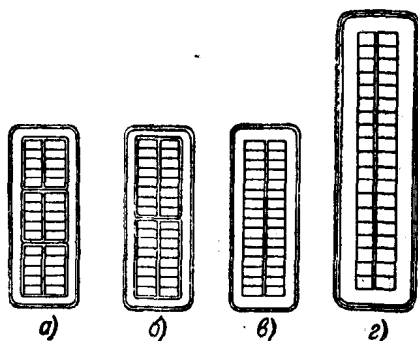


圖 1-6 定子繞組線棒槽部的斷面
a—6.6 千伏、10 兆伏安調相機，兩個並聯支路；b—6.6 千伏、15 兆伏安調相機，兩個並聯支路；c—6.6 千伏、15 兆伏安調相機，不分裂的繞組；d—10.5 千伏、30 兆伏安調相機，不分裂的繞組

各種槽線棒的斷面如圖1~6所示。

線匝的絕緣採用半迭接的云母帶（6.6 千伏用一層，10.5 千伏用兩層），再緊纏一層對接的軟緞帶。後者只是用作為製造線圈時的機械緊固件。云母帶厚約 0.13 毫米。所以，當 6.6 千伏繞組用云母帶作為匝間絕緣時，匝間絕緣的總厚度超過 0.5 毫米。機座絕緣也採用云母帶，對於 6.6 千伏，線棒的槽部用 9 層，端部用 8 層，線圈首端用 5 層；對於 10.5 千伏，機座的絕緣則相應地採用 13、12 及 7 層。

在機座絕緣的上面，纏一層對接的布帶作為保護層。“電力”工廠對於 10.5 千伏同步調相機以及 6.6 千伏最新式電機的繞組，槽部採用半導電的石棉帶。這種方法使線棒的外層絕緣與槽底及槽壁之間造成等電位，因此，消除了這些地方的空氣層的電