

同步电机原理

电机专业

上海机械学院

1978. 7.

前 言

本书讲述了同步电机的工作原理和运行性能，为了讲工作原理的需要，也叙述了同步机的几个主要结构部件，但不对结构问题进行深入讨论。在原理的分析方面，本书着重于说明问题的本质，对于一些主要问题注意其分析问题的方法，说明其基本概念，而不多作具体的推导与演算。目的能为进一步研究打一基础。

有些关于交流电机的共同问题，如交流电机的各种绕组，绕组的感应电动势和三相绕组产生的磁动势等，在本校所编的异步电机原理一书中已详细讲过。为避免重复，在本书中，除特殊部分稍作补充外，都不再列入。读者需要时可参阅该书。

同步电机品种类型很多。本书内容着重讨论电机共同的电磁问题，稍偏重中小型同步电机。在大型电机中，由于容量大，电压高，体积大，电场和磁场的分布较复杂，常出现一些特殊的绝缘问题、损耗问题或机械应力等问题，需要作专门深入的研究。没有包括在本书范围内。

本书在修订过程中，承上海革新电机厂多方予以协助指导，谨表示感谢。

同步电机原理

目 录

前 言

第一章 同步电机一般介绍

§ 1—1 同步电机的基本工作原理..... (1)

一、同步发电机的基本工作原理 二、同步电动机的基本工作原理

✓ § 1—2 同步电机的主要结构部件..... (2)

一、凸极式转子 二、隐极式转子

§ 1—3 分数槽绕组..... (6)

一、分数槽绕组的应用 二、分数槽绕组举例 三、分数槽绕组对称条件

✓ § 1—4 同步电机的用途、基本分类及额定值..... (9)

一、同步电机的用途 二、同步电机的分类 三、同步电机的额定值

思考题与习题

第二章 同步发电机的磁路及空载运行

§ 2—1 同步电机的转子磁场..... (13)

一、隐极同步电机的转子磁场 二、凸极电机的转子磁场

§ 2—2 同步电机的空载运行..... (16)

一、空载电动势 二、磁路特性 三、同步电机的空载特性

§ 2—3 同步电机削弱谐波电动势的方法..... (19)

一、改变转子磁极形状 二、采用短距分布的定子绕组

三、各相绕组间的联接方法 四、齿谐波及其削弱的方法

思考题与习题

第三章 同步发电机对称负载运行

§ 3—1 对称负载时的电枢反应..... (22)

一、电枢反应的物理现象 二、隐极电机的电枢反应

三、凸极电机的电枢反应

§ 3—2 同步发电机的矢量图..... (31)

一、隐极电机的矢量图 二、凸极电机的矢量图

✓ § 3—3 同步发电机的特性..... (40)

一、相对单位制在同步电机中的应用 二、对称负载下同步发电机的特性

✓ § 3—4 同步发电机的运行方式..... (53)

- 一、单机运行 二、同步发电机与电网并联运行
- 三、两台相近容量同步发电机并联运行

思考题与习题

第四章 同步发电机的不对称运行和突然短路

§ 4—1	概述	(76)
§ 4—2	同步发电机不对称运行的分析	(76)
§ 4—3	发电机不对称短路的分析	(79)
	一、相序阻抗 二、单线对 midpoint 短路的分析	
	三、不对称运行对发电机的影响	
§ 4—4	同步发电机突然短路	(84)
	一、突然短路分析的理论基础——超导体回路的概念	
	二、突然短路的物理情况 三、突然短路时定子绕组的参数	
	四、定子绕组突然短路电流 五、突然短路对电机的影响	

思考题与习题

第五章 同步电机的励磁(激磁)方式

§ 5—1	概述	(97)
§ 5—2	相复励励磁	(98)
§ 5—3	可控硅励磁	(100)
§ 5—4	三次谐波励磁	(101)
§ 5—5	它励静止半导体励磁系统	(102)
§ 5—6	无刷二级管励磁系统	(103)

第六章 同步电动机和同步补偿机

§ 6—1	同步电动机	(105)
	一、同步电动机的运行状态 二、同步电动机的矢量图	
	三、同步电动机的功率传递关系与电磁功率 四、同步电动机的起动方法	
	五、同步电动机与异步电动机性能比较	
§ 6—2	反应式同步电动机	(111)
§ 6—3	同步补偿机	(113)

思考题与习题

第一章 同步电机的一般介绍

§ 1—1 同步电机的工作原理

一、同步发电机的基本原理

同步电机是一种常用的交流电机。它可以作发电机运行，也可以作电动机运行，它们的构造是基本相同的，都由定子和转子两部分所组成，如图1—1所示。

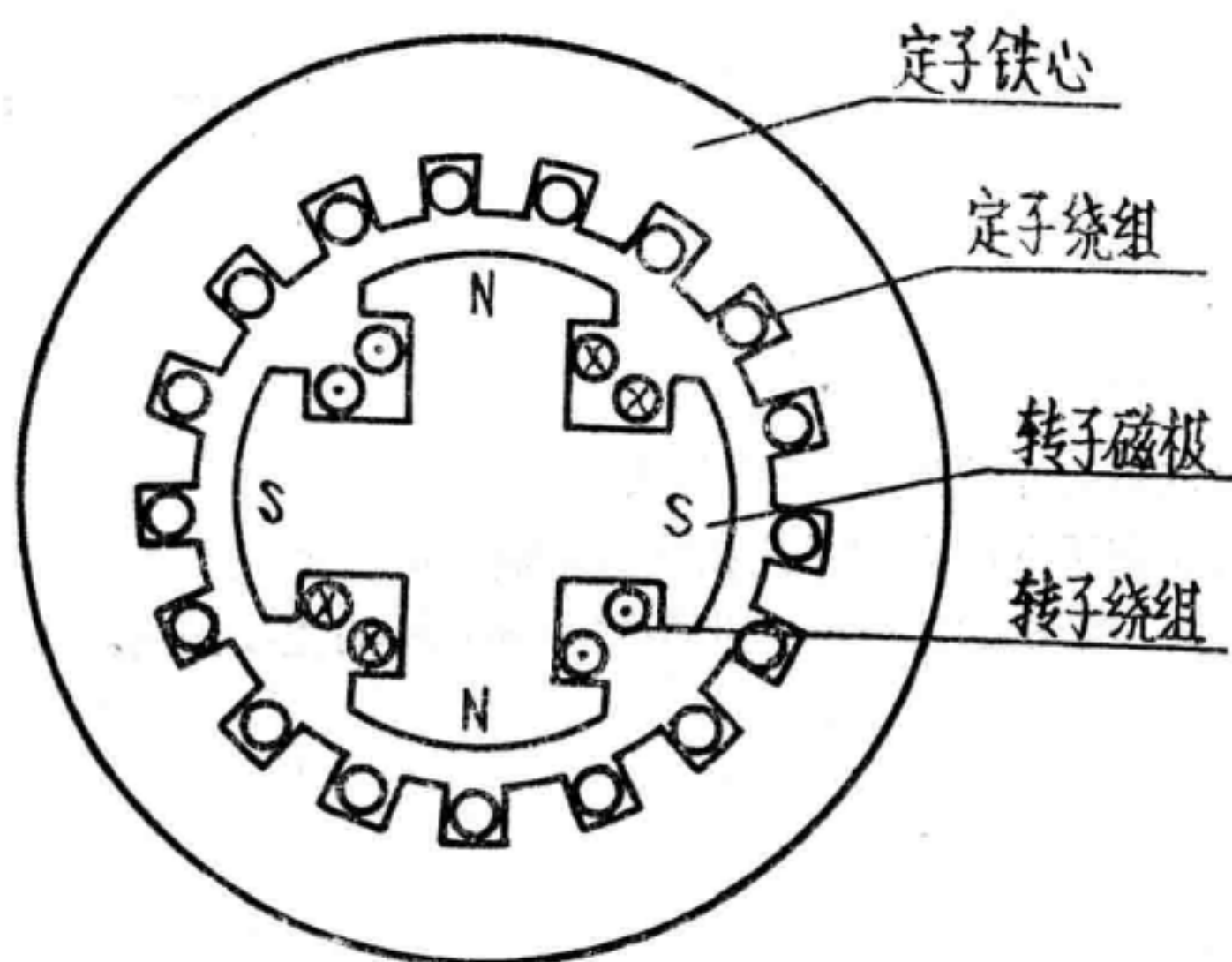


图1—1 同步电机构造原理图

同步电机的定子具有和异步电机相同的结构形式(即由冲好槽的硅钢片迭压而成的铁心上面装着三相交流绕组)，它的转子上则有磁极和安置在磁极上的激磁绕组。

同步电机作发电机运行时，当激磁绕组内通以直流电后，电机内就会产生磁场，转子磁极就间隔形成不同的极性，如图中的N极、S极。当转子以 n 转/分的速度旋转时，磁场将随着转子一起旋转。它对定子有了相对运动，就在定子绕组中感应出交流电动势。如果定子线圈(或元件)是按一定规律联成与异步电机定子绕组一样的三相对称的绕组(详见异步电机原理部分)，就可以从绕组出线端引出三相交流电动势。电动势频率 f 的大小决定于转子的转速 n 及电机的极数 p ，它们之间的关系在异步机原理中已详细讨论过，即

$$f = \frac{pn}{2 \times 60} \text{ 赫芝} \quad (1-1)$$

式中 p ——电机的极数；

n ——转子转速(或转子激磁磁场的转速)；转/分。

由式(1—1)看出，当电机的极数和转速一定时，定子绕组发出的交流电动势的频率也是一定的。在我国电力系统中，交流电的频率规定为50赫，因此同步电机的转速可以根据它的极数从式(1—1)计算而得。例如， $p = 2$ 时， $n = 3000$ 转/分； $p = 4$ 时， $n = 1500$ 转/分，余此类推。

对于发电机来说，主要要求在定子三相绕组中感应出对称的三相基波电动势，其大小应达到额定电压值。同时在额定工作状态下，定子绕组必须能够承受额定的负载电流流过。

二、同步电动机的工作原理

同步电机作电动机运行时，先在定子三相绕组中接上交流电源。这时定子绕组中便有三相交流电流通过，在电机内部就产生一个旋转磁场(详见异步电机原理部分)。当转子的激磁绕组内通入激磁电流后，在转子的磁极上也形成不同的极性，转子就好象一个“磁铁”。当转子用其它方法被带动到接近于定子旋转磁场的转速时，定子的旋转磁场就会带着这个“磁铁”以自己的速度(即同步速)一起旋转。这时转子的转速仍可按式(1—1)求得：

$$n = \frac{120 f}{p} \quad (1-2)$$

由此可见，同步电机无论是作发电机或电动机方式运行，其转速与频率及极数都有严格的关系。对于一台已经造好的同步电机，其极数 p 是定值，所以当电网频率恒定时，同步电机的转速也将是一个恒定不变的数值，而且它的大小与负载无关。同步电机之所以被叫做同步，就是因为其转子总是和定子电流在定子三相绕组中流通时所形成的旋转磁场同步旋转(即转速、转向完全一致)。同步电机的这一特点也是它和异步机的主要区别。

§ 1—2 同步电机的主要结构部件

同步电机主要由定子及转子两大部分组成。不管转子结构型式如何，同步电机的定子均由导磁的定子铁心和导电的定子绕组，以及固定铁心和绕组的一些部件所组成，这些部件如机座、铁心压板、槽楔等。其结构形式和异步电机的定子完全一样，可参阅异步电机原理部分，此处从略。

同步电机的转子结构一般有两种型式，一种称为凸极式，即转子有显露出来的磁极。一种称为隐极式，即转子没有显露出来的磁极，呈圆柱形。这两种结构在运行原理上没有本质差别，而在运行性能上和分析方法上是有差别的。本节主要介绍这两种转子的结构。

一、凸极式转子

它由磁极、磁轭、激磁绕组、转轴和滑环等主要部件所组成。它们的作用是转子激磁绕组通入直流电后，在电机内部产生磁场，以便由转轴的带动而旋转，并在定子绕组中感应出交流电动势。

磁极是由1~1.5毫米厚的钢板冲成磁极冲片后，用铆钉接为一整体(见图1—2)，即组成磁极。磁极两端面有磁极压板压紧。另外也有用整块铸钢或锻钢做成的实心磁极，这有更好的机械强度，但缺点是表面损耗较大。

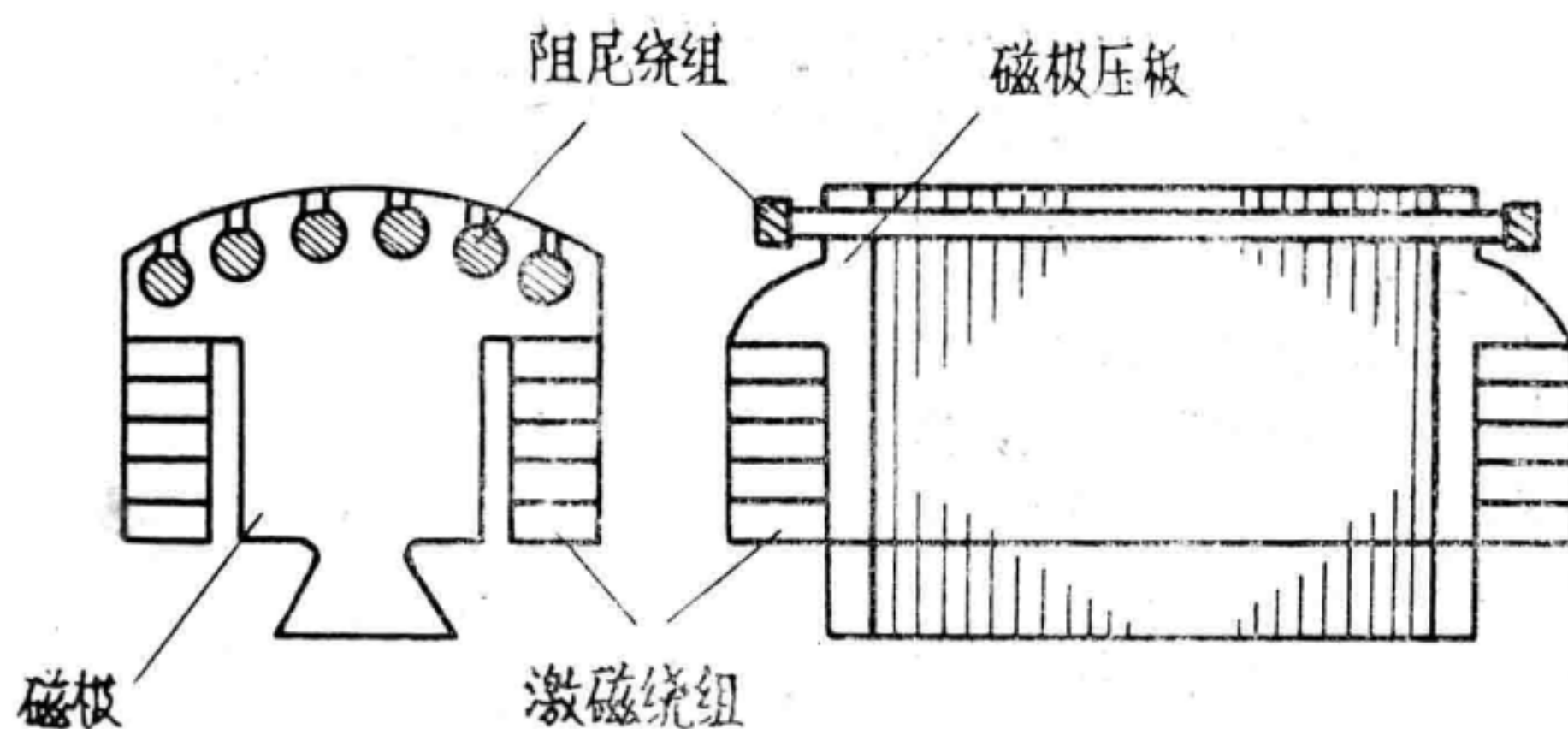


图1—2 凸极式的磁极及其绕组(单层式)

在磁极上套有激磁绕组,为了改善散热,大中容量电机的激磁绕组采用扁铜线边绕而成,匝与匝之间垫以绝缘。小容量电机则采用多层式的绕组,层间都有绝缘。激磁绕组与磁极极身之间也有绝缘,各极上的激磁绕组串联联接之后接到集电环上,通过电刷获得直流电源。有些电机在磁极表面上还装有阻尼绕组,阻尼绕组是由裸铜条嵌入极靴表面的槽中,两端有铜环焊在一起,形成一个短接的回路(发电机有时在极间不联接),象异步机中的鼠笼绕组。它的作用是用来防止同步电机的振荡和在电动机中帮助电动机起动。

磁极固定在磁轭上。大型电机的磁轭由2~5毫米的钢板冲压做成,其构造是将钢板冲成扇形片拼成一圆环,迭装时使每层的扇形片间的接缝错开一个角度,使形成一个整体圆环。在中小容量或转速较高时多半采用整块钢片或铸钢做成,有的甚至与转轴做成一个整体。

为了把磁极固定在磁轭上,在容量较大的电机中,磁极下部做成“T”形或“鸽尾”形,在轭部亦做成同样形状的槽,装配时两者用楔块撑紧固定,一般中小型电机多用螺钉紧固(见图1—3),磁轭与轴之间是紧配合,有时还用键来固定。大型多极电机的磁轭与转轴之间用转子支架固定住。

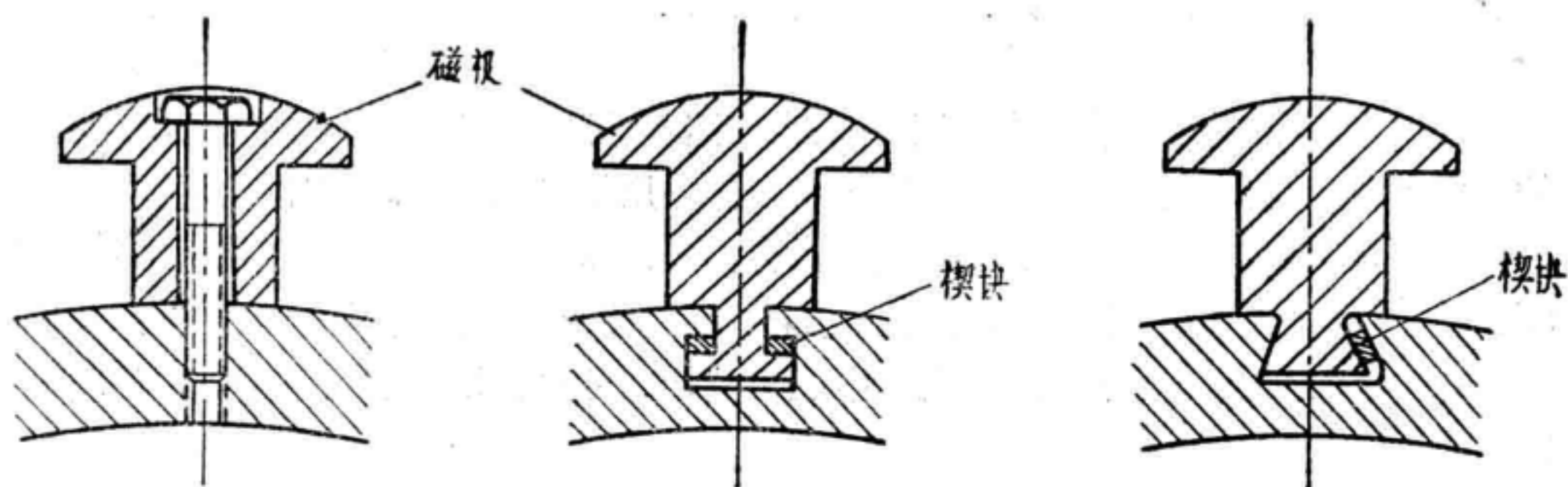


图1--3 磁极与磁轭的联接方法

二、隐极式转子

隐极式转子的组成部分和凸极式完全一样，只是结构形式不同。它不分磁极和磁轭。转子铁心由于要导磁和固定励磁绕组，故在容量较大的电机中它由高机械强度和导磁性能较好的合金钢锻成，并与轴锻成一个整体，见图1—4(a)。在轴的方向，沿着转子的全部长度打穿了一个中心孔，这个孔的用途，首先是为了检查锻钢中心部分的材料，其次是消除锻钢危险的内应力。有时为了避免生产大型锻件的困难，就把转子铁心分成几块组成，见图1—4(b)，这称为“组合式转子”。

在转子本体的圆周上开有许多轴向的槽，用以放置励磁绕组。槽由铣床铣成，槽的排列形式有幅射式和平行式两种，见图1—5。

无论那一种形式，可以看出，在圆周表面上几乎有三分之一的部分是没有槽的，构成所谓大齿，大齿的中心就是转子磁极中心。有些大齿上也开一些小槽，槽中不放绕组，是作为通风所用。我国生产的电机都用幅射式的槽。转子槽形一般均做成开口槽，使励磁绕组下线方便，且有利于保证绝缘质量。励磁绕组由扁铜线绕成同心式，见图1—6。各线匝间垫有绝缘物，绕组与铁心之间还有槽绝缘。

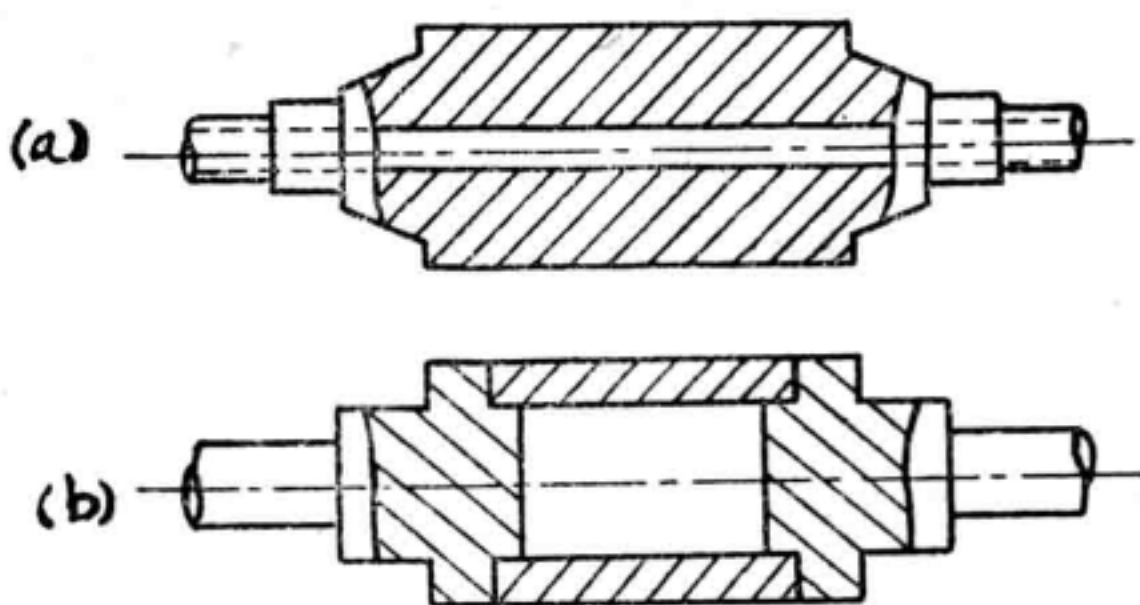


图1—4 大型电机隐极式转子铁心

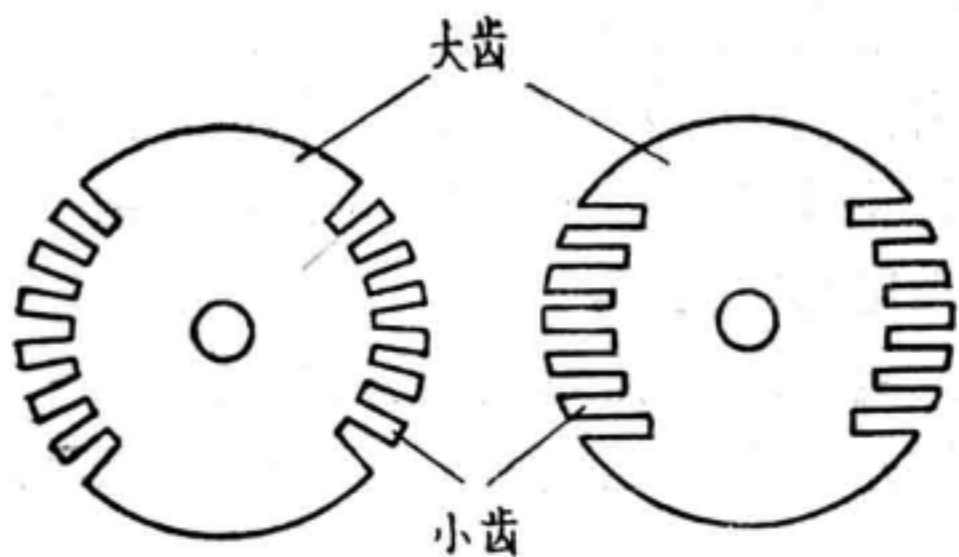


图1—5 隐极式电机的转子槽

在转子圆周上冲有大小不等的槽形(见图1—7)，即在极中心做成小槽大齿，在极间做成大槽小齿。励磁绕组采用漆包圆铜线，根据槽形的大小而绕成不同匝数的同心式线圈。为了降低温升，改善通风条件，在极中心利用磁路的间隙开有通风孔，一般通风孔数等于极数。此外在每极中心留有1—2个小槽不放导线，作为通风所用。采用大小槽转子的优点是能改善电动势波形。

在汽轮发电机中，由于在转子圆周上有很大的速度，因而在槽里的转子绕组和绕组的端接部分的固定就成了重要的问题。通常绕组的槽内部分用槽楔来压紧。转速较高的电机中槽楔材料的强度要求较高，且要不导磁，一般采用铝青铜及硬质铝合金做成。而在绕组端接部分，须用护环和中心环(固定护环)来固定。同样，对于护环的要求也很高，需用机械强度高的非磁性钢做成。在中小容量及转速不太高的电机中绕组端接部分可仅用玻璃丝带绑扎，使其固定在绕组支架上。

同步电机的转子有二种支承方法。一种是转子用二个座式轴承支承；另一种是转子靠二个装在端盖内的轴承支承。后者仅用于小型电机。

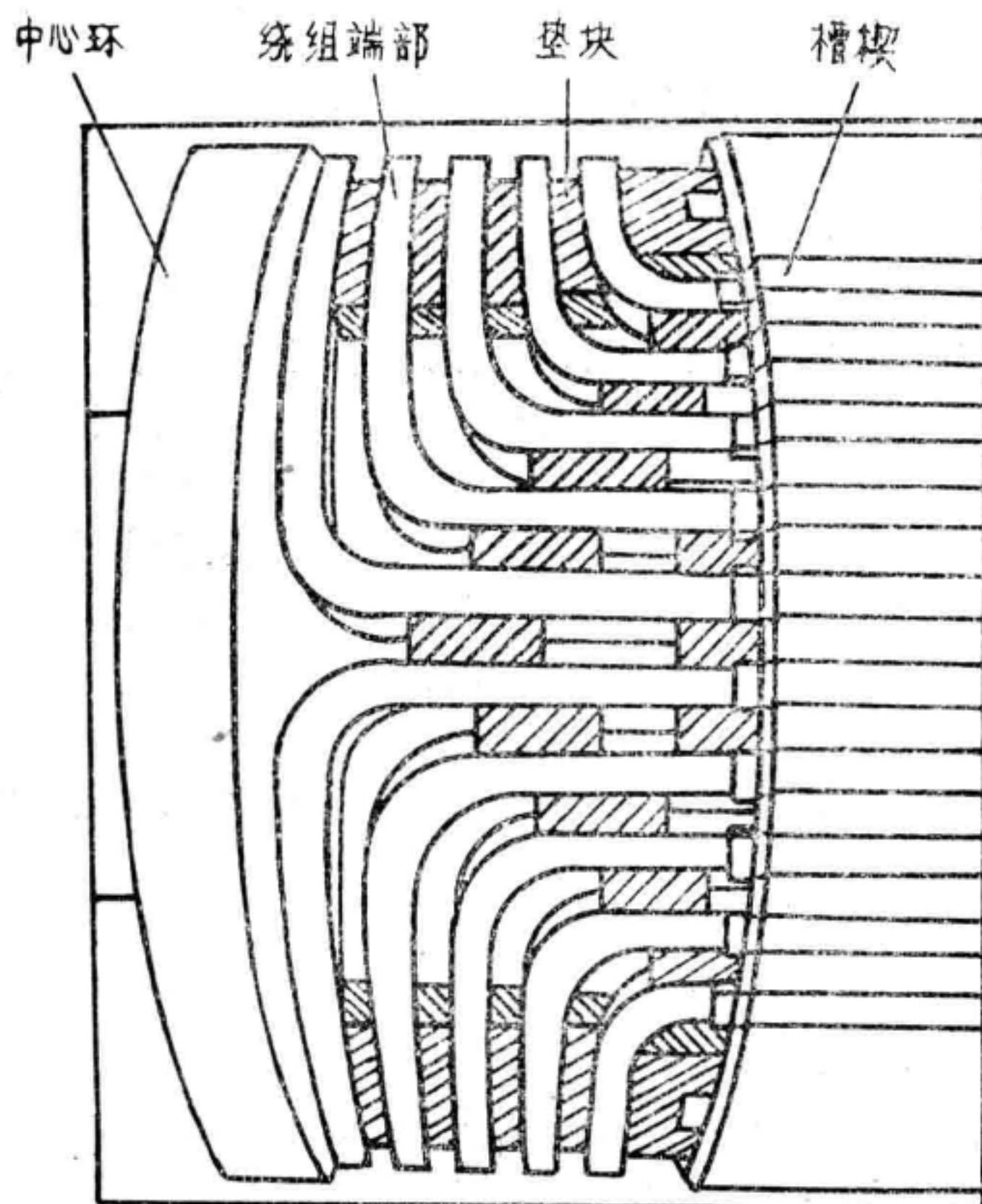


图1—6 隐极式电机激磁绕组的端部

较小容量的同步电机(如几个千瓦)有时把磁极放在定子上,电枢绕组放在转子上,利用三个滑环,把三相交流电从转子中引出来。这种结构称为转枢式,它的好处是可以少用些硅钢片,并把定子机座和磁轭合成为一整体(和直流电机一样,机座也可以导磁),以节省材料。其缺点是要经过滑动接触引出大电流或高电压,在结构上不够可靠,所以不能做成大容量电机。

供给同步电机转子绕组直流电的直流发电机,称为同步机的“励磁机”。它可以直接与同步机装在同一轴上,称为同轴式。或者装在机座上,励磁机的轴与同步发电机的轴用皮带联接,这种结构通常称作“背包式”电机。近年来由于半导体工业的发展,这一先进的技术也被应用到同步机的励磁上。近年来,我

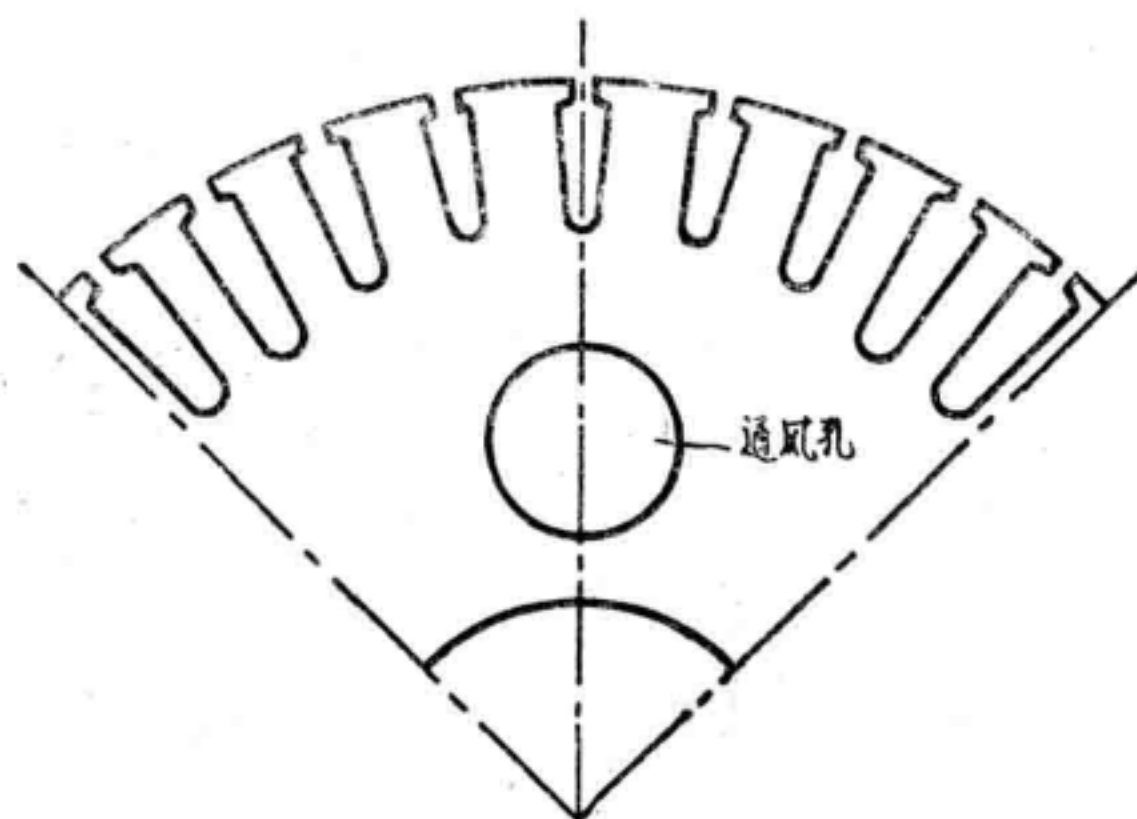


图1—7 槽形不等的转子冲片

国工人阶级及科技人员遵循毛主席关于“中国应当对于人类有较大的贡献”的伟大教导,发扬了“自力更生,艰苦奋斗”的精神,进行技术革新,技术革命,在同步机的励磁系统工作中作了许多的研究,采用了一系列新的励磁方式。目前在中小型电机中它们已可以取代直流发电机,完成励磁机的全部功能。有关半导体的励磁系统和方式将在第五章中介绍。

§ 1—3 分数槽绕组

一、分数槽绕组的应用

在大型水轮发电机和其它低速同步机中，由于极数很多，每极每相的槽数不可能太大。此时若取 q 值为整数，则一方面不能充分利用分布的办法来削弱高次谐波电动势，另一方面也使齿谐波电动势的幅值较大。这两方面都使电机绕组感应电动势波形变坏。如果采用每极每相 q 为分数的绕组，即“分数槽绕组”。时，则虽在很小的 q 值下仍能显著地削弱电动势中的齿谐波和减少由于空间谐波磁场所产生的高次谐波电动势，使电动势波形很接近正弦波。因此，在水轮发电机和低速的同步机中，为了得到较好的电动势波形就时常采用分数槽绕组。关于分数槽绕组的形成原理在下面结合具体的例子来分析。

二、分数槽绕组举例

已知：定子槽数 $Q_1 = 30$ ，极数 $p = 8$ ，相数 $m = 3$ ，要联接成双层短距分布绕组。

每极每相槽数

$$q = \frac{Q_1}{mp} = \frac{30}{3 \times 8} = \frac{5}{4} = 1 \frac{1}{4}$$

(1) 电动势矢量图

相邻两槽内导体电动势的相角差 $\gamma = \frac{p/2 \times 360^\circ}{Q_1} = \frac{4 \times 360^\circ}{30} = 48^\circ$ ，按此角度画得各导线电动势矢量图，如图1—8所示。因为组成绕组的各元件跨距相等，如果以槽的上层边导体的电动势代表一个线圈的电动势，那么槽电动势矢量图亦就是元件电动势的图形。

(2) 各相元件的划分及绕组联接图

根据元件电动势矢量图，按 60° 相带划分三相元件，如图 1—8 左边 所示。属于 A 相的有第1，-5，8，9，-12五个元件组成一组和第16，-20，23，24，-27各元件组成另一组，每一组的五个元件串联起来，但其中元件5，12和元件20，27必须反接串联。

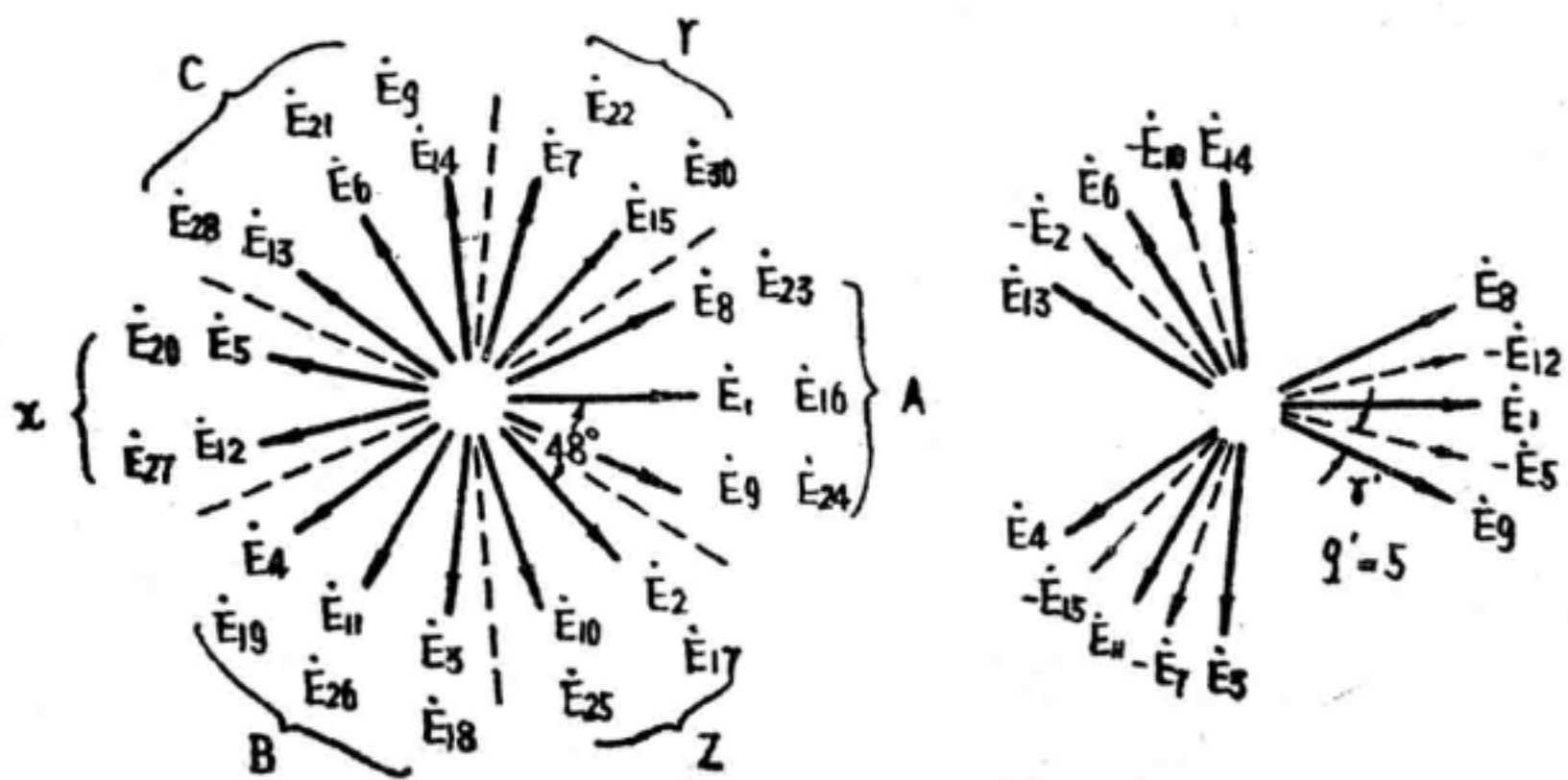


图1—8 分数槽绕组电动势矢量图

$$Q_1 = 30, \quad p = 8, \quad m = 3, \quad q = 1 \frac{1}{4}$$

这两个元件组由于它们的合成电动势大小相等相位相同，因而可以串联也可以并联。在此例中最多能有两路并联。关于最大可能的并联支路数可以这样来看： $q = 1\frac{1}{4}$ 即在四个极下，每相占有 5 个槽，这五个槽中的电动势相位是各不相同的，所以每四个极为一个周期。在第二组四个极中与第一组四个极槽的分布完全相同。因此，在此例中在八个极下相量重复两次，所以最多可能有两个并联支路。通常把 q 写成 $q = b + \frac{c}{d}$ ，每相的可能并联支路数最多等于 $\frac{p}{d}$ ， $a_{\max} = \frac{p}{d}$ 。

在此例中一个极跨的槽数 $\tau = \frac{30}{8} = 3.75$ 槽，取短距绕组 $y = 3$ (元件边 1 连到 4)，当 $a = 1$ 时，迭式绕组展开联接图如图 1—9 所示(仅画出 A 相)。

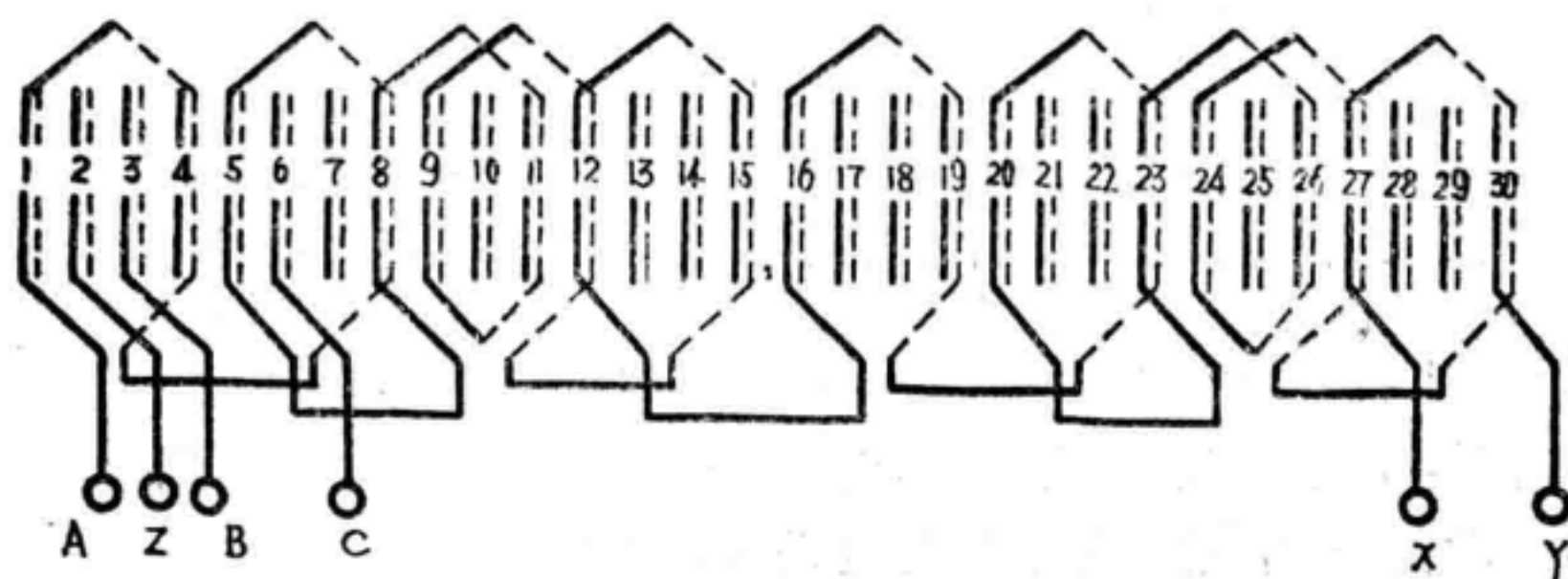


图 1—9 分数槽绕组展开联接图
 $Q_1 = 30$, $p = 8$, $q = 1\frac{1}{4}$, $m = 3$, $a = 1$

这里顺便提一下，迭绕组的线圈与线圈之间的联接线较长，将消耗大量的铜，而波绕组的线圈与线圈之间是自然地联接在一起，不需要额外的联接线，所以在容量很大的低速水轮发电机中，较多采用波绕组。至于波绕组的展开联接图请同学们试画一下。

(3) 绕组电动势的短距系数和分布系数

$$\text{短距系数 } K_P = \cos \frac{\beta}{2}, \quad \beta = (1 - \frac{y}{\tau}) 180^\circ = (1 - \frac{3}{3.75}) 180^\circ = 36^\circ$$

$$\text{基波短距系数 } K_{P1} = \cos \frac{36^\circ}{2} = 0.95$$

$$\text{5次谐波短距系数 } K_{P5} = \cos 5 \times \frac{36^\circ}{2} = 0$$

$$\text{7次谐波短距系数 } K_{P7} = \cos 7 \times \frac{36^\circ}{2} = 0.588$$

对于基波电动势的分布系数求法如下：由图 1—8 看出，同一相诸元件的电动势的 5 个矢量，相当于 $q' = b \times d + c = 5$ ，两相邻电动势矢量间的夹角 $\gamma' = \frac{60^\circ}{q'} = 12^\circ$ 。

$$\text{所以 } K_{d1} = \frac{\sin \frac{q' \gamma'}{2}}{q' \sin \frac{\gamma'}{2}} = \frac{\sin \frac{5 \times 12^\circ}{2}}{5 \sin \frac{12^\circ}{2}} = 0.957$$

同理,对 v 次谐波的分布系数亦可用式 $K_{dv} = \frac{\sin \frac{vq'\gamma'}{2}}{q' \sin \frac{v\gamma'}{2}}$ 计算,结果求得 $K_{d5} = 0.2$,

$$K_{d7} = -0.149。$$

这里 q' 是分数槽绕组的有效每极每相槽数。这个数是大于实际每极每相槽数 q 。比较图1—8及1—9可以看出,每组5个槽分布在四个极下,在磁场中各占不同的位置(即不同相),所以在计算分布系数时可认为每极每相有5个槽,但槽间角 γ 应用相邻矢量角 γ' 代替。

由此可见,采用分数槽绕组后,由于各极相对定子槽的位置不同,在相邻的一对极内各槽电动势矢量都不同相,因而虽然 $q = 1\frac{1}{4}$ 和 $q = 1$ 的槽数很接近,但从矢量图上却获得与 $q = 5$ 相同的电动势分布。随而能有效地削弱由于空间谐波磁场所产生的高次谐波电动势。

三、分数槽绕组的对称条件

分数槽绕组应该获得对称的三相电动势,即每相电动势的数值相等,相位互差120°电角度。这不是任意槽数 Q_1 与极数 p 的配合都能满足要求的。满足对称的条件是:

(1) $\frac{Q_1}{m} = \text{整数}$, m 是相数。

满足这条件时,由槽电动势画成的电动势星形图的矢量数目是 m 的倍数,因此有可能分成三组对称的电动势矢量,合成三相对称电动势。否则就不能组成对称的三相绕组。

(2) 如 t 是 Q_1 和 p 的最大公约数,则

$$Q_0 = \frac{Q_1}{t}, p_0 = \frac{p}{t}, \text{要求 } \frac{Q_0}{m} = \text{整数}。$$

这条件也包括了第一个条件,它的意义是所有槽电动势矢量组成了 t 个重叠的有 Q_0 个矢量的电动势星形图。

(3) 每极每相槽数可写成 $q = b + \frac{c}{d} = \frac{bd+c}{d}$,其中分母 d 必须不是相数 m 的倍数(在三相时,不能是3的倍数)。也不能任意选择,它必须与极数 p 密切相关。这是第二条件的必然结果。说明如下:

因为 $q = \frac{Q_1}{mp} = \frac{Q_0}{mp_0}$, 另外 q 可以写成 $q = \frac{bd+c}{d}$, 这两个都是不能再约简的分数。它们既然相等,因此可以看出,实际上

$$(bd+c) = \frac{Q_0}{m} = \text{整数}$$

$$d = p_0$$

既然 d 就等于 p_0 , 而 p_0 与 Q_0 互为质数,根据第2条件, Q_0 是 m 的倍数,那末, d 就不可能是 m 的倍数。

例如 $p = 6$, $Q_1 = 21$, $m = 3$, 则 $q = 1\frac{1}{6}$ 。虽然 $\frac{Q_1}{m} = 7$ 是整数,满足第一条件,但 $t = 3$, $Q_0 = 7$, 不满足第二条件,星形图只包括7条矢量,不能等分成三组对称的矢量,因此不能联成对称的三相绕组。从 q 的分母是6,是 $m = 3$ 的倍数,也看出不能得到对称的绕组。

再举一例，如 $p = 14$ ， $Q_1 = 108$ ， $m = 3$ 。此时 $t = 2$ ， $Q_0 = 54$ ， $p_0 = 7$ 。 $Q_0 = 54$ 是 m 的倍数，而 $q = \frac{Q_1}{mp} = 2\frac{4}{7}$ ，其中 $d = 7 = p_0$ ，不是 m 的倍数，因此可以得到一对称的三相绕组。

§ 1—4 同步电机的用途、基本分类及额定值

一、同步电机的用途

同步电机主要用作发电机，作为工农业生产中所用的交流电源。目前水力、火力等发电站里运行的交流发电机全都是三相同步发电机。大型的同步电机用在大型电站，例如刘家峡水电站安装的是30万千瓦的和22万5千千瓦的水轮发电机组。而小型同步发电机则广泛用在工厂、农村、交通运输业、船舶上各种固定形式或可移动的电站，供动力或照明之用。在我国，随着国民经济的发展，电能的需要量将不断增大，因而不问大型还是中小型同步发电机，不仅在目前有广泛的应用，在将来还会得到进一步的发展。

同步电机还可以用作电动机，作为动力以拖动生产机械。同步电动机的功率因数可以通过激磁电流的改变而获得调节，因而对电网的供电大有好处。由于同步电动机的功率因数可以调节，大容量的电机效率较高，所以常被用于拖动大型水泵、离心压缩机、通风机、粉碎机、轧钢机以及不要求调速的场合。作为动力用的小型同步电动机应用较少，因为不如异步机经济。但由于同步机转速不变，所以小型的同步电动机一般应用在恒定转速是主要要求的场合，例如电钟中所用的就是一种单相同步电动机。

此外，同步电机还可以作同步补偿机用，这时电机不带任何机械负载，靠调节转子中的激磁电流，向电网发出所需的电感性或电容性的无功功率，以达到改善电网的功率因数或调节电网电压的目的。

同步电机有很多系列品种，目前我国主要生产的有以下几种（各系列符号是由第一机械工业部所规定，按照汉语拼音字母来表示，各字母意义可参看表1—1）：

1. T F 系列三相同步发电机

主要用途：适用于小型电站的发电。

主要数据： P_N 320~3200千瓦；

U_N 3150~6300伏；

n_N 166.7~1000转/分。

2. T D 系列三相同步电动机

i 大型

主要用途：传动通风机、水泵、磨煤机和组成电动发电机组等。

主要数据： P_N 250~10000千瓦；

U_N 3000~10500伏；

n_N 166.7~1500转/分。

ii 中型

主要用途：用于传动各种机械，如直流发电机、压缩机、鼓风机、离心泵、球磨机、粉碎机、玻

璃研磨机以及各种固定转速的电气联动机。

主要数据： P_N 75~400千瓦；
 U_N 380~6000伏；
 n_N 600~1000转/分。

3. T系列中型三相同步发电机

主要用途：与柴油机配套组成机组，用于中小城镇人民公社作动力电源及照明电源之用。
主要数据： P_N 120~320千瓦；
 U_N 400~6300伏；
 n_N 600~750转/分。

4. T₂系列小型三相同步发电机

主要用途：供给小型城镇、农村、船舶、车站或工地的照明及动力用电。
主要数据： P_N 3~200千瓦；
 U_N 400伏；
 n_N 1500转/分。

表1—1 同步电机产品代号

序 号	产 品 名 称	型 号	型 号 意 义
1	同步发电机	TF	同、发
2	同步电动机	TD	同、动
3	同步电机(装有座式轴承)	TZ	同、座
4	双水内冷汽轮发电机	TQSS	同、汽、水、水
5	水内冷汽轮发电机	QFS	汽、发、水
6	氢冷却汽轮发电机	TQQ	同、汽、氢
7	氢内冷汽轮发电机	TQN	同、汽、内
8	水轮发电机	TS	同、水
9	农用水轮发电机	TSN TSWN	同、水、农 同、水、卧、农
10	封闭式同步电动机	TDO	同、动、闭

二、同步电机的分类

同步电机可以按许多种方式来分类。

如按发电机的原动机来分，可以分为汽轮、水轮和其他如柴油机等原动机带动的发电机。大容量的发电机一般都用汽轮机和水轮机作为原动机。应用汽轮机作为原动机的发电机，由于汽轮机在高转速时运行较为经济，所以汽轮发电机应有尽可能高的转速，我国生产

的汽轮发电机大都是两极的，其转速为3000转/分。应用水轮机作为原动机的发电机，其转速一般从数十转/分到数百转/分，依水头高低及容量大小决定。中小容量的发电机一般都用柴油机作为原动机，柴油机的转速通常在500~1500转/分之间，由此决定了柴油发电机的转速。

如按结构特点分，可分为凸极式和隐极式。结构形式的选用和电机的转速有关，当转子在高转速下运转时为了尽量减少转子的直径和增加转子的机械强度，并使激磁绕组更好地固定和绝缘，最合理的结构形式就是将激磁绕组分布在转子圆周的槽中，即把电机做成隐极式，所以汽轮发电机绝大部分都是隐极式同步电机。如果电机转速较低，极数较多时，一般都做成凸极式，因为它在结构上比较简单，所以水轮发电机都采用凸极式的。中小容量的同步电机多半做成凸极式，但目前隐极式的也有所发展，因为后者的转子绕组用铜较少，散热也较凸极好。

当然，同步电机还有其他的分类。不同类型的电机都有不同的特点，适用于不同的工作环境或条件，但它们的工作原理还是有共性的。在此讲义中，我们主要是分析同步电机的基本工作原理和它在额定运行时的特性，同时讨论不同结构——凸极式、隐极式——对其性能的影响。

三、同步电机的额定值

电机制造厂根据电机的设计和实验数据而规定了每台电机的运行状态和条件，称为电机的额定运行情况。表征电机额定运行情况的电压、电流、功率、转速……等数值叫做电机的额定值，一般标在电机的名牌上，故又叫名牌值。同步电机的主要额定值有：

1. 额定电压 U_N ，是指电机在额定运行时，定子三相绕组的线电压。用伏(V)表示。
2. 额定电流 I_N ，是指电机在额定运行时，流过定子绕组端的线电流。用安(A)表示。
3. 额定功率 P_N ，是指电机在额定运行时的输出功率。对发电机而言，是输出的电功率；对电动机而言，是指输出的机械功率。用千瓦(KW)表示。
4. 额定转速 n_N ，是指在额定运行情况时，同步机转子的转速。用转/分表示。
5. 额定激磁电压 U_{fN} 和额定激磁电流 I_{fN} ，是指同步机在额定的运行情况下，通入转子激磁绕组的直流电压和电流。

此外，名牌上还标有电机的型号，额定功率因数，绝缘等级或允许的温升等等。一般说来，名牌值反映了电机的工作能力，在额定情况运行时可以保证电机的正常使用年限。

小 结

同步电机主要是用作产生交流电能的发电机，也可以用作电动机，在社会主义建设中起着非常重要的作用。

本章开始就介绍了同步机作发电机和电动机运行时的基本工作原理，并与异步电机作了比较。同步电机的最大特点，就是当电机运转时，它的转速 n 和电网频率 f 及电机的极数 p 之间有着严格不变的关系，即 $n = \frac{120 f}{p}$ ，当电网频率不变时，同步电机的转速也将保持不

变,和定子电流(负载)无关,这点是和异步电机不相同的。另外在磁场的成因上同步机与异步机也不同。

这一章着重介绍了同步电机的基本结构,大型发电机的结构特点主要是由于原动机的特点决定的。如汽轮发电机的形成是由于汽轮机转速高,容量大的特点而做成直径小,轴向长度长且为隐极式的转子。而水轮发电机则考虑它转速低,容量大和体积大而做成凸极、直径大、轴向短的形状。如果特点改变,其结构也要相应地改变。对中小型同步电机,高速与低速都用,磁极形状凸极、隐极均使用,各有优缺点,具体选用可根据具体情况而定。这里只介绍了隐极转子的特点,而凸极转子与大型的相似。

分数槽绕组是大型水轮发电机中常用的绕组形式。分数槽能显著地改善电动势波形。它的特点是以少数槽获得相当于多数槽的分布系数,普遍用于凸极式的水轮发电机中。

电机学主要是讨论电机内部的电和磁的问题,因此,学习本章后,应对同步电机的绕组、转子磁极转子磁轭和激磁绕组的布置及形状,并同步电机的基本工作原理有个初步的概念,为学习同步电机的电磁理论打下基础。

思考题与习题

1. 同步电机在运行时,为什么转速等于常数?(与异步电机比较)
2. 同步电机在结构上与异步电机有哪些异同之处?同步机中隐极与凸极机有何特点?它们适用的条件怎样?
3. 同步电机作为发电机或电动机运行的简单工作原理?
4. 为什么汽轮发电机通常采用整数槽的定子绕组,而低速的水轮发电机却一般采用分数槽的定子绕组?
5. 三相交流发电机绕组数据: $Q_1 = 54$, $p = 10$, $y = 5$, 并联支路数 $a = 2$, 双层短距分数槽绕组, Y接法。求:
 - (1) 每极每相槽数;
 - (2) 相邻两槽间的电角度;
 - (3) 基波及5次和7次谐波的绕组系数。