

使用拉具拆卸皮带轮和轴承时,拉具的抓钩要抓住工件的内圈,顶杆的轴心线与工件轴心线对齐,然后扳动手柄,用力要均匀(图 1-58),并注意抓钩和工件的受力情况,拉不动时不要硬拉,可在工件连接处滴些煤油或用喷灯加热后趁热拉下。

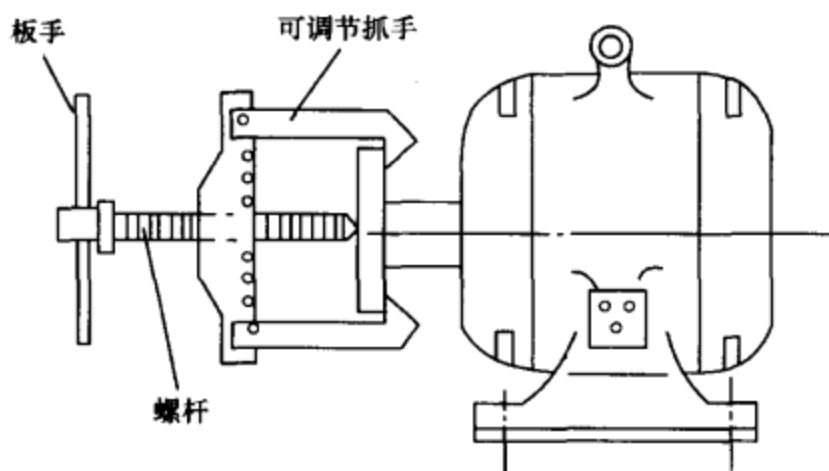


图 1-58 拉具

3) 拆线工具

(1) 镊子。在拆除损坏的线圈绕组时,需要用锋利的镊子从线圈与铁芯端面处剪断,这就是镊子的作用。镊子的外形如图 1-59 所示。

(2) 线冲子。为了方便地冲出镊去了线圈端部后剩下的线圈,可以取直径为 6mm~14mm,长为 200mm~400mm 的普通圆钢打制成截面为椭圆形状,以便与电机定子槽形配合将线圈冲出。

(3) 清槽片。在冲出线圈后,定子槽内会残留部分绝缘物,要清出这些残留的绝缘物,就需利用清槽片加以清理。可以用废弃的钢锯条,打磨成多种形状作工具,如钩形、尖形或斜长刀形等,另一端用纱带裹成把柄,以免使用时磨破手掌,如图 1-60 所示。



图 1-59 镊子

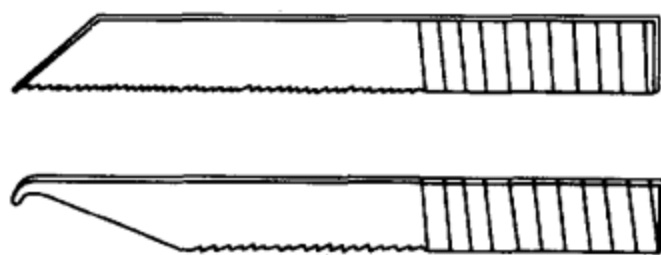


图 1-60 清槽片

4) 绕线工具

(1) 绕线机。绕线机是用于绕制线圈绕组的专用工具。绕线机上配有读数盘和变速齿轮,分电动和手动两种。其中,有的电动绕线机装有数字读数装置。绕线时可根据需要调节齿轮,以适应所需的力距与速度。手摇绕线机结构如图 1-61 所示。

(2) 绕线模具。一般属于系列电机的绕线模,应按国家电动机统一规定的数据自行制作。否则,绕制的线圈过小,不好嵌线,而且有时根本无法嵌线;绕制的线圈过大,不仅浪费原料,而且往往触碰端盖,产生相间或对地短路故障,而使电机不能正常运行。常见的绕线模具有固定模具和活动模具两种,将在后面章节相关内容中进行介绍。

5) 测量工具

常用的测量工具主要是螺旋千分尺,用以测量绕组导线的线径。螺旋千分尺的外形

如图 1-62 所示,通常采用右旋螺纹,螺距为 0.5mm,活动套管的锥面上的刻度为 50 格,每格为 1/100mm。

螺旋千分尺的测量螺距为 0.5mm,所以活动套管右旋一周,测轴螺杆前进 0.5mm,即两测量面间的距离减小 0.5mm,该距离可由固定套管上读出。若旋转不足一周,则两测量面之间距离减小不足 0.5mm,这种小于 0.5mm 的尺寸只能由活动套管锥面的刻度上读出。因此,螺旋千分尺的读法为:先读出固定套管上的刻度数,再读活动套管上的 1/100 的毫米数,二者相加即测得的尺寸,如图 1-63 所示。

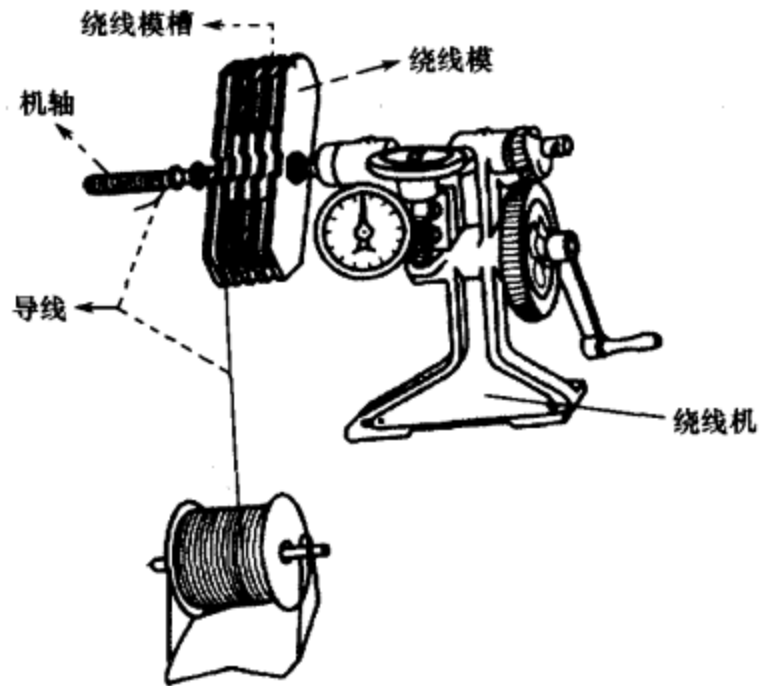


图 1-61 手摇式绕线机结构

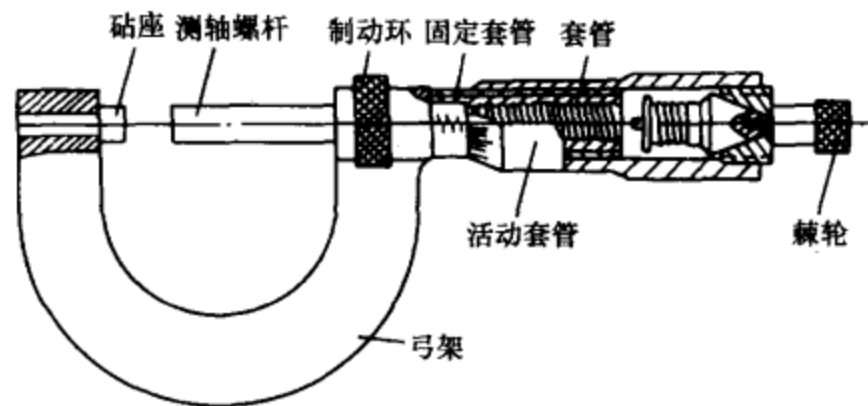


图 1-62 螺旋千分尺

使用前先擦净测量面并转动棘轮,检查两测量面之间有无间隙以及套管刻线是否对准零刻度,将零件毛刺去掉并擦拭干净。

测量时,在两测量面接近待测物表面时,停止转动套管,改为旋动棘轮,当棘轮发出“答答”声时,说明两测量面已与待测零件表面接触,此时方可由刻尺上读出测量数据。注意读数时尽量不要将被测件取下,以免将测量面磨损。

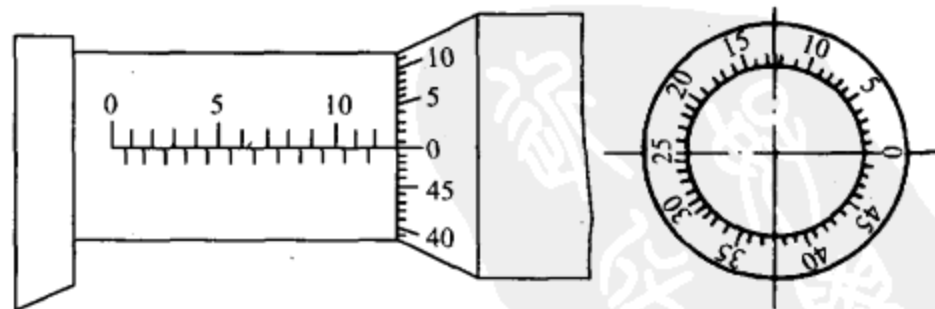


图 1-63 螺旋千分尺的读数

6) 短路侦察器

短路侦察器又称短路测试器、短路试验器、开口变压器。主要用来检查电动机定子绕组、电枢绕组的短路故障和转子鼠笼绕组的断条故障。

短路侦察器可以自行制造,也可以从市场上购买,其外形如图 1-64 所示。具体应用

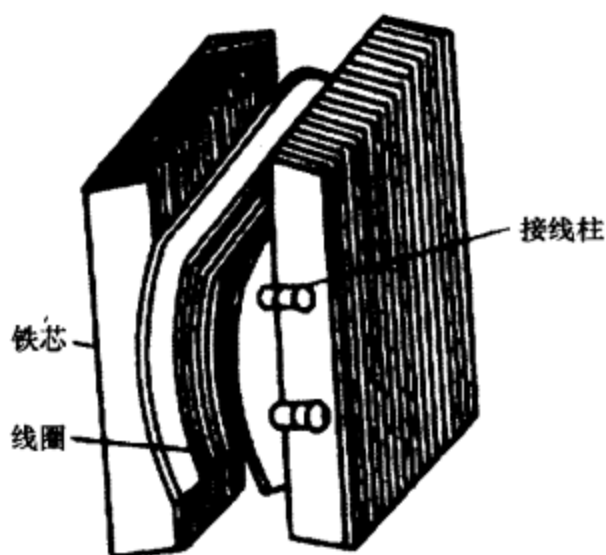


图 1-64 短路侦察器外形

将在后面故障检修部分进行介绍。

三、电动机常用的材料

1. 导电材料

铜和铝是最常用的导电材料,铜的导电性能好,且化学性能稳定,除早期的电动机采用铝导电材料外,现在生产的电动机都使用铜导电材料。

在产品型号中,铜的标志为“T”(铜字拼音的第一个字母)。一般来说,铜质导线可分为软铜和硬铜两种。由铜材经压延、控制等工艺加工后形成的导线为硬铜,此种导线的硬度大,常用符号“TY”表示。硬铜经退火处理,使其硬度降低即为软铜,常用符号“TR”表示。电动机及各类电器的线圈导线均为软铜。

铝的电导率为铜的 60%左右,由于加工方法不同,铝也有软铝和硬铝之分。在产品型号中,铝的标志为“L”(铝字拼音的第一个字母),硬铝的标志为“LY”,软铝的标志为“LR”。

下面介绍几种常用的导电材料。

1) 电磁线

电磁线是一种具有绝缘层的导电金属线,用以绕制电机、变压器或其他电工产品等的线圈或绕组。目前多采用圆或扁的铜心线。电磁线的绝缘层除部分采用天然材料(如绝缘纸等)外,主要采用有机合成高分子化合物和无机材料。由于用单一材料构成的绝缘层在性能上有一定的局限性,因此有的电磁线采用复合绝缘或组合绝缘,以提高绝缘层的综合性能。

按绝缘层的特点和用途不同,常用的电磁线可分为漆包线和绕包线两类。

(1)漆包线。漆包线在导线外层涂覆一层绝缘漆,经烘干后形成一层漆膜,其特点是漆膜均匀、光滑,漆膜较薄,既有利于线圈的绕制,又可提高铁芯槽的利用率,因此广泛用于中小型电机及各种电器中。

(2)绕包线。绕包线是用玻璃丝、绝缘纸或合成树脂薄膜等紧密绕包在导线上形成绝缘层,也有的是在漆包线上再绕包绝缘层的。除薄膜绝缘层外,其他绝缘层均需经胶粘浸渍处理,以提高其电性能,使之能较好地承受过电压和过电流。它一般用于大中型电机、电焊机和变压器等电工产品。根据绕包线的绝缘结构不同,可分为纸包线、薄膜绕包线、

玻璃丝包线及玻璃丝包漆包线。

重点提示 在电机修理中最好采用与原来规格型号相同的电磁线,不要轻易变动,因为不同的电工产品对电磁线有不同的性能要求。如果没有原规格型号的电磁线,可根据其原性能、耐热等级选择合适的电磁线。

2)电动机引出线

由于电动机品种、绝缘等级、电压和电流等不同,要求电动机引出线的电气性能必须与其相适应,且绝缘电阻要高而稳定。

3)电动机用电刷

电动机用电刷主要用于各种电机的换向器或集电环上,属传导电流的滑动接触件。它是用石墨粉末与金属粉末混合压制而成的。按其材质不同,电刷可分为石墨电刷、电化石墨电刷和金属石墨电刷三类。

选择电刷时,要考虑电刷的技术特性和运行条件,要求电刷具有磨损小、功率损耗和机械损耗小、噪声小、使用寿命长等性能。因此,选择电刷时主要应考虑的因素是:接触电压降、摩擦系数、电流密度、圆周速度、施加于电刷上的单位压力。

电刷的正确使用,与电机的正常运行有着密切的关系。在更换电刷时,最好采用原规格型号的,不要轻易改变。

2. 绝缘材料

1)绝缘材料的主要性能

绝缘材料的主要作用是在电气设备中把不同部分的导体隔开,使电流能按预定的方向流动。由于绝缘材料是电气设备中最薄弱的环节,许多故障往往发生在绝缘部分,因此绝缘材料应具有良好的介电性能、较高的绝缘电阻和耐压强度,且耐热性要好,不至于因长期受热而引起性能变化,还应有良好的防潮、防雷电、防霉和较高的机械强度,以及易于加工等特点。

绝缘材料在长期使用中,在温度、电、机械等各方面的作用下,绝缘性能会逐渐变差,称之为绝缘老化。由于温度对绝缘材料的使用寿命和绝缘老化有很大的影响,因此为确保电工产品能够长期安全运行,对绝缘材料的耐热等级以及极限工作温度都做了明确规定。如果电工产品的工作温度超过其使用的绝缘材料的极限工作温度,就会缩短绝缘材料的使用寿命。一般每超过 6°C ,则绝缘材料的使用寿命就会缩短一半左右。

常用绝缘材料耐热等级如表 1-5 所列。

表 1-5 常用绝缘材料耐热等级

材 料	耐热等级	极限温度/ $^{\circ}\text{C}$
漆包线、漆布、漆丝的绝缘及沥青漆、油性漆,工作于矿物油中和用油或树脂复合胶浸过的 Y 级材料	A	105
经合适树脂粘合式浸渍涂覆的云母、玻璃纤维、石棉、聚酯薄膜、聚酯漆、聚酯漆包线	B	130
不采用任何有机胶黏剂及浸渍剂的无机物	C	180 以上
油性树脂漆、聚乙烯醇缩醛高强度漆包线,乙酸乙烯耐热漆包线,玻璃布,聚酯薄膜和 A 级材料复合	E	120

(续)

材 料	耐热等级	极限温度/℃
以无机材料作补强和石棉补强的云母粉制品,以有机纤维材料补强和布带补强的云母片制品,玻璃丝和石棉,玻璃漆布,以玻璃丝布和石棉纤维为基础的层压制品,化学热稳定性较好的聚酰和醇酸类,复合硅有机聚酯漆	F	155
有机硅云母制品,硅有机漆,硅有机橡胶聚酰亚胺复合玻璃布,无补强或以无机材料为补强的云母制品,硅有机橡胶聚酰亚胺复合玻璃布,加厚的F级材料,复合薄膜,聚酰亚胺漆等	H	180
天然的纺织品,易于热分解和熔化点较低的塑料,醋酸纤维和聚酰胺等纺织品	Y	90

2) 绝缘材料的种类和型号

电工常用的绝缘材料按其物理状态不同,可分为气体、液体、固体三大类。气体绝缘材料如空气、氮气、二氧化碳、六氟化硫等;液体绝缘材料如变压器油、电容器油、电缆油等矿物油,还有硅油、三氯联苯等合成油;固体绝缘材料按其应用或工艺特性不同,又可划分为6类,如表1-6所列。

表 1-6 固体绝缘材料的分类

分类代号	分类名称
1	漆、树脂和胶类
2	浸渍纤维制品类
3	层压制品类
4	压塑料类
5	云母制品类
6	薄膜、粘带和复合制品类

3) 常用的绝缘材料

(1) 绝缘漆。电动机使用绝缘漆的目的主要是提高绕组的防潮性能、介质强度和散热性能,绝缘漆分为浸渍漆和覆盖漆两大类。

浸渍漆主要用于浸渍电机、电器的线圈和绝缘零部件,它又分为有溶剂和无溶剂两种。有溶剂浸渍漆的特点是渗透性好、储存期长、使用方便,但是浸渍和烘干时间长、固化慢,需要使用溶剂;无溶剂浸渍漆的特点是固化快,黏度随温度变化迅速,流动性和渗透性好,绝缘整体性好,固化过程挥发少等。

覆盖漆用于浸漆处理后线圈绝缘零部件表面的涂覆,以形成一层连续而厚度均匀的表面漆膜,作为绝缘保护层,以防止机械损伤及大气油污和化学物质的侵蚀,提高绝缘能力。另外,还可作为电机修理中用于加强局部绝缘能力使用。

(2) 浸渍纤维制品。浸渍纤维制品是以棉布、棉纤维管、薄绸玻璃纤维布或管,以及玻璃纤维与合成纤维交织物为底材浸以绝缘漆制成。其类型主要有绝缘漆布、绝缘漆管和绑扎带等。

绝缘漆布主要用作电机线圈的对地绝缘、槽绝缘和衬垫绝缘。绝缘漆管是用纤维管

和底材浸以不同的绝缘漆,经烘干制成的棉漆管、涤纶漆管和玻璃丝管,它适用于电机、电器线圈的引出线和绕组连接线的绝缘套管。绑扎带又称无纬带,它是由长玻璃纤维经过硅烷处理和整纱后,再浸以热固性树脂制成的 B 级或全固化的带状材料。按所用浸渍或树脂种类不同,可分为聚酯型载纬带、环氧型无纬带和聚胺型无纬带等。目前应用最广的是环氧型无纬带。它主要用来绑扎电机转子绕组的端部,替代无磁性合金钢丝、钢带等金属。

(3)非浸渍纤维制品。非浸渍纤维制品包括无碱玻璃纤维布、无碱玻璃纤维带、无碱玻璃纤维套管、无碱玻璃纤维绳等,其制品具有耐热性高、吸水性小、柔软、抗拉强度高等特点。如果材料选择不当会影响电机的修理质量,缩短修理后电机的使用寿命。

(4)绝缘低压板。绝缘低压板又称积层板或积层塑料,是以有机纤维或无机纤维或布作底材,浸涂不同的胶黏剂,经热压而制成的层状结构的绝缘材料。采用不同的底材、胶黏剂和胶含量、成型工艺,可制成不同耐热等级、不同性能的制品。低压板制品分为层压板、棒、管等。电机电器中使用的低压板主要用做绝缘结构件,如绕组的支架、垫条、垫块、槽楔等。

四、电动机故障维修方法

为了提高电动机检修速度,下面谈一谈维修时常用的方法。

1. 直观检查法

直观检查法是最简单的方法,也是维修中必须采用的方法,它是通过维修人员的眼、耳、手、鼻等直观感觉,用看、听、摸、闻等最基本的手段,对电动机的故障现象进行检查,以便发现和排除故障。

1)看

看就是观察电动机的故障现象,观察时应注意以下几个方面:

观察电容器(单相电动机)有无漏液、鼓起或炸裂现象;机械部件有无断裂、磨损、脱落、错位或太松等;各接线头是否良好,有无较多灰尘,连接是否正确,接头有无断线等;通电时电动机有无打火、冒烟现象等。

2)听

听就是凭耳朵听电动机在工作时有无异常声音。电动机正常运转时,滚动轴承仅有均匀连续的轻微嗡嗡的声音,滑动轴承的声音更小,不应有杂声。滚动轴承缺油时,会发出异常的声音,可能是轴承钢圈破裂或滚珠有疤痕,轴承内混有砂、土等杂物,或轴承零件有轻度的磨损。严重的杂声可以通过耳朵听出来,轻微的声音可以借助于一把大螺丝刀抵在轴承外盖上,耳朵贴近螺丝刀木柄来细听,如图 1-65 所示。

维修人员若积累一定“听”的经验,可以快速地判断出故障部位,提高检修效率。

3)摸

摸就是用手触摸机电动机的螺丝有无松动的现象,外壳有无过热现象,当发现外壳过热时,应切断电源,以免扩大故障。

4)闻

闻就是通电时用鼻子闻电动机有无焦糊味,机内有焦糊味主要是电动机的接线头或绕组烧坏引起的。当闻出机内有不正常气味发出时,应及时关断电源,以免使故障扩大。

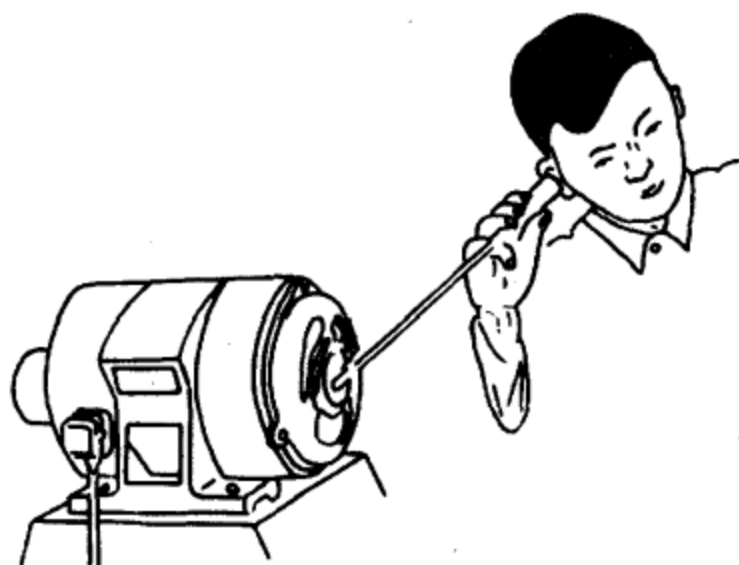


图 1-65 听轴承故障

2. 电压法

电压法主要用来测量电动机的输入电压,对于三相异步电动机,任意两相之间的电压一般为 380V 左右,对于单相异步电动机,输入电压为 220V 左右,若测量时无电压或相差较多,应对输入电路进行检查。

3. 电阻法

电阻法是维修电动机的重要方法之一。利用万用表的欧姆档,通过测量电动机绕组的电阻值,可以迅速判断绕组是否开路、短路等情况。

对于三相异步电动机,三个绕组的电阻值应基本相等,对于单相异步电动机,主绕组和副绕组的电阻值根据起动原理的不同可能相差较多。

4. 电流表

用万用表测电动机电流,根据所测算的电流来分析电动机内部绕组情况比较准确。因常用的万用表只有“直流”挡,而无“交流”电流挡,测量时,可在风扇电动机的电源线上串入几至几十欧的电阻(阻值不宜太大,以免影响测量精度),然后测量电阻两端的电压降,根据欧姆定律会求出风扇电动机的工作电流。将此电流与电动机额定电流相比较,便能发现问题所在。

5. 替换法

替换法就是指用好的器件替换所怀疑的器件,若故障因此消除,说明怀疑正确,否则便是失误,应进一步检查、判断。用替换法可以检查电动机中所有器件的好坏,而且结果一般都是准确无误的,很少出现难以判断的情况。

第二章 三相异步电动机的结构与原理

三相异步电动机具有结构简单、运行可靠、维护方便、效率高、重量轻、价格低等特点，是生产中应用最广泛的一种电动机。在工业方面，它被广泛应用于拖动各种机床、起重机、水泵等设备；在农业方面，它被应用于拖动排灌机械、脱粒机、粉碎机以及其他农副产品加工机械等。本章主要分析三相异步电动机的基本结构和原理，并对三相异步电动机的选择和铭牌数据做简要说明，最后，简要介绍同步电动机的工作原理及其与异步电动机的不同点。

第一节 三相异步电动机的构造

三相异步电动机种类繁多，一般按转子结构进行分类，主要有鼠笼式和绕线式两种类型。三相鼠笼式异步电动机的结构如图 2-1 所示，主要由定子（静止不动的部分）、转子（旋转的部分）和气隙等组成。

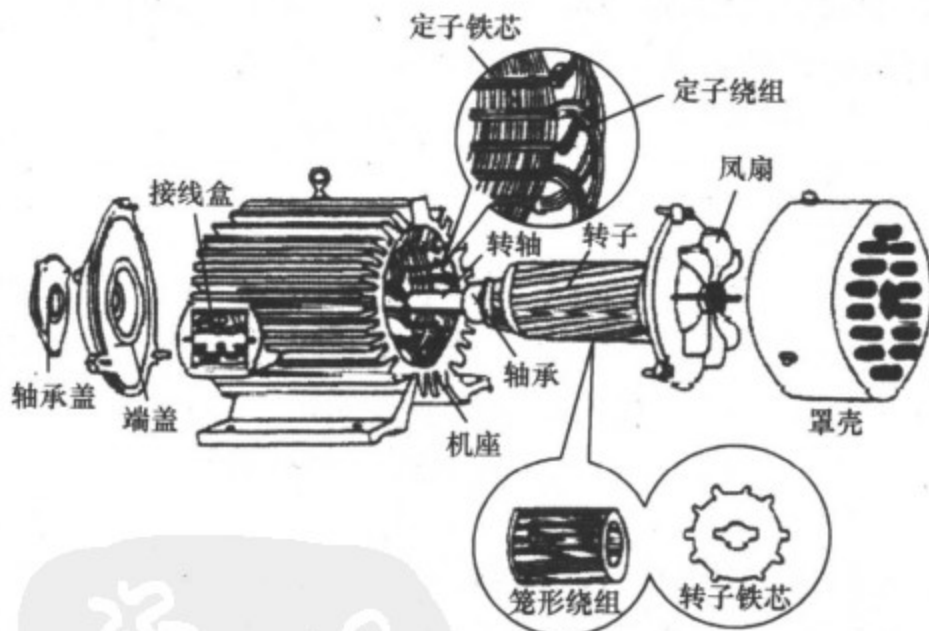


图 2-1 三相异步电动机的构造

一、定子

定子由机座、铁芯和绕组三部分组成。

1. 机座

机座的作用主要是固定和支撑定子铁芯。中小型异步电动机一般都采用铸铁机座，并根据不同的冷却方式而采用不同的机座型号。在机座内圆中固定着铁芯。机座两端的端盖是支撑转子用的。轴承盖用于保护轴承。对于封闭式电动机，运行时产生的热量通过铁芯传给机座，再从机座表面的散热片散发到空气中去。为了加强散热的能力，在机座

的外表面有很多均匀分布的散热片,以增大散热面积。风扇起轴向通风散热作用。风扇罩起安全防护作用。

2. 定子铁芯

定子铁芯是异步电动机主磁通磁路的一部分。为了使异步电动机能产生较大的电磁转矩,定子铁芯由导磁性能好、厚度在 $0.35\text{mm}\sim 0.5\text{mm}$ 且冲有一定槽形的硅钢片叠压而成,如图 2-2 所示。硅钢片表面涂有绝缘漆或氧化膜,片与片间相互绝缘,这样可以减少由于涡流造成的能量损失。铁芯内圆冲有均匀分布的槽,在槽中安放绕组。

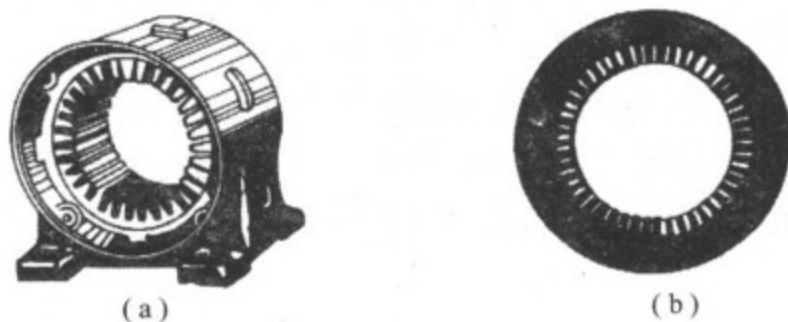


图 2-2 定子冲片

(a)不装绕组的定子; (b)定子冲片。

定子铁芯上的槽形通常有三种:半闭口槽、半开口槽以及开口槽,如图 2-3 所示。从提高电动机的效率和功率方面考虑,半闭口槽最好,但绕组的绝缘和嵌线工艺比较复杂,所以,这种槽形适用于小容量和中型低压异步电动机。半开口槽的槽口等于或略大于槽宽的一半,它可以嵌放成型线圈,这种槽形适用于大型低压异步电动机。开口槽适用于高压异步电动机,以保证绝缘的可靠性和下线方便。

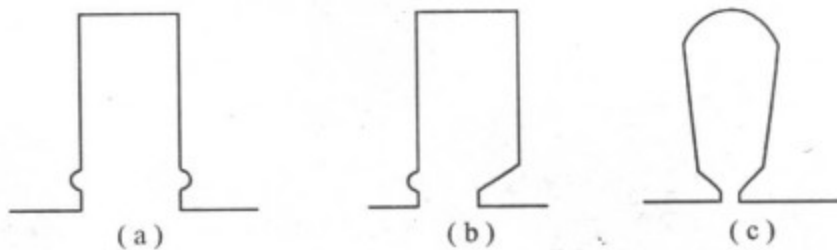


图 2-3 定子铁芯的槽

(a)开口槽; (b)半开口槽; (c)半闭口槽。

3. 定子绕组

定子绕组是异步电动机定子部分的电路,它由线圈按一定规律连接而成。三相异步电动机有三个独立的绕组,每个绕组包括若干线圈,每个线圈又由若干匝数构成。中小型电动机绕组的导线一般用高强度聚脂漆包圆铜线绕成,这种绕组叫散下绕组。在槽内线圈和铁芯间垫有青壳纸和聚脂薄膜作为槽绝缘。槽内有上、下两层,线圈之间还垫有层间绝缘材料,铁芯槽口上装有槽楔,槽楔是用竹、胶布板或环氧酚醛玻璃布板制成的。图 2-4 为定子槽绝缘结构。

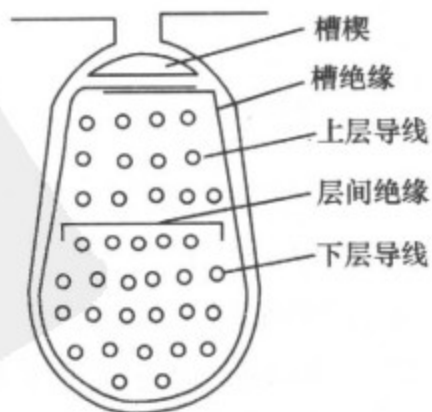


图 2-4 定子槽绝缘结构

二、转子

转子由转子铁芯、转子绕组和转轴组成。

1. 转子铁芯

转子铁芯也是电动机主磁通磁路的一部分,一般也由厚度为 0.35mm~0.5mm 冲槽的硅钢片叠成,铁芯固定在转轴或转子支架上。

重点提示 定子铁芯与转子铁芯都是由彼此绝缘的硅钢片叠成的圆筒,但二者所处位置不同;定子铁芯装在机座内;转子铁芯装在转轴上。另外,定子铁芯与转子铁芯冲槽位置也不同。定子铁芯内圆周表面冲有槽,用以放置定子绕组;而转子铁芯外圆周表面冲有槽,用以放置转子绕组。

2. 转子绕组

转子绕组分为鼠笼式和线绕式两种。

1) 鼠笼式绕组

鼠笼式转子绕组是由嵌放在转子铁芯槽内的铜导电条组成。因转子铁芯的两端各有一个铜端环,分别把所有铜导电条的两端都焊接起来,形成一个短接的回路,如果去掉铁芯,只剩下它的转子绕组(包括导电条和端环),很像一个笼子,所以称为鼠笼式转子。如图 2-5(a)所示。目前,中小型鼠笼式电动机,大都是在转子槽中浇铸铝液而铸成的鼠笼,它的端环也用铝液同时铸成,并且在端环上铸出许多叶片作为冷却用的风扇,如图 2-5(b)所示。这样,不但可以简化制造工艺和以铝代铜,而且,可以制成各种特殊形状的转子槽形和斜槽结构(即转子槽不与轴线平行而是歪扭一个角度),从而能改善电动机的启动性能,减少运行时的噪声。

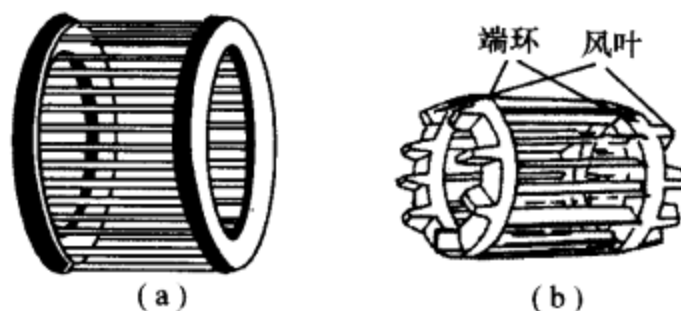


图 2-5 鼠笼式转子绕组

(a)铜条绕组;(b)铸铝绕组。

2) 绕线式绕组

绕线式转子绕组与定子绕组一样,也是由绝缘导线做成的三相绕组。三相绕组通常接成星形,它的三个引出线接到三个滑环上。这三个滑环也固定在转轴上,并且滑环与滑环之间、滑环与转轴之间都互相绝缘,三相绕组分别接到三个滑环上,靠滑环与电刷的滑动接触,再与外电路的三相可变电阻器相接,以便改善电动机的启动和调速性能,如图2-6所示。

采用绕线式转子的异步电动机比鼠笼式异步电动机结构复杂,成本也较高,但具有较好的启动性能,即启动电流较小,启动转矩较大,因此,绕线式电动机适用于对启动有特殊要求的调速场所。

3. 转轴

转轴是电动机输出机械能的重要部位,如图 2-7 所示。一般用中碳钢制成,可以承受很大的转矩。轴的两端用轴承支撑,固定在机座两端的端盖上。在后端(轴向端叫前端)盖外面轴上装着风扇,供轴向通风用。

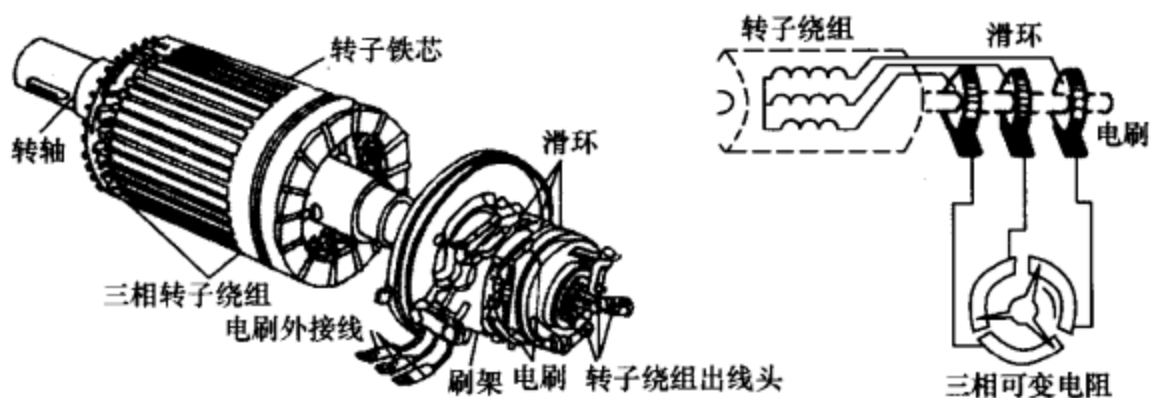


图 2-6 绕线式转子及其电路

(a)绕线式转子；(b)转子电路。

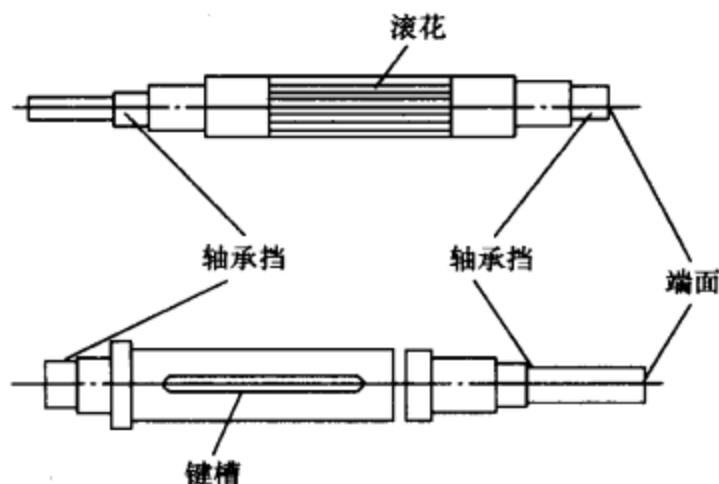


图 2-7 转轴

4. 端盖、轴承盖

端盖是支撑转子的，它把定子与转子连成一个整体，使转子能在定子铁芯内膛中转动。轴承盖与端盖连在一起，它起轴向固定轴承位置（也就是转子位置）和保护轴承的作用。

三、气隙

气隙是定子与转子间的空隙。气隙大小对电动机性能影响很大，气隙大了电动机空载电流大，电动机输出功率下降；气隙太小，定、转子间容易相碰而转动不灵活。

重点提示 三相异步电动机与变压器的异同：

三相异步电动机在电磁关系上与变压器相似。变压器有原绕组和副绕组，彼此通过铁芯中的主磁通建立联系；三相异步电动机中有定子和转子绕组，彼此通过旋转磁场的主磁通建立联系。其主要差别是：变压器是静止的，而异步电动机的转子电路是旋转的。

四、鼠笼式三相异步电动机实物分解图

鼠笼式三相异步电动机的结构很简单，其外形如图 2-8 所示。为便于读者对其总体结构有一个基本认识，下面给出三相异步电动机实物分解图。

(1)拆掉风罩的电机如图 2-9 所示。

(2)取下风叶后的电机如图 2-10 所示。

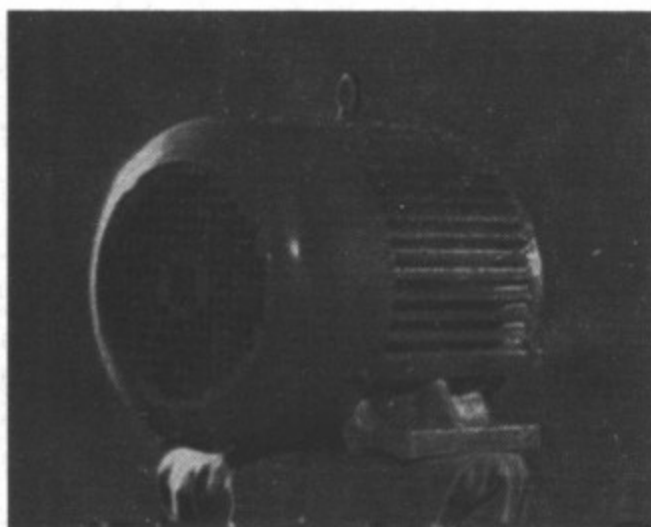


图 2-8 鼠笼式三相异步电动机外形

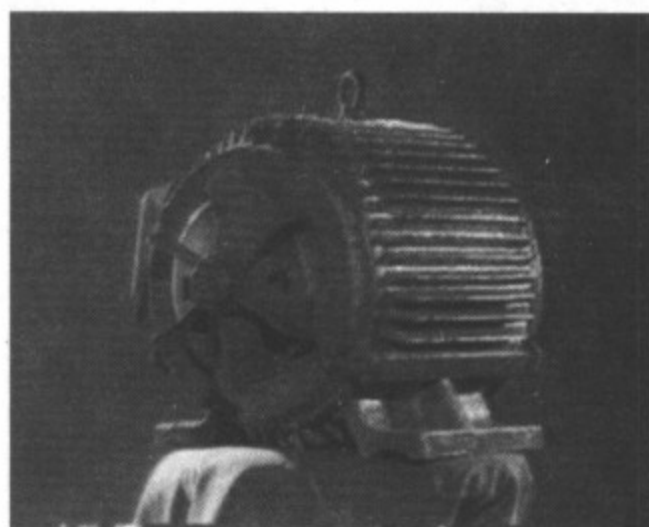


图 2-9 拆掉风罩

(3)再卸下端盖后,如图 2-11 所示。

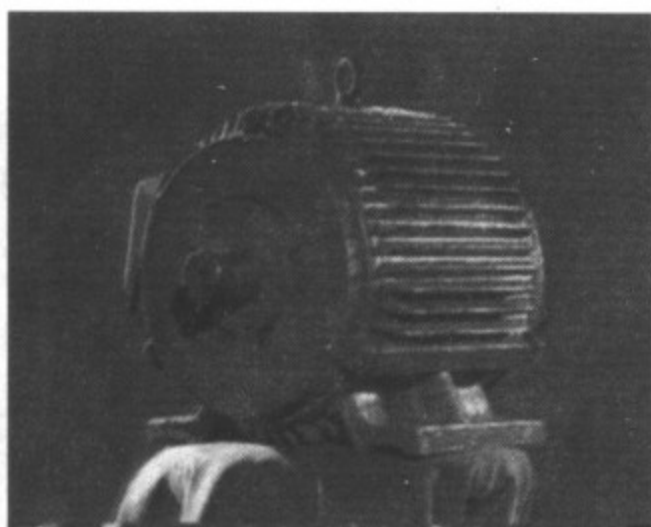


图 2-10 取下风叶

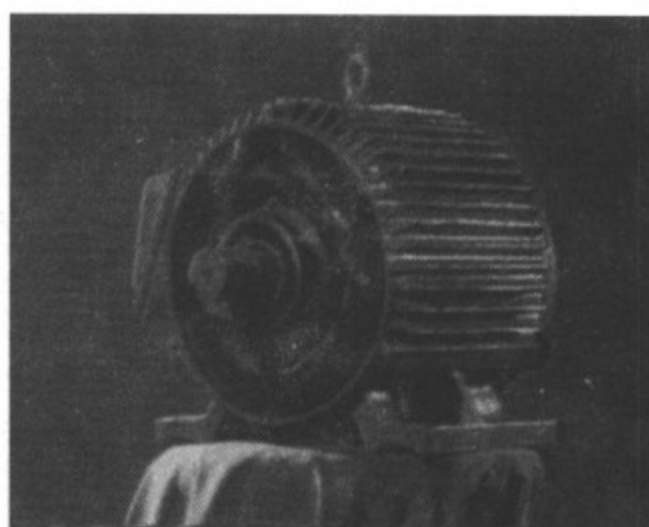


图 2-11 再把端盖拆下来

(4)抽出转动的部分,如图 2-12 所示。

(5)剩下的固定部分是定子,如图 2-13 所示。

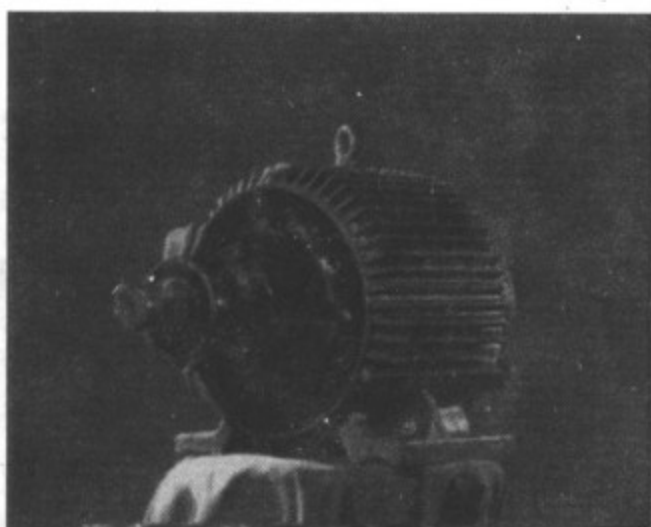


图 2-12 抽出转子

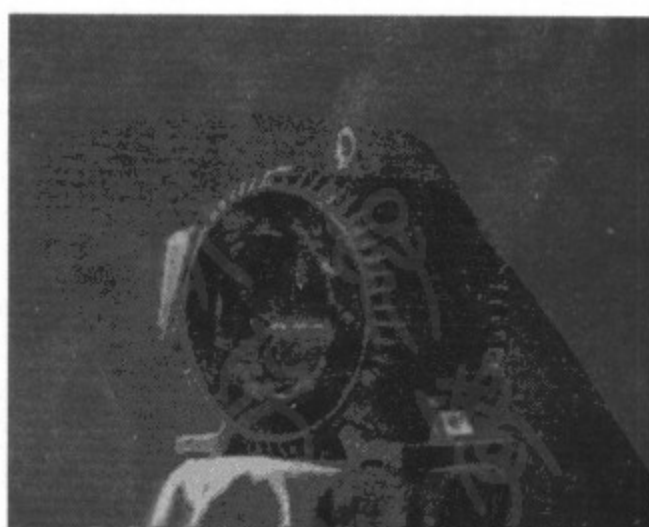


图 2-13 定子

(6)定子的最外层是铸铁机座,如图 2-14 所示。

(7)在铸铁机座里面是定子铁芯和定子线圈,如图 2-15 所示。

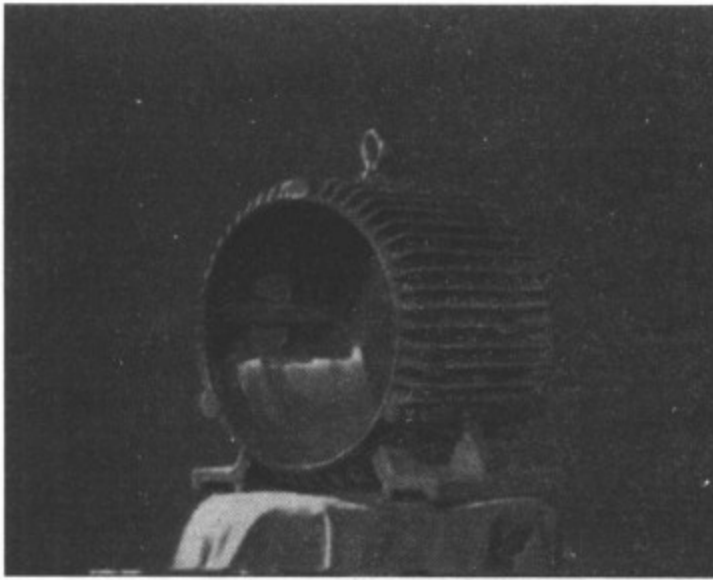


图 2-14 铸铁机座

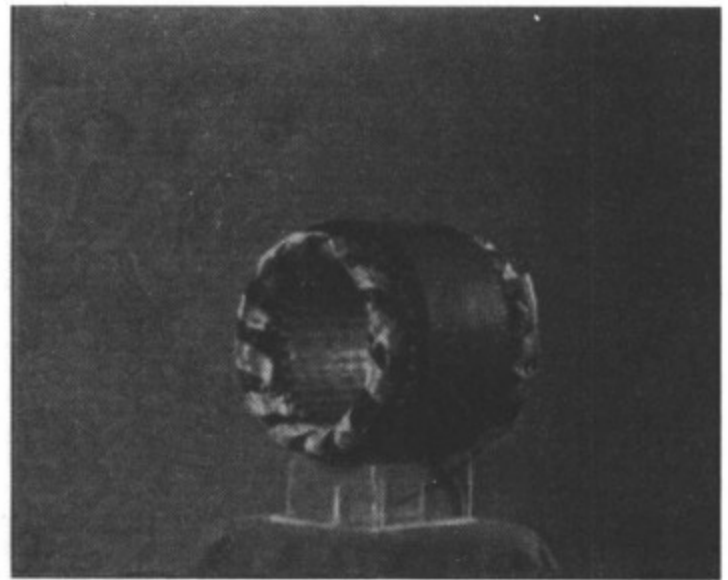


图 2-15 定子铁芯和定子线圈

(8)在定子铁芯里面,嵌有漆包线绕成的线圈,线圈分为三相,是三相绕组,如图 2-16 所示。

(9)定子铁芯如图 2-17 所示。

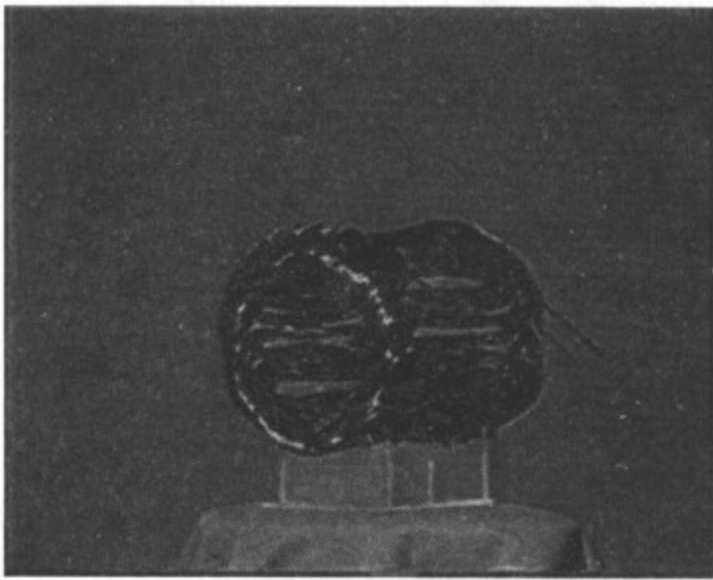


图 2-16 三相绕组定子线圈

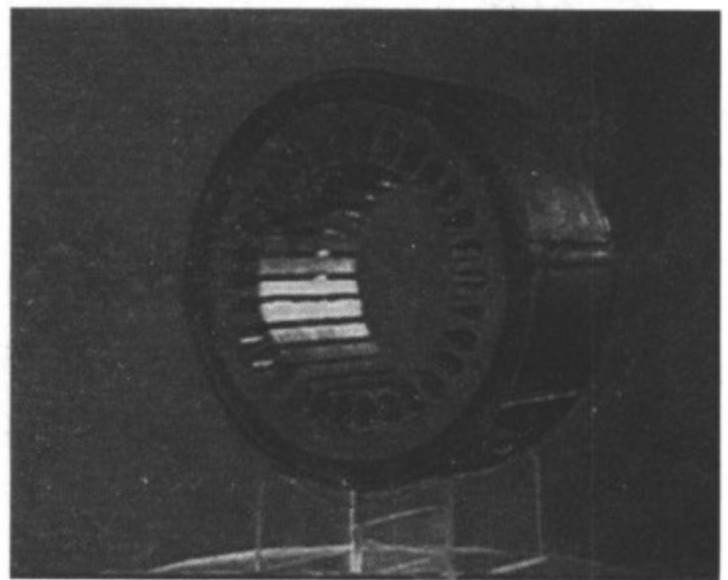


图 2-17 定子铁芯

(10)定子铁芯中带轴转子如图 2-18 所示。

(11)转子是一个实体,在转轴上固定着转子铁芯和鼠笼,如图 2-19 所示。

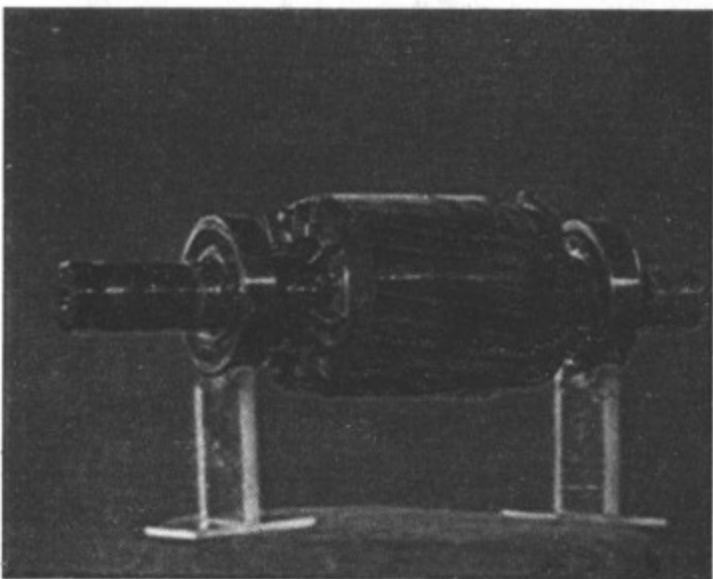


图 2-18 从定子铁芯中抽出的带轴转子

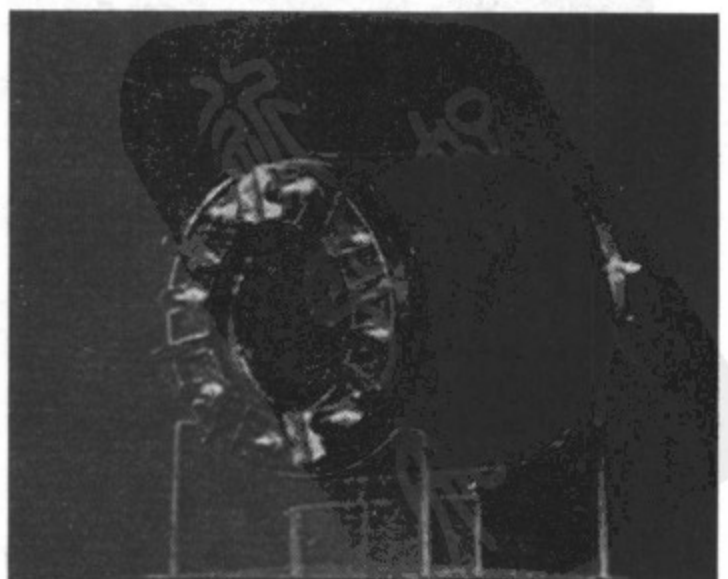


图 2-19 转子铁芯和鼠笼

(12)在铁芯槽中浇铸铝,就形成如图 2-20 所示的鼠笼。

(13)转子铁芯如图 2-21 所示。

(14)从整个电机来说,由定子铁芯和转子铁芯构成如图 2-22 所示的磁路。

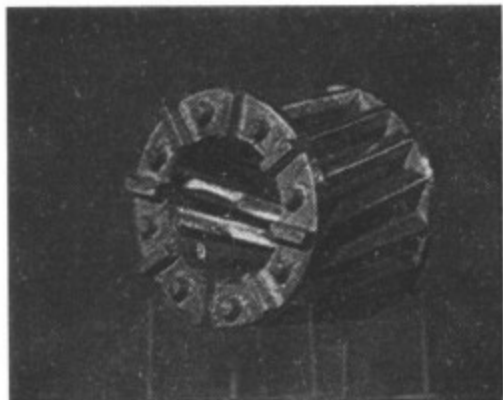


图 2-20 鼠笼

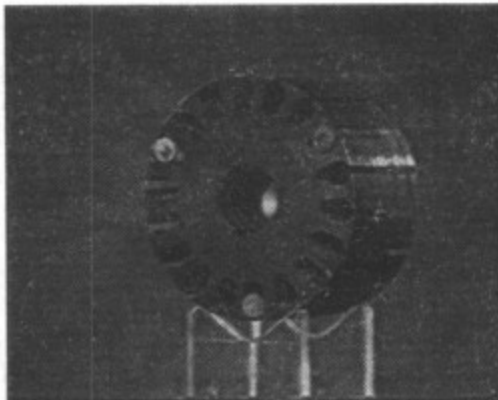


图 2-21 转子铁芯

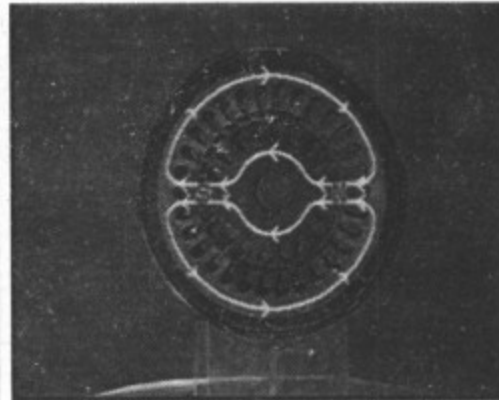


图 2-22 由定子铁芯和转子铁芯构成的磁路

第二节 三相异步电动机的工作原理

三相异步电动机接上电源,就会转动。这是什么道理呢?为了说明电机转动的原理,先来做个演示。

图 2-23 所示的是一个装有手柄的蹄形磁铁,磁极间放有一个可以自由转动的、由铜条组成的转子。铜条两端分别用铜环连接起来,形似鼠笼,可称为鼠笼式转子。磁极和转子之间没有机械联系。当摇动磁极时,发现转子跟着磁极一起转动。摇得快,转子转得也快;摇得慢,转得也慢;反摇,转子马上反转。

异步电动机转子转动的原理与上述演示实验相似。当磁极向顺时针方向旋转,磁极的磁力线切割转子铜条,铜条中就感应出电动势。电动势的方向由右手定则确定。在这里应用右手定则时,可假设磁极不动,而转子铜条向逆时针方向旋转切割磁力线,这与实际上磁极顺时针方向旋转时磁力线切割转子铜条是相当的。

在电动势的作用下,闭合的铜条中就有感应电流,感应电流与旋转磁极的磁场相互作用,而使转子铜条受到安培力 F ,安培力的方向可用左手定则来判定,由安培力产生电磁转矩,转子就转动起来,由图 2-24 可见,转子转动的方向与磁极转动的方向是相同的。

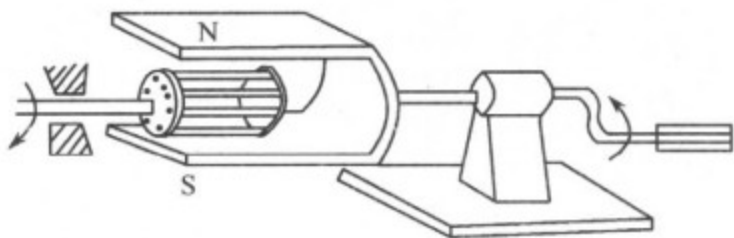


图 2-23 异步电动机转子转动演示

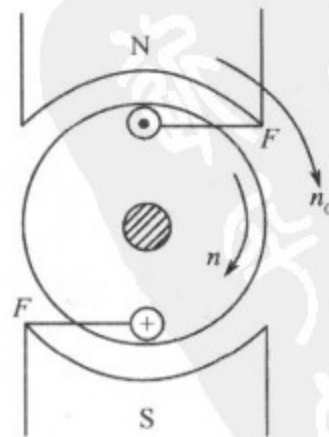


图 2-24 转子转动的方向与磁极转动的方向是相同的

下面具体分析三相异步电动机旋转的工作原理。

一、旋转磁场的产生

三相异步电动机的定子绕组嵌放在定子铁芯槽内,按一定规律连接成三相对称结构。三相定子绕组 U_1U_2, V_1V_2, W_1W_2 在空间互成 120° ,它可以连接成 Y 形,也可以连接成 Δ 形。若把三相绕组连成 Y 形时,则三相绕组的立体图、接线图和端面图如图 2-25 所示。

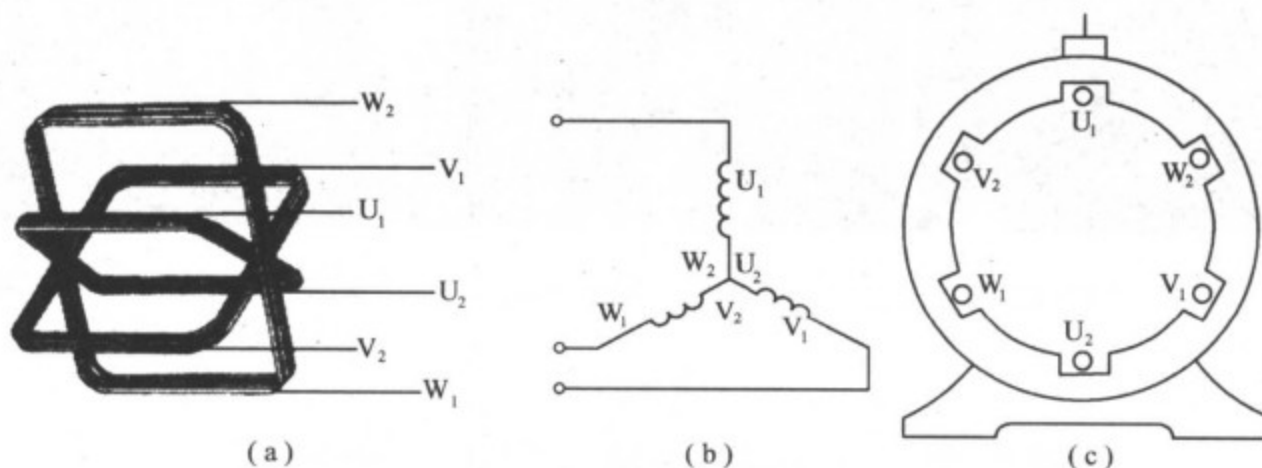


图 2-25 定子绕组立体图、接线图和端面图

(a)立体图; (b)接线图; (c)端面图。

当三相绕组接至三相对称电源时,三相绕组中便通入三相对称电流 i_U, i_V, i_W ,则

$$i_U = I_m \sin \omega t$$

$$i_V = I_m \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$i_W = I_m \sin(\omega t - 240^\circ) = I_m \sin(\omega t + 120^\circ)$$

电流的参考方向和随时间变化的波形图如图 2-26 所示。

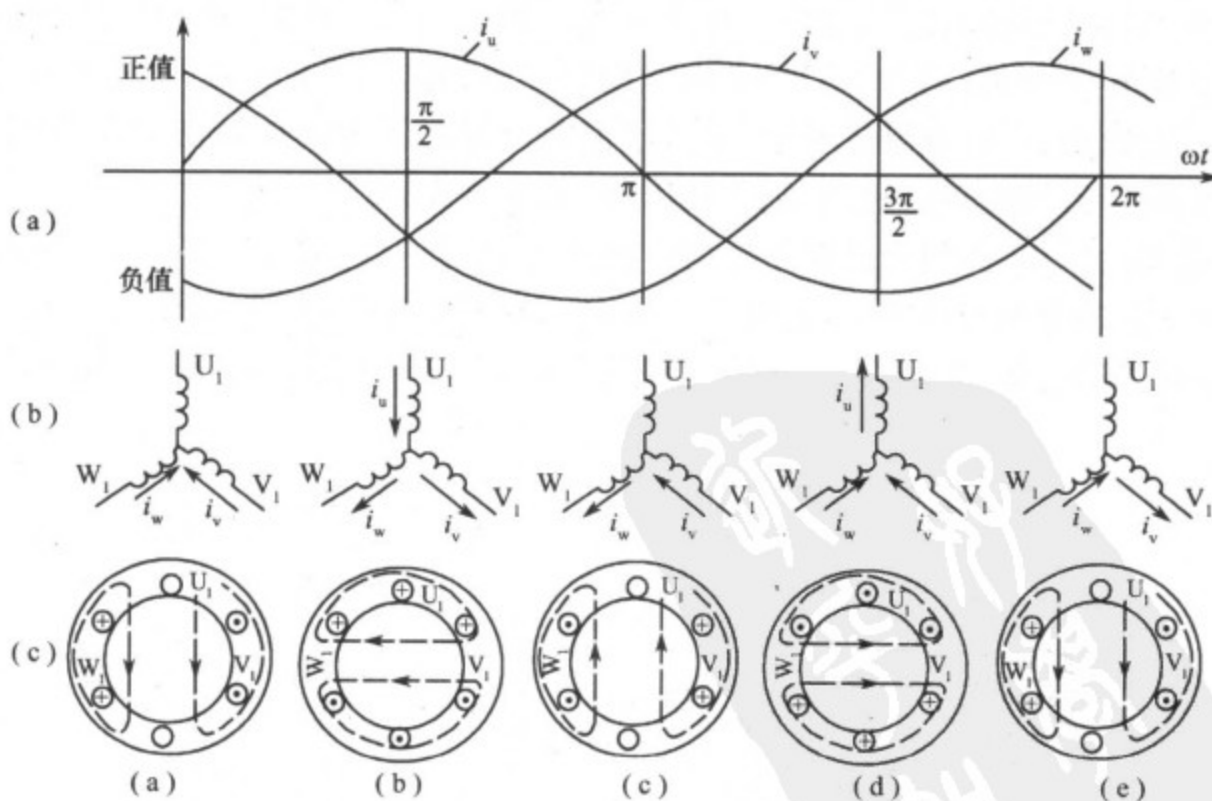


图 2-26 电流的参考方向和随时间变化的波形图

(a) $\omega t=0$; (b) $\omega t=90^\circ$; (c) $\omega t=180^\circ$; (d) $\omega t=270^\circ$; (e) $\omega t=360^\circ$ 。

取绕组始端到末端的方向作为电流的正方向,在电流的正半周内,其值为正,其实际

方向与正方向一致,在负半周内,其实际方向与正方向相反。

当 $\omega t=0$ 时,定子各绕组电流的方向如图中 2-26(a)所示,这时, $i_U=0$,所以定子线圈中的 U_1U_2 始末端用“○”表示, i_V 是负的,即实际方向为从 V_2 到 V_1 端, V_2 入 V_1 出,故 V_1 用“⊙”表示, V_2 用“⊗”表示。而 i_W 是正的,即实际方向为从 W_1 到 W_2 端, W_1 入 W_2 出,故 W_1 用“⊗”表示, W_2 用“⊙”表示。将每相电流所产生的磁场相加,便得到三相电流的合成磁场,在 $\omega t=0$ 时,合成磁场的方向是自上向下,如图中 2-26(a)所示。

图 2-26(b)是 $\omega t=90^\circ$ 时的三相电流合成磁场,这时的合成磁场已在空间转过了 90° 。同理可得 ωt 等于 180° 、 270° 和 360° 时的合成磁场方向,如图 2-26(c)、图 2-26(d)、图 2-26(e)所示。

由上可知,当定子绕组中通入三相电流后,它们共同产生的合成磁场随电流的交变而在空间不断地旋转着,这就是旋转磁场。

旋转磁场同磁极在空间旋转所起的作用是一样的。也就是,三相电流产生的旋转磁场切割转子导体(铜或铝),便在其中感应出电动势和电梳,转子电流同旋转磁场相互作用而产生的电磁转矩使电机转动起来。

二、电动机旋转方向的改变

电动机的转子转动的方向和磁场旋转的方向是相同的,如要电动机反转,必须改变磁场的旋转方向。在三相电流中,电流出现正幅值的顺序为 $U_1 \rightarrow V_1 \rightarrow W_1$,因此磁场的旋转方向是与这个顺序一致的,即磁场的转向与通入绕组的三相电流的相序有关。如果将同三相电源连接的三根导线中的任意两根的一端对调位置,例如,对调了 V_1 与 W_1 两相,则电动机三相绕组的 V_1 相与 W_1 相对调(注意:电源三相端子的相序未变),旋转磁场因此反转,电动机也就跟着改变转动方向。

三、三相异步电动机的极数与转速

1. 极数

三相异步电动机的极数就是旋转磁场的极数。旋转磁场的极数和三相绕组的安排有关。在前面介绍的定子绕组中,每相绕组只有一个线圈,绕组的始端之间相差 120° ,则产生的旋转磁场具有一对极,即 $p=1$ (p 是磁极对数)。如将定子绕组安排得如图 2-27 那

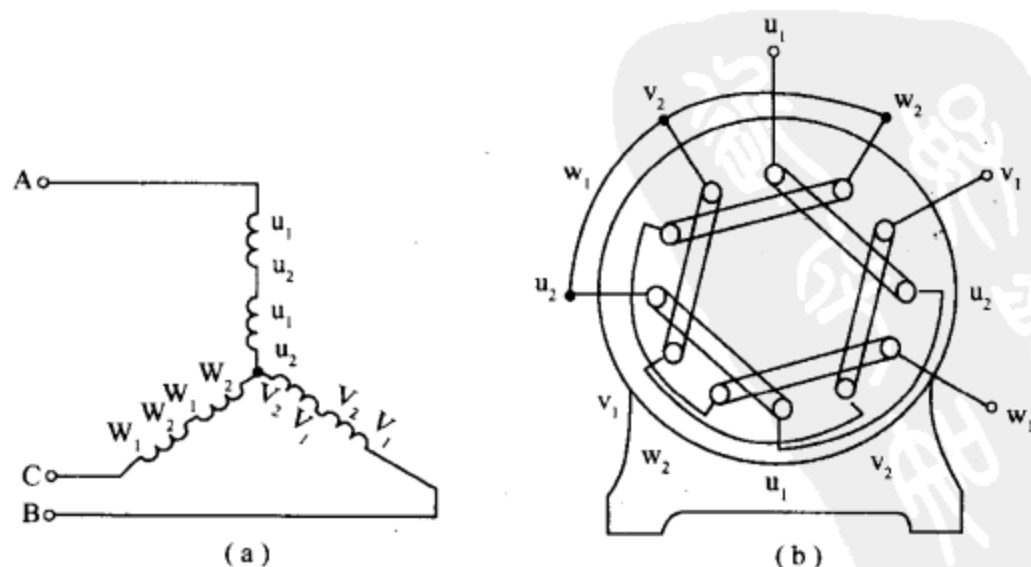


图 2-27 产生四极旋转磁场的定子绕组

(a)接线图; (b)端面图。

样,即每相绕组有两个线圈串联,绕组的始端之间只相差 60° 角,则产生的旋转磁场具有两对极,即 $p=2$,如图 2-28 所示。图中的 N、S 表示磁极,可用右手螺旋定则进行判定。

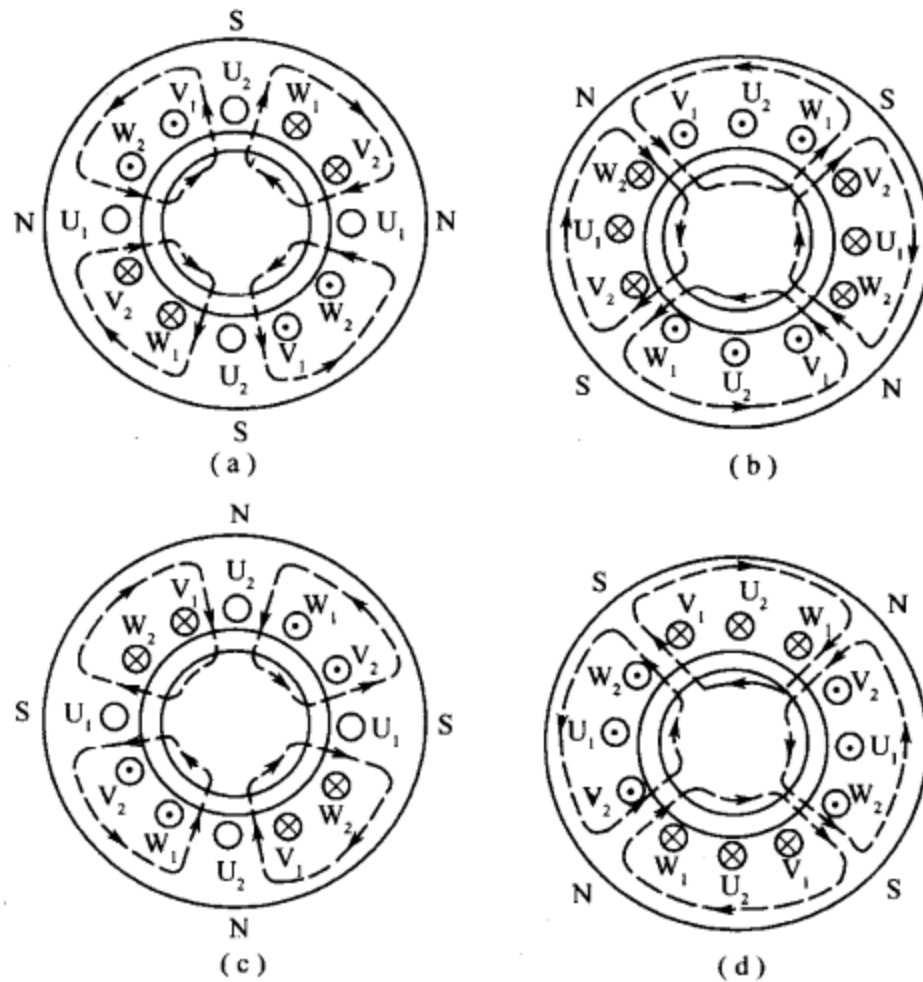


图 2-28 三相电流产生的磁场($p=2$)

(a) $\omega t=0$; (b) $\omega t=90^\circ$; (c) $\omega t=180^\circ$; (d) $\omega t=270^\circ$ 。

同理,如果要产生三对极,即 $p=3$ 的旋转磁场,则每相绕组必须有均匀安排的三个线圈串联,三相绕组的始端之间相差 40° ($\frac{120^\circ}{p}$) 的空间角。

2. 旋转磁场的转速 n_0 和转子的转速 n

三相异步电动机的转速与旋转磁场的转速有关,而旋转磁场的转速决定于旋转磁场的极数。可以证明,在磁极对数 $p=1$ 的情况下,三相定子电流变化一个周期,所产生的合成旋转磁场在空间亦旋转一周。当电源频率为 f 时,对应的旋转磁场转速 $n_0=60f$ 。当电动机的旋转磁场具有 p 对磁极时,合成旋转磁场的转速为: $n_0=\frac{60f}{p}$ 。式中 n_0 即为旋转磁场的转速,其单位为 r/min(转/分);我国电力网电源频率 $f=50\text{Hz}$,故当电动机磁极对数 p 分别为 1、2、3、4 时,相应的同步转速 n_0 分别为 3000r/min、1500r/min、1000r/min、750r/min。

由图 2-24 可知,电动机转子转动的方向与磁场旋转的方向相同,但转子的转速 n 不可能达到与旋转磁场的转速 n_0 相等,即 $n < n_0$,因为如果转子转速 n 达到 n_0 ,转子与旋转磁场之间就没有相对运动,转子导体将不切割磁通,于是转子导体中不会产生感应电动势和转子电流,也不可能产生电磁转矩,所以电动机转子不可能维持在转速 n_0 状态下运行。可见该电动机只有在转子转速 n 低于同步转速 n_0 时,才能产生电磁转矩并驱动负载稳定运行。因此这种电动机称为异步电动机。而旋转磁场的转速 n_0 称为同步转速。

由于这种异步电动机的转子绕组不直接与电源线路连接,而是靠旋转磁场的电磁感应作用来产生机械功率,因此称为感应电动机。

3. 转差率

异步电动机的转子转速 n 与旋转磁场的同步转速 n_0 之差是保证异步电动机工作的必要条件。这两个转速之差与同步转速之比称为转差率,用 s 表示,即

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0} \times 100\%$$

电动机空载时,由于空载阻力矩很小,转差率 s 一般只有 $0.4\% \sim 0.7\%$,因此转子转速非常接近同步转速。

当电动机拖动生产机械工作时,即电动机有机械负载时,阻力转矩将增大,于是转子转速相应下降,转差率 s 增大,转子绕组中的电动势和电流、电磁力和电磁转矩也增加,增加的旋转转矩刚好克服被拖动的机械负载的阻力转矩,使电动机稳定运行。

从力学的基本知识可知,转速 \times 转矩=功率。这时,电动机就对外加负载输出了机械功率。与此同时,由于转子绕组中的电流增大,通过气隙旋转磁场的相互作用,定子绕组中的电流也相应增加,换句话说,电动机从电源线路中吸取的电功率也相应地增加了。异步电动机就是这样将电能转换为机械能的。

对于一般中小型异步电动机,在铭牌上所规定的额定电压和额定负载情况下,额定转差率为 $2\% \sim 7\%$ 。

第三节 三相异步电动机的铭牌数据

铭牌安装在电动机的外表面显著的地方,是电动机的主要标志元件。铭牌上载明电动机的简要数据,以使用户正确选择和使用电动机。在电动机维修时,铭牌数据是绕组重绕计算的重要依据,所以,必须正确地了解铭牌。

电机制造厂按照国家标准,根据电机的设计和试验数据而规定的每台电机的正常运行状态和条件,称为电机的额定运行情况。表征电机额定运行情况的各种数值,如电压、电流、功率等称为电动机的额定值。额定值一般标记在电机的铭牌或产品说明书上,常用下标“N”标记。三相异步电动机铭牌如图 2-29 所示。

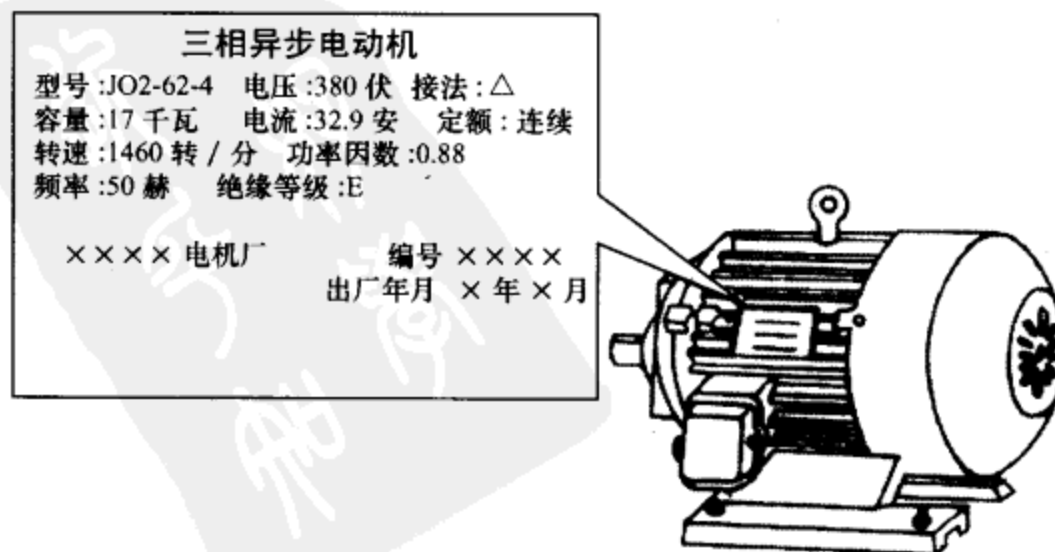


图 2-29 三相异步电动机的铭牌

三相异步电动机的铭牌上一般包括下列几种数据。

一、型号

为了适应不同用途和不同工作环境的需要,电动机制成不同的系列,每种系列用各种型号表示。三相异步电动机的型号主要有三部分构成,即产品代号、规格代号和特殊环境代号。型号的具体编制内容如图 2-30 所示。

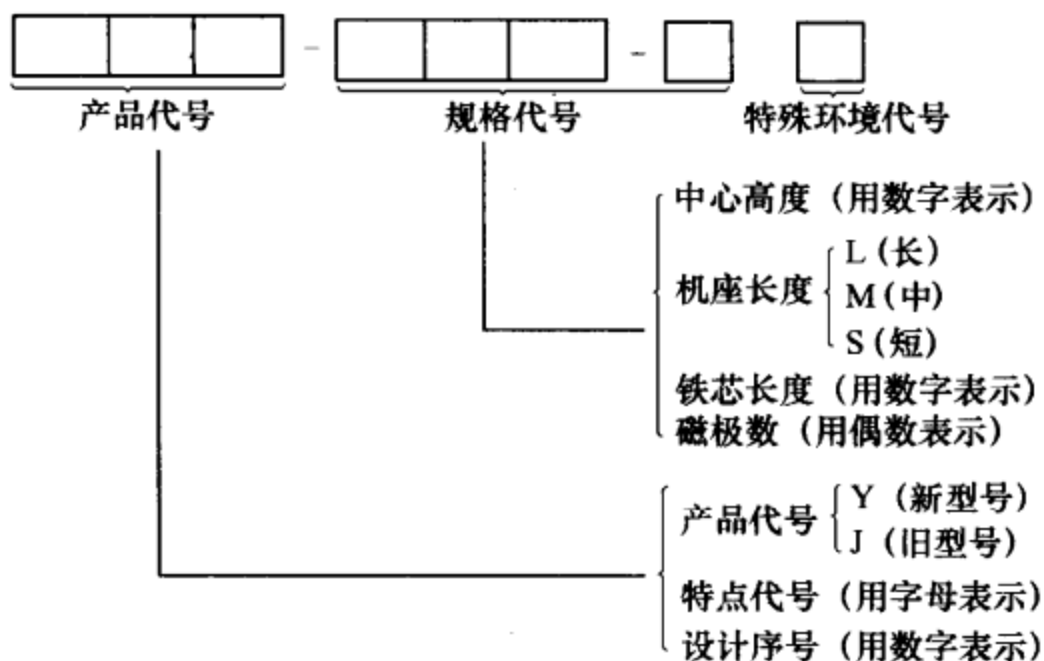


图 2-30 三相异步电动机型号构成

异步电动机产品代号意义如表 2-1 所列。

表 2-1 异步电动机产品代号意义

产品名称	产品代号	
	新代号	旧代号
异步电动机	Y	J、JO
绕线式异步电动机	YR	JR、JRO
防爆型异步电动机	YB	JB、JBS
高启动转矩异步电动机	YQ	JQ、JQO

中小型 Y 系列三相异步电动机的型号意义举例如图 2-31 所示。

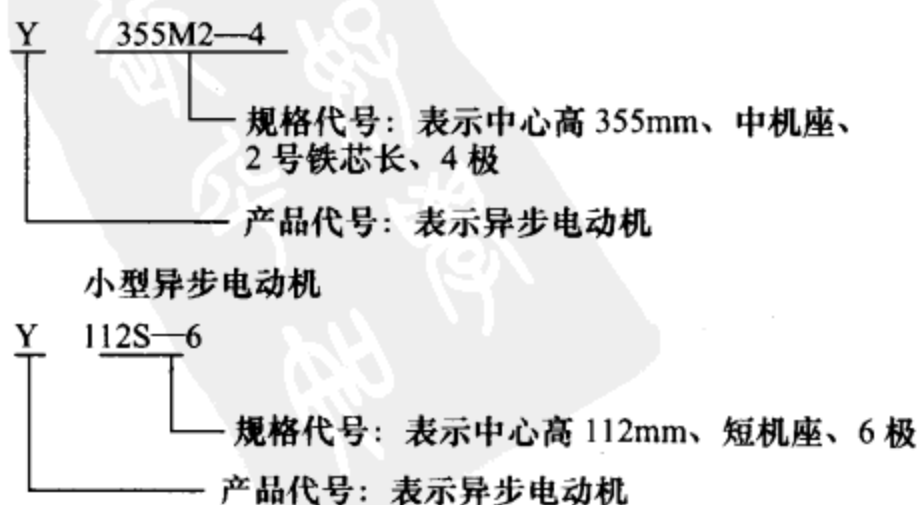


图 2-31 型号举例

我国三相异步电动机主要有第二代产品 J2、JO2 系列和第三代产品 Y 系列及其派生产品,还有少量 20 世纪 90 年代生产的第四代产品 Y2 系列。

Y 系列三相异步电动机是一种新产品。其性能先进,具有启动转矩大、噪声低、振动小、防护性能好、安全可靠、维护方便和外形美观等优点,并且符合国际电工委员会(IEC)标准。目前,Y 系列三相异步电动机已逐步取代 J2、JO2 等旧型号三相异步电动机。

Y2 系列三相异步电动机是采用新技术、新工艺、新材料的又一新产品,它是 Y 系列三相异步电动机的升级换代产品。目前,Y2 系列三相异步电动机已广泛应用于机床、风机、水泵、压缩机等各类机械设备上。

二、额定电压 U_N

额定电压是指电动机额定运行时,外加于定子绕组上的线电压,单位为伏(V)。一般规定电动机的工作电压不应高于或低于额定值的 5%。当工作电压高于额定值时,磁通将增大,将使励磁电流大大增加,电流大于额定电流,使绕组发热。同时,由于磁通的增大,铁损耗(与磁通平方成正比)也增大,使定子铁芯过热;当工作电压低于额定值时,引起输出转矩减小,转速下降,电流增加,也使绕组过热,这对电动机的运行也是不利的。

三、接法

这是指定子三相绕组的接法。一般鼠笼式电动机的接线盒中有六根引出线,标有 U_1 、 V_1 、 W_1 、 U_2 、 V_2 、 W_2 。其中: U_1 、 U_2 是第一相绕组的两端; V_1 、 V_2 是第二相绕组的两端; W_1 、 W_2 是第三相绕组的两端。

三相绕组的六个出线端引至机座上的接线盒内,与六个接线柱相连。定子绕组根据电源电压和电动机铭牌上标明的额定电压,可以连接成星形(Y)和三角形(Δ)。图 2-32 所示为三相绕组的星形连接和三角形连接及接线柱的连接图。

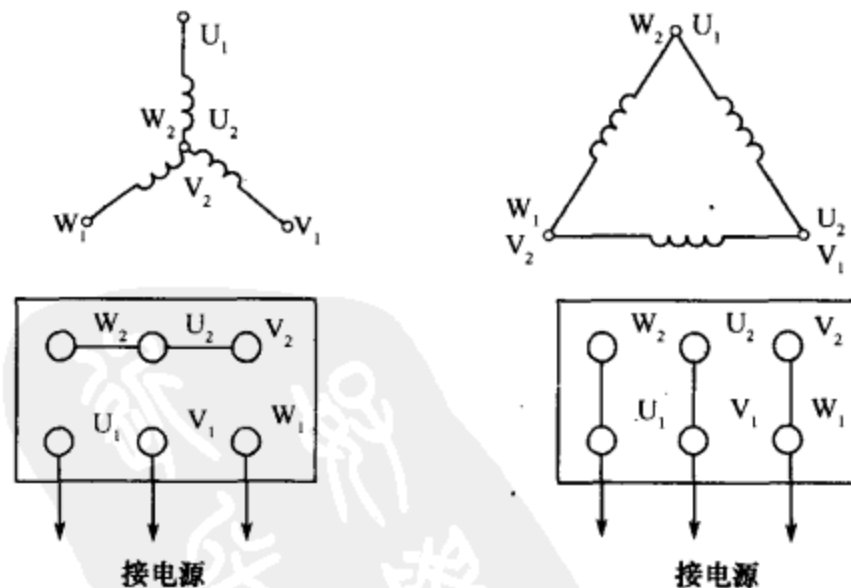


图 2-32 定子绕组的连接

重点提示 我国生产的 Y 系列中小型异步电动机,其额定功率在 3kW 以上的,额定电压为 380 V,绕组为三角形连接。额定功率在 3 kW 及以下的,额定电压为 380/220V,绕组为 Y/ Δ 连接,即电源线电压为 380 V 时,电动机绕组为星形连接;电源线电压为 220 V 时,电动机绕组为三角形连接。

四、额定电流 I_N

额定电流是指电动机在额定电压和额定输出功率时,定子绕组的线电流,也称满载电流,单位为安(A)。如三相定子绕组可有两种接法时,就标有两种相应的额定电流值。

当电动机空载时,转子转速接近于旋转磁场的同步转速,两者之间相对转速很小,所以转子电流近似为零,这时定子电流几乎全为建立旋转磁场的励磁电流。当输出功率增大时,转子电流和定子电流都相应增大。

五、额定功率 P_N

在额定运行情况下,电动机轴上所输出的机械功率为电动机的额定功率。单位一般为千瓦(kW)。

六、额定效率

对电动机而言,输出功率与输入功率不等,其差值为电动机本身的损耗功率,包括铜损、铁损及机械损耗等。电动机在额定运行时,将输出功率与输入功率的比值称为额定效率,用 η_N 表示,即

$$\eta_N = \frac{P_N}{P_{IN}} \times 100\%$$

其中, $P_{IN} = \sqrt{3}U_N I_N \cos\varphi_N$, 即三相定子绕组从电源所取用的功率。鼠笼式电动机运行时,其额定效率 η_N 为 75%~92%。

七、额定功率因数 $\cos\varphi_N$

因为电动机是电感性负载,定子相电流比相电压滞后一个 φ 角, $\cos\varphi$ 就是异步电动机的功率因数。电动机在额定运行情况下的定子电路功率因数为电动机的额定功率因数。三相异步电动机的功率因数较低,在额定负载时为 0.7~0.9,而在轻载和空载时更低,空载时只有 0.2~0.3。因此,必须正确选择电动机的容量,防止“大马拉小车”,并力求缩短空载的时间。

八、额定频率 f_N

我国电力网的频率为 50Hz,因此除外销产品外,国内用的异步电动机的额定频率为 50Hz。

九、额定转速 n_N

额定转速是指电动机在额定电压、额定频率下,输出端有额定功率输出时,转子的转速,单位为转/分(r/min)。由于生产机械对转速的要求不同,需要生产不同磁极数的异步电动机,因此有不同的转速等级。最常用的是四个极的异步电动机($n_0 = 1500$ r/min)。

十、运行方式

电动机运行情况,根据发热条件可分为三种基本运行方式:连续运行、短时运行和断

续运行。

(1)连续运行。按铭牌上规定的功率长期运行,如水泵、通风机和机床设备上电动机的使用方式都是连续运行方式。

(2)短时运行。每次只允许规定的时间内按额定功率运行,而且再次启动之前应有符合规定的足够停机的冷却时间。

(3)断续运行。电动机以间歇方式运行,如吊车和起重机等设备上用的电动机就是断续运行方式。

十一、绝缘等级

绝缘等级是按电动机绕组所用的绝缘材料在使用时所容许的极限温度来分级的。所谓极限温度,是指电机绝缘结构中最热点的最高容许温度。其技术数据见表 2-2。

表 2-2 极限温度技术数据

绝缘等级	A	E	B	F	H
极限温度/℃	105	120	130	155	180

我国生产的三相异步电动机,J2、JO2 为 E 级绝缘,Y 系列为 B 级绝缘,Y2 系列为 F 级绝缘。在修理时要区别不同产品,选择相应耐热等级的导线及绝缘材料。

第四节 三相异步电动机的选择

三相异步电动机应用非常广泛,因而正确选择电动机显得极为重要。三相异步电动机的选择包括它的功率、种类、结构形式、转速和电压等。

一、功率的选择

电动机的功率大小是根据生产机械的需要所确定的。各种机械对电动机的功率要求不同。如果电动机功率过小,有可能带不动负载,即使能启动,也会因电流超过额定值而使电动机过热,影响其使用寿命甚至烧毁电动机。如果电动机的功率过大,就不能充分发挥作用,电动机的效率和功率因数都会降低,从而造成电力和资金的浪费。

一般来说,对于连续运行的电动机,若负载是恒定负载,先算出生产机械的功率,所选电动机的额定功率比生产机械的功率大 10%左右,以补偿传动过程中的机械损耗,防止意外的过载情况。对于短时运行电动机,功率可以允许适当过载。

二、种类的选择

选择电动机的种类是从交流或直流、机械特性、调速与启动特性、维护及价格等方面考虑。因为生产上常用的是三相交流电,如没有特殊要求,多采用交流电动机。由于三相鼠笼式异步电动机结构简单、坚固耐用、工作可靠、价格低廉、维护方便,又有调速困难、功率因数较低、启动性能较差的缺点,因此,在要求机械特性较硬而无特殊要求的一般生产机械的拖动,如水泵、通风机、运输机、传送带和机床都采用鼠笼式异步电动机。

绕线式电动机的基本性能与鼠笼式相同。其特点是启动性能较好,并可在不大的范

围内平滑调速。但是它的价格比鼠笼式电动机贵,维护亦较不便。因此,只有在某些必须采用绕线式电动机的场合,如起重机、锻压机等才采用。

三、结构形式的选择

在不同的工作环境,应采用不同结构形式的电动机,以保证其安全可靠地运行。电动机常用的结构形式有开启式、封闭式两大类。

1. 开启式电动机

开启式电动机的机壳有通风孔,内部空气同外界相流通。与封闭式电动机相比,其冷却效果良好,电动机形状较小。因此,在周围环境条件允许时应尽量采用开启式电动机。

开启式电动机又可分以下几类:

- (1)防护式:机壳通风孔部分用金属网等防护,可防止外界杂物进入电动机内。
- (2)防滴式:可防止水流入电动机内。
- (3)防滴防护式:具有防滴式和防护式的特点。
- (4)防腐式:可在有腐蚀性气体的环境中使用。

2. 封闭式电动机

封闭式电动机有封闭的机壳,电动机内部空气与外界不流通,与开启式电动机相比,其冷却效果较差,电动机外形较大且价格高。封闭式电动机又分为以下几类:

- (1)全封闭防腐式:可在有腐蚀性气体的场合中使用。
- (2)全封闭冷却式:电动机的转轴上安装有冷却风扇。
- (3)耐压防爆式:可防止电动机内部气体爆炸而引爆外界爆炸性气体。
- (4)充气防爆式:电动机内充有空气或不燃性气体,内部压力较高,可防止外界爆炸气体进入电动机。

对于有爆炸性气体的场所,必须选用防爆式电动机;有腐蚀性气体、液体的场所,应使用防腐式电动机;在尘埃较多的场所,则需选用全封闭冷却式电动机。

四、转速的选择

三相异步电动机的同步转速有 3000r/min(2 极)、1500r/min(4 极)、1000r/min(6 极)等,而电动机(转子)的转速比同步转速要低 2%~5%,一般为 2900r/min(2 极)、1450r/min(4 极)、960r/min(6 极)等。在功率相同的条件下,电动机转速越低,体积越大,价格也越高,而且功率因数与效率较低。由此看来,选用 2900r/min 的电动机较好。但这种电动机转速高,启动转矩小,启动电流大,电动机的轴承也容易磨损。因此在工农业生产上,一般选用 1450r/min 的电动机,这种电动机转速中等,适用性强,功率因数与效率也较高。

五、电压的选择

电压等级选择要根据电动机类型、功率以及使用地点的电源电压来决定。Y 系列鼠笼式电动机的额定电压只有 380V 一个等级;大功率异步电动机才采用 3000V、6000V 的电压等级。

* 第五节 三相同步电动机简介

凡是容量较大、转速要求恒速的设备,常采用三相同步电动机,例如,拖动大型水泵、空气压缩机、大型鼓风机等。

一、三相同步电动机的结构

三相同步电动机主要包括定子和转子两大部分。

1. 定子

定子和三相异步电动机一样,包括定子铁芯、定子绕组(亦称电枢绕组)及机座和端盖。

2. 转子

转子是磁极,由转子铁芯、转子绕组(亦称励磁绕组)、滑环和转轴等部件组成。转子由直流励磁,直流通电刷和滑环流入励磁绕组,如图 2-33 所示。在磁极的极掌上装有类似鼠笼式异步电动机转子的短路线圈,称为启动绕组。

二、三相同步电动机的工作原理

设电动机只有一对磁极,工作原理可用图 2-34 来说明。

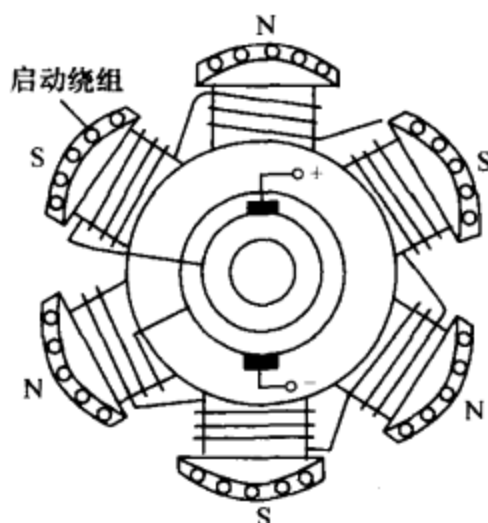


图 2-33 转子

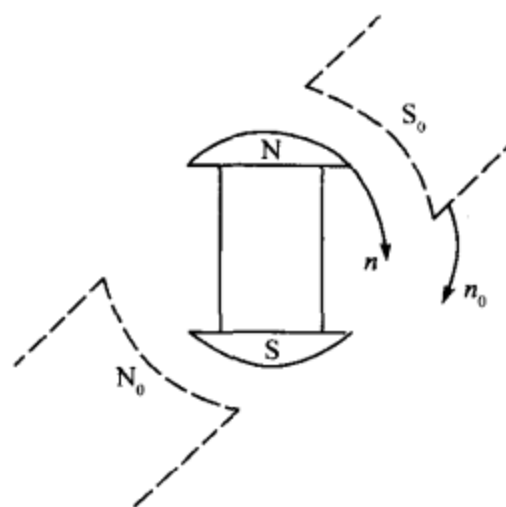


图 2-34 同步电动机原理图

当三相对称定子绕组接到三相电源后,就会有三相对称电流流过而产生定子旋转磁场,其转速为

$$n_0 = \frac{60f}{p} \text{ r/min}$$

旋转磁场使电动机(转子)转动起来(这时转子尚未励磁)。当电动机转速接近同步转速 n_0 时,转子绕组通入直流励磁电流,产生转子磁场。由于异性磁极相吸,同性磁极相斥,结果总会使定子旋转磁场和转子旋转磁场的磁极异性相互吸引,于是电枢磁场(定子磁场)旋转时,就会拉着转子磁场同方向、等转速地一同旋转,即

$$n = n_0 = \frac{60f}{p}$$

这就是同步电动机名称的由来。

三、基本特性

三相同步电动机具有以下特性：

(1) 当电源频率 f 一定时，同步电动机的转速 n 是恒定的，不随负载而变。

(2) 改变励磁电流，可以改变定子相电压和相电流之间的相位差（亦即改变同步电动机的功率因数），可以使同步电动机运行于电感性、电容性和电阻性三种状态。为了提高电网的功率因数，常使电动机运行于电容性状态。

(3) 同步电动机本身没有启动转矩，不能自行启动。

(4) 同步电动机在启动以后，启动绕组自动失去作用。

四、三相同步电动机的启动与调速

1. 三相同步电动机的启动

三相同步电动机本身没有启动转矩，通电后转子不能启动。以图 2-35 说明不能自行启动的原因。

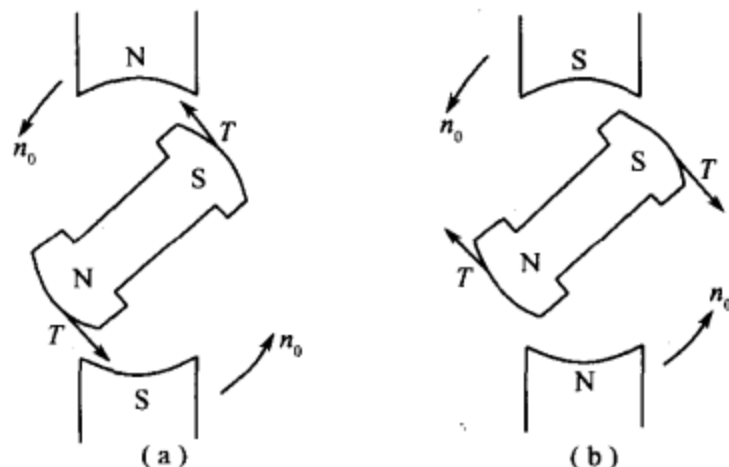


图 2-35 同步电动机启动转矩为零

当静止的三相同步电动机的定子、转子接通电流时，定子三相绕组产生旋转磁场，转子绕组产生固定磁场。

假设启动瞬间，定子、转子磁极的相对位置如图 2-35(a)所示，旋转磁场产生逆时针方向转矩。由于旋转磁场以同步速旋转，而转子本身存在惯性，不可能一下子达到同步速。这样，定子的旋转磁场转过 180° 转到图 2-35(b)所示位置，这时，转子上又产生一个顺时针转矩。由此可见，在一个周期内，作用在同步电动机转子上的平均启动转矩为零。所以，同步电动机就不能自行启动。

三相同步电动机的启动方法有三种：辅助启动法、变频启动法和异步启动法。下面介绍目前应用较多的异步启动法。

三相同步电动机异步启动法就是在转子极靴上装一个启动绕组（阻尼绕组），利用异步电动机启动原理来启动，如图 2-36 所示。

具体步骤如下：

(1) 首先将三相同步电动机的励磁绕组通过一个附加电阻短接，该附加电阻约为励磁绕组电阻的 10 倍，并且励磁绕组不可开路。

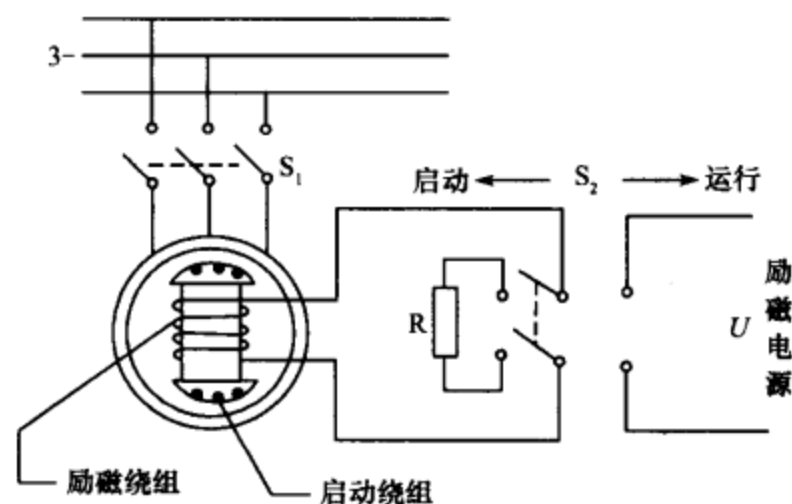


图 2-36 异步启动法

(2)启动过程中采用定子绕组建立的旋转磁场,在转子的启动绕组中产生感应电动势及电流,而产生类似于异步电动机的电磁转矩。

(3)当三相同步电动机的转速接近同步转速时,将附加电阻切除,励磁绕组与励磁电源连接,依靠同步转矩保持电动机同步运行。

在三相同步电动机异步启动时,如果为限制启动电流,可采用减压启动。当转速达到同步转速时,电压恢复至额定值,然后再给直流励磁,使同步电机进入同步运行。

2. 三相同步电动机的调速

一般由三相同步电动机、变频器及磁极位置检测器,再配上控制装置等,就构成了自控式同步电动机调速系统。

改变自控式同步电动机电枢电压即可调节其转速,并具有类似直流电动机的调速特性,但不需要直流电动机那样的机械换相器,所以也称为无换相器电机。

自控式同步电动机调速系统可以用于拖动轧钢机、造纸机,也可以用于拖动风机、泵类负载等,只要求调速节能而对特性要求不高的场合,有些大容量同步电动机,为了能平稳启动,在启动过程中,改接成自控式同步电动机运行,待启动完毕,再把同步电动机直接并网运行。显然,针对不同的使用场合,应采用不同的控制方法。

为便于对照比较,表 2-3 从结构、特性和优缺点三方面,列出了同步电动机与异步电动机的差别。

表 2-3 同步电动机与异步电动机的差别

电动机	异步电动机	同步电动机
结构	转子为鼠笼或绕线式	转子是磁极,由直流激励
特性	(1) $n < n_0$,故称异步; (2)机械特性为一略向下的倾斜直线; (3)运行于电感状态; (4)具有一定的启动转矩,满足条件时可自行启动	(1) $n = n_0$,故称同步; (2)机械特性为一与横轴平行的直线; (3)改变激励电流可运行于电感性、电阻性和电容性三种状态; (4)无启动转矩,不能自行启动
优缺点	结构简单、价格便宜、运行可靠、维护方便	优点是功率因数可调,缺点是结构复杂,需专门的激励装置

第三章 三相异步电动机定子绕组的重绕

绕组是电动机的“心脏”。修理电动机最主要的工作就是修理绕组,掌握定子绕组的重绕工艺及嵌线方法对于电动机维修人员来说有着十分重要的意义。实践证明,在维修过程中拆除一组或几组线圈并不比拆除全部绕组省时省力,而且重绕绕组能较好地保证维修质量。为便于维修时需要,本章系统地介绍了三相异步电动机定子绕组的基本概念、构成原则、绕组展开图及重绕技巧。

第一节 电动机绕组基本概念及构成原则

一、基本概念

1. 线圈

线圈是由绝缘导线按一定形状、尺寸在线模上绕制而成的,可由一匝或多匝组成。单匝线圈、多匝线圈及其简化图如图 3-1 所示。由于线圈嵌入定子铁芯槽中,又按一定规律连接成绕组,因此,线圈是交流绕组的基本组成单元,又称绕组元件。线圈放在铁芯槽内的部分称为有效边,槽外部分为端部部分。为节省材料,在嵌线工艺允许的情况下,线圈的端部应尽可能短。

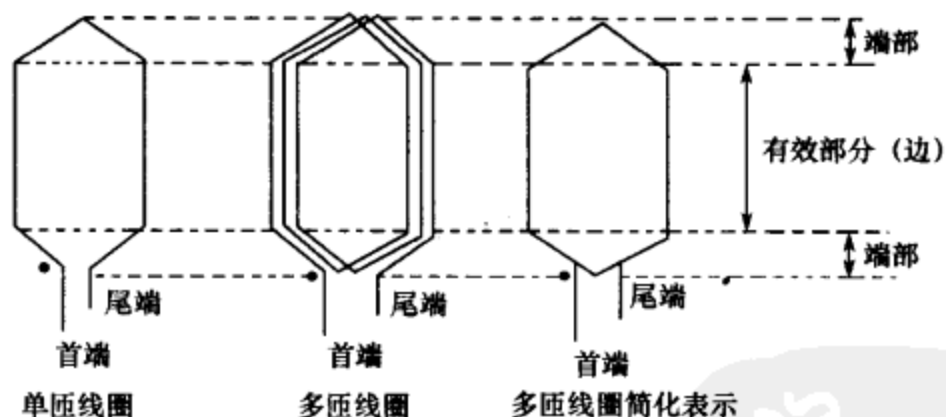


图 3-1 线圈示意图

2. 槽数 Z

槽数就是铁芯上线槽的总数,用字母 Z 表示。

3. 极对数 p 和极数 $2p$

在介绍三相异步电动机原理时已述及,极数就是旋转磁场的极数。若每相绕组只有一个线圈,绕组的始端之间相差 120° ,则产生的旋转磁场具有一对极,即 $p=1$, p 就是极对数。若定子每相绕组有两个线圈串联,绕组的始端之间只相差 60° 角,则产生的旋转磁场具有两对极,即 $p=2$ 。

由于电动机的极数总是成对出现,所以,电动机的极数就是 $2p$ 。

4. 极距 τ

极距是指沿定子铁芯内圆,每个磁极所占有的槽数,常用 τ 表示,它等于定子铁芯中的总槽数(Z)除以电机磁极数($2p$)。用公式表示为

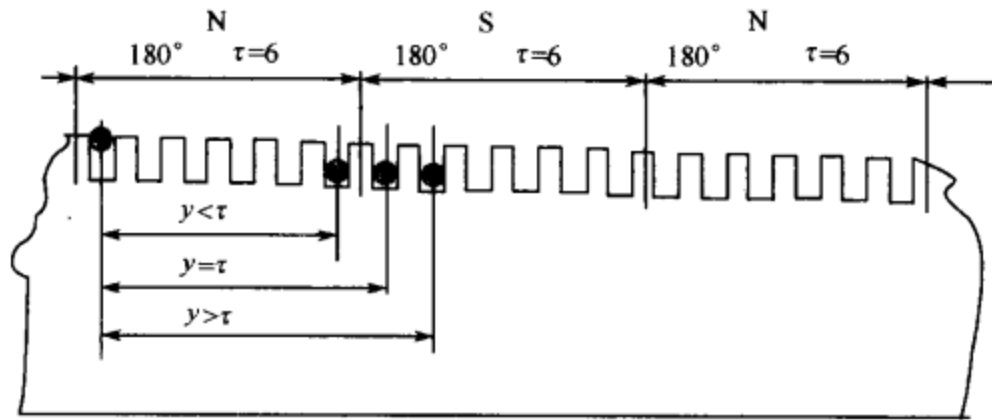
$$\tau = \frac{Z}{2p} \quad (\text{槽})$$

极距 τ 也可以用长度表示,其公式为

$$\tau = \frac{\pi D_i}{2p} \quad (\text{cm})$$

式中: D_i 为定子铁芯内径。

例如,图 3-2 所示为一台 24 槽 4 极($p=2$)电机局部展开图,极距 $\tau=24 \div 4=6$ (槽)。



整距, 短距, 长距线圈的概念

图 3-2 24 槽 4 极电机局部展开图

5. 节距 y

节距也称跨距,是指一组线圈在铁芯内的两边之间所跨占的槽数,常用 y 表示,根据它与极距 τ 的大小,线圈可分为三种:

当 $y=\tau$ 时,称为整距线圈。

当 $y<\tau$ 时,称为短距线圈。

当 $y>\tau$ 时,称为长距线圈。

例如,在图 3-2 中,若一只线圈的一条边在第 1 槽,另一条边在第 7 槽,中间相隔 6 槽(节距 $y=6$),即节距 y 等于极距 τ ,则这个线圈为整距线圈。

若一只线圈的一条边在第 1 槽,另一条边在第 6 槽,中间相隔 5 槽(节距 $y=5$),即节距 y 小于极距 τ ,则这个线圈为短距线圈。

若一只线圈的一条边在第 1 槽,另一条边在第 8 槽,中间相隔 7 槽(节距 $y=7$),即节距 y 大于极距 τ ,则这个线圈为长距线圈。

重点提示 整节距绕组可以产生较大的电动势,但存在温升高、效率低、材料费等缺点,因而一般很少采用;长节距绕组的端部连线较长,材料较费,仅在一些特殊电动机上采用;短节距绕组相应缩短了端部连线长度,可节约线材,减少绕组电阻,从而降低了电动机的温升,提高了电动机的效率,并能增加绕组机械强度,改善电动机性能和增大转矩,所以目前应用比较广泛。

6. 电角度

电动机圆周在几何上分成 360° ,这个角度称为几何角度。从电磁观点来看,若磁场

在空间按正弦波分布,则经过 N、S 一对磁极,恰好相当于正弦曲线的一个周期,如有导体去切割这种磁场,经过 N、S 一对磁极,导体中所感生的正弦电势的变化亦为一个周期,变化一个周期即经过 360° 电角度,一对磁极占有的空间是 360° 电角度。若电动机有 p 对磁极,电动机圆周按电角度计算就为 $p \times 360^\circ$,而机械角度总是 360° ,因此,有

$$p \text{ 对磁极电角度} = p \times \text{几何角度}$$

图 3-3 为电角度与机械角度的关系示意图。

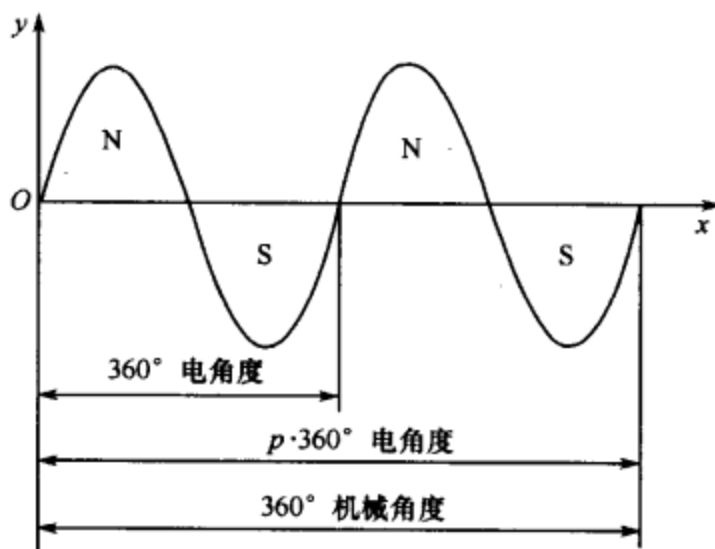


图 3-3 电角度与机械角度的关系图

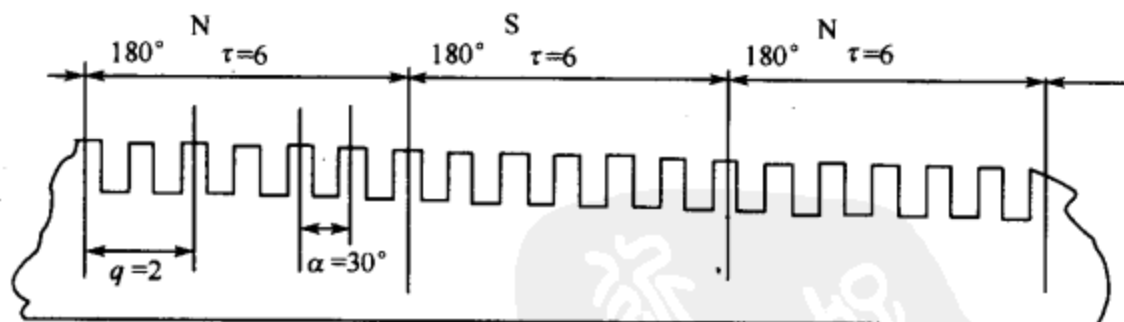
7. 槽距角 α

槽距角 α 是指相邻槽之间的电角度。由于定子槽在定子内圆上是均匀分布的,若 Z 为定子槽数, p 为极对数,则槽距角为

$$\alpha = \frac{p \times 360^\circ}{Z}$$

例如,图 3-4 为 24 槽 4 极 ($p=2$) 电动机局部展开图,从图中可以看出

$$\alpha = \frac{p \times 360^\circ}{Z} = \frac{2 \times 360^\circ}{24} = 30^\circ$$



极距, 每极每相槽数, 槽距角的概念

图 3-4 24 槽 4 极 ($p=2$) 电动机局部展开图

方法与技巧 对于三相电动机,由于三相电流在相位上彼此相差 120° 的电角度,故布线时三相首尾应彼此相隔 $\frac{120^\circ}{\alpha}$ 槽。如 36 槽 4 极电动机,槽距角为 20° ,故布线时三相首尾应彼此隔 6 槽。同理,可以算出其他三相电动机的布线方法。

8. 每极每相槽数

在三相电动机中,每个磁极所占的槽数要均等地分配给三个绕组,每个极下每相所占的槽数称为每极每相槽数,用字母 q 表示,用公式表示为

$$q = \frac{Z}{2pm} = \frac{\tau}{m}$$

式中： m 为相数； τ 为极距。

例如，图 3-4 所示中， $q = \frac{24}{2 \times 2 \times 3} = 2$ 。

9. 相带

每个磁极下每相绕组所占的区域称为相带，在三相绕组中，每个极距内分属 U、W、V 三相，每个极距为 180° 电角度，故每个相带为 60° 。三相异步电动机一般都采用 60° 相带的三相对称绕组。

10. 极相组

一个磁极下属于同一相的 q 个绕组元件按一定方式连接而成的线圈组称为极相组。同一个极相组中所有线圈的电流方向相同。

11. 显极式接线和庶极式接线

电动机的定子绕组的连接方式分为显极式与隐极式（又称庶极式）两种接线方法。

1) 显极式接线

同相相邻极相组按“尾接尾”、“头接头”相连接称为显极式连接。其特点是相邻磁极的极相组里的电流方向相反，每相绕组的极相组数等于磁极数，如图 3-5 所示。

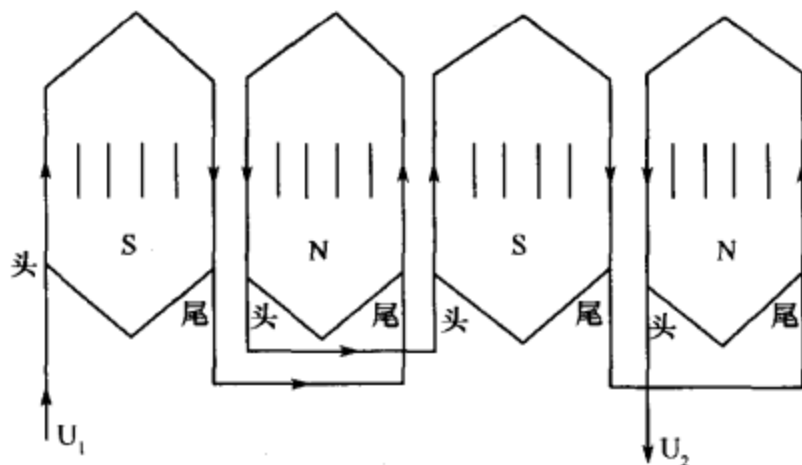


图 3-5 显极式连接

2) 庶极式接线

同相相邻极相组按“尾接头”、“头接尾”相连接称为庶极式接线。其特点是所有极相组里的电流方向相同。庶极连接法每组线圈组不但各自形成磁极，而且相邻两组线圈组之间还形成磁极。可见这种接法的极相组数为磁极数的一半，即每相绕组的极相组数等于磁极对数。如图 3-6 所示。由于采用庶极接法的绕组电气性能较差，现在已很少采用。

方法与技巧 极相组产生的磁极判断方法：

假设某相绕组的任一引线为电源电流进线，把每极的极相组看成是大大小小的螺旋管，右手顺电流进入方向握极相组，四指指向电流方向，那么拇指所指的方向即为 N 极，如图 3-7 所示。如果判断拇指指向转子，即定为产生 N 极；若拇指指向机壳处，即定为产生 S 极。

如果是两极电动机，某个绕组的第一个极相组产生的是 N 极，那么依次第二个极相组应产生 S 极，如果第二个线圈组还产生 N 极，那么就表示两个极相组之间接反。对于 4 极电动机，4 个极相组的应该是 NSNS 或者 SNSN，如果出现 NNSS 或 SSNN，说明这 4

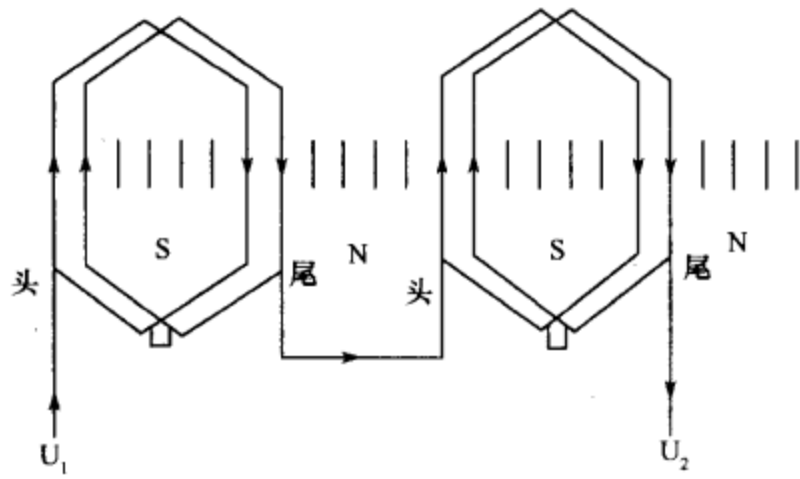


图 3-6 星极式接线

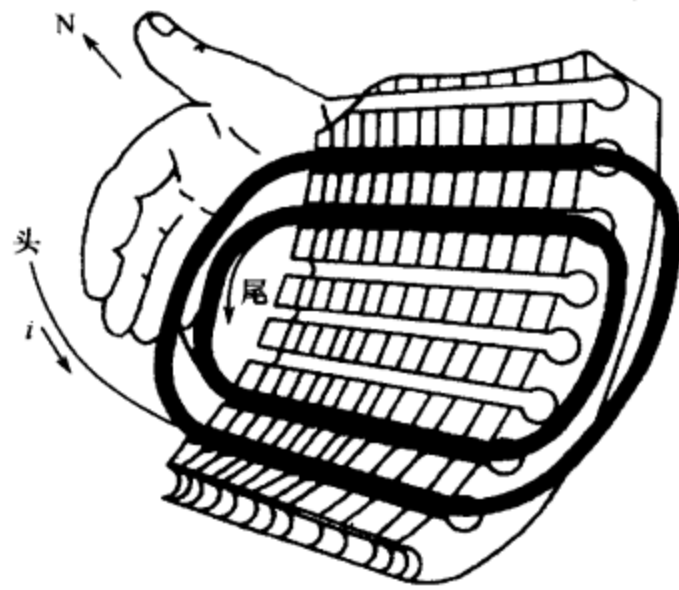


图 3-7 绕组极性的判断方法

个极相组接反。

12. 并联支路数

图 3-8(a) 是 24 槽 4 极三相异步电动机 U 相绕组的一种连接方法, U 相的 4 个线圈采用显极法进行反串连接, 此时, 该绕组是一路串联的, 并联支路数为 $a=1$ 。

如果将 4 个线圈反串联连接改为两路并联, 如图 3-8(b) 所示, 此时, 该绕组的并联支路数为 $a=2$ 。应注意的是, 槽内电流方向应该与一路串联完全一致, 并且每槽导线根数为单路串联时的 2 倍, 而导线截面积则减小为一路串联时的 $1/2$, 以使总的电气性能保持不变。

二、三相绕组的构成原则

三相异步电动机的定子绕组是按一定规律分布的, 将三相对称交流电通入定子绕组, 便可以产生沿定子圆周均匀分布的旋转磁场。如果定子绕组分布不对称, 其合成磁场分布也不均匀, 电气性能就很差, 甚至不能形成旋转磁场。为了使定子绕组分布对称, 要求做到以下几点:

- (1) 每个极内的槽数(线圈数)要相等, 各相绕组在每个极内所占的槽数应相等。
- (2) 每相绕组在每对极下的排列顺序按 $U_1、W_2、V_1、U_2、W_1、V_2$ 分布, 这样, 各相绕组线圈所在的相带 $U_1、V_1、W_1$ 或 $U_2、V_2、W_2$ 的中心线恰好相差 120° 电角度。如果槽距角为 α , 则相邻两相错开的槽数为 $120/\alpha$ 。

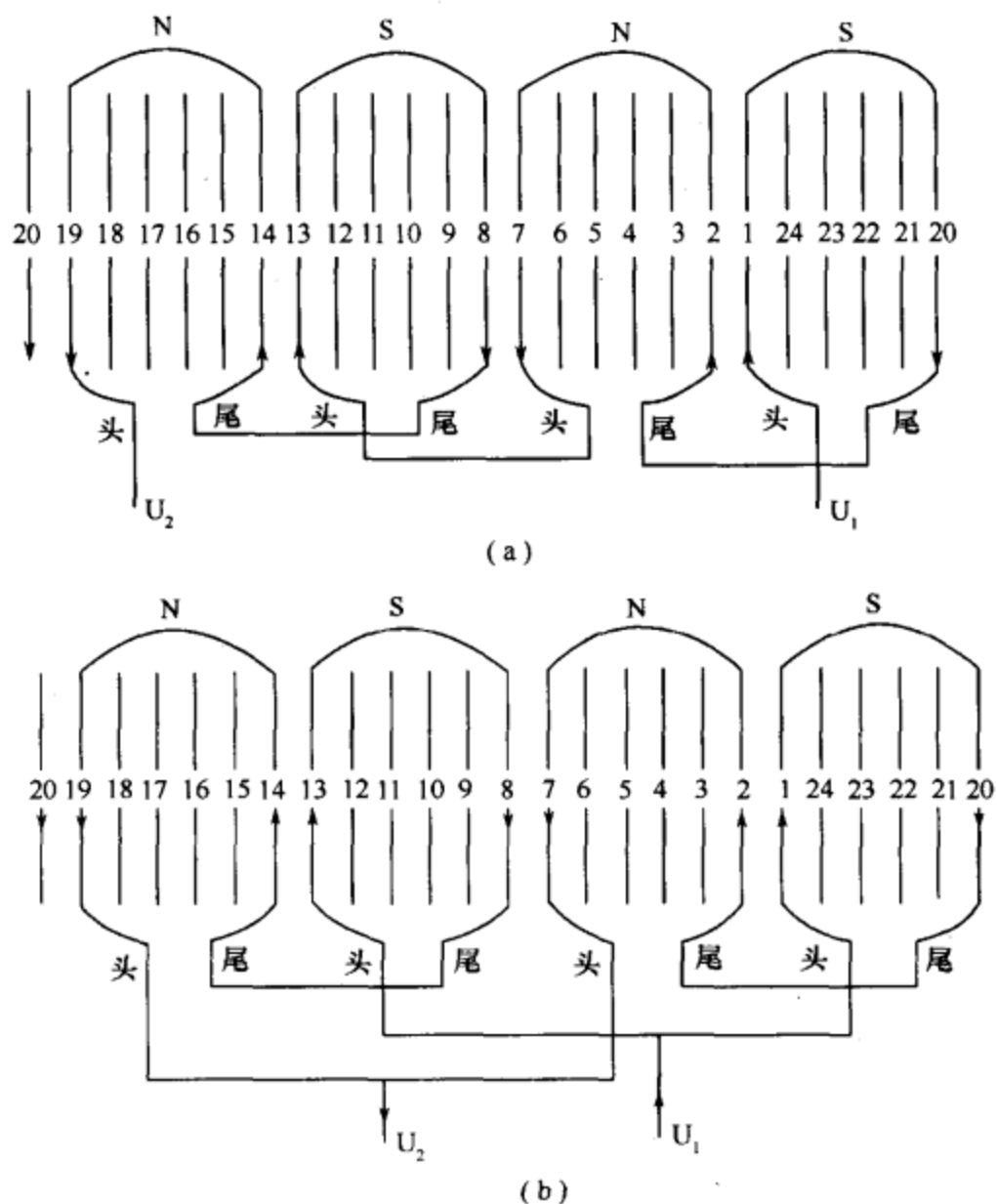


图 3-8 并联支路数

(a)一路串联；(b)两路并联。

(3) 从三相正弦交流电波形图中可以看出,除电流为零值外的任何瞬时,都是一相为正,两相为负;或两相为正,一相为负。

(4) 只要保持定子铁芯槽内电流分布情况不变,则产生的磁场也不会改变,因此,分别把属于各相导体顺着电流方向联结起来,便得到三相对称绕组。

第二节 三相异步电动机绕组展开图

在电机维修时,经常会遇到线圈烧毁的现象,需要重新绕制线圈,在拆卸旧绕组之前,必须弄清楚它原来是怎样绕制的,画出定子绕组的展开图。那么,什么是展开图呢?

展开图是用来表示绕组中各个线圈应该放在哪个定子铁芯槽中,各个线圈又是怎样连接的。由于电机定子槽和里面的绕组是沿圆柱面分布的,将这种立体的位置关系画在纸上,在平面上表示出来,就称它为展开图。也就是说,展开图是电机原绕组情况的记录,也是线圈重绕后嵌放位置的依据,只有看懂展开图,才能保证正确的嵌线和接线。

三相异步电动机的绕组有单层绕组、双层绕组、单双层混合绕组、分数槽绕组等多种形式,下面分类介绍几种常用的绕组连接方法及嵌线工艺。

一、单层绕组

每个槽内仅嵌入一个线圈边的绕组称为单层绕组。如图 3-9 所示。

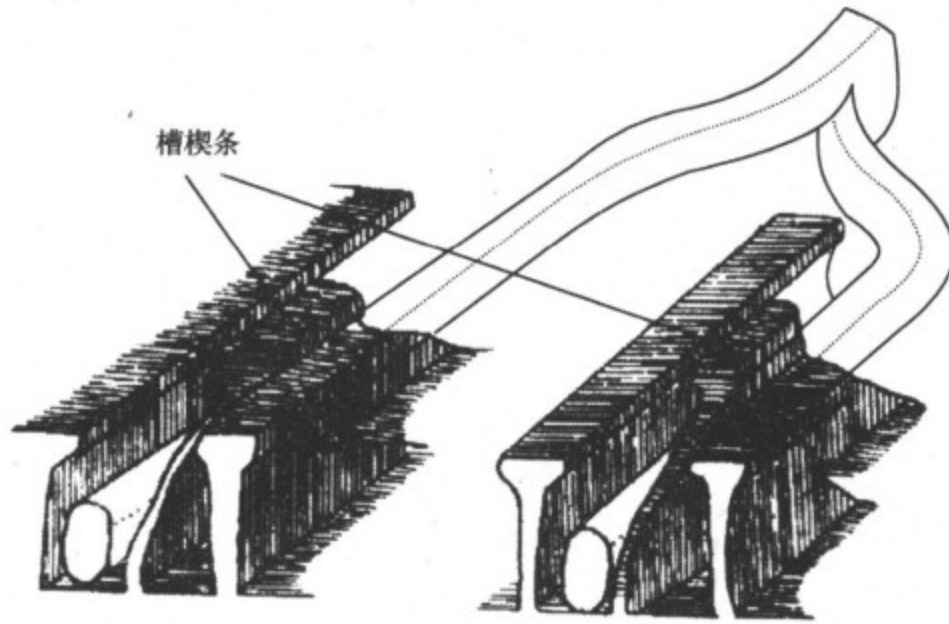


图 3-9 单层绕组

这种绕组槽内无需层间绝缘,且不存在相间短路的可能性。整个绕组的绕组数只有槽数的一半。每个槽中只嵌放线圈的一个有效边,线圈数量少。缺点是电气性能较差,只适用于小型的三相异步电动机。

单层绕组按线圈的形状和端接部分排列方法的不同,可分为同心、链形及交叉式链形等几种形式的绕组。

1. 单层同心绕组

单层同心绕组是由几只宽度不同的线圈套在一起,同心地串联而成的,有大小线圈之分,大线圈总是套在小线圈外边,线圈轴线重合,故称同心绕组。如图 3-10 所示。

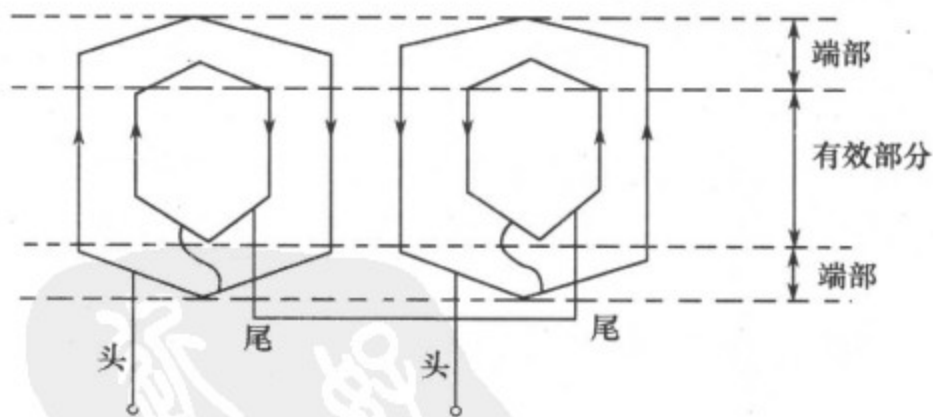


图 3-10 单层同心绕组

同心式绕组的特点是线圈组中各线圈节距(y)不等,优点是端接部分互相错开,重叠层数较小,便于布置、散热较好;缺点是线圈大小不等,绕线不便。单层同心式绕组主要用于每极每相槽数较多的 2 极小型电动机。

下面以 24 槽 2 极($p=1$)三相异步电动机为例进行说明。

1) 计算绕组数据

根据 $\tau = \frac{Z}{2p}$ 可知,极距 $\tau = \frac{24}{2 \times 1} = 12$ (槽)

根据 $q = \frac{Z}{2pm}$ 可知, 每极每相槽数 $q = \frac{24}{2 \times 1 \times 3} = 4$

根据 $\alpha = \frac{p \times 360^\circ}{Z}$ 可知, 槽距角 $\alpha = \frac{1 \times 360^\circ}{24} = 15^\circ$

2) 绕组展开图分析

将线圈边 3~14 组成一个大线圈, 节距 $y_1 = 11$, 线圈边 4~13 组成一个小线圈, 节距 $y_2 = 9$, 大小线圈套在一起顺电流方向串联起来, 构成一个线圈组。同理, 线圈边 15~2 组成大线圈, 16~1 组成小线圈, 两线圈串联便构成另一线圈组, 再将这两个线圈组顺电流方向串联起来, 便得到 U 相同心绕组展开图, 如图 3-11 所示。绕组的进出线端分别用 U_1 、 U_2 表示。

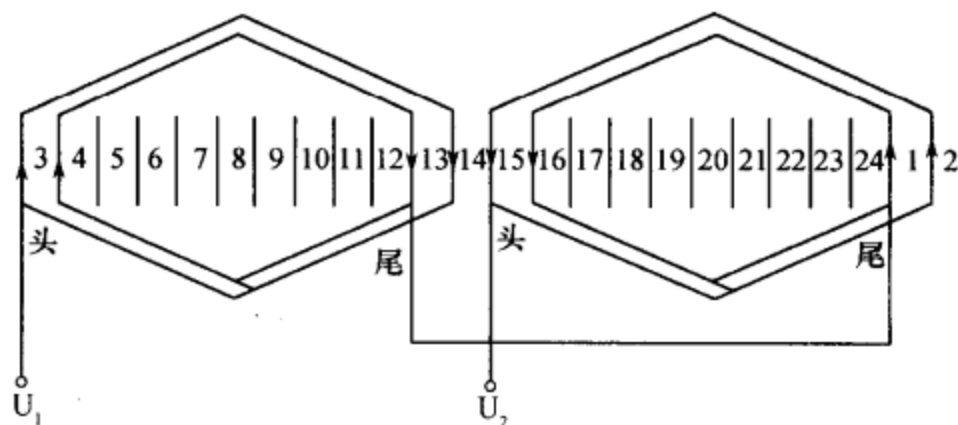


图 3-11 U 相绕组

第二相引出线 V_1 应与 U_1 相差 120° 电角度, 由于槽距角 $\alpha = 15^\circ$, 所以, V_1 应与 U_1 相隔 $\frac{120^\circ}{15^\circ} = 8$ 槽, V_1 应放在第 11 号槽 (因 U_1 在第 3 号槽), 同理, W_1 与 V_1 相隔 $\frac{120^\circ}{15^\circ} = 8$ 槽, W_1 应放在第 19 号槽。将 V、W 两相绕组的线圈做与 U 相线圈相同的排列和连接, 就可以得到如图 3-12 所示的三相单层线组的展开图。

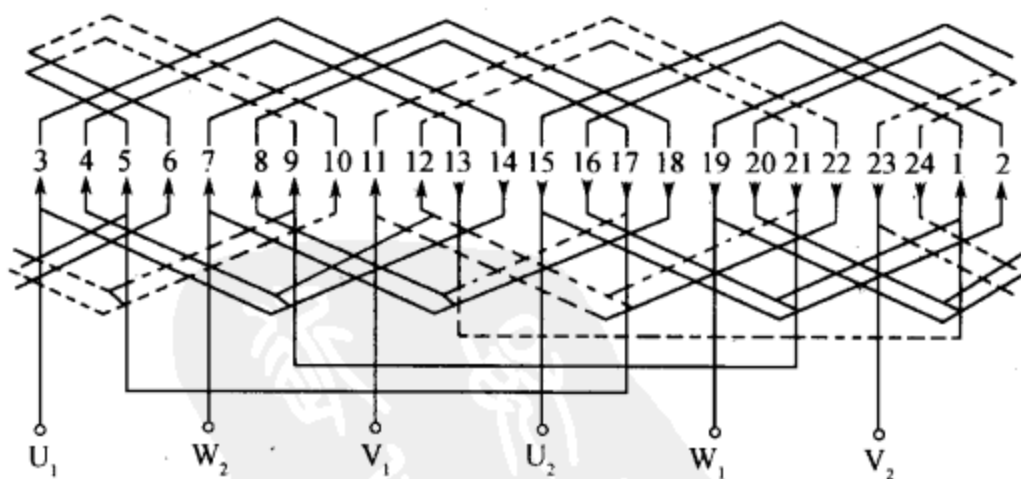


图 3-12 2 极 24 槽三相异步电动机同心绕组

方法与技巧 为便于理解绕组展开图, 可按下述方法画出绕组端面图, 方法如下:

根据电机极数是 2, 可将槽数 2 等分, 每极占 12 槽, 也就是极距为 12 槽。因三相绕组每极距内有三个相带, 故每个相带有 4 个槽。根据电流“一相为正两相为负, 或两相为正, 一相为负”的规律可知, 如果规定 U_1 、 V_1 为“ \otimes ”, 则 W_1 为“ \odot ”, 据此, 画出绕组端面图如图 3-13 所示。

3) 嵌线方法

画出展开图后,可按下述方法进行嵌线:

(1) 设定铁芯上某槽为 1 号,将 U 相第一组小线圈的一边(下边)嵌入 13 号槽中,另一边(上边)不嵌,紧接着将大线圈的下边嵌入 14 号槽,上边不嵌,用白布带吊起,俗称吊把线圈。

(2) 空两个槽(15、16 号槽),把第二组线圈的两条边(先小后大)嵌入 17、18 号槽,另两条边吊起。

(3) 再空两个槽,将第三组线圈的两条边嵌入 21、22 号槽,并根据节距 $y=9$ 及 11,将另两边嵌入 12、11 号槽中。

(4) 按空两槽嵌两槽的规则,依次将所有线圈边嵌完,最后将第一及第二线圈组的吊把线圈边嵌入 4、3 号槽及 8、7 号槽中。

(5) 将各相的两个极相组之间尾尾相接或头头相接。例如,U 相第一极相组的尾(13 号槽)与第二极相组的尾(1 号槽)相连,第一极相组的头(3 号槽)与第二极相组的头(15 号槽)引出为 U 相的头与尾(U_1 、 U_2)。

4) 嵌线特点

单层交叉同心式绕组的嵌线特点是:

(1) 吊把线圈边数为 q ,本例为 4。

(2) 同一线圈组的嵌放顺序是先嵌小线圈边,后嵌大线圈边。

(3) 下槽的规则是嵌 S 槽,空 S 槽,S 为每组线圈数(本例为 2)。

(4) 极相组之间连线(过桥线)是下面一侧的底线相连(尾接尾),上面一侧的面线(线头)作为相头(U_1 、 V_1 、 W_1 或相尾(U_2 、 V_2 、 W_2))。也可以把底线(线尾)作为相头或相尾,而把面线相连(头接头)。三相绕组的相头及相尾沿铁芯圆周均匀地分布。

2. 链式绕组

链式绕组是由相同节距的线圈组成的,如图 3-14 所示。对于三相单层链式绕组,其线圈端部彼此重叠,并且绕组各线圈宽度相同,因而制作绕线模和绕制线圈都比较方便,此外,绕组是对称的,相与相平衡,可构成并联支路。链式绕组在 4 极或 6 极小型异步电动机中得到了广泛应用。下面以 4 极($p=2$)24 槽三相异步电动机为例,介绍其绕组及嵌线方法。

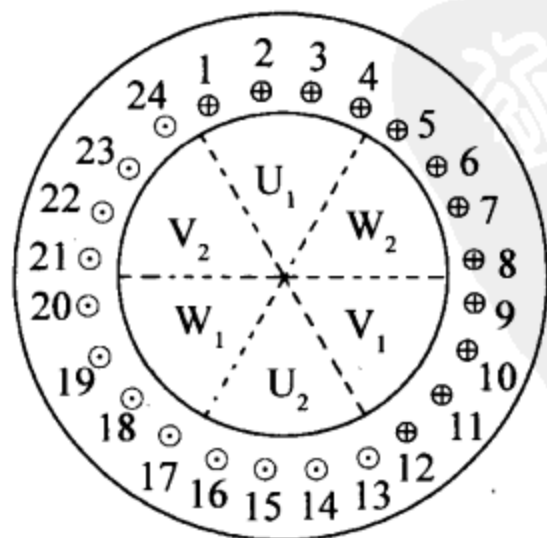


图 3-13 2 极 24 槽绕组分布端面图

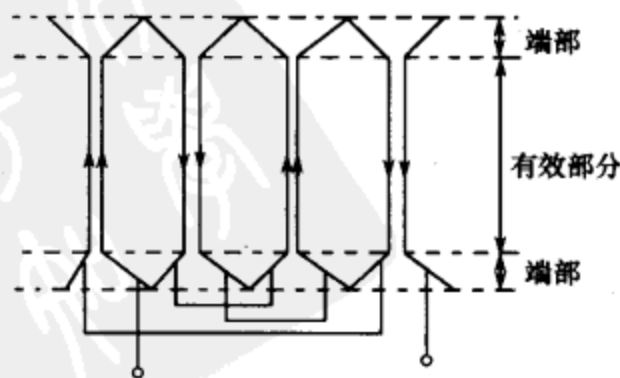


图 3-14 链式绕组

1) 计算绕组数据

根据 $\tau = \frac{Z}{2p}$ 可知, 极距 $\tau = \frac{24}{2 \times 2} = 6$ (槽)

根据 $q = \frac{Z}{2pm}$ 可知, 每极每相槽数 $q = \frac{24}{2 \times 2 \times 3} = 2$

根据 $\alpha = \frac{p \times 360^\circ}{Z}$ 可知, 槽距角 $\alpha = \frac{2 \times 360^\circ}{24} = 30^\circ$

2) 绕组展开图分析

以 U 相为例, U_1 相带和 U_2 相带任何一槽的线圈边都可以组成一个线圈, 当 U 相下的 8 个槽中的线圈边组成 2—7、8—13、14—19、20—1 四个线圈时, 线圈的端部较短, 此时线圈的节距为 5。根据线圈中的电流流动方向, 连接好 U 绕组, U 相绕组展开图如图 3-15 所示。

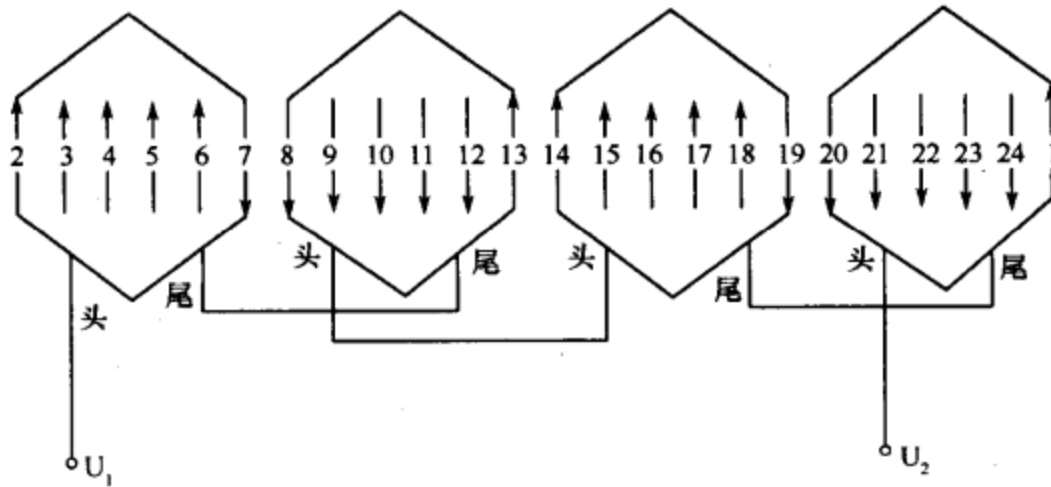


图 3-15 U 相绕组展开图

第二相引出线 V_1 应与 U_1 相差 120° 电角度, 由于槽距角 $\alpha = 30^\circ$, 所以, V_1 应与 U_1 相隔 $\frac{120^\circ}{30^\circ} = 4$ 槽, V_1 应放在 6 号槽 (因 U_1 在 2 号槽), 同理, W_1 与 V_1 相隔 $\frac{120^\circ}{30^\circ} = 4$ 槽, W_1 应放在 10 号槽。将 V、W 两相绕组的线圈做与 U 相线圈相同的排列和连接, 就可以得到三相链式绕组展开图, 如图 3-16 所示。

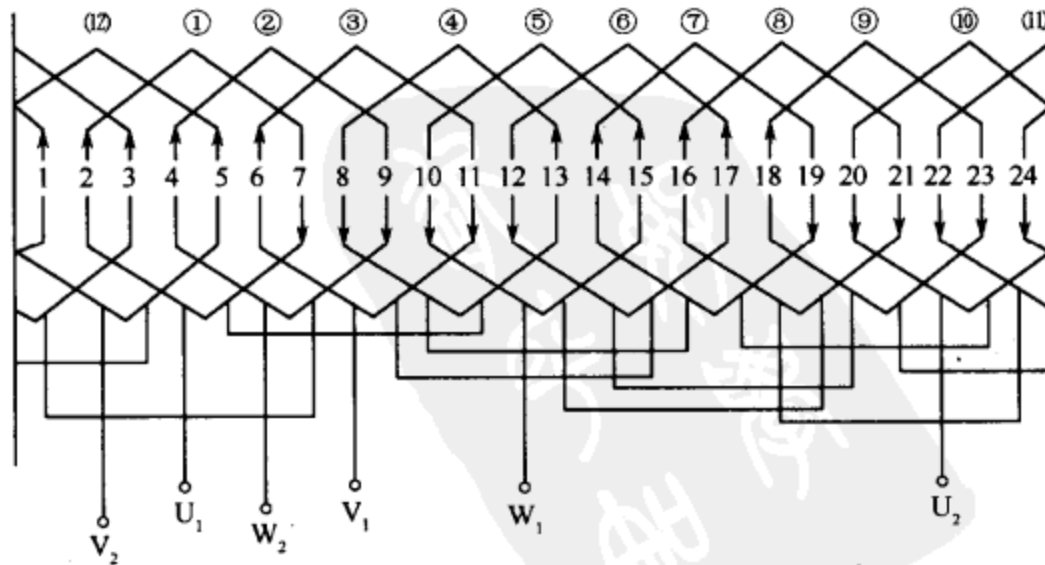


图 3-16 4 极 24 槽链式绕组展开图

3) 嵌线方法

为便于说明,将图 3-16 中的端部标以线圈号①~⑫。

(1) 设定任一槽号为 1 号槽,将 U 相第一个线圈一边(下边)嵌入 7 号槽,因另一边(上边)要压着线圈①及⑫,要等线圈①及⑫的下边嵌入 3 号槽及 5 号槽后,线圈①的上边才能嵌入 2 号槽中,所以要把线圈①的上边暂时吊起。

(2) 空一个槽(8 号槽),将线圈②的下边嵌入 9 号槽,其上边也要等线圈⑫嵌入 5 号槽后才能嵌入 4 号槽中,所以也要暂时吊起。

(3) 再空一个槽(10 号槽),将线圈③的下边嵌入 11 号槽,因 7、9 号槽已嵌入线圈①、②,所以可将线圈③的上边嵌入 6 号槽中。

(4) 按照线圈③的嵌法,依次把所有线圈嵌完,然后将各相的 4 个极相组按反串法(尾接尾或头接头)连接起来,从结构上看即面线接面线,底线接底线。三相引线的首端(或末端)在空间互隔 120° 电角度,即 4 个槽。

由此可见,单层链式绕组的嵌线特点是隔槽嵌线法,其吊把线圈边数为 q (本例等于 2)。

3. 交叉链式绕组

交叉链式绕组主要用于每极每相槽数 q 为奇数的 4 极或 2 极三相异步电动机定子绕组中,下面以 4 极 36 槽电动机为例,说明定子交叉链式绕组展开图的画法。

1) 计算绕组数据

根据 $\tau = \frac{Z}{2p}$ 可知,极距 $\tau = \frac{36}{2 \times 2} = 9$ (槽)

根据 $q = \frac{Z}{2pm}$ 可知,每极每相槽数 $q = \frac{36}{2 \times 2 \times 3} = 3$

根据 $\alpha = \frac{p \times 360^\circ}{Z}$ 可知,槽距角 $\alpha = \frac{2 \times 360^\circ}{36} = 20^\circ$

2) 绕组展开图分析

以 U 相绕组为例,根据 U 相各相带电流方向,连接 U 相绕组, U_1 相带任何一槽线圈边与 U_2 相带任何一槽的线圈边都可组成一个线圈,但考虑到节距应尽可能短,故可将线圈边 2—10 和 3—11 组成两个连接在一起的大线圈,节距 $y_1 = 8$;线圈边 12—19 组成一个小线圈,节距 $y_2 = 7$;再将线圈边 20—28 和 21—29 组成两个连接在一起的大线圈,30—1 组成另一小线圈。将 U 相 4 个大小不同的线圈沿电流方向串联起来,便得 U 相绕组展开图,如图 3-17 所示。

从图可见,线圈间采用的是尾、尾相连,头、头相接的连接规律,称做反串法。但它又

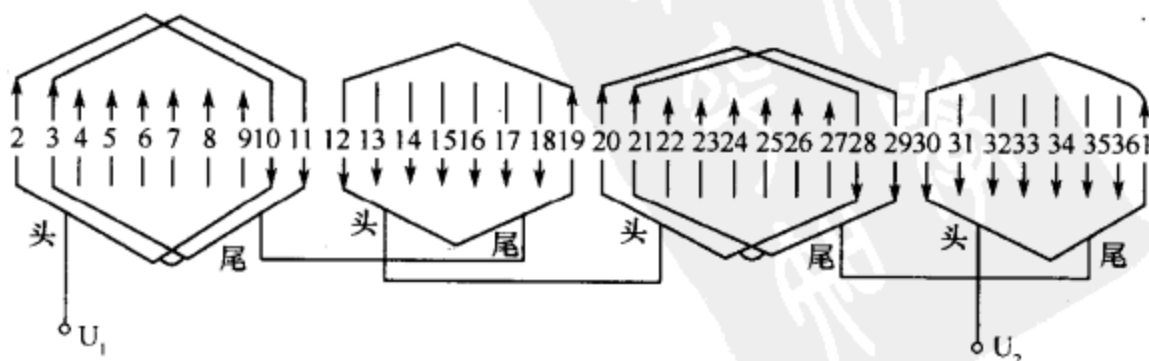


图 3-17 交叉链式绕组 U 相展开图

是大小线圈交叉连接,故称交叉链式绕组。

V相、W相绕组的连接规律与U相相同,不过三相绕组首端 U_1 、 V_1 、 W_1 (或末端 U_2 、 V_2 、 W_2)引出线应依次间隔 120° 电角度,根据每槽距角 20° ,则三相首端依次间隔 $120/20=6$ 槽。从图3-17可见,U相首端 U_1 从2号槽引出,则V相首端 V_1 应从8(即 $2+6$)号槽引出,W相首端 W_1 应从14(即 $8+6$)号槽引出,尾端照此类推,便得三相单层交叉链式绕组展开图,如图3-18所示。

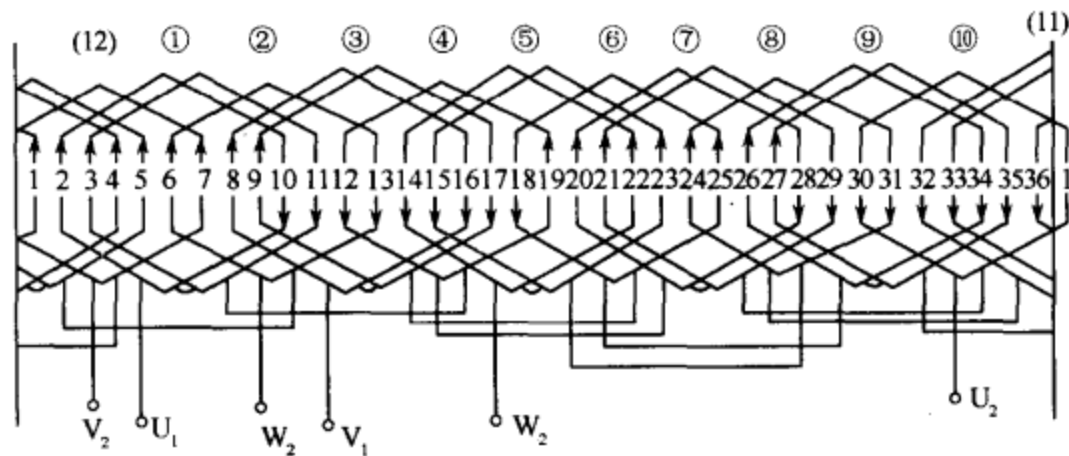


图 3-18 交叉链式绕组展开图

3) 单层交叉链式绕组嵌线方法

为便于说明,将图3-18中的端部标以线圈号①~⑫。

(1) 先将U相线圈①的两个大线圈(称为双联)的下边嵌入10、11号槽,两条上边暂时吊起不嵌。

(2) 空一个槽(12号槽),将单线圈②(单联)的下边嵌入13号槽,上边吊起不嵌。

(3) 空两个槽(14、15号槽),将双联线圈③的两条下边嵌入16、17号槽,并按 $y=8$ 将它的两条上边嵌入8、9号槽中。

(4) 再空一个槽(18号槽),将单联线圈④的下边嵌入19号槽,然后按小线圈节距 $y=7$ 将上边嵌入12号槽中。

(5) 再空两个槽(20、21号槽),将双联线圈⑤的两条下边嵌入22、23号槽,两条上边嵌入14、15号槽中。

(6) 按照嵌双联线圈后空一槽,嵌单联线圈后空两槽的规则嵌下去,直至全部嵌完为止。

由此可见,单层交叉链式绕组的嵌线特点是:先嵌双联,空一槽,嵌单联,空两槽,嵌双联,再空一槽,嵌单联,再空两槽,嵌双联,直至全部嵌完。其吊把线圈边数为 q (本例为3)。单层链式绕组主要用于10kW以下的4、6、8极小型电动机。

从以上的分析可知,单层绕组每槽只有一个线圈边,嵌线方便,槽利用率高,不论节距如何变化,从整个磁场观点来看,仍然属于整距绕组。节距的改变仅是为了缩短端部接线。磁场分布仍不变,因此,单层绕组在10kW以下的小型电动机中得到了广泛的应用。

二、双层绕组

双层绕组是每个线圈内有上、下两条线圈边,每个线圈的一条边如果在某一个线槽的上层,另一边则放在相隔节距 y 的下层,整个绕组的线圈数等于槽数,每个线圈形状相

同,节距相等。双层绕组示意图如图 3-19 所示。

双层绕组根据端部连接方式的不同分为叠绕组及波绕组。在 10kW 以上的中小型电动机中,绝大部分定子都采用双层叠绕组,中型绕线转子则采用双层波绕组。

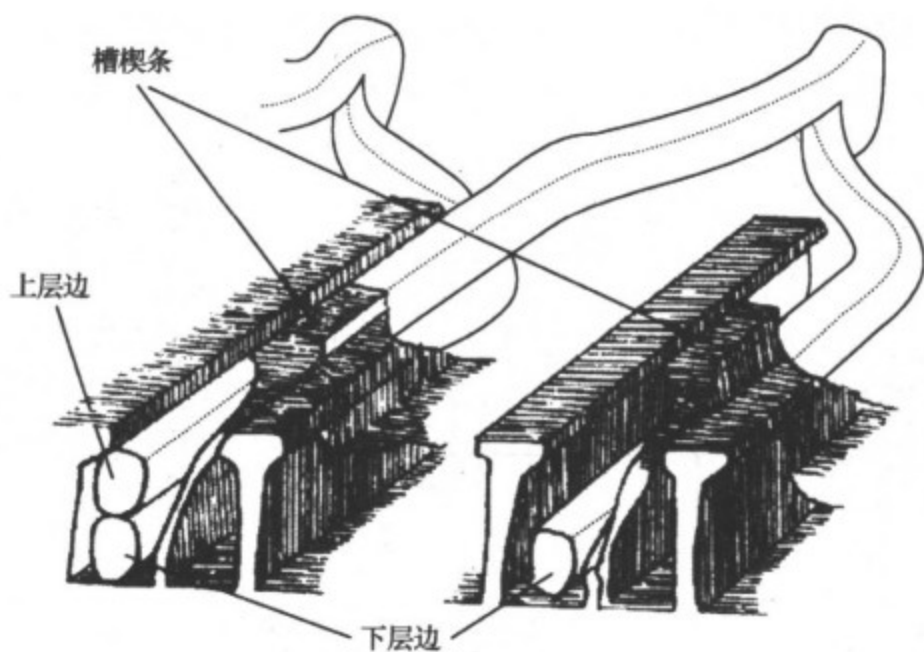


图 3-19 双层绕组示意图

1. 双层叠绕组

双层绕组具有以下几个特点:

(1) 节距 y 可任意选择,一般取 $y = \frac{5}{6}\tau$ 或 $\frac{4}{5}\tau$,这种短节距绕组既可以改善电动机性能,又可以节省绕组端部的用铜量,故目前 10kW 以上的电动机几乎都采用这种双层短节距绕组。

(2) 绕组端部排列方便,整齐美观。特别是较大容量的电动机,导线较粗,如果仍用单层绕组,则端部排列相当困难。

(3) 每相线圈数较多,可以组成两条以上的并联支路。这一点对大容量低转速电动机特别重要,因为它可以不必用过粗的导线绕制线圈。

(4) 双层绕组每一槽上、下层可能属于同一相的两个不同线圈边,也可能不属于同一相的线圈边,因此,层间电压较高,有发生相间短路的可能,故需可靠的层间绝缘。

(5) 总线圈数较多,嵌线较费工时。

总之,对大中型电动机来说,双层绕组的优点是主要的,因此,得到了广泛的应用。下面以 4 极 36 槽三相异步电动机为例,说明双层叠绕组展开图及其嵌线方法。

1) 计算绕组数据

根据 $\tau = \frac{Z}{2p}$ 可知,极距 $\tau = \frac{36}{2 \times 2} = 9$ (槽)

根据 $q = \frac{Z}{2pm}$ 可知,每极每相槽数 $q = \frac{36}{2 \times 2 \times 3} = 3$

根据 $\alpha = \frac{p \times 360^\circ}{Z}$ 可知,槽距角 $\alpha = \frac{2 \times 360^\circ}{36} = 20^\circ$

取 $y = \frac{5}{6}\tau$,则 $y = \frac{5}{6}\tau = \frac{5}{6} \times 9 = 7.5$

节距 y 取 7 槽或 8 槽都可以,在这里,取 $y=7$ 槽。

2) 绕组展开图分析

双层叠绕组的线圈组成原则和单层绕组一样,但由于双层绕组的线圈边数是单层绕组的 2 倍,所以,同一相的线圈组数也增加为 2 倍。由于单层绕组每槽只有一个线圈边,组成线圈组的两组线圈边必须一一对应,相差 120° 电角度。但在双层绕组中,没有这种限制,因为组成线圈组的线圈其边间的距离决定于所选定的节距 y 。

下面以 U 相绕组为例,说明画展开图的方法。U 相绕组的上层槽号为 1、2、3、10、11、12、19、20、21、28、29、30。根据线圈节距 $y=7$,1 号槽上层边与 8 号槽下层边组成一个线圈,2 号槽上层边与 9 号槽下层边组成一个线圈,3 号槽上层边与 10 号槽下层边组成一个线圈,将这 3 个线圈沿电流方向串起来构成一个线圈组,其余依次类推。将 10、11、12,19、20、21,28、29、30 号槽线圈分别构成另外三个线圈组。可见,双层绕组的每相线圈组数等于磁极数($2p$)。将 U 相 4 个线圈组采用“头接头、尾接尾”的反串连接起来,便得 U 相绕组展开图,如图 3-20 所示。槽中的实线表示上层边,虚线表示下层边。

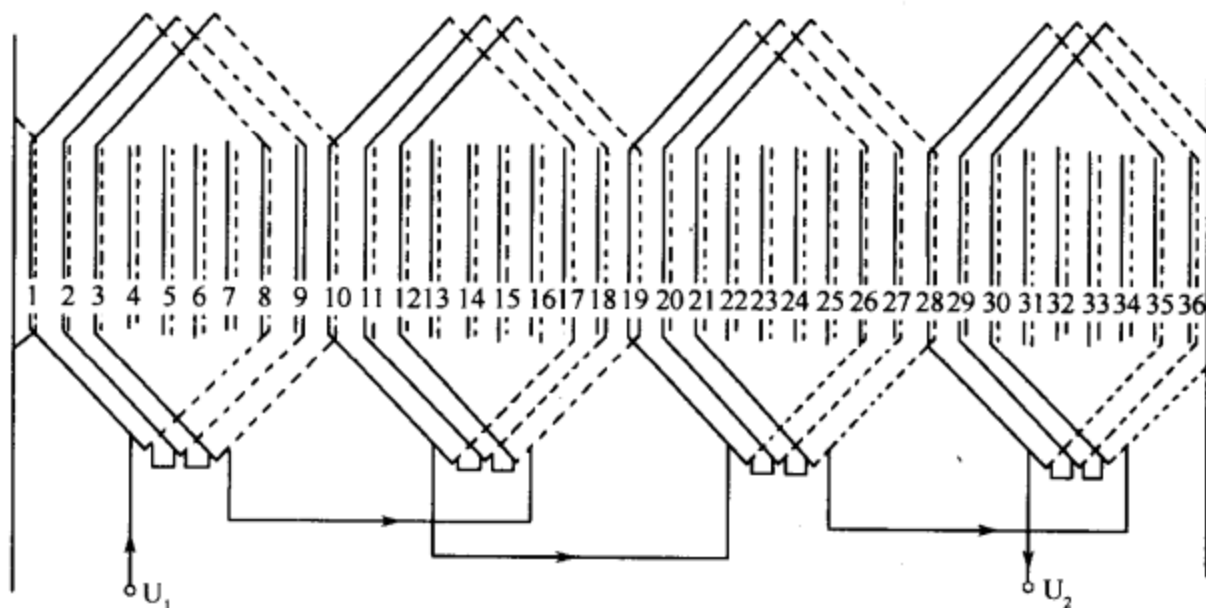


图 3-20 双层叠绕组 U 相展开图

V 相、W 相绕组的连接规律与 U 相完全相同。不过要注意 U、V、W 三相绕组的出线端要相互间隔 120° 电角度,根据槽距角 $\alpha=120^\circ$,则三相首端 U_1 、 V_1 、 W_1 要间隔 $\frac{120^\circ}{20^\circ}=6$ 槽,若 U 相首端 U_1 从 1 号槽引出,则 V 相、W 相绕组首端 V_1 、 W_1 分别从 7 号和 13 号槽引出。便得三相双层短距叠绕组展开图,如图 3-21 所示。

3) 嵌线方法

图中端部上面标注了线圈的号码,嵌线时要注意使引出线靠近出线盒一侧,以利于接线。嵌线步骤如下:

(1) 确定吊把线圈边数。双层叠绕组的吊把线圈边数等于节距槽数(本例为 7 个槽),即有 7 个线圈的上层边要暂时吊起来不嵌。依次将①至⑦线圈的下层边嵌入 8、9、10、11、12、13、14 号槽中,其上层边暂时不嵌。从线圈⑧开始,它的下层边嵌入 15 号槽后,接着就可以将上层边嵌入 8 号槽中。

(2) 嵌完吊把线圈的下层边后(8 号~14 号槽),在它上面垫好层间绝缘并压紧,然后依次嵌放⑧号至⑳号线圈的下层边与上层边,每个槽的下层边上面都要垫好层间绝缘

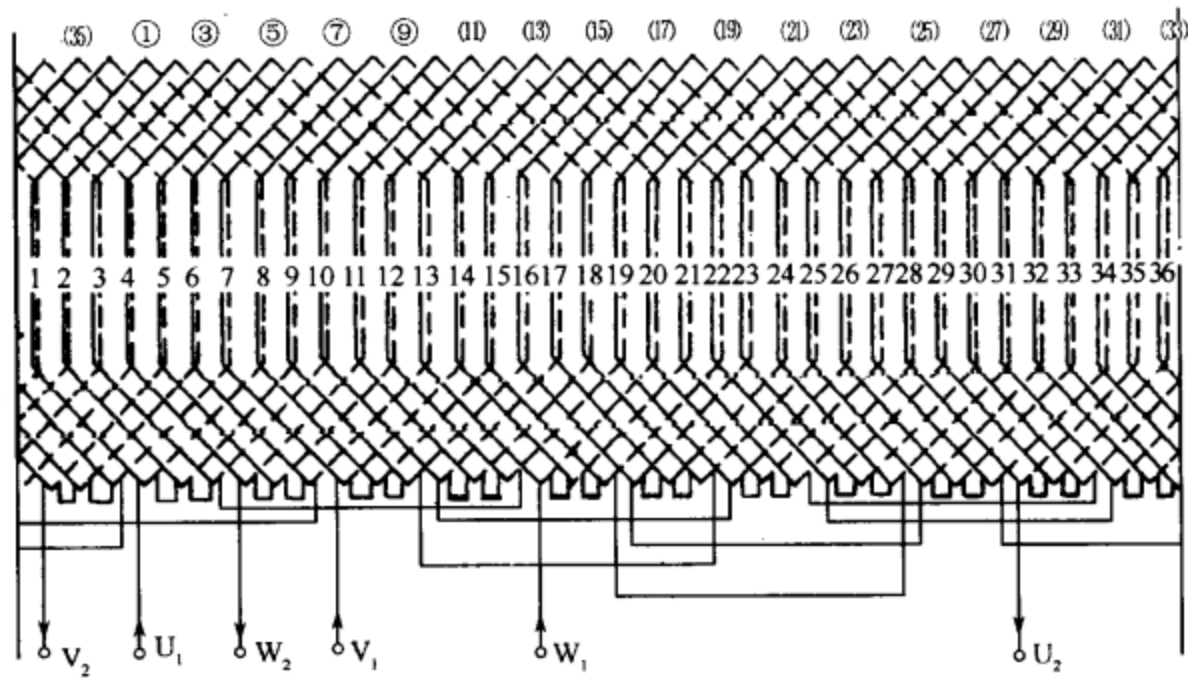


图 3-21 三相双层短距叠绕组展开图

材料。

(3) 全部线圈的下层边嵌完后,再将吊把线圈边依次嵌入相应槽的上层。

(4) 过桥线按反串规则,即上层边引线接上层边引线(又叫面线接面线),下层边引线接下层边引线(又叫底线接底线)。

在上例中,每相的 4 个极相组是全部串联起来的,每相电流只有一条通路,其支路数 $a=1$ 。极相组之间也可以并联,若两路并联,则支路数 $a=2$,四路并联 $a=4$ 。并联的原则是将同一相的极相组顺电流方向(箭头方向)连接起来。

以 U 相为例,一路串联连接顺序如图 3-22 所示;二条支路连接顺序如图 3-23 所示;四条支路连接顺序如图 3-24 所示。

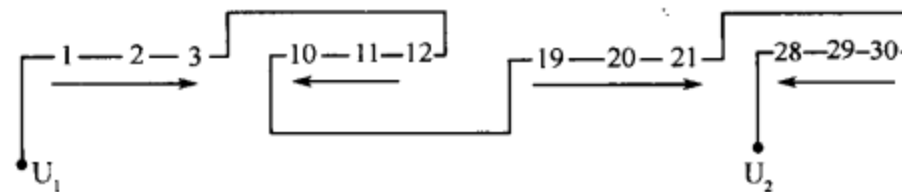


图 3-22 串联方法

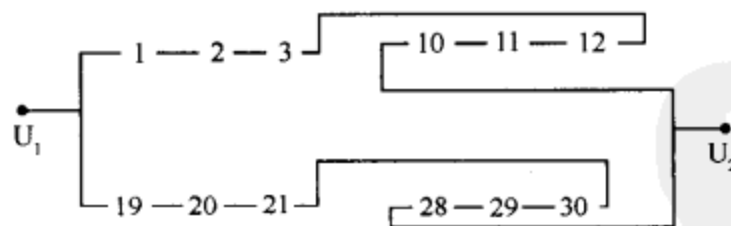


图 3-23 2 条支路连接

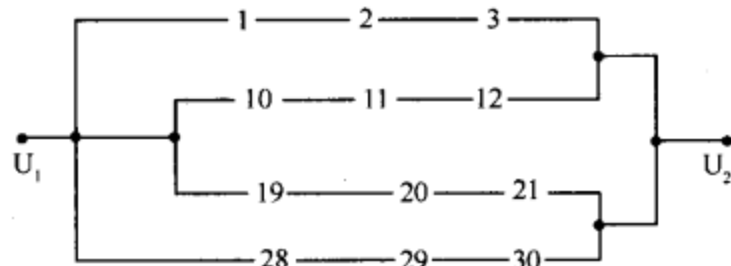


图 3-24 4 条支路连接

2. 波绕组

叠绕组线圈间的连接线较长,在极数较多时,连接线就多,对于绕线式转子绕组,如连接线过多,就不易捆扎固定,同时,重量也不易平衡,为了避免这个缺点,绕线转子中往往采用波绕组。组成波绕组的线圈一般由扁铜条弯制而成,2匝的线圈形状如图3-25所示。将这种线圈嵌放于转子槽内,然后按要求逐个焊接起来,从外型上看,好像是波浪一样,所以叫做波绕组。

由于绕线式异步电动机的转子不与电网相连,电压不受标准电压等级的限制。加之铜条做的波绕组(一般每槽有2根铜条,端部用并头套焊接)既便于制造,又能充分利用槽的面积,所以整数波绕组在绕线式异步电动机转子中得到广泛应用。对波绕组有兴趣的读者可参考相关书籍,本书不做具体介绍。

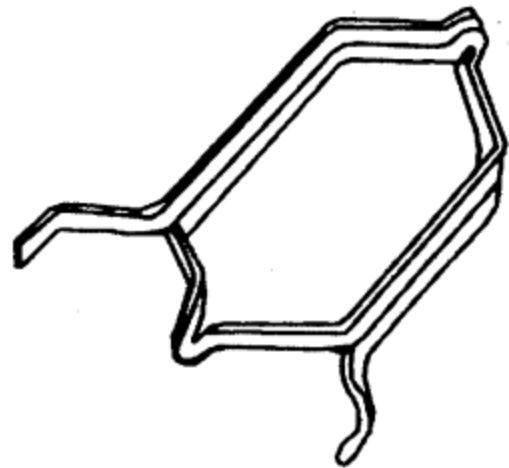


图3-25 波绕组的线圈

三、单双层混合绕组

单双层混合绕组,就是在定子某些槽内嵌以单层绕组,而在另一些槽内则嵌以双层绕组。单层绕组的优点是:嵌线方便,没有层间绝缘,槽的利用率高,但单层绕组一般都是全距绕组,其磁场波形较差,因而对电动机的启动性能、损耗和噪声等都有一定的影响。双层绕组的优点是:可以采用适合的短距来改善磁场波形,从而使电动机的性能有所改善。而单双层混合绕组,兼有上述两者的优点,既能改善磁场波形,改善电动机性能,同时在工艺上嵌线也较双层绕组方便,上端部较短,节省导线。尤其是对于2极电动机,单双层混合绕组可以比双层绕组采用更合适的绕组节距,从而可提高绕组系数。

单双层混合绕组是在双层短距绕组的基础上演变过来的。我们知道,双层绕组由于采用短距,使某些槽内上层导体及下层导体不属于同一相,但仍有一些槽内上层和下层导体边属于同一相。这样,就可以把属于同一相绕组的上层和下层导体归结在一起,用单层绕组来代替,不属于同一相的上下层导体,仍保留其原来的双层,这就是单双层混合绕组。下面以2极18槽的双层短距绕组为例来说明单双层混合绕组的形成及嵌线方法。

根据 $\tau = \frac{Z}{2p}$ 可知,极距 $\tau = \frac{18}{2 \times 1} = 9$ (槽), 根据 $q = \frac{Z}{2pm}$ 可知,每极每相槽数 $q = \frac{18}{2 \times 1 \times 3} = 3$, 取节距 $y = 8$, 根据上述数据排列绕组,如图3-26所示。

图3-26(a)为双层绕组示意图,上层边按相带顺序 $U_1, W_2, V_1, U_2, W_1, V_2$ 进行排列,下层边则由节距来确定。如槽1、2、3上层边为相带U的导体,则构成此线圈的下层边应在槽9、10、11的下层。由图可见,槽1、2;4、5;7、8;10、11;13、14;16、17的上层及下层导体同属一相。因此,可以合在一起成单层。不属同一相的,如槽3、6、9、12、15、18仍保留双层。这样,单层占有12个槽,相应有6个线圈;双层只占有6个槽,也相应有6个线圈,如图3-26(b)所示。单双层绕组的展开图如图3-27所示。

单双层混合绕组每相由一个或多个外面为单层的大线圈、里面为双层小线圈的线圈组构成,相邻大线圈在端部不互相交叉,比单层绕组排列更方便。

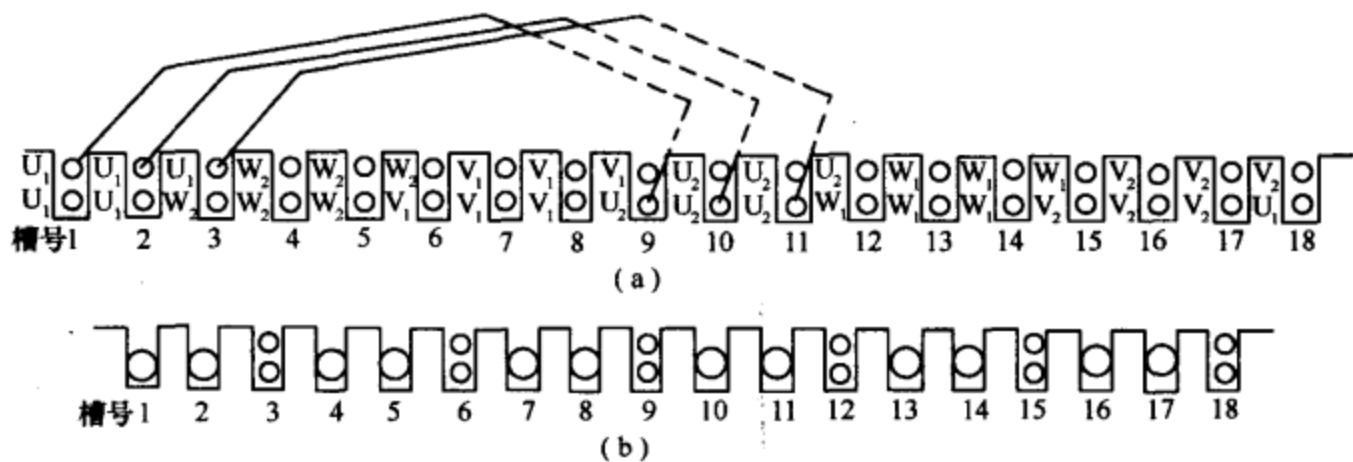


图 3-26 单双层绕组原理图
(a)双层绕组；(b)演变成的单双层绕组。

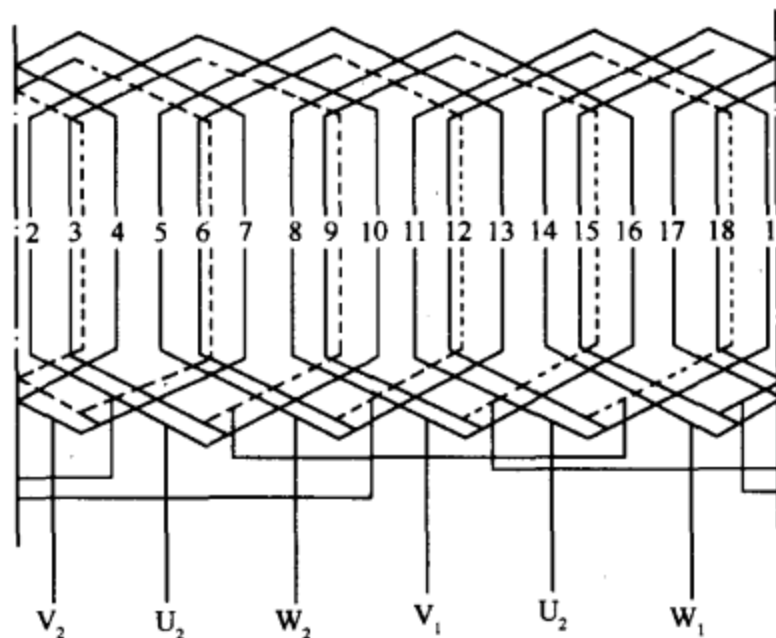


图 3-27 单双层绕组展开图

单双层混合绕组的嵌线程序如下：

(1) 设定铁芯某槽为 1 号，将 U 相第一极相组小线圈的一边(下边)嵌入 9 号槽中，另一边(上边)吊起。再将大线圈的下边嵌入 10 号槽中，另一边(上边)吊起。

(2) 空一个槽(11 号槽)，将第二组线圈的两条下边(先小后大)分别嵌入 12、13 号槽，另两边吊起。

(3) 再空一个槽(14 号槽)，将第三组线圈的两条边嵌入 15、16 号槽，并根据节距 $y=6$ 及 8，将另两条边嵌入 9、8 号槽。

(4) 按空一槽嵌两槽的规则，依次将全部线圈嵌完。最后将第一组及第二组线圈的吊把边嵌入 3、2 号槽及 6、5 号槽。

由上述可见，单双层混合绕组的嵌线特点是：先嵌小线圈边，后嵌大线圈边，嵌两个槽，空一个槽直至全部嵌完。吊把线圈边为 $q+1=4$ 。

* 四、分数槽绕组

以上介绍的绕组，每极每相的槽数 q 均为整数。例如，36 槽 4 极电动机，每极每相槽数 $q=3$ 。又如 24 槽 2 极电动机，每极每相槽数 $q=4$ ，每极每相槽数 q 为一整数的绕组，称为整数槽绕组。由于双层绕组的线圈数等于槽数，在整数槽绕组里，每一极相组含有的

线圈数也必定是整数。如果每个极面下每相占有的槽数为分数时,称为分数槽绕组。例如,定子槽数为 54 槽 8 极电动机,则每极每相槽数 $q = \frac{Z}{2pm} = \frac{54}{2 \times 4 \times 3} = 2 \frac{1}{4}$ 。也就是说,每一极相组含有 $2 \frac{1}{4}$ 个线圈,这样的线圈是无法绕制的,在实际制作时,只能使一些极相组多一个线圈,另一些极相组少一个线圈,故又称不均分组。显然,不均分组线圈分配不能用以往讨论的方法。下面结合具体例子,来说明分数槽绕组的分配规律。

例 1:试确定 27 槽 6 极电动机绕组的分配。

解:每极每相槽数 $q = \frac{Z}{2pm} = \frac{27}{2 \times 3 \times 3} = 1 \frac{1}{2}$,对于三相电动机,不论是否为分数槽绕组,三相绕组必须含有相同的线圈数,以保持磁性平衡和三相电流平衡。现有每相 $\frac{27}{3} = 9$ 个线圈,每个极相组含 $\frac{9}{6} = 1 \frac{1}{2}$ 个线圈,这是无法绕制的,只能分配成 3 个极相组为 2 个线圈,另外 3 个极相组为 1 个线圈,这样的三相线圈分配见表 3-1。

表 3-1 27 槽 6 极电动机三相线圈分配表

N			S			N			S			N			S		
U	V	W	U	V	W	U	V	W	U	V	W	U	V	W	U	V	W
2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1

U 相绕组展开图如图 3-28 所示。

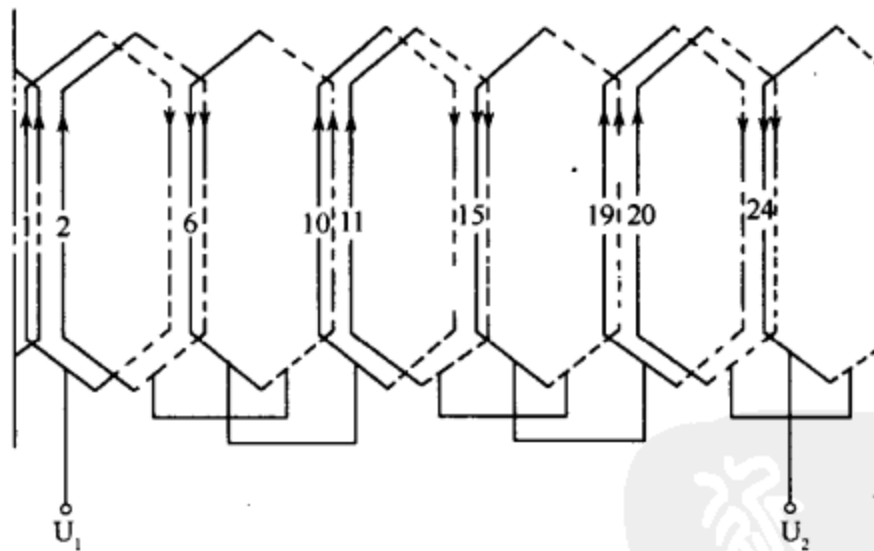


图 3-28 27 槽 6 极 U 相绕组展开图

分配时应注意,不论是线圈多的极相组还是线圈少的极相组,都应布置在对称位置,只有这样磁性拉力才能平衡,也才能把电动机的磁性振动减小到最低限度。

例 2:试确定 27 槽 4 极电动机的绕组分配。

解:每极每相槽数 $q = \frac{Z}{2pm} = \frac{27}{2 \times 2 \times 3} = 2 \frac{1}{4}$,每相线圈数为 $\frac{27}{3} = 9$ 个,因每相有 4 个极相组,所以,有 3 个极相组含 2 个线圈,1 个级相组含 3 个线圈。可按表 3-2 排列极相组。

表 3-2 27 槽 4 极电动机三相线圈分配表(1)

N			S			N			S		
U	V	W	U	V	W	U	V	W	U	V	W
2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3

尽管三相绕组线圈数相等,但不对称,故破坏了磁场平衡。为了使磁场平衡,应把第 4 个极下 3、3、3 的 3 个极相组拆开,把含有 3 个线圈的极相组,排列在对称位置。为了达到这一目的,只需按表 3-3 所示顺序循环排列即可。

表 3-3 27 槽 4 极电动机三相线圈分配表(2)

N			S			N			S		
U	V	W	U	V	W	U	V	W	U	V	W
2	2	2	3	2	2	2	3	2	2	2	3

从上述两例中,可以分析得出分数槽绕组的分布规律如下:

(1) 设每极每相槽数(每一极相组线圈数)等于 $B \frac{c}{d}$, 则各极相组必由 B 个或 $B+1$ 个线圈组成,并按一定次序循环排列,每经 d 个极相组循环一次。

(2) 每次循环的 d 个极相组中,有 c 个极相组含有 $(B+1)$ 个线圈, $(d-c)$ 个极相组含有 B 个线圈。

(3) 循环次数 $\frac{\text{总极相相数}}{d}$

一般情况下,分数 $\frac{c}{d}$ 值为 $\frac{1}{2}$ 、 $\frac{1}{4}$ 、 $\frac{3}{4}$ 、 $\frac{1}{5}$ 、 $\frac{1}{7}$ 等,其绕组排列见表 3-4。

表 3-4 常见分数槽绕组极相组排列

$\frac{c}{d}$ 值	极相组的循环(排列)
$B \frac{1}{2}$	$B, (B+1); B, (B+1); B, (B+1)$ 等
$B \frac{1}{4}$	$B, B, B, (B+1); B, B, B, (B+1)$; 或 $B, B, (B+1), B; B, B, (B+1), B$; 或 $B, (B+1), B, B; B, (B+1), B, B$ 等
$B \frac{1}{3}$	$B, (B+1), (B+1), (B+1); B, (B+1), (B+1), (B+1)$ 等
$B \frac{1}{5}$	$B, B, B, B, (B+1); B, B, B, B, (B+1)$ 或 $B, B, (B+1), B, B; B, B, (B+1), B, B$ 等
$B \frac{2}{5}$	$(B+1), (B+1), B, B, B; (B+1), (B+1), B, B, B$ 或 $(B+1), B, (B+1), B, B; (B+1), B, (B+1), B, B$ 等
$B \frac{3}{5}$	$B, B, (B+1), (B+1), (B+1); B, B, (B+1), (B+1), (B+1)$ 或 $B, (B+1), B, (B+1), (B+1); B, (B+1), B, (B+1), (B+1)$ 等
$B \frac{4}{5}$	$B, (B+1), (B+1), (B+1), (B+1); B, (B+1), (B+1), (B+1), (B+1)$ 等
$B \frac{1}{7}$	$B, B, B, B, B, B, (B+1); B, B, B, B, B, B, (B+1)$ 等
$B \frac{2}{7}$	$(B+1), B, B, (B+1), B, B, B$ 等
$B \frac{3}{7}$	$(B+1), B, (B+1), B, (B+1), B, B$ 等

例 3:求 Y225M-8/22kW(54 槽 8 极)三相异步电动机双层叠绕组的分配。

解:求每极每相槽数 $q = \frac{Z}{2pm} = \frac{54}{2 \times 4 \times 3} = 2 \frac{1}{4}$

即 $B=2, c=1, d=4$ 。

各极相组分别由 2 个和 3(2+1)个线圈组成,每 4 个极相组循环一次。

每次循环中有 3 个极相组含 2 个线圈,1 个极相组含 3 个线圈。

绘出 24 个极相组,查表 3-4 中 $q=B \frac{1}{4}$ 栏,就可排列出线圈分配规律,见表 3-5。

表 3-5 54 槽 8 极电动机三相线圈分配表

N	S	N	S	N	S	N	S
U V W	U V W	U V W	U V W	U V W	U V W	U V W	U V W
2 2 2	3 2 2	2 3 2	2 2 3	2 2 2	3 2 2	2 3 2	2 2 3

以上分析的是对称分数槽绕组安排规律。在改极重绕过程中,经常碰到不对称分数槽绕组,可以采用空槽和分配法处理,尽量做到近似对称,以减小磁场不平衡。

第三节 三相异步电动机线圈的重绕

当定子绕组已损坏且无法使用时,需全部拆换绕组。绕组拆换及重绕的工艺流程分为以下几项内容。

一、记录原始数据

绕组拆换以前须详细记录有关电动机的原始数据,否则,会给重换新绕组造成困难。电动机的原始数据包括铭牌数据、铁芯数据和绕组数据等。

1. 铭牌数据

铭牌提供了电动机的额定功率、额定电压、额定电流和转速等基本数据,以及电动机的型号、接法和绝缘等级等内容,因此,应认真记录下来。若不涉及铭牌损坏处理,这些数据也可以不记,需要时直接查取。

2. 铁芯和绕组数据

铁芯和绕组数据包括以下内容:定子铁芯内、外径,定子铁芯长度,定子铁芯槽数,转子铁芯的外径,转子铁芯的槽数,定子铁芯磁轭厚度和齿宽等。

3. 线圈尺寸

在绕组拆下前,应先记下绕组端部伸出铁芯的长度,拆下线圈后,根据线圈的形式,测量、记录线圈各部分尺寸,最后,还应称出拆下绕组的全部质量,以备重绕时参考。

若采用“电动机绕组重换记录卡”的方式记录以上各项数据,不仅使维修人员一目了然,而且为以后的维护和再次修理提供了便利。记录卡的样式如表 3-6 所列,其内容可视实际情况增删。

表 3-6 电动机绕组记录卡

1. 铭版数据	
型号_____	功率_____ 转速_____ 接法_____ 电压_____
电流_____	频率_____ 功率因数_____ 绝缘等级_____
2. 铁芯数据	
定子外径_____	定子内径_____ 定子有效长度_____
转子外径_____	空气隙_____ 定、转子槽数_____
定子轭高_____	
3. 定子绕组	
导线规格_____	每槽导线数_____ 线圈匝数_____
并绕根数_____	并联支路数_____ 绕组形式_____
每极每相槽数_____	节距_____
4. 转子绕组(绕线式)	
导线规格_____	每槽导线数_____ 线圈匝数_____
并绕根数_____	并联支路数_____ 绕组形式_____
每极每相槽数_____	节距_____
5. 绝缘材料	
槽绝缘_____	绕组绝缘_____ 外覆绝缘_____
6. 绕组接线草图	
7. 故障原因及改进措施	
8. 维修人员和日期	
维修人员_____	维修日期_____

二、拆除旧绕组

在电动机的生产和维修过程中,绕组经过浸漆、烘干后,已成为一个质地坚硬的整体,拆除比较困难。通常对旧绕组的拆除可采用冷拆、热拆、溶剂溶解等几种方法。冷拆和溶剂溶解法可保护铁芯的电磁性能不变,但拆线比较困难。热拆法较为容易,但在一定程度上会破坏铁芯绝缘,影响电磁性能。

1. 热拆法

热拆法又分为通电加热法和热烘法两种:

(1)通电加热法。拆开绕组端部的连接线,在一个极相组内通入单相低电压、大电流(可用变压器或电焊机作电源)进行加热,当绝缘物软化,绕组开始冒烟后,切断电源,迅速退出槽楔,拆除线圈。这种方法适用于大中型电动机。但如果绕组中有断路或短路的线圈,则不能应用此法。

(2)热烘法。用电烘箱对定子加热,温度控制在 100℃,一般需通电 1h 左右,待绝缘物软化后,趁热拆除旧绕组。

需要说明的是,拆卸时不要用火烧,因为火烧法容易破坏铁芯的绝缘,使电磁性能下降。

2. 溶剂溶解法

此法适于一般小型和微型电动机绕组的拆除,对于普通小型电动机,可把定子绕组浸入9%的氢氧化钠溶液中,浸泡2h~3h后取出,用清水冲净,抽出线圈即可。若拆除绝缘漆未老化的0.5kW以下的电机时,可用丙酮25%、酒精20%、苯55%配成的溶剂浸泡,待绝缘物软化后拆除旧绕组;对于3kW以下的小型电动机,为了节约,也可用丙酮50%、甲苯45%、石蜡5%配成的溶液刷浸绕组,使绝缘物软化后拆除旧绕组。由于这种溶剂有毒、易挥发,因此,使用时应注意保护人身安全。

3. 冷拆法

冷拆法适用于全部烧坏或槽满率不高的电机,在日常维修时应用最多。

拆卸时,需要用不同规格的鍮子和手锤。拆卸大的电动机需要比较大的鍮子,拆卸小型的电动机需要小型的鍮子。

拆卸时,先用鍮子鍮切线圈一端绕组,一般选择有接线的一边绕组进行拆除,鍮切时,应注意鍮子的放置角度,不能置得过陡,以防损坏定子铁芯;也不可太平,以免鍮切的线端不平整,给冲线带来困难。

鍮切好之后,就可以进行冲线,冲线时需要根据线槽的形状来选择冲子,线槽有圆形和矩形两种,对于圆形线槽,需要选择圆形冲子;对于矩形线槽,需要选择方形冲子。选择好冲子之后,用锤头对准鍮剖面锤击冲子。冲线时,不要急于一次性拆卸某槽的线圈,应该依次地循环逐步冲出线圈。

在冲线圈的过程中,不可用力过猛,以免损坏槽口或使铁芯翘起,另外,还应保留一个完整的旧线圈,作为绕制新线圈时的样品。

三、清理定子铁芯槽

在绕组拆完后,在线槽里面有一些残留物,需要对它进行清理,如果不进行清理,会给下面的嵌线带来麻烦,而且也会影响电动机的绝缘性能。清理电动机定子槽常用的工具是钢齿刷和清槽片,选择这些工具时应根据定子槽的大小来决定,比较大的定子槽应选择比较大的钢齿刷,比较小的定子槽应选择比较小的钢齿刷,然后,将钢齿刷插入定子槽中,上下插动,依次将所有定子槽中的残留物、铜线、漆锈斑等清除干净。在清理时还要注意检查铁芯硅钢片是否受损。若有缺口、弯片时,应予以修整。

四、准备漆包线

将旧线圈全部拆除和清理干净之后,下一步需要准备漆包线。具体方法是:从拆下的旧绕组中剪取一段未损坏的铜线,放到火上烧一下,将外圈的绝缘皮擦除,并将其拉直,然后,就可以利用千分尺进行测量了。在测量前,应该将千分尺的测量面擦拭干净,以免影响精度。然后,将刚才准备好的铜线放到千分尺的测量面中间,转动套管,在两测量面接近铜线时,停止转动套管,改为旋动棘轮,当棘轮发出“答答”声时,说明两测量面已与铜线表面接触,此时,可从刻尺上读出测量数据。

在选择漆包线时,应尽可能地选择与原漆包线线径大小相等或稍大一点的导线,测量新漆包线线径时,和测量旧漆包线方法相同,即将新漆包线的绝缘漆用火烧一下,再用千分尺测量。

方法与技巧:当选择不到与原来一致的漆包线时,就需要对原来的漆包线进行替换。为了不影响电机原有性能,替换时,可用两根较细的导线代替原来的一根导线,并使两根细导线的截面积之和与原导线的截面积相等,但在实际应用过程中,不可能绝对相等。为了保持电动机的性能不产生明显的变化,最好是两根细导线的总截面积较原导线的截面积略大。绕线时最好先绕一组嵌线试一试,不能让槽满率较原装的大得太多。所选用的两根线径直径应尽量相近,不要一根过粗,另一根太细。导线相差太大,会由于各根导线电阻不对称而造成电流密度不平衡,引起线圈过热。

五、选择模具

1. 确定绕线模尺寸

线圈的大小对嵌线的质量与电动机性能关系很大,线圈绕得过小,则不好嵌线,不便于端部整形;线圈绕得过大,则浪费材料,增加成本,修理后的端部太长顶住外壳端盖,影响绝缘。而线圈的大小完全是由绕线模的尺寸决定的。因此,一定要认真设计绕线模的尺寸。由于国家对各系列电机线模数均做了统一的规定,因此,维修人员只需查阅有关资料,参照数据制作即可。对于有些特殊电机,没有统一尺寸的规定,可将拆下来的旧线圈作比尺选用线模。但应注意旧线圈存在着内圈匝与外圈匝的误差,最好选用内圈作为标准尺寸。在取得一定经验后也可以取一根新漆包线,按绕组的组合形式,在铁芯上绕一匝,便是线模的周长了。为了使制作精确一些,可用下面的方法来计算。

1) 菱形模的计算

菱形模如图 3-29 所示,设定子铁芯内径为 D_i (单位为 mm)、线圈节距为 y (单位为槽),定子槽为 Z (单位为槽),铁芯长度为 h (单位为 mm),则

$$\text{模宽 } A = \frac{\pi D_i y}{Z}$$

$$\text{模直线长度 } L = h + 2a$$

式中: a 为线圈直线部分伸出铁芯的单边长度(mm)。对于中心高在 132mm~250mm 的电机, a 可取 10mm~15mm,对于中心高在 132mm 以上的电机, a 可取 15mm~20mm。

$$\text{模斜边长 } C = \frac{A}{t}$$

式中: t 为经验系数。对于 2 极电机, t 可取 1.49,对于 4 极电机, t 可取 1.53,对于 6 极和 8 极电机, t 可取 1.58。

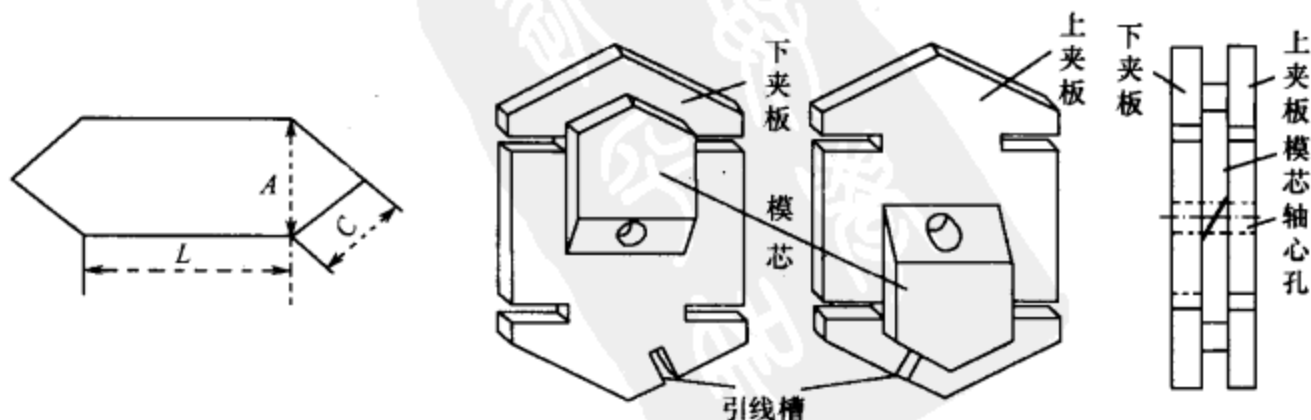


图 3-29 菱形模

2) 腰圆形模的计算

腰圆形模如图 3-30 所示。

$$\text{模宽 } A = \frac{\pi D_1 y}{Z}$$

$$\text{模直线长度 } L = h + 2a$$

$$\text{圆弧半径 } R = \frac{A}{t}$$

式中： t 为经验系数。对于同心式绕组， t 可取 2.0，对于交叉式绕组， t 可取 1.8，对于链式绕组， t 可取 1.6。

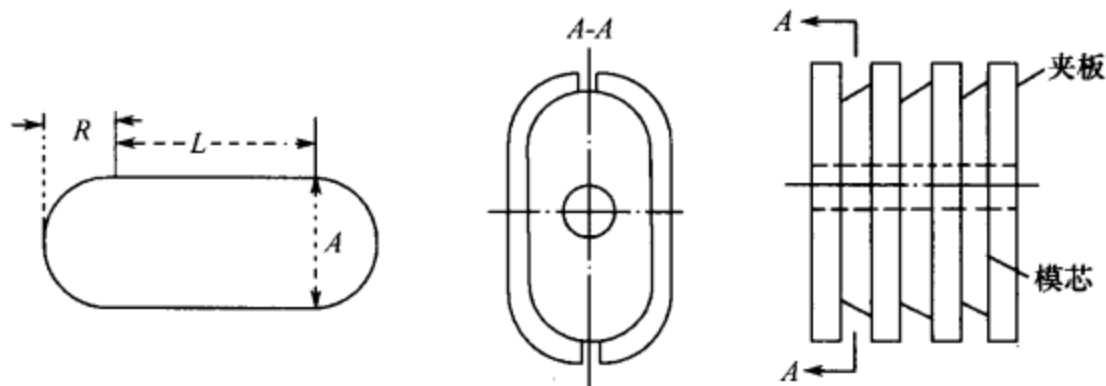


图 3-30 腰圆形模

2. 绕线模的制作与选择

模芯做成后，通常在其轴心处倾斜地锯开，半块固定在上夹板，半块固定在下夹板，以使绕成的线圈易于脱模。为便于取下线圈，通常将模芯的外周设计有一定的斜度。

夹板和模芯是一个隔一个组合起来的，最外面都是夹板，靠中心的轴孔穿入螺丝或绕线机的螺杆用螺母拧紧而固定。夹板上还要开一些槽，用来通过两线圈之间的连线的跨接线或用来埋放绑扎带。在组装绕线模时一定要注意到这些槽的作用及其走向。

常用的模具除了菱形模具和腰圆形模具外，还有活动模具，如图 3-31 所示。活动模具的模芯中穿 2 个长螺丝，这 2 个螺丝可以独立在夹板的两个直孔中移动，调节线模的周长，当位置调整好后将 2 个螺丝拧紧，可见，活动模具绕制线圈比较方便。

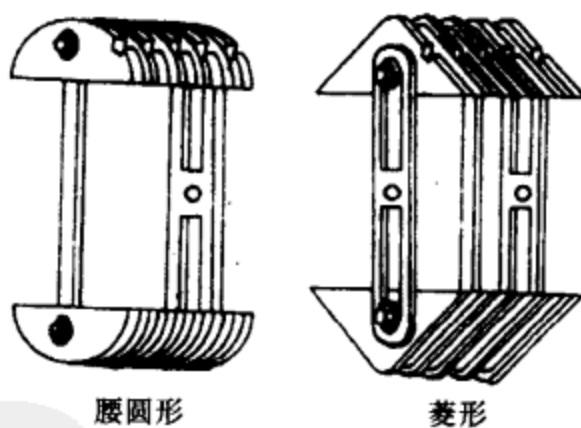


图 3-31 活动模具

六、绕制线圈

在确定好线圈的线径、匝数及模具后，就可以进行线圈的绕制了。三相异步电动机一般采用绕线机绕制线圈。绕线时，将活动模具放到绕线机的绕线轴上，并调整绕线机的计数器使其归零。将线圈的一端套上一段套管，并固定在绕轴上，用手抓在套管上，以免在绕线时划伤手指。在绕制过程中，应注意引力合适，排列整齐紧密，不得有交叉，线圈的始末端留头要适当，一般以线圈周长的 1/3 为宜。

方法与技巧 在绕制过程中，需要看一下绕制的匝数是否符合要求，若不符合要求，