

图 7-3 电枢冲片

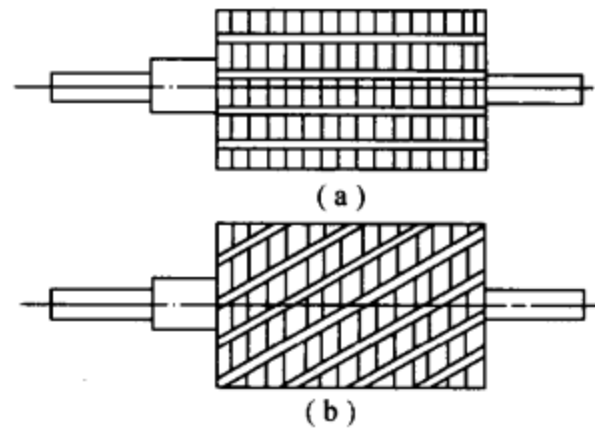


图 7-4 电枢铁芯

(a)直槽式；(b)斜槽式。

全塑料换向器就是在换向铜片之间采用耐弧塑料绝缘的换向器。

### 3. 电刷架

电刷架一般用胶木粉压制底板，它由刷握和盘式弹簧组成。单相串激电动机的刷握按其结构形式，可分为管式和盒式两大类。目前，国内单相串激电动机的刷握结构大部分采用盒式结构。盒式结构的刷握具有结构简单、加工容易和调节方便的优点，特别适合于需要移动电刷位置以改善换向的场合。盒式刷握的缺点是刚性差、变形大，不适应于转速高、振动大的电机中。管式结构刷握具有可靠耐用等优点，它恰好能弥补盒式结构的不足之处。但是管式结构刷握的加工工艺要求较高，而且外形也较难安排。

电刷也是单相串激电动机的一个重要附件，它不但担负电枢与外电路的联通，而且还与换向器配合共同完成电动机的换向工作。因此，电刷与换向器组成了单相串激电动机薄弱而又重要的环节，电刷与换向器之间不但有较大的机械磨损和机械振动，而且在配合不当时还将产生严重火花。故电刷是良好运行的保证。

电刷的选择，主要是根据电刷的温升和换向器的圆周速度而定。而电刷的温升则与电刷的电流密度、电刷与换向器的接触电压降、机械损耗以及电刷的导热性有关。而圆周速度过高则容易引起电刷和换向器发热，使火花增大。此外，在选择电刷时，还要考虑电刷的硬度和磨损性能等因素的影响。电动工具中的单相串激电动机采用的电刷多为 DS 型电化石墨电刷。

### 4. 机座和端盖

机座一般由钢板、铝板或铸铁制成，定子铁芯用双头螺栓固定在机座上。用于家用电器上的电动机则无固定的机座形式，它的机座常常直接制成为机器的一部分。

和其他电动机类似，端盖用螺栓紧固于机座的两端，轴承装于端盖内孔。小型串激电动机常将一只端盖与机座铸成一个整体，只有一只端盖可拆卸。端盖内孔中的轴承用于支撑电枢并将电枢精确定位。同时，在一只端盖上开有两个相对的圆孔或方孔，用来装设电刷。

## 二、单相串激电动机的主要特性

单相串激电动机具有以下特性。

### 1. 转速高、体积小、质量小

转速一般为  $4000\text{r}/\text{min} \sim 10000\text{r}/\text{min}$ ，高的可达到  $20000\text{r}/\text{min} \sim 40000\text{r}/\text{min}$ 。转速

越高,体积可做得愈小,质量也就愈小,因为铁芯可以缩小。

## 2. 调速方便

根据计算可知,电枢绕组总匝数减小,使转速提高,同时也使电动机体积减小,质量减小。另外,改变电源电压,也可以调节电动机的转速。

## 3. 不允许在空载下运转

空载时,负载转矩很小,串激电动机的转速急剧上升,以至于升到电动机的机械强度所不能允许的程度,造成损坏。通常要求电动机的负载不小于额定负载的 25%~30%,电动机转速在 25000r/min 以下。

## 4. 转矩特性

单相串激电动机的电磁转矩总是正值,即电磁转矩的方向是恒定的。用于交流电源上所产生的转矩平均值与用于直流电源上所产生的转矩相等。

当电枢电流比较小时,电磁转矩随电枢电流的增大而迅速地增加,表明串激式电动机的启动转矩比较大。

## 5. 机械特性

单相串激电动机的机械特性,无论是采用直流电源还是交流电源,都与普通直流串激电动机的机械特性相似。其机械特性如图 7-5 所示。随着转矩的增加,转速急剧下降;而转矩减小,则转速迅速上升。这种特性叫软特性或串联特性。由于这种特性,串激电动机不适于要求转速稳定的器具,但在电钻等电动工具和吸尘器家用电器中,这种特性却可以起到自动调整转速的作用,当负载重时,转速降低;负载轻时,转速升高。

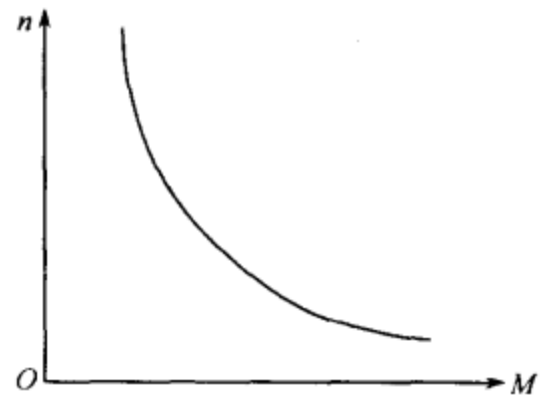


图 7-5 单相串激电动机的机械特性

由于单相串激电动机的空载转速非常高,电钻等使用串激电动机的电动工具,一般不可拆下减速机构进行试运转,以防止飞车而损坏电枢绕组。

## 6. 启动电流和工作电流

串激电动机有较好的启动性能,启动转矩与启动电流的平方成正比。启动时电流很大,而当它运行到额定转速时电流较小,这是因为启动时感应电动势等于零,因而电流很大。同时主磁场也随电流的增大而增强,使转矩很大。随着转速的增加,电枢线圈切割磁力线的速率增加,使转矩很大,感应电动势也随着增大,使电流减小。所以电动机在额定转速时的电流总是比启动时小得多。

# 第三节 单相串激电动机的反转及调速

## 一、单向串激电动机的反转

若要改变单相串激电动机的旋转方向,只需改变激磁绕组或电枢绕组的极性即可。单向串激电动机的旋转方向如图 7-6 所示。当激磁绕组和电枢绕组采用图 7-6(a)、7-6(b)接法时,电动机逆时针方向旋转;当激磁绕组和电枢绕组采用图 7-6(c)、7-6(d)接

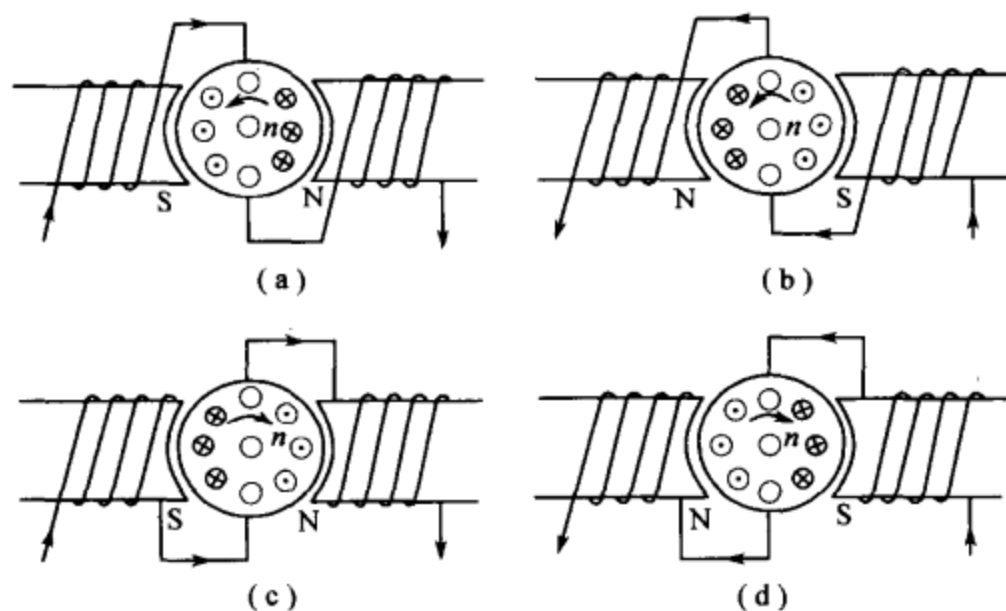


图 7-6 单相串激电动机反转控制

法时,电动机顺时针方向旋转。

## 二、单向串激式电动机的调速

### 1. 变阻器调速

单相串激电动机采用变阻器调速的电路,与直流串激电动机的变阻器调速电路相同。即将一只电阻较小的可变电阻器,串联在电动机的电路中,改变电阻器的电阻值,则电源电压在电阻器上的电压降随之改变,使加到电动机两端的电压也随之改变,电动机转速便相应发生变化。

### 2. 离心调速器调速

离心调速的电路原理如图 7-7 所示。将电压加于调速器与电动机串联电路上,电流经过调速器的常闭触点接通电动机,电动机转动。随着电动机转速的提高,电动机转子的离心力也增加。当转子转速达到某一限度时,离心力克服弹簧力使常闭触点断开,切断电动机电源。电源切断后,电动机转速变慢,转子的离心力也相应变小。当小于弹簧力时电触点又闭合,电路重新接通,电动机又增速。这样周而复始地循环,保证电动机在某一选定的转速范围内运行。

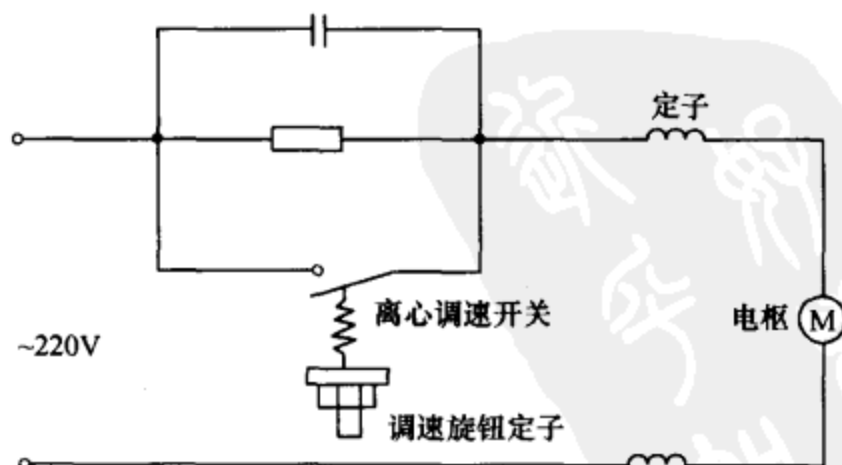


图 7-7 离心调速器

当需要调整电动机转速时,操作者可调节调速旋钮,以调整弹簧对电触点的压紧力:如欲使电动机转速增加,可将旋钮旋进,加大弹簧压紧力。

### 3. 电子调速器调速

调速器是由电子元件组成的控制电路,通过调节可变电阻器阻值来调整加到电动机上的电压,从而改变电动机的转速。

### 4. 变压器调速

变压器可以是互感式的,但更多的是用自耦变压器。通过转换开关将单相串激电动机接到变压器次级绕组的各抽头上,电动机得到不同电压而获得不同的转速。

### 5. 整流器调速

当交流电通过电动机时,在其交变的全周波内,正半波和负半波各做总功的一半。若只让半波通过电动机,则可得总功的一半。应用这个原理的调速电路如图 7-8 所示。当选择开关置于高速位置时,交流电全周波通过电动机,电动机高速旋转;当选择开关置于低速位置时,交流电经二极管整流器后只有正半波电流通过,电动机低速旋转。

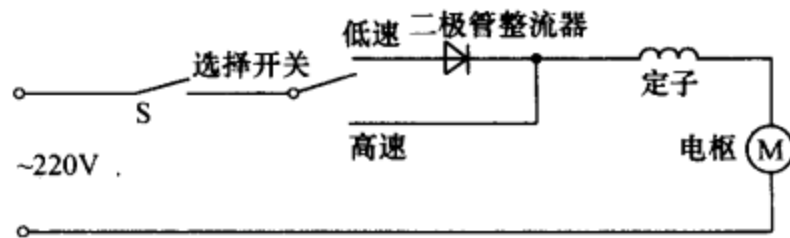


图 7-8 整流器调速

## 第四节 单相串激电动机绕组及接法

单相串激电动机的定、转子铁芯上都嵌放有绕组,它们各自按不同的接法先连接起来,然后定子绕组和电枢绕组串接起来后接入电源。下面简要介绍定子和电枢绕组的接法。

### 一、定子绕组的接法

单相串激电动机的定子嵌置有励磁绕组,功率较大的电动机还加装有换向绕组和补偿绕组。励磁绕组用来产生主磁场,大多采用集中式绕组。换向绕组嵌装在换向极上,用来改善电动机的换向。补偿绕组是用来抵消电枢反应的,以改善电动机的换向条件和运行性能。在电动工具和家用电器中应用的单相串激电动机一般都只设置励磁绕组,这主要是因为它们的功率都比较小。图 7-9(a)所示为单相串激电动机励磁绕组的接法,图 7-9(b)所示为带换向极绕组的串激电动机接法。从图中可以看出,它们均采用显极接法,即“头与头相接、尾与尾相联”。

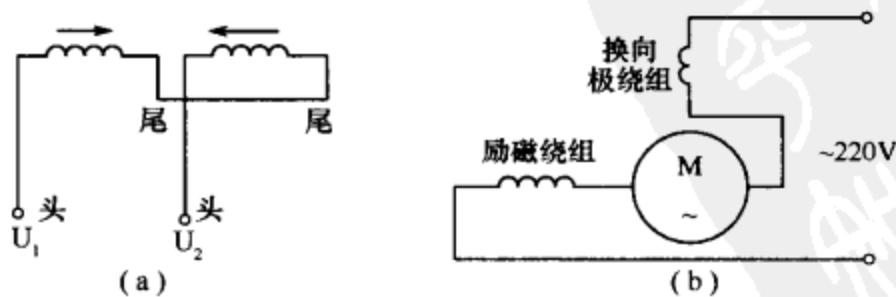


图 7-9 定子绕组的接法

(a)励磁绕组的连接;(b)带换向极绕组的连接示意图。

## 二、电枢绕组的接法

与直流电机的电枢绕组一样,单相串激电动机电枢绕组的线圈有两种不同接法的绕组,即叠绕组和波绕组。图 7-10(a)所示为单叠绕组的连接,这种绕组的特点是每一线圈元件的头和尾分别接在相邻两换向片上,各线圈元件顺序串联相互重叠,故称为叠绕组。图 7-10(b)所示为单波绕组的连接,从图中可以看出,相邻连接的两个线圈元件成波浪形,所以称为波绕组。这两种绕组性能上最大区别是并联支路数的不同,叠绕组的并联支路数等于磁极数,而波绕组的并联支路数则不论极数多少永远等于 2。对两极电动机而言,不论是叠绕组还是波绕组,其并联支路数都为 2,随便采用哪种绕组其性能都一样。但实用中的 2 极电动机都采用叠绕组,由于小功率单相串激电动机绝大多数为 2 极,因此,下面只介绍单叠绕组的接法。

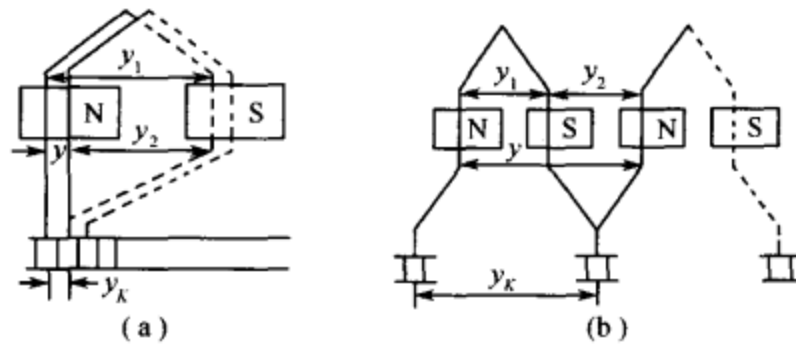


图 7-10 电枢绕组的连接

(a)电枢单叠绕组的连接;(b)电枢单波绕组的连接。

从图 7-10 中可以看出,单叠绕组和单波绕组存在以下四种绕组节距:

(1)第一节距。也称后节距,一般用  $y_1$  来表示。它是指一个绕组元件两元件边之间的距离,根据  $y_1$  的大小,可以将绕组元件分为全距元件及短距元件。

(2)第二节距。也称前节距,一般用  $y_2$  来表示,它是指某一元件的第二元件边和相邻连接元件的第一元件边之间的距离。

(3)合成节距。一般用  $y$  来表示。它是指两个相邻连接元件对应边之间的距离。

(4)换向器节距。一般用  $y_k$  来表示,它是指绕组元件的头和尾所连接的两换向片之间的距离,以换向片数计。

单叠绕组的元件数等于换向片数;而换向片数目可与电枢槽数相等,也可为电枢槽数的 2 倍或 3 倍,如 9 槽 9 片、9 槽 18 片、9 槽 27 片、12 槽 24 片等,单相串激电动机通常取换向片数为电枢槽数的 2 倍~3 倍。

图 7-11 所示为一台  $2p=2$ 、 $Z=12$  槽、 $K=24$  换向片的电枢绕组接线展开图。

## 三、定子励磁绕组与电枢绕组的连接

励磁绕组与电枢绕组串联方式有两种:一种是电枢绕组串在两只励磁绕组的中间,如图 7-12(a)所示;另一种是两只励磁绕组串联后再串接电枢绕组,如图 7-12(b)所示,两种串联方式的工作原理相同,即两只励磁绕组通过电流时所形成的磁极极性必须相反。

在实践中,第一种串联方式使用较多。这种接法对抑制无线电干扰效果比较好,因为电动机的两根电源线都接有励磁绕组,它们都有一个很大的阻抗。不论干扰从哪根电源线传导出来,都将受到很大的抑制而削弱。

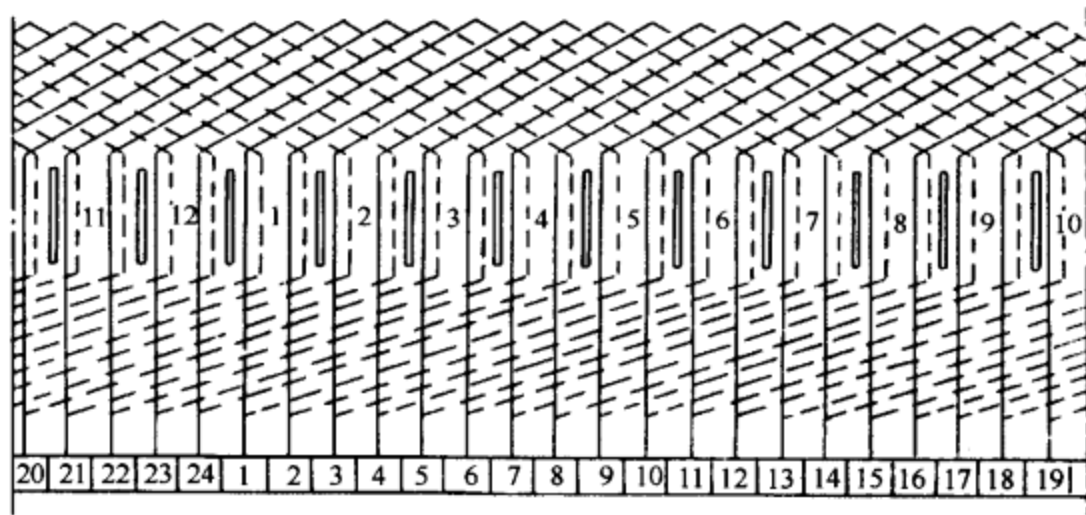


图 7-11 2极 12槽 24片电枢绕组展开图

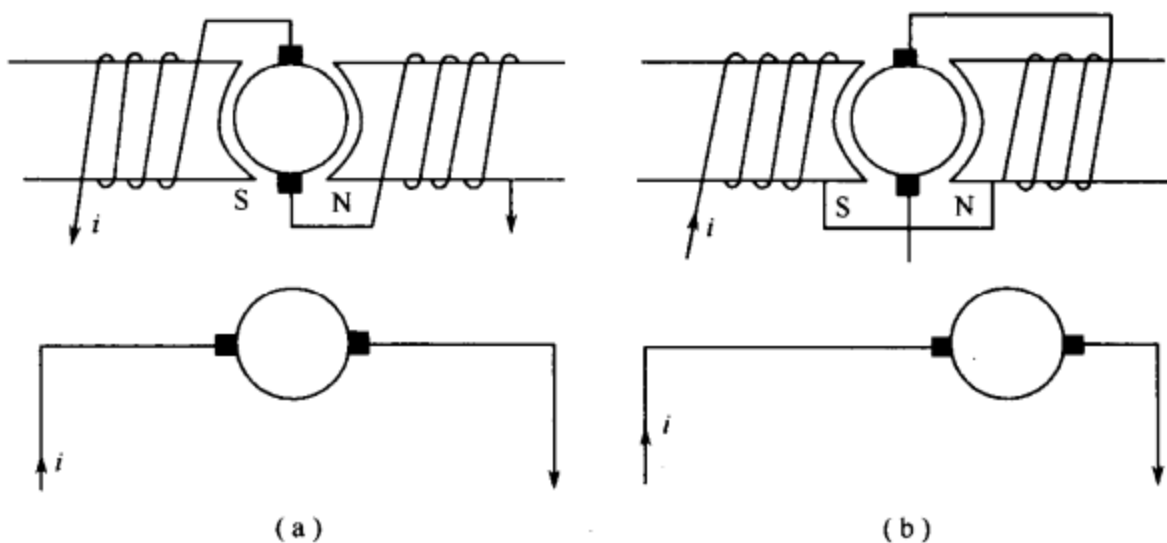


图 7-12 单相串激式激磁绕组与电枢绕组的连接方式

(a)电枢绕组串联在两个激磁绕组之间；(b)两个激磁绕组串联后再与电枢绕组串联。

**方法与技巧** 对于由电源线向外传播的干扰,也可以用图 7-13(a)所示的方法接入电容式滤波器来进行抑制。由于两根电源线都可以向外传播,故每根电源线都接有电容。如果电枢绕组的一端已接在机壳上,则干扰只能从另一个线端向外传播,故只需在这个线端接上滤波电容即可,如图 7-13(b)所示。电容量的大小一般在  $0.1\mu\text{F}\sim 1\mu\text{F}$  之间,具体数值经试验而定。所用电容,应优先选用电感系数较小的穿心电容。

串激电动机工作时不仅对无线电广播、电视、通信产生干扰,而且对附近工作的电子仪器也产生干扰,因此,必须采取有效方法进行抑制和削弱。

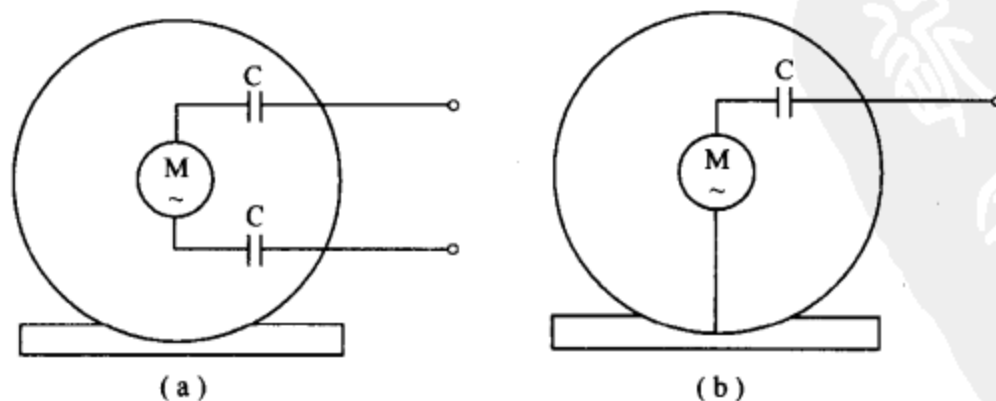


图 7-13 干扰抑制电路

(a)电容器双端滤波电路图；(b)电容器单端滤波电路图。

## 第五节 单相串激式电动机的维修

单相串激电动机转速快、效率及功率因素较高,单位功率的体积及质量较小,因此,在手电钻、手持砂轮、吸尘器等电器中得到了广泛的应用。但单相串激式电动机与直流电动机的结构类似,具有电枢、换向器和电刷,因此,换向器及电刷故障较多。下面介绍单相串激式电动机的故障维修方法。

### 一、定子绕组的修理

单相串激电动机的定子绕组是套装在凸极铁芯上的集中式绕组。定子一般是2极的,所以有两个激磁绕组。这种线圈易于绕制,绝缘包扎牢固可靠。而且定子绕组始终处于静止工作状态,因此,它出现故障的可能性比电枢绕组要少得多。定子绕组的故障可分为通地、短路、断路、接错几种,现简要说明如下。

#### 1. 定子绕组通地故障

如果定子绕组长期高温超载或受潮致使绝缘击穿,以及操作疏忽、机械碰撞等损坏绝缘,都可能造成定子绕组的通地故障。

通地故障可用试灯等方法进行检查,具体方法是:用一个串接着灯泡的交流电源,一根线端接触在铁芯上,另一线端和绕组的引出线端接触。如灯泡发光,说明绕组和机壳间的绝缘击穿已形成通路。这时,可将两个磁极线圈之间的连接线拆开,用试灯分别检查每一个线圈,以找到通地的故障点。

找到通地的磁极线圈后,可视线圈绝缘损坏部位、程度来进行修理。明显轻微的损坏只需将通地处用绝缘物垫好隔开即可。如线圈匝间绝缘物完好且未老化,只是外包绝缘层损坏严重,则可将线圈从磁极上取下来,重新用同等绝缘物包好,经浸渍烘干处理后再装上去就行了。如线圈本身的绝缘物已焦脆老化,甚至线匝绝缘层严重脱落、裸露,那就只能重绕新线圈了。

#### 2. 定子绕组短路故障

定子绕组由于高温超载、绝缘物受潮等原因,导致线圈匝间绝缘漆层破裂引起匝间短路,或引出线绝缘漆层破损短接使整个线圈短路。定子绕组产生短路后,将会迅速发热冒烟并发出烧焦的臭味。

绕组的短路故障很多情况下均能通过外观看出来,因为绕组短路处的短路电流较正常电流要大很多,这将使短路处绝缘层因高温而变色。轻微的匝间短路从外观则较难看出,这时可以用测量磁极线圈电阻的方法进行检查。在正常情况下,由于两个线圈的匝数相同,电阻数值也会一样。如果测量出这两个线圈的电阻值相差很远,就说明电阻值小的这个线圈中有短路。

找到短路故障以后,可视具体情况进行修理,绝缘损坏的地方将其重新绝缘即可。如果短路范围大、情况严重,或者线圈已完全烧毁,这时就只有重绕新线圈了。

#### 3. 定子绕组断路故障

定子绕组由于机械性碰撞、拉扯或严重的通地、短路故障等原因,有可能造成绕组的断路故障。单相串激电动机定子绕组断路后,其整个电路就断开了,接上电源后由于没有

电流,电动机也将无法启动。

如绕组断路只是因为引出线、连接线脱焊或断裂所致,则从绕组外观就能检查出故障所在。断路点如发生在线圈内部,就要将定子绕组与电枢绕组的连接线拆开,用试灯或万用表的电阻挡来检查每个励磁线圈的通断。

修理定子绕组时,先要将磁极线圈从磁极上取下来,然后根据损坏的具体情况进行针对性修理。如果明显是引线断裂,只需重新焊接起来就行了。假如整个线圈绝缘完好,仅线圈的外层断掉几匝,可将断掉的这几匝拆除,用相同的电磁线补绕几匝焊接上。当整个线圈已烧毁,或断路点深埋线圈内部,无法局部修复时,就只有重新绕制定子线圈。

#### 4. 定子绕组接错故障

单相串激电动机是采用集中式励磁绕组,磁极线圈之间是按照“头与头相接,尾与尾相联”的显极接法进行连接。如图 7-14(a)所示,定子绕组的正确接法应为,两磁极线圈内流过的电流一正一负,产生的两个磁极则一个是 N 极,一个为 S 极。如果将图 7-14(a)中下面磁极线圈的两个线端对换一下,就得到图 7-14(b)。这时由于下面一个磁极线圈反接,使得两个磁极都成了 S 极。因两个 S 极产生的电磁转矩是相反的,故电动机也就不能正常工作。

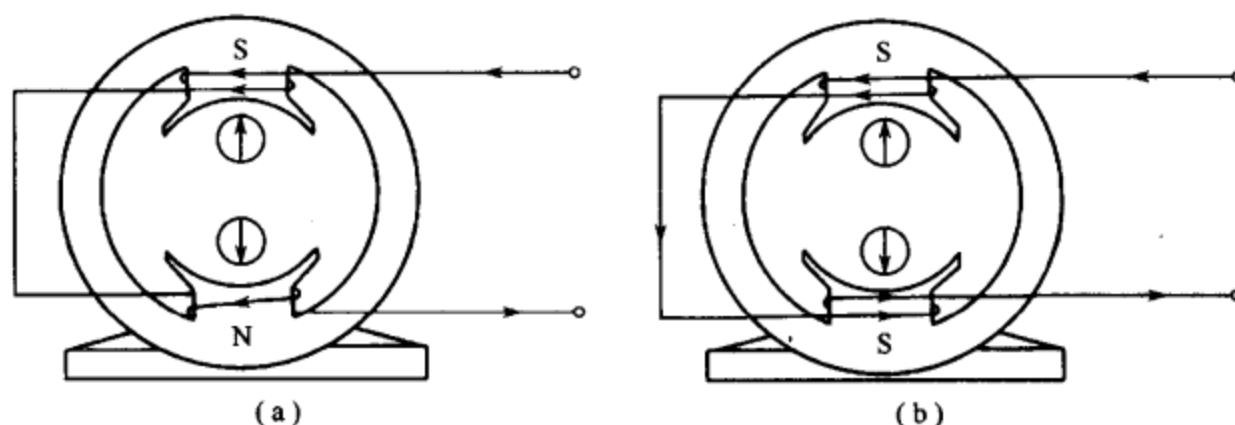


图 7-14 单相串激电动机定子绕组的接法

(a)磁极绕组的正确接法; (b)磁极绕组接反的错误接法。

检查定子绕组接线是否正确,最简单的方法就是指南针法。将指南针放入定子内腔,由于 N、S 极互相吸引的缘故,在图 7-14(a)中,当指南针靠近上面 S 极时,必定是指针的 N 端指向磁极。当指南针靠近下面 N 极时,必定是指针 S 端指向磁极。在图 7-14(b)中,由于磁极线圈接错,两个磁极都成为 S 极。此时,不论指南针靠近上面还是下面的一个磁极,指南针的 N 端都指向磁极。修理定子绕组接错的故障,只需找出接反的磁极线圈,将其引线端头、尾对换过来,重新连接即可。

**重点提示** 定子绕组重绕时,先将定子绕组取出,加热软化后,用两块木板夹住,在台虎钳上压平。拆去外包绝缘物,测量线圈尺寸、导线直径,数清匝数。按线圈尺寸做好木模,用相同型号规格的导线在木模上绕足匝数,包好绝缘物,再外包白布带作保护层,试装合适后浸漆烘干,套装在磁极上。两个线圈采用“尾接尾”的方法相连接。

## 二、电枢绕组的修理

电枢绕组是单相串激电动机中任务最繁重、使用条件最恶劣、最易损坏的部件。绝大多数电气故障都是发生在高速旋转的电枢绕组上。电枢绕组常见的故障有:通地、短路、断路、接错等四类。同时,由于电枢绕组是通过换向器将单个线圈元件连接成一个整体绕



组的,换向器本身发生的通地、短路故障就必然会反映到绕组上来。下面简要说明电枢绕组的常见故障。

### 1. 电枢绕组的通地故障

电枢绕组的通地故障一般均发生在铁芯两端的槽口、绝缘物被毛刺或金属杂物损伤的槽中,以及易受潮气、污物侵害的换向器等薄弱的地方。对通地故障可用以下几种方法进行检查。

#### 1) 外观检查

仔细察看槽口绝缘物、槽底绝缘物有无电弧烧伤、破裂,槽内绝缘物有无移动,至使线圈直接与铁芯碰接而形成通地的地方。如看不到接地痕迹,则要用其他方法检查。

#### 2) 用试验灯检查

如图 7-15 所示,将电源的一根线直接接到转轴上,另一根线串接一个灯泡后接触换向片。如灯泡不亮,即说明绕组或换向器与转轴之间未形成通路,无通地故障,如灯泡发亮,则说明绕组或换向器与转轴已接通,存在有通地故障。

#### 3) 用万用表检查

将万用表置在欧姆挡,一端接在铁芯或转轴上,另一端接触在任一换向片上。若万用表有指示,表明绕组或换向器有接地点。这时应继续逐片测量,当测出的电阻值为零或最小的一片换向片,此处就是通地位置。另外,电枢绕组通地故障还可用兆姆表进行检查。

另外,还可以用万用表的电压挡检查通地位置。万用表的一端接在铁芯或轴上,另一端接在换向片上。测量几片以后,万用表若均无动静,则证明绕组和换向器都无通地之处。如测至某一换向片时有指示,则表明有通地现象,可继续测量,当测出电压为零或最小的换向片时,这里就是通地故障的位置。

通地故障的修理要视具体情况而定。如通地故障是在槽口、端部等绕组的外面位置,一般都是可以修好的。修理时,可用理线板将线圈与铁芯相碰处小心撬开,在绝缘破损处插入新的绝缘材料即可。如通地故障发生在槽内,并且绝缘击穿通地的线圈元件只有一个,可以采取如图 7-16 所示的废弃法进行修理。修理时,先将通地线圈的线端从换向片上焊下来。焊下来的线端要分开并用绝缘带包好,使线端之间及与换向片间不再接触,线圈完全脱离电路。焊下线端的两片换向片再用连接线焊好。这样,就把通地线圈废弃不用了。

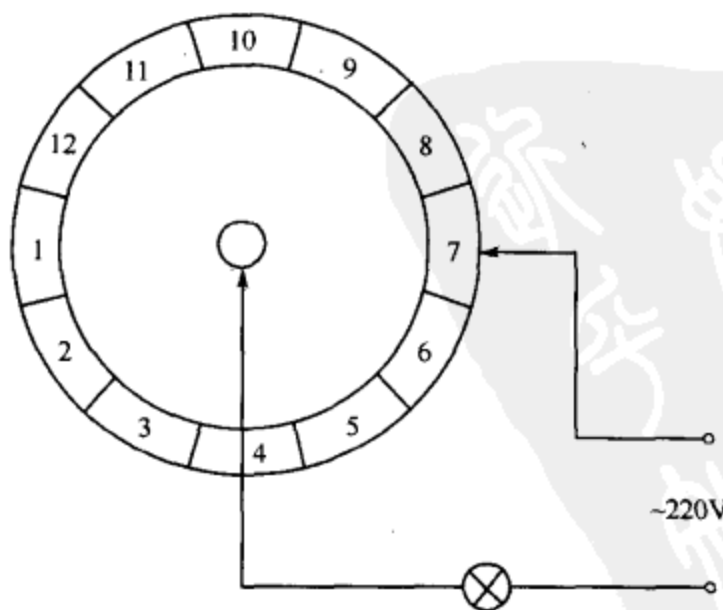


图 7-15 用试验灯检查通地故障

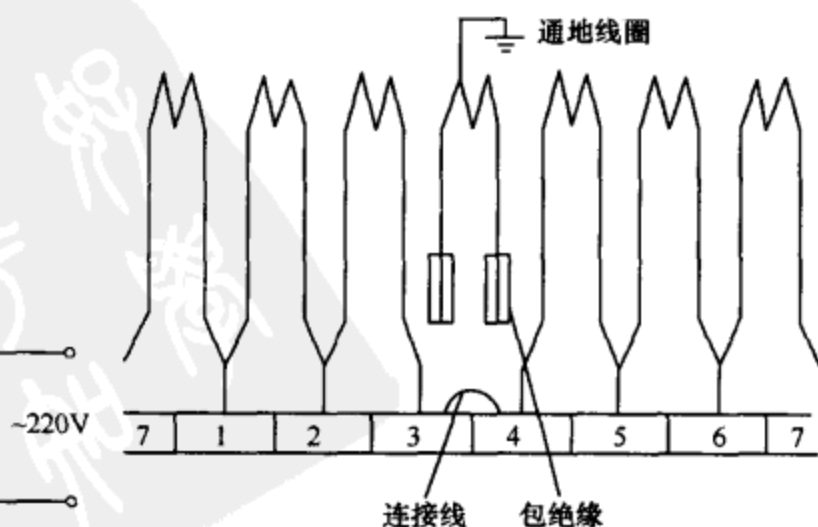


图 7-16 一个线圈通地故障的处理

单相串激电动机电枢绕组或换向器出现通地故障后,如继续运转,除使壳体带电危及操作者安全外,电动机转速会比正常时慢很多。电枢将产生振动,并出现异常的大火花。短小时内绕组就会产生高热,继续运转则很快会将绕组进一步烧毁。

## 2. 电枢绕组的短路故障

电枢绕组或换向器发生短路故障的现象比较多,造成短路故障的原因主要如下:

一是电动机长时期超负载运行,电枢电流超过额定值,使电枢绕组发热,温度升高,久而久之造成绝缘物加速老化。若超载时间长,便很容易引起电枢绕组短路。

二是转子在高速旋转中,由于电刷与换向器之间在不断摩擦,碳粉、铜屑存留在换向片之间的槽中,这些导电杂质积累多了,会使相邻两换向片联通而产生片间短路,与这两个换向片连接的线圈元件也就同样短路了。

三是电枢绕组内线圈组之间承受的高电压,以及换向器每分钟万次以上激烈换向变化而感生很高的换向电势。在这两种电势的作用下,很容易击穿导线的绝缘,尤其是在负载过重、绕组受潮、导电杂质积累过多等情况下,更容易导致绕组间短路。

电枢绕组的短路根据其短路位置的不同,可分为以下三种情况。①是一个线圈内自身的线匝短路,称为线圈短路;②是同一线圈组内的线圈与线圈短路,称线圈相互短路;③是一个线圈组的线圈与另一线圈组的线圈短路,称线圈组相互短路。

电枢绕组或换向器的短路故障,可用以下方法进行检查。

### 1) 外观检查

必须仔细察看绕组端部、槽口、换向器等处是否有碰伤、烧伤等短路痕迹。若看不出异常处,则可用其他方法进行检查。

### 2) 用万用表检查

用万用表的电阻挡检查每个线圈元件本身是否短路时,可依次测量相邻换向片间的电阻,如图 7-17 所示。检查每槽有三个线圈元件的绕组时,必须每三对相邻的换向片(即三个线圈)的电阻完全相等,这就证明没有短路。因为同处一槽内的三个线圈元件它们是一起绕成的,所以各线圈的电阻均应相等。

检查线圈之间是否短路时(图 7-18),先测换向片 1 和 3,再测 2 和 4,然后测 1 和 4。其余的换向片都这样依次测量下去,全部测完为止。如果测得换向片 1 和 3、2 和 4 的电

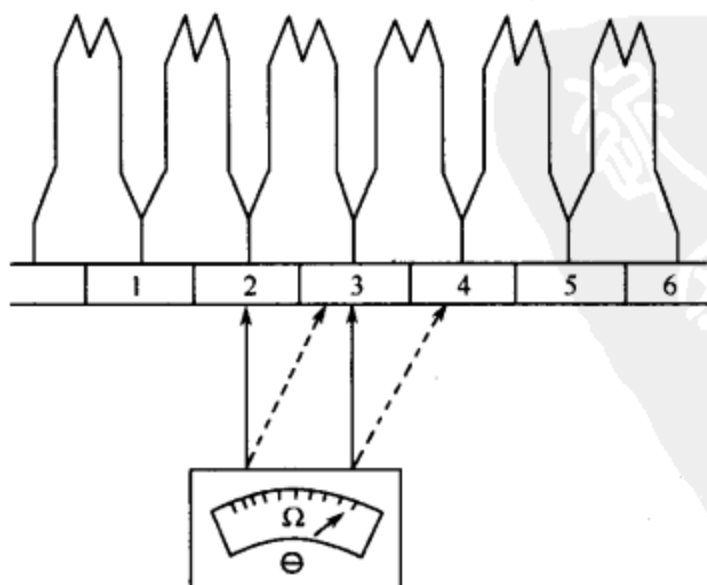


图 7-17 用万用表检查线圈本身是否短路

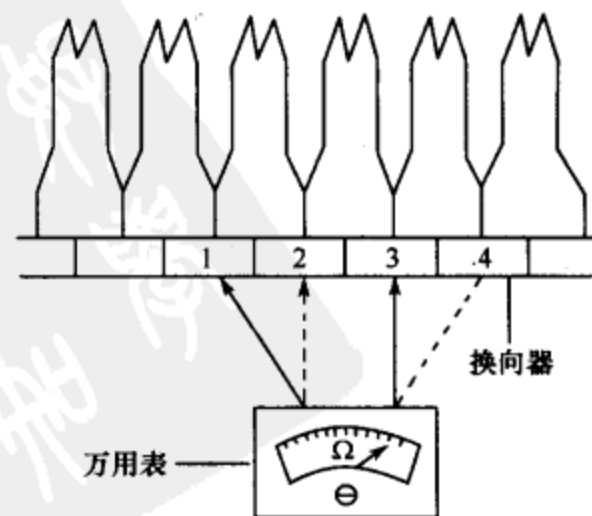


图 7-18 用万用表检查线圈之间是否短路

阻都等于两个线圈元件的电阻,1和4的电阻则等于三个线圈的电阻,就说明线圈相互间没有短路。若测得的电阻比该数值小很多,就是线圈相互间短路了。

检查线圈组之间是否短路时(图7-19),将万用表置于电阻挡,两只表笔依次接触在换向器直径相对的换向片上,依次测量换向器对角的电阻。在实际检查时,可用一手拿着两只试笔,用另一只手缓慢而均匀地转动电枢。电枢转过几圈后,若电阻表的读数始终没有差别,则表明电枢绕组正常。如果发现在某些换向片上的电阻逐渐减小,然后又由小逐渐增大至原来读数,就证明线圈组相互间有短路现象。

电枢绕组如仅因端部碰伤造成几匝短路,或在铁芯槽外由烧伤造成轻微短路,而短路点凭眼就能看到时,这样的短路故障一般均可以修复。修理时,可先将电枢绕组烘热变软,用光滑的竹片将绝缘漆层损坏而相互碰触的导线拨开,再用薄软的绝缘绸加以隔垫,然后刷上绝缘漆烘干即可。如果查明不是换向片短路,而是绕组短路,那么最好的修理方法就是重换新绕组。

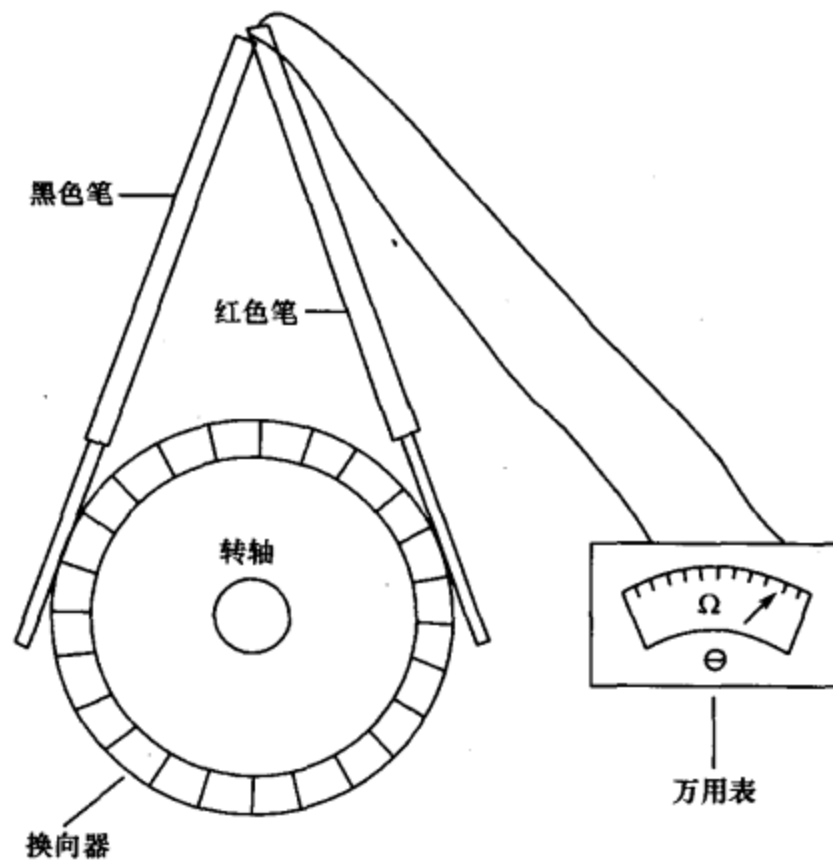


图7-19 用万用表检查线圈组之间是否短路

电枢绕组或换向器短路后,将使电动机转速降低、力矩减小、电流增大、电刷下产生强烈的火花,将换向器烧黑。运转时,短时间内便发热冒烟,甚至换向器上形成环火,继续运转,能很快使电枢绕组烧毁。因此,一旦发生短路故障即应检查修复,以免故障扩大造成更大的损失。

### 3. 电枢绕组的断路故障

断路是电枢绕组最常见的故障,线圈线端至换向片的焊接处是较容易发生断路的地方。原因是焊接不良或线端在除去绝缘漆膜时受损伤,以及焊接时线端崩得过紧,浸漆后线端受力过大而损伤。当电动机运转时,上述这些情况就可能造成线端在焊接处烧断。此外,由于过载或其他原因,换向器与电刷之间产生大火花,换向器过热将焊锡熔化,造成线端脱焊形成断路;或因发生短路、通地故障而将导线烧断,形成绕组内部断路。

电枢绕组断路故障可用以下方法进行检查。

#### 1) 外观检查

仔细检查绕组端部、槽口、换向片接线处等地方是否有烧伤、碰伤等断路痕迹。如看不到异常处,则可用其他方法进行检查。

#### 2) 用万用表检查

如图 7-20 所示,将万用表置于欧姆挡。检查时,可任意选一换向片开始,测量相邻两换向片间的电阻。如先测 1 和 2 两换向片,再测 2 和 3 两换向片,依次测完全部换向片。如果所有相邻换向片间的电阻都基本相等,则说明绕组没有断路。若某相邻两换向片间的电阻,比其他相邻换向片间电阻大若干倍时,则证明这两换向片上的线圈断路了,同时表明绕组的其他部分再没有断路。不过仍应继续检测,这是因为有时焊接线端虽然已与换向片断开,但两根线端却仍然接在一起,形成绕组本身没有断路的现象,如图中 a 处的情况。

找到断路位置后,将绕组外面绑扎的蜡线部分拆除,再仔细找出断路的确切位置。如果是脱焊,只需重新焊接即可;若线端断处在电枢端部,则需再拆除一部分捆扎蜡线,在断头处焊接一根导线,并套上绝缘套管,然后重新捆扎蜡线;如果断路处在电枢铁芯槽内,此时可将断路的那只线圈所连接的两换向片上跨接一根短路铜线,或将这两相邻换向片直接短路。经这样处理后,电动机性能无大变仍可继续使用。然而,当绕组断路点多的话,则不能采用这一方法。因为被直接短接的线圈越多,电枢绕组的匝数减少的量越大,将使电枢的转速不稳定,并引起电枢绕组发热。因此,当电枢绕组中出现 2 个~3 个线圈断路时,就必须重换新的电枢绕组。图 7-21 为电枢绕组断路故障的应急处理。

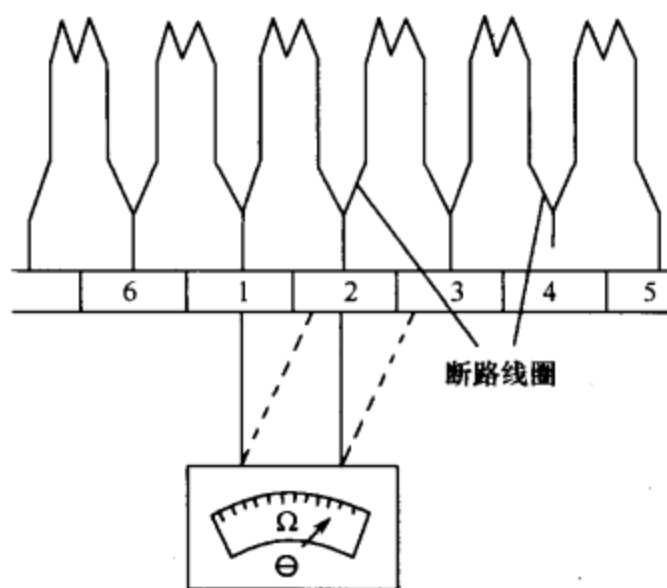


图 7-20 用万用表检查绕组断路

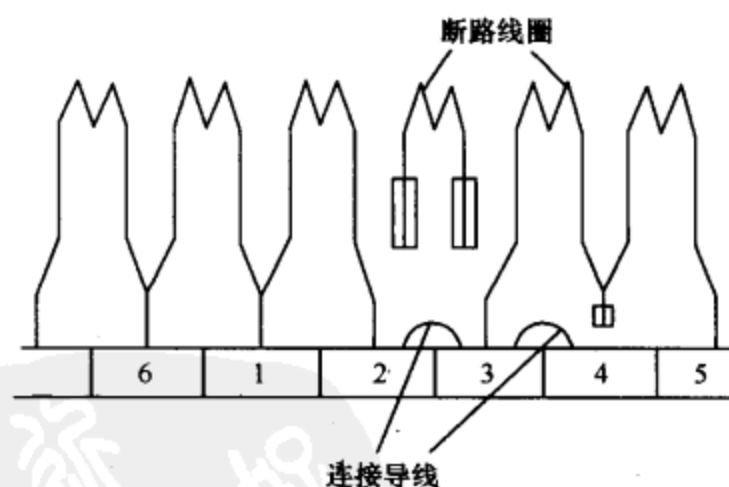


图 7-21 断路故障的应急处理

### 4. 电枢绕组接反的故障

电枢绕组接反的故障往往发生在绕组重绕之后,由于接线时的粗心和疏忽,把线圈元件到换向片的两个线端接反了。线圈的错接情况有两种。

#### 1) 线圈元件接反

如图 7-22 中元件 2 所示,从图中可以看出,线圈元件之间的正确接法应该是相邻元件之间首、尾相接。如元件 1 的尾端与元件 2 的首端共接在同一换向片上,元件 2 的尾端与元件 3 的首端相连,这样依次串联下去,直到最后一个元件的尾端与元件 1 的首端相连

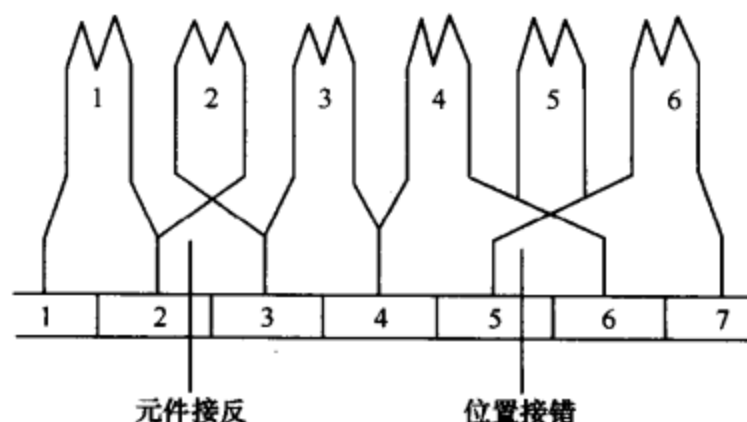


图 7-22 线圈元件接反和位置接错

而构成一闭合绕组。但图中元件 1 与元件 2 之间都是尾端与尾端相连,元件 2 与元件 3 之间则成为首端和首端相接,显然,元件 2 接反了。

### 2) 线圈元件线端位置接错

从图 7-22 中元件 4、5、6 可以看出,这三个元件之间串联的方法还是正确的,即相邻元件首、尾端相连。但元件串联好以后,接到换向器上的位置却错了。元件 4、5 的首、尾线端原应接到换向片 5 上,但实际却接到了换向片 6。而元件 5、6 的首、尾线端原应接至 6,实际上却接到了换向片 5。

不论是线圈元件反接或是线端接线位置错误,都将对电机性能带来不利影响。由于线圈元件接反的错误都是发生在电枢绕组重绕后。因此,当重绕电枢绕组时接线一定要认真、仔细,电枢绕组接线完毕后要作必要的检查、试验,尽量防止线圈接反的错误发生。

## 5. 电枢绕组的重绕

电枢绕组的每个线圈依次串联,其头尾分别焊接在相邻的两个换向片上,如图 7-23 所示。线圈节距按下式决定,即

$$\text{奇数槽时, } y = \frac{Z-1}{2}$$

$$\text{偶数槽时, } y = \frac{Z-2}{2}$$

式中:  $y$  为线圈槽节距;  $Z$  为电枢(转子)槽数。

电枢绕组的嵌线一般采用手绕法。绕嵌分为叠绕式及对绕式两种,其工艺步骤如下。

### 1) 放置槽绝缘物

槽绝缘物采用复合聚酯薄膜青壳纸或一层黄蜡布垫加一层青壳纸,绝缘纸高出槽口约 8mm,两端伸出槽外约 3mm,绕组端部包围的转轴周面上包数层黄蜡绸。因为采用手绕法,故绝缘纸应边嵌边放,以便于绕嵌。

### 2) 绕嵌方式

(1) 叠绕式。奇数槽与偶数槽的叠绕方法完全相同,现以 9 槽 9 片的电枢为例。线圈节距  $y = \frac{9-1}{2} = 4$ , 即 1—5 号槽,具体绕嵌步骤如图 7-24 所示。

首先在 1 号槽与 5 号槽之间绕嵌第一个线圈,再在 2 号槽与 6 号槽之间绕嵌第二个线圈,依次绕嵌第三个线圈,这样一个紧接一个绕下去,直到绕嵌完为止。嵌完后,剪去高出铁芯的绝缘纸,余下部分折叠覆盖住导线,端部用纱带或尼龙线扎牢,将扎线头插入槽内压实后,打入槽楔锁紧。

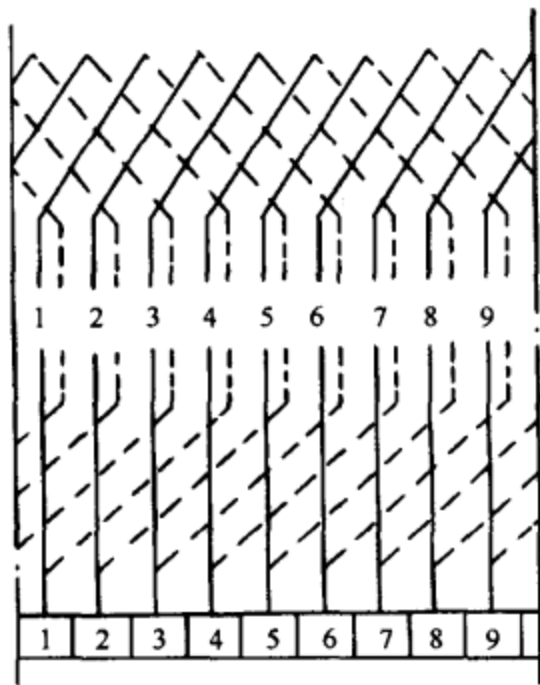


图 7-23 电枢单叠绕组展开图

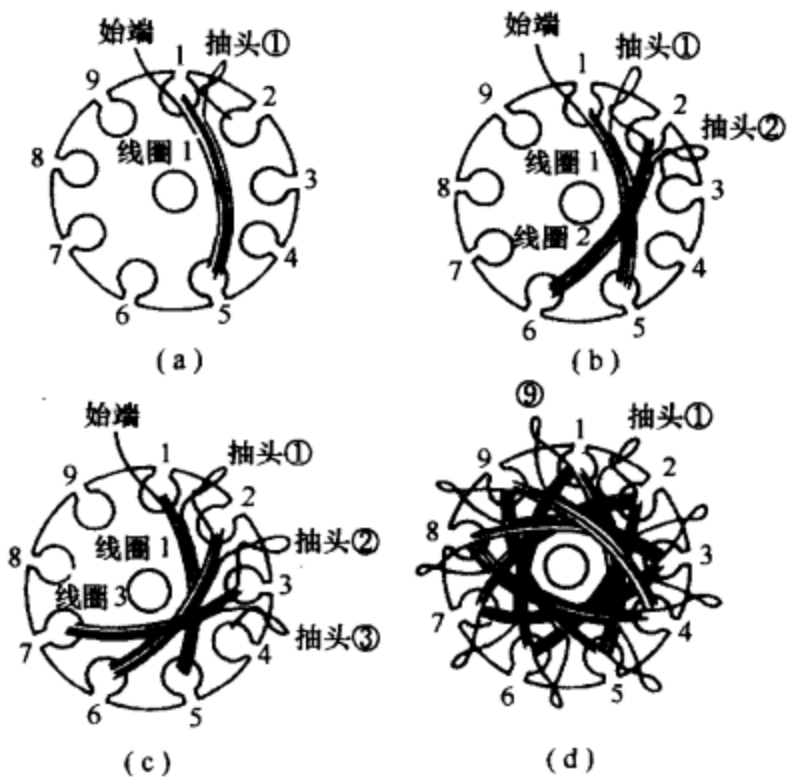


图 7-24 叠绕式绕线步骤

(2) V形对绕式。V形对绕式的特点是依次连续。即从1号槽开始，跨节距绕第一个线圈。绕足匝数后，以该退出槽为起点绕第二个线圈。因第一个线圈与第二个线圈在端面上呈V形，故称为V形对绕式。仍以9槽为例，其绕制步骤如图7-25所示。

首先在1号槽与5号槽之间绕嵌第一个线圈，然后在5号槽与9号槽之间绕嵌第二个线圈，再在9号槽与4号槽之间绕嵌第三个线圈，依次继续绕嵌，直至回到第1槽绕组闭合。

(3) 平行对绕式。当电枢槽数为偶数时，V形对绕不能构成完整的缠绕循环。为了获得更好的对称性与平衡性，可采用平行对绕法。其特点是每绕嵌一次必须平行对称，节距正确。现以10槽铁芯为例来说明其绕嵌规律，如图7-26所示。



图 7-25 V形对绕式嵌线步骤



图 7-26 平等对绕式

先在1号槽与5号槽之间绕嵌第一个线圈，然后平行地在6号槽与10号槽之间绕嵌第二个线圈，完成一对次绕嵌。再按V形对绕法在10号槽与4号槽之间绕嵌第三个线圈，然后平行地在5号槽与9号槽之间绕嵌第四个线圈，又完成上对次绕嵌。依次绕嵌完10个线圈为止。绕嵌顺序是：1—5、6—10、10—4、5—9、9—3、4—8、8—2、3—7、7—1、2—6。

对于换向片数为2倍或3倍槽数的绕组,其叠绕的方法与上述相似。例如,9槽18片电枢,先在1号槽与5号槽之间绕嵌第一个线圈,绕完所需匝数后,引出一个抽头;再在槽中绕嵌第二个线圈,绕足匝数后同样引出抽头。继而将第三及第四个线圈绕嵌于2号槽与6号槽中,这样依次绕嵌下去,直到全部线圈嵌完为止。为了区别同一槽中的第一个抽头与第二个抽头,可在抽头上套以不同颜色的套管,或将第二个抽头留长些。

叠绕法工艺比较简单,但端部长度不一致,容易导致转子不平衡和各支路电流不均等,产生振动或火花。对绕法绕组端部能均匀分布,不存在质量和电流不平衡问题,但绕嵌工艺比较复杂,易出差错。

### 3) 绕组与换向片的焊接

绕组引出线与换向片的正确焊接是修理转子绕组难度较大的工作。搞清绕组、换向片、电刷及磁场之间的相互关系,找出其规律性,是正确焊接的基础,其中最重要的一点是被电刷短路的线圈的两个边要处于磁场中性线附近。但是,电动机工作时,由于电枢反应的作用,磁场中性线不再与几何中性线重合,而是反向偏移一个小的角度。所以,对大多数刷握固定的转子绕组,就不能把线头直接焊在与线槽对准的换向片上,而要沿旋转方向移出1片~2片换向片。也有少数电动机把线头焊在与线槽对正的换向片上,这是由于设计时已作了考虑或者刷握可以移动。

焊接线头与换向片用溶解于酒精中的松香作焊剂,焊好后测量绝缘电阻及片间电阻,然后进行浸漆与烘干。试机时如有火花,将各抽头向左或向右移过一片换向片便可消除。

### 4) 绕组的绑扎

为了防止换向片上焊接的线头在高速运转时受离心力作用而松开,需在绕组端部用蜡线进行绑扎。先将厚0.2mm的玻璃丝漆布或黄蜡绸剪成扇形包封片,用其将端部线头包好并用蜡线临时扎住。绑扎工艺如图7-27所示。起端线头留出约150mm并垂直反折铁芯侧,从靠换向器处扎起,绑一圈压住反折的线头继续绑扎,约1/3圈后,将反折的线头折回换向器,回折圈在铁芯上,如图7-27(a)所示。压住折回的线头继续绑扎,一直扎满到紧靠铁芯时,留出60mm左右剪断线尾,并将线尾穿过线头的回折圈,如图7-27(b)所示。然后用力拉线头,当回折圈套紧线尾时,将线尾剪去40mm,再拉线头,把线尾拉入扎线下面,多余的剪去,绑扎完成。

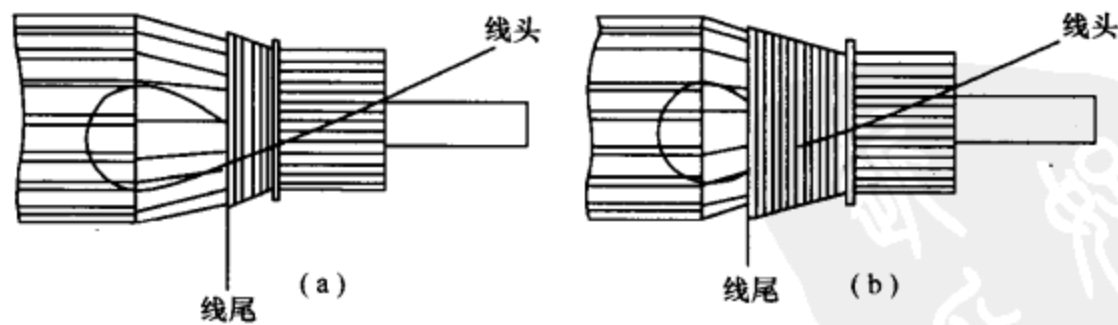


图 7-27 电枢端部绑扎

### 5) 检查试验

检查接地、短路的方法与其它电动机相同。检查绕组焊接质量和绕组与换向片是否接错,可用万用表电阻挡依次在相邻两片换向片上测量线圈的电阻。如果两片间电阻值大致相等,则为正常;如果某两片间电阻值增大很多,说明存在错接或焊接不良。这时前表笔固定不动,将后表笔继续后移一片或两片换向片测量。若电阻值与前面测量的大多

数线圈电阻值大致相等,则表示后一根线头与前相邻换向片的线头反接,可改换位置再测。

#### 6) 浸漆与烘干

绝缘处理与异步电动机相似,浸烘两次以上。

### 三、换向器与电刷的修理

如果电刷与换向器接触不良,会在换向器与电刷之间产生较大的火花,严重时可产生环火,导致电动机不能启动、扭矩减小、换向器表面灼伤等。

造成换向器与电刷接触不良的原因有电刷磨损(一般电刷磨损到 1/3 时应更换)、电刷弹簧失效(如锈蚀、退火变形)、换向器表面有污渍或炭粉、电刷选用不当等。

如果换向器与电刷间火花过大,必须仔细检查刷握、弹簧、换向器和电刷。如果电刷接触面不够,可按图 7-28 所示的方法研磨电刷。

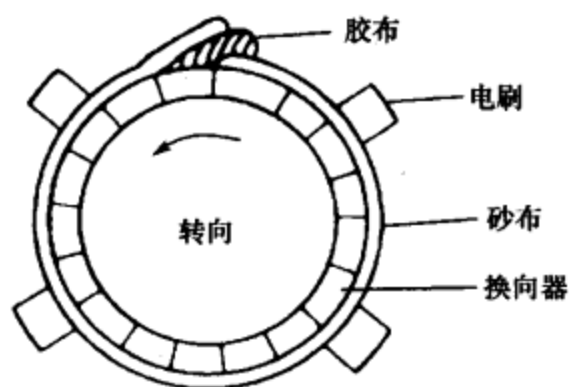


图 7-28 电刷的研磨方法

研磨电刷的接触面必须用 0 号砂布,砂布的宽度等于换向器的长度,砂布的长度为换向器的周长,把砂布首尾用胶布粘住,转动转子研磨电刷,使其接触面达到 90% 以上。

如换向器有轻微灼痕,可用 0 号砂布研磨换向器。如换向器表面出现严重灼痕和沟槽,表面不圆,则应拆下转子放在车床上修整,将换向器表面车光滑。车好后,需用挖沟工具将换向片间云母下刻 1mm~1.5mm,再用砂布清除毛刺并擦净粉尘。





## 第八章 直流电动机的原理与维修

直流电动机是由直流供电,将电能转化为机械能的旋转机械装置,与三相异步电动机相比,直流电动机结构复杂:一是直流电动机需要直流电源,即在定子部分中,由励磁绕组通入直流电流后,主磁极产生固定的极性,使生产成本高;二是需要换向设备,包括换向器、电刷等装置以及一些附加的为改善内部磁场分布的换向磁极等部分,导致生产成本低、维护不便。但直流电动机调速性能较好,启动转矩较大。因此,对调速性能要求较高的生产机械(如龙门刨床、镗床、轧钢机等)或需要较大的启动转矩的生产机械(如起重机械、电力牵引等)往往采用直流电动机驱动。在自动控制系统和家用电器中,小型直流电动机也得到了广泛的应用,如录音机、录像机、电动剃须刀等都采用直流电动机作电源。本章主要介绍直流电动机的结构、原理、控制与维修等内容。

### 第一节 直流电动机的构造和分类

#### 一、直流电动机的结构

作为一种旋转电机的直流电动机,其结构与三相异步电动机基本相似,其主体也包括定子和转子(电枢)两大部分。其外形结构和内部组装部件如图 8-1 所示。

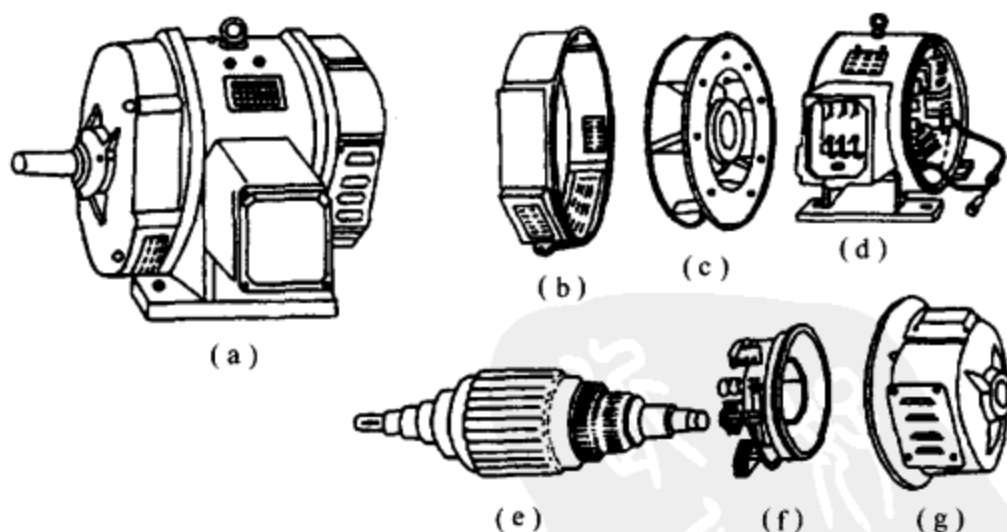


图 8-1 直流电动机的外形及内部组装部件

(a)直流电机外形图;(b)前端盖;(c)风扇;(d)定子;(e)转子;(f)电刷装置;(g)后端盖。

#### 1. 定子

定子由主磁极、换向极和机座三部分组成,是用来产生磁通和进行机械固定的。

##### 1) 主磁极

主磁极用来产生磁场,分为极心和极掌两部分。极心上放置励磁绕组,励磁绕组通入

直流励磁电流时,主磁极即产生固定的极性;改变励磁电流的方向,可以改变主磁极的极性。极掌的作用是使电机空气隙中的磁感应强度的分布最为合适,并用来挡住励磁绕组。主磁极通常由厚 1mm~0.5mm 的低碳钢片叠成,固定在机座上小型直流电动机中,一般用永久磁铁作为磁极。直流电机的磁极及磁路如图 8-2 所示。

### 2) 换向极

换向极的作用是改善换向,使电动机运行时电刷下不产生有害的火花。与主磁极一样,换向极也是由铁芯和绕组两部分组成,并固定在机座上。直流电机的换向极如图 8-3 所示。

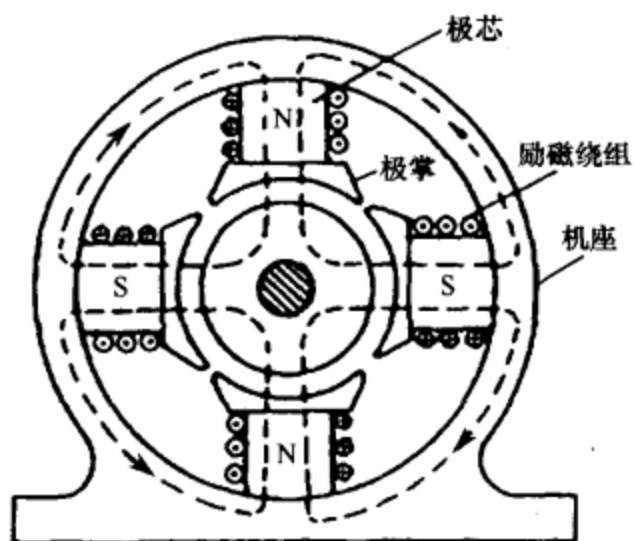


图 8-2 直流电机的磁极与磁路

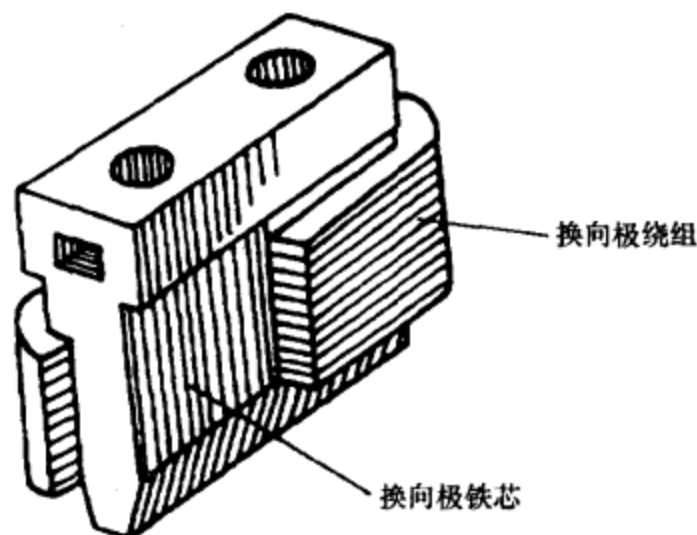


图 8-3 直流电机的换向极

### 3) 机座

机座又称电机外壳,它既是电机磁路的一部分,又用来固定主磁极、换向极、端盖等零部件,所以要求它有良好的导磁性能和机械强度,一般采用低碳钢浇注或钢板焊接而成。

### 2. 电枢(转子)

电枢由电枢铁芯、电枢绕组和换向器三部分组成,用来产生电动势。

#### 1) 电枢铁芯

电枢铁芯在旋转时被交变磁化。为了减少铁芯损耗,通常采用厚 0.35mm~0.55mm 的硅钢片叠装而成。圆柱状叠片两面涂绝缘漆,作片间绝缘用。其表面冲有槽,槽中放电枢绕组。如图 8-4 所示。

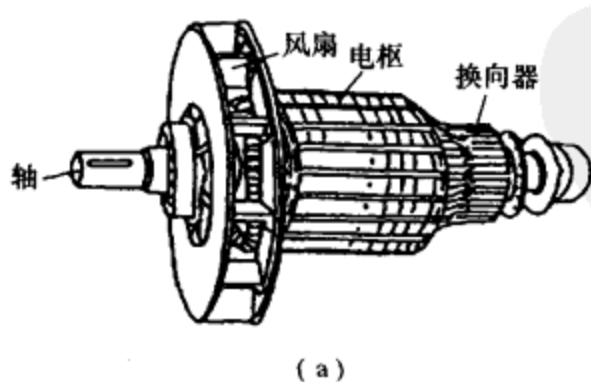


图 8-4 电枢铁芯

(a) 直流电机的转子; (b) 电枢铁芯冲片。

#### 2) 电枢绕组

电枢绕组的作用是产生感应电动势和电磁转矩,从而实现能量转换,是电机的重要部

件。电枢绕组是由绝缘铜线绕制而成的许多个线圈,嵌放在电枢铁芯槽内,按一定规律经换向片连接成整体,绕组在槽内的部分,用绝缘槽楔压紧,其槽外端部分用无纬玻璃丝带绑扎。

### 3)换向器

换向器亦称整流子,起整流作用,其作用是使电枢绕组中的电流方向交替变化,以保证其电磁转矩方向始终不变。换向器由许多楔形铜片和间隙为 $0.4\text{mm}\sim 1.0\text{mm}$ 云母片绝缘组装而成的圆柱体,每片换向片的一端有突出的部分,上面铣有线槽供线圈引出端焊接用。换向片的下部做成燕尾形,然后用钢制的V形套筒和V形云母环固定,称为金属换向器,如图8-5所示。小型直流电机一般则采用塑料热压成型固定的换向器,称为塑料换向器。

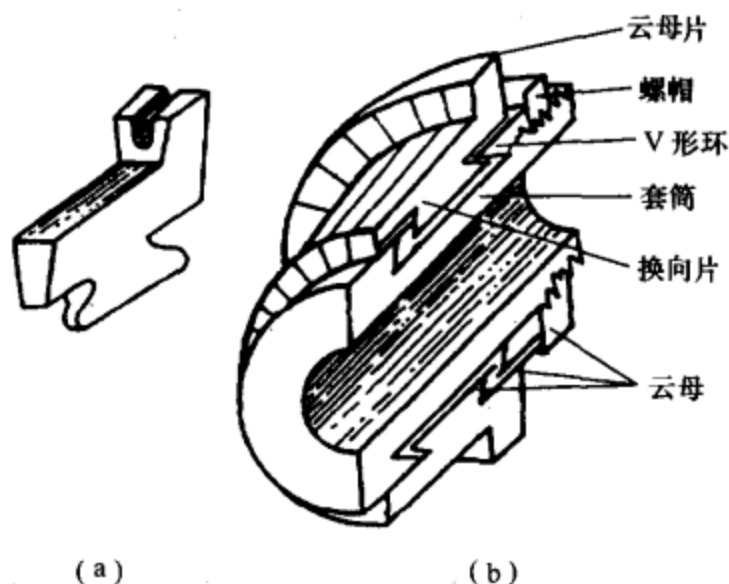


图 8-5 换向器  
(a)换向片;(b)换向器。

### 3. 端盖

端盖上有轴承以支撑电机转子旋转,端盖固定在机座的两端,使电动机做成一个整体。

### 4. 电刷装置

电刷装置的作用是使旋转的电枢绕组与固定不动的外电路相连接,将直流电流引入或引出。

**重点提示** 直流电动机的绕组:

直流电动机主要有固定在主磁极上的励磁绕组,其作用是建立主磁场;安装在电枢铁芯上的电枢绕组,其作用是完成电能到机械能的转换;此外,还有换向绕组,通电后产生磁场,用以改善换向的功能。所以,直流电动机工作时的磁场是由各个绕组的总磁动势所共同产生的,但是其中的励磁绕组的磁动势起着最主要的作用。

## 二、直流电动机的分类

根据直流电动机的定子磁场不同,可将直流电动机分为两大类,一类是永磁式直流电动机,它的定子磁极由永久磁铁组成;另一类为激磁式直流电动机,它的定子磁极由铁芯和激磁线圈组成。

### 1. 永磁式直流电动机

永磁式直流电动机的体积小,功率也较小,但运行速度稳定。录音机、录像机、电动剃须器中的电动机都是永磁式直流电动机。

### 2. 激磁式直流电动机

激磁式直流电动机的定子磁极由铁芯和激磁绕组组成。由于激磁绕组的供电方式不同,激磁式直流电动机又分为下面四种:

(1)他激直流电动机。他激式直流电动机的激磁绕组与电枢绕组使用两个单独电源。特点是启动性能好、运行稳定,并且易于调速。

(2)并激直流电动机。并激式直流电动机的激磁绕组与电枢绕组并联,共同用一个直流电源,特点是运行稳定。

(3)串激直流电动机。串激式直流电动机的激磁绕组与电枢绕组串联,共同用一个直流电源。特点是有较强的过载能力。

(4)复激直流电动机。复激式直流电动机的激磁绕组分为两组,其中一组与电枢绕组并联,另一组与电枢绕组串联。电枢绕组与激磁绕组共同用一个直流电源。

## 三、直流电动机的型号和额定值

### 1. 直流电动机的型号

目前,我国生产的直流电动机主要有以下系列产品:

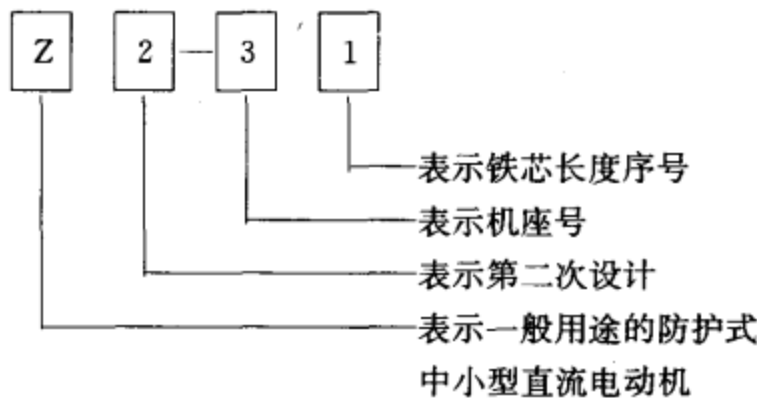
Z2系列:是一般用途的中小型直流电动机,功率为0.4kW~200kW;转速为600r/min~3000r/min;调速范围3:1或4:1。

Z3、Z4系列:是一般用途的中小型直流电动机的新产品。

ZD系列:是一般用途的大中型直流电动机,用于大中型机床、造纸机等,转速为230r/min~1500 r/min,电动机电压为220V、330V、440V、660V。

ZZY系列:是起重冶金用直流电动机。

电动机的型号是用来表示电动机的主要特点的,它由产品代号和规格代号等部分组成,例如,Z132L-TH各符号表示意义如下:



### 2. 直流电动机的额定值

电机制造厂在每台电动机的机座上都钉有一块铭牌,上面标出该电动机的主要技术数据,称为该电动机的额定值。下面介绍直流电动机的主要额定值。

#### 1) 额定功率 $P_N$

额定功率指电动机在规定的额定状态下运行时输出的功率,单位为kW。对发电机来说,额定功率是指发电机端点输出的电功率,其值等于额定电压与额定电流的乘积;对

电动机来说,额定功率是指电动机轴上输出的机械功率,其值等于额定电压与额定电流的乘积再乘以额定效率。

#### 2) 额定电压 $U_N$

电动机长期安全运行时所能承受的电压称为额定电压,单位为 V。

#### 3) 额定电流 $I_N$

额定电流指电动机在额定电压下,转轴有额定功率输出时的定子绕组电流,单位为 A。

#### 4) 额定转速 $n_N$

额定转速指电动机在额定电压和额定电流下,额定功率输出时的转子转速,单位为 r/min。

除上述额定值外,还有诸如额定效率  $\eta_N$ 、额定转矩  $M_N$  额定值,它们不一定标在铭牌上,但它们中某些数据可以根据铭牌数据推算出来,例如,电动机的额定输出转矩可按下式计算,即

$$M_N = 9550 \frac{P_N}{n_N}$$

额定值是经济合理地选择电机的依据,如果电机运行时,其各物理量(如电压、电流、转速等)均等于额定值,则称此时电机运行于额定状态。电机额定运行时,可以充分可靠地发挥电机的能力。如果电机运行时,其电枢电流超过额定值,称为超载或过载运行;反之,若小于额定电流运行,则称为轻载。超载将使电机过热,降低使用寿命,甚至损坏电动机。轻载则浪费电机功率,降低电机效率。

## 第二节 直流电动机的工作原理

### 一、直流电动机的基本工作原理

直流电动机的定子磁场由永久磁铁或由定子磁极通以激磁电流产生,定子磁场的方向是不变的。电枢上通有电流的电枢绕组置于定子磁场当中。电枢绕组由许多线圈组成,为了简化直流电动机结构以说明其工作原理,我们取其电枢中的一个单匝线圈来分析其在磁场中所受到的磁场力。如图 8-6 所示,线圈 abcd 为绕轴可转动的线圈,线圈两端头分别与两个换向片连接,每个换向片又各与一个电刷保持滑动接触,而每个电刷通过引线 with 直流电源相接。

当直流电源接通后,电流从电源正极经电刷 A 和换向片进入位于 N 极区的电枢线圈边 ab,再从位于 S 极区的线圈边 cd 流出,最后经另一个换向片和电刷 B 流到电源负极,如图 8-6(a)所示。线圈 ab 和 cd 作为载流导体要受到磁场力的作用,力的方向可用左手定则判定。可以判定出,ab 受到向左的力  $f$ ,cd 受到向右的力  $f$ ,这两个力对转轴形成逆时针方向力矩,线圈被驱动沿逆时针方向转动。因此,电枢逆时针方向旋转。

当电枢转动  $180^\circ$  以后,线圈边 ab 和 cd 位置如图 8-6(b)所示,而换向器也与线圈同时转动,从而保证了两磁极间的线圈边中电流的方向总是不变,这也就保证了线圈所受电磁力矩的方向不变,电枢将沿着逆时针方向继续旋转下去。就是说,不管 ab 边还是 cd

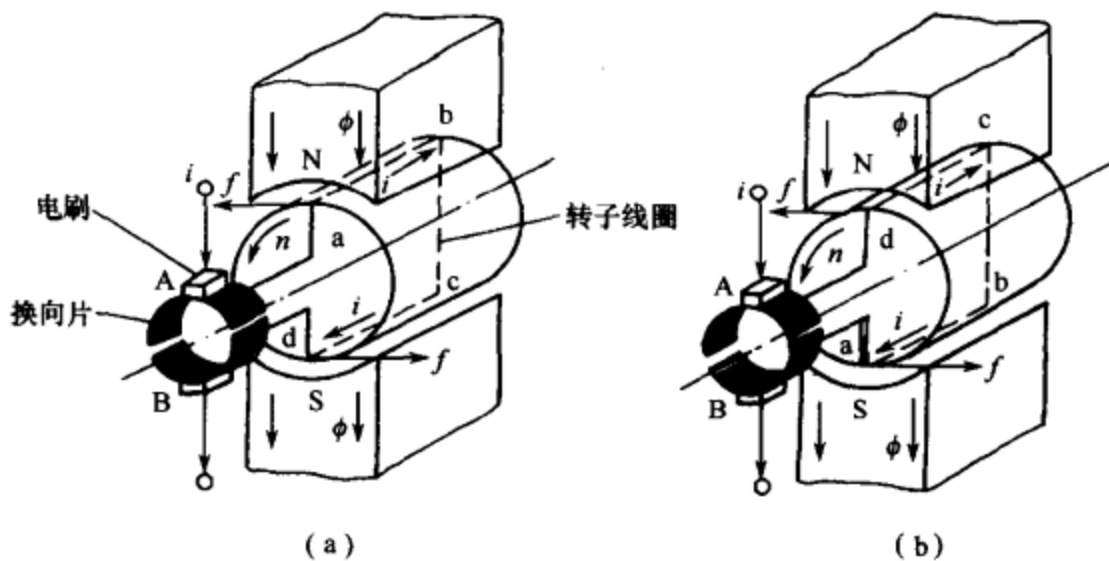


图 8-6 直流电动机的工作原理

边,哪条边转到上半部位(靠近 N 极),哪条边就将受到向左的力;哪条边转到下半部位(靠近 S 极),它就将受到向右的力,因而整个线圈所受力矩的方向始终不变。

通过上述分析可知,换向器的作用是保证当直流电动机电枢上的导体从一个磁极转到另一个磁极下的时候,导体内的电流也能及时换向,从而保证电枢的电磁转矩方向不变,使电动机转向不变。

## 二、电枢电势与电磁转矩

### 1. 电枢绕组的电枢电势

电动机电枢线圈通电后在磁场中受力而旋转。当电枢在磁场中转动时,线圈中也要产生感应电动势,称为电枢电势。由右手定则可知,电枢电势的方向与电流或外加电压的方向总是相反,故又称反电动势。其大小表示为

$$E_a = k_E \Phi n$$

式中: $k_E$  为由电机结构确定的一个常数,称为电势常数; $\Phi$  为每极磁通(Wb); $n$  为电枢转速(r/min)。

电枢电势的方向由磁通方向和电枢的旋转方向决定,改变其中任何一个的方向,其方向都会随之改变。

### 2. 电枢绕组的电磁转矩

电枢绕组的电磁转矩是由电枢电流和主磁场共同作用产生的,它是驱动转矩,使电枢转动。其大小表示为

$$T = k_T \Phi I_a (\text{N} \cdot \text{m})$$

式中: $k_T$  为由电机结构确定的一个常数,称作转矩常数; $\Phi$  为每极磁通(Wb); $I_a$  为电枢电流(A)。

电磁转矩的方向由磁通方向和电枢电流方向决定,改变其中任意一个的方向,电磁转矩的方向都会随之改变。

## 第三节 直流电动机的机械特性

电动机的转矩与转速之间的关系称为机械特性。

## 一、永磁式直流电动机的机械特性

永磁式直流电动机的转速  $n$  的简单表达式为

$$n = n_0 - \Delta n$$

式中： $n_0$  为理想空载转速，直流电动机理想空载转速与电源电压  $U$  成正比关系； $\Delta n$  为电动机有负载时的速度降落，它与电动机的电磁转矩  $M$  成正比。当电动机稳定运行时，电动机的电磁转矩  $M$  与其所承受的负载阻力矩  $M_c$  相等。显然，永磁式直流电动机有负载时的转速降落  $\Delta n$  与负载阻力矩  $M_c$  成正比。

当电动机负载阻力矩  $M_c$  增加时，电磁转矩  $M$  必须增加，很自然电动机转速降落时  $\Delta n$  亦增加，电动机转速就下降。永磁式直流电动机的机械特性如图 8-7 所示。图中示出了永磁式直流电动机加不同电压时的机械特性。由图可见，表示机械特性的四条直线斜率是相同的，但是空载转速不同。当电动机所加为额定电压  $U_N$  时，电磁转矩  $M$  为额定转矩  $M_N$ 。电动机加的电压不同时，电动机转速也不同，这就是永磁式直流电动机降压调速的理论根据。

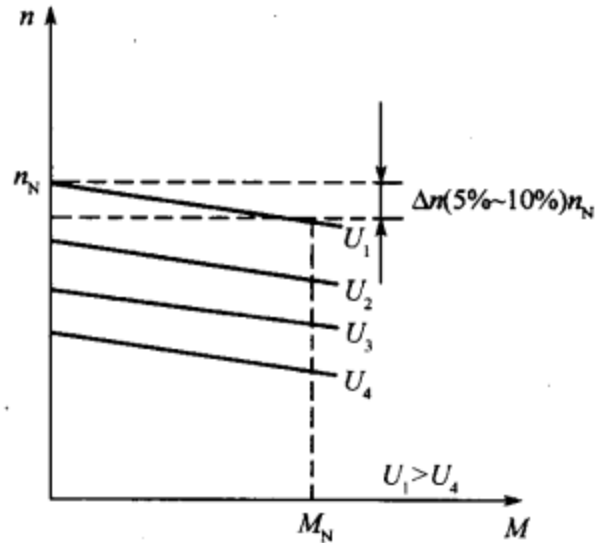


图 8-7 永磁式直流电动机的机械特性

永磁式直流电动机的机械特性是一条电动机转速随电磁转矩增加而略有下降的直线，但是直线斜率很小。这种机械特性属于硬特性。

## 二、他激和并激直流电动机的机械特性

他激式直流电动机，当激磁绕组电流一定时，其机械特性与永磁式直流电动机的机械特性相同。

并激式直流电动机的激磁绕组和电枢绕组并联合用同一电源，只要保证电动机的激磁电流不变，其机械特性也和永磁式直流电动机的机械特性相同。

永磁式、他激式、并激式三种直流电动机的机械特性都属于硬特性，它们的电枢电流与负载转矩成正比关系，它们都适于在恒转速、恒力矩状态下工作。

## 三、串激式直流电动机的机械特性

串激式直流电动机的机械特性曲线如图 8-8 所示。随着电磁转矩的增加，电动机转速急剧下降，空载时转速很高，而满载时转速很低。这种机械特性叫软特性，它对电动工具极为适用。串激电动机适用于负载经常变化而对转速不要求稳定的场合，当负载增加时，转速将自动降低，而其输

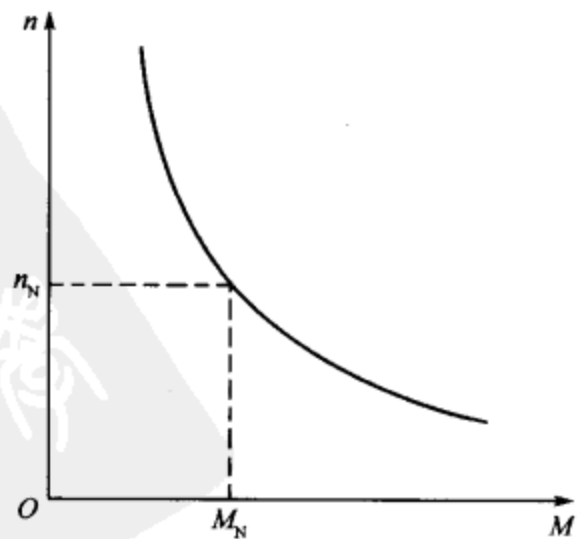


图 8-8 串激式直流电动机的机械特性

出功率却变化不大。

串激电动机电磁转矩与电流成平方关系,因此,当电磁转矩增加很多时,电流却增加不多,从而使串激电动机具有较强的过载能力。

需要特别注意的是,串激式直流电动机绝不允许在空载或负载很轻的状态下启动和运行,因为空载时电流很小,转速很高,这将使电枢的感应电动势随着增加,使电流下降导致主磁通减少,会进一步使转速  $n$  继续上升。因此,串激电动机无载或轻载时转速迅速上升,电枢上的绕组受到的离心力随速度的平方而增加,速度加快会使绕组受到很大离心力,以至达到毁坏的程度。所以串激电动机与负载之间一般都是齿轮传动,而不用皮带传动。

## 第四节 直流电动机的启动、反转与调速

### 一、直流电动机的启动

直流电动机的启动是指电动机接通电源后,转速由零上升到稳定转速的全过程。启动时,要求要在保证启动转矩足够大的前提下,尽量减小启动电流。常用的启动方法有全压启动、电枢回路串电阻启动和降压启动。下面分别简要介绍。

#### 1. 全压启动

直流电动机在额定电压下直接启动。其优点是设备简单、操作方便,适用于小容量(容量在数百瓦以下)电机的启动。

需要说明的是,除了容量很小的直流电动机外。一般不允许直接在全电压下启动。因为刚接通电源的瞬间,电枢转速  $n=0$ ,电枢反电势为零,电枢电流将迅速上升到最大值,此时的电流值称为初始启动电流。初始启动电流等于电压除电枢回路的电阻值,由于电枢回路电阻值很小,故启动电流很大,可达到额定电流的 10 倍~20 倍。这样大的启动电流会损伤电枢绕组、换向器,同时也会使电源电压不稳,影响其他用户的正常用电。因此在一般直流电动机中,常采用电枢回路串联电阻启动法和降低电源电压的启动方法。

家用电器中的直流电动机的容量都很小,又限于操作者的操作能力限制,所以都采用全压直接启动,即电动机启动电压为电动机额定电压。这时启动电流很大,启动转矩大,因而电动机启动迅速,启动时间短。电动机一旦开始运转,电枢绕组就有感应电势产生;电动机转速越高,电枢反电势越大,使电流迅速下降,电磁转矩也随之下降。当电动机电磁转矩与负载阻力矩相平衡时,电动机启动过程结束,进入稳定运行状态。

#### 2. 电枢回路串电阻启动

为了限制启动电流,启动时,在电枢电路中串接启动电阻的方法称为电枢回路串电阻启动。其优点是限制启动电流和启动转矩;其缺点是启动过程中能量消耗较大。不适用于经常启动的大中型直流电动机。

#### 3. 降压启动

降压启动即降低电源电压,以减小启动电流。随着转速的上升,反电动势逐渐增大,将电源电压逐步升高到额定值,使电动机达到额定转速。这种启动方法的优点是:既限制了启动电流,不会对电网运行产生影响;又不采用启动电阻,使启动过程中,不会有大量的



电能为启动电阻所消耗。缺点是必须有专用的电源设备,增加了成本。因此,这种启动方法多数用于要求经常启动的大中型直流电动机。

## 二、直流电动机的反转

直流电动机的旋转方向是由定子磁场极性方向与电枢电流方向之间的关系来决定的。要想改变直流电动机的转向有两种方法,一是保持电枢端电压的极性不变,将励磁绕组反接,使励磁电流反向,从而改变磁通的方向。二是保持励磁绕组端电压的极性不变,将电枢绕组反接,使电枢电流改变方向。

永磁式直流电动机的定子磁极由永久磁铁形成,磁场的极性不能改变,所以只能通过改变电枢电流方向(也就是改变电源极性)实现反转。

对于并激和复激式直流电动机,都只能用改变电枢电流的方向来实现反转,而不能将励磁绕组电源极性反接以改变磁极极性,因为若将反转开关接入励磁绕组线路中,在倒向的一瞬间,励磁绕组呈断路状态,将在励磁绕组中因自感应产生很高电压,有可能将电动机的绝缘击穿。同时在励磁电流消失的瞬间,大量的感应电流通过电枢绕组,有可能烧毁电枢绕组及换向器表面。

对于他激式直流电动机,可采用改变电枢电流的方向来改变电动机的转向。如果换向是在电枢还在转动当中进行,都必须同时在电枢电路串入比启动电阻值大将近一倍的限流电阻。因为在突然反转时,电枢电势方向与换接的反向电压方向是相同的,两者相加,接近于2倍额定电枢电压,如不串入较大的反接限流电阻,电枢电流将比直接启动电流大一倍。

对于串激式直流电动机,改变励磁绕组的接线或者电枢绕组的接线(即电刷的接线),都可改变电动机的转向。

## 三、直流电动机的调速

负载不变的情况下,通过人工的方法改变电动机的转速,称为速度调节(简称调速)。与交流电动机相比,直流电动机最大的优点是具有良好的调速性能,可以在宽范围内实现平滑而经济的调速。

永磁式直流电动机可以通过改变电源电压或电枢绕组的串联电阻来调速。

并激和他激式直流电动机可以采用在电枢电路中串联一个可变电阻的方法来调速,也可以在励磁电路串联一个可变电阻来调速;还可采用晶闸管(可控硅)整流设备调整电源电压,使直流电动机的电枢绕组和励磁绕组的供电电压改变,来调节电动机的转速。

串激式直流电动机的调速方法有以下几种:一是在电枢回路中串联可变电阻,使电枢两端的电压变化,以改变电动机的转速。二是在励磁绕组两端并联可变电阻,使励磁电流和主磁通变化,改变电机的转速。在电枢两端并联一个可变电阻,使电动机的总电阻变化,因而使励磁电流和主磁通变化,使电机转速改变。

## 第五节 小型直流电动机在家用电器上的应用

小型直流电动机在录音机、复读机、VCD、DVD等家用电器中得到了广泛的应用,下

面以常见的收录机直流电机为例进行说明。

## 一、收录机直流电机的结构和分类

收录机直流电机主要包括定子、转子和电刷三部分。定子是固定不动的部分,由永久磁铁制成,转子是在软磁材料硅钢片上绕上线圈构成的,而电刷则是把两个小炭棒用金属片卡住,固定在定子的底座上,与转子轴上的两个电极接触而构成的。电子稳速式电机还包括电子稳速板。图 8-9 为机械稳速和电子稳速电机的结构图。

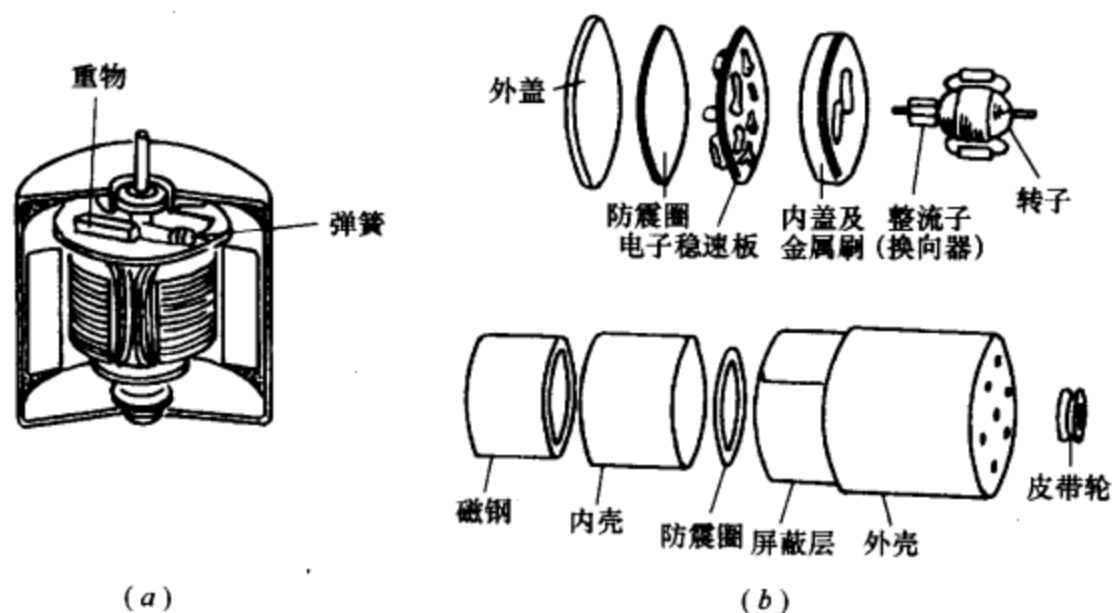


图 8-9 电机的结构

(a)机械稳速电机；(b)电子稳速电机。

收录机常见直流电机按不同的分类方法可分为以下几种：

按运转速度方式可分为单速电机和双速电机,单速电机转速只有一种速度,转速可调。双速电机有两种速度,一个为常速,一个为倍速,两种速度都可以进行微调。

按电机转动的方向可分为单向转动电机和双向转动电机。单向转动电机只能顺时针或逆时针转动。双向电机可以顺时针转动,也可以反时针转动。

按直流工作电压可分为 6V、7.5V、9V、12V、15V 等。

## 二、直流电机的稳速原理

电机转动速度是否稳定对机器影响很大,因此,必须对电机的转速采取稳速措施,电机的稳速方式主要有机械稳速、电子稳速和电压伺服稳速三种,其中,电子稳速应用最多。

### 1. 机械稳速

机械稳速是通过在电机转子上安装的离心触点开关实现的,其结构如图 8-10(a)所示。

当电机转子旋转过快时,调速器触点受离心力作用而离开,电源通过电阻 R 后再加到电机上,如图 8-10(b)所示,因而电机两端电压下降,使电机转速减慢。当电机转速过慢时,离心力变小,调速器触点闭合,如图 8-10(c)所示,电源不通过电阻而直接加到电机上,电机转速加快。

### 2. 电子稳速

用电子电路稳定电机的转速的装置叫电子稳速装置,电子稳速原理如图 8-11 所示。

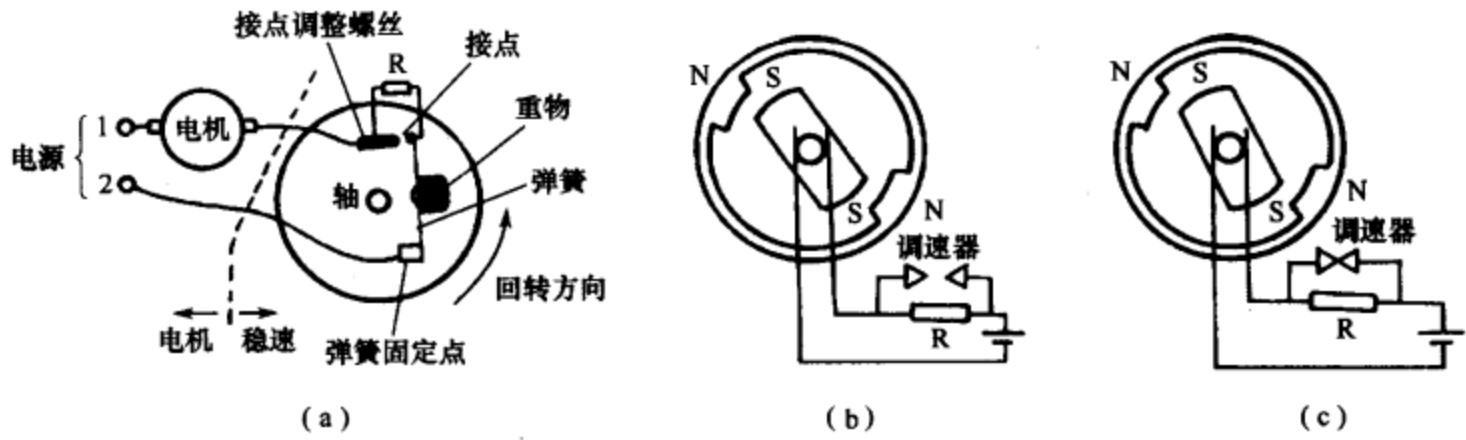


图 8-10 机械稳速

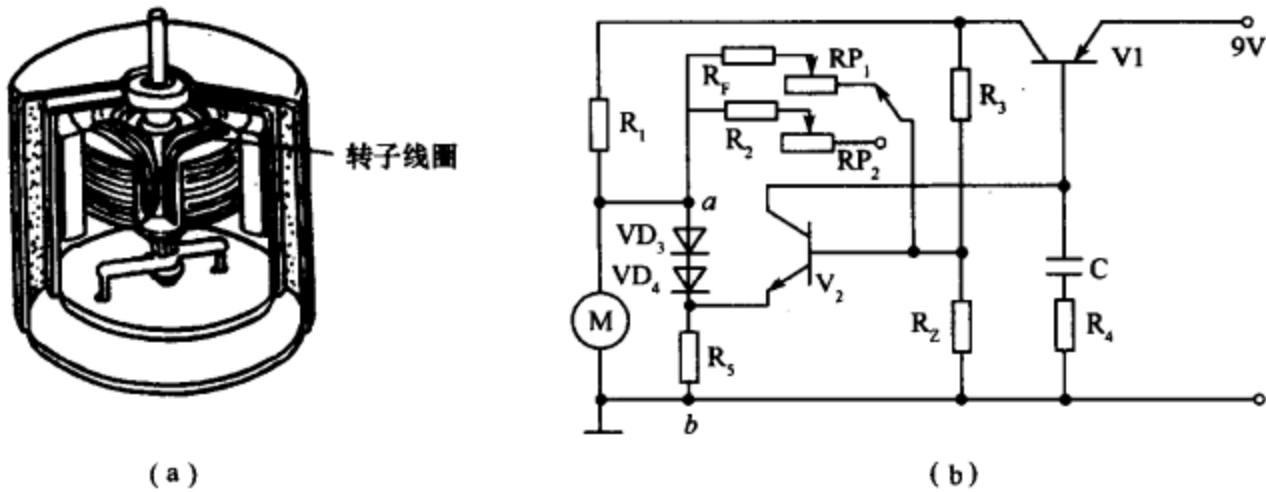


图 8-11 电子稳速原理

(a)电子稳速电机结构；(b)稳速原理。

电机线圈、电阻  $R_1$ 、 $R_2$  和  $R_3$  构成桥式电路，当电路保持平衡状态时，a 点电位比 b 点高约  $0.4V$ ，此时电位器  $RP_1$ （或  $RP_2$ ）有一定电流通过。当电机转速增加时，反电动势增加，相当于电机线圈内阻增加，致使 a 点的电位更高于 b 点的电位。a 点电位升高， $V_2$  的发射极电位也随着升高，相对的基极电位降低，于是其集电极电流减小。由于  $V_2$  的集电极电流即是  $V_1$  的基极电流，所以， $V_1$  的集电极电流也减小，因此流过电机线圈的电流减小，电机转速变低。相反，若电机转速过低时，可通过三极管的作用，使电机线圈电流有所增加，从而使电机转速提高。

电子稳速方式比机械稳速方式稳定性高、噪声小，所以被现代高级收录机和普通收录机所普遍采用。

### 3. 电压伺服发电机稳速

电压伺服稳速原理如图 8-12 所示。

在电机内装有伺服发电机，当电机旋转时，同时带动该发电机转动。该发电机产生的电压与转速成正比。为了利用发电机产生的电压控制电机的转速，通常在发电机 G 和电机 M 之间接上如图 8-12(b)所示的电压伺服电路。当电机转速变快时，发电机产生的电压升高，使三极管  $V_1$  的基极电压增大，集电极电压即三极管  $V_2$  基极电压变低， $V_2$  的基极电流变小，从而  $V_2$  的集电极电流变小。 $V_2$  的集电极电流即电机的电流， $V_2$  集电极电流变小后，会使电机转速变慢。与上述过程相反，当电机转速变慢时，通过发电机和电路的调整作用会使电机转速变快。

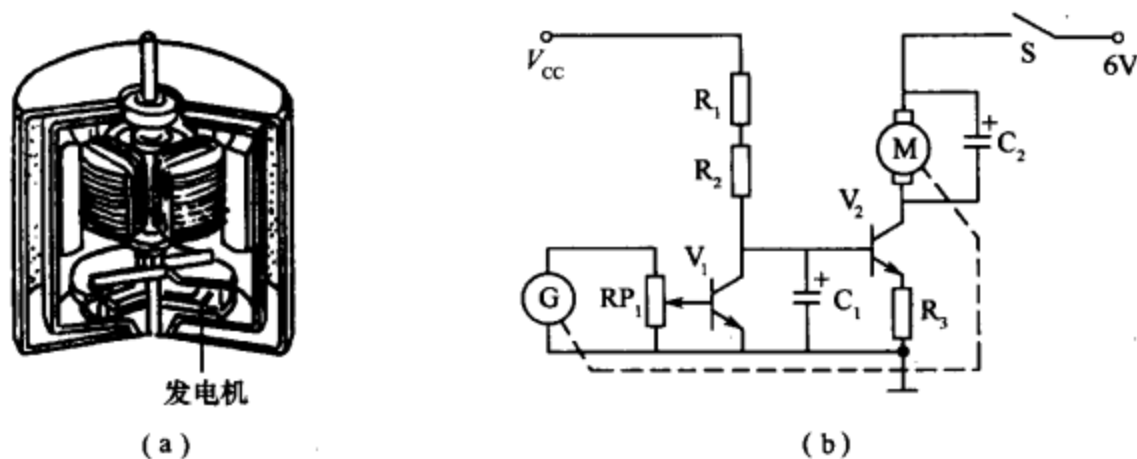


图 8-12 电压伺服稳速原理  
(a)伺服电机；(b)电压伺服电路。

### 三、直流电机的识别

#### 1. 机械稳速和电子稳速的识别

识别电机是机械稳速还是电子稳速的方法是：用万用表的  $R \times 1$  挡，测量电机两根引脚之间的直流电阻，测得电阻小于十几欧姆的是机械稳速电机，测得阻值大于十几欧姆的是电子稳速电机。

需要说明的是：双速电机都是电子稳速方式。另外，若电机外壳背面有一个小圆孔（调速孔），说明这是电子稳速电机。

#### 2. 电机转向识别方法

识别电机转向的方法是：看电机铭牌上的标记，标出 CW 的是顺时针方向转动的电机，即手拿电机，转轴对着自己，此时转轴顺时针方向转动。若是 CCW 则说明是逆时针方向转动的电机。如果没有这样的标记，可以给电机通电，通过观察转轴的转动方向来分辨。

#### 3. 单、双速电机的识别

如果电机只有两根引脚，说明这是单速电机。如果电机有四根引脚，则说明是双速电机。

#### 4. 电机引脚的识别

电机引脚的识别共有以下三种情况：

(1) 采用双股并行胶合线，一根为红色，一根为白色，其中红色线为正电源引线，白色线是接地引线。

(2) 采用屏蔽线作为电机的引线，此时芯线为正电源引线，金属网线为接地引线。

(3) 是采用小块印制板作为接线端，此时板上印有“+”、“-”的标记，这是电源极性的标记。

对于双速电机，通常采用第三种表示方式，另两根引脚没有标记则是转速控制引脚，这两根引脚不分极性。

### 四、直流电机的调速方法

#### 1. 常速的调整方法

电机只存在转速偏快或偏慢故障时，只要没有音调畸变（快快慢慢的变化），即不存在

放音的抖晃失真,通过调整电机的常速就可以解决问题。若有抖晃失真则调整电机的转速是无济于事的。

电机常速的调整方法是:让机器工作在常速放音状态下,用一盒自己非常熟悉的原声磁带放音,然后调整电机的常速微调电阻,此时放音的声音音调将发生改变,使音调调到符合正常情况,这样电机的常速就调整好了。

不同机器其电机的转速调整电阻位置不同,共有下列几种情况:

对于单速电机,它的转速微调电阻设在电机的内部,在电机的背面有一个转速调整孔,孔内有一个微调电阻,用螺丝刀伸入内部即可进行调整。有时该转速调整孔被标牌贴住,取下标牌即可。

对于双速电机,它的常速和倍速微调电阻均在机芯背面的线路板上,不装在电机的内部。

对于放音机,它的电机采用小型电机,电机内部不设稳速电路,而是设在线路板上,此时在稳速集成电路附近有一只可变电阻器,这就是电机转速微调电阻器。

在对电机的常速调整过程中要注意以下几个问题:

(1)少量单速电机采用机械稳速,电机外壳上没有调速孔。

(2)单速电机一般采用电子稳速,有时在调速孔旁标有F和S字母,F表示快,沿此方向调整电机转速变快;S表示慢,沿此方向调整电机转速变慢。

(3)对于双速电机,不是所有的电机都可以先进行电机的常速调整,有的要先调整电机的倍速,后调整常速,否则在倍速调整后还要进行常速的调整。

## 2. 倍速调整方法

对于倍速调整,需先自制一盒倍速下录制的音乐磁带,然后采用试听调整的方法进行调速。具体方法是:将电机转速控制电路中的倍速测试点短接,这时电机工作在倍速下放音。用倍速调整磁带放音,调整倍速微调电阻,使放音时的音调符合正常即可。

# 第六节 直流电动机的维修

## 一、电枢绕组故障检修

### 1. 电枢绕组短路

电枢严重短路时,绕组将烧毁。如果绕组短路匝数较少,电动机还能够运行,只是在运行过程中电枢电流明显增大,换向器火花增大,此时要及时检查出短路点,进行及时修理,以免扩大故障。

#### 1)电枢绕组短路的检查方法

电枢绕组是否短路可采用以下几种方法进行检查:

(1)用万用表测电阻法检查。当电枢绕组的每个元件匝数较多,而且所用导线较细时,因每个元件电阻值较大,用万用表测电阻最低挡可以测出各元件电阻值有无区别。依据电阻值变化情况可以判断出是哪个元件短路。当然用平衡电桥测量更为准确。在具体检验过程中要注意电阻值微小的变化。电阻一旦变化,就应将该元件所联两换向片打上标记,再重复测量几次,以免测量误差造成错误的判断。这种检验方法无需将电枢抽出定

子腔,只有检验出有短路元件时才将电枢从定子腔内抽出,然后进行修理。若电枢元件较多,而短路元件只有一个时,只要将该元件从换向片上去掉,而将两个换向片用短路线跨越,不用将电枢抽出定子腔即可以修理。这样做可以使修理进行得更快。

在图 8-13(a)中,电枢绕组采用的是波绕组,因波绕组的每个元件的两条引出边线所接换向片间的距离为 2 个磁极的距离,所以要测量每个元件的电阻值时,万用表的两支表笔要跨越一对极间的距离。图 8-13(b)为单叠绕组、叠绕式、对绕式绕组短路元件检测示意图。万用表的表笔要分别接触相邻两换向片。

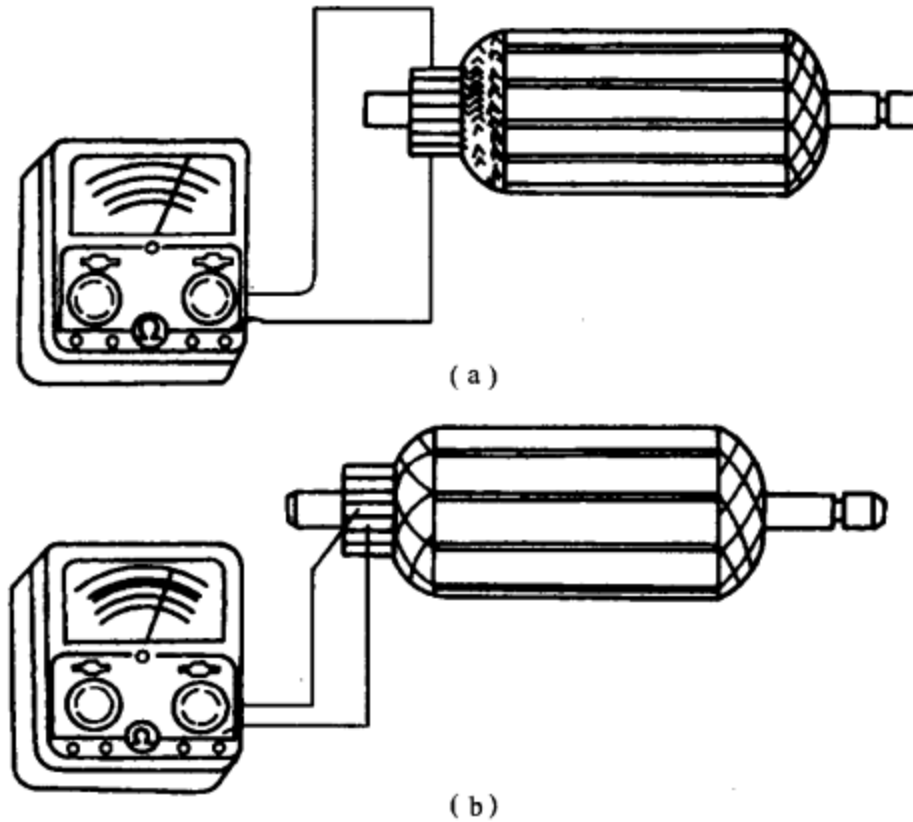


图 8-13 用万用表测电阻法检查绕组短路

(a)用万用表测电阻法检查波绕组短路线圈;

(b)用万用表测电阻法检查单叠式、叠绕式、对绕式绕组的短路线圈。

(2)用短路侦察器检查。对于低电压直流电动机的电枢绕组,由于每个元件的匝数较少,每个元件电阻值较小,不易采用测电阻的方法进行检查,一般采用短路侦察法检查短路元件,如图 8-14 所示。短路侦察器由铁芯和线圈组成,铁芯为 H 形,铁芯柱上绕有线圈,线圈匝数一般为 300 匝~500 匝(根据铁芯具体情况而定),线圈加安全电压为 36V 的正弦交流电为宜。

当将电枢按图 8-14 所示放在短路侦察器上后,把 36V 交流电加在无短路侦察器线圈上,其铁芯中就产生磁通。此磁通通过电枢铁芯,因而电枢绕组每个元件都会产生感应电势和感应电流,该电流必然在电枢铁芯的齿部产生交变磁场。此时在电枢上放置一段薄锯条,则会产生振动。如果线圈短路,则会在短路线圈内产生较大的感应电流,因而产生的交变磁场也会较强;当锯条位于短路线圈位置时,会发现锯条振动比较大,明显地区别于其它情况。只要将电枢在短路侦察器槽口处转一周,并连续测试,就会很容易发现短路的元件。家用电器所用直流电动机都属于低压电动机,用短路侦察器检查短路元件是最适用的方法。但是在使用短路侦察器检查电枢绕组之时,一定要先放好电枢后,再给短路侦察器通电。在检查之后,应先断掉短路侦察器的电源,然后再拿下电枢;否则,短路侦

察器将成开口电抗器,从而出现很大的激磁电流,致使短路侦察器线圈烧毁。

## 2)电枢绕组短路的检修

(1)局部重新绝缘法。若绕组短路点少,且只需要拆很少部分线圈就能将短路点露出来时,可以将短路的导线剪断,套上绝缘管,重新焊接,然后涂上绝缘漆。将绝缘漆干燥后,电动机就可以使用。

(2)换向片焊接短接线法。若电动机电枢绕组的元件很多,且短路点又很难找到确切位置时,可以从电枢回路中将短路元件切除掉,以免使短路扩大。具体办法是:在确定短路元件之后,找出其两条引出线与换向片相连的两个换向片,用导线将两个换向片短路。

## 2. 电枢绕组通地

电枢绕组通地故障是直流电动机的最常见的故障。通地部位一般常发生在槽口或槽底,有时发生在绕组元件引出线与换向片连接处。

造成绕组通地的原因,一般是重新绕制电枢绕组时,绝缘纸放置不合适或者绝缘纸被压线板划破,造成绕组与铁芯相碰,致使绕组通地。

### 1)绕组通地的检查方法

绕组是否通地一般可采用以下方法进行检查:

(1)用校验灯检查。用校验灯检查电枢绕组通地十分方便,用一根电源线串接一只校验灯接到换向片上,另一根电源线接地轴上,电源线之间加上 110V 交流电,如图 8-15 所示。若灯泡不亮,说明绕组不通地,若在检查时灯泡亮,则说明绕组有通地故障。这种情况下要仔细观察灯泡亮度的变化,当测试换向片距通地点远时,灯泡比较暗,移动所接触换向片距离通地点越近,灯泡会越亮,当测到通地绕组所在换向片时,灯泡会最亮,一旦离开此片换向片,灯会变暗些。这样仔细反复测几次,如果每次测得的结果都一样,则说明灯泡最亮的那个换向片的绕组通地;实际灯最亮时,绕组与铁芯之间一般有火花闪出,或者冒烟。此点即为通地点。

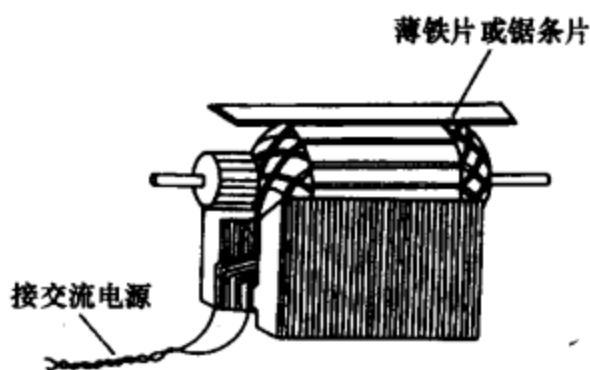


图 8-14 用短路侦察器检查绕组短路

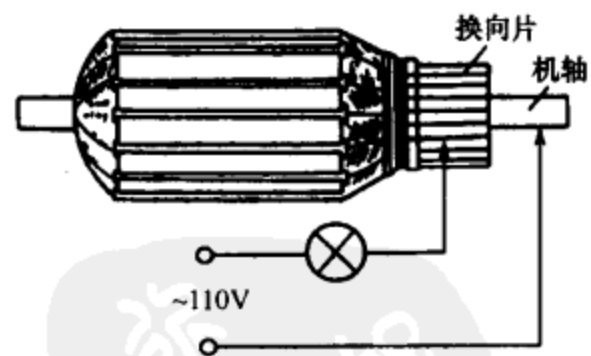


图 8-15 用校验灯法检查电枢绕组通地

(2)用短路侦察器检测。将被测的电枢放置在短路侦察器 H 形开口槽上,然后给短路侦察器加 36V 交流电压。把交流毫伏表的两根引线分别与铁芯和换向片相接触(接触要良好)。在具体测试时要依次逐片地测量每个换向片与铁芯之间的电压值。若发现交流毫伏表指针不动,则被测换向片所连的电枢绕组元件为通地元件。

### 2)电枢绕组通地的检修

找出电枢绕组通地点后,应根据绕组通地部位,采取适当的修理方法。若电枢绕组通地点在换向片与绕组元件引出线的连接部位,或者在电枢铁芯槽的外部,则只需在通地导

体与铁芯之间重新加强绝缘就可以了；若电枢绕组通地点在铁芯槽的内部，或者通地点较多，则只能重新绕制电枢绕组。

### 3. 电枢绕组断路

电枢绕组断路，也是直流电动机的常见故障。若电枢绕组断路点只有很少的一、两处，电动机有可能运转，但运行不稳定，转矩明显变小，转速下降；若电枢绕组断路点较多，一般情况下会出现不能启动，即使偶然能启动，其转动极不正常，电刷处会发生很大火花。如果有上述情况发生可以初步判定为电枢绕组断路。

#### 1) 电枢绕组断路的检查方法

电枢绕组的断路点，一般多发生在绕组各元件引出线与换向片连接处，或各元件端部与机壳相碰处，有时断点也会出现在电枢铁芯槽内部。由于断点位置不同，检查方法也就不同。若绕组各元件引出线与换向片焊接处断路，只要用镊子轻轻拨各元件引出线端头即可查出；若电枢绕组端部与机壳相碰产生断点，打开电动机端盖即可查出断点；若电枢绕组断点在铁芯槽内部，可采用下述方法进行检查。

(1) 用毫安表测电流的方法。在初步确定电枢绕组有断路故障后，应将直流电动机的电枢从定子腔内取出来，按图 8-16 所示接好电路（万用表置于毫安挡），然后用手缓慢地转动电枢，仔细观察电枢绕组通电后毫安表的读数。如果表的读数由最大到最小，然后又突然最大，则说明读数最小的两换向间所跨接的元件是断路元件。只要将电枢旋转一周，其断路绕组元件即可全部检测出来。用毫安表测电流法检查绕组断路元件时，直流电源的电压应严格控制，电压最好控制在 3V 以下。

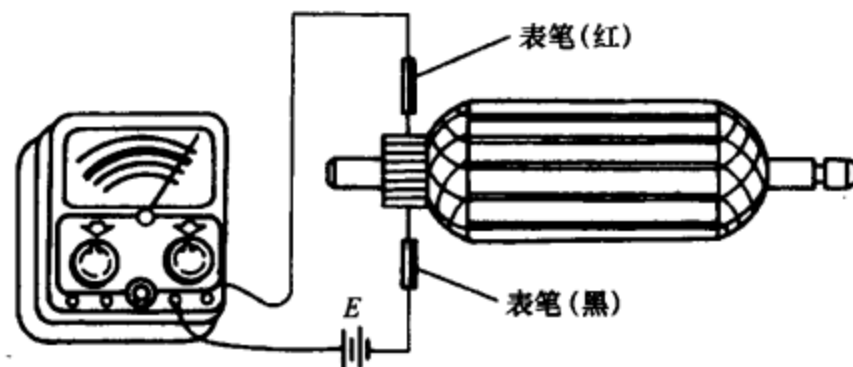


图 8-16 用毫安表测电流的方法检查电枢绕组断路

(2) 用毫伏表和短路侦察器检查。用毫伏表和短路侦察器检查电枢绕组断路元件的方法如图 8-17 所示，在测试过程中，要缓慢地使电枢旋转一周，在电枢转动过程中，仔细观察毫伏表的读数。若毫伏表有读数，且读数大小基本不变化，说明电枢绕组各元件没有断开的故障。若毫伏表的读数不稳定，出现时大时小，甚至时有时无的现象，说明有断路故障。当毫伏表读数为零时，说明该元件为短路元件，当毫伏表读数为最大时，说明被测元件为开路元件。

#### 2) 电枢绕组断路的检修

若绕组断点发生在换向片处，可将断路元件的引出线与换向片重新焊接好，注意绝缘要好；若断路点在铁芯槽内，并且断路元件只有一个，可将断路元件从电路中切除，即将断路元件引出线所连的换向片短接起来。如果断路元件较多，又很难处理好，则只能重新绕制电枢绕组。



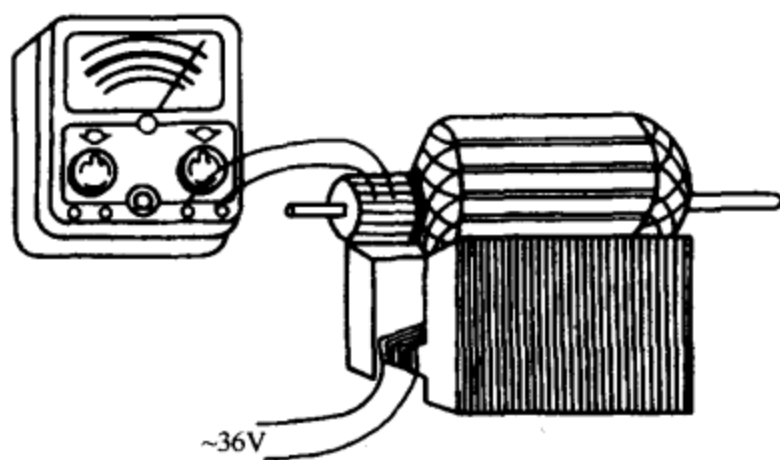


图 8-17 用毫伏表和短路侦察器检查电枢绕组断路

## 二、激磁绕组故障检修

### 1. 激磁绕组短路

激磁绕组短路会使电流增大,短路严重时,则会烧毁绕组。检查激磁绕组短路最有效的方法是用电桥测线包电阻值。比较其阻值大小,阻值小者,就是有短路的绕组。

### 2. 激磁绕组通地

激磁绕组通地是指线圈与铁芯或机壳相通,在运行中机壳带电,遇到这种情况应该立刻切断电源停止运行,把碳刷从刷握中取出,用 500V 兆欧表测定子线圈对机壳的绝缘电阻,如果测得绝缘电阻比较小但不是零,可能是线圈受潮。可将电动机拆开取出转子,把定子放入烘箱 100°C 左右烘烤 4h 以后再测绝缘电阻,如果绝缘电阻已上升但还没达到 5MΩ,要继续烘烤,直到绝缘电阻符合要求为止。若兆欧表测得的绝缘电阻为零,说明已通地;经过 8h 烘烤后,绝缘电阻不上升,说明电动机绝缘性能已下降,只能重新绕制线圈。

### 3. 激磁绕组断路

激磁绕组断路多发生在线包的引出线位置,激磁绕组一旦断路,会导致磁场发生变化。并激直流电动机线包断路,会引起磁场消失(只有一点剩磁),这种情况下,电动机电枢通电,电动机转速会特别高。串激电动机激磁绕组断路,会引起电枢电路与电源断开,电动机接通电源后不会转动。复激直流电动机的并激绕组断路,电动机的激磁只有串激绕组工作,电动机运行特性有明显变化。

检测激磁线包断路最简便的方法,就是用万用表测量每个激磁线包的阻值,当检查出断路线包后,应仔细查看断路线。如果断路线发生在激磁线包引线位置,则可以拆开线包的外包扎层,使线包断点彻底露出来。然后用软导线与断线焊接好,加以绝缘,最后再将焊接处牢固地绑扎在激磁线包上。如果断点在线包的内部,只能更换新绕组。

## 三、换向器故障检修

换向器的主要故障是相邻换向片短路、换向器通地等。引进换向器短路或通地的主要原因是电动机长期运行后,在换向器部位堆积大量导电粉尘,造成换向器片与片之间漏电。

检查时,可用兆欧表或万用表测定相邻换向片的电阻,如果为零,再把线圈与换向片的引线烫开,如果换向片间电阻仍为零,则可判断为换向片间短路。在断开线圈引线情况

下,将校验灯接于相邻换向片上,如换向片短路,校验灯将发亮。用同样的方法检测换向片与轴,如果电阻为零或校验灯亮,可判断为换向片通地。

换向器通地可能造成电动机不能启动运行,或者机体带电。当换向器通地不严重时,电动机还能转,但转速下降,换向器表面产生很大火花。

下面介绍一种简单易行的修理换向片之间短路的方法。修理工具可以自选制作,将锯条在砂轮机上修磨成如图 8-18 所示的形状,锯条磨完后,将其尾部包扎起来作手柄。当换向片间粉尘过多时,可用带钩的工具清除换向片间的粉尘,若是云母被炭化,可用带钩的工具将炭化的云母刮掉,直到见到白色云母为止。用自制工具清除换向片间粉尘或者炭化的云母之后,要用万用表检测一下,看短路是否消除,若还有短路故障,则应继续去除换向片间的杂质,直至检测无短路。

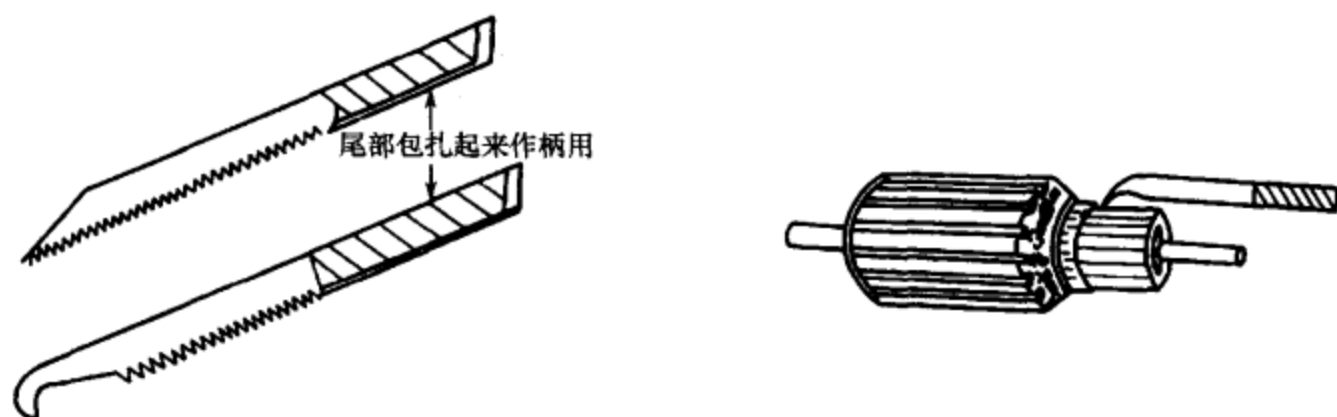


图 8-18 自制工具

当消除短路故障之后,把研碎了的云母粉用 1011 绝缘漆搅拌成糊浆,再将这种糊浆灌入被刮空的间隙中,保温烘焙 7h~8h,待糊浆硬化后即可使用。如果换向片间的短路点在换向器较深的位置,用自制的工具很难刮下去,则可以在两片间隙位置钻些小孔,用此方法消除短路故障。孔的大小视换向片间的距离而定。当孔钻到一定深度后,用万用表检测一下,到短路消失就可以了。钻完孔后,要及时消除粉末,再将云母粉与 1011 绝缘漆搅拌成的糊浆灌入孔中,再进行保温烘焙硬化,最后用 500V 摇表测换向片间的绝缘程度。

#### 四、电刷与换向器接触不良

由于直流电动机转速高,很容易导致电刷与换向器接触不良。一旦出现此种故障,电动机转速会下降,换向器表面会产生较大火花。

造成电刷与换向器接触不良的主要原因有以下几点:一是电刷选择得过硬或者过软,影响正常的导电性能。二是换新电刷时,电刷放置位置和压力调节不当,破坏了电刷与换向器表面的合理接触面。三是电动机的电枢轴承损坏,使电枢不能按正常轨迹旋转,导致电刷压力变化较大,磨损严重。四是换向器表面不洁,导致电刷与换向器之间导电受到极大影响。有时换向器表面也会因换向火花过大,其表面烧黑(氧化),而影响正常导电。

总之,换向器与电刷接触不良是直流电动机最常见的故障。在维修时,若发现换向器表面有污物,可打开刷架,取出电刷,用 0 号砂纸(或砂布)小心地擦一擦换向器表面,将其污物去除。当取下电刷后,若发现电刷磨损不均匀,应更换电刷。若发现压电刷的弹簧弹力不足或弹簧变形,应及时更换弹簧。

**注意事项** 在选择电刷时,要注意电刷的尺寸和电刷软硬度。电刷的厚度不能选择得太厚或者过窄。大中型直流电动机所用电刷宽度(厚度)一般为2片~3片换向片的厚度。小型直流电动机所用电刷的宽度一般应在1片~1.5片换向片的厚度。选择的电刷要软硬适当。电刷太硬,会使换向器磨损严重,导致电刷与换向器之间接触电阻增大,影响电动机正常的导电和工作;电刷选择太软,电刷磨损加快。另外,在换电刷时,还要注意不能使石墨粉落到换向器表面,以免造成换向片之间短路或者电枢绕组间短路。



## 第九章 控制电机简介

前面我们讨论的各种电机,都是作为动力来使用的,其主要任务是能量的转换。控制电机则不同,其主要任务是转换和传递控制信号,而能量的转换是次要的。控制电机应用广泛,且在自动控制系统中是必不可少的,如雷达的自动定位、炉温的自动调节以及各种控制装置中的自动记录、检测等。控制电机作为一种执行元件,类型很多,本章主要介绍步进电动机、微型同步电动机和无刷直流电动机。

### 第一节 步进电动机

步进电动机亦称脉冲电动机,是一种利用电磁铁的作用原理将电脉冲信号转换为线位移(或角位移)的执行元件。即电动机每输入一个脉冲信号,步进电动机便转过一定角度。电动机转过的总角度与输入脉冲数成正比,故转速与脉冲频率成正比。目前,步进电动机在数控机床、轧钢机、军事工业及自动记录仪表等方面都有很广泛的应用。这是因为步进电动机的工作职能正好符合数控系统的要求,同时应用步进电动机可以和较少的元件组成精度较高的开环控制系统,因而其应用也日益广泛。

#### 一、步进电动机的分类

步进电动机具有结构简单、维护方便、精确度高、启动灵敏、停车准确等性能,同时控制输入脉冲的输入方式和参数,可实现连续调速,且可获得较宽的调速范围。

步进电动机按工作方式的不同,可分为功率式和伺服式两种:

功率式——其输出转矩较大,能直接带动较大的负载;

伺服式——输出转矩较小,只能直接带动较小的负载,对于大负载需通过液压放大元件来转动。

步进电动机按工作原理不同,可分为反应式、永磁式、永磁感应式等。

步进电动机按相数可分为单相、两相、三相、四相、五相、六相和八相等多种。增加相数能提高性能,但电动机的结构和驱动电源会复杂,成本亦会增加。

目前以反应式步进电动机应用最多。

#### 二、步进电动机的结构

下面以三相反应式步进电动机为例说明步进电动机的工作原理,反应式电动机转子上无激励绕组,结构示意图如图 9-1 所示,它由定子和转子两部分构成。

定子由硅钢片叠成,共有六个磁极,每个极上装有控制绕组,相对两极上的绕组串联成一组,形成三个独立的绕组。

转子上均匀分布着 1、2、3、4 四个齿或称四个极，由硅钢片或其他软磁材料制成。转子齿上不带绕组。

步进电动机的转动受脉冲信号控制，每来一个脉冲信号，定子绕组通电的状态就改变一次，而定子绕组通电后产生的磁场对转子产生作用将使转子产生一个角位移。改变步进电动机定子绕组通电状态的电路称为脉冲分配器。控制脉冲信号来到后，先送到脉冲分配器，经过分配器输出的信号决定各定子绕组通电的顺序和步进电动机转动的速度。步进电动机控制电路框图如图 9-2 所示。从分配器输出的脉冲信号还需经过功率放大之后才能送至步进电动机的定子绕组。

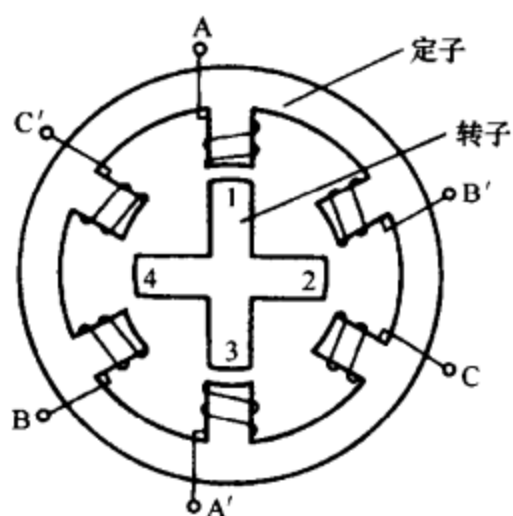


图 9-1 三相反应式步进电动机

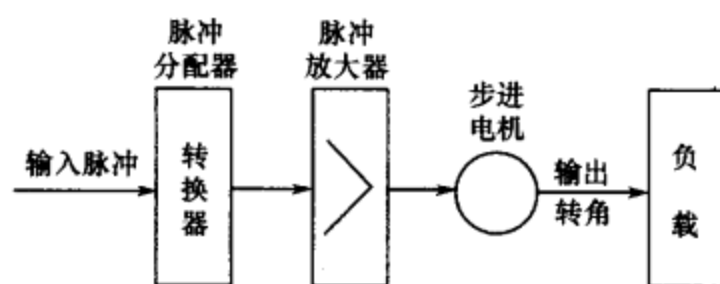


图 9-2 步进电动机控制电路

### 三、步进电动机的工作原理

工作时，脉冲信号按一定顺序轮流加到三相绕组上。按通电顺序不同，其运行方式有三相单三拍、三相双三拍和三相单、双六拍三种。分别讨论其基本原理。

上面“三相单三拍”中的“三相”指定子有三相绕组；“拍”是指定子绕组改变一次通电方式；“三拍”表示通电三次完成一个循环。“三相双三拍”中的“双”是指同时有两相绕组通电。

#### 1. 三相单三拍运行方式

图 9-3 所示为反应式步进电动机工作原理图，若通过脉冲分配器输出的第一个脉冲使 A 相绕组通电，B、C 相绕组不通电，在 A 相绕组通电后产生的磁场将使转子上产生反应转矩，转子的 1、3 齿将与定子磁极对齐，如图 9-3(a) 所示。第二个脉冲到来，使 B 相绕组通电，而 A、C 相绕组不通电；B 相绕组通电产生的磁场将使转子的 2、4 齿与 B 相磁极对齐，如图 9-3(b) 所示，与图 9-3(a) 相比，转子逆时针方向转动了一个角度。第三个脉冲到来后，使 C 相绕组通电，而 A、B 相不通电，这时转子的 1、3 齿会与 C 相对齐，转子的位置如图 9-3(c) 所示，与图 9-3(b) 比较，又逆时针转过了一个角度。

当脉冲不断到来时，通过分配器使定子的绕组按着 A 相→B 相→C 相→A 相……的规律不断地接通与断开，这时，步进电动机的转子就连续不停地一步步地逆时针方向转动。如果要改变步进电动机的转动方向，只要将定子各绕组通电的顺序改为 A 相→C 相→B 相→A 相，转子转动方向即改为顺时针方向。

控制绕组通、断电的方式，称为分配方式。上述按 A 相→B 相→C 相→A 相……的通

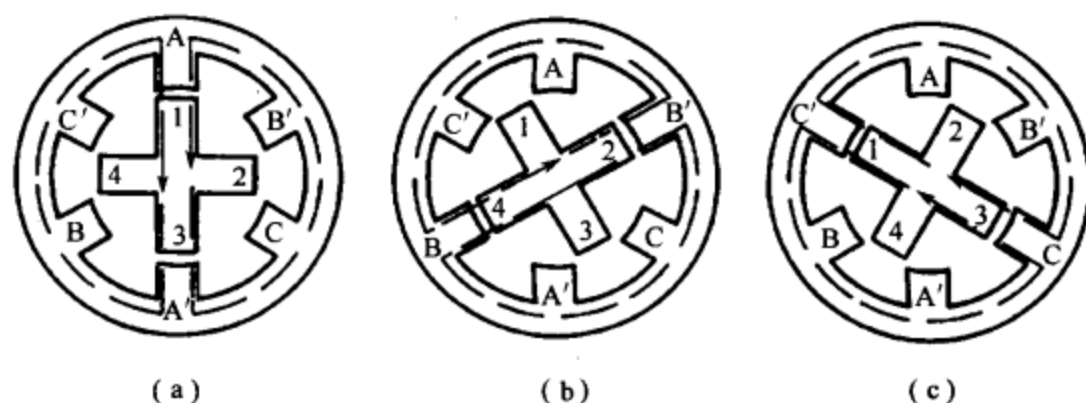


图 9-3 步进电动机转动原理

(a)A 相通电; (b)B 相通电; (c)C 相通电。

电方式和 A 相→C 相→B 相→A 相……的通电方式,每来到一个脉冲时,只有一个控制绕组(定子绕组)通电,在一个循环周期内有三种不同的通电状态,这样的通电次序,称为单三拍分配方式。

由图 9-3 可以看出,单三拍分配方式时,步进电动机由 A 相通电转换到 B 相通电,步进电动机的转子转过一个角度,称为一步。这时转子转过的角度是  $30^\circ$ 。步进电动机每一步转过的角度称为步距角  $\theta$ 。

## 2. 三相双三拍运行方式

三相双三拍运行方式下,每次都有两个绕组通电,通电方式是  $AB \rightarrow BC \rightarrow CA \rightarrow AB \dots$ ,如果通电顺序改为  $AB \rightarrow CA \rightarrow BC \rightarrow AB \dots$ ,则步进电动机反转。双三拍分配方式时,步进电动机的步距角也是  $30^\circ$ 。

## 3. 三相单、双六拍运行方式

三相六拍分配方式就是每个周期内有六种通电状态。这六种通电状态的顺序可以是  $A \rightarrow AB \rightarrow B \rightarrow BC \rightarrow C \rightarrow CA \rightarrow A \dots$ 或者  $A \rightarrow CA \rightarrow C \rightarrow BC \rightarrow B \rightarrow AB \rightarrow A \dots$ 六拍通电方式中,有一个时刻两个绕组同时通电,这时转子齿的位置将位于通电的两相的中间位置。在三相六拍分配方式下,转子每一步转过的角度只是三相三拍方式下的一半,步距角是  $15^\circ$ 。

单三拍运行的突出问题是每次只有一相绕组通电,在转换过程中,一相绕组断电,另一相绕组通电,容易发生失步;另外,单靠一相绕组通电吸引转子,稳定性不好,容易在平衡位置附近振荡,故用得较少。

双三拍运行的特点是每次都有两相绕组通电,而且在转换过程中始终有一相绕组保持通电状态,因此工作很稳定,且步距角与单三拍相同。

六拍运行方式因转换时始终有一相绕组通电,且步距角较小,故工作稳定性好,但电源较复杂,实际应用较多。

# 四、步进电动机的步距角和转速

## 1. 步距角( $\theta$ )

每输入一个脉冲信号,步进电动机所转过的角度称为步距角,以  $\theta$  表示。步距角不受电压波动和负载变化的影响,也不受温度、振动等环境因素的干扰。

步距角  $\theta$  的大小由转子的齿数  $Z$ 、运行相数  $m$  所决定,它们之间的关系可表示为

齿距角  $t$  为

$$t = \frac{360^\circ}{Z}$$

步距角  $\theta$  为

$$\theta = \frac{t}{m} = \frac{360^\circ}{mZ}$$

步距角  $\theta$  越小,精确度越高。增加相数和增加转子齿数都可减小步距角,目前多用增加齿数的方法减小步距角。

## 2. 步进电动机的转速

由步距角  $\theta = \frac{t}{m} = \frac{360^\circ}{mZ}$  得,转子每转过一个步距角  $\theta$ ,就相当于转过了整个圆圈的  $\frac{1}{mZ}$

圈。若电源的脉冲频率为  $f$ ,则转子每秒转过  $\frac{1}{mZ}$  圈,故转子的转速  $n$  为

$$n = \frac{60f}{mZ} (\text{r/min})$$

在一定的脉冲频率下,运行拍数和齿数越多,步距角越小,则转速越低。

## 五、步进电动机驱动电路

步进电动机需要一个专用电源来驱动,该电源让电动机的绕组按照特定的顺序通电,即受一系列电脉冲的控制而动作;步进电动机的驱动电源由环形分配器、功率放大器及其他控制电路组成,其框图如图 9-4 所示。

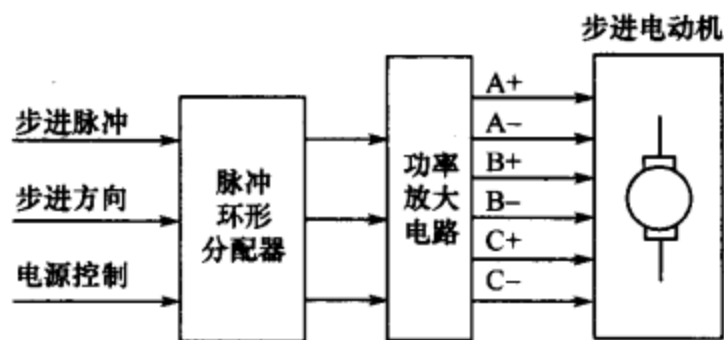


图 9-4 步进电动机驱动电源组成框图

环形分配器用来对输入的步进脉冲进行逻辑变换,产生步进电动机工作方式所需的各相脉冲序列信号。功率放大电路对环形分配电路输出信号进行放大,产生电动机旋转所需要的励磁电流。步进方向信号指定各相绕组导通的先后顺序,以改变步进电动机的旋转方向。电源控制信号在必要时可使各相绕组上的电流为零,达到释放电流、降低功耗的目的。

对不同电机类型和不同的应用场合,选用的功率驱动放大电路不尽相同。即使是同一台步进电动机,在使用不同的驱动方案时,其矩频特性也相差很大。比较常用的功率驱动放大电路有单电压驱动、双电压驱动、斩波恒流驱动、细分驱动电路和集成电路驱动电路等,下面分别介绍其工作原理。

### 1. 单电压驱动

单电压驱动是指电动机绕组在工作时,只用一个电压电源对绕组供电。单电压驱动如图 9-5 所示。

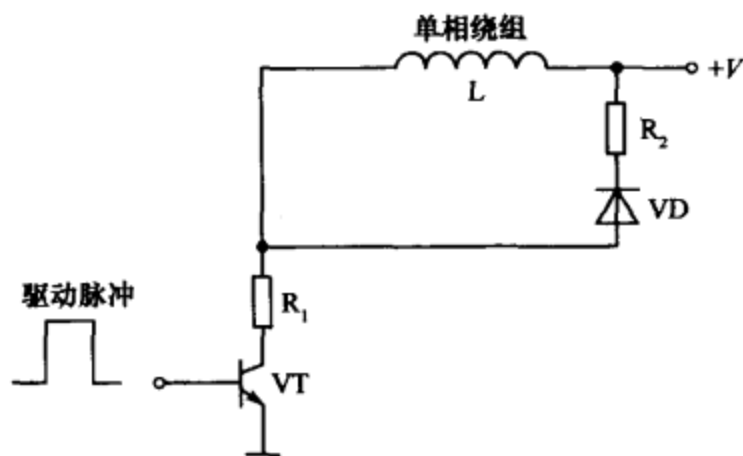


图 9-5 单电压驱动电路

功率晶体管 T 用作开关, L 是电机一相绕组的电感, 电源电压一般选择在 10V~100V 左右。限流电阻  $R_1$  决定了时间常数,  $R_1$  在工作中要消耗一定的能量, 所以这个电路损耗大、效率低, 一般只用于小功率步进电动机的驱动。

## 2. 双电压驱动

用提高电压的方法可以使绕组中的电流上升波形变陡, 这样就产生了双电压驱动。双电压驱动有两种方式: 双电压法和高低压法。

### 1) 双电压法

双电压法的基本思路是: 在低频段使用较低的电压驱动, 在高频段使用较高的电压驱动。其电路原理如图 9-6 所示。

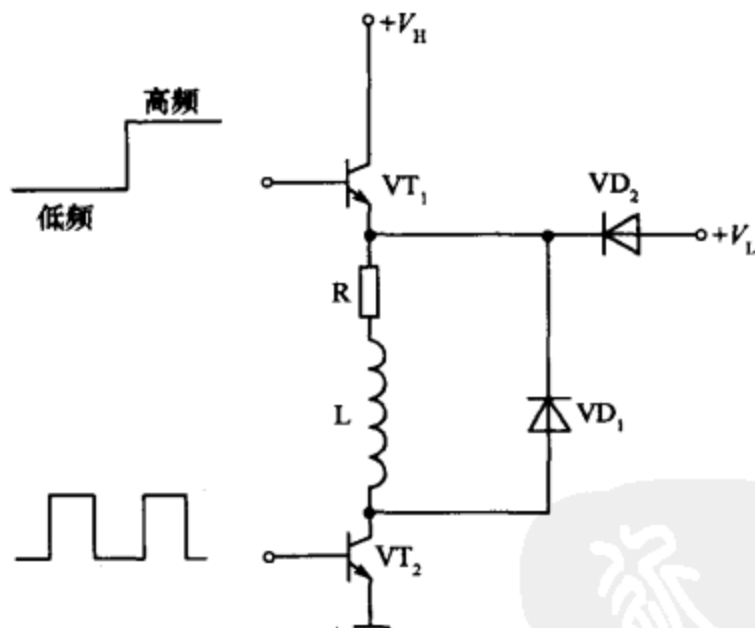


图 9-6 双电压驱动原理图

当电动机工作在低频时, 给  $T_1$  低电平, 使  $T_1$  关断。这时, 电动机的绕组由低电压  $V_L$  供电, 控制脉冲通过  $T_2$  使绕组得到低压脉冲电源。当电动机工作在高频时, 给  $T_1$  高电平, 使  $T_1$  打开。这时二极管  $D_2$  反向截止, 切断低电压电源  $V_L$ , 电动机绕组由高电压  $V_H$  供电, 控制脉冲通过  $T_2$  使绕组得到高压脉冲电源。

这种驱动方法保证了低频段仍然具有单电压驱动的特点, 在高频段具有良好的高频性能, 但仍没摆脱单电压驱动的弱点, 在限流电阻 R 上仍然会产生损耗和发热。



## 2) 高低压法

高低压法的基本思路是:不论电动机工作的频率如何,在绕组通电的开始用高压供电,使绕组中电流迅速上升,而后用低压来维持绕组中的电流。

高低压驱动电路的原理如图 9-7 所示。尽管看起来与双电压法电路非常相似,但它们的原理有很大差别。

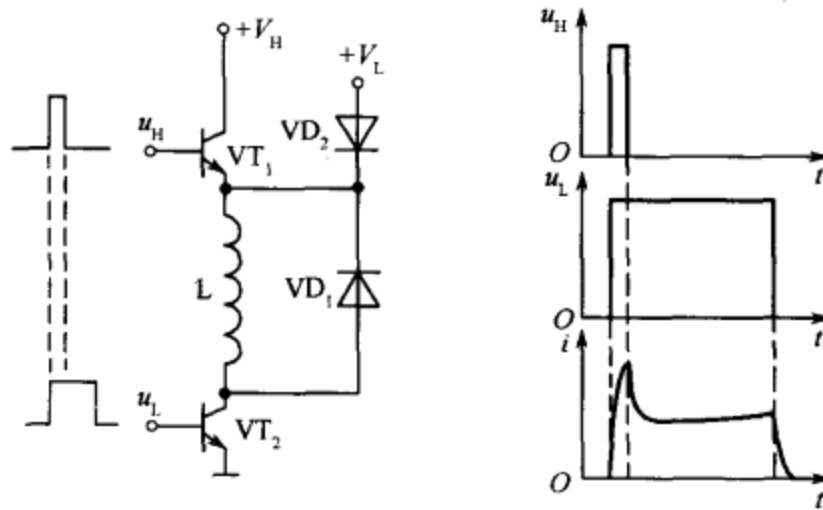


图 9-7 高低电压驱动原理图

高压开关管  $T_1$  的输入脉冲  $u_H$  与低压开关管  $T_2$  的输入脉冲  $u_L$  同时起步,但脉宽要窄得多。两个脉冲同时使开关管  $T_1$ 、 $T_2$  导通,使高电压  $V_H$  为电动机绕组供电。这使得绕组中电流  $i$  快速上升,电流波形的前沿很陡,如图 9-7 所示电流波形。当脉冲  $u_H$  降为低电平时,高压开关管  $T_1$  截止,高电压被切断,低电压  $V_L$  通过二极管  $D_2$  为绕组继续供电。由于绕组电阻小,回路中又没有串联电阻,所以低电压只需数伏就可以为绕组提供较大电流。

高低压驱动法是目前普遍应用的一种方法。由于这种驱动在低频时电流有较大的上冲,电动机低频噪声较大,低频共振现象存在,使用时要注意。

**重点提示** 步进电动机与其他电动机不同,它所标称的额定电压和额定电流只是参考值;又因为步进电动机以脉冲方式供电,电源电压是其最高电压,而不是平均电压,所以,步进电动机可以超出其额定值范围工作。这就是为什么步进电动机可以采用高低压工作的原因。一般高压选择范围是  $80V \sim 150V$ ,低压选择范围是  $5V \sim 20V$ 。选择时注意不要偏离步进电动机的额定值太远。

## 3. 斩波驱动

高低压驱动时,电流波形在高压与低压交接处有一个凹陷(如图 9-7 所示),这会引出输出转矩出现下降。另外,双电压也会增加设备的成本。斩波驱动会很好地解决这个问题。

图 9-8(a)是斩波恒流驱动的原理图。 $T_1$  是一个高频开关管。 $T_2$  开关管的发射极接一只小电阻  $R$ ,电动机绕组的电流经  $R$  到地,所以, $R$  是电流取样电阻。比较器的一端接给定电压  $u_c$ ,另一端接取样电阻  $R$  上的压降,当取样电压为 0 时,比较器输出高电平。当控制脉冲  $u_i$  为低电平时, $T_1$  和  $T_2$  两个开关管均截止;当  $u_i$  为高电平时, $T_1$  和  $T_2$  两个开关管均导通,电源向绕组供电。由于绕组电感的作用, $R$  上的电压逐渐升高,当超过给定电压  $u_c$  的值时,比较器输出低电平,使与门输出低电平, $T_1$  截止,电源被切断;当取样电

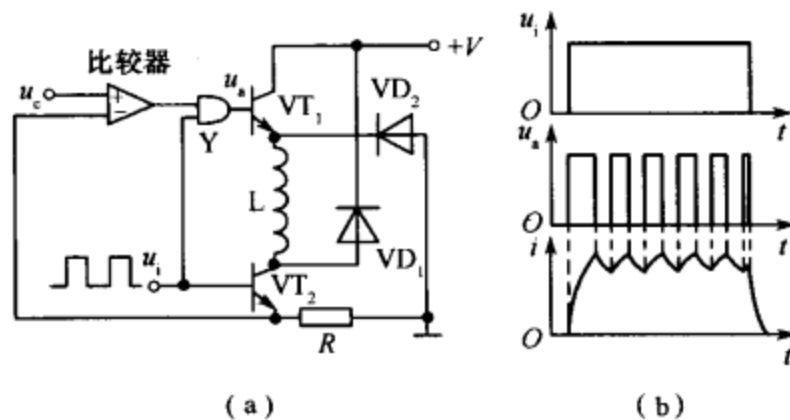


图 9-8 斩波驱动电路  
(a)电路原理图；(b)波形图。

阻  $R$  上的电压小于给定电压时,比较器输出高电平,与门也输出高电平, $T_1$  又导通,电源又开始向绕组供电。这样反复循环,直到  $u_i$  为低电平为止。

以上的驱动过程表现为: $T_2$  每导通一次, $T_1$  导通多次,绕组的电流波形为锯齿形,如图 9-8(b)所示。

在  $T_2$  导通的时间里,电源是脉冲式供电(见  $u_a$  波形),所以提高了电源效率,并且能有效地抑制共振。由于无需外接影响时间常数的限流电阻,所以提高了高频性能;但是,由于电流波形为锯齿形,将会产生较大的电磁噪声。

#### 4. 细分驱动

步进电动机各相绕组的电流是按照工作方式的节拍轮流通电的。绕组通电的过程非常简单,即通电—断电反复进行。现在设想将这一过程复杂化一些,例如,每次通电时电流的幅值并不是一次升到位,而是分成阶级,逐个阶级地上升;同样,每次断电时电流也不是一次降到 0,而是逐个阶级地下降。如果这样做会发生什么现象?

我们都知道,电磁力的大小与绕组通电电流的大小有关。当通电相的电流并不马上升到位,而断电相的电流并不立即降为 0 时,它们所产生的磁场合力,会使转子有一个新的平衡位置,这个新的平衡位置是在原来的步距角范围内。也就是说,如果绕组中电流的波形不再是一个近似方波,而是一个分成  $N$  个阶级的近似阶梯波,则电流每升或降一个阶级时,转子转动一小步。当转子按照这样的规律转过  $N$  小步时,实际上相当于它转过一个步距角。这种将一个步距角细分成若干小步的驱动方法,就称为细分驱动。

细分驱动使实际步距角更小了,可以大大地提高对执行机构的控制精度。同时,也可以减小或消除振荡、噪声和转矩波动。目前,采用细分技术已经可以将原步距角分成数百份。

实现细分的驱动电路可分为两类:一类是采用线性模拟功率放大的方法获得阶梯形电流,这种方法电路简单,但功率管功耗大、效率低;另一类是用单片机采用数字脉宽调制的方法获得阶梯形电流,这种方法需要复杂的计算来使细分后的步距角均匀一致。下面介绍一种属于脉宽调制法的驱动电路——恒频脉宽调制细分电路,它不需要复杂的计算,是目前比较流行的方法。

恒频脉宽调制细分驱动控制实际上是在斩波恒流驱动的基础上的进一步改进。在斩波恒流驱动电路中,绕组中电流的大小取决于比较器的给定电压,在工作中这个给定电压是一个定值。现在,用一个阶梯电压来代替这个给定电压,就可以得到阶梯形电流。

恒频脉宽调制细分驱动电路如图 9-9(a)所示。单片机是控制主体,它通过定时器 T0 输出 20kHz 的方波,送 D 触发器,作为恒频信号。同时,输出阶梯电压的数字信号到 D/A 转换器,作为控制信号,它的阶梯电压的每一次变化,都使转子走一细分步。

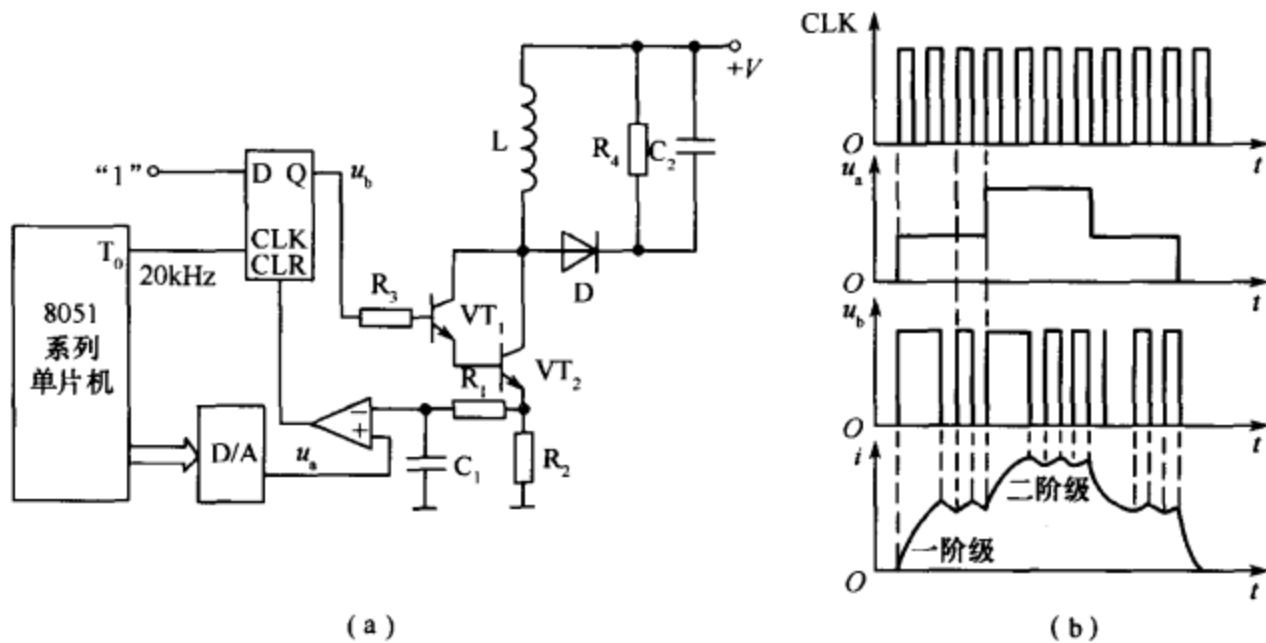


图 9-9 恒频脉宽细分电路及波形

(a)电路图; (b)波形图。

恒频脉宽调制细分电路工作原理如下:当 D/A 转换器输出的  $u_a$  不变时,恒频信号 CLK 的上升沿使 D 触发器输出  $u_b$  高电平,使开关管  $T_1$ 、 $T_2$  导通,绕组中的电流上升,取样电阻  $R_2$  上压降增加。当这个压降大于  $u_a$  时,比较器输出低电平,使 D 触发器输出  $u_b$  低电平, $T_1$ 、 $T_2$  截止,绕组的电流下降。这使得  $R_2$  上的压降小于  $u_a$ ,比较器输出高电平,使 D 触发器输出高电平, $T_1$ 、 $T_2$  导通,绕组中的电流重新上升。这样的过程反复进行,使绕组电流呈波顶锯齿形。因为 CLK 的频率较高,锯齿形波纹会很小。

当  $u_a$  上升突变时,取样电阻上的压降小于  $u_a$ ,电流有较长的上升时间。电流幅值大幅增长,上升了一个阶级,如图 9-9(b)所示。

同样,当  $u_a$  下降突变时,取样电阻上的压降有较长时间大于  $u_a$ ,比较器输出低电平,CLK 的上升沿即使使 D 触发器输出 1 也马上被清 0。电源始终被切断,使电流幅值大幅下降,降到新的阶级为止。

以上过程重复进行。 $u_a$  的每一次突变,就会使转子转过一个细分步。

### 5. 集成电路驱动

驱动电路集成化已成为一种趋势。目前,已有多种步进电动机驱动集成电路芯片,它们大多集驱动和保护于一体,作为小功率步进电动机的专用驱动芯片,广泛用于小型仪表、计算机外设等领域,使用起来非常方便。下面举一例介绍 UCN5804B 芯片的功能和应用。

UCN5804B 集成电路芯片适用于四相步进电动机的单极性驱动。它最大能输出 1.5A 电流、35V 电压。内部集成有驱动电路、脉冲分配器、续流二极管和过热保护电路。它可以选择工作在单四拍、双四拍和八拍方式,上电自行复位,可以控制转向和输出使能。

图 9-10 是这种芯片的一个典型应用。各引脚功能为:4、5、12、13 脚为接地引脚;1、3、6、8 脚为输出引脚,电动机各相的接线如图;14 脚控制电动机的转向,其中低电平为正

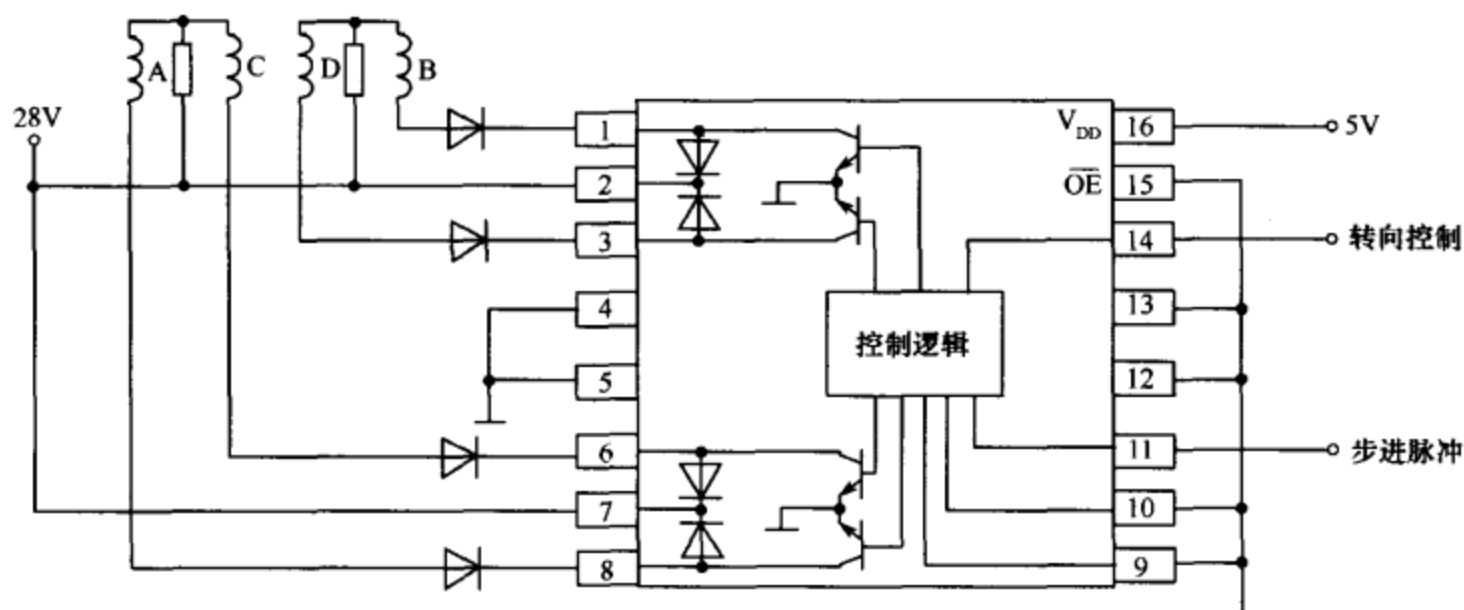


图 9-10 UCN5804B 应用电路

转,高电平为反转;11脚是步进脉冲的输入端;9、10脚决定工作方式。

图中,每两相绕组共用一个限流电阻,由于绕组间存在互感,绕组的感应电动势可能会使芯片的输出电压为负,导致芯片有较大电流输出,发生逻辑错误,因此,需要在输出端串接肖特基二极管。

## 六、步进电动机的应用

### 1. 步进电动机的选择

在选择步进电动机时,首先要考虑的是选择哪种类型,其次是具体的品种与型号。反应式、永磁式和永磁感应式三种步进电动机的性能指标、外形尺寸、安装方法、脉冲电源种类及控制电路等都不同,因此其价格也有很大差异,需要根据控制系统的性能指标与经济指标综合考虑。具有步进电动机控制集成电路的电动机应优先考虑。为了便于选择,现将几种步进电动机的性能特点列于下表。

步进电动机的特点			
种类	型号	结构特点	性能特点
反应式步进电动机	BF	定子上有多相绕组,定子磁极和转子上开有小齿,定、转子铁芯可做成单段式或多段式	齿距角可以做得很小,启动和运行频率较高。断电时无定位转矩,需用带电定位,消耗功率大
永磁式步进电动机	BY	定子上有多相绕组,但定子磁极上不开小齿,转子用永久磁钢做成,转子极数与定子每相的极数相同	步距角较大,启动和运行频率较低,需供给正负脉冲信号,断电时有定位转矩,消耗功率较小
永磁感应式步进电动机	BYG	为永磁式和反应式的组合,定子结构与反应式相同,转子由位于中部的环形永久磁钢和位于两端的无磁性铁芯组成。环形磁钢轴向充磁,两端的铁芯上开有小槽	步距角小,有较高的启动和运行频率,消耗功率小,有定位转矩,兼有以上两种步进电动机的优点。但需供给正、负脉冲信号,结构复杂

## 2. 使用注意事项

(1) 步进电动机的引出线各厂产品都不统一,使用前应仔细阅读说明书。若电动机的转向与要求的相反时,只需要将两相接线位置互调即可。

(2) 步进电动机按启动频率工作时,可以保证启动和停止不失步。如果按运行频率工作时,启动和停止都必须有一个缓变的升频和降频过程,要保证在启动和停止频率下进行操作,特别是负载转动惯量较大时(停止时)更应注意这一点。

(3) 某些功率步进电动机带有强迫冷却装置,使用中应注意查看冷却装置的工作是否正常。

近年来,步进电动机发展很快,这是由于电力、电子技术的发展解决了步进电动机的电源问题。最近新型永磁材料研制上的突破,又会促进步进电动机进一步发展。由于步进电动机的步距(转速)不受电压波动和负载变化的影响,也不受环境条件(温度、压力、冲击和振动等)的限制,而只与脉冲频率成正比,所以它能按照控制脉冲数的要求,立即启动、停止、反转。在不丢步的情况下,角位移的误差不会长期积累,所以步进电动机能实现高精度的角度开环控制。然而,由于开环控制的频率不自控,低速时会发生振动现象,这是值得重视和研究的问题。尽管如此,目前步进电动机的应用范围仍十分广泛。

## 第二节 微型同步电动机

微型同步电动机与交流同步电动机一样,转子转速恒为同步转速  $n$ ,使用在转速要求恒定的装置中,如电唱机、录音机、电视设备、电钟、时间机构、记录仪表装置、陀螺仪等。

微型同步电动机的定子结构与异步电动机定子是一样的,有单相的也有三相的,定子绕组通电后建立气隙旋转磁通势。转子的极数与定子极数相同,依据转子不同的类型,微型同步电动机分成永磁式、反应式和磁滞式几种,下面简要介绍永磁式和磁滞式微型同步电动机。

### 一、永磁式微型同步电动机

永磁式微型同步电动机的转子是一个永久磁铁,N、S极沿着圆周方向交替排列。当电动机运行时,定子产生转速为  $n$  的旋转磁通势,转子则以  $n$  转速随之同步旋转,图 9-11 为永磁式微型同步电动机永磁转子。

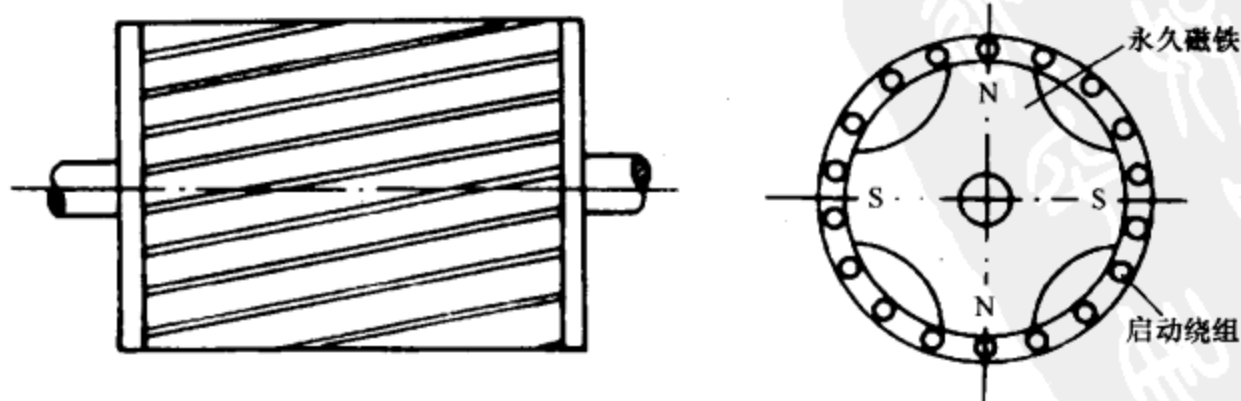


图 9-11 永磁式微型同步电动机永磁转子

永磁式微型同步电动机采用异步启动,即在转子上装上鼠笼启动绕组,在启动过程中产生异步转矩启动。待到转子转速接近同步转速 $n$ 、旋转磁通势与转子相对速度很小时,转子被牵入同步,转速升到 $n$ 。在同步电动机运行时,鼠笼绕组不再起作用。

永磁式同步电动机比其他微型同步电动机有比较高的效率和功率因数,工作稳定、转速恒定。但其造价高、结构复杂,启动电流较大。

## 二、反应式微型同步电动机

反应式同步电动机转子本身不具有磁性,它是利用转子的交轴和直轴两个方向的磁阻不同,在旋转磁场作用下产生转矩使转子转动。定子、转子磁极对数相同,以保证交、直轴方向磁阻不等。通常这类电动机也称磁阻式同步电动机。

反应式微型同步电动机如同大型同步电动机一样,不能自动启动。若要使其自动启动,必须装启动绕组,产生启动转矩。所以,其启动转矩是由转子上的鼠笼式启动绕组产生的。在转子加速到接近同步转速时,依靠磁阻转矩将转子牵入同步并在同步下运行,启动绕组失去启动作用。转子上没有励磁绕组和滑环,也不使用永磁材料,其磁场由定子磁通产生。由于没有滑动接触,又由于鼠笼式绕组在正常运行时起到阻尼绕组的作用,因此,运行稳定、可靠。这种电动机可以通过改变定子、转子磁极对数改变转子转速,还可以用改变交流电的频率来改变转速。

反应式微型同步电动机结构简单、成本低廉,可用于记录仪表、摄影机、录音机及复印机等设备中。

## 第三节 无刷直流电动机

普通直流电动机由于电刷和换向器之间有滑动接触,使用中常引起诸如火花噪声、无线电干扰、运行稳定性差等许多问题。目前除了对传统的换向器不断改进以外,还普遍重视发展无刷直流电动机。这种电动机的特点是用电力电子器件及其控制电路代替传统的机械换向器,避免了电刷和换向器的滑动接触,提高了运行的可靠性,同时还保留了普通直流电动机优良的调速性能,所以是一种很有发展前途的直流电动机。

无刷直流电动机由电动机本体、转子位置传感器和电子开关电路三部分组成,其基本结构如图 9-12 所示。

电动机本体包括主定子和主转子两部分,主定子上放置空间互差 $120^\circ$ 的三相对称电枢绕组 AX、BY、CZ,接成 Y 形或 $\Delta$ 形,主转子是用永久磁钢制成的一对磁极。转子位置传感器也由定子、转子两部分组成。定子安装在主电动机壳内,转子和主转子同轴旋转。它的作用是把主转子的位置检测出来,变成电信号去控制电子开关电路,故也称转子位置检测器。电子开关电路中的功率开关元件分别与主定子上各相绕组相连接,通过位置传感器输出的信号,控制三极管的导通和截止,从而主定子上各相绕组中的电流也随着转子位置的改变,按一定的顺序进行切换,实现无接触式的换向。

近年来出现的无刷直流电动机,用晶体管开关电路和位置传感器代替电刷和换向器。所以无刷直流电动机的类型按晶体管开关电路的不同可分为桥式和非桥式两种,按所使用的位置传感器形式的不同可分为光电式、电磁式、磁敏元件式和接近开关式等。

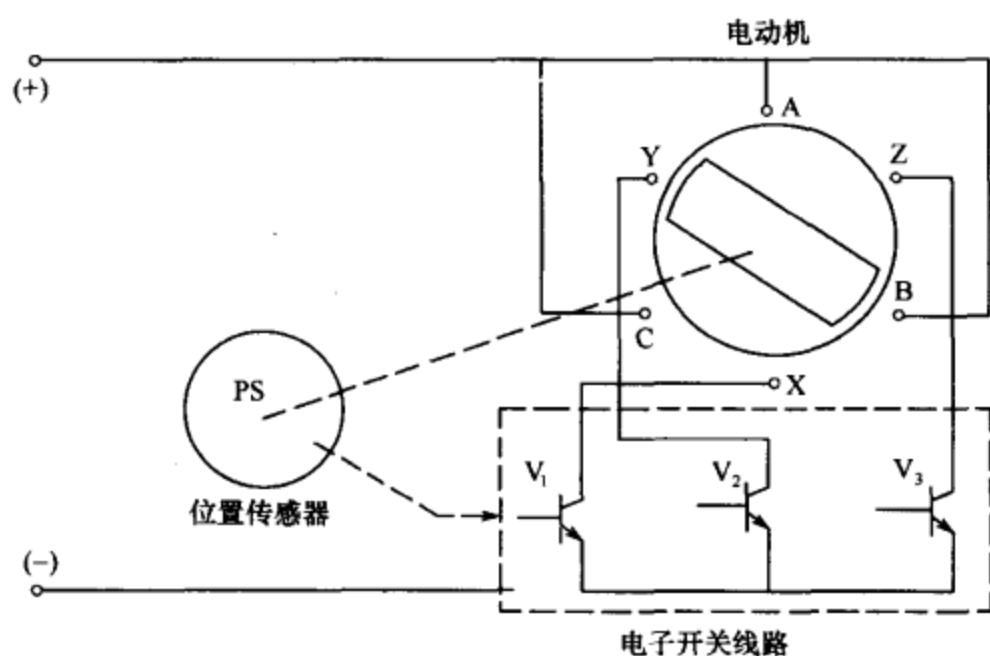


图 9-12 无刷直流电动机结构简图

转子位置传感器是无刷直流电动机的一个关键部件,可根据不同的原理构成如电磁感应式、光电式、磁敏式等多种不同的结构形式。其中电磁感应式因工作可靠、维护简便、寿命长,故应用较多。

电磁感应式转子位置传感器原理如图 9-13 所示。其定子由原边线圈与副边线圈绕在同一铁芯组成,转子则由一个具有一定角度(近似电动机的导通角)的导磁材料组成,该导磁材料可由铁氧体或硅钢片制成。

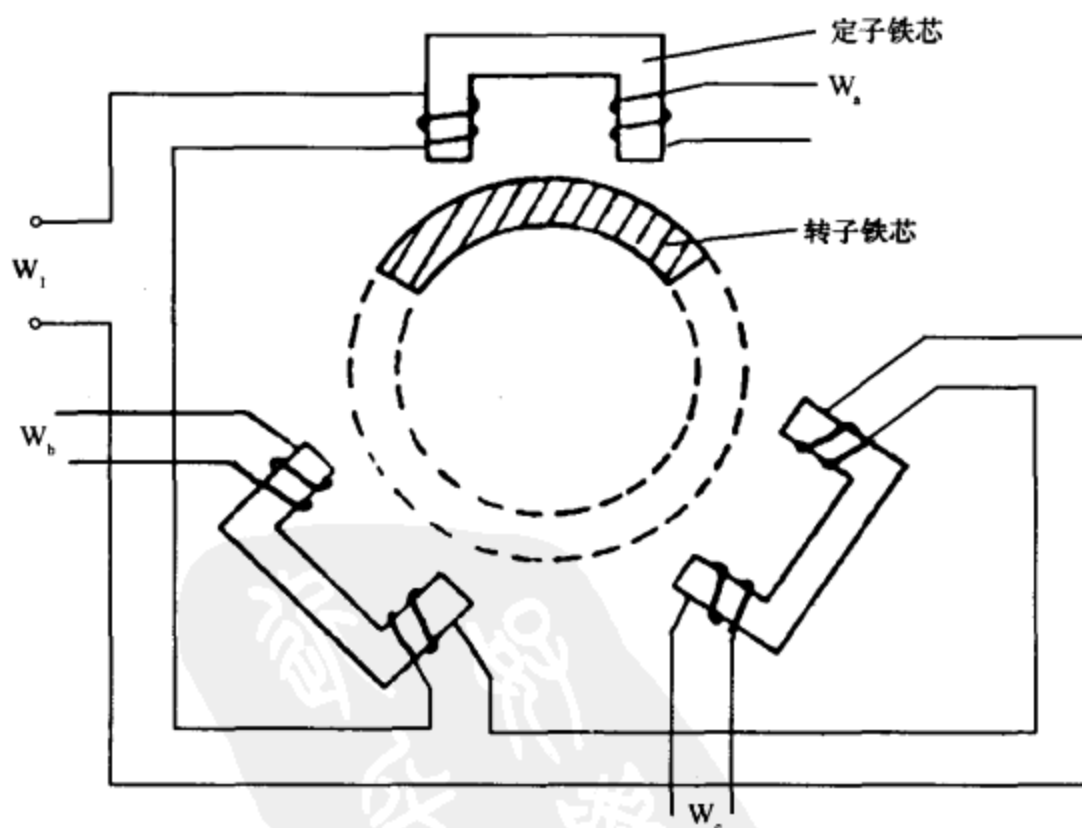


图 9-13 电磁感应式传感器

在线圈的原边  $W_1$  端输入高频激磁信号,在副边线圈中感应出耦合转子铁芯与定子铁芯相对位置的输出信号,图中的  $W_a$  经过电子线路处理,变成与电动机定子、转子位置相对应的电平信号,再经整形处理,就得到了电动机的换向信号。而没有耦合转子铁芯的定子线圈  $W_b$ 、 $W_c$  均无信号输出。

## 参考文献

- [1]何报杏. 怎样维修电动机. 北京:金盾出版社,2002.
- [2]金国砥. 电动机维修入门. 杭州:浙江科学技术出版社,1999.
- [3]周悦,李凡. 最新电动机维修培训强化教程. 北京:人民邮电出版社,2003.
- [4]田明荣. 电动机维修精要. 北京:北京伯通电子出版社家电维修工作室,2002.
- [5]杜德昌. 电动机的结构与维修. 北京:电子工业出版社,2003.
- [6]王晓明. 电动机的单片机控制. 北京:北京航空航天大学出版社,2002.
- [7]周德麟,崔发启,周兴民. 家用电器电动机的结构与检修. 北京:人民邮电出版社,2000.
- [8]秦崎,潘恬. 家用电器单相电动机的原理与维修. 北京:机械工业出版社,1999.
- [9]姜孝定. 三相异步电动机绕组图册. 北京:机械工业出版社,2000.
- [10]金续曾. 单相异步电动机绕组修理. 北京:机械工业出版社,2000.
- [11]姜孝定. 三相异步电动机绕组改接与计算. 北京:机械工业出版社,2000.
- [12]秦曾煌. 电工学. 北京:高等教育出版社,1985.
- [13]赵清,张玉茹. 小型电动机. 北京:电子工业出版社,2003.
- [14]刘子林. 电机与电气控制. 北京:电子工业出版社,2003.
- [15]牛金生. 电机与控制. 北京:电子工业出版社,2002.
- [16]李发海,王岩. 电机与拖动基础. 北京:清华大学出版社,2002.
- [17]邱阿瑞,孙旭东. 实用电动机控制. 北京:人民邮电出版社,1998.
- [18]何希才,薛永毅. 电动机控制与维修技术. 北京:人民邮电出版社,1998.
- [19]赵清,张玉茹. 小型电动机. 北京:电子工业出版社,2003.
- [20]秦曾煌. 电工学. 北京:高等教育出版社,1985.

