

电工速成读本

第三册

(直流电动机)

上海区港务管理局职工训练班 編

人民交通出版社

电工速成读本

第三册

(直流电动机)

上海区港务管理局职工训练班 编

人民交通出版社出版

(北京安定门外和平里)

北京市书刊出版业营业许可证出字第 003 号

外文印刷厂印刷 新华书店发行

1958年12月北京第一版 1959年2月北京第二次印刷

开本: $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ 印张: $1 \frac{1}{2}$ 张

字数: 10,000 字 印数: 4101—17200 册

统一书号: 13044·5108

定价: (7) 0.07 元

目 录

一、直流电动机的原理和构造.....	1
二、直流电动机的反电动势和它的作用.....	4
三、直流电动机的电枢反应.....	6
四、各种直流电动机的特性.....	7
五、直流电动机的开动和换向.....	10
六、直流电动机的维护和检修知識.....	13
七、直流电动机与交流电动机的比較.....	14

一、直流电动机的原理和构造

1. 直流电动机的简单原理

我們已經學過，通有電流的導線在磁場中會受到磁力線的作用而發生移動。直流電動機就是根據這個原理製成的。當這通電導線在磁場內做圓周旋轉運動時，就會產生作用力。這種作用力，我們叫做電動機的轉矩。由一個單匝線圈所組成的電動機，雖然能夠按一定方向旋轉，但這種力量太小了，不能拖动什麼負荷，實用價值不大。因此，一座真正的電動機，構造上要複雜得多，但原理是與上述情況相同的。

、直流電動機的構造和直流發電機完全相同。發電機和電動機總稱為電機。如果把電機的轉軸和原動機連接，使原動機帶動電機旋轉而發出電，這是由機械能轉變為電能，就成為發電機；如果電機從線路里取得電能帶動機器旋轉而由電能轉變為機械能，就成為電動機。

2. 直流電動機的構造

直流電動機主要是由下列五個部分組成的：

- （1）機殼——裝置各個部分的機座外殼；
- （2）磁極——產生磁場和磁力線；
- （3）電樞——在磁場中旋轉，切割磁力線並產生轉矩；
- （4）換向器——產生整流作用，並傳導電流到電樞中去；
- （5）電刷、刷握——使外面電流通過電刷，流入換向器和電樞。

（1）機殼：

机壳一般用普通的铁或钢板做成。所有的磁极铁心就装置在机壳里面。机壳一方面成为电机的机座，另一方面还组成磁路的一部分。机壳两边是圆形的盖板，中央有圆孔，可以穿过电枢的地轴并安放轴承，另一边的一块盖板上还做好电刷架，供安放电刷之用。

（2）磁极：

磁极的铁心是用软铁或软钢做成，大型的用矽钢片，一片片迭压起来，并且互相绝缘；然后用螺丝销牢。这样可以减少涡流和磁滞损失。

磁极的磁场是用线圈绕制起来后通进电流而产生的，因此，这种线圈称为激磁线圈，也称激磁绕组。激磁绕组的接法有两种，一种是串激绕组，一种是分激绕组，另外还有把两种绕组联合应用的，称为复激绕组。因此，直流电动机可分为串激式、分激式和复激式三种。什么叫串激、分激，留到后面再讲。一般来说，串激绕组的圈数少，须通过大的电流，所以它的导线较粗，常用铜条来做；分激绕组通过的电流小，但圈数要多，所以用细导线绕成。

把绕好的线圈分别放进磁极铁心里，然后用长螺丝销在机壳上，于是磁极部分就完成了。磁极铁心的外端都做成手掌似的，称为极掌，或称极靴。它的作用是可以改善磁通分布情况，而且还可以避免激磁绕组滑出铁心。直流电动机有几对磁极，完全看需要而设计决定。一般有两对极、三对极、四对极或者更多，这些磁极都按南北极相隔的次序，平均分布在圆周上，不可改变弄错，同时因为它们都是凸出可见的，故称为凸极。

（3）电枢：

电枢的铁心也是由矽钢片迭成，矽钢片四周冲有槽，槽内嵌入电枢绕组使电枢绕组放入齿槽以后，不会发生移动变位。电枢绕组现在采用的都是鼓形绕组。这种绕组也可分为二种绕法：一种叫迭绕法，另一种是波绕法（因为比较繁复，这里不作详细介绍）。在构

造上，所有电枢繞組可以預先照模型繞成一个个的綫圈包，放进齿槽，制造起来很方便。但繞組的繞法，不論哪一种都必須遵守一个原則，就是每一个綫圈的两个边，决不能在同一時間通过同性的磁极，一定要在同一時間內切割不同性的磁极，也就是一边在南极下面，一边一定要在北极下面，否則会造成电势对銷。由于这个原故，电枢繞組的二边之間一定要維持一个規定的角度，这个角度大約等于相邻磁极的中心綫之間的距离角度，这个角度称为繞組节距。

电枢繞組嵌好后，每个綫圈头都要焊牢在換向器的整流銅片上去。

(4) 換向器：

換向器的任务很重要，只有正确地运用換向整流作用，直流电机才能正常工作，并且在电刷上不产生火花。每一台电机的換向器都是由好多換向片組成的，而換向片的数目，又受到电枢繞組构造的限制，因此，換向器的构造是随着电机的設計而变化的。

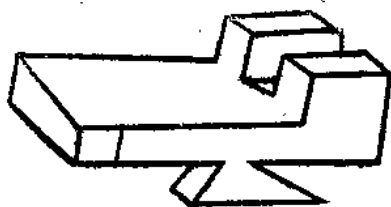


图 1

換向器的制造和装配是比較困难和麻煩的，故障也比較多，是电机中薄弱的一环。它的形状如图 1 所示，高出的部分称为耳，是焊接电枢綫圈头的地方，下部做成楔形状，这样可以牢固地装在軸套上，不发生細微滑动。要注意的是各个換向片都独自成为一体，与其他換向片或地軸完全絕緣，常用云母片来做絕緣材料。

装成后的換向器表面一定要非常圓而滑，不能高低不平，因为这換向器的表面有电刷在滑动，如果表面不平，不但要发出火花，还会损坏电刷。

換向片的长度，是根据同一排上安放电刷的大小和数目来决定。

(5) 电刷和刷握：

电刷是引导电流进入电枢的桥梁。电刷的任务虽单纯，但对它的要求很高。电刷应该采用导电性能良好、而且耐磨的材料做成，但又不能太硬，以免损伤换向片，所以实用上的电刷是用碳或石墨做成，故有时称为炭刷。一般把它做成长方形或方形的小块，并把它装进一个架子里。这个架子，称为刷架，上面是一个刷盒或称刷握，刷架就装在电动机的盖板上，这样，它就不会移动，电刷也就可以固定了。当然，在必要时，也还是可以调整的。握刷上都有适当的设备。如弹簧压板等，以便调整电刷压在换向器上的压力。

电刷安放的位置与电机工作好坏有非常重要的关系。应该把电刷放在磁极的中性线上，目的是可以避免产生火花，并且增加电机转动效果。

电刷数目的多少，是根据电枢绕组的绕法来决定的，但至少有两个，即一个正极和一个负极，而且总是成对的。

二、直流电动机的反电动势和它的作用

我们知道任何一个导体切割磁力线时，根据电磁感应原理，就会在导体内感应出电动势，所以电枢在磁场中旋转时，不论是发电机或电动机，都会有这种现象产生。同时，我们知道，电动机的旋转方向是根据左手定则来确定的，而产生感应电动势的方向是根据右手定则来确定。这里就有显著的差别，由这种差别可以知道：感应电动势的方向总是反对外加的电动势方向。因此，这种感应电动势称为反电动势。反电动势具有阻止电流进入电枢绕组的趋向。可是电

枢旋轉时所需的电流是由电源电动势推动的，所以在正常情况下，反电动势总是小于外加电动势。

电机的反电动势是个重要問題，它关系到电机的一些重要特性和安全。

因为任何一座电动机中，电枢的用綫很粗，它的电阻也就很小，常常不到1欧姆，所以較高的电压（例如110V、220V）直接加上电枢之后，电枢中的电流就会非常大，大到有燒毀电枢的可能，非常危险，但是在电枢旋轉以后，电枢里感应出反电动势，来抵銷大部分外加电动势，使电枢中的电流降到安全值以内。在电动机刚刚开动的时候，电枢轉速很低，感应的反电动势一定很小（因为反电动势的大小，决定于磁場的磁通和轉速），所以，我們开动一座电动机，一定要用开动器来加进一定的电阻。等到电机的轉速升高后，逐漸撤去电阻，这样就保障了电机的完全。

計算反电动势的方法，可根据下列公式；

$$U - E = I R$$

$$\text{或 } I = \frac{U - E}{R}$$

式中：I——电枢电流，安培；

U——外加电动势，伏特；

E——反电动势，伏特；

R——电枢电阻，欧姆。

例题 1：有一座3馬力的直流电动机，电枢繞組的电阻为0.4欧姆，外加电动势为110伏特，开动时电枢繞組中的电流多大？如果轉速升高，产生反电动势100伏特，电枢繞組电流又是多大？

开动时，反电动势等于0

故 电流 = $\frac{\text{电动势} - \text{反电动势}}{\text{电阻}} = \frac{110 - 0}{0.4} = 275 \text{ 安培},$

这样大的电流，电枢绕组必然会烧坏。

转速升高后，反电动势等于100伏特，

故 电流 = $\frac{110 - 100}{0.4} = 25 \text{ 安培},$

这样的电流才是正常运转时的安全值。

例题 2：如果在上述电动机起动时，电枢绕组串接四个0.5欧姆的电阻，起动电流为多少？

$$I = \frac{110 - 0}{0.4 + 2} = 46 \text{ 安培}.$$

实用上，起动电流一般控制到为正常额定电流的一倍半到二倍，所以上面的起动电流就没有危险。

三、直流电动机的电枢反应

电动机和发电机当电枢转动后，激磁绕组的磁场和电枢绕组的磁场会相互作用，而形成一个合磁场。这个合磁场使原来的磁场、磁力线变得弯弯曲曲，而不是整齐均匀。我们把这种现象称为直流电机的电枢反应。

直流电动机电枢反应的结果，使原来的中性平面向电枢的旋转方向移前了一个角度，使得原来放在中性面上的电刷就不再处在中性线位置上，因而产生了火花。电枢电流愈大，偏角也愈大。所以为了改善这种情况，就应该把电刷在换向器上移动一下位置，即朝电枢旋转方向后退一个角度，可以让它处在新的中性线位置上。但因为电枢旋转速度不是始终一样的，这就需要经常调节，显得非常麻烦不方便。

現在有了一個新的方法，就是在電機的激磁繞組的磁極與磁極中間，裝置額外的小型磁極，這樣的小型磁極稱為間極或稱為整流極。在一般的直流電機里，間極的數目等於主極的數目，但小型電機的間極數目可減為主極數目的一半，至於間極的極性應該是和它後面一個主極的極性相同，不得弄錯。

有了間極以後，由於這三個磁場的作用，恰恰能夠補償電樞反應的磁力綫變形情況，於是就可以得到無火花的換向，電刷的位置也不必移動了。

四、各種直流電動機的特性

直流電動機分他激電動機和自激電動機二種。這是根據激磁電流和電樞電流是由一個電源供給還是由二個電源供給來區別的，現在大多數的直流電動機都是自激式的。

自激電動機，因激磁繞組與電樞繞組的接法的不同可以分為三種：分激電動機、串激電動機、復激電動機，由於它們的接法不同，所以特性也各有不同。

（1）分激電動機：

也稱為并激電動機，因為它的激磁繞組與電樞繞組是并聯的，這并激磁場的繞組用許多匝細導綫做成（參看圖2）。因為繞組的電阻幾乎是一定的，綫圈的電流，以及由它產生的磁極磁場的強度，都將由電動機的外施電壓來決定。假使電源電壓不變，那末磁場也很少變動，所以它不能開動很重的負載。電動機開動以後，如果負荷增加，那末電動機的轉速就略降，反電動勢也略減，這時綫路里可以供給電樞較強的電流，這樣就可以增加電動機的轉矩，來維持重負荷時穩定的轉速。

總括起來，并激電動機具有下列一些特性（參看圖3）：

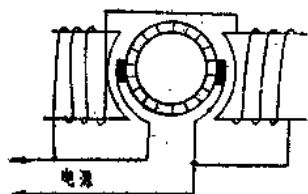


图2 并激电动机接线图

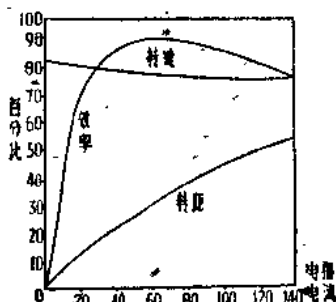


图3 并激电动机特性曲线

(i) 并激电动机在不同负荷下的转速，由于磁场稳定不变，所以转速也可以相当稳定；

(ii) 因为电动机的转矩是与磁通密度和电枢电流的乘积成正比，由于磁场的变动很少，所以转矩的大小与电枢电流成正比。

并激电动机的应用很广泛，它可以用于不需要过大的开动转矩而转速保持稳定的各种场合，如水泵、各种机床等。

(2) 串激电动机：

串激电动机的磁场线圈和电枢绕组是串联的（参看图4）。串激磁场绕组是用粗的铜线或铜条做的，匝数在几十匝到几百匝之间。

因此，激磁绕组中通过的电流和电枢绕组中通过的电流是相同的，于是在不同负荷下使电枢电流发生变化时，激磁电流也紧紧地跟着变化；这样，就必然影响了磁场的强度。结果，电动机的转速随着它的负荷而发生变化，亦就是负荷的增加使转速急速下降，反之，负荷减小时，使转速急速上升。所以串激电动机有了这种性质的变化，也称为变速电动机了。

串激电动机在开动时，电枢电流和激磁电流同时增加，而那时的电枢还转得很慢，反电动势不大，很大的电流就通入电枢，磁场也同

时增强,故串激电动机的开动轉矩是很大的,它能开动很重的負荷。

串激电动机与分激电动机絕不相同的一点在于无負荷时的轉速:串激电动机在无負荷时沒有稳定的轉速,因为那时沒有反对性的阻力轉矩存在,于是轉速就会无限制上升,以致达到毀坏电机的危險程度,因之,串激电动机决不能在无負荷或很輕的負荷下運轉,而且也不能用皮带来传动,必須牢固地直接耦合在負荷上,經常有人控制它。

总括起来,串激电动机具有下列一些特性(參看图5)。

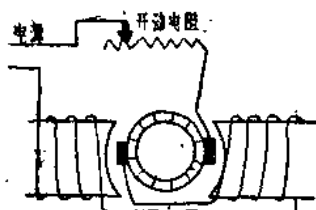


图4 串激电动机接綫图

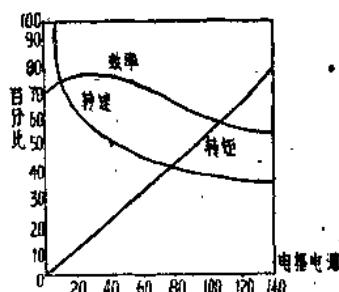


图5 串激电动机的特性曲綫

(i) 串激电动机輕負荷时轉速很高,增加負荷时,因为电流和磁通也同时增加,所以,較低的轉速也能产生足够的反电势 ($E = n \cdot \Phi$; n ——轉速; Φ ——磁通密度),这时就会产生較大的轉矩 ($M = I \cdot \Phi$; M ——轉矩),同时使电动机的轉速也稳定下来,即負荷重則轉速慢,負荷輕則轉速快。

(ii) 电动机的轉矩是和磁通密度的乘积成正比,因为串激电动机的磁場綫圈与电枢綫圈串联,通过相等的电流,所以輕負荷时,电流小,磁通密度也很小,所以轉矩也小;当負荷增加时,因为磁場和电枢的电流同时增加,所以轉矩增加很快。如果繼續增加負荷,由于磁性已达饱和,不再增加,所以轉矩的增加就和电流成

正比。

由于串激电动机具备了下列特点：开动轉矩大、所需电流較小、輕負荷时轉速快、重負荷时轉速慢等，适宜用于电車、起重機等方面。我們的港灣電池搬運車也是用的这种电动机。

（8）复激电动机：

复激电动机具有串激和并激两种磁場綫圈（參看图6），因此它也具有上述两种电动机的特性。

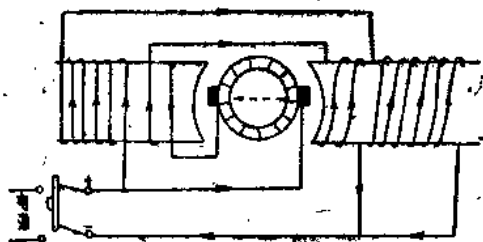


图6 复激电动机接綫图

就轉速特性來說，当負荷改变时复激电动机的轉速也有一定的变化，但不象串激电动机那样沒有限制，同时也不象分激电动机那样变化很少。分激繞組限制复激电动机在无

負荷时的最高轉速，串激繞組則帮助低轉速时的轉矩。在重負荷时起動很容易，輕負荷，沒有“飞脫”的危險。

由于复激电动机具有上述特性，用途也很广泛，常用在升降機、气压机、起重機、水泵等方面。

五、直流电动机的开动和換向

直流电动机的控制設備普通有两种类型：一种是专作开动用；另一种不但可以作为开动用，还可以在运行中控制电动机的速度和旋轉方向。

1/4馬力以下的直流电动机可以直接把它接到供电綫路上开动，因为它的电枢既小而輕，很快就能达到正常速度，反电动势迅速增加，所以不致燒坏綫圈。

中型或大型的直流电动机决不能直接用全电压来开动。要这种电动机的电枢加速旋转和产生必需的反电动势来减小过大的开动电流，是需要一定时间的。前面讲过，如果直接开动，开动电流会超出十倍于额定电流的数值，造成电枢损坏。

因此，开动一只直流电动机时，电路里面必须串联进一定的电阻，当电流通过这电阻时，产生一定的电压降，因而减少起动电流，转速逐渐升高，电阻也逐步划出。开动器的接线图如下（图7）：

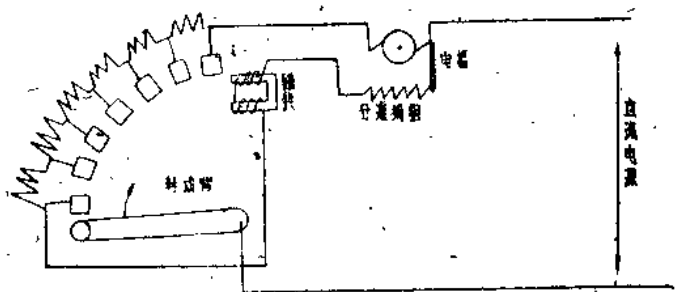


图7 直流电动机开动器线路图

直流电动机的开动器种类很多，但它们的基本原理都差不多。

电池搬运车在使用时，因为经常的要开、停、快、慢、进、退，为了适合这方面的要求，采用一种鼓形控制器，它既可以用来起动，也可以调节转速和方向。它的原理和交流滑环式电动机所用的完全相同。图8所示为一只简单的鼓型控制器线路图（可逆式的一种）。

至于直流电动机的换向，在原理上只要改变电枢电流的方向，或者改变磁场线圈电流的方向来达到目的，但如果二者同时都改变，那末，旋转方向仍旧没有变化。

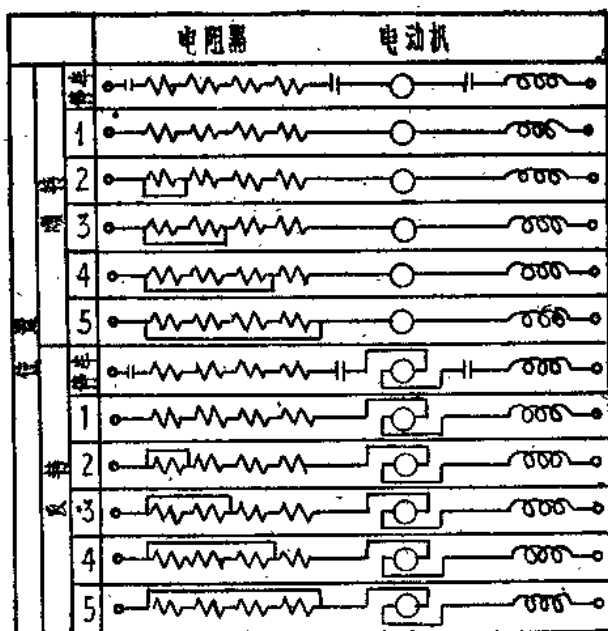
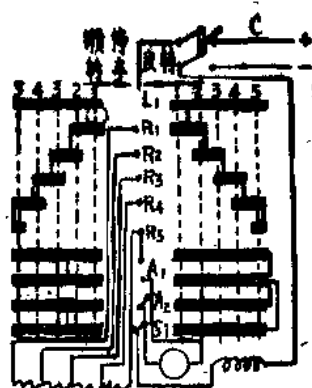


图 8 直流电机可逆式鼓形控制器接线图

六、直流電動機的維護和檢修知識

做好直流電動機的維護工作是保證它正常運行的最根本的辦法，因此必須經常注意下面一些問題。

1. 經常保持電動機的清潔，不積塵屑、油垢，因為如果電動機很臟會降低它的絕緣電阻，引起繞圈被打穿，同時使電動機散熱不良，溫度升高。

2. 注意電動機溫升，一般封閉式的溫升不超過 40°C ，開啟式的不超過 55°C ，否則必須強行通風降溫，或減輕負載，或停車休息。

3. 定期進行潤滑，加油不宜過多或過少，軸承內部不能進入灰塵什物，軸承蓋要密閉。

4. 必須特別注意保護整流設備；注意炭刷的品質和尺寸大小；炭刷與刷握間的空隙不宜過大或過小，約為 $0.1\sim 0.2$ 公厘；刷架與整流子表面距離約為 2 公厘，不得大於 3 公厘；炭刷的彈簧壓力要均勻、正常；炭刷與整流子表面不要沾到油，如果接觸不好，可用細砂紙打磨。

整流子工作不良、銅片發黑、炭刷發生火花是最常見的故障，可以從下列幾方面進行檢修：

(1) 電機本身是否振動，炭刷是否平穩；

(2) 炭刷的品質和尺寸是否符合要求；

(3) 炭刷經過一定時間摩擦後表面是否光滑；

(4) 整流子表面是否圓滑，銅片是否凹凸不平，云母片是否有外凸現象，整流片與片之間是否有短路現象；

(5) 炭刷是否位於中性綫上，可將電動機作正反方向旋轉，當轉速相同時無火花，則表示在中性綫上。

5. 定期檢查絕緣電阻。

七、直流电动机与交流电动机的比較

1. 直流电动机因为制造較困难，成本較高，同时，同样功率的馬达，直流电动机的体积較大，重量較重，占地位多；

2. 直流电动机必須应用直流电源，沒有交流电动机方便，同时生产成本也增加；

3. 直流电动机的整流設備，容易发生故障，維護手續較麻煩，零件也較多，如炭刷、刷握等；

4. 直流电动机操作比交流电动机复杂，需要一定技术才能掌握；

5. 直流电动机能平滑地調节轉速，这是它特出的优点。特别是串激电动机，起動轉矩大，重負荷时速度小，輕負荷时速度大，这些都是交流电机所沒有的优点。故直流电动机仍有相当广泛的应用范围。