

电 工

直流电动机部分

Ⅳ

上海纺织工学院

电 工

—— 直流电动机部分 ——

Ⅳ



上 海 纺 织 工 学 院

一 九 七 六 年 五 月

无锡市纺织工业职工大学图书	
总 号	11609
类 别	TM电 工 技 术
分类号	647
书 页	88

目 录

第一章 直流电机

§ 1	工作原理	1-4
§ 2	主要结构	4-6
§ 3	激磁方法	7-8
§ 4	电枢绕组	8-17
§ 5	电枢绕组的感应电势	17-19
§ 6	电磁转矩	19-21
§ 7	电枢反应	22-26
§ 8	换向及其改善方法	26-29
§ 9	直流电机的型号及铭牌数据	29-30

第二章 直流电动机的电力拖动

§ 1	电力拖动系统及其对电动机的要求	31-33
§ 2	生产机械的机械特性	33-36
§ 3	直流电动机的机械特性	36-44
§ 4	直流电动机的起动	45-55
§ 5	直流电动机的制动和反向	56-60
§ 6	直流电动机的调速	60-71
§ 7	直流电力拖动系统的运转状态	72-76

第三章 直流电动机的维修

§ 1	使用前的检查和使用中的维护	77-80
§ 2	运动中常见故障的分析和处理	80-83

清华大学工程力学系

附录一	飞轮惯量与转动惯量的换算	84
附录二	机电时间常数的单位	85
附录三	自激发电机的运行条件	86
附录四	为什么直流电动机规定在额定电枢电压下才能进行弱磁调速?	88

第一章 直流电机

§ 1 工 作 原 理

直流电机在现代工业中用得很多，有直流电动机和直流发电机。

直流电动机具有良好的起动性能和调速性能，因此被广泛地应用在对起动性能和调速性能要求较高的生产机械上，例如轧钢机、龙门刨、矿井卷扬机以及电车和电机车等就常用直流电动机来拖动。

直流发电机的主要用途是作为直流电动机的电源。一般都是成套机组，如图1-1。

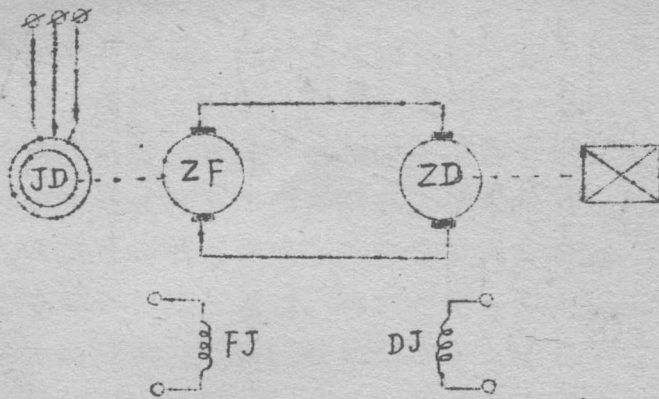


图 1-1

图中，交流电动机JD和直流发电机ZF同轴，组成变流机组，将交流电变成直流电，供给直流电动机ZD拖动生产机械（例如龙门刨台）。

此外，在发电厂中，直流发电机常用来作为交流同步发电机的励磁机。在电介和电镀行业中，需要低电压大电流的直流电源，也可以用直流发电机来供应。

近年，半导体元件发展以后，可控硅整流装置逐渐代替了交流电

动机——直流发电机的变流机组。但是，直流电动机始终是电力拖动中的一种重要电机，而在已有的设备中直流发电机仍然碰得很多。因此，我们有必要去学习直流机和使用直流机。

直流电动机和直流发电机在原理和结构上完全一样。同一台直流机可以作为电动机用也可以作为发电机用。（有时由于起制动和调速的要求，直流电动机的转子做得比较细长，以减小其飞轮惯量。）所以，为了方便，我们就从发电机开始分析直流电机的工作原理。

图1-2 (a) 和 (b) 是两台发电机的简易模型。这两台模型的基本结构是相同的；磁系统由一对在空间静止的并产生恒定磁通的磁极 N-S 组成。在磁极之间放一个铁心，铁心表面装有线卷 $ab-cd$ 。

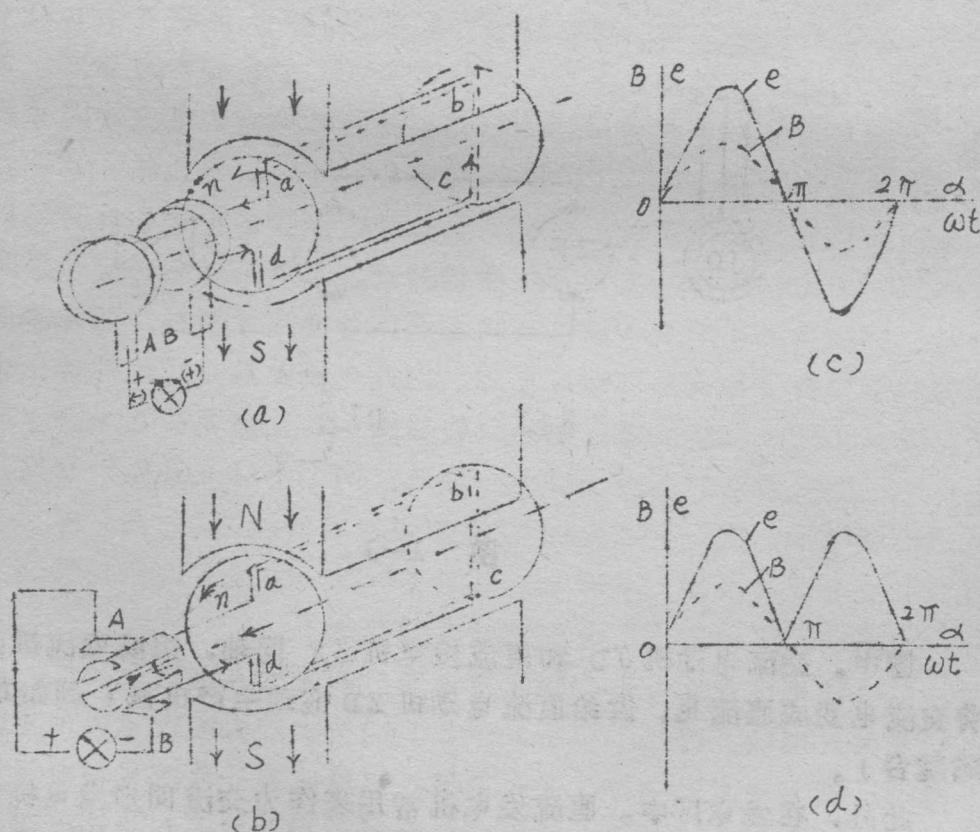


图 1-2

在图(a)中线圈的末端与固定在转轴上的两个滑环相联接。滑环上装有与外电路相联接的电刷A和B。在图(b)中线圈的末端则与固定在转轴上的两个互相绝缘的换向片(半环)相联接。换向片上同样安装有与外电路相联接的电刷A和B。使两台发电机的铁心都按一定的方向(如逆时针方向)以恒速旋转,那么根据电磁感应定律, $e = B\ell v$, 在线圈的导体中就要感应电势;假定磁极的磁通密度沿着磁极按正弦规律分布, $B = B_m \sin \alpha$, 那末导体中的感应电势在时间上也将按正弦规律变化, $e = B_m \sin \omega t$ 。但是,我们在图(a)的发电机的两个电刷上量得的感应电势是正弦交流电势,如图(c);而在图(b)的发电机的两个电刷上量得的感应电势却是一个单方向的脉动电势,如图(d),这是为什么呢?

毛主席指出:“看问题必须要看它的实质”。原来在图(a)中,每一个电刷经过滑环总是与某一根导体相联,如电刷A与导体 ab 相联,电刷B与导体 cd 相联。因而在电刷两端得到的就是线圈 $ab-cd$ 中的交流电势。在图(b)中,当铁心旋转时,在线圈 $ab-cd$ 中感应的仍然为交流电势。可是电刷和导体联接的情况也在交替地变化。每一个电刷仅和处在一定极性的磁极之下的导体相对应的换向片接触。例如电刷A总是和联接N极下导体的换向片接触,而电刷B总是和联接S极下导体的换向片接触。因此电刷A总是正极性的,电刷B总是负极性的,换言之,即感应在线圈中的交流电势在电刷上和外电路中已换成脉动的直流电势了。因此,两个半环就叫做“换向片”。

由此可见,图1-2(a)是交流发电机的模型,而图1-2(b)是直流发电机的模型。本质上,直流电机是一台装有换向器的交流电机,依靠换向器的作用把交流变成直流就是了。

直流发电机是把机械能转变为电能,而直流电动机则相反,应把电能变为机械能。因此,在图1-2(b)所示的直流发电机的电刷A、B两端,加上一直流电源,输入电流,它就成为一直流电动机了。如图1-3,电流由正电刷A流入,总是经过在N极下的导体流进去而经过在S极下的导体由负电刷B流出来。根据电磁力定律, $F = B\ell I$, 线圈所产生的转矩总是单方向的(逆时针转动)。

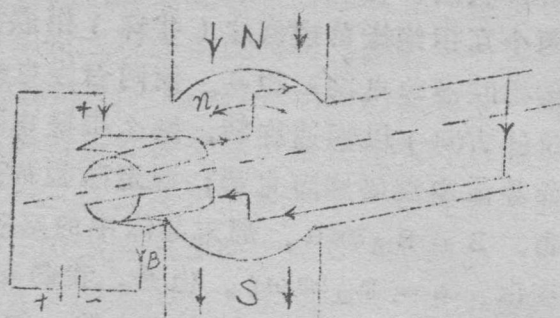


图 1-3

§ 2 主要结构

图 1-4 是直流电机的剖面图。从图中可以看出它的主要结构的概貌。

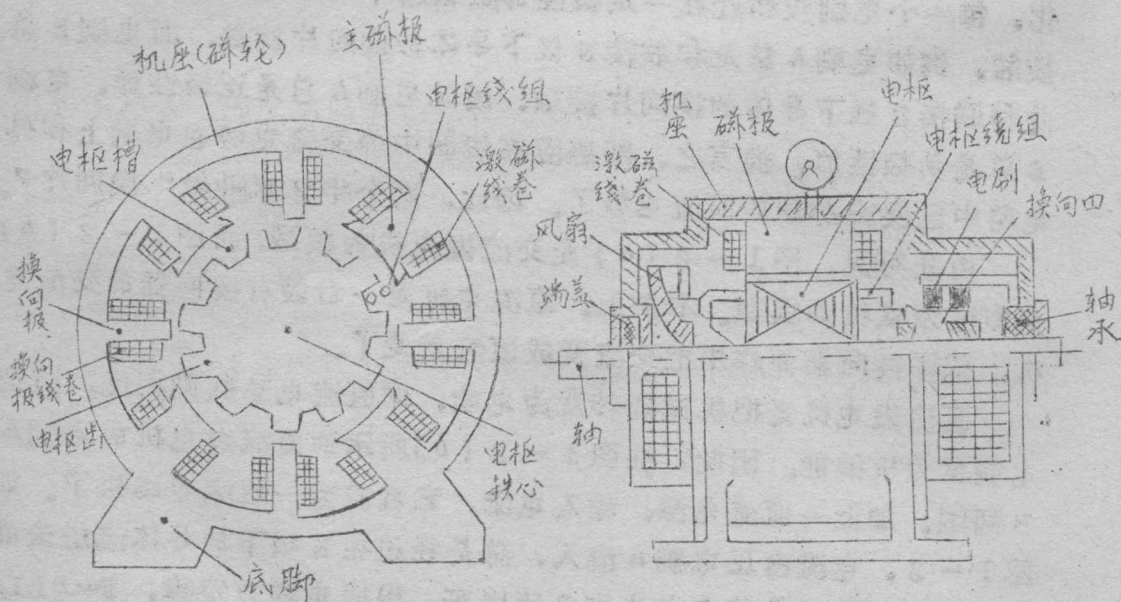


图 1-4

一、定子

1. 机座 机座一般用厚钢板弯成筒形焊起来,除了当作电机的机械支架以外,还当做各磁极间的磁的通路,所以又叫做磁轭。

2. 主磁极 主磁极由 $0.5 \sim 1.0 \text{ mm}$ 的成形钢板迭成,用螺钉固定在磁轭上。主磁极总是成对的,极上套有磁线圈,各极的线圈一般是串联的,构成激磁绕组。(有关激磁方式在下一节介绍)。

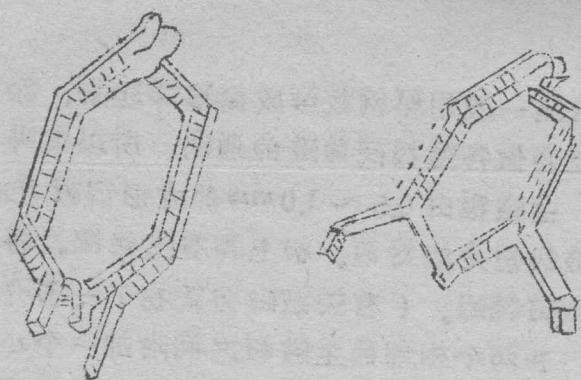
3. 换向极 在两个相邻的主磁极之间附加一个小磁极,构造与主磁极相似,它的作用是帮助换向。换向极绕组与电枢绕组串联。

4. 电刷装置 电枢绕组中的电压和电流通过电刷装置引至机外。电刷装置由刷架、刷握、刷块组成。刷块本身是导电的石墨块,放在刷握内,用弹簧以一定的压力压在换向器的表面上。刷握夹紧在刷架上。每一刷架有若干块并联的刷块组成一电刷组。各刷块通过软线汇接起来,然后再把同极性的刷架上的导线接在一起,引到出线盒内的接线板上。各电刷组之间在换向器表面上的距离应该是相同的。正常运行时电刷应该有一定的正确位置,为了便于调整,刷架都装在同一个可以转动的座圈上,将电刷位置调好后,就把座圈用螺钉固定在端盖或机座上。

二、转子 直流电机的转子一般叫做电枢。

1. 电枢铁心 电枢铁心用 0.5 mm 厚的硅钢片迭成,硅钢片外缘冲出齿槽形成电枢槽,以便安放电枢绕组。

2. 电枢绕组 电枢绕组是由分布在电枢槽中的许多完全相同的线圈(或者叫绕组元件)以一定的规律联接起来的。(联接的规律将在下节讨论)绕组元件可以是多匝的也可以是单匝的,均用铜线制成。通常有两种形式,即迭绕组元件和波绕组元件,如图 1-5 所示。



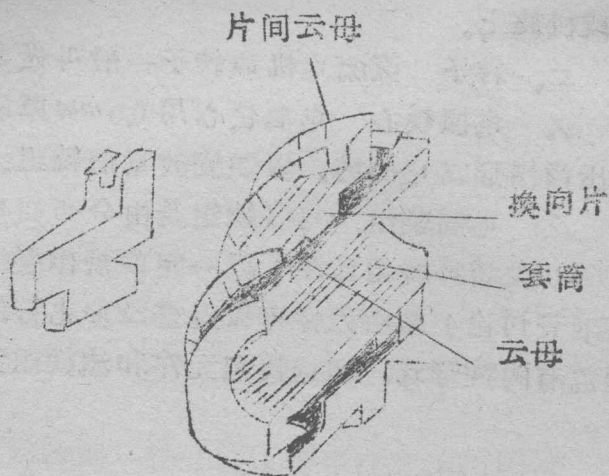
选绕组的一个元件 (两匝)

波绕组的一个元件 (两匝)

图 1-5

3. 换向器 在电枢一端直径较小的部分是换向器。电枢绕组各元件的引线都接到换向器上。换向器由许多铜片——换向片迭成。相邻换向片之间垫有极薄的一层云母片以绝缘。图1-6是换向片和换向器的示意图。

在静止的主磁极和转动的电枢之间有一定气隙。气隙中的磁场情况对电机的运行有很大的影响。小容量电机的气隙的 $1 \sim 3 \text{ mm}$ ，大电机中可到 10 mm 左右。



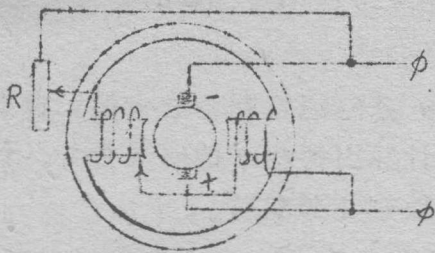
(a) 换向片 (b) 换向器 (半剖视图)

图 1-6

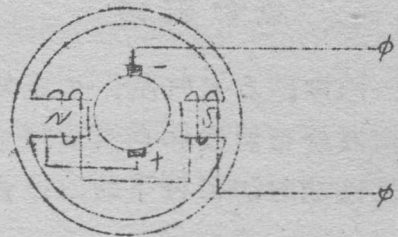
§ 3 激磁方法

在直流电机中除了少量的微型电机的磁极是永久磁铁以外。绝大多数电机的磁场是由激磁绕组中通以直流电流来产生的。

随着激磁绕组联接方式的不同，直流电机可分为并激和串激两种基本类型。如图1-7所示。(a)为并激电机。(b)为串激电机。并激绕组和电枢绕组并联。或者由单独的直流电源供电。(后者又叫做他激电机)这种绕组可承受较高电压。流过较小电流。由较多匝数的细线绕成。串激绕组和电枢绕组串联。激磁电流就是电枢电流。所以这种绕组要流过较大电流。由较少匝数的粗线绕成。还有一种是复激电机。在主磁极上装有两个激磁绕组。一个为主的与电枢绕组并联(或单独供电)。一个为付的则与电枢绕组串联。



(a) 并激电机



(b) 串激电机

图 1-7

激磁绕组为集中绕组。(每一匝的磁势轴线都互相平行)在多极电机中。各磁极上激磁线圈的极性是正负交替的。当有激磁电流通过时。交替出现N极及S极。磁通由一个磁极出来。经过气隙和电枢。分别进入两边相邻的磁极。如图1-8所示。

磁极与电枢之间的气隙不是均匀的。在磁极中心线上气隙最小。而在极尖处较大；因而在气隙中垂直于电枢表面的磁通密度也是不同

的。在磁极中心下面最大，靠近极尖处逐渐减小，在极靴以外减小很快。到了磁极的分界线上就等于零了。图1-9是直流电机气隙磁通密度的分布情况。

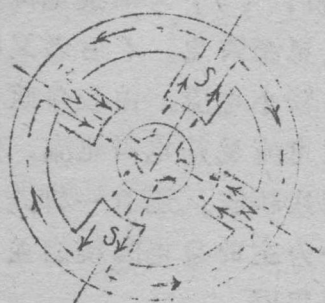


图1-8 四极直流电机的磁路

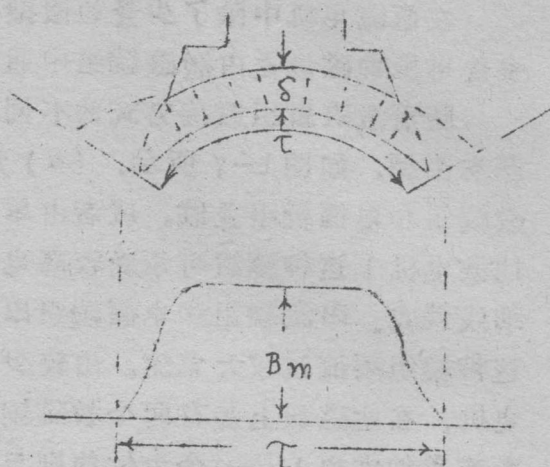


图 1-9

图中， δ 是气隙， τ 是极距， B_m 是磁通密度的最大值。根据磁通密度分布曲线和电枢的尺寸，可以计算出每极下的磁通量 Φ ，计算电机性能时，每极下的磁通量是一个很重要的参数。

§ 4 电 枢 绕 组

图1-2(b)所示的发电机输出的电势虽然是直流的，但是脉动很大。在实际应用中，需要一个幅值比较稳定的直流电，怎么办呢？“在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的”，电机制造工人，在直流电机的电枢上，用许多绕组元件在空间分布不同位置而互相串联起来，就很好地解决了这个问题。图1-10为电枢上有8个绕组元件对称分布时，在电刷上所得到的感应电势的波动情况。

由图看出，波动的幅度已有改善。如果电枢上有几十个元件时，波动就基本上消除了。“感性认识有待于发展到理性认识。”

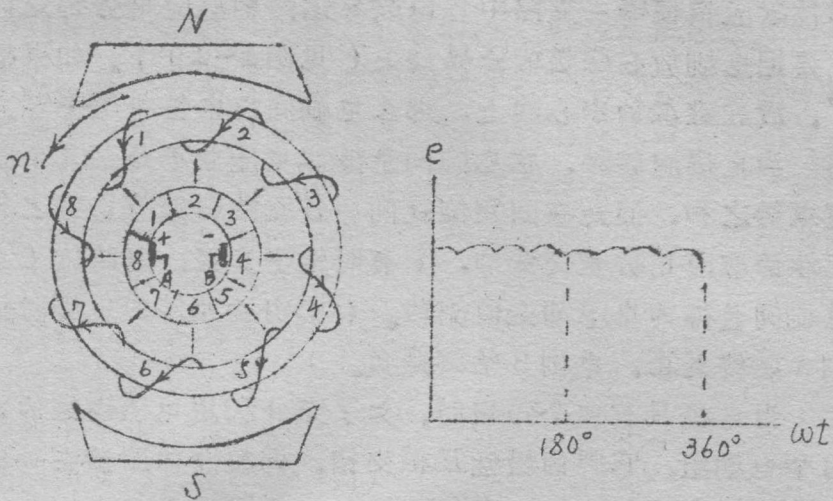


图 1-10

我們从这个图上可以得出直流电机电枢绕组具有以下几个特点:

1. 电枢绕组由许多完全相同的绕组元件组成。每个元件的两个线端分别接到换向器的两个换向片上。各个元件则在换向片上相互联接起来。(例如元件1和2, 分别接到换向片1、2和2、3上, 它们在换向片2上联接起来) 因此, 换向器的换向片数 K 与电枢绕组的元件数 S 相等。(图中 $K = S = 8$)。

2. 直流电机的电枢绕组是闭合绕组, 即从一个元件出发, 依次串联所有的元件以后仍回到原来的出发点, 构成一闭合回路。当一绕组构成闭合回路时, 为了使感应电势不致于在绕组内部短路, 闭合绕组至少应分成两个并联支路。在整个闭合回路中, 两边的电势是反向串联的。例如, 图中 N 极下的8、1、2、3元件中的电势是同向的, 串联起来组成一个支路。 S 极下的4、5、6、7元件中的电势也是同向的, 串联起来组成另一个支路。但是两个支路中的电势是相反的, 因此在整个绕组的闭合电路中总电势等于0, 不会引起短路。推广来说, 电枢绕组必须分成成双的并联支路。

3. 从电刷看进去, 电枢的感应电势就是一个支路中的感应电势,

也就是等于一支路中所有串联元件感应电势之和。为了获得最大电势，电刷的位置应该使每一支路中各串联导体内的感应电势都是同方向的。也就是要把电刷放在磁极的分界线上（见图1-10）。如果把电刷转过 90° ，放在磁极的中心线上，那么电刷间总电势将等于零。

4 当电枢旋转时，在电刷间量得的电压并不是某几个固定元件的感应电势之和，而是在固定位置间的各元件的感应电势之和。纵然，每一元件的感应电势是交变的。（有时位于N极，有时位于S极）但是在电刷间量得的电压却是直流的。（图中各元件的电势时正时负，但电刷A始终是正，电刷B始终是负。）

5 当电机具有四个磁极时，为了充分利用电枢绕组的电势，需要用四个电刷组，它们的极性互相交错，同极性的联接在一起，这样电枢内就有四个并联支路。如图1-11。由元件1,2；3,4；5,6；7,8分别组成。在直流电机中一般电刷组数等于磁极数。

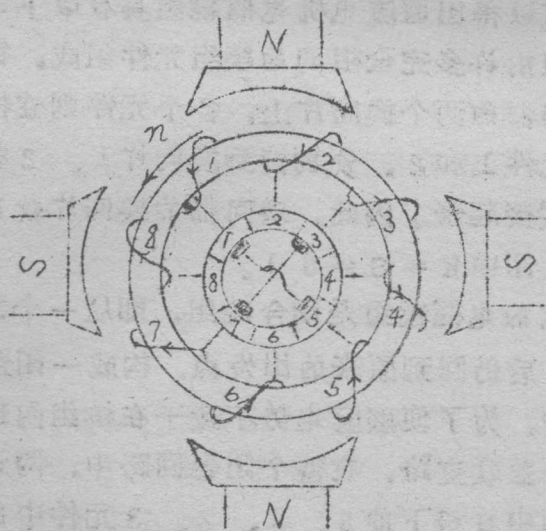


图 1-11

以上所介绍的电枢绕组叫做环形绕组，电枢铁心是空心圆筒，绕组的各匝沿着圆筒的内外面环绕前进，构成一闭合回路。这种绕组

的每一元件有两根导体。一根在铁心的外圆，一根在铁心的内圆。后者不切割磁通，不感生电势，仅仅作为联接线，所以绕组的利用率是不充分的。如果能把每个元件的两根导体都放在铁心外圆上，则所有导体都成为有效的了。这样就从环形绕组演变成鼓形绕组了。

鼓形绕组是把预先绕制的元件依次安放在电枢槽中，使元件的两边都可以截切磁通。直流电机均为双层绕组，在每一槽中有上下两层导体。如元件的一边放在一个槽内占有槽的上半部，则另一边放在另一个槽内占有槽的下半部。为了使一个元件的两边的电势永远大小相同而且相加，元件的跨距必须大概等于一个极距。图 1-12 表示一个鼓形绕组在电枢槽中的安放情况。

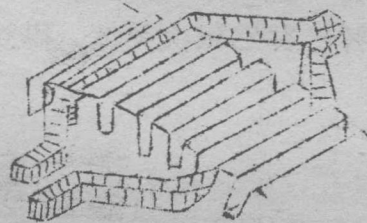


图 1-12

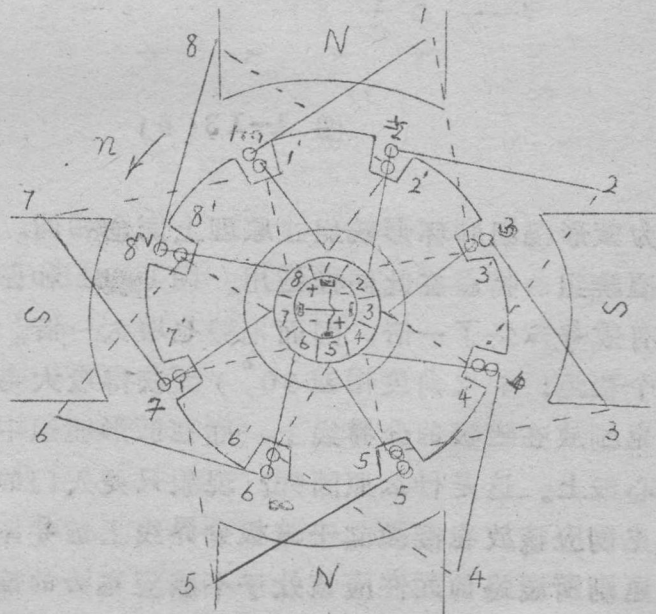


图 1-13 (a)

目前的直流电机都采用鼓形绕组，环形绕组早已摒弃，但两者的原理是完全一样的，所不同的只是结构上的改进。现在我们把图1-11的环形绕组演变为鼓形绕组，先采用所谓选绕组联接，如图1-13。

在图1-13(a)中，元件1有两条边，一边在第一槽的上层（符号为1），另一边在第三槽的下层（符号为3'）两者相隔一个极距，其两端接到第1和第2换向片，元件2的一边在第2槽的上层（符号为2），另一边在第四槽的下层（符号为4'），其两端接到第2和第3换向片；其它依次类推，得到元件的接线次序如图1-13(b)。

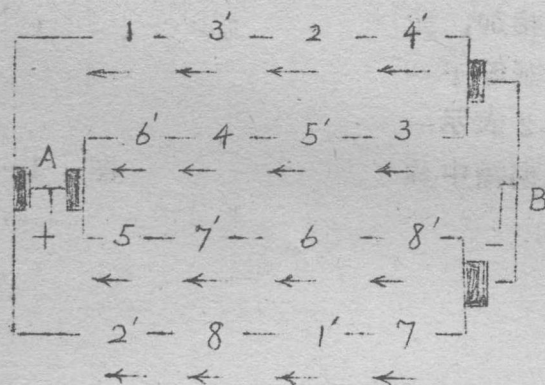


图 1-13(b)

因为鼓形绕组和环形绕组在原理上完全相同，所以，前面分析的有关电枢绕组的特点在此同样适用。图1-11和图1-13的差别只是后者的有效导体多了一倍，因而电势也增大一倍。同时电刷的位置移了半个极距；（电角度相差 90° ）要获得最大电势，在环形绕组中，必须把电刷放在磁极的分界线上，而在鼓形绕组中电刷则往往处于磁极的中心线上。这是什么原因呢？现象只是入门的向导，问题的实质在于：电刷应该放在接至位于磁极分界线上的导体的换向片上，或者说，被电刷所短路的元件应该处于不感应电势的位置。因此，两种绕组中安放电刷位置的原则是统一的。

迭繞组的联接还可以用展开图来表示。如图1-14。在这里。元件联接的次序就得更清楚了。

迭繞组的特点是繞组元件的出发点和终止点在同一磁极下。例如。元件1在N极下的上层导体1。接至S极下的下层导体3'后。回到原来的N极下。和相邻元件2依次联接。相邻元件的联接方法如图1-15所示。

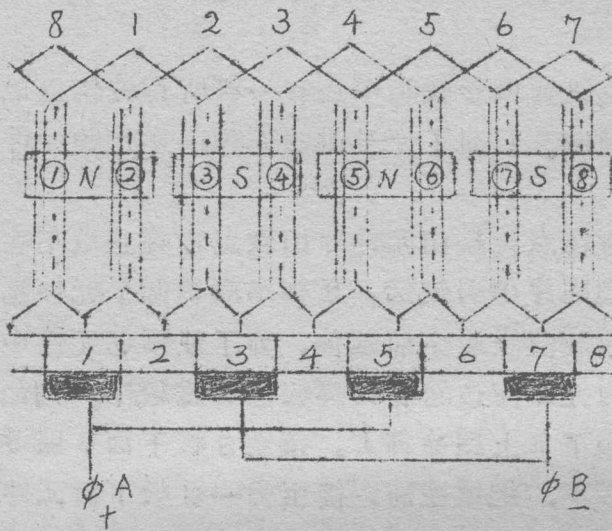


图 1-14

由图可见。对于迭繞组。第一极面下的所有上层导体与第二极面下的所有下层导体串联成一支路。第二极面下的所有上层导体与第三极面下的所有下层导体串联成另一支路。依次类推。直到最后一极面下的所有上层导体与第一极面下的所有下层导体串联成一支路。繞组便自行闭合。因此。在迭繞组中。

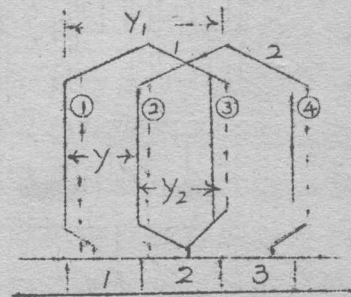


图 1-15