

基本馆藏

300872

电 机 学

上 册

DIANJIXUE



煤炭工业出版社

504
10137
下1

300873

504
10137

电 机 学

上 册

北京矿业学院普通电工教研组编

煤炭工业出版社

1960·8 北京

内 容 提 要

本书是矿业学院机电专业“电机学”课程的教学用书，是按照这门课程的数学大纲编写的。全书分上下两册出版。上册主要内容是直流电机、异步电机、变压器、交流整流子电机等电气设备的作用原理、构造和运行方式。它结合矿业学院机电系专业课程基础理论的需要和矿山、特别是煤矿常用电气设备的特点，着重理论的分析 and 阐述。

在电气设备的安装、运行、维护和检修工作中，掌握这些设备的原理和构造是十分重要的。因此，本书也供矿山和其他工业部门机电工程技术人员参考。

1592

电 机 学

上 册

北京矿业学院普通电工教研组编

煤炭工业出版社出版(社址：北京东长安街煤炭工业部)

北京市书刊出版业营业许可证出字第 084 号

煤炭工业出版社印刷厂排印

新华书店科技发行所发行 全国各地新华书店销售

开本 787×1092 公厘 $\frac{1}{16}$ 印张 $12\frac{3}{4}$ 字数270,000

1960年8月北京第1版 1960年8月北京第1次印刷

统一书号：15035·1177 印数：0,001—7,000册 定价：1.45元

目 錄

緒 言

第一篇 直 流 电 机

第一章 直流电机的基本知識	4
1-1. 概述	4
1-2. 直流电机的作用原理	4
1-3. 直流电机結構的主要組成部分	6
1-4. 直流电机的激磁方式	9
第二章 直流电机的电路	11
2-1. 磁場电路——激磁繞組	11
2-2. 电枢电路——电枢繞組	12
第三章 直流电机的磁路	25
3-1. 无載时直流电机的磁場及磁路	25
3-2. 負載时直流电机的磁場——电枢反应	28
第四章 換向概論	31
4-1. 換向过程	31
4-2. 換向电流的变化	34
4-3. 改善換向的方法	37
4-4. 环火和补偿繞組	40
4-5. 电刷的选择和換向情况的辨别	41
第五章 直流发电机	42
5-1. 直流发电机按激磁方式的分类	42
5-2. 直流发电机的电压方程式和力矩方程式	42
5-3. 直流发电机的特性曲綫	42
第六章 直流电动机	49
6-1. 电机的可逆性	51
6-2. 直流电动机的电势和力矩	52
6-3. 直流电动机穩定运行和非穩定运行的概念	54
6-4. 直流电动机的起動方法和轉向变换	55
6-5. 直流电动机的运行特性	57
6-6. 直流电动机的調速方法	60
第七章 特种直流电机	68
7-1. 电力放大机	68
7-2. 三繞組发电机	71
第八章 直流电机的損耗和效率、发热和冷却	72

8-1. 损耗和效率	72
8-2. 发热冷却和额定容量	74
8-3. 我国制造的直流电机	76

第二篇 变 压 器

第九章 单相变压器	78
9-1. 变压器的用途及作用原理	78
9-2. 变压器的基本构造	79
9-3. 变压器的空载运行	81
9-4. 变压器的负载运行	83
9-5. 变压器的无载和短路试验	88
9-6. 变压器在负载时的电压变动	91
9-7. 变压器的损耗和效率的计算	92
9-8. 变压器的外特性和效率特性	93
第十章 三相变压器	95
10-1. 变压器的三相联接	95
10-2. 变压器绕组标志的测定	99
10-3. 各种绕组联接组中的三次谐波电流	99
10-4. 变压器的相数变换	100
第十一章 变压器的并联运行和不对称运行	103
11-1. 变压器的并联运行	103
11-2. 变压器的不对称运行	108
第十二章 特种变压器	113
12-1. 自耦变压器	113
12-2. 仪表用互感器	115
12-3. 电焊变压器	117
12-4. 铁磁饱和变压器——尖波变压器	118
12-5. 三绕组变压器	118
第十三章 变压器的瞬变过程	120
13-1. 变压器合闸时的冲击电流	120
13-2. 突然短路电流	123
13-3. 变压器的过电压	125
第十四章 变压器的发热和冷却	128
14-1. 变压器的发热和冷却	128
14-2. 我国制造的变压器	128

第三篇 交流电机理论的一般问题

第十五章 交流电机绕组的电势	131
15-1. 概述	131

15-2. 在正弦波磁場內繞組中的感應電勢	132
15-3. 諧波電勢	136
15-4. 交流繞組的联接	138
第十六章 交流電機繞組的磁勢	141
16-1. 單相繞組的磁勢	141
16-2. 三相繞組的磁勢	144
16-3. 交流電機中的漏磁	145

第四篇 異步電機

第十七章 異步電機作用原理及構造	147
17-1. 異步電機的作用原理	147
17-2. 異步電機的分類	149
17-3. 三相異步電機的基本構造	149
17-4. 異步電機的轉子繞組	153
17-5. 轉子不動時的異步電機與變壓器的相似性	154
17-6. 轉子旋轉時的異步電動機	155
17-7. 異步電機的向量圖和等值電路	157
第十八章 異步電動機的轉矩	161
18-1. 異步電動機的能量關係	161
18-2. 異步電動機的轉矩	162
第十九章 異步電機圓圖和工作特性	165
19-1. 圓圖的原理	166
19-2. 異步電動機的運行特性曲線	171
第二十章 異步電動機的起動	173
20-1. 在額定電壓下鼠籠式電動機的直接起動	173
20-2. 鼠籠式電動機的降壓起動	174
20-3. 繞線式(滑環式)異步電動機的起動	176
20-4. 具有優良起動特性的深槽式和雙鼠籠式電動機	177
第二十一章 異步電動機的調速和逆轉	179
21-1. 改變轉子電阻調節異步電動機的轉速	180
21-2. 改變極對數調節異步電動機的轉速	181
21-3. 異步電動機的逆轉	181
第二十二章 異步電機的特殊運行情況	182
22-1. 異步發電機	182
22-2. 異步發電機和電網並聯運行	183
22-3. 異步電機的自激發電	183
22-4. 異步電機在電磁制動情況下的運行	184
22-5. 三相感應調壓器	185
22-6. 三相異步電動機在非正常情況下的運行	186

第二十三章 无整流子式异步电动机的功率因数及其在煤矿工业中的应用	189
23-1. 异步电动机的功率因数	189
23-2. 异步电动机在煤矿工业中的应用及其特征	190
第二十四章 单相异步电动机	192
24-1. 单相异步电动机的运行原理	192
24-2. 单相异步电动机的起动	193
第二十五章 交流整流子式电动机	194
25-1. 概述	194
25-2. 单相串激电动机	195
25-3. 三相整流子电动机	197
25-4. 推斥式电动机	198

緒 言

在我国社会主义建設中，电能的应用日趋广泛。大跃进中，各工业厂矿的生产发展很快，所需电能有很大增长，特别是在党的领导下开展了轰轰烈烈的技术革新和技术革命群众性运动，电能应用更是愈来愈广。

无论农田水利或是工业生产都需用动力；动力来源以电力最为适宜，所以任何工业生产厂矿均不能离开电力机械的使用。随着我国工业建設的飞跃发展，工矿生产过程中的机械化、电气化和自动化程度愈来愈高，都将促使电力机械的制造和应用得到无限量的发展。

解放前，我国电机电器制造工业极为薄弱，多数工厂只能做修配和零星加工工作，有数的几家电机工厂亦是设备简陋、规模狭小，不仅产品容量小而且型式杂乱。当时生产的发电机容量不过200瓩；电动机不过300馬力；变压器不过400千伏安；高压电气设备不超过一万伏，还不能自制汽轮和水轮发电机。

解放以来仅仅十年，在党的领导下，我国电机电器制造工业得到了飞跃的发展，由于不断的学习苏联先进经验，我们在整顿和建設过程中，改建和扩建了原有的旧厂，新建了一系列现代化电机制造和电器仪表厂，建立了100多种标准系列产品，在新系列中又创制了约4000种新产品，使我国电机电器制造工业面貌大为改观。

现在扼要的介绍一下解放以来我国在电机电器制造工业中的技术成就。

(一)发电设备

解放以后，我国才开始制造汽轮发电机，1954年试制成功第一台6000瓩汽轮发电机，以后又先后试制成功2500瓩，12000瓩，25000瓩汽轮发电机，并进行了5万瓩汽轮发电机和10万瓩巨型发电机的设计和制造，在进行氢气冷却試驗的研究中，也获得了很大成就，为5万瓩以上的汽轮发电机的冷却装置提供了保证。

水轮发电机的制造，我国已能生产16700瓩卡布兰式水轮机叶片，它可以随负荷变动而自动调整角度；并正试制72500瓩水轮机和千瓦水轮发电机及更大容量的水轮发电机组。

目前国内自制直流发电机最大已达到2230瓩，电压为440伏，电流5050安，转速500/595转/分。这是为煤矿竖井供给直流电动机的电源而设计的，拖动这台发电机的是一台1800瓩鼠笼式异步电动机（感应电动机），电压6000伏。由于矿山所用捲扬机时开时停，负载时轻时重，在轴的一端加装一个飞轮，当发电机空载运转时，飞轮可以储蓄一部分能量，到满载运转时飞轮放出能量，因此，电动机容量可以小于发电机，并可保持电动机的均匀负载。

为了满足我国冶金工业、煤炭工业等方面更大的需要，还在进一步试制2600瓩、3000瓩直流发电机，并设计4300瓩直流电动机和5000瓩的直流发电机。

1957年我国已制成TP-250-2500型高频发电机，频率是2500赫芝，用于金属冶炼，锻压及热处理，作为高频感应电炉的电源，是重工业部门的重要设备。

(二)变压器和互感器

1952年制成5000千伏安、66千伏的电力变压器。从此，我国制造变压器的技术水平不断提高，1957年制成40500千伏安、154千伏高压大型变压器和20000千伏安、220千伏单相高压变压器，1958年又制成31500千伏安，110千伏带负载可调节电压的变压器；就产量而言，五年来已增长了十倍。

此外，如中型的铝线变压器(500千伏安)、感应调压器(1000千伏安)、高压电流和电压互感器我国均能自制，在产量和质量上正在不断提高。

(三)高压开关设备

在电力网络中，高压开关是用来控制和保护线路和线路上所装的电器设备的。当线路或电器设备发生短路或其他故障时，它能自动快速地切断电流，以限制故障范围的扩大。解放前国内没有高压开关制造厂，现在国内已经兴建了几个高压开关厂，产品已大量供应全国各地，其中主要的产品有：压缩空气断路器(BBH-110/800-4000型，110千伏，800安，20大气压，额定开断电流21千安)；油断路器(MKП-100型，断流量13.2千安，额定电压110千伏)；贫油断路器(MTT-220，断流量90千安，额定电压10千伏)均能自制。

(四)工业用电机电器设备。

各种容量的感应电动机，低压开关，熔断器等一般工业用电机电器我国已经系列标准化，并已大量生产广泛使用。最近又制成工矿用直流牵引机车(CZK-4-20型小时功率880瓦，时速22.4公里/时，电压1500/2伏，最大行车速度75公里/时)。此外如船用电机；热带用电机；E、F、H级新型绝缘电机；(E级绝缘最高温度可耐120°C，F级115°C；H级可达180°C，F级电机特别适用于矿井或潮湿等地区。H级电机适用于工作条件比较困难的场所，如环境温度很高，地温窄狭等)；交流整流子电动机(25/75瓦，3相380伏，350/1050转/分，适用于印染，造纸，水泥及纺织等工业需要变速的动力用)；铝线电机、高强度漆包线电机(电机绕组导线外面涂高强度漆可以耐高温，并有很好的机械强度，不受加工和气候影响，可以省去纱包层，缩小电机尺寸，减轻电机重量)均能自制；自动控制用微电机如：(1)自整角机，用于自动化同步传动系统中，使几个机械同步传动；(2)功率扩大机，使一个微弱电流信号扩大到几万倍；(3)伺服电机，能根据使用要求，使拖动机械迅速转动，停止或改变转向；(4)测速发电机，可以精确测量机械转速，在技术水平上都已达到很高标准，此外如5吨电弧炼钢炉，亦于1958年制成。

(五)其他如整流设备，能自制多阳极铜壳水银整流器，单阳极铜壳水银整流器，还有玻璃泡汞整流器也已制成并投入生产。电焊机能自制电渣电焊机；电容储能式电焊机等；电气传动设备中已制成的有磁放大器，单相和三相饱和电抗器；感应电动机饱和电抗器(作感应电动机平滑调速用)；离子传动装置，电气传动在国民经济中占有重要地位，这一新技术在我国已开始应用，并对大型冶炼压轧设备以及长江三峡电站的许多

复杂自动控制系统的設計和裝置进行了研究。

还有电工测量仪表、西林电桥、万用电表、繼电器、电綫电纜、絕緣材料、电池、电瓷等等品种甚多，均能自己生产供应工业需要了。

从以上事实看来，我国电机电器制造工业正以飞跃速度向前发展，在党的领导下，电机电器制造工业会有更大的跃进，并将赶上世界先进水平。

电机学是研究和探討各种电力机械的作用原理、构造、和运行特性，为以后各专业課奠定学习基础的一門課程。对于煤矿企业而言，为了更好地掌握各种电力机械的安裝、维护、运行、和检修，必須了解各种电机的性能、基本原理、构造和操作方法。所以这門課程必須通过理論講授，实验操作，現場参观以及課程作业等教学环节来完成。

第一篇 直流电机

第一章 直流电机的基本知識

1-1. 概 述

将机械能变换为直流电能的电机称为直流发电机；将直流电能变换为机械能的电机称为直流电动机。直流发电机除可供照明和电力、电热的电源外，还可作为化工厂、冶炼厂的直流电源。直流电动机在工矿企业部門应用更广，如矿井提升、电机車牵引、城市或郊区电車以及起重设备中均采用作为动力。

直流电机可以区分为一般类型和特殊类型，一般类型按激磁方式分类有他激，并激，串激，复激四种。特殊类型有电焊发电机，三刷发电机，横交磁場发电机，和电力放大机等。

直流电机的类型虽多，但其基本組成部分和作用原理的相同处可以概括起来研究。本章根据这个原则来講述直流电机的結構和原理。

1-2. 直流电机的作用原理

直流电机的作用原理是建立在电磁感应定律和电磁力定律的基础上的，按电磁感应定律，我們可以計算导線在磁場中运动时感应的电势，每一导線中的感应电势为：

$$e = Blv \quad (1-1)$$

設以图1-1所示的直流发电机为例来说明每一导線中的电势的大小和波形，磁极下磁通密度的分布为 B ，导線的有效长度为 l ，导線对磁場的相对速度为 v 。电势 e 的大小与 l ， v ，和 B 的大小有关；当 l 和 v 为定值时，电势 $e = \text{常数} \times B$ ，就是說导線中感应电势的变化，完全决定于磁极下磁通密度的分布情况；通常直流电机磁极下磁通密度 B 的分布是成梯形的，因此在导線 a 和 b 中感应的电势也成梯形变化(图1-2)。

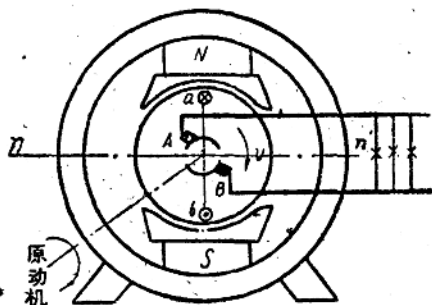


图 1-1 直流发电机原理图

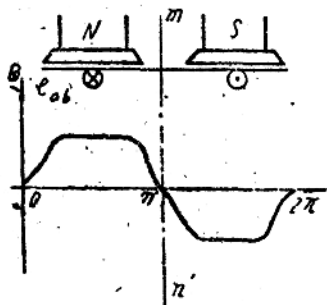


图 1-2 直流发电机(图1-1)电枢导線 a 和 b 中的交变电势

直流电机磁极与电枢间的空隙磁通密度之所以成梯形分布,是因为在靠近磁极中部空隙是狭窄而均匀的,磁极两端空隙增大,所以极面下空隙狭窄而均匀的地方磁通密度较大而且分布也均匀,到极间空隙逐渐增加,磁通密度也就逐渐减少,至两极分界线 $n n'$ 处(此线名为几何中线)磁通分布为零,空隙中这样成梯形分布的磁通密度,使运转中的电枢导线感应电势也成梯形变化。在极对数 $p=1$ 的磁场中,电枢导线由 N 极转过 S 极,每转一周导线中的电势交变一周,当电枢以一定速度旋转时,导线 ab 中的电势则以一定频率 $f = \frac{pn}{60}$ 而交变。这样说来,旋转电枢的导线中感应电势既然是周期性而交变的,那怎能获得直流电势呢?

获得直流电势的原理是这样的:

从图 1-1 可知,当电枢顺时针方向旋转时,导线 a 经过 N 极所感应的电势方向是进入纸面($\times$)的;导线 b 转上来经过 N 极感应的电势方向也应该是进入纸面($\times$)的;同理,凡经过 S 极的导线所感应的电势,它们的方向应都是离开纸面($\cdot$)。这一事实清楚表明:与电枢导线端点连接的电刷 A ,它是永远位于 N 极下保持与换向片(图中的圆弧片)接触,其电位应为负;电刷 B 永远位于 S 极下也保持与换向片接触,其电位应为正。因此,当电枢以一定方向和恒定速度旋转时, A 与 B 两个电刷的正负是一定不变的,从这两个电刷所取得的是直流电势,它的波形是脉动而不变方向的,如图 1-3 所示。

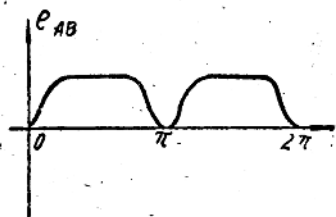


图 1-3 直流发电机(图 1-1)电刷 AB 间的直流电势(脉波)

从图 1-3 看出单匝线圈 ab 所感应的电势,它的脉动太大。如要减少直流电势的脉动,通常采用多数线圈的分布绕组。兹以早年所使用的环形绕组为例说明之:

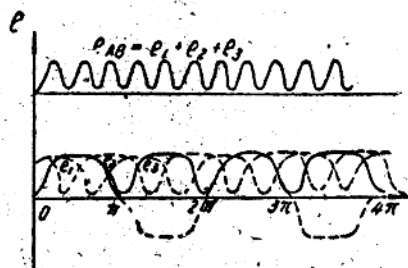
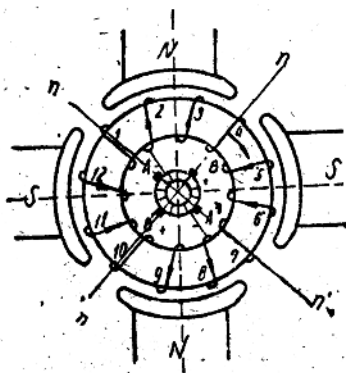


图 1-4 环形电枢绕组直流电机

a) 极对数 $p=2$; 元件数 $S=12$; 支路对数 $a=2$ 。b) 任一对电刷间的电势波形。

图 1-4 表示一个四极十二元件(一元件为一线圈)的环形电枢绕组直流电机,每一元件连接一个换向片,十二个换向片彼此绝缘组成换向器,在换向器上安装两对电刷,在任

一对电刷间的电势波形，由于线圈和换向片增多，波纹的脉动趋于平坦；线圈和换向片愈增多，波纹将愈平坦。所以现代的直流电机为了使直流电势的脉动减小，常用多数的元件组成分布的电枢绕组，图1-4所示的环形绕组，它的十二元件是均匀分布在环形电枢铁心上的。当原动机拖动电枢旋转时，整个电枢绕组中的感应电势形成四个支路并联如图1-5所示。电刷的电位B和B'为正，A和A'为负，从AB或A'B'电刷间就获得了定向而脉动的直流电势。

由图1-4还可以看出，电刷的位置对所获得的直流电势的大小有决定性的作用。例如图1-4a中电刷位于几何中线上时，电刷间的电势最大，假若将电刷移动任一位置，电刷间的电势都将减小，当电刷位于磁极轴线上时，电刷间的电势将等于零。

以上阐述的是直流发电机的作用原理。如将上述电机作为电动机使用，则可将电功率变换为机械功率。

按电磁力定律：

$$f = B i l \quad (1-2)$$

可知将绕组导线由电网供入电流*i*，则产生机械力*f*，作用于每一导线使电枢产生旋转力矩，而成为电动机的运行情况。此时电枢导线中还产生感应电势 $e = Blv$ ，由此可以得出电机的功率变换的表达式：

$$ei = fu \quad (1-3)$$

这式表明电动机将电功率 ei 变换为机械功率 fu 。反之，发电机系将机械功率 fu 变换为电功率 ei 。这显示了电机的可逆性，同一台电机往往可以作发电机使用，也可以作电动机使用，功率计算的单位，无论是电的或机械的都可以换算成同一单位。

1-3. 直流电机结构的主要组成部分

直流电机的结构，主要是由静止和转动两部分组成，静止部分具有下列各部件：

- (1) 主磁极——产生主磁通。
- (2) 换向磁极(亦称附加磁极)——位于两个主磁极之间，用来改善换向情况。
- (3) 磁轭和机座——在磁轭上安装磁极(主磁极和换向磁极)与电枢铁心和空隙构成完闭的磁路；机座则用来支持整个电机。

转动部分是一个旋转的电枢，它在磁场中旋转，起转换能量的作用。当它作发电机运转时，电枢发出电能；作电动机运转时它产生电磁力矩，拖动工作机械。

静止的磁极和转动的电枢之间是空气隙，它也是磁路的一部分，空间虽小，但对电机性能的影响颇大，因为空隙的大小是电机磁化曲线的主要决定因素，而磁化曲线是电机工作特性的基本特性。所以说空隙的大小对电机性能有着相当大的影响。

首先，我们对实际的直流电机结构来进行一般的了解，图1-6所示为直流电机的横剖面图，各部件均已标注于图上，图1-7是我国自制的直流电机的摄影，它的主要部件分

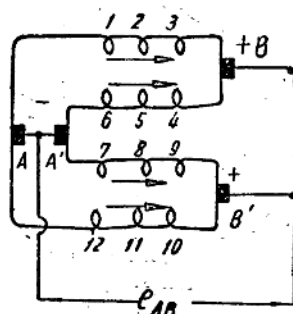


图 1-5 环形电枢绕组的并联支路

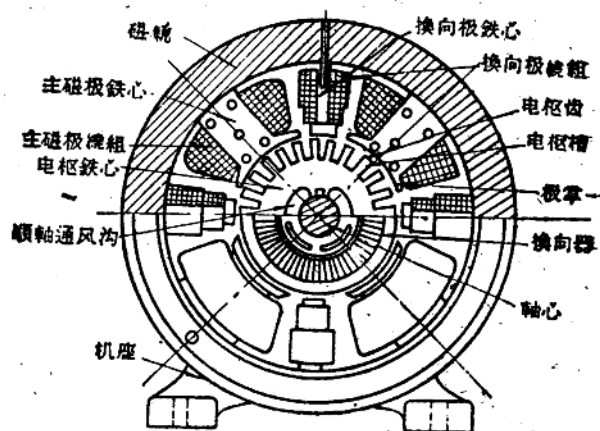


图 1-6 直流电机的横剖面

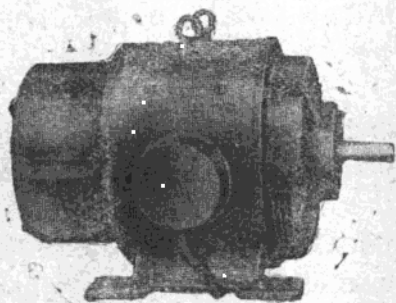


图 1-7 我国自制的IIH-85防护式直流电动机

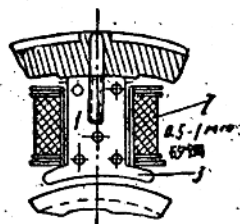


图 1-8 主磁极

1—铁心；2—绕组；3—极掌。

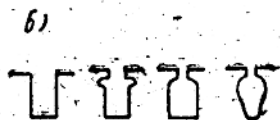
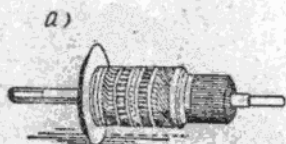


图 1-9 直流电机的电枢

別叙述于后:

(1) 主磁极

主磁极是由 0.5 或 1 毫米厚的矽鋼片迭合組成的鉄心和套在鉄心上的激磁繞組構成。它的端部为极掌，极掌的两端微有傾斜，这样可使空隙中磁通分布较为匀称，极掌的另一作用是支持激磁繞組，使它稳固的套在鉄心上。

在制造时，先装激磁繞組，纏繞所需的絕緣材料如压紙板，纖維板等所制成之套筒上，然后将它固定在鉄心的特殊支架上。为了改善繞組的冷却条件，常将激磁繞組分成几部分，各部分之間留有通风沟，整个磁极用螺杆固定在磁轡上。

(2) 換向磁极

換向磁极也是由鉄心及繞于其上的繞組構成(图1-6)，它应当极为准确地安装在主磁极間的中性綫上。

換向磁极改善換向的作用，在以后的章节中講述。

(3) 磁轡和机座。

磁轡和机座是电机的静止部分，主磁极、換向磁极均固定在它上面，磁轡和机座通用鑄鉄或合金鋼制成，但也有用軋鋼制造的。

当电枢直径小于 35~45 厘米时，附有軸承的端盖也装在机座上。如果端盖直径超过 100 厘米时，則采用支架式軸承。端盖上附装的軸承多采用滚动式軸承(滚珠或滚柱軸承)，有时支架式也采用这种軸承，但多数的支架式軸承是采用滑动式軸承。

(4) 电枢

直流电机的电枢是由鉄心，繞組和換向器三部分組成。鉄心現代均采用鼓形有齿鉄心，用矽鋼片迭合而成。每个矽鋼片的形状如图1-8所示，整个电枢結構則如图1-9a所示。

在一般交变磁化頻率下(25~30)，矽鋼片的厚度为0.5毫米。各片之間用絕緣漆或氧化膜絕緣，以减少当电枢旋轉时所产生的涡流，从而提高电机的效率并降低其温升。絕緣层的厚度为0.03~0.05毫米。

电枢鉄心普通分成数段。每段的标准长度为4~6厘米。为了改善冷却条件，每两段之間留有寬8~10毫米的垂軸式(輻射式)通风沟，但有时也采用順軸式的通风沟(图1-6)。为了加强电枢鉄心的机械強度，各段鉄心最外面的几片有时使用厚为1~2毫米的鋼板。并将迭片压紧装在軸上。

电枢鉄心沿軸向的长度，在两侧均較磁极长 2.5~5 毫米，这样可使当电枢沿軸向移动时所引起之磁导变化最小。

为使电机冷却，小容量的直流电机装有风翼。而大容量电机則装有风扇。

纏繞于电枢鉄心上的电枢繞組通常是在模型上制好的繞組元件(图1-10)放置在鼓形电枢鉄心的槽中，然后按一定方法联接起来。

繞組应与鉄心絕緣，并用木楔固定之。繞組的端接部分則应用綁綫扎紧，电枢鉄心的情形如图1-9, b所示。

換向器如图1-11所示，是由一些彼此絕緣的銅片組成，呈圓筒状，各換向片分别与

电枢绕组的各个元件相联接，联接的方法是将绕组元件的末端焊接在换向片尾部的竖叉上。换向片彼此间的绝缘以及整个换向器与机身的绝缘均用云母板。

为了将电枢与外部电路接通，在换向器上安装电刷。电刷是由碳或黄铜-石墨做成。装于刷握(图1-12)内并以弹簧压复之。刷握则固定于刷架上，而刷架则装于端盖或机座上，它能移动一个不大的角度。

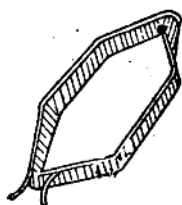


图 1-10 电枢绕组元件

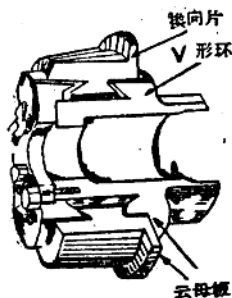


图 1-11 换向器

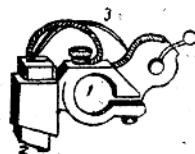


图 1-12 电刷和刷握
1—刷握；2—电刷；3—压板弹簧。

(5) 空气隙

小型直流电机的空气隙宽度 $\delta = 0.5 \sim 3$ 毫米；大型直流电机的 $\delta = 10 \sim 12$ 毫米，它的绝对值虽小，但对电机性能影响至大已如前述。

1-4. 直流电机的激磁方式

直流电机磁场中的有效磁通是由主磁极产生的，磁极铁心上的激磁绕组中的激磁电流可以取之于自己的电枢，也可以取之于其它的直流电源。凡电机由电枢供电流给自己的激磁绕组的叫做自激式；由其他的直流电流激磁的叫做他激式，这两种激磁方式都是属于电磁铁范畴的。

电机的磁场也可以由永久磁铁产生，电机采用永久磁铁并不普遍，因为永久磁铁作电机的磁极存在一些缺点，例如难以调节电压，磁极和磁轭的体积较大等等。永久磁铁只用来作为小型电机的磁场（例如测速计内的发电机）。所以现代的直流电机的激磁一般都用电磁铁，它的绕组中用直流电流激磁，其方式有自激式和他激式两种已如上述。

直流发电机和直流电动机都有这两种激磁方式，其中自激式还由于激磁绕组与电枢绕组的连接不同可分为串激、并激和复激三种。激磁方式不同，电机的工作特性也不同。因此，这是我们在选择使用直流电机时应该慎重考虑的问题。在以后的章节中讲述直流发电机和直流电动机的工作特性时，将按照不同的激磁方式来阐明其区别。

现在先将直流电机的几种激磁方式的电路连接，激磁绕组匝数的多少和导线的粗细等，分别叙述于后：

图1-18至图1-16四图中的(a)为激磁绕组与电枢的四种电路联接；(b)为对应于(a)的激磁方式的示意图。

他激式直流电机(图1-13)的激磁电流由其他直流电源供给，与电枢的电压及负载无

关，激磁电流的大小仅决定于电源的端电压 u_a 和激磁电路的电阻。激磁绕组所消耗的功率 P_m 通常仅为发电机额定功率 P_n 的2~3%。

并激直流电机(图1-14)的磁场电路与电枢电路并联，它的激磁电流 i_m 与电枢电压 u_a 有关，当它作发电机运用时，电枢电流 I_a 等于负载电流 I 和激磁电流 i_m 两者之和。即

$$I_a = I + i_m$$

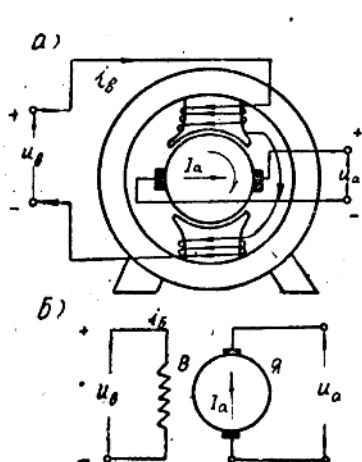


图 1-13 他激式直流电机

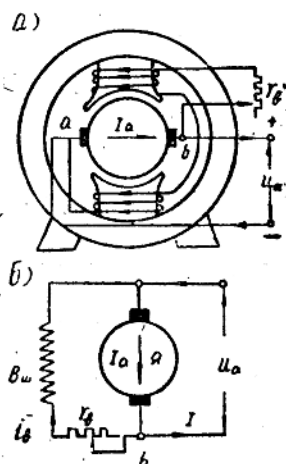


图 1-14 并激直流电机

中型和大型直流电机的激磁电流 i_m 在正常运行情况下，仅为额定负载电流 I_n 的2~3%，小型直流电机为5~10%，激磁电流的大小在并激电机中决定于端电压和激磁电路的电阻，激磁电流既需如此的小，则激磁绕组的线圈匝数应相当的，才能产生所需的激磁磁势。因为激磁电流小，故所用绕组导线的截面积也应该小些。

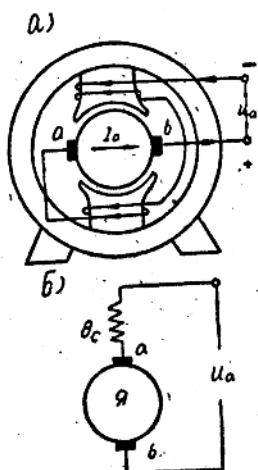


图 1-15 串激直流电机

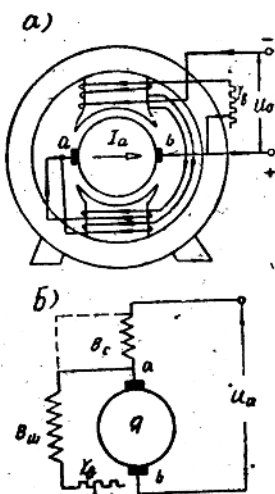


图 1-16 复激直流电机