



中等专业学校教学用书

电机

原编者：丘 若 波

审校者：邮电院校电机教材选编组

人民邮电出版社

电 机

原編者：丘 若 波

审校者：邮电院校电机教材选編組

人 民 邮 电 出 版 社

1 9 6 2

内 容 提 要

本书是邮电中等技术学校电信（非动力）专业教学用书，内容有：直流电机、变压器、交流电机等的构造、原理、性能和安装维护，主要用物理概念阐明各种现象的本质，适当辅以简单数学计算验证，以加深和帮助读者理解。除适合于中等电信专业使用外，亦可供其他专业学生或从事电力工作人员阅读参考之用。

电 机

原 编 者：丘 若 波

审 校 者：邮电院校电机教材选编组

出 版 者：人民邮电出版社

北京东四六条13号

（北京市书刊出版业营业许可证出字第〇四八号）

印 刷 者：北京市印刷一厂

发 行 者：人民邮电出版社

开本 787×1092 1/32

印张 6 2/32 页数 194

印刷字数 140,000 字

1962 年 7 月北京第一版

1962 年 7 月北京第一次印刷

印数 1—3 500 册

统一书号：K 15045 · 总1307—无344

定价：（9）0.70 元

序 言

本书是根据邮电部干部司邮电中等专业学校电信(非动力)专业教学计划的要求,以南京邮电学院出版的教材“电机”为基础,吸取了各兄弟院校部分的教学经验而编成的。在内容方面,力求符合本课程的目的和要求,适合中等电信学校学生阅读,循序渐进,由浅入深,以用物理概念阐明各种现象的本质为主,辅以简单的数学运算,加以验证,以加深和帮助学生理解和记忆,并尽量注意了教材的系统性。在文字上力求通俗易懂,在绘图上力求直观明了。

本书初稿,曾经武汉邮电学院电源教研组集体讨论,并由上海邮电专科学校教师季森、山西邮电学校教师张翰瑄、江西邮电学校教师施瑞星等参加审编,还有武汉邮电学院部分教师协助绘图和缮写。

由于我们水平有限,编审时间短促,内容、文字、插图等仍有不妥甚至错误之处,敬希各校教师和读者提出批评指正。

丘若波 1962年3月

目 录

序言

緒論

第一章 直 流 电 机

§ 1·1	直流电机的构造和运用原理	3
§ 1·2	鼓形电枢繞組的簡單介紹	12
§ 1·3	电枢反应	27
§ 1·4	电流的换向	30
§ 1·5	直流发电机的分类和特性	36
§ 1·6	自激发电机电势的建立	39
§ 1·7	分激发电机	42
§ 1·8	串激发电机	46
§ 1·9	复激发电机	47
§ 1·10	发电机的并联运用	49
§ 1·11	直流电动机	52
§ 1·12	分激电动机	55
§ 1·13	串激电动机	59
§ 1·14	复激电动机	61
§ 1·15	无线电设备使用的手摇发电机及直流电动发电机	63
§ 1·16	直流电机的损耗和效率	65

第二章 变 压 器

§ 2·1	变压器的构造与工作原理	69
§ 2·2	三相变压器	78
§ 2·3	变压器的并联运用	84
§ 2·4	变压器的功率和效率	86

§ 2.5 小容量变压器的設計	89
§ 2.6 仪用互感器	93

第三章 交流电机

§ 3.1 同步发电机的构造和运用	98
§ 3.2 三相异步电动机的构造和工作原理	111
§ 3.3 异步电动机的轉矩	123
§ 3.4 三相异步电动机的启动	127
§ 3.5 双鼠籠式和深槽式电动机	131
§ 3.6 单相异步电动机	135
§ 3.7 单相串激电动机	142
§ 3.8 同步电动机	143
§ 3.9 反应式同步电动机	148
§ 3.10 交流电机的损耗和效率	149

第四章 电机的安装和维护

§ 4.1 配电設備	152
§ 4.2 变压器的安装与维护	156
§ 4.3 电机安装的基本知識	157
§ 4.4 电机的维护	165
§ 4.5 电机的故障	173
§ 4.6 电工安全保护技术	180

緒 論

1. 电机在現代生产技术中的作用 电能的最重要特性之一是它的通用性，任何形式的能量(机械能、热能、化学能等)，都可以容易而方便地轉換成电能；相反地，电能也可以容易而方便地轉換成机械能、热能、化学能等。在現代技术設備中进行这些能量轉換时，只損耗很小的能量。电能的另一重要特性是容易传送到遙远的地方，并可以按需要的电压、电流分配給用戶。

电能 在国民經济所有各部門及現代生产技术中的广泛应用，使生产工具得以改进，劳动生产率提高許多倍，劳动强度減輕，使国民經济所有各部門生产过程能实现机械化和自动化。

2. 电机在电信企业內的应用 电信企业的通信設備，無論电话或电报，有綫或无綫，都必須使用电力。有綫通信設備所需的蓄电池的充电或浮充設備，通常采用整流器或电动发电机组。电动发电机组是由交流电动机将电能轉換为机械能，以带动直流发电机，輸出直流电能。整流器是由变压器变换成所需要的电压，用单向导电的整流元件組合而成，将交流电能轉換为直流电能。通信設備所需的鈴流电源，是由电动机与鈴流发电机组而成，电动机可以是交流电动机，也可以是直流电动机。

无綫通信設備所需电源，多数由整流器供給，但亦有使用电动发电机组等供电的。

电信企业的通风、抽水等設備，通常用异步电动机拖动。此外，电信企业內也用到一些特殊型式的电机，如无綫电用的手搖发电机、直流电动发电机，电传打字机上的单相串激电动

机，传真电报机上的反应式同步电动机等。

电信企业所需的交流电源，可以利用市电供给，但企业本身仍需自备发电设备。自备发电设备可采用直流发电机，亦可采用交流发电机，视企业设备实际需要而定。发电机是用内燃机（汽油机或柴油机）作为原动机。

电信企业的用电设备容量不超过50千伏安时，可以采用低压市电引入；超过50千伏安时，应引入高压市电，经过变压器变换成低压使用。

低压市电一般为三相线压380伏或单相220伏。如果有机的件需要用不同电压的交流电源时，必须使用变压器来调配电压。

3. 本课程的任务和要求 电机是电信企业电力组成的一部分，是通信设备组成的一部分，亦是我們日常生活中不可缺少的知识。但是本课程的任务着重于电信企业通信设备中常用的电机。

依照电流来分，电机分做直流电机和交流电机。当把机械能转换为电能时，称做发电机，而把电能转换为机械能时，则称做电动机。

变压器是静止的交流电气机械设备。它可以把交流电压转变为同频率的另一种电压。

因此，我们讲授的内容是：第一章、直流电机；第二章、变压器；第三章、交流电机。为了适应电信企业的需要，在第四章讲解电机的安装和维护。

通过本课程的学习，必须达到下列要求：

- (1) 了解各种电机及变压器的构造和工作原理。
- (2) 对电机有明晰清楚的物理概念，能用物理概念说明其特性。
- (3) 能根据各种电机的特性，正确地运用和维护。

第一章 直流电机

§ 1.1 直流电机的构造和运用原理

能将机械能和直流电能相互转换的电力机械叫做直流电机。当直流电机用做发电机时，是将输入的机械能转换为直流电能输出；当用做电动机时，是将输入的直流电能转换为机械能输出。在发电机中，能的转换过程是建立在电磁感应作用的基础上；在电动机中，能的转换过程是建立在载有电流的导体和磁场相互作用的电磁力的基础上。

一、直流电机的构造

直流电机是由静止部分和转动部分组成。静止部分叫做定子，主要用以产生磁通，它包括机壳和磁极；转动部分又叫电枢，主要作用是转动时产生感应电势或通以电流时产生转矩，它包括电枢和换向器。在静止和转动两部分之间有空气隙。电机拆散时的主要部件如图 1.1—3 所示，其构造的截面如图 1.1—4 所示。

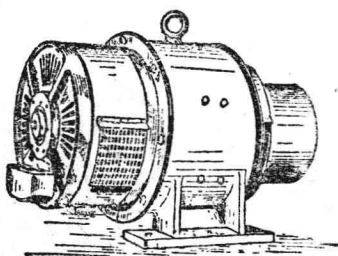


图 1.1-1 仿苏 ПН 型直流电机

1. 机壳 电机的机壳由铸钢或铸铁制成，是磁路的一部分，又叫磁轭(图 1.1-5，图 1.1-6)，它与机座相连，内表面上装有磁极，端盖和电刷架等也固定在它上面。因为它是磁路的一部分，且承受一定的机械力，所以必须有一定的厚度。直流

电机的磁通变化不大，作为磁轭的机壳不必用硅钢片制成。

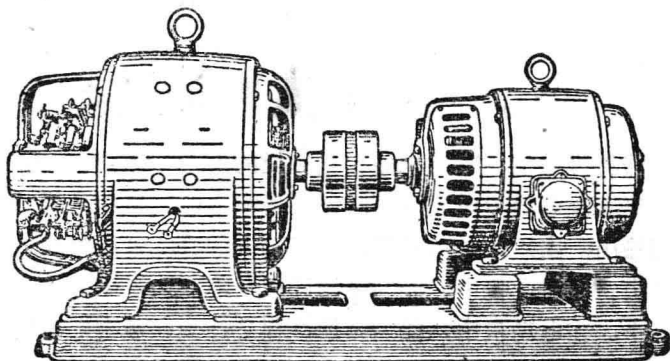


图 1·1-2 3Д 型发电机组

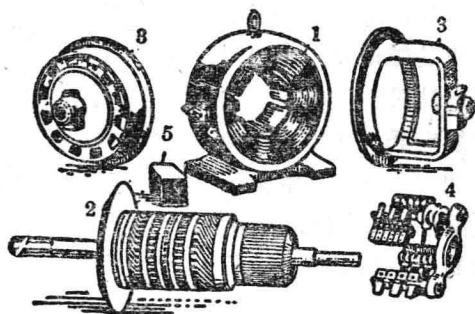


图 1·1-3 直流电机的主要部件

1—机壳；2—电枢；3—轴承架；4—极芯；5—电刷架和刷握、电刷。

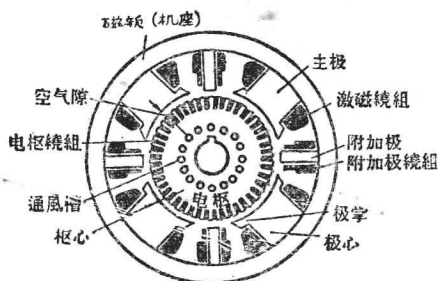


图 1-1-4 直流电机构造的截面图

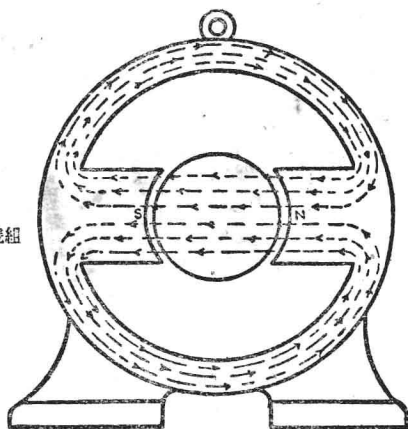


图 1-1-5 二极电机的磁路

2. 磁极 磁极是一个由铸钢或低级硅钢片制成的铁心,其

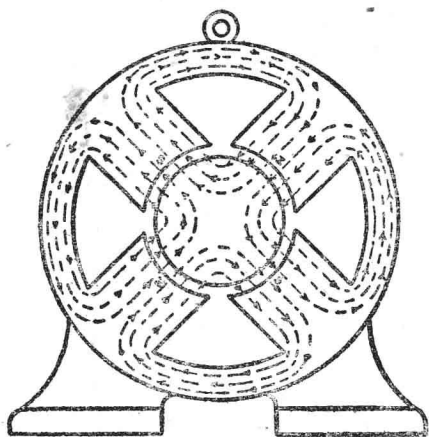


图 1-1-6 四极电机的磁路

上绕上**激磁绕组**(线圈),当电流通过激励绕组时便产生磁通。铁心靠近电枢的一端称为**极掌**,它的作用是使磁通易于通过空气隙。极掌做成一定形状,使空气隙内的磁感应强度分布得较为均匀,并使套在铁心上的激磁绕组更为紧实,如图 1-1-7 所示。

3. 电枢 直流电机中的旋转部分称为电枢,它由铁心、**电枢绕组**、**换向器**(整流子)三者组成。现代直流电机都用鼓形电枢,这种电枢铁心的外形呈圆鼓状,见图 1-1-8。

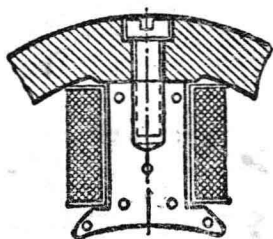


图 1-1-7 直流电机的磁极

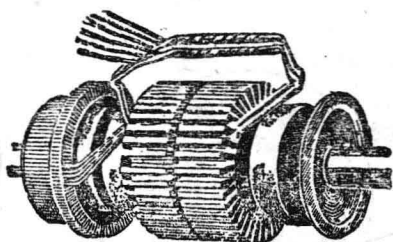


图 1-1-8 鼓形电枢

电枢铁心是由许多沿边开有齿的圆形硅钢片迭成。硅钢片的形状如图 1-1-9 所示。这些圆片用漆或绝缘纸绝缘，然后迭起来，以减少涡流损失；中间圆孔用以插入钢质机轴，其余圆孔供通风散热之用。电枢绕组嵌于电枢槽内，用楔子压紧(图 1-1-10)；绕组的接出端，即槽外部分用钢丝扎紧，使绕组在槽内固定不动。电枢绕组用包有绝缘物的导体绕制，并和钢心很好地绝缘。

电枢的一端有换向器。换向器是由许多楔形铜片(换向片)集合而成，片间用云母压片来相互

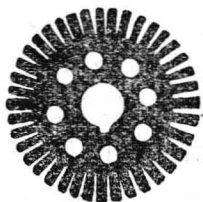


图 1-1-9 鼓形电枢的矽钢片

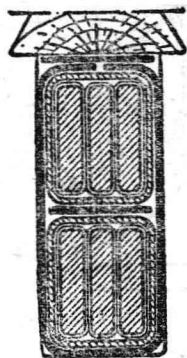


图 1-1-10 电枢绕组用木楔压紧的情况

绝缘。集合时，将铜片放置在套筒上，再用一只夹环夹住，而

夹环本身則用螺帽或螺絲圈来固定。銅片和套筒及夹环間用云母压成的衬筒絕緣。換向片上向外突出的部分叫做“耳”，电樞繞組的元件末端就焊接在这耳上的槽內，见图1·1-11。

換向器集成后，还要經過車削磨光，使其表面成为正圓柱形。

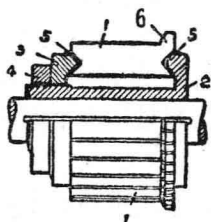


图 1·1-11 換向器

1. 楔形銅片 2. 套筒 3. 夾环
4. 螺帽 5. 云母衬筒 6. 耳

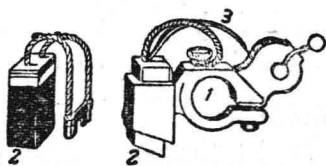


图 1·1-12 电刷设备

1. 刷握夾环 2. 电刷 3. 弹簧

4. 电刷 电刷放置在換向器表面上，与換向器保持滑动接触，用来将电樞繞組和外部电路連接起来。电刷是石墨或碳制成的柱状体，装在长方形套筒的刷握內。裝在刷握套筒內的电刷，借弹簧的压力压在換向器上。刷握借夹环固定在刷握架上，刷握和刷握架彼此絕緣。刷握架固定在端盖上。电刷設備如图 1·1-12 所示。

5. 端盖 电机的两端各有端盖一个，端盖中心是軸承，所以又叫做軸承架。端盖用螺絲固定于机壳上，电樞机軸两端放在軸承內。

在电机內所采用的軸承有油环軸承（滑动軸承）和滾珠軸承或滾柱軸承（滚动軸承）。一般电机多使用滾珠軸承，大型电机才使用油环軸承。

二、直流发电机的基本原理

最简单的直流发电机是在固定磁板 NS 之間置一鋼质圓筒，筒上繞有固定的单匝

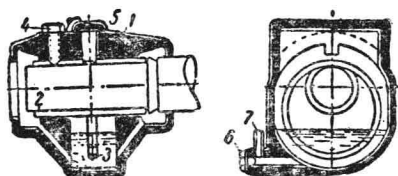


图 1-1-13 油环轴承

1. 机壳 2. 軸瓦 3. 油环 4. 固定螺絲
5. 盖 6. 放油塞子 7. 示油器

电路接通。

这两个半圓銅环就是换向器的雛形，每个半环代表着换向器的一个銅片。

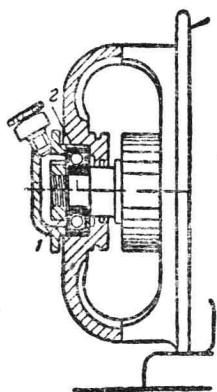


图 1-1-14 滚珠轴承

1. 铁环 2. 滚珠

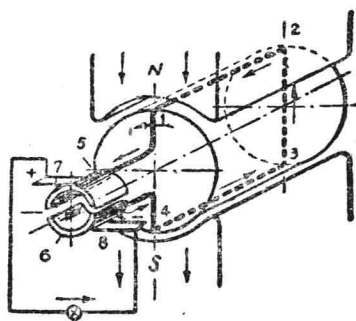


图 1-1-15 直流发电机的原理图

由于磁极的极掌在靠边处具有特殊形式，使圓筒表面的感应强度在正对磁极中心处为最大，距离磁极中心渐远，磁

应强度

所构成的

在外

线内将产

15所示。线圈两端分别接—2在 N

到两个彼此絕緣的半圓銅导綫3—4

环5和6上。电刷7和8者，当导

和半圓銅环接触，发电是零；导

就是經過这两个电刷与外—2进入

4进入 N 极

势方向与原

周，导綫内

周，如图1

我們知

电刷是固定

导綫及换向

接触。每个

片接触时，正

为零，在这

短路电流；此

势方向永远

别永远为正。

当换向片

耳从 $e = E_m \sin$

即正电刷經

发交流电流，

动电流，如

应强度渐小，最后到达零。圆筒表面上磁感应强度为零的各点
鋼质圓所构成的平面称为中性面。

的单匝 在外力的作用下，假设线圈在磁场内逆时针方向旋转，导
图 1.1-1 线内将产生感应电势，这电势的方向按右手定则可，当导线
端分别接—2在 N 极下面运动时，导线 1—2 中的电势方向是指向读者，
的半圆銅 导线 3—4 的电势方向是背离读者
刷 7 和 8 者，当导线经过中性面时，电势
，发电机是零；导线继续运动，在导线
电刷与外—2进入 S 极下面时，导线 3—
1进入 N 极下面，则导线中的电
表着换向 势方向与原来相反。线圈转一
一周，导线内的感应电势亦变动一
周，如图 1.1-16 所示。

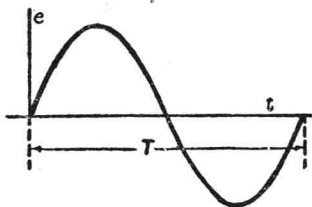


图 1.1-16 线圈中的电势

我們知道，换向片和电枢线圈是随着电枢一起旋转的，但
电刷是固定于刷握上不旋转的，所以电刷 7 永远与 N 极下面的
导线及换向片接触，电刷 8 永远与 S 极下面的导线及换向片
接触。每个电刷从它与一个换向片的接触转换到与另一个换向
片接触时，正是导线经过中性面位置的时候，线圈的感应电势
为零，在这瞬间，虽然电刷同时和两换向片接触，亦不会发生
短路电流；此后，电刷便与另一换向片接触。因此，电刷的电
势方向永远保持不变，即 S 极下的电刷永远为负， N 极下电
刷永远为正。但是线圈中的感应电势却是交变的。

当换向片仅有两片时，电刷上的电压从 $e=0$ 变到 $e=E_m$ ，
再从 $e=E_m$ 变到 $e=0$ ，因此，外电路电流仅按一个方向流动，
即自正电刷经过负载，流向负电刷，也就是说，在线圈中的感
应交流电流，由于换向器及电刷的作用，在外电路内已变换为
直流电流，如图 1.1-17 所示。

但是，如果换向片及其电枢线圈的数目对应增多，则电机电压的脉动必然随之减低。如果电枢上有三个线圈，其六个边



图 1-1-17 单线圈电枢换向后的脉动电势

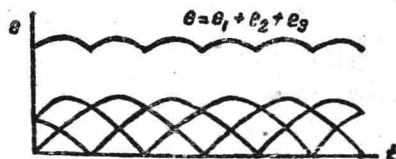


图 1-1-18 三个线圈的电枢换向后的电势

的感应电势各顺序相差 $1/6$ 周期，而在任何时候都是三个电势串联相加，就得出脉动较小的电势，如图 1-1-18 所示。

实际上，电枢线圈及换向片的数目都是相当多的，设换向片及线圈具有足够的数目，则发电机的电压脉动很小，可视为恒定不变的直流电压；当外路接以不变的电阻时，电路内就有直流电流通过。但实际上还是存在少许脉动的。

电压的脉动 直流发电机输出的电压或电流，并不是纯粹的直流，而是一个方向不变、但大小却稍有变动的脉动电流。这个脉动电流中包含若干不同频率和不同振幅的交流成份。产生脉动的原因除上述外，还由于：

(1) 换向脉动 由于换向器和电刷共同作用所引起的脉动。

(2) 齿脉动 由于电枢的齿在极掌下通过时，空气隙的大小变动，引起磁通变化而产生的齿脉动。

(3) 偏心脉动 由于电枢安装不正，因而各磁极下的空气隙不匀，磁感应强度不一，当电枢线圈在各磁极下通过时，所产生的感应电势稍有差异，因而产生脉动。

上述各种脉动的频率及振幅大小，视不同的机件和构造特点、运用情况（如换向器弄脏、轴承磨损等）而略有差别，但各种脉动是彼此无关的。

三、直流电机的可逆原理

直流电机具有可逆性，也就是说，同一直流电机可以用做发电机，也可以用做电动机。

当用做发电机时，电枢在外加机械力作用下，在磁场中运动，电枢导线切割磁力线而在导线中产生感应电势。这电势的方向用右手定则决定，而电势的大小与磁极磁通 Φ 及电枢转速 n 成正比，即 $E \propto \Phi n$ ，

$$E = K\Phi n \quad (1.1-1)$$

式中 K 是与电机的结构有关的常数。

如图 1.1-19 所示，若将外电路接成闭合回路，则电枢导线中将产生电流，电流的数值为

$$I_a = \frac{E - U}{r_a}$$

或

$$U = E - I_a r_a \quad (1.1-2)$$

由于磁场与载流导线的相互作用，导线上产生了电磁力和转矩。这转矩的大小与通过电枢的电流 I_a 及磁极的磁通 Φ 成正比，即 $M \propto \Phi I_a$

$$M = C\Phi I_a \quad (1.1-3)$$

式中 C 是与电机结构有关的常数。

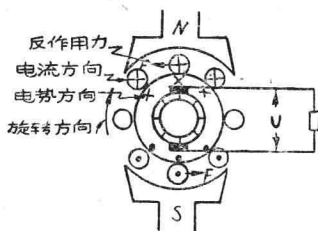


图 1.1-19 发电机运用情况

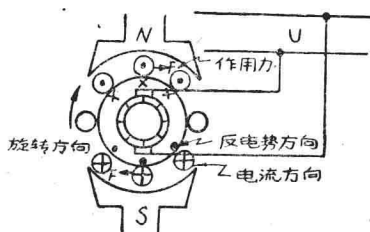


图 1.1-20 电动机运用情况