

机电产品学

(电工产品)

DIAN CHANPIN XUE 下册



周玉新等编

中央广播电视大学教材

机电产品学

下 册

(电工产品)

周玉新 等编

中国物资出版社

中央广播电视大学教材

机电产品学 (下册)

周玉新等编

*

中国物资出版社出版

北京市新华书店发行

北京华新印刷厂印刷

850×1168毫米 1/32 印张: 12¹/₁₆ 字数: 328千字

1987年6月第1版 1987年6月第1次印刷

印数: 1—10,000册

ISBN 7-5047-0005-3/TH·0001

统一书号: 4254·192 定价: 2.50元

序

本书是根据中央广播电视大学物资经济管理专业教学大纲和科学管理技术发展的要求编写的。主要供中央广播电视大学教学使用，也可供机关、企业中从事电工产品管理、储运等工作的人员以及生产资料市场的经营管理人员使用。

全书包括绪论及直流电机、变压器、交流电机、微电机、绝缘材料、电线电缆、低压电器、高压电器、电力成套配电装置等九章，分别阐述了电工产品的分类、用途、基本结构、工作原理、主要技术参数和管理技术等。

参加本书编写的有：周玉新同志编写绪论；张永源同志编写第一章直流电机、第二章变压器；侯国民同志编写第三章交流电机、第四章微电机；张锡成同志编写第五章绝缘材料、第六章电线电缆；黄顺杰同志编写第七章低压电器、第八章高压电器、第九章电力成套配电装置。由周玉新同志任主编。

本书经国家物资局电教中心教材编审组审定。

在编写过程中，各界同志给予了大力支持，在此表示衷心感谢。

编者

1986年10月

绪 论

一、电工产品在国民经济中的作用

人类的生产劳动从应用手工工具发展到应用生产机械以后，必须充分利用自然界的能源作为生产机械的动力。自然界的能源，主要有储藏在燃料中的化学能、水力中的动能、原子能，地壳中的热能、太阳能等等。这些难于输送、控制、调节的能源，均不适宜直接拖动生产机械，一般说来，需要转换为电能，然后才能使用。因为电能和其他能源相比具有以下优点：

（一）电能易于转换

自然能源通过发电机能够很容易地转换为电能，而电能又能很容易地通过电动机转换为机械能；通过电灯转换为光能；通过电炉转换为热能等，从而满足不同的需要。

（二）电能易于远距离输送和分配

发电机发出的电能通过升压变压器升高电压后，就可以进行远距离输送，不但设备简单、环节少，而且损耗小、效率高。当电能被输送到城市、工矿区之后，通过高压开关板、配电变压器、隔离开关、低压配电柜、自动开关和接触器等，即可合理地分配给不同的负载，从而很容易地满足用户的需要。

（三）电能易于控制、测量和调整

电能通过电力线、动力线、照明线、控制线以及各种高低压电器便可以实现自动控制。仪器仪表能够测量、监视电能的多少、电压的高低、电流的大小；变阻器、调压器等可以按照负载的需要，对电能进行调整，以达到使用方便、高效、节电及设备 and 人身安全等目的。

现代化的生产活动中主要以电能作为动力能源。

在电力工业中，电工产品是发电厂和变电所的主要设备，如热力发电厂中利用汽轮发电机、水利发电厂中利用水轮发电机将机械能转换为电能；各级变电所中利用变压器改变电压的高低，利用各种电线电缆和高低压电器来实现电能输送、分配、控制和保护；发电厂中的各种辅助机械设备，需要用电动机来拖动等。

在机械制造业中，各种电工产品应用得十分广泛，各种工作母机都必须由一台或多台不同容量的电动机来拖动，其主回路和控制回路均由各种低压电器（如按钮、低压熔断器、自动开关、接触器、继电器等）所组成。各种专用机械，如纺织机、造纸机、印刷机等，都以电动机作为原动机。

在冶金工业中，高炉、平炉、转炉等均需若干电动机、若干种电器来控制。大型的轧钢机常由容量达 5000kW 或更大的直流电机来拖动，同时要有一套变压变流装置与之配套使用。近代的冶金工业，电气化和自动化的程度相当高，所以，用到的电工产品品种和数量就会更多。

在化学工业中，不仅使用大量的电机、电器、控制柜、配电盘、电工仪表等进行拖动和生产过程的控制、监测和调节，而且还使用很多直流电源设备，特别是电化工业，要使用工作电流达几万、几十万安培的整流装置。

在交通运输业中，机车的电气化可以提高运输能力，减轻环境污染。随着铁路干线的电气化和城市电车以及矿山电力牵引的发展，需用大量的牵引电动机和直流电工产品。轮船、汽车、拖拉机、飞机、起重机械和工矿的运输机械等，均具有不同程度的自动控制系统和拖动装置，因此，也需要大量的电工产品。

在农业方面，电力排灌已被广泛采用。在各种农副业生产中，脱粒、碾米、榨油、制糖等，使用电动机不仅减轻了繁重的体力劳动，而且提高了劳动生产率。随着农村经济的新发展，机械制造食品加工、农用化肥、制药、制革、轻纺、五金等工厂一批批发展起来，需要大量的电工产品，因此，农村是电工产品广阔的市场。

以上所述只是几个主要方面。此外,电工产品在国防、文教、医疗卫生等事业中也同样起着重要的作用,并且广泛用于日常生活中,不断地影响着人们的生活方式。

二、电工产品的分类

电工产品的种类很多,归纳起来分为:

(一) 发电设备

将其他形式的能转换成电能的设备称为发电设备。主要指发电机组,对于热力发电厂来说,还包括锅炉(由于篇幅所限,锅炉未能编入教材)。其附属设备有:励磁机、控制柜等。

(二) 输变配电设备

传输、变换和分配电能的设备称为输变配电设备。主要包括变压器、电力线、高低压电器等。

(三) 受电设备

将电能转换成其他形式的能的设备称为受电设备。主要包括电动机、电炉等。

(四) 控制、保护、调节设备

对电能的生产、传输、变换、分配和使用等,起开关、控制、保护、调节作用的电气设备和利用电能来控制、保护、调节非电过程与非电装置的电气设备称为控制、保护、调节设备。主要包括高压电器、低压电器、继电器、互感器等等。

(五) 电工材料

制造电工产品所需要的材料统称为电工材料。主要包括绝缘材料、导电材料、磁性材料、半导体材料和特种电工材料等。

三、电工产品的管理

科学管理对提高企业管理水平和经济效益有着重要的作用。

为了加强电工产品的科学管理,管理人员应当认真学习和掌握电工产品生产及购销管理方面的基本知识,并且做到:保证国

家重点建设项目的需要，优先供应优质产品，对市场起到灵活、主动的控制作用；根据用户的需要，指导用户选用性能良好、节约电能、维修方便、价格合理的产品；促使产品的流向合理化，掌握市场信息和技术发展动向，推动、指导电工产品的生产、研制工作；具备检查、验收、鉴定的技术能力，⁷ 严格把握产品的质量。

目 录

序	
绪 论	(i)
第一章 直流电机	(1)
第一节 直流电机的工作原理	(2)
第二节 直流电机的构造	(6)
第三节 直流电机的分类	(9)
第四节 并励发电机	(10)
第五节 直流电动机的机械特性	(15)
第六节 直流电动机的使用	(22)
第七节 电机的型号和直流电机的主要技术 数据	(35)
第八节 国产直流电机的主要系列	(46)
第二章 变压器	(49)
第一节 概 述	(49)
第二节 变压器的工作原理	(54)
第三节 变压器的基本结构	(70)
第四节 变压器的发热与冷却	(74)
第五节 其他用途的变压器	(76)
第六节 变压器和互感器的选用	(85)
第七节 变压器的管理技术	(89)
第三章 交流电机	(92)
第一节 三相异步电动机的基本结构	(92)
第二节 三相异步电动机的工作原理	(95)
第三节 三相异步电动机的电磁转矩、机械特性 和效率	(103)

第四节	双鼠笼式和深槽式异步电动机	(115)
第五节	同步电机	(117)
第六节	交流电机的主要技术参数	(124)
第七节	电机的管理技术	(129)
第四章	微电机	(140)
第一节	概 述	(140)
第二节	微型异步电动机	(144)
第三节	伺服电动机	(151)
第四节	测速发电机	(159)
第五节	微电机的管理技术	(167)
第五章	绝缘材料	(170)
第一节	绝缘材料的用途、分类和型号	(170)
第二节	绝缘材料的电性能	(173)
第三节	绝缘材料的其它性能	(189)
第四节	绝缘材料产品	(197)
第五节	绝缘材料的管理技术	(225)
第六章	电线电缆	(231)
第一节	电线电缆的用途、分类和型号	(231)
第二节	电线电缆的基本结构及其材料	(234)
第三节	裸电线和裸导体制品	(250)
第四节	电磁线	(256)
第五节	电力电缆	(260)
第六节	电气装备用电线电缆	(270)
第七节	电线电缆的管理技术	(275)
第七章	低压电器	(280)
第一节	概 述	(280)
第二节	非自动切换电器	(301)
第三节	熔断器	(312)
第四节	自动开关	(320)

第五节	接触器	(326)
第六节	控制继电器	(335)
第七节	起动机	(346)
第八节	低压电器产品型号编制方法	(348)
第九节	低压电器的管理技术	(352)
第八章	高压电器	(355)
第一节	隔离开关	(355)
第二节	负荷开关	(358)
第三节	高压断路器	(362)
第四节	高压熔断器	(369)
第五节	避雷器	(373)
第六节	高压电器产品型号编制方法	(378)
第七节	高压电器的管理技术	(380)
第九章	电力成套配电装置	(383)
第一节	概 述	(383)
第二节	高压开关柜	(387)
第三节	低压开关板	(391)
第四节	电力成套配电装置的管理技术	(394)
附 录	常用符号表	(397)

第一章 直流电机

电机是将电能转换成机械能或将机械能转换成电能的能转换器。

电机按机械能、电能转换的情况可分为发电机和电动机两类。把机械能转换成电能的电机称为发电机，把电能转换成机械能的电机称为电动机。

由于电流有交流电和直流电两种，所以电机按产生或耗用电能的种类也可分为直流电机与交流电机两大类。在这一章中我们讨论的对象就是直流电机。

直流电机包括直流电动机和直流发电机。直流电动机是将直流电能转换为机械能，用以拖动生产机械；直流发电机则是将机械能转换为直流电能，供给负载。

直流电动机具有良好的起动机能和调速性能，特别在调速性能上是交流电动机所不能比拟的，因此，在对电动机的调速性能和起动机能要求高的场合，大都使用直流电动机进行拖动。例如，大型可逆式轧钢机、矿山中大型提升机、龙门刨床、电车等，常用直流电动机进行拖动。但是直流电动机的制造工艺比较复杂，生产成本低，维修较困难，可靠性也较差，因此在单机容量的提高和使用推广方面，受到了一定的限制。

直流发电机主要作为各种直流电源。例如，直流电动机的电源，同步发电机的励磁电源（称为励磁机），化学工业中电解、电镀所需的低压大电流直流电源。今天，随着可控硅技术的发展，特别是在大功率可控硅元件问世以后，可控硅整流装置已在许多领域中取代了直流发电机。但目前，直流发电机仍在使用，特别是在真空冶炼工业和无交流电网而又需要直流电源的场合，仍有一定的重要性。

第一节 直流电机的工作原理

一、直流发电机的工作原理

为了讨论直流发电机的工作原理，我们把复杂的直流发电机的结构简化为图 1—1 所示的原理图。图中 N 和 S 是一对固定不动

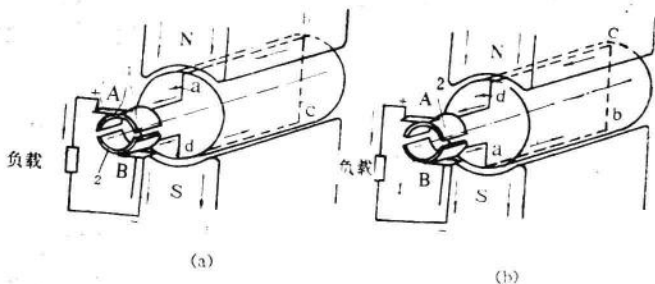


图 1—1 直流发电机的工作原理图

的磁极,用以产生所需要的磁场。在 N 极和 S 极之间,有一个能转动的圆柱形铁心(称为电枢铁心)。电枢铁心与磁极之间的间隙称为空气隙。图中两根导体 ab 和 cd 连接成为一匝线圈,并绕在电枢铁心表面上,这就是电枢绕组。线圈的首、末端分别和两个圆弧形的铜片(称为换向片)相接,换向片固定于转轴上并和轴一起旋转,换向片之间以及换向片与转轴之间都是互相绝缘的。这种由换向片构成的整体称为换向器。整个转动部分称为电枢。为了使电枢绕组和外电路接通,换向片上压着电刷 A 和 B,电刷在空间是固定不动的,电刷和换向片之间可以相对滑动,这样可以通过电刷把电枢绕组中的电流引到外电路来。

当发电机的电枢由原动机拖动,并以恒定的转速沿反时针方向旋转时,导体 ab 、 cd 便切割磁力线而感应出电势来,感应电势方向可用右手定则决定。如图 1—1 (a) 所示, ab 导体处于 N 极范围内,感应电势方向由 b 到 a ; cd 导体处于 S 极范围内,

电势方向由d到c。从整个线圈来看，感应电势的方向是 $d \rightarrow c \rightarrow b \rightarrow a$ 。这样外电路的电流自换向片1流至电刷A，经过负载，流至电刷B和换向片2，进入线圈。此时电流流出处的电刷A为正极，用正号（+）表示，而电流流入处的电刷B为负极，用负号（-）表示。电枢旋转 180° 后，导体ab和cd以及换向片1和2的位置同时互换，见图1-1（b）所示。此时电刷A通过换向片2与N极范围内的导体cd相连，电刷B通过换向片1与S极范围内的导体ab相连，这时导体ab和cd中的电势方向相反了（a到b和c到d，从整个线圈来看，电势方向是 $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d$ ），但电刷的极性还是不变（电刷A仍为正极，电刷B仍为负极）。这样虽然导体中的电动势是交变的，但是通过换向器的作用，及时改变导体与电刷的连接，使得电刷A不是固定地和导体ab相连接，而是固定地和N极范围内的导体相连接，因为在一定的磁极下，导体中电势方向是一定的，所以电刷A和B的极性也就是一定的了。这样电刷A仍为正极，电刷B仍为负极，因而外电路中的电流仍然是从电刷A经负载流入电刷B，方向不变。上述的直流发电机工作原理表明，直流发电机电枢绕组所感应的电势是交变的，由于换向器配合电刷的作用，把绕组中交流电势“换向”成为外电路的直流电势。因此，常把这种电机称为换向器式直流电机。

现在我们来研究发电机电刷间电势的大小。在图1-1直流发电机的原理图中，只有一个线圈，但实际上的直流电机，线圈的数目是很多的，换向片的数目也相应很多。这些线圈均匀分布在电枢表面，按一定的规律连接起来，组成一个电枢绕组。此时，直流发电机电刷间的电势应是多大呢？我们知道，电势是因导体切割磁力线产生的，故电刷间电势的大小，就同发电机的转速 n 和磁极磁通 Φ 的乘积成正比，即

$$E = C_E \Phi n \quad (1-1)$$

式中 Φ 是一个磁极的磁通； n 是电枢转速； C_E 是与电机结构有关的常数。式（1-1）中， Φ 的单位是Wb； n 的单位是r/min； E

的单位是V。

从图1—1中可见，直流发电机便是一个直流电源，它向负载输出电功率。但问题的另一方面，向负载供电的同时，就有电流流过导体ab、cd。这时导体ab和cd均处于磁场之中，必然会受到一电磁力的作用，力的方向可由左手定则确定，如图1—1所示，此电磁力是反对电枢旋转的。原动机为了保持发电机以恒定转速旋转，就必须克服此电磁力而作功。可见，发电机在向负载输出电功率的同时，原动机却向发电机输出机械功率，也就是说，发电机起着将机械能转换成电能的作用。

二、直流电动机的工作原理

直流电动机的构造原理和直流发电机是完全相同的。如果我们把图1—1中的直流发电机电枢不是用原动机拖动，而是将电刷A、B两端接在直流电源上，那么电机就变成电动机运行状态了。如图1—2所示。

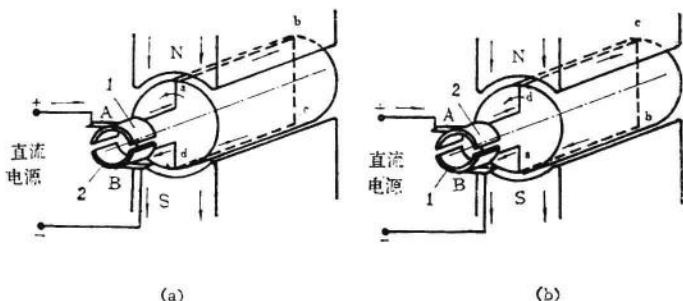


图1—2 直流电动机的工作原理

如图1—2(a)所示瞬间，电流从直流电源的正极流出，经过电刷A、换向片1、N极范围内的导体ab，再经过S极范围内的导体cd，到换向片2和电刷B，最后回到直流电源的负极。根据电磁力定律，载流导体在磁场中会受到电磁力的作用，电磁力的方向可由左手定则决定。导体ab中的电流方向由a至b，所受电磁力方向向左；导体cd中的电流方向由c至d，所受电磁力方向向右。

这样便产生了一个转矩(称为电磁转矩),在这转矩的作用下,电枢就按逆时针方向旋转起来。

当电枢转过 180° 后,如图1—2(b)所示,此时导体ab进入S极范围,cd进入N极范围内,与a端连接的换向片1便转向下方,离开电刷A而与电刷B相接触,与d端连接的换向片2转向上方,离开电刷B而与电刷A相接触。这时电流仍从电刷A流入,电刷B流出。但导体ab中的电流已改变了方向,由b至a,所受电磁力的方向向右,导体cd中的电流也改变了方向,由d至c,所受电磁力的方向向左。因此由电磁力产生的电磁转矩仍然是逆时针方向的(电磁转矩方向不变),这样就使得电枢按原方向一直旋转下去,从而带动机械负载工作。

由上述可知,直流电动机通过电刷和换向器的作用,使电枢导体从一个磁极转入另一个磁极时,导体中电流的方向也同时改变,从而保证了在N极范围内的导体电流方向始终保持不变(从电刷A流入),在S极范围内的导体电流方向始终保持不变(从电刷B流出)。因此,线圈两个边(上方和下方两个边)的受力方向也不变,所以电机的电磁转矩和旋转方向就不变,这样电枢就能沿着一个方向一直转旋下去。

实际生产的直流电动机,电枢线圈的数目也是很多的,换向片的数目也相应很多,这样,在电枢绕组通电后便能产生大而平稳的电磁转矩。那么,直流电动机的电磁转矩应等于多大呢?我们知道,直流电动机的电磁转矩 M 系由电枢电流(直流电机电枢绕组中的电流)与磁极磁通相互作用而产生,故 M 的大小就同电枢电流 I_a 和每极磁通 Φ 的乘积成正比,即

$$M = C_M \Phi I_a \quad (1-2)$$

式中 C_M 是与电机结构有关的常数。式(1—2)中: Φ 的单位是Wb; I_a 的单位是A; M 的单位是N·m。

直流电动机工作时,由外界直流电源供给电枢绕组电流,使载流导体与磁场作用产生电磁转矩,因而使电机带动机械负载沿

着和电磁转矩相同的方向转动,电动机就向负载输出了机械功率。与此同时,由于电枢旋转时,导体(例如图 1—2a 中的 ab和cd)切割磁力线而产生感应电势。电势的方向由右手定则决定,恰和输入电流方向相反,它的作用是要抵制电流输入,因此称为反电势,电源要向电动机电枢输入电流,就必须克服这一反电势的作用。因此,电动机向负载输出机械功率的同时,电源必须克服反电势而向电机输入电功率。可见,在这种情况下,电动机起着将电能转换成机械能的作用。

同一台直流电机,既可作为电动机运行,也可作为发电机运行。这种现象,称为直流电机的可逆原理。但是由于它们的设计依据是不同的,在制造时也有所偏重,所以通常总是根据铭牌标定的情况来使用,一般不互相代用。但在一些应急情况下,我们还是可以互相代替,一机两用的,以便在急需情况下使生产继续进行。

第二节 直流电机的构造

直流电机是最先发展的一种电机。十九世纪三十年代世界上制成了第一台可供实用的直流电动机。以后,通过各国的生产实践和不断的研究改进,到了十九世纪八十年代,直流电机已具备了今日直流电机的全部主要特征。近100年来,在结构基本定型的基础上,对采用新材料、改进制造工艺、提高单机容量、提高直流电机的性能和可靠性等展开了全面的研究,并已取得了很大的成绩。

图 1—3 是直流电机的结构图,图 1—4 是直流电机的剖面图。从图中可见,直流电机的所有部件可以分为固定的和转动的两大部分。固定不动的部分称为定子,由主磁极、换向极、机座、端盖、轴承和电刷装置等组成;转动部分称为转子(又称电枢),