

高等职业教育机电类专业“十一五”规划教材

电机技术及应用

主编 高中义 伊连云



国防工业出版社

National Defense Industry Press

高等职业教育机电类专业“十一五”规划教材

电机技术及应用

主 编 高中义 伊连云
副主编 雷春芳

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书主要介绍直流电机、变压器、异步电动机、同步电机、特种电机等。

本书紧扣高职教育新理念,结合高职教学的基本要求,以理论深度够用为度,紧密结合生产实践,注重学生的实践应用能力的培养,力求基本概念清晰明确,用实例强化概念的应用;理论推导简化,易于掌握,具有实用性;列举典型实例,分析过程思路清晰,紧密与实践相结合。

本书可作为高职高专院校及各类职业技术学校电气自动化、机电设备维修、电气技术、供电技术等专业的教学用书,也可作为相关技术人员的培训用书或初学者的自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

电机技术及应用/高中义,伊连云主编. —北京:国防工业出版社,2010.7

高等职业教育机电类专业“十一五”规划教材

ISBN 978-7-118-06911-2

I. ①电... II. ①高... ②伊... III. ①—电机学—高等学校:技术学校—教材 IV. ①TM3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 141495 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 14½ 字数 335 千字

2010 年 7 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 30.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

前 言

本书根据教育部高职高专教育教学改革精神,按照高职高专技能型人才的培养要求编写而成。在编写时结合当前高职教学实际需要,重视对高职学生应用能力的培养,做到理论够用为度,同时为了贯彻和适应创新教育和素质教育的精神,在确保基本知识的同时,降低理论深度,加强实际应用,更新内容体系作为本教材编写的基本依据和主要特点。

本书主要介绍直流电机、变压器、异步电动机、同步电机、特种电机等。在掌握基本理论的同时,还要注重培养电机测试技术等技能,为学习后续课程和今后的工作准备必要的基础知识,同时有助于培养在电机及电力拖动方面分析和解决问题的能力。

本书由高中义、伊连云任主编,雷春芳任副主编。全书具体编写工作分工如下:高中义编写第1章、第2章、第3章,雷春芳编写第4章,伊连云编写第5章、第6章。在本书的编写过程中,得到了白城职业技术学院、白城教育学院、山东德州学院的大力支持,在此一并表示衷心的感谢。

由于编写时间紧迫,编者水平有限,书中难免有不妥之处,欢迎读者批评指正。

编 者

目 录

第1章 概述	1
1.1 电机在国民经济中的作用	1
1.2 电机的种类及所用的材料	2
1.3 本课程的主要内容、任务和学习方法	4
小结	4
习题	4
第2章 直流电机	5
2.1 直流电机的基本理论和结构	5
2.1.1 直流电机的结构	5
2.1.2 直流电机的工作原理	8
2.1.3 直流电机的分类	10
2.1.4 直流电机的电枢绕组	12
2.1.5 直流电机的电枢电动势	19
2.1.6 直流电机的电磁转矩和电磁功率	20
2.1.7 直流电机的磁场及电枢反应	21
2.1.8 直流电机的换向	23
2.2 直流发电机	25
2.2.1 并励发电机的空载特性	26
2.2.2 并励发电机电势的建立	27
2.2.3 直流发电机的功率、转矩、电势平衡方程	28
2.2.4 并励发电机的外特性	30
2.2.5 复励发电机	31
2.2.6 直流电焊机	32
2.3 直流电动机	33
2.3.1 直流电动机的电势、功率、转矩平衡方程	33
2.3.2 直流电动机的机械特性	35
2.3.3 直流电动机的启动	37
2.3.4 直流电动机的调速	40
2.3.5 直流电动机的反转	41
2.3.6 直流电动机的制动	42
2.3.7 单相串励电动机	43
2.3.8 整流电源供电对直流电动机的影响	45
2.3.9 国产直流电动机简介	46

2.3.10	直流电动机的一般试验方法	47
2.3.11	直流电动机的使用、维护及故障处理	50
小结		54
习题		55
第3章	变压器	58
3.1	变压器的原理	58
3.1.1	变压器的工作原理及分类	58
3.1.2	变压器的结构	59
3.1.3	变压器的空载及负载运行	63
3.1.4	变压器的阻抗变换	68
3.1.5	变压器的外特性	69
3.1.6	变压器的空载试验及短路试验	70
3.1.7	变压器的损耗和效率	73
3.1.8	电力变压器铭牌及国产电力变压器简介	75
3.1.9	变压器的检修及一般试验方法	78
3.2	变压器的连接与并联运行	82
3.2.1	变压器绕组的极性及其判定	82
3.2.2	三相变压器的构成	84
3.2.3	三相变压器的连接组	88
3.2.4	三相变压器的并联运行	92
3.3	其他用途的变压器	94
3.3.1	自耦变压器	94
3.3.2	仪用互感器	97
3.3.3	电焊变压器	100
3.3.4	整流变压器	103
3.3.5	脉冲变压器	104
3.3.6	小型单相变压器的简单计算	105
小结		111
习题		112
第4章	异步电动机	115
4.1	三相异步电动机	115
4.1.1	旋转磁场	115
4.1.2	三相异步电动机的工作原理	119
4.1.3	三相异步电动机的结构	121
4.1.4	三相异步电动机的运行原理	126
4.1.5	三相异步电动机的工作特性	130
4.1.6	三相异步电动机的启动	134
4.1.7	三相异步电动机的调速	140
4.1.8	电磁调速异步电动机	142
4.1.9	三相异步电动机的反转与制动	144

4.1.10	三相异步电动机的使用、维护及故障处理	147
4.1.11	三相异步电动机的一般试验方法	149
4.1.12	国产三相异步电动机简介	153
4.2	三相异步电动机的绕组	155
4.2.1	三相异步电动机绕组概述	155
4.2.2	三相单层绕组	158
4.2.3	三相双层绕组	161
4.2.4	单双层混合绕组	166
4.2.5	三相变极多速异步电动机原理与接线	167
4.2.6	三相异步电动机绕组的故障处理	170
4.3	单相异步电动机	172
4.3.1	单相异步电动机的工作原理	172
4.3.2	单相电容(电阻)异步电动机	176
4.3.3	单相罩极异步电动机	177
4.3.4	单相异步电动机定子绕组	178
4.3.5	单相异步电动机的反转与调速	182
4.3.6	单相异步电动机的常见故障及处理	184
小结		187
习题		188
第5章	同步电机	191
5.1	三相同步发电机的工作原理	191
5.2	同步发电机的基本结构	192
5.3	同步发电机的励磁方式	193
5.4	同步发电机的并联运行	194
5.5	同步电动机的工作原理	194
5.6	同步发电机的启动方法	195
5.7	同步发电机功率因数的调整	197
5.8	同步补偿机	201
小结		202
习题		202
第6章	特种电机	204
6.1	伺服电动机	204
6.2	步进电动机	209
6.3	测速发电机	211
6.4	旋转变压器	215
6.5	直线电动机	218
6.6	直流力矩电动机	219
6.7	感应同步器	221
小结		223
习题		224
参考文献		225

第1章 概述

1.1 电机在国民经济中的作用

电机是利用电磁感应原理实现能量转换和信号转换的电磁装置,它在国民经济中起着非常重要的作用。

1. 电机在其他能量向电能转换方面的作用

自然界中有机械能、化学能、热能、光能、电能、核能等各种能源,而且它们之间又是可以相互转换的。在这些能源中电能的应用最为广泛,因为电能的生产、传输、分配、控制、使用等都比较方便,并且在使用时效率高、低污染,所以备受青睐。因此,目前世界各国都是把电能作为中间环节来达到利用其他能源的目的,即首先把其他各种形式的能量转换成强大的、可控的、集中的电能,然后再根据人们的需要把电能转换为其他各种形式的能量来使用,这些多数需要依靠电机来完成。

例如,汹涌澎湃的江河流淌蕴涵着大量的机械能,水力发电则是利用其来推动水轮机再带动发电机来发电的;还有风力发电,其在我国方兴未艾,是利用风能来推动发电机发电的,从而实现机械能向电能的转换。而火力发电则是把煤、石油、天然气等燃料燃烧产生的热能用来生产高温、高压的水蒸气,再用水蒸气去推动汽轮机拖动发电机发电;此外,还有核能发电,它是利用核反应所放出的热量去推动汽轮机再拖动发电机发出电能。

2. 电机在电能应用方面的作用

电能的应用主要是通过电动机把电能转换成机械能来拖动各种机械设备等工作实现的。

例如,在工业生产上的各种机床、纺织机械等都用电机拖动;在建筑业中各种吊车、搅拌机都需要电动机拖动;农业上用的抽水机、碾米机、榨油机等需用电动机拖动;交通运输业中无论是电力机车还是动车组,无论是城市电车还是磁悬浮列车,也都需要电动机拖动;人们的日常生活更离不开电动机,如电风扇、洗衣机、电冰箱、空调器、吸尘器、电动车、收音机、录放机、电动玩具等,它们必须通过电动机才能完成工作;此外,还有国防工业、计算机领域、航天技术等也都离不开电动机拖动。

3. 电机对其他行业的促进作用

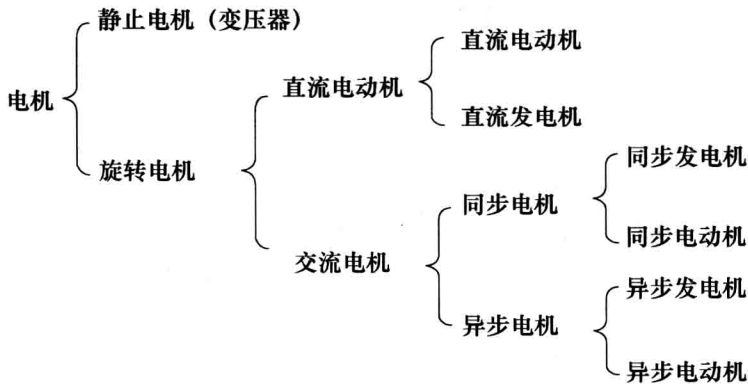
自从19世纪末到20世纪初,以电机为主要特征引发了第二次工业革命,使人类进入了电气化时代以来,和电机有关的产业如雨后春笋般地涌现出来。例如,生产抽水机、电力机车、空调器、吸尘器等企业,以及与之相关的企业等,它们都随着电机的发明与应用应运而生,并且不断地发展壮大。

可见,如果没有电机,人类的生产将受到严重的限制,人们的生活水平也将大幅度的下降,各种现代化也将成为乌有。因此,电机在国民经济中具有不可取代的作用。

1.2 电机的种类及所用的材料

1. 电机种类

在实际生产生活中,有许许多多的各种类型的电机,这些电机可以按照不同的方法进行分类,电机总体分类如下:



发电机的作用是把机械能转化为电能;电动机的作用是把电能转化为机械能,拖动各种生产机械设备运转;变压器的作用是升高或降低电压。

在所有电机中电动机与人们关系最为紧密,因此下面对电动机做具体分类介绍。

1) 按照电动机的工作时间分类

(1) 连续工作制(S_1): 这种电动机在额定负载下可以连续运行很长的时间。如通风机、水泵、造纸机等生产机械中的电动机。

(2) 短时工作制(S_2): 这种电动机在额定负载下按照给定的时间运行,然后断电停转冷却。我国的标准运行时间有 15min、30min、60min 和 90min。如水闸封闭机和起重机等所有的电动机。

(3) 断续周期工作制(S_3): 这种电动机按照一系列相同的工作周期运行,每周期包括负载运行时间和断电停转时间。如起重机和电梯中所有的电动机。

(4) 包括启动的断续周期工作制(S_4): 这种电动机按照一系列相同的工作周期运行,每个周期包括启动时间、运行时间和断电停转时间。

(5) 包括电制动的断续周期工作制(S_5): 这种电动机按照一系列相同的工作周期运行,每个周期包括启动时间、制动时间和断电停转时间。

(6) 连续周期工作制(S_6): 这种电动机按照一系列相同的工作周期运行,每个周期包括负载运行时间和空载运行时间,但无断电时间。

(7) 包括电制动的连续周期工作制(S_7): 这种电动机按照一系列相同的工作周期运行,每个周期包括启动时间、负载运行时间和电制动时间,但无断电停转时间。

(8) 包括变速变负载的连续周期工作制(S_8): 这种电动机按照一系列相同的工作周期运行,每个周期包括一段在预定转速下负载运行时间和一段或几段在不同转速及不同负载的运行时间,但无断电停转时间。

(9) 负载和转速非周期变化工作制(S_9): 这种工作制是负载和转速在允许范围内变化的非周期工作制, 这种工作制可以经常过载, 甚至远远超过额定负载。

2) 按照定子绕组的相数分类

按照转子结构, 电动机可分为单相电动机和三相电动机。

3) 按照转子结构分类

按照转子结构, 电动机可分为笼型电动机和绕线型电动机。

4) 按照外形结构分类

(1) 开启式电动机: 电动机的定子两侧和端盖上都开有较大的通风口, 散热好, 但容易进灰尘、水滴和铁屑等杂物, 只能在清洁、干燥的环境中使用。

(2) 防护式电动机: 电动机的机座和端盖下方有通风口, 散热好, 能有效地防止水滴和铁屑等杂物从上方落入电机内, 但潮气和灰尘仍可进入, 一般用在比较干燥、清洁的环境中。

(3) 封闭式电动机: 电动机的端盖和机座上都没有通风口, 外部的潮气和灰尘很难进入电动机内部, 通常应用在多尘、潮湿和易引起火灾的地方。

(4) 密闭式电动机: 电动机的密封程度高, 外部的气体和液体都不能进入电机的内部, 可浸在水中使用, 如潜水泵电动机。

(5) 防爆式电动机: 电动机不但密封好, 而且外壳有足够的机械强度, 适用于有易燃、易爆气体的场所, 如矿井、油库等。

2. 电机中所使用的材料

(1) 铸钢或铸铁, 用于制造机座;

(2) 硅钢片, 用于制造定子和转子铁芯;

(3) 合金钢, 用于制造转轴;

(4) 铝, 用于制造风扇;

(5) 铜线, 用于制造绕组;

(6) 绝缘材料, 按其耐热能力分为 A、E、B、F、H 和 C 六个等级:

① A 级绝缘材料包括浸渍处理的棉纱、丝、纸等有机纤维材料以及普通漆包线上的磁漆等。目前仅在变压器中使用。

② E 级绝缘材料包括用聚酯树脂、环氧树脂、三醋酸纤维等制成的薄膜, 聚乙烯醇缩醛高强度漆包线上的磁漆等。在中小型交、直流电机中使用。

③ B 级绝缘材料包括石棉、云母、玻璃丝等无机物用有机漆或树脂做黏合剂制成的材料及其组合物, 聚酯高强度漆包线上的磁漆等。一般在大中型同步电机及小中型交、直流电机中使用。

④ F 级绝缘材料包括云母、石棉、玻璃丝等无机物用硅有机化合物改性的合成树脂漆, 或耐热性能符合这一等级要求的醇酸、环氧树脂作为黏合物而制成的材料或其组合物。

⑤ H 级绝缘材料包括硅有机物以及云母、石棉、玻璃丝等无机物用硅有机漆作为黏合物而制成的材料。主要应用在要求尽量缩小尺寸、减轻重量的场合, 如航空电机、吊车电机、牵引电机等。

⑥ C 级绝缘材料包括无黏合剂的云母、石英、玻璃丝, 用热稳定性特别好的有机树

脂、聚酰亚胺浸渍漆等处理过的石棉、玻璃纤维织物等。C级绝缘材料是要求更高的绝缘材料,目前正在推广使用。

绝缘等级和最高允许工作温度如表 1-1 所列。

表 1-1 绝缘等级和最高允许工作温度

绝缘等级	A	E	B	F	H	C
最高允许温度/℃	105	120	130	150	180	> 180

1.3 本课程的主要内容、任务和学习方法

本课程主要介绍了直流电机的基本理论和结构、特性、一般试验方法及使用和维护等,变压器的原理、连接与并联运行及几种其他用途的变压器,三相异步电动机的原理、特性、使用与维护及试验方法,三相异步电动机绕组与故障处理,单相异步电动机的原理及故障处理,同步电机的原理,特种电机的原理与应用等。

学习本课程之后应当掌握直流电机、变压器、异步电动机、同步电机、特种电机的工作原理,掌握电动机的启动、反转方法,掌握变压器的绕制、电机绕组的绕制,掌握电机的一般故障的处理方法。

本课程是一门理论性较强的专业基础课,在学习过程中,应在对本书进行充分阅读的基础上,注意对基本理论的掌握和基本概念的理解。在学习中还应注意进行对照比较,例如,对变压器和异步电机的相关比较,可以使我们准确把握相关基本概念,明确各种电机的特点,有利于知识的系统化。同时,还要注意理论与实践的结合,运用相关的理论去解决具体的实际问题。

小 结

发电机实现了其他能量向电能的转换,电动机把电能转换成机械能应用到生产、生活及科技等各个领域。

在总体上电机从机电能量转换方面可分为若干种类,对于与我们关系密切的电动机按照不同的分类方式又可划分为若干系列。电机主要由铸钢或铸铁、硅钢片、合金钢、铝、铜线和绝缘材料等制成。

习 题

- 1.1 电机在国民经济中的作用是什么?
- 1.2 按照外型结构和工作时间电机可分为哪些种类?
- 1.3 电机中主要含有哪些材料,它们的作用是什么?

第2章 直流电机

2.1 直流电机的基本理论和结构

直流电机包括直流电动机和直流发电机。直流电机具有可逆性,既可作为电动机使用又可作为发电机使用。作为直流电动机使用时,将直流电能转换成机械能输出;作为发电机使用时,将机械能转换为直流电能输出。

2.1.1 直流电机的结构

直流电机主要由定子和转子(又称电枢)两部分组成。图2-1为国产直流电动机外形,图2-2为直流电动机的组成部件。对直流电动机的结构要求是:能产生足够强的磁场;能承受相应的电压和电流;能保持良好的绝缘性能;电动机温升不允许超过规定值;运转灵活,有一定的机械强度;使用及维护方便,寿命长;价格低,制造简单等。

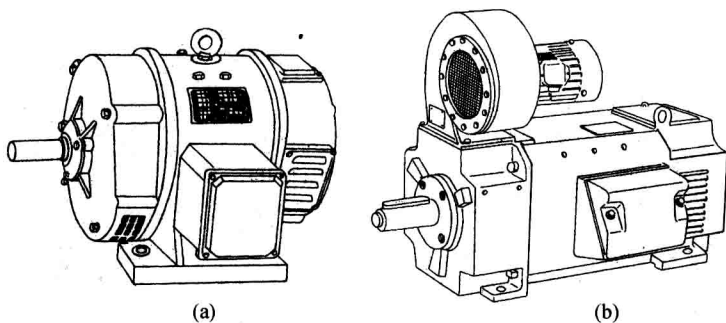


图2-1 直流电动机的外形

(a) Z2 系列; (b) Z4 系列。

1. 定子

直流电机的定子主要由机座、主磁极、换向磁极、前端盖、后端盖、电刷装置等组成。

(1) 机座:一方面作为电机磁路的一部分;另一方面起安装支撑作用。机座通常由铸钢、钢板或无缝钢管加工而成。

(2) 主磁极:又称主极,由主极铁芯和主极绕组两部分组成如图2-3所示,其作用是产生主磁场。

① 主极铁芯是电机磁路的一部分。为了减少涡流损耗,一般由薄钢板制成。

② 主极绕组的作用是通入直流电,产生磁场。一般小型电机由绝缘铜线或铝线绕成,大、中型电机则用扁铜线制成。

(3) 换向磁极:又称附加磁极,用于产生换向磁场,从而改善换向。它也是由绕组和铁芯组成的。

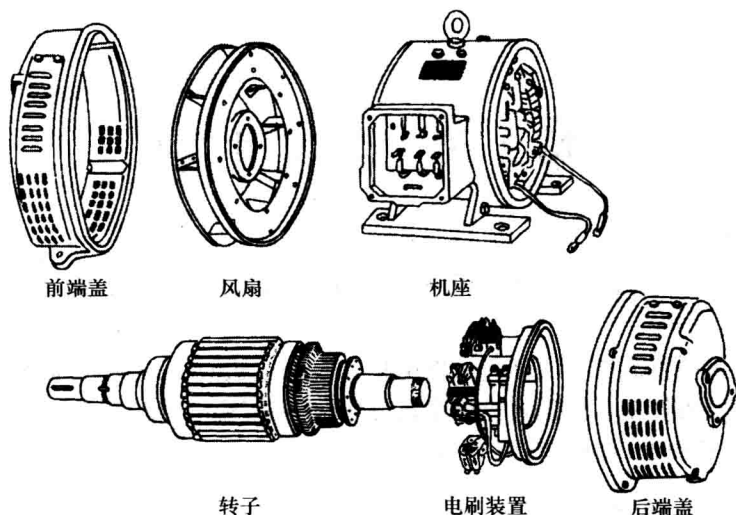


图 2-2 直流电动机的组成部件

(4) 前、后端盖:安装轴承和支撑电枢。一般由铸钢制成。

(5) 电刷装置:通过电刷与换向器的滑动接触,把电枢绕组与外电路接通,如图 2-4 所示。电刷一般由石墨粉制成。

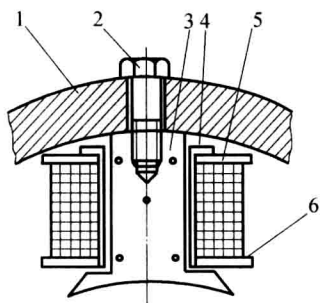


图 2-3 主磁极结构

1—机座; 2—主极螺钉; 3—主极铁芯;
4—框架; 5—主极绕组; 6—绝缘垫衬。

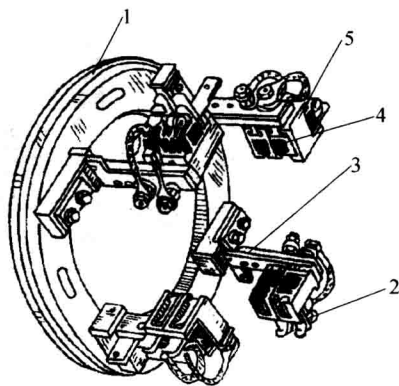


图 2-4 电刷装置

1—刷杆座; 2—弹簧; 3—刷杆; 4—电刷; 5—刷握。

2. 转子

转子主要由铁芯、绕组、换向器、转轴、风扇等组成。

(1) 电枢铁芯:通过磁通和嵌放绕组。为了减少涡流损耗,一般用 0.5mm 的硅钢片压制而成。如图 2-5 所示,沿铁芯外圆均匀地分布有嵌放绕组的槽。

(2) 绕组:产生感应电动势和通过电流,使电机实现机电能量转换。电枢绕组通常由圆形或矩形截面的导线绕制而成,并按一定规律嵌放在电枢铁芯槽内,然后进行绝缘处理。绕组端头按一定规则嵌放在换向器槽内,并焊牢。

(3) 换向器:将电枢绕组中的交流电转换电刷间的直流电。其结构如图 2-6 所示。

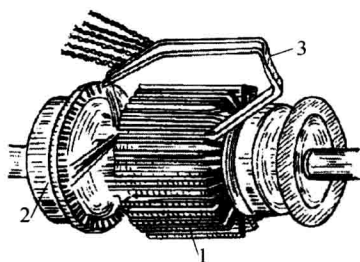


图 2-5 电枢

1—电枢铁芯；2—换向器；3—绕组元件；4—铁芯冲片。

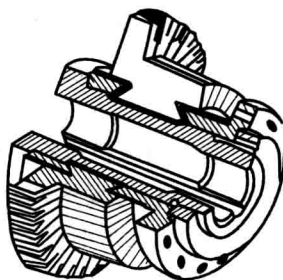


图 2-6 换向器结构

(4) 转轴:用来传递转矩。一般由合金钢锻压而成。

(5) 风扇:用来降低电机工作时产生的温升。

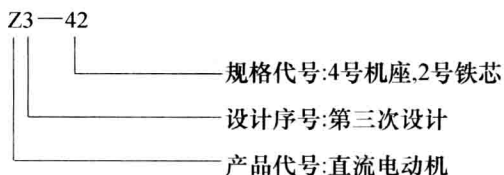
3. 铭牌与额定值

每台电机上都有一块铭牌,如图 2-7 所示,铭牌上的数据称额定值,它是正确使用电机的依据。

直流电动机		
标准编号		
型号 Z3 - 31	1.1kW	110V
13.45A	1500r/min	励磁方式 他励
励磁电压 100V	励磁电流 0.713A	
绝缘等级 B	定额 SI	重量 59kg
出品编号	出品日期	
× × 电机厂		

图 2-7 直流电机铭牌

(1) 型号:



(2) 额定功率 P_N :指电机按规定方式工作时所能输出的功率。

(3) 额定电压 U_N :指在正常工作时电机出线端的电压。对发电机而言,是指额定输出功率时的电压;对电动机而言,是指加在电动机上的电压。

(4) 额定电流 I_N :指对应额定电压和额定功率的电流。

(5) 额定转速 n_N :指额定电压、电流及输出功率的条件下的转速。

(6) 励磁:指电机的励磁方式。

(7) 额定励磁电流:指电机的转速、电流、电压都为额定值时所需励磁电流。

(8) 定额:指电机按铭牌值工作时可以持续运行的时间和顺序。它包括连续定额(S_1)、短时定额(S_2)及断续定额(S_3)。

- ① 连续定额表示电机按铭牌值工作时可以长期连续运行。
 - ② 短时定额表示电机只能在规定的时间内短期运行。
 - ③ 断续定额表示电机运行一段时间后,就停止一段时期,周而复始重复运行。
- (9) 温升:指电机各发热部分的温度与周围冷却介质温度之差。

(10) 绝缘等级:表示电机各绝缘部分所用绝缘材料的等级,绝缘材料按耐热性能可分为7个等级,如表2-1所列。

表 2-1 绝缘材料耐热性能等级

绝缘等级	Y	A	E	B	F	H	C
最高允许温度/℃	90	105	120	130	155	180	大于 180

2.1.2 直流电机的工作原理

1. 直流发电机的工作原理

当导体在磁场内作切割磁力线的运动时,在导体中就有感应电动势产生,这就是发电机的工作原理。如图2-8所示,在静止的N极及S极之间安放了一个能绕轴 OO' 转动的线圈 $abcd$,并采用了滑环和电刷装置,即将线圈的两端分别接到两个滑环上,每个滑环通过它上面的电刷与外电路接通,从而将线圈中的感应电动势输出到外电路中。感应电动势 e 的大小可用 $e = BLv\sin\alpha$ 计算,式中, B 为磁感应强度, L 为切割磁力线的导体有效长度, v 为切割速度, α 为导体运动方向和磁力线方向的夹角。

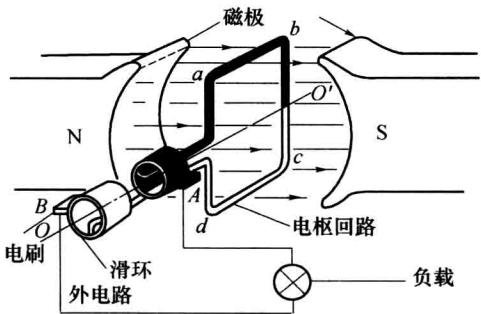


图 2-8 发电机原理结构

其工作原理是:当线圈处于图2-9(a)所示的位置时, $\alpha = 0^\circ$,此时 $e = 0$;当处于2-9(b)所示的位置时, $\alpha = 90^\circ$, e 为最大;当处于图2-9(c)所示的位置时, $\alpha = 180^\circ$, $e = 0$;当处于图2-9(d)所示的位置时, $\alpha = 270^\circ$, e 为最大,但 e 的方向与图2-9(b)所示的相反。当线圈转过一圈又回到起始位置后,就重复上述过程。

由此可见,由电刷两端输出的是正弦交流电如图2-9(e)所示。这显然不符合产生直流电的要求。这主要是由于电刷A总是和连接 ab 导体的滑环接触,电刷B的连接也不变,这样,导体 ab 由N极转到S极下时,导体中的感应电动势也跟着发生变化,因此输出的是交流电动势。

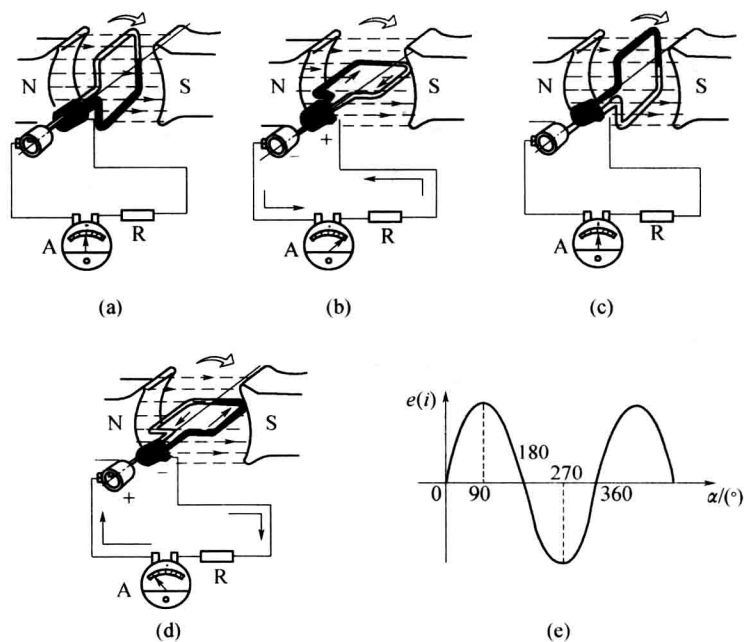


图 2-9 发电机工作原理

(a) $\alpha = 0^\circ$; (b) $\alpha = 90^\circ$; (c) $\alpha = 180^\circ$; (d) $\alpha = 270^\circ$; (e) 正弦交流电电动势波形。

如果让电刷 A 总是与位于 N 极下的导体连接,电刷 B 总是与位于 S 极下的导体连接,则可在 A 、 B 两电刷间输出方向不变的直流电动势。在实际中采用换向器来达到上述目的。图 2-10 为简单的直流发电机结构原理图,导体 ab 和导体 cd 分别与两个互相绝缘的半圆环(换向器)相连,再通过电刷与外界接通。

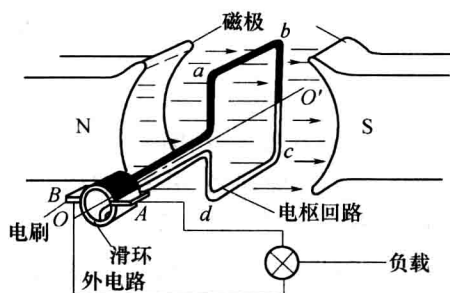


图 2-10 直流发电机结构原理

其工作原理是:当线圈处于图 2-11 (a) 所示的位置时, $\alpha = 0^\circ$, $e = 0$;当线圈处于图 2-11 (b) 所示的位置时, $\alpha = 90^\circ$, e 为最大,且 A 正 B 负;当处于图 2-11 (c) 所示的位置时, $\alpha = 180^\circ$, $e = 0$;当处于图 2-11 (d) 所示的位置, $\alpha = 270^\circ$, e 为最大,但 A 、 B 极性不变,从而保证输出为直流电。

为了能输出恒定不变的直流电,实际上使用的直流发电机的转子上安有许多导体和换向片,它们在空间相隔一定的角度,就可以得到平稳的直流输出。图 2-12 是两个垂直线圈所产生的输出波形,它的脉动程度已经大为减小。

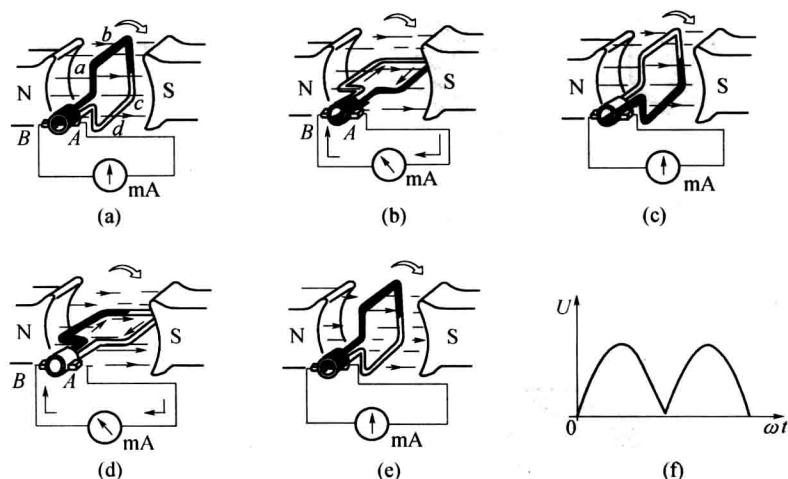


图 2-11 直流发电机的工作原理

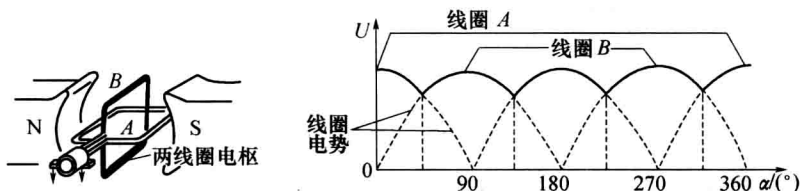


图 2-12 两组线圈的输出电压波形

可见,直流发电机的工作原理:电机在原动机的拖动下旋转,电枢上的导体切割磁力线产生交变电动势,再通过换向器的作用在电刷间获得直流输出,从而实现机电能量的转换。

2. 直流电动机的工作原理

直流电机是依据通过电流的导体在磁场中将受到力的作用这一原理制成的。它的结构与发电机相同。下面分析它的工作原理,如图 2-13(a)所示,电流由电刷 A 流入,从电刷 B 流出,线圈 $abcd$ 中的电流方向如图中箭头所示,则可判断线圈受力后将顺时针旋转。当线圈处于图 2-13(b)所示的位置时, A、B 被换向器短接,线圈中没有电流,但由于惯性线圈将继续转动;当处于图 2-13(c)所示的位置时,虽然线圈中的导体在磁场中的位置发生了变化,但是由于换向器的作用,使各磁极下导体中的电流方向不变,所以线圈受力方向不变,转向不变,即电动机就能继续旋转。

由此,得出直流电动机的工作原理:直流电机在外加直流电压作用下,导体中产生了电流,载流导体将受到电磁力的作用,通过换向器使导体进入异性磁极时电流方向也发生变化,以此保持线圈转矩方向不变,从而使直流电机能连续旋转,把直流电能转换成机械能输出。

2.1.3 直流电机的分类

直流电机主磁场的获得通常有两种方法:一是用永久磁铁产生磁场,一般在小功率电