

电机及拖动 应用技术

DianJi Ji TuoDong
YingYong JiShu

主编◎门保全 唐慧刚

电机及拖动应用技术

主 编 门保全 唐慧刚

副主编 罗华建 陈慕君 迟忠君 王海娜

参 编 王玉爽 石新华 冯晓静 任卫东

杨彩虹 魏建涛 李铁军 温铭丽

内 容 简 介

本书主要特点是将电机学和电力拖动两部分的内容合二为一。全书共分7个项目内容：直流电机及直流电动机的电力拖动、交流电机及交流电动机的电力拖动、变压器、同步电机和控制电机的认识。所配思考与练习题便于及时巩固与查漏补缺。本书突出以能力为本位，以就业为导向的特点，着重实践技能和应用技能的培养，并积极贯彻执行工学结合、校企合作等具体项目，增强学生的职业能力。

本书主要适用于高等学校电气技术及自动化、机电一体化、电子及控制技术类专业。既可作为学生的自学课本，又可作为相关工程技术人员的参考用书。每个项目后面的小结，起到突出重点、提纲挈领的作用，也可作为自学的指导。

版权专有 侵权必究

图书在版编目（CIP）数据

电机及拖动应用技术 / 门保全，唐慧刚主编. —北京：北京理工大学出版社，2014.1

ISBN 978 - 7 - 5640 - 7794 - 5

I. ①电… II. ①门… ②唐… III. ①电机-高等职业教育-教材
②电力传动-高等职业教育-教材 IV. ①TM3 ②TM921

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 118537 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室)

82562903(教材售后服务热线)

68948351(其他图书服务热线)

网 址 / [http://www. bitpress. com. cn](http://www.bitpress.com.cn)

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京慧美印刷有限公司

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 14.5

字 数 / 333 千字

版 次 / 2014年1月第1版 2014年1月第1次印刷

定 价 / 42.00 元

责任编辑 / 张慧峰

文案编辑 / 张慧峰

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 王美丽

图书出现印装质量问题，请拨打售后服务热线，本社负责调换

本书适合高等学校电气技术及自动化、机电一体化、电子控制技术类专业学生使用。

从知识的角度来看,学习本书需要学生初步具备电学、力学、磁学及热学的基本知识。它是电子、自动化和机电等相关专业的专业课教材。

从内容上来看,本书将电机学及电机拖动两部分内容合二为一。全书共分7个教学项目,即直流电机、直流电动机的电力拖动、交流电机、交流电动机的电力拖动、变压器、同步电机和控制电机的认识。

本书编写过程中,结合教育部对高等学校教材的整体要求,在内容的选择和问题的阐述方面都做了相应的改进及探索。兼顾学科的发展,结合学科自身的特点及其与相关课程的联系,为更好地培养学生的能力,本书在问题的阐述方面力求做到概念清晰、重点突出、推理连贯。总体框架体现了高等应用型教学以应用为目的的特点,加强了内容的实用性。

本书由门保全、唐慧刚担任主编,罗华建、陈慕君、迟忠君、王海娜担任副主编,王玉爽、石新华、冯晓静、任卫东、杨彩红、魏建涛、李铁军、温铭丽参与编写,其中,唐慧刚负责项目5和附录内容的编写。编写期间,参考了相关教材及资料,在此一并表示感谢。

由于作者水平有限,书中缺点和不当之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

Contents

目录

Contents

项目1 直流电机的认识	1
任务1 直流电机的基本知识	1
1.1.1 本课程的发展概况	1
1.1.2 本课程的性质、任务和内容	3
1.1.3 本课程的特点及学习方法	3
1.1.4 电机理论中的基本电磁定律	4
1.1.5 电机中所用材料	6
1.1.6 直流电机的基本工作原理	7
1.1.7 直流电机的反转	9
1.1.8 直流电机的可逆原理	9
1.1.9 直流电机的结构	9
1.1.10 直流电机的铭牌数据	12
1.1.11 直流电机的主要系列	14
任务2 直流电机的绕组	15
1.2.1 有关基本概念	16
1.2.2 直流电机电枢绕组的基本构成形式	17
1.2.3 直流电机的示意图	19
任务3 直流电机的磁场与换向	20
1.3.1 直流电机的空载磁场	20
1.3.2 直流电机负载时的磁场	22
1.3.3 直流电机的电枢反应	24
1.3.4 直流电机换向过程中电流的变化规律	25
1.3.5 影响换向的电磁原因	26
1.3.6 改善换向的方法	28
任务4 直流电机的计算及运行分析	30
1.4.1 电磁转矩的计算	30
1.4.2 电枢感应电动势的计算	31
1.4.3 直流电机电磁功率的计算	32
1.4.4 直流发电机的励磁方式	33
1.4.5 直流电机方程式的分析	33

目 录

1.4.6 直流电机运行特性的分析	35
1.4.7 并励发电机的自励条件	38
思考与练习题	39
项目2 直流电动机的电力拖动	41
任务1 电力拖动系统的动力学和直流电动机的机械特性	41
2.1.1 运动方程式	41
2.1.2 转矩符号的规定	42
2.1.3 运动状态的分析	43
2.1.4 恒转矩负载	43
2.1.5 恒功率负载	44
2.1.6 泵与风机类负载	44
2.1.7 直流电动机的机械特性方程式	44
2.1.8 固有特性及其求取	45
2.1.9 人为机械特性及其求取	46
2.1.10 电力拖动系统稳定运行的条件	48
2.1.11 串励及复励直流电动机的机械特性	49
任务2 直流电动机的启动及其实现	52
2.2.1 电枢回路串电阻启动	53
2.2.2 降压启动	53
任务3 直流电动机的制动及其实现	54
2.3.1 能耗制动	55
2.3.2 反接制动	55
2.3.3 回馈制动	56
任务4 他励直流电动机的调速	56
2.4.1 调速指标	57
2.4.2 电枢回路串电阻调速(简称串电阻调速)	58
2.4.3 减弱磁通调速(简称弱磁调速)	58
2.4.4 降低电源电压调速(简称降压调速)	59
思考与练习题	60
项目3 交流电机的认识	61
任务1 交流电动机的基本知识	61
3.1.1 三相异步电动机的基本结构	62
3.1.2 三相交流电动机的旋转磁势	63
3.1.3 三相异步电动机的工作原理	65
3.1.4 三相异步电动机的反转	66
3.1.5 三相异步电动机的铭牌	66
3.1.6 三相异步电动机的主要系列	68

任务2 三相异步电动机的定子绕组	70
3.2.1 基本要求和分类	70
3.2.2 单层绕组	72
3.2.3 双层绕组	75
任务3 交流电动机的电动势和磁动势	77
3.3.1 线圈的感应电动势	77
3.3.2 线圈组的感应电动势	79
3.3.3 短距系数和分布系数	80
3.3.4 单相绕组的磁动势	81
3.3.5 三相绕组的磁动势	82
任务4 交流电动机的运行分析	83
子任务1 交流电动机的空载运行分析	84
3.4.1 空载运行时的电磁关系	84
3.4.2 空载运行时的电压平衡方程	84
子任务2 交流电动机的负载运行分析	86
3.4.3 负载运行时的电磁关系	86
3.4.4 负载运行时的转子电磁量	86
3.4.5 负载运行时的平衡方程	88
任务5 交流电动机的电磁分析	88
子任务1 三相异步电动机的平衡方程	89
3.5.1 三相异步电动机的功率平衡方程	89
3.5.2 三相异步电动机的转矩平衡方程	90
3.5.3 三相异步电动机的运行特性	90
子任务2 交流电动机的等效电路和相量图	93
3.5.4 等效电路图的绘制	93
3.5.5 相量图的绘制	96
思考与练习题	98
项目4 交流电动机的电力拖动	101
任务1 交流电动机的机械特性	101
子任务1 交流电动机的电磁转矩表达式	101
4.1.1 物理表达式	101
4.1.2 参数表达式	102
4.1.3 实用表达式	102
子任务2 三相异步电动机的机械特性	103
4.1.4 固有机械特性	103
4.1.5 人为机械特性	104
任务2 交流电动机的启动及其实现	105
4.2.1 启动描述	106

目 录

4.2.2	三相笼型异步电动机的启动	106
4.2.3	三相绕线式异步电动机的启动	110
任务3 交流电动机的制动及其实现		111
4.3.1	制动方法	112
4.3.2	能耗制动	112
4.3.3	反接制动	112
4.3.4	回馈制动	114
4.3.5	电容制动	114
任务4 交流电动机的调速及其实现		115
4.4.1	变极调速	116
4.4.2	变频调速	117
4.4.3	变转差率调速	118
思考与练习题		120
项目5 变压器的认识		121
任务1 变压器的基本知识		121
5.1.1	变压器的基本工作原理	121
5.1.2	变压器的分类	122
5.1.3	变压器的基本结构	123
5.1.4	变压器的铭牌	125
任务2 变压器的运行分析		127
子任务1 变压器的空载运行分析		127
5.2.1	空载运行时的物理情况	127
5.2.2	空载运行时的电磁关系	128
5.2.3	空载运行时的空载电流和空载损耗	130
5.2.4	空载运行时的电压平衡方程式	131
5.2.5	空载运行时的等效电路	132
5.2.6	空载运行时的相量图	132
子任务2 变压器的负载运行分析		134
5.2.7	负载运行时的物理情况	134
5.2.8	负载运行时的电磁关系	134
5.2.9	负载运行时的平衡方程式	134
5.2.10	变压器绕组的折算	135
5.2.11	负载运行时的等效电路	137
5.2.12	负载运行时的相量图	138
5.2.13	空载试验	139
5.2.14	短路试验	140
5.2.15	标么值	142
子任务3 变压器的运行特性		143

5.2.16 变压器的外特性	143
5.2.17 电压变化率	144
5.2.18 变压器的损耗	145
5.2.19 变压器的效率及效率特性	145
任务3 三相变压器	148
5.3.1 三相变压器的构成	149
5.3.2 单相变压器的联结组别	150
5.3.3 三相变压器的联结组别	151
5.3.4 变压器的并联运行	154
任务4 其他常用变压器	158
5.4.1 自耦变压器	158
5.4.2 电压互感器	160
5.4.3 电流互感器	161
5.4.4 电焊变压器	162
思考与练习题	164
项目6 同步电机的认识	167
任务1 同步电机的基本结构和类型	167
6.1.1 同步电机的基本结构	167
6.1.2 同步电机的基本工作原理与分类	170
6.1.3 同步电机的励磁方式	171
任务2 同步发电机	172
6.2.1 同步发电机空载运行	172
6.2.2 同步发电机的电枢反应	174
6.2.3 同步发电机的负载运行	176
6.2.4 同步发电机的并联运行	179
任务3 同步电动机和同步调相机	181
6.3.1 同步电机的可逆原理	181
6.3.2 同步电动机	181
6.3.3 同步调相机	183
项目7 控制电机的认识	185
任务1 直流伺服电动机	185
7.1.1 直流伺服电动机的结构和分类	185
7.1.2 直流伺服电动机的控制方式	187
7.1.3 直流伺服电动机的运行特性	187
任务2 交流伺服电动机	189
7.2.1 交流伺服电动机的基本结构	190
7.2.2 交流伺服电动机的工作原理	191

目 录

7.2.3 交流伺服电动机的控制方式	191
7.2.4 交流伺服电动机的运行特性	192
任务3 步进电动机	194
7.3.1 步进电动机的结构	194
7.3.2 步进电动机的工作原理	195
7.3.3 步进电动机的静态运行状态	197
7.3.4 步进运行状态	198
7.3.5 连续运转状态	199
任务4 直流测速发电机	200
7.4.1 直流测速发电机的基本原理和输出特性	200
7.4.2 直流测速发电机的误差	201
7.4.3 直流测速发电机误差减小的方法	202
任务5 交流测速发电机	202
7.5.1 交流测速发电机的基本工作原理	203
7.5.2 交流测速发电机的误差	204
思考与练习题	205
附录	206
附录1 直流电机火花等级	206
附录2 电动机常见故障及其原因	207
附录3 异步电动机的维护保养	210
附录4 电动机容量的选择	211
参考文献	219

项目 1

直流电机的认识

电机是利用电和磁之间相互作用的电磁感应理论来实现能量转换的一种装置。直流电机是指发出直流电流的发电机或通以直流电流而转动的电动机,即直流电机包括直流发电机和直流电动机。直流电动机的作用是将直流电能转换为机械能;直流发电机的作用是将机械能转换为直流电能。

与交流电动机相比较,直流电动机不仅结构比较复杂,而且材料消耗还比较大,直流电动机电源的获得不如交流电动机方便。但是,直流电动机具有良好的启动、调速和制动性能,这使得它在冶金、纺织、造纸、电力牵引(电力机车、无轨电车)、轧钢机、金属切削机床、高炉卷扬等电力拖动系统中依然占有十分重要的地位。随着电子工业的发展,直流电动机正逐步被可控硅整流元件组成的整流装置所取代。

任务 1 直流电机的基本知识

【任务设置】

在日常生活和工业控制中,我们经常会用到直流电机,要准确使用和控制直流电机,我们有必要掌握直流电机的工作原理,认识其结构和绕组构成,能够读懂其铭牌数据。

【任务目标】

- (1)掌握直流发电机和直流电动机的工作原理及其可逆原理。
- (2)了解直流电机主要由定子磁场和切割磁力线的转子线圈构成。
- (3)了解直流电机组成结构及直流电机几种主要励磁方式。
- (4)掌握直流电机各组成部分的主要功能。
- (5)了解直流电机的型号及意义,并能从数据上看出该电机的主要性能。

【任务分析】

由于直流电机分为直流发电机和直流电动机,所以要了解直流电机的工作原理,需要分别了解直流发电机和直流电动机的工作原理以及两者之间的关系。要想熟悉直流电机的结构以及各组成部分的作用,最好是能够找一台实际的直流电机进行拆装。另外,要让直流电机真正运行就需要学生能够读懂并分析型号和铭牌数据,顺利完成电机接线;要完成接线,就必须了解直流电机的励磁方式。

【知识介绍】

1.1.1 本课程的发展概况

物质、能量和信息是人类赖以生存的三大基本要素。电能作为能量众多形式中的一种,早已成为应用最为广泛的现代能源,同时也是人类进行生产和生活所使用的主要动力来源。在工业企业生产中,各种生产机械为了满足或完成各种生产工艺的要求,大都需要原动机提

供机械能。早期的机械能主要来自于水力和蒸汽,电能出现以后,由于其生产、变换、传输、控制、分配和应用都十分的方便和经济,所以很快就占据了能源利用的首席地位,而电能的生产、合理变换、分配和使用,都是离不开电机的。根据能量转换的方式,电机可分为两大类,一类是机电能量相互转换的发电机和电动机;另一类是用来转换不同电压等级电能的变压器,这两类都属于动力设备。随着近代工业生产过程自动化水平的不断提高,还出现了用于自动化控制系统中的控制电机。电力拖动则是指电机根据生产工艺的不同要求而带生产机械负载的方式。

电机是发电机和电动机的统称,是随着生产的发展而发展的。另一方面,电机的发展又促进了社会生产力的不断提高。从19世纪末,电动机就逐渐代替了蒸汽机作为拖动生产机械的原动机。一个多世纪以来,电机的基本结构和材料几乎没有变化,但是电机的类型却有了很大的发展。电机在运行性能、经济指标等方面也都取得了很大的改进和提高,尤其是在控制方面的发展,出现了步进电机、伺服电机、自整角机等多种形式的控制电机,因此控制电机成为了电机学科中的一个独立分支。

电机制造业自新中国成立以来发展很快。新中国成立前,电机制造厂主要从事一些装配和修理工作,生产的电机容量很小,一般不超过200kW。新中国成立后,我国的电机制造业从仿制到自行试验研究和设计。经过几十年的发展,有了自己国家的统一标准和相应系列的产品,所生产的产品有些已经达到了国际先进水平。

电机拖动是从最开始的机械传动来带动生产负载的,这种方式不仅损耗大,而且安全系数低。关键是其传动方式是串联的,即如果一台电动机出现故障,可能造成整个生产过程的停滞,生产效率特别低。从20世纪20年代开始,采用单电动机拖动系统,即由一台电动机拖动一台生产机械,这样节省了中间环节的传动机构,简化了机械结构,提高了生产效率和生产的灵活性,更好地满足了生产机械的复杂要求。随着生产技术和生产规模的扩大,由一台电动机拖动生产机械负载已经不能满足生产的多样化形式了。因此,从20世纪30年代起,逐渐采用了由多台电动机分别带动多组传动机构的多电机拖动系统。这样可以进一步提高生产效率,并使得每一组传动机构按照各自采用最合理的方式进行工作。并且,为实现生产过程的自动化,还出现了由一整套自动控制设备所组成的自动化电力拖动系统。

电力拖动之所以能够得到广泛的应用,是因为它具有以下优点。

(1)电动机是一种将电能转换为机械能的电机,而电能具有许多宝贵的性质:即使远距离输送,其损失也很小;而且在使用电能的地方,电能分配也非常简便。

(2)电动机的种类和形式很多,可以满足各种不同类型生产机械对原动机的要求。

(3)电动机的启动、制动、反转和调速的控制简单方便,快速性好,并且运行效率高。

(4)电力拖动系统各参数检测、信号变换与传送的方便,易于实现遥控或自动控制等最优控制。

由上述各优点可知,电力拖动系统已成为现代工农业中应用最为广泛的拖动形式。随着自动控制理论和数字技术的不断发展,半导体、晶闸管、数控、遥控和计算机等技术的发展,电力拖动装置的特性显著优化,极大地提高了产品质量和劳动生产率,提高了生产机械运转的准确性、可靠性和快速性,提高了电力拖动系统的自动化控制,所以电力拖动称为现代工农业电气自动化的基础。例如,在工农业生产和交通运输中,机床、轧钢机、起重

机、卷扬机、鼓风机、抽水机、纺织机、印染机、印刷机、电动工具和电动车辆等都采用电力拖动;在人们的日常生活中,各种家用电器大都使用微特电机作为驱动装置;在自动控制系统、计算机系统和机器人等高新技术中,也大量使用控制电机作为检测、放大、控制和执行元件。

1.1.2 本课程的性质、任务和内容

从性质方面来看,本课程是工业电气自动化专业、电子技术专业、电气技术专业以及供用电技术专业等相关专业的技术基础理论课,为学习自动控制系统专业课以及强电类专业课打下基础;同时,该课程又带有一定的专业性、理论性和实践性。

本课程是电机学和电机拖动两门课程的有机结合,其先导课程有物理、工程数学、电工基础或电路分析,以及相应的电磁学知识,通过讲授直流、交流电机、变压器和控制电机的基本理论和电力拖动的基本原理等,使得学生达到以下要求。

(1)熟悉常用的交、直流电机和变压器的基本结构,掌握它们的工作原理和拖动运行的基本理论。

(2)掌握交、直流电机的各种机械运行特性和各种运转状态的特征。

(3)掌握交、直流电机的启动、制动、调速和反转的电力拖动的计算方法和过程。

(4)掌握选择电机和电力拖动方案的原则和方法。

(5)了解同步电动机和几种常见控制电机的特点、用途和工作原理。

(6)掌握电机及其拖动试验的方法和技能,能选择、使用和维护相关的专业工具、仪器及设备。

(7)了解电机与电力拖动今后的发展方向。

从内容上,本课程主要包括直流电机及直流电机的电力拖动、交流电机及交流电机的拖动、变压器、同步电机、伺服电机、步进电机、测速发电机和电动机容量的选择等内容。

1.1.3 本课程的特点及学习方法

电机及拖动既是一门理论性很强的技术基础课,又具有专业课的性质,涉及的基础理论和实际知识面广,是电学、磁学、热力学、动力学以及制图等多个学科的综合。在掌握理论的同时,还要注意培养试验操作技能和计算能力,因此实践性也很强。可见,要想学好本课程,需要注意以下几个方面。

(1)学习过程中,对电机的结构要结合具体实物,弄清各主要部件的组成和作用。

(2)要从物理概念上去理解和记忆有关公式,而不能死记硬背;要记住基本公式,相应条件稍作改变,可获得相关公式,即“举一反三”。

(3)要从物理意义上弄懂各章节例题的解题步骤,学会融会贯通。

(4)要注意各种电机结构的异同、电磁关系的异同、能量转换关系的异同以及电力拖动的异同等,学会总结对比学习。

(5)要学会运用工程的方法对电机和变压器进行分析计算。

(6)学习时注意理论结合实际,重视科学试验和实际锻炼。为此,需要进行必要的实验和实习,一是对基本理论进行验证;二是培养学生独立工作和合作的能力,提高实验操作技能和动手能力。

(7)结合课后练习题,带着问题去预习、学习和复习,效果事半功倍。

1.1.4 电机理论中的基本电磁定律

1.1.4.1 电路定律

电路定律主要包括欧姆定律和基尔霍夫定律。

1. 电路欧姆定律

(1) 部分电路欧姆定律。

该定律适用于纯电阻电路,其内容是通过导体的电流与导体两端的电压成正比。其表达式可表示为:

$$I = \frac{U}{R} \quad (1.1.1)$$

需要说明的是,当电压和电流的参考方向非关联时,公式的前面应加一个负号。

(2) 全电路欧姆定律。

该定律又称闭合电路欧姆定律,其内容是闭合电路中的电流和电源电动势成正比,和电路的内外电阻之和成反比。其表达式为:

$$I = \frac{E}{R + r} \quad (1.1.2)$$

公式 R ——外电路的电阻;

r ——内电路的电阻。

2. 基尔霍夫定律

(1) 基尔霍夫第一定律。

基尔霍夫第一定律又称基尔霍夫电流定律,简称为 KCL,其研究对象是电路中的任何一个节点。定律的内容是任一集总参数电路中的任一节点,在任一瞬间该节点的所有电流的代数和恒为零。其表达式可表示为:

$$\sum i = 0 \text{ 或 } \sum i_{\text{出}} = \sum i_{\text{入}} \quad (1.1.3)$$

(2) 基尔霍夫第二定律。

基尔霍夫第二定律又称基尔霍夫电压定律,简称为 KVL,其研究对象是电路中的任何一个回路。定律的主要内容是任一集总参数电路中的任一回路,在任一瞬间沿此回路的各段电压的代数和恒为零。其表达式可表示为:

$$\sum u = 0 \text{ 或 } \sum u_{\text{升}} = \sum u_{\text{降}} \quad (1.1.4)$$

1.1.4.2 磁路定律

1. 磁路基尔霍夫定律

(1) 磁路基尔霍夫第一定律。

该定律所研究的对象是任何一个闭合面。其主要内容是磁路中的任何一个闭合面内,在任何一个瞬间,穿过该闭合面的各分支磁路磁通量的代数和恒等于零。其表达式可表示为:

$$\sum \Phi = 0 \quad (1.1.5)$$

(2) 磁路基尔霍夫第二定律。

该定律又称安培环路定律,其研究对象是磁路中的任何一个磁闭合回路。其主要内容是在磁场中,沿任意一个闭合磁回路的磁场强度线积分等于该回路所环链的所有电流的代

数和。其表达式为:

$$\oint_l H \cdot dl = \sum I \quad (1.1.6)$$

所以,该定律还可称为全电流定律。在工程应用中,也可将公式(1.1.6)写成另一种形式:

$$\sum Hl = \sum I \quad (1.1.7)$$

即沿着闭合磁路,各段平均磁场强度与磁路平均长度的乘积(称为磁压降)之和等于它所包围的全部电流的代数和。对于通电线圈,若匝数为 N ,则表达式又可表示为:

$$\sum Hl = \sum NI \quad (1.1.8)$$

公式中匝数 N 与电流 I 的乘积称为磁动势或磁通势,用 F 表示,即 $F = NI$ 。

当磁场强度 H 与闭合磁回路 l 的方向一致时取正,否则取负;当电流 I 的方向与闭合磁回路 l 的方向符合右手螺旋定则时取正,否则取负。

2. 磁路欧姆定律

根据安培环路定律有:

$$F = NI = Hl = \frac{B}{\mu} \cdot l = \frac{l\Phi}{\mu S} = R_m \Phi \quad (1.1.9)$$

式中 R_m ——磁路的磁阻 $R_m = \frac{l}{\mu S}$;

μ ——磁导率。

所以磁通量可表示为:

$$\Phi = \frac{F}{R_m} = \frac{NI}{R_m} \quad (1.1.10)$$

此为磁路欧姆定律的表达形式。

1.1.4.3 电磁感应定律

电流的周围产生磁场,交变的电流周围会产生交变的磁场,其表现形式包括以下两个方面。

1. 导体切割磁力线产生电磁感应

导体在磁场中运动时,便产生电磁感应现象。感应电动势的大小为:

$$e = Blv \sin \theta \quad (1.1.11)$$

式中 θ ——磁感应强度 B 与速度 v 之间的夹角;

l ——运动导体的有效长度。

感应电动势的方向运用右手定则进行判断:伸开右手,拇指和其余四指垂直,和手掌在一个平面之内,放入磁场中,磁力线穿过手心,拇指指向导体运动的方向,则四指所指的方向即为感应电动势的方向(电动势的方向是从低电位指向高电位或负极指向正极)。切割运动的导体在运动的过程中充当电源的作用,所以,也可以说成是遵循“发电机原则”。

2. 线圈中的磁通发生变化产生电磁感应

穿过线圈的磁通量发生变化时,线圈的两端也将会形成感应电动势。其大小为:

$$e = - \frac{d\Psi}{dt} = - N \frac{d\Phi}{dt} \quad (1.1.12)$$

公式(1.1.12)说明了感应电动势的大小和磁通的变化率成正比,这是法拉第电磁感应定律的基本内容,变压器就是据此而制成的。

公式(1.1.12)中的 Ψ 为线圈的磁链,负号表示感应电动势的方向由楞次定律(感应电动势的方向总是阻碍原磁通的变化)所决定,即“增反减同”。

1.1.4.4 电磁力定律

载流导体在磁场中要受到电磁力的作用,该作用力的大小为:

$$F = BIl\sin\theta \quad (1.1.13)$$

式中 θ ——磁感应强度 B 与电流 I 之间的夹角;

l ——载流导体的有效长度。

载流导体在磁场中要受到电磁力 F 的作用,其方向可用左手定则进行判断:伸开左手,拇指和其余四指垂直,和手掌在一个平面之内,放入磁场中,磁力线穿过手心,四指指向电流的方向,则拇指所指的方向即为载流导体所受磁场力的方向。相比之下,载流导体属于外电路的一部分,在磁场中的受力方向所遵循的是“电动机原则”。

1.1.5 电机中所用材料

从作用上来看,电机所使用的材料主要分四大类:导电材料、导磁材料、绝缘材料和结构材料。

1.1.5.1 导电材料

电机的导电材料主要用来构成电机的电路。常用的导电材料有铜质和铝质两种。选用这两种材料的原因主要是,它们不但具有导电性能好、容易加工焊接、不易被氧化和具备足够的机械强度等优点,而且资源丰富、价格便宜,可以说是随处可见。

常用的导电材料有电磁线和电源引出线。电磁线大多采用圆形或扁形的铜芯线,铝线较少。主要有漆包线、绕包线、无机绝缘电磁线和特种电磁线四大类。漆包线主要用于绕制电机、电器及仪表中的线圈。绕包线是由绝缘纸、玻璃丝或合成材料紧密绕包在导线芯上形成绝缘层而制成。无机绝缘电磁线的绝缘层有氧化膜,氧化膜外边涂绝缘漆、陶瓷和玻璃等。特种电磁线主要用于大型变压器以及部分绝缘水泵电机中。电源引出线按照不同方式有不同的接法。

1.1.5.2 导磁材料

电机的导磁材料主要用来构成磁路或增强磁路中的磁场。常用 0.35 mm 或 0.5 mm 厚的两面涂有绝缘漆的硅钢片叠成。硅钢片的优点是电阻率较高、磁导率高、铁损耗小,属于软磁材料。

1.1.5.3 绝缘材料

绝缘材料主要用来将带电部分分离开来,在电机的制造和修理中都占有很重要的地位。因绝缘材料的价格比较昂贵,但机械强度、耐热性以及寿命都比导电材料要低很多,所以,绝缘材料的好坏直接决定着电机的质量和成本的高低。

按照化学性质来分,绝缘材料主要有无机、有机和混合材料三种。云母、石棉、玻璃等属于无机材料。树脂、橡胶、丝、麻等属于有机材料。混合材料主要用于电器的底座和外壳等。

绝缘材料的绝缘等级主要分为七级,详见表 1.1。

表 1.1 常用绝缘材料的耐热等级

等级代号	耐压等级代号	极限工作温度/℃	允许温升/℃
0	Y	90	50
1	A	105	65
2	E	120	80
3	B	130	90
4	F	155	115
5	H	180	140
6	C	180 以上	140 以上

1.1.5.4 结构材料

为了保证足够的机械强度要求,电机的结构材料一般选用钢铁或铝合金材质。

1.1.6 直流电机的基本工作原理

图 1.1 所示是直流电动机的最简单模型。N 和 S 是一对固定的磁极(称为定子),可以是电磁铁,也可以是永久磁铁。磁极之间有一个可以转动的铁质圆柱体,称为电枢铁芯(称为转子)。铁芯表面固定一个电枢线圈 abcd,线圈的两端分别接到相互绝缘的两个半圆形铜片(换向片)上,它们的组合在一起被称为换向器,在每个半圆形铜片上又分别放置一个固定不动而与之滑动接触的电刷 A 和 B,线圈 abcd 通过换向器和电刷接通外电路。

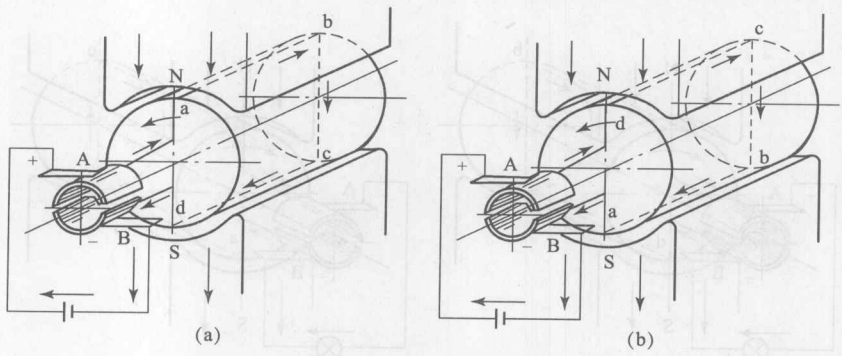


图 1.1 直流电动机工作原理

1.1.6.1 直流电动机的基本工作原理

直流电动机的基本工作原理遵循电磁力定律,即在一定条件下,通电导体在磁场中受到电磁力的作用而运动,这个电磁力就是电动机拖动机械负载运动的原始动力。图 1.1 为直流电动机工作原理示意图。

其工作原理说明如下。

如图 1.1(a)所示,将外部直流电源的正极加在电刷 A 上,负极加在电刷 B 上,则线圈 abcd 中有电流流过,在导体 ab 中,电流由 a 指向 b;在导体 cd 中,电流由 c 指向 d。导体 ab 和 cd 分别处于 N、S 极所产生的磁场中,则必然要受到电磁力的作用。由左手螺旋定则判断