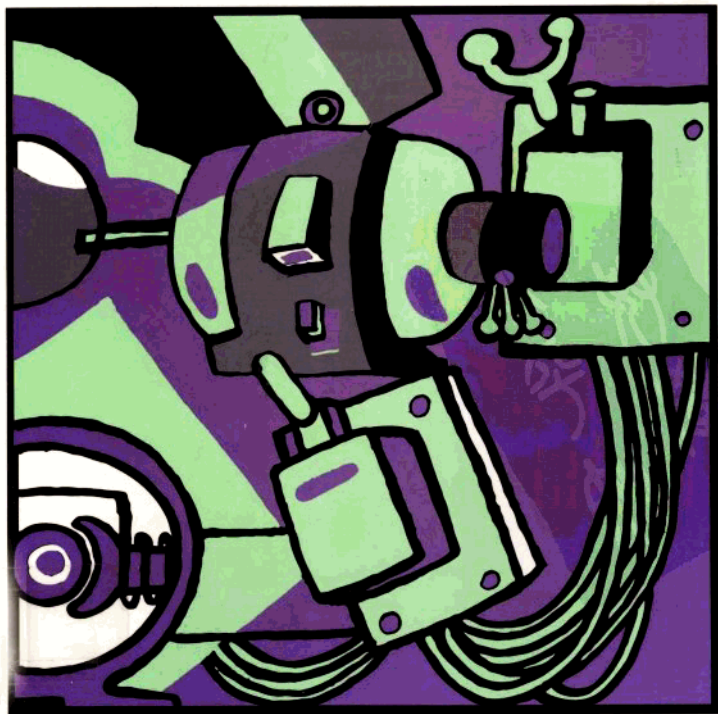


成人中等专业学校试用教材

(含岗位培训)

电机与拖动

上海市教育局 编 余剑雄 主编 彭树春 副主编



高等教育出版社

成人中等专业学校试用教材
(含岗位培训)

电机与拖动

上海市教育局 编

余剑雄 主编 彭树春 副主编

高等教育出版社

内容简介

本书是由国家教委成人教育司和高等教育出版社共同组织编写的成人中专电子电器、机电专业系列教材之一,主要讲述电机原理、拖动特性和控制电路的基本理论,包括电机学、电力拖动基础、继电接触控制几门课程的基本内容分析方法。

全书共五篇十七章,包括直流电机及拖动、变压器、异步电机及拖动、电机控制线路与实验指导等,并附有典型实例及维修计算的基本知识。

本书从成人教学实际出发,力求结合实际,突出重点,叙理简明,概念清晰。全书在内容讲述上,注重讲清物理概念、删节高等数学演算过程,理论深度适当,突出应用。

本书可作成人中专电子电器、机电专业的专业基础教材,还可作普通中专、中等职业技术学校与技工学校教材,并可供从事电气技术与维修工作的技术人员或电工培训之用。

图书在版编目(CIP)数据

电机与拖动/余剑雄主编;上海市教育局编. —北京:
高等教育出版社,1993.4(2005年重印)
ISBN 7-04-004222-3

I. 电… II. ①余… ②上… III. ①电机 ②电力传动
IV. ①TM3 ②TM921

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 24308 号

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-82028899

购书热线 010-64054588
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店上海发行所
印 刷 上海师范大学印刷厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 18
字 数 412 000

版 次 1993 年 4 月第 1 版
印 次 2005 年 1 月第 14 次印刷
定 价 22.70 元

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等
质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

出版说明

随着教育体制改革的深化,成人中专的教学质量在不断提高。为了保证成人中专的办学质量,满足各类成人中专(包括广播电视中专、职工中专、函授中专等)对教材的要求,国家教委成人教育司组织制定了成人中专部分专业教学计划和教学大纲,并组织编写了配套教材,由高等教育出版社出版。

1990年12月,国家教委成人教育司和高等教育出版社在深圳组织召开了有17个省市代表参加的成人中专(含岗位培训)电子电器专业教材会议,拟定了为编写教材用的成人中专电子电器教材计划,审定了15门课程的教材编写提纲。本书是根据这次会议精神组织编写的全套教材中的一种。

本次组织编写的成人中专电子电器专业教材有:电工技术基础、电子技术基础、电机与拖动、机械制图、机械制图习题集、计算机语言与应用、微型计算机原理与应用、电力电子技术、无线电技术基础、电子仪器测量技术、电视机原理与维修、音响设备原理与维修、电子产品生产工艺、电动及电热器具原理与维修、制冷与空调设备原理与维修、家用录像机原理与维修。

教材在编写时,力求突出成人教育与岗位培训的特点。教材内容以应用为主,深入浅出,并注意必要的内容更新;在深浅度上,适合初中毕业生学习,相当全日制中等专业同类教材水平;在编排格式上考虑到便于自学的要求。

为了保证教材的质量,我们在全国内遴选了有丰富教学经验、较高专业水平和文字能力及有实际操作能力的教师、高级技师、高级工程师、教授参加编写和审稿工作。

参加本系列教材审定工作的有:北京、广东、上海、南京、辽宁、深圳、黑龙江、山东、湖北、四川、福建、成都、浙江、安徽、吉林、广州等省市教委、教育局派出的专业教师及教学研究人员。

本系列教材亦可供中等职业技术学校、技工学校及自学人员使用。

本批教材自1993年秋季供应,并对主要教材陆续配套出版学习辅导书及声像片,欢迎广大读者选用,提出宝贵意见。

高等教育出版社

1992年8月

前 言

本书是根据国家教育委员会成人教育司委托成人中专教材编写协作组1991年1月制定的成人中等专业学校电子电器、机电专业《电机与拖动教学大纲》编写的,本书可作为成人中等专业学校电子电器专业的专业基础课教材,也适用于其他电类专业作教材或教学参考书。

全书共分为五篇十七章,主要内容包括:直流电机与拖动、变压器、交流电机及拖动、继电接触控制线路及应用、电机与拖动实验等五部分。书中着重讲述几种常用电机的主要结构、基本原理、电磁过程与运行特性,比较详细地分析了交、直流电动机的机械特性,起动、调速和制动的基本原理和基本特性;简述了一些特殊用途的交、直流电机、低压电器及典型的继电接触控制线路、家用电器中电气控制电路;并扼要地介绍了有关单相电机绕组的计算原则和计算方法及实际应用;还附有电机与拖动试验的基本要求和实验指导书。为了适应成人学员自学的需要,每章后都附有小结、习题,以利学员的巩固和提高。

本书在编写中,根据成人中等专业教学特点与教学实际,力图使电机、拖动基础与控制线路几部分内容有机地结合起来,贯彻理论联系实际的原则,以形成适应成人学习的课程体系。因此,在内容结构、选材和问题阐述方面,着重于物理概念阐述和基本原理的应用,力求深入浅出,层次分明,叙理简洁,重点突出、文句精练,便于自学,并处理好与有关基础课程和后继课程的衔接。

本书绪论、第五、六、七、八、九、十、十六、十七章由上海电机制造技术专科学校余剑雄编写,第一、二、三、四、十一、十二章由上海市闸北区业余大学彭树春编写,第十三、十四、十五章由上海工业设备安装公司职工中专李庸编写。全书由余剑雄任主编、彭树春任副主编。

本书由上海交通大学孙文辉教授主审,福州市工人职工大学陈正植老师参加了制订编写提纲。上海市教育局成人教育处钱虎根、上海市教育局教研室汤铭鼎参加了本书的编写审定组织工作。

由于编写水平有限,疏漏不妥之处在所难免,恳请使用本书的师生和专家批评指正。

编 者

1991.12

主要符号表

A ——线负载;截面积	F_{IN} ——额定励磁磁势
a ——电枢绕组并联支路对数;交流绕组支路数	F_K ——换向极绕组磁势
B ——磁密(磁感应强度)	F_δ ——气隙磁势
B_{av} ——平均磁密	F_1, F_2 ——一、二次绕组磁势(定、转子磁势)
B_δ ——气隙磁密	F_0 ——变压器激磁磁势
B_k ——换向极下气隙磁密	f ——频率;电磁力;磁势瞬时值
B_m ——磁密最大值	f_1, f_2 ——定、转子电流频率
b ——宽度	f_N ——额定工频 50 赫(Hz)
b_k ——换向片宽度	G ——重量
C ——常数;电容量	H ——磁场强度
C_e ——电势常数	h ——高度
C_T ——转矩常数	I ——电流(交流为有效值)
D ——直径;一次侧三角形接法标志	I_0 ——空载电流
D_a ——电枢外径	I_a ——电枢电流
D_k ——换向器外径	I_d ——直流机或同步机励磁电流
E ——感应电势(交流为有效值)	I_L ——负载电流
E_0 ——空载电势	I_N ——额定电流
E_a ——电枢电势	I_{co} ——控制电流
E_m ——电势最大值	I_1, I_2 ——一、二次侧电流;异步机定、转子电流
E_1, E_2 ——一、二次绕组电势(定、转子电势)	I'_2 —— I_2 折算值
$E_{1.1}, E_{1.2}$ ——一、二次绕组漏磁电势(定、转子漏磁电势)	I_m ——交流励磁电流;电流最大值
e ——电势瞬时值	I_{sb} ——短路电流
e_r ——电抗电势	I_{st} ——起动电流
e_{rav} ——电抗电势平均值	I_{0Q} ——空载电流的无功分量
e_L ——自感电势	I_{0P} ——空载电流的有功分量
e_k ——换向元件中旋转电势	i ——电流的瞬时值
F ——磁势	J ——电流密度
F_{ad}, F_{aq} ——直、交轴电枢磁势	K ——系数;换向片数
F_f ——励磁磁势	K_1, K_e ——电流、电势变化
	K_d ——绕组分布系数

K_p ——绕组短节距系数	R_s ——串励绕组电阻
K_w ——绕组系数	s ——转差率
L ——电感系数;长度	S ——元件数
m ——相数	S_N ——额定视在功率
N ——电枢导体数	T ——电磁转矩
N_s ——每槽导体数	T_N ——额定转矩
n ——转速	T_n ——机械转矩
n_N ——额定转速	T_1 ——原动机转矩(输入)
n_0 ——理想空载转速	T_2 ——输出转矩
n_s ——同步转速	T_L ——负载转矩
P ——有功功率	T_k ——换向周期
P_{em} ——电磁功率	T_m ——最大转矩
P_n ——机械功率	T_{st} ——起动转矩
P_1 ——输入功率	T_{sh} ——堵转转矩
P_2 ——输出功率	T_0 ——空载转矩
p ——损耗;极对数	t ——时间、齿距
p_0 ——空载损耗	U ——电压(交流有效值)
p_{Cu} ——铜耗(电阻损耗)	U_1, U_2 ——一、二次绕组电压(定、转子绕组电压)
p_{Fe} ——铁耗	U_N ——额定电压
p_n ——机械损耗	U_f ——励磁电压
p_{ad} ——附加损耗	U_{20} ——一次绕组额定电压,二次绕组开路电压
q ——每极每相槽数	u ——电压瞬时值;虚槽数
Q ——无功功率	U_{sh} ——短路电压(阻抗电压)
R ——电阻	v ——线速度
R_s ——电枢回路内电阻	W ——匝数
R_f ——励磁回路总电阻	W_1, W_2 ——一、二次绕组匝数(定、转子绕组匝数)
R_L ——负载电阻	W_f ——元件匝数
R_m ——磁阻	X ——电抗
R_p ——调节电阻	x_m ——激磁电抗
r_s ——电枢绕组支路电阻	x_1, x_2 ——一、二次绕组漏抗(定、转子漏抗)
r_f ——励磁绕组内电阻	x_{sh} ——短路电抗
r_m ——激磁电阻	y_1, y ——第一节距;合成节距
r_1, r_2 ——一、二次绕组电阻(定、转子绕组电阻)	
r_2' —— r_2 折算值	

Z ——电枢槽数

Z_L ——负载阻抗

Z_m ——激磁阻抗

Z_{sh} ——短路阻抗

α ——槽距角;系数

β ——负载系数;角度

γ ——电导率

δ ——气隙长度

η ——效率

θ ——温度

λ ——过载力

μ ——导磁率

τ ——极距;温升

Φ ——每极主磁通;合成磁通

Φ_0 ——空载磁通;直流机主磁通

Φ_L ——漏磁通

Φ_m ——主极磁通;磁通最大值

Φ_s ——电枢磁通

ϵ ——小于1的分数

φ ——相位角;功率因数角

φ_0 ——空载功率因数角

φ_1, φ_2 ——定、转子绕组功率因数角

ψ ——磁链

ω ——角速度

Ω ——转子机械角速度

目 录

绪论	1
----------	---

第一篇 直 流 电 机

第一章 直流电机的基本原理	5
§ 1-1 直流电机的工作原理	5
§ 1-2 直流电机的基本结构	8
§ 1-3 直流电机的电枢绕组	12
§ 1-4 直流电机的磁场和换向 问题	20
小结	27
习题	27
第二章 直流电机的运行分析	29
§ 2-1 直流电机的基本方程	29
§ 2-2 直流电机的工作特性	32
小结	38
习题	38
第三章 直流电动机的拖动特性	40
§ 3-1 生产机械与电动机的 机械特性	40
§ 3-2 电力拖动的稳定运行	45
§ 3-3 直流电动机的起动与反转	47
§ 3-4 直流他励电动机的调速	48
§ 3-5 直流他励电动机的制动	50
§ 3-6 发电机—电动机系统	54
小结	55
习题	55
第四章 特殊用途直流电机	57
§ 4-1 永磁式直流电动机	57
§ 4-2 直流伺服电动机	58
§ 4-3 直流测速发电机	60
小结	62

习题	62
----------	----

第二篇 变 压 器

第五章 变压器的基本结构原理	64
§ 5-1 变压器的工作原理与分类	64
§ 5-2 变压器的基本结构	65
§ 5-3 变压器绕组的联接	68
小结	71
习题	71
第六章 变压器的运行分析	73
§ 6-1 变压器的空载运行	73
§ 6-2 变压器的负载运行	77
§ 6-3 变压器的阻抗变换	83
§ 6-4 变压器的运行性能	84
小结	86
习题	87
第七章 其他用途的变压器	89
§ 7-1 自耦变压器	89
§ 7-2 仪用互感器	91
小结	93
习题	94

第三篇 交 流 电 机

第八章 交流电机的基本原理及 结构	96
§ 8-1 交流电机的工作原理	96
§ 8-2 异步电机的基本结构及 铭牌数据	98
§ 8-3 交流电机绕组结构	101
§ 8-4 交流绕组的磁势和电势	108
小结	112

习题	112
第九章 异步电动机的运行分析	114
§ 9-1 异步电动机的空载运行	114
§ 9-2 异步电动机的负载运行	118
§ 9-3 异步电动机的功率与转矩	126
§ 9-4 异步电动机的运行特性	128
小结	130
习题	130
第十章 异步电动机的拖动特性	132
§ 10-1 异步电动机的机械特性	132
§ 10-2 异步电动机的起动	137
§ 10-3 异步电动机的调速	141
§ 10-4 异步电动机的电气制动	145
小结	148
习题	149
第十一章 单相交流电动机	151
§ 11-1 单相交流电动机的磁势	151
§ 11-2 单相异步电动机	152
§ 11-3 单相异步电动机的起动	154
§ 11-4 单相同步电动机	155
小结	158
习题	158
第十二章 特殊用途交流电机	159
§ 12-1 交流伺服电动机	159
§ 12-2 交流测速发电机	161
§ 12-3 步进电动机	162
小结	164
习题	164

第四篇 继电器接触式控制线路

第十三章 基本控制线路	166
§ 13-1 常用控制电器	166

§ 13-2 控制线路中的符号和表示方法	182
§ 13-3 简单控制线路	191
§ 13-4 电动机的原则控制	197
小结	208
习题	209
第十四章 控制线路应用实例	211
§ 14-1 电气应用线路原理图的表示方法	211
§ 14-2 机床的电气控制线路图	211
§ 14-3 起重运输机械的电气控制线路图	223
§ 14-4 家用电器控制线路图	231
小结	236
习题	237

第十五章 设计控制线路的基本要求和控制电器的选用原则	239
§ 15-1 控制线路设计的基本要求	239
§ 15-2 三相异步电动机的选择	241
§ 15-3 低压电器的选用原则	244
小结	247
习题	247

第五篇 电机与拖动实验

第十六章 电机实验的一般问题	250
§ 16-1 电机实验的基本要求	250
§ 16-2 实验中基本物理量的测量	251
第十七章 电机与拖动教学实验	257
§ 17-1 认识实验	257
§ 17-2 直流发电机的自励与外特性	262
§ 17-3 并励直流电动机的调速	

与制动	264	§ 17-6 异步机起动、制动控制	
§ 17-4 变压器绕组极性 & 参数		线路	274
测定	267	§ 17-7 异步机串电阻调速和	
§ 17-5 单相异步电动机运行		反接制动线路	275
试验	270		

绪 论

一、电机和电力拖动在国民经济中的作用与地位

电能是现代国民经济中极为普遍的一种能源。

电机是与电能有关的能量转换机械。它不但是电力工业中产生强大能源的发电设备,而且又是工农业生产、交通运输、科学技术、信息传输与日常生活中极为广泛和关键的动力机械。

在电力系统中,电机是发电厂、电站的主要设备。发电时,主要由燃料的燃烧、水流动力或核裂变产生的能量,通过汽轮机、水轮机等转化为机械能,传给发电机,再由发电机转换成工业频率的交流电能。随着电子技术的发展,利用电力半导体元件可方便地获得直流电能。电能远距离传输中,为减少能量损耗和节省材料,需采用变压器升高电压,输往用电地区,同时为了用户能经济安全使用电能,又需经过变压器降低供电电压。由此可见,在电能的产生、变换、传输和分配中,发电机和变压器具有非常重要的作用。

在国民经济中,电能应用的重要方面,是利用电动机将电能转换成各种生产机械所需要的机械能,所以电动机已成为拖动生产机械的原动机。这种以电动机来驱动生产机械工作的方式,简称电力拖动。它已成为现代工矿企业中最广泛、最重要的拖动方式。电力拖动具有如下四个方面的优越性:

(1) 电能的传输与变换比较经济,操作与控制比较简便。

(2) 电动机的类别很多,运行性能各异,能适应不同类型生产机械的各种要求。

(3) 电动机与生产机械连接比较方便,拖动效率比其他动力形式为高。

(4) 电动机相对其他动力机械运行可靠、维护简便,并借助控制设备和远距离测量,能实现遥控和自动控制,便于集中管理。

随着数控、电子计算机等科学技术的迅速发展,电力拖动正向自动控制系统——无触点控制系统、微处理机控制系统迈进,为生产自动化开辟了新的途径。然而,不论电力拖动系统的结构如何复杂,电动机仍然是电力拖动中完成机电能量转换的主要部件,是控制的对象。因此,电力拖动和各种控制元件的结合,对实现工业自动化,改善劳动条件,简化机械结构,减少能量损耗,改善产品质量与提高生产效率,均起着至关重要的作用。

二、本课程的性质和任务

《电机与拖动》是电子电器、机电专业中的一门专业基础课程。它由电机原理、拖动理论和控制线路三个部分组成。本课程既具有电机学中基本内容,同时又是电机电器基本理论的初步运用。因此,在研究电机原理时以电动机为主线,分析时又与电机内部电磁关系和其运行机械量转速、转矩相联系,讲述控制与应用时,以典型应用实例为基础。由于电机的工作原理涉及到电、磁、力、热等各学科的内容,这为分析研究带来了综合性与复杂性。

本课程的任务是培养学生掌握电机与拖动的有关基本理论、分析和运算的基本方法、运行与维护的基本技能、选用与整修电机的基本途径等,为学习后继课程和从事实际工作奠定良好的基础。

根据本课程的性质与特点,在学习过程中应注重以下几个方面:

(1) 掌握重点 要抓好基本概念和基本理论,掌握运行中各量的变化规律和相互关系,这样才易于分析和理解各种物理现象及其本质。

(2) 明确主次 在分析问题时,有时要忽略次要因素,抓住主要因素,从而易于得出简明的结论。对此结论,应正确理解与合理运用之。

(3) 综合分析 对各类电机,在原理上、结构上和性能等方面要进行综合分析,找出它们的共性和差异,这样才能加深对问题的理解,提高识别与判断的能力。

(4) 联系实际 在学习本课程时,必须密切联系电机的结构、实验、生产和运行中产生的各种现象和问题等实践性环节,这样才有利于巩固理论知识、丰富实践经验、提高分析和解决实际问题的能力。在理解电磁场现象时,还应有一定的空间观念。

三、学习本课程应掌握的基本电磁定律

本课程既带有基础课性质,又兼有专业课的特点。它是一门运用电工技术基础来解决实际问题课程。由于电机、变压器的基本组成,不外乎磁路与电路二个部分,而它们的工作原理又基于电磁感应的基础上。因此,熟悉和掌握电工技术基础中有关电路与磁路的基本定律,对分析研究电机的基本理论与应用原理具有极为重要的意义。

1. 电路定律

(1) 欧姆定律 在直流线性电路中,流过电阻的电流与电阻两端的电压成正比,当电压和电流的正方向一致时,其表示式为 $U = IR$;反之 $U = -IR$ 。

(2) 基尔霍夫电流定律 对于电路中的任意节点,其流入或流出此节点的电流的代数和恒等于零,而电流正负号与支路中所选取的电流参考方向有关,其节点处电流的一般表达式 $\sum I = 0$ 。

(3) 基尔霍夫电压定律 在直流线性闭合电路中,电阻压降(IR)的代数和等于这个电路中电源电压 U_s 的代数和。若电流参考方向与回路绕向一致, RI 前取“+”;若电源电压与回路绕向一致, U_s 前取“-”,其表达式应为 $\sum (IR) = \sum U_s$ 。

在正弦交流电路中,电抗、阻抗要用复数;电流、电压都应用相量表示,故基尔霍夫定律的相量形式对电流定律有 $\sum \dot{I} = 0$, 对电压定律有 $\sum (\dot{I}Z) = \sum \dot{U}$ 。

2. 全电流定律

在磁场中,磁场强度向量 H_l (表征磁场中某一点的磁场性质的物理量)沿任一闭合路径 l 的线积分等于穿过该闭合路径所包围的导体电流 I 的代数和。若电流方向与闭合路径的绕向之间符合右手螺旋定则的电流作为正,反之为负。故确定磁场与电流之间关系的表达式为

$$\oint_l \vec{H}_l d\vec{l} = \sum I。$$

3. 载流导体在磁场中受力

带有电流 I 的直导线放在均匀磁场 B 中,若导线方向与磁场方向相垂直,则作用于有效长度为 l 的直导线上的磁场力应以 $f = BIl$ 表之。

如果载流直导线和磁场方向成 α 角,则载流直导线所受的磁场力只与 B 的法线分量(即与导线方向垂直的分量)有关,所受磁场力应以 $f = B_n l = BIl \sin \alpha$ 。

载流直导线所受磁场力的方向由左手定则确定。电动机的工作就基于这一种磁场力。

4. 电磁感应定律

(1) 楞次定律 当穿过线圈中的磁通发生变化时,则线圈中感应电流的方向总是力图使它所产生的磁场阻碍线圈中原磁通的变化。

感应电势的方向可以用右手螺旋定则确定,当磁通增加时,右手的拇指方向应与原磁通方向相反,则弯曲四指的指向为线圈中感应电流的环绕方向。

(2) 电磁感应定律(法拉第定律) 当穿过线圈的磁通发生变化时,在线圈中产生的感应电动势的大小和线圈内磁通的变化率成正比,其数学表达式为 $e = -W \frac{d\Phi}{dt}$, 式中 W 为线圈匝数, $\Delta\Phi$ 为线圈中磁通的变化量, Δt 为磁通变化 $\Delta\Phi$ 所需时间。

当 $\frac{d\Phi}{dt} > 0$, e 为负值,表示 e 的实际方向和参考方向相反;当 $\frac{d\Phi}{dt} < 0$, 则反之。

5. 磁路定律

在电工设备中,广泛采用铁磁材料做成一定形状的铁芯,因其具有较大的导磁系数,只需较少的电流就能激励产生足够大的磁通,磁通的绝大部分是经过铁芯形成一个闭合通路,这个通路称为磁路。

(1) 磁路欧姆定律 对于任一段均匀磁路,因 $\Phi = BA = \mu H \cdot A$, $F_m = Hl$, 所以存在有 $F_m = \Phi R_m$ 关系,即 $F_m \propto \Phi$, 与电路的欧姆定律相似。由于铁磁性物质的导磁系数 μ 不是常数,磁路是非线性的, R_m 不是常量。故一般并不用磁路欧姆定律来作定量分析。

(2) 磁路基尔霍夫第一定律 描绘磁路的分支处即磁路节点上的磁通,进入或离开此节点的磁通的代数和恒等于零。其表达式为 $\Sigma\Phi = 0$ 。

(3) 磁路基尔霍夫第二定律 是以一特定的方向沿任一闭合磁回路,磁压代数和等于磁动势代数和。其表达式应为 $\Sigma Hl = \Sigma IW$ 。

第一篇 直流电机

电机是利用电和磁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，直流电动机电源的获得不如交流电动机的方便，结构又比较复杂，材料消耗又比较大。但是，由于直流电动机具有良好的起动、调速和制动性能，使它在冶金、纺织、造纸、电力牵引等工业电力拖动系统中依然占有重要的地位。随着电子工业的发展，直流电动机的供电有逐步被整流装置所取代的趋势。

第一章 直流电机的基本原理

§ 1-1 直流电机的工作原理

一、直流电动机的工作原理

直流电动机的工作原理遵循电磁力定律,就是说,在一定条件下,通电导体在磁场中会受到电磁力的作用,这个电磁力就是使电动机拖动机械负载运动的动力。

图 1-1 为直流电动机工作原理的示意图

图中 N、S 是固定不动的两个主磁极。它们组成了直流电动机工作时必不可少的磁场,称为主磁场。这两个磁极可以是永久磁铁,也可以是电磁铁。如果是电磁铁,则磁极铁芯外面要套上励磁线圈,当励磁线圈通入直流电后,铁芯就成为具有一定极性的磁极。

在两个主磁极之间,安装有一个可以转动的、由铁磁材料制成的圆柱体,圆柱体的表面绕有一个线圈 $abcd$ 。假设外部直流电源使线圈内流过的电流方向为线圈端 $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow$ 线圈端 d ,根据电磁力定律可知,通有电流的导体 ab 和 cd 在磁场内会受到电磁力 f 的作用。电磁力的大小为

$$f = B_s i l \quad (1-1)$$

式中 f ——电磁力,单位是牛顿(N);

B_s ——导体所在位置的磁通密度,单位是特(T);

i ——导体内流过的电流,单位是安(A);

l ——导体 ab 或导体 cd 的有效长度,单位是米(m)。

电磁力 f 的方向由左手定则决定,如图 1-1 中所示,导线 ab 和 cd 所受电磁力分别为 f_{ab} 和 f_{cd} ,方向虽然相反,但是对于转动轴来说,它们所形成的转矩却是同方向的。这些转矩将推动圆柱体和线圈沿逆时针方向转动。

为了使电动机能沿着一定的方向连续不断地转动,就必须在线圈 $abcd$ 转动的情况下,应始终保持进入 N 极下的导体电流方向从线圈端流入;而进入 S 极下的导体电流方向从线圈端流出。这样,导体 ab 旋转到 S 极极面时,电流方向不再是由 $a \rightarrow b$,而要改变为由 $b \rightarrow a$ 。同样,导体 cd 内的电流方向也要相应改变。

线圈内电流方向的改变是通过换向装置来实现的。换向装置由换向片(换向器)和电刷组成。在图 1-1 中的换向片是两个半圆形的导体,它们分别和线圈的两个端头相连,并随线圈

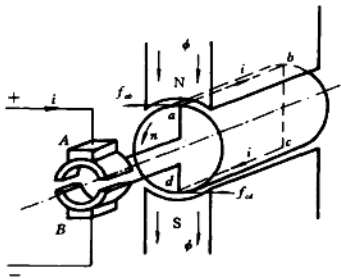


图 1-1 直流电动机工作原理示意图

一起转动。而在空间固定不动的两个导电的电刷 A 和 B 和转动的换向片的接触,就能实现线圈内电流流向的改变。我们知道外部直流电源施加于电刷 A 和 B 的极性是固定不变的,而两个换向片在旋转的过程中却在交替接触不同极性的电刷,因此线圈内的电流方向也相应地在交替变换,但每个磁极下导体中的电流方向却是恒定不变的。这是因为 N 极下的导体所连接的换向片永远与电刷 A 接触。直流电动机就是在这样的条件下取得连续不断地定向转动的。

固定不动的主磁极和电刷装置均属于电动机的定子部分;转动的圆柱铁芯、线圈和换向片等构成转子的主要部分,直流电机的转子又称为电枢,定子和电枢之间的空间称为气隙。

直流电机每个主磁极的磁通密度在气隙中的分布并不均匀。由图 1-2 所示,由于极间气隙大于极下气隙,因此磁密的分布从磁极之间的 O 处最小气隙磁密开始,向 N 极尖气隙磁密逐渐增大,直至 N 极极面下时,气隙磁密达到最大值,并且可以认为在整个磁极极面下是均匀分布的,远离 N 极尖磁密又逐渐减小至零,而 S 极面下磁场分布应在横坐标以下,波形同 N 极的一样,近似为一梯形波。

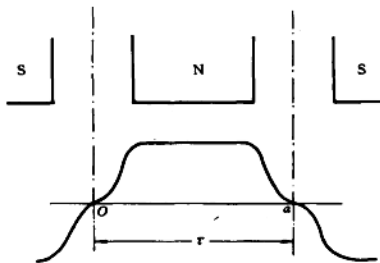


图 1-2 每个磁极气隙磁密的分布

图 1-2 中 r 为一个主磁极磁场在气隙空间所占的宽度,称为极距,即以沿电枢表面圆周上相邻两磁极间的距离计算的。

由于每极下气隙中磁通密度分布是不均匀的,单个线圈的直流电动机在转动过程中所受到的电磁力大小也就不相等,因此,形成的转矩既不够大又不稳定。实际上,直流电动机的电枢铁芯上均匀地分布着许多线圈,每个线圈端头分别联至换向片,经过合理的串、并联接后,就能使所有

线圈上的每根导体都产生同一方向的转矩,这样,使电动机的合成转矩增大,稳性增强,以满足机械负载的需要。

二、直流发电机的工作原理

直流发电机的工作基于电磁感应定律,也就是说,在一定条件下,导体在磁场中运动,导体内会产生感应电势,这个电势就是发电机的供电电源。图 1-3 为直流发电机工作原理的示意图。

从示意图中可以知道,直流发电机的结构与直流电动机的结构完全一样,只不过直流电动机的外施直流电源改接为吸取电能的负载;直流电动机所拖动

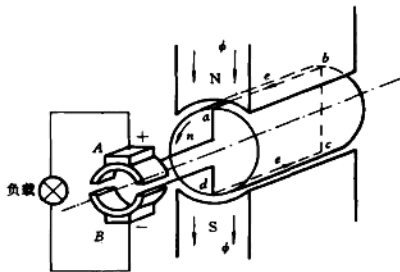


图 1-3 直流发电机工作原理示意图