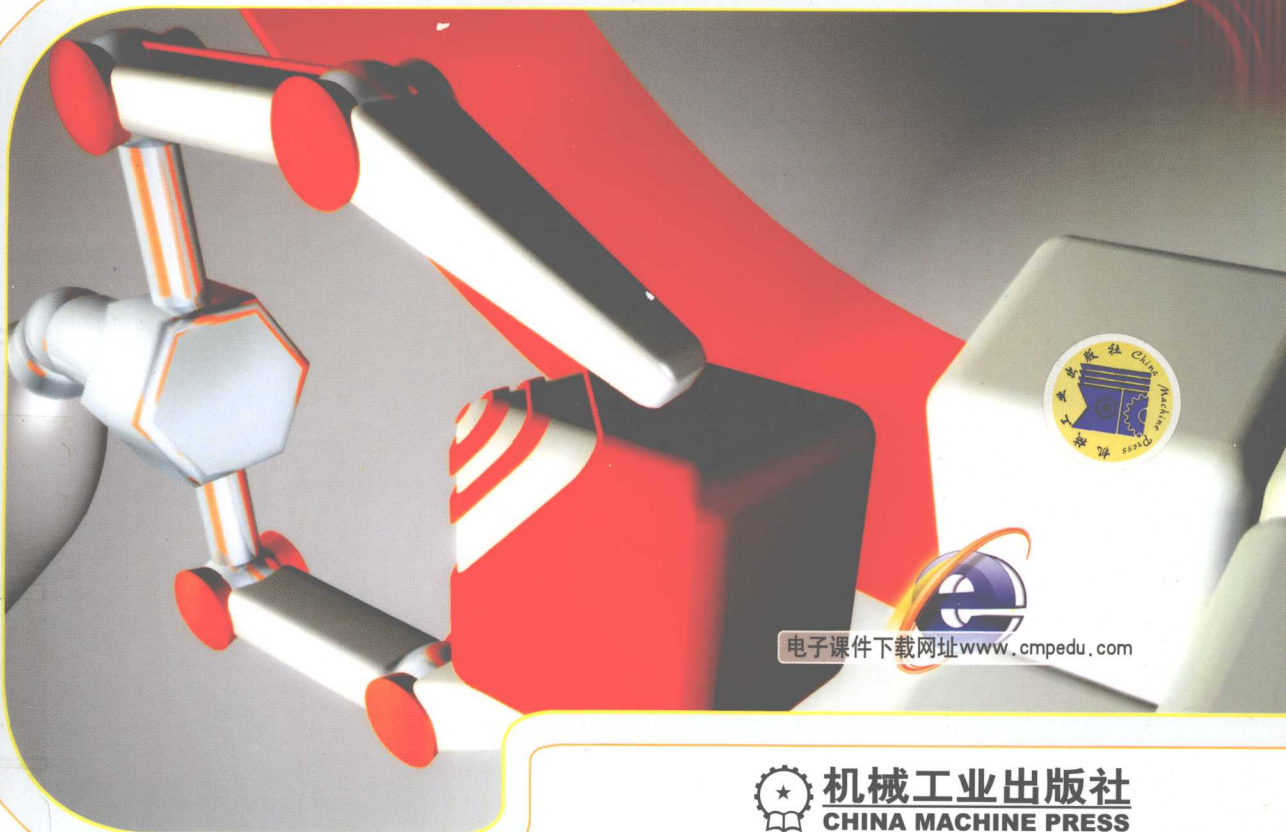




普通高等教育“十一五”国家级规划教材
全国高等职业教育规划教材

电机与电气控制 第2版

主编 刘利宏
主审 任志锦



电子课件下载网址 www.cmpedu.com



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

全国高等职业教育规划教材

电机与电气控制

第2版

主 编 刘利宏

副主编 何利英 居海清

参 编 吴国中

主 审 杨志锦



097947

广西工学院鹿山学院图书馆



d097947

机械工业出版社

本书主要内容分为三个模块：第一模块为电机理论部分，主要介绍直流电动机、变压器和交流电动机的工作原理、运行特性和拖动理论方法，在此基础上介绍特种电机的结构、类型、选择、应用情况和发展动态，使读者在理解电机理论的同时能了解它在各个方面的应用，并能有效地提高电机维护的技能；第二模块为电气控制部分，本书介绍了继电器接触器控制、PLC 控制和变频器控制等多种电气控制技术，让读者全面地认识几种基本的电气控制技术，具备电气控制的设计、安装和调试能力；第三模块为综合技能训练部分，使读者掌握必要的实训操作技能。

本书通过特种电机的应用、机床电气控制、交通灯控制、抢答器、恒压供水等案例，全面介绍电机运行原理和电气控制设计与调试方法，原理分析透彻，案例丰富，内容由浅入深，逐步提高读者的电气控制设计能力。本书配备了综合技能训练，便于读者操作练习。

本书可作为高等职业院校教材，可供电子类、电子信息类、电气工程类专业及其他相关专业的学生学习，也可作为职业技术教育、技术培训和从事电机维修、电气控制设备维护的工程技术人员学习参考。

本书配套授课电子教案。需要的教师可登录 www.cmpedu.com 免费注册、审核通过后下载，或联系编辑索取（QQ：1239258369，电话：010-88379739）。

图书在版编目（CIP）数据

电机与电气控制/刘利宏主编. —2 版. —北京：机械工业出版社，2011.3

普通高等教育“十一五”国家级规划教材 全国高等职业教育规划教材

ISBN 978-7-111-33131-5

I. ①电… II. ①刘… III. ①电机学—高等学校：技术学校—教材②电气控制—高等学校：技术学校—教材 IV. ①TM3②TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2011）第 010922 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

责任编辑：王 颖 石陇辉 责任校对：申春香 责任印制：乔 宇

三河市国英印务有限公司印刷

2011 年 4 月第 2 版第 1 次印刷

184mm×260mm·13.5 印张·332 千字

0001—3000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-33131-5

定价：24.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010) 88361066

门户网：<http://www.cmpbook.com>

销售一部：(010) 68326294

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售二部：(010) 88379649

读者服务部：(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

出版说明

全国高等职业院校计算机专业、电子技术专业和机电专业教材编委会

根据《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》中提出的高等职业院校必须把培养学生动手能力、实践能力和可持续发展能力放在突出的地位,促进学生技能的培养,以及教材内容要紧密结合生产实际,并注意及时跟踪先进技术的发展等指导精神,机械工业出版社组织全国近60所高等职业院校的骨干教师对在2001年出版的“面向21世纪高职高专系列教材”进行了全面的修订和增补,并更名为“全国高等职业教育规划教材”。

本系列教材是由高职高专计算机专业、电子技术专业和机电专业教材编委会分别会同各高职高专院校的一线骨干教师,针对相关专业的课程设置,融合教学中的实践经验,同时吸收高等职业教育改革的成果而编写完成的,具有“定位准确、注重能力、内容创新、结构合理和叙述通俗”的编写特色。在几年的教学实践中,本系列教材获得了较高的评价,并有多品种被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。在修订和增补过程中,除了保持原有特色外,针对课程的不同性质采取了不同的优化措施。其中,核心基础课的教材在保持扎实的理论基础的同时,增加实训和习题;实践性较强的课程强调理论与实训紧密结合;涉及实用技术的课程则在教材中引入了最新的知识、技术、工艺和方法。同时,根据实际教学的需要对部分课程进行了整合。

归纳起来,本系列教材具有以下特点:

- 1) 围绕培养学生的职业技能这条主线来设计教材的结构、内容和形式。
- 2) 合理安排基础知识和实践知识的比例。基础知识以“必需、够用”为度,强调专业技术应用能力的训练,适当增加实训环节。
- 3) 符合高职学生的学习特点和认知规律。对基本理论和方法的论述要容易理解、清晰简洁,多用图表来表达信息;增加相关技术在生产中的应用实例,引导学生主动学习。
- 4) 教材内容紧随技术和经济的发展而更新,及时将新知识、新技术、新工艺和新案例等引入教材。同时注意吸收最新的教学理念,并积极支持新专业的教材建设。
- 5) 注重立体化教材建设。通过主教材、电子教案、配套素材光盘、实训指导和习题及解答等教学资源的有机结合,提高教学服务水平,为高素质技能型人才的培养创造良好的条件。

由于我国高等职业教育改革和发展的速度很快,加之我们的水平和经验有限,因此在教材的编写和出版过程中难免出现问题和错误。我们恳请使用这套教材的师生及时向我们反馈质量信息,以利于我们今后不断提高教材的出版质量,为广大师生提供更多、更适用的教材。

机械工业出版社

前 言

针对《教育部关于以就业为导向,深化高等职业教育改革的若干意见》中提出的职业教育改革要求,并结合近年来科学技术的发展,我们对原书的内容进行调整与增补。《电机与电气控制》(第2版)中删除了“晶闸管整流”、“发电机”内容,将直流、交流电动机控制中的控制部分整合为“电气控制电路基本环节”,增加了可编程序控制器、变频器在电气控制技术中的应用等内容,并增加了综合技能训练内容;同时在特种电机中对“毫微电动机”等新型微电动机的原理作简要介绍。

本书可供电子类、电子信息类、电气工程类专业及其他相关专业选用。全书教学时数为80学时左右。全书共10章,可分为三大模块。第一模块为电机理论部分,包括第1~4章,主要介绍直流电动机、变压器、交流电动机、特种电机等内容;第二模块为电气控制部分,包括第5~9章,主要介绍常用低压电器、电气控制电路基本环节、实用电气控制、可编程序控制器应用技术和变频控制技术在电气控制中的应用;第10章是第三模块,主要介绍综合技能训练。

本书由淮安信息职业技术学院刘利宏任主编,辽宁信息职业技术学院何利英、淮安信息职业技术学院居海清任副主编,南京工业职业技术学院吴国中参编。其中,第1、2章由何利英编写,第3、10章由居海清编写,第4~6章由刘利宏编写,第7、8章由吴国中编写,第9章由吴国中与居海清共同编写。全书由刘利宏统稿,南京工业职业技术学院任志锦主审。在本书的编写和修订过程中,还得到淮安信息职业技术学院徐建俊教授、景绍学老师的大力支持,在此谨致以由衷的感谢。

由于编者水平有限,本书难免存在缺点与错误,恳请读者批评指正。

编 者

全国高等职业教育规划教材 电子类专业编委会成员名单

主 任 曹建林

副 主 任 张中洲 张福强 董维佳 俞 宁 杨元挺 任德齐
华永平 吴元凯 蒋蒙安 祖 炬 梁永生

委 员 (按姓氏笔画排序)

尹立贤	王用伦	王树忠	王新新	邓 红	任艳君
刘 松	刘 勇	华天京	吉雪峰	孙学耕	孙津平
朱咏梅	朱晓红	齐 虹	张静之	李菊芳	杨打生
杨国华	汪赵强	陈子聪	陈必群	陈晓文	季顺宁
罗厚军	姚建永	钮文良	聂开俊	袁 勇	袁启昌
郭 勇	郭 兵	郭雄艺	高 健	崔金辉	曹 毅
章大钧	黄永定	曾晓宏	蔡建军	谭克清	

秘 书 长 胡毓坚

副秘书长 戴红霞

目 录

出版说明	1
前言	1
第1章 直流电动机	1
1.1 直流电动机的工作原理和结构	1
1.1.1 直流电动机的工作原理	1
1.1.2 电枢感应电动势和电磁转矩	2
1.2 直流电机的结构	3
1.2.1 定子部分	3
1.2.2 转子部分	5
1.2.3 气隙	5
1.3 他励直流电动机的工作特性和型号	6
1.3.1 直流电动机的分类	6
1.3.2 直流电动机的基本方程式	6
1.3.3 他励直流电动机的工作特性	7
1.3.4 直流电机的型号和额定值	8
1.4 直流电动机的机械特性	9
1.4.1 机械特性(他励直流电动机)方程式	9
1.4.2 固有特性和人为机械特性	10
1.5 他励直流电动机的起动	12
1.5.1 直流电动机的起动要求	12
1.5.2 直流电动机的起动方法	12
1.6 他励直流电动机的调速特性	14
1.6.1 电枢回路串接电阻的调速方法	14
1.6.2 降低电源电压调速	15
1.6.3 改变励磁磁通的弱磁调速	15
1.7 他励直流电动机制动	16
1.7.1 能耗制动	16
1.7.2 反接制动	17
1.7.3 回馈制动	19
1.8 无刷式直流电动机	20
1.8.1 无刷式直流电动机的工作原理	20
1.8.2 基本结构和作用	21
1.9 习题	21
第2章 变压器	23
2.1 变压器的基本结构与类型	23
2.1.1 铁心	23

2.1.2	绕组	24
2.1.3	附件	24
2.1.4	变压器的分类	25
2.2	变压器的空载运行	25
2.2.1	理想变压器的空载运行	26
2.2.2	变压器损耗与参数的测定	27
2.3	变压器的有载运行	28
2.3.1	有载运行的分析	28
2.3.2	变压器的作用	29
2.4	变压器运行特性	30
2.4.1	变压器的外特性和电压调整率	30
2.4.2	变压器的损耗和效率	31
2.5	特殊变压器	32
2.5.1	互感器	32
2.5.2	自耦变压器	33
2.5.3	脉冲变压器	34
2.6	习题	35
第3章	交流电动机	36
3.1	交流电动机的原理与结构	36
3.1.1	三相异步电动机的工作原理	36
3.1.2	三相异步电动机的结构	39
3.2	交流电动机的定子与转子电路	42
3.2.1	旋转磁场对定子绕组的作用	42
3.2.2	旋转磁场对转子电路的作用	43
3.3	交流电动机的功率与转矩	45
3.3.1	功率平衡方程式	45
3.3.2	转矩平衡方程式	46
3.3.3	电磁转矩公式	46
3.4	交流电动机的机械特性	47
3.4.1	固有机械特性的分析	47
3.4.2	固有机械特性方程式	48
3.4.3	异步电动机的人为特性	50
3.5	交流电动机的起动	51
3.5.1	笼型异步电动机的起动方法	51
3.5.2	绕线转子异步电动机的起动方法	52
3.6	交流电动机的制动	53
3.6.1	回馈制动	53
3.6.2	反接制动	54
3.6.3	能耗制动	55
3.7	交流电动机的调速	55
3.7.1	变极调速	56

3.7.2	变频调速	57
3.7.3	改变转差率调速	57
3.8	单相交流电动机	58
3.8.1	单相交流电动机的工作原理	58
3.8.2	单相交流电动机的起动	60
3.8.3	单相交流电动机的反转控制和调速	62
3.9	习题	62
第4章	特种电机	64
4.1	特种电机的种类、用途及发展概况	64
4.1.1	作为信号元件的特种电机	64
4.1.2	作为功率元件的特种电机	65
4.1.3	特种电机的发展概况	65
4.2	直流测速发电机	66
4.2.1	直流测速发电机的基本结构	66
4.2.2	直流测速发电机的工作原理	67
4.2.3	直流测速发电机的输出特性	68
4.2.4	直流测速发电机的性能指标	69
4.2.5	直流测速发电机的应用选择和使用	69
4.3	交流异步测速发电机	71
4.3.1	概述	71
4.3.2	交流异步测速发电机的结构和工作原理	71
4.3.3	交流异步测速发电机的性能指标	73
4.3.4	交流异步测速发电机的应用、选择和使用	74
4.4	直流伺服电动机	75
4.4.1	概述	75
4.4.2	直流伺服电动机的结构	76
4.4.3	控制方式	76
4.4.4	运行特性	76
4.4.5	直流伺服电动机的性能指标	77
4.4.6	直流伺服电动机的应用和选择	78
4.5	交流伺服电动机	79
4.5.1	概述	80
4.5.2	交流伺服电动机结构和工作原理	80
4.5.3	交流伺服电动机产生自转的原因和消除方法	81
4.5.4	控制方式	82
4.5.5	交流伺服电动机的性能指标	82
4.5.6	交流伺服电动机应用、选择和使用	84
4.6	步进电动机	85
4.6.1	概述	85
4.6.2	步进电动机的结构和工作原理	85
4.6.3	步进电动机的驱动电源	88
4.6.4	步进电动机的性能指标	88

4.6.5 步进电动机的应用范围和选择	89
4.7 微型同步电动机	90
4.7.1 永磁式微型同步电动机	90
4.7.2 反应式微型同步电动机	92
4.7.3 磁滞式同步电动机	93
4.8 直线电动机	95
4.8.1 概述	95
4.8.2 直线电动机的分类和工作原理	96
4.8.3 直线电动机在国内外的的发展概况	98
4.8.4 直线感应电动机的应用	98
4.9 毫米压电微电动机	101
4.10 习题	102
第5章 常用低压电器	104
5.1 常用低压电器概述	104
5.1.1 常用电器的分类	104
5.1.2 常用电器的基本结构	105
5.2 开关电器及主令电器	107
5.2.1 开关电器	107
5.2.2 主令电器	111
5.3 接触器	115
5.3.1 接触器的工作原理	115
5.3.2 接触器的主要技术参数	115
5.3.3 接触器的符号	116
5.3.4 接触器的选择	117
5.4 继电器	117
5.4.1 电磁式继电器	117
5.4.2 时间继电器	119
5.4.3 热继电器	120
5.4.4 速度继电器	122
5.5 熔断器	122
5.6 常用起动器	123
5.6.1 磁力起动器	123
5.6.2 Y- Δ 起动器	123
5.7 主要电器元件故障诊断与维修	123
5.7.1 电磁式电器共性故障诊断与维修	124
5.7.2 常用电器故障诊断与维修	125
5.8 习题	128
第6章 电气控制电路基本环节	130
6.1 电气控制系统图	130
6.2 电气控制电路基本控制规律	132
6.2.1 自锁与互锁的控制	132

6.2.2	点动与连续运转的控制	133
6.2.3	多地联锁控制	134
6.2.4	顺序控制	134
6.2.5	自动往复循环控制	136
6.3	三相异步电动机的起动控制	137
6.3.1	星形-三角形减压起动控制	137
6.3.2	自耦变压器减压起动控制	137
6.3.3	三相绕线转子电动机的起动控制	138
6.4	三相异步电动机的制动控制	139
6.4.1	反接制动控制	139
6.4.2	能耗制动控制	140
6.5	三相异步电动机的调速控制	141
6.6	电气控制系统常用保护环节	142
6.6.1	短路保护	142
6.6.2	过电流保护	142
6.6.3	过载保护	143
6.6.4	失电压保护	143
6.6.5	欠电压保护	143
6.6.6	过电压保护	144
6.6.7	直流电动机的弱磁保护	144
6.6.8	其他保护	144
6.7	习题	144
第7章	实用电气控制	146
7.1	X62W 型万能铣床的电气控制线路	146
7.1.1	X62W 型万能铣床的主要结构及运动形式	146
7.1.2	X62W 型万能铣床电力拖动的特点及控制要求	147
7.1.3	X62W 型万能铣床的电气控制线路分析	147
7.1.4	X62W 型万能铣床电气线路的常见故障分析	150
7.2	Z35 型摇臂钻床的电气控制线路	151
7.2.1	Z35 型摇臂钻床的主要构造及运动形式	151
7.2.2	Z35 型摇臂钻床对电力拖动的要求	152
7.2.3	Z35 型摇臂钻床的控制线路	152
7.2.4	Z35 型摇臂钻床的故障情况及分析	155
7.3	电梯轿厢门控制电路	156
7.3.1	轿厢门电动机主电路	156
7.3.2	轿厢门电动机控制电路	157
7.4	数控机床的电气控制系统	158
7.5	习题	161
第8章	可编程序控制器应用技术	162
8.1	PLC 基础知识	162
8.1.1	PLC 产生的历史背景	162

8.1.2 PLC 的特点	163
8.1.3 PLC 的优点及应用领域	164
8.1.4 PLC 的发展趋势	164
8.1.5 PLC 的硬件组成	165
8.2 PLC 的编程元件及寻址	165
8.2.1 PLC 的编程元件	165
8.2.2 不同机型编程元件配置表	167
8.2.3 数据的存取方式以及寻址方式	168
8.3 PLC 的编程语言与基本指令	169
8.3.1 基本逻辑指令	169
8.3.2 基本功能指令	171
8.4 PLC 编程实例	173
8.4.1 抢答器	173
8.4.2 十字路口交通信号灯	174
8.5 PLC 编程软件的使用	177
8.5.1 硬件连接	177
8.5.2 参数设置	178
8.5.3 在线通信	179
8.5.4 设置修改 PLC 的通信参数	179
8.5.5 基本功能	179
8.6 习题	179
第9章 变频控制在电气控制中的应用	181
9.1 变频器的基本结构与原理	181
9.1.1 变频器的基本结构	181
9.1.2 变频器的内部电路	181
9.1.3 逆变电路的基本原理	182
9.2 变频器的选择、使用与维护	183
9.2.1 变频器的选择	184
9.2.2 变频器的使用	184
9.2.3 变频器的维护	186
9.3 变频器的使用实例	189
9.3.1 变频器与 PLC 控制系统使用实例	189
9.3.2 变频器在机床方面的应用实例	190
9.4 习题	191
第10章 综合技能训练	192
10.1 装调并励直流电动机的调速线路	192
10.2 装调继电器-接触器控制的三相异步电动机正反转电路	193
10.3 装调 S7-200 PLC 控制的电动机正反转电路	194
10.4 装调西门子 MM440 变频器控制的电动机正反转电路	198
10.5 装调基于 PLC 的变频器控制电动机正反转电路	201
参考文献	204

第1章 直流电动机

电机是一种实现机电能量转换的电磁装置。拖动生产机械，将电能转换为机械能的电机称为电动机。若电动机所接电源是直流电源，称为直流电动机；所接电源是交流电源。则称为交流电动机。将其他形式的能源转换为电能的电机，称为发电机。若对外电路产生出直流电，则是直流发电机，否则为交流发电机。

直流电动机具有良好的启动、调速性能，被广泛地应用于轧钢机，电力牵引，起重设备及要求调速范围广泛的切削机床中。小容量的直流电动机在自动控制系统中的应用也很广泛。

本章以直流电动机为研究对象，利用所学的电磁路基础知识，研究直流电动机的工作原理、结构、分析电动机的运行特点及有关的电气控制线路。

1.1 直流电动机的工作原理和结构

1.1.1 直流电动机的工作原理

直流电动机的工作原理是建立在电磁力定律的基础上，即当一长度为 L 的导体通以电流 I ，导体与磁场的磁感应强度 B 的方向互相垂直，此带电导体将产生电磁力，驱使导体按某方向运动，此电磁力 f_x 的方向由左手定则判定，大小为：

$$f_x = B_x IL \tag{1-1}$$

如图 1-1 所示，在空间有一对位置固定的磁极 N，S，两磁极间有一个用导磁材料制成的空心圆柱体，沿圆周均匀绕有 4 个线圈。每一线圈都有一条边在圆柱体表面，用 1，2，3，4 表示，是线圈的有效边；每一个线圈的另一边圆柱体内腔用 1'，2'，3'，4' 表示，仅起联接作用，是线圈的无效边。与圆柱体同轴联接的有一个用 4 块互相绝缘的扇形铜块组成的圆柱体，每一个线圈依次与一个换向片相联接。在空间磁场几何中性线位置，固定安装有两个电刷 A 和 B，它紧压在换向片上。当空心圆柱体旋转时，电刷与换向器之间保持滑动接触。

如图 1-1 所示的瞬间，电刷 A、B 外接直流电源，A 为正，B 为负，分别与换向片 1 和换向片 3 联接。则线圈 1、2，线圈 3、4 构成了两条并联支路。导体 1、2 电流方向进入纸面，用 $\otimes$ 表示；导体 3、4 流出纸面，用 $\odot$ 表示。在磁场的作用下，将产生电磁力，此电磁力对转轴将形成力矩，使导体逆时针转动，同理，导体 2、3、4 也将产生力矩，与导体 1 形成的力矩共同带动圆柱体逆时针转动，此力矩称为电磁转矩，用 T 表示。导体 1'、2'、3'、4' 因处于圆柱体内腔，不受磁

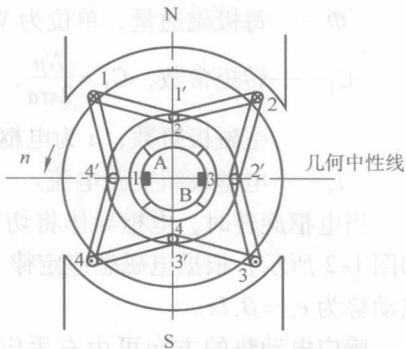


图 1-1 直流电动机工作原理示意图

场作用，故不产生电磁转矩，仅起联接作用。

当转轴在空间转动 90° 后，线圈 2 到了原来线圈 1 的位置，线圈 3 到了原来线圈 2 的位置，以此类推。因为电刷 A、B 在空间是固定不动的，这时电刷 A 由原来与换向片 1 接触变为与换向片 2 接触，电刷 B 则变为与换向片 3 接触，导线中的电流方向发生改变，导线所在磁场的极性也发生改变，根据电磁力定律判断出，电磁力及电磁力对转轴所形成的电磁转矩方向不变，仍为逆时针方向，这样，电动机将沿原方向继续旋转。

通过换向器配合电刷，使 N 极下的线圈电流总是从首端流向末端，S 极下的线圈电流总是由末端流向首端，则 N 极下和 S 极上的线圈受到的电磁力方向始终不变，它们将产生单方向的电磁转矩，使电枢沿一个方向旋转，将电能变换成为机械能，这就是直流电动机的工作原理。

1.1.2 电枢感应电动势和电磁转矩

当电动机带负载运行时，电枢绕组内将通过电流，载流导体在气隙磁场中受到电磁力的作用，电磁力对电枢轴心所形成的转矩，称为电磁转矩，以 T 表示。由于电枢表面各处的磁密不同，因而均匀分布在电枢表面的各电枢导体所产生的电磁力也不同。为了简化计算，引入平均磁感应强度 B_{pj} ，则每个导体所受到的电磁力的平均值为：

$$f_{pj} = B_{pj} Li \quad (1-2)$$

式中 f_{pj} ——导体所受到的平均电磁力，单位为 N；

B_{pj} ——磁感应强度的平均值，单位为 T；

L ——导体的有效长度，单位为 m；

i ——导体中的电流，单位为 A。

每个导体形成的平均电磁转矩 T_{pj} 为：

$$T_{pj} = f_{pj} \frac{D_s}{2} \quad (1-3)$$

式中 T_{pj} ——导体的平均电磁转矩，单位为 $N \cdot m$ ；

D_s ——电枢直径，单位为 m。

通过推导，电枢上所有导体形成的转矩，即电磁转矩为：

$$T = C_T \Phi I_a \quad (1-4)$$

式中 T ——电磁转矩，单位为 $N \cdot m$ ；

Φ ——每极磁通量，单位为 Wb；

C_T ——转矩常数， $C_T = \frac{Np}{2\pi a}$ ， N 为电枢绕组的总导体数， p 为

主磁极对数， a 为电枢绕组支路对数；

I_a ——电枢绕组支路电流。

当电枢旋转时，电枢导体将切割气隙磁场，产生感应电动势。

如图 1-2 所示，根据电磁感应定律，电枢表面上某一处导体的感应电动势为 $e_a = B_x Lv$ 。

感应电动势的方向可由右手定则判定，由于电枢表面磁密不同，各处导体的感应电动势也不同，与电磁转矩的推导类似、采用

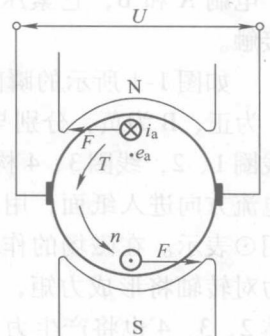


图 1-2 电枢电动势产生示意图

平均磁密 B_p ，以求出每根导体的平均感应电动势，若电动机磁极对数为 $2p$ ，电枢绕组有 $2a$ 条并联支路，电枢表面共有 N 个电枢导体，则经过推算，电枢感应电动势为：

$$E_a = C_e \phi n \tag{1-5}$$

式中 C_e ——电动势常数，是一个与电动机结构有关的量，对于成型的电动机， $C_e = \frac{Np}{60a}$ ；

n ——电动机旋转速度，单位为 r/min 。

电枢电动势的方向，用右手定则判定，其产生的电流与电枢电流 I 的方向相反，所以在电动机中电枢电动势是反电动势，外电源必须克服反电动势的作用，才能使电动机正常工作，这样电能就转换为轴上所输出的机械能了。

1.2 直流电机的结构

直流电机完成机电能量转换的关键是电路和磁路间有相对切割运动。因此，直流电机由静止部分（定子）和转动部分（转子）组成。定子由主磁极、换向极、机座、端盖、轴承、电刷装置等组成，它的作用是产生磁场和作为电机的机械支撑；转子由电枢铁心、电枢绕组、换向器、轴和风扇等组成，它的作用是产生电磁转矩和感应电动势。转子也被称为电枢。图 1-3 是直流电机轴向剖面图，图 1-4 是直流电机的径向剖面图。

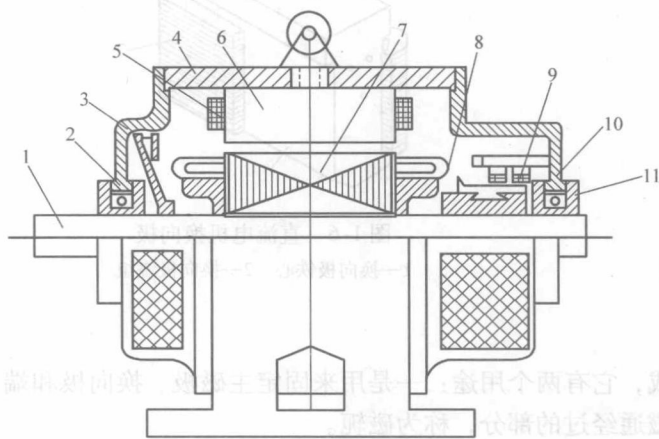


图 1-3 直流电机轴向剖面图

- 1—轴 2—端盖 3—风扇 4—机座 5—励磁绕组 6—主磁极铁心 7—电枢铁心 8—电枢绕组 9—电刷装置 10—换向器 11—轴承

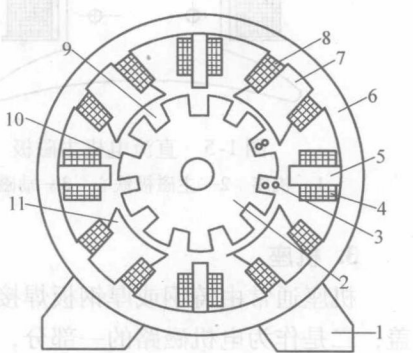


图 1-4 直流电机径向剖面图

- 1—底座 2—电枢铁心 3—电枢绕组 4—换向极绕组 5—换向极铁心 6—机座 7—主磁极铁心 8—励磁绕组 9—电枢槽 10—电枢齿 11—极靴

下面简要介绍直流电机的主要零件的基本结构、作用和材料。

1.2.1 定子部分

1. 主磁极

主磁极简称主极，它的作用是产生主磁场，由主磁铁心和励磁绕组组成。主磁极铁心除个别小型直流电机采用永久磁铁外，一般直流电机的主磁极都是采用电磁铁，主磁极

铁心靠近电枢的一端称为极靴（或称极掌），图 1-5 所示为了减少电枢旋转时极靴表面的涡流损耗，主极铁心一般用厚为 1~1.5mm 的钢板冲片叠压紧固而成。励磁绕组是用圆截面或矩形截面的绝缘导线绕制而成，铁心与励磁绕组相互绝缘。当励磁绕组中通以直流电流后，产生励磁磁势。由于主磁极成对出现，相邻主磁极极性按 N 极和 S 极交替排列。

2. 换向极

换向极又称为附加极或间极，它的作用是改善换向。换向极装在两磁极之间，呈 N、S 极交替排列，换向极也是由换向极铁心和换向极绕组构成。大容量直流电机和换向要求高的电机，换向极铁心用相互绝缘的薄钢片叠压而成，而中、小容量的直流电机换向极铁心是用整块钢制成。换向极绕组与电枢绕组串联，因通过电流大，导线截面较大并且匝数较少。功率很小的电机换向极的数目有时只有主磁极的一半，或不装换向极，容量在 1kW 以上的直流电动机，几乎都装有换向极，且换向极数目等于主磁极数目。图 1-6 为直流电机的换向极示意图。

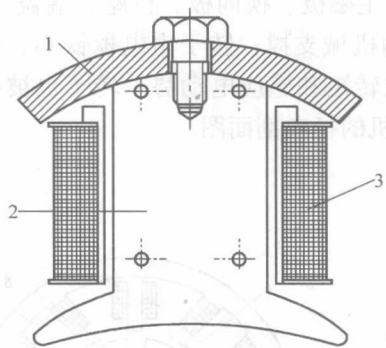


图 1-5 直流电机主磁极
1—机座 2—主磁极铁心 3—励磁绕组

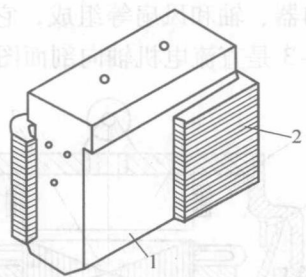


图 1-6 直流电机换向极
1—换向极铁心 2—换向极绕组

3. 机座

机座通常由铸钢或厚钢板焊接而成，它有两个用途：一是用来固定主磁极、换向极和端盖；二是作为电机磁路的一部分，有磁通经过的部分，称为磁轭。

4. 电刷装置

电刷装置可以引入或引出直流电压和直流电流。电刷装置由电刷、刷握、刷杆、刷杆座、压紧弹簧和铜丝辫等组成，如图 1-7 所示，从图中可见电刷装在刷握内，用压紧弹簧把它压紧在换向器表面。调整压紧弹簧的压力，保证电刷与换向器表面有良好的滑动接触。刷握固定在刷杆上，刷杆装在刷杆座上，彼此绝缘，刷杆座装在端盖或轴承盖上，位置可以移动，用以调整电刷位置。

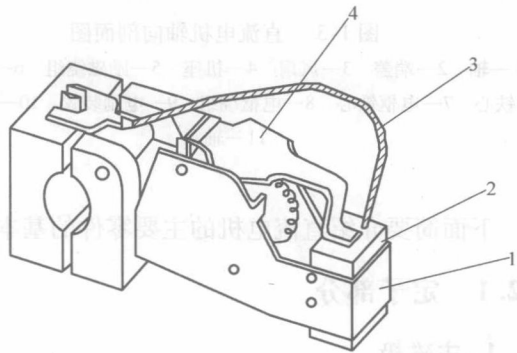


图 1-7 电刷装置
1—刷握 2—电刷 3—铜丝辫 4—压紧弹簧

1.2.2 转子部分

1. 电枢铁心

电枢铁心和主磁场之间有相对运动，在电枢铁心表面上产生涡流和磁滞效应，因此电枢铁心一般用 0.5mm 厚的涂有绝缘漆的硅钢冲片叠压而成，每片冲片冲有嵌放电枢绕组的槽，槽内嵌放电枢绕组，有的还冲有轴向通风孔，电枢铁心又是磁的通路。图 1-8a 和图 1-8b 分别为电枢铁心冲片和电枢铁心。

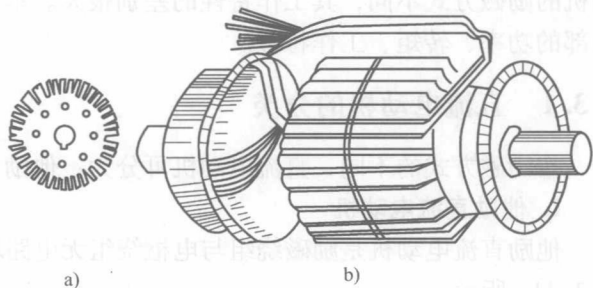


图 1-8 电枢铁心冲片和电枢铁心图

a) 电枢铁心冲片 b) 电枢铁心

2. 电枢绕组

电枢绕组是由许多按一定规律联接起来的线圈（组件）组成，并与换向器作相应的联接。它是直流电机的主要电路部分，是产生感应电动势或通过电流而产生电磁转矩，实现机电能量转换的关键部件，如图 1-9 所示，线圈分别放在不同的槽中，当线圈嵌入到槽内后，用槽楔压紧，再用钢丝或玻璃丝把绕组槽外部分——端部扎紧，以免离心力将绕组甩坏。

3. 换向器

直流电动机中，换向器与电刷共同作用将外加直流电流变换为电枢绕组内的交流电流。图 1-10 是换向器的剖面图。它由许多燕尾形铜片构成，片与片之间用云母绝缘，所有换向片嵌入金属套筒内，且由云母套筒使之彼此绝缘，利用“V”型钢片与螺旋压圈固定成整体，再用环氧浇筑或塑料压铸成型。

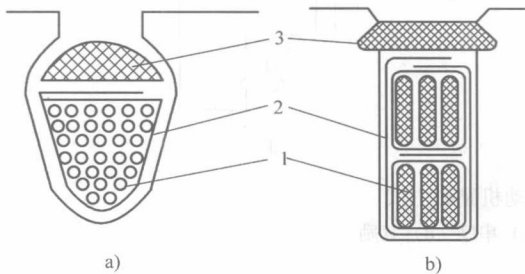


图 1-9 绕组元件在电枢铁心槽中的剖面图

a) 梨形槽 b) 矩形槽

1—铜线 2—绝缘材料 3—槽楔

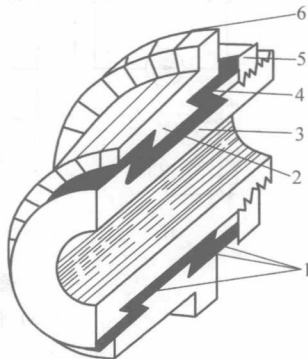


图 1-10 金属套筒式换向器的剖面图

1—云母绝缘 2—换向片 3—套筒
4—V 型环 5—螺帽 6—片间云母

1.2.3 气隙

定子和转子之间的空隙称为气隙。在小容量电机中，气隙约为 0.5 ~ 3mm。气隙数值虽小，磁阻很大，是电机磁路的主要部分。