

中国职业技术教育学会科研项目优秀成果

The Excellent Achievements in Scientific Research Project of Chinese Society of Technical and Vocational Education

高等职业教育机电一体化技术专业“双证课程”培养方案规划教材



电机技术 及应用

高等职业技术教育研究会 审定

李本红 王夕英 主编

熊利军 化雪荟 副主编

Motor Technology and Application

- ◆ 紧扣职业教育技能型人才的培养目标
- ◆ 知识点和技能点紧密结合工程实际应用
- ◆ 降低理论分析深度，增加实验实训内容



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

中国职业技术教育学会科研项目优秀成果

The Excellent Achievements in Scientific Research Project of Chinese Society of Technical and Vocational Education

高等职业教育机电一体化技术专业“双证课程”培养方案规划教材



电机技术 及应用

高等职业技术教育研究会 审定

李本红 王夕英 主编

熊利军 化雪荟 副主编

Motor Technology and Application

人民邮电出版社

样书

专用章

人民邮电出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

电机技术及应用 / 李本红, 王夕英主编. —北京: 人民邮电出版社, 2009.9

中国职业技术教育学会科研项目优秀成果. 高等职业教育机电一体化技术专业“双证课程”培养方案规划教材

ISBN 978-7-115-20575-9

I. 电… II. ①李…②王… III. 电机学—高等学校: 技术学校—教材 IV. TM3

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第037244号

内 容 提 要

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,内容紧密结合实际应用安排相关知识点和技能点。全书主要内容包括变压器、三相异步电动机、同步电机、直流电机、控制电机等。

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。

中国职业技术教育学会科研项目优秀成果

高等职业教育机电一体化技术专业“双证课程”培养方案规划教材

电机技术及应用

-
- ◆ 审 定 高等职业技术教育研究会
 - 主 编 李本红 王夕英
 - 副 主 编 熊利军 化雪荟
 - 责任编辑 潘新文
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
 - 邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
 - 网址 <http://www.ptpress.com.cn>
 - 北京铭成印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
 - 印张: 10.5
 - 字数: 254千字
 - 印数: 1—3 000册
 - 2009年9月第1版
 - 2009年9月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-20575-9/TN

定价: 20.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

职业教育与职业资格证书推进策略与 “双证课程”的研究与实践课题组

组 长：

俞克新

副组长：

李维利 张宝忠 许 远 潘春燕

成 员：

林 平 周 虹 钟 健 赵 宇 李秀忠 冯建东 散晓燕 安宗权
黄军辉 赵 波 邓晓阳 牛宝林 吴新佳 韩志国 周明虎 顾 晔
吴晓苏 赵慧君 潘新文 李育民

课题鉴定专家：

李怀康 邓泽民 吕景泉 陈 敏 于洪文

高等职业教育机电一体化技术专业“双证课程” 培养方案规划教材编委会

主 任：李秀忠

副主任：吴晓苏 孙慧平

委 员：	徐小增	郭建尊	王诗军	李艳霞	王金花	蔡冬根	林党养
刘树青	娄琳	金文兵	朱强	霍苏萍	周玮	周兰	孙小捞
张伟林	贾俊良	陈万利	杨占尧	郑金姬	黄中玉	李辉	赵宏立
华满香	周建安	孙卫锋	林宗良	金英元	黄义俊	董小金	戴晓东
牛荣华	丁如春	冯锦春	刘岩	赵仕元	张雪梅	申晓龙	文学红
毛好喜	李本红	任成高	余慰荔	周旭光	苏伟	刘宏	吕永峰
王雁彬	邵萍	郭宏彦	何全陆	张念淮	姜庆华	张江城	冯宁
吴灏	阮予明	李振杰	李英	燕居怀	谢海良	王浩	张中
陈桂芳	宋雪臣	楚忠	王双林	王广业	刘慧	孟庆平	

审稿委员会

主 任：彭跃湘

副主任：胡进德

委 员：	米久贵	卜燕萍	徐立娟	陈忠平	庄军	谭毅	谢响明
汤长清	高荣林	卜新民	罗澄清	王德发	王德山	栾敏	谢伟东
李学鑫	张鑫	吕修海	王达斌	周林峰	熊江东	王军红	邓剑锋
杨国生	周信安	叶立清	雷云进	谷长峰	向东	葛序风	李建平
刘战术	魏东坡	肖允鑫	李丹	张光跃	陈玉平	林长青	王玉梅
戴晓光	罗正斌	刘晓军	张秀玲	袁小平	李宏	张凤军	孙建香
陈晓罗	肖龙	何谦	周玮	张瑞林	周林	潘爱民	徐国洪
张国锋	陈孝先	夏光蔚	李燕林	刘一兵	田培成	刘勇	冯光林
魏仕华	曹淑联	孙振强	罗伦	田晶	卜燕萍	王少岩	山颖
温钢云	蔡超强	刘建敏	吴京霞	张海筹	张森林	范恒彦	朱庚生
丁明成	李华楹	孟华峰	范恒彦	高荣林	杨亚辉	鞠加彬	白福民
宋丽华	王世桥	孙岩	彭跃湘	李明平	吴春玉	吴崇	张华忠
牟志华	申凤琴	孙佳海	黎川林	孟平	杨强	麦崇	胡进德
吴德平	赵红毅	王观海	公相	王朝红	姬红旭	吕品	李凡
李江							

本书主审：温钢云

丛书出版前言

职业教育是现代国民教育体系的重要组成部分,在实施科教兴国战略和人才强国战略中具有特殊的重要地位。党中央、国务院高度重视发展职业教育,提出要全面贯彻党的教育方针,以服务为宗旨,以就业为导向,走产学结合的发展道路,为社会主义现代化建设培养千百万高素质技能型专门人才。因此,以就业为导向是我国职业教育今后发展的主旋律。推行“双证制度”是落实职业教育“就业导向”的一个重要措施,教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教高[2006]16号)中也明确提出,要推行“双证书”制度,强化学生职业能力的培养,使有职业资格证书专业的毕业生取得“双证书”。但是,由于基于“双证书”的专业解决方案、课程资源匮乏,“双证课程”不能融入教学计划,或者现有的教学计划还不能按照职业能力形成系统化的课程,因此,“双证书”制度的推行遇到了一定的困难。

为配合各高职院校积极实施“双证书”制度工作,推进示范校建设,中国高等职业技术教育研究会和人民邮电出版社在广泛调研的基础上,联合向中国职业技术教育学会申报了职业教育与职业资格证书推进策略与“双证课程”的研究与实践课题(中国职业技术教育学会科研规划项目,立项编号 225753)。此课题拟将职业教育的专业人才培养方案与职业资格认证紧密结合起来,使每个专业课程设置嵌入一个对应的证书,拟为一般高职院校提供一个可以参照的“双证课程”专业人才培养方案。该课题研究的对象包括数控加工操作、数控设备维修、模具设计与制造、机电一体化技术、汽车制造与装配技术、汽车检测与维修技术等多个专业。

该课题由教育部的权威专家牵头,邀请了中国职教界、人力资源和社会保障部及有关行业的专家,以及全国 50 多所高职高专机电类专业教学改革领先的学校,一起进行课题研究,目前已召开多次研讨会,将课题涉及的每个专业的人才培养方案按照“专业人才定位—对应职业资格证书—职业标准解读与工作过程分析—专业核心技能—专业人才培养方案—课程开发方案”的过程开发。即首先对各专业的工作岗位进行分析和分类,按照相应岗位职业资格证书的要求提取典型工作任务、典型产品或服务,进而分析得出专业核心技能、岗位核心技能,再将这些核心技能进行分解,进而推出各专业的专业核心课程与双证课程,最后开发出各专业的人才培养方案。

根据以上研究成果,课题组对专业课程对应的教材也做了全面系统的研究,拟开发的教材具有以下鲜明特色。

1. 注重专业整体策划。本套教材是根据课题的研究成果——专业人才培养方案开发的,每个专业各门课程的教材内容既相互独立、又有机衔接,整套教材具有一定的系统性与完整性。
2. 融通学历证书与职业资格证书。本套教材将各专业对应的职业资格证书的知识和能力要求都嵌入到各双证教材中,使学生在获得学历文凭的同时获得相关的国家职业资格证书。
3. 紧密结合当前教学改革趋势。本套教材紧扣教学改革的最新趋势,专业核心课程、“双

证课程”按照工作过程导向及项目教学的思路编写,较好地满足了当前各高职高专院校的需求。

为方便教学,我们免费为选用本套教材的老师提供相关专业的整体教学方案及相关教学资源。

经过近两年的课题研究与探索,本套教材终于正式出版了,我们希望通过本套教材,为各高职高专院校提供一个可实施的基于双证书的专业教学方案,也热切盼望各位关心高等职业教育的读者能够对本套教材的不当之处给予批评指正,提出修改意见,并积极与我们联系,共同探讨教学改革和教材编写等相关问题。来信请发至 panchunyan@ptpress.com.cn。

前言

随着我国社会、经济、科技的迅速发展和教育结构的调整,高等职业教育蓬勃发展,社会对高等职业教育应用型人才的需求也不断增长。伴随着这一形势,全国大部分地区职业院校的机电、电气、数控等专业的招生量逐年递增,而适合职业教育特点的教材也需要进行相应的改革。为此,我们根据教育部目前对高职高专教育人才的培养目标及规格要求,结合电气和机电类相关岗位的国家职业技能鉴定标准,在对电机技术及应用课程的结构体系和教学内容进行重新布局的基础上,编写了这本教材。本教材具有以下特点。

(1) 根据毕业生将来所从事的岗位的要求,精简了过于抽象的理论内容,降低了变压器、交流电机、直流电机理论分析的深度和难度,简化了变压器标么值方面的知识点的讲解以及交流电机绕组电动势及磁通势的分析,淡化了电力拖动、同步电动机和单相异步电动机的理论分析及计算。

(2) 根据高职教育的教学特点,将实验内容融入到教学全过程,通过实验,学生可以将理论分析与实验结果进行比较、对照和分析,最终得出一般的理论结论,从而加深对理论理解的深度,增强教学效果。

(3) 从毕业生将来从事的工作岗位的角度出发,站在工程应用的高度上选择和安排教学内容,如书中重点对交流电机、直流电机和变压器的工作特性和应用特点进行了分析,以着重培养学生理论结合实践、注重工程应用的理念。

本书教学课时约为 64 学时,学时分配如下表所示。

学时分配表

章 号	章 名	学 时 数		
		合 计	讲 授	实 验 实 训
1	绪论	2	2	
2	直流电动机	12	8	4
3	变压器	16	12	4
4	三相异步电动机	20	16	4
5	同步电动机	4	4	
6	控制电机	10	8	2

本书由广东佛山职业技术学院李本红和山东潍坊工商职业学院王夕英担任主编,湖北武汉铁路职业技术学院熊利军和广东韶关松山职业技术学院化雪荟担任副主编。具体编写分工是:李本红编写第 1、2、3 章,李本红和化雪荟合编第 4 章,王夕英编写第 5 章,熊利军编写第 6 章,全书由李本红和王夕英统稿。

由于编者学识水平有限,书中难免存在疏漏及不足之处,恳切希望广大读者批评指正。

编 者

2009 年 3 月

目 录

第 1 章 绪论	1	2.5.2 转矩平衡方程式	21
1.1 电机及电力拖动简介	1	2.5.3 功率平衡方程式	21
1.2 本课程的性质、任务和内容	2	2.6 直流电动机空载、负载试验及	
1.3 本课程的特点及学习方法	3	电动机的机械特性	22
第 2 章 直流电动机	4	2.6.1 直流电动机空载、负载	
2.1 直流电动机的结构、基本工作		试验	22
原理及分类	4	2.6.2 他励直流电动机的工作	
2.1.1 直流电动机的基本结构	4	特性	25
2.1.2 直流电动机的基本工作		2.6.3 他励（并励）直流电动机的	
原理	7	机械特性	26
2.1.3 直流电动机按励磁方式		2.6.4 串励直流电动机的机械	
分类	8	特性	31
2.1.4 直流电动机的铭牌数据及主要		2.6.5 绕组故障判断	34
系列	9	2.6.6 实例应用	34
2.2 直流电动机电枢绕组	11	2.7 生产机械的电力拖动运动方程	35
2.2.1 直流电动机电枢绕组简介	11	2.7.1 电力拖动系统的运动方	
2.2.2 单叠绕组	12	程式	35
2.2.3 单波绕组	15	2.7.2 运动方程式中正、负号	
2.2.4 各种绕组的应用范围	16	的规定	36
2.3 直流电动机的换向及改善换向		2.8 生产机械的负载转矩特性	37
条件的方法	16	2.8.1 恒转矩负载特性	37
2.3.1 换向过程	16	2.8.2 恒功率负载特性	38
2.3.2 换向元件中的感应电动势		2.8.3 通风机型负载特性	38
和电流变化的特点	17	本章小结	39
2.3.3 改善换向的方法	17	思考与练习	39
2.4 直流电机的电枢反应	18	第 3 章 变压器	41
2.4.1 直流电机的空载磁场	18	3.1 变压器的基本工作原理	
2.4.2 直流电机的电枢磁场	19	和结构	41
2.4.3 电枢反应	20	3.1.1 变压器的主要用途	41
2.5 他励直流电动机的基本方程式	20	3.1.2 变压器的基本工作原理	41
2.5.1 电动势平衡方程式	20	3.1.3 变压器的基本结构	43

3.1.4 变压器的分类	45	4.2.2 绕组的排列方法	81
3.1.5 变压器的铭牌	46	4.2.3 三相单层绕组	83
3.2 变压器的空载运行	48	4.2.4 三相双层绕组	87
3.2.1 空载运行时的物理情况	48	4.3 三相异步电动机的运行特性	89
3.2.2 感应电动势	48	4.3.1 转差率	89
3.2.3 空载电流和空载损耗	51	4.3.2 定、转子之间的电磁关系	90
3.2.4 等效电路	51	4.3.3 旋转磁场对转子的作用	90
3.3 变压器的负载运行	52	4.3.4 三相异步电动机的 功率和转矩	92
3.3.1 变压器负载运行的原理	52	4.3.5 三相异步电动机的 工作特性	93
3.3.2 负载运行时的基本方程式	52	4.4 三相异步电动机的启动、制动和 调速	95
3.3.3 等效电路	53	4.4.1 三相异步电动机的启动	95
3.4 变压器的参数测定	55	4.4.2 三相异步电动机的反转 与制动	101
3.4.1 空载试验	55	4.4.3 三相异步电动机的调速	102
3.4.2 三相变压器的短路试验	56	4.5 三相异步电动机的铭牌 及类型	107
3.5 变压器的运行特性	58	4.5.1 三相异步电动机的铭牌	107
3.5.1 外特性与电压变化率	58	4.5.2 三相异步电动机的类型	110
3.5.2 变压器的损耗与效率	58	4.6 三相异步电动机的检修	111
3.6 三相变压器	59	4.6.1 三相异步电动机的故障 分析	111
3.6.1 磁路系统	60	4.6.2 电动机机械故障的排除 方法	114
3.6.2 单相变压器的极性	60	4.6.3 定子绕组故障的排除	117
3.6.3 三相变压器的连接组别	61	4.6.4 转子绕组故障的排除	122
3.7 变压器的并联运行	63	4.6.5 三相异步电动机的试验	124
3.7.1 并联运行的优点	63	4.7 单相异步电动机	125
3.7.2 并联运行的条件	64	4.7.1 单相异步电动机的基本 结构	125
3.8 其他用途变压器	65	4.7.2 工作原理	126
3.8.1 自耦变压器	65	4.7.3 单相异步电动机的调速	126
3.8.2 仪用变压器	67	4.8 三相交流电动机的特性测试 及启动控制实验	128
3.8.3 电焊变压器	71	4.8.1 测定定子绕组的冷态直流 电阻	128
3.8.4 小功率电源变压器	72	4.8.2 判定定子绕组的首末端	129
本章小结	72		
思考与练习	72		
第4章 三相异步电动机	74		
4.1 三相异步电动机的结构与 工作原理	74		
4.1.1 三相异步电动机的结构	74		
4.1.2 三相异步电动机的工作 原理	77		
4.2 三相异步电动机的定子绕组	79		
4.2.1 概述	79		

4.8.3 空载实验	129
4.8.4 负载实验	130
4.8.5 实验数据处理	130
本章小结	131
思考与练习	132
第 5 章 同步电动机	134
5.1 同步电动机的基本工作	
原理和结构	134
5.1.1 同步电动机的基本结构	134
5.1.2 工作原理	135
5.2 同步电动机的电路分析	135
5.2.1 电枢反应	135
5.2.2 电压平衡关系	136
5.3 同步电动机的功角特性	137
5.4 同步电动机的功率因数调节	138
5.5 同步电动机的启动	139

本章小结	139
思考与练习	140
第 6 章 控制电机	141
6.1 伺服电动机	141
6.1.1 直流伺服电动机	142
6.1.2 交流伺服电动机	143
6.2 测速发电机	146
6.2.1 直流测速发电机	146
6.2.2 交流测速发电机	148
6.3 步进电动机	150
6.4 自整角机和旋转变压器	153
6.4.1 自整角机	153
6.4.2 旋转变压器	155
本章小结	156
思考与练习	157
参考文献	158

第 1 章

绪论

1.1

电机及电力拖动简介

电机在现代化工农业生产、交通运输、科学技术、信息传输、国防建设以及日常生活等各个领域获得了广泛的应用。电机是生产、传输、分配及应用电能的主要设备。电力拖动系统则是现代化生产过程中,为了实现各种工艺过程所必不可少的传动系统,是生产过程电气化、自动化的重要前提。

1802 年奥斯特发现了电流在磁场中受力的物理现象,随后由安培对这种现象进行了科学的总结,发现了磁路定律及全电流定律。在此基础上人们在实验室里制成了直流电动机的模型。1831 年法拉第发现了电磁感应定律,为生产制造各种发电机提供了依据。随后制成了直流发电机,替换了价格昂贵的电池,为直流电动机的广泛应用提供了电源。可见在电机与电力拖动发展史上首先得到应用的是直流电机。1871 年凡麦尔发明了交流发电机。1878 年亚布洛契可夫用交流发电机和变压器为他发明的照明装置供电。1885 年意大利物理学家费拉利斯发现了两相电流可以产生旋转磁场。一年以后费拉利斯和在美国的坦斯拉几乎同时制成了两相感应电动机的模型。

1888 年多里沃多勃罗沃尔斯提出了三相制,并制成了三相感应电动机,奠定了三相电路和三相电机的基础。此后三相交流电迅速地发展起来,到 20 世纪初,各种三相交流电动机均已设计制造成功。进入 20 世纪以后,人们在降低电机成本、减小电机尺寸、提高电机性能、选用新型电磁材料、改进电机生产工艺等方面进行了大量工作,使现代电机与本世纪初的电机有了很大差别。

我国的电机工业,从新中国成立以来的 50 多年间,建立了独立自主的完整体系。早在 1965 年我国就研制成功当时世界上第一台 125kW 双水内冷汽轮发电机,显示了我国电机工业的迅速崛起。近些年来,随着对电机新材料的研究,以及在电机设计、制造工艺中计算机技术的广泛应用,普通电机的性能更好、运行更可靠;而控制电机的高可靠性、高精度、快速响应使控制系统能完成各种人工无法完成的快速复杂的精巧工作。

在现代化工业生产过程中,为了实现各种生产工艺过程,需要使用各种各样的生产机械,拖动各种生产机械运转,可以采用气动、液压传动和电力拖动。由于电力拖动具有控制简单、

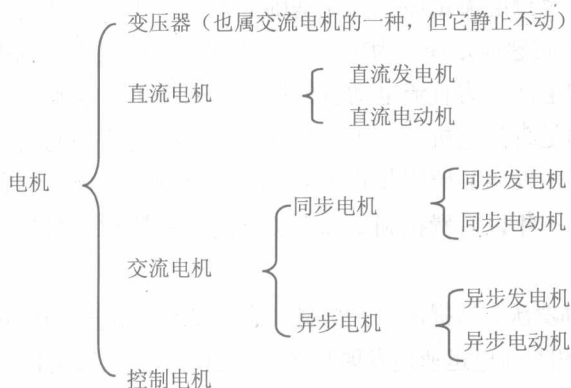
调节性能好、损耗小、经济、能实现远距离控制和自动控制等一系列优点,所以大多数生产机械均采用电力拖动。按照电动机种类的不同,电力拖动系统分为直流电力拖动系统和交流电力拖动系统两大类。

在电力拖动的发展过程中,交、直流两种拖动方式并存于各生产领域,各时期科学技术的发展水平不同,它们所处的地位也有所不同。在交流电出现以前,直流电力拖动是唯一的一种电力拖动方式。随着经济实用交流电动机的研制成功,交流电力拖动在工业中得到了广泛应用。但是随着生产技术的发展,特别是精密机械加工与冶金工业生产过程的进步,对电力拖动启动、制动、正反转以及调速提出了新的、更高的要求。由于交流电力拖动比直流电力拖动在技术上难以实现这些要求,所以 20 世纪以来,在可逆、可调速与高精度的拖动领域中,在相当长一个时期内几乎都是采用直流电力拖动,而交流电力拖动则主要用于恒转速系统。

虽然直流电动机具有调速性能优异这一突出优点,但是由于它具有电刷与换向器,这使得它的故障率较高,电动机的使用环境受到限制(如不能在有易燃、易爆气体及尘埃多的场合使用),其电压等级、额定转速、单机容量的发展也受到限制,所以在 20 世纪 60 年代以后,随着电力电子技术的发展,交流调速的不断进步和完善,在调速性能方面由落后状态直到可与直流调速相媲美。今天,交流调速在很多场合已取代直流调速。在不远的将来,交流调速将完全取代直流调速,可以说这是一种必然的发展趋势。

电机是利用电磁感应原理工作的机械,它应用广泛、种类繁多、性能各异。按功能用途分,可分为发电机、电动机、变压器和控制电机 4 大类;按照电机的结构或转速分类,可分为变压器和旋转电机,旋转电机又分为直流电机和交流电机两大类。交流电机又分为同步电机和异步电机两类。

综合以上分类方法,可归纳如下:



1.2

本课程的性质、任务和内容

本课程是电气自动化控制、供用电技术和机电一体化等专业的一门专业基础课。它是将“电机学”、“电力拖动”和“控制电机”等课程有机结合而成的一门课。本课程的任务是使学生掌

握变压器、交直流电机及控制电机的基本结构和工作原理以及电力拖动系统的运行性能、基本分析计算、电机选择及实验方法,为学习后续课程和今后的工作打下必要的基础,同时也培养学生在电机及电力拖动方面分析和解决问题的能力。本课程的内容有直流电机,直流电动机的电力拖动,变压器,三相交流异步电动机,三相交流异步电动机的电力拖动,单相异步电动机,同步电机,控制电机,电动机的选择等。

1.3

本课程的特点及学习方法

本课程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较多,是电学、磁学、动力学、热学等传统学科知识的综合应用,而分析各种电机及拖动的实际问题时,必须结合电机的具体结构,采用工程观点和工程分析方法。因此要求学生在掌握基本理论的同时,还要注意培养实验操作技能和计算能力,鉴于以上原因,学习时应注意以下几点。

- (1) 要抓住重点,即应牢固掌握基本概念、基本原理和电机的主要特性。
- (2) 要有良好的学习方法,例如可运用对比的学习方法,找出各种电机的共性和差别,以加深对各种电机及拖动系统性能和原理的理解。
- (3) 学习时要理论联系实际,重视实验和到工厂实践。
- (4) 要站在应用的角度看电机,把电机视为拖动系统中的一个器件来学习,不宜过多地耗于电机的内部电磁关系。

第2章

直流电动机

常见的旋转电机可以分为交流电机和直流电机两大类。直流电机包括直流发电机和直流电动机。直流电动机与交流电动机相比，它的主要优点是具有良好的启动性能和调速性能，这些优点对某些生产机械的拖动是十分重要的，例如市区的无轨电车、电力机车、造纸设备或印刷机械等，大多用直流电动机来拖动。在自动控制系统中，小容量的直流电动机的应用也很广泛。直流电机的缺点是制造工艺复杂，消耗有色金属较多，生产成本较高，运行可靠性差，维护比较困难，且运行中还会出现换向火花，因而在很多场合其使用受到限制，如易燃易爆等场合。

直流电动机同时也是一种可逆电机，能够实现发电机运行状态。当用原动机拖动时，直流电动机也可以作为直流发电机使用，尽管当前大功率晶闸管（如电压型器件 IGBT）的整流效率高，运行成本低，但在一些纹波系数要求较高的场合，直流发电机还在继续使用。

随着交流调速的广泛应用，特别是变频调速技术的飞速发展，与直流调速比较，交流调速具有经济、易于维护、场地要求低和调速性能好等优点，在许多领域中交流电动机有逐渐替代直流电动机的趋势。

2.1

直流电动机的结构、基本工作原理及分类

2.1.1 直流电机的基本结构

直流电动机由定子（固定不动）与转子（旋转）两大部分组成，定子与转子之间有空隙，称为气隙。定子部分包括机座、主磁极、换向磁极、端盖、电刷等装置；直流电动机转子部分产生感应电动势及电磁转矩，因而称为电枢，转子部分包括电枢铁心、电枢绕组、换向器、转轴、风扇等部件。直流电动机的结构如图 2.1 所示。

1. 定子部分

(1) 机座

机座既可以固定主磁极、换向磁极、端盖等，又是电机磁路的一部分（称为磁轭）。机座一般用铸钢或厚钢板焊接而成，具有良好的导磁性能和机械强度。

(2) 主磁极

主磁极的作用是产生气隙磁场，由主磁极铁心和主磁极绕组（励磁绕组）构成，如图 2.2 所示。主磁极铁心一般由 $0.5 \sim 1.0\text{mm}$ 厚的低碳钢板冲片叠压而成，包括极身和极靴两部分。极靴做成圆弧形，以使磁极下气隙磁通较均匀。极身上面套有励磁绕组，绕组中通入直流电流。整个磁极用螺钉固定在机座上。励磁绕组的两个出线端引到接线盒，以便外接直流励磁电源。改变励磁电流的方向，就可以改变主磁场的方向，也就是说可以改变直流电动机的旋转方向，即直流电动机的转向。

(3) 换向磁极

换向磁极是为改善直流电动机的换向要求而设计的磁极，换向磁极由铁心和套在铁心上的绕组构成，如图 2.3 所示。换向磁极铁心一般用整块钢制成，如换向要求较高，则用 $0.5 \sim 1.0\text{mm}$ 厚的钢板叠压而成，其绕组中流过的是电枢电流，可以有效抑制由于电枢电流的变化而造成电抗电势变化，从而使换向条件得到有效的改善，减少由于直流电动机的换向而造成的换向火花。换向磁极装在相邻两主极之间的几何中性线上，用螺钉固定在机座上。换向磁极绕组的匝数不多，由于通过的是电枢电流，故多用扁平铜线绕制。

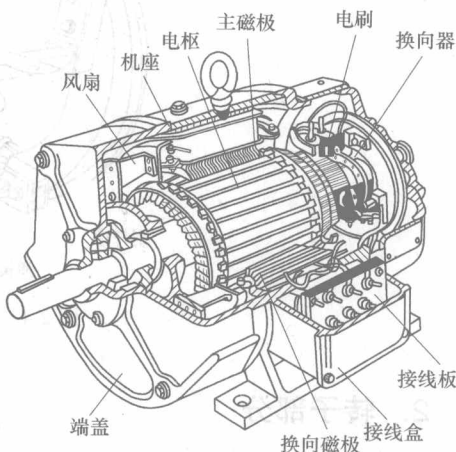


图 2.1 直流电动机的基本结构

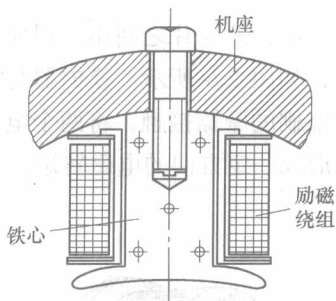


图 2.2 直流电动机的电枢绕组

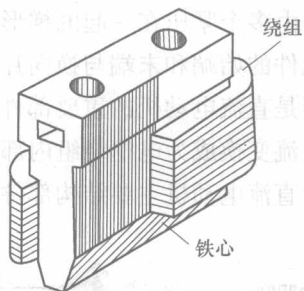


图 2.3 直流电动机的换向绕组

(4) 电刷装置

电刷与换向器配合可以把转动的电枢绕组电路和外电路连接，并把电枢绕组中的交流量转变成电刷端的直流量。电刷装置由电刷、刷座、刷杆、刷杆座构成，如图 2.4 所示。电刷组的个数，一般等于主磁极的个数。

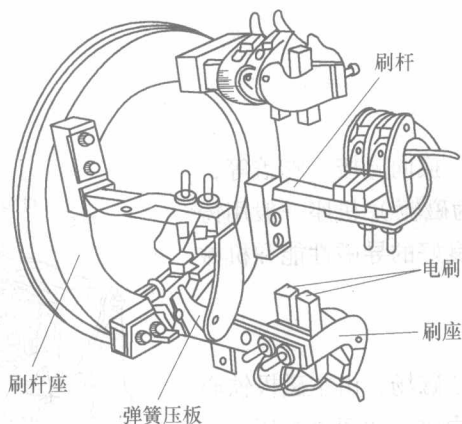


图 2.4 直流电动机的电刷装置

2. 转子部分

(1) 电枢铁心

电枢铁心是电机磁路的一部分，其外圆周开槽，用来嵌放电枢绕组。为了减少涡流损耗，电枢铁心一般用 0.5mm 厚、两边涂有绝缘漆的硅钢片冲片叠压而成，如图 2.5 (a) 所示。电枢铁心固定在转轴或转子支架上。铁心较长时，为加强冷却，可把电枢铁心沿轴向分成数段，段与段之间留有通风孔。电枢铁心除了能嵌放电枢绕组外，它还是直流电动机主磁路的一个重要组成部分。

(2) 电枢绕组

电枢绕组是直流电机的主要组成部分，其作用是产生感应电动势，通过电枢电流，产生转动转矩，它是电机实现机电能量转换的关键。通常用绝缘导线绕成的线圈（或称元件）按一定规律连接而成。线圈用带有绝缘的圆形或矩形截面的导线绕成，嵌放在电枢铁心周围的槽内。

(3) 换向器

换向器是由多个紧压在一起的梯形铜片构成的一个圆筒，片与片之间用一层薄云母绝缘，电枢绕组各元件的始端和末端与换向片按一定规律连接，如图 2.6 所示。换向器与转轴固定在一起。换向器是直流电动机的重要部件，换向器通过与电刷的摩擦接触，将两个电刷之间固定极性的直流电流变换成为电枢绕组内部的交流电流，并形成一定方向的电磁转矩。

下面列出直流电动机主要结构部件组成。

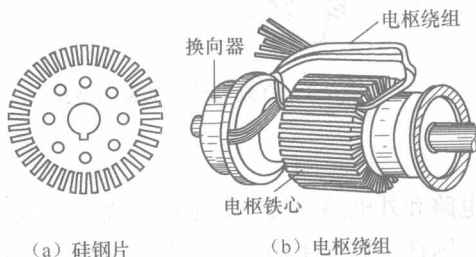


图 2.5 直流电动机的电枢铁心和绕组

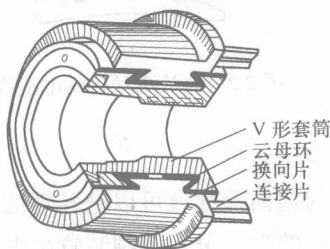


图 2.6 换向器