

21世纪全国高职高专机电系列实用规划教材



21st CENTURY

实用规划教材

电机与拖动

主 编 梁南丁 滕颖辉
副主编 刘万友 杨秋鸽



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国高职高专机电系列实用规划教材

电机与拖动

主 编	梁南丁	滕颖辉	
副主编	刘万友	杨秋鸽	
参 编	张荣花	王春莹	叶 虹



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书根据高等职业教育人才培养特色的要求,将电机学、电力拖动、控制电机和实验实训等内容有机整合为一体。全书共分为10章,内容包括绪论、直流电机、直流电动机的电力拖动、变压器、异步电动机、三相异步电动机的电力拖动、同步电动机、控制电机、电力拖动系统电动机的选择和电动机综合实践训练。

本书可作为高职高专院校电子信息类、机电类专业的教材,也可作为成人教育和继续教育的教材,还可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电机与拖动/梁南丁,滕颖辉主编. —北京:北京大学出版社,2009.7

(21世纪全国高职高专机电系列实用规划教材)

ISBN 978-7-301-12389-8

I. 电… II. ①梁…②滕… III. ①电机-高等学校:技术学校-教材②电力传动-高等学校:技术学校-教材 IV. TM3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 083343 号

书 名: 电机与拖动

著作责任者: 梁南丁 滕颖辉 主编

责任编辑: 赖 青

标准书号: ISBN 978-7-301-12389-8/TM·0013

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电子邮箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 北京飞达印刷有限责任公司

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 20.25 印张 468 千字

2009 年 7 月第 1 版 2009 年 7 月第 1 次印刷

定 价: 32.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

《21 世纪全国高职高专机电系列实用规划教材》

专家编审委员会

主 任 傅水根

副主任 (按拼音顺序排名)

陈铁牛	李 辉	刘 涛	祁翠琴
钱东东	盛 健	王世震	吴宗保
张吉国	郑晓峰		

委 员 (按拼音顺序排名)

蔡兴旺	曹建东	柴增田	程 艳
丁学恭	傅维亚	高 原	何 伟
胡 勇	李国兴	李源生	梁南丁
刘靖岩	刘瑞己	刘 铁	卢菊洪
马立克	南秀蓉	欧阳全会	钱泉森
邱士安	宋德明	王世辉	王用伦
王欲进	吴百中	吴水萍	武昭辉
肖 珑	徐 萍	喻宗泉	袁 广
张 勤	张西振	张 莹	周 征

丛书总序

高等职业技术教育是我国高等教育的重要组成部分。从 20 世纪 90 年代末开始,伴随我国高等教育的快速发展,高等职业技术教育也进入了快速发展时期。在短短的几年时间内,我国高等职业技术教育的规模,无论是在校生数量还是院校的数量,都已接近高等教育总规模的半壁江山。因此,高等职业技术教育承担着为我国走新型工业化道路、调整经济结构和转变增长方式提供高素质技能型人才的重任。随着我国经济建设步伐的加快,特别是随着我国由制造大国向制造强国的转变,现代制造业急需高素质高技能的专业人才。

为了使高职高专机电类专业毕业生满足市场需求,具备企业所需的知识能力和专业素质,高职高专院校的机电类专业根据市场和社会需要,努力建立培养企业生产第一线所需的高等职业技术应用型人才的教学体系和教材资源环境,不断更新教学内容,改进教学方法,积极探讨机电类专业创新人才的培养模式,大力推进精品专业、精品课程和教材建设。因此,组织编写符合高等职业教育特色的机电类专业规划教材是高等职业技术教育发展的需要。

教材建设是高等学校建设的一项基本内容,高质量的教材是培养合格人才的基本保证。大力发展高等职业教育,培养和造就适应生产、建设、管理、服务第一线需要的高素质技能型人才,要求我们必须重视高等职业教育教材改革与建设,编写和出版具有高等职业教育自身特色的教材。近年来,高职教材建设取得了一定成绩,出版的教材种类有所增加,但与高职发展需求相比,还存在较大的差距。其中部分教材还没有真正过渡到以培养技术应用能力为主的体系中来,高职特色反映也不够,极少数教材内容过于浅显,这些都对高职人才培养十分不利。因此,做好高职教材改革与建设工作刻不容缓。

北京大学出版社抓住这一时机,组织全国长期从事高职高专教学工作并具有丰富实践经验的骨干教师,编写了高职高专机电系列实用规划教材,对传统的课程体系进行了有效的整合,注意了课程体系结构的调整,反映系列教材各门课程之间的渗透与衔接,内容合理分配;努力拓宽知识面,在培养学生的创新能力方面进行了初步的探索,加强理论联系实际,突出技能培养和理论知识的应用能力培养,精简了理论内容,既满足机械类专业对理论、技能及其基础素质的要求,同时提供选择和创新的空間,以满足学有余力的学生进修或探究学习的需求;对专业技术内容进行了及时的更新,反映了技术的最新发展,同时结合行业的特色,缩短了学生专业技术技能与生产一线要求的距离,具有鲜明的高等职业技术人才培养特色。

最后,我们感谢参加本系列教材编著和审稿的各位老师所付出的大量卓有成效的辛勤劳动,也感谢北京大学出版社的领导和编辑们对本系列教材的支持和编审工作。由于编写的时间紧、相互协调难度大等原因,本系列教材还存在一些不足和错漏。我们相信,在使用本系列教材的教师的关心和帮助下,不断改进和完善这套教材,使之成为我国高等职业技术教育的教学改革、课程体系建设和教材建设中的优秀教材。

《21 世纪全国高职高专机电系列实用规划教材》

专家编审委员会

2007 年 7 月

前 言

本书是根据高等职业教育的特点、面向 21 世纪科技发展的需要以及课程体系改革与建设的要求而组织编写的。在内容上突出先进性、应用性和针对性，注重培养学生分析工程问题、解决实际问题的能力。教材体系新颖，内容可选择性强。

本书具有以下特点。

(1) 本书可作为工学结合的实用教材，通过理论与实践的有机结合，实现“教、学、做”一体化。

(2) 本书将电机学、电力拖动、控制电机和实验实训等内容有机结合为一体，课程内容覆盖面广、适用性强。

(3) 本书在编写思路坚持理论“少而精，够用为度”，实践“重技能，满足就业需求”的原则，在主要章节中都有对应的实验实训内容，并在教材的最后设置电机综合实践训练突出学生综合实践能力的培养，为学生毕业后从事电机维护维修职业打下坚实的基础。

本书共分为 10 章，内容包括绪论、直流电机、直流电动机的电力拖动、变压器、异步电动机、三相异步电动机的电力拖动、同步电动机、控制电机、电力拖动系统电动机的选择和电动机综合实践训练等。

章目	章目内容	建议学时	课内实验实训学时	总学时
第 0 章	绪论	2	0	2
第 1 章	直流电机	10	2	12
第 2 章	直流电动机的电力拖动	6	2	8
第 3 章	变压器	10	2	12
第 4 章	异步电动机	10	4	14
第 5 章	三相异步电动机的电力拖动	8	4	12
第 6 章	同步电动机	6	0	6
第 7 章	控制电机	6	0	6
第 8 章	电力拖动系统电动机的选择	4	0	4
第 9 章	电动机综合实践训练	16	0	16
合计		78	14	92

本书由梁南丁、滕颖辉任主编，刘万友、杨秋鸽任副主编。具体编写分工如下：平顶

山工业职业技术学院梁南丁(绪论,第1章,第4章第7、8节),张荣花(第4章第1~6节、第6章),杨秋鸽(第7章、第8章),王春莹(第9章),衢州学院叶虹(第2章),沈阳农业大学高等职业技术学院滕颖辉(第3章),河南职业技术学院刘万友(第5章)。全书由梁南丁统稿。

本书在编写过程中,查阅和参考了大量的文献资料,在此谨向其作者致以诚挚的谢意!

由于编者水平有限,书中难免有不足之处,恳请读者给予批评指正。

编 者
2009年2月

目 录

第 0 章 绪论	1	3.8 变压器的并联运行	97
0.1 电机及电力拖动概述	1	3.9 特种变压器	99
0.2 本课程的性质、任务和内容	2	3.10 变压器的技能训练	101
0.3 本课程的特点及学习方法	2	本章小结	111
第 1 章 直流电机	3	思考题与习题	112
1.1 直流电机的工作原理	3	第 4 章 异步电动机	115
1.2 直流电机的磁场	11	4.1 三相异步电动机的工作原理	115
1.3 直流电机的感应电动势和 电磁转矩	17	4.2 三相异步电动机的基本结构	121
1.4 直流电动机的工作特性	19	4.3 三相异步电动机的运行原理	133
1.5 直流电机的检修及常见 故障的处理方法	24	4.4 三相异步电动机的功率与 转矩	141
本章小结	35	4.5 三相异步电动机的工作特性及 参数的测定	143
思考题与习题	36	4.6 单相异步电动机	147
第 2 章 直流电动机的电力拖动	37	4.7 异步电动机绕组的故障检修	151
2.1 电力拖动系统的运动方程式和 负载转矩特性	37	4.8 异步电动机空载与堵转实验	162
2.2 他励直流电动机的机械特性	41	本章小结	169
2.3 他励直流电动机的启动	47	思考题与习题	170
2.4 他励直流电动机的制动	52	第 5 章 三相异步电动机的 电力拖动	173
2.5 他励直流电动机的调速	57	5.1 三相异步电动机的启动性能	173
2.6 串励及复励直流电动机的 电力拖动	64	5.2 笼型异步电动机的启动	173
2.7 直流电动机启动、调速和 反转实训	69	5.3 三相绕线式异步电动 机的启动	177
本章小结	73	5.4 三相异步电动机的调速	178
思考题与习题	74	5.5 三相异步电动机的制动	184
第 3 章 变压器	77	5.6 电动机的维护及故障处理	187
3.1 变压器的工作原理和结构	77	5.7 三相异步电动机控制电路的 安装与接线	193
3.2 单相变压器的空载运行	78	本章小结	199
3.3 变压器的负载运行	81	思考题与习题	201
3.4 变压器的参数测定	85	第 6 章 同步电动机	203
3.5 标么值	87	6.1 同步电动机的基本结构和 工作原理	203
3.6 变压器的运行特性	90	6.2 同步电动机的应用	205
3.7 三相变压器	92		

本章小结	208	第 8 章 电力拖动系统电动机的	
思考题与习题	208	选择	240
第 7 章 控制电机	209	8.1 电动机类型的选择	240
7.1 伺服电动机	209	8.2 电动机的绝缘等级和工作制	242
7.2 旋转变压器	214	8.3 电动机参数的选择	244
7.3 步进电动机	217	本章小结	249
7.4 直线电动机	222	思考题与习题	249
7.5 测速发电机	224	第 9 章 电动机综合实践训练	250
7.6 自整角机	227	9.1 电动机的安装、使用与维护	250
7.7 微型同步电动机	229	9.2 电动机修复后的性能测试	264
7.8 开关磁阻电动机	235	9.3 电动机下线工艺	280
本章小结	238	参考文献	311
思考题与习题	239		

第 0 章 绪 论

0.1 电机及电力拖动概述

电机是生产、传输、分配及应用电能的主要设备,电力拖动系统是在现代化生产过程中,为了实现各种生产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。因此,电机及电力拖动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极为广泛的应用。

我国的电机工业,经过新中国建立以来 50 多年的发展,已经形成了种类齐全完整体系。早在 1965 年我国就成功研制当时世界上第一台 125kW 双水内冷汽轮发电机,显示了我国电机工业的迅速崛起。近年来,随着对电机新材料的研究并在电机设计、制造工艺中计算机技术的运用,使得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完成各种人工无法完成的快速复杂的精巧工作。

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,分类方法也很多。常见的分类方法为:

按功能用途分,可分为发电机、电动机、变压器和控制电机四大类。

按照电机的结构或转速分类,可分为变压器和旋转电机。根据电源的不同,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。

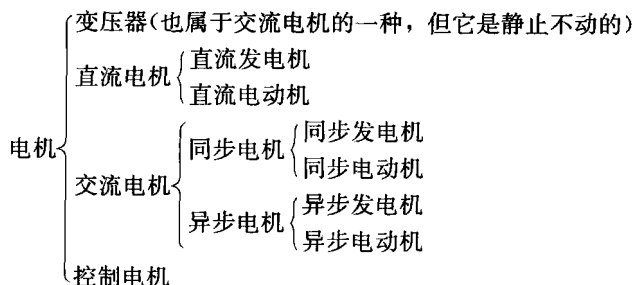
按照电动机的种类不同,电力拖动系统分为直流电力拖动系统和交流电力拖动系统两大类。

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,使交流电力拖动在工业中得到了广泛的应用。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,对电力拖动在启动、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、大规模集成电路和计算机控制技术的发展,为交流电力拖动的广泛应用创造了有利条件。诸如交流电动机的串级调速、各种类型的变频调速、无换向器电动机调速等,使得交流电力拖动逐步具备了宽的调速范围、高的稳态精度、快的动态响应以及在四象限作可逆运行等良好的技术性能,在调速性能方面完全可与直流电力拖动媲美。除此之外,由于交流电力拖动具有调速性能优良、维修费用低等优点,今后将被广泛地应用于各个工业电气自动化领域中,并逐步取代直流电力拖动而成为电力拖动的主

流。在不久的将来，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。

以上分类方法可归纳如下：



0.2 本课程的性质、任务和内容

本课程是电气自动化、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、工作原理以及电力拖动系统的运行性能、基本分析计算、电机选择及故障分析与处理和维修检修工艺，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、异步电动机、异步电动机的电力拖动、同步电机、控制电机、电动机的选择和电动机综合实践训练等。

0.3 本课程的特点及学习方法

电机与电力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、动力学、热学等学科知识的综合，所以理论性较强。在掌握基本理论的同时，还特别注意培养学生的实践操作技能，因此实践性也较强。鉴于以上原因，为学好电机及电力拖动这门课，学习时应注意以下几点：

- (1) 要抓主要矛盾，忽略一些次要因素，抓住问题的本质。
- (2) 要抓住重点，即应牢固掌握基本概念、基本原理和主要特性。
- (3) 要有良好的学习方法，可运用对比的学习方法，找出各种电机的共性和特点，以加深对各种电机及拖动系统性能和原理的理解。
- (4) 要重视每章后的技能训练，做到理论联系实际，教学作为一体。
- (5) 要养成课前预习、课后复习总结的良好学习习惯，特别是对实践性较强的维修工艺更应如此，才能获得好的学习效果。

第 1 章 直流电机

教学提示：电机是一种实现机电能量转换的电磁装置。直流电机按能量转换的方向可分为直流电动机和直流发电机。

与交流电动机比较起来，直流电动机具有良好的调速性能、较大的启动转矩和过载能力，比较容易控制。因此，广泛地应用于对启动和调速性能要求较高的生产机械，如大型起重机、船舶机械、龙门刨床、轧钢机、矿井提升设备、电气机车、纺织机和造纸机等。但同时直流电动机也存在制造工艺复杂，生产成本较高，维修不便，有换向问题等不足。随着近年来电力电子技术的迅速发展，在很多领域内，直流电动机有逐步被交流调速电动机取代的趋势，但它仍将以自身的特点在电力拖动系统中占有重要的地位。

直流发电机供电的质量比一般整流电源好，故在一些特殊工作场所，如大型同步发电机的励磁电源，电解、电镀以及对电源要求特别高的场所，被广泛采用。

本章主要介绍直流电机的基本结构及工作原理。着重讨论了直流电机的磁场分布、感应电动势的产生条件及性质、电磁转矩、电枢反应及其对电机的影响，分析了直流电机的换向过程和各种换向方法以及如何改善直流电机的换向，并且从应用的角度较详细地分析了直流电动机的工作特性。

1.1 直流电机的工作原理

1.1.1 直流电机的工作原理

直流电机的工作原理是基于电磁感应定律和电磁力定律，即绕组切割磁力线产生感应电动势和绕组电流在磁场中受力而产生电磁转矩。

1. 直流发电机的工作原理

图 1.1 所示为直流发电机的物理模型，N 和 S 是一对固定的磁极，为直流发电机的定子。磁极之间有一个可以转动的铁质圆柱体，称为电枢铁心。 $abcd$ 是固定在铁心表面的电枢线圈，线圈和铁质圆柱体是直流发电机可转动部分，称为电机转子。线圈的首末端 a 、 d 分别接到相互绝缘的两个弧形铜片上，弧形铜片称为换向片，它们的组合体称为换向器。在换向器上放置固定不动而与换向片滑动接触的电刷 A 和 B，线圈 $abcd$ 通过换向器和电刷接通外电路。在定子与转子间有间隙存在，称为空气隙，简称气隙。

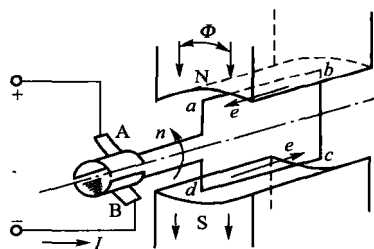


图 1.1 直流发电机的工作原理

在模型中, 当有原动机拖动转子以一定的转速逆时针旋转时, 根据电磁感应定律可知, 导体 ab 和 cd 分别切割 N 极和 S 极下的磁感应线, 将产生感应电动势。感应电动势的方向用右手定则确定。如图 1.1 所示, 导体 ab 在 N 极下, 感应电动势的方向由 b 指向 a ; 导体 cd 在 S 极下, 感应电动势的方向由 d 指向 c , 所以电刷 A 为正极性, 电刷 B 为负极性。当线圈旋转 180° 后, 导体 cd 转至 N 极下, 感应电动势的方向由 c 指向 d , 电刷 A 与 d 所连换向片接触, 仍为正极性; 导体 ab 转至 S 极下, 感应电动势的方向变为 a 指向 b , 电刷 B 与 a 所连换向片接触, 仍为负极性。

由上述分析可知: 虽然直流发电机电枢线圈中的感应电动势的方向是交变的, 但通过换向器和电刷的作用, 电刷 A 的极性总为正, 而电刷 B 的极性总为负, 在电刷两端可获得方向不变的直流电动势。

实际直流发电机的线圈分布于电枢铁心表面的不同位置上, 并按照一定的规律连接起来, 构成电机的电枢绕组。磁极也是根据需要 N、S 极交替放置多对。

2. 直流电动机的工作原理

若把电刷 A、B 接到直流电源上, 电刷 A 接电源的正极, 电刷 B 接电源的负极, 则线圈 $abcd$ 中将有电流流过。此时, 模型作直流电动机运行。

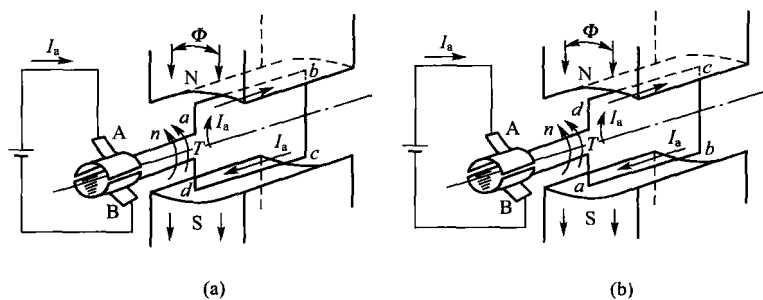


图 1.2 直流电动机的工作原理

如图 1.2(a) 所示, 在导体 ab 中, 电流由 a 流向 b ; 在导体 cd 中, 电流由 c 流向 d 。载流导体 ab 位于 N 极下, cd 位于 S 极下, 均处于 N 和 S 极之间的磁场中, 导体受到电磁力的作用。电磁力的方向用左手定则确定, 该电磁力与转子半径之积即为电磁转矩, 转矩的方向为逆时针方向, 使整个电枢逆时针方向旋转。当电枢旋转 180° , 导体 cd 转到 N 极下, cd 中的电流变为由 d 流向 c ; ab 转到 S 极下, ab 中的电流变为由 b 流向 a , 如图 1.2 (b) 所示。用左手定则判别可知, 电磁转矩的方向仍是逆时针方向, 线圈在此转矩作用下继续按逆时针方向旋转。

由上述分析可知: 虽然导体中流通的电流为交变的, 但由于换向器和电刷的作用, N 极下的导体受力方向和 S 极下导体所受力的方向并未发生变化, 电枢产生的电磁转矩的方向恒定不变, 电动机在此方向不变的转矩作用下转动。

同直流发电机相同, 实际的直流电动机的电枢并非单一线圈, 电枢圆周上均匀地嵌放许多线圈, 相应的换向器由许多换向片组成, 磁极也并非一对。

1.1.2 直流电机的结构

直流电动机和直流发电机在主要结构上基本相同,都由定子和转子两大部分组成。常用的中小型直流电动机结构如图 1.3 和图 1.4 所示。直流电动机主要由定子、转子,电刷装置、端盖、轴承、通风冷却系统等部件组成。

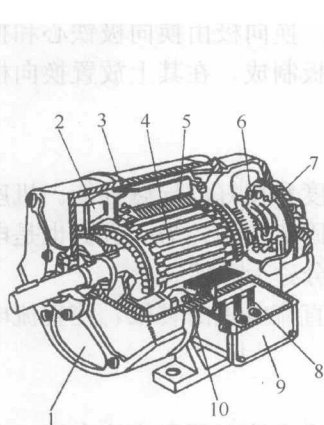


图 1.3 直流电动机基本结构

- 1—端盖; 2—风扇; 3—机座;
4—电枢; 5—主磁极; 6—刷架;
7—换向器; 8—接线板;
9—出线盒; 10—换向磁极

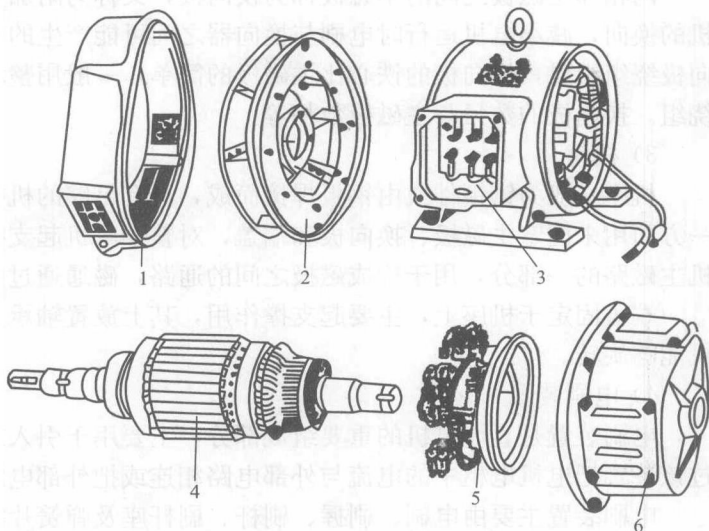


图 1.4 直流电动机的组成部件

- 1—前端盖; 2—风扇; 3—机座; 4—电枢; 5—电刷架; 6—后端盖

1. 定子

定子由机座、主磁极、换向极、电刷装置和端盖等组成,其剖面结构如图 1.5 所示。它的主要作用是产生主磁场和作电机的机械支架。

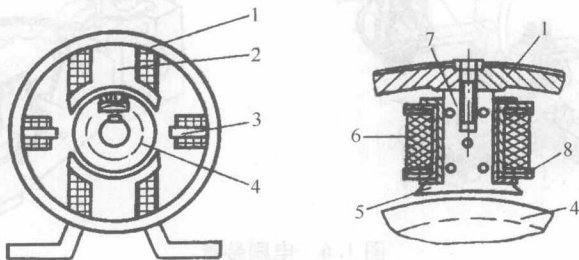


图 1.5 直流电机定子剖面结构

- 1—机座; 2—主磁极; 3—换向极; 4—电枢; 5—极靴;
6—励磁线圈; 7—极身; 8—框架

1) 主磁极

主磁极的作用是产生气隙磁场。主磁极由铁心和励磁绕组两部分组成,通过螺钉固定在机座上,如图 1.5 所示。

为减小涡流损耗,主磁极铁心通常用 1~1.5mm 厚的钢板冲片叠压铆紧而成,上面套

励磁绕组的部分称为极身，下面扩宽的部分称为极靴。极靴的作用是使气隙磁场分布比较理想，同时极靴对励磁绕组也起支撑作用。

励磁绕组是用来产生主磁通的，用绝缘铜线绕制而成。当给励磁绕组通入直流电时，各主磁极均产生一定极性，相邻两主磁极的极性是 N、S 交替出现的。

2) 换向极

两相邻主磁极之间的小磁极称为换向极，又称为附加极或间极，其作用是改善直流电机的换向，减小电机运行时电刷与换向器之间可能产生的火花。换向极由换向极铁心和换向极绕组组成，换向极的铁心比主磁极的简单，一般用整块钢板制成，在其上放置换向极绕组。换向极的数目与主磁极数相等。

3) 机座

机座一般为铸钢件或由钢板焊接而成，具有足够的机械强度和良好的导磁性能。机座一方面用来固定主磁极、换向极和端盖，对整个电机起支撑和固定作用；另一方面也是电机主磁路的一部分，用于构成磁极之间的通路，磁通通过的部分称为磁轭。

端盖固定于机座上，主要起支撑作用，其上放置轴承支撑直流电机的转轴，使直流电机能够旋转。

4) 电刷装置

电刷装置是直流电机的重要组成部分，主要用于引入或引出直流电压和直流电流，通过该装置把电机电枢中的电流与外部电路相连或把外部电源与电机电枢相连。

电刷装置主要由电刷、刷握、刷杆、刷杆座及弹簧片等组成。电刷一般由导电耐磨的石墨材料制成，放在刷握内，用弹簧压紧，使电刷与换向器之间有良好的滑动接触，如图 1.6 所示。刷握固定在刷杆上，刷杆固定在圆环形的刷杆座上，相互之间绝缘。刷杆座装在端盖或轴承内盖上，可以转动调整电刷在换向器表面上的位置，调好以后加以固定。刷辫的作用是将电流从电刷引入或引出。

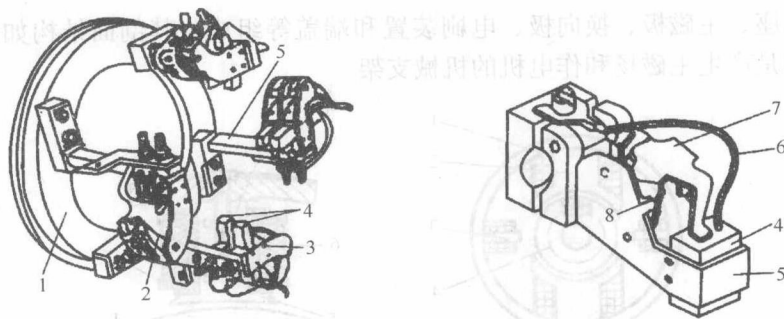


图 1.6 电刷装置

1—刷杆座；2—弹簧压板；3—刷杆；4—电刷；5—刷握；6—刷辫；7—压指；8—弹簧

2. 转子

转子，又称电枢，主要由电枢铁心、电枢绕组、换向器、转轴和风扇等组成。它的作用是产生电磁转矩或感应电动势，实现机电能量的转换。

1) 电枢铁心

电枢铁心是直流电机主磁路的一部分，对放置在其上的电枢绕组起支撑作用。为了减

小涡流和磁滞损耗,电枢铁心常采用 $0.35\sim 0.5\text{mm}$ 厚的相互绝缘的硅钢片冲制叠压而成。有时为了加强电机冷却,在电枢铁心上冲制轴向通风孔,在较大型电机的电枢铁心上还安排有径向通风槽,用通风槽将铁心沿轴向分成数段。电枢铁心沿圆周上有均匀分布的槽用以嵌放电枢绕组,电枢铁心及冲片形状如图1.7所示。

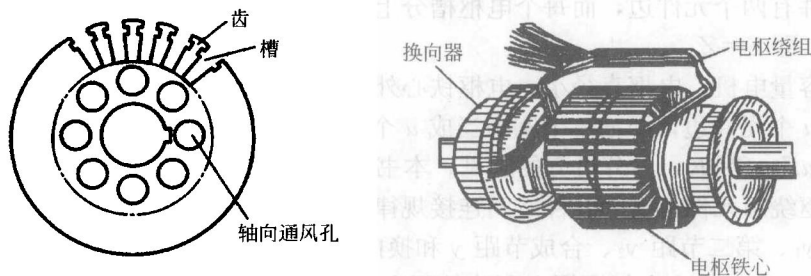


图 1.7 电枢冲片和电枢铁心

2) 电枢绕组

电枢绕组是电机产生电磁转矩和感应电动势,进行能量变换的关键部件。电枢线圈用绝缘的圆铜线或扁铜线绕制成一定的形状,放置于电枢铁心槽中(线圈与槽之间有槽绝缘),并用非磁性槽楔封口,线圈的出线端按一定规律与换向器的换向片相连,构成电枢绕组。直流电机的电枢绕组多为双层绕组,线圈分上下两层嵌入铁心槽内,上下层之间有层间绝缘,如图1.8所示。

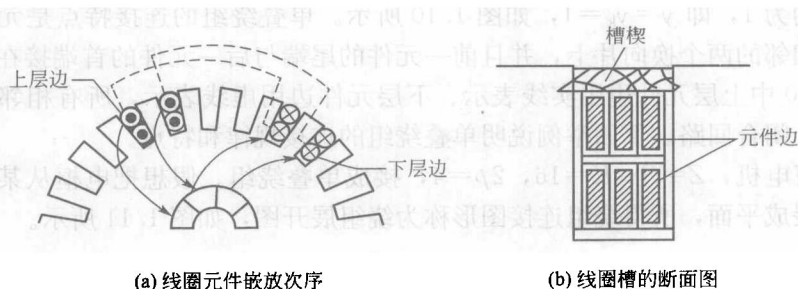


图 1.8 元件边在槽内的放置情况

电枢线圈的边是产生感应电动势和电磁转矩的有效元件,简称元件,元件数用 S 表示。每个元件的首尾端按一定规律与换向片连接,使电枢绕组形成一个闭合绕组。电枢绕组每个元件的匝数 N 可以是单匝,也可以是多匝。按照元件首尾端与换向片连接规律的不同,电枢绕组可分为叠绕组和波绕组,叠绕组又有单叠和复叠之分,波绕组也有单波和复波之分,如图1.9所示。

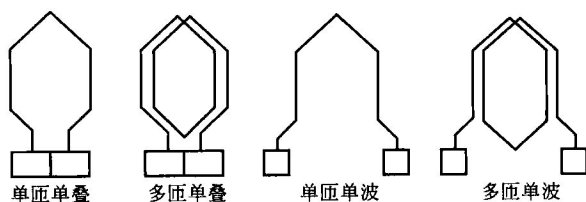


图 1.9 直流电机的绕组

单叠绕组和单波绕组是直流机电枢绕组的基本形式, 由于篇幅有限, 本书只对单叠绕组作详细说明。下面先介绍绕组中常用的基本知识。

每一个元件有两个元件边, 每片换向片又总是接一个元件的上层边和另一元件的下层边, 所以元件数 S 总等于换向片数 K , 即 $S=K$ 。

每个元件有两个元件边, 而每个电枢槽分上下两层嵌放两个元件边, 所以元件数 S 又等于槽数 Z , 即 $S=Z$ 。

对于小容量电机, 电枢直径小, 电枢铁心外圆不宜开太多槽时, 往往在一个槽的上层和下层各放 u 个元件边, 即把一个实槽当成 u 个虚槽使用。虚槽数 Z_u 与实槽数 Z 之间的关系为 $Z_u=uZ=S=K$, 为分析方便起见, 本书中均设 $u=1$ 。

表征电枢绕组元件本身和元件之间连接规律的数据为节距, 直流机电枢绕组的节距有第一节距 y_1 、第二节距 y_2 、合成节距 y 和换向器节距 y_k 四种, 如图 1.10 所示。

极距 τ : 一个磁极在电枢圆周上所跨的距离。

第一节距 y_1 : 元件的两条边在电枢表面所跨的距离, 用两条边所跨的槽数表示。

第二节距 y_2 : 第一个元件的下层边与直接相连的第二个元件的上层边之间在电枢圆周上的距离, 用槽数表示。

合成节距 y : 直接相连的两个元件的对应边在电枢圆周上的距离, 用槽数表示。

换向器节距 y_k : 一个元件的首尾两端所接的两个换向片在换向器圆周上所跨的距离, 用换向片数表示。

叠绕组是后一元件的端接部分紧叠在前一元件的端接部分上。单叠绕组的换向器节距和合成节距均为 1, 即 $y=y_k=1$, 如图 1.10 所示。单叠绕组的连接特点是元件的首尾两端分别接到相邻的两个换向片上, 并且前一元件的尾端与后一元件的首端接在同一换向片上。在图 1.10 中上层元件边用实线表示、下层元件边用虚线表示, 所有相邻元件依次串联, 形成一个闭合回路。下面举例说明单叠绕组的连接规律和特点。

一台直流电机, $Z=S=K=16$, $2p=4$, 接成单叠绕组。假想把电枢从某一齿的中间沿轴向切开展成平面, 所得绕组连接图图形称为绕组展开图, 如图 1.11 所示。

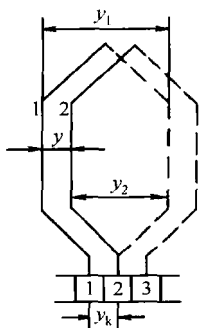


图 1.10 电枢绕组的节距

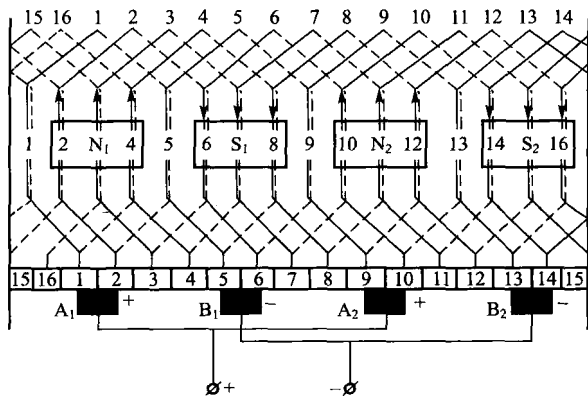


图 1.11 $Z=S=K=16$, $2p=4$ 单叠绕组展开图

保持图 1.11 中各元件的连接顺序不变, 将此瞬间不与电刷接触的换向片省去不画, 可以得到图 1.12 所示的并联支路图。对照图 1.11 和图 1.12, 可以看出单叠绕组的连接规