

21世纪高职高专规划教材 电气、自动化、应用电子技术系列

主 编 陈大力 杨宇
副主编 冯玉贤

电机及拖动基础



清华大学出版社

21世纪高职高专规划教材 电气、自动化、应用电子技术系列

电机及拖动基础

主 编 陈大力 杨宇



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书的主要内容包括直流电动机及电力拖动基础知识、直流电动机的技术参数、直流电动机的维护与维修、变压器、变压器的技术参数及维修与维护、三相异步电动机、三相异步电动机的技术参数及维修维护、稀土永磁电机、维修电工(中、高级)相关试题。

本书适合作为高职高专院校的工科电气类、机电类、自控类等各个专业电机及拖动基础的教材,也适合作为维修电工(中、高级)培训的配套教材。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电机及拖动基础/陈大力,杨宇主编. —北京:清华大学出版社,2010.9

(21世纪高职高专规划教材.电气、自动化、应用电子技术系列)

ISBN 978-7-302-23102-8

I. ①电… II. ①陈… ②杨… III. 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. ①TM3 ②TM921

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第113961号

责任编辑:贺志洪

责任校对:刘 静

责任印制:孟凡玉

出版发行:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社 总 机:010-62770175

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

地 址:北京清华大学学研大厦A座

邮 编:100084

邮 购:010-62786544

印 装 者:北京市清华园胶印厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260

印 张:13.25

字 数:304千字

版 次:2010年9月第1版

印 次:2010年9月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:25.00元

产品编号:039012-01

前 言

电机及拖动基础

电机及拖动基础是工业自动化、机电一体化、检测技术、供用电技术等电类专业一门非常重要的专业基础课。在专业学科体系中电机作为控制对象是交直流调速系统、可编程控制器、电气控制等课程的前序课,对理论知识要求较高;而在维修电工(中、高级)职业技能鉴定应知考试中对电动机维修、维护等应用占有相当大的比重。如何将二者有机地融合在一起是我们重点解决的问题。

为此本书在内容的选择方面,以维修电工(中、高级)职业技能鉴定应知的要求为基础,以“必须、够用”为原则,讲清原理、突出基本概念、强调关键技术,简化理论证明和公式推导,同时兼顾电机及变压器在工程中实用的理论知识;在习题选择方面,以维修电工(中、高级)应知题库为基础,精选了部分习题。所选习题以填空、选择、判断、问答、计算等题型为主,方便了教师教学,并为学生职业技能鉴定考证打下了坚实的基础。

针对高职学生做一线技术员或一线设备营销员较多的就业特点,对直流电动机、变压器、交流电动机的主要系列及技术参数进行了详细介绍,目的是增强学生对相关技术指标的了解,以适应企业对相关行业设备营销、技术管理等方面人才的需求,同时也提高了学生对该课程的认知度。本书增加了电动机和变压器的拆装、故障分析、维修、维护等实际案例,并注重用理论知识指导故障分析,尽量用理论联系实际的方式弥补学生实际维修、维护经验的不足,为学生以后从事一线技术工作发展打下坚实的基础。

稀土永磁电机技术发展非常迅速,尤其是新型无铁芯钕铁硼永磁电机是稀土电磁电机的发展方向,同时符合我国节能减排的产业政策调整,为此教材中专门对其进行了介绍。

为了让学生在以后的工作中依然能够得到电动机和变压器相关技术资料、熟悉产业发展状况、享受动态信息,本书在附录提供了电动机和变压器的权威行业综合网站、行业内龙头生产企业网站、精华技术论坛、电气工程师博客、国家级精品课程网站等的网址。

由于在实际工作中电动机的数量和用途远远大于发电机,所以本书主要介绍的是直流电动机和交流电动机。本书的主要内容包括直流电动机及电力拖动基础知识、直流电动机的技术参数、直流电动机的维护和维修、变压器、变压器的技术参数及维修与维护、三相异步电动机、三相异步电动机的技术参数及维修维护、稀土永磁电机、维修电工(中、高级)相关试题。

本书第1章由陈大力、杨宇和冯玉贤编写,第4、6、8章及附录由陈大力编写,第5、7章由杨宇编写,第2、3、9章由冯玉贤编写。全书由陈大力统稿,陈大力和杨宇担任主

编,冯玉贤任副主编。在本书编写过程中韶关钢铁集团公司二轧厂王忠连主任工程师为本书提供了相关的技术资料,在此表示衷心的感谢!

在本书的编写过程中参考了相关资料,在此向其作者表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中存在疏漏之处在所难免,敬请各位专家和读者批评指正。

编 者
2010年5月

目 录

电机及拖动基础

绪论	1
第 1 章 直流电动机及电力拖动基础知识	3
1.1 直流电动机的基本工作原理、结构及励磁分类	3
1.1.1 直流电动机的基本工作原理	3
1.1.2 直流电动机的基本结构	4
1.1.3 直流电动机按励磁方式分类	6
1.2 直流电动机的磁场及电枢反应	7
1.3 直流电动机的电枢绕组简介	9
1.3.1 直流电动机的电枢绕组简介	9
1.3.2 单叠绕组并联支路图	10
1.4 直流电动机换向及改善换向条件的方法	13
1.5 直流电动机的电枢电动势、电磁转矩和基本方程式	16
1.6 直流电动机的工作特性和机械特性	19
1.6.1 直流电动机的工作特性	19
1.6.2 直流电动机的机械特性	20
1.7 直流电动机的启动、调速、制动及正反转	21
1.7.1 直流电动机启动	21
1.7.2 直流电动机的调速	22
1.7.3 直流电动机的制动	24
1.7.4 直流电动机的正反转	28
学习小结	28
习题 1	29
第 2 章 直流电动机的技术参数	33
2.1 直流电动机按结构方式分类	33
2.2 直流电动机主要系列	34

2.3	Z2 系列电机的技术参数	35
2.3.1	特点与用途	35
2.3.2	电机性能	36
2.3.3	Z2 系列电动机的技术参数	37
2.3.4	技术参数解析	38
2.4	ZZJ-800 系列直流电机的技术参数	41
2.4.1	特点与用途	41
2.4.2	电机性能	41
2.4.3	ZZJ-800 系列技术数据表	41
2.4.4	技术参数解析	44
	学习小结	48
	习题 2	48
第 3 章	直流电动机的维护与维修	49
3.1	直流电动机的一般维护常识	49
3.1.1	直流电动机拆装	49
3.1.2	直流电动机的维护注意事项	50
3.2	直流电机电刷中性线位置的测定和调整	51
3.2.1	感应法	52
3.2.2	正反转发电机法	52
3.2.3	正反转电动机法	52
3.3	直流电动机的常见故障分析及处理方法	53
3.4	直流电动机的检修	55
3.4.1	电枢绕组故障的检修	55
3.4.2	直流电机励磁绕组故障的检修	57
3.4.3	换向器故障的检修	59
3.5	大型直流电机作业指导书	60
	学习小结	63
	习题 3	64
第 4 章	变压器	66
4.1	变压器的基本工作原理和结构	66
4.1.1	变压器的基本工作原理	66
4.1.2	变压器的基本结构	67
4.2	变压器的空载运行	69
4.2.1	空载运行时的物理情况	69
4.2.2	感应电动势	70
4.2.3	空载电流和空载损耗	71

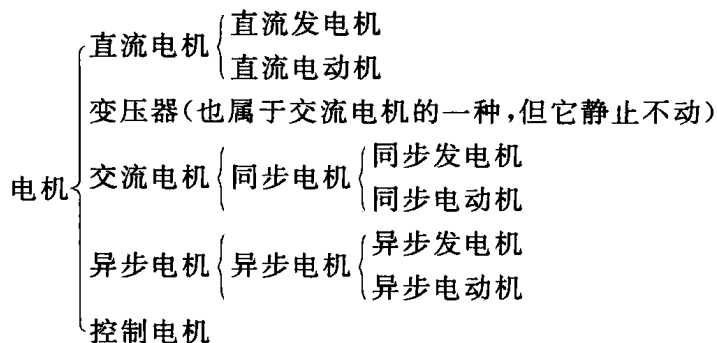
4.2.4	等效电路	72
4.3	变压器的负载运行	72
4.3.1	变压器负载运行的原理	72
4.3.2	负载运行时的基本方程式	73
4.3.3	等效电路	74
4.4	变压器的参数测定	75
4.4.1	空载试验	75
4.4.2	负载试验	76
4.5	变压器的运行特性	77
4.5.1	外特性与电压变化率	77
4.5.2	变压器的损耗与效率	78
4.6	三相变压器	79
4.6.1	三相变压器的磁路系统	79
4.6.2	单相变压器的极性	80
4.6.3	三相变压器的联结组别	81
4.7	变压器的并联运行	83
4.8	自耦变压器	84
4.9	仪用变压器	85
4.9.1	电流互感器	85
4.9.2	电压互感器	87
	学习小结	88
	习题 4	89
第 5 章	变压器的技术参数及维修与维护	91
5.1	变压器的用途和分类	91
5.2	S13-M、RL、S11-M、RL 系列变压器的技术参数	93
5.2.1	变压器的特点与用途	93
5.2.2	产品结构图及技术参数	94
5.2.3	铭牌数据解析	94
5.3	变压器维护与检修	97
5.3.1	运行标准	97
5.3.2	变压器运行中的检查	98
5.3.3	输出电压的调整	99
5.3.4	变压器运行故障的排除方法	99
5.3.5	变压器的拆装检修	100
	学习小结	101
	习题 5	101

第 6 章 三相异步电动机	103
6.1 三相异步电动机的工作原理与结构	103
6.1.1 三相异步电动机的基本原理	103
6.1.2 三相异步电动机的结构	105
6.2 三相异步电动机的定子绕组	108
6.3 三相异步电动机运行时的电磁关系	112
6.3.1 空载运行时的电磁关系	113
6.3.2 负载运行时的电磁关系	114
6.3.3 异步电动机的等效电路图	116
6.3.4 三相异步电动机的功率和转矩	117
6.4 三相异步电动机的机械特性	119
6.5 三相异步电动机的启动	120
6.5.1 笼型异步电动机的启动	120
6.5.2 软启动	123
6.5.3 绕线式异步电动机的启动	124
6.6 三相异步电动机的反转与制动	125
6.7 三相异步电动机的调速	126
6.7.1 变极调速	126
6.7.2 变频调速	127
6.7.3 改变转差率 s 调速	128
学习小结	131
习题 6	132
第 7 章 三相异步电动机的技术参数及维修维护	135
7.1 三相异步电动机的技术参数	135
7.1.1 三相异步电动机的主要型号	135
7.1.2 Y 系列(IP44)小型三相异步电动机的技术参数	137
7.1.3 多速电机: YD 系列变极多速三相异步电动机的技术参数	142
7.1.4 Y/YR 系列(IP23)绕线转子三相异步电动机的技术参数	145
7.1.5 三相异步电动机技术参数解析	147
7.2 三相异步电动机的故障分析、检查和判断	148
7.3 三相异步电动机的常见故障现象及原因	150
7.4 三相异步电动机定子绕组故障检修	152
7.4.1 断路故障的排除	152
7.4.2 短路和绝缘不良的检修	153
7.4.3 短路故障的排除	154
7.4.4 绕组接错与嵌反时的检修	156

7.5 三相异步电动机转子绕组故障检修	157
7.5.1 笼型转子故障的排除	157
7.5.2 绕线转子故障的排除	158
7.6 三相异步电动机的试验	159
学习小结	160
习题 7	161
第 8 章 稀土永磁电机	163
8.1 稀土永磁电机的发展概况	163
8.2 稀土永磁电机的主要特点	164
8.3 永磁无刷电动机	166
8.3.1 永磁无刷直流电动机的结构	166
8.3.2 永磁无刷直流电动机的控制系统	168
8.3.3 典型的 DSP 芯片在无刷电机控制中的应用	169
8.3.4 传感器技术	170
8.4 SYGT53-6 型稀土永磁同步电动机	173
8.5 无铁芯钕铁硼永磁电机	175
学习小结	177
第 9 章 维修电工(中、高级)相关试题	178
9.1 维修电工(中级)相关试题	178
9.2 维修电工(高级)相关试题	191
附录 A 主要符号表	196
附录 B 相关网址	199
参考文献	201

1. 电机及电力拖动概述

电机是一种利用电磁感应和电磁力定律,将能量进行转换的电磁机械装置。它应用广泛,种类繁多,性能各异,一般分为直流电机、交流电机、变压器和控制电机 4 大类。



电机是生产、传输、分配及应用电能的主要设备。在电力、机械、冶金、煤炭、石油、化工、交通、航空、航海、农业灌溉等各个工业领域获得了广泛的应用,同时在品种繁多的家用电器、自动控制技术等领域,各种小功率电机作为检测、随动、执行元件等也起到了重要的作用。

在现代化工业生产过程中,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,大多数生产机械均采用电力拖动系统。电力拖动系统又分为直流电力拖动系统和交流电力拖动系统两大类。直流电力拖动系统主要优点是具有良好的起动性能和调速性能,例如钢铁企业的主轧机、电力机车、造纸设备或印刷机械等,大多采用直流电动机来拖动。所以在可逆、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。但是随着电力电子技术、变频器等技术的不断发展,交流调速系统得到不断的进步和完善,很多大型钢铁、冶金行业近年来已经开始采用交流调速系统代替原有的直流调速系统。可以预见在今后的电力拖动系统的发展过程中交流系统将完全占据主导地位。

2. 本课程的性质、任务和学习方法

本课程是电气自动化、检测技术、供用电技术、机电设备维修和机电一体化等相关电类专业的一门专业基础课。在专业课程体系中是交、直流调速系统的前序课程;在实践教学体系中是维修电工(中、高级)职业技能鉴定中重要的理论知识组成部分。

本课程的任务是使学生掌握直流电动机和拖动基础、直流电动机的技术参数;变压器的基本知识、变压器技术参数;交流电动机和拖动基础、交流电动机的技术参数等。了解直流电动机的维修和维护以及大型电机的作业指导书、变压器和交流电动机的维修维护、稀土永磁电机新技术等内容。

电机及电力拖动基础课程涉及的基础理论和实际知识面较广,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,还要注意培养学生的实践技能和计算能力,因此实践性也较强。所以在学习的过程中应在掌握电机原理的基础上,更多地了解各种电机的型号及技术参数,以及相应的维修和维护知识,扩大知识面。

在学习本课程时还应注意,在电力拖动系统中,电机是被控制的对象,当电机容量较大时,整个控制系统都需要围绕着电机这个核心进行设计,所以我们在学习这门课程的过程中应该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,不宜过多地耗时于电机的内部电磁关系。因此必须理解电机在各方面的受限条件,例如电流上限,电压上限,温度上限,转速上限等。我们必须熟悉各种参数变化对电机性能的影响,以便在给定的工程条件下,最充分的使用各种电机,而又不超出电机的允许极限。

直流电动机及电力拖动基础知识

学习目标

本章内容包括直流电动机及拖动的全部基础知识,要求掌握直流电动机的工作原理、结构、按励磁分类方式、电枢电动势、电磁转矩和基本方程式;熟悉直流电动机的机械特性和启动、制动、调速及正反转;了解直流电动机磁场、电枢反应、电枢绕组、换向及工作特性。

1.1 直流电动机的基本工作原理、结构及励磁分类

常见的旋转电动机可以分为交流电动机和直流电动机两大类。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,例如钢铁企业的主轧机、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。直流电动机的缺点是制造工艺复杂,生产成本较高,且运行可靠性差,维护比较困难,运行时容易出现换向火花,因而在很多使用场合受到限制,如易燃易爆等场合。

1.1.1 直流电动机的基本工作原理

载导体在磁场中会受到作用力,其工作原理可通过直流电动机的简化模型进行说明。

图 1.1 所示是一台两极直流电动机,固定部分由两个主磁极 N 和 S 组成。转动部分由固定在硅钢片叠成的圆柱体铁芯上的一匝线圈 abcd 组成。若把电刷 A、B 接到一直流电源上,电刷 A 接电源的正极,电刷 B 接电源的负极,此时在电枢线圈中将有电流流过。如图 1.1(a)所示,设线圈的 ab 边位于 N 极下,线圈的 cd 边位于 S 极下,则载导体 abcd 在磁场中受到电磁力的作用,电磁力的方向由左手定则判定如图 1.1(a)所示。整个线圈受到一个逆时针方向的转动力矩作用,电动机会沿逆时针方向旋转。从图 1.1(b)中可知,不管转子处于何种位置,同一磁极下的线圈电流方向不变,电动机转子的转动力矩方向不变。电动机便可以通过转轴带动负载进行工作,这就是直流电动机的工作原理。

直流电动机是可逆式电机,当有原动机拖动转子以一定的转速逆时针旋转时,在电刷两端可获得直流电动势输出,成为直流发电机分析方法同直流电动机工作原理。

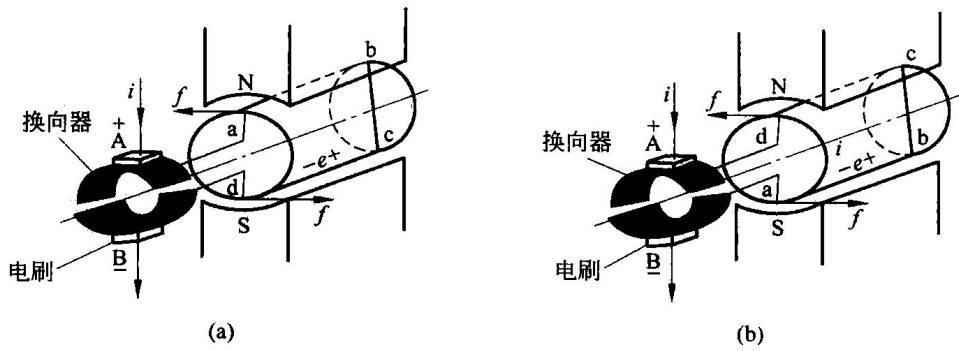


图 1.1 直流电动机模型

1.1.2 直流电动机的基本结构

直流电动机由定子(固定不动)与转子(旋转)(因直流电动机转子部分产生感应电动势及电磁转矩,因而转子又称电枢)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、换向极、端盖、电刷等装置,如图 1.2 所示;转子部分包括电枢铁芯、电枢绕组、换向器、转轴、风扇等部件,如图 1.3 所示。

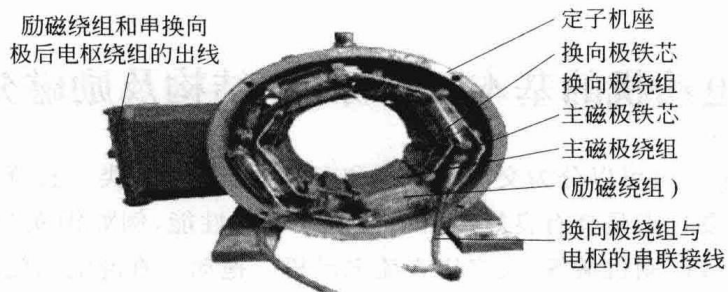


图 1.2 直流电动机定子

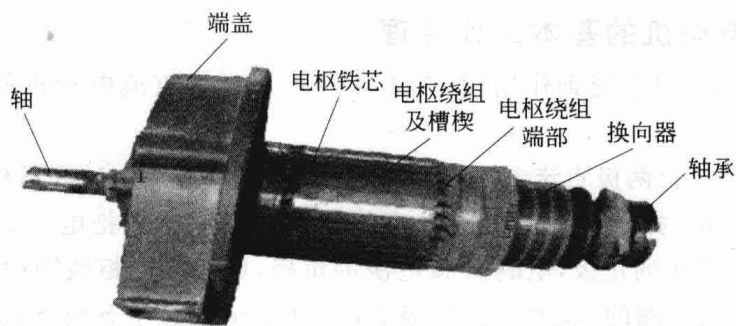


图 1.3 直流电动机转子

1. 定子部分

(1) 机座

机座可以固定主磁极、换向极、端盖等,是电动机磁路的一部分(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

主磁极由主磁极铁芯和主磁极绕组(励磁绕组)构成,如图 1.4 所示。主磁极铁芯一般由 0.5~1.0mm 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,使磁极下气隙磁通较均匀。极身上面套有励磁绕组,整个磁极用螺钉固定在机座上。当励磁绕组中通入直流电流时主磁极产生气隙磁场。一般用“p”来表示主磁极的磁极对数。

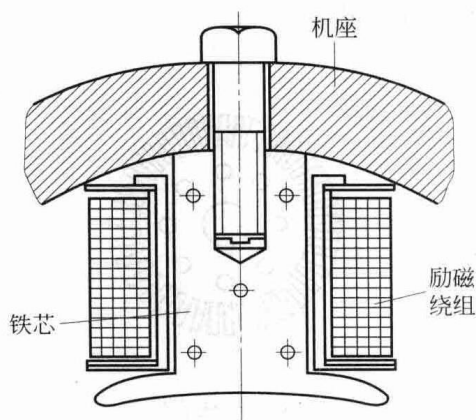


图 1.4 直流电动机的电枢绕组

(3) 换向极

换向极由铁芯和套在铁芯上的绕组构成,如图 1.5 所示。换向极铁芯一般用整块钢制成,如换向要求较高,则用 0.5~1.0mm 厚的钢板叠压而成,其绕组中流过的是电枢电流。换向极装在相邻两主极之间,用螺钉固定在机座上。换向极的作用是改善直流电动机的换向。一般电机容量超过 1kW 时均应安装换向极。

(4) 电刷装置

电刷装置由电刷、刷握、刷杆、刷杆架、弹簧、铜辫等构成,如图 1.6 所示。电刷组的个数,一般等于主磁极的个数。电刷装置把直流电动机外部电源与电枢相连,同时配合换向器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。

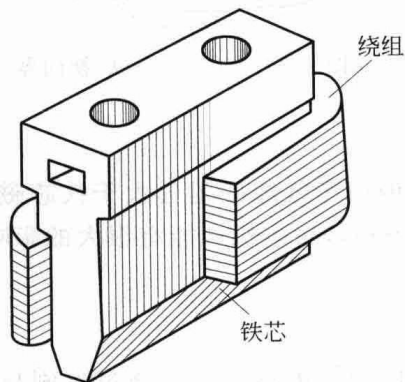


图 1.5 直流电动机的换向绕组

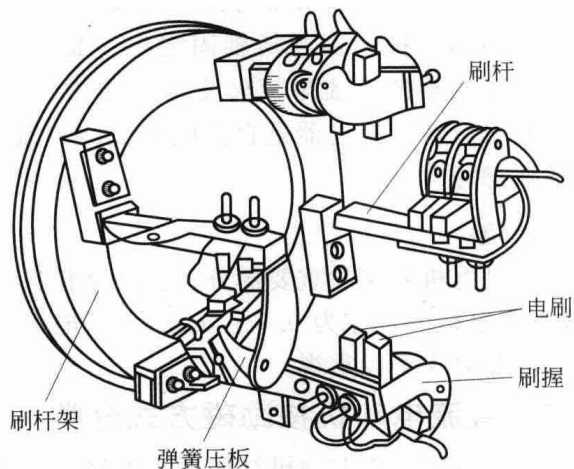


图 1.6 直流电动机的电刷装置

2. 转子部分

(1) 电枢铁芯

电枢铁芯是电机磁路的一部分,其外圆周开槽,用来嵌放电枢绕组。电枢铁芯一般用 0.5mm 厚、两边涂有绝缘漆的硅钢片冲片叠压而成,如图 1.7(a)所示。电枢铁芯固定在转轴或转子支架上。铁芯较长时,为加强冷却,可把电枢铁芯沿轴向分成数段,段与段之

间留有通风孔。

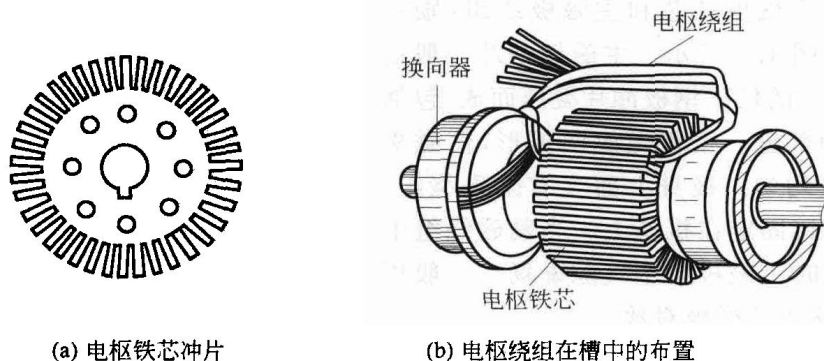


图 1.7 直流电动机的转子

(2) 电枢绕组

电枢绕组是直流电动机的主要组成部分,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,如图 1.7(b)所示。线圈用带有绝缘的圆形或矩形截面的导线绕成,嵌放在电枢铁芯周围的槽内。其作用是产生感应电动势、通过电枢电流,它是电机实现机电能量转换的关键。

(3) 换向器

换向器又称整流子,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 1.8 所示。换向器与转轴固定在一起。换向器作用是把外界供给的直流电流转变为绕组中的交变电流以使电动机旋转。换向器是直流电动机的关键部件,也是最薄弱部分。

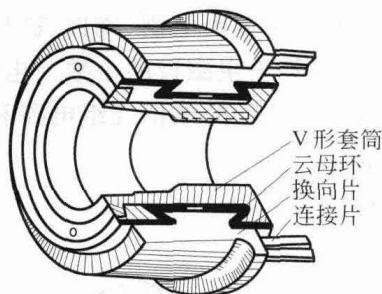


图 1.8 直流电动机的换向器

3. 气隙

气隙是电机磁路的重要部分。它的路径虽然很短,但由于气隙磁阻远大于铁芯磁阻(一般小型电机的气隙为 0.7~5mm,大型电机为 5~10mm),对电机性能有很大的影响。尤其在拆装时应予以重视。

1.1.3 直流电动机按励磁方式分类

本章介绍的直流电动机结构属于电磁式直流电动机,因为电枢绕组是通过电刷与换向器之间的滑动接触与外部电源连接的,所以又被称为“有刷直流电机”。

根据不同的使用要求,电磁式直流电动机的主磁极绕组与电枢绕组连接方式的不同,又可分为他励、并励、串励、复励直流电动机,分别简介如下。

(1) 他励直流电动机

电枢绕组和励磁绕组分别由两个独立的直流电源供电,互相独立,如图 1.9(a)所示。

(2) 并励直流电动机

电枢绕组和励磁绕组并联,由同一电源供电,励磁电压等于电枢电压,电源电流等于

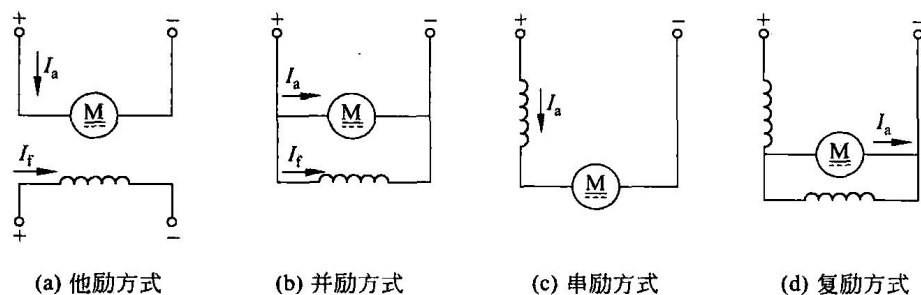


图 1.9 直流电动机的励磁方式

电枢电流和励磁电流之和,如图 1.9(b)所示。

(3) 串励直流电动机

电枢绕组和励磁绕组进行串联,电枢电流等于励磁电流,如图 1.9(c)所示。

(4) 复励直流电动机

电机的励磁绕组分为两部分:并励绕组匝数多而线径细,与电枢绕组并联;串励绕组匝数少,而线径粗,与电枢绕组串联,如图 1.9(d)所示。

1.2 直流电动机的磁场及电枢反应

直流电动机的磁场是由主磁极产生的励磁磁场和电枢绕组电流产生的电枢磁场合成的一个合成磁场,它对直流电动机产生的电动势和电磁转矩都有直接的影响,这种因电枢电流而产生的磁通势对主磁动势分布的影响称为电枢反应。而且直流电动机的运行特性在很大程度上也取决于磁场特性。因此,研究直流电动机的磁场是十分必要的。

1. 直流电动机的空载磁场

直流电动机空载(发电机与外电路断开,没有电流输出;电动机轴上不带机械负载)运行时,其电枢电流等于零或近似等于零。因而空载磁场可以认为仅仅是励磁电流通过励磁绕组产生的励磁磁动势所建立的。图 1.10 是一台四极直流电动机空载时的磁场示意图。当励磁绕组通过 I_f 时,每极的励磁磁动势为

$$F_f = I_f N_f \quad (1-1)$$

式中, N_f 是一个磁极上励磁绕组的串联匝数,励磁磁动势的单位名称为安[培](单位符号为 A),习称“安匝”。

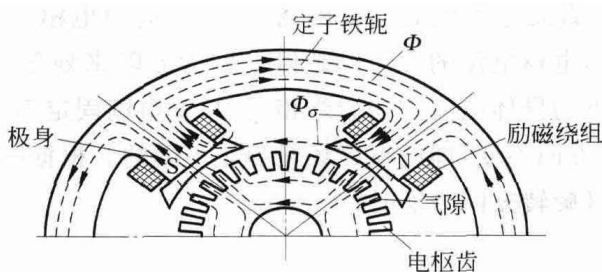


图 1.10 直流电动机空载时磁场分布