



新世纪高等学校规划教材·自动化系列

电机与拖动基础

主 编◎范国伟

副主编◎刘 斌 陈 杰 孙 强

参 编◎王 曦 周玉喜



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

校规划教材·自动化系列

电机与拖动基础

DIANJI YU TUODONG JICHU



主 编◎范国伟
副主编◎刘 斌 陈 杰 孙 强
参 编◎王 曦 周玉喜



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电机与拖动基础 / 范国伟主编. —北京: 北京师范大学出版社, 2016. 8
新世纪高等学校规划教材·自动化系列
ISBN 978-303-21065-7

I. ①电… II. ①范… III. ①电机—高等学校—教材
②电力传动—高等学校—教材 IV. ①TM3②TM921

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 183048 号

营销中心电话 010-62978190 62979006
北师大出版社科技与经管分社 <http://jsws.bnupg.com>
电子邮箱 kjjg@bnupg.com

出版发行: 北京师范大学出版社 www.bnupg.com.cn
北京市海淀区新街口外大街 19 号
邮政编码: 100875

印 刷: 北京京师印务有限公司
经 销: 全国新华书店
开 本: 787 mm×1092 mm 1/16
印 张: 19.75
字 数: 456 千字
版 次: 2016 年 8 月第 1 版
印 次: 2016 年 8 月第 1 次印刷
定 价: 42.00 元

策划编辑: 李 丹
美术编辑: 刘 超
责任校对: 赵非非

责任编辑: 李 丹
装帧设计: 刘 超
责任印制: 赵非非



版权所有 侵权必究

反盗版、反侵权举报电话: 010-62978190

北京读者服务部电话: 010-62979006-8021

外埠邮购电话: 010-62978190

本书如有印装质量问题, 请与印制管理部联系调换。

印制管理部电话: 010-62979006-8006

前 言

在现代化生产过程中,电机起着举足轻重的作用。在电能的生产、变换、传输、分配、使用等各环节中,各种电机和变压器担负着重要任务。在电力工业中,发电机和变压器是电站和变配电所的主要设备;在工农业生产中,大量应用电动机去拖动各种生产机械进行生产。随着电机理论和技术与电力电子技术、微电子技术、计算机技术和控制理论等学科不断发展和相互渗透,许多新技术、新方法的涌现使得传统电机学与电力拖动领域发生了革命性的变革。

随着科学技术的发展,现代电力拖动系统已和由各种控制元件组成的自动控制系统紧密地联系在一起。如自动起动、制动、调速,在负载和外部条件变换的情况下自动保持电动机转速恒定,按事先给定的程序或外部条件自动改变运行速度等。电子计算机的应用更进一步赋予电力拖动系统自寻最佳运行规律、自动适应运行条件变化的能力。然而,不论现代自动电力拖动系统的结构如何复杂,拖动生产机械的各类电动机仍然是电力拖动系统完成机电能量转换的主要元件,是控制的对象。

电机与拖动基础包括电机学原理及电力拖动原理两部分,它是工业电气自动化等专业的一门主要的专业基础课,它既有电机学中最基本的内容,又是电机学基本理论的进一步应用。它包括直流电机及拖动基础、变压器、交流电机及拖动基础、控制用微电机和电动机容量选择等部分。本课程的任务是使学生从运行的观点了解各类电机的基本结构、工作原理和运行特性,进而掌握正确使用和维护电机正常运行的基本技能,熟练掌握电动机在各种运行状态下能量关系的计算、起制动和调速的计算,了解电力拖动系统过渡过程的基本特征,改善过渡过程的途径,选择拖动系统电动机的基本原则等。

本课程既带有基础课性质,又有专业课特点。它是一门运用基础电工理论来解决实际工程问题的课程。因此,在学习过程中,要联系物理学和电工基础课程中有关的电磁理论和电路基本理论,弄清各种定义、定律和公式的含义,它们所表达的实际电磁过程和机电过程。必须在学习过程中养成自学和独立思考的习惯,逐步掌握分析问题的方法。必须及时完成必要的思考题和作业题。

学习本课程要坚持理论与实践相结合的原则,必须进行实验和生产实习。通过实验,对交直流电机的工作特性及机械特性的性质、基本原理和理论计算加以验证。进行独立的实验操作,学会测定各种电机的工作特性、电力拖动的机械特性及电机参数的方法,掌握正确操作电机运行的方法。实验前要预习实验指导书和课程有关理论,

明确实验目的要求、操作步骤、实验线路及仪表正确使用方法等。实验过程中,要注意观察、分析及判断。要认真完成实验报告,通过操作,逐步提高实验技能和熟练程度。通过实验密切理论与实践的结合,培养严谨、求实的科学工作作风。

本书是为高等院校工程应用型专业编写的规划教材。该课程总体分为十部分,它们是:直流电机、电力拖动系统的动力学、直流电动机的电力拖动、变压器、三相异步电动机基本原理、三相异步电动机电力拖动、同步电动机、控制电机及其他用途的电动机、电力拖动系统中电动机的选择、电机与拖动实验。学生通过该课程的理论学习和实验,掌握简单交直流电动机的基本工作原理和分析方法,通过技能训练,提高他们对电动机实际操作的综合能力,使学生具备电专业高素质劳动者和机电工程技术所必需的电动机基本知识及基本技能,为学生学习专业知识和职业技能、提高全面素质、增强适应岗位变化的能力和继续学习的能力打下坚实的基础。

电机与电力拖动是一门理论和实践紧密结合的课程,本书在编写过程中从高等教育培养应用型技术人才这一目标出发,以电机与电力拖动课程教学基本要求为依据,以应用为目的,以必需、够用为度,尽量降低专业理论的重心。以突出实际应用,培养技能为教学重点,由浅入深、循序渐进地介绍了有关电工电子以及应用方面的基础知识,着眼于学生在应用能力方面的培养,突出重点、分散难点,力求使读者一看就懂、一学就会。本书每章前都配有学习目标,每章后也都安排了相应的习题。同时,在教材中增加了实验训练,突出课程的应用性、实践性、针对性和有效性。

本课程是高等院校机电类、自动化类专业的专业基础课,不仅是自动化专业、电气工程及自动化专业和测控技术与仪器专业一直开设的课程,同时也是数控应用技术专业、机械设计制造及其自动化专业、材料成型及控制工程专业、机电一体化等专业增开课程的教材,也可作为电工技师和职工岗位培训教材,供有关工程技术人员参考使用。

本书由安徽工业大学工商学院范国伟老师任主编,淮阴工学院自动化学院刘斌老师、盐城师范学院陈杰老师和合肥学院孙强老师任副主编,安徽工业大学王曦硕士、华菱星马汽车股份有限公司周玉喜工程师参加了编写。在本书编写过程中,得到安徽工业大学电气信息学院和工商学院、淮阴工学院自动化学院、盐城师范学院物电学院和合肥学院的大力支持,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,加上时间仓促,书中疏漏之处在所难免,恳请使用本书的老师和同学批评指正。

编 者

2016年1月

目 录

前言

第 1 章 直流电机	1
1.1 直流电机的基本结构	1
1.2 直流电机的工作原理	6
1.3 直流电机的电枢绕组和感应电势	8
1.4 直流电机的电枢反应和换向	19
1.5 直流发电机的运行特性	27
1.6 直流电动机的运行特性	34
1.7 诊断直流电动机运行中出现的问题	42
第 2 章 电力拖动系统的动力学	57
2.1 电力拖动系统的运动方程式	57
2.2 多轴系统负载转矩和转动惯量的折算	58
2.3 生产机械的负载转矩特性	64
2.4 电力拖动系统稳定运行条件	66
第 3 章 直流电动机的电力拖动	73
3.1 直流电动机的机械特性	73
3.2 他励直流电动机的起动	79
3.3 他励直流电动机的制动	84
3.4 他励直流电动机的速度调节	89
3.5 直流电动机电力拖动的过渡过程	95
第 4 章 变压器	107
4.1 变压器的工作原理和结构	107
4.2 变压器的空载运行	114
4.3 变压器的负载运行	117
4.4 变压器参数的测定	122
4.5 三相变压器	123
4.6 其他用途变压器	129

4.7 变压器的运行维护及故障处理	132
第5章 三相异步电动机的基本原理	139
5.1 三相异步电动机的基本原理和结构	139
5.2 三相异步电动机的绕组与感应电动势	142
5.3 三相异步电动机的磁动势	147
5.4 三相异步电动机的等效电路	154
5.5 三相异步电动机的参数测定	164
5.6 三相异步电动机的工作特性	166
5.7 三相异步电动机故障判断和处理	168
第6章 三相异步电动机电力拖动	173
6.1 三相异步电动机的机械特性	173
6.2 三相异步电动机的起动	180
6.3 三相异步电动机的制动	185
6.4 三相异步电动机的调速	190
第7章 同步电动机	205
7.1 同步电机的基本结构和工作原理	205
7.2 同步电动机的功率因数调节	210
7.3 同步电动机的电力拖动	212
第8章 控制电机及其他用途电动机	219
8.1 测速发电机	219
8.2 伺服电动机	221
8.3 步进电动机	223
8.4 自整角机	225
8.5 旋转变压器	228
8.6 单相异步电动机	232
8.7 无刷直流电动机	235
8.8 直流力矩电动机	237
8.9 直线电动机	239
第9章 电力拖动系统中电动机的选择	247
9.1 电动机的发热与工作方式	247
9.2 电动机容量选择的基本知识	253
9.3 选择电动机容量的基本校验方法	257
第10章 电机与拖动实验	265
10.1 电机实验须知	265
10.2 直流电动机的参数测定	267

10.3	他励直流电动机机械特性测定	269
10.4	直流发电机实验	273
10.5	三相异步电动机的参数测定	276
10.6	三相异步电动机机械特性测定	282
10.7	变压器参数的测定	286
10.8	三相变压器实验	290
10.9	三相鼠笼型异步电动机实验	292
10.10	三相同步电动机实验	297
10.11	三相同步发电机实验	298
附录 1	实验室使用电机规格	301
附录 2	实验中测量的物理量及测量方法	303
附录 3	发电机和电动机之间铭牌值的换算	305
附录 4	实验报告格式及说明书	307

第1章 直流电机

本章学习目标

- ◆ 了解直流电动机和发电机的基本工作原理；
- ◆ 熟悉直流电机产生电枢反应的影响；
- ◆ 掌握直流电机功率与损耗计算及功率流程图的绘制；
- ◆ 理解直流电机换向器的功能和换向原理。

直流电动机具有良好的起动、制动和调速性能，能够快速地进行起动、制动，正转、反转，能在十分宽广的范围内平滑而经济地调节速度。因此，在一些要求较高的电力拖动系统中，得到了广泛的应用。例如，在一些机床、轧钢机、电气牵引机车、汽车和起重机设备中，都采用了直流电动机拖动。目前，虽然交流变频调速技术正在发展，在一些领域中已经取代了直流拖动系统，但直流电动机的应用仍占有一定的比例。

1.1 直流电机的基本结构

直流电动机虽然比三相交流异步电动机结构复杂，维修也不便，但它的调速性能较好、起动转矩较大，因此，对调速要求较高的生产机械或者需要较大起动转矩的生产机械往往采用直流电动机驱动。

直流电动机的优点：

- 调速性能好，调速范围广，易于平滑调节。
- 起动、制动转矩大，易于快速起动、停车。
- 易于控制。

直流电动机的应用：

- 轧钢机、电气机车、中大型龙门刨床、矿山竖井提升机以及起重设备等调速范围大的大型设备。
- 用蓄电池做电源的地方，如汽车、拖拉机等。

1.1.1 直流电动机的构造

直流电机由定子和转子(又称为电枢)两大部分组成。直流电机运行时静止不动的部分称为定子，定子的主要作用是产生磁场，由机座、主磁极、换向极、端盖、轴承和电刷装置等组成。运行时转动的部分称为转子，其主要作用是产生电磁转矩和感应电动势，是直流电机进行机电能量转换的枢纽，所以通常又称为电枢，由转轴、电枢

铁芯、电枢绕组、换向器和散热风扇等组成。装配后的电机如图 1-1 所示。直流电机的纵向剖视图如图 1-2 所示。

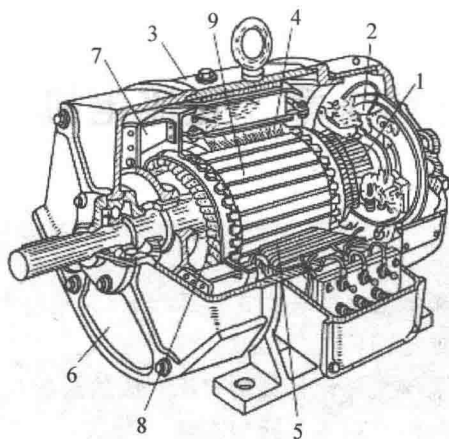


图 1-1 直流电机装配结构图

1—换向器 2—电刷装置 3—机座 4—主磁极 5—换向极 6—端盖 7—风扇 8—电枢绕组 9—电枢铁芯

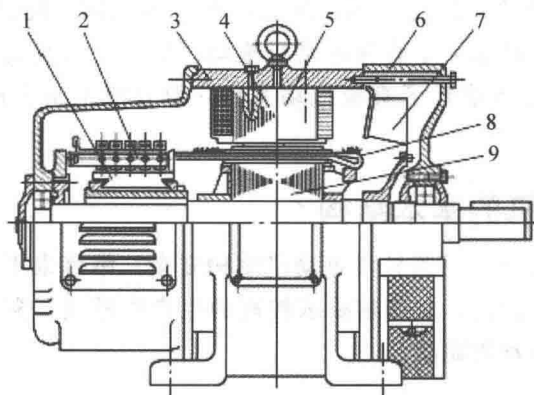


图 1-2 直流电机纵向剖视图

1—换向器 2—电刷装置 3—机座 4—主磁极 5—换向极 6—端盖 7—风扇 8—电枢绕组 9—电枢铁芯

1. 定子

定子主要由主磁极、换向极、机座、电刷装置构成。

(1) 主磁极

主磁极的作用是产生气隙磁场。主磁极由主磁极铁芯和励磁绕组两部分组成。铁芯一般用薄钢片冲压叠装而成，分为极身和极靴两部分，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，极靴宽于极身，既可以调整气隙中磁场的分布，又便于固定励磁绕组。励磁绕组用绝缘铜线绕制而成，套在主磁极铁芯上。整个主磁极用螺钉固定在机座上，如图 1-3 所示。

(2) 换向极

换向极的作用是改善换向, 减少电机运行时电刷与换向器之间可能产生的电火花, 一般装两个相邻主磁极之间, 由换向极铁芯和换向绕组组成, 如图 1-4 所示。换向极绕组用绝缘铜导线绕制而成, 套在换向极铁芯上, 换向极的数目与主磁极相等。

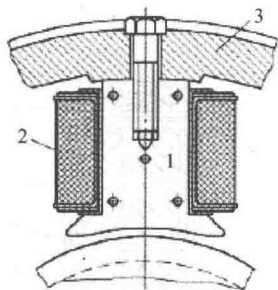


图 1-3 主磁极的结构

1—主磁极 2—励磁绕组 3—机座

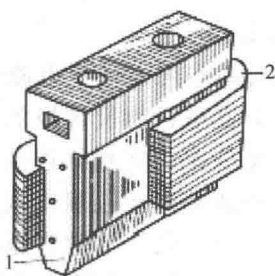


图 1-4 换向极

1—换向极铁芯 2—换向极绕组

(3) 机座

电机定子的外壳称为机座, 见图 1-2 中的 3。机座的作用有两个: 一是用来固定主磁极、换向极和端盖, 并支撑和固定整个电机; 二是机座本身也是磁路的一部分, 借以构成磁极之间磁的通路, 磁通通过的部分称为磁轭。为保证机座具有足够的机械强度和良好的导磁性能, 一般为铸钢或由钢板弯制焊接而成。

(4) 电刷装置

电刷装置是用来通入和引出直流电流的, 如图 1-5 所示。电刷装置由电刷、刷握、刷杆和刷杆座等组成。电刷放在刷握内, 用弹簧压紧, 使电刷与换向器之间有良好的滑动接触, 刷握固定在刷杆上, 刷杆绝缘装在圆环形的刷杆座上, 刷杆座装在端盖或轴承内盖上, 圆周位置可以调整后固定。

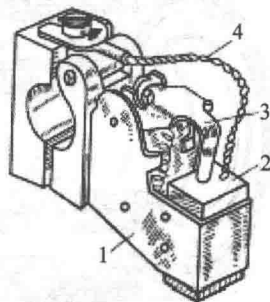
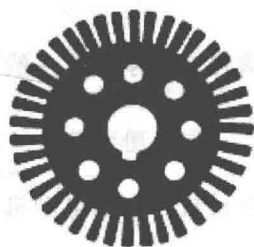


图 1-5 电刷装置

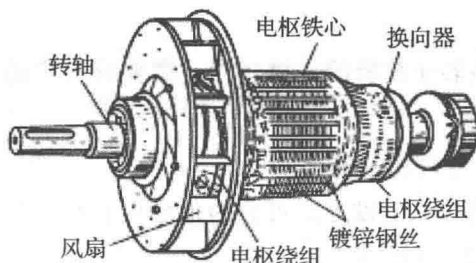
1—刷握 2—电刷 3—压紧弹簧 4—刷辫

2. 转子(电枢)

转子由电枢铁芯、电枢绕组、换向器、转轴和风扇等组成, 如图 1-6(b) 所示。



(a)



(b)

图 1-6 转子结构图

(1) 电枢铁芯

电枢铁芯是主磁路的主要部分, 电枢铁芯上冲有槽孔, 槽内嵌放电枢绕组。一般电枢铁芯由 0.5mm 厚的硅钢片冲槽叠压而成(冲槽硅钢片的形状如图 1-6(a)所示), 以降低电机运行时在电枢铁芯中产生的涡流损耗和磁滞损耗。叠成的铁芯固定在转轴上。电枢铁芯的外圆开有电枢槽, 槽内嵌放电枢绕组。

(2) 电枢绕组

电枢绕组的作用是产生电磁转矩和感应电动势, 是直流电机进行能量转换的关键部件。它是由许多绕组元件按一定规律连接而成, 绕组采用高强度漆包线或玻璃丝包扁铜线绕成, 不同线圈的绕组元件分上下两层嵌放在电枢槽内, 线圈与铁芯之间以及上下两层线圈之间都必须妥善绝缘。为防止离心将线圈边甩出槽外, 槽口用槽楔固定, 如图 1-7 所示。绕组元件线圈伸出槽外的端接部分用热固性无纬玻璃带进行绑扎。

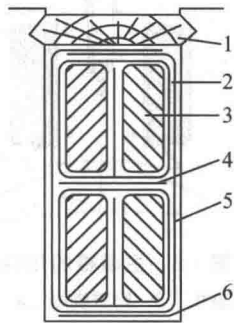


图 1-7 电枢槽结构图

1—槽楔 2—线圈绝缘 3—电枢导体
4—层间绝缘 5—槽绝缘 6—槽底绝缘

(3) 换向器

电枢绕组的一端装有换向器, 换向器由许多铜质换向片组成一个圆柱体, 换向片之间用云母

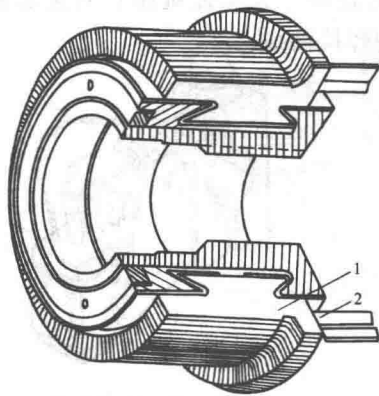


图 1-8 换向器结构

1—燕尾形 2—绝缘云母片

绝缘。换向器是直流电动机的重要构造特征, 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绕组内部的交流电流, 以便形成固定方向的电磁转矩。而在直流发电机中, 换向器配以电刷, 能将电枢绕组感应产生的交变电动势转换为正、负电刷上引出的直流电动势。换向器是由许多换向片组成的圆柱体, 换向片之间用云母绝缘, 换向片紧固通常如图 1-8 所示, 换向片的下部做成燕尾形, 两端用钢制 V 形套筒和 V 形云母环固定, 再用螺母锁紧。

(4) 转轴

转轴起着转子旋转的支撑作用, 需要有一定的机械强度和刚度, 一般用圆钢加工而成。

► 1.1.2 直流电机的分类

直流电机按照励磁方式可分为他励电动机、并励电动机、串励电动机和复励电动机四种, 如图 1-9 所示。

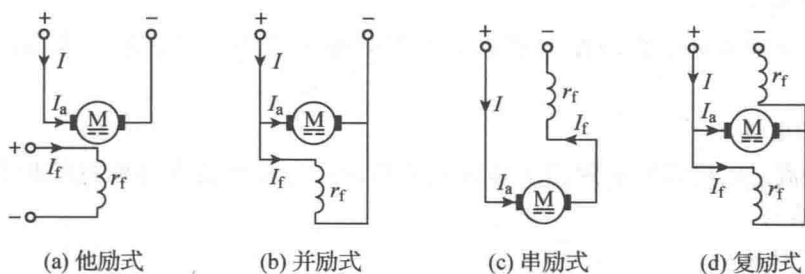


图 1-9 直流电机的分类

1. 他励电动机

如图 1-9(a)所示,他励电动机是一种电枢绕组和励磁绕组分别由两个直流电源供电的电动机。他励式电动机构造比较复杂,一般用于对调速范围要求很宽的重型机床等设备中。

2. 并励电动机

如图 1-9(b)所示,并励电动机的励磁绕组和电枢绕组并联,由同一个直流电源供电。励磁绕组匝数较多,导线截面较细,电阻较大,励磁电流只为电枢电流的一小部分。并励式电动机在外加电压一定的情况下,励磁电流产生的磁通将保持恒定不变。起动转矩大,负载变动时转速比较稳定,转速调节方便,调速范围大。

3. 串励电动机

如图 1-9(c)所示,串励电动机的励磁绕组与电枢绕组串联,用同一个直流电源供电。励磁电流与电枢电流相等。电枢电流较大,所以励磁绕组的导线截面较大,匝数较少。串励式电动机的转速随转矩的增加,呈显著下降的软特性,特别适用于起重设备。

4. 复励电动机

如图 1-9(d)所示,复励电动机有两个励磁绕组,一个与电枢并联,一个与电枢串联。当两励磁绕组产生的磁通方向相同时,磁通可以相加,这种电机称为积复励电机。当两励磁绕组产生的磁通方向相反时,合成磁通为两磁通之差,这种电机称为差复励电机。积复励电动机的电磁转矩变化速度较快,负载变化时能够有效克服电枢电流的冲击,比并励式电动机的性能优越,主要用于负载力矩有突然变化的场合。差复励电动机具有负载变化时转速几乎不变的特性,常用于要求转速稳定的机械中。

► 1.1.3 直流电机的额定值

电机制造厂家按照国家标准,根据电机的设计和试验数据而规定的每台电机的主要性能指标称为电机的额定值。额定值一般在电机的铭牌上或产品说明书上标明。

直流电机的额定值主要有以下几项:

1. 额定功率 P_N

额定功率是指电机按照规定的工作方式运行时所能提供的输出功率。对于电动机来说,额定功率是指转轴上输出的机械功率;对于发电机来说,额定功率是指电刷端输出的电功率。单位为 kW(千瓦)。

2. 额定电压 U_N

额定电压是电机电枢绕组能够安全工作的最大外加电压或输出电压, 单位为 V (伏)。

3. 额定电流 I_N

额定电流是电机按照规定的工作方式运行时, 电枢绕组允许流过的最大电流, 单位为 A (安培)。

4. 额定转速 n_N

额定转速是指电机在额定电压、额定电流和输出额定功率的情况下运行时电机的旋转速度, 单位为 r/min (转/分)

额定值一般标在电机的铭牌上, 又称为铭牌数据。还有一些额定值, 例如额定转矩 T_N 、额定效率 η_N 等, 不一定标在铭牌上, 可查产品说明书或由铭牌上的数据计算得到。

额定功率与额定电压和额定电流之间有如下关系:

$$\text{直流电动机: } P_N = U_N I_N \eta_N \times 10^{-3} (\text{kW})$$

$$\text{直流发电机: } P_N = U_N I_N \times 10^{-3} (\text{kW})$$

直流电机运行时, 如果各个物理量均为额定值, 就称电机工作在额定运行状态, 亦称为满载运行。在额定运行状态下, 电机利用充分, 运行可靠, 并且具有良好的性能。如果电机的电枢电流小于额定电流, 称为欠载运行; 电机的电枢电流大于额定电流, 称为过载运行。欠载运行, 电机利用不充分, 效率低; 过载运行, 易引起电机过热损坏。

1.2 直流电机的工作原理

直流电动机是从电枢端输入直流电流, 将电能转换成机械能从转轴上输出。

1.2.1 直流电动机的基本工作原理

直流电动机是根据通电导体在磁场内受力而运动的原理制成的。如图 1-10(a) 所示, 接通直流电压 U 时, 直流电流从 ab 边流入, cd 边流出。由于 ab 边处于 N 极之下, cd 边处于 S 极之上, 由左手定则可知线圈受到电磁力而形成一个逆时针方向的电磁转矩 T , 使电枢绕组绕轴线方向逆时针转动。当电枢转动半周后, 如图 1-10(b) 所示, ab 边处于 S 极之上, 而 cd 边处于 N 极之下。由于采用了电刷和换向器装置, 此时电枢中的直流电流方向变为从 cd 边流入, 从 ab 边流出。电枢仍受到一个逆时针方向的电磁转矩 T 的作用, 继续绕轴线方向逆时针转动。

由此可见: 直流电动机在外加直流电压的作用下, 从电枢端输入直流电流, 借助于换向器和电枢的作用, 使直流电动机电枢绕组流过方向交换变化的电流, 载流导体在磁场中将受电磁力的作用, 从而使电枢产生的电磁转矩的方向恒定不变, 确保直流电动机朝确定的方向连续旋转。这就是直流电动机的工作原理。

实际的直流电动机, 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, 使电枢线圈所产生的总的电磁转矩足够大而且比较均匀, 电动机的转速也就比较均匀。

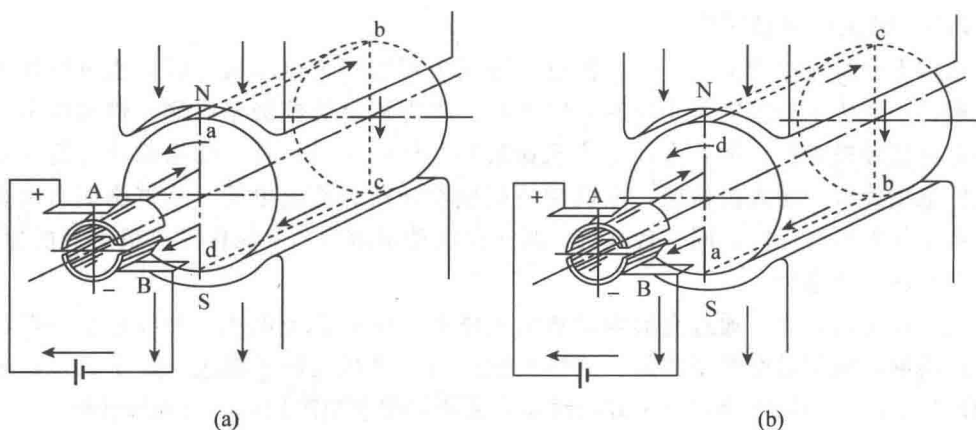


图 1-10 直流电动机原理图

► 1.2.2 直流发电机的工作原理

直流发电机的模型与直流电动机模型相同,不同的是外加机械力(如水力发电机利用水的冲力)拖动电枢朝一个方向(例如逆时针方向)旋转,如图 1-11(a)所示。这时导体 ab 和 cd 分别切割 N 极和 S 极下的磁力线,感应产生电动势,电动势的方向用右手定则确定。可知导体 ab 中电动势的方向由 b 指向 a ,导体 cd 中电动势的方向由 d 指向 c ,在一个串联回路中相互叠加,形成电刷 A 为电源正极,电刷 B 为电源负极。电枢转过 180° 后,导体 cd 与导体 ab 交换位置,但电刷的正负极性不变,如图 1-11(b)所示。可见,同直流电动机一样,直流发电机电枢线圈中的感应电动势的方向也是交变的,而通过换向器和电刷的整流作用,在电刷 A 、 B 上输出的电动势是极性不变的直流电动势。在电刷 A 、 B 之间接上负载,发电机就能向负载供给直流电能。这就是直流发电机的基本工作原理。

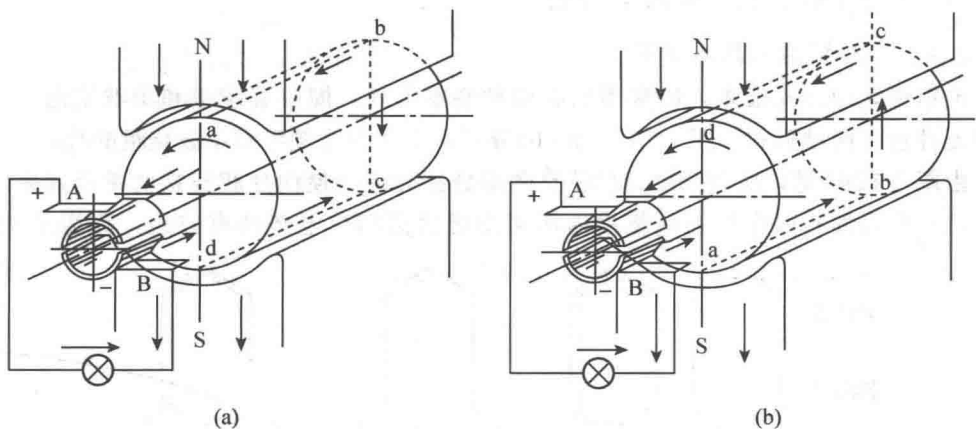


图 1-11 直流发电机的工作原理示意图

1.2.3 电机的可逆原理

从以上分析可以看出：一台直流电机原则上可以作为电动机运行，也可以作为发电机运行，取决于外界输入能量的不同条件。将直流电流施加于电刷，输入电能，电机能将电能转换为机械能，拖动生产机械旋转，作电动机运行；如用原动机拖动直流电机的电枢旋转，输入机械能，电机能将机械能转换为直流电能，从电刷端引出直流电动势，作发电机运行。同一台电机，既能作电动机运行，又能作发电机运行的原理，称为电机的可逆原理。

从上面可以看到：通过直流电动机的电刷输入的是直流电流，而经过换向器流到转子绕组的电流却是交替变化的。这样变化的目的是载流转子绕组与定子的恒定磁场之间产生的电磁力始终朝着一个方向转动，便能够带动生产机械输出机械转矩。

另外，为何称直流电机的转子为电枢呢？因为直流电机的转子是机电能量转换的枢纽。直流电动机输入电能到转子绕组，转换成机械能从转轴输出带动生产机械；若是直流发电机即是输入机械能转动转子绕组，切割定子磁场的磁感应线产生感应电动势输出电能。

1.3 直流电机的电枢绕组和感应电势

电枢绕组是电机的重要部件，它不仅在电机的能量转换方面是必不可少的，而且在结构上也是比较复杂的。电机中绝大部分的铜和绝缘材料都用在电枢绕组上。电机运行时，绕组也是比较容易发生故障的部分。因此，了解电机的电枢绕组，掌握它的特点和连接规律，对深入地认识和正确地使用电机都是十分重要的。

直流电机的结构设计原理是，为了减少或消除直流电机输出电压的脉动并提高输出电压值，实际电机的电枢绕组是由若干个分布在电枢表面、结构完全相同的绕组元件，按一定规律排列和连接而成的。在了解和掌握绕组嵌置和连接的基本规律时，必须从绕组的基本单元（即绕组元件）开始。

1.3.1 电枢绕组的基本单元

电枢绕组的形式很多，但常用的有两种基本形式，即单叠绕组和单波绕组。因而绕组元件也有两种形式。图 1-12(a) 和 (b) 分别示出了单叠绕组和单波绕组的绕组元件。

由图 1-12 可见，所谓绕组元件就是两端分别和两个换向片相连接的单匝或多匝线圈。每一个元件有两个放在电枢槽内能切割磁通而感应电势的有效边，称为元件边。

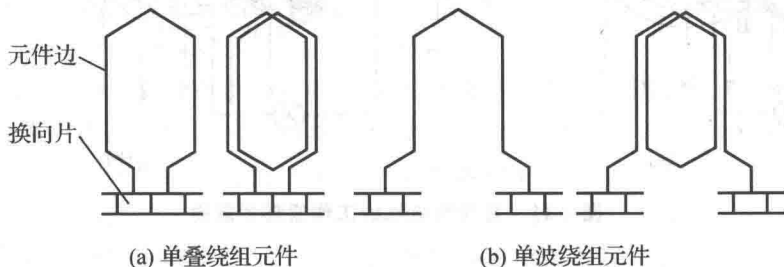


图 1-12 电枢绕组的绕组元件

元件在槽外的部分不切割磁通,因而不感应电势;仅作为连接线用,称为端接。为了便于嵌线,每个元件的一个元件边放在某一槽的上层(称为上元件边),另一个元件边放在另一槽的下层(称为下元件边),如图1-13所示。绘图时,为了清楚起见,将上元件边及共端接部分用实线表示,下元件边及共端接部分用虚线表示。

为了把绕组元件按一定规律嵌置在槽内并与换向片正确地连接,首先必须确定绕组元件在电枢表面上的几何关系,通常用所谓绕组的“节距”来确定。图1-13和图1-14表示叠绕组元件的嵌置与连接方法,并用它说明绕组节距的意义。

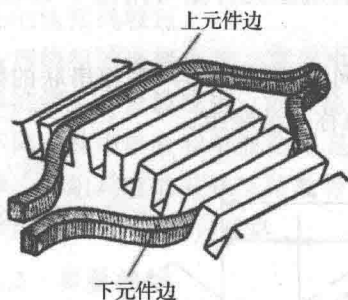


图 1-13 电枢绕组元件在槽内的嵌置示意图

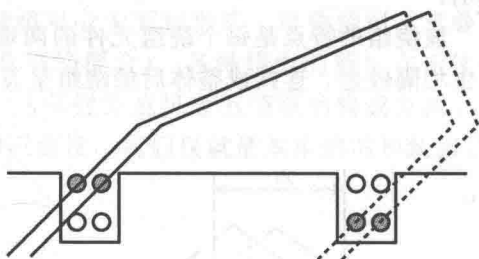


图 1-14 单叠绕组元件连接示意图

1. 第一节距 y_1

每一个元件的两个元件边在电枢表面上所跨的距离称为绕组的第一节距,通常用所跨的槽数表示。为了使元件两个边的电势相加,即为了使得每个元件感应电势尽可能的大,第一节距 y_1 应等于或接近于一个极距 τ (相邻两个磁极轴线之间的距离)。当 $y_1 = \tau$ 时,称为全距绕组;当 $y_1 < \tau$ 时,称为短距绕组;当 $y_1 > \tau$ 时,称为长距绕组。一般的直流电机采用全距或短距绕组,如图1-15所示。全距时 y_1 可用下式表示:

$$y_1 = \tau = \frac{Z}{2p} \quad (1-1)$$

式中, τ 为两个磁极轴线之间的距离;

Z 为电枢的槽数;

p 为电机的磁极对数。

有时 Z 不一定能被 $2p$ 整除,而在嵌线时 y_1 又必须为整数。因此,第一节距的通用表达式应为:

$$y_1 = \tau = \frac{Z}{2p} \mp e \text{ (取整数)} \quad (1-2)$$

式中, e 为一个小于1的分数,用以把 y_1 凑成整数。

2. 第二节距 y_2

连在同一换向片上的两个元件中,第一个元件的下元件边到第二个元件的上元件边之间在电枢表面上的距离,也用相距的槽数表示。在叠绕组中, y_2 为负值;在波绕组中, y_2 为正值。

3. 合成节距 y

直接串联在一起的两个元件的对应元件边在电枢表面上的距离,也用相距的槽数