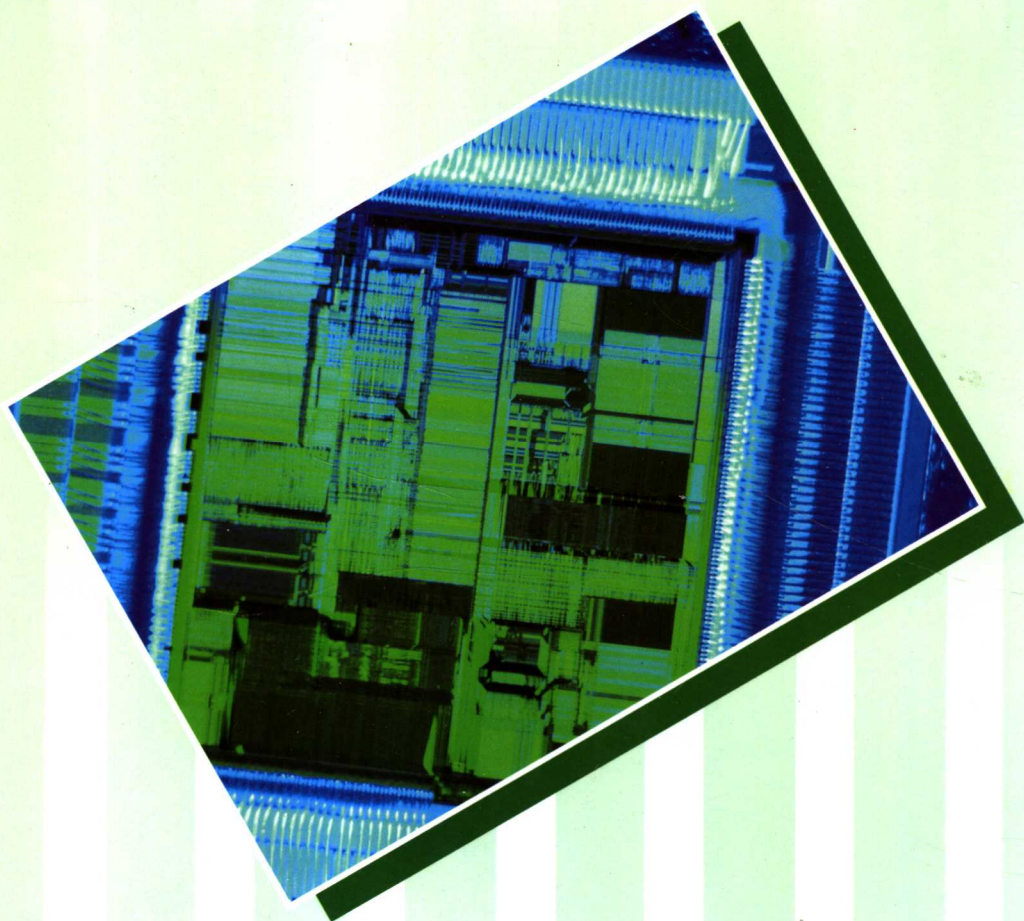


高等职业教育规划教材

李金钟 主编

高等职业教育规划教材

电机与电气 控制技术



 苏州大学出版社

高等职业教育规划教材

高等职业教育规划教材

电机与电气 控制技术

李金钟 主编



苏州大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电机与电气控制技术/李金钟主编. —苏州: 苏州大学出版社, 2004. 8
高等职业教育规划教材
ISBN 7-81090-301-2

I. 电… II. 李… 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(2004)第 070506 号

电机与电气控制技术

李金钟 主编

责任编辑 薛华强

苏州大学出版社出版发行

(地址: 苏州市干将东路 200 号 邮编: 215021)

武进第三印刷厂印装

(地址: 武进市村前镇 邮编: 213154)

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 9.5 字数 237 千

2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 7-81090-301-2/TM·1(课) 定价: 12.50 元

苏州大学版图书若有印装错误, 本社负责调换
苏州大学出版社营销部 电话: 0512-67258835

编写说明

为了适应高职电气、机电类专业人才培养的需要,实现课程综合化,加强课程的实践性、实用性、针对性,突出岗位能力培养的特点,突出理论联系实际的特点,对现有的课程内容体系进行整合,保留必要的基本原理,重点介绍各种电机、电器的用途和性能特点;介绍技术参数和使用注意事项;介绍常见故障分析处理方法,介绍各种电机、电器的测试方法和操作使用技能。

全书共分七章,主要内容包括:直流电机、变压器、三相异步电动机、单相异步电动机、微特电机、低压电器、电气控制线路、电气控制技术应用等。对常用的交、直流电动机,增加了相关的维护、检修和操作使用方面的内容。全书还安排了与主要内容密切相关的四部分技能训练。通过对本书的学习,使学生具备电气、机电类生产第一线高级专门人才所必需的电机与电气控制技术基本知识和基本技能,初步具有解决实际问题的能力,为学习其他专业知识和专业技能打下基础。

全书各部分内容力求反映科技发展的新产品、新工艺和新技术,例如增加了直流电动机降压起动、交流电动机变频起动、直流无刷电动机等内容,使教材内容与时俱进。

由于本课程的实践性很强,在选取教材内容时,从岗位的实际需要出发,最大限度地体现学以致用原则。在讲清楚电机、电器的基本结构和工作原理的基础上,重点介绍在实际生产中的应用。本书以定性分析为主,尽最大可能减少复杂的数值计算和公式推导过程,减轻教师 and 学生的负担。

为了适应教学内容、教学方法和教学手段改革的需要,使课堂理论教学与实验室动手操作相结合,每部分内容后,都有与之对应的实践技能训练。通过各项技能训练,旨在进一步强化学生的实际动手操作能力,满足学生参加电工技术资格等级证书考核的需要。

本书在文字表述中力求简明扼要、通俗易懂;尽可能多地采用插图,以求直观形象,充分体现教材的高职特色,为培养生产第一线的高等实用型人才服务。

本书由南京师范大学王永止教授和南京工业职业技术学院何焕山高级讲师担任主审,他们对书稿提出了很多宝贵意见,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,错误之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2004 年 7 月

目 录

CONTENTS

绪 论	(1)
-----	-----

第1章 直流电机

1.1 直流电机的特点和用途	(4)
1.2 直流电机的分类和额定值	(5)
1.3 直流电机的结构和工作原理	(6)
1.4 直流电动机的机械特性和调速方法	(11)
1.5 直流电动机的起动、反转和制动	(16)
1.6 直流电机的使用、维护和检修	(20)
思考题与习题	(23)
技能训练一 直流电动机起动、反转和调速的操作	(25)

第2章 变 压 器

2.1 变压器的用途、分类与结构	(27)
2.2 变压器的基本工作原理	(30)
2.3 单相变压器的运行特性	(33)
2.4 三相变压器	(35)
2.5 特种变压器	(39)
思考题与习题	(42)
技能训练二 单相变压器极性、变比和外特性的测定	(44)

第3章 异步电动机

3.1 三相异步电动机的特点和用途	(46)
3.2 三相异步电动机的结构和铭牌数据	(46)
3.3 三相异步电动机的工作原理	(50)
3.4 三相异步电动机的机械特性和工作特性	(54)
3.5 三相异步电动机的起动	(57)
3.6 三相异步电动机的调速	(60)
3.7 三相异步电动机的制动	(62)
3.8 三相异步电动机的维护和检修	(64)

3.9 单相异步电动机	(67)
思考题与习题	(73)
技能训练三 三相异步电动机的起动和反转	(75)

第4章 微特电机

4.1 伺服电动机	(77)
4.2 测速发电机	(82)
4.3 步进电动机	(85)
4.4 直流无刷电动机	(89)
4.5 直线电机	(91)
思考题与习题	(94)

第5章 常用低压电器

5.1 开关	(95)
5.2 主令电器	(99)
5.3 熔断器	(101)
5.4 交流接触器	(104)
5.5 继电器	(106)
思考题与习题	(110)

第6章 电气控制线路

6.1 电动机起动、停止控制线路	(111)
6.2 电动机正反转控制线路	(113)
6.3 顺序控制线路	(116)
6.4 时间控制线路	(117)
6.5 异步电动机降压起动控制线路	(118)
6.6 绕线型异步电动机起动控制	(121)
6.7 异步电动机制动控制	(124)
6.8 电气控制线路的设计方法与操作注意事项	(126)
思考题与习题	(131)
技能训练四 电气控制线路的应用	(132)

第7章 电气控制技术应用

7.1 万能铣床的电气控制线路	(136)
7.2 数控机床的电气控制系统	(141)
7.3 自动灌装机电气控制系统	(144)

绪 论

一、电机与电气控制在国民经济中的作用

电能是国民经济各部门中应用最为广泛的能源,而电能的产生、传输、分配和使用等各个环节都依赖于各种各样的电机;电力拖动是国民经济各部门中采用最多最普遍的拖动方式,而电力拖动系统的电气控制技术是实现生产过程电气化、自动化的根本保证。

电机是利用电磁作用原理实现机电能量转换的装置。发电机的作用是将机械能转换为电能;而电动机的作用是将电能转换为机械能。现代工业、农业、交通运输、科学技术、邮电通讯和日常生活等各个方面广泛应用的电能,几乎全部是由火力发电厂、水电站或核电站中的发电机产生的。电动机用作拖动各种生产机械的动力,是国民经济各部门应用最多的动力机械,也是最主要的用电设备,各种电动机所消耗的电能占全世界总发电量的60%以上。变压器的作用是将一种电压的交流电转换为另一种电压的交流电。在远距离输电过程中,利用变压器升高电压,减小电流,来达到减小线路损耗的目的;电能传送到用电目的地后,再用变压器降低电压,以保证用电的安全。微特电机的作用是实现信号的转换与传递,在自动控制系统中用作检测和执行元件,除国防工业应用较多以外,在数控机床、计算机外部设备、机器人和影像设备中也均有大量使用。

电力拖动是指用电动机作为动力拖动各种生产机械工作。例如各种机床、轧钢机、风扇、水泵、起重机、电车和电梯等。由电动机、传动机构、工作机构、控制设备以及电源等组成的电力拖动系统比其他拖动方式(例如风力拖动、水力拖动、蒸汽机或内燃机拖动等)有许多无法比拟的优点,最主要的优点是起动、调速、制动和反转等控制过程比其他方法容易实现,而且具有较好的静态特性和动态特性;特别是随着电力电子技术和计算机技术的发展,进一步提高了电力拖动系统的性能指标,使电力拖动系统生产设备的工作效率和产品质量进一步提高,为生产过程的自动化提供了十分有利的条件。

电气控制是利用电气元件对电力拖动系统进行控制。例如各种开关、按钮、继电器、接触器、半导体器件等都可以作为电气控制元件。它们根据生产工艺的要求,按照一定的线路组成电气控制系统,自动地控制电动机的起动、调速、制动和正反转等,使生产机械按照预先制定的工作过程改变运动速度、方向和工作部件的位置,以及工作循环的自动化等。随着科学技术的突飞猛进,对生产工艺的要求越来越高,这就对电气控制技术提出了更高的要求。要求电气控制系统最大限度地满足生产工艺的要求,力求简单经济,保证安全可靠,同时操作、维护方便。控制方法从手动到自动,功能从简单到复杂,控制技术从单机控制到群体控制,操作由笨重到轻便,推动了生产技术的不断更新和高速发展。

综上所述,电机与电气控制在国民经济中起着极其重要的作用。

二、电机与电气控制技术的发展

电机工业的发展与国民经济和科学技术的发展密切相关。1821年,法拉第发现了载流导体在磁场中受到电磁力的作用,根据这个原理制成了电动机;1831年,法拉第又发现了导体切割磁力线产生感应电动势的电磁感应定律,同年10月,他发明了世界上第一台发电机。1889年俄国科学家设计制造了三相变压器和三相异步电动机;1891年三相异步电动机开始使用,从而开拓了电能应用的新局面,工业上的动力机械特别是蒸汽机很快被电动机所取代,人类从繁重的体力劳动中解放出来,并完成了过去不能和不易完成的生产任务,同时为生产过程自动化创造了有利条件,把社会生产力推进到了电气化时代,这在社会进步史上被称为第二次技术革命。

19世纪后期到20世纪初是世界电机工业迅猛发展的时期,而我国却沦为半封建半殖民地的国家,电机工业发展受到了严重的束缚。直到解放前夕,全国仅沿海几个大城市有几家规模小、设备陈旧、技术落后的电机厂,主要从事电机维修和生产电风扇之类的小电机。解放后,我国的电机工业迅速发展,刚开始时仿制前苏联产品,1953年全国进行了中小型电机的统一设计,从而有了自己的产品。1958年制造了世界上第一台1.2万kW的双水内冷汽轮发电机,震动了国际电工界。1964年制成了12.5万kW的双水内冷汽轮发电机。1972年制成了30万kW的双水内冷汽轮发电机和水轮发电机。1987年制成了60万kW定子水冷、转子氢冷的汽轮发电机。我国从20世纪50年代开始研制电机,经历了产品仿制、自行设计和研制,逐步形成了自己的生产体系,现有1000多个品种,其中中小型电机的换代过程为J→JO→JO2→Y→Y2,目前已大批量生产Y2系列电机,达到国际同期先进水平。

电气控制技术由手动控制逐步向自动控制方向发展。手动控制是利用刀开关、控制器等手动控制电器,由人力操纵实现电动机起动、停止或正反转;自动控制是利用自动控制装置来控制电动机,人在整个生产工作过程中只是发出信号,监视生产机械的运行状况。电气控制分为断续控制系统和连续控制系统。20世纪80年代电力电子技术和微电子技术的迅速发展,以及二者的相互融合,使交流电动机调速技术有很大突破,出现了鼠笼式电动机变频调速系统和绕线式异步电动机的转子串级调速系统。调速技术上的突破,使交流电机调速系统得到了迅速推广,它正逐步取代直流调速系统。

1969年,美国率先研制出第一台可编程控制器(简称PLC),随后许多国家竞相研制,各自形成体系。它具有数据运算、数据处理和网络通信等多种功能,最大的优点是可靠性高,平均无故障运行时间可达10万小时以上,现已成为电气控制系统中应用很广泛的一种控制装置。20世纪70年代出现了计算机群控系统,由一台较大型的计算机控制管理多台数控机床和数控加工中心,能完成多品种、多工序的产品加工。近年来又出现了计算机集成制造系统(CIMS)、综合运用计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)、智能机器人等多项高技术,形成了产品设计与制造的智能化生产的完整体系。

电气控制技术的发展是随着社会生产规模的扩大、生产水平的提高而不断发展的,同时它反过来又促进社会生产力的进一步提高,从而为电气控制系统达到最佳运行状态,实现最理想的控制提供了条件。

三、本课程的性质、任务、主要内容和学习方法

本课程是“电气自动化”、“工业自动化”、“机电一体化”、“生产过程自动化”、“数控技术”等专业的一门实用性很强的专业课,是电机学、电力拖动基础和电气控制三门学科的有机结合。它涉及面较广,既有理论又有实际技术问题;既有从应用角度出发对一般原理和运行特性的论述,又有依据工程观念对实际问题进行简化、抓住主要因素进行讨论的工程方法。

本课程的主要任务是使学生熟悉各种电机、变压器和常用低压电器的基本结构、工作原理和主要特性,并掌握各种电动机起动、调速、制动、反转的原理、方法和控制线路,了解各种电机及控制方法的优缺点和适用场合;培养学生在电机与电气控制方面独立分析问题和解决实际问题的能力;学习测试电机、变压器的技能,熟悉分析处理电机、电气控制系统常见故障的方法,掌握连接常用电气控制线路的基本方法,进行实验实训技能的训练,为学习后续课程和今后的工作创造必要的条件。

学习《电机与电气控制技术》的方法:

(1) 对于初学者来说,会感到本课程较为复杂、抽象,故应该从应用、实用、使用的角度出发,从实际应用的例子中体会学习电机与电气控制技术的必要性,提高学习兴趣。

(2) 本课程的学习过程中要特别强调理论联系实际。学习各种电机、变压器、低压电器的结构时,可以结合实物,弄清各部件的组成和作用,以增强感性认识。在实验、实习中要多动脑动手,将所学知识用于分析电机与电气控制线路的常见故障及检修。

(3) 学习中应注意各种电机的共性和特殊性,善于归纳总结,加深理解。

(4) 熟悉常用控制电器的结构、原理、用途,了解其型号、规格和应用场合,并能正确选用。

(5) 熟练掌握电气控制电路的分析方法,根据生产工艺的不同要求,设计和连接各种电气控制线路。

第 1 章 直流电机



1.1 直流电机的特点和用途

直流电机包括直流电动机和直流发电机两类。将机械能转变成直流电能的电机称为直流发电机;将直流电能转变成机械能的电机称为直流电动机。直流电机具有可逆性,一台直流电机工作在发电机状态,还是工作在电动机状态,取决于电机的运行条件。

1.1.1 直流电机的特点

表 1.2 直流发电机的用途

励磁方式	他 励	并 励	串 励	复 励
用 途	用于交流电动机—直流发电机—直流电动机系统中,实现直流电动机的恒转矩宽广调速	充电、电镀、电解、冶炼等用直流电源	直流电源,如用柴油机拖动的独立电源等	用作升压机等



1.2 直流电机的分类和额定值

1.2.1 直流电机的分类

直流电机按励磁方式的不同,可分为他励和自励两大类。而自励电机,按励磁绕组与电枢绕组的联接方式的不同,又可分为并励、串励和复励三种。

1. 他励直流电机

励磁绕组与电枢绕组无电路上的联系,励磁电流 I_f 由一个独立的直流电源提供,与电枢电流 I_a 无关,如图 1.2.1(a)所示,有较好的运行性能。

2. 并励直流电机

励磁绕组与电枢绕组并联,如图 1.2.1(b)所示。对发电机而言,励磁电流由发电机自身提供;对电动机而言,励磁绕组与电枢绕组并接于同一外加电源。

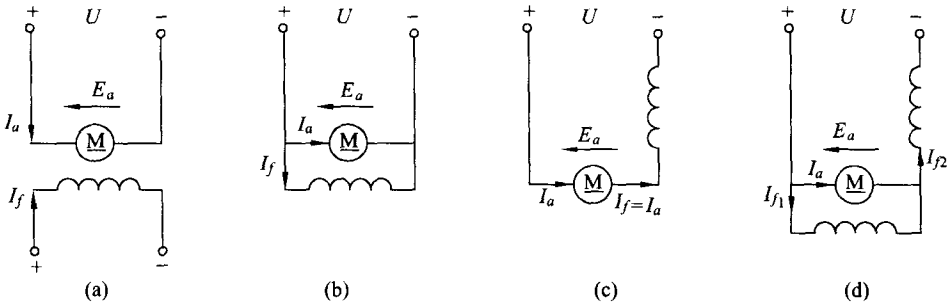


图 1.2.1 各种励磁方式

3. 串励直流电机

励磁绕组与电枢绕组串联,如图 1.2.1(c)所示。对发电机而言,励磁电流由发电机自身提供;对电动机而言,励磁绕组与电枢绕组串接于同一外加电源; $I_a = I_f$ 。

4. 复励直流电机

励磁绕组的一部分和电枢绕组并联,另一部分与电枢绕组串联,如图 1.2.1(d)所示。

直流电机还可以分别按转速、电流、电压、工作定额以及按防护型式、安装结构型式和通风冷却方式等特征来分类。

1.2.2 直流电机的额定值

额定值是电机制造厂对电机正常运行时有关的电量或机械量所规定的数值。额定值是选用电机的依据。直流电机的额定值有：

- (1) 额定功率 P_N ：电机在额定情况下允许输出的功率。对于发电机，是指输出的电功率；对于电动机，是指轴上所输出的机械功率，单位一般都为 W 或 kW。
- (2) 额定电压 U_N ：在额定情况下，电刷两端输出或输入的电压，单位为 V。
- (3) 额定电流 I_N ：在额定情况下，电机流出或流入的电流，单位为 A。

盖、电刷等装置；转子部分包括电枢铁心、电枢绕组、换向器、转轴、风扇等部件。直流电机的基本结构如图 1.3.1 所示。

1. 定子部分

(1) 机座

机座既可以固定主磁极、换向极、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 1.3.2 所示。主磁极铁心一般由 1.0~1.5mm 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。

极身上面套励磁绕组（由绝缘铜线绕制而成），绕组中通入直流电流。整个磁极用螺钉固定在机座上。直流电机的主磁极总是成对的，相邻主磁极的极性按 N 极和 S 极交替排列。

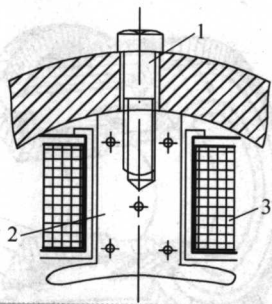


图 1.3.2 直流电机的主磁极

1. 固定主磁极的螺钉 2. 主磁极极心 3. 励磁绕组

(3) 换向极

换向极用来改善换向，由铁心和套在铁心上的绕组构成，如图 1.3.3 所示。换向极铁心一般用整块钢制成，如换向要求较高，则用 1.0~1.5mm 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。

(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相连接，并把电枢绕组中的交流电转变成电刷两端的直流电。电刷装置由电刷、刷握、刷杆、刷杆架、弹簧、铜辫构成，如图 1.3.4 所示。电刷是用碳-石墨等做成的导电块，电刷装在刷握的刷盒内，用弹簧把它紧压在换向器表面上。电刷组的个数一般等于主磁极的个数。

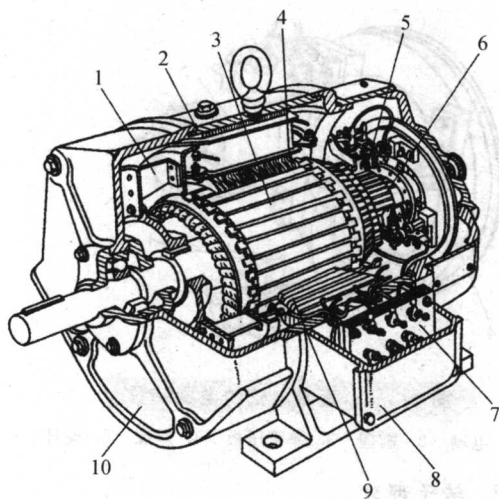


图 1.3.1 直流电机的结构图

1. 风扇 2. 机座 3. 电枢 4. 主磁极 5. 刷架
6. 换向器 7. 接线板 8. 出线盒 9. 换向极 10. 端盖

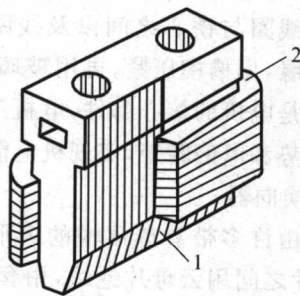


图 1.3.3 直流电机的换向极

1. 换向极铁心 2. 换向极绕组

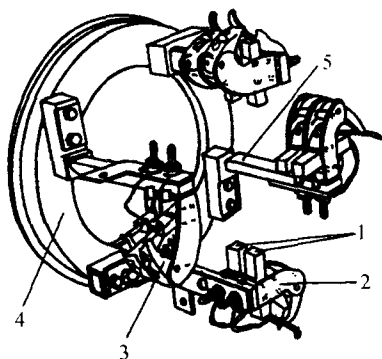


图 1.3.4 直流电机的电刷装置

1. 电刷 2. 刷握 3. 弹簧压板 4. 座圈 5. 刷杆

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。电枢铁心一般用 0.5mm 厚、两边涂有绝缘漆的硅钢片叠压而成,如图 1.3.5 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。

(2) 电枢绕组

电枢绕组是用绝缘铜线绕制的线圈按一定规律嵌放到电枢铁心槽中,并与换向器作相应联接。线圈与铁心之间以及线圈的上下层之间均要妥善绝缘,用槽楔压紧,再用玻璃丝带或钢丝扎紧。电枢绕组是电机的核心部件,电机工作时在其中产生感应电动势和电磁转矩,实现机电能量的转换。

(3) 换向器

它是由许多带有燕尾槽的楔形铜片组成的一个圆筒,铜片之间用云母片绝缘,用套筒、云母环和螺帽紧固成一个整体,换向片套筒之间要妥善绝缘。电枢绕组中每个线圈上的两个端头接在不同换向片上。金属套筒式换向器如图 1.3.6 所示。小型直流电机的换向器是用塑料紧固的。换向器的作用是与电刷一起,起转换电动势和电流的作用。

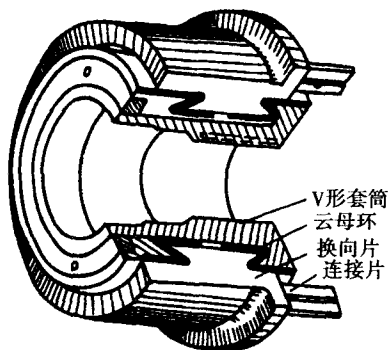


图 1.3.6 换向器

3. 气隙

定子与转子之间有空隙,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,为电机磁路中的主要组成部分。气隙的大小对电机运行性能有很大影响。

1.3.2 直流电机的工作原理

所有电机都是依据两条基本原理制造的:一条是导线切割磁力线产生感应电动势;另一条是载流导体在磁场中受电磁力的作用。前者是发电机基本原理,后者是电动机基本原理。

因此,从结构上来看,任何电机都包括磁路部分和电路部分;从原理上看都体现着电和磁的相互作用。

1. 直流发电机的工作原理

图 1.3.7 是直流发电机的原理图,定子上两个磁极 N、S,建立恒定磁场,两磁极中间是装在转子上的电枢。嵌入铁心的绕组 abcd 的两端 a、d 与两片相互绝缘的半圆形铜片(换向器)相接。通过电刷 A、B 与外电路相连。

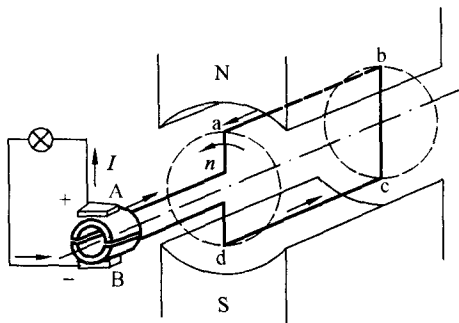


图 1.3.7 直流发电机原理图

当原动机带着电枢逆时针旋转时,线圈两有效边 ab 和 cd 将切割磁场磁力线产生感应电动势,方向按右手定则确定,在 S 极下由 $d \rightarrow c$,在 N 极下由 $b \rightarrow a$,电刷 A 为正极,电刷 B 为负极。负载电流的方向,由 $A \rightarrow B$ 。当线圈转过 90° 时,两线圈有效边位于磁场物理中性面上,不切割磁力线,感应电动势为零。虽然两电刷同时与两铜片相接,把线圈短路,但线圈中无电流。当线圈转过 180° 时,此时线圈边中的电动势方向改变了,在 S 极下由 $a \rightarrow b$,在 N 极下由 $c \rightarrow d$ 。电刷 A 原来与铜片 1 接触变成与铜片 2 接触,电刷 B 原来与铜片 2 接触变成与铜片 1 接触。因此电刷 A 仍为正极,电刷 B 仍为负极。线圈每转过一对磁极,其两个有效边中的电动势方向就改变一次,但是两电刷之间的电动势方向是不变的,电动势只是大小在零和最大值之间变化。显然,这种电动势方向虽然不变,但大小波动很大,这样的电动势是没有实用价值的。要减小电动势的波动程度,实用的电机在电枢圆周表面装有较多数量的线圈和相应的铜片数。例如,电枢上每隔 90° 装一个线圈边,互相串联。这样,换向后的合成电动势的波动程度就会显著减小。实际发电机的线圈数较多,所以电动势波动很小,可认为是恒定不变的直流电动势。

2. 直流电动机的工作原理

直流电动机在机械构造上与直流发电机完全相同,图 1.3.8 是直流电动机的原理图。电枢不用外力拖动。把电刷 A、B 接到直流电源上,假定电流从电刷 A 流入线圈,沿 $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d$ 方向,从电刷 B 流出。由电磁力定律可知,载流的线圈将受到电磁力的推动,其方向按左手定则确定,ab 边受力向左,cd 边受力向右,形成转矩,结果使电枢逆时针方向转动。如图 1.3.8(a) 所示。

当电枢转过 180° 时,如图 1.3.8(b) 所示,电流仍从电刷 A 流入线圈,沿 $d \rightarrow c \rightarrow b \rightarrow a$ 方向,从电刷 B 流出。与图 1.3.8(a) 比较,通过线圈的电流方向改变了,但两个线圈边受电磁力的方向却没有改变,即电动机只向一个方向旋转。若要改变其转向,必须改变电源的极性,使电流从电刷 B 流入,从电刷 A 流出才行。

以上分析可知:一个线圈边从一个磁极范围经过中性面到相邻的异性磁极范围时,不论是发电机还是电动机,其线圈中的电流方向都要改变一次,而电枢的转动方向却始终不变,通过电刷与外电路连接的电动势、电流方向也不变。因此,直流发电机中换向器的作用是将电枢绕组产生的交流电转换为电刷间的直流电,起整流作用;直流电动机中换向器的作用是将电源的直流电转换为绕组中的交流电,保持电磁转矩的方向不变。

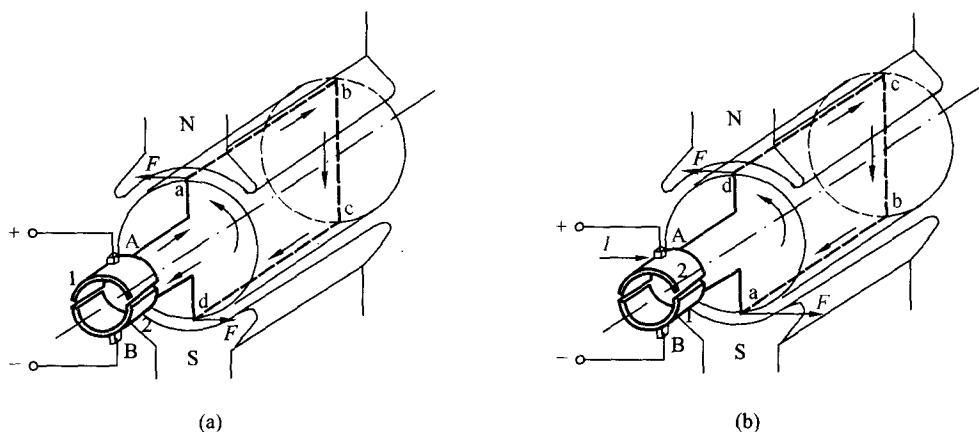


图 1.3.8 直流电动机的原理图

1.3.3 直流电机的电枢电动势及电磁转矩

1. 电枢电动势

电枢绕组是由绕组元件(线圈)按一定规律与换向片连接而成的,如图 1.3.9 所示。电枢旋转时,根据电磁感应定律 $e = Blv$,绕组各个元件边相对气隙磁场运动而感应出电动势,元件电动势即为两个元件边的电动势之和。电枢电动势为电枢绕组正、负极性电刷之间任一并联支路内各串联元件电动势的总和。元件交替通过不同极性磁场所感应的电动势为交变电动势;但由于电刷与换向片相对旋转,而与主极相对静止,每条支路内各元件所处的磁场位置维持不变,因此通过电刷与换向片的及时换接,支路电动势(即电枢电动势)为直流电动势。为使支路电动势最大,被电刷所短接的元件的轴线应与主磁极中心线重合,通常称为电刷应处于中性线位置。电刷处于中性线位置时,其电枢电动势可按下式计算:

$$E_a = C_e \Phi n \quad (\text{V}) \quad (1-1)$$

式中 $C_e = \frac{pN}{60a}$ —— 电动势常数

Φ —— 每极气隙磁通 Wb

n —— 电枢转速 r/min

电枢电动势的极性根据磁场极性与旋转方向按右手定则决定,若二者只变其一,则电动势极性改变,若二者同时改变,则电动势极性不变。

2. 电磁转矩

根据电磁力定律 $f = Bli$,处于气隙磁场中的载流电枢绕组的各个元件边都将受到切向电磁力的作用,如图 1.3.9 所示。当电刷处于中性位置时,通过电刷的总电流为 I_a ,则电磁转矩可按式计算:

$$T = C_T \Phi I_a \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (1-2)$$

式中 $C_T = \frac{pN}{2\pi a}$ —— 转矩常数

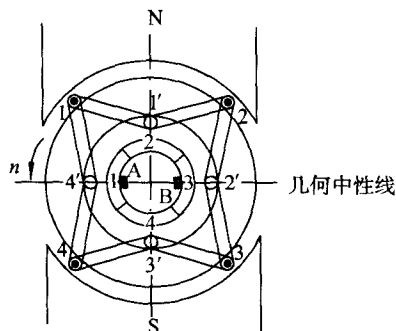


图 1.3.9 直流电机电枢绕组示意图