



高等职业教育
机电类课程规划教材

电机与拖动技术

(基础篇)

GAODENG ZHIYE JIAOYU
JIDIANLEI KECHENG GUIHUA JIAOCAI

新世纪高等职业教育教材编审委员会组编

主编 郑立平 张晶 主审 刘凤春

大连理工大学出版社



高等职业教育机电类课程规划教材

电机与拖动技术

(基础篇)

新世纪高等职业教育教材编审委员会组编

主 审 刘凤春

主 编 郑立平 张 晶 副主编 杨贵义 温丹丽 许 郢



DIANJI YU TUODONG JISHU

大连理工大学出版社
DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

© 大连理工大学出版社 2006

图书在版编目(CIP)数据

电机与拖动技术(基础篇) / 郑立平, 张晶主编. —大连: 大连理工大学出版社, 2006. 1

高等职业教育机电类课程规划教材

ISBN 7-5611-3097-X

I. 电… II. ①郑… ②张… III. ①电机 ②电力传动 IV. TM3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 004537 号

大连理工大学出版社出版

地址: 大连市软件园路 80 号 邮政编码: 116023

发行: 0411-84708842 邮购: 0411-84703636 传真: 0411-84701466

E-mail: dutp@ dutp. cn URL: <http://www. dutp. cn>

大连理工印刷有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

幅面尺寸: 185mm × 260mm 印张: 23 字数: 498 千字

印数: 1 ~ 5 000

2006 年 1 月第 1 版

2006 年 1 月第 1 次印刷

责任编辑: 姜 楠

责任校对: 张 鹏

封面设计: 波 朗

定 价: 35.00 元(共两册)

新世纪高等职业教育教材编委会教材建设 指导委员会

主任委员：

曹勇安 黑龙江东亚学团董事长 齐齐哈尔职业学院院长 教授

副主任委员(按姓氏笔画为序)：

马必学	武汉职业技术学院院长	教授
王大任	辽阳职业技术学院院长	教授
冯伟国	上海商业职业技术学院副院长	教授 博士
刘兰明	邯郸职业技术学院副院长	教授
刘长声	天津对外经济贸易职业学院副院长	副教授
李竹林	河北建材职业技术学院院长	教授
李长禄	黑龙江工商职业技术学院副院长	副研究员
陈 礼	广东顺德职业技术学院副院长	教授
金长义	广西工业职业技术学院院长	副教授
赵居礼	陕西工业职业技术学院副院长	副教授
徐晓平	盘锦职业技术学院院长	教授
高树德	吉林交通职业技术学院副院长	教授
戴裕崴	天津轻工业职业技术学院副院长	副研究员 博士

秘书长：

杨建才 沈阳师范大学职业技术学院院长

副秘书长(以姓氏笔画为序)：

张和平 江汉大学高等职业技术学院院长
张化疆 黑龙江生态工程职业学院副院长
周 强 齐齐哈尔大学应用技术学院院长

秘书组成员(按姓氏笔画为序)：

卜 军 上海商业职业技术学院
王澄宇 大庆职业学院
粟景妆 广西国际商务职业技术学院
鲁 捷 沈阳师范大学职业技术学院
谢振江 黑龙江省司法警官职业学院

会员单位：(略)

总 序

我们已经进入了一个新的充满机遇与挑战的时代,我们已经跨入了21世纪的门槛。

20世纪与21世纪之交的中国,高等教育体制正经历着一场缓慢而深刻的革命,我们正在对传统的普通高等教育的培养目标与社会发展的现实需要不相适应的现状作历史性的反思与变革的尝试。

20世纪最后的几年里,高等职业教育的迅速崛起,是影响高等教育体制变革的一件大事。在短短的几年时间里,普通中专教育、普通高专教育全面转轨,以高等职业教育为主导的各种形式的培养应用型人才培养的教育发展到与普通高等教育等量齐观的地步,其来势之迅猛,发人深思。

无论是正在缓慢变革着的普通高等教育,还是迅速推进着的培养应用型人才的高等职业教育,都向我们提出了一个同样的严肃问题:中国的高等教育为谁服务,是为教育发展自身,还是为包括教育在内的大千社会?答案肯定而且惟一,那就是教育也置身其中的现实社会。

由此又引发出高等教育的目的问题。既然教育必须服务于社会,它就必须按照不同领域的社会需要来完成自己的教育过程。换言之,教育资源必须按照社会划分的各个专业(行业)领域(岗位群)的需要实施配置,这就是我们长期以来明乎其理而疏于力行的学以致用问题,这就是我们长期以来未能给予足够关注的教育目的问题。

众所周知,整个社会由其发展所需要的不同部门构成,包括公共管理部门如国家机构、基础建设部门如教育研究机构和各种实业部门如工业部门、商业部门,等等。每一个部门又可作更为具体的划分,直至同它所需要的各种专门人才相对应。教育如果不能按照实际需要完成各种专门人才培养的目标,就不能很好地完成社会分工所赋予它的使命,而教育作为社会分工的一种独立存在就应受到质疑(在市场经济条件下尤其如此)。可以断言,按照社会的各种不同需要培养各种直接有用人才,是教育体制变革的终极目的。



新世纪

随着教育体制变革的进一步深入,高等院校的设置是否会同社会对人才类型的不同需要一一对应,我们姑且不论。但高等教育走应用型人才培养的道路和走理论型(也是一种特殊应用)人才培养的道路,学生们根据自己的偏好各取所需,始终是一个理性运行的社会状态下高等教育正常发展的途径。

高等职业教育的崛起,既是高等教育体制变革的结果,也是高等教育体制变革的一个阶段性表征。它的进一步发展,必将极大地推进中国教育体制变革的进程。作为一种应用型人才培养的教育,高等职业教育从专科层次起步,进而高职本科教育、高职硕士教育、高职博士教育……当应用型人才培养的渠道贯通之时,也许就是我们迎接中国教育体制变革的成功之日。从这一意义上说,高等职业教育的崛起,正是在为必然会取得最后成功的教育体制变革奠基。

高职教育还刚刚开始自己发展道路的探索过程,它要全面达到应用型人才培养的正常理性发展状态,直至可以和现存的(同时也正处在变革分化过程中的)理论型人才培养的教育并驾齐驱,还需假以时日;还需要政府教育主管部门的大力推进,需要人才需求市场的进一步完善发育,尤其需要高职教学单位及其直接相关部门肯于做长期的坚忍不拔的努力。新世纪高等职业教育教材编审委员会就是由全国100余所高职院校和出版单位组成的旨在以推动高职教材建设来推进高等职业教育这一变革过程的联盟共同体。

在宏观层面上,这个联盟始终会以推动高职教材的特色建设为己任,始终会从高职教学单位实际教学需要出发,以其对高职教育发展的前瞻性的总体把握,以其纵览全国高职教材市场需求的广阔视野,以其创新的理念与创新的组织形式,通过不断深化的教材建设过程,总结高职教学成果,探索高职教材建设规律。

在微观层面上,我们将充分依托众多高职院校联盟的互补优势和丰裕的人才资源优势,从每一个专业领域、每一种教材入手,突破传统的片面追求理论体系严整性的意识限制,努力凸现高职教育职业能力培养的本质特征,在不断构建特色教材建设体系的过程中,逐步形成自己的品牌优势。

新世纪高等职业教育教材编审委员会在推进高职教材建设事业的过程中,始终得到了各级教育主管部门以及各相关院校相关部门的热忱支持和积极参与,对此我们谨致深深谢意;也希望一切关注、参与高职教育发展的同道朋友,在共同推动高职教育发展、进而推动高等教育体制变革的进程中,和我们携手并肩,共同担负起这一具有开拓性挑战意义的历史重任。

新世纪高等职业教育教材编审委员会

2001年8月18日

前 言

《电机与拖动技术》(基础篇)是新世纪高等职业教育教材编审委员会组编的机电类课程规划教材之一。

《电机与拖动技术》(基础篇)从高职教育的实际情况出发,注重理论联系实际。力求通俗易懂、深入浅出及少而精,突出实际应用环节。本书紧扣高职办学新理念,结合高职教学的基本要求,以理论深度够用为度,紧密结合生产实践,注重学生的实践应用能力的培养,力求基本概念清晰明确,用实例强化概念的应用;理论推导简化,易于掌握,具有实用性;列举典型实例,分析过程思路清晰,紧密与实践相结合。本书是高职电气类专业基础理论教材,同本教材实训篇配合使用效果更佳。

本教材在编写过程中力求突出以下几个特点:

1. 理论分析难度适中,注重结果应用而对分析方法仅做定向阐述,不做理论证明。
2. 教材的章首都有本章要点,每章后都附加思考题与习题并配有部分习题答案,这样有利于学生的预习和复习。
3. 教材以常用电机的基本结构与工作原理为基础结合工作实际进行阐述,力求理论够用,突出实际应用。
4. 本书附录中配有常用电机的型号、规格和技术数据,能够更好地满足实际应用。

全书共分为12章,其主要内容为直流电机的结构与工作原理、直流电机的基本理论及运行特性、直流电动机的电力拖动基础、直流电机的电力拖动、变压器、交流电机的绕组、三相异步电动机、三相异步电动机的电力拖动、单相异步电动机、同步电动机、微特电机、电动机的选择及附录等。

另外本书可作为高职工业电气自动化、机电技术、供用电技术等专业学生必修的一门专业基础课教材。还可作为成人教育及函授培训教材,也可供有关教师和工程技术人员

6 / 电机与拖动技术(基础篇) □

员及广大读者参考。

本教材由黑龙江工商职业技术学院郑立平、大连水产学院职业技术学院张晶担任主编,辽宁石油化工大学职业技术学院杨贵义、沈阳师范大学职业技术学院温丹丽、黑龙江工商职业技术学院许郢任副主编。具体编写分工如下:第1章、第2章及第3章由张晶老师编写,第4章及第5章由郑立平老师编写,第6章及第7章由许郢老师编写,第8章及第9章由温丹丽老师编写,第10章、第11章及第12章由杨贵义老师编写,全书由郑立平老师统稿。大连理工大学刘凤春老师审阅了全书并提出了许多宝贵的意见和建议,广西南宁职业技术学院麦艳红老师也对本书提出了许多宝贵的意见,在此一并表示感谢。

尽管我们在《电机与拖动技术》(基础篇)教材的特色建设方面做出了很多努力,但由于高职教材建设还处于探索阶段,教材中难免会出现不足之处,恳切希望各相关高职院校教师和学生在使用本教材的过程中给予关注,并将意见和建议及时反馈给我们,以便修订时完善。

所有意见和建议请发往 gzjckfb@163.com

联系电话:0411-84707492 0411-84706104

编者

2006年1月



第1章 直流电机的结构与工作原理	1
1.1 直流电机的结构与工作原理	1
1.2 直流电机的电枢绕组	5
1.3 直流电机的铭牌数据及主要系列	10
思考题与习题	12
第2章 直流电机的基本理论及运行特性	13
2.1 直流电机的电枢反应	13
2.2 直流电机的电枢电动势和电磁转矩	16
2.3 直流电机的换向	17
2.4 直流电机的基本方程式	19
2.5 直流发电机的运行特性	24
2.6 直流电动机的工作特性	27
思考题与习题	28
第3章 直流电动机的电力拖动基础	31
3.1 电力拖动系统的运动方程式	31
3.2 工作机构转矩、力、飞轮矩、质量的折算	33
3.3 生产机械的负载特性	37
3.4 直流电动机的机械特性	38
3.5 电力拖动系统的稳定运行条件	42
思考题与习题	44
第4章 直流电机的电力拖动	46
4.1 他励直流电动机的启动	46
4.2 他励直流电动机的制动	49
4.3 他励直流电动机的调速	54
4.4 直流电动机的应用	58
思考题与习题	61
第5章 变压器	63
5.1 变压器的基本原理和结构及其额定值	63
5.2 单相变压器的空载运行和负载运行	69
5.3 变压器的参数测定	74
5.4 三相变压器	76
5.5 变压器的应用	80
思考题与习题	85
第6章 交流电机的绕组	87
6.1 交流绕组的基本知识	87
6.2 三相单层绕组及双层绕组	90

6.3	交流绕组的电动势	96
6.4	交流绕组的磁通势	101
	思考题与习题	108
第7章	三相异步电动机	109
7.1	三相异步电动机的基本工作原理及结构	109
7.2	三相异步电动机的运行	116
7.3	三相异步电动机的参数测定	123
7.4	三相异步电动机的功率和转矩	126
7.5	三相异步电动机的工作特性	129
	思考题与习题	131
第8章	三相异步电动机的电力拖动	133
8.1	三相异步电动机的机械特性	133
8.2	三相异步电动机的启动	140
8.3	三相异步电动机的制动	143
8.4	三相异步电动机的调速	147
8.5	绕线式异步电动机的启动	150
	思考题与习题	152
第9章	单相异步电动机	153
9.1	单相异步电动机的工作原理	153
9.2	单相异步电动机的类型	154
9.3	单相异步电动机的应用	156
	思考题与习题	157
第10章	同步电动机	158
10.1	同步电动机	158
10.2	三相永磁同步电动机	164
10.3	同步电动机应用	177
	思考题与习题	179
第11章	微特电机	181
11.1	概述	181
11.2	直流伺服电动机	183
11.3	步进电动机	189
11.4	测速发电机	197
11.5	直线电动机简介	200
	思考题与习题	206
第12章	电动机的选择	207
12.1	电动机种类、电压、转速和结构形式的选择	207
12.2	电动机容量的选择	209
	思考题与习题	220
	附录	223
	部分习题参考答案	234
	参考文献	236

第 1 章

直流电机的结构与工作原理

本章要点

本章主要介绍直流电机的基本结构和工作原理、直流电机的电枢绕组、直流电机的铭牌数据与主要系列等基本知识。通过本章的学习,应达到以下要求:

1. 掌握直流电机的基本结构;
 2. 掌握直流发电机和直流电动机的工作原理;
 3. 掌握直流电机电枢绕组的节距以及单叠、单波绕组的排列规律与特点;
 4. 熟悉直流电机的铭牌数据与主要系列。
- 为使用和修理直流电机打好基础。

1.1 直流电机的结构与工作原理

直流电机有直流发电机和直流电动机两种类型。将机械能转化为电能的是直流发电机,将电能转化为机械能的是直流电动机。不管是发电机还是电动机,其结构基本是相同的。

1.1.1 直流电机的结构

直流电机主要分为定子和转子两大部分。定转子之间存在的间隙称为气隙。

1. 定子

定子是电机的静止部分,主要用来产生磁场。它主要包括:

(1) 主磁极 主磁极包括铁心和励磁绕组两部分。当励磁绕组中通入直流电流后,铁心中即产生励磁磁通,并在气隙中建立励磁磁场。励磁绕组通常用圆形或矩形的绝缘导线制成一个集中的线圈,套在磁极铁心外面。主磁极铁心一般用 1~1.5mm 厚的低碳钢板冲片叠压铆接而成,主磁极铁心柱体部分称为极身,靠近气隙一端较宽的部分称为极靴,极靴与极身交接处形成一个突出的肩部,用以支撑住励磁绕组。极靴沿气隙表面成弧形,使磁极下气隙磁通密度分布更合理。整个主磁极用螺杆固定在机座上。直流电机的结构见图 1-1,图 1-2 为其正剖面图。

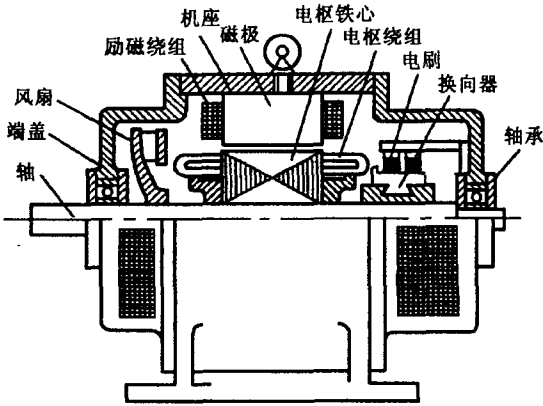


图 1-1 直流电机的结构

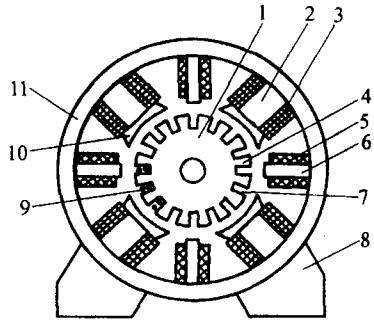


图 1-2 直流电机的正剖面图

- 1—电枢铁心;2—主磁极;3—励磁绕组;4—电枢齿;
5—换向极绕组;6—换向极铁心;7—电枢槽;
8—底座;9—电枢绕组;10—极靴;11—机座

主磁极总是 N、S 两极成对出现。各主磁极的励磁绕组通常是相互串联连接,连接时要能保证相邻磁极的极性按 N、S 交替排列。

(2)换向极 换向极也由铁心和绕组构成,其结构见图 1-3。中小容量直流电机的换向极铁心是用整块钢制成的,大容量直流电机和换向要求高的电机,换向极铁心用薄钢片叠成。换向极绕组要与电枢绕组串联,因通过的电流大,导线截面较大,匝数较少。换向极装在主磁极之间,换向极的数目一般等于主磁极数,在功率很小的电机中,换向极的数目有时只有主磁极极数的一半,或不装换向极。换向极的作用是改善换向,防止电刷和换向器之间出现过强的火花。

(3)电刷装置 电刷装置由电刷、刷握、压紧弹簧和刷杆座等组成。电刷是用碳-石墨等做成的导电块,电刷装在刷握的盒内,用压紧弹簧把它压紧在换向器的表面上。压紧弹簧的压力可以调整,保证电刷与换向器表面有良好的滑动接触。刷握固定在刷杆上,刷杆装在刷杆座上,彼此之间绝缘。刷杆座装在端盖或轴承盖上,根据电流的大小,每一刷杆上可以有几个电刷组成的电刷组,电刷组的数目一般等于主磁极数。电刷的作用是与换向器配合引入、引出电流。电刷盒的装配如图 1-4 所示。

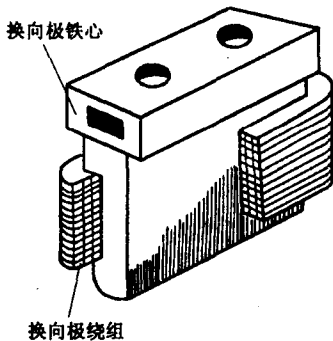


图 1-3 换向极结构

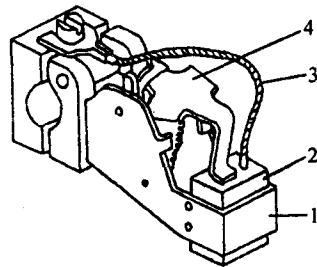


图 1-4 电刷盒装配

- 1—刷握;2—电刷;3—铜丝辫;
4—压紧弹簧

(4)机座和端盖 机座一般用铸钢或厚钢板焊接而成。它用来固定主磁极、换向极及端盖,借助底脚将电机固定于基础上。机座还是磁路的一部分,用以通过磁通的部分称

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

2. 转子

转子是电机的转动部分,转子的主要作用是感应电动势,产生电磁转矩,使机械能变为电能(发电机)或电能变为机械能(电动机)的枢纽。它主要包括:

(1) 电枢 电枢又包括铁心和绕组两部分。

①电枢铁心 电枢铁心一般用0.5mm厚的涂有绝缘漆的硅钢片冲片叠成,这样铁心在主磁场中转动时可以减少磁滞和涡流损耗。铁心表面有均匀分布的齿和槽,槽中嵌放电枢绕组。电枢铁心构成磁的通路。电枢铁心固定在转子支架或转轴上。电枢铁心冲片如图1-5所示。

②电枢绕组 电枢绕组是用绝缘铜线绕制成的线圈按一定规律嵌放到电枢铁心槽中,并与换向器作相应的连接。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,实现能量的转换。

(2)换向器 换向器的作用是与电刷配合,将直流电动机输入的直流电流转换成电枢绕组内的交变电流,或是将直流发电机电枢绕组中的交变电动势转换成输出的直流电压。

换向器是一个由许多燕尾状的梯形铜片间隔云母片绝缘排列而成的圆柱体,每片换向片的一端有突出的部分,上面铣有线槽,供电枢绕组引出端焊接用。所有换向片均放置在与它配合的具有燕尾状槽的金属套筒内,然后用V形钢环和螺纹压圈将换向片和套筒紧固成一体。换向片组与套筒、V形钢环之间均要用云母片绝缘,换向器的侧剖面如图1-6所示。

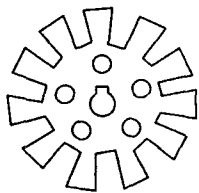


图 1-5 电枢铁心冲片

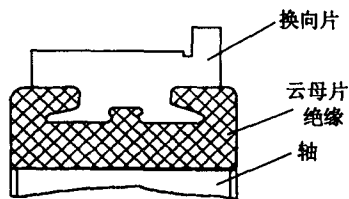


图 1-6 直流电机换向器

(3) 转轴 在转轴上安装电枢和换向器。

3. 气隙

静止的磁极和旋转的电枢之间的间隙称为气隙。在小容量电机中,气隙为0.5~3mm。气隙数值虽小,但磁阻很大,为电机磁路的主要组成部分。气隙大小对电机运行性能有很大影响。

1.1.2 直流电机的基本原理

1. 直流发电机的基本工作原理

图1-7是一台两极直流发电机的原理图。图中N、S是静止的主磁极,它产生磁通。

4 / 电机与拖动技术(基础篇) □

能够在两磁极之间转动的电枢铁心上装有线圈 $abcd$ 。线圈的两个端头接在相互绝缘的两个铜质的换向片 1、2 上,它们固定于转轴上且与转轴绝缘。在空间静止的 A 和 B 电刷与换向片滑动接触,使旋转的线圈与外面静止的电路相连。

当原动机拖动发电机以恒定转速转动时,线圈的两个边 ab 和 cd 切割磁力线,根据电磁感应定律可知,在其中产生感应电动势,其方向可由右手定则判定。电枢逆时针方向旋转,此时导线 ab 中感应电动势方向由 b 指向 a ;而导线 cd 中感应电动势的方向由 d 指向 c 。因电动势是从低电位指向高电位,此时 A 刷为正电位,B 刷为负电位。外电路中的电流,由 A 刷经负载流向 B 刷。

当电枢旋转 180° ,线圈 ab 边转至 S 极上,线圈 cd 边转到 N 极下,它们的感应电动势方向发生改变。 ab 的感应电动势方向变为由 a 指向 b , cd 中的感应电动势方向变为由 c 指向 d 。 a 所接的换向片 1 转至与 B 刷相接触, d 所接的换向片 2 转至与 A 刷相接触。这时,A 刷仍具有正电位,B 刷仍具有负电位。外电路中的电流,仍是由 A 刷经负载流向 B 刷。

可见,电枢旋转时,在线圈内部产生交变的电动势,由于换向器与电刷的配合作用,使电刷 A 总是与位于 N 极下的线圈边接触,电刷 B 总是与位于 S 极上的线圈边接触,因此电刷 A 的极性总为正,电刷 B 的极性总为负,在电刷两端可获得直流电动势。这就是直流发电机的基本工作原理。

2. 直流电动机的基本工作原理

图 1-8 是直流电动机的原理图。直流电动机是把电能转换成机械能的装置。

直流电动机工作时接于直流电源上,如 A 刷接电源正极,B 刷接电源负极。电流从 A 刷流入,经线圈 $abcd$,再由 B 刷流出。图 1-8 所示瞬间,在 N 极下的线圈边 ab 中的电流是由 a 到 b ;在 S 极上的线圈边 cd 中的电流方向由 c 到 d 。根据电磁力定律知道,载流导体在磁场中要受力,其方向可由左手定则判定。 ab 边受力的方向向左, cd 边受力的方向向右。两个电磁力对转轴所形成的电磁转矩为逆时针方向,电磁转矩使电枢逆时针方向旋转。

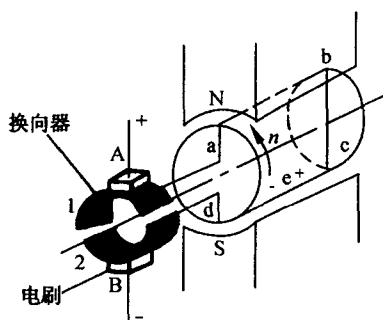


图 1-7 直流发电机原理图

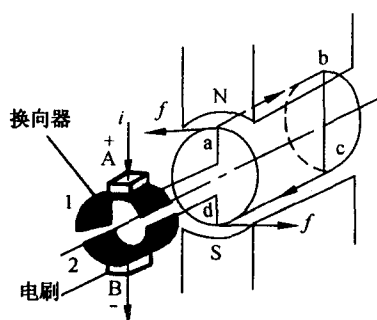


图 1-8 直流电动机原理图

当线圈转过 180° ,换向片 2 转至与 A 刷接触,换向片 1 转至与 B 刷接触。电流由正极经换向片 2 流入, cd 边的电流由 d 流向 c , ab 边的电流由 b 流向 a ,再由换向片 1 经 B 刷流回负极。线圈中的电流方向改变了,导体所在磁场的极性也改变了,电磁力及电磁力对转轴所形成的电磁转矩的方向未变,仍为逆时针方向,这样可使电动机沿一个方向连续

旋转下去。

通过电刷和换向器,使每一磁极下的导体中的电流方向始终不变,因而产生单方向的电磁转矩,电枢始终向一个方向旋转,这就是直流电动机的基本工作原理。

综上所述,不论是直流发电机还是直流电动机,电刷之间的外部电压是直流,而线圈内部的电流却是交变的,所以换向器是直流电机中的关键部件。直流电机原则上既可以作为发电机运行,也可以作为电动机运行,只是外部条件不同而已。

1.2 直流电机的电枢绕组

1.2.1 电枢绕组的基本知识

电枢绕组是直流电机的核心部分。无论是发电机还是电动机,感应电动势和电磁转矩都在电枢绕组中产生,电枢绕组是实现机电能量转换的枢纽,电枢绕组的名称由此而来,并为此把直流电机的转子称为电枢。

电枢绕组是由许多分布在转子表面的线圈按一定规律连接而成的闭合绕组。根据连接规律的不同,电枢绕组可分为单叠绕组、单波绕组、复叠绕组、复波绕组及混合绕组五种形式。直流电机对电枢绕组的要求是:在保证产生足够大的感应电动势和电磁转矩的前提下,尽可能地节约有色金属和绝缘材料,并且要求结构简单,运行可靠,散热良好。

1. 绕组元件

构成绕组的线圈称为绕组元件,是用绝缘铜线绕制的。元件的开始端头称首端,終了端头称末端。嵌放在电枢铁心槽中的直线部分称有效边,连接两个有效边的部分称为端接部分。一个元件可以是单匝或多匝。

2. 元件数、槽数、换向片数的关系

直流电机的电枢绕组是双层的,即每个槽分上下两层嵌放元件的有效边。每个元件的一个边嵌放在一个槽子的上层,另一个边嵌放在另一个槽子的下层,如图 1-9 所示。

一个元件有两个边,而一个槽的上下层可以嵌放不同元件的两个边,所以元件数和槽数相等。一个元件有两个端头,分别连到不同的两个换向片上,而每一个换向片上接两个不同元件的两个端头,元件数等于换向片数。因而元件数等于换向片数等于槽数,即

$$S = K = Z \quad (1.2.1)$$

式中 S ——元件数;

K ——换向片数;

Z ——电枢实际槽数。

实际上,为了减少电机槽的数目,槽中每层可嵌二个、三个或更多的元件边。通常把一个上层边和一个下层边在槽内所占的空间称为一个虚槽。一个电机有 Z 个实槽,每个实槽有 u 个虚槽,则电枢铁心的虚槽数为

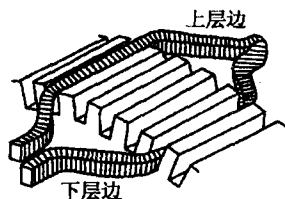


图 1-9 元件的安放

$$Z_u = uZ \quad (1.2.2)$$

因为每个元件有两个有效边和两个端头,每个虚槽可嵌放两个有效边,每个换向片可接两个端头,所以在包含虚槽的电机中元件数等于换向片数等于虚槽数,即

$$S = K = Z_u \quad (1.2.3)$$

3. 叠绕组和波绕组

叠绕组是指相串联的后一个元件端接部分紧叠在前一个元件端接部分的上面,整个绕组成褶皱式前进;波绕组是指相串联的两个元件像波浪式前进如图 1-10 所示。

1.2.2 电枢绕组的节距

为了正确地把各元件安放入电枢槽内,并且和相应的换向片按一定规律连接起来,就必须先了解电枢绕组的节距。

1. 极距

极距就是一个磁极在电枢表面的空间距离,即

$$\tau = \frac{\pi D}{2p} \quad (1.2.4)$$

式中, τ 表示极距, D 表示电枢直径, p 表示磁极对数。

实际上,常用一个磁极表面所占的虚槽数 Z_u 来计算极距,即

$$\tau = \frac{Z_u}{2p} \quad (1.2.5)$$

2. 第一节距 y_1

第一节距是指一个线圈两个有效边之间在电枢表面上的跨距,以虚槽数表示,如图 1-10 所示。由于线圈边要放入槽内,所以 y_1 应是整数。而为了让绕组能感应出最大的电动势,应使 y_1 接近或等于极距。即

$$y_1 = \frac{Z_u}{2p} \mp \varepsilon \quad (1.2.6)$$

式中, ε 为正分数,是将 y_1 补成整数的一个正分数。若 $\varepsilon = 0$,则 $y_1 = \tau$,称为整距绕组;若取正号,则 $y_1 > \tau$,称为长距绕组;若取负号,则 $y_1 < \tau$,称为短距绕组。为了节省铜线以及某些工艺要求,一般采用短距或整距绕组。

3. 第二节距 y_2

它是指相串联的两个相邻线圈中,第一个线圈的下层边与相邻的第二个线圈的上层边之间的距离,用虚槽数表示。

4. 换向片节距 y_k

它是指线圈的两端所连接的换向片之间距离,用该线圈跨过的换向片数来表示。

5. 合成节距 y

它是指相串联的两个相邻线圈对应的有效边之间的距离,用虚槽数表示。

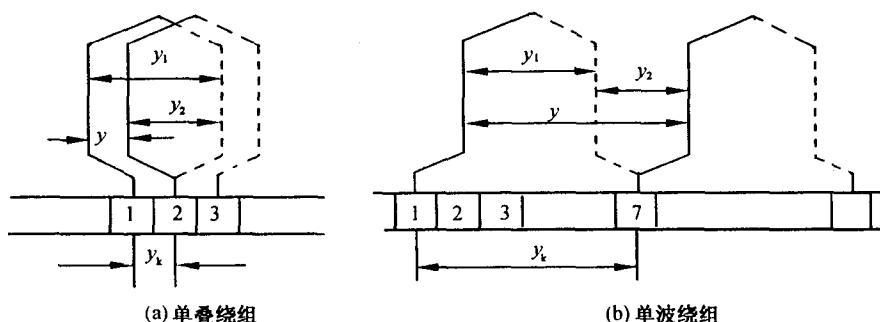


图 1-10 电枢绕组和节距

1.2.3 单叠绕组

单叠绕组是指元件的首端和末端分别接到相邻的两片换向片上,后一个元件叠在前一个元件之上,元件的连接如图 1-10(a)所示。从图中可以看出,合成节距 y 和换向片节距 y_k 相等,即:

$$y = y_k = 1 \quad (1.2.7)$$

1. 单叠绕组的连接规律

单叠绕组的连接规律可用绕组展开图来表示。绕组展开图,是想像把电枢沿轴向剖开展成平面所见到的绕组图。绘制展开图的步骤是:

第一步:计算绕组的各节距。包括 τ 、 y 、 y_1 。

第二步:画槽、元件,按顺序编号。电机有多少个槽,就有多少个标号,并且标号是连续的,但起始标号可从任意槽开始。由于直流电机电枢绕组是双层的,所以每槽用两条短线表示,实线表示上层,虚线表示下层。注意:实线上的标号既表示槽号又表示元件号,同时还表示该元件的上层边所在的位置。

第三步:画换向片,按顺序编号。用小方块代表各换向片,换向器与电枢同周长,换向片的编号也是按顺序从左向右并以第一元件上层边所连接的换向片作为第一换向片号。

第四步:排列、连接绕组。根据各节距按规律排列连接。

第五步:放置主磁极。主磁极应 N、S 极交替地、均匀地放置在各槽之上,每个磁极的宽度约为 0.7 倍的极距。

第六步:安放电刷。放置电刷时应使正负电刷间的感应电动势最大,或被电刷短路的元件感应电动势最小。在展开图中,直流电机的电刷置于磁极中心线下,电刷大小与换向片相同,电刷数与主磁极数相同。在实际生产过程中,直流电机电刷的位置是通过实验方法确定的。

为了直观起见,下面通过例子说明单叠绕组的连接规律。

【例 1-1】 已知一台直流电机 $2p = 2, S = K = Z_u = 8$, 画出单叠绕组展开图。

解 计算绕组的各节距:

$$\text{极距} \quad \tau = \frac{Z_u}{2p} = \frac{8}{2} = 4$$