



铁路高职高专规划教材

电力机车电机

主编 张 龙



中国铁道出版社

CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

铁路高职高专规划教材

电力机车电机

主 编 张 龙

责任主审 连级三

审 阅 邹 滨 王远波

中 国 铁 道 出 版 社

2 0 0 3 年 · 北 京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书共分十二章,前六章系统介绍直流电机的基本知识、直流和脉流牵引电动机的特性、换向和通风冷却、结构、试验线路及方法、维护及检修;第七、八章介绍变压器的基本知识、电力机车上主变压器和平波电抗器的运行特点、基本结构;第九~第十一章介绍异步电动机的基本知识、韶山₄改型、韶山₆型电力机车上异步劈相机、交流辅助电动机的运行原理、基本构成;最后一章简要介绍三相交流牵引电动机的原理及构成。

本书为高等职业学校电力机车专业教材,也可作为中职电力机车专业的教材,还可作为电力机务段有关运用、检修人员的岗位培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

电力机车电机/张龙主编. —北京:中国铁道出版社,2003.7

ISBN 7-113-04861-7

I. 电… II. 张… III. 电力机车-电机-专业学校-教材 IV. U264.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 061890 号

书 名:电力机车电机

作 者:张 龙 主编

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

责任编辑:方 军

编辑部电话:市电(010)51873134,路电(021)73134

封面设计:陈东山

印 刷:中国铁道出版社印刷厂

开 本:787×1092 1/16 印张:16.25 字数:400 千

版 本:2002 年 10 月第 1 版 2003 年 8 月第 2 次印刷

印 数:5 001~6 150 册

书 号:ISBN 7-113-04861-7/U·1387

定 价:26.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

联系电话:市电(010)63545969,路电(021)73169

前 言

本书是铁道部高等职业教育规划教材,由铁路机车专业教学指导委员会根据高等职业学校电力机车专业“电力机车电机”教学大纲,并结合电力机车电机运用、检修生产实际组织编写的。

本教材在编写中结合电力机车专业的特点,综合牵引电动机、主变压器、辅助电动机的原理、特性、结构、技术参数,以基本原理和结构特点为主线,打破学科体系,充分考虑电力机车电机的实际应用和发展现状,在编写中力求做到以下几点:

1. 结合实际。教材紧扣教学大纲要求,结合当前铁路职业教育教学现状及本专业培养目标,降低理论知识难度,以必需、够用为原则,注重培养学生的实际应用能力。

2. 内容适当。教材既反映我国电力机车的发展现状,以交直传动的韶山₄(代号 SS₄)改型、韶山₈(代号 SS₈)型电力机车应用的各种电机为典型产品,也注意引入新技术、新工艺、新材料、新设备,适当介绍交流传动的三相交流牵引电动机。

3. 有利自学。教材减少了繁杂的理论分析、公式推导,力求做到图文并茂、语言规范、深入浅出、通俗易懂。并采用“引言—正文—小结—复习思考题”的编写结构,以突出教学重点,满足自学的需要。

“电力机车电机”是电力机车运用与检修专业的一门主干专业课程。本教材适用于高等职业教育电力机车专业在校生及具有相应水平和学习要求的读者。通过 112~124 学时的理论和实践教学,使学生具备从事电力机车生产一线所必需的电力机车电机基本知识和基本技能,为进一步学习专业知识和职业技能,全面提高综合素质打下良好的基础。

本教材是“电力机车电机”课程中基础模块和选用模块(加*表示)的理论教材,主要讲授电力机车上应用的各种电机的基本原理、结构特点、工作特性、技术参数等,具体结构以 SS₄ 改型、SS₈ 型电力机车应用的各种电机为典型产品。在使用本教材时,对教学基本要求的实践教学模块,各校还应根据设备状况编写相应的指导书,以全面达到培养学生能力的目标。

参加本教材编写工作的有太原铁路机械学校张龙(第一~第四章),石家庄电

力机务段张世宗(第五章、第六章),北京铁路电气化学校张广军(第七章、第八章),太原铁路机械学校祁冠峰(第九章、第十章),西安铁道职业技术学院武军(第十一章、第十二章)。全书由张龙任主编。本书在编写过程中,得到了全国铁道行业职业教育教学指导委员会、铁路机车专业教学指导委员会的大力支持;得到株洲电力机车工厂、石家庄电力机务段等单位的帮助;得到北京铁路电气化学校周立、石家庄电力机务段杜建中同志的大力支持,在此,致以深切的谢意。

本教材通过铁道职业教育教材审定委员会审定。由西南交通大学连级三教授担任责任主审,西南交通大学邹滨副教授、王远波副教授审稿。他们对书稿提出了很多宝贵意见,在此,表示衷心感谢。

中国铁道出版社还聘请了西安铁道职业技术学院的柴秀云审阅了全书。

由于编者水平有限,缺陷和不当之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2003 年 7 月

目 录

第一章 直流电机的基本知识	1
第一节 直流电机基本工作原理	1
第二节 直流电机的基本结构	4
第三节 直流电机的电枢绕组(*)	7
第四节 直流电机的磁场	13
第五节 直流电机的感应电势和电磁转矩	18
第六节 直流电机的基本方程	20
第七节 直流发电机的运行特性	23
小结	28
复习思考题	29
第二章 直流牵引电动机的特性	31
第一节 牵引电动机的一般概念	31
第二节 直流牵引电动机的工作特性	35
第三节 各种励磁方式直流牵引电动机的特性分析	38
第四节 直流牵引电动机的起动、反转、调速和制动	42
第五节 直流串励牵引电动机的磁场削弱	46
小结	49
复习思考题	50
第三章 直流和脉流牵引电动机的换向及通风冷却	51
第一节 换向的基本概念	51
第二节 产生火花的原因	55
第三节 改善直流牵引电动机换向的方法	59
第四节 脉流牵引电动机的换向特点	61
第五节 改善脉流牵引电动机换向的方法	66
第六节 换向器上的环火	69
第七节 牵引电动机的发热和通风冷却	73
小结	78
复习思考题	79
第四章 脉流牵引电动机的结构	81
第一节 牵引电动机的定额和额定数据	81
第二节 牵引电动机常用的电工材料及绝缘结构(*)	84
第三节 脉流牵引电动机的基本结构	88
第四节 典型脉流牵引电动机的结构特点	100
小结	103

复习思考题·····	104
第五章 直流和脉流牵引电动机的试验 ·····	106
第一节 直流牵引电动机的试验项目·····	106
第二节 直流牵引电动机的试验线路·····	107
第三节 直流牵引电动机的试验方法(*)·····	111
第四节 脉流牵引电动机的试验线路·····	117
小结·····	119
复习思考题·····	119
第六章 直流和脉流牵引电动机的维护与检修 ·····	121
第一节 牵引电动机的维护与保养·····	121
第二节 牵引电动机在小修中的检修·····	123
第三节 牵引电动机的解体检修(*)·····	125
小结·····	137
复习思考题·····	137
第七章 变压器的基本知识 ·····	138
第一节 变压器的基本结构、分类及铭牌·····	138
第二节 变压器的工作原理及运行分析·····	142
第三节 单相变压器的联接组别·····	152
第四节 其他用途变压器·····	154
小结·····	157
复习思考题·····	158
第八章 主变压器及平波电抗器 ·····	160
第一节 概述·····	160
第二节 主变压器的基本结构·····	161
第三节 典型主变压器的结构特点·····	172
第四节 主变压器的维护与检修(*)·····	177
第五节 平波电抗器·····	178
小结·····	183
复习思考题·····	184
第九章 异步电动机的基本知识 ·····	185
第一节 异步电动机的基本结构、分类及铭牌·····	185
第二节 交流绕组(*)·····	189
第三节 交流绕组的电势和磁势·····	198
第四节 三相异步电动机的工作原理及运行分析·····	200
第五节 三相异步电动机的起动、反转、调速和制动·····	208
第六节 单相异步电动机·····	215
小结·····	218
复习思考题·····	218
第十章 异步劈相机 ·····	220
第一节 异步劈相机的工作原理·····	220

第二节 异步劈相机的起动及三相电压对称性调整·····	222
第三节 异步劈相机的额定参数及结构特点·····	225
小结·····	228
复习思考题·····	229
第十一章 交流辅助电动机 ·····	230
第一节 交流辅助电动机的工作特点·····	230
第二节 SS ₄ 改型电力机车的辅助电动机 ·····	231
第三节 SS ₈ 型电力机车的辅助电动机 ·····	238
第四节 交流辅助电动机的维护保养(*)·····	238
小结·····	239
复习思考题·····	240
第十二章 三相交流牵引电动机简介 ·····	241
第一节 三相异步牵引电动机·····	241
第二节 晶闸管同步牵引电动机(*)·····	246
小结·····	249
复习思考题·····	249
参考文献 ·····	250

第一章 直流电机的基本知识

直流电机是电能和机械能相互转换的旋转电机之一。将机械能转换为直流电能的电机称为直流发电机；将直流电能转换为机械能的电机称为直流电动机。直流发电机可作为各种直流电源；直流电动机具有宽广的调速范围，较强的过载能力和较大的起动转矩等特点，广泛应用于对起动和调速要求较高的生产机械，如电力机车、内燃机车、工矿机车、城市电车、电梯、轧钢机等的拖动电机。

本章介绍直流电机的工作原理和基本结构；分析直流电机的磁路系统、电路系统和电磁过程；导出感应电势和电磁转矩的一般计算方法；得出直流电机在不同运行状态的各种平衡方程式和运行特性。

第一节 直流电机基本工作原理

直流电机是直流发电机和直流电动机的总称。直流电机具有可逆性，既可作直流发电机使用，也可作直流电动机使用。作直流发电机使用时，将机械能转换成直流电能输出；作直流电动机使用时，则将直流电能转换成机械能输出。

一、直流电机的模型结构

图 1-1 所示为一台直流电机简单模型图。N、S 为定子上固定不动的两个主磁极，主磁极可以采用永久磁铁，也可以采用电磁铁，在电磁铁的励磁线圈上通以方向不变的直流电流，便形成一定极性的磁极。

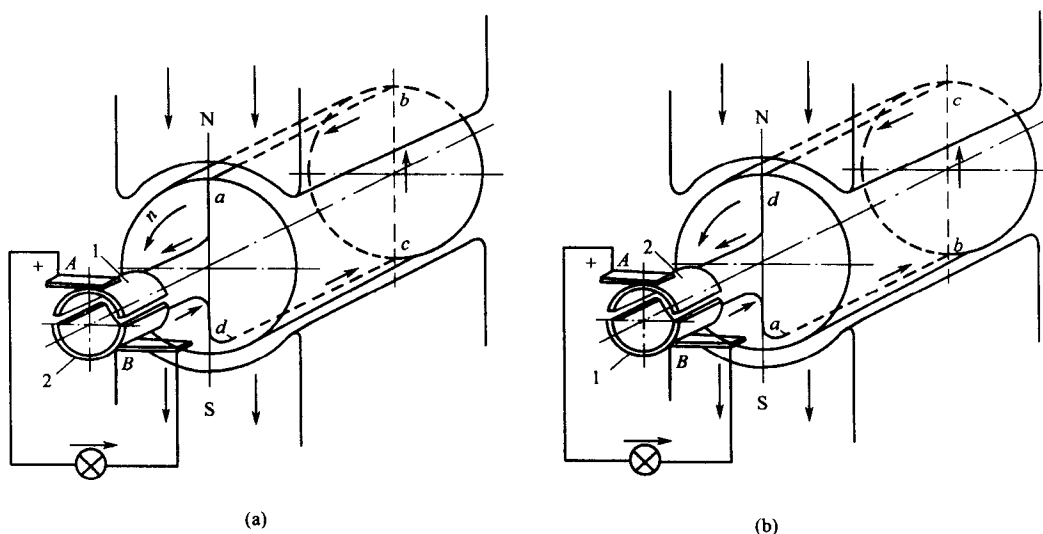


图 1-1 直流发电机工作原理

在两个主磁极 N、S 之间装有一个可以转动的、由铁磁材料制成的圆柱体,圆柱体表面嵌有一线圈(称为电枢绕组),线圈首末两端分别连接到两个弧形铜片(称为换向片)上。换向片之间用绝缘材料构成一整体,称为换向器,它固定在转轴上(但与转轴绝缘),随转轴一起转动,整个转动部分称为电枢。为了接通电枢内电路和外电路,在定子上装有两个固定不动的电刷 A 和 B,并压在换向器上,与其滑动接触。

二、直流发电机的工作原理

1. 感应电势的产生

当直流发电机的电枢被原动机拖动,并以恒速 v 逆时针方向旋转时,如图 1-1(a)所示,线圈两个有效边 ab 和 cd 将切割磁力线,而感应产生电势 e 。其方向用右手定则确定,导体 ab 位于 N 极下,导体 cd 位于 S 极下,产生电势方向分别为 $b \rightarrow a$, $d \rightarrow c$ 。若接通外电路,电流从换向片 1 $\rightarrow$ A $\rightarrow$ 负载 $\rightarrow$ B $\rightarrow$ 换向片 2。电流从电刷 A 流出,具有正极性,用“+”表示;从电刷 B 流入,具有负极性,用“-”表示。

当电枢转到 90° 时,线圈有效边 ab 和 cd 转到 N、S 极之间的几何中心线上,此处磁密为零,故这一瞬时感应电势为零。

当电枢转到 180° 时,导体 ab 和 cd 及换向片 1、2 位置互换,如图 1-1(b)所示。导体 ab 位于 S 极下,导体 cd 位于 N 极下,线圈两个有效边产生的感应电势方向分别为 $a \rightarrow b$, $c \rightarrow d$,电势方向恰与开始瞬时相反。外电路中流过的电流从换向片 2 $\rightarrow$ A $\rightarrow$ 负载 $\rightarrow$ B $\rightarrow$ 换向片 1。由此可见,电刷 A(B)始终与转到 N(S)极下的有效边所连接的换向片接触,故电刷极性始终不变,A 为“+”,B 为“-”。

由以上分析可知,线圈内部为一交变电势,但电刷引出的电势方向始终不变,为一单方向的直流电势。

2. 电势的波形

根据电磁感应定律,每根导体产生的感应电势 e 为:

$$e = B_x L v \quad (\text{V}) \quad (1-1)$$

式中 B_x ——导体所在位置的磁通密度(T);

L ——导体切割磁力线的有效长度(m);

v ——导体切割磁力线的线速度(m/s)。

要想知道电势的波形,先得找出磁密的波形,前已设电枢以恒速 v 旋转, $v = \text{常数}$, L 在电机中不变,则 $e \propto B_x$,即导体电势随时间的变化规律与气隙磁密的分布规律相同。设想将电枢从外圆某一点沿轴切开,把圆周拉成一直线作为横坐标,纵坐标表示磁密,而绘出的 B_x 分布曲线如图 1-2 所示,为一梯形波。由于 $e \propto B_x$,电势波形与磁密波形可用同一曲线表示,只需换一坐标即可得到线圈内部交变电势波形,如图 1-2 所示。

通过电刷和换向器的作用,及时地将线圈内的交变电势转换成电刷两端单方向的直流电势,如图 1-3 所示,但它是一个大小在零和最大值之间变化的脉振电势。

对于图 1-1 所示的直流电机简单模型图,由于电枢上只嵌放了一个线圈,所以感应电势数值小,波动大。为了减小电势的脉动,实际电机中,电枢上放置许多线圈组成电枢绕组,这些线圈均匀分布在电枢表面,并按一定规律连接起来。图 1-4 表示一台两极直流电机,电枢上嵌有在空间互差 90° 的两个线圈产生的电势波形,由图可见,其脉动程度大大减小了。实践证明,若每极

下线圈边数大于8,电势脉动的幅值将小于1%,基本为一直流电势,如图1-5所示。

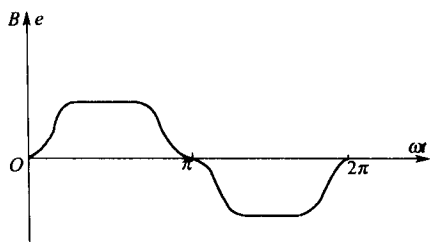


图 1-2 线圈内电势波形

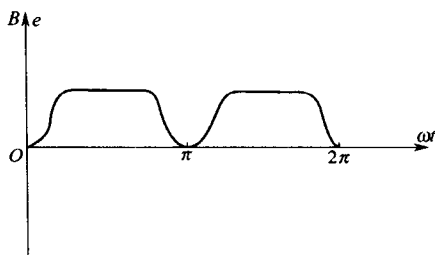


图 1-3 电刷两端的电势波形

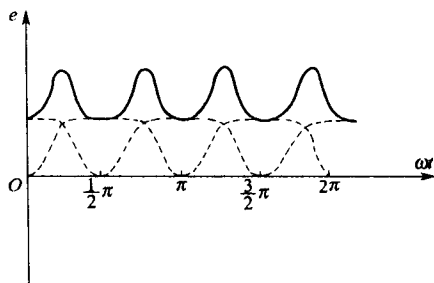


图 1-4 两个线圈换向后的电势波形

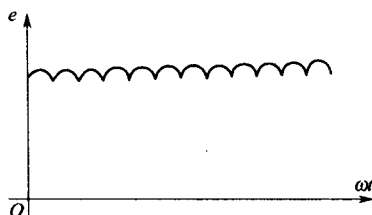


图 1-5 多个线圈电刷两端的电势波形

3. 直流发电机产生的电磁转矩

当直流发电机电刷两端获得直流电势后,若接上负载,便有一电流流过线圈,电流 i 与电势 e 的方向相同。同时,载流导体在磁场中必然产生一电磁力 f ,其方向用左手定则确定。电磁力对转轴形成一电磁转矩 T , T 与电枢旋转的方向相反,起到了阻碍作用,故称为阻转矩。直流电机要维持发电状态,原动机就必须输入机械能克服电磁转矩 T ,正是这种不断的克服,实现了将机械能转换成为电能。

三、直流电动机的工作原理

图1-6所示为两极直流电动机工作原理图。直流电动机结构与直流发电机相同,不同的是电刷 A 、 B 外接一直流电源。图示瞬时电流的流向为 $+\rightarrow A\rightarrow$ 换向片 $1\rightarrow a\rightarrow b\rightarrow c\rightarrow d\rightarrow$ 换向片 $2\rightarrow B\rightarrow -$ 。根据电磁力定律,载流导体 ab 、 cd 都将受到电磁力 f 的作用,其大小为:

$$f = B_x Li \quad (\text{N}) \quad (1-2)$$

式中 i ——导体中流过的电流(A)。

导体所受电磁力的方向用左手定则确定,在此瞬时, ab 位于 N 极下,受力方向从右向左, cd 位于 S 极下,受力方向从左向右,电磁力对转轴便形成一电磁转矩 T 。在 T 的作用下,电枢

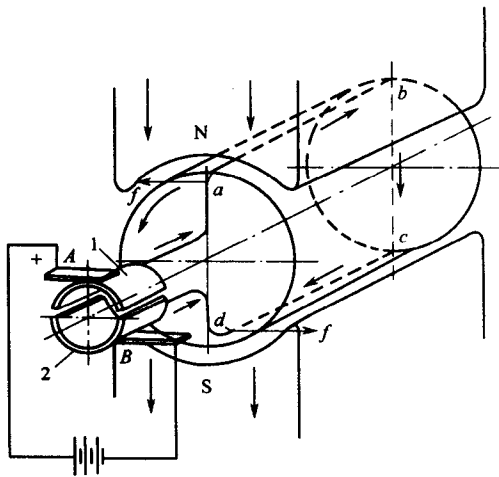


图 1-6 直流电动机工作原理图

逆时针旋转起来。

当电枢转到 90° , 电刷不与换向片接触, 而与换向片间的绝缘片相接触, 此时线圈中没有电流流过, $i = 0$, 故电磁转矩 $T = 0$ 。但由于机械惯性的作用, 电枢仍能转过一个角度, 电刷 $A、B$ 又将分别与换向片 $2、1$ 接触。线圈中又有电流 i 流过, 此时, 导体 $ab、cd$ 中电流改变了方向, 即为 $b \rightarrow a, d \rightarrow c$, 且导体 ab 转到 S 极下, ab 所受的电磁力 f 方向从左向右, cd 转到 N 极下, cd 所受的电磁力 f 方向从右向左。因此, 线圈仍然受到逆时针方向电磁转矩的作用, 电枢始终保持同一方向旋转。

在直流电动机中, 电刷两端虽然加的是直流电源, 但在电刷和换向器的作用下, 线圈内部却变成了交流电, 从而产生了单方向的电磁转矩, 驱动电机持续旋转。同时, 旋转的线圈中也将感应产生电势 e , 其方向与线圈中电流方向相反, 故称为反电势。直流电动机若要维持继续旋转, 外加电压就必须高于反电势, 才能不断地克服反电势而流入电流, 正是这种不断克服, 实现了将电能转换成为机械能。

由此可见, 直流电机具有可逆性, 即一台直流电机既可作发电机运行, 也可作电动机运行。当输入机械转矩将机械能转换成电能时, 电机作发电机运行; 当输入直流电流产生电磁转矩, 将电能转换成机械能时, 电机作电动机运行。例如电力机车在牵引工况时, 牵引电机作电动机运行, 产生牵引力; 在制动工况时, 牵引电机作发电机运行, 将机车和列车的动能转换成电能, 产生制动力对机车进行电气制动。

第二节 直流电机的基本结构

一、直流电机的基本结构

直流电机由静止的定子和旋转的转子两大部分组成, 在定子和转子之间有一定大小的间隙(称气隙), 如图 1-7 所示。

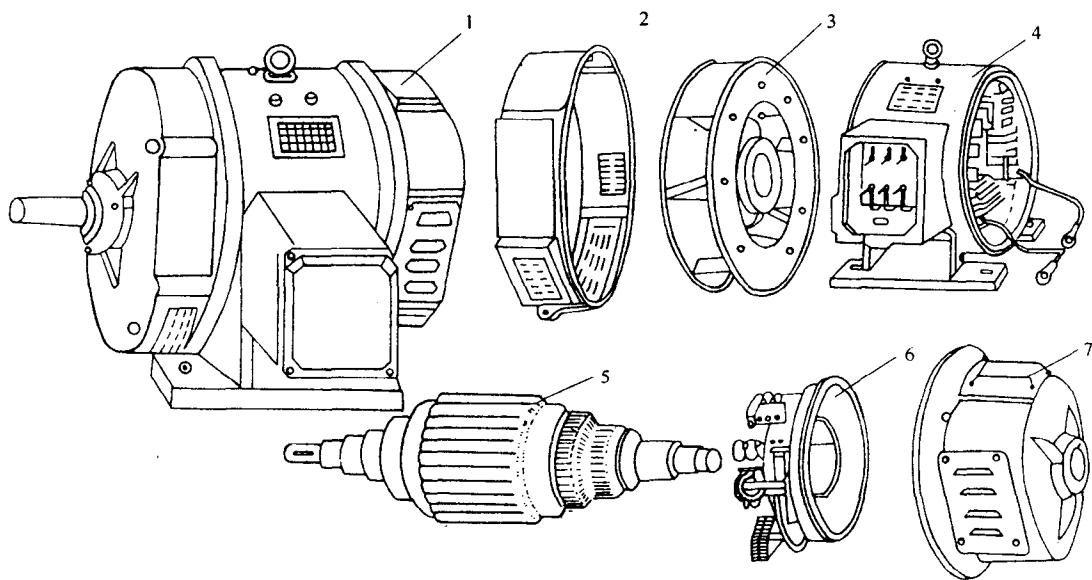


图 1-7 直流电机结构图
1—直流电机总成; 2—后端盖; 3—通风器; 4—定子总成;
5—转子(电枢)总成; 6—电刷装置; 7—前端盖。

1. 定子

直流电机定子的作用是产生磁场和作为电机的机械支撑。主要由机座、主磁极、换向极和电刷装置等组成。

(1) 机座

机座兼起机械支撑和导磁磁路两个作用。它既用来作为安装电机所有零件的外壳,又是联系各磁极的导磁铁轭。机座通常为铸钢件,也有采用钢板焊接而成的。

(2) 主磁极

主磁极是一个电磁铁,如图 1-8 所示,由主极铁心和主极线圈两部分组成。主极铁心一般用 1~1.5 mm 厚的薄钢板冲片叠压后再用铆钉铆紧成一个整体。小型电机的主极线圈用绝缘铜线(或铝线)绕制而成,大中型电机主极线圈用扁铜线绕制,并进行绝缘处理,然后套在主极铁心外面。整个主磁极用螺钉固定在机座内壁。

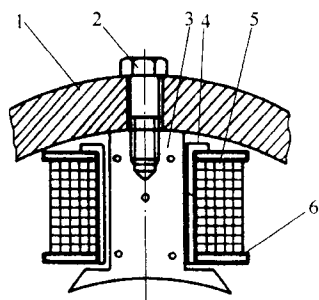


图 1-8 主磁极

1—机座;2—主极螺钉;3—主极铁心;
4—框架;5—主极绕组;6—绝缘垫衬。

(3) 换向极

换向极又称为附加极,它装在两个主极之间,用来改善直流电机的换向。换向极由换向极铁心和换向极线圈构成。换向极铁心大多用整块钢加工而成。但在整流电源供电的功率较大电机中,为了更好地改善电机换向,换向极铁心也采用叠片结构。换向极线圈与主极线圈一样也是用圆铜线或扁铜线绕制而成,经绝缘处理后套在换向极铁心上,最后用螺钉将换向极固定在机座内壁。

(4) 电刷装置

电刷装置的作用是通过电刷与换向器表面的滑动接触,把转动的电枢绕组与外电路相连。电刷装置一般由电刷、刷握、刷杆、刷杆座等部分组成,如图 1-9 所示。电刷一般用石墨粉压制而成。电刷放在刷握内,用弹簧压紧在换向器上,刷握固定在刷杆上,刷杆装在刷杆座上,成为一个整体部件。

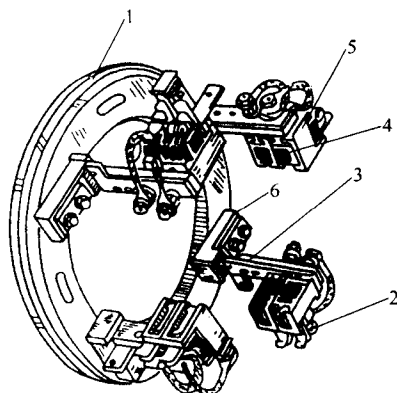


图 1-9 电刷装置

1—刷杆座;2—弹簧;3—刷杆;
4—电刷;5—刷握;6—绝缘件。

2. 转子

转子又称电枢,主要由转轴、电枢铁心、电枢绕组和换向器等组成。

(1) 转轴

转轴的作用是用来传递转矩,一般用合金钢锻压而成。

(2) 电枢铁心

电枢铁心是电机磁路的一部分,也是承受电磁力作用的部件。当电枢在磁场中旋转时,在电枢铁心中将产生涡流和磁滞损耗,为了减小这些损耗的影响,电枢铁心通常用 0.5 mm

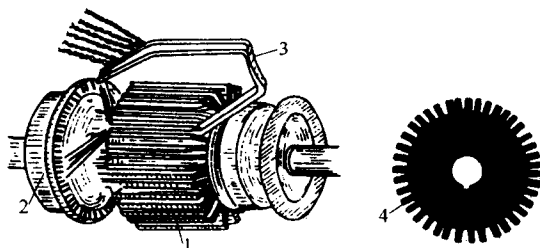


图 1-10 电枢铁心冲片和铁心

1—电枢铁心;2—换向器;
3—绕组元件;4—铁心冲片。

厚的电工钢片迭压而成,电枢铁心固定在转子支架或转轴上。电枢铁心冲片如图 1-10 所示,沿

铁心外圈均匀地分布有槽,在槽内嵌放电枢绕组。

(3) 电枢绕组

电枢绕组的作用是产生感应电势和通过电流产生电磁转矩,实现机电能量转换。它是直流电机的主要电路部分。电枢绕组通常都用圆形或矩形截面的导线绕制而成,再按一定规律嵌放在电枢槽内,上下层之间以及电枢绕组与铁心之间都要妥善地绝缘。为了防止离心力将绕组甩出槽外,槽口处需用槽楔将绕组压紧,伸出槽外的绕组端接部分用无纬玻璃丝带绑紧。绕组端头则按一定规律嵌放在换向器铜片的升高片槽内,并用锡焊或氩弧焊焊牢。

(4) 换向器

换向器的作用是机械整流,即在直流电动机中,它将外加的直流电流逆变成绕组内的交流电流;在直流发电机中,它将绕组内的交流电势整流成电刷两端的直流电势。换向器的结构如图 1-11 所示。换向器由许多换向片组成,换向片间用云母片绝缘。换向片凸起的一端称升高片,用以与电枢绕组端头相连,换向片下部作成燕尾形,利用换向器套筒、V 形压圈及螺旋压圈将换向片、云母片紧固成一个整体。在换向片与换向器套筒、压圈之间用 V 形云母环绝缘,最后将换向器压装在转轴上。

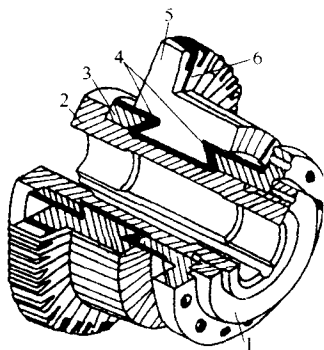


图 1-11 换向器
1—螺旋压圈;2—换向器套筒;
3—V 形压圈;4—V 形云母环;
5—换向铜片;6—云母片。

二、直流电机的额定值

每一台电机都有一块铭牌,上面标注各种额定数据,简要介绍这台电机的型号、规格、性能,是用户合理选择和正确使用电机的依据。

根据国家标准要求设计和试验所得的一组反映电机性能的主要数据,称为电机的额定值。

1. 额定功率 P_N

额定功率指电机按规定的工作方式运行时,所能提供的输出功率。作为发电机额定功率是指接线端子处的输出功率;作为电动机额定功率是指电动机转轴的有效机械功率。单位为千瓦(kW)。额定功率、额定电压和额定电流的关系为:

$$\text{发电机} \quad P_N = U_N I_N \quad (1-3)$$

$$\text{电动机} \quad P_N = U_N I_N \eta_N \quad (1-4)$$

式中 η_N ——额定效率。

2. 额定电压 U_N

额定电压指在额定输出时电机接线端子间的电压。单位为伏(V)。

3. 额定电流 I_N

额定电流指电机按照规定的工作方式运行时,电机绕组允许流过的最大安全电流。单位为安(A)。

4. 额定转速 n_N

额定转速指电机在额定电压、额定电流和额定输出功率时,电机的旋转速度。单位为转/分(r/min)。

此外,还有工作方式、励磁方式、额定励磁电压、额定温升、额定效率等。

额定值是选用或使用电机的主要依据,一般希望电机按额定值运行。但实际上,电机运行

时的各种数据可能与额定值不同,它们由负载的大小来确定。若电机的电流正好等于额定值,称为满载运行;若电机的电流超过额定值,称为过载运行;若比额定值小得多,称为轻载运行。长期过载运行将使电机过热,降低电机寿命甚至损坏;长期轻载运行使电机的容量不能充分利用。两种情况都将降低电机的效率,都是不经济的。故在选择电机时,应根据负载的要求,尽可能使电机运行在额定值附近。

第三节 直流电机的电枢绕组(※)

电枢绕组是实现电能和机械能相互转换的枢纽,为直流电机重要部件之一,绕组的型式与电机的性能、寿命和效率有很大的关系。研究直流电机电枢绕组,主要是找出绕组元件相互之间和元件与换向器之间的连接规律。不同类型的电枢绕组,具有不同的连接规律。直流电机的电枢绕组分为单叠绕组、复叠绕组、单波绕组、复波绕组等几种类型。本节仅讨论应用较广泛又具有代表性的单叠和单波绕组。

一、电枢绕组概述

1. 对电枢绕组的要求

电枢绕组是由许多形状相同的线圈,按一定规律连接起来的总称。对于电枢绕组,要求一定的导体数,应能产生较大的电势;通过一定大小的电流能产生足够大的电磁转矩。同时,应尽量节省有色金属和绝缘材料。并要求结构简单,运行安全可靠。

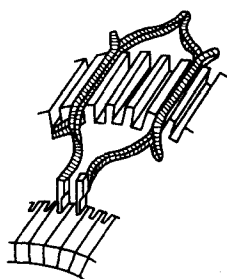


图 1-12 线圈与换向器

2. 绕组元件

绕组元件是用绝缘铜导线绕制成的线圈,这些线圈是组成电枢绕组的基本单元,故称为绕组元件。一个元件有两个有效边,其中一个有效边嵌放在某个槽的上层(称为上元件边),另一个有效边嵌放在另一个槽的下层(称为下元件边),元件的首末端分别接于两个换向片上,如图 1-12 所示。元件在铁心槽内的部分称为有效部分,槽外两端仅起连接作用,称为端接部分。

图 1-12 所示。元件在铁心槽内的部分称为有效部分,槽外两端仅起连接作用,称为端接部分。

3. 元件数 S 、换向片数 K 、虚槽数 Z_u 之间的关系

每个元件均有首末两端,而每个换向片总是焊接着一个元件的末端和另一个元件的首端,因此,元件数与换向片数相等,即:

$$S = K \quad (1-5)$$

若每一个实槽内嵌放上、下两个有效边,则称为一个单元槽或一个虚槽。但有些电机,一个实槽内上、下层常并列嵌放多个元件边,如图 1-13 所示。这时,电枢总的虚槽数为:

$$Z_u = uZ \quad (1-6)$$

式中 Z ——电枢铁心实槽数;

u ——一个实槽内所包含的虚槽数。

于是,可得 S 、 K 、 Z_u 的关系为:

$$S = K = Z_u = uZ \quad (1-7)$$

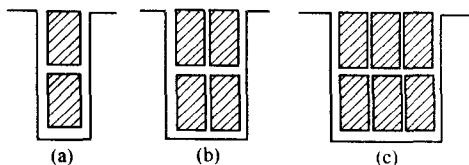


图 1-13 实槽与虚槽

(a) $u = 1$; (b) $u = 2$; (c) $u = 3$

4. 极距 τ

电枢表面圆周上相邻两主磁极之间的距离,以长度表示为:

$$\tau = \frac{\pi D_a}{2p} \quad (1-8)$$

以虚槽表示为:

$$\tau = \frac{Z_u}{2p} \quad (1-9)$$

式中 D_a ——电枢外径;

p ——主磁极对数。

5. 绕组的形式和节距

(1) 绕组的基本形式

直流电机的电枢绕组最基本的有单叠绕组和单波绕组两大类,图 1-14 所示为单叠绕组的连接规律示意图。由图可见,单叠绕组的相邻绕组元件在电枢表面仅差一个槽,单个绕组元件的首端和末端之间相邻一个换向片。例如图中第一绕组元件从 N 极出发,绕到相邻的 S 极,通过换向器与 N 极下的第二绕组元件串联,直到所有的绕组元件都串联起来为止。

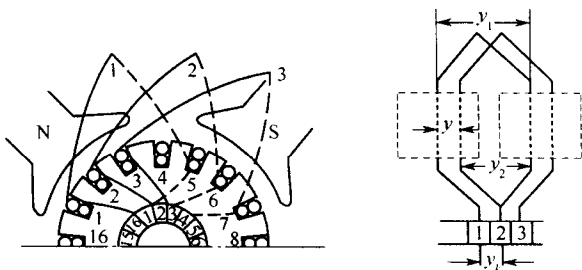


图 1-14 单叠绕组连接规律示意图

图 1-15 所示为单波绕组的连接规律示意图。

由图可见,单波绕组的相邻绕组元件相隔约为二个极距,第二绕组元件与第一绕组元件处在相同极性的两个磁极下,单个绕组元件的首端与末端相隔约为两个极距。若电机有 p 对磁极,则连接 p 个元件后才回到出

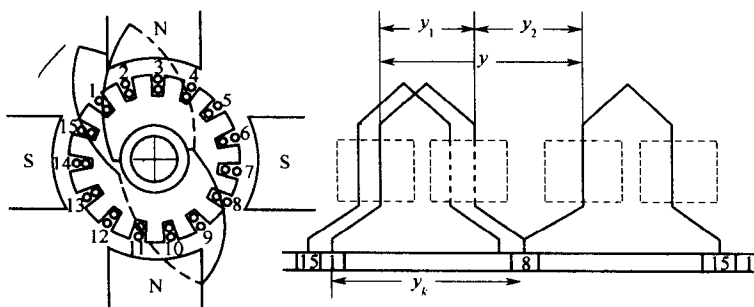


图 1-15 单波绕组连接规律示意图

发元件的邻近,并相隔一个槽,以便第二周继续绕下去,直到所有的绕组元件都串联起来为止。

(2) 绕组的节距

各种绕组在电枢和换向器上的连接规律,由绕组的节距来确定。直流电机的节距有线圈节距(又称第一节距) y_1 ,合成节距 y ,换向器节距 y_k 和后节距(又称第二节距) y_2 。

① 线圈节距 y_1

线圈节距 y_1 是指同元件两有效边在电枢表面所跨过的距离(见图 1-14),一般以虚槽数表示。

$$y_1 = \frac{Z_u}{2p} \pm \epsilon = \text{整数} \quad (1-10)$$

式中, ϵ 是用来把 y_1 凑成整数的一个小数。当 $\epsilon = 0$ 时, $y_1 = \tau$, 为整距绕组;当 ϵ 取“-”号时,

$y_1 < \tau$, 为短距绕组; 当取“+”号时, $y_1 > \tau$, 为长距绕组。整距绕组可获得最大感应电势, 短距和长距绕组感应电势略小。由于短距绕组比长距绕组能节省端部材料, 同时短距绕组对换向有利, 所以一般采用短距绕组。

②合成节距 y

合成节距 y 是指相连接的两个绕组元件的对应边在电枢表面所跨过的距离(见图 1-14)。

③换向器节距 y_k

换向器节距 y_k 是指同一个绕组元件首末端所连接两换向片之间在换向器表面所跨过的距离(见图 1-14)。以换向片数表示:

$$y_k = y \quad (1-11)$$

④后节距 y_2

后节距 y_2 是指相串联的两元件中, 第一元件的下层有效边与所连接的第二元件的上层有效边之间在电枢表面所跨过的距离(见图 1-14)。其值取决于 y_1 和 y , 并与绕组的类型有关。

$$\text{单叠绕组} \quad y_2 = y_1 - y \quad (1-12)$$

$$\text{单波绕组} \quad y_2 = y - y_1 \quad (1-13)$$

二、单叠绕组

单叠绕组的同一元件首末两端分别与相邻两换向片相接, 第一只元件的末端与第二只元件的首端接在同一换向片上。两只相互串联的元件总是后一只紧叠在前一只上面, 故称为叠绕组。其特征为:

$$y = y_k \pm 1 \quad (1-14)$$

式中, 取“+”为右行绕组, 取“-”为左行绕组, 左行绕组端部交叉, 一般不予采用。

为进一步分析单叠绕组的连接方法和特点, 现以 $Z = S = K = 16, 2p = 4$ 为例, 绕制一单叠右行绕组。

1. 计算节距

$$y_1 = \frac{Z}{2p} \pm \epsilon = \frac{16}{4} \pm 0 = 4, \text{为整距绕组};$$

$$y = y_k = 1, \text{为单叠右行绕组};$$

$$y_2 = y_1 - y = 4 - 1 = 3$$

2. 绕组展开图

根据求得的各种节距, 可画出绕组展开图。先将电枢表面展开成平面, 并将电枢槽、电枢元件及换向片编号。其中元件及换向片号与其上层边所在槽号相同, 电枢槽号和换向片号之间的相对位置, 用如下方法确定: 为了使元件的端接对称, 应使每一元件所接的两个换向片的分界线与其轴线重合。

图 1-16 所示为单叠右行绕组展开图, 图中元件上层边画成实线, 下层边画成虚线。第一元件的首端接在换向片 1 上, 它的一边放在 1 号槽的上层, 另一边放在 5 号槽的下层($y_1 = 4$), 末端接在换向片 2 上($y_k = 1$); 第二元件的首端接到换向片 2 上, 它的

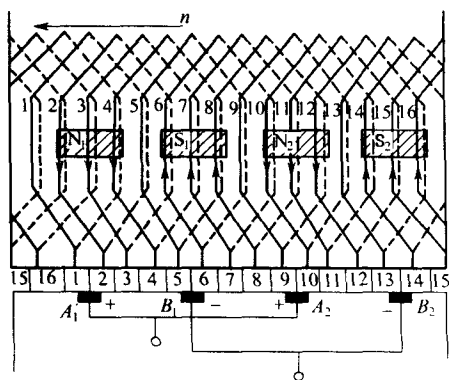


图 1-16 单叠绕组展开图