

陈伯时 李发海 王 岩 合编

电机与拖动

(上册)

中央广播电视大学出版社

电机与拖动

上 册

陈伯时 李发海 王岩 编

*

中央广播电视大学出版社出版

新华书店北京发行所发行

陕西省印刷厂印装

*

开本 787×1092 1/16 印张 12 262 千字

1983 年 6 月第 1 版 1983 年 9 月第 1 次印刷

印数: 1—75,000

书号: 15300·2 定价: 1.10 元

前 言

本书可作为工科大学自动化专业电机及拖动课程的教材或参考用书, 亦可供有关工程技术人员阅读参考。

全书分为上、下两册, 共七章, 总授课时数计划为 150 学时(其中实验为 20~30 学时)。

上册包括直流电机原理、直流电机的电力拖动和变压器, 共三章。主要阐明了直流电机的磁路、电枢绕组、运行原理、工作特性、换向和机械特性; 电力拖动系统运动方程式; 直流电动机的起动、制动和调速; 变压器的运行原理、运行特性、联接组别、并联运行和其他变压器等。下册包括异步电机原理、异步电机的电力拖动、电机容量选择和微特电机, 共四章。主要阐明了交流电机的绕组、电势和磁势; 异步电动机运行原理、工作特性和机械特性; 异步电动机的起动、制动和调速; 电机的发热和冷却过程、各种工作制电动机容量的选择; 单相异步电动机; 各种控制电机等。每一章后面均附有思考题与习题。本书着重基本原理及工程计算方法的阐述和运用。编写中力求使物理概念清楚。

参加本书编写工作的有上海工业大学陈伯时(绪言、第二章、第五章部分内容、第六章)、清华大学李发海(第一章、第四章、第五章部分内容)和中央广播电视大学王岩(第三章、第七章)。

由于水平有限, 书中可能有不少缺点和错误, 尚希读者批评指正。

编者

1983 年 8 月

绪 论

一、本课程的意义

《电机与拖动》这门课程是由原来的《电机学》和《电力拖动基础》两门课程结合而成的。电机主要指发电机、电动机和变压器,是实现电能的生产、变换、传输、分配、使用和控制电磁机械装置。电力拖动,又称电气传动,是指用电动机把电能转换成机械能,去拖动各种类型的生产机械,做有益于生产或生活的工作。

自从人类发明并掌握各种生产机械帮助自己劳动以来,就需要有推动机械的各种原动力。除人力本身以外,最初使用的是畜力、水力和风力,到现在水力和风力还是很重要的动力来源;后来又发明了蒸汽机、柴油机、汽油机;十九世纪才发明电动机。然而,由于:(1)电机的效率高,运转比较经济,(2)电能的传输和分配比较方便,(3)电能容易控制,因此电动机用得越来越多,现在绝大部分生产机械都用电力拖动了。

龙门刨床、起重机、纺织机械、无轨电车、水泵、电扇、录音机中的磁带旋转装置等等,都是电力拖动应用的实例。

让电动机运转需要电能,电能则主要来自发电机,然而发电机并不能创造电能,它只是把机械能转换成电能。在火力发电厂里,用燃烧的热能把水烧成蒸汽,推动汽轮机旋转,再拖动发电机发电。在水力发电厂里,则利用水力发电。要把发电厂发出来的电能输送到各处去就要用输电线路,远距离的输电线路都用高压,如110千伏、220千伏、甚至更高,而发电机发出来的电压要低得多,例如10千伏,这就需要变压器把电压升高后才能输送出去,到了工厂里,再经过变压器降到10千伏或者更低一些,到车间还要降到380/220伏,供电动机以及照明用电。此外,在小功率的控制设备中也常用各种类型的变压器。讲授发电机、电动机和变压器的基本原理就是本课程电机学部分的任务,而在电力拖动中则主要讲电动机的应用原理和性能。应该指出,不一定只有电动机才消耗电能,电镀、电解、电炉、电灯等等也都消耗电能。

二、本课程的内容

按电流性质来分,电机有直流电机和交流电机两大类,在本课程中分别讲授。

本课程一共有七章,分成五个部分:

第一部分:直流电机(第一章)、直流电机的电力拖动(第二章);

第二部分:变压器(第三章);

第三部分:异步电机(第四章)、异步电机的电力拖动(第五章);

第四部分:电力拖动系统中电机的选择(第六章);

第五部分:微特电机(第七章)。

三、学习本课所需的基础知识

电机和电力拖动是电学、磁学和动力学原理的综合运用,除了数学和物理的基础知识外,与

本课直接有关的基本原理是:

1. 直流和交流电路分析原理,如欧姆定律、基尔霍夫定律等;
2. 磁路定律,如磁势、磁通、磁阻的关系、安培环路定律等;
3. 电磁关系,在电生磁方面有毕-萨·拉普拉斯定律、右手螺旋定则,在磁生电方面有楞次定律、法拉第定律等;
4. 电、磁和力的关系,如导体在磁场中运动产生电势的右手定则,载流导体在磁场中受力的左手定则;
5. 力学定律,主要是直线运动和旋转运动的动力学定律;
6. 能量转换和守恒定律。

四、学习方法

本课程属于技术基础课,它既是基础理论,又带有综合应用的性质,在这方面它和已学过的基础课不同。要很好地掌握它,就要注意它的特点,这些特点是:

1. 综合性——电机是一个包含电、磁、力及其相互关系的基本规律的整体,各种规律同时起作用,要用联立方程求解。在各物理量之间的关系上,往往存在甲决定乙、乙决定丙、丙决定丁、丁又影响甲的循环关系。因此,必须全面地看问题,孤立地分析必然要出错。
2. 实用性——虽然是各条规律同时起作用,但在实际问题中,又有主次之分,有时在一种条件下可以被忽略的次要因素,在另一种条件下却变成重要的因素。必须视具体条件,作具体的分析,辨证地看问题。
3. 基础性——本课是一门讲授基本理论的课,而电机及拖动的类型又很多,不可能都讲到,故必须注意弄清基本概念,掌握基本方法,才能举一反三地解决其它类似问题。

目 录

绪论	I
第一章 直流电机	
§ 1-1 直流电机的主要结构	1
§ 1-2 直流电机的工作原理	4
§ 1-3 直流电机的磁路、空载时气隙磁通密度的分布波形与空载磁化特性	10
§ 1-4 直流电机的电枢绕组	19
§ 1-5 直流发电机	29
§ 1-6 直流电机的可逆原理——直流电动机	45
§ 1-7 直流电机的换向	53
思考题	57
习题	58
第二章 直流电机的电力拖动	
§ 2-1 他励直流电动机的机械特性	60
§ 2-2 电力拖动系统的基本运动方程式	68
§ 2-3 生产机械的负载转矩特性	73
§ 2-4 工作机构转矩和飞轮矩的折算	75
§ 2-5 他励直流电动机的起动及其过渡过程	80
§ 2-6 他励直流电动机的制动及其过渡过程	89
§ 2-7 他励直流电动机的运转状态	98
§ 2-8 他励直流电动机的调速方法	101
§ 2-9 串励和复励电动机的机械特性	114
思考题	116
习题	117
附录	120
第三章 变压器	
§ 3-1 概述	122
§ 3-2 变压器的空载运行	126
§ 3-3 变压器的负载运行	135
§ 3-4 标么值	148
§ 3-5 变压器参数的测定	150
§ 3-6 变压器的运行特性	154
§ 3-7 变压器的连接组别	158
§ 3-8 三相变压器的磁路系统	163
§ 3-9 三相变压器的电势波形	164

§ 3-10 自耦变压器.....	168
§ 3-11 变压器的并联运行.....	170
§ 3-12 仪用互感器.....	174
思考题.....	177
习题.....	179
参考书目.....	182

第一章 直流电机

§ 1-1 直流电机的主要结构

直流电机可以作为发电机运行,也可以作为电动机运行。如果是发电机,必须由原动机(例如汽油机、柴油机或交流电动机)拖动,在满足其他条件下,发出直流电能,供生产或生活上的需要。如果是电动机,本身就是原动机,能够拖动各种生产机械,作有益于生产或生活的工作。可见,不管是直流发电机还是直流电动机,它们都得有一个可旋转的部件,所以是旋转电机。但是,从直流电机的主要结构上看,发电机与电动机没有多大的差别。

直流电机的结构是多种多样的,我们不想仔细叙述,这里仅从学习电机原理的角度,介绍一下它的主要部件。图 1-1 是一台常用的小型直流电机的结构图。从图中看出,它主要由定子部分(静止的)和转子部分(旋转的)所组成。简述如下。

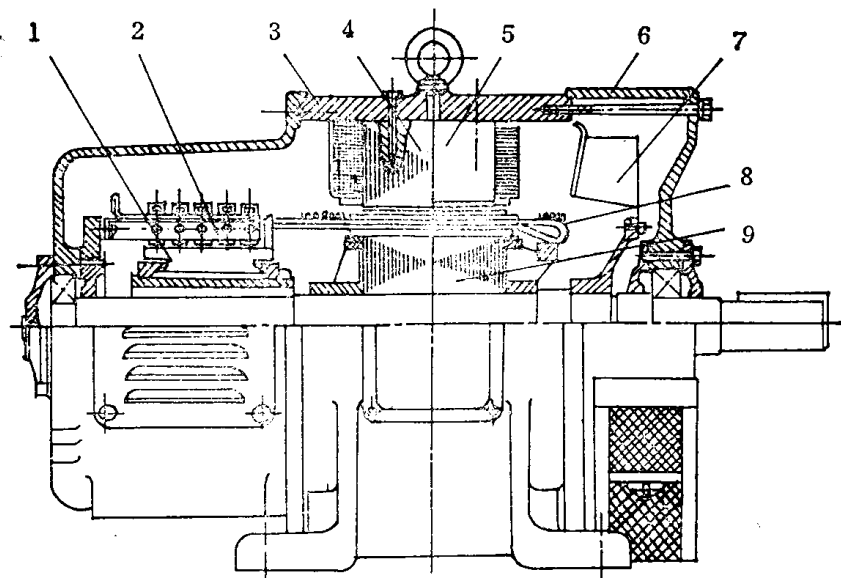


图 1-1 小型直流电机的结构

1—换向器 2—电刷杆 3—机座 4—主磁机 5—换向极 6—端盖 7—风扇 8—电枢绕组
9—电枢铁心

一、定子部分

定子部分主要包括有机座、主磁极,换向极和电刷装置等。

1. 机座

直流电机有两种机座:一种是整体机座;一种是叠片机座。

一般直流电机都用整体机座。所谓整体机座,就是一个机座同时能起两方面的作用:一方

面起导磁的作用;一方面起机械支撑的作用。由于机座要起导磁的作用,所以它是主磁路的一部分,叫定子磁轭。一般多用导磁效果较好的铸钢材料制成。小型直流电机也有用厚钢板的。主磁极、换向极以及架起中、小型电机转动部分的两个端盖都固定在电机的机座上。所以机座又起了机械支撑的作用。

在要求直流电机的调速性能较高的场合,为了使主磁通变化快,有时采用叠片机座。叠片机座的含意,就是把起导磁作用的定子磁轭与起支撑作用的机座分开。具体的作法是,用薄钢板两面涂上漆叠压成定子磁轭,专起导磁的作用。然后把整个定子磁轭装在一个专起机械支撑作用的机座里。这样一来,机座本身不需要再用铸钢材料了。

2. 主磁极

主磁极又叫主极,它的作用是能够在电枢表面外的气隙空间里产生一定形状分布的气隙磁密。绝大多数直流电机的主磁极都是由直流电流来励磁的,所以主磁极上还应装有励磁线圈。只有小直流电机的主磁极才用永久磁铁,这种电机叫永磁直流电机。图 1-2 是主磁极的装配图。

主极铁心是用 1~1.5 毫米厚的低碳钢板冲成一定形状,然后把冲片叠在一起,用铆钉铆成主极铁心。把事先绕制好的励磁线圈套在主极铁心的外面,整个主磁极再用螺钉紧固在机座内表面上,如图 1-2 所示。

套在主极铁心上的励磁线圈有并励和串励两种。并励线圈的匝数多,导线细;串励线圈的匝数少,导线粗。电机中分别把各个主极上的并励或串励励磁线圈串联起来统称为励磁绕组。

当给励磁绕组通入直流电流时,各主极都产生了一定的极性。电机中,相邻主磁极的极性应为 N、S 交替出现。为此,在把各主磁极上的励磁线圈相串联时,应注意它们的极性问题。

为了让气隙磁密在沿电枢的周围方向气隙空间里分布得更加合理,主极铁心作成图 1-2 所示的形状,其中较窄的部分叫极身,较宽的部分叫极靴。当然极靴也能起到支撑励磁线圈的作用。

3. 换向极

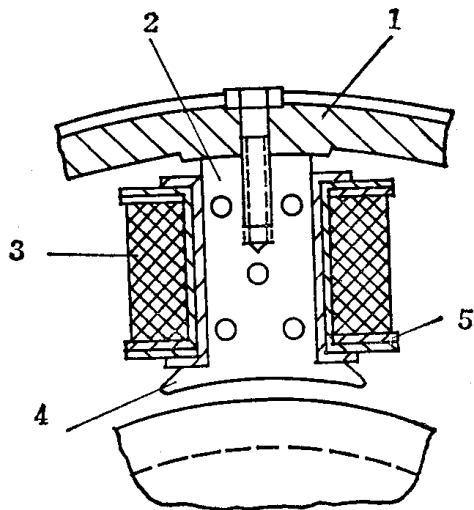


图 1-2 主磁极

1—机座 2—极身 3—励磁线圈 4—极靴 5—框架

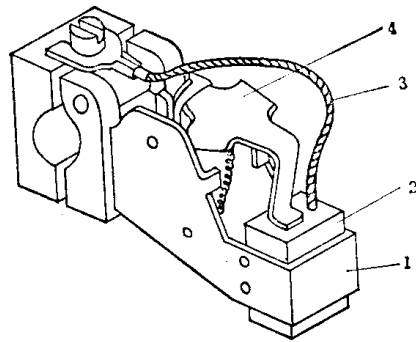


图 1-3 电刷盒装配

当直流电机的容量超过 1 千瓦时, 在相邻两主极之间都要装上换向极。换向极又叫附加极或间极。换向极的作用是为了改善直流电机的换向, 至于如何才能起到改善换向的作用, 将在 § 1-7 中介绍。

换向极铁心的形状比主极的简单, 一般都用整块钢板刨削而成。在换向极的外面套上换向极绕组。换向极绕组总是和电枢绕组相串联的, 流的是电枢电流, 所以换向极绕组的匝数少而导线较粗。

4. 电刷装置

电刷装置是直流电机里的一个很重要的装置。通过它才可以把电机转动部分的电流引出到静止的电路里, 或者把静止电路里的电流引入到电机的旋转电路里。电刷装置与换向器配合才能使电机获得直流电机的效果。图 1-3 是一个电刷盒的装配图, 图中 1 是刷盒, 2 是电刷, 3 是铜辫, 4 是压紧弹簧。电刷放在电刷盒里, 上面用弹簧压紧。在电刷上嵌上铜辫, 用以引入、引出电流。直流电机里, 常常把若干个电刷盒装在同一个绝缘的刷杆上, 如图 1-4 所示。在电路联接上, 把同一个绝缘刷杆上的电刷盒并联起来, 成为一组电刷。电刷组或者刷杆的数目与电机的主极数目一样多。电刷组或刷杆在换向器外表面上沿圆周方向均匀分布。正常运行时, 电刷杆相对于换向器表面有一个正确的位置。如果电刷杆的位置放得不合理, 将直接影响电机的性能。为此, 在小型直流电机里, 把所有的刷杆同装在一个可以转动的座圈上, 见图 1-4。当转动这个座圈时, 就可以调整电刷杆在换向器外表面上的相对位置。当把位置调整好后, 就固定住, 即固定在电机的端盖上。

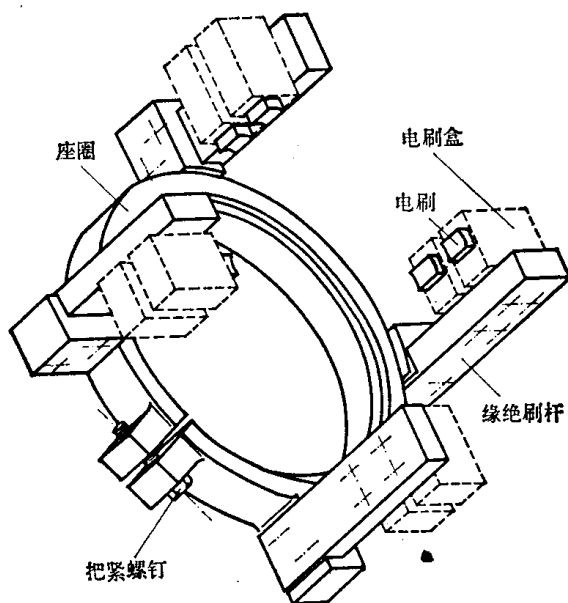


图 1-4 直流电机的座圈装置

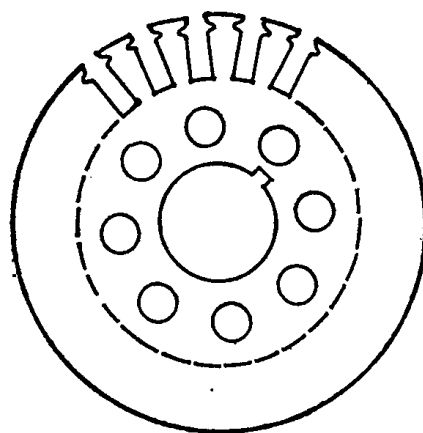


图 1-5 电枢冲片

二、转动部分

直流电机转动部分包括电枢铁心、电枢绕组、换向器、风扇、转轴和轴承等。

1. 电枢铁心

电枢铁心是直流电机主磁路的一部分。当电枢在旋转时, 铁心中磁通方向发生变化, 会在铁

心中引起涡流与磁滞损耗。为了减小这部分损耗，通常采用 0.5 毫米厚的低硅硅钢片或冷轧硅钢片，冲成如图 1-5 所示的形状（小型直流电机用这种冲片），然后把这些冲片两面涂上漆再叠装起来，就构成了电枢铁心。图 1-6 是电枢铁心装配图。（轴上还装了换向器）

电枢铁心上开的槽是为了安放电枢绕组用的。

2. 电枢绕组

用带绝缘的导体绕成线圈，它的形状如图 1-7 所示。图中的线圈是小型直流电机用的散下线圈，对大、中型直流电机，多用成型线圈。在直流电机里，线圈也叫元件。一个元件有两个出线端，图 1-7 中是把 3 个元件绑在一起，一道嵌入电枢铁心上的槽里。把电枢铁心里各个元件按照一定规律联接起来，就组成了电枢绕组。

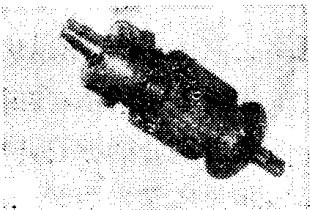


图 1-6 电枢铁心与换向器

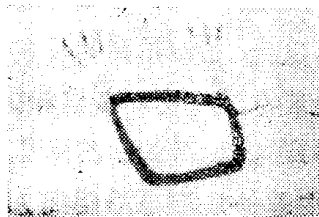


图 1-7 线圈元件



图 1-8 塑料换向片

3. 换向器

换向器是由许多片换向片组成的。各个换向片之间都要彼此绝缘起来。大、中型直流电机多用云母作为换向片间的绝缘。小型直流电机可以作成塑料压制的换向器，如图 1-8 所示。

转动部分的风扇、转轴以及轴承等就不予介绍了。

§ 1-2 直流电机的基本工作原理

一、基本原理

在分析直流电机的基本原理之前，先研究一下图 1-9 所示的物理模型。图中 N 、 S 是主磁极，它可以是永久磁铁，也可以是电磁铁。所谓电磁铁，就是在磁极铁心上绕上励磁线圈，当在励磁线圈中通入直流电流（叫励磁电流），磁极铁心便产生了固定的极性。图中 $abcd$ 是装在可以转动的圆柱体上的一个线圈，线圈的两端分别接到两个圆环（叫滑环）上。这个可以转动的部分叫转子，或者叫电枢。在每个滑环上放上固定不动的电刷，通过电刷、滑环可以把旋转着的电路（如线圈 $abcd$ ）与外部静止的电路相联接。

当原动机拖动电枢以恒定速度 n 逆时针方向旋转时，根据电磁感应定律，就会在线圈 $abcd$ 中感应出电势。假设线圈里电势的方向是从电刷 B 沿 $dcba$ 至电刷 A ，作为线圈感应电势的正方向。在图 1-9 所示的瞬间，导体 ab 位于 N 极下， cd 位于 S 极下，由于磁力线、导体和运动方向三者互相垂直，则在每根导体中感应电势的大小为

$$e = B_x l v \text{ 伏}$$

式中： B_x 是导体所在处的磁通密度，简称磁密（韦/米²）；

l 是导体 ab 或 cd 的长度（米）；

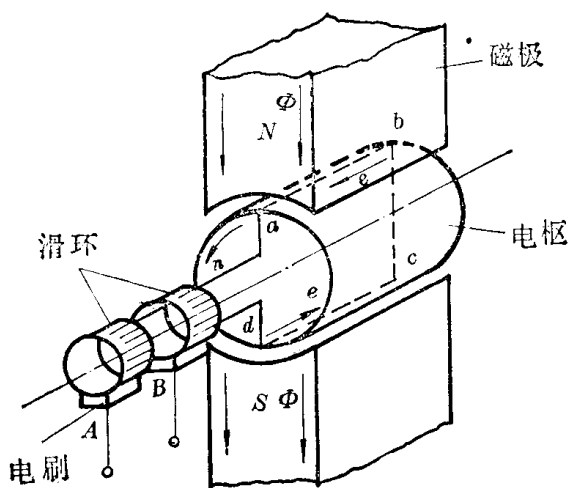


图 1-9 交流发电机的物理模型

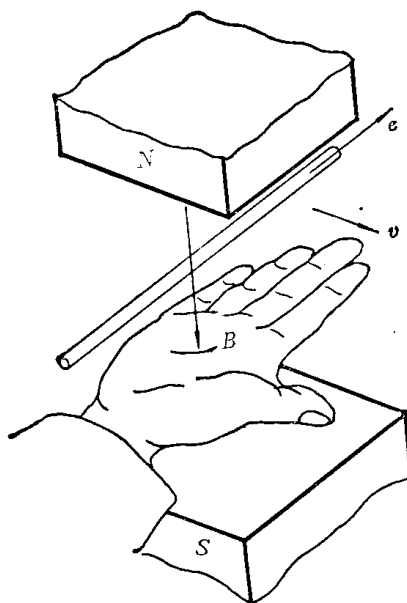


图 1-10 确定感应电势的右手定则

v 是导体 ab 或 cd 与 B_x 之间的相对线速度(米/秒)。

关于导体中感应电势的方向,用右手定则确定。把右手手掌伸开,大拇指与其他四个手指呈 90° 角,如图 1-10 所示,如果让磁力线(与磁密 B 同方向)指向手心,大拇指指向导体运动的方向,则其他四个手指的指向就是导体中感应电势的方向。我们把由右手定则判定的导体中感应电势的方向,叫导体感应电势的瞬时实际方向。可见,图 1-9 所示瞬间,导体 ab 、 cd 感应电势的瞬时实际方向分别由 b 指向 a 和由 d 指向 c 。也就是说,在这个瞬间,线圈 $abcd$ 感应电势的瞬时实际方向是从电刷 B 沿 $dcba$ 至电刷 A ,这恰恰与我们规定的线圈电势正方向一致,所以这个瞬间,线圈 $abcd$ 感应电势为正。电刷 A 呈高电位,电刷 B 呈低电位。当电枢逆时针转过 180° 时,导体 ab 与 cd 互换了位置,即导体 ab 转到原来 cd 的位置; cd 转到原来 ab 的位置。根据右手定则判定,在这个瞬间,线圈 $abcd$ 感应电势的瞬时实际方向是从电刷 A 沿 $abcd$ 至电刷 B ,恰恰与线圈规定的电势正方向相反,所以为负。电刷 A 呈低电位,电刷 B 呈高电位。如果电枢继续逆时针旋转 180° ,导体 ab 、 cd 又转到图 1-9 所示的位置,这时线圈 $abcd$ 感应电势的瞬时值又为正,电刷 A 呈高电位,电刷 B 呈低电位。由此可见,电枢每转一周,线圈 $abcd$ 里感应电势瞬时实际方向交变一次,电刷 A 、 B 的极性也同时交变一次。

从上式看出,在导体的长度 l 和相对线速度 v 不变的条件下,导体中感应电势随时间变化的波形,与极面下沿电枢圆周空间分布的气隙磁密波形相同。假定、转子之间的气隙在极面下都是均匀的,这样在极面下气隙里磁密大小都一样,而在极尖至两极之间的几何中线处,磁密迅速下降为零(在 § 1-3 节中介绍)。在这种气隙磁密的分布情况下,线圈 $abcd$ 中感应电势的波形如图 1-11 所示。图中是把图 1-9 所示的瞬间作为时间的起点,并且用 ωt 来衡量时间,其中 $\omega = 2\pi f$ 是角频率, f 是频率。关于用 ωt 来衡量时间,这里不作说明,留待介绍交流电机时,再仔细分析。可见,图 1-9 是最简单交流发电机的物理模型。

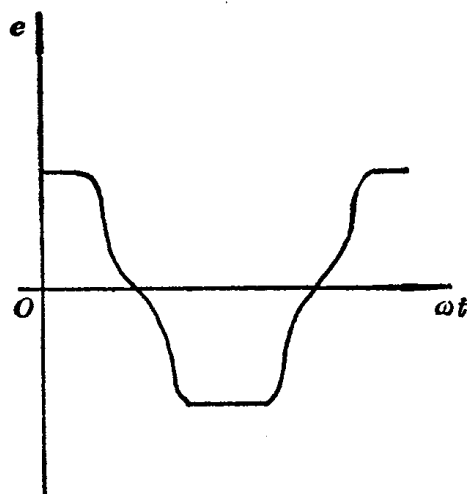


图 1-11 线圈 $abcd$ 中感应的交流电势

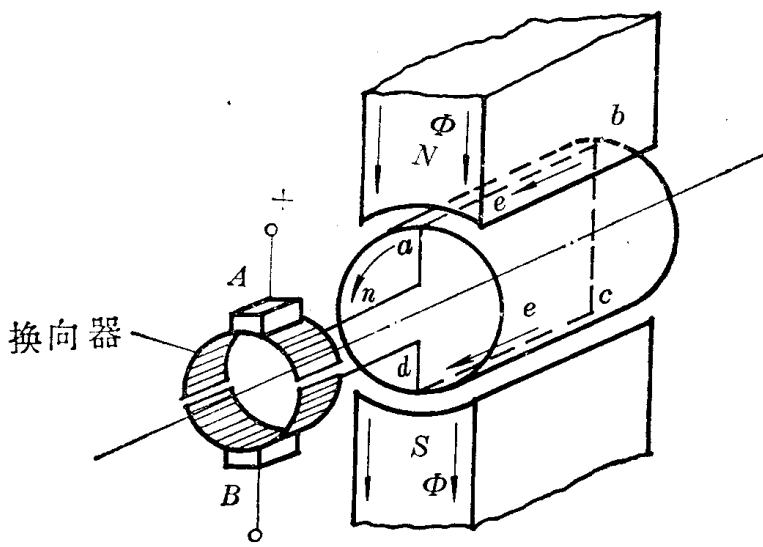


图 1-12 直流发电机的物理模型

我们知道,磁极都是成对出现的,图 1-9 里导体 ab 或 cd 不可能在旋转时只切割一种极性的磁通。所以不可能直接发出方向不变的直流电势。外电路如果需要直流电势的话,必须得把上述线圈 $abcd$ 感应的交变电势进行整流。整流的方式很多,但可以归纳为两大类:电子式;机械式。在直流发电机里,采用的是机械式整流装置,叫换向器。

图 1-12 是最简单直流发电机的物理模型。它是由两个对面放置的导电片,叫换向片,来代替图 1-9 中的两个滑环。换向片之间用绝缘材料隔开。两个换向片分别接到线圈 $abcd$ 的一端。电刷放在换向片上。这就是最简单的换向器。有了换向器,在电刷 A 、 B 之间的感应电势就和图 1-9 中两个滑环之间的感应电势大不相同了。例如,在图 1-12 所示瞬间,线圈 $abcd$ 中感应电势为正,这时电刷 A 呈正极性,电刷 B 呈负极性。当线圈逆时针旋转 180° 时,尽管这时线圈的感应电势为负,但由于换向片随着线圈一道旋转,本来与电刷 B 接触的那个换向片,现在却与电刷 A 相接触了,电刷 A 仍然呈正极性;电刷 B 呈负极性。从图 1-12 中看出,和电刷 A 接触的导体,永远处在 N 极之下,可见电刷 A 总是呈正极性。图 1-13 表示图 1-12 中电刷 A 、 B 之间的感应电

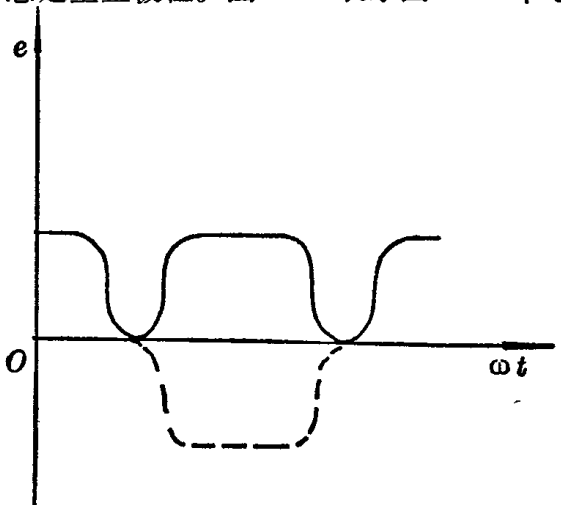


图 1-13 图 1-12 中电刷 A 、 B 之间的电势

势随时间变化的波形。

图 1-13 中电势的波形虽然有直流成分,但大小却是随着时间而变化的,实际上是个脉动电势。使用中,要求直流发电机能发出比较平稳的电势。为此,现代生产的直流发电机,电枢上要装许多个线圈,这些线圈分布在电枢表面上的不同位置,它们之间按一定规律互相联接起来。图 1-14(a)表示由 4 个线圈和 4 个换向片组成的电枢,(b)表示电刷间感应电势。可以看出,电势脉动的幅值已大大减少了。如果线圈数和换向片数比较多,电刷间的感应电势就很接近直流电势了。

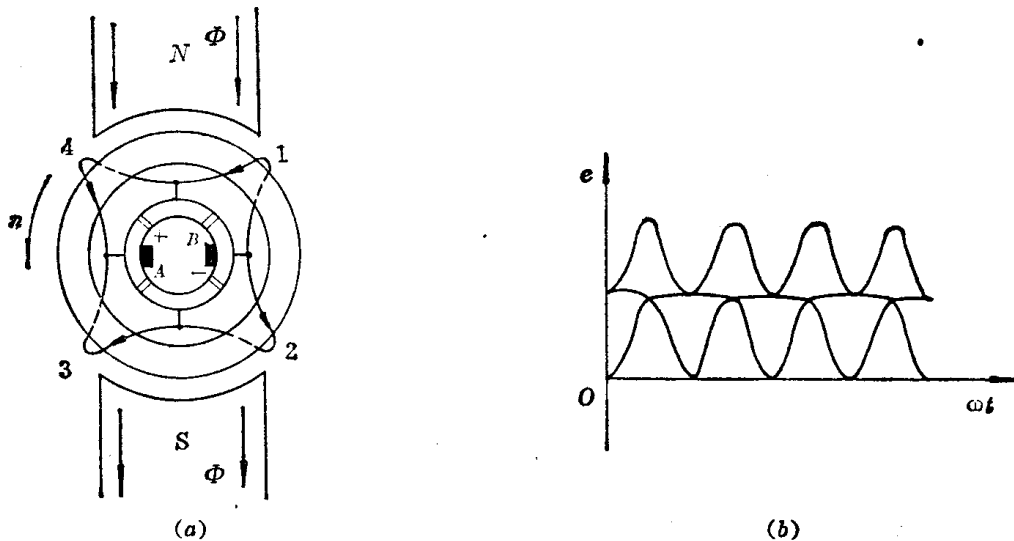


图 1-14 多元件时电刷之间的电势

把电枢上按一定规律联接起来的各线圈统称为电枢绕组。图 1-14 中的电枢绕组叫环型电枢绕组。在早年的直流电机中曾经使用过这种绕组,现已淘汰;现代直流电机都用所谓鼓型电枢绕组(将在 § 1-4 中介绍)。由于环型绕组与鼓型绕组在基本原理上完全一样,故在分析直流电机的原理时,还要用到它。

如果在图 1-12 电刷 A、B 上加一直流电源,并把它的原动机撤去,这样,电枢线圈里就会有电流通过,如图 1-15 所示。根据毕-萨电磁力定律知道,载流导体 ab 或 cd 都与气隙磁密 B 垂直,作用在导体上的电磁力用 f 表示,大小为

$$f = B_x l i \text{ 牛顿}$$

式中 B_x 是导体所在处的磁密(韦/米²);

i 是流过导体里的电流(安)。

导体受力的方向,用左手定则确定。把左手手掌伸开,大拇指与其他四个手指呈 90° 角,如图 1-16 所示,如果让磁力线指向手心,四个手指指向导体里电流流动的方向,则大拇指的指向就是导体受力的方向。在图 1-15 所示的瞬间,导体 ab 和 cd 受力 f 的方向如图所示。这个力乘上转子的半径,就是转矩,称为电磁转矩。如果电磁转矩能够克服电枢上的阻转矩(例如由摩擦引起的阻转矩以及其他负载转矩,后面再介绍),电机就能按逆时针方向旋转起来。这就是直流电动机最简单的物理模型。由于有换向器的缘故,电枢线圈产生的电磁力或电磁转矩总是单方向的。例如原来在 S 极下的导体,当它转到 N 极下时,遇到的气隙磁密方向发生了变化,由于有换向器的

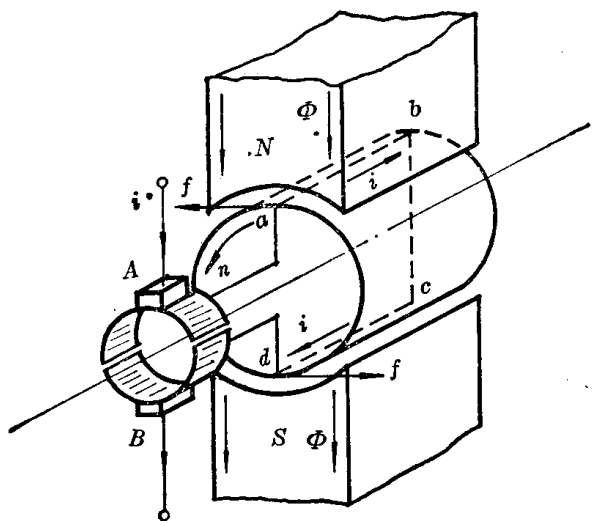


图 1-15 直流电动机的物理模型

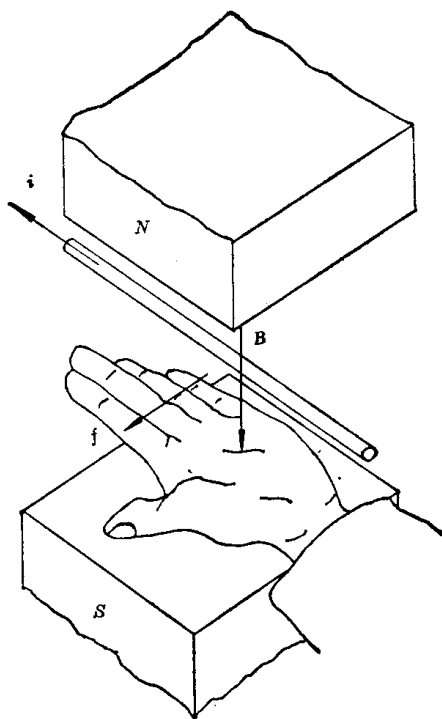


图 1-16 确定导体受力的左手定则

作用,进入 N 极的导体其中流过的电流方向也跟着发生了变化。这样一来,导体受力的方向或者产生电磁转矩的方向不发生任何变化。

与直流发电机的情况类似,当分布在电枢表面上的线圈相当多时,直流电动机的电磁转矩基本上是个恒定的数值。

例 1-1 当图 1-9 的直流发电机带上负载,即线圈 $abcd$ 里有了电流,电流与电势同方向,问这时导体 ab 与 cd 是否受到电磁力的作用,如果有的话,此电磁力的作用方向如何?

解 根据毕-萨电磁力定律 $f = B_x l i$ 知道,图 1-9 中导体 ab 与 cd 中有电流流过,且都处于气隙磁场中,因此会受电磁力作用。电磁力的作用方向根据左手定则确定,是企图使导体 ab 与 cd 顺时针方向旋转(当然实际电枢仍然为逆时针方向旋转)。

例 1-2 图 1-15 直流电动机旋转起来后,导体 ab 与 cd 中是否切割气隙磁密感应电势,如果有的话,此感应电势的方向如何?

解 根据电磁感应定律 $e = B_x l v$ 知道,图 1-15 中导体 ab 与 cd 与气隙磁密有相对运动,就要在导体 ab 与 cd 中感应电势。感应电势的方向用右手定则确定。在图 1-15 中,与导体中电流的方向相反。

二、电机的铭牌数据

根据国家标准,直流电机的额定数据有:

1. 额定容量 P_e (千瓦);
2. 额定电压 U_e (伏);
3. 额定电流 I_e (安);

4. 额定转速 n_e (转/分);

5. 励磁方式和额定励磁电流 I_{fe} (安)。

有些物理量虽然不标在铭牌上,但它也是额定值,例如在额定运行状态的转矩、效率分别叫额定转矩、额定效率等。

关于额定容量,对直流发电机来说,是指电刷端的输出电功率;对直流电动机来说,是指它的转轴上输出的机械功率。因此,直流发电机的额定容量应为

$$P_e = U_e I_e$$

而直流电动机的额定容量为

$$P_e = U_e I_e \eta_e$$

式中 η_e 是直流电动机的额定效率。它是直流电动机额定运行时输出机械功率与电源输入电功率之比。

直流电机运行时,若各个物理量都与它的额定值一样,就叫额定运行状态。在额定运行状态下工作,电机能可靠地运行,并具有良好的性能。

实际运行中,电机不能总是运行在额定状态。如果流过电机的电流小于额定电流,称为欠载运行;超过额定电流,称为过载运行。长期过载或欠载运行,都不好。长期过载有可能因过热而损坏电机。长期欠载,运行效率不高,浪费能量。为此选择电机时,应根据负载的要求,尽量让电机工作在额定状态。关于如何选择电机,将在第六章里介绍。

例 1-3 一台 Z_2 型直流发电机,其额定功率 $P_e = 145$ 千瓦,额定电压 $U_e = 230$ 伏,额定转速 $n_e = 1450$ 转/分,额定效率 $\eta_e = 90\%$,求该发电机的输入功率 P_1 及额定电流 I_e 各为多少?

解 已知这台电机的额定功率 $P_e = 145$ 千瓦,额定效率 $\eta_e = 90\%$,于是

额定输入功率

$$P_1 = \frac{P_e}{\eta_e} = \frac{145}{0.9} = 161 \text{ (千瓦)}$$

额定电流

$$I_e = \frac{P_e}{U_e} = \frac{145 \times 10^3}{230} = 630.4 \text{ (安)}$$

例 1-4 一台 Z_2 型直流电动机,其额定功率 $P_e = 160$ 千瓦,额定电压 $U_e = 220$ 伏,额定效率 $\eta_e = 90\%$,额定转速 $n_e = 1500$ 转/分,求该电动机的输入功率 P_1 及额定电流各是多少?

解 已知这台电动机的额定功率 $P_e = 160$ 千瓦,额定效率 $\eta_e = 90\%$,故

额定输入功率

$$P_1 = \frac{P_e}{\eta_e} = \frac{160}{0.9} = 177.8 \text{ (千瓦)}$$

额定电流

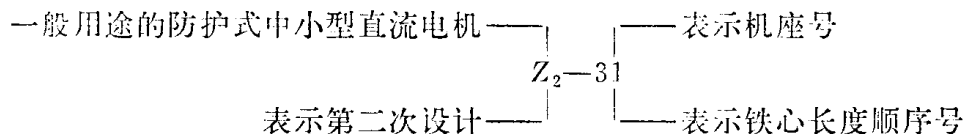
$$I_e = \frac{P_1}{U_e} = \frac{177.8 \times 10^3}{220} = 808.1 \text{ (安)}$$

或

$$I_e = \frac{P_e}{U_e \eta_e} = \frac{160 \times 10^3}{220 \times 0.9} = 808.1 \text{ (安)}$$

三、国产直流电机的主要系列产品

电机产品的型号一般采用大写印刷体的汉语拼音字母和阿拉伯数字表示。其中汉语拼音字母是根据电机的全名称选择有代表意义的汉字，再从该汉字的拼音中得到。例如，Z₂-31 的含意为：



国产的直流电机种类很多，下面列出一些常见的产品系列。

Z₂ 系列是一般用途的中、小型直流电机，包括发电机和电动机。

Z 和 ZF 系列是一般用途的大、中型直流电机系列。Z 是直流电动机系列；ZF 是直流发电机系列。

ZT 系列是用于恒功率且调速范围比较大的拖动系统里的广调速直流电动机。

ZZJ 系列是冶金辅助拖动机械用的冶金起重直流电动机。

ZQ 系列是电力机车、工矿电机车和蓄电池供电电车用的直流牵引电动机。

Z-H 系列是船舶上各种辅助机械用的船用直流电动机。

ZA 系列是用于矿井和有易爆气体场所的防爆安全型直流电动机。

ZU 系列是用于龙门刨床的直流电动机。

ZKJ 系列是冶金、矿山挖掘机用的直流电动机。

ZW 系列是无槽直流电动机，用于快速动作的伺服系统中。

ZLJ 系列是力矩直流电动机，用于位置或速度伺服系统中，作为执行元件。

§ 1-3 直流电机的磁路、空载时气隙磁通密度的分布波形与空载磁化特性

在介绍直流电机的磁路之前，这里先把几个常用的磁路定律复习一下，以便学习。

在电工技术中，常常把线圈套在铁心上，并在线圈里通入电流以产生较强的磁场。当线圈里通入电流后，由于铁磁材料的导磁系数比周围空气的导磁系数大得多，可以把磁力线看成为集中在铁磁物质内部。工程上把这种主要由铁磁材料所组成的、能使磁力线集中经过的路径称为磁路。磁路里的磁通往往是应该知道的，这就需要进行磁路计算。磁路计算的依据是安培环路定律，即在一个闭合的磁回路中，磁场强度向量的线积分，等于该闭合回路所包围导体电流的代数和。写成式子为

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = \Sigma I$$

式中 ΣI 就是该磁回路所包围的全电流。为此，这个定律也叫全电流定律。工程应用中遇到的磁