

船 电 设 备

褚建新 合编
陈意惠

上海海运学院

目 录

绪 论 船舶电力系统概述

- § 0—1 船舶电力系统的组成..... (1)
- § 0—2 船舶电力系统的基本参数..... (4)

第一章 直流电机

- § 1—1 直流电机的工作原理..... (6)
- § 1—2 直流电机的结构、分类、铭牌数据..... (8)
- § 1—3 直流电机的运行原理..... (11)
- § 1—4 直流电机的换向..... (16)
- § 1—5 直流电机的运行特性..... (19)
- § 1—6 直流电机的常见故障及维护保养..... (24)
- 本章小结..... (28)
- 习题与思考题..... (29)

第二章 变 压 器

- § 2—1 变压器的基本结构及其铭牌数据..... (31)
- § 2—2 变压器的运行原理..... (32)
- § 2—3 变压器的运行特性..... (36)
- § 2—4 三相变压器..... (38)
- § 2—5 仪用互感器..... (43)
- § 2—6 变压器的常见故障及使用维护..... (44)
- 本章小结..... (45)
- 习题及思考题..... (46)

第三章 交流异步电动机

- § 3—1 三相交流异步电动机的工作原理..... (47)
- § 3—2 三相交流异步电动机的结构及铭牌数据..... (51)
- § 3—3 三相交流异步电动机的运行原理..... (53)
- § 3—4 三相交流异步电动机的运行特性..... (60)
- § 3—5 单相异步电动机..... (64)
- § 3—6 交流异步电动机的常见故障及维护保养..... (68)

本章小结·····	(69)
习题及思考题·····	(70)

第四章 控制电机

§ 4—1 伺服电动机·····	(73)
§ 4—2 测速发电机·····	(77)
§ 4—3 自整角机·····	(77)
本章小结·····	(80)
习题及思考题·····	(81)

第五章 船舶机械电力拖动基础

§ 5—1 电力拖动系统运行的基本知识·····	(82)
§ 5—2 电动机的起动·····	(86)
§ 5—3 电动机的制动·····	(94)
§ 5—4 电动机的调速·····	(104)
本章小结·····	(117)
习题及思考题·····	(118)

第六章 低压控制电器合电动机的基本控制线路

§ 6—1 接触器·····	(121)
§ 6—2 继电器·····	(125)
§ 6—3 主令电器和电磁制动器·····	(129)
§ 6—4 电力拖动继电接触基本控制线路·····	(131)
§ 6—5 接触器、继电器、电动机控制箱的常见故障及维护保养·····	(140)
本章小结·····	(142)
习题及思考题·····	(143)

第七章 甲板机械及机舱辅机电力拖力自动控制系统

§ 7—1 起货机的电力拖动与控制·····	(146)
§ 7—2 锚机和系缆设备的电力拖动与控制·····	(159)
§ 7—3 船舶辅助锅炉自动控制·····	(162)
§ 7—4 制冷及空调系统的自动控制·····	(168)
§ 7—5 船舶舵机的自动操舵装置·····	(173)
§ 7—6 船舶机械电力拖动系统的常见故障及维护保养·····	(188)
本章小结·····	(195)
习题及思考题·····	(196)

第八章 交流同步发电机

§ 8—1 交流同步发电机的工作原理·····	(198)
-------------------------	---------

§ 8—2	三相交流同步发电机的结构和铭牌数据·····	(202)
§ 8—3	三相交流同步发电机的运行原理·····	(203)
§ 8—4	三相交流同步发电机的运行特性·····	(209)
§ 8—5	船用交流同步发电机的日常维护与保养·····	(215)
	本章小结·····	(216)
	习题及思考题·····	(217)

第九章 船舶电站配电装置、电网及电力系统的继电保护

§ 9—1	船舶电站配电装置·····	(219)
§ 9—2	船舶供电网络·····	(222)
§ 9—3	船舶电力系统的继电保护·····	(225)
§ 9—4	船舶电站主配电板的维护保养·····	(235)
	本章小结·····	(236)
	习题及思考题·····	(237)

第十章 船舶发电机的并列运行及其自动装置

§ 10—1	船用直流发电机的并列运行·····	(238)
§ 10—2	交流同步发电机的自动恒压装置·····	(240)
§ 10—3	交流同步发电机的并列运行·····	(254)
§ 10—4	自动调频调载装置·····	(263)
§ 10—5	船舶轴带交流发电机电力系统简介·····	(268)
§ 10—6	船舶电站自动化概要·····	(271)
§ 10—7	船舶电站运行管理·····	(275)
	本章小结·····	(278)
	习题及思考题·····	(279)

附录 船电设备的维护保养要求

§ 附—1	船用设备的工作条件及对其一般要求·····	(282)
§ 附—2	船电设备的维护保养级别及电气绝缘·····	(283)
§ 附—3	船用设备的故障分析方法·····	(288)

绪论 船舶电力系统概述

§ 0—1 船舶电力系统的组成

任何一艘现代船舶上,均具有一个从发电、配电、输电到用电的完整的电力系统。按照各组成部分的不同效用,船舶电力系统可划分为如下四个部分:a.电源设备;b.配电装置;c.供电网络;d.用电设备。四个组成部分相互间关系可用图0—1来表示。

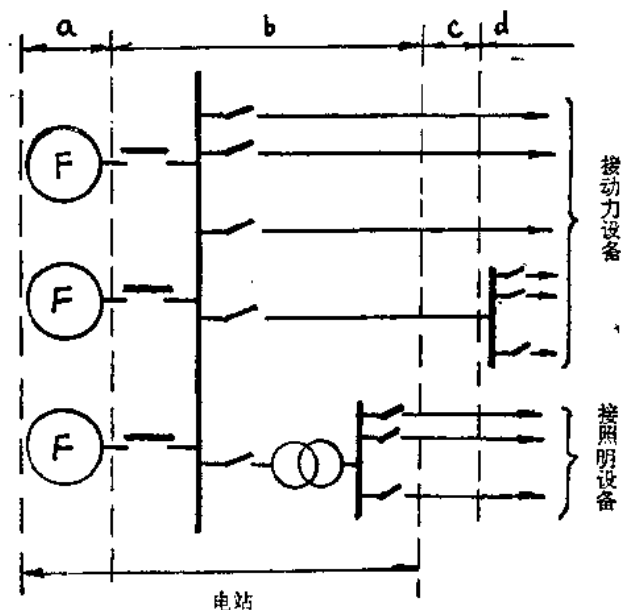


图0—1 船舶电力系统的组成

船舶电力系统有交流系统和直流系统之分。目前绝大部分船舶上都采用交流电力系统。

一、船舶电源设备

电源设备在电力系统中起着发电的功能。船舶上的电源设备主要有发电机和蓄电池,它们分别将机械能和化学能转换成电能供用电设备使用。一般船舶电力系统中均有主电源、应急电源和低压电源(蓄电池电源)等,以保证在各种可能出现的情况下必要的供电以及各种不同用电设备的用电需要。

1. 船舶主电源

用以保证船舶在各种工况(正常航行、进出港靠离码头、装卸货作业、停泊等)下正常用电的电源称为船舶主电源。它通常由若干台发电机组组成。这些机组根据不同的用途,可分为主发电机、备用发电机。

主发电机组是指经常投入工作的发电机组,一般设有二至三台,这样既能提高其运行的经济性(可根据不同工况和不同的用电量来确定投入运行机组的台数,以提高发电机的效率),

又能确保主电源供电的连续性和可靠性，同时还便于各台机组的轮流维修保养。为了提高主发电机组同时工作(并列运行)时的稳定性以及便于管理和投入并列运行时的操作，各台主发电机组一般采用相同型号和容量的发电机。

备用发电机组的主要用途，是当主发电机组中的某一台因故不能正常工作时，作为替代机组而投入工作。因此，备用发电机组的容量必须与主发电机组中最大一台机组的容量相同。实际上，绝大部分船舶上的主发电机和备用发电机组都是采用相同型号和容量的，所以一般无须特别区分主发电机组和备用机组，而是互为备用。

主发电机组的原动机一般都采用与船舶主机相同的类型，通常有柴油发电机组、蒸汽发电机组、汽轮发电机组等。由于柴油机与其他类型原动机相比具有效率高、机动性强、起动快等优点，目前已成为船舶发电机组原动机的主要形式。

此外，目前还有些船舶采用主机轴带发电机系统，即发电机的原动力来自主机轴。轴带发电机系统由于运行经济，节能效果明显，近些年来得到了较快的发展。

2. 船舶应急电源

当船舶主电源因故(船舶海损事故或主电源本身故障等)而不能正常供电时，这将严重危及全船的安全，因此需要自救。所以船舶上除了设有主电源外，还必须配备应急电源。

船舶应急电源可采用发电机组或蓄电池电源，或两者兼备。

在采用独立发电机组作为应急电源的船舶上，还必须备有作为临时应急电源的蓄电池组，这是考虑到当应急发电机组因故不能供电或在其起动过程中用以保证船上特别重要的部分用电设备(如警报器、发报机、关键部位的照明等)的供电而设置的。一般前者称为大应急电源，而后者称为小应急电源。

大应急电源可通过电网向船上部分用以保证船舶安全所必须的用电设备(称为应急设备)供电。

应急电源与主电源之间应有一定的电气联锁关系。当主电源正常工作时，应急电源不能投入工作；一旦主电源失电，应急电源应自动投入工作。对于采用应急发电机组作为应急电源的情况，在主电源停止供电而应急发电机组尚在起动而未能供电的这段时间内，小应急电源必须迅速自动投入运行，直至应急发电机组向电网供电时才自动退出工作。小应急电源的容量应能保证连续供电 30 分钟。作为船舶小应急电源的蓄电池，一般有酸性(铅)蓄电池和碱性(镍镉)蓄电池两种。蓄电池的容量为其放电电流(安培)与放电时间(小时)的乘积，以“安培·小时”来表示。

应急发电机组的原动机一般为柴油机或汽油机两种。它一般安装于船舶的上层甲板的专用舱室中。

二、船舶配电装置

配电装置是用来接受和分配电能的装置。船舶配电装置包括由金属箱体做成的各种配电板或配电箱。根据不同的需要，配电板(箱)内装有各种开关设备、保护电器、自动装置、电气测量仪表以及其他辅助设备等。配电装置的主要功能是对电源设备、电网及用电设备进行保护、监视、测量、控制、分配、转换等。

船舶配电装置按其用途划分主要有：总配电板、应急配电板、充放电配电板、分配电板、分配电箱和岸电箱等。根据需要，各种配电箱中配电的电气设备不同，其安装在船舶上的部位及箱体结构也不同。例如，主配电板主要用于控制和监视主电源的工作情况，故通常

安装在机舱中主发电机附近，箱体做成一般防护式；而各种分配电箱，则一般安装在船舶各区域用电设备附近，若是露天安装，箱体须为密封防水式。

三、用电设备

船舶用电设备又称为负载，是船上所有消耗电能的设备或装置的总称。通常将船上用电设备从电气角度划分为如下几类：

1. 船舶电力拖动设备 是指以电动机为原动机的各种设备。它一般是由电动机、保护及控制电气装置(控制系统)、传动机构等三部分组成。

与其他各种拖动(如蒸汽动力)设备相比，电力拖动设备具有效率高、运行经济、传动机构简单、体积小、重量轻、工作安全可靠、操作方便、调速平滑、启动与制动迅速、便于集中控制和实现自动控制等一系列优点。此外，由于电能传输方便、可靠，故而电拖设备可运用于各个分散的场合。

船舶电力拖动设备主要有：甲板机械——舵机、锚机、绞缆机、起货机等；机舱机械——各类油泵、水泵、空压机、冷冻机、通风机、空调设备等。

船舶电拖设备是船舶电能的主要消费者，其耗用的电能约占船舶主电源输出能量的70~90%。

2. 船舶照明设备 它包括船上所有各种场所、舱室的各种照明灯具，同时也包括航行信号灯等。

3. 船舶通讯和电航设备 船舶通讯设备有无线电收发报机、电话、广播、声光报警装置、电铃、舵角指示器等；电航设备有电罗经、雷达、无线电测向仪、电测深仪、电计程仪、卫星导航仪等。

4. 其他用电设备 有电加热器、电风扇等等。

船舶用电设备所需的功率决定了船舶主电源设备的容量。由于在任何时刻、任何工况下都不会出现所有船舶用电设备同时使用的情况，且用电设备在使用时也并非一定处于满载(消耗额定电功率)状况，因此在船舶设计制造时，其主电源的容量是以满足各种工况下船舶用电设备实际所需的功率(即主电源的负荷)来计算确定的。计算主电源负荷的方法主要有需要系数法、三类负荷法等。

需要系数法和三类负荷法的计算基本类似。它们都是将船舶在某工况下需运行的各种用电设备(主要是电拖设备)，按其使用情况(连续或间断运行、轻载或满载等等)，将其额定功率乘以一个适当的系数(<1)来确定它的实际用电功率，然后将各用电设备的实际用电功率之和作为该工况下船舶主电源的负荷。比较各种工况下主电源的负荷情况，以其最大负荷(一般出现在装卸货工况下)为参考值，考虑留有一定的余量(一般主发电机的负荷为其额定容量的80%以内)，来确定主电源的容量。

四、船舶电网

是指分布于全船的电缆(具有电气绝缘层和机械、火、油等防护层的多芯导线)和电线的总称。其作用是将各种电源的电能输送给全船的用电设备。

船舶电网按其所联接的电网和负载的性质，可以分为动力电网、照明电网、应急电网、低压电网等。

在交流船舶电力系统中，其主电源的发电机以及应急发电机均为三相交流发电机，并输出三相交流电压，而负载电拖设备也均为使用三相电压的电动机，对于三相电压，其电网的

配电方式一般有三相三线绝缘制，中点接地（船体）三相四线制和中点接地三相三线制，其连接方式分别如图0—2中(a)、(b)、(c)所示。目前船舶上最广泛采用的是三相三线绝缘制。其主要优点是三相电压线在其中任意一相与船体短接时不会造成直接短路危害；但缺点是不能得到相电压，故照明用电设备所需电压需经变压器降压后才能得到。

§ 0—2 船舶电力系统的基本参数

船舶电力系统的基本参数是指电制、额定电压和额定频率的等级。

随着科学技术的不断发展，船舶电力系统基本参数的选择范围也越来越大。但是在任何时期、任何船舶上，电力系统基本参数的选择都是以提高船舶电力系统运行的安全性、可靠性和经济性为基本原则，并同时兼顾诸如船电设备与陆地设备的通用性、停泊或检修时便于直接用岸电等方面的因素。

一、电制

电制指电流的种类，有交流电制和直流电制两种。

船舶电气化发展已有近百年的历史，在五十年代以前建造的船舶，基本上以直流电制为主。这是因为直流电力系统在许多方面具有其独特的优点，如直流发电机调压和发电机投入并列运行时，并车操作方便，直流电动机容易实现大范围平滑调速，以及直流电可以直接对蓄电池进行充电等。但是，由于直流电力系统在工作可靠性、设备的维护保养、重量体积以及运行的经济性等方面都远不如交流电力系统好，所以在船舶电气化程度不断提高、船舶电力系统的容量日益增长的情况下，直流电力系统的上述缺点就显得更为突出了，以致限制了船舶电气化程度的进一步提高。五十年代以来，交流电制在船上越来越广泛被采用。特别是随电子工业的迅速发展，大功率半导体器件的应用，成功地解决了曾经阻碍船电交流化的一系列难题（调速、调压、调频、并列运行等）之后，交流电力系统在船舶上就占了主要地位。目前，除了某些特种工程船舶尚采用直流电力系统或交直流混合电力系统外，几乎所有大、中型船舶都采用交流电力系统。

二、额定电压

船舶电力系统额定电压的高低，直接影响到电力系统中所有电气设备的重量和尺寸。从这方面来考虑，提高额定电压等级是有利的。但是，随着电压的提高，在电机、电气设备的绝缘和安全方面，也相应带来一些问题。此外，为能使船舶在停泊等情况下接用岸电以及船电设备与陆地设备的通用性，船舶电力系统的电压等级在一定程度上还取决于陆地电压标

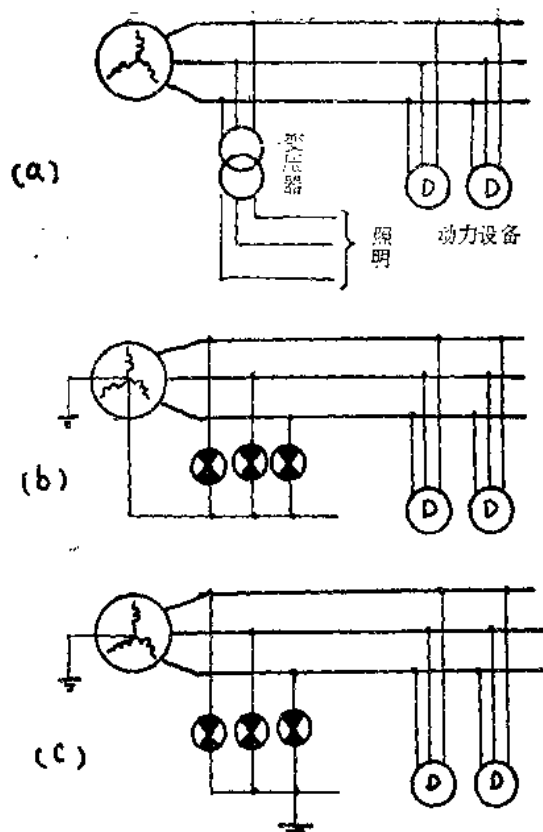


图0—2 交流船的配电方式

准。目前，世界各国船舶电力系统大多采用500伏以下的额定电压。我国《钢质海船建造规范》规定的船用额定电压等级如下：

表0—1

类 别	电 压			受电设备额定电压 (V)		
	电源设备额定电压 (V)					
直流电气设备	28	115	230	24	110	220
交流电气设备	115	230	400(三相)	110	220	380(三相)

随着船舶吨位的不断增大，特别是某些超级油轮和高速集装箱船的建造，船舶主机功率和电动辅机功率大型化，如有些大型船舶主电源的容量已超过2500千瓦，若采用500伏以下的低压电力系统，则将使主发电机、电网以及用电设备的电流大幅度增加，给制造、运行操作等都带来困难。因此，现代一些巨型船舶已逐渐设计采用3300伏的中电压等级(1000~12000伏为中电压等级)。目前，我国已在一些电力推进船舶以及少数工程船上，采用3300伏中电压等级。

三、额定频率

交流船舶电力系统的额定频率沿用陆地标准等级，我国统一规定为50Hz，而美国，日本等国则采用60H。

第一章 直流电机

直流电机是机械能和直流电能互相转换的旋转机械装置。同一台直流电机在不同的物理条件下可作为电动机运行，也可作为发电机运行。前者把电能转换成为机械能，后者则把机械能转换成为电能。

直流电动机的主要优点是调速性能好，起动转矩较大，这是交流异步电动机所不及的。所以即使在目前的“交流船”上，直流电动机作为驱动元件，使用的场合也不少，最典型的的就是“交一直一直”系统的甲板电力拖动机械；当然比起交流异步电动机来，它的造价高，结构复杂，维护保养工作量大，运行可靠性较差，这些都是它的缺点。

直流发电机能将机械能转换成为直流电能，供给直流用电设备。在船舶上，它作为船舶电站主电源的时代已经过去，但在船舶上还有它的应用场合，例如“交一直一直”电力拖动系统中作为变流元件使用。

§ 1—1 直流电机的工作原理

一、直流电动机的基本工作原理

图1—1中，N，S为一对固定的磁极（一般是电磁铁，也可以是永久磁铁）。两磁极间装着一个可以转动的铁质圆柱体（称它为电枢铁芯），其表面固定着一个线圈（称它为元件）。线圈的两端接在换向器的铜片上。换向器由互相绝缘的铜质换向片构成，装在转轴上与电枢一起旋转，但与电枢绝缘。换向器又与两个固定不动的电刷A，B相接触。

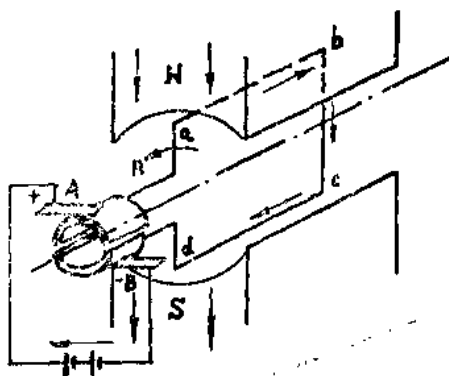


图1—1 直流电动机工作原理示意图

当直流电源加于电刷的两端而使电流流入电枢线圈时，电流的方向如图中箭头所示。于是通电的线圈在磁力的作用下与电枢一起旋转起来。电枢一经转动，由于换向器对电流的换向作用，直流电流交替地由线圈边ab和cd流入，使线圈边只要处于N极下，其中通过电流的方向总是由电刷A流入的方向，而在S极下时，总是从电刷B流出的方向。这就保证了每个极下的线圈边中的电流始终是一个方向，从而使电枢转子始终得到一个方向的电磁转矩，保证电动机能连续地朝一个方向旋转，这就是直流电动机的基本工作原理。

从上述的分析中可知，要使直流电动机的电枢转子得到方向不变的电磁转矩，关键在于当线圈边在不同极性的磁极下，如何将线圈中的电流及时地改变方向，即进行所谓“换向”。由电刷、换向器所组成的换向装置就起了帮助电枢线圈中的电流改变方向的作用。

图1—1所示的电动机模型中，电枢转子上只装一个线圈，而磁极也只是一对，所以当线

圈平面平行于磁极轴线时,电枢受到的电磁转矩最大,而当线圈平面垂直于磁极轴线时,电磁转矩为零。故在电枢旋转时,电磁转矩是脉动的。实用的直流电动机,电枢上绕有很多线圈,并按照一定的联接规律与外电源构成闭合回路,而磁极也不止一对,这样能增大电磁转矩,并减少其脉动。

通电后的电枢线圈在磁场中转动,其线圈的有效边切割磁力线,根据电磁感应定律,在线圈有效边上必然感生电势,电势的方向由右手定则来判定。可以看出,电动机电枢线圈中感应电势的方向始终与线圈中电流的方向相反。所以对电动机来说,称此感应电势为“反电势”。在电动机稳态运动时,它与外电压相平衡。

二、直流发电机的基本工作原理

如果在图1—1的直流电动机模型中撤去外电源,而接上一只电灯泡成闭合回路,并且用外力矩将电枢转子逆时针方向转动,此时直流电机就工作在发电机状态。

如图1—2所示,根据电磁感应定律,旋转的电枢线圈有效边分别切割不同极性磁极下的磁力线而感生出电势,电势方向如图中箭头所示。

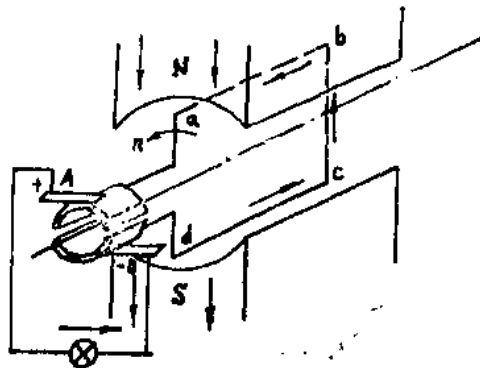


图1—2 直流发电机工作原理示意图

由于电枢连续地旋转,线圈边ab和cd交替地切割N极和S极下的磁力线,所以线圈内的感应电势是交变电势,依靠换向器的换向作用,电刷A通过换向片所引出的电势始终是N极下线圈边的电势,因此电刷A始终有正极性,同样道理,电刷B始终有负极性。所以电刷端能引出一个方向不变的,但大小变化的直流脉动电势。当外界负载(电灯泡)和电枢线圈构成了闭合回路后,就有电流流过,电灯就亮了。这就是直流发电机的基本工作原理。

在发电机中,我们把感应电势称之为“电动势”。实用的发电机磁极有好几对,电枢线圈也增多,并按照一定的联接规律联接,这样能增大电动势并减少其脉动。

当发电机带上负载运行时,在线圈中就有电流通过,根据电磁力定律,电枢线圈必然要受到电磁力的作用(对于旋转的电枢转子,也就是受到了电磁转矩的作用),作用方向可由左手定则来判定,可以看出,发电机中电枢转子受到的电磁转矩的作用方向始终与转速的方向相反,所以对发电机来说,电磁转矩是制动性质的,在发电机稳态运行时,它与外驱动力矩相平衡。

三、电磁转矩和感应电势

在分析直流电机的工作原理时,可以发现,无论是电动机还发电机,要实现机电能量转换,有两个要素是必不可少的。这两个要素是:电磁转矩和感应电势。

根据电磁力定律,可以证明电磁转矩的大小。可用下式来表示:

$$M = C_m \Phi I_a \quad (1-3)$$

式中 I_a —流经电枢绕组的总电流(安);

Φ —每极下的磁通量(韦);

M —电磁转矩(牛·米);

C_m —转矩常数, 且 $C_m = \frac{Np}{2\pi a}$ 其中 N 是电枢绕组总导体数, p 是电机的磁极对数,

a 是电枢绕组的并联支路对数。

电磁转矩公式告诉我们, 在每极磁通量不变的条件下, 电磁转矩与电枢电流成正比。

根据电磁感应定律, 我们也可以证明直流电机感应电势的大小。可用下式来表示:

$$E = C_e \Phi n \quad (1-4)$$

式中 n —电机的转速(转/分);

Φ —每极下的磁通量(韦);

E —电刷端电势(伏);

C_e —电势常数, 且 $C_e = \frac{Np}{60a}$ 。

感应电势公式告诉我们, 在每极磁通量不变的条件下, 感应电势与电机的转速成正比。

必须强调指出, 直流电动机和直流发电机两者的电磁转矩及感应电势的作用和意义都是不同的。作为电动机来说, 电磁转矩是拖动性质的, 而感应电势则是反电势; 作为发电机来说, 感应电势是电动势, 而电磁转矩则是制动性质。

从式(1-3)和式(1-4)中, 可得到转矩常数和电势常数之间的关系:

$$\frac{C_m}{C_e} = \frac{Np}{7\pi a} \bigg/ \frac{Np}{60a} = \frac{60}{2\pi} \approx 9.55$$

§ 1-2 直流电机的结构分类铭牌数据

一、直流电机的结构

任何旋转电机为了实现机电能量转换, 在它的结构上都必须具有能满足电磁和机械两方面要求的合理的结构型式。电磁方面的要求是, 使电机能产生足够的磁通, 感应出一定的电势, 通过一定的电流, 产生一定的电磁转矩, 并具有一定的绝缘强度。机械方面的要求是, 电机应能传递一定的转矩, 和保持机械上的坚固、稳定。此外, 电机的结构要满足冷却的要求, 保证温升不过高。对于船用电机, 还要考虑其船舶上各种工况的特殊要求。

直流电机的主要结构部件大致分为静止部分和转动部分, 静止部分和转动部分之间有一定大小的间隙(称之为气隙)。静止部分的主要作用是产生磁场, 由主磁极、换向极、机座和电刷装置等组成。转动部分通常称为电枢, 它的作用是产生电磁转矩和感应电势, 由电枢铁芯、电枢绕组、换向器和风扇等组成。

(一) 静止部分

1. 主磁极

在一般中小型直流电机中, 主磁极是一种电磁铁。主磁极的铁芯用1~1.5毫米厚的钢板冲片迭压紧固而成。绕制好的励磁绕组套在铁芯外面, 整个磁极用螺钉固定在机座上, 各主磁极上的励磁绕组联接必须使通过励磁电流时相邻的极性呈N和S交替排列。为了使主磁通在气隙中分布得更合理一些, 铁芯下部(称为极靴或极掌)比套绕组的部分(称为极身)宽。这样也可使励磁绕组牢固地套在铁芯上(图1-5)。

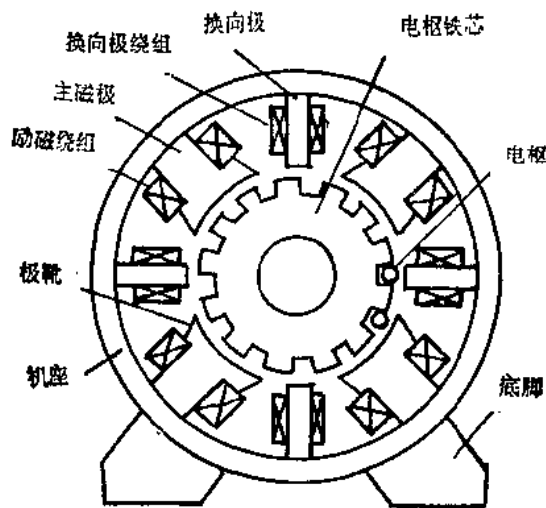


图1-3 直流电机径向剖面图

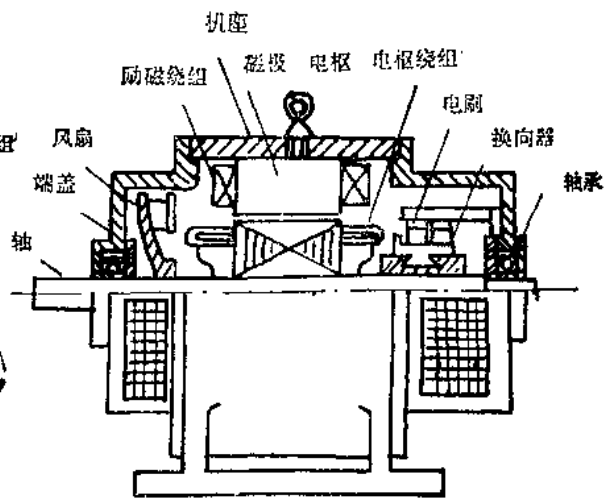


图1-4 直流电机轴向剖面图

2. 换向极

又称附加极或间极，其作用是用以改善换向。换向极装在主磁极之间，它也是由铁芯和绕组构成(图1-6)。铁芯一般用整块钢或钢板加工而成，换向极绕组用电枢绕组串联。

3. 机座

机座通常由铸钢或厚钢板焊成。它有两个用处：一个是用来固定主磁极、换向极和端盖，另一个用处是作为磁路的一部分。机座中有磁通经过的部分称为磁轭。

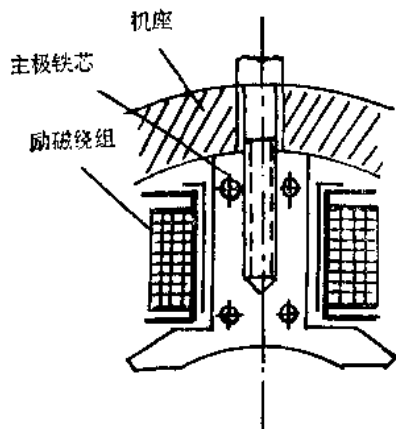


图1-5 主磁极

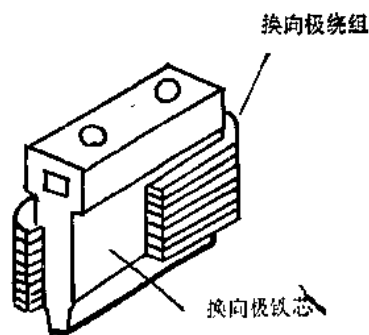


图1-6 换向极

4. 电刷装置

电刷装置是把直流电压、直流电流引入或引出的装置。电刷装置由电刷、刷握、刷杆座和铜丝辫组成(图1-7)。

(二) 转动部分

1. 电枢铁芯

电枢铁芯也有两个用处：一是作为主磁路的一部分，另一用处是嵌放电枢绕组。电枢铁芯和主磁场之间有相对运动，为了减少铁耗，通常用0.5毫米厚的硅钢片冲片叠压而成，固

定在转子支架或转轴上。

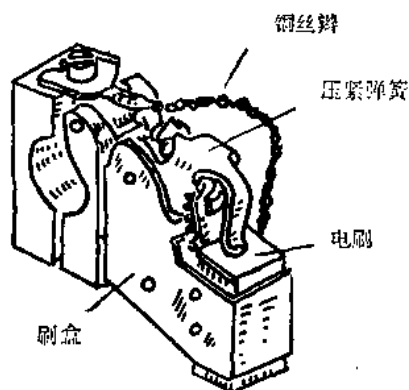


图1—7 电刷装置

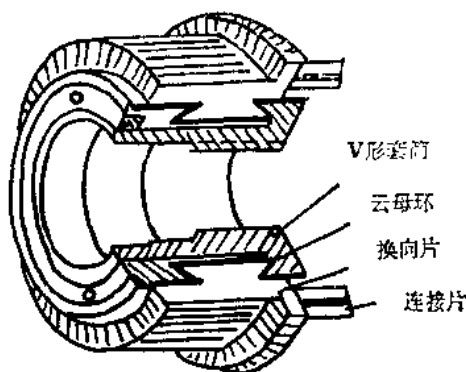


图1—8 换向器

2. 电枢绕组

电枢绕组是由许多按一定规律联接的线圈组成，它是直流电动机的主要电路部分，也是通过电流和感应电势而实现机电能量变换的关键性部件。线圈用带绝缘的圆形或矩形截面导线绕成，嵌放在电枢槽内，上下层之间以及线圈与铁芯之间都要妥善地绝缘，然后，用槽楔压紧，再用钢丝或玻璃丝带扎紧，以防止离心力将绕组甩出槽外。

3. 换向器

在直流电动机中，换向器的作用是将电刷上的直流电流转换成为绕组内的交流电流，在直流发电机中，它将绕组内的交变电势转换成为电刷端上的直流电势。换向器内由许多换向片组成，换向片之间用云母绝缘，电枢绕组的每一个线圈两端分别接在两个换向片上(图1—8)。

二、直流电机的分类

直流电机按其励磁方式的不同可分为四种类型：

他励直流电机——这种直流电机其励磁电流由其他电源供给，也即励磁绕组与电枢绕组无关。

并励直流电机——其励磁绕组与电枢绕组并联。

串励直流电机——其励磁绕组与电枢绕组串联。

复励直流电机——其励磁绕组有两个，与电枢绕组分别并联和串联。复励电机中又有差复励直流电机与积复励直流电机之分。

图1—9，表示这四种不同励磁方式的直流电机的线路。图中所标的电流正方向是以电动机为例的。

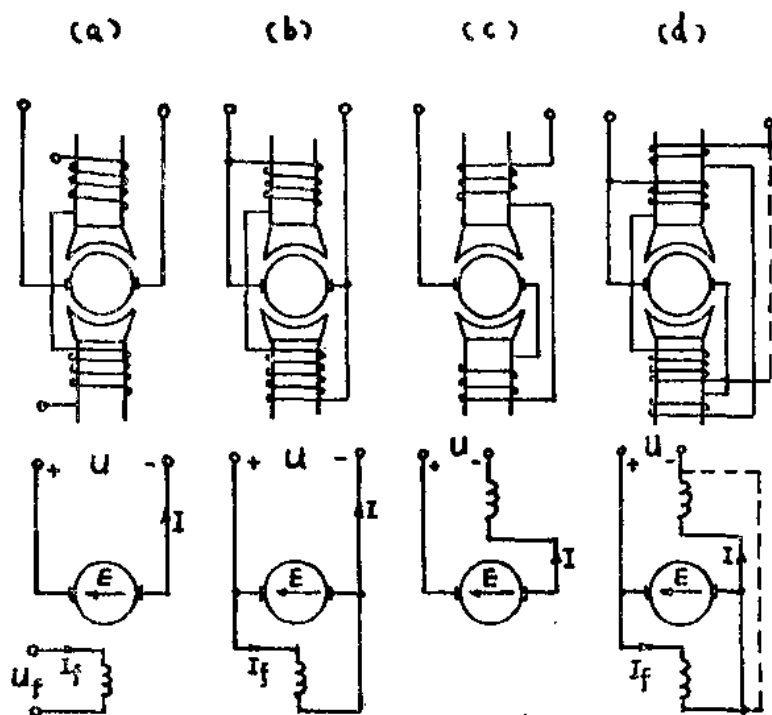
关于励磁方式不同的直流电机的运行特性，将在后面加以研究。

三、直流电机的铭牌数据

每台电机的机座上都有一铭牌，上面标注着一些叫做额定值的铭牌数据，额定值是电机制造厂对电机正常运行时，对有关的电量或机械量所规定的数值。若电机运行时，这些电量和机械量都符合额定值，这样的电机运行情况称为额定工况。在额定工况下运行，可以保证电机可靠地工作，并且具有优良的性能。直流电机的铭牌数据有：

1. 电机的型号；

2. 额定功率 P_N (kw)，对电动机讲，是指它在轴上的机械输出功率，对发电机讲，是指



(a)他励式 (b)并励式 (c)串励式 (d)复励式

图1—9 不同励磁方式的直流电机的接线及原理图

它出线端的电功率输出，

3. 额定电压 $U_e(V)$;
4. 额定电流 $I_e(A)$;
5. 额定转速 $n_e(r/m)$;
6. 励磁方式;
7. 额定励磁电流 $I_{fe}(A)$;
8. 额定励磁电压 $U_{fe}(V)$ 。

此外还标注使用条件等其它数据，如运行方式、防护方式、冷却方式、绝缘等级等。

为了产品的标准化和通用化，电机制造厂生产的产品大多是系列电机。所谓系列电机就是在应用范围、结构型式、性能水平、生产工艺等方面有共同性。功率按一定比例递增，并成批生产一系列电机，我国船用直流电动机和直流发电机也有多种系列，可根据不同的需要选用。

§ 1—3 直流电机的运行原理

一、直流电机的电枢反应

无论是直流电动机还是直流发电机，要实现机电能量转换，必须具备两个条件，一是磁场，二是通有电流的电枢绕组。

当定子主磁极上的励磁绕组通入直流励磁电流以后，将产生主极磁通，如图1—10(a)所

示。这个主极磁通沿着定子磁轭(机壳), 电枢铁芯以及主磁极与电枢铁芯之间的空气隙形成闭合回路。它同时与励磁绕组和电枢绕组相链, 所以称之为主磁通 Φ_0 。但还有一小部分磁通不通过气隙而仅与励磁绕组本身相链(图中未画出), 它通过相邻磁极或磁轭(机壳)而闭合。这一部分磁通称为主极漏磁通 Φ_s , 漏磁通的数量比主磁通小得多, 通常 $\Phi_s = 15 \sim 20\% \Phi_0$ 。由于主磁极极靴宽度总是比一个极距小, 因此, 在极靴下, 气隙中各点的磁通密度较大, 在极靴范围以外, 磁通密度显著减小, 至两极间的几何中性线处, 磁通密度就等于零我们称电枢表面磁通密度为零的直线为物理中性线。显然在空载时, 物理中性线与几何中性线重合。

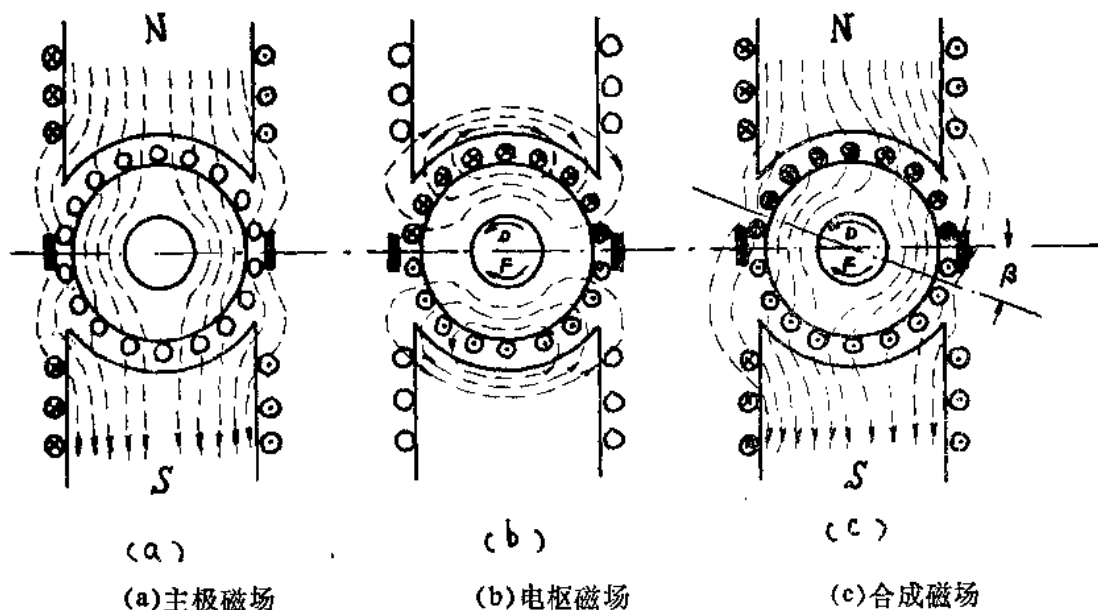


图1—10 直流电机的磁场分布

当电机带上负载后, 电枢绕组内流过电流 I_a , 在电机磁路中又产生了一个电枢磁场 Φ_a 。图1—10(b)所示的电枢磁场磁力线分布情况。尽管电枢在转动, 电枢绕组的元件边不停地从一个磁极下进入另一个磁极下, 但是因为电刷和换向器的作用, 每极下的元件边中的电流方向还是不变的。因此, 电枢磁场的轴线始终与主磁极轴线垂直。所以称电枢磁场为交轴磁场。如果电枢电流 I_a 大小变化, 电枢磁场 Φ_a 的大小也随着发生变化, 并当电枢电流改变方向时, 电枢磁场的极性也随之改变, 但它永远是交轴的。

在电机负载运行时, 励磁电流产生的主极磁场和电枢电流产生的电枢磁场是同时存在, 并且联合作用, 互相影响, 从而形成气隙中的合成磁场, 使电机产生电磁转矩, 实现机电能量转换。我们把电枢磁场对主极磁场的作用和影响称为直流电机的电枢反应。

电枢反应的结果是什么呢? 试以电动机为例, 设电动机逆时针方向旋转, 主磁极极性下面为S极, 上面为N极, 则电枢绕组元件边的电流方向就如图1—10(b)所示, 即在S极下为穿出纸面, N极下为穿进纸面。可以看出, 在迎着电枢旋转方向的主磁极的前极尖下, 主极磁场的磁力线和电枢磁场的磁力线方向是一致的。即前极尖下的气隙中磁通密度是增大的。而在背着电枢旋转方向的主磁极的后极尖下, 两者磁力线的方向是相反的, 故后极尖下的气隙中磁通密度是减小的。所以电枢反应的结果使气隙磁场发生了畸变, 如图1—10(c)所示。此时电枢表面而磁通密度等于零的物理中性线偏离了几何中性线。在电动机中, 物理中性线逆着

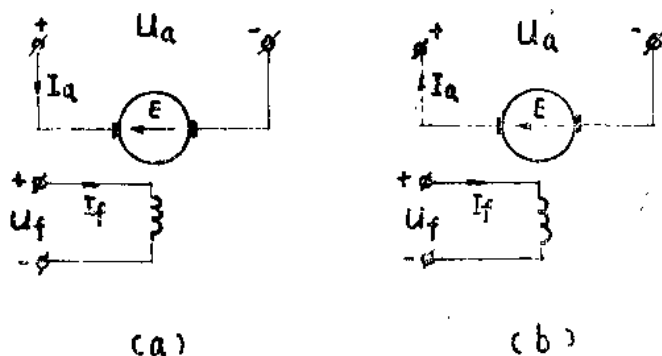
电机旋转方向移过一个不大的 β 角。对发电机的电枢反应结果,也是使气隙磁场发生了畸变,但在现象上刚好同电动机相反,它是前极尖去磁,后极尖增磁,物理中性线顺着电机旋转方向移过一个不大的 β 角。

电枢反应的另一个结果是使气隙磁场呈去磁作用。电枢磁场使主磁场一半加强,另一半削弱(对电动机来说,前极尖增磁,后极尖削弱;对发电机来说,则相反),如果电机的磁场不饱和,则主磁场削弱数量与加强数量恰好相等,总磁通量不变。但在实际电机中,为了充分利用铁磁材料,磁路总是饱和的,即处于电机磁化曲线的非线性段。增磁会使饱和程度提高,铁芯磁阻增大;削磁可使饱和程度下降,铁芯磁阻减少。由于磁阻变化的非线性,磁阻增加的数值要比磁阻减少的数值要大些,所以增加的磁通数量就会小于磁通减少的数量。因此,负载时每极磁通量要比空载时每极磁通量略有减少。

总的来说,电枢反应的作用不但使电机内气隙磁场发生畸变,而且还呈去磁作用。

二、电势平衡方程式

图1—11(a)表示了一台他励直流电机作电动机运行时的常规画法,而图1—11(b),则表示了他励直流电机作发电机运行时的常规画法。根据基尔霍夫电压定律,可写出电枢回路和励磁回路方程式。对电动机而言(依照图1—11(a)所标的正方向),



(a)电动机运行 (b)发电机运行

图1—11 他励直流电机的电路图

$$\begin{cases} U_a(t) = E_a(t) + r_a I_a(t) + L_a \frac{dI_a(t)}{dt} + 2\Delta U, & (1-6) \\ U_f(t) = R_f I_f(t) + L_f \frac{dI_f(t)}{dt} & (1-7) \end{cases}$$

式中 U_a —电枢端电压, r_a —电枢绕组电阻,
 E_a —电枢感应电势, R_f —励磁绕组电阻,
 I_a —电枢电流, L_a —电枢绕组自感,
 U_f —励磁电压, L_f —励磁绕组自感,
 I_f —励磁电流, ΔU_a —电刷接触压降。

如果电动机稳态运行,那末电路中的各物理量就不是时间的函数,于是上两式变为

$$\begin{cases} U_a = E_a + r_a I_a + 2\Delta U_a & (1-8) \\ U_f = R_f I_f & (1-9) \end{cases}$$