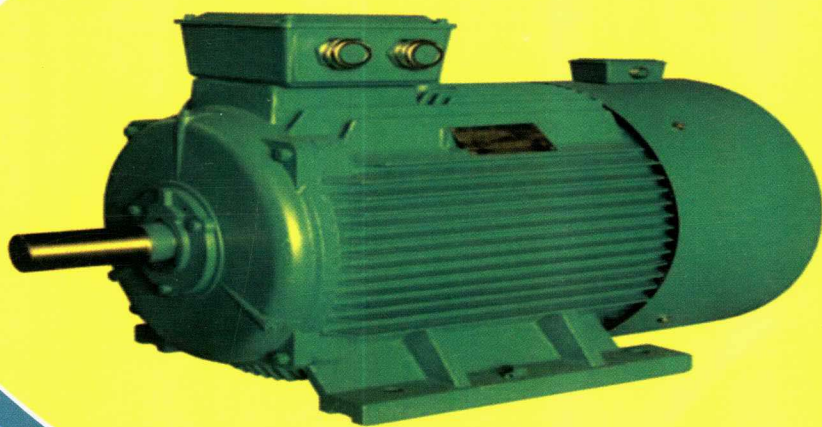




船舶电气

王云华 主编
查辅江 主审
葛卫兴



上海浦江教育出版社

航海类高等职业教育项目化教材

船舶电气

王云华 主编
葛卫兴 查辅江 主审



上海浦江教育出版社

内 容 提 要

本书为省级示范性高等职业院校重点建设专业特色教材。全书以项目为载体,共分为十个项目,分别为:船舶电机的运行管理与维护;船舶常用控制电器的使用与维护;异步电动机控制器的运行管理与维护;船舶辅助机械电力拖动控制系统的运行管理与维护;船舶同步发电机的运行管理与维护;船舶主电站的日常操作与管理;船舶供电切换操作与管理;船舶电力系统安全保护参数的调整及电网失电的应急处理;船舶照明系统的管理与维护;船舶电气系统工作安全管理。各项目充分体现了教学做一体的项目教材特色。

本书既可以作为高职院校轮机工程技术专业的教学用书,也可作为从事船舶电气控制相关工程技术人员参考读物。

图书在版编目(CIP)数据

船舶电气/王云华主编. —上海:上海浦江教育出版社有限公司, 2014. 8

(航海类高等职业教育项目化教材)

ISBN 978-7-81121-363-8

I. ①船… II. ①王… III. ①船用电气设备—高等职业教育—教材 IV. ①U665

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 192674 号

上海浦江教育出版社出版

社址:上海市海港大道 1550 号上海海事大学校内 邮政编码:201306

电话:(021) 38284910 (12) (发行) 38284923 (总编室) 38284910 (传真)

E-mail: cbs@shmtu.edu.cn URL: <http://www.pujiangpress.cn>

上海市印刷十厂有限公司印装 上海浦江教育出版社发行

幅面尺寸:185 mm×260 mm 印张:27.5 字数:664 千字

2014 年 8 月第 1 版 2014 年 8 月第 1 次印刷

责任编辑:楼进王露 封面设计:赵宏义

定价:88.00 元

总 序

当前,我国高等职业教育已进入了快速发展时期,职业教育的教学模式也悄然发生着改变,传统学科体系的教学模式正逐步转变为行动体系的教学模式。项目化教学是“行动导向”教学法的一种,因其具有实践性、自主性、发展性、综合性、开放性等多个优点而被高等职业院校广泛采用。但由于受传统学科体系的教学模式和海事局船员适任考试评估大纲的影响,航海类高等职业教育的教材目前大多仍按知识体系架构编写,内容偏重于理论知识,而轻视实践技能的训练,与职业能力培养要求存在较大的差距。国内部分院校虽然也进行过项目化教学改革尝试,但编写的配套教材大多采用模块(知识体系)+实训(海事局评估项目)架构,教学方法上采用“理论与实践交替互动”的模式,没有真正实现以项目为载体的理实一体化教学。

为了培养高素质航海技术技能人才,使教学模式遵循职业教育教学规律和高职学生的认知规律,我们组织编撰了《航海类高等职业教育项目化教材》(丛书)。为了高质量地完成教材的编撰工作,编委会组织了一批企业专家、知名学者和专职教师,在以华东师范大学博士徐国庆教授为核心的“职业教育项目化教改团队”的指导下,大力推进航海类专业以工作任务为导向的课程体系改革。本次课程体系改革,完全打破以往的基于知识体系的课程体系模式,而是以海船船员典型工作任务为导向,从船员岗位的工作领域和职业能力分析入手,形成了一套集知识目标和技能目标于一体、融理论学习和技能训练于一身的全新航海类项目化专业主干课程教材。

教材是课程教与学的载体,也是课程教与学模式的具体体现。在重新优化和构建以工作任务为导向的课程体系的基础上,编委会配套制定了各课程教学标准,分组开展了项目化课程设计,并以此指导项目化系列教材的编撰。

本套教材紧扣船员工作岗位的实际工作项目,通过“项目描述”“项目目标”“任务描述”“任务实施”“任务评价”等栏目逐层递进,在项目实施中



完成对学生知识的积累和能力的培养。这种“做中学、学中做”教学方法，既符合高等职业教育的需求，也符合高等职业院校学生的认知规律。

航海类专业职业教育“课证融通”的特点，要求毕业生参加海事局组织的船员适任证书考试和评估，并取得相应船员适任证书。所以，本套教材在编撰过程中，还特别强调紧扣国际海事组织 STCW 公约 2010 年马尼拉修正案的新内容、新要求，在知识内容和实训项目设置上，完全涵盖中国海事局全国海船船员适任考试和适任评估两个大纲的要求，实现了理论和实践的有机融合。此外，本套教材还根据航海技术的最新发展动态，增加或修订了一些新技术或新设备内容，由此满足船员适任考试和评估的双重需要，还可作为船舶技术人员的参考用书。

本套教材的编撰，是我国航海教育项目化课程改革的有益探索和创新，由于我们的水平有限，书中或仍有某些不足，敬请专家、同行和其他读者不吝指教，以便我们适时改进，为推进我国航海高等职业院校项目化课程改革添砖加瓦。

《航海类高等职业教育项目化教材》编写委员会

2014 年 7 月

《航海类高等职业教育项目化教材》编写委员会

主任委员 刘红明

副主任委员 陈晓琴 陈立军 韩杰祥

委 员 (以汉语拼音排序)

陈 豪 胡明华 季建华 季明丽 江 山

马洪涛 缪克银 潘汝良 瞿名泽 权 东

孙长飞 王锦法 王 涛 严祥生 郑其山

周国华 周 涛

前 言

本教材是根据《海员培训、发证和值班标准国际公约》(STCW 公约) 马尼拉修正案、《中华人民共和国海船船员适任考试和发证规则》和船舶岗位(二/三管轮)对“船舶电气”的职业能力要求,按照“项目导入,任务驱动”的形式编写的,体现了高等职业教育教学的特点,旨在培养学生具备船舶电气的基础理论知识,船舶电气设备的操作、运行维护和管理以及简单故障排查能力,以达到中华人民共和国海事局对操作级轮机员在船舶电气方面的理论知识和操作管理能力的要求。

本教材是编者在总结多年船舶电气教学经验,以及对船舶电气进行有效教学研究的基础上,以实现“教学做一体”的目标而编写的,有以下几方面的特点:

(1) 采用基于工作过程导向的项目化教学模式,打破原来的章节知识体系结构,按船舶实际的工作任务领域设置项目、任务,使每一项目、任务与船舶实际的工作相对应,具有较强的可操作性和可移植性。

(2) 突出任务的“学习目标”,使学生明确该任务所要达到的知识目标和能力目标。

(3) 强调“任务驱动”理念,对于“任务”中的每一环节,在“任务实施”中,提出了明确的“任务要求”,设计了详细的“内容与步骤”及“操作指导”,对学生课前自主预习及课堂分组自主学习起到引领和指导作用。

(4) 力求简明扼要、层次分明、重点突出和图文并茂,具有较强的直观性。

教材分为10个项目,每个项目又分为若干个任务,各任务均按照“任务描述→学习目标→相关知识→任务实施→任务评价→任务拓展(可选)→课后练习”的体例结构编写。

本教材由江苏海事职业技术学院王云华副教授主编,江苏海事局葛卫兴高



级工程师、江苏海事职业技术学院查辅江副教授主审，其中：项目一、项目三由孙立新编写；项目二由于家凤编写；项目四由刘堂峰编写；项目五、项目六、项目七、项目八由王云华编写；项目九由高超编写；项目十由惠节编写。全书由王云华统稿。

本书在编写过程中得到江苏海事局、江苏远洋运输公司等单位的大力支持，有关专家对本教材的编写提出了许多有益的建议，在此一并表示感谢！

由于编者学识有限，时间仓促，书中难免有错误或不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

2014 年 5 月

目 录

项目一 船舶电机的运行管理与维护	1
任务1 直流电机的运行管理与维护	2
任务2 交流异步电动机的运行管理与维护	19
任务3 船舶常用控制电机的运行管理	58
 项目二 船舶常用控制电器的使用与维护	69
任务1 主令电器的使用与维护	70
任务2 交流接触器的使用与维护	80
任务3 继电器的使用与维护	88
任务4 保护电器的使用与维护	95
 项目三 异步电动机控制器的运行管理与维护	108
任务1 异步电动机控制线路识读	109
任务2 异步电动机正反转控制线路的安装调试	124
任务3 电气控制箱的维护管理与故障处理	132
 项目四 船舶辅助机械电力拖动控制系统的运行管理与维护	144
任务1 海（淡）水压力水柜水位双位自动控制系统的管理与维护	145
任务2 空压机自动控制系统的管理与维护	151
任务3 电动机互为备用自动切换控制系统的管理与维护	158
任务4 锚机、绞缆机电力拖动控制系统的管理与维护	162
任务5 船舶起货机的电力拖动控制系统的管理与维护	172
任务6 船舶舵机电力拖动控制系统的管理与维护	187
 项目五 船舶同步发电机的运行管理与维护	199
任务1 同步发电机的运行管理与维护	200



任务2 同步发电机的自励恒压及常见故障处理	212
项目六 船舶主电站的日常操作与管理	236
任务1 船舶电力系统的认识	237
任务2 发电机主开关的操作及故障处理	250
任务3 常规电站的运行管理	265
任务4 自动化电站的运行管理	290
项目七 船舶供电切换操作与管理	323
任务1 轴带发电机的操作与管理	324
任务2 船舶应急电源系统的操作与管理	330
任务3 船舶接岸电的操作与管理	343
任务4 船舶中高压电力系统的操作与管理	347
项目八 船舶电力系统安全保护参数的调整及电网失电的 应急处理	357
任务1 船舶电力系统继电保护参数的调整	358
任务2 船舶电网失电的应急处理	371
项目九 船舶照明系统的管理与维护	377
任务1 船舶照明灯具及电光源的管理与维护	378
任务2 船舶照明线路的维护与故障处理	392
项目十 船舶电气系统工作安全管理	401
任务1 船舶电气系统工作安全要求的认识	402
任务2 船舶电力系统绝缘检测与故障处理	417
附录 常用电器、电机新旧符号对照	427
参考文献	429

项目一

船舶电机的运行管理与维护

项目描述

随着船舶的全面电气化、自动化，电机在船舶上得到广泛的应用，如甲板机械、舱室辅机的电力驱动，转速、转角信号的测量与传递，自动控制系统中的电动执行机构等，都是由各种电机实现的。因此，本项目主要介绍直流电机、交流异步电动机、船舶常用伺服电机。让学生在熟悉各类电机的结构、工作原理、运行特性的基础上，能分析它们的常见故障并进行运行管理与维护。

任务1 直流电机的运行管理与维护

【任务描述】

直流电机以其良好的运行性能，在生产机械及控制系统中仍是其他电机无法取代的，其外形如图 1-1-1 所示。直流电机的运行管理与维护直接关系到设备运行的可靠性。本任务的目的是让学生认识直流电机及其结构，理解直流电机的工作原理，熟悉直流电机的运行性能，掌握直流电机的启动、调速和反转的方法及其特性，以及熟悉直流电机的维护保养要点及常见故障的分析处理。

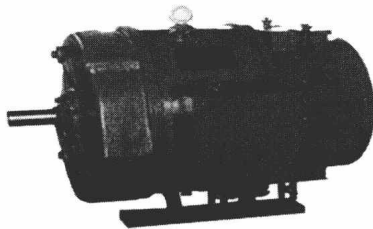


图 1-1-1 直流电机外形

【学习目标】

1. 能识别直流电机的结构，指说各部件的名称及作用；
2. 能描述直流电机的工作原理；
3. 能描述直流发电机的运行特性（发电机的外特性，电动机的机械特性）；
4. 能描述直流电动机的启动、调速、反转的方法及其特性；
5. 能描述直流电机的维护保养要点及常见故障的分析处理。

【相关知识】

一、直流电机的概念

1. 直流电机的工作原理

图 1-1-2 (a) 是最简单的直流电机模型。N、S 是一对静止不动的主磁极，它们之间有一转动的圆柱形电枢铁芯，其上有一电枢线圈，线圈两端 a 、 d 分别与彼此绝缘的两个半圆形换向片相连接。两个位置固定的电刷分别压在两换向器片上，电刷与转动的换向器片形成滑动接触的导电机构。

当直流电机接通直流电源时，则成为直流电动机。在电源电压的作用下电枢线圈中产生电流。假设电流由图 1-1-2 (b) 中的“+”点流入，从“-”点流出，通过换向器的作用，使转到 N 极下的线圈中的电流方向总是流出，S 极下的总是流入，电流的方向总是 $d-c-b-a$ ，这样电枢电流与磁场相作用所产生的电磁转矩方向始终保持不变，因而驱动转子顺时针方向转动。电动机的电磁转矩是拖动负载的转矩。

接通电源初期，由于电流较大，电磁转矩高于负载转矩，电动机加速旋转。由于电动机转子（电枢）的旋转，电枢线圈因切割磁场而产生电动势，根据右手定则，该电动势的方向总是与电流方向相反，故称电动机的电动势为反电动势。假如外加的电枢电压 U 不变，随着转速的提高，反电动势 E 增加，电枢电流 I_a 减小，三者之间的关系为

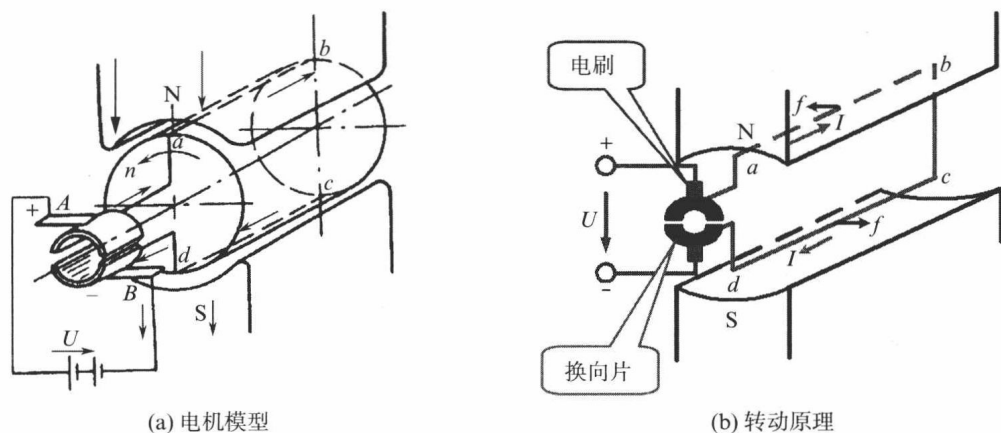


图 1-1-2 直流电机原理

$$U = E + I_a R_a \quad (1-1-1)$$

式中： R_a 是电枢绕组的电阻值。

可见，随着电枢电流 I_a 的减小，电动机的电磁转矩也同步减小，当与负载转矩一致时，电动机进入恒定转速旋转，从而使系统进入平衡稳定状态。

2. 直流电机的感应电动势与电磁转矩

直流发电机和直流电动机是直流电机的两种运行状态。在这两种运行状态下，当电枢以一定的转速向一个方向旋转时，嵌在电枢槽内的电枢绕组便切割磁通产生感应电动势。在直流发电机中，感应电动势的方向和电枢电流相同，向外输出功率；而在直流电动机中，感应电动势的方向和电枢电流相反，从外加电源吸收功率。根据电磁感应定律，感应电动势的大小正比于每极磁通 Φ 及电枢转速 n ，其计算公式可以表示为

$$E = C_e \Phi n \quad (1-1-2)$$

式中： C_e 是与直流电机结构有关的比例常数，称为电势常数。

同样，在直流发电机和直流电动机中，电枢绕组中的电流与气隙磁场相互作用产生电磁转矩。根据左手定则判断，在直流电动机中，电磁力矩的方向和转向相同，是拖动负载的转矩（驱动转矩）；而在直流发电机中，电磁力矩的方向和转向相反，与原动机的拖动转矩的方向也相反，为制动转矩。所以，发电机的电磁转矩相当于原动机的负载。直流发电机将机械能转换为电能，直流电动机则将电能转换为机械能。无论是直流发电机还是直流电动机，电磁转矩 T 正比于电枢电流 I_a 及每极磁通 Φ ，其计算公式为

$$T = C_T \Phi I_a \quad (1-1-3)$$

式中： C_T 是与直流电机结构有关的常数，称为转矩常数。

电磁转矩所对应的功率称为电磁功率，根据功率的计算公式和电磁感应的公式可以推导出电磁功率，即电磁转矩和角速度的乘积，或感应电动势和电枢电流的乘积，所以电磁功率是电机实现机械能与电能的互换环节。

在能量转换的过程中必然有损耗。直流电机的损耗有以下几种：机械损耗、铁芯损



耗、励磁和电枢绕组的铜损耗等。

当直流发电机带负载时，输入的机械功率 P_1 应与输出的电功率 P_2 和电机内部各种损耗 $\sum P_{\text{损}}$ 相平衡，即

$$P_1 = P_2 + \sum P_{\text{损}} \quad (1-1-4)$$

同样，当直流电动机带负载时，输入的电功率 P_1 应与轴上输出的机械功率 P_2 和电机内部的各种损耗 $\sum P_{\text{损}}$ 相平衡。

二、直流电机的构造、励磁方式

1. 直流电机的构成

小型直流电机内部自带风扇；大型直流电机需要另外独立设置风机，然后迫使空气通过转子和定子间的气隙来冷却电机，所以电机表面较光滑，不另设通风槽，并在电机两端留有通风百叶。直流电机由定子和转子两大部分组成：定子由主磁极、换向极、机座、端盖和电刷装置等组成；转子由电枢铁芯、电枢绕组、换向器、转轴和风扇等组成，图 1-1-3 为直流电机的基本结构图。图 1-1-4 为直流电机定子结构剖面图。

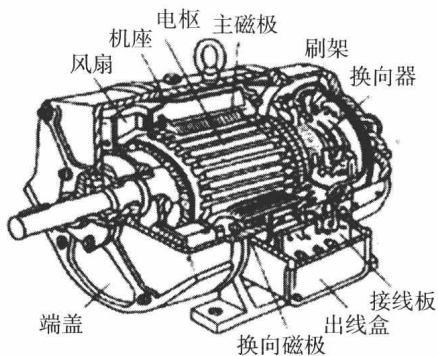


图 1-1-3 直流电机基本结构

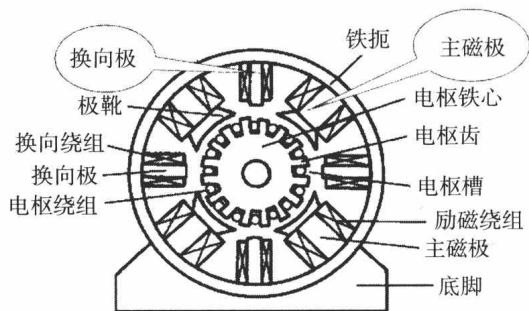


图 1-1-4 直流电机定子剖面结构示意图

1) 定子的主要部件

(1) 主磁极：主磁极的铁芯由薄钢板冲片叠成，用螺栓固定在机座上，其上套有励磁绕组。励磁绕组中通入直流励磁电流产生主磁场。

(2) 换向极：其铁芯的尺寸比主磁极的小，也用螺栓固定在机座上，其在机座上与主磁极相间分布如图 1-1-4 所示。换向极用于改善换向，减少因电磁原因而引起的电刷火花。

(3) 机座：既是直流电机的固定支撑和防护部件，又是磁路的一部分。机座通常由铸钢制成。

(4) 电刷装置：主要由刷架、刷杆、碳刷及压紧弹簧等组成。中小型直流电机的刷架装在端盖或轴承内盖上，大中型直流电机的刷杆座固定在机座上。电刷装置则装在刷架的刷杆上。为减少由于机械原因而引起的电火花，碳刷插在刷握中应既能上下自由移动又不晃动，当碳刷被磨损时应及时调整压紧弹簧，以保持其与换向器间适当的接触压力，如图 1-1-5 所示，碳刷再通过软铜辫连接到接线端。

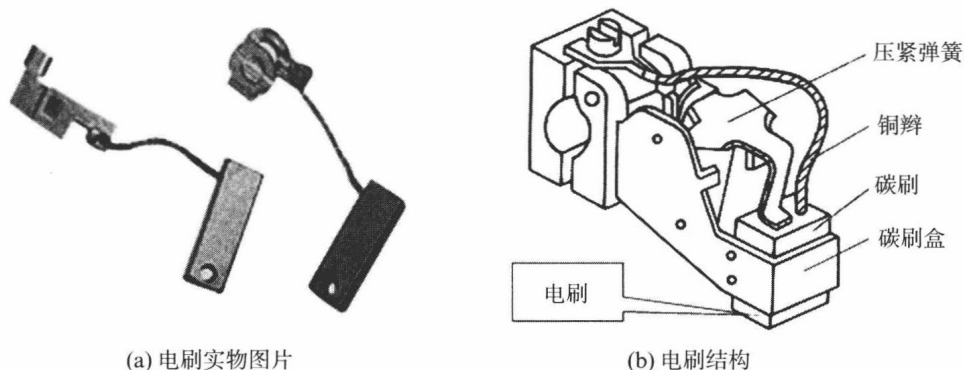


图 1-1-5 直流电机的电刷结构

2) 转子的主要部件

直流电机转子的基本结构如图 1-1-6 所示。

(1) 电枢铁芯：是磁路的一部分，由固定在转轴上的硅钢片叠成。铁芯圆周上有均匀分布的槽，槽内用于嵌放电枢绕组。

(2) 电枢绕组：由绝缘铜线（俗称漆包线）绕制而成，用以产生电动势和通过电流，是实现机械能和电能相互转换的重要部件。各绕组线圈的两个出线端按一定的规律焊接到换向片上，形成一闭合回路。

(3) 换向器：其作用是将电枢线圈中的交流变为直流或相反。

图 1-1-7 是换向器的结构图，换向器是由许多楔形铜片（换向片）叠成圆筒形，片间用云母片绝缘。换向片放置在套筒上，整个换向器装在轴上。电枢线圈的出线端直接焊接在换向片端部的升高片的小槽中。换向器是直流电机的特征部件，容易识别。

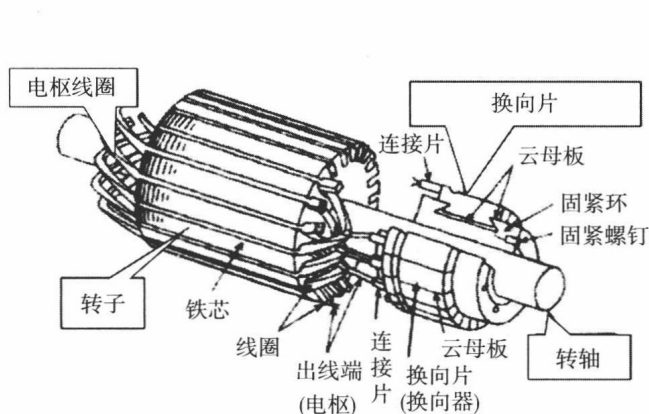


图 1-1-6 直流电机转子基本结构

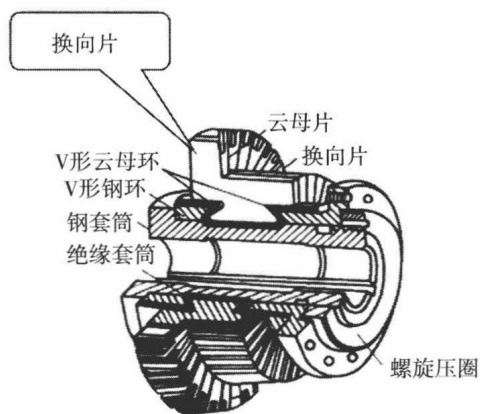


图 1-1-7 换向器结构

2. 直流电机的铭牌

在直流电机外壳的铭牌上，给出了直流电机的型号和额定运行时各物理量的数值。直流电机的额定值主要有以下几个。

(1) 额定功率 (kW)，指在额定状态下，发电机输出的电功率 $P_N = U_N I_N$ 或电动机轴上输出的机械功率 $P_N = U_N I_N \eta_N$ ；



- (2) 额定电流 (A), 指在额定状态下, 发电机输出的或电动机输入的电流 I_N ;
- (3) 额定电压 (V), 指在额定状态下, 发电机输出的或电动机输入的电压 U_N ;
- (4) 额定转速 (r/min), 指在额定状态下, 发电机或电动机的转速 n_N ;
- (5) 额定励磁电流 (A) 或额定励磁电压 (V), 指在额定状态下, 发电机或电动机的励磁电流 I_f 或励磁电压 U_f 。

另外, 还有励磁方式、极数、绝缘等级、温升、工作制和使用条件等。

3. 直流电机的励磁方式

定子的主磁极和转子的电枢绕组是直流电机两个最基本的组成部分, 它们之间不同的连接方法, 直接关系到电机的运行特性。电刷引出的转子绕组称为电枢回路, 流过电枢回路的电流称为电枢电流 I_a 。主磁极的励磁绕组称为励磁回路, 流过励磁回路的电流称为励磁电流 I_f 。电源供给电动机或发电机发出给负载的电流为 I 。直流电机主磁极的励磁电流有多种供给方式。按励磁绕组与电枢绕组的连接关系, 直流电机可分为: 他励、并励、串励和复励 4 种。

1) 直流发电机

就直流发电机而言, 励磁方式分为他励和自励, 自励包括并励和复励。图 1-1-8 为直流发电机 3 种励磁方式的电路图。

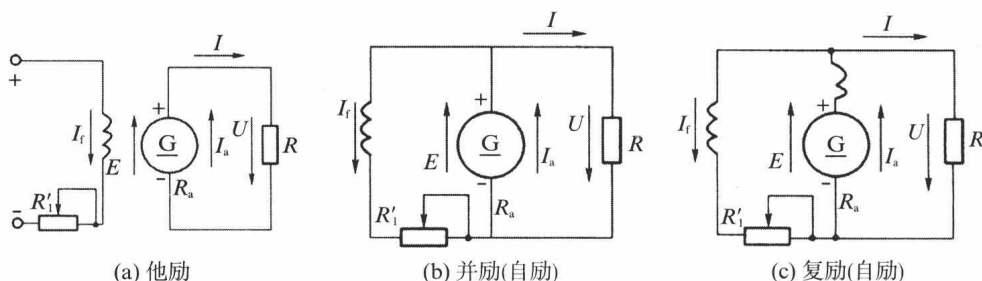


图 1-1-8 直流发电机 3 种励磁方式的电路

(1) 他励发电机: 励磁绕组电路与电枢电路无关, 励磁电流取自其他的直流电源。其励磁功率为直流电机额定功率的 1% ~ 3%。

(2) 并励 (自励) 发电机: 励磁绕组电路与电枢电路并联。并励绕组的导线细、匝数多、电阻大, 励磁电流小。并励发电机的电流关系为 $I = I_a - I_f$ 。其励磁功率为直流电机额定功率的 2% ~ 10%。

(3) 复励 (自励) 发电机: 主磁极上有两个励磁绕组, 其中一个和电枢回路并联, 称并励绕组; 另一个和电枢回路串联, 称串励绕组。

当串励绕组产生的磁势和并励绕组产生的磁势方向相同时, 称为积复励; 当串励绕组产生的磁势和并励绕组产生的磁势方向相反时, 称为差复励。

如图 1-1-8 所示, 他励发电机的励磁电流是由独立的电源供给的, 不受发电机的电压和电流的影响; 自励发电机的励磁电流是由发电机的电枢电路提供的, 因而励磁电流受电枢电流和电压的影响。

2) 直流电动机

直流电动机的励磁电流均由外电源供给, 如图 1-1-9 所示。

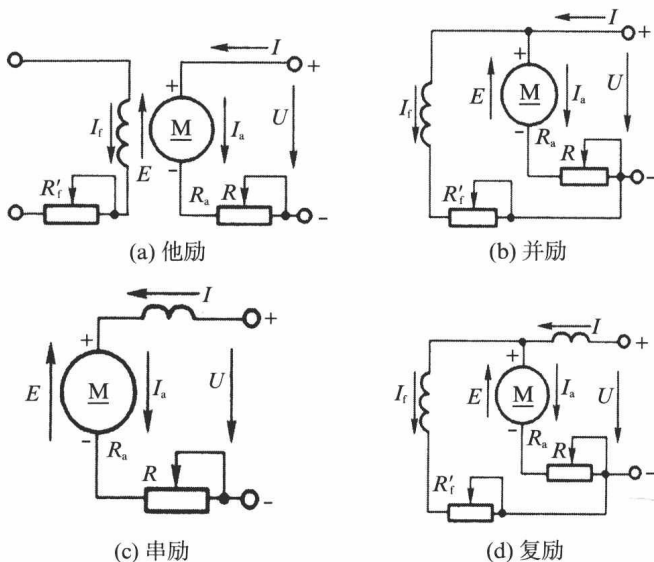


图 1-1-9 直流电动机的励磁方式

直流电动机可分为他励、并励、串励和复励 4 种。

(1) 他励电动机：励磁绕组电路不与电枢电路连接，励磁电流由独立的电源供给。

(2) 并励电动机：励磁绕组电路与电枢电路并联。并励绕组的导线细、匝数多、电阻大，励磁电流远小于电枢电流。

(3) 串励电动机：串励绕组与电枢绕组串联，电枢电流即为励磁电流。因此，串励绕组的导线粗、匝数少、电阻极小。

(4) 复励电动机：主磁极上既有并励绕组，又有串励绕组。

三、直流电机的运行特性

(一) 直流发电机的运行特性

1. 空载特性

当保持发电机的转速 n 不变，负载电流 $I = 0$ 时（发电机的主开关处于断开状态），发电机的电枢电动势（或空载电压 U_0 ）与励磁电流 I_f 之间的关系曲线 $E = f(I_f)$ 称为空载特性曲线，如图 1-1-10 所示。空载特性曲线与磁化曲线相似，这时直流发电机的感应电动势 $E = C_e \Phi n$ ， Φ 与励磁电流 I_f 之间为磁化曲线关系。

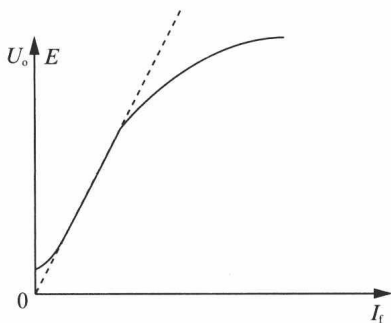


图 1-1-10 直流发电机的空载特性

空载特性曲线可通过实验的方法获得。在测量空载特性时，保持发电机的额定转速不变，调节励磁电流 I_f ，使其由零逐渐增大，则与之对应的电枢端电压也会逐渐增大，通常测到空载电压 $U_0 = 1.25 U_N$ 为止。空载特性表明通过改变励磁电流可调节发电机的电压，同时描述了励磁电流对电机磁路饱和程度的影响。在 $E = f(I_f)$ 曲线上，当 $I_f = 0$ 时，感应电动势 E 并不等于零，这部分电势称为剩磁电压 U_{or} (E_{or})。剩磁电压为额定电压的 2% ~ 5%。自励发电机的自励建压的初始电压是由剩磁产生的。