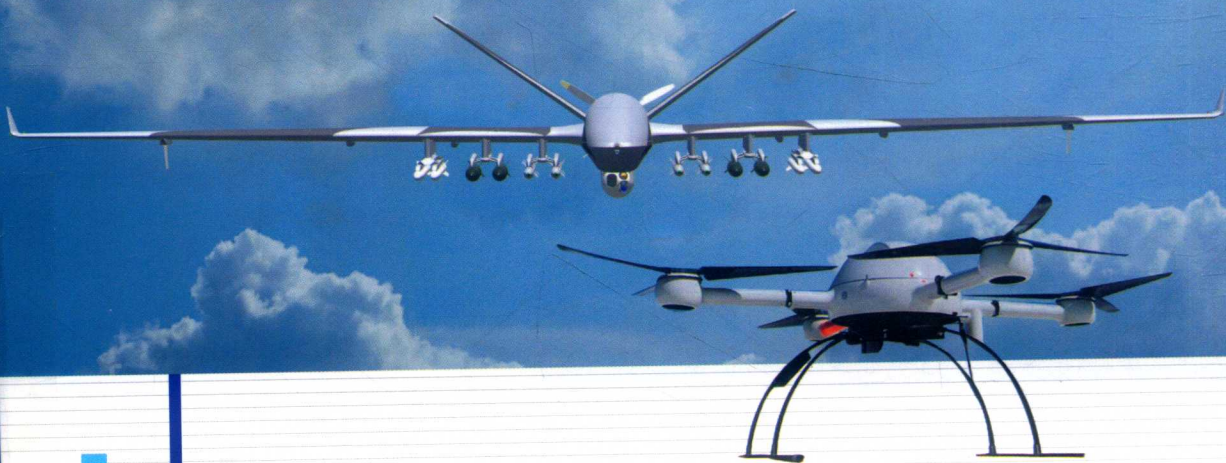


高等教育“十三五”规划教材·无人机应用技术

无人机动力技术

符长青◎编著



非
外
借

西北工业大学出版社

高等教育“十三五”规划教材·无人机应用技术

WURENJI DONGLI JISHU
无人机动力技术

符长青 编著

西北工业大学出版社
西安

【内容简介】 针对“大众创业、万众创新”新时代培养高级人才、创新型人才和复合型人才的需要,本书系统而全面地介绍了无人机动力技术的主要内容和知识体系。全书分为2篇共7章,第1篇电动机篇,包括3章:第1章概述,第2章直流电动机原理与特性,第3章无刷直流电动机与空心杯电动机;第2篇航空发动机篇,包括4章:第4章航空活塞式发动机,第5章航空活塞发动机工作系统,第6章航空涡轮发动机,第7章航空涡轮发动机工作系统。

本书可作为高等院校无人机相关专业学生的专业基础课教材,也可作为无人机科研、生产和培训机构工作人员,以及广大航模爱好者的学习、培训教材。对于希望全面了解无人机动力技术知识的各类读者,本书也是一本较好的参考读物。

图书在版编目(CIP)数据

无人机动力技术/符长青编著. —西安:西北工业大学出版社, 2018.8

ISBN 978-7-5612-6207-8

I. ①无… II. ①符… III. ①无人驾驶飞机—动力装置 IV. ①V279

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第195132号

策划编辑:杨军

责任编辑:马文静

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路127号 邮编:710072

电话:(029)88493844 88491757

网址:www.nwpup.com

印刷者:陕西向阳印务有限公司

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:11.5

字数:278千字

版次:2018年8月第1版

2018年8月第1次印刷

定价:36.00元

前 言

无人机是一种自身密度大于空气密度的航空飞行器,其升空飞行的首要条件是需要有动力。发动机是能够把其他形式的能转化为机械能,进而产生拉力或推力的机器,是无人机动力装置的核心,被视为无人机的“心脏”。发动机性能的优劣对无人机的各种使用性能具有重要影响,有了适用的发动机,才能实现真正的有动力、可控制的飞行。常用的发动机有电动机和燃油发动机两大类。

电动无人机以电动机作为动力来源,采用直流电动机作为发动机,发动机类型大多为无刷直流电动机,也有部分使用有刷直流电动机。所有电动机运转所需的能量由聚合物锂电池或新能源方式(如燃料电池)提供。油动无人机以燃油发动机(航空发动机)作为动力来源,包括航空活塞式发动机和航空涡轮发动机等机型。在无人机设计研制过程中,会首先遇到选用哪种发动机能最有效地满足其技术要求的问题,要求设计人员对发动机的性能和特点有深入的了解,以正确选择发动机,并达到与无人机飞行性能的最佳匹配。

为了深化高校创新创业教育改革,优化专业结构,提高教育质量,促进学生在创新创业中全面发展,适应和服务经济社会发展和国家战略需求,要把创新创业教育融入人才培养体系,改革教育教学内容方法,改进课程,强化实践。高等院校应打破学科界限、实现交叉融合、改进科研组织模式,加强应用研究和协同创新,着力培养大众创业、万众创新生力军,提升创业创新人才的综合能力和素质。

本书是由西北工业大学出版社联合全国无人机教育联盟共同策划的。本书力求理论完善、概念清晰、重点突出,具有基础性、实用性和提高性的特点,为读者学习和掌握无人机动力技术提供很好的途径。同时,为了便于教师教学,本书为教师提供相应的教学课件。

本书着眼于切实增强深入推进高等院校创新创业教育改革的责任感和紧迫感,全面提高人才培养质量,为促进“大众创业、万众创新”和建设创新型国家提供有力的人才支撑,既适合作为高等院校相关专业学生的专业基础课教材,也适合作为无人机科研、生产和培训机构工作人员,以及广大航模爱好者的学习、培训教材,对于希望全面了解无人机动力技术知识的各类读者,本书也是一本较好的参考读物。

由于水平有限,书中难免有不足和疏漏之处,恳请各位专家、读者批评指正。

编著者

2018年1月

目 录

第 1 篇 电动机篇

第 1 章 概述	3
1.1 无人机发动机的分类	3
1.2 无人机动力装置系统的基本概念	5
习题 1	8
第 2 章 直流电动机原理与特性	9
2.1 电机的定义、分类与电动机的结构类型	9
2.2 直流电动机的工作原理、基本结构和分类	10
2.3 直流电动机的电枢绕组与基本方程式	18
2.4 直流电动机的工作特性和机械特性	23
2.5 直流电动机启动、调速、制动的电气控制系统	28
习题 2	33
第 3 章 无刷直流电动机与空心杯电动机	35
3.1 无刷直流电动机的基本结构和工作原理	35
3.2 无刷直流电动机的绕组结构	40
3.3 无刷直流电动机转子位置检测技术	43
3.4 无刷直流电动机的运行特性与转速控制技术	48
3.5 电池	56
3.6 空心杯电动机的基本结构、原理与特性	62
习题 3	64

第 2 篇 航空发动机篇

第 4 章 航空活塞式发动机	67
4.1 概述	67
4.2 航空活塞发动机工作原理与旋转活塞发动机	72
4.3 航空活塞发动机混合气燃烧过程	76
4.4 航空活塞发动机的功率和经济性	83
4.5 航空活塞发动机特性	87

习题 4	90
第 5 章 航空活塞发动机工作系统	91
5.1 航空活塞发动机燃油系统	91
5.2 航空活塞发动机滑油系统	103
5.3 航空活塞发动机点火系统	108
5.4 航空活塞发动机启动系统	113
5.5 航空活塞发动机散热系统	116
习题 5	119
第 6 章 航空涡轮发动机	120
6.1 喷气发动机概述	120
6.2 航空涡轮发动机冷端部件结构和原理	125
6.3 航空涡轮发动机热端部件结构和原理	130
6.4 航空涡轮发动机工作特性	139
习题 6	145
第 7 章 航空涡轮发动机工作系统	146
7.1 航空涡轮发动机控制系统	146
7.2 航空涡轮发动机燃油系统	152
7.3 航空涡轮发动机滑油系统	156
7.4 航空涡轮发动机启动点火系统	162
7.5 航空涡轮发动机附件传动装置	169
习题 7	177
参考文献	178

第1篇 电动机篇

第1章 概述

1.1 无人机发动机的分类

无人机是一种自身密度大于空气密度的航空飞行器,其升空飞行的首要条件是需要有动力,即所谓的动力飞行,有了动力无人机才能产生克服重力所必需的升力。换言之,动力飞行必须依赖一种质量轻、推进力大的动力装置,因此无人机上必须安装有动力装置,才能保证其在空气环境中(空中)进行持续的可控飞行。

1.1.1 无人机发动机的分类和品质要求

无人机动力装置的核心设备是发动机,其类型和型号的选择,要求能够保证在无人机的飞行包线范围内具有足够的功率。即需要考虑发动机在各种外界条件下的有效功率,以适应各种使用状态,并在设计中尽量提高功率利用系数。

发动机是一种将某种能量转换成机械功的动力装置。根据能量来源不同可分为热力发动机、水力发动机、电力发动机、原子能发动机等,其中热力发动机是将燃料的热能转换成机械功的动力装置,电力发动机是将电能转换成机械功的动力装置。

1. 发动机和无人机的分类

无人机发动机是能够把其他形式的能转化为机械能,进而产生拉力或推力的机器,是无人机动力装置的核心,被视为无人机的“心脏”。发动机性能的优劣对无人机的各种使用性能具有重要影响,有了适用的发动机,才能实现真正的有动力、可控制的飞行。在无人机设计研制过程中,首先会遇到选用哪种发动机能够最有效地满足其技术要求的问题,要对发动机的性能和特点有深入地了解,才能正确选择发动机,并达到与无人机飞行性能的最佳匹配。

对于无人机这类航空飞行器来说,由于其结构大小、飞行空域、速度、高度和用途等的巨大差异,其可以使用的发动机种类较多。常用的发动机有电动机和燃油发动机(航空发动机)两大类。

电动机是通过电磁感应进行能量转换的发动机,是将电能转换成机械功的动力装置。电动机的工作原理是转子作为带电导体处在定子产生的磁场中,转子因此受到电磁力的作用而旋转。燃油发动机是一种将燃料热能转换成机械功的动力装置,属于热机范畴。热机的工作由两步骤组成:首先使燃料燃烧释放出热能,然后再将释放出的热能转换成机械功。

无人机根据其所采用发动机的类型,可分为电动无人机和油动无人机两大类。

(1) 电动无人机。

电动无人机以电动机作为动力来源,采用直流电动机作为驱动螺旋桨旋转的发动机,发动机类型大多为无刷直流电动机,也有部分使用有刷直流电动机,所有电动机运转所需的能量由聚合物锂电池或新能源方式(如燃料电池)提供。

(2) 油动无人机。

油动无人机以燃油发动机(航空发动机)作为动力来源,包括活塞式发动机和喷气发动机两大类。与活塞式发动机通过活塞的往复运动或旋转运动产生动力的方式不同,喷气发动机通过高速喷射燃烧气体而产生的反冲作用获得动力的发动机,包括空气喷气式发动机和火箭发动机。空气喷气发动机燃料燃烧时需要从空气中获得氧气,因而只能在大气中飞行。根据是否有压气机,空气喷气发动机分为有压气机的喷气式发动机和无压气机的喷气式发动机。有压气机的喷气式发动机主要有涡轮喷气发动机、涡轮风扇发动机、涡轮螺旋桨发动机和涡轮轴发动机四种类型,统称为涡轮发动机,无压气机的喷气式发动机主要有冲压喷气发动机和脉冲喷气发动机等。

2. 无人机发动机品质要求

无人机发动机的基本功用是为无人机提供持续的动力,以确保重于空气的无人机能够稳定、可控、持续地在空中飞行。评定发动机品质的主要指标有性能参数、可靠性、耐久性等。其基本要求如下:

(1) 功率质量比大。

构成无人机的任何部件,都应在满足使用要求的前提下尽量减轻其质量。对于发动机,就是要保证足够大的功率而质量又很轻。通常以发动机的功率与质量之比来衡量发动机的轻重,比值越大,表明发动机产生 1 马力* 的功率所负担的发动机自身质量越小,发动机就越轻。

(2) 耗能小。

无人机的发动机是否省电或省油是其重要的经济指标。评定发动机的经济性,常用“耗电(油)率”作标准。耗电(油)率是指单位功率(1 N 或 1 马力)在 1 h 内所耗电的度数或油料的质量。在一定的飞行条件下,发动机耗能率越低,运行成本越低,经济性就越好。

(3) 体积小。

无人机发动机应在保证功率不减小的前提下,力求体积较小,以减小飞行中的空气阻力,并减轻发动机质量。

(4) 工作安全可靠。

无人机在空中的飞行安全,是由其各组成部分可靠的工作来保证的。要维持正常飞行,发动机就必须始终处于可靠状态。描述发动机可靠性的参数是:空中停车率=发动机空中停车数/每千飞行小时。

(5) 寿命长。

无人机发动机的寿命长,可降低使用成本、节约原材料。发动机寿命分为翻修寿命和总寿命。翻修寿命是指发动机制造厂商规定的从发动机出厂到第一次翻修或两次翻修之间的使用期限;总寿命是指发动机经过若干次翻修后停止使用时的使用期限。在实际使用中发动机的使用寿命与发动机是否正确使用密切相关。正确使用发动机不仅可以有效延长发动机的使用寿命,还可降低发动机的使用成本。

(6) 维护方便。

日常维护方便可提高维护质量,确保发动机随时处于安全可靠状态。在无人机实际飞行中,发动机维护性的好坏直接影响到无人机的正常飞行及维护成本。要使发动机便于维护,降低维护成本,对发动机的设计、制造都应有相应要求,例如发动机的安装位置、零部件的通用性

* 1 马力(hp)=0.735 kW。

及可更换性、零部件的快速拆卸及安装等。

1.1.2 电动和油动无人机的特点

目前,出于成本和使用方便的考虑,微型、轻型和小型无人机普遍使用电动动力系统,电动系统主要由电动机、动力电源、调速系统三部分组成。而大中型无人机广泛采用的动力装置大多为燃油发动机(航空发动机)系统。

1. 电动无人机的特点

电动无人机具有结构简单、质量小、故障率低、维护简便、无空气污染等优点,其缺点是载重小、续航时间短、电池消耗大等。

电动无人机大多采用直流电动机作为驱动螺旋桨旋转的发动机,由聚合物锂电池或燃料电池提供能量。电动机是一种旋转式电动机,它将电能转变为机械能。对直流电动机转速的控制既可采用开环控制,也可采用闭环控制。对比这两种转速控制系统,后者的机械特性比前者高;当理想空载转速相同时,后者的静差率(额定负载时电动机转速降落与理想空载转速之比)比前者小得多,即当要求的静差率相同时,后者的调速范围可大幅提高。无刷直流电动机的转速控制方案如图1-1所示。

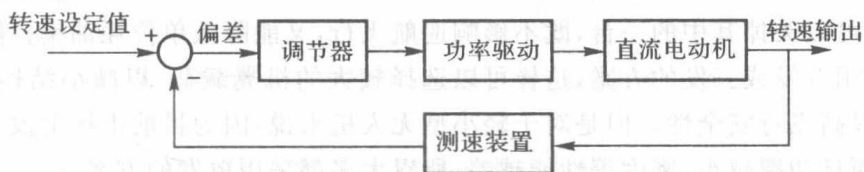


图 1-1 无刷直流电动机的转速控制方案

2. 油动无人机的特点

油动无人机采用航空发动机作为动力装置,其优点是载重能力强,载重量可达成百上千千克,甚至几十吨,比较适合于中型、大型或重型无人机;其续航时间也基本上不受限制,主要取决于机上携带的油量,一般可达十几个小时或更长时间。

1.2 无人机动力装置系统的基本概念

无人机动力装置是指发动机以及保证发动机正常工作所必需的系统 and 附件的总和,称为动力装置系统。它是无人机最重要的关键设备系统,其性能品质的优劣直接影响着无人机的飞行安全。

1.2.1 无人机发动机数量要求

1. 全机质量因素

无人机确定发动机个数的首要原则是考虑全机质量。轻小型无人机由于起飞质量较小,大多采用单台发动机,以减小传动系统复杂性和质量,从而降低全机总质量;而大中型无人机则一般安装两台发动机,以增大动力系统的总功率。

2. 发动机功率因素

发动机功率的大小在很大程度上决定了其在无人机上安装数量的多少。发动机的剩余功率越大,无人机的响应特性就越好。如果单台发动机的功率太小,无法满足无人机的载重和飞行性能要求,就不得不采用多台发动机,以使多台发动机的总功率达到无人机的功率要求。随着推进技术的进步,现代涡轮发动机的功率越来越高,推力越来越大,不需要很多台就可以为无人机提供足够的动力,因而近些年来无人机发动机的数目基本上都不会超过2~3台。

3. 航空发动机类型因素

油动无人机发动机的类型主要有活塞发动机和涡轮发动机两种,由于这两种发动机的结构和性能特点差别较大,考虑的主要因素和重点也不一样。

(1)活塞发动机。采用活塞发动机时,大多数无人机都只安装一台发动机,这是由总体布局决定的。如果安装两台或多台活塞发动机将造成动力装置系统质量剧增,对无人机的有效载重、飞行性能等造成不利影响。

(2)航空涡轮发动机。采用高性能的航空涡轮发动机将大幅改善无人机的性能,可以显著地增大其有效载荷和航程。一般来说,涡轮发动机的功率越大,其密度及单位耗油率越小,从这个角度出发,采用“单发”比较有利,但是,采用“双发”或“三发”能更好地保证飞行安全,而且在巡航飞行时可以关掉其中的一台,既不影响巡航飞行,又能降低单位耗油率。因此大中型无人机大多都采用双发或三发的方案,这样可以选择较大的机翼载荷,以减小结构质量,缩小机体外形尺寸,提高飞行安全性。但是对于轻小型无人机来说,因为目前市场上没有功率很小的涡轮发动机,而且功率越小,密度等性能越差,所以大多都采用单发的方案。

1.2.2 无人机动力装置系统的组成

组成无人机的动力装置取决于所用发动机的类型,可由下面的全部或部分系统组成。

1. 直流电动机及其附件和系统

为无人机提供动力的电动机类型主要有无刷直流电动机和空心杯有刷直流电动机两种。

(1)无刷直流电动机系统。

无人机采用无刷直流电动机作为发动机,其动力装置由四部分构成。

- 1)无刷直流电动机。无刷直流电动机属于外转子电动机,没有电刷。
- 2)电调。电调全称为电子调速器(ESC),主要作用是控制电动机的转速。
- 3)电池。电池用来给电动机供电,无人机常用的电池有聚合物锂电池、燃料电池等。
- 4)平衡充电器。由于无人机电池的电流极大,其专用电池必须要用平衡充电器进行充电。

(2)空心杯有刷直流电动机系统。

微型无人机采用空心杯电动机(伺服微特电动机),彻底消除了由于铁芯形成涡流而造成的电能损耗,使电动机的运转特性得到了极大改善。其动力装置包括以下四部分:

- 1)空心杯有刷直流电动机。空心杯有刷直流电动机转子无铁芯。
- 2)MOS管。MOS管用作驱动电路。
- 3)电池。锂电池用来给电动机供电。
- 4)平衡充电器。专用电池必须要用平衡充电器充电。

2. 燃油发动机及其工作系统和附件

为无人机提供动力的燃油发动机主要有航空活塞发动机和涡轮发动机两大类,其组成可由下面的全部或部分系统组成。

(1) 航空发动机。

航空发动机的功用是将燃油的化学能转换为机械能。

(2) 启动点火系统。

燃油发动机的结构和循环过程的特点,决定了它不能像电动机那样自主点火启动,必须在发动机点火燃烧前先由其他能源来带动发动机旋转。常用的启动动力源有电动机和压缩空气两大类,对于小功率燃油发动机,带动发动机到达一定转速所需的功率小,采用启动电动机来带动发动机旋转。但是随着大推力发动机的出现,电动机已无法提供如此大的能量来带动大功率发动机,无法使其达到点火燃烧时的转速。因此对于大功率燃油发动机,需要更大的能源来带动发动机,即采用压缩空气,利用气源代替电源来启动发动机。

(3) 发动机固定装置。

发动机固定装置是用于将发动机固定在无人机机体上的部件系统,它是无人机的受力结构之一。它除了支撑庞大的发动机结构外,还要承担无人机的动力传输,故其疲劳强度问题是该部件的设计关键。

(4) 燃油系统。

用于存贮和向航空发动机的油泵供给燃油,保证发动机正常工作。

(5) 滑油系统。

滑油系统由带过滤装置的滑油箱、导管和空气滑油散热器组成,其功用是向发动机供给需用的滑油,并进行过滤和散热,保证一定量的滑油循环使用。

(6) 发动机散热装置。

无人机发动机散热方式有风冷式和液冷式两种,现今基本都采用风冷式。

1) 风冷式。风冷式发动机直接利用飞行时迎面气流进行冷却。为了减少冷却空气流量,降低阻力,在汽缸后面加有挡流板,整个发动机加整流罩。在整流罩的进口或出口设置风门,根据散热需要调节冷却空气的流量。

2) 液冷式。液冷式发动机的冷却方法类似于汽车发动机,用循环水或其他液体冷却发动机,而冷却液又通过蜂窝状空气散热器进行冷却。为了提高冷却效率和降低阻力,散热器通常装在精心设计的通道内。涡轮喷气发动机除尾喷管温度较高外,其他部分温度并不很高,发动机及其传动附件的散热比较简单,多从进气道引出少量空气,使其流过发动机和多无人机体间的环形通道,同时起隔热作用。

(7) 防火和灭火装置。

无人机的防火和灭火装置包括防火墙、预警和灭火系统。防火墙实质上是设置在发动机舱周围的防火隔板;预警系统向驾驶员指示发生火情的部位,以便及时妥善处置;灭火系统能自动扑灭火情于萌芽状态,保证飞行安全。

(8) 进气和排气装置。

发动机的进气和排气装置包括进气道、排气管和喷口。

(9) 附件传动装置。

燃油发动机附件传动装置是指将发动机转子的功率、转速传输到附件,并驱动附件以一定的转速和转向工作的齿轮轮系及传动轴的组合物。

习 题 1

1. 无人机的发动机分为哪两大类?
2. 无人机常用发动机的类型和品质要求有哪些?
3. 简述电动无人机和油动无人机的特点,并进行对比分析。
4. 简述电动无人机和油动无人机发动机的数量要求。
5. 组成电动无人机和油动无人机动力量装置的系统有哪些?

第2章 直流电动机原理与特性

2.1 电机的定义、分类与电动机的结构类型

在人类社会的发展史上,电能的生产、输送和应用已成为现代文明社会的重要标志之一。电机在人们生活工作的各个领域的应用越来越广泛,发挥的作用也越来越大。

2.1.1 电机的定义和分类

电机是指依据电磁感应定律实现电能的转换或传递的一种电磁装置。

1. 静止电机

变压器是一种静止电机,它应用电磁感应原理,可将一种电压的电能转换为另一种电压的电能(一般是交流电)。它的输入和输出均为电能,与机械能无关,故无转动部分。要将大功率电能输送到很远的地方去,采用较低的电压和相应的大电流来传输是不可能的。原因有两点:一是,大电流将在输电线上引起大的功率损耗;二是,大电流还将在输电线上引起较大的电压降落,致使电能根本输送不出去。为此,需要用变压器将输电线路上的电压升高,相应的电流便可减小,这样可以极大地降低送电损耗。

2. 旋转电机

(1)发电机。发电机的主要作用是将机械能转化为电能,目前最常用的是利用热能、水能、风能等推动发电机转子来发电。根据发电机工作原理的不同可将其分为直流发电机、异步发电机和同步发电机等类型。目前广泛使用的大型发电机都是同步发电机。

(2)电动机。电动机的主要作用是将电能转换为机械能。它利用电能产生驱动转矩,作为电器或各种机械的动力源。电动机按使用电源不同分为直流电动机和交流电动机。电力系统中的电动机大部分是交流电动机;直流电动机主要用于需要高转速的场合(交流电机的转速有4 000 r/min的瓶颈,直流电机可达14 000 r/min以上),对速度精确度有相当高要求的场合,无交流电网的场合,低压场合(48 V以下)等。

2.1.2 旋转电机分类及可逆性原理

旋转电机的结构形式必须有满足电磁和机械两方面要求的结构,以及具备满足适时静止和转动两种状态的结构。

1. 旋转电机的分类

旋转电机的静止部分称为定子,旋转部分称为转子。按照定子和转子绕组中流过的电流

的不同,旋转电机又可分为:

- (1)直流电机。直流电机的定子和转子绕组中都是直流电流。
- (2)交流电机。交流电机的定子和转子绕组中都是交流电流。
- (3)同步电机。同步电机的定子和转子绕组中,一个是交流电流,另一个是直流电流。
- (4)异步电机。异步电机的定子和转子绕组中都是交流电流。

2. 电动机与发电机的区别

电动机和发电机都属于旋转电机的范畴,在结构上也基本相同,但它们的功用却完全不同。电动机是一种把电能转变为机械能的机器,利用电动机可以把发电机所发出的大量电能应用到人们的生活或生产事业上去。发电机是一种把机械能转变为电能的机电设备,发电是它的本职工作,其工作原理是利用外力带动其转子旋转,使转子线圈上产生感应电流,提供给输电线路及用电户使用。电动机则相反,是利用通电线圈在磁场中受力转动的现象而制成的,其工作原理是把电流输入中心转子的线圈内,使转子旋转,然后带动其他机器工作,即它的本职工作是用电来做功。

3. 电机的可逆性原理

电机的可逆性是指同一电机既可作为发电机工作,又可作为电动机工作。同一台电机在不同的外界条件下作发电机或电动机运行的原理,称为电机的可逆性原理。

从基本电磁情况来看,一台电机原则上既可作为电动机运行,也可以作为发电机运行,只是约束的条件不同而已。闭合电路的一部分导体在磁场中做切割磁感线的运动时,导体中就会产生电流,这种现象叫做电磁感应现象。如果从轴上输入机械功率,电机作发电机运行,向外输出直流电能。如果从电刷上输入电功率,电机即作电动机运行,向外输出机械功率。电机的可逆性与电机本身的性质有关,电机是机械能和电能相互转换的设备,在不同的客观条件下,表现出不同的运行工况。

2.2 直流电动机的工作原理、基本结构和分类

直流电动机在电力拖动系统的调速和启动方面具有先天优势,在工业生产、加工和电器产品的各个领域发挥着重要的作用,特别是小型直流电动机应用广泛。

2.2.1 直流电动机的工作原理、异步电机与同步电机的区别

1. 直流电动机的工作原理

所谓直流电动机,是指直流电动机的电枢供电电源是直流电,而在电枢绕组中流过的电流却是交流的。直流电动机的结构模型如图 2-1 所示,电刷 A 是正电位, B 是负电位,在 N 极磁场范围内的导体 ab 中的电流是从 a 流向 b ,在 S 极磁场范围内的导体 cd 中的电流是从 c 流向 d 。由于载流导体在磁场中要受到电磁力的作用,因此, ab 和 cd 两导体都要受到电磁力 F 的作用。

根据磁场方向和导体中的电流方向,利用电动机左手定则判断, ab 边受力的方向是向下,

而 cd 边则是向上。由于磁场是均匀的,导体中流过的又是大小相等的电流, ab 边和 cd 边所受电磁力的大小相等方向相反。这样,线圈就受到了电磁力矩的作用而按逆时针方向转动。当线圈转到磁极的中性面上时,线圈中的电流等于零,电磁力矩等于零,但是由于转子的惯性,线圈将继续转动。

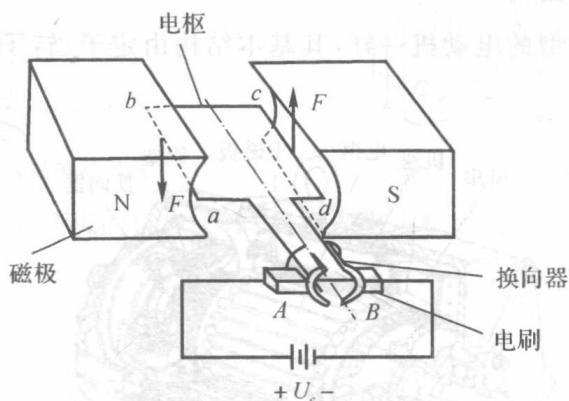


图 2-1 直流电动机的结构模型

线圈转过一个周期之后,虽然 ab 与 cd 的位置调换了, ab 边转到 S 极范围内, cd 边转到 N 极范围内,但是,由于换向片和电刷的作用,转到 N 极下的 cd 边中电流方向也变了,是从 d 流向 c ,在 S 极下的 ab 边中的电流则是从 b 流向 a ,电磁力 F 的方向仍然不变,线圈继续受力按逆时针方向转动。可见,分别处在 N, S 磁极范围内的导体中的电流方向总是不变的,因此,线圈两个边的受力方向也不变。这样,线圈就可以按照这个确定的受力方向不停地旋转,通过齿轮或皮带等机构的传动,带动其他机械做功。

直流电动机的工作原理如图 2-2 所示,可以看出:要使线圈按照一定的方向旋转,关键问题是当导体从一个磁极范围内转到另一个异性磁极范围内时(即导体经过中性面后),导体中电流的方向也要同时改变。换向器和电刷就是完成这个任务的装置。在直流发电机中,换向器和电刷的任务是把线圈中的交流电变为直流电向外输出;而在直流电动机中,用换向器和电刷把输入的直流电变为线圈中的交流电。

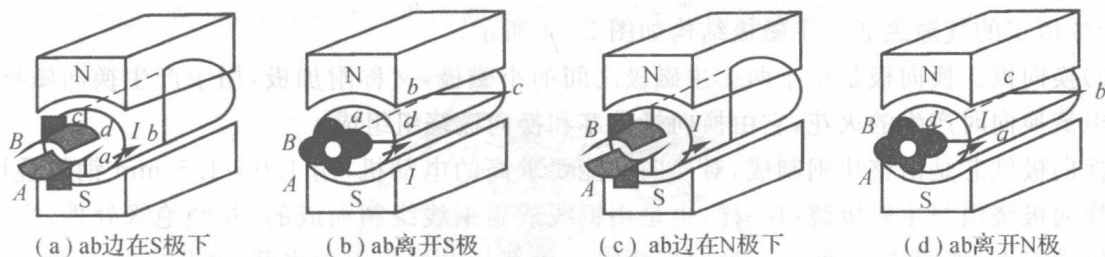


图 2-2 直流电动机工作原理

2. 异步电机与同步电机的区别

异步电机的工作原理是通过定子的旋转磁场在转子中产生感应电流而产生电磁转矩,转子中并不直接产生磁场,因此,转子的转速一定是小于同步速的(没有这个差值,即转差率就没有转子感应电流),由此叫做异步电机。而同步电机转子本身产生固定方向的磁场(用永磁铁或直流电流产生),定子旋转磁场“拖着”转子磁场(转子)转动,因此转子的转速一定等于同步速,也因此叫做同步电机。