

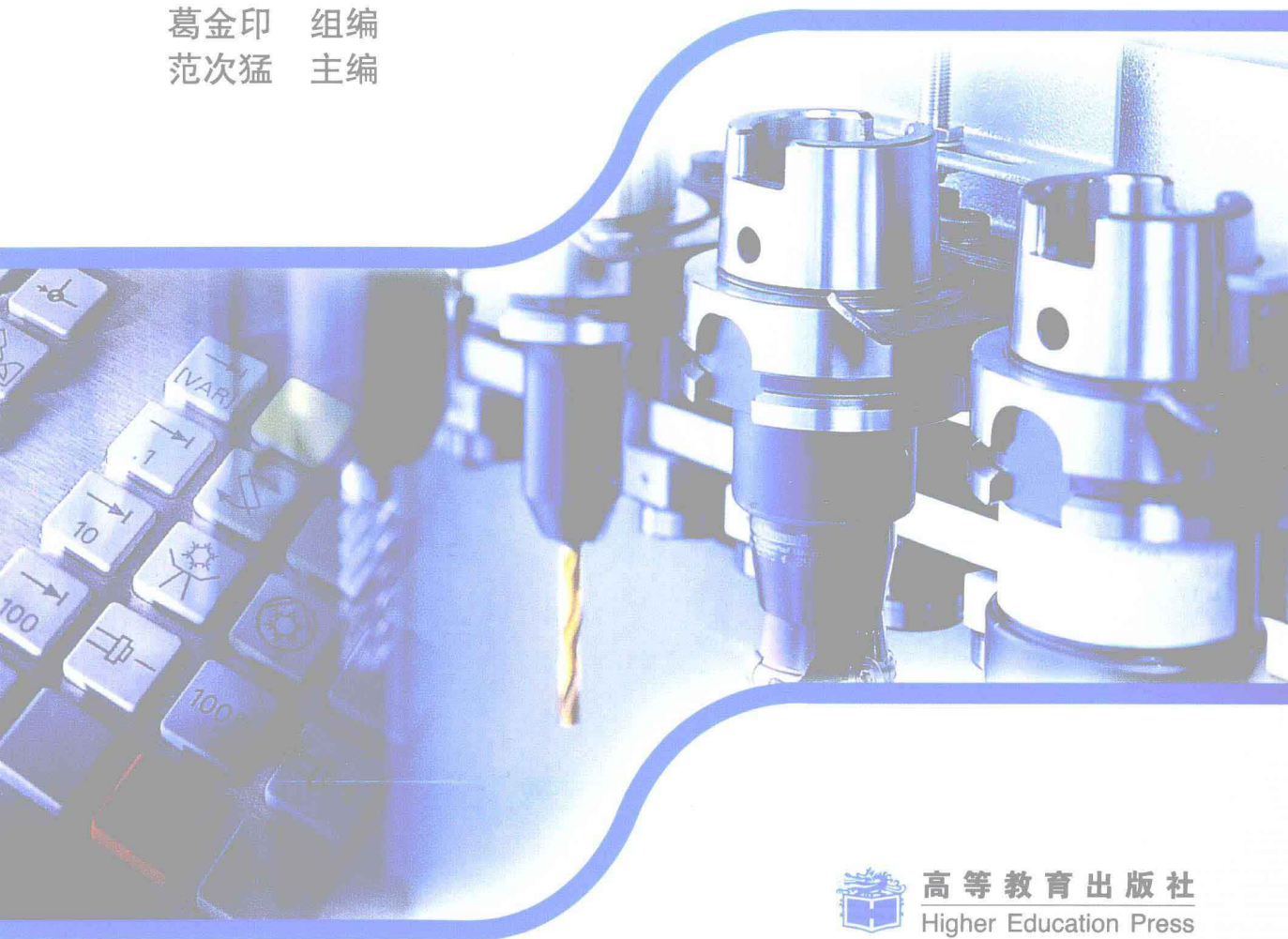


高等职业院校教材

“以就业为导向、以能力为本位”课程改革成果系列

机电设备电气控制技术 ——基础知识

葛金印 组编
范次猛 主编



高等教育出版社
Higher Education Press

高等职业院校教材

“以就业为导向、以能力为本位”课程改革成果系列

机电设备电气控制技术

——基础知识

葛金印 组编

范次猛 主编

高等教育出版社

内容简介

本书是高等职业院校“以就业为导向、以能力为本位”课程改革成果系列教材之一,是根据教育部新一轮职业教育教学改革精神研发的机电技术专业、数控技术专业人才培养方案中“机电设备电气控制技术——基础知识(含电拖)核心课程标准”,并参照相关国家职业标准及有关行业的职业技能鉴定规范编写的。

本书主要内容包括:直流电机的应用,变压器的应用,交流电机的应用,特种电机的应用,三相异步电动机的基本控制线路,直流电动机的基本控制线路,常用生产机械的电气控制线路共七个项目。

本书可作为高等职业院校机电专业专业和数控技术专业学生的教学用书,也可作为相关行业岗位培训教材及有关人员自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

机电设备电气控制技术:基础知识:含电拖/范次猛
主编:葛金印组编. —北京:高等教育出版社,2009.4
ISBN 978-7-04-025751-9

I. 机… II. ①范…②葛… III. 机电设备—电气控制—高等学校:技术学校—教材 IV. TM921.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第013646号

策划编辑	陈大力	责任编辑	王莉莉	封面设计	张楠	责任绘图	尹莉
版式设计	余杨	责任校对	杨雪莲	责任印制	尤静		

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京铭成印刷有限公司

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landraco.com>
<http://www.landraco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

开 本 787×1092 1/16
印 张 21.75
字 数 540 000

版 次 2009年4月第1版
印 次 2009年4月第1次印刷
定 价 29.80元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 25751-00

出版说明

国务院《关于大力发展职业教育的决定》的精神推动着我国职业教育事业蓬勃发展。为提高职业教育教学质量，教育部启动了新一轮职业教育教学改革行动。高等教育出版社始终站在更新观念及职教课改的前列，打造优质教学资源，研发精品教学资源，增强服务意识，提高服务本领，支持职业教育事业的发展。

在教育部新一轮职业教育教学改革的进程中，高等教育出版社深切地了解到从事高等职业技术教学工作的教师们正以饱满的热情、高昂的斗志积极投身到课程改革的热潮中，他们也渴望能有一套遵循“以服务为宗旨，以就业为导向，以能力为本位”的职教理念，符合中国国情，能够适合高素质技能型人才培养模式，适应实施理论实践一体化和项目教学法，且可操作性强的实用系列专业教材。我社本着服务于职业教育事业发展，服务于职业院校教师的教学，服务于职业院校学生的学习的指导思想，推出了本套满足高职院校（五年制）机电技术专业、数控技术专业教学实际需要的专业课改成果系列教材。

本系列教材是由多年从事高等职业教学工作的一线骨干教师和学科带头人通过社会调研，对劳动力市场人才进行需求分析，进行课题研究，研发专业人才培养方案，制定核心课程标准等技术程序，并在征询了相关企业人员的意见后编写而成的。其主要特点为：

1. 本系列教材打破了原有的“以学科为中心”的课程体系，以劳动和社会保障部颁发的相关国家职业标准为编写的依据之一，课程设置和教学内容与企业技术发展同步，贯彻了以就业为导向，突出职业岗位能力培养为主的职教思想。

2. 专业核心课程采用综合化模块结构体系；专业基础理论削枝强干，够用为度，兼顾发展；技能训练课程内容实行“项目化”，项目根据学生掌握专门技术的认知规律设置课题。本系列教材在使用时有较强的可操作性。

3. 适应了学分制改革的需要，避免了教学内容的重复与交叉，给学生自主学习和个性化发展留有充分的空间。

4. 本系列教材以最新的相关国家技术标准编写，融入了新知识、新技术、新工艺和新方法。语言表述平实，通俗易懂，便于学生的自学。

伴随着教育部新一轮职业教育教学改革的不断深化，本套教材在推广使用中，将根据反馈的信息和教学需求的变化进行修订与完善。

高等教育出版社

前 言

本书是高等职业院校“以就业为导向、以能力为本位”课程改革成果系列教材之一，在教育部新一轮职业教育教学改革的进程中，来自高等职业院校教学工作一线的骨干教师和学科带头人，通过社会调研，对劳动力市场人才需求进行分析和课题研究，在企业有关人员积极参与下，研发了机电技术专业、数控技术专业人才培养方案，并制订了相关核心课程标准。本书是根据最新制定的“机电设备电气控制技术——基础知识核心课程标准”编写的。

“机电设备电气控制技术基础”是高等职业技术学校机电一体化专业核心课程“机电设备电气控制技术”中重要的组成模块，是本专业学生必修的综合技术课程。

通过本课程的学习和项目训练，使学生了解电动机、变压器、常用低压电器等电气设备的基本结构、工作原理、工作特性及铭牌数据，掌握电动机、变压器、常用低压电器等电气设备的使用，并培养学生具备电机维护维修、企业机电设备电气控制系统安装、调试与维护等的基本职业能力，并为学生后续专业课程的学习做前期准备。

本书立足于职业院校人才培养目标，充分考虑高职高专学生的特点，遵循理论够用、内容实用、学了能用、突出能力培养的原则，对教学内容进行了精选，对书中的章节做了适当整合。全书概念叙述清楚，深入浅出，通俗易懂，理论联系实际。

其特点主要有以下几个方面：

1. 在编写上以培养学生的实践能力为主线，强调内容的应用性和实用性，降低理论分析的难度和深度，以“必需”和“够用”为尺度，建立以能力培养为目标的课程教学模式和教材体系，体现“以能力为本位”的编写指导思想。
2. 体现以技能训练为主线、相关知识为支撑的编写思路，较好地处理了理论教学与技能训练的关系，有利于帮助学生掌握知识、形成技能、提高能力。
3. 按照教学规律和学生的认知规律，合理编排教材内容，尽量采用以图代文的编写形式，降低学习难度，提高学生的学习兴趣。
4. 突出教材的先进性，较多地编入新技术、新设备、新材料、新工艺的内容，以期缩短学校教育与企业需要的距离，更好地满足企业用人的需求。

本书由江苏省无锡交通高等职业技术学校范次猛任主编，常州刘国钧高等职业技术学校王猛副教授主审，并由本套系列教材组编葛金印终审，他们对书稿提出了许多宝贵的修改意见和建议，提高了书稿质量，在此一并表示衷心的感谢！

本书作为课程改革成果系列教材之一，在推广使用中，非常希望得到有关其教学适用性的反馈意见，以便不断改进与完善。由于编者水平有限，书中错漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

本书采用出版物短信防伪系统，用封底下方的防伪码，按照本书最后一页“郑重声明”下方的使用说明进行操作，可查询图书真伪并可赢得大奖。登录 <http://sv.hep.com.cn>，可获得图书相关信息及资源。

编者

2008年9月

目 录

项目一 直流电机的应用	1	接线图和布置图的识读 ...	151
任务一 认识直流电机	1	任务二 电动机正、反转控制线路	159
任务二 直流电动机的调速	16	任务三 电动机的位置控制、自动往返控制、顺序控制和多地控制线路	184
任务三 直流电动机的起动、反转和制动	27	任务四 三相异步电动机的降压起动控制线路	198
任务四 直流电动机的使用、维护和维修	35	任务五 三相异步电动机的制动控制线路	220
项目二 变压器的应用	40	任务六 多速异步电动机控制线路	234
任务一 认识变压器	40	任务七 绕线型异步电动机的基本控制线路	242
任务二 三相变压器的应用	51	项目六 直流电动机的基本控制线路 ...	259
任务三 特种变压器的应用	65	任务一 并励直流电动机的基本控制线路	269
任务四 变压器的维护和维修	70	任务二 串励直流电动机的基本控制线路	275
项目三 交流电机的应用	76	项目七 常用生产机械的电气控制线路	285
任务一 认识三相异步电动机	76	任务一 普通车床的电气控制线路	285
任务二 三相异步电动机的运行	87	任务二 磨床的电气控制线路	294
任务三 三相异步电动机的调速	97	任务三 钻床的电气控制线路	303
任务四 三相异步电动机的起动、反转和制动	104	任务四 铣床的电气控制线路	313
任务五 三相异步电动机的使用、维护和检修	115	任务五 刨床的电气控制线路	324
任务六 单相异步电动机的应用 ...	120	参考文献	337
项目四 特种电机的应用	129		
任务一 伺服电动机的应用	129		
任务二 测速发电机的应用	135		
任务三 步进电动机的应用	139		
任务四 直线电动机的应用	144		
项目五 三相异步电动机的基本控制线路	151		
任务一 电气控制线路图、			

项目一 直流电机的应用

任务一 认识直流电机

● 学习目标

1. 了解直流电机的特点、用途和分类，熟悉直流电机的基本工作原理。
2. 认识直流电机的外形和内部结构，熟悉各部件的作用。
3. 了解直流电机铭牌中型号和额定值的含义，掌握额定值的简单计算。
4. 会进行直流电动机的检测、接线和简单操作。

● 任务分析

直流电机是实现直流电能与机械能之间相互转换的电力机械，按用途可以分为直流电动机和直流发电机两类。其中将机械能转换成直流电能的电机称为直流发电机，如图 1-1 所示；将直流电能转换成机械能的电机称为直流电动机，如图 1-2 所示。直流电机是工矿、交通、建筑等行业中的常见动力机械，是机电行业人员的重要工作对象之一。作为一名电气控制技术人员必须熟悉直流电机的结构、工作原理和性能特点，掌握主要参数的分析计算，并能正确、熟练地操作使用直流电机。

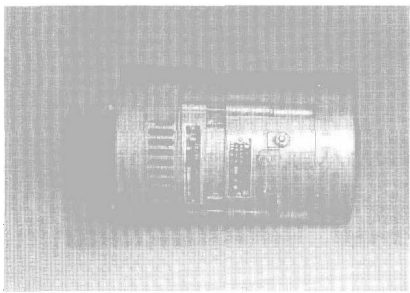


图 1-1 直流发电机

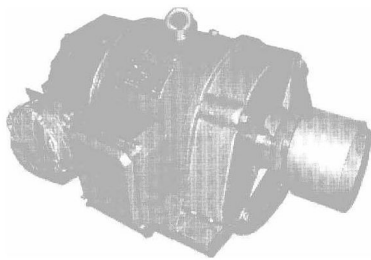


图 1-2 直流电动机

● 相关知识

一、直流电机的特点和用途

1. 直流电机的特点

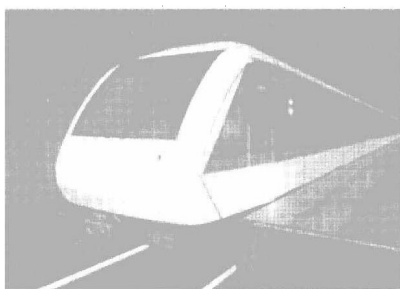
直流电动机与交流电动机相比，具有优良的调速性能和起动性能。直流电动机具有宽广的调速范围，平滑的无级调速特性，可实现频繁的无级快速起动、制动和反转；过载能力大，能承受频繁的冲击负载；能满足自动化生产系统中各种特殊运行的要求。而直流发电机则能提供

无脉动的大功率直流电源，且输出电压可以精确地调节和控制。

但直流电机也有它显著的缺点：一是制造工艺复杂，消耗有色金属较多，生产成本低；二是运行时由于电刷与换向器之间容易产生火花，因而可靠性较差，维护比较困难。所以在一些对调速性能要求不高的领域中已被交流变频调速系统所取代。但是在某些要求调速范围大、快速性高、精密度好、控制性能优异的场合，直流电动机的应用目前仍占有较大的比重。

2. 直流电机的用途

由于直流电动机具有良好的起动和调速性能，常应用于对起动和调速有较高要求的场合，如大型可逆式轧钢机、矿井卷扬机、宾馆高速电梯、龙门刨床、电力机车、内燃机车、城市电车、地铁列车、电动自行车、造纸和印刷机械、船舶机械、大型精密机床和大型起重机等生产机械中，图 1-3 所示是其应用的几种实例。



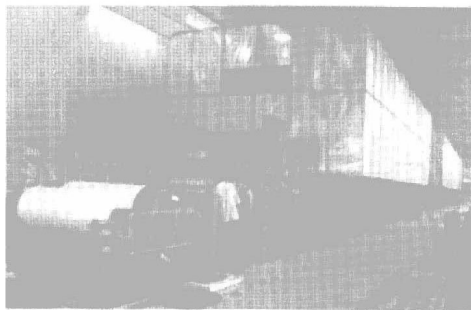
(a) 地铁列车



(b) 城市电车



(c) 电动自行车



(d) 造纸机

图 1-3 直流电动机的用途

直流发电机主要用作各种直流电源，如直流电动机电源，化学工业中所需的低电压、大电流的直流电源，直流电焊机电源等，如图 1-4 所示。

二、直流电机的基本结构

直流电动机和直流发电机的结构基本一样。直流电机由静止的定子和转动的转子两大部分组成，在定子和转子之间存在一个间隙，称为气隙。定子的作用是产生磁场和支撑电机，它主要包括主磁极、换向磁极、机座、电刷装置、端盖等。转子的作用是产生感应电动势和电磁转

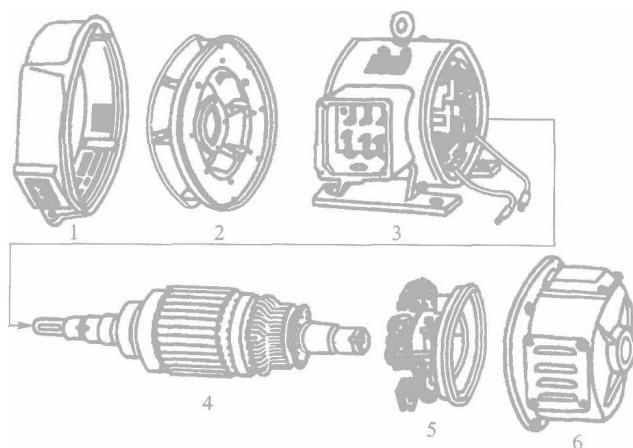


(a) 电解铝车间

(b) 电镀车间

图 1-4 直流发电机的用途

矩，实现机电能量的转换，通常也被称为电枢。它主要包括电枢铁心、电枢绕组以及换向器、转轴、风扇等。直流电机的结构如图 1-5 所示。



1—前端盖；2—风扇；3—定子；4—转子；5—电刷及刷架；6—后端盖

图 1-5 直流电机的结构

1. 主磁极

主磁极的作用是产生主磁通，它由铁心和励磁绕组组成，如图 1-6 所示。铁心一般用 $1 \sim 1.5 \text{ mm}$ 的低碳钢片叠压而成，小电机也有用整块铸钢磁极的。主磁极上的励磁绕组是用绝缘铜线绕制而成的集中绕组，与铁心绝缘，各主磁极上的线圈一般都是串联起来的。主磁极总是成对的，并按 N 极和 S 极交替排列。

2. 换向磁极

换向磁极的作用是产生附加磁场，用以改善电机的换向性能。通常铁心由整块钢做成，换向磁极的绕组应与电枢绕组串联。换向磁极装在两个主磁极之间，如图 1-7 所示。其极性在作为发电机运行时，应与电枢导体将要进入的主磁极极性相同；在作为电动机运行时，则应与电枢导体刚离开的主磁极极性相同。

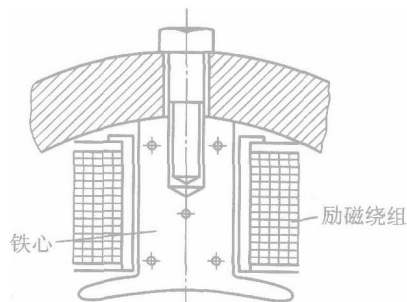


图 1-6 直流电机的主磁极

3. 机座

机座一方面用来固定主磁极、换向磁极和端盖等，另一方面作为电机磁路的一部分称为磁轭。机座一般用铸钢或钢板焊接制成。

4. 电刷装置

在直流电机中，为了使电枢绕组和外电路连接起来，必须装设固定的电刷装置，它是由电刷、刷握和刷杆座组成的，如图 1-8 所示。电刷是用石墨等做成的导电块，放在刷握内，用弹簧压指将它压触在换向器上。刷握用螺钉夹紧在刷杆上，用铜绞线将电刷和刷杆连接，刷杆装在刷座上，彼此绝缘，刷杆座装在端盖上。

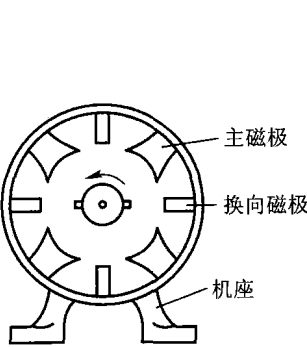


图 1-7 换向磁极的位置

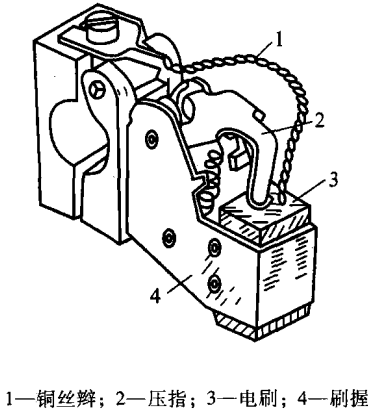


图 1-8 电刷与刷握

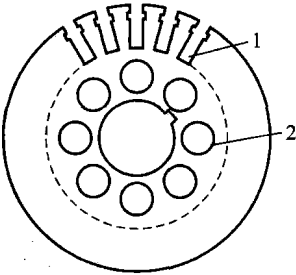


图 1-9 电枢铁心

5. 电枢铁心

电枢铁心的作用是通过磁通和安放电枢绕组。当电枢在磁场中旋转时，铁心将产生涡流和磁滞损耗。为了减少损耗、提高效率，电枢铁心一般用硅钢片冲叠而成。电枢铁心具有轴向冷却通风孔，如图 1-9 所示。铁心外圆周上均匀分布着槽，用以嵌放电枢绕组。

6. 电枢绕组

电枢绕组的作用是产生感应电动势和通过电流产生电磁转矩，实现机电能量转换。绕组通常用漆包线绕制而成，嵌入电枢铁心槽内，并按一定的规则连接起来。为了防止电枢旋转时产生的离心力使绕组飞出，绕组嵌入槽内后，用槽楔压紧；线圈伸出槽外的端接部分用无纬玻璃丝带扎紧。

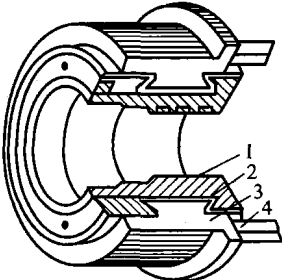
7. 换向器

换向器的结构如图 1-10 所示。它由许多带有鸽尾形的换向片叠成一个圆筒，片与片之间用云母片绝缘，借 V 形套筒和螺纹压圈拧紧成一个整体。每个换向片与绕组每个元件的引出线焊接在一起，其作用是将直流电动机输入的直流电流转换成电枢绕组内的交变电流，进而产生恒定方向的电磁转矩，使电动机连续运转。

三、直流电机的工作原理

1. 直流发电机的工作原理

图 1-11 是由直流发电机的主磁极、电刷、电枢绕组和换向器等主要部件构成的工作原理图，定子上有两个磁极 N 和 S，它们建



1—V 形套筒；2—云母片；
3—换向片；4—连接片
图 1-10 拱形换向器

立恒定磁场，两磁极中间是装在转子上的电枢绕组。绕组元件 $abcd$ 的两端 a 和 d 分别与两片相互绝缘的半圆形铜片（换向器）相接，通过电刷 A 、 B 与外电路相连。

当原动机带着电枢逆时针方向旋转时，线圈两个有效边 ab 和 cd 将切割磁场磁感线产生感应电动势，方向按右手定则确定，如图 1-11(a) 所示，在 S 极下由 $d \rightarrow c$ ，在 N 极下由 $b \rightarrow a$ ，电刷 A 为正极，电刷 B 为负极。负载电流的方向，由 $A \rightarrow B$ 。

当线圈转过 90° 时，如图 1-11(b) 所示，两个线圈的有效边位于磁场物理中性面上，导体的运动方向与磁感线平行，不切割磁感线，因此感应电动势为零。虽然两电刷同时与两铜片相接，把线圈短路，但线圈中无电动势和电流。

当线圈转过 180° 时，如图 1-11(c) 所示，此时线圈边中的电动势方向改变了，在 S 极下由 $a \rightarrow b$ ，在 N 极下由 $c \rightarrow d$ 。由于此时电刷 A 和电刷 B 所接触的铜片已经互换，因此电刷 A 仍为正极，电刷 B 仍为负极，输出电流 I 的方向不变。

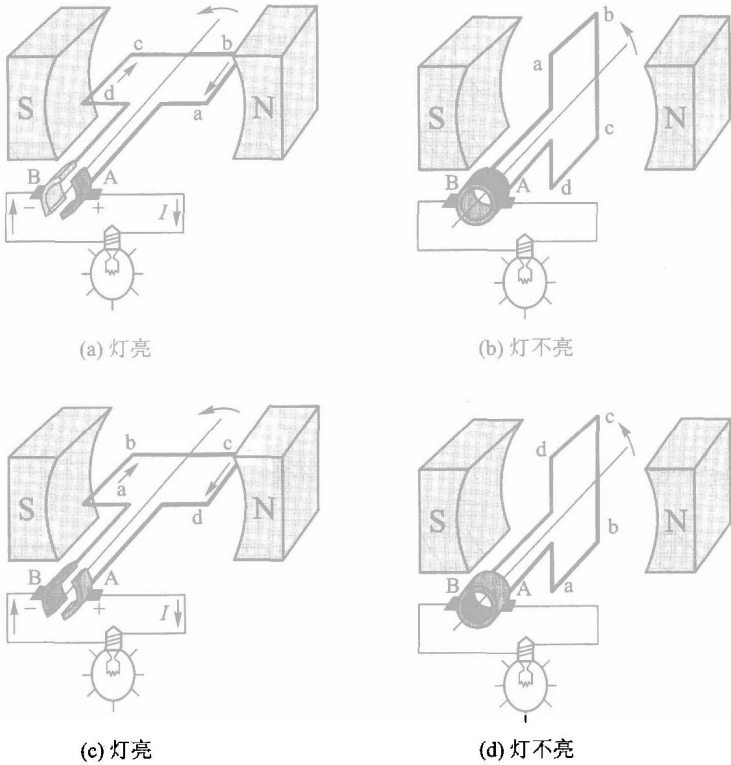


图 1-11 直流发电机工作原理图

线圈每转过一对磁极，其两个有效边中的电动势方向就改变一次，但是两电刷之间的电动势方向是不变的，电动势大小在零和最大值之间变化。显然，电动势方向虽然不变，但大小波动很大，这样的电动势是没有实用价值的。要减小电动势的波动程度，实用的电机在电枢圆周表面装有较多数量互相串联的线圈和相应的铜片数。这样，换向后合成电动势的波动程度就会显著减小。由于实际发电机的线圈数较多，所以电动势波动很小，可认为是恒定不变的直流电动势。

由以上分析可得出直流发电机的工作原理：当原动机带动直流发电机电枢旋转时，在电枢绕组中产生方向交变的感应电动势，通过电刷和换向器的作用，在电刷两端输出方向不变的直流电动势。

2. 直流电动机的工作原理

直流电动机在机械构造上与直流发电机完全相同，图 1 - 12 是直流电动机的工作原理图。电枢不用外力驱动，把电刷 A、B 接到直流电源上，假定电流从电刷 A 流入线圈，沿 $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d$ 方向，从电刷 B 流出。载流线圈在磁场中将受到电磁力的作用，其方向按左手定则确定， ab 边受到向上的力， cd 边受到向下的力，形成电磁转矩，结果使电枢逆时针方向转动，如图 1 - 12(a) 所示。当电枢转过 90° 时，如图 1 - 12(b) 所示，线圈中虽无电流和力矩，但在惯性的作用下继续旋转。

当电枢转过 180° 时，如图 1 - 12(c) 所示，电流仍然从电刷 A 流入线圈，沿 $d \rightarrow c \rightarrow b \rightarrow a$ 方向，从电刷 B 流出。与图 1 - 12(a) 比较，通过线圈的电流方向改变了，但两个线圈边受电磁力的方向却没有改变，即电动机只朝一个方向旋转。若要改变其转向，必须改变电源的极性，使电流从电刷 B 流入，从电刷 A 流出才行。

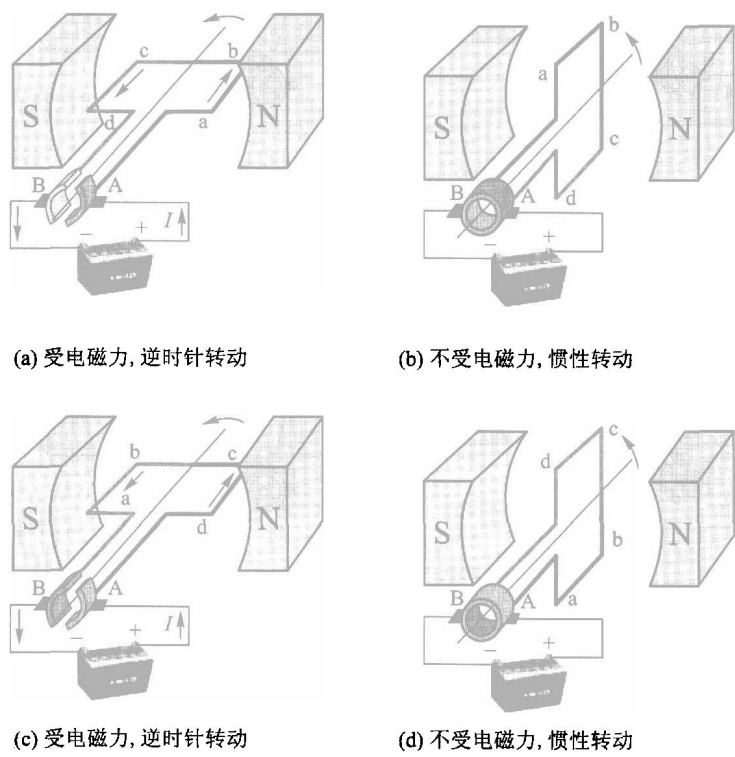


图 1 - 12 直流电动机工作原理

由以上分析可得直流电动机的工作原理：当直流电动机接入直流电源时，借助于电刷和换向器的作用，使直流电动机电枢绕组中流过方向交变的电流，从而使电枢产生恒定方向的电磁转矩，保证了直流电动机朝一定的方向连续旋转。

3. 直流电机的可逆原理

比较直流电动机与直流发电机的结构和工作原理,可以发现:一台直流电机既可以作为发电机运行,也可以作为电动机运行,只是其输入、输出的条件不同而已。

如果在电刷两端加上直流电源,将电能输入电枢,则从电机轴上输出机械能,驱动生产机械工作,这时直流电机将电能转换为机械能,工作在电动机状态。

如果用原动机驱动直流电机的电枢旋转,从电机轴上输入机械能,则从电刷两端可以引出直流电动势,输出直流电能,这时直流电机将机械能转换为直流电能,工作在发电机状态。

同一台电机,既能作发电机运行,又能作电动机运行的原理,称为电机的可逆原理。一台电机的实际工作状态取决于外界的不同条件。实际的直流电动机和直流发电机在设计时考虑了工作特点的一些差别,因此有所不同。例如直流发电机的额定电压略高于直流电动机,以补偿线路的电压降,便于两者配合使用。直流发电机的额定转速略低于直流电动机,便于选配原动机。

四、直流电机的励磁方式

直流电机的励磁方式是指电机励磁电流的供给方式,根据励磁支路和电枢支路的相互关系,有他励、自励(并励、串励和复励)、永磁方式。

1. 他励方式

他励方式中,电枢绕组和励磁绕组电路相互独立,电枢电压与励磁电压彼此无关。接线图如图 1-13 所示。

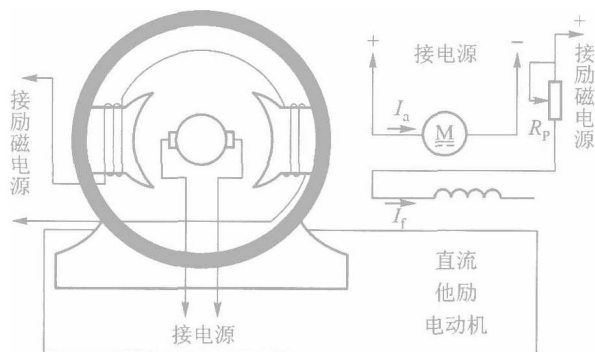


图 1-13 他励电机

2. 并励方式

并励方式中,电枢绕组和励磁绕组是并联关系,由同一电源供电,接线图如图 1-14 所示。

3. 串励方式

串励方式中,电枢绕组与励磁绕组是串联关系,接线图如图 1-15 所示。

4. 复励方式

复励电机的主磁极上有两部分励磁绕组,其中一部分与电枢绕组并联,另一部分与电枢绕组串联。当两部分励磁绕组产生的磁通方向相同时,称为积复励,反之称为差复励。接线图如图 1-16 所示。

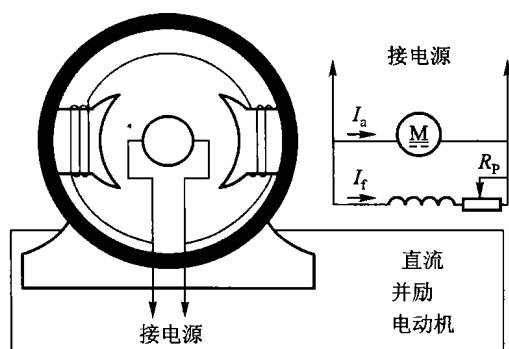


图 1-14 并励电机

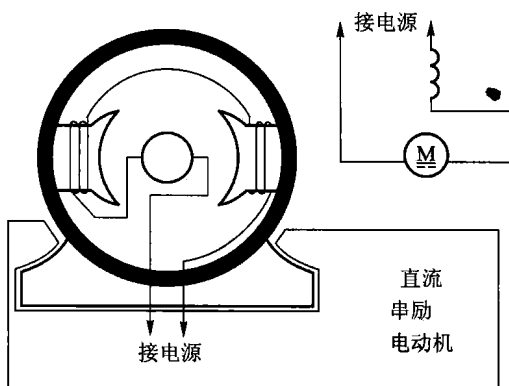


图 1-15 串励电机

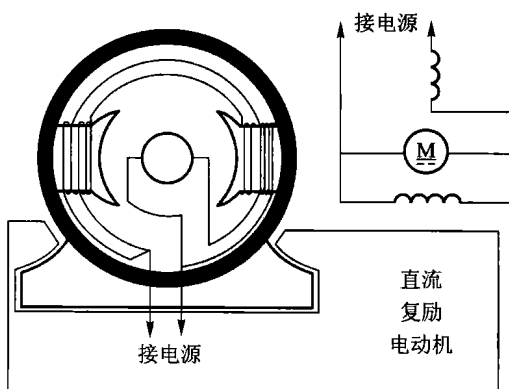


图 1-16 复励电机

五、直流电机的铭牌数据与系列

1. 直流电机铭牌数据

电机制造厂按照国家标准，根据电机的设计和试验数据，规定了电机的正常运行状态和条件，通常称之为额定运行。凡表征电机额定运行情况的各种数据均称为额定值，标注在电机铝制铭牌上，它是正确合理使用电机的依据。直流电机的主要额定值如表 1-1 所示。

表 1-1 直流电机铭牌

型 号	Z2 - 72	励磁方式	并励
功率	22 kW	励磁电压	220 V
电压	220 V	励磁电流	2.06 A
电流	116 A	定额	连续
转速	1 500 r/min	温升	80 ℃
编号	× × × ×	出厂日期	× × × × 年 × 月 × 日
× × × × 电机厂			

(1) 额定功率 P_N (kW)

额定功率指电机的输出功率。对发电机而言,是指输出的电功率;对电动机,则是指转轴上输出的机械功率。

(2) 额定电压 U_N (V) 和额定电流 I_N (A)

注意它们不同于电机的电枢电压 U_a 和电枢电流 I_a , 发电机的 U_N 、 I_N 是输出值, 电动机的 U_N 、 I_N 是输入值。

(3) 额定转速 n_N (r/min)

额定转速是指在额定功率、额定电压、额定电流时电机的转速。

电机在实际应用时, 是否处于额定运行情况, 要由负载的大小决定。一般不允许电机超过额定值运行, 因为这样会缩短电机的使用寿命, 甚至损坏电机。但也不能让电机长期轻载运行, 这样不能充分利用设备, 运行效率低, 所以应该根据负载大小合理选择电机。

2. 直流电机系列

我国目前生产的直流电机主要有以下系列。

(1) Z2 系列

该系列为一般用途的小型直流电机系列。“Z”表示直流, “2”表示第二次改进设计。该系列功率为 0.4 ~ 200 kW, 电动机电压为 110 V、220 V, 发电机电压为 115 V、230 V, 属于防护式。

(2) ZF 和 ZD 系列

这两个系列为一般用途的中型直流电机系列。“F”表示发电机, “D”表示电动机。该系列功率为 55 ~ 1 450 kW。

(3) ZZJ 系列

该系列为起重、冶金用直流电机系列。电压有 220 V、440 V 两种。工作方式有连续、短时和断续三种。ZZJ 系列电机起动快速, 过载能力大。

此外, 还有 ZQ 直流牵引电动机系列及用于易爆场合的 ZA 防爆安全型直流电机系列等。常见电机产品系列见表 1-2。

表 1-2 常见电机产品系列

代 号	含 义
Z2	一般用途的中、小型直流电机，包括发电机和电动机
Z、ZF	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
ZZJ	专供起重冶金工业用的专用直流电动机
ZT	用于恒功率且调速范围比较大的驱动系统里的宽调速直流电动机
ZQ	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
ZH	船舶上各种辅助机械用的船用直流电动机
ZU	用于龙门刨床的直流电动机
ZA	用于矿井和有易爆气体场所的防爆安全型直流电动机
ZKJ	冶金、矿山挖掘机用的直流电动机

六、直流电机的感应电动势和电磁转矩

无论是直流电动机还是直流发电机，在转动时，其电枢绕组都会由于切割主磁极产生的磁感线而感应出电动势。同时，由于电枢绕组中有电流流过，电枢电流与主磁场作用又会产生电磁转矩。因此，直流电机的电枢绕组中同时存在着感应电动势和电磁转矩，它们对电机的运行起着重要的作用。直流发电机中是感应电动势起主要作用，直流电动机中是电磁转矩起主要作用。

1. 电枢绕组的感应电动势 E_a

对电枢绕组电路进行分析，可得直流电机电枢绕组的感应电动势为

$$E_a = C_e \Phi n \quad (1-1)$$

式中， Φ 为电机的每极磁通； n 为电机的转速； C_e 是与电机结构有关的常数，称为电动势常数。

E_a 的方向由 Φ 与 n 的方向按右手定则确定。从式 (1-1) 可以看出，若要改变 E_a 的大小，可以改变 Φ (由励磁电流 I_f 决定) 或 n 的大小。若要改变 E_a 的方向，可以改变 Φ 的方向或电机的旋转方向。

无论直流电动机还是直流发电机，电枢绕组中都存在感应电动势，在发电机中 E_a 与电枢电流 I_a 方向相同，是电源电动势；而在电动机中 E_a 与 I_a 的方向相反，是反电动势。

2. 直流电机的电磁转矩 T

同样，也可分析得到电磁转矩 T 为

$$T = C_T \Phi I_a \quad (1-2)$$

式中， I_a 为电枢电流； C_T 也是一个与电机结构相关的常数，称为转矩常数。

电磁转矩 T 的方向由磁通 Φ 及电枢电流 I_a 的方向按左手定则确定。式 (1-2) 表明：若要改变电磁转矩的大小，只要改变 Φ 或 I_a 的大小即可；若要改变 T 的方向，只要改变 Φ 或 I_a 其中之一的方向即可。



感应电动势 E_a 和电磁转矩 T 是密切相关的。例如当他励直流电动机的机械负载增加时，电机转速将下降，此时反电动势 E_a 减小， I_a 将增大，电磁转矩 T 也增大，这样才能带动已增大的负载。

七、直流电动机的基本方程式

直流电动机的基本方程式是了解和分析直流电动机性能的主要方法和重要手段，直流电动机的基本方程式包括电压方程式、转矩方程式、功率方程式等。

图 1-17 所示为直流并励电动机的工作原理图。以它为例分析电压、转矩和功率之间的关系。并励电动机的励磁绕组与电枢绕组并联，由同一直流电源供电。接通直流电源后，励磁绕组中流过励磁电流 I_f ，建立主磁场；电枢绕组中流过电枢电流 I_a ，电枢电流与主磁场作用产生电磁转矩 T ，使电枢朝转矩 T 的方向以转速 n 旋转，将电能转换为机械能，带动生产机械工作。

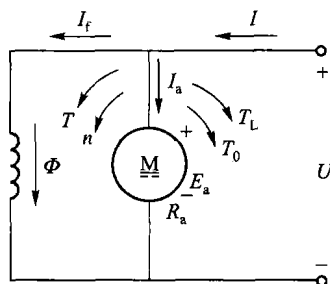


图 1-17 直流并励电动机的工作原理图

(1) 电压方程式

从图 1-17 所示直流并励电动机的工作原理图可知，直流并励电动机中有两个电流回路：励磁回路和电枢回路。下面主要分析电枢回路的电压、电流以及电动势之间的关系。

直流并励电动机通电旋转后，电枢导体切割主磁场，产生电枢电动势 E_a ，在电动机中，此电动势的方向与电枢电流 I_a 的方向相反，称为反电动势。电源电压 U 除了提供电枢内阻压降 $I_a R_a$ 外，主要用来与电枢电动势 E_a 相平衡。列出电压方程式如下

$$U = E_a + I_a R_a$$

上式表明直流电动机在电动状态下运行时，电枢电动势 E_a 总是小于端电压 U 。

(2) 转矩方程式

直流电动机正常工作时，作用在轴上的转矩有三个：一个是电磁转矩 T ，方向与转速 n 方向相同，为驱动性质转矩；一个是电动机空载损耗形成的转矩 T_0 ，是电动机空载运行时的制动转矩，方向总与转速 n 方向相反；还有一个是轴上所带生产机械的负载转矩 T_L ，一般为制动性质转矩。 T_L 在大小上也等于电动机的输出转矩 T_2 。稳态运行时，直流电动机中驱动性质的转矩总是等于制动性质的转矩，据此可得直流电动机的转矩方程式

$$T = T_0 + T_L$$

(3) 功率方程式

从图 1-17 所示直流并励电动机的工作原理图可以看出：

电源输入的电功率为 $P_1 = UI$

电动机励磁回路电阻 R_f 上的铜损耗为 $p_{\text{Cuf}} = I_f^2 R_f$

电枢回路中的铜损耗为 $p_{\text{Cua}} = I_a^2 R_a$

输入的电功率扣除上述两项损耗后，通过电磁感应关系转换为机械功率，电动机中由电能转换为机械能的那一部分功率称为电磁功率

$$P_e = E_a I_a = T\omega$$

转换得到的机械功率还要扣除机械损耗和铁损耗，即空载损耗

$$P_0 = p_m + p_{Fe}$$