

21世纪高职高专规划教材 电气、自动化、应用电子技术系列

卢恩贵 主 编
张桂芹 周志仁 副主编

电机及电力拖动

清华大学出版社

21世纪高职高专规划教材 **电气、自动化、应用电子技术系列**

电机及电力拖动

卢恩贵 主编

张桂芹 周志仁 副主编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是根据高职高专教育的现状和发展趋势,按照高职高专机电类“电机及电力拖动”教学大纲编写的。本书主要讲述直流电机、变压器和三相异步电动机的运行原理和工作特性;着重分析直流电动机和三相异步电动机的机械特性及其启动、制动和调速的方法、原理、特点及应用;分析单相异步电动机、直线异步电动机、同步电动机的工作原理、特性及应用;简要分析常用控制电机的结构特点、工作原理和特性;简要介绍电动机的选择、使用、维护等应用知识;介绍单相小型变压器的设计计算。

本书在总体框架上体现了高职高专教学改革的特点,突出理论知识的应用和实践能力的培养,以“必需、够用”为度,以“应用”为目的,加强实用性;在阐述方法上深入浅出、通俗易懂,降低了理论的难度。

本书适合作为高职高专类院校的电气自动化技术、机电一体化技术、供用电技术、热动技术、机电工程、矿山机电和机械制造技术等专业的教材,也可作为相关工程技术人员的参考用书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电机及电力拖动/卢恩贵主编. —北京:清华大学出版社, 2011.9

(21世纪高职高专规划教材. 电气、自动化、应用电子技术系列)

ISBN 978-7-302-26004-2

I. ①电… II. ①卢… III. ①电机—高等职业教育—教材 ②电力传动—高等职业教育—教材 IV. ①TM3 ②TM921

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第130325号

责任编辑:贺志洪

责任校对:袁芳

责任印制:王秀菊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦A座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京季蜂印刷有限公司

装 订 者:三河市李旗庄少明印装厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260

印 张:19.75

字 数:455千字

版 次:2011年9月第1版

印 次:2011年9月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:38.00元

产品编号:041955-01

前 言

电机及电力拖动

本书是根据高等职业教育的“淡化理论,够用为度,培养技能,重在应用”原则,在编写思路上力图体现高职高专培养生产一线高技能人才的要求,力争做到重点突出、概念清楚、层次清晰、深入浅出、学用一致。

本书包括《电机学》及《电力拖动基础》两门课程的主要内容,将二者合并为《电机及电力拖动》,在讲述理论的基础上紧密结合生产实际的需要,纳入了提高技能、服务生产的应用知识,使本书成为相关专业的教学、培训用书。

全书内容包括9个模块,即直流电机、直流电动机的电力拖动、变压器、三相异步电动机、三相异步电动机的电力拖动、其他交流电动机、同步电机、控制电机和拖动系统电动机的选择。为帮助读者加深对理论的学习和理解,提高教师对作业的批阅效率,本书增设了部分习题参考答案。

本书在编写过程中,按照教学的要求,在内容的选择和问题的阐述方面兼顾了当前科学技术的发展和高职高专学生的实际水平,既考虑了教学内容的完整性和连续性,又大大降低了学习难度,简化了一些理论分析和计算,同时也考虑了后续课程对本课程的要求,以更好地为专业培养目标服务。在问题的阐述方面力求做到叙理简明、概念清晰、突出重点。另外,对每个模块都列有本模块的知识点及学习要求。书中带有“*”的内容可根据需要选学。

本书由卢恩贵担任主编,张桂芹、周志仁担任副主编。其中模块1、模块2由唐山科技职业技术学院张桂芹编写;模块3由河北科技师范学院马玉泉编写;前言、模块4和模块5由河北能源职业技术学院卢恩贵编写;模块7由河北能源职业技术学院尹静涛编写;模块8和模块9由河北能源职业技术学院周志仁编写;模块6和附录由河北能源职业技术学院赵冬梅编写。

在本书的编写过程中,编者参考了多位同行的编著和文献,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在不足之处,敬请广大读者批评指正。

编 者
2011年3月

目 录

电机及电力拖动

| | |
|----------------------------|----|
| 模块 1 直流电机 | 1 |
| 1.1 课题 直流电机的基本工作原理 | 1 |
| 1.1.1 直流发电机的基本工作原理 | 1 |
| 1.1.2 直流电动机的工作原理 | 3 |
| 1.2 课题 直流电机的基本结构与铭牌 | 4 |
| 1.2.1 直流电机的基本结构 | 4 |
| 1.2.2 直流电机的铭牌及额定值 | 6 |
| 1.2.3 直流电机的主要系列简介 | 8 |
| 1.3 课题 直流电机的电枢绕组 | 8 |
| 1.3.1 直流电枢绕组基本知识 | 8 |
| 1.3.2 单叠绕组 | 11 |
| 1.3.3 单波绕组 | 13 |
| 1.4 课题 直流电机的磁场 | 15 |
| 1.4.1 直流电机的励磁方式 | 15 |
| 1.4.2 磁路与磁路定律 | 16 |
| 1.4.3 直流电机的空载磁场和磁化曲线 | 17 |
| 1.4.4 直流电机的负载磁场和电枢反应 | 19 |
| 1.5 课题 直流电机的基本公式 | 22 |
| 1.5.1 直流电机的电枢电动势 | 22 |
| 1.5.2 直流电机的电磁转矩 | 23 |
| 1.5.3 直流电机的电磁功率 | 25 |
| 1.6 课题 直流发电机 | 26 |
| 1.6.1 直流发电机的基本方程式 | 26 |
| 1.6.2 直流发电机的运行特性 | 27 |
| 1.6.3 并励发电机 | 29 |
| 1.7 课题 直流电动机 | 31 |
| 1.7.1 直流电动机的基本方程式 | 31 |
| 1.7.2 直流电动机的工作特性 | 33 |

| | |
|--------------------------------|-----------|
| 1.8 课题 直流电机的换向 | 35 |
| 1.8.1 直流电机换向过程的电磁理论 | 35 |
| 1.8.2 改善换向的方法 | 38 |
| 1.8.3 防止环火与补偿绕组 | 39 |
| 思考题与习题 | 40 |
| 模块 2 直流电动机的电力拖动 | 42 |
| 2.1 课题 电力拖动系统的动力学基础 | 42 |
| 2.1.1 电力拖动系统的运动方程式 | 42 |
| 2.1.2 电力拖动系统的运动状态分析 | 44 |
| 2.1.3 工作机构转矩、力、飞轮矩和质量的折算 | 44 |
| 2.2 课题 生产机械的负载转矩特性 | 46 |
| 2.3 课题 他励直流电动机的机械特性 | 48 |
| 2.3.1 机械特性方程式 | 48 |
| 2.3.2 固有机械特性和人为机械特性 | 48 |
| 2.3.3 机械特性的绘制 | 50 |
| 2.3.4 电力拖动系统稳定运行的条件 | 53 |
| 2.4 课题 他励直流电动机的启动和反转 | 55 |
| 2.4.1 他励直流电动机的启动 | 55 |
| 2.4.2 他励直流电动机的反转 | 59 |
| 2.5 课题 他励直流电动机的制动 | 59 |
| 2.5.1 能耗制动 | 60 |
| 2.5.2 反接制动 | 62 |
| 2.5.3 回馈制动 | 65 |
| 2.5.4 他励直流电动机的四象限运行 | 66 |
| 2.6 课题 他励直流电动机的调速 | 67 |
| 2.6.1 调速的性能指标 | 67 |
| 2.6.2 他励直流电动机的调速方法 | 69 |
| * 2.7 课题 无刷直流电动机简介 | 74 |
| 2.7.1 无刷直流电动机的组成 | 74 |
| 2.7.2 无刷直流电动机的工作原理 | 76 |
| 2.7.3 无刷直流电动机的特点 | 77 |
| 2.7.4 无刷直流电动机的发展与应用 | 78 |
| 思考题与习题 | 79 |
| 模块 3 变压器 | 80 |
| 3.1 课题 变压器的基本工作原理和结构 | 80 |
| 3.1.1 变压器的用途和分类 | 80 |

| | | |
|-------------|-------------------------|------------|
| 3.1.2 | 变压器的基本工作原理 | 81 |
| 3.1.3 | 变压器的基本结构 | 82 |
| 3.1.4 | 变压器的铭牌与主要系列 | 85 |
| 3.2 | 课题 单相变压器的空载运行 | 87 |
| 3.2.1 | 变压器空载运行时的电磁关系 | 87 |
| 3.2.2 | 变压器空载时的感应电动势 | 88 |
| 3.2.3 | 变压器的空载电流和空载损耗 | 89 |
| 3.2.4 | 变压器空载时的电动势平衡方程式和等效电路 | 92 |
| 3.2.5 | 空载运行时的相量图 | 93 |
| 3.3 | 课题 单相变压器的负载运行 | 94 |
| 3.3.1 | 负载运行时的电磁关系 | 94 |
| 3.3.2 | 负载运行时的基本方程 | 94 |
| 3.3.3 | 负载运行时的等效电路和相量图 | 96 |
| 3.4 | 课题 变压器参数的测定 | 100 |
| 3.4.1 | 空载试验 | 100 |
| 3.4.2 | 短路试验 | 101 |
| 3.5 | 课题 变压器的运行特性 | 104 |
| 3.5.1 | 变压器的外特性和电压变化率 | 104 |
| 3.5.2 | 变压器的损耗和效率特性 | 106 |
| 3.6 | 课题 三相变压器 | 108 |
| 3.6.1 | 三相变压器的磁路系统 | 108 |
| 3.6.2 | 三相变压器的电路系统——联结组别 | 109 |
| 3.6.3 | 三相变压器的联结法和磁路系统对电动势波形的影响 | 113 |
| 3.6.4 | 变压器的并联运行 | 115 |
| 3.7 | 课题 其他常用变压器 | 117 |
| 3.7.1 | 自耦变压器 | 117 |
| 3.7.2 | 仪用互感器 | 119 |
| 3.7.3 | 电焊变压器 | 120 |
| | 思考题与习题 | 121 |
| 模块 4 | 三相异步电动机 | 124 |
| 4.1 | 课题 三相异步电动机的基本工作原理 | 124 |
| 4.1.1 | 三相定子绕组的旋转磁场 | 124 |
| 4.1.2 | 三相异步电动机的基本工作原理 | 127 |
| 4.2 | 课题 三相异步电动机的基本结构和铭牌 | 129 |
| 4.2.1 | 三相异步电动机的基本结构 | 129 |
| 4.2.2 | 异步电动机的铭牌 | 132 |
| 4.2.3 | 三相异步电动机的主要系列简介 | 134 |

| | | |
|-------------|---------------------|------------|
| 4.3 课题 | 三相异步电动机的定子绕组 | 134 |
| 4.3.1 | 交流绕组的基本知识 | 134 |
| 4.3.2 | 单层绕组 | 136 |
| 4.3.3 | 双层叠绕组 | 140 |
| 4.3.4 | 绕组圆形接线图 | 141 |
| 4.4 课题 | 三相异步电动机的感应电动势和磁动势 | 144 |
| 4.4.1 | 三相异步电动机的感应电动势 | 144 |
| 4.4.2 | 三相异步电动机的磁动势 | 147 |
| 4.5 课题 | 三相异步电动机的空载运行 | 153 |
| 4.5.1 | 空载运行时的电磁关系 | 153 |
| 4.5.2 | 空载时的定子电压平衡关系 | 154 |
| 4.6 课题 | 三相异步电动机的负载运行 | 154 |
| 4.6.1 | 负载运行时的物理情况 | 154 |
| 4.6.2 | 转子绕组各电磁量 | 155 |
| 4.6.3 | 负载运行时的基本方程式 | 157 |
| 4.6.4 | 三相异步电动机负载运行时的等效电路 | 158 |
| 4.7 课题 | 三相异步电动机的功率平衡和转矩平衡 | 161 |
| 4.7.1 | 功率平衡方程 | 161 |
| 4.7.2 | 转矩平衡方程 | 163 |
| 4.8 课题 | 三相异步电动机的工作特性 | 165 |
| 4.9 课题 | 三相异步电动机的参数测定 | 166 |
| 4.9.1 | 空载试验 | 166 |
| 4.9.2 | 短路试验与短路参数的测定 | 168 |
| | 思考题与习题 | 169 |
| 模块 5 | 三相异步电动机的电力拖动 | 171 |
| 5.1 课题 | 三相异步电动机的机械特性 | 171 |
| 5.1.1 | 电磁转矩的三种表达式 | 171 |
| 5.1.2 | 固有机械特性 | 174 |
| 5.1.3 | 人为机械特性 | 175 |
| 5.2 课题 | 三相异步电动机的启动 | 177 |
| 5.2.1 | 三相笼形异步电动机的启动 | 177 |
| 5.2.2 | 三相绕线转子异步电动机的启动 | 183 |
| 5.3 课题 | 三相异步电动机的制动 | 188 |
| 5.3.1 | 能耗制动 | 188 |
| 5.3.2 | 反接制动 | 191 |
| 5.3.3 | 回馈制动 | 193 |
| 5.4 课题 | 三相异步电动机的调速 | 194 |

| | |
|-------------------------------|------------|
| 5.4.1 变极调速 | 194 |
| 5.4.2 变频调速 | 198 |
| 5.4.3 变转差率调速 | 200 |
| 思考题与习题 | 203 |
| 模块 6 其他交流电动机 | 206 |
| 6.1 课题 单相感应电动机 | 206 |
| 6.1.1 单相异步电动机的基本结构 | 206 |
| 6.1.2 单相异步电动机的工作原理 | 207 |
| 6.1.3 单相异步电动机的主要类型及启动方法 | 208 |
| 6.2 课题 直线异步电动机 | 210 |
| 6.2.1 直线异步电动机的分类和结构 | 210 |
| 6.2.2 直线异步电动机的工作原理 | 212 |
| 6.2.3 直线电动机的特点 | 212 |
| 6.2.4 直线异步电动机的应用 | 213 |
| 6.3 课题 电磁调速感应电动机 | 214 |
| 6.4 课题 交直流两用电动机 | 216 |
| 思考题与习题 | 217 |
| 模块 7 同步电机 | 218 |
| 7.1 课题 同步电机的基本类型和基本结构 | 218 |
| 7.1.1 同步电机的基本类型 | 218 |
| 7.1.2 同步电机的基本结构 | 219 |
| 7.1.3 同步电机的额定值及励磁方式 | 221 |
| 7.2 课题 同步发电机 | 223 |
| 7.2.1 同步发电机的空载运行 | 223 |
| 7.2.2 同步发电机的电枢反应 | 224 |
| 7.2.3 同步发电机的负载运行 | 227 |
| 7.2.4 同步发电机的特性 | 229 |
| 7.3 课题 同步电动机 | 233 |
| 7.3.1 同步电动机的基本方程式和相量图 | 233 |
| 7.3.2 同步电动机的启动 | 237 |
| * 7.4 课题 微型同步电动机 | 238 |
| 7.4.1 永磁式微型同步电动机 | 238 |
| 7.4.2 反应式微型同步电动机 | 239 |
| 7.4.3 磁滞式微型同步电动机 | 241 |
| 思考题与习题 | 242 |

| | |
|----------------------------|-----|
| 模块 8 控制电机 | 243 |
| 8.1 课题 概述 | 243 |
| 8.1.1 控制电机的基本用途和分类 | 243 |
| 8.1.2 对控制电机的基本要求 | 244 |
| 8.2 课题 伺服电机 | 245 |
| 8.2.1 直流伺服电机 | 245 |
| 8.2.2 交流伺服电机 | 249 |
| 8.3 课题 步进电机 | 252 |
| 8.3.1 三相反应式步进电机的结构 | 253 |
| 8.3.2 三相反应式步进电机的工作原理 | 253 |
| 8.3.3 步进电机的运行特性 | 256 |
| 8.3.4 驱动电源 | 259 |
| 8.3.5 步进电机的应用 | 262 |
| 8.4 课题 测速发电机 | 262 |
| 8.4.1 直流测速发电机 | 263 |
| 8.4.2 交流测速发电机 | 264 |
| 8.5 课题 自整角机 | 267 |
| 8.5.1 力矩式自整角机 | 267 |
| 8.5.2 控制式自整角机 | 269 |
| 8.6 课题 旋转变压器 | 270 |
| 8.6.1 正余弦旋转变压器 | 270 |
| 8.6.2 线性旋转变压器 | 273 |
| 思考题与习题 | 274 |
| 模块 9 拖动系统电动机的选择 | 275 |
| 9.1 课题 电动机的发热与冷却 | 275 |
| 9.1.1 电动机的发热过程 | 275 |
| 9.1.2 电动机的冷却过程 | 277 |
| 9.1.3 电动机的绝缘等级 | 277 |
| 9.2 课题 电动机的工作制分类 | 278 |
| 9.3 课题 电动机容量的选择 | 279 |
| 9.3.1 连续工作制电动机容量的选择 | 279 |
| 9.3.2 短时工作制电动机容量的选择 | 280 |
| 9.3.3 断续周期工作制电动机的选择 | 280 |
| 9.3.4 统计法和类比法 | 281 |
| 思考题与习题 | 282 |
| 附录 部分习题参考答案 | 283 |
| 参考文献 | 306 |

直流电机

知识点

- (1) 直流电机的工作原理；
- (2) 直流电机的基本方程式；
- (3) 直流电机的工作特性。

学习要求

- (1) 具备分析直流电机基本工作原理的能力；
- (2) 具备应用直流电机的感应电动势、电磁转矩、电磁功率等基本公式的能力；
- (3) 具备分析直流电机的工作特性的能力；
- (4) 具备识读直流电机的铭牌并分析其结构特点的能力。

直流电机是一种通过磁场的耦合作用实现机械能与直流电能相互转换的旋转式机械。直流电机包括直流电动机和直流发电机。将机械能转变成直流电能的电机称为直流发电机,反之,将直流电能转变成机械能的电机称为直流电动机。直流电机具有可逆性,一台直流电机是工作在发电机状态,还是工作在电动机状态,取决于电机的运行条件。

直流电机的主要优点是具有良好的启动性能和平滑的调速特性,过载能力强,易于控制,经济性好。这对有些生产机械的拖动来说是十分重要的,例如大型可逆式轧钢机、矿井卷扬机、电力机车和大型起重机等生产机械,大部分都是由直流电动机拖动的。

直流电机的主要缺点是制造工艺复杂,消耗有色金属较多,生产成本高,运行可靠性较差,维护较困难,且有换向问题。随着电力电子技术的迅速发展,在很多领域,直流发电机已逐步被整流电源所取代,直流电动机也已被交流电动机所取代,但是直流电动机仍以其良好的调速性能在许多场合继续发挥着重要作用。

本模块主要介绍直流电机的基本工作原理、结构和运行特性。

1.1 课题 直流电机的基本工作原理

1.1.1 直流发电机的基本工作原理

直流发电机的工作原理基于电磁感应定律。电磁感应定律指出,在均匀磁场中,当导

体切割磁感应线时,导体中就有感应电动势产生。若磁感应线、导体及其运动方向三者相互垂直,则导体中产生的感应电动势 e 的大小为

$$e = Blv \quad (1-1)$$

式中, B 为磁感应强度或磁通密度(T 或 Wb/m^2); l 为导体切割磁感应线的有效长度(m); v 为导体与磁场的相对切割速度(m/s); e 为导体上的感应电动势(V)。

由式(1-1)可知,对于长度一定的导体来说,导体中感应电动势的大小由导体所在处的磁感应强度和导体切割磁场的速度所决定,而感应电动势的方向可由右手定则来确定。

图 1-1 所示是一台最简单的直流发电机的物理模型。N 和 S 是一对固定的磁极,磁极固定不动,称为定子。两磁极之间有一个可以旋转的导磁圆柱体,在其表面的槽内放置了一个线圈,线圈连同导磁圆柱体是直流电动机可转动部分,称为电机转子(或电枢)。线圈由导体 ab 和 cd 构成,线圈的两端分别接到相互绝缘的两个圆弧形铜片(称为换向片)上,由换向片构成的圆柱体称为换向器,换向片分别与固定不动的电刷 A 和 B 保持滑动接触,这样,线圈 $abcd$ 可以通过换向片和电刷与外电路接通。电枢在原动机拖动下转动,把机械能转变为电能供给接在两电刷间的负载。

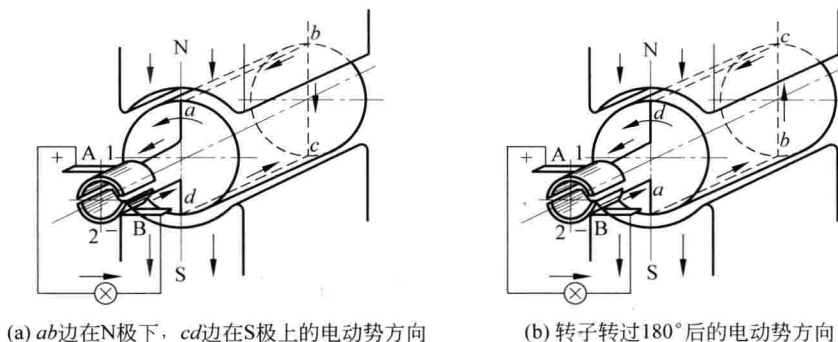


图 1-1 直流发电机的物理模型

在图 1-1(a)中,电枢逆时针恒速旋转时,根据电磁感应定律可知,线圈的 ab 、 cd 两边因切割磁感应线而产生感应电动势,由右手定则可以判断出感应电动势的方向为 $d \rightarrow c \rightarrow b \rightarrow a$,电刷 A 为正极,电刷 B 为负极。外电路上的电流方向是由正极 A 流出,经负载流向负极 B。

当电枢转过 180° 后,如图 1-1(b)所示,此时线圈的电动势方向变为以 $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d$,电刷 A 原来与换向片 1 接触,现在变为与换向片 2 接触,电刷 B 原来与换向片 2 接触,现在变为与换向片 1 接触,这样电刷 A 仍为正极,电刷 B 仍为负极。

以上分析表明,当原动机拖动电枢线圈旋转时,线圈中的感应电动势方向不断改变,但通过换向器和电刷的作用,在电刷 A、B 间输出的电动势的方向是不变的,即为直流电动势。若在电刷 A、B 间接入负载,发电机就能向负载提供直流电能,这就是直流发电机的工作原理。

实际直流发电机的电枢根据实际应用情况需要有多个线圈。线圈分布于电枢铁芯表面的不同位置上,并按照一定的规律连接起来,构成电机的电枢绕组。磁极也是根据需要

N、S极交替放置多对。

1.1.2 直流电动机的工作原理

直流电动机的工作原理基于安培定律。安培定律指出,若均匀磁场 B 与导体相互垂直,且导体中通以电流 i ,则作用于载流导体上的电磁力 F 为

$$F = Bli \quad (1-2)$$

式中, l 为导体的有效长度(m); i 为导体中的电流(A); F 为导体所受的电磁力(N)。

由式(1-2)可知,对于长度一定的导体来说,所受电磁力的大小由导体所在处的磁感应强度和通过导体的电流所决定,而电磁力的方向可由左手定则来确定。

如果在图 1-1(a)、(b)中去掉原动机和电刷两端所接的负载,在 A、B 两电刷间施加一个直流电源,就成为一台最简单的直流电动机,如图 1-2 所示。

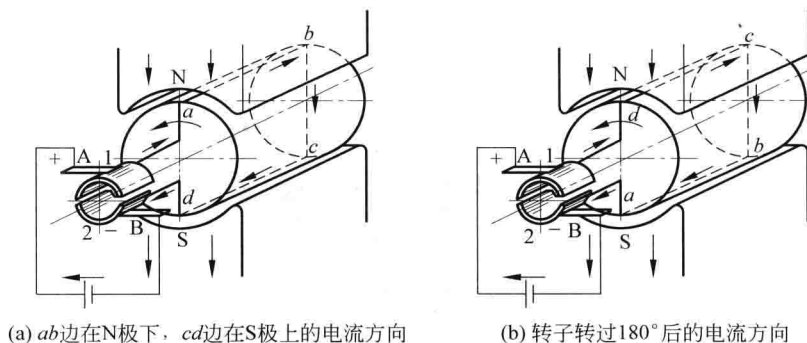


图 1-2 直流电动机的模型

在图 1-2(a)中,当 ab 边在 N 极下, cd 边在 S 极上,电流从电刷 A、换向片 1、线圈边 ab 和 cd ,最后经换向片 2 及电刷 B 回到电源的负极时,线圈中的电流方向为 $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d$ 。根据左手定则可知,此瞬间导体 ab 所受电磁力向左,导体 cd 所受电磁力向右,这样就在线圈 $abcd$ 上产生一个转矩,称为电磁转矩,该转矩的方向为逆时针方向,使整个电枢逆时针方向旋转。

当电枢转过 180° 之后,如图 1-2(b)所示, cd 转到 N 极下, ab 转到 S 极上,此时电流流经的途径是通过电刷 A、换向片 2、线圈边 dc 和 ba ,最后经换向片 1 及电刷 B 回到电源的负极,线圈中的电流方向为 $d \rightarrow c \rightarrow b \rightarrow a$ 。因此线圈中的电流改变了方向,但用左手定则可判断,这时电磁转矩的方向仍是逆时针方向。

从上述分析可知,虽然直流电动机电枢绕组线圈中流通的电流为交变的,但 N 极和 S 极下所受力的方向并未发生变化,产生的电磁转矩却是单方向的,因此电枢的转动方向仍保持不变。改变线圈中电流的方向是由换向器和电刷来完成的。

在实际直流电动机中,有许多线圈牢固地嵌在电枢铁芯槽中。当线圈(导体)中通过电流时,处在磁场中的导体因受到电磁力而运动,即带动整个电枢旋转,通过转轴便可带动工作机械。这就是直流电动机的基本工作原理。

综上所述,一台直流电机既可以作为电动机运行,又可以作为发电机运行,这主要取决于不同的外部条件。若将直流电源加在电刷两端,电机就能将直流电能转换为机械能,

作电动机运行；若用原动机拖动电枢旋转，输入机械能，电机就将机械能转换为直流电能，作发电机运行。这种运行状态的可逆性称为直流电机的可逆运行原理。实际的直流发电机和直流电动机，因为设计制造时考虑了长期作为发电机或电动机运行性能方面的不同要求，在结构上要有区别。

1.2 课题 直流电机的基本结构与铭牌

1.2.1 直流电机的基本结构

直流电机在结构上主要有可旋转部分和静止部分。可旋转部分称为转子或电枢，静止部分称为定子。定子与转子之间有间隙，称为气隙。定子部分包括主磁极、换向极、电刷装置、机座、端盖和轴承等部件；转子部分包括电枢铁芯、电枢绕组、换向器、转轴、风扇和支架等部件。直流电机的结构如图 1-3 所示。

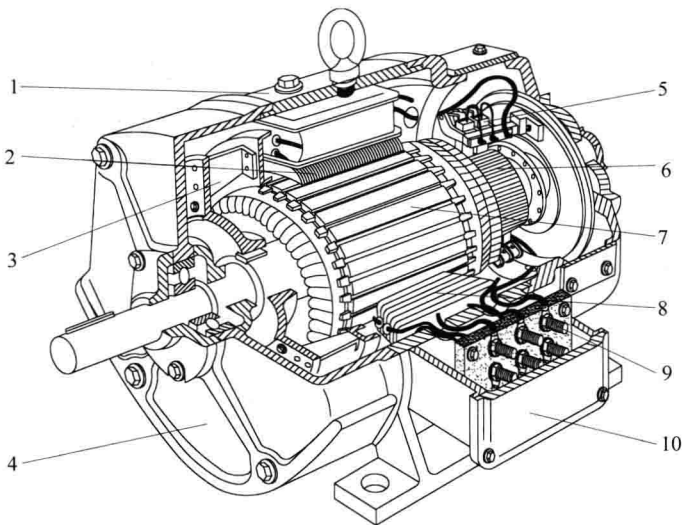


图 1-3 直流电机的结构图

1—风扇；2—机座；3—电枢；4—主磁极；5—刷架；6—换向器；
7—接线板；8—出线盒；9—换向极；10—端盖

1. 定子部分

定子的作用是产生磁场和作为电机的机械支架。

(1) 主磁极。主磁极的作用是产生一个恒定的主磁场。主磁极由铁芯和励磁绕组两部分组成，整个磁极用螺钉固定在机座上，如图 1-4 所示。主磁极铁芯通常采用 1.0~1.5mm 厚的低碳钢板冲片叠压而成，包括极身和极靴（或极掌）两部分。极靴做成圆弧形，以使磁极下气隙磁通较均匀。极身外边套着励磁绕组，励磁绕组用铜线（或铝线）绕制而成。当绕组中通入直流电流时，铁芯就成为一个固定极性的磁极。主磁极可为一对、两对或更多对数。为了保证各极励磁电流严格相等，励磁绕组相互间一般采用串联，而且在连接时要保证 N、S 极间隔排列。

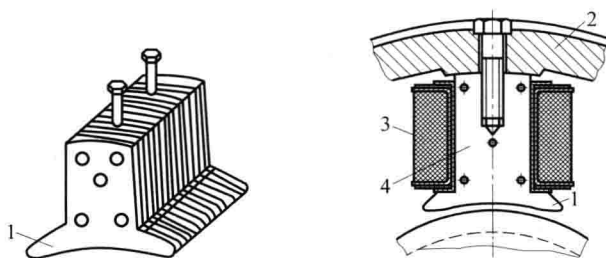


图 1-4 直流电机的主磁极

1—极掌；2—机座；3—励磁绕组；4—主磁极铁芯

(2) 换向极。换向极由铁芯和套在铁芯上的绕组构成,如图 1-5 所示。其铁芯多用整块钢板加工而成,大容量电机也采用薄钢片叠压而成。换向极绕组的匝数较少,并与电枢绕组串联,一般采用较粗的矩形截面导线绕制而成。换向极通常安装在两个相邻主磁极的中心线处,所以又称间极,其极数一般与主磁极极数相等(小功率直流电机可不装设换向极,或只装设主磁极极数一半的换向极),也用螺钉固定在机座上。

(3) 电刷装置。电刷与换向器配合可以把转动的电枢绕组和外电路连接,并把电枢绕组中的交流量转变成电刷端的直流量。电刷装置主要由电刷、刷握、刷杆、刷杆座及铜丝辫等零件构成,如图 1-6 所示。电刷一般由导电耐磨的石墨材料制成,放在刷握内,用弹簧压紧在换向器表面上,刷握固定在刷杆上,刷杆固定在圆环形的刷杆座上,借铜丝辫将电流从电刷引入或引出。在换向器表面上,各电刷之间的距离应该是相等的。刷杆座装在端盖或轴承内盖上,是可以转动的,以便于调整电刷在换向器表面上的位置。电刷组的个数,一般等于主磁极的个数。

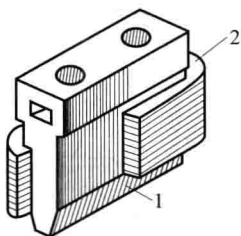


图 1-5 直流电机的换向磁极

1—换向极铁芯；2—换向极绕组

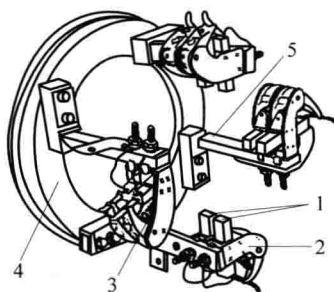


图 1-6 直流电机的电刷装置

1—电刷；2—刷握；3—弹簧压板；
4—刷杆座；5—刷杆

(4) 机座。机座既可以固定主磁极、换向极、端盖等,又是电机磁路的一部分(称为磁轭)。机座一般用铸钢或厚钢板焊接而成,它具有良好的导磁性能和机械强度。

在机座上还装有接线盒,电枢绕组和励磁绕组通过接线盒与外部连接。普通直流电机电枢回路的电阻比励磁回路的电阻小得多。

(5) 端盖。机座的两边各有一个端盖,它的中心部分装有轴承,用来支持转子,电刷架也固定在端盖上。

2. 转子部分

转子是直流电机的重要部件。由于在转子绕组中产生感应电动势和电磁转矩,因此转子是机械能与电能相互转换的枢纽,也称其为电枢。

(1) 电枢铁芯。电枢铁芯是电机磁路的一部分,其外圆周开槽,用来嵌放电枢绕组。为了减少涡流损失,电枢铁芯一般用 0.5mm 厚、两边涂有绝缘漆的硅钢片冲片叠压而成,电枢铁芯固定在转轴或电枢支架上,与轴一起旋转。电枢铁芯冲片及电枢的形状如图 1-7 所示。当铁芯较长时,为加强冷却,可把电枢铁芯沿轴向分成数段,段与段之间留有通风孔。

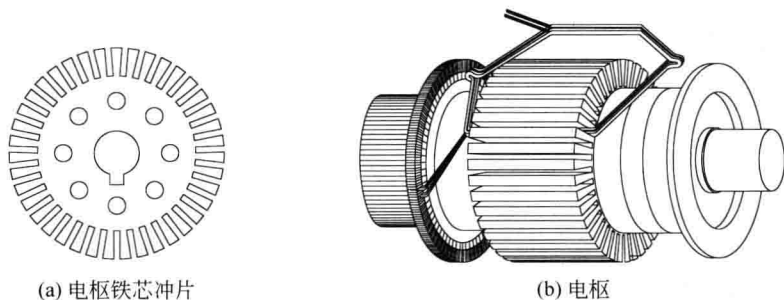


图 1-7 电枢铁芯冲片及电枢

(2) 电枢绕组。电枢绕组是直流电机的主要组成部分,其作用是产生感应电动势和电磁转矩,使电机实现机电能量的转换。

电枢绕组通常是用绝缘导线绕成的多个线圈(或称元件)按一定规律连接而成。组成线圈的各个导体嵌放在电枢铁芯槽内,而线圈的端部固定连接在对应的换向片上。

(3) 换向器。换向器在电动机中的作用是将电刷两端的直流电流转换为绕组内的交流电流;在发电机中,它的作用是将绕组内的交变电动势转换为电刷两端的直流电动势。换向器是由多个紧压在一起的梯形铜片构成的一个圆筒,片与片之间用一层薄云母绝缘,电枢绕组的每个线圈两端分别接至两个换向片上,如图 1-8 所示。换向器是直流电动机的重要部件,它通过与电刷的摩擦接触,将加于两个电刷之间的直流电流变换成为绕组内部的交流电流,以便形成固定方向的电磁转矩。

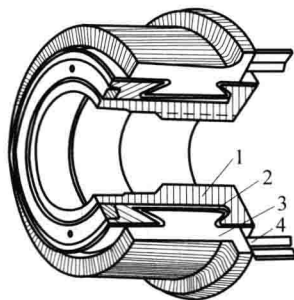


图 1-8 换向器

1—V 形套筒; 2—云母;
3—换向片; 4—连接片

(4) 风扇、转轴和支架。风扇为自冷式电机中冷却气流的主要来源,可防止电机温升过高。转轴是电枢的主要支撑件,它传送转矩、承受重量及各种电磁力,应有足够的强度、刚度。支架是大中型电机电枢组件的支撑件,有利于通风和减轻重量。

1.2.2 直流电机的铭牌及额定值

铭牌钉在电机机座的外表面上,其上标明电机主要额定数据及电机产品数据,供用户参考。铭牌数据主要包括电机型号、额定功率、额定电压、额定电流、额定转速和额定励磁

电流及励磁方式等,此外还有电机的出厂数据,如出厂编号、出厂日期等。

电机制造厂按一定标准及技术要求,规定了电机高效长期稳定运行的经济技术参数,称为电机的额定值。额定值是使用和选择电机的依据,因此使用前一定要详细了解这些铭牌数据。表1-1所示为某台直流电动机的铭牌。

表 1-1 直流电动机的铭牌举例

| | | | |
|--------|--------------------|------|------------|
| 型 号 | Z ₃ -95 | 产品编号 | 7001 |
| 功 率 | 30kW | 励磁方式 | 他励 |
| 电 压 | 220V | 励磁电压 | 220V |
| 电 流 | 160.5A | 工作方式 | 连续 |
| 转 速 | 750r/min | 绝缘等级 | 定子 B, 转子 B |
| 标准编号 | JB 1104—1968 | 重 量 | 685kg |
| ×××电机厂 | | 出厂日期 | 年 月 |

1. 型号

型号表明该电动机所属的系列及主要特点,采用大写汉语拼音字母和阿拉伯数字表示,通常由三部分构成:第一部分为产品代号;第二部分为规格代号;第三部分为特殊环境代号。例如型号 Z₃-95 中的“Z”表示普通用途直流电机;脚注“3”表示第三次改型设计;第一个数字“9”是机座直径尺寸序号;第二个数字“5”是铁芯长度序号。

2. 额定值

(1) 额定电压 U_N 。额定电压是指在额定运行条件下,电机出线端的电压。对电动机而言,是指输入额定电压;对发电机而言,是指输出额定电压(V)。

(2) 额定电流 I_N 。额定电流是指电机在额定电压条件下,运行于额定功率时的电流。对电动机而言,是指带额定负载时的输入电流;对发电机而言,是指带额定负载时的输出电流(A)。

(3) 额定功率 P_N 。额定功率是指在额定电压条件下电机所能供给的功率。对于电动机而言,额定功率是指电动机轴上输出的额定机械功率

$$P_N = U_N I_N \eta_N \quad (1-3)$$

式中, η_N 为额定效率,是电机在额定条件下输出功率与输入功率的百分比。

对发电机而言,额定功率是指向负载端输出的电功率(W 或 kW)。

$$P_N = U_N I_N \quad (1-4)$$

(4) 额定转速 n_N 。额定转速是指电机在额定电压、额定电流的条件下,且电机运行于额定功率时电机的转速(r/min)。

此外,铭牌上还标有励磁方式、工作方式、绝缘等级、重量等参数。还有一些额定值,如额定效率 η_N 、额定转矩 T_N 、额定温升 τ_N ,一般不标注在铭牌上。

电机在实际运行时,不可能总工作在额定状态,其运行情况由负载大小来决定。如果负载电流等于额定电流,称为满载运行;负载电流大于额定电流,称为过载运行;负载电流小于额定电流,称为欠载运行。长期过载运行将使电机因过热而缩短寿命,长期欠载运行