



教育部高职高专规划教材

电机及电力拖动

● 王艳秋 主编
李尔学 主审



化学工业出版社
教材出版中心

教育部高职高专规划教材

电机及电力拖动

王艳秋 主编

李尔学 主审

化学工业出版社

教材出版中心

·北京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

电机及电力拖动/王艳秋主编. —北京: 化学工业出版社, 2001.8

教育部高职高专规划教材

ISBN 7-5025-3326-5

I. 电… II. 王… III. ①电机-高等学校: 技术学校-教材 ②电力传动-高等学校: 技术学校-教材 IV. TM3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 046535 号

教育部高职高专规划教材:

电机及电力拖动

王艳秋 主编

李尔学 主审

责任编辑: 王丽娜 张建蕊

责任校对: 蒋宇

封面设计: 郑小红

*

化学工业出版社 出版发行

教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

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

*

新华书店北京发行所经销

北京市管庄永胜印刷厂印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 20 字数 491 千字

2001 年 8 月第 1 版 2003 年 5 月北京第 2 次印刷

ISBN 7-5025-3326-5/G·879

定 价: 28.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

出版说明

高职高专教材建设工作是整个高职高专教学工作中的重要组成部分。改革开放以来，在各级教育行政部门、有关学校和出版社的共同努力下，各地先后出版了一些高职高专教育教材。但从整体上看，具有高职高专教育特色的教材极其匮乏，不少院校尚在借用本科或中专教材，教材建设落后于高职高专教育的发展需要。为此，1999年教育部组织制定了《高职高专教育专门课课程基本要求》（以下简称《基本要求》）和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》（以下简称《培养规格》），通过推荐、招标及遴选，组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师，成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍，并在有关出版社的积极配合下，推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种，用5年左右时间完成。这500种教材中，专门课（专业基础课、专业理论与专业能力课）教材将占很高的比例。专门课教材建设在很大程度上影响着高职高专教学质量。专门课教材是按照《培养规格》的要求，在对有关专业的人才培养模式和教学内容体系改革进行充分调查研究和论证的基础上，充分吸取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的。这套教材充分体现了高等职业教育的应用特性和能力本位，调整了新世纪人才必须具备的文化基础和技术基础，突出了人才的创新素质和创新能力的培养。在有关课程开发委员会组织下，专门课教材建设得到了举办高职高专教育的广大院校的积极支持。我们计划先用2~3年的时间，在继承原有高职高专和成人高等学校教材建设成果的基础上，充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验，解决新形势下高职高专教育教材的有无问题；然后再用2~3年的时间，在《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上，通过研究、改革和建设，推出一大批教育部高职高专规划教材，从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

本套教材适用于各级各类举办高职高专教育的院校使用。希望各用书学校积极选用这批经过系统论证、严格审查、正式出版的规划教材，并组织本校教师以对事业的责任感对教材教学开展研究工作，不断推动规划教材建设工作的发展与提高。

教育部高等教育司

2001年4月3日

前 言

根据教育部《关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》精神，为满足高职高专电类相关专业教学基本建设的需要，在教育部高教司和教育部高职教育教学指导委员会的关心和指导下，全国石油和化工高职教育教学指导委员会广泛开展调研，召开多次高职高专电类教材研讨会，组织编写了20本面向21世纪的高职高专电类专业系列教材，供工业电气化技术、工业企业电气化、工业电气自动化、应用电子技术、机电应用技术及工业仪表自动化、计算机应用技术等相关专业使用。

本套教材立足高职高专教育人才培养目标，遵循主动适应社会发展需要、突出应用性和针对性、加强实践能力培养的原则，组织编写了专业基础课程的理论教材和与之配套的实训教材。实训教材集实验、设计与实习、技能训练与应用能力培养为一体，体系新颖，内容可选择性强。同时提出实训硬件的标准配置和最低配置，以方便各校选用。

由于本套教材的整体策划，从而保证了专业基础课与专业课内容的衔接，理论教材与实训教材的配套，体现了专业的系统性和完整性。力求每本教材的讲述深入浅出，将知识点与能力点紧密结合，注重培养学生的工程应用能力和解决现场实际问题的能力。

本书是将“电机学”、“电力拖动”和“微特电机”等课程内容有机结合而成的，是高等职业技术学院、高等工程专科学校、成人高等学校、职工大学的工业电气自动化、电气技术及机电一体化等电类专业学生必修的一门技术基础课教材，也可供工业企业有关工程技术人员参考。

全书共分八章，主要介绍直流电动机的基本工作原理，直流电动机的电力拖动，变压器，三相异步电动机的基本工作原理，三相异步电动机的电力拖动，同步电动机，微特电机，电动机的容量选择。

本书编写时注重体现如下特色。

1. 加强理论知识的阐述，理论知识不但够用并有储备，实践能力注重实用性。在内容的阐述上力求简明扼要，通俗易懂，深入浅出，循序渐进，富于启发性、实用性、先进性和系统性明显，理论与生产实际相结合，充分体现了高职高专教育培养岗位型、实用型、应用型人才的改革思想。

2. 由于在电力传动领域，交流调速发展很快，因此本书在电力拖动部分，加强了交流拖动的内容。

3. 编入了各种类型的交直流电机、常见的特种电机及一些新型电机。

4. 为了便于教师授课和学生学习，本书配有大量例题、思考题与习题，每章末均附有本章小结，书后还给出了部分习题的参考答案。

5. 书中符号和插图采用国家最新标准。

本书的前言、绪论及第二、五、六章由王艳秋编写；第一章由孙晋编写；第三章由王秀丽编写；第四章由严金云编写；第七、八章由张仁麒编写。全书由王艳秋统稿并担任主编。

本书由辽宁工学院李尔学教授担任主审，北京工商大学信息工程学院郭兴朴教授也参加了审稿工作，提出了许多宝贵意见，在此表示衷心感谢。在本书编写过程中还得到了辽宁工

学院梅丽凤、郭栋、姜哲的大力协助，在此一并表示衷心的感谢。

由于编者经验不足，水平有限，书中难免有不当或错误之处，恳请有关专家和广大读者批评指正。

编 者

2001年3月

常用符号表

a —— 直流绕组并联支路对数; 交流绕组并联支路数	H —— 磁场强度
B —— 磁通密度 (磁感应密度)	H_{δ} —— 气隙磁场强度
B_a —— 直流电机电枢磁动势产生的气隙磁通密度	I —— 电流
B_{av} —— 平均磁通密度	I_a —— 电枢电流
B_{δ} —— 气隙磁通密度	I_f —— 励磁电流
C —— 电容; 热容量	I_k —— 堵转电流
C_e —— 电动势常数	I_N —— 额定电流
C_T —— 电磁转矩常数	I_0 —— 空载电流
D —— 直径; 调速范围	I_1 —— 变压器一次侧电流; 异步电动机定子电流
E —— 感应电动势	I_2 —— 变压器二次侧电流; 异步电动机转子电流
E_a —— 直流电机电枢电动势; 导体电动势	i_a —— 导体电流
E_N —— 额定电动势	J —— 转动惯量
E_o —— 漏电动势	J_L —— 生产机械的转动惯量
E_1 —— 变压器一次侧电动势; 异步电机定子绕组感应电动势	J_R —— 电动机转子转动惯量
E_2 —— 变压器二次侧电动势; 异步电机转子绕组感应电动势	j —— 减速比
E_{2S} —— 异步电机转子旋转时的电动势	K —— 直流电机换向片数
E_0 —— 同步电机励磁磁场感应电动势	k —— 变压器的变比
e_L —— 自感电动势	k_e —— 异步电机定、转子电动势比
e_k —— 换向电动势	k_i —— 异步电机定、转子电流比
e_M —— 互感电动势	k_q —— 分布系数
e_r —— 电抗电动势	k_w —— 绕组系数
F —— 磁动势	k_y —— 短距系数
F_a —— 电枢磁动势	L —— 电感、自感
F_{ad} —— 直轴电枢反应磁动势	L_{σ} —— 漏电感
F_{aq} —— 交轴电枢反应磁动势	l —— 长度; 导体长度
F_m —— 单相磁动势幅值	m —— 相数; 质量; 串电阻启动级数
F_0 —— 空载磁动势	N —— 匝数; 直流电机总导体数
F_1 —— 变压器一次侧磁动势; 异步电机定子磁动势	N_f —— 励磁绕组匝数
F_2 —— 变压器二次侧磁动势; 异步电机转子磁动势	N_1 —— 变压器一次侧绕组匝数; 异步电动机定子绕组匝数
FS —— 负载持续率	N_2 —— 变压器二次侧绕组匝数; 异步电动机转子绕组匝数
f —— 频率; 力	n —— 转速
f_2 —— 异步电机转子频率	n_N —— 额定转速
G —— 重力	n_0 —— 直流电动机理想空载转速
GD^2 —— 飞轮力矩	n_1 —— 交流电机同步转速
GD_{meq}^2 —— 等效飞轮力矩	P_L —— 负载功率
f_N —— 额定频率	

- P_M —— 电磁功率
 P_m —— 异步电机总机械功率
 P_N —— 额定功率
 P_1 —— 输入功率
 P_2 —— 输出功率
 p —— 极对数; 损耗功率
 p_{Cu} —— 铜损耗
 p_{Fe} —— 铁损耗
 P_f —— 励磁损耗
 p_k —— 短路损耗
 p_m —— 机械损耗
 p_s —— 附加损耗
 p_0 —— 空载损耗
 Q —— 无功功率; 热量; 流量
 R —— 电阻; 半径
 R_a —— 电枢电阻
 R_c —— 直流电动机外串电阻
 R_L —— 负载电阻
 R_{st} —— 启动电阻
 r_m —— 变压器, 异步电动机励磁电阻
 r_k —— 变压器, 异步电动机短路电阻
 r_1 —— 变压器一次侧电阻; 异步电机定子电阻
 r_2 —— 变压器二次侧电阻; 异步电机转子电阻
 S —— 元件数; 视在功率
 s —— 转差率
 s_N —— 额定转差率
 s_m —— 临界转差率
 T —— 转矩; 电磁转矩; 时间常数
 T_H —— 电动机发热时间常数
 T_k —— 堵转转矩
 T_L —— 负载转矩
 T_M —— 机电时间常数
 T_{max} —— 最大转矩
 T_N —— 额定转矩
 T_0 —— 空载转矩
 T_1 —— 输入转矩
 T_2 —— 输出转矩
 U —— 电压
 U_c —— 控制电压
 U_f —— 励磁电压
 U_k —— 短路电压
 U_{kN} —— 额定短路电压
 U_N —— 额定电压
 U_0 —— 直流发电机空载电压
 U_1 —— 变压器一次侧电压; 异步电机定子电压
 U_2 —— 变压器二次侧电压; 异步电机转子电压
 U_{20} —— 变压器二次侧开路电压; 绕线转子异步电动机转子开路电压
 v —— 速度; 导体切割磁场的线速度
 X_a —— 同步电机电枢反应电抗
 X_{ad} —— 同步电机电枢反应直轴同步电抗
 X_{aq} —— 同步电机电枢反应交轴同步电抗
 X_c —— 同步电抗
 X_d —— 直轴同步电抗
 X_k —— 短路电抗
 X_q —— 交轴同步电抗
 X_1 —— 变压器一次侧漏电抗; 异步电机定子漏电抗
 X_2 —— 变压器二次侧漏电抗; 异步电机转子漏电抗
 X_{2s} —— 异步电机转子旋转时的漏电抗
 X_δ —— 漏电抗
 y —— 节距; 合成节距
 y_k —— 换向节距
 y_1 —— 第一节距
 y_2 —— 第二节距
 Z —— 阻抗; 槽数
 Z_k —— 短路阻抗
 Z_m —— 励磁阻抗
 Z_0 —— 空载阻抗
 Z_1 —— 变压器一次侧漏阻抗; 异步电机定子漏阻抗
 Z_2 —— 变压器二次侧漏阻抗; 异步电机转子漏阻抗
 Z_L —— 负载阻抗
 α —— 空间电角度; 槽矩角
 β —— 直流电机机械特性斜率; 短矩角; 变压器负载系数
 δ —— 气隙长度; 静差率
 η —— 效率
 θ —— 转角; 温度; 功角
 λ_M —— 过载倍数
 μ —— 磁导率
 μ_δ —— 气隙磁导率
 γ —— 谐波次数; 异步电机能耗制动时的转差率
 ρ —— 回转半径
 τ —— 极距; 温升

Φ ——磁通；主磁通

Φ_m ——变压器、异步电机主磁通幅值

Φ_δ ——漏磁通

φ ——功率因数角

Ψ ——磁链；内功率因数角

Ω ——机械角速度

Ω_1 ——同步角速度

ω ——电角速度；角频率

内 容 提 要

本书共分八章，主要介绍直流电机的基本工作原理，直流电动机的电力拖动，变压器，三相异步电动机的基本工作原理，三相异步电动机的电力拖动，同步电动机，微特电机，电动机容量的选择。

本书注重理论知识的论述，理论知识不但够用并有储备，理论与生产实际相结合。内容叙述力求简明扼要，通俗易懂，深入浅出，循序渐进，富于启发性。本书将直流电机及拖动作为铺垫，交流电机及拖动作为重点，并增加了微特电机的种类及一些新型电机。本书配有大量例题、思考题与习题，每章末均附有本章小结，书后还给出了部分习题的参考答案。书中符号和插图均采用国家最新标准。

本书可作为高职高专、成人高校、职工大学的工业电气自动化、电气技术及机电一体化等电类专业的教材，也可供工业企业有关工程技术人员参考。

目 录

绪论	1	第三节 三相异步电动机的定子绕组	118
第一章 直流电机的基本工作原理	4	第四节 三相异步电动机的定子磁动势 及磁场	122
第一节 直流电机的基本工作原理 及基本结构	4	第五节 三相异步电动机定子绕组 的电动势	130
第二节 直流电机的电枢绕组	8	第六节 三相异步电动机的空载运行	134
第三节 直流电机的磁场	13	第七节 三相异步电动机的负载运行	136
* 第四节 直流电机电枢绕组 的感应电动势与电磁转矩	17	第八节 异步电动机的等值电路	138
第五节 直流发电机	19	第九节 三相异步电动机的功率 和电磁转矩	142
第六节 直流电动机	24	第十节 三相异步电动机的工作特性	145
第七节 直流电机的换向	26	第十一节 三相异步电动机的参数测定	147
本章小结	28	本章小结	149
思考题与习题	28	思考题与习题	150
第二章 直流电机的电力拖动	30	第五章 三相异步电动机的电力拖动	152
第一节 他励直流电动机的机械特性	30	第一节 三相异步电动机的机械特性	152
第二节 生产机械的负载转矩特性	37	第二节 笼型异步电动机的启动	162
第三节 电力拖动系统的运动方程式	39	第三节 绕线转子异步电动机的启动	169
第四节 工作机构转矩和飞轮矩的折算	40	第四节 三相异步电动机的调速	174
第五节 他励直流电动机的启动和制动	47	第五节 三相异步电动机 的各种运行状态	192
第六节 他励直流电动机的调速	61	第六节 单相异步电动机	202
本章小结	69	本章小结	205
思考题与习题	70	思考题与习题	206
第三章 变压器	75	第六章 同步电动机	210
第一节 变压器的基本工作原理、 用途及结构	75	第一节 同步电机的基本结构 与工作原理	210
第二节 变压器的空载运行	79	第二节 同步电动机的相量图	212
第三节 变压器的负载运行	83	第三节 同步电动机的功率、转矩和 功(矩)角特性	215
第四节 变压器参数测定	88	第四节 同步补偿机	217
第五节 变压器的运行特性	91	第五节 同步电动机的启动	218
第六节 三相变压器	93	第六节 微型同步电动机	222
第七节 特殊变压器	102	本章小结	226
本章小结	109	思考题与习题	227
思考题与习题	110	第七章 微特电机	228
第四章 三相异步电动机的 基本工作原理	113	第一节 概述	228
第一节 异步电动机的主要用途与分类	113	第二节 测速发电机	232
第二节 三相异步电动机的基本工作 原理及结构	114		

第三节	伺服电动机	238	第四节	连续工作制电动机容量 的选择	286
第四节	步进电动机	245	第五节	短时及断续周期工作制电动机 容量的选择	295
第五节	无刷电动机	254	第六节	鼠笼式电动机允许小时 合闸次数	299
第六节	直线电机	263	本章小结		301
第七节	盘式电动机	273	思考题与习题		302
本章小结		276	部分习题参考答案		305
思考题与习题		277	参考文献		307
第八章 电动机容量的选择		278			
第一节	电动机选择的一般概念	278			
第二节	电动机的发热与冷却	281			
第三节	电动机的工作方式分类	284			

绪 论

一、电机及电力拖动的发展历史

1802年奥斯特发现了电流在磁场受力的物理现象，随后由安培对这种现象进行了科学的总结，发现了磁路定律及全电流定律，在此基础上人们在实验室里制成了直流电动机的模型。1834年亚哥比制成了第一台直流电动机，人们用亚哥比直流电动机拖动电动轮船，轮船在涅瓦河上运载11人，以4km/h的速度顺流和逆流而行，获得了成功，这是人类制成的第一台电动机，并且第一次使用电力拖动。当时还没有可以实用的直流电源，为电动机供电的是化学电池。

1831年法拉第发现了电磁感应定律，为生产制造各种发电机提供了依据。随后制成了直流发电机，替换了价格昂贵的电池，为直流电动机的广泛应用提供了电源。可见在电机与电力拖动发展史上首先得到应用的是直流电机。直到19世纪70年代直流电一直占据统治地位。随着电动机应用的扩大，用电量不断增加，而当时直流电压无法提高，所以在远距离输电方面遇到了困难，人们开始认识到交流电的优点。

1871年凡麦而准发明了交流发电机。1878年亚布洛契可夫用交流发电机和变压器为他发明的照明装置供电。1885年意大利物理学家费拉利斯发现了两相电流可以产生旋转磁场，一年以后费拉利斯和在美国的垣斯拉几乎同时制成了两相感应电动机的模型。1888年多里沃多勃罗沃尔斯提出了三相制，并制成了三相感应电动机，奠定了三相电路和三相电机的基础。此后三相交流电迅速地发展起来，到20世纪初，各种三相交流电动机均已设计制造成功。

进入20世纪以后，人们在降低电机成本、减小电机尺寸、提高电机性能、选用新型电磁材料、改进电机生产工艺等方面进行了大量工作。所以现代电机与本世纪初的电机已有很大差别。

中国的电机制造工业是在解放以后才发展起来的，解放前由于中国长期处于半封建半殖民地的地位，工业基础十分薄弱，仅有一家电机制造厂，设备简陋，仅能制造200kW以下的直流发电机、135kW以下的直流电动机、2000kV·A的变压器。解放后中国的电机制造业得到了迅速的发展。20世纪50年代末生产出5万kW气轮发电机、7.25万kW的水轮发电机和12万kV·A的变压器；1958年浙江大学与上海电机厂等合作研制出了世界上第一台1.2万kW双水内冷汽轮发电机。70年代中国已经能生产出单机容量为30万kW的汽轮发电机和30.8万kW的水轮发电机。到现在中国已能制造出单机容量为60万kW的发电机，变压器的单机容量也达55万kV·A，电压等级为330~500kV。目前国际上已经制出了115~123万kW的汽轮发电机、70万kW水轮发电机。与这些国际先进水平相比，中国的电机制造工业尚有一定的差距。

纵观电力拖动的发展过程，交、直流两种拖动方式并存于各个生产领域。各个时期科学

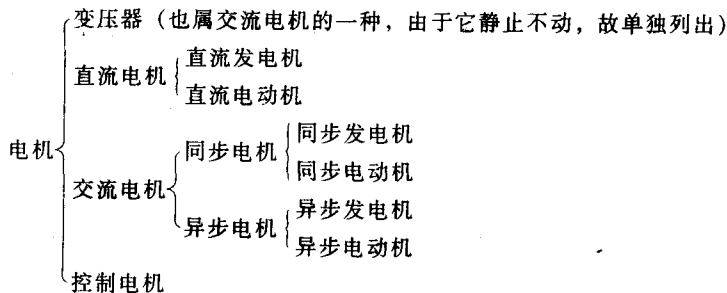
技术的发展水平不同,所处的地位也有所不同,随着工业技术的发展,在相互竞争、相互促进中发生着深刻的变革。在交流电出现以前,直流电力拖动是惟一的一种电力拖动方式。19世纪末期,由于研制出了经济实用的交流电动机,使交流电力拖动在工业中得到了广泛的应用。但是随着生产技术的发展,特别是精密机械加工与冶金工业生产过程的进步,对电力拖动在启动、制动、正反转以及调速精度与范围等静态特性和动态响应方面提出了新的、更高的要求。由于交流电力拖动比直流电力拖动在技术上难以实现这些要求,所以20世纪以来,在可逆、可调速与高精度的拖动领域中,在相当长一个时期内几乎都是采用直流电力拖动,而交流电力拖动则主要用于恒转速系统。

虽然直流电动机具有调速性能优异这一突出优点,但是由于它具有电刷与换向器,使得它的故障率较高,电动机的使用环境受到限制(如不能在有易燃易爆气体及尘埃多的场合使用),其电压等级、额定转速、单机容量的发展也受到限制。所以在20世纪60年代以后,随着电力电子技术的发展,交流调速的不断进步和完善,在调速性能方面由落后状态直到可与直流调速媲美。今天,交流调速在很多场合已取代直流调速。在不远的将来,交流调速将完全取代直流调速,可以说这是一种必然的发展趋势。

二、电机及电力拖动系统分类

电机是利用电磁感应原理工作的机械,它应用广泛,种类繁多,性能各异,分类方法也很多。主要有两种常用的分类方法:一种分类方法是按功能用途分,可分为发电机、电动机、变压器和控制电机四大类;另一种分类方法是按照电机的结构或转速分类,可分为变压器和旋转电机。根据电源的不同,旋转电机又分为直流电机和交流电机两大类。交流电机又分为同步电机和异步电机两类。

综合以上两种分类方法,可归纳如下:



在现代工业生产过程中,为了实现各种生产工艺过程,需要使用各种各样的生产机械。拖动各种生产机械运转,可以采用气动、液压传动和电力拖动方式。由于电力拖动具有控制简单,调节性能好、损耗小、经济、能实现远距离控制和自动控制等一系列优点,因此大多数生产机械均采用电力拖动。按照电动机的种类不同,电力拖动系统分为直流电力拖动系统和交流电力拖动系统两大类。

三、本课程的性质、任务及学习方法

本课是工业电气自动化、电气技术、机电一体化等专业的一门专业基础课。本课程的任务是使学生掌握变压器、交直流电机及控制电机的基本结构和工作原理,以及电力拖动系统的运行性能、分析计算、电动机容量的选择,为学习后续课程和今后的工作准备必要的基础知识,同时也培养学生在电机及电力拖动方面分析和解决问题的能力。

本课程的内容有直流电机的基本工作原理、直流电动机的电力拖动、变压器、三相异步电机的基本工作原理、三相异步电动机的电力拖动、同步电机、微特电机和电动机容量的选择等。

电机及电力拖动是一门理论性很强的技术基础课，又具有专业课的性质，涉及的基础理论和实际知识面广，是电学、磁学、动力学、热力学等学科知识的综合。在掌握基本理论的同时，还要注意学生的能力培养。

在完成理论教学的同时，必须做一些实验。通过实验，对交直流电动机工作特性及机械特性的性质、基本原理和理论计算加以验证。学会测定各种电机（包括微特电机及变压器）的工作特性、电力拖动的机械特性及电机参数的方法，提高实验技能和熟练程度。

通常需要做以下几个实验。

- (1) 他励直流电动机工作特性的测定；
- (2) 他励直流电动机在各种运转状态下机械特性的测定；
- (3) 电动机参数的测定；
- (4) 单相变压器的空载、短路和极性试验；
- (5) 三相变压器极性和绕组联接组的测定；
- (6) 三相异步电动机参数及工作特性的测定；
- (7) 绕线转子三相异步电动机在各种运转状态下机械特性的测定；
- (8) 同步电动机的启动和功率因数的调节实验；
- (9) 交、直流伺服电动机工作特性的测定；
- (10) 交、直流测速发电机在不同负载下的电压转速特性的测定。

第一章

直流电机的基本工作原理

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，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。

第一节 直流电机的基本工作原理及基本结构

一、直流电机的用途

直流电动机和交流电动机相比，它的主要特点是调速范围广，调速的平滑性、经济性好；其次是它的启动转矩较大。这种特点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、电动车、大型车床和大型起重机等生产机械，大都是直流电动机拖动。

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，生产成本高；二是直流电机在运行时由于电刷与换向器之间易产生火花，因而运行可靠性较差，维护比较困难。所以在一些领域中已被交流调速系统所取代。但是直流电动机的应用目前仍占有较大的比重。

二、直流电机的基本工作原理

图 1-1 所示的直流电机模型，可说明直流电机的基本工作原理。两个固定的永久磁铁作为一

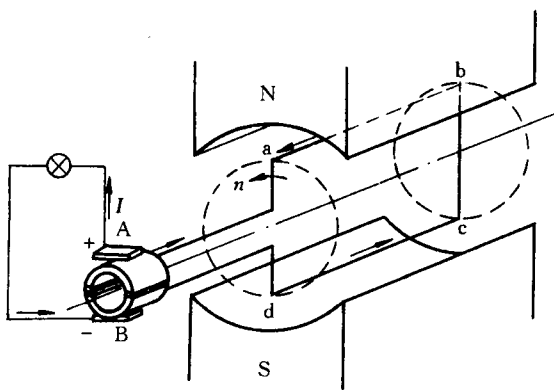


图 1-1 直流发电机的工作原理

对磁极，一个是 N 极，一个是 S 极，在两个磁极之间有一个线圈，线圈由导体 ab 和 cd 构成，线圈的首末端分别连接到两片彼此绝缘的圆弧形铜片（称为换向片）上。换向片可与线圈一起旋转。为了把线圈电路与外电路接通，换向片上放置了在空间固定不动的电刷 A 和 B。当线圈转动时，电刷 A 只能与转到 N 极下的换向片相接触，而电刷 B 则只能与转到 S 极下的换向片相接触。

直流发电机是把机械能转变成直流电能的装置。用外力使线圈按逆时针方向旋

转，转速为 n (r/min)。若导体的有效长度为 l ，线速度为 v ，导体所在位置处的磁通密度为 B_x ，根据电磁感应定律，则每根导体的感应电动势为 $e = B_x lv$ ，其方向可用右手定则决定。在图 1-1 所示瞬间，ab 导体处于 N 极下，其电动势方向由 $b \rightarrow a$ ；而导体 cd 处于 S 极下，电动势方向由 $d \rightarrow c$ ，整个线圈的电动势为 $2e$ ，方向由 $d \rightarrow c \rightarrow b \rightarrow a$ 。如果线圈转过 180° ，则 ab 导体和 cd 导体的电动势方向均发生改变，因此线圈电动势是交变电动势。由于电刷 A 只与处于 N 极下的导体相接触，当 ab 导体在 N 极下时，电动势方向为 $b \rightarrow a \rightarrow A$ ，电刷 A 的极性为“+”；线圈转过 180° ，即 cd 导体转到 N 极下时，电动势方向为 $c \rightarrow d \rightarrow A$ ，电刷 A 的极性仍为“+”，所以电刷 A 的极性永远为“+”。同理电刷 B 的极性永远为“-”。故电刷 A、B 间的电动势是直流电动势。实际的直流发电机，通常由多个线圈按一定规律连接构成电枢绕组。

直流电动机是把直流电能转变成机械能的装置。在图 1-1 中，用一直流电源替代负载，可说明直流电动机的基本工作原理。由直流电源经电刷 A、B 引入直流电流，使电流从电刷 A 流入，从电刷 B 流出。由于电流总是经 N 极下的导体流进去，S 极下的导体流出来，由电磁力定律可知（电磁力的方向由左手定则决定），ab、cd 导体在电磁力作用下所受到的电磁转矩始终为逆时针方向，因此带动轴上的机械负载也始终按逆时针方向旋转。由此可见，虽然直流电动机电枢线圈里的电流方向是交变的，但产生的电磁转矩却是单方向的。

三、直流电机的基本结构

直流电机由定子（固定不动）与转子（旋转）两大部分组成，定子与转子之间有空隙，称为气隙。定子部分包括机座、主磁极、换向极、端盖、电刷等装置；转子部分包括电枢铁心、电枢绕组、换向器、转轴、风扇等部件。

下面介绍直流电机主要部件的作用与基本结构见图 1-2。

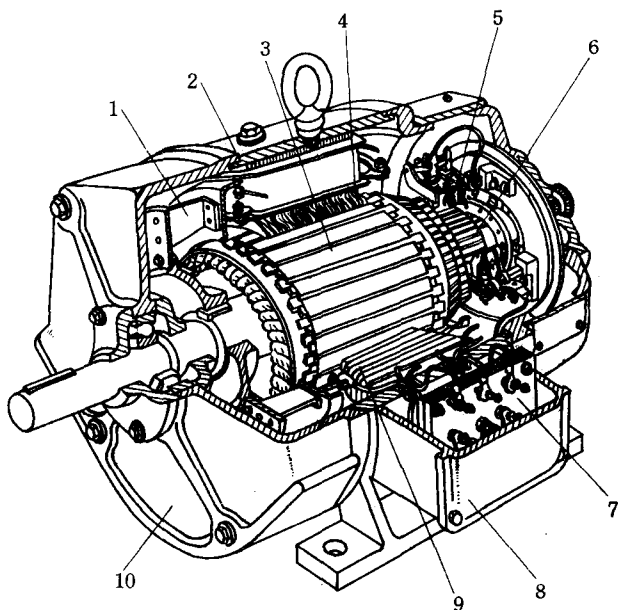


图 1-2 直流电机的结构图

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