

全国高职高专教育电子电气类专业规划教材

电机与电气 控制技术 (第2版)

李益民 刘小春 主 编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

全国高职高专教育电子电气类专业规划教材

电机与电气控制技术

Dianji yu Dianqi Kongzhi Jishu

(第2版)

李益民 刘小春 主编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书是根据编者多年从事高职高专教学的实践及教学改革的成果和课程基本要求,将“电机学”、“电力拖动技术”、“工厂电气控制技术”等三门课程有机地结合编写而成的。

全书共分九章,主要内容有直流电机、变压器、异步电动机、特种电机、常用低压电器、继电-接触器控制电路基本环节、常用机床的电气控制、桥式起重机的电气控制和交流电梯的电气控制等。

本书可作为高等职业院校、高等专科学校、成人教育、民办高校及本科院校举办的二级职业技术学院电气自动化技术、供用电技术、城市轨道交通车辆、机电一体化专业及相关专业的教学用书,也适用于五年制高职、中职相关专业,并可作为社会从业人士的业务参考书及培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

电机与电气控制技术 / 李益民, 刘小春主编. --2
版. --北京: 高等教育出版社, 2012. 3
ISBN 978-7-04-034329-8

I. ①电… II. ①李…②刘… III. ①电机学-高等
职业教育-教材②电气控制-高等职业教育-教材 IV.
①TM3②TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 010253 号

策划编辑	孙 薇	责任编辑	孙 薇	封面设计	杨立新	版式设计	马敬茹
插图绘制	尹 莉	责任校对	杨凤玲	责任印制	韩 刚		

出版发行	高等教育出版社	网 址	http://www.hep.edu.cn
社 址	北京市西城区德外大街 4 号		http://www.hep.com.cn
邮政编码	100120	网上订购	http://www.landraco.com
印 刷	天津新华二印刷有限公司		http://www.landraco.com.cn
开 本	787mm × 1092mm 1/16		
印 张	22	版 次	2006 年 4 月第 1 版
字 数	530 千字		2012 年 3 月第 2 版
购书热线	010-58581118	印 次	2012 年 3 月第 1 次印刷
咨询电话	400-810-0598	定 价	34.30 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 34329-00

前 言

本书是根据电气自动化技术专业“电机与电气控制技术”课程教学大纲要求编写而成的,是高等职业教育电气类及以电为主的机电一体化专业的教材。本书第2版是我们多年从事高职高专教学的实践经验及教学改革的成果,同时根据高职高专课程基本要求,并结合我国高等职业教育的现状和发展趋势,依据高等职业教育“淡化理论,够用为度,培养技能,重在应用”的原则编写而成。

本书将“电机学”、“电力拖动技术”和“工厂电气控制技术”课程有机结合在一起。全书共分九章,主要内容有直流电机、变压器、异步电动机、特种电机、常用低压电器、继电-接触器控制电路基本环节、常用机床的电气控制、桥式起重机的电气控制和交流电梯的电气控制等。本书教学内容具有针对性和可选择性,便于不同专业选修。在本书编写过程中,按照专业教学的要求,在内容的选择 and 问题的阐述方面作了一些新的探索。在内容上兼顾了当前科学技术的发展和我国的实际情况,同时也考虑了后续课程要求,以更好地为专业培养目标服务,在问题的阐述方面则力求做到叙述简明、概念清晰、突出重点,侧重于基本原则和基本概念的阐述,并强调基本理论的实际应用。教材中还注重编入一些工程最新技术,力求取材新颖。

本书由李益民编写绪论和第一章、第三章第十节、第四章第三节(四)、第五章和第七章第一节,刘小春编写第六章、第七章第二至第五节和附录E,丁洪芬编写附录A、B、C部分,武军编写第三章第一至第九节,林辉编写第四章其他部分,华满香编写第二章、第八章,张爱民编写第九章第一节和附录D、F部分,张丽娜编写第九章第二至第四节,陈静编写第九章第五、六节。全书由李益民、刘小春担任主编,由李益民统稿,由北京工商大学郭兴朴教授审稿。

感谢主审在审阅过程中提出许多宝贵的修改意见和建议。本书第1版经过几轮使用,受到广大读者欢迎,但也发现了一些缺点和错误,受高等教育出版社委托进行修订,编者利用此次修订机会对之前应用过程中所发现的缺点和错误进行修改,对直流电机、变压器和异步电动机有关章节进行了适当简化,并增加了交流电梯的电气控制、交流电动机调速控制技术和常用低压电器的选用、拆卸、装配和调试等内容。在本书修订过程中,得到了各方面的大力支持和帮助,在此表示诚挚的感谢。本书在编写和修订过程中还参考了大量文献资料,虽未注明它们的出处,在此一并感谢。

由于编写水平有限,书中缺点在所难免,殷切希望广大读者批评指正。

编 者

2012年1月

主要符号表

a	直流电机电枢绕组并联支路对数;交流绕组并联支路数
a_e	有效信号系数
B	磁通密度
B_a	电枢磁通密度
B_{av}	平均磁通密度
B_0	空载磁通密度
B_δ	气隙磁通密度
C_e	电动势常数
C_T	转矩常数
D_a	直流电机电枢铁心外径
E	感应电动势
E_a	电枢电动势
E_{ad}	直轴电枢反应电动势
E_{aq}	交轴电枢反应电动势
E_0	空载电动势
E_1	变压器一次电动势;交流电机定子绕组感应电动势
E_2	变压器二次电动势;异步电动机转子不动时的感应电动势
E_{2s}	异步电动机转子旋转时的电动势
E_ν	ν 次谐波电动势
E_σ	定子漏磁通电动势
E_δ	气隙电动势
E_p	每相电动势
E_Q	虚构电动势
$E_{l\sigma}$	变压器一次漏电动势
e	电动势瞬时值
e_L	直流电机换向元件中的自感电动势
e_M	直流电机换向元件中的互感电动势
e_r	直流电机换向元件中的电抗电动势
e_a	直流电机换向元件中的电枢反应电动势
F	电机磁动势;力
F_a	直流电机电枢磁动势
F_{ad}	直轴电枢反应磁动势

F_{aq} ——交轴电枢反应磁动势
 F_f ——励磁磁动势
 F_δ ——气隙磁动势
 f ——频率;磁动势瞬时值
 f_N ——额定频率
 f_1 ——异步电机定子电路频率
 f_2 ——异步电机转子电路频率
 f_ν —— ν 次谐波频率
 GD^2 ——飞轮矩
 H ——磁场强度
 I ——电流
 I_a ——电枢电流
 I_f ——电机励磁电流
 I_{fN} ——额定励磁电流
 I_s ——短路电流
 I_N ——额定电流
 I_0 ——空载电流
 I_{os} ——铁损耗电流
 I_{or} ——励磁电流(变压器空载电流励磁分量)
 I_1 ——变压器一次电流;交流电机定子电流
 I_2 ——变压器二次电流;异步电机转子电流
 I_{1L} ——定子电流或一次电流的负载分量
 I_{st} ——起动电流
 i_a ——绕组支路电流
 J ——转动惯量
 K ——直流电机换向片数;系数
 k ——变压器的变比
 k_a ——自耦变压器的变比
 k_e ——异步电机电动势变比
 k_i ——异步电机电流变比
 k_I ——起动电流倍数
 k_{q1} ——交流绕组基波分布系数; $k_{q\nu}$ ——交流绕组谐波分布系数
 k_{st} ——异步电动机起动转矩倍数
 k_{w1} ——交流绕组基波绕组系数; $k_{w\nu}$ ——交流绕组谐波绕组系数
 k_{y1} ——交流绕组基波短距系数; $k_{y\nu}$ ——交流绕组谐波短距系数
 k_μ ——饱和系数
 L ——自感系数
 L_r ——换向元件等效合成漏电感

l ——有效导体的长度
 M ——互感系数
 m ——相数;直流电动机起动级数
 N ——直流电机电枢绕组总导体数
 N_1 ——变压器一次匝数;异步电机定子绕组每相串联匝数
 N_2 ——变压器二次匝数;异步电机转子绕组每相串联匝数
 n ——转速
 n_0 ——直流电动机理想空载转速
 n_N ——额定转速
 n_1 ——同步转速
 n_0 ——直流电动机理想空载转速
 P_N ——额定功率
 P_{em} ——电磁功率
 P_{MEC} ——总机械功率
 P_1 ——输入功率
 P_2 ——输出功率
 p ——极对数
 P_{ad} ——附加损耗,杂散损耗
 P_{Cu} ——铜损耗
 P_{Fe} ——铁损耗
 P_{mec} ——机械损耗,摩擦损耗
 P_f ——励磁损耗
 P_s ——短路损耗
 P_0 ——空载损耗
 Q ——无功功率
 q ——每极每相槽数
 R ——电阻
 R_a ——直流电机电枢回路电阻
 R_{cr} ——直流发电机励磁回路的临界电阻
 R_f ——励磁回路电阻
 R_L ——负载电阻
 R_m ——磁阻
 R_1 ——变压器一次绕组电阻;异步电机定子电阻
 R_2 ——变压器二次绕组电阻;异步电机转子电阻
 R_s ——变压器、异步电机的短路电阻
 R_m ——变压器、异步电机的励磁电阻
 S ——直流电机元件数;变压器视在功率
 s ——异步电动机转差率

s_m ——临界转差率
 s_N ——额定转差率
 T ——转矩;周期;时间常数
 T_{em} ——电磁转矩
 T_L ——负载转矩
 T_m ——最大电磁转矩
 T_N ——额定转矩
 T_{st} ——起动转矩
 T_0 ——空载转矩,制动转矩
 T_1 ——输入转矩,拖动转矩
 T_2 ——输出转矩
 U ——电压
 U_f ——励磁电压
 U_s ——变压器短路电压
 U_N ——额定电压
 U_1 ——变压器一次电压;交流电机定子电压
 U_2 ——变压器二次电压;异步电机转子电压
 U_{20} ——变压器二次空载电压
 u_s ——短路电压百分值
 u_{sa} ——短路电压的有功分量
 u_{sr} ——短路电压的无功分量
 v ——线速度
 X ——电抗
 X_a ——电枢反应电抗
 X_{ad} ——直轴电枢反应电抗
 X_{aq} ——交轴电枢反应电抗
 X_d ——直轴同步电抗
 X_q ——交轴同步电抗
 X_s ——短路电抗
 X_L ——负载电抗
 X_m ——励磁电抗
 X_t ——同步电抗
 X_σ ——漏电抗
 X_1 ——变压器一次漏电抗;交流电机定子漏电抗
 X_2 ——变压器二次漏电抗;异步电机转子不动时的漏电抗
 X_{2s} ——异步电动机转子转动时的漏电抗
 y ——节距;直流电机电枢绕组的合成节距
 y_k ——直流电机换向器节距

y_1 ——直流电机第一节距
 y_2 ——第二节距
 Z ——电机槽数;阻抗
 Z_s ——短路阻抗
 Z_L ——负载阻抗
 Z_m ——励磁阻抗
 Z_r ——步进电机转子齿数
 Z_1 ——变压器一次漏阻抗;异步电动机定子漏阻抗
 Z_2 ——变压器二次漏阻抗;异步电动机转子漏阻抗
 α ——角度;槽距角
 β ——角度;变压器负载系数
 γ ——角度
 δ ——气隙长度;功角(又称功率角)
 η ——效率
 $\eta_{\max}$ ——最大效率
 θ ——角度;温度
 θ_{sc} ——步进电机的步距角
 μ ——磁导率
 μ_{Fe} ——铁磁性材料的磁导率
 μ_r ——相对磁导率
 ν ——谐波次数
 τ ——极距;温升
 $\tau_{\max}$ ——绝缘材料允许的最高温升
 Φ ——主磁通;每极磁通
 Φ_m ——变压器主磁通最大值
 $\Phi_{1\sigma}$ ——一次漏磁通
 $\Phi_{2\sigma}$ ——二次漏磁通
 Φ_1 ——基波磁通
 Φ_ν —— ν 次谐波磁通
 Φ_0 ——空载磁通;异步电动机气隙主磁通
 φ ——相位角;功率因数角
 φ_1 ——变压器一次功率因数角;异步电机定子功率因数角
 φ_2 ——变压器二次功率因数角;异步电机转子电路功率因数角
 Ψ ——磁链;内功率因数角
 Ω ——机械角速度
 Ω_1 ——同步机械角速度
 ω ——电角速度;角频率
 λ 或 λ_T ——过载能力

目 录

绪论	1	原理	95
第一章 直流电机	4	第四节 异步电动机的机械特性	103
第一节 直流电机的工作原理	4	第五节 三相异步电动机的起动	107
第二节 直流电机的结构	6	第六节 异步电动机的调速	114
第三节 直流电机的铭牌	14	第七节 三相异步电动机的制动	118
第四节 直流电动机的电动势、电磁 转矩和功率	16	第八节 三相异步电动机的参数 测定	121
第五节 直流电动机的工作特性与 机械特性	24	第九节 单相异步电动机	122
第六节 直流电动机的起动、调速、 反转与制动	33	第十节 交流电动机的调速控制 技术	127
本章小结	47	本章小结	132
思考题与习题	48	思考题与习题	134
第二章 变压器	50	第四章 特种电机	136
第一节 概述	52	第一节 伺服电动机	136
第二节 变压器的铭牌和额定值	53	第二节 测速发电机	141
第三节 单相变压器的基本结构及工作 原理	55	第三节 步进电动机	144
第四节 单相变压器的空载运行及 负载运行	58	第四节 直线电动机	150
第五节 变压器的运行特性	65	第五节 微型同步电动机	155
第六节 三相变压器	68	本章小结	157
第七节 其他用途变压器	78	思考题与习题	157
本章小结	83	第五章 常用低压电器	159
思考题与习题	84	第一节 低压电器的基本知识	159
第三章 异步电动机	86	第二节 开关	160
第一节 三相异步电动机的工作 原理	86	第三节 熔断器	168
第二节 三相异步电动机的结构与 铭牌	90	第四节 主令电器	173
第三节 三相异步电动机的运行		第五节 接触器	178
		第六节 继电器	187
		本章小结	205
		思考题与习题	206
		第六章 继电器-接触器控制电路 基本环节	208

第一节	电气图	208	第五节	10 t 交流桥式起重机控制 电路分析	290
第二节	几种典型控制环节	211	本章小结	292	
第三节	三相笼型异步电动机直接启动 控制电路	217	思考题与习题	292	
第四节	三相笼型异步电动机降压启动 控制电路	223	第九章 交流电梯的电气控制	294	
第五节	三相绕线转子异步电动机启动 控制电路	231	第一节	电梯的基本结构、分类和基本 参数	294
第六节	三相异步电动机调速控制 电路	234	第二节	电梯的机械系统与安全保护 系统	296
第七节	三相异步电动机制动控制 电路	237	第三节	电梯的主要电器部件	300
本章小结	241		第四节	电梯电气控制的基本环节	303
思考题与习题	241		第五节	电梯电气设备的安装、调整、 维护和保养	307
第七章 常用机床的电气控制	243		第六节	电梯电气控制系统的常见 故障及分析	311
第一节	CA6140 车床电气控制 电路	243	本章小结	312	
第二节	M7130 型平面磨床电气控制 电路	249	思考题与习题	313	
第三节	Z3050 摇臂钻床电气控制 电路	254	附录	314	
第四节	X62W 型万能铣床电气控制 电路	258	附录 A	直流电动机的常见故障分析	314
第五节	T68 型卧式镗床电气控制 电路	266	附录 B	三相异步电动机的常见故障 分析	315
本章小结	273		附录 C	电力拖动系统中电动机的 选择	320
思考题与习题	273		附录 D	低压电器产品型号编制 方法	327
第八章 桥式起重机的电气控制	275		附录 E	电气图形符号和基本文字 符号	330
第一节	桥式起重机概述	275	附录 F	实验实训内容及课时安排	336
第二节	凸轮控制器及其控制电路	280	参考文献	337	
第三节	主令控制器的控制电路	285			
第四节	起重机的电气保护设备	288			

绪 论

一、电机与电气控制系统概述

“电机与电气控制技术”是一门实践性较强的专业课。电机与电气控制技术在现代工农业生产、交通运输、科学技术、信息传输、国防建设以及日常生活等各个领域的应用十分广泛。

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。电机常用的分类方法主要有两种: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。变压器为静止电机。根据电源电流的不同,旋转电机又分为直流电机和交流电机两大类。直流电机分为直流电动机和直流发电机。交流电机又分为同步电机和异步电机。

在工农业生产中,使用着大量的生产机械,如车床、钻床、铣床、磨床、镗床、水泵、空气压缩机、轧钢机等,这些设备的运转都需要原动力来拖动,可以采用气动、液压传动和电力拖动。由于电力在生产、传输、分配、使用和控制等方面的优越性,所以用电动机拖动已被广泛的应用。用电动机来拖动生产机械就称为电力拖动。为了让电动机能按生产需要进行工作状态的变换,需要对电动机进行控制,如:电动机的起动、制动、反转及调速等,完成这些功能的设备就称为控制设备。将控制设备如低压电器、主令电器等按一定规律连接起来的线路就称为电气控制线路。电气控制线路主要是完成对电动机的电气控制。

(一) 电力拖动系统的组成

电力拖动系统的组成如图 0-1 所示。

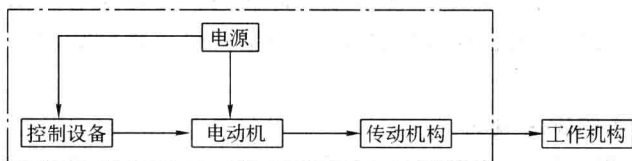


图 0-1 电力拖动系统的组成

1. 电源

电源是电动机和控制设备的能源,分为交流电源和直流电源。

2. 电动机

电动机是生产机械的原动机,其作用是将电能转换成机械能。电动机可分为直流电动机和交流电动机。

3. 控制设备

控制设备用来控制电动机的运转,由各种控制电动机、电器、自动化元件及工业控制计算机等组成。

4. 传动机构

传动机构是在电动机与生产机械的工作机构之间传递动力的装置,如减速箱、传动带、联轴器等。

(二) 电机与电气控制系统的特点

电机与电气控制系统与传统的控制系统相比,具有以下特点:

- ① 方便经济 电能的生产、变换、传输都比较经济,分配、检测和使用比较方便。
- ② 效率高 电机与电气控制比传统的控制系统效率高,且容易实现。
- ③ 调节性能好 电机与电气控制系统的类型很多,具有各种运行特性,可适应不同生产机械的需要,且控制简便、迅速,能实现较理想的控制目的。
- ④ 易于实现生产过程的自动化。

二、电机与电气控制技术的发展

(一) 电力拖动的发展概况

按电力拖动系统中电动机的组合数量,可将电力拖动的发展分为以下三个阶段。

1. 成组拖动

成组拖动是由一台电动机拖动传动轴,再由传动轴通过传动带分别拖动多台生产机械。这种拖动方式能量损耗大,效率低,且不能利用电动机的调速性能,不能实现自动控制,当电动机一旦出现故障,则大批生产机械都要停车。

2. 单电动机拖动

由一台电动机拖动一台生产机械,从而可简化中间传动机构,提高效率,提高转速,同时可充分利用电动机的调速性能,易于实现自动控制。

3. 多电动机拖动

随着现代工业生产的迅速发展,生产机械越来越复杂,一台生产机械上往往有许多运动部件,如果仍用一台电动机拖动,传动机构将十分复杂,因此出现了一台生产机械中由多台电动机分别拖动不同的运动部件的拖动方式,称为多电动机拖动。这种拖动简化了生产机械的传动机构,提高了传动效率,且容易实现自动控制,提高劳动生产率。目前常用的生产机械大多数采用这种拖动方式。

(二) 电气控制技术的发展概况

随着科学技术的不断发展,对生产工艺不断提出新的要求,电气控制技术迅速发展。在控制方法上主要是从手动控制到自动控制;在控制功能上,是从简单到复杂;在操作上由笨重到轻巧;从控制原理上,由单一的有触点硬接线继电器控制系统转向以微处理器为中心的软件控制系统。随着新的控制理论和新型电器及电子器件的出现,不断地推动着电气控制技术的继续发展。

生产机械电力拖动的初期,常以一台电动机拖动多台设备,或是一台机床的多个动作由同一台电动机拖动,相应的电气控制线路比较简单。随着生产机械功能增多、自动化程度的提高,其机械传动系统也越来越复杂,为了简化传动机构而出现分散拖动形式,即各个运动机构分别由不同电动机拖动,这使电气控制线路进一步复杂化。此外,在生产过程中,对影响产品质量的各种参数都要求能自动调整,促使电气自动控制技术迅速向前发展,控制线路日趋完善。

初期,常用的控制电器有继电器、接触器等,用这种电器进行的控制称为继电-接触器控制,

这是一种有触点的控制方式。长期以来,继电-接触器控制在控制设备中发挥了很大的作用,直到今天,在一般工厂的控制设备中,还占有很大的比重。继电-接触器控制虽然有价廉易学的特点,但是在对于经常需要变换控制线路的设备来说,存在着改接困难和周期长的缺点。为了生产需要和提高加工精度,人们开始研究容易改变顺序的可编程控制器。

在 20 世纪 60 年代出现了一种能够根据生产需要方便地改变控制程序,而又远比电子计算机结构简单、价格低廉的自动化装置——顺序控制器,它能满足程序经常改变的控制要求,使控制系统具有较大的灵活性和通用性。由于它兼备了计算机控制和继电器控制系统两方面的优点,故目前在世界各国已作为一种标准化通用设备普遍应用于工业控制中。

为了解决占机械加工总量 80% 左右的单件和小批生产的自动化,以提高劳动生产率,提高产品质量和降低劳动强度,在 20 世纪 50 年代就出现了数控机床,它是一种具有广泛通用性的高效率自动化机床,它综合应用了电子技术、检测技术、计算机技术、自动控制和机床结构设计等各个技术领域的最新技术成就。目前仍然广泛应用,并且在一般数控机床基础上,发展成为附带自动换刀、自适应等功能的复杂数控系列产品,称为加工中心。它可对多道工序的工件进行连续加工,节省了夹具,缩短了装夹定位、对刀等辅助时间,提高了工效和产品质量,成功取代了以往依靠模板、凸轮、专用夹具、刀具和定程挡块来实现顺序加工的自动机床、组合机床、专用机床。

上述各种先进控制设备的应用,促进了电气控制技术的发展。可以说,可编程控制器、机器人和数控机床已成为现代控制的三大支柱。

三、本课程的性质、内容、任务、要求及学习方法

本课程是供用电技术、电气自动化技术和机电一体化技术等专业的一门专业课,它是将“电机学”、“电力拖动技术”、“工厂电气控制”等课程有机结合而成的一门课。

本课程主要内容有直流电机、变压器、异步电动机、特种电机、常用低压电器、继电-接触器控制电路基本环节、常用机床的电气控制、桥式起重机的电气控制和交流电梯的电气控制共九个部分。

本课程的任务是使学生掌握电机的结构、工作原理、运行性能和试验方法,以及电气控制的基本环节、控制方法。为学习后续课程和今后的工作准备必要的基础知识,同时也有助于培养在电机及电气控制方面分析和解决问题的能力。

本课程的基本要求是:

- ① 掌握直流电动机和三相异步电动机的构成、工作原理、特性及其调试与维修。
- ② 掌握常用低压电器的结构、工作原理及其安装、调试与维修。
- ③ 熟悉常用电动机和低压电器的用途、型号、使用场合,达到能正确使用和选用的目的。
- ④ 熟练掌握电气控制线路的基本环节,具有对一般电气控制线路的独立分析能力。
- ⑤ 具有设计和改进一般生产设备的电气控制的基本能力。

本课程除课堂教学外,还辅以实验、课程设计、生产实习、顶岗实习和毕业设计,是一门实践性很强的专业课。学习本课程时,要善于理论联系实际,要善于分析,不要死记硬背。

第一章

直流电机

学习目标

- 掌握直流电机的工作原理、结构。
- 能分析直流电机转速、电磁转矩的变化与各参数的关系。
- 能分析电机的换向及改善换向方法。
- 会利用直流电动机的工作特性和机械特性分析问题。
- 熟悉直流电动机起动、调速、反转和制动方法。

直流电机是电能和机械能相互转换的旋转电机之一,它应用电磁感应原理进行能量转换。将机械能转变为直流电能的电机称为直流发电机;将直流电能转变为机械能的电机称为直流电动机。直流发电机可作为各种直流电源。直流电动机具有宽广的调速范围、平滑的调速特性、较高的过载能力、较大的起动和制动转矩等特点,广泛应用于对起动和调速要求较高的生产机械。

[案例] 国产电力机车上常采用直流电机作为牵引电机和辅助压缩机驱动电机。牵引电机是电力机车的重要部件之一,它安装在转向架上,通过齿轮与轮对相连;机车在牵引状态运行时,牵引电机将电能转换成机械能,通过轮对驱动机车运行,此时电机处于电动机状态;当机车在电气制动状态下运行时,牵引电机将机械能转化为电能,产生电制动力,此时电机处于发电机状态。辅助压缩机驱动电机与辅助压缩机组成辅助压缩机组,当机车长期停放后总风缸或控制风缸压缩空气压力不够时,辅助压缩机驱动电机驱动压缩机工作提供压缩空气,确保正常提升受电弓和闭合主断路器;辅助压缩机与其驱动电动机通过弹性联轴器直接连接。

第一节 直流电机的工作原理

一、直流电机的基本工作原理

直流电机可分为直流电动机和直流发电机两大类,其工作原理可通过模型加以说明。

(一) 直流发电机的工作原理

图 1-1 所示为直流发电机的物理模型。在图 1-1 中, N、S 为磁极, 磁极固定不动, 称为直流电机的定子。abcd 是固定在可旋转导磁圆柱体上的线圈, 线圈连同导磁圆柱体是直流电机可转动部分, 称为电机转子(又称电枢)。线圈的首末端 a、d 连接到两个相互绝缘并可以随线圈一同转动的导电片上, 该导电片称为换向片。转子线圈与外电路的连接是通过放置在换向片上固定不动的电刷进行的。在定子与转子间有间隙存在, 称为空气隙, 简称气隙。

在直流发电机的模型中, 当有原动机拖动转子以一定的转速逆时针旋转时, 根据电磁感应定律可知, 在线圈 abcd 中将产生感应电动势。

设每边导体中的感应电动势为 e , 则线圈电动势为 $2e$, 电动势 e 的瞬时值为

$$e = B_x lv \quad (1-1)$$

式中, e 为导体感应电动势, 单位为 V; B_x 为导体所在处的磁通密度, 单位为 Wb/m^2 ; l 为导体 ab 或 cd 的有效长度, 单位为 m; v 为导体 ab 或 cd 与 B_x 间的相对线速度, 单位为 m/s 。

导体中感应电动势的方向可用右手定则确定。在逆时针旋转情况下, 如图 1-1(a) 所示, 导体 ab 在 N 极下, 感应电动势的极性为 a 点高电位, b 点低电位; 导体 cd 在 S 极下, 感应电动势的极性为 c 点高电位, d 点低电位, 在此状态下电刷 A 的极性为正, 电刷 B 的极性为负。当线圈旋转 180° 后, 如图 1-1(b) 所示, 导体 ab 在 S 极下, 导体 cd 则在 N 极下, 此时导体中的感应电动势方向已改变, 但由于原来与电刷 A 接触的换向片已经与电刷 B 接触, 而与电刷 B 接触的换向片同时换到与电刷 A 接触, 因此电刷 A 的极性仍为正, 电刷 B 的极性仍为负。

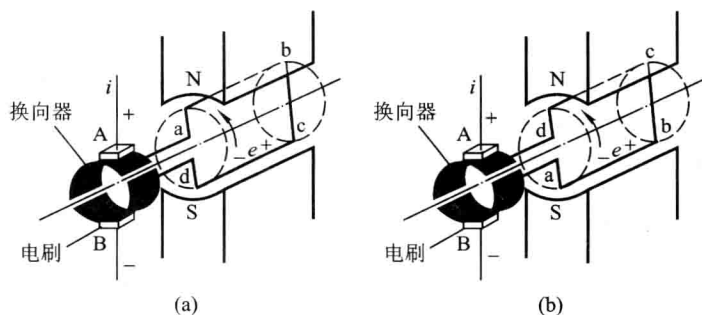


图 1-1 直流发电机的物理模型

从图 1-1 中可以看出, 和电刷 A 接触的导体总是位于 N 极下, 和电刷 B 接触的导体总是位于 S 极下, 因此电刷 A 的极性总为正, 而电刷 B 的极性总为负, 在电刷两端可获得直流电动势。

实际直流发电机的电枢是根据实际情况需要要有多个线圈。线圈分布于电枢铁心表面的不同位置上, 并按照一定的规定连接起来, 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。

(二) 直流电动机的工作原理

把电刷 A、B 接到一直流电源上, 电刷 A 接电源的正极, 电刷 B 接电源的负极, 此时电枢线圈

中将有电流流过。

如图 1-2(a) 所示, 设线圈的 ab 边位于 N 极下, 线圈的 cd 边位于 S 极下, 载流导体在磁场中受到电磁力的作用, 其大小为

$$f = B_x li \quad (1-2)$$

式中, f 为电磁力, 单位为 N ; B_x 为导体所在处的磁通密度, 单位为 Wb/m^2 ; l 为导体 ab 或 cd 的有效长度, 单位为 m ; i 为导体中流过的电流, 单位为 A 。

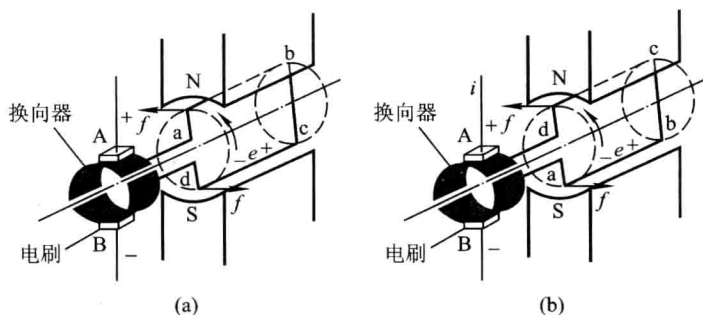


图 1-2 直流电动机的模型

导体受力方向由左手定则确定。在图 1-2(a) 的情况下, 位于 N 极下的导体 ab 受力方向为从右向左, 而位于 S 极下的导体 cd 受力方向为从左到右。导体所受电磁力对轴产生一转矩, 这种由于电磁作用产生的转矩称为电磁转矩, 电磁转矩的方向为逆时针。当电磁转矩大于阻力矩时, 线圈按逆时针方向旋转, 当电枢旋转到图 1-2(b) 所示位置时, 原位于 S 极下的导体 cd 转到 N 极下, 其受力方向变为从右向左; 而原位于 N 极下的导体 ab 转到 S 极下, 导体 ab 受力方向变为从左向右, 该转矩的方向仍为逆时针方向, 线圈在此转矩作用下继续按逆时针方向旋转。这样虽然导体中流通的电流为交变的, 但 N 极下的导体受力方向和 S 极下导体受力的方向并未发生变化, 电动机在此方向不变的转矩作用下转动。

同直流发电机相同, 实际的直流电动机的电枢并非单一线圈, 磁极也并非一对。

二、电机的可逆原理

任何一台电机既可作发电机运行, 也可作电动机运行, 这一性质称为电机的可逆原理。电机的可逆原理不仅适用于直流电机, 也适用于交流电机。电机的实际运行方式由外施条件决定: 如果电机转子输入机械能, 而电枢绕组输出电能, 电机作为发电机运行; 如果在电枢绕组中输入电能, 转子输出机械能, 则电机作为电动机运行。

第二节 直流电机的结构

直流电动机和直流发电机的结构基本是相同的, 即都有可旋转部分和静止部分。可旋转部分称为转子, 静止部分称为定子, 在定子和转子之间存在着空气隙。小型直流电动机的结构如图 1-3 所示, 其剖面结构如图 1-4 所示。