



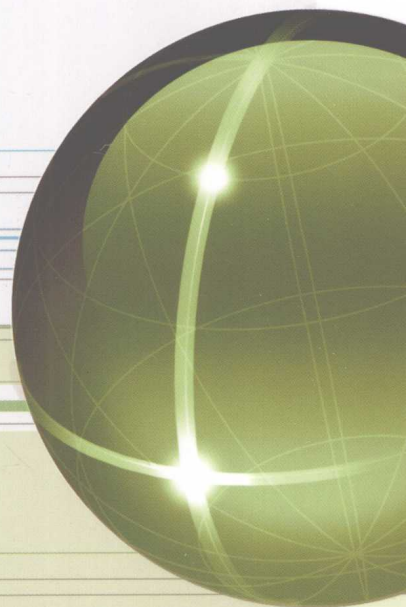
普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
新编21世纪高等职业教育电子信息类规划教材·机电一体化技术专业



# 电机 与电气控制

## (第2版)

刘子林 主编 张焕丽 副主编 刘国华 主审



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材·机电一体化技术专业

# 电机与电气控制

## (第 2 版)

刘子林 主 编

张焕丽 副主编

刘国华 主 审

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书共 5 篇 15 章, 有机地结合了电机学、电力拖动、电气控制三门课程的内容。深入浅出地阐述了直流电动机及拖动, 变压器结构及原理, 三相异步电动机及拖动, 单相异步电机基本原理; 同时还介绍了同步电动机、控制电机的特点与应用、异步电动机常见故障及处理方法, 电气控制线路的基本环节, 常用机床控制线路, 数控设备控制电路, 可编程控制器的应用, 控制线路常见故障及处理方法。每章末还附有小结、习题, 习题形式多样、灵活, 便于启发、提高读者思维能力。

该书是在 2003 年 8 月新编 21 世纪全国高职高专教材《电机与电气控制》基础上, 结合编者 20 多年的教学 and 实践经验修订编写而成, 二版教材更加切合我国高职教育学生现状和实际, 基本理论以必需够用为度, 突出理论知识的应用和实践能力的培养。力争提高学生素质, 增强质量意识、市场意识和创新意识。全书力求深入浅出, 通俗易懂, 便于读者自学。

本书可作为高职高专机电一体化专业、数控技术应用专业、电气技术专业的教学用书, 也可供自动化专业选用和机电技术人员参考。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。  
版权所有, 侵权必究。

## 图书在版编目(CIP)数据

电机与电气控制/刘子林主编. —2 版. —北京: 电子工业出版社, 2008. 8  
新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材·机电一体化技术专业

ISBN 978-7-121-06611-5

I. 电… II. 刘… III. ① 电机学—高等学校: 技术学校—教材 ② 电气控制—高等学校: 技术学校—教材 IV. TM3 TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 117920 号

责任编辑: 陈晓明 特约编辑: 高文勇

印 刷: 北京市通州大中印刷厂

装 订: 三河市鹏成印业有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 22.75 字数: 582 千字

印 次: 2008 年 8 月第 1 次印刷

印 数: 3 000 册 定价: 33.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

# 新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材（第 2 版）

## 出版说明

2002 年 10 月,电子工业出版社组织 90 余所高职院校的优秀教师编写了“应用电子技术”、“机电一体化技术”、“电气自动化技术”和“通信技术”4 个专业的高职教材,从 2003 年 7 月第 1 本教材问世截至 2004 年 10 月,已经出版了 70 余种。时至目前已有 2 年多的教材使用时间,这批教材大部分得到使用者的好评。随着教育的不断深入及社会用人单位对高职毕业生的更高要求,为使教材更好地适应高职毕业生的就业、使教材有益于培养高职毕业生的生产实践技能,2005 年 7 月,我们在杭州组织召开了教材研讨会,针对上述 4 个专业的大部分教材的内容的修订听取了到会老师的意见,明确了修订教材的编写思路和编写原则,确定了修订版教材的编写人员,计划在 2006 年年底~2007 年上半年基本出版齐全修订版教材。为便于读者区分,这批修订版教材均标明“(第 2 版)”。教材的丛书名仍沿用“新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材”。

第 2 版教材的主要特点如下:

1. 内容更加突出“实用性、技能性、应用性”。
2. 实训内容的选择以技能为要素。
3. 适当拓展了教材的广度,其目的是为方便不同学校、不同专业的学生选用。
4. 专业课以目前企业主要设备为主线进行讲解。
5. 习题尽量避免问答式、叙述式,而多为技能型、解决问题型。
6. 配备电子教案,以便于老师教学和学术交流。

我们的初衷是希望第 2 版教材的问世能够弥补第 1 版教材的不足,使其内容更加贴近企业用人的需求,更加有利于学生就业,让学生能够真正掌握一些实际的生产技能。同时,我们亦深知:高等职业教育的改革不能一蹴而就,编写出适合高职教育的教材也是一个渐进的过程。我们期待和全国高职院校的老师们一同努力,不断改进创新,为出版真正适合高职教育的好教材尽力。

在组织高职电子信息类教材的编写全过程近 4 年的时间内,我们结交了全国的许多优秀教师,他们的人品德行、人格魅力、学识水平均达到很高的水准。与他们的交往让我们受益匪浅,并且给我们以启迪:学校确是藏龙卧虎之地。我们愿意继续结交新的朋友,目的只有一个,那就是共同为高等职业教育的发展贡献我们大家的力量,在这个目标下达到学校、老师、出版社多赢。

我们亦衷心欢迎各高职院校有意愿、有能力的老师参加我们的教材编写。具体专业范围如下:

机电一体化技术,电气自动化技术,数控技术,模具技术,应用电子技术,通信技术。

电子工业出版社高等职业教育分社

2006 年 3 月

参加“新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材”  
编写的院校名单（排名不分先后）

桂林工学院南宁分院

江西信息应用职业技术学院

江西蓝天职业技术学院

吉林电子信息职业技术学院

保定职业技术学院

安徽职业技术学院

杭州中策职业学校

黄石高等专科学校

天津职业技术师范学院

福建工程学院

湖北汽车工业学院

广州铁路职业技术学院

台州职业技术学院

重庆工业高等专科学校

济宁职业技术学院

四川工商职业技术学院

吉林交通职业技术学院

连云港职业技术学院

天津滨海职业技术学院

杭州职业技术学院

重庆职业技术学院

重庆工业职业技术学院

广州大学科技贸易技术学院

湖北孝感职业技术学院

江西工业工程职业技术学院

四川工程职业技术学院

广东轻工职业技术学院

西安理工大学

辽宁大学高职学院

天津职业大学

天津大学机械电子学院

九江职业技术学院

包头职业技术学院

北京轻工职业技术学院

黄冈职业技术学院

郑州工业高等专科学校

泉州黎明职业大学

浙江财经学院信息学院

南京理工大学高等职业技术学院

南京金陵科技学院

无锡职业技术学院

西安科技学院

西安电子科技大学

河北化工医药职业技术学院

石家庄信息工程职业学院  
三峡大学职业技术学院  
桂林电子工业学院高职学院  
桂林工学院  
南京化工职业技术学院  
湛江海洋大学海滨学院  
江西工业职业技术学院  
江西渝州科技职业学院  
柳州职业技术学院  
邢台职业技术学院  
漯河职业技术学院  
太原电力高等专科学校  
苏州经贸职业技术学院  
金华职业技术学院  
河南职业技术师范学院  
新乡师范高等专科学校  
绵阳职业技术学院  
成都电子机械高等专科学校  
河北师范大学职业技术学院  
常州轻工职业技术学院  
常州机电职业技术学院  
无锡商业职业技术学院  
河北工业职业技术学院  
天津中德职业技术学院

安徽电子信息职业技术学院  
浙江工商职业技术学院  
河南机电高等专科学校  
深圳信息职业技术学院  
河北工业职业技术学院  
湖南信息职业技术学院  
江西交通职业技术学院  
沈阳电力高等专科学校  
温州职业技术学院  
温州大学  
广东肇庆学院  
湖南铁道职业技术学院  
宁波高等专科学校  
南京工业职业技术学院  
浙江水利水电专科学校  
成都航空职业技术学院  
吉林工业职业技术学院  
上海新侨职业技术学院  
天津渤海职业技术学院  
驻马店师范专科学校  
郑州华信职业技术学院  
浙江交通职业技术学院  
广州市今明科技有限公司

## 前 言

2005 年 7 月全国 60 余所高职高专院校 60 多位具有丰富的专业教学经验及实践动手能力的教授、副教授和专家聚集杭州参加了全国高等职业教育教材研讨会。与会者结合当前我国职业教育面临的新形势和挑战进行了充分的讨论,一致认为新编 21 世纪第二版高等职业教育教材应贯彻国家教育部对职业教育的要求,突出专业特色,着重技术应用的训练,教材应更切合我国高等职业学生现状和实际,力争培养新时期应用型和复合型人才。

本书是在新编 21 世纪高等职业教育规划教材《电机与电气控制》第一版的基础上修订编写而成,是高职高专教育“十一五”国家级规划教材。其特点是:对一般理论、基本概念进行了阐述,注重应用,辅以图形进行分析,简化繁琐的数学推导,增强实践性,突出实用性,强化学生的工程意识,培养学生解决实际问题的能力。全书力求通俗易懂,便于读者自学。同时又注重扩大知识面,介绍了一些电机拖动现代控制方法。对原书 8 至 14 章进行了重新编写,为条理更加清晰,将同步电机从第 9 章中分出,另立一章,现全书共 15 章。

本书由绵阳职业技术学院刘子林主编,编写了绪论及第 1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、11 章。绵阳职业技术学院张焕丽任副主编,编写了第 12、13、14、15 章。全书由刘子林统稿。西南科技大学刘国华教授主审了全书。本书在编写工作中得到了刘萌、阎召俊、刘洋等同志的积极帮助,对他们的辛勤劳动表示感谢。

由于编者水平所限,书中可能存在一些缺点、疏漏及不足之处,恳请读者批评指正。

编 者  
2007 年 10 月

# 目 录

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 绪论 .....                      | (1) |
| 一、电机与电气控制技术在国民经济中的重要作用 .....  | (1) |
| (一) 电机在国民经济中的作用 .....         | (1) |
| (二) 电气控制技术在生产中的作用 .....       | (1) |
| 二、电机、电力拖动的组成和现代电力拖动发展方向 ..... | (2) |
| (一) 电力拖动的组成 .....             | (2) |
| (二) 电机及电气控制技术的发展 .....        | (2) |
| 三、电机的类型及所用材料 .....            | (3) |
| (一) 电机的类型 .....               | (3) |
| (二) 电机所用材料 .....              | (4) |
| (三) 铁磁材料的特点及损耗 .....          | (5) |
| 四、电机与电气控制的主要内容、任务及学习方法 .....  | (6) |

## 第 1 篇 直流电机及拖动

|                            |      |
|----------------------------|------|
| 第 1 章 直流电机原理 .....         | (8)  |
| 1.1 直流电机基本工作原理 .....       | (8)  |
| 1.1.1 直流电机的模型结构 .....      | (8)  |
| 1.1.2 直流发电机工作原理 .....      | (8)  |
| 1.1.3 直流电动机的工作原理 .....     | (10) |
| 1.1.4 直流电机可逆原理 .....       | (11) |
| 1.2 直流电机的结构和额定值 .....      | (11) |
| 1.2.1 直流电机的结构 .....        | (11) |
| 1.2.2 直流电机的额定值 .....       | (14) |
| 1.2.3 直流电机的电枢绕组 .....      | (15) |
| 1.3 直流电机的电势、转矩、磁场和换向 ..... | (22) |
| 1.3.1 直流电机的感应电势和电磁转矩 ..... | (22) |
| 1.3.2 直流电机的磁场 .....        | (23) |
| 1.3.3 直流电机的换向 .....        | (26) |
| 本章小结 .....                 | (29) |
| 习题 1 .....                 | (30) |
| 第 2 章 直流电动机 .....          | (33) |
| 2.1 直流电动机的分类 .....         | (33) |
| 2.2 直流电动机的基本方程式 .....      | (34) |
| 2.2.1 电压平衡方程式 .....        | (34) |
| 2.2.2 功率平衡方程式 .....        | (34) |



|                                     |      |
|-------------------------------------|------|
| 2.2.3 转矩平衡方程式 .....                 | (35) |
| 2.3 直流并(他)励电动机的工作特性 .....           | (36) |
| 2.3.1 转速特性—— $n=f(P_2)$ .....       | (36) |
| 2.3.2 转矩特性—— $T=f(P_2)$ .....       | (36) |
| 2.3.3 效率特性—— $\eta=f(P_2)$ .....    | (36) |
| 2.4 生产机械的负载转矩特性 .....               | (37) |
| 2.5 直流电动机的机械特性 .....                | (38) |
| 2.5.1 电动机机械特性方程式 .....              | (38) |
| 2.5.2 固有机械特性 .....                  | (39) |
| 2.5.3 人为机械特性 .....                  | (40) |
| 2.5.4 直流电动机的正、反转 .....              | (41) |
| 2.6 直流串励电动机 .....                   | (42) |
| 2.6.1 串励电动机的接线与特点 .....             | (42) |
| 2.6.2 串励电动机机械特性 .....               | (43) |
| 本章小结 .....                          | (44) |
| 习题 2 .....                          | (44) |
| <b>第 3 章 直流电动机的启动、调速和制动</b> .....   | (47) |
| 3.1 直流电动机的启动 .....                  | (47) |
| 3.1.1 对直流电动机启动性能的基本要求 .....         | (47) |
| 3.1.2 启动方法 .....                    | (47) |
| 3.2 直流电动机的调速 .....                  | (50) |
| 3.2.1 调速指标 .....                    | (50) |
| 3.2.2 并(他)励直流电动机电枢串电阻调速 .....       | (51) |
| 3.2.3 降低电源电压调速 .....                | (52) |
| 3.2.4 改变磁通调速(改变励磁电流 $I_f$ 调速) ..... | (52) |
| 3.3 直流并(他)励电动机的制动 .....             | (54) |
| 3.3.1 制动与电动的区别 .....                | (54) |
| 3.3.2 能耗制动 .....                    | (54) |
| 3.3.3 反接制动 .....                    | (55) |
| 3.3.4 回馈制动(再生发电制动) .....            | (57) |
| 3.4 直流电动机的故障及维修方法 .....             | (58) |
| 本章小结 .....                          | (60) |
| 习题 3 .....                          | (61) |

## 第 2 篇 变 压 器

|                          |      |
|--------------------------|------|
| <b>第 4 章 单相变压器</b> ..... | (66) |
| 4.1 变压器的用途、分类和结构 .....   | (66) |
| 4.1.1 变压器的工作原理 .....     | (66) |
| 4.1.2 变压器的应用 .....       | (67) |

|              |                               |             |
|--------------|-------------------------------|-------------|
| 4.1.3        | 变压器的结构 .....                  | (67)        |
| 4.1.4        | 变压器的铭牌和额定值 .....              | (71)        |
| 4.2          | 单相变压器的空载运行 .....              | (73)        |
| 4.2.1        | 空载运行时的物理状况 .....              | (73)        |
| 4.2.2        | 变压器的感应电势和变比 .....             | (73)        |
| 4.2.3        | 变压器的空载电流 $i_0$ .....          | (76)        |
| 4.2.4        | 变压器空载时的向量图和等值电路 .....         | (76)        |
| 4.3          | 变压器的负载运行 .....                | (78)        |
| 4.3.1        | 变压器负载时物理状况 .....              | (78)        |
| 4.3.2        | 变压器负载时磁势平衡方程式 .....           | (78)        |
| 4.3.3        | 变压器负载时电势平衡方程式 .....           | (79)        |
| 4.4          | 变压器参数的测定 .....                | (82)        |
| 4.4.1        | 变压器空载试验 .....                 | (82)        |
| 4.4.2        | 变压器短路试验 .....                 | (84)        |
| 4.5          | 变压器的运行特性 .....                | (85)        |
| 4.5.1        | 变压器的外特性和电压变化率 .....           | (85)        |
| 4.5.2        | 变压器的效率特性 .....                | (86)        |
|              | 本章小结 .....                    | (89)        |
|              | 习题 4 .....                    | (90)        |
| <b>第 5 章</b> | <b>三相变压器 .....</b>            | <b>(93)</b> |
| 5.1          | 三相变压器的磁路系统 .....              | (93)        |
| 5.1.1        | 三相组式变压器(三相变压器组)的磁路系统 .....    | (93)        |
| 5.1.2        | 三相心式变压器的磁路 .....              | (93)        |
| 5.2          | 三相变压器的电路系统——连接组 .....         | (94)        |
| 5.2.1        | 变压器原、副绕组首末端标记 .....           | (94)        |
| 5.2.2        | 单相变压器的连接组别 .....              | (95)        |
| 5.2.3        | 三相变压器绕组的接法 .....              | (96)        |
| 5.2.4        | 三相变压器的连接组别 .....              | (98)        |
| 5.3          | 变压器的并联运行 .....                | (101)       |
| 5.3.1        | 变压器并联运行的意义 .....              | (101)       |
| 5.3.2        | 变压器并联运行的条件 .....              | (101)       |
| 5.3.3        | 变比不等时变压器并联运行 .....            | (102)       |
| 5.3.4        | 连接组别不同时的并联运行 .....            | (102)       |
| 5.3.5        | 短路阻抗相对值(短路阻抗压降)不等时的并联运行 ..... | (103)       |
| 5.4          | 电力变压器的维护 .....                | (104)       |
| 5.4.1        | 电力变压器的巡视 .....                | (104)       |
| 5.4.2        | 变压器的异常运行及维修 .....             | (105)       |
| 5.4.3        | 电力变压器的容量选择 .....              | (106)       |
|              | 本章小结 .....                    | (106)       |

|                       |       |
|-----------------------|-------|
| 习题 5                  | (107) |
| <b>第 6 章 其他用途的变压器</b> | (109) |
| 6.1 自耦变压器             | (109) |
| 6.1.1 自耦变压器的用途        | (109) |
| 6.1.2 自耦变压器的特点        | (109) |
| 6.1.3 自耦变压器的电磁关系      | (110) |
| 6.1.4 自耦变压器的容量        | (110) |
| 6.2 仪用互感器             | (111) |
| 6.2.1 电压互感器           | (111) |
| 6.2.2 电流互感器           | (112) |
| 6.3 电焊变压器(交流弧焊机)      | (114) |
| 6.3.1 电弧焊工艺对电焊变压器的要求  | (114) |
| 6.3.2 磁分路动铁芯电焊变压器     | (115) |
| 6.3.3 串联可变电抗器的电焊变压器   | (115) |
| 本章小结                  | (116) |
| 习题 6                  | (116) |

### 第 3 篇 三相异步电动机及拖动

|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| <b>第 7 章 三相异步电动机</b>          | (120) |
| 7.1 三相异步电动机基本工作原理和结构          | (120) |
| 7.1.1 三相异步电动机基本工作原理           | (120) |
| 7.1.2 三相异步电动机的结构              | (124) |
| 7.1.3 三相异步电动机的主要指标            | (127) |
| 7.2 三相交流绕组                    | (127) |
| 7.2.1 三相交流绕组基本术语              | (128) |
| 7.2.2 三相绕组的构成原则               | (129) |
| 7.2.3 三相单层绕组                  | (130) |
| 7.2.4 三相双层绕组                  | (135) |
| 7.3 交流绕组的感应电势                 | (137) |
| 7.3.1 线圈感应电势                  | (138) |
| 7.3.2 线圈组电势 $E_q$ 和分布系数 $K_d$ | (139) |
| 7.3.3 每相电势 $E_l$              | (140) |
| 7.4 三相异步电动机空载运行               | (141) |
| 7.4.1 三相异步电动机与变压器的异同          | (141) |
| 7.4.2 转子不动(转子开路)时的空载运行        | (141) |
| 7.4.3 转子转动(转子绕组短路)时的空载运行      | (142) |
| 7.5 三相异步电动机负载运行               | (143) |
| 7.5.1 转子各物理量与转差率的关系           | (143) |
| 7.5.2 磁势平衡方程式                 | (144) |

|              |                           |              |
|--------------|---------------------------|--------------|
| 7.5.3        | 电势平衡方程式 .....             | (146)        |
| 7.5.4        | 负载运行时的等值电路 .....          | (146)        |
| 7.6          | 三相异步电动机参数的测定 .....        | (149)        |
| 7.6.1        | 三相异步电动机空载试验 .....         | (149)        |
| 7.6.2        | 三相异步电动机短路试验 .....         | (150)        |
| 7.7          | 三相异步电动机功率和转矩平衡方程式 .....   | (151)        |
| 7.7.1        | 功率平衡关系 .....              | (151)        |
| 7.7.2        | 异步电动机转矩平衡关系 .....         | (153)        |
| 7.7.3        | 异步电动机的工作特性 .....          | (154)        |
| 7.8          | 三相异步电动机机械特性 .....         | (155)        |
| 7.8.1        | 电磁转矩的物理表达式 .....          | (155)        |
| 7.8.2        | 电磁转矩参数表达式 .....           | (155)        |
| 7.8.3        | 最大电磁转矩 $T_m$ .....        | (155)        |
| 7.8.4        | 启动转矩 $T_s$ .....          | (156)        |
| 7.8.5        | 转矩实用表达式 .....             | (156)        |
| 7.8.6        | 异步电动机固有机械特性 .....         | (157)        |
| 7.8.7        | 人为机械特性 .....              | (158)        |
|              | 本章小结 .....                | (159)        |
|              | 习题 7 .....                | (159)        |
| <b>第 8 章</b> | <b>三相异步电动机的电力拖动 .....</b> | <b>(164)</b> |
| 8.1          | 三相异步电动机的启动性能 .....        | (164)        |
| 8.1.1        | 衡量异步电动机启动性能的标准 .....      | (164)        |
| 8.1.2        | 异步电动机启动特点 .....           | (164)        |
| 8.2          | 三相鼠笼型异步电动机的启动 .....       | (165)        |
| 8.2.1        | 三相鼠笼型异步电动机的直接启动 .....     | (165)        |
| 8.2.2        | 鼠笼型异步电动机降压启动 .....        | (166)        |
| 8.3          | 三相绕线型异步电动机的启动 .....       | (171)        |
| 8.3.1        | 三相绕线型异步电动机转子串电阻启动 .....   | (171)        |
| 8.3.2        | 频敏变阻器启动 .....             | (173)        |
| 8.4          | 三相异步电动机的调速 .....          | (175)        |
| 8.4.1        | 三相异步电动机变极 $2P$ 调速 .....   | (176)        |
| 8.4.2        | 三相异步电动机变频 $f_1$ 调速 .....  | (178)        |
| 8.4.3        | 改变转差率 $S$ 调速 .....        | (181)        |
| 8.5          | 三相异步电动机的制动 .....          | (185)        |
| 8.5.1        | 三相异步电动机的正、反转 .....        | (185)        |
| 8.5.2        | 三相异步电动机能耗制动 .....         | (186)        |
| 8.5.3        | 异步电动机反接制动 .....           | (188)        |
| 8.5.4        | 异步电动机回馈(反馈)制动 .....       | (191)        |
| 8.6          | 三相电动机常见故障及维护 .....        | (192)        |

|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| 8.6.1 电动机启动前的准备和启动时注意事项 ..... | (192) |
| 8.6.2 电动机运行中的监视与维护 .....      | (193) |
| 8.6.3 电动机的定期检修 .....          | (195) |
| 8.6.4 三相异步电动机常见故障与维修 .....    | (196) |
| 本章小结 .....                    | (198) |
| 习题 8 .....                    | (199) |

## 第 4 篇 其他用途的电动机

|                                         |       |
|-----------------------------------------|-------|
| 第 9 章 单相异步电动机 .....                     | (204) |
| 9.1 单相异步电动机的结构特点 .....                  | (204) |
| 9.1.1 单相异步电动机的定子 .....                  | (204) |
| 9.1.2 单相异步电动机转子 .....                   | (205) |
| 9.1.3 气隙 $\delta$ .....                 | (206) |
| 9.1.4 单相异步电动机的型号 .....                  | (206) |
| 9.2 单相异步电动机工作原理 .....                   | (207) |
| 9.2.1 单相异步电动机的脉振磁场 .....                | (207) |
| 9.2.2 单相异步电动机的工作原理 .....                | (207) |
| 9.2.3 单相异步电动机旋转磁场的产生 .....              | (208) |
| 9.3 单相分相式异步电动机 .....                    | (209) |
| 9.3.1 单相电阻(分相)启动异步电动机 .....             | (209) |
| 9.3.2 单相电容(分相)启动异步电动机 .....             | (210) |
| 9.3.3 单相电容运转异步电动机 .....                 | (211) |
| 9.3.4 单相双值电容异步电动机 .....                 | (211) |
| 9.4 单相罩极式异步电动机 .....                    | (212) |
| 9.4.1 单相凸极式罩极异步电动机的结构 .....             | (212) |
| 9.4.2 单相凸极式罩极异步电动机的工作原理 .....           | (212) |
| 9.4.3 单相罩极式异步电动机的应用 .....               | (213) |
| 9.5 三相异步电动机的单相运行 .....                  | (213) |
| 9.5.1 Y接法的三相电机改接为单相使用 .....             | (215) |
| 9.5.2 D( $\Delta$ )接法的三相电机改接为单相使用 ..... | (215) |
| 9.6 单相异步电动机的调速 .....                    | (216) |
| 9.6.1 串联电抗器降压调速 .....                   | (216) |
| 9.6.2 电动机绕组抽头调速 .....                   | (216) |
| 9.7 单相异步电动机的绕组 .....                    | (217) |
| 9.7.1 单相电阻分相启动和电容分相启动异步电动机的定子绕组 .....   | (217) |
| 9.7.2 单相单层同心式绕组 .....                   | (218) |
| 9.7.3 单相电容运转和双值电容异步电动机绕组 .....          | (219) |
| 9.7.4 单相正弦绕组 .....                      | (220) |
| 9.8 单相异步电动机常见故障及维修 .....                | (224) |

|                                        |       |
|----------------------------------------|-------|
| 9.8.1 单相异步电动机常见故障与三相异步电动机常见故障的区别 ..... | (224) |
| 9.8.2 单相异步电动机常见故障及维修方法 .....           | (224) |
| 本章小结 .....                             | (226) |
| 习题 9 .....                             | (227) |
| <b>第 10 章 同步电动机</b> .....              | (229) |
| 10.1 同步电动机基本工作原理、分类及结构 .....           | (229) |
| 10.1.1 同步电机的基本工作原理 .....               | (229) |
| 10.1.2 同步电机的分类 .....                   | (230) |
| 10.1.3 凸极式同步电机的结构 .....                | (231) |
| 10.1.4 隐极式同步电机结构 .....                 | (232) |
| 10.2 同步电动机的电势平衡方程式和向量图 .....           | (233) |
| 10.2.1 同步电动机的功率 .....                  | (233) |
| 10.2.2 同步电动机电势平衡方程式 .....              | (233) |
| 10.3 同步电动机的功角特性 .....                  | (234) |
| 10.4 同步电动机的 V 形曲线及功率因数的调节 .....        | (236) |
| 10.4.1 同步电动机的 V 形曲线 .....              | (236) |
| 10.4.2 同步电动机功率因数的调节 .....              | (237) |
| 10.5 同步补偿机 .....                       | (238) |
| 10.6 同步电动机的启动方法 .....                  | (238) |
| 10.6.1 同步电动机本身不能自行启动 .....             | (238) |
| 10.6.2 同步电动机的启动方法 .....                | (239) |
| 10.6.3 变频启动法 .....                     | (240) |
| 本章小结 .....                             | (240) |
| 习题 10 .....                            | (240) |
| <b>第 11 章 控制电机</b> .....               | (242) |
| 11.1 伺服电动机 .....                       | (242) |
| 11.1.1 伺服电动机的特点 .....                  | (242) |
| 11.1.2 直流伺服电动机 .....                   | (243) |
| 11.1.3 交流伺服电动机 .....                   | (244) |
| 11.2 步进电动机 .....                       | (248) |
| 11.2.1 反应式步进电动机的结构 .....               | (249) |
| 11.2.2 反应式步进电动机工作原理 .....              | (249) |
| 11.3 测速发电机 .....                       | (252) |
| 11.3.1 直流测速发电机 .....                   | (253) |
| 11.3.2 交流测速发电机 .....                   | (255) |
| 11.4 直线电动机 .....                       | (257) |
| 11.4.1 直线异步电动机的结构 .....                | (257) |
| 11.4.2 直线异步电动机工作原理 .....               | (259) |
| 11.4.3 直线异步电动机的类型 .....                | (259) |

|                             |       |
|-----------------------------|-------|
| 11.4.4 直线异步电动机的应用 .....     | (260) |
| 11.5 电动机的选择 .....           | (260) |
| 11.5.1 电动机的发热和冷却及工作方式 ..... | (261) |
| 11.5.2 绝缘材料及性能 .....        | (262) |
| 11.5.3 电动机工作方式的选择 .....     | (263) |
| 11.5.4 电动机的选择 .....         | (263) |
| 本章小结 .....                  | (266) |
| 习题 11 .....                 | (267) |

## 第 5 篇 电气控制技术

|                             |       |
|-----------------------------|-------|
| 第 12 章 常用低压电器 .....         | (272) |
| 12.1 刀开关和转换开关 .....         | (272) |
| 12.1.1 刀开关 .....            | (272) |
| 12.1.2 转换开关 (又称组合开关) .....  | (273) |
| 12.2 自动开关 .....             | (274) |
| 12.2.1 自动开关的工作原理 .....      | (274) |
| 12.2.2 自动开关的选择和维护 .....     | (275) |
| 12.3 熔断器 .....              | (275) |
| 12.3.1 熔断器的结构 .....         | (275) |
| 12.3.2 熔断器的技术参数 .....       | (276) |
| 12.3.3 常用的低压熔断器 .....       | (276) |
| 12.3.3 熔断器的选择和维护 .....      | (277) |
| 12.4 主令电器 .....             | (278) |
| 12.4.1 按钮 .....             | (278) |
| 12.4.2 行程开关 .....           | (278) |
| 12.5 接触器 .....              | (279) |
| 12.5.1 交流接触器 .....          | (280) |
| 12.5.2 直流接触器 .....          | (282) |
| 12.5.3 接触器的主要技术数据 .....     | (282) |
| 12.6 继电器 .....              | (283) |
| 12.6.1 电磁式电流、电压和中间继电器 ..... | (283) |
| 12.6.2 时间继电器 .....          | (284) |
| 12.6.3 热继电器 .....           | (286) |
| 12.6.4 速度继电器 .....          | (287) |
| 12.7 控制电器常见故障与维修 .....      | (287) |
| 12.7.1 触点系统 .....           | (287) |
| 12.7.2 电磁系统 .....           | (288) |
| 本章小结 .....                  | (289) |
| 习题 12 .....                 | (290) |

|                                         |       |
|-----------------------------------------|-------|
| <b>第 13 章 电气控制的基本线路</b>                 | (291) |
| 13.1 电气控制线路的绘制                          | (291) |
| 13.1.1 常用电气控制系统的图形符号                    | (291) |
| 13.1.2 电气控制系统图                          | (291) |
| 13.2 三相异步电动机直接启动控制线路                    | (293) |
| 13.2.1 单向连续旋转的控制线路                      | (293) |
| 13.2.2 点动与连续旋转的控制线路                     | (294) |
| 13.2.3 正、反转的控制线路                        | (295) |
| 13.2.4 自动循环控制线路                         | (295) |
| 13.2.5 多地控制与顺序控制线路                      | (296) |
| 13.3 三相鼠笼型异步电动机的降压启动控制线路                | (297) |
| 13.3.1 星形-三角形 (Y- $\Delta$ ) 换接降压启动控制线路 | (297) |
| 13.3.2 串联电阻 (或电抗器) 降压启动控制线路             | (297) |
| 13.3.3 自耦变压器 (补偿器) 降压启动控制线路             | (298) |
| 13.4 绕线型异步电动机的启动控制线路                    | (299) |
| 13.4.1 转子绕组串联电阻的启动控制线路                  | (299) |
| 13.4.2 转子绕组串联频敏变阻器的启动控制线路               | (300) |
| 13.5 三相异步电动机的制动控制线路                     | (301) |
| 13.5.1 反接制动控制线路                         | (301) |
| 13.5.2 能耗制动控制线路                         | (303) |
| 13.5.3 单管能耗制动                           | (304) |
| 13.6 三相异步电动机的调速控制线路                     | (304) |
| 本章小结                                    | (306) |
| 习题 13                                   | (306) |
| <b>第 14 章 机床电气控制线路</b>                  | (308) |
| 14.1 摇臂钻床控制线路                           | (308) |
| 14.1.1 主要结构和运动形式                        | (308) |
| 14.1.2 电力拖动特点和控制要求                      | (309) |
| 14.1.3 电气控制线路分析                         | (309) |
| 14.2 万能铣床的电气控制线路                        | (311) |
| 14.2.1 主要结构和运动形式                        | (312) |
| 14.2.2 电力拖动方式和控制要求                      | (312) |
| 14.2.3 电气控制线路分析                         | (313) |
| 14.3 机床控制线路的维修                          | (316) |
| 14.3.1 机床控制线路的维护                        | (316) |
| 14.3.2 机床控制线路的检修                        | (316) |
| 14.3.3 典型机床控制线路的故障分析                    | (317) |
| 本章小结                                    | (318) |
| 习题 14                                   | (318) |



第 15 章 可编程序控制器 (PLC) ..... (320)

15.1 可编程序控制器 (PLC) 概述 ..... (320)

15.1.1 可编程序控制器 (PLC) 的产生与发展 ..... (320)

15.1.2 可编程序控制器 (PLC) 的定义与特点 ..... (320)

15.1.3 可编程序控制器 (PLC) 的分类 ..... (321)

15.1.4 可编程序控制器 (PLC) 的组成与工作原理 ..... (321)

15.1.5 可编程序控制器 (PLC) 的技术指标 ..... (325)

15.2 三菱 FX2 系列可编程序控制器 ..... (325)

15.2.1 FX2 系列 PLC 的构成与内部元件 ..... (326)

15.2.2 FX2 系列 PLC 的基本指令 ..... (327)

15.2.3 FX2 系列 PLC 的步进指令 ..... (330)

15.2.4 FX2 系列 PLC 的功能指令 ..... (332)

本章小结 ..... (333)

习题 15 ..... (333)

习题答案 ..... (335)

参考文献 ..... (346)