

教育科学“十五”国家规划课题研究成果

# 机电传动控制

主 编 海 心 赵 华



高等教育出版社

教育科学“十五”国家规划课题研究成果

# 机电传动控制

主 编 海 心 赵 华

副主编 朱永伟

参 编 孙延永 刘天军

高等教育出版社

## 内容提要

本书以初次接触电气控制技术的读者为主,内容由浅到深,循序渐进,涉及知识面较多。书中内容分为5个部分,第一部分为基础部分,重点介绍组成电气系统的常用电气元件结构和工作原理、电气图纸的阅读和绘制以及用于电路分析的逻辑代数;第二部分为传统的继电器控制技术,通过典型环节电路和典型设备电气系统分析,阐述电气控制系统的工作原理和分析电气系统的方法;第三部分为新型器件 PLC 的应用技术,其中涉及 PLC 的工作原理、基本使用方法、编程软件与组态软件应用等知识;第四部分为关于设备调速系统方面的内容,其中包含直流调速系统和近年来应用日益广泛的交流调速系统;第五部分初步涉及电气控制系统设计的有关知识。

本书以知识面宽、应用性强、内容丰富为特点,既可作为高等工科院校机械工程类的专业课程教材,也可作为相关工程技术人员的参考文献。

### 图书在版编目(CIP)数据

机电传动控制/主编海心 赵华. —北京:高等教育出版社, 2007. 11

ISBN 978 - 7 - 04 - 022581 - 5

I. 机… II. ①海…②赵… III. 电力传动控制设备 - 高等学校 - 教材 IV. TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 159424 号

策划编辑 卢 广 责任编辑 胡 纯 封面设计 于 涛  
责任绘图 朱 静 版式设计 王 莹 责任校对 王 超  
责任印制 陈伟光

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 100011  
总 机 010 - 58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司  
印 刷 涿州市京南印刷厂

开 本 787 × 960 1/16  
印 张 20.5  
字 数 380 000

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.landaco.com>  
<http://www.landaco.com.cn>  
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2007年11月第1版  
印 次 2007年11月第1次印刷  
定 价 25.70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 22581 - 00

# 总 序

为了更好地适应当前我国高等教育跨越式发展需要，满足我国高校从精英教育向大众化教育的重大转移阶段中社会对高校应用型人才培养的各类要求，探索和建立我国高等学校应用型人才培养体系，全国高等学校教学研究中心（以下简称“教研中心”）在承担全国教育科学“十五”国家规划课题——“21世纪中国高等教育人才培养体系的创新与实践”研究工作的基础上，组织全国100余所以培养应用型人才为主的高等院校，进行其子项目课题——“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”的研究与探索，在高等院校应用型人才培养的教学内容、课程体系研究等方面取得了标志性成果，并在高等教育出版社的支持和配合下，推出了一批适应应用型人才培养需要的立体化教材，冠以“教育科学‘十五’国家规划课题研究成果”。

2002年11月，教研中心在南京工程学院组织召开“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题立项研讨会。会议确定由教研中心组织国家级课题立项，为参加立项研究的高等院校搭建高起点的研究平台，整体设计立项研究计划，明确目标。课题立项采用整体规划、分步实施、滚动立项的方式，分期分批启动立项研究计划。为了确保课题立项目标的实现，组建了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题领导小组（亦为高校应用型人才立体化教材建设领导小组）。会后，教研中心组织了首批课题立项申报，有63所高校申报了近450项课题。2003年1月，在黑龙江工程学院进行了项目评审，经过课题领导小组严格的把关，确定了首批9项子课题的牵头学校、主持学校和参加学校。2003年3月至4月，各子课题相继召开了工作会议，交流了各校教学改革的情况和面临的具体问题，确定了项目分工，并全面开始研究工作。计划先集中力量，用两年时间形成一批有关人才培养模式、培养目标、教学内容和课程体系等理论研究成果报告和研究报告基础上同步组织建设的反映应用型人才特色的立体化系列教材。

与过去立项研究不同的是，“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题研究在审视、选择、消化与吸收多年来已有应用型人才探索与实践成果基础上，紧密结合经济全球化时代高校应用型人才培养工作的实际需要，努力实践，大胆创新，采取边研究、边探索、边实践的方式，推进高校应用型人才培养工作，突出重点目标，并不断取得标志性的阶段成果。

教材建设作为保证和提高教学质量的重要支柱和基础，作为体现教学内容

和教学方法的知识载体，在当前培养应用型人才中的作用是显而易见的。探索、建设适应新世纪我国高校应用型人才体系需要的教材体系已成为当前我国高校教学改革和教材建设工作面临的十分重要的任务。因此，在课题研究过程中，各课题组充分吸收已有的优秀教学改革成果，并和教学实际结合起来，认真讨论和研究教学内容和课程体系的改革，组织一批学术水平较高、教学经验较丰富、实践能力较强的教师，编写出一批以公共基础课和专业、技术基础课为主的有特色、适用性强的教材及相应的教学辅导书、电子教案，以满足高等学校应用型人才培养的需要。

我们相信，随着我国高等教育的发展和高校教学改革的不断深入，特别是随着教育部“高等学校教学质量和教学改革工程”的启动和实施，具有示范性和适应应用型人才培养的精品课程教材必将进一步促进我国高校教学质量的提高。

全国高等学校教学研究中心

2003年4月

# 前 言

本教材是根据教育科学“十五”国家规划课题“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”项目中对机械工程类专业应用型本科人才培养目标要求展开编写工作。教材的编写原则为从机械类专业的人才培养目标出发，在知识结构组织、编写内容安排、例题习题选择等方面体现机械工程类专业应用型教育的特点，力求内容清晰、结构紧凑、实用性强，尽可能反映本学科近年来科技发展的新内容、新技术，并注意引入工程实用技术手段与应用实例。

教材编写在内容安排上，依据应用型本科机械类专业“机电传动控制”课程重点放在认识、分析和应用机电控制系统的教学目标要求，采用课程知识体系完整、知识面宽、综合性强、实用为度的知识构架。在内容组织上，一是采用简单完整的实例，重点体现知识点掌握与方法应用，使刚开始接触电气控制系统的初学者能够很快地进入学科领域；二是将实际计算机工程软件应用于书中实例，使技术知识学习与实际应用相结合，并在扩展知识的基础上引入组态软件应用。

针对上述编写目标，本教材编写内容由传统的继电器控制应用开始，进而涉及电气控制的基本原理，然后在此基础上，引入应用计算机技术的可编程序控制器和使用计算机工程应用软件编制控制器程序的方法、应用计算机程序模块化编程的STEP7编程方法和组态软件应用知识，教材内容还涉及直流电动机和交流电动机的调速控制，从而构成完整的“机电传动控制”课程知识体系。

本教材由海心、赵华任主编，参加本教材编写的还有朱永伟、孙延永、刘天军等，其中海心编写第1、6、7、8、12章，孙延永编写第2章，刘天军编写第3章，赵华编写第4、5章，朱永伟编写第9、10、11章。全书由海心统稿、定稿。东南大学汤文成教授对全书进行了认真的审阅，并提出许多宝贵的意见。另外在编写的过程中，马银忠、李春荣、厉荣等给予了诸多的帮助，同时该书也参考了许多相关文献，在此一同表示衷心的感谢。

限于编者的学识水平，加之时间仓促，书中存在的错误和不妥之处，诚希使用本书的教师和读者给予指正，在此我们表示衷心的感谢。

编者  
2007年4月

## 郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E - mail: dd@ hep. com. cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010) 58581118

# 目 录

## 第一部分 机电传动控制技术基础

<b>第 1 章 绪论</b> .....	3
1.1 概述 .....	3
1.1.1 设备组成与工作过程 .....	3
1.1.2 设备控制方式的变化 .....	4
1.2 机电传动控制技术发展概述 .....	4
1.2.1 设备驱动方式的发展 .....	5
1.2.2 电气控制方式的发展 .....	7
1.2.3 电气元件的发展 .....	8
1.2.4 控制系统设计技术的发展 .....	8
1.3 机电传动控制技术研究重点 .....	8
1.4 职业道德与社会责任 .....	9
习题及思考题 .....	9
<b>第 2 章 常用低压电器</b> .....	10
2.1 概述 .....	10
2.2 开关类电器 .....	12
2.2.1 动力电路开关电器 .....	12
2.2.2 控制电路开关电器（主令电器） .....	21
2.3 继电器类电气元件 .....	29
2.3.1 接触器类电气元件 .....	29
2.3.2 控制继电器 .....	31
2.3.3 热过载保护继电器 .....	36
2.4 其他电器 .....	38
2.4.1 熔断器 .....	38
2.4.2 控制变压器 .....	40
习题及思考题 .....	41



<b>第 3 章 电气控制系统基础知识</b> .....	42
3.1 电气图绘制及绘图标准 .....	42
3.1.1 电气图中的图形符号和文字符号 .....	42
3.1.2 电路图 .....	44
3.1.3 电气元件布置图 .....	48
3.1.4 接线图 .....	49
3.2 电气控制系统的逻辑代数分析方法 .....	50
3.2.1 电气元件的逻辑表示 .....	50
3.2.2 电路状态的逻辑表达式 .....	51
3.2.3 电路化简的逻辑方法 .....	51
习题及思考题 .....	52

## 第二部分 继电器控制技术基础

<b>第 4 章 电气控制系统基本控制电路</b> .....	57
4.1 三相笼型异步电动机基本控制电路环节 .....	57
4.1.1 三相笼型异步电动机的起动控制电路 .....	58
4.1.2 三相笼型异步电动机的正反转控制电路 .....	64
4.1.3 三相笼型异步电动机的制动控制电路 .....	67
4.1.4 三相笼型异步电动机的变速控制电路 .....	72
4.2 特定功能控制电路 .....	76
4.2.1 点动与长动控制电路 .....	76
4.2.2 多地点、多条件控制电路 .....	77
4.2.3 联锁控制电路 .....	78
4.3 自动循环工作控制电路 .....	81
4.3.1 机械设备自动循环工作控制电路 .....	82
4.3.2 电液控制电路 .....	86
习题及思考题 .....	93
<b>第 5 章 典型设备电气控制系统分析</b> .....	95
5.1 设备电气控制系统分析概述 .....	95
5.2 普通车床电气控制系统分析 .....	97
5.2.1 车床的主要结构和工作要求分析 .....	97
5.2.2 电力拖动及控制要求分析 .....	98
5.2.3 车床电气控制系统分析 .....	98

5.3 卧式铣床电气控制系统分析 .....	102
5.3.1 铣床的主要结构和运动形式分析 .....	103
5.3.2 电力拖动及控制要求分析 .....	104
5.3.3 铣床电气控制系统分析 .....	104
5.4 组合机床电气控制系统分析 .....	112
5.4.1 组合机床的结构及运动分析 .....	113
5.4.2 组合机床的拖动及控制要求 .....	114
5.4.3 组合机床控制电路分析 .....	117
5.5 电气控制系统电路图设计基础 .....	120
5.5.1 控制电路设计的基本原则 .....	120
5.5.2 控制电路设计的基本方法 .....	120
5.5.3 电路图的控制逻辑设计 .....	121
5.5.4 电路图设计中的注意事项 .....	122
5.5.5 电路图设计举例 .....	124
习题及思考题 .....	128

### 第三部分 可编程序控制器 (PLC) 应用技术

第6章 可编程序控制器 (PLC) 应用基础 .....	131
6.1 概述 .....	131
6.1.1 问题的提出与解决途径 .....	131
6.1.2 可编程序控制器使用特点 .....	132
6.2 可编程序控制器硬件构成及工作原理 .....	139
6.2.1 可编程序控制器硬件构成 .....	139
6.2.2 可编程序控制器用户程序输入设备 .....	143
6.2.3 可编程序控制器工作原理 .....	144
6.3 用户控制程序编程概述 .....	146
6.3.1 可编程序控制器的编程方式 .....	146
6.3.2 可编程序控制器编程元素 .....	148
6.4 PLC控制程序编程基础 .....	152
6.4.1 基本指令 .....	152
6.4.2 可编程序控制器程序编制规则 .....	158
6.4.3 可编程序控制器编程应用 .....	159
6.5 可编程序控制器编程软件 .....	163

6.5.1 软件概述 .....	163
6.5.2 编程软件应用实例 .....	164
习题及思考题 .....	168
<b>第7章 可编程序控制器扩展应用 .....</b>	<b>170</b>
7.1 步进控制 .....	170
7.1.1 功能图 .....	171
7.1.2 步进梯形图及步进指令 .....	173
7.1.3 功能图主要类型 .....	175
7.2 功能指令应用 .....	179
7.2.1 功能指令构成 .....	179
7.2.2 功能指令应用举例 .....	183
7.3 监控组态软件在 PLC 控制系统中的应用 .....	184
7.3.1 组态软件应用概述 .....	184
7.3.2 组态软件的主要功能与组态步骤 .....	186
7.3.3 PLC 监控组态软件组态实例 .....	188
习题及思考题 .....	196
<b>第8章 可编程序控制器的其他编程方法 (STEP7 编程) .....</b>	<b>197</b>
8.1 STEP7 编程方法基础 .....	197
8.1.1 STEP7 编程方法的程序结构 .....	198
8.1.2 程序构成及调用与编程软件 .....	199
8.1.3 编程应用简介 .....	201
8.2 编程举例 (风机运行监控) .....	204
习题及思考题 .....	209

## 第四部分 设备调速控制技术

<b>第9章 设备伺服系统概述 .....</b>	<b>213</b>
9.1 概述 .....	213
9.1.1 设备的调速要求 .....	213
9.1.2 电气调速的基本概念 .....	214
9.2 伺服控制系统 .....	217
9.2.1 伺服控制系统构成 .....	217
9.2.2 伺服控制系统分类 .....	218
9.2.3 伺服系统的基本要求 .....	221

---

9.2.4 伺服系统应用 .....	222
习题及思考题 .....	223
<b>第 10 章 直流电动机调速控制 .....</b>	<b>224</b>
10.1 直流调速控制系统的基本概念 .....	224
10.1.1 直流电动机工作原理 .....	224
10.1.2 他励直流电动机机械特性方程 .....	225
10.1.3 他励直流电动机调速方式 .....	226
10.1.4 直流电动机调速装置 .....	228
10.1.5 直流电动机调速指标 .....	232
10.2 速度负反馈单闭环直流电动机调速系统 .....	237
10.2.1 晶闸管 - 直流电动机调速系统 .....	237
10.2.2 晶闸管 - 直流电动机转速负反馈调速系统 .....	238
10.3 无静差直流调速系统 .....	242
10.3.1 调节器 .....	243
10.3.2 采用 PI 调节器的单闭环转速负反馈调速系统 .....	245
10.4 直流电动机转速、电流双闭环调速系统 .....	247
10.4.1 转速、电流双闭环调速系统的组成 .....	247
10.4.2 转速、电流双闭环调速系统的调速过程 .....	248
习题及思考题 .....	250
<b>第 11 章 交流电动机调速控制 .....</b>	<b>252</b>
11.1 交流电动机调速概述 .....	252
11.1.1 三相异步电动机的结构和工作原理 .....	252
11.1.2 交流电动机调速系统分类 .....	253
11.2 交流电动机定子侧变频调速系统 .....	255
11.2.1 变频调速的基本原理 .....	255
11.2.2 变频器的基本结构与工作原理 .....	257
11.2.3 正弦波脉宽调制 (SPWM) .....	260
11.3 交流电动机转子侧串级调速系统 .....	265
11.3.1 串级调速概述 .....	265
11.3.2 串级调速构成与调速原理 .....	266
11.3.3 晶闸管串级调速系统结构与工作原理 .....	268
11.4 无刷直流电动机调速系统 .....	270
11.4.1 永磁无刷直流电动机结构组成 .....	270
11.4.2 永磁无刷直流电动机调速控制 .....	272
11.5 VVVF 变频器产品与使用 .....	275

11.5.1 一般变频器的基本结构 .....	275
11.5.2 变频器的主要控制参数 .....	276
11.5.3 变频器使用简介 .....	277
习题及思考题 .....	282

## 第五部分 电气控制系统设计基础

<b>第 12 章 设备电气控制系统设计</b> .....	<b>285</b>
12.1 电气控制系统设计的基本原则和内容 .....	285
12.1.1 电气控制系统设计的基本原则 .....	285
12.1.2 电气控制系统设计的主要工作内容 .....	286
12.2 电气控制装置的设计步骤与设计要点 .....	288
12.2.1 电气控制系统设计的设计步骤 .....	288
12.2.2 电气控制系统设计的设计要点 .....	289
12.3 设计举例 .....	296
12.3.1 设备结构及运动概述 .....	296
12.3.2 初步设计 .....	298
12.3.3 技术设计 .....	299
习题及思考题 .....	304
<b>附 录</b> .....	<b>305</b>
附录 A 电气元件的操作件图形符号及电气元件触点图形符号例 .....	305
附录 B 电气元件文字符号（项目种类代号） .....	310
<b>参考文献</b> .....	<b>313</b>
<b>后记</b> .....	<b>315</b>

第一部分

---

# 机电传动控制技术基础



# 第1章 绪论

## 1.1 概述

在人类发展的历史过程中，工具的使用是一个重要的因素。人类所使用的工具，从原始人制作的石斧发展到今天现代人制造的登月探测车，经历了原始技能到现代技术的进步，人类利用工具不仅延伸了自身的生存能力，也改变了自己的生活方式。观察我们周围就会发现，人们已被各种各样的工具所包围，有些复杂工具，就被称之为机器，或者设备。这些机器或设备，有的是与生活直接有关，如洗衣机、电冰箱、飞机等，有的则是与设备制造有关，如数控机床、线切割机、汽车生产线等。人们的生活不仅离不开这些设备，同时还需不断地发明和制造新的设备。

### 1.1.1 设备组成与工作过程

当我们仔细分析周围的设备，就会发现它们都有一个共同点，那就是设备整体来说主要有3部分组成，即固定支撑机构及功能执行部分（工作部分）、驱动装置部分和控制驱动装置的控制系统部分。例如，图1.1.1所示洗衣机的构成，外壳、洗衣桶、进排水管组成洗衣机的工作部分，电动机为洗衣机驱动装置，电路板、操作键和按钮组成洗衣机的控制部分（电气控制系统），控制部分按照人们设定的洗衣要求控制洗衣机完成洗衣过程。

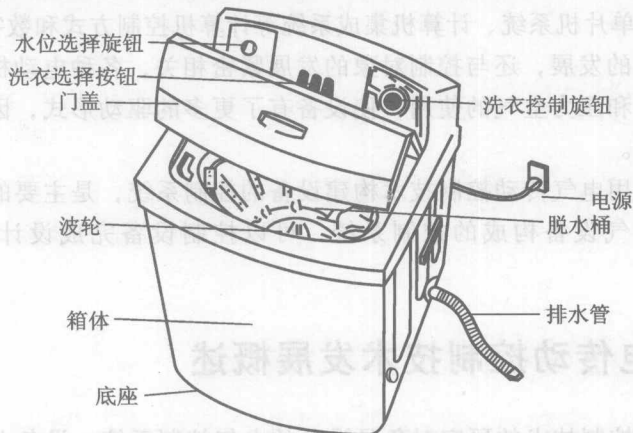


图 1.1.1 洗衣机构成示意图



又如在数控机床上也可以看到同样的构成形式,床身、主轴箱、进给机构、换刀机构组成设备的工作部分,电动机和液压系统为机床的驱动装置,含数控单元的电气系统组成机床的控制部分。电气控制系统控制数控机床完成零件加工过程。

上述设备构造特点使人们在设计、制造设备的过程中,逐渐延伸形成设备功能设计制造、驱动系统设计制造与控制系统设计制造等相互关联的技术领域。控制系统设计制造是本书关注和讨论的内容。

### 1.1.2 设备控制方式的变化

设备的控制部分是其必不可少的重要组成部分,而控制部分的构成以及其所采用的控制方式也经历了一个不断变化的过程。

人们最早实现设备控制的方式可以从机械钟表的结构中看到,无论是普通钟表时、分、秒针的走动,还是“布谷”钟上伴随报时出现的小鸟和音乐,其控制都是由发条、齿轮、杆件、齿鼓、弹簧等机械零件组成的系统完成,这种控制方式为机械方式。在20世纪早期,制造汽车发动机凸轮的机床上,也采用凸轮等机械方式控制机床完成自动循环加工的工作过程。

机械控制方式的应用,受到构成组件的体积、重量、功能等方面的限制。随着各种电动机产品的出现和使用,使人们逐渐转向使用电气方式,通过开关、接触器、继电器等开关类器件组成电气系统对设备进行控制。从上个世纪后期的一些产品和设备中可以看到这些控制方式的例子,例如有些洗衣机、电风扇及普通车床的控制等。

随着计算机技术的发展和现代自动化生产过程的出现,普通开关类器件组成的电气系统已不能满足人们对设备控制的要求,在计算机技术的支持下,人们拓展了电气系统的组件,加入一些其他的控制系统,如数控系统、可编程控制器系统、单片机系统、计算机集成系统等计算机控制方式和数字控制方式。

控制技术的发展,还与控制对象的发展紧密相关,各种电动机的制造和使用,压力液体和压力空气的使用,使设备有了更多的驱动形式,因而也出现相应的控制系统。

目前,采用电气传动控制技术构建设备的控制系统,是主要的设备控制途径。通过由电气设备构成的控制系统,可以控制设备完成设计预定的工作功能。

## 1.2 机电传动控制技术发展概述

机电传动控制技术的研究对象是设备的电气控制系统。设备上与电气控制