



中国机械工程学科教程配套系列教材
教育部高等学校机械设计制造及其自动化专业教学指导分委员会推荐教材

机电传动控制技术

王丰 李明颖 琚立颖 编著

中国机械工程学科教程研究组

China Mechanical Engineering Curricula

中国机械工程学科教程

清华大学出版社

清华大学出版社



中国机械工程学科教程配套系列教材
教育部高等学校机械设计制造及其自动化专业教学指导分委员会推荐教材

机电传动控制技术

王丰 李明颖 琚立颖 编著



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书分为5篇、共10章,包括机电传动控制基础(绪论、控制电动机、常用低压电器及其选择),继电器控制技术(继电器控制技术基础、继电器控制技术线路设计),PLC控制技术(PLC基础、PLC控制系统设计),电动机无级调速控制技术(直流电动机无级调速控制、交流电动机无级调速控制),系统设计(机电传动控制系统设计)。书后附有实用技术资料,包括控制电动机、低压电器元件以及变频器的主要技术数据、常用图形/文字符号新旧标准对照、S7-200系列PLC重要信息等。书中电器元件的图形符号和文字符号均采用最新的国家标准。

本书可作为高等院校机械设计制造及其自动化、机械电子工程、工业工程等专业的教材,也可供从事机电一体化和电气控制工作的工程技术人员参考。

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

机电传动控制技术/王丰,李颖,琚立颖编著.--北京:清华大学出版社,2014

中国机械工程学科教程配套系列教材暨教育部高等学校机械设计制造及其自动化专业教学指导分委员会推荐教材

ISBN 978-7-302-38194-5

I. ①机… II. ①王… ②李… ③琚… III. ①电力传动控制设备 IV. ①TM921.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第230606号

责任编辑:庄红权

封面设计:常雪影

责任校对:赵丽敏

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 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:三河市君旺印务有限公司

装订者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:21

字 数:510千字

版 次:2014年12月第1版

印 次:2014年12月第1次印刷

印 数:1~2500

定 价:42.00元

产品编号:062063-01

中国机械工程学科教程配套系列教材暨教育部高等学校
机械设计制造及其自动化专业教学指导分委员会推荐教材

编 委 会

顾 问
李培根院士

主任委员
陈关龙 吴昌林

副主任委员
许明恒 于晓红 李郝林 李 旦 郭钟宁

编 委(按姓氏首字母排列)
韩建海 李理光 李尚平 潘柏松 芮执元
许映秋 袁军堂 张 慧 张有忱 左健民

秘 书
庄红权

丛书序言

PREFACE

我曾提出过高等工程教育边界再设计的想法,这个想法源于社会的反应。常听到工业界人士提出这样的话题:大学能否为他们进行人才的订单式培养。这种要求看似简单、直白,却反映了当前学校人才培养工作的一种尴尬:大学培养的人才还不是很适应企业的需求,或者说毕业生的知识结构还难以很快适应企业的工作。

当今世界,科技发展日新月异,业界需求千变万化。为了适应工业界和人才市场的这种需求,也即是适应科技发展的需求,工程教学应该适时地进行某些调整或变化。一个专业的知识体系、一门课程的教学内容都需要不断变化,此乃客观规律。我所主张的边界再设计即是这种调整或变化的体现。边界再设计的内涵之一即是课程体系及课程内容边界的再设计。

技术的快速进步,使得企业的工作内容有了很大变化。如从 20 世纪 90 年代以来,信息技术相继成为很多企业进一步发展的瓶颈,因此不少企业纷纷把信息化作为一项具有战略意义的工作。但是业界人士很快发现,在毕业生中很难找到这样的专门人才。计算机专业的学生并不熟悉企业信息化的内容、流程等,管理专业的学生不熟悉信息技术,工程专业的学生可能既不熟悉管理,也不熟悉信息技术。我们不难发现,制造业信息化其实就处在某些专业的边缘地带。那么对那些专业而言,其课程体系的边界是否要变?某些课程内容的边界是否有可能变?目前不少课程的内容不仅未跟上科学研究的发展,也未跟上技术的实际应用。极端情况甚至存在有些地方个别课程还在讲授已多年弃之不用的技术。若课程内容滞后于新技术的实际应用好多年,则是高等工程教育的落后甚至是悲哀。

课程体系的边界在哪里?某一门课程内容的边界又在哪里?这些实际上是业界或人才市场对高等工程教育提出的我们必须面对的问题。因此可以说,真正驱动工程教育边界再设计的是业界或人才市场,当然更重要的是大学如何主动响应业界的驱动。

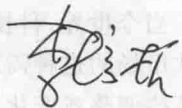
当然,教育理想和社会需求是有矛盾的,对通才和专才的需求是有矛盾的。高等学校既不能丧失教育理想、丧失自己应有的价值观,又不能无视社会需求。明智的学校或教师都应该而且能够通过合适的边界再设计找到适合自己的平衡点。

我认为,长期以来,我们的高等教育其实是“以教师为中心”的。几乎所有的教育活动都是由教师设计或制定的。然而,更好的教育应该是“以学生

为中心”的,即充分挖掘、启发学生的潜能。尽管教材的编写完全是由教师完成的,但是真正的教材需要教师在编写时常怀“以学生为中心”的教育理念。如此,方得以产生真正的“精品教材”。

教育部高等学校机械设计制造及其自动化专业教学指导分委员会、中国机械工程学会与清华大学出版社合作编写、出版了《中国机械工程学科教程》,规划机械专业乃至相关课程的内容。但是“教程”绝不应该成为教师们编写教材的束缚。从适应科技和教育发展的需求而言,这项工作应该不是一时的,而是长期的,不是静止的,而是动态的。《中国机械工程学科教程》只是提供一个平台。我很高兴地看到,已经有多位教授努力地进行了探索,推出了新的、有创新思维的教材。希望有志于此的人们更多地利用这个平台,持续、有效地展开专业的、课程的边界再设计,使得我们的教学内容总能跟上技术的发展,使得我们培养的人才更能为社会所认可,为业界所欢迎。

是以有序。



2009年7月

前 言

FOREWORD

作者于 2011 年 2 月出版了《机电传动控制》，该书被许多高校采用。经过 3 年来的教学实践，我们深感该书在知识结构体系、编写内容等方面有必要进行调整，以更好地突显专业条理清晰、内容先进、实用性强等特点，因此才有了此次再版。

本书分为 5 篇、共 10 章，包括第 1 篇机电传动控制基础（第 1 章绪论、第 2 章控制电动机、第 3 章常用低压电器及其选择），第 2 篇继电器接触器控制技术（第 4 章继电器接触器控制基础、第 5 章继电器接触器控制线路设计），第 3 篇 PLC 控制技术（第 6 章 PLC 基础、第 7 章 PLC 控制系统设计），第 4 篇电动机无级调速控制技术（第 8 章直流电动机无级调速控制、第 9 章交流电动机无级调速控制），第 5 篇系统设计（第 10 章机电传动控制系统设计）。书后仍附有实用技术资料，其中增加了日本山洋公司直流伺服电动机以及一些新器件的技术数据。

参加本书编著工作的有王丰、李明颖和琚立颖，全书由王丰统稿和定稿，除了第 1 章和第 8 章由李明颖和王丰共同编著、附录资料由琚立颖收集整理外，其余均由王丰完成。

由于机电传动控制技术涉及多个学科，限于作者的学识水平，书中不妥之处未可避免，敬请使用本书的教师和读者不吝赐教。

编 者

2014 年 10 月

目 录

CONTENTS

第 1 篇 机电传动控制基础

第 1 章 绪论	3
1.1 机电传动控制的目的和任务	3
1.2 机电传动控制技术的发展	4
1.2.1 机电传动的发展	4
1.2.2 机电传动控制方式的发展	4
1.3 机电传动控制系统的组成和分类	6
1.3.1 机电传动控制系统的组成	6
1.3.2 机电传动控制系统的分类	6
习题与思考题	7
第 2 章 控制电动机	8
2.1 直流伺服电动机	8
2.1.1 直流伺服电动机的种类和结构	8
2.1.2 直流伺服电动机的控制	10
2.1.3 直流伺服电动机的特点	11
2.2 交流伺服电动机	12
2.2.1 交流伺服电动机的种类和特点	12
2.2.2 交流伺服电动机的结构	12
2.2.3 交流伺服电动机的工作原理	12
2.2.4 交流伺服电动机的控制	13
2.3 步进电动机	15
2.3.1 步进电动机的分类和工作原理	15
2.3.2 步进电动机的特点	18
2.3.3 步进电动机的运行特性和性能指标	19
2.3.4 步进电动机的驱动与控制	21
习题与思考题	28
第 3 章 常用低压电器及其选择	30
3.1 接触器类电器	30
3.1.1 接触器	30
3.1.2 继电器	35

3.2	保护电器	37
3.2.1	电流继电器	37
3.2.2	电压继电器	37
3.2.3	热继电器	38
3.2.4	熔断器	39
3.3	信号电器	43
3.3.1	速度继电器	43
3.3.2	压力继电器	44
3.3.3	温度继电器	44
3.3.4	液位继电器	46
3.3.5	干簧继电器	46
3.4	开关电器	46
3.4.1	隔离器(开关)	47
3.4.2	刀开关	47
3.4.3	断路器	49
3.5	主令电器	50
3.5.1	按钮	50
3.5.2	行程开关	51
3.5.3	接近开关	53
3.5.4	万能转换开关	54
3.5.5	主令控制器	55
3.5.6	指示灯	56
3.6	低压电器的选择	56
3.6.1	接触器的选择	56
3.6.2	电磁式继电器的选择	59
3.6.3	时间继电器的选择	60
3.6.4	热继电器的选择	62
3.6.5	熔断器的选择	63
3.6.6	常用信号电器及其型号说明	64
3.6.7	开关电器的选择	65
3.6.8	主令电器的选择	68
	习题与思考题	71

第 2 篇 继电接触器控制技术

第 4 章	继电接触器控制基础	75
4.1	电气原理图	75
4.1.1	电气原理图的绘制原则	75
4.1.2	电气原理图中的图形符号和文字符号	75

4.2	基本控制线路	77
4.2.1	三相异步电动机的启动控制线路	77
4.2.2	三相异步电动机的正反转控制线路	85
4.2.3	三相异步电动机的制动控制线路	88
4.2.4	其他基本控制线路	92
	习题与思考题	95
第5章	继电器接触器控制线路设计	97
5.1	继电器接触器控制线路设计的基本原则	97
5.1.1	安全性原则	97
5.1.2	经济性原则	100
5.1.3	保护性原则	100
5.2	电动机的选择	102
5.2.1	电动机类型的选择	103
5.2.2	电动机结构形式的选择	103
5.2.3	电动机容量的选择	103
5.2.4	电动机额定转速的选择	105
5.3	继电器接触器控制线路设计举例	105
5.3.1	继电器接触器控制线路设计方法	105
5.3.2	继电器接触器控制线路设计实例	106
	习题与思考题	109

第3篇 PLC控制技术

第6章	PLC基础	113
6.1	PLC概述	113
6.1.1	PLC的产生和发展	113
6.1.2	PLC的分类	114
6.1.3	PLC的编程语言	116
6.1.4	PLC控制与继电器接触器控制的区别	118
6.1.5	PLC的基本组成	120
6.1.6	PLC的工作过程	122
6.2	S7-200系列PLC	124
6.2.1	S7-200系列PLC的模块	124
6.2.2	S7-200系列PLC的存储器单元	129
6.2.3	S7-200系列PLC的寻址方式	132
6.2.4	S7-200系列PLC的地址分配	135
6.2.5	S7-200系列PLC的编程软件	136
6.3	S7-200系列PLC常用指令	137
6.3.1	S7-200系列PLC的基本指令	137
6.3.2	S7-200系列PLC的数据处理指令	147

6.3.3	S7-200 系列 PLC 的数学运算指令	153
6.3.4	S7-200 系列 PLC 的程序控制指令	155
6.3.5	S7-200 系列 PLC 的高速处理指令	161
6.3.6	S7-200 系列 PLC 的 PID 回路控制指令	166
	习题与思考题	171
第 7 章	PLC 控制系统设计	173
7.1	PLC 控制系统设计的基本步骤	173
7.2	PLC 控制系统设计的主要内容	175
7.2.1	PLC 控制系统硬件设计	175
7.2.2	PLC 控制系统软件设计	178
7.3	PLC 控制系统设计举例	180
	习题与思考题	186

第 4 篇 电动机无级调速控制技术

第 8 章	直流电动机无级调速控制	191
8.1	电动机调速的基本概念和性能指标	191
8.1.1	电动机调速的基本概念	191
8.1.2	电动机调速的性能指标	191
8.2	直流电动机无级调速系统	193
8.2.1	直流电动机的无级调速及其调速特性	193
8.2.2	晶闸管-电动机直流调速系统	195
	习题与思考题	205
第 9 章	交流电动机无级调速控制	207
9.1	异步电动机调速系统的基本类型	207
9.2	异步电动机无级调速系统	208
9.2.1	变压调速系统	208
9.2.2	串级调速系统	210
9.2.3	变频调速系统	213
9.3	异步电动机矢量变换控制	215
9.4	变频器	216
9.4.1	变频器的分类与基本结构	216
9.4.2	正弦波脉宽调制 (SPWM) 变频器	218
9.4.3	变频器的使用与选择	220
9.4.4	西门子 MICROMASTER 440(MM440)通用型变频器	224
	习题与思考题	231

第 5 篇 系统设计

第 10 章	机电传动控制系统设计	235
10.1	机电传动控制系统设计的基本原则	235

10.2 机电传动控制系统设计的一般步骤和主要内容	236
10.3 机电传动控制系统设计要点	237
10.4 机电传动控制系统设计实例	240
习题与思考题	252
附录 A 控制电动机技术数据	253
附录 B 常用文字符号和图形符号及新旧标准对照	262
附录 C 常用电器元件主要技术数据	281
附录 D S7-200 系列 PLC 重要信息	299
附录 E 德国西门子 MM440 变频器技术数据	318
参考文献	322

第 1 篇 机电传动控制基础

绪 论

1.1 机电传动控制的目的和任务

机电传动也称电力拖动或电力传动,是指以电动机为原动机驱动生产机械的系统的总称。其目的是将电能转变成机械能,实现生产机械的启动/停止和速度调节,以满足生产工艺过程的要求,保证生产过程正常进行。因此,机电传动控制包括用于拖动生产机械的电动机以及电动机控制系统两大部分。

在现代化生产中,生产机械的先进性和电气自动化程度反映了工业生产发展的水平。现代化机械设备和生产系统已不再是传统的单纯机械系统,而是机电一体化的综合系统。机电传动控制已成为现代化机械的重要组成部分。机电传动控制的任务从狭义上讲,是通过控制电动机驱动生产机械,实现产品数量的增加、产品质量的提高、生产成本的降低、工人劳动条件的改善以及能源的合理利用;从广义上讲,则是使生产机械设备、生产线、车间乃至整个工厂实现自动化。

随着现代化生产的发展,生产机械或生产过程对机电传动控制的要求越来越高。例如:一些精密机床要求加工精度达百分之几毫米,甚至几微米;为了保证加工精度和粗糙度,重型镗床要求在极低的速度下稳定进给,因此要求系统的调速范围很宽;轧钢车间的可逆式轧机及其辅助机械操作频繁,要求在不到 1s 的时间内就能完成正反转切换,因此要求系统能够快速启动、制动和换向;对于电梯等提升机构,要求启停平稳,并能够准确地停止在给定的位置上;对于冷、热连轧机或造纸机,要求各机架或各部分之间保持一定的转速关系,以便协调运转;为了提高效率,要求对由数台或数十台设备组成的自动生产线实行统一控制和管理。上述这些要求都要依靠机电传动控制来实现。

随着计算机技术、微电子技术、自动控制理论、精密测量技术、电动机和电器制造业及自动化元件的发展,机电传动控制正在不断创新与发展,如直流或交流无级调速控制系统取代了复杂笨重的变速箱系统,简化了生产机械的结构,使生产机械向性能优良、运行可靠、体积小、重量轻、自动化方向发展。因此,在现代化生产中,机电传动控制具有极其重要的地位。

1.2 机电传动控制技术的发展

1.2.1 机电传动的发展

机电传动及其控制系统总是随着社会生产的发展而发展的。20世纪初,由于电动机的出现,使得设备的驱动方式发生了深刻的变革,电动机替代了蒸汽机。机电传动的发展大体上经历了成组拖动、单电机拖动和多电机拖动3个阶段。

1. 成组拖动

成组拖动是用一台电动机拖动一根天轴,然后再由天轴通过皮带轮和皮带分别拖动各生产机械,这种传动方式生产效率低、劳动条件差,一旦电动机发生故障,将造成成组的生产机械停车。

2. 单电机拖动

单电机拖动是用一台电动机拖动一台生产机械。较之成组拖动,单电机拖动简化了传动机构,缩短了传动路线,提高了传动效率,至今仍有一些中小型通用机床采用单电机拖动。

3. 多电机拖动

多电机拖动是指一台生产机械的每一个运动部件分别由一台专门的电动机拖动,例如龙门刨床的刨台、左右垂直刀架与侧刀架、横梁及其夹紧机构,均分别由一台电动机拖动,这种传动方式不仅大大简化了生产机械的传动机构,而且控制灵活,为生产机械的自动化提供了有利的条件,所以现代化机电传动基本上均采用这种传动形式。

1.2.2 机电传动控制方式的发展

自从以电动机作为原动机以来,伴随着电气拖动的发展,机电传动控制方式的发展经历了以下几个阶段。

1. 继电器接触器控制

最早的自动控制是20世纪20—30年代出现的传统继电器接触器控制,它可以实现对控制对象的启动、停车、调速、自动循环以及保护等控制。其优点是所用控制器件结构简单、价格低廉、控制方式直观、易于掌握、工作可靠、维护方便,在机电传动控制中得到广泛的应用。但是经过长期使用,这种控制方式的不足之处也日益显现,即体积大、功耗大、控制速度慢、改变控制程序困难;由于是有触点控制,在控制系统复杂时可靠性降低。因此不适合对生产工艺及流程经常变化的机械进行控制。

2. 顺序控制器控制

在20世纪60年代,随着半导体技术的发展,出现了顺序控制器。它是继电器和半导体元件综合应用的控制装置,具有易于修改程序、通用性较强等优点,广泛用于组合机床和自动线上。

3. 可编程控制器

可编程控制器(PLC)是计算机技术与继电器控制技术相结合的产品。它是以微处理器为核心、顺序控制为主的控制器,不仅具有顺序控制器的特点,而且具有微处理器的运算功能。PLC的设计以工业控制为目标,因而具有功率级输出、接线简单、通用性强、编程容易、抗干扰能力强、工作可靠等优点。它一经问世便以强大的生命力,迅速地占领了传统的控制领域。PLC的发展方向之一是微型、简易、价廉,以图取代传统的继电器接触器控制;而它的另一个发展方向是大容量、高速、高性能、对大规模复杂控制系统能进行综合控制。

4. 数字控制技术

数字控制技术(NC)是以数字化的信息,通过数控装置(专用或通用计算机)实现控制的技术,数控机床是其最典型的产品。数控机床集高效率、高柔性、高精度于一身,特别适合多品种、小批量的加工自动化。早期的数控装置实质上就是一台专用计算机,由固定的逻辑电路来实现专门的控制运算功能,可以实现插补运算。

在数字控制的基础上,又出现了以下几种控制方式。

1) 计算机数字控制技术

计算机数字控制技术(CNC)利用小型通用计算机来实现数控装置的运算功能,其运算功能更强。

2) 加工中心机床

加工中心机床(MC)是采用计算机数字控制技术,集铣床、镗床、钻床三种功能于一体的加工机床,它单轴加工,配有刀库和自动换刀装置,大大地提高了加工效率,是多工序自动换刀数控机床。

3) 自适应数控机床

自适应数控机床(AC)可针对加工过程中加工条件的变化(如材料变化、刀具磨损、切削温度变化等),自动进行适应调整,使加工过程处于合理的最佳状态。自适应数控机床基于最优控制及自适应控制理论,可在扰动条件下实现最优。

4) 柔性制造系统

柔性制造系统(FMS)将一组数控机床与工件、刀具、夹具以及自动传输线、机器人、运输装置相配合,并由一台中心计算机(上位机)统一管理,使生产多样化,为生产机械赋予柔性,可实现多级控制。FMS是适应中小批量生产的自动化加工系统。有些较大的FMS是由一些较小的FMS组成,而这些较小的FMS系统也称为柔性加工单元(FMC)。

5) 计算机集成制造系统

虽然柔性制造系统具有柔性,但是由于缺少计算机辅助设计等环节,因此不能保证“及时生产”(即边生产边设计)。计算机集成制造系统(CIMS)是在柔性制造系统的基础上,增