



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类专业教学指导委员会规划教材

机电传动控制技术 (第2版)

王丰 杨杰 王鑫阁 编著

教育部高等学校机械类专业教学指导委员会
中国机械工程学会

中国机械工程学科教程项目组 编

China Mechanical Engineering Curricula
中国机械工程学科教程

(2017年)

CMEC

清华大学出版社

清华大学出版社

内容简介



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类专业教学指导委员会规划教材

机电传动控制技术

(第2版)

王丰 杨杰 王鑫阁 编著

主任委员

副主任委员

杨明恒 于晓红 李郁林 李 星 郭钟宁

编委(按姓氏首字母排列)

韩建海 许映秋

潘柏松 肖致元

张有海

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书分为5篇,共11章,包括机电传动控制基础(绪论、控制电动机及其驱动),继电器接触器控制技术(继电器接触器控制基础、电动机的继电器接触器控制、继电器接触器控制系统设计),PLC控制技术(PLC基础、电动机的PLC控制、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、常用低压电器元件以及变频器的主要技术数据、电气简图常用图形符号新旧标准对照及废除的符号、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和机械电子工程等专业的教材,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,杨杰,王鑫阁编著.—2版.—北京:清华大学出版社,2019
(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类专业教学指导委员会规划教材)
ISBN 978-7-302-52284-3

I. ①机… II. ①王… ②杨… ③王… III. ①电力传动控制设备—高等学校—教材 IV. ①TM921.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第025796号

责任编辑:许 龙

封面设计:常雪影

责任校对:赵丽敏

责任印制:李红英

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

印装者:三河市君旺印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:22 字 数:536千字

版 次:2014年12月第1版 2019年8月第2版 印 次:2019年8月第1次印刷

定 价:59.80元

产品编号:080530-01

中国机械工程学科教程配套系列教材暨教育部高等学校
机械类专业教学指导委员会规划教材

编 委 会

顾 问
李培根院士

主任委员
陈关龙 吴昌林

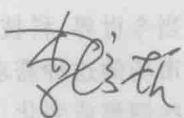
副主任委员
许明恒 于晓红 李郝林 李 旦 郭钟宁

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

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。



2009年7月

前 言

FOREWORD

距 2014 年《机电传动控制技术》第 1 版的出版已悄然逝去 4 年光阴,本书历经 5 次重印,作者借此再版之契机,补漏订讹,使其内容更趋于完善、架构更趋于合理。

“机电传动控制”课程的主要研究对象是用于驱动生产机械的电动机,着重于在熟悉各类电动机特性的基础上,选择适宜的电动机并对之实施控制,从而使生产机械能够按照预期要求完成生产任务。现代的电动机控制引入了 PLC 控制技术,因此在此次再版中增加了“电动机的 PLC 控制”,通过 19 个设计实例,使读者由浅及深地了解并掌握如何利用 PLC 来实现对电动机的控制,为进行机电传动控制系统设计奠定基础,同时也更加凸显本书的实用性。

本书分为 5 篇,共 11 章,包括第 1 篇机电传动控制基础(第 1 章绪论、第 2 章控制电动机及其驱动),第 2 篇继电器接触器控制技术(第 3 章继电器接触器控制基础、第 4 章电动机的继电器接触器控制、第 5 章继电器接触器控制系统设计),第 3 篇 PLC 控制技术(第 6 章 PLC 基础、第 7 章电动机的 PLC 控制、第 8 章 PLC 控制系统设计),第 4 篇电动机无级调速控制技术(第 9 章直流电动机无级调速控制、第 10 章交流电动机无级调速控制),第 5 篇系统设计(第 11 章机电传动控制系统设计)。书后仍附有实用的技术资料,其中,电气简图常用图形符号参考了最新的国家标准 GB/T 4728.1~5—2018。

全书由王丰统稿和定稿。第 1 篇和第 5 篇由杨杰编著;附录部分的技术资料由王鑫阁进行整理;第 2~4 篇由王丰完成。

虽然本书对第 1 版中的不当或疏漏之处尽力进行了修改,但由于作者水平所限,书中仍可能存在不妥之处,敬请各位读者批评指正。

作 者
2018 年 10 月

第 1 章 绪论	1
1.1 常用控制电路元件	1
1.1.1 熔断器和断路器	1
1.1.2 保护电路	2
1.1.3 行程开关	4
1.1.4 开关电器	4
1.1.5 安全电路	5
1.2 电气原理图	5

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 传动方式的发展	4
1.2.2 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 控制电动机及其驱动	8
2.1 伺服电动机	8
2.1.1 直流伺服电动机及其驱动	8
2.1.2 交流伺服电动机及其驱动	12
2.2 步进电动机	14
2.2.1 步进电动机的分类和工作原理	15
2.2.2 步进电动机的特点	18
2.2.3 步进电动机的运行特性和性能指标	19
2.2.4 步进电动机的驱动与控制	21
习题与思考题	28

第2篇 继电器接触器控制技术

第3章 继电器接触器控制基础	31
3.1 常用低压电器元件	31
3.1.1 接触器和继电器	31
3.1.2 保护电器	37
3.1.3 信号电器	43
3.1.4 开关电器	47
3.1.5 主令电器	51
3.2 电气原理图	57

3.2.1	电气原理图的绘制原则	57
3.2.2	电气原理图中的图形符号和文字符号	57
	习题与思考题	64
第4章	电动机的继电接触器控制	65
4.1	单电动机的继电接触器控制	65
4.1.1	电动机启动的继电接触器控制	65
4.1.2	电动机正反转的继电接触器控制	68
4.1.3	电动机制动的继电接触器控制	71
4.1.4	其他控制	75
4.2	多电动机的继电接触器控制	77
4.2.1	电动机顺序启停控制	77
4.2.2	按时间原则的电动机顺序启停控制	78
	习题与思考题	78
第5章	继电接触器控制系统设计	80
5.1	继电接触器控制系统设计的基本原则	80
5.1.1	安全性原则	80
5.1.2	经济性原则	83
5.1.3	保护性原则	83
5.2	低压电器元件的选择	85
5.2.1	接触器的选择	85
5.2.2	电磁式继电器的选择	88
5.2.3	时间继电器的选择	89
5.2.4	热继电器的选择	90
5.2.5	熔断器的选择	92
5.2.6	常用信号电器及其型号说明	93
5.2.7	开关电器的选择	94
5.2.8	主令电器的选择	96
5.3	继电接触器控制系统设计方法及实例	100
5.3.1	继电接触器控制系统设计方法	100
5.3.2	继电接触器控制系统设计实例	100
	习题与思考题	104

第3篇 PLC控制技术

第6章	PLC基础	107
6.1	PLC概述	107
6.1.1	PLC的产生和发展	107
6.1.2	PLC的分类	108
6.1.3	PLC的编程语言	110
6.1.4	PLC控制与继电接触器控制的区别	112

6.1.5	PLC 的基本组成	114
6.1.6	PLC 的工作过程	116
6.2	S7-200 系列 PLC	118
6.2.1	S7-200 系列 PLC 的模块	118
6.2.2	S7-200 系列 PLC 的存储器单元	123
6.2.3	S7-200 系列 PLC 的寻址方式	126
6.2.4	S7-200 系列 PLC 的地址分配	129
6.2.5	S7-200 系列 PLC 的编程软件	130
6.3	S7-200 系列 PLC 常用指令	131
6.3.1	S7-200 系列 PLC 的基本指令	131
6.3.2	S7-200 系列 PLC 的数据处理指令	141
6.3.3	S7-200 系列 PLC 的数学运算指令	147
6.3.4	S7-200 系列 PLC 的程序控制指令	149
6.3.5	S7-200 系列 PLC 的高速处理指令	155
6.3.6	S7-200 系列 PLC 的 PID 回路控制指令	160
	习题与思考题	165
第 7 章	电动机的 PLC 控制	167
7.1	单电动机的 PLC 控制	167
7.1.1	电动机启动的 PLC 控制	167
7.1.2	电动机正反转的 PLC 控制	176
7.1.3	电动机制动的 PLC 控制	183
7.2	多电动机的 PLC 控制	189
7.2.1	手动操作电动机顺序启停控制	189
7.2.2	手动/自动操作电动机顺序启停控制	190
7.2.3	自动操作电动机顺序启停控制	193
	习题与思考题	197
第 8 章	PLC 控制系统设计	199
8.1	PLC 控制系统设计的基本步骤	199
8.2	PLC 控制系统设计的主要内容	201
8.2.1	PLC 控制系统硬件设计	201
8.2.2	PLC 控制系统软件设计	204
8.3	PLC 控制系统设计实例	206
	习题与思考题	212

第 4 篇 电动机无级调速控制技术

第 9 章	直流电动机无级调速控制	217
9.1	电动机调速的基本概念和性能指标	217
9.1.1	电动机调速的基本概念	217
9.1.2	电动机调速的性能指标	217

9.2	直流电动机无级调速系统	219
9.2.1	直流电动机的无级调速及其调速特性	219
9.2.2	晶闸管-电动机直流调速系统	221
	习题与思考题	231
第10章	交流电动机无级调速控制	233
10.1	三相异步电动机调速系统的基本类型	233
10.2	三相异步电动机无级调速系统	234
10.2.1	变压调速系统	234
10.2.2	串级调速系统	236
10.2.3	变频调速系统	239
10.3	异步电动机矢量变换控制	241
10.4	变频器	242
10.4.1	变频器的分类与基本结构	242
10.4.2	正弦波脉宽调制变频器	244
10.4.3	变频器的使用与选择	246
10.4.4	西门子 MM440 通用型变频器	250
	习题与思考题	257
第5篇 系统设计		
第11章	机电传动控制系统设计	261
11.1	机电传动控制系统设计的基本原则	261
11.2	机电传动控制系统设计的一般步骤和主要内容	262
11.3	机电传动控制系统设计要点	263
11.4	机电传动控制系统设计实例	266
	习题与思考题	278
附录 A	控制电动机技术数据	279
附录 B	电气简图常用图形符号	288
附录 C	常用低压电器元件主要技术数据	299
附录 D	S7-200 系列 PLC 重要信息	317
附录 E	MM440 变频器技术数据	336
	参考文献	340

第 1 篇 机电传动控制基础

机电一体化就是电力拖动电动机传动,是以电动机为原动机驱动生产机械的新的总称。其目的是要求借助电动机传动,实现生产机械的启动、停止调速及换向,以满足生产工艺过程的要求,使生产过程连续进行。因此,机电传动控制包括用于驱动生产机械的电动机以及电动机传动系统两个方面。

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生产生产发展的水平,机电一体化设备和生产系统已不再是传统的单机机械系统,而是机电一体化综合系统。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,从而为生产上节省能源,提高生产率,实现生产过程的自动化。

随着现代化生产的发展,生产机械的生产过程与机电传动控制紧密地联系在一起。例如,一些精密机械要求加工精度达百分之几毫米,甚至几微米;为了减轻加工转度和粗精度,重切削要求进给系统的速度下和加速度,因此要求系统的刚度要高;利用某种传动方式或电机及其辅助机械操作起落,速度在不同,以缩短时间就需改变速度;同时,因此要求系统能够快速启动、制动和换向,对于电动机停开控制,要求电动机停止在指定的位置上,对于除、除尘机械或造纸机,要求各机架或各机、架间保持一定的转速关系,以保持纸的厚度;为了提高效率,要求多台电动机或几十个设备组成系统由计算机实现统一控制和管理。上述这些要求都要依靠机电传动控制来实现。

机电一体化技术,综合了技术、机械控制理论、控制测量技术、电机控制与电机制造及自动化元件制造等,是随着控制理论不断的更新发展,知识领域交叉与渗透而产生的系统化的新型技术。机电一体化,提高了生产机械的精度,使生产机械的长期运行,运行可靠,体积小,重量轻,自动化方面发展。因此,在现代化生产中,机电传动控制具有极其重要的地位。

机电一体化技术,综合了技术、机械控制理论、控制测量技术、电机控制与电机制造及自动化元件制造等,是随着控制理论不断的更新发展,知识领域交叉与渗透而产生的系统化的新型技术。机电一体化,提高了生产机械的精度,使生产机械的长期运行,运行可靠,体积小,重量轻,自动化方面发展。因此,在现代化生产中,机电传动控制具有极其重要的地位。

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、质量轻、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 传动方式的发展

机电传动及其控制系统总是随着社会生产的发展而发展。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 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接触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

加计算机辅助设计环节,从而使设计和制造一体化。它利用计算机对产品的初始构思设计、加工、装配和检验的全过程实行管理,从而既保证了生产的多样化,又能保证“及时生产”,使整个生产过程完全自动化。只要向 CIMS 系统输入所需产品的有关信息和原始材料,就可以自动地输出经检验合格的产品。因此,CIMS 是今后机电传动控制系统的发展方向。

1.3 机电传动控制系统的组成和分类

1.3.1 机电传动控制系统的组成

机电传动控制系统是一种实现预定的自动控制功能,以满足生产工艺和生产过程的要求,并达到最优技术经济指标的控制系统,是现代化生产机械中的重要组成部分,其性能和质量在很大程度上影响着产品的质量、产量、生产成本和工人劳动条件。

机电传动控制系统以电动机为控制对象,按工艺要求对生产机械进行控制,因此机电传动控制系统的硬件组成可以包括电动机、控制电器、检测元件、功率半导体器件及微型计算机等。大型的机电传动控制系统往往需要控制多台电动机,可以采用多层微型计算机构成网络来实现控制。

1.3.2 机电传动控制系统的分类

1. 按组成原理分类

按组成原理,机电传动控制系统可分为开环系统和闭环系统。

在开环控制的传动系统中,虽然系统输入的控制信号保持不变,但是在扰动的作用下,输出量将偏离给定值。如图 1.1 所示,某机电传动开环控制系统由晶闸管变流器、电动机和工作机械组成,其中工作机械包含传动机构和执行机构。在该系统中,晶闸管变流器向电动机供电并控制其运行状态。当电网电压波动、负载转矩变化等扰动作用于系统时,将导致系统输出量偏离给定值,此时系统的静态和动态特性将由晶闸管变流器、电动机和工作机械的特性决定。



图 1.1 机电传动开环控制系统

如图 1.2 所示的机电传动闭环控制系统采用测速发电机、位置传感器等检测装置来测量系统的输出量,并将其转换成与被测量成正比的电信号。当输出量的反馈值偏离给定输入值时,控制器将根据偏差信息产生控制信号,并作用到晶闸管变流器上,以确保系统输出具有预期的特性。