



面向21世纪课程教材
21世纪高等学校机械设计制造
及其自动化专业系列教材

获国家机械电子工业部优秀教材二等奖

机电传动控制

(第三版)

邓星钟 主编

朱承高 主审

华中科技大学出版社

HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

E-mail: hustpp@wuhan.cngb.com



面向 21 世纪课程教材
21 世纪高等学校机械设计
制造及其自动化专业系列教材

机电传动控制 (第三版)

获国家机械电子工业部优秀教材二等奖

邓星钟 主编

邓星钟 周祖德 邓 坚 编著

机械工业出版社

华中科技大学出版社
(华中理工大学出版社)

图书在版编目(CIP)数据

机电传动控制(第三版)/邓星钟 主编
武汉:华中科技大学出版社,2001年3月
ISBN 7-5609-1960-X

- I. 机…
- II. ①邓… ②周… ③邓…
- III. 电力传动控制设备
- IV. TM921.5

21世纪高等学校
机械设计制造及其自动化专业系列教材
机电传动控制(第三版)

邓星钟 主编

责任编辑:黄以铭
责任校对:王崇军

封面设计:潘群
责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社
武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87543812

经 销:新华书店湖北发行所

录 排:华中科技大学出版社照排室
印 刷:华中科技大学出版社印刷厂

开本:787×1092 1/16

印张:24.5

字数:466 000

版次:2001年3月第3版

印次:2001年6月第12次印刷

印数:56 001—62 000

ISBN 7-5609-1960-X/TM·86

定价:26.80元

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

《机电传动控制》是根据机械设计制造及其自动化专业“机电传动控制”课程教学大纲编写的。

全书共分十三章，内容包括：电机，控制电器，拖动基础，传动系统的过渡过程，有触点控制系统，可编程序控制器，晶闸管电路，直流伺服、交流伺服、步进电动机的开、闭环控制系统。

本书力求突出机电结合、电为机用的特点，力求理论联系实际，元器件的介绍着重于外部特性和在拖动控制系统中的应用。课程体系新，内容全面、实用，由浅入深，重点突出，每章后附有习题和思考题，书末附有部分习题和思考题的答案或提示，便于自学。

本书是机械设计制造及其自动化专业本科生的教材，并可作为机械设计制造及其自动化专业高职、电大、函大、夜大、网大学生的教材和其他机械类与相近机械类专业本科生的教材，亦可供从事机电一体化工作的工程技术人员参考。

本书配有学习辅导用书——《机电传动控制学习辅导与题解》。

21 世纪高等学校
机械设计制造及其自动化专业系列教材
编 审 委 员 会

顾问: 姚福生 黄文虎 张启先
(工程院院士) (工程院院士) (工程院院士)

谢友柏 宋玉泉 艾 兴
(工程院院士) (科学院院士) (工程院院士)

熊有伦
(科学院院士)

主任: 杨叔子 周 济
(科学院院士) (工程院院士)

委员: (按姓氏笔画顺序排列)

于骏一	王明智	毛志远	左武炘	卢文祥
朱承高	师汉民	刘太林	李培根	吴昌林
吴宗泽	何玉林	陈康宁	陈心昭	张春林
张福润	张 策	张健民	冷增祥	范华汉
周祖德	洪迈生	姜 楷	黄纯颖	童秉枢
傅水根	傅祥志	廖效果	黎秋萍	戴 同

秘书: 钟小珉 徐正达

21 世纪高等学校 机械设计制造及其自动化专业系列教材

总 序

发展是硬道理,而改革是关键。唐代大诗人刘禹锡写得多么好:“请君莫奏前朝曲,听唱新翻《杨柳枝》”。这是这位改革派的伟大心声。

1998 年教育部颁布了新的普通高等学校专业目录。这是一大改革。为满足各高校开办“机械设计制造及其自动化”宽口径新专业教学的需要,华中科技大学出版社在世纪之交,千年之替,顺应时代潮流,努力推出了“机械设计制造及其自动化”专业系列教材。这套系列教材是在众多院士支持与指导下,由全国 20 余所院校数十位长期从事教学和教学改革工作的教师经多年辛勤劳动编写成的,它有其特色,能满足机械类专业人才培养要求。

这套系列教材的特色在于,它紧密结合“机械类专业人才培养方案及教学内容体系改革的研究与实践”与“工程制图与机械基础系列课程教学内容和课程体系改革的研究与实践”两个重大教学改革项目,集中反映了华中科技大学和国内众多兄弟院校自实施教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”以来,在改革机械类专业人才培养模式和课程内容体系方面所取得的成果。

这套系列教材是完全按照两个重大教学改革项目的成果所提出的“机械设计制造及其自动化”宽口径专业培养方案中所设置的课程来编写的。这一培养方案的一个重要特点是:专业基础课按课群方式设置,即由力学系列课程,机械设计基础系列课程,计算机应用基础系列课程,电工、电子技术基础系列课程,机械制造技术基础系列课程,测控系列课程,经营管理系列课程等七大课群组成,有效拓宽专业口径和专业基础,体现了机械类专业人才培养模式的改革。

同时专业基础课按课群设置,也有利于加强课群内各门课程在内容上的衔接,有利于课程体系的进一步整合、优化及改革。专业基础课按七大课群设置,这得到了全国高校机械工程类专业教学指导委员会的充分赞同。

21世纪工程教育的一个基本特征就是“适应性”，就是坚持邓小平同志指出的教育的“三个面向”的战略思想。能适应，才能创业。要能多方适应科学技术的突飞猛进和社会的不断进步，就得进一步明确指导思想，进一步合适地拓宽专业口径与专业基础，构造现代化的人才知识结构、能力结构和素质结构，就得因史制宜、因地制宜、因势制宜，努力实现培养模式的多样化，切忌“千篇一律”、“千人一脸”，万紫千红方能有一个大好的春天。

这是一套具有较大改革力度的系列教材。教材的作者们认真贯彻了中央的教育方针与改革思想，体现出两个重大改革项目成果所提出的“以创新设计为核心，以机械技术与信息技术结合为龙头，以计算机辅助技术为主线，拓宽基础，强化实践”的总体改革思路，并本着整合、拓宽、更新和更加注重应用的原则，对课程的内容、体系进行了诸多重要改革，而且许多课程在开发电子教材方面也取得了长足进展。

按照减少学时、降低重心、拓宽面向、精选内容、更新知识的原则，对原机械专业三门主要专业课（机械制造工艺学、金属切削机床设计、金属切削原理与刀具）实行了整合和改造，编写出了供“机械设计及其自动化”宽口径专业学生学习的《机械制造技术基础》新教材。

改造了原电工技术、电子技术系列课程，将分散在几门课程中的强电知识整合为《机电传动控制》新课程，减少了重复，拓宽了基础，突出了“机电结合、电为机用”的特点。

使用自主版权软件改革传统工程制图内容体系，不仅实现了工程制图和计算机绘图内容的有机融合，也实现了制图课教学手段的现代化。

以设计为主线，重新规划了《机械设计》和《机械原理》课程体系结构，在内容上努力实现由注重学科的系统性向更加注重工程综合性的转化，在教学手段上全面引入多媒体技术，提升了课堂教学的效果和效率。

《金属材料及热处理》更名为《工程材料及应用》，除紧密结合现代科技成就，讲解金属材料的基本理论及应用外，还讲解了其他各类工程材料的有关知识。

《测试技术》更名为《工程测试与信息处理》，加强了与信息获取、传输、存贮、处理及应用有关的内容，并率先在国内建成网上测试技术虚拟实验室。

《液压传动》与《气压传动》整合为《液压传动与气压传动》，精简了内容，强化了应用，并制作出了相应的电子教案。

《材料成形工艺基础》在精选传统金属成形工艺内容的基础上，较大幅度地增

加了新材料、新工艺、新技术方面的知识。

编写出版了《现代设计方法》、《机构与机械零部件 CAD》、《柔性制造自动化概论》、《机电一体化控制技术与系统》及《机器人技术基础》等教材,反映了现代科技的新发展。

科学与工程既有联系又有区别。科学注重分析,工程注重综合。任何一项工程本身都是多学科的综合体。今天,工程技术专家的基本作用正是一种集成作用,工程技术专家的任务是构建整体。我们必须从我国国情出发,按照现代工程的特点和工程技术专家的基本作用来构建机械工程教育的内容和体系。

华中科技大学出版社依托全国高校机械工程类专业教学指导委员会、全国高校机械基础课程指导委员会,经过多年不懈的努力,使这套系列教材的出版达到了较高的质量水准。例如,目前已有九本被教育部批准为“面向 21 世纪课程教材”,有五本获得过国家级、省部级各种奖励,全套教材已被全国几十所高校采用,广泛受到教师和学生的欢迎。特别是其中一些教材(如《机械工程控制基础》、《数字控制机床》等),经长期使用,多次修订,已成为同类教材中的精品。

现在这套系列教材已经正式出版 20 多本,涵盖了“机械设计制造及其自动化”专业的所有主要专业基础课程和部分专业方向选修课程,能够较好地满足教学上的需要。我们深信,这套系列教材的出版发行和广泛使用,将不仅有利于加强各兄弟院校在教学改革方面的交流与合作,而且对机械类专业人才培养质量的提高也会起到积极的促进作用。

当然,由于编者学术水平有限,改革探索经验不足,组织工作还有缺陷,何况,形势总在不断发展,现在还远不能说系列教材已经完善,相反,还需要在改革的实践中不断检验,不断修改、锤炼,不断完善,永无休期。“夙其鸣矣,求其友声。”我们殷切期望同行专家及读者们不吝赐教,多加批评与指正。

江泽民同志在 2000 年 6 月我国两院院士大会上号召我们:“创新,创新,再创新!”实践、探索、任重道远,只有努力开拓创新,才可能创造更美好的未来!

全国高校机械工程类专业教学指导委员会主任委员

中国科学院院士

华中科技大学教授

2000 年 6 月 6 日

杨叔子

第三版前言

《机电传动控制》教材第二版于1998年4月出版发行,该教材已经10次印刷,现已被教育部批准为高等教育“面向21世纪课程教材”。为了进一步提高本教材的质量,以适应21世纪高等教育人才培养的需要,特聘请上海交通大学朱承高教授担任本教材的主审,朱教授对本教材进行了全面的审阅,并提出了许多宝贵的意见,作者根据朱教授的意见对本教材进行了认真的修改。在此,我们对朱教授表示衷心的感谢。我们也仍然期待着同行们和广大读者的不吝赐教。

编者

2000年12月

第一版前言

“机电传动控制”课程是机械电子工程专业的一门必修的专业基础课,它是机电一体化人才所需电知识结构的驱体。由于电力传动控制装置和机械设备是一个不可分割的整体,所以本课程的任务是使学生了解机电传动控制的一般知识,掌握电机、电器、晶闸管等的工作原理、特性、应用和选用的方法,掌握常用的开环、闭环控制系统的工作原理、特点、性能及应用场所,了解最新控制技术在机械设备中的应用。

本书的组成系统是根据机械电子工程专业的需要而独自建立的,内容比较全面,在编写时着重考虑了以下几个辩证关系的处理:

- (1) 原理与应用——两者并重,注意理论与实际应用相结合。
- (2) 元件与系统——两者紧密结合,但元件着重外部特性,为在系统中应用服务。
- (3) 定性与定量——重在定性,但建立必要的数量概念。
- (4) 保旧与建新——既要保旧,以反映我国机电传动控制技术的现状;又要建新,以适应当前机电传动控制新技术发展的需要。
- (5) 掌握与了解——对现有正在广泛应用的知识要掌握,对现已出现并开始应用的新技术要了解。

书中所用图形符号采用中华人民共和国国家标准 GB4728-85,文字符号采用 GB7159-87,量和单位采用 GB3100~3102-86。

本课程的前修课是高等数学、物理、电路基础和电子技术,它又要为后续课数控机床、微机控制系统打下基础。

本书是机械电子工程专业本科生的教材,并可作为机械制造专业本科生和这两个专业电大、函大、夜大、职大生的教材,也可供从事机电一体化工作的工程技术人员参考。

本书原稿于1988年10月作为内部教材印出后,除经华中理工大学机械电子工程专业几届学生使用外,还在其他几所学校使用过,受到了从事机电一体化工作的教授、专家和学生们热情支持和鼓励,华中理工大学王离九教授、徐恕宏教

授、林奕鸿教授、熊有伦教授、胡乾斌副教授、合肥工业大学方维坤副教授、王孝武副教授、上海机械学院赵松年副教授、广东工学院孙健教授、成都科技大学张奇鹏副教授、长沙职工大学罗伯强副教授、湖南大学黄义源副教授、西北工业大学马慎兴副教授等对本书提出了许多宝贵意见,指导和促进了本书的修改。在此,作者对他们表示衷心的感谢。

本书第十二、十三章由周祖德编写,邓星钟编写其余各章并负责全书的统编和定稿。

限于编者的水平,书中定有缺点和错误,恳请读者批评指正。

编者
1991.5

第二版前言

“机电传动控制”课程现已由全国高等学校机械工程类专业教学指导委员会定为“机械工程及自动化”专业的主干技术基础课,《机电传动控制》教材已被定为机械工业部的“九五”规划教材。

本教材第一版于1992年7月出版发行,经6次印刷,被全国几十所高等院校有关专业采用,并于1993年获中南地区高校出版社优秀图书二等奖,1996年获国家机械电子工业部优秀教材二等奖,特别是有关教师通过教学实践后给我们提出了许多宝贵意见,这使我们受到极大的鼓舞,并获得极深的教益。我们衷心感谢兄弟院校有关教师及所有读者的热心支持和充分信任,衷心感谢出版社与有关领导部门的真挚关心和鼓励。

根据大家提出的宝贵意见和我们五年来的教学实践,并考虑到本学科近年来的发展情况和专业的要求,对第一版进行了修订,其修订的主要内容如下:

1. 第六章增加了直线电动机;
2. 第九章删去了顺序控制器,重新编写了可编程序控制器;
3. 第十一章增加了微型计算机控制的直流传动系统;
4. 对其他章节也作了少量修改;
5. 增附了部分习题与思考题的答案或提示。

参加第二版修订工作的有邓星钟(修改第一、二、四、六、七、十、十一章)、周祖德(修改第十二、十三章)、邓 坚(修改第三、五、八章并负责重新编写第九章),邓星钟负责全书修订的组织和最后定稿。

修改后的本书有较明显的改进和提高,但与教学改革形势发展的要求尚有差距,编者敬希读者予以批评和指出。

编者



机电传动控制

第一章 概述	(1)
1.1 机电传动的目的和任务	(1)
1.2 机电传动及其控制系统的发展概况	(1)
1.3 课程的性质和任务	(3)
1.4 课程的内容安排	(3)
第二章 机电传动系统的动力学基础	(5)
2.1 机电传动系统的运动方程式	(5)
2.2 转矩、转动惯量和飞轮转矩的折算	(7)
2.3 生产机械的机械特性	(10)
2.4 机电传动系统稳定运行的条件	(12)
习题与思考题	(13)
第三章 直流电机的工作原理及特性	(15)
3.1 直流电机的基本结构和工作原理	(15)
3.2 直流发电机	(19)
3.3 直流电动机的机械特性	(23)
3.4 直流他励电动机的启动特性	(28)
3.5 直流他励电动机的调速特性	(30)
3.6 直流他励电动机的制动特性	(33)
习题与思考题	(40)
第四章 机电传动系统的过渡过程	(42)
4.1 研究机电传动系统过渡过程的实际意义	(42)
4.2 机电传动系统过渡过程的分析	(43)

4.3	机电时间常数 τ_m	(45)
4.4	加快机电传动系统过渡过程的方法	(46)
	习题与思考题	(48)
第五章	交流电动机的工作原理及特性	(49)
5.1	三相异步电动机的结构和工作原理	(49)
5.2	三相异步电动机的定子电路和转子电路	(57)
5.3	三相异步电动机的转矩与机械特性	(62)
5.4	三相异步电动机的启动特性	(67)
5.5	三相异步电动机的调速特性	(75)
5.6	三相异步电动机的制动特性	(78)
5.7	单相异步电动机	(81)
5.8	同步电动机的工作原理、特点及应用	(84)
	习题与思考题	(88)
第六章	控制电机	(90)
6.1	交流伺服电动机	(90)
6.2	直流伺服电动机	(94)
6.3	力矩电动机	(96)
6.4	小功率同步电动机	(97)
6.5	测速发电机	(101)
6.6	自整角机	(105)
6.7	直线电动机	(110)
	习题与思考题	(112)
第七章	机电传动控制系统中电动机的选择	(114)
7.1	电动机容量选择的原则	(114)
7.2	电动机的发热与冷却	(115)
7.3	不同工作制下电动机容量的选择	(116)
7.4	电动机容量选择的统计法和类比法	(122)
7.5	晶闸管供电对电动机的影响	(123)
7.6	电动机的种类、电压、转速和结构型式的选择	(124)
	习题与思考题	(127)

第八章 继电器-接触器控制系统	(129)
8.1 常用控制电器与执行电器	(129)
8.2 继电器-接触器控制的常用基本线路	(145)
8.3 继电器-接触器控制线路举例	(173)
8.4 继电器-接触器控制线路设计简介	(175)
习题与思考题	(178)
第九章 可编程序控制器	(181)
9.1 可编程序控制器的基本结构、工作原理和主要特点	(182)
9.2 可编程序控制器的内部等效继电器电路	(189)
9.3 可编程序控制器的编程和指令系统	(193)
9.4 可编程序控制器的应用	(212)
习题与思考题	(235)
第十章 电力电子学——晶闸管及其基本电路	(238)
10.1 电力半导体器件	(239)
10.2 单相可控整流电路	(248)
10.3 三相可控整流电路	(255)
10.4 逆变器	(260)
10.5 晶闸管的触发电路	(267)
10.6 晶闸管的串并联和保护	(273)
习题与思考题	(276)
第十一章 直流传动控制系统	(279)
11.1 机电传动控制系统的组成和分类	(279)
11.2 机电传动控制系统调速方案的选择	(282)
11.3 晶闸管-电动机直流传动控制系统	(288)
11.4 晶体管-电动机直流脉宽调速系统	(311)
11.5 微型计算机控制的直流传动系统	(320)
习题与思考题	(322)
第十二章 交流传动控制系统	(324)
12.1 电磁转差离合器调速系统	(324)

12.2	交流调压调速系统·····	(327)
12.3	线绕式异步电动机调速系统·····	(330)
12.4	晶闸管变频调速系统·····	(332)
12.5	异步电动机矢量变换控制·····	(341)
12.6	无换向器电动机及其调速系统·····	(344)
	习题与思考题·····	(348)
第十三章	步进电动机传动控制系统 ·····	(349)
13.1	步进电动机·····	(349)
13.2	步进电动机的环形分配器·····	(353)
13.3	步进电动机的驱动电路·····	(356)
13.4	步进电动机的运行特性及选用中应注意的问题·····	(357)
	习题与思考题·····	(360)
附录一	电气图形符号 ·····	(362)
附录二	电气技术文字符号 ·····	(366)
附录三	部分习题与思考题的答案或提示 ·····	(368)
参考文献	·····	(370)



概 述

1.1 机电传动的目的和任务

机电传动（又称电力传动或电力拖动）就是指以电动机为原动机驱动生产机械的系统之总称，它的目的是将电能转变为机械能，实现生产机械的启动、停止以及速度调节，完成各种生产工艺过程的要求，保证生产过程的正常进行。

在现代工业中，为了实现生产过程自动化的要求，机电传动不仅包括拖动生产机械的电动机，而且包含控制电动机的一整套控制系统，也就是说，现代机电传动是和由各种控制元件组成的自动控制系统紧密地联系在一起的，所以，本书取名为《机电传动控制》。

从现代化生产的要求出发，机电传动控制系统所要完成的任务，从广义上讲，就是要使生产机械设备、生产线、车间、甚至整个工厂都实现自动化。从狭义上讲，则专指控制电动机驱动生产机械，实现生产产品数量的增加，质量的提高，生产成本的降低，工人劳动条件的改善以及能量的合理利用。随着生产工艺的发展，对机电传动控制系统提出了愈来愈高的要求。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，重型镗床为保证加工精度和控制粗糙度，要求在极慢的稳速下进给，即要求在很宽的范围内调速；轧钢车间的可逆式轧机及其辅助机械，操作频繁，要求在不到一秒的时间内就得完成从正转到反转的过程，即要求能迅速地启动、制动和反转；对于电梯和提升机则要求启动和制动平稳，并能准确地停止在给定的位置上；对于冷、热连轧机以及造纸机的各机架或分部，则要求各机架或各分部的转速保持一定的比例关系进行协调运转；为了提高效率，由数台或数十台设备组成的生产自动线，要求统一控制和管理。诸如此类的要求，都是靠电动机及其控制系统和机械传动装置来实现的。

1.2 机电传动及其控制系统的发展概况

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。单就机电传动而言，它的发展大体上经历了成组拖动、单电动机拖动和多电动机拖动三个阶段。所谓成组拖动，就是一