



普通高等教育“十五”国家级规划教材  
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

(第四版)

邓星钟 等编著

华中科技大学出版社  
<http://www.hustp.com>



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

(第四版)

邓星钟 周祖德 编著  
邓 坚 冯清秀

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

机电传动控制(第四版)/邓星钟 等编著. —武汉:华中科技大学出版社,2007年7月  
ISBN 978-7-5609-3900-1

I. 机… II. ①邓… ②周… ③邓… ④冯… 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(2006)第152424号

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(第四版)

邓星钟 等编著

责任编辑:徐正达

封面设计:潘群

责任校对:陈骏

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录排:华中科技大学出版社照排室

印刷:湖北恒泰印务有限公司

开本:787mm×960mm 1/16

印张:30.25

字数:576 000

版次:2007年7月第4版

印次:2007年7月第1次印刷

定价:38.00元

ISBN 978-7-5609-3900-1/TM·89

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)



普通高等教育“十五”国家级规划教材



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

获全国高等学校机电类专业优秀教材二等奖

## 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14章,内容包括:电机,控制电器,检测元件,拖动基础,传动系统的过渡过程,有触点控制,可编程序控制器,电力电子技术,直流伺服、交流伺服、步进电动机的开、闭环控制系统等。

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,当然,也是机械电子工程专业本科生教材,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、机电类与相近机电类专业本科生或研究生的教材,亦可供从事机电一体化工作的工程技术人员参考。

为本书第三版配的学习辅导用书《机电传动控制学习辅导与题解》仍可作为学习参考书。

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、存储、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。“婴其鸣矣,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

## 第四版前言

编者于1987年在全国首次开设“机电传动控制”课程,并于1992年正式出版《机电传动控制》教材。承蒙同行专家们的赞同,国家教委高教司于1993年颁布的普通高等学校本科专业目录和专业简介中,“机电传动控制”被定为机械电子工程专业的必修主干课程;同时《机电传动控制》被先后列入普通高等教育“九五”国家级重点教材、“十五”国家级规划教材,并被教育部批准为高等教育“面向21世纪课程教材”及“21世纪高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材”。本教材十多年来已重印了二十余次,年发行量在两万册以上,目前仍在两百多所高等院校使用。

近年来,科学技术的发展异常迅速,这对本教材提出了更高的要求。本教材所涉及的技术进步内容(也是本教材这次修订的依据)主要有以下四个方面:

1. 在电力电子技术中,以晶闸管为主的可控器件在很多方面已被 MOSFET 和 IGBT 等功率开关器件取代,脉宽调制(PWM)技术比相位控制用得更为普遍,集成模块日益普及。

2. 交流传动控制技术更为完善,交流传动控制系统已逐步取代直流传动控制系统。

3. 以数控机床为主的机械位置伺服系统用得愈来愈多,步进电动机控制系统以及交、直流传动控制系统中的检测元件用得更多了。

4. 由于 PLC 的广泛应用和电力半导体器件功率的增大,继电器、接触器控制逐步减少。

本次修订主要体现了与时俱进的思想,反映了以上四方面的进步,但全书仍然以伺服驱动系统为主导,以控制为线索,将元器件与伺服控制系统科学有机地结合起来。在内容处理上保持前三版的特色,主要思路仍然是根据机械设计制造及自动化等非电类专业的需要,处理好原理与应用、元器件与系统、定性与定量、保旧与建新、掌握与了解等几个辩证关系。修订的具体内容如下:重点改编了第12章交流传动控制系统和第13章步进电动机传动控制系统;为了给这两章提供

基本理论和方法,改编了第10章电力电子技术和5.5节三相异步电动机的调速方法与特性,并增加了第7章机电传动控制系统中常用的检测元件;第11章仍以双闭环控制系统为重点,因为它也是交流传动控制系统的基础;对第8章继电器-接触器控制作了大量的删改;对其他的章节仅作了少量的修改;由于第三版中第7章机电传动控制系统中电动机的选择主要是供今后实际设计参考的,它与全书的其他章节内容没有直接的联系,所以把它放到了本版的最后一章。

参加第四版修订工作的是:邓星钟修改绪论,冯清秀、邓星钟、周祖德合作修改第12章和第13章,其他章节均由邓坚编写和修改,邓星钟负责全书修订的组织 and 最后定稿。

在本书第四版定稿之时,作者特别对使用本书前三版后给我们提出宝贵意见的教师们表示衷心的感谢,也对本书所附“参考文献”的作者深表谢意。

虽经多次修订,但限于作者的水平,加之修订时间较仓促,书中一定还有很多不足甚至错误,仍然恳请采用本教材的教师和读者批评指正。

编者

2006年10月



### 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

1998.1



## 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躯体。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 with 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、专家和学生们的热情支持和鼓励,华中理工大学王离九教授、徐怒宏教授、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



# 机电传动控制

第四版前言 .....	( i )
第三版前言 .....	( iii )
第二版前言 .....	( iv )
第一版前言 .....	( v )
<b>第 1 章 绪论</b> .....	( 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 )
<b>第 2 章 机电传动系统的动力学基础</b> .....	( 5 )
2.1 机电传动系统的运动方程式 .....	( 5 )
2.2 负载转矩、转动惯量和飞轮转矩的折算 .....	( 7 )
2.2.1 负载转矩的折算 .....	( 8 )
2.2.2 转动惯量和飞轮转矩的折算 .....	( 9 )
2.3 机电传动系统的负载特性 .....	( 10 )
2.3.1 恒转矩型负载特性 .....	( 10 )
2.3.2 离心式通风机型负载特性 .....	( 11 )
2.3.3 直线型负载特性 .....	( 11 )
2.3.4 恒功率型负载特性 .....	( 12 )
2.4 机电传动系统稳定运行的条件 .....	( 12 )
习题与思考题 .....	( 13 )
<b>第 3 章 直流电机的工作原理及特性</b> .....	( 15 )
3.1 直流电机的基本结构和工作原理 .....	( 15 )



3.1.1	直流电机的基本结构	(15)
3.1.2	直流电机的基本工作原理	(17)
3.2	直流发电机	(19)
3.2.1	他励发电机	(20)
3.2.2	并励发电机	(21)
* 3.2.3	复励发电机	(22)
3.3	直流电动机的机械特性	(22)
3.3.1	他励电动机的机械特性	(23)
3.3.2	串励电动机的机械特性	(26)
* 3.3.3	复励电动机的机械特性	(27)
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)
* 3.5.1	改变电枢电路外串电阻 $R_{ad}$	(31)
3.5.2	改变电动机电枢供电电压 $U$	(31)
3.5.3	改变电动机主磁通 $\Phi$	(32)
3.6	直流他励电动机的制动特性	(33)
3.6.1	反馈制动	(33)
3.6.2	反接制动	(35)
3.6.3	能耗制动	(38)
	习题与思考题	(40)
<b>第4章</b>	<b>机电传动系统的过渡过程</b>	(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 $\tau_m$	(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)
<b>第5章</b>	<b>交流电动机的工作原理及特性</b>	(49)
5.1	三相异步电动机的结构和工作原理	(49)
5.1.1	三相异步电动机的基本结构	(49)
5.1.2	三相异步电动机的工作原理	(51)
5.1.3	三相异步电动机的旋转磁场	(52)
5.1.4	定子绕组线端连接方式	(55)
5.2	三相异步电动机的定子电路和转子电路	(56)