



机械科学与工程研究生教学用书

# 现代控制工程原理

*Modern Control Engineering Theory*

易孟林 陈 彬 编

BOOKS FOR GRADUATE STUDENT

华中科技大学出版社



机械科学与工程研究生教学用书

# 现代控制工程原理

*Modern Control Engineering Theory*

易孟林 陈 彬 编

华中科技大学出版社

中国·武汉

## 图书在版编目(CIP)数据

现代控制工程原理/易孟林 陈 彬 编.—武汉:华中科技大学出版社,  
2008年10月

ISBN 978-7-5609-4935-2

I. 现… II. ①易… ②陈… III. 现代控制理论-研究生-教材  
IV. O231

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 165095 号

现代控制工程原理

易孟林 陈 彬 编

策划编辑:万亚军 刘 锦  
责任编辑:田 密  
责任校对:汪世红

封面设计:刘 卉  
责任监印:周治超

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:武汉金翰林工作室  
印 刷:湖北新华印务有限公司

开本:787mm×960mm 1/16 印张:20.25 插页:2 字数:380 000  
版次:2008年10月第1版 印次:2008年10月第1次印刷 定价:34.80元  
ISBN 978-7-5609-4935-2/O·471

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

## 内 容 简 介

本书面向机、电、液现代控制工程系统,介绍现代控制理论的基本原理和方法。全书共分9章,内容覆盖控制系统的建模、分析与综合三大主题。第1章为绪论,第2章到第6章介绍控制系统的状态变量法建模,控制系统的运动分析、李雅普诺夫稳定性分析、能控性与能观测性分析,以及控制系统的状态空间综合。后3章分专题介绍最优控制、模糊控制及 Matlab 软件在现代控制工程系统分析与综合中的应用。本书内容立足基础,面向应用,理论联系实际,有较多的工程应用实例。

本书可作为高等学校机械类和近机类研究生“现代控制理论”课程的教材,也可供从事控制领域项目开发与研究的工程技术人员学习、参考。

# 序

今天,我国的教育正处在一个大发展的崭新时期,高等教育已跨入“大众化”阶段,蓬蓬勃勃,生机无限。在高等教育中,研究生教育的发展尤为迅速。党的十七大报告提出,要“努力造就世界一流科学家和科技领军人才,注重培养一线的创新人才”,强调了在建设创新型国家中教育的优先发展地位。我们可以清楚知道,研究生教育是培养创新人才的主渠道,对走自主创新道路,建设创新型国家,具有重要的战略意义。

前事不忘,后事之师。历史经验已一而再、再而三地证明:一个国家的富强,一个民族的繁荣,最根本的是要依靠自己,要以自力更生、自主创新为主。《国际歌》讲得十分深刻,世界上从来就没有什么救世主,只有依靠自己救自己。寄希望于别人,期美好于外援,只是一种幼稚的幻想。内因是发展的决定性的因素。当然,我们绝不应该也绝不可能采取“闭关锁国”、自我封闭、固步自封的方式来谋求发展,重犯历史错误。外因始终是发展的必要条件。改革开放三十年所取得的辉煌成就,谱写的中华民族历史性跨越的壮丽史诗,就是铁证。正因为如此,我们清醒看到了,自助者人助天助,只有独立自主,自强不息,走以自主创新为主的发展道路,才有可能在向世界开放中,争取到更多的朋友,争取到更多的支持,充分利用好外部的各种有利条件,来扎扎实实地、而又尽可能快地发展自己。这一切的关键就在于,我们要有数量与质量足够的高级专门人才,特别是拔尖创新人才。何况,在科技高速发展与高度发达,而知识经济已初见端倪的今天,更加如此。人才、高级专门人才、拔尖创新人才、领导人才,是我们一切事业发展的基础。

“工欲善其事,必先利其器。”自古凡事皆然,教育也不例外。教学用

书是培育人才的基本条件之一。“巧妇难为无米之炊”。特别是在今天,学科的交叉及其发展越来越多越快,人才的知识基础及其要求越来越广越高,因此,我一贯赞成与支持出版研究生教学用书,供研究生自己主动地选用。早在1990年,《机械工程测试·信息·信号分析》出版时,我就为此书写了个“代序”,其中提出:

一个研究生应该博览群书,博采百家,思路开阔,有所创见。但这不等于他在一切方面均能如此,有所不为才能有所为。如果一个研究生的主要兴趣与工作不在某一特定方面,他也可选择一本有关这一特定方面的书作为了解与学习这方面知识的参考;如果一个研究生的主要兴趣与工作在这一特定方面,他更应选择一本有关的书作为主要的学习用书,寻觅主要学习线索,并缘此展开,博览群书。

这就是我赞成要为研究生编写系列的“机械科学与工程研究生教学用书”的主要原因。今天,我仍然如此来看。

还应提及一点,在教育界有人讲,要教学生“做中学”,这很有道理;但是,必须补充一句,“学中做”。既要在实践中学习,又要在学习中实践,学习与实践紧密结合,方为全面。重要的是,结合的关键在于引导学生思考、积极独立思考。我一贯认为,要造就一个人才,学习是基础,思考是关键,实践是根本,三者必须结合,缺一不可。当然,学生的层次不同,结合的方式、深度与广度就应不同,思考的深度也应不同。对研究生特别是对博士研究生,就必须是而且也应是“研中学,学中研”,就更须而且也更应是“研中思,思中研”,在研究这一实践中,甚至可以讲,研与学通过思考就是一回事情了。正因为如此,“机械科学与工程研究生教学用书”就大有英雄用武之地,供学习之用,供研究之用,供思考之用。

在此,还应讲一点。作为一个研究生,来读“机械科学与工程研究生教学用书”中的某书或其他有关的书,有的书要精读,有的书可泛读。因为知识是基础,有知识不一定有力量,没有知识就一定没有力量,千万千万不要轻视知识。但是,对研究生特别是博士研究生而言,最为重要的还不是知识本身这个形而下,而是以知识作为基础,努力来体悟知识所

承载的思维、方法、原则与精神等内涵，体悟知识所蕴含的形而上，即《老子》所讲的不可道的“常道”，即思维能力的提高，即精神境界的升华。《庄子·天道》讲得多么好：“书不过语。语之所贵者意也，意有所随。意之所随者，不可以言传也。”这个“意”，就是知识所承载的内涵，就是孔子所讲的“一以贯之”的“一”，就是“道”，就是形而上。它比语言、比书本、比具体的知识，重要多了。当然，要能体悟出形而上，一定要有足够数量的知识作为必不可少的基础，一定要在读书去获得知识时，整体地读，重点地读，反复地读；整体地想，重点地想，反复地想。如同韩愈在《进学解》中所讲的那样，能“提其要”，“钩其玄”，这样，就可驾驭知识，发展知识，创新知识，而不是为知识所驾驭，为知识所奴役，成为计算机存储装置。

“机械科学与工程研究生教学用书”是“研究生教学用书”的延续和发展。“研究生教学用书”自从1990年问世以来，到今年已经历了不平凡的18个春秋，已出版了用书80多种，有5种已被教育部研究生工作办公室列入向全国推荐的研究生教材。为了满足当前的研究生教育培养创新人才的要求，华中科技大学出版社在已出版的机械类研究生教学用书的基础上进一步拓展，在全国范围内约请一大批著名专家，力争组织最好的作者队伍，有计划地出版“机械科学与工程研究生教学用书”系列教材。

唐代大文豪李白讲得十分正确：“人非尧舜，谁能尽善？”我始终认为，金无足赤，人无完人，文无完文，书无完书。这套“机械科学与工程研究生教学用书”更不会例外。本套书出版后，这套书如何？某本书如何？这样的或那样的错误、不妥、疏忽或不足，必然会有。但是，我们又必须积极、及时、认真而不断地加以改进，与时俱进，奋发前进。我们衷心希望与真挚感谢读者与专家不吝指教，及时批评。当局者迷，兼听则明；“嚶其鸣矣，求其友声。”这就是我们的肺腑之言。

当然，在这里，还应该深深感谢“机械科学与工程研究生教学用书”的作者、审阅者、组织者与出版者（华中科技大学出版社的编辑、校对及

其全体同志);深深感谢对本套研究生教材的一切关心者与支持者,没有他们,就决不会有今天的“机械科学与工程研究生教学用书”。让我们共同努力,深入贯彻落实科学发展观,建设创新型国家,为培养数以千万计高级人才、特别是一大批拔尖创新人才、领导人才,完成历史赋予研究生教育的重大任务而做出应有的贡献。

谨为之序。

中国科学院院士  
丛书主编

杨苡子

2008.9.14

(中秋夜)



# 前 言

本书是在华中科技大学机械学院为硕士研究生开设的“现代控制工程”课程讲义的基础上精选内容、调整结构而编写成的,可作为机械电子工程和机械制造及自动化专业硕士研究生培养计划中对应“现代控制理论”课程的教材。本书以运用现代控制理论进行分析和综合,并与计算机控制技术相结合的现代控制工程系统为对象,较系统地介绍了现代控制理论的基本原理和方法。其目的是使学习者掌握现代控制工程系统的状态空间分析与综合方法,熟悉和了解最优控制与模糊控制原理及其工程应用,并为今后更进一步的学习、深造以及开展科研工作打下坚实基础。

本书讲述的内容立足基础,面向应用,注重知识的系统性、渐进性、先进性和实用性。其主要篇幅介绍了作为现代控制理论基础的状态变量法原理及其工程应用。全书共9章,第1章介绍了现代控制理论的发展历程和主要分支。第2章讲述了控制系统的状态变量法建模方法,其中包含解析法、图解法及不同数学模型之间的转换。第3、4、5章属控制系统的状态空间分析内容,其中,第3章讲述了控制系统的运动分析,即状态方程的求解问题;第4章介绍了李雅普诺夫稳定性理论及其在线性和非线性系统中的应用;第5章则是控制系统的能控性与能观测性分析及结构分解。第6章论述了控制系统的状态空间综合方法,主要内容有状态反馈和内、外输出反馈的构成、特点与极点配置方法,状态观测器理论及其工程应用和多变量解耦控制系统的综合等。最优控制和模糊控制是现代控制理论的重要分支和当前十分活跃的领域,特别是模糊控制作为一种新颖的智能控制方式,近年来越来越受到人们的重视,为此,本书的第7、8章作为专题讨论了最优控制原理、模糊控制原理及应用。为了培养学生利用计算机进行科学研究的能力,最后在第9章集中介绍了 Matlab 软件在现代控制工程系统分析与综合中的应用,针对控制系统的状态空间建模、分析以及综合和线性二次型最优控制器设计等问题,列举了 Matlab 软件的应用示例。

本书的第 7、9 两章由陈彬博士编写,其余 7 章皆由易孟林教授编写,并由其负责全书的统稿和修改工作。

还要特别感谢曾经使用原讲义,现已毕业的高海平、廖金军、徐晶晶、漆辉和刘乔等研究生,他们从读者的角度,与作者坦诚地交流了切身体会,提出了很多宝贵的建议;高海平还为本书的插图及 Matlab 应用程序的编写付出了辛勤的劳动。

限于编者的学识和经验,书中难免有错误和不妥之处,恳请专家同行及广大读者批评指正,不胜感谢!

编 者

2008 年 5 月

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	(1)
1.1 控制理论的发展历程 .....	(1)
1.2 现代控制理论研究的主要分支 .....	(3)
1.3 本书的主要内容和特点 .....	(4)
<b>第 2 章 控制系统的状态变量法建模</b> .....	(6)
2.1 线性系统的状态空间模型 .....	(6)
2.2 状态变量法建模 .....	(11)
习题 .....	(61)
<b>第 3 章 控制系统的运动分析</b> .....	(64)
3.1 线性定常连续系统状态方程的求解 .....	(64)
3.2 状态转移矩阵的性质及计算方法 .....	(67)
3.3 线性离散系统状态方程的求解 .....	(74)
3.4 线性定常连续系统状态方程的离散化求解 .....	(76)
习题 .....	(79)
<b>第 4 章 控制系统的李雅普诺夫稳定性分析</b> .....	(81)
4.1 李雅普诺夫稳定性概念 .....	(82)
4.2 李雅普诺夫稳定性理论 .....	(85)
4.3 李雅普诺夫稳定性分析法在线性系统中的应用 .....	(92)
4.4 非线性系统的李雅普诺夫稳定性分析 .....	(100)
习题 .....	(104)
<b>第 5 章 控制系统的能控性和能观测性分析</b> .....	(106)
5.1 线性系统的能控性及其判别 .....	(106)
5.2 线性系统的能观测性及其判别 .....	(120)
5.3 能控性和能观测性判别的特例 .....	(127)
5.4 能控性和能观测性的对偶原理 .....	(134)
5.5 线性系统的结构分解 .....	(137)
5.6 能控性、能观测性与传递函数的关系 .....	(144)
5.7 能控标准型与能观测标准型 .....	(149)
习题 .....	(155)

<b>第 6 章 控制系统的状态空间综合</b> .....	(159)
6.1 反馈控制系统的基本结构与特点 .....	(159)
6.2 反馈控制与极点配置 .....	(165)
6.3 系统镇定问题 .....	(181)
6.4 状态观测器及其设计 .....	(187)
6.5 状态反馈和状态观测器的应用 .....	(199)
6.6 多变量解耦控制系统的综合 .....	(210)
习题 .....	(220)
<b>第 7 章 最优控制原理</b> .....	(223)
7.1 最优控制问题的数学描述 .....	(223)
7.2 求解最优控制的变分法 .....	(225)
7.3 极小值原理及其应用 .....	(236)
7.4 线性二次型最优控制 .....	(242)
习题 .....	(248)
<b>第 8 章 模糊控制原理及应用</b> .....	(250)
8.1 模糊控制的数学基础 .....	(250)
8.2 模糊自动控制原理 .....	(262)
8.3 模糊控制器设计 .....	(264)
8.4 模糊控制技术的工程应用 .....	(277)
习题 .....	(288)
<b>第 9 章 Matlab 在现代控制系统分析与设计中的应用</b> .....	(291)
9.1 Matlab 软件概述 .....	(291)
9.2 传递函数与状态空间模型间的转换 .....	(292)
9.3 状态方程的求解及动态响应仿真 .....	(297)
9.4 李雅普诺夫稳定性判别 .....	(300)
9.5 控制系统的能控性、能观测性判别与结构分解 .....	(302)
9.6 状态反馈系统的极点配置 .....	(306)
9.7 状态观测器的设计 .....	(307)
9.8 线性二次型最优控制器设计 .....	(309)
<b>参考文献</b> .....	(311)

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 控制理论的发展历程

通常所说的现代控制工程,泛指运用现代控制理论分析和综合,并与计算机控制技术相结合的工程控制系统。控制理论发展至今,大体上可分为三个阶段,即经典(古典)控制理论阶段、现代控制理论阶段和大系统与智能控制理论阶段。现代控制理论是现代控制工程系统分析与综合的理论支柱,其基础部分就是本书的核心内容。为了深入了解现代控制工程产生和发展的背景,有必要先介绍一下控制理论的发展历程。

控制理论是把自动控制技术在工程实践中的一些规律加以总结和升华,进而又去指导和推动工程实践发展的理论。它作为一门独立的学科存在和发展,至今还不到百年历史。但是,人类利用自动控制技术的历史,可以追溯到很久很久以前。最有代表性的是 1765 年瓦特(J. Watt)发明的蒸汽机离心调速器,反映出人们对控制理论中最为重要的反馈原理就产生了认识。由于瓦特发明的这种装置容易产生振荡,直到 1868 年,英国学者麦克斯韦(J. C. Maxwell)发表了《论调速器》,对蒸汽机调速系统的动态特性进行了分析,指出了控制系统的品质可用微分方程来描述,系统的稳定性可用特征方程根的位置来判断,从而解决了蒸汽机调速系统中出现的剧烈振荡问题,并总结出了简单的系统稳定性代数判据。第一次世界大战爆发后,军事工业的需要也促进了控制理论的发展。1922 年,美国的米诺斯基(N. Minorsky)研制出船舶操纵自动控制器,并给出了控制系统的稳定性分析。之后,又相继有鱼雷的航向控制系统、航海罗经的稳定器、放大器电路的镇定器等自动化系统和装置问世。这些成功事例的经验,加上探索者们在漫长实践中为解决技术难题而积累的智慧,促进了控制理论的形成和发展。控制理论就这样伴随着科技的进步从经典控制理论发展到现代控制理论,再到现在热点研究的大系统与智能控制理论。

20 世纪 30~40 年代,奈魁斯特(H. Nyquist)、伯德(H. W. Bode)、哈里斯(H. Harris)、伊万斯(W. R. Evans)和维纳(N. Wiener)等人为自动控制理论的形成作出了创造性的贡献,他们的著作奠定了自动控制理论的基础。到 1948 年,自动控制理论第一阶段的基本框架已经构成。这就是以单输入-单输出线性定常系统为主要研究对象,以传递函数作为系统模型的数学描述,以频率法和根轨迹法来分析和设计控制系统的理论,通常被称为经典(古典)控制理论。

有了理论的指导,实际应用成果就会不断涌现。这个时期的工业生产得到了迅速发展,如用于飞机的自动导航系统,以及反情报雷达和炮位跟踪系统等,就是应用反馈控制理论的产物。

也应看到,经典控制理论虽然具有很大的实用价值,但也有着明显的局限性。它只适用于单输入-单输出线性定常系统的研究,难以推广到多输入-多输出线性定常系统,对时变和非线性系统更是无能为力。用经典控制理论分析、设计控制系统,一般都是依据幅值裕度、相位裕度、超调量、调节时间等指标进行,与通常所要求的性能指标,如最快速度、最小能量等,难以建立直接的对应关系。再者,在运用经典控制理论设计系统时,往往需要借助经验进行试探,难以达到复杂、高精度控制系统的要求。

20世纪50年代,世界进入了一个和平发展的时期。当时,核能技术、航空航天和空间技术蓬勃兴起,控制系统越来越复杂。面对那些具有多变量、高精度、时变参数的控制问题,经典理论显露出它的局限性,难以满足这些复杂系统的分析和设计要求。也正在此期间,计算机技术突飞猛进的发展,高速、高精度的数字计算机相继推出,为控制理论的发展提供了强有力的工具。在航空航天技术的推动和计算机技术的支持下,控制理论的发展步入了重要的转折期,在1960年前后有了重大的突破和创新。在此期间,苏联数学家庞特里亚金(Л. С. Понтрягин)提出了极大值原理,美国著名学者贝尔曼(R. Bellman)创立了动态规划理论。极大值原理和动态规划理论为解决最优控制问题提供了理论依据,促使最优控制理论得到了极大的发展。美籍匈牙利学者卡尔曼(R. E. Kalman)系统地把状态变量法引入到控制系统的分析中来,并提出了能控性、能观测性的重要概念和新的滤波理论。“现代控制理论”一词也就在1960年卡尔曼的文章发表后出现。这些重要的研究成果构成了现代控制理论的基础和支柱,发展了经典控制理论,形成了自动控制理论的新体系。

现代控制理论是为解决多输入-多输出系统的控制问题而发展起来的,较之经典控制理论,其研究对象要广泛得多,既可以是单变量的、线性的、定常的、连续的系统,也可以是多变量的、非线性的、时变的、离散的系统。现代控制理论以状态空间描述作为系统的数学模型,以状态变量法为基础,用时域的方法来分析和设计控制系统。它分析和设计控制系统的目标是在揭示系统内在规律的基础上,实现系统在一定意义上的最优化。它的构成带有更高的仿生特点,控制方式已不限于单纯的闭环控制,而扩展到适应环、学习环等,现代控制理论的形成是控制理论发展历程上的又一个里程碑。

理论源于实践,又对实践产生巨大的推动作用。这一时期,在现代控制理论的推动下,世界上出现了许多惊人的科技成就。1957年,苏联相继发射洲际弹道火箭和世界第一颗人造地球卫星成功;1962年,美国研制出工业机器人产品,同年,苏联连续发射两艘“东方”号飞船,首次在太空实现编队飞行;1966年,苏联发射

“月球 9 号”探测器,首次在月球表面成功软着陆;1969 年,美国“阿波罗 11 号”把宇航员阿姆斯特朗送上月球,中国发射中远程战略导弹成功,等等。

到了 20 世纪 60 年代后期和 70 年代,控制理论的发展在广度和深度方面又进入了新的阶段,即大系统与智能控制理论阶段。所谓大系统,是指规模庞大、结构复杂、变量众多的信息与控制系统,它涉及生产过程、交通运输、生物控制、计划管理、环境保护、空间技术等多方面的控制与信息处理问题。而智能控制是指具有某些仿人智能的工程控制与信息处理技术。智能控制的概念是针对控制对象及其环境、目标和任务的不确定性和复杂性提出来的。一方面,是由于实现大规模复杂系统的控制需要;另一方面,也是由于现代计算机技术、人工智能和微电子学等学科的高速发展,控制的技术工具发生了根本性变化。1966 年,孟德尔(J. M. Mendel)首先将人工智能用于飞船控制系统的设计。1971 年,著名学者傅京逊(K. S. Fu)从发展学习控制的角度首次提出智能控制的概念。1997 年,萨里迪斯(Saridis)出版了《随机系统的自组织控制》一书,随后又发表了一篇综述文章《走向智能控制的实现》。他从控制理论发展的观点,论述了从通常的反馈控制到最优控制、随机控制,再到自适应控制、自学习控制、自组织控制,并最终向智能控制阶段发展的过程。他们为智能控制体系的形成做了许多开拓性的工作。智能控制包括专家系统和专家控制、模糊控制、神经网络控制等几个分支。当然,智能控制作为一门新兴的学科,现在还处于发展初期,但可以预见,随着大系统理论、人工智能和计算机技术的发展,智能控制理论与技术必将与时俱进,获得更大的发展,并得到广泛的工程应用。

## 1.2 现代控制理论研究的主要分支

现代控制理论自 20 世纪 50 年代末诞生至今,不断地扩展研究范围,内容相当丰富,有许多理论和方法已形成了独立的分支,概括起来,主要包括如下几个方面。

### 1. 线性多变量系统理论

线性多变量系统理论是现代控制理论的基础,主要研究线性系统状态的运动规律及改变这种规律的可能性和实施方法;建立并分析系统结构、参数、行为和性能之间的关系,包括系统的能控性、能观测性、稳定性分析,以及系统的极点配置、镇定、解耦和状态观测器设计等问题。近 30 年来,线性多变量系统理论一直是控制领域研究的重点。

### 2. 最优控制理论

最优控制理论是现代控制理论中最活跃的分支之一,是研究和解决从所有可能方案中寻找最优解的理论。所谓最优控制,就是在给定的控制域中,寻找合适的控制律,使系统的某项性能指标(即目标函数)取得极值的一种控制方式。寻求最优控制规律也就是设计最优控制器。在解决最优控制问题时,庞特里亚金的极大

值原理和贝尔曼的动态规划法是最重要的两种方法,它们以不同的形式给出了最优控制所必须满足的条件,并可推出许多定性的性质。

### 3. 最优估计(或最佳滤波)理论

最优估计理论研究的问题是在系统中有随机干扰时,如何从被噪声污染的观测数据中确定系统的状态,并使这种估计在一定条件下为最优。由于噪声是随机的,而且是非平稳随机过程,卡尔曼的滤波理论用状态空间法设计最佳滤波器,保证状态估计为线性无偏最小估计误差的估计,克服了维纳滤波理论的局限性。该理论实用性强,是滤波理论的一大突破,也是现代控制理论的一个重要分支。

### 4. 系统辨识

要研究系统的状态,首先要建立系统的状态空间模型。对于复杂的控制系统,往往很难通过解析的方法直接建模。如何通过试验或运行的数据来估计出控制对象的数学模型及参数,这就是系统辨识研究的问题。所谓系统辨识,就是利用系统在试验或实际运行中测得的输入、输出数据,运用数学方法归纳、构造描述系统动态特性的数学模型,并进行参数估计的理论和方法。系统辨识包括两个方面,即结构辨识和参数估计。系统辨识是最重要的试验建模方法,也是控制理论实现和应用的基础。

### 5. 自适应控制理论

自适应控制是当被控对象内部的结构、参数以及外部的环境干扰存在不确定性时,控制器既能适应内部参数变化,又能适应外部环境变化而自动调整控制作用,使系统仍达到一定意义上最优的一种控制方式。自适应控制系统能随时辨识系统的数学模型,并按此模型实时修正系统结构的有关参数和控制作用,使之处于所要求的最优状态,得到人们所期望的控制结果。自适应控制系统的基本类型有自校正控制系统、模型参考自适应控制系统、自寻优最优控制系统和自学习控制系统等。近年来,非线性系统的自适应控制、基于神经网络的自适应控制也颇受重视。

现代控制理论的形成和发展是实际工程应用的需要,也是计算机技术飞速发展推动的结果。随着经济建设和科学技术的进步,现代控制理论的应用范围也在继续深化与扩大,这必将产生新问题、新思想和新方法,其所研究的内容不会停留在静止的水平上,一定会不断充实,不断发展。

## 1.3 本书的主要内容和特点

现代控制理论研究的范围很广,内容十分丰富,正如上面所述,有些内容本身就是一门有一定体系结构的控制理论课程。考虑到机械工程学科研究生在大学本科学习阶段已有先修相关课程的基础,本书着重讲述现代控制理论的基本原理和方法,为学习者进行现代控制工程系统的分析与综合,以及进一步学习、深造打下基础。



计算机技术的进步为控制系统的发展开辟了新的途径,使传统的控制模式发生了根本性的变化。控制器的数字化,即用软件实现,增加了控制方法的灵活性,也使得常规的模拟控制技术难以实现的复杂控制规律成为现实。可以说,现代控制工程几乎没有不与计算机相联系的。学习现代控制理论,应有离散系统理论及计算机控制系统方面的知识基础,因此,在学习本课程之前,复习离散系统理论,包括 $Z$ 变换理论、离散系统的数学描述及其 $Z$ 域分析法是必要的。

本书讲述的内容立足基础,面向应用,注重知识的系统性、渐进性、先进性和实用性。主要介绍现代控制理论在现代控制工程系统分析和综合中的应用。第1章介绍现代控制理论的发展历程及其所研究的主要内容。最后第9章集中介绍Matlab软件在现代控制工程系统分析和综合中的应用。其他各章则是围绕控制系统的建模、分析和综合三大主题讲授,具体安排如图1-1所示。

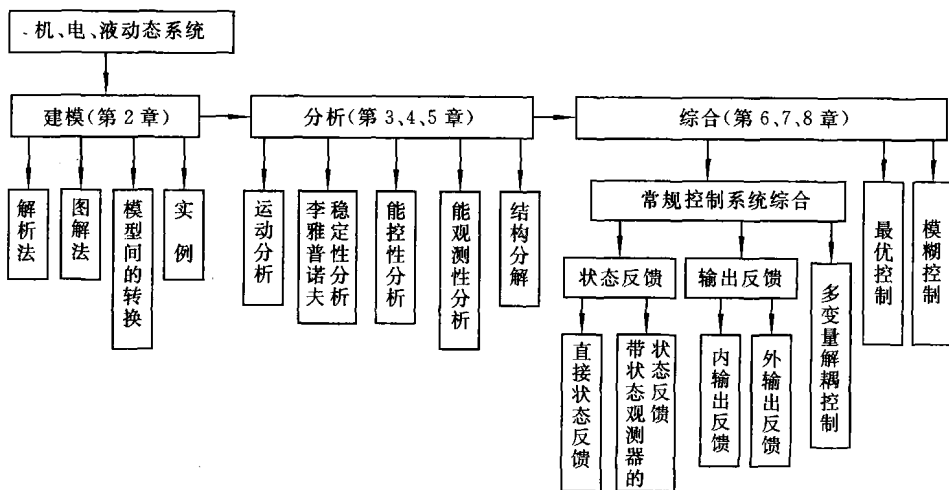


图 1-1 主要内容安排

本书遵循“注重基础、循序渐进、系统精练、先进实用”的原则,围绕“为什么要研究这个问题”、“如何解决这个问题”及“应用中要注意什么问题”进行论述,力求深入浅出,由浅入深。对一些定理、概念,尽量做到“抽象概念具体化、数学问题工程化”,注重物理概念,避免过多烦琐的数学公式推导。采用从简单到复杂,从特殊到一般的处理方法,从示例入手导出命题,进而推广到一般情况,帮助读者建立起直观、形象、正确的概念,以减少纯数学原因带来的理解困难。本书追求适时、实用,也就是说,解决问题的方法要适合时宜,手段要先进,要跟上当代科技发展的步伐,讲授的内容应是学习者今后工作或学习中所必需的和有用的;另一方面是指本书在讲述理论和方法时,紧密结合机械、电液控制系统的实例,使学习者对控制理论的工程应用有亲历感,为以后的实际工作提供可参考、借鉴的处理方法。