

国外高校 电子电气类优秀教材

第十版

现代控制系统

英文版

[美] R.C. 多尔夫, R.H. 毕晓普 著



科学出版社

www.sciencep.com



国外高校电子电气类优秀教材

现代控制系统 (英文版)

(第十版)

[美] R. C. 多尔夫 R. H. 毕晓普 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是为工科类本科生编写的有关控制系统的一本基础性教材。

全书通过丰富的实例,生动形象、深入浅出地介绍了基本的反馈控制系统的理论,使学生易于理解和接受。所给出的控制工程方法是建立在数学基础上的,并强调了对物理系统的建模和按实际系统的性能要求进行控制系统设计。为便于教学,书中各章都附有丰富的习题,在附录中介绍了计算机辅助分析和设计工具 MATLAB 和 SIMULINK,并设置了一个配套的教学网站 <http://www.prenhall.com/dorf>。

本书是在第九版的基础上编写而成的,继续发展和完善了有关计算机辅助分析和设计的内容,配套的网站也在经常不断地更新内容。

本书可作为自动化、电气、机械、航天、化工等专业本科学生学习控制系统的教材,也可供相关领域的工程技术人员参考。

English reprint copyright ©2005 by Science Press and Pearson Education Asia Limited.

Modern Control Systems, 10th ed. by Richard C. Dorf, Robert H. Bishop, Copyright ©2005

All Rights Reserved.

Published by arrangement with the original publisher, Pearson Education, Inc., publishing as Pearson Prentice Hall.

This edition is authorized for sale only in the People's Republic of China (excluding the Special Administrative Region of Hong Kong and Macau).

本书封面贴有 Pearson Education 培生教育出版集团激光防伪标签,无标签者不得销售。

图字:01-2005-2777

图书在版编目(CIP)数据

现代控制系统:第10版/(美)多尔夫(Dorf, R. C.), (美)毕晓普(Bishop, R. H.)著. —英文版. —北京:科学出版社, 2005

(国外高校电子电气类优秀教材)

ISBN 7-03-016211-0

I. 现… II. ①多…②R…③毕…④R… III. 控制系统-高等学校-教材-英文 IV. TP271

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 100008 号

责任编辑:巴建芬/责任印制:钱玉芬/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销



*

2005年9月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2005年9月第一次印刷 印张:56 3/4

印数:1—3 000 字数:1 310 000

定价:68.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(环伟))

前 言

关于《现代控制系统》一书

2003年6月,被称为“勇气”号的火星探测漫游车由一枚德尔塔Ⅱ型火箭送入太空,飞往那颗赤色的行星——火星。在7个月后的2004年1月,“勇气”号开始进入火星的大气层,其飞行速度是19 300km/h。大约4分钟后,飞船的减速伞将速度降至1600km/h。然后,降落伞展开又将飞船的速度降至约300km/h。在距火星表面100m的高度时,制动火箭开始工作,继续使下降速度减慢,并且气囊开始膨胀,用于缓解着陆时的冲击。最后,“勇气”号以大约50km/h的速度撞击火星的表面,经过跳跃和滚动后,停在预先设定的位于古谢夫环形山区域的登陆点附近。选择这一登陆点是因为它看上去像一个湖底。若这个登陆点确实是湖底,那么这个区域就曾被水淹没过,在土壤中的沉淀物中便会含有水的痕迹。可移动的“勇气”号火星探测漫游车,可以到达科学家们感兴趣的位于古谢夫环形山的某些地方,并在当地进行试验,帮助科学家们找到长久以来悬而未解的关于临近行星历史问题的答案。“勇气”号火星探测漫游车成功地进入火星大气层、下降和着陆的过程,惊奇地展现了控制系统的作用。对于像飞往火星这样遥远的距离,靠地面的控制是不可能使飞船穿越大气层飞行的。“勇气”号进入火星大气层、下降和着陆的过程完全依靠自主控制。设计能够实现上述功能的控制系统是控制工程师们所面临的巨大挑战之一。

NASA(美国国家航空航天局)火星探测任务的前驱者“火星探路者”号飞船,也曾飞往那颗赤色的行星,并于1997年7月4日在火星着陆。作为NASA发现计划的首批任务之一,“探路者”的任务是继上个世纪70年代“海盗”号成功后首次登陆火星。“探路者”首次使用了名为“旅居者”的自主漫游车,对着陆点附近的区域进行了探测。“旅居者”漫游车的质量是10.5 kg,在它执行任务的30天内共行走了100m(在距着陆器大约12m的范围内)。相比之下,“勇气”号漫游车的质量是180 kg,按设计要求在大约90天的时间内可以每天漫游大约40m。由此可见,行星漫游车的发展是很快的。而“火星科学实验室”行星漫游车(预计在2009年发射)的设计要求是:质量为1000 kg,工作寿命期为500天,并且在其工作寿命期内可以行走30km。

控制工程师们为成功地完成行星探测计划发挥了关键的作用。随着飞行用计算机硬件和操作系统的改进,宇宙飞船自主控制系统的作用将日益增大。“探路者”使用的是商用多任务计算机操作系统,该系统安装在经过防辐射加固、存储器容量为1GB的32位工作站上,并可支持C语言编程。与阿波罗任务相比,这是一个很大的进步,阿波罗任务所用计算机,其只读存储器的容量为36 864个字(每个字为16位),可擦除存

储器的容量为 2048 个字。阿波罗任务的“编程语言”是一种能被编码和存储为数据字序列的伪代码表示，其数据字序列又被“解释”和转换成子程序链接的序列^①。“勇气”号和“机遇”号火星探测漫游车上的计算机，采用了 32 位 Rad 6000 微处理器，可在一秒钟内执行 2000 万条指令。这是一种经过防辐射加固的 Power PC 芯片，被许多 Macintosh 系列微机选用。漫游车上的计算机配置了 128MB 的随机存取存储器，256MB 的闪存，还配置了少量的非易失存储器，以防止断电时造成数据意外丢失。火星探测漫游车上的计算机的全部存储能力接近于典型的便携式计算机。与所有用于空间任务的计算机一样，“勇气”号的计算机配置了可在空间强辐射环境中工作的存储器。作为例子，本书提供了一些关于“勇气”号和“旅居者”号火星漫游车的有趣的实际问题。例如，在 4.8 节中，就讨论了移动漫游车的设计问题。

控制工程是一个十分活跃又充满挑战的领域。就其本质而言，控制工程又是一个综合性的学科，而控制工程课程已经成为工程类课程的核心课程。我们可以通过不同的方法来掌握控制工程技术并付诸实践。一方面，由于该学科是建立在坚实的数学基础之上的，因此可以将严格的理论分析和定理的证明作为学习的重点。另一方面，由于最终目标是能够实现对实际系统的控制，我们也可以凭借在设计反馈控制系统时的直觉和经验来学习控制技术。本书则是在相应的数学基础上，着重介绍了物理系统的建模，以及考虑了实际系统性能指标的控制系统的设计。

我们相信最重要和最有效的学习方法是对过去已有的答案和方法进行重新审视和再创造。因此，理想的教学方式是首先给学生提出一系列的疑难和问题，并指出一些在过去几十年中已经获得的答案。但传统的教学方法不是让学生面对问题，而是让他们面对已经形成的结论，这样会剥夺学生所有创造的激情和创新的冲动，将人类精彩的科学探索变成一堆枯燥的定理。然后，理想的教学方式还会向学生展现一些我们至今仍然没有解决的重要问题，因为也许我们可以断言，我们真正学到的和理解的知识正是我们自己发现的。

本书的目的是向学生介绍基本的反馈控制系统的理论，并通过正文和习题提供一系列令人兴奋的探索问题的机会。若本书能对学生探索反馈控制系统的理论和实践有所帮助，那就意味着本书获得了成功。

关于读者

本书是为工科类本科生编写的有关控制系统的一本基础性教材。控制系统在航天、化工、电气、机械等学科中应用的差异甚微，因此本书的编写并不针对某个特定学科的读者。希望本书对所有工程学科的读者都能适用，这样也许有助于说明控制工程的实用性。书中提供了大量的涉及各个领域的实例和习题。为了使读者能够认识到控制理论在生活中诸多方面的应用，书中还提供了控制系统在社会学、生态学和经济学中应用的实

^① 关于阿波罗飞船的导航、制导与控制的详细情况，请参阅 R. H. Battin, “An Introduction to the Mathematics and Methods of Astrodynamics, AIAA Education Series, J. S. Pzemieniecki/Series Editor-in-Chief, 1987.

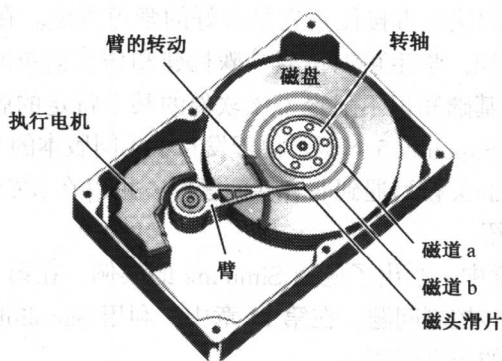
例。我们认为让某个学科的学生接触其他学科的实例和问题，将有助于拓宽学生的视野，培养学生跨学科从事研究的能力。许多学生将来所从事的工作并不属于他们目前所学的学科领域。例如，许多电气工程师和机械工程师都与航天工程师一起在航天工业领域工作。我们希望这本关于控制工程的基础性教材，能使学生对控制系统的分析和设计有广泛的了解。

《现代控制系统》一书的前九版，已经被 400 多所学院和大学选为工科类本科高年级学生的教材，也曾被选为没有控制工程背景的工科研究生的教材。

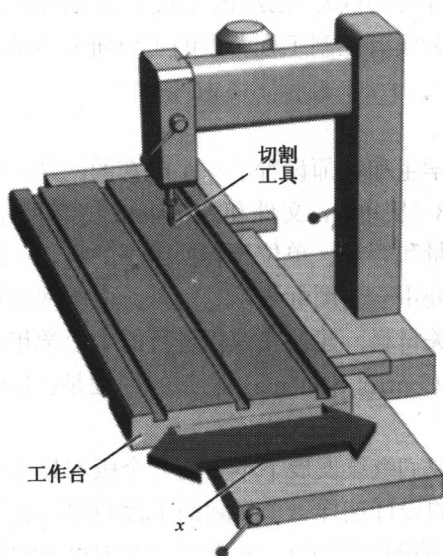
关于本书的第十版

为使用本书第十版的学生和教师设置了一个配套的网站。网站中的内容包括实践练习、本书中所有 MATLAB 程序的 m 文件和 Simulink 仿真程序、Laplace 变换和 z 变换表、有关矩阵代数、复变量和符号、单位及转换因子的材料。若在网站上有附加的相关材料，便会在书页的边缘处用一个图标表示。另外，由于网站可以经常不断地更新和添加学生和教师感兴趣的相关材料，建议在课程进行的半个学年或四分之一学年中定期访问该网站。MCS (Modern Control Systems) 网站的网址是：<http://www.prenhall.com/dorf>。

在本书的第十版中，我们继续发展了本书前九个版本具有的注重设计的特点。利用磁盘驱动读取系统控制器的设计这样一个实际的工程问题，我们给出了“循序渐进设计实例”（在书中用左边所示的图标表示），并在每一章中用该章所介绍的方法和概念对这个设计实例进行了研讨。磁盘驱动器被用于各种类型的计算机，并且是控制工程中的一个重要应用实例。在本书的每一章中分别研究了磁盘驱动读取系统控制器设计的各个方面的问题。例如，在第 1 章中我们确定了控制目标、被控变量，给出了控制指标，建立了磁盘驱动系统的基本结构。在第 2 章中，我们又得到了被控对象、传感器和执行机构的模型。在后续各章中，继续研究了设计过程中的各个环节，以此加深对各章要点的理解。



基于和“循序渐进设计实例”同样的考虑，我们还提供了一种称之为“连续设计问题”的习题（在书中用左边所示的图标表示），以此给学生们提供了一个依据各章内容逐步完成设计问题的机会。高精度的机器对滑动台系统提出了严格的要求，在“连续设计问题”中，学生可应用各章中介绍的技术和方法，完成上述设计问题并满足性能指标的要求。

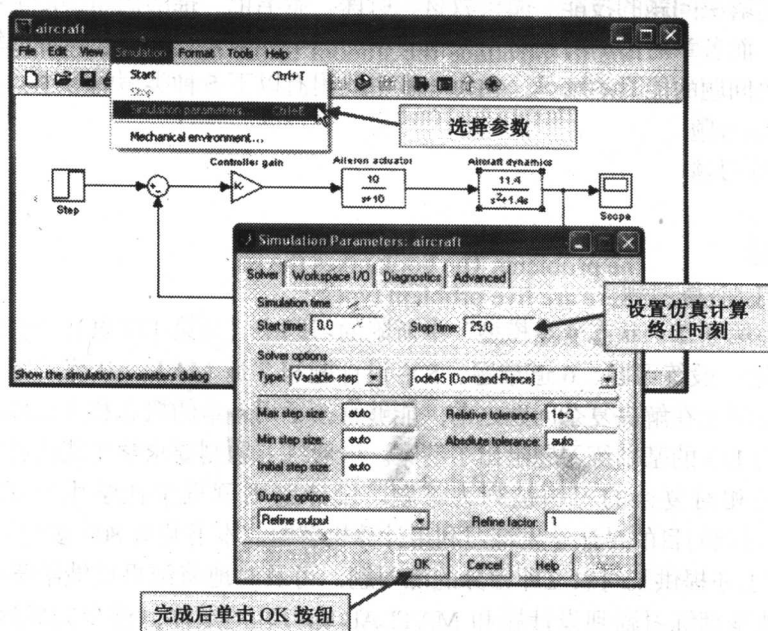


本书的新版继续发展和完善了有关计算机辅助分析和设计的内容。每章后面用图标标出了 MATLAB^① 练习题。在“循序渐进设计实例”中，用于各种设计和计算的 MATLAB 文本也以例图的形式给出。

在本书的第十版中，我们利用 Simulink 进行了反馈控制系统的建模、仿真和分析，对于熟悉 MATLAB 的读者这是一种有效的方法。由于 Simulink 是一种图形化的、交互式的仿真工具，所以我们认为直接使用它是最好的学习方法。在附录 B 中专门介绍了有关 Simulink 的基础知识，学生可以按照步骤构建和仿真简单的系统。我们努力使所介绍的关于 Simulink 的基础知识不限于该软件的某个特定的版本。在编写本书的第十版时，最新的版本是 Simulink 5.0 版。由于发布了不同版本的 Simulink 软件，所以当用本书中提供的 Simulink 模型遇到兼容性问题时，可以在 MCS 网站上查阅以往关于 Simulink 基本内容的介绍。

在第 5 章和第 11 章中，给出了应用 Simulink 的实例。在第 5 章中，利用 Simulink 工具研究了飞行器的滚转控制问题。在第 11 章中，利用 Simulink 工具研究了一个以状态变量模型表示的系统的仿真问题。

^① MATLAB 是 MathWorks 公司的注册商标。



关于教学方法

本书的内容是围绕着在频域和时域中建立的控制系统理论的各种概念组织的，并努力使所选择的内容以及例题和习题中讨论的系统是最新和最现代的。例如，书中包含了鲁棒控制系统和系统灵敏度、状态变量模型、可控性和可观性、计算机控制系统、内模式控制、鲁棒 PID 控制以及计算机辅助分析和设计方面的内容。当然，书中也保留和扩展了在实践中被证明是十分有效的经典控制方法。

基本原理体系的建立：从经典到现代。本书旨在清晰地阐明频域和时域设计方法的基本原理。书中详尽地涵盖了如下控制工程中有关经典控制方法的内容：Laplace 变换和传递函数；根轨迹设计方法；Routh-Hurwitz 稳定性分析；涉及 Bode 图、Nyquist 曲线和 Nichols 图的频率响应方法，典型测试信号作用下的稳态误差；二阶系统的近似；以及相角裕度、幅值裕度和频带宽度。另外，本书还介绍了有关状态变量法的内容，讨论了有关状态变量模型的可控性和可观性的基本概念，给出了利用 Ackermann 公式进行全状态反馈来配置极点的方法，同时也讨论了状态变量反馈的局限性。介绍了当状态变量不能够被全部测量时，利用观测器获得状态估计值的方法。

在着重介绍了上述基本原理的基础上，本书还介绍了许多非经典的控制方法。在第 12 章中介绍了鲁棒控制理论的新进展。在第 13 章中讨论了数字计算机控制系统的实现问题。除第 1 章外，各章都安排了一节讨论 MATLAB 的应用，向学生介绍计算机辅助分析和设计的方法。本书按章分类，提供了丰富的参考文献，以引导学生进一步获得有关控制工程的信息源。

逐步提高解决问题的技能。阅读教材、听课、做笔记、推演例题都是学习过程的各个组成部分，而各章后面的习题可用来检验学习的实际效果。本书在内容的编排上注重了对学生解决问题的能力的培养，在每一章中均附有以下 5 种类型的习题：

- ☐ 基础练习题
- ☐ 一般练习题
- ☐ 难题
- ☐ 设计题
- ☐ MATLAB 练习题

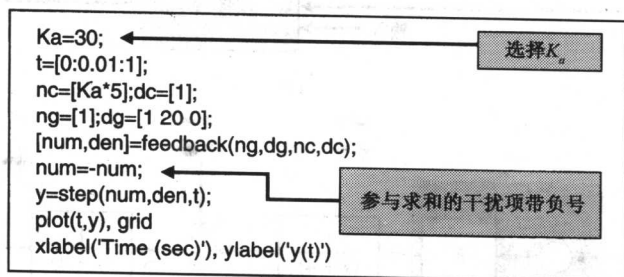
例如，在第 3 章“状态变量模型”中所附的习题中（见第 177 页），包括 19 道基础练习题、36 道一般练习题、6 道难题、5 道设计题和 7 道 MATLAB 练习题。基础练习题的目的是让学生在解决复杂问题之前，能够直接运用各章的概念和方法解决相对简单的问题。大约 1/3 的基础练习题给出了答案。一般练习题则要求学生能将各章的概念加以延伸。那些相对复杂的习题被列为难题。设计题则侧重于让学生完成设计任务。MATLAB 练习题的目的是让学生练习利用计算机解题。本书共有 800 多道习题。另外，在 MCS 网站上还提供了可以立即评分的练习题，可及时地将结果反馈给学生。如果学生能够按着从基础练习题到设计题和 MATLAB 练习题的顺序，逐步完成这些丰富的、复杂性逐渐增加的题目，就会对自己解决问题的能力充满自信。本书配有教学辅导手册，可提供给选用本书作为教材进行教学的人员，手册中给出了各章后面所有习题的完整答案。

本书的作者编写了名为《现代控制系统工具箱》的补充材料，它是一本 M-文件集，给出了书中每个 MATLAB 和 Simulink 例题的 M-文件文本，读者可以从 Prentice Hall 公司的网站上下载这些 M-文件文本，其网址是：<http://www.prenhall.com/dorf>。

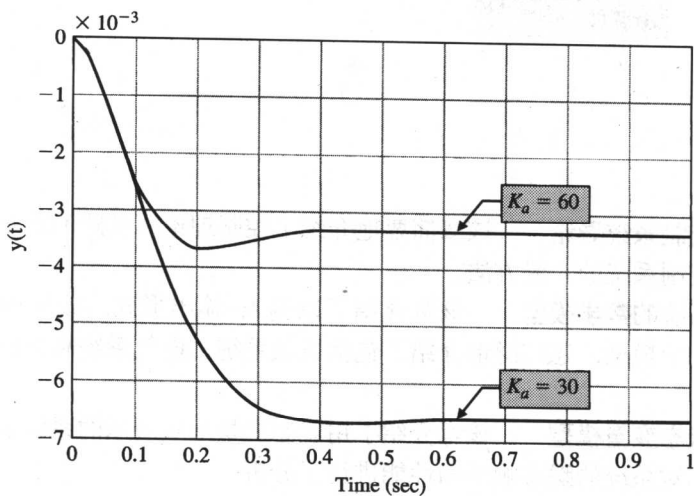
重视基本原理，强调设计训练。有关实际复杂控制系统的设计要点是贯穿全书的主题，强调结合实际应用的设计训练有利于获得 ABET（美国工程技术认证委员会）和工业界的认证。在本书的每一章中至少介绍了一个设计实例，如

- ☐ 胰岛素注射控制（第 1.12 节，第 26 页）
- ☐ 低通滤波器（第 2.9 节，第 86 页）
- ☐ 打印机传动带的驱动（第 3.9 节，第 163 页）
- ☐ 火星漫游车（第 4.8 节，第 212 页）
- ☐ 哈勃太空望远镜指向控制（第 5.11 节，第 279 页）
- ☐ 履带车转向控制（第 6.5 节，第 329 页）
- ☐ 激光操纵器控制系统（第 7.8 节，第 393 页）
- ☐ 雕刻机控制系统（第 8.7 节，第 461 页）
- ☐ 遥控侦察车（第 9.8 节，第 534 页）
- ☐ X-Y 绘图仪（第 10.13 节，第 623 页）
- ☐ 自动测试系统（第 11.11 节，第 696 页）
- ☐ 超精钻石切削机（第 12.12 节，第 753 页）
- ☐ 工作台运动控制系统（第 13.9 节，第 806 页）

本书各章中都安排了一节讨论 MATLAB 的应用, 以帮助学生学会利用计算机进行辅助分析和设计, 并在该节中利用 MATLAB 重做了许多设计实例。在第 5 章中利用 MATLAB 对“循序渐进设计实例: 磁盘驱动读取系统”进行了分析, 在 294 页的图 5.53 中, 给出了用于分析和设计的 MATLAB 文本。通常, 每个文本都用注释框对其中的要点进行说明, 与文本对应的输出信息(一般为曲线图)也用注释框对其关键点作了说明。在这些 MATLAB 文本基础上, 经过适当修改便可以用于解决其他相关的问题。



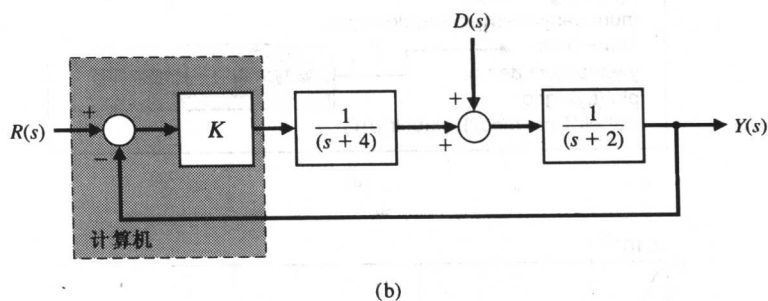
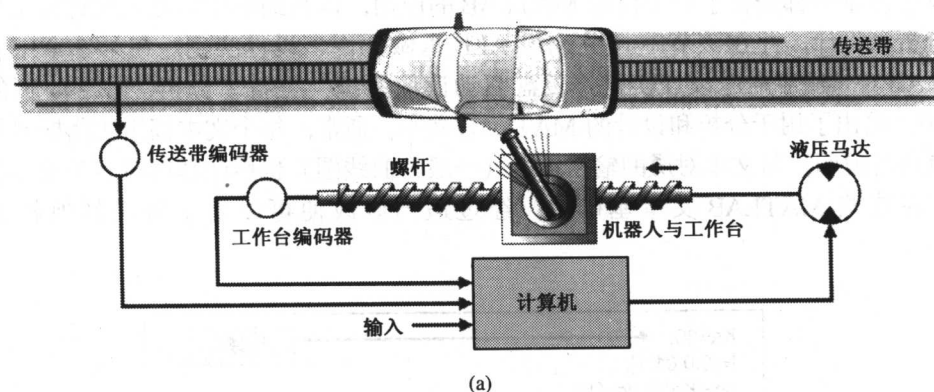
(a)



(b)

增加学习帮助。每章前面的提要, 向学生介绍了本章将要讨论的主要问题, 每章结尾都附有本章小结以及有关的术语和概念。这些内容加深了对各章所介绍的重要概念的理解, 并便于今后应用时作为参考。

必要时, 在书中采用另一种颜色对某些内容加以强调, 并使图表更易于理解。如第 769 页中的习题 P12.4, 要求学生确定参数 K_a 以满足设计指标的要求。第 769 页中的图 P12.4 用于帮助学生完成该习题, 其中图 (a) 形象地表示了习题的背景, 图 (b) 帮助学生完成下一步求取传递函数模型的任务。



内容编排

第1章 控制系统导论 该章简要地介绍了控制理论和实践的历史,旨在介绍设计和实现一个控制系统的一般方法。

第2章 系统的数学模型 该章介绍了以输入-输出形式,或传递函数形式表示的物理系统的数学模型,还广泛地介绍了包括机械系统、电气系统和流体系统在内的各类系统。

第3章 状态变量模型 该章介绍了用状态变量形式表示的系统数学模型,运用矩阵分析方法,对系统的瞬态响应和性能进行了分析。

第4章 反馈控制系统的特性 该章介绍了反馈控制系统的特性,讨论了反馈的优点,引入了系统偏差信号的概念。

第5章 反馈控制系统的性能 该章讨论了反馈控制系统的性能,这些性能与系统传递函数的零、极点在 s 平面上的位置有关。

第6章 线性反馈系统的稳定性 该章讨论了反馈控制系统的稳定性问题,分析了系统稳定性与其特征方程之间的关系,介绍了 Routh-Hurwitz 稳定性判据。

第7章 根轨迹法 该章分析了当系统的一个或两个参数变化时,特征方程的根在 s 平面上的运动情况。介绍了用图解法确定 s 平面上根轨迹的方法,还介绍了被广泛应用的 PID 控制器。

第8章 频率响应法 在这一章中以正弦信号为输入,分析了当输入信号频率变化时系统的稳态响应,讨论了被称为 Bode 图的频率响应图。

第9章 频域稳定性 该章研究了用频率响应分析系统稳定性的方法, 讨论了相对稳定性和 Nyquist 判据。

第10章 反馈控制系统的设计 该章讨论了几种控制系统的校正和设计方法, 介绍了多种可供选择的校正装置, 并对它们如何改善系统性能的机理进行了说明。

第11章 状态变量反馈系统的设计 该章主要论述的内容是如何用状态空间模型设计控制系统, 讨论了基于极点配置的全状态反馈和观测器设计方法, 给出了可控性和可观性的检验方法, 讨论了内模设计的概念。

第12章 鲁棒控制系统 该章考虑了存在显著的不确定因素时高精度控制系统的设计问题, 讨论了5种鲁棒设计方法: 根轨迹法、频率响应法、用于鲁棒 PID 控制器的 ITAE 方法、内模方法和伪量反馈法。

第13章 数字控制系统 该章介绍了描述和分析计算机控制系统性能的方法, 讨论了采样系统的稳定性和有关的性能。

附录 本书的附录如下:

附录 A MATLAB 基础

附录 B Simulink 基础

致谢

我们真诚地向对本书的第十版和以前各版本的编写给予过帮助的人士表示感谢, 这些人士是: Mahmoud A. Abdallah (州立中部大学 (OH)); John N. Chiasson (匹兹堡大学); Samy El-Sawah (加利福尼亚州立工业大学波莫纳分校); Peter J. Gorder (堪萨斯州立大学); Duane Hanselman (缅因大学); Ashok Iyer (内华达大学拉斯维加斯分校); Leslie R. Koval (密苏里大学罗拉分校); L. G. Kraft (新罕布什尔大学); Thomas Kurfess (佐治亚理工学院); Julio C. Mandojana (州立曼科塔大学); Jure Medanic (伊利诺伊大学厄巴纳-尚佩恩分校); Eduardo A. Misawa (俄克拉荷马州立大学); Medhat M. Morcos (堪萨斯州立大学); Mark Nagurka (马凯特大学); Carla Schwartz (MathWorks 公司); D. Subbaram Naidu (爱达荷州立大学); Ron Perez (威斯康星大学密尔沃基分校); Murat Tanyel (Dordt 学院); Hal Tharp (亚利桑那大学); John Valasek (得克萨斯州 A 与 M 大学); Paul P. Wang (杜克大学); Ravi Warrier (GMI 工程与管理学院)。

联系方式

本书的作者愿与《现代控制系统》的读者建立通信联系, 希望读者能对本书及其后续版本提出修改意见和建议。通过这种联系, 我们可以及时将本书的有关信息通知您, 也可将其他读者对本书的意见或评论转告您。

请保持联系!

Richard C. Dorf dorf@ece.ucdavis.edu

Robert H. Bishop rhbishop@mail.utexas.edu

关于作者

Richard C. Dorf 是加利福尼亚大学戴维斯分校电气与计算机工程专业的教授。作为一个在电子工程专业及其应用领域倍受关注的学者，Dorf 教授已经成功地编著了多本工程类教科书和手册，其中包括畅销的《工程手册》和《电气工程手册》（第2版）。Dorf 教授是电气和电子工程师协会的特别会员，其研究领域为控制系统设计和机器人。Dorf 教授是 PIDA 控制器专利的持有者。

Robert H. Bishop 是得克萨斯大学奥斯汀分校航天工程与机械工程系主任，他主持 Myron L. Begeman 工程协会并于 2002 年被吸收为得克萨斯大学优秀教师学会的会员。作为一名有才能的教育者，Bishop 教授因在课堂教学方面的突出贡献而获得 Lockheed Martin 战术飞机系统工程教育优秀奖。作为 AIAA、IEEE 和 ASEE 的会员，他还获得了美国工程教育者协会和美国航空航天学会颁发的 Jhon Leland Atwood 奖，该奖定期授予“在航天工程教育方面做出最新和突出贡献的领导者”。Bishop 博士还是一位优秀的研究人员，其研究领域是航天器的导航、制导与控制。

目 录

前言

关于作者

第 1 章 控制系统导论	1
1.1 引言	2
1.2 自动控制简史	4
1.3 反馈应用的两个实例	7
1.4 控制工程实践	8
1.5 现代控制系统实例	9
1.6 自动装配与机器人	16
1.7 控制系统前瞻	17
1.8 工程设计	18
1.9 机电系统	19
1.10 控制系统设计	23
1.11 设计实例：转盘速度控制	24
1.12 设计实例：胰岛素注射控制系统	26
1.13 循序渐进设计实例：磁盘驱动读取系统	27
基础练习题	29
一般练习题	30
难题	34
设计题	35
术语和概念	36
第 2 章 系统的数学模型	37
2.1 引言	38
2.2 物理系统的微分方程	38
2.3 物理系统的线性近似	43
2.4 Laplace 变换	46
2.5 线性系统的传递函数	52
2.6 方框图模型	63
2.7 信号流图模型	72
2.8 控制系统的计算机分析	78
2.9 设计实例	79
2.10 利用 MATLAB 进行系统仿真	89
2.11 循序渐进设计实例：磁盘驱动读取系统	102
2.12 小结	105

基础练习题	105
一般练习题	111
难题	124
设计题	125
MATLAB 练习题	126
术语和概念	128
第 3 章 状态变量模型	130
3.1 引言	131
3.2 动态系统的状态变量	131
3.3 状态微分方程	134
3.4 信号流图和方框图模型	137
3.5 信号流图和方框图模型的其他形式	147
3.6 由状态方程求传递函数	153
3.7 时间响应和状态转移矩阵	154
3.8 时间响应的离散时间近似求解	158
3.9 设计实例：打印机传动带的驱动	163
3.10 利用 MATLAB 分析状态变量模型	170
3.11 循序渐进设计实例：磁盘驱动读取系统	173
3.12 小结	176
基础练习题	177
一般练习题	179
难题	186
设计题	188
MATLAB 练习题	189
术语和概念	190
第 4 章 反馈控制系统的特性	191
4.1 开环和闭环控制系统	192
4.2 控制系统对参数变化的灵敏度	194
4.3 控制系统瞬态响应的控制	197
4.4 反馈控制系统的干扰信号	201
4.5 稳态误差	206
4.6 反馈的代价	208
4.7 设计实例：英吉利海峡海底隧道钻机	209
4.8 设计实例：火星漫游车	212
4.9 利用 MATLAB 分析控制系统特性	214
4.10 循序渐进设计实例：磁盘驱动读取系统	219
4.11 小结	224
基础练习题	226
一般练习题	228

难题	235
设计题	238
MATLAB 练习题	240
术语和概念	242
第 5 章 反馈控制系统的性能	243
5.1 引言	244
5.2 测试输入信号	245
5.3 二阶系统的性能	247
5.4 第三个极点和零点对二阶系统响应的影响	253
5.5 阻尼比的估计	258
5.6 s 平面中根的位置和瞬态响应	259
5.7 反馈控制系统的稳态误差	260
5.8 非单位反馈系统的稳态误差	265
5.9 性能指标	267
5.10 线性系统的简化	276
5.11 设计实例: 哈勃太空望远镜指向控制	279
5.12 利用 MATLAB 和 Simulink 分析系统性能	282
5.13 循序渐进设计实例: 磁盘驱动读取系统	291
5.14 小结	295
基础练习题	295
一般练习题	299
难题	304
设计题	306
MATLAB 练习题	308
术语和概念	310
第 6 章 线性反馈系统的稳定性	311
6.1 稳定性的概念	312
6.2 Routh-Hurwitz 稳定性判据	316
6.3 反馈控制系统的相对稳定性	324
6.4 状态变量系统的稳定性	325
6.5 设计实例: 履带车转向控制	329
6.6 利用 MATLAB 分析系统稳定性	331
6.7 循序渐进设计实例: 磁盘驱动读取系统	339
6.8 小结	342
基础练习题	343
一般练习题	345
难题	348
设计题	350
MATLAB 练习题	352

术语和概念	353
第7章 根轨迹法	354
7.1 引言	355
7.2 根轨迹的概念	355
7.3 绘制根轨迹的步骤	359
7.4 一个应用根轨迹法分析和设计控制系统的实例	374
7.5 利用根轨迹法进行参数设计	378
7.6 灵敏度与根轨迹	383
7.7 PID 控制器	391
7.8 设计实例：激光操纵器控制系统	393
7.9 机器人控制系统设计	396
7.10 利用 MATLAB 研究根轨迹	398
7.11 循序渐进设计实例：磁盘驱动读取系统	404
7.12 小结	405
基础练习题	409
一般练习题	412
难题	421
设计题	424
MATLAB 练习题	430
术语和概念	431
第8章 频率响应法	432
8.1 引言	433
8.2 频率响应图	435
8.3 一个绘制 Bode 图的实例	452
8.4 频率响应的测量	456
8.5 频域性能指标	458
8.6 对数幅相图	461
8.7 设计实例：雕刻机控制系统	461
8.8 利用 MATLAB 的频率响应法	465
8.9 循序渐进设计实例：磁盘驱动读取系统	471
8.10 小结	472
基础练习题	477
一般练习题	480
难题	490
设计题	491
MATLAB 练习题	494
术语和概念	496
第9章 频域稳定性	497
9.1 引言	498