



普通高等教育“十二五”规划教材

控制工程基础

主编 王 华



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS

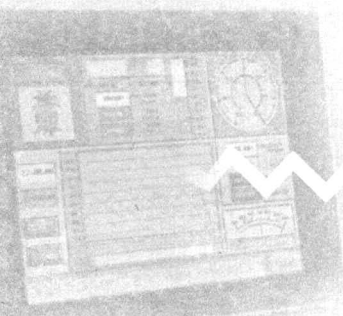
TP13
20123

阅 览

普通高等教育“十二五”规划教材

控制工程基础

主 编	王 华	
副主编	王荣林	许泽银
	赵秀婷	杨 梅
参 编	隋江华	王妍玮
	李 平	陈 玉



北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书介绍了反馈控制系统的经典控制理论及其应用,着重阐述了线性连续系统的数学模型的建立及应用时域法和频域法对控制系统进行的分析和校正。全书共分5章内容,主要包括控制系统的基本概念及发展、数学模型的建立、时域响应分析、频域特性分析、系统分析与校正,并且每章配合例题还介绍了 MATLAB/Simulink 在自动控制理论中的应用。同时,各章均提供了一定数量的习题,以帮助读者理解基本概念并掌握分析和设计方法。

本书可作为普通高等工科院校机械工程及自动化专业的“控制工程基础”课程的教材,也可作为相关专业的教学参考书,同时还可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

控制工程基础 / 王华主编. --北京: 北京航空航天大学出版社, 2011.5

ISBN 978-7-5124-0426-7

I. ①控… II. ①王… III. ①自动控制理论—高等学校—教材 IV. ①TP13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 077994 号

版权所有,侵权必究。

控制工程基础

主 编 王 华

副主编 王荣林 许泽银 赵秀婷 杨 梅

参 编 隋江华 王妍玮 李 平 陈 玉

责任编辑 谷晓倩

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱: bhpess@263.net 邮购电话:(010)82316936

北京市彩虹印刷有限责任公司印装 各地书店经销

*

开本: 787×1 092 1/16 印张: 12.75 字数: 326 千字

2011 年 5 月第 1 版 2011 年 5 月第 1 次印刷 印数: 3 000 册

ISBN 978-7-5124-0426-7 定价: 25.50 元

机械设计及及其自动化专业

编写委员会

总顾问

傅水根

顾问

袁军堂 李春峰

主任

童幸生

委员 (排名不分先后)

赵延永 王 华 孙德勤 李喜武 肖庆和 赵丽萍(女) 谭晓东
桂兴春 袁祖强 黄晓鹏 谢忠东(女) 董鹏敏 韩泽光 谢忠东
王景立 侯祖飞 张克义 符春生 京玉海 罗军明 易 军 付求涯
肖庆和 吴 军 董鹏敏 谭晓东

本书编写人员

主 编

王 华

副主编

王荣林 许泽银 赵秀婷 杨 梅

参 编

隋江华 王妍玮 李 平 陈 玉

总 序

针对我国科学技术和国民经济发展的需要,以及我国高等理工院校人才培养中出现工程能力比较薄弱,学生毕业后难以很快适应企业和社会的需求等问题,教育部提出了“卓越工程师培养计划”。就是要在大学培养的整个过程中,逐步扭转过去那种偏于系统理论而轻视工程实践的倾向,要更多地增加工程实践的教学内容和时间,使学生在知识、素质和能力三个方面得到全面和综合发展,培养出学生的创新设计能力和创新实践能力,也在为国家各部门提供所需要的各种重要装备的同时,尽快将我国由“制造大国”发展为“制造强国”。因此,尽管在大学的教学体系中,需要做好的工作涉及方方面面,但编写或选用一套优秀的系列教材是非常基本和非常重要的。

在我们为机械设计制造及自动化专业编写的系列教材中,为了实现教育部卓越工程师的培养计划,针对应用型人才培养,准备采取下列重要措施:

1. 在系列教材编写中,适当的理论知识仍然是不可缺少的,因为理论知识仍然是工程应用中的重要力量。但问题在于,必须把理论知识的学习更多地与工程实践、工程应用结合起来,使学生不仅能够掌握比较丰富的理论知识,而且由于有一系列为理论知识配套的教学实验、工程实践和工业实践,使学生有机会增强工程实践能力和提高工程素养,有利于将知识学好、学活和用好、用活。这样,就可能将学生的学习积极性最大限度地调动起来。

2. 编写一套优秀的教材,必须选好编写教材的作者。我们所选择的主编、参编和主审,除了具有高度的育人责任感、较高的学术造诣和丰富的教学经验外,还必须具有较强的解决工程实际问题的能力,有些作者本身就有发明创造。他们懂得培养一名优秀的工程师应该采用什么样的教材。这样编写的教材,可更好地贯彻终身学习理念,培养学生的自学能力,因此具有更好的实用价值。

3. 机械设计制造及其自动化,是国家科技和国民经济发展的一个非常重要的专业领域,属于机电一体化的范畴。本专业培养出的人才,在我国有着极其广泛的应用领域。因此,我们编写的教材,在考虑适当的基础理论知识的同时,特别强调工程实现的方法论,要采用多样化的案例教学,使理论知识和工程实际应

用紧密结合,要提高教材的实用性、可读性和趣味性,并配以规范而丰富的插图。与此同时,充分运用好学校的校园网络,将教师授课的课件,以及其他课程资源充分利用起来。

无论对国家,还是个人,“卓越工程师”都是一个努力奋斗的目标。除了在大学阶段教师和学生的共同努力外,还需要学生毕业后经历若干年工程实际项目的历练和洗礼,不断积累工程经验、增长才干,甚至遭遇挫折,才能得以实现。我们希望,通过覆盖本专业课程中本系列教材的使用,将学生的学习潜力充分调动起来,使理论学习不只是与作业练习,而且与实验教学、工程实践、工业实践和创新实践紧密结合起来,在大学的工程教育与社会需求之间架起一座宽广的桥梁。这样,我们培养出来的学生将能较快地适应企业和社会的需要,并在未来的发展中开创更加辉煌的未来!

傅水根

2011年3月于北京

前 言

从家用电器到航天工程,自动控制技术在当今社会中扮演着越来越重要的角色,几乎在每个领域,如电气、机械、航空、化工、生物医学等,均觅得其身影。控制理论则是自动控制技术的基础,解决控制系统运行中的稳定性、快速性、准确性等问题,是控制工程研究的核心问题。控制理论一般分为以单输入单输出(SISO)线性系统理论为主的经典控制理论,以多输入多输出(MIMO)非线性时变系统理论为主的现代控制理论和基于人工智能的智能控制理论。其中经典控制理论是控制理论发展的基石,是初识者步入控制领域、建立控制系统概念的基础,并且仍然在目前控制系统应用中占据重要位置,如在工程实际中,PID调节器的应用仍然是最广泛的。因此,以经典控制理论为主要内容的“控制工程基础”成为机械工程、电气工程等相关专业的一门技术基础课。

本书通过理论与实例相结合,阐述了经典控制理论中的基本概念和主要的系统分析与校正方法,并且介绍了已成业界标准的 MATLAB/Simulink 控制系统工具在系统分析与校正中的应用。

本书以编者多年修改完善的“控制工程基础”课程的教学讲义为基础,参阅了国内外相关教材和著作,同时也收入了编者及其所在单位的科研成果。前言、第1章、第5章由王华、赵秀婷、陈玉、李平编写,第2章、第3章由王荣林、杨梅、王妍玮编写,第4章由许泽银、隋江华编写,全书由王华担任主编。本书在写作过程中,得到了清华大学傅水根教授和南京理工大学袁军堂教授的悉心指导和关心,他们提出了十分宝贵的意见和建议,使作者受益匪浅。

由于作者水平所限,书中错误和不妥当之处,恳请专家和广大读者批评指正。

王 华

2011年2月

于南京

目录

CONTENTS

第1章 绪论	1
1.1 自动控制的基本概念	1
1.2 自动控制的发展历程	3
1.3 开环与闭环系统	8
1.4 反馈控制系统的基本组成	11
1.5 控制系统的分类	12
1.6 自动控制系统的基本要求	16
1.7 典型输入信号	17
1.8 MATLAB/Simulink 介绍	19
复习思考题	22
第2章 数学模型	24
2.1 系统的微分方程	24
2.2 拉普拉斯变换及其性质	33
2.3 传递函数	40
2.4 传递函数方框图及其简化	48
2.5 闭环系统的传递函数	59
2.6 控制系统的信号流图	63
2.7 相似原理	66
复习思考题	68
第3章 系统的时域响应分析	72
3.1 时间响应及其组成	72
3.2 一阶系统的时间响应	77
3.3 二阶系统的时间响应	81
3.4 高阶系统的时间响应	92
3.5 系统的稳定性与劳斯判据	94
3.6 系统的误差与分析	104

3.7 利用 MATLAB/Simulink 进行时域和稳定性分析	112
复习思考题	116
第4章 系统的频域特性分析	119
4.1 频率特性概述	119
4.2 频率特性的图示法	122
4.3 频域稳定性判据	139
4.4 系统的相对稳定性	145
4.5 闭环频率特性及其性能指标	149
4.6 频域性能指标和时域性能指标的关系	154
4.7 利用 MATLAB 进行频域特性分析	157
复习思考题	160
第5章 控制系统校正	163
5.1 概述	163
5.2 相位超前校正	165
5.3 相位滞后校正	169
5.4 相位滞后—超前校正	173
5.5 PID 控制	176
5.6 反馈校正	187
5.7 复合校正	188
复习思考题	190
参考文献	192

第1章

绪 论

本章导读

自动控制技术在现代社会中起着越来越重要的作用,自动控制理论是在解决实际控制技术问题的过程中逐步发展起来的。什么是自动控制,自动控制理论的研究内容是什么等问题,本章将通过实例带领读者步入控制工程领域,一一回答读者心中的疑问。通过史实来回忆自动控制的发展历程,明晰自动控制的发展方向,介绍自动控制系统的描述方法、基本控制方式、系统组成及分类,通过分析系统输出,明确控制系统的基本要求。同时引导读者采用 MATLAB 工具进行控制系统的分析与仿真。

学习目标

通过对本章内容的学习,学生应该能够做到:

了解:自动控制技术的发展概况及作用;自动控制系统的分类。

理解:自动控制基本概念、控制系统的基本要求、自动控制的基本方式。

应用:系统方框图描述方法。

分析:反馈控制系统组成。

1.1 自动控制的基本概念

对对象施加某种操作,使其产生所期望的行为,称之为控制。控制过程中根据人的干预的情形可以将控制分为人工控制和自动控制。人工控制是指在人的直接干预和全程干预情况下进行的,反之,自动控制是指在没有人直接参与的情况下,利用外加的设备或装置,使机器、设备或生产过程的某个工作状态或参数自动地按照预定的规律运行。

如图 1-1(a)所示的水箱水位自动控制系统,为了保持水位高度,液位计测出水位的高度,并在控制器内与设定值进行比较,若水位高于设定值,则通过控制器关小阀门,液体流出量大于输入量,水位降低;反之,则增加阀门开度,使液体输入量大于流出量,水位升高;如此反复调节,使水位维持在设定高度。对于水位手动控制系统而言,如图 1-1(b)所示,人脑取代了控制器的作用,而人的手充当了执行器调节阀门开度的功能,人的眼睛代替了液位计,对于这个控制系统而言,整个控制系统的组成都有人的干预,是人工控制系统。

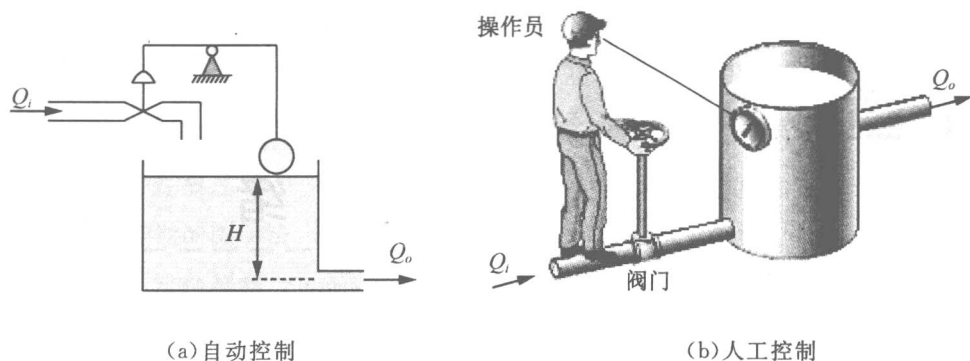


图 1-1 水位控制

由一系列部件或装置连接实现对对象的自动控制称为自动控制系统,这些部件或装置可以是电子器件、机械零件、液压气动元件等。在控制系统研究中为了清晰表示系统内部的结构和原理,通常采用系统方框图来表示,如图 1-2 所示。

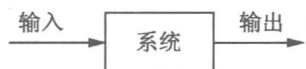


图 1-2 系统方框图

系统方框图由许多对信号(量)进行单向传递的元件方框和一些连线组成,表征了系统各元件之间及系统与外界之间进行信息交换的过程。系统方框图主要包括三要素:元件方框、相加点和分支点。

(1)元件方框:方框中写入元件的名称或该元件的数学模型,进入箭头表示其输入信号,引出箭头表示其输出信号,如图 1-3(a)所示。

(2)相加点(比较点):表示两个或两个以上的信号进行相加或相减运算。“+”表示信号相加;“-”表示信号相减,如图 1-3(b)所示。

(3)分支点(引出点):表示信号的分支,箭头表示信号的传递方向,线上标记信号的名称,如图 1-3(c)所示。

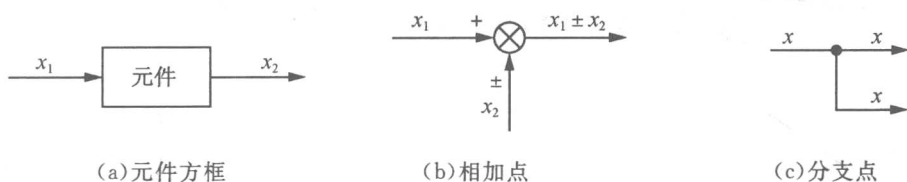


图 1-3 系统方框图要素

例如如图 1-1(a)水位自动控制系统可表示为如图 1-4 所示的系统方框图。

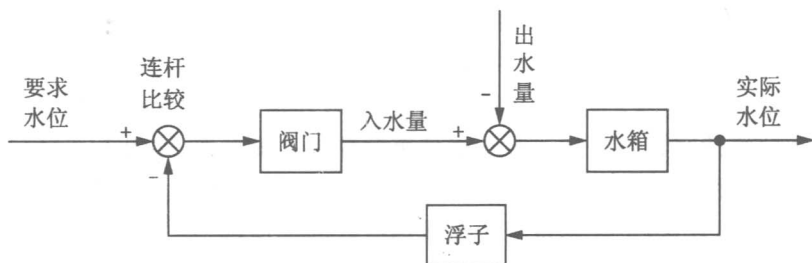


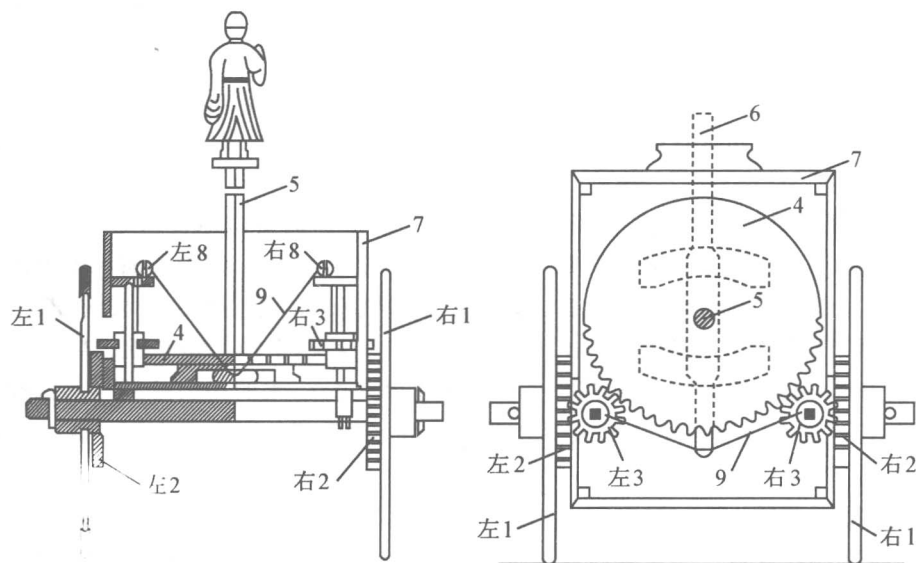
图 1-4 水位自动控制系统方框图

随着科技的进步,自动控制成为降低人类劳动负荷的主要手段,自动控制系统已被广泛应用于人类社会的各个领域。在工业方面,对于冶金、化工、机械制造等生产过程中遇到的各种物理量,包括温度、流量、压力、厚度、张力、速度、位置、频率、相位等,都有相应的控制系统。在此基础上通过采用数字计算机还建立起了控制性能更好和自动化程度更高的数字控制系统,以及具有控制与管理双重功能的过程控制系统。在农业方面的应用包括水位自动控制系统、农业机械的自动操作系统等。在军事技术方面,自动控制的应用实例有各种类型的伺服系统、火力控制系统、制导与控制系统等。在航天、航空和航海方面,除了各种形式的控制系统外,应用的领域还包括导航系统、遥控系统和各种仿真器。此外,在办公室自动化、图书管理、交通管理乃至日常家务方面,自动控制技术也有着实际的应用。随着控制理论和控制技术的发展,自动控制系统的应用领域还在不断扩大,几乎涉及生物、医学、生态、经济、社会等所有领域。

1.2

自动控制的发展历程

像大多数发明一样,自动控制的发明也可以溯源到中国古代。一千多年前,在一片风尘滚滚的平原上,一个身穿长袍的木人站在一根短柱上,总是坚定、准确无误地指向南方,它为王师指路,保证整个队伍不在荒郊野岭中迷失方向,这就是中国古代人发明的指南车,如图1-5所示。



后视图

俯视图

1. 足轮 2. 立轮 3. 小平轮 4. 中心大平轮 5. 贯心立轴 6. 车轱 7. 车厢 8. 滑轮 9. 拉索

图1-5 指南车

指南车使用时,先人为地进行调整,使木人的手指向正南。若马拖着车轳 6 直走,则左右两个小平轮 3 都悬空,小平轮 3 和中心大平轮 4 不发生啮合传动,因此木人不转,当然也不会改变指向。若车子向左拐弯,则车轳 6 的前端也必向左而其后端则必偏右。车轳的这种变化,会使系在车轳 6 上的悬吊两小平轮 3 的拉索 9 发生相应的松紧,从而把左边的小平轮向上拉,但仍使它悬空;而右边的小平轮则借铁坠子及其本身的重量往下落,从而使其和大平轮啮合传动。同时,足轮 1 向前滚动,带动立轮 2 旋转,立轮 2 又带动小平轮 3 旋转,继而带动大平轮 4 转动,由于大平轮转动方向正好与车轳转动方向相反,对木人而言,其结果等于没有转动,所以它的指向仍然不变。车子向右拐弯的情况或其他运动情况的结果可以类推。总之任车子怎么转动,木人总能保持它的指向不变。按照自动控制系统来分析就是车辆转弯时,齿轮系就要补偿车辆转弯带来的方向转动,是一种开环自动调节系统。

不过,细考起来,指南车并不是现代意义上真正的自动(即自我控制)装置。这个装置只是以一种最微妙、最隐晦的方式告诉它的人类主人,要想保持原来的行为状态就得作出调整,而改变行进方向这类事情则被交给了人类。按照现代思维的术语来说,人类是回路的一部分。要成为真正的自动装置,指向南方的木头人就应该自己改变车的行驶方向让它成为指南车。至少它的手指尖得挂一根胡萝卜,挑逗马(现在马在这个回路里了)跟着前进。不过,虽然算不上自动,指南车却使用了差速齿轮,这可是现代汽车的变速器在一千多年前的老祖宗,也是在磁力指南针无用武之地的武装坦克上辅助驾驶员的现代自瞄准火炮的早期原型。从这个意义上说,这些机巧的装置其实是自动化谱系上一些奇妙的流产儿。事实上,最早的、真正意义上的自动装置要比这还早一千年就出现了。

在公元前 300 年,古希腊有一个叫克特西比乌斯(Ktesibios)的人,原本是生活在亚历山大港的一位理发师。他痴迷于机械装置,而且在这方面也颇有天分,他最终成为托勒密二世统治下的一名机器工匠。当时,克特西比乌斯以发明家的名气,堪与传奇的工程学大师阿基米德相媲美。而今天,克特西比乌斯被认作是第一个真正自动装置的发明人,是因为他发明了传奇的水钟。

运用反馈控制原理设计的水钟如图 1-6 所示,最上面的蓄水池提供水,中间蓄水池的浮子调节阀保证恒定水位,以确保其流出的水滴速度均匀,从而保证最下面水池中的带有指针的浮子均匀上升,并指示出时间信息。以当时而论,克特西比乌斯的钟可谓非常准确,因为它能自行调节供水量。在那之前,绝大多数水钟的弱点在于推动整个驱动装置的存水器在放空的过程中,水流的速度会逐渐减慢(因为水越少、越浅,水的压力就越小),因此也就减慢了钟的运行速度。克特西比乌斯发明浮子调节阀,解决了这个积年难题。调节阀内有一个圆锥形的浮子,浮子的尖端向上戳入一个与之配套的、倒转的漏斗中。水从调节阀中的漏斗柄处出来,漫过浮子,进入浮子漂浮的杯中。这时,浮子会浮起来进入倒扣的漏斗将水道收窄,以此限制水的流量。当水变少的时候,浮子又会往下沉,重新打开通道,让更多的水流入。换句话说,这个调节阀能够实时地找到恰当的位置让“刚刚好”的水通过,使中间蓄水池中的流量保持恒定。

克特西比乌斯的这个调节阀是有史以来第一个可以自我调节、自我管理以及自我控制的非生命物体。从这个意义上说,它也就变成了第一个在生物学范畴之外诞生出来的自我。这是一个真正自动的物体——从内部产生控制。而我们现在之所以把它看成是自动装置的

鼻祖,是因为它令机器第一次能够像生物一般呼吸。而我们之所以说它确实有一个自我,是因为它置换出的东西,一股能够持续不断地、自动地进行自我调节的水流,转换成了一座能够不断进行自我调节的时钟,这样一来,国王就不再需要仆人来照顾这座水钟的水箱。

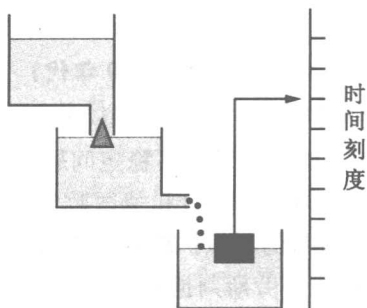


图 1-6 克特西比乌斯的水钟原理

此外,我国北宋时代(公元 1086—1089 年)苏颂和韩公廉利用天衡装置制造的水运仪象台,就是一个按负反馈原理构成的闭环非线性自动控制系统;1681 年丹尼斯·帕潘(Dennis Papin)发明了用做安全调节装置的锅炉压力调节器;1765 年俄国人普尔佐诺夫(I. Polzunov)发明了蒸汽锅炉水位调节器等等。

到十八世纪,随着工业技术的发展,自动控制技术开始逐渐应用到现代工业生产中。1788 年英国人瓦特(James Watt)在他发明的蒸汽机(见图 1-7)上使用了离心调速器,解决了蒸汽机的速度控制问题,引起了人们对控制技术的重视,加速了第一次工业革命的步伐。

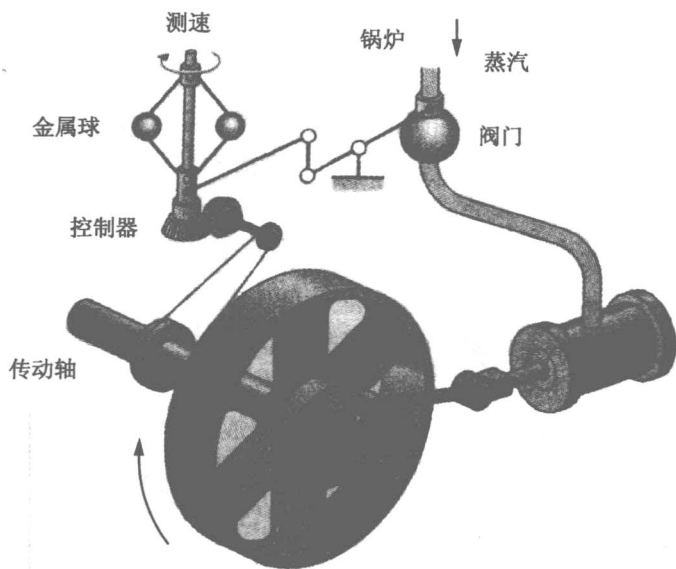


图 1-7 瓦特蒸汽机离心调速系统

1868 年以前,自动装置和系统没有系统的理论指导,各项性能的协调控制方面经常出现问题。自动控制理论正是在解决这些实际技术问题的过程中逐步形成和发展起来的,它是研究自动控制技术的基础理论,是研究自动控制共同规律的技术科学。自动控制理论是在人类征服自然的生产实践活动中孕育、产生、并随着社会生产和科学技术的进步而不断发

展、完善起来的,按其发展的不同阶段,可把自动控制理论的发展分成以下三个阶段:

第一阶段 经典控制理论——以反馈控制为其主要研究内容的自动控制理论。

第二阶段 现代控制理论——以状态空间为其主要研究内容的自动控制理论。

第三阶段 智能控制理论——基于人工智能与信息处理的自动控制理论。

1. 经典控制理论(19 世纪 60 年代—20 世纪 50 年代)

1868 年,英国物理学家麦克斯韦(J. C. Maxwell)通过对调速系统线性常微分方程的建立和分析,解释了瓦特速度控制系统中出现的不稳定问题,开辟了用数学方法研究控制系统的途径。此后,英国数学家劳斯(E. J. Routh)和德国数学家赫尔维茨(A. Hurwitz)分别在 1877 年和 1895 年独立地把麦克斯韦的思想扩展到高阶微分方程描述的更复杂的系统中,各自提出了两个著名的稳定性判据——劳斯判据和赫尔维茨判据。这些方法奠定了经典控制理论中时域分析法的基础,基本上满足了 20 世纪初期控制工程师的需要。

第二次世界大战期间,反馈控制方法被广泛用于设计研制飞机自动驾驶仪、火炮定位系统、雷达天线控制系统(图 1-8)以及其他军用系统。这些系统的复杂性和对快速跟踪、精确控制的高性能追求,迫切要求拓展已有的控制技术,促使了许多新的见解和方法的产生。1932 年,美国物理学家奈奎斯特(H. Nyquist)研究了长距离电话线信号传输中出现的失真问题,运用复变函数理论建立了以频率特性为基础的稳定性判据,奠定了频率响应法的基础,为具有高质量的动态品质和静态准确度的军用控制系统提供了所需的分析工具。随后,伯德(H. W. Bode)和尼柯尔斯(N. B. Nichols)在 20 世纪 30 年代末和 40 年代初进一步将频率响应法加以发展,形成了经典控制理论的频域分析法。这为工程技术人员提供了一个设计反馈控制系统的有效工具。

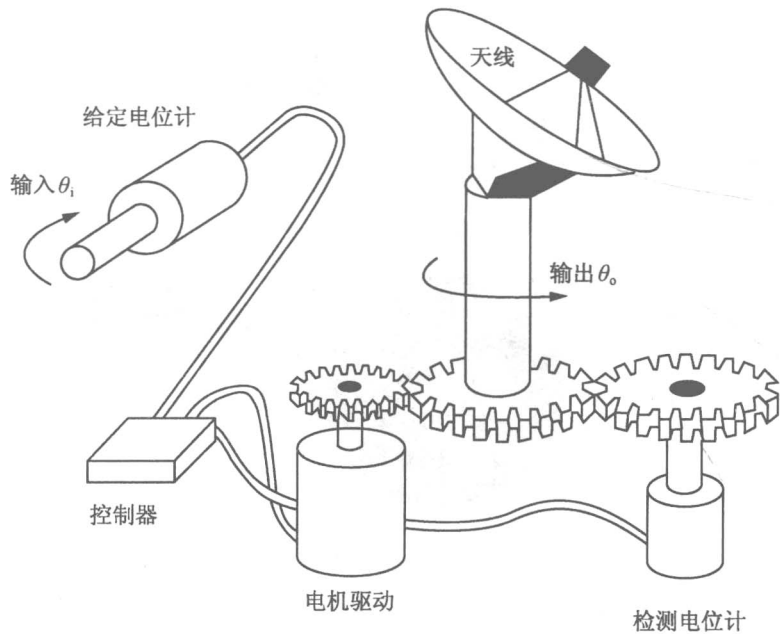


图 1-8 雷达天线控制系统

1948 年,美国科学家伊万斯(W. R. Evans)创立了根轨迹分析方法,为分析系统性能随

系统参数变化的规律性提供了有力工具,被广泛应用于反馈控制系统的分析、设计中。

1947年,控制论的奠基人美国数学家韦纳(N. Wiener)把控制论引起的自动化同第二次产业革命联系起来,并于1948年出版了《控制论——或关于在动物和机器中控制和通讯的科学》,书中论述了控制理论的一般方法,推广了反馈的概念,为控制理论这门学科奠定了基础。

我国著名科学家钱学森将控制理论应用于工程实践,并于1954年出版了《工程控制论》。

以传递函数作为描述系统的数学模型,以时域分析法、根轨迹法和频域分析法为主要分析设计工具,构成了经典控制理论的基本框架。到20世纪50年代,经典控制理论发展到相当成熟的地步,形成了相对完整的理论体系,为指导当时的控制工程实践发挥了极大的作用。

经典控制理论研究的对象基本上是以线性定常系统为主的单输入单输出系统,还不能解决如时变参数问题,多变量、强耦合等复杂的控制问题。

2. 现代控制理论(20世纪60—70年代)

20世纪50年代中期,空间技术的发展迫切要求解决更复杂的多变量系统、非线性系统的最优控制问题(例如火箭和宇航器的导航、跟踪和着陆过程中的高精度、低消耗控制)。实践的需求推动了控制理论的进步,同时,计算机技术的发展也从计算手段上为控制理论的发展提供了条件,适合于描述航天器的运动规律,又便于计算机求解的状态空间描述成为主要的模型形式。俄国数学家李雅普诺夫(A. M. Lyapunov)1892年创立的稳定性理论被引用到控制中。

1956年,前苏联科学家庞特里亚金(L. S. Понтрягин)提出极大值原理;同年,美国数学家贝尔曼(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。美国数学家卡尔曼(R. Kalman)在1959年提出了著名的卡尔曼滤波器,1960年又提出系统的能控性和能观性问题。到20世纪60年代初,一套以状态方程作为描述系统的数学模型,以最优控制和卡尔曼滤波为核心的控制系统分析、设计的新原理和方法基本确定,现代控制理论应运而生。

现代控制理论主要利用计算机作为系统建模分析、设计乃至控制的手段,适用于多变量、非线性、时变系统。现代控制理论在航空、航天、制导与控制中创造了辉煌的成就,人类迈向宇宙的梦想变为现实。

3. 智能控制理论(20世纪70年代末至今)

为了解决现代控制理论在工业生产过程应用中所遇到的被控对象精确状态空间模型不易建立、合适的最优性能指标难以构造、所得最优控制器往往过于复杂等问题,科学家们不懈努力,近几十年中不断提出一些新的控制方法和理论,例如自适应控制、模糊控制、预测控制、容错控制、鲁棒控制、非线性控制和大系统、复杂系统控制等,大大地扩展了控制理论的研究范围。

控制理论目前还在向更纵深、更广阔的领域发展,无论在数学工具、理论基础、还是在研究方法上都产生了实质性的飞跃,在信息与控制学科研究中注入了蓬勃的生命力,启发并扩展了人的思维方式,引导人们去探讨自然界更为深刻的运动机理。控制理论的深入发展,必

将有力地推动社会生产力的发展,提高人民的生活水平,促进人类社会的向前发展。

回顾自动控制的发展历程可以看出,它的发展过程反映了人类由机械化时代进入电气化时代,并走向自动化、信息化、智能化时代。

图 1-9 为以智能控制理论为基础发明的智能机器人,并在生活中的应用示例。

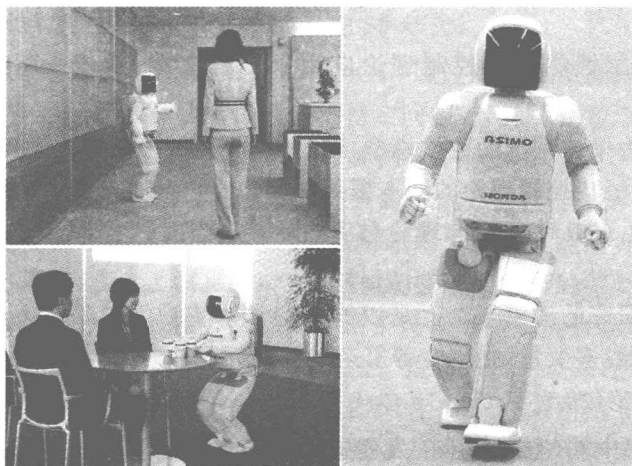


图 1-9 智能控制机器人

本书只介绍经典控制理论的有关问题,以求为进一步深入学习自动控制有关课程及其相关学科奠定良好的基础。

1.3

开环与闭环系统

在日常生活中,有很多设备具有自我感知能力,并能将感知信息传递给输入部分,从而来调节控制过程。比如家中的空调能实时感知环境温度,当设定温度后,控制系统将环境温度和设定温度进行比较,进而据此调节主机的制冷量或制热量,实现对环境温度的自动调节。而有些设备则无此能力,比如普通的洗衣机通过定时器设定洗涤时间,当时间到则立即停止洗涤任务,而无法判断洗涤的干净程度并据此来调节洗涤时间。这种能自我感知并将感知信息传递给输入部分的能力称之为反馈,即将系统的输出以一定的方式返回到系统的输入端并共同作用于系统的过程。根据反馈作用的存在与否,控制系统可分为两种基本方式:开环控制系统和闭环控制系统。

1. 开环系统

开环系统是指控制装置与被控制对象之间只有正方向作用而没有反馈作用控制过程。因此,系统的输出对被控对象没有影响,如图 1-10 所示。输入单元提供与理想输出相匹配的输入量,通过控制器控制被控对象,从而来调节实际输出。但是由于干扰的存在,被控对象的实际输出偏离理想输出。因此,开环系统一般仅用于可以不考虑外界影响,或惯性小,或精度要求不高的一些场合。