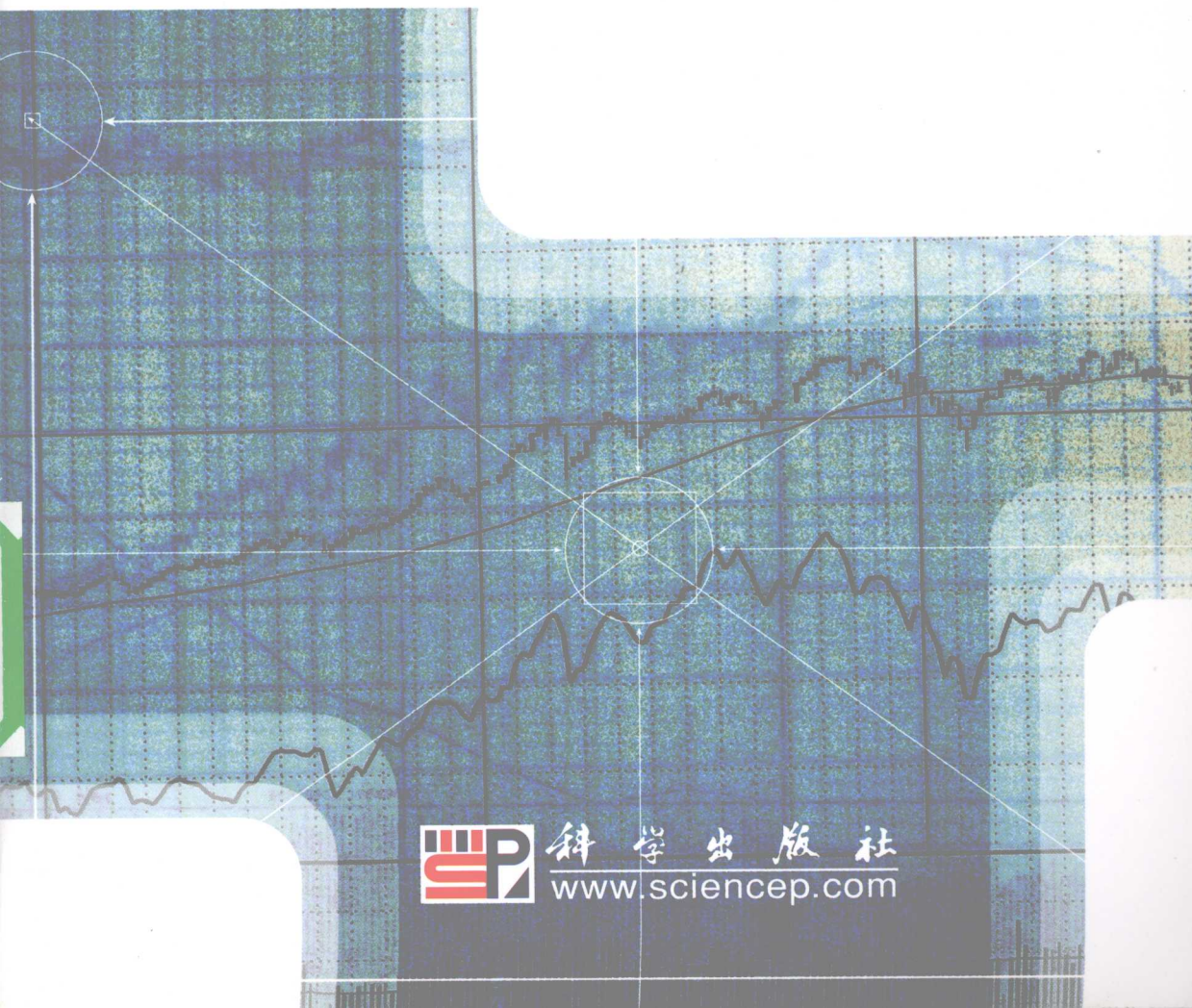


经济控制论

——理论、应用与MATLAB仿真

王 晶 王志胜 陆宁云 甄子洋 编著



科学出版社

www.sciencep.com

经济控制论

——理论、应用与 MATLAB 仿真

王 晶 王志胜 编著
陆宁云 甄子洋

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统地介绍了经济控制论的有关理论与方法,重点介绍了经济控制论的发展背景、经济系统控制模型的建立、经济系统的状态空间分析、经济系统的稳定性分析、经济系统的能控性与能观测性问题、经济系统的反馈控制策略、经济系统的最优控制策略、应用 MATLAB 工具求解经济控制问题的方法等内容。为了便于读者掌握经济控制论的理论和方法,书中穿插了大量实用的例证,各章均给出了一定数量的思考与练习题,还给出了应用 MATLAB 工具进行上机训练的问题和要求。

本书可以作为高等院校自动化、系统工程、经济、管理等专业的本科生教材,也可作为研究生的参考教材。同时,还可供从事相应领域工作和研究的人员学习和参考。

图书在版编目(CIP)数据

经济控制论:理论、应用与 MATLAB 仿真/王晶等编著. —北京:科学出版社,2008

ISBN 978-7-03-022923-6

I. 经… II. 王… III. 经济控制论 IV. F224.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 137358 号

责任编辑:张海娜 / 责任校对:包志虹

责任印制:刘士平 / 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>

骏杰印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008 年 9 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2008 年 9 月第一次印刷 印张:13 1/2

印数:1—3 000 字数:262 000

定价:28.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

前 言

经济控制论是控制论与经济学融合发展的结晶,是应用控制理论思想和方法研究社会经济系统活动规律的科学。它为探讨和解决社会经济系统的功能、结构、效率等问题提供了科学的方法,对提高社会经济系统的决策水平、促进经济增长和社会发展具有重要的理论和实践意义。

经济控制论在人口控制、资源优化配置、生态平衡问题、经济波动周期分析、均衡价格计算和预测、财政和货币政策设计等宏观经济方面,在企业结构改革、企业生产资源调配和优化、企业经济效益分析、供求价格分析和预测等微观经济方面都有着广泛的应用前景。经济控制论在我国正处在发展时期,其应用正在逐步增加,在这一学科上努力赶超国际先进水平是我国经济发展的客观需要。

本书是为本科生和研究生学习经济控制论课程而编写的。考虑到经济控制论作为一门跨学科的课程,本书在结构安排上注意把握纵横两条主线。纵向方面对同一问题进行深入完整的分析,如书中以宏观经济模型为例,分别在第2章到第7章对应的章节中研究了宏观经济系统的建模原理、稳定性分析、能控性与能观性分析、反馈控制下的经济政策设计、鲁棒控制策略等内容,纵贯全书;横向方面尽可能提供涉及更多学科关联的知识,如生产库存模型、存款贷款模型、人口流动模型、商品市场价格模型、投入产出模型、生产库存系统的最优控制、设备的最优分配、资源的最优分配等,以此帮助学习者更好地理解 and 掌握理论要点、扩展应用能力,也使本书易读、易懂、易教。

全书共分为8章,第1章介绍经济控制论的产生与发展、研究方法、学习意义等;第2章介绍不同类型的经济模型的建模方法;第3章介绍离散时间状态空间的分析方法;第4章介绍经济系统的稳定性问题;第5章介绍经济系统的能控性与能观测性问题;第6章介绍经济系统的反馈控制方法及经济政策的设计问题;第7章介绍经济系统的优化控制方法及控制策略问题;第8章介绍MATLAB在经济控制中的应用,包括MATLAB的符号和数值计算、图形、系统性能分析与优化工具、Simulink建模方法与分析工具等;最后还给出了实践训练内容,它是对理论知识的复习、巩固和综合应用。

本教材具有以下特点:第一,考虑到经济系统中的变量均是按年、季、月、日等离散时间统计的,因此,全书主要讨论离散系统和差分方程。这样,学习者可以针对离散经济系统问题直接构建差分方程并求解。而这种解决问题的思路和方法可以通过知识的牵引推广到连续系统,使比较熟悉连续系统的学习者得到知识拓展。

第二,本教材突破了以往同类教材偏重理论的特点,将理论、应用及仿真有机地结合起来,为经济控制论的应用创造了条件,实现了理论与应用的紧密结合。由于经济系统模型一般都比较复杂,手工计算难度大,因此,以往的教材中更注重理论上的系统性,但无法更好地训练学习者的应用能力。本书中引入了 MATLAB 工具的应用、安排了实践训练等章节,这是以往经济控制论相关教材中不曾涉及的,这部分内容的增加解决了计算问题,可有效地帮助学习者提高解决实际问题的能力。第三,本教材有配套的教学网站(<http://wangjing.nuaa.edu.cn/>)提供教学和学习的技术支持。教学网站含有课件下载、学生作业管理、优秀作业和课程设计报告展评、学习论坛等栏目,通过资源的共享提高教学的整体水平。

本教材是在王晶编写的南京航空航天大学讲义《经济控制论》的基础上形成的,该讲义曾作为南京航空航天大学本科生和研究生学习“经济控制论”课程的教材和参考书,也曾在其他高校的授课中使用过。作者本次正式出版对讲义进行了精心的修改和补充,新增加了经济系统的信息融合最优控制(7.3节)、经济系统的鲁棒控制(7.4节)、MATLAB 在经济系统中的应用(第8章)等章节内容,编配了思考练习题。特别是对使用到的相关概念进行了详细的描述,使其便于阅读、理解以及自学;对书中的案例进行了扩充,力求反映经济控制论学科的最新研究成果。

全书由王晶提出详细的编写大纲,团队合作共同完成。第1~4章由王晶编写,第5~7章由甄子洋、王晶编写,第8章由陆宁云编写,实践训练由王晶编写。王晶、甄子洋统稿,王志胜总审稿。除了编写团队成员,作者的领导和同事们也对本书的编写和经济控制论课程的教学工作提出了有启发性的建议,经常在一起讨论相关问题让作者获得了许多灵感,他们是姜斌、刘春生、丁勇、陈复扬、杨欣、王彪、唐超颖、齐瑞云、王瑛等。另外,学习过经济控制论课程的同学也对教学方法、实践训练方法、教学网站建设等提出了真诚的意见和建议,这是教学实践中最直接的反馈信息,是宝贵的教学经验。

本书在编写过程中参阅了大量的参考文献,个别章节引用了参考文献中的例题或者将参考文献中的研究成果改编为例题,在此对参考文献的作者致以衷心的感谢。研究生陈肖夏绘制了书中的全部插图,胥霜霞、唐斌、陈泽、邢可轩、张娴、殷明、黄秋燕等同学进行了大量的文档工作,韩欣同学承担了教学网站的程序设计,在此一并表示感谢。

由于作者水平有限,在编写过程中虽然尽了很大的努力,但书中的缺点和不妥在所难免,敬请读者批评指正。

王 晶

2008年8月于南京

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 控制论与经济控制论	1
1.2 经济控制论的研究意义及研究方法	3
1.3 控制的一般概念	7
1.4 思考与练习	14
第 2 章 经济系统控制模型	16
2.1 宏观经济系统控制模型	16
2.2 乘数原理及控制模型	19
2.3 生产库存系统控制模型	22
2.4 再生产理论的经济控制模型	25
2.5 投入产出经济系统控制模型	31
2.6 思考与练习	40
第 3 章 经济系统的状态空间分析	42
3.1 离散时间函数与 Z 变换原理	43
3.2 离散时间经济系统描述	48
3.3 离散时间经济系统求解	59
3.4 思考与练习	63
第 4 章 经济系统的稳定性	65
4.1 经济系统稳定性的基本概念	65
4.2 经济系统稳定性的判别方法	68
4.3 商品市场价格模型的稳定性	70
4.4 国民收入系统的稳定性	76
4.5 思考与练习	83
第 5 章 经济系统的能控性与能观测性	84
5.1 经济系统的能控性	84
5.2 经济系统的能观测性	89

5.3	投入产出经济系统的能控性与能观测性	91
5.4	经济系统的对偶原理	95
5.5	经济系统的结构分解	102
5.6	思考与练习	104
第 6 章	经济系统的反馈控制	106
6.1	经济系统的反馈控制概念	106
6.2	经济系统的状态反馈控制	108
6.3	经济系统的输出反馈控制	116
6.4	思考与练习	120
第 7 章	经济系统的最优控制	121
7.1	经济系统的最优控制问题提法	121
7.2	经济系统的最优控制	122
7.3	经济系统的信息融合最优控制	139
7.4	经济系统的鲁棒最优控制	155
7.5	思考与练习	162
第 8 章	MATLAB 在经济控制研究中的应用	164
8.1	MATLAB 快速入门	164
8.2	应用 MATLAB 进行经济系统性能分析与优化设计	172
8.3	模块式模型的建立与仿真	193
8.4	思考与练习	201
实践训练 1	经济控制模型的建模方法	203
实践训练 2	经济系统的性能分析	204
实践训练 3	经济控制系统政策设计与优化	206
参考文献		207

第 1 章 绪 论

经济控制论是经济学与控制论交叉融合发展的成果,具有广泛的应用性。为了帮助初学者顺利进入到经济控制论这个新的交叉性学科领域,本章叙述了经济控制论的发展历程,介绍了经济控制论的研究方法。考虑到经济管理类专业学习者的需要,还对控制的基本概念进行了介绍。

1.1 控制论与经济控制论

1.1.1 控制论的发展历史

控制论是在 20 世纪 40 年代开始形成的一门新兴学科,1948 年美国数学家维纳(Wiener)出版的专著《控制论:或关于动物和机器中控制和通信的科学》被公认为是控制论诞生的标志。关于控制论的定义,至今并没有一个公认的、比较完善的表述,科学家们从不同的角度对控制论进行了定义,这里介绍两个比较常用的定义。维纳的定义是,控制论“是关于动物和机器中控制和通信的科学”;我国著名科学家钱学森的定义是“控制论是研究系统各个部分如何进行组织,以便实现系统的稳定和有目的的行动”。

控制论的发展大致可以划分为三个阶段:第一阶段是 20 世纪 50 年代末以前的经典控制论阶段,主要使用黑箱理论,即以传递函数为工具研究单输入单输出线性定常系统的一般分析与控制规律,经典控制论主要的贡献在于建立了系统、信息、反馈、调节、稳定等控制论的基本概念和分析方法,但经典控制论能够处理的系统非常有限。第二阶段是 50 年代末至 70 年代初的现代控制论阶段,它是在经典控制论的基础上发展起来的,主要使用最优控制理论,即引入状态、状态变量、状态方程和状态空间的概念,根据系统的目标函数和性能指标要求解决多输入多输出时变非线性等更为复杂系统的最优控制问题,这为经济控制论的产生和发展提供了条件。第三阶段是 70 年代初以后的大系统理论阶段,标志着控制理论的日趋成熟,主要运用分解原理、分散最优控制、大系统模型降阶、李雅普诺夫稳定性等动态最优控制理论,大系统理论仍处在不断发展和完善之中。

控制论是一门实用性很强的学科,从诞生起就以强大的生命力活跃于自然科学和社会科学的各个领域,它与系统论、信息论一起成为当今科学和社会发展的三大基本理论,对促进科学技术发展和人类社会进步以至于改变人们的思维方式都

产生着重要的影响。控制论的广泛应用还形成了一些新的控制论分支,如工程控制论、生物控制论、经济控制论和管理控制论等。

纵观社会宏观与微观活动几乎都是复杂的大系统,宏观经济系统、资源分配系统、生态与环境系统、人口控制系统、能源开发系统、交通运输系统、社会医疗保健系统、经营管理系统、生产过程控制系统、科研项目管理系统、人才培养与管理系统等都是典型的大系统,控制理论的不断成熟使其在经济系统的研究应用不断扩展和深入,经济控制论就是将控制论应用于经济领域时形成的一门新的边缘性学科。

1.1.2 经济控制论的发展历史

关于经济控制论思想的起源,我们可以从古老的经济学中窥见一般。英国古典政治经济学家亚当·斯密认为商品的市场价格像一只“看不见的手”维持着市场供需的均衡,其实,亚当·斯密的思想中已经隐含了控制论的思想,那只“看不见的手”就是反馈调节器,正是由于它的调节作用使得市场能够保持均衡稳定,亚当·斯密的“自我调节”市场经济理论中,反映了反馈、调节、均衡稳定的控制论的基本思想。马克思关于价格围绕价值波动的价值规律同样完美体现了控制论的思想,“价格”作为商品生产的调节器,实现价格与价值的统一,进而调节资源配置和商品供需平衡。甚至可以说,在完全竞争的市场中,经济系统表现为自稳定系统。

经济控制论的完整理论体系形成于 20 世纪 40 年代,代表人物是波兰著名经济学家奥斯卡·兰格(Oskar Lange),他在《经济控制论导论》一书中首次将控制论应用于经济问题研究之中,并定义了经济控制论,兰格的定义是“经济控制论是用现代控制论的科学方法分析经济过程的学科”。罗马尼亚前副总统控制专家曼内斯库也是经济控制论研究的代表之一,他在《经济控制论》一书中定义“经济控制论是使经济以最优、平衡、按比例增长的管理工具”,是“运用控制论方法来研究经济现象和过程,研究组织和经济管理系统,以及研究宏观和微观经济统一问题”的科学。钱学森、宋健在他们合著的《工程控制论》一书中指出,经济控制论是“新的控制论分支”。尽管经济控制论的定义繁多,但其基本思想是一致的,那就是,经济控制论作为控制论的一个分支,是将控制论的一般原理和方法应用于经济系统问题研究,并由此不断发展形成的一门新的学科。

20 世纪 60 年代后期,经济控制论的发展进入了一个新的阶段,其中以美籍华人学者普林斯顿大学邹至庄教授于 1957 年发表的《动态经济系统的分析控制》一书最为著名,书中运用现代控制理论、最优控制理论、卡尔曼滤波等方法研究了西方国家投资与消费比例、经济最优增长、生产库存等宏观和微观经济问题。邹至庄教授的另一部经济控制论专著是《运用控制论方法进行经济计量分析》。1972 年,美国在普林斯顿成立了第一个随机控制和经济研究小组,邹至庄和 M·阿申斯任主席,随后,英国、日本、苏联等国也相继成立了类似的研究机构。这里需要一提的

是,西方国家目前一般不直接使用“经济控制论”一词,而更多使用“经济系统分析控制”、“经济计量分析控制”等表述更加细化的词汇。

从20世纪70年代末到80年代初,我国开始将经济控制论应用于制订区域的经济、能源、产业规划以及人口控制等领域中。特别是改革开放之后,经济控制论的思想和方法逐步受到我国学者和决策者的认可和重视,控制论的理论与方法在经济领域中的应用程度越来越深、水平越来越高。具体如应用PID控制研究改善经济政策的稳定性、应用动态规划研究宏观经济和微观经济系统的优化控制、应用极大值原理研究经济的最优增长、研究不可再生资源的最优利用等。在国家自然科学基金和省级自然科学基金、社会科学基金项目中得到立项资助的经济控制论项目不断增加。经济学家、控制专家、数学家不断交流与合作,在解决宏观经济调控、微观经济运行、人口优生控制等方面取得了令人兴奋的成果,经济控制论作为一门内容和方法十分丰富的学科,被越来越广泛地应用于经济活动研究之中。

目前,比较系统地介绍和研究经济控制论的教材主要有龚德恩的《经济控制论概论》、张金水的《经济控制论——动态经济系统分析方法与应用》、贺允东的《经济控制论》以及张逸民的《经济控制论》等。

1.2 经济控制论的研究意义及研究方法

1.2.1 经济控制论的研究意义

众所周知,系统论、控制论、信息论并称为当今科学的三论,已成为自然科学和社会科学发展的基本理论。按照控制论的观点,经济系统是一个有组织的受控系统,系统中的生产、消费、分配和交换等一系列经济活动是密切相关的,根据经济活动影响和作用的范围以及经济结构的差异可以分为宏观经济系统和微观经济系统两类。经济系统通常都是复杂的大系统,要使其实现最优的发展,即实现供给与需求的平衡、实现资源的优化配置、实现经济的可持续发展,必须在经济理论指导下对经济系统的运行做出精确的定量分析,在此基础上进行调节、控制、决策和规划,使经济发展的总量和结构更趋于合理,显然,经济控制论为我们研究复杂的经济大系统提供了基本理论和更加先进的方法。

经济控制论在经济系统的运行管理和控制中的应用主要表现为以下三个方面。

(1) 经济规划。在宏观经济系统中,要保证国民经济系统的稳定、最优和可持续发展,不仅需要我们对经济运行中出现的波动进行及时的调控,而且需要我们对经济系统的运行做出科学的中长期规划,比如五年规划、十年规划等。在对经济发展战略、经济结构调整、经济运行、经济管理体制改革等制订长期发展规划时,经济控制论是一个方便而有力的工具。在微观经济运行方面,要提高企业的经营管理

水平、要提高企业的投入产出效率、要使企业的发展符合国家产业发展的导向、要使企业的发展走入国际化轨道等,同样需要制订出科学的可行的发展规划,经济控制论同样是一个重要的工具。

(2) 经济系统结构改革。对于宏观经济系统和微观经济系统而言,其运行结果的好坏均需要从总量和结构两个方面去评价,从某种意义上来说系统的结构更为重要,如国民经济系统第一二三产业的结构、某一产业内部的行业结构、行业内部的产品结构、储蓄与消费结构、资源供给结构、投资结构、消费结构等。对此,我们可以应用经济控制论建立系统模型,对系统内部状态变量进行分析和研究,从而有效地避免由于结构不合理而造成的经济系统运行障碍(如结构性失业)和效率低下,同时为经济系统结构的改革和完善提供依据。

(3) 优化经济系统运行。理想的经济系统的运行目标应该是在系统内部各种比例结构合理基础上的总量稳步增长。经济控制论通过建立经济系统模型,对模型的稳定性、能控性、能观测性进行分析判断,设计控制方法等使人们更清晰地认识和把握经济系统的特征,设计和解决经济最优增长轨道等问题。

经济控制论可以用来定量地研究经济系统运行过程中各种变量(政策、资源、环境等要素)是如何发挥作用的,为合理有效地控制经济运行过程提供了一种新的方法。学习和研究经济控制论对分析、规划、决策、管理和控制经济系统的运行过程,探讨和发现经济发展规律,提高经济系统的运行效率都是非常有益的。我们在学习的过程中需要注意对基本经济理论的把握,理论联系实际,客观分析实际问题,不要僵化地陷入到“数量分析”之中,任何一个经济系统模型不论构造得多么完美,也只能是对实际经济过程的近似描述,模型结论的正确与否需要通过实践的检验。

1.2.2 经济系统

系统是指由相互依存、相互作用的若干组成部分结合而成的具有特定功能的有机整体。系统的表示方法如图 1.1 所示。目前,“系统”已经成为科学理论的一个最基本的概念,被广泛应用于自然科学和社会科学的各个领域。系统具有三个基本特征:

(1) 整体性。系统是由各个组成部分有机结合而成的一个整体,这个整体具有特定的功能,并且可以明显地区别于其他整体。换句话说,系统有大有小,凡是自成体系且与环境有着明显边界的组织都可以作为系统,并进行研究。

(2) 关联性。组成系统的最基本的单位称之为系统的要素或元素,各要素按一定的方式或要求而结合,在共同完成系统功能的过程中,或相互促进或相互制约,紧密关联。就系统外部而言,系统与环境之间、系统与其他系统之间同样是紧

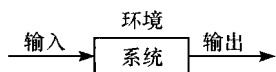


图 1.1 系统的表示方法

密关联的。

(3) 目的性。任何一个系统存在的意义是因为其具有特定的功能,系统的运转是一种有目的的行为,系统的目的性是我们划分研究系统的重要依据。

为了便于研究,我们可以对系统进行分类,按照自然属性可以分为自然系统和人造系统。自然系统是指客观世界发展过程中已经存在的物质系统,比如天体系统、河流系统、生物系统、自然资源系统等。人造系统是指通过人们的劳动创造出来的物质系统,如机械设备系统、计算机网络系统、企业系统、城市系统等。我们还可以按照物质属性将系统分为实体系统和非实体系统。实体系统是指由有形的物质所构成的系统,比如生产线系统、公路系统、机械系统等。非实体系统是指由非实物所构成的系统,比如情报系统、信息系统、研究与开发系统(R&D)、创新系统、价格系统、组织系统、管理系统等。自然系统和实体系统是客观存在,人造系统和非实体系统则是人们为了实现某项功能或进行某项研究而做的特定的划分,不具有唯一性。

划分系统的目的是为了对某一实际问题进行更深入的研究,发现系统运行和发展的特征和规律。当前,对于人造系统的研究逐步成为经济控制论的重要研究问题,如科技领域的国家创新工程、教育领域的国家精品课程工程等。这些人造工程系统配置了大量的科技、教育等物质资源,同时,也形成了大量的人造资源。

经济系统是指由相互依存、相互作用的各种经济要素所组成的具有特定经济功能的经济整体。经济要素分为有形要素和无形要素,前者包括自然资源、燃料、原材料、固定资产、人力资源、资金、产品等,后者包括技术、信息、政策等。随着科学技术的不断发展和经济活动的日趋复杂,人们越来越多地应用系统概念来研究经济现象和经济过程,如研究经济活动中生产、交换、分配的相互影响与制约,研究经济活动的主体国家、企业和个人的地位与作用,研究国际经济、国家经济、区域经济、企业经济等经济活动范围的影响与作用等。

与一般的工程技术系统相比,经济系统表现出以下特征:

(1) 经济系统始终受到经济活动的主体人的影响。人们始终可以有意识地、有目的地决策和控制经济系统的运行方式,使之朝着所希望的目标发展。

(2) 经济系统始终受到不确定因素的影响。自然环境、资源条件、人口状况、政治因素等都会干扰和影响经济系统的运行,这些因素有可能促进经济的发展,也有可能導致经济系统的运行偏离人们所希望的发展目标。

(3) 经济系统的活动无法重复再现。人们不可能像研究工程技术问题那样,构造一个环境,在该环境中重复地进行同一个经济活动,以此来发现经济活动的特征和规律。

总之,经济系统的特征决定了对经济系统的研究是“致用”的研究,它来源于经济生活,回归于经济实践。

1.2.3 经济控制论的研究方法

经济控制论的研究方法主要是通过模型技术对特定的经济系统问题展开研究。这里首先介绍一下模型技术及其发展。

模型是对所研究的现实事物的一种抽象表示,是对现实事物性质的模拟。模型作为一种工具,可以帮助人们合理地思考,以便于了解、研究和认识现实事物。模型有三个基本特征:模型是对现实事物的抽象或模拟、模型由反映现实事物特征的因素构成、模型反映事物构成因素之间的联系特征。

模型的分类方法纷繁众多。人们熟悉的传统意义上的模型有实物模型和符号模型。实物模型是将现实物体的尺寸加以改变,形成对现实物体的表现的一种模型方法,如地球仪、风洞实验装置等。在实物模型中,可以通过模拟手段丰富模型的内涵,比如用一类性质的东西代替表示另一类性质的东西,地球仪上用不同的颜色表示不同的海拔高度、风洞中用不同的电压表示不同的风速等便是模拟手段的具体应用。符号模型也称数学模型,是根据对研究对象所观测到的现象及其实践经验,归结为一套反映数量关系的数学公式和具体算法,用来描述对象的运行规律的一种模型方法,也就是用数学表达式描述所研究对象的数量和结构。根据数学表达式的不同,数学模型又可分为静态模型和动态模型,离散模型和连续模型等。

计算机技术推动了模型技术的创新与发展,框图模型和表格模型正逐步在我们日常工作、研究中得到广泛应用,成为新的重要的模型方法。框图模型是通过框图来描述事物的因果关系、结构关系、功能关系的一种模型方法。以往,人们更多的使用框图模型进行定性分析,但随着计算机技术的发展,借助于 Simulink 等平台工具,“框图”能够被计算了,框图模型不仅仅被用于定性分析,而是更多的用来进行定量分析。表格模型是通过表格的计算,研究表格中数据所反映的事务的特征。在现实生活中,我们越来越习惯于将日常工作中的数据、试验数据等记录在表格中,借助 EXCEL 等平台工具我们可以直接对表格模型进行计算,极大地提高工作质量和效率。

经济控制模型即经济控制系统模型,也称为经济数学模型或经济模型,它是在一组基本假设条件下,用数学关系式定量描述经济系统特征的模型。经济控制模型所描述的数量关系必须符合经济因果关系和价值规律。

按照建模方法的不同,经济控制模型可分为两类,理论模型和仿真模型。理论模型是在对经济系统内部的运行机理完全清楚的条件下,根据已知的基本经济理论,推理分析而建立的描述经济系统内部各相关变量关系的模型(白箱建模)。仿真模型是在对经济系统内部的运行机理有所了解,但尚不完全清楚的条件下,借助于辨识的方法建立的模型(灰箱或黑箱建模)。经济仿真模型在帮助人们认识复杂经济活动,如不可再生资源的使用、环境污染治理、可持续发展、区域经济发展等方面发挥着越来越

越重要的作用。按照数学表达式的不同,经济模型还可分为代数方程、差分方程、微分方程模型,离散、连续模型,静态、动态模型,单变量、多变量模型,线性、非线性模型,输入输出模型,状态空间模型等。考虑到不同专业同学学习经济控制论的需要,本书重点介绍控制框图形式的输入输出模型和差分方程形式的状态空间模型。

研究问题的思路不同、模型方法选择的不同均会导致即便是研究同一个问题,模型的构建也可能是不同的。实际工作中,所构建的模型的质量取决于实际用途和建模者的知识结构和专业水平。在构造模型时要全面考虑各种因素,选出主要因素,忽略次要因素,力求精确、简单、适用。

在学习和建立经济控制模型时,还需要特别注意以下几点:①用正确的理论指导建模。这就要求我们认真学习经济理论,在经济理论的指导下研究经济活动的特征和规律,切忌为了建模而建模,导致对所建立的模型无法做出符合逻辑的解释。②明确模型的应用限制。经济活动的复杂性,导致我们在建模时必须做出适当的假设,假设条件越多模型应用的限制也就越多,但模型会相对简单。因此,我们需要仔细分析假设条件,让模型由易到难,不断充实完善,逐步逼近现实。③采用多种方法验证模型。建模的目的是为了应用模型研究现实问题,这就要求我们对所建立的模型进行精心的检验。除了基于理论方法的检验之外,实践是最好的检验方法。只有通过了检验的模型才能被用于实际工作之中,为研究经济活动提供帮助。

经济控制模型的应用主要表现在三个方面:①研究经济结构,为经济结构改革提供思路和依据。经济结构指经济系统中各种因素之间的比例关系及变化规律,比如宏观经济中的产业结构、部门结构、产品结构、投资结构、消费需求结构,微观经济中的资本与劳动结构、成本结构、利润结构等。通过经济控制模型,我们可以定量研究系统内部各种结构本身、各种结构之间的比例关系,可以研究政策、环境等变化引起的系统内部的结构变化,控制和优化经济系统结构。②进行经济发展预测和市场需求预测。不论是在宏观经济还是微观经济层面,精确的预测对提高国家的经济实力、提高企业市场竞争力、节约资源、实现资源的优化配置等方面都是极其重要的。③服务于经济发展规划的研究和制定。对于一个国家来说,经济发展规划是国家经济发展的长期目标,导向和影响着国家经济发展的趋势,具有战略意义。经济发展规划制定水平的高低也反映了一个国家科技和经济的水平。通过经济控制模型,特别是仿真模型的建立和研究,可以使我们对尚不能完全认知的经济系统产生认识,从而为制订经济发展规划提供科学的依据。

1.3 控制的一般概念

1.3.1 控制系统结构

控制系统一般是由控制器(含执行机构)、被控对象、传感器、比较器和输入输

出等主要部分组成,可以用方框图表示,如图 1.2 所示,图中, R 是外部对控制系统的输入, Y 是控制系统在输入的作用下所做出的反映,称为系统输出(被控制变量), V 是通过检测系统的输出而形成的反馈信号, E 是系统偏差信号, W 是阻碍系统实现目标的扰动输入信号,符号  称为比较器。偏差信号 E 到系统输出 Y 的通路称为正向通道,输出信号 Y 到反馈信号 V 的通路称为反馈通道。控制器是作用者,被控对象是被作用者,控制就是作用者对被作用者的一种能动的作用,而被作用者按照作用者的作用而动作,实现系统的预定目标。

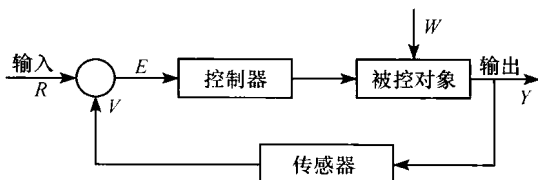


图 1.2 控制系统方框图

以人取书的动作为例,这是以由控制器和被控系统组成的控制系统,如图 1.3 所示,控制系统的输入信号是书的位置,大脑构成控制器,控制被控系统手的动作,眼睛充当反馈调节器,将手的位置信息反馈给大脑,最终使手对系统的输入信息作出反映,准确地拿到书。

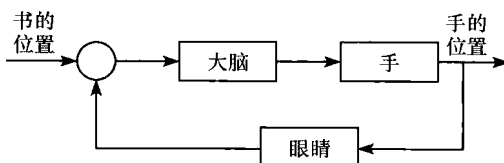


图 1.3 人取书的控制系统框图

再以生产控制系统为例,如图 1.4 所示。生产过程可以看成“被控系统”,生产的计划和管理可以看成“控制器”,生产控制系统接受厂房、设备、动力、原材料、资金、劳动力、运输、法律服务等一系列生产性资源输入,结合对价格、利润、竞争等的市场调查(检测)形成控制策略,通过生产过程(被控系统)向社会提供产品供给,使生产控制系统实现供需平衡、有效利用资源、利润最大的运行目标。

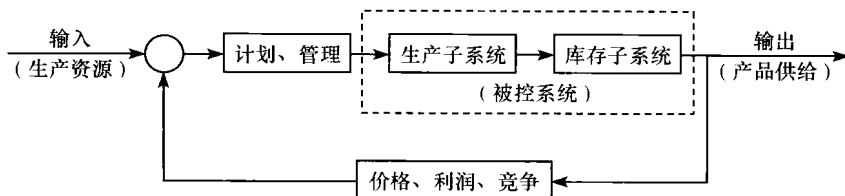


图 1.4 生产控制系统框图

1.3.2 算子及其控制论意义

经典控制论的基本方法是使用“黑箱原理”，也就是对于所要研究的系统，我们并不知道它的内部结构和变化特性，只能通过研究输入变化时系统输出的反映。黑箱是相对于人这个认识主体而言的，对于一个客观事物，当人们尚不能认识它时，它就是一个“黑箱”，当人们逐步认识和掌握了这个客观事物的规律时，它就成为了“白箱”。人的认识能力是有限的，所以黑箱也就无法穷尽。

对于一个“黑箱”控制系统，它的运行可以看成是由输入到输出的“变换”，假设输入为 x ，输出为 y ，变换为 T ，则 $y = Tx$ ， T 称为变换算子，如图 1.5 所示，它反映了该控制系统的一种行为规则。

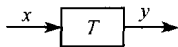


图 1.5 变换算子

在对经济问题的研究中，应用最广泛的是线性算子。线性算子满足两个条件：

(1) 齐次性条件： $T(cx) = cT(x)$ ；

(2) 可加性条件： $T(x_1 + x_2) = T(x_1) + T(x_2)$ 。

齐次性条件表示，当输入放大或缩小 c 倍时，输出也相应放大或缩小 c 倍，即运算时常数 c 可以提到线性算子的前面。可加性条件表明，两个输入同时作用于系统时，系统的输出等于两个输入分别作用于系统时相应的输出之和。

经济控制论中常用的线性算子有以下七种，其中微分算子和积分算子互为逆算子，先导算子和回倒算子互为逆算子。

(1) 比例算子。实常数 K 乘以输入 x ，输出为

$$y = Kx$$

称 K 为比例算子。

(2) 微分算子。输入 x 为参数 t 的函数，即 $x = x(t)$ ，输出为

$$y = \frac{dx(t)}{dt} = Dx$$

称 D 为微分算子。

(3) 积分算子。输入 x 为参数 t 的函数，输出为

$$y = \int_{t_0}^t x(t) dt = D^{-1}x$$

称 D^{-1} 为积分算子。

(4) 有限差分算子。设输入序列为 $\{x_1, x_2, \dots\}$ ，则输出为

$$y_i = x_{i+1} - x_i = \Delta x_i, \quad i = 1, 2, \dots$$

称 Δ 为有限差分算子。

(5) 先导算子(向前移位算子)。设输入序列为 $\{x_1, x_2, \dots\}$ ，则输出为

$$y_i = x_{i+1} = Zx_i, \quad i = 1, 2, \dots$$

称 Z 为先导算子或前向位移算子。

(6) 回倒算子(向后移位算子)。设输入序列为 $\{x_1, x_2, \dots\}$, 则输出为

$$y_i = x_{i-1} = Z^{-1}x_i, \quad i = 1, 2, \dots$$

称 Z^{-1} 为回倒算子或后向位移算子。

(7) 求和算子。设输入序列为 $\{x_1, x_2, \dots\}$, 则输出为

$$y_i = x_1 + x_2 + \dots + x_i = \sum_{j=1}^i x_j, \quad i = 1, 2, \dots$$

称 $\sum$ 为求和算子。

除了常用的七种线性算子以外, 还有和算子、差算子、积算子、幂算子、逆算子和恒等算子, 而且可以对算子进行和、差、积、幂、求逆以及恒等运算。

(1) 和算子。若 $Tx = T_1x + T_2x$, 则

$$T = T_1 + T_2$$

称 T 为和算子。 T 作用于 x 的效果等于 T_1, T_2 分别作用于 x 的效果之和。

(2) 差算子。若 $Tx = T_1x - T_2x$, 则

$$T = T_1 - T_2$$

称 T 为差算子。 T 作用于 x 的效果等于 T_1, T_2 分别作用于 x 的效果之差。

(3) 积算子。若 $Tx = T_1(T_2x)$, 则

$$T = T_1 T_2$$

或, 若 $Tx = T_2(T_1x)$, 则

$$T = T_2 T_1$$

称 T 为积算子。需要注意, 当 T_1, T_2 为向量时, 左乘与右乘通常是不相等的, 即 $T_2 T_1 \neq T_1 T_2$, 所以积运算的交换律一般不成立, $T_1 T_2$ 与 $T_2 T_1$ 通常是两个不同的算子。

(4) 幂算子。设 n 为正整数, 算子 T 的 n 次幂 T^n 按递推公式定义如下:

$$T^2 x = T(Tx), \dots, \quad T^n x = T(T^{n-1}x), \quad n = 2, 3, \dots$$

(5) 逆算子。若存在两个算子 T 与 S , 它们满足条件

$$y = Tx, \quad x = Sy$$

则称算子 S 为算子 T 的逆算子, 记做 $S = T^{-1}$ 。

(6) 恒等算子。若算子 T 满足条件

$$y = Tx = x$$

则称 T 为恒等算子, 通常恒等算子记做 I 。

一个控制系统可以由若干个子系统组成, 子系统之间的耦合关系有三种形式,