

# 动态 经济系统的 分析与仿真

丁华 编著

南京大学出版社

# 动态经济系统的分析与仿真

丁 华 编著

南京大学出版社

1993 · 南京

(苏)新登字第011号

## 内 容 简 介

本书系统而深入浅出地讲解动态经济系统的研究方法和应用实例。内容包括连续和离散动态经济系统的建模方法、分析解法以及计算机仿真方法等,还介绍了一些著名的经济动态模型及仿真案例,便于读者掌握和应用。本书可作为高等院校经济、管理和数量经济学等有关专业的高年级学生和一年级研究生的教材,也可供经济研究工作者或实际管理决策者参考。

## 动态经济系统的分析与仿真

丁华 编著

★  
南京大学出版社出版

(南京大学校内)

江苏省新华书店发行 阜宁印刷厂印刷

★  
开本: 850×1168 1/32 印张: 11.875 字数: 298千

1993年9月第1版 1993年9月第1次印刷

印数: 1—3000

ISBN 7-305-01850-3/F·296

定价: 9.00 元

## 前 言

本书的目的是向读者介绍动态经济系统的研究方法和应用实例。

动态经济系统实质上是随时间而变化的经济系统。无论从理论上探讨一个经济系统的发展趋势和变化规律，还是在管理中作出中长期发展规划，都需要把经济系统视为随时间而变化的动态系统。

动态系统的数学模型常常是微分方程(组)或差分方程(组)，它们的解法有两大类：分析解法与数值解法。对某些高度抽象化的经济理论问题，建立的数学模型通常是常系数线性的微分方程(组)或差分方程(组)，可以用分析方法求出它们以数学式子表达的解析解，从中研究经济系统的行为特征和变化规律；而对大量复杂的非线性动态经济系统而言，很少能求出它们的解析解，只能采用数值解法，在电子计算机上进行仿真，得到经济变量在一系列时点上的数值。本书将这两类解法结合在一起讲解，使读者对动态经济系统的研究方法有全面而深入的了解。

全书的重点在于介绍经济应用，书中介绍了一些著名的经济模型，其中有研究经济增长与波动的模型、社会再生产模型、动态投入产出模型、企业系统仿真案例和系统动态学世界模型等。书中在阐述概念和方法时，也尽力从经济实例出发，以使读者收到举一反三的效果。同时，考虑到本书读者的广泛性，只要求读者具有微积分和线性代数知识，在阅读本书时就不会感到数学上的困难。

书中第一章阐述了系统、社会经济系统、动态系统的平衡点

和稳定性等基本概念，并讲解了连续时间动态系统和离散时间动态系统的数学模型形式和建模方法。第二章和第四章分别介绍动态经济学中常遇到的常系数线性微分方程（组）和差分方程（组），给出它们的求解方法和稳定性判别方法；第三章和第五章则相应讲解它们的经济应用，介绍了若干著名的经济模型。第六章介绍数值解法，又称为仿真方法。系统动态学是以计算机数值仿真为手段的研究复杂社会经济系统的定量方法，从实质上讲，它是动态系统的数值解法。本书中的数值解法主要介绍系统动态学方法。第七章至第十章分别介绍系统动态学的构模方法，专门用于动态仿真的计算机语言——DYNAMO语言和仿真案例等内容。读者如果领会了本书前六章的内容，将非常有助于对系统动态学方法的掌握、领会和应用；但这几章也有相对独立性，如果读者只打算了解系统动态学方法，可以在阅读第一章后直接阅读这四章。

书末附有M-D软件和PD Plus软件的简单使用说明，便于读者进行计算机仿真操作。

本书在编写过程中参考了许多有关著作、文献和资料，在此向有关作者和编者表示感谢。在本书的筹备和出版过程中，得到南京大学教务处、国际商学院和经济决策系领导的关心和支持，也一并致谢。

# 目 录

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| <b>第一章 动态经济系统的基本概念</b> ..... | 1   |
| 第一节 系统的概念.....               | 1   |
| 第二节 社会经济系统的特征.....           | 8   |
| 第三节 连续时间动态系统.....            | 11  |
| 第四节 离散时间动态系统.....            | 18  |
| 第五节 动态系统的平衡点和稳定性.....        | 25  |
| <b>第二章 常系数线性微分方程</b> .....   | 34  |
| 第一节 线性微分方程解的结构.....          | 34  |
| 第二节 常系数齐次线性微分方程的解法.....      | 37  |
| 第三节 常系数非齐次线性微分方程的解法.....     | 41  |
| 第四节 常系数线性微分方程组.....          | 46  |
| 第五节 稳定性判别方法.....             | 55  |
| <b>第三章 微分方程的某些经济应用</b> ..... | 64  |
| 第一节 多马模型.....                | 65  |
| 第二节 索洛新古典经济增长模型.....         | 69  |
| 第三节 剑桥经济增长模型.....            | 75  |
| 第四节 菲利普斯稳定化模型.....           | 76  |
| 第五节 社会再生产模型.....             | 86  |
| 第六节 列昂节夫动态投入产出模型.....        | 96  |
| <b>第四章 常系数线性差分方程</b> .....   | 103 |
| 第一节 差分方程和微分方程.....           | 103 |
| 第二节 线性差分方程的基本定理.....         | 105 |
| 第三节 常系数线性差分方程的解法.....        | 107 |

|     |                   |     |
|-----|-------------------|-----|
| 第四节 | 常系数线性差分方程组        | 117 |
| 第五节 | 稳定性判别方法           | 123 |
| 第五章 | 差分方程的某些经济应用       | 134 |
| 第一节 | 哈罗德经济增长模型         | 134 |
| 第二节 | 萨缪尔森乘数加速数模型       | 137 |
| 第三节 | 希克斯经济周期模型         | 146 |
| 第四节 | 动态投入产出模型          | 155 |
| 第六章 | 动态系统的仿真           | 163 |
| 第一节 | 非线性模型例子           | 163 |
| 第二节 | 常微分方程的数值解法        | 167 |
| 第三节 | 数值解和解析解的比较        | 172 |
| 第四节 | 系统动力学简介           | 174 |
| 第七章 | 系统动力学构模方法         | 183 |
| 第一节 | 系统的因果关系和反馈环       | 184 |
| 第二节 | 系统动力学流图           | 190 |
| 第三节 | 系统的典型结构与行为        | 198 |
| 第四节 | 系统中的非线性及延迟现象      | 223 |
| 第五节 | 模型的数学方程           | 238 |
| 第六节 | 模型中的参数            | 247 |
| 第七节 | 仿真计算的时间间隔         | 249 |
| 第八章 | DYNAMO语言简介        | 258 |
| 第一节 | DYNAMO语言的基本规定     | 259 |
| 第二节 | 方程式语句             | 263 |
| 第三节 | 控制语句              | 273 |
| 第四节 | Micro DYNAMO 中的函数 | 279 |
| 第九章 | 系统动力学模型的调试、检验与应用  | 293 |
| 第一节 | 建立系统动力学模型的步骤      | 293 |
| 第二节 | 模型的灵敏度分析          | 307 |
| 第三节 | 模型的检验             | 312 |

|     |                    |     |
|-----|--------------------|-----|
| 第四节 | 利用模型进行政策分析.....    | 315 |
| 第十章 | 案例选编.....          | 319 |
| 第一节 | 企业系统仿真.....        | 319 |
| 第二节 | 世界模型Ⅱ.....         | 330 |
| 附录Ⅰ | M-D软件使用说明.....     | 354 |
| 附录Ⅱ | PD Plus软件使用说明..... | 359 |

# 第一章 动态经济系统的 基本概念

从动态的角度来研究一个经济系统的发展趋势和变化规律，首要的工作是建立该经济系统的数学模型。本章较为全面地介绍了有关系统的一些基本概念，以及涉及到人类活动的社会经济系统所具有的重要特征。在此基础上，分别讲解连续时间动态系统和离散时间动态系统的数学模型形式和建模方法。

动态系统的平衡点和稳定性问题是经济学感兴趣的内容之一。本章对这两个内容作出直观的阐述和严格的数学描述。

## 第一节 系统的概念

### 一、系统的定义和特性

系统无论作为科学术语或生活用语，已被广泛使用。但又难以给出一个精确的定义，使它足以概括各种应用，又能表述应用的目的。系统论创始人之一冯·贝塔朗菲，认为“系统可以定义为相互作用着的若干要素的复合体”。我国科学家钱学森定义系统是：“把极其复杂的研究对象称为‘系统’，即相互作用和相互依赖的若干组成部分合成的具有特定功能的有机整体，而且这个

系统本身又是它所从属的一个更大系统的组成部分。”可见，人们对系统这个概念的理解和定义不尽相同。按国内外大多数学者的理解，系统是由相互依赖、相互作用的若干组成部分结合而成并具有特定功能的有机整体。

系统的组成部分又称为要素。要素是一个极其相对的概念，它可以是一个简单的元素，也可以是一个子系统。比如，对一个自然系统来说，其要素可能是太阳系里的行星，生物的细胞，或者交通线上的车站等等。系统常常是人们按构思设立的可以聚合或分解的单位。研究人口问题，可以将其分为不同的年龄层次；讨论经济的增长时，区分各种增长因素。

系统本身也是一个极其相对的概念。一个系统可与其它系统相互连结而成更大的系统，这时，这个系统就是更大系统的一个子系统。

为了研究上的方便，在确定了研究目的后，要把研究的系统与系统以外的因素隔离开来。隔离线内的称为系统，而把隔离线外的称为环境，如图1.1所示。

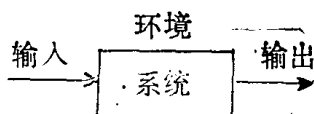


图1.1 系统与环境

任何一个系统都是在一定环境下存在和发展变化的。环境对系统的影响和作用系统的输入，而系统对环境的影响和作用就是系统的输出。研究一个具体的系统时，必须同时研究环境对系统的影响与系统对环境的影响，以及系统内部各子系统之间的相互影响。

从系统的上述定义可知，一个系统往往具有以下几个特征：

1. 目的性

任何一个系统的运转都是一种有目的的行为，都有其特定的功能。太阳和围绕它运转的行星构成了太阳系，在它们相互之间

的万有引力作用下，各自在其特定轨道上运行，构成一个有序的整体。资本、劳动力、土地等经济物质，以及与经济有关的技术、知识、政策等经济信息构成了特定的经济系统，实现经济的正常运行与增长。

系统中包含的要素、系统的范围随研究的目的而定。研究某地区的技术进步时，要考虑知识的进展、科技的进步、资源配置的改善、规模经济以及有关政策等种种要素。而在进行科技、经济和社会大系统的分析时，科技只是其中的一个子系统，要加入经济子系统和社会子系统，扩大系统的范围。

## 2. 整体性

系统是由各个组成部分结合而成的有机整体。贝塔朗菲提出了一个有名的“非加和定理”，即整体的功能不等于各孤立部分功能的总和。例如，人的机体的许多器官的功能都不如其它动物，但作为一个整体，人的机体功能却高于其它一切动物。

系统理论认为，构成系统的诸元素相互作用，必然会产生某种系统效应，这种系统效应使系统的整体功能不等于各部分功能之和。如果整体功能大于局部功能之和，可称为正的系统效应；反之，当整体功能小于局部功能之和时，称为负的系统效应。一个系统究竟会产生何种系统效应，主要取决于系统的结构。

由此可见，用系统论观点研究问题时，必须把系统作为一个整体来对待，把各种因素以及它们之间的联系都放入研究的视野之中，而避免就事论事的观点。

## 3. 关联性

系统各要素按一定方式或要求结合起来，要素之间有着密切的联系。不仅系统内部各要素间有着相互作用和相互依赖的关系，系统和环境之间也存在这种关系。系统通过这种相互关联性的作用和机制来实现它的目的与功能。

## 4. 系统的结构决定系统的功能

系统都有其自身的结构，系统功能的强弱、大小、好坏取决

于它的结构。

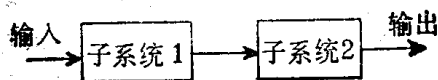
系统的结构具体地表现为各子系统的数目，它们的连结关系以及数量比例关系。当系统的结构确定后，它的功能也随之而确定。系统的结构越合理，它的总体功能就越好。

## 二、子系统间的基本耦合关系

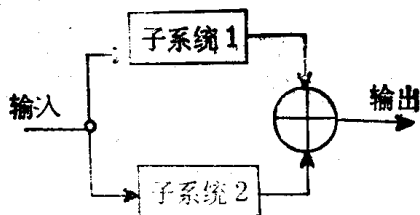
系统内部的子系统间存在相互作用和相互依赖的因果关系，一个子系统的输出往往是另一子系统的输入，这种因果关系又称为耦合关系。最基本的耦合关系有三种：串联耦合、并联耦合与反馈耦合。其它任何形式的耦合关系都可由这三种基本耦合复合而成。

可以用图形表示系统内部结构的特征。将系统的构成要素或子系统用方框表示，用带箭头的直线表示两个有关要素或子系统之间的耦合关系，箭头指向方框表示输入，箭头离开方框表示输出。图中若有两个或两个以上的输入同时作用在同一要素或子系统的输入端，则用符号 $\rightarrow\bigcirc$ 表示，意思是“叠加”。那么，三

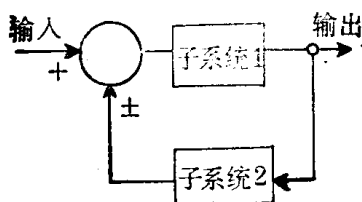
种基本耦合关系可以表示为图1.2。



(a) 串联耦合



(b) 并联耦合



(c) 反馈耦合

图1.2 基本耦合关系

若输入进入子系统1变换为输出，子系统1的输出作为子系统2的输入，并最终变换成输出，则称这两个系统的耦合关系为串联耦合。

设输入为两个子系统的共同输入，分别经子系统1和子系统2后变为两个子系统的输出，这两个输出之和构成系统的总输出。称这两个子系统的耦合关系为并联耦合。

把系统的输出经过子系统2反送回到输入端，以校正输入信息的大小，这种耦合关系称为反馈耦合。

许多经济系统可以描绘为反馈耦合的结构。先来看马克思的简单再生产理论。用 $X$ 表示社会总产品的价值，它等于不变资本 $C$ 、可变资本 $V$ 与剩余价值 $M$ 三部分之和，

$$X = C + V + M \quad (1.1)$$

式中， $C$ 为生产 $X$ 单位产品所消耗的生产资料的价值， $V$ 是生产 $X$ 单位产品所消耗的直接劳动。如果引进生产资料的消耗系数 $a_c$ ， $a_c = C/X$ ，那么，(1.1)式可改写为

$$X = a_c X + (V + M)$$

$$X = \frac{1}{1 - a_c} (V + M) \quad (1.2)$$

这公式可用方框图1.3表示。这是由两个子系统反馈耦合而成的系统，子系统1的功能起恒等变换的作用，子系统2把系统的输出 $X$ 乘以 $a_c$ 再反馈到输入端。把简单再生产过程描述成图1.3所示的结构，清楚地说明了，要把直接劳动 $V + M$ 变换为总产品价

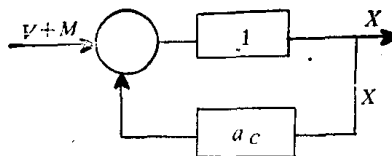


图1.3 简单再生产系统方框图

值，必须把总产值中的一部分用来补充已消耗掉的生产资料。用同样的方法，可以分析两大部类或 $n$ 个部门的扩大再生产的数学模型和系统结构，使其表示出清晰的经济含义。

凯恩斯乘数效应也可以表示成反馈耦合形式的结构。国民收入 $Y$ 用于投资和消费，投资考虑成自发投资而与国民收入无关，用 $A$ 表示；消费 $C = cY$ ，视为国民收入 $Y$ 的线性函数， $c$ 为边际消费倾向， $0 < c < 1$ ，于是，

$$Y = A + C = A + cY$$

$$Y = \frac{1}{1-c} A \quad (1.3)$$

其方框图如图1.4。

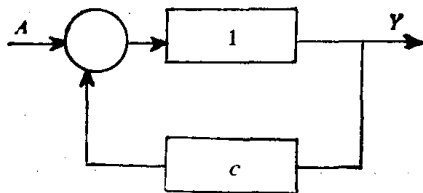


图1.4 凯恩斯乘数系统方框图

图中，子系统1起恒等变换的作用，子系统2把输出 $Y$ 乘以 $c$ 反馈回输入端，子系统1的输入成为 $A + cY$ ，经过子系统1恒等变换为输出 $Y$ 。这样的系统结构表明，要把投资 $A$ 变为国民收入 $Y$ ，必须把一部分国民收入用于消费，从而使总收入 $Y = A + cY$ 。(1.3)式右边的乘数 $\frac{1}{1-c}$ 就是凯恩斯乘数。

### 三、开环系统和反馈系统

系统可分为“开环”系统和“反馈”系统两种。开环系统的特征是，系统的输入影响系统的输出，而输出对输入没有影响。一块手表的摆轮不停地运动并通过指针显示出时间，但它输出的时刻数不会反过来影响摆轮的运动，这是一个开环系统。同样地，没有市场信息的生产系统也是开环系统，生产出的产品的信息无法影响它的生产。由此可见，在开环系统中，过去的行动不会控制未来的行动。

反馈系统的输出对输入有影响。这种输出对输入的反作用称为“反馈效应”。一块手表和它的主人构成一个反馈系统。人把手表显示的时间和标准时间进行比较，进行调节以消除其误差。有市场信息的生产系统也构成反馈系统。系统过去的行动结果反馈回给系统，以影响其未来的行动，这是反馈系统的特征。正因为系统的输出再反过来影响其输入，所以，在反馈系统的结构图中会出现回路结构，形成闭合环路。因此，反馈系统又称为闭环系统。社会经济系统大多呈现闭环的结构，它们是反馈系统。

通常将反馈分为正反馈与负反馈两类。增强输入作用的反馈称为正反馈，减弱输入作用的反馈称为负反馈。在正反馈的过程中，系统中要素的增长过程或崩溃过程不断加剧，使系统呈现无限“增长”或“衰退”。负反馈往往能根据目标值和目前的输出值来调节系统的输入，使系统取得它的目标值，从而呈现稳定的行为。

一个简单的人口增长系统，如果只考虑人口数和人口的年自然增加速度两个要素。人口数的增加使得自然增加速度上升，从而造成人口数的进一步增加。这是一个正反馈系统，它的结果将造成人口数的不断增长。

如果一个工厂希望它的原材料库存量达到某一个期望的水

平, 根据期望的库存水平和现有库存水平之差来订货。在这样的订货政策下, 现有库存量越多, 它和期望库存水平之差就越小, 订货率就越低, 这一系统就是负反馈系统。这样的订货政策使库存量逐步达到期望值。

## 第二节 社会经济系统的特征

社会经济系统涉及到人类社会经济活动, 人口、资源、能源、经济管理、环境和教育等等问题都是它所研究的内容。它和自然系统不同, 有其自身的特点。当人们越来越多地将研究自然系统的一些理论和方法引用来研究社会系统时, 清楚地认识到社会系统的特征就特别重要, 否则, 可能难以奏效。

### 1. 社会经济系统是大系统

系统内部有众多的要素, 它们相互作用和相互依赖。在系统边界以外的环境中, 很多因素也复杂而多变, 影响系统的行为。

图1.5给出了一个简化的能源系统结构。它远不是原来真实的系统, 而是一个模型, 是真实系统的简化表达方式。即使在这一简化模型中, 也包含了能源总产出、能源需求、能源进口量等十个要素, 它们之间相互作用。在这一系统外, 影响能源总产出及能源需求的还有许多的因素。如果再和经济增长问题相联系, 那么, 这一能源系统只是其中的一个子系统, 尚需考虑影响经济增长的诸多因素, 以及除能源以外的其它资源制约条件, 系统中将包含上百个要素。由此可见, 社会经济系统往往是大系统。

### 2. 多个因果关系环的耦合

社会经济系统大多为反馈系统, 也即闭环系统, 要素之间的因果关系会连成环状, 而组成因果关系环。系统内部众多因素之

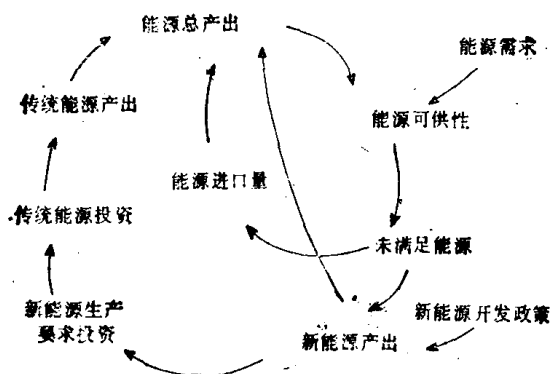


图1.5 简化的能源模型

间的相互作用，会形成若干因果关系环。例如，在图1.5中，能源总产出—能源可供性—未满足能源—新能源产出—能源总产出为一个因果关系环，或称为反馈环。同样地，在能源总产出、能源可供性、未满足能源和能源进口量之间，能源总产出、能源可供性、未满足能源、新能源产出、新能源生产投资、传统能源投资和传统能源产出间又形成了两个因果关系环。这样，简化的能源模型由三个因果关系环组成。

因果关系环可以分为两类，一类叫正因果关系环，它相当于一个正反馈子系统，具有无限增长或无限衰退的行为特征。另一类是负因果关系环，它具有目标导向或呈现收敛的行为。这两类环在同一个系统中同时存在，而且相互影响，使整个系统有复杂的行为。当负反馈环作用较强时，系统表现为稳定；当正反馈环强于负反馈环时，系统不断地增长或衰退。这两种不同性质的行为随着正、负反馈环优势的转换而交替，常常使系统出现波动，产生复杂的时间路径。

事实证明，即使是单个反馈环，其特性也经常难以作出直观的分析，对若干反馈环组成的复杂系统，其整体特性的分析和解