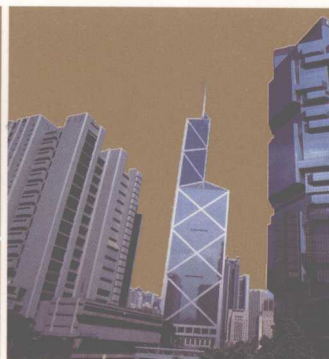




Quyue Shehui Jingji Xitong Fazhan Dongtai Fangzhen Yu Zhengce Tiaokong

区域社会经济系统发展 动态仿真与政策调控

何有世 著



中国科学技术大学出版社

◆ 新世纪博士专著丛书·经济科学 ◆

区域社会经济系统 发展动态仿真与政策调控

何有世 著

中国科学技术大学出版社

· 合 肥 ·

内 容 简 介

本书运用系统动力学基本原理和方法,综合利用区域经济学、计量经济学、数理统计等相关理论和方法,研究区域社会经济系统发展动态仿真问题,建立了相关问题的系统动力学模型,并对模型在结构、行为模式等方面与现实系统的一致性、适应性进行了验证,保证了模型的合理性和有效性。在此基础上,应用实际数据对模型进行模拟仿真分析,研究系统动力学在进行复杂系统的模拟分析中所具有的独特优势和存在的不足,探讨了模型的通用性。模拟结果为相关职能部门决策提供了有效的依据。

图书在版编目(CIP)数据

区域社会经济系统发展动态仿真与政策调控/何有世著. —合肥:中国科学技术大学出版社,2008.2

(新世纪博士专著丛书)

ISBN 978-7-312-02154-1

I. 区… II. 何… III. 地区经济—经济发展—系统动力学
IV. F061.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 148071 号

责任编辑:张善金

出版者:中国科学技术大学出版社

地址:合肥市金寨路 96 号 邮编:230026

网址:<http://www.press.ustc.edu.cn>

电话:发行部 0551-3602905 邮购部 3602906 编辑部 3602910

E-mail:发行部 press@ustc.edu.cn

印刷者:合肥学苑印务有限公司

发行者:中国科学技术大学出版社

经销者:全国新华书店

开本:880mm×1230mm 1/32

印张:7

字数:202 千

版次:2008 年 2 月第 1 版

印次:2008 年 2 月第 1 次印刷

定价:18.00 元

本书由“江苏大学人文社科专著出版基金”资助出版,所及内容为“全国统计科学研究项目”(LX03—Y24)、“江苏省科学技术厅科学技术成果鉴定项目”(苏科鉴字[2001]第934号)。

前 言

系统动力学的初创者是美国麻省理工学院的 Jay W. Forrester 教授。系统动力学在研究复杂的非线性系统方面具有无可比拟的优势。20 世纪 70 年代末,一批学者将之引入中国,从此,系统动力学就广泛应用于社会、经济、商业、城市建设乃至生物、医疗、环境保护等方面,被誉为“战略与决策实验室”。

区域社会经济的和谐发展已经成为当代的一个热门话题。从系统论的角度看,区域经济系统是一个大型复杂系统,它具有多重反馈回路、复杂时变、非线性等特征,因此用一般的定量分析方法难以全面、系统地描述这种复杂系统,更难以反映对区域经济系统进行宏观调控的动态效果及敏感程度,以至于容易引起事后控制所带来的经济震荡。而系统动力学的研究对象正是这种复杂的、非线性的、具有多重反馈的连续系统。运用系统动力学仿真方法对复杂的动态社会经济系统进行研究,科学地规划社会经济系统的结构,制订社会经济发展的政策和战略,是一种行之有效的办法。

本书是何有世教授、许明高级经济师、李光久教授指导的课题组几年来研究成果的总结。主要内容包括运用系统动力学基本原理和方法,综合利用区域经济学、计量经济学、数理统计等有关理论和方法,研究区域经济—资

源—环境协调发展、区域工业竞争力、区域农业生态系统、区域交通运输对经济社会影响、区域人口社会经济发展等相关领域的发展问题,建立了相关系统的动力学模型,揭示了系统及其子系统间的相互联系、相互影响、相互作用的内在机理;并对模型在结构、行为模式等方面与现实系统的一致性、适应性进行了验证,确保模型的合理性和有效性。通过调整系统参数等手段对模型进行了模拟仿真分析,对各种备选方案进行了比较选优,充分发挥了系统动力学特有的“政策实验室”的功能,为相关职能部门决策提供了有效的依据。

我们在对上述系统进行分析研究的同时,还研究了系统动力学在进行复杂系统的模拟分析中所具有的独特优势和存在的不足,探讨了模型的通用性,分析了模型结构的适应性、强壮性和参数的灵敏度,丰富了系统动力学建模的方法和经验。

参加此项研究的主要成员有:王邦兆、黄贤凤、孙静、刘晓春、王华伟、刘涛、熊强、陈晓燕、陈永泰、嵇留洋、陈洋、朱强松等,王邦兆执笔撰写了本书第四章初稿。李光久教授为课题的顺利完成做了大量的技术指导工作。此项研究工作先后得到国家统计局科研项目基金、江苏省镇江市经贸委、淮安市科技局等单位资助,在此,一并表示深深的感谢!

由于时间和水平有限,本书难免有错误和不足之处,恳请读者批评指正。

何有世

2007年仲秋

目 录

前 言	(I)
-----------	-------

第 1 章 系统动力学简介	(1)
---------------------	-------

1.1 系统动力学的发展史	(1)
1.2 系统动力学中的基本概念	(4)
1.2.1 因果关系图和反馈回路	(4)
1.2.2 变量与流图	(4)
1.2.3 延迟函数、平滑函数与表函数	(5)
1.3 系统动力学的五大特点	(7)
1.4 系统动力学图解分析法	(7)
1.4.1 一阶负反馈结构	(8)
1.4.2 一阶正反馈结构	(10)
1.4.3 S 型增长的反馈结构	(12)
1.5 系统仿真	(14)
1.5.1 系统动力学模型仿真的基本步骤	(15)
1.5.2 系统动力学专用软件 Vensim PLE 介绍	(17)

第 2 章 区域 Ec-Re-En 协调发展的系统动态仿真	(19)
-------------------------------------	--------

2.1 区域 Ec-Re-En 协调发展研究综述	(19)
2.1.1 区域 Ec-Re-En 系统协调发展研究问题的提出	(19)
2.1.2 区域 Ec-Re-En 系统协调发展研究	(19)

理论基础	(31)
2.1.3 区域 Ec-Re-En 协调发展模型综述	(37)
2.1.4 区域 Ec-Re-En 协调发展系统动态仿真 研究思路	(39)
2.2 江苏省 Ec-Re-En 协调发展现状分析	(40)
2.2.1 江苏省概况	(40)
2.2.2 江苏省 Ec-Re-En 协调发展现状的 定量分析	(42)
2.3 江苏省 Ec-Re-En 协调发展系统动力学 模型的建立	(51)
2.3.1 模型的总体结构	(51)
2.3.2 江苏省经济子系统	(54)
2.3.3 江苏省资源子系统	(60)
2.3.4 江苏省环境污染子系统	(65)
2.4 江苏省 Ec-Re-En 系统基本行为的仿真 与政策调控	(71)
2.4.1 模型的检验	(71)
2.4.2 系统基本行为的仿真与分析	(72)
2.4.3 系统的政策调控与分析	(77)
2.4.4 江苏省 Ec-Re-En 协调发展战略	(80)
2.5 结论与展望	(85)
2.5.1 主要结论	(85)
2.5.2 研究的不足与展望	(87)
第3章 区域工业竞争力研究	(88)
3.1 工业竞争力研究概况以及镇江市工业 发展现状	(88)
3.1.1 产业竞争力研究概况	(88)
3.1.2 镇江市工业发展现状及其比较	(91)
3.1.3 本章的研究方向、思路和意义	(101)

3.2 工业竞争力评价指标体系的构建	(102)
3.2.1 产业国际竞争力评价指标体系的发展	(102)
3.2.2 镇江市工业竞争力综合评价	(110)
3.2.3 产业集群	(117)
3.3 镇江市工业产业发展系统动力学建模	(120)
3.3.1 建模目的	(120)
3.3.2 子系统简介	(120)
3.3.3 子系统间的关系	(121)
3.3.4 主要反馈关系环及流图	(122)
3.4 工业产业发展系统动力学子模型及 系统模型分析	(124)
3.4.1 工业生产子系统分析	(125)
3.4.2 区域技术创新环境子系统分析	(125)
3.4.3 区域经济环境子系统分析	(129)
3.4.4 系统模型分析	(131)
3.5 镇江市工业发展系统动力学仿真分析 与政策建议	(140)
3.5.1 系统动力学模型检验	(140)
3.5.2 系统基本行为的仿真与分析	(142)
3.5.3 模型政策调控与分析	(145)
3.5.4 镇江市工业竞争力发展政策建议	(149)
第4章 区域农业生态系统的系统动力学模型 及政策建议	(155)

4.1 引言	(155)
4.2 建模思想与建模目的	(155)
4.2.1 系统边界的确定	(156)
4.2.2 系统的主要因果关系回路	(156)
4.2.3 系统动力学模型的建立	(157)
4.3 模拟分析	(160)

区域社会经济系统发展动态仿真与政策调控

4.3.1	模型的有效性检验	(160)
4.3.2	模型的灵敏度分析	(161)
4.3.3	系统模拟	(161)
4.3.4	模拟结果分析	(162)
4.4	政策建议	(163)
4.4.1	切实保护耕地资源,稳定耕地面积	(163)
4.4.2	增加农业投入,改善农业生产条件,大力 发展高效农业	(163)
4.4.3	发展立体农业,提高资源利用率	(164)
4.4.4	控制人口增长,提高劳动者素质	(164)
4.4.5	积极推进农业产业化经营,提高农民 收入水平	(164)

第5章 区域交通基础设施对社会经济影响

	的系统动力学分析	(165)
5.1	建模目的及实现思想方法	(165)
5.2	模型的总体结构	(166)
5.3	子系统分析	(168)
5.3.1	经济子系统	(168)
5.3.2	就业子系统	(171)
5.3.3	交通子系统	(172)
5.3.4	模型的检验	(174)
5.4	模型基本变量模拟结果输出	(175)
5.5	决策分析	(179)
5.5.1	交通基础设施投资对江苏省 GDP 增长 的贡献分析	(179)
5.5.2	决策分析一	(180)
5.5.3	决策分析二	(182)
5.5.4	决策分析三	(183)

第 6 章 区域人口社会经济系统动态仿真模型 及政策建议	(187)
6.1 镇江市的人口基本情况	(187)
6.1.1 人口构成分析	(187)
6.1.2 人口素质	(190)
6.2 人口社会经济系统因果关系分析	(190)
6.2.1 人口结构子系统因果关系分析	(192)
6.2.2 人口与经济因果关系分析	(195)
6.3 系统动态仿真	(199)
6.3.1 人口与第二产业系统流图	(199)
6.3.2 人口与第二产业子系统的主要 DYNAMO 方程	(199)
6.3.3 模拟方案仿真	(204)
6.4 模拟结果与政策建议	(205)
6.4.1 模拟结果	(205)
6.4.2 主要政策建议	(207)
参考文献	(208)

第 1 章 系统动力学简介

1.1 系统动力学的发展史

系统动力学(System Dynamics)是一门分析研究信息反馈系统的学科,也是一门认识系统问题和解决系统问题的交叉的综合性新学科。它是系统科学和管理科学中的一个分支,它也是一门沟通自然科学和社会科学的横向学科。

系统动力学是美国麻省理工学院以福瑞斯特(J. W. Forrester)教授为首的系统动力学小组于 20 世纪 50 年代创立并逐步发展起来的一门学科。

系统动力学在发展的初期被称为工业动力学。这一时期的研究以工业企业的经营管理问题为中心,如企业的劳动力雇佣、订货、生产、销售策略以及市场股票和市场增长的不稳定性等问题。后来,系统动力学的应用范围日益扩大,从民用到军用,从科研、设计工作的管理到城市摆脱停滞与衰退的决策,从世界面临人口指数式增长的威胁与资源储量的日趋殆尽的危机到检验糖尿病的病理假设等。总之,其应用几乎遍及各类系统,深入到各种领域,显然此学科的应用范围已远远超越“工业动力学”的范畴,所以改名为“系统动力学”。

在上世纪 60 年代,一批代表这一阶段的理论和应用研究成果与水平的论著相继问世,1961 年,福瑞斯特教授发表了《工业动力学》(*Industrial Dynamics*)一书,该书阐明了系统动力学的基本原

理和典型应用,该书已成为本学科的经典著作。1968年,他又发表了《系统原理》(*Principles of Systems*)一书,该书侧重介绍了系统的基本结构。1969年,他又发表了《城市动力学》一书,该书集中反映了他在城市规划、城市发展、城市的人口变迁以及城市的环境污染等方面的研究成果。福瑞斯特这些著作的发表,为系统动力学的创立和发展奠定了基础。

系统动力学在它的发展过程中曾接受过两次严峻的挑战。第一次挑战发生在上世纪70年代初,拥有来自26个国家75名科学家的罗马俱乐部(The Club of Rome)困惑于世界面临人口增长与资源日渐耗尽的前景。鉴于当时一些惯用的工具难以胜任对此复杂问题的研究,于是他们转向寄希望于系统动力学方法。在1970年的6~7月间,经过一个多月的酝酿和召开学习讨论会,俱乐部的成员对福瑞斯特教授提出的世界模型的雏形(WORLD II)感兴趣并受到极大鼓舞。于是罗马俱乐部决定提供财政支持,在麻省理工学院成立一个系统动力学国际研究小组、担负世界模型的研究任务。作为最初的研究成果,福瑞斯特教授以WORLD II为基础发表了《世界动力学》(*World Dynamics*),接着,他指导下的小组先后发表了《增长的极限》(*The Limits to Growth*)、《趋向全球的平衡》(*Toward Global Equilibrium*)等著作阐述其研究成果WORLD II和他们对未来世界发展的观点。他们研究了世界范围内人口、自然资源、工业、农业和环境污染诸因素的相互联系、相互制约、相互作用以及其产生的后果的各种可能性。他们的基本观点是:迄今世界范围指数式增长的势头不可能再继续下去,世界的发展将逐渐过渡到某种均衡发展的状态;由于工业化伴随着人口膨胀、资源短缺和环境污染加剧,因此从长远的战略观点看,目前不发达国家按西方先进国家的模式所进行的工业化的努力未必是明智的。他们认为:全球的经济和人口的飞速增长,最终将导致一系列危机。例如,人类生活水平的下降,自然资源的耗尽等等。但是,由于经济系统和人口系统的巨大惯性,当人们认识到这些危机时,并不能及时控制这些危机,即经济和人口的增长、土地和粮食

的减少及自然环境的恶化,而经济和人口还将在危机中继续增长,这就形成了所谓“超调现象”,其最终结果将会导致人类社会生活的一系列严重问题。模型模拟结果预言,为了人类的长期生存和满意的生活水平,全球的经济和人口在度过了“超调”之后,将会逐渐下降,最后稳定在一个相对比较低的、但能与生存环境相适应的水平上。他们对世界前景的这一论断,在全世界的新闻界和学术界引起了极大的反响。正是这一次挑战促进了系统动力学的壮大和发展。

第二次挑战发生在 1972 年后,福瑞斯特教授又接受了美国全国模型的新任务。他先后在数十家企业、公司及本国和外国政府部门的财政资助下,历经 11 年,耗尽六百万美元,完成了一个包括 4000 个方程的全国系统动力学模型,该模型把美国的社会经济问题作为一个整体来研究,解决了一些在经济方面长期存在的、经济学家们感到困惑不解的问题,例如,上世纪 70 年代以后的通货膨胀、失业率和实际利率同时增长等问题,其最有价值的研究成果还在于揭示了美国与西方经济长波存在的内在奥秘。1983 年 10 月在国际会议上发表了“长波、衰退与革新”的论述。由于全国模型与长波理论方面的新成就使得系统动力学在理论和应用研究方面都取得了惊人的进展,使人们看到了以科学实验的方式来探讨全球所面临的社会经济问题的光明前景。

我国的系统动力学研究起步较晚,比美国大约晚 25 年,比日本也晚大约 15 年。尽管如此,我国的系统动力学发展还是相当快的,主要体现在:第一,研究队伍初具规模。目前我国从事系统动力学理论和应用工作的人数已近千人;第二,开设系统动力学课程的高等院校日益增多。目前为本科生、研究生开设系统动力学课程的高等学校已有几十所;第三,理论与应用研究方面的进展喜人。在理论研究方面,十几年来已先后发表有关系统动力学哲学观、基本理论与方法以及系统动力学与系统工程其他分支的关系等方面的论文上百篇;在应用方面,全国性模型、省级模型、市级模型和县级模型均已取得显著成绩;第四,译著与教材建设方面也取

得了可喜的进展,已出版译著和教材多部。

1.2 系统动力学中的基本概念

1.2.1 因果关系图和反馈回路

系统动力学用因果关系图来表示系统中变量间的因果关系,用箭头把两个有因果联系的变量连接起来,箭尾的变量表示原因,箭头的变量表示结果,如果变量 A 是变量 B 变化的原因,则表示为: $A \rightarrow B$ 。

如果变量 A 的增加引起变量 B 的增加,或者变量 A 的减少引起变量 B 的减少,这种因果关系称为正因果关系,记为 $A \rightarrow +B$ 。

反之,这种因果关系称为负因果关系,记为 $A \rightarrow -B$ 。

系统中一个变量的变化,通过一系列因果关系重新影响到这个变量本身的变化,这种现象称为反馈,这一系列闭合的因果关系称为反馈回路(或反馈环)。

确定反馈回路极性的一般原则如下:

- (1) 若反馈回路中包含偶数个负的因果链,则其极性为正。
- (2) 若反馈回路中包含奇数个负的因果链,则其极性为负。

正反馈回路的作用是使回路中变量的偏差增强,而负反馈回路则力图控制回路中的变量趋于稳定。由此可知,负反馈作用并不一定坏,正反馈回路的作用也不一定都好。

1.2.2 变量与流图

系统动力学采用的变量有如下几种:

- (1) 水平变量:又可称为状态变量,用于描述系统的状态,它反映了动态系统变量的时间累积过程,因此,在系统中可以观察到水平变量在任何时间瞬间的取值,它的取值仅受速率变量的直接影响而改变。

(2) 速率变量:又可称为决策变量,用于描述水平变量的时间变化,在系统中我们只能观察到速率变量在时间段内的平均值。因此,在系统动力学模拟中采用区间上的平均速率来代替瞬时速率进行计算。

(3) 辅助变量:用于描述位于水平变量和速率变量之间的中间变量,它必定位于水平变量和速率变量之间的信息通道中。

(4) 常数:在所考虑的时间内变化甚微或相对不变化的那些系统参数,都视为常数。

系统动力学采用特定的流图符号描述水平变量和速率变量的相互关系,由于结构流图强调了积累过程,与液体流动的相似性,故这种图称为流图,图 1.1 就是一个简单的系统动力学流图。

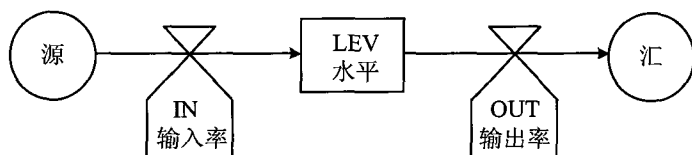


图 1.1 系统动力学流图

1.2.3 延迟函数、平滑函数与表函数

系统中物质和信息的流动、传递通常是有时间延迟的。所谓时间延迟是指系统对应于某一输入,产生输出需要延迟一段时间,延迟的意义如图 1.2 所示。

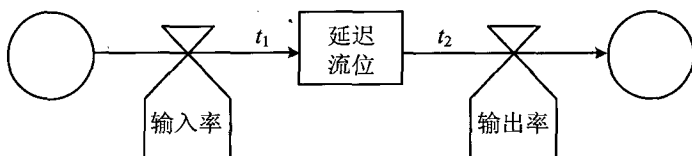


图 1.2 时间延迟图

在系统动力学中广泛使用的是指数延迟,一阶指数延迟过程如图 1.3 所示。

延迟流位的初始状态处于稳定值 y_1 , 在 t_1 时刻加一数值为

$y_2 - y_1$ 的输入流, 则延迟流位以指数规律逐渐地增长到 y_2 , 输出流达到输入流的 63.2%, 即图 1.3 中 y_0 的位置时所需时间为 $t_2 - t_1$ 称为延迟时间, 这个参数反映了系统的响应速度。

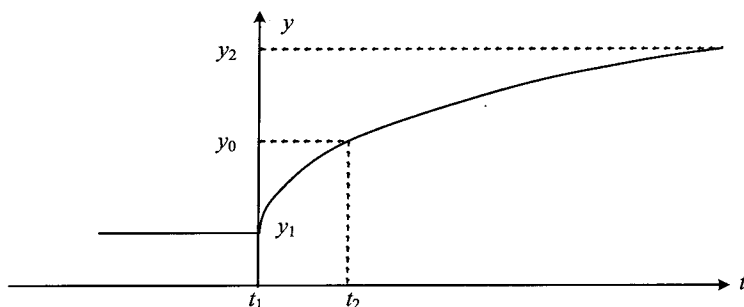


图 1.3 一阶指数延迟过程图

一阶指数延迟的标准形式为:

$$R \text{ SYMP. KL} = \text{DELAYI}(\text{INF. JK, TSS})$$

其中, SYMP 为输出变量, INF 为输入变量, TSS 为延迟时间。

系统中有时存在二阶或二阶以上的高次指数延迟。对于高阶延迟可将其作为几个一阶指数延迟串联而成。

系统动力学中还有一种称为平滑函数的函数, 其功能是消除信息中的随机因素, 找出其真实趋势, 其标准形式如下:

$$A \text{ SVAR. K} = \text{SMOOTH}(\text{VAR. K, STIME})$$

其中, SVAR 为已平滑的变量, VAR 为待平滑的变量, STIME 为平滑时间, 平滑函数具有平滑原变量的激烈起伏的功能。

模型中往往需要用辅助变量描述某些变量间的非线性关系, 显然简单地由其他变量进行代数组组合的辅助变量已不能胜任。若所需非线性函数能以图形给出, 那就能十分简便地以 DYNAMO 表函数表示。

表函数的一般形式如下:

$A \text{ VAR. K} = \text{TABLE}(\text{表名, 输入变量 } X, \text{最小的 } X \text{ 值 } X_m, \text{最大的 } X \text{ 值 } X_M, X \text{ 增量 } \Delta X)$