

社会系统动力学

政策研究的原理、方法和应用

李旭 著

475.321
659.325
888.236
45.32
1124.145
653.225
4452.2
857.326
993.265
145.265
1523.144
545.248
547.265
455.325
953.2147
258.328
114.265
564.2687
14.65.32
64.35.6
65.54.654
857.3216
64.145
64.564
64.18
64.65.654
6498.14
1474.14
234.384

复旦大学出版社

社会系统动力学

政策研究的原理、方法和应用

李旭著



复旦大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

社会系统动力学:政策研究的原理、方法和应用/李旭著. —上海:
复旦大学出版社, 2009. 1
ISBN 978-7-309-06360-8

I. 社… II. 李… III. 系统动力学-应用-经济管理-研究 IV. F2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 170171 号

社会系统动力学:政策研究的原理、方法和应用

李 旭 著

出版发行 复旦大学出版社 上海市国权路 579 号 邮编 200433
86-21-65642857(门市零售)
86-21-65100562(团体订购) 86-21-65109143(外埠邮购)
fupnet@fudanpress.com <http://www.fudanpress.com>

责任编辑 梁 玲

出 品 人 贺圣遂

印 刷 上海浦东东北联印刷厂
开 本 787 × 960 1/16
印 张 15.5
字 数 295 千
版 次 2009 年 1 月第一版第一次印刷

书 号 ISBN 978-7-309-06360-8/F · 1448
定 价 32.00 元

如有印装质量问题, 请向复旦大学出版社发行部调换。

版权所有 侵权必究

内 容 提 要

本书共分三个层次：社会系统动力学的基本原理，社会经济系统的基本运行规律与政策设计，社会系统动力学的应用。第一层次介绍了社会系统动力学的建模原理和方法。包括原理、因果关系图、流图、方程和模型测试。这部分是社会系统动力学的基础。第二层次探讨了社会经济系统的基本运行规律和政策研究原理和方法。包括对社会经济系统运行规律的数学分析，归纳影响系统行为特性的基本参数，提出基于社会系统动力学的政策研究思路和方法。这部分是对社会系统动力学基本原理和方法的进一步扩展。第三层次将前面提出的政策研究原理和方法应用到工商管理、公共管理和系统思考中。包括经营策略、库存策略、人口政策、节能降耗政策以及供应链中牛鞭效应的系统思考等。这部分对经典问题从社会系统动力学的视角研究，展示了研究过程的系统性和研究结论的深邃思考性。

序 XU YAN

系统动力学(System Dynamics, SD)是一门分析研究复杂信息反馈系统的学科,1956年由福瑞斯特(Jay W. Forrester)教授始创于美国麻省理工学院。2007年恰逢SD学科创建50周年的纪念庆典,所以该年第25届SD国际年会特地安排在学科的发源地召开。作为当年学会的执行主席,本人和学科创始人Forrester教授分别先后在大会闭幕式上作了总结性发言,对SD在今后50年的发展作了展望。我们一致认为,作为一门学科系统动力学还富有极大的潜力,能为人类社会文明的未来发展在许多方面继续发挥深远的影响和重要的贡献。

系统动力学诞生50多年来,经历了成长、发展和逐渐成熟的各个时期,其理论与应用研究涉及各种学科和领域。系统动力学分析、解决问题的方法是定性与定量分析的统一,以定性分析为先导、定量分析为支持,两者相辅相成,它从系统内部的机制、微观结构入手,剖析系统进行建模,借助计算机模拟技术来分析研究系统内部结构与其动态行为的关系,并寻觅解决问题的对策。因此,系统动力学模型可视为实际系统的实验室,它特别适合于分析解决社会、经济和生态等一类非线性复杂大系统的问题,从企业经营管理、城市动力学、世界动力学、美国国家模型直到经济长波理论研究等,在各行各业都得到了广泛的应用。

《社会系统动力学——政策研究的原理、方法和应用》一书内容充实、广泛,理论与实践紧密结合。本书内容分三个层次:社会系统动力学的基本原理,社会经济系统的基本运行规律与政策设计和社会系统动力学的应用。第一部分对系统动力学的理论与方法、建模原则、建模各主要步骤等方面都作了较详尽且系统的论述;第二部分对社会经济系统的运行规律进行基本的数学分析,归纳出决定系统行为特性的基本结构与参数,提出了基于社会系统动力学的政策规划原理



社会系统动力学

和方法;第三部分将基于社会系统动力学的政策研究原理和方法应用到工商管理、公共管理和系统思考。

本书分析和考察问题的视角新颖,研究过程具有较好的系统性和完整性,研究得出的结论和观点能引导人们进行深邃的思考。本人乐于为此书作序。

同济大学发展研究院院长

国际系统动力学学会主席和中国分会主席

中国系统工程学会系统动力学专业委员会主任委员

中国系统科学研究会副会长

2008年11月 于上海

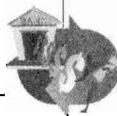
前言

QIAN YAN

正确地描述系统是解决系统中存在问题的前提,于是人们从各种角度、用不同的方法描述系统,形成了多种形式的系统模型。但是,由于社会经济系统的规模性、复杂性和动态性,完全定性的描述方法虽然可以正确描述系统,但不能对系统要素之间的相互制约和相互依存的关系等从整体联系的机理出发进行协调和优化,而完全定量的描述方法虽然可以较好地对系统要素之间的相互制约和相互依存的关系等从整体联系的机理出发进行协调和优化,但是建模和分析过程伴随了大量的抽象和简化。社会系统动力学可以兼顾定性研究和定量研究的利与弊,既解决了复杂巨系统的建模问题,又可以在整体框架下对系统要素之间的联系等进行定量的协调和优化。

社会系统动力学(System Dynamics)用回路作为描述系统的基本单元,用因果关系描述系统要素之间的联系,用流图描述系统要素的性质和系统结构,用差分方程对系统进行定量描述,整个分析过程从定性、半定量、定量,最后又把定量的数学模型利用计算机进行最终模拟分析。同时,系统动力学还可以较好地处理“物质延迟”和“信息延迟”等现象,使模型更好地反映现实系统。因此自系统动力学创建以来,在社会、经济、环境、生态系统,以及企业运作等领域得到了广泛的应用。

社会系统动力学认为,回路是组成系统的基本结构单元,通过归纳和整理,社会经济系统的结构可以抽象成“回路”、“积累”、“信息”、“延迟”和“决策”,这些要素之间的相互作用规律类似于流体在回路中流动所呈现的规律。流体在“回路”中流动必然要产生“积累”现象,堆积的物质就要产生压力,这种压力通过“信息”的传递作用于决策者,迫使决策者根据收到的信息,做出必要的“决策”去改变流速,从而改变积累的物质。这种思想将系统状态与决策紧密联系起来,使社会经济系统的模型





化过程中真正体现了人机共存的特点。同时,这种模型化思路很容易将政策要素引进模型中,研究政策对系统行为的影响,因此系统动力学也被称为政策实验室。

一般来讲,政策总是同动态系统相关联的,政策是动态系统中决策所遵循的规律,是对系统实施控制的原则。一项政策会影响一系列的决策,而这一系列的决策将引导系统向既定的目标运行。所以政策优化的实质是最优控制问题,这种优化在本质上大大不同于人们所已熟悉的静态模型,再加之社会经济系统的规模较大,常规的最优化技术对它无能为力。目前系统动力学研究政策问题的思路是“政策试验”,所用的方法为“试验法”和“试凑法”,即事先设计政策方案,然后根据对各方案仿真的结果,在所设计的方案中择优。这种研究思路过于依靠建模与分析人员的经验和技巧,对于多政策参数、策略型和结构性政策问题很难获得满意的结果。

2 | 本书的主要贡献在于提出了基于系统动力学的政策规划原理和方法,形成了社会系统动力学政策研究的体系框架,并把这一成果应用到工商管理、公共管理和系统思考中,检验了研究成果的实用性和有效性。政策是人们对系统进行协调和控制的重要手段之一,从社会系统动力学本身的理论和方法角度看,对现实系统建模和仿真部分比较完善,但是政策优化部分比较薄弱。因此,本书提出的基于系统动力学的政策规划原理和方法,对社会系统动力学理论和方法的发展具有推动作用。

该书是本人承担的国家自然科学基金项目“基于过程方法的能源消耗控制模式与优化研究”、作为子课题负责人承担的国家社会科学基金重大项目“建设资源节约型和环境友好型社会的理论与实证研究”和作为子课题负责人承担的教育部哲学社会科学研究重大课题攻关项目“节能减排与环境保护宏观政策研究”的研究成果的一部分。书中涉及的案例模型都经过了调试和验证,这些模型都收录到书后附加的光盘中。另外,经 *Ventana Systems, Inc* 的同意,本书将 *Vensim PLE* 也一起收录到书后附加光盘中。同时为了便于读者掌握 *Vensim PLE* 的操作和使用,又对 *Vensim PLE* 的使用方法进行了归纳、整理和编辑,一并附在书后的光盘中,供读者参考。希望社会系统动力学能在政策研究领域发挥更大的作用。

作者

2008年11月

目 录

MU LU

第一部分 社会系统动力学的基本原理

第一章 社会经济系统与系统动力学	3
1.1 社会经济系统的特征	3
1.1.1 社会经济系统遵循因果律	3
1.1.2 具有多重反馈	4
1.1.3 存在反直观性	4
1.1.4 具有较强的非线性特征	5
1.1.5 存在时滞/延迟效应	6
1.1.6 存在较大惯性	6
1.1.7 不适合做直接试验	7
1.1.8 因果有时在空间上分离	7
1.2 系统模型及其分类	8
1.2.1 系统模型的定义	8
1.2.2 系统模型的意义	9
1.2.3 系统模型的分类及其特点	9
1.3 动态复杂系统与社会系统动力学	10
第二章 系统动力学及其基本原理	12
2.1 系统动力学产生的背景	12
2.2 系统动力学的发展过程	13
2.3 系统动力学基本原理	19
2.4 系统动力学基本方法	19
2.5 系统动力学的特点	20
2.6 系统动力学的理论基础	21





2.7	系统动力学同相关学科的区别	23
2.8	系统动力学的适用场合	23
第三章	因果关系图	26
3.1	因果关系图概述	26
3.2	因果链	27
3.3	因果关系回路	29
3.4	应用实例	32
3.5	因果关系图的画法小结	37
第四章	流图	39
4.1	流图的概念	39
4.1.1	存量和流量	39
4.1.2	流图的概念	39
4.1.3	流图与因果关系图的比较	40
4.2	流图中的基本要素及其描述符号	41
4.2.1	系统中不同性质的变量及其描述符号	41
4.2.2	流图中使用的流线及其描述符号	43
4.2.3	源点、汇点及其描述符号	44
4.3	区分系统中各种性质的变量	45
4.3.1	辨识存量和流量	45
4.3.2	辨识辅助变量和常量	46
4.3.3	变量性质的相对性	48
4.3.4	流图的现实意义	48
4.3.5	存量在系统中的重要性	48
4.4	绘制流图	50
4.4.1	绘制流图的程序	50
4.4.2	建立流图应该遵循的原则	52
4.4.3	流图应用举例	52
第五章	系统动力学方程及其计算	66
5.1	系统动力学方程基础	66
5.1.1	系统动力学方程的概念及其理解	67
5.1.2	系统动力学方程的种类	67

5.1.3	系统动力学方程中的时间描述	67
5.2	系统动力学方程的描述规则	68
5.2.1	水平方程(L)	68
5.2.2	速率方程(R)	69
5.2.3	辅助方程(A)	70
5.3	应用举例	71
5.3.1	人口系统	71
5.3.2	库存系统	72
5.3.3	传染病传播系统	74
5.3.4	捕食者和被捕食者系统	75
5.4	方程的计算和 DT 的选择	75
5.4.1	方程的计算	75
5.4.2	DT 的选择	78
第六章	模型测试	79
6.1	模型测试概述	79
6.1.1	模型测试的目的	81
6.1.2	模型测试的依据	81
6.1.3	模型测试的种类	83
6.2	模型测试的方法	86
6.2.1	系统边界测试	87
6.2.2	心智模型测试	88
6.2.3	模型结构与行为测试	90
6.2.4	参数估计测试	94
6.2.5	积分误差测试	95
6.2.6	量纲一致性测试	95
6.2.7	极端情况测试	96
6.2.8	敏感性测试	99

第二部分 社会经济系统的基本 运行规律与政策设计

第七章	系统结构及其基本参数	103
7.1	系统结构概述	103



7.2	系统中的平衡	104
7.3	一阶正反馈系统	106
7.3.1	一阶正反馈系统的基本模型	106
7.3.2	一阶正反馈系统的几个重要参数	107
7.3.3	超指数增长	109
7.4	一阶负反馈系统	109
7.4.1	一阶负反馈系统的基本模型	109
7.4.2	一阶负反馈系统的重要参数	110
7.5	S型增长系统	111
7.5.1	S型增长概述	111
7.5.2	S型增长的基本模型	112
7.5.3	S型增长的基本原理	113
7.6	一阶系统的一般行为特性分析	113
7.7	二阶系统	115
7.7.1	二阶系统的一般描述	115
7.7.2	二阶系统的典型行为特性分析	115
7.8	系统结构及其基本参数小结	117
7.9	案例分析	118
7.9.1	简单的经济增长系统	118
7.9.2	二阶库存-劳动力系统	120

第八章 延迟: 增加系统复杂性的重要因素

8.1	延迟的概念	124
8.2	物质延迟: 为物流建模	125
8.2.1	对物质延迟的理解	125
8.2.2	延迟时间与分布	126
8.2.3	管道延迟	127
8.2.4	一阶物质延迟	128
8.2.5	高阶物质延迟	130
8.2.6	延迟系统中物质质量的估算: Little 法则	134
8.3	信息延迟: 为感知建模	135
8.3.1	一阶信息延迟	135
8.3.2	高阶信息延迟	137
8.4	延迟对系统的影响	139

8.5 估计延迟时间和分布	140
8.5.1 根据历史数据估计延迟时间和分布	140
8.5.2 数据不可知时估计延迟和分布	146
第九章 政策及其研究方法	149
9.1 政策的含义	149
9.2 常用政策表达式	150
9.3 政策研究的分类	153
9.4 政策研究方法	155
9.4.1 试验法	155
9.4.2 试凑法	156
9.4.3 规划法	157
第十章 协调和老化链：系统建模和政策研究的有效工具	164
10.1 设定系统目标和评价体系	164
10.2 协调：描述存量属性的伴生结构	165
10.3 老化链：一种实用的共性结构	169
10.4 高阶老化链及其协调：使模型更加接近现实系统	171
10.5 协调和老化链小结	172

第三部分 社会系统动力学的应用

第十一章 系统动力学在工商管理中的应用	177
11.1 企业经营策略分析	177
11.1.1 问题描述与研究视角	177
11.1.2 明确系统目标和系统要素	177
11.1.3 建立系统因果关系图和流图	178
11.1.4 调查系统的外生变量	179
11.1.5 确定政策规则和政策参数	180
11.1.6 系统仿真与政策试验	182
11.1.7 经营运作模式的改进分析	189
11.2 二级供应链系统库存策略分析	194
11.2.1 系统的描述和控制目标	194
11.2.2 政策手段和政策方案	195





11.2.3	政策分析与优化·····	200
11.2.4	优化结果的使用·····	202
第十二章	系统动力学在公共管理中的应用·····	204
12.1	人口政策分析·····	204
12.1.1	人口问题研究概述·····	204
12.1.2	人口系统的动力学模型·····	205
12.1.3	人口系统仿真与政策试验·····	207
12.1.4	人口系统的进一步研究·····	210
12.2	节能降耗的调控策略分析·····	214
12.2.1	经济系统的投入和产出·····	215
12.2.2	生产与能源消耗的关系·····	215
12.2.3	确定产业结构调整目标·····	216
12.2.4	建立动态调控模型·····	217
12.2.5	上海市案例分析·····	218
第十三章	系统动力学在系统思考中的应用·····	220
13.1	系统思考及其重要性·····	220
13.2	啤酒游戏中的系统思考·····	222
13.2.1	啤酒游戏和牛鞭效应概述·····	222
13.2.2	牛鞭效应成因的系统思考·····	225
13.2.3	牛鞭效应缓解的系统思考·····	229
13.3	培养系统思考的思维方式·····	233
	参考文献·····	235
	后记·····	237

第一章

社会经济系统与系统动力学

社会经济系统泛指与人民生活、生产密切相关的系统,如社会系统、经济系统、生态环境系统等组成的系统,它是现实世界上最复杂的系统之一。

1.1 社会经济系统的特征

由于社会经济系统与人的行为密切相关,它不仅具有一般系统的性质,还具有许多特殊的性态,这些一般性和特殊性共同决定了该类系统的运动规律。研究社会经济系统除了了解社会经济系统的一般规律外,更重要的是掌握其特殊规律。掌握这些特点有助于准确地把握研究方向,揭示一些潜在的问题,使提出的建议、方案更符合实际,更具有可操作性。因此,了解社会经济系统的一般运动规律和特点具有重要意义。社会经济系统具有如下的规律和特点。

3

1.1.1 社会经济系统遵循因果律

因果律是社会经济系统的基本规律,是系统工程分析问题的基本点。对系统实施任何一个影响都会产生一定的效果(正面的或负面的影响);反过来,系统中任何结果的产生都可找到原因。比如,我国改革开放后,对农村实行了“分田到户,责任承包”政策。该政策实施后迅速改变了农村粮食紧张的局面,由买粮难到卖粮难;但同时由于农村的生产规模主体缩小,在农业基础设施建设和提高农业机械化程度等方面,这一政策也产生了一定的负作用。系统工程工作者在分析社会经济系统问题时,要分清什么是原因,什么是结果,更要清楚某项原因产生的正向作用和负向作用。在现实中,不仅大量存在着“一因多果”和“一果多因”,而且一个原因可能产生短期与长期的不同效果,或者直接和间接的不同效果。在对系统,尤其是像社会经济系统这样的复杂系统进行分析时要充分重视。这样,在考虑对社会经济系统实施某一政策时,不仅要计算某项政策带来的正效应,还要计算实施该政策的成本和实施该政策带来的负效应。其次,某些结果的产生原因是多样的,或者说任何

Shi Jie Xi Tong Dong Li Xue





系统结果的产生有可能是几种政策的综合作用。所以,实施某项政策的效果不仅仅取决于该政策,还与相关政策有关,这是由系统相关性决定的。这就启示人们:解决某些问题往往需要一组的政策输入才可能见效。例如,建设资源节约型和环境友好型社会,不仅与地区经济发展有关,与地区的教育、文化传统、生活习惯有关,还与当地居民的素质密切相关。

1.1.2 具有多重反馈

4 | 反馈是指因果关系的互动。当系统中的两个元素互为因果时,就构成了反馈。反馈分为正反馈和负反馈。正反馈是指系统 A 要素的增长会引起系统 B 要素的增长,而 B 要素的增长又使得 A 要素进一步增长,周而复始形成一个环路,不断推动系统发展。如果一个系统只有正反馈,它是不稳定的。负反馈是指系统 A 要素的增长会引起系统 B 要素的增长,而系统 B 要素的增长会抑制系统 A 要素的增长,使系统 A 要素回归到较低的水平。如总人口数量的增长,在一定出生率的前提下,会使出生人口数增加;而出生人口数增加又使得总人口数量进一步增加,由此构成一个正反馈的环路。另一方面,在资源总量基本不变的前提下,总人口数量的增长会加快资源的消耗,减少资源存量;而资源存量的减少会恶化人类的生存环境,从而抑制总人口数量的增长,这便形成一个负反馈环路。负反馈是保证系统稳定性的重要因素。存在各种反馈是社会经济系统一个重要的特点。社会经济系统不但具有正反馈和负反馈,还具有多重反馈的特点。多重反馈是指系统的某一要素 A 增加或减少,引起系统要素 B 的增加或减少,而系统要素 B 的增加或减少又引起系统要素 C 的增加或减少……最终使 A 要素增加或减少,这一循环过程形成了一个多重反馈环。如人口总数的增加,使劳动人口数增加,相应的 GDP 增加, GDP 的增加可使科学教育费用增加,导致人们受教育水平提高,从而提高人们对计划生育的认识,减少计划外生育,使人口增加量降低。用因果关系环表示社会经济系统的反馈和多重反馈,是系统工程常用的分析方法,尤其是复杂系统的分析,同时也是系统建模的前提。只有准确地描述系统的行为才能有效地进行分析,才可能得到正确的结论。

1.1.3 存在反直观性

社会经济系统与一般系统相比具有较高的复杂性,其因果关系特别复杂,“歪打正着”、“好心办坏事”是系统复杂性的表现。在社会经济系统里,反直观性是指某一项政策,经过常规的分析后被认为是一项好的政策,但政策实施后其效果不