

系统动力学

社会系统模拟理论和方法

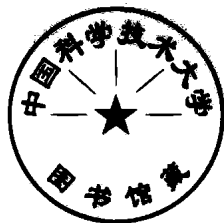
袁利金 蒋绍忠 编著

浙江大学出版社

系统动态学

——社会系统模拟理论和方法

袁利金 蒋绍忠 编著



浙江大学出版社

内 容 简 介

本书全面系统地介绍了系统动力学——社会系统模拟理论和方法。全书共12章,内容包括:系统的反馈结构和行为、流图、DYNAMO方程和语言、模型试验和控制、政策分析。同时,为适合各不同领域研究人员的需要,本书还介绍了部分典型案例,其中有引起全世界普遍关注的世界模型、工业企业生产经营及广告模型、市场销售模型和财务资金投资模型等。全书在各章后附有习题和思考题,并在附录中给出了大量实用资料,以供读者参阅。

本书内容丰富、资料翔实,是目前我国系统动力学方面较为系统的一本专著。因此,本书不仅可以作为各院校有关专业(管理工程、系统工程、国民经济管理等)的教材,而且适用于从事社会系统各领域(地区经济规划、城市经济、环境生态研究等)的研究人员和实际工作者。

系 统 动 态 学

——社会系统模拟理论和方法

袁利金 蒋绍忠 编著

责任编辑:李玲如

* * *

浙江大学出版社出版

浙江汤浦印刷厂排版,肖山东翔印刷厂印装

浙江省新华书店发行

* * *

开本:850×1168 1/32 印张:15.375 字数:385千

1988年12月第1版 1988年12月第1次印刷

印数 0001—3000

ISBN7-308-00163-6

C·013 定价:3.25元

序

系统动态学(System Dynamics)从 50 年代问世至今,已有三十多年了。而这门学科在我国的发展,是从 70 年代末才开始的。近 10 年来,我国系统动态学的理论研究和实际应用有了显著的进展,国外同行对此也有深刻的印象。曾和国外几位系统动态学的同行们讨论这个问题,大家都认为,这门学科之所以能在我国得到充分重视和发展,主要原因是近年来中国社会和经济正在经历一个巨大的变革,有许多社会经济问题需要系统地分析、研究。在这些问题的研究中,社会、经济和技术因素往往交织在一起,涉及的范围很广,影响的时间很长。对这类问题的研究,系统动态学的方法较之其他方法,有突出的优点。另外,我国对系统动态学表现出很大的热忱,似乎还同我们民族的素质和我们肩负的责任有关。记得一位外国系统动态学同行曾向我们抱怨,他们国家的政府负责人和公司经理们对系统动态学缺乏热情,其中重要的原因之一是,系统动态方法研究问题的时间跨度往往要比他们的任期长得多。他说,中国的情况不同,中国有悠久的历史,中国人一直具有系统和长远地考虑问题的传统和素质。他确信,系统动态学在中国将会有光明的前途。我想,这恐怕不仅仅是友好的言辞,也是相当中肯的见解。

自从我国恢复对外交流后不久,我系就开设了系统动态学课程,开展了这个领域的理论和应用研究。在这几年中,我们在系统

动态学的教材建设,教学内容,方法探索,计算机软件开发,研究课题的开展等多方面都积累了一定的经验。与此同时,我们还通过与国际上系统动态学同行的学术交流,随时注视着这门学科的最新进展。这次浙江大学出版社出版的《系统动态学》,就是我们这一系列教学、研究成果中的一个。这本教材是在袁利金老师的讲义的基础上,经过两年的试用,再由袁利金、蒋绍忠二位老师修订、补充后形成的。

毕竟,系统动态学在我国还是一门年轻的学科,即使在管理科学界,熟悉和了解这门学科的人也不很多,其他的人对它的了解更少。希望这本书的出版,不仅能为这门学科的教学和研究提供一本内容比较详尽、例子比较丰富的教材和参考书,还能起传播媒介的作用,使更多的人从中了解和熟悉这门学科,促进它在我国更加健康、蓬勃地发展。

许庆瑞

1987年4月于浙江大学

前 言

系统动态学(System Dynamics)的研究和应用越来越广泛。我国不少高校都开设了系统动态学课程。除了管理工程以外,自动控制、经济、生态、环保、人口等各专业都对这门学科表现出越来越大的兴趣。我们编写这本教材,就是希望把系统动态学介绍给各领域的广大读者,以满足读者了解和学习系统动态学的要求。

本书分为三大部分。第一部分由前三章组成,主要介绍系统动态学的基本思想和基本概念;第二部分是第四章到第八章,介绍 DYNAMO 语言;第三部分是系统动态学应用的一些典型案例以及有关系统动态学构模中一些比较深入的问题的讨论,第三部分包括第九章、第十章、第十一章和第十二章。

系统动态学的基本思想可以简要地表述如下:复杂系统的行为是由其内部多重因果反馈结构决定的。这一基本思想,使系统动态方法在问题辨识、构模的方法等方面都具有其独特的风格。这一基本思想,也使得系统动态方法区别于非线性系统在时域中动态模拟的其他方法。本书的第一部分,力图阐明这一基本思想。

对于一个具有复杂因果结构的系统,将会有什么样的行为?要回答这个问题,就不得不用计算机模拟的方法,来跟踪系统中各种因果关系相互作用而产生的系统的复杂行为。DYNAMO 语言就是根据系统动态学基本原理而设计的一种计算机语言。本书的第二部分,就是介绍 DYNAMO 的各种语句以及用 DYNAMO 编

写系统动态模拟程序的方法。可能有些读者耽心自己缺乏计算机方面的知识而造成学习 DYNAMO 语言的困难,这是不必要的。DYNAMO 语言是一种比较简单的计算机语言,即使没有任何计算机基础的读者,学习起来也不会有特别的困难。当然,如果具备一些其他计算机语言方面的知识和使用计算机的经验,⁵那肯定对学习 DYNAMO 是有帮助的。应该指出,象学习其他任何计算机语言一样,实际的编程和操作经验对于掌握 DYNAMO 是必不可少的。因此,学习本书的读者,应该有使用计算机(例如 IBM PC/XT 或 IBM PC/AT 等)的条件,还应该有一套相应的 DYNAMO 系统软件(例如用于 IBM PC/XT、AT 的 Micro-DYNAMO)。如果读者需要 DYNAMO 系统软件,我们可以提供帮助。

了解了系统动态学的基本原理并掌握了 DYNAMO 语言以后,就可以对一个实际问题,用系统动态方法构模、编程和进行分析了。系统动态学应用十分广泛,可以用于工程系统、生态系统、经济系统及其他各种社会系统。本书的第三部分,给出了系统动态学应用的案例,在选择这些案例时,我们注意了案例的代表性,所用方法的典型性及问题的多样性。其中一些案例是系统动态方法应用的著名例子。例如由福雷斯特教授主持研究的世界模型等。我们希望读者在研究了这些不同的案例以后,对于用系统动态方法构模和分析中的特殊方法和技巧有所得益。

这本书是在对管理工程专业的本科生和研究生讲课讲义的基础上形成的。讲义在学生中已讲过多次。在编写本书时,为了使本书适合更广泛的读者,对讲义的结构和内容都进行了重大的修改和补充。尽管如此,书中的缺点和错误恐仍在所难免。我们恳切地期待着读者提出批评,以期对本书进行进一步的修改和完善。

作 者

1988 年 8 月

目 录

第 1 章 导论	(1)
§ 1 系统动力学简介	(1)
1-1 系统动力学发展过程	(1)
1-2 系统动力学和管理科学	(2)
1-3 系统动力学和控制工程	(4)
§ 2 系统的概念	(5)
§ 3 社会系统的特点	(7)
§ 4 系统动力学研究方法	(10)
习题与思考题	(11)
第 2 章 系统的结构和行为	(12)
§ 1 系统的因果结构	(12)
§ 2 系统行为和系统反馈结构	(15)
2-1 系统行为	(15)
2-2 系统的反馈结构	(16)
2-3 正反馈系统的行为	(18)
2-4 负反馈系统的行为	(19)
§ 3 S 型增长结构	(23)
§ 4 多重反馈结构	(26)
习题与思考题	(31)
第 3 章 流程图	(35)
§ 1 概述	(35)

1-1 变量及其流图	(35)
1-2 水平与速率	(38)
1-3 流图基本规则	(40)
§ 2 正反馈结构流图分析	(42)
2-1 正反馈流图	(42)
2-2 一阶正反馈系统的微分方程描述	(43)
2-3 正反馈结构行为分析	(44)
§ 3 负反馈结构流图分析	(46)
3-1 一阶负反馈结构流图	(46)
3-2 二阶负反馈结构流图	(47)
§ 4 S型增长结构流图分析	(51)
§ 5 多重反馈结构流图	(54)
5-1 经营销售系统流图	(54)
5-2 经营销售系统行为	(59)
习题与思考题	(64)
第 4 章 DYNAMO 基本方程	(66)
§ 1 方程概述	(66)
§ 2 变量的时间描述	(67)
§ 3 水平方程	(71)
3-1 水平方程的描述	(71)
3-2 累积特性	(73)
3-3 平滑特性	(76)
3-4 变换特性	(77)
3-5 水平方程的建立方法	(79)
§ 4 速率方程	(81)
4-1 速率方程的描述	(81)
4-2 速率方程的特征分析	(83)
4-3 速率方程的建立方法	(98)

§ 5 辅助方程	(102)
§ 6 表函数	(106)
§ 7 参数和初值方程	(111)
7-1 参数	(111)
7-2 初值方程	(118)
§ 8 方程建立原则	(124)
§ 9 项目模型方程分析	(130)
9-1 系统结构	(131)
9-2 水平和速率方程	(134)
9-3 未知项目任务	(137)
9-4 项目完成任务	(140)
9-5 项目未完成任务	(141)
9-6 劳动力雇用	(144)
9-7 进度计划	(147)
9-8 模拟运行	(150)
习题与思考题	(151)
第 5 章 DYNAMO 语言	(157)
§ 1 什么是 DYNAMO	(157)
§ 2 DYNAMO 结构	(160)
§ 3 DYNAMO 语句	(166)
§ 4 DYNAMO 函数	(176)
4-1 数学函数	(177)
4-2 延迟函数	(178)
4-3 表函数	(182)
4-4 逻辑函数	(184)
4-5 试验函数	(185)
§ 5 DYNAMO 错误信息	(189)
5-1 DYNAMO 错误	(189)

5-2 变量错误	(190)
5-3 方程错误	(190)
§ 6 DYNAMO 模拟实例	(192)
习题与思考题	(198)
第 6 章 模型试验	(203)
§ 1 概述	(203)
§ 2 模型行为试验	(207)
§ 3 参数结构试验	(216)
3-1 参数极值试验	(217)
3-2 表函数结构试验	(222)
§ 4 参数灵敏度试验	(227)
4-1 参数和结构灵敏度试验	(229)
4-2 初值灵敏度试验	(234)
4-3 表函数灵敏度试验	(238)
4-4 参数不灵敏度试验	(240)
§ 5 有效性检验	(247)
5-1 一致性	(248)
5-2 适应性	(250)
习题与思考题	(257)
第 7 章 政策分析	(258)
§ 1 政策模型	(258)
1-1 政策准则	(258)
1-2 水平变量分离	(260)
1-3 充实动态假设	(265)
1-4 常数转变为变量	(269)
§ 2 参数政策分析	(271)
§ 3 表函数政策分析	(279)
§ 4 附加政策结构	(287)

4-1 附加政策参数.....	(288)
4-2 鼓励政策.....	(292)
4-3 附加小反馈环.....	(296)
4-4 估计策略.....	(301)
§ 5 政策强度	(309)
5-1 政策强度(Robustness)	(309)
5-2 项目备选策略	(312)
习题与思考题.....	(312)
第 8 章 系统动态模型的控制	(313)
§ 1 比例控制、积分控制和微分控制.....	(313)
§ 2 一阶和二阶积分控制的应用	(325)
习题与思考题.....	(330)
第 9 章 世界模型	(331)
§ 1 模型的基本结构	(332)
§ 2 模型的基本行为	(338)
第 10 章 工业动态模型	(341)
§ 1 生产销售系统结构	(342)
§ 2 动态系统模拟	(346)
2-1 基本理论.....	(346)
2-2 模型模拟.....	(351)
§ 3 系统行为分析	(363)
3-1 波动放大行为.....	(363)
3-2 周期销售行为.....	(366)
3-3 随机销售行为.....	(368)
3-4 生产能力限制.....	(370)
§ 4 工业动态系统行为控制	(372)
4-1 参数与结构控制.....	(373)
4-2 存贮控制策略.....	(375)

§ 5 广告功能系统	(378)
5-1 附加广告系统.....	(378)
5-2 广告模拟方程.....	(380)
5-3 广告效果分析.....	(385)
第 11 章 市场动态模型	(388)
§ 1 市场系统结构	(388)
§ 2 销售环节	(392)
§ 3 市场环节	(397)
§ 4 市场销售综合环节	(404)
§ 5 基本投资策略	(408)
第 12 章 财务动态模型	(417)
§ 1 概述	(417)
§ 2 财务系统结构	(420)
§ 3 资金限额系统分析	(425)
§ 4 资金限额备选方案	(429)
§ 5 财务策略	(432)
附录A: DYNAMO 宏函数	(435)
附录B: DYNAMO 错误信息及形成过程	(437)
附录C: 项目模型程序清单	(443)
附录D: 项目模型程序清单变量名中英文对照	(446)
附录E: 修正项目模型程序清单	(449)
附录F: 修正项目模型程序清单变量名中英文对照 ..	(453)
附录G: 存贮模型程序清单	(455)
附录H: 市场模型程序清单	(457)
附录I: 市场模型程序清单变量名中英文对照	(460)
附录J: 世界模型程序清单	(463)
附录K: Mini-DYNAMO 上机指南.....	(477)
参考文献.....	(481)

第 1 章 导 论

§ 1 系统动力学简介

1-1 系统动力学发展过程

系统动力学(System Dynamics)是美国麻省理工学院(M.I.T)以福雷斯特(J.W.Forrester)教授为首的系统动力学小组 50 年代起创立和逐步发展起来的一门学科。

福雷斯特教授原来从事电气工程。他在麻省理工学院学习时是专攻伺服机构理论的。这个领域的知识,无疑对他后来发展系统动力学具有重要的作用。另一方面,他本人说,经营管理的经验和知识是促使他形成系统动力学理论的又一个重要方面。而他的经营管理知识,则是来自他经营牧场的双亲,以及他本人 40 年代后在负责一台高速电子计算机的规划和管理中积累的经验。

系统动力学在发展的初期称为工业动力学。这一时期的研究以工业企业的经营管理问题为中心,如企业的劳动力雇用、订货、生产、销售策略等。

后来,研究的对象扩展到城市的发展、城市人口的变迁以及城市的环境污染等问题。这些研究的结果,反映在福雷斯特 1969 年发表的《城市动力学》(Urban Dynamics)一书中。在此期间,系统动力学这一名称也开始出现。

70年代,以福雷斯特为首的系统动力学小组开始把视线转移到全球问题。1973年,福雷斯特发表《世界动态学》(World Dynamics)一书。同时,福雷斯特的学生,麻省理工学院米都斯(D·L·Meadows)教授等人,在对全球性的经济、人口、粮食、资源、污染等问题进行动态和长远特性研究的基础上,发表了《增长的极限》(The Limits of Growth)一书,对这一系列全世界共同面临的重大问题及其长远发展趋势,用系统动力学的方法进行了研究。他们认为,由于人类生存空间的有限性,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,并不能及时地控制这些危机,即经济和人口的增长、土地和粮食的减少以及环境的恶化,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”(overshoot),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,为了保证人类的长期生存和满意的生活水平,全球的经济和人口在渡过了“超调”以后,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反响。目前,系统动力学已被世界各国所重视,理论和应用研究的成果日益增加,应用的领域已扩展到社会经济的各个方面。

1-2 系统动力学和管理科学

系统动态学的创立和发展,与管理科学有密切的关系。

福雷斯特在《工业动态学》(Industrial Dynamics)一书中指出,系统动态学的产生,主要是为了解决管理科学和实际经营管理相脱离这一问题。他认为,传统的经营管理,主要是一种艺术而不是一种科学。这主要表现在:

- 经营管理主要借助于经验而不是理论和方法。
- 各企业的经营管理方法不能互相套用。

- 经营管理的教育和实践实际上是脱节的。

同时，福雷斯特认为，在第二次世界大战中发展起来的运筹学，虽然与经营管理有关的理论和方法，但它有以下缺陷：

- 运筹学主要是处理经营管理中的具体业务，例如生产调度、原料运输、产品存贮和设备配置等等，但不能解决经营管理的总体问题和上层的经营决策。

- 运筹学太拘泥于寻求问题的最优解。为了得到最优解，不惜把问题简化，有时甚至可能简化到对问题毫无实际意义。

在《工业动态学》一书中，福雷斯特用图(1-1)形象地表示实际的经营管理和科学之间的关系。其中区域A表示实际经营管理的领域。区域B表示管理科学的领域，两者互相交叉的部分是很少的。在同一书中，

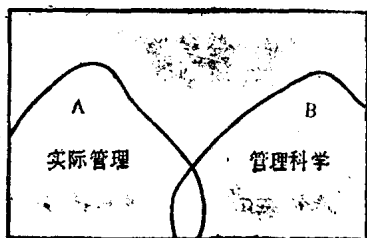


图 1-1 实际管理和科学

他还从以下几方面详细比较了两者的差异：

- 从事工作的人员

A 区域——企业家、实际决策人员。

B 区域——参与计划的专家、学者。

- 侧重的学科

A 区域——侧重社会科学、定性研究。

B 区域——侧重定量的模式和有教育价值的方法。

- 目标

A 区域——改进现实的状态。

B 区域——求得问题的通解或最优解。

- 对信息的利用

A 区域——一切有用的信息，无论是模糊的，提示性的或是确切的信息。

B 区域——忽视那些虽然是关键性的,但不能准确测定的信息。

• 成功的标志

A 区域——实际的盈利和经济的发展。

B 区域——论著的教育优美性。

• 文献范围

A 区域——经济和经营管理的商业报纸,描述性的书刊。

B 区域——运筹学和数理经济学的杂志和书籍。

• 所关心的系统特性

A 区域——认为非线性是事物发展的重要原因。

B 区域——忽略非线性行为,强调线性化的处理。

• 对事件的观察

A 区域——重视个别事件的作用。

B 区域——重视平均数、统计结果,而忽视个别事件。

基于以上分析,福雷斯特认为发展一种能反映实际经营管理特点的理论和方法是重要的。这就是他创立系统动态学的根本出发点。了解这一点对于全面、深入地领会系统动态学的实质是十分重要的。

1-3 系统动态学和控制工程

系统动态学和控制工程有密切的关系。控制工程中的许多概念和方法都在系统动态学中得到体现。例如两者都着眼于对系统的动态描述,都强调信息反馈对系统行为的作用。两者最大的区别是控制工程主要以工程系统为对象,研究动态系统所用的主要工具是拉普拉斯变换,并采用解析形式来给出微分方程的通解。而系统动态学主要研究对象是社会经济系统,这一类系统绝大部分都是非线性系统,系统分析的工具是用计算机直接模拟系统的时域特性,并采用图表来显示而不是用解析式来表示。

综上所述,系统动态学是一种研究社会经济领域中具有多重信息反馈的非线性系统的一种计算机模拟的理论和方法。