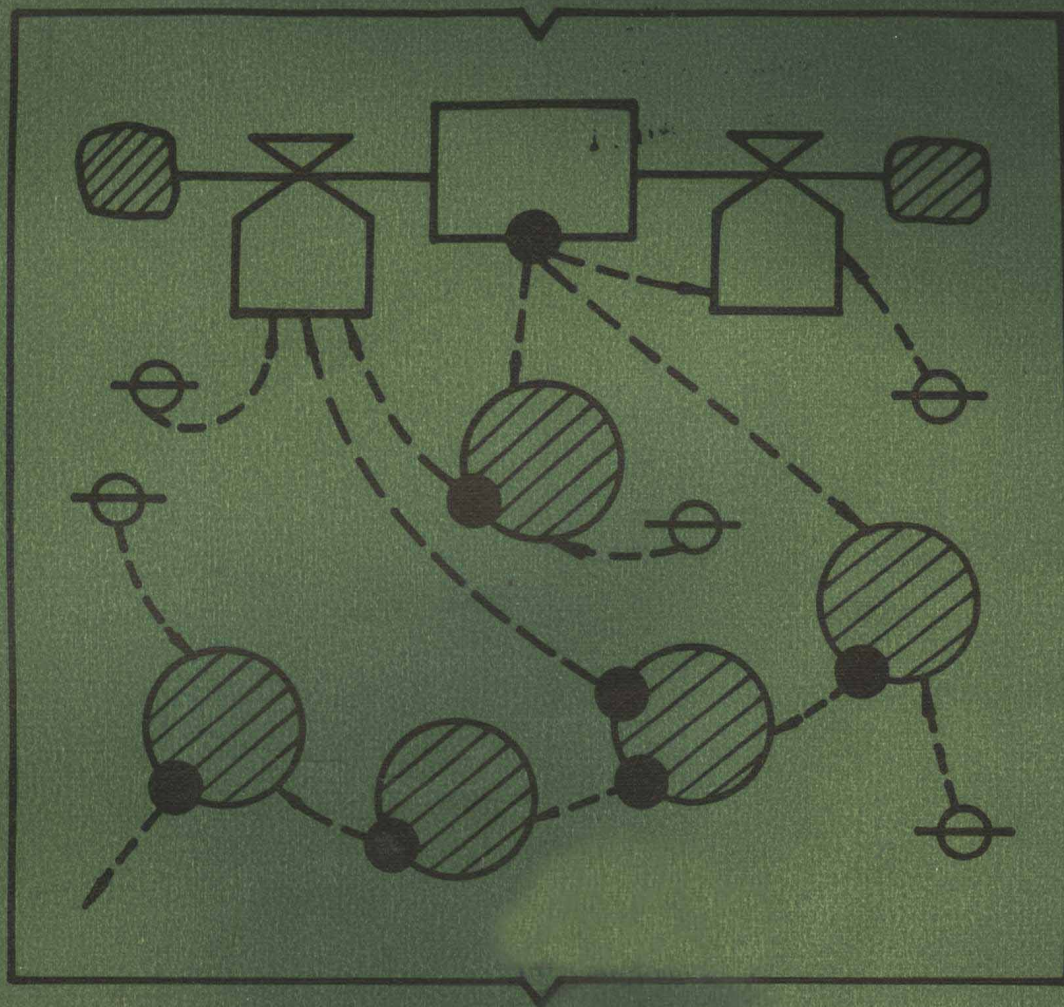


945727

N94
1030

A COURSE IN SYSTEM DYNAMICS



王洪斌 编著

系统动态学教程

哈尔滨工业大学出版社

N94
1030

6.00(28~)

系统动力学教程

王洪斌 编著

哈尔滨工业大学出版社

不能
丘最
寺最
PR
没
星
建
为
的
而
街
中

(黑) 新登字第 4 号

内 容 简 介

本书系统地阐述了有关“系统动力学”的基本理论和方法,并介绍了部分应用实例。系统动力学(国内也称系统动力学)是一门研究复杂社会、经济和管理等反馈系统动态行为的方法学,是系统科学的一个重要分支。本书内容包括:系统动力学导论、系统、模型、因果关系图、流图、系统动力学模型结构、方程和计算、DYNAMO 语言和动态反馈系统的仿真分析。

本书可以作为高等学校管理、经济、控制等各专业学生和研究生的教学用书;也可以作为各类干部培训学校和上述各类专业的教师和研究人员的参考书;也可作为工矿企业、事业和研究单位的管理干部的自学用书。

系 统 动 态 学 教 程

王 洪 斌 编 著

*

哈尔滨工业大学出版社出版发行

黑龙江省统计局印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 13.25 字数 321 000

1991 年 12 月第 1 版

1991 年 12 月第 1 次印刷

印数 1-1 000

ISBN 7-5603-0384-6/F·72 定价: 8.50 元

前 言

本书所讲述的系统动力学是一门研究复杂社会、经济和管理等反馈系统动态行为的方法学，是美国麻省理工学院斯隆管理学院 Jay w.福雷斯特教授在本世纪 50 年代末创立的。三十多年来，系统动力学的原理和方法在世界的范围内已经被广泛地应用于社会系统、经济系统、管理系统、企业系统、事业系统、城市系统、研究与开发系统、生态系统、生物系统和工程系统的分析、预测和决策中；系统动力学的原理和方法在制定研究与开发计划、制定反对城市发展停滞和衰落政策、制定国家、城市、地区和企业的发展规划和计划及研究系统长期发展趋势和进行长远发展研究等方面发挥了重要的作用。系统动力学三十多年来的发展实践已经充分地显示了它在分析和研究日趋复杂的社会经济系统中高层管理问题的有效性。

近些年来，我国的一些单位陆续开展了系统动力学研究，并做了一些基础性的工作。现在，我国除了引进了大量有关资料和 DYNAMO 语言软件包外，还自行开发和研制了这方面的软件，并相应地在许多大学和管理学院中开设了这方面的课程。另外，国内许多教学和科研单位已经应用系统动力学方法研究了我国的社会、经济和管理等问题，并取得了一些可喜的成果。这些成果已经在我国宏观社会、经济、科技、生态等领域的决策研究中发挥了重要作用，促进了在上述领域中决策的理性化和科学化。但是，从国内总的情况看，这方面的研究还不够深入，要用系统动力学的理论和方法解决我国更多的实际问题还需要做很多的工作。

目前，我国在系统动力学方面可借鉴的中文资料还比较少，各学校在专科生、本科生和研究生中开设系统动力学课程可用的教材不多，这严重地影响了学生和有关人员系统动力学理论和方法的学习。为了解决这方面的急需，并希望能引起更多人对该学科的关注和兴趣，我们试编撰了本书。

本书系统地讲述了系统动力学的基本理论和方法，并重点讲述了在反馈系统中产生的动态行为的基本原理及系统结构和动态行为的概念。在本书的写作过程中，注意了初学者的特点，系统性较强，叙述深入浅出，层次分明，所举例子简单明了。

该书内容曾在哈尔滨工业大学管理学院为研究生和本科生开设系统动力学课程时作为教材使用过。本书可供管理干部培训和高等学校有关专业教学使用，也可以供管理干部、教学科研人员参考。

本书由哈尔滨工业大学管理学院何绍元教授主审，在本书撰写过程中，王建华、王洪财、王泽彬和王洪义同志参加了部分工作，在此一并表示感谢。另外还要感谢参考文献中的各位作者，这些文献作者为本书提供了有益的素材。

由于作者水平有限，书中定有不妥或错误之处，敬请读者批评指正。

作 者

1990 年 1 月

7072/07

目 录

前 言

第一章 系统动力学导论.....	(1)
1-1 系统动态学的产生及发展.....	(1)
1-2 系统动态学概述.....	(3)
1-3 用系统动态学方法分析系统的示例	(14)
第二章 系统.....	(23)
2-1 系统的概念	(23)
2-2 静态系统和动态系统	(24)
2-3 开环系统	(27)
2-4 反馈系统	(29)
第三章 模型.....	(35)
3-1 模型和仿真	(35)
3-2 系统动态学的建模原则	(41)
第四章 因果关系图	(47)
4-1 概述	(47)
4-2 因果关系的表示形式	(48)
4-3 因果关系回路	(49)
4-4 因果关系图实例	(52)
4-5 小结	(55)
第五章 流图.....	(56)
5-1 流图概述	(56)
5-2 水平变量符号	(57)
5-3 速率变量符号	(57)
5-4 辅助变量符号	(58)
5-5 流线符号	(58)
5-6 信息取出标记	(58)
5-7 参数(常量)符号	(59)
5-8 源和汇点符号	(59)
5-9 在其他图中的变量	(60)
5-10 延迟符号	(60)
第六章 系统动力学模型的结构.....	(62)
6-1 闭合的边界	(62)
6-2 反馈回路—组成系统的基本结构单元	(63)
6-3 水平变量和速率变量—反馈回路内的子结构	(65)
6-4 目标、观测值、偏差和控制作用—速率方程内的次子结构	(69)
6-5 流线和信息联系线	(71)

第七章 方程和计算	(76)
7-1 方程中使用的符号	(76)
7-2 计算顺序	(77)
7-3 水平方程	(79)
7-4 速率方程	(81)
7-5 辅助方程	(83)
7-6 常量方程和初始值方程	(85)
7-7 量纲分析	(86)
7-8 求解区间的选择	(87)
7-9 参数和初始值的选择	(88)
第八章 DYNAMO 语言	(99)
8-1 DYNAMO 语言概述	(99)
8-2 DYNAMO 语言的基本规则	(100)
8-3 延迟类专用函数	(110)
8-4 非延迟类专用函数	(124)
8-5 其它类专用函数	(135)
8-6 模型仿真程序的调试	(152)
8-7 几种微机用 DYNAMO 软件的主要功能	(155)
第九章 动态反馈系统的仿真分析	(159)
9-1 系统行为的多样性	(159)
9-2 稳定性的概念	(160)
9-3 一阶负反馈系统	(164)
9-4 二阶负反馈系统	(176)
9-5 正反馈系统	(185)
9-6 简单的非线性反馈系统	(196)
参考文献	(206)

第一章 系统动态学导论

系统动态学是一门研究复杂反馈系统动态行为的方法学,在三十多年的发展历程中,它已经应用于社会、经济和管理等各个领域。在这章中重点介绍系统动态学的产生及发展、系统动态学概述和用系统动态学方法分析系统的示例。

1-1 系统动态学的产生及发展

系统动态学是根据英文“System Dynamics”译出的,国内也有学者译作“系统动力学”、“系统动态研究”或“SD”方法。系统动态学的概念和原理是在本世纪50年代末由美国麻省理工学院斯隆管理学院福雷斯特(Jay w. Forrester)教授提出的,当时将其称之为“工业动态学”(Industrial Dynamics)。在工业动态学的初始发展时期,人们的注意力主要集中在工业和经济系统方面,并应用工业动态学的原理和方法研究了在调节库存、调整生产、雇佣劳动力、扩大企业规模、销售产品和调整产品价格等过程中发生的不稳定问题。随着工业动态学的发展完善,工业动态学的理论和方法逐步应用于社会、经济、管理、科技和生态等多种领域。由于其应用领域的不断扩大,“工业动态学”这个名称也就很难反映它的实际意义了,因此,人们将“工业动态学”改称为“系统动态学”。

在1961年,福雷斯特教授撰著出版了本学科的第一本专著《工业动态学》。他在该书中系统地总结了前段的研究成果,为工业动态学的进一步发展奠定了基础。西方学术界对该书给予了很高评价。美国《管理科学》杂志在评价时指出:“《工业动态学》一书为对管理科学感兴趣的读者提供了向过去管理中的陈腐观念、荒诞之词和习惯势力挑战的工具。”此书获得了美国管理学会1962年最佳管理书籍年奖。此书现在已经成为本学科的一本经典著作,除在美国多次出版印刷外,还先后被译成几十种文字,在各国发行。

《工业动态学》一书出版后,工业动态学这一新学科逐渐被人们所认识。在其以后二十几年的发展过程中,人们在工业、农业、交通、能源、产品开发、城市规划、国民经济计划、人口、生态环境、自然资源的开发利用、国家发展、世界发展和管理等多种领域中探讨了工业动态学的理论问题和应用问题,并取得了显著的成果。国外许多杂志和书籍介绍了这方面的研究成果,这些研究成果分别代表了不同时期理论研究和应用研究的水平。

60年代是系统动态学的重要发展时期。在这一时期中,人们研究的主要对象是工业和城市范围的问题,其主要的代表作有福雷斯特教授著的《工业动态学》、《系统原理》(Principles of Systems)、《城市动态学》(Urban Dynamics)和诺德(Ole C. Nord)著的《新产品的增长——扩大生产能力的政策的影响》等著作;另外,还有雪马德撰写的《用于研究原料价格变化的工业动态学模型——一种情况的研究》^①和斯旺森撰写的《应用工业

^①Shimada, T., “Industrial Dynamics Model of Weekly Stock Prices, A Case Study”, Bulletin of the Lzumi Caboratory of Meiji University NO.42.1968.

动态学方法进行资源控制和销售政策的设计》^①等论文。上述著作和论文进一步完善了系统动态学理论和方法，开拓了系统动态学应用领域，为其以后发展奠定了坚实的基础。

70年代是系统动态学在理论与应用研究方面迅速发展的时期。在70年代初，福雷斯特的学生梅多斯（Dennis L. Meadows）教授在西方未来研究中影响最大的“罗马俱乐部”

（罗马俱乐部是在1968年由意大利大资本家帕塞伊邀请西方资本主义国家中知名的科学家、教育家、经济学家和垄断资本家等组成的一个非正式的国际协会，主要研究人类目前和未来的发展状况，并拟定有关人类境况的研究计划）的财政支持下，成立了一个国际研究小组，在福雷斯特教授用系统动态学方法建立的世界模型Ⅱ的基础上完成了世界模型Ⅲ的研究工作，并向罗马俱乐部提交了题为《增长的极限》的研究报告。在这个报告中他们介绍了其研究成果，阐述了他们对世界未来发展的看法。在模型Ⅲ中，他们研究了世界范围内人口增长、工业化、自然资源消耗、农业和环境污染五方面问题。其结论是，它们都在按“指数规律”甚至是“超指数规律”增长，按着这种趋势发展，用不了一个世纪，世界的发展将会达到极限。到达极限后，人口等各方面将会产生灾难性的衰落。同时，在报告中也提出了达到全球平衡和稳定发展的决定性条件。这个报告发表后在世界上引起了激烈的争论，持对立意见的学者认为其结论是“悲观主义”的结论。尽管争论双方的观点大相径庭，但在使用系统动态学方法建立世界模型这一点上是没有分歧的。罗马俱乐部执委会在对报告的评论中指出，这份报告中所使用的主要是定量方法，这是一种理解世界性问题所不可缺少的方法。后来，这份报告被译成34种文字，发行了600多万册，并被列为第31届联合国大会的文件。

在70年代，系统动态学的应用遍及了社会、经济、生态、科技和管理等各种领域。反映这一时期研究和应用情况的主要代表作有福雷斯特著的《世界动态学》（World Dynamics）和《Jay W.福雷斯特论文集》（Collected Paper of Jay w. Forrester）、梅多斯等著的《趋向全球的平衡》（Toward Global Equilibrium）和《在有限世界中的增长动态学》（Dynamics of Growth in a Finite World）及罗伯茨（Edward B. Roberts）编写的《系统动态学在管理中应用》（Managerial Applications of System Dynamics）等著作。

同时，在美国、日本、西德、南斯拉夫、波兰及欧洲的一些国家中都普遍进行了这方面的研究，并应用系统动态学方法建立了美国国家模型、西德国家模型、美国威斯康星地区能源规划模型、俄克拉何马州下一世纪规划等一系列应用模型。其中，由福雷斯特教授负责组织建立的美国国家模型是诸模型中的佼佼者。这个模型是从1972年开始研究的，历时十一年时间，建立了一个方程数达4000之多的全国模型。在模型研究过程中曾得到了几十家企业公司和本国及国外政府的财政资助，耗资约600多万美元。在这个模型中最有价值的研究成果是，揭示了美国与西方国家经济长波（long wave）形成的内在原因。由于系统动态学在全国模型和西方经济长波理论研究方面取得了巨大成就，使得这门学科在80年代有了更大发展，达到了更加成熟的水平。

80年代，在理论研究方面，系统动态学正在加强与控制理论、系统数学和突变理论的联系，同时也在加强关于耗散结构、结构稳定性分析、灵敏度分析与参数估计、最优化

^①Swanson, C.V., "Design of Resource Control and Marketing Policies Using Industrial Dynamics", Industrial Management Review, Spring 1969.

技术应用和专家系统方面的研究。在应用研究方面,其研究对象日趋广泛。

系统动态学发展到现在,已经受到了人们的普遍重视。在美国麻省理工学院斯隆管理学院中,系统动态学方面的教学计画是斯隆管理学院四类教学计画中的重要一类,在学院的博士生、硕士生、本科生、高级行政人员和访问学者的培养计画中,都相应地安排了不同层次的系统动态学方面的课程。在世界范围内,现已有许多所较著名的院校开设了系统动态学方面的课程,开始了这方面的研究工作,并取得一些重要的研究成果。

随着系统动态学的发展,国家间的学术交流也越来越多。在国际上,成立了“系统动态学协会”(The system Dynamics Society),每年召开一次“国际系统动态学年会”,交流系统动态学的研究和应用成果。

在我国,有关系统动态学方面的研究开始于1980年。近些年来,我国在这方面做了大量的工作,主要表现在如下几个方面:

(1) 引进了部分有关资料,引进了 MICRO-DYNAMO、PD PLUS、DYSMAP2、STELLA 和 DYNAMO II、III 等专用软件,并自行设计了一些专用软件;

(2) 翻译和编写了部分教材;

(3) 在几十所大专院校和科研单位的本科生和研究生中开设了这方面的课程,并多次举办了全国性的讲习班;

(4) 开展了这方面的科研工作,建立了国家总体模型、省和地区级发展战略研究模型、省级能源模型、环境预测模型及科技、工业、农业和林业等行业发展战略模型,并取得了一些初步成果(1986年8月,在上海召开的“全国系统动力学学术讨论会”上140多名代表提交了95篇有关理论和应用研究方面的论文;1987年6月,在上海召开的国际学术会议上我国代表交流了29篇文章,占会议文章数的45%;1988年7月,在美国圣迭戈召开了学术年会,我国有10名代表参加,交流论文十几篇;1989年7月,在西德斯图加特召开的学术年会上,我国学者交流论文14篇,有4人参加会议);

(5) 在一些单位组建了专门研究机构和教学机构。

近几来,由于社会发展的需要,系统动态学在我国有了迅速发展,在国内初步形成了一支系统动态学方面的研究力量,创造了一些用系统动态学理论和方法进行科研和教学的基本条件,为其在我国的推广和应用奠定了基础。从现在的发展趋势看,我们相信,经过其努力系统动态学必将会在我国社会、经济、科技、管理和生态等领域问题的研究中发挥更大作用。

1-2 系统动态学概述

一、系统动态学及其研究问题的思路

系统动态学是在信息反馈控制理论、决策理论、仿真技术和电子计算机应用的基础上发展形成的一门边缘学科。系统动态学将用定量和实验的方式研究社会、经济和管理等活动中的信息反馈特性,研究系统的组织结构、政策的加强(amplification)作用及在决策和行动中的时间延迟作用对系统的增长和稳定性的影响,即对系统动态行为的影响。在系统动态学中使用的“系统动态行为”是指系统中变量受系统的组织结构和运行规律支配而外现的变化情况,在这里主要强调了随时间变化(或动态)的行为。这里讲的系统行为的意义

同一般讲的人的行为的意义基本相同（人的行为是受思想支配而表现在外面的活动）。

从系统动态学的观点出发，认为所有社会、经济和管理等系统都是反馈系统，其系统的动态行为特性是由该系统固有的、有规则的、并且是可以识别的结构决定的。系统结构是指系统各组成部分之间和反馈回路之间的联系方式。在系统中，这种相互联系的方式往往比各部分本身的特性更重要。

实际中，借助于系统动态学方法和系统设计的概念，管理人员和系统分析人员将能够建立起一座“管理实验室”(Management Laboratory)或“社会实验室”(Social Laboratory)，并在“实验室”中试验他所制定的各种政策，定量地描绘出各种政策对未来发展的影响，为制定确实可行的政策提供科学的依据。在实验的基础上，加之决策者的经验、天赋和判断，则可以做出符合实际的决策，从而减少决策的失误。

上述的“实验”概念起源于工程学中的“系统设计”的概念和方法。在传统的工程技术领域中，工程技术人员和科学家要完成一项工程项目，他们必须经过图 1-1 所示的过程。在此过程中，工程技术人员和科学家主要做了以下几方面工作：

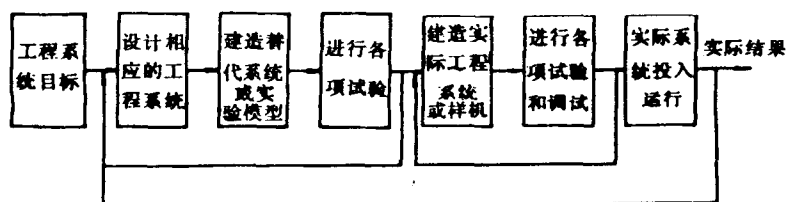


图 1-1

- (1) 根据工程目标确定实现目标的基本途径和方法；
- (2) 确定组成相应工程系统的组成部分及各组成部分之间的相互联系；
- (3) 确定系统内部控制的依据和原则；
- (4) 在设计中不简单地强调某一组成部分的作用，而充分发挥各组成部分在系统中作用，具体设计出系统的各组成部分，使各组成部分构成一个协调一致的整体；
- (5) 建造替代系统或实验模型；
- (6) 用替代系统或实验模型进行各项试验，检查所设计系统实现目标的程度；
- (7) 修改或完善设计；
- (8) 建造实际系统和样机；
- (9) 用实际系统或样机进行试验和调试；
- (10) 实际系统投入运行；
- (11) 实际运行结果同目标相比较，不断完善系统。

在上面设计和建造工程系统的过程中，工程技术人员在设计了工程系统后并不直接建造实际工程系统，而是首先建造替代系统或实验模型，在此之后，用替代系统做试验，以取得设计结果的试验数据；在将工程系统目标和设计结果比较后，若发现偏差则需改进设计；在试验结果与目标一致时，再开始建造实际系统或样机，用实际系统或样机做实验；在满足目标要求后，系统投入运行。上述设计和建造工程系统的全过程是工程学领域普遍采用的过程，这个过程主要分为四个阶段：(1) 提出任务阶段；(2) 设计和实验室阶段；(3) 实际系统建造和调试阶段；(4) 系统投入运行阶段。采用上述过程的主要优点是：

(1) 首先用替代系统做试验相对于用实际系统做试验来说, 简单易行;

(2) 系统设计成功的机会比较大;

(3) 在系统设计不成功时, 各方面的实际损失比较小;

例如, 一个工程问题是建造一个速度自动调节系统。在这个系统中, 控制对象是已知的, 是电动机的转速, 要求设计系统的其它部分, 并且设计出来的整个系统在完成给定任务的过程中, 满足给定的技术要求。

对于上述系统, 工程技术人员将按下述步骤进行控制系统的设计:

(1) 认真分析技术要求或性能指标, 其中技术要求和性能指标包括绝对稳定性、相对稳定性和稳态误差等;

(2) 了解给定对象和系统中其它元件的动态特性, 其中包括元件的设计参数;

(3) 建立系统数学模型并用数学方法进行系统设计, 从而获得设计问题的数字解答;

(4) 将系统数学模型输入至计算机, 对设计出来的系统进行在各种信号和扰动作用下的响应测试;

(5) 通常系统的初型是不能令人满意的, 因此必须对系统进行再设计, 并完成相应的分析。这种设计和分析过程需要反复进行, 直到获得满意的系统时为止;

(6) 建造实际系统或样机;

(7) 用实际系统或样机进行实验, 看其是否能够满足性能要求, 如果满足要求, 设计便告结束, 否则, 就必须对实际系统或样机进行修改, 并重新试验。这样的过程一直要进行到系统样机完全满足要求时为止。在这里, 建造系统或样机的过程是建立系统模型的反过程, 系统或样机是实际系统, 它只是在一定的精度上代替了系统的数学模型;

(8) 实际系统投入运行;

(9) 不断改进完善系统。

在上述的过程中, (3) 至 (5) 步是工程技术人员用模型替代实际系统进行设计、试验和再设计阶段, 在这个阶段中, 工程技术人员通过改变模型的结构和参数可以方便地讨论各种设计方案的实际效果, 为确定合理的设计方案提供了科学的依据, 为成功建造实际系统奠定了基础, 从而将避免用实际系统做试验的损失。

类似于上面工程问题的例子在工程学领域中是不胜枚举的。在工程领域中, 实验室中的试验是工程系统设计中极其重要的环节, 一般来说也是必不可少的环节, 所有的工程技术人员都十分重视这种“实验”。

在社会、经济和管理等系统的分析设计中, 管理人员和社会学家主要解决下面问题:

(1) 在一定的系统目标的情况下, 设计和组建一个新的系统;

(2) 按照一定的要求, 通过改变控制政策和控制原则改变现存系统的行为;

(3) 按照一定的要求, 通过改变系统的结构和参数改变现存系统的行为。

实际中, 由于社会、经济和管理等系统是十分复杂的, 同时人们又缺少进行上述实验的有效工具, 因此, 在解决这类复杂的系统问题时一般采用图 1-2 所示的过程。通过比较图 1-1 和图 1-2 所示的过程可以看出, 在分析和设计社会、经济和管理等系统的过程中缺少建造替代系统和进行试验的环节。产生这种情况的原因是人们难于找到社会、经济和管理系统的替代系统, 也难于用“替代系统”试验各种设计方案和多种控制政策的实际效果。在这种情况下, 要对各种设计方案或各种控制政策的优劣进行检验则必须采用“用实

际系统做试验”的方式，即用实际系统的运行进行检验的方式。

实际中，采用图 1-2 所示的过程分析和设计社会和经济系统时，有时也能达到预想的结果。但是，要理想地达到预想的结果是十分困难的。这是因为，在采用上述方式进行系统的设计和分析时，管理人员和决策人员要在实际系统上做试验，因此不得不小心从事，而以试误法(trial-and-error)确定其设计方案和控制政策的结果是，使得大部分解决系统问题的方案是渐近和不完整型的(piecemeal)，而不是整体型和系统型的；即使这样，在一般情况下也难以保证设计和分析的正确性。

对于上述讨论社会经济系统的方式来说，主要存在以下几方面的缺点：

(1) 用实际系统做实验，一般来说都是十分困难的，有时也是不可能的，即存在不允许做试验的系统，例如，在研究制止世界性战争

的对策时，则无法在实际的世界系统中做各种对策效果的试验。另外，在我国进行长江三峡水利工程的可行性论证时，也无法用实际系统做有关长江三峡工程对社会、经济、生态环境和地震等因素的影响程度的试验；

(2) 用实际系统做实验，实验时间太长，这是因为有些控制政策的实际效果需要几年甚至几十年的时间才能显现出来。例如，要了解一个国家的自然资源开发利用政策的效果，一般需要几十年甚至上百年的时间；

(3) 在系统设计不成功或制定的政策和控制原则有误时，其社会经济等方面的损失是十分巨大的。例如，象我国“大跃进”等几次比较大的决策失误都造成了数以千亿计的重大经济损失。但这还只是物质财富方面可以计算出来的损失，另外还有许多无形的损失，比这影响更为严重，因而使我们至今仍不得不努力消除这些错误所造成的后果。

由于在社会经济和管理系统的分析和设计中采用图 1-2 所示过程存在许多弊端，因此人们一直在探求试验、分析和设计上述系统的方法。系统动力学方法是试验分析和设计社会、经济和管理等系统的一种重要方法，这种方法在图 1-2 所示的第 (1) 和第 (2) 环节之间架起了桥梁，使在社会经济系统的分析和设计过程中的“试验”成为可能，从而也使系统分析人员和决策者能够像工程技术人员一样地设计并控制社会经济系统。

二、系统动态学的研究对象及其特点

系统动态学的研究对象已经在的前面的内容中作了初步介绍。在这里归纳总结如下：

(1) 系统动态学的研究对象主要是动态反馈系统；

(2) 从系统动态学研究所涉及的领域看，研究对象主要是社会、经济、管理、科技和生态等反馈系统；

(3) 从系统动态学研究所涉及的范围看，其研究对象主要是世界、国家、地区和城市等反馈系统。

实际中，系统动态学的研究对象是十分广泛和十分复杂的，人们很难从不同的角度完整地列出所有的研究对象。在这种情况下，为了更好地分析和把握系统动态学的研究对象，需要对其研究对象的特性有深入的了解。在通常的情况下，系统动态学的研究对象具

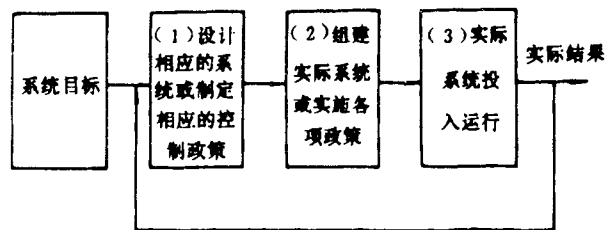


图 1-2

有下述四个特性:

(1) 复杂性。复杂性主要表现在两个方面。一是在系统中包括有许多因素。例如, 在一个企业系统中包括有产、供、销等子系统, 其子系统中又分别包括有技术、设备、人员、原材料供应、动力、能源、采购人员能力和推销员能力等因素; 除系统内的因素外, 还存在有系统的环境因素。这些因素都将影响系统的行为。另一方面是系统的各因素之间存在有错综复杂的联系。通过上述联系, 系统中因素组成了多个反馈回路, 这些回路在系统运行的各个阶段所起的作用不完全相同, 因而使系统行为产生不同形式的变化。

(2) 动态性。动态特性反映了事物总在不断发展和变化的自然规律。根据辩证唯物主义的观点分析可知, 世界是永恒运动着的物质世界; 运动是物质存在形式, 是物质的根本属性, 也是物质多样性的表现; 物质的运动是客观的、绝对的、永恒的、普遍的; 整个宇宙从微观世界到宏观世界, 从无机物到有机物, 从生物界到人类社会以及人的思维, 无一不在运动着, 无时不在发展变化着; 同时, 物质的运动必定采取一定的形式, 物质运动的形式是多种多样的, 运动形式的质的多样性是由不同运动过程的矛盾的特殊性决定的。系统动态学的研究对象是物质世界的一部分, 也确实处于不断发展变化的过程之中。这种发展变化的具体表现是, 应用系统动态学方法研究的系统是动态的反馈系统, 系统的因素、结构和行为都是随时间而变化的, 这同用其它某些方法研究的静态系统是有本质上的差别的。

(3) 非线性。非线性特性描述了用系统动态学方法研究的系统中许多因素之间存在着的一类重要关系。这种非线性关系对系统的行为有着重要的影响。在实际中, 社会、经济和管理等系统都是非线性的系统, 在这类系统中存在有许多非线性关系。例如, 在一个企业系统中, 某种产品的产量与利润之间的关系就是一种非线性关系, 如图 1-3 所示。在系统中存在非线性关系时, 要分析和设计系统通常是十分困难的, 这是因为现代的数学方法和现有的系统研究方法还不能普遍地解决非线性问题。

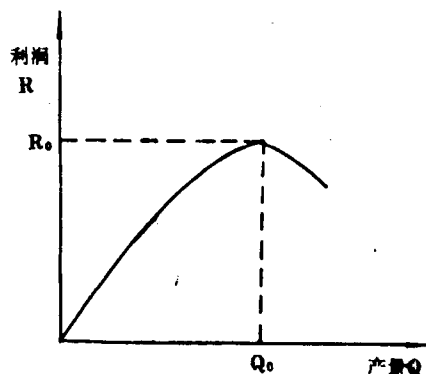


图 1-3

因此, 人们在研究这类问题时常常忽略其系统中的非线性关系, 或将非线性关系线性化。这种研究问题的方法在某些特殊情况下也是可以得到一些有益的结论的。但在多数情况下, 却难以得到有关系统研究的正确结论。

(4) 时滞性。时滞特性也是延迟特性, 它描述了系统或系统的某一部分需要一段时间才能反映激励信号的作用的特性。例如, 在一个企业系统中, 企业为了适应市场的需要, 而投入一定资金扩大生产能力, 从资金投入到形成生产能力共用了 2 年时间, 这 2 年时间则是在投资到投产 (提高生产能力) 之间存在的滞后时间。在社会系统中, 公布实施某项政策后, 要使其政策真正落实也是需要时间的, 这时间也是滞后时间。这种特性说明, 实际事物从一种状态变为另一种状态需要一段时间, 不能瞬间完成。这种特性对系统的行为将产生重要影响, 也会给正确的控制带来困难。

上面分别讲述了系统动态学研究对象的四个特性及它们对系统行为可能的影响, 实际

中它们是综合影响系统行为的,因此上述的系统行为特性是很难把握的。

三、分析研究动态反馈系统的困难

在系统动态学的研究对象——动态反馈系统具有上述四个特性的情况下,分析和研究动态反馈系统的动态行为是比较困难的,其主要困难有以下六个方面。

(1) 系统所呈现的动态行为常常具有反直观的特性,即系统动态行为常常与直观想象的结果相反。例如,某工厂在进行市场调查时,了解到某种产品是畅销的,因此,该工厂转产这种产品,以便获得较高的利润;但是在生产出产品时,市场又发生了变化,出现了产品滞销的情况,因此该工厂不但没有获得更多利润,还出现了亏损。另外,在一些国家中采取了禁止外国汽车进口的政策,目的是保护本国汽车工业的发展;在采取上述政策后,本国的汽车工业是否会发展得更快呢?许多事实说明,上述政策有时也是不成功的,即在实行上述政策后,使被保护的厂商独占本国市场,没有竞争的压力,因此使本国汽车工业发展缓慢,也延缓了本国相关工业的发展。

(2) 改变系统中的参数,有时不能明显地改善系统的行为。在这里讲的改变系统中的参数,实际上是改变系统中某些部分的能力和函数。例如,在一个公司中,向公司订货的订单出现了积压现象,公司则要通过增加职员和加班的办法加快订单的处理速度。在采用这种办法后,有时也很难明显地提高整个公司的货物销量和利润水平。其原因是,一个公司是一个协调运行的系统,只提高某一个部门的能力,其作用有时是不明显的。这也说明系统中可能还有其它限制因素,在原有的主要矛盾解决后,又出现了新矛盾。

(3) 系统对政策和措施的改变常常具有顽强的抵制特性。这种抵制特性描述了事物发展过程中的“惯性”作用。例如,在我国进行改革的过程中,一些企业要通过改变用人制度,提高整个企业的经济效益。其具体措施是,按干部“四化”的要求调整企业的领导班子,将一批懂专业、懂管理、德才兼备的中青年人才选拔到领导岗位,改变领导班子的结构。在采取上述政策和措施的情况下,一般说应该使企业有新的局面,但实际中的效果有时是不明显的。这种结果的出现应该说是有多方面原因的,其中的一个重要原因是,在人们的头脑中还存在着不相信中青年能力的“习惯势力”。在这种习惯势力的影响下,人们常常不能正确认识上述政策和措施的意义,不能自觉地支持这些青年人的工作,因而形成了执行上述政策的阻力。这种阻力将会延缓企业的发展。

(4) 为改善系统行为而采取的政策措施的作用有时也会完全被系统内部的力量所抵消。例如,在一些企业中,为了调动职工的积极性,提高工作效率,采取了加发工资和奖金的措施。在这种措施实行后,有时由于企业内部分配不合理,造成人与人之间关系紧张,领导没有威信,因此,这种措施不能有效地提高工作效率和改善系统的行为,在极端的情况下,可能引起相反的结果。

(5) 系统对政策变化的短期反应常常与其长期反应不一致,甚至是相反的。也就是说,实际中为了治标而采取的政策常常会妨碍长期性治本方案的执行,同样,为了治本而采取的政策,在短期内又不易见到显著的效果,而失去继续执行其政策的信心。例如,在我国的住宅建设中,若实行大量建造低标准住宅的政策,将有利于缓和当前人民住房紧张的状况,即可以更快地解决人们住房的有无问题,但从长远看,这种政策是不利于未来的。这是因为低标准的住宅使用年限较短,未来拆除的数量增多,要保持一定的住宅使用面积则必须建设更多的住宅。另外,在未来拆除的低标准住宅中,一部分是由于自然损坏

而拆除的，另一部分是由于不能适应提高住房标准的需要而拆除的，因而也造成了不应有的损失。那么，从长远看，应实行大量建造高标准住宅的政策，显而易见，这种政策是不利于解决当前人们住房有无问题的。这是因为在资金有限的情况下不可能建造更多的高标准住宅。实际中，我国应该采取哪种政策呢？这是人们十分关心的问题。在这里我们说，在我国不能简单地采用上述的某一政策，而必须采用长短兼顾的政策。具体地说，在住宅建设中，低标准和高标准住宅的建设数量应该有适当的比例。另外，当前我国十分重视干部和工人的在职培训问题，并已经做了大量的工作。从长远观点分析，这项工作是提高所有企业素质的重要工作，必须做好；但从当前看，这项工作是无益的，这项工作不但需要企业付出培训经费，而且还要影响当前的工作安排，因此常常使在职培训工作流于形式。那么，如何统一协调这种长短期的矛盾呢？这也就是常常成为决策者和管理人员必须考虑的核心问题之一。

(6) 在系统中确实存在着一些极其重要的政策引入点(policy entering points)和一些改善系统行为的政策，但不易确定。上述困难似乎说明，分析和把握反馈系统的动态行为是十分困难的，有时是无能为力的。事实上，反馈系统的动态行为并不是不可控制和不可改善的，但是要真正地控制和改善系统行为也不是轻而易举的。例如，在十一届三中全会后，我党陆续地提出了在我国要实行经济体制改革和政治体制改革的指导方针，这一指导方针充分反映了全国人民的心愿，人民在实践中也深感改革的重要。但是，当前如何进行改革，如何改革才会更有利于我国的发展等问题还没有完全解决。在这里也可以说，改革将会给我国的发展带来生机，但是满意、合理和相对最优的改革方案是难于确定的。

分析反馈系统动态行为的上述困难极大地妨碍了人们对社会、经济和管理等领域中关键问题的研究和解决。系统动态学提供了研究和解决上述问题的基本方法。

四、系统动态学在系统分析和设计中的作用

系统动态学在系统分析和设计中的作用主要体现在以下几方面：

(1) 通过分析现存系统建立系统的动态仿真模型，借助于模型仿真分析现行系统的稳定性及其发展趋势；

(2) 借助于模型，仿真各种政策和系统结构的变化对系统动态行为的影响，为制定满意、合理、相对最优的政策和长远发展规划提供科学的依据；

(3) 借助于模型，通过综合分析和试验，设计合理的社会、经济和管理等系统；

(4) 通过分析系统结构、政策变量、放大(amplification 或增强)因素和延迟因素变化对系统动态行为的影响，加深对系统整体性的理解。这个作用是采用系统动态学方法分析系统的一个重要作用。在采用系统动态学方法分析系统时，人们是通过分析系统的微观结构来分析系统的宏观行为的。在一般情况下，系统微观结构的变化将会在系统中引起一系列的连锁反应，最后都将直接或间接地影响到系统的行为，这种影响可以在试验中直观地呈现出来。其显现的结果也将进一步说明，在系统的高阶层管理中，人们不能只凭直观想象推测出系统的整体行为。实际中，人们即使对于系统的每一单独部分都有十分的了解，也难于推测出整个系统随时间变化而变化的动态行为。

五、系统动态学的发展基础

有关系统动态学的发展基础，现在有多种观点，在此我们以福雷斯特教授的观点为据介绍系统动态学的发展基础。

1、信息反馈控制理论

系统动态学的第一个最重要的基础，是在第二次世界大战中及其以后发展起来的伺服机构的理论，即信息反馈系统的理论。根据信息反馈系统理论分析，认为系统中的延迟作用、放大作用和系统的结构等对系统的动态行为有重要的影响，系统的各组成部分之间的相互作用关系比系统各组成部分本身的特性更重要。在这里，系统的基本结构是将管理领域中各分离的侧面结合为整体的框架，而信息反馈系统的理论则是构成系统基本结构的最重要的基础。

在反馈系统的研究中，人们为了实现其控制目的而必须研究利用信息的方式。人们通过这种研究可以使其了解到，在系统相互联系的组成部分中，校正作用和时间延迟引起系统不稳定的波动的原因。

例如，驾驶员和汽车可以组成一个保证正确行驶方向的信息反馈系统。在正常的情况下，这个反馈系统是由一个从汽车方向盘到汽车、街道、眼睛和手而后又返回方向盘的控制回路组成的。在一般情况下这个系统是能够正常运行的。但是，如果稍稍改变一下这个系统的结构和时间延迟，将会对这个系统的运行产生什么影响呢？我们假定将驾驶员的眼睛遮住了，驾驶员要根据前座上的伙伴的指令驾驶。在做了这种改变后，相当于在观测者的眼睛和驾驶员的大脑之间加入了由声音和耳朵引起的短暂的信息延迟和较大的信息失真。在这种情况下，驾驶员驾驶的汽车将会出现在正确方向左右摆动的情况。类似的情况，在企业和其它社会经济系统中也都是存在的。一般高层的决策者都不能直接地了解到实际情况，而是要通过下层机关和人员反映的情况了解实际。通过这种方式了解到的结果（信息）与实际情况相比，严格地说都有时间延迟和信息失真，高层决策者根据上述信息对复杂反馈系统进行简单的决策，通常是难使系统正常工作的。实际中高层决策者要使上述系统长期、正常和稳定地运行，一般都需要自觉或不自觉地应用信息反馈控制理论和方法，分析和设计上述系统。

控制理论(Control Theory)属于普遍化的科学，与一般讲的“控制论”(Cybernetics)具有相同意义。控制论的奠基人 N.维纳定义控制论为：“在机构、有机体和社会中的控制和通讯的科学。”实际上，控制论也是研究系统的调节与控制的一般规律的科学。在控制理论中，反馈的概念是特别重要的概念。

从控制论的观点看，世界是由能量、物质和信息这三种成分组成的。这显然地不同于世界是由物质和能量组成的古典观念。信息概念是控制论的一个基本概念。

控制论是一门控制科学，它不一般地研究一切系统，而只是研究控制系统。控制系统的一个特征是，在控制作用的影响下，它能改变自己的运动和进入各种状态。例如，由于不同的驾驶作用，一辆汽车可以处于各种空间位置，可以向不同方向或以不同速度运动。

应用反馈控制理论分析和研究系统的基本特征是，它不仅在静态中考察和分析系统，而且也在运动和发展中考察和分析系统。在运动和变化中考察系统，从根本上改变了研究系统的方法。应用反馈控制理论和方法研究系统，在某些情况下还可以揭示出某些关系和事实，不然的话则不能发现这些关系和事实。如果实际中不考察系统内部组织的动态特性，那么象稳定性这样的系统特性就不能被揭示出来。而稳定性对于评价许多系统的工作能力和阐明系统长期稳定运行的可能性来说都是十分重要的。

随着控制论的发展，现在一般说来可将其分为“古典”控制理论、“现代”控制理论和大

系统理论三部分。系统动态学的发展基础是信息反馈控制理论，其中最重要的是“古典”控制理论部分。这是因为在系统动态学的“工业动态学”发展阶段，古典控制理论处于其发展的成熟阶段，现代控制理论和大系统理论则处在初始研究阶段。但是，在这里也必须看到，现代控制理论和大系统理论对系统动态学的后期发展也是有着极其重要的影响的。

2、决策理论

系统动态学发展的第二个基础是决策理论。决策理论是研究、探索和寻求做出正确决策的规律的科学。决策理论的发展最初主要起源于军事上的需要。在第二次世界大战以后，由于国际军事形势的变化和新式自动化武器的发展，使得有关战争威胁的估计、武器的选择、敌我的分辨、攻击目标的选择等问题不能完全依赖于指挥官或将军们的直觉判断来决定。事实上，要求一位将军在面临战争的压力下凭直觉迅速地对上述问题做出正确的决策，几乎是不可能，因此，需要研究军事决策的决策过程和自动化，使军事决策的速度和正确性能够适应战争发展的需要。

决策理论的发展除了与军事上的需要有关外，还与社会、科技和管理方面的需要有关。在第二次世界大战以后，由于科学的工业化和工业的科学化，在生产领域中开始出现了电子、激光、原子能、自动化、计算机和宇航等工业部门。这些部门的出现也进一步促进了科学和技术的迅速发展。由于科学技术的发展因而也需要人们能够采取更迅速、更有效和更自觉的综合行动。1957年，苏联第一颗人造卫星上天，更加促进了世界工业与科学的发展，同时也大大地促进了决策理论的发展。

为什么科学技术的进步与社会生产规模的扩大会促进决策理论的发展呢？这主要是因为当代科学技术为生产和生活提供的高速性，要求人们的各种决策活动快速完成，否则就会失去控制而造成巨大的损失。例如，赶驴车的人可以坐在车子上，在郊外的小路上缓缓而行，悠闲自得，甚至睡上一觉，也不会失误。因为他有充裕的时间来决定车的运行和操纵他的手腕。一个汽车司机驾驶着汽车在高速公路上行驶，就不能象赶驴车的人那样从容悠闲，他必须反应敏捷，快速做出决定，及时调整方向盘。驾驶员不用说睡上一觉，就是稍一闭眼失神，就有可能造成车毁人亡的重大的事故。对于一个战斗机的驾驶员来说，单靠他个人收集的信息就不够了。他不但要借助于大量的仪器和仪表帮助他收集外部和内部的信息，而且还要有地面站的指挥系统协助他收集各种信息，并通过无线电向他提供信息。只有这样才能使他及时地做出正确的判断，做出正确的决定，实施正确的操纵。这些在当代虽已是人们的常识了，但它却说明了一个深刻道理：当代科学和技术为人类的生产和生活实践提供的高速度，使得今天的一切都在加速变化，这就要求人们的决策活动加快步伐，也就是说，不但要迅速地收集今天的动态变化信息，迅速地分析这些信息，而且还要迅速地做出判断与决定，以便把握动态系统的发展。

实际中，为了适应生产、科学和战争的需要，为使领导者能够把握瞬息万变的动态过程，迅速及时地做出正确的抉择，各种决策方法——运筹学、博弈论、系统分析、网络技术和现代数学等也相继出现。与此同时，决策的辅助工具和有力手段——电子计算机、自动化技术和人工智能等也得到了飞速发展。这些发展进一步促进了决策理论和决策应用的发展。系统动态学同决策理论和决策方法的联系主要体现在两个方面，一是在应用系统动态学方法研究问题时需要使用有关的决策理论和方法。二是应用系统动态学方法建立了“管理或社会实验室”后则会进一步促进决策规律性的研究，并进一步提高决策的快速性。