

● 社会科学新方法丛书

胡玉奎

系统动力学

——战略与策略实验室

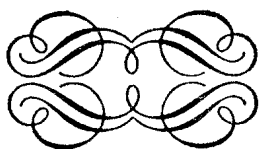
HEHUIKEXUEXINFANGFA

●社会科学新方法丛书

系统动力学

——战略与策略实验室

胡玉奎



浙江人民出版社

封面设计 刘 丹

· 社会科学新方法丛书 ·
系统动力学——战略与策略实验室

胡玉奎 著

*

浙江人民出版社出版
(杭州武林路125号)

浙江新华印刷厂印刷
(杭州环城北路天水桥堍)

浙江省新华书店发行

开本787×1092 1/32 印张9.75 插页1 字数203000
1988年11月第 1 版
1988年11月第1次印刷
印张: 0001—2280

ISBN 7-213-00196-5/C·14

统一书号: 3103·299

定 价: 2.20 元

《社会科学新方法丛书》前言

近些年来，由于高等数学、控制论、系统论、信息论、博弈论……广泛使用于社会科学的研究中，在社会科学里出现了一批新兴的边缘学科，如计量史学、计量社会学、经济控制论、社会控制论等；这些学科的出现提高了人们对问题的认识和分析能力。

但是，长期以来，由于我国大多数社会科学工作者和研究者的数理准备不足，因而难以准确而有效地掌握和运用这些学科。为了尽快地改变这种状况，我们特编辑出版这套“社会科学新方法”丛书，准备在适当地提高数理水平的基础上，结合社会科学中的各种具体问题，有针对性地介绍控制论、博弈论、决策论、系统动力学等学科。

本丛书的目的是为那些数理准备不足的社会科学工作者和研究者在本学科（如经济学、社会学）与新方法（如系统动力学）之间架起一座桥梁；并希望激起大家进一步钻研各种新方法的兴趣和热情，以利于更好地分析和解决本学科的各种实际问题。

为了达到上述目的，我们力求在丛书的编写上，做到以下几点：

第一，角度适当。尽量从大家所熟悉的社会、历史、经济等现象和实例中，抽象出基本概念，给人一种“亲切

60271/20

感”。

第二，重视应用。在描述社会科学中的各种具体问题时，使这些概念“动作”起来，提高读者对问题的分析能力和描述的清晰度。

第三，突出重点。对使用频率高的基本概念多加解释，多举例说明之，并逐步严格化；其他则或简或略。

第四，兼顾全局。在突出重点的基础上，保持一定的学科系统性。

第五，循序渐进。尽可能降低对预备知识的要求，并使预备知识的负担与学习的收获能平衡地随着内容的推进而进展。

由于编者水平有限，不当之处，尚望就正于读者。

编者

序 言

随着我国四个现代化建设的发展，我们在经济振兴、技术进步及社会发展事业中，取得了巨大的成就。但是，我们却不断发现，社会主义建设越发展，成果越辉煌，我们所遇到的问题也越来越多，越来越复杂。例如，在农村，由于改革政策的落实，农民的劳动积极性空前高涨，粮食增多了，同时也使粮食的储运，粮食深加工遇到困难；由于农村劳动生产率的提高，产生大量的农村多余劳动力，导致了乡镇工业的发展，但同时传统农村产业结构也受到冲击；由于农村人口的增长，住宅在扩展，可耕地在减少。在城市，由于改革及开放政策的实施，产业发展了，产值在增长，城市在扩大，但交通拥挤，通讯不足，住宅紧张，城市与其产业结构协调发展缺乏系统规划，能源、物资供应缺乏合理性等却是很大的问题。这些问题是发展的产物，它们的合理解决又必将带来更大的发展。然而，解决上述诸问题需要一整套处理社会系统问题的有效工具和概念，仅凭经验方法决策，易于顾此失彼，难以在全局上奏效。国家越发展，社会系统越复杂，传统的社会系统管理概念和管理工具均不足以应付今日社会系统发生的问题，因此，我们应该认真研究一下传统管理方法的优缺点以及今天社会系统的特征，为建立新的概念框架和处理手段打下基础。应该重视自然科学家在解决科学

技术问题时的理论、概念与手段，应该从超越社会科学的概念和方法中寻求解答。对于科学家或工程师来说，有一种手段是不可缺少的，那就是“实验”。为了获得某种规律性，为了设计出某种设备或产品，人们总是首先在实验室中进行各种“试验”，待获得了有力的证据之后，才能进行论证或实行。在科学技术领域，实验室是受到普遍重视的，古往今来，重大的科学技术发明及发现，无不依靠“实验室”的支持。

然而，时至今日，“社会科学实验室”还没有受到社会学家、战略家、决策者的重视，他们中的许多人还不了解什么是“社会实验室”，怎样进行社会的或战略、策略的实验，对于社会学家、战略家、管理者来说，在进行某项重大的社会改革之前，在做出重大的战略决策之前，在实行某种政策调整及变动之前，也应象科学家那样，先在“实验室”中进行实验，以便对社会改革的各种可能方案进行实际比较，或对各种政策方案实行后果做出鉴别，决定取舍。毫无疑问，这样的实验对于企业的、城市的、区域的、国家的战略家、决策者来说是至关重要的。

由美国麻省理工学院史隆管理学院(Massachusetts Institute of Technology, MIT, Sloan School of Management)教授Jay W. Forrester开发的系统动力学是在研究了社会系统复杂性，总结了传统的管理方法之后创立的新方法。它是研究社会大系统的计算机仿真方法。由于系统动力学是用计算机实验的方法来研究战略与策略的，因此，被誉为“战略与策略实验室”；由于系统动力学的创始人开创了这样一种社会实验方法，Jay W. Forrester被誉为伽

利略式的人物。系统动力学自50年代后期间世以来，经历了20多年的发展，在方法上有了很大的进步，形成了适应于社会大系统研究的一套基本概念与方法。随着社会系统的日趋复杂，系统动力学的概念与应用愈来愈扩展，在处理高层决策问题上的有效性越来越显示出来。系统动力学方法被广泛地应用于企业的、城市的、区域的及国家的发展战略和策略研究。

传统管理可以说是一种通过历史经验来处理社会系统问题的过程。人们通过观察周围环境和个人及集团受到压力后的反应而形成某种概念，从这种概念出发产生决策及行动。这种基于对周围事物观察而作出判断的传统管理程序具有许多优点，以至于人们在管理个人事务、社会事务乃至国家事务，仍然沿用这种程序。但是，传统的管理也存在着严重的不足，例如，管理对象的巨大化、复杂化，使得我们要“观察”的东西太多，而传统的管理方法不能告诉我们收集和处埋情报的一般规律性，更多的是依靠管理者个人的经验与才干；传统管理不能告诉我们形成概念的一般规律，就是说，如何把我们收集到的情报加以处理，而形成代表真实系统行为的构造这一点，传统管理是没有明确解答的，因此，不同的决策者，面对相同的情报，可能得出不同的、甚至是完全相反的结论。

系统动力学这个“实验室”就是设法弥补这些不足而创立的一套概念及方法。它以传统的管理程序为背景，引进信息反馈理论和系统力学理论，把社会问题流体化，从而获得描述社会系统构造的一般方法，并且通过电子计算机强大的记忆能力和高速运算能力而获得对真实系统的跟踪，实现了

社会系统的可重复性实验。

已经取得的成果表明，社会系统的构造与它的动态行为的关系正在逐步弄清，系统构造是产生系统行为的根本。应该指出，我们所生活的社会系统，从本质上说，是缺少数据的系统，因此，关于系统动态行为的数据，无论如何收集，都是不完整的；根据这些数据进行统计处理，所构筑起来的模型，其有效性是很有限的。系统动力学则是依据对于系统观测所得到的数据，建立描述系统的构造。所以系统动力学的重点在于发现关于系统构造的信息，其中包括管理者和战略家的经验、知识和敏锐的洞察力，包括可以观测到的所有信息。所谓“战略与策略实验室”就是基于这种构造模型在计算机上进行运行而得以实现的。本书的主要内容是介绍系统动力学这个“战略和策略实验室”的基本构成和进行实验的方法。

本书共七章。第一章绪论，对系统动力学以及有关的概念做了综述。第二章、第三章介绍了系统动力学的理论基础——系统力学和控制力学。在这两章中，重点叙述了系统动力学若干概念的由来和依据。第四章到第七章是系统动力学的基本内容。作者在这里依据动力学构模的基本顺序进行描述，分为因果关系分析、流图、构造方程式、DYNAMO语言及计算机仿真。

对于一般读者而言，可在阅读绪论之后，读第四章、第五章和第七章的第三节即可；对于有兴趣想具体了解系统动力学的读者，建议将第二、三章也读一读；对于想实行建模仿真的读者，除如上内容外，还要研究DYNAMO语言及程序设计，即第六章和第七章。然而，本书限于篇幅，仅在系

统动力学原理方面做了一般性描述，关于模型细节和实例分析还欠细致。因此，对于从事系统动力学工作的读者来说，本书仅是一个入门的向导，他们还应该研究更多的文献和模型案例。

由于笔者水平有限，加上时间仓促，书中错误之处难免，敬请指正。

1987年春节

目 录

序 言

第一章 绪 论	(1)
§ 1.1 战略与策略实验室——系统动力学.....	(1)
§ 1.2 系统动力学的发展基础及其与各学 科的关系	(6)
§ 1.3 解决问题的系统工程	(10)
§ 1.4 社会系统的特征与系统动力学的贡 献	(18)
§ 1.5 社会系统的仿真实验	(25)
第二章 系统与系统力学	(30)
§ 2.1 系统的意义	(30)
§ 2.2 系统的基本特征	(31)
§ 2.3 系统力学	(41)
第三章 系统的控制与控制力学	(66)
§ 3.1 概念与框图	(66)
§ 3.2 闭环反馈自动控制系统	(72)
§ 3.3 系统力学与自动控制	(77)
§ 3.4 控制的响应	(81)
§ 3.5 传递要素及其响应特性	(85)
§ 3.6 传递延迟对控制的影响	(103)

§ 3.7 社会经济系统的控制.....	(110)
第四章 因果关系环	(125)
§ 4.1 因果关系的意义.....	(125)
§ 4.2 因果反馈环.....	(127)
§ 4.3 负反馈环.....	(129)
§ 4.4 正反馈环.....	(132)
§ 4.5 正负反馈环的结合.....	(134)
第五章 系统动力学模型	(140)
§ 5.1 信息反馈系统的动力学描述.....	(140)
§ 5.2 动态系统模型的构成.....	(145)
§ 5.3 系统流图.....	(157)
§ 5.4 流图实例.....	(178)
§ 5.5 构造方程式.....	(191)
§ 5.6 简单反馈环的定量模型.....	(194)
§ 5.7 延迟现象的系统动力学描述.....	(202)
第六章 DYNAMO 语言基本构造	(211)
§ 6.1 DYNAMO 语言的基本规则	(211)
§ 6.2 方程式语句.....	(217)
§ 6.3 命令语句.....	(235)
§ 6.4 函数.....	(250)
第七章 DYNAMO 语言程序设计	(276)
§ 7.1 DYNAMO 方程式.....	(276)
§ 7.2 程序设计中的几个问题.....	(283)
§ 7.3 仿真实例.....	(292)

第一章

绪 论

§ 1.1 战略与策略实验室——系统动力学

1.1.1 战略科学

随着科学技术的进步，经济的振兴与社会的发展，人们越来越感觉到把握宏观决策的意义。就我国四个现代化建设而言，要实现经济振兴的总目标，仅仅着眼于经济建设是不够的，必须按照大经济环流的各个环节的特点，全方位地协调科学技术、经济、社会诸领域的进步。要研究经济与科学的内部结构和运动规律，它们的交叉效应、结合的内在依据与相互促进的动力和条件，要明确经济与科学的结合和相互促进的机制，根据财力、资源及环境的可能，提出优先发展的领域、行业、区域，同时还要研究和制定发展战略（例如2000年发展战略）。进行这些研究工作，已经超出“管理科学”的范围，而是进行大经济、大科学的综合研究，我们称之为“战略科学”。我们在这里谈到的科学和经济也已经不是狭义的科学、狭义的经济，而已是广义的概念，我们称之为“大经济”、“大科学”。

什么是“大经济”？长期以来，人们把经济与生产混同起来，认为发展生产就是发展经济，这种生产就是经济的观念，我们称之为“小经济观念”。然而，这种小经济观念已

经不能适应现代社会的进步。我们努力抓生产，那么，在一定时间间隔内，产品是会增加，但如果在流通、分配、消费过程中受阻，产品的价值就不能最终实现，这样也就无经济效益可言，这个“无经济效益”的信息，必然反馈给生产的组织者，迫使他们减少或停止这种生产。从长远的、全局的观点来看，这种生产是不能维持下去的。因此，我们必须来一个观念性的转变，就是说现代经济不只是生产，而是一个动态大系统，它应包括市场研究——预测规划——科学研究——技术开发——产品研制——工厂生产——产品储运——流通销售——市场服务。此外，发展经济还要考虑保护环境、保护生态平衡。我们把这样的大系统称为“大经济”。所谓“大经济”应该是“系统化经济”，它是由许许多多的环节组成的“经济循环圈”，我们称之为“反馈环”，要着眼于反馈环的整体效益，局部的高效率有时对全局是有害的；大经济应该是信息化经济，在上述经济循环圈中的各个环节的内部及其相互之间，都有大量的信息产生和传递，没有准确（低噪声）的、及时（小延迟）的信息处理和传递网络，就无法控制这种经济循环圈的行为；大经济还应是科学化经济，不仅科学活动是整个经济循环圈赖以生存和发展的重要一环，而且在每一个循环圈的微观结构中，都渗透着科学技术进步，因此，科学与经济已经构成了不可分离的协合体。

与大经济相融合的是大科学。所谓大科学不仅是“大规模”的或研究“大问题”的科学，而且是社会科学化和科学社会化的必然产物。大科学是科学技术、经济、社会高度协同的科学，是各学科相互渗透的、综合的科学，是自然科

学、社会科学乃至人文科学的高度综合。它本身就是一个有机的系统，它是自觉规划和系统管理的科学。大科学改变了我们传统的科学观念，发展现代科学必须从大科学这一观念出发。

1.1.2 管理科学的局限性

定量研究战略科学使用什么方法，这是战略家与管理者关心的问题。我们首先想到的是管理科学的各种方法，但是，令人遗憾的是，管理科学的各种方法还不能为战略科学、战略决策提供有力的支持。

诚然，以运筹学 (Operations Research) 为主的管理科学，是使得管理走上科学道路的基础。它主要包括随机模式 (Probability Models)、排队理论 (Queueing Theory)、仿真技术 (Simulation Techniques)、数学规划或寻优法 (Mathematical Programming or Optimization Techniques)、网络理论 (Networks and Graph Theory) 对策理论 (Game Theory) 等一系列技术。这些技术对管理上所遇到的许多作业问题确实提供了解决之道，在军事、企业、工厂、农场、学校以及公共事务等作业的管理上，提供了解决的技巧，在谋求物质、能源、人力、设备、资金等方面获得了卓有成效的应用。

在理论上，以运筹学为中心的管理科学，应该为战略决策提供科学的基础。然而，运筹学的分析方法，却不足以告诉我们解决这方面问题的窍门，究其症结，最主要的原因，乃是管理科学所揭示的目标与基本概念，对于高层管理人员所遇到的问题不能提供有效的帮助。运筹学无论是内涵与外表，都过分偏重于数学形式。如果翻阅一下运筹学的论著，

我们将会发现，管理科学与普通叙述式管理论著有多么大的差异。许多管理科学方面的论著（例如运筹学方面的论文），已经变为一种严谨的数学逻辑的追求，而忽视了其本身是为了帮助管理者解决实际问题这一本质。因此，运筹学或管理科学所提供的数学解答，可能成为一种难于切合实际的假想解。此外，管理科学太热衷于追求“最佳解”，然而，对于大部分实际的管理问题来说，因为太复杂，以致于今天的数学工具尚无获得最佳解的途径。

管理科学如果想为战略决策提供真正的科学依据，是否需要来一个转变，即要以现实存在的世界为前提，不要醉心于“最佳解”的追求；应该明白，只要能为“现状”提供“改善”的途径，就是一项极大的贡献，对于前面所叙述的宏观决策，尤其如此。

管理科学应尽量使用现有的数据和资料，而不要让实际数据适应某种模型的需要，也不要过分地埋怨数据不全、不准，不要为了数据的精度而忽视实际问题的本质。管理科学应该接纳现实世界，接纳许多不可度量的因素，只要这些因素在实际的管理中是重要的。

1.1.3 战略与策略实验室

鉴于运筹学基于数学逻辑所遇到的困难，我们将要介绍的系统动力学方法就没有步其后尘，而是采用实验的方法。说起实验方法，人们并不生疏。在自然科学和工程技术领域，人们广泛使用实验技术来验证某种规律，或获取某种有用信息。例如，物理实验、化学实验、力学实验、生物实验、核实验、武器实验等。自从16世纪意大利著名科学家伽利略开创了近代科学实验的道路以来，实验成为人们验证理

论的基本手段，到目前为止，许多重大的发明和发现都是在实验室中取得的。那么，社会系统的问题能不能做实验或怎样做实验？这是很值得人们关注的问题。决策者的战略构思和可能采用的策略方案，应该先进行实验，看一看未来若干年后实行的结果，并且比较各种方案实行后结果的差异，从而选择满意的方案，废弃那些不良的乃至有害的方案。此种实验，无论是对企业的、城市的、区域的、国家的决策者来说，都是至关重要的。特别是现代社会中的问题，往往涉及到大经济、大科学的战略问题，此种决策关系重大，实验工作尤其重要。这种实验与物理的、工程的实验不同，我们不能设想拿某个城市做环境实验，或在全国范围进行某种政策实验，并且进行若干年。社会系统实验只能是在计算机上进行的仿真实验，它所使用的理论与方法之一就是本书将要介绍的系统动力学方法。系统动力学方法自50年代后期诞生以来，已经卓有成效地进行了企业级、城市级、区域级、国家级、世界级的战略与决策实验，被誉为“战略与策略实验室”，其创始人 Jay W. Forrester 被誉为伽利略式的人物。

系统动力学是在总结运筹学的基础上，为适应现代社会系统的管理（控制）的需要而发展起来的。鉴于管理科学（运筹学）太拘泥于“最佳解”这一不足，系统动力学从观点上做了基本的改变，它不依据抽象的假设，而是以现实存在的世界为前提，不追求“最佳解”，而是寻求改善系统行为的机会和途径。从技巧上说，它不是依据数学逻辑的推演而获得解答，而是依据对系统实际的观测所获得的信息建立动态仿真模型，并通过计算机实验来获得对系统未来行为的描述。