

777411

332

4714

胡玉奎 编

系统动力学

中国科技咨询服务中心
预测开发公司

2

14

777411

332
4714

系 统 动 力 学

胡 玉 奎

中国科技咨询服务中心

预 测 开 发 公 司

一九八四年六月

《 预 测 丛 书 》

编 委 会 组 成 名 单

总 编:	霍 俊	
副 总 编:	蔡福元	
常务副总编:	董福忠	
编 委:	鲍光前	尤毓国
	沈永淦	张汉亚
	霍丽骊	陈玉祥
	王大成	张正西
	胡玉奎	宋子成
	李永春	张德昂
	董玉海	陶 允

目 录

前 言	(1)
-----------	-----

第一章 绪 论

§ 1.1 战略与策略实验室——系统动力学	(4)
1.1.1 战略科学	(4)
1.1.2 管理科学的局限性	(5)
1.1.3 战略与策略实验室	(5)
§ 1.2 系统动力学的发展基础及其与各学科的关系	(6)
1. 系统理论	(6)
2. 信息反馈理论	(7)
3. 决策理论 (Decision Theory)	(7)
4. 系统力学	(7)
5. 仿真 (Simulation) 技术	(7)
6. 电子数字计算机 (Digital Computer)	(8)
§ 1.3 解决问题的系统工程	(9)
1.3.1 系统的一般模型	(9)
1.3.2 “问题”与“解决问题”	(9)
1.3.3 解决问题的组织	(10)
1.3.4 人的信息变换功能	(11)
§ 1.4 社会系统的特征	(13)
§ 1.5 系统动力学研究的基本步骤	(15)
§ 1.6 系统动力学的发展史	(17)
§ 1.7 系统动力学展望	(18)
1.7.1 对策仿真 (Gaming Simulation)	(18)
1.7.2 微型计算机的应用	(18)

第二章 系统与系统力学

§ 2.1 系统的意义	(19)
§ 2.2 系统的基本特征	(19)
一. 流	(21)
二. 时间 (time, delay)	(23)
三. 作业 (Operation)	(26)
§ 2.3 系统力学	(26)
2.3.1 概论	(26)
2.3.2 流体静力学	(27)
2.3.3 流体动力学	(29)
2.3.4 积累与输出流速的种类	(37)
2.3.5 源 (Source)与漏 (Sink)	(39)
2.3.6 二次喷出口	(39)

第三章 系统的控制与控制力学

§ 3.1 自动控制系统的一般概念	(41)
§ 3.2 闭环反馈自动控制系统	(43)
§ 3.3 系统力学与自动控制	(45)
3.3.1 比热和温度、热量的关系	(45)
3.3.2 做为积累的温度与热量	(45)
3.3.3 控制湿度就是控制积累	(46)
§ 3.4 自动控制系统的框图和术语	(47)
§ 3.5 控制的响应	(49)
3.5.1 自动控制的分类	(49)
3.5.2 控制的响应	(50)
§ 3.6 传递要素及其响应特性	(51)
3.6.1 一阶指数延迟传递要素	(51)

• II •

3.6.2	一阶指数延迟传递要素中的时间常数与积累和输出流速的关系	(53)
3.6.3	一阶指数延迟要素—热系统	(55)
3.6.4	二阶指数延迟传递要素	(56)
3.6.5	n 阶延迟传递要素	(59)
3.6.6	耽搁时间	(60)

§ 3.7 传递延迟对控制的影响

3.7.1	系统的控制性	(61)
3.7.2	系统的阶跃响应曲线	(62)
3.7.3	自平衡性	(62)
3.7.4	潜在值	(63)
3.7.5	由干扰引起的初始偏差	(63)
3.7.6	初期响应段的偏差减少率	(64)
3.7.7	系统响应曲线的倾斜	(64)
3.7.8	外部干扰输入点的影响	(64)
3.7.9	系统过渡响应曲线的近似	(65)

§ 3.8 社会经济系统的控制.....

3.8.1	企业的生产管理	(66)
3.8.2	信息	(69)

第四章 因果关系环

§ 4.1	因果关系的意义	(70)
§ 4.2	因果反馈环	(71)
§ 4.3	负反馈环	(72)
§ 4.4	正反馈环	(75)
§ 4.5	正负反馈环的结合	(76)
§ 4.6	二阶负反馈环.....	(78)

第五章 系统动力学模型

§ 5.1	信息反馈系统的动力学描述	(81)
-------	--------------------	------

§ 5.2 动态系统模型的构成	(83)
5.2.1 积累 (Level)	(83)
5.2.2 流速 (Rate)	(85)
5.2.3 决策机构	(87)
5.2.4 流的种类	(88)
§ 5.3 系统流图	(90)
5.3.1 流图的基本构造要素	(90)
5.3.2 从系统观测到流图设计	(94)
§ 5.4 流图实例	(98)
5.4.1 流图绘制实例一: 小卖店订货策略	(98)
5.4.2 流图绘制实例二: 住宅建设模型	(102)
5.4.3 流图绘制实例三: 企业模型	(103)
§ 5.5 构造方程式	(105)
§ 5.6 延迟现象的系统动力学描述	(106)
5.6.1 延迟的概念	(106)
5.6.2 延迟的分类	(106)
5.6.3 延迟的计算	(107)
5.6.4 三阶延迟	(109)

第六章 DYNAMO语言的基本构造

§ 6.1 DYNAMO语言的基本规则	(111)
§ 6.2 方程式语句	(115)
一、Level方程式 (L方程式)	(115)
二、Rate方程式 (R方程式)	(116)
三、辅助方程式 (A方程式)	(117)
四、增补方程式 (S方程式)	(119)
五、初始条件方程式 (N方程式)	(120)
六、列车方程式 (B方程式)	(121)
七、常数方程式 (C方程式)	(124)
八、表方程式 (T方程式)	(125)

§ 6.3 命令语句	(126)
一、PRINT语句	(126)
二、PLOT语句	(129)
三、ASTERISK语句 (* 语句)	(132)
四、RUN语句	(132)
五、NOISE语句	(133)
六、NOTE 语句	(133)
七、继续语句	(134)
§ 6.4 函数	(135)
I. 普通函数	(136)
一、平方根函数	(136)
二、指数函数	(137)
三、自然对数函数	(137)
四、正弦函数	(137)
五、余弦函数	(138)
六、脉冲函数	(138)
七、阶跃函数 (STEP函数)	(138)
八、斜坡函数 (RAMP函数)	(139)
九、随机函数	(140)
十、采样函数	(140)
十一、最大值函数	(141)
十二、最小值函数	(141)
十三、CLIP函数	(141)
十四、表格函数	(142)
十五、合计函数	(143)
II. 宏函数	(145)
一、SMOOTH函数 (平滑函数)	(146)
二、DLINF3函数	(146)
三、DELAYn函数 (DELAY1, DELAY3)	(149)
四、DELAYp函数	(150)

第七章 DYNAMO语言程序设计

§ 7.1 DYNAMO方程式的建立	(152)
一、变量、参数及单位的定义	(152)

二、DYNAMO 方程式	(153)
三、运行结果	(155)

§ 7.2 程序设计中的几个问题

一、关于RUN和RERUN语句的顺序问题	(157)
二、仿真控制变量	(158)
三、关于初始值	(159)
四、关于方程式间的环	(160)
五、允许的变量组合	(161)

§ 7.3 仿真实例

一、系统动力学仿真的一般步骤	(163)
二、仿真实例	(164)
I. 大陆架的生态模型	(164)
II. 农园模型	(166)

参考文献

前 言

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。“科学实验”的重要性大概不必多说,是众所周知的,诸如各种力学实验、电学实验、核物理实验、飞行实验、……。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,无不依据“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,也应该像科学家那样,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。毫无疑义,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。

回顾一下我们的发展历程,毫无疑义,我们取得了伟大的成就,巨大的进步。然而,也产生过许多失误,战略上的失误使我们失去有利的振兴时机。究其原因是多方面的,其中,缺乏一种处理社会系统问题的有效方法和手段,也是一个重要方面。经验的、直观的方法在解决较简单的问题时,是有效的。但是产生在今天的企业、城市、区域、国家之中的问题越来越复杂,以至于传统的管理概念与工具不足以应付今日社会系统中产生的问题。因此,有必要尝试建立一套新的研究方法,以适应社会系统不断复杂化的现实。

由美国麻省理工学院史隆管理学院(Massachusetts Institute of Technology, MIT, Sloan School of Management)的教授Jay W. Forrester开发的系统动力学是在研究了社会系统复杂性并且总结了传统的管理方法之后,创立的新方法。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,他的贡献可以与科学实验的奠基人伽利略相提并论, Jay W. Forrester 被誉为伽利略式的人物。系统动力学自五十年代后期间世以来,经历了二十多年的发展,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,使得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。人们通过对周围环境的观察,并观察对于个人以及集团受到某种压力后的响应,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后做出判断的传统管理程序具有许

多优点。以至于管理个人事务、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，随着管理对象的巨大化、复杂化，使得我们要“观察”的东西太多，传统的管理方法不能告诉我们收集和处理情报的一般规律性，更多的是依据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，把我们收集到的情报，如何加以处理，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释的，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构造。

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，如果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，因此，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得以实现的。本书的主要内容就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，可阅读绪论之后，读第四章、第五章和第七章的第3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、三章也要读一读；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。

在本书成稿过程中，作者曾得到多方面的支持与赞助。在研究系统动力学的初期，作者首先得到北京航空学院管理工程系主任顾昌耀副教授的支持与赞助。对于作者研究方向的确立起了很大的作用。作者所进行的国家级课题研究得到了国家科委预测局总工程师传凯同志和他的助手们的大力支持与协作，此项研究对于形成本书的内容起了重要作用。中国管理软件专业委员会主任委员刘颖水同志及该会所属系统动力学研究组各位同事，在课题研究与本书成稿过程中均给予大力支持。中国科技咨询中心预测开发公司《预测》杂志总编辑霍俊、常务副总编辑董福忠同志为本书编辑出版做出贡献。北京航

空学院教师贾素伶同志为本书做了校对。在这里作者一并表示感谢。作者还要感谢参考文献的各位作者，这些文献为本书提供了有益的素材。

由于作者水平有限，加上时间仓促，书中错误之处难免，敬请指正。

作者 1984年元月30日

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进步，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，必须按照大经济圈的各个环节的特点，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。要明确经济与科学结合和促进的机制，根据财力和资源及环境的可能，提出优先发展的领域、行业、区域。并且要研究和制定战略发展规划（例如“2000年战略规划”）。进行上述研究工作，已经超出“管理科学”的概念，而是进行大经济、大科学的综合研究，我们称之为“战略科学”。前面我们谈到的科学和经济已经不是狭义的科学、狭义的经济，而应该赋予它们广义的概念。称为“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。例如，我们努力抓生产，那么，在一定时间间隔内，产品就会增加，但是，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，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。除此而外，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“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，局部的高效率不但是对全局无益的，而且会是有害的，“大经济”应该是信息化经济，在上述经济环圈中的各个环节的内部及相互之间都有大量的信息产生及传递，没有准确（低噪声）的、及时（小延迟）的信息处理及传递网络，就无法控制这种经济环圈，大经济还应是科学化经济，不仅科学活动是整个经济环圈赖以生存和发展的重要一环，而且在每一个环圈的微观结构中，都要渗透科学技术进步。因此，科学与经济已经构成了不可分离的综合体。

总之，振兴经济必须深入研究大经济观念。

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“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大系统，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，发展当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

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（Queuing 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）、竞赛理论（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地应用。

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，最主要原因，乃是管理科学所揭示的目标与基本概念，对于高阶层的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，都过分地偏重于数学形式。如果我们翻阅一下有关运筹学的论著，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，管理科学太醉心追求“最佳解”，然而，对于大部分实际的管理问题，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，只要能为“现状”提供“改善”的途径，就是一项极大的贡献。特别是前面所叙述的宏观决策，尤其是这样。

管理科学还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

上面已经谈过，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不能再继续沿着这样一条路走下去，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，实验方法是人们验证理论的基本方法，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。社会系统的问题能不能做实验，怎样做实验，这个问题是很值得人们关注的。例如，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，废止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，我们不能象物理实验那样用实物做实验，无论是时间上和空间上都不允许。例如，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。社会系统实验是在计算机上进行的仿真实验。所使用的理论与方法就是本书将要介绍的系统动力学。系统动力学方法自五十年代后期诞生以来，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”，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）需要而发展的，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，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，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，并通过计算机上的实验来获得系统未来行为的描述。

什么是系统动力学呢？我们可以简单地说：“系统动力学是研究社会系统动态行为的计算机仿真方法”。具体一点，系统动力学包括如下几点：

1. 系统动力学把有生命系统和无生命系统都做为信息反馈系统来研究，并且认为，在每个系统之中都存在着信息反馈机构。我们知道，这是维纳控制论的重要观点，所以，系统动力学是以控制论为其理论基础的。
2. 系统动力学把被研究对象分为若干子系统，并且建立各子系统之间的因果关系。
3. 建立被研究系统的计算机仿真模型——流图和构造方程式。
4. 实行计算机仿真（通过模型做实验）。
5. 验证模型的有效性。
6. 为战略与决策的制定提供依据。

总之，系统动力学把社会系统模型化，然后把这个模型送入电子计算机，进行战略和策略的实验，在实验过程中，可以随时修改实验内容以实现各种战略构思与策略的实地模仿。

§ 1.2 系统动力学的发展基础及其与各学科的关系

系统动力学的发展，主要奠基基于如下六种理论及技术的进步：

1. 系统理论

系统动力学把一切被研究对象都看成系统。系统有自己的边界，边界以内，有若干

子系统，它们在相互作用着，子系统又可进一步划分为小子系统，……。系统的边界以外叫系统的环境，系统环境为系统的生存和发展提供了必要的条件，并且对系统产生约束力。系统有自己的追求目标，系统是一个活动着的整体。系统动力学着眼于系统全局的、宏观的动态行为。在这个基础上，系统动力学使用了系统设计的概念。首先，确定系统的目标，然后确定组成系统的子系统（划分边界），建立各子系统相互关系，再确定内部的控制机理，建立系统的模式，这个模式的主要内容是一个构造，或称为一个构架，由这个构造产生系统的行为。这里应该强调，所谓构造要涉及到系统的微观构成，或称为微观构造，所谓系统的行为，则是整体的、宏观的行为。或者说，系统动力学是用微观的构造产生宏观的行为。

2. 信息反馈理论

Jay W. Forrester教授成功地把三十年代以来各种反馈概念——控制论 (Cybernetics) 反馈系统概念、伺服系统 (Servomechanism) 的反馈控制等，应用于社会系统。使我们了解到如何利用情报，并通过系统构造来控制系统的行为。构成了一个系统动力学的基本概念：信息反馈环。如果系统的环境发生变化，导致系统的决策的改变，因而使系统产生新的行动，再改变了系统与环境的关系，进而影响系统未来的决策，如此循环下去，就是信息反馈系统。

3. 决策理论 (Decision Theory)

如果我们明确一下什么是政策 (Policy)，什么是决策 (Decision) 的话，所谓政策就是组织为达到目标而施加控制的原则、规划或有关说明；所谓决策，就是按照政策规定的原则，并参照实际情况而做出的决定，同时产生行动。我们可以通过调整政策来控制系统的行为。

决策论的发展主要起源于军事，自二次大战之后，由于国际军事的演变以及新武器的发展，仅依据军事家们的直观与经验做出正确决策的可能性越来越小。因此，必须研究高级指挥员在决策过程中的丰富经验，以及思考过程。这种决策过程的研究，逐渐发展成为决策理论。今天，这种决策理论不仅用于军事，而且用于社会各层次问题的决定上。系统动力学模型，要描述决策者的思考过程与决策过程，模仿决策的基本构造及系统在不同决策下的行为。

4. 系统力学

系统动力学的理论基础之一是系统力学，根据古典流体力学的基本原理，并融合系统的概念之后，把社会系统中流动着的物质流体化，按照流的特点来把握系统的行为。流体在系统中流动，必然产生某种堆积现象，像液体在容器中一样。堆积的物质要产生压力，这种压力将通过信息的传递作用于决策者，迫使决策者做出必要的决策。流系统正确地描述了社会系统中的各种延迟现象，并可以定量化。信息通道也是用流来描述的。系统力学是系统动力学模型的基本支柱之一。当我们展视系统动力学流程图时，首先映入眼帘的是各种流、流的积累、控制流的阀门，宛如进入水网地带。

5. 仿真 (Simulation) 技术

仿真技术发展较早，可以说，自计算机诞生以来，仿真技术就被人们重视了。五十年代，仿真技术已经在军事上得以应用，人们可以在很短的时间内，借助电子计算机的

帮助,清楚地了解一个复杂系统的行为。近年来,仿真方法广泛地应用于科学、工程及管理。有一位系统分析家曾经这样地描述仿真技术的应用,“仿真技术是分析家们最后使用的方法,当解析方法不能使用时才使用的方法,但是,事实上,有99%的事物用分析方法是找不到模型的”。

6. 电子数字计算机 (Digital Computer)

社会系统仿真运算,不能由手工计算或借助于其他计算器来实现,必须借助于计算机。第二次大战后,由于电子计算机的发明,可供大量、高速、重复、正确的计算及资料处理,带来了技术的巨大进步,国外称为“第二次产业革命”。最近,由于微型计算机的诞生及普及,人类正在进入“信息时代”。计算机用于社会系统仿真并支持战略决策,将是“信息时代”的重要标志。

在如上六种理论和技术的基础上,通过系统动力学家们创造性劳动,形成了系统动力学这样一个跨科学的方法论。系统动力学主要是把处理工程技术中的反馈系统的理论和方法,应用到社会系统中来,形成新的学科。因此,就注定,系统动力学必然与工程的和非工程的许多科学发生关系。另一方面,由于系统动力学吸取了许多科学(如系统论、控制论、系统力学、决策论、仿真与计算机科学等)的长处而形成的崭新学科,所以,它又有自己的特色。为了说明系统动力学与其它科学的关系与本身的特色,我们把几个学科与系统动力学做个简单的比较。

• 物理学与系统动力学 物理学的研究对象是声、光、电等非生命系统,而系统动力学研究的企业组织、会计、财政、生态、人口、城市等,这些对象不是单纯的无生命系统,而是包括有生命系统和无生命系统在内的系统。

• 工业工程学与SD Taylor的工业工程学也是要研究人的因素的,然而它是把人做为无生命系统来研究的,抽出人的物理性的作业量,目的是提高无生命的生产工程的效率。与此相比,系统动力学要真实地研究生命系统的动态行为,例如,人的决策过程、生命体的增长过程等。

• 企业管理与SD 企业管理是对企业组织、会计、财务、人事管理进行静态描述,系统动力学则对这些因素间的因果关系用差分方程为基础的数学模型来表述,描述其动态行为。

• 运筹学与SD 运筹学用与物理学相同的方法研究管理问题,它对被研究的对象进行数学的抽象,通过对数学模型的求解,而获得最佳解。系统动力学不采用数学的抽象,从实际存在的系统出发,而建立系统的动态仿真模型。通过计算机仿真,寻找改善系统行为的机会。

• 计量经济学与SD 六十年代兴盛起来的计量经济学采用对系统过去数据加以统计学处理的方法外插而获得未来信息。它一般以黑箱模型描述系统。系统动力学根据系统各子构造的因果关系,建立描述系统的构造模型(灰箱模型)而把历史数据做为初始条件或验证模型的依据。

• 控制工程与SD 控制工程与系统动力学在对系统进行动态描述、使用信息反馈环、采用系统工程方法和计算机仿真等方面都是相类似的。所不同的是控制工程主要研究工程系统,而系统动力学主要研究社会系统。