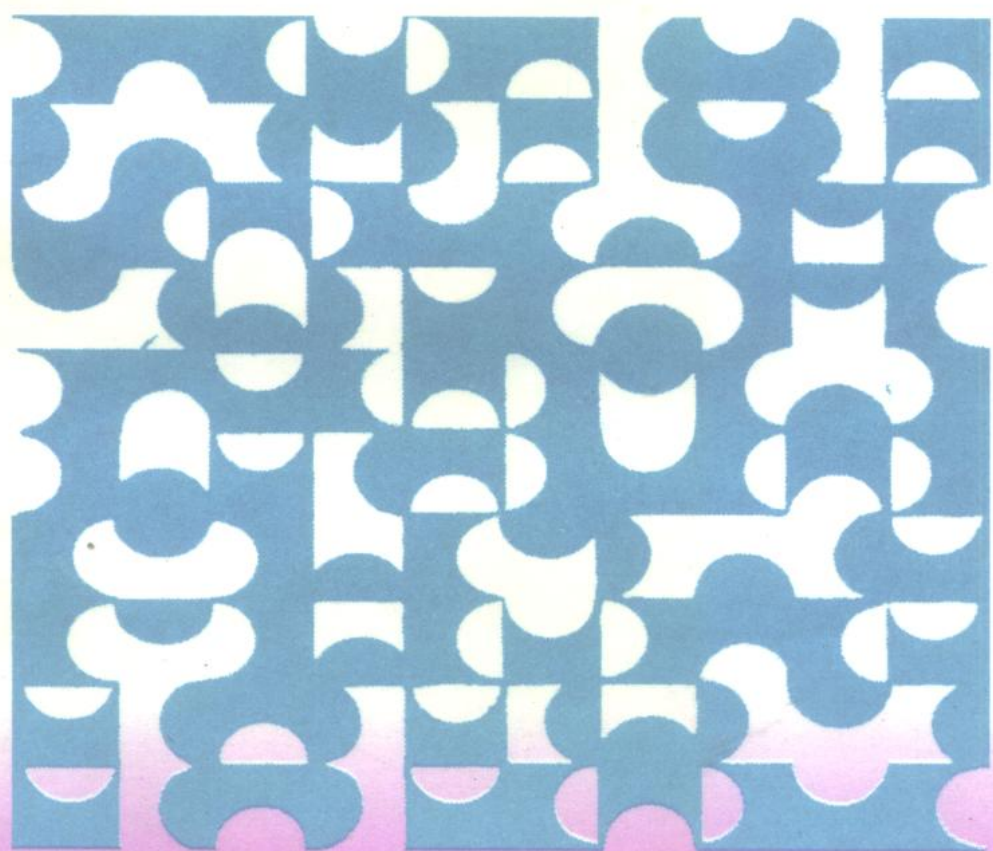


高级系统动力学

王其藩 著



清华大学出版社

高级系统动力学

王其藩 著



清华大学出版社

(京)新登字 158 号

内 容 简 介

本书是该学科的专著,是系统动力学前沿领域最新研究成果的总结,它阐述了新发展的系统思考和学习型组织的内容,首次总结了系统动力学的五大特点。本书内容包括了作者多年研究的成果:系统主导结构动态分析,主辅回路耦合分析法,系统共性子结构的划分与描述,SD 模型参数的统计估计问题,噪声函数的若干问题,系统动力学模型的溯测、简化和优化,以及对综合分析方法体系的演进的科学总结等等。

本书可作为高等院校管理科学、管理工程、工商管理、数量经济、系统工程等专业的教师、研究生和高年级本科生的教学用书,也可作有关领域的研究人员和高级管理人员的参考读物。

图书在版编目(CIP)数据

高级系统动力学/王其藩著. —北京:清华大学出版社,1995. 6
ISBN 7-302-01838-3

I. 高… I. 王… III. 系统动力学 N. N94

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 05669 号

出版者:清华大学出版社(北京清华大学校内,邮编 100084)

责任编辑:魏荣桥

印刷者:清华大学印刷厂

发行者:新华书店总店北京科技发行所

开 本:787×1092 1/16 印张:16 字数:378 千字

版 次:1995 年 9 月第 1 版 1995 年 9 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-01838-3/F·109

印 数:0001—1500

定 价:16.50 元

序

系统动力学是一门管理科学和系统科学的分支学科,已有近 40 年的发展史。

系统动力学研究问题的方法是一种定性分析与定量分析相结合、系统分析与综合推理相结合的方法。它是分析研究非线性复杂大系统和进行科学决策的一种有效的理论、方法与手段。

该学科引进我国已逾 15 年,已进入普遍开花结果的阶段。1987 年在原上海机械学院由我国学者组织、主持召开了国际系统动力学会会议,学科创始人 Forrester 教授等国外学者 40 人和国内学者 2 百多人出席会议,这标志着我国在该学科研究的总水平已步入国际先进之行列。

为推动该学科的发展,15 年来王其藩同志坚持不懈、不遗余力专注于该学科的理论和应用研究工作,取得可贵的成绩。特别是在理论研究方面他经过多年研究对系统动力学的哲学思想、理论体系与框架、基本理论观点和系统动态分析方法等,作了系统、全面、深入的探索,提出了新的见解和观点,取得了一系列研究成果;在这些方面的研究达到了国际系统动力学界中的领先水平。

《高级系统动力学》一书是王其藩教授对该学科理论与方法多年潜心研究的结晶,是对该学科最前沿领域、最新研究成果的总结。它的出版,无疑将进一步推动该学科研究工作的发展和提高。我衷心祝贺该书的出版。

中国科学院院士、上海交通大学教授 张钟俊于上海

1994.6

前 言

《高级系统动力学》一书的构思过程约有7—8年。自80年代中期以来,笔者就一直在筹划撰写一本能较全面、系统阐述系统动力学理论、方法的专著,以满足培养这一领域高级专门人才在教学与科研等方面的客观需要。全书的体系和框架数易其稿,甚至在完稿前半年又作了调整;目的在于尽量将该学科最前沿领域的最新研究成果总结到书中。

笔者用了两年半的时间方将书稿写成,比预计几乎多花二倍的时光。因为撰写过程也是对理论的深化研究过程,特别是对最新研究成果的总结、提炼工作,需要反复推敲,费时尤多。而今终于脱稿了,初步了结多年来想写一本对SD理论、方法有较深入、系统、全面研究的论著的夙愿。

虽说本书旨在深化研究,但在一些问题上的论述还是粗略的。事实上,当前仅在运用数学理论对SD理论、原理进行论证和研究SD模型更简便、更有效的检验方法等方面,就有大量的工作亟待去做。因此本书只能算作是对此研究工作的一个阶段总结。

本书的出版获得上海发展汽车工业教育基金会的慷慨资助和有关同志的协助、鼓励,在此表示衷心的感谢。

鉴于个人学术水平、精力和时间所限,书中的谬误和不当之处势必难免,恳祈读者斧正。笔者将一如既往为建立完善的SD理论体系再尽绵薄之力。

王其藩

1994年6月

目 录

第一章 导论	1
第二章 基本思想与理论	3
§ 2.1 系统动力学的内涵、研究对象和应用领域	3
§ 2.2 系统动力学的学科基础及其在系统科学体系中的地位	4
§ 2.3 基本思想、观点、方法和哲学观	5
§ 2.4 系统动力学对系统的数学描述及其模型解的唯一性	16
§ 2.5 系统动力学的五大特点	19
第三章 系统动态分析	21
§ 3.1 引述	21
§ 3.2 简单系统的典型结构与特性	21
§ 3.3 系统中的物质和信息延迟	38
§ 3.4 典型环节的增益、相位移和系统的开环稳态增益	48
§ 3.5 衰减与滤波的结构和功能	58
第四章 系统振荡机制分析	64
§ 4.1 振荡、振荡系统、子系统与回路的相位移和增益	64
§ 4.2 系统振荡的条件	66
§ 4.3 系统振荡分析	70
§ 4.4 社会经济系统中的振荡实例——雇员-订单系统	79
第五章 非线性复杂系统及其分析方法	86
§ 5.1 非线性复杂系统及其特性	86
§ 5.2 复杂系统动态结构、功能分析	91
§ 5.3 主导结构分析	94
§ 5.4 主辅回路耦合分析法和系统基型	132
§ 5.5 共性结构(generic structure)	155
第六章 系统思考和学习型组织	168
§ 6.1 系统思考	168
§ 6.2 学习型组织	175
第七章 建模	196
§ 7.1 系统动力学建模基本原理、方法与步骤	196
§ 7.2 构思模型与建立模型方程的原则	197
§ 7.3 系统动力学模型参数的统计估计问题	198
§ 7.4 测试函数和噪声函数的若干问题	206
§ 7.5 模型有效性、检验和溯测(retrodiction)	215

§ 7.6 系统动力学模型的简化和优化	224
§ 7.7 综合分析方法体系的演进	234
§ 7.8 高级计算机模拟语言	235
第八章 系统动力学和其他学科的关系	236
§ 8.1 系统动力学和协同学:比较与借鉴	236
§ 8.2 系统动力学和混沌理论	241
§ 8.3 系统动力学和计量经济学	246
结语	248
参考文献	249

第一章 导 论

由美国麻省理工学院(MIT)福瑞斯特(Jay W. Forrester)教授在 1956 年创立的系统动力学(system dynamics, 简称 SD)学科已将步入其“不惑之年”。迄今,国内外在 SD 的理论与应用研究方面已发表、出版了数以千计的论文和约近半百部的专著。然而,多年来笔者注意到有关 SD 理论研究方面的一些重要情况:

- (1) 对 SD 的理论研究亟待深化与系统化,以期促进其理论体系的完善化;
- (2) 自 70 年代以来新的系统学科蓬勃发展,它们和 SD 有很深的内在联系,人们已经并将继续在理论与应用方面对它们进行相互比较与借鉴的研究;
- (3) 不论在国内还是国外,在培养博士与硕士研究生、SD 高级研究人员和专门人才的教学与研究工作中,长期以来一直缺少一本体系较完整、系统性强、有深度的,可作为主要参考的理论专著。

鉴于此,笔者着手撰写此书。全书在对笔者与部分合作者十几年来、特别是近两年来的研究成果的总结的基础上,力图对 SD 的理论框架、主要理论问题进行系统深入的探讨与论述。书中的论述是以经典与现代控制理论、组织理论与学习型组织理论为基础,以系统理论、系统思考为指导,和以笔者所著的《系统动力学》^[35]为起点的;并以对 SD 理论与方法的研究为重点,故题名为《高级系统动力学》。从其内容而言,原曾拟名为《系统动力学理论与方法》,抑或更加直接明了些;经再三考虑,为了在内容层次上避免和先前出版的著作混淆,最后决定采用现名。

书中对 SD 的基本思想与观点、理论与方法作了系统、全面的论述。其中有相当多内容是最新研究成果或首次提出的,诸如:对 SD 的内涵作了全面、完整的定义;系统、全面地论述了 SD 的基本理论、观点、方法和哲学观;系统地阐述了最近几年发展、丰富起来的系统思考的内容;从 SD 的角度对系统提出了新的数学描述;对 SD 模型解的唯一性作了解释性的论证;首次总结了 SD 的五大特点。书中用主要篇幅论述对系统内部反馈结构与机制、反馈因果与生克关系和系统行为模式的分析方法。重点论述了系统动态分析、系统振荡机制分析、非线性复杂系统及其分析方法、建模方法等。其核心内容大都是笔者经多年研究的成果,诸如:系统主导结构动态分析,主辅回路耦合分析法,系统共性子结构的划分与描述,SD 模型参数的统计估计问题,噪声函数的若干问题;SD 模型的溯测;SD 模型的简化;SD 模型的优化问题;对综合分析方法体系的演进的科学总结等等。此外,书中还对 80 年代末、90 年代初迅速兴起的学习型组织理论与应用问题,论述了笔者的认识、见解和研究成果。

本书以对理论与方法的深化研究为重点,但为顾及对理论叙述的系统性与完整性,少量且有选择地引用了先前以论文形式发表的内容,但大多均经过补充和改写。

应当指出,尽管本书已涉及 SD 理论的许多内容,但笔者并不认为它已为 SD 建立了完整的理论体系。这个艰巨的任务绝非 SD 学界中任何一个人的力量所能完成的;这需

要国内外学者的共同努力,需要更多的时间,比如 10 年左右才有可能完成。

下面再作一些有关使用本书的说明。

(1) 学习本书的读者应具备一定的控制理论基础,并预读《系统动力学》^[35]或内容与其相当的读物;

(2) 本书可作为 SD 与系统科学研究人员和高级管理人员的参考读物,同时可作为高等院校管理科学、工商管理、数量经济、系统工程等专业的教师、研究生和高年级本科生进修“系统动力学理论与方法”课程的教学用书;

(3) 凡希望对 SD 的理论与方法深入掌握者,可系统学习全书;

(4) 仅要求对 SD 的思想、观点有较全面了解者,可选读第一、二章;

(5) 凡只对学习型组织理论感兴趣者,可选读 § 5.4 和第六章。

第二章 基本思想与理论

§ 2.1 系统动力学的内涵、研究对象和应用领域

2.1.1 内涵和研究对象

系统动力学是一门分析研究信息反馈系统的学科,是一门探索如何认识 and 解决系统问题的科学,是一门交叉、综合性的学科。

SD 理论的基本点鲜明地表明了它的唯物的、系统的、辩证的特征。它突出强调系统、整体的观点,联系、发展、运动的观点。

就系统方法论而言,SD 的方法是结构方法、功能方法和历史方法的统一。

系统动力学认为,由于系统内部非线性因素的作用和存在复杂的反馈因果、生克关系,高阶次复杂时变系统往往表现出反直观、千姿百态的动力学特性;在一定条件下还可能产生浑沌现象。社会-经济-生态等一类复杂系统的问题具有高度复杂性与综合性,往往构成问题群集。

SD 特别强调系统的整体性和复杂系统的非线性特性。因此,从本质上它是对线性分析方法的否定和对还原论的批判。

SD 认为,系统的行为模式与特性主要地取决于其内部的动态结构与反馈机制;系统在内外动力和制约因素的作用下按一定的规律发展演化。这就是 SD 著名的内生观点。

SD 研究处理复杂系统问题的方法是定性与定量结合,系统整体思考与分析、综合与推理的方法。这是一种定性一定量一定性、螺旋上升、逐渐深化推进,认识与解决问题的方法。根据 SD 理论与方法建立的模型,借助计算机模拟可以定性与定量地分析研究复杂系统的各种问题。

SD 的模型模拟是一种结构-功能模拟。它最适用于研究复杂系统的结构、功能与行为之间动态的辩证对立统一关系。

SD 的研究对象主要是开系统,包括简单系统,但其主要研究对象是社会、经济、生态等复杂系统及其复合的各类复杂大系统。

SD 模型可作为各类系统的实验室、特别是社会-经济-生态等复杂大系统的实验室。系统动力学的建模过程就是一个学习、调查研究的过程,模型的主要功用在于向人们提供一种进行学习与政策分析的工具,并使决策群体或整个组织逐步成为一种学习型与创造型的组织。

2.1.2 应用领域

系统动力学的应用领域十分广泛。在理论研究方面,可用于各类复杂系统的理论问题,包括诸如人们所关注的浑沌理论(见 § 8.2)等的研究。在应用方面,初期它主要应用于

工业企业管理,处理诸如生产与雇员情况的波动,市场股票与市场增长的不稳定性等问题。尔后其应用范围日益扩大,从民用到军用;从科研、设计工作的管理到城市摆脱停滞与衰退的决策;从城市、区域规划到国民经济的宏观调控;从世界面临人口指数式增长的威胁与资源储量日趋殆尽的危机到检验糖尿病的病理假设;从犯罪到吸毒问题等等。总之,其应用几乎遍及各类系统,伸入到各领域。自70年代初始,历时十几年,福瑞斯特完成了美国全国系统动力学模型。该模型把美国的社会经济问题作为一个整体加以研究,解开了一些在经济方面长期存在的、令经济学家们困惑不解的疑团。其最有价值的研究成果还在于揭示了美国与西方国家经济长波(economic long wave)形成的内在奥秘。近十年来它还在使企业及其集团发展成为学习型组织方面发挥了特殊的作用,已取得令人瞩目的成果(参见§6.2)。

§ 2.2 系统动力学的学科基础及其在系统科学体系中的地位

每一门学科都有其组成的学科基础。作为系统学科的学科基础一般应包含方法论、基础理论和应用技术三个层次。那么,系统动力学学科基础的这三个层次的具体内容是什么呢?另外,人们也时常问及这样一个问题:作为一个分支,系统动力学在系统科学体系中应处在什么层次和地位?本节将扼要阐明笔者对这两方面问题的见解。

2.2.1 系统动力学的学科基础

系统动力学的学科基础的三个组成层次为:

(1) 方法论

系统动力学的方法论是系统方法论,其基本原则为将所研究对象置于系统的形式中加以考察。系统方法论目前还很不完善,随着系统动力学自身的发展也丰富充实了系统方法论。

(2) 基础理论

主要有反馈理论、控制理论、控制论、信息论、非线性系统理论、大系统理论和正在发展中的系统学。

(3) 应用技术——第三层次

为了使系统动力学的理论与方法能真正用于分析研究实际系统的问题,使系统动力学模型成为实际系统的“实验室”,必须借助计算机模拟技术。此外,在这一层次中还应包括应用领域中所涉及的有关学科。例如将系统动力学应用到社会经济系统时,称之为社会经济动力学,而对于社会经济动力学而言,经济理论、决策理论与组织理论等则成为系统动力学的第三层次学科基础。同样地,对于企业动力学、城市动力学、世界动力学、生态动力学、能源动力学与工程动力学等等都有它们相应的第三层次的学科基础。

2.2.2 系统动力学在学科体系中的学科地位

系统动力学是系统科学中的一个分支。由于它被广泛地应用于微观与宏观管理领域,

因此也可以归属为管理科学的一个分支。这里仅对其在系统科学体系中所处的地位作进一步说明。

系统科学一般被认为可分为三个层次:第一层为系统学;第二层为系统科学的基础理论学科;第三层为实际的工程应用。系统动力学是一门理论与应用紧密结合,以研究一般系统的结构、功能与动态行为,系统与环境的关系等为主要内容的系统学科;因此,它是一门同时属于第二层和第三层的系统学科。

§ 2.3 基本思想、观点、方法和哲学观*

2.3.1 关于系统的基本观点

(1) 系统的定义

系统动力学定义系统为:一个由相互区别、相互作用的各部分(即单元或要素)有机地联结在一起,为同一目的完成某种功能的集合体。

系统动力学认为,系统由单元、单元的运动和信息组成。单元是系统存在的现实基础,而信息在系统中发挥着关键的作用。有赖于信息,系统的单元才形成结构,单元的运动才形成系统统一的行为与功能,也就是说系统是结构与功能的统一体。系统动力学所研究的系统的单元可以包含人及其活动。系统的范围与规模可大可小,其种类可包括:自然界系统,社会系统和思维系统;也就是自然的或人工的,社会的或工程的,经济的或政治的,以及心理学、医学的或生态的。

系统动力学认为,客观存在的系统都是开放系统;社会-经济-生态系统都是高度非线性、具有自组织耗散结构性质的开放系统。系统内部组成部分之间的相互作用形成一定的动态结构,并在内外动力的作用下按照一定的规律发展演化。完全孤立和外界隔绝的系统在客观世界中是不存在的;然而在特定的时空条件下,可以把某些系统近似地简化为封闭来加以研究。

(2) 系统的基本结构

关于系统基本结构的观点是系统动力学理论的重要组成部分。

众所周知,维纳通过研究生物体的内部调节功能与机器系统的自动控制作用发现它们存在着的某些共同规律,把生物系统中的信息反馈概念引入了机器系统,从而建立了控制论。与此同时福瑞斯特考察了社会经济,生物与生态系统中存在的动力学问题,首先把信息反馈概念应用于社会经济系统和工业企业系统,建立了系统动力学。当工业社会出现以后,人们已逐渐被淹没于无数零碎的知识与经验的汪洋大海。问题就在于缺少一种能够统一描述各类系统与现象的普遍结构。所谓结构是指单元的秩序。它包含二层意思,首先是指系统的各单元,其次是指各单元间的作用与关系。

为了研究系统需要正确的理论与原理来描述与揭示系统的内部结构,把观察到的现象有效地加以分析、解释和处理;若没有统一的结构,经观察所得到的只能是零星资料的

* 见参考文献[6],[7],[8],[10],[11],[12],[13],[15],[16],[23],[33],[34],[35],[36]

大杂烩与相互矛盾的许多偶然事件的堆砌。系统动力学认为,反馈理论能够描述社会经济系统和其他类型系统的基本结构。

系统动力学以反馈回路来描述系统的结构,把一阶反馈回路作为系统的基本结构或称基本单元。所谓反馈回路是耦合系统的状态、速率(或称行动、决策)与信息的闭合通道。它们对应于系统的三个组成部分:单元、运动与信息。状态变量的改变取决于决策或行动的结果,而决策(行动)的产生可分为两种:一种是依靠信息反馈的自我调节,这是普遍存在于生物界、社会和机器系统中的现象;另一种是在一定条件下不依靠信息的反馈,而按照系统本身的某种特殊规律。这种现象存在于非生物界。这时并不是信息不存在,而是信息处于“潜在”状态未被利用。如用系统动力学的流图来表示则相当于信息到决策之间的连线切断了。在社会经济系统中,反馈回路就是由以上所述的状态、决策、信息三种基本部分组成的结构。我们定义仅含一个状态变量的反馈回路为一阶反馈回路。反馈回路的极性还有正负之分。而一个复杂系统则由这些基本结构再加上延迟、逻辑等环节,按子系统、层次组织起来,从而组成总的反馈系统结构。这些反馈回路的耦合、交叉、相互作用产生系统的总功能与行为,并对周围环境条件的变化作出自己的反应。

(3) 系统的结构与功能

凡系统都有结构与功能,更确切地说系统是结构功能的统一体。所谓功能,是指各单元活动的秩序,或者说是指单元本身的运动或单元间相互作用而形成的总体效应。系统动力学能定性与定量地分析研究系统,借助模拟技术,以结构-功能模拟为其突出特点,一反过去常用的功能模拟(也称为黑箱模拟)法,从系统的微观结构入手建模,构造系统的基本结构,进而模拟与分析系统的动态行为,这样的模拟更适于研究复杂系统随时间变化的问题。

系统的结构表示系统构成的特征。功能则表示系统的行为特征。结构与功能的对立是相对的,结构与功能是相辅相成、互为因果,在一定条件下结构可能转化为功能,功能亦可转化为结构,两者是不可分割的。因此,分析研究一个系统时,不但要考虑系统的功能与行为,而且要考虑系统的结构;通过不断交叉地考察系统的结构与功能,来建立一个在结构上与功能上都能较好地反映实际系统的模型。

为了构造出有效性高、满足预定要求的系统动力学模型,必须对相应的系统进行严谨的系统分析与结构分析。建模人员必须与用户、有关人员、专家紧密结合,深入地去洞察实际系统诸组成部分之间、整体与局部之间与系统内外之间的种种联系和相互作用,以及这些作用与联系在系统发展的不同阶段在时空上的关联的演变;即其系统全面、发展、辩证的动态反馈因果、生克关系;把系统的动态行为模式与其内部的反馈回路结构联系起来,通过历史的全面的系统动态分析、比较、鉴别,从而获得对系统的反馈结构与机制、功能与行为全面辩证的认识,并把它们反映到模型的结构、主要变量与参数中去。这样一种从系统微观结构入手进行系统的动态分析,进行建模的过程,也就是剖析系统的结构与功能的对立统一关系的过程。

由此可见,SD 从系统微观结构入手建立系统模型的原理,能够向人们提供一种研究系统结构与功能关系的科学方法。

(4) 内生观点、系统内部微观结构与其宏观行为、内因与外因的关系

系统行为的性质主要取决于系统内部的结构,也就是系统内部反馈结构与机制。系统的内部结构的涵义包括两方面:一方面是指其组成部分的性质及其相互关系的性质,更重要的方面是系统内部各反馈回路和结构及它们相互作用的关系与性质。尽管系统的行为丰富多彩,系统在外部的涨落的作用下可能发生千变万化的反应,然而系统行为的发生与发展都主要地根植于系统内部。这就是系统动力学的著名的“内生”观点。这是系统动力学基本理论中的核心思想,学科赖以建立的主要基石。复杂系统,例如一国的国民经济,尽管有时候要受外部事件(比如国际金融危机)的严重影响,但其行为特性仍主要地取决于其内部组成部分之间的相互作用和所采取的政策。这一思想已为数以千计系统动力学工作者所获得的理论与应用研究丰硕成果所证实;同时亦为发生在我们周围和世界上的无数事例与事件所证实。

另一主要观点,也是另一基石是关于系统内部微观结构与其宏观行为的关系问题。学科创始人福瑞斯特教授对此观点作了如下精辟的阐述,“系统之宏观行为源自其微观结构”,已成为数十年来系统动力学界的经典。

系统动力学还强调内因与外因的辩证关系。内因是系统存在、变化、发展的依据,外因是系统存在、变化、发展的客观条件。在一定条件下,外部的干扰起着重要作用,但归根到底,外因也只有通过系统的内因才能起作用。而系统的演化方向则由内、外因通过内部反馈机制共同决定的。

(5) 主导与非主导动态结构

在系统内部的诸反馈回路中,在其发展、运动的各阶段,总是存在一个或一个以上的主要回路(或称主导回路),这些主导回路的性质及它们相互间的作用(包括竞争与协作),主要地决定了系统行为的性质及其变化与发展,这就是主导动态结构作用原理(相当于协同学中的支配原理)。主导回路存在于系统运动、变化、发展和由旧系统结构过渡到新结构的全部过程之中。它们代表了在一定时空条件下系统的主导结构。应当指出的是,强调主导部分的作用并不排斥其他非主导部分在系统中的作用。系统的主导部分只能在与其它部分的相互作用中形成和存在。系统的行为的性质与模式(相当于协同学中的相)是由主导结构与非主导结构共同作用的结果。此外,由于系统内某些非线性变量、敏感变量的变化以及干扰与涨落的影响,主导结构是动态变化的,其具体内容在系统整体结构新旧更迭的前后当然不同,而且即使在同一系统结构中,在一定的时空条件下,主导与非主导部分也可能相互转化。(注:在行文中我们有时候把“主导动态结构”简称为“主导结构”)

(6) 主要变量和敏感变量与子结构

在系统中总是存在一部分相对重要的变量,它们对系统的结构与行为的性质、特征的作用与影响比较大,而且总是被包含于主回路之中。

系统动力学认为,系统中往往存在一些灵敏变量(或参数)与子结构,它们对于干扰与涨落的反应十分敏感和强烈,一旦系统处于临界状态,涨落对这些灵敏变量(或称涨落点)的作用可能导致新旧结构的更迭。若这类灵敏变量处于主回路中或两种极性的回路的联结处,由于灵敏变量(往往是非线性的)本身的微小变化或由于涨落的作用,将使主回路转移,或改变主回路极性,甚至导致整个系统的结构与行为产生巨大的变化或质的变化。

(7) 系统的历时性与系统的进化规律

系统在内外动力和环境条件的共同驱动和作用下,使其结构、参数和功能、行为及其发展方向都随时间的推移而变化。在系统运动的全过程始末,其主导回路与反馈极性都在不断变动,主导回路与非主导回路在相互转化,环境条件也不断在变动;因此,一般而言,系统的发展过程将包含若干在时间上先后关联具有质的差异的阶段。当系统中量的变化超过一定值时,则可能发生质变和新旧结构、新旧质的更迭,旧的结构与系统瓦解消失,而新的结构与系统诞生。这是一个由量变到质变的过程,由低级系统向高级系统发展、进化的过程。这就是系统的历时性与系统的进化规律。

SD 研究的重点包括在同一类系统结构下的运行机制、结构变化与其动态行为的关系和系统从旧结构、旧质向新结构、新质变化的过程、机制以及可能产生的各种行为模式。

(8) 开放非线性复杂系统的其他重要性质

自 80 年代始,SD 学界的部分学者和笔者十分关注其他新系统学科的进展,并探索它们和 SD 的内在联系,已形成若干有关开放复杂系统的性质的观点:

① 在非平衡状态下运动、发展、进化是开放复杂系统的一个重要动态行为特性。系统动力学所研究的系统,诸如社会经济、生态系统,都具有这一特性。

② 开放非线性系统在不断与外界进行信息流、物流、能流的交换过程中,获得外部动力;同时,在系统内部的各组成部分相互耦合、作用,形成自然约束与相互协调,产生内部动力。在内外动力的共同作用下推动系统内的组成部分朝共同目标发展。这就是所谓自组织的涵义。系统动力学所研究的对象,大部分都具有自组织性质。

③ 当系统进入远离平衡态的非线性域阶段,系统与外界进行信息流、物流、能流的交换规模显著增大且变化迅猛,这时系统吸取的物流与能流不仅足以补偿系统的耗散,而且还足以促使系统结构的更新,并对外部环境产生更强烈的影响和严重的后果。人类历史已向我们表明,工业化以后的各类社会经济系统,其行为的性质与特征均大体与此相似。

2.3.2 关于系统特性的观点

(1) 关于系统的一般特性

① 系统具有整体性和相关性的重要特征

系统整体不是简单的等于各部分之和。虽然一般而言,系统整体大于部分和,然而一个失于组织的系统的整体也可能小于部分和。脱离各局部去论整体是空中楼阁,把整体简单地视作各局部之和,则难免陷入形而上学。系统的质不同于单元的质,整体的结构与功能不同于部分的结构与功能。系统整体的质由系统内各单元组成的结构所规定,它与各组成单元的质迥然不同;同时系统结构亦赋诸单元予新的特征。比如,一个国家系统是由人口、生产、财贸、运输、资源、能源等子系统组成的。显而易见,整个国家系统的质及其结构、功能都不等于这些子系统的简单相加。掌握了这一点,在剖析系统与构模时才能正确地应用分解与协调的原则,去处理好系统整体与其组成部分间的关系,以及模型总体与各子块间的关系,把分结构正确地置于更大的系统中去。系统的整体性源自单元(或分结构)之间各种关系的性质,正是这些关系及通过信息的反馈作用导致系统的结构与功能的形成。这里体现了系统的相关性。

相关性指的是整体与部分,部分与部分,系统(开系统)与环境之间的普遍相互关系,

以及单元、能(运动)、信息之间的相互关系。当我们把研究对象作为一个系统加以研究时,首先应从系统的整体出发,从系统与单元、单元与单元及系统与环境的相互关系中揭示和研究系统内部反馈机制的性质及其运动规律,进而从各部分之间的相互关系中去把握整体的结构与性质。

复杂系统中存在着一因多果、一果多因甚至交叉因果链的现象。因此,随着研究的扩大与深入,原先的简单因果关系已显得不合理。需要一种更合理、能描述客观实际情况的相互关系。系统动力学采用反馈、生克关系代替已往的简单因果关系,这无疑是人们认识系统相关性的进一步深入。

② 系统的层次与等级

系统动力学强调系统中的单元与其整体结构存在相互联系、相互依赖、相互影响的关系;然而各单元、子结构和整体结构间还存在相对的独立性,因此导致结构的层次性与等级性,而且由于过程与功能的相对独立性,产生了功能的层次、等级性。于是,由于系统是结构与功能的统一体,结构与功能的层次与等级就辩证统一地形成系统的层次与等级性。在客观世界中各类系统是 分属不同的层次与等级的。值得注意的是,不同层次的系统有不同的规律,但它们不能完全地归结于低级系统的规律。另外,低级系统有向高级系统进化的趋势,同时各类不同系统等级之间也有相互转化的现象。在无机界中高级系统是由低级系统组成的,而在有机界中则存在着完全不同的系统发展规律,即高级系统是由低级系统演进而来的。

③ 系统的稳定性

系统的稳定性是系统的一个重要特性。所谓稳定性是指系统在干扰或涨落的作用下的恒定性与可靠性。当系统具有一定的质态时,则有其相应的内在结构、外在功能和行为模式。在干扰或涨落的影响作用下,虽然能引起系统在量上的变化,但一般尚不足以改变其质的规定性;因此,其结构、反馈机制的性质维持不变,其行为模式亦不变。然而,当非线性系统处于远离平衡态时,在不稳点附近涨落有很大反常,涨落的触发作用将使系统失稳,从旧稳态变成不稳定,跳跃到另一种新稳态。因此,提出稳定性的概念,以稳定性的高低为尺度来衡量一个系统保持其一定质态的能力是必要的。从现代控制理论的角度看,按照系统的稳定性原理系统可分为三类:稳定的、渐近稳定的和不稳定的。一个系统究竟属于哪一类型,均根植于系统内部的反馈机制的性质,也就是系统的结构与功能的辩证统一的性质。一些系统受内外干扰的影响,激发了其特定的内部反馈机制,具有由一状态变成不稳定,再恢复到原状态的能力;这就是系统的另一特性,适应性,它是通过稳定性体现的。了解此类系统的稳定与可靠性,将有助于分析研究其行为与内部反馈机制的关系,也就是系统结构与功能之间的相互依存,相互作用的内在关系。

④ 系统的类似性

在自然界、人类社会与人类思维等不同领域里,存在着结构上与功能上的类似性即系统的相似性。也就是说可以用同一种规律和行为模式,来描述看来似乎属于截然不同领域的事物与现象。如S型增长规律可适用于描述在一定条件与界限下的某些事物与现象,例如人口的增长,疾病的传染,谣言的传播,动物与细菌群体的增长等等。

类似性指的是同时在结构与功能方面的类似,而不只是功能上的类似。仅是功能类似

有可能是表面的、肤浅的,甚至是含糊、不科学的。系统动力学在建立系统模型时,不能仅仅模拟系统的功能,而且要能真实反映系统的结构。这样的模拟才能较客观、较科学地反映客观世界。

系统动力学认为,不同领域之间并无不可逾越的鸿沟。一功能有多种结构的现象,颇为常见。因此存在结构-功能模拟的可能性,即以—种结构模拟另一种结构的功能与行为的可能性,这也就是建立模型去模拟系统的一个依据。系统动力学长期以来正是根据这一点沟通了不同领域内系统的规律与理论。也正是基于系统的相似性,透过各类绝然不同的系统,可以找到组成这些系统的类似反馈机制和类似的单元与环节。系统动力学用反馈回路去统一系统的基本结构,应用各类反馈机制及其组合和各类单元与环节来描述系统的模型;并认为,状态变量、状态的变化速率、某些逻辑函数和延迟环节等,是各类系统中普遍存在的变量与函数。运用这些单元与环节则有可能建立起在结构上与功能上都较能反映真实系统的系统动力学模型。

认真观察、分析一下客观世界就不难发现许多不同系统的动态行为与内部反馈结构都存在着相似之处。例如,人口系统的出生率与死亡率和工业资本系统的投资与折旧率。在结构上它们都是有互相关联的正反馈与负反馈回路,并包含延滞环节,因而从它们的结构来说,它们是同构的。这样可以推知,其动态特征可能是按指数规律上升、下降、超调或是振荡,但并不呈现S形的增长。又如,指数规律又称为“自然增长规律”,在经济学上表示资本按复利的增长,在社会学上它称为马尔萨斯定律,表示人口的指数增长特性等等。在这些不同的系统中,它们的基本结构都包含一个正反馈回路。对于这些不同的系统在结构上的同构研究必然有助于把对系统的类比描述上升到逻辑同调的描述,有助于把各类系统的特殊规律提升到更一般的普遍规律;并为建立某一领域或一些领域中的通用单元、通用函数、共性子结构、通用子块与通用模型;及建立普遍适用的系统基型、共性结构与功能理论奠定基础,使建模工作尽可能标准化、规范化和通用化、同时也为研究各类系统的具体结构与规律提供了理论依据和带来方便。

⑤ 系统的目的性

系统的行为具有一定的趋向性和目的性。当一个开系统能达到定态即稳定的定态时,则称该系统具有目的性、终极性。系统的行为不仅依赖于自身的现有状态而且又依赖于其未来的终极状态。例如负反馈系统具有寻优的特性,可保持已有的稳态,或由旧的稳态渐近地过渡到新的稳态,或者是经过超调或振荡再趋于新的稳态。

这种系统的目的性是由系统内部的反馈结构机制,也就是系统内部各部分的相互关系及其整体性质所决定的。

(2) 关于复杂系统的特性

关于什么是复杂系统,复杂系统的主要特性,在§5.1有比较详细的论述。为了保持本节内容的完整性,这里将复杂系统(主要指社会、经济系统)的特性略举其要如下:

- ① 行为的反直观性;
- ② 对变动参数的不敏感性和变更政策的抵制性;
- ③ 系统内存在一定的政策的杠杆作用点;
- ④ 系统内全局与局部利益的矛盾;