

姜 璐 李克强 编著

简单巨系统 演化理论

JIANDAN JUXITONG
YANHUA LILUN

北京师范大学出版社

姜璐 李克强 编著

简单巨系统演化理论

北京师范大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

简单巨系统演化理论/姜璐, 李克强编著. —北京: 北京师范大学出版社, 2002. 7
ISBN 7-303-06282-3

I. 简… II. ①姜…②李… III. 非平衡统计理论-高等学校-教材 IV. 0414.22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 045938 号

北京师范大学出版社出版发行
(北京新街口外大街 19 号 邮政编码:100875)

出版人:常汝吉

北京师范大学印刷厂印刷 全国新华书店经销

开本:787mm×980mm 1/16 印张:18.25 字数:315千字

2002年7月第1版 2002年7月第1次印刷

印数:1~2000册 定价:23.00元

前 言

我校自 1985 年建立本科“系统理论”专业,1990 年又成为全国首批系统理论博士点授予单位。为了加强对学生系统理论专业知识的培养,使系统理论课教学工作正常进行,我在 1988 年编写了系统理论讲义,并先后修改三次。此书即是在讲义基础上,吸收了不少专家的意见后写成的,并且定名为“简单巨系统演化理论”。

此书内容在大学本科已经学过微积分、高等代数、微分方程及普通物理学、统计物理学等基础数理科学基础上编写而成。部分内容超过大学本科的要求,可作为学生在研究生学习期间的参考(系统理论是一门新兴学科,目前还没有全国统一的教学大纲,这里完全按照我们在教学中的体会来编写)。另外这本书作为系统科学领域中一本专著也提出了我的不少看法,甚至整个体系也是按照我的观点来建立的。

1986 年我有幸参加钱学森院士主持的系统学讨论班,讨论班历时五年,对系统科学的许多基本问题进行了详细的研讨,国内不少专家都到会参加过讨论。我在讨论班上受到很大启发,学到不少东西,后来又在钱老指导下与朱照宣、于景元、郑应平、董镇喜等几个人研究系统学。此书是讨论班学习的心得体会,也是对钱老指导研究系统学我个人的答卷。系统学是系统科学的基础理论,它包含多方面内容,本书只涉及系统学中的一部分内容,书中所分析的是比较简单的系统(属于简单巨系统)。对于复杂系统特别是社会系统还不能完全照搬书中的内容,还需要有另外的专著进行讨论,所以这里定名为“简单巨系统演化理论”。

全书共分七章,采取从宏观到微观、从理论到实践的思路编写。第 1 章全面介绍系统科学,使读者不仅能从历史的角度、发展的角度来了解系统科学,而且也能了解到系统理论在整个系统科学中的地位。第 2 章是对一般系统的分析,它的概念、理论适用各类系统,也可以说它是讨论各类系统的基础,是进一步研究简单巨系统的前提。以后各章均是对简单巨系统的讨论。第 3 章集中讨论了我认为可以用来描写简单巨系统状态的物理量——熵,把原来统计物理学中的熵概念推广,使之成为描写简单巨系统状态的物理量。第 4 章讨论分析简单巨

2 简单巨系统演化理论

系统演化的数学方法,虽然不少内容在数学的不同领域中都作过讨论,但这里一方面将它们集中在一起,另一方面这里强调它对简单巨系统的分析,强调它的物理意义。第5章讨论简单巨系统演化的物理理论——自组织理论,它将 Prigogine 和 Haken 所创立的耗散结构、协同学归纳总结、精炼提高,使之成为解决一般简单巨系统的一种普适理论。第6章讨论非线性现象,而且也主要是分析简单巨系统所呈现的非线性现象,如非线性振动、混沌、元胞自动机等,对于分析这类非线性现象就没有单设内容讨论,而仅把其中与演化有关的部分作了介绍。最后一章结合前面几章的方法具体讨论了一些实际应用。这一章所讨论的实际问题多数不能划为简单巨系统,属于复杂巨系统,但是我们经过简化,当作简单巨系统来处理,这也有助于我们进一步了解对简单巨系统的应用。

除前面提到的我得到了钱老等系统学讨论班的专家指点外,方福康、沈小峰教授等都倾注了他们的心血。我的同事车宏安、王德胜教授等都给予我很多帮助,田宝国博士、谷可硕士校对了全部手稿,修订了书中的计算错误,在这里对他们的无私帮助,表示深深的谢意。可以说这是一本集体创作。当然书中可能还存在不少问题,特别这是对一些新问题、新概念的分析、讨论,肯定会有不少缺点甚至错误,恳请专家及同行们指出。

作者

1999年写于北师大英东楼

2001年修于北师大玫瑰园

目 录

第 1 章 系统科学概论	(1)
1.1 系统科学发展简史	(1)
1.2 现代科学技术体系	(10)
1.3 系统科学不同层次理论	(17)
第 2 章 一般系统描述	(29)
2.1 系统定义与分类	(29)
2.2 系统的演化.....	(33)
2.3 稳定性	(39)
2.4 非线性与分岔	(54)
第 3 章 简单巨系统状态分析	(66)
3.1 简单巨系统.....	(66)
3.2 熵概念的回顾与推广	(72)
3.3 简单巨系统状态的描述——熵、有序性	(80)
第 4 章 简单巨系统演化的数学分析	(94)
4.1 微扰论	(94)
4.2 平均值方法	(107)
4.3 算子结构分析	(121)
4.4 突变论	(135)
第 5 章 非平衡系统的自组织理论	(149)
5.1 热力学背景	(149)
5.2 耗散结构	(160)
5.3 役使原则	(170)
5.4 随机层次上的讨论	(177)
第 6 章 简单巨系统的非线性行为	(189)
6.1 非线性振动	(189)
6.2 混沌现象	(203)
6.3 元胞自动机	(225)

2 简单巨系统演化理论

第7章 实际系统	(234)
7.1 建立模型	(234)
7.2 城镇人口空间分布演化系统	(251)
7.3 经济系统分析	(262)
7.4 教育经济学模型	(270)
参考文献	(283)

第 1 章 系统科学概论

1.1 系统科学发展简史

系统科学(System Science)作为一门科学有它产生、发展、形成的过程;而且由于系统科学是一门横断科学,它涉及自然科学中包括数学、物理学、化学等多个学科领域,还涉及工程技术的多个部门,甚至与社会科学的不少学科也有联系,因此系统科学发展的历史与整个人类发展历史紧密相连.它的产生可以追溯到原始社会.古代人类认识自然界首先就是从对自然的整体认识开始的,也可以说,系统科学思想是指导人们认识的第一个理论;而系统科学体系的完整建立又要说到当代科学技术的最新成就,现代科学的每一个新理论几乎都被系统科学吸收,并改造成为其自身理论体系中的一个部分.从总体上来看,系统科学的发展大体上经历了三个阶段,即定性的系统思想产生,定量的系统科学方法建立,综合的系统科学体系构建三个阶段.

一、定性的系统思想产生和形成——系统科学的初级阶段

古代人类的生产水平低下,对自然灾害的抵御能力很差,对自然界的认识往往停留在“系统思想”的水平上,他们从整体上来认识世界,把人的生老病死与自然界的现象联系在一起,形成了“天人合一”的世界观.这种世界观中包含有系统的思想,中国老庄哲学就反映了这种思想.“老子”中论述事物的统一、转化等,指出:“天下万物生于有,有生于无”,“无名,天地之始,有名,万物之母”,“道生一、一生二、二生三、三生万物”^[1].后来王安石将世界演化的顺序又解释为“天一生水”,“地二生火”,“天三生木”,“地四生金”,“天五生土”,“五行,天所以命万物者也”^[2],认为世界上的事物先由天地生出五行——水、火、木、金、土,然后再形成万物.这样,他们用阴阳、五行、八卦的观点来统一自然界的各种现象,统一人类与自然.我们可以把它们看成是整体观点、运动变化(演化)观点、综合(层次、组织、相互联系与相互作用)观点等系统思想的具体体现.古希腊哲学家德漠克利

特把宇宙看成是一个统一的整体,从整体上进行研究;并把宇宙看成是由原子组成的,原子的运动和相互作用构成了整个宇宙的运动变化;他发表的“宇宙大系统”的专著,可以认为是最早采用“系统”这个词的著作。

无论是中国古代的思想家,还是外国古代的思想家都是从整体上研究世界,他们往往在几个领域上都有较高的造诣,是多个学科的专门家,例如古希腊的亚里士多德(Aristotle)、阿基米德(Archimedes),中国的老子、墨子等。这一时期科学发展的特点在于:不同学科的研究紧密联系在一起、科学与哲学的研究联系在一起。科学的综合发展是生产水平较低时期的产物,对科学本身则体现为系统思想大发展的时期,系统思想中的整体观点、运动变化观点、综合观点是指导当时科学研究的主要观点。特别需要指出的是这时的系统思想是人们“被迫”树立起来的,人们无法了解到自然界复杂现象的原因,因此只能从总体上、从宏观上采用思辨的方法来研究事物。系统思想的建立和发展,与生产水平较低下、与科学技术还不十分进步是紧密联系在一起的。

虽然整体上运用系统科学观点研究自然界是在科学技术发展初级阶段人类“被迫”选择的观点和方法,但是系统科学方法已经使人类在科学技术和生产发展方面取得了辉煌的成就。

在工程上,中国古代李冰领导修建的四川都江堰水利枢纽工程不仅是当时世界水利建设上的杰出成果,也是系统科学观点的一次伟大的实践。整个工程由三个大的主体工程构成:“鱼咀”——岷江分水工程,“飞沙堰”——分洪排沙工程,“宝瓶口”——引水工程,从而将防洪、排沙、引水等多项功能集中在一个大工程项目中,与之配套的还有 120 多个附属工程,形成一个统一的整体,发挥了排沙、泄洪、灌溉多方面的作用。可以认为没有“鱼咀”分水工程,大量的沙石就不可能排入外江;没有“宝瓶口”引水工程,水形不成回旋流,泥沙无法越过“飞沙堰”排泄出去;而没有“飞沙堰”工程将泥沙排走,“宝瓶口”将被泥沙堆积无法发挥引水作用,水也不能进入成都平原。都江堰水利工程从总体上进行设计和建造,使它在各个方面都能起到较好的作用,并且由于是在总体上进行设计,因此能在较多方面长期发挥作用。一直到现在,都江堰还在对四川平原的农业生产产生着效益。

在医学方面,我国中医理论也充分体现了系统科学的思想。古代中医理论“黄帝内经”强调了人体各器官联系,生理现象与心理现象联系,身体状况与自然环境影响。把人的身体结构看做是自然界整体的一个部分,认为人体的各个器官也组成一个有机的整体,用阴阳五行学说来说明五脏之间的相互依存、相互制约的关系;将自然现象、生理现象、精神活动三者结合起来分析疾病根源;在治疗上

将人的养生规律与自然界的變化联系在一起,提出了“天人相应”的治疗原则.这些实际上是强调了系统内各子系统之间的关系、系统与環境之间的关系.中医在诊断病症时采用切脉方式,将人看成一个整体,利用人体局部发生病变时,影响到血液循环情况,则从手腕处脉搏跳动的速度快慢、力量大小等特点来判断出现病变的部位及程度.中医在治疗疾病时所用针灸方法,也是将人看成一个各器官相互之间紧密联系的整体,如对很多不同器官的疾病都通过在耳部相应部位针灸达到治愈的目的.从上述论述中,我们可以看到无论是诊断还是治疗,中医都是把人作为一个整体,认为身体各部分之间存在着紧密的联系,而且这种联系的物质依托不仅有在人体解剖学上观察到的神经、血管等各器官的联系通道,还有被称之为经络的通道.按中医理论经络将人体联成一个统一的整体,它是人体各部分之间联系的重要通道;而只有在人成为一个整体(进行新陈代谢的活人)时经络才存在,否则经络不能存在.我们知道,一直到现在对人进行解剖,观察身体的各部分组织时,也没有找到经络的物质.以系统科学整体观点、系统观点为基础的中医理论,现在仍然在我国乃至世界医学上占有重要的地位.

随着生产的不断发展,人类对自然的认识越来越深刻,此时却产生了忽略系统整体特性研究的倾向.以对人体的认识为例,通过解剖学,人们不仅对人体各部分的构造有了深刻的了解,分清是人体各个器官,而且对它们之间的联系也找到血液循环、神经网络、淋巴组织等三种联系渠道.对每一部分了解的深入、对每一种具体联系渠道的讨论都是科学的发展、是人类的进步,但这也使人们忽略了对整体的分析,忽视了各个局部在系统整体中的作用.解剖学对肌肉组织了解的非常仔细,对肌肉进行了各种物理、化学的实验,以使人们可以了解到肌肉细胞的各种特点,但却忽视了作为人体一部分的肌肉在整个机体存在情况下反映出来的特性,甚至不相信在局部肌肉实验中不能看到的、人整体所表现出来的某些超常功能.一些专业研究工作者,在看到一些气功师表演赤膊躺在尖钉板上,并往身上压重物,表演者并不会被尖钉扎破时,由于他们在研究中,无论理论计算还是实验观测,小块的肌肉都不可能承受过大的压强,他们就不相信气功师的表演,想方设法去否定看到的现象.实际上从系统科学的角度来分析,局部肌肉的实验,不可能反映系统整体的特点,人整体表现出来与局部肌肉反映出来的特性不同是完全正常的.忽略系统整体与局部在性质上的区别,是具体科学研究深入对系统科学发展带来的负面影响.

正如恩格斯所指出的那样:“在希腊人那里——因为他们还没有进步到对自然的解剖、分析——自然界还被当做一个整体而从总的方面来考察.自然现象的总联系还没有在细节方面得到证明,这种联系对希腊人来说说是直观的结果.

这里就存在着希腊哲学的缺陷,由于这些缺陷,它在以后必须屈服于另一种观点。”^[3]实际上系统科学经过一段早期的辉煌发展时期以后,虽然在一些局部的、工程上的、具体的方面有一些成就以外,从整体上讲处于停滞阶段,作为一种思维方式它逐渐被形而上学所代替。

究其原因,我们认为,从经济发展上来看不论是长期的奴隶制、封建制社会,还是资本主义发展初期,一般生产规模都较小,生产设备都比较简单,较容易形成生产的协调发展,只要加大劳动强度就可以提高生产;自然资源充足,有取之不尽、用之不竭的感觉;由于生产造成的环境污染,可以通过自然净化作用得到恢复。因此在这个时期人们只重视个别机器的改进,忽视整体的效益,只重视加大生产强度,不考虑综合利用,不考虑资源配置。这就从客观需求上放松了以研究系统整体为对象的系统科学的研究。

另外,由于对自然界认识的深入,学科分类越来越细,各学科的研究人员也不再能对所有学科都有所了解,只能成为某学科的专业人才。在中世纪,意大利的科学家达·芬奇(Leonardo da Vinci)既是力学家、物理学家,又是建筑学家、画家。而在这以后,像达·芬奇那样可以精通天文学、力学、物理学等多个领域的专家已不可能存在。就是在医学科学领域内,心血管专家也不再懂得多少脑科学,而且理论专家不善于做实验,搞实验的专家其理论分析的功底也不强。一方面这是由于知识越来越深入,内容越来越多,一个人即使一辈子都进行学习,也不可能掌握很多门的学问。另一方面学科门类分得过细,使科学研究工作者没有必要再去学习过于宽泛的知识,只需掌握比较窄的专门知识就够了。知识面过窄的研究人员也是使系统科学发展缓慢的原因之一。

二、定量的系统科学在应用学科层次上的建立与发展

像任何科学的发展都是由生产的发展来促进、都是从对实际应用的研究开始一样,系统科学的发展也是由于生产的发展,由于客观的需要而使之发展,并且首先进行实际应用的研究。第二次世界大战前后是系统科学应用层次迅速发展时期,并在二次大战以后逐渐形成了系统科学在应用学科层次上的理论——控制论(Cybernetics)、运筹学(Operational Research)、信息论(Information Theory)。

二次世界大战以前人们对系统科学应用的研究已经开始,并取得了一定的成就,最突出的例子有两个,一个是埃尔朗(A. K. Erlang)提出的电话平衡模型理论^[4]。在20世纪30年代电话事业已有很大发展,人们在架设电话线路时需要考虑电话的使用效率:线路太少,出现多部电话集中在一条线路上拥挤,无法

通话;线路太多,又会出现线路长时间闲置,造成浪费. 埃朗利用对比方法建立模型,巧妙地解决了这一问题. 他将一个电话通讯系统与一个水的气液平衡系统相对照:一部电话被拿起使用对应于一个水分子从气态跑到液态,一部电话停止通话对应于一个水分子从液态又回到气态. 给定单位时间一部正在通话的电话用毕的概率为 λ (即通话时间为 $\frac{1}{\lambda}$),单位时间电话被使用的概率为 μ . 在气液平衡时,单位时间从液态跑向气态的分子数,与从气态跑回液态的分子数相等,利用这样的关系,可列出电话的平衡方程:

$$P_{i-1}\mu = P_i\lambda. \quad (1-1-1)$$

其中 P_i 表示在系统中有 i 个分子处在液态的概率,亦即有 i 部电话正在被使用的概率. 将这一细致平衡的普遍关系式反复使用,可有

$$P_n = \frac{\mu}{\lambda n} P_{n-1} = \left(\frac{\mu}{\lambda n}\right) \frac{\mu}{\lambda(n-1)} P_{n-2} = \dots = \left(\frac{\mu}{\lambda}\right)^n \frac{1}{n!} P_0. \quad (1-1-2)$$

由于概率分布满足归一化条件,故

$$\sum_{i=0}^n P_i = 1. \quad (1-1-3)$$

所以
$$P_0 \left\{ 1 + \left(\frac{\mu}{\lambda}\right) + \frac{1}{2!} \left(\frac{\mu}{\lambda}\right)^2 + \dots + \frac{1}{n!} \left(\frac{\mu}{\lambda}\right)^n \right\} = 1. \quad (1-1-4)$$

$$P_0 = 1 / \left[1 + \left(\frac{\mu}{\lambda}\right) + \frac{1}{2!} \left(\frac{\mu}{\lambda}\right)^2 + \dots + \frac{1}{n!} \left(\frac{\mu}{\lambda}\right)^n \right] \quad (1-1-5)$$

令 $\rho = \frac{\mu}{\lambda}$, 则有 Erlang 公式

$$P_i = (\rho^i / i!) / \left[1 + \rho + \frac{\rho^2}{2!} + \dots + \frac{\rho^n}{n!} \right] \quad (1-1-6)$$

利用统计方法计算出的 Erlang 公式表明,在电话机平均使用率 μ 和平均通话时间 $\frac{1}{\lambda}$ 已知的前提下,给定拿起 i 部电话机线路占有的概率为 P_i (如 $P_i=0.9$)时,对于 n 条电话线的线路可装 i 部电话机. 通常 $\mu > \lambda$, 当我们增加线路 n 时,对固定的电话机系统,其全部使用的通话概率则大;当增加电话机 i ,其他参数不变时,则通话概率降低. 这个例子不仅是一个系统工程应用的范例,而且有着重要的实际意义. 这里给出的公式到现在仍然是电话部门设计通讯线路的基本依据. 后来,对此类问题的研究发展成为排队论的主要内容,而且在解决问题的方法上、建立模型的过程中,这里公式的得出也为一般系统工程建立模型提供了参考.

另一个例子是美国科学家列昂捷夫(W. Leontief)提出的投入产出模型^[5]. 国民经济中各个部门的关系非常复杂,它们相互作为原材料、能源等. 一种产品

的多少影响着多种产品的生产,同时又受着多种产品的制约;但是对于大部分产品来讲,在短时期内单位产出的投入量,即生产单位产品对各种生产要素的消耗量具有相对的稳定性.这是由于各种原料、辅助材料、动力等的消耗量是由生产技术水平、管理水平、自然条件等因素决定的,这些因素短期内不会发生根本性的变化;即使有部分产品的消耗系数变化较大,但其变动具有一定规律性,也容易确定.列昂捷夫的投入产出模型是用数学方法和电子计算机来研究各种经济活动的投入产出之间的数量关系.它对于科学的安排、预测和分析经济活动有很大作用.这种方法以列昂捷夫1936年发表的《美国经济关系中的投入与产出的数量关系》论文为代表,以后他又出版了《美国经济结构1919~1929》(1940年出版)和《美国经济结构研究》(1953年出版)两部专著,这些论文和著作不仅系统地提出了投入产出方法,并且根据美国公布的经济统计资料编制了美国经济的1919、1929、1939年的投入产出表.投入产出方法在经济分析中起了重要的作用,列昂捷夫因此获得了1973年的诺贝尔经济学奖,他所提出的方法也在世界各国普遍得到采用.

但那时的研究是孤立的、分散的、局部的.其原因在于经济发展水平低下,没有对系统整体优化的要求,也在于科学发展水平不高,没有研究的基础.

二次世界大战中,交战各方要求合理使用局部,以达到全局效果最佳,这就大大促进了对解决实际问题计算方法的研究,各种运筹方法、控制方法、博弈方法都得到了很大发展.由于战争的需要,提出了很多实际问题:如何布置炮火防御系统以便更好消灭敌方飞机的空袭,如何搜索目标以便发现潜艇,如何计算火炮发射提前量以便对付高速飞行的飞机等等,这些问题既是实践性非常强的具体问题,又具有很强的理论价值.这些问题的解决需要系统科学的方法.另一方面大批科学家转到了为国防、军事服务的方向上来,使得这些军事上的科学研究问题得以很快解决,并从中提出一些新的概念、方法.

二次大战结束以后,科学工作者回到和平环境,他们将战时研究的实际问题进行理论上的提高和升华,建立起了运筹学、管理科学(Management Science)、控制论及信息论等系统科学在应用基础层次上的学科群体.具体地反映为,第二次世界大战期间从事雷达和防空火力控制系统研究的维纳(N. Wiener)在1948年出版了名著《控制论,或关于在动物和机器中控制与通讯的科学》,建立了控制论;美国数学家申农(C. E. Shannon)1948年发表了论文《通信的数学理论》,1949年发表了论文《噪声中的通讯》,此两篇著名论文奠定了信息论的基础;50年代出版了各种运筹学方法的著作和论文,其中美国的古德(A. H. Goode)和麦考尔(R. E. Machal)出版了第一本以《系统工程》命名的专著.上述研究以后

得到迅速发展,现已成为适应性非常强、有完整数学理论的一些技术性学科,这些技术科学学科的建立,使系统科学从思辨的系统思想层次,发展成为定量的以数理科学为基础的技术科学层次。

这一阶段系统科学发展的特点在于数学工具大量应用,系统科学已经从方法论的科学变成了一门实际应用的科学、一门精确的科学;对技术基础的研究、应用技术的研究发展很快,针对各式各样的问题,人们提出了各式各样的方法,这些方法在解决实际问题时具有很大的优越性。系统科学在主导思想上,也已从原来整体考虑、总体分析和认识事物,发展到控制系统使之达到总体的优化,从认识方法到应用技术,从整体大于部分之和到部分较劣可达到整体优化。但是综合的方法、普遍适用的理论还未形成,还未建立起一个理论体系。

一门学科的发展必须要有经济技术的需求作为动力。二次大战以后,生产和科学的进一步发展从两个角度把系统科学重新摆到人们面前。一方面生产规模的扩大,单纯依靠增加劳动强度已不太可能再提高生产力,生产的自动化要求组织的现代化,任何一项生产任务的完成都要求多个部门配合,要求联合攻关,要求组织、协调。美国阿波罗号宇宙飞船的设计制作动用了上百万人、100多所大学、200多家公司共同研制,耗资240多亿美元。在这些项目中,依靠科学家个人创造性劳动的成果逐渐变少,大多是有目标、多学科、大批专家的联合攻关研究,其中关键在于组织、协调,在于各个生产工序的衔接,在于如何使整体达到最优,也就是要利用系统科学的思想,利用系统科学的方法进行研究、生产。

另一方面,由于自然资源有限、市场有限,经济发展和生产提高不仅要研究经济、生产本身的问题,还要研究整体优化、资源配置、社会持续发展等问题。要从生产和消费、资金和劳动力、资源利用和环境污染等多个方面来分析问题,要从自然科学、社会科学多个角度来研究问题。就是在经济发展本身,资本主义初期的自由竞争已逐渐发展成加强现代国家宏观调控手段,对生产财富进行二次分配,特别是国际贸易使世界各国的经济发展已成为一个整体。所有这些情况表明系统科学所提倡的整体与局部的关系、整体优化等理论已经成为生产、科学发展的强大理论支柱,系统科学在应用科学层次上的研究成果,又大大促进了经济的飞速发展、技术的巨大进步。

三、现代系统科学体系构建与完善

物理学中耗散结构理论、协同学提出了解决复杂自然系统的理论、方法,为统一自然系统和社会系统建立系统科学准备了材料。

以前物理学讨论的系统是可逆的、退化的,牛顿第二定律、热力学第二定律

确定了系统的演化方向和特点. 这类自然系统的退化演化方向与生物界、社会科学中普遍存在的发展、进化等演化现象相矛盾, 人们无法用统一的方法来研究自然界系统与社会系统. 高耶尔(A. Koyre)在《牛顿学说的综合观念和影响》一文中写道^[6]:“我曾经说过, 现代科学早已把分割天体和地球之间的壁垒推倒, 并且由两者结合起来, 统一成为一个整体宇宙. 这是千真万确的. 但是我还曾经说过, 现代科学对宇宙进行的研究表明, 它研究另外一个世界, 即量的世界, 一个奇妙的几何世界, 在这个世界中一切事物都有其位置, 但是却没有人的位置, 它用这个世界取代我们赖以生存、爱慕、传宗接代、充满感性认识的质的世界.”“两个世界, 也可以说两个真理, 或者说没有任何真理.”另一位科学家魏格纳(E. P. Wigner)也表示了类似的看法^[6]:“近代科学中最重要的间隙是什么? 显然是物理科学同精神科学的分离. 实际上物理学家和心理学家之间毫无共同之处——或许, 物理学家为心理学方面较肤浅的研究提供的某些工具可以除外, 而心理学家警告物理学家要小心以免所隐藏的欲望影响他的思考和发现.”

普利高津(Prigogine)提出了耗散结构理论^[8], 认为开放系统在远离平衡态时, 由于同外界进行物质、能量、信息的交流, 可以形成某种有序结构. 人们发现在自然界的物理、化学系统中可以存在着与生物学一样的进化现象, 并且对这些现象可以利用耗散结构来统一进行讨论.

哈肯(Haken)提出了协同学^[9], 认为复杂系统的相变是由于子系统之间的关联、协调作用的结果. 进一步研究发现, 协同学中的序参量概念和役使原则理论是解决系统向有序方向演化的有效方法.

同时, 在讨论自然系统向有序方向演化时, 人们还运用数学上的突变论^[13]、微分方程稳定性理论、生物学上的超循环理论^[7]等; 在研究非线性系统演化时, 人们又提出混沌、分岔、分形等新概念并发展了相应的理论.

所有这些自然科学的新概念、新方法、新理论有一个共同特点, 就是当一个复杂的自然系统内部各个子系统之间相互作用为非线性相互作用时, 其演化可呈现出新的现象. 通过分析可以看到, 这些新概念、新方法、新理论既适用于讨论自然现象(它们本身是从对自然现象的研究中发现并总结的), 又适合讨论某些社会现象, 它们可以作为自然与社会两类完全不同的客观现象的统一理论.

虽然这些内容并不是系统科学本身的理论, 但是它们可以作为构建系统科学基本理论的主要内容之一. 我们认为只有在自然科学研究比较深入, 提出上面所列举的一些理论之后, 系统科学的理论才能建立; 在这样一些新的理论提出以后, 人们也希望将它们进一步深化, 使之成为解决普遍的一般复杂系统的系统理论. 本书下面不少章节的内容就是将上述自然科学新内容充实、修正, 使之成为

系统理论的一部分,当然这些工作还仅仅是一个开始,人们还需要在今后的研究中真正完成建立系统理论的任务。

另外,复杂的生产任务的提出,对大系统、巨系统、分布参数系统等研究也提出了新的问题,这些加快了系统科学在技术基础、实际应用层次上的发展。传统的以传递函数方法研究单机自动化的古典控制论,发展成用状态空间概念、动态规划、卡尔曼(Kalman)滤波、极大值原理等组成的现代控制理论,用以解决多机自动化、整个工厂自动化的问题。非线性规划、整数规划以及博弈论、随机过程分析等大量新的非线性的运筹学方法,特别是计算机网络技术、现代信息理论和信息技术都使控制论、运筹学、信息论,这些系统科学在技术基础层次上的学科发展得更成熟、更完善,这也为系统科学体系的建立准备了大量丰富的材料。

在具体应用方面人们更多地注重研究社会系统、经济系统,针对对这类有人参与的系统的分析,专家们提出将理论分析与计算机结合,采用定性定量相结合的综合集成研究方法,最近又提出人机结合、从定性到定量的科学研讨厅体系,这些新方法、新技术的提出使我们有可能解决社会大系统的演化问题。

综上所述,我们看到在系统科学的基础理论、技术基础、应用技术三个层次上,近年来都有了巨大的发展。我国著名科学家钱学森院士在20世纪80年代提出了系统科学体系的框架,分析了在不同层次上的学科内容,指出了它们之间的联系,使系统科学走上了全面发展的新阶段。

系统科学理论体系现在正处在一个飞速发展的阶段,这个阶段的特点表现为:(1)各种与系统科学有联系的理论在相应的学科中有了很大发展。混沌、分形等非线性科学已经成为当前科学发展的前沿之一,随机控制,多层次、多目标复杂系统的递阶控制也已是自动化领域中的研究热点。(2)综合不同学科中的先进理论,构建系统科学理论框架的工作已经展开。人们分析不同学科领域中理论之间的差异,寻找其共同特点,并按照复杂系统演化的观点,将不同领域中的理论、方法归纳、总结成统一的理论,在这中间也必然会提出一些新的概念、新的方法。(3)由于生产发展的需要,对各类实际复杂系统的研究工作,在系统科学观点的指导下进一步深入。人工智能系统、经济运行系统、人脑系统等各类复杂系统有其自身的特点,现在需要按照新的观点来进行分析,我们从系统科学的角度来讨论问题,这就可以站得更高,对问题分析得更深入;对这些复杂系统的分析不仅是对系统理论的应用,同时在研究实际问题中所采用的新的方法、所得到的新的结论也会丰富系统理论本身的内容,使系统理论真正成为解决复杂系统演化的理论。

思考题

1. 系统科学思想是什么? 在古代取得了哪些成就?
2. 系统科学的发展为什么会出现马鞍形?
3. 现在可以构建系统科学理论体系的基础有哪些?

1.2 现代科学技术体系

在古代希腊和中世纪意大利有不少著名科学家,如亚里士多德、阿基米德、伽利略(Galilean)、达·芬奇等,他们个个是通晓多个领域的全才,在很多方面都对科学做出了贡献.然而科学发展到今天,这样的科学家将不复存在,每一个科学家也仅在某一比较窄的范围是专家,对其他领域了解甚少,不同领域的科学家之间甚至没有共同的语言.科学已经成为了一个体系,它是多方面知识总和的代名词,每一个人只能了解、研究其中的一部分.一个人就是整个一生全进行学习,恐怕也不能把科学的某一部分全都了解清楚.因此,如何将如此丰富的知识进行分类,了解它们之间的关系,找到它们之间的联系就显得非常重要了.我们进行科学研究也需要了解科学整体,了解自己所研究内容与其他内容之间的区别、联系.学科分类正是要解决这一问题,把各门学科之间的关系给出来.学科分类不仅是人们认识科学知识、掌握科学知识的需要,它还有助于我们更好地进行科学研究.同时,我们看到不同学科知识之间本来就存在着密切的关系,找到它们之间的联系,也是科学研究本身的任务.科学研究不仅要在某一方面深入分析,挖掘事物本质,也需要将已经了解到的知识进行分类,建立它们之间的关系;在建立学科知识联系的过程中,在进行学科分类的研究中,将又会促进对某一具体问题的研究.实际上科学研究正是在不同学科之间综合、集成与深入研究某一具体领域知识,这样相辅相成的两种研究方式与研究内容中不断发展壮大的.

一、学科分类有多个标准、多种形式

应该说学科分类是关于学科性质和知识结构的学问,是从总体上把握科学知识体系及其发展规律的重要途径之一,也是促进学科交叉、新学科生长的重要方法.对于每一个从事具体科学研究的人来讲,他都应该具有学科分类的知识;对于每一个要对科学做出贡献的人来讲,他也都必须进行学科分类的研究.在科学发展的历史上,很多大的科学家、哲学家都对学科分类进行过研究.亚里士多德、培根(Bacon)、达兰贝尔(d'Alembert)、安培(Ampère)、康德(Kant)、黑格尔(Hegel)等人都提出过各自的科学分类思想和科学分类体系.我们现在所沿用下