

系统学原理

高隆昌 著



科学出版社
www.sciencep.com

系统学原理

高隆昌 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书在通有理论的基础上给出了极为广泛的空间原理、二象对偶原理和能量原理,然后综合运用这些原理来认识系统环境、系统间关系的耗散,协同并整合出系统的若干基本规律,并站在数学的角度,对系统学作出了较为系统的认识和解释.

本书可作为高等院校应用数学各专业本科生和管理科学、社会科学专业的研究生教材,也可供广大科学工作者参考.

图书在版编目(CIP)数据

系统学原理/高隆昌著. —北京:科学出版社, 2005

ISBN 7-03-015202-6

I. 系… II. 高… III. 系统科学 IV. N941

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 038604 号

责任编辑: 张 扬 贾瑞娜/责任校对: 陈丽珠

责任印制: 钱玉芬/封面设计: 王 浩

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双 青 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年7月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2005年7月第一次印刷 印张: 13 3/4

印数: 1—2 000 字数: 260 000

定价: 36.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈环伟〉)

前 言

产生于 50 年前的“系统(system)”这一概念是极为广泛而深刻的,也十分符合东方人的思维特征.如今系统概念、系统方法和系统思维已越来越成为广大知识界的基本武器,这更进一步刺激了系统科学往纵深发展.本书将直接在系统概念下进一步探索“系统”的基本规律、基本原理和本质特征,也就是既要认识“系统学”(概念见第 1 章 1.1 节)也要在“系统学”的意义下对其作出更进一步地探索.但鉴于“系统学”的优越特征,不可就事论事,必须站得更高,从更高的视角出发引入新的原理、新的思想方法或新的突破性思维,否则将难以完成任务.也就是说我们在探索“系统学”的同时也要探索它的机理、本质,试图再回答一个为什么,因此本书叫做《系统学原理》.

本书以中国系统工程学会组织编写的《系统科学》教程和《系统科学与复杂性研究》、《系统科学与工程研究》等既有的系列著作为基础.希望本书在广泛意义下对“系统”作出的探讨和分析,能有助于读者进一步树立起“系统科学方法论”,甚至是“方法论体系”.这也将直接有助于读者适应当今软科学、非线性科学、复杂性科学以及管理科学时代对科学工作者的要求.比如为适应当今的市场、社会、经济、管理和国际化的形势,需要新的理念、新的创意、新的点子,这不是套用既有方法就可行的,即使工程技术上的创新也正在软化、柔化、非线性化,难度越来越大.总之,时代急需它的科学工作者增强悟性,提高能力.为此,加强系统科学修养,特别是系统学修养将是十分重要的.但在今天似乎这类著作还比较少见,特此抛砖引玉,希望能对读者起到进一步的促进作用,也希望能得到学界同仁的批评指正.

本书虽然自成体系,但鉴于系统概念及有关基本知识已较普及,我们将把重心放在思想的启发和本质的探讨上.本书的另一特点是尽量多用系统思维、数学思维,而尽量少用数学语言,因为即使在数学中也是思想第一的.为防止把读者的思维过多地吸引到公式中去,我们一方面把系统的数学描述尽量集中到最后一章,同时,在第 1~9 章中尽量启用直观、直觉、定性分析和合情推理,首先树立一套便于运用的方法论,然后用以开辟一个广袤的世界观.这是因为定性分析也可以深入和揭示事物本质,只要有足够的方法论和思维工具,包括数学思维也是一

种方法论. 此外, 本书在叙述中有些思想不忌多次提到, 也不妨说书中多处提到的一些新问题都还大有继续探讨的余地, 但愿它能引起更多读者的兴趣.

本书的直接读者对象是各类科学工作者, 包括应用数学各专业本科生和管理科学、社会科学专业的研究生以及一般的年轻科学工作者, 可作为其教材或参考书. 一般大专以上文化水平的读者都可以读懂本书, 当然感悟的深浅将因人而异. 总之, 希望不同层次的读者都能从中得到自己的收获, 自然学历越高、年龄越成熟、思考越多者将领悟越深.

本书在通有理论介绍(绪论)的基础上给出了极为广泛的空间原理(第 2 章), 二象对偶原理(第 3 章)和能量原理(第 4 章), 然后综合运用这些原理来认识、理解系统整体(第 5 章), 系统环境(第 6 章), 系统间关系和系统的耗散、协同(第 7、8 章), 并整合出系统的若干基本定律(第 9 章), 最后(第 10 章)站在数学角度, 对系统学作出了较为系统的认识和解释, 希望它能直接有助于读者提高数学思维、建模思维和定量描述的能力. 本书第 2、3、4 章思想也可参阅文献[2]和文献[4].

在此感谢北京航空航天大学李心灿教授, 扬州大学张世清教授, 江苏大学田立新教授, 昆明理工大学李继彬教授, 西南交通大学郑凯峰教授、周荣跃先生等对本书出版的鼓励与支持, 感谢西南交大出版基金的资助, 特别感谢上海交通大学徐飞教授、美国龙脉集团公司邓作栋博士与作者所进行的切磋与交流, 另外还要感谢中国系统科学与系统工程学会理事长陈光亚教授和副理事长范文涛教授的热情鼓励与支持.

作 者

2004 · 冬 · 成都

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 有关概念及其特征分析	1
1.2 系统科学简顾	8
第 2 章 系统空间原理: 突破意识上的空间障碍	16
2.1 小序	16
2.2 从绝对时空到相对时空的层层突破	17
2.3 物理空间到欧氏空间的自然推广	20
2.4 空间概念的继续推广	22
2.5 物理空间思考: 空间思维的应用	28
2.6 系统关系空间论	30
附 再看系统空间	32
第 3 章 系统的“二象”对偶原理	33
3.1 物质“二象”论	33
3.2 “对立统一”论与对偶空间论	36
3.3 “三论”归一: 二象对偶论	39
3.4 完全系统及其在数学系统中的表现	45
3.5 二象观点看世界 I: 2/3 原理	48
3.6 二象观点看世界 II: 一组应用实例	52
第 4 章 系统的能量原理: 广义能量论	55
4.1 人类认识能量的基本过程掠影	55
4.2 元空间基本能猜想	58
4.3 生物能、精神场能、信息能与非能	60
4.4 社会系统能	64
4.5 广义能量原理	67
第 5 章 系统整体与功能: 树立系统结构观	72
5.1 系统整体论	72
5.2 系统层次结构与分形述评	76
5.3 系统功能论	80

5.4 规模效应及其机理	90
5.5 涌现及其进一步解释	93
5.6 突变论及其推广	95
附 系统的主次量原理	101
第 6 章 系统界域与环境论	106
6.1 内外环境论	106
6.2 领域系统论	113
6.3 系统边界论	116
6.4 大系统与矩阵原理	122
第 7 章 系统间关系论	126
7.1 两系统间关系 I: 合作关系	126
7.2 两系统间关系 II: 博弈关系	127
7.3 两系统间关系 III: 竞争关系	128
7.4 两系统间关系 IV: 冲突关系	129
7.5 两系统间关系 V: 综论	129
7.6 多系统间关系	130
第 8 章 系统耗散与协同再认识	133
8.1 自由能与系统涨落	134
8.2 自组织论	138
8.3 他组织与管理原理	142
8.4 协同机理及与耗散论的比较认识	145
8.5 系统的均衡、复杂与混沌再认识	149
第 9 章 系统学基本定律	153
9.1 系统能量定律	153
9.2 系统复杂性定律	156
第 10 章 系统学: $y = F(x, A)$	161
10.1 $y = F(x, A)$ 再认识	161
10.2 logistic 方程认识	166
10.3 离散动力系统特征简述	174
10.4 混沌动力系统初步	180
10.5 logistic 曲线论	188
10.6 L-曲线进一步推广: 二维动力系统	199
参考文献	212

第1章 绪 论

1.1 有关概念及其特征分析

本节首先对几个有关概念及其比较特征作一简要交待,以利于对本书宗旨的理解。

1.1.1 系统

系统的定义仅常见的也有很多种,因此并不统一,但也没必要去统一。因为它属于描述性定义,不像公理化定义(比如微分、积分定义)那样,一切理论都需要建立在它上面。描述性定义仅为了陈述概念以利交流,加上系统概念的极大广泛性,存在着从不同角度去强调其特征的差异也是难免的。不过总地说来它们还是大同小异的,只要弄清了一个定义,见到其他说法时也就容易明白了,我们最欣赏的是建立在集合基础上的定义。

定义 1.1(集合、基元、空间、元素) 由两个以上乃至无穷(可数或不可数)个基本元素(简称基元)构成的整体叫作集合。集合有时也叫作空间,在未表明是什么空间时,通常所说的“空间”也就是一个一般集合,在此意义下两者通用。当集合空间非0维时,每一整数维对应于一个独立的变动元素,简称元素或变元。

定义 1.2(系统) 系统是这样的一种集合,它存在目标、元素和关系,具体来说它的元素或元素组合为着一个或一组共同的目标而作出贡献、发生关系。也叫这样的系统为简单系统。系统各元素都存在变域,所有变域的乘积空间叫作系统空间。从这一意义又可说系统是其“系统空间”中变动着的“状态”。

要解释的是,实践中一个系统的“元素”、“目标”和“关系”等分别都存在很多种情形,因而可产生很多种进一步的系统概念。如其中“元素”即是个抽象概念,具体可表示为单位、部门、要素、变元、因素等,特别应注意到元素是系统空间的独立变元,应与系统空间中作为集合的基元相区别。同时,元素概念适应面广,既可以是有机的也可以是无机的,既可以是自然的也可以是人为的、社会的、精神的,既可以是抽象的也可以是实在的,既可以是宏伟的也可以是微细的,由此足见系统概念的广泛性。又如一个系统中元素的子集合还可能形成所谓的“子系统”(其目标服从于总系统目标,与之不矛盾者),我们把含子系统的系统叫作**复合系统**。所有子系统的(子)目标也可作为元素而构成(又一层次的)子系统,把这样多层复合的总系统叫作**多层系统**。如社会上任一组织系统都是这样的系统。

另外,“目标”也是个抽象概念,包括对所考察对象的制约、标志、核心乃至概念本身皆可作为目标。换句话说,只要是维系所有元素的事物,不管它是实在的还是非实在的,都叫作相应系统的目标。比如一个组织系统的核心机构和一个细胞系统的功能等都可以作为目标。同时,目标也是非常态的,对应于系统在其系统空间中的演变,目标也有一个变域。常量只是目标的一种特例和约束。特别地,在同一系统中元素间还可能存在并满足多个目标,这时叫它多目标系统。

至于“关系”的含义就更为丰富了。首先这种关系是围绕着系统的共同目标来谈的,因此也是对目标的贡献关系。从哲学(绝对)意义讲,客观世界一切事物间都存在关系(或联系),因此局限到任一系统,其元素间的关系将是各种各样的。比如元素间的关系可以不对称,元素两两间的关系可能不同,有层次关系、序关系(包括网络关系、逻辑关系)、同级关系等。又如元素间的一种(抽象的)相对“位置”也是一种关系,严格说来,它们是随着时间而不断改变的,任一瞬间,系统元素间的相对位置都决定了系统的一个“状态”。严格说系统状态是随时间而变的,并且这种“改变”的方式也很多,有演变、嬗变、流变等。当研究系统状态或其元素随时间的改变规律时,叫该系统为**动态系统**。进一步,当系统的状态不可人为地再现时(比如不可实验室重复产生等),叫作**不可逆系统**;系统状态不可用线性模型作出满意模拟时,叫作**非线性系统**;在人为模拟操作中不可忽视其随机因素或模糊性的系统叫作**不确定性系统**。据此把存在不可逆性或非线性又或不确定性等“三性”或三性之一的系统叫作**复杂系统**。特别当一个复杂系统的元素“很”多(巨)或结构层次“很”多并且元素的自由度很高时,叫作**复杂巨系统**。如有机系统、社会系统甚至物质系统,当其考虑的层次适当深或结构适当精细时,都将成为复杂巨系统。反之,当一个系统既不复杂也不巨大时,可叫作**简单系统**。

以上仅仅是对系统概念的初步介绍,真正对它的全面认识和领悟只能随着本书内容的进展来逐步完成。换句话说,系统概念在我们脑子里的真正形成不可能一次到位,而只能在系统的知识学习和本质理解中互动式地、自学习式地去完成。

1.1.2 系统科学、系统学与系统论

1. 学科与科学

按流行的用法,一个“学科”指科学研究中某一支方向或某一局部领域的研究及其成果,如信息论或系统仿真即是一个学科。相应地,“科学”的概念更为广泛,指一个学科体系,大的可表示整个人类科学,稍小的如经典的自然科学和社会科学。当今“科学”已发展、膨胀而分化成越来越多的门类,诸如物理科学、数学科学、生命科学、工程科学、计算机科学、心理科学、医学科学、管理科学、系统科学乃至军事科学、思维科学、非线性科学、软科学等。一门科学总有若干个分支学科,是若干个分支学科的集成。不过当今的科学也可分为两类:一类可叫作基础

性科学,是一大类,其特点是有自己独立的不可替代的理论学科,且其理论成果和方法被广泛用于其他学科、科学和实践领域,因此是辐射型的科学.另一类可叫作概念性科学,其特点是仅表明其概念的存在,而实际上所覆盖的理论领域往往被别的科学所替代,因而没有了自己特有的理论阵地.比如软科学、非线性科学等,虽说也是科学,也可从这一角度去作研究,但它既没有自己的核心领域,也没有自己特有的方法,表现为既没有自己独立的不可替代的学科,更没有自己独立的理论体系,它们的全部领域基本上都由其他的基础性科学来替代,因此也可以不从这一角度去作研究,从而说这些“科学”的提法更多的仅被用于描述现代科学中诸如“软”性、“非线性”等特征.

2. 系统科学、系统论与系统学

所幸的是,根据上述分析,正好在“系统”概念下产生的系统科学是一门不折不扣的基础性科学.尽管在客观空间上似乎并没有它独有的空间地位,但是它有着诸多的别具特色的理论分支、理论成果和有效方法,使它能够越来越多地吸引各个科学领域的科学家以及政府部门的兴趣,至今方兴未艾,以致成为科学社会越来越大的、越来越有用的方法论之源、思想之源、理论之源以及方法之源.比如曾谈及的“系统论”即典型地具备这些特征.所谓“系统论”意即各类“系统”的理论研究和规律探索的总体.其实这只是历史当初的愿望,而今人们已看到,即使后来在“老三论”基础上又加上了“新四论”和“新新五论”(见下文),仍不能代表系统理论的全部,也不能领导系统科学研究的总体方向和主流方向.如从这一角度说,“系统论”即存在两大弱点:①它们大多数是对特殊的系统类型作出的研究,尽管也具有推广性,但不能指导系统的全面性;②它们具有很强的自然科学和工程技术特征,尽管这样获得的成果实在,实证性强,但它们用于通有概念下的“系统”就不够灵验了.这些不能不说是其弱点,因此不能用系统论来代替系统学.为此现在来谈谈系统学.

首先,任何一门科学(或说基础性科学)都少不了有自己典型的、理论性更强的学科分支,简单说即基础理论分支,如物理科学的基础理论是理论物理学,生物学的基础理论是基因理论,社会科学的基础理论是社会学,管理科学的基础理论是管理学,乃至在本身即以理论著称的数学科学中也有所谓“基础数学”作为它的根本性理论分支.毋庸说这样的分支应该具有该门科学的通有性和典型性,并同时具有理论性和理论的深刻性,那么我们可以参照其他科学中“××学”这一基础性理论分支的定名法,把系统科学中探索系统总体规律的理论分支学科叫作“系统学”.

显然,这里所说的“系统学”不能等同于上述的“系统论”提法,尽管它们之间也有很多相同之处.比如尽管“系统论”也以理论深刻性为特色,但是它多以自

然系统为出发点或多以物质系统为背景而建立,虽然说其“思想”(不强调实证性)在系统本义(广泛性)下也是可行的,但毕竟不是在通义之下来建立的。换句话说,根据上述意义,“系统学”关心的应该是以系统通有概念(本义)作为出发点的通有理论,因此不可用“系统论”替代“系统学”的研究,特别不可替代“系统学原理”(概念见下段)的研究。此外,“系统学”也与“系统哲学”有别,尽管它更多地表现为哲学式的研究,但它始终为着自己的主体任务,不愿沉溺在那种谁都肯定不了、谁都否定不了的无休止的争辩之中。

1.1.3 系统学原理

先来谈谈原理。“原理”一词含义较广,总的来说用以解释一个判断、一个结论的依据,或用以解释一个定律、一个现象产生的机理、机制者,都叫作原理。当我们探索一项事物的客观规律时也叫探索其原理。总之,“原理”一词是与回答“为什么”相联系的。“原理”既可以用以回答“为什么”的依据事实,也可以是回答“为什么”的探索过程。这里作为依据的“原理”既可以是观察、实验甚至生活经验得来的事实(也叫定律),也可以是逻辑推理、证明了的事实(也叫定理)。

据此,读者可以很容易地明白,所谓“系统学原理”即指在“系统学”探索、表征出的“系统”通有规律基础上,还要进一步回答“为什么”。也就是说,本书的宗旨是既要展示“系统”的通有规律(展示系统学),也要探索其进一步的机理,进一步回答一个“为什么”。

如上所述,本书之所以拟定这样一个目标,是因为现代科学及其发展形势赋予我们科学工作者的任务越来越具有挑战性。如今创造、创新、创意、突破、开创、开拓、开发等术语已成为时尚,高科技、高新技术、高新园区以及转化、孵化、创业等术语越来越多,足见人类对科学发展的渴求。为什么在科学空前发展的今天,人类反而觉得十分不足,十分渴求?不说明别的,正说明科学发展越来越难,犹如爬山,越近顶峰则越难以举步,真有百尺竿头、强弩之末的感觉。如果说过去只要学了书本知识就能创造,就能推动科学继续前进,那么今天则不只是如此了,更要修养、修炼,以提升自己的思想层次、思维能力和感悟能力。只有这样才可能进一步深入问题的实质,才有可能产生进一步的创造,本书正是为着这一任务而来的。

一般说一门科学的空间层次越深、范畴越广,则统率它的理论分支就越深、越抽象。系统概念最为广泛、最为深刻,因此统率系统科学的理论分支——系统学和系统学原理就不能不深刻,这是不能回避的。

1.1.4 系统学原理与方法论

本书曾谈及(见1.1.2节)系统学是思想之源、方法论之源,这里将特别分析指出,“系统学原理”更是方法论之源。现先谈谈方法论。

所谓方法论,指人们用以观察、认识和理解客观世界的一种理念、一种思想,

或说一种思想方法、思维工具。它具有几大特点，一是适用于整个客观世界，即所谓的“普适性”。二是它具有抽象性或说思想性、哲学性，而不可能是实在的、实证的。三是它具有深刻性。在它的武装下来观察、理解事物更容易深入内层、抓住本质。四是方法论不只是知识，不只是理论，不是只要懂得它，从理论上承认它就可以得到它，而是还要继续去理解它、运用它，以形成思维习惯，也就是需要一个修养、修炼的过程。五是它具有指导性。方法论一旦武装了人，它将指导人的思维和行为。科学的方法论不仅帮助人正确地理解世界，而且帮助人去创造方法和工具。方法论也是一种世界观。

我们不应该畏惧方法论，不应该认为它高不可攀，实际上可以说人人都在有意识无意识、自觉不自觉地树立着一种自己的方法论。如任何专业工作者都有“三句话不离本行”的客观现象，这是一种“职业思维”现象。那么继续下去自然是“三思、三想也不离本行”乃至“观察一切都不离本行”，这就成了“职业方法论”，即被自己的专业术语、专业概念、专业思想所“武装”，不自觉地形成了一种特有的思维模式以观察一切客观事物。自然，这也难免偏激甚至错误，原因是“职业方法论”不一定是好的方法论、科学的方法论。

总之，方法论是容易形成的，但是我们应该有意识地去树立一个或一套好的方法论。

特别是时代正迫切要求它的科学工作者树立起优秀的方法论，因为科学已进入“软”的、非线性的、信息的、知识经济的时代，不仅科技创造、发明、发现更难，还面临着激烈竞争环境下的创新、创意、创思想、创理念的强烈需求，这时仅仅掌握一些工具、仅仅掌握一些方法、仅仅学得一些知识是不敷应用的，还必须提高自己的能力，特别是思维能力。这就得修炼，在修炼中去树立一套好的方法论以武装自己。

那么可以说，系统学原理中有一系列很好的、科学的方法论。为什么这么说？我们知道方法论观点是就整个客观世界来说的，正好，系统学中的理论正是从“系统”这一最为广泛的意义上获得的，因而是对整个客观世界普适的。再则，它显然也是科学的。此外，系统学特别是系统学原理中的理论都是深刻的，有助于我们理解客观事物的本质。特别地，系统学（及系统学原理）中的系列方法论之间是相容的、相长的、互补的，是一个体系，容易同时获得。这更有利于我们的学习和修炼。

1.1.5 系统工程

简单地讲，把系统科学的原理、方法用于工程实践的活动或说在工程、技术等实用系统中作出的应用研究都叫作“系统工程”。换个角度说，系统工程是系统科学的应用分支学科，如今它已成为应用学科子类。尽管从概念上来讲有“系统工程 $\subset$ 系统科学”，但如今系统工程已发展到与系统科学同等规模、平分秋色的地步，

十分类似于数理统计学与概率论间的关系特征。

事实上,如今任一门科学都有自己的应用分支学科,且都已发展成学科子类或庞大的学科体系,如数学中的应用数学仅产生于 19 世纪末,且一直受到压抑,直到 20 世纪中叶才得到迅猛发展,但如今已取得了与基础数学一样的一级学科地位,今天的任一数学成果都得谈到自己的应用前景,以应用性为标准,以能应用为荣。又如物理学,本身已够实用的了,但它也有一个应用物理学科,甚至分化出诸如应用电子学、应用光学等分支。至于生物学、化学等基础科学及其基础理论学科,也都有它们的应用分支。那么,在此说系统科学有一个庞大的应用分支群是必然的。不过由其应用分支群的庞大性又进一步印证了系统科学的实用性及其强大的生命力,这也是事实。

自然,系统工程所显现出的最大特征就是它的技术性、实证性和方法性。这正好与系统学的思想性、方法论和抽象性特征形成鲜明对比。但是我们应该知道,系统工程中的实证创造正是在系统学思想修养和方法论指导下产生的。科学越往后,实证创造越难,就越需要这种系统学修养。鉴于系统工程之浩繁不可能在本书中一并讲述,同时鉴于系统学修养的重要性以及当前较少这类读物却有较多系统工程读物这一现实,我们这里仅重在系统学的讲述,关于系统工程不作重点讨论。

一般来说,任一理论越走向抽象则越容易统一,反之越走向实际则分支越细,就越难以统一、越难以作出完整有序地整理。系统工程也是这样的,它的门类特别多。比如从不同的应用领域、应用对象上去看,皆有它不同的相对独立的分支,从不同的应用方法去看又有它不同的相对独立的分支。前者如电信工程系统、机械工程系统、计算机系统、军事作战系统、市场动力系统乃至交通运输系统、社会组织系统等,实难枚举;后者如系统控制技术、系统动力学(SD)、电子网络系统、软件系统工程、系统优化方法等,甚至连系统工程的边界也难以清晰。因此很难准确地把它统率在一起。

1.1.6 两个示图

1. 系统学的普适性(图 1.1)

我们用图 1.1 来比较性地表征系统学(也是系统科学)的普适性特征。设图中内圆的暗影区为客观世界整体。那么如物理学、生物学、经济学、社会学等则分别隶属于客观世界的不同领域。因此它们都是研究局部领域的“局域科学”,它们离阴影区的高度表明其理论深度(抽象程度)。进一步,如列举出的数学、管理学,虽然它们的理论深度更高,但客观世界没有它们专门的领域,而只能分布(应用)于上述“物、生、经、社”等局域科学中,也就是说数学和管理学皆属横断科学,不过它们在各门局域科学中的应用程度是不同的,数学依顺时针方向减弱至 0,管理学依逆时针方向减弱至 0,这就是两条互反的“螺旋线”表示的含义。最后要说的

是,系统学的抽象程度、理论深度最高,它是更典型的横断科学,它分布在各局域科学中的应用份额都一样,这就是图 1.1 中外圆表示的含义.由此也说明系统学对象和理论的普适性,即使“系统论”中若干出自局域背景下的研究成果也总可以上升到方法论而得到普适.

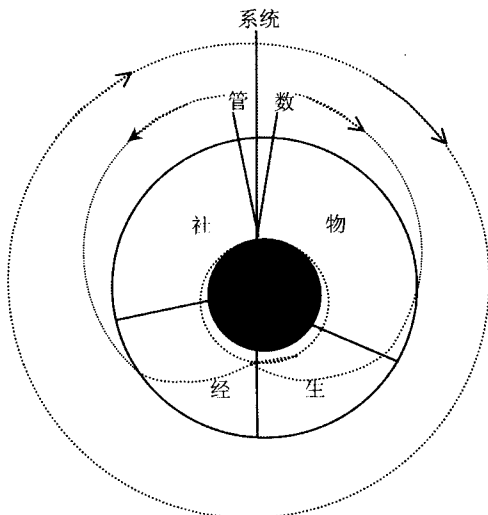


图 1.1

2. 系统学原理的学科地位 (图 1.2)

图 1.2 是根据钱学森院士对科学层次的归化而来. 图中最基层的叫作“应用技术”, 其上是“应用基础”, 再上是“理论基础”, 一般说这三层构成自然科学的总体, 以上则进入哲学领域, 其间又有一个过渡(桥梁)层次探讨方法论的层次, 这

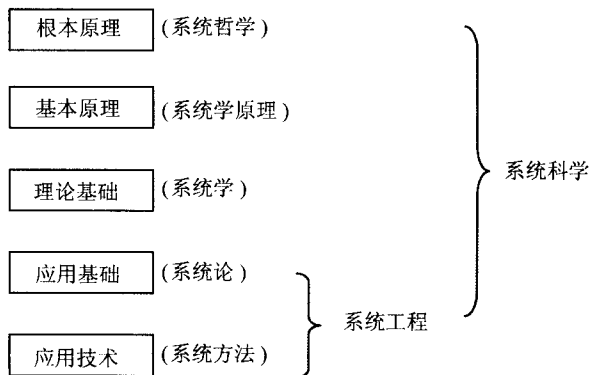


图 1.2

里叫作“基本原理”，最高层次叫作“根本原理”(本原层次). 对应到系统科学的层次即成为系统方法 → 系统论 → 系统学 → 系统学原理 → 系统哲学. 把“系统方法”和“系统论”统称为“系统工程”，这是系统科学既有内容中的主体. 特别是“系统论”，在过去可以说已成为系统科学的代表，主要学科是所谓“老三论”：一般系统论、控制论、信息论，其实还应该有博弈论(见下文)，它们具有鲜明的应用基础特征. 尽管后来发展起来的所谓“新四论”、“新新五论”等在理论上更加深入而逐步失去了典型的应用基础特征，仍然可以用“系统论”作为系统科学在“应用基础”层次的代表名称.

回到主题，我们说图 1.2 显示出了本书在系统科学中的地位，它应该是“系统学”的再深入、再问个“为什么”，但不是纯哲学的探讨.

1.2 系统科学简顾

几乎每一门科学诞生后，常常可以发现其思想早在前人或古人的生活实践中已有了或有过萌芽，只是当时还没有上升到科学的意识上来罢了. 系统科学也是这样的. 特别对于擅长总体思维、宏观思维的中华民族，系统学思维、系统工程等实践史更为丰富. 从哲学上的“道”、“易”思想到医学上的“辨证施治”，从军事学上的“孙子兵法”到建筑学上的“拱桥殿宇”，从战国的“田忌赛马”到北宋的“丁胄造宫”，从战国的“李冰治水”到秦朝的“万里长城”，无一不显示出中华民族的系统思维，不过公认系统科学的真正诞生是在 20 世纪 30 年代后半期. 以后，系统科学经历了几个阶段的发展，逐步从一般概念到实证方法，再到基础理论，再到基本原理和方法论，终于进入目前的复杂性研究前沿，直逼大自然的真谛. 这里对系统科学发展途径稍微具体地作一阶段性地简顾(稍详的可参考文献 [1]).

1.2.1 20 世纪 30~40 年代：系统认识论时期(概念形成期)

此时期内的代表性事件是产生了一般系统论. 一般系统论产生于 1937 年冯·贝特朗非(V. Bertalanffy)在芝加哥大学哲学讨论会上的一次讲演，后来 1945 年在《德国哲学周刊》上发表的“关于一般系统论”一文，把一般系统论学科的研究推向了高潮. 作为一门学科，它研究了系统的层次性、整体性、动态性、开闭性以及系统中体现的“关系”和“目标”等，其代表性模型是 $\frac{dQ_i}{dt} = F_i(Q_1, \dots, Q_n)$, $i = 1, 2, \dots, n$, 即以 $Q_1, \dots, Q_n$ 为元素的系统在目标常定下，任一元素的改变都是由所有元素决定的. 虽然这些在今天看来还算是初等的，但它最大的贡献在于提出了“系统”这一概念，指出“系统”是最为广泛的、具有深刻本质和规律的、值得专门探讨的客观存在. 尽管“系统”定义至今未完全统一，但人类对它的认识和理解正越来越深入，它也越来越引起人类对它的兴趣，系统科学也得到了越来越高度的重视.

1.2.2 20 世纪 40~60 年代: 系统论时期 (运筹学时期)

此时期又叫优化论时期, 其共同特点在于实用方法的研究, 诸如信息论、控制论、运筹学、博弈论、排队论乃至“管理科学”等, 下面分别作简顾.

1. 信息论

信息论虽说起自香农 (C. E. Shannon) 于 1948 年在《贝尔系统技术杂志》上发表的“通信的数学理论”一文, 但事情不能不从 20 世纪 20 年代谈起. 这时可说信息论经历了四个阶段性发展, 首先, 公认的“信息”概念产生于 1922 年的“卡松法则”. 其次, 1928 年哈特莱指出信息是符号、代码序列而不是内容本身, 或者说“信息是脱离了载体的属性”, 从而使信息技术得到了激活. 第三, 香农赋予的数学理论, 首次提出了信息 (非物质对象) 的度量公式 $H = -M \sum_{i=1}^n p(i) \lg p(i)$, 其中 H 表示信息, M 为常数, $p(i)$ 为事件 i 发生的概率. 第四, 信息论的继续发展为将谈到的控制论和计算机技术发展起到了很好的理论基础作用.

2. 控制论

控制论是由维纳 (N. Wiener) 创立的, 其标志是 1948 年出版的专著《控制论或关于在动物或机器中控制和通信的科学》. 控制论的基本模型是线性系统 $\frac{dx}{dt} = Ax + u$, 其中 u 为控制项, 表示来自系统外的作用, 当 u 为不可控项时即成为随机系统. 控制论发展的一大特点是它同时在理论和技术上并驾齐驱. 比如在反馈控制、系统识别和鲁棒控制上都同时体现了理论和技术的并行性, 也因此使其发展更为迅猛, 同时使得控制论很快被移植应用到包括经济、管理、社会等种种领域. 不过遗憾的是至今用得好的仍然只是工程技术领域, 在其他领域中则失去了它的“硬”技术而只剩下了“软”的思想. 当然这种“遗憾”是有其本质原因的, 将在本书中得到回答.

3. 运筹学

运筹学 (operations research) 是在二次世界大战中形成的一种系统优化理论, 包括规划论、排队论、储运论、图论和系统分析 (决策论) 等, 如规划论即表现为数学模型

$$\begin{cases} u(x) \rightarrow \min(\text{or } \max) \\ \text{s.t. : } g(x) \leq B \end{cases} \quad (1.1)$$

的解理论, 其中 $u(x)$ 为目标函数, $g(x)$ 为约束函数. 规划论模型有线性和非线性、单目标和多目标之分. 其实, 这里“运筹学”仍然只是一种狭义的说法, 广义地讲, 本段的信息论、控制论、博弈论都可以归入“运筹学”, 因而也把 20 世纪 40~50 年代叫作运筹学时期.

4. 博弈论

博弈论是博弈双方(二元)或多方(n 元)以竞争为关系,以获取合理的资源配置为最高目标的一类多层系统.由于具有强烈的战争和赌博背景,博弈论的思想萌芽很早,但公认博弈论作为学科的诞生标志是1928年冯·诺伊曼(Von. Neuman, 1903~1957)证明了博弈论基本定理:每个矩阵博弈皆可通过引进混合策略而被严格决定.特别以1944年冯·诺伊曼与摩尔根斯坦(Osker Morgenstern)合著的《博弈论与经济行为》一书作为现代博弈论的开始.它将博弈由2人情形推广到一般的 n 人情形;在代数博弈基础上产生了解析博弈乃至微分博弈;在0和博弈、非0和博弈基础上又产生了Nash均衡, Nash精细(稳定)均衡理论、种种联盟博弈理论和信息不对称博弈理论等.特别在今天,博弈论已成为经济学主流学科之一的“信息经济学”的理论基础,得到了更大的发展动力.

5. 管理科学

虽说把管理上升为一门科学起自20世纪初,但还是20世纪40年代的系统论方法大大激活了它,比如系统论中运筹学似乎成了专为管理学而开创的,以致人们一度认为管理中用上了这些系统论方法就是“管理科学”了.又如,管理学强调管理者需要对其管理系统作整体掌握,这正是系统学的系统思维,可见系统科学与管理科学的关系何等密切.从另一方面看,管理系统也是一类重要而特有的系统论领域.首先,由于管理系统与被管理系统皆是人参与的系统,这时容易把管理者也作为被管理者系统中一元素,这样容易导致“逻辑悖论”.其次根据管理者系统与被管理系统间的关系和考察角度的不同,它们可以分别类似于一般系统、博弈系统、控制系统和系统工程.比如当把管理者看作被管理系统的目标时是一般系统;当视为管理者操纵被管理系统以完成自己设定的目标时,叫作控制系统;当考察管理者系统与被管理者系统之间的矛盾过程时叫作博弈系统;当强调管理者利用系统论方法实施于被管理系统时,叫作系统工程.

1.2.3 20世纪60~70年代:系统学时期(动力系统时期)

此时期内理论性更强了,尽管说此时期内的研究仍然以物理系统为主要背景,但其理论的深入性和方法的普适性特征决定了它也具有“系统学”通有的基础理论性.这方面主要有动力系统论、耗散系统论、协同论、突变论和分形论等,这里不能不重点谈谈动力系统论.

1. 动力系统论

动力系统论简称动力系统(dynamical system),它是力学与数学结合的一大领域.今天所说的“动力系统”既是现代数学中一门典型的前沿学科,又是理论力学和天体力学中一门重要的前沿性理论分支,甚至可以说它就是一般力学的代名词,