

xitong yu Xitong Fangfa

系统方法

吴广谋 盛昭瀚 编著

东南大学出版社

系统与系统方法

吴广谋 盛昭瀚 编著

东南大学出版社

内容提要

本书介绍了几种常用的系统方法,包括霍尔三维结构、系统分析、问题分析技术及切克兰德软系统思想等,并介绍了系统的建模、系统自组织及系统理论等几个专题。

本书可供经济、管理、工程技术人员以及社科工作者学习参考,或作为大专院校有关专业高年级学生及研究生相关课程的教材。

图书在版编目(CIP)数据

系统与系统方法/吴广谋,盛昭瀚编著. —南京:东南大学出版社,2000.3

ISBN 7-81050-618-8

I. 系… II. 吴… III. 系统方法 IV. N941

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 12410 号

东南大学出版社出版发行

(南京四牌楼 2 号 邮编 210096)

出版人:宋增民

江苏省新华书店经销 江苏地质测绘院印刷厂印刷
开本:850mm×1168mm 1/32 印张:8.5 字数:220千字

2000年3月第1版 2000年3月第1次印刷

印数:1~3 000册 定价:21.50元

(凡因印装质量问题,可直接向我社发行科调换)

前 言

写一本关于系统思想与系统方法的教材，一直是作者多年的心愿。近20年来，作者从系统工程的教学与科研中深切地感受到系统工程在我国的影响在不断扩大。在这一讲究效率的年代，人们对真正掌握系统方法的兴趣与愿望也越来越浓。

但是，作者也感到写一本系统思想与系统方法的教材不是一件易事。这主要是因为系统工程在国内发展了20年后，写这样一本教材总须在某一个方面或某一个层次上有点“个性”。

事实上，早年的关于系统工程的书较多地介绍了运筹学的各个分支，因为它们是系统分析的重要工具与技术。在系统方法普及之初，掌握技术是很重要的。早期著作的影响是明显的，即使在今天还有一部分人在提到系统方法时就自然地与“数学”联系起来。随着系统科学的发展，关于“新三论”（耗散结构、协同学、突变论）的内容也较普遍地出现在系统科学的书中，这使系统工程书籍的内容更为丰富。

在我们的教学实践中，遇到了一个很有启发性的现象：一些年轻缺乏实际工作经验的学生，常常用学习数理知识的方法来学习系统思想与系统方法，且用数理知识的难易程度来评价系统科学，以为这只不过是些很浅的理论与方法；而那些实践经验丰富的学员，对系统方法的学习会产生较深的感受，但他们觉得学习系统方法和掌握系统思想比较困难。这使我们认识到系统工程的教育要

注重启发系统思维。实践经验丰富的学员在实践中积累了许多系统思想的素材,在一定的激发下形成系统思想,并以系统思想为工具来学习系统方法,效果自然较好。而以分析思维为工具来学系统方法其效果也不会理想。因此,如把激发学员的系统思想与介绍系统方法作为教学的两个相关目标,齐头并进,则不失为一种有效的方法。

上述思想体现在本教材的选材中。我们的取材以提高读者系统思维能力,启发读者运用系统方法为出发点。因此也就不去追求系统学各分支的完整性,如传统的教材中较多的系统科学技术层次的内容在本书中没有出现。在写作上,我们也努力以激发思维为目的。具体的内容是:在简要介绍系统概念的基础上对传统的霍尔结构及系统分析作了较详细的介绍;对近年发展起来的一些处理“小问题”的方法如“问题分析技术”、“潜在问题分析”作了介绍;较详细地介绍了20世纪70年代中后期发展起来的处理“无结构问题”的软系统思想;对各个层面研究系统的重要内容如目标分析、结构分析、功能分析作了介绍。这些内容都是人们总结出来的行之有效的方法,掌握这些方法极为重要。我们更希望方法背后的系统思想能成为读者自己的思想。再者,我们介绍了应用系统方法与更深入理解系统概念的几个专题。一是通过一些实例介绍了一些建模的技巧与方法;二是体现系统演化的自组织理论;最后再来讨论系统理论;最后一章在一个新的层次上把第一章的内容深化。

当然,以上只是一孔之见,难免有片面性,但我们仍然愿意作此尝试,并在尝试中将其完善,其目的是探索如何发展我们所钟爱的系统工程事业。

著者

1999年底

目 录

第一章	系统概论	(1)
第一节	系统观念的历史发展	(1)
第二节	系统的基本概念 <small>系统、结构、功能、层次</small>	(5)
第三节	系统的分类与系统科学	(13)
第四节	系统的特性	(19)
第五节	学习方法论类型课程的系统分析	(21)
第二章	系统工程	(28)
第一节	历史的回顾	(28)
第二节	霍尔三维结构	(31)
第三节	逻辑维步骤详解	(36)
第四节	应用实例	(44)
第五节	几种常用的技术方法	(47)
第三章	系统分析	(53)
第一节	兰德型系统分析	(54)
第二节	问题分析技术	(61)
第三节	潜在问题分析技术	(74)
第四节	目标的系统分析	(83)
第五节	系统的环境分析	(88)
第六节	系统的结构分析	(92)
第七节	系统的功能分析	(105)
第四章	切克兰德型方法论	(111)
第一节	无结构问题	(111)

第二节	切克兰德软系统思想	(117)
第三节	软系统方法步骤的详细讨论	(120)
第四节	软系统方法论的评议	(134)
第五节	应用实例	(136)
第六节	案例分析	(140)
第五章	系统模型概述	(144)
第一节	模型概论	(144)
第二节	建立数学模型的一般过程	(147)
第三节	若干初等模型	(151)
第四节	竞争与合作关系的一组模型	(161)
第五节	微分方程模型	(170)
第六节	企业产品定价或定产量的一组模型	(182)
第七节	垄断与纵向控制模型	(189)
第六章	系统的自组织	(197)
第一节	自组织现象的典型事例	(197)
第二节	研究自组织的学科	(205)
第三节	耗散结构理论简介	(206)
第四节	协同学简介	(213)
第五节	系统的自组织概述	(226)
第六节	形成自组织的途径	(236)
第七章	系统理论	(240)
第一节	认识事物方法的发展	(241)
第二节	联系的特征与规律的要点	(244)
第三节	系统的基本概念与基本规律	(247)
第四节	系统的控制	(252)
第五节	系统中的竞争与协同	(257)
第六节	系统的结构动态性	(259)
参考文献	(263)

第一章

系统概论

第一节 系统观念的历史发展

人类对系统的理解和认识有其产生与发展的过程。在某种意义上,在古代人们就开始了系统核心思想的探索。而到了现代,随着社会经济与科学技术的发展,人们对系统的认识有了进一步的深化。

一、古代系统思想

形成于殷周之际的我国古籍《周易》就把世界看成是一个由许多要素组成的具有某种层次性的整体,例如,六十四卦就是一个整体,每卦又自成一个整体,但每一卦的六爻之间存在着相互制约的关系并由这些关系产生了整体中的层次性。而五行论则把自然界归纳为由五种基本要素所组成。道家提出的“道生一、一生二、二生三、三生万物”则不仅强调了自然界的统一性,而且还强调了自然界的动态变化。宋明理学的奠基人周敦颐把阴阳五行系统与道家思想融入了儒家学说,并力求将天、地、人统一于一个整体中。

中国古代中医把人与环境看成一个密切相关的整体,《孙子兵法》从“道、天、地、将、法”五个方面论述战争、战略与战术问题。战国时期李冰父子设计和指挥修造的都江堰工程等,都是中国古代

系统思想渗透到人们各种实践活动之中的典型例子。

在古希腊,泰勒斯、毕达哥拉斯、赫拉克利特等都试图通过寻找世界的“始基”来认识世界的整体。他们分别提出“水”、“数”、“火”为世界万物的“始基”。而德谟克利特则提出了作为“始基”的“原子”。亚里士多德关于整体与部分关系的思考,提出“整体由若干部分组成,其总和并非只是一种堆集,而其整体又有不同的部分”,这里已明白地表述了关于系统“非加和性”的特征。

二、近代系统思想

15世纪资本主义开始萌芽,伴随着文艺复兴和宗教改革运动,自然科学在欧洲兴起。按照当时科学提供的见解,天地及其间万物固定不变,一切自然现象都是互不联系、各自孤立的,它们在空间中彼此无关地交织在一起。简言之,机械论、还原论占据了主导地位。尽管如此,这一时期仍有许多系统思想的火花闪现出来。例如莱布尼兹提出了由单子组成了复合物,宇宙是一个被规范在一种完美秩序中的统一体系;而狄德罗则认为活点子连续不断地粘下去,便得出一个整体的东西来。

德国古典哲学的开创者康德推测整个宇宙具有不同的层次。在对知识的理解上,他认为知识是相互关系、相互联系要素的整体。而近代唯心辩证法大师黑格尔则指出了必须把真理和科学作为有机的整体加以研究,真理只有作为系统者才是现实的,他称“绝对概念”为系统,并把这种系统理解为一个“过程的集合体”;他还运用系统方法构造出完整的哲学体系。他不仅丰富和发展了系统思想,还自觉不自觉地进行着系统思维。

随着19世纪社会、哲学与科学技术的发展,许多领域都呈现出由分析进入综合、由部分到整体的趋势。马克思继承了前人的系统思想,并形成了自己的系统观。首先,马克思把社会与社会的

演变作为一个有机整体来看待,在他看来,社会就是一切关系同时存在而又相互依存的社会机体。其次,马克思把社会形态的发展当作一个有机体的进化过程来研究。西方学者也普遍承认,马克思率先把系统方法应用于社会历史研究,是社会科学中应用现代系统方法的始祖。

在恩格斯看来,整个世界是一个有机联系的复杂系统,“我们所面对的整个自然界形成一个体系,即各种物体相互联系的总体……,这些物体是相互联系的,就是说,它们是相互作用着的,并且正是这种相互作用构成了运动”。恩格斯还在他的著作里完整地表达了关于物质世界的层次思想、物质世界层次结构与一定的运动形式的内在联系等。在整体与部分的关系上,恩格斯指出“许多人协作,许多力量融合为一个总的力量,用马克思的话来说,就造成了‘新的力量’,这种力量和它的各个分量的总和有着本质的差别”。恩格斯不但从若干方面和若干问题上阐述了系统思想,而且从整个人类认识史入手,分析了自然观发展的最一般规律,从而揭示出了系统思想兴起的必然性。

三、现代的系统思想

19世纪下半叶以来,科学技术进入全面进步时期,而20世纪自然科学的迅速发展,使之开始形成一个多层次、综合的统一整体。系统思想在科学技术新的综合的今天,得到了极大和极快的发展。

具有代表性的发展之一是贝塔朗菲的系统论思想。他从20世纪20年代起就多次发表文章,强调应当把有机体当作一个整体,一种在时空上有限的具有复杂结构的自然整体来考虑。他认为“复杂现象大于因果链的独立属性和简单总和”,他甚至已经给系统下了如下的定义:相互作用的诸要素的复合体。贝塔朗菲还

认为生命是一个开放系统,要从生物体与环境的相互作用中说明生命的本质。另外,他认为生物系统是分层次的。他于 1937 年就第一次提出了一般系统论的概念。

随着生产规模的日益扩大,社会组织日益复杂,一个组织内的目标、协作以及信息的联系日趋重要,于是系统思想日益深入到管理领域。至于信息论、控制论等现代科学技术的发展,更是多方面地推动了系统思想、系统科学的发展。

20 世纪 60 年代以来,先后诞生了耗散结构、协同学、超循环理论、突变论、混沌学等一系列关于系统的新学科、新理论,从而使人们对系统的复杂性、组织性、整体性的认识又提升到一个新的高度。如果说过去人们还主要局限于对平衡系统的研究上,而现在已将研究触角延伸到非平衡系统和非线性系统的自组织演化上。

20 世纪 60 年代问世的由普里高津创立的耗散结构理论认为,一个远离平衡的开放系统,通过不断地与外界交换物质与能量,在外界条件变化达到某一阈值时,就可能从原先的无序状态转变为一种在时空上或功能上有序的状态。

接着,哈肯在研究一类非平衡相变内在机制的基础上,吸取了耗散结构理论和突变论的核心,创立了统一解决系统从无序转变为有序过程的协同学。协同学认为,系统性质的改变是由于系统中的要素——子系统之间的相互作用所致。任何系统的子系统都有两种运动趋向,一种是自发地倾向于无序;另一种是通过子系统之间的关联引起的协调、合作运动,系统自发地走向有序。系统究竟是从无序走向有序还是相反,取决于哪一种运动趋势占主导地位。协同学通过序参量这一概念来描述一个系统宏观有序的程度,刻画系统从无序到有序的转变,从而大大加深了人们对于系统演化内部机制的认识。

德国生物物理学家艾根于 20 世纪 70 年代提出了超循环理

论。他认为,在关于生命起源的化学进化与生物进化之间,还有一个生物大分子自组织进化阶段,随机无序的大分子通过采取循环形式的自组织,发展形成有序的组织并向更高的组织和复杂性进化。这一理论揭示了系统的演化采取了循环发展的形式,即从低级循环到高级循环,不同的循环层次与一定的发展水平相关联。

法国数学家托姆关于突变理论的提出,揭示了原因的连续作用有可能导致结果的突然变化,从而加深了我们对于系统有序与无序转化的方式和途径多样性的理解。

混沌理论是 20 世纪自然科学最重大的发现之一,它告诉人们在确定性系统中也存在随机性。从整体上看系统具有稳定性,系统整体演化具有规律性。而从微观上看系统又是不稳定的,系统没有具体的轨迹可寻。这就使我们对系统无序和有序的统一,确定性和随机性的统一,以及稳定性和不稳定性的统一,即系统自组织过程的复杂性有了更深刻的认识。

总之,在 20 世纪后 50 年中,人们对系统演化理论,例如系统演化的动力机制、偶然因素在系统演化中的作用、系统演化的循环发展形式、系统演化的多样性、系统演化从有序到混沌再从混沌到有序的全过程等等,都有深入的研究,有些还具有统一的原理性与数量上的普适性。

第二节 系统的基本概念

本节介绍系统的一些基本概念,系统的基本概念用于描述系统所表现出来的现象以及特征,即系统的共同特性。虽然目前对这样一些概念,人们尚未有完全统一的认识,但对系统的最基本的理解还是有共识的。至于在较高层次上认识系统,本书在第七章中介绍。

一、系统

系统的概念,本质上是一个描述客观对象存在方式的概念,其客观对象可以是人造的也可以是自然的。而系统这一概念所要描述的存在方式主要应关注些什么呢?这应从引入系统概念的目的来理解。引入系统概念本质上是为了从联系、整体的视角来认识世界,因而系统概念的实质就是要揭示出联系与整体的特征与规律。

我们可以观察到,任何一个客观存在的对象总有其独立性,即存在一个边界,依据这一边界可以将此对象与其他的事物作出彼此与此的区分,这是人们认识事物的最基本特征,也是事物存在的方式。当然,人们并不因此而否定客观对象内、外部的联系,而以客观对象的内部作为一个整体考虑与外部的联系。在边界以内的内部,客观对象往往还由更小的内部组成,即由一系列更小的组分以特定的方式组合而成的。既注意到客观对象的内部结构,又注意到客观对象与外界的联系是系统概念描述客观对象存在方式的实质。

由此,我们可以引入系统的描述性定义:

系统是相互关联的若干要素的集合体。

尽管这里给出了系统的定义,但并不希望用此概念去判断一个对象是否可以称为系统。因为在这一定义中,如“集合体”这样的词汇其意义仍然是含糊的,因此在实际中用系统的特征来描述系统,是更可操作的方法。

系统的特征可以概括如下:

(1)具有相互联系和彼此影响的要素。这是人们透视系统的最宏观特征,它强调了系统内部的可认识与可描述的存在方式。这一特征的进一步深化就是系统的结构概念。

(2)具有一定的边界。以边界把系统从无限的存在中划分出来,系统以整个单位与环境发生关系。这一特征可进一步深化为系统功能的概念。

对一个客观对象,认同上述两个特征,就意味着可以把这一客观对象视为系统。图 1.1 是描述系统概念的图像形式。

一所学校、一个部门、一个企业,这些作为系统是很容易被认同的。人体、家庭、社会,也当然是系统。但一只手、一支笔的笔套可以认为不是系统,尽管它们具有独立的物质存在形式,但这个独立的存在形式并不是与环境发生关系的整体单位,人们一般也不会把他们当作一个独立的认识对象。

把一个对象当作系统,意味着要从内、外部联系中去研究这一对象。当人们以特定的目的去认识一个对象时,这个对象是否被当作系统是有主观性的。例如,太阳系是一个系统,但也可以认为是银河系中的要素,这意味着系统概念是与认识层次有关的。

二、结构

结构是描述系统内部组织秩序的一个概念,对系统内部组织秩序的描述包括不可分割的两个方面——要素与关联。

要素 为系统内的有一定独立性的“零件”。它是系统内部在一定意义下的最小的基本单元。

既然要素是系统内部在一定意义下的基本单元,对要素的认定就有一定的任意性。系统内部要素的区分需遵守的基本原则是:此要素与彼要素的边界以及要素之间彼此联系的描述是可行的。

在实际操作中,要素的划分与认识系统的目的有关,人们往往在达到目的要求的基础上尽可能简单地规定划分要素的准则。

例如,把一所学校作为一个系统,假如把全体教师作为一个要

素,而每一位学生作为一个要素的话,就不能认为是系统要素划分,因为某一位同学与全体教师之间的关系是无法描述的。

再如,研究社会系统,不必把每一个人的细胞作为要素进行研究,而以个人为要素就足够了。

关联 是指要素之间的联系。如领导与被领导关系是一种关联,师生关系是一种关联,企业之间在市場中的竞争是一种关联,企业之间组成集团是一种关联,有质量的物质之间的万有引力是一种关联等等。

系统的结构是指要素及关联方式的总和。

需要强调的是,系统中的要素并不仅仅指物质存在,而更是指在关联中的意义。如我们讲人体中的肺,其意义远比医学院里肺的标本那种物质存在形式意义深远;又如“砍下来的手不再是手”也是这一含义。

在一些特定场合,系统的结构可简单地只指关联,这种场合主要是系统要素被命名后我们仅关注关联规律对系统的影响。如 $dX/dt = AX$,称之为线性结构;又如由一组串联元件组成的系统,称之为串联结构。

同样的元件,可以用不同的关联方式构成不同的系统,如几个电子元件的串联或并联构成不同的系统;又如化学中的同分异构体等。

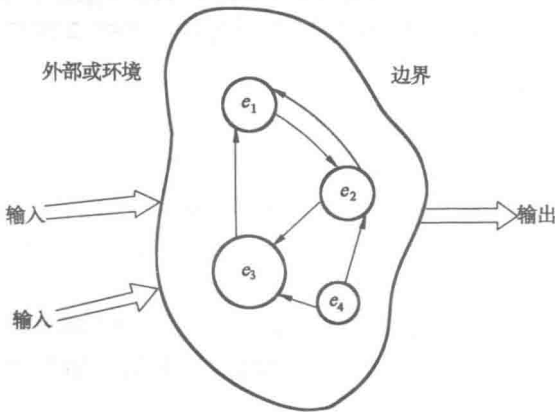
实际上,结构这一概念与平常的一种认识方式相似,我们对一个认知对象首先会给它一个名字,以示与其他对象的区分,然后通过揭示内部的组成达到认识的目的。在系统方法中内部的组成规律则被抽象成了系统结构。

三、功能

功能是描述系统与外部环境关系的一个概念。

处于特定环境中的系统,外界给予它一组输入,不论这组输入是受控的还是不受控的,一般地系统能对该输入进行变换和处理,并产生一组返回环境的输出。系统内部对输入的处理能力是通过系统要素之间的配合行动来实现的。一般把输入—变换—输出环节简称为输入输出过程。

对系统的输入,有两类输入是需要区分的。一类是系统直接接受并处理的输入,另一类是影响系统处理过程(也称为行为)的输入。如一个生产企业,各生产要素是企业这一系统直接处理的,而市场价格、法律法规等环境因素都影响企业行为,但它们不被企业直接“加工”,后一类输入类似经济学中所说的公共商品。



e_1, e_2, e_3, e_4 表示要素,要素间的箭头线表示联系

图 1.1 系统的图像

把影响系统行为但不被系统行为影响的输入称之为系统的环境因素。一般把输入区分为直接被系统加工的输入与环境因素。

这样,系统的输入输出过程可以理解为,输入 X 经系统 S 作用后产生输出 Y ,若记 e 为环境因素,则可记为 $Y = S(X, e)$ 。

一组输入在一定环境因素中导致了系统相应的输出,系统的这种输入—输出过程称之为系统行为,全体行为的集合记录了系统与环境、输入与输出的全部关系。系统的功能就是指系统的这种与环境相互联系与作用过程的能力,也就是说功能就是指行为集的特征。

人们关心系统总是有目的的。在通常情况下,人们会关心系统在特定环境中特定的输入类型、某一部分输出的质和量,即全体行为集的一个子集或这一子集的一个切面,也就是某一部分功能。

例如,一个企业,可以有制造产品的功能和创造利润的功能,也有产生污染物的功能,这些都是企业这个系统全体行为集的某一方面或某一侧面的描述,即功能的某一方面或某些功能的特征。

由于完整地了解一个系统的功能是困难的,人们往往用特定的指标、特定的输入所产生的特定输出、特定的环境因素下系统的行为等来说明功能。

任何一个系统,被人认识的功能往往只是这个系统功能的一部分,而没有被认识的功能可能更多。例如,一种农药,有杀死害虫的功能,同样有杀死益虫的功能,也有在植物中残留危害人类的功能。人们无法了解系统的全部功能,但人们必须关注尚未被认识的功能。

四、层次

系统层次的概念是自然界层次性的发展与延伸,例如在物理学中,量子力学、牛顿力学、爱因斯坦的相对论等分别对应不同物质层次的运动。层次这一概念是因为描述运动时空结构的局限性而产生的,可以在同一时空结构中描述的运动称为同一层次。而