



XITONG KEXUE

系统科学

张祥生 肖厚智 主编



武汉理工大学出版社

系 统 科 学

主 编 张祥生 肖厚智

副主编 王玉琳 高 斌 艾国松

武汉理工大学出版社

· 武 汉 ·

图书在版编目(CIP)数据

系统科学/张祥生,肖厚智主编. —武汉:武汉理工大学出版社,
2003. 8
ISBN 7-5629-1994-1

I. 系…

II. ①张… ②肖…

III. 系统科学

IV. N94

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 035318 号

武汉工业大学出版社出版发行

(武昌珞珈路 122 号 邮政编码:430070)

湖北金海印务有限公司印刷

*

开本:850×1168 1/32 印张:9.5 字数:244 千字

2003 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 3 次印刷

印数:9090—11050 册 定价:14.00 元

(本书如有印装质量问题,可向承印厂调换)

目 录

第一章 系统科学概述	(1)
第一节 系统科学的概念	(1)
第二节 系统科学的研究对象和性质	(3)
第三节 系统科学产生的条件	(8)
第四节 系统科学的发展及其意义	(14)
第二章 系统科学的体系结构	(26)
第一节 系统科学在现代科学技术体系中的地位	(26)
第二节 系统科学的理论层次	(30)
第三节 系统科学的方法论	(45)
第三章 系统	(51)
第一节 系统概念	(51)
第二节 系统的性质和特征	(54)
第三节 系统的分类	(67)
第四节 一般系统论	(72)
第四章 系统与信息论	(80)
第一节 信息	(80)
第二节 信息论与信息科学	(87)
第三节 信息资源和信息技术	(93)
第四节 信息方法与管理	(99)
第五章 系统与控制理论	(109)
第一节 控制的涵义	(109)

第二节	系统与控制·····	(115)
第三节	控制论基本内容·····	(120)
第四节	控制论方法·····	(127)
第六章	系统与耗散结构理论·····	(136)
第一节	耗散结构理论的若干基本概念·····	(136)
第二节	耗散结构及其产生的条件·····	(141)
第三节	系统演化图景及其哲学意义·····	(146)
第四节	耗散结构理论的实际应用·····	(156)
第七章	系统与协同学理论·····	(164)
第一节	协同学的含义·····	(164)
第二节	系统与协同学·····	(169)
第三节	协同学的基本内容·····	(178)
第四节	协同学的意义·····	(184)
第八章	系统与超循环理论·····	(189)
第一节	超循环的含义·····	(189)
第二节	系统与超循环·····	(198)
第三节	超循环理论的基本内容·····	(201)
第四节	超循环的意义·····	(210)
第九章	系统与自组织理论·····	(214)
第一节	自组织的含义·····	(214)
第二节	组织系统与自组织系统·····	(221)
第三节	自组织理论的基本内容·····	(222)
第四节	自组织理论的意义·····	(232)
第十章	系统与巨系统理论·····	(241)
第一节	巨系统概述·····	(241)
第二节	简单巨系统理论的内容及其应用·····	(248)
第三节	复杂巨系统理论及其应用·····	(252)
第十一章	系统科学与领导管理活动·····	(266)

第一节	领导管理活动是一个复杂的社会系统工程·····	(266)
第二节	系统论与领导管理活动·····	(276)
第三节	信息论与领导管理活动·····	(281)
第四节	控制论与领导管理活动·····	(287)
后记	·····	(293)

第一章 系统科学概述

本章提要 系统科学是 20 世纪 40 年代以后迅速发展起来的一个横跨各个学科的新的科学部门。本章作为全书的第一章,首先阐述了系统科学的概念含义、研究对象和性质;其次分析了系统科学的产生条件;最后论述了系统科学的发展及其意义。

第一节 系统科学的概念

什么是系统科学?在系统科学的研究中,不同学者从不同的角度出发,对此有着不同的理解。

一种理解是,把系统工程看成是系统科学。这是在 20 世纪 60 年代存在的一种看法。例如美国的《系统工程》杂志改名为《系统科学》,就表明他们认为作为技术或技术科学的系统工程,其中也需要或包含相应的基础理论,系统科学实际是系统工程。

另一种理解是,系统科学只研究系统。所以有些学者认为,系统科学是以系统为研究和应用对象的一个科学技术门类。

还有一种理解是,系统科学是由以系统为研究对象的基础理论和应用开发系统的学科组成的学科群。在比较早的时候系统论的创始人贝塔朗菲就指出,系统科学是由一般系统论和一些专门的系统理论如物理系统的、生物系统的、心理系统的、社会系统的理论所组成的。贝塔朗菲把一般系统分为狭义和广义两类:在狭义上,一般系统论是从系统成分相互联系的复杂性、整体机制的特

点,如从相互联结、总和、机制、集中、竞争、目的等方面对系统进行描述,并对系统诸因素进行分析。在广义上,一般系统论属于基础科学,它与应用科学密切联系,也可以归为一般系统科学,它同现代自动化技术密切联系在一起,但又与系统工程、操作方法是严格区别的。在这里,狭义的是理论性的一般系统论,广义的则是应用性的一般系统论。应用性的一般系统论与控制论、信息论、系统工程、运筹学等分支密切联系,与现在讲的系统科学比较相似。

贝塔朗菲还运用讨论一般系统论的体系的办法,阐述了系统科学的体系。他把一般系统论当作是包括了系统哲学、系统科学、数学系统理论、系统技术等多方面内容的一个整体。其中,系统技术的硬件部分包含了控制技术、自动化、计算机化;软件部分包含了控制理论、信息论、对策论等。可以看出,贝塔朗菲是把系统科学理解为关于系统的观点、数学的理论,以及系统工程、运筹学、控制论、信息论、计算机科学技术,甚至是包括哲学、社会科学、方法论等在内的,专门的一类科学技术部门。

我国有些学者认为,系统科学作为一个完整的科学体系,应该包括系统学、系统方法学和系统工程学。系统学是系统科学的基础理论,它研究的是一般系统的基本概念、基本性质和基本规律以及系统的分类。其中有系统概念论、系统分类学和系统进化论、分支系统理论,如协同学、微分动力体系理论、超循环理论、一般生命系统理论等。系统方法学研究的是系统科学的基本方法,即所谓的系统方法,其中包括系统方法的基本构成、基本原则和若干方法论学科,系统的方法理论中包含着信息论、控制论、系统动力学、模糊系统理论等。系统工程学是系统科学中的实用领域,它由系统方法、运筹学和电子计算机技术组成。其中,系统方法给系统工程学提供思考方式和一些系统方法理论,运筹学提供数学工具,电子计算机提供技术手段。这里,是把系统科学作为一门综合性的科学技术部门。

根据上述介绍,综合各方面的见解,我们认为可以把系统科学界定为:系统科学是从对象系统的结构和功能(包括协调、控制、演化)角度研究客观世界的科学。

第二节 系统科学的研究对象和性质

一、系统科学的研究对象

每一门科学都有自己的研究对象。一般地说,每一门科学所研究的都是一个或一些特定的系统,但是它们并不研究离开具体的物质形态的一般系统。系统科学则不同,它不研究特定形态的、具体的系统,而是撇开系统的具体形态、特定的结构和功能,研究一般的系统,研究系统的类型、性质,以及运动的机理和规律。

首先,系统科学所感兴趣的不是某个特定领域的具体的结构、功能、性质和机理,而是作为一般系统的共同的规律性、一致性和同构性。其次,系统科学并不是把它研究的对象作为纯客观的实体,孤立地、静止地把握它。因此,可以这样说,系统科学是一种观察问题的方式。作为它的研究对象,不但系统本身各个要素的联系、要素和系统的联系,而且系统和环境的各种联系、现在的联系和状态与未来的联系和状态等等,都被纳入了考察问题的参考系之中。

贝塔朗菲在谈到一般系统论的对象和性质时认为,各种经典科学(无论是化学、生物学、心理学,还是社会科学)都是试图将整体的各个元素加以单独处理——如化学元素、酶、细胞、初始感觉以及自由个体等等——并以期通过在观念上或试验中把它们重新凑到一起的方式,找出可以理解的对象整体或系统(如细胞、精神和社会等)。而现在,我们已经认识到,对研究对象的理解不仅仅需要它们的元素,更重要的是要弄清楚它们之间的关系,例如,细胞

里各种酶之间或精神中许多有意识和下意识之间的相互作用,以及社会系统之间的结构和动力等等,这就要求我们对许多业已观察到的整体从其本来的特性上加以重新考察。而且,这种考察还要表明,在“系统”的某些共同方面存在着一致性和同构性,虽然上述类似性或同构性常常显现在其他方面完全不同的系统之中。这便是—般系统论所要研究的领域。

系统整体存在着多种形式,有机械的、物理的、化学的、生命的和社会的等等。它们形态各异,性质也截然不同。决定整体及其性质的不仅是由于构成它们的基质——要素不同,而且在很大程度上取决于构成整体的各个部分(要素)之间的相互作用与相互关系。如果由各个部分相互作用、相互关系而形成了整体,那么,相应地也形成了超出每部分性质简单相加的某种整体的性质。—般系统论就是要研究这种系统整体性形成的机理和规律性。

系统中还有一些特殊的形式,这些系统在和环境进行物质、能量和信息的交换过程中,既能通过调节保持自身的稳定状态,又可以进行要素和结构的重新组合,从而产生新的功能,以适应环境的变化,这就是系统的自适应、自稳定、自组织、自控制。例如生命系统和社会系统中就存在这样—类十分显著的特点,即当外界环境发生变化,系统能通过改变自己的行为方式甚至改变自己的结构,而继续“维持生存”的现象。这种现象就是生命系统和社会系统对环境变化而表现出来的“适应性”。这种适应性是通过反馈、调节等控制手段实现的。这种具有反馈调节能力,能够实现自组织、自稳定、自适应的系统就是功能系统。系统科学中的一个重要学科——控制论就是研究存在于生物界、社会组织和某些机器中的功能系统的内部结构及其相互关系,研究它们作为控制系统和信息系统的共同规律和控制方法的。

还有一种大系统,它们通常是规模庞大,子系统众多,组成要素复杂,影响广泛,并伴随有各种不确定因素(特别是人的因素)和

对立因素的交叉、渗透和影响,具有多级复杂的结构和功能(包括人的目标)的系统。其中部分大系统行为的条件和内容很难予以定量描述,或不是以数量作为主要信息特征,称之为非定量性的大系统。在自然界和人类社会中,都存在众多的大系统。例如一个联合企业、一个城市、一个地区可以是大系统;地球上的矿藏系统、海洋系统、生态系统是一个大系统;一个人的大脑、一个国家的交通体系、教育体系、产业结构也是大系统。系统科学中的大系统理论就是研究这些大系统的性质、结构和一般运动规律,提供关于大系统的理论基础和对大系统进行预测、决策和管理的理论工具。

总之,系统科学是以系统及其机理为研究对象,研究系统的类型、一般性质和运动规律的科学。通过这种研究为人们提供认识现实世界中各类系统的性质和特点的理论依据,以便按照人的目的和需要在改造、创建各种系统中进行科学的设计、管理、预测和决策。

二、系统科学的性质

系统科学研究对象的复杂性和研究领域的广泛性,决定了系统科学的特殊性质。这就是它的横向学科性质、综合性质、功能行为性质和方法论性质。

1. 系统的横向学科性质

系统科学不同于研究自然界某一(或某些)物质运动形式的自然科学,它反映的是自然界各个领域和各门自然科学中共同的东西,也反映社会生活各个领域某些共同的东西,它所研究的系统结构的规定性、系统的类型、机理和运动规律贯穿在自然界和社会各个领域的系统之中。系统科学正是基于各门学科,又撇开各种事物、现象、过程的具体特性,撇开各类系统的具体内容,用抽象的方法研究它们的共同方面、一致性和同型性,即系统结构的最一般的规定性、类型、动态机理和运动规律。

系统科学虽然没有哲学那样高的普遍性和世界观的意义,但是,由于它的横向学科性质,从另一侧面揭示了客观世界和人类知识中共同性的东西,从而能够在各个学科、各个领域发挥它的方法论作用。

2. 系统科学的综合性质

系统科学的综合性质,首先表现在它在研究方法上综合融汇了各个领域、各门科学的研究方法和方式,在这里既有严格精确的定量描述,也有哲学的、经验的定性分析;既有逻辑的、抽象的方法,也有直观的形象的表达;既有对客观规律的严格遵循,也有根据人的需要而采取的人为的创造和约束;既有现代的数学模型,也有传统的类比。它综合了人类认识世界和改造世界的历史发展中许多有所建树的重要方法与手段。

其次,系统科学的综合性质还表现在,它从方法论的侧面把各门科学整合、融汇、沟通起来,从而使它具有大科学或整体科学的特点。系统科学的综合性是与现代科学的综合化、整体化、一体化的趋势相适应的。它反映了科学理论在形式结构上和方法论上的一致性和统一性。系统科学的各个学科,特别是系统论、控制论和信息论,正是从不同方面起了这种综合和统一的作用。例如,系统论既综合了各门科学的整合的功能,又从形式结构方面把各门科学整合起来;控制论既综合了人类知识发展过程中的反馈控制的机制,也为各门科学在实践中应用提供了参与、融汇、调节的方法论依据;信息论所研究的信息过程既是对各类知识、概念、范畴、公理、定律等等的运演过程的综合与概括,也为各门科学知识的沟通提供了科学的方法与手段。因此,系统科学虽然不是“大一统”的科学,但却具有某种意义上的综合科学或“大科学”的性质。

3. 系统科学的功能行为性质

系统科学就其本质,可以说是研究事物的功能行为。也就是说,它主要不是研究“这是什么”,而研究“它做什么”和“怎样做”的

问题。它并不把客观事物作为纯粹的实体,深究其基质构成及其发展变化的原因,而在运动发展的过程中,在动态中研究它的功能行为。至于它的研究对象的实体是什么,物理、化学的规律是否适用,却无关紧要。所以它所注重的是动态的方法,功能行为的方法。

系统科学的功能行为性质还表现在,它的很多分支学科,特别是应用学科,例如系统工程、运筹学、工程控制论等等,所侧重研究的主要不是“物理”,而是“事理”。不是单纯自然的、“物理”的联系,而是包含着人的因素的“事理”的联系。作为系统科学的一个分支学科——事理学,就是定量地研究特定的政治、经济、军事和社会事务或过程的基础理论。这种事理本身就带有很大程度的行为和人为的性质。在现代社会里,没有人参与的单纯自然系统的功能是不能满足人的需要的。人们研究各类系统的目的,就是为了寻求在人的参与下变革系统的结构,形成有利于人的系统功能的条件、程度和界限。就此而论,也可以说,系统科学具有一定程度的“人为科学”的性质。

4. 系统科学的方法论性质

由于系统科学的横向学科性质、综合性质、功能行为的性质,可以看到它虽然不是哲学方法论,却具有一般方法论的意义。系统科学不论它的基本原理还是它的各分支学科的具体方法(如信息方法、反馈控制方法、系统分析方法等等)原则上都是作为一种思维方法而提出的。美国系统哲学创始人之一拉兹洛认为,系统科学为我们提供一种“透视眼光”,我们可以用这种眼光看人和自然。“这是一种根据系统概念、根据系统的性质和关系,把现有的发现有机地组织起来的模型。”

系统科学为我们提供的是有机的、能动的或功能性的系统,充分体现了系统的目的性、选择性。系统论、控制论告诉我们:与牛顿力学中那种没有结构、没有内外部之分的质点不同,作为系统存在的事物都是结构-功能的统一体;系统自身的结构和功能的存在,

使得环境不能直接决定事物的变化,而必须以事物自身为中介。系统中的约束信息——即有一定程度的目的和组织的信息的存在,不仅可以“记忆”过去的经验,把它贮存在自身结构中,通过它来调节、协调系统的行为和各部分的关系,甚至能对环境作出“超前反应”。这样,系统就能使外界环境对它们的内部环境(表现为状态)的影响缩小到最小程度,从而在变化多端的环境中保持自身质的规定性,保持内部条件的稳定。对于复杂系统来说,这种稳定性调节能够扩大到外部环境,以致改变和组织外部环境去适应自己的内部结构。正是系统的这种功能特性赋予系统以相对的独立性、选择性和主动性。

第三节 系统科学产生的条件

为什么会产生系统科学?系统科学为什么恰恰在 20 世纪 40 年代以后迅速地发展起来?这有其重要的客观的和历史的条件。

一、客观世界本来就是一个多层次多因素多过程的大系统

辩证唯物主义告诉我们,世界上的事物不是彼此孤立的,而是互相联系、互相制约的。它们往往通过一定的关系,如交换物质、能量或信息联结在一起,互相依存、互相影响,组成一个个系统。这些系统一方面由于各自的组成成分、结构和功能不同而具有相对的独立性;另一方面它们之间又通过某种形式的物质、能量或信息的交换联结在一起,互相依存、互相影响,组成更加庞大更加复杂的系统,最终形成整个世界。

人类发展的历史证明,只有深刻地认识了各级系统的特性、运动规律以及互相间复杂关系的形成规律,人们才能更好地控制、管理、改造和创造系统,才能正确地处理系统间的关系,特别是那些既庞大又复杂的人工系统和自然系统之间的关系,使它们互相促

进、协调发展。

正是由于各种不同的系统客观地存在着,而且整个客观世界本身就是一个多层次多因素多过程的大系统,所以人类才在利用和改造它的实践中总结出系统科学。

二、现代大规模适应和改造世界的活动使人们逐渐明确地认识到必须从系统的角度考虑和处理问题

系统虽然客观地存在着,但人类对它的认识却经历了一个逐渐加深的漫长过程。在古代,人类自从有了生产活动以后,由于不断地和自然界打交道,客观世界的系统特性便逐渐地反映到人的认识中来,自发地产生了一些朴素的系统思想。这种朴素的系统思想表现在哲学上就是把自然界当作一个统一的整体。如古希腊辩证法的奠基人之一赫拉克利特就说过:“世界是包括一切的整体。”亚里士多德还提出了“整体大于它的各部分总和”的论点。我国春秋末期的思想家老子也强调自然界的统一性。古代朴素的系统思想表现在实践上就是从事物之间互相联系的角度去观察和改造世界。如我国古医书《黄帝内经》就强调人体各器官的有机联系,生理现象和心理现象的联系,身体健康与自然环境的联系。对疾病的诊断强调综合分析,治疗时强调因人、因时、因地制宜,并把治疗与调养、治疗与防病结合起来。我国古天文学很早就揭示了天体运动与季节变化的关系,编制出了历法和指导农事活动的二十四节气。战国时期(公元前 250 年),秦国太守李冰父子主持修建了都江堰水利工程。把“鱼嘴”岷江分水工程、“飞沙堰”分洪排沙工程、“宝瓶口”引水工程三大主体工程 and 120 个附属渠堰工程巧妙地联系在一起,形成一个协调运转的工程总体。分导了岷江激流,使它灌溉成都大平原的 14 个县 500 多万亩农田,还建立了控制流量和养护修理制度,至今仍发挥效益。古代这些医学、天文学和工程上的成就,都在不同程度上反映了朴素的系统思想的自发应用。

朴素的自发的唯物论和辩证法,以及把自然界作为一个整体探索的朴素系统思想虽然在古远的年代就已产生,但由于当时的生产和科学技术都相当落后,人类改造世界的能力很弱,规模也小,对自然界的影响无论在广度和深度上都是很小的。人类对客观世界的微弱干预当然不可能使事物之间复杂的依赖关系和制约关系充分地暴露出来,在这种情况下,人类对系统的感觉自然是相当淡薄的,反映到认识上的系统观念自然也是相当朴素和肤浅的。所以,人类在强调对自然界整体性、统一性认识的时候,却忽视了(实际上也没有能力)对它的各个局部、各个细节和各个侧面进行深入认识,因而,当时对整体性和统一性的认识也是不完全的,和真正的系统观还有很大的距离。正如恩格斯指出的那样:“在希腊人那里——正因为他们还没有进步到对自然界的解剖、分析——自然界还被当作一个整体而从总的方面来观察。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直接的观察的结果。这里就存在着希腊哲学的缺陷,由于这些缺陷,它在以后就必须屈服于另一种观点。”

15 世纪下半叶,资本主义生产方式在西欧有了很大的发展,纺织、采矿、冶金和金属加工等工业部门相继建立起来。美洲的发现和航路的开辟使西欧的工商业进一步发展。生产的发展为科学的繁荣提供了有利的物质条件,望远镜、显微镜、气压计、温度计、抽气机和摆钟等被相继发明和制造出来。这些发明为人类深入认识客观世界的各个局部、各个细节和各个侧面提供了十分有力的手段。在这种条件下,力学、天文学、物理学、化学、生物学等科目逐渐从混为一体的哲学中分离出来,并日益发展,形成独立的学科。随着近代自然科学的发展,包括实验、解剖、观察和把自然界的细节从总的自然联系中抽出来分门别类地加以研究的分析方法也进一步完善起来,并得到了自觉地、普遍的运用。由于人类对自然界的研究由古代的从整体观察发展到近代的对各个局部、各个细

节和各个侧面的深入了解,因而使人们获得了更多的详细的科学材料,从而大大地加深了人类对客观世界的认识,特别在力学方面还达到了一定的完备程度。

但是,近代社会生产和科学技术的这种进步,并没有使人类形成明确和完整的系统观念。这是因为人们在经常地、普遍地使用分析方法的同时,不知不觉地养成了一种不好的习惯,就是孤立地、静止地看问题,在解释自然现象时喜欢用力学规律加以说明和概括。这种孤立地、静止地认识事物的方法后来经过哲学家培根、洛克、沃尔弗等人的哲学概括和宣传,便逐渐地形成了形而上学的自然观,并很快取代了古代的朴素唯物主义和辩证法,在整个思想领域内占据了统治地位。形而上学在深入地考察世界的各个局部、各个细节和各个侧面方面虽然较古代的朴素唯物主义和辩证法进了一步,但由于形而上学是撇开总体的联系来考察事物和过程,因而运用这种方法不仅不可能完整地认识整个客观世界,而且这种方法反而成了达到这种完整认识的障碍。恩格斯曾尖锐地指出:“这些障碍是 17 和 18 世纪的形而上学——英国的培根和洛克,德国的沃尔弗——自己给自己造成的,而形而上学就是以这些障碍堵塞了自己从了解部分到了解整体、到洞察普遍联系的道路。”自从形而上学的哲学思想占了主导地位以后,人类的科学思维便长期停留在主要以“实物为中心”的水平上。

社会生产和科学技术经过 19 世纪特别是进入 20 世纪后得到了空前的发展。在此期间人类在哲学上也取得了史无前例的伟大成果,马克思和恩格斯创立了辩证唯物主义。这些伟大的成果大大提高了人类认识世界和改造世界的能力,有力地促进和推动了人类改造世界的各种活动,使人类改造世界的规模越来越大,程度越来越深。这些巨大的变化也从另一方面给人类带来了许多前所未有的问题。

第一,整体与局部的问题。随着物质生产的进一步集约化、专