

系统科学

——基本原理、哲学思想与社会分析

李以章 乐传新 周路明 编著

华中师范大学出版社



系 统 科 学

——基本原理、哲学思想与社会分析

李以章 乐传新 周路明 编著

华中师范大学出版社

系 统 科 学

——基本原理、哲学思想与社会分析

李以章 乐传新 周路明 编著

•
华中师范大学出版社出版

(武昌桂子山)

新华书店湖北发行所经销

四七一印刷厂印刷

•
开本 850×1168 1/32印张 10.125 字数 263千字

1991年9月第1版 1991年9月第1次印刷

ISBN 7-5622-0691-0/C·19

印数：1—3000 定价：3.10元

内 容 提 要

本书在阐述系统科学的基本概念和原理的同时，抽象概括了系统科学的重要思想与方法，并将其用于对自然系统、人工智能系统和人类社会的分析。全书融信息论、控制论、一般系统论及系统的演化和自组织理论于一体，横贯自然系统、人工智能系统和社会系统，从个别到一般，由简单到复杂，探索了系统科学的哲学思想，以及自然界、人工智能和社会的基本问题，揭示了系统科学的丰富内涵和深刻影响。

目 录

第一章 导论	(1)
1.1 系统科学.....	(1)
1.1.1 什么是系统科学.....	(1)
1.1.2 系统科学形成的历史背景.....	(8)
1.1.3 系统科学的基本特点.....	(12)
1.2 系统科学与哲学.....	(17)
1.2.1 物质系统的存在与发展.....	(17)
1.2.2 系统科学改变了人们的思维方式.....	(23)
1.2.3 系统科学与辩证唯物主义.....	(27)
1.3 系统科学与社会.....	(33)
1.3.1 系统科学正改变着社会的面貌.....	(34)
1.3.2 社会系统分析.....	(41)
第二章 信息系统	(48)
2.1 信息论的产生和发展.....	(48)
2.1.1 信息论的产生.....	(48)
2.1.2 信息论的发展.....	(51)
2.2 信息和信息的量度.....	(55)
2.2.1 信息及其一般特征.....	(55)
2.2.2 信息的分类.....	(58)
2.2.3 信息的量度.....	(60)
2.3 信息系统基础理论.....	(63)
2.3.1 一般信息系统模型.....	(63)
2.3.2 通信系统的理论问题.....	(68)
2.3.3 信息科学.....	(73)
第三章 控制论系统	(76)
3.1 控制论及其产生与发展.....	(76)

3.1.1	什么叫控制论	(76)
3.1.2	控制论产生的历史条件	(79)
3.1.3	控制论的形成和发展	(84)
3.2	控制论的基本理论	(88)
3.2.1	控制和控制系统	(88)
3.2.2	可能性空间、选择和控制能力	(91)
3.2.3	行为、目的与反馈	(93)
3.3	控制的基本方式	(97)
3.3.1	开环控制与闭环控制	(97)
3.3.2	定常控制与随动控制	(100)
3.3.3	自稳控制与自组织控制	(101)
3.3.4	大系统控制	(102)
第四章	一般系统论	(107)
4.1	一般系统论的产生	(107)
4.1.1	系统思想的历史渊源	(107)
4.1.2	一般系统论的建立	(110)
4.2	一般系统论的基本概念	(114)
4.2.1	系统与要素	(114)
4.2.2	联系和环境	(117)
4.2.3	结构与功能	(120)
4.3	一般系统论原理及初步的数学描述	(123)
4.3.1	一般系统论的主要原理	(124)
4.3.2	一般系统的初步数学描述	(130)
第五章	系统的状态、自组织与演化方式	(134)
5.1	系统的状态	(134)
5.1.1	稳定与不稳定	(134)
5.1.2	有序与无序	(138)
5.1.3	可逆与不可逆	(142)
5.1.4	平衡与非平衡	(144)
5.2	系统的自组织	(147)

5.2.1	远离平衡态系统的自组织	(147)
5.2.2	子系统的协同效应	(155)
5.3	系统结构的演化方式	(162)
5.3.1	系统结构的渐变和突变	(162)
5.3.2	系统结构演化的数学模型	(165)
第六章	系统科学方法	(171)
6.1	信息方法	(171)
6.1.1	信息方法及其特点	(171)
6.1.2	运用信息方法的基本步骤	(173)
6.1.3	信息方法的作用	(175)
6.2	控制论方法	(179)
6.2.1	反馈方法	(179)
6.2.2	功能模拟方法	(184)
6.2.3	黑箱方法	(186)
6.3	系统方法	(190)
6.3.1	系统方法及其特点	(190)
6.3.2	系统方法的基本原则	(193)
6.3.3	系统方法的作用和意义	(198)
第七章	系统科学与物质世界图景	(202)
7.1	物质的系统存在方式	(202)
7.1.1	物质系统的普遍性	(202)
7.1.2	物质系统的多样性	(205)
7.1.3	物质的系统层次性	(208)
7.2	物质系统的普遍联系	(213)
7.2.1	系统联系的普遍性	(213)
7.2.2	物质系统的联系机制	(216)
7.2.3	物质系统的联系与系统的质	(218)
7.3	物质系统的演化	(223)
7.3.1	物质系统演化的随机性与目的性	(223)
7.3.2	演化与时间	(229)

第八章 人工智能系统	(235)
8.1 人工智能及其兴起.....	(235)
8.1.1 人工智能.....	(235)
8.1.2 人工智能的兴起.....	(238)
8.2 人工智能研究的基本内容.....	(246)
8.2.1 人工智能的应用研究.....	(246)
8.2.2 人工智能的基础研究.....	(253)
8.3 人工智能的意义、前景与哲学争论.....	(256)
8.3.1 人工智能的重大意义.....	(256)
8.3.2 人工智能的发展前景.....	(259)
8.3.3 关于人工智能的哲学争论.....	(261)
第九章 系统科学与社会	(271)
9.1 系统技术在社会领域的应用.....	(271)
9.1.1 系统技术.....	(271)
9.1.2 系统技术与社会宏观决策.....	(277)
9.1.3 系统技术与企业管理.....	(279)
9.2 社会系统及其特点.....	(282)
9.2.1 社会系统.....	(282)
9.2.2 社会系统的特点.....	(286)
9.2.3 建立社会系统模型的可能性.....	(291)
9.3 社会系统的发展.....	(296)
9.3.1 社会系统发展的动因.....	(296)
9.3.2 社会系统结构的演变.....	(302)
9.3.3 社会系统的发展趋势.....	(306)
主要参考文献	(313)
后记	(315)

第一章 导 论

20世纪以来，科学技术得到了迅猛的发展，新的理论、新的学科、新的技术不断涌现，尤其是世纪中叶以后逐渐形成的系统科学，翻开了科学技术发展的新篇章。

系统科学的出现，是人们对复杂事物和现象从整体上深入认识的结果，是科学向整体化、综合化方向发展的必然，也是高度发展起来的大工业生产和科学管理的迫切需求。系统科学以崭新的视角看待事物，具有与其它学科不同的性质和特点。系统科学思想和理论具有一定的普遍性，而且与哲学思维极为密切，它揭示的物质存在、联系和演化的规律，为辩证唯物主义的丰富和发展提供了最新的自然科学材料。系统科学的应用，促进了社会生产力的发展和劳动生产率的提高，正改变着社会的面貌。同时，随着社会大系统运行机制的研究和认识，人们的社会活动将更加自觉、更富有成效。

1.1 系统科学

系统科学以信息论、控制论、系统工程、一般系统论，以及随后发展起来的耗散结构理论、协同学、系统结构的突变理论等为内容，在这些学科相互交融、相互促进、共同延伸的基础上形成和发展起来的。系统科学的形成和发展，是科学发展史上的革命，它有着鲜明的特点，具有重大的意义。

1.1.1 什么是系统科学

系统科学是关于系统的类型、一般性质和运动规律的科学，

它是以信息论、控制论、系统工程、一般系统论、耗散结构理论、协同学、突变论，以及人工智能、系统分析技术等为内容的一类综合性学科。

世界上的一切事物都是相互联系的，这种联系性通常表现为系统性。因而系统具有普遍性，它广泛地存在于自然界、人类社会和人类思维之中。例如：自然界的山川河流系统，人类社会中的交通运输系统等。人自身也是个系统，其中包括血液循环系统、呼吸系统、消化系统、生殖系统、神经系统等。形形色色的系统依其不同的性质和特点可以分为不同的类型。从组成系统的根本内容看，可以分为物质系统和观念系统。物质系统包括物理-化学系统，地球上的生物系统，社会系统等；观念系统包括人对客观世界的认识和认识本身的全部内容，如科学知识体系，政治、法律观念等。从系统的构成与环境的关系看，可分为孤立系统、封闭系统和开放系统。与环境不发生任何关系的系统称为孤立系统，一般说来，孤立系统只是一种理想或近似的状态，很难说一个系统完全孤立而与外界毫无联系。封闭系统可以与外界进行能量的交换。与环境进行物质、能量和信息交换的系统为开放系统，开放系统有许多非同一般的特性。从组成系统的要素与人的关系看，可分为自然系统、人造系统以及两者结合的复合系统。自然系统完全由自然物所组成，是自然形成的，如天体系统、气象系统、矿物系统等；人造系统是人工创造出来的系统，它由人工生成的各种要素组成，如生产、运输、管理等系统；如果一个系统里的要素既有自然生成的，又有一个人工创造的，则这个系统称为复合系统。在这种系统中人工创造的部分与自然生成的部分相互联系协调，形成具有一定功能的有机整体，如水利系统等。

不同类型的系统一般有其特殊的性质和运动规律，这是它们各自质的规定性的表现。自然界中的无机系统遵循物理、化学运

动规律；生物系统遵循生命运动规律；社会系统遵循社会运动规律。各种不同的运动规律，有的已被人们所认识，有的还处于探索过程中。对于一个具体的系统，起作用的规律是多方面的。如支配生物机体活动的主要是生命运动规律，但其中也有机械的、物理的、化学的运动规律起作用，这就增加了认识的复杂性。目前认识比较清楚的是那些人造系统，因为它们是人们在认识各种规律的基础上，利用这些规律以达到预期目的而创造出来的。

系统科学感兴趣的不是上述具有特定形态的、具体的系统及其规律，而是将注意力集中到一般系统的共同的规律性、一致性和同构性方面。种种不同质的系统有着共同的规律。它们都由要素组成，其整体的性质不同于个别要素的性质。系统之所以能够存在，是因为系统内各要素之间存在着相互联系和作用，具有一定的组织性和有序性。组织性与有序性同混乱与无序是相反的状态和过程，混乱与无序用熵衡量，相反的状态和过程用负熵即信息衡量。系统内部既然存在着组织性和有序性，就表明存在着信息过程，而且组织性和有序性提高的过程也就是系统内部信息量增加的过程。信息过程是所有系统的普遍现象，它在系统中起着重要的作用。信息过程在系统中起作用的方式不是随意的，而是受到一定的控制。正是在一定的控制机制下，系统在一些情况下保持稳定，在一些情况下发展，而在另一些情况下又出现振荡或瓦解。系统中的控制机制是复杂的，不同性质的系统往往有不同的控制机制，但控制能力是系统自身所具有的，控制的方式具有一般性和普遍性。系统科学正是将一般系统的类型、性质，以及运动变化的规律作为自己的研究对象。

系统科学的某些观念和思想源远流长。早在古代，人们在生产实践中就逐步认识到自然界是个相互联系的整体，有的思想家总结概括了这种朴素的认识，逐步形成了系统观念。其中，亚里士多德的思想甚至涉及了系统的基本性质。但是，使系统观念和思

想转变为科学则是20世纪中叶的事情。1948年，美国应用数学家申农发表了《通信的数学理论》，标志着信息论的建立，对通信系统的研究取得了突破性的成就。同年，美国科学家维纳总结了多年的研究成果，出版了《控制论》一书，标志着对控制系统的研究取得了重大进展。与信息论和控制论产生和发展的同时，一般系统论也产生和发展起来了。美籍奥地利生物学家贝塔朗菲在对生命现象的研究过程中，仔细分析了机械论与活力论的局限性，认识到只有用机体论的观点，才可能解开生命之谜。沿着这一思路，他于1937年提出了一般系统论这一概念，1945年发表了《关于一般系统论》一文，1948年出版了《生命问题》一书，比较详细、系统地阐述了一般系统论的基本思想。

信息论、控制论和一般系统论是由不同的科学家在不同的研究领域中发现的，各学科似乎互不相干。其实它们有着紧密的内在联系，是从不同的侧面研究和揭示了一般系统的规律。这些学科有大致相同的产生年份，有类似的发展过程，有共同的术语和概念。申农在研究通信问题时提出了信息的概念，而维纳在研究控制过程中也提出了信息的概念。申农承认维纳的工作对自己的思想有重大的影响，他说，光荣应归于维纳教授。维纳则认为控制就是通信，即要进行控制必须了解对象的状态，下达命令，还常常要知道命令的执行情况，因而必须和被控制对象间有通信关系，信息是控制和通信过程的关键因素。维纳还把《控制论》一书的附标题定为“关于在动物和机器中控制和通讯的科学”，这也是维纳最初为控制论所下的定义。由此不难看出，信息论和控制论是密切联系、不可分割的。信息和控制又是系统的重要特征，是系统形成、稳定和发展、系统内部和系统之间相互联系必不可少的因素。无怪乎一般系统论的创始人贝塔朗菲惊呼：系统论受到信息论和控制论越来越大的影响。甚至控制论大师艾什比也进行系统论的研究，而且取得了显著的成效。

信息论、控制论和一般系统论的建立，奠定了系统科学的基础，随后便有了迅速的发展。系统科学的发展突出表现在三个方面。

第一，信息论、控制论和一般系统论自身有了重大进展。在申农研究通信技术的基础上，人们进一步研究通信的语义和有效性问题。布里渊还将信息过程与热力学过程联系起来，将信息论推广到物理学领域。经过多方面的工作，信息论由狭义信息论发展为广义信息论。继维纳的工作之后，由于钱学森、艾什比等一大批科学家的努力，建立了工程控制论、生物控制论、经济乃至社会控制论等分支。一般系统论在贝塔朗菲等人的不断努力下，其概念、原则进一步明确化和系统化，而且逐步被人们所接受。与此同时，系统工程也形成和发展起来。系统工程萌芽于20世纪初的生产管理，从合理安排工序、提高工作效率入手，探索管理科学的基本规律。至20世纪中叶，系统工程已发展为具有多分支的系统分析技术，可以解决包括能源、环境保护、生态、水力资源、医疗，以及城市规划等大规模、复杂系统的优化处理问题。

系统科学发展的第二个方面表现为耗散结构理论、协同学的建立，以及运用突变的理论研究系统结构的变化。耗散结构理论是比利时科学家普利高津于1969年针对非平衡热力学和非平衡统计物理学的发展提出的。所谓耗散结构是指一个远离平衡的开放系统（不管是力学的、物理的、化学的，还是生物学的等等），在外界条件变化达到某一特定阈值时，量变可能引起质变，系统通过不断地与外界交换物质和能量，可能从原来的无序状态转变为一种时间、空间或功能的有序状态。这种非平衡状态下的稳定有序结构是一种动态的、“活”的结构。耗散结构理论的出现是热力学和统计物理学长期发展的产物，它大大发展了一般系统论。1977年，西德理论物理学家哈肯创立了协同学，从微观上说明了各子系统彼此联合和协同作用，揭示了系统的微观作用机制。正

是这种作用机制在一定的条件下使系统从无序向有序转化，阐明了系统产生和进化，以及系统整体功能不同于各子系统功能的原因。协同学的理论不仅适用于非平衡态，而且适用于平衡态，较之耗散结构理论又迈出了一大步。突变理论是现代数学的一个新分支，由法国数学家托姆于1972年提出，是解决那些连续变化中中断而出现剧变的数学方法。许多系统的变化是极其复杂的，往往在一定的条件下渐变中断而发生突变。突变前后系统有不同的状态。突变论正好为描述和研究系统的突然变化提供了工具。耗散结构理论、协同学和突变理论回答了系统自组织的有关问题，在一定程度上揭示了系统进化发展的规律。

第三，系统科学的发展还表现在其概念、原则、理论和方法猛烈扩展和渗透，象科学领域中的震源，波及了几乎所有的学科。信息、控制、系统、反馈等概念象17、18世纪的运动和力等概念一样，倍受人们关注。用系统科学的理论、原则和方法解释自然、分析社会、研究思维都取得了卓著的成就，系统科学正在形成新的科学范式，深入影响着当今的科学和社会。

目前，系统科学仍处于发展过程中，新的理论不断出现，学科、理论之间的内在联系有待进一步研究。所以，关于怎样看待系统科学、系统科学的研究范围、系统科学的体系结构等方面，存在着不同的看法。

贝塔朗菲一直致力于一般系统论的研究和宣传，认为系统科学是“新科学”、“新范式”。他在总结了系统科学60年代末的发展后指出：“随着系统思维和系统学说的日益扩展，一般系统论的定义重新受到检查。……人们可能把它的含义局限于数学意义上的‘技巧’，但这是不可取的”，“所以，这里所用的‘一般系统论’是广义的，与我们经常说的‘进化论’相似。”*按

*冯·贝塔朗菲著。一般系统论，基础、发展和应用，第1版，北京：清华大学出版社，1987，2—3。

贝塔朗非的意思，广义的一般系统论可分为三个领域。第一个领域指各门科学（如物理学、生物学、心理学和社会科学）中的系统的科学探索和科学理论，以及适用于所有系统的原理性学说。第二个领域是系统技术，是指现代技术和社会所提出的问题，包括计算机、自动化、自动调节及与它们相关的理论和学科。第三个领域是系统哲学，即由于引进系统这个新的科学范式而产生的思想和世界观的重新定向。系统哲学主要包括系统本体论、系统认识论、人和世界的关系（系统论的人本主义）三部分内容。可见贝塔朗非的广义的一般系统论是个包括系统一般理论、系统技术和系统哲学的广阔的领域。

我国著名科学家钱学森不仅在系统工程研究方面作出了卓越的贡献，而且十分关注系统科学学科体系的建立。1979年，他在《光明日报》上发表了题为《大力发展系统工程，尽早建立系统科学体系》的文章，随后在深入分析研究的基础上提出了系统科学的学科体系。钱学森认为整个科学技术分为自然科学、社会科学、数学科学、系统科学、思维科学和人体科学六大部门。每个部门科学都可以分为四个层次：首先是工程技术这一层次；然后是直接为工程技术作理论基础的技术科学；再就是基础科学；最后通过进一步综合、提炼达到最高概括的马克思主义哲学。^{*}系统科学是由系统工程这类工程技术，系统工程的理论方法象运筹学、控制论和信息论这类技术科学，以及系统的基础理论系统学组成的一个新兴科学技术领域。在说明系统学时，钱学森认为，把运筹学、控制论和信息论同贝塔朗非、普里高津、哈肯等人的工作融汇贯通，加以整理，便可以得出系统学，表明了系统学还处于发展和形成过程中。

我们关于系统科学的理解，是通过和信息论、控制论等学科

^{*}钱学森等著。论系统工程，第1版，湖南：科学技术出版社，1982；265。

形成历史及相互关系的分析，在综合吸取贝塔朗菲广义一般系统论的第一、二领域，以及钱学森有关系统科学思想的基础上形成的。

1.1.2 系统科学形成的历史背景

系统科学于20世纪中叶以后逐步形成不是偶然的，而是有着深刻的社会历史背景，坚实的理论基础，必要的技术条件，以及科学理论和方法自身发展的逻辑要求。

现代社会孕育了系统科学。首先，随着电力的普遍应用，机器生产的规模急剧扩大，超大城市迅速崛起，贸易在全球范围频繁进行，科技知识成指数律增长。为了适应人类空前大规模的社会活动，信息的作用和地位被越来越多的人所认识。为了改善信息传输的质量，建立灵敏的信息系统，对信息作定量的深入研究就成为迫切需要解决的问题。

其次，大机器生产的扩展，必然会遇上人所难以身临其境的困难，如海洋深处的开发、放射性物质的加工和处理等等。这就要求有一些特殊的装置去完成那些原来是人才能完成的工作。同时，大机器生产的发展，使生产的过程和工艺极度复杂，精度高、节奏快。在这种高速生产线上，人的体力、反应、动作都远远跟不上要求，机器的运转超出了人的生理和心理所能承受的极限。于是推动人们在动力机、传动机、工作机的基础上增加控制机，以控制机去协调动力、传动和工作机之间的关系。控制机由简单到复杂，逐步发展为自动控制系统，人们对这类系统进行理论上的概括和分析已成为必然。

再次，现代生产的发展一方面使得分工日渐细微，另一方面生产的社会化逐步拓展。这种两极分化的趋势要求高度的协调与统筹安排，才能保证整体的统一性与高效率地实现预期的目标。如现代钢铁工业，内部有采矿、选矿、炼焦、冶炼、粗轧等多部

分组成；外部涉及交通运输、煤炭、电力、机械制造、仪器仪表等许多部门，钢铁工业的发展离不开各部门的协调一致。分析、协调类似的系统都需要新的理论和技术。

第四，激烈的第二次世界大战对系统科学的形成也有刺激作用。在残酷的战争中，交战双方集中大量的人、财、物，倾全力以求压倒对方。于是，如何在最短的时间里集中大量的人力、物力和财力，并且发挥最好的效益；如何研制空防、海防等新的武器系统；如何布置情报网和完善通讯系统；以及如何搜索潜艇以保障运输船队的安全等问题，都成为参战国政府和科学家共同关心和研究的热门课题，这就直接推动了系统科学各分支的形成和发展。

系统科学的形成有着深厚而扎实的理论基础。首先，统计学和热力学与统计物理为系统科学的形成提供了理论前提。近代科学诞生的初期，机械力学处于重要的地位，处理机械运动的数学工具也得心应手，人们习惯于机械的、拉普拉斯式的决定论。而大量的偶然性事件则被拒之科学门外。19世纪末、20世纪初，概率论开始形成为有独立体系的、内容宽广而深入的学科，研究随机事件和随机过程、探寻偶然性事件背后的必然规律的数学方法具备了。美国物理学家吉布斯和奥地利物理学家波尔兹曼以彻底的方式将这种方法引进物理学，使得概率论不仅对于具有高度复杂的系统有效，而且对于象力场中的单个粒子这样简单的系统同样有效。从此，牛顿、拉普拉斯僵硬的机械决定论被打破了，偶然性也进入了科学的殿堂。正是在这种意义上，维纳认为“必须把二十世纪物理学的第一次大革命归功于吉布斯，而不是归功于爱因斯坦、海森堡或是普朗克。”* 概率统计用于热现象的研究引出了一批新的概念，如系统、封闭系统、开放系统、熵、相

*维纳著。人有人的用处——控制论和社会，第1版，北京，商务印书馆，1978。