

系统科学 总论

主 编 王陆原
副主编 冯光星
王登霄

陕西人民教育出版社

序 言

系统科学在现代科学技术体系中占着特殊的地位。它不仅揭示了人类认识世界、改造世界的深化与进展，描绘出一幅崭新的科学的世界图景，而且，促进着人们思维方式的革命性转变，使人们能从整体上或更高层次上分析与处理复杂大系统问题。它为人们认识和改造世界提供了新模式、新思想、新方法。系统科学把辩证思维在科学发展的新高度、新水平上进一步深化和具体化了。它广泛应用于自然界、人类社会及思维等各个领域，它把定性认识与定量认识统一于同一理论框架之中，深刻地体现了科学一体化的大趋势，成为人类征服自然、改造社会、向现代化迈进而进行的科学决策和社会管理的强大思想武器。

系统科学从贝塔朗菲提出一般系统论至今的半个世纪以来，系统论、控制论、信息论、运筹学、系统工程、大系统理论等不断完善和发展，特别是近二十多年来，系统科学理论又有了新的进展，出现了耗散结构、协同学、超循环理论、突变理论、系统动力学、混沌理论等非平衡系统自组织理论。在此基础上，许多中外学者，提出建立统一的系统科学体系的任务，并做了许多有益的探索，取得不少成果。贝塔朗菲晚年在《一般系统论的历史和现状》一书中，就曾提出了一般系统论研究的几个方面，实际上为系统科学的体系提出了一个初步设想。E·拉兹洛1986年著《进化——广义综合理论》一书，也是在总结、概括系统科学几十年发展，特别是近二三十年来最新成就的基础上，进行了更高层次的抽象与综合工作。我国著名科学家钱学森自1979年以来，多次发表关于建立系统科学的建设性意见，并亲自主持与参加了

PAGE 18/08

系统科学基础理论的研究工作，为推动系统科学在我国的普及与发展做出了卓越的贡献。

我们编撰《系统科学总论》这本书，就是在吸取了贝塔朗菲和钱学森关于系统科学体系的思想的基础上，力图从一般系统论、系统科学的各学科以及系统工程这三个基本层次上，比较概括、全面地介绍系统科学体系的各个组成部分，包括系统论、信息论、控制论、耗散结构理论、协同学、超循环理论、突变理论、混沌理论以及系统工程等。使读者能够较系统地了解和把握系统科学的基本概念、基本原理、基本方法和应用领域。

本书在撰写的过程中，综合并吸取了国内外系统科学最新的研究成果，并参考了许多学者的著作与论文。在此，我们向有关专家和学者表示敬意和感谢。

我们在撰写本书的过程中，尽力做到内容新颖，概念准确，既注重科学性，又注意联系实际，通俗易懂。试图便于具有中等以上文化程度的各级干部、大学生，以及一般自然科学、社会科学的教学科研人员阅读。也可以作为文科院校、理工科院校的本科生、硕士研究生，以及各级党校、干校及成人教育学校的教材。

我们期望，本书对广大读者的知识更新、观念转变和树立新的科学思维方式，能起到促进作用。

撰写本书的具体分工是：

王陆原：第一、二、三章

张周志：第四章

冯光星：第五、九、十章

王登霄：第六、七、八、十一章

张鸿骊：第十二、十三章

冯光星、王登霄参与了统稿、修改，全书由王陆原统编。

本书在编撰、出版的过程中，王生才同志热情地为编撰本书

提供了资料；叶志标等同志，对本书出版给予了大力支持。谨此，表示衷心的感谢。

由于系统科学涉及的知识面很宽，我们的水平有限，书中缺点甚至错误难免，恳请读者能批评指正。

目 录

第一章 概论	(1)
第一节 系统科学的特点	(1)
第二节 系统科学的研究领域和体系	(4)
第三节 系统科学的创立与发展	(8)
第二章 系统与系统的作用方式	(16)
第一节 系统的定义与分类.....	(16)
第二节 要素与系统的作用方式.....	(22)
第三节 系统的整体性.....	(31)
第三章 系统的结构与功能	(38)
第一节 系统的结构.....	(38)
第二节 系统的功能.....	(43)
第四章 信息论	(51)
第一节 什么是信息.....	(51)
第二节 信息的作用过程.....	(61)
第三节 信息的量化描述.....	(69)
第四节 信息论的应用与发展.....	(72)
第五章 控制论	(78)
第一节 控制论的产生.....	(78)
第二节 控制论的基本理论.....	(82)
第三节 控制论的主要方法.....	(99)
第四节 控制论应用的主要分支	(109)
第六章 耗散结构理论 (一)	(123)
第一节 科学的自我更新	(123)

第二节	牛顿力学和经典热力学物理图景	(125)
第三节	开放系统和非平衡态	(130)
第四节	普里高津对熵论的新贡献	(135)
第五节	线性非平衡热力学	(143)
第七章	耗散结构理论(二)	(149)
第一节	自组织现象和实验基础	(149)
第二节	稳定性、分叉理论	(154)
第三节	布鲁塞尔器	(164)
第四节	通过涨落生序的新成序原理	(173)
第八章	协同学	(187)
第一节	协同学概念	(187)
第二节	协同学的范例:激光	(191)
第三节	协同学的基本原理	(202)
第九章	超循环理论	(214)
第一节	循环和超循环	(214)
第二节	超循环理论的基本原理	(219)
第三节	创立超循环理论的重要意义	(228)
第十章	突变理论	(229)
第一节	突变理论的由来	(229)
第二节	突变理论的基本内容	(233)
第三节	突变理论的应用与意义	(245)
第十一章	混沌理论	(249)
第一节	混沌概念	(249)
第二节	混沌现象	(252)
第三节	混沌现象的特殊性质	(259)
第十二章	系统工程(一)	(265)
第一节	系统的概念、体系和发展简史	(265)
第二节	系统工程的方法论	(278)

第三节	系统工程的步骤	(289)
第十三章	系统工程(二)	(296)
第一节	系统分析	(296)
第二节	模型化、仿真与最优化	(303)
第三节	系统设计与系统评价	(336)
主要参考文献	(353)

第一章 概 论

第一节 系统科学的特点

系统科学是一门内容十分丰富，复盖面很广的新兴学科。它包括系统论、控制论、信息论、系统工程及其在各个领域的应用，还包括耗散结构论、协同学、超循环论和突变论等。这些理论从它们产生之日起，就对各门自然科学和社会科学以及社会实践的各个方面，产生着越来越大的影响。虽然这些理论尚处在形成和发展的过程中，但已经可以看出它们是当代科学技术革命性发展的重要内容之一。不论是自然科学和社会科学，还是理论研究和实际工作，都免不了要研究这些理论所包含的新观念、新知识、新思维、新方法。这些理论虽然研究的内容各有不同，各有特点和重点，但在许多重要方面又有共同的特点，因而称它们为系统科学。在对它们进行分别研究之前，先探讨它们的共性，同时，在分别研究它们各自的特殊内容时，也要透过那些特殊内容注意它们的共性，我们就可能对系统科学有一个比较完整、比较全面的了解。

系统科学具有下列特点：

一、属于横断科学

系统科学不同于一般具体科学，一般具体科学研究物质运动的某种运动形式的规律，如物理学主要研究物体和分子运动规律，化学主要研究原子运动规律，法学研究法产生和发展及其对人类社会发展的作用的规律。系统理论则研究物质运动多种形式的某一方面或某些方面的共同规律，所以它作为一种工具，一种新的

方法，日益广泛地应用于自然科学和社会科学的多种学科，应用于工农业生产、工程技术、社会管理、科学实验等广泛的实践领域。所以我们称它为横断科学。在这一点上，它和数学、逻辑学有共同点。它的应用范围虽然很广泛，但它仍然属于科学，不是哲学。哲学是研究自然界、社会和思维运动发展的共同的基本规律的学科，系统理论虽然也研究其它多种学科的共同规律，但它只研究某一方面或某几方面的共同规律，而不象哲学那样从整体上、全局上研究一切学科的共同规律。哲学是世界观、方法论（认识论），系统科学是某一方面或某些方面的具体规律、具体方法。它属于科学方法论，也是具体的认识方法，但还不是哲学方法论。当然由于系统科学具有上述特点，所以比其它具体科学与哲学的关系更直接、更密切。

二、整体性

整体性是系统科学最基本的特点，也是它和传统科学最基本的分界线。传统的自然科学以及机械论的哲学对自己的研究对象多分解为各个部分或者各个因素，再对各个部分或各个因素进行孤立研究，把各部分分别研究清楚了，研究的任务也就完成了，认为整体等于部分之和。系统科学则不同，它是以整体的观点研究事物的。它也研究部分、因素但它把部分、因素作为整体之中的部分来研究的。它研究部分与整体的关系，部分之间的相互关系，整体与环境的关系，都不是离开整体孤立研究的，而是在整体的动态中研究的，它认为整体不等于部分之和，由诸部分结合的整体会产生各部分都没有的功能。

三、层次性

系统理论认为事物或系统是由不同层次构成的。在一定层次上是系统的外部条件，在更高的层次上就成为构成系统的要素，在更低的层次上，上一层次的要素就成为系统，而原系统中的其它要素就成为这一系统的外部条件。例如我们在宏观层次上把太

太阳系作为系统，则地球及其它八大行星都是组成太阳系的要素，银河星系及河外星系都是太阳系的环境。如果我们从更大的范围——宇观领域来看，银河星系就可以看成一个系统，太阳系就只是组成银河系统的一个要素了。如果我们在宏观领域把研究的范围缩小一步，把地球本身看成一个系统，那么，组成地球的地壳、地幔、地核以及地球的卫星月球都是组成地球系统的要素，而太阳及其它八大行星都是地球这个系统的环境。可见系统是有层次的，而且层次是多级的。地球上的生物系统至少可以划分为亚细胞、细胞、器官、个体、群体、种、生物圈等七个层次。系统科学不但重视研究系统的层次性，而且在研究系统时，总是研究一定层次的系统，否则就会失去研究的意义。

四、模型的方法是系统科学必不可少的研究方法

模型的方法就是运用与原物在形状、性质或功能上相似或相同的它物来研究原物的一定规律的一种方法。即通过模型研究，达到认识原物的某些形状、性质、结构、功能的目的。模型包括实物模型、图型和数学模型。当实物因某种情况不能或不便直接研究，就可以运用模型进行研究。同时模型方法还有效率高、成本低、效果好优点，因而也是传统科学采用的方法。例如生物模型、人体模型、建筑物模型、地形模型、工程设计图和某些数学公式等。因而模型的方法，并不是系统科学特有的方法。

因为系统科学属于横断科学和整体性的特点，所以在研究方法上也具有自己的特点。系统科学也用观察的方法、实验的方法研究各种具体系统，但那是为了通过具体系统的观察、实验以验证或推导系统的一般关系和规律。为了直接研究系统的一般关系和规律，靠观察和实验的方法就不行或者不够了。就必须运用模型的方法。模型的方法是系统科学经常的、必须的、不可或缺的方法。在模型的方法中又更多的运用图形方法和数学模型。

五、计量的方法和电子计算机的应用

系统科学要研究系统与外部环境之间以及系统内部诸要素之间的相互影响相互作用的诸种关系的情况和性质，更重要的是要把诸种作用的量的关系搞清楚，它不但要研究质，而且要研究质的量，这就需要进行复杂的计算。在一定的时间内完成复杂的计算靠人工是不可能的，只有通过电子计算机，才能完成比较复杂的系统的计算，所以电子计算机是系统科学的必要的工具。

第二节 系统科学的研究领域和体系

系统科学创立到现在虽然已四十多年了，但它还在进一步形成和发展，所以从研究领域到科学体系，尚无统一的认识。我们从一些具有代表性的说法中探讨其研究领域和体系，当能获得一个基本清晰的图景。

系统论的创始人贝塔朗菲的主张有一个发展的过程。在创立系统论时（40年代）他认为系统科学的领域就是一般系统论，50年代到60年代，他把系统论分为广义和狭义的两种，狭义的系统论是指一般系统论及其在具体领域中的应用，广义的系统论包括控制论、信息论、博弈论、对策论、系统分析等。到了晚年他在“一般系统论基础发展和应用”一书中把系统科学研究的领域分为三部分。第一部分是一般系统论或系统元理论，第二部分是系统技术，包括系统工程、控制论、信息论、博弈论、决策论、排队论等。第三部分是所谓系统哲学。系统哲学又分为三部分：一、系统本体论，二、系统认识论，三、系统价值论。^①

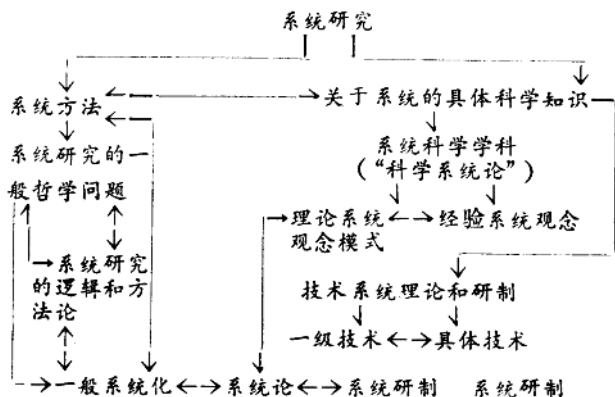
贝塔朗菲的思想是随着系统科学本身的发展而变化的。他晚

^①参看贝塔朗菲：《一般系统论基础发展和应用》清华大学出版社 87年6月出版第3页—第7页。

年提出的体系，对系统科学的研究范围和体系提出了一个比较全面、比较清楚的方案，我们可以从中受到启示。但他第三部分系统哲学已超出了系统科学的范围，包括在系统科学体系之内是不一定妥当的。当然在系统哲学方面他处处都与形而上学的哲学观点相对立，提出了不少精辟的见解，也是值得很好研究的。

苏联学者瓦·尼萨多夫斯基把系统科学的领域分为四个主要领域，即：（1）探讨系统科学的各种哲学问题，形成系统分析的一般原则；（2）制定系统研究的逻辑和方法论；（3）建立本来意义上的一般系统论；（4）专门科学的系统观念和研制。^①

这四个部分的相互关系瓦·尼萨多夫斯基还以下图来说明：



①《一般系统论原理》瓦·尼·萨多夫斯基著人民出版社1984年7月出版，第22页。②同前书第26页。

从上表可以看出尼萨多夫斯基把系统研究分为两大部分：一部分是系统方式，是关于系统研究的一般理论和方法，包括他所分的四个领域中的一、二、三个领域。第二部分是关于系统的具体科学知识相当于他所分的四个领域中的第四个领域。这一部分又包括两个部分，一部分是各种具体系统科学学科，如信息论，控制论、生物系统论、心理系统论、社会系统论等，另一部分是系统技术如系统工程和系统分析。从尼萨多夫斯基所制的图表可以看出他提出的体系是比较全面比较完整的。另外我们还可以看出他的表是在系统思想指导下制定的。他的表体现了各个学科的相互作用，相互联系，形成统一的整体。他用单向箭头表示一般到具体，又用双向箭头表示交互作用，既有一般到具体，同时又由具体到一般，从而使图表表示出系统研究的整体性。这一点给我们很大的启发。

我国著名科学家钱学森认为系统科学是和自然科学、社会科学并列的一个学科群或学科门类。他认为系统科学和其他科学门类相似，可以有三个层次即：工程技术层次、技术科学层次、一般理论层次。三个层次的基本内容是：

一、系统的工程技术层次——各门系统工程，自动化技术和通信技术；

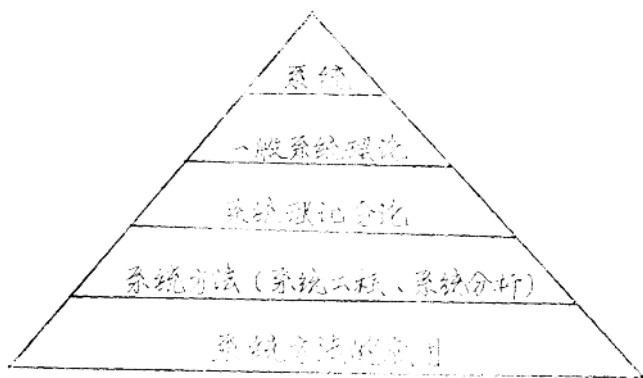
二、系统的技术科学层次——控制论、信息论、运筹学；

三、系统的基础科学层次——系统学。

钱学森三个层次的科学结构，在国内学术界有较大的影响，对各类学科都能适用，是概括性很强的一种思路。根据他的思路有人用宝塔式的图表体现系统科学的结构：①

①顾基发：“系统工程的一些基本概念、观点和方法步骤”

《系统工程普及讲座汇编（上）》中国科协普及部出版，第8页。

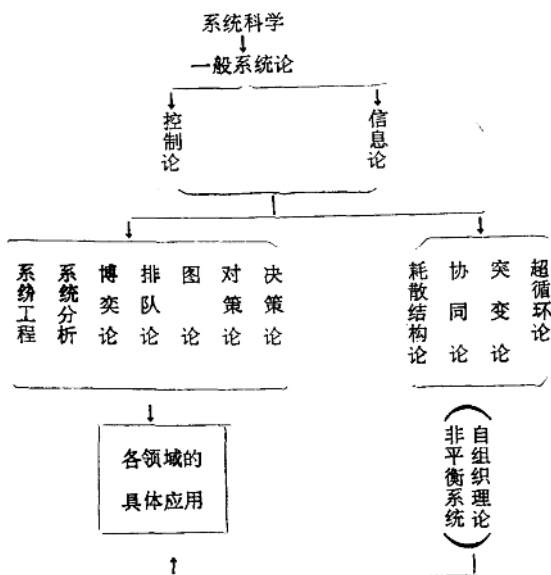


这个结构图从上到下是从一般到具体的层次，从下到上是从具体到一般的层次。如果我们从下向上数，它的第一二层相当于钱学森所提结构的第一个层次；它的第三层相当于钱学森所提结构的第二层；它的第四、五层，相当于钱学森所提结构的第三层。

我们吸收了国内外有关学者关于系统科学体系的思想，并根据近年来关于系统科学研究的新成果，认为系统科学研究的领域应该包括以下五个方面的内容：

- (1) 一般系统论(或系统元理论)即系统论的概念、原理、基本方法。
- (2) 系统理论分论、控制论(控制系统论)信息论(信息系统论)
- (3) 系统发展论即非平衡系统自组织理论(耗散结构论、协同学、超循环论和突变论等)
- (4) 系统方法(系统工程、系统分析)
- (5) 系统方法的应用,(在各门学科中的应用)

可以以下图示意：



第三节 系统科学的创立与发展

“系统”作为一种哲学观点或者称为系统观，在人类认识史中，很早就产生了。辩证的思维或者辩证法本身就包含了系统的观点。古希腊的许多哲学家就是把物质世界看成不断发展着的诸事物构成的整体。如赫拉克里特认为世界是永生不灭的活火，德莫克里特认为世界是由相互作用的“原子”构成的。在我国古代，老子认为“道生一，一生二，二生万物”，把世界看成一个统一的整体。也有许多哲学家认为事物是由气构成的。我国的医学中就是把人体作为一个整体，不但体内各器官、各脏器相互联系相互作用，而且与周围环境紧密联系，因而在治疗疾病上是从身体

的整体着眼进行“辩证”治疗的。孙子兵法在分析战争胜负时，是从双方的全局考虑的。即“经之以五事”，（五事是道、天、地、将、法）而不是孤立地看某一种因素。上述这些看法，都是属于朴素的辩证法，也是朴素的系统观。所以是朴素的，因为当时人们的认识，还没有深入到事物的内部，认识事物的具体联系和规律，而只是笼统的对外部形象的直观的描绘和猜测。

十七世纪以来自然科学得到了发展，当时自然科学对自然界的事物进行分门别类的、静止状态的研究，适应于这种研究，在哲学上形成了形而上学，即把世界看成是静止的孤立的事物构成的。古代朴素辩证法和系统的观点被丢掉了。

随着自然科学的发展，人们的认识又得到进一步的发展，首先突破形而上学框架的是德国古典哲学。从康德到黑格尔的德国古典哲学，虽然从唯心的立场但却系统化了辩证法和系统观。黑格尔就是把宇宙看成绝对观念产生发展的过程，看成是概念和范畴相互作用的整体，黑格尔是猜到了辩证法，是唯心的辩证法。

十九世纪以来自然科学由“收集材料”发展到“整理材料”，由分门别类的静止孤立的研究，进到研究事物的联系和发展，主要的是自然科学的三大发现，即进化论、能量守恒与转化和细胞学说。马克思在总结自然科学的最新成就和批判地继承已往哲学思想成果（包括黑格尔的辩证法）的基础上创立了辩证唯物主义和历史唯物主义。他把联系的观点、发展的观点作为辩证法的基本的观点之一，系统的观点成为马克思主义哲学的重要内容。马克思用它分析人类社会，特别是资本主义社会，概括出资本主义社会发展的基本规律。马克思主义哲学，马克思主义的系统观不同于古代的朴素辩证法和系统观的主要原因之一是因为它建立在自然科学发展的基础上，是按世界的本来面貌说明世界的，因而是科学的，自觉的，不是幻想的、自发的。正如恩格斯指出的“由于这三大发现和自然科学的其他巨大进步，我们现在不仅能

够指出自然界各个领域内的过程之间的联系，而且总的说来也能指出各个领域之间的联系了。这样，我们就能够依靠经验自然科学本身所提供的事实，以近乎系统的形式描绘出一幅自然界联系的清晰图画。”^①当然，还要看到当时自然科学刚从收集材料和分门别类的研究进入综合研究的阶段，事物之间相互联系的许多具体情况还有待于发现，而且主要在于宏观领域，对微观领域基本上尚无所知。对事物相互作用的定量的考察还不够深入，而且停止在机械决定论的水平上，也就是说当时还不可能也没有产生系统科学，可见，马克思主义系统观，一方面有比较深厚的科学基础，另一方面，这个基础又不是很扎实的，还不是产生在系统科学的基础上的。它先于系统科学而产生，它的基本思想和当代系统科学是一致的。

当代系统科学的产生，从哲学思想的渊源上，当然是来源于辩证法，包括马克思主义的唯物辩证法，这是没有问题的。一般系统论的创始人贝塔朗菲也承认这一点。^②值得我们思考的是贝塔朗菲1945年公开发表了“关于一般系统论”的论文，1948年维纳出版了“控制论”一书，同年申农又发表了“通信的数学理论”，在40年代后期系统科学的三种主要著作先后问世，这不是偶然的，也不是突然的，而是20世纪以来自然科学和管理科学发展的必然结果。

首先，在自然科学方面，19世纪中叶以后到20世纪初，自然科学在许多方面有了突破性的发展。从宏观的研究进到了微观研究，产生了原子和核子理论、量子力学；出现了相对论、统计物理学，产生了熵的概念，热力学有了进一步的发展，化学方面出

①《马克思恩格斯选集》第四卷，第241—242页。

②贝塔朗菲：《一般系统论基础发展和应用》清华大学出版社出版，第9页。