

本科教材

系统科学概论

(修订本)

主编 吴义生

中共中央党校函授学院

系统科学概论

(修订本)

主 编 吴义生

中共中央党校函授学院

一九九二年四月

说 明

系统科学是 20 世纪科学技术体系中出现的一个新兴部门,它从系统的整体性、系统的结构和功能的角度去研究客观世界,探求客观世界中系统、控制、信息的规律性,取得这方面的知识和建立有关的理论。这个科学部门有基础理论、技术科学、工程技术三个层次,既可以上升与哲学相联结,丰富人类的理论宝库;又能够转化为技术、科学方法和管理方法应用于实践领域,发挥其改造世界的巨大作用。当今世界科学技术飞速发展,新技术革命高涨,改造自然和改造社会的任务正在广度和深度上向前扩展,社会的瞬息万变和全球的整体化,更体现出系统科学的重要性。在当今世界形势下广大干部担任各项事业的组织、领导、决策和管理,需要有广博的知识,丰富的实践经验,现代化的科学思想方法、工作方法和管理工作方法。在掌握马克思列宁主义、毛泽东思想,学好自然科学和社会科学的同时,还应该掌握一定的系统科学的知识,以完善知识结构,提高工作的质量和效率。因此,我们函授学院在教学计划中规定,要开设系统科学概论这门课程,编写出专门的教材。

系统科学是一门正在发展的学科,其体系结构尚未定型,内容也在不断增加,对许多问题尚有不同意见,因此想编写一本完善的系统科学教材并非容易的事。可喜的是,近十年来国内外的专家对系统科学已经作了深入的研究并取得众多的成果,著名科学家和理论家钱学森同志对系统科学的体系结构提出了深刻的见解,这给我们编写教材提供了思路、线索和素材。针对函授教育的特点,我们在编写时力求取材科学、准确,讲解深入浅出,联系实际应用,文字通俗易懂,能适应函授学员自学的需要。

为了帮助学员了解系统科学的概貌,把握其基本概念和原理及其新成就,并将系统科学与本岗位的工作实际结合起来,教材着重阐述了以下五方面的内容:

- ①系统科学的对象、形成、发展与体系结构(第一、二章);
- ②客观世界本身的系统、信息、控制问题(第三、四、五章);
- ③系统科学的基础理论及其新成就(第六、七、八、九章);
- ④系统科学的数学工具(第十章);
- ⑤系统科学的应用(第十一、十二章);

这本教材由中央党校自然辩证法现代科技教研室主任、教授吴义生同志担任主编。1989 年时参加编写的有:中央党校的教师吴义生、钱俊生、孔慧英、李建华、傅立同志;各省市党校来我校参加自然辩证法师资班学习的张友谊、马辉、李华云;陈碧华、张晓虹、罗永禄、廖运建、刘惠生、洪孙凯、吴兆威、王斌、蔡海榕、毛建儒、穆树成、杜养民、王洪波、王孝义、王子杰、吕万端、李正凤、彭益民、南兆旺、张观华等同志。由

于教学的需要,这次对章节和内容作了较大的变更,只能由校内教师参加重写和修改。分工是:第一、二、三、五、六、七、十一章,吴义生;第四、十二章,钱俊生;第七章,傅立;第八、九章,李建华;第十章,孔慧英。最后由吴义生统稿。

这本教材的编写得到科学家钱学森同志的支持;编写过程中引用了各方面的材料,在此一并致谢。

由于系统科学正在飞速发展,编者水平所限,所以仍可能存在一些缺点,欢迎读者多提批评意见,以便作进一步修改。

中共中央党校函授学院

一九九二年四月

目 录

第一章 系统科学及其发展史	1
第一节 系统科学的研究内容	1
第二节 信息论的产生和发展	4
第三节 控制论的建立和发展	7
第四节 一般系统论的发展与系统科学的形成	9
第二章 系统科学的体系结构	13
第一节 系统科学在现代科学技术体系中的地位	13
第二节 系统科学中的工程技术层次	15
第三节 系统科学的技术科学层次	19
第四节 系统学	21
第五节 系统观	26
第三章 系 统	29
第一节 系统概念	29
第二节 贝塔朗菲的一般系统理论	30
第三节 系统的特性	33
第四节 系统的分类	36
第五节 系统原理	37
第四章 信 息	42
第一节 信息的涵义	42
第二节 申农的信息论	46
第三节 信息科学	43
第四节 信息方法	49
第五章 控 制	52
第一节 控制概念	52
第二节 维纳的控制论	54
第三节 控制论的基本原理	56

第四节	控制论方法	59
第五节	控制论的应用与发展	64
第六章	耗散结构理论	68
第一节	耗散结构理论的产生及其基本概念	68
第二节	耗散结构理论的内容	70
第三节	耗散结构理论的哲学问题	73
第四节	耗散结构理论的应用	76
第七章	协 同 学	79
第一节	协同学及其典型例子——激光	79
第二节	序参量与支配原理	81
第三节	协同作用	84
第四节	协同效应例证	85
第五节	协同学的理论启示	88
第八章	超循环理论	91
第一节	超循环理论的建立	91
第二节	超循环机理	93
第三节	超循环的理论意义	100
第九章	自组织理论	103
第一节	什么是自组织问题	103
第二节	自组织理论的发展史	105
第三节	增熵原理	108
第四节	开放系统原理	109
第五节	组织系统与自组织系统	110
第六节	反馈自稳原理	111
第七节	协同原理	112
第八节	超系统综合原理	113
第九节	无序、有序和混沌	114
第十章	系统科学的教学工具	117
第一节	概率论	117
第二节	运筹学	120
第三节	模糊数学	123
第四节	突变理论	128

第十一章	系统工程	132
第一节	系统工程概念	132
第二节	系统工程的分类	135
第三节	系统工程的步骤	138
第四节	社会工程	140
第五节	社会主义现代化建设的系统工程	142
第十二章	系统科学与决策和管理	145
第一节	决策的信息系统	145
第二节	决策系统	147
第三节	决策的目的与条件	150
第四节	系统科学在管理中的应用	152
第五节	决策的科学化	157
【附】	主要参考书目和文献	160

第一章 系统科学及其发展史

我们学习系统科学，首先要弄清系统科学的研究内容，系统科学的发展历史，以及系统科学是怎样形成与发展的。

第一节 系统科学的研究内容

从本世纪 40 年代到 60 年代初期，由于系统工程、运筹学、电子计算机、一般系统论、控制论、信息论和数学理论的飞速发展，这些学科的相互渗透和相互联系，逐渐形成了一个新的科学部门，国外和国内的许多学者公认这个科学部门是系统科学。只是，对系统科学的研究内容有不同的理解而已。

一、什么是系统科学

在本世纪 60 年代至 70 年代，有许多科学家是把系统工程看成是系统科学的。例如，美国的《系统工程》杂志，就改名为《系统科学》。这表明他们是认为，作为技术或技术科学的系统工程，其中也需要或包含着相应的基础理论。

系统论的创始人贝塔朗菲认为，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）组成^①。贝塔朗菲把一般系统论分为狭义和广义两类：狭义一般系统论是从系统论成分之间相互联系的复杂性、整体机制的特点，如相互联结、总和、机制、集中、竞争、目的等方面对系统概念进行描述，并对其诸因素进行具体分析。广义的一般系统论属于基础科学，与应用科学有密切联系，也可归为一般系统科学，它同现代自动化技术密切联系在一起，但它与系统工程、操作方法等是有严格区别的^②。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。后者与控制论、信息论、系统工程、运筹学等分支联系在一起，与现在讲的系统科学比较相似。贝塔朗菲还用讨论一般系统论的体系的办法阐述了系统科学的体系，把一般系统论当作包括了系统哲学、系统的科学、数学系统理论、系统技术等方面内容的一个整体。其中，系统技术的硬件部分包含控制技术、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^③。可以看出，贝塔朗菲是把系统科学理解成为

① Klir, G. J.: Trends in General Systems Theory, New York, Wiley, 1972.

② Bertalanffy: 《General System Theory》, 1968, P91.

③ 贝塔朗菲: 《普通系统论的历史和现状》, 《国外社会科学》, 1978 年第 2 期。

关于系统的观点、数学理论以及系统工程、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、方法论在内的这样一类科学技术部门的。

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、微分动力系统理论、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,系统的方法理论中就包含着信息论、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^①。这里,是把系统科学作为一门综合性的科学技术部门的。

著名科学家、理论家钱学森同志近些年对于现代科学技术(包括系统科学)的性质、内容和体系的研究,引起国内外学者的高度重视。他认为,系统科学是现代科学技术知识体系中的一个重要部门,这是一门综合的、横断面的新兴科学技术部门。系统科学从系统的结构和功能这个角度去研究客观世界,包括了系统工程这类工程技术、系统工程的理论方法,如运筹学、控制论、信息论这类技术科学,以及系统科学的基础理论的系统学等层次的知识 and 理论。这个科学部门包含着许多学科,但并不是杂乱无章地拼凑在一起,而是有机地相结合,具有内在逻辑。针对许多人将控制论、信息论与系统论平列起来的做法,钱学森同志指出,虽然控制论、信息论和系统论都共居于系统科学之中,但并不平列,而是各在其位。把三论平列起来是思想上的混乱,实际上核心问题是系统问题,不是三论而是一论,就是系统论、控制论和信息论都包括在系统论中^②。这说明,研究系统与信息、控制等方面的联系以揭示系统科学的内在逻辑,可以帮助我们掌握现代系统科学的完整内容。

只要我们认真概括上述各种见解,就可以得出一个结论:系统科学所研究的是客观世界中的系统、信息、控制,它是从系统的结构和功能的角度去研究客观世界,由此而建立的关于自然界、人类社会和思维领域中系统、信息、控制这个共同侧面的原理及其规律的学问,是现代科学技术体系中的一个重要的新兴科学部门。

二、信息、控制、系统之间的内在联系

通常讲的信息论、控制论和一般系统论,差不多都是在第二次世界大战以后产生和发展起来的,它们所研究的分别是客观世界的共同侧面的不同问题,即自然界、人类社会和思维领域的信息、控制、系统等现象的性质及其规律。到现在,这三个方面的知识 and 理论的发展,又相互联系和相互渗透,融和在一起,共同构成系统科学这一个大的科

① 朴昌根:《系统科学论》,第9—13页,陕西科学技术出版社1988年5月版。

② 钱学森:《开展思维科学的研究》,《大自然探索》1985年第2期第42页;《用系统科学方法使历史科学量化》,《历史研究》1986年第4期。

学技术部门。之所以出现这样的发展趋势,是因为客观世界中系统、控制、信息等现象自身之间存在着不可分割的联系。

事实上,事物和现象中具有的系统、控制、信息,都不是互相分割而孤立存在的,它们之间有着血肉的联系。钱学森同志说:“在系统里面,你要看到信息传递的侧面,那就是信息问题,你要看控制的侧面,就有控制的问题。”^①的确,维持系统的稳定,即使是开放系统,也要依靠信息,进行控制。离开控制和信息,是无所谓系统的。信息是系统的一个重要特征,是保持系统内部和系统之间相互联系的重要因素,它能使系统以最经济最合理的方式进行调节和控制。系统工程的主要问题就是怎样获取、传递、加工、处理信息,并以此作出最优决策,实现系统的目的性运动。

同样,科学技术的进一步发展,特别是通信活动、自动控制和电子计算机的发展,提出了信息的产生、获取、变换、传输、存贮、处理、显示、识别和利用等一系列问题,还引出了许多复杂的系统,为进行控制,就必须利用系统和信息方面的知识和理论。在一个控制系统中,反馈作为一种手段,要靠信号来指挥、来调度。只有在信号的调度下,反馈才能发挥相应的作用,使系统达到控制的目的。可见,信号、反馈、控制以及目的与系统是密不可分的。

研究信息也会遇到系统、控制问题。通信往往要以随机事件为对象,通信和控制系统所接收的信息带有某种随机性质,通信的目的在于消除收信人的不确定性。各种消息的共同特征是消除通信中的不确定性,这就要略去各种消息的具体内容而抽出其共同特征,对消息作定量研究。对信息量可以用概率和统计的方法进行计算,同时也要对不同形式的信号用统一的通信理论去设计它们的传输系统,从而解决同一信息可以用不同的信道进行传输,不同信息可以用同一信道传输的问题。而且,可以把不同种类的系统,如技术系统、生物系统和管理系统等,看作是对信息的获取、传递、加工、处理的信息调节控制系统,进行统一的研究。处理信息方面的问题,也必须考虑系统问题,以系统为基础。

由于系统、控制、信息之间存在着内在联系,所以科学家们往往会从不同方面研究同一问题。控制论创始人维纳等人认为控制系统也是一种信息系统,必须用信息的观点研究控制系统,这也是控制论系统的一个特点。正是由于控制论研究的理论需要,维纳也研究了信息问题,他在1948年发表的《控制论》一书中就用相当多的篇幅阐述了信息论问题。美国的一位统计学家费希尔(Fisher)因为需要一个标准来估计实验数据内的信息,便从古典统计理论的角度研究信息的量度问题和信息理论。信息论的奠基人申农更是在1948年发表《通信的数学理论》,论述了信息问题。当时,维纳、费希尔、申农是从三个途径分别提出信息论的,这种时间上的巧合正好说明控制论、信息论和数学、系统论等学科间的密切联系。而且,维纳对信息论和系统概念也作出贡献;申农也研究过自动机、学习机;控制论大师艾什比也进行过系统论的研究,这都说明控制论、信息论、系统论之间在理论上的逻辑关联。显然,沟通这三部分的联系,建立和发展系统科学,乃是科学发展的必然趋势,也是把握系统科学的研究内容的一个关键环节。

^① 钱学森:《开展思维科学的研究》,《大自然探索》1985年第2期第42页;《用系统科学方法使历史科学定量化》,《历史研究》1986年第4期。

第二节 信息论的产生和发展

研究系统科学的发展历史,应该从信息论的产生和发展,控制论的产生和发展讲起,接着再讲一般系统论的产生发展,以至系统科学的形成与进一步发展。从本节起就开始讲这些问题。

信息论是系统科学的重要内容,系统科学也是在人类认识信息的基础上形成和进一步发展起来的。随着社会的迅速进步和科学技术的巨大发展,人类对信息的认识在不断地发生飞跃,从朴素的信息观念,到产生出以申农为代表的信息论,又转变为信息科学,成为系统科学的重要组成部分。

一、古代的信息观念

人具有社会性,人类进行生产和相互交往,要进行通信,传递信息。由此人们就觉察到有信息这类东西存在,但这时是把信息当作信号或消息的。

通信是人与人交流信息的重要手段。最简单最原始的通信是两个人之间的谈话,语言交谈成为通信的别名。在早期,人类还使用图形,象形文字、符号等存贮和传递信息,早期地中海周围居住的人用一些简单的图形表示物体,中国古代和古埃及使用象形文字,结绳记事,都是用来处理信息的。以后出现的正规的文字和用字母组成的各种文字符号,在同时代人之间和前后几代人之间传递、贮存信息就更为方便了。随着时间向前推移,除了运用语言、文字以外,还用了多种信号传递信息,如鼓声的高低变换,锣声的疏密,烟的长短,火光的燃或灭,信物、书信通过驿站传送等,作较远距离的通信。

古代人类在实践中已经体会到获取信息和利用信息的重要性,觉察到信息的存在,但对信息却缺乏科学的认识,仍然停留在朴素水平和感性阶段。

二、申农提出的信息论

在资本主义大工业发展的近代社会,才真正从科学的角度研究通信和信息。

在牛顿以前,费尔马(P. Fermat)、惠更斯(C. Huygens)和莱布尼茨(G. Leibniz)就在光学中研究了视觉形象的通信问题。正当从17世纪到19世纪在自然科学领域中机械唯物论世界观占统治地位,人们否认客观世界存在着偶然因素,企图用拉普拉斯(P. Laplace)的决定论来解释一切的时候,美国物理学家吉布斯(Gibbs)和奥地利物理学家波尔兹曼(Boltzmann)却把统计学引入物理学,使物理学家考虑客观世界存在的不确定性和偶然性。吉布斯的统计力学方法中隐含着把一个复杂的偶然事件看做是由许多局部偶然事件无数概率的和,这种研究方法实际上给信息论的创立提供了方法论的前提。波尔兹曼把熵函数引入统计物理,从微观角度解释熵,指出熵是描述一个物理系统分子运动状态的物理量,表示分子运动的混乱程度,并把熵和信息联系起来,认为熵

是一个系统失去了信息的度量。偶然性、熵函数引入物理学，直接为信息论的产生提供了思想前提。

19 世纪电报、电话发明以后，人类进入了电通信时代，通信发生了根本性变化。社会对通信的实际需要迫切要求建立通信理论和信息论，提高通信的质量和效率。人们对于通信有两方面的要求，一是可靠，就是接收到的消息必须是原来发出的消息，不发生错误也不失真；再就是高效，就是通信的效率越高越好，在同样的设备中在一定时间里传送的消息越多越好。科学家们就是从这两个方面进行研究，发展通信技术和通信理论的。

一些科学家在研究通信技术时，就解决了许多通信理论问题。在 1932 年，莫尔斯发明了高效率的“点-划”电报码，发现英语中各个字母出现的机会并不一样多，便在为字母确定点划符号时利用了人们对英语字母中出现的概率的统计，把出现次数越多的字母规定得越简单，这大大节约了通信时间。用新的符号串表示原来的符号称为编码，好的编码能够提高通信效率。1924 年，美国的奈奎斯特和哈特莱研究了通信系统的传输效率问题。奈奎斯特和德国的屈普夫米勒几乎同时发现了电讯信号的传输速率与信道频带之间存在的比例关系。这就是说，要以一定的速率传递电报信号，就要有一定的频带宽度，传送消息的速度与设备条件有关，不能任意增加。为了进一步研究通信问题，还要对消息中所带的信息进行定量处理。哈特莱在 1928 年提出用对数作为信息量的测度，他证明了传送一定量的信息要有一定的“带宽 $\times$ 时间”的积，如果有 S 个字母，信息量 H 就可定义为字母数 S 的对数。这样做，信息就可以用数学方法在量上加以测度了。这一年哈特莱还写了《信息传输》一文，提出消息是代码、符号，它与信息有区别。实际上，消息是信息的载体，消息是多样的、具体的，信息则包含在具体的消息中，哈特莱区分信息和消息在概念上的差异有重要意义。1936 年，阿姆斯特朗提出可以用增大传输带宽来抑制噪声和干扰的办法。这些方面已接触到信息理论中提高通信可靠性和效率的问题，从而为科学的信息论的建立打下了可靠的基础。

到了 20 世纪 40 年代，研制雷达、无线电通信、防空系统，以及电子计算机、自动控制的发展，促使许多科学技术工作者从不同角度研究信息。申农从信号的编码方面，维纳在研究控制论过程中从滤波理论方面，费希尔则从古典统计理论方面，得到了共同认识，创立了信息论。1948 年美国申农发表的《通信的数学理论》，1949 年发表的《噪声中的通信》，标志着信息论的诞生。申农当时在美国贝尔电话公司工作，为了解决信息的编码问题，提高通信系统的效率和可靠性，需要把信息当作一个抽象的量和对信息进行数学处理，从而提出了信息量的概念和信息熵的数学公式。申农还提出了通信系统模型以及编码定理等方面的信息理论。他通过分析通信的基本过程，认为一般的通信过程包括：信息源，产生有待传输的消息（或消息系列）；发送机（编码器），把消息变换成适合在信道上传输的信号；信道，即传输信号的媒介；接收机（解码器），把信号重新变换成消息；消息接收者等五个基本部分。这样，通信的基本问题，就是精确地或近似地在接收端重视发送端的消息。申农只考虑消息的形式而不管它的具体内容，通过建立一个模型找出最基本的定量关系，使问题大大简化了。申农把消息看作随机序列，从这个新观点考查通信过程，抓住了通信的本质特征，为通信建立了恰当的模式，是一个突破。申

农确立了现代信息理论的基础，被公认为是信息论的创始人。

维纳从控制和通信的角度研究信息问题，从自动控制的观点研究信号被噪声干扰时的信号处理问题，建立了“滤波理论”。在维纳的著作中，提出了信息量的概念、测量信息量的数学公式，叙述了信息概念形成的思想前提；同时，还把信息概念推广到控制系统，使信息论成为控制论的一个基础理论。维纳抓住了通信与控制系统的共同特点，把信息概念看成是通信与控制系统共同的关键，对控制论和信息论的建立都作出了重大贡献。

三、现代的信息科学

申农的信息论以通信系统模型为对象，只局限在通信领域，并没有考虑信息的内容，也没有考虑接受者的使用价值和重要性。其实，任何信息都包含：统计信息，即通信的技术问题，怎样精确地传送通信符号；意义信息，即语义学问题，怎样使用通信符号精确的表述语义；有效信息，即信息的实效性，怎样使收到的语义按需要的方式有效地发挥作用。申农只是对信息作定量的描述，从通信的技术角度解决了统计信息，而没有考虑后两个方面，这正是申农理论的缺陷。随着科学技术的相互渗透和相互影响，信息概念的普遍使用和推广，信息论的研究从自然界扩大到社会和思维领域，对信息的概念和实质、信源熵、信息量及语义信息、有效信息、模糊信息等问题的研究，要求更为迫切，这有必要发展申农的信息论，建立现代的信息科学。

本世纪 50 年代以后，信息论蓬勃发展。物理学家布里渊将信息论推广应用到物理学领域，建立了信息的物理模型，得出了广义熵增原理和信息负熵原理。到 60 年代，美国生物控制论专家艾什比从系统分析的角度研究信息的本质，把信息看成是一个系统的确定程度的标记，它反映系统内部物质的运动状态、变化程度、作用方式或联系形式。70 年代，由于电子计算机的广泛应用，使信息论在解决信息传输能力方面取得新进展，对信息的产生、获取、变换、传输、存储、处理、显示、识别和利用等方面的认识和技术也发生了巨大飞跃。到现在，科学家们已冲破申农的信息理论的界限，把信息与物理学、化学、生物学、心理学、管理科学、社会科学等部门结合起来，逐渐建立起新的信息科学。

现代的信息科学正在发展过程中，对这门学科的研究内容和研究范围还有不同意见，但一般认为信息科学是以信息论为基础，与电子学、电子计算机、自动控制技术、生物学、数学、物理学等相联系的一门科学门类。信息科学领域是包括控制论、系统工程、仿生学、人工智能等在内的综合性学科，电子技术、自动化技术、电子计算机等则是信息科学的主要技术手段。信息科学的研究范围是机器、生物和人类的各种信息的产生、获取、变换、传输、存储、处理、显示、识别、利用和控制的一般规律，其中包括探讨信息的本质、信息的度量、信息的运动规律，揭示利用信息进行控制的原理和方法，寻求利用信息实现最佳组织的原理和方法，等等。总之，建立一种完整而科学的信息理论，回答人类在活动中遇到的种种信息问题，任务十分艰巨，其意义也是很大的。

第三节 控制论的建立和发展

控制是客观世界的一个重要方面，人们在社会实践中不断加深着对它的认识。到今天，人类最早关于控制的思想已经由科学的维纳的控制论所取代，并发展为现代控制论，成为系统科学的重要理论基础。

一、古代的控制思想

人类在很早的时候就开始研究控制现象，在古代还形成了有关控制的思想。当时的控制观念是指“控制艺术”，或“掌舵艺术”，“舵手艺术”；后来的“控制论”这个词，是从希腊文“掌舵人”的意思演变而来的。柏拉图曾使用这个词，通常是指驾船术、操舵术或掌舵人，有时还用它表示对人管理的艺术，领导国家的艺术。后来，物理学家安培根据这种思想将管理国家的科学称为控制论，把它列入政治科学这一类。

但是，源远流长的控制思想，是人们在生产、生活和管理的过程中研究自动化技术而形成的。人们在实际活动中总想在没有人的直接干预下，按照人的要求和预定的规则，能够达到预期的目标以提高效率，这就有了发明自动控制技术装置（简称自动机器）的要求。

在古代，我国早就有人发明能自动计时用的“铜壶滴漏”装置，西汉时期就有了指南车和记里鼓车，东汉时期张衡发明了用齿轮系统运行的天文仪器和自动播出月日数的计时器。到公元 117 年张衡又发明了模拟天体运动的自动装置——浑天仪。在西方，文艺复兴时期达·芬奇还制造出供玩赏的机器狮，18 世纪 J·沃康松制造了能演奏许多简单曲子的吹笛“人”，等等。这是自动技术装置方面的发明，却反映了当时人们对于控制的概念、原理和规律的朴素而原始的认识以及不自觉地应用。

只有随着资本主义工业的产生和发展，自动机器的研究和制造，才真正为控制机器和控制论的产生奠定了知识和技术方面的基础。从 16 世纪到 18 世纪中叶，西方的工场手工业发展到机器大工业，钟表和磨为之奠定了技术基础，钟表就是第一个应用于实际目的的自动机器。为了在磨上实现自动上料和控制输进磨口的粮食流量，早在 16 世纪就发明了装在磨上的震动器，还有使磨盘转数维持恒定的装置，这种自动调节装置保证了生产的质量和效率。1787 年瓦特发明的装在蒸汽机上的离心式调节器，是一种比较典型的自动装置，达到了自动调节蒸汽机转速的目的。在上述实践基础上，J. C. 麦克斯威对反馈作了理论论述，表现出它成为科学技术领域中的重要课题。随后，反馈原理已成为当时伺服机构理论中的一条重要原理，广泛应用于提高火炮的准确度、长途电话的电子放大器、化工过程与炼油过程。不久，美国麻省理工学院成立了伺服机构实验室，出版了《伺服机构理论》的教材。这表明在控制论出现之前已逐步形成自动控制理论这一技术学科（当时称为伺服机构理论），它为控制论的建立打下了基础。

二、维纳的控制论

控制论超脱机器、生物和社会的具体构造及特点，专门研究它们作为一般的控制系统和信息系统的共同规律，以及控制它们的方法。科学界公认维纳是控制论的奠基人，他在1948年发表的《控制论》一书标志着科学控制论的诞生。

为了解决高射炮的自动控制装置中的预测飞机的飞行方向和速度问题，维纳用统计观点处理，得出了从时间序列的过去数据推知未来或预测未来的方法，建立了维纳滤波理论。要进行控制就必须了解对象的状态，和被控制对象间有通信关系，由此维纳指出控制就是通信，并把控制和通信统一起来处理，从更广的意义上理解信息，把信息作为研究控制和通信过程的关键因素。这就打破了传统的看法，为新的控制理论出现开辟了道理。维纳不把研究局限于工程中的自动装置，推测到反馈也是神经系统的重要特征，便与生理学家罗森勃吕特（A. Rosenblueth）研讨，1943年共同写了《行为、目的和目的论》，指出了神经系统和自动机之间的一致性。1943年维纳还主持召开了由生物学家、数学家、电子工程师、电子计算机设计人员参加的讨论信息问题的会议；1946年召开了反馈问题讨论班，一些心理学家、解剖学家、人类学家、经济学家等都参加了。正是在这种情况下形成了共同关心的通信和控制的学科，维纳总结了在研究和讨论中形成的有关思想，写出了《控制论》，正确地把“控制论”（cybernetics）定义为“关于机器和生物的通信和控制的科学”。

三、现代的控制理论

随着科学技术的进一步发展，控制逐渐从自动机器、神经系统向工程系统和生物系统，以致经济现象和社会系统推广，反馈成为控制论的核心，它的理论也不断向前发展。

英国生物学家、控制论创始人之一艾什比（W. R. Ashby）提供了稳态机，其行为类似于活的组织，能自我调节适应外部条件的变化，以保持内部状态稳定。此后，这方面的研究发展成为超稳定系统和自组织系统的理论课题。他写的《大脑设计》代表了控制论发展的第二阶段，这表明控制论研究向各个方面在深入发展。

现代控制理论的一个重要方向是生物领域，建立了生物控制论。用控制论的观点和方法从信息和反馈的角度去研究生物机体内的各种生理调节系统。特别是神经系统的控制机理，到60年代取得较大进展。生物控制论的研究成果能够帮助人类模仿生物体，制造精巧的自动控制装置，直接推动了自适应、自学习、自组织、自繁殖系统的研究。

工程控制论是本世纪50年代控制论中十分活跃的一个分支，我国科学家钱学森1954年写的《工程控制论》为这个学科做了奠基性的工作。这时的工程控制论是以自动调节为主，主要运用传递函数或频率法解决单因素控制系统时不变系统的问题，研究重点是反馈控制，应用于单机自动化，所以属于经典控制论。到60年代和70年代转变为以电子数字计算机为核心装置，使用状态方程或时域法处理多因素控制系统时变系统的问题，重点研究最优随机自适应控制，应用于机组或联机的自动化，这就进入了现代控制理论。从

70年代到现在,要处理的是多因素、多层次控制系统,分析方法是时域法和模糊集方法,核心装置已是智能机器,应用于综合自动化,所以发展成为大系统控制理论了。

把控制论应用于经济领域,便出现了经济控制论。经济控制论系统可以是微观经济控制系统,也可以是宏观经济控制系统。一般认为,控制论专家B. 诺狄克是将现代控制理论最早用于经济研究的人。在1971年,他得出了一个包括28个状态变量、3个控制变量的美国经济模型。比起一般的控制系统,经济控制系统有自己的特点,这就是它是包括人的因素的系统;是巨大的复杂系统,不确定性起重要作用;具有长效性,某些因素可以长期而较稳定地起作用;其中在物质、能量、信息与价值形式之间存在着一定的变换关系,这都决定了这一学科的内容和特点。在经济控制论中,经济控制系统还具体化为企业的、部门的、国家的、世界的系统,帮助处理经济发展问题。

控制论应用于社会领域,还发展了社会控制论,早在维纳建立控制论时就考虑到将这一理论用于社会,把社会看作一个通信和控制的系统。现在控制论已应用于社会学、国家管理、行政管理、法与法律、经济学、企业管理等不同的社会领域。如在现代社会学中就引了社会调节、社会控制、社会管理等概念,用以分析社会的稳定性,政治、经济、伦理、道德、法制等多种因素的社会效应及对人的行为的影响。应用控制论的理论和方法,对社会不仅可以作定性的分析,而且可以作定量的、优化的研究,帮助人类科学地管理社会。

自动控制的高级阶段是智能控制,为了实现这个目标,控制论与自动机、神经网络和脑模型、仿生学、人工智能等结合,出现了智能控制研究的多种途径和方法。如今,人工智能的研究成为主要部分,它和电子计算机结合,也变成计算机科学的一个分支,在自然语言处理、定理证明、“专家咨询系统”、智能机器人等方面都有较大进展。

上述方面的研究是经典控制论的应用,又丰富和发展了原有的控制论,标志着控制理论已经进入了新的阶段,即现代控制论的高度。

第四节 一般系统论的发展与系统科学的形成

系统是客观世界的一个重要方面,也是系统科学的中心内容。系统与控制和信息是相互联系的,系统论、控制论、信息论在相互作用相互影响过程中向前发展。系统理论经历了从朴素的系统思想到一般系统论,又发展为现代系统理论的过程,现在系统科学已逐渐形成。

一、系统思想

系统思想既不是人类生来就有的,也不是20世纪40年代突然出现的東西,它来源于古代人类的社会实践经验,一点也不神秘。人类自有生产以来,就在同自然系统打交道,整个人类文明的发展史都为系统理论积累了丰富的思想资料。古代的农事、军事、工

程、医药、天文知识等方面的成就，都在不同程度上反映了朴素的系统思想的应用。在畜牧业和农业发展基础上，人们用阴阳、八卦、五行的原始观念来探究宇宙万物的发生和发展，就开始了最早的对系统的思考。在中国古代军事活动中形成的军事名著《孙子兵法》和《孙臆兵法》，对于战争及其基本要素的分析，和当今系统理论中的整体性、系统性完全一致，包含着丰富的系统思想。战国时代秦李冰主持的都江堰工程，北宋丁渭重修皇宫的计划，明朝永乐年间用“群炉汇流”铸造40多吨重的大钟等，都贯串着系统思想在工程中的应用。中医认为人体是一个有机的整体，很注意从人体的整体结构来诊断治疗疾病，《黄帝内经》强调人体内部各系统的联系，朴素的系统思想是非常突出的。

在国外，系统思想也出现得比较早。远古时代的希腊人就开始认识到事物的整体性、秩序性以及结构和功能的关系。米利都学派的泰勒斯把宇宙看成一个自我循环的自然体，处于从空气、土、水，经过动植物，再复归到空气、土、水的循环变化过程中。德漠克利特有一本没有留传下来的称为《宇宙大系统》的书，把宇宙作为一个系统来看。亚里士多德提出用“四因论”来说明事物产生、灭亡、变化的原因，他强调事物系统的整体性，提出了“整体大于它的各部分的总和”的论断，用以说明系统整体与组成部分的相互关系，后来被一般系统的创始人贝塔朗菲所总结和吸取。

15世纪以后，出现了机械的整体性思想。哥白尼提出的是一个简单而和谐的日心天体系统——太阳系，太阳是日心系统的中心，地球、水星、金星、火星、木星、土星等都环绕太阳作匀速圆周运动。笛卡儿、拉美特利受牛顿机械观影响，提出了生命机器系统。笛卡儿认为宇宙为一大机器，生命机体也是一架精密机器，它们都是按力学规律运动的机械系统；拉美特利认为无论是动物还是人体，都是许多机械的集合，人是机器，是各种自动机器集合的系统。

到19世纪，出现了辩证的系统思想。自然科学从分门别类地研究既成事物，把事物当成一成不变的东西，转而过渡到系统地研究事物在自然界所发生的变化，就产生了一个伟大的基本思想，这就是恩格斯说的“世界不是一成不变的事物的集合体，而是过程的集合体”。这里，恩格斯所讲的集合体就是今天我们所讲的系统，这种系统思想成为当时人们分析与综合的辩证思维工具。

以上都为科学的系统概念和贝塔朗菲的一般系统论的产生创造了条件。

二、贝塔朗菲的一般系统论

系统的理论是沿着两条线索建立和发展起来的：一是系统工程，这是实践基础，它源于生产管理、建立电话网络、研制雷达系统等，发展运筹学，促进了系统理论的建立。另一线索是总结人类关于系统方面的思想资料，提出一般系统论，发展系统理论。贝塔朗菲就是在这种实践背景下和理论基础上，创立了具有科学水平的一般系统化的。

贝塔朗菲是在奥地利出生的美国生物学家，他提出的一般系统论是为了确定适用于系统的一般性原则。他的系统论思想来自机体论，在1928年的《现代发展理论》和1932年的《理论生物学》中，就强调生物的整体性、动态结构、能动性和组织等级，把有机体看成一种系统，是有高度主动性的活动中心，还是一个开放系统，和其环境组成一个