

系統学概论

赖乙光 编

华南农业大学

广东农业干部培训部

一九八九年四月

系统学概论目录

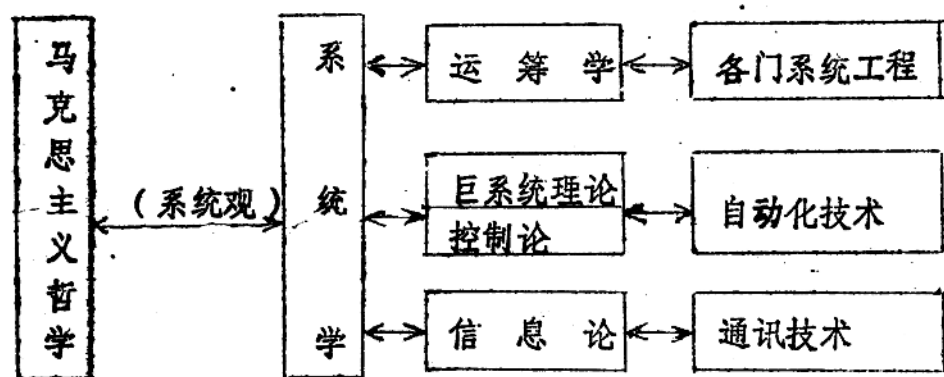
导 言	1
第一章 一般系统论的形成与发展	4
第二章 系统论的基本概念	9
一、系统与要素	9
二、系统结构	12
三、环境与功能	14
四、系统的类型	16
第三章 系统论的基本思想	20
一、整体性观点	20
二、相关性观点	22
三、层次性观点	24
四、动态性观点	26
五、最优化观点	27
第四章 系统方法及其运用	32
一、系统思维	33
二、系统管理	35
三、系统方法在科学研究和科学理论 发展中的作用	40
四、领导者应用系统方法的基本要求	44
第五章 系统学的几个分支学科简介	45
一、信息论	45
二、控制论	49
三、耗散结构理论	60
四、协同学	62
五、突变论	64

导 言

二十世纪二十年代开始直至四、五十年代,随着自然科学和社会科学的发展,诞生了一门崭新的横向交叉学科——系统论。系统论可分为一般系统论和广义系统论。一般系统论又称普通系统论是系统学的核心理论,是运用系统分析的方法考察系统的理论。一般系统论与控制论、信息论并列,简称“三论”。关于三论的关系,钱学森早在1982年就曾提出“三论归一”的观点,就是认为系统论、控制论和信息论可以归结为系统论。他还进一步提出建立系统科学的体系。系统科学也就是我们上面提到的广义系统论。在系统科学体系中,根据其理论概括程度的高低,可分为三个层次:第一层次是基础理论即一般系统论、耗散结构理论、协同论和突变论等。控制论和信息论虽然属于技术学科,但它们一个突出的特点是既是技术科学又是方法论学科,作为方法论学科,也可作为系统科学的基础理论的组成部分。以上各门学科,分别从数学、物理学、化学、生物学等不同学科领域,探讨共同的系统理论,着重研究系统科学的基本原理、方法和哲学意义等。尽管它们各自研究的出发点和手段不同,但都从特定的方面揭示了系统客体广泛存在的某些属性中的规律性,从而为建立统一的系统科学的基础理论学科——系统学奠定了基础。可以说,系统学是把各门科学中的一切有关系统的理论综合、概括起来的一门基础理论学科,是系统科学的基础学科。第二,运筹学、控制论、信息论等属于技术科学层次。第三,系统工程、自动化技术、通信技术等属于工程技术层次。系统科学中的技

术科学这一层次在三个层次中是处于中价环节，它使系统理论运用于系统工程提供重要的方法和手段，它具有应用理论科学的性质。系统工程作为工程技术学科，也称系统分析，是用量化的系统方法处理大型复杂的系统问题，主要指系统的组织建立或系统的经营管理。在一定意义上，系统的组织建立还可以理解为设计新系统。系统工程不是某一系统的组织管理技术，而是各类系统组织管理技术的总称，同时还可因研究的体系性质不同而分出各种门类，如工程系统工程、经营系统工程、行政系统工程、社会系统工程、农业系统工程、军事系统工程、法制系统工程等等。

我国著名科学家钱学森提出了关于建立系统科学的一系列论述，认为可以建立起由工程技术、技术科学、基础科学和哲学等四个台阶所组成的系统科学体系，如下图：



哲学

基础科学

技术科学

工程技术

系统科学的原理集中反映于系统的概念。系统乃是相互作用的要素的综合体。这一系统概念适用于各种客体，至今仍是各种系统理论的基础。传统的研究方法一般是重视系统要素的分析，而把各种要素之间的相互作用的研究放在次位。系统科学则把系统各要素之间的相互作用提到了首位，成为研究的重点。系统研究的任务，就是根据系统各要素和相互作用的特点，阐明整个系统的行为和系统客体广泛存在的某些属性中的规律性的。

第一章 一般系统论的形成与发展

一般系统论是系统学的核心理论。因此，我们学习系统学之间，了解一般系统论的形成以及后来如何进一步发展为系统科学，这对于我们掌握系统学的理论特点是有所帮助的。

一般系统论最初是由美籍奥地利生物学家路·冯·贝塔朗菲提出的。本世纪20年代，贝塔朗菲倡导的机体论是一般系统论的萌芽。30年代，他提出了系统概念。1954年，他同经济学家保尔丁、生物学家A·拉波波特、生理学家R·杰拉德等一起，以生物学、社会科学、行为科学、经济科学和政治科学等领域的研究者为主体，成立了“普通系统论”学会，宣告了系统论的诞生。

现代系统论的产生，可以说是人类思维和现代科学技术发展的必然产物。贝塔朗菲说，马克思和黑格尔的辩证法是他的理论的先驱，他还指出：“一般系统论原理和辩证唯物主义的雷同是显而易见的。”尤其是马克思和恩格斯创立的辩证自然观，深刻地揭示了事物之间的相互联系的普通性和含义，并将这些思想彻底地贯彻到认识和改造世界的实践中，其中包含非常深刻的系统思想。如恩格斯在《自然辩证法》一书中反复强调必须“认识到宇宙是一个体系，是各种物体相互联系的总体”。他指出：“我们所面对着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，这就是说，它们是相互作用着的，并且正是这种相互作用构成了运动”（《自然辩证法》人民出版社1971年版第54

页)。这些观点为系统论的创立和发展提供了重要的理论指导。

在自然科学方面，本世纪中叶，由于现代科学的不断分化与综合，日益出现整体化的趋势，使各门科学之间相互渗透，紧密联系，成为统一的整体。自然科学的这种发展，对我们从总体上认识客观世界有着重要的作用：它以科学的事实，给我们描绘出一幅自然界各种事物和现象之间普遍联系的清晰图画。贝塔朗菲在四、五十年代创立一般系统论，就是因为他看到了机械论观点的主要缺陷就在于不把生物体看成一个有机统一的系统，而是看成各部分的机械相加，而这正是忽视了“生命现象中最本质的东西”。他强调指出，生物体是一个有机的开放系统，因此必须从生物体和环境的相互作用中来说明生命的本质，生物学的任务就在于发现生物系统中各个不同层次的组织原则和起作用的规律。贝塔朗菲正是在这个认识的基础上提出了系统理论的。

当然，系统论并不是某一个人的独创，它的产生有其更深远的历史、思想渊源和现代科学技术为基础。它的产生经历了古代、近代和现代三个不同的阶段，从朴素的系统观发展到当代的科学系统论。

我国和西方古代的辩证哲学和一般科学技术中已包含了丰富的系统思想。太极图是中国古代人对世界的解释，它认为世界上的万事万物都是由阴阳二气构成的。阴阳二气调合消长，就形成了万事万物的发展变化。在这个基础上又产生了五行说。它认为世界万物是由金、木、水、火、土五种元素组成的，它们相克相生，不断循环演化而产生世界万物。这样，阴阳五行就构成了一个运动着的世界整体。阴阳五行说是古代人对世界的整体性的一种朴素认识，其

中包含着系统思想的萌芽。古希腊哲学家德谟克利特的主要著作就称为《宇宙大系统》，他认为，世界是由最小的物质——原子所组成的，有各种不同的原子，形成不同物质，人也是一个由特殊原子组成的小宇宙。这是人类最早的关于世界是一个大系统的理论。古希腊另一位哲学家亚里斯多德进一步发展了朴素的系统思想，他提出的“整体大于部分之和”的观点，至今仍是系统论的主要原则。我国战国时代由李冰父子主持修建的都江堰水利工程，从整体出发，安排了灌溉、分洪和排沙相互联系的几个部分，形成一个巧妙而完整的有机整体，堪称古代运用系统方法建造大型工程的范例。这些都说明，人们早在科学系统方法创立之前，就已经进行了事物的系统思考和实践了。

到了近代，虽然形而上学的思维方法深深地禁锢着人们的思想，但仍然有一些科学家在他们的研究中进行了系统的思考。牛顿的《论宇宙系统》一书，就是把太阳系作为系统整体来研究的。马克思和恩格斯在他们所创立的辩证唯物主义哲学，强调世界是互相联系着的事物的统一体，这是对当时自然科学成果的理论概括。十九世纪的科学发现，为现代系统论的诞生奠定了基础，而马克思主义的系统理论又为现代系统论奠定了牢固的哲学基础。

现代系统论产生的实践基础是系统工程和综合学科的发展。系统工程是现代管理技术，它把系统思想和方法应用于各种复杂工程的设计和管理等。四十年代，贝尔电话公司在发展微波通讯网络时，按工程的时间和顺序把工程划分为规划、研究、发展、发展中的研究和通用工程五个阶段，形成一套系统工程的方法。以后，其它企业纷纷效法，成效显著，并且推广到其它生产和研究等领域。由于

系统工程综合运用运筹学、控制论、信息论、管理科学等，并采用电子计算技术等，经过人们的概括和总结而形成系统工程学。系统工程学是系统论与系统工程的中介学科。系统工程学是系统论的应用学科，也是它的理论基础，有了系统工程和系统工程学等学科的基础上，才可能产生系统论。

系统论的建立，还依赖于同时代发展起来的其它理论学科——控制论、信息论、博弈论、策论、现代组织论等。这些学科都与数学理论有关，并且渗透着系统论的基本思想，这些学科的发展为系统论的产生提供了重要的科学思想和方法，而系统论的创立又进一步成为它们的理论指导，促进了它们的发展，从而形成各系统分论——控制论、信息论、耗散结构理论、协同论等，它们既是独立的学科，又统一于系统理论之中，在系统里面，有信息传递的侧面，也有控制的侧面，所以钱学森同志讲，所谓“三论”，其实就是“一论”，它们都统一于广义的系统论。

系统论创始人贝塔朗菲在生理学研究中，坚决反对机械论，而提出了机体整体论。对此他提出了三个观点：第一，反对简单相加的观点，认为系统不等于各部分之和，有机整体的性质不等于各个器官的性质和功能的相加，由此指出应该把事物看作有机的整体；第二，反对机械观点，认为有机整体各部分的关系不能用机械关系来解释。他提出动态观点，认为生命现象是自组织活动，它与环境不断交换物质和能量，从而保持机体生命的延续；第三，反对被动反应观点，即生物活动不是受环境刺激而作出的简单反应，而是具有自调功能的活动，机体对环境的干扰具有调节能力。有机整体有不同的组织等级和层次，由于等级层次的不同，组织性也不同，

其适应环境的能力也不同。基于以上三个观点，贝塔朗菲提出了系统论的三个基本原则：第一，系统原则，也就是有机整体性原则；第二，动态原则，认为生命体是自组织开放系统，这个系统是在与外界的相互联系和相互作用中运动的；第三，组织等级原则，认为事物存在着不同的组织等级和层次，各自的组织能力不同。这些基本观点和原则至今仍然是系统论的核心。

除了贝塔朗菲，从40年代开始，世界上还有不少科学家也致力于建立一般系统论的体系。维纳的控制论，申农的信息论，都从不同角度揭示了跨学科的各种系统的一些普遍的运动规律。随着科学的发展和人们认识的深入，一些更加复杂的系统、更加复杂的运动规律就日益成为科学家们注意和研究对象。70年代前后，先后诞生的耗散结构理论、协同论、突变论等，对系统论的发展也起着重要的作用：

第一，比利时物理学家普里高津于1969年建立的耗散结构理论，回答了开放系统如何由无序到有序的问题，深化了系统论的一些基本原则。

第二，1972年由法国科学家托姆（Thom）建立的突变论，通过描述系统在临界点的状态来研究自然系统和社会经济系统中突然变化现象的发生机制和演变规律。

第三，1976年由西德理论物理学家、哲学家哈肯（Haken）建立的协同论，研究各种不同的系统在一定的条件下，系统内部各子系统之间通过非线性之间的相互作用的协同效应，从混沌状态向有序状态，由低级有序状态向高级有序状态，以及从有序又转向混沌的机理和规律。他着重研究各子系统协同组成大系统

如何从无序向有序运动，从而进一步解决了系统的目的性、自组织性问题。

70年代以来，系统论受到空前重视，得到广泛的应用和更加深入的研究，在世界上掀起了一股“系统热”，近十多年来，我国系统论的研究和应用也有了很大发展，许多地方成立了系统学、系统科学或系统工程研究会，对推动系统理论的发展起了重要作用。

根据系统学中各分支学科的地位，作用及其相互关系，我们将重点探讨一般系统论的基本观点及其在科学和管理上的方法论作用，同时也对系统学的其他分支学科——控制论、信息论、耗散结构理论、协同论、突变论等作简要的介绍。

第二章 系统论的基本概念

一、系统与要素

什么是系统呢？这是我们在学习系统理论时首先碰到并且必须懂得的问题。对此，贝塔朗菲给系统下了个定义：系统是“处在一定相互联系中与环境发生关系的各组成部分的整体。”钱学森等同志所下的定义是：“把极其复杂的研究对象称为‘系统’，即由相互作用和相互依赖的若干组成成分结成的具有特定功能的有机整体，而这个‘系统’本身又是它所从属的更大系统的组成部分”。（钱学森、许国志、王寿云：《组织管理的技术——系统工程》，《文汇报》1987年9月2日）上述关于系统的定义强调了以下两点，一是系统是由相互联系的要素所构成的；二是系统与环境发生

关系，系统不是孤立存在的。

那么什么是要素呢？要素是组成系统的各个部分。人们把系统内相互作用着的部分、单元、成分称为要素。要素是组成系统的实体，离开要素，系统就不存在。显然，没有太阳和九大行星以及大大小小的几十颗卫星，就不会有太阳系；没有人，就不可能有家庭和社会。但是系统又不是要素的简单相加，它还包括要素间的关系。要素要按一定的规则有机地组织起来才构成系统整体。比如，一些堆放着的电器零件，并不成为系统整体，只有按一定的规则把它们组装起来，才成为一个电器系统。可见，所谓系统的有机整体，必须是有内在关系联结各部分才能形成。

因此，我们在研究系统时，首先要了解它具有什么组成部分，它们是如何关联、制约、作用的，具有什么功能等，只有这样，才能真正从中掌握系统的运动规律。例如，太阳系是由太阳、九大行星和几十颗卫星所组成，它们是通过万有引力的作用，互相关联和制约，使得每个行星都在确定的轨道上运行，并且具有相对稳定性，这就是太阳系的一种功能。此外，人体、工厂、学校、社会、国家等，都是由各种要素按一定的规则所组成的整体。

系统与要素的区分具有相对的意义，每一个系统对于更高一级的系统来说，是一个要素；而每一个要素对于更低一级的要素来说，又是一个系统。如人体是由呼吸系统、生殖系统、消化系统、神经系统、循环系统、内分泌系统、泌尿系统、运动系统所组成的，人体对于组成它的各个子系统来说是系统，但对于人类群体来说，它是组成部分，是要素。原子对于电子、中子、质子来说是系统，而对于分子来说则是要素。

在多层次系统中，人们通常把低一级的系统称作系统的“子系统”，而把高一级的系统称作“母系统”。

一个系统以外部分叫做系统环境。系统和系统环境的分界叫做系统边界。我们研究具体系统时，必须明确系统边界。

系统对其环境的作用叫做系统输出，环境对系统的作用叫做系统输入。

系统结构和系统环境决定了系统功能。系统功能是通过系统输入及输出的关系表现出来的。

系统每时每刻所处的状态叫做系统状态，系统状态随时间的变化叫系统行为。

具有相同组成部分的系统可以具有不同的系统功能，因为它们关联、制约、作用关系不同。如固态的冰、液态的水、气态的水蒸气，虽然都是由二个氢原子和一个氧原子所组成，但它们的物理性质都不相同，尤其必须指出的是，它们都具有其组成部分的氢和氧所没有的性质。又如，人们常说“三个皮匠凑成一个诸葛亮”，用系统观点来说，三个皮匠所组成的系统具有诸葛亮的功能，而它们的各个组成部分都是只具有皮匠的功能。这就是亚里士多德所阐述的“整体大于各部分之和”的原理。

改变系统组成部分或改变其相互关联，制约、作用关系，可以改变系统的功能。这就是控制论、运筹学、系统学的基本思想，也是系统工程应用的基本目的。

根据系统的基本特点，我们对事物进行系统分析时，应该包括以下几个方面：

1、了解系统的要素。分析系统是由什么组成的？它的要素是什么？可以分为怎样的一些子系统？

2、分析系统的结构。分析系统的内部组织结构如何？系统与子系统、子系统与子系统之间是如何联系的？组成系统的各要素相互作用的方式是什么？什么样的结构能产生符合目的的功能？

3、研究系统的联系。研究该系统同其它系统在纵横各方面的联系怎样？该系统在更大系统中的地位和作用如何？

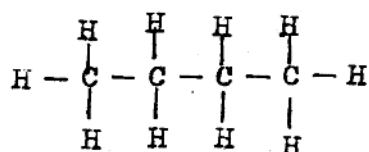
4、把握系统的功能。弄清系统及要素具有什么样的功能？系统的功能和各子系统的功能有什么样的影响、制约关系？

5、弄清系统的历史。即该系统是如何产生的？它的发展前景如何？

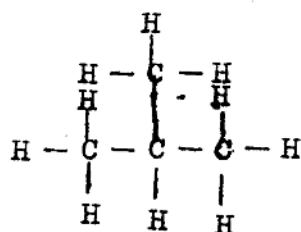
6、研究系统的改进。弄清维持、完善与发展的源泉和因素是什么？研究系统改进的方案、措施。

二、系统结构

系统结构是指系统内部各组成要素之间在空间和时间方面的有机联系与相互作用的方式或秩序。系统结构包括系统的组成要素、各要素间的时空秩序和联系规则三个方面。系统要素以某种方式排列组合、相互作用形成整体结构，从而使系统具有整体性。系统的不同往往不是由于组成要素的不同，而是由于系统的结构不同，从而形成具有不同功能的系统。例如，自然界存在的同分异构体和同素异性体，成分和元素虽都相同，但因原子空间排列方式不同而导致不同的化合物，如正丁烷和负丁烷均由4个碳原子和10个氢原子所组成，但由于碳、氢原子在空间排列方式的不同而形成不同的化合物：

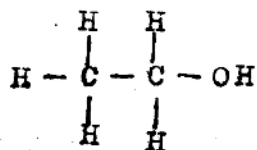


(正丁烷分子结构式)

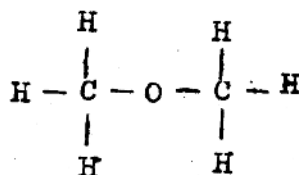


(异丁烷分子结构式)

又如乙醇和甲醚都是由6个氢原子，2个碳原子、1个氧原子所组成，也是由于它们各自空间排列方式的不同而形成不同的化合物：



(乙醇)



(甲醚)

要素相同，仅仅由于联系方式、链条个数不同形成不同结构的现象在化学上称为“同分异构现象”。化学中的分子式不仅是对要素（原子）种类和数量的描述来反映分子状态，也要通过要素间的联系方式来反映分子系统的状态，其它许多系统的状态也都是通过要素和联系的描述来反映系统状态的。因此，研究系统的状态不仅要对要素的描述（要素的种类、数量、状态等），还要对要素联系情况的描述（联系的方式、链条的个数、联系的强度等）。

系统结构形式，按其组成要素在空间的排列方式，可分为塔型、树型、链型、网络型、矩阵型等几种主要形式。

三、环境与功能

系统存在的外部因素称为环境。

认识一个系统和把握一个系统，重要的是划分边界。在现实世界中，系统与环境的区分往往是比较模糊的、相对的，需要根据具体情况，进行分析并确定。

系统的边界不是固定不变的，那些属系统内的要素，那些属系统外的要素，要依具体情况而定。确定边界的主要依据，是某些要素与系统中的其它要素相互联系的紧密程度，即该要素发生变化时能否对系统的功能产生决定性的影响。例如，一个生产计划，起决定作用的有设备、资金、技术、材料、能源、人员的工作能力等，这些都可以看作是生产系统的内部要素；如果考察个人的工作能力，其内部要素则是学识、经验、技术、组织管理水平等，而其它条件则只能作为影响工作能力的环境因素。

研究系统时，确定边界的意义在于：能使人们对系统有较确定的认识，便于研究环境对系统的影响和系统对环境的影响，以促使系统内部各要素之间以及系统与环境之间的相互促进作用。

环境对系统施加某一影响之后，系统对环境产生的反作用，称为系统行为。系统行为是由系统内部状态和环境两个因素决定的。系统内部状态是系统行为的决定因素，而环境只是系统行为的诱因。在同样的环境条件下，不同的系统可以产生不同的行为；在不同的环境条件下，不同的系统也可以产生相同的行为。人们考察一个系统的本质常常是通过分析研究它的行为进行的。

研究系统，还有一个重要的基本概念就是系统的功能。功能是系统的一个基本属性，它表现为系统与其外部环境的相互作用的能

力。系统的结构与功能是不可分割的。一定的系统结构产生一定的功能。结构决定功能。一台机器，一座房屋的性能好坏，不仅取决于材料，更取决于结构是否合理。企业生产效率的高低，直接取决于生产组织管理水平，也就是其内部结构是否合理。系统功能体现了一个系统与外界环境之间的物质、能量和信息的输入与输出的变换关系。比如弹簧，在外力的作用下（能量输入），暂时改变了它的形状，外部压力消失后，立即恢复原来的状态，弹簧产生弹力（对环境的能量输出），对环境作了功。如果弹簧的原来结构已受破坏，它是不可能有此功能的。收音机的功能是处理广播电台发来的电信号，就是将电频信号有选择地转换成声频信号能力，这里可以把接受无线电波看是环境对系统的作用，而把音响看作对环境的反作用。

系统的功能这一概念在于揭示系统对环境作用的能力，这种能力是由系统整体运动表现出来的。

系统与环境的作用不是单向的。环境受到系统的作用后，会把其结果作为信息返回到系统中去，系统根据这些返回的信息而调节自己的活动，从而更好地发挥功能。这个过程，叫做反馈。反馈是环境对系统的调节。马克思认为，实践活动不仅能改造客观世界，而且能够改造主观世界，这是由于人类在发挥改造世界的功能的同时，又能根据实践来修正或加深对客观世界的认识，也就是自觉地对自已的活动进行反馈调节，这样主观世界就得到了改造。

以反馈调节为中介，功能就不仅仅被结构所决定，而且能动地改变着系统的结构，从而使系统更加完善。这就是说，结构和功能相互联系、相互作用、相互改变。对于人类以外的其它系统来说，