

声 明

本电子书由中国农业出版社数字出版，相关权利归中国农业出版社拥有。读者、著作权人和（或）依法可以行使著作权的权利人如有疑问，请与中国农业出版社联系：

地址：北京市朝阳区麦子店街 18 号楼

邮编：100026

电话：010-64194921 010-65005894

E-mail:lishanzhao@sina.com

中国农业出版社



全国高等农业院校教材

全国高等农业院校教材指导委员会审定



农业系统工程

● 朱永达 主编

● 农业工程类专业用

中国农业出版社

内 容 提 要

农业系统工程是一门新兴学科，是系统工程在农业中的应用。是高等农业院校农业工程类专业的一门重要专业基础课。亦可用作农经类各专业的参考教材和供各级农业管理人员、技术人员及各级农业领导干部作培训教材和自学教材。

全书分八章：概论、系统工程的基本逻辑过程和方法、线性规划、动态规划、网络分析技术、决策与对策、系统预测技术、系统模拟。内容简明，理论与实例紧密结合，方法程序具体，每章均附有习题。

全国高等农业院校教材

农业系统工程

朱永达 主编

农业工程类专业用

中国农业出版社

主 编 朱永达 (河南农业大学)
编 者 杨广林 (东北农学院)
张松明 (沈阳农业大学)
吴 健 (山东农业大学)
主审人 张象枢 (中国人民大学)

前 言

本教材是全国高等农业院校教材指导委员会审定下达的农业工程学科“七五”指令性计划中规定的一本基本教材。

系统工程是20世纪中期发展起来的一门新兴的管理工程技术学科。它从军事领域开始，逐渐扩散到社会、经济、生态的各个方面。农业系统工程就是系统工程的理论和方法在农业中的应用。随着科学技术的发展和农业的现代化，高等农业院校的学生都需要掌握系统思想和学会运用系统工程的理论和方法，定性与定量相结合地对系统整体进行分解、协调和组装，进行诊断、综合、分析和评价，有效地进行控制和调整，以期用最少的代价，最大限度地利用各种农业资源，获取最好的综合效益。

1986年7月原农牧渔业部委托北京农业工程大学主持的农业系统工程研讨班上，讨论通过了《农业系统工程基础》教学大纲。根据这个大纲，编写了试用教材《农业系统工程基础》，主编为河南农业大学朱永达。参加编写的有东北农学院杨广林，沈阳农业大学张松明，浙江农业大学冯祖安、陈秉钧和安徽农学院竺开华。这本试用教材和1987年8月以来全国30多所农业院校在使用中提出的宝贵意见，为此次重新编写这本教材准备了良好的基础。编写中参考了中国农业百科全书农业工程卷农业系统工程分支（待出版）。

本书共八章。分为两大部分。第一部分是系统、系统工程和农业系统工程的基本概念和基本方法。包括第一章和第二章。第二部分介绍各种具体方法。其中三、四、五、六章是运筹学中常用的四个分支：线性规划、动态规划、网络分析技术、决策与对策。第七章介绍预测技术，第八章介绍模拟技术。第一、四、七章由河南农业大学朱永达编写；第二、五章由东北农学院杨广林编写；第三章由山东农业大学吴健编写；第六、八章由沈阳农业大学张松明编写。在内容上强调基本理论与基本方法，着眼于应用，对公式的推导尽可能简化或省略。各章均附有习题，用以帮助读者理解和掌握所学理论和方法。

本书适用于高等农业院校农业工程类各专业，也可用作农经类各专业的参考教材。建议学时为56—72。除第一章和第二章外，其余六章的内容，各专业可根据需要作不同安排和选择。高等农业院校其他各专业采用此教材时，可按专业需要作灵活安排。

本教材由中国人民大学张象枢教授主审，从拟定编写大纲，初稿形成到最后定稿，提出了许多宝贵意见。东北农学院戴有忠教授参加了编写大纲的讨论和初稿的讨论。特此表示感谢。

由于农业系统工程尚在发展，它涉及的领域又非常广泛，内容极其丰富，且具有很强的实践性。限于我们的水平，书中难免有错误和不妥之处，敬请广大读者批评指正。

目 录

前言

第一章 概论	1
§ 1—1 系统概念	1
§ 1—2 系统工程及其发展过程	6
§ 1—3 农业系统工程	10
第二章 系统工程的基本逻辑过程和方法	15
§ 2—1 系统描述	15
§ 2—2 系统指标设计	33
§ 2—3 系统综合	35
§ 2—4 系统分析与优化	40
§ 2—5 系统评价	44
§ 2—6 决策	53
§ 2—7 实施	55
第三章 线性规划	59
§ 3—1 引例	59
§ 3—2 线性规划的一般形式	63
§ 3—3 线性规划模型的标准形式	64
§ 3—4 线性规划的解与基	66
§ 3—5 线性规划问题的图解法	69
§ 3—6 线性规划的基本性质	71
§ 3—7 单纯形法	72
§ 3—8 对偶规划及对偶单纯形法	83
§ 3—9 灵敏度分析	93
§ 3—10 目标规划	98
§ 3—11 整数规划	103
§ 3—12 建模中的注意事项	108
§ 3—13 实例	112
第四章 动态规划	124
§ 4—1 多阶段决策问题	124
§ 4—2 动态规划的基本原理	126
§ 4—3 动态规划实例	130
第五章 网络分析技术	142
§ 5—1 网络图及其绘制方法	142
§ 5—2 网络图有关参数的计算与分析	148

§ 5—3	工程在指定时间(工期)完工概率的估计	151
§ 5—4	网络计划的优化	153
第六章	决策与对策	164
§ 6—1	决策分析概述	164
§ 6—2	确定型决策	168
§ 6—3	风险型决策	170
§ 6—4	不确定型决策	174
§ 6—5	决策树	177
§ 6—6	贝叶斯分析在决策中的应用	179
§ 6—7	对策分析	184
第七章	系统预测技术	199
§ 7—1	引言	199
§ 7—2	德尔菲法	203
§ 7—3	回归预测	206
§ 7—4	平滑预测	210
§ 7—5	生长曲线模型	216
§ 7—6	马尔柯夫转移概率矩阵预测模型	223
§ 7—7	GM(1,1)灰色预测模型	228
第八章	系统模拟	237
§ 8—1	系统模拟概述	237
§ 8—2	系统模拟示例	240
§ 8—3	蒙特卡罗法(Monte Carlo method)	245
§ 8—4	系统动力学(System Dynamics)	252
附录		276

第一章 概 论

§ 1—1 系统概念

系统工程是以一般系统为研究对象的一门工程技术。它运用现代系统理论和方法，定性与定量相结合地来认识问题、分析问题和处理问题。所以，我们首先讨论系统概念。

一、系统概念的形成过程

“系统”一词由来已久，而且应用非常广泛。例如国民经济系统、军事系统、政法系统、文教系统、工交系统、农业系统。又如，高等农业院校中设有农学系、林学系、植保系、畜牧兽医系、农业工程系、农业经济系。但是，把它用于科学领域，进而形成一门学科，形成一个科学体系，则必须赋予特定的含义。

系统概念来源于人类长期的社会实践，在古代人类的社会实践和著作中就已有了反映，其特点是强调客观世界的整体性、统一性，强调组成客观世界的诸元素间的联系。我国春秋末期的思想家老子曾指出：“天下万物生于有，有生于无”，（《老子》第 25 集）“无，名天地之始，有，名万物之母”（《老子》第 1 集），表述了老子对自然界统一性的见解。《管子》“地员篇”，《诗经》“七月”等古籍，对农作与种子、地形、土壤、水分、肥料、季节、气候诸因素的关系已能从总体上来进行分析。《孙子兵法》从道、天、地、将、法五个方面来分析战争全局。指出：“凡此五者将莫不闻，知之则胜，不知者不胜”。我国医学经典《黄帝内经》的阴阳五行说，强调人体各器官的有机联系，强调人体健康与自然环境的有机联系，强调治病必须因时、因地、因人制宜。战国时期秦国太守李冰父子主持修建的都江堰水利工程是朴素的系统思想和方法在工程上的典型表现，它包括分水、排砂、引水三大主体工程 and 120 个附属工程，形成具有防洪、灌溉、漂木、行舟等多种功能的有机整体。渠道上设置了水尺，根据测得的水位，用多级分水控制分水流量。还规定了淘砂修堤的岁修养护制度，使工程经久不衰，至今仍发挥着效益，整个工程的设计、施工和运行体现了完善的整体观念，和开放的、发展的观念。古希腊唯物主义哲学家德谟克利特曾论述“宇宙大系统”，他在物质构造的原子论基础上，认为世界是由原子和虚空组成的，原子组成万物，形成不同系统层次的世界。古希腊伟大学者亚里士多德提出“整体大于它的各部分的总和”的著名论点；提出用四因论（质料因、形式因、动力因、目的因）来说明事物的构成及生灭变化。但是，由于受时代和科学发展的局限，人们在当时不可能对客观世界整体各方面的细节有深刻的认识，因而对事物整体性的认识也不可能完备，而

带有猜测、直觉和思辨的色彩。

15世纪下半叶，力学、天文学、物理学、化学、生物学等逐渐从混为一体的哲学中分离出来，发展了研究自然界的实验、解剖和观察方法，深化了人类对自然界各方面细节的认识，增强了人类改造自然界的能力。以15世纪下半叶以来获得的大量实证知识材料为基础，经过综合研究，到19世纪初，人类发现了能量守恒和转化定律，提出了细胞学说和进化论。“由于这三大发现和自然科学的巨大进步，我们现在不仅能够指出自然界中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，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”（《马克思恩格斯选集》第4卷，第241页，人民出版社，1972年）。在总结自然科学提供的丰富材料的基础上形成的辩证唯物主义，明确指出物质世界是由无数相互联系、相互依赖、相互制约、相互作用的事物和过程所形成的统一整体，认为“世界不是一成不变的事物的集合体，而是过程的集合体”。（《马克思恩格斯选集》第4卷第239—240页，人民出版社，1972年）。一般系统论的创始人贝塔朗菲和其它不少系统科学家都公开宣称辩证唯物主义是系统概念的重要思想来源之一。

20世纪中叶以来，一般系统论、运筹学、控制论、信息论相继问世，特别是电子计算机的迅速发展，逐步形成一套能定量分析处理系统各组成部分之间的关系，并与定性分析相结合的理论和方法，进而逐步形成现代的系统概念。系统概念广泛应用于经济、政治、军事、社会等各个领域，已经并必将发挥愈来愈重要的作用。系统概念的形成过程是人类认识客观世界的过程。迄今为止，这个过程可以大致地概括为：古代直观的朴素的整体认识→近代经验的部分认识→现代辩证的定性与定量相结合的整体认识。

二、系统的定义

在韦氏大辞典中，对系统一词的解释是：“有组织的或被组织化的整体；结合着的整体所形成的各种概念和原理的综合；由有规则的相互作用、相互依存的形式组成的诸要素集合等等。”日本JIS（工业标准）中的系统定义是：“许多组成要素保持有机的秩序，向同一目的行动的东西。”一般系统论的创始人贝塔朗菲把系统定义为“相互作用的诸要素的综合体。”美国著名学者阿柯夫认为：系统是由两个或两个以上相互联系的任何种类的要素所构成的集合，因此，系统不是一个不可分解的要素，而是一个可以分成许多部分的整体。苏联学者乌耶莫夫则从系统功能的角度认为：系统是客体具有的“那么一种满足某种预先确定的性质的关系。”我国学者钱学森、许国志、王寿云合著的《组织管理的技术——系统工程》中指出：“我们把极其复杂的研制对象称为‘系统’，即由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合成的具有特定功能的有机整体，而且这个‘系统’本身又是它所从属的一个更大系统的组成部分。”

综合各种论述，我们把‘系统’定义为：系统是由若干相互依赖、相互制约的部分组成的，具有特定功能的整体。与系统具有联系的外部整体称为系统的环境。

三、系统的属性

系统属性包括整体性、关联性、层次性、可控性、时序性，现分述如下：

(一) 整体性 整体性指的是系统整体具有各组成部分自身独立存在时所不具有的性质。一般情况下它不等于各组成部分的性质的简单相加，而且不能回溯到各组成部分。氯化钠可以食用，但分离出的氯气和金属钠都是不具有食盐意义的不可食的东西；螺丝钉的功能是联接零件和部件，当成千个螺丝钉把各种零部件装配成一部汽车后，作为整体的汽车的功能是无法在单个螺钉上找出来的。恩格斯在《反杜林论》中曾指出：“许多人协作，许多力量溶合为一个总的力量，用马克思的话来说，就造成‘新的力量’，这种力量和它的一个个力量的总和有着本质的差别。”贝塔朗菲在创立一般系统论时，重申亚里士多德“整体大于它的各部分的总和”的著名论点，就在于强调系统的整体性。

构成系统的相对独立的部分称为子系统，系统不可再分的最小单元称为系统元素。系统可由若干从属于它的子系统构成，而它本身又是一个更大系统的子系统。

系统整体的功能与系统组成部分的性能和数量有关，一个水分子谈不上溶解氧气和自净能力，许多水分子形成湖泊、江河、海洋、组成一个水系，就具有溶氧和自净能力。

(二) 关联性 包括内部关联和外部关联两个方面

1. **内部关联** 指系统组成部分与系统整体之间的关系和系统各组成部分之间的相互关系。系统各组成部分以一定形式相互联系，并满足一定的数量关系，形成一定的内部结构，从而使系统呈现出相应的特性。金刚石和石墨都是碳元素构成的，只是由于碳原子的排列不同，就呈现出完全不同的性能，金刚石是立方晶体，透明，不导电，很硬。石墨是鳞片状晶体，不透明，导电，很软。阻抗相同的若干电阻元件，以串联形式或以并联形式或以混合形式联接时，具有完全不同的总电阻。氮肥、磷肥、钾肥以不同比例施用，作物的产量就不同。总之，系统组成元素的数量匹配协调，联系形式合理，排列组合有序，系统内部结构就好，系统整体功能就强；反之，系统内部结构就不好，系统整体功能就差。

2. **外部关联** 指系统整体及其组成部分与环境之间以一定的数量和方式输入输出物质、能量和信息。

为使系统在给定时刻和环境里实现正常的功能，要求系统有相对稳定的内部结构；为使系统在变化的环境中也能实现正常的功能，要求系统有比较灵活可变的内部结构。系统结构既稳定又可变的二重性，是系统内部关联与外部关联综合制约的反映。为使系统与环境相适应，可以调节系统内部结构，使其适应变化了的环境；也可以创造条件改变环境，使其满足系统发展的要求。实践中，不论采用那种方法，都必须使系统与环境处于协调运行的良好状态，否则系统和环境都会受到损害。总之，系统功能取决于系统的内部结构，但又必须在一定外部条件下才能充分发挥作用。

(三) 层次性 系统向上可逐层综合，组成一层比一层更庞大更复杂的系统，直至整个宇宙，目前已达到 360 多亿光年；系统向下可逐层分解，分解为一层比一层更小的系

统，目前已深入到层子的范围。系统的层次是在自然界和人类社会从简单到复杂，从低级到高级的发展和进化过程中形成的。低层次系统是高层次系统发展的基础，高层次系统又反过来带动低层次系统的发展。例如，人类驯化了野生稻麦才有了种植业，而种植业的发展又为稻麦品种的改良培育提供了条件。

高层次系统由低层次系统组成，但具有低层次系统所没有的特性（功能）。处于不同层次上的系统，具有不同的结构和功能。要求解决不同的问题，涉及不同的学科，图 1-1 为全球生态系统层次结构。在国家这个层次涉及政治学、社会学、经济学及生物学；在地区这个层次涉及社会学、经济学及生物学；在经济企业单位这个层次涉及经济学；而在生态系统这个层次则只涉及生物学。

由于不同层次的系统有密切的联系，所以，在研究一个具体系统时，首先要弄清处于那个层次。然后根据需要确定向上和向下所必须涉及的层次。总之，既要看到“树木”这个较低的层次；又要看到“森林”这个较高的层次。要协调好各层次间的关系，这样才能取得好的整体效益。

（四）可控性 指人们通过调节可控系统的可控元素，使它按预期轨迹运动，实现预期的目标。为此，首先必须能准确及时地测得系统各时刻的状态，特别是可控元素的状态。其次必须准确及时地把测得的结果传送到控制中心。第三是根据测得的系统实际情况与预期要求的差距，调整可控元素。应当指出，天体运行，地壳运动等不可控系统不存在可控性问题。因此，可控性并非一切系统共有的属性，但由于它对可控系统具有特殊的意义，所以仍专门加以讨论。

系统元素的可控与否是相对的。在较低层次上不可控的元素，在某个高层次可能是可控的；在一种条件下不可控的元素，在另一种条件下可能是可控的；现在不可控的元素，随着科学技术的发展可能变得可控。例如，我国粮、棉、烟等农产品的价格，在省、县级系统是不可控的，但在国家级系统就是可控的；癌症在目前还是不可控的，但在各国医药工作者共同努力下，人类征服和控制癌症的日子不久必将会到来。一个现实系统常常有许多可供选择的控制策略，我们的任务是寻找使系统能得到最好整体效益的控制策略。

（五）时序性 指任何系统都随时间而运动和发展，并在一定条件下转化为另一种形态的系统，因此，任何系统都是由若干个发展阶段组成的动态的过程系统，当系统处于缓慢量变阶段或系统变化所持续的时间与所研究系统的寿命相比，可以忽略不计，并且它的变化对系统功能的影响也可忽略不计时，就可静态地处理这种变化；当系统的量变积累到一定临界值而发生急剧质变时，系统结构、性能都发生重大变化，甚至可能解体重组，呈现出全新的功能，转化为新系统。在研究现实系统时，必须弄清系统所处发展阶段，预测

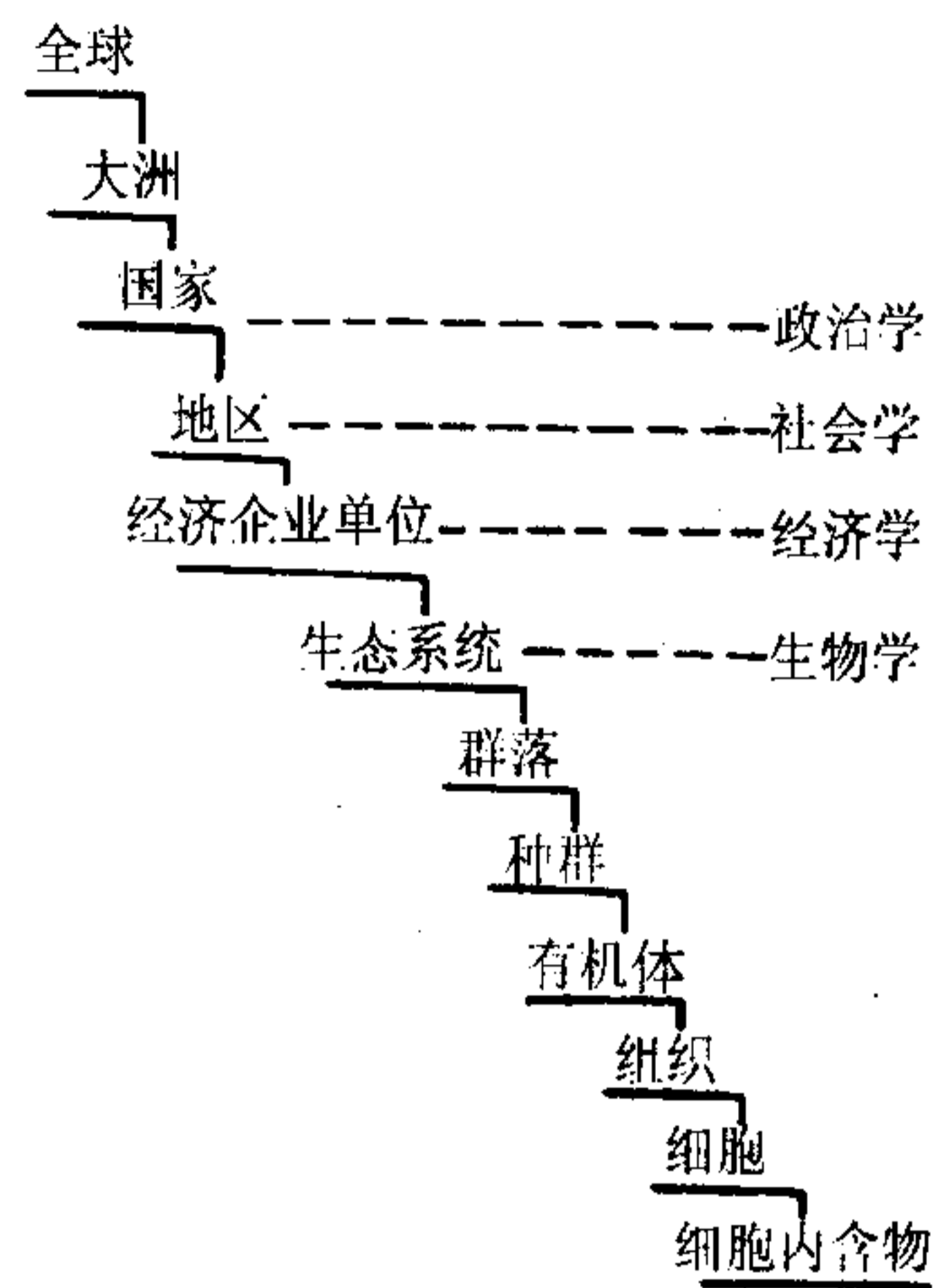


图 1-1 全球生态系统层次结构

其变化趋势和速度，制订相应的贮备措施，留有足够的发展余地，特别要注意系统不同发展阶段的更替或衔接。

四、系统的分类

为了从不同的角度研究问题，需要作不同的分类。下面介绍常用的几种：

(一) 自然系统与人工系统 这是按系统的生成来划分的。由自然物形成的系统称为自然系统，如太阳系、海洋系统、原始森林系统。由人工制成的各种元素形成的系统称为人工系统，如港口、城市、汽车、灌溉系统、人造森林等。实际上大多数系统是自然系统和人工系统的复合系统。许多人工系统是人们运用科学技术，认识并改造自然系统而形成的。如气象预报系统、广播系统等。实际工作中应强调人工系统和自然系统的协调。目前，特别要强调保护环境和防止污染。

(二) 开放系统、封闭系统与孤立系统 这是按系统与环境之间的输入输出情况来划分的。凡与环境有物质、能量、信息交换的系统称为开放系统；否则就称为孤立系统；仅有信息交换的系统称为封闭系统。例如，就是否有太阳能的直接交换而言，种植业生产系统是开放的，一般工业生产系统（不包括直接以太阳能为能源的工业）均为封闭的。但就原材料、资金、能源这些量而言，各类工业生产系统都是开放的。研究拖拉机结构时，可把拖拉机视作一封闭系统来分析各组成部分的功能。但在研究拖拉机配带农具进行农田作业的农业机械化生产过程系统时，拖拉机是一个子系统，整个系统要输入油料、劳力、各种农艺要求、输出机械能，牵引或驱动农具完成各项作业，因而这是一个开放系统。

(三) 动态系统与静态系统 这是按系统与时间的关系来划分的。动态系统的状态随时间而变化；静态系统的状态不随时间而变化。客观系统总是处于发展变化之中，所以，没有绝对静止的系统。静态系统是动态系统在某一时刻或某一时段的描述。反映某个时刻系统所处的状态、所具有的结构和功能。通常用代数方程式表示，不考虑输入和输出之间的时间滞后。动态系统反映发展过程中的输入输出关系，反映系统状态、结构、功能的演变过程和趋势，它以时间作为独立变量，通常用微分方程、差分方程或积分方程表示，考虑输入和输出之间的时间滞后。

(四) 开环系统和闭环系统 按输入与输出之间是否有反馈来划分。根据系统输出与预期要求间的偏差来调整下一次的输入，使系统输出逐渐逼近预期要求的系统就是有反馈的闭环系统。没有这种反馈的系统就是开环系统。自动调节温度的恒温箱是闭环系统，保温桶是开环系统。图 1-2 给出了开环系统与闭环系统的示意图。

(五) 白色系统、灰色系统和黑色系统 这是按人类对所研究系统的信息量的掌握程度来划分的。

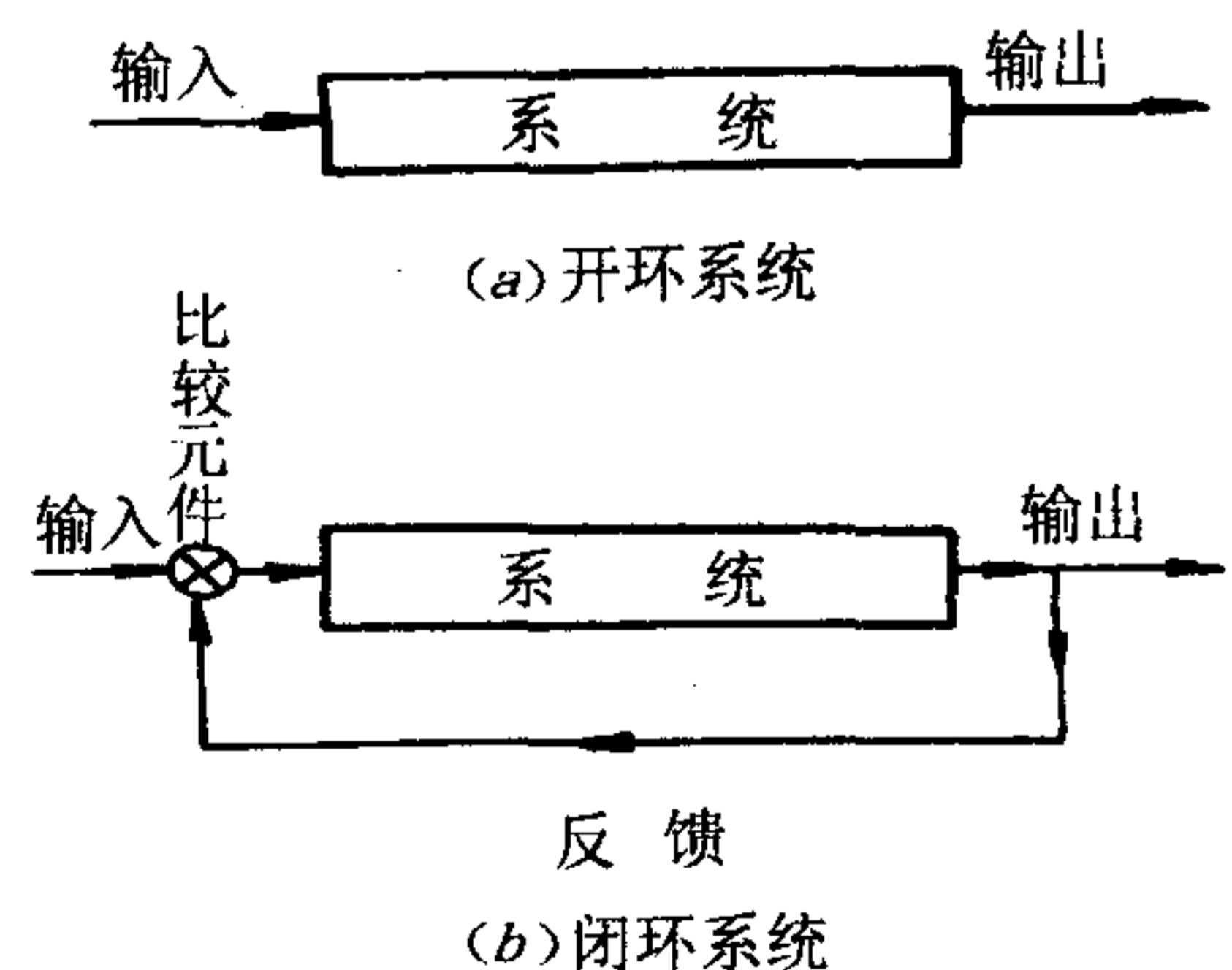


图 1-2 开环系统与闭环系统示意图

信息完全确知的系统称为白色系统。如一个学校是一个系统，有多少学生，多少教职工，教学计划的安排，每年毕业多少学生等都是很清楚的，这是白色系统。系统的信息为未知或非确知的称为黑色系统。如湖北的神农架野人、飞碟等。部分信息已知，部分信息未知或未确知的系统称为灰色系统。人体的身高、体重、血压、脉搏等是已知的；但人体穴位、经络的生物物理、生物化学的机理和性质、人体温度场等都还是未知的或未确知的。所以，人体系统是个灰色系统。

系统还可有其他许多分类：线性系统和非线性系统是按系统的输入输出关系能否满足齐次性条件和迭加原理来划分的，能满足的就是线性系统，不能满足的就是非线性系统。连续系统和离散系统是按描述系统输入输出和系统状态的函数的定义域是否连续来划分的。若该函数的定义域是连续的就是连续系统；若该函数的定义域是离散的就是离散系统。确定性系统和不确定系统是按系统实时输入和实时状态与下一个状态和实时输出的关系来划分的。当系统的实时输入和实时状态能明确唯一地规定下一个状态和实时输出时，这个系统就是确定性系统；否则就是不确定系统。

§ 1—2 系统工程及其发展过程

一、系统工程

(一) 系统工程的定义 系统工程是一般系统的组建和运行的工程技术。一般所说的工程，是指创造人类有用的物质条件，如机械工程、电气工程、水力工程、土木工程等，都是指一项具体物的设计、制造（建造）、经营管理。广义的工程概念则是指服务于某个特定目的的各项工作的总体。如果这个目的是系统的组建和运行管理，就是系统工程。

我国著名学者钱学森认为：“系统工程是一门组织管理技术”。“是组织管理系统的规划、研究、设计、制造、试验和使用的科学方法，是一种对所有系统都具有普遍意义的方法。”1967年日本的工业标准（JIS）规定：“系统工程是为了更好地达到系统目标，而对系统的构成要素、组织结构、信息流动和控制机构等进行分析和技术。”1975年美国科学技术辞典的定义是：“系统工程是研究彼此密切联系的许多要素所构成的复杂系统的设计的科学。在设计这种复杂系统时，应有明确的预定功能和目标，而在组成它的各要素之间及各要素与系统整体之间又必须能够有机地联系、配合协调，致使系统达到最优目标。在设计时还要考虑到参与系统中人的因素和作用”。

综上所述，系统工程是运用现代系统理论和方法，定性和定量相结合地研究系统的开发、组织、管理和评价等问题，使系统更好地实现预期目标的工程技术。

正如工程技术有各种门类一样，系统工程应用于社会、经济和工程技术的各个方面，就是各个专业的系统工程。如组织管理整个社会的社会系统工程；研究社会经济发展战略和战略规划，社会经济计划综合平衡，价格体系，经济政策和资源利用等的宏观经济系统工程；研究生态系统和环境保护的环境系统工程；研究农业发展战略和发展规划，农业政

策，农作物栽培技术规范，农作物合理布局，农业系统多层次开发利用等的农业系统工程；研究国防战略，作战模拟，武器装备发展规划的军事系统工程等。系统工程是一门跨学科的横断科学。必须发挥多学科专家的群体智慧。在现代科学技术迅速发展的今天，任何个人都不可能通晓所有学科，这一点就显得特别重要。另一方面，作为一门工程技术，要特别强调实践性，必须针对各项工程的实际情况，运用各门具体学科的知识和技术，才能在改造客观世界的实践中发挥作用。

(二) 系统工程在系统科学体系中的地位和作用 学科划分的依据是各门科学研究对象所具有的特殊的矛盾性。例如，力学中的作用与反作用，化学中的分解与化合，数学中的正数与负数，哲学中的唯心论与唯物论，形而上学与辩证法等。系统科学研究的是自然界与社会的各种具体系统的共同规律，抽象为一般系统的发展运动规律。主要涉及整体与部分，有序与无序的矛盾运动。它不同于专门研究自然界某一特定物质运动形式的特殊矛盾的自然科学，也不同于专门研究社会现象不同侧面的各门社会科学，它是一门贯穿各门自然科学和社会科学的横断科学。按着钱学森的论述（《论系统工程》湖南科学技术出版社，1982年），系统科学体系可以分为四个层次。最基础的层次就是系统工程，它是系统思想，系统理论和系统方法在实践中的应用。在这种实践基础上形成的系统科学体系，指导系统工程在认识客观世界和改造客观世界的实践中发挥更大的作用，同时也使系统科学体系得到丰富和完善。第二个层次是作为系统工程理论基础的技术科学。它是针对各专业系统工程实践中各种共性的技术问题而形成的理论和方法。包括运筹学、控制论和信息论等。第三个层次是基础科学，钱学森把它称为系统学，它研究系统的普遍属性，运动规律，系统的功能和结构关系，系统与环境的关系，系统内部与外部各种关系形成的机理，特别是系统有序结构的形成规律等。一般系统论、控制论、信息论、耗散结构理论、协同论、突变论、超循环理论等工程技术，自然科学和数学科学方面的成果，为系统学的建立准备了丰富的材料。钱学森认为，把上述各方面的材料溶汇贯通，综合发展，就可以建立起系统的一般理论——系统学。系统科学的最高层次是系统观（或系统思想），它是关于系统的基本概念和基本观点，是系统科学与它的哲学基础——辩证唯物主义——之间的桥梁。

二、系统工程的发展过程

1930年前后，一般系统论的创始人贝塔朗菲从对生物学的研究和观察出发，批判了生物科学中的机械论，指出了自然界和社会的各种表面上极不相同的领域中存在着某种共性，提出了一般系统论，为工程学的产生作好了准备。到40年代，美国贝尔电话公司在发展微波通讯网络时首先应用系统方法，并提出了“系统工程”这个名词。第二次世界大战期间，为对付德国飞机轰炸，英国于1940年8月建立了世界上第一个有组织地按系统观点，用系统工程方法分析和研究作战问题的小组。1942年3月美国建立了类似的组织。两国在反潜、反空袭、商船护航、布置水雷等军事行动中应用系统工程方法，取得了

良好效果。有 15 000 多参加者的美国研制原子弹的曼哈顿计划的顺利实现是系统工程的又一成功实践。第二次世界大战中发展起来的运筹学，奠定了系统最优化技术的数学基础。1945 年，应美国空军要求，建立了后来被称为“思想库”的兰德公司，在研究复杂系统的分析方法方面取得了很大成果。1948 年前后，美国麻省理工学院电气专家申农提出《信息论》，数学教授维纳提出《控制论》，大大推动了系统工程的发展。同一时期，在冯·诺依曼博士指导下，建成世界上第一台电子计算机，为系统工程提供了强有力的信息处理和运算工具。1957 年美国学者古德和迈克尔出版《系统工程》。1964 年美国召开首次系统工程年会，在美国宾夕法尼亚大学和亚利桑那大学先后建立系统工程专业和系，设置系统工程学位。进入 70 年代后，由于电子计算机的迅速发展和普及，系统工程广泛地应用到社会、经济、政治、技术、生态等各个方面。

系统工程有组织地在我国开展始于 20 世纪 50 年代中期。1956 年中国科学院力学研究所建立了我国第一个运筹学研究组。60 年代初，华罗庚教授在全国推广“统筹法”，取得显著成就。在国防科研部门建立的“总体设计部”，运用计划协调技术组织研制工作，开始有组织地应用系统工程的理论和方法。1978 年 9 月钱学森等在“文汇报”发表《组织管理的技术——系统工程》的文章。1979 年 10 月国防科委、中国科学院等单位在北京举行系统工程学术交流会，这次会上钱学森、关肇直等 21 位学者联合倡议成立中国系统工程学会。1980 年 11 月中国系统工程学会成立，钱学森、薛暮桥为名誉理事长，关肇直为理事长。出版会刊《系统工程理论与实践》。一些院校先后设立系统工程专业。1980 年 2 月中国科学院系统科学研究所成立。1980 年下半年举办了全国性的系统工程广播讲座和电视讲座。系统工程队伍日渐壮大，系统工程的研究也从初期的传播国外的理论、方法和应用，进到联系我国社会主义建设独立开展系统工程理论和方法的研究。在军事系统工程、社会经济系统工程、农业系统工程等方面已经取得了一批可喜的成果。1988 年 7 月中国系统工程学会与国际应用系统分析研究所发起，中国系统工程学会主办了第一届国际系统科学与系统工程会议。在我国社会主义现代化建设的进程中，系统工程必将发挥愈来愈重要的作用。

三、系统工程的技术基础理论简介

为使读者对系统工程的技术基础理论有一个概括的认识，下面就其主要方面分别作简要介绍。

(一) 运筹学 这是一门应用科学，其主要内容是应用近代数学的成就，特别是概率论、数理统计和计算数学方面的成就，来研究能够用数学语言表达的有关运筹活动的数量关系。是解决系统的规划、设计、协调、控制、评估等运筹活动问题，使系统发挥最佳整体效益的一门科学。运筹学内容很多，属于确定性的有线性规划、非线性规划、整数规划、图论和网络分析、最优控制理论等；属于随机性的有排队论、库存论、决策论、对策论、动态规划等。

(二) **控制论** 这是美国数学家维纳于 1947 年提出的, 是研究生物系统和非生物系统内部通信、控制和调整的一门科学。控制论有两个基本论点: 首先, 一切有生命和无生命的系统都是信息系统; 其次, 一切有生命和无生命的系统都是反馈系统。这里所说反馈是指把系统运行过程中偏离目标的信息, 传送给控制机构, 作出下一步决策, 修正下一步行动, 使系统逐步接近预期的目标。

(三) **信息论** 这是一门研究信息的获取、传送和处理的一般规律的科学。是美国电气专家申农于 1948 年提出的。它包括三个基本内容: 第一, 以编码为中心的信息理论。主要研究信息模型、信息度量、信息容量、信源统计特性、信源编码、信息编码等问题。第二, 以信号为主要对象的信息理论。包括信号和噪声的统计分析, 信号的过滤、预测、检测和估值等理论。第三, 以计算机为中心的信息理论。包括语言、文字、图象的模式识别、自动机器的翻译和学习理论等。

(四) **突变论 (catastroph theory)** 是法国数学家托姆 1972 年创立的。突变论运用拓扑学、奇点和非稳定性理论来研究自然界各种形态、结构和社会经济活动的不连续过程(有质的突变的过程)的数学理论。托姆提出了尖顶、折叠、燕尾、蝴蝶、双曲式、椭圆式和抛物式七种基本突变模型。并证明: 如果控制因素不超过四个, 就只可能有这七种基本突变形态。突变论用数学形式描述了事物由无序到有序, 由旧序到新序, 以及由有序到无序等量变到质变的过程。为研究系统突变过程提供了定量分析方法。

(五) **耗散结构理论 (dissipative structure theory)** 这是比利时布鲁塞尔学派创始人普利高津教授在 1967 年创立的一种建立在非平衡态热力学和统计物理学基础上的理论。耗散结构理论认为: 一个处在远离平衡态的非线性区的开放系统, 在一定外界条件下, 与外界交换能量和物质的过程中, 通过能量的耗散和内部的非线性动力机制, 经过突变能够形成和维持宏观的时空有序结构。由于这种结构是在不断耗散能量的条件下才能实现的, 所以称为耗散结构。例如, 一座城市每天必须输入食品、燃料、日用品和信息; 同时每天输出各种产品、废料和信息。只有这样才能保持城市稳定的秩序, 所以它是一个耗散结构。耗散结构理论的两个基本观点是: 第一, “非平衡是有序之源”。即只有处于远离平衡态的、内部各元素之间存在非线性机制的开放系统, 才有可能产生有序化过程, 形成非平衡态的稳定有序结构。第二, “通过涨落达到有序”。即系统微观的随机小扰动, 因非线性机制而放大成宏观的巨涨落。当这种巨涨落超过系统的承受能力(惯性)时, 系统就进入了不稳定态, 并进而形成新的稳定的有序结构。耗散结构理论有效地推进了系统自组织理论的发展。普利高津因耗散结构理论的研究及其应用在化学方面所取得的成就而荣获 1977 年诺贝尔化学奖。

(六) **协同论 (synergetics)** 1977 年西德斯图加特大学理论物理学教授赫尔曼·哈肯出版《协同论导论》一书, 标志着协同论的正式建立, 1983 年又出版《高等协同论》。它与耗散结构理论不同的是, 它不但研究系统从无序到有序, 从原来的有序达到新的有序, 还研究当外参量增大到某种限度时, 系统从有序走向混沌的变化, 这里所说的混沌指无规