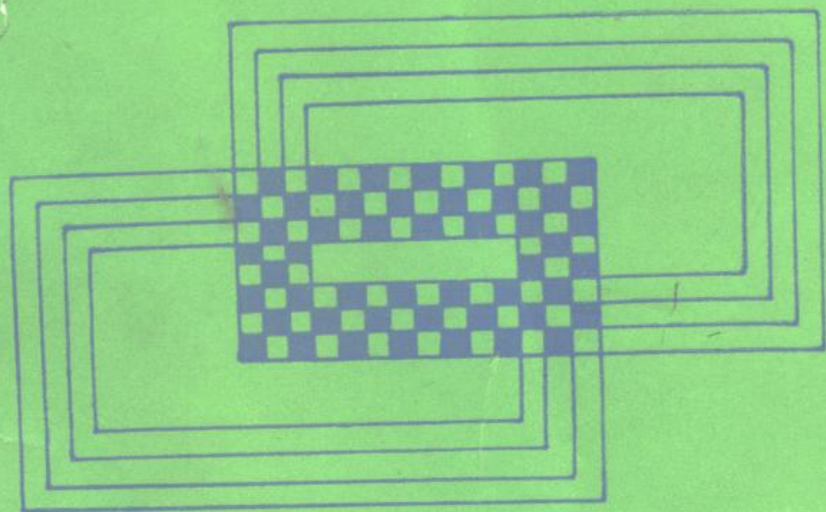


# 系统工程及其应用

汪应洛 陶谦坎 编著



科学出版社

# 系统工程及其应用

汪应洛 陶谦坎 编著

科学出版社

## 内 容 简 介

本书系统地介绍了系统和系统工程的基本概念、发展历史、基础理论及方法论，同时还介绍了解决实际问题时常用的系统工程技术。对介绍的每一种方法均附有简明的例题，便于读者通过例题掌握基本概念和初步运用该技术的方法。书中编入的五个案例是作者及其同事近年来从事科学研究的成果。

本书可供管理干部、工程技术人员、大学生、中学教师阅读。

## 系统工程及其应用

汪应洛 陶谦坎 编著

责任编辑 毕颖

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码：100707

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经营

1990年2月第一版

开本：787×1092 1/32

1990年2月第一次印刷

印张：7 1/2

印数：0001-3,050

字数：170 000

ISBN 7-03-001507-X/Z·74

定价：4.20元

# 前 言

系统工程是在20世纪中期才开始兴起的一门边缘性工程技术。它把自然科学和社会科学中的一些思想、理论、方法等根据系统总体协调的需要,有机地联系起来,逐步形成了“系统工程”这门交叉学科。

由于近代工农业、科学技术和国防的迅速发展,出现了许多规模庞大、构造复杂、影响因素众多的大系统,诸如大型水利工程系统、跨区域电网系统、综合交通运输系统、军事指挥系统以及社会经济系统等。这类系统往往是多输入、多输出的人机系统。系统工程就是研究这类系统的机制及运动发展规律的一门新兴学科,它是从整体上使大系统达到最优设计、最优控制、最优管理,从而最充分地发挥人力、物力、财力的作用,力求获得最大限度的技术经济效益,为社会创造更多的财富。系统工程是在运筹学、大系统理论、现代管理科学等学科发展过程中,相互渗透、交叉发展起来的一门工程技术,并在广泛使用现代数学、电子计算机等先进工具的基础上充实发展起来的。

系统工程在国外发展的历史虽不很长,但近20余年来发展较快,在军事技术系统、航天系统、大型工程系统等方面都得到了广泛的应用。近10余年来又在社会经济系统中获得充分的重视和应用,逐步形成了比较完善的理论和方法。我国系统工程的研究与应用可以追溯到50年代后期,但直到70年代末才引起有关领导部门的重视,并将系统工程列为国家长远科技规划的重点项目之一。近年来,我国在系统工程应用

研究方面做了不少工作，取得了许多科研成果，如2000年的中国、许多省市的“区域发展战略与长远规划”、人口系统工程、人口与经济协调发展规划、全国专门人才规划、全国教育规划、大型工程综合效益评价等。反过来，这些研究成果对系统工程理论和实践又作出了积极的贡献。

为了使广大干部，特别是管理干部、科技人员和广大青年了解系统工程，我们编写了本书。我们希望通过本书能使读者基本了解系统概念和系统工程的基本内容，同时，通过应用案例的介绍，启发和引导读者能在各自的工作领域内应用系统工程的方法。

系统工程涉及的知识面非常广泛，限于我们的水平和本书的篇幅，书中不妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

# 目 录

前 言 .....	( iii )
第一章 系统与系统工程 .....	( 1 )
§ 1-1 系统的基本概念 .....	( 1 )
§ 1-2 系统工程是一门软科学 .....	( 6 )
§ 1-3 系统工程的发展历史 .....	( 10 )
§ 1-4 系统工程的应用 .....	( 17 )
第二章 系统工程的基础理论 .....	( 21 )
§ 2-1 大系统理论 .....	( 21 )
§ 2-2 运筹学 .....	( 26 )
§ 2-3 管理科学 .....	( 35 )
第三章 系统工程方法论 .....	( 44 )
§ 3-1 系统思想 .....	( 45 )
§ 3-2 霍尔方法论 .....	( 48 )
§ 3-3 切克兰德方法论 .....	( 51 )
第四章 系统分析 .....	( 54 )
§ 4-1 基本概念及作用 .....	( 54 )
§ 4-2 系统分析要素及步骤 .....	( 57 )
§ 4-3 系统分析原则 .....	( 61 )
第五章 系统模型及模型化技术 .....	( 65 )
§ 5-1 模型的定义及其分类 .....	( 65 )
§ 5-2 系统工程中常用的一些模型 .....	( 68 )
第六章 系统评价与决策分析 .....	( 125 )
§ 6-1 系统评价 .....	( 125 )
§ 6-2 决策分析 .....	( 149 )
第七章 战略研究 .....	( 176 )

§ 7-1	战略的概念及其基本特征	( 176 )
§ 7-2	战略研究的重要意义和历史实践	( 179 )
§ 7-3	战略研究的内容	( 183 )
§ 7-4	战略研究方法论	( 187 )
第八章	系统工程在社会经济系统中的应用	( 193 )
§ 8-1	肉牛发展前景预测及发展策略的研究——案例之一	( 195 )
§ 8-2	地区经济发展优化模型——案例之二	( 203 )
§ 8-3	陕西旅游业的系统分析——案例之三	( 211 )
§ 8-4	能源基地发展战略的研究——案例之四	( 220 )
§ 8-5	人口系统工程——案例之五	( 226 )
参考文献		( 234 )

# 第一章 系统与系统工程

## § 1-1 系统的基本概念

半个多世纪以来,在国际上“系统”作为一个研究对象引起了很多学者的注意。“系统”吸引了众多领域的专家从事研究和应用,并逐步形成了一门新兴的学科。

系统这一概念来源于人类长期的社会实践,但人类认识现实世界的过程,是一个不断深化的过程。在古代,由于缺乏观察和实验的手段,科学技术理论又很贫乏,对很多事物只能看到一些表面现象。随着科学技术的进展,人们认识客观事物的能力增强了,但却受到世界观的局限,往往又只能深入地观察到一些局部现象而不能纵观整体,以致只见树木而不见森林。只有到近代,发达的科学技术使人们对客观世界的认识不断深化,在对个体、局部有了更多、更深的了解以后,再把这些分散的认识联系起来,进行综合分析,才能既看到了事物的整体,又看到构成整体的各个部分之间的相互联系,才能逐步地形成科学的系统观。

朴素的系统概念,在古代的哲学思想中已有所反映。古希腊的唯物主义哲学家德谟克利特(Democritus,约公元前467—公元前370)就曾论述“宇宙大系统”这个命题。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。古希腊的另一位著名学者,亚里士多德(Aristoteles,公元前384—公元前322)关于整体性、目的性、组织性的观点,关于构成事物的目的因、动



力因、形式因和质料因的思想,以及关于事物的种属关系的思想,可以说是古代朴素的系统观念。我国春秋末期思想家老子就曾阐明自然界的统一性,用朴素的系统观考察自然现象。中国古代朴素的唯物主义哲学思想,把宇宙作为一个整体系统来研究,探讨其结构的变化和发展,以认识人类赖以生存的大地所处的位置和气候环境的变化规律,及其对人类生产和生活的影响。例如,在《晋书·天文志》中记载了出现于殷周之际的“盖天说”,曾直观地认为“天圆如盖,地方如棋局”;认为“浑天如鸡子,天体圆如弹丸,地如鸡子中黄,孤居于内,天大而地小”。西周时代出现了用阴阳二气的矛盾来解释自然现象,产生了“五行”观念,认为金、木、水、火、土是构成世界大系统的五种基本物质要素。在《易经》中提出了阴阳八卦的学说,阐明了事物的普遍联系中存在着相辅相克的辩证关系。在东汉时期张衡提出了“浑天说”。现代耗散结构理论的创始人I. 普里高津(I. Prigogine)在“从存在到演化”一文中指出:“中国传统的学术思想是着重于研究整体性和自发性,研究协调及和谐”。但是,当时却缺乏对整体中各个细节的认识能力。直到15世纪下半叶,近代科学开始兴起,发展了研究自然界的独特的分析方法,包括实验、解剖和观察,把自然界的细节从总的联系中抽出来,分门别类地加以研究。这就是在哲学史上出现的形而上学的思维方法。19世纪上半期,自然科学取得了伟大的成就,特别是能量转化、细胞和进化论的发现,使人类对自然过程的相互联系的认识有了很大的提高。恩格斯在1886年就对系统的哲学概念作了精辟的论述,他指出:“旧的研究方法和思维方法,黑格尔称之为‘形而上学’的方法,主要是把事物当作一成不变的东西去研究,它的残余还牢牢地盘踞在人们的头脑中,这种方法在当时是有重大的历史根据的。必须先研究事物,而后才能研究过程。必

须先知道一个事物是什么,而后才能觉察这个事物中所发生的变化。自然科学中的情形正是这样。认为事物是既成的东西的旧形而上学,是从那种把非生物和生物当做既成事物来研究的自然科学中产生的。而当这种研究已经进展到可以向前迈出决定性的一步,即可以过渡到系统地研究这些事物在自然界本身中所发生的变化的时候,在哲学领域内也就响起了旧形而上学的丧钟”<sup>1)</sup>。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。这也就是系统概念的实质。当然,现代科学技术对于系统思想的发展是有重大贡献的。社会实践活动的规模日益扩大和日趋复杂,要求系统方法不仅能定性,而且能定量,这就促进了系统方法的定性分析和定量分析相结合,形成了一套科学的系统分析方法,而系统思想是进行分析与综合的辩证思维工具。

## 一、系统的定义

系统是由具有特定功能的、相互间具有有机联系的许多要素构成的一个整体。在韦氏大辞典中系统一词被解释为:“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的集合”等。在日本的JIS工业标准中,“系统”被定义为:“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,L. V. 贝塔朗菲(L. V. Bertalanffy)把“系统”定义为:“相互作用的诸要素的集合体”。

综上所述,一个形成系统的诸要素的集合永远具有一定

1) 《马克思、恩格斯选集》第四卷,第240—241页,人民出版社,1972年第一版。

的特性,或者表现一定的行为,而这些特性或行为是它的任何一个部分都不能做到的。系统是一个可以分解成许多部分的整体,而不是一个不可分解的庞然大物。但从系统功能的观点来看,它又是一个不可分割的整体,如果硬把系统拆开,那么它将失去其原来的功能。例如,人体就是一个非常典型的系统,它是由大脑、神经系统、内脏系统、四肢、五官系统等相互间具有有机联系的要素所构成的一个整体,它具有特定的功能。中医的辩证治疗思想,正是建立在系统观念的基础上。我们说人能写字,具体说手能写字,如果有人把手从人体中割裂开来,那么手是不可能写字的,因为手要依靠大脑、神经系统、四肢等相互联系的作用才具有写字的功能。

在物质世界中,一个系统中的某一部分同样可以被看成是一个系统,而每一个系统又可以成为一个更大系统的一个部分。在现代社会,人们倾向于把事物看成是一个大系统的整体的一部分,而不是把整体拆分成许多互不联系的局部。这是一种综合的思想方法,即系统方法。

## 二、系统的特性

一般系统都具有下述特性:

1. 整体性 系统是由两个或两个以上的可以相互区别的要素按照作为系统整体所应具有的综合整体性而构成的。系统具有集合性,它是为达到系统基本功能要求所必须具有的组成要素的集合。构成系统的各要素虽然具有不同性能,但它们是根据逻辑统一性的要求而构成的整体。系统不是各个要素简单的集合,否则它就不会形成整体的特定的功能。因此,即使每个要素并不都很完善,但它们也可以综合、统一成为具有良好功能的系统。反之,即使每个要素都是良好的,

但作为整体却不具有良好的功能,也就不能称之为完善的系统。系统是一个复杂的整体,为了便于管理和控制,往往把系统整体分解成一个多层次结构,使系统具有阶层性,即系统要素及其相互关系在功能分布和执行中的位置和从属关系。为了保证系统的整体性,还必须充分注意系统的各个层次和各个组成部分的协调与联结,并按照系统整体目标,提高系统的有序性,尽量避免系统的“内耗”,提高系统整体运行的效果。

2. 相关性 系统内各要素之间是有机联系的、相互作用的。在这些要素之间具有某种相互依赖、相互制约的特定关系。例如,对于电子计算机系统来说,有运算器、控制器、存储器、输入输出设备等各种硬件和操作系统、程序、计算机语言等各种软件,都是构成要素。它们之间通过特定的联系,有机结合在一起,就形成一个具有特定功能的计算机系统。研究系统的相关性,不仅要深入了解各要素相互之间的定性关系,而且要定量地掌握其中相互关系的程度。

3. 目的性 通常系统都具有某种目的。要达到既定的目的,系统都具有一定的功能,而这正是区别这一系统和那一系统的标志。一个大规模复杂系统往往不是只有一个目的,而是有多种目的,其中有些是一致的,有些是不完全一致的,甚至是相互制约的。因此,对于一个多目标系统,还要协调各个目标之间的关系。

4. 环境适应性 任何一个系统都存在于一定的物质环境之中,必然要与外界环境产生物质的、能量的、信息的交换,外界环境的变化必然会引起系统内部各要素之间的变化。系统必须灵敏地适应外部环境的变化。

## § 1-2 系统工程是一门软科学

用系统思想和系统方法处理大规模复杂系统的问题，无论是系统的设计和组织实施，还是系统的经营管理，都可以统一地看成是社会工程实践，统称为系统工程。

由于系统工程是一门新兴的边缘科学，尚处于发展阶段，还不够成熟，国内外学者对系统工程的解释是不完全一致的，仅举几例供学习参考。

1. 1978年我国系统工程的先驱者——钱学森教授指出：“系统工程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科学方法。”“系统工程是一门组织管理的技术。”钱学森教授还在阐明现代科学技术的体系结构的基础上，进一步阐明了系统科学的体系结构。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（例如，运筹学、控制论、信息论这类技术科学）以及它们的基础理论（系统学）所组成的一门新兴科学技术。

2. 1967年美国著名学者切斯纳特(Chestnut)指出：“系统工程认为虽然每个系统都是由许多不同的特殊功能部分所组成，而这些功能部分之间又存在着相互关系，但是每一个系统都是完整的整体，每一个系统都要求有一个或一定数量的目标。系统工程则是按照各个目标进行权衡，全面求得最优解的方法，并使各组成部分能够最大限度地相互适应。”

3. 1967年日本JIS工业标准规定：“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与设计的技术。”

4. 1977年日本学者三浦武雄指出：“系统工程与其它工

程学不同之处在于它是跨越许多学科的科学，而且是填补这些学科边界空白的一门边缘科学。系统工程的目的是研制系统，而系统不仅涉及到工程学领域，还涉及到社会、经济和政治等领域。为了解决这些领域的问题，除了需要某些纵向技术以外，还要有一种技术从横的方向把它们组织起来。这种横向技术就是系统工程，也就是研制系统所需的思想、技术、方法和理论等体系化的总称。”

由于国际学术界往往把系统分析作为系统工程的同义词来理解，因此我们例举几个国家大百科全书对系统分析的解釋供学习参考。

**《美国大百科全书》** 系统分析是研究相互影响的因素的组成和运用情况。这些因素及其相互的影响完全可能是抽象的，如使用数学方法；也可能是具体的，如运输系统、工业生产系统等。系统分析显著的特点是完整地、而不是零星地处理问题，这就要求人们考虑各种主要的变化因素及其相互的影响。运用这种方法常常可以更好地、全面地解决问题。因此，系统分析的意思就是用科学和数学方法对系统进行研究和运用。

**美国《麦氏科学技术大百科全书》** 系统分析是运用数学方法研究系统的一种方法。系统分析的概念是对研究对象（系统）建立一种数学模型，然后进行数学分析，并将分析的结果运用于原来的系统。

**日本《世界大百科年鉴》** 系统分析是人们为了从系统的概念上认识社会现象，解决诸如环境、城市等复杂问题而提出的从确定目标到设计手段的一整套方法。系统分析还可以作为系统工程的同义词来理解。系统分析的用处是：通过明确一切和问题有关的要素同实现目标之间的关系，提供完整的资料，以便决策者选择最合理的解决方案。

由于复杂的大系统受到复杂的社会、经济和技术因素的影响,因此,分析过程中就必然夹杂决策者个人的价值观和对变化不定的未来的主观臆断或理性判断。这样,从方法论上看,系统分析不仅需要计算,还需要依据直观和经验进行判断。

综上所述,系统工程是以研究大系统为对象的一门跨学科的边缘科学。它是把自然科学和社会科学中的某些思想、理论、方法、策略和手段等根据总体协调的需要,有机地联系起来,把人们的生产、科研或经济活动有效地组织起来,应用数学方法和电子计算机等工具,对系统的构成要素、组织结构、信息交换和反馈控制等功能进行分析、设计、制造和服务,从而达到最优设计、最优控制和最优管理的目标,以便最充分地发挥人力、物力的作用,通过各种组织管理技术,使局部和整体之间的关系协调配合,以实现系统的综合最优化。

也有人将系统的分析、综合、模拟、最优化等,称为狭义的系统工程;为了合理地进行系统的研制、设计、运用等工作所采用的思想、程序、组织、方法等内容则是广义的系统工程。

系统工程在自然科学与社会科学之间架设了一座沟通两大学科门类的桥梁。现代数学方法、模拟实验方法和优化方法等定量分析方法,通过系统工程,为社会科学研究增强了极为有用的手段和方法。系统工程为从事自然科学和社会科学研究的人员相互结合,开辟了广阔的道路。

系统工程是一门工程技术,但它与机械工程、电子工程等其它工程学的某些性质不同。各门工程学科都以其特定的工程物质为对象,而系统的研究对象,则不限于某种特定的工程物质对象,任何一种物质系统都能成为它的研究对象,而且还不只限于物质系统,它可以包括自然系统、社会经济系

统、经营管理系统、军事指挥系统等等。由于它处理的对象主要是信息，在国外有些学者认为系统工程是“软科学”。

当代国际社会非常重视软科学的发展和运用。软科学的研究要求树立系统观点，注意定性分析和定量分析相结合，建立快速的信息反馈系统，确定新的知识价值观，以完善决策的科学化和民主化。我国的软科学研究还处于开始阶段，还未引起足够的重视，但软科学对于我国的社会主义现代化建设是十分重要的。在党的基本方针政策确定以后，还需要对大量社会发展、经济、科学文化建设等作出相应的决策，包括发展战略、长远规划、制订政策和法规等等。历史的经验证明，在决策过程中，勇气和魄力是重要的，但如果没有科学数据的支持，没有科学的系统分析，就难以避免受个性和偏见的左右。一项政策的制订是一个长期的动态过程，只看瞬间、局部是不可能看清它的正确与否的。要解决这个问题，一个重要的科学方法就是要作定性和定量相结合的系统分析。在对重大的经济、技术问题进行决策时，要作定量的趋势预测、定量的状态分析和动态规律的分析。同时，要有完善的信息系统加以支持，能迅速得到各种有用的信息和数据，作为决策的依据。要建立一整套严格的决策制度和决策程序，建立和健全决策支持系统、咨询系统、评价系统、监督系统和反馈系统，从而使决策的科学性可以受到检验，决策的失误可以受到及时有效的监督。所有这些都是系统工程可以研究的问题。

在对一个地区进行宏观战略研究时，人们总是希望建设速度快一些，人民生活水平提高快一点，但能否实现这个目标，要受该地区的人口、资源、资金、能源、科技人才等多项条件的制约，并需要服从全国大局的要求。因此在制订地区的发展战略时，就不能孤立地考虑问题，而需要树立系统观念，运用系统工程方法。



## § 1-3 系统工程的发展历史

社会生产的需要,是科学技术发展的动力.系统工程作为一门工程技术虽然形成于本世纪50年代的西方,但系统工程的思想和方法的运用则可以追溯到古代.中华民族的祖先在大量社会实践活动中,在改造自然中,认识了自然界各种复杂的事物,做出了许多充分体现系统思路的工程技术的典范事例.

### 一、朴素的系统概念在我国古代的自发应用

战国时代(公元前250)秦国太守李冰父子主持修建了驰名中外的四川都江堰水利工程就是一例.该项工程包括三个主要部分,“鱼嘴”是岷江分洪工程,“飞沙堰”是分洪排沙工程,“宝瓶口”是引水工程,三个部分巧妙地结合成为一个工程整体.根据今天的试验,工程在排沙、引水、防洪等方面都作了精确的数量分析,使工程兼有防洪、灌溉、漂木、行舟等多种功能.由于在渠道上设置了水尺测量水位,合理控制分水流量,使工程不仅分导了汹涌急流的岷江,而且化害为利,利用分洪工程,有节制地灌溉了14个县的几百万亩农田.该工程不仅在施工时期有一套管理办法,还建立了持续不断的维修保养制度,每年按规定淘沙修堤,使工程经久不衰,至今仍充分发挥它的效益.都江堰水利工程体现了非常完善的整体观念、优化方法和开放的、发展的系统思路,即使从现在的观点看,仍不愧是世界上一项宏伟的系统工程建设.

另一个事例是宋真宗时,皇城失火,宫殿烧毁,派大臣丁渭主持皇宫修复工程.丁渭经过通盘筹划,提出了一个巧妙