

系统工程学概述

郑 春 瑞 编 著

科学技术文献出版社

简 介

《系统工程学概述》这本书，是由浅入深具有向导性的入门读物。其内容共有六章，主要是阐明系统工程学的基本概念及其发展历史，对系统工程学的几个基础理论——控制论、信息论和运筹学做了扼要说明，并着重介绍了预测、仿真、评价、决策以及电子计算机系统的应用，指出了为实现系统所必需的途径、方法与步骤，最后对系统工程学的现状与展望做了估计。此外，为便于读者理解，还在适当的部分附有必要的图表与实例。本书可供从事系统工程的科技人员和大专院校师生们参考，对于对系统工程学感兴趣的人员或领导干部也有所裨益。

系 统 工 程 学 概 述

郑 春 瑞 编 著

出版者：科学技术文献出版社

印刷者：重 庆 印 制 一 厂

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

开本：850×1168 $1/32$ 印张：7.5 字数：195千字

1981年1月北京第一版第一次印刷

印数：1—8700册

科技新书目：178—28

统一书号：17176·236 定价：1.30 元

序 言

20697/11
现代科学技术的特点，大体上可概括为：大量的研究课题是跨学科的，具有广泛的渗透性；而获得新的科学技术成果难度又较大，其代价也越来越高。

例如为实现社会主义的“四个现代化”，越来越多地要求发展大规模系统，其中包括：铁路、公路、航海、航空的交通运输系统；邮政、通信、电报、电话、电视、监控等信息传输系统；城市改造、新建和海洋开发的建设系统；以及大规模的复杂的机械制造系统、石油化工系统、矿山冶金系统等等。这样的大规模系统，必须调动大量的人力、物力、财力和先进的技术装备，并采用最先进的科学技术，具备最严密的组织和完整的科学方法，进行坚持不懈的努力才能完成。尤其重要的是，要把各种各样的科学技术高度地综合起来，加以利用，才能适应社会的发展和科学技术进步的要求。因此，一门横跨许多专业领域的高度综合的科学——系统工程学就应运而生了。

但是系统工程学的发展历史还很短，人们对它的认识和评价也正在逐步深入之中，国内外的专家、学者也有不尽相同的定义和理解，在我国则更加难免有种种不同的看法或疑问。如认为系统工程学只是为设计特定产品服务的，或者是电子计算机加管理，也许是一门组织管理的科学，既然叫工程学就是创造物质的科学，甚至还有把系统与系统工程学混为一谈的。诚然，系统工程学尚在发展之中，其理论与方法也还不够完善，~~有的也在急剧地发展和变化~~，将来的形象很难预料。

不过，就目前情况来看，~~自~~现代系统工程学是在控制论、信息论、运筹学、管理科学和系统科学等的基础上，利用电子计算机

发展起来的。其本质是从整体出发运用一系列的科学方法寻求系统的最优化。这也许就是亚里斯多德关于“全体大于部分的总和”的预言，在当今社会中的体现，即全系统的功能大于分系统（子系统）功能的总和。

本书分为六章：第一章阐明了系统工程学的基本概念及其发展简史；第二章概述了系统工程学的基础理论，包括控制论、信息论和运筹学三个主要组成部分；第三章突出说明了系统工程学的重要手段，如预测、仿真和电子计算机的应用系统；第四章着重论述了系统的评价与决策；第五章也是最重要的一章，较深入地介绍了系统的途径与实现，尤其是以实例说明了构成系统的步骤与方法；第六章作为结束语，扼要地估计了系统工程学的现状与展望。

本书的内容从浅入深，但也只是一种概括性的论述，可供国内从事系统工程的同志和大专院校的师生们参考。编者的愿望是能对祖国的“四个现代化”建设作出一点点贡献，但由于水平有限，不妥或错误之处一定不少，诚恳地希望读者批评指正。

郑春瑞

一九七九年九月二十八日

目 录

第一章 系统工程学的概念及其发展简史	(1)
一、系统工程学的概念	(1)
[1] 系统与工程的一般概念	(1)
[2] 什么叫系统	(2)
[3] 什么叫系统工程学	(4)
二、系统工程学的发展历史和应用范围	(8)
[1] 系统工程学的历史	(8)
[2] 系统工程学的应用范围	(11)
三、系统工程学的结构与世代	(13)
[1] 系统工程学的结构	(13)
[2] 系统工程学的世代	(15)
四、系统工程学与其他科学的关系	(18)
[1] 系统工程学与基础科学的关系	(18)
[2] 系统工程学的途径与各种科学技术的关系	(20)
[3] 系统理论和数学各分支的关系	(20)
第二章 系统工程学的基础理论	(22)
一、控制论	(23)
[1] 线性和非线性系统理论	(23)
[2] 概率控制过程和统计方法的应用	(24)
[3] 最优控制理论	(25)
[4] 自适应、自学习和自组织系统的理论	(26)
[5] 模糊理论	(27)
[6] 系统识别理论	(28)

.. 11 ..

35687

[7]	大系统理论	(29)
[8]	自动控制理论	(30)
二、	信息论	(31)
[1]	概要	(31)
[2]	信息的获取	(32)
[3]	信息的传输	(33)
[4]	信息的处理	(33)
[5]	处理结果的输出	(34)
三、	运筹学	(35)
[1]	线性规划	(37)
[2]	非线性规划	(38)
[3]	动态规划	(39)
[4]	对策论	(40)
[5]	排队论	(41)
[6]	搜索论	(42)
[7]	网络理论	(42)
[8]	调度理论	(45)
[9]	库存理论	(46)
[10]	极大值原理	(50)
[11]	蒙特卡罗法	(52)
[12]	优选法	(52)
[13]	决策论	(53)
[14]	算法论	(54)
[15]	拉普拉斯变换和傅里叶变换	(54)
第三章	系统工程学的手段	(57)
一、	预测技术	(57)
[1]	探索性的预测技术	(57)
[2]	规范性的预测技术	(59)
[3]	直观性的预测技术	(59)

[4] 需要预测技术·····	(60)
二、仿真与构型技术·····	(62)
[1] 概要·····	(62)
[2] 模型的种类及其应用·····	(63)
[3] 仿真的顺序·····	(64)
[4] 仿真技术·····	(65)
[5] 仿真技术在大系统中的应用·····	(66)
[6] 构型(构造模型)·····	(67)
[7] 联机模型的构造·····	(68)
三、电子计算机的应用系统·····	(70)
[1] 计算机系统的简单结构·····	(71)
[2] 分级计算机系统·····	(72)
[3] 多重计算机系统·····	(74)
[4] 闭环结合系统·····	(76)
[5] 大规模计算机系统·····	(77)
[6] 计算机网络·····	(79)
[7] 软件在系统工程中的应用·····	(84)
[8] 软件与软件工程·····	(84)
[9] 系统程序设计语言·····	(87)
[10] 计算机仿真语言·····	(89)
[11] 数据库·····	(102)
第四章 系统的评价与决策·····	(105)
一、评价与决策·····	(105)
二、计划阶段的评价·····	(107)
[1] 矩阵评价法·····	(107)
[2] 费用——效果分析·····	(118)
[3] 多目标系统的评价·····	(120)
[4] 技术再评价·····	(122)
三、设计阶段的评价·····	(124)

[1]	系统的综合评价	(125)
[2]	系统的单项评价	(133)
[3]	在系统评价中电子计算机的应用	(135)
四、	可靠性的评价	(137)
[1]	可靠性的理论	(137)
[2]	可靠性的评价尺度	(138)
[3]	系统寿命的分布	(139)
[4]	系统的可靠性	(140)
第五章	系统的途径与实现	(142)
一、	系统工程学的实施顺序	(142)
[1]	美国空军的例子	(142)
[2]	IBM公司的例子	(143)
[3]	霍耳方式	(144)
[4]	三浦方式	(147)
[5]	系统工程实施的一般顺序	(150)
二、	系统计划	(153)
[1]	计划的意义及其基本内容	(153)
[2]	系统计划	(153)
[3]	人员计划	(159)
三、	系统设计	(161)
[1]	系统的外部设计和内部设计	(163)
[2]	系统的剖分与合成	(165)
[3]	系统设计的步骤	(166)
[4]	系统的功能分配	(168)
[5]	计算机在系统设计中的应用	(177)
四、	系统管理	(186)
[1]	系统管理的重要性	(186)
[2]	系统管理体系	(187)
[3]	制造业的集成生产系统	(192)

[4]	调度管理·····	(199)
[5]	价值工程和预算管理·····	(201)
[6]	结构管理·····	(203)
[7]	常用的几种管理技法·····	(206)
五、	系统途径的实例·····	(215)
[1]	国际航空货物运转系统·····	(215)
[2]	宇宙空间飞行器的研制·····	(220)
第六章	系统工程学的现状与展望·····	(226)
一、	系统工程学的现状·····	(226)
二、	系统工程学的展望·····	(228)
[1]	宇宙空间的开发·····	(229)
[2]	海洋的开发·····	(229)
[3]	人口问题的处理·····	(229)
[4]	系统工程学应用范围的扩大·····	(230)

第一章 系统工程学的概念 及其发展简史

一、系统工程学的概念

系统工程学这个词来源于英文“*System Engineering*”或“*Systems Engineering*”，简称“SE”，也叫系统工程。

[1] 系统与工程的一般概念

必须首先指出，系统工程学中的系统与工程均有其特殊的含义。它所说的系统是一种有意识的组织或研制的对象，区别于天然就有的或自然形成的系统。而所谓的工程，其含义也远远超过一般工程学的范围，除了自然科学领域的工程以外，还包括社会科学范畴的某些内容。

其次是，为了分析“系统工程”这个词的本来意义，我们不妨把它分解为“系统”和“工程”两个部分加以探讨。所谓系统是指组织、机构、体系、体制、制度、方式、方法、秩序、规律、分类和系列而言的。系统的对立面是混乱。为了避免混乱，即使在日常生活中也往往强调系统化。对于无秩序的混乱事物或某些杂乱的集聚状态来说，系统则表现为实现某个目标而建立起来的秩序。所谓工程是与一般工程不同的。一般工程，人们都很熟悉，如机械工程、电气工程、水利工程和土木工程等，其含义是创造人类有用的物质条件，即造物的工作。而系统工程中所谓的工程多指“完成”、“组织”、“安排”，也就是为完成某项任务提供决策、计划、方案、方法和工作顺序等，以保证任务完成得最好。在此，也可以作狭义和广义的理解：所谓狭义工程学就是“造物”的学问，亦即创造物质财富的学问；所谓广义工程学就是在人类的社会实践

中为完成某项特定任务或达到某种目标,对客观事物(物质、能量、信息等)或斗争形式(组织、协调、控制、指挥等)进行某种创新、改造或变换的学问。

[2] 什么叫系统

系统这个词,目前已经形成广泛流行的术语,几乎到处都可以看到,从非生命系统到生命系统,从生产建设系统到组织管理系统,从微不足道的小系统到庞大复杂的大系统,应有尽有。这种现象在某种程度上造成了混乱。因此,有必要对系统的概念进一步探讨。

(1) 系统的特性

总的来说,系统可分为自然系统、人造系统和由两者组合起来的复合系统。当然还可以用人工去改造或影响自然系统进行动态转化而形成复合系统。在自然系统中有以太阳系、银河系和原子核结构为代表的力学系统或物理系统,以及以生物学为代表的生态系统等。自然形成的社会系统,似乎也属于自然系统。但有计划有组织兴建或改造的社会系统,当然属于复合系统或人造系统。所谓自然系统就是不通过人的加工,自然而然形成的系统,或者是天然就有的系统。例如太阳系就是根据万有引力定律和相对性原理由行星构成的自然系统;人是最典型的生命系统,具有完整的生态功能。在人造系统中有生产系统,消费系统,通信系统,电力系统,计算机系统等。在复合系统中有交通控制系统,航空导航系统和广播通信系统等等。另外,在人造系统中,又可以分为实体系统与虚拟系统(也称为概念系统)。即以物理方式存在的要素构成系统时叫做实体系统,以物理实体以外的概念、原理、准则、方法、制度和顺序等要素构成系统时叫做虚拟系统。譬如由中央运算装置、输入输出装置和终端装置等构成的计算机系统,就是可掌握的实体系统;由确定的订货日期和订货量构成的库存系统,就是存在于概念上的虚拟系统,运用这种系统可使库存状况最优。

除此之外,还有从不同角度区分的系统,如开环系统与闭环系

统，静态系统与动态系统，可控系统与行动系统，作业系统与管理
系统等等，这里就不一一介绍了。

这里应该特别指出的是，系统工程学的研究对象只包括人造系
统及复合系统以及属于这类性质的系统，而不包括自然系统。从这个
意义上来说，系统具有以下属性。

1) 系统的集合性

为实现某些特定的功能，系统起码要由两个或两个以上可以相
互区别的要素(例如人、设备、物资、成分、元件和子系统等)所构
成。如生产系统就是由人员、设备(包括工具、仪器)、材料、资
金、任务和信息等要素构成的。因此，系统的各种要素必须有机地
结合起来形成一个整体，共同实现目标规定的功能。

2) 系统的相关性

在构成系统的要素之间，存在着相互关系和相互作用，亦即事
物的内在联系。利用这种关系使系统成为有机整体，以达到既定的
目标。例如机械工人使用工具在机床上加工材料而制成某种产品
时，就是这种相关性的体现。

3) 系统的复杂性和随机性

现代系统一般都是多输入、多变量的系统，即同时对系统输入
许多参数，经过一系列的运算、分析和比较，权衡出最优方案，而
系统的输入表现在时间、空间或数量上又具有随机性，所以它是复
杂的。

4) 系统的目标性和竞争性

凡是人造系统或复合系统都具有目标性，也就是要根据一定的
目的构筑系统。为达到这种既定的目标而需要对系统采取某种手
段，以发挥系统的功能。例如为实现某种特殊要求，将有关设备按
一定方式联合起来的联机实时系统和联机工作方式，企业经营系统
把各种有限资源调整分配给各职能部门，以达到降低成本、增加利
润和改善职工生活福利等项目。系统有单一目标，也有多种目
标。而现代化的系统多半都是多目标的系统，同时又是具有竞争性

的系统。如果系统本身不先进，就必然失去同其他系统的竞争能力，处于被淘汰的地位。而武器系统在这方面的表现尤为突出。

5) 系统的环境适应性

系统与包围系统的环境之间，通常都有物质、能量和信息的交换。环境特性的变化往往引起系统特性的变化，而由于系统的作用不同也会引起环境的变化。两者互相影响作用的结果，就有可能引起系统改变或失去原有的功能，因而系统就要有一种特殊的功能，经常保持适应环境变化来恢复原有的功能。这就是系统的环境适应性。例如自适应系统、自学习系统、以及前馈、反馈系统等，当然人属于最高级的适应系统。

(2) 系统的定义

综上所述可以给系统下一个定义：“系统是由两个或两个以上可以互相区分的要素构成的集合体，各要素之间存在着一定的联系，且能适应环境变化经常保持其功能，以达到最优目标”。

具体地说，也就是由人、设备与过程有秩序地组合起来去实现统一的目标，其功能是接受信息、能量和物质并根据时间程序产生新的信息、能量和物质。同时可以看到，系统往往是以多级递阶结构组成的，一个大系统可分为若干子系统，子系统还可分为若干分系统，分系统还可以再分，以至最小的单体。

系统的构成要素既然包括人，其中就必然要存在一种哲理，因此研究系统时除了要研究每个要素的特性以外，还要研究能把全体综合起来的哲理及其实现的方法与技术。

[3] 什么叫系统工程学

(1) 系统工程学的特征

1) 系统工程学与系统有密切的关系

系统工程学的目的在于研究和建立最优化的系统，因而系统是系统工程学的具体对象。既然系统是实现某种目标的要素集合体，它就具有一定的功能，而系统功能的优劣，除了依靠传统的技术以外，在很大程度上取决于系统工程学。所以系统工程学是实现系统

最优化的一门科学。如前所述，当然不是所有系统都是运用系统工程学的方法搞出来的，也不是应用系统工程学就一定能够产生最优化的系统，还要看系统工程学应用得 好 坏，才能决定其优化的程度。

2) 系统工程学是涉及到许多学科的边缘科学

既然系统工程学的研究对象是系统，它就必然要超出一般工程学的领域，而涉及到社会、经济、政治、军事等极其广泛的领域。因为这些领域需要开发很多系统，除了必须有传统的思想方法、组织手段、技术理论和管理制度以外，还要有一种科学的方法从横的方面把它们联系起来，在整体上加以综合平衡，力求做到最优化，这就是系统工程学的作用。所以系统工程学必须是跨越许多学术领域而又渗透在这些领域边界的边缘科学。

3) 系统工程学在很大程度上依赖于电子计算机

国内外的现代化系统，可以说一般都离不开电子计算机，无论是设计还是管理系统都需要使用计算机。例如，实现最优化的仿真，特别是仿真多变量的社会系统，没有计算机简直是不可能的。大的工程项目和生产、物流系统的规划、协调、控制等管理工作也必须采用计算机。可见系统工程学也是利用计算机分析和管理系统的一门学问，在很大程度上依赖于电子计算机。

4) 系统工程学是工业工程学发展的结果

系统工程学与工业工程学颇有相似之处，但其应用范围远远超过了工业工程学。例如，工业工程学的目的是在保证产品质量的前提下，提高劳动生产率，改进作业方式，降低生产成本等等，因而也叫生产工程学，应用于中小系统。而系统工程学，除了必须达到上述目标以外，主要是以大系统为对象进行最优化的。从这个意义上来说，系统工程学是工业工程学发展的结果，也就是说系统工程学是适应大系统的出现而发展起来的。

5) 系统工程学的对象主要是大系统

大系统是在控制论基础上发展起来的一个重要领域，也有人把

大系统理论称之为第三代控制论。大系统理论研究的对象是规模庞大、结构复杂的各种工程或非工程系统的自动化问题。它不仅包含工程的因素，而且还包含着人和社会的因素。象阿波罗登月计划那种举世闻名的大系统，全部构件达3百多万个，调动了2万多家公司、工厂和120所大学、实验室的42万余名研制人员，耗资300多亿美元，历时11年终于把人送到月球又安全返回地面，取得了实验的成功，就是系统工程学的典型运用。如此庞大而复杂的系统，如果有一个环节发生故障或延时完成，都会使登月飞船无法按期发射，但是由于采用了系统工程学的方法，使大量的组织管理技术得到协调平衡，环环扣紧，从而顺利地完成了计划。再如日本政府拟定21世纪初的发展规划时，也利用了系统工程学的方法，把人口（生、老、病、死等）、资源（矿产、农林、渔业和海洋开发等）、工业（劳动生产率、产品的品种、产量、质量、市场等）和环境污染等四个主要变量汇编成数学模型，用数字电子计算机仿真求解，得到预期的较为理想的调节效果，从而制订了他们的规划方案和经济政策。

6) 系统工程学与自动化密切相关

任何现代化的大系统都是与自动化密切相关的，越是庞大的、复杂的系统就越发需要自动化，而自动化水平越高的系统，就越要用系统工程学的方法去实现。国外有许多企业已经逐步由生产线的自动化发展到车间自动化，甚至全厂性的综合自动化，即集成生产系统。而在发展这些自动化系统时，往往运用了系统工程学。可见系统工程学也是搞自动化的有力方法。

(2) 系统工程学的定义

系统工程学无论在理论上还是在实践上都处于发展的初期，尚不够完善，同时又与其他许多科学处于相互渗透和相互影响的状态，人们对它的认识也很不一致。因此，目前还找不到一致公认明确定义。这里只能列举如下几个典型定义。

1967年H. Chestnut在其所著的《系统工程学的方法》一书中

指出,“系统工程学是为了研究由多数子系统构成的整体系统所具有的多种不同目标的相互协调,以期系统功能的最优化,最大限度地发挥系统组成部分的能力而发展起来的一门科学”。同年美国通用电气公司的J. A. Morton指出“系统工程学是用来研究具有自动调整能力的生产机械以及像通信机那样的信息传输装置、服务性机械和计算机等的方法,是研究、设计和运转这些机械的基础工程学”。美国质量管理学会所属的系统工程学技术委员会从名词术语的角度定义为:“系统工程学是应用科学知识设计和制造系统的一门特殊工程学。”日本也在1967年于《JIS-Z8121》中定义为:

“系统工程学是为了更好地达到系统目标,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设计的一种技术。”1971年东京工业大学寺野寿郎教授在其所著的《系统工程学》一书中定义为:“系统工程学是为了合理地开发、设计和运用系统而采用的思想、程序、组织和手法等的总称。”

1975年在美国的科学技术辞典中,将系统工程学解释为:“系统工程学是研究许多密切联系的元件组成的复杂系统的设计科学。设计该复杂系统时,应有明确的预定功能及目标,并使得各个组成元件之间以及元件与系统整体之间有机相联、配合协调,致使系统总体能达到最优目标。但在设计时,要同时考虑到参与系统中的人的因素与作用。”

1978年我国著名学者钱学森等在《组织管理的技术——系统工程》一文中指出:“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。……系统工程学则是组织管理这种系统的规划、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。”1979年哈尔滨工业大学姚德民等在《关于管理现代化的几个问题》一文中指出:“系统工程学就是应用系统的观点、信息的理论、控制论的基础、现代数学的方法和电子计算机的技术,溶合渗

透而成的一门综合性的管理工程技术。”

国内外学者及机关对系统工程学所下的定义或解释还有许多，这里所列举的只是几个具有代表性的例子而已。

综上所述，系统工程学是以系统（特别是大系统）为对象的一门跨学科的边缘科学。它是根据总体协调的需要，把自然科学和社会科学中的某些思想、理论、方法、策略和手段等从横的方面有效地组织起来应用于人类实践的，是应用现代数学和电子计算机等工具，对系统的构成要素、组织结构、信息交换和自动控制等功能进行分析研究，而达到最优设计、最优控制和最优管理的目标，是为更加合理地研制和运用系统而采取的各种组织管理技术的总称。归根结底是一种工程学的方法论。

二、系统工程学的发展历史和应用范围

[1] 系统工程学的历史

系统工程学真正被人们所接受还是从阿波罗计划开始的。在此之前，虽然早就有了系统工程学的概念，但未被推广。甚至可以说早在两千多年以前，埃及的金字塔、中国的都江堰水利工程等就已经运用了系统工程学的某些概念，或者说孕育着系统工程学的一些因素，如对策论等。但是由于封建制度的束缚，这些先进的思想和方法长期以来得不到发展。近代的系统工程学可以说起源于美国。它发展的萌芽阶段，要追溯到本世纪初的泰勒（Taylor）系统，他从合理安排工序，写照和分析工人的动作，提高工作效率入手，研究管理活动的行为与时间的关系，探索管理科学的基本规律。到二十年代逐步形成成为工业工程（Industrial Engineering）。主要研究生产在空间和时间上的管理技术，因而也叫生产工程学。以后的工业工程扩展到社会领域，遂演变为系统动态学（Systems Dynamics）。另一方面，那时美国麻省理工学院的Norbert Wiener教授创造了控制论的概念，并指出一切系统都是信息系统，而