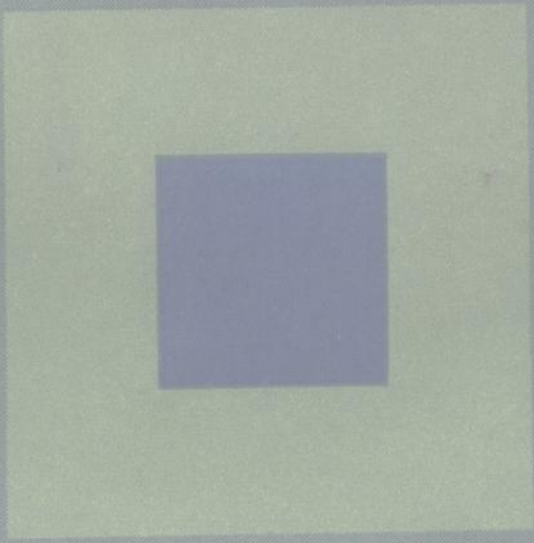


系统工程学概述

郑春瑞 编著

(第二版)



科学技术文献出版社

73-82
320(2)

系统工程学概述

(第二版)

郑春瑞 编著

2K597/02

科学文献出版社

1984

内 容 简 介

本书主要内容：阐明系统工程学的基本概念及其发展历史；对系统工程学的控制论、信息论和运筹学作了扼要说明；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；最后是系统工程学的现状与展望。书中还附有必要的图表。在这第二版中对系统工程的方法及其实施内容等作了不少的修改和补充，使之更臻于完善。

系 统 工 程 学 概 述

(第二版)

郑春瑞 编著

科学技术文献出版社出版

中国科学技术情报研究所印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

开本：850×1168¹/₃₂ 印张：11.625 字数：323千字

1985年2月北京第二版第一次印刷

印数：1—13,000册

科技新书目：85—69

统一书号：17176·412 定价：2.60元

再 版 前 言

这本书问世已经两年多了。为了适应广大读者的需要，科学技术文献出版社决定再版发行。我想借这个机会向读者致意：系统工程学是最近二十年来发展起来的一门新兴科学，在国外某些国家虽已广泛采用，并构成了组织管理技术所不可缺少的一种方法，但在我国还没有得到普遍重视和应用，而只是在少数工业部门试行，成果也不够显著。为此，有必要进行大力宣传和推广应用，使其在祖国的“四化”进程中发挥应有的作用。可是笔者也和某些人一样，对系统工程学的认识如同“盲人摸象”似的，只摸到“象”的局部而没有摸到“象”的全体；由于接触系统工程这门科学的时间不长，在很多问题上还是一知半解的，几年来通过不断地学习与摸索而逐步加深了认识，所以在这次再版之际，根据国外系统工程学的最新发展及本人的认识程度作了必要的修改与补充，尤其在技术方法及实施内容等方面作了较多的充实，但这种补充也只能是局部的，还有待于今后充实与发展。我想这些内容对读者来说可能会更加便于理解和得到新的启发，如能在实际中起到一点作用，那就是笔者的最大欣慰了。

郑 春 瑞

一九八三年五月三十日

序 言

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。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，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得关于“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.....	(9)
1. 系统工程学的历史.....	(9)
2. 系统工程学的应用范围.....	(15)
三、系统工程学的结构与世代.....	(15)
1. 系统工程学的结构.....	(15)
2. 系统工程学的世代.....	(17)
四、系统工程学与其他学科的关系.....	(20)
1. 系统工程学与基础科学的关系.....	(20)
2. 系统工程学的途径与各种科学技术的关系.....	(21)
3. 系统理论和数学各分支的关系.....	(22)
第二章 系统工程学的基础理论	(24)
一、控制论.....	(25)
1. 线性和非线性系统理论.....	(26)
2. 概率控制过程和统计方法的应用.....	(27)
3. 最优控制理论.....	(28)
4. 自适应、自学习和自组织系统的理论.....	(29)
5. 模糊理论.....	(30)
6. 系统识别理论.....	(31)
7. 大系统理论.....	(32)
8. 自动控制理论.....	(33)
二、信息论.....	(34)

1. 概要	(34)
2. 信息的获取	(36)
3. 信息的传输	(37)
4. 信息的处理	(37)
5. 处理结果的输出	(38)
三、运筹学	(39)
1. 线性规划	(41)
2. 非线性规划	(45)
3. 动态规划	(57)
4. 对策论	(58)
5. 排队论	(62)
6. 排序理论	(63)
7. 网络理论	(65)
8. 调度理论	(67)
9. 库存理论	(68)
10. 极大值原理	(73)
11. 蒙特卡洛法	(75)
12. 爬山法	(80)
13. 决策论	(82)
14. 算法论	(83)
15. 搜索论	(83)
16. 优选法	(84)
17. 拉普拉斯变换和傅立叶变换	(85)
第三章 系统工程学的手段	(87)
一、预测技术	(87)
1. 探索性的预测技术	(87)
2. 规范性的预测技术	(90)
3. 直观性的预测技术	(91)
4. 需要预测技术	(94)

二、仿真与构型技术·····	(96)
1. 概要·····	(96)
2. 模型的种类及其应用·····	(97)
3. 仿真的顺序·····	(98)
4. 仿真技术·····	(99)
5. 仿真技术在大系统中的应用·····	(100)
6. 构型(构造模型)·····	(101)
7. 联机模型的构造·····	(102)
三、电子计算机的应用系统·····	(104)
1. 计算机系统的简单结构·····	(105)
2. 分级计算机系统·····	(106)
3. 多重计算机系统·····	(109)
4. 闭环结合系统·····	(110)
5. 大规模计算机系统·····	(111)
6. 计算机网络·····	(114)
7. 软件在系统工程中的应用·····	(118)
8. 软件与软件工程·····	(119)
9. 系统程序设计语言·····	(122)
10. 计算机仿真语言·····	(124)
11. 数据库·····	(135)
第四章 系统的评价与决策·····	(139)
一、评价与决策·····	(139)
二、计划阶段的评价·····	(140)
1. 矩阵评价法·····	(141)
2. 费用-效果分析·····	(151)
3. 多目标系统的评价·····	(153)
4. 技术再评价·····	(155)
5. 工业工程评价法·····	(158)
6. 相关树法·····	(159)

7. PPBS	(165)
三、设计阶段的评价	(167)
1. 系统的综合评价	(168)
2. 系统的单项评价	(177)
3. 在系统评价中电子计算机的应用	(179)
四、可靠性的评价	(181)
1. 可靠性的理论	(181)
2. 可靠性的评价尺度	(182)
3. 系统寿命的分布	(183)
4. 系统的可靠性	(184)
第五章 系统的途径与实现	(187)
一、系统工程学的实施顺序	(187)
1. 美国空军的例子	(187)
2. IBM公司的例子	(188)
3. 霍耳方式	(189)
4. 三浦方式	(192)
5. 系统工程实施的一般顺序	(195)
二、系统计划	(198)
1. 计划的意义及其基本内容	(198)
2. 系统计划	(198)
3. 人员计划	(205)
4. 系统必要条件的决定	(209)
5. 事前评价	(212)
三、系统设计	(214)
1. 系统的外部设计和内部设计	(214)
2. 系统的剖分与合成	(216)
3. 系统设计的步骤	(217)
4. 系统的功能分配	(219)
5. 人机性设计	(228)

6. 设计的技巧.....	(234)
7. 计算机在系统设计中的应用.....	(239)
四、系统管理.....	(248)
1. 系统管理的重要性.....	(248)
2. 系统管理体系.....	(249)
3. 系统的开发与管理.....	(257)
4. 制造业的集成生产系统.....	(264)
5. 调度管理.....	(270)
6. 价值工程和预算管理.....	(272)
7. 利用中间评价和预测的管理.....	(276)
8. 结构管理.....	(280)
9. 系统的测试与试验管理.....	(282)
10. 系统的运用管理与事后评价.....	(285)
11. 常用的几种管理技法.....	(295)
五、系统途径的实例.....	(337)
1. 国际航空货物运转系统.....	(337)
2. 宇宙空间飞行器的研制.....	(341)
3. 重返地面宇航飞行系统.....	(345)
第六章 系统工程学的现状与展望.....	(353)
一、系统工程学的现状.....	(353)
二、系统工程学的展望.....	(355)
1. 宇宙空间的开发.....	(356)
2. 海洋的开发.....	(356)
3. 人口问题的处理.....	(357)
4. 系统工程学应用范围的扩大.....	(357)

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予以进一步探讨。

（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。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。譬如由中央处理装置、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化。

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，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目标。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，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，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。再如日本政府在拟定二十一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,从而制订了它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的