

6220

现代管理丛书

系统工程

沈泰昌主编

浙江教育出版社

现 代 管 理 丛 书

系 统 工 程

沈 泰 昌 主 编

浙 江 教 育 出 版 社

责任编辑 张宝珍
封面设计 李文昭

现代管理丛书
系统工程 著者 沈泰昌(等)

浙江教育出版社出版
浙江新华印刷厂印刷 浙江省新华书店发行
开本850×1168 1/32 印张13.125 插页2 字数312000 印数16301—35900
1986年1月第1版 1987年5月第2次印刷

ISBN 7-5338-0025-7/G·26
统一书号: 7346·350 定价: 2.60 元

内 容 提 要

系统工程是一门使创造过程合理化的技术。它以系统为对象，把要组织和管理的的事物，用概率、统计、运筹、模拟等方法，经过分析、推理、判断、综合，建成某种系统模型，进而以最优化的方法，求得系统最佳化的结果。该书内容包括系统、系统的概念，系统科学原理与系统方法，系统分析，系统模型和模拟方法，可行性研究，工程系统研制的分析与设计，网络分析，决策分析等。

本书可供从事系统工程研究的技术人员和高等学校师生参考。

出版说明

为适应我国科技、经济部门和各级行政部门的广大管理干部学习管理科学知识的需要，我们组织编写了现代管理丛书。该套丛书包括《科学技术论》、《科学技术史》、《现代管理学概论》、《预测和评价》、《系统工程》、《研究开发管理》、《科学心理学》和《咨询概论》等八种书。这套丛书先后在中国科学学与科技政策研究会和中国科协现代管理讲师团举办的两期近三万名干部参加的科技管理函授班作教材试用，很受欢迎。这次经修订正式出版。

参加《系统工程》著写的作者有：沈泰昌（第一、三、五、八章），王兴成（第二章），李国纲（第四、八章），邓志刚（第五章），朱松春（第六章），梅相岩、赵之林（第七章），张宗溥、武林（第九章）。该书由朱松春同志审阅，沈泰昌同志主编。

《丛书》主编 田 夫 副主编 杨沛霆 金良浚

目 录

第一章 概述

第一节	系统的概念·····	1
第二节	系统工程的概念·····	3
第三节	系统工程在我国的研究与应用·····	7

第二章 系统科学原理与系统方法

第一节	系统科学的兴起·····	11
第二节	系统科学原理·····	16
第三节	系统方法的地位和功能·····	25

第三章 数学准备知识

第一节	集合论·····	31
第二节	概率论·····	40
第三节	线性代数·····	58
第四节	模糊数学·····	77

第四章 系统分析

第一节	系统分析的特点和应用·····	89
第二节	系统分析的基本要素·····	94
第三节	系统分析的主要作业·····	98

第四节	系统分析在经营决策中的应用	110
-----	---------------------	-----

第五章 系统模型和模拟方法

第一节	系统模型及其形式	126
第二节	线性规划模型及其解法	135
第三节	随机模型及其解法	172
第四节	统计模型及其解法	191
第五节	系统模拟	206
第六节	模拟技术	223
第七节	模拟技术在大系统中的应用	227

第六章 可行性研究

第一节	可行性研究的任务和概念	230
第二节	可行性研究的方法步骤	236
第三节	项目评价研究	248
第四节	可行性研究及项目评价案例	255

第七章 工程系统研制的分析与管理的

第一节	工程系统研制的系统管理	277
第二节	工程系统研制的目标管理	293
第三节	工程系统研制管理的组织结构	312

第八章 网络分析技术

第一节	网络分析技术的特点	323
第二节	网络分析技术的基础——网络图	326
第三节	网络图的绘制	330
第四节	网络图的时间参数计算	335

第五节	网络图的分析	348
第六节	网络计划的平衡与优化	356

第九章 决策技术

第一节	系统决策的过程	369
第二节	系统决策的思维方法	375
第三节	决策的定量化方法	382
第四节	决策分析中效用曲线的应用	402

第一章 概 述

第一节 系统的概念

一、系统的定义

半个世纪以来，在国际上系统作为一个研究对象引起了很多人的注意。“系统”(System)一词源自古希腊语，有“共同”和“给以位置”的含义。根据 *Webster* 辞典的说明，“System”是“有组织的和被组织化了的全体”。当今，我们把极其复杂的研制或管理对象称为“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。

系统具有输出某种产物的目的，但它不能无中生有。也就是说，对于输出必有输入经过处理才能得到，输出是处理的结果，代表系统的目的，处理是使输入变为输出的一种活动，一般由人与设备分别或联合担任。输入、处理、输出是组成系统的三个基本要素，加上反馈就构成一个完备的系统。其框图如图 1—1。



图 1—1

二、系统的特征

从系统的定义可以看出系统具有集合性、相关性、目的性和

动态性这四大特征。

集合性：系统是由两个或两个以上元素组成的全体。一个元素构不成系统。

相关性：系统的各元素不仅都为完成某种任务而存在，而且任一元素变化也都会影响其它元素完成任务。例如火箭系统的总重量发生变化，就会影响动力装置、发射设备的改变。

目的性：就整个系统来说都是以完成某种功能作用为目的。有着确定的目标。例如我们设计一个机床，目的就是加工出以至高效率的加工出工件。

动态性：系统不仅是只作为状态而存在，而且具有时间性程序。

将这四大特征简化后可用图 1—2 表示，这就构成了系统运输的全过程。

三、系统的分类

系统在不同条件下表现出不同的类型。

1. 按物质运动的发展阶段来分一般有：

无机系统，如力学系统，物理学系统，化学系统等；

有机系统，如生物系统等；

人类社会系统。如人工系统，管理系统等。

2. 按系统的形式可分为：

大型系统，如生态平衡系统；

中型系统，如工程系统；

小型系统，如班组的管理系统；

3. 按所处环境的性质可分为：

封闭系统，如静态系统；

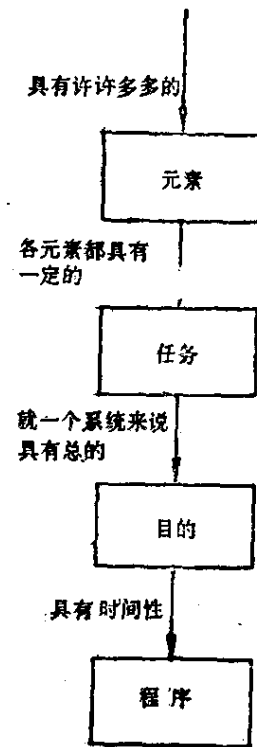


图 1—2

开放系统，如生产系统，技术系统。

4. 按系统变化状态可分为：

稳定系统；

不稳定系统。

5. 按规律、性质可分为：

必然性系统；

随机性系统。

第二节 系统工程的概念

系统工程是一大门类工程技术。目前正在发展完善之中，它不仅为人们提供了一套现代化的管理方法，同时也能促进工程活动本身获得最佳效果。

一、系统工程的定义、分类和特征

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。这里，比较明确地表述了三层意思：系统工程属工程技术，主要是组织管理的技术；系统工程是解决工程活动全过程的技术；这种技术具有普遍的适用性。

系统工程的基本思想，就是用搞工程的办法搞组织管理。它以系统为对象，把要组织和管理的事物，用概率、统计、运筹、模拟等方法，经过分析、推理、判断、综合，建成某种系统模型，进而以最优化的方法，求得系统最佳化的结果。亦即经过工程的过程，使系统达到技术上先进、经济上合算、时间上最省、能协调运转的最佳效果。因此，它表现出：

1. 用最优化的方法使系统状态达到最佳效果的特征；
2. 系统工程这门技术离不开具体的环境和条件，离不开事物

本来的性质和特征，即与系统本身所在学科密切相关。因此，依据学科不同，有着很多的类别，著名科学家钱学森指出，目前，系统工程大体有以下十四类专业：

系 统 工 程 的 专 业	专 业 的 特 有 学 科 基 础
工 程 系 统 工 程	工 程 设 计
科 研 系 统 工 程	科 学 学
企 业 系 统 工 程	生 产 力 经 济 学
信 息 系 统 工 程	信 息 学、情 报 学
军 事 系 统 工 程	军 事 科 学
经 济 系 统 工 程	政 治 经 济 学
环 境 系 统 工 程	环 境 科 学
教 育 系 统 工 程	教 育 学
社 会 系 统 工 程	社 会 学、未 来 学
计 量 系 统 工 程	计 量 学
标 准 系 统 工 程	标 准 学
农 业 系 统 工 程	农 事 学
行 政 系 统 工 程	行 政 学
法 治 系 统 工 程	法 学

3. 它着眼于整个的状态和过程，而不拘泥于局部的、个别的部分，它表现出系统获得最佳状态的途径并不需要所有子系统都是最佳的特征；

4. 系统工程包含着深刻的社会性，涉及到组织、政策、管理、教育等上层建筑因素；

5. 系统工程的精华在于它是软技术，即在科学技术领域，由重视有形产品转向更加重视无形产品带来的效益。如某种产品尽管采用的是廉价原料，由于充分发挥技术的作用而可能成为价值很高，价格也相当昂贵的东西。再如，一个企业在同样的条件

下，加强科学管理带来的经济效益要比采用传统的管理带来的经济效益大得多。

二、系统工程的产生与发展

本世纪三十年代末，英国面临德国的侵略，一批科学家研究雷达系统的运用问题，创造了“运筹学”一词来命名这个应用科学的新分支。二次大战期间，运筹学逐步推广到军事决策和战争指挥，著名的大西洋潜艇战役和北非登陆战役，都借助于运筹学取得了胜利。一般认为，这就是系统工程的萌芽。

本世纪四十年代初，美国贝尔电话公司首先创造了“系统工程”这一学科名称，在发展微波通讯网络时，初步运用了系统工程的方法。以后，贝尔公司和丹麦哥本哈根电话公司在电话自动交换机的工程设计中运用了系统方法。

四十年代，美国研制原子弹的曼哈顿计划，是系统工程方法成功的实践。1940年，爱因斯坦等科学家提出研制原子弹的建议，美国总统罗斯福采纳后，请理论物理学家奥本海默来组织领导这项军事科研生产。他动员了一万五千名科学家和工程师，组织各种专业的科技人员进行全面合作。奥本海默在执行计划的过程中，从整体出发，把研究课题逐级分解为大量小课题，组织相应的小组来负责各个课题的研究工作。同时，他非常重视各项课题之间的联系，注意它们的等级和层次，随时进行协调，使全部课题组合起来能够达到整个计划的最优结构。在生产原子弹材料的中心研究项目方面，奥本海默组织大家仔细研究，提出六、七个方案。为选择最佳方案进行了热烈讨论，争论了两个月，相持不下。他确立了一项原则，首先保证按时完成任务，其它皆属次要。于是决定六、七个方案同时试用，在实践中比较优劣。一年后生产了一公斤铀。1944年5月，第一颗原子弹爆炸成功。这是大规模地组织起来顺利地完成任务的著名实

例，是系统工程方法的成果。

现代科学技术具有高度综合性，需要各种技术相互配合，才能解决一些重大的课题。需要有科学方法管理才能带来效益。系统工程正是随着解决这类综合性的复杂任务发展起来的。它通览全局，分清主次，掌握要点，建立模型，用数学方法和电子计算机，对各个环节的各种影响因素进行精确分析，采取科学决策。然后使用先进的技术、工具进行适当的控制和管理，使整个系统运转起来具有良好的性能和最佳的效果。六十年代，美国阿波罗登月计划的实现，就是运用系统工程而获得成功的。这项规模巨大的载人登月工程，参加的科学家和工程师等达四十二万人，投资三百亿美元，有二万多个单位协作，历时十一年，完成全部任务，这是科技史上的伟大壮举。阿波罗飞船和土星-5型运载火箭，有七百多万个零部件，在总系统下面，有众多的分系统，如飞船系统、火箭推进系统、燃料系统、飞行制导系统、轨道控制系统、通讯系统和测试系统等等。每个分系统下面又包含相当多的小系统，这些分系统或小系统之间有着各种各样的相互联系和相互作用。在寻求总体最优化的过程中，系统工程的理论和方法得到了很大的发展，这个计划也充分体现了人的因素在系统工程中的主导作用。在整个计划的实施过程中，都是由人指挥。阿波罗飞船最后登月成功，是依靠乘坐飞船的宇航员取得的。在飞船即将着陆的最后一瞬间，飞船内电子计算机失灵，休斯敦地面控制中心的技术人员，及时发出了着陆指令，飞船才顺利完成登月任务。因此，阿波罗登月计划全面贯彻了系统工程技术，充分体现了总体最优化的精神。阿波罗登月计划的实现，可以说是系统工程的胜利，它标志着人们在组织管理的技术方面正在走向一个新的时代。

第三节 系统工程在我国的 理论研究与应用

近年来,在我国的高等学校、研究机构和工业、农业、军事部门科学工作者的共同努力下,我国系统工程和系统科学的发展,已有了一个很好的局面,逐步形成了一支确实具有中国特点的系统工程和系统科学研究队伍。

钱学森同志对系统工程的建立和发展,作出了贡献。早在1954年的英文版《工程控制论》第18章中,钱学森同志就讲到用重复不那么可靠的元件组成高度可靠的系统的问题。这大大超出了当时自动控制理论的一般研究对象,实质上是系统学的问题。1955年钱学森同志在和许国志等一些同志讨论问题时,就表示了把运筹学和社会主义计划经济结合起来的想法。钱学森同志比较深刻地理解系统工程、运筹学、控制论的关系,理解系统工程始终牵涉到人的因素,他用马克思主义哲学来指导科研工作,也探讨如何用科学技术的新成果去丰富、深化马克思主义哲学。所以他在吸取国外现代科学技术知识之后,能甩掉脚手架,站得高,看得远。

钱学森同志的系统科学思想,首先表现在他提出了一个清晰的现代科学技术的体系结构,认为从应用实践到基础理论,现代科学技术可以分为四个层次:首先是工程技术这一层次,然后是直接为工程技术作理论基础的技术科学这一层次,再就是基础科学这一层次,最后通过进一步综合、提炼达到最高概括的马克思主义哲学。整个科学技术包括自然科学、社会科学、系统科学、思维科学和人体科学这六个大部门。钱学森同志的系统科学思想也体现在他提出了一个清晰的系统科学结构。作为现代科学技术

六大部门之一的系统科学，是由系统工程这类工程技术、系统工程的理论方法象运筹学、控制论和信息论这类技术科学，以及系统的基础理论如系统学等组成的一个新兴科学技术部门。钱学森同志的系统科学思想还表现在：系统工程是组织管理的 技术，也就是把传统的组织管理工作总结成科学技术，并使之定量化，以便运用数学方法；系统工程是一大类工程技术的总称而不是一个单一的学科，正如我们传统理解的工程是土木、机械、电机等等工程的总称一样。于是便将“人各一词，莫衷一是”的情况澄清为“分门别类，共居一体”。这就给系统工程一个确切的描绘，并进而就整个系统科学体系，论述了系统工程在其中所处的地位。

人类认识现实世界的过程，是一个不断深化的过程，在真理的长河中，逐步前进。在古代，既少理论根据，又缺乏观测和实验手段，所以对许多事物，往往只能睹其外貌。犹如虽身处林海边缘，却只能望见一片“郁郁葱葱”。然而看到的却是林而不是树。随着科学技术的进展，道路通了，工具有了，可以深入林海，遗憾的是不知不觉地又只见树而不见林。认识是不断深化的，在对个体有了更多更好的了解以后，再回过头来，看到的就不仅是“郁郁葱葱”，而是“树密、根深、枝繁、叶茂”。许多文献中，在谈到系统工程之所以在本世纪中叶得到发展，往往归功于一些现代巨大研制项目的推动。这无疑是正确的。但是，钱学森同志却从上面谈到的这样一个认识过程吸取了营养来发展系统科学。贝塔朗菲认为生命科学的本质是“有机总体”，因而他主张，生物学的研究，不能单凭分析方法，更重要的是要从系统的角度出发，加以探讨。然而贝塔朗菲的早期工作，虚多实少。只有在普里戈金、哈肯、艾肯等人手中，用了更多、更深的物理、化学、数学的方法，才取得了真正的进展。例如，钱学森

同志认为，艾肯把生命起源、生物进化的达尔文学说，在分子生物学的水平上，通过巨系统高阶环理论，数学化了，提出了一个言之成理的自组织系统模型，并从这个模型推导出生物的一些生殖、遗传、变异、进化的性状。这就使得贝塔朗菲四十多年前提出的问题有了解决的明确途径。钱学森同志吸取现代自然科学的研究成果，但绝不停留在这些已有的成果上面。他把这些成果作为建立系统科学的基础科学，一切系统的一般理论——“系统学”——的素材。他说：“我认为把运筹学、控制论和信息论同贝塔朗菲、普里戈金、哈肯、弗洛里希、艾肯等人的工作融会贯通，加以整理，就可以写出《系统学》这本书。他还说：“我看，‘耗散结构理论’、‘协同学’……都是过往云烟，留下的将是系统学。当然创造耗散结构理论和协同学的普里戈金和哈肯是大有功劳的。”

正因为如此，中国社会科学院院长马洪同志根据我国经济和社会的发展，向系统工程学者提出了六项需要研究的重要课题。第一，系统工程学者要研究我国经济发展的战略问题；第二，应用系统工程学者研究计划经济和市场调节的关系；第三，要分析我国经济发展的内涵潜力；第四，要研究如何更好地贯彻调整、改革、整顿、提高的方针；第五，经济体制改革的总体设计如何运用系统工程的方法；第六，系统工程学者要加强对国民经济综合的、全社会的经济效益的研究。

实践证明，系统工程是现代化建设普遍行之有效的科学方法。赵紫阳总理在一九八三年三月接见陕西省的一些同志谈到水利、农业等问题时说：“现在的问题，是要用系统工程的方法，全面统筹，综合论证。”

宋健同志在一九八四年九月撰文指出，运用系统工程必须在行政首长的坚强领导和指挥下才能取得成功。系统工程所治理的