

$A_3 A_4 A_5 A_6 A_7 A_8 A_9 A_{10}$
 $B_3 B_4 B_5 B_6 B_7 B_8 B_9 B_{10}$
 $C_3 C_4 C_5 C_6 C_7 C_8 C_9 C_{10}$
 $D_3 D_4 D_5 D_6 D_7 D_8 D_9 D_{10}$
 $E_2 E_3 E_4 E_5 E_6 E_7 E_8 E_9 E_{10}$
 $F_2 F_3 F_4 F_5 F_6 F_7 F_8 F_9 F_{10}$
 $G_2 G_3 G_4 G_5 G_6 G_7 G_8 G_9 G_{10}$
 $H_3 H_4 H_5 H_6 H_7 H_8 H_9 H_{10}$

$I_2 I_3 I_4 I_5 I_6 I_7 I_8 I_9 I_{10}$
 $J_0 J_1 J_2 J_3 J_4 J_5 J_6 J_7 J_8 J_9 J_{10}$
 $K_3 K_4 K_5 K_6 K_7 K_8 K_9 K_{10}$

$L_2 L_3 L_4 L_5 L_6 L_7 L_8 L_9 L_{10}$
 $M_3 M_4 M_5 M_6 M_7 M_8 M_9 M_{10}$

$N_2 N_3 N_4 N_5 N_6 N_7 N_8 N_9 N_{10}$

$O_2 O_3 O_4 O_5 O_6 O_7 O_8 O_9 O_{10}$

$P_2 P_3 P_4 P_5 P_6 P_7 P_8 P_9 P_{10}$

$\rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow$
 $a' a_0' a_1' a_2' a_3' b' b_0' b_1'$
 $c_1' c_2' f' f_0' f_1' f_2' g' g_0'$
 $k_0' k_1' k_2' l' l_0' l_1' l_2' m'$
 $o_3' p' p_0' p_1' p_2' q' q_0' q_1'$
 $t_0' t_1' t_2' t_3' u' u_0' u_1' u_2'$
 $x_3' y' y_0' y_1' y_2' y_3' z' z_1'$
 $a' a_0' a_1' a_2' a_3' b' b_0' b_1'$
 $c_0' e_1' e_2' f' f_0' f_1' f_2' g'$
 $k' k_0' k_1' k_2' l' l_0' l_1' l_2'$
 $o_2' o_3' p' p_0' p_1' p_2' q' q_1'$
 $u' u_0' u_1' u_2' u_3' u_4' u_5' u_6'$
 $x_2' x_3' y' y_0' y_1' y_2' y_3' z'$

黄国榜 编著

方系统 法统 论工 程

Xitong
 Gongcheng
 fangfa Lun



THE CHINA PROSPECT PUBLISHING HOUSE

系统工程方法论

黄 国 榜

中国展望出版社

一九八八年·北京

责任编辑 马岸山

封面设计 江冰

系统工程方法论

黄国榜

*

中国展望出版社出版
(北京太平桥大街4号)

安徽庐江印刷厂印刷
北京新华书店发行

开本, 787×1092毫米 1/32 印张, $9\frac{7}{8}$

221千字 1988年5月 北京第1版
第1次印刷 1—6000册

ISBN7—5050—0052—7/F·21

定价: 3.00元

391376

内 容 简 介

本书详细地阐述了系统工程的特点、方法论和如何用系统工程观点去解决实际问题的方法、步骤。其次，力图把一些常用方法的基本理论讲得扼要、清楚。且运用数学工具把经济、技术两大方面结合起来。

本书可以作为大专院校经济、管理类及其他有关专业的教学参考书和工程技术人员、广大管理人员学习系统工程的入门书。

前 言

系统工程是二十世纪后半期出现的跨学科的新兴、边缘科学，目前仍处于发展和不断完善之中。近几年来，系统工程在我国已经受到各方面的重视，并得到了广泛应用和发展。

本书对系统工程的基本思想特征和常用的分析、评价等方法都作了较深入剖析，使读者初步明瞭系统工程研究对象、基本思想方法和如何应用系统工程的观点、方法和步骤去探索实际问题的解决。

全书共分七章，分别介绍系统工程概论、系统分析、系统评价、系统预测、系统决策、系统优化和网络技术。尽可能吸取了系统工程国内外近几年的研究成果，有针对性地摘编了典型实例。从整体看，各章都是为用系统工程去探索实际问题提供各种方法，但每一章又都有相对独立性，便于不同读者取舍。

本书是在讲稿讲义基础上充实删节而成的，努力保留讲稿语言，把一些常用方法的基本理论叙述得通俗易懂简明扼要。因此，便于广大管理人员、工程技术人员、系统工程爱好者和大专学生自学，也可作管理、经济等有关专业教材或教学参考书。

在编写本书过程中，参考了许多文献资料，由于其中一部分未正式出版，本书未予列出。在此谨向各有关作者表示

深切的谢意。

由于水平有限且编写时间仓促，书中难免存在一些缺点与错误，恳请读者批评指正。

目 录

前 言

第一章 系统工程概论

- 1—1 系统工程产生的背景与发展简史····· 1
- 1—2 系统和系统工程概念····· 8
- 1—3 用系统工程解决实际问题的步骤和方法····· 22
- 1—4 系统工程的典型实例····· 30

第二章 系统分析

- 2—1 系统分析的基本概念····· 35
- 2—2 系统分析的要素····· 36
- 2—3 系统分析的准则····· 39
- 2—4 系统分析的步骤····· 40
- 2—5 投资效果分析····· 42
- 2—6 成本效益分析····· 49
- 2—7 设备更新分析····· 52
- 2—8 产量、成本、利润分析····· 55
- 2—9 存贮控制分析····· 62
- 2—10 系统可靠性分析····· 72
- 2—11 层次分析····· 78

第三章 系统评价

- 3—1 系统综合评价的基本因素和过程····· 87
- 3—2 矩阵评价法····· 89

3—3	多目标系统的评价	96
3—4	经济效果评价	98
3—5	综合评价优序法	104
3—6	功能评价	110
3—7	技术再评价	115
3—8	系统评价应用实例	118

第四章 系统预测

4—1	概述	124
4—2	定性预测方法	128
4—3	时间序列预测法	132
4—4	回归预测法	142
4—5	概率预测法	158
4—6	交叉影响分析预测法	163

第五章 系统决策

5—1	科学决策基本理论概述	171
5—2	确定情况下的决策问题	178
5—3	风险型决策	179
5—4	不确定情况下的决策问题	183
5—5	决策树	187
5—6	马尔可夫决策	192
5—7	矩阵法决策	197
5—8	冲突决策	201

第六章 系统最优化方法

6—1	线性规划问题概述	213
6—2	线性规划问题几个应用模型	222
6—3	线性规划问题的图解法	229
6—4	线性规划问题的几何意义	231

6—5	单纯形法.....	233
6—6	初始基本可解的确定.....	248
6—7	单纯形法的矩阵表达式.....	255
6—8	线性规划的对偶问题.....	258
6—9	动态规划概述.....	267
6—10	最优化原理和递推方程.....,.....	273
第七章 网络分析技术		
7—1	网络分析技术概述.....	277
7—2	网络图.....	278
7—3	网络图时间参数的计算.....	286
7—4	网络图的优化.....	299
主要参考文献.....		306

第一章 系统工程概论

系统工程也称为系统工程学，是二十世纪后半期出现的新兴、边缘科学。系统工程是把自然科学和社会科学中某些思想、理论和方法，根据系统总体协调的需要，有机地联系而成的新兴科学。它的方法论具有显著特点。这个方法体系的主要特征就是将客观事物看成一个有机整体——系统来研究，它不仅要研究系统内部各部分之间的关系，而且还要研究系统与周围环境的关系。因此，系统工程的研究方法是致力于综合应用各学科和科学技术各领域内的成就，使整体系统达到最优化。实践证明，只有根据整个系统的总目标来分析，才能作出科学的判断。

系统工程这种方法论的基础就是运用各种数学方法，计算机技术和控制论。

本书是运用数学工具，把经济、技术两大方面有机结合起来，总结归纳出供实际使用的方法和技术。

1-1 系统工程产生的背景与发展简史

系统工程这一词起源于美国，英文为“System Engineering”。为了深刻认识系统工程的本质和特点，首先要了解一下系统工程产生的社会历史背景，研究其发生和发展的客观必然性。

一、系统工程产生的历史背景

这个历史背景，可以概括为下面两大方面。首先，从现代化生产特点及对管理要求来看其产生的历史背景。

1、现代化生产的特点，主要表现在：

第一，企业生产规划空前庞大。二十世纪三十年代以来，出现了“大企业”、“大工程”和“大科学”。大企业是指一些规模庞大的联合企业或托拉斯。职工以10万计，机构遍布世界各地，成了自成体系的“经济王国”。大工程如大型水利枢纽工程，地区性的供电工程等，如北欧电力工程是一个具有火力、水力和原子能等不同类型的发电站组成的，纵横数千里的输电配电线路，向北欧许多国家供电。大型科研项目象美国阿波罗登月计划参与专家达42万余人。这些大企业、大工程和大科学，都具有规模庞大、结构复杂、功能多样、综合因素众多的特点。

第二，产品复杂性大大增加。早期无线电产品只有15个元件，现在增加1000倍以上。1946年美国制造了世界第一台电脑，当时就使用了18000个电子管，占地约10间房子那么大，重30吨。最初飞机只有1500个零件，现在多达150万个零件。阿波罗号飞船的零件多达300万个以上。

第三，产品升级换代周期大大缩短。过去一种产品可生产几十年，现在科学技术日新月异，新产品层出不穷，许多产品平均5~10年就要升级换代。

第四，生产日益社会化，使得生产协作关系大大复杂，从而使企业与社会联系更加广泛而密切。例如，前几年美国首航成功的哥伦比亚航天飞机就有25个国家为它制造零部件和建立地面站。其中，11个欧洲国家参加建造一间万用太空

实验室，加拿大为它建造一条15米长的灵巧的机械手。

在这种情况下，传统的管理方法已不能满足需要，因而要求实现现代化管理。

2、现代化管理的主要特征可概括如下：

第一，产销一体化。传统的管理，把注意力放在降低产品成本方面，而现代化管理，还必须同时注意到广开销路，求得市场对产品的高额需要。即所谓“管理的重点在于经营，经营的中心在于决策”。

第二，管理组织系统化。现代产品的生产往往要求许多生产部门、行业、企业的密切协作。因此，管理组织也相应要求打破部门、行业、企业之间的界限，组织一个有机的系统，大家按统一计划协调动作。

第三，管理方法定量化。这是现代管理与传统管理主要区别之一。现代化管理广泛地采用数学方法，对问题进行定量分析，以求得最优解决方案。

第四，管理手段现代化。现代化管理面临的问题，常常十分错综复杂，为了对大量数据进行分类、加工和迅速完成许多复杂运算，要求广泛使用电子计算机。据国外统计，80%以上计算机用于各种管理方面的。

其次，再从科学技术发展的特点来看系统工程产生的历史背景。

1、现代科学技术发展趋势是既高度分化又高度综合。而且综合大于分化。早期自然科学门类简单，相互独立。现在科学越分越细，科学门类已多达2000个左右，再加上一些综合性科学兴起（如信息论、控制论、系统论），使各学科不仅有纵向联系，而且有横向联系。1748年出版的《大英百科全书》为两人所编，1967年出版的新版本，由10000

多名专家共同完成。

人类知识以惊人的速度发展。据统计，人类知识在十九世纪大约每隔50年增加1倍，到二十世纪初30年增加1倍，到五十年代10年增加1倍，到七十年代5年增加1倍，现在大约3年增加1倍。人类认识的化合物在1880年只有1200种，到1950年也只有100万种，但到现在已超过400万种。据统计，现在全世界每天有6000~7000篇论文发表，每隔20个月论文数量就增加1倍。

但是另一方面，科学技术发展又出现了高度综合。譬如，象空间科学的研究就需要综合运用火箭技术、电子技术、无线电技术、计算机技术、超微缩技术、力学、数学、热物理、等离子体物理化学和光学等知识。许多新兴技术的产生就是不同学科互相渗透的产物。将给农业、化学和医药带来革命性变革的生物工程就是一个例证。目前，科学技术已进入以电子计算机、遗传工程、激光、光导纤维等为标志的新时代，正以微电子、生物工程、新材料和新能源这四大基础技术为中心，朝着综合化、专业化方向发展。

2、从科研规模来看，早期科学工作，多以个人研究为主。例如，哥白尼对天体运行研究，牛顿对万有引力的研究，法拉第对电磁感应的研究，瓦特对蒸汽机的研究以及居里夫人对放射性的研究等等，就是以个人为主或加几个必要的助手。但是从十九世纪下半叶开始，随着科学门类增加和电子工业的发展，许多重大科技问题的解决，单靠科学家个人努力已无能为力了，如高能加速器、原子能技术、空间技术等，就不是一个科学家所能胜任的。

随着科研规模的扩大，科研作用也越来越大，科研经费与科学家人数也急剧增加。例如，美国1776~1925

年这150年间科研费用仅为10亿美元，而1960~1969年这10年科研费用为1900亿美元，1973年科研费用为300亿美元，1977年科研费用为408亿美元，1979年科研费用达525亿美元，占工农业生产总值的5%左右，1982年科研费用为773亿美元，到1983年科学研究和发展总费用为980多亿美元。

十九世纪末，全世界科学家约5万人，二十世纪六十年代增加到300万人，为历史上科学家总数的90%。到七十年代中期全世界科技人员总数超过500万人。

从上述两大方面可以看出，二十世纪以来，由于社会生产力的高度发展，现代科学技术活动规模迅速扩大，工程技术复杂程度不断提高，使自然科学、技术科学以及社会科学之间的整体性联系这一特点日益突出。系统工程正是适应和加强这种整体性联系而产生的一门崭新的边缘科学。

二、系统工程发展简史

系统工程是在第二次世界大战时间为适应战争需要而形成的，它的萌芽阶段可以追溯到本世纪初的泰罗管理制度。但是，“系统工程”这一名称的出现还是本世纪四十年代。此时，美国贝尔电话公司，在研制电话自动交换机时，为缩短科学发明到投入使用的时间，他们认识到不能只注意到电话和交换台等局部设备，更需要研究整个系统。于是，他们按时间顺序，把工作划分为规划、研究、发展、工程应用和通用工程等五个阶段，首先提出“系统工程”的名称。

第二次世界大战时，大规模的战争活动，要求用最新技术在最短时间内生产出新的武器装备，并要求在战场上最有效地使用这些武器装备，这就需要全面地、系统地研究武器

系统、军事指挥系统以及后勤供应系统的组织问题。这种以大规模作战系统为对象，研究其最优化的技术，就形成了运筹学，它为系统工程发展奠定了基础。1942年，美国总统罗斯福根据以爱因斯坦为首的一批著名科学家关于制造原子弹的建议，集中了15万名科技人员，耗资20亿美元，动用全国三分之一电力，搞了个“曼哈顿”工程，研究原子弹，三年后研制出首批原子弹，随即投在日本广岛。特别是1945年，美国空军建立了“兰德”（RANDO）公司，他们采用了系统工程分析方法对军事作战行动进行系统的研究。这些都是为系统工程的广泛应用奠定了基础。

1957年，美国密执安大学H·H·Goode与R·E·Machol两位教授写了第一本以“系统工程”命名的书。

1958年1月，美国海军在顾问公司协助下，完成了“PERT”技术，即“计划评审法”（或称“计划协调技术”），并将此技术用于研制北极星导弹核潜艇上，使北极星导弹提前两年完成，从而进一步把系统工程推进到管理领域中。

尤其是1961年，美国总统肯尼迪宣布人类登月计划，这就是举世瞩目的“阿波罗”登月计划（阿波罗意为太阳神）。这个计划原打算从1961年到1972年11年完成。由于使用了系统工程的方法，结果提前两年完成。1969年7月16日阿波罗飞船把3名宇航员送到月球，7月24日返回地面。这一成功，被誉为“系统工程”的辉煌成就。这项计划耗资300亿美元，参加的各类专家达42万人，20000多家公司、企业，120所大学和研究所，制作的零部件多达300万个，有600多台计算机供其使用。要完成这样巨大的计划，除了要考虑各部门之间的配合和协调工作之外，还

要在制定计划时估算各种未知因素可能带来的影响。这样千头万绪的工作,变化多端的情况,靠一个“总工程师”或“总设计师”的智慧和实际经验是无法解决的。这就要求有一个总体规划部门运用一种科学的组织管理方法,综合考虑、统筹安排来解决这些问题,这种科学方法就是系统工程。

1965年,美国学者编写了《系统工程手册》,比较完整地阐述了系统工程理论、系统方法、系统技术、系统数学、系统环境等多方面的内容,初步形成一个较为完整的理论体系。但系统工程至今仍处于不成熟状况。

由于美国在实际运用系统工程方面取得了显著效果,所以六十年代末期,不少国家都陆续引进了系统工程。例如,日本引进系统工程在企业界推行全面质量管理、价值工程等,取得了明显效果。苏联从“控制论”开始研究系统工程,在企业中建立了许多自动化系统,在空间技术和国民经济计划方面也取得成效。

英国1965年在兰开斯大学成立第一个系统工程系。

1972年,在奥地利的维也纳成立了“国际应用系统分析研究所”,有美国、苏联、日本、加拿大、英国、德国等17个国家参加。主要研究世界人口、资源、粮食、环保和国土开发等方面课题

我国由于钱学森教授积极倡导和支持,六十年代初开始应用系统工程方法探讨尖端技术;同时,华罗庚教授大力推广“统筹法”和“优选法”,并取得了显著的成就。可惜有关研究工作因十年浩劫而中断,直至1980年才成立了系统科学研究所,同年11月18日又成立中国系统工程学会。现在,少数大学设立了工程系,有工程专业学校已经比较多了。

由于系统工程有广泛应用前途，现在不少国家都在加速培养系统工程方面人才。据统计，1967年美国的系统工程师约为20000人，占当时科技人员和工程师的8%；但是到七十年代初，系统工程师已达175000人，目前美国从事系统工程的人员已超过300万人。可见发展之迅速。不仅如此，现在美国每年培养出系统工程的大学毕业生3000人，硕士研究生1600多人，博士研究生400余人，即每年共培养出5000人。

日本战后注意引进新技术，推动科学技术和生产发展，但没有注意系统工程方面的研究。六十年代后，发展大型工程，深感因缺乏系统工程研究而造成的困难，因而请美国兰德公司积极帮助培养系统工程方面的人才，据统计到1975年系统工程师超过11万人，日立、三菱、东芝等公司都设有系统工程研究所，专门从事系统工程学的研究。

1-2 系统和系统工程概念

一、系统的定义

“系统”这一词最早出现于古希腊语，它的意思是表示由部分组成的整体。系统概念并不神秘，它广泛存在于自然界、人类社会及人类思维之中，大到浩瀚的银河系，小到肉眼看不到的原子核，都可以看成系统。

例如，一个工厂可视为一个系统，它由许多车间、科室组成，这些车间、科室是相互依存、相互制约，为生产该厂产品这个共同目的协同工作着。当然，这个工厂需要从市场购买原料、设备，并通过其销售产品，这是工厂与外界发生联系。我们称组成该工厂的车间、科室为该工厂这个系统的组