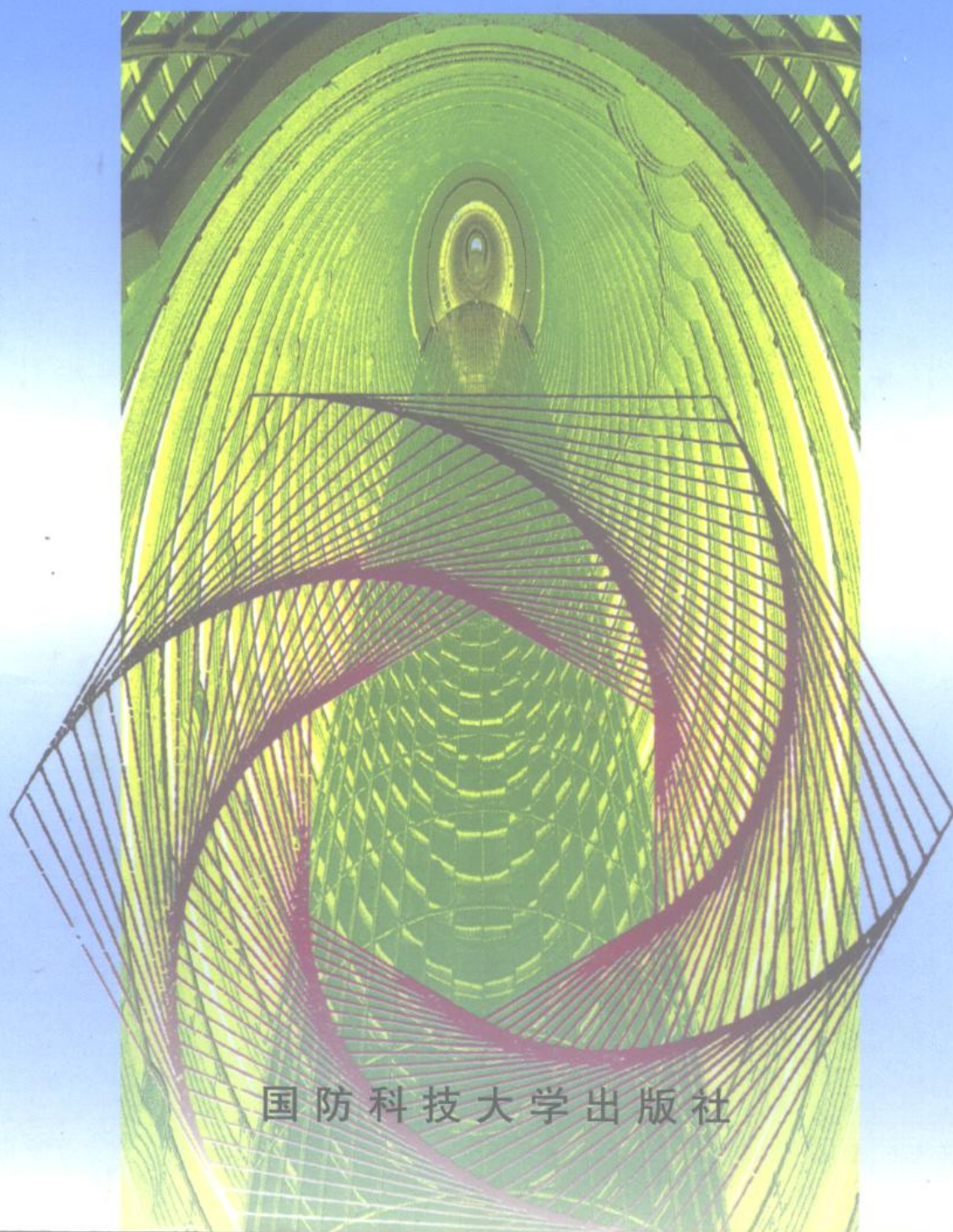


# 系统工程原理

谭跃进 陈英武 易进先 编著



国防科技大学出版社

N94  
T26-2

444913

# 系统工程原理

谭跃进 陈英武 易进先 编著

国防科技大学出版社

· 长沙 ·

## 图书在版编目(CIP)数据

系统工程原理/谭跃进等编著. —长沙:国防科技大学出版社,1999.11

ISBN 7-81024-594-5

I. 系… II. 谭… III. 系统工程 IV. N94

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 44705 号

### 内 容 提 要

系统工程是 20 世纪 40 年代发展起来的一门新兴交叉学科,其应用领域十分广阔。本书系统地介绍了系统工程的基本概念、理论和方法,特别是系统建模与系统分析、系统结构模型、层次分析法、投入产出分析、系统预测、系统评价、系统决策、网络技术、系统仿真以及系统科学的基本理论和方法。较好地解决了与运筹学课程内容的重复问题,尽可能反映了近年来系统工程理论方法的新成果。本书可作为高等院校系统工程、管理工程、工商管理、财经类专业以及有关工程技术专业的教材,也可作为管理人员、工程技术人员、领导干部的培训教材和自学参考书。

国防科技大学出版社出版发行

电话:(0731)4555681 邮政编码:410073

E-mail:gfkdcbs@public.cs.hn.cn

责任编辑:张 静 责任校对:卢天颢

新华书店总店北京发行所经销

国防科技大学印刷厂印装

\*

787×1092 1/16 印张:25.75 字数:595 千

1999 年 11 月第 1 版第 1 次印刷 印数:1—3000 册

\*

定价:32.00 元

## 序

20 世纪 40 年代以来,科学技术取得了巨大进步,出现了研制计算机、导弹和宇宙飞船等这样的大科学、大工程。在这些大科学、大工程中,运用系统工程方法取得了显著成效,对系统工程的发展起到了推动作用,同时也标志着人类在组织管理技术上迎来了一个新时代。

现代系统科学与系统工程的发展,体现在系统哲学、系统方法、系统技术和系统实践各个层面上,系统工程思想已广泛应用于传统科学以及人们日常生活管理的许多领域,它改变了人们观察世界的方法和角度,并丰富了人类对自然和社会的认识。

我国的系统科学与系统工程是在著名科学家钱学森教授的直接倡导下建立和发展起来的。60 年代初期,在国防尖端技术方面应用系统工程方法取得了显著成效。60~70 年代着重于传播系统工程理论、方法。80~90 年代独立地开展系统工程理论、方法 and 应用研究,取得了创新性进展。

1979 年,钱学森教授亲自组建了国防科技大学系统工程与数学系,招收了系统工程专业本科生和研究生,继而又获得了系统工程硕士、博士学位授予权。20 年来,系统工程课程一直是本专业的主干课程,先后出版了《系统工程》、《系统工程方法论》等教材。这次出版的《系统工程原理》,是作者在上述基础上,根据多年从事系统工程教学和科研的实践经验编写而成的。本书面向 21 世纪人才培养的高要求,较系统地介绍了系统工程的基本概念、理论和方法,避免了与运筹学课程内容的重复,较好地反映了近年来系统工程理论方法的新成果。因此,本书的正式出版是一件值得庆贺的事。

系统工程作为一门新兴的综合性的边缘学科,无论在理论上、方法上、体系上都处在发展之中,它必将随着生产技术、基础理论、计算工具的发展而不断发展。因此,可以预料在此过程中本书亦将会不断更新、丰富、完善。

汪浩

1999 年 7 月于长沙

# 前言

1978年9月,钱学森、许国志、王寿云共同发表了《组织管理的技术——系统工程》文章,这是我国开创系统科学与系统工程事业的标志。系统科学是一门从总体上研究(复杂)系统共同运动规律的科学,而系统工程则是一门系统科学、工程技术学、经济学和管理学等相结合的组织管理技术,是一种改造客观世界的工程技术,同时也是一种运筹与决策的艺术。

随着科学技术的进步,社会经济的发展,构成客观世界的三个基本要素——物质、能量和信息不断丰富,使得事物之间的相互联系日益加强,整个世界朝着复杂性不断增加的方向发展。这是不依人的主观意志为转移的客观规律。正如一般系统论创始人冯·贝塔朗非所指出的,“无论如何,我们被迫在知识的一切领域中运用‘整体’或者‘系统’来处理复杂性问题的,这将对科学思维的一个根本改造。”因此,系统科学与系统工程将会受到越来越广泛的重视。

本书是根据作者多年从事系统工程实践和授课经验编写而成的。本书较好地解决了与运筹学课程内容的重复问题。本书面向21世纪人才培养的更高要求,尽可能反映了近年来系统工程理论方法的新成果。全书共分十三章。

第一章 绪论,介绍了系统、系统工程和系统科学体系的基本概念。

第二章 系统工程方法论,介绍了霍尔和切克兰德的方法论、并行工程方法学以及钱学森等人提出的系统集成工程方法学。

第三章 系统建模与系统分析,介绍了系统模型定义、特征和分类,重点是系统建模和系统分析方法。

第四章 系统结构模型,介绍了结构模型概念,重点是解析结构模型和模糊结构模型。

第五章 层次分析法,重点介绍了层次分析法的基本原理、步骤、计算方法及应用。

第六章 投入产出分析,重点介绍了投入产出分析的概念,投入产出表与投入产出方程、投入产出表的编制及应用。

第七章 系统预测,介绍了定性预测、时间序列分析预测、回归分析预测、状态空间分析预测和马尔可夫预测等方法。

第八章 系统评价,介绍了系统评价指标数量化方法、评价指标综合方法以及模糊综合评价方法。

第九章 系统决策,介绍了风险型决策方法、完全不确定型决策、贝叶斯决策、多目标决策以及系统决策中的几个问题。

第十章 系统网络技术,介绍了网络图的绘制、参数计算、调整与优化、网络的时间—费用分析和系统网络技术的应用,简单介绍了图解评审技术 GERT。

第十一章 系统仿真,介绍了系统仿真的基本概念,重点是连续系统仿真、离散事件

系统仿真、系统动力学仿真等。

第十二章 系统理论基础,综合性地介绍了系统理论学派及其发展,系统理论的基本概念、基本内容和方法,在此基础上,重点介绍了分岔与突变理论、自组织理论、主方程与福克-普朗克方程和自动器网络模型等。

第十三章 案例分析,给出了三个案例。

每章后配有适量的习题和思考题。本书内容可按 80 学时讲授,打 \* 号的章节内容可不讲授,这不会影响后续内容。单独开设了系统建模仿真课的,第十一章可选讲其中未讲授的内容。可根据需要在第十三章中挑选或另外增加一些案例教学。本书内容也可按 60 学时讲授,可不讲授第十二章的内容。本书第一、二、四、十二章由谭跃进编写,第七、九、十一章由陈英武编写,第三、五、六、八、十章由易进先编写,第十三章由三人共同编写,全书由谭跃进修改统稿。本书可作为高等院校系统工程、管理工程、工商管理、财经类专业以及有关工程技术专业的教材,也可作为管理人员、工程技术人员、领导干部的培训教材和自学参考书。

在写作出版过程中,得到了国防科技大学训练部教保处、人文与管理学院、管理科学与工程系、系统工程研究所等有关领导和同志们热情支持和大力帮助,汪浩教授、周曼殊教授热情关怀并对本书提出了宝贵的意见和建议,汪浩教授还为本书作了序,在此表示衷心的感谢!同时,还要衷心感谢高世楫博士、韩亚欣博士对本书的编写所给予的支持和帮助。由于系统工程是一门正在发展还未成熟的新兴学科,同时也由于作者的水平所限,书中错漏之处在所难免,敬请读者和同事们批评指正。

作者

1999 年 7 月



# 目 录

## 第一章 绪论

|                           |      |
|---------------------------|------|
| § 1.1 系统的概念 .....         | (1)  |
| § 1.1.1 系统的定义 .....       | (1)  |
| § 1.1.2 系统的特性 .....       | (1)  |
| § 1.1.3 系统的分类 .....       | (2)  |
| § 1.2 系统工程的概念 .....       | (4)  |
| § 1.2.1 系统工程的定义 .....     | (4)  |
| § 1.2.2 系统工程的特点 .....     | (5)  |
| § 1.2.3 系统工程的形成与发展 .....  | (6)  |
| § 1.3 系统科学体系 .....        | (8)  |
| § 1.3.1 物性与系统性 .....      | (8)  |
| § 1.3.2 整体与局部的关系:突现性..... | (8)  |
| § 1.3.3 系统科学体系 .....      | (9)  |
| § 1.4 系统工程的应用.....        | (10) |
| 习题·思考题 .....              | (11) |

## 第二章 系统工程方法论

|                            |      |
|----------------------------|------|
| § 2.1 霍尔和切克兰德的系统工程方法论..... | (12) |
| § 2.1.1 霍尔的三维结构.....       | (12) |
| § 2.1.2 切克兰德的“调查学习”模式..... | (14) |
| * § 2.2 并行工程方法学.....       | (15) |
| § 2.2.1 并行工程的定义.....       | (15) |
| § 2.2.2 并行工程过程设计.....      | (16) |
| § 2.2.3 并行组织管理模式.....      | (16) |
| § 2.2.4 并行工程的实施步骤.....     | (17) |
| * § 2.3 综合集成工程方法学.....     | (18) |
| 习题·思考题 .....               | (19) |

## 第三章 系统建模与系统分析

|                         |      |
|-------------------------|------|
| § 3.1 系统模型概述.....       | (20) |
| § 3.1.1 系统模型的定义与特征..... | (20) |
| § 3.1.2 使用系统模型的必要性..... | (21) |

|              |                             |      |
|--------------|-----------------------------|------|
| § 3.1.3      | 系统模型的分类·····                | (22) |
| § 3.1.4      | 使用数学模型的好处·····              | (23) |
| § 3.2        | 系统建模方法·····                 | (23) |
| § 3.2.1      | 对系统模型的要求·····               | (23) |
| § 3.2.2      | 系统建模应遵循的原则·····             | (24) |
| § 3.2.3      | 系统建模的主要方法·····              | (24) |
| § 3.2.4      | 系统建模者应该具备的素质·····           | (25) |
| § 3.3        | 系统分析概述·····                 | (26) |
| § 3.3.1      | 系统分析的定义·····                | (26) |
| § 3.3.2      | 系统分析的要素·····                | (26) |
| § 3.3.3      | 系统分析的原则·····                | (27) |
| § 3.3.4      | 系统分析的要点和步骤·····             | (28) |
| § 3.3.5      | 系统分析的方法·····                | (30) |
| § 3.4        | 系统分析应用实例·····               | (33) |
| § 3.4.1      | 美军 F-10B 型飞机武器选型的系统分析 ····· | (33) |
| § 3.4.2      | 阿拉斯加原油输送方案的系统分析·····        | (36) |
| 习题·思考题 ····· |                             | (37) |

## 第四章 系统结构模型

|              |                     |      |
|--------------|---------------------|------|
| § 4.1        | 结构模型概论·····         | (38) |
| § 4.1.1      | 结构模型通式·····         | (38) |
| § 4.1.2      | 有限划分序列诱导层次结构·····   | (41) |
| § 4.2        | 解析结构模型·····         | (43) |
| § 4.2.1      | 关系图、关系矩阵、可达性矩阵····· | (43) |
| § 4.2.2      | 可达性矩阵的划分·····       | (47) |
| § 4.2.3      | 建立结构矩阵·····         | (52) |
| § 4.3        | 模糊结构模型·····         | (55) |
| § 4.3.1      | 模糊关系与模糊矩阵·····      | (55) |
| § 4.3.2      | 模糊层次结构·····         | (58) |
| § 4.3.3      | 模糊聚类分析·····         | (59) |
| 习题·思考题 ····· |                     | (62) |

## 第五章 层次分析法

|         |                 |      |
|---------|-----------------|------|
| § 5.1   | 层次分析法的基本原理····· | (64) |
| § 5.1.1 | 引言·····         | (64) |
| § 5.1.2 | 基本原理·····       | (65) |
| § 5.2   | 层次分析法的步骤·····   | (66) |
| § 5.2.1 | 建立层次结构模型·····   | (66) |



|         |                 |      |
|---------|-----------------|------|
| § 5.2.2 | 构造判断矩阵          | (67) |
| § 5.2.3 | 层次单排序           | (67) |
| § 5.2.4 | 层次总排序           | (68) |
| § 5.2.5 | 一致性检验           | (69) |
| § 5.3   | 层次分析法的计算方法      | (69) |
| § 5.3.1 | 幂法              | (69) |
| § 5.3.2 | 和积法             | (70) |
| § 5.3.3 | 方根法             | (70) |
| § 5.4   | 层次分析法的应用        | (71) |
| § 5.4.1 | AHP 用于方案排序      | (71) |
| § 5.4.2 | AHP 在产品结构调整中的应用 | (74) |
| § 5.4.3 | AHP 用于产品质量管理    | (77) |
| § 5.5   | 层次分析法的改进        | (80) |
| § 5.5.1 | 引言              | (80) |
| § 5.5.2 | 改进的 AHP         | (80) |
| § 5.5.3 | 实例              | (82) |
| § 5.5.4 | 结论              | (84) |
|         | 习题·思考题          | (84) |

## 第六章 投入产出分析

|         |                   |       |
|---------|-------------------|-------|
| § 6.1   | 投入产出分析概述          | (85)  |
| § 6.1.1 | 基本概念              | (85)  |
| § 6.1.2 | 起源与发展             | (86)  |
| § 6.1.3 | 应用概况              | (86)  |
| § 6.1.4 | 发展动态              | (87)  |
| § 6.2   | 投入产出表与投入产出方程      | (88)  |
| § 6.2.1 | 投入产出表的结构与投入产出方程   | (88)  |
| § 6.2.2 | 直接消耗系数与完全消耗系数     | (90)  |
| § 6.3   | 投入产出表的编制          | (96)  |
| § 6.3.1 | 部门划分与资料收集问题       | (96)  |
| § 6.3.2 | 直接消耗系数的有关问题       | (98)  |
| § 6.3.3 | 价值型表的计价问题         | (99)  |
| § 6.3.4 | 其他有关问题            | (99)  |
| § 6.4   | 投入产出分析的应用         | (100) |
| § 6.4.1 | 在经济分析中的应用         | (100) |
| § 6.4.2 | 在编制经济计划和计划调整方面的应用 | (101) |
| § 6.4.3 | 在经济预测中的应用         | (101) |
| § 6.4.4 | 在其他方面的应用          | (102) |

|                      |       |
|----------------------|-------|
| § 6.4.5 具体应用举例 ..... | (103) |
| 习题·思考题.....          | (107) |

## 第七章 系统预测

|                                       |       |
|---------------------------------------|-------|
| § 7.1 系统预测概述 .....                    | (109) |
| § 7.1.1 系统预测的概念及实质 .....              | (109) |
| § 7.1.2 预测方法分类 .....                  | (109) |
| § 7.1.3 系统预测的一般步骤 .....               | (110) |
| § 7.2 定性预测方法 .....                    | (111) |
| § 7.3 时间序列分析(一) .....                 | (115) |
| § 7.3.1 时间序列的概念 .....                 | (115) |
| § 7.3.2 平滑预测法 .....                   | (118) |
| § 7.3.3 趋势外推预测法 .....                 | (122) |
| § 7.4 回归分析预测法 .....                   | (131) |
| § 7.4.1 线性回归模型 .....                  | (132) |
| § 7.4.2 线性回归模型的参数估计 .....             | (132) |
| § 7.4.3 线性回归模型的统计特征 .....             | (133) |
| § 7.4.4 回归模型的统计检验 .....               | (135) |
| § 7.4.5 多重共线性及处理 .....                | (142) |
| § 7.4.6 柯布一道格拉斯生产函数的回归估计 .....        | (143) |
| § 7.5 时间序列分析(二)——Box-Jenkins 模型 ..... | (146) |
| § 7.5.1 Box-Jenkins 模型概念 .....        | (146) |
| § 7.5.2 ARMA 模型的识别 .....              | (149) |
| § 7.5.3 ARMA 模型的参数估计 .....            | (152) |
| § 7.5.4 ARMA 模型检验 .....               | (156) |
| § 7.5.5 ARMA 模型预测 .....               | (157) |
| § 7.6 状态空间分析预测 .....                  | (161) |
| § 7.6.1 状态空间分析法 .....                 | (161) |
| § 7.6.2 宋健人口模型 .....                  | (161) |
| § 7.7 马尔可夫预测 .....                    | (166) |
| § 7.7.1 马尔可夫预测原理 .....                | (166) |
| § 7.7.2 市场占有率预测 .....                 | (169) |
| § 7.7.3 设备维修方面的应用 .....               | (170) |
| 习题·思考题.....                           | (171) |

## 第八章 系统评价

|                        |       |
|------------------------|-------|
| § 8.1 系统评价概述 .....     | (175) |
| § 8.1.1 系统评价的复杂性 ..... | (175) |

|         |                     |       |
|---------|---------------------|-------|
| § 8.1.2 | 系统评价与系统决策 .....     | (176) |
| § 8.1.3 | 系统评价应该遵循的原则 .....   | (176) |
| § 8.1.4 | 评价指标体系的建立 .....     | (177) |
| § 8.2   | 评价指标数量化方法 .....     | (180) |
| § 8.2.1 | 排队打分法 .....         | (180) |
| § 8.2.2 | 体操计分析 .....         | (180) |
| § 8.2.3 | 专家评分法 .....         | (182) |
| § 8.2.4 | 两两比较法 .....         | (183) |
| § 8.2.5 | 连环比率法 .....         | (185) |
| § 8.3   | 评价指标综合的主要方法 .....   | (186) |
| § 8.3.1 | 加权平均法 .....         | (186) |
| § 8.3.2 | 功效系数法 .....         | (189) |
| § 8.3.3 | 主次兼顾法 .....         | (190) |
| § 8.3.4 | 效益成本法与罗马尼亚选择法 ..... | (191) |
| § 8.3.5 | 分层系列法 .....         | (192) |
| § 8.4   | 模糊综合评价方法 .....      | (193) |
| § 8.4.1 | 模糊综合评价的数学模型 .....   | (193) |
| § 8.4.2 | 模糊综合评价的应用 .....     | (195) |
|         | 习题·思考题 .....        | (199) |

## 第九章 系统决策

|         |                    |       |
|---------|--------------------|-------|
| § 9.1   | 系统决策概述 .....       | (200) |
| § 9.1.1 | 决策和决策过程 .....      | (200) |
| § 9.1.2 | 决策问题及其分类 .....     | (201) |
| § 9.1.3 | 系统决策的基本步骤 .....    | (202) |
| § 9.2   | 风险型决策方法 .....      | (203) |
| § 9.2.1 | 决策表法 .....         | (204) |
| § 9.2.2 | 决策矩阵法 .....        | (205) |
| § 9.2.3 | 决策树法 .....         | (209) |
| § 9.3   | 完全不确定型决策 .....     | (211) |
| § 9.4   | 贝叶斯决策 .....        | (213) |
| § 9.5   | 系统决策中的几个问题 .....   | (217) |
| § 9.5.1 | 灵敏度分析 .....        | (217) |
| § 9.5.2 | 情报(信息)的价值 .....    | (218) |
| § 9.5.3 | 效用理论和决策 .....      | (219) |
| § 9.6   | 多目标决策 .....        | (222) |
| § 9.6.1 | 多目标决策问题的基本概念 ..... | (222) |
| § 9.6.2 | 化多为少的方法 .....      | (222) |

|                          |       |
|--------------------------|-------|
| § 9.6.3 分层序列法 .....      | (228) |
| § 9.6.4 直接求非劣解法 .....    | (228) |
| § 9.6.5 多目标线性规划的解法 ..... | (229) |
| 习题·思考题 .....             | (233) |

## 第十章 系统网络技术

|                                   |       |
|-----------------------------------|-------|
| § 10.1 网络图的组成及绘制 .....            | (235) |
| § 10.1.1 网络图的组成 .....             | (235) |
| § 10.1.2 绘制网络图的基本规则 .....         | (236) |
| § 10.1.3 网络图的绘制步骤 .....           | (238) |
| § 10.1.4 作业时间的确定 .....            | (240) |
| § 10.2 网络图的参数与计算 .....            | (241) |
| § 10.2.1 结点的时间参数与计算 .....         | (241) |
| § 10.2.2 作业的时间参数与计算 .....         | (242) |
| § 10.2.3 关键路线与时差的关系 .....         | (243) |
| § 10.2.4 网络图参数的计算方法 .....         | (244) |
| § 10.3 任务按期完成的概率分析与计算 .....       | (248) |
| § 10.3.1 任务完成时间近似符合正态分布规律 .....   | (248) |
| § 10.3.2 任务按期完成的概率计算 .....        | (249) |
| § 10.4 网络图的调整与优化 .....            | (251) |
| § 10.4.1 缩短网络计划工期 .....           | (251) |
| § 10.4.2 网络执行过程中的检查与调整 .....      | (254) |
| § 10.4.3 时间—资源优化 .....            | (256) |
| § 10.4.4 日历计划网络图的绘制 .....         | (258) |
| § 10.5 网络的时间—费用分析与优化 .....        | (260) |
| § 10.5.1 直接成本与时间的关系 .....         | (260) |
| § 10.5.2 经济赶工的方法 .....            | (260) |
| § 10.5.3 考虑间接成本的 CPM .....        | (263) |
| * § 10.6 图解评审技术——GERT .....       | (264) |
| § 10.6.1 PERT 的发展——GERT .....     | (264) |
| § 10.6.2 GERT 网络结点特征及其绘制实例 .....  | (265) |
| § 10.6.3 用 GERT 网络解决系统问题的步骤 ..... | (268) |
| § 10.7 系统网络技术的应用 .....            | (268) |
| § 10.7.1 PERT 的应用 .....           | (268) |
| § 10.7.2 系统网络技术的实施步骤 .....        | (271) |
| § 10.7.3 系统网络技术的推广应用 .....        | (273) |
| 习题·思考题 .....                      | (274) |

## 第十一章 系统仿真

|                            |       |
|----------------------------|-------|
| § 11.1 系统仿真概论·····         | (276) |
| § 11.1.1 系统仿真概念·····       | (276) |
| § 11.1.2 系统仿真分类·····       | (277) |
| § 11.1.3 蒙特卡罗仿真·····       | (278) |
| § 11.1.4 系统仿真的基本步骤·····    | (279) |
| § 11.2 连续系统仿真·····         | (282) |
| § 11.2.1 连续系统的数学模型·····    | (282) |
| § 11.2.2 常微分方程数值解法·····    | (286) |
| § 11.2.3 连续系统仿真技术·····     | (286) |
| § 11.3 离散事件系统仿真·····       | (287) |
| § 11.3.1 随机离散事件·····       | (287) |
| § 11.3.2 离散事件系统仿真原理·····   | (289) |
| § 11.3.3 离散事件系统仿真技术·····   | (294) |
| § 11.3.4 手工仿真实例·····       | (296) |
| § 11.4 系统动力学仿真·····        | (299) |
| § 11.4.1 系统动力学方法·····      | (299) |
| § 11.4.2 因果反馈结构·····       | (302) |
| § 11.4.3 DYNAMO 语言及模型····· | (306) |
| § 11.4.4 模型实例·····         | (320) |
| 习题·思考题·····                | (325) |

## 第十二章 系统理论基础

|                             |       |
|-----------------------------|-------|
| § 12.1 系统理论及其学派·····        | (326) |
| § 12.1.1 一般系统论的发展·····      | (326) |
| § 12.1.2 沿开放系统理论发展·····     | (327) |
| § 12.1.3 形式系统和系统哲学·····     | (328) |
| § 12.1.4 复杂适应系统(CAS)理论····· | (329) |
| § 12.1.5 开放的复杂巨系统理论·····    | (330) |
| § 12.1.6 系统理论的未来发展·····     | (331) |
| § 12.2 系统理论的基本概念·····       | (332) |
| § 12.2.1 牛顿时间与柏格森时间·····    | (332) |
| § 12.2.2 有序和无序·····         | (333) |
| § 12.2.3 系统演化和突现吸引子·····    | (337) |
| § 12.3 系统理论的基本内容和方法·····    | (339) |
| § 12.3.1 系统理论的基本内容·····     | (339) |
| § 12.3.2 系统建模方法论·····       | (340) |

|          |               |       |
|----------|---------------|-------|
| § 12.4   | 分岔与突变理论基础     | (341) |
| § 12.4.1 | 临界点和结构稳定性     | (341) |
| § 12.4.2 | Pitch-fork 分岔 | (342) |
| § 12.4.3 | Hopf 分岔       | (344) |
| § 12.4.4 | 初等突变及其应用      | (346) |
| § 12.5   | 自组织原理         | (350) |
| § 12.5.1 | 组织            | (350) |
| § 12.5.2 | 自组织           | (351) |
| § 12.5.3 | 生存竞争          | (353) |
| * § 12.6 | 主方程与福克—普朗克方程  | (356) |
| § 12.6.1 | 随机行走模型及其主方程   | (357) |
| § 12.6.2 | 福克—普朗克方程      | (359) |
| § 12.6.3 | 福克—普朗克方程的定态解  | (360) |
| * § 12.7 | 自动器网络模型       | (362) |
| § 12.7.1 | 网络模型概述        | (362) |
| § 12.7.2 | 元胞自动机         | (365) |
|          | 习题·思考题        | (367) |

### 第十三章 案例分析

|        |                 |       |
|--------|-----------------|-------|
| § 13.1 | 洞庭湖治理问题的研究      | (368) |
| § 13.2 | 纽约市供水网扩建工程的系统分析 | (371) |
| § 13.3 | 环境污染综合治理的方案评价   | (376) |
|        | 附录              | (383) |
|        | 参考文献            | (396) |

# 第一章 绪 论

## § 1.1 系统的概念

### § 1.1.1 系统的定义

“系统”一词来源于人类长期的社会实践,存在于自然界、人类社会以及人类思维描述的各个领域,早已为人们所熟悉。究竟什么是系统呢?往往不同的人或同一个人在不同的场合会对它赋予不同的含义。“系统”一词频繁出现在学术讨论和社会生活中,包罗万象的外延,使之成为逻辑上空无一物的概念。概念上的混淆将给系统研究带来一定的困难。我们并不打算在此对系统下一个一劳永逸的定义,而是从系统基本特征的角度,寻找一种较为通用的描述方式。为此,我们采用钱学森给出的对系统的描述性定义<sup>[1]</sup>:

系统是由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合的具有特定功能的有机整体。

这个定义,与类似的许多定义一样,指出了作为系统的三个基本特征。第一,系统是由若干元素组成的;第二,这些元素相互作用、相互依赖;第三,由于元素间的相互作用,使系统作为一个整体具有特定的功能。虽然系统的定义形形色色,但都包含了这三个方面,即这三点是定义“系统”的基本出发点。

因此,在美国的《韦氏(Webster)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结合;由有规则的相互作用、相互依存的形式组成的诸要素集合。”在日本的 JIS 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集合体。”前苏联大百科全书中定义“系统”为“一些在相互关联与联系之下的要素组成的集合,形成了一定的整体性、统一性。”

### § 1.1.2 系统的特性

由系统的定义,不难总结出一般系统应具有下述特性:

#### 1. 整体性

系统整体性说明,具有独立功能的系统要素以及要素间的相互关系是根据逻辑统一性的要求,协调存在于系统整体之中。就是说,任何一个要素不能离开整体去研究,要素之间的联系和作用也不能脱离整体去考虑。系统不是各个要素的简单集合,否则它就不会具有作为整体的特定功能。脱离了整体性,要素的机能和要素之间的作用便失去了原有的意义,研究任何事物的单独部分不能得出有关整体性的结论。系统的构成要素和要素的机能、要素间的相互联系要服从系统整体的功能和目的,在整体功能的基础上展开各要素及其相互之间的活动,这种活动的总和形成了系统整体的有机行为。在一个系统整体中,即



使每个要素并不都很完善,但它们也可以协调、综合成为具有良好功能的系统。相反,即使每个要素都是良好的,但作为整体却不具备某种良好的功能,也就不能称之为完善的系统。

## 2. 层次性

系统作为一个相互作用的诸要素的总体来看,它可以分解为一系列的子系统,并存在一定的层次结构。这是系统结构的一种形式,在系统层次结构中表述了在不同层次子系统之间的从属关系或相互作用的关系。在不同的层次结构中存在着不同的运动形式,构成了系统的整体运动特性,为深入研究复杂系统的结构、功能和有效地进行控制与调节提供了条件。

## 3. 相关性

组成系统的要素是相互联系、相互作用的,相关性说明这些联系之间的特定关系和演变规律。例如,城市是一个大系统,它由资源系统、市政系统、文化教育系统、医疗卫生系统、商业系统、工业系统、交通运输系统、邮电通讯系统等相互联系的部分组成,通过系统内各子系统相互协调的运转去完成城市生活和发展的特定目标。各子系统之间具有密切的关系,相互影响、相互制约、相互作用,牵一发而动全身。要求系统内的各个子系统根据整体目标,尽量避免系统的“内耗”,提高系统整体运行的效果。

## 4. 目的性

通常系统都具有某种目的。为达到既定的目的,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。系统的目的一般用更具体的目标来体现,比较复杂的社会经济系统都具有不止一个目标,因此,需要用一个指标体系来描述系统的目标。比如,衡量一个工业企业的经营业绩,不仅要考核它的产量、产值指标,而且要考核它的成本、利润和质量指标。在指标体系中各个指标之间有时是相互矛盾的,为此,要从整体出发,力求获得全局最优的经营效果,这就要求在矛盾的目标之间做好协调工作,寻求平衡或折衷方案。

## 5. 适应性

任何一个系统都存在于一定的物质环境之中,因此,它必然要与外界产生物质、能量和信息交换,外界环境的变化必然会引起系统内部各要素的变化。不能适应环境变化的系统是没有生命力的,只有能够经常与外界环境保持最优适应状态的系统,才是具有不断发展势头的理想系统。例如,一个企业必须经常了解市场动态、同类企业的经营动向、有关行业的发展动态和国内外市场的需求等环境的变化,在此基础上研究企业的经营策略,调整企业的内部结构,以适应环境的变化。

### § 1.1.3 系统的分类

在自然界和人类社会中普遍存在着各种不同性质的系统。为了对系统的性质加以研究,需要对系统存在的各种形态加以探讨。

#### 1. 自然系统与人造系统

按照系统的起源,自然系统是由自然过程产生的系统。这类系统是自然物(矿物、植物、动物等)所自然形成的系统,像海洋系统、生态系统等。人造系统则是人们将有关元素按其属性和相互关系组合而成的系统,如人类对自然物质进行加工,制造出各种机器所构

成的各种工程系统。

实际上,大多数系统是自然系统与人造系统的复合系统。如在人造系统中,有许多是人们运用科学技术,改造了自然系统。随着科学技术的发展,出现了越来越多的人造系统。但是,值得注意的是,许多人造系统的出现,却破坏了自然生态系统的平衡,造成严重的环境污染和生态系统良性循环的破坏。近年来,系统工程愈来愈注意从自然系统的属性和关系中,探讨研究人造系统。

## 2. 实体系统与概念系统

凡是以矿物、生物、机械和人群等实体为构成要素的系统称之为实体系统。凡是由概念、原理、原则、方法、制度、程序等概念性的非物质实体所构成的系统称为概念系统,如管理系统、军事指挥系统、社会系统等。在实际生活中,实体系统和概念系统在多数情况下是结合的,实体系统是概念系统的物质基础,而概念系统往往是实体系统的中枢神经,指导实体系统的行为。如军事指挥系统中既包括军事指挥员的思想、信息、原则、命令等概念系统,也包括计算机系统、通讯设备系统等实体系统。

## 3. 动态系统和静态系统

动态系统就是系统的状态变量随时间变化的系统,即系统的状态变量是时间的函数。而静态系统则是表征系统运行规律的数学模型中不含有时间因素,即模型中的变量不随时间变化,它是动态系统的一种极限状态,即处于稳定的系统。例如一个化工生产系统是一种连续生产过程,系统中的参数是随着时间变化而变化的动态系统。大多数系统都是动态系统,但是,由于动态系统中各种参数之间的相互关系是非常复杂的,要找出其中的规律性非常困难。有时为了简化起见而假设系统是静态的或使系统中的参数随时间变化的幅度很小而视同静态的。

## 4. 控制系统与行为系统

控制就是为了达到某个目的给对象系统所加的必要动作,因此,为了实行控制而构成的系统叫做控制系统。当控制系统由控制装置自动进行时,称之为自动控制系统,如计算机控制的机械加工生产过程自动控制系统。行为系统是以完成目的的行为作为构成要素而形成的系统。所谓行为就是为了达到某一确定的目的而执行某种特定功能的一种作用,这种作用能对外部环境产生某些效用。这种系统一般是根据某种运行机制而实现某种特定行为的系统,而不是受某种控制作用而运行的系统。

## 5. 开放系统与封闭系统

开放系统是指与其环境之间有物质、能量或信息交换的系统,封闭系统则相反,即系统与环境互相隔绝,它们之间没有任何物质、能量和信息交换。照此定义,可把封闭系统当成与环境完全隔绝的孤立系统。开放系统还可进一步区分为:只有能量交换的系统,同时进行物质、能量交换的系统和物质、能量、信息开放的系统。最早涉及开放与封闭系统研究的领域是物理学。但物理学中的概念与本书中的概念不同,它们之间的区别如下<sup>[2]</sup>:

- (1) 本书定义的封闭系统——物理学称为孤立系统;
- (2) 本书定义的只有能量交换的系统——物理学称为封闭系统;
- (3) 本书定义的同时进行物质、能量交换的系统——物理学称为开放系统;
- (4) 本书定义的物质、能量和信息开放的系统——物理学尚无专门定义。