

高等学校规划教材

系统工程导论

梁军 赵勇 主编



化学工业出版社
教材出版中心

高等学校规划教材

系统工程导论

梁军 赵勇 主编



化学工业出版社
教材出版中心

·北京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

系统工程导论/梁军, 赵勇主编. —北京: 化学工业出版社, 2005. 1

高等学校规划教材

ISBN 7-5025-5783-0

I. 系… II. ①梁…②赵… III. 系统工程-高等学校-教材 IV. N945

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 136141 号

高等学校规划教材

系统工程导论

梁 军 赵 勇 主 编

责任编辑: 唐旭华

文字编辑: 李玉峰

责任校对: 顾淑云 李 军

封面设计: 潘 峰

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京红光印刷厂印装

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 16½ 字数 402 千字

2005 年 3 月第 1 版 2005 年 3 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5783-0/G · 1553

定 价: 27.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

系统工程是当前正在迅速发展的一门综合性基础学科，内容涉及系统建模、系统分析、系统设计、系统仿真、系统预测、系统评价和系统决策诸方面，是系统研究和系统应用的桥梁。近半个世纪以来，系统工程的基本理论与方法已经深入应用到工业、农业、国防、科学技术和社会经济各领域，成为国家经济建设和国防建设的重要基础性学科。系统工程学科在我国乃至世界范围内都是一门具有重要地位的学科，其内容的广泛性、学科的交叉性、应用的直接性都非常适合于培养复合型、全面型高级人才。

本书系统地介绍系统工程理论的基本概念、原理与应用。在内容上，第1章为系统科学与系统工程概述，内容包括系统的概念、研究对象与内容、发展历史和应用领域；第2章为系统工程的基础理论与方法论，内容涵盖系统最优化理论、系统控制理论、信息论和系统工程方法论；第3章进行社会经济系统及其复杂性分析，内容涉及社会经济系统的因素复杂性、结构复杂性、不完全理性、选择复杂性和社会经济系统的方法论；第4章为系统分析，内容包括系统目标分析、系统环境分析、系统结构分析和系统层次分析；第5章为系统模型与仿真，内容涵盖系统模型的定义与特征、系统模型分类与作用、系统建模方法、系统仿真方法，并介绍了系统工程研究中常用的主要模型；第6章为系统预测，包括定性预测方法、一元线性回归分析预测、一元非线性回归分析预测、多元线性回归分析预测、多元线性偏回归分析预测和时间序列分析预测；第7章为系统设计与评价，涵盖系统设计的程序与步骤、系统设计中人的因素分析、系统评价的原则和评价体系以及常用的系统综合评价方法；第8章为系统决策，内容包括决策问题的要素和描述、决策问题的分类、风险型决策、多目标决策、群决策与专家咨询、决策中人的行为分析和决策支持系统。每章配有大量的例题和一定量的思考题与习题。

本书可作为系统工程学科、控制学科、管理学科各专业的本科生、研究生教学用书，也可作为广大教师、科技工作者和工程技术人员的参考书，使用者可根据自己的专业背景和使用目的选取所需内容。

本书是根据编者多年来从事系统工程教学、研究和实践经验编写而成的，其中，第1章由浙江大学王慧教授执笔，第2章和第6章由浙江大学梁军教授执笔，第3章、第7章和第8章由华中科技大学赵勇教授执笔，第4章和第5章由浙江大学周立芳副教授执笔。在本书的写作、出版过程中，我们得到了化学工业出版社和编者所在单位浙江大学、华中科技大学的热情支持和大力帮助，作者的同事钱积新教授、邵之江教授、赵均副教授、陈曦副教授、赵豫红副教授、周建波老师等为本书的定稿提出了建设性的建议，在此一并表示衷心感谢！另外，本书在编写过程中参阅了大量资料和著作，吸收了同行们的劳动成果，在此也向同行们表示感谢！

本书内容已制作成用于多媒体教学的Powerpoint课件，并将免费提供给采用本书作为教材的大专院校使用。如有需要可与编者联系，联系方法为：jliang@iipc.zju.edu.cn。

限于编者水平，书中可能会存在一些不足，敬请广大读者批评指正。

编 者

2004年10月

内 容 提 要

系统工程是当代正在迅速发展的一门综合性基础学科，内容涉及系统建模、系统分析、系统设计、系统仿真、系统预测、系统评价和系统决策诸方面，是系统研究和系统应用的桥梁。

本书系统地介绍系统工程理论的基本概念、原理与应用。内容上，第1~3章介绍了系统工程的基础理论与方法论，并指出系统工程与系统科学之间的内在联系，进行社会经济系统及其复杂性分析，培养读者系统论的思维方法；第4~6章就系统分析、系统仿真、系统建模和系统预测方面进行了较为详细的讨论，介绍了多种系统工程研究的思想和方法，以熟悉实际系统工程问题的解决步骤和技术路线；第7、8章阐述了系统评价、系统决策和系统设计的基本方法，使读者掌握一定的系统综合能力，为系统工程思想与方法的实际应用创造条件。书中每章配有典型的例题，并在章后配有一定量的思考题、习题。

本书可作为系统工程学科、控制学科、管理学科各专业的本科生、研究生教学用书，也可作为广大教师、科技工作者和工程技术人员的参考书，使用者可根据自己的专业背景和使用目的选取所需内容。

目 录

| | |
|------------------------------|----|
| 1 概述 | 1 |
| 1.1 关于系统 | 1 |
| 1.1.1 什么是系统 | 1 |
| 1.1.2 系统的特征 | 2 |
| 1.1.3 系统的分类 | 4 |
| 1.2 系统工程 | 5 |
| 1.2.1 什么是系统工程 | 5 |
| 1.2.2 系统工程解决问题的主要特点 | 6 |
| 1.2.3 系统工程的研究对象与内容 | 7 |
| 1.2.4 系统工程主要理论基础 | 8 |
| 1.3 系统工程的发展历史 | 8 |
| 1.3.1 系统工程的产生与发展 | 8 |
| 1.3.2 系统工程在中国 | 9 |
| 1.3.3 研究趋势与展望 | 10 |
| 1.4 系统工程的应用领域 | 11 |
| 思考题与习题 | 12 |
| 2 系统工程的基础理论与方法论 | 13 |
| 2.1 系统最优化理论 | 13 |
| 2.1.1 线性规划 | 13 |
| 2.1.2 整数规划 | 17 |
| 2.1.3 非线性规划 | 21 |
| 2.1.4 动态规划 | 30 |
| 2.1.5 多目标规划 | 33 |
| 2.2 控制理论基础 | 35 |
| 2.2.1 控制系统的描述形式 | 35 |
| 2.2.2 系统最优控制 | 36 |
| 2.2.3 大系统理论 | 38 |
| 2.3 信息论基础 | 41 |
| 2.4 系统工程方法论 | 43 |
| 2.4.1 霍尔三维结构 | 43 |
| 2.4.2 切克兰德“调查学习”模式 | 45 |
| 思考题与习题 | 45 |
| 3 社会经济系统及其复杂性 | 47 |
| 3.1 社会经济系统及其特点 | 47 |

| | | |
|----------|----------------|-----------|
| 3.2 | 社会经济系统的因素复杂性 | 48 |
| 3.3 | 社会经济系统结构的复杂性 | 49 |
| 3.4 | 社会经济系统中的不完全理性 | 51 |
| 3.5 | 社会经济系统中选择的复杂性 | 53 |
| 3.6 | 社会经济系统的方法论 | 55 |
| | 思考题与习题 | 57 |
| 4 | 系统分析 | 58 |
| 4.1 | 系统分析概述 | 58 |
| 4.1.1 | 系统分析的定义 | 58 |
| 4.1.2 | 系统分析的意义 | 58 |
| 4.1.3 | 系统分析的内容 | 59 |
| 4.1.4 | 系统分析的步骤 | 64 |
| 4.1.5 | 系统分析的方法 | 66 |
| 4.2 | 系统目标分析 | 69 |
| 4.2.1 | 系统目标分析分类 | 69 |
| 4.2.2 | 系统目标的建立 | 70 |
| 4.2.3 | 建立目标集的基本原则 | 72 |
| 4.2.4 | 目标冲突的协调 | 72 |
| 4.3 | 系统环境分析 | 73 |
| 4.3.1 | 系统环境的概念 | 73 |
| 4.3.2 | 环境因素的分类 | 74 |
| 4.3.3 | 环境因素的确定与评价 | 76 |
| 4.3.4 | 系统环境分析举例 | 78 |
| 4.4 | 系统结构分析 | 81 |
| 4.4.1 | 系统结构概念 | 81 |
| 4.4.2 | 系统要素集分析 | 81 |
| 4.4.3 | 系统相关性分析 | 82 |
| 4.4.4 | 系统阶层性分析 | 82 |
| 4.4.5 | 系统整体分析 | 83 |
| 4.4.6 | 系统的结构分析举例 | 84 |
| 4.5 | 系统层次分析 | 87 |
| 4.5.1 | 递阶层次结构 | 88 |
| 4.5.2 | 构造判断矩阵和计算相对权重 | 88 |
| 4.5.3 | 一致性检验 | 90 |
| 4.5.4 | 层次总排序 | 91 |
| 4.5.5 | 层次分析法应用 | 92 |
| 4.6 | 系统分析举例 | 93 |
| | 思考题与习题 | 97 |
| 5 | 系统模型与仿真 | 98 |
| 5.1 | 系统模型 | 98 |

| | | |
|----------|-------------------|-----|
| 5.1.1 | 系统模型的定义与特征 | 98 |
| 5.1.2 | 建立系统模型的必要性 | 99 |
| 5.1.3 | 系统模型分类 | 100 |
| 5.1.4 | 系统模型的作用 | 101 |
| 5.2 | 系统建模 | 102 |
| 5.2.1 | 对系统模型的要求和建模的原则 | 102 |
| 5.2.2 | 系统建模方法与步骤 | 103 |
| 5.3 | 系统工程研究中常用的主要模型 | 104 |
| 5.3.1 | 结构模型 | 104 |
| 5.3.2 | 网络模型 | 113 |
| 5.3.3 | 状态空间模型 | 117 |
| 5.4 | 系统仿真概述 | 119 |
| 5.4.1 | 系统仿真的概念 | 119 |
| 5.4.2 | 仿真技术的发展 | 121 |
| 5.4.3 | 系统仿真分类 | 123 |
| 5.4.4 | 系统仿真的基本步骤 | 124 |
| 5.5 | 连续系统仿真与离散系统仿真 | 126 |
| 5.5.1 | 连续系统仿真 | 126 |
| 5.5.2 | 离散事件系统仿真 | 136 |
| 5.6 | 基于相似理论的系统仿真方法概述 | 143 |
| 5.6.1 | 相似理论的基本思想 | 143 |
| 5.6.2 | 基于相似理论的系统仿真基本概念框架 | 144 |
| 5.6.3 | 基于相似理论的系统仿真方法和步骤 | 147 |
| | 思考题与习题 | 149 |
| 6 | 系统预测 | 151 |
| 6.1 | 引言 | 151 |
| 6.2 | 德尔菲定性预测方法 | 152 |
| 6.3 | 一元线性回归分析预测 | 153 |
| 6.3.1 | 一元线性回归原理 | 153 |
| 6.3.2 | 一元线性回归预测的精度分析 | 155 |
| 6.3.3 | 一元线性回归预测的步骤 | 156 |
| 6.4 | 一元非线性回归分析预测 | 158 |
| 6.4.1 | 函数变换线性化方法 | 158 |
| 6.4.2 | 多项式变换线性化方法 | 159 |
| 6.4.3 | 分段线性化方法 | 160 |
| 6.4.4 | 直接非线性回归分析的方法 | 160 |
| 6.5 | 多元线性回归分析预测 | 162 |
| 6.5.1 | 多元线性回归预测的原理 | 162 |
| 6.5.2 | 主要计算方法 | 163 |
| 6.5.3 | 多元线性回归方程的显著性检验 | 167 |

| | | |
|----------|-------------------------------|------------|
| 6.5.4 | 多元线性回归模型的预测精度 | 168 |
| 6.6 | 多元线性偏回归分析预测 | 168 |
| 6.6.1 | 复共线问题 | 168 |
| 6.6.2 | 岭回归分析 | 169 |
| 6.6.3 | 偏最小二乘回归分析 | 171 |
| 6.7 | 时间序列分析模型 | 179 |
| 6.7.1 | 平稳时间序列与白噪声 | 179 |
| 6.7.2 | 自回归滑动平均模型——ARMA 模型 | 180 |
| 6.7.3 | ARMA 模型的参数估计 | 182 |
| 6.7.4 | ARMA (p, q) 模型的阶数估计 | 186 |
| 6.7.5 | 非平稳时间序列的 ARIMA 模型 | 187 |
| 6.8 | 时间序列分析预测 | 187 |
| 6.8.1 | ARMA 模型的直接预测方法 | 188 |
| 6.8.2 | ARMA 模型的新息预测方法 | 189 |
| | 思考题与习题 | 190 |
| 7 | 系统设计与评价 | 193 |
| 7.1 | 系统设计的任务与原则 | 193 |
| 7.2 | 系统设计的程序与步骤 | 195 |
| 7.2.1 | 设计方针和方法的给定 | 195 |
| 7.2.2 | 寻求方案的策略 | 195 |
| 7.2.3 | 综合 | 197 |
| 7.2.4 | 分析 | 198 |
| 7.3 | 系统设计中的人的因素 | 199 |
| 7.4 | 系统评价的概念和任务 | 201 |
| 7.4.1 | 评价的原则 | 202 |
| 7.4.2 | 评价的实施 | 203 |
| 7.5 | 评价指标体系 | 204 |
| 7.6 | 常用的综合评价方法 | 205 |
| 7.6.1 | 成本效益法 | 206 |
| 7.6.2 | 聚类分析法 | 206 |
| 7.6.3 | 层次分析法 | 207 |
| 7.6.4 | 专家评价法 | 210 |
| 7.6.5 | 模糊综合评价法 | 212 |
| | 思考题与习题 | 217 |
| 8 | 系统决策 | 218 |
| 8.1 | 决策的概念 | 218 |
| 8.1.1 | 决策的概念 | 218 |
| 8.1.2 | 决策过程 | 218 |
| 8.1.3 | 决策问题的分类 | 219 |
| 8.1.4 | 决策问题的要素和描述 | 220 |

| | |
|----------------------------|-----|
| 8.2 一般决策问题 | 221 |
| 8.3 风险型决策 | 223 |
| 8.3.1 决策树与抽奖 | 223 |
| 8.3.2 偏好和效用 | 224 |
| 8.3.3 主观概率 | 226 |
| 8.3.4 决策规则 | 226 |
| 8.4 多目标决策 | 228 |
| 8.4.1 多目标决策问题的要素 | 229 |
| 8.4.2 非劣解和最佳调和解 | 230 |
| 8.4.3 有限方案多目标决策 | 231 |
| 8.4.4 确定权的最小二乘法 | 233 |
| 8.4.5 加权和法 | 234 |
| 8.4.6 TOPSIS 法 | 235 |
| 8.5 群决策与专家咨询 | 236 |
| 8.5.1 群决策概论 | 237 |
| 8.5.2 专家咨询 | 239 |
| 8.6 决策中人的行为 | 242 |
| 8.6.1 有限理性 | 242 |
| 8.6.2 认识上的偏差 | 243 |
| 8.6.3 决策的文化差异 | 245 |
| 8.7 决策支持系统 | 246 |
| 8.7.1 决策支持系统的概念和特点 | 246 |
| 8.7.2 决策支持系统的基本模式和功能 | 247 |
| 8.7.3 决策支持系统的组成 | 248 |
| 8.7.4 决策支持系统的应用和发展 | 249 |
| 思考题与习题 | 250 |
| 参考文献 | 252 |

1 概 述

脱胎于系统科学的系统工程是一门处于发展阶段的新兴交叉学科，它在系统科学结构体系中属于工程技术类，与其他工程技术学科密切相关却又有很大差别。随着当今科学技术的飞速发展与社会的进步，自然科学与社会科学的相互渗透日益深化，系统工程学科以系统的观点作为出发点、从整体利益最优化考虑问题并进行决策的基本思想与技术已经引起社会的广泛重视，应用的领域十分广阔。

1.1 关于系统

1.1.1 什么是系统

毫无疑问，系统工程是研究“系统”的，那么，这个大家耳熟能详的词有什么含义呢？

一般认为，“系统”一词来源于拉丁语的 *systema*，是“群”与“集合”的意思。长期以来，它存在于自然界、人类社会以及人类思维描述的各个领域，频繁出现在学术讨论和社会生活中，早已为人们所熟悉。但不同的人或同一个人不同的场合会对它赋予不同的含义。究竟什么是系统呢？老前辈钱学森曾给出一个对“系统”的描述性定义：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：

- a. 系统是由若干元素组成的；
- b. 这些元素相互作用、相互依赖；
- c. 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。

虽然有关系统的定义有很多种，但都包含了上述三个基本的特征。

例如，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、相互依赖的形式组成的诸要素集合”。在日本的 JIS（日本工业标准）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”。《中国大百科全书·自动控制与系统工程》解释“系统”是“由相互制约、相互作用的一部分组成的具有某种功能的有机整体”。

综上所述，一个形成系统的诸要素的集合永远具有一定的特性，或者表现一定的行为，而这些特性或行为是它的任何一个部分都不具备的。一个系统是一个由许多要素所构成的整体，但从系统功能来看，它又是一个不可分割的整体，如果硬要把一个系统分割开来，那么它将失去其原来的性质。在物质世界中，一个系统中的任何部分可以被看作一个子系统，而每一个系统又可成为一个更大规模系统中的一个部分。这是一个分析与综合有机结合的思想方法。

其实，无论学者与机构对“系统”（system）的定义究竟如何，正如许多概念一样，系统这一概念来源于人类长期的社会实践，符合人们认识现实世界并不断深化的过程。

在古代，哲学家往往把世界看成一个整体，寻求共性和统一，但由于科学技术理论的贫乏，又缺乏观测和实验手段，所以对很多事物只能看到一些轮廓和表面现象，往往是只见森林而不见树木。如古希腊的唯物主义哲学家德莫克利特（Democritus，在约公元前467~前370年）就曾论述过“宇宙大系统”，在物质构造的原子论基础上，他认为原子组成万物，形成不同系统层次的世界。而古希腊的著名学者亚里士多德（Aristoteles，公元前384~前322年）关于事物的整体性、目的性、组织性的观点以及关于构成事物的目的因、动力因、形式因、资料因的思想，可以说是代表了古代朴素的系统观念。在我国，古代朴素的唯物主义哲学思想强调对自然界整体性、统一性的认识，把宇宙作为一个整体系统来研究，探讨其结构、变化和发展，以此来认识人类赖以生存的大地所处的位置和气候环境变化规律对人类生活和生产的影响。例如，在西周时代，就出现了用阴、阳二气的矛盾来解释自然现象，产生了“五行观念”，认为金、木、水、火、土是构成世界大系统的五种基本物质要素；在东汉时期，张衡提出了“浑天说”。这些传统的学术思想是着重于研究整体性和自发性，研究协调与协和。但是，由于缺乏对整体各个细节的认识能力，还只能将自然界作为一个整体来从总的方面观察，还没有进步到对自然界进行解剖、分析，自然现象的总联系还没有在细节方面得到证明。直到15世纪下半叶，近代科学开始兴起，近代自然科学发展了研究自然界的分析方法，包括实验、解剖和观察。这时，人们才把自然界的细节，从总的自然联系中抽取出来，分门别类地加以研究。但是，人们的思想仍受到当时科学技术水平的限制和世界观的局限，往往只能看到一些局部现象而不能纵观整体，以至于可能只见树木而不见森林。

19世纪上半叶，自然科学取得了巨大的成就，特别是能量转化、细胞的发现及进化论的建立，使人类对自然过程的相互联系的认识有了很明显的提高。马克思、恩格斯的辩证唯物主义认为，物质世界是由许多相互联系、相互依赖、相互制约、相互作用的事物和过程所形成的统一整体。这也就是系统概念的实质。可见，现代科学技术对于系统思想的发展是有重大贡献的。因为现代科学的发展比过去更要求在多种学科门类之间进行相互联系和相互渗透。这是在更深刻地分析的基础上向更高一级综合发展的新阶段。这种趋势的表现之一就是出现了许多交叉学科与边缘学科。系统科学就是在这种背景下，在研究控制论、信息论、运筹学和一般系统论的过程中产生的一门交叉性学科。现在它已发展成与自然科学、社会科学并列的基础科学，是一门独立于其他各门科学的学科。

关于系统科学，钱学森有个定义，他认为：“从系统的角度观察客观世界所建立起来的科学知识体系，就是系统科学。”而运用系统科学的思想，在运筹学、控制论、各门工程学和社会科学知识的支持下，将获得的定性与定量相结合的科学方法又应用于社会实践与各门工程学科，用以处理大型复杂系统的问题便形成了系统工程学科。

1.1.2 系统的特征

由系统的定义，一般系统应具有的下述特性。

(1) 整体性

系统是由两个或两个以上的可以相互区别的要素，按照作为系统所应具有的综合整体性而构成的。系统的整体性说明，具有独立功能的系统要素以及要素间的相互关系根据

逻辑统一性的要求，协商存在于系统整体之中。也就是说，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。而脱离了整体性，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之间的机能、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，它们也可以协商、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，但作为整体却可能不具备某种良好的功能，也就不能称之为完善的系统。

(2) 集合性

集合的概念就是把具有某种属性的一些对象看成一个整体，从而形成一个集合。集合里的各个对象叫做集合的要素（子集）。系统的集合性表明，系统是由两个或两个以上的可以互相区别的要素所组成的。这些要素可以是具体的物质，也可以是抽象的或非物质的软件、组织等。例如，一个计算机系统，一般都是由 CPU、存储器、输入输出设备等硬件组成，同时还包含有操作系统、程序开发工具、数据库等软件，它们形成一个完整的集合。

(3) 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。这是系统空间结构的一种形式。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的子系统存在着动态的信息流与物质流，它们一起构成了系统的整体运动特性，为深入研究复杂系统的结构与功能和有效地进行控制与调节提供了条件。

(4) 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。

(5) 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—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。在指标体系中的各个指标之间有时是相互矛盾的，有时是互为消长的。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。为了实现系统的目的，系统必须具有控制、调节和管理的功能，管理的过程也就是系统的有序化过程，使它进入与系统目的相适应的状态。

(6) 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。例如，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。所幸的是，在走了相当多的弯路后，近年来，人们有意无意地从系统工程的思想出发，愈来愈注意从自然系统的属性和关系中，探讨与研究人造系统，注意与环境的协调发展。

例如，20世纪80年代，同济大学的一批学者专家以超前的意识与历史的责任感致力于保护原生态的江南水乡古镇。但在他们的规划与拯救过程中，一些小镇当时的领导因常识水平有限，只考虑当前利益，带有破坏性地大兴土木，修桥造路，不但不理解、不欢迎教授们的保护性规划，甚至推他们出门，并以不卖饭票的做法“赶”走他们。其结果是千年古镇的精华不复存在，让人痛心。也有的小镇领导当时就理解和支持了学者们的行动，于是有了我们今天还能看到的周庄、同里、乌镇等江南名镇。这样的例子还有很多。

(2) 实体系统与概念系统

凡是以矿物、生物、机械和人群等实体行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。例如，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) 开放系统与封闭系统

开放系统是指系统与环境之间具有物质、能量与信息的交换的系统。例如，生态系统，商业系统，工厂生产系统。这类系统通过系统内部各子系统的不断调整来适应环境变化，以使其保持相对稳定状态，并谋求发展。开放系统一般具有自适应和自调节的功能。开放系统是具有生命力的系统，一个国家、一个地区、一个企业都应该是一个开放系统，通过和外界环境不断地交换物质、能量和信息，而谋求不断地发展。

封闭系统是指系统与环境之间没有物质、能量和信息的交换，由系统的界限将环境 with 系统隔开，因而呈一种封闭状态的系统。要使这类系统存在，则要求该系统内部的各个子系统及其相互关系之中存在着某种均衡关系，以保持系统的持续运行。

研究开放系统，不仅要研究系统本身的结构与状态，而且要研究系统所处的外部环境，剖析环境因素对系统的影响方式及影响的程度，以及环境随机变化的因素。由于环境是动态变化着的，具有较大的不确定性，甚至出现突变的环境，所以当—个开放系统存在于某—特定环境之中时，该系统必须具有某些特定的功能。

值得强调的是，现实世界中没有完全意义上的封闭系统。系统的开放性和封闭性概念不能绝对化，只有作为相对的程度来衡量才比较符合实际。

(5) 简单系统、简单巨系统和复杂巨系统

按复杂程度可分为简单系统、简单巨系统和复杂巨系统。简单系统是指组成系统的子系统（要素）数量比较少，而且子系统之间的关系也比较简单的系统，如—个工厂、—台设备等。

简单巨系统是指组成系统的子系统数量非常多、种类相对也比较多（如几十种、甚至上百种），但它们之间的关系较为简单的系统，如激光系统等。研究处理这类系统的方法不同于—般系统的直接综合法，而是采用统计方法加以概括，耗散结构理论和协同学理论在这方面作出了突出的贡献。

复杂巨系统是指组成系统的子系统数量很多，具有层次结构，它们之间的关系又极其复杂的系统，如生物体系统、人脑系统、社会系统等。其中社会系统是以有意识活动的人作为子系统的，是最复杂的系统，所以又称为特殊的复杂巨系统。这些系统又都是开放的，所以也称为开放的复杂巨系统。目前，研究、处理开放的复杂巨系统的方法尚在探讨中。

1.2 系统工程

1.2.1 什么是系统工程

系统工程是一门正处于发展阶段的新兴学科，并与其他学科相互渗透、相互影响，但不同专业领域的人对其理解不尽相同，因此，要给出—个统一的定义比较困难。—般认为用定量和定性相结合的系统思想和系统方法处理大型复杂系统的问题，无论是系统的设计或组织建立，还是系统的经营管理，都可以看成是—种工程实践，都可以统称为系统工程。

下面列举国内外学术和工程界对系统工程所作的解释，以帮助我们认识系统工程这门学科的内涵。

① 中国著名学者钱学森指出：“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。”“系统工程是一门组织管理的技术。”

② 美国著名学者 H. 切斯特纳 (H. Chestnut) 指出：“系统工程认为虽然每个系统都由许多不同的特殊功能部分所组成，而这些功能部分之间又存在着相互关系，但是每一个系统都是完整的整体，每一个系统都要求有一个或若干个目标。系统工程则是按照各个目标进行权衡，全面求得最优解（或满意解）的方法，并使各部分能够最大限度地互相适应。”

③ 日本学者三浦武雄指出：“系统工程与其他工程学不同之处在于它是跨越许多学科的科学，而且是填补这些学科边界空白的边缘科学。因为系统工程的目的是研究系统，而系统不仅涉及到工程学的领域，还涉及到社会、经济和政治等领域，为了圆满解决这些交叉领域的问题，除了需要某些纵向的专门技术以外，还要有一种技术从横向把它们组织起来，这种横向技术就是系统工程。也就是研究系统所需的思想、技术和理论等体系化的总称。”

④ 《中国大百科全书·自动控制与系统工程卷》指出：“系统工程是从整体出发合理开发、设计、实施和运用系统的工程技术。它是系统科学中直接改造世界的工程技术。”

⑤ 日本工业标准 (JIS) 规定：“系统工程是为了更好地达到系统目标，而对系统的构成要素、组织结构、信息流动和控制机构等进行分析与设计的技术。”

⑥ 美国军用标准 MIL-STD-499A 定义：“系统工程是将科学和工程技术的成就应用于：(i) 通过运用定义、综合、分析、设计、试验和评价的反复迭代过程，将作战需求转变为一组系统性能参数和系统技术状态的描述；(ii) 综合有关的技术参数，确保所有物理、功能和程序接口的兼容性，以便优化整个系统的定义和设计；(iii) 将可靠性、维修性、安全性、生存性、人素工程和其他有关因素综合到整个工程工作中，以满足费用、进度、保障性和技术性能指标。”

综上所述，系统工程是以研究大规模复杂系统为对象的一门交叉学科。它是把自然科学和社会科学的某些思想、理论、方法、策略和手段等根据总体协调的需要，有机地联系起来，把人们的生产、科研或经济活动有效地组织起来，应用定量分析和定性分析相结合的方法及计算机等技术工具，对系统的构成要素、组成结构、信息交换和反馈控制等功能进行分析、设计、制造和服务，从而达到最优设计、最优控制和最优管理的目的，以便最充分地发挥人力、物力的潜力，通过各种组织管理技术，使局部和整体之间的关系协调配合，以实现系统的综合最优化。

1.2.2 系统工程解决问题的主要特点

从系统工程的定义可以看出，系统工程的研究对象是大型复杂的人工系统和复合系统；系统工程的内容是组织协调系统内部各要素的活动，使各要素为实现整体目标发挥适当作用；系统工程的目的是实现系统整体目标最优化。因此，系统工程是一门特殊的工程技术，也是现代化的组织管理技术，更是跨越许多学科的边缘科学。系统工程具有下列一些特点。

(1) 整体性（系统性）

整体性是系统工程最基本的特点，系统工程把所研究的对象看成一个整体系统，这个整体系统又是由若干部分（要素与子系统）有机结合而成的。因此，系统工程在研制系统时总是从整体性出发，从整体与部分之间相互依赖、相互制约的关系中去揭示系统的特征和规律，从整体最优化出发去实现系统各组成部分的有效运转。

(2) 关联性（协调性）

用系统工程方法去分析和处理问题时，不仅要考虑部分与部分之间、部分与整体之间的相互关系，而且还要认真地协调它们的关系。因为系统各部分之间、各部分与整体之间的相互关系和作用直接影响到整体系统的性能，协调它们的关系便可提高整体系统的性能。

(3) 综合性（交叉性）

系统工程以大型复杂的人工系统和复合系统为研究对象，这些系统涉及的因素很多，涉及的学科领域也较为广泛。因此，系统工程必须综合研究各种因素，综合运用各门学科和技术领域的成就，从整体目标出发使各门学科、各种技术有机地配合，综合运用，以达到整体优化的目的。如把人类送上月球的“阿波罗登月计划”，就是综合运用各学科、各领域成就的产物，这样一项复杂而庞大的工程没有采用一种新技术，完全是综合运用现有科学技术的结果。

(4) 满意性（最优化）

系统工程是实现系统最优化的组织管理技术，因此，系统整体性能的最优化是系统工程所追求并要达到的目的。由于整体性是系统工程最基本的特点，所以系统工程并不追求构成系统的个别部分最优，而是通过协调系统各部分的关系，使系统整体目标达到最优。

1.2.3 系统工程的研究对象与内容

系统工程是一门工程技术，但它与机械工程、电子工程、水利工程等具体的工程学的某些特征又不尽相同。各门工程学都有其特定的工程物质对应，而系统的对象，则不限于某种特定的工程物质对象，任何一种物质系统都能成为它的研究对象，而且还不只限于物质系统，还可以是自然系统、社会经济系统、管理系统、军事指挥系统等。由于系统工程处理的对象主要是信息，所以国外的有些学者认为系统工程是“软科学”（soft science）。

系统工程的主要内容包括系统分析、系统设计、系统模型化、系统的最优化、系统的组织管理、系统评价、系统预测与决策等。其基本任务是研究系统模型化、系统优化与系统评价。为了实现和完成系统目标及任务，系统工程在其方法论的思想下要运用一定的具体方法与手段，即系统工程技术。常用的系统工程技术有系统辨识技术、系统组织管理技术、系统模型化技术、系统优化技术、系统评价技术、系统预测技术、大系统的分解协调技术、系统决策技术，等等。

(1) 系统辨识技术

系统工程研究的对象大多是复杂的大系统，由于系统因素众多，结构复杂，目标多样，功能综合，因此需要共同理解和明确系统的总目标、分目标，以及相应的系统结构层次，为实现这个目的就需要通过系统的辨识来解决。目前用于大规模复杂系统辨识的常用方法是解析结构模型技术，即 ISM。

(2) 系统模型化技术

模型化是系统工程的核心内容。系统模型是系统优化和评价的基础，是系统工程的基本要求，任何一项系统工程都需要先建立模型。按系统模型分类，系统模型化技术主要有结构模型化技术、分析模型技术、系统仿真模型技术。通过系统模型化，就可以对系统进行解剖、观测、计量、变换、试验，掌握系统的本质特征和运行规律。

(3) 系统最优化技术

系统最优化是系统工程追求的主要目标之一。优化技术是应用数学的一个分支。系统工程所用到的优化技术大多数集中在运筹学中，如线性规划、非线性规划、整数规划、动态规