

高等学校工业工程专业试用教材

# 系统工程

XI TONG GONG CHENG

主 编 梁 迪

副主编 董 海

 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



高等学校工业工程专业试用教材

# 系 统 工 程

主 编 梁 迪  
副主编 董 海  
主 审 铁维麟



机 械 工 业 出 版 社

本书介绍了系统工程的理论和常用方法。理论部分主要包括系统工程的思想、基本概念、理论基础及应用方法。常用方法部分包括系统描述方法、系统模拟、优化方法、预测技术、系统评价方法、决策分析方法及企业战略管理等内容。本书在力求满足高等学校工业工程类学生需要的同时,也加入了许多系统模型的建立和求解方法等内容。所以本书可供工程类、管理类专业师生使用,也可供管理人员、技术人员参考。

#### 图书在版编目(CIP)数据

系统工程/梁迪主编. —北京:机械工业出版社, 2005.6  
高等学校工业工程专业试用教材  
ISBN 7-111-16614-0

I. 系 ... II. 梁 ... 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(2005)第052717号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:朱华

责任编辑:朱华 责任印制:陶湛

北京铭成印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2005年6月第1版第1次印刷

787mm×1092mm 1/16·15印张·370千字

0 001—4 000册

定价:23.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68326294

封面无防伪标均为盗版

## 前 言

本书是为高等学校工业工程专业编写的系统工程试用教材，旨在通过本书的学习，使学生对系统工程学科有一个较为全面的了解，提高对专业课程学习的兴趣和积极性。

系统工程是 20 世纪中期才开始兴起的一门新兴交叉学科，学习系统工程需要有较广泛的理论基础，如控制论、信息论和耗散理论等；还要有较深厚的数学基础，如运筹学、数理统计等；并且随着计算机的广泛应用，学习系统工程还要求具备较高的计算机知识和应用能力。

在科学管理和决策中，在科学的工程设计中，系统工程的思想和方法得到管理人员和工程设计者的应用。所以在高度现代化、科学化的今天，不会运用系统工程的思想和方法去解决复杂问题，就将被淘汰，所以这正是系统工程成为高等学校普遍开设的课程的主要原因。

全书共分 11 章。第 1 章简要介绍系统思想的起源、系统及系统工程的定义、发展历史、性质与特点及其基础理论等；第 2 章介绍系统工程方法论的框架、系统分析的概念和步骤等；第 3 章介绍系统模型概念及一些建模方法；第 4 章介绍几种系统模拟方法；第 5 章介绍了使得系统成为最优的方法，即采用各种数学规划及灵敏度分析等；第 6 章介绍在工程决策和系统评价中经常所需的预测技术；第 7 章介绍系统评价的概念、理论、步骤及各种评价方法；第 8 章介绍工程决策分析的类型及相关方法；第 9 章介绍企业战略管理的目的及意义；第 10 章介绍一些新的系统概念，如遗传算法、人工智能等；最后在第 11 章中列举了系统工程在某些领域的案例应用。

本书适用于高等学校工业工程专业学生，若能对其他专业的学生有所裨益，将不胜高兴。

参加本书编写的有：梁迪（第 1 章、第 7 章、第 9 章），董海（第 2 章、第 4 章、第 5 章），张凤荣（第 3 章、第 6 章），王丽莉（第 10 章、第 11 章），那永刚（第 8 章）等。

本书由梁迪任主编，董海任副主编，铁维麟教授任主审。

在本书的编写过程中，得到了铁维麟教授的指导和帮助，为本书的出版做了大量工作，在这里向铁教授表示诚挚的谢意。

书中吸取和参考了许多有名专家和学者的研究成果，有些文献并未直接引用，为方便读者寻源，亦将其列入参考文献目录，谨致感谢。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中错误及不当之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者

# 目 录

## 前言

第1章 系统工程概述..... 1	3.5 模型的分类..... 34
1.1 系统的基本概念..... 1	3.5.1 数学模型..... 34
1.1.1 系统思想与系统现象..... 1	3.5.2 图形模型..... 35
1.1.2 系统的定义及特征..... 3	3.5.3 有向图和矩阵..... 37
1.1.3 系统的分类..... 6	3.6 建立数学模型的方法..... 38
1.2 什么是系统工程..... 7	3.6.1 使用高阶微分方程建模..... 38
1.2.1 系统的概念及特点..... 7	3.6.2 使用传递函数建模..... 39
1.2.2 系统工程的发展历史..... 8	3.6.3 使用状态变量建模..... 40
1.2.3 系统工程的作用及应用领域..... 9	3.6.4 使用输入输出数据建模..... 41
1.2.4 系统工程的学习方法..... 11	3.7 建立图形模型的方法..... 42
1.3 系统工程的理论基础..... 11	思考题..... 45
1.3.1 一般系统论..... 11	第4章 计算机系统模拟..... 47
1.3.2 经济控制论..... 12	4.1 系统模拟概述..... 47
1.3.3 信息论..... 12	4.2 确定性系统的仿真..... 48
1.3.4 运筹学..... 13	4.3 控制系统的仿真..... 50
1.3.5 耗散结构理论与协同学..... 14	4.4 蒙特卡洛模拟..... 52
思考题..... 16	4.4.1 随机数生成器..... 53
第2章 系统工程方法论..... 17	4.4.2 按概率分布抽样..... 55
2.1 系统工程基本工作方法..... 17	4.4.3 蒙特卡洛模拟流程..... 57
2.2 系统分析..... 20	4.4.4 蒙特卡洛模拟结果的分析..... 58
2.2.1 系统分析的概念..... 20	4.5 排队系统的仿真..... 59
2.2.2 系统分析的要素..... 20	4.6 使用定性知识的仿真..... 61
2.2.3 系统分析的特点..... 21	4.7 仿真总结..... 64
2.2.4 系统分析的步骤..... 22	思考题..... 64
2.2.5 应用实例..... 22	第5章 系统的最优化..... 65
思考题..... 29	5.1 什么是最优化..... 65
第3章 系统描述方法..... 30	5.2 最优化问题的形式化描述..... 65
3.1 描述系统的工具体系..... 30	5.2.1 线性规划(LP)..... 66
3.2 描述系统的指标与指标体系..... 31	5.2.2 非线性规划..... 67
3.3 建模的注意事项..... 32	5.2.3 整数规划..... 67
3.4 数据的管理..... 33	5.2.4 随机规划..... 68

5.2.5 多目标规划.....	70	6.6.1 数据的鉴别与处理.....	112
5.3 单目标最优化问题的求解.....	70	6.6.2 无数量标志因素的数量化.....	114
5.3.1 无约束非线性最优化问题.....	71	6.6.3 对预测结果的评判.....	117
5.3.2 有约束非线性最优化问题.....	72	6.7 预测的缺点.....	118
5.3.3 约束最优化问题的求解.....	76	思考题.....	118
5.3.4 灵敏度分析.....	79	<b>第7章 系统评价</b> .....	121
5.4 多目标最优化问题的求解.....	80	7.1 系统评价概述.....	121
5.4.1 如何处理多个目标.....	80	7.1.1 系统评价.....	121
5.4.2 平衡分析.....	81	7.1.2 价值.....	121
5.4.3 目标规划.....	82	7.1.3 评价尺度.....	122
5.4.4 最优满意化(需求水平法).....	83	7.1.4 系统评价的任务.....	122
5.4.5 简化平衡分析.....	84	7.2 系统评价的步骤及构成.....	122
5.4.6 小结—柔性最优化.....	86	7.2.1 评价系统分析.....	123
思考题.....	86	7.2.2 评价资料的收集.....	124
<b>第6章 预测技术</b> .....	87	7.2.3 评价指标的选择.....	124
6.1 预测概述.....	87	7.2.4 评价函数的确定.....	124
6.2 定性预测技术.....	89	7.2.5 评价值的计算.....	124
6.2.1 集思广义法.....	89	7.2.6 综合评价.....	125
6.2.2 特尔菲法.....	89	7.3 系统评价的理论和方法.....	125
6.2.3 主观概率法.....	89	7.3.1 评价理论.....	125
6.2.4 交叉概率法.....	90	7.3.2 评价方法.....	127
6.3 因果关系预测方法.....	90	7.4 费用—效益分析.....	129
6.3.1 一元线性回归预测.....	90	7.4.1 费用、效益和有效度	
6.3.2 多元线性回归预测.....	93	的基本概念.....	129
6.3.3 非线性回归.....	97	7.4.2 费用和效果的关系.....	129
6.4 平滑预测技术.....	99	7.4.3 费用分析.....	130
6.4.1 移动平均法.....	99	7.4.4 费用—效益分析评价基准.....	133
6.4.2 指数平滑法.....	101	7.5 关联矩阵法.....	134
6.4.3 预测技术的比较.....	104	7.6 层次分析法.....	137
6.5 马尔柯夫链分析法预测.....	105	7.6.1 原理.....	138
6.5.1 马尔柯夫链的概念.....	105	7.6.2 多级递阶结构.....	138
6.5.2 状态转移概率矩阵		7.6.3 判断矩阵.....	139
及其基本性质.....	106	7.6.4 相对重要程度的计算.....	139
6.5.3 k步状态转移概率矩阵.....	106	7.6.5 一致性检验.....	140
6.5.4 稳定状态概率向量.....	108	7.6.6 综合重要度的计算.....	141
6.5.5 马尔柯夫链		7.7 模糊评价法.....	143
分析的预测应用.....	110	7.7.1 模糊的概念及度量.....	144
6.6 预测中的数据处理与结果评判.....	111	7.7.2 模糊变量的运算.....	144

7.7.3 模糊综合评价.....	144	9.2 柔性的概念与类型.....	180
7.8 决策方案的几种分级方法.....	145	9.3 战略柔性体系.....	184
7.8.1 按比例划分等级.....	145	9.3.1 战略柔性体系的 概念与必要性.....	184
7.8.2 按区段分级.....	146	9.3.2 战略柔性体系的构成要素 及其互动关系.....	185
7.8.3 聚类式分级方法.....	147	9.4 战略柔性体系的测度与 增强途径剖析.....	192
思考题.....	149	9.4.1 战略柔性体系的测度.....	193
<b>第8章 决策分析方法.....</b>	<b>153</b>	9.4.2 增强战略柔性的途径.....	193
8.1 决策、决策分析的 概念及其特征.....	153	思考题.....	195
8.2 决策环境与决策过程.....	154	<b>第10章 新的系统概念.....</b>	<b>196</b>
8.2.1 决策环境.....	154	10.1 遗传算法.....	196
8.2.2 决策分析过程.....	155	10.1.1 什么是遗传算法.....	196
8.3 风险型决策分析.....	156	10.1.2 GA的过程.....	196
8.3.1 期望值法.....	156	10.1.3 进化规划.....	198
8.3.2 决策树法.....	157	10.1.4 遗传算法(GA) 的工程应用.....	198
8.4 灵敏度分析.....	159	10.2 自律分散系统和自组织化.....	199
8.5 情报的价值和贝叶斯决策.....	160	10.2.1 自律分散系统.....	199
8.5.1 完全情报的价值.....	160	10.2.2 自律分散系统的例子.....	199
8.5.2 非完全情报和 贝叶斯决策.....	161	10.2.3 自组织化.....	200
8.5.3 非完全情报的价值.....	163	10.3 人工智能与人工生命.....	201
8.6 效用值概念.....	163	10.3.1 人工智能.....	201
8.6.1 期望收益值.....	163	10.3.2 人工生命.....	202
8.6.2 效用值的必要性及其概念.....	165	10.4 复杂系统的系统科学.....	203
8.6.3 工程示例.....	166	10.4.1 什么是复杂系统.....	203
思考题.....	167	10.4.2 复杂系统的三个分类.....	204
<b>第9章 动态环境下的企业战略柔性.....</b>	<b>170</b>	思考题.....	205
9.1 动态经营环境与企业高成长.....	170	<b>第11章 系统工程应用实例.....</b>	<b>206</b>
9.1.1 企业成长离不开特定 背景环境的主题.....	170	11.1 研究院所的分类管理.....	206
9.1.2 企业所面临的 动态经营环境.....	170	11.1.1 研究开发工作的类型 及指标体系.....	206
9.1.3 动态环境对企业经营 实践的主要挑战.....	171	11.1.2 因子分析.....	207
9.1.4 高成长企业的关键 特征与战略柔性.....	177	11.1.3 分类.....	209
9.1.5 柔性的必要性及其战略价值.....	179	11.1.4 注记.....	209
9.1.6 柔性管理的可行性.....	179	11.2 本科毕业生论文模糊评价系统研究.....	209
		11.2.1 引言.....	209

11.2.2 管理工程专业毕业生论文模糊评价模型 .....	210	11.3.3 生产控制系统 .....	220
11.2.3 模糊综合评价 .....	210	11.4 名牌系统工程应用案例及其启示 .....	222
11.2.4 模糊聚类分析 .....	213	11.4.1 名牌系统工程模型 .....	222
11.2.5 结论 .....	215	11.4.2 名牌系统工程应用案例 .....	223
11.3 微机生产计划、统计管理信息系统的设计 .....	215	11.4.3 威龙葡萄酒名牌之路的启示 .....	227
11.3.1 生产计划子系统 .....	216	系统工程专业术语英汉对照 .....	229
11.3.2 生产统计子系统 .....	218	参考文献 .....	232



# 第 1 章 系统工程概述

## 1.1 系统的基本概念

系统就像人类生存的宇宙一样围绕在我们周围。它像宇宙一样巨大，又像原子一样无限微小。系统首先是以自然状态呈现，随着人类的出现，各种各样的人造系统便也缤纷出现。但也仅仅是近些年来我们才用科学的方法渐渐地了解了自然和人造系统的根本结构和特点。

### 1.1.1 系统思想与系统现象

自从人类有了生产活动以后，由于不断地和自然界打交道，客观世界的系统性便逐渐反映到人的认识中来，从而自发地产生了朴素的系统思想。

公元前古希腊的唯物主义哲学家德谟克利特（Democritus）就曾论述了“宇宙大系统”，他认为世界是由原子和真空所组成，原子组成万物，形成不同的系统和有层次的世界。古希腊的伟大学者亚里士多德（Aristoteles）关于整体性、目的性、组织性的观点，以及关于事物相互关系的影响，可以说是古代朴素的系统概念。

中华民族的祖先在了解和改造自然的辛勤实践和大量的社会活动中，也早有许多朴素的系统概念和应用实例。我国古代著名思想家老子就曾阐明自然界的统一性，他用古代朴素的唯物主义哲学思想，描述了对自然界的整体性和统一性的认识。在军事方面，早在公元前 500 年的春秋时期，就有著名的军事家孙武写出了“孙子兵法”十三篇，指出战争中的战略和策略问题，如进攻与防御、速决和持久、分散和集中等之间的相互依存和相互制约的关系，并依此筹划战争的对策，以取得战争的胜利。其著名论点，“知己知彼，百战不殆”，“以我之长，攻敌之短”等，不仅在古代，而且在当代的战争中都有指导意义。在当今激烈的国际市场竞争和社会经济各个领域的发展中，这些论断也有现实意义。战国时期，著名军事家孙臆继承和发展了孙武的学说，著有“孙臆兵法”，在齐王与田忌赛马中，孙臆提出的以下、上、中对上、中、下对策，便处于劣势的田忌战胜齐王，这是从总体出发制定对抗策略的一个著名事例。

在水利建设方面，战国时期，秦国太守李冰父子主持修建了四川都江堰工程。这一伟大水利工程巧妙地将分洪（鱼嘴）、引水（宝瓶口）和排沙（飞沙堰）结合起来，使各部分组成一个整体，实现了防洪、灌溉、行舟、漂木等多种功能，至今，该工程仍在发挥着重大的经济效益，是我国古代水利建设的一大杰出成就。在建设施工方面，北宋真宗年间，皇城失火，宫殿烧毁，大臣丁谓主持了皇宫修复工程。他采用了一套综合施工方案，先在需要重建的通衢大道上就近取土烧砖，在取土后的通衢深沟中引入汴水，形成人工河，再由此水路运入建筑材料，从而加快了工程进度。皇宫修复后，又将碎砖废土填入沟中，重修通衢大道。使烧砖、运输建筑材料和处理废墟三项繁重工程任务协调起来，从而在总体上得到了最佳解决，一举三得，节省了大量劳力、费用和时间。

在医学、农业等方面，我国古代也有许多著名学者用朴素的系统思想和方法取得了伟大成就。周秦至西汉初年古代医学总集“黄帝内经”，强调人体各器官的有机联系，生理现象与心理现象的联系，以及身体健康与自然环境的联系。在北魏时期，著名学者贾思勰在其名著

“齐民要术”一书中，叙述了气候因素与农业发展的关系，对农业与种子、地形、耕种、土壤、水分、肥料、季节、气候诸因素的相互关系，都有辩证的叙述，并提出了如何根据天时、地利和生产条件合理地安排农业活动。所有这些都为我们今天研究和发系统工程的理论体系，提供了宝贵的借鉴和重要的启示。

人类生活和工作在各种各样的系统之中，如果说人类始终被各种系统所包围并不过分。人类居住的地球是太阳系（统）的一部分；人体自身就是由多种系统构成的，如：消化系统、血液循环系统、视觉系统、听觉系统、生殖系统等。因此可以说，人的一生离不开系统。除了自然系统以外，人们还创建了许多系统，比如：产销系统、管理系统、教育系统、冶金系统、运输系统、纺织系统、计算机系统等。为了了解系统间的相似性特征和系统的含义，我们先考察几个系统。

在天文学中，把太阳及围绕太阳旋转的天体集合称为太阳系。太阳系中主要有水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星、冥王星等九大行星，此外，还有包括月球在内的三十多个卫星和为数众多的小行星、彗星和流星体。由于这些天体离地球较近，被人们了解得较多。然而，太阳系仅仅是银河系的一个恒星系。银河系中拥有众多类似的恒星系。无数的银河系又构成了更大的天体系统，这些系统也仅是广阔无垠的宇宙中的一部分。

研究表明，星体之间存在作用力。确切地说，两个质量分别为  $m_1$  和  $m_2$  的星体，如果两者的距离为  $r$ ，则相互的引力  $F$  为

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

其中  $G$  为万有引力恒量。虽然太阳系中各星体间都具有引力，但由于太阳的质量远远大于其周围的行星。因此，太阳系中的引力主要表现为太阳对各行星的吸引力。众所周知，“运动”作为星体变化的表征早被人们所发现，而星体的运动规律却是人类经过了上千年才逐渐发现的。从“地心说”到“日心说”，从开普勒定律到牛顿的万有引力定律。人们已通过星体运动的表象，揭示了星体间的相互制约。正是在太阳引力场和行星间引力的作用下，太阳系中九大星体一直在自己的轨道上运动，形成了相对动态平衡。表现出星体的“逃离”和太阳的“牵拉”。可以想象，一旦太阳的引力突然减少（比如太阳的质量减少到一定程度），太阳系中的一部分星体将真正逃离到其他星系中，造成太阳系和其他星系瞬间的混乱，但由于万有引力的作用，每个星体最终仍然会进入新的轨道，又将形成以质量占绝对优势的星体为主的新星系，形成新的动态平衡。

由此，可以看到：太阳系是由若干个星体构成的集合，而这个集合又作为银河系的一部分；太阳系中各星体间具有一定的秩序和相互作用关系；太阳系中存在起主要作用或决定作用的因素，如星体质量，如果这个（或这些）因素发生较大的变化，可能引起太阳系本质的变化。外星体的加入也可引发类似的现象；太阳系的运动受银河系中其他星系的影响。

太阳系是自然的产物，我们可称它为一种自然系统。在人类的生产与生活中，还存在许多人造系统和社会系统。生产—销售系统是人们比较熟悉的。顾名思义，生产—销售系统是由生产系统和销售系统构成的，是生产企业的主要组成部分。在一般生产系统中，至少包括生产者和生产设备，生产活动是生产者通过使用设备，进行产品生产。因此必须明确或设计产品，制定生产计划，采购原材料，准备必要的能源（包括生产者与生产设备所需的）。企业的生产至少有两种目的，首先是创造利润以维持生产系统的运行，甚至扩大再生产；第二是

给企业的成员带来满意,并为客户提供良好服务。这些就要求企业必须通过销售而实现利润,通过售后服务来保证质量,使客户满意,并由此获得生产需求和质量上的信息,以便修正和调整生产计划。因此,销售系统的活动既包括实际销售,又包括售后服务、意见咨询和信息采集,还包括与生产系统的联系或沟通。

由于人的能力有限,生命有限,在产销系统中,所有的活动都靠一个人是不可能的。而且由于社会对产品品种多样化和质量高标准的不要求,产销系统的活动中不使用生产设备也是不可思议的,甚至一台设备是难以满足的。因此,产销系统至少是人和设备的人—机集合体系。人与人相互影响着,人与设备之间相互影响着,设备和设备间也存在相应的关联。比如:技术水平和知识水平较低的人可能影响设备的有效利用;同样,采用落后的设备必然影响人的工作情绪,这是人与设备间可能存在的相互作用。设备和设备之间也存在一定的影响,比如,在相同的生产任务面前,相同两台设备中的一台出现故障,另一台的工作时间就要增加。此外,产销系统作为社会系统的一部分,必然受到社会的影响,诸如社会对此产销系统的产品的认同与欢迎程度,此产销系统的运行过程被社会的接受程度(如污染方面、社会公德方面等),社会系统甚至可以决定此产销系统是否能够继续生存。维系产销系统的生存还有其他因素,比如产销系统对其成员的凝聚力、产销系统运行中的能源是否得到保障等。如果一旦出现生存方面的问题,此产销系统的组成部分(包括成员和设备)必然出现“脱离”该系统的趋势,如果问题不能解决或未及时解决,这些组成部分将进入吸引力更大的其他系统,甚至可能导致此产销系统的解体。

### 1.1.2 系统的定义及特征

#### 1. 系统的定义

在自然界和人类社会中普遍存在着各种各样的系统。可以说系统无时不在,无处不有,大至无穷,小至微粒。但目前国内外学者对系统的定义还没有统一的说法,下面列举其中几个有代表性的定义:

(1)在韦氏大辞典中,系统一词被解释为 有组织的和被组织化了的整体;结合着的整体所形成的各种概念和原理的综合;由有规则、相互作用、相互依赖的诸要素形成的集合等。

(2)奥地利生物学家,一般系统论的创始人贝塔朗菲把系统定义为 相互作用的诸要素的综合体。

(3)日本工业标准“运筹学术语”中对系统的定义是 许多组成要素保持有机的秩序向同一目标行动的体系。

(4)我国著名科学家、系统工程的倡导者钱学森认为 系统是由相互作用、相互依赖的若干组成部分结合成的具有特定功能的有机体,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。

上述对系统定义的说法尽管不同,但其涵义都是接近或一致的。概括起来,我们可以把系统定义为系统是由两个以上有机联系、相互作用的要素所组成,具有特定功能、结构和环境的整体。

#### 2. 系统的特征

(1)整体性 系统是由相互依赖的若干部分组成,各部分之间存在着有机的联系,构成一个综合的整体,以实现一定的功能。这表现为系统具有集合性,即构成系统的各个部分可以具有不同的功能,但要实现系统的整体功能。因此,系统不是各部分的简单组合,而要有

统一性和整体性，要充分注意各组成部分或各层次的协调和连接，提高系统的有序性和整体的运行效果。

系统的整体性还可以表述为，系统整体不等于各组成元素之和，即非加和原则， $1+1 \neq 2$ 。它表现为两种情况：

1) 整体小于各组成元素之和，即  $1+1 < 2$ 。如“一个和尚挑水吃，两个和尚抬水吃，三个和尚没水吃”。

2) 整体大于各组成元素之和，即  $1+1 > 2$ 。如“一个臭皮匠，没张好鞋样，两个臭皮匠，彼此有商量；三个臭皮匠，顶个诸葛亮”。

之所以出现上述两种情况，是由于系统的整体功能取决于一定结构的系统中的各组成元素间的协调关系。在第一种情况中，虽然每个元素的功能是良好的，但元素步调不一，协同不好，作为整体就不可能有良好的功能，这种系统不能称之为完善的系统。在第二种情况中，虽然每个元素的功能并不很完善，但他们协同一致、结构良好，作为整体具有良好的功能。

(2) 有序性 由于系统的结构、功能和层次的动态演变有某种方向性，因而使系统具有有序性的特点。系统的有序性可以表述为系统是由较低级的子系统组成的，而该系统自己又是更大系统的一个子系统。

系统的有序性揭示了系统与系统之间存在着包含、隶属、支配、权威、服从的关系，统称为传递关系。换句话说，系统并不孤立出现，而是按有序性原则存在于某一层级结构中，如任何生物都可以按照生物分类的门、纲、目、科、属、种的层次确定自己的位置。又如社会是一个大系统，它包含政治、经济、军事、文教等子系统，而经济系统又包含农业、工业、商业、交通运输业等子系统，其中的工业系统又可以按照不同的分类方法分为不同的子系统。例如按所有制性质可以将工业系统分为全民所有制、集体所有制和私营工业。次类推，可以按有序性将一个系统划分到最小的单元。

系统的有序性原则启发人们在研究解决问题时决不能离开系统的有序层次结构，并要注意上下左右的协调关系，只有这样才能取得成功。例如对企业系统，其有序结构层次见图 1-1。

作为企业系统，内部的生产、销售、财务、人事四个子系统必须相互协调，为共同的利益目标服务。如果生产部门不能生产足够的产品，必然影响销售部门的销售；而销售部门如果不能向生产部门提供准确的市场信息，生产部门

就不可能生产出适销对路的产品，进而又影响销售。除此之外，企业经营目标的实现还依赖于财务、人事部门的支持。系统结构特征不止一种，有序性结构是经常遇到的一种，人们常采用这个思路进行系统分解与分析。

(3) 相关性 系统是依据某性质相联系的要素集合，其联系是通过系统的要素实现的。因此，系统内的要素存在一定的相互联系，这些联系可能是直接的，可能是间接的，但无论是怎样的联系形式，系统要素间的相互影响和作用总是存在的。

在生产系统的运行过程中，“生产计划”无疑要影响“原材料的选购”、“加工生产”，也影响“产品检查”这一要素，因为生产计划中必然要规划出产品的品种、质量以及与其相关

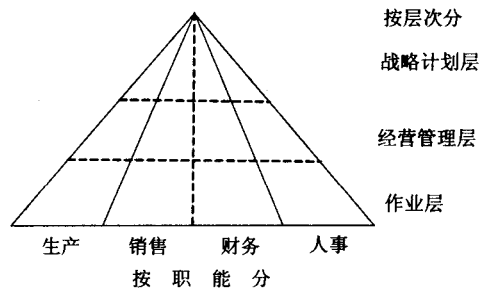


图1-1 企业系统结构层次

的就是用什么材料、什么加工技术、加工的结果怎样等问题。反过来，此三方面要素也将影响生产计划。因为，若没有全部采购到计划中的材料，或加工的技术水平不够，都将可能引起生产计划的改变；生产所需的原材料的缺乏直接影响生产计划的实施；加工技术水平的低下是通过产品的检查活动而间接地影响生产计划的改变，但影响确实是存在的。

(4) 目的性 人们利用自然的或人造的物品，设计和建造一个系统，或由一些人的群体组建一个系统从事某些活动，都是有一定目的的系统的行为是为实现这些目的而进行的。在正常情况下，企业管理系统的目的不止一个，它在为企业的利润、企业成员，在精神、物质及社会活动的满足和为社会提供优质的服务而运行。

而对于自然系统不存在目的，但有功能。目的性只是人工系统和复合系统所有，而功能是所有系统都有。所在非自然系统的目的性，促使系统的诸项活动均紧紧地围绕目的的实现而进行。因此，必然引起人们对这些活动（包括系统设计）的有效性的关注，从而导致有关系统有效性分析与系统优化的理论、方法及应用的研究与实现活动。

(5) 开放性 系统的属性规定了系统的要素集合，同时也规定了系统之外的集合——环境。因此，系统与环境是孪生的，是相对的，没有系统就没有相对于系统的环境，反之亦然。严格地说，某种属性一旦明确，整个世界被系统的属性分为系统与环境两大部分。环境中尚存在其他系统，这些其他系统通常是集合中的一部分，这些系统常常不会随着某具体系统的消亡而一起消亡，特别是具有竞争关系的系统。因此，从这个意义上而言，个别系统的存在是相对的，而环境是永恒的。具体系统只有适应环境的变化，才能生存得更好，才有可能进一步发展。所以，系统与环境间也存在交互作用：系统从环境中获得生存的能量，即系统的输入；而系统的行为表现反馈给环境，接受环境的检查。系统就是通过这种过程，不断调整自己，谋求不断的发展和壮大。

研究表明，相对系统的环境中，必然存在其他系统。各种系统间存在相互的作用力，这些作用力有大小、强弱和显隐等区别，并且有三种原型力：排斥力、吸引力和摧毁力。在一定条件下，三种类型的力之间可以相互转化。最初阶段，不同属性的系统之间的活动没有很强的联系，这时常常表现为系统间相排斥。但由于不同属性系统活动效果的差异，以及系统寻求发展的行为，逐渐使得系统间的属性产生一定的趋同性（比如系统活动范围的扩大等），系统的活动领域可能出现一定的交叉，甚至相同，从而出现同类系统。由于环境资源的有限性，同类系统间的活动必然相互影响，相互关注，无形中出现了相互竞争的态势。在竞争中，“适者生存”的规律是非常有效的。哪个系统更适应环境，哪个系统就会变得更有力量，也就愈加引起其他同类系统的注意和向往。竞争过程中的结果表明：适应性强的系统逐渐扩大活动范围，并且进一步增加自己的竞争力，而适应性弱的系统逐渐让出其原来的部分“领域”，如果整个过程继续下去，适应性弱的系统将被适应性强的系统完全吸引，并成为其一部分，企业间的兼并就是这种现象的明证。

系统总是存在于环境之中的，环境也总在关注和检查各种系统的行为，是系统的主宰。当系统的行为适应环境要求时，给予奖励；而当系统的行为违背环境时，给予处罚；当系统破坏环境时，给予毁灭。环境对某系统实施毁灭打击时，常常是授权予另外一些系统。比如第二次世界大战中“第三帝国”的毁灭，就是很好的例子。司法部门对个别罪犯实施死刑，也是摧毁力的表现。

当然，遭受摧毁的系统不一定都曾破坏了环境，这种现象常常是偶然的。但破坏环境而

得到毁灭几乎是必然的。

无论系统愿意也好，不愿意也好，系统与环境（其他系统是环境的一部分）的作用力总是存在的。因此，系统与环境的交互活动是系统生长的需要，也是系统生存所必须。这就是说，只有系统是开放的，才可能谋求不断的生存与发展。在中国的历史上，几次“闭关锁国”的结果，都使得中国变得落后，变得衰弱，并且有时还失去了一部分国土。

一个系统是能够形成一个复杂或单个的整体的多个要素的集合，比如说一个河流系统或者运输系统；有相互联系各成员的集合，如货币系统；在知识或思想的某个特殊领域的事实、理论或学说的有序集合，如哲学系统；一个程序的复杂计划的统一协调，如管理系统；但并不是说每一个项目、事实、方法或程序都是一个系统。在一个房间里的几件物品的随机组合构成了带有确定关系的集合，但这并不是一个系统，因为它缺少整体性、关联性和目的性。

### 1.1.3 系统的分类

世界上的系统千差万别，可以从不同的角度将它们分为不同的类别。

#### 1. 自然系统和人造系统

自然系统就是它的组成部分是自然物（动物、植物、矿物、水资源）所形成的系统，如天体、海洋、矿藏、生态系统等。人造系统自它形成时，就被包容在自然系统之中。如人造卫星、海运船只、机械设备等。这两个系统之间存在明确的分界线，但也在某些方面相互影响。近年来，系统工程越来越注意从自然系统的关系中，探讨和研究人造系统。

随着科技的发展，出现了越来越多的人造系统，人造系统既造福了人类，也带来危害，甚至灾难，所以这些影响受到了有关人士的极大关注。例如，埃及阿斯旺水坝是一个典型的人造系统，水坝解决了埃及尼罗河洪水泛滥问题，但也带来一些不良影响，如东部的食物链受到破坏，渔业减产；尼罗河流域土质盐碱化加快，发生周期性干旱，影响了农业生产；由于河水污染使居民的健康也受到影晌等。但如能运用系统工程的方法全面考虑、统筹安排，有可能得到一个既解决洪水问题又尽量减少损失的更好方案。

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力量改造了自然系统。

#### 2. 实体系统与概念系统

实体系统是指由矿物、生物、机械和人群等实体为基本要素所组成的系统。如机械、计算机系统；概念系统则是由概念、原理、假设、理念等概念性的非物质要素所构成的系统。如管理、教育、国民经济系统等。

概念系统可以是实体系统在未形成之前的一系列规划与说明；实体系统可以由数学或其他的概念模型来进行仿真模拟。所以实际上，概念系统在实体系统的运转中起到了重要的作用。所以，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，而概念系统是实体系统的中枢神经，知道实体系统的行动或为之服务。如军事系统中既包括通信设备系统、计算机系统等等实体系统，也包括军事指挥员的思想、原则和信息等概念系统。

#### 3. 静态系统与动态系统

动态系统就是系统的状态变量是随时间而变化的，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，它只是动态系统的一种极限状态，即处于稳定的系统。

然而，系统是属于动态系统还是静态系统常常取决于人对系统状态的描述方式。如一个投资规划系统拥有一定的资金，有  $n$  个项目可以选择，若为如何使用其资金，使收益最大时，我们可以使用一般线性规划来解决。若用一个与时间有关的变量来描述系统在投资了一个项目以后尚有的资金额，这个问题就成为动态系统问题，需要用动态规划的方法求解。

由于动态系统中各种参数之间的相互关系非常复杂，要找出其中的规律性有时是非常困难的，这时为了简化起见而假设系统是静态的，或使系统中的各种参数随时间变化的幅度很小，而视为稳态。可以说，系统工程研究的是在一定时间、一定范围内和一定条件下具有某种程度稳定性的动态系统。

#### 4. 封闭系统与开放系统

封闭系统是指该系统与环境之间没有物质、能量和信息的交换，因而呈现一种封闭状态的系统，封闭系统不受外界因素的影响，显示它固有的来自于内部的平衡态。如在封闭试管内的混合反应物，它最终会达到一种化学平衡；开放系统是指系统与环境之间有物质、能量和信息的交换的系统。如生态系统、商务机构等。它呈现出系统元素随环境进行调整的稳态特征，由于要保持稳态并谋求发展，系统一般应具有自适应和自调节功能。

开放系统是具有生命力的系统，一个国家、一个地区、一个企业都需要开放，通过和外界环境不断地进行物质、能量、信息交换，而求得不断地发展。

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，剖析环境对系统的影响方式及程度，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一特定的环境之中时，该系统必须具有某些特定的功能，才能具备其继续生存和发展的条件。

## 1.2 什么是系统工程

### 1.2.1 系统的概念及特点

系统工程在系统科学结构体系中，属于工程技术类，它是一门新兴的学科，国内外有一些学者对系统工程的含义有过不少阐述，但至今仍无统一的定义。

1978 年我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方法。”

1977 年日本学者三浦武雄指出：“系统工程与其他工程学不同之点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一种边缘学科。因为系统工程的目的是研制一个系统，而系统不仅涉及到工程学的领域，还涉及社会、经济和政治等领域，所以为了适当地解决这些问题，除了需要某些纵向技术以外，还要有一种技术从横的方向把它们组织起来，这种横向技术就是系统工程。”

1975 年美国科学技术辞典的论述为：“系统工程是研究复杂系统设计的科学，该系统由许多密切联系的元素所组成。设计该复杂系统时，应有明确的预定功能及目标，并协调各个元素之间及元素和整体之间的有机联系，以使系统能从总体上达到最优目标。在设计系统时，要同时考虑到参与系统活动的人的因素及其作用。”

从以上各种论点可以看出，系统工程是以大型复杂系统为研究对象，按一定目的进行设计、开发、管理与控制，以期达到总体效果最优的理论与方法。

系统工程是一门工程技术，用以改造客观世界并取得实际成果，这与一般工程技术问题有共同之处。但是，系统工程又是一类包括了许多类工程技术的一大工程技术门类，与一般工程比较，系统工程有三个特点：

(1) 研究的对象广泛，包括人类社会、生态环境、自然现象和组织管理等。

(2) 系统工程是一门跨学科的边缘学科。不仅要用到数、理、化、生物等自然科学，还要用到社会学、心理学、经济学、医学等与人的思想、行为、能力等有关的学科，是自然科学和社会科学的交叉。因此，系统工程形成了一套处理复杂问题的理论、方法和手段，使人们在处理问题时，有系统的整体的观点。

(3) 在处理复杂的大系统时，常采用定性分析和定量计算相结合的方法。因为系统工程所研究的对象往往涉及到人，这就涉及到人的价值观、行为学、心理学、主观判断和理性推理，因而系统工程所研究的大系统比一般工程系统复杂得多，处理系统工程问题不仅要有科学性，而且要有艺术性和哲理性。

### 1.2.2 系统工程的发展历史

系统工程作为一门科学技术虽然形成于上世纪中叶，但随着近代科学技术的发展，特别是计算机的出现和广泛使用，使系统工程在世界范围内迅速发展起来，许多国家有不少成功的重大研究成果。

第一次提出“系统工程”这一名词的是1940年在美国贝尔电话公司试验室工作的E.C.莫利纳(E.C.Molina)和在丹麦哥本哈根电话公司工作的A.K.厄朗(A.K.Erlang)，他们在研制电话自动交换机时，意识到不能只注意电话机和交换台设备技术的研究，还要从通信网络的总体上进行研究。他们把研制工作分为规划、研究、开发、应用和通用工程等五个阶段，以后又提出了排队论原理，并应用到电话通信网络系统中，推动了电话事业的飞速发展。

系统工程的萌芽时期可追溯到本世纪初的F.W.泰勒(F.W.Taylor)系统，为了提高工效，泰勒研究了合理工序和工人活动的关系，探索了管理的规律，1911年他的“科学管理的原理”一书问世后，工业界出现了“泰勒系统”。

在第二次世界大战时期，一些科学工作者以大规模军事行动为对象，提出了解决战争问题的一些决策和对策的方法和工程手段，出现了运筹学。当时英国为防御德国的突然空袭，研究了雷达报警系统和飞机降落排队系统，取得了很多战果。在这一时期中，英、美等国在反潜、反空袭、商船护航、布置水雷等项军事行动中，应用了系统工程方法，取得了良好的效果。1940年至1945年，美国制造原子弹的“曼哈顿”计划，由于应用了系统工程方法进行协调，在较短的时间内取得了成功。

1945年，美国建立了兰德公司(RAND Corp.)，应用运筹学等理论方法研制出了多种应用系统，在美国国家发展战略、国防系统开发、宇宙空间技术以及经济建设领域的重大决策中，发挥了重要作用，“兰德”又被誉为“思想库”和“智囊团”。

20世纪50年代后期和60年代中期，美国为改变空间技术落后于苏联的局面，先后制定和执行了北极星导弹核潜艇计划和阿波罗登月计划，这些都是系统工程在国防科研中取得成果的著名范例。阿波罗登月计划是一项巨大的工程，从1961年开始，持续了11年。该工程有三百多万个部件，耗资244亿美元，参加者有两万多个企业和120个大学与研究机构，整个工程在计划进度、质量检验、可靠性评价和管理过程等方面都采用了系统工程方法，并创



造了“计划评审技术 (PERT)”和“随机网络技术”(又称“图解评审技术 (GERT)”),实现了时间进度、质量技术与经费管理三者的统一。在实施该工程的过程中及时向各层决策机构提供信息和方案,供各层决策者使用,保证了各个领域的相互平衡,如期完成了总体目标。计算机的迅速发展,为该复杂大系统的分析提供了有力的工具。

20世纪70年代以来。随着微型计算机的发展,出现了分级分布控制系统和分散信号处理系统,扩展了系统工程理论方法的应用范围。近年来,社会、经济与环境综合性的大系统问题日益增多,如环境污染、人口增长、交通事故、军备竞赛等。许多技术性问题也带有政治、经济的因素,如北欧跨国电网的供电问题。这个电网有水、火、核等多种能源形式,规模庞大,电网调度本身在技术上已相当复杂,而且还要受到各国经济利益冲突、地理条件限制、环境保护政策制约和人口迁移状况的影响,因此,负荷调度的目标和最佳运行方式的评价标准十分复杂,涉及多个国家社会经济因素。该电网的系统分析者要综合这些因素,对4500万kW的电力做出合理的并能被接受的调度方案,提交各国讨论、协调和决策,这是个典型的系统工程问题。

我国近代的系统工程研究可追溯到20世纪50年代。1956年,中国科学院在钱学森、许国志教授的创导下,建立了第一个运筹学小组;20世纪60年代,著名数学家华罗庚大力推广了统筹法、优选法;与此同时,在著名科学家钱学森领导下,在导弹等现代化武器的总体设计组织方面,取得了丰富经验,国防尖端科研的“总体设计部”取得显著成效。1977年以来,系统工程的推广和应用出现了新局面,1980年成立了中国系统工程学会,与国际系统工程界进行了广泛的学术交流。近年来,系统工程在各个领域都取得了许多成果。

### 1.2.3 系统工程的作用及应用领域

以前的工程学,如机械工程、电子工程、土木工程、化学工程、计算机科学等,是根据研究对象的不同而进行纵向分类的,而系统工程则是在这些纵向分类的各个领域中规划与设计新系统,并对已有系统提供最佳利用的方法论。但是,由于纵向分类的工程领域无视领域间的横向关系,一味朝专业化、细分化方向发展,因此以产业化为中心的各种活动失去了总体的和谐,这无疑招致了资源能源问题、环境问题、大都市圈的交通问题等。

系统工程在解决这些系统问题方面起着重要的作用。因此系统工程是与控制工程、运筹学、信息工程等平行的、横向分类的学科领域;它不仅适用于某个专业领域,也适用于专业领域的综合及学科交叉的研究。

系统工程不仅是科学技术的一个领域,也是解决各种复杂社会现象的一种手段。在解决社会问题方面也可应用系统工程的方法。例如一项新技术既有正面效果,也有负面效果,即该技术带给社会的负面影响。在评价这些效果及评价一项新技术的优劣时所做的技术评估,都是系统工程应用的典型例子;另外与垃圾处理场及其他大型设备的建设相关的环境评估等也是系统工程应用的一个例子。今后科学技术与社会、经济的结合将越来越密切,系统工程将处理那些以前不被看作是科学技术研究对象的现象或系统。

目前,系统工程的应用领域已十分广阔。主要有:

- (1) 社会系统工程 它的研究对象是整个社会,是一个开放的复杂巨系统。它具有多层次、多区域、多阶段的特点,如社会经济系统的可持续协调发展总体战略研究。
- (2) 经济系统工程 运用系统工程的方法研究宏观经济系统的问题,如国家的经济发展