

自动化国家级特色专业系列规划教材

系统工程导论

第二版

梁 军 赵 勇 主编



化学工业出版社

自动化国家级特色专业系列规划教材

系统工程导论

第二版

梁军 赵勇 主编



化学工业出版社

·北京·

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;第9章结合一些实际应用背景,给出了几个系统工程案例。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。

图书在版编目(CIP)数据

系统工程导论/梁军,赵勇主编.—2版.—北京:化学工业出版社,2013.3

自动化国家级特色专业系列规划教材

ISBN 978-7-122-16441-4

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第018247号

责任编辑:唐旭华 郝英华

装帧设计:张辉

责任校对:吴静

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张18¼ 字数458千字 2013年5月北京第2版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:35.00元

版权所有 违者必究

总 序

随着工业化、信息化进程的不断加快，“以信息化带动工业化、以工业化促进信息化”已成为推动我国工业产业可持续发展、建立现代产业体系战略举措，自动化正是承载两化融合乃至社会发展的核心。自动化既是工业化发展的技术支撑和根本保障，也是信息化发展的主要载体和发展目标，自动化的发展和应用水平在很大程度上成为一个国家和社会现代工业文明的重要标志之一。从传统的化工、炼油、冶金、制药、机械、电力等产业，到能源、材料、环境、军事、国防等新兴战略发展领域，社会发展的各个方面均和自动化息息相关，自动化无处不在。

本系列教材是在建设浙江大学自动化国家级特色专业的过程中，围绕自动化人才培养目标，针对新时期自动化专业的知识体系，为培养新一代的自动化后备人才而编写的，体现了我们在特色专业建设过程中的一些思考与研究成果。

浙江大学控制系自动化专业在人才培养方面有着悠久的历史，其前身是浙江大学于1956年创立的化工自动化专业，这也是我国第一个化工自动化专业。1961年该专业开始培养研究生，1981年以浙江大学化工自动化专业为基础建立的“工业自动化”学科点被国务院学位委员会批准为首批博士学位授予点，1984年开始培养博士研究生，1988年被原国家教委批准为国家重点学科，1989年确定为博士后流动站，同年成立了工业控制技术国家重点实验室，1992年原国家计委批准成立了工业自动化国家工程研究中心，2007年启动了由国家教育部和国家外专局资助的高等学校学科创新引智计划（“111”引智计划）。经过50多年的传承和发展，浙江大学自动化专业建立了完整的高等教育人才培养体系，沉积了深厚的文化底蕴，其高层次人才培养的整体实力在国内外享有盛誉。

作为知识传播和文化遗产的重要载体，浙江大学自动化专业一贯重视教材的建设工作，历史上曾经出版过很多优秀的教材和著作，对我国的自动化及相关专业的人才培养起到了引领作用。当前，加强工程教育是高等学校工科人才培养的主要指导方针，浙江大学自动化专业正是在教育部卓越工程师教育培养计划的指导下，对自动化专业的培养主线、知识体系和培养模式进行重新布局和优化，对核心课程教学内容进行了系统性重新组编，力求做到理论和实践相结合，知识目标和能力目标相统一，使该系列教材能和研讨式、探究式教学方法和手段相适应。

本系列教材涉及范围包括自动控制原理、控制工程、检测和传感、网络通信、信号和信息处理、建模与仿真、计算机控制、自动化综合实验等方面，所有成果都是在传承老一辈教育家智慧的基础上，结合当前的社会需求，经过长期的教学实践积累形成的。大部分教材和其前身在我国自动化及相关专业的培养中都具有较大的影响，例如《过程控制工程》的前身是过程控制的经典教材之一、王骥程先生编写的《化工过程控制工程》。已出版的教材，既有国家“九五”重点教材，也有国家“十五”、“十一五”规划教材，多数教材或其前身曾获得过国家级教学成果奖或省部级优秀教材奖。

本系列教材主要面向自动化（含化工、电气、机械、能源工程及自动化等）、计算机科学和技术、航空航天工程等学科和专业有关的高年级本科生和研究生，以及工作于相应领域和部门的科学工作者和工程技术人员。我希望，这套教材既能为在校本科生和研究生的知识拓展提供学习参考，也能为广大科技工作者的知识更新提供指导帮助。

本系列教材的出版得到了很多国内知名学者和专家的悉心指导和帮助，在此我代表系列教材的作者向他们表示诚挚的谢意。同时要感谢使用本系列教材的广大教师、学生和科技工作者的热情支持，并热忱欢迎提出批评和意见。



2011年6月

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。

《系统工程导论》自 2005 年出版以来，受到广泛欢迎并被许多高校选用作为系统工程类课程的教材。经过包括编者在内的多轮教学实践，在认真听取有关专家、读者经验和建议的基础上，对本书进行再版修订，以便更好地适应新形势下的教学要求并尽可能吸纳系统工程学科新的发展成果。

第二版保持了第一版的理论、方法体系和写作特点，删除了一些教学中涉及较少、相对陈旧的内容，增补了一些新颖的理论和方法，主体上仍保持前 8 章的基本结构，包括概述、基础理论与方法论、社会经济系统及其复杂性分析、系统分析、系统模型与仿真、系统预测、系统设计与评价和系统决策，每章配有例题、思考题与习题。为帮助读者更好地运用系统工程的知识解决实际问题，特别增加了第 9 章案例分析。

在第二版的修订过程中，第一版的各位作者仍旧负责各自章节。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，浙江大学葛志强副教授承担了第 9 章内容的选材、整理工作，其中选取的案例全部是编者的学生在学习本科生系统工程类课程时完成的部分大作业。

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。

本书配套的电子课件可免费提供给采用本书作为教材的院校使用，如有需要，请发邮件至 cipedu@163.com 索取。

值此第二版完成、出版之际，首先感谢编者众多的本科学生，正是他们出色的大作业论文为案例分析这一章提供了丰富的素材；还要感谢化学工业出版社、浙江大学、华中科技大学的大力支持，使第二版的修订工作得以顺利完成。

限于水平和能力，书中仍难免有不妥之处，衷心希望读者和专家们不吝批评指正。

编者

2013 年 1 月

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	3
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	5
1.2.3 系统工程的研究对象与内容	6
1.2.4 系统工程主要理论基础	7
1.3 系统工程的发展历史	7
1.3.1 系统工程的产生与发展	7
1.3.2 系统工程在中国	8
1.3.3 研究趋势与展望	9
1.4 系统工程的应用领域	10
思考题与习题	11
2 系统工程的基础理论与方法论	12
2.1 系统最优化理论	12
2.1.1 线性规划	12
2.1.2 整数规划	16
2.1.3 非线性规划	20
2.1.4 动态规划	29
2.1.5 多目标规划	32
2.2 控制理论基础	33
2.2.1 控制系统的描述形式	33
2.2.2 系统最优控制	34
2.2.3 大系统理论	35
2.3 信息论基础	39
2.4 系统工程方法论	40
2.4.1 霍尔三维结构	40
2.4.2 切克兰德“调查学习”模式	42
思考题与习题	42
3 社会经济系统及其复杂性	44
3.1 社会经济系统及其特点	44
3.2 社会经济系统的因素复杂性	45
3.3 社会经济系统结构的复杂性	46
3.4 社会经济系统中的不完全理性	48
3.5 社会经济系统中选择的复杂性	50
3.6 社会经济系统的方法论	52
思考题与习题	54
4 系统分析	55
4.1 系统分析概述	55
4.1.1 系统分析的定义	55
4.1.2 系统分析的意义	55
4.1.3 系统分析的内容	56
4.1.4 系统分析的步骤	60
4.2 系统目标分析	62
4.2.1 系统目标分析分类	63
4.2.2 系统目标的建立	64
4.2.3 建立目标集的基本原则	65
4.2.4 目标冲突的协调	66
4.3 系统环境分析	67
4.3.1 系统环境的概念	67
4.3.2 环境因素的分类	67
4.3.3 环境因素的确定与评价	69
4.4 系统结构分析	70
4.4.1 系统结构概念	70
4.4.2 系统要素集分析	71
4.4.3 系统相关性分析	71

4.4.4	系统阶层性分析	71	4.5.3	一致性检验	76
4.4.5	系统整体分析	72	4.5.4	层次总排序	77
4.5	系统层次分析	73	4.5.5	层次分析法应用	77
4.5.1	递阶层次结构	73	4.6	系统分析举例	79
4.5.2	构造判断矩阵和计算相对权重	74		思考题与习题	82
5	系统模型与仿真	84			
5.1	系统模型	84	5.3.3	状态空间模型	103
5.1.1	系统模型的定义与特征	84	5.3.4	输入输出模型	104
5.1.2	建立系统模型的必要性	85	5.4	系统仿真概述	106
5.1.3	系统模型分类	86	5.4.1	系统仿真的概念	106
5.1.4	系统模型的作用	87	5.4.2	仿真技术的发展	108
5.2	系统建模	88	5.4.3	系统仿真分类	110
5.2.1	对系统模型的要求和建模的原则	88	5.4.4	系统仿真的基本步骤	111
5.2.2	系统建模方法与步骤	89	5.5	连续系统仿真与离散系统仿真	113
5.3	系统工程研究中常用的主要模型	90	5.5.1	连续系统仿真	113
5.3.1	结构模型	90	5.5.2	离散事件系统仿真	122
5.3.2	网络模型	99		思考题与习题	124
6	系统预测	126			
6.1	引言	126		检验	142
6.2	德尔菲定性预测方法	127	6.5.4	多元线性回归模型的预测精度	143
6.3	一元线性回归分析预测	128	6.6	多元线性偏回归分析预测	143
6.3.1	一元线性回归原理	128	6.6.1	复共线问题	143
6.3.2	一元线性回归预测的精度分析	130	6.6.2	岭回归分析	144
6.3.3	一元线性回归预测的步骤	131	6.6.3	偏最小二乘回归分析	145
6.4	一元非线性回归分析预测	133	6.7	时间序列分析模型	153
6.4.1	函数变换线性化方法	133	6.7.1	平稳时间序列与白噪声	153
6.4.2	多项式变换线性化方法	134	6.7.2	自回归滑动平均模型——ARMA模型	154
6.4.3	分段线性化方法	134	6.7.3	ARMA模型的参数估计	156
6.4.4	直接非线性回归分析的方法	135	6.7.4	ARMA(p, q)模型的阶数估计	159
6.5	多元线性回归分析预测	136	6.7.5	时间序列分析预测	160
6.5.1	多元线性回归预测的原理	136		思考题与习题	162
6.5.2	主要计算方法	138			
6.5.3	多元线性回归方程的显著性				
7	系统设计与评价	164			
7.1	系统设计的任务与原则	164	7.2.3	综合	168
7.2	系统设计的程序与步骤	166	7.2.4	分析	169
7.2.1	设计方针和方法的给定	166	7.3	系统设计中的因素	170
7.2.2	寻求方案的策略	166	7.4	系统设计中创新方法	172

7.5 系统评价的概念与任务	175	7.6.2 聚类分析法	180
7.5.1 评价的原则	175	7.6.3 层次分析法	180
7.5.2 评价的实施	176	7.6.4 专家评价法	181
7.5.3 评价指标体系的设计	178	7.6.5 模糊综合评价法	184
7.6 常用的综合评价方法	179	思考题与习题	188
7.6.1 成本效益法	179		
8 系统决策	189		
8.1 决策的概念	189	8.4.4 几个常用的决策方法	206
8.1.1 决策及其特点	189	8.5 群决策与专家咨询	208
8.1.2 决策过程	190	8.5.1 群决策概论	209
8.1.3 决策问题的分类	190	8.5.2 专家咨询	211
8.1.4 决策问题的要素和描述	191	8.6 决策中人的行为	213
8.2 一般决策问题	192	8.6.1 有限理性	214
8.3 风险型决策	195	8.6.2 认识上的偏差	214
8.3.1 决策树与抽奖	195	8.6.3 决策的文化差异	216
8.3.2 偏好和效用	195	8.7 决策支持系统	217
8.3.3 主观概率	197	8.7.1 决策支持系统的概念和特点	217
8.3.4 决策规则	198	8.7.2 决策支持系统的基本模式和 功能	218
8.4 多目标决策	200	8.7.3 决策支持系统的组成	219
8.4.1 多目标决策问题的要素	200	8.7.4 决策支持系统的应用和发展	220
8.4.2 非劣解和最佳调和解	202	思考题与习题	221
8.4.3 有限方案多目标决策	202		
9 系统工程案例	223		
9.1 我国消费者物价指数 CPI 波动因素与 预测	223	方案	248
9.1.1 问题的提出	223	9.3.7 结束语	249
9.1.2 原理与方法	223	9.4 NBA 球员效率综合评价系统	249
9.1.3 数据准备	226	9.4.1 问题的提出	249
9.1.4 模型的建立与求解	226	9.4.2 效率综合评价模型建立	250
9.1.5 进一步的讨论	233	9.4.3 效率综合评价模型的验证	254
9.2 笔记本电脑销售市场分析	234	9.4.4 效率综合评价模型的应用	257
9.2.1 问题的提出	234	9.4.5 小结	261
9.2.2 系统建模与分析	235	9.5 养老金制度的系统分析	262
9.2.3 结论	240	9.5.1 问题的提出	262
9.3 大学校园路灯安置的优化分析	241	9.5.2 分析及建立结构模型	262
9.3.1 问题的提出	241	9.5.3 方案选择	264
9.3.2 背景知识	241	9.5.4 结果讨论	268
9.3.3 校园路灯设计的定性分析	242	9.6 大学生早餐的营养搭配分析与优化	269
9.3.4 模型的准备	243	9.6.1 问题的提出	269
9.3.5 模型的建立与求解	244	9.6.2 背景与数据准备	269
9.3.6 现有路灯排布的评价与改进		9.6.3 多目标决策与熵权值算法设计	270
		9.6.4 早餐方案初步筛选	273

9.6.5 价格最优早餐方案的确定	274	方案排序	276
9.6.6 根据熵权值进行多目标早餐搭配		9.6.7 给同学们的早餐建议	278
参考文献			279

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？著名科学家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、相互作用的一些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。

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

从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不同层次子系统之间的从属关系或相互作用关系。不同层次子系统之间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—个指标体系来描述系统的目标。比如，衡量—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，寻求平衡或折中方案。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—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，—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和/或自然物（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，制造出各种机器和各种工程系统。

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对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，人们有意无意地会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，—批专家、学者专家以超前的意识与历史的责任感致力于推动保护原生态的江南水乡古镇。但—些小镇当时的领导只考虑当前利益，进行带有破坏性地大兴土木，修桥造路，不理解、不欢迎教授们的保护性规划，甚至推他们出门。其结果是许多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。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与系统隔开，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，所以当一开放系统存在于某一特定环境之中时，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。

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。研究处理这类系统的方法不同于一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。

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，要给出一个统一的定义比较困难。一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，无论是属于系统的设计或组织建立，还是系统的经营管理，都可以看成是一种工程实践，都可以统称为系统工程。

下面列举国内外学术界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、人因工程和其他有关因素综合到整个工程工作之中，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交叉科学。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,系统工程在研究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完全是综合运用各种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象,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。

(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、动态规划、多目标规划、排队论、对策论等，它们被应用于系统对有限资源的统筹安排，为决策提供有依据的最优方案。在运筹学的应用中，往往是运用模型化方法，将一个已确定研究范围的现实问题，按预期目标，将现实问题中的主要因素及各种限制条件之间的因果关系、逻辑关系建立数学模型，通过模型求解来寻求最优化。

(4) 系统评价技术

系统评价就是对系统的价值进行评定，其主要作用是通过系统评价技术，将系统方案排序，以便从众多的可行方案中找出最优方案，为决策提供依据。迄今为止，评价技术已发展到数十种，但较为常用的有费用-效益分析、关联矩阵法、关联树法、层次分析法、模糊评价法、可能-满意度法等。

(5) 系统预测技术

系统预测是依据过去和现在的有关系统及其环境的已知材料，运用科学的方法和技术，发现和掌握系统发展与运行中的固有规律，并按此规律去探求系统发展的未来。预测的主要作用是为决策者提供科学的预见和决策依据，同时为产生多个系统方案和优化系统方案提供方法手段。系统预测技术可分为定性预测技术与定量预测技术。

(6) 系统决策技术

系统决策是指决策者根据系统的各种行动方案及其可能产生的后果所作的判断或决定。决策分析是比较规范的技术。它所起的作用是使决策过程得到数据和定量分析的支持，使决策所需的信息全面而清晰地展现给决策者，从而有助于决策者正确决策。决策技术按决策环境可分为三种类型：即确定型决策、风险型决策、不确定型决策。

综上所述，系统工程在自然科学与社会科学之间架设了一座沟通的桥梁。通过系统工程，现代数学方法与计算机技术为社会科学研究增加了极为有用的定量分析方法、模拟实验方法、建立数学模型的方法和优化方法。同时，系统工程也为自然科学研究提供了定性分析方法、辩证思维方法，以及深入剖析人与环境相互关系的方法，并为从事自然科学的科学技术人员和从事社会科学的研究人员之间的相互合作开辟了广阔的道路。

1.2.4 系统工程主要理论基础

系统工程的主要理论基础是由一般系统论、大系统理论、经济控制论、控制论、运筹学等学科相互渗透、交叉发展而形成的。本书的第二章将对其中的主要部分如系统最优化理论、控制理论基础、信息论基础等加以介绍。

1.3 系统工程的发展历史

1.3.1 系统工程的产生与发展

系统工程产生于20世纪40年代，在60年代形成了体系。但系统工程像整个科学技术的发展一样源远流长，系统和系统工程的思想可以追溯到我国古代。如战国时期由李冰父子组织建造的四川都江堰水利工程，明朝永乐年间的大铜钟浇铸工程，《孙子兵法》，以及脍炙人口的齐王赛马的故事等。我国古代这些成功的工程技术、军事思想和运筹帷幄的思维方