

《信息、控制与系统》系列教材

系统工程概论

夏绍玮 杨家本 杨振斌

清华大学出版社



《信息、控制与系统》系列教材

系统工程概论

夏绍玮 杨家本 杨振斌

清华大学出版社

(京)新登字 158 号

内 容 简 介

本书讲述了系统工程和系统科学的基本理论、方法和应用。全书共分十一章, 主要内容包括系统概念, 系统学基础, 系统目标, 系统建模、优化和决策, 系统经济分析和可靠性分析, 模糊集理论及其应用等。书中还给出了几个系统工程研究的实例。本书深入浅出, 注重理论联系实际。

本书适于用作大学工科、管理学科、经济学科等本科高年级学生和研究生的教材, 也可作为各类专业技术和管理人员的参考书和继续教育的教材。

版权所有, 翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标志, 无标志者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

系统工程概论/夏绍玮等编著. —北京:清华大学出版社, 1995
《信息、控制与系统》系列教材/常迥主编
ISBN 7-302-01618-6

I. 系… II. 夏… III. 系统工程-概论 IV. N94

中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第 09803 号

出版者: 清华大学出版社(北京清华大学校内, 邮编 100084)

印刷者: 顺义振华印刷厂

发行者: 新华书店总店北京科技发行所

开 本: 787×1092 1/16 印张: 17 字数: 399 千字

版 次: 1995 年 1 月第 1 版 1995 年 12 月第 2 次印刷

书 号: ISBN 7-302-01618-6/TP·686

印 数: 4001 - 7000

定 价: 17.60 元

《信息、控制与系统》系列教材

出版说明

《信息、控制与系统》系列教材是一套关于信息、控制和系统学科的基本理论和应用技术的高等学校教材。选题范围包括信号和信息处理、模式识别、知识工程、控制理论、自动化技术、传感技术、自动化仪表、系统理论、系统工程、机器人控制、智能控制、计算机应用和控制等方面。主要读者对象为自动控制、计算机、过程自动化、无线电等系科的高年级大学生和研究生,以及在这些领域和部门工作的科学工作者和工程技术人员。

信息、控制与系统科学是在本世纪上半叶形成和发展起来的新兴学科。它们的应用和影响已经遍及众多的部门和领域,贯穿其中的许多思想和方法已用于经济和社会现象的研究,而以这些学科为理论基础的自动化技术的广泛应用更是实现现代化的重要标志之一。这套系列教材,正是在这样的客观要求下,为适应教学和科研工作的需要而组织编写和出版的。它以清华大学自动化系、电机系等近年来经过教学实践的新编教材为主,力求反映这些学科的基本理论和最新进展,并且反映清华大学在这些学科中科学研究和教学研究的成果。我们希望这套系列教材,既能为在校大学生和研究生学习提供较为系统的教科书,也能为广大科技人员提供有价值的参考书。

组编和出版这套教材是一次尝试。我们热忱欢迎选用本系列教材的老师、学生和科技工作者提出批评、建议。

《信息、控制与系统》系列教材编委会

《信息、控制与系统》系列教材编委会

主 编	常 迥		
编 委	常 迥	童诗白	方崇智
	韩曾晋	李衍达	郑大钟
	夏绍玮	徐培忠	
责任编辑	蔡鸿程	王仁康	

前 言

系统工程和系统科学是当代正在迅速发展的很有影响的一门综合性基础性学科,它的应用已广泛深入到工业、农业、国防、科学技术和社会经济各个方面,从国家的经济发展战略与规划到工业企业的管理与决策,都应用了系统工程和系统科学的基本理论与方法。

系统工程是一门跨学科的工程技术,系统的基础理论是系统学。系统工程从系统的观点出发,立足于整体,统筹全局,又将系统分析和系统综合有机地结合起来,采用定量的或定性定量相结合的方法,为现代科学技术的发展提供了新思路和新方法。

本书是在我校多年来为大学本科生和研究生开设的《系统工程概论》课的基础上编写的,适于工科和经济管理学科各专业高年级学生和研究生作为教材,也可用作继续教育的教材。本书主要内容包括三大部分:第一部分包括第一、第二章,主要讲述系统与系统的概念、分类和方法,系统学的基础理论等;第二部分包括第三章到第十章,主要讲述系统方法论有关的内容,如系统目标,系统建模、优化和决策,系统可靠性,经济评价,网络分析,模糊决策等。第三部分为第十一章,主要讲述几个系统工程应用实例,其中包含了作者的部分科研成果。

本书力求深入浅出地介绍系统工程和系统科学的基本理论方法,在内容取材上,选择了系统工程中较为基本的几个方面。论述中,注意系统性和简明性,不求全面详尽,以便读者在使用和参考本书时,能得到更多的收益。

本书共分十一章,第一、四、五、八、九章由夏绍玮编写,第二、三、六章由杨家本编写,第七、十章由杨振斌编写,第十一章为几个人合写,倪岳锋参加了该章人口模型的编写。由于我们水平有限,欢迎读者对本书中的错误和不妥之处提出批评意见。

作者

1994年4月

目 录

第一章 系统与系统工程	1
§ 1.1 系统的概念与定义	1
1.1.1 系统概念	1
1.1.2 系统的定义	1
§ 1.2 系统科学与系统学的发展	2
§ 1.3 系统的特征与分类	3
1.3.1 系统的特征	3
1.3.2 系统的分类	4
§ 1.4 系统工程的产生与发展	5
1.4.1 系统工程的含义	5
1.4.2 系统工程的发展历史	6
§ 1.5 系统工程的方法与步骤	8
§ 1.6 大系统和复杂巨系统	11
参考文献	15
第二章 系统学基础	16
§ 2.1 引言	16
§ 2.2 系统自组织现象	17
§ 2.3 一些基本概念	18
§ 2.4 系统理论概述	24
2.4.1 一般系统论	24
2.4.2 耗散结构的概念	29
2.4.3 协同学原理	34
2.4.4 初等突变理论	38
2.4.5 混沌、分维与分形	41
§ 2.5 应用	51
参考文献	52
第三章 系统目标	53
§ 3.1 系统目标及其意义	53
§ 3.2 目的、目标及属性	53
§ 3.3 目标树	54
§ 3.4 目标间的价值权衡	56
3.4.1 价值权衡的本质	56
3.4.2 确定权重系数的实用方法——两两比较法	57

参考文献	61
第四章 系统模型	62
§ 4.1 系统建模的目的和模型分类	62
§ 4.2 系统结构模型和邻接矩阵	63
4.2.1 系统的结构模型	63
4.2.2 邻接矩阵和可达矩阵	65
4.2.3 结构模型法(ISM 法)	69
§ 4.3 主成分分析法(PCA 法)	73
§ 4.4 因子分析法	83
§ 4.5 聚类分析法	88
§ 4.6 系统动态仿真模型——系统动力学模型	97
参考文献	104
第五章 系统优化及多目标优化与决策分析	106
§ 5.1 系统优化方法概述	106
§ 5.2 多目标优化与决策分析的基本步骤和非劣解	110
§ 5.3 多目标优化与决策的基本方法	116
5.3.1 求解多目标优化问题非劣解集的约束法	116
5.3.2 目的规划法	118
§ 5.4 交互式多目标决策与满意解的概念	119
参考文献	124
第六章 决策分析	125
§ 6.1 决策、决策分析及其基本要素	125
§ 6.2 决策问题的分类	126
§ 6.3 决策过程	126
§ 6.4 单目标决策分析方法	127
6.4.1 确定性情况下决策分析方法	127
6.4.2 风险情况下决策分析方法	128
6.4.3 不确定性情况下决策分析方法	130
§ 6.5 多目标决策	132
6.5.1 多目标决策问题的数学描述	132
6.5.2 一般决策方法概述	133
6.5.3 效用理论	133
6.5.4 层次分析法	136
§ 6.6 决策支持系统	140
参考文献	141
第七章 系统可靠性	142
§ 7.1 系统可靠性的概念和基本数量指标	142
7.1.1 可靠性工程与系统工程	142

7.1.2	系统可靠性的含义	142
7.1.3	系统可靠性的有关概念	143
7.1.4	系统可靠性的数量指标	146
§ 7.2	系统可靠性模型	148
7.2.1	系统可靠性逻辑框图	148
7.2.2	串联系统可靠性模型	149
7.2.3	并联系统可靠性模型	150
7.2.4	混联系统可靠性模型	151
7.2.5	n 中取 k 的表决系统模型	151
7.2.6	储备系统(冗余系统)可靠性模型	152
7.2.7	桥式系统	153
§ 7.3	可靠性分析与预计	154
7.3.1	事件树分析(ETA)	154
7.3.2	故障树分析(FTA)	155
7.3.3	可靠性预计	156
§ 7.4	可靠性设计与分配	158
7.4.1	可靠性设计与分配的概念	158
7.4.2	代数分配法	158
7.4.3	加权分配法	159
7.4.4	非线性规划问题中的乘子法	161
7.4.5	动态规划法	161
7.4.6	提高系统可靠性的技术措施	162
7.4.7	人-机功能的合理分配与人员可靠性分析	163
7.4.8	可靠性管理	164
	参考文献	164
第八章	项目的经济分析和评价	165
§ 8.1	货币的时间价值和利率	165
§ 8.2	方案选择与经济评价	168
8.2.1	单方案的经济评价	168
8.2.2	多方案的经济评价	170
§ 8.3	企业亏盈均衡点法	172
§ 8.4	财务评价和国民经济评价	173
	参考文献	174
第九章	计划与调度网络分析技术	176
§ 9.1	工程项目的作业计划	176
9.1.1	主要时间参数	178
9.1.2	作业图参数的计算方法	180
§ 9.2	关键路线法(CPM)	181

§ 9.3	计划评审技术(PERT)	183
§ 9.4	图评审技术(GERT)	186
9.4.1	GERT 的符号说明	186
9.4.2	应用举例	188
	参考文献	190
第十章	模糊集理论及其在系统工程中的应用	191
§ 10.1	模糊现象与模糊集理论	191
§ 10.2	模糊集合的基本运算	193
§ 10.3	模糊关系和模糊矩阵运算	196
10.3.1	两个论域 X, Y 积集的模糊子集 \tilde{R}	196
10.3.2	两个模糊子集的笛卡尔积	196
10.3.3	模糊推理合成法则	197
§ 10.4	模糊聚类分析和模糊综合评判	198
10.4.1	模糊聚类分析	198
10.4.2	模糊综合评判	199
§ 10.5	模糊规划	203
10.5.1	模糊约束条件下的极值问题	203
10.5.2	模糊线性规划	205
§ 10.6	模糊控制和模糊系统	208
10.6.1	模糊控制的基本思路	208
10.6.2	模糊控制系统的数学表达式	209
	参考文献	210
第十一章	应用实例分析	211
§ 11.1	人口发展的数学模型	211
§ 11.2	投入产出方法及其应用	216
11.2.1	投入产出法的基本原理	216
11.2.2	直接消耗系数和完全消耗系数	219
11.2.3	投入产出法在经济管理中的应用	220
11.2.4	动态投入产出模型	224
11.2.5	投入产出世界模型	227
§ 11.3	区域规划的系统工程方法	229
11.3.1	城市性质、功能分析及城市发展目标的确定	230
11.3.2	城市系统综合模型	231
11.3.3	区域发展策略优化分析	233
11.3.4	区域规划研究与区域规划实施跟踪研究	234
§ 11.4	河流污染治理规划的系统分析	235
§ 11.5	计算机集成制造系统(CIMS)	240
11.5.1	问题的提出和 CIMS 的概念	240

11.5.2 CIMS 的组成	241
11.5.3 实施 CIMS 应注意的问题	242
§ 11.6 制造资源管理系统(MRP- I)	244
11.6.1 问题的提出及 MRP- I 的发展	244
11.6.2 MRP 的基本原理	244
11.6.3 闭环 MRP 和 MRP- I	245
11.6.4 MRP- II	246
11.6.5 主生产排程 MPS	247
参考文献	249
附录	251

第一章 系统与系统工程

§ 1.1 系统的概念与定义

1.1.1 系统概念

系统概念来源于古代人类的社会实践和科学总结,系统这个词早在古希腊时代就已使用。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虚空所组成,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思想,是古代关于系统的一种朴素概念。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。西周时代,已用阴阳二气的矛盾统一来解释自然现象,认为金、木、水、火、土“五行”是构成世界大系统的五种基本要素。在东汉时期,古代天文学家张衡提出了“浑天说”,揭示了天体运行和季节变化的联系,编制出历法和指导农业活动的廿四气节。在北魏时期,著名学者贾思勰在其名著“齐民要术”一书中,叙述了气候诸因素与农业发展的关系,对农作与种子、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事活动。周秦至西汉初年古代医学总集的“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。

系统这一概念来源于人类长期的实践活动,但由于古代科学技术不发达,往往只能得到分散的认识,不够深化。古代朴素唯物主义哲学思想虽然强调对自然界整体性、统一性的认识,却缺乏对这一整体各个细节的认识能力,因而对整体性和统一性的认识也是不完全的。对自然界这个统一体各个细节的认识,是近代自然科学的任务。19世纪以来,自然科学取得了伟大的成就,特别是能量守恒、细胞和进化论的发现,使人类对自然过程的相互联系的认识有了很大的提高。马克思、恩格斯的辩证唯物主义认为,物质世界是由无数相互联系,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。钱学森在“系统思想和系统工程”一文中指出:“系统思想是进行分析和综合的辩证思维工具,它在辩证唯物主义那里取得了哲学的表达形式,在运筹学和其它系统科学那里取得了定量的表述形式,在系统工程那里获得了丰富的实践内容”。他还说明:“20世纪中期现代科学技术的成就,为系统思维提供了定量方法和计算工具,这就是系统思想如何从经验到哲学到科学,从思辩到定性到定量的大致发展情况”。

1.1.2 系统的定义

系统这个词来自拉丁语的 *systema*,一般认为是“群”与“集合”的意思。

在韦氏(webster)大辞典中,“系统”一词定义为“有组织的或被组织化的整体”,是“形

成集合整体的各种概念、原理的综合”，是“以有规律的相互作用或相互依存形式结合起来的对象的集合”。

因此，系统可定义为具有一定功能的、相互间具有有机联系的、由许多要素或构成部分组成的整体。一般系统论的创始人，L. V. 贝塔朗非(L. V. Bertalanffy)把“系统”定义为“相互作用诸要素的综合体”。美国著名学者 R. L. 阿柯夫(R. L. Ackoff)认为：“系统是由两个或两个以上相互联系的任何种类的要素所构成的集合”。

综上所述，系统是可以分解的，一个系统可以是一个更大系统的组成部分，而该系统本身又可包含若干个子系统。因此，系统是有层次的，任一个系统都有它的层次结构、规模、环境与功能。

系统的反义词是混沌或混乱(chaos)，混沌是指无序或杂乱无章的集合。系统的同义词是组织、体系等，但这些同义词还不能完全反映各部分的有机联系。

§ 1.2 系统科学与系统学的发展

20 世纪以来，科学知识已发展成一百多种学科，科学从哲学中分离出来也已有一个多世纪。系统科学是与自然科学和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。系统科学是在研究控制论、信息论、运筹学和一般系统论的过程中发展起来的，从系统科学这一类研究系统的基础科学出发，结合其他基础科学，组成一系列研究系统共同问题的技术科学，这些科学统称为系统学。

控制论(cybernetics)是 1947 年由 N. 维纳(N. Wiener)提出的。从狭义上说，控制论研究的是工程中的伺服理论；从广义上说，它包括了许多领域，如工程控制论、生物控制论、经济控制论等。控制论的发展在科学上有重大意义，最优控制理论在自然、社会、经济领域中都有广阔应用前景。

一般系统论(general systems theory)在 40 年代后期逐渐形成，它来源于观察生物和生命现象，一般系统论用于研究复杂系统时，找到了科学的统一理论和多学科相互关系的共同基础。1950 年 L. V. 贝特朗非(L. V. Bertalanffy)对一般系统论进行了描述，提出了不同学科间的信息沟通问题。一般来说，多种学科虽然在科学方法上有相似性，但不同学科之间的沟通是很困难的，一个领域中的科学概念和假设很难应用到另一个领域中去。例如，在人体学和生命科学、社会学和行为科学、人类学三者之间找学科联系是相当困难的。而贝特朗非则认为“在不同领域中，表现出了结构上的相似性和同构性”，因此，一般系统论的任务是找到不同学科之间的共同语言或科学术语，并注重强调系统的开放性。

在不同学科领域里，有一种研究各学科间有序结构的方法，即对基本的行为单元，按其复杂性构成一个有层次的结构。布丁(Boulding)曾提出过一种有 9 个层次的结构：

- (1) 静态结构层，如地球、太阳系和天体等；
- (2) 简单动态层，如化学、物理等；
- (3) 调节与控制层，如温度的控制与调节、信息的传播和变换等；
- (4) 细胞层。该层有明显的生命自保持结构；
- (5) 植物层。该层由植物和微生物生态世界组成，并建立了一种系统结构；

- (6) 动物层。动物有可移动性,会产生有目的的行为和自我感觉;
- (7) 人类层。开始有自我意识,使用劳动工具和文字符号;
- (8) 社会组织 and 活动层,包括人类的生产活动,信息在社会上的传递,价值观、文艺、历史以及复杂的人类社会关系等;
- (9) 尚未知层。这一层的问题的复杂性或系统结构和关系尚不清楚,研究中常作假说或假定。

以上是一种分析系统的9个层次的框架结构。一般系统论认为,各种学科都可在这种框架中找到一定的位置,科学家们也可以在其中比较各种概念和学说,找到各学科间的相似点和不同之处,这对学科间的信息交换和学科发展将大有裨益。

有关系统或系统生成的科学称为系统学。显然,交叉学科的形成和发展有力地推动了系统科学的进展。

§ 1.3 系统的特征与分类

1.3.1 系统的特征

系统的特征可归纳为以下几点:

(1) 整体性。如上所述,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。

(2) 相关性。系统中相互关联的部分或部件形成“部件集”,“集”中各部分的特性和行为相互制约和相互影响,这种相关性确定了系统的性质和形态。

(3) 目的性和功能。大多数系统的活动或行为可以完成一定的功能,但不一定所有系统都有目的,例如太阳系或某些生物系统。人造系统或复合系统都是根据系统的目的来设定其功能的,这类系统也是系统工程研究的主要对象。例如,经营管理系统要按最佳经济效益来优化配置各种资源;军事系统为保全自己,消灭敌人,就要利用运筹学和现代科学技术组织作战,研制武器。

(4) 环境适应性。一个系统和包围该系统的环境之间通常都有物质、能量和信息的交换,外界环境的变化会引起系统特性的改变,相应地引起系统内各部分相互关系和功能的变化。为了保持和恢复系统原有特性,系统必须具有对环境的适应能力,例如反馈系统、自适应系统和自学习系统等。

(5) 动态性。物质和运动是密不可分的,各种物质的特性、形态、结构、功能及其规律性,都是通过运动表现出来的,要认识物质首先要研究物质的运动,系统的动态性使其具有生命周期。开放系统与外界环境有物质、能量和信息的交换,系统内部结构也可以随时间变化。一般来讲,系统的发展是一个有方向性的动态过程。

(6) 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。一般系统论的一个重要成果是把生物和生命现象的有序性和目的性同

系统的结构稳定性联系起来,也就是说,有序能使系统趋于稳定,有目的才能使系统走向期望的稳定系统结构。

1.3.2 系统的分类

1. 自然系统和人造系统

原始的系统都是自然系统,如天体、海洋、生态系统等。人造系统都是存在于自然系统之中的,如人造卫星、海运船只、机械设备等。人造系统和自然系统之间存在着界面,两者互相影响和渗透。近年来,人造系统对自然系统的不良影响已成为人们关注的重要问题,如核军备、化学武器、环境污染等。

自然系统是一个高阶复杂的均衡系统,如季节周而复始地变化形成的气象系统、食物链系统、水循环系统等。自然系统中的有机物、植物与自然环境保持了一个平衡态。在自然界中,物质流的循环和演变是最重要的,自然环境系统没有尽头,没有废止,只有循环往复,并从一个层次发展到另一个层次。

原始人类对自然系统的影响不大,但近几百年来,科技发展很快,它既造福于人类,又带来危害,甚至灾难,引起了人们极大的关注。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;由于河水污染使附近居民的健康受到影响等。但如能运用系统工程方法来全面考虑,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。

系统工程所研究的对象,大多是既包含人造系统又包含自然系统的复合系统。从系统的观点讲,对系统的分析应自上而下地而不是自下而上地进行。例如,研究系统与所处环境,环境是最上一级,先注意系统对环境的影响,然后再进行系统本身的研究,系统的最下级是组成系统的各个部分或要素。自然系统常常是复合系统的最上一级。

2. 实体系统和抽象(概念)系统

所谓实体系统,是指以物理状态的存在作为组成要素的系统,这些实体占有空间,如自然界的矿物、生物,生产部门的机械设备、原始材料等。与实体系统相对应的是抽象概念系统,它是由概念、原理、假说、方法、计划、制度、程序等非物质实体构成的系统,如管理系统、法制、教育、文化系统等。近年来,逐渐将概念系统称之为软科学系统,并日益受到重视。

以上两类系统在实际中常结合在一起,以实现一定功能。实体系统是概念系统的基础,而概念系统又往往对实体系统提供指导和服务。例如,为实现某项工程实体,需提供计划,设计方案和目标分解,对复杂系统还要用数学模型或其他模型进行仿真,以便抽象出系统的主要因素,并进行多个方案分析,最终付诸实施。在这一过程中,计划、设计、仿真和方案分析等都属于概念系统。

3. 静态系统和动态系统

系统的静和动都是相对的。从某种意义上讲,可以认为在宏观上没有活动部分的结构系统或相对静止的结构系统为静态系统,例如大桥、公路、房屋等。而动态系统指的是既有静态实体又有活动部分的系统,例如学校就是一个动态系统,它不仅有建筑物,还有教师

和学生。

在中世纪以前,人们曾认为宇宙现象是永恒不变的,习惯将事物看成是恒定的,静止的,这种看法在哲学上是唯心的或机械唯物论的。随着科学的发展和人类的进步,才逐渐认识到世界不是恒定事物的集合体,而是动态过程的集合体,运动是永恒的。宇宙是一个动态系统,静态是相对的。

4. 开放系统和封闭系统

封闭系统是一个与外界无明显联系的系统,环境仅仅为系统提供了一个边界,不管外部环境有什么变化,封闭系统仍表现为其内部稳定的均衡特性。封闭系统的一个实例就是密闭罐中的化学反应,在一定初始条件下,不同反应物在罐中经化学反应达到一个平衡态。

开放系统是指在系统边界上与环境有信息、物质和能量交互作用的系统。例如商业系统、生产系统或生态系统,这些都是开放系统。在环境发生变化时,开放系统通过系统中要素与环境的交互作用以及系统本身的调节作用,使系统达到某一稳定状态。因此,开放系统常是自调整或自适应的系统。

§ 1.4 系统工程的产生与发展

1.4.1 系统工程的含义

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领域的问题,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。

1.4.2 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本世纪中叶,但系统工程的思想方法和实际应用可追溯到远古时代。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,早有许多朴素的系统概念和应用实例。

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,使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、引水和排沙结合起来,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,这些都为我们今天研究和发展系统工程的理论体系,提供了宝贵的借鉴和重要的启示。

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