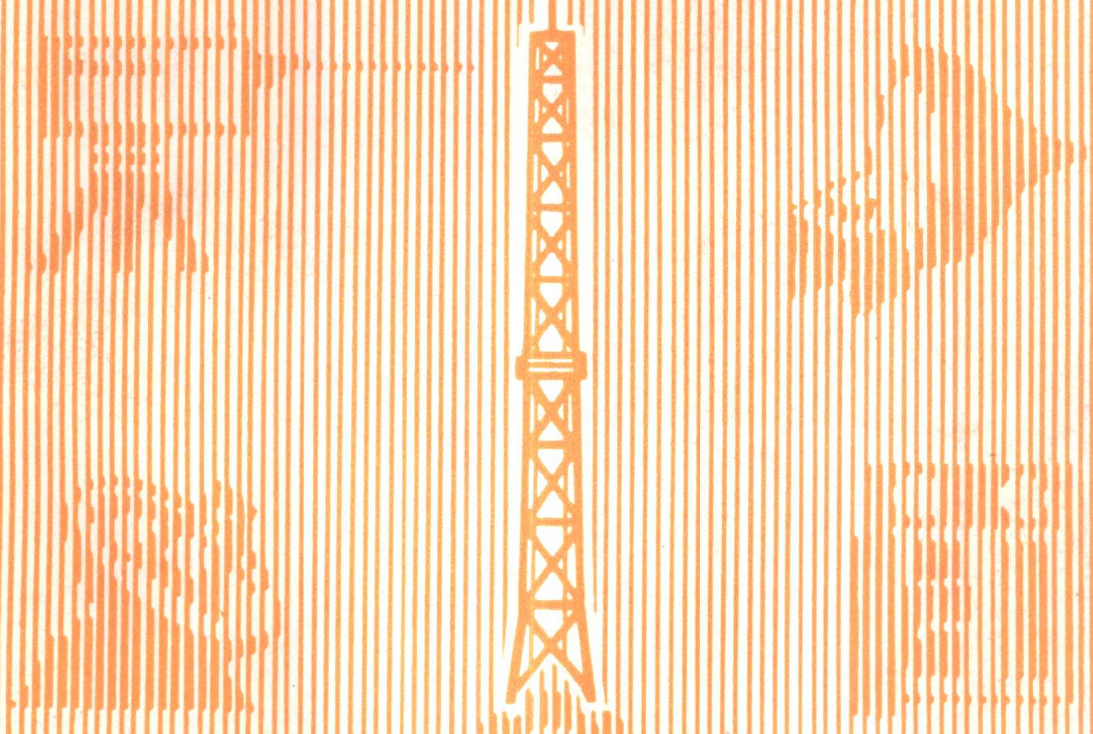


高等学校教材

系统工程引论

(修订本)

王众託 编



电子工业出版社

目
本

系统工程引论

(修订本)

王众託 编

内 容 提 要

本书是高等工科院校自动控制、计算机应用和管理工程等专业“系统工程”课程教材和工程师管理人员继续教育与培训、自学用书。全书包括：系统工程对象与内容；系统思想与方法；系统工程步骤；结构模型、静态模型、动态模型、网络模型与随机服务系统模型的建立、分析和优化；决策分析的基本概念和步骤；各种实用决策分析方法与工具；多准则决策与系统可靠性分析等内容。各章节可按不同的课程要求与学时，灵活组成不同类型的教材结构，以满足各种类型的要求。

系统工程引论

(修订本)

王众託 编

责任编辑：路 石

*

电子工业出版社出版(北京市万寿路)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经销

中国科学院印刷厂印刷

*

开本：787×1092毫米 1/16 印张：20.875 字数：483 千字

1991年3月第1版 1991年3月第1次印刷

印数：3500册 定价：5.50元

ISBN 7-5053-1191-3/TN·348

出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作分工的规定,我部承担了全国高等学校、中等专业学校工科电子类专业教材的编审、出版的组织工作。由于各有关院校及参与编审工作的广大教师共同努力,有关出版社的紧密配合,从1978年至1985年,已编审、出版了两轮教材,正在陆续供给高等学校和中等专业学校教学使用。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应“三个面向”的需要,贯彻“努力提高教材质量,逐步实现教材多样化,增加不同品种、不同层次、不同学术观点、不同风格、不同改革试验的教材”的精神,我部所属的七个高等学校教材编审委员会和两个中等专业学校教材编审委员会,在总结前两轮教材工作的基础上,结合教育形势的发展和教学改革的需要,制订了1986~1990年的“七五”(第三轮)教材编审出版规划。列入规划的教材、实验教材、教学参考书等近400种选题。这批教材的评选推荐和编写工作由各编委会直接组织进行。

这批教材的书稿,是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中经院校推荐,由编审委员会(小组)评选择优产生出来的。广大编审者、各编审委员会和有关出版社为保证教材的出版和提高教材的质量,作出了不懈的努力。

限于水平和经验,这批教材的编审、出版工作还会有缺点和不足之处,希望使用教材的单位,广大教师和同学积极提出批评建议,共同为不断提高工科电子类专业教材的质量而努力。

电子工业部教材办公室

1985/12

前 言

本教材系按电子工业部的工科电子类专业教材 1986~1990 年编审出版规划,由自动控制教材编审委员会组织,对本书 1984 年版进行修订出版的。全书仍由 1984 年版编者进行修编,华中理工大学陈珽教授担任主审。

根据近年来系统工程理论与方法的发展,以及国内系统工程应用实践和教学经验的积累,本书在系统工程方法论和决策分析等方面,进行了较大的修改和补充。修订后的主要内容包括:系统的对象和内容;系统思想、方法和系统分析的具体内容和步骤;系统的结构模型及其建立;系统静态模型的建立和静态分析优化;系统动态模型的建立和动态分析优化;随机服务系统分析;网络系统分析;决策分析的基本概念和步骤;实用的决策分析方法与工具;多准则(多目标与多属性)决策;系统可靠性分析等。

本教材可供工科自动控制、计算机应用、管理工程以及各种工程专业、应用数学专业本科高年级与研究生的系统工程课程作为教科书或教学参考书使用,可按不同的课程要求与学时数灵活选择内容。全面讲授本书内容约需 50 至 60 学时;对于学时较少(30 至 40 学时)的课程,可略去第六、七章和第五、十、十一章的部分内容。也可以选择第一至第四章、第五章的一部分、第九至第十一章的大部分内容,组成更简练的概论教材。本书还可供工程师、科学研究人员和管理人员的继续教育和培训班使用或自学参考。

系统工程的原则和概念是本学科的核心和首要内容,一切定量和定性的方法、技术和工具是为这些原则、概念服务的。但对于初学者往往重视具体方法工具而忽视原则和概念。本教材采取多次讲解的方法介绍有关的原则、概念。在介绍具体方法和技术时尽可能联系原则和概念,并力图说明如何面向应用,博采众长来综合运用。由于系统工程是一门实践性很强的学科,又是一门需要全面综合运用的学科,所以建议在课程进行过程中,给学生以一定的综合系统分析课题,进行实践训练。

本教材在多次成书的过程中,一直是由陈珽教授担任主审的,他(及他的同事)的认真细致的工作,使编者得以改正许多错漏的地方,得到很多教益。自动控制教材编审委员会的各位委员、编者的师友和研究生们也都积极提出过许多意见和建议。许多认真的读者也提出了有益的意见。编者仅向上述同志致以深深的敬意。本书内容尽可能取材于我国的有关文献与工作总结,限于篇幅而未能一一详尽列举出处,谨向有关同志深致谢忱。

由于编者水平与经验都有限,书中难免还有缺点错误,殷切期望广大读者批评指正。

编者谨识

一九九〇年五月于大连理工大学

目 录

第一章 系统与系统工程	1
§ 1-1 系统	1
§ 1-2 系统工程	4
§ 1-3 系统工程的应用与学科体系	7
本章小结,参考文献,习题	11
第二章 系统分析	13
§ 2-1 系统思想	13
§ 2-2 系统工程的方法	18
§ 2-3 系统工程的步骤	20
§ 2-4 问题的确定与目标的确立	22
§ 2-5 方案的生成与未来环境预测	25
§ 2-6 建模、分析与优化.....	27
§ 2-7 评价与决策	30
§ 2-8 系统分析中人的因素	32
§ 2-9 系统、信息、控制	34
本章小结,参考文献,习题	38
第三章 系统的描述与模型建立	39
§ 3-1 系统的描述	39
§ 3-2 量化与尺度	40
§ 3-3 数据的管理	41
§ 3-4 指标与指标体系	43
§ 3-5 不确定性描述(一)——随机性	44
§ 3-6 不确定性描述(二)——模糊性	53
§ 3-7 建模问题	56
本章小结,参考文献,习题	60
第四章 系统的结构模型	62
§ 4-1 结构模型及其表示方式	62
§ 4-2 系统结构模型的分解	66
§ 4-3 索引矩阵与出现矩阵	72
§ 4-4 结构模型的建立(一)	74
§ 4-5 结构模型的建立(二)	79
§ 4-6 层次结构分析	86
§ 4-7 认知图	88
本章小结,参考文献,习题	89
第五章 系统的静态模型、静态分析与优化	91
§ 5-1 系统的静态模型	91

§ 5-2	系统的静态分析(边际分析)	98
§ 5-3	系统的静态优化(一)——线性规划问题	104
§ 5-4	单纯形法	109
§ 5-5	线性规划中的对偶问题	121
§ 5-6	整数规划问题	125
§ 5-7	系统的静态优化(二)——非线性规划问题	127
§ 5-8	无约束优化的近似计算方法	133
§ 5-9	有约束优化的计算方法	142
§ 5-10	数学规划问题的分解与协调(递阶优化)	145
	本章小结,参考文献,习题	154
第六章	系统的动态模型与动态优化	157
§ 6-1	系统的动态模型	157
§ 6-2	系统动态模型举例	160
§ 6-3	线性系统的动态分析	165
§ 6-4	非线性系统的动态分析	171
§ 6-5	系统的动态优化	178
§ 6-6	离散事件动态系统	183
	本章小结,参考文献,习题	184
第七章	随机服务系统	187
§ 7-1	引言	187
§ 7-2	生灭过程	190
§ 7-3	无限队长、泊松输入、指数服务分布的系统	193
§ 7-4	有限队长、泊松输入、指数服务分布的系统	198
§ 7-5	泊松输入、一般服务分布的系统	200
	本章小结,参考文献,习题	202
第八章	网络系统	204
§ 8-1	最短路径问题	204
§ 8-2	最大流问题	210
§ 8-3	网络计划方法	215
	本章小结,参考文献,习题	221
第九章	决策分析基础	223
§ 9-1	引言	223
§ 9-2	决策过程与步骤	224
§ 9-3	决策问题的基本描述和类型	228
§ 9-4	偏好关系	232
§ 9-5	效用和效用函数	236
§ 9-6	主观概率	241
	本章小结,参考文献,习题	242
第十章	决策分析方法	245
§ 10-1	风险型决策分析方法	245
§ 10-2	灵敏度分析和资金的时间价值	251
§ 10-3	不定型决策分析方法	253

§ 10-4	一种快速决策分析方法	255
§ 10-5	概率排序型决策分析	259
§ 10-6	决策分析中的专家评估法	266
§ 10-7	决策分析方法的运用	270
§ 10-8	计算机决策支持系统	272
	本章小结,参考文献,习题	274
第十一章	多准则决策与对策	276
§ 11-1	引言	276
§ 11-2	多目标优化	277
§ 11-3	目标规划	282
§ 11-4	交互式多目标优化	285
§ 11-5	方案数有限的多属性决策	287
§ 11-6	模糊综合评价与排序	298
§ 11-7	对策问题	300
	本章小结,参考文献,习题	306
第十二章	系统可靠性	308
§ 12-1	可靠性的一些基本概念和定义	308
§ 12-2	系统可靠性模型与可靠度计算	312
§ 12-3	系统可靠性估计与分配	316
§ 12-4	可维修系统的模型	321
§ 12-5	几种可维修系统的可用性分析	322
	本章小结,参考文献,习题	324

第一章 系统与系统工程

§ 1-1 系 统

在当今的世界上,随着经济和科学技术的迅速发展,生产的规模、社会活动的规模、科学研究以及人类文化活动的规模日益扩大,各部门之间的联系日益密切,逐渐形成了一个有机整体,人类不能不从总体上、从系统上来认识和处理问题,而在人类长期实践中形成的“系统”的概念,便日益引人注目。

“系统”这个名词,从它的拉丁语“Systema”分析,是“在一起”“放置”的意思,因此很久以来就是用来表示群体、集合等概念的。但是作为一个科学概念,还是本世纪以来,由于科学技术发展的结果才使它的内涵逐步明确起来的。尽管世界上有各式各样的系统,自然界和人类社会中可以说任何事物都是以系统形式存在的,但是撇开各类系统的具体形态和性质,可以发现系统具有一些共性,这些共性是:系统由许多要素组成;各要素之间、要素与整体之间以及整体与外部环境之间存在着有机联系;系统整体具有整体功能(不同于要素的功能);系统与要素的区分是相对的。人们把这些共性加以归纳,就得出了系统的定义,下面列述的是其中一些典型的定义:

“系统——(a) 通常是体现许多各种不同因素的复杂统一体,它具有总的计划或旨在达到总的目的;(b) 由持续相互作用或相互依赖联接在一起的诸客体的汇集或结合;(c) 有秩序活动着的整体、总体”(Webster 新国际字典)。

“系统——(a) 一组相联接、相聚集或相依赖的事物,构成一个复杂的统一体;(b) 由一些组成部分根据某些方案或计划有序排列而成的整体”(Oxford 英语字典)。

“系统——许多组成要素保持有机的秩序,向同一目的行动的东西”(日本 JIS 工业标准)。

“系统——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”(苏联大百科全书)。

“系统——自成体系的组织;相同或相类的事物按一定的秩序和内部联系组合而成的整体”(辞海)。

这里需要对系统的下面这些属性再作一些说明:

一、系统是由要素(系统的组成部分)结合而成的,这些要素可能是元件、零件、单个机器、个体,也可能是子系统(分系统)。简单的手工具只有几个要素;钟表有几十个;而电视机就有几百以至几千个;一架喷气式飞机有几十万个,宇宙飞船有几百万个,而一座大城市算起来大约有几亿个要素。社会愈发展,系统愈复杂,组成部分的数目愈多。系统的这一属性可称为它的“集合性”。

系统与要素之间的关系是相互依存,互为条件,而且也是相互作用的。各种要素在系统中的地位和作用不尽相同,特别是在要素数目较多的复杂系统中更是如此。

用数学语言来表述,系统的集合性可表达成

$$X = \{x_i | x_i \in X, i = 1 \sim n, n \geq 2\},$$

其中, x_i 是组成系统的要素; X 是集合。

二、系统的各个组成部分是按一定方式、一定关系组合起来的,各组成部分之间有一定的关联,我们把系统的这一属性叫作它的“**关联性**”。

例如一个机械加工车间是由一些机床组成的,但仓库里堆放的一群机床不能构成车间,必须按工艺要求把机床按一定顺序排列,把它们开动起来才能成其为车间,各机床之间就有一定的关系。

上述关系如果用数学语言表述,设系统要素集合 X 的某一部分 $x_i \in X_i \subset X$, 对另一部分 $x_o \in X_o \subset X$ 具有因果关系和影响关系,用 R 来表示这个关系,即

$$x_i R x_o, \quad x_o R x_i$$

或写作

$$x_o = R(x_i), \quad x_i = R(x_o)$$

则有序对 $x_i \in X_i, x_o \in X_o$ 之间关系的总体为

$$R = X_i \times X_o = \{(x_i, x_o) | x_i \in X_i, x_o \in X_o; \\ x_o = R(x_i), x_i = R(x_o), i, o = 1 \sim n, i \neq o\}$$

或者说系统 S 可表述为

$$S = \{X | R\}$$

这里要强调的是要素间的关联只是从某种性质方面来说的,例如齿轮箱中齿轮是从机械传动,计算机中的电子组件是从电信号传递方面来研究它们的关系的。

三、任何系统都有特定的功能,而人建造或改造的系统总有一定的“**目的性**”。这里所说的系统功能和目的,是系统整体的功能和目的,是原来各组成部分不具备或不完全具备、只是在系统形成后才具备的,有时候人们把它称为系统的整体属性。

系统的目的有时不止一个,即总目标 G 由各分目标 g_i 组成:

$$G = \{g_i | i = 1 \sim m\}$$

四、系统的另一个重要性质是它的“**层次性**”。一般说来,系统是由一些子系统(分系统)构成的,而系统本身可能又是更大的系统的一个子系统,也就是说系统总是形成层次结构的。这在技术设备、社会生活中都是常见的。如果系统用 S 表示,下层的子系统为 S_i ,关系为 R_i 则

$$S = \{S_i \subset S | R_i\}$$

而 S_i 下层的子系统 S_{ij} 为

$$S_i = \{S_{ij} \subset S_i | R_{ij}\}$$

再下层的子系统

$$S_{ij} = \{S_{ijk} \subset S_{ij} | R_{ijk}\}$$

依此类推,最下层的子系统为

$$S_{ijk \dots \mu} = \{x_o | R_{ijk \dots \mu}\}$$

$$(i = 1 \sim m, j = 1 \sim p, k = 1 \sim q, \dots \mu = 1 \sim \lambda, \omega = 1 \sim \theta)$$

系统的层次是自然界和人类社会在从简单到复杂,从低级到高级的发展、进化过程中产生的,低层次是高层次发展的基础,而高层次又带动低层次的发展,高层次常常具备低层次不具备的性质。

层次结构有助于我们认识系统,通常我们所谓宏观与微观正代表着层次的两极。

五、任何系统都存在于一定的环境之中,系统的存在和发展都必须适应客观环境,系统的这一性质可称为系统的“环境适应性”。

在研究系统时,首先要区分哪些是系统内部要素,哪些是外部环境要素,从而得出系统的边界。系统与外部环境要素的关联决定了系统如何适应环境。当系统一旦不适应环境,就会解体,消亡。

系统与环境之间总要有物质、能量或信息的交换,因此系统常用图 1-1 形式表示。其中输入是环境送进系统的物质、能量或信息,输出则是系统送往环境的物质、能量或信息。例如加工工厂输入的是原料、毛坯,输出的是成品;火力发电厂输入的是煤的化学能,输出的是电能;计算机系统输入的是原始信息,输出的是处理结果信息。

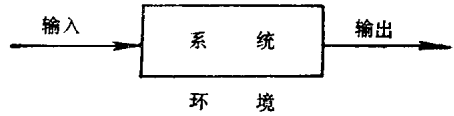


图 1-1

前面曾经提到,自然界和人类社会中任何事物都是以系统形式存在的,那末是否有非系统的事物存在呢?应该说,系统是物质的普遍存在和发展形式,现实世界的一切事物和过程,都是互相联系的要素构成的有机整体,系统是无所不在的。但是另一方面,从相对性角度来看,一些联系不紧密、有机程度较差的群体或集合,可以认为是非系统的一类集合。还有在某一层次上,组成系统的单元相对说来也具有非系统性(尽管对下一层说来它又是系统)。我们必须辩证地进行理解。

为了便于研究系统的性质,揭示不同类型系统的特点以及它们之间的联系,需要对系统进行分类。分类的方法很多。例如:

一、从系统的构成内容来分,可分为:

(一) 物质系统: 由自然物与人造物组成的系统;

(二) 概念系统: 由主观概念和逻辑关系等非物质组成的系统,也可叫作抽象系统,如学科体系。规章制度等。

二、从要素性质来分,可分为:

(一) 自然系统: 由自然力而非人力所形成的系统,如天体系统,江湖河海;

(二) 人工系统: 由人力建立起来的系统。它可再分为:

1. 加工自然物获得的人造物质系统,如建筑物,通讯网,计算机;

2. 社会和管理系统,它们是人按一定制度、程序、手续建立的,如行政管理系统;

3. 人造的抽象系统,即概念系统。

(三) 复合系统: 这是自然系统和人工系统相结合的系统,例如灌溉系统。

三、从系统与环境的关系到,可分为:

(一) 闭系统: 系统与外界环境无联系。现实的系统都在不同程度上和外环境有联系,没有绝对的闭系统,但在一定条件下可把某些联系微弱的系统看作闭系统;

(二) 开系统: 与外界有物质、能量、信息交换的系统。

这里需要指出的是,系统学在划分开、闭系统时与物理学的划分是有区别的。在物理学中,开系统是指与外界同时有物质与能量交换的系统,而闭系统是指只交换能量不交换物质的系统,至于既无能量、又无物质交换的系统,则称为孤立系统。

四、按系统状态对时间的关系,可分为:

(一) 静态系统,状态不随时间变化;

(二) 动态系统,状态随时间变化。

五、按系统是否发展进化,可分为:

(一) 无发展进化的系统;

(二) 发展进化的系统。

当然还有其它分法,这里就不一一列举了。

§ 1-2 系统工程

一、系统工程的形成和发展

很久以前,人们就开始把在长期实践过程中逐步形成的系统思想,运用到改造自然、造福人民的工程中去。例如在我国的战国时代(公元前 250 年),蜀郡太守李冰父子带领当地人民修建的都江堰(在今四川灌县)就是一个例子。这项工程是为了控制岷江洪水,化害为利而建立的。它包括分水工程、引水工程、分洪排砂工程,三部分互为连接、紧密结合,把分水导江、防洪防旱、引水灌溉和排除泥砂有机地结合成一个整体,两千年来一直到现在都在发挥作用。又如宋真宗祥符年间,由于皇城失火,宫殿烧光,大臣丁渭全权负责修复工程。当时面临烧砖无土、大型木石材料无法运输、清墟无处堆放等重重困难。他提出了一套完整的施工方案:先把皇宫前的街道挖成沟渠,取土烧砖,解决取土问题;再放河水入沟渠当作运河,用船运送木石材料,解决运输问题;然后沟渠撤水,用废砖瓦回填,既修复了原来街道,又解决了清墟堆放问题。这些将系统思想用于工程,就是系统工程思想的萌芽。此外象春秋时代的军事名著“孙子兵法”,从道、天、地、将、法五个方面来分析战争全局,就是说要内修德政,使有道之国、有道之兵得到人民支持;注意天时、地利等客观条件;注意将领的才智威信,士兵的训练、纪律、赏罚,后勤的保证等主观条件,才能取得胜利,这是系统思想在军事上的应用。我国具有悠久历史的中医理论,看重从人的整体出发,则是系统思想在医学上的应用。上面这些都是出色的原始系统工程思想。

但是,系统工程作为一门现代化的科学,还是从本世纪四十年代开始的。当时在美国、丹麦等国家的电讯部门中,为了完成规模庞大的复杂工程和科研、生产任务,开始运用系统观点和方法来处理问题。也就在这个时候,美国贝尔电话公司在发展微波通讯网时,首先提出了“系统工程”这个名词,并提出了工程按系统思想分成阶段进行的一套工作方式。另一方面,由于第二次世界大战军事上的需要,把整个军事系统的行动从科学上加以研究,形成了运筹学这门学科,它也是按照总体任务的要求,经过数学分析与计算,对系统作出综合的合理安排。当时它在战争中发挥了很大作用。战争以后人们把它应用在经营管理方面,又有很大发展,成为系统工程的一个有力的基础。1957 年第一本“系统工程”专著出版,这门学科的名称就此正式产生。到了六十年代初期,各国出现了一些从事系统工程的机构,组织了有关的学会(或分会),召开了专门的学术会议,学校里建立了相应的系统工程系科,开设了相应的课程,可以说,到这个时期,系统工程作为一种专业,一门学科,已经正式形成了。

到了七十年代,系统工程已远远超出了传统“工程”的概念,逐渐应用于社会、经济、环境、人口等方面,1972 年国际应用系统分析研究所 (IIASA) 的成立,标志系统工程的发

展进入了一个新的阶段。

二、系统工程的含义与定义

现在人们提到系统工程这个名词,是有着两重含义的。第一种含义是指那些规模庞大、涉及因素众多的任务、项目,它们需要从整体上加以把握,综合地进行处理;第二种含义是指处理上述任务或项目所应用的思想、方法所构成的学科。这正像水利工程既可指某一座水电站或灌溉系统,也可以指设计、建造它们的学科一样。

从第一种含义看来,像阿波罗登月计划就是典型的系统工程;某一个流域的综合开发也是一项系统工程;全国人口普查与人口控制是一项系统工程;城市公共交通的发展也是一项系统工程;…这些例子还可举出许许多多。

这些被称为系统工程的任务、项目都是在人类改造世界的过程中产生的。随着生产与科学技术、社会条件的发展,客观事物变得愈来愈庞大,愈来愈复杂,各个部分、各种因素之间的关系错综复杂,我们必须把它看作一个系统,从整体着眼,综合考虑各种因素的作用及其影响来加以研究处理。这种任务和项目虽然也叫做工程,但与传统的只涉及某一领域的工程(如水利工程、运输工程等)有所不同,因为它更具有多种目标和属性,更具有综合性。

作为学科的系统工程,是人们在社会实践中,特别是在大型工程或经济活动的规划、组织,生产的管理,自动化项目的开发与使用过程中,发现综合考虑系统总体时所要解决的共性问题,总结实践经验,借鉴和吸收了邻近学科的理论方法,逐步建立起来的。由于它的产生和发展比较晚,目前还不能说已经成熟,所以对系统工程学科的定义也还没有众所公认的一致说法,下面列举其中的一些,供对比参考:

“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”(1978年钱学森、许国志、王寿云《组织管理的技术——系统工程》)。

“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、信息流动和控制机理等进行分析与设计的技术”(1967年日本工业标准 JIS)。

“系统工程是应用科学知识设计和制造系统的一门特殊工程学”(1969年美国质量管理学会系统工程委员会)。

“系统工程是一门把已有学科分支中的知识有效地组合起来用以解决综合性的工程问题的技术”(1974年大英百科全书)。

“系统工程是研究许多密切联系的要素组成的复杂系统的设计科学。设计该复杂系统时,应有明确的预定目标与功能,并使各要素以及要素与系统整体之间有机联系,配合协调,以使系统总体能够达到最优目标。但在设计时,要同时考虑到参与系统中的人的因素与作用”(1975年美国科学技术辞典)。

“系统工程是一门研究复杂系统的设计、建立、试验和运行的科学技术”(1976年苏联大百科全书)。

“系统工程是为了合理开发、设计和运用系统而采用的思想、程序、组织和方法的总称”(1971年日本寺野寿郎《系统工程学》)。

“系统工程与其它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。为了适应解决这些问题，除了需要某些纵向技术外，还需要有一种技术从横的方面把它们组织起来，这种横向技术就是系统工程，也就是研制系统的思想、技术、方法和理论体系化的总称”（1977年日本三浦武雄《现代系统工程学概论》）。

由于系统工程的思想和方法来自不同的行业和领域，又吸收了不同的邻近学科的理论，所以造成了系统工程定义上的多样性。但是我们还是能从这些定义中归纳出系统工程这门学科的若干特点：

系统工程既是一门“工程”学科，那就应该强调它在改造客观世界方面的作用与效果，因此它是一门应用技术。这里所谓“工程”，是泛指为了完成某项任务而提供的决策、计划、方案、方法、工作步骤等，所以说系统工程又是一门方法性的应用学科。

系统工程还是一门跨越各个学科领域的横断性学科，一方面是因为这套思想与方法适用于许多领域，因为每个领域都有一些带有整体、全局性的问题需要综合处理；另一方面，系统工程所使用的方法与工具又多取自各门学科，只是把它们综合起来加以运用。

系统工程同时又是一门“软”技术，因为它综合处理的系统问题不仅涉及各种技术方面的“硬”因素，而且还涉及社会、心理等“软”因素，或者说人的因素，这些因素是难以精确加以描述的。

系统工程研究和处理问题应从整体着眼，要从不同的方面综合进行分析，借助于不同学科的思想与方法，特别要利用数学方法与计算机工具。

综合上述特点，可以说系统工程是一门纵览全局，着眼整体，综合利用各学科的思想与方法，从不同方法和视角来处理系统各部分的配合与协调，借助于数学方法与计算机工具，来规划和设计、组建、运行整个系统，使系统的技术、经济、社会效果达到最优的方法性学科。

三、系统工程的原则

系统工程作为一门方法性学科，特别强调研究处理问题的原则和概念，认为这是首要的，而一些数学方法与工具只是为这些原则、概念服务的。

系统工程强调的原则有：

（一）目的性原则：系统工程是人类社会的实践活动，必定有它的目的。只有目的正确，有科学根据，符合客观实际，才能建立和运转具有预期效果的系统。因此，系统工程特别强调目的性，自始至终需要有明确的目的。尽管实施的方案或道路是多种多样的，但必须达到同一目的，这也就是异因同果、殊途同归的情况。反过来说，如果目的不正确，方法手段措施愈好有时就愈会背道而驰，离原来的希望愈远。过去的方法性学科研究讨论怎样实现目的多，研究如何明确目的少，而系统工程首先要求明确目的，并提供了具体的方法和思路，这是这门学科在方法论上有所突破的地方。

（二）整体性原则：系统工程要求我们处理问题首先要着眼于系统整体，不要见木不见林，而要先见林，后见木。现代社会和科学的发展使得系统性的问题愈来愈多，人们深感只重局部而忽视全局的观点有很大缺陷，要求建立从全局、整体着眼的思考方式。更重要的是系统各部分组成整体之后，产生了总体功能，即系统的功能，而系统的功能要大于

各部分功能的总和,这不仅是量变,而且是质变,系统工程首先就要着重这种整体功能。处理问题总是先看整体,后看部分;先看全局,再看局部;从宏观到微观,并把部分与局部放在整体与全局之中来考察。这便是整体性原则。

(三) 综合性原则: 这个原则有两方面的含义: 一是指系统的属性和目的是多方面的,相互关联的,带有综合特点的。例如发展生产要兼顾经济效益、社会效益和生态效益,高产量、高质量又是与低消耗、低成本、低污染相矛盾的,每一项措施所引起的结果和影响都是多方面的,都带有综合特点。第二个方面是说解决同一个问题可以有不同方案,有不同的方法和途径,而各种方法和技术如果能加以综合,取长补短,会得到意想不到的结果。在阿波罗登月计划中,关键部分——登月舱中所采用的单项技术都是成熟的,但巧妙地把它们综合起来,就起了卓越的作用。所以有人说,综合也是一种创造。系统工程强调综合性原则,是说上述两方面都需要加以考虑,这样不但不会顾此失彼,因小失大,而且还会在综合中得到新的成果。

(四) 动态性原则: 系统工程强调在运动和变化的过程中来掌握事物,注意系统的过程,而不是仅仅注意系统的某一状态。系统的平衡有时是静态的,而更多的是动态平衡,至于平衡的破坏和不断的转化更是经常发生的。所以系统工程十分重视系统中物质流、能流和信息流的运动。而从长远来看,任何系统都有从孕育、产生、发展到衰退、消亡的生命周期,也需要加以研究。

(五) 协调与优化原则: 客观世界中的系统是复杂多变的,组成的部分为数众多,互相制约,怎样才能使它们互相配合协作,使整个系统在协调的情况下运行,是系统工程在处理复杂系统时所要考虑的。此外,我们在建立或改造一个系统、运转一个系统时,总希望它在给定的条件下达到最优的效果,也就是说系统工程强调系统的优化。当然由于目标的多元化,优劣标准也是多样化的,所以优化也是要协调兼顾的。

(六) 适应性原则: 由于系统是在外界环境中存在和发展的,所以它必须适应环境。系统工程不仅重视系统内部要素之间的关系,而且要考虑系统与环境的关系。现实中的系统都是开系统,与环境之间有物质、能量和信息的交换,当外界环境发生变化时,系统必须相应地调整自己以适应这种变化,否则系统就会丧失生存的条件。特别是现代的社会,经济、技术变化都很快,系统必须主动适应这种变化,这是系统工程所要强调的。高级的系统有自动调节自身的组织、活动的特性,这就是系统的自组织性,我们设计与建立高水平的复杂系统时,应该考虑使系统具备自组织性,以达到适应环境的目的。

以上列举了系统工程的六项原则,当然还有其它原则,如有序性原则、层次性原则等等。所有这些原则,我们将在下一章讨论系统分析方法时再加以阐述。

§ 1-3 系统工程的应用与学科体系

一、系统工程的应用

现在系统工程在工程技术、社会经济、科技教育各个方面都有所应用。下面列举一些典型的应用领域:

国家、地区、城市的社会经济发展战略研究和长远规划;

大型联合企业的发展战略研究、规划、设计、管理和综合自动化;

矿山、油气田的开发规划、管理、调度与综合自动化；
大型电力系统的规划、设计、运行和综合自动化；
水资源系统、城市供水、农业灌溉系统的规划、设计、施工、运行；
输油输气管线与网络的规划设计、运行调度；
铁路、公路、航空、海运、河运以及综合运输系统的发展规划、设计、营运；
导弹、人造卫星、飞船、航天飞机的研究、制造与发射；
军事指挥系统，全国或地区防御系统；
大型数据处理中心，图书情报中心；
通讯、电视、广播系统；
经济计划管理系统，资源分配与管理系统；
大型公共服务系统、银行、医疗中心、保健网；
大型工程项目管理；
生态系统、环境保护、污染检测与控制；
消防、治安、保卫系统；
海洋研究与开发；
教育与智力开发，等等。

经常为人称道的系统工程成功的实例之一是阿波罗登月计划。这是一个规模十分庞大的研制项目。整个工程共有三百多万零部件，耗资 244 亿美元，共有两万多家企业参与，有一百二十多个大学和研究所参加研究工作，历时十一年，终于取得了成功，这个计划成功的关键在于整个计划的组织管理和实施过程中采用了系统工程方法。

我国早在六十年代初期，在钱学森、华罗庚等著名的科学家倡导下，就开始在一些尖端技术研制项目和大型工程、生产管理中应用系统工程方法。近年来，在更广阔的范围内应用了系统工程思想与方法，下面列举其中的一部分：

全国和各省、市、县的社会经济发展战略与长远规划；
全国与省市的人口发展预测与规划；
全国能源需求预测与开发规划；
能源基地建设的综合规划；
大型电力系统发展的中、长期规划；
县区农业发展规划和作物合理布局；
畜牧业发展规划；
一些流域的水资源综合开发；
大型石油、化工、钢铁企业的产品结构、加工方案的优化；
一些地区的生态-经济系统的综合研究；工业区的水资源合理开发与利用；
河流污染的治理；
铁路运输的运量与流向的合理安排；
地下铁道的行车自动化管理；
城市公共交通的规划和调度、管制；
物资管理与调配；
价格体系的改革；

人才需求与培养、教育事业发展的规划；等等。

近年来，系统工程在宏观决策方面的应用受到了各级领导的重视，特别是1986年召开了全国软科学研究工作座谈会以来，大家更加重视象系统工程这样的软科学在促进决策科学化方面所起的重要作用。

二、系统工程的队伍与专业特点

从事系统工程工作的队伍中，有两种类型的人：

有一类工作，如总体规划、综合计划、总体设计、总调度以及其它一些需要“抓总”的工作，本身带有系统工程的性质，从事这类工作的人（如总工程师、总经济师、总设计师、综合计划处长、总调度员等“总”字号的人物，当然也包括管总体的领导、“长”字号人物），他们是“一身而二任”，既是自己行业内的专家，又担负起系统工程师、系统分析专家的任务，他们是当前推广应用系统工程思想与方法的关键人物，系统工程思想和方法对他们的本职工作会有很大的促进和推动。

但是，当系统变得愈来愈庞大、愈来愈复杂时，单靠一个“拿总”的人，无论从他的知识和能力来说都无法完成这种组织、协调工作，这就需要有专门的人员——系统工程专业人员来协助他完成，因此就出现了第二种类型的人员。

这第二种类型的人员就是专业系统工程师或系统分析人员，他们专门从事从整体、全局进行分析筹划的工作，有时候这个工作是由一个小组来做的，小组由系统工程师、具体领域的专家、计算机工作人员组成，彼此配合默契地工作。

对从事系统工程工作的人，要求他们：

1. 具有能从整体、全局考察与驾驭工作的能力和习惯，善于统筹策划；
2. 对新事物敏感，敢于并善于探索；
3. 善于和上级、下级、左右的机构与同志联系工作，沟通思想，能团结不同专业、不同观点的专家一道工作。
4. 在知识结构上，要求他们是“T”型人物，T这个字母的一横表示广博的知识，一竖表示在某一方面有精深的造诣。

最后应该提到的是，系统工程工作者要有广阔的视野和远大的抱负。 有一幅对联：

“四面云山来眼底，
万家忧乐到心头。”

正好描述了系统工程工作者的眼界和心胸。

系统工程师或系统分析人员，有的工作在政府、社会、企业各部门相应的领导机关，或者专门设立的总体设计部门，或系统分析部门、综合研究部门（如发展研究中心），也有的工作在专门的系统工程研究或咨询机构，例如国际应用系统分析研究所（IIASA），美国的兰德（RAND）公司，日本的野村综合研究所、我国中国科学院、各部委、各高校所设立的系统科学或系统工程研究所，这些研究机构接受政府、机关、企业的委托进行系统分析，并从事系统工程的基础性研究。

三、系统学科的体系结构

从“工程技术—技术科学—基础科学”这样一个学科层次看来，系统工程属于工程技