



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高等学校工程管理专业规划教材

Gaodeng Xuexiao Gongcheng

Guanli Zhuanye Guihua Jiaocai

建筑系统工程学

(第二版)

哈尔滨工业大学 王要武 主编

中国建筑工业出版社

TU-0/13=2

2008

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
高等学校工程管理专业规划教材

建筑系统工程学

(第二版)

哈尔滨工业大学 王要武 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑系统工程学/王要武主编. —2 版. —北京: 中国建筑工业出版社, 2008

普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 高等学校
工程管理专业规划教材

ISBN 978-7-112-09841-5

I. 建… II. 王… III. 建筑工程: 系统工程-高等学校-教材 IV. TU-0

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 037197 号

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高等学校工程管理专业规划教材

建筑系统工程学

(第二版)

哈尔滨工业大学 王要武 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京云浩印刷有限责任公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 13 $\frac{3}{4}$ 字数: 335 千字

2008 年 4 月第二版 2008 年 4 月第七次印刷

印数: 7501—9500 册 定价: 22.00 元

ISBN 978-7-112-09841-5

(16545)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本书系统地介绍了建筑系统工程的有关理论与方法。全书共分为九章，分别为：系统与系统工程、系统分析、结构模型、网络模型、模拟技术、系统动态学、系统综合评价、BP 神经网络、系统工程应用案例。全书注重系统工程理论、方法与建筑业管理的结合，注重吸纳典型的建筑系统工程应用成果，注重通过案例分析，深入浅出地表述相关的理论与方法。

本书既可作为高等学校工程管理专业及相关专业的教材，亦可供土木工程、建设管理等行业 and 部门广大管理人员、工程技术人员学习参考。

* * *

责任编辑：牛 松 朱首明

责任设计：董建平

责任校对：安 东 关 健

第二版前言

系统工程是在 20 世纪中期兴起的一门交叉学科，以大系统为研究对象，综合运用自然科学和社会科学的有关思想、理论、方法、策略和手段等，为达到最优设计、最优控制和最优管理的目标，最充分发挥人力、物力的潜能，使局部和整体之间的关系协调配合，实现系统的综合最优的科学。

建筑业管理是一项复杂的系统工程。作为高等学校工程管理专业的学生，需要树立从系统总体出发来观察处理问题的观念，需要具备系统工程的有关知识，才能肩负起提高建筑业管理水平，发展振兴建筑业的历史重任。

作者于 1994 年编写的高等学校试用教材《建筑系统工程学》（中国建筑工业出版社出版），在十余年的教学中收到了很好的反响。但在科学技术飞速发展的今天，各种理论、新方法不断出现，而系统工程作为交叉学科又是以系统科学、控制论、信息论、运筹学和管理科学等学科为理论基础的，这就要求在教学中能扩展并涵盖相关领域新增内容，并结合建筑业的相关问题来分析。为此，有必要对本书第一版的内容进行充实和修订。

结合本书第一版出版十余年来的使用情况以及作者对建筑系统工程的应用体会，在第一版的基础上，作者对书稿进行了较大幅度的改动。重新撰写了第八章和第九章，将原第八章决策支持系统与专家系统更换为 BP 神经网络，将原第九章的应用案例更换为三峡工程风险模拟分析；重点修改了第一章系统与系统工程、第五章模拟技术、第六章系统动力学和第七章系统综合评价；其他各章也做了一定程度的修改，使之更符合教学与实践的需要。

全书由哈尔滨工业大学王要武教授组织编写和统稿。第一章由王要武、薛小龙编写，第二章由李晓东编写，第三章由王要武、薛小龙编写，第四章、第五章由王要武、孙成双编写，第六章由王要武编写，第七章由王要武、翟凤勇编写，第八章由翟凤勇编写，第九章由孙成双、王要武编写。

本书的出版得到了中国建筑工业出版社的大力支持和帮助，特别是沈元勤总编和牛松编辑，为本书的出版倾注了大量的心血。在此作者表示衷心感谢。

感谢本书第一版的合作主编关柯教授、主审赵铁生教授和编者巴根那，他们的工作为本书奠定了良好的基础。

感谢所有关心和支持本书编写和出版的人们。

王要武

2008 年 2 月于哈尔滨

第一版前言

系统工程是在 20 世纪中期才开始兴起的学科。它是把自然科学和社会科学中的某些思想、理论、方法等，按照系统总体协调的需要，有机联系而成的一门边缘学科。

建筑业管理是一项复杂的系统工程。作为高等学校建筑管理工程专业的学生，需要树立从系统总体出发来观察处理问题的观念，需要具备系统工程的有关知识，才能肩负起提高建筑业管理水平，发展振兴建筑业的历史重任。本书就是为这一目的而编写的。

本书共分九章。第一章主要讲述系统和系统的概念、系统工程方法论，以及系统工程与建筑业发展的关系等；第二章介绍了系统分析的概念、步骤和内容，并结合一个简单案例进行了具体说明；第三至六章，讲述了系统工程中常用的几种模型，如结构模型、网络模型、模拟模型、系统动力学模型等，这些模型是系统工程研究解决问题的重要手段和工具；第七章对系统综合评价的概念、原则、指标体系等作了介绍，并详细讲述了系统综合评价的方法，特别是层次分析法；第八章对系统工程最新的热门研究课题决策支持系统和专家系统作了简要的介绍；第九章给出了一个系统工程应用的具体案例。

本书由天津大学赵铁生教授主审，哈尔滨建筑工程学院王要武副教授、关柯教授主编。具体编写分工为：第一章由王要武、关柯、巴根那编写，第二章由李晓东编写，第三至六章由王要武编写，第七章由王要武、巴根那编写，第八章由李晓东、王要武编写，第九章由关柯、王要武编写。

本书既可作为高等学校建筑管理工程专业的教材，亦可供建筑业广大管理人员、工程技术人员自学和参考。

鉴于系统工程涉及的知识面非常广泛，又限于我们的水平，书中如有不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编者

1994 年于哈尔滨

目 录

第二版前言

第一版前言

第一章 系统与系统工程	1
第一节 系统概要.....	1
第二节 系统工程引论.....	4
第三节 系统工程方法论.....	9
第四节 系统开发途径	14
第五节 系统工程的发展过程	17
第六节 建筑系统工程展望	20
思考题	21
第二章 系统分析	23
第一节 系统分析概述	23
第二节 系统分析的内容	26
第三节 系统分析的主要作业	31
第四节 系统分析简例	34
思考题	37
第三章 结构模型	38
第一节 结构模型概述	38
第二节 结构模型解析法 (ISM)	42
第三节 结构模型应用举例	48
思考题	53
第四章 网络模型	55
第一节 网络模型及其特征	55
第二节 最短路模型	58
第三节 最大流模型	61
第四节 最小费用流模型	65
第五节 最小树模型	67
思考题与习题	69
第五章 模拟技术	70
第一节 模拟技术概述	70
第二节 离散事件系统模拟基础	73
第三节 蒙特卡罗模拟	84
第四节 排队系统模拟	87

第五节 其他系统问题的模拟	96
第六节 模拟程序语言	100
思考题与习题	101
第六章 系统动力学	103
第一节 系统动力学概述	103
第二节 系统动力学的几个基本概念	106
第三节 系统动力学流图及方程	109
第四节 系统的典型结构及其行为	113
第五节 系统动力学应用举例	118
思考题与习题	130
第七章 系统综合评价	131
第一节 概述	131
第二节 系统综合评价的方法	133
第三节 层次分析法 (AHP)	143
第四节 数据包络分析	150
第五节 灰色评价法	157
思考题与习题	164
第八章 BP 神经网络	165
第一节 BP 神经网络的概念与算法原理	165
第二节 BP 网络在 MATLAB 上的实现方法	171
第三节 BP 网络应用举例	183
思考题	187
第九章 系统工程应用案例	
——三峡水利枢纽工程项目风险模拟分析	188
第一节 系统分析	188
第二节 影响工程的风险因素识别	192
第三节 风险因素相互独立时的模拟分析	197
第四节 风险因素部分相关时的模拟分析	205
参考文献	212

第一章 系统与系统工程

第一节 系统概要

一、系统的概念

在科学、技术、政治、经济、军事、交通、教育等各个社会生活领域，“系统”是应用最广泛的术语之一，系统无处不在。人们在日常生活工作中，经常把这样或那样的对象称为系统（Systems）。例如，一个生物体内能共同完成一种或几种生理功能的器官的总体，被称为某种生理系统，如人体中的呼吸系统、消化系统等。一个由弹头、弹体、发动机、制导、外弹道测量和发射等部件组成的进攻性武器，被叫做战略导弹系统。一个综合性的房地产开发公司，是由经营、财务、设计、施工、销售等许多管理部门和环节组成的生产经营管理系统。如果仅从外表形态来看，上述几个系统毫无共同之处，然而，若撇开这些系统生物的、技术和经济的具体物质运动形态，而从整体和部分之间的相互关系来考察，不难发现它们都具有如下共同点：它们都是由若干个部分或要素以一定结构相互联系而成的有机整体；这些相互联系的整体可以分解为若干基本要素（部分、环节）；这一整体具有不同于各组成部分的新的功能。由此，我们可以给系统下这样的定义：

系统是由相互作用和相互依赖的若干要素（部分、环节）组成的，具有特定功能的有机整体。

当我们阅读有关系统问题的著作时，不难发现关于系统的不同定义。这种状况对于一门发展的学科、一门应用十分广泛的学科是正常的，这有助于系统概念的准确与完善。

一般系统论的奠基人贝塔朗菲（L. V. Bertalanffy）把系统定义为：相互作用诸要素（Element）的综合体。

韦伯斯托（Webster）大辞典这样解释“系统”一词：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综合；由有规则的相互作用、相互依存的形式组成的诸要素的集合等等。

牛津（Oxford）英语字典将系统定义为：一组相连接、相聚集或相依赖的事物，构成一个复杂的统一体；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。

在日本的JIS工业标准中，系统被定义为：许多组成要素保持有机的秩序，向同一目的行动的东西。

美国学者阿柯夫（Ackoff, R. L.）教授认为：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。因此，系统不是一个不可分解的要素，而是一个可以分成许多部分的整体。

关于系统的定义，还可以列举许多，但从上述的几个定义中，足可以窥见一斑。

二、系统的特征

综观上述有关系统的概念，可以看出系统一般都具有以下特征：

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整体所应具有的综合整体性而构成。系统具有集合性，它是为达到系统基本功能要求所必须具有的组成要素的集合。构成系统的各要素虽然具有不同的性能，但它们是根据逻辑统一性的要求而构成的整体。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。因此，即使每个要素并不都很完善，但它们也可以综合、统一成为具有良好功能的系统。反之，即使每个要素是良好的，但作为整体却不具有良好的功能，也就不能称之为完善的系统。系统是一个复杂的整体，为了便于管理和控制，往往把系统整体分解成一个多层次结构，使系统具有层次性，即系统要素及其相互关系在功能分布和执行中的位置和从属关系。为了保证系统的整体性，还必须充分注意系统的各个层次和各个组成部分的协调与连接，并按照系统整体目标，提高系统的有序性，尽量避免系统的“内耗”，提高系统整体运行的效果。

例如，一个工程项目管理系统，包括有机械设备、建筑材料、作业人员等实体要素以及与项目组织管理有关的概念要素，其组织管理体制也具有明显的层次结构。合理地调度作业人员，科学地组织机械设备和材料的投入，可以使工程项目取得工期短、成本低、质量好的最佳效果。

2. 相关性

系统内各要素之间是有机联系、相互作用的，存在着某种相互依赖，相互制约的特定关系，系统的整体功能即是通过这些关系来实现的。

例如，一个工程项目的组织体制与分工协作方式反映着该项目管理诸要素间的相关性，进而也体现着系统的整体功能。同样的项目、同样的环境条件，采用不同的经营管理方式，可能会产生非常悬殊的结局。

3. 目的性

作为一个整体的实际系统总要完成一定的任务，或要达到一个或多个目的，这种任务或目的决定着系统的基本作用和功能。建造系统而没有明确的目的，这种系统就不应存在。当以最高水平完成了特定的任务或实现了预期的目的时，便可以说实现了系统优化。

例如，一个建筑企业管理系统的基本目标就是合理地配置企业的人员、物资、资金和设备等资源，以便有效地向业主提供所需的建筑产品，并提高企业的经济效益。企业的组织结构和管理模式，正是基于这样的总目标而设置的。

4. 环境适应性

任何一个系统都存在于一定的物质环境之中，因此，它必然要与外界环境产生物质的、能量的和信息的交换，外界环境的变化必然会引起系统内部各要素之间的变化。系统必须适应外部环境的变化。

三、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，就必须对系统存在的各种形态加以探讨。系统形态的分类主要有：

1. 自然系统、人造系统和复合系统

自然系统是指组成部分是自然物（矿物、植物、动物）所自然形成的系统。如生态系统、海洋系统、矿藏系统等。

人造系统是由人工造成的各种要素所构成的系统。它包括人类对天然物质加工，造成各种机器或产品所构成的工程技术系统，也包括由一定的制度、组织、程序、手续所组成的管理系统，还包括根据人对自然和社会的科学认识所建立的科学体系和技术体系。

实际上，大多数系统是由自然系统与人造系统相结合而成的复合系统。如许多系统，都是人们运用科学力量，认识、改造了自然系统所形成的。近年来，系统工程愈来愈注意从与自然系统的关系中来研究人造系统。

2. 实体系统和概念系统

凡是以矿物、生物、机械、能量和人等实体为构成要素所组成的系统都是实体系统。凡是由概念、原理、原则、方法、制度、程序等观念性的非物质实体构成的系统称为概念系统，如科学技术系统、管理系统、教育系统等。

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基础，而概念系统往往为实体系统提供指导和服务。

3. 动态系统和静态系统

动态系统是指描述系统特征的状态变量是随时间而变化的系统。而静态系统是指表达系统特征的状态变量与时间因素无关的系统。静态系统是动态系统的一种极限状态，即处于稳态的系统。

4. 开环系统和闭环系统

经常与周围环境发生各种物质、能量、信息或人员交换的系统是开环系统。在某种特定条件下，能够自行运转，不受外界影响的系统是闭环系统。

5. 控制系统和行为系统

控制是为了达到某个目的给对象系统所加的必要动作，具有这种功能和手段的系统叫做控制系统。

行为系统是以完成目的行为构成要素而形成的系统。所谓行为就是为了达到某一确定的目的而执行某特定功能的一种作用，这种作用能对外部环境产生某些效用。

四、系统的基本问题

从系统的基本属性出发，可以把系统视为由特定输入产生期望输出的转换机构。环境对系统的作用（包括意想不到的“干扰”）是输入，系统的整体构成及相关关系组成了转换过程，形成的输出既反映了系统目的的实现程度，也反映了系统对环境的影响。如图 1-1 所示。

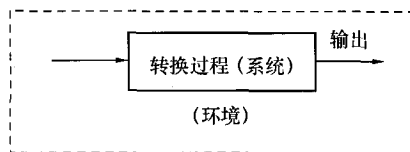


图 1-1 系统-转换机构

引入符号 I 、 O 、 T 分别表示系统的输入、输出和转换过程，则系统作为转换机构的作用可以用下式描述：

$$T(I) = O \text{ 或 } T: I \rightarrow O$$

由此，可将与系统有关的问题归入下列五类：

- (1) 系统分析：弄清 T 、 I 和 O 的内容；
- (2) 系统运行：给定 T 和 I ，求 O ；
- (3) 系统转向：给定 T 和 O ，求 I ；
- (4) 系统综合或识别：给定 I 和 O ，确定一个适当的 T ；

(5) 系统优化：取 I 、 O 或 T ，确定一个最优的评价标准。

第二节 系统工程引论

一、系统工程的含义

系统工程是一门新兴的学科，尚处于发展阶段，还不够成熟，至今尚没有统一的定义。现列举国内外学者对系统工程所作的解释，为我们认识“系统工程”提供线索与参考。

(1) 1967 年日本工业标准 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”。

(2) 1967 年美国学者切斯纳指出：“系统工程认为，虽然每个系统都是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一定数量的目标。系统工程则是按照各个目标进行权衡，全面求得最优解的方法，并使各组成部分能够最大限度地互相适应”。

(3) 1971 年日本学者寺野寿郎指出：“系统工程是为了合理地开发、设计和运用系统采用的思想、秩序、组织和方法的总称”。

(4) 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，为了适当解决这些问题，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。也就是研制系统所需的思想、技术、方法理论等体系化的总称。”

(5) 1978 年我国学者钱学森指出：“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”。

由于国际学术界往往把系统分析（广义的）作为系统工程的同义词来理解，这里也列举几个国家的大百科全书中对系统分析的解释作为参考。

(1) 《美国大百科全书》描述说：系统分析是研究相互影响的因素的组成和运用情况。这些因素及其相互的影响完全可能是抽象的，如使用数学方法；也可能是具体的，如运输系统、工业生产系统等。系统分析的显著特点是完整地而不是零星地处理问题，这就要求人们考虑各种主要的变化因素及其相互的影响，运用这种方法常可以更好地、全面地解决问题。因此，系统分析的概念是用科学和数学方法对系统进行研究和运用。

(2) 美国《麦氏科学技术大百科全书》这样解释：系统分析是运用数学手段研究系统的一种方法。系统分析的概念是，对研究对象（系统）建立一种数学模型，按照这种模型进行数学分析，然后将分析的结果运用于原来的系统。

(3) 日本《世界大百科年鉴》指出：“系统分析是人们为了从系统的概念上认识社会现象，解决诸如环境、城市等复杂问题而提出的从确定目标到设计手段的一整套方法。”系统分析还可以作为系统工程的同义词来理解。系统分析的用途是：通过明确一切和问题有关的要素同实现目标之间的关系，提供完整的资料，以便决策者选择最合理的解决方案。

由于复杂的大系统受到复杂的社会、经济和技术因素的影响，因此，分析过程中就必

然夹杂决策者个人的价值观和对变化不定的未来的主观臆断或理性判断。这样，从方法论上看，系统分析不仅需要计算，还需要依据直观和经验进行判断。从这种意义来说，系统分析的方法既近似科学性，又有某种艺术性。

二、系统工程的学科特点

综上所述，系统工程是以研究大系统为对象的一门边缘科学。它是把自然科学和社会科学中的有关思想、理论、方法、策略和手段等，根据系统总体协调的需要，有机地联系起来；通过各种组织管理技术，把人们的生产、科研和经济活动有效地组织起来；并应用数学方法和电子计算机等工具，对系统的构成要素、组织结构、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标，最充分地发挥人力、物力的潜能，使局部和整体之间的关系协调配合，实现系统的综合最优化。

也有人将对系统的分析、综合、模拟、最优化等，称为狭义的系统工程，而将为了合理地进行系统的研制、设计、运用等工作所采用的思想、程序、组织、方法等内容称为广义的系统工程。

系统工程在自然科学与社会科学之间架设了一座桥梁。现代数学方法和计算机技术，通过系统工程，为社会科学研究增加了极为有用的定量方法、模型方法、模拟实验方法和优化方法。系统工程为从事自然科学的工程技术人员和从事社会科学的工作人员的相互合作，开辟了广阔的道路。

系统工程是一门特殊的工程学。一般的工程学，诸如建筑工程、机械工程、电子工程等都有其特定的工程物质为对象，而系统的对象，则不限于某种特定的工程物质对象，不仅如此，它还可以包括自然系统、社会经济、经营管理系统等非物质系统。由于系统工程处理的对象主要是信息，在国外有些学者认为它是一门“软科学”。

系统工程作为一门工程技术，要改造客观世界并取得实际成果，就离不开具体的环境和条件，避不开客观事物的复杂性，必然要同时运用多种学科的成果，综合运用各种学科的多种技术。这一特征决定了系统工程是一门跨学科的科学体系，是一门边缘学科。

系统工程尽管还处在不断发展和完善之中，但作为一门独立学科，它也具有自己独特的思想方法、理论基础、程序体系和方法论。系统工程思考方法通常叫作系统方法，它是在对系统的概念、系统的基本构成及其各种形态作了深入研究的基础上，把对象作为整体系统来考虑、掌握、分析、设计、制造和使用的一种基本思想的方法。系统工程的工作程序体系，虽然在实际运用时，会因对象不同、用者各异而导致具体程序步骤的差别，但其一般原则却具有普遍意义。

三、系统工程的基本观点

在应用系统工程方法处理问题时，以下一些基本观点是值得强调的：

1. 全局性（整体性）观点

作为系统整体，它除具有构成系统的每一部分的属性之外，还具有形成系统之后的整体特性，因而，系统工程认为“整体大于部分简单之和”，强调必须整体、全面地思考和分析问题，一切从全局（整体）出发，而不是只从某一局部（子系统）出发。

2. 关联性观点

由于系统的各个部分是相互作用相互依赖的，因此系统工程强调必须很好描述系统各

个部分的结构关系，使系统诸要素均处于良好的协调工作状态。

3. 最优性（满意度）观点

处理任何事情都期望在多种方案中选优求好，这是人类生活中的一个重要通则，系统工程也不例外。由于系统工程的对象一般都是比较庞大复杂的系统，这就使得它的选优求好，必须借助于一整套专门的分析方法，如运筹学、最优控制理论等才能实现。即便如此，由于最优标准不一、信息收集不全和事物发展变化等因素，这种用专门方法求出的最优解只是理论上的，一旦遇到具体问题，它只能是一个近似解。因此，近年来人们开始推崇“满意度”观点，认为不一定花费大量的代价去追求真正的“最优”，而只需找寻一个大家满意的系统方案就可以了。这种找寻“满意”系统方案的方法虽然不十分严格、精确，但却不失为一种灵活、适用的工具。

4. 实践性观点

系统工程作为一门工程技术，是用来改造客观世界的，是面向实践的。如果离开了具体项目和工程，系统工程也就成了无源之水、无本之木。

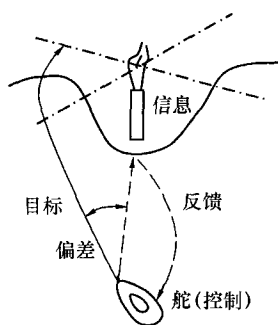
5. 综合性观点

系统问题一般都涉及面较广，不光有技术因素，还有经济因素、社会因素、环境因素等，因此，光靠一两门学科的知识是不够的，需要综合应用诸如数学、经济学、运筹学、控制论、心理学、社会学和法学等多方面学科的知识。由于少数几个人很难门门精通，所以系统工程研究又非常强调组织各方面人员协调工作的方式。

四、系统工程的理论基础

系统工程是在系统科学、控制论、信息论、运筹学和管理科学等学科的基础上发展起来的。了解这些基础理论，有助于我们对系统工程学的探讨和研究。这里简要介绍控制论、信息论和运筹学的理论及其方法。

1. 控制论



控制论是研究生物系统和非生物系统内部通信、控制和调整的一门科学。无论是人造的机械，还是自然界的动物，在瞄准某个目标时都要时刻修正自己的运作使之越来越接近目标地前进。例如，轮船向海港驶入时，驾驶员需要借助灯塔的灯光（信息）掌舵（进行控制）。在这种情况下，即使目标有所改变或掌舵的方法暂时有错误，最后也能准确无误地达到目标，如图 1-2 所示。这构成了控制论的一个特别重要的概念——反馈理论，也就是把偏离目标的信息，反馈给控制装置来决定下一阶段的动作。

图 1-2 反馈的概念

控制论主要是应用数学方法解决系统的合理设计问题，使得系统能满足各项目的标的要求，到达最优化。

目前在系统工程中应用的工程控制论，主要包括下列内容：

(1) 线性和非线性系统理论。线性系统理论是自动控制理论中最常用的也是应用最久的一种理论，它将大量的工程实际问题抽象为线性系统，用常系数线性微分方程近似地加以描述，并采用拉普拉斯变换方法来进行研究。可是严格说来，任何线性系统都具有不同程度的非线性的特性，线性系统只是在这些非线性成分可以忽略不计时才可以应用。线性

模型虽然便于数学处理,但往往不能比较精确地描述系统的运动状态,甚至不能解释许多实践中经常遇到的问题,因而产生了研究非线性系统的理论。

(2) 概率控制过程和统计方法的应用。系统一般具有多种输入和输出,而这种输入与输出往往是多变量的随机因素,不可能精确算出或预测某一时刻的系统性能。另外,系统的环境条件也在随时发生变化,需要及时适应其变化调整系统的功能。因此,概率控制过程和统计方法就成为处理这种系统的主要理论与数学工具。

(3) 最优控制理论。这是控制论的核心。由于技术工具的进步和电子计算机的发展,人们不再满足于设计一个可工作的控制系统,而是力求设计出高质量的最优化系统。例如达到理想状态的时间最短、消耗的功率最小、实现的精度最高、衡量动态误差的某一积分估计最小等,这就是最优控制所要解决的问题。

(4) 自适应、自学习和自组织系统的理论。针对特定条件设计的系统,当客观环境发生变化时,必然引起系统功能下降,甚至不能工作。这时就希望系统仍能按照外界条件的变化自动调整其自身的结构或参数,以保持系统原有的功能。这种系统叫做自适应的控制系统。自学习系统是自适应系统的一个发展和延伸,它是指那种具有按照自己运行过程中的“经验”来改进控制算法能力的系统。自组织系统是仿真人的神经网络或感觉器官,实现人工智能的一种途径。它具有记忆过去的经验和识别环境变化的能力,为了更好地适应环境,能够按照一定的规律改变自己的结构或工作程序。

(5) 模糊理论。它是在模糊数学基础上产生的一种新型的数理理论,常常用于解决一些不确定性的问题。其主要目标是探索和更加接近人类大脑功能的处理事物的模糊方法。

(6) 系统识别理论。在研究控制系统时,首先要识别清楚系统的情况,并在对控制对象和外部环境进行调查研究之后,才能提出切实可行的方案。系统识别理论就是为了弄清楚系统的内在联系和有关参数的一种有效方法。

(7) 大系统理论。这是现代控制论最近发展的一个新的重要领域。它主要是以规模庞大、结构复杂的各种工程或非工程的大系统问题为研究对象,着重解决其最优化问题。也就是按照整个系统的最优化指标和整个系统与各子系统之间的关系以及各子系统之间的关系,最优地分配各子系统的指标,并以此控制各子系统,使整个系统达到最优化。

2. 信息论

信息论是一门研究信息传输和信息处理一般规律的科学。任何一个系统,如果没有信息传递和信息处理功能,也就不可能起到应有的作用。因此,在研究系统工程时,研究信息论是不可缺少的一个环节。从目前看,信息论可分为以下三个方面:一是以编码为中心的信息理论,这种理论主要是研究信息模型、信息度量、信息容量、信源统计特性、信息编码、信道编码等以申农信息论为中心的问题。二是以信号为主要对象的信息理论,这种理论包括信号和噪声的统计分析、信号的最优过滤、预测、检测和估值等理论。三是以计算机为中心的基本信息理论,这种理论包括语言、文字、图像的模式识别,自动机器的翻译和学习理论等。

在一个系统中,信息的流通与处理大致可分为如下步骤:

(1) 信息的获取。它是将系统所需的信息测定出来,并使之变成数据,经传输线路或不经传输线路送给处理装置进行必要的处理。获取信息的方式有随机的和询问的两种。根据信息的性质和系统的总体要求,由获取端任意获取信息的方式叫做随机获取;根据处理

的要求对系统发出询问而在获取端获得信息的方式叫做询问获取。

(2) 信息的传递。这是保证获得的信息在系统中流通的重要手段。为此, 必须在系统中设有自己的通信系统, 即由各种类型的信道组成的信道网。

(3) 信息的处理。这是信息系统的关键环节。它将从信息获取设备传送过来的初始信息, 用一定的设备或手段, 按既定的目标和步骤进行加工。信息处理的目的是: 把信息的原始形式变换成便于观察、分析、传输或进一步处理的形式, 通过筛选分类、去粗取精、提取主要的和有用的信息, 滤掉次要的和无用的信息; 通过编辑整理提高信息质量; 分析计算, 或为执行机构提供控制信号, 或为操作控制人员提供一定数量、质量和类型的信息; 将一些不能再现的或因系统参数不可控制致使变化范围很大的信息加以集中并存贮起来, 作为事后分析的资料。

(4) 处理结果的输出。在系统中, 根据需要对获取的信息进行各种方式的加工处理以后, 就要以必要的方式将处理的结果输送出去。针对信息性质和应用目的的不同, 可以选择不同的输出技术和手段。

3. 运筹学

运筹学是用来帮助解决生产和经济规划中某些实际问题并使之发挥最大效率的一门科学。它是系统工程学的起源和主要基础。具有代表性的运筹学方法大体有以下几种:

(1) 线性规划。经营管理工作, 往往碰到如何恰当地运转由人员、设备、材料、资金、时间等因素构成的体系, 以便最有效地实现工作任务的问题。这一类统筹规划问题用数学语言表达出来, 就是在一组约束条件下寻求一个目标函数极值的问题。如果约束条件表示为线性等式及线性不等式, 目标函数表现为线性函数时, 就叫线性规划问题。线性规划就是求解这类问题的数学方法。

(2) 非线性规划。如果在所要考虑的数学规划问题中, 约束条件或目标函数不全是线性的, 就叫做非线性规划问题。非线性规划就是求解这类问题的数学方法。

(3) 动态规划。这是一种在动态条件下, 为使多重决定或多级问题的解实现最优化而采取的一种数学方法。动态规划的中心思想是最优性原理, 依据这个原理导出一个函数方程, 然后从整个过程的终点出发, 由后向前一步一步地推到过程的始点, 便可逐步找到最优解。

(4) 对策论。也称博弈论, 是用来研究对抗性的竞争局势、探索最优对抗策略的一种数学方法。对策论方法包括三个基本要素: 一是局中人, 即参与竞争的各方; 二是策略, 即参加竞争者按照自己认识的规律选择的行动方案; 三是各方具有的相互矛盾的利益, 即胜者所得与败者所失的矛盾。不同的要素集合, 构成了不同的博弈问题。

(5) 网络理论。也称网络分析, 是系统工程学中常用的一种理论方法, 常用于计划评审技术 (PERT) 和关键线路法 (CPM) 等。

(6) 存贮论。在经营策略中, 为了保证系统的有效运转, 往往需要对文件、器材、设备、资金以及其他物质保障条件保持必要的贮备。存贮论就是研究在什么时间、以什么数量、从什么供应渠道来补充这些储备, 使得保持库存和补充采购总费用最少的一种数学方法。

(7) 决策论。经营管理中的问题, 经常要面对几种不同的自然状态 (或称客观条件), 又有可能采取几种不同的方案。条件迫使人们针对各种不同的自然状态, 按照某种衡量准

则，在各种不同的方案中选定一个最优方案加以实施，这就提出了决策问题。决策论就是研究解决这类问题的数学方法。

(8) 排队论。排队论是我们在日常生活和工作中常见的一种现象，凡服务系统都要解决排队问题。排队论即是用来研究服务系统的工作过程、解决排队系统最优化问题的一种数学理论和方法。

第三节 系统工程方法论

系统工程思考问题和处理问题的方法，一般称做系统工程方法论，它是在深入研究系统的概念、基本构成及其各种形态的基础上，把分析对象作为整体系统来考虑、掌握、分析、设计、制造和使用时的基本思想方法。

一、霍尔系统工程三维结构

从事系统工程实践的大都是自然科学工作者和工程技术人员，他们常把处理工程技术问题时遵循的步骤和程序移植过来，处理系统工程所要解决的组织管理、规划和决策等问题，并在实践中收到了一定的成效。20 世纪 60 年代，许多学者根据实践经验，总结系统工程方法，内容和步骤划分不尽相同，但基本思路一致。其中，影响最大而且比较完善的是美国学者 A. D. Hall 于 1969 年提出的系统工程三维结构，如图 1-3 所示。它概括地表示出系统工程的阶段、步骤以及涉及的知识范围。

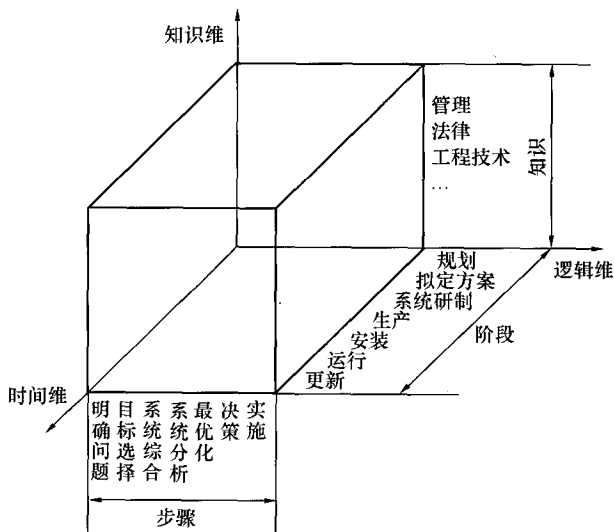


图 1-3 霍尔三维结构

1. 时间维

表示系统工程活动从规划到更新，按时间排列的工作顺序，共分为七个阶段：

- (1) 规划。谋求系统工程活动的规划和战略。
- (2) 拟订方案。提出具体的计划方案。
- (3) 系统研制。实现系统的计划方案，并作出生产计划。
- (4) 生产。生产出系统的零部件及整个系统，并提出安装计划。
- (5) 安装。将整个系统安装完毕，并完成系统的运行计划。
- (6) 运行。系统按预定的目标服务。
- (7) 更新。以新系统取代旧系统，或将原系统改进，使之更有效地工作。

2. 逻辑维

指在每一阶段工作中所应遵循的思维程序，共分七个步骤：

- (1) 明确问题。弄清本阶段需要解决什么问题，并尽量全面地收集有关资料和数据，来说明问题的历史、现代和未来趋势，为制定目标提供可靠依据。