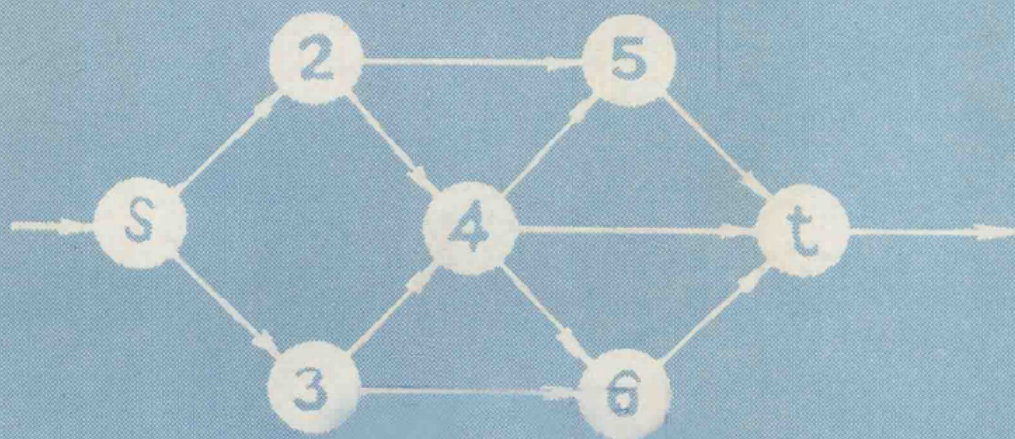


高等学校用书

# 系统工程导论

南京建筑工程学院 殷志建  
重庆建筑工程学院 毛鹤琴 合编



XITONG GONGCHENG DAOLUN

一九八三年十二月

# 前 言

二十世纪五十年代,国际上出现了探索存在于各种工程系统之间带有普遍联系的一门学科——系统工程学。它是把自然科学中的某些思想、理论、方法、策略和手段等根据“系统”整体协调需要,有机的联系起来,把人们生产、科研或经济活动有效地组织起来;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、制造和实施,以达到最优设计、最优控制、最优组织和管理的目的。因此,系统工程的应用范围是非常广泛的,从宇宙开发到新产品的研制;从城市建设到环境保护;从建筑、结构设计和施工到建筑企业的经营管理活动等等,均可应用系统理论与技术、系统分析与方法。目前,系统工程学的研究对象已由工程系统扩大到社会系统和自然系统,其应用领域尚在不断开拓、日新月异,方兴未艾。

当前,祖国正在朝着四个现代化迈进,科学技术和国民经济不断发展和增长,迫切需要从社会主义建设的整体出发,全面规划,统筹安排,力求用有限的资金和先进技术来实现宏伟的四个现代化的历史任务。由此,作者深感作为高等学校工业与民用建筑专业的毕业学生,需要从系统的观点和方法来处理工程设计与施工,建筑经济与经营管理等问题,故必须学习和掌握系统工程的有关专门知识,方能适应新形势的需要。《系统工程导论》就是为了这一目的而编写的。本书主要内容包括两大部分:第一部分从第一章到第三章,主要讲述系统工程和系统分析的概念,系统模型化技术与优化技术等;第二部分为第四章和第五章,主要讲述建筑工程系统以及管理系统。全书附有大量实例。

本书是根据原国家建委一九八一年十月在重庆召开的工业与民用建筑专业教育计划座谈会的精神以及一九八二年九月教学大纲讨论会上所通过的《系统工程概论》教学大纲的要求编写的。所以,本书可作为四年制工业与民用建筑专业的教科书,也可供有系统工程方面要求的干部和职工进修提高的教学用书。

本书是由重庆建工学院毛鹤琴(第一章、第四章、第五章)和南京建工学院殷志建(第二章、第三章、第四章、第五章)合编,全书最后由殷志建同志负责审定。本书在编写过程中,参考了兄弟院校、和科研单位的有关资料,南京建工学院王宝仁、洪坤廉副教授对本书提出了宝贵意见。南化公司侯昶高级工程师为本书编写提供了大量参考资料,并在结构优化这节内容中,引用了他近年来的一些科研成果。南化公司印刷厂为本书的出版,作了大量的工作。对上述单位和同志们的热心帮助积极鼓励,编者表示衷心的感谢。本书是在教余时间编写的,故在时间和精力上都不够充分,又鉴于系统工程涉及面非常广泛,加之我们水平有限,书中不妥和错误之处在所难免,恳请读者批评指正。

— 编 者

一九八三年

# 目 录

|                                   |      |
|-----------------------------------|------|
| 第一章 系统工程的基本知识.....                | (1)  |
| 第一节 系统与系统工程的概念.....               | (1)  |
| 一、系统的概念及特征 二、系统的形态 三、系统工程的概念      |      |
| 第二节 系统工程的方法与步骤.....               | (4)  |
| 第三节 系统工程的理论与技术.....               | (5)  |
| 一、运筹学 二、模拟技术 三、网络技术 四、预测技术        |      |
| 五、数据库技术 六、控制论 七、信息论 八、大系统理论       |      |
| 九、行为科学                            |      |
| 第四节 系统分析.....                     | (9)  |
| 一、系统分析的目的和作用 二、系统分析的要素 三、系统分析的步骤  |      |
| 第二章 系统模型化与模拟技术.....               | (14) |
| 第一节 系统模型的概念.....                  | (14) |
| 一、系统模型的性质 二、系统模型的要求               |      |
| 第二节 系统模型的分类.....                  | (15) |
| 第三节 模型化的一般规律.....                 | (16) |
| 一、模型化的一般过程 二、模型化的一般步骤             |      |
| 第四节 系统模型的构造方法.....                | (18) |
| 一、确定性系统数学模型 二、随机系统数学模型 三、模糊系统数学模型 |      |
| 四、图象模型 五、投入产出模型 六、大系统模型           |      |
| 第五节 系统模拟技术.....                   | (43) |
| 一、模拟和次模型化的关系 二、模拟机的模拟技术           |      |
| 三、数字机的模拟技术 四、系统的物理模拟              |      |
| 第六节 结构模型解析法 (ISM) .....           | (51) |
| 一、图的矩阵表示 二、可达性矩阵的分解 三、结构模型建立过程    |      |
| 第三章 系统方法.....                     | (61) |
| 第一节 系统方法概述.....                   | (61) |
| 一、系统方法的起源与发展 二、系统方法论 三、系统工程的理论基础  |      |
| 第二节 线性规划(LP) .....                | (65) |
| 一、线性规划问题的标准型 二、线性规划问题的几个背景        |      |

|                          |                            |            |
|--------------------------|----------------------------|------------|
| 三、单纯形法(Simplex Method)   | 四、人造基(Artificial basis)    |            |
| 五、摄动法                    | 六、罚款因子M利用                  | 七、线性规划对偶理论 |
| 八、对偶问题的经济意义——影子价格        |                            |            |
| <b>第三节 整数规划(IP)</b>      |                            | (90)       |
| 一、整数规划问题的提出              | 二、整数规划的切割解法                |            |
| 三、戈莫利(Gmory)分割分          | 四、分支和界限(Branch-and-Bound)法 |            |
| 五、0—1规划                  |                            |            |
| <b>第四节 非线性规划(NLP)</b>    |                            | (105)      |
| 一、基本概念                   | 二、一维搜索(Linear Search)      |            |
| 三、无约束极值问题——多维问题          | 四、约束非线性规划问题                |            |
| <b>第五节 几何规划</b>          |                            | (132)      |
| 一、基本概念                   | 二、几何规划求解方法                 | 三、几何规划例题   |
| <b>第六节 动态规划(DP)</b>      |                            | (138)      |
| 一、基本概念                   | 二、多阶段决策问题                  |            |
| 三、动态规划的基本方程与最优原理         | 四、动态规划应用实例                 |            |
| <b>第七节 大系统优化</b>         |                            | (144)      |
| 一、Dantzig-Welfe分解原理与算法   | 二、两级算法的步骤                  |            |
| 三、数字实例                   |                            |            |
| <b>第四章 建筑工程系统</b>        |                            | (155)      |
| <b>第一节 建筑规划与设计的优化</b>    |                            | (155)      |
| 一、概述                     | 二、住宅建筑设计的系统分析              | 三、住宅区规划的优化 |
| 四、小结                     |                            |            |
| <b>第二节 建筑结构优化</b>        |                            | (175)      |
| 一、概述                     | 二、建筑结构最优设计的数学提法            |            |
| 三、优化设计与传统设计的区别           | 四、建筑结构优化的线性规划法             |            |
| 五、建筑结构优化的非线性规划法          | 六、建筑结构优化的动态规划法             |            |
| <b>第三节 建筑工程施工中优化问题实例</b> |                            | (198)      |
| <b>第五章 管理系统</b>          |                            | (207)      |
| <b>第一节 管理系统及其特点</b>      |                            | (207)      |
| 一、管理系统的意义                | 二、企业经营管理系统的基本结构            |            |
| 三、经营管理系统的一般体系            | 四、管理系统的特點                  |            |
| <b>第二节 管理系统中的各种方法</b>    |                            | (211)      |
| 一、调度                     | 二、模拟                       | 三、工作(系统)设计 |
| 四、模块式法和总体系统方法            | 五、计划程序预算系统(PPBS)           |            |
| <b>第三节 工作系统</b>          |                            | (214)      |
| 一、工作系统的分析                | 二、工作系统设计                   |            |

|                                      |       |
|--------------------------------------|-------|
| 第四节 生产过程管理系统 .....                   | (215) |
| 一、生产过程系统的分析和综合 二、生产过程系统的控制           |       |
| 三、生产过程系统评价                           |       |
| 第五节 工程计划系统 .....                     | (218) |
| 一、引言 二、工程计划投入——工序类型 三、网络模型和计划编制      |       |
| 四、关键线路法(CPM) 五、计划评审技术(PERT)——随机参数模型  |       |
| 六、小结                                 |       |
| 第六节 系统的可靠性 .....                     | (232) |
| 一、一般概念 二、决定可靠性函数 三、可靠性的设计与应用实例       |       |
| 第七节 库存管理系统 .....                     | (238) |
| 一、ABC库存分类管理方法 二、库存模型之一——确定型          |       |
| 三、库存模型之二——随机型                        |       |
| 第八节 系统预测技术 .....                     | (245) |
| 一、一般概念 二、定性预测技术 三、定量预测技术:时间序列模型(一)   |       |
| 四、定量预测技术:时间序列模型(二) 五、戈珀兹曲线(Gompertz) |       |
| 第九节 决策理论 .....                       | (258) |
| 一、决策类型与方法 二、确定情况下的决策问题               |       |
| 三、风险情况下的决策问题 四、不确定情况下的决策 五、应用实例      |       |
| 第十节 信息管理系统 .....                     | (277) |
| 一、决策与管理信息 二、编码系统管理 三、数据库管理系统         |       |

# 第一章 系统工程基本知识

## 第一节 系统与系统工程的概念

### 一、系统的概念及特征

自然界和人类社会中的很多事物决不是孤立存在的，而是彼此相互制约和相互联系的。所谓“系统”就是指一个极其复杂的研究对象。这个对象是处于一定的环境中，是由很多相互作用、相互依赖的若干组成部分结合而成的具有特定功能的有机整体。而“这个系统”的本身又是从属于一个更大系统之中。由此可见，作为一个系统，它应具备以下几个基本特征：

#### 1. 集合性

把具有某种属性的一些对象看做一个整体便形成一个集合。集合里的各个对象叫做集合的元素。系统的集合性是说，系统要由若干个（起码两个以上）可以相互区分的元素（或称要素）所组成。

#### 2. 相关性

组成系统的元素是相互作用、相互依存、相互制约的。若系统中只有元素，而元素中并不存在任何关系，则它仍然不能成为系统。

#### 3. 目的性

组成系统的元素是为达到一定的目的（或具有一定的功能）而结合在一起的。所以，人造系统都具有目的性，它是由人们规定的功能，是人类改造客观世界的一个对象。这样，就区别于宇宙中的自然系统。例如大气系统、生态系统、海洋系统等自然系统，这些自然系统都有它们的客观规律，人们并不能去改变自然规律，但我们能去认识它、适应它，利用它们作为人造系统的基础。

#### 4. 整体性

构成系统的任何一个元素，不能离开整体去研究；元素间的联系和作用，也不能脱离整体的协调去考虑；脱离了整体性，元素的机能和元素间的作用便失去了意义。也就是说，构成系统元素的相对独立机能和元素之间的相互联系，必须服从系统整体功能（整体目的）的要求；在保证整体目的的基础上，来开展和协调各组成元素的活动及相互间的活动，从而形成系统整体的有机活动。

#### 5. 环境适应性

任何一个系统都存在于一定的物质环境（更大的系统）之中，因此，它必然要与外部环境产生物质的、能量的和信息的变换，必须适应外部环境的变化。只有经常与外部环境保持最佳状态的系统，才是理想的系统；否则，它就没有生命力。

以上五个特征，是系统分析和系统设计的基础。目的性分析，首先解决系统有无存在价值的问题，以明确系统的功能；集合性分析，以解决系统的组成及其结构；相关性分析，可建立系统各组成部分之间的合理关系，以消除相互间的盲目联系和无效行动；整体性分析，是解决整体与局部的统一关系问题；环境适应性，是确定系统存在的条件，以及对存在条件的适应性问题。

例如，一栋房屋，就是一个系统。房屋的基础、主体结构、围护结构、建筑装饰及水暖电器设备等就是它的组成元素，即系统的集合性。房屋的经济、适用、美观等要求，就是这些组成元素所要实现的目的或功能，即系统的目的性。房屋的组成元素：地基、基础、墙、柱、梁等间有机联系，即系统的相关性。房屋的坚固、耐久、防火、抗震，能抵抗大自然的侵蚀，即系统的环境适应性。满足房屋使用功能的要求，则是系统的整体性。

同样，一栋房屋的施工过程、一个建筑企业、一台建筑机械等也都是一个系统。不过，亦需指出，如果一个问题只要应用某个学科的理论、传统方法或一般经验就可以解决时，也就不须将它作为一个系统。但一个问题是否可以作为一个系统来考虑，亦不能只凭问题的大小来说明，而要看它是否要用系统的理论和技术、系统分析及方法来解决。无论问题的大小，只要有较强的综合性和复杂性，均可作为一个系统来研究。例如，对某一建筑物的既定结构体系，若只是研究它的整体刚度和稳定性问题，那就仅属力学研究对象；若是从建筑、结构、施工、使用功能、福利设施、经济效益、市政建设和环境绿化等各方面综合进行研究，即可构成一个系统了。

## 二、系统的形态

系统是以各种不同的形态存在于自然界和人类社会中。对系统形态的分析，是便于了解各种系统的特点、性质及其相互间的关系。系统的形态，主要可分为以下几大类：

### 1. 自然系统与人造系统

自然系统，是指它的组成部分系由自然物（矿物、植物、动物、海洋等）自然形成的系统，如矿藏系统、大气系统。

人造系统，是由人造物和自然物的各种元素为达到某一目的，人为构成的系统。如人类在从事生产、科研、工程实践、经营管理等活动中所构成的生产系统、科学技术系统、工程系统、经营管理系统等。

实际上，大多数的系统均属自然系统与人造系统的复合系统。如在气象预测预报系统、地震预报防震系统等许多人造系统中，都是人们运用科学技术去认识、适应或改造了自然系统。

### 2. 实体系统和概念系统

凡是以实体（矿物、生物、机械、动力等）为元素所构成的系统称实体系统，如建筑物、电力网、机械系统、人机系统等。凡是由概念、原理、方法、程序、制度等观

念性的非物质实体所构成的系统称为概念系统，如教育系统、计划系统、程序系统等。

实际上，大多数的系统亦属实体系统与概念系统的复合系统。实体系统是概念系统的基础与依据，而概念系统则为实体系统的抽象与概括。

### 3. 动态系统和静态系统

动态系统就是它的状态变量是随时间而变化的。它具有随时间变化的输入和输出及转化过程，一般有人为的干预，需概念系统相配合。如城市规划、生产系统、服务系统等均属动态系统。

静态系统则是表征系统在特定时间和特定阶段的运动规律，其数学模型中不含有时间的因素，即模型中的变量不随时间而变化。

### 4. 控制系统和行为系统

控制系统是指有控制功能和手段包括信息反馈的系统，即控制对象要由控制装置操纵，使其符合规定的目的。当控制系统由控制装置自动进行时称为自动控制系统。

行为系统是把要达到的目的行为作为组成要素的系统。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。如劳动系统、侦察系统、军事系统即属行为系统。

此外，系统的形态还可化为闭系统、开系统、因果系统、目的系统和对象系统等多种。尽管系统的形态千差万别，但是它们中间起主要作用的是实体系统与概念系统相结合的人造复合系统。在研究分析设计具体系统时，必须从对象系统的特点出发，建立其静态实体系统，辅以相应的计划、制度、程序和管理（或控制），从而使之转化为动态系统，实现为系统所定的功能和目的，这也是我们研究系统形态的基本目的。

## 三、系统工程的概念

所谓“工程”，是指人们为达到特定的目的而从事各项工作活动的总体。特定目的若是建造房屋则是建筑工程，特定目的若是制造机器则是机械工程。如果这个特定目的是从“系统”观点出发，组织管理一种系统的建立和运行，就是系统工程。而建立、运行一个系统，总希望在一定的社会经济条件和人员、设备、材料、资金和时间因素的约束下，找到实现工作目标效果最好的方案，这就是系统工程最优化的概念。因此，系统工程，是以系统为对象，是实现对一个系统进行规划、研究、设计、制造、试验和使用的最优组织管理技术。例如，一栋建筑物能否修建起来，这是工艺技术问题，是建筑工程专业技术所要解决的任务。而这栋建筑物能不能最经济、最快、最好地修建起来，这就不是工艺技术问题，而是优化技术问题，这正是系统工程所要解决的任务。

系统工程是一门工程学，但它与建筑、机械等专业工程是有区别的。一般专业工程都有其特定的工程物质为对象；而系统工程的对象则不限于某个领域，任何一种物质系统都能成为它的研究对象，而且它的研究对象还不只限于物质系统，它可以包括自然系统、社会经济系统、经营管理系统等。一般专业工程侧重于专业性的科学技术；而系统工程则是一门跨专业、跨学科的综合科学技术。一般专业工程多着眼于技术的合理性，如性能、结构、效率等；而系统工程则是从总体的最优出发，考虑功能、规划、组成、协调、效益等组织管理性质之类的问题。

生产力的高度发展，为系统工程的形成提出了客观需要；科学技术的发展，为系统工程的形成和发展创造了条件；运筹学的发展，为系统工程提供了重要的理论基础；电子计算机的出现，为系统工程提供了强有力的运算工具和信息处理手段，成为实施系统工程的重要物质基础。

当前，在我国实现社会主义现代化的过程中，迫切需要从社会主义建设的整体出发，全面规划，统筹安排，力求用有限的资金和先进的技术，实现宏伟的四个现代化的历史任务。毫无疑问，积极开展系统工程的研究，并广泛推广应用，具有十分重要的现实意义。

## 第二节 系统工程的方法与步骤

在从事系统工程研究工作中，逐步形成了一套科学的工作方法和步骤。一般是将系统工程从规划到更新的整个过程及活动大约分为七个阶段，而每个阶段又要完成七个步骤，构成了系统工程方法论的矩阵模型（表 1—1），其中七个阶段为：

系统工程方法论的模型

表 1—1

| 粗结构的阶段<br>细结构的步骤 | 1              | 2              | 3    | 4              | 5   | 6              | 7              |
|------------------|----------------|----------------|------|----------------|-----|----------------|----------------|
|                  | 摆明问题           | 系统指标设计         | 系统综合 | 系统分析           | 最优化 | 决策             | 实施计划           |
| 1.规划阶段           | $a_{11}^{(1)}$ | $a_{12}^{(1)}$ |      |                |     | $a_{16}^{(1)}$ | $a_{17}^{(1)}$ |
| 2.拟订方案           | $a_{21}^{(2)}$ |                |      |                |     |                |                |
| 3.系统研制           |                |                |      |                |     |                | $a_{37}^{(3)}$ |
| 4.生产阶段           |                |                |      | $a_{44}^{(4)}$ |     |                |                |
| 5.安装阶段           |                |                |      |                |     |                |                |
| 6.运行阶段           | $a_{61}^{(6)}$ |                |      |                |     |                |                |
| 7.更新阶段           | $a_{71}^{(7)}$ | $a_{72}^{(7)}$ |      |                |     | $a_{76}^{(7)}$ | $a_{77}^{(7)}$ |

1.规划阶段 在此阶段进行调研和可行性分析，其主要任务是定义系统的概念，明确建立系统的必要性，谋求系统工程活动的规划或政策及要达到的功能等。

2.拟订方案 根据建立系统的政策、功能，提出具体的计划方案。

3.系统研制 根据系统的计划方案，拟订实现系统的研制方案，并制订出生产或加工计划。

4.生产阶段 生产和加工出系统的零件、部件，并提出安装计划。

5.安装阶段 把制成的零、部件按安装计划组装成系统，并完成调试工作。

6.运行阶段 系统按照预定的功能投入使用。

7.更新阶段 根据系统运行情况，对原系统不断地进行改进和更新，或取消旧系统代之以新系统，使之更有效的工作。

每一阶段所要完成的七个步骤为：

1. 摆明问题 这一步的意图是根据系统概念, 弄清要解决什么问题, 希望达到什么要求。为此, 要尽量全面地收集和提供有关要解决问题的历史、现状和发展趋势的资料与数据。主要是研究系统的环境及对系统的需求。

2. 系统指标设计 提出为解决问题需要达到的目标, 并定出衡量是否达到这些目标的标准, 用以作为评价和优选方案的依据。

3. 系统综合 所谓系统综合, 就是按照问题的性质和系统目标的要求, 提出一组替代方案(即政策、活动与控制等)。并对每一个替代方案均要说明其优缺点, 还应列出费用、资源消耗及功能等指标。

4. 系统分析 就是通过建立系统模型, 把每一个替代方案与系统目标联系起来, 逐一进行分析比较, 精减可能入选方案的数目。

5. 系统优化 系统优化包括系统方案的优选和系统方案的优化两个过程, 使合理选择的替代方案都能尽量均衡地满足系统指标。

6. 决策 根据系统优化的结果, 从中选择一个或几个方案来实施或试用, 进一步考虑系统的价值, 作出最后决策。

7. 实施计划 根据最后决策选定的方案拟订具体的实施计划, 并组织实施。

上述系统工程的方法和步骤, 就是由系统概念形成问题、由问题产生目标, 再根据目标去寻求最佳方案。这就是工程学的思维逻辑和科学工作方法, 也正是系统工程这门优化技术的精辟之处。

当然, 上述的七个步骤也不是绝对不变的。有时, 可合并某些步骤; 有时, 亦可在某些步骤上出现反复。这七个步骤还可以归纳为系统的模型化(1—4步骤)、系统的最优化(5、6步骤)和系统的实施(7步骤)。

系统工程的方法, 其核心是模型化和最优化。系统模型化是系统最优化的前提, 最优化则是系统工程的目的和灵魂。

### 第三节 系统工程的理论与技术

系统工程之所以能发挥其科学组织管理作用, 是依靠一系列的理论、技术及工具作为自己的手段。系统工程的理论基础是运筹学, 其计算和模拟的工具主要为电子计算机; 有关技术、科学则包括工程技术、模拟技术、网络技术、预测技术、数据库技术、控制论、大系统理论、信息论、经济学、行为科学、社会科学等等内容。

#### 一、运筹学

运筹学是系统工程的理论基础。它是针对所要解决的实际问题, 通过调查研究, 在观察与分析实践资料, 总结实践活动经验基础上, 综合运用有关学科和技术知识, 及各种数学方法和模拟技术, 按照整体优化的要求, 寻求符合现定条件下的最优方案, 并用数学定量的形式表达其最优化的过程。因此, 运筹学是使系统工程获得最佳方案的一门技术。

运筹学的主要分支有:

1. 数学规划 (即规划论) 包括线性规划、非线性规划、整数规划、动态规划和几何规划等。

在组织生产中, 往往要解决以下两类问题, 一类是: 在一定数量的人力、物力等资源条件下, 如何完成更多的任务, 即最大化问题; 另一类是: 在任务一定的情况下, 如何使人力、物力等资源消耗最少, 即最小化问题。

数学规划的实质, 就是在一组约束条件下, 寻找一个函数 (称为目标函数) 的极值问题。如果约束条件表示为线性函数时, 就叫线性规划。若目标函数与约束条件之中有任意一个为非线性时, 叫非线性规划。若目标函数的解要求是整数值时, 叫整数规划。动态规划则是用以解决多段决策过程的最优问题。而几何规划则是解决非线性规划问题的另一种方法。因此, 数学规划在优化设计、科学管理、决策分析中的应用极为广泛。

2. 图论 图论被广泛地用于运筹学、信息论、控制论等方面, 尤其在研究网络系统时, 更离不开图论的有关知识。所谓图就是由点、线组成的图形模型。点, 表示我们所要研究的对象; 线, 表示对象之间某种特定的关系。所以, 图论即是用以研究若干事物之间的关系, 它可将庞大复杂的工程系统和管理问题用图描述, 以解决很多工程设计和决策的最优化问题。

3. 排队论 排队是我们日常生活中经常遇到的现象, 即当某时某刻要求服务的数量超过服务机构 (服务台、服务员等) 的容量时, 到达的顾客不能立即得到服务, 这时有的必须等候, 便出现了排队现象。这种现象远不仅在个人日常生活中出现。诸如车辆等候装卸车、故障机械的停机待修、交通枢纽的车船堵塞和疏导等问题, 均属有形或无形的排队现象。由于顾客到达和服务时间的随机性, 可以说排队现象几乎是不可避免的。

如果增添服务设备, 就要增加投资或发生空闲浪费; 如果服务设备太少, 排队现象就会严重, 对顾客和社会都会带来不利影响。所以, 管理人员必须考虑如何在两者之间取得平衡, 研究对策, 降低成本, 提高服务质量。

排队论, 也称随机服务系统理论, 就是为了解决上述问题而发展的一门学科。主要用以研究系统随机聚散现象的特性和规律, 从而达到改进、提高系统工作效率的目的。

4. 存贮论 也叫库存论。在建筑施工中, 为了保证施工能顺利进行, 必须贮备一定数量的材料, 否则, 将会发生停工待料现象; 但材料贮备过多时, 不仅积压资金, 使材料产生变质、损耗, 而且还要增加仓库、堆场的面积及临时设施和保管费用。同样, 在设计一个系统时, 也要有一定量的元件、设备、资金及其它物质的贮备, 而不能贮备过多而造成积压浪费。所以, 存贮论就是研究怎样调节供求关系, 制订出较优的存贮策略 (即决定物质多少时间补充一次, 以及每次补充的数量和方式), 以达到最好的经济效益。

5. 决策论 无论工程设计与施工、建筑企业的发展规划与经营管理, 新产品开发与生产批量的确定等每个问题, 均会面对几种不同情况 (决策论中称为自然状态); 亦可采取几种不同的方案 (决策论中称为行为方案); 最后终将迫使人们针对各种不同的自然状态, 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, 而形成了决策论。

6. 对策论 又名博弈论, 是一种用来研究对抗性竞争局势的数学模型, 目的是探索

最优的策略。在这种竞争局势中，参与对抗的各方都有一定的策略可供选择，并且具有相互矛盾的利益。若仅有两方参与，则称为二人对策。若一人之所得即为对方之所失，则称为二人零和对策。如我国战国时代的“田忌赛马”故事，即为一个二人零和对策。

7. 可靠性理论 是研究一个系统运行的可靠性，即指一个系统在给定的时间和规定的条件下有效地执行其任务的概率。如何将可靠性低的元件组成可靠性较高的系统，是可靠性理论的重要课题之一。

## 二、模拟技术

模拟技术就是利用电子计算机或模拟机来对一个客观系统的结构和行为进行动态模仿，从而得到该系统的有关数据和资料，以达到改进现有系统和设计更好的新系统的目的。模拟思想，在我国几千年前就有了。如我国的象棋就是模仿古代战争的一种游戏；多年来，军事家借助军事演习来模拟战争的过程；工程师用一定比例的建筑、机器模型来模拟工厂的布局，飞机设计师用飞机比例模型在风洞中模拟飞行的情况等。由此可见所谓模拟就是在系统模型上进行实验的技术，而不在真实的系统上做实验，因为用真实系统做实验，不仅代价高，费时间，而且很不方便，甚至无法进行。尤其是对许多相当复杂的问题，如企业管理系统、经济系统等等，当难以建立准确的数字模型并求得分析的解答时，而计划机模拟技术能对这些问题提供实用的解法。

总之，随着电子计算机的发展，亦为模拟技术开辟了宽阔的道路。现在不仅有了专用的计算机模拟语言和程序，而且还出现了各种各样的计算机模拟专用机。

## 三、网络技术

网络技术是从整个系统着眼，将系统中相互依存、相互制约的关系用图的形式形象地显示出来，人们可以预先分析和估计项目进行过程中可能发生的各种影响进度和资源利用的因素，统筹规划和安排，使项目能按预定目标进行。例如，图1—1所示，即为某项工程网络图的形式之一。

图中 a、b、c、d、e、f、g、h、l、m、等为完成该工程的工序。相邻工序交接处的圆圈表示相邻工序的分界点，称为节点。每个节点上编上顺序号。连接箭尾的节点表示工序的开始，连接箭头的节点表示工序的完成。每一箭杆下的数字表示完成该工序所需的时间。图中的粗线称为关键路线，或称为主要矛盾线（即完成各道工序需要时间最长的路线）。因此，我们从图中可知：该工程工序的组成；施工工艺的先后顺序；完成每一工序所需的时间；为了确保工期所应抓的关键路线和关键工序。

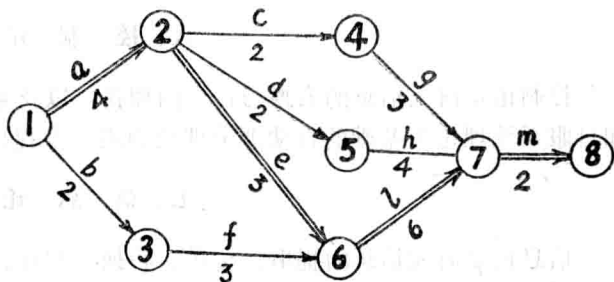


图1—1

我们在建筑工程中常用网络技术来编制进度计划，以达到时间优化和资源优化的目的。但是，往往由于系统庞大而复杂，不确定的因素较多，在实施过程中还要发生变化，必须经常进行调整。因此，网络技术只有与强有力的运算工具——电子数字计算机相结合，才能取得显著的成效。

#### 四、预测技术

所谓预测，就是人们运用已有的数据、经验及手段对科学技术、经济问题及其它所关心的事物在今后可能的发展作出的一种估计，并对这种估计加以评价，以指导和调节今后的行动。预测并不是幻想，更不是主观臆测，而是一种科学的技巧和方法。它以变化的、联系的辩证观点研究对象的今天，预言它的明天；它不仅研究对象本身，而且还要研究它和环境之间的相互作用，相互影响。

技术预测是系统工程的一个重要组成部分。无论是开发、研制一个新系统，还是改造一个老系统，首先要提出问题的必要性和可能性，其次是回答此系统最终给人类、给社会所带来的经济效益。这些问题不回答，也就无从决策。所以，预测正是为决策提供重要的依据。通过预测对未来事件的发展趋势、数量的界限，时间的进展事先都有所判断，这样，在决策和制订目标、方针、措施时才会做到情况明、方向准、决心大、步子稳。

#### 五、数据库技术

数据库技术就是指现代计算机系统的数据管理技术。所谓数据库，即是存贮在计算机辅助设备上的，互相有关的某种数据的集合，它通过能在多种业务上公用的数据管理系统；集中地进行编辑、使用、管理和维护。这里所说的数据库管理系统，是管理数据库数据的系统软件，它的主要功能是：数据库的定义的构成；数据库的检索；数据库的更新；数据库的保护和恢复。也就是说，数据库中的数据，在数据库管理系统的统一管理下，用户可以借助于系统所提供的语言使用数据库中的数据。而且不同的用户可以利用同一数据完成不同的业务。

#### 六、控制论

控制论是研究信息的变换与传送的理论，以及系统运行过程的控制。它是以调节器和自服系统理论为基础的自动调节理论的进一步提高和发展。

#### 七、信息论

信息论是研究信息的提取、传送、转换、贮存、流通。随着电子计算机和现代通讯设备的发展，在全世界可用卫星及时传递信息，而电子计算机又能使大规模信息的存贮、变换和得到及时利用。因而，信息论的作用就显得特别重要，所以发展成一个专门学科来研究它。

#### 八、大系统理论

大系统理论是七十年代发展起来的一门新学科。所谓大系统是指规模庞大、结构复

杂、目标多样、功能综合、因素众多的各种工程或非工程系统,如企业管理、城市交通、社会经济等。大系统所关心的问题并不是个别的指标,而是综合的目标。例如如何经营建筑企业才能达到利润最高,职工福利最好等。因此,对大系统的控制,有一套单独的理论,它是在控制理论、系统工程、运筹学的基础上发展起来的一个重要研究领域。

## 九、行 为 科 学

行为科学是综合运用心理学、社会心理学、人类学和社会学等学科的基本理论,来考察和研究人们行为的规律性;研究人们各种行为产生的客观原因与主观动机、需求之间的内在联系,以及通过如何满足人的各种基本需求,来激发人们的积极性,从而最大限度的充分利用人力资源。

## 第四节 系 统 分 析

实践证明,要最优地进行系统设计,对系统中的有关问题能作出正确的决策,其关键步骤就是系统分析。

### 一、系统分析的目的和作用

系统分析,就是这样一个有目的、有步骤的探索和分析过程,即:为了给决策者提供直接判断和决定最优系统方案所需的信息和资料,系统分析人员使用科学的分析工具和方法,对系统的目的、功能、环境、费用和效益等进行充分的调查研究;并收集、分析和处理有关的资料、数据;据此建立若干替代方案和必要的模型,进行仿真试验;然后将试验、分析、计算的各种结果同早先制订的计划进行比较和评价;最后整理成完整、正确与可行的综合资料作为决策者选择最优系统方案的主要依据。

由此可知,系统分析不同于一般的技术经济分析,它必须从系统的总体最优出发,对系统进行定性、定量的分析。它不仅是分析技术经济方面的有关问题,而且还要分析政策、组织体制、信息、物流等各个方面的问题。其目的在于:通过分析比较各种替代方案的费用、效益、功能和可靠性等各项技术经济指标,为决策者提供必要的资料和信息,以便于获得最优的系统方案。

系统分析,实质上就是在明确系统目的前提下,来分析和确定系统所应具备的功能和相应的环境条件。抓住系统某些需要决策的关键问题,根据其性质和要求,相应地建立有关模型,再根据需把有关模型进行仿真试验。将所得的信息通过反馈,从而使系统设计所需的资料和信息不断完善和充实,以保证最优方案的选择。

系统分析的工具,主要是借助于电子计算机,通过它来完成系统分析所需大量信息的收集、处理、分析、汇总、传递和贮存等任务。系统分析的方法,主要为最优化方法,例如规划论、网络技术等等。通过最优化方法来求解系统的各种模型的解,通过求解的评价,为系统设计方案的决定提供足够的信息和依据。

系统分析在整个系统的建立过程中占主要地位,对系统设计的成败起着关键的作用。特别是当系统中存在着不确定的相互矛盾的因素时,除应对系统的目的、功能、费用、效益、环境条件和制约条件等进行详细分析外,更需要建立相应的模型和进行仿真

试验,为加速决策提供必要的信息和依据。尤其是对一些技术比较复杂的、投资大的、建设周期长的系统,系统分析是必不可少的一环。只有这样,才能获得最优的设计方案,才能避免技术上的大量返工和经济上的重大损失。

## 二、系统分析的要素

系统分析的要素有:目的、替代方案、费用和效益、模型、评价基准等。

### 1.目的

为了正确获得决定最优系统方案所需的各种有关信息,最重要的任务就是要充分了解建立系统的目的和要求。系统的目的和要求即是建立系统的根据,也是系统分析的出发点,也就是说,只有正确地全面理解和掌握系统的目的和要求后,才能进一步分析系统的目的和要求是否确切、完整和合理,才能为今后的分析工作奠定良好的基础。

### 2.替代方案

一个系统设计时,往往需制订出为达到同一目的的各种不同替代方案,而各种方案均各有利弊,究竟选用何种方案为最优,这就需要对这些方案进行分析和比较。

### 3.费用和效益

建立一个系统,都需要大量的投资费用,而当系统建成后即可获得一定的效益。如果将费用和效益都折合成货币形式来比较,那么一般说来效益大于费用的设计方案是可取的,反之是不可取的。所以,在多数情况下,费用和效益的分析与比较是决定方案取舍的一个重要标志。

### 4.模型

建立所必需的各种模型,是系统设计和分析的重要环节。在尚未建立实体系统的情况下,可以借助一定的模型来有效地求得系统设计所需的参数,并据此制订各种制约条件。另外,根据需要建立的模型可以用来预测各个替代方案的性能、费用和效益,以便对各种替代方案进行分析和比较。

### 5.评价基准

评价基准就是确定各种替代方案先用顺序的标准。评价基准一般根据系统的具体情况而定。例如,在评价系统的费用(C)和效益(E)时,评价基准可按以下三种情况选用:

1) 以各替代方案效益相同为基准,选择费用最小的方案为最优方案。即  $E_1 = E_2 = \dots = E_n$  时,如  $C_i \rightarrow C_{min}$ , 则方案i为最优方案。

2) 以各方案费用相同为基准,选择效益最大的方案为最优方案。即  $C_1 = C_2 = \dots = C_n$ , 如  $E_i \rightarrow E_{max}$ , 则方案i为最优方案。

3) 以效益费用比为基础,选择效益费用比最大的方案为最优方案。在一般情况下,为了取得最大效益,其费用也要相应的增加,但如果效益增加比费用增加来得快,则比率就大,如  $\frac{E_i}{C_i} \rightarrow max$ , 则方案i为最优方案。

## 三、系统分析的步骤

系统分析步骤的流程框图如图1—2所示,一般可按以下四大步骤进行:

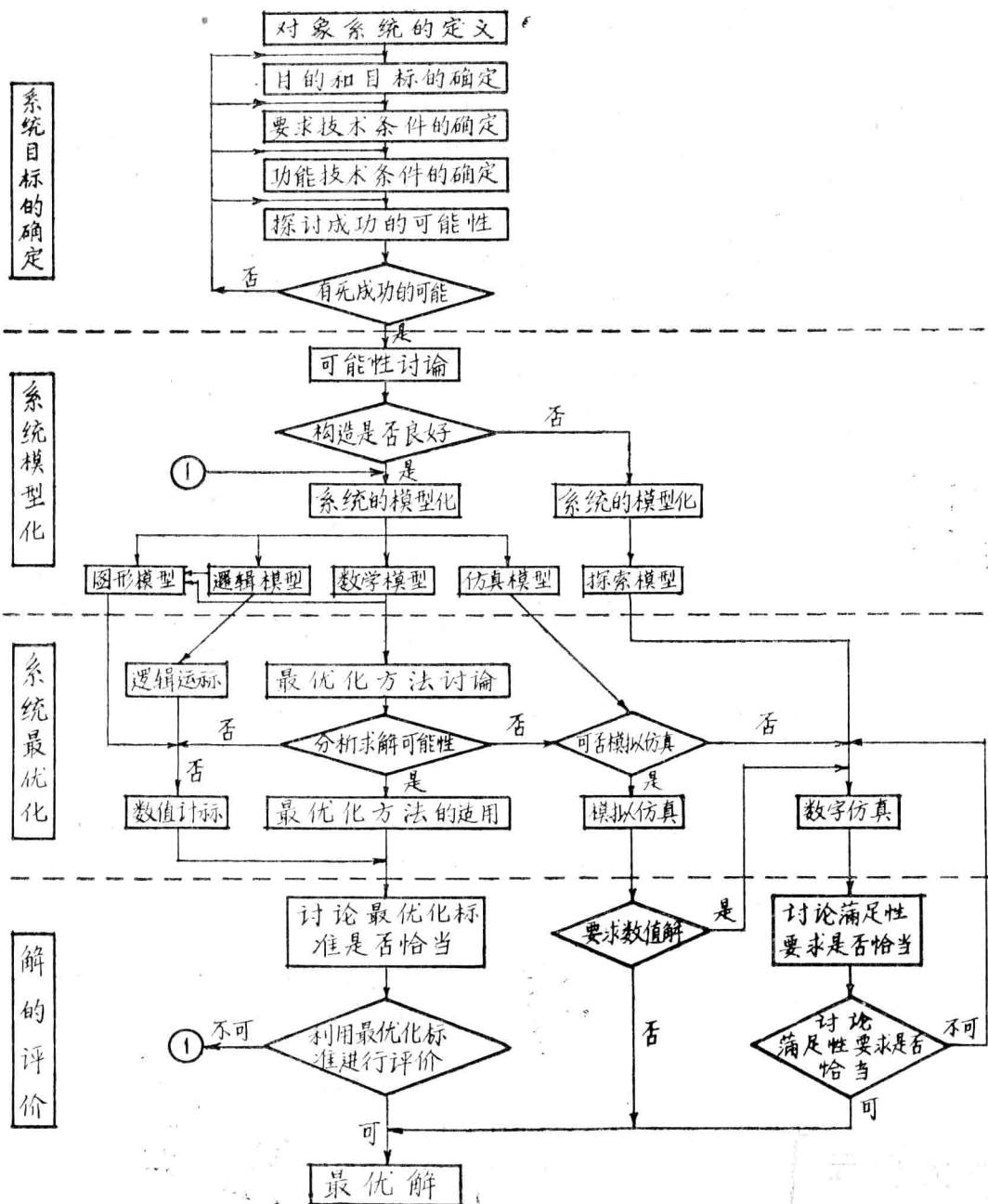


图1—2 系统分析步骤框图

### （一）系统目的分析和确定

系统目的分析和确定的主要任务，是为今后的分析工作打下良好的基础，为模型化取得必需的信息。其详细步骤和内容为：

1. 系统的定义 了解和掌握作为系统分析对象的系统，分析系统的概念和定义是否确切、完整、合理。

2. 系统目的和目标的分析和确定 首先分析和明确建立系统的目的，进而确定系统的目的。在确定系统目的时，不仅要求系统具有技术上的先进性和经济上的合理性，而且还要考虑到与其它系统的兼容性，以及随着客观环境条件变更时的适应性。一个系统，如果具有多个目的时，则可把目的分为主要目的和次要目的，并可用目的树的形式所示之。

其次，在达到目的的前提下，分析围绕系统的环境等有关的约束条件。例如环境、资金、材料、信息、技术、工期等对系统的制约，据此提出相应的要求和措施。

最后，分析为达到目的的各种目标。所谓目标，就是为了达到目的所应该完成的具体事项。目标需要具体而定量地表现出来。在确定目标时，必须进一步分析和讨论已经考虑到的各个因素，包括确定因素，可预测的不确定因素，以及不能预测的不确定因素。

3. 技术条件的分析和定义 主要分析为了达到目的与目标时，系统所必须具备的技术条件；在分析的基础上对它们进行归纳整理，并作出明确定义。

4. 系统功能的分析和定义 首先分析为满足系统技术条件所应具备的各种功能，建立系统功能结构图，定义系统的功能技术条件；其次，分析和阐明规定这种功能的约束条件等；最后，对在一定环境条件下所能达到的功能，必须用定量指标来表明其达到的程度。

5. 根据概略模型探讨成功的可能性，首先建立系统的概略模型；其次，根据概略模型反复进行仿真试验，评价功能的完成度；最后，在此基础上探讨目的和目标成功的可能性。

6. 若不能取得可以成功的技术条件时，则应采取下述措施之一；修改概略模型，并重新进行仿真试验；重新对功能技术条件进行分析；重新对目的、目标进行分析。

### （二）系统模型化

模型化就是用数学方程、图象或以物理的形式来说明系统的构成和行为，以表达系统实体的一种科学方法。一般情况下，可以将复杂的实体系统分解成若干个可以多级递阶控制的或分散控制的子系统，然后用简洁的可以进行实验和逻辑处理的模型来代替子系统，通过对这些模型的分析 and 计算，以便掌握系统各个功能以及功能间的相互关系，了解并确定系统存在价值以及之间的关系，为研究系统有关的技术经济指标提供必要的信息，为系统设计求得有效的参数和各种约束条件。因此，系统设计求得有效的参数和各种约束条件。因此，系统模型化是系统分析过程的重要一环，是系统优化的前提。

### （三）系统最优化

系统最优化是通过模型进行的，最优化的方法亦随模型的性质而定。如对一些确定型的问题（确定模型），可以采用线性规划、非线性规划、动态规划等理论和方法来进行最优化；对于一些非确定型的问题（概率模型），可用排队论、对策论等方法来进行