

区域规划系统工程

——原理与方法

王毓基 何显慈 周小乐 编著
贝兴亚 朱 明

湖南省科学技术规划办公室
湖南省系统工程学会

一九八五年八月 长沙

目 录

| | | |
|-----|---------------------|--------|
| 第一章 | 系统工程原理 | (1) |
| 第二章 | 区域发展规划的系统工程思想 | (18) |
| 第三章 | 抽样调查方法 | (30) |
| 第四章 | 区域发展规划的指标体系 | (46) |
| 第五章 | 网络技术 | (55) |
| 第六章 | 结构功能分析：投入产出模型 | (68) |
| 第七章 | 预测技术 | (95) |
| 第八章 | 优化方法 | (153) |
| 第九章 | 评价决策系统 | (189) |
| 第十章 | 状态空间法及卡尔曼滤波 | (216) |

第一章 系统工程原理

系统工程(*Systems Engineering*)是近几年社会经济领域中的一个热门题目,其适用性、科学性和普遍性已为国内外很多成功的实例所证实。在我国四化建设蓬勃发展的今天,系统工程这一科学方法越来越为人们所关注。中央领导同志多次指出,要用系统工程的方法,统筹兼顾,解决经济建设中的组织管理问题。

一个地区的经济、科技、社会发展规划,实际上是一个复杂的大系统的规划设计与实施管理问题。如果说,系统工程方法对于一个简单的工程系统能够起到立竿见影的作用的话,那么,对于一个复杂的社会经济系统,则非它莫属,任何一种传统的方法都难以奏效。

“系统”(System)一词由来已久,早在古希腊时代就已被一些哲学家们所使用,但是将它用于科学领域,并赋予特殊含义,还是不久以前的事。本世纪四十年代初,系统的观点与方法开始应用于工程设计领域。1947年生物学家贝塔朗菲(L. Bertalanffy)首创普通系统论(*General Systems Theory*),使对系统问题的研究真正走上科学发展的轨道。第二次世界大战以后,系统的观点和方法得到日益广泛的运用,相继出现了“系统方式”(System Approach)和“系统分析”(System Analysis)等概念。一般认为,系统工程作为一门新兴学科是六十年代前后才开始形成体系。1969年美国阿波罗飞船登月计划的实现,被认为是系统工程的成功范例。目前,系统工程已被广泛应用于组织管理、编制规划、防止公害、城镇建设、交通运输、生态环境、能源开发、劳动就业、人口控制等社会经济领域,甚至在生活消费、经济调节、智力开发、行政管理等方面也能发挥它的作用。

本章拟对系统工程的有关概念和基本原理作一简单介绍。

第一节 系统与系统工程

一、系统的定义

“系统”一词,由于人们的理解和使用的范围不同,在含义上往往不尽一致。但是,一般认为:系统是由相互作用和相互依赖的若干组成部分组合起来的具有某种特定功能的有机整体,而且它本身又是它所从属的一个更大系统的组成部分。

为了进一步阐明系统的结构,还可以运用数学中集合论的概念加以定义:

设系统 S 为可识别的、独立的各个组成部分(或元素)的集合,则此系统 S 可表示为

$$S = \{s_i | s_i \in R, i = 2, 3, 4, \dots\}$$

其中: S ——系统

s_i ——第 i 个组成部分(或元素)

R ——定义域

二、系统的特征

从系统的定义可以看出系统具有以下特征：

1. **集合性**：系统必须由两个以上的组成部分（或元素）组成。社会经济等复杂系统往往是由大量设备、资源、资金、信息、人与工作过程组成的集合体。

2. **关联性**：系统的各组成部分（或元素）之间一定存在相互作用、相互依赖的关系。即任何一部分（或元素）的变化都会影响其他部分（或元素）的状态。

3. **总体性**：构成系统的组成部分（或元素）虽然各自独立，分别具有各自的功能，可是由于它们具有逻辑上的统一性，才能构成一个有机的整体。系统决不是各个部分（或元素）的简单拼凑，它具有总体的特定功能和特性。往往一个系统中各部分（或元素）并不优越，但是它们作为一个总体被统一起来却可以具有优越的功能。系统的特点就是要做到使总体的功能大于其各组成部分（或元素）的功能之和。

4. **功能性**：以系统的结构为基础，把系统的行为予以展开就形成了系统的功能。系统的区别主要表现在功能的不同。凡系统均有结构，结构决定功能。人工系统是根据系统的目的来设定其功能的，而自然系统虽有功能但无目的，所以，有的系统是有目的的，有的系统是没有目的的，但它们却都具有各自的功能。

5. **层次性**：系统的层次性主要反映系统的纵向结构关系。系统一般都是由组成它的子系统构成的。这些子系统则由比它更低一个层次的子系统构成。最下一层的子系统则由该系统的基础元素构成。因此，系统可以由好几个层次构成，有的简单，有的复杂。伴随着系统结构的层次化，下一层次系统的功能对于上层系统来说，是一层一层逐次关联的。

6. **动态性**：系统的状态不是静止不变的，而是随时间变化的。每当我们从静态的角度来研究一个系统时，往往把这个系统在某一时间点的状态看成是相对不变的。

三、系统的分类

系统分类的方法很多，从不同的角度出发，可以有不同的分类。系统的分类与它们所要解决的问题密切相关。系统一般可作如下分类：

1. 自然系统与人工系统

自然系统是指由自然物组成的系统，如生物系统、植物系统、太阳系系统等。人工系统是指为达到人类所需求的某一目的，由人所建立的系统。它包括人们从加工自然物中获得的工程系统和由一定的制度、组织、程序等所组成的社会系统以及根据人对自然现象和社会现象的科学认识而建立的科学体系和技术体系等。

实际上，大多数系统多为自然系统与人工系统相结合的复合系统，如农业系统、企业管理系统等。

2. 实物系统与概念系统

实物系统亦称硬系统，其组成要素是具有实体的物质，如由设备、资源、能源和工人等

组成的生产系统。概念系统亦称软系统，它是由概念、原理、原则、方法、制度、程序等非实物所组成的系统。例如，计划、方案、规划等都是概念系统。实际上，两者是不可分开的，概念系统为实物系统提供指导和服务，而实物系统则是概念系统的服务对象。

3. 封闭系统与开放系统

封闭系统是指与外界环境无任何形式的物质、能量和信息交换的系统；开放系统则是指与外界环境有某种形式的物质或能量或信息交换的系统。一般说来，社会经济系统均为开放系统。

4. 静态系统与动态系统

静态系统是其固有状态参数不随时间改变的系統；而动态系统则相反，其状态参数是随时间改变的。

此外，系统还可分为对象系统、过程系统、控制系统、因果系统、目标系统等。

四. 系统工程的定义

到目前为止，国内外对系统工程的定义仍然是“仁者见仁，智者见智”，没有一个权威的定义。下面引述一些国内外具有代表性的定义。

1. “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，每一个系统都有一定数量的目标。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”（〔美国〕切斯纳特，1967）。

2. “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”（日本工业标准 JIS 8121 规定，1967）。

3. “系统工程是用来研究具有自动调节能力的生产机械、以及象通讯机械那样的信息传输装置、服务性机械和计算机等的方法，是研究、设计、制造和运用这些机械的基础工程学”（〔美国〕莫顿，1967）。

4. “系统工程是为了合理进行开发、设计和运用系统而采用的思想、步骤、组织和方法的总称”（〔日本〕寺野寿郎，1971）。

5. “系统工程与其他工程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科学。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，为了适应解决这些问题，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。亦即，研制系统所需的思想、技术、手法和理论等体系化的总称”（〔日本〕三浦武雄，1977）。

6. “系统工程是为了把对象创造出来或者在改善的时候，最优地并且最有成效地达到该对象的目的，根据系统的思考方法，把它作为系统而进行开发、制造、运用的思考方法、步骤以及各种方法的综合性的工程体系”（〔日本〕秋山穰、西川智登，1977）。

7. “系统工程则是组织管理系统的规划、研究、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（〔中国〕钱学森等，1978）。

8. “为了使系统性能的公认尺度达到最大而进行的关于许多系统装备（一个系统）复杂相互关系的设计，对以任何方式和系统相关连的所有因素也必须加以考虑，包括人力的利用以及该系统各组成部分特性的利用”（现代科学技术词典，1980）。

9. 系统工程是“运用先进科学方法，对系统的规划、研究、设计、制造、试验和使用等进行组织管理的技术”（辞海，1980）

10. 系统工程是“实现系统最优化的科学。主要任务是：根据总体协调的需要，把自然科学和社会科学中的某些思想、理论、策略、方法等从横的方面联系起来，应用现代数学和电子计算机等工具，对系统的构成要素、组织结构、信息交换和自动控制等功能进行分析研究，借以达到最优设计、最优控制和最优管理的目标”（经济大辞典〔工业经济卷〕，1983）。

类似的定义还很多，我们不再一一赘述。总之，系统工程是一门新兴学科，是一门综合性的组织管理技术，是以大型的复杂的系统为研究对象并有目的地对其进行规划、研究、设计、管理与改进，以期达到总体最优的效果。

为了进一步阐明系统工程的实质，我们将传统工程与它对比。所谓传统工程是指电子计算机出现和应用之前的工程技术的总称。用一个公式示意：

传统工程 = 常识 + 专业工程知识

这里讲的常识是指逻辑思维与一般的基本科学定律；专业工程知识是指某一领域内所需的特有的规律和方法。

系统工程并不排斥和抛弃传统工程中的一些行之有效的思想和方法，但它却是在传统工程的基础上发展起来的一种全新的技术。用公式示意如下：

系统工程 = 传统工程 + 系统观点 + 数学方法 + 计算机技术

由此可见，系统工程是把庞大而复杂的、并且包含许多未知因素的问题作为对象，综合地、合理地、有效地运用当代最先进的科学技术手段解决问题的一门科学。它以各种科学技术和方法为基础，从而形成一个有普遍意义的综合性很强的应用技术体系。一般说来，它具有以下特点：

1. 它研究的对象一般是既庞大又复杂的系统，并且包含许多未知的因素。
2. 它要求各部门的专家具有共同的思想方法。
3. 它要求有总体观点和大范围的价值判断准则。
4. 要求知识结构合理，博而专。
5. 需要创造力和创造活动，不能墨守陈规。
6. 为了处理特殊问题，它要求设计出特殊方法。
7. 要求对各种资源，包括资金、技术、人才、时间等实行有效管理。
8. 要求给予组织保证和建立支持系统。
9. 必须与系统本身所在学科紧密结合。
10. 它包含着深刻的社会性，涉及到体制、组织、政策、管理、教育等上层建筑因素。

从系统工程的发展历史可以看出，它以过去研制出的各部门的各种科学技术，以及过去形成的管理技术为基础，一方面使它们互相关联起来，一方面作为综合的科学技术方法体系而不断完善。图1—1表示工程和管理技术的发展与系统工程的关系：

从图1—1可以看出，系统工程是以已经体系化了的原有科学和技术为基础，使各种管理

技术融合起来，重新又体系化了的科学。从发展的渊源来看，它是按管理工程(*Industrial Engineering* 简称 *IE*)、质量分析(*Quality Analysis* 简称 *QA*)、质量管理(*Quality Control* 简称 *QC*)、运筹学(*Operations Research* 简称 *OR*)、价值工程(*Value Engineering* 简称 *VE*)的顺序加以体系化的，并于1961年前后，将这些管理技术有机结合起来，形成了系统工程这样一门综合的管理技术。

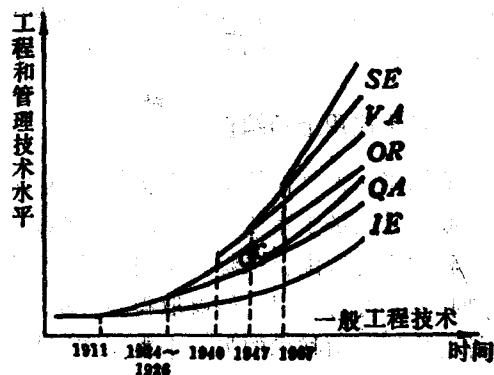


图 1—1

第二节 系统工程的内容

一、系统工程的方法论

系统工程方法论的特点可概括为以下三个方面：

1. 研究方法上的整体化

系统工程往往把对象系统看成是一个整体，同时把研究过程也看成是一个整体。人们把系统作为若干子系统有机结合成的整体来设计，对每个子系统的技术要求都首先从实现整体技术协调的观点来考虑，对研究过程中子系统与子系统之间的矛盾或子系统与系统整体之间的矛盾都要从总体协调的需要来选择解决方案。同时，把系统作为它所从属的更大系统的组成部分来研究，对它的所有技术要求，都尽可能从实现这个更大系统技术协调的观点来考虑。例如，对于一个能源和资金都十分紧缺的地区，有限的能源和资金如何分配给各个部门，就需要从全局来协调考虑。如果把大部分资金用来开发能源，在近期也许见效不快，后劲可能充足一些，但也可能出现另一个问题，即能源短缺解决了，而一些骨干部门的生产能力不足，以致影响后期的经济增长。所以，必须从整体的效益出发来考虑资金的有效利用。

基于系统整体优化的考虑，可以建立起一系列衡量系统效果的综合性指标，如价值寿命、效益—成本比、性能—价格比、造价—维护费用比和资金的时间价值等。在实践中，某些技术措施从子系统来看效果很好，但从全局来看就不一定好，另外有些组织技术措施从局部来看效果不太理想，但从整体来看却有应用的价值。例如，农副产品价格的放开，从一些局部的地区来看，可能会带来一些农副产品价格上升而影响消费者利益的弊病，但是，从整体来看，却有利于农村商品经济的发展，减少国家的财政补贴，对全局来说，不失为一项明智的措施。

总之，由于现代科学技术日新月异，社会经济系统的内外关系错综复杂、变化频繁，用直观的传统方法和单凭个人的经验来组织管理一个大规模复杂系统的规划和研究已显得力不

从心。为了保证系统的整体性效益，就需要运用现代管理技术，特别是系统工程的方法来统筹规划、综合平衡，以期取得最大的效益。

2. 技术应用上的综合化

一般说来，大规模的复杂系统往往都是技术综合体，企图依靠某种单一的技术来解决这类复杂问题是无济于事的。而系统工程强调综合运用各学科和技术领域中所获得的成就，有利于各种技术协调配合，综合运用。系统工程有一句名言：“综合即创造”。这就是说，通过各种技术的综合运用，能够取得各种单一技术无法实现的效益。

综合应用各项技术的另一个重要方面是创造新型的技术综合体。一个新型的技术综合体的出现有时并不一定是某一基础理论的突破，而是综合应用各项技术的成果。例如，一个电子计算机控制和管理的生产系统是目前较为先进的技术综合体，但这里并没有理论上的重大突破，而只是综合应用自动控制技术、计算机技术和现代管理科学的成果所获得的成就。

在社会化大生产飞速发展的今天，任何一个大规模的复杂系统都不是一个单纯的技术系统，而是涉及到许多社会的、经济的、生态环境的甚至心理的因素，构成一个个社会—经济系统或社会—技术系统，因此，促使自然科学、技术科学和社会科学紧密结合、协同作战，这是系统工程解决社会—经济系统或社会—技术系统时在综合性上所表现出来的一个重要特点。

3. 组织管理上的科学化

一个复杂的大规模工程往往有两个并行的过程：一个是工程技术过程，另一个是对工程技术的控制过程。后一个过程包括规划、组织、控制工程进度，对各种方案进行分析、比较和决策，评价选定方案的技术经济效果等，统称为组织管理。管理工作对促进社会经济的发展，提高效率和合理利用资源等有着十分重要的意义。只有科学的组织管理，才能充分发挥系统的综合功能。小生产方式的传统管理是无法适应社会化大生产的需要。组织管理工作的科学化是系统工程的一个重要方面。近年来，在管理工作中广泛应用电子计算机，建立管理信息系统(MIS)和决策支持系统(DSS)是系统工程在组织管理中应用的一个新的发展。

二、系统工程的技术内容

系统工程的技术内容颇为广泛，它要广泛研究各类系统的共性与特性，可以把它看成是各门专业组织管理技术的总称。随着系统工程研究对象的不同，派生出各个专业的系统工程，如农业系统工程、军事系统工程、能源系统工程等。但它们的主要技术内容则是共同的。这此技术内容有：
1. 运筹学。运筹学(Operations Research)是系统工程的专业基础之一。它是研究在既定条件下对系统进行全面规划、统筹兼顾、合理利用资源，以期达到最优目标的数学方法。其主要分支有：规划论、博弈论(对策论)、排队论、搜索论、决策论、库存论、可靠性理论、网络计划等。
2. 概率论与数理统计学。概率论是研究大量随机事件的基本规律的学科，而数理统计

则是用来研究取得数据、分析数据整理数据和建立某些数学模型的方法。

3. 控制论。控制论 (Cybernetics) 是本世纪四十年代新发展的一门综合性学科, 是自动控制理论、电子计算机、无线电通讯与神经生理学、数学等学科相互渗透的产物。它主要研究各种控制系统的共同控制规律, 目前已形成工程控制论、生物医学控制论、经济控制论等分支学科。虽然运筹学与控制论都研究系统的优化问题, 但一般说来, 前者主要研究系统的静态优化 (动态规划例外), 而后者主要探讨系统状态的动态优化。

4. 信息论。信息论 (Information Theory) 是研究信息的提取、传递、变换、存储和流通的科学。随着系统自动化程度的提高, 对信息传递的及时性和准确性的要求也相应提高, 特别是电子计算机的广泛运用, 使得信息的加工处理变得更为有效。

三、系统工程与各学科、技术的关系

从系统工程的技术内容可知, 它是一种横向的、跨学科的、边缘技术, 与各种社会科学、自然科学和技术科学均有联系。表1—1大致反映了系统工程的各有关部分与有关学科的对应联系。

表1—1 系统工程的方法与有关学科、技术的关系

| 有关的学科 技术 | 哲 | 心 | 伦 | 数 | 经 | 社 | 信 | 工 | 技 | 管 | 其 |
|--------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| 相互间的联系 | 学 | 理 | 理 | 学 | 学 | 会 | 息 | 程 | 术 | 理 | 它 |
| 系统工程的有关部分 | 学 | 学 | 学 | 学 | 学 | 学 | 学 | 程 | 术 | 理 | 专业 |
| 系统的概念 | ✓ | | | | | ✓ | ✓ | | | | |
| 系统工程的主题—人的问题 | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ | | | | | ✓ |
| 经营管理上的问题 | | ✓ | | ✓ | ✓ | | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ |
| 方法论方面的问题 | ✓ | ✓ | | | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | |
| 创造性方面的问题 | | ✓ | | | ✓ | | | ✓ | ✓ | | |
| 工作手段问题 | | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | |

由于系统工程所处理的问题都是大规模的复杂系统, 一般无法在真实系统上进行大量重复实验。因此, 常常运用数学 (特别是运筹学) 的方法, 建立数学模型, 结合计算机技术, 在系统理论的指引下, 在计算机上进行大量计算和仿真, 从而得到所需的解答。在这个过程中所涉及的学科以及与数学各分支学科的关系, 如表1—2所示。

四、系统工程的方法

自六十年代以来, 人们对于系统工程的方法进行了大量的探讨, 其中以美国学者霍尔 (A.D.Hall) 于1969年提出的系统工程三维结构模型影响较大。系统工程三维结构是将系统工程的活动分为前后紧密联系的七个时间上的阶段和逻辑上的七个步骤, 同时考虑在各种专业中运用所需要的知识。这样为解决规模庞大, 结构复杂、因素众多的大系统问题提供了一个统一的思想方法。霍尔的三维结构是由时间维、逻辑维和专业维组成的立体空间结构。

如图1—2所示：

表1—2 系统理论与数学各分支学科的关系

| 相互间的联系 系统工程 的有关理论 | 数学分支 | 数 理 逻 辑 | 线 性 代 数 分 矩 陈 论 | 集 合 论 | 群 论 | 拓 朴 学 | 数 学 分 析 | 解 析 函 数 论 | 方 程 论 | 概 率 论 | 数 理 统 计 | 数 值 分 析 | 模 糊 数 学 |
|-------------------------|------|------------------|--------------------------------------|-------------|--------|-------------|------------------|-----------------------|-------------|-------------|------------------|------------------|------------------|
| | 决策论 | ✓ | | | ✓ | | | | | | ✓ | ✓ | |
| 分配理论 | | | | ✓ | | | ✓ | | | | | ✓ | |
| 规划论 | | | ✓ | | | | ✓ | | | | | | |
| 排队论 | | | | | | | | | | ✓ | ✓ | ✓ | |
| 网络理论 | | | ✓ | ✓ | | ✓ | | | | | | | |
| 树论 | ✓ | | | | | | | | | ✓ | | | |
| 自动机理论 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | | | | ✓ | | | |
| 仿真理论 | | | ✓ | | | | | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| 信息论 | | | | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | |
| 控制论 | | | ✓ | ✓ | | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ |
| 最优化理论 | | | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | |

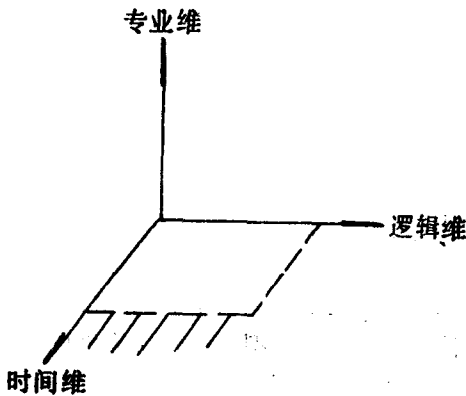


图1—2 系统工程三维结构图
置和组装，并提出系统运行计划。

6. 运行阶段：(Operation) 系统按照预定的计划试运行或正式运行，

7. 退出阶段：(Retirement) 系统完成预定计划后，可取消旧系统代之以新系统，或改进原系统，使之在新的目标之下更有效地进行工作。

三维结构中的逻辑维是对每一工作阶段，在使用系统工程方法来思考和解决问题时的思维过程，可分成以下七个步骤：

1. 定义问题：(Problem Definition) 通过系统调查尽量全面地收集有关资料和数据，划定问题的边界。

三维结构中的时间维表示系统工程活动的时间排列顺序，可分为七个阶段：

1. 制定规划 (Program planning)：制定活动的程序和战略。

2. 拟定方案：(Project planning) 提出具体的计划方案。

3. 系统开发：(System Development) 研制系统的实施方案。

4. 生产阶段：(Production) 生产系统的零部件及系统的总体，并提出组装计划。

5. 配置阶段：(Distribution) 进行系统配置和组装，并提出系统运行计划。

2. 指标设计: (*Value System Design*) 根据问题, 制定系统目标, 即评价系统功能的指标体系, 以利于衡量所有可供选择的系统方案。

3. 系统综合: (*Systems Synthesis*) 主要是按照问题的边界及系统的总目标, 形成若干可供选择的系统方案, 方案中要明确所选系统的结构和相应的参数。在系统方案综合时, 最重要的问题是尽可能自由地、广泛地提出设想, 不要以任何理由加以压制, 以便综合各方面的智慧。

4. 系统分析: (*Systems Analysis*) 对可能入选的方案, 通过比较进行精简, 并对筛选后的方案进一步说明其性能和特点及其与整个系统的关系。为了对众多的备选方案进行分析比较, 往往通过一定的模型, 把这些方案与系统的评价目标联系起来。

5. 系统优化: (*Optimization*) 根据评价目标从入选方案中选择最优的方案。但是, 对于一个多目标、多方案的系统, 要选出一个对所有指标都是最优的方案, 往往是不可能的。这时, 必须在各目标之间进行协调, 使用多目标优化的方法选出对系统总体来说是优化的、对于各子系统是满意的方案。

6. 系统决策: (*Decision Marking*) 由决策者根据总体要求和系统环境的变化情况, 选择一个或几个方案来试行。

7. 实施计划: (*Planning for Action*) 根据确定的系统方案, 进行具体实施。如果在实施过程中, 比较顺利或问题不多, 可对方案略加修正; 如果问题较多, 则要回到前面几个步骤中的有关一个, 重新做起。

霍尔的三维结构中的专业维 (*Professions*) 是指上述各阶段、各步骤在各有关专业中的应用, 八个专业的次序大体上是按照它们运用数学知识的多寡深浅来排列的, 或者也可以说是按照系统工程各专业在当前的成熟程度来排列的。后来, 人们又根据 *A.P.Sage* 的三维结构把专业维理解为知识维 (*Knowledge*), 即为完成上述各阶段, 各步骤所需要的知识和专业技术。

将七个逻辑步骤和七个工作阶段归纳在一起列成矩阵表格, 称为系统工程活动矩阵, 如表1—3所示:

表1—3 系统工程活动矩阵表

| 逻辑维 (步骤) | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-------------|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 时间维 (阶段) | | 定义问题 | 指标设计 | 系统综合 | 系统分析 | 系统优化 | 系统决策 | 实施计划 |
| 1 | 制定规划 | a_{11} | a_{12} | a_{13} | a_{14} | a_{15} | a_{16} | a_{17} |
| 2 | 拟定方案 | a_{21} | a_{22} | a_{23} | a_{24} | a_{25} | a_{26} | a_{27} |
| 3 | 系统开发 | a_{31} | a_{32} | a_{33} | a_{34} | a_{35} | a_{36} | a_{37} |
| 4 | 生产阶段 | a_{41} | a_{42} | a_{43} | a_{44} | a_{45} | a_{46} | a_{47} |
| 5 | 配置阶段 | a_{51} | a_{52} | a_{53} | a_{54} | a_{55} | a_{56} | a_{57} |
| 6 | 运行阶段 | a_{61} | a_{62} | a_{63} | a_{64} | a_{65} | a_{66} | a_{67} |
| 7 | 退出阶段 | a_{71} | a_{72} | a_{73} | a_{74} | a_{75} | a_{76} | a_{77} |

矩阵中的元素 a_{ij} 表第 i 阶段第 j 步骤的具体活动, 例如 a_{11} 表示在定成制定规划阶段中

定义问题这一步骤所进行的活动； α_{46} 表示在生产阶段进行决策的活动等。在活动矩阵中所列的各项活动是相互影响、紧密联系的，为了使系统在整体上取得最优效果，应把各阶段、各步骤的活动反复地进行，这样形成系统工程的开发、研制和运用三个主要工作阶段。

第三节 系统工程的步骤

系统工程一般可分为开发、研制和运用三个大阶段、每个阶段又可分为规划和实施两个期间，它们分别具有自己的特点、主要活动、最终成果和管理标准，如表 1.4 所示：

表1—4 系统工程各阶段概况

| 阶段 | 项目 名称 | 目的及特点 | | | 主要活动 | | | 最终成果 | | | 管理标准 | | |
|------|----------|---|--|--|---|--|--|------|--|--|------|--|--|
| | | 目的及特点 | 主要活动 | 最终成果 | 管理标准 | | | | | | | | |
| 开发阶段 | 规划期 | 探讨：研究的对象、必要性 确定：有关方针规划 明确：目标、要求 拟制：规范、计划 | 进行：有关调查研究 决定：方针、总计划 编写：要求、规范计划书 | 系统的要求规范 开发计划 | 开发规划的方针 开发规划的计划 | | | | | | | | |
| | 实施期 | 分析：约束条件、环境、 资源、费用、效果 研究：可行性 拟制：系统规格制造计 划，设计计划 | 掌握：前阶段的成果 分析：要求、功能、 环境条件等 编制：有关规格及计划 | 系统规范 制造的基本计划 实施设计的计划 | 系统的要求规范 系统的开发计划 | | | | | | | | |
| 研制阶段 | 设计期 | 拟定：制造规格制造实施 计划 | 掌握前阶段的成果 编制：制造工艺等规范 生产计划 | 工艺规程 生产计划 制造图纸、文件 | 系统规范 制造的基本计划 实施设计的计划 | | | | | | | | |
| | 实施期 | 进行：合理有效的制造方 法 拟定：运用及维护方法 审查 | 制造系统 测试系统 制定：运用、保养、规划 | 系统的本身实体 定下的系统规格和 工艺规程 运用维护说明书及其 管理制度 运行计划 | 工艺规程 生产计划 | | | | | | | | |
| 运用阶段 | 运行期 | 进行：合理有效的运行系 统 记录：运行结果并小结 探讨：系统改进问题 | 进行：运行、维修及其管 理 确认：运行的结果 编制：运行、保养报告 | 系统的运行结果、维 护、保养的结果 | 定下的系统规格和工 艺规程、使用说明书 维护说明书，使用维 修制度、系统运行计划 | | | | | | | | |
| | 改进期 | 制定：改进计划 进行：必要分析 实行：相应改革以提高系 统性能 | 了解：环境变化、新技术 发展情况 分析：运用结果提出改进 意见 进行：改进、提高系统性能 | 系统的改进更新计划 改进的结果 | 环境变化与新技术的 出现 使用、维护、保养的 结果 | | | | | | | | |

一. 系统工程处理问题的基本方法

所谓系统工程处理问题的基本方法，就是根据系统的概念、构成和性质，把对象作为系统进行充分了解和他析，将分析结果加以综合，使之最有效地实现系统的目标。图1—3即是表示分析、评价、综合关系的系统工程处理问题的基本方法。



图1—3 系统工程处理问题的基本方法

所谓系统分析，是指为研制系统搜集必要而足够的信息，对拟出的能满足系统要求的几种方案，用各种手段分析对象系统的要求、结构及功能等，弄清该系统的特性，取得系统内外的有关信息，并考虑到环境、资源、状态等约束条件，根据评价准则对分析结果进行评价，以得到若干较为满意的解。所谓系统综合，就是充分研究分析结果，根据特定解和评价结果，把系统的组成和行为方式作为系统组合起来，拟定系统的规范。此时，应尽可能多地拟定几个系统规范作为可供选择的方案。然后，对这几个方案进行综合评价，作出择优选定，如果不满意，则需重新进行综合。

二、系统工程处理问题的

工作步骤

将系统工程处理问题的基本方法具体化，就得到它的工作步骤。一般可分为三个主要阶段：系统分析、系统设计和系统综合评价。其详细步骤如下（见图1—4）：
 1. 系统分析大致可按图1-5的步骤进行。
 2. 系统设计一般又可分为外部设计、内部设计和完成应用三个阶段。在设计系统时，要同时考虑对象系统及其周围的环境（包括自然环境和社会经济环境）。我们把对象系统本身称为内

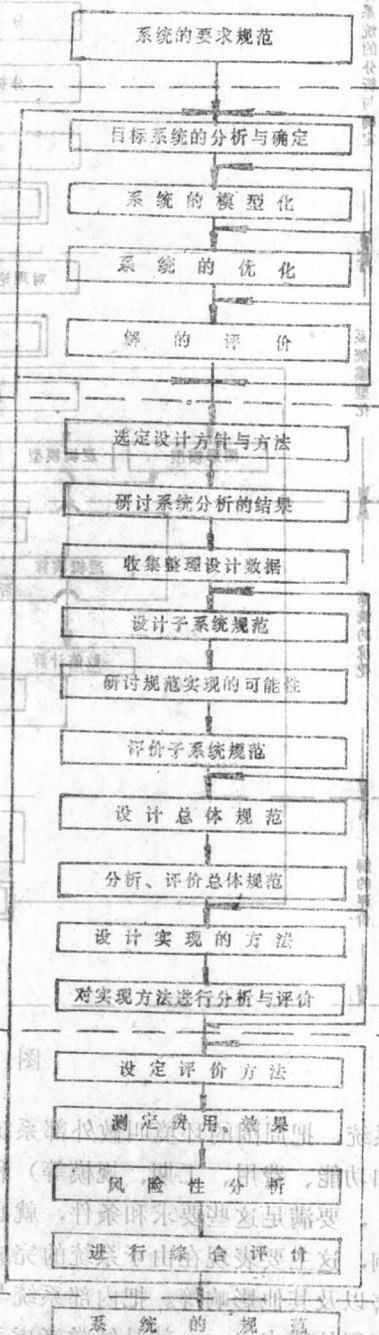


图1—4 系统工程的工作步骤

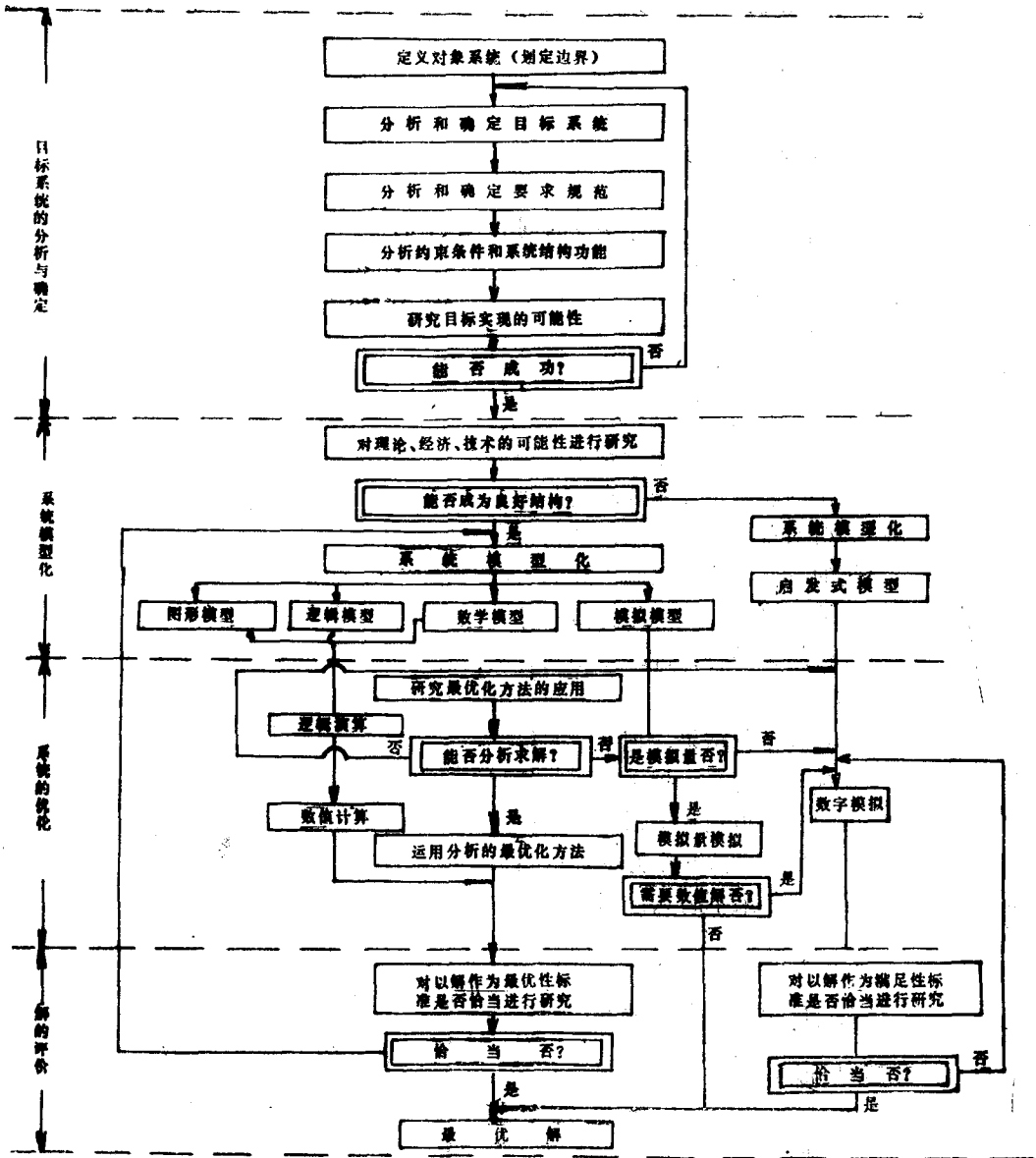


图1—5 系统分析工作程序框图

部系统，把周围的环境叫做外部系统。外部系统对内部系统的影响包括社会对系统的要求（如功能、费用、工期、规模等）和制约条件（如环境、资金、能源、交通、信息、法律等），要满足这些要求和条件，就必须设计好内部系统。另一方面内部系统对外部系统亦有影响，这主要表现在由于系统的完成而引起的社会环境的变化，包括受到系统带来的利益和危害以及其他影响等。把内部系统与外部系统合并起来考虑，即是系统综合的一种形式。系统工程的特点之一，就是经常考虑系统综合的问题。系统设计可按图1-6的顺序进行（见图1—6）。

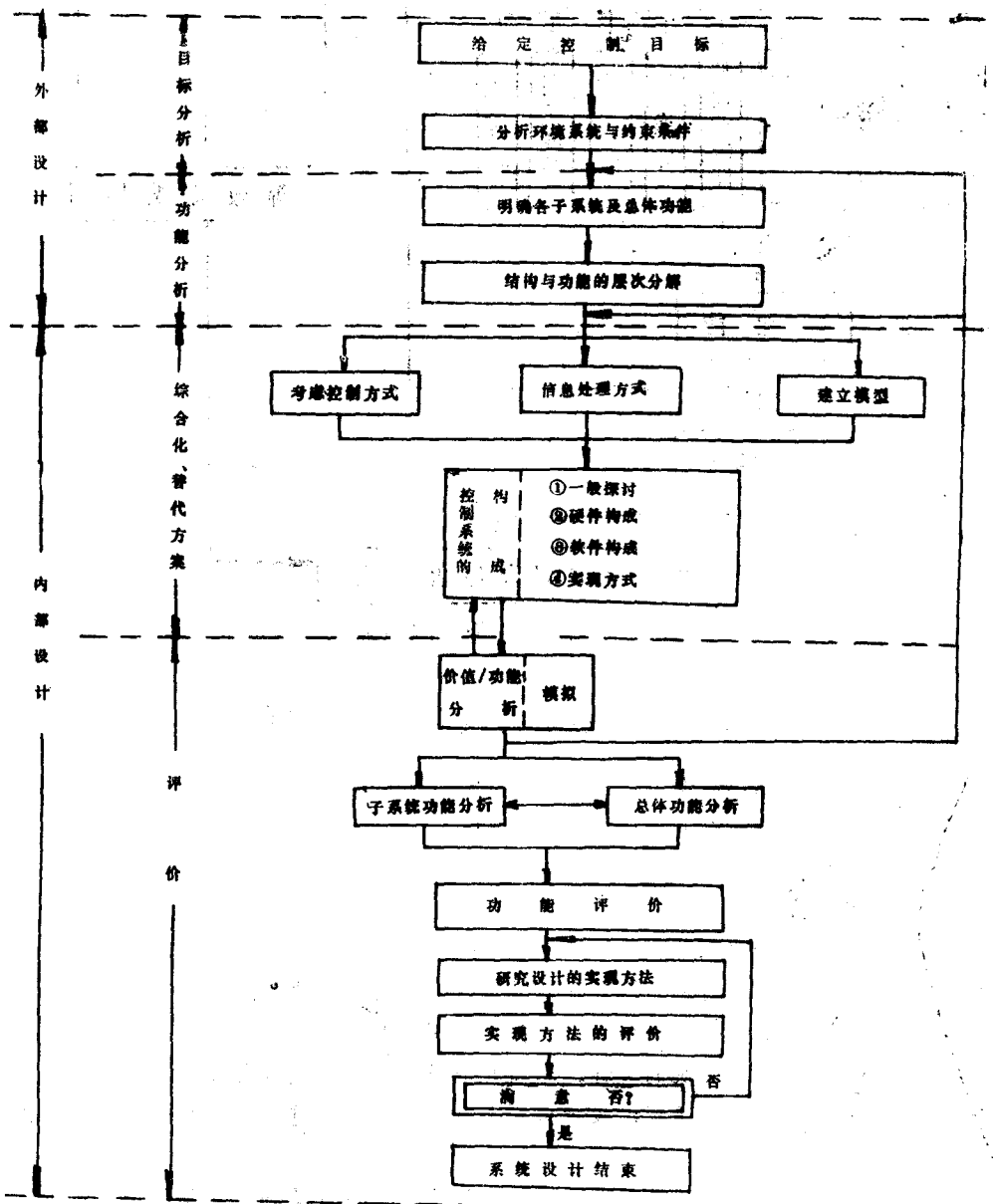


图1-6 系统设计的程序框图

3. 系统的综合评价的目的是对于设计出来的可供选择的方案，用技术、环境和经济的观点综合地评价与审查系统设计的合理性与实现系统设计的风险性，从而选择适当的可能实现的方案。

综合评价一般是按照性能、费用和时间三个因素来进行的。通常把时间也换算成费用来考虑。综合评价标准一般要考虑以下的方面（见图 1-7）；

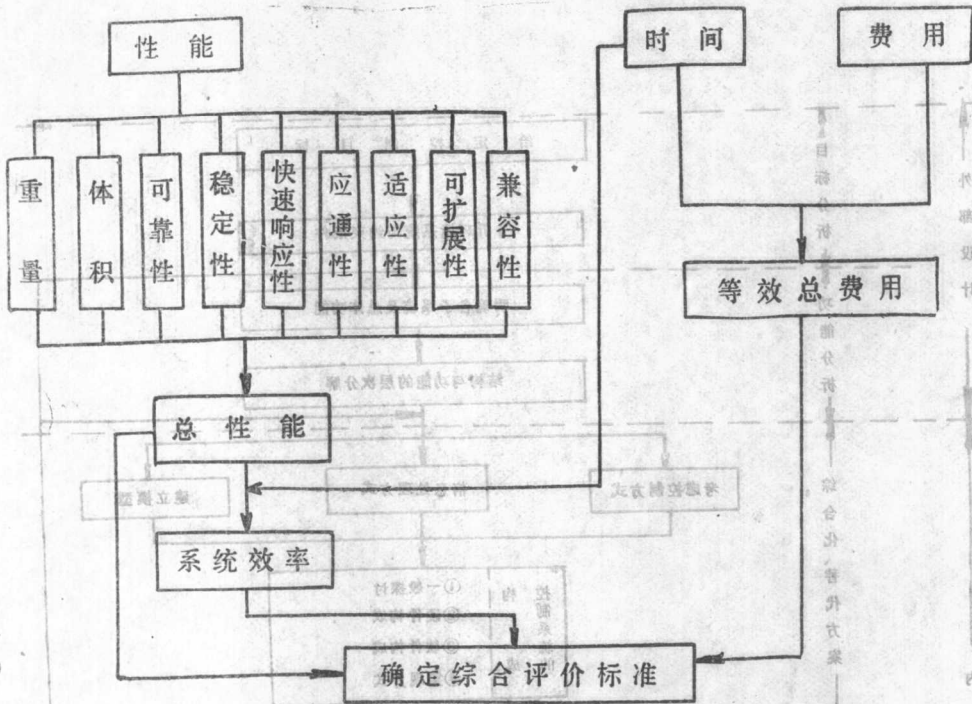


图1-7 综合评价标准的确定

三、系统工程各阶段工作步骤总结

把前面所述的一般工作步骤灵活地运用到系统工程的各个阶段工作中，要反复进行，不断反馈。现将系统工程各阶段的具体工作分述如下：

1. 开发规划期间的工作步骤

- (1) 作事前的调查研究工作。
- (2) 根据调研的结果，研究系统开发的对象及其研制的必要性。
- (3) 确定开发的方针，制定初步规划，并加以探讨和决策。
- (4) 按照初步规划分析系统的目标，拟出几个替代方案，并进行评价和选定。
- (5) 分析各子系统的要求事项，设计出几个系统要求的规范，并对它们进行评价和选定。
- (6) 把所选定的系统要求规范编制成文件和报告，报请有关部门和领导进行决策。
- (7) 制定系统开发的计划书，呈请有关领导部门批准执行。
- (8) 如未获批准，则重复上述有关步骤。

2. 开发实施期间的工作步骤

- (1) 充分理解和掌握系统要求规范，并对其进行明确的定义。
- (2) 拟定开发实施的详细计划，报请有关上级批准。
- (3) 对系统要求的规范进行详细分析。

- (4) 对系统要求的功能进行仔细的分析。
- (5) 具体分析有关的约束条件,如工作环境,资源等等。
- (6) 综合设计出若干可供选择的系统规范,并对它们进行评价。
- (7) 拟定制造系统的方法,进行探讨和评价。
- (8) 测定费用及效果,计算性能价格比等指标,并进行分析和评价。
- (9) 研究和探讨其实施的可能性,进行可行性分析。
- (10) 对系统的规范和制造方法进行综合评价和优选。
- (11) 进行开发试制和测试,并根据其结果,再次探讨系统的规范和制造方法。
- (12) 根据上述一系列的工作结果,汇编成系统规范指导书,并进行评价。
- (13) 编制基本的制造计划和实施设计的文件,并进行决策。

3. 制造设计期间的步骤:

- (1) 对系统规格进行明确定义,并严格地加以掌握。
- (2) 制订实施设计的详细计划,报请上级批准。
- (3) 进行系统的基本设计及其评价,探讨和决策。
- (4) 从经济方面和技术方面对系统规格进行详细的分析。
- (5) 进行系统的详细设计,并对其进行评价,探讨和决策。
- (6) 从技术方面详细分析制造方法,并编成工艺文件,进行评价,探讨和决定。
- (7) 进行试制和测试,根据所得结果,进行评价,再次探讨设计和制造方法,并进行修改和完善。
- (8) 汇编制造规范书及工艺规程,报请有关部门批准执行。
- (9) 编制实施制造的计划,报请上级批准。

4. 制造实施期间的步骤:

- (1) 搞清楚制造规范,工艺文件的要求,教育施工人员很好地掌握起来。
- (2) 编制实施制造的详细计划,并进行决策。
- (3) 进行系统的制造。
- (4) 对制造实施管理。
- (5) 在制造的过程中,对所制造的系统进行分析,预测和评价并以此为根据对设计规范 and 制造计划进行再探讨。
- (6) 对制造出来的系统进行运用测试和鉴定试验。
- (7) 对制造结果进行评价和决策。
- (8) 确定系统规格和工艺规程。
- (9) 编写并决定系统的使用说明书,维护保养说明书和运行维护说明书。
- (10) 培训系统的操纵人员。
- (11) 拟定系统运行计划,作出运行决策。
- (12) 编制系统的使用计划和维护计划,报请有关部门批准执行。