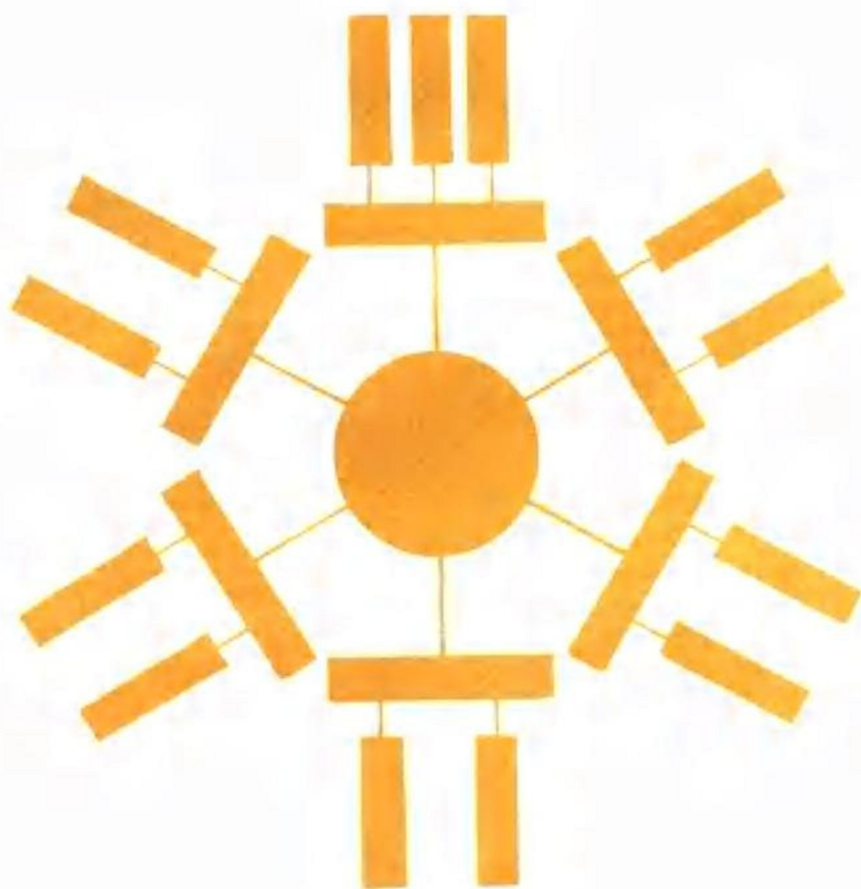


# 物资管理系统工程

刘朝晖 范荣华 万毅 编著



中国物资出版社

**图书在版编目 (CIP) 数据**

物资管理系统工程/刘朝晖等编著. —北京: 中国物资出版社, 1996, 12

ISBN 7-5047-1217-5

I. 物… II. 刘… III. 物资管理—系统工程 IV. F251

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 19355 号

中国物资出版社出版发行

(北京市西城区月坛北街 25 号 100834)

全国新华书店经销

军事经济学院印刷厂印刷

787×1092 毫米 1/16 开本 20.25 印张 487 千字

1997 年 1 月第 1 版 1997 年 1 月第一次印刷

印数 1—3 000 册

定价: 28.60 元

# 前 言

系统科学已成为现代科学技术研究和人类所有智力活动的有力武器,系统工程的思想、理论和方法在社会、经济、环境、生态及工程等领域得到广泛应用并取得了丰硕成果。目前,我国正处在深化改革、扩大开放、建立社会主义市场经济体制的历史时期,迫切需要系统工程的思想、理论和方法提高我国决策科学化、管理现代化的水平。物资管理系统工程是以社会主义市场经济条件下的物资流通领域为研究对象,运用系统工程的思想、理论和方法,探求物资流通活动的规律和经营管理的最优方案,使物资管理系统发挥其整体功能,以获得最佳的经济效益和社会效益。本书编写的目的,就是通过系统介绍系统工程的原理和方法及在物资管理活动中的应用,为培养物资管理人才,提高物资经营管理水平服务。

本书是在参阅了大量的系统工程专著和论文的基础上,结合给研究生、本科生、大专生等不同层次讲授《物资管理系统工程》、《现代物资管理技术》、《预测与决策技术》等课程的实践而编写的。

本书供物资管理专业及相关经济类专业的本科生使用,也可作为这些专业的研究生和物资流通行业的实际工作者的参考书。

全书分十一章。其中,第一章、第二章、第七章中的第一节和第二节、第九章、第十一章中的第一节由刘朝晖同志编写;第三章、第六章、第七章中的第三节、第八章、第十章、第十一章中的第二节和第三节由范荣华同志编写;第四章、第五章由万毅同志编写。全书由刘朝晖同志主编,北京物资学院王之泰教授审定。

本书在编写过程中,得到许多同志的帮助和指正,参阅了很多著作的内容,谨向有关同志表示衷心感谢。

由于编者水平所限,书中难免有不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

1996.10.3

# 目 录

<b>第一章 物资管理系统工程概述</b> .....	(1)
第一节 系统.....	(1)
第二节 系统工程.....	(4)
第三节 物资管理系统工程 .....	(15)
<b>第二章 物资管理系统分析</b> .....	(23)
第一节 概述 .....	(23)
第二节 系统分析的主要方法 .....	(26)
第三节 物资管理系统目标分析 .....	(30)
第四节 物资管理系统环境分析 .....	(33)
第五节 物资管理系统评价 .....	(36)
第六节 系统层次分析法 .....	(44)
<b>第三章 物资管理系统模型化方法</b> .....	(55)
第一节 概述 .....	(55)
第二节 系统的结构模型与解析 .....	(57)
第三节 系统的功能模型建模方法 .....	(64)
第四节 系统模拟技术 .....	(67)
第五节 系统动态学模拟技术 .....	(74)
<b>第四章 物资管理系统预测</b> .....	(85)
第一节 概述 .....	(85)
第二节 直观判断预测 .....	(91)
第三节 回归分析预测 .....	(96)
第四节 时间序列预测.....	(108)
第五节 马尔科夫预测法.....	(121)
第六节 预测方法的评价与比较.....	(129)
<b>第五章 物资管理系统决策</b> .....	(134)
第一节 概述.....	(134)
第二节 重复性风险决策.....	(137)
第三节 效用理论.....	(148)
第四节 不确定型决策.....	(158)
第五节 多目标决策.....	(165)
<b>第六章 物资资源的优化配置</b> .....	(180)
第一节 概述.....	(180)

第二节	物资资源的宏观优化配置方法	(184)
第三节	物资资源的微观优化配置方法	(196)
<b>第七章</b>	<b>物资筹措系统分析</b>	(208)
第一节	概述	(208)
第二节	物资筹措方式及其选择	(210)
第三节	物资筹措的策略分析	(213)
<b>第八章</b>	<b>物资运输管理系统</b>	(226)
第一节	概述	(226)
第二节	确定最短运输路线的方法	(230)
第三节	物资的合理调运	(234)
<b>第九章</b>	<b>物资配送系统</b>	(248)
第一节	概述	(248)
第二节	物资配送系统分析	(250)
第三节	配送中心的选址	(254)
第四节	配送线路的选择	(260)
<b>第十章</b>	<b>物资存贮控制技术</b>	(267)
第一节	物资存贮费用分析	(267)
第二节	确定型存贮模型	(268)
第三节	随机性存贮模型	(281)
第四节	订货点与安全库存量问题	(287)
第五节	存贮控制管理方法	(295)
<b>第十一章</b>	<b>物资管理信息系统</b>	(303)
第一节	概述	(303)
第二节	物资管理信息系统的建立	(306)
第三节	物资管理信息系统的辅助决策	(310)

# 第一章 物资管理系统工程概述

## 第一节 系 统

### 一、系统的概念

系统概念来源于古代人类社会的实践。“系统”一词最早出现在古希腊语中，有“共同”和“给以位置”的含义。在系统理论的产生和发展过程中，研究者们为探索“系统”的准确定义而所作的努力，对系统理论的发展起了极为重要作用。一般系统论奠基人L. V. 贝塔朗菲把“系统”定义为相互作用诸要素的综合体。《韦伯斯托大辞典》解释系统为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。日本JIS工业标准中，将系统定义为许多要素保持着有机的秩序，向同一目的行动的东西。德雷尼科认为系统是一个装置，它接收一个或多个输入，并产生一个或多个输出。目前，国内外有关系统的定义有近四十个，都是从不同的角度对系统的概念进行定义。

系统的定义虽然依学科不同、研究问题方法不同和解决的问题的对象不同而有所区别，但构成系统的基本条件是一致的，即系统必须由两个以上的元素（或子系统）构成；系统的各元素相互依存相互制约；系统作为一个整体，具有共同的目的和功能；系统不仅是一种状态，而且具有时间的程序，由此可见，“系统”的一般定义为：

系统是由相互作用、相互依存的若干有区别的要素组合构成的，具有特定目的和功能的集合体。

例如一个企业、一个行业、一个部门以至一个国家、地球，都可以看作一个系统。构成一个系统的元素我们称为该系统的子系统，一个系统又是一个更大系统的子系统。

### 二、系统的特征

根据系统的基本定义，分析系统应当具有的特征，是我们认识系统的关键。虽然各类不同系统都有自身的特点，但作为系统又同时具有共性，总体概括一般系统具有以下基本特征：

#### （一）集合性

集合性就是指系统必须由两个或两个以上的、可以互相区别的要素组成。要素可以是实体的，如人员、设备、材料、工具等，也可以是概念的，如计划、制度、程序等。系统的集合性可用数学式表达为：

$$X = \{x_i/x_i \in X, i=1, 2, \dots, n, n \geq 2\} \quad (1-1-1)$$

式中：X——集合

$x_i$ ——集合的组成元素。

例如，一个最简单的物资装卸搬运系统的集合可表达为：

装卸搬运系统  $X = \{物资 x_1, 运输设备 x_2, 装卸机械 x_3, 作业程序 x_4\}$

或者  $X = \{x_i/x_i \in X, i=1, 2, \dots, n\}$

显然，此系统的要素数  $n > 2$ ，这些要素可以互相区别，其中  $x_1, x_2, x_3$  为实体要素，而  $x_4$  为概念要素。

## (二) 相关性

系统内各要素是相互联系和相互作用的，互不关联的要素不能构成系统。系统的相关性是系统要素之间全部关系的总和，这种相关性是实现系统目的所必须的。要素之间的联系表现为结构联系、功能联系、因果联系等，可以是两个元素之间的二元联系，也可以是多个元素之间的多元关系。二元关系是讨论相互关系的基础，多元关系是在二元关系基础上发展的。

设  $x_i \in X_i \in X, x_j \in X_j \in X$ ，则其相互关系  $r$  可表示为：

$$x_i r x_j, x_j r x_i \quad (1-1-2)$$

或  $x_i = r(x_j), x_j = r(x_i)$

具有这种关系的  $x_i, x_j$  顺序对是系统相关性的认识对象，研究相关性就是要确定  $x_i$  与  $x_j$  的对应关系。这种对应关系称做映象。如果对应于  $x_i$  总有一个  $x_j$  存在，反之，有一个  $x_j$  总有一个确定的  $x_i$  存在，这时  $x_i$  是  $x_j$  的原象， $X_i$  是  $x_i$  原象集， $X_j$  是  $x_j$  映象集，这种对应关系就是  $X_i$  和  $X_j$  的顺序对关系，用  $R$  表示为：

$$R = X_i \times X_j = \{(x_i; x_j) | x_i \in X_i, x_j \in X_j, x_j = r(x_i), x_i = r(x_j), i, j = 1, 2, \dots, n, i \neq j\} \quad (1-1-3)$$

$X_i \times X_j$  是集合  $X_i$  和  $X_j$  的直积集合， $(x_i, x_j)$  表示要素的序偶。式 (1-1-3) 是作为条件表示系统的，即系统  $S$  以  $S = (X/R)$  来定义。系统是以具有  $R$  关系的集合  $X$  表述的。

## (三) 目的性

凡是有人参与的系统都具有目的性，“目的”就是系统运动所要达到的预期目标。系统的目的决定着系统的基本作用和功能，系统功能一般通过同时或顺序完成一系列任务来达到，这些任务的完成构成了系统及分系统的功能的实现，从而达到系统中间的或最终的目的。

系统的目的一般用更具体的目标表达。系统有总的目标，总目标又划分为若干分目标。目的性可通过总目标表达为：

$$G = \{g_i | g_i \in G, i = 1 \sim m\} \quad (1-1-4)$$

式中：G——系统的总目标；

$g_i$ ——系统的分目标。

系统分目标必须保证系统总目标的实现。分目标之间可能是矛盾的，应在服从总目标的前提下，寻求分目标之间的平衡或取舍。例如，运送紧急物资，要求时间最短，费用最省，为了按时完成任务，必须放弃费用省的目标。

#### (四) 层次性

系统作为一个相互作用的诸要素的总体来看，可以分解为一系列的子系统，而系统本身又是一个更大系统的要素（子系统），这就构成了系统的层次性。层次性是系统空间结构的特定形式。贝塔郎菲提出宇宙是由一个巨大的层次系统。保尔丁（K. Boulding）按照事物的复杂程度，将客观世界分成九个层次。其中非生命系统分为静态结构、时种结构、控制结构三个层次，生命系统分为细胞结构、低级有机物、动物、人类、社会组织、符号系统六个层次。密尔萨姆（T. H. Milsum）将人类细分为十一个层次。其中生理学范畴的有细胞、组织、器官、器官系统四个层次，心理学范畴的有人、家庭、乡村三个层次，社会学范畴的有市镇、城市、国家、世界人类四个层次。系统的层次性是自然界和人类社会从简单到复杂，从低级到高级的发展、进化过程中产生的，低级层次是高层次发展的基础，而高层次又带动低层次的发展，高层次常具备低层次不具备的功能。系统的层次结构有助于我们认识系统，在研究复杂系统时，必须从更大系统出发，分析系统所处的位置和与相关系统层次关系。

#### (五) 整体性

系统的整体性又称为综合性，是指构成系统的要素和要素之间相互联系只能逻辑地统一和协调于系统的整体之中，只能服从系统的总体功能、总目标和要求，任何一个要素不能脱离系统的整体去研究，要素之间的联系和作用也不能离开整体的协调去考虑。脱离了整体性，要素的机能和要素之间的作用便失去了意义。在研究系统中，不能从系统的局部得出有关整体的结论，局部的最优不等于整体的最优。

#### (六) 环境的适应性

任何一个系统都存在于一定的环境（即更大系统）之中。因此，系统与外部环境之间必然产生物质的、能量的和信息的交换，没有这种交换，系统就不能存在。系统适应外部环境变化以获取生存与发展能力的性质，就是环境的适应性。如一个生产系统要从环境中输入原材料、设备、能源、资金、信息等，经过生产加工，输出产品。因而，生产系统只有适应环境的变化，提高应变能力，才具有生命力。

### 三、系统的分类

系统是以不同的形态存在的，而且种类繁多。依据不同系统内涵、形态以及研究目的，系统一般分为下列几类：

#### (一) 自然系统与人工系统

根据系统形成的原因，将所有系统分为自然系统与人工系统两大类。自然系统是自然界自发生成的一切物质和现象，与人类活动无关。例如生物系统、海洋系统、大气系统等。人工系统是为了达到人类需要的目的，由人建立起来的系统，例如工程技术系统、管理系统、科技系统、军事系统等。

实际中，大多数系统为自然系统与人工系统相结合的复合系统，是人类认识自然、改造自然和利用自然而建立起来的系统。如矿产开发系统，环境保护系统、航运系统等。

#### (二) 实体系统与概念系统

根据系统的组成性质，系统可分为实体系统与概念系统。实体系统是由实体的物质组



成，而概念系统是由概念、原理、原则、方法、制度、程序等非物质实体组成。实体系统是概念系统的形态化，概念系统是实体系统的“灵魂”。在人工系统中，两者互相结合，使系统不断完善。

### （三）封闭系统与开放系统

根据系统与环境的交换关系，系统分为封闭系统与开放系统。开放系统与外界有物质、能量、信息的交换，而封闭系统则无这些交换。

### （四）静态系统与动态系统

根据系统的状态是否随时间变化，系统分为静态系统与动态系统。静态系统的状态不随时间的变化而改变，如房屋平面布置系统、封存的设备等。动态系统的状态是时间的函数，如生产系统、物资库存系统等。静态系统是动态系统的基础，动态系统通过状态的变化而实现静态系统的功能。

### （五）对象系统

按系统具体研究对象进行区分时，系统还要划分为各种各样的对象系统。

1. 操作系统。生产产品或对生产的信息进行处理等工作过程，一般称为操作，将“操作”作为研究对象的系统就是操作系统，操作一般是靠人来完成的，对它必须提供物资条件，还要有一定的方法和步骤才能完成操作的过程。因此，操作系统是由人、物质和工作步骤为主要要素构成的系统。

2. 管理系统。为了合理开展一个操作过程，需要有管理这个操作的职能和过程。以管理的职能与过程为研究对象的系统就是管理系统。管理系统一般是由人员、方法和程序为主要要素。现在计算机也作为管理工具列入管理系统的要素。

按具体的研究对象，还可划分为政治、经济、文化、法律、军事等各种系统。

此外，根据系统能否适应环境的变化，可分为适应系统与非适应系统；根据要素之间有无比例关系，可分为线性系统与非线性系统；根据系统状态是否存在概率现象，可分为确定系统与随机系统等。

## 第二节 系统工程

### 一、系统的概念

系统工程这个名词有两种含义。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、综合进行处理，例如长江三峡的开发、建设是一项系统工程；我国的经济体制改革是一项系统工程；城市公共交通的发展、规划、建设是一项系统工程等。这些被称为系统工程的项目、任务，我们必须把它看作一个系统，从整体出发，综合考虑各种因素之间的作用及其影响，进行综合研究处理。这与传统的某一领域的工程（如水利工程、运输工程等）有所不同，因为它具有多目标、多属性，更具有综合性。第二种含义是指一门独立的学科，是研究一些庞大、复杂工程系统的思想、原理、方法所构成的一门综合管理技术。

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,总结实践经验、借鉴和吸收了其它学科的理论和方法,逐步建立起解决系统共性问题的—门学科。由于该学科的产生与发展时间不长,理论上还在不断完善过程中,对系统工程的定义还无统一定论,下面列举部分有代表性的论述,供对比参考。

(1) 系统工程是组织管理系统的规则、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》)。

(2) 系统工程是为了更好地达到系统目标,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)。

(3) 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)。

(4) 系统工程是一门把已有学科分支中的知识有效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》)。

(5) 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》)。

(6) 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(1991年王众《系统工程引论》)。

(7) 系统工程是综合运用社会科学、自然科学和工程技术的成果去研究和解决工程发展中的系统性问题的一门社会—技术学科(1991年张兆基《系统工程》)。

(8) 系统工程是用系统科学的观点,合理结合控制论、信息论、经济管理科学、现代数学的最优化方法、电子计算机和其它有关工程技术,按照系统开发的程序和方法去研究和建造最优化系统的一门综合性的管理工程技术(1984年姚德民《系统工程实用教程》)。

尽管对系统工程的定义种类很多,但对系统工程的本质特征描述又具有共同性,主要有以下几方面:

1. 系统工程以“系统”作为研究的对象。系统工程从系统的观点出发,把研究的事物(如一项工程、一个部门、一个企业)看作一个“系统”,用最合理、最经济、最有效的综合管理方法和技术,高效率地达到“系统”的目的。

2. 系统工程是一门工程技术。系统工程与我们熟悉的土建工程、电气工程、机械工程、化学工程等一样,在科学技术体系中同属于工程技术,是直接改造客观世界并取得实际成果的技术。系统工程就是用系统的思想直接改造客观世界的技术,它所指的“工程”是广义的,把围绕建立和管理系统或系统的更新改造的各项工作的总体视为“工程”,是组织管理系统的规划、研究、设计、制造、试验和运行的科学方法。

3. 系统工程知识具有高度的综合性。为了研究各种各样的系统,人们利用现代科学技术各个领域的知识,为系统的工程服务。其中有一般工程技术所需要的数学、物理、化学等基础自然科学知识,又有系统论、控制论、信息论、管理科学等新兴学科的知识,还有

社会学、经济学、生理学等各类学科的知识。各方面的知识，通过综合运用，为系统的目的服务。系统的理论与方法，好比一条红线，把与系统有关的各类学科知识联系在一起，形成一个有机的整体。

4. 系统工程是一门程序化、信息化、最优化的组织管理技术。程序化、信息化、最优化是系统工程的重要特征。在研究一个具体项目时，要求将建立系统的过程分为几个步骤，每个步骤又按一定的程序展开，遵守严密的科学程序。系统工程要求有高速度和高质量的信息运动，要求信息的加工、生产、转换和传输科学化、依靠信息和信息技术，建立和运转整个系统。系统工程要求运用现代数学的优化方法，通过建立数学模型和求解，得到系统的最优化方案。同时程序的控制、信息的处理、方案的选择都要依靠计算机这一现代管理工具来实现。

综合以上分析，我们可将系统工程定义为：“系统工程是运用系统理论，借助控制论、信息论、经济管理科学、现代数学的最优化方法、电子计算机和其它有关工程技术，研究和建造程序化、信息化、最优化系统的一门综合性的管理工程技术。”

## 二、系统工程的原则

系统工程作为一门应用学科，在分析研究问题时，总是从系统的目标出发，纵览全局，着眼整体，把握系统的动态变化，协调系统内部与外部的关系，探求解决问题的最佳途径。系统工程特别强调处理问题的原则，其基本原则贯穿研究解决问题的始终。基本原则有：

### （一）目的性原则

系统工程是人类社会的实践活动，肯定是有目的。系统目的是指导人们分析和解决问题的基本依据，贯穿系统的分析、综合、评价、运转的始终。只有目的正确、具有科学性，符合客观实际，才能建立和运转具有预期效果的系统，才能实现人们实践活动的目标。因此，系统工程首先注重的是目的性。尽管解决问题的方法或途径多种多样，但达到的目的必须是一致的。假若目的不正确，方法再多再好，也不能达到预期的效果，有时甚至产生相反的结果。系统工程把目标的论证放在研究问题的首位，并提供了具体的方法与思路，这是该学科在方法论上的突破之处。

### （二）整体性原则

系统工程要求从系统的整体性作为基本出发点，去认识、研究和处理其整体的性质、规律和各部分之间的关系。从整体性出发，首先是研究、设计和解决任何系统问题，从目标的选择到确定评价标准和系统决策，都必须从整体着眼，即从整体目标出发认识局部的作用，并规定其相互之间的联系。其次，在研究方法上，要把整体作为起点，从整体到局部再到整体，对局部的研究必须放在整体中，研究与整体各部分的联系，考虑相互之间的制约因素，分析其对整体的影响。例如苏制米格—25 战斗机，其主要零件并不比美国的先进，但综合后，该机的速度、隐蔽等整体性能都超过美国同类飞机，这就是注重整体性的例证。

### （三）综合性原则

工程学的综合性原则首先是指系统目标多元性，组成目标集，各目标之间相互联系，带有综合的特点，例如生产企业的产品、产量、质量、成本、环境污染等多种目标相互联系与制约，要同时综合其经济效益、社会效益和生态效益，不能强调某一方而忽视其它。其

次是要综合考虑一项措施或一个方案可能引起多方面的后果。例如增加物资库存数量，可以提高物资供应水平，但增加了资金的占用、库房的占用和增加保管费用、加大损耗等多方面的问题，只有通盘考虑各方面的利弊，才能合理决策。再次是为了解决一个问题，可以有多种方案，而各种方案如果能加以综合，取长补短，得到更满意的结果。系统工程综合性原则，把目标的综合、方法的综合、后果的综合集中一体，这样不会顾此失彼、因小失大，而且可以得到理想的结果。

#### （四）动态性原则

动态是指系统的状态与时间的相关性。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，而不是系统的某一状态，由于系统输入的物质、能量、信息的不断变化，使系统内各部分之间的联系也随时间而变化，系统的状态也随之改变。系统工程就是要探索其发展变化的方向、趋势、活动的速度与方式，寻求变化的动力与原因，从而掌握其变化的规律，实现其目标。同时，系统工程的研究必须着眼于工程系统的全生命期，即系统的开发阶段、实施阶段、运行阶段和退出阶段的整个过程，在工程开发阶段制定方案、策略和规划时，就必须同时考虑到工程的设计、制造、运用和维修，以及工程使用寿命结束后的处理。忽视其中的某一过程，都会使工程出现停顿和混乱，其价值得不到充分发挥。

#### （五）协调与优化原则

实践中的系统是复杂多变的，其组成部分多，相互联系与制约因素多，关系复杂。系统工程必须科学地处理各部分之间的关系，使系统在相互配合、相互协调的状态下运行。系统工程的优化原则是指在一定条件下，建立或改造、运转系统时，争取达到最优的效果，如系统的性能、进度、成本、可靠性、寿命、环境的适应性等各方面，通过方案的对比分析、优化出最佳的方案、取得最优或满意的结果。

另外，系统工程还必须考虑环境的适应性、层次性、有序性等原则。

### 三、系统工程的方法

系统工程作为一门新兴的技术科学，它的一个突出特点是提出了一整套处理人工系统的方法。由于研究的对象和解决问题的角度不同，可以提出许多不同的方法。目前人们一般公认霍尔(A. D. Hall)在1969年用三维结构刻画的系统工程方法是比较通用的系统工程方法，如图1—1所示。图中概括地表示出系统工程的阶段和步骤以及涉及到的知识范围。

#### （一）时间维

时间维表示系统工程的工作从规划到更新按时间排列的顺序，共分七个阶段。

1. 规划阶段：确定工程的总体规划或方针。
2. 项目计划：提出项目的具体计划方案。
3. 系统开发：执行系统的研制方案并订出生产计划。
4. 生产：生产出系统所需的全部零件及整个系统，并提出安装计划。
5. 安装：将系统安装完毕并完成系统运行计划。
6. 运行：系统按既定用途运行。
7. 更新：取消旧系统，代之以新系统，或改进原系统使之更有效地工作。

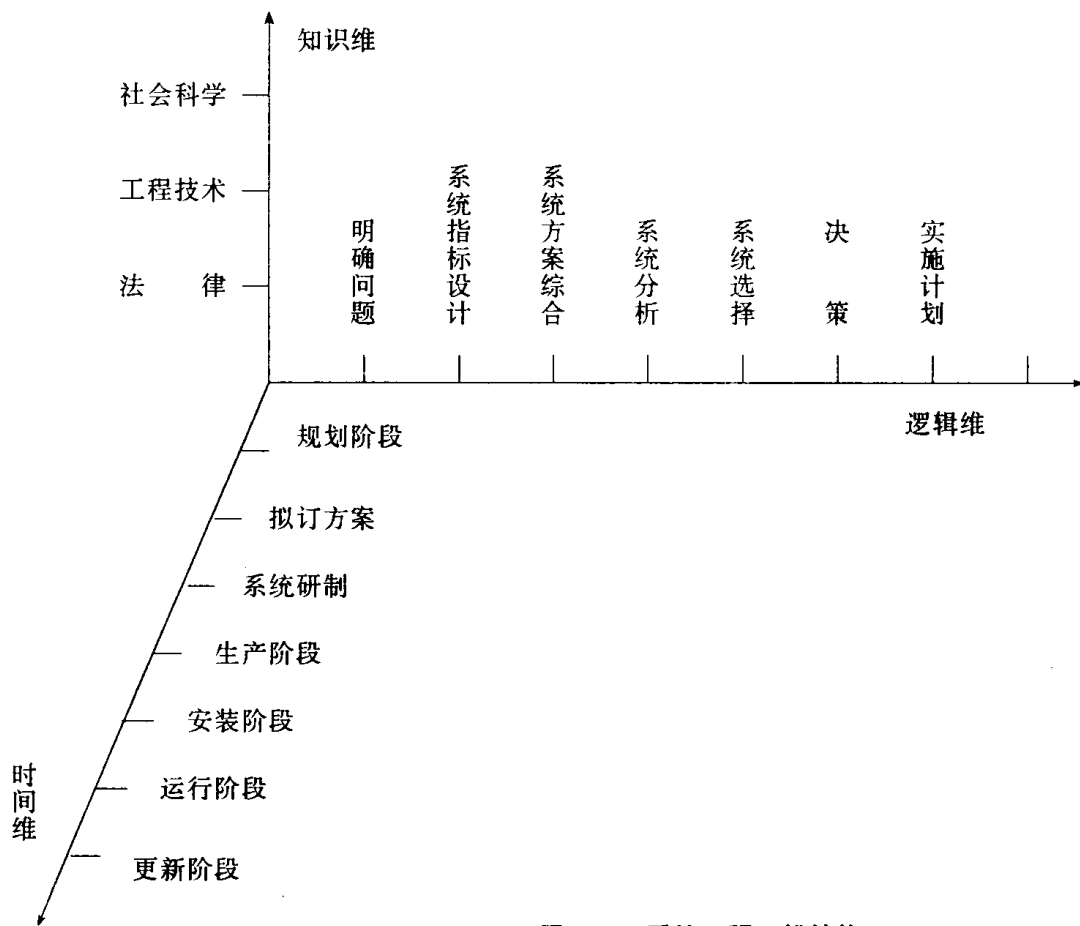


图1-1 系统工程三维结构

## （二）逻辑维

逻辑维是系统工程中每个阶段所要完成的七个步骤，是分析和解决问题的一个思维过程。

1. 明确问题。明确什么工作，要达到什么目的。尽量全面地收集和提供所要解决问题的数据和资料（历史的、现代的和发展的）。

2. 系统指标设计。在弄清问题后，应选择具体评价系统功能的指标（目标），以利评价所有供选择的系统方案。

3. 系统方案综合。主要是按问题的性质和总的功能要求，形成一组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。

4. 系统分析。对可能入选的方案，通过比较进行精简，并对精简后的方案进一步说明其性质、特点和与整个系统的相互关系。为了对各种方案进行比较，往往通过形成一定模型，把这些方案与系统的评价目标联系起来。

5. 系统选择（最优化）。在一定限制条件下，对各入选方案总希望选出最优者。在方案较少，目标单一的情况下，选择较好的方案是比较容易做到的。而在方案较多，评价目标多个，且目标之间相互又有矛盾时，只能通过目标的协调，选择出较好的方案。

6. 决策。由决策机构根据更全面的要求，最后确定一个或少数几个方案来试行。

7. 实施计划。根据最后选定方案，将系统具体实施。如果实施过程中进展顺利或遇到的困难不大，可略加修改和完善即可，整个过程告一段落。如果实施中存在问题较多，这

就要分析问题，决定从前几个步骤中的一个步骤重新做起。

### (三) 知识维

知识维指的是为了完成上述各阶段和步骤所需要的知识与各种专业技术。霍尔把这些知识分为工程、医药、建筑、商业、法律、管理、社会科学等，说明各种专业知识在系统工程中的重要作用。

将七个逻辑维和七个工作阶段归纳为一个表格，称为系统工程的活动矩阵，如表 1—1 所示。

表 1—1 系统工程活动矩阵

逻辑维 (步骤)		1	2	3	4	5	6	7
		时间维 (阶段)	明确问题	系 统 指标设计	系 统 方案综合	系统分析	系统选择	决 策
1	规划阶段	$a_{11}$						
2	拟订方案			$a_{23}$				
3	系统研制					$a_{35}$		
4	生产阶段						$a_{46}$	
5	安装阶段				$a_{54}$			
6	运行阶段		$a_{62}$					
7	更新阶段							$a_{77}$

表中  $a_{ij}$  表示系统工程的一组具体活动。例如  $a_{11}$  表示在完成规划阶段中明确问题这一步骤所进行的活动， $a_{46}$  表示在生产阶段进行的决策活动。在活动矩阵中所列各项活动是相互影响、紧密联系的。要从整体上达到最优效果，必须反复进行各阶段与各步骤的活动。

## 四、系统工程的理论基础

系统工程作为一门工程技术，是建立在一定的基础科学和技术科学基础之上的，是随着相应的基础科学和技术科学的发展而不断发展的。

### (一) 系统的基础理论

一般系统论、耗散结构理论和协同论构成系统的基础理论。

一般系统论是美籍奥地利生物学家贝塔朗菲 1974 年正式提出的。他认为，不论系统的特殊性如何，总存在适用于系统的一般原则、规律和模式。一般系统论的任务就是找到不同系统的、不同科学之间的共同术语，确立适用系统的一般原则。1968 年，贝塔朗菲提出了一般系统的整体性、相关性、动态性、有序性等基础观点，这是认识系统和研究系统的基本原则。

耗散结构理论是比利时化学家普利高津 1969 年提出来的。耗散结构是指在非平衡状态下，通过系统开放而与外界进行物质和能量交换，形成并维持充满活力的、新的有序结构。该理论认为，一个远离平衡状态的开放系统，由于不断与外界进行物质和能量交换而克服混乱，当外界条件的变化达到一定的阈值时，系统就会由于量变而通过涨落而发生突变，由

原来的无序状态转变为一种在空间、时间或功能上有序的耗散结构。该理论说明，一个系统能产生突变或新的有序结构能产生，其主要原因和作用机制是：（1）系统是一个远离平衡状态的开放系统；（2）系统内部各元素之间存在着非线性的相互作用；（3）系统外部条件的变化达到了一定的阈值；（4）系统内部与外部不断地交换物质、能量和信息，可以在一定条件下产生自组织现象，形成新的稳定的有序结构；（5）系统在远离平衡状态的非线性区，系统处于一种动态平衡中，这时系统一个微观随机的小扰动就会通过相干作用而放大，成为一个整体的、宏观的巨涨落，使系统进入不稳定状态，然后又跃迁到一个新的稳定的有序状态。

耗散结构理论回答了开放系统如何从无序走向有序的问题，这是一般系统论没有解决的问题。耗散结构理论将系统论推进了一大步，使一般系统的有序结构稳定性有了严密的理论根据，是系统工程重要理论基础之一。

协同论是西德理论物理学家哈肯 1976 年提出来的。其基本思想是说明由大量子系统组成的平衡或非平衡态的开放系统，在一定的阈值条件下，由于系统内部各子系统间相互作用的协调和合作，系统便会形成一定功能的自组织结构，在宏观上产生的时间结构与空间结构即时空结构，也就是产生了新的有序结构。协同论正确回答了系统所以能够从无序到有序的原因和机制，认为这是系统的固有属性决定的。即是系统内各子系统的协同，“协同导致有序”。协同论较耗散结构理论更为严密，更有普遍性，它从微观世界到宏观世界的过渡上解释了复杂系统从无序到有序的问题，协同论正成为一门应用范围更广的学科，为人们科学的认识自然和社会提供了又一崭新的理论和方法。

## （二）系统的技术科学

系统的技术科学是系统理论走向实践的中介环节，系统理论通过技术科学才能应用到系统工程的实践中去，它具有应用理论学科的性质。

系统方法、运筹学和计算科学技术构成系统的技术科学，是所有系统工程的应用理论基础。

系统方法是合理地研究和处理有关客体的整体联系的一般学科方法论。它是在唯物辩证法的指导下，运用系统理论，为研究和设计各种系统客体提出基本原则，是作为具体方法的入门和向导，引导人们有效地解决各种实际课题。

运筹学是系统分析所应用的专门数学理论和数学方法，它主要是研究一定条件下，系统的统筹规划、合理安排、以求最优效果的数学方法，运筹学的主要内容有线性规划、非线性规划、排队论、库存论、决策论、搜索论等。

现代计算科学技术是实施系统分析必要的前提条件，使系统工程的定量分析由可能变成现实。电子计算机是系统工程的重要工具，要使它发挥其效用，必须掌握各种数值计算方法、模拟方法，以使各种数学运算得以解决，使系统的模拟得以实现。

此外，系统工程的技术理论基础还包括控制论、信息论和大系统理论，还有统计数学、概率论等数学基础。

## 五、系统工程的产生与发展

系统工程产生于人类社会劳动之中，是人类生产劳动的经验总结。系统工程的基本思

想在人类社会中渊源最早，众所周知的我国战国时期的“马陵道”之战，就是把一场战争当成一个系统来研究，从中找出一个最佳的取胜方案。公元前 250 年李冰父子带领四川劳动人民修筑的都江堰工程，以及北宋八年晋国公丁谓修复开封皇宫的巨大工程，即使用今天的眼光来看，也是系统工程技术的极好应用。但是，由于科学技术水平的限制，朴素的系统工程思想虽然古代就有，但难于发展成为一专门的领域，只是在近几十年来随着科学技术和社会生产的高速发展才有可能逐步形成。

系统工程萌芽于 1930 年，当时美国的兰德公司在发展电视广播过程中，初步形成“系统观点”及“系统化处理”的概念。贝尔电话公司实验室在 40 年代初期，首先采用“系统工程”这一名词。50 年代前后兰德公司采用系统分析的方法，对军事作战行动进行了系统的研究，为工程学的广泛应用奠定了基础。1957 年美国的哥德 (H. H. Goode) 与麦克霍尔 (R. E. Machol) 两人写出了第一本以“系统工程”命名的书。1958 年 1 月美国海军在顾问公司协助下，完成了“PERT”技术（也称计划评审技术），并用于北极星导弹核潜艇的研制上，使研制计划提前两年完成。在这一时期，美国把全部军事技术发展工作建立在系统工程这一新的基础上，在国防部设置了系统分析部，提出了“规划、计划、预算编制法”，用于统一美国的人员培养、军事技术的政策、武器系统发展规划、科研工作的组织管理、生产制造以及部队的训练改编等。

60 年代，系统工程在科技、军事、经济、教育领域中都得到了发展。

70 年代阿波罗登月飞行计划的成功，是工程学的辉煌成就。这个计划从 1961 年起到 1972 年止历时 11 年，参加研制的有 2 万多家公司和工厂、120 多所大学和研究机构共计 42 万多人，使用电子计算机 600 多台，耗资 300 多亿美元，由于采用了工程学的方法对研制过程进行组织管理，使整个计划按时完成。

系统工程在科学技术发展中显示出的巨大作用，引起了世界各国的高度重视。1972 年由美、苏、英、法、东德、西德、日本等国的科学院或其相应组织的倡导，在奥地利的维也纳成立了国际系统工程分析研究所，确定了世界性的六个方面的课题，包括世界人口、资源、能源、粮食、环境保护及国土开发等，从而使工程学的研究和应用又步入了一个新的时期。

我国系统工程发展，应当从 1956 年国家制定十二年科学发展远景规划开始。一批当时正当壮年的老一辈科学家，如钱学森、钱三强、李国平、胡世华、关肇直、许国志等开始倡导一些认为在未来经济发展与国防建设中有重大意义的新学科，诸如运筹学、控制论、计算机科学等，研究导弹、原子弹、计算机技术等新技术问题。这一进程发展到 60 年代初就自然地导致了我国的有系统有组织的系统工程理论方法应用的出现，首先是一些导弹研制部门成立了总体设计部。他们负责导弹的预研、研制、生产、试验和运用的组织管理工作，开始使用当时国际上应用的诸如计划协调技术（也称网络技术）、可靠性工程等系统工程方法。这一范围内的民用部门的应用工作在这个时期也已开始。钱学森同志的《工程控制论》中译本的发行以及最早的几本介绍运筹学书籍的问世，就是这一背景下的产物。

70 年代中期，我国社会形势的变化对系统工程学科的需要再度显得愈来愈迫切。一批来自科研、教育部门从事控制论、运筹学、自动控制、管理科学、经济学研究的专家和军事部门的学者不失时机地利用各种场合，就系统工程学科在我国发展的前途与作用进行了



宣传,其中以钱学森、许国志、王寿云等同志,在《文汇报》1973年9月发表的文章《组织管理的技术——系统工程》的影响最大,也在这一年,由关肇直、李国平先生分别主编的《现代控制论丛书》与《系统科学丛书》也开始陆续出版。1978年起西安交通大学、天津大学、清华大学、华中理工大学、大连理工大学等校开始招收了第一批系统工程专业硕士研究生,以后一批大专院校培养系统工程学科的专门科系与专业也相继正式招生。在此前后,教育部、航空学会、自动化学会、管理现代化研究会也召开了一系列专门的会议,为系统工程的宣传、推广和队伍的组织等方面做了大量的准备工作。

所有这些都标志着在我国系统工程的事业已经步入了一个新的开创阶段,在1979年10月国防科委等单位在京召开的系统工程学术会议上,钱学森、关肇直、李国平等21位学者联合倡议筹建中国系统工程学会,并于1980年11月在北京召开了成立大会,正式宣布了中国系统工程学会的诞生。随后,各种系统工程专业学术团体相继成立,他们共同为我国系统工程的理论研究与应用实践作出了出色的贡献。

## 六、系统工程的应用

系统工程不仅是一门综合性的技术科学,也是一种科学的管理技术,目前已经广泛地应用于军事工程、民用工程设计、工农业生产规划、经营管理、交通运输、城市规划以及环境保护各个方面,并取得了显著效果。国外许多现代化大工程、大企业的成就往往是系统工程的杰作。系统工程在国际上已成为一门非常热门的应用技术学科。系统工程的应用领域见表1—2。

在我国,随着国民经济发展的需要,系统工程队伍的扩大,系统工程的应用更加深入,涉及的领域更加广泛,下面简要介绍近十年来我国系统工程应用的实例和取得的成就。

1. 人口。在宋健教授领导下有关“人口定量研究及其应用”,早在1978年左右,就已经团结一批学者进行这方面工作,该项目在1987年曾获国家科技进步一等奖。

他们曾考虑了人口系统的动态特性和稳定性,人口的理想结构,人口的预报和发展过程的最优控制等,为了更好控制人口的增长,提出了控制妇女的生育率,这些研究为政府制定人口政策,人口规划提供了定量的科学依据。1986年于景元获东西方人口中心杰出贡献奖,1987年宋健获数学建模爱因斯坦奖。

2. 2000年的中国。这一课题由国务院技术经济研究中心牵头,从1983年起组织了上百个单位,400位专家,使用了各种系统工程方法,搜集了数以万计的数据,提出了7套模型体系,完成了总报告、12个分报告和20多个专题研究报告,这些报告研究了中国在2000年时基本图象,在发展过程中可能遇到的困难,最后提出了一系列重要的战略思想和相应的政策性建议,为国务院及各部门、各地区的重大决策提供了科学依据,“2000年的中国”已作为我国制定“七五”计划的主要参考文件之一,研究的许多结论和政策建议被《中共中央关于第七个五年计划的建议》所采纳。该工作在1985年5月完成,在1988年获国家科技进步一等奖。值得指出的是这项庞大的研究工作的组织工作本身也是充分运用了系统工程方法,注意了定性分析与定量分析的结合。