

冯允成 杜端甫 邱菀华 编
魏法杰 石永恒

系统工程基础

北京航空航天大学出版社

系统工程基础

冯允成 杜端甫 邱苑华 编
魏法杰 石永恒

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书主要介绍系统工程的基本原理、数学规划、图论与网络分析、决策理论、马尔可夫链和排队论等内容。全书结构严谨,各部分具有相对独立性。并在各章均备有相应内容的习题。

该书可作为工业工程、系统工程、管理工程和管理信息系统等专业本科生的专业基础课程教材,也可用作广大科技工作者和管理人员的自学用书。

系 统 工 程 基 础

XITONG GONGCHENG JICHU

冯允成 杜端甫 邱菀华 编

魏法杰 石永恒

责任编辑 郭维烈

北京航空航天大学出版社出版

新华书店总店科技发行所发行 各地新华书店经销

朝阳科普印刷厂印装

787×1092 1/16 印张:22 字数:560千字

1995年9月第一版 1995年9月第一次印刷 印数:2000册

ISBN 7-81012-553-2/O·031 定价:16.80元

前 言

系统工程是当前工程技术和工程管理中得到广泛应用的学科,其理论基础是运筹学。近十多年来,系统工程在理论和实践中得到迅速发展,新的理论和算法不断出现。本书旨在介绍系统工程学科中的基本理论和最新发展趋势以及应用前景,以便适应读者的需要。

本书主要包括:系统工程原理;信息论与控制论简介;线性规划理论与应用;非线性规划理论与应用;图论与网络流理论;活动网络分析;决策分析与随机决策理论;马尔可夫链和排队论等。

《系统工程基础》可供工业工程、系统工程、管理工程和管理信息系统等专业本科生用作专业基础课教材。也可用作工程类本科生和研究生的参考教材。教学内容可根据专业需要及学生基础有所取舍。

本书在 1990 年我们编写的《系统工程基础》教材(国防工业出版社出版)的基础上改写而成。根据精简和实用的原则,对教材内容进行了增删,从原书的十九章压缩为十五章,使之更适合教学和应用的需要。

参加本书编写工作的有:石永恒(第一、二、十二、十三章)、邱菀华(第三、四、五章),魏法杰(第六、七、八章)、杜端甫(第九、十、十一章)和冯允成(第十四、十五章)。全书由冯允成统稿。

本书承李金林同志审阅,并提出许多宝贵意见,在此谨致谢意。

限于我们的水平,书中难免有错误和缺点,恳请读者批评指正。

编 者

于北京航空航天大学管理学院

一九九四年六月

目 录

第一章 系统工程的基本原理

§ 1.1 系统的基本概念	(1)
§ 1.2 系统工程的含义	(3)
§ 1.3 系统工程的形成与发展	(4)
§ 1.4 系统工程的方法与步骤	(5)
§ 1.5 系统设计	(7)
§ 1.6 系统分析与系统评价	(10)
§ 1.7 系统工程的理论基础	(12)

第二章 信息论与控制论简介

§ 2.1 信息与信息论的概念	(14)
§ 2.2 通讯系统模型	(17)
§ 2.3 信息量和编码	(18)
§ 2.4 控制系统和控制论	(21)
§ 2.5 经典控制理论	(23)
§ 2.6 线性系统的状态空间方法	(28)

第三章 线性规划

§ 3.1 线性规划的基本概念	(34)
§ 3.2 线性规划的基本定理	(38)
§ 3.3 单纯形法	(48)
习 题	(59)

第四章 对偶线性规划与灵敏度分析

§ 4.1 对偶线性规划	(65)
§ 4.2 对偶单纯形法	(72)
§ 4.3 线性规划的灵敏度分析	(77)
习 题	(85)

第五章 线性规划的应用

§ 5.1 实用线性规划模型	(90)
§ 5.2 整数线性规划	(100)
习 题	(108)

第六章 无约束非线性规划问题

§ 6.1 非线性规划的基础知识	(110)
§ 6.2 一维搜索算法	(116)

§ 6.3	求解无约束极值问题的解析法	(122)
§ 6.4	求解无约束极值问题的直接法	(129)
习 题		(133)
第七章 约束非线性规划问题		
§ 7.1	约束极值问题的最优性必要条件	(136)
§ 7.2	近似规划法(MAP)	(140)
§ 7.3	可行方向法	(142)
§ 7.4	外点法与内点法	(147)
习 题		(154)
第八章 数学规划扩展概述		
§ 8.1	动态规划问题	(156)
§ 8.2	多目标规划问题	(161)
§ 8.3	目标规划问题	(166)
习 题		(171)
第九章 图、网络基本概念		
§ 9.1	图、网络基本概念	(173)
§ 9.2	图的基本运算和矩阵	(181)
§ 9.3	图的同构与连通	(188)
§ 9.4	树	(190)
§ 9.5	欧拉圈与哈密尔顿圈	(197)
习 题		(201)
第十章 最短路与网络流		
§ 10.1	最短路问题及其解法	(203)
§ 10.2	网络流问题基本定理	(212)
§ 10.3	求解最大流问题的标号法	(217)
§ 10.4	最小费用流	(221)
习 题		(226)
第十一章 活动网络		
§ 11.1	基本概念	(229)
§ 11.2	活动网络时间参数计算	(234)
§ 11.3	活动网络的时间费用优化	(243)
§ 11.4	活动网络的资源平衡问题	(247)
习 题		(259)
第十二章 决策论概述		
§ 12.1	决策的含义	(261)
§ 12.2	决策分类	(262)
§ 12.3	决策论的形成	(263)
§ 12.4	不确定性决策准则	(265)
习 题		(269)

第十三章	随机决策分析	
§ 13.1	随机决策问题	(270)
§ 13.2	主观概率和贝叶斯公式	(271)
§ 13.3	效用理论	(273)
§ 13.4	随机决策分析的方法与步骤	(279)
习 题		(282)
第十四章	马尔可夫过程	
§ 14.1	转移概率与转移矩阵	(284)
§ 14.2	稳态概率	(289)
§ 14.3	首次到达概率	(291)
§ 14.4	状态分类	(293)
§ 14.5	连续时间、离散状态的随机过程	(300)
习 题		(304)
第十五章	排队论及其应用	
§ 15.1	排队系统的基本组成部分	(306)
§ 15.2	生灭过程	(308)
§ 15.3	单通道排队系统	(313)
§ 15.4	多通道排队系统	(324)
§ 15.5	非马尔可夫过程排队系统	(333)
§ 15.6	排队系统的优化	(337)
习 题		(339)
参考文献		(341)

第一章 系统工程的基本原理

这一章为学习系统工程的理论基础做准备。首先介绍了系统的概念、特征和类型,然后论述了系统工程的含义、观点、方法步骤、理论基础以及系统工程的发展过程。

§ 1.1 系统的基本概念

一、系统的定义

系统这个词由来已久,早在古希腊时就已使用这个词,拉丁语中有系统(systema)这一词。近年来,系统这类词(例如系统方法、系统工程、系统分析、子系统等)经常在社会生活的各个方面使用。根据时间和场合的不同,系统这个词有不同的含义,目前还没有一致的定义。几种常见的定义如下:

1. 拉丁语中将系统解释为群、集合或由部分组合起来的共同体。
2. 韦氏大辞典将系统解释为:有组织的总体;各种概念、各种原理综合构成的总体;相互作用、相互依赖并有规则地结合起来的对象的集合。
3. 辞海中将系统解释为: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。
4. 用数学符号对系统进行定义:设 $V_1, V_2, \dots, V_n$ 为任意集合, S 为 $V_1 \times V_2 \times \dots \times V_n$ 的任一子集,即

$$S \subset V_1 \times V_2 \times \dots \times V_n$$

则称 S 为系统。这里 $V_1 \times V_2 \times \dots \times V_n$ 为集合 $V_1, \dots, V_n$ 的笛卡尔乘积。

在系统工程领域,系统一般指的是由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合成的、具有特定功能的有机整体。和混乱的含义对比,可以更好地了解系统这个词。混乱指无秩序的状态。在混乱的状态下,各部分之间没有关系,都独立存在,表现不出作为一个整体的任何特征。这和系统的含义形成明显的对照。

二、系统的基本特征

1. 系统是由两个或两个以上的要素所组成,这些要素也称为子系统。例如,太阳系是一个系统,它的要素包括太阳、九大行星和彗星等。
2. 系统的各个要素之间存在着有机的联系,这种联系使系统各部分结合起来构成系统。例如自然界中的太阳系,太阳、行星、彗星和流星等之间存在着一定的力学关系,从而构成太阳系。
3. 系统具有特定的功能。系统的各个要素有机地结合起来就可以完成特定的功能。一般系统各要素具有相对独立的功能,但系统整体功能大于各要素的个别功能的简单代数和,即系统不是各部分的简单拼凑,而具有总体的性质。在人工系统中,一般要根据目的设计系统的

功能,系统的功能是为了完成特定的目的。一些自然系统虽然有功能,但没有目的。不管系统是否有目的,它们都有功能。

4. 系统具有层次性。一般系统由下一层若干子系统组成,这些子系统由比它更下一层的若干子系统组成。最下层的子系统就是系统的基本单元。系统的这种结构也称为递阶结构。

5. 一般系统的周围环境对系统存在一定的影响,这种影响有些是好的,有些是坏的。外界环境对系统的影响表现为对系统的输入,例如物质流输入、信息流输入、干扰等。在分析问题,为了方便有时忽略对系统影响较小的环境因素,即进行系统简化。经简化后,如果系统与外部环境不存在任何关系,则称这样的系统为闭系统。与此相对应,称那些与外部环境有相互关系的系统为开系统。

三、系统分类

系统有多种分类方法。这里介绍几种常见的分类方法。

1. 自然系统与人工系统

自然系统指的是未经人的加工、自然形成、由自然物质所组成的天然系统。例如,生命系统、生态系统、星系、原子结构系统等都是自然系统。人工系统是指按人们特定的要求、有目的、有计划地组织或改造而成的系统。例如生产系统、销售系统、服务系统、交通系统、通讯系统、计算机系统及计划管理系统等都是人工系统。人工系统大致可以分为三类。一类是工程技术系统,例如由人将零部件装配成的工具、仪器设备。另一类是由一定的制度、组织和程序等组成的管理系统和社会系统。还有一类是根据人们对自然现象和社会现象的认识建立的科学体系、方法体系和技术体系。

实际上大多数系统是由自然系统和人工系统复合而成的复合系统。例如水利系统,它是在对自然规律认识的基础上,在人工的作用下形成的复合系统。又例如社会系统,它的产生和发展在某些方面是与人的意志无关的,而是由社会发展规律所决定的,可是人类可以运用自己的智慧对它进行改造和促进,使它得到更好地发展。因此社会系统也是复合系统。

2. 实体系统和概念系统

实体系统是由物质所组成的系统,例如机械系统、水利系统、计算机网络系统等。实体系统也称硬件系统。概念系统是由概念、原理、原则、方法、制度及程序等组成的系统,例如法律系统、教育系统、代数知识体系和学校管理规则等。概念系统也称软件系统。实体系统和概念系统密切相关,概念系统为实体系统提供指导和服务,实体系统是概念系统赖以存在和实现的物质基础。在实际中,有许多系统是实体系统和概念系统复合成的,例如服务系统,既包括了提供服务的物质实体子系统,又包括了服务方法概念子系统。

3. 静态系统和动态系统

静态系统是系统参数和状态不随时间变化的系统,例如山脉、楼群都可以看成静态系统。动态系统指的是系统参数和(或)状态随时间变化的系统,例如社会系统、运输系统等。动态系统常用微分方程或差分方程来描述。

4. 确定性系统和非确定性系统

确定性系统的状态是确定的,只要确定了系统的结构和目前的状态,就可以确定将来一切时刻系统的状态。非确定性系统指的是受非确定性因素影响的系统,例如随机非确定性系统、模糊非确定性系统等。

§ 1.2 系统工程的含义

系统工程是对系统的规划、研究、设计、制造、试验和使用等进行组织管理的科学方法与技术。系统工程以系统为对象,从全局观点出发,利用运筹学及其它数学方法、管理科学、控制论、信息论及计算机科学等现代科学理论与方法去解决问题,并对其结果进行优化。

系统工程是一门工程学科。但系统工程与其它工程学科(例如机械工程、电气工程、电子工程、土木工程、水利工程及建筑工程等)有所不同之处。首先,其它工程学科都把特定工程领域的物质实体做为研究对象,而系统工程的研究对象不仅包括物质实体,还包括自然现象、企业组织、人类社会及社会现象、科学知识体系、研究方法等;其次,其它工程学科是应用数学、物理、化学等基础性的自然科学,而系统工程不仅要应用这些基础性的自然科学,还要应用其它工程学科的知识以及心理学、经济学、法律学等学科知识。因此,系统工程是应用各种科学、各种技术的综合性学科,是现代工程中必不可少的一种技术手段。

系统工程的应用范围很广。用于工程体系的,为工程系统工程;用于农业的,为农业系统工程。此外,还有行政系统工程、军事系统工程、环境系统工程、后勤系统工程以及科学研究系统工程等。

运用系统工程的原理和方法解决系统开发、设计与管理等问题时,应遵循以下一些基本观点:

1. 系统观点

系统观点即统观全局的观点,也称系统思考。其主要内容是从系统的整体效果出发来分析、考察与解决问题。就是要把系统内部各要素以及外界环境看成是相互联系相互制约的,并使整个系统的总效果达到最优。

系统思考要求:

- (1) 对系统中各组成要素间或子系统间的复杂关系进行观察和测定,进而明确系统的结构;
- (2) 发现各构成要素或各子系统的性质以及与系统整体的固有关系;
- (3) 为了确定系统中各要素或子系统对整个系统的作用和影响程度,需要根据共同的目的和评价标准,对各要素和子系统进行评价;
- (4) 根据各要素和子系统的重要程度,有效地分配资源,以提高系统的总效果。

2. 相关与制约的观点

系统的各要素和子系统之间是相互联系、相互制约的,如系统的输入与输出之间、系统各组成部分的参数与系统功能之间都是互为因果的。系统工程要求用定量方法来描述这种内部的联系。

如果把工厂看作一个系统,它由六个要素组成,即人、物资(能源、原料、半成品和成品等)、设备、资金、任务指标与信息等。在工厂这个系统中,各子系统之间的相互制约和联系就是通过这六个要素的流动而体现出来的。

但是六要素之间的制约和联系,必须在企业经营管理的指导下,使系统得以最优运行。例如,在一定约束条件下,用数学规划方法来描述和处理资源分配问题,以确定最优的生产计划。

3. 模型模拟的观点

运用系统工程方法建立系统时,要依据系统可以模型化和模型可以模拟的观点进行处理。

模拟,或称仿真,就是将系统建模以后,在计算机上构成与实际系统具有同样性质的模拟系统,并且根据此模拟系统的计算和运行,来了解实际系统的结构与性能。其目的是:在系统研制之前用于规划、评价和研究;在系统研制中用于设计和精密分析;在系统研制成功之后用于考核设计和训练操作人员。

模型是对于对象过程的某一方面本质属性的表述,也可以说模型是将原系统经过简化以后的系统。一个理想的模型应能反映系统所代表的重要特性,同时它在数学上或物理分析上、模拟上,又应是易于处理的。

建立模型的顺序大致是:

- (1) 明确目标和问题;
- (2) 选定构成系统的要素和变量;
- (3) 建立粗略模型;
- (4) 将粗略模型子系统化;
- (5) 建立子系统模型;
- (6) 综合子系统进行模型化;
- (7) 建立全系统的精确模型。

由于系统的目标不同,所建立的模型也有所不同。有求解最优参数的模型(如系统的最优设计),有分析系统行为的模型(用于研究生产过程运行情况),也有检定系统未来状态的模型(如市场预测模型)……等等。

4. 系统优化的观点

在解决系统工程问题时,要求寻找或选择一个最优的系统方案,以便对系统进行最优设计、最优控制和最优管理与使用等。系统的最优方案是在一定制约条件下,使系统的整体功能达到最优程度,即系统达到预定目标的程度。系统的目标可以是单一的,也可以是多目标的。对于多目标系统,往往要求功能、资金、时间及可靠性等同时达到目标。当目标较多而又相互矛盾时,往往需要在一定准则下找出一个合理的折衷方案。近年来有人提出用“满意性”准则来代替“最优化”准则,即只要使系统达到一定程度的合理要求,而不一定寻求最优的结果。当某些系统涉及较多人为因素的影响时,往往要考虑未来采用系统的决策者和受系统影响的人的“情意”,即所谓“情意性”准则。例如有的工程项目尽管设计得性能良好,但不能得到决策人员的赏识,或由于某些原因不为群众所欢迎,那便是违反“情意性”准则的。

§ 1.3 系统工程的形成与发展

系统工程是以已有科学和技术为基础,将各种科学和技术融合起来,而又重新体系化了的科学与方法。系统工程是在工业工程、质量管理、运筹学、人因工程、价值工程以及计算机科学等学科的基础上发展起来的。

系统工程的发展大致可以分为萌芽、发展和初步成熟三个时期。

1. 萌芽时期

在古代人们就有了系统工程的思想萌芽。我国战国时期的都江堰水利工程就孕育着系统工程的一些思想。本世纪初,美国的泰勒从合理安排工序、分析工人的操作、提高生产效率入

手,研究管理科学的规律,到 20 年代逐步发展为工业工程,主要研究生产在时间和空间上的管理技术。30 年代,美国的贝尔电话公司提出并采用了系统途径的观点,1940 年采用系统工程这个名词,在研究发展微波通讯网时,应用一套系统工程的方法论,取得了良好的效果。

在第二次世界大战期间,由于军事上的需要,人们提出并发展了运筹学,以后在应用中逐渐发展成为系统工程的理论基础。战后这种理论被迅速推广到经济与管理领域。1945 年美国建立了兰德公司,研究复杂系统的数学分析方法。以后,美国对国防系统、宇航系统以及交通、电力、通讯等大规模的系统进行了研究开发,取得了很多成果。在 40 年代后期,出现了控制论、信息论,并制造了世界上第一台电子计算机。这些都为系统工程的发展奠定了基础。

2. 发展时期

1957 年,美国的 H. H. Goode 和 R. E. Machol 合著出版了《系统工程》一书,从此,系统工程作为专门术语沿用至今。这时,许多运筹学的成果开始大量应用到民用系统中,成为经营管理的手段,同时运筹学本身也在不断发展。1958 年美国在北极星导弹的研制中,首次采用了计划评审技术(PERT),有效地推进了计划管理。现在 PERT 方法已为大多数先进企业采用,任何计划必须以 PERT 形式说明。PERT 方法以及由它派生的方法已成为系统工程的重要内容。60 年代开始,计算机在西方普及使用,为系统工程的发展与应用提供了强有力的手段。同时,人们对复杂的大系统采用分解和协调的方法解决具有多级逆阶控制结构的问题。

3. 初步成熟时期

1965 年美国学者 R. E. Machol 编写了《系统工程手册》一书,内容包括系统工程的方法论、系统环境、系统部件(主要以军事工程及人造地球卫星的各个主要组成部分为部件)、系统理论、系统技术以及一些数学基础。此书基本上概括了系统工程各方面的内容,使系统工程形成了比较完整的体系。以后,许多学者著书立说,使系统工程这一学科趋于完善。始于 1961 年的美国阿波罗登月计划中广泛运用了系统工程,特别是 PERT 技术、仿真技术等新型技术。在此期间,日本引入系统工程并应用于质量管理等方面,取得了显著效果。原苏联则在发展控制论和自动化系统的基础上发展了系统工程。

§ 1.4 系统工程的方法与步骤

系统工程作为一种相对独立完整的知识体系,应具有一套科学的工作方法和步骤。但是,由于系统工程所研究的系统多种多样,情况复杂,不可能有一种在任何情况下都能套用的不变的模式。因而它只是一种处理问题的一般步骤与方法,是一种基于原则的系统思考过程。在实际运用它的时候,虽然基本上可以遵循这个一般原则,但是由于每个人的具体情况不同,所运用的方法与步骤是多样的;由于具体对象的不同,所运用的方法与步骤也各不相同。

系统工程的方法体系,是各种不同方法的有机组合,它既包括应用数学的基本方法,也包括其他各种科学的应用方法,它具有各种科学的应用方法体系的特点。因此,要想在实际中较好地应用系统工程,不仅需要在理解各种基础科学的基础上,去学习各种系统工程的基本方法,而且需要在实际应用中体会和掌握这些方法与步骤,在实际中取得经验。

目前,影响较大且具有一定代表性的方法是美国贝尔电话研究中心霍尔在 1969 年提出的三维结构,如图 1-1 所示。它概括了系统工程的工作步骤和阶段,以及它所涉及的各种专业知识。它为了解决规模较大、结构复杂、涉及因素众多的系统,提供了一个统一的思考方法。

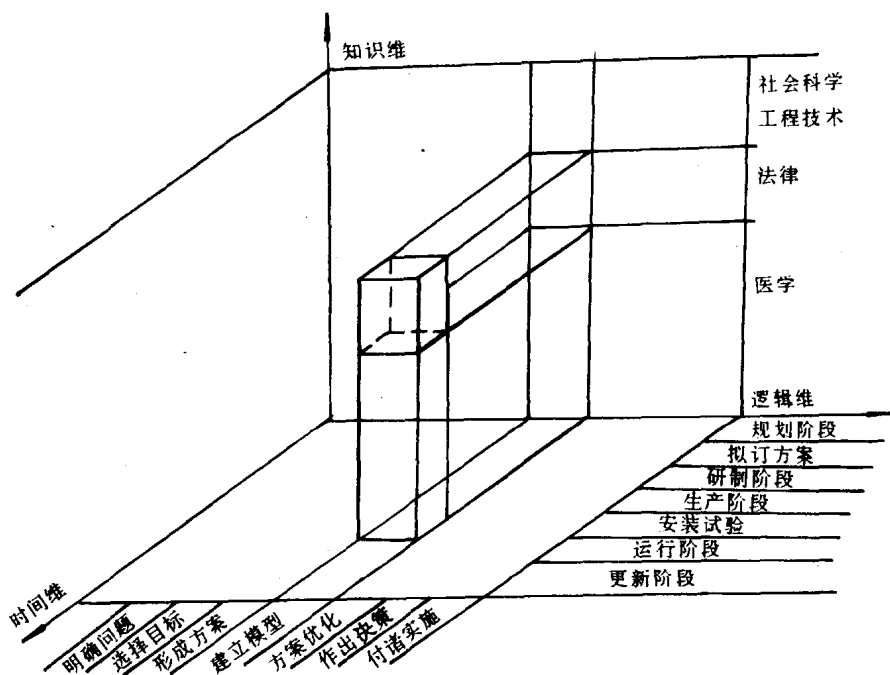


图 1-1 霍尔三维结构

三维结构中的时间维 表示系统工程工作的各个阶段。一般分为：(1) 规划阶段；(2) 拟定方案阶段；(3) 研制阶段；(4) 生产阶段；(5) 安装试验阶段；(6) 运行阶段；(7) 更新阶段。在研制新型导弹或飞机等大系统时，一般都要经历以上类似的阶段。

三维结构中的逻辑维 亦称思考过程，是指实施系统工程的每一工作阶段所要经历的步骤。它也是运用系统工程方法进行思考、分析和处理系统问题时遵循的一般程序，即：(1) 明确问题，弄清实质；(2) 选择目标，确定评价指标；(3) 形成方案，进行系统综合；(4) 建立模型，做好系统分析；(5) 方案优化，即系统选择；(6) 作出决策，即系统开发；(7) 付诸实施。

三维结构中的知识维 是指为完成上述各阶段、各步骤的工作所需要的各种专业知识和技术知识。霍尔把这些知识分成工程、医学、建筑、商业、法律、管理、社会科学和艺术等。钱学森同志认为：“系统工程的理论基础，除了共同性的基础之外，每门系统工程又有各自的专业基础。这是因为对象不同，当然要掌握不同对象本身的规律。例如工程系统工程要靠工程设计，军事系统工程要靠军事科学等等”。

系统工程横跨了自然科学、数学、社会科学、技术科学和工程技术。发展系统工程需要各方面的科学技术工作者的通盘合作和大力协同。在用系统工程解决问题时，非常强调组成综合学科小组，由各种学科的专家、有经验的工人和领导参加，共同讨论研究并解决问题。

下面简述阿波罗计划的组织管理过程，以说明系统工程的方法和步骤。其实施过程如下：

1. 建立管理组织机构，明确职责分工

在宇航局设立阿波罗计划办公室来主管全部工作，并在所属机构中建立项目办公室来分管各种研究项目。各办公室的主要职能是：(1) 项目的计划与控制；(2) 系统工程；(3) 可靠性及质量保证；(4) 试验；(5) 操作实施。并分别设立主管部门。

整个管理过程分成五个方面：(1) 确定计划的基本要求；(2) 量测性能；(3) 分析与评价；

(4) 控制与指导变化;(5) 动作与反馈。各职能部门经常协调和处理的问题是工程进度、成本费用和技术性能。

2. 制定和选择方案

计划办公室的首要任务是为阿波罗登月计划选择飞行方案。他们根据技术部门的建议,曾归纳为三种备选方案:(1) 直接使用新的运载火箭;(2) 地球轨道交会;(3) 使用土星运载火箭,一次发射载人航天飞行器和登月舱。对三种方案从技术因素、工程进展、成本费用及研制难易程度等方面进行综合分析和权衡利弊之后,认为第三方案可比前两个方案提前几个月完成,而且研制费用比前两个方案低 10%,并能实现阿波罗计划的全部目标,从而成为被选用的最终方案。

3. 组织管理过程

方案确定之后,即进入管理过程。

管理过程的第一方面是确定计划。阿波罗计划采用了“工作细分结构”的系统分析法,把整个系统由上而下逐级分成项目、系统、分系统、任务、分任务等各个层次,以便确定计划的分支细目及其相互关系,明确责任,并为绘制 PERT 网络图和编制预算提供基础。这样使整个计划的进度、财务和技术三方面的要求连成一个整体。

管理过程的第二方面是性能量测。为了及时了解各职能部门的质量和进展情况的信息,建立了“管理信息与控制系统”及一系列“设计审查及产品检查”制度。各种性能的信息经过整理和分析后逐月上报计划负责人,以便集中精力抓住薄弱环节。同时按制度规定进行初步设计审查、关键设计审查、产品结构审查、飞行合格鉴定及飞行准备审查等。

管理过程的第三个方面是分析评价。主要工作是对性能数据进行评价,并确定必须及时采取的行动,以保持各个工作领域相互平衡和决定完成的主要目标。与此同时,还要分析工作进度和成本费用之间的关系,绘制费用增长曲线,以估计完成计划所需的总费用,确定在哪些薄弱环节上支出的费用未能达到预期工效。

管理过程的第四个方面是控制及指导。由于研制过程中不可避免的变化,因此必须有系统地进行控制和调整,以保证全部计划的实现。凡是影响最终产品的形式、装备、功能的任何变动,都必须由规定的决策机构批准。为了控制成本,要定期审核该计划各部分的实际成本,发现超支动向,以便及时调整。阿波罗计划的财务开支始终保持相对稳定,平均每年实际成本与计划成本差距不到 1%。

管理过程的最后一个方面是保证整个管理机构在日常活动中履行各种指令、规范、程序,使各级机构的负责人明确自己的职责范围,经常召开“计划审查会”,促进管理“活动”的执行,有选择地安排议事日程,及时对重大问题作出决策等。

总之,阿波罗计划是依靠执行过程中从整个系统出发并面向整个系统的综合管理方式,运用了系统工程的方法和步骤,从而取得了成功。

§ 1.5 系统设计

系统建立过程包括系统规划、系统设计、系统制造与运行三个阶段。

第一阶段是系统规划阶段。其主要任务是构思或构造系统,即定义系统,明确建立系统的必要性,并根据此确定系统的目标。同时,要提出系统必需的环境及其他约束条件。这一阶段

的成果以系统开发的计划任务书形式反映出来。在计划任务书中除了必须具备上述内容外,还要确定系统建成的期限、系统的投资额等。

第二阶段是系统设计阶段。此阶段是按照预期的目标和运行环境来设计和确定合理的系统,使其适应人们的要求。为此,系统设计时应考虑各子系统或要素之间及它们与整个系统的关系,把局部设计进行综合分析,进而从整体出发解决系统最优化问题。

第三阶段是系统制造和运行阶段。此阶段是对系统中的关键项目进行试验和必要的修改,以求设计方案建立在可靠的基础之上。在完成工艺设计之后开始制造、安装和调试工作,并在运行的基础上研究系统的调整和改进工作。

一、 系统设计的内容

系统设计可分为两部分:即概要设计与详细设计。概要设计也称功能设计,包括方案选择和系统分析。详细设计又称程序设计,包括系统外部设计和制造设计。

按照系统设计的进程,设计工作可分为四个阶段:

1. 方案选择 根据目标要求提出几种可行方案,进行比较分析,并从中选择最优方案或满意方案。这是系统的基本设计阶段。它可分为概念设计及预备性设计两个步骤,前者主要是形成系统的轮廓,后者则应作出较具体的初步方案,以便进行方案比较与评价。

2. 系统分析 系统分析是进行目标分析、可行方案分析、费用与效果分析等。在系统分析的基础上确定系统设计方案并进行详细设计。

3. 系统外部设计 对构成整个系统的各分系统,基本要素所需要的外部条件,提出具体的设计要求(功能、性能、联接条件等)。把系统的总指标分配到各个分系统和基本要素上去。这一阶段要充分利用系统分析的成果,要清楚地了解各基本要素对分系统的影响以及各分系统对整个系统的影响。

4. 制造设计 确定制造或选用系统各基本要素的要求和标准,确定系统各组成部分装配成部件、子系统、分系统的工艺过程和工艺条件。

设计系统时,确定系统的目标是关键的一环。在确定目标时,设计人员应根据已确定系统的组成及系统的性能要与现行类似系统进行比较,找出差距,以便论证所设计系统的指标是否合理。同时,还应当考虑多种资源的约束条件。要对系统研制中可利用的时间、资金、设备、人力及技术水平等进行评价。一般对武器系统或大型工程项目可以通过费用/效果分析进行评价。

二、 系统协调

系统设计的重要内容是系统协调。要进行三方面的协调,即系统内外协调、系统整体与局部协调、人机协调。

1. 系统内外协调 系统设计时,在考虑系统内部问题的同时,特别要注意考虑系统的环境与社会因素。外部环境给系统造成的干涉是社会对系统的要求和系统的约束条件。而系统给外部环境造成的干涉则是由于系统的建成给社会带来的影响或变化,如给社会带来的福利或损害,以及对其他系统的影响和波及效果等。把系统和外部环境合并起来称为综合系统。系统工程的特点之一就是探讨所设计系统在综合系统中所占的位置、作用和影响。

2. 系统整体与局部协调 为了便于考虑问题和利用过去的经验处理新的构思,也为了

给设计制造提供方便条件,需要进行系统的分解。任何庞大而复杂的系统都能分解为若干个分系统或子系统。这些子系统或基本要素的性能与特征,往往同已有的单项设备或基本要素具有很大程度上的相似性,从而可以充分利用已有的经验和知识进行设计,甚至实行标准化,以便于设计和制造。

当被分解的系统要素确定之后,就要进行系统的综合,以便达到整个系统的目标。显然在作系统分解时,就要考虑到系统的综合。系统协调就是为了处理好系统的整体和系统要素之间的对立统一关系,使系统的分解和综合都以系统目标达到最优作为准则。

3. 人机协调 在系统工程中,把人看作是系统的一种要素,因而系统的功能包括了人的功能和机器的功能,即使自动化系统很高的系统也不能不考虑人的因素。在基本的设计条件确定之后,就要研究系统应具备的各种功能。这时,应着重于使机器系统和人的功能协调而组合成统一的具有最优功能或最合理功能的系统。这种协调工作的内容,也就是对人和机器进行必要的合理的分工,并考虑人和机器的能力极限以及费用的差别,这项工作叫做系统的功能分配。功能分配的一般原则是将人和机器进行比较,考虑多方面的因素从优决定。当然,由于对象系统不同,具体内容也有所差异。为了确保系统的功能,在设计确定的条件下,要认真考虑人和机器的极限及其特点,并对其功能进行合理分配和修正,以便制成理想的系统。但是考虑到技术的发展,无论如何也要尽量减少人的功能,相反地要增加机器的功能。至于如何把系统的功能合理地分配给人和机器,并使其协调起来最优地发挥整体功能,必须综合考虑可有效利用的技术水平。

三、 管理系统设计的特点

管理系统是把人、设备、资金、信息等有限资源进行合理地组织和有效地应用,使经营目标得以完成并充分发挥其效益的系统。

管理系统与一般实体系统不同,在设计时应考虑其特点。

1. 管理系统是计划、实施和控制的系统,有决策功能。管理系统首先是计划和实施的系统,为此,在系统设计时必须全面而准确地掌握全部信息,使计划系统具有预见性和准确性,以便实施时能达到系统的目标。管理系统常因外部环境变化而变化,因此,设计时要采用预防措施,能及时发挥管理的控制功能,修正行动以适应环境的变化。

管理系统的重要功能是及时作出决策。为了做出最优决策,需要建立管理系统模型,如图表模型、数学模型、模拟(仿真)模型等,从而有可能进行模型的优化。

管理系统的构成如图 1-2 所示。

2. 管理系统是把人作为结构成分的组织系统。通常,人在计划控制阶段除了制定计划、处理信息外,往往要作出各种必要的决策,以调整和控制计划的执行过程。系统中高层决策部门对整个过程具有决定性的影响力。

在计划实施阶段,人的主要活动除了提供

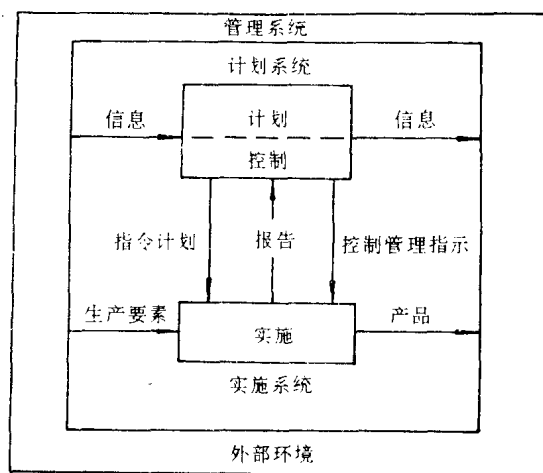


图 1-2 管理系统

劳动力外,还应发挥其才能和创造力。系统的设计应能保证决策功能和人的创造力得以充分发挥,使系统按预定的方向发展。

3. 管理系统往往是多层次、多目标的系统。管理系统通常是多层次的。由两个层次一个目标结合起来的系统,就具有共同的高层目标。通常各层次的目标并不相同,而且各层目标之间还存在着依赖关系。

4. 管理系统往往是大规模系统。大系统往往难以实现整体最优化。通常的方法是首先进行系统分解,并对分解后的分系统或子系统进行优化处理,然后经过系统协调,调整各个分系统的状态和参数,以求达到整体的近似优化状态。如果对各分系统反复进行多次协调,则可使系统整体优化的程度得到进一步改善。

5. 管理系统应能预测外部环境的变化。管理系统要具有适应外部环境变化的能力。关键在于能够随时预测外部环境变化的趋势,从而及时改变计划与控制作出相应决策。管理系统不仅要在环境变化时有适应能力,而且还应经常推动环境,努力改变自身状态,以有利于完成既定目标。

§ 1.6 系统分析与系统评价

为了最优地进行系统设计,对系统有关的重大问题进行决策,其关键步骤是系统分析。

系统分析是一种有目的、有步骤的分析与探索过程。为此需要充分地占有原始资料,了解系统的目标、功能和环境,以便形成多个可行方案和相应的系统模型,通过仿真或计算、试验,为决策者提供最优系统方案及相应的信息、资料等。系统分析是一种辅助决策工具,它只为决策者提供咨询意见。但系统分析人员并不是决策者,并且应当尽量避免作出任何决策。

系统分析可用于制订系统规划、开发新产品、重大工程项目的组织管理、工厂设计、厂内生产布局等。系统分析的基本内容是分析与建立系统有关的基本要素,即目标、可行方案、模型、费用、效果与时间因素以及评价准则。

1. 目标

系统的目标是对建立系统的要求,也是规划开发、设计、制造和管理系统的出发点与争取达到的要求。在系统分析的开始及其进行过程中要反复明确系统的目标。如果经过反复论证,认为系统的目标不合理、不合适,也可以经过系统的提出者的同意,加以必要的调整,以确定技术经济上既先进又合理、既可行又必需的系统目标。确定系统目标的本身也是一项重要的系统分析内容。

2. 可行方案

对各种可行方案进行分析、比较、优选。

3. 模型

建立系统分析所需要的模型,一方面是为了赖以有效地求得系统设计所需的参数,并根据此确定各种制约条件;另一方面,也是为利用系统模型来预测和估计各个可行方案的性能、费用和效益,以便对各个可行方案进行分析、比较。

4. 费用、效果与时间因素

实施系统方案所需的实际支出就是费用,一般费用可用货币表示。但是在决定对社会有广泛影响的大型工程项目时,还要考虑到对社会的影响。这些效果与因素是不能用货币来衡量