

GUANLI
XITONG
GONGCHENG
JICHU

朱明 张锦瑞 杨中 编

管 理 系 统 工 程 基 础

0.7

冶金工业出版社

79

5270.7
782

管理系统工程基础

朱 明 张锦瑞 杨 中 编

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2002

内 容 简 介

本书简要介绍了系统工程的基本概念和一般原理,并从实用角度出发,较系统地介绍了管理系统工程的主要基础——运筹学应用最广泛的几个分支:线性规划、目标规划、图与网络计划、动态规划、存储论、决策论等,以及系统分析和评价常用的一些有力工具:系统预测、系统模拟、层次分析法和模糊综合评判法。为便于教学,各章附有复习思考题和习题,学生可应用相关的教学软件进行练习。本书适用于工科类各专业,也可作为企事业单位各级管理人员、工程技术人员和领导干部的培训教材和自学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

管理系统工程基础/朱明等编. —北京:冶金工业出版社, 2002. 1

ISBN 7-5024-2935-2

I. 管… II. 朱… III. 企业管理—系统工程
IV. F270.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 008833 号

出版人 曹胜利(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)

责任编辑 王之光 美术编辑 李 心 责任校对 白 迅 责任印制 李玉山

北京鑫正大印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2002 年 1 月第 1 版, 2002 年 1 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 10.25 印张; 248 千字; 158 页; 1—2000 册

19.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

系统工程是在当代科学技术高度发展的基础上,迅速发展起来的一门跨学科、综合性的组织管理技术。它在经济管理、工农业生产、能源交通、社会发展、环境治理、军事科学等各个领域得到广泛的应用,有效地解决着各种复杂的系统性问题,发挥着不可替代的重要作用并产生了重大的社会和经济效益,现已成为实现管理现代化的有效工具。

应用系统工程方法解决管理系统问题时,要掌握两个重点:一是要有系统的观点;二是能够正确建立问题的系统模型。考虑到本书主要是面对工科专业学生、企事业管理人员和工程技术人员,为满足他们将来工作的需要,本书力求做到深入浅出,增强通俗性、可读性和应用性,以利于读者理解掌握系统工程和运筹学的实质内容和主要方法,提高解决实际问题的能力。

本书除对系统工程的一般原理作简明介绍外,主要介绍了系统工程、运筹学丰富实用的定量分析方法,并着重于建立模型和求解技巧方法的介绍。对于一些基本原理,不做过多的数学证明;对一些问题,为避免过多冗长乏味的数学推导,尽可能结合实例说明其经济涵义。

考虑到绝大多数系统工程、运筹学数学模型的求解都要依靠计算机来进行,手算方法只限于变量极少的情况,一般对求解实际问题无实际意义,因此,本课程的教学将配合国际上较为成熟的运筹学软件来进行,使学生可把主要精力放在掌握和应用系统工程思想方法和建立系统模型方法上,这将大大提高学习的效率。

系统工程涉及的知识面非常广泛,由于编者水平有限,本书不当之处恳请广大读者批评指正。

编 者
2002 年元月

目 录

1 系统与系统工程	1
1.1 系统的基本概念	1
1.2 系统的概念	3
1.3 系统工程的方法论	7
1.4 应用举例	11
复习思考题	12
2 线性规划	13
2.1 线性规划问题及其数学模型	13
2.2 图解法	16
2.3 线性规划问题解的性质	16
2.4 单纯形法	18
2.5 两阶段法(人工变量法)	20
2.6 对偶线性规划问题	22
2.7 运输问题	27
2.8 指派问题	32
2.9 整数规划	34
2.10 应用实例	37
练习题	41
3 目标规划	45
3.1 目标规划的数学模型	45
3.2 目标规划的图解法	47
练习题	48
4 图与网络计划	50
4.1 图的基本概念	50
4.2 树	53
4.3 最短路问题	54
4.4 网络最大流	56
4.5 最小费用最大流问题	60
4.6 网络计划技术	61
练习题	70

5 动态规划	73
5.1 多阶段决策过程及实例	73
5.2 逆序递推法	74
5.3 动态规划的基本原理和基本概念	76
5.4 动态规划在多阶段决策中的应用	78
5.5 多维变量问题	83
5.6 动态规划方法的优点和限制	84
练习题	85
6 存储论	87
6.1 基本概念	87
6.2 库存 ABC 分类管理	88
6.3 确定型存储模型	90
6.4 随机型存储模型	94
练习题	98
7 预测方法	100
7.1 预测的概念.....	100
7.2 定性分析预测法.....	101
7.3 时间序列预测法.....	102
7.4 回归分析预测法.....	106
练习题.....	113
8 决策论	114
8.1 决策的基本概念.....	114
8.2 风险型决策.....	116
8.3 不确定型决策.....	124
8.4 层次分析法.....	126
8.5 马尔柯夫分析.....	132
8.6 模糊综合评判.....	134
练习题.....	136
9 系统模拟	139
9.1 基本概念.....	139
9.2 应用举例.....	142
9.3 随机变量的产生方法.....	144
9.4 模拟过程的控制方式.....	149
练习题.....	156
参考文献	158

1 系统与系统工程

1.1 系统的基本概念

1.1.1 系统的概念

系统这一概念来源于人类长期的社会实践。人类自有生产活动以来,都是在同自然系统和人造系统打交道。人类的社会实践活动不同程度地体现了朴素的系统概念和自发的应用。人们对系统的认识有一个发展的过程。系统(system)一词最早出现在古希腊语中,它有“共同”和“给以位置”的含义,即指事物的共性部分和每一事物在总体中应占据的位置。

系统思想和概念在哲学上的最完全和科学的体现是马克思主义的辩证唯物论。辩证唯物主义认为,物质世界是由无数相互联系、相互依赖、相互制约、相互作用的事物和过程所形成的统一整体。辩证唯物主义的物质世界普遍联系和整体性的思想,也就是系统思想。

20世纪以后,系统思想开始发展成为一门新兴的科学体系——系统科学和它的应用学科——系统工程。系统科学的原理和系统工程的方法是现代科学技术对于系统思想方法的重大贡献。它使系统概念具体化,使系统思想方法定量化,为分析和解决系统问题提供了科学的理论和方法。

随着科学技术的发展,系统被赋予进一步的含义,如《中国大百科全书》解释,系统是由相互制约、相互作用的一些部分组成的具有某种功能的有机整体。在日本工业标准(JIS)中,系统的含义是“许多构成要素保持有序化,向同一目的行动的集合体”。一个部门、一项计划、一个企业、一台设备都可以看作一个系统。因此,系统的范围是相对的,它依所研究问题的需要而界定。在物质世界中,一个系统的任何部分可以被看作一个子系统,而每一个系统又可以成为一个更大系统中的一个部分。

1.1.2 系统的特性

作为一个系统一般都具有以下特性:

(1)目的性。人造系统均具有目的性,而且往往不止一个目标。例如,一个企业的发展战略目标体系可能包括:产量、成本、产品市场占有率、利润和质量等指标。

系统的目标可以定性的表述,但应尽可能定量化。系统的目标通常由一系列反映系统特征的指标体系来体现。对于一个复杂的大系统,在系统的总目标之下一般都有数个层次的分目标。系统的分目标应在总目标的指导下确定,即系统的分目标必须保证总目标的实现。在指标体系中,有些指标之间可能是存在矛盾的,这就要求从总体利益出发,寻求平衡或折中方案。

(2)整体性。系统整体性说明,任何一个要素不能离开整体去研究,要素间的联系和作

用也不能脱离整体的协调去考虑。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。对于一个组织化程度高的系统来说,一般是“整体大于它的部分之总和”。有人称之为系统整体性原理。在一个系统中,即使每个要素并不都很完善,但它们也可以协调、综合成为具有良好功能的系统。反之,即使每个要素都是良好的,但作为整体却不具备良好的功能,也不能称为完善的系统。

(3)集合性。系统的集合性是说,系统是由两个或两个以上的可相互区别的要素所组成。

(4)层次性。系统作为一个总体,可以分解为一系列的子系统,并存在一定的层次结构。系统层次结构反映了不同层次子系统之间的从属关系或相互作用关系。在不同的层次结构中存在着动态的信息流和物质流,构成了系统的动态特性,为深入研究系统层次之间的控制与调节功能提供了条件。例如,一个企业管理系统就可分解为:生产管理子系统、设备管理子系统、物资管理子系统等,它们之间存在着大量的信息流、物质流的控制和交换。而每一个子系统还可根据需要进行进一步划分。

(5)相关性。系统的组成要素是相互联系、相互依赖、相互作用又相互制约的。集合性确定了系统的组成要素,相关性则说明这些要素之间的关系。系统的相关性可以表现在组成要素之间的空间结构、时间顺序、信息传递、相互作用和管理方式等。例如,铁路运输系统是由车辆、车站、轨道、通讯信号、安全保障和调度系统有机地组织而成为一个整体,通过系统内各子系统相互协调的运转以实现在整个国民经济大系统中的纽带作用。

(6)环境适应性。任何一个系统都存在于一定的物质环境中,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对系统产生影响。系统必须适应外部环境的变化,否则就没有持续的生命力。例如,任何一个工业企业都必须经常了解国内外市场的需求动态,同类企业的经营动向和有关行业的发展趋势,在此基础上研究企业的发展战略,及时调整企业的生产结构,以适应环境的变化。

1.1.3 系统的分类

为了从不同的角度对系统的性质进行研究,需要对系统进行不同的分类,主要的分类方法有:

(1)自然系统与人造系统。这是从构造要素的性质来划分的。自然系统是指那些由矿物、植物、动物等自然物所组成的系统。例如,生态系统、海洋系统、矿藏系统等都是自然系统。

人造系统是人类为了各种目的而制造出来的系统。如工业、交通、农业、教育和管理系统等。实际上,大多数系统是自然系统与人造系统的复合系统。在人造系统中,有许多是人们运用科学力量改造了的自然系统。例如,一个矿山生产系统就是人造的设备和采掘运输系统与自然生成的矿藏系统相结合的复合系统。随着科学技术的发展,将创造出越来越多的人造系统。值得注意的是,随着许多人造系统的出现,自然生态系统的平衡被破坏,环境遭到严重污染。因此,近年来系统工程愈来愈注意从保护生态平衡,合理开发利用自然资源的可持续发展的战略角度来探讨研究人造系统。

(2)实体系统与概念系统。凡是由矿物、生物、机械、能量和人等实体要素构成的系统称为实体系统。凡是由概念、原理、原则、方法、制度、程序等非物质要素所构成的系统称为概念系统,如管理系统、教育系统等。实际上,实体系统与概念系统在多数情况下是相互联系、不可分割的,实体系统是概念系统的物质基础,而概念系统则为实体系统的运行提供指导和

服务。例如,交通安全管理系统就是交通运输实体系统和交通安全管理制度、办法及事故分析、评价和预防措施等组成的概念系统相结合而成的合成系统。

(3)静态系统和动态系统。这是从系统的状态与时间关系的角度来考虑的。动态系统就是系统的状态变量是随时间而变化的。反之,则是静态系统,即表示系统运动规律的数学模型中不含有时间因素。事实上,完全静态的系统是不存在的,只是系统状态随时间的变化极小,即处于稳定状态,可近似地看作静态系统。

(4)封闭系统与开放系统。这是以系统是否与外界环境有物质、能量或信息交换为标准来进行分类的。封闭系统又称为孤立系统,它与外界环境不发生任何形式的交换,呈一种封闭状态的系统。绝对孤立的系统是不存在的,只是有时为了方便起见,把某些与环境联系少的系统近似地看作封闭系统。

一个系统如果与环境有较多的物质、能量、信息的交换,即与环境之间有输入、输出关系,就称为开放系统。

研究开放系统,不仅要研究系统本身的结构与状态,而且要研究系统所处的外部环境,剖析环境因素对系统的影响方式及影响的程度,以及环境随机变化的因素。

除此而外,还有其它一些分类的准则,如控制系统和行为系统,连续系统和离散系统,确定性系统和随机性系统,白色系统、灰色系统和黑色系统等。

1.2 系统工程的概念

1.2.1 系统工程的含义

系统工程(Systems Engineering)是一门新兴的、综合性很强的边缘学科,尚处于发展阶段,因此至今还未形成统一的定义。国外对系统思想方法的定量化实际应用相继取了许多名称,如:运筹学(Operations Research)、管理科学(Management Science)、系统工程、系统分析(Systems Analysis)、系统研究(Systems Research),等等。现列举国内外知名学者对系统工程所作的解释和定义,以便认识系统工程的含义。

(1)我国著名科学家钱学森指出“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”,“系统工程是一门组织管理的技术”。

(2)美国著名学者 H. 切斯纳特(H. Chestnut)指出“系统工程认为,虽然每个系统都是由许多具有不同的特殊功能的部分所组成,这些部分之间又存在着相互联系,但是每个系统都是完整的整体,每个系统都要求有一个或多个目标。系统工程则是对各个目标进行权衡,全面求得最优解(或满意解)的方法,并使各组成部分能最大限度的相互适应”。

(3)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、信息流动和控制机制进行分析和设计的技术”。

(4)美国科学技术辞典的定义为“系统工程是研究由密切联系的许多要素所构成的复杂系统的设计的科学。在设计时,应有明确的功能和目标,而在组成它的各要素之间及各要素和整体之间又必须能够有机的联系、配合协调,以使系统总体达到最优目标。在设计中还要考虑到参与到系统中的人的因素”。

(5)日本学者三浦武雄指出“系统工程与其它工程学不同之处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边缘学科”。

因为系统工程的目的是研制或改造系统,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,为圆满解决这些交叉领域的问题,除了需要某些纵向方面的专门技术以外,还要有一种技术从横向把它们组织起来,这种横向技术就是系统工程。

综上所述,系统工程是以研究大规模复杂系统为对象的一门交叉学科,是系统科学的重要应用部分。它以系统论的思想、观点为指导,以控制论、信息论和运筹学等为方法论,把自然科学和社会科学中某些理论、思想、方法、策略和手段有机地联系起来,应用定量与定性分析相结合的方法和计算机等工具,对系统各要素及其联系进行分析、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的,以便最充分地发挥人力、物力和财力的潜力,通过各种管理技术,使局部和整体之间的关系配合协调,以实现系统综合最优化。

系统工程的对象并不限于某些特定的工程、物质系统,而可以包括社会经济系统、管理系统、指挥系统等。系统工程在自然科学和社会科学之间架设了一座沟通的桥梁。系统工程为社会科学研究提供了卓有成效的建立数学模型的方法、优化方法和模拟实验的方法,并为从事自然科学研究的科技人员和从事社会科学研究的有关人员之间的广泛合作开辟了道路。

系统工程作为一门工程技术,主要特点在于它的实践性和技术应用上的综合性。这体现在它不仅要运用各种数学方法、优化技术和计算机技术来实现系统的分析和设计,而且要求应用工程的方法、步骤和程序,应用大量实践总结的成功经验和各种实用技术来解决系统的组建和组织管理等问题。在解决实际问题的过程中,离不开具体的环境、条件及事物的特性,因此也不能回避客观事物的复杂性,必须要综合运用各个学科和技术领域内的成果。可以说,它是高度综合性的工程技术。

系统工程的另一个特点是它的软科学性。由于系统工程处理的对象主要是信息,系统工程又是一门组织管理技术,因此可以说系统工程是软科学的最重要的组成部分。软科学是借用计算机“软件”的名称而来的。软科学尚无确切的定义,它代表的是一个有机组织的学科群,不仅是科学,还包括技术、技巧和管理决策艺术。它是社会、经济发展到一定阶段的产物,是科学技术的一个组成部分,可以认为,管理科学是现代软科学的开端。

1.2.2 系统工程的形成与发展

1.2.2.1 朴素的系统思想在我国古代的自发应用

系统工程来源于千百年来人们的社会实践活动中,是经验的总结,是逐步形成的。朴素的系统思想方法和系统工程方法的实践应用可以追溯到古代。在改造大自然,改造环境的过程中,出现了许多充分体现系统思想和方法的事例:

(1)都江堰水利工程。战国时代(公元前 250 年)秦国太守李冰父子主持修建了驰名中外的四川都江堰水利工程。据考证,四川的美称“天府之国”的得名,就来源于都江堰工程。而在工程修建之前,岷江经常“洪水泛滥成灾,民不聊生”。都江堰工程包括三个主要部分,“鱼嘴”是岷江分洪工程;“飞砂堰”是分洪排沙工程;“宝瓶口”是引水工程。三个部分巧妙结合形成一个工程总体,使工程兼有防洪、排沙、灌溉、漂木、行舟等多种功能。不仅分导了汹涌激流的岷江,而且化害为利,利用分洪工程,有节制地灌溉了 14 个县的几百万亩农田。该工程不仅施工构思巧妙,还建立了持续维修养护制度,每年按规定淘沙修堤,使工程经久不衰,至今仍能充分发挥效益。都江堰水利工程体现了非常完善的整体观念、优化方法和持续发展的系统思路。即使从现在的观点看,仍不愧是世界上一项宏伟的水利工程,也是系统工程建设的典范。

(2)丁渭修宫。宋真宗时,皇宫失火烧毁。皇帝命大臣丁渭主持皇宫的修复工程。丁渭经反复思考,提出一套施工方案:首先将皇宫前面的一条街挖成水渠,用挖出的土就地烧砖,解决了部分建筑材料问题;其次是引水入渠,形成航道后运入沙石,保证工程的顺利进行;最后,等皇宫修复后将水撤走,再把碎砖废石填入渠中,修复大街。这项工程将烧砖、运材料及工程收尾处理废物巧妙地联系起来,节约了大量人力、物力和时间,体现出典型的系统思想。

1.2.2.2 系统工程的产生与发展

A 萌芽时期(1900~1956年)

20世纪以来,由于社会生产力的高度发展,工程技术的复杂程度不断提高,使自然科学、技术科学和社会科学之间的整体性联系日益突出。从具有现代系统科学涵义的角度来看,最早引入系统概念的是美国的泰勒(F. W. Taylor)。他在1911年发表的《科学管理原理》一书中提出了现代系统的概念。一般认为,泰勒的理论和实践标志着传统管理时代的结束,科学管理时代的开始。

二次大战期间,英国面临如何抵御德国飞机轰炸的问题,一批科学家研究雷达系统的运用,创造了“运筹学”,之后,运筹学又推广到军事决策和战争指挥。战后运筹学迅速推广到一般企业经营管理方面和战略研究方面,发展很快。1945年,美国军事部门成立了兰德公司(RAND Corp.),开发了许多系统数学分析方法,并在各种系统的研制中获得了成功。这些分析方法一般称为系统分析,它们奠定了今天系统工程的基础。

B 初步形成时期(1957~1964年)

1957年美国密执安大学的两位教授古德(H. Goode)和马科尔(R. E. Machol)的专著《系统工程》出版。1958年,美国在北极星导弹的研制中,首先采用了计划评审技术(PERT),有效地进行了研制系统的计划管理,从而把系统工程学引入到管理领域。20世纪60年代初,美国电气工程师学会在科学和电子部门设立了系统科学委员会。在此期间,美、英两国还出版了许多系统工程方面的书籍。而计算机的应用为工程学的实施提供了强有力的运算工具和信息处理手段。

C 成熟发展阶段(1965年至今)

美国的阿波罗登月计划是运用系统工程处理复杂大系统的一个成功例子。该计划历时11年(1961~1972年),参加研制的有工程技术人员42万人,2万多家公司和工厂,大学和研究机构120所,使用了600多台计算机,共耗资300多亿美元。由于采用了系统工程的方法,使这样一项庞大复杂的工程按时顺利完成。该计划的成功,引起了人们对系统工程的广泛关注和重视。

20世纪70年代以来,系统工程得到迅速的普及和发展。它的应用已远远超出了传统工程的领域,已进入到解决各种复杂的社会、经济系统问题的领域。

目前,在发达国家的许多大学中均设有工程工程系,或类似的工业工程/运筹学系(IE/OR系),或开设系统工程方面的课程。在世界许多地方都建立了以系统工程为主体的各种咨询机构。1972年成立,总部设在奥地利维也纳,由苏联、美、日、法、联邦德国等东西方十几个国家的系统工程学者共同组成的国际应用系统分析研究所(IIASA—International Institute of Applied System Analysis)完成了几百项重大的国际性或地区性的系统工程研究成果。

综上所述,系统工程的形成,从20世纪20年代泰勒的科学管理,40年代运筹学的产生与发展,使管理科学与最优化技术结合起来,到50年代初形成了系统工程这一学科体系,60

年代电子计算机的发展和现代控制理论的创立,为系统工程的发展提供了强有力的手段和重要的理论和方法。70年代以后,行为科学、思维科学以及知识工程、模糊集和灰色系统理论等新学科渗入到系统工程,使它的功能和作用更加强化,应用范围更加扩大。

系统工程在我国的发展始于50年代后期。1956年,在中国科学院力学研究所建立了我国第一个运筹学研究小组,1960年,在中国科学院数学研究所建立了运筹学研究室。华罗庚教授从60年代初在我国大力推广“统筹方法”(计划评审技术)和“优选法”,并取得显著成就。与此同时,随着国防尖端技术科学的发展,在著名科学家钱学森教授的领导下,在工程系统的总体规划组织方面也取得了丰富的实践经验。在我国“两弹一星”的研制工作中,在钱学森教授的倡导下,在我国国防尖端技术科研部门建立了“总体设计部”,对这种大规模复杂系统进行协调指挥,并运用计划评审技术组织研究工作,取得了辉煌成就。可以说,钱学森教授是我国系统工程的创始人和先驱者。从1977年以后,系统工程在我国的推广应用出现了新局面,在全国科学技术长远发展规划中,把“系统工程的理论和应用”作为重点学科列入了规划。此后,清华大学、西安交通大学、上海交通大学、天津大学等十几所高等学校相继成立了系统工程研究所(室、系),开始培养系统工程方面的本科生和研究生。1980年初,中国科学院系统科学研究所正式建立。此后,系统工程在工业、农业、交通、经济、军事及科研、教育等部门的有关领域得到广泛的研究和应用。其中例如应用系统工程研究我国的人口政策和人口预测;能源供需预测和能源规划;区域发展战略和规划;发展立体农业和生态农业;军事指挥系统;企业管理信息系统;专家系统等方面,都取得了很好的效果。

1.2.2.3 系统工程发展趋势

当今社会正步入一个信息化时代,时代的需要将推动系统工程飞跃发展。其发展趋势表现在以下几方面:

(1)系统工程作为一门交叉学科,日益向多种学科渗透,交叉发展。由于社会经济系统的规模日益扩大,影响决策的因素日益复杂,因此需要系统科学与社会学、经济学、管理科学、数学、计算机技术、人工智能技术等众多学科综合加以应用。

(2)系统工程作为一门软科学日益受到人们的重视。到20世纪70年代中期,经反复实践,一些有远见的学者已经感到“过分定量化”、“过分数学化”给系统工程的应用带来的副作用,有些人满足于数学公式的推导本身,而忽视了实际问题。著名运筹学家丘奇曼说:“在大部分大学中,运筹学成了学术性的‘模型’,而不是现实世界的‘模型’,研究者的兴趣是新算法。他们向管理者提供的是由这类模型表达的特定问题的所谓最优解,这正好同当初提出的目的背道而驰”。20世纪80年代中期,一些管理学家也认为现在北美的有些管理学院太偏重于理论和定量方法,培养出来的人成了眼光狭窄的技术型干部,缺乏企业家精神和创新意识,缺乏处理人际关系和相互沟通的才能。于是开始增设了一些“软”课程,如公共关系、领导艺术、谈判技巧等。

随着中国加入WTO,市场国际化和企业国际化的进程加快,这都将对企业管理人员不断提出新的要求。当前企业面临着国际和国内的双重竞争,对于企业高层管理人员,不仅要求具备定量分析的能力,更要求具有较强的创造力和想像力的素质,同时要求他们具有奉献精神和社会责任感。

(3)系统工程研究的对象,往往可分为“硬系统”和“软系统”两类。所谓“硬系统”是指偏于工程性质的,它们的机理比较明显,因而较容易用数学模型来表述,一般可用定量方法计

算出最优解。但是,在对复杂系统的研究工作中,为了节约时间和降低成本,往往采用一些“软处理”方法,例如,人机对话方式,把人的经验判断加进去,使一些复杂问题得以适当的简化。所谓“软系统”是指偏于社会经济型的系统,它们的机理往往并不清楚,难于完全用数学模型来表述,而常用半定量的方法来处理问题。“软系统”的一个主要特点是在系统中加入了人的因素,吸取了人的经验和判断能力。对于“软系统”,人们为了求解方便,常借助于求解“硬系统”的方法来近似代替,例如用力学的某些原理来解释社会现象。当然,算出问题的解一般只能是满意解。这种“硬化”处理,一般是把某些定性问题定量化,然后采用定量为主,定性为辅,两者结合的方法。

1.3 系统工程的方法论

系统工程方法论就是解决系统工程实践中的问题所应遵循的步骤、程序和方法。系统工程方法论体系的基础就是运用系统思想和各种数学方法、科学管理方法、经济学方法、控制论方法以及电子计算机等技术工具来实现系统的模型化和最优化,进行系统分析和系统设计。

1.3.1 三维结构体系

由于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遵循的步骤、程序和方法移植过来,处理系统工程所要解决的组织管理、规划和决策等类问题。并在实践中收到显著成效。20 世纪 60 年代,许多学者根据实践经验,总结系统工程方法论,其中,美国贝尔电话研究中心的霍尔(A. D. Hall)在 1962 年提出了“三维结构方法论”,又称“三维结构体系”。

三维结构体系是由时间维、逻辑维和知识维组成的一个立体的、跨学科的体系,如图 1-1 所示。

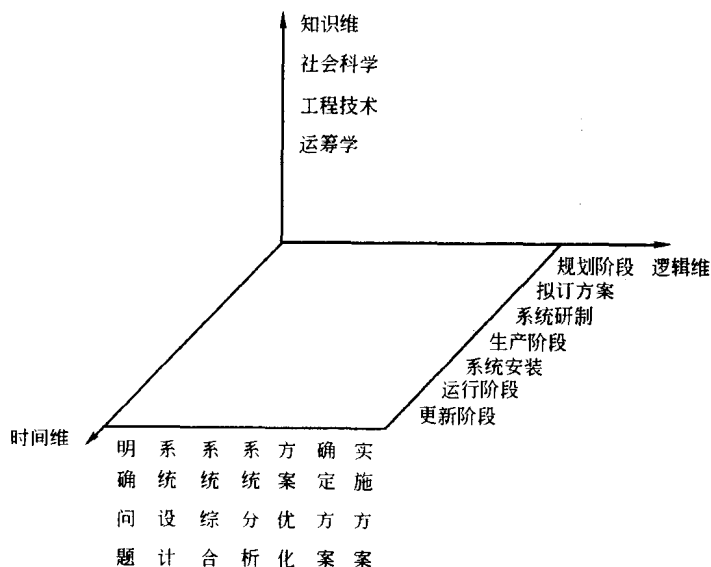


图 1-1 三维结构体系图

霍尔的系统工程方法论强调明确目标,核心内容是最优化,认为现实问题都可以归结为工程一类的问题,可用定量分析的方法求得最优解。

霍尔的“三维结构体系”概括了系统工程的一般步骤、具体阶段和涉及到的知识范畴。具体来说,就是将系统工程的活动,按照时间维分为前后紧密相连的 7 个阶段;按照逻辑维又将每个阶段划分为相互联系的 7 个步骤;同时又考虑到所需要的各种专业知识。

(1)时间维。表明系统工程的工作从系统规划到系统更新按时间顺序可分为 7 个阶段:

- 1)规划阶段:研究确定系统工程活动的目的、目标、规划和战略;
- 2)拟定方案:提出具体的计划方案;
- 3)研制阶段:实现系统的研制方案,并制订生产计划;
- 4)生产阶段:生产出系统的构件及整个系统,并提出安装计划;
- 5)安装阶段:实现系统的安装,并完成系统的运行计划;
- 6)运行阶段:系统按预期的用途运行、维护和管理;
- 7)更新阶段:新系统取代旧系统,或改造旧系统使之适应新要求。

(2)逻辑维。指在系统工程的每一个时间阶段,按系统工程的思考和解决问题的方法,所要完成的工作步骤。

1)明确问题:即全面收集有关待解决问题的历史、现状和发展趋势的资料、数据,把问题的形成和问题的边界搞清楚;

2)系统指标设计:确定待解决问题的目标和建立评价目标价值指标体系及标准;

3)系统方案的综合:按照系统的要求,形成一组可供选择的系统方案;

4)系统分析:对系统的目的、环境、结构、费用、效益等进行充分的论证和分析,为系统方案的选择提供科学可靠的依据;

5)方案优化:即系统选择,通过对系统模型的求解,找出最优方案;

6)确定方案:由决策者选择一个或多个方案试行;

7)实施方案:对试行方案不断修改、完善,并确定下来,以保证顺利进入系统工程的下一阶段。

(3)知识维。三维结构中的知识维表明为完成系统工程的工作,所需要的知识和各种各样的专业技术。霍尔进一步阐述了这些知识包括工程、医疗、建筑、商业、法律、管理、社会科学和艺术等。这也充分说明各种专业知识在系统工程中的重要性。

系统工程活动矩阵如图 1-1 所示,在以时间维和逻辑维为坐标轴构成的平面内,对应着系统工程 7 个阶段中的每一个阶段,有系统工程的 7 个逻辑步骤,将其列成表格,称为系统工程活动矩阵。其中每一格表示系统工程的一组具体活动。在活动矩阵中所列的各项活动是互相影响、紧密联系的,为使系统整体上取得最优效果,应把各阶段、各步骤的活动反复研究、实行。

1.3.2 软科学系统工程方法论

20 世纪 60 年代期间,系统工程主要用于寻求各种战术问题的最优策略,或者用来组织、管理大型工程项目的建设施工,因此比较适合霍尔的方法论。而且,也取得了巨大成就。但是,从 70 年代中期开始,系统工程越来越多地用于研究社会经济系统的发展问题,涉及的因素多而且复杂,很多因素又难于定量分析。为适应这种发展的需要,有些学者对霍尔的方

方法论提出了修正,特别是英国兰卡斯特大学的切克兰德(P. Chechrand)系统地提出了对霍尔的方法论的修正意见,提出了适合于软科学的系统工程方法论。两者的主要区别如图 1-2 所示。

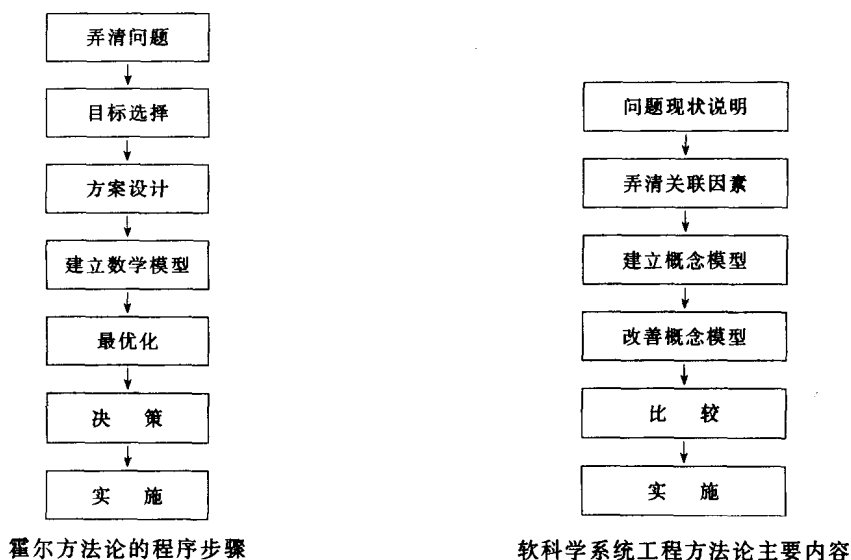


图 1-2 两种方法论的比较

切克兰德认为,完全按照霍尔的解决工程问题的方法来解决社会问题或“软系统”问题,会碰到许多困难。尤其是在设计价值系统,系统模型化和系统最优化等步骤方面,有许多因素是很难进行定量化分析的。因此,切克兰德提出了自己的方法论,并把它称为“软系统”方法论。软系统方法论是解决软系统问题的一种新颖的思路,其解决问题的步骤是:

- (1)问题现状说明。为了改善现状,对非结构化的问题的描述。
- (2)弄清关联因素。弄清与改善现状有关各种因素及其相互关联的情况。
- (3)建立概念模型。用结构模型或者数学模型描述系统现状。
- (4)改善概念模型。应用系统工程的理论和方法,提出改进方案、意见、思路。并得出改进的概念模型。
- (5)概念模型与现实模型比较。将改进的概念模型与现实进行比较,找出符合决策部门意图的可行的变革。
- (6)系统实施。根据决策组织实施。

切克兰德方法论的出发点是,社会经济系统中的问题往往不能像工程技术系统中的问题那样,事先将目标、条件给定清楚,因而,也就难于按若干个衡量指标设计出符合要求的最优系统方案。所以,切克兰德方法的核心不是“最优化”,而是“比较”或“学习”,从模型与现状的比较中来学习改进现状的途径。“比较”这一步骤,含有组织讨论,听取各方面有关人员意见的意思,从而不拘泥于描述定量求解的过程,这正好反映了人的因素和社会经济系统等软系统的特点。切克兰德方法论是霍尔的方法论的扩展。当现实问题确实能够工程化,在弄清其要求时,概念模型阶段就相当于霍尔的方法论中的最优化阶段,实施的不是变革,而是设计好的最优系统。

目前,美、英、澳大利亚等一些国家的大学都已开设了软系统方法论的课程。该方法已在美、英、澳大利亚等国家的政府部门和企事业单位的管理中得到应用和推广。例如,在澳大利亚,软系统方法已被用于社会卫生规划制订及实施方案,空军后勤系统的再设计,公司市场营销计划系统设计等,并取得实效。这种软系统方法论在我国也开始用于解决一些比较复杂的战略问题,例如,对一些地区性的发展战略的研究就采用了这种思考方法。

近来,国内有的学者认为当今世界是一个国际化的信息世界,现代社会环境关系模糊复杂,因此环境对系统生存、发展至关重要;战略研究和战略管理信息系统更是注重环境研究。而对于小至不同的企业,大至不同的地区、国家,其外部环境,如自然环境、科技环境、经济环境和政治社会环境等可能差异很大。霍尔的三维结构体系在应用上不能体现出反映地域(环境)等空间影响,也不能适应国际化、集团化的发展。因此提出了一个新的结构体系,取名为“系统工程四维结构体系”,即在霍尔的三维结构体系基础上,又增加了一个环境维。即把环境提到与知识维、逻辑维和时间维同等重要的地位来考虑,并提出环境变化分析活动矩阵和环境因素分析活动矩阵的概念。由此可见,系统工程的方法体系也还在不断的发展和完善之中。

1.3.3 系统工程的技术内容

系统工程以多种专业的科学技术为基础,综合了工程技术、运筹学、应用数学、社会科学、控制论、信息论、管理科学和计算机科学等专业学科的内容。但是它不是孤立地运用各门学科的技术内容,而是把它们从横向有机的联系起来,综合运用,形成了一门新的学科。系统工程涉及的学科内容极为广泛,主要有:

(1)运筹学。运筹学是运用数学方法研究系统最优化问题的科学,是系统工程主要基础理论之一。运筹学的方法论与系统工程的方法论有着相近之处,但运筹学主要是用于处理具体的技术性问题,而系统工程则主要是用于处理全局的战略性问题。运筹学是一门多分支的应用科学,其主要分支有:线性规划、整数规划、非线性规划、动态规划、图论和网络技术、决策论、对策论、存储论等。

(2)概率论与数理统计。概率论用于概率型系统的描述,而数理统计用于研究如何取得系统的数据,及如何进行数据分析、处理。

(3)技术经济学。技术经济学是一门跨自然科学和社会科学,同时研究技术与经济两个方面的交叉学科。它是用经济的观点分析评价系统技术上的问题,研究系统的经济效益,为制定技术政策、确定技术措施和选择技术方案提供科学的决策依据。

(4)计算机技术。由于系统工程要研究的系统,往往庞大而且复杂,要进行详尽的分析,获得一个满意的系统方案,一般都要借助于电子计算机以实现对大量数据的处理、分析和计算;还可以对一些系统方案进行计算机模拟试验。计算机的应用极大地促进了系统工程的迅速发展。

(5)管理科学。1911年,泰勒在总结了过去经验的基础上,开创了科学管理的新阶段。二次大战以后,由于运筹学、工业工程及质量管理等理论的出现和应用,形成了新的管理科学。它强调建立数学模型和利用计算机技术,从而为实现现代化管理提供了技术、方法和工具。与此同时,还出现了其它一些现代管理理论,如社会系统理论、管理过程理论等。管理科学的形成促进了系统工程的进一步发展。

总之,可以说系统学为科学地大规模改造世界提供了基础理论,而运筹学、技术经济学、计算机技术、管理科学等则为科学地大规模改造世界提供了一般的最优化方法、科学的管理工具,而系统工程则是从宏观角度为科学地大规模改造世界提供了组织管理技术和方法。

1.4 应用举例

为了对系统工程思想方法在实践中如何应用,应主要注意什么问题,有一个进一步的认识和了解,举两个例子来加以说明。

例 1-1 在二次大战期间,美国空军在执行对德国纳粹的战略轰炸中遭受了较大的损失。那个年代的一段轶事是关于为减少这些损失所开展的研究工作。美军事研究人员对 B-17 轰炸机在执行任务时被地面炮火击中后机身上留下的弹孔进行了检测,并将每个孔的位置标注在绘有 B-17 轰炸机的图纸上。当所有的孔都标记完以后,可清楚地看出,机身上的某些部位在战斗中更容易遭受创伤。负责这项研究工作的将军召集参谋人员会议,并建议对机身上遭受严重破坏的部位敷设装甲。由于飞机只能增加很少的重量,找到敷设额外装甲的最佳位置是极其重要的。当会议即将结束,大多数与会者对计划的可行性表示赞同时,一个坐在后面的年轻军官不很自信地举起手,并被允许发言。中尉小声问道,为什么在机身上弹孔较密集的部位增加装甲,而不是那些弹孔较少的部位呢?他指出“毕竟被你们检测弹孔位置的飞机都是已经返航的”。

在这个事例中,返航的轰炸机机身上弹孔被统计,位置被标定,并绘制了相关的图纸进行研究。即对战斗中轰炸机的损伤情况进行了定量化分析。然而,将军的分析忽视了被地面炮火击中后飞机所发生问题的详细情况,特别是那些未能顺利返航的轰炸机被炮火击中所造成的后果。

这个故事或许是杜撰出来的,然而,在何处敷设装甲的问题,在许多特征方面的确是一个典型的系统工程问题。从故事的结尾可见,问题的提出似乎有误并有些混乱:对机身上弹孔的统计或许有用,但并不十分明确如何来应用这些结果,或者说如何从中得出其它有用信息。关于这个问题,看来最困难的事情是建造一个有效的概念化模型,它应包括大量的有用信息,并且能令人信服地解释所处的状态;再者,应强调的是,对于在何处敷设装甲的决策,什么才是做出决策的科学依据;最后,对调查的对象,除了飞机之外,还应包括有关人员和组织,显然,在何处敷设装甲不是一个抽象的理论问题,如果开展这样一项研究工作,这个决策对 B-17 轰炸机的飞行员及试图控制伤亡和赢得战争的指挥系统是同等重要的。

例 1-2 这个例子说的是由阿拉斯加东北部的油田向美国本土运输原油的问题。

任务和环境:要求每天运输原油 200 万桶。油田位于北极圈内,海湾常年处于冰冻状态,陆地也是常年冰冻,最低温度达到 -50°C 。

最初提出了两个解决问题的系统结构设想,一是用运油船运输;二是用带加温系统的油管输送。

方案一的优点是每天仅需 4~5 艘超级油轮就可满足运输量的要求,比铺设油管输送投资少。问题在于,要用破冰船引航,既不安全又要增加成本;海运的起点和终点都要建造大型油库,油库的储量应在油田日产量的 10 倍以上,这又是一笔巨大的开支;另外,考虑海运还要受到海上风暴的影响。