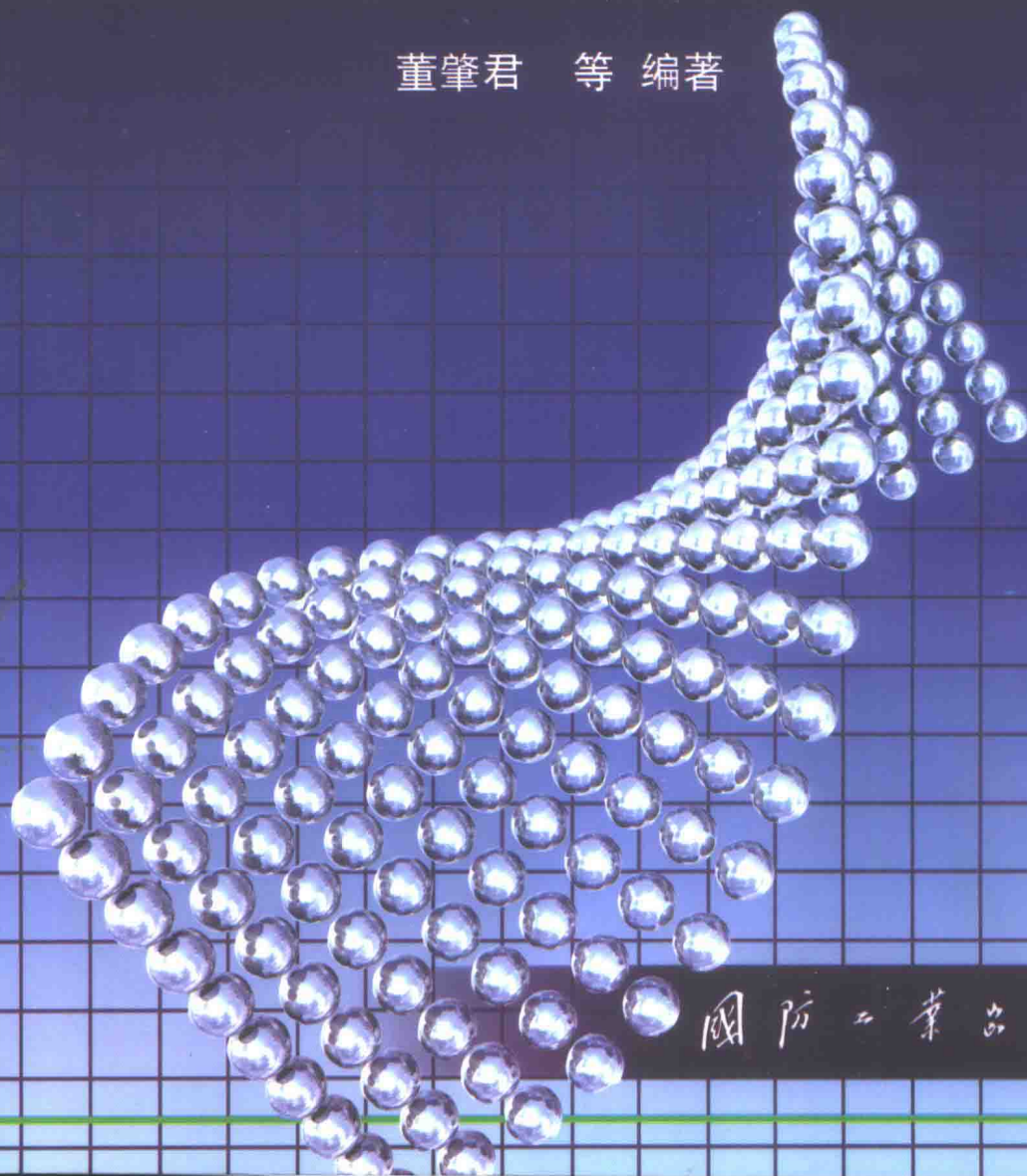


系统工程与运筹学

XITONG GONGCHENG
YU YUNCHOUXUE

董肇君 等 编著



國防工業出版社

系统工程与运筹学

董肇君 等编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书立足于整体指导局部的系统思想,把辩证唯物论与现代科学技术相结合,把定性分析与定量分析相结合。重点介绍了系统科学与系统工程的基本原理与方法,并结合经济管理专业实践从建立模型和模型求解角度介绍了运筹学的基本方法。

本书可作为高等工科院校经济管理专业本科生和其他专业研究生的教学参考书,也可作为工程技术人员、管理干部培训班教材和自学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

系统工程与运筹学 / 董肇君等编著. —北京:国防工业出版社,2003.1

ISBN 7-118-03043-0

I.系... II.董... III.①系统工程②运筹学
IV.①N945②022

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 099697 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

涿中印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 26½ 617 千字

2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月北京第 1 次印刷

印数:1—3000 册 定价:38.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

前 言

系统工程是 20 世纪 50 年代发展起来的新兴工程技术科学,是现代化管理的基础科学之一。我国自 20 世纪 70 年代开始研究,在经济管理以及工农业生产各个领域已取得丰硕成果。它不仅用于宏观决策,也用于微观决策,是从事规划设计、经营管理、科学研究不可缺少的理论和工具,其发展令人瞩目。

系统工程立足于整体指导局部的思想,把辩证唯物论与现代科学技术相结合,把定性分析与定量分析相结合,给人一种认识世界、改造世界的崭新方法,是我国四化建设中不可缺少的一门方法性科学。

运筹学是系统工程的基础理论之一,是为系统工程提供数学理论和方法的科学。它是在系统思想指导下采用建立数学模型和模型求解等定量化方法为系统决策服务的技术科学,在我国属数学科学。

系统工程与运筹学是密不可分的,系统工程强调系统思想,运筹学强调数学方法,二者相辅相成可使问题得到较合理的解决。

本书尽量回避运筹学中有关数学方法的论证,从系统思想出发,以“问题导向”,由浅入深地介绍数学模型的建立和求解方法,力求通俗与实用。

本书共十三章,内容包括:系统科学方法论与系统;系统科学与系统工程;系统工程的重要方法——模型化;系统工程常用预测方法和模型;投入产出综合平衡模型;静态线性系统最优化模型;非线性静态系统最优化模型及求解方法;网络最优化方法;系统试验和模拟;系统决策;网络计划技术;随机服务系统;动态系统基础等。全书由董肇君主编,其中,系统工程常用预测方法与模型、投入产出综合平衡模型由符启勋同志编写、静态线性最优化模型(6.4 节、6.5 节、6.6 节)由唐智娟同志编写,其他章节由董肇君编写。

本书可作为经济管理专业本科生和其他专业研究生必修与选修课的教学参考书,亦可作为各类现代化管理学习班、培训班教材,尚可供有关工程技术人员、管理干部自学和参考。

在本书编写过程中参阅了大量资料和著作,吸收了同行们辛勤劳动的成果,在此向同行们表示感谢。

由于编者理论水平有限,书中谬误之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

2002 年 8 月于天津

目 录

第 1 章 系统科学方法论与系统	1
1.1 系统科学方法论	1
1.2 系统的概念和特征	6
1.3 系统的分类	8
第 2 章 系统科学与系统工程	10
2.1 系统科学体系	10
2.2 系统工程	14
2.3 系统工程的基础理论和工具	19
2.4 系统工程的研究方法和步骤	22
2.5 系统工程的应用和发展	27
第 3 章 系统工程的重要方法——模型化	36
3.1 模型与模型化	36
3.2 系统模型化的基本理论	39
3.3 模型化的程序和常用建模方法	42
第 4 章 系统工程常用预测方法和模型	46
4.1 预测科学	46
4.2 定性预测技术	48
4.3 定量预测技术	51
4.4 带定性变量的线性回归预测模型	68
4.5 判别分析预测模型与综合评审	72
4.6 时间序列预测	79
4.7 灰色预测——GM(1,1)模型	82
第 5 章 投入产出综合平衡模型	88
5.1 部门间投入产出综合平衡模型	88
5.2 部门间投入产出综合平衡模型的应用	98
5.3 企业投入产出模型	115
第 6 章 静态线性系统最优化模型	119
6.1 最优化及最优化模型的建立方法	119
6.2 系统线性规划模型	121
6.3 国民经济综合平衡最优化模型	137

6.4	线性规划的求解方法	146
6.5	灵敏度分析和参数规划	168
6.6	对偶规划及影子价值	181
6.7	整数规划	184
6.8	模糊线性规划及其应用	186
6.9	灰色线性规划及其应用	194
6.10	Lingo 软件简介	198
第 7 章	非线性静态系统最优化模型及求解方法	203
7.1	非线性系统最优化模型	203
7.2	无约束非线性规划问题求解方法及原理	213
7.3	有约束非线性规划的求解	225
第 8 章	网络最优化方法	237
8.1	网络和图的基本概念	237
8.2	一笔画和最小部分树问题	239
8.3	最短路径问题	243
8.4	最大流问题	250
8.5	最小费用最大流	257
第 9 章	系统试验和模拟	260
9.1	系统的试验设计和分析	261
9.2	模拟技术——蒙特卡罗法	273
9.3	系统动力学模拟原理	282
9.4	系统动力学模型	287
第 10 章	系统决策	294
10.1	决策树	294
10.2	风险决策和不确定决策	299
10.3	多目标决策	303
10.4	目标规划法	309
10.5	对策分析	314
第 11 章	网络计划技术	319
11.1	系统管理的网络技术	319
11.2	网络图的编制	321
11.3	关键线路法(CPM)	326
11.4	CPM 网络的优化	334
11.5	计划评审技术(PERT)	343
11.6	决策关键线路法(DCPM)	349
11.7	图解评审技术(GERT)	355

第 12 章 随机服务系统	365
12.1 随机服务系统的组成和特性	366
12.2 定长服务系统	370
12.3 生灭过程	371
12.4 普阿松输入、负指数分布服务系统分析(M/M/D)	374
12.5 随机服务系统的费用优化	381
第 13 章 动态系统基础	385
13.1 动态系统一般知识	385
13.2 动态系统最优化理论和方法简介	402
参考文献	416

第1章 系统科学方法论与系统

1.1 系统科学方法论

人类在与自然界作斗争的过程中,靠自己的聪明才智逐步地认识、掌握自然界发展和变化的规律,并不断地向大自然索取所需要的衣、食、住、行等物品。然而人类在改造自然界的同时,也在改造自己。他们在失败的挫折中吸取教训,在成功的喜悦中总结经验,使自己的头脑更加聪明,并增强了认识世界和改造世界的能力。在向科学技术进军的旅途中,他们经过长期的积累,逐步从中提炼出一套认识和研究自然界的一般性方法。这种方法在实践中不断深化、充实、丰富和提高,就形成了科学方法论。科学方法论的出现对科学技术的发展起到了重要的作用。

1.1.1 系统科学方法论的发展

科学技术进步的过程反映了人类认识世界、改造世界的过程,也体现出科学方法论的发展过程。从方法论角度研究,科学方法论的发展大体上经历了古代、近代、现代三个相互联系的时期。

1.1.1.1 古代方法论

自人类出现以来,他们无时无刻不在同自然界打交道。在科学技术相当落后的古代,人们为了从自然界得到足够的生产和生活资料,在与自然界作斗争的过程中总结出一套把世界当作一个整体来研究的方法。这种研究方法在古希腊和古中国的一些著作中都有阐述。如古希腊辩证法奠基人之一的赫拉克利特在《论自然界》一书中说过:“世界是包括一切的整体”;被马克思称为伟大思想家的亚里士多德在《工具篇》一书中曾指出,事物的生灭变化是由物料因、形式因、动力因、目的因引起的,并得出“整体大于它的各部分的总和”的论断而成为古代方法论的代表著。公元前6世纪—5世纪之间,我国春秋末期思想家老子强调自然界的统一性;南宋陈亮的“理一分殊”思想称“理一”为天地万物的整体,“分殊”是这一整体的每一事物的功能并试图从整体角度说明部分与整体的关系。这说明了古代人类采用“从统一的物质本原出发,把世界当作统一体”的方法来研究世界的。

古代这种研究事物的方法虽然强调对自然界的整体性和统一性的认识,但由于当时科学技术很不发达,尚缺乏对组成自然界这一整体的各个细节的认识能力,因此对自然界整体性和统一性的认识也是不完全的。由于当时自然现象总的联系还不能从细节的认识上得到证实,所以往往只得用理想、幻想或猜测的联系代替尚未证实的联系,这就造成在整体这一概念上和整体组成部分之间联系的刻划上的直观性、模糊性和思辩性。因而在处理事物时,逻辑方法占主导地位。形象地说,这个时期可称为“只见森林,不见树木”的

时期,这也正是当时的客观历史条件所决定的。

1.1.1.2 近代科学方法论

随着人类的进步和科学技术的发展,人们越来越感到古代对自然界的研究方法并不能进一步深刻地揭示出事物发展变化规律,这是由于自然现象总的联系还没有在细节上得到证明的缘故。

19 世纪下半叶,近代科学开始兴起,力学、天文学、物理学、化学、生物学等科目从混为一体的哲学中分离出来,产生了自然科学。自然科学的诞生、发展和进一步分化,开辟了实验科学的新阶段,该时期科学研究的主要任务是通过实验、解剖和观察,收集资料、积累经验、进行资料的整理和加工,以期弄清自然界的细节。这在当时的科学技术水平下,只有把事物分成若干独立部分,分门别类地独立地进行分析才能办到。因此在实验、解剖和观察的基础上的分析方法就成为这个时期的主导方法。培根的著作《新工具》、迪卡尔的著作《方法论》就很自然地成为近代科学方法论的经典著作,并指导着该时期科学研究工作和生产实践。这两部著作对推动近代科学的发展起到了相当重要的作用。

近代科学方法论在促进自然科学知识的深化上、在材料的整理和加工上、在研究自然界的具体方法和手段上都高于古代方法论,这对当时自然科学的发展起到了很大的推动作用。但从方法论角度看,该时期的科学方法论尚存在不足之处,即在深入细致地考察自然界细节的同时,由于学科越分越细,以致忽略了对整体的研究,而造成“只见树木,不见森林”的状况,往往以对事物局部的较深刻的认识取代了对事物整体的认识而产生片面性和局限性。这正如恩格斯所说:“就是以这些障碍堵塞了自己从了解部分到了解整体、到洞查普遍联系的道路。”

19 世纪下半叶,自然科学已经取得了很大成就,自然界的细节已能够得到较深刻的认识,尤其是能量守恒、细胞学和进化论的发现,更进一步地揭示出客观世界的普遍联系,这为人类重新综合地研究客观世界这一整体奠定了基础。马克思和恩格斯在上述“三论”的基础上总结出一套认识世界的新方法——唯物辩证法,并提出物质世界是由相互联系、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的认识世界的一般方法。由于马克思和恩格斯是在充分揭示出物质世界内在普遍联系的基础上提出世界的整体性和统一性这一概念的,因此它区别并高于以逻辑方法和思辩为主导的古代方法。又由于它是以“自然科学本身所提供的事实,以近乎系统的形式描绘出自然界相互联系的清晰图画”的,故它又区别并高于 15 世纪—19 世纪上半叶的近代科学方法论。这样,马克思和恩格斯所创立的科学方法论就成为 20 世纪以来人们认识世界和改造世界的最先进的科学方法论。

1.1.1.3 现代系统科学方法论

20 世纪初,人们在马克思和恩格斯所揭示出的认识世界的一般方法的指引下,进一步明确了系统概念的内涵,尤其是系统论、控制论和信息论出现以后,系统的概念与现代科学技术有机地结合起来,使系统的概念由定性转化为定量、由经验上升为理论,从而形成了一套以马克思主义唯物辩证法为基础的、既有理论指导、又有科学方法并拥有先进计算手段的系统科学方法论。它是从整体上最优地解决各类系统问题的锐利武器,是沟通马克思主义哲学和系统科学的桥梁,是对 20 世纪 30 年代以来的科学方法进行系统、科学地概括和总结,是我们当前处理系统问题的基本方法论。

从方法论的发展可以看到,人类认识现实世界的过程,是一个不断深化的过程,是在真理的长河中,逐步前进的。在古代,既少理论依据,又缺乏观测和实验手段,所以对许多事物,往往只能睹其外貌。随着科学和技术的进步,近代科学开始兴起,开创了实验科学的新阶段,使人们对事物的构成部分(个体)有了深刻地了解,但认识是不断深化的,在对部分有了更多规律性地了解之后,再回过头来利用所得到的信息,从关联入手探索出一套认识事物整体的方法,从而使人类认识世界、改造世界的能力达到较高的水平,这是科学发展的必然结果。系统科学方法论所创立的认识世界、改造世界的新方法,必将使人类社会开始一个新的时代——系统时代。

1.1.2 系统科学方法论的特征和组成

1.1.2.1 系统科学方法论的特征

系统科学方法论是在系统论、控制论和信息论基础上创立的,它是唯物辩证法的具体化,是架设在对客观事物和过程高度抽象的唯物辩证法与客观事物和过程具体运行实践之间的桥梁。作为20世纪以来认识世界、改造世界的基本方法论,它具有如下特征:

(1) 整体性。整体性是系统科学方法论的基本出发点,它为人们从整体上研究客观事物提供了有效方法。该方法论要求人们始终把研究对象作为一个整体来看待,认为世界上事物和过程都不是其组成部分杂乱无章的偶然堆积,而是一个合乎规律的、由各要素组成的有机体。这一整体的性质与规律只存在于各组成要素间的相互联系、相互依赖、相互制约和相互作用之中。而各组成部分孤立的特征的总和并不能反映整体的特征。

(2) 综合性。综合是相对分析而言的。15世纪—19世纪上半叶的方法论主要是以分析为特征的。当时科学本身的发展在客观上需要把整体分解成部分加以精确地研究。然而由于事物本身是其组成部分相互联系的整体,科学的发展本身又要求揭示不同物质运动形式的共同属性和规律,这就需要采用综合的方法。综合方法是把系统的各组成部分、各部分的结构和性能、各部分的联系、历史发展等因素联系起来加以考察,从中找出共同性和规律性的方法。因此系统科学方法论的关键是综合。

(3) 定量化和最优化。量化是系统科学方法论与传统方法论的主要区别之一。运用系统科学方法论处理系统问题时,总是尽量采用各种数学语言和数学工具使系统得到较精确的定量描述,以反映系统发展变化的规律。在定性分析指导下的量化可克服单纯定性分析的缺点,为进一步深刻地认识事物和过程提供捷径。最优化是量化的方法之一,它可依据需要,确定系统最优目标而得到最大效益。它是系统科学方法论中方法的核心。

(4) 信息化。系统科学方法论以信息论为其基础理论之一。因此,它在处理系统问题时特别强调信息的重要作用,这一点区别于只着眼于物质、能量,而忽视信息的传统方法。该方法论在处理系统问题时撇开物质与能量的具体形态,而把任何系统当作一个信息的传输和加工的系统,并认为只有信息流才能使系统维持正常的、有目的的运动,强调信息流对系统的支配、调节和控制作用。

(5) 人一机方式。系统科学方法论是以人利用电子计算机作为处理系统问题的基本方式。在处理系统问题的过程中,人始终处于主导地位。当前,系统越来越复杂,需要处理的信息量越来越大,仅靠人脑进行加工是不够的,必须借助于人脑的延伸物——计算机

的帮助。因此人一机方式就自然地成为系统科学方法论处理系统问题的基本方式。

1.1.2.2 系统科学方法论的组成

系统科学的方法论是系统方法、反馈方法、信息方法相互关联而构成的方法体系。

1. 系统方法

系统方法是指按照事物本身的系统性,把被研究对象作为系统,始终从整体与部分、整体与环境、部分与部分之间的相互联系、相互依赖、相互制约、相互作用的关系上精确、综合地考察和研究,以使系统处于最优运行状态的一种方法。其特点是整体性、综合性和最优化。系统分析方法、模型化方法、最优化方法和模拟实验方法等是其经常使用的工具。

2. 信息方法

信息方法是指运用信息的观点,把系统看作借助于信息的获取、传递、加工、处理而实现其有目的性的运动的一种研究方法。其特点是把信息的概念作为分析和处理问题的基础,它完全撇开研究对象的具体运动形态,把系统的有目的的运动抽象为一个信息变换过程。该过程如图 1.1.1 所示。

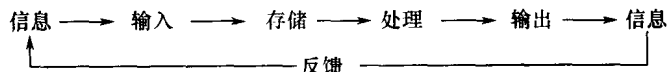


图 1.1.1 系统的信息处理过程

由图 1.1.1 可见,信息方法强调信息流的处理和加工过程,尤其是反馈信息流的存在能使系统实现预期的目标。

当前,由于经济管理体制等原因,我国在应用信息方法时有很多不足之处,主要表现在以下几方面:

- (1) 信息流流动速度过低;
- (2) 信息失真;
- (3) 信息积累和存储不足;
- (4) 信息通道不畅等。

为了有效地利用信息方法必须将加快信息流的流动速度、提高信息的可靠性、疏通信息通道、注意积累资料等工作作为首要任务加以解决。当前 Internet 技术的发展使人们获得信息的方式与途径更加广阔,进一步建设与完善“信息高速”公路成为我国当务之急。

3. 反馈方法

反馈方法是指用系统活动成果的信息调整系统的活动使之实现系统目标的一种方法,也就是在系统控制的过程中,收集行动效果的信息,并将其与系统目标相比较,从而提供控制信息的方法。其特点是在系统控制过程中始终运用反馈的概念。

反馈的概念包括以下三方面内容:

- (1) 向既定目标的行动;
- (2) 对行动效果的了解;
- (3) 行动效果与既定目标的比较。反馈方法不仅对工程控制系统有重要作用,在经

济管理系统中的作用也是很大的。如现代化管理方法中的滚动计划法实质上就是一个个反馈的过程。系统的反馈过程如图 1.1.2 所示。

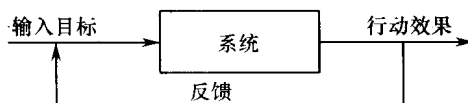


图 1.1.2 反馈过程

应用反馈方法的关键因素仍是信息的流动速度,保证信息处理过程的通畅是及时得到反馈信息的基础,因此信息方法和反馈方法是紧密相连的。

系统方法、信息方法和反馈方法是相辅相成的,在处理系统问题时它们总是交织在一起的,这也正是系统科学方法论的特点。

总的来说,系统方法是以系统论为基础的,信息方法是以信息论为基础的,反馈方法是以控制论为基础的,而三者的有机结合就构成了系统科学方法论。

1.1.3 系统科学方法论的指导思想——系统思想

系统科学方法论的指导思想是系统思想。系统思想就是系统思维方法,它是指唯物辩证法所体现的物质世界普遍联系及整体性的思想,是“以近乎系统的形式描绘出自自然界相互联系的清晰图画”的思维方法。

系统思维方法与传统思维方法不同,传统思维方法是在以 15 世纪—19 世纪上半叶的方法论为基础的,它把了解世界当作尽可能彼此孤立的部分的总和,它习惯上把被研究对象分成若干独立部分,并把复杂对象的行为定义为各独立部分特性的简单相加,也就是采用“简单分解,简单相加”原理。按照这种思维方法,在处理问题时,先把被研究对象分解成若干无关联的部分,然后单独对各部分进行深入细致地研究,最后把研究的结果汇总,总结出研究对象的总体特性。这种以局部为基点,探索事物发展变化规律性的方法是片面的,甚至是错误的。其原因就在于它忽视了事物各组成部分之间的联系,忽视了部分与整体的差别,缺乏综合,缺乏辩证法。

系统思维方法是进行分析和综合的辩证思维工具。它把被研究对象当作一个完整、统一的整体来研究它的性质,也就是说,整体具有部分所没有的一些特性,也正是这些特性的存在而区别于部分。“整体大于部分之和”的非加和原理是系统思想的基本点。以这种思维方法研究问题,总是把被研究对象当作一个系统,从系统整体出发来研究系统内各组成部分、各部分之间的联系和系统与环境的关系。为了最大限度地利用整体特性,系统思想要求从不同角度把系统的概念贯通、综合,使系统的局部目标服从整体目标。这就是系统思维方法的一条原则。在此原则下,系统思想的另一特点就是从各部分的关联中探讨系统的整体特性,从而正确地认识整体。利用分析和综合的方法是系统思想处理问题的基本方法。

两种思维方法在表面上看好像只是形式上的不同,但事实上却有本质的差别,用两种方法处理同一问题所得结果是不同的。

两种思维方法是不同的,其区别见表 1.1.1。

表 1.1.1 系统思维方法与传统思维方法的区别

	系统思维方法	传统思维方法
出发点	整体	部分
研究基点	各组成部分之间的关系	部分
研究顺序	从整体到局部或由上级到基层,再由局部向整体综合	从局部到整体,由基层到上级
局部目标和整体目标的关系	局部目标必须服从整体目标,整体目标是局部目标的综合	以局部利益为基础形成局部目标,将局部目标叠加,形成整体目标。
考虑系统状态	动态地研究事物全过程	静态地研究事物的单一过程

随着科学技术的发展,人类社会活动不断大型化和复杂化,出现了许多庞大而复杂的系统,如社会经济系统、生态系统、管理系统等。这些系统有一些共同的特点:

- (1) 规模越来越大,结构越来越复杂;
- (2) 需要从时间、性能、费用、可靠性、可维修性等方面进行综合评价;
- (3) 不确定因素越来越多和要求准确性越来越高的矛盾日益加深;
- (4) 需要处理的信息量越来越大,信息的作用也越来越强;
- (5) 解决问题需要各学科协同作战等。因此人们在实践中要求系统思想不仅能定性而且还能定量,以便从整体出发,协调部分的活动且把各部分的活动综合成技术上先进、经济上合理,并能协调运转的系统,取得最大效益。

20 世纪中叶,现代科学技术的发展为系统思想的定量化提供了一套具有数学理论、能够定量处理系统各组成部分相互联系的科学方法和强有力的计算工具——电子计算机,这就使系统思想由思维方法上升为理论——系统科学方法论。由此可见,系统科学方法论是以系统思想为指导,把系统思维方法和现代科学技术结合起来的产物,它既为我们提供思维方法,又为我们提供具体的理论和工具,因而是处理系统问题的基本方法论。

1.2 系统的概念和特征

系统一词由来已久,可一直追溯到古希腊唯物主义者德谟克利特(约公元前 540 年—480 年)的一本没有留传下来的著作《宇宙大系统》。但系统一词真正得到广泛使用还是 20 世纪 40 年代以后的事情,其内涵也在不断地发展和完善,并逐渐开始趋于统一。

1.2.1 系统的概念

1.2.1.1 系统的定义

关于系统的准确定义,国内外有不同的说法,主要有以下几种:

- (1) 一般系统理论创始人冯·贝塔朗费认为:“系统是相互作用的诸要素的综合体”;
- (2) 韦氏大辞典(Weberster 大辞典)中系统(System)被解释为有组织或被组织的整体,被组合的整体所形成的各种概念和原理的综合,以有规则地相互作用、相互依赖的形式组成的诸要素的集合;
- (3) 钱学森教授把系统定义为:“极其复杂的研制对象,即由相互作用和相互依赖的

若干组成部分组合成的具有特定功能的有机整体,而且这个‘系统’本身又是它所从属的一个更大系统的组成部分。”

为了适应系统工程学研究的需要,本书中所指的系统是由相互联系、相互依赖、相互制约、相互作用的若干部分,按照一定的方式,为了一定的目的组合而成的存在于特定环境之中并具有一定功能的有机整体。这个整体本身又是它所从属的更大整体的组成部分。

1.2.1.2 系统的属性

从系统的定义看,系统应具备以下六个基本属性:

(1) 整体性。系统作为由若干相互作用和相互联系的部分有机组合的、有一定结构和功能的整体,其本质特征是有机的整体性。系统整体性首先是系统目标的整体性;其次是系统功能的整体性,即组成系统的各部分的功能必须服从系统整体的功能,系统功能不等于各组成部分功能的简单相加,确定对系统的评价准则时,必须以系统整体为基础;再次是系统规律的整体性,系统整体的规律不是各组成部分规律的叠加。总之一切系统都是整体的,是组成部分与环境相互作用的整体,是各组成部分之间相互联系、相互作用、相互依赖、相互制约所形成的整体。

(2) 有序性(层次性)。凡系统都有结构,结构都是有序的。系统的有序性主要体现在系统的层次上。由于系统的各组成部分在系统中所处的地位不同,而形成了不同的层次,该层次关系决定了系统内物质、能量和信息的流动,从而使系统能够作为一个整体发挥较高的功能和效率。

(3) 集合性。系统都是由两个或两个以上可识别的部分(或子系统)所构成的多层次整体。作为子系统,是系统不可缺少的一部分。

(4) 关联性。系统各组成部分(子系统)之间按照一定的方式相互联系、相互依赖、相互制约、相互作用的性质叫系统的关联性。通过系统的关联性可揭示出系统整体特性和整体与部分的关系。

(5) 目的性。系统各组成部分按照统一的目的组织起来的性质叫系统的目的性。任何系统,尤其是人造系统都具有特定的功能,其组成都具有一定的目的并且有达成目的的手段。作为系统的一个组成部分都有为系统目的服务的一面,同时作为不同于其他组成部分又有维护自身利益的一面,因此研究确定系统目的和子系统目的之间的关系,保证各子系统在系统总目的的指导下,协同配合,分工合作,在完成各子系统目的的同时达成系统的目的是研究系统目的性的主要内容。

(6) 环境适应性。任何一个系统总处于特定的环境之中并与环境不断地进行物质、能量、信息的交换。系统离不开环境,而且必须适应环境的变化,否则系统将不能存在。这种系统随着环境的变化而存在的性质叫系统的环境适应性。

根据系统的定义和属性,我们可得出如下三条结论:

(1) 整体中每一个部分的性质或行为将影响整体的性质和行为;

(2) 每一部分的性质或行为以及影响整体的途径依赖于其它一个或几个部分的性质或行为;

(3) 每一部分对整体都不具备独立的影响,所以系统不能分出独立的子系统。

1.2.1.3 系统的运行模式

从系统的结构特点和与环境的关系方面研究,系统都按以下模式运行:

(1) 任何系统都由环境输入物质、能量和信息,经系统处理后向环境输出物质、能量和信息,因此系统均具有将输入转化为输出的功能。系统由输入、处理、输出三部分组成,并可用图 1.2.1 的模式表示。

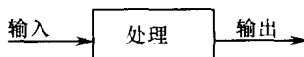


图 1.2.1 系统模式图

(2) 系统内部都有物质、能量、信息三种流的流动。系统本身的运动过程就是对这三种流的处理过程,我们过去往往只重视物质、能量两种流的管理,而忽视了信息流的管理,这是造成工作被动的原因之一。从对系统的组织管理角度研究,信息流是至关重要的。

(3) 系统都有反馈和自适应能力。系统都靠信息的反馈控制调整自身的运行,以适应环境并实现目标。

(4) 系统都有一严密的层次结构。生物系统、工程系统和非工程系统均如此。

1.3 系统的分类

系统广泛地存在于自然界,为了便于研究,需对系统进行分类。如何对系统进行分类取决于研究目的。依研究目的,选择不同的分类标志对系统分类可界定研究对象的属性。

1.3.1 按单一标志分类

1. 按组成部分的属性分

(1) 自然系统。由自然物组成的系统叫自然系统,如太阳系统等。

(2) 人造系统。由人或社会集团按某种目的建立的系统叫人造系统,如电力系统等。

(3) 复合系统。人造系统和自然系统复合而成的系统叫复合系统,如气象预报系统等。

其中第(2)、(3)两类系统是本书的主要研究对象。

2. 按与环境的关系分

(1) 封闭系统。与环境很少发生物质、能量、信息交换的系统叫封闭系统。实际上,世界上根本不存在封闭系统,只是为了研究方便,有时人为地把一个系统当作封闭系统处理。

(2) 开放系统。与环境经常发生能量、物质、信息交换的系统叫开放系统。系统与环境所进行的物质、能量、信息的交换,可影响系统的结构、功能及其发展。一旦系统与环境的联系切断,就会对系统的稳定产生不利影响,而使系统遭到破坏。

3. 按所处的状态分

(1) 静态系统。系统的要素不随时间变化的系统叫静态系统。事实上这种系统是不存在的,只是为了研究方便,人为地假设系统处于相对平衡或静止的状态。

(2) 动态系统。系统的要素随时间变化的系统叫动态系统。

4. 按形态分

(1) 实体系统。由实物构成的系统叫实体系统。如机械系统等。

(2) 概念系统。由概念、原理、方法等非物质组成的系统叫概念系统。如软件系统等。

5. 按系统的规模分

(1) 小型系统。所包含的部分(子系统)数量较少或变量数较少的系统属小型系统。一般来讲,这类系统各部分之间的关联较简单。如工艺简单、产品品种较少的企业。

(2) 中型系统。所包含的部分(子系统)较多或描述系统状态的变量数较多,各部分之间的关联比较复杂的系统属中型系统。如中型企业、地、县一级的区域系统等。

(3) 大型系统。所包含的影响因素相当多、组成部分(子系统)或描述系统状态的变量数很多、结构层次复杂,关联复杂的系统属大型系统。如国民经济系统、生态经济系统等。

(4) 超大型系统。包含的部分(子系统)或描述系统状态的变量数相当多、结构层次极其复杂以致应用常规的方法和手段无法完成其分析和优化,必须采取一些独特的处理方法的系统属超大型系统。如生物圈系统、人体系统等。

此外,还有很多其他分类方法,如按具体研究对象可把系统分为不同的对象系统,如教育系统、林业系统、电力系统等,在此就不一一赘述了。

1.3.2 综合分类

综合分类是按研究目的将某些分类标志加以组合形成组合分类标志,并以该组合分类标志对系统进行分类的一种分类方法。如将规模与环境关系两个标志组合进行分类可将系统划分为大型开放系统、中型开放系统、小型封闭系统等。

第2章 系统科学与系统工程

2.1 系统科学体系

2.1.1 现代系统科学体系

钱学森教授于1981年构造设计出现代科学体系如图2.1.1所示。

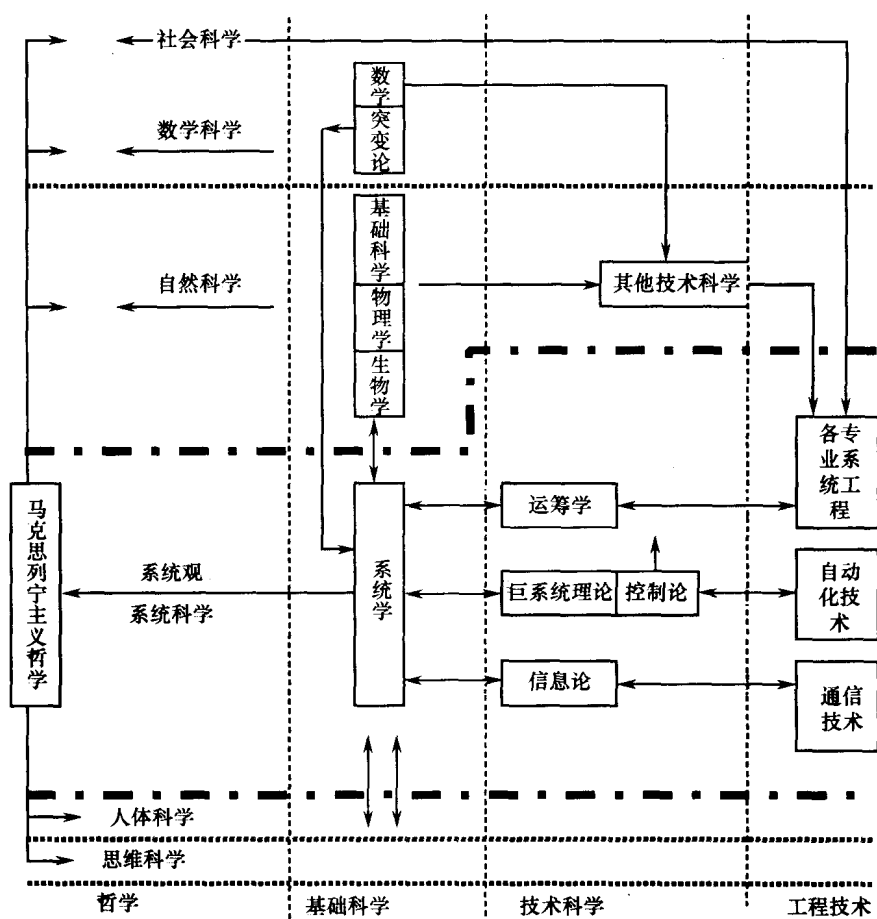


图 2.1.1 系统科学体系

按钱学森教授的构想,现代科学技术体系纵向可分为四个层次:哲学、基础科学、技术科学和工程技术。横向可由自然科学、社会科学、数学科学、系统科学、人体科学和思维科学组成。系统科学是在自然科学、社会科学和数学科学之外正在形成的一个新的学科体