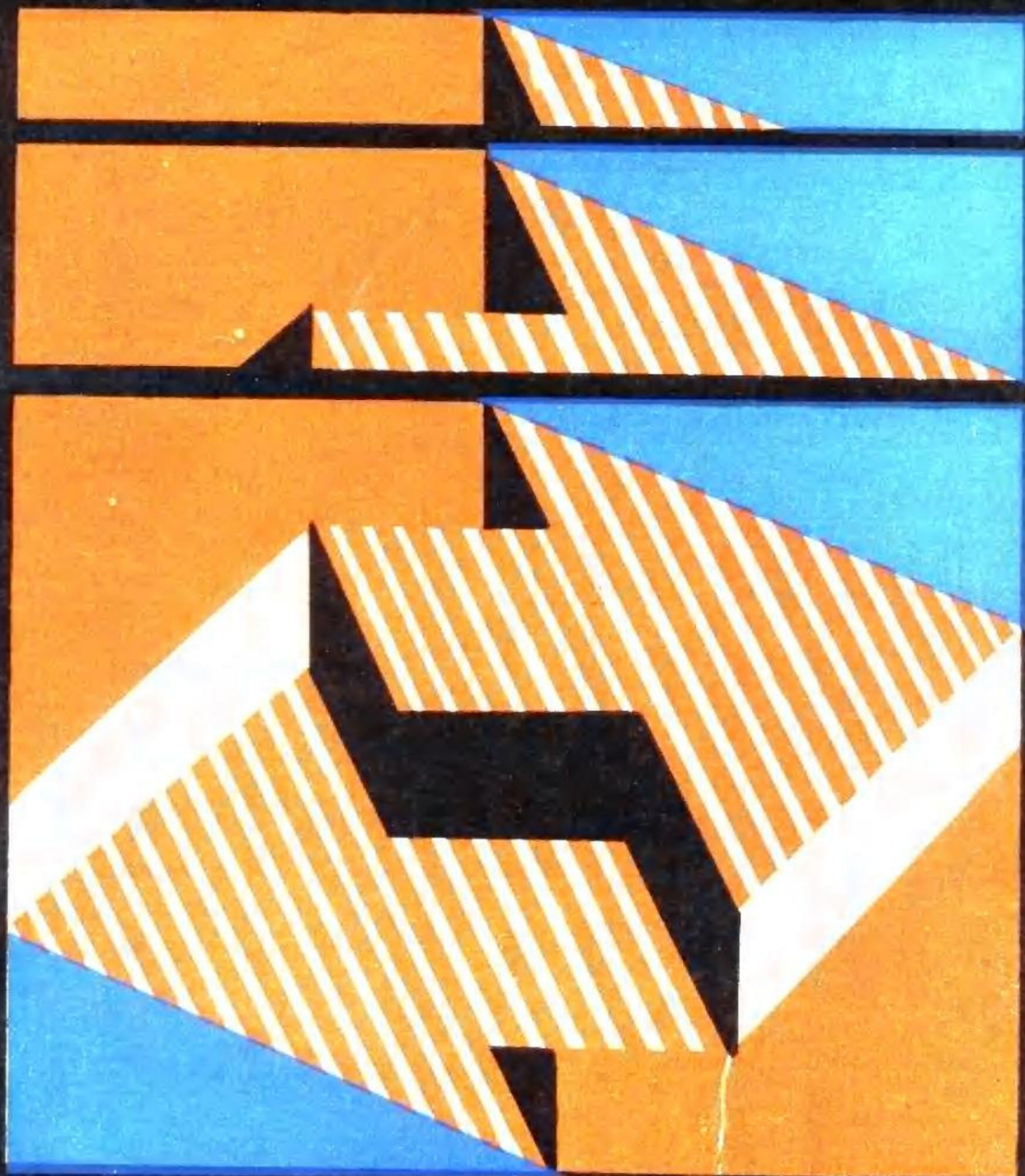


系统分析

XI TONG FEN XI

上海交通大学出版社

秦士元 编著



0091540

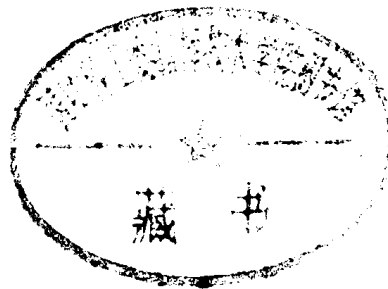


科工委学院802 2 0013889 8

系 统 分 析

秦 士 元 编 著

GF 50/28



上 海 交 通 大 学 出 版 社

内 容 简 介

本书扼要地叙述了系统分析的基本内容,使读者掌握对工程系统进行技术经济评价和优化分析的方法步骤。全书共分九章,分别介绍了系统分析的基本概念、费用-效益分析方法、最优化方法基础、一维搜索方法、无约束的多维搜索方法、非线性规划算法、线性规划算法、动态规划和蒙特卡洛方法。每章都有算例和应用实例。在附录中还列出了两种简明实用的最优化算法程序及其使用说明。

本书可作大专院校工程设计、交通运输和系统工程专业的教材或教学参考书,也可供设计、经济、计划和管理等部门的技术人员参考。

系 统 分 析

上海交通大学出版社出版

(淮海中路1984弄19号)

新华书店上海发行所发行

江苏常熟文化印刷厂印装

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 14.25 字数 349,000

1987年11月第1版 1987年11月第1次印刷

印数 1—3800

标准书号: ISBN 7-313-00049-9/F22 科技书目: 158—285

定价: 2.40 元

前 言

系统分析是一门综合运用运筹学、工程经济学、计算机科学、工程设计、信息论等知识,合理地开发系统的科学。近年来在研究交通运输、能源开发、城市规划、大型工程建设以及经营管理等方面得到了广泛应用。它可为决策者定量地或定性地提供信息资料,帮助决策者选择能达到预定目标的最优方案。

本书是在作者近年来从事这门学科研究的基础上,经过历届教学实践不断修改后编写完成的。编写重点以掌握最优化为基础的数值分析方法和基本算法为主,力求对工程技术具有实用性和通用性。为了使读者便于学习和掌握,因此对于基本原理的阐述尽力做到深入浅出,浅显易懂,着重于计算、应用和在计算机上计算的实现。为了达到学以致用目的,在论述每种分析方法和计算方法之后都辅以算例或建模实例,不少章节还给出了一些较新的应用实例,其中有些是作者本人及所在学科组的科研成果。书中也吸收了不少国内外近年来较新的研究内容。对于各种不同的专业来说,用到的分析原理和方法基本上是一样的。

本书共分九章,并附有两个附录内容。第一章绪论,阐述系统的概念,系统分析的内容、方法和步骤,勾划出系统分析的轮廓。第二章是工程项目评估中常用的费用-效益分析方法,其中对于效益的概念及其综合方法作了较详尽的描述。这一章也是了解最优化算法中有关目标函数的基础。第三章是最优化方法基础,这是工程技术人员学习最优化(解题)方法必备的基础知识。书中的叙述也起到将数学列式与工程技术概念相联系的作用。第四章至第六章以及书中最后的两个附录是相辅相成的。第五章和第六章中详细论述的最优化方法是附录中两个计算机程序的基础。这两种计算程序具有简明、实用、计算效果好等优点,也代表了两种不同特点的算法。在这两章中还叙述了非线性规划算法的研究近况和效用评述。第七章至第九章分别结合算例叙述了线性规划算法、动态规划算法和蒙特卡洛模拟分析方法。

凡具有一般高等数学知识的大学高年级学生或工程技术人员都可阅读本书。

系统分析是一门正在发展的学科,它涉及的内容非常广泛,鉴于作者本人学识水平所限,谬误之处在所难免,欢迎读者批评斧正。

本书初稿承中国科学院学部委员、上海交通大学杨楫教授和中国船舶及海洋工程设计研究院许学彦总工程师审阅并推荐出版,作者在此谨表示衷心感谢。

秦士元

一九八七年三月于上海交通大学

目 录

第一章 绪论	1
§ 1-1 关于系统的概念	2
§ 1-2 系统分析的内容和步骤	3
§ 1-3 系统分析的方法	6
第二章 费用-效益分析方法及其应用	9
§ 2-1 系统的经济性评价	9
§ 2-2 效用函数及评价指标综合	15
§ 2-3 模糊综合评价	20
§ 2-4 海上油田开发钻井装置的评价分析示例	25
§ 2-5 进口磷酸江海联运技术经济分析示例	28
第三章 最优化方法基础	31
§ 3-1 数学规划问题	31
§ 3-2 变量和参数	36
§ 3-3 目标函数的性质	37
§ 3-4 约束函数的作用	41
§ 3-5 多目标规划算法和应用示例	44
§ 3-6 古典的优化理论和方法	48
第四章 一维搜索方法	57
§ 4-1 穷举搜索法	58
§ 4-2 对分搜索法	59
§ 4-3 黄金分割搜索法	61
§ 4-4 斐波那契(Fibonacci)搜索法	64
§ 4-5 抛物线拟合搜索法	69
第五章 无约束的多维搜索方法	72
§ 5-1 应用直接搜索法的多维最优化方法	72
§ 5-2 应用梯度搜索法的多维最优化方法	83
第六章 非线性规划算法及其应用	98
§ 6-1 罚函数法	98
§ 6-2 序列综合约束双下降法(SCDD 法)	105
§ 6-3 推广的缩维梯度法(简称 GRG 法)	106
§ 6-4 非线性规划算法的效用研究	109
§ 6-5 船舶运输系统的最优性和次优性研究示例	111
第七章 线性规划算法及其应用	118
§ 7-1 线性规划问题的标准形式	118

§ 7-2	二维问题的图解法	120
§ 7-3	单纯形法	123
§ 7-4	敏感性分析 (或称优化后分析)	135
§ 7-5	人工变量的二阶段法	141
§ 7-6	修改的单纯形法	148
§ 7-7	长江运煤船型优选和船队规划示例	154
§ 7-8	大系统的分解	158
第八章	动态规划及其应用	168
§ 8-1	最短路径问题	168
§ 8-2	动态规划的基础	171
§ 8-3	数学通式	173
§ 8-4	动态规划的计算和应用示例	176
§ 8-5	关于状态变量的讨论	186
§ 8-6	动态规划的维数问题	186
第九章	蒙特卡洛方法及其应用	188
§ 9-1	随机数的作用	188
§ 9-2	蒙特卡洛分析	192
§ 9-3	海上油田开发工程经济评价和风险分析示例	196
附录一	EPHJS 程序和使用说明	203
附录二	SCDDFM 程序和使用说明	214

第一章 绪 论

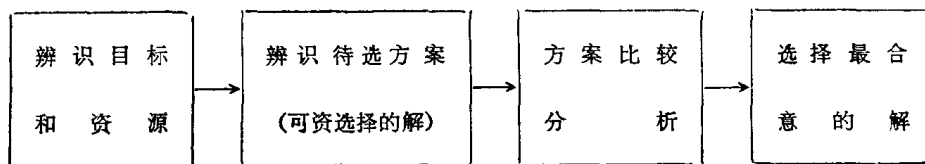
系统工程学是在本世纪四十年代发展起来的以“系统”为研究对象的工程学，它不仅被用于研究宇航、能源、交通运输、预算编制等工程和经营管理问题，而且也被用于研究人口、环境保护等社会问题，随着现代化大生产和科学技术的迅猛发展，它愈来愈显示出强大的生命力。

系统工程是一门方兴未艾、发展尚未成熟的学科，其技术内容是如此广泛（例如包括数学、运筹学、信息论、计算机科学、工程设计、工程经济学、仿真学等不同的学科），参与研究的学者又来自不同的领域，因此对于它的含意，不同的学者和学派有不同的说法。我国著名学者钱学森同志认为“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，是一种对所有系统都具有普遍意义的科学方法。”日本学者寺野寿郎认为“系统工程是为了合理地开发、设计和运行而采用的思想、程序、组织和方法的总称。”总之，它是由“系统”和“工程”两个概念结合而产生的新概念。这里“工程”一词是广义的。既指硬件的生产，也指为生产硬件而提供的研究、方法、程序等软件的生产。

所谓系统分析，按照韦伯斯特大字典，它被定义为“应用数学方法（典型的情况）以研究一种行动（如一个过程、一种商业，或一种生理逻辑功能）的行为、步骤和任务，达到设定的目标或使命，并找出更有效地完成它们的计划和程序”。对于它的其他定义有“由科学方法、系统哲学和涉及选择情况的各种学术分支导出的一种方法集合（包括定性的、定量的和混同的）。应用系统分析的目的是改进公共的和私有的人类系统（更有效地达到目标）。”

从广义的角度来理解，有人认为系统分析和系统工程是同义词，是一门以思想、步骤、组织、方法等哲理为主要内容的协助制定政策、规划，进行决策或行动部署的管理技术。它们的作用是达到：为决策者辨识充分有效的待选方案；高效（率）和有效（果）地利用稀少和昂贵的人类资源；便宜（且）更好地达到目的；改进政策制定。

系统开发过程是由系统的规划、研究、设计、制造和运行等各个阶段的螺旋式的循环和反馈组成的。在这些过程中包括设定目的、建立评价准则和指标、拟订待选方案、模型化和仿真预测、详细测算费用和效益、综合评价和排序、决策选优等步骤，因此狭义地可以按下列逻辑形式将系统分析理解成是系统工程的一个重要程序和核心组成部分，为创建新系统或改善现有系统而通过一定的步骤，帮助决策者选择决策方案的一种系统方法。这些步骤是：研究决策者提出的整个问题，确定目标、建立方案，并根据各个方案的可能结果，使用适当的方法（尽可能用分析的方法）去比较各个方案，为决策者提供尽可能多的资料（尽可能量化），以便能够依靠专家的判断能力和经验去处理问题，帮助决策者选择能达到规定目标的最优方案。



§ 1-1 关于系统的概念

系统是由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合而成的,具有特定功能的有机整体;而系统本身又是它所从属的一个更大系统的组成部分。系统作为一个整体来说可大可小,在宇宙中大至银河系、太阳系,小至质点系都可作为一个系统来研究,其量级可以相差很多倍。

系统可分为自然系统和人工系统。由太阳和行星、彗星构成的太阳系,其运行规律服从力学法则,是自然系统的一个例子。而由人工要素组成的、保持一定目的与机能的系统,例如机械装置等,则属于人工系统。系统分析的对象主要限于人工系统。

一艘船舶可以看成是一个系统,它的功能是航行和运输,或者完成某种特定的任务,它由若干子系统例如船体、机电、驾驶、通讯、起货、救生、锚泊以及生活设施等组成。一个水运系统则可以包含港口、码头、航道、货物装卸、贮存和疏运、船舶以及为支持海上运输所必需的辅助设施,而整个水运系统则又是属于国家的交通运输系统中的一个子系统。

按照大小或复杂程度,系统可以区分为:

简单系统 仅包含相对少量的元素和相互作用关系,或仅包含相对少量的参数和变量。

复杂系统 包含大量的元素,其中绝大部分参数和变量是可度量的。

极复杂系统 包含大量不同的元素,其中绝大部分参数变量是不可度量的。

按照行为的预测,则系统可区分为:

确定性系统 系统对每个输入将产生一种可以预测的效应,且对同样的输入其效应是一致的。

随机系统 对于规定的输入其效应是不再重现的,即不能期望对于同样的输入得到同样的行为。

例如,梁的弯曲属于确定性的简单系统;水运系统属于确定性的复杂系统;国家经济预测或海上油田开发则属于随机性的极复杂系统。

此外,系统按其形态又可作出下面的分类:

实体系统与概念系统 以生物、机械、能量、自然现象等实体构成的系统称为实体系统;由概念、原理、制度、程序、社会观念等非实体构成的系统称为概念系统。例如科技系统、教育系统、经济系统等属于概念系统。

静态系统和动态系统 表征系统运动规律的数学模型中不含有时间的因素,即模型中的变量不随时间而变化者为静态系统;否则是动态系统。

系统不是一个不可分解的元素,而是一个可以分成许多部分的整体。在整体中每一个元素的性质或行为将影响系统整体的性质或行为,而只有这些元素的集合才具有系统整体的性质或行为。例如一艘船舶中船体、机电、驾驶、起货等分系统的性质或行为将会影响船舶这个整体的功能,但是如果将这些分系统互相分隔开来,那么系统将失去其原来的功能,就不能再起到船舶的航行和运输的作用了。

因此,我们对系统进行研究时首先要强调着眼于整体的研究,对每个分系统的技术要求都首先要从实现整个系统技术要求的观点来考虑,俗语说“不要只见树木不见森林”也就

是这个道理。例如一个交响乐队，各个演奏者只有在统一组织和指挥下，才能演奏出高水平的悦耳的乐曲。系统分析者要根据系统的目标达到各个部件的最佳配合来优化系统总的功能。在解决问题时，要将系统分解成基本元素，研究各个元素对整体的影响程度，探索这些元素的最佳综合以达到规定的系统目标和要求。由此可见分析和综合两者相辅相成的道理了。

§ 1-2 系统分析的内容和步骤

所谓系统分析，在工程上就是这样一个有目的有步骤的探索和分析过程，即：为了给决策者提供直接判断和选择最优系统所需的信息和资料，运用科学的分析工具和方法，对系统的目的、功能、环境、费用、效益等进行充分的调查研究，收集、分析和处理有关的资料和数据，据此建立若干比较方案和必要的模型，进行仿真试验，测算费用和效益，把试验、分析、计算的各种结果同早先制订的目标进行比较和评价，最后整理成完整、正确与可行的综合资料或报告，作为决策者选择最优系统方案的主要依据。

在处理一个大规模的复杂系统的过程中，系统分析的步骤如下所述。

一、论点说明

这个步骤对系统工程问题是至关重要的，其结果是得到对研究要素的鉴别。此步骤又可分为问题解说、价值系统设计和系统综合三个方面。

1. 问题解说

问题解说是与任务委托者一起进行探讨，以鉴别对问题的要求，参数和变量，制约和约束，有关的环境和社会关系，研究的历史和背景，知识领域等。要辨识并制订系统的目标（目的），说明测算目标的标志。

系统的目标和要求是建立系统的根据，也是系统分析的出发点。通常是分析任务委托者（或决策者）对现状不满而提出一种希望达到的设想或要求。有了差距就产生了问题，据此可以规划、设计和选择策略行动以达到目的和要求。因此，只有当分析人员能够正确地全面地理解和掌握系统的目标和要求时，才能为今后的分析工作奠定良好的基础，为建立模型取得必要的信息。

系统分析中一个很重要的方面是要识别系统中的关键参数。例如分析和设计一个运输某种一定年运量的货物的船队时，其关键参数除了能运载这类货物的船型外，还有货物的装卸方式和设备、货物的中转地点、以及航速和船舶载货量等。这种影响系统状态而可由决策者（或分析者）控制的参数我们称之为变量。还有一些参数也是影响系统状态的，但不随分析者的意志为转移，或不能由分析者加以控制，例如货源、码头上的装卸设备和装卸能力、燃油价格等。则要在分析时变更其中主要参数的量值作敏感性分析，揭示系统状态如何随某一参数量值的变动而变化，预测系统未来状态的不确定性，和研究参数对系统状态变化的敏感程度，以鉴别其中影响系统状态最重要的因素。

系统的元素是互相有联系的。因此充分识别各个元素（或分系统）间的相互依存性（系统的内部约束）是进一步分解并协调大系统的关键，一个分系统的输出是另一个分系统的输入。例如在分析一个包含船、港口、码头、航道的运输系统时，货物装卸设备是船舶和

码头两者很重要的边界条件或接口，如果船上不设起货设备，那么码头就要设置足够的装卸设备；如果港口与陆上的集装箱运输相联，那么船舶就要设计成集装箱船。

系统的外部环境在一定程度上形成了对系统的限制和约束，它们直接或间接地影响系统的状态，因此在进行分析时必须充分说明系统的限制性因素。构成对系统的限制条件或约束有：经济上的限制，例如资金限额；资源限制，例如货源；地理和环境的限制，例如航道宽度、港口水深、风浪、潮流等；技术条件的限制，例如对噪音、振动、船舶性能等限制要求，设备的制造条件等；国家政策、法令和技术规范等；时间过程的限制，例如对系统研制完成的时间要求、使用寿命等；人文、生态、环境保护等。

总之，最后被采纳和选用的方案必须满足三种可行性，即技术可行性、经济可行性以及社会和政治可行性。

2. 价值系统设计

系统是要求达到一定目的的，因此就相应地产生了系统的价值。也就是说，系统的价值用来衡量系统目标的达到程度。在经济学上，为了达到设定的目的，以币值表示的投入资源的价值称为费用。系统的价值不是仅仅简单地以费用价格来决定的，实际上，性能、有效性、可靠性以及研制的时间过程等都是影响系统价值的因素。例如设计和制造一种产品，要求成本低或利润高、重量轻或体积小、耗能省、功能多、设计和制造周期短、可靠性好等。这些要求有些是互相排斥的。一般说，当性能或可靠性达到一定水平时，费用小的系统的价值高；如以当前的技术性能和可靠性水平为基准，则具有基准以上性能水平的系统的价值高，反之则低；可靠性高的系统的价值高，反之则低。此外，如系统的开发时间比预定的推迟，则系统的价值低，反之则高。

价值系统设计是将价值特征转换成一种可适用于估算的形式。为了便于测算，在分析时要制订一组衡准指标，用来评价待选方案达到目标的程度。这些衡准指标可作如下分类。

技术的衡准指标 以功能或操作特性来测算系统的效果，例如发动机的单位功率重量、汽车的里程耗油率、船舶的航速、稳性、运输系统的吨/公里·年等等，通常都可以定量表示。

经济的衡准指标 以费用来测算系统的效果，例如收益费用比、净现值(NPV)、投资回收期(PBP)、必需的货运费率(RFR)等等。通常以币值表示。

心理的衡准指标 以人的主观感觉来测量系统的效果，例如美观、满意、安全，等等，一般以定性表示。

政治的衡准指标 以权力特征来测量系统的效果，例如方案被批准和实施的“权力”等，一般只能定性表示。

3. 系统综合(或系统设计)

这一步骤的要点就是将已识别的基本元素组合起来成为一个系统整体，制订出各种待选的设计方案。其含义就是优选并组织关键元素以产生符合约束并满足目标和要求的系统。

二、论点分析

论点分析有如下主要内容。

1. 建立模型(模型化)

建立模型是系统分析中的重要环节。它既包括分析的也包括综合的,并可以与实际问题相比较,籍此可以从量的方面分析预测各个方案的性能、费用和效益。所谓模型化就是将所要研究的系统的物理现象、经济规律、生产组织等确切地用数学、图表、流程等关系表达出来。

模型可以按照不同的目的和要求加以分类。例如按照系统的形态,模型可以区分为:

物理模型 又可分为静态的和动态的两种。静态的例如建筑,图像,船舶的尺度等;动态的例如交通运输,市场价格波动,人员、信息或现金的流动。

行为模型 例如社会实况、环境响应、安全等。

按照分析的目的,模型又可分为功能模型(能定量地表示系统的性能),结构模型(例如各种方框图和流程图,可以作为建立功能模型的定性模型),评价指标模型(是功能、费用、可靠性和时间等因素的综合)等等。

在表达方式上,模型又可分为形像的、模拟的和符号的三种。

形像模型 这是实体在视觉上的几何相似,例如模型试验时的实物缩尺模型、地球仪等。

模拟模型 则用一种量来模拟物理实体或系统的相当的量,其行为与实际系统相当而不需要形似实物,例如图表曲线,模拟计算机以及用液流量或电流量来模拟交通系统和经济系统等。对于研究动态情况,模拟模型通常很有用。

符号模型(或数学模型) 是系统中实体和现象间因果关系的数学表达,它又可分为理论的和经验的二个范畴。理论的数学模型表示普遍性的定律或原理,例如热力学中的 $PV = RT$ 定律、数学中的正态分布规律等;经验的数学模型则是根据经验或试验导出(分析或归纳)的公式,例如船舶阻力计算中的摩擦阻力计算公式以及初稳性近似计算公式等。计算框图也可以看作符号模型。

数学模型一般由常系数、参数、决策变量和状态变量等几部分组成。其中特别要注意的是决策变量,这是可由分析者控制的量值,也是需要优选的量值。状态变量不能由决策者直接控制,而是有赖于决策变量的从变量。例如在作船舶主尺度优选的探讨时, $\frac{L}{B}$ 、 $\frac{B}{T}$ 、 C_B 可以作为需要优选的决策变量。排水量 Δ 、稳性高 GM 、航速 V 、必须的货运费率 RFR 是状态变量。

在构造模型时需要注意下面三个重要的问题:

确定哪些是关键变量;

确定变量间的结构关系;

确定模型结构中的参数和系数的量值。

2. 方案精选和优化

在系统综合时提出的建议方案可能是很多的。要对数量众多的方案进行详细评价既化时间又费金钱。因此在进入详细测算和评价之前先要进行初步筛选。筛选可以分成二步进行:

结合约束进行筛选,即去掉不能满足约束的方案,留下满足约束的可行方案;

对可行方案结合主要的 2~3 个衡准指标进行测算和筛选,因为最后被采纳的方案在主

要衡量指标上总是较先进的。

最后留下的供进一步测算和评价的方案不宜多于2~5个。

三、论点解释

这个步骤包括详细测算待选方案的费用和效益(包括各项衡量指标), 针对测算所表明的对目标和要求的满足程度将方案或策略进行排序, 以确定其中一个或几个策略值得进一步考虑或实施, 并确定一个实施的计划或日程, 包括资源分配等。因此, 这个步骤可进一步分为:

1. 决策;
2. 对所选择方案作出行动计划, 例如作业计划、开发和实施。

需要指出的是, 系统分析不是以直线路线循序渐进的。从一个步骤获得的知识和信息可导致修正前面步骤所取的途径, 迭代和反馈是必需的。系统过程和方法的格式是有伸缩性的。图 1-1 代表了一种典型的系统分析过程的流程图。

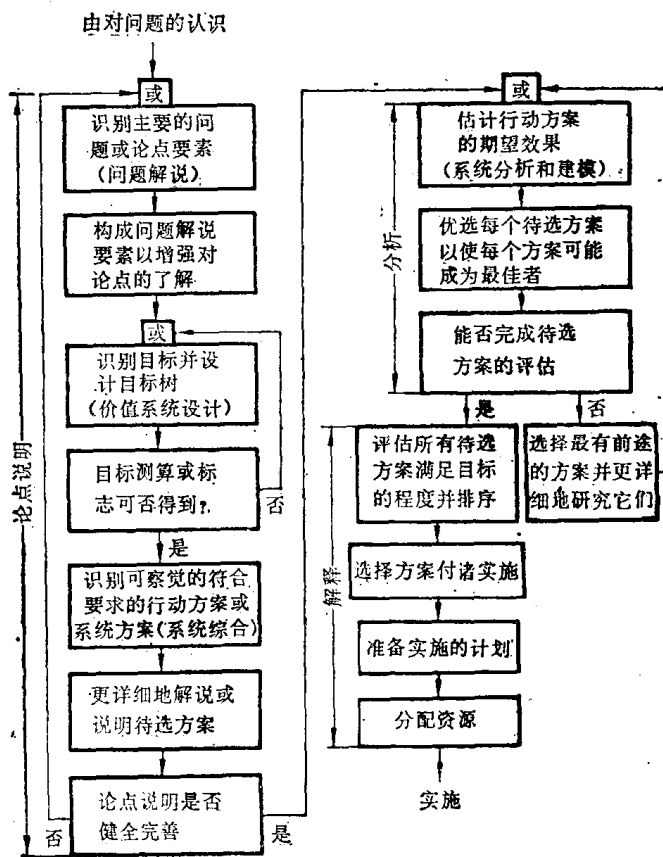


图 1-1 系统分析流程图

§ 1-3 系统分析的方法

系统分析的方法与系统开发的过程有关。

在系统分析的论点说明阶段,当数据或理论不足、资料缺乏时,特别是在许多因素只能依靠定性分析的情况下,为了获取情况和信息,专家意见法是一种广泛应用的方法。在确定系统分析的目标时,对于目标是否切中问题的要害,目标是否定得偏高或偏低,有无达到的可能等等,专家的意见往往不容忽视。在拟定各种可能方案时专家的创造力就更加重要,它决定了方案的数量和质量。在评价与选择方案时,虽然要利用数学手段作出定量分析,但往往少不了还要作定性分析,要考虑许多非定量的因素,所以仍然需要利用专家的智慧。

当然,对于不同的问题,专家意见所起的作用程度也不一样。根据实践经验来看,对于因素较多而又关系错综复杂的问题、综合抽象程度较高的问题、牵涉社会心理因素较多的问题、高层战略决策问题,专家法所起的作用较大。但是对于数学精确性很高的问题、需要复杂计算过程才能得出结论的问题、数学关系复杂无法直接得出结果的问题,则专家的直接判断较难见效,而数学处理方法在这些方面却可以发挥较大的作用。

下面列举几种常见而又被认为比较有效的方法。

列名小组法 (简称 NGT) 这种形式要求列名成员先不直接接触(或即使围桌而坐也不交谈决策问题),让他们分别用书面方式提办法(提建议或回答所提问题)然后由小组组织者把各人的书面材料综合为一份小组汇编材料加以公布,公布之后才进行讨论。由于只公布汇编结果,而不公布建议者的姓名,因此讨论时人们的顾虑要少些。

德尔菲法 这个方法采用函询调查,然后将收到的专家答复意见加以统计归纳,再在不公布姓名的方式将归纳结果寄回给各专家,再征求意见,再归纳。如此经过几轮的反复,使意见逐渐趋于集中。这个办法的好处在于被调查姓名只有组织者知道,可以避免相互消极的影响,而且由于采用几轮反馈的办法,意见比较集中,便于决策者最后下决心。

在列名小组法与德尔菲法的基础上还派生出许多类似的办法,如先函询后口头讨论,最后再函询的办法就是一例。

意见交锋原是为了求得意见一致,但如果意见刚提出来就受到批驳,就有可能把意见顶回去,影响意见的充分发表。所以现在很多人主张讨论意见应分两步走:第一步先让充分发表意见,不交锋;第二步集中讨论,或只在小范围内讨论。

畅谈会法 (简称 BS 法) 该法又称头脑风暴法,由奥斯本(A. F. Osborn)首创,目前在外国比较流行。他给会议规定了四条规矩:不许对意见进行反驳或下结论;欢迎自由思考;追求数量,意见(或建议)提得越多越好;寻求意见的改进与联合。

这种会议的基本精神是强调畅所欲言,不受拘束。根据实践结果,在这种会议上所提的意见与设想要比普通会议多,虽然其中大部分不切实用,但往往有几个方案或意见既新颖又很有价值,可供进一步研究,这就是重大收获。

对于专家的不同估计进行综合,主要采用统计技术。这里不但要用指标等级(例如很重要、重要、一般、不重要)反映专家意见的主要趋向,而且要反映他们意见的集中程度,即“一致性系数”。这对分析者来说是十分重要的,因为太分散的意见对于分析者来说是没有太大的参考价值的。一致性系数的测定,一般要用到统计学中分析离散度与相关度的方法,不过为了使反映一致性程度的指标更加直观,一般人都喜欢让一致性系数成为只限于从 0 至 1 之间变化的参数,让意见一致时的一致性系数为 1。

下面列举一些在系统分析过程中经常用到的其它方法。

在建立模型阶段,下面列出的一些基于数学建模和仿真的预测方法在系统分析中是很有用的。

时间序列预测法 是一种根据过去统计资料来预测未来状态的方法。它预测的变量是时间,用定时的方法来研究和判断预测对象的发展过程。

相关分析预测法 通过相互联系、相互影响着的一些事物来预测对象的发展,例如有些工业产品,可以找出它与国民经济某些经济指标的相关性,作出预测。

投入产出分析 又称部门平衡经济数学模型。是研究国民经济各部门之间相互依存的数量关系的方法。它从国民经济系统的整体出发,分析各个部门之间产品流入与流出的数量关系,以确定为了得到各种产品的最终数量,各部门产品应有的生产量。投入产出最初只用于国民经济的综合平衡,现在已经用这种模型来研究劳动和固定资产的投入产出,地区和部门的投入产出,企业的投入产出和能源的投入产出,并且用来进行经济预测,确定就业水平等。

连续时间动态仿真技术 仿真也称为模拟,它是在一个小范围内模仿实际情况所进行的实验或生产活动。在企业的经营活动中,实际问题往往是非常复杂的,经常会遇到变量众多而相互关系又不确定的因素影响。因此,对这类问题的数学建模及求解是十分困难的,甚至是无法解决的,而利用仿真技术则能够得到比较满意的结果。由于系统行为的不同动态形式,可把仿真分为连续性仿真和离散性仿真。

蒙特卡洛方法 也称统计试验法。是通过建立随机模型,利用电子计算机进行数值计算的一种数学方法。它的基本思想是把数学问题或运筹学问题的解,与随机模型的统计特性相联系,再用计算机模拟随机现象,来代替一系列复杂的公式推算。

规划论 是运筹学的一个分支,研究将有限的资料(人力、材料、机器和资金等)如何进行分配,以便取得最好的经济效益。规划论根据数学模型形式和要求的不同,可以分为线性规划,非线性规划,动态规划,整数规划等。

信息论 是一门研究信息传输和信息处理系统一般规律的科学。将近代统计学中、力学中的重要概念,将概率论,随机过程理论以及广义谐波分析的数学方法应用到信息系统的研究。从最普通的电报、电话、传真、电视、雷达、声纳,直到各类生物神经的感知系统,都可以概括成这样或那样的随机过程或统计学的数学模型,加以深入研究。

运筹学中的其他方法例如排队论、对策论等。

在方案评价与选择阶段,价值系统设计、费用-效益分析方法是很重要的。

在计划实施阶段,为了确定计划的总的程序和日程,下列方法对进度控制是很有效的。

关键路线法 (简称 CPM)是一种计划管理方法。它用网络图表示各项工作之间的关系,找出控制工期的关键路线,在一定工期、成本、资源条件下获得最佳的计划安排,以达到缩短工期、提高工效、降低成本的目的。

计划评审法 (简称 PERT)与关键路线法基本相同,但 PERT 中工序时间是不确定的。此法多用于科研和实验等不确定性较大的一次性工作计划安排中。

在将系统具体化成实体系统的制造阶段,各种工业管理方法、生产工艺学、母型试验法、可靠性分析等,是很适用的。

在系统的运行阶段,则资材分配、生产管理和库存管理等方法都是很有用的。

第二章 费用-效益分析方法及其应用

技术经济效果是指人们在实施技术方案生产物质资料时,所取得的有用劳动成果与投入的劳动耗费的比较。如果一个方案付诸实施的话我们就需要测算其效果,即它达到结果的价值。系统的效果通常以效益和费用来衡量,效益是一个方案解的“正”的方面,即输入投资以后经过转化所输出的使用价值和收益,它既包含定量也包含定性的因素。费用是方案解的“负”的方面,即形成使用价值的耗费部分,也包含定量的和定性的因素。系统分析的目的在于帮助决策者选择费用少、效益高、能达到规定的系统目标的最优方案。因此,系统分析方法在一开始是与决策方案的“费用-效益”分析方法分不开的,某些学者甚至认为系统分析方法归根结蒂是费用-效益分析。费用-效益分析最早被用于研究军事工程问题,它的一个例子如图 2-1 所示。

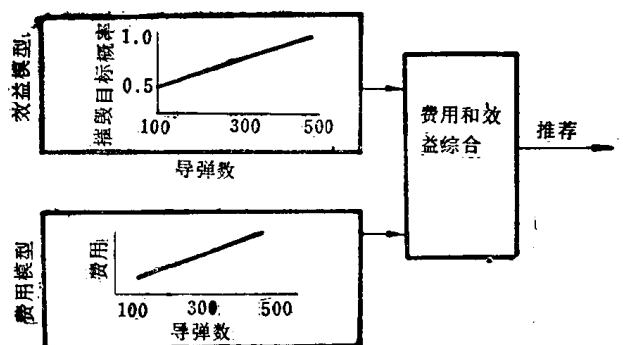


图 2-1 军事问题的费用和效益分析模型

图中的分析模型包括费用和效益二个模型,它被用于选择一种包含一定数量导弹的武器系统。在此情况中费用和效益是决策的评价准则(衡准指标),这是一个多指标的评价问题,由决策者规定一个临界的最高费用和要求的最小效益水平,两个指标之间的折算由决策者选择。

在工程经济学中,货币是计量(比较)的基础,当实现一规定目标有几种途径时,具有最低总费用或最大经济收益的方案常被选中,这种基于费用和收益的分析,我们称为经济性评价。然而在大多数情况下评价指标中常含有不能用货币来计量的因素,这时费用-效益分析将是一种有效的工具。

§ 2-1 系统的经济性评价

作为系统经济性评价的基础,必须考虑下面几个因素:在系统的研制和运行中投入的资金、器材、劳动等资源、即费用;在系统运行中得到的收益;系统的研制时间和系统从开始运行到报废的时间,即运营期限或寿命。

一般来说,费用大致可分为三类:在系统开发中需要的研究费用;在系统制造或建设

中需要投资的费用；在系统运行中需要的营运作业费用。

系统的研制和运行时间是较长的过程，在这段过程中，费用和收益的发生时期是不同的。因此，在进行系统的经济性评价时，要考虑费用和收益的时间价值，把将来的现金流通折算成现在的时值，就是所谓贴现。

在系统的研制和运行过程中要对不同的待选方案进行技术和经济评价。为了选择一个合适的系统方案，确定评价准则是不可少的。

一、经济性评价的衡准指标

经济性评价中经常使用如下几种主要衡准指标。

1. 平均年度费用(AAC)

对于收益不能预估、营运作业费用不变、而营运年限不等的各个方案，可用平均年度费用作为比选的衡准指标。平均年度费用最小的方案为最优方案。AAC的计算公式如下：

$$AAC = \frac{i(1+i)^N}{\{(1+i)^N - 1\}} \times \left\{ P + \sum_{t=0}^N \frac{Y_t}{(1+i)^t} \right\} = CR \left\{ P + \sum_{t=0}^N \frac{Y_t}{(1+i)^t} \right\}, \quad (2-1)$$

式中： i 为年利率；

P 为初始投资；

N 为营运年限(计算期限)；

t 为计算期中的第 t 年($t=0, 1, 2, \dots, N$)；

Y_t 为年度营运费用；

CR 为投资回收系数。

在 $Y_t = \bar{Y}$ 为一定的情况下

$$AAC = P \times CR + \bar{Y}. \quad (2-2)$$

2. 必需货运费率(RFR)

对于汽车、船舶等交通运输工具来说，运输能力是不同的，一般不能用 AAC 作为方案比较的指标，这时可用必需运费率。必需运费率是投资者为保证获得他所要的一定投资收益率而对每一单位产品(运量等)所要收取的费用(如运费)。RFR 最低的方案为最优方案。

$$RFR = \frac{AAC}{Q}, \quad (2-3)$$

式中： Q 为年度运输能力(吨或吨公里)。

3. 净现值(NPV)

净现值是将待选方案在计算期中逐年的净现金流量，按一定年利率折算为基准年的现值。当每年收入可以预估时则可用净现值作为经济性衡准指标，其计算公式为：

$$NPV = \sum_{t=0}^N \frac{(B-C)_t}{(1+i)^t}, \quad (2-4)$$

式中： B 为年现金收益；

C 为年现金支出；

$B-C=R$ 为盈利。

$$NPV = \sum_{t=0}^N \frac{(B-C)_t}{(1+i)^t} + \frac{L}{(1+i)^N} - P, \quad (2-5)$$

式中: $(B-C)_t$ 为不包括初始投资和残值的年度盈利;

L 为使用 N 年后的残值。

净现值为正值表示投资收益率大于基准收益率, 投资可得盈利, 负值则表明亏损, 方案不能被采纳。各比选方案中净现值最大的方案为经济性最优的方案。

4. 净现值指数(NPVI)

净现值是方案收益的绝对值。从投资效果来看, 不同的投资额其收益应是不同的, 因此, 对于不同投资数量的比选方案可以用净现值指数来作为经济评价准则。净现值指数是净现值与初始投资之比

$$NPVI = \frac{NPV}{P}, \quad (2-6)$$

其含义相当于单位投资的效果。

5. 内部收益率(IRR)

内部收益率是使方案收益现值等于支出现值, 即计算出 $NPV = 0$ 的折扣率 i 。它用来衡量贷款的最高允许利率水平。这相当于对下式解出 i :

$$\sum_{t=0}^N \frac{B_t}{(1+i)^t} = \sum_{t=0}^N \frac{C_t}{(1+i)^t}.$$

表 2-1 系统经济性衡准指标的适用情况

对象系统	盈利	费用	使用期限	模 式	经济性 衡准指标
收益可以 预估	盈利随 年度变 化	相同 或 不相同			NPV NPVI
	盈利 不变		不同		投资收 益率 i 投资回 收期 T
			相同		CR
收益不能 预估	营运作 业费用 随年度 变化	相同 或不 相同			RFR
	营运作 业费用 不变		不同		AAC
			相同		AAC