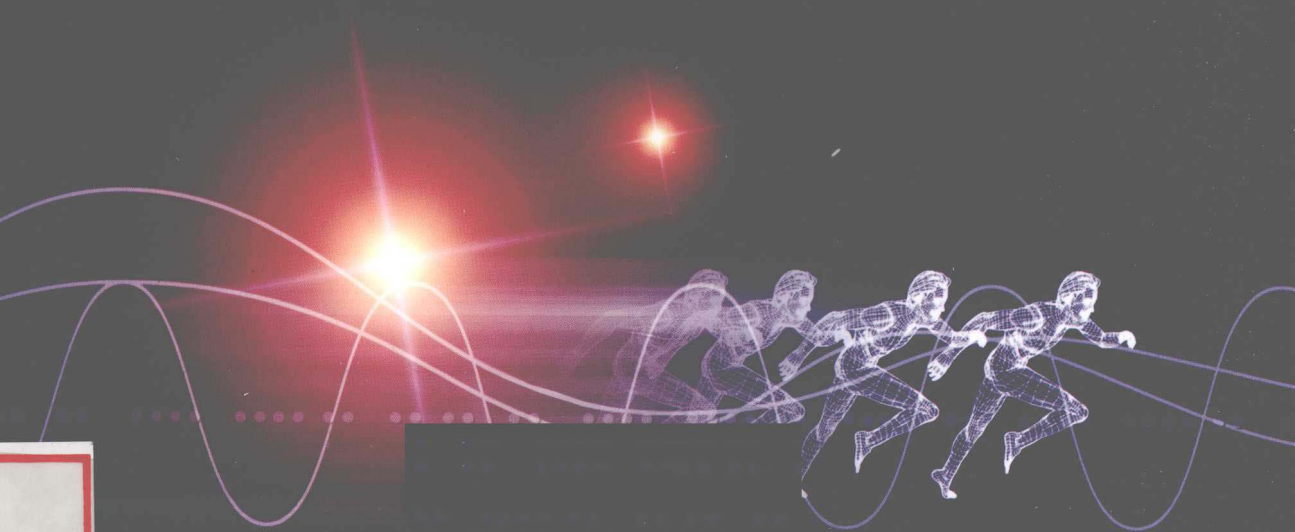


高等学校经济管理专业核心课程教材

应用运筹学

APPLIED OPERATIONS RESEARCH

杜 红 编著



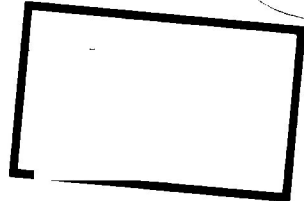
011010101011000101010111001010101101110100101010101010110011010101101000101
101010111001010110111010010101010101011001101010110100010101101010010111011



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

高等学校经济管理专业核心课程教材



应用运筹学

Applied Operations Research

杜红 编著



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

内容简介

本书重点介绍了管理运筹的思想与建模方法,具体包括了线性规划及扩展问题模型、图与网络分析模型、项目管理技术、决策分析技术、库存模型和排队模型等运筹学的重要分支。书中用较多的实例介绍这些原理与方法在管理决策上的实际应用,充分体现为应用而学习的目的。本书的主要特点是注重运筹学原理及方法在解决实际管理问题时应用,突出了管理问题的分析和运筹模型的构建过程,淡化了模型的理论推导和数学计算,借助于十分普及的 Excel 软件来求解模型,使得运筹学模型的应用更加简明直观,更容易理解,也能有效提升学习的兴趣和乐趣。本书通俗易懂的语言、详尽的建模过程分析和细致的求解过程引导,更便于读者阅读。

本书可作为高等院校工商管理、经济类本科专业教材,也可用于研究生的教学。对于希望了解和实际应用运筹学的各类人员都有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

应用运筹学 / 杜红等编著. —杭州:浙江大学出版社,
2009.2

(大管理学)

ISBN 978-7-308-06449-1

I. 应… II. 杜… III. 运筹学 IV. 022

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 201676 号

应用运筹学

杜红 编著

责任编辑 李桂云

封面设计 刘依群

出版发行 浙江大学出版社

(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 杭州中大图文设计有限公司

印 刷 杭州杭新印务有限公司

开 本 787mm×960mm 1/16

印 张 23

字 数 413 千

版 次 2010 年 2 月第 1 版 2010 年 2 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-06449-1

定 价 32.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部邮购电话 (0571)88925591

前 言

众所周知,运筹学是一门以数量化、模型化为主要内容的课程。时至今日,运筹学已经成为各行各业进行管理决策的一个基本工具。

屈指算来自己从事运筹学相关课程的教学已有 12 年的时间,记得当初刚好管理专业硕士研究生毕业,所在的经济管理学院正好需要为本科生开设定量分析的课程,再加上自己本科阶段学的是计算数学与应用软件专业,算是有一定的数学基础,因此,在当初院领导的鼓励下,经过一段时间的准备后就开设了《管理运筹学》课程,尽管课程内容上注重以管理问题为导向,但课程体系上还是借鉴了当时国内通行的《运筹学》内容,即以介绍运筹学各分支的基本概念、基本理论和方法、求解算法与步骤为主。经过几轮教学,教与学双方都感到有一些困难,主要的原因是这样的教学设计需要学的人既要具备相当的管理知识又要具备一定的数学知识,而对于大部分经济管理类的本科生和 MBA 学生来说往往是不具备的,以至于有学生告诉我“运筹学”简直就是“晕愁学”,学习时“晕”,考试时“愁”。所以,我清楚意识到针对经济管理专业学生开设的运筹学课程必须进行改革,改革的方向首先是从强调数学原理转变为强调运筹模型及应用,其次是从由数学处理模型转为计算机分析和求解。与此同时,也正好赶上了管理教学改革的大好时机,课程名称也更改为《应用运筹学》,授课时数也显著减少。为此,课程内容、教学方法等都需要重新设计,而课程教材作为教学改革的重要一环,更需要相应地做出改变。当时,尽管市面上各种各样的运筹学教材很多,但真正符合运筹模型管理应用和计算机方便求解两方面改革要求的本土教材却很少。

在这样的改革要求推动下,自 2001 年起,我开始着手编写修订新的课程讲义,力求在内容上以运筹模型介绍及解决管理实际问题为重点,突出问题分析及模型的构建,淡化专业数学知识的运用及算法的介绍,同时辅以国际上已普遍采用而学生又能很方便使用的“Excel 电子表格”求解模型的方法介绍,使模型的分析构建和求解过程更加直观、具体、生动、易懂,既能真正体现运筹学原理的实

际应用价值,也使得学生的学习过程更加轻松、兴趣倍增,并能大大加强学生运用所学知识和方法分析构建实际问题运筹模型并求解的能力和技巧。新的课程讲义完成后,又经历了8年左右多媒体授课的教学实践(期间根据新的课程内容制作的《应用运筹学》教学课件曾获得浙江大学教学成果奖),同时也根据教学的实际情况对讲义做了无数次的编辑和修改,使之在内容上更加完善,形式上更加深入浅出、通俗易懂,至今已日益成熟,终于可以告一段落,正式出版。

本书的最大特点是突出运筹模型的应用性,是强调运筹学作为解决实际管理问题的“工具”性的教材,它对数学的要求不是很高,但需要有一定的管理基础知识。因此,从这个意义上讲,它非常适合那些希望比较“经济地”学以致用并能见到实效的在职研究生及课时较少的经济管理类本科生使用。

尽管本书在内容及形式上有了一定特点,经过使用也受到学生们的普遍欢迎,而这一切可以说都来自于“教学相长”的结果,众多的同学在使用讲义学完课程后向我反馈了大量的改进意见和建议;同时,我在书中及授课过程中也参考了大量的国内外运筹学教材,有些实例题目及模型也选自这些教材,我们只是在此基础上又进一步给出了Excel电子表格求解的过程。由于涉及到的具体人员无法一一列出,只能在此一并感谢!

此外,也要感谢我的家人们,他们的理解和支持给了巨大的动力。我的研究生们也为书稿的整理付出了努力,她们是徐亚萍、陈丽、万敏、周怡焕等,在此也向她们表示衷心的感谢。也要感谢为本书出版提供无私帮助的各位老师。

在本书出版之际,我们也十分清醒地认识到运筹学课程改革的路还很长,还需要我们不断地努力创新与实践。同时也由于编者的水平有限,书中的缺点错误在所难免,敬请读者提出宝贵意见。

杜 红

2009年12月于浙江大学紫金港

目 录

第1章 管理运筹分析引论	(1)
本章提要	(1)
学习目标	(1)
1.1 管理运筹分析的学科背景	(1)
1.1.1 狭义的管理科学—运筹学	(2)
1.1.2 广义的管理科学	(3)
1.2 管理运筹分析的方法论基础	(4)
1.2.1 管理问题的定性分析方法	(4)
1.2.2 管理问题的定量分析方法	(5)
1.2.3 管理决策的运筹模型	(5)
1.2.4 管理决策模型的一个例子——盈亏平衡分析	(7)
1.2.5 管理问题模型化过程	(12)
1.3 Excel 电子表格建模	(14)
习 题	(16)
第2章 线性规划	(19)
本章提要	(19)
学习目标	(19)
2.1 线性规划模型	(19)
2.1.1 线性规划问题的提出	(19)
2.1.2 线性规划模型——一个引例	(21)
2.1.3 线性规划问题的一般数学模型与标准型	(26)
2.1.4 线性规划问题的典型特征与基本条件	(29)
2.2 两个决策变量的线性规划问题的图解方法	(30)

2.2.1	图解法过程介绍	(30)
2.2.2	线性规划问题的可行域及解的特性	(33)
2.2.3	图解法敏感性分析	(34)
2.3	线性规划问题的 Excel 求解	(36)
2.3.1	Excel 中“规划求解”功能模块的加载	(36)
2.3.2	在 Excel 电子表格中建立线性规划模型	(37)
2.3.3	用 Excel“规划求解”功能求解线性规划问题	(39)
2.4	线性规划的对偶问题	(45)
2.4.1	线性规划对偶问题的提出	(46)
2.4.2	对偶问题与影子价格	(48)
2.4.3	对偶问题的性质	(50)
2.4.4	对偶问题解(影子价格)的经济解释	(52)
2.4.5	影子价格应用	(53)
2.5	线性规划模型的应用	(57)
	习 题	(70)
第 3 章 线性规划的扩展		(74)
本章提要		(74)
学习目标		(74)
3.1	整数线性规划	(74)
3.1.1	整数规划基本概念与模	(74)
3.1.2	整数规划问题的电子表格模型与求解	(76)
3.1.3	整数规划的应用	(77)
3.2	0-1 整数规划模型	(79)
3.2.1	0-1 整数规划的模型	(79)
3.2.2	0-1 整数规划的求解	(83)
3.3	指派问题	(85)
3.3.1	指派问题的基本概念	(85)
3.3.2	指派问题的线性规划模型	(86)
3.3.3	指派问题标准型求解——匈牙利法	(86)
3.4	运输问题	(93)
3.4.1	运输问题的基本概念	(93)
3.4.2	运输问题的数学模型	(93)

3.4.3 运输问题的 Excel 求解	(96)
3.5 目标规划	(97)
3.5.1 目标规划的基本概念	(98)
3.5.2 目标规划的数学模型	(100)
3.5.3 目标规划问题的求解	(102)
3.6 动态规划	(110)
3.6.1 动态规划的基本概念	(110)
3.6.2 动态规划典型问题—最短路径	(111)
习 题	(117)
第 4 章 图与路径规划	(121)
本章提要	(121)
学习目标	(121)
4.1 图及相关的概念	(121)
4.2 最小费用流问题	(124)
4.3 网络最大流问题	(131)
4.3.1 网络最大流问题的数学模型	(132)
4.3.2 网络最大流问题的 Excel 电子表格模型及求解	(133)
4.3.3 最大流量问题的网络图标号法求解	(136)
4.3.4 最小费用最大流问题	(141)
4.4 最短路径问题	(144)
4.4.1 求解最短路径的图上标注法—迪克斯屈标号法	(144)
4.4.2 求解最短路径的线性规划方法	(147)
4.4.3 求任意两点间的最短路问题——弗洛伊德算法	(151)
4.4.4 最短路问题在管理中的应用	(155)
4.5 最小树问题	(159)
4.5.1 树与最小树的概念	(159)
4.5.2 最小树的获取——破圈法和避圈法	(161)
4.6 货郎担问题和中国邮路问题	(165)
4.6.1 货郎担问题	(165)
4.6.1 中国邮路问题	(170)
习 题	(172)

第5章 网络计划技术	(175)
本章提要	(175)
学习目标	(175)
5.1 项目网络计划概述	(175)
5.1.1 项目网络计划技术的发展	(175)
5.1.2 项目特征与项目管理过程	(177)
5.1.3 项目网络计划内容	(178)
5.2 网络图的绘制	(180)
5.2.1 网络图的构成	(180)
5.2.2 绘制网络图的准备工作	(182)
5.2.3 网络图绘制规则	(182)
5.3 网络图的时间参数计算	(187)
5.3.1 节点(事项)时间参数的计算	(188)
5.3.2 工序时间参数的计算	(191)
5.4 关键路线的确定	(194)
5.4.1 路线与关键路线	(194)
5.4.2 关键路线的确定	(195)
5.5 网络计划的优化	(205)
5.5.1 时间的调整与优化	(205)
5.5.2 时间-资源的优化	(210)
5.5.3 时间-费用的优化	(213)
习 题	(229)
第6章 决策分析技术	(233)
本章提要	(233)
学习目标	(233)
6.1 决策与决策分析框架	(233)
6.2 确定型决策	(236)
6.3 风险型决策	(238)
6.3.1 风险型决策的基本准则与方法	(238)
6.3.2 风险型决策的决策树方法	(240)
6.3.3 贝叶斯决策分析	(248)

6.3.4 风险决策的期望效用准则	(254)
6.4 不确定型决策	(258)
6.4.1 不确定型决策准则及方法	(258)
6.4.2 不确定型决策的完备信息价值	(265)
习 题	(268)
第 7 章 库存模型	(272)
本章提要	(272)
学习目标	(272)
7.1 库存控制背景	(273)
7.1.1 库存系统	(273)
7.1.2 库存问题的基本要素	(274)
7.2 确定型存储模型	(276)
7.2.1 模型一:不允许缺货、瞬时到货的库存问题 EOQ 模型	(277)
7.2.2 模型二:不允许缺货、逐渐补充的库存问题 EOQ 模型 (生产批量模型)	(285)
7.2.3 模型三:有计划缺货、瞬时补充的库存问题 EOQ 模型	(289)
7.2.4 模型四:有计划缺货、逐渐补充的库存问题 EOQ 模型	(294)
7.2.5 四种库存策略的比较分析	(300)
7.2.6 模型五:价格有折扣的库存问题	(300)
7.3 随机性库存模型	(307)
7.3.1 需求为随机的单一周期库存模型	(307)
7.3.2 多时期(周期)库存模型	(312)
习 题	(316)
第 8 章 时序规划与排队模型	(318)
本章提要	(318)
学习目标	(318)
8.1 时序规划	(318)
8.1.1 时序规划背景	(318)
8.1.2 时序规划的规则与应用	(319)
8.2 排队模型	(328)
8.2.1 排队系统	(329)

8.2.2	排队模型的基本特征	(330)
8.2.3	单服务台泊松到达、负指数服务时间的排队模型 ($[M/M/1]; [\infty/\infty/FCFS]$)	(335)
8.2.4	多服务台泊松到达、负指数服务时间的排队模型 ($[M/M/C]; [\infty/\infty/FCFS]$)	(339)
8.2.5	排队系统的经济分析	(344)
8.2.6	其他一些重要的排队模型简介	(347)
8.2.7	串联排队系统	(355)
习 题		(355)
参考书目		(358)

第 1 章

管理运筹分析引论

本章提要

管理运筹分析是运用运筹学知识和原理分析管理问题,制定决策,从而帮助企业实现“以其有限的资源争取做得最好”的目标。管理运筹分析的重点是构建管理问题的运筹模型并进行求解,以获得最优决策方案。本章介绍管理运筹分析的学科背景和运筹模型建模的一般思路,并以盈亏平衡分析为例,介绍如何建立 Excel 电子表格模型并求解。

学习目标

学完本章后,你应该能够:

1. 了解管理运筹分析的本质与方法;
2. 解释什么是管理决策的运筹模型;
3. 使用数学模型进行盈亏平衡分析;
4. 使用 EXECL 电子表格。

1.1 管理运筹分析的学科背景

管理运筹分析,顾名思义为运用运筹学的原理与方法来分析解决管理中的实际问题。

解决管理问题,现代管理(科)学则已给了我们很多相关知识。值得注意的是,在学术上运筹学(Operation Research)与管理科学(Management Science)有相似之处,甚至于有的学者将两者不加以区别。它们的核心内容都是提供规范的数学模型和算法并以此为工具帮助人们更有效地决策。但另一方面我们也已习惯于“管理要科学”、“科学地管理”、“管理是一门科学”等等这样的一些提法,“管理科学”一词泛指管理这一门学科,因此,它的研究对象和内容已远远超出构

建数学模型的范畴。这一点也可以从国家自然科学基金会管理科学部的成立以及它资助的重点和方向中可以看出：“管理科学研究人类社会组织管理活动客观规律及其应用，是一门跨自然科学、工程科学和社会科学的综合性交叉科学。国家自然科学基金会管理科学部下设管理科学与工程、工商管理和宏观管理与政策三个学科，资助管理科学的基础研究。”

为避免对管理运筹分析学科背景——管理科学理解上的混淆，我们提出狭义的管理科学和广义的管理科学的概念。

1.1.1 狭义的管理科学——运筹学

人们普遍认为，运筹学起源于 20 世纪 40 年代。二次世界大战期间，由于战争的需要，英美等国军事部门先后成立了由多学科科学家组成的研究工作小组，解决如何利用有限战争资源取得最优效果的问题。如在雷达站与整个防空作战系统的协调配合、确定扩建舰队规模、开展反潜艇战的侦察和组织有效的对敌轰炸等方面做了大量研究，为取得战争的最终胜利作出了贡献，这些研究工作称之为“Operation Research”，我国译之为“运筹学”。二战后，恢复和发展经济成为主导工作，这些运筹科学家们也将视线转移到工商企业和国民经济部门，他们惊奇发现原来战争中用到的许多方法在经济管理中同样也是适用的，于是定量化的方法继续得到发展和应用，逐渐出现了规划论、存储论、排队论、决策论等较为完备的理论体系，特别是 1947 年美国数学家丹捷格 (George Dantzig) 提出了求解线性规划的单纯型方法；1957 年由 Churchman, Ackoff 和 Arnoff 共同撰写的第一本关于运筹学的著作 (Introduction to Operation Research) 应运而生；与此同时，电子计算机的广泛应用，使得解决大规模复杂系统问题成为可能。这些标志性的进展，极大地促进了运筹学理论的推广与应用。至 20 世纪 50 年代末，美国已有约半数的大公司在自己的经营管理活动中应用了运筹学思想，帮助企业在生产计划、物流储备、资源分配、设备更新等方面制订最优化的管理决策。运筹学也因其与管理决策的密切联系，以及在解决管理决策实际问题中逐渐形成了一整套系统、定量的科学方法，而被广泛地称之为“管理科学”，并逐渐形成了现代管理理论中的一个重要学派——管理科学学派，它的显著特点就是“运用数理方法对组织的资源投入及活动进行系统和定量分析，以作出最优的决策”。

从军事运筹到管理运筹的发展过程中，运筹学 (管理科学) 不仅在理论研究上有了相当的深度和广度，而且其分析方法结合了信息技术的发展，也使管理工作的科学性达到了新的高度。运筹学 (管理科学) 成为一门为管理决策提供科学

方法的学科。运筹分析已渗入到企业经营管理活动的众多领域,表 1.1 列举了运筹学(管理科学)直接应用于企业管理决策问题的例子。

表 1.1 管理运筹分析典型问题

问题类型	典型问题
需求预测	对产品的需求有多大,类别如何,利润影响?
财务管理	需要多少资金,从何处得到,成本有多大?
资源配置	需要什么资源,是否短缺,如何优先获得?
设备更新	设备运转如何,可靠性如何,何时更新?
生产规划	项目合理的作业时间为多少,资源如何利用?
库存控制	合理库存量为多少,订货的最佳批量和周期?
项目规划	项目合理的作业时间为多少,资源如何利用?
排队问题	队列多长,提供多少个服务台,服务水平?

尽管运筹学(管理科学)得到了广泛的应用,但它毕竟不是万能的,运筹学不可能处理大千世界中的各种问题,尤其是人本相关的问题,就很难用精确的数学模型来加以描述和求解。

1.1.2 广义的管理科学

广义的管理科学指的就是管理学。管理学经历了近百年的发展,已成为一门较有影响的科学,这其中较有影响的贡献者和理论包括:

- 泰勒(F. W. Taylor): 科学管理原理
- 法约尔(H. Fayol): 一般管理理论
- 韦伯(M. Weber): 官僚组织理论
- 梅奥(Mayo): 人群关系理论
- 马斯洛(A. H. Maslow): 需求层次理论
- 西蒙(H. A. Smion): 管理决策理论
- 伯法(E. S. Buffa): 管理科学理论
- 卡斯特(F. E. Kast): 系统管理理论
- 卢桑斯(F. Luthans): 权变管理理论
- 波特(M. E. Porter): 竞争战略管理理论
- 哈默(M. Hammer)与钱皮(J. Champy): 企业再造理论

- 圣吉(P. M. Senge):知识管理方法

现代管理科学既强调管理的科学性同时也强调它的艺术性。管理的科学性主要体现在以下几个方面:

- 客观性:反映管理活动客观规律
- 实践性:来源于实践应用于实践
- 系统性:理论方法日趋系统完整
- 真理性:原理经实践反复的检验
- 发展性:在发展中不断充实完善

管理的艺术性则强调管理者在实际工作中还需要能灵活运用各种管理理论与知识,并能熟练地应用巧妙的管理技能来获得理想的成效。显而易见,管理的艺术性使得管理行为变得更加复杂和更具挑战性,以至于仅用数理的方法已不能有效解决问题,需要我们系统分析问题的性质以便找到更科学合理的解决方案。

1.2 管理运筹分析的方法论基础

任何事物都有质的属性和量的属性,管理问题也需要从质和量两方面去把握,解决管理问题常需要从定性分析和定量分析入手,综合地对管理问题进行分析 and 决策。现代科学管理要求定量分析要在相关定性分析结果的指导下进行,而定性理论的建立也需要建立在一定定量分析的基础之上。

1.2.1 管理问题的定性分析方法

定性分析法亦称“非数学分析法”,决策者根据已知的情况和现有资料直接利用个人的知识经验对问题作出主观的判断和分析,并推断出问题的规律。因此,定性分析主要用于确定问题的性质,主要解决“有没有”、“是不是”的问题。它的一个显著特征是较大程度上依赖于决策者的素质。定性分析解决管理问题通常包含以下几方面内容:提出需要研究或解决的管理问题,明确研究对象,提出研究假设,拟定分析方案,建立理论模型等,也有运用知识经验和判断直接给出问题解决方案或验证研究假设、构建理论模型等。

常用的定性分析方法有:经验判断法、专家调查法、德尔菲法和头脑风暴法等。

1.2.2 管理问题的定量分析方法

定量分析的核心是把决策有关的变量与变量、变量与目标之间的关系,通过建立数学模型,并计算求得答案,以提供决策者参考。定量决策方法在条件具备时一般较客观,准确性高,也便于采用计算机辅助计算和进行多方案的选优。但它的局限性在于很多实际的管理问题无法完全理性地加以描述,如人的需求、动机和行为就不是完全用数学方法就能加以预测和管理的。

尽管如此,定量分析方法还是非常重要,它有助于管理者做出科学的决策。

定量方法可以帮助进行一些客观分析,给出可行的建议,但做出最后决策的管理者,他们必须考虑所有可得到信息——定量的和定性的,而后,运用他们的技巧、知识和经验做出决策,如图 1.1 所示。

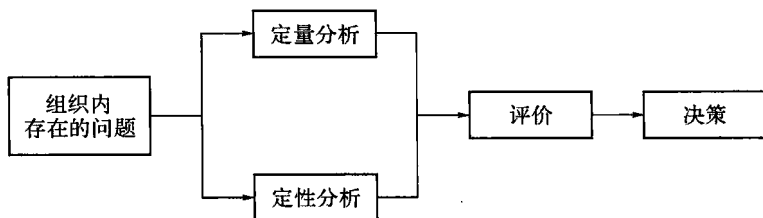


图 1.1 决策的定量和定性分析

1.2.3 管理决策的运筹模型

运筹分析是定量分析中的重要方法之一。它不仅可以对企业的各种经营活动(如生产、运输、供应、销售、库存、项目管理等)进行创造性的科学研究;同时它又强调以整体最优为目标,从系统的观点出发,考虑各种限制条件,力求以整个系统最佳的方式来解决,寻求最佳的行动方案,因此,它还具有很强的实践性和应用性。

运筹分析(运筹学)强调以量化为基础,需要建立各种最优化的数学模型(运筹模型)。模型是现实系统的一种简明映像,也是所要研究对象的一种主观的表达。尽管现实与模型是两个不同的系统,但模型在现实生活中已得到广泛应用,如军队指挥员用沙盘来演示战场上敌我双方阵地形势并进行战斗布置;建筑师用木材、塑料等材料做成房屋模型供业主选择;人事部门采用照片来表现雇员的

相貌神情;更多的情况下,人们利用模型来思考问题。但模型表达了现实的某些性质和特征,是简化了的(只保留相关部分)现实特征的反映。建立模型目的是便于研究,比如我们不能通过破坏实物的方式来研究一个水坝的抗水能力,却可用模型试验给出结论。同样地,我们也不能去试用每个可能的场地来选出最好的厂址。因此,在实际中有时做现场实验很不利时——唯一可行的选择就是建立模型并利用它来做仿真实验。

常用的模型有三类:

- 特征模型:用模型中的特性来代表与现实中相关的特性,只是表达程度不同。汽车模型就是典型的特性模型。
- 模拟模型:用模型中的其他特性来代替现实中的特性,如一天中的时间可以用钟表上的指针表示,速度可以用速度仪指针的位置表示等等。
- 符号模型:用符号来表示现实研究对象的特性。最常用的符号模型是使用数学方程式,也就是数学模型。如:利润=总收入-总支出

管理运筹分析常用的模型通常都是符号模型,比如有关产品销售利润的计算:

$$\text{利润} = \text{产品售出数量} \times (\text{出售价格} - \text{成本})$$

如果用 E 代表利润, Q 、 P 、 C 分别代表为销量、价格和成本,则上述有关利润的等式可简化成以下符号模型:

$$E = Q \times (P - C)$$

这个模型也就是能反映四个变量 E 、 Q 、 P 、 C 之间关系的数学模型。符号模型将所有变量集中到一个或一组方程式里,我们便可以通过求解这些方程来获得有用的结论。在这个模型中,除 E 是我们得到的结果外,有些是需要由管理者来确定的决策变量,如其中的价格 P ,有些则都是外部的条件变量,是管理者不能完全控制的,如产品的销售量 Q ,而有些则是管理者在一定程度上是可以控制的,如成本 C 。

一般来说,模型的最基本构成要素由三部分组成,即:结果变量、决策变量和不可控变量。结果变量反映了系统达成目标的有效性程度,它依赖于决策变量的取值,是一种相依变量。决策变量描述了决策问题中必须做出选择的要素,是一种可控的独立变量。不可控变量是指系统环境中对决策有重要影响但决策者又无法控制的因素,它也是独立变量。表 1.2 给出了这三种变量的实际例子。