

Operations Research for Management



新坐标管理系列精品教材

辽宁省省级精品课配套教材

管理 运筹学

——模型与方法（第2版）

韩大卫 编著

清华大学出版社



新坐标管理系列精品教材
辽宁省省级精品课配套教材

Operations Research for Management

管理 运筹学

——模型与方法（第2版）

韩大卫 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书从典故谈起,较精辟地阐述了运筹学的基本属性、历史沿革与模型要义。通篇从经济管理的角度,简明系统地介绍了线性规划基本模型、单纯形法、对偶模型、参数分析、运输模型、整数规划、目标规划、网络规划、动态规划、决策分析、矩阵对策、排队论、存贮论等分支的基本理论、模型与方法。

全书内容精简、整体统一、融会贯通,贴近实际。多用直观手段、通俗语言和详尽算例来阐明基本方法,并以较丰富的案例、实例来说明模型的建立与应用。各章末配有适当的习题,以便提纲挈领,消化内容,巩固学识。

本书可供普通高校经管类专业本科生、研究生, MBA 和工程硕士生,以及职业技术学院同类专业学生选作教材,也可供各企事业单位、各级权力机关选作管理科学的培训教材或参考读物。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

管理运筹学:模型与方法/韩大卫编著.--2版.--北京:清华大学出版社,2014

(新坐标管理系列精品教材)

ISBN 978-7-302-36329-3

I. ①管… II. ①韩… III. ①管理学—运筹学—高等学校—教材 IV. ①C931.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 084739 号

责任编辑:刘志彬

封面设计:汉风唐韵

责任校对:宋玉莲

责任印制:刘海龙

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:清华大学印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:21.5 字 数:542千字

版 次:2009年1月第1版 2014年6月第2版 印 次:2014年6月第1次印刷

印 数:1~4000

定 价:39.80元

产品编号:058402-01

前 言

运筹学是 20 世纪 40 年代前后诞生的一门年轻的独立科学,它以运行系统作为研究对象,主要关注现实系统的最优运作,以及未来系统的最优设计,这是它不同于此前一切科学的最显著特色。运筹学的目的是为职能管理人员有效设计或控制所关注的系统,为其良序运行提供定量分析的方法与科学决策的依据。

运筹学既是基础科学,又是应用科学,其自身体系异常浩繁,除了科学理论体系外,还包括应用体系、各种算法的计算机程序体系等。单就其科学理论体系而言,就多达四五十个分支,绝非任何一本教材所能总揽。本书名为“管理运筹学模型与方法”,选材为经济管理常用的运筹学分支,并侧重介绍其模型与方法,主要面向管理学、经济学两大学科门类各专业本科、硕士层次运筹学的课程教学。

因此,本书注意从管理学和经济学的角度介绍运筹学的基础知识,多以这两大学科的各种实际问题为背景,引出基本概念、基本模型和基本方法,并且侧重各种方法及其应用;为适应不同需求,也选择性地纳入一些理论证明,但回避过于抽象、繁复的数学演绎;对于复杂的运筹学算法,大都运用直观手段和通俗语言来说明其基本思想,并辅以较丰富的算例和实例来说明求解的步骤,以便读者自学。每章末都配有适当的习题,以利读者巩固学识、加深理解、融会贯通。

运筹学课程是经管类各专业的主干技术基础课,也是核心课程之一。通过本课程的学习,应掌握运筹学主要分支的基本概念、基本模型与基本方法,重点是对各种模型与方法的运用。建议教师通过案例分析与建模求解,以及适当采用算法编程与计算机应用的实习训练等,加强对学生实际应用能力的开发与培养,以便为学习后续课程和本课程的高深内容,以及为将来实际应用奠定良好的基础。

本书是为适应社会实际需求,而将 2009 年首版的内容精简而成,同时订正了原版中的少许印刷纰漏,可谓本书为原书的“精简版”。

恳请广大读者不吝赐教,期冀再版更臻完善。

编 者

2013 年 12 月 30 日于大连

目 录

第 0 章 绪论	1
0.1 运筹学的基本属性	1
0.2 运筹学的历史沿革	5
0.3 运筹学模型概要	8
第 1 章 线性规划基本模型	12
1.1 线性规划的实用模型	12
1.2 线性规划的一般模型	17
1.3 线性规划的图解法	21
1.4 标准形线性规划的解	24
习题	29
第 2 章 单纯形法	35
2.1 基本思想	35
2.2 基本方法	41
2.3 其他法则	45
习题	52
第 3 章 对偶模型	55
3.1 线性规划的对偶关系	55
3.2 线性规划的对偶性质	61
3.3 对偶单纯形法	71
习题	77
第 4 章 参数分析	81
4.1 灵敏度分析	81
4.2 预变分析	89
习题	96
第 5 章 运输模型	100
5.1 一般模型	100
5.2 表上作业法	104
5.3 实用模型	117
习题	126
第 6 章 整数规划	129
6.1 一般模型	129
6.2 一般解法	132

管理运筹学——模型与方法(第2版)

6.3	0-1 规划	139
6.4	指派模型	150
	习题	155
第 7 章	目标规划	161
7.1	基本模型	161
7.2	基本方法	165
7.3	实用模型	168
	习题	173
第 8 章	网络规划	176
8.1	图的基本概念与模型	176
8.2	最小树问题	181
8.3	最短路问题	184
8.4	最大流问题	195
8.5	最小费用流问题	203
	习题	208
第 9 章	动态规划	213
9.1	基本特性	213
9.2	基本原理	216
9.3	离散确定型典例	221
9.4	连续确定型典例	225
9.5	离散随机型典例	228
	习题	232
第 10 章	决策分析	235
10.1	基本概念	235
10.2	基本准则	242
10.3	信息分析	247
10.4	效用分析	253
	习题	259
第 11 章	矩阵对策	265
11.1	基本概念	265
11.2	特殊方法	271
11.3	线性规划法	277
	习题	282
第 12 章	排队论	284
12.1	基本概念	284
12.2	简单模型($M/M/s$ 模型)	291

12.3 其他模型选介	301
习题	305
第 13 章 存贮论	310
13.1 基本概念	310
13.2 需求确定的模型	313
13.3 其他模型选介	323
习题	332
参考文献	334

第0章

绪 论

运筹学,顾名思义,即运用、筹划的学问。其某些思想可以说在我国由来已久,从“田忌赛马”、“丁谓挖沟”、“沈括运粮”三个典故中已见端倪。但是作为一门现代科学的运筹学,则是20世纪40年代前后诞生于英国。在以后的历程中,它发展迅速,应用广泛,成效显著,已经成为现代化科学管理不可或缺的强有力工具。

0.1 运筹学的基本属性

为了便于了解运筹学的基本思想与特点,我们先从典故谈起,再及其他。

0.1.1 典故

(1) **田忌赛马**。战国时期,齐威王常邀大将军田忌赛马,双方约定:每方出上马、中马、下马各一匹各赛一局。由于在同等马中,田忌的马稍逊一筹,因此每次赛马田忌总输于齐王。后来,宰相邹忌欲陷害田忌,促成每局赌注千金。田忌的一个谋士孙臧为此献策:以下马对齐王的上马,以上马对齐王的中马,以中马对齐王的下马。田忌依计而行,结果一负两胜,净赢千金。

在这个典故中,由于孙臧运筹有方,田忌终于以弱胜强。这不仅显示出我国古朴运筹学的某些思想精华及实践成就,还蕴含着现代运筹学的重要分支之一——对策论(或博弈论)的某些思想萌芽。

(2) **丁谓挖沟**。北宋真宗年间,皇宫失火被毁,主持重建工作的大臣丁谓对这项既定任务进行统筹规划。他抓住取土、运材、除圾三个关键环节,有针对性地采取了一个有力措施——在宫址前的大街上挖一条长沟。这样,先挖沟取土就近烧制砖瓦;再将汴京(开封)附近的汴水引入沟内形成一条水上通道,使载运外地建筑材料的船只、排筏直抵宫址;待全部工程完毕,再将失火焚毁和施工中产生的破砖碎瓦等建筑垃圾就近填入沟内,修复大街。

在这个典故中,一沟三用,一举数得,可节省大量人力、物力、财力和时间。这不仅是我国古朴运筹学的又一思想建树和实践成就,还蕴含着现代运筹学的重要方法之一——“统筹法”的某些思想萌芽。

(3) **沈括运粮**。沈括生于北宋时期,是我国历史上著名的科学家,曾率兵抗击过西夏军队的侵扰。在他为后世留下的《梦溪笔谈》这一鸿著中,记有他运用定量分析的方法研究军队的人数及其行军的天数与所需粮食数和运粮的民夫数之间关系的具体实例。沈括认为,自运军粮花费颇大且难以远行,因此夺取敌军的粮食至关重要,从而做出“因粮于敌”的决策。

管理运筹学——模型与方法(第2版)

尽管沈括运用的定量分析方法与现代运筹学方法相差很大,但仅就其成功运用该法于运筹实践因而较早体现了运筹学的这一显著特点而言,已堪为运筹史上率先垂范之举,况且其所作结论与一千多年前《孙子兵法》中“食敌一盂,当吾三十盂”的精辟论断一脉相承,彰显出我国古典军事运筹学的卓越思想和悠久历史。

以上三个典故虽然不能概括我国古朴运筹学的思想精华和实践成就的全貌,更不可能反映现代运筹学的精华与成就,但从中已能粗略看出运筹学的某些基本特征。

0.1.2 名称

“运筹学”一词来源于英语名词 operational research,在美国和加拿大等国称为 operations research,简称 OR。按这一名词的来历,直译应为“作战研究”,因为它最早于 1938 年由英国波德塞(Bawdesy)科学小组负责人罗韦(A. P. Rowe)提出,指的是该科学小组与皇家空军合作进行的关于防空预警演习中的战术研究工作。因此,罗韦被认为是 OR 一词的创始人,而英国的波德塞则是 OR 这一学科的发祥地。

但是,由于社会发展的需要,OR 得到了合乎历史逻辑的充分发展,已不再局限于“作战研究”的狭义。因此,早期将这门学科引入我国的著名学者许国志按 OR 的广泛含义将它译为“运筹学”,后于 1964 年由中国数学学会正式确定为国内通用的统一名称。

“运筹”一词出自《汉书·高帝纪》中的一段话,“上(指汉高祖刘邦)曰:‘夫运筹帷幄之中,决胜于千里之外,吾不如子房’(子房是刘邦的得力辅佐大臣张良的字)。”运筹这个词具有运用筹划、运谋筹策、规划调度、运营研究等内涵。

0.1.3 定义

运筹学是一门仍在蓬勃发展的新兴学科,人们对它的认识需要不断深化,迄今为止,还没有一个公认的运筹学定义,下面列举一些较有影响的解释作为参考。

运筹学的先驱,英国曼彻斯特大学的物理教授,著名的诺贝尔奖获得者布莱克特(P. M. S. Blackett)曾于 1941 年在关于运筹学第一份备忘录中把运筹学称为“作战的科学分析”(scientific analysis of operations)。这被认为是对运筹学所作的最早描述。在 1943 年 3 月修订的第二份备忘录中,他说:运筹学的“目的是帮助找出一些方法,来改进正在进行的或计划在将来进行的作战的效率。为了达到这一目的,要研究过去的作战来明确事实,要得出一些理论来解释事实,最后利用这些事实和理论对未来的作战做出预测……能够做出的有用的定量预测,往往比想象中可能做出的多得多”。这些关于运筹学的最早描述虽然仅限于作战的范畴,但其基本思想至今仍然普遍有效。

英国运筹学会的解释是:“运筹学是把科学方法应用于工业、商业、民政和国防方面,以指导和处理有关人、机、物、财的大系统中所发生的各种复杂问题。其独特的方法是开发一个科学的系统模式,纳入随机和各种风险的尺度,并运用这个模式预测和比较各种决策、战略,以及控制方案所产生的后果。其目的是帮助主管人员科学地决定方针和行动。”

美国运筹学会所作的解释是:“运筹学是一种实验与应用的科学,用之于观察、理解和预测有目标的人-机系统的行为”;“运筹学所研究的,通常是在要求分配有限资源的条件下,科学地决定如何最佳设计和运营人-机系统。”

1978年出版的、由数十位美国一流运筹学家合著的《运筹学手册》(Handbook of Operations Research)中指出:“运筹学就是用科学方法去了解和解释运行系统的现象,它在自然界的范围内所选择的研究对象就是这些系统。这些系统时常包含着人和自然环境中运行的机器。这里所谓机器,其含义是很广泛的,从通常所指的机械器件一直到按照公认的规则运行的复杂社会结构。”

“因此,运筹科学观察运行系统的现象,创造出一些理论(近年来许多运筹学工作者把它们叫作模型)来解释这些现象,用这些理论来描述在条件变化时将会发生什么事情,并根据新的观察来检验这些预言。”

“总之,运筹学之所以是一门科学,是因为它用科学方法来创建它的知识。它与其他科学不同的地方在于它研究的是运行系统的现象,这是自然界中被其他科学大大忽略了的部分。”

我国《管理百科全书》的解释是:“运筹学是应用分析、试验、量化的方法,对经济管理系统中人力、物力、财力等资源进行统筹安排,为决策者提供有依据的最优方案,以实现最有效的管理。”

0.1.4 特点

(1) **边缘学科**。运筹学的诞生和发展,是许多学科的专家通力协作、共同努力的结果,因此,运筹学是多学科、诸理论交叉渗透而形成的一门边缘学科。

(2) **研究与实践紧密联系**。作为一门科学,运筹学不仅包括研究活动,即用科学的方法来创建它的知识,还包括以这些知识的应用为目的的工程活动和其他实践活动。在运筹学的进程中,研究与实践始终紧密联系、互相促进,共同推动运筹学的发展。

(3) **科学与艺术的结合**。运筹学不仅是一门科学,也是一门艺术。在运筹学的研究与实践中,往往不只是单纯运用科学方法和科学知识,还要用到发明和设计的艺术及各种各样的联络、解释和实行的艺术。

(4) **利用模型**。无论是运筹学的理论研究还是应用研究,其核心问题都是如何建立适当的模型(通常是数学模型)以解释运行系统的现象和预测系统未来的情况。运筹学模型大致可分为确定型、随机型、模糊型三类。

(5) **数量方法**。运筹学是从定量分析的角度研究系统的变化规律,从而对系统未来的情况做出定量预测。它不仅需要利用已有的数学工具(解析数学、统计数学、计算数学、模糊数学等),还创造出一些独特的数量方法。

(6) **试验方法**。运筹学研究并应用试验方法。例如,直接试验中有“优选法”、“调优算法”、“正交试验法”等,模拟试验中有各种实物模拟法以及计算机模拟法等。

(7) **有赖于计算机**。在运筹学模型的实际应用中,往往需要进行十分浩繁的数值计算,即便那些本身不很复杂的模型也多如此,以致手工计算根本无法胜任,必须借助于计算机才能完成。还有一些模型的算法尽管理论上是正确的和可行的,但囿于目前计算机的功能而无法实现。因此,运筹学的发展有赖于计算机和计算机科学的发展,而研究、改善各种算法的计算机程序也是运筹学的任务之一。

(8) **全局优化**。根据系统科学,一个系统的各个局部独自优化,其全局未必为优,甚或不能有效运行;反之,全局优化,局部未必都优。运筹学总是以全局优化为目标,力求找出

管理运筹学——模型与方法(第2版)

全局最优的方案。

(9) **科学决策的依据。**运筹学作为一种科学方法,能为现代管理中许多复杂问题提供科学的决策程序、决策模型,以及定量分析的丰富资料和优化方案,从而为科学决策提供重要依据。

(10) **适用面广。**运筹学研究的问题存在于不同领域,来自不同部门,虽千变万化却有共同规律可循。运筹学就是不断探索这些规律,并且据以提出一些一般理论和通用方法。因此,运筹学的适用面很广。

0.1.5 相关学科

如前所述,运筹学是一门边缘学科,它与许多学科交叉或密切相关,其中主要相关学科有:数学科学、管理科学、经济科学、系统科学、计算机科学。在前面介绍运筹学的特点时已经概要叙述过它同数学科学、计算机科学的关系,这里再概述一下它同系统科学、管理科学、经济科学的关系。

现代科学的飞速发展使科学知识发生了“爆炸”,因而各种学科越分越多,越分越细,越来越专门化。但是,人们在实践中所遇到的许多问题也都十分复杂,往往要用到许多学科的知识,而非单独某一学科所能解决。例如,美国的“阿波罗登月计划”、我国的“嫦娥奔月计划”,其全部任务由地面、空间、登月三部分组成,不仅直接用到火箭技术、电子技术、冶金、机械、化工等多种技术,还用到天文、物理、生物、化学、数学等基础科学的知识,因此,非少数学科和技术领域的少数人所能胜任。像这样一些庞大、复杂的系统工程,其计划、组织与实施是靠系统科学的有效指导而得以圆满完成的,而运筹学就是系统科学的最重要来源之一。在解决这样一些涉及多领域、多学科、多部门的实际问题时,作为系统科学的主要基础和基本手段的运筹学往往可以大显身手。

在美国,管理科学(management science)有其特定含义,它是一门同运筹学勉强有所区别的学科。在我国,管理科学的含义更加广泛,以致无法确切定义。在很大程度上可以说,管理就是决策,因此管理科学是一门决策科学,即帮助人们正确地决定应付各种复杂情况及解决各种复杂问题的方针和行动,以便有效地管理各种复杂系统使之有序运行的一门科学。而运筹学的首要特点就是能提供科学决策的依据,因此运筹学是管理科学的重要基础,是实行科学管理的强有力工具。

本书名为**管理运筹学——模型与方法**,侧重于管理中常见的运筹学问题及其适用的运筹学模型与方法,尤其关注经济系统管理中一些常见问题。一个经济系统的运行过程可以归结为投入产出的过程,即投入资源(人力、物力、财力、信息、时间)、产出效益(实物和劳务的数量、质量、价值、效率)的过程。人们自然希望以较少的投入实现较大的产出,这就产生了经济系统如何运营的问题。对此,运筹学主要从以下两个方面进行研究:

① 投入既定,如何实现最大产出?

② 产出既定,如何实现最小投入?

这是运筹学在经济管理中研究的两类基本问题,即所谓经济系统最优化问题。运筹学能够根据人们的不同需要,提供一些特定的方法用以给出相应的最优方案,从而帮助人们做出科学的决策。“田忌赛马”、“丁谓挖沟”的典故恰好分别是运筹学思想在这两类问题中成功运用的范例。

由此可见,人们的管理实践是运筹学和管理科学的思想源泉,而运筹学的根本宗旨就是为管理者提供科学决策的依据。

0.2 运筹学的历史沿革

运筹学作为一门科学,其发展大致经历了以下三个阶段:初创、确立、扩展。

0.2.1 初创时期(第二次世界大战时期)

第二次世界大战期间,作为反法西斯主要前线国之一的英国处于极度危难的形势下,因而运用科学的方法合理调配和充分利用有限的国防资源以达到最强的战斗力,就成为当务之急。在军界与学术界的共同推动下,运筹学应运而生,并日益显示出其重要意义和强大生命力。

1935年,英国科学家为了对付德国空军日益严重的威胁,开始进行一项后来被称为“雷达系统”的研究。不久,他们在波德塞成立了研究机构,并安装了新设计的设备。后来又与皇家空军紧密合作,研究如何利用雷达进行防空预警以及如何引导己方的飞机迎击敌机等战术行动。

1938年,波德塞科学小组负责人罗韦把他们从事的战术效率的测量工作称为“作战研究”(OR,即运筹学)。从此,以这一名词为标志的一门新兴科学就初步建立起来。

1939年,在波德塞工作的一位领导人威廉斯(E. C. Williams)教授应邀到皇家空军作战指挥部参加战术评价改进的工作,在其后两年取得了很有价值的成果,并被推广到空军轰炸指挥部、海岸指挥部以及英军防空指挥部。

1940年,布莱克特应邀参加英军防空指挥部的作战研究工作,并成立了一个被称为“布莱克特马戏团”的小组,小组成员包括生理学家3人,数学家和数学物理学家各2人,天文物理学家、普通物理学家、检测员和军官等各1人。组织机构的这种跨学科、多专业的人员配备,以及各类人员之间的紧密合作、良好配合,成为运筹学的一个显著特点,对运筹学的发展产生了积极的影响。

1941年3月,布莱克特转到空军海岸指挥部,又成立了一个新的OR小组。1941年12月,布莱克特被咨询能否帮助海军部成立一个OR小组,为此他写了一份关于“具有作战水平的科学家”的备忘录,对整个英军乃至盟军的OR建设都起到了重要作用。

1942年以后,英国各军兵种,包括国内和国外驻军,在每一个大的军事指挥部都成立了OR小组,而布莱克特首建的防空指挥部OR小组则成为全军OR组织的核心。这些OR小组在大战期间做了大量卓有成效的工作,为运筹学的发展积累了丰富的素材,其中比较显赫的范例有雷达的合理部署、深水炸弹的最佳定深规范、保持飞机最强战(略)力(量)的巡航比率、空军基地飞机种类的合理配置及远航轰炸的最佳编队、海运商船与护航军舰的最佳编队等。

在英国的影响下,美国、法国(戴高乐政府)、加拿大、澳大利亚等国也接受了运筹学思想,也先后建立了OR小组,纷纷从事作战计划的研究,并尝试实用以提高作战效果。

第二次世界大战期间,出于同样的目的,苏联的科学家们完全独立地从事了类似的研究,发展了类似的思想。例如,苏联著名数学家康托洛维奇(П. В. Канторович)曾于1939

管理运筹学——模型与方法(第2版)

年在列宁格勒大学做了题为“生产组织与计划中的数学方法”的学术报告,详细介绍了他在关于合理调配和使用资源以便充分发挥其效用的研究中所提出的新的数学方法和理论,以及用以解决工业、建筑业、运输业中的实际问题所得到的一系列成果。在这份报告中已经包含着现代运筹学的某些基本思想与方法。

第二次世界大战期间,虽然运筹学已经诞生,但是由于战时的特殊环境,其研究方向主要集中在军事应用方面,其中绝大多数工作都是其他科学中的方法和手段的移植,特别是大多数数学模型都是 OR 小组通过类比其他科学的概念而受到启发,并且直接利用数学分析与概率统计的工具建立起来的,因而理论研究十分薄弱,除了美国海军运筹组对搜索论的粗糙研究外,再未提出新的理论,更未形成一门学科的理论体系。因此,这一时期只是运筹学的初创时期,而其学科机制则是在战后大约十年中逐步确立起来的。

0.2.2 确立时期(1945—1955 年)

第二次世界大战结束后,运筹学的各个方面,诸如理论、应用、组织、文献、教育等,在国际与科际间都得到较大的发展,迅速成长为一门具有许多分支和复杂体系的新兴基础科学和应用科学。

第二次世界大战结束之初,百业待兴的英国经济建设面临着所需资源由于战争的破坏和损耗而严重短缺的困难,因此,合理调配并充分利用稀缺的经济资源以取得最佳经济效果便成为亟待解决的问题。而经济组织内与日俱增的复杂性和专门化所产生的各种决策问题,也比战前更为显著地引起社会的关注。越来越多的人,尤其是那些战时曾在军界运筹学小组内工作过,现时已成为企业顾问的科学家们,逐渐认识到现时所面临的这些问题同战时军界所面临的问题基本上是一致的,于是积极促成学术界对运筹学的开发;而战时军界对运筹学的有效运用及其显著成果也逐渐公开,从而激发了企业界对这种新技术的高度重视。在学术界与企业界的共同推动下,短短几年里运筹学就在英国扎下了牢固的根基。

美国在此期间对运筹学的认识与实践紧随英国之后,也处于类似的演变过程。尤其从 1950 年以后,由于计算机首先在美国诞生,并且得以迅速推广应用,使得过去许多因计算量庞大而无法解决的非常复杂的运筹学应用问题迎刃而解,这更加速了运筹学在美国的发展进程。

第二次世界大战后,在学术界与企业界的积极推动下,运筹学不仅发展了原有的技术,还创造了许多新的技术,如线性规划、非线性规划,与此同时其理论基础也逐渐建立起来。另外,一些在第二次世界大战前已初步确定或初露端倪的理论,诸如排队论、价值论、存贮论、对策论等,这时也得到进一步发展。

1948 年 4 月在英国成立了世界上第一个运筹学专业学术团体——英国运筹学俱乐部,成员有 30 人;1950 年该俱乐部创办了世界上第一种运筹学刊物《运筹学季刊》;1953 年该俱乐部更名为英国运筹学会。1952 年 5 月,美国运筹学会(ORSA)成立,同年出版了《美国运筹学会会刊》,1956 年该刊物更名为《运筹学》。1955 年年初,美国运筹学会向英国运筹学会建议召开一次国际运筹学会议,不久两国运筹学会便成立了一个专门的组织委员会,共同筹办首次国际运筹学会议。

在此期间,运筹学著作、论文集等已陆续出现,其中有些文献对运筹学的发展产生过重要影响。此外,运筹学各有关专题的论著也陆续问世。

从20世纪50年代初开始,运筹学教育日益受到重视并获得越来越大的发展,运筹学先驱国的许多大学都开设了有关课程,有些国家还普遍开设了各种期限的培训班。

这一时期运筹学在各个方面的发展中成长起来,1955年,美国运筹学会第一任会长摩尔斯综述了运筹学的概况,归纳了它包括的内容与分支,并在展望未来时强调注意基本理论、运行实验和专业教育。这标志着作为一门科学的运筹学已经屹立于科学之林。

0.2.3 扩展时期(1956年以后)

自1956年以来,运筹学在各个方面都取得长足进步,而今已经发展成为一个涉及众多领域并拥有庞大结构的科学体系。纵观这一时期的趋势,大致呈现4个特点:学术活动国际化、学科理论系统化、应用实践广泛化、科际结合扩大化。

(1) **学术活动国际化**。1955年以后,经过两年的筹备,第一届国际运筹学会议于1957年9月在英国牛津大学召开,有21个国家的250名代表出席。1959年1月1日,国际运筹学联合会(IFORS)正式成立,为促进运筹学的国际交流及其在全世界的发展做出了重大贡献,使运筹学成为一种广泛的世界性学术活动。

(2) **学科理论系统化**。1955年以后,运筹学创造出更多新技术、新理论。20世纪60年代中期以后,运筹学呈现知识爆炸的趋势,各种文献如雨后春笋般层出不穷。由于知识迅速膨胀,运筹学的分支越来越多,内容越分越细,学科理论更加系统化,形成一个庞大而复杂的理论体系。近20多年来,软运筹或智能方法得到较快发展,产生了遗传算法、神经元网络、模拟退火法、禁忌搜索、蚁群算法等新技术。

(3) **应用实践广泛化**。如果说运筹学在初创时期主要应用于军事作战,在确立时期主要应用于工商管理,那么在其扩展时期则应用得更加广泛,不仅在军事和工商业方面继续保持对应用运筹学的旺盛态势,在农业、建筑业、能源、交通运输、公用事业、政府工作、文教、卫生、体育、治安、市政、环保、工程设计、社会福利等方面也都得到大量的、成功的应用。可以说,运筹学的应用几乎遍及人类活动的各个领域。

(4) **科际结合扩大化**。运筹学在初创时期就已体现出科际结合的特点,在其扩展时期这一特点更加明显。除了早期就已具有的与数学科学的天然紧密结合,与物理学、生理学、工程技术科学的结合,以及稍后又与经济科学、管理科学、计算机科学紧密结合外,从20世纪60年代起还与系统科学结下了不解之缘,并且有力地促进了系统科学的发展。从此,运筹学研究的系统便由小及大,而且研究对象领域也更加广泛,从物理系统到社会系统,从现在系统到未来系统,都有运筹学的用武之地。这不仅增加了它同未来学和社会科学的结合,还促使其研究方式也从单纯技术型转向技术型与非技术型相结合,从而大大增加了其适应能力。运筹学在与其他科学的结合中,从来就是突出运用、融会贯通、不断创新、独具特色,一直保持着强大的生命力,从而能够蓬勃发展,长盛不衰。

0.2.4 运筹学在我国发展的概况

我国虽然早在上古时期就萌发了运筹学的某些朴素思想,并且产生了人类最早的运筹活动,但是运筹学作为一门科学传播到我国只有50多年的时间。

1956年,中国科学院数学所成立运筹学室,开始尝试现代理论研究。1958年他们编写

的通俗小册子《运筹学》出版,这本书流行较广,开我国运筹学启蒙读物之先河。

1958年,运筹学在全国范围内取得较大发展,在研究、实践、教育、文献等许多方面都有了良好的开端。例如,我国运筹学工作者总结了粮食部门和运输部门在粮食调配及运输方面的创举和经验,在世界上首次提出一种简易可行、独具特色的求解线性规划运输问题的“图上作业法”。同年,我国著名数学家华罗庚教授在兼任中国科技大学新创办的应用数学与计算机系主任时,十分重视运筹学这门世界上崭新的学科,亲自为高年级学生和教师主办运筹学(主要是规划论)讨论班,尔后,又在该系设置了运筹学专业。

1960年,在华罗庚的推动下,在山东济南召开了全国运筹学现场会。这是一次对我国运筹学早期工作的重大检阅。华罗庚向大会报告了他的研究心得和取得的成果。他的身体力行激励了一大批优秀的数学工作者转向运筹学的研究,并且成为我国运筹学工作的中坚分子。

1962年,山东师范大学管梅谷教授首创邮递员循回路线奇偶点方法这一新技术,后来国际上把他研究的问题称为“中国邮递员问题”。

1963年,我国著名科学家钱学森倡导“计划评审术”的研究与应用。

1965年,华罗庚倡导“统筹法”的研究与推广应用。

1970年,华罗庚亲率小分队深入全国各地生产第一线推广应用“优选法”。

1972年,我国著名力学家钱令希教授系统地总结了结构力学的最优设计的理论与方法,并在他任教的大连工学院(现名大连理工大学)组建了一个最优化技术研究小组,积极从事这方面的理论与应用研究及软件开发,取得了可喜的成果,促进了这个领域中运筹学的发展。

1979年8月,我国第一个运筹学专业学会——东北地区运筹学会在大连工学院等高校倡建下在大连成立。该组织不仅促进了东北地区运筹学的理论与应用研究的发展,还在全国范围举办了近百个培训班,培养出一支初具规模的运筹学队伍,还组织编写了一套《运筹学小丛书》,由辽宁人民出版社陆续出版,为运筹学在我国的普及和发展做出了重要贡献。

1980年4月,中国数学学会运筹学会在山东济南正式成立。尔后,其下属的几个专门委员会以及各大区、各省市级的协作组或分会也相继成立。1982年春季和秋季,学会的两种刊物《运筹通讯》和《运筹学杂志》相继创刊发行。

1982年4月,我国运筹学会正式加入国际运筹学联合会;1985年年初又与一些亚太国家发起成立亚太运筹学联合会。

可以相信,随着我国现代化的进展,运筹学必将发挥越来越重要的作用,同时学科自身也会取得越来越大的进步,使我国在不远的将来跻身于运筹学世界强国之列。

0.3 运筹学模型概要

0.3.1 基本概念

为了便于研究现实系统的运行现象,使受控系统最有效地运行,人们建立了运筹学模型。

所谓模型,简单地讲,就是现实系统的简仿物或抽象表示。运筹学模型只属于后者,其主要功能在于它能把现实系统诸要素间的复杂关系抽象成数学关系式或其他简化形式,从

而能够更简明地揭示复杂系统的本质特征,更迅速地把握其变化规律。运用运筹学模型对现实系统进行研究所得到的结果,在相当大的程度上也确实能够正确地指导人们的实践活动,并得到满意的效果。因此,恰当地建立现实系统的模型(以下简称“建模”),是运筹学研究 and 解决问题的基础。

运筹学模型可以分为数学模型和模拟模型两类。目前已有的运筹学模型绝大多数都属于前者。

所谓**数学模型**,是用数学符号表示出来的一个或一组数学表达式,以及图表、图像、图示等用以描述现实系统的特征及其内在联系的一种抽象工具。而运筹学的数学模型除了具有上述特点外,通常还能据以运用定量分析的方法求得最优解。

一般来说,一个运筹学的数学模型可由决策变量、约束条件和目标函数这三个要素构成。其中**决策变量**是一些未知数,若每一变量都取定一个数值,则这些数值构成的一个集合(通常表示成一个向量)称为一个**解**,它代表实际问题的一个决策方案。实际问题的决策方案往往受到某些条件的制约,这些条件的数学描述称为约束条件,其具体形式往往是关于决策变量的等式或不等式,因而决策变量的取值要受这些约束条件的限制。在人们对实际问题做出决策之前,总有一个预期达到的目标,譬如希望收益达到最大或损失达到最小,这种目标往往表示成一个关于决策变量的函数,称为**目标函数**。根据实际问题的不同,要求目标函数取最大值或最小值,统称**最优值**。通常把满足所有约束条件的解称为**可行解**,否则称为**非可行解**。能使目标函数达到最优值的可行解称为**最优解**。可行解给出实际问题的一个可行方案,最优解则给出一个最优方案。建模的一个重要目的就在于据以求出一个解决实际问题的最优方案。

当实际问题的建模十分困难,或虽能建模但难以求解时,往往采用模拟试验的方法,这时有物理模拟和计算机模拟之分,后者更为常用且有效。这时也需要模型,称为模拟模型。它是模拟试验的工具。模拟模型也能反映现实系统的某些特征和内在联系,而且能据以建立一个模拟系统,便于反复操作试验和获取数据资料,通过统计分析推断,更方便、更迅速地了解被模拟的现实系统的某些变化规律,及时做出预测或决策。但是它不像数学模型那样能据以求得问题的最优解。因此,为了取长补短,有时也将两种模型结合使用。先建立一个比较简化而便于求解的数学模型,据以求出一个相对最优解;然后再建立一个模拟模型,通过模拟试验的结果对比加以验证或补充修正。

运筹学模型可按照变量的性质划分为确定型、随机型、模糊型三类,多达几十个分支。

(1) **确定型**。属于这类模型的主要分支有:线性规划、整数规划、目标规划、非线性规划、几何规划、不可微规划、参数规划、多目标规划、大型规划、图论、网络规划等。

(2) **随机型**。属于这类模型的主要分支有:随机过程、排队论、价值论、决策分析、多属性决策、对策论、搜索论、可靠论、随机规划、质量控制等。

(3) **混合型**。既有确定型又有随机型的分支简称为混合型分支。主要有:动态规划、组合规划、存贮论、汰置论、模拟论、最优控制论等。

上述各种规划统称规划论或数学规划,其中除动态规划外的各种规划统称静态规划。

(4) **模糊型**。自1965年美国著名控制论专家扎德(L. A. Zadeh)始创模糊数学以来,这种新型数学工具得以迅速推广,几乎渗透到各个科学技术领域。以数量方法为主要特征的运筹学由于引入了模糊数学,从而形成了各种模糊性模型及其相应的新分支,如模糊规

划论、模糊图论、模糊排队论、模糊对策论、模糊存贮论等。

0.3.2 基本结构

下面概述运筹学模型(以下简称“OR 模型”)的一般结构与其须满足的基本要求。

1. OR 模型的一般结构

OR 模型一般是对可控变量(决策变量)、不可控变量、工艺参数和利益指标之间的函数关系的一种明确表示。例如,若设

x_i ——第 i 个可控变量,其集合为 X ;

s_j ——第 j 个不可控变量,其集合为 S ;

c_k ——第 k 个常数或参数,其集合为 C ;

v_r ——第 r 个利益指标,其集合为 V 。

则此时 OR 模型就是把 x_i, s_j, c_k 同 v_r 联系起来的一个或一组函数 f :

$$v_r = f(x_i, s_j, c_k)$$

当然, v_r 并不一定能表示成 x_i, s_j, c_k 的显函数,因此,OR 模型的一般结构常表示成一个有序四元组:

$$\{X, S, C, V\}$$

如果对此有几种不同的最优化准则,并且据以运用定量分析的方法能够求出各自不同的最优利益指标,则记

V_t^* ——第 t 种准则下的最优利益指标集

$V^* = \{V_t^*\}$

也可把 OR 模型的一般结构记成一个有序五元组:

$$\{X, S, C, V, V^*\}$$

它蕴含着构成 OR 模型的各种关系,通常可分为定义关系、经验关系、规范关系三种类型。

(1) 定义关系。这种关系往往来自其他学科(譬如经济学、会计学等)的有关定义或实际的恒等式。例如

$$\text{利润} = \text{收入} - \text{支出}$$

$$\text{销售金额} = \text{销售单价} \times \text{销售量}$$

$$Y_t = C_t + I_t + G_t$$

其中, Y_t, C_t, I_t, G_t 分别表示第 t 年的国民收入、消费、投资、政府开支。

这种关系通常易于表达,在多数情况下很少需要或不需数据进行分析。

(2) 经验关系。这种关系是以利用历史数据、工程分析、实验证据、法律、政策和管理实施标准等有关规定及合理推测为基础的。例如,根据历史数据,某市货运量 Y 与农业总产值 x_1 、工业总产值 x_2 之间大致有一种线性关系,则

$$Y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 \pm \epsilon$$

就是这种经验关系的一个例子。这些类型的关系通常要用统计分析的方法来确定所含参数(如上式中的 a_0, a_1, a_2)的数值。

经验关系的表达和利用有两个缺点或难点:第一,根据历史数据得到的经验关系可能体现不出当前和未来的实际关系;第二,与数据所对应的运行方法可能代表较低的实施标