

应用运筹学

(第二版)

YINGYONG
YUNCHOU

XUE

曹勇 周晓光
李宗元 ◆ 编著



运筹学是一门以人机系统的组织、管理为对象,应用数学和计算机等工具来研究各类有限资源的合理规划使用并提供优化决策方案的科学。它是经管类专业本、专科生和研究生层次的主干课、学位课。



经济管理出版社
ECONOMY & MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE

022/131

2008

应用运筹学

(第二版)

YINGYONG
YUNCHOU

XUE

曹勇

周晓光

李宗元◆编著

运筹学是一门以人
机系统的组织、管
理为对象,应用数
学和计算机等工具
来研究各类有限资
源的合理规划使用
并提供优化决策方
案的科学。它是经
管类专业本、专科
生和研究生层次的
主干课、学位课。



经济管理出版社
ECONOMIC MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE

图书在版编目(CIP)数据

应用运筹学/曹勇,周晓光,李宗元编著. —2版, —北京:经济管理出版社,2008.5

ISBN 978-7-5096-0224-9

I. 应… II. ①曹…②周…③李… III. 运筹学 IV. 022

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 066741 号

出版发行:经济管理出版社

北京市海淀区北蜂窝8号中雅大厦11层

电话:(010)51915602 邮编:100038

印刷:北京银祥印刷厂

经销:新华书店

组稿编辑:张 艳

责任编辑:徐小玖

技术编辑:黄 铄

责任校对:超 凡

720mm × 1000mm/16

24 印张 364 千字

2008 年 5 月第 2 版

2008 年 5 月第 2 次印刷

定价:36.00 元

书号:ISBN 978-7-5096-0224-9/F·220

· 版权所有 翻印必究 ·

凡购本社图书,如有印装错误,由本社读者服务部

负责调换。联系地址:北京阜外月坛北小街2号

电话:(010)68022974 邮编:100836

第二版前言

本书自 2000 年 1 月出版以来,主要用于研究生、MBA 及经济管理专业本科生的运筹学教学。在教学实践中,积累了一些经验,也发现了一些问题,现根据需要修订再版。

修订版保持了原书的基本风格,增加了网络分析法(第四讲第四节)、线性规划(第五讲)、供应链合作伙伴评价小组的权力指数分配模型(第十五讲第三节)。同时订正了少量不妥之处,改正了数处出版印刷上的错误。修订工作主要由曹勇和周晓光老师负责,具体由周晓光执笔,并经三位编者集体讨论定稿。

在本书修订再版之际,我们深切缅怀我国运筹学及系统工程学的老前辈——中国工程院院士许国志教授。八年前,在本书写作过程中,许老给予了多方面的指导与亲切的关怀。我们谨以此修订再版,再次表示对许老的怀念。

感谢北京科技大学历届 MBA 班和其他使用本教材的朋友们,他们在使用本书时给予了许多鼓励与指正。

感谢经济管理出版社的编辑和出版工作人员,他们为本书的修订再版付出了大量的心血和劳动。

北京科技大学经济管理学院学生严琼、申兆祥、王溪对本书的再版做了大量的校对工作,在此也向他们表示衷心的感谢。

对本书的不足之处恳请各位批评指正。

李宗元

2008 年 3 月于北京科技大学

第一版前言

本书以专题的形式,从不同的角度介绍了运筹学的成就、信念与能力;从学科的高度重点阐述运筹学的理念、发展、方法论和若干成果;汇集了较多的历史资料、著名案例和重要事件的材料,围绕选题加以组织并展开论述。

本书与以往按运筹学分支编写的、侧重数学方法的运筹学教材有较大不同,主要特色在于:①侧重运筹学内涵、方法论,而不侧重数学理论。强调实践、应用、经济意义、物理意义及直观性,目的在于突出运筹学的本色及发展。②从横向上展开运筹学与相关学科的联系与交融。特别论述了与系统理论、系统分析、系统工程、信息系统、物流合理化、人工神经网络等领域的联系。鉴于混沌理论已在经济领域展现了很好的前景,并引起了运筹学界的广泛注意,故本书也对此作了初步介绍。③注重可读性。一题一讲,相对独立。力争深入浅出,并给读者一个较宽松的空间,可在深度与广度上思索、分析及扩展。在书中列出了主要的参考文献与资料目录,供读者查阅。

本书的适用范围:①作为高等学校研究生,尤其是 MBA 及管理专业的研究生的运筹学教材。可与现行的运筹学教材配套使用。在学习了 15 学时左右的线性规划后,阅读本教材将不会有困难。因此,本书在本科生教学中也完全可以使用。②运筹学讲课教师的参考资料。③继续教育中,用作运筹学专题讲座材料。④管理工作者的阅读材料。

本书涉及的运筹学分支包括:线性规划、整数规划、非线性规划、网络最优化、存储论、对策论、排队论以及 AHP、DEA 等。我们要向我国运筹学与系统工程的老前辈、中国工程院院士许国志教授表示深深的敬意与感谢。对于本书的写作,许老给予了极大的支持与关怀,并慨允将 1992 年发表的“运筹学的 ABC”

一文作为第一讲编入本书。这是我们努力学习与效仿的一篇范文。正因为这样,本书以此文标题作为书名。

在这里,我们要向中科院的桂湘云教授、吴方教授、徐光辉教授、章祥荪教授,以及中国人民大学的魏权龄教授表示衷心的感谢,感谢他们多年来的指导。在本书的编写中,我们使用了诸位老师的多份研究成果。

本书的编写分工如下:第一讲:许国志(中国工程院院士、研究员)和徐瑞恩;第二讲至第八讲及第十讲、第十一讲:李宗元(北京科技大学,教授);第九讲:忻展红(北京邮电大学,教授)和李宗元;第十二讲:曹成铉(北京科技大学,副教授、博士)和李宗元;第十三讲:曹成铉、李农[优利系统(中国)有限公司,工程师];第十四讲:徐向阳[中国矿业大学(北京校区),副教授、博士];第十五讲:李宗元和徐向阳。(注:第一版的第五至第十五讲是新版的第六至第十六讲)

北京科技大学管理学院张群院长及余元冠、高俊山、曹勇等学院领导大力支持本书的写作,谨向他们致以诚挚的感谢。经济管理出版社副社长卢小生先生为本书的出版付出了辛勤的劳动,对此深表感谢。

我的研究生梁琦和尚丽为本书的编写做了大量工作,在此也向他们表示衷心的感谢。

本书的编写属于一种尝试,加之水平有限,谬误及缺点敬请指正。

李宗元

1999年10月于北京科技大学

目 录

第一讲 运筹学的 ABC/1

第一节 运筹学的三个来源/1

第二节 运筹学的三个组成部分/ 5

第三节 运筹学方法论/ 13

参考文献/14

第二讲 危机、契机与生机

——20 世纪 70 年代末关于运筹学发展的一场讨论/ 19

第一节 运筹学的几项先驱工作/ 20

第二节 关于运筹学发展的讨论/ 25

第三节 运筹学正确的发展之路/ 29

第三讲 从“纳尔逊秘诀”谈起:关于运筹学“经验—理论—应用”的思考/33

第一节 纳尔逊秘诀/34

第二节 兰彻斯特对“纳尔逊秘诀”的分析/35

第三节 几点思考/40

第四节 从一个案例看运筹学由书本到实践/42

参考文献/48

第四讲 运筹学与系统论的关系/49

第一节 一般系统论的原则/49

第二节 系统工程(SE)、系统分析(SA)与运筹学(OR)/53

- 第三节 层次分析法(AHP)/57
- 第四节 网络分析法(ANP)/62
- 第五节 运筹学与管理信息系统/69
- 参考文献/81

第五讲 线性规划/83

- 第一节 线性规划概述/83
- 第二节 图解法/94
- 第三节 单纯形法/101
- 第四节 线性规划的对偶理论/108
- 第五节 灵敏度分析/116
- 练习题/124
- 参考文献/127

第六讲 物流合理化

——运筹学的一个应用领域/129

- 第一节 物流概述/129
- 第二节 物流中心的选址/131
- 第三节 配送计划的制订/139
- 第四节 动态批量问题/144
- 参考文献/147

第七讲 柔性

——近代运筹学的理念与方法/149

- 第一节 案例1——信贷资金的分配/151
- 第二节 案例2——大型企业产品结构优化/154
- 第三节 软对策论简介/158
- 第四节 决策分析中的柔性/161

参考文献/165

第八讲 人工神经网络中的 BP 算法/167

第一节 神经网络概述/168

第二节 多层网络/175

第三节 BP 网络及 BP 算法/178

第四节 BP 算法的几个理论支持/182

第五节 应用举例/187

参考文献/192

第九讲 DEA

——一种评价相对有效性的运筹学新方法/193

第一节 DEA 的基本概念与基本模型(C^2R)/194

第二节 DEA 有效的经济含义/202

第三节 决策单元在 DEA 相对有效面上的投影/208

第四节 DEA 在经济分析及企业管理中的应用/214

第五节 评价技术有效性的 C^2GS^2 模型/218

参考文献/224

第十讲 计算复杂性及两个组合优化名题(TSP 与 CPP)/225

第一节 计算复杂性简介/225

第二节 旅行推销员问题/232

第三节 一个以中国命名的运筹学名题——中国邮递员问题/236

参考文献/244

第十一讲 最佳批量问题与非线性规划初步/245

第一节 最佳批量模型/245

第二节 非线性规划初步/249

- 第三节 兼有资金与库容约束的最佳批量模型的求解/256
参考文献/260

第十二讲 用非专业的语言来讲述混沌的故事:浅说混沌/261

- 第一节 混沌现象/262
第二节 什么是混沌/270
第三节 混沌的普适性/277
第四节 混沌在经济系统分析中的应用举例/279
参考文献/284

第十三讲 随机服务系统的优化/287

- 第一节 随机服务系统的特征/288
第二节 生灭过程/294
第三节 $M/M/c$ 排队系统/296
第四节 $M/M/c/K$ 排队系统/303
第五节 案例:露天矿山装运系统模拟与优化/309
参考文献/314

第十四讲 客户服务中心的排队分析/315

- 第一节 企业对外服务的窗口——客户服务中心/315
第二节 客户服务中心——CTI 系统的结构与功能/318
第三节 客户服务中心揭秘——排队论的内涵/320
参考文献/324

第十五讲 竞争、对抗、利益分配

——对策论的话题/325

- 第一节 稗斯麦海的海空对抗——二人零和对策/326
第二节 矩阵对策的混合策略/331

第三节 供应链合作伙伴评价小组的权力指数分配模型/340

第四节 环境管理中的费用分摊:对策论方法的运用/344

参考文献/351

第十六讲 聚类分析

——系统分析与运筹学的交融/353

第一节 聚类分析问题及确定型聚类方法/353

第二节 模糊聚类分析/360

第三节 迭代自组织数据分析技术(ISODATA)/366

参考文献/370

第一讲 运筹学的 ABC

提要:本讲从学科的高度,深入阐述了运筹学的成就、信念和能力。在总结概括了 40 多篇代表性文献的基础上,重点论述了运筹学的三个来源:军事、管理与经济,以及三个组成部分,即运用分析理论、竞争理论及随机服务理论。在第三部分中,扼要论述了运筹学的方法论。

运筹学的 ABC,也就是运筹学的成就(Achievement)、信念(Belief)和能力(Capability)。几年前,运筹学家哈维·瓦格纳(Harvey Wagner)发表过同样题目的文章,实际上他论述了运筹学的过去、现在和未来。这样的题目,对我来说,是太大了,恐怕讲不好。

我想讲一下运筹学的:①三个来源;②三个组成部分;③解决问题的一种模式。这也可以简称为运筹学的“三三一”,它蕴涵着运筹学的 ABC。

第一节 运筹学的三个来源

任何一门科学都不是突然诞生的,运筹学也不例外。运筹学问题和朴素的运筹思想,可以追溯到古代,它和人类实践活动的各种决策并存。直到 20 世纪初,并延续到 30 年代末 40 年代初,在烽火硝烟的战争中,正式诞生了运筹学。

运筹学有三个来源:军事、管理、经济。下面我们来分别进行讨论。

一、军事

军事是运筹学发源地之一,是运筹学的一个大好的舞台。事实上,运筹学(Operational Research; Operation's Research, 简称 OR)的原意,可称为作战研究。我们中文的运筹学是根据“运筹帷幄之中,决胜千里之外”而来的。这是汉高祖刘邦称赞张良的话,取其义而用之,把 OR 翻译成运筹学。

美国军事运筹学会 1981 年出版了一本书,书中第一句话,就是说孙武是世界上第一个军事运筹学的实践家。我认为把孙武称为世界上第一个军事运筹学家,是非常恰当的。在著名的《孙子兵法》中,他在质的论断中,渗透着深刻的量的分析。在“计篇”中,他认为,应当从政治、天时、地利、帅和法制五个方面,对敌我双方的优劣条件,进行全面的估计和分析,来估量战争的胜负。这是从全局的观点来分析战争,指出:“知之者胜,不知者不胜”。在“计篇”中,他指出了算计和谋划对于决定战争胜负的重要性。在“谋攻”篇中,他指出:知己知彼,百战百胜;知彼知己或知己不知彼,胜负各半;既不知己也不知彼,仗仗皆输。在此处,军事运筹学家孙武的论断中就有数量分析。军事运筹问题和运筹学思想的例子,还是很多的,比如田忌赛马、围魏救赵、行军运粮等。

同样,在国外,运筹思想也可追溯到很早很早以前。如阿基米德、伦纳多·达·芬奇、伽利略,都研究过作战问题。第一次世界大战时,英、美均有应用运筹学的例子。1916 年,英国的兰彻斯特(Lanchester)发表了一个有名的小册子,指出了数量优势、火力和胜负的动态关系,即后来被人们称之为兰彻斯特方程。美国的爱迪生为美国海军咨询委员会研究了潜艇攻击和潜艇回避攻击的问题。这些工作对第二次世界大战中运筹学的产生是有影响的。

1939 年,英国的鲍得西研究站研究了新研制的对空雷达警戒系统如何和老的作战指挥系统配合的问题,指出了从整个控制系统的角度上分析通信系统的有效性。这些研究人员就是第二次世界大战中最早从事运筹学的科学工作者。后来,战争爆发后,又研究了雷达探测和其他的运筹问题。当时,德国飞机经常来袭,他们观察和研究了地面控制、拦截系统的使用情况,对夜间战斗的各阶段进行了分析,提出了改革措施。他们的这一研究报告,是以后运筹研究报告的样

本。从学术思想上,他们的研究蕴涵着整体性的概念和系统分析的思想。

当德国对法国等几个国家发动攻势时,英国动用了十几个国土防空中队的飞机和德国飞机作战。这些飞机中队必须由大陆上的机场来维护和操作,英国飞机损失率是很高的。与此同时,法国总理要求给他增援 10 个中队的飞机。丘吉尔决定同意这个要求。运筹人员得知此事后,要求参加讨论此军事问题的内阁会议,在会上表示反对这一决定。运筹人员进行了一项快速研究,说明如果补充率不变,损失率不变,飞机数量的下降是非常快的,并且用一些图和表来说明问题,使英国军政首脑一看便懂。简单一句话概括:“以现在的损失率持续两周,法国或在英国的‘飓风’式战斗机便一架也不存在了。”同时再把一些图表摆在丘吉尔首相面前。这些图表神极了!结果,不仅法国要求增援的 10 个中队的飞机没有派去法国,就连当时已在法国的中队,除留下 3 个中队外,其余全部在几天内返回英国。实践证明这一决策是正确的。从这一研究中,运筹学研究人员为决策者提供的不是作战的事实或孤立的数据,而是把数据和事实进行加工成为决策的定量信息。同时,我们可以看到,运筹学报告要尽量用图和表,用浅显易懂的语言。这些经验直到现在还是有用的。

第二次世界大战中所研究的军事运筹问题是很多的。例如,搜索潜艇问题、护航问题、布雷问题、轰炸问题、运输问题等,有兴趣者可参看参考本讲文献[4]~[7]。早期一般性质的运筹问题的研究,均收集在参考文献[2]中。

第二次世界大战的军事运筹问题及其解决方法,有如下的特点:①数据是实践中的真实数据;②解决问题的人员组成是多学科的;③处理问题的方法渗透着物理学的思想。

二、管理

运筹学的第二个来源是管理。管理的范畴很广,企业管理是管理领域中最活跃、最先进的部分。企业管理经历了三个时期:①手工式管理时期;②机械化管理时期;③系统化管理时期。

小农经济或小手工业经济的管理职能,是很简单的,往往是由家长、业主兼雇。他们作计划、安排生产、指挥下属、参加劳动,并在一定的时候进行核算。这

种管理方式,完全凭脑子记忆、思考,凭手或极其简单的工具计算。大规模的机械化生产,使企业管理进入机械化时期。管理职能分化为相对独立的部分,计划、会计、物资、设备、工艺、人事等。与此相适应,簿记、报告和机械式计算器,是管理人员熟练掌握的工具。当前,企业管理处在系统管理时期。

管理是一门技艺,也是一门科学。管理科学,按照国际管理科学会的说法,是把各种科学方法用于管理。在管理科学学术领域中,有三个最有影响的学派:

①古典学派;②行为学派;③系统学派。

第一次世界大战前就已诞生并成熟的古典管理学派,对运筹学的产生和发展,影响是非常大的。古典学派的代表人物,有泰勒(Taylor)、甘特(Gantt)、吉尔布雷思(Gilbreth)等。古典管理学派的中心思想是寻求一些方法,使人们自愿地联合和协作,保持个人的首创精神和创造能力,达到增加效率之目的。以此思想为指导,可以详细分析劳动过程中每一个动作及其相应的时间,去掉多余的动作,改进不合理的操作,找出最有效的工作方法。这就是通常所说的泰勒制的部分内容,里面蕴涵着系统分析的思想。泰勒本人对车工非常熟悉,他曾试图找出切削效率和车速、进刀量等因素的数学关系。现在来看,这是一个优选问题。古典管理学派的理论,内容是很丰富的。他们提出了管理的基本原则,研究了机构设置、权限、工厂布局、计划等一系列问题,也提出了举世闻名的刺激性工资制度。甘特所创造的甘特图,用于生产活动分析和计划安排,至今还在实践中应用,并向前发展成为统筹方法。管理实践和管理科学中的许多问题,至今仍是运筹学者重点研究的课题。

三、经济

运筹学的第三个来源是经济。经济学理论对运筹学的影响,是和数理经济学这一学派紧密联系的。数理经济学对运筹学,特别是运筹学中的线性规划的影响,可以从Qusnay 1758年在凡尔赛发表的《经济表》算起。当时许多经济学家对数理经济有显著贡献,最有名者是沃尔拉思(Walras),他当时就研究了经济平衡的问题,其数学形式被后来的数理经济学家一而再、再而三地研究和深入发展。20世纪30年代,奥地利和德国的经济学推广了沃尔拉思的工作。1932年,

Von Neumann 提出了一个广义经济平衡模型。1939 年,苏联的康托洛维奇发表了《生产组织和计划中的数学方法》一书,这些工作都可看做是运筹工作的先驱。

这里,我们需要指出一点:伟大的导师马克思是第一个成功地把数学用于经济研究的无产阶级经济学家。在他毕生致力研究的《资本论》中,处处渗透着量的分析。在关键之处,还蕴涵着新的数学理论的萌芽。虽然在《资本论》这部巨著中并没有大量的数学公式,但是的确存在着深刻的量的分析。实际上,在经济研究的同时,马克思在钻研着数学。在 1858 年他致恩格斯的信中写道:“在制定政治经济学原理时,计算的错误大大地阻碍了我,失望之余,只好重新坐下来把代数迅速地温习一遍。算术我一向很差,不过间接地用代数方法,我很快又会计算的。”在 1863 年致恩格斯的信中,马克思说他本人正在研究微积分,并热情地向恩格斯推荐,认为微积分对恩格斯的军事研究是非常有用的。正如恩格斯所说:马克思是当时唯一能用哲学(正确的方法论)作为指导来研究数学的人。事实上,在沃尔拉思钻研他的数理经济问题的同时,马克思也在研究他所碰到的数理经济问题。二人都在相应的数学理论之前,解决了各自的数理经济问题。沃尔拉思在数学家布劳沃(Brouwer)之前,几乎用了布劳沃后来作出来的不动点定理;而马克思在数学家 Mapkof, Perron, Frobenius 之前,实际上就用了这三位数学家命名的定理。因而,可以说马克思是最早的把数学用于经济研究的经济学家之一。

近卅年来,经济数学和运筹学相互影响,相互促进,共同发展。

运筹学来源于军事、管理和经济,离开了这三个领域,运筹学就会成为无源之水,就会走向歧途,这是实践已证明了的事实。

第二节 运筹学的三个组成部分

任何一门科学都要研究其他科学不研究的一种或几种自然(或社会)现象,它才能独立于科学之林。在运筹学的对象中,哪些现象是它独自深入研究的呢?我们认为,有三类现象:一是机器、工具、设备等如何充分运用的问题,即如何使

运用效率较高;二是竞争现象、战争、投资、商品竞争等;三是拥挤现象,公共汽车排队、打电话、上百货大楼买东西、飞机着陆、船舶进港等。这三类现象,其他科学分支研究比较少。它是运筹学的研究对象,也成为和其他科学分支相区别的标志。但无论怎样看,运筹和管理都是紧密相连的。

根据运筹学所研究的对象和内容,我们认为运筹学有三个组成部分:①运用分析理论;②竞争理论;③随机服务理论即排队论。

一、运用分析理论

运用分析理论,主要包括分配(Allocation)、选址(Location)、资源最佳利用、设备最佳运行等。运用分析中常用的数学方法有:线性规划、非线性规划、网络图、动态规划、最优控制等。

我们以田忌赛马的例子来说明运用分析的基本概念。在此问题中,田忌和齐王各有上、中、下三匹马。田忌的马与齐王的马,分别上对上,中对中,下对下比赛,田总是要输。在肯定已知齐王的马的出场顺序时,田忌的问题就是资源最佳运用的问题。如表1-1所示的输赢金额。

在表1-1中,正表示田忌赢,负表示输,输赢均为千金。

表1-1

输 田忌	赢 齐王	上	中	下
		上	中	下
上		-1000	1000	1000
中		-1000	-1000	1000
下		-1000	-1000	-1000

田忌的每一等级的马,均有三种可能的比赛对手。假设齐王的策略给定不变,田忌的问题就是一个分派问题。

令: