



面向 *21* 世纪课程教材
信息管理与信息系统专业教材系列

运筹学

(本科版)

第4版

Operations Research

《运筹学》教材编写组 ◎ 编

清华大学出版社





面向 21 世纪课程教材
信息管理与信息系统专业教材系列

1541733

O22
0188



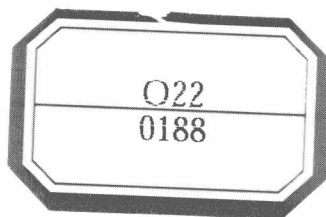
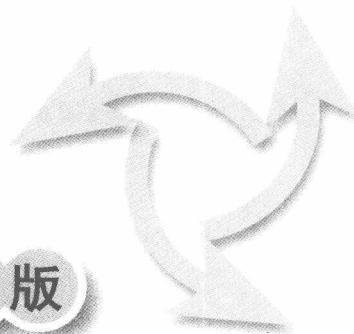
CS1702686-8

《运筹学》教材编写组 编

运筹学

(本科版)

第 4 版



清华大学出版社
北京

重庆大学图书馆

内 容 简 介

为适应大学本科教学,本书在《运筹学》(第4版)基础上,吸收广大读者的意见,做了局部调整和修改。全书分为绪论、线性规划与目标规划、整数线性规划与动态规划、图与网络分析、存储论、对策与决策以及启发式方法7篇,着重介绍运筹学的基本原理和方法。书中每章后附有习题,便于自学。有些部分的后面增补了“注记”,便于读者了解运筹学各分支的发展趋势。

本书可作为高等院校理工科各专业的教材,亦可作为报考研究生的参考书。

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

运筹学:本科版/《运筹学》教材编写组编.--4版.--北京:清华大学出版社,2013.1
面向21世纪课程教材·信息管理与信息系统专业教材系列
ISBN 978-7-302-30641-2

I. ①运… II. ①运… III. ①运筹学—高等学校—教材 IV. ①O22

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第266667号

责任编辑:贺岩

封面设计:常雪影

责任校对:宋玉莲

责任印制:何芊

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 刷 者:清华大学印刷厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×230mm 印 张:23.5 插 页:1 字 数:508千字

版 次:2005年9月第1版 2013年1月第4版 印 次:2013年1月第1次印刷

印 数:1~10000

定 价:29.80元

产品编号:048359-01

编写组成员

主 编：钱颂迪

编 委：甘应爱 田 丰 李维铮 (杜 纲) 李梅生(邓成樑)

陈秉正 胡运权 顾基发 郭耀煌

序 言

FOREWORD

为了实现我国的四个现代化,我们不但要学习和掌握先进的科学技术,而且要学习和掌握现代化的科学管理方法。近几年来,我们从管理实践中更加认识到,由于计划和管理不当,在时间、人力、物力和资金等方面造成了很大的浪费,从而给我国的经济建设带来严重损失。为了适应现代化管理的需要,最近几年在我国许多工科院校中,相继建立了一些工业经济、工商管理或系统工程等系或专业,并且都开设了运筹学的课程。

运筹学是近 40 年来发展起来的一门新兴学科。它的目的是为行政管理人员在做决策时提供科学的依据。因此,它是实现管理现代化的有力工具。运筹学在生产管理、工程技术、军事作战、科学试验、财政经济以及社会科学中都得到了极为广泛的应用。

应用运筹学去处理问题时,有两个重要的特点:一是从全局的观点出发;二是通过建立模型,如数学模型或模拟模型,对于需要求解的问题给出最合理的决策。在建立模型和求解的过程中,往往要用到一些数学方法和技巧。因此,许多运筹学工作者,特别是中国的运筹学工作者,往往都来自数学专业。由于这个原因,目前国内流行的有关运筹学的教科书,多半偏重于数学方法的论证,对于解决实际问题时所需要的建立模型的概念与解题的技巧不够重视。这种情况不太适宜于工科院校学生的需要。本书是专为工科院校的经济管理专业的学生编写的。内容上力求深入浅出,文字通俗易懂,方法上着重于思路和几何的直观解释,并尽量结合经济管理专业列举一些实例。

本书是在较短时间内完成的,作为第一次尝试编写一本适宜于工科院校的运筹学教科书,无疑对我国运筹学教学以及促进运筹学的研究都将是有意义的。

中国数学会运筹学会 许国志 桂湘云

1981.9

前言 PREFACE

2010年12月12日在三亚,《运筹学》第3版的老作者们举行了一次聚会,出席者有钱颂迪、郭耀煌、顾基发、甘应爱、胡运权、李梅生和陈秉正。

与会者热烈认真讨论了如何修改《运筹学》第3版的议题,并获得共识:

1. 第4版的修改原则。大家一致认为:要保持本书已形成的风格;要保持原书框架结构和体系,书的读者对象不变;章节之间调整按有增有减办法处理;要与时俱进,要适当体现当下的管理理念等。

2. 这次修改的总要求:消除概念的、文字的、计算的、印刷的错误;更换不合适的例子;精炼文字,表述要正确,要经得起推敲。

3. 这次修改以原作者为主,根据各作者健康状况,量力而行;并且议论了今后“接力棒”修改模式问题;先在第4版的修改时吸收个别新成员参加。

4. 李梅生邀请邓成樑负责修改他那部分书稿;杜纲负责修改李维铮那部分书稿。

5. 充实绪论部分内容;补充线性规划部分内容;建立线性规划问题模型的三个重要假设;对影子价格的经济意义作了较全面的修改等。

6. 大家回顾了本教材从1980年开始建立起彼此之间的合作和友谊,并获得清华大学出版社的持久支持,同时深深怀念已故老作者李德、李维铮、郑大本所做出的贡献。

7. 感谢多年来广大读者和老师对本教材的关心和支持,特别感谢东北大学工商管理学院张川老师,同济大学王明照老师对本教材的修改提出的具体意见。

参加本次修订的作者为:

第1章

顾基发(中国科学院系统科学研究所)

第2章~第5章

钱颂迪(南京航天管理干部学院)

胡运权(哈尔滨工业大学)

第6章

李维铮、杜纲(天津大学)

第7章

甘应爱(华中科技大学)

第8章

田丰(中国科学院系统科学研究所)

第9章

钱颂迪

第10章

李梅生、邓成樑(华中科技大学)

第11章

陈秉正(清华大学)

第 12 章

钱颂迪、顾基发

第 13 章

郭耀煌(西南交通大学)

在《运筹学》第 4 版顺利出版之后,为适应大学本科教学的需要,又在其基础上做了局部调整与修订而完成了这部本科版教材。

本书如有不妥之处,敬请广大读者批评指正。

钱颂迪

2012.6

目 录 CONTENTS

第1篇 绪 论

第1章 运筹学概论	3
1.1 运筹学的简史	3
1.2 运筹学的性质和特点	5
1.3 运筹学的工作步骤	5
1.4 运筹学的模型	6
1.5 运筹学的应用	7
1.6 运筹学的展望	10
参考资料	11

第2篇 线性规划与目标规划

第2章 线性规划与单纯形法	15
2.1 线性规划问题及其数学模型	15
2.2 线性规划问题的几何意义	23
2.3 单纯形法	27
2.4 单纯形法的计算步骤	37
2.5 单纯形法的进一步讨论	41
2.6 应用举例	47
习题	55
第3章 对偶理论和灵敏度分析	59
3.1 单纯形法的矩阵描述	59
3.2 单纯形法的矩阵计算	60
3.3 对偶问题的提出	64
3.4 线性规划的对偶理论	64
3.5 影子价格	72
3.6 对偶单纯形法	74

3.7 灵敏度分析	77
3.8* 参数线性规划	84
习题	87
第4章 运输问题	92
4.1 运输问题的数学模型	92
4.2 表上作业法	93
4.3 产销不平衡的运输问题及其求解方法	104
4.4 应用举例	107
习题	113
第5章 线性目标规划	116
5.1 目标规划的数学模型	116
5.2 解目标规划的图解法	118
5.3 解目标规划的单纯形法	120
5.4 应用举例	123
习题	127
参考资料	129

第3篇 整数线性规划与动态规划

第6章 整数线性规划	133
6.1 整数线性规划问题的提出	133
6.2 分支定界解法	134
6.3 割平面解法	138
6.4 0-1型整数线性规划	142
6.5 指派问题	146
习题	152
参考资料	154
第7章 动态规划	155
7.1 多阶段决策过程及实例	155
7.2 动态规划的基本概念和基本方程	156
7.3 动态规划的最优性原理和最优性定理	165
7.4 动态规划和静态规划的关系	167

7.5 动态规划应用举例	175
习题	197
参考资料	201

第 4 篇 图与网络分析

第 8 章 图与网络优化	205
8.1 图的基本概念	206
8.2 树	210
8.3 最短路问题	216
8.4 网络最大流问题	224
8.5 最小费用最大流问题	230
8.6 中国邮递员问题	233
习题	237
参考资料	241
第 9 章 网络计划	242
9.1 网络计划图	242
9.2 网络计划图的时间参数计算	246
9.3 时标网络计划图	250
9.4 网络计划的优化	251
9.5 网络计划软件	255
习题	257
参考资料	258

第 5 篇 存 储 论

第 10 章 存储论	261
10.1 存储论的基本概念	261
10.2 确定性存储模型	264
习题	279
参考资料	280



第6篇 对策与决策

第11章 对策论基础	283
11.1 引言	283
11.2 矩阵对策的基本定理	286
11.3 矩阵对策的解法	299
习题	310
参考资料	312
第12章 决策分析	313
12.1 决策的分类	313
12.2 决策过程	314
12.3 不确定型的决策	315
12.4 风险决策	319
12.5 效用理论在决策中的应用	325
12.6 决策树	328
12.7 灵敏度分析	332
12.8 层次分析法	333
习题	339
参考资料	342

第7篇 启发式方法

第13章* 启发式方法	345
13.1 基本概念	345
13.2 应用及例子	348
习题	358
参考资料	361

* 表示可选讲内容

Part 1

第 1 篇

绪论

CHAPTER 1

第 1 章

运筹学概论

1.1 运筹学的简史

运筹学作为科学名字出现在 20 世纪 30 年代末。当时英、美对付德国的空袭,雷达作为防空系统的一部分,从技术上是可行的,但实际运用时却并不好用。为此一些科学家研究如何合理运用雷达开始进行一类新问题的研究。因为它与研究技术问题不同,就称之为“运用研究”。

运筹学的英文名词 operational research 是英国人最早在 20 世纪 30 年代末提出来的,很快美国也跟上,但用了 operations research,它们英文简写都是 OR。我国在 1956 年曾用过运用学的名词,到 1957 年正式定名为运筹学。为了进行运筹学研究,在英、美的军队中成立了一些专门小组,开展了护航舰队保护商船队的编队问题和当船队遭受德国潜艇攻击时,如何使船队损失最少的问题的研究。研究了反潜深水炸弹的合理爆炸深度后,使德国潜艇被摧毁数增加到 400%;研究了船只在受敌机攻击时,提出了大船应急速转向和小船应缓慢转向的逃避方法。研究结果使船只在受敌机攻击时,中弹数由 47% 降到 29%。当时研究和解决的问题都是短期的和战术性的。第二次世界大战后在英、美军队中相继成立了更为正式的运筹研究组织。

由于这门学问当时与军事有关,因此有些内容处于保密状态。很多年以后,到 20 世纪 40 年代末 50 年代初,其中一些与军事密切相关的内容才逐渐公开出来,其中莫尔斯 (P. M. Morse) 与金博尔 (G. E. Kimball) 1951 年出版的《运筹学方法》(Methods of Operations Research) 一书可以作为那段时期重要工作的总结。后来以兰德公司 (RAND) 为首的一些部门开始着重研究战略性问题、未来的武器系统的设计和可能合理运用的方法。例如为美国空军评价各种轰炸机系统,讨论了未来的武器系统和未来战争的战略。他们还研究了苏联的军事能力及未来的预报,分析苏联政治局计划的行动原则和将来的行动预测。到 20 世纪 50 年代,由于开发了各种洲际导弹,到底发展哪种导弹,运筹学界也参与了争论。兰德公司接着提出了系统分析 (systems analysis, SA) 的名词及其相应技术和方法,其应用开始更偏重于战略方面。他们参与了战略力量的构成和数量问题研究。除军事方面的应用研究以外,相继在工业、农业、经济和社会问题等各领域都有应用,后来也有人把这两个词放在一起叫 SA/OR。与此同时,运筹数学有了飞快

的发展,并形成了运筹学的许多分支。如数学规划(线性规划、非线性规则、整数规划、目标规划、动态规划、随机规划等)、图论与网络、排队论(随机服务系统理论)、存储论、对策论、决策论、维修更新理论、搜索论、可靠性和质量管理等。作为运筹学的早期工作其历史可追溯到1914年,军事运筹学中的兰彻斯特(Lanchester)战斗方程是在1914年提出的。排队论的先驱者丹麦工程师爱尔朗(Erlang)1917年在哥本哈根电话公司研究电话通信系统时,提出了排队论的一些著名公式。存储论的最优批量公式是在20世纪20年代初提出的。在商业方面列温逊在20世纪30年代已用运筹思想分析商业广告、顾客心理。线性规划是由丹捷格(G. B. Dantzig)在1947年发表的成果。所解决的问题是美国制定空军军事规划时提出的,并提出了求解线性规划问题的单纯形法。而早在1939年苏联学者康托洛维奇(Л. В. Канторович)在解决工业生产组织和计划问题时,已提出了类似线性规划的模型,并给出了“解乘数法”的求解方法。由于当时未被领导重视,直到1960年康托洛维奇再次发表了《最佳资源利用的经济计算》一书后,才受到国内外的一致重视。为此康托洛维奇得到了诺贝尔奖。值得一提的是丹捷格认为线性规划模型的提出是受到了列昂节夫的投入产出模型(1932年)的影响;后来列昂节夫的投入产出模型也得到了诺贝尔奖。关于线性规划的理论是受到了冯·诺依曼(Von Neumann)的帮助。冯·诺依曼和摩根斯特恩(O. Morgenstern)合著的《博弈论与经济行为》(1944年)是对策论的奠基作,同时该书已隐约地指出了对策论与线性规划对偶理论的紧密联系。线性规划提出后很快受到经济学家的重视,如在第二次世界大战中从事运输模型研究的美国经济学家库普曼斯(T. C. Koopmans),他很快看到了线性规划在经济中应用的意义,并呼吁年轻的经济学家要关注线性规划。库普曼斯在1975年获诺贝尔经济奖。其中阿罗、萨缪尔逊、西蒙、多夫曼和胡尔威茨等都获得了诺贝尔奖,并在运筹学某些领域中发挥过重要作用。我们初步统计了到2007年为止共有19个诺贝尔奖获得者的研究与运筹学有关。回顾一下最早投入运筹学领域工作的诺贝尔奖获得者、美国物理学家勃拉凯特(Blackett)领导的第一个以运筹学命名的小组是有意义的。由于该小组的成员复杂,人们戏称它为勃拉凯特马戏团,其实是一个由各方面专家组成的交叉学科小组。从以上简史可见,为运筹学的建立和发展作出贡献的有物理学家、经济学家、数学家、其他专业的学者、军官和各个行业的实际工作者。

最早建立运筹学会的国家是英国(1948年),接着是美国(1952年)、法国(1956年)、日本和印度(1957年)等。到2005年为止,国际上已有48个国家和地区建立了运筹学会或类似的组织。我国的运筹学会成立于1980年。1959年由英、美、法三国的运筹学会发起成立了国际运筹学联合会(IFORS),以后各国的运筹学会纷纷加入,我国于1982年加入该会。此外还有一些地区性组织,如欧洲运筹学协会(EURO)成立于1975年,亚太运筹学协会(APORS)成立于1985年。

20世纪50年代中期,钱学森、许国志等教授将运筹学由西方引入我国,并结合我国的特点在国内推广应用。

他们最早在中国科学院力学所建立了运筹室,在运筹学多个领域开展研究和应用工作,其中在经济数学方面,特别是投入产出表的研究和应用开展较早。质量控制(后改为质量管理)的应用也有特色。在此期间以华罗庚教授为首的一大批数学家加入到运筹学的研究队伍,在中国科学院数学所也建立了运筹室,使运筹数学的很多分支很快跟上当时的国际水平。

1.2 运筹学的性质和特点

运筹学是一门应用科学,至今还没有统一且确切的定义。提出以下几个定义来说明运筹学的性质和特点。莫斯(P. M. Morse)和金博尔(G. E. Kimball)曾对运筹学下的定义是:“为决策机构在对其控制下业务活动进行决策时,提供以数量化为基础的科学方法。”它首先强调的是科学方法,这含义不单是某种研究方法的分散和偶然的应用,而是可用于整个一类问题上,并能传授和有组织的活动。它强调以量化为基础,必然要用数学。但任何决策都包含定量和定性两方面,而定性方面又不能简单地用数学表示,如政治、社会等因素,只有综合多种因素的决策才是全面的。运筹学工作者的职责是为决策者提供可以量化方面的分析,指出那些定性因素的力度。另一定义是:“运筹学是一门应用科学,它广泛应用现有的科学技术知识和数学方法,解决实际中提出的专门问题,为决策者选择最优决策提供定量依据。”这定义表明运筹学具有多学科交叉的特点,如综合运用经济学、心理学、物理学、化学中的一些方法。运筹学是强调最优决策,“最”是过分理想了,在实际生活中往往用次优、满意等概念代替最优。因此,运筹学的又一定义是:“运筹学是一种给出问题坏的答案的艺术,否则的话问题的结果会更坏。”

为了有效地应用运筹学,前英国运筹学学会会长托姆林森提出六条原则:

- (1) 合伙原则。是指运筹学工作者要和各方面人,尤其是同实际部门工作者合作。
- (2) 催化原则。在多学科共同解决某问题时,要引导人们改变一些常规的看法。
- (3) 互相渗透原则。要求多部门彼此渗透地考虑问题,而不是只局限于本部门。
- (4) 独立原则。在研究问题时,不应受某人或某部门的特殊政策所左右,应独立从事工作。
- (5) 宽容原则。解决问题的思路要宽,方法要多,而不是局限于某种特定的方法。
- (6) 平衡原则。要考虑各种矛盾的平衡,关系的平衡。

1.3 运筹学的工作步骤

运筹学在解决大量实际问题过程中形成了自己的工作步骤。

- (1) 提出和形成问题。即要弄清问题的目标,可能的约束,问题的可控变量以及有关参数,搜集有关资料;

(2) 建立模型。即把问题中可控变量、参数和目标与约束之间的关系用一定的模型表示出来;

(3) 求解。用各种手段(主要是数学方法,也可用其他方法)将模型求解。解可以是最优解、次优解、满意解。复杂模型的求解需用计算机,解的精度要求可由决策者提出;

(4) 解的检验。首先检查求解步骤和程序有无错误,然后检查解是否反映现实问题;

(5) 解的控制。通过控制解的变化过程决定对解是否要作一定的改变;

(6) 解的实施。是指将解用到实际中必须考虑到实施的问题,如向实际部门讲清解的用法,在实施中可能产生的问题和修改。

以上过程应反复进行。

1.4 运筹学的模型

运筹学在解决问题时,按研究对象不同可构造各种不同的模型。模型是研究者对客观现实经过思维抽象后用文字、图表、符号、关系式以及实体模样描述所认识到的客观对象。模型的有关参数和关系式是较容易改变的,这样有助于问题的分析和研究。利用模型可以进行一定预测、灵敏度分析等。

阿可夫等对运筹学的模型分类、构模等有较完整的描述。

模型有三种基本形式:①形象模型;②模拟模型;③符号或数学模型。目前用得最多的是符号或数学模型。构造模型是一种创造性劳动,成功的模型往往是科学和艺术的结晶,构模的方法和思路有以下五种:

(1) 直接分析法。按研究者对问题内在机理的认识直接构造出模型。运筹学中已有不少现存的模型,如线性规划模型、投入产出模型、排队模型、存储模型、决策和对策模型等。这些模型都有很好的求解方法及求解的软件,但用这些现存的模型研究问题时,要注意不能生搬硬套。

(2) 类比法。有些问题可以用不同方法构造出模型,而这些模型的结构性质是类同的,这就可以互相类比。如物理学中的机械系统、气体动力学系统、水力学系统、热力学系统及电路系统之间就有不少彼此类同的现象。甚至有些经济系统、社会系统也可以用物理系统来类比。在分析一些经济、社会问题时,不同国家之间有时也可以找出某些类比的現象。

(3) 数据分析法。对有些问题的机理尚未了解清楚,若能搜集到与此问题密切相关的大量数据,或通过某些试验获得大量数据,这样可以运用统计分析法建模。

(4) 试验分析法。当有些问题的机理不清,又不能做大量试验来获得数据,这时只能通过做局部试验的数据加上分析来构造模型。

(5) 想定(构想)法(scenario)。当有些问题的机理不清,又缺少数据,又不能做试验来获得数据时,例如一些社会、经济、军事问题,人们只能在已有的知识、经验和某些研究