



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**

第 4 版

**Operations  
Research**

《运筹学》教材编写组 © 编

清华大学出版社



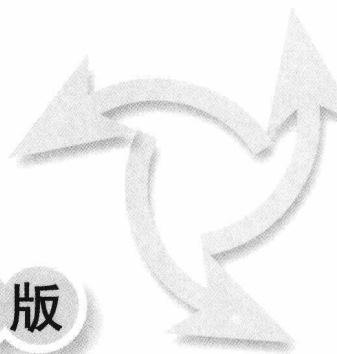
面向 21 世纪课程教材  
信息管理与信息系统专业教材系列

《运筹学》教材编写组 © 编

# 运筹学

第 4 版

## Operations Research



清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书在第三版基础上,吸收了广大读者的意见,做了局部调整和修改。全书共分为绪论、线性规划与目标规划、整数线性规划、非线性规划、动态规划、图与网络分析、排队论、存储论、对策论、决策论和启发式方法 11 篇。

本书着重介绍运筹学的基本原理和方法,注重结合经济管理专业实际,具有一定的深度和广度。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/《运筹学》教材编写组编.--4 版.--北京:清华大学出版社,2012.9  
(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 978-7-302-28879-4

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 105292 号

责任编辑:贺 岩

封面设计:常雪影

责任校对:王凤芝

责任印制:张雪娇

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](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质 量 反 馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 刷 者:清华大学印刷厂

装 订 者:三河市金元印装有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×230mm 印 张:35.25 插 页:1 字 数:747 千字

版 次:1982 年 6 月第 1 版 2012 年 9 月第 4 版 印 次:2012 年 9 月第 1 次印刷

印 数:1~15000

定 价:39.80 元

# 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

# 前言(第4版) PREFACE

2010年12月12日在三亚,《运筹学》第三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》第三版的议题,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,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,和获得清华大学出版社的持久的支持,以及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:

- |              |                   |
|--------------|-------------------|
| 1. 绪论        | 顾基发(中国科学院系统科学研究所) |
| 2. 线性规划与目标规划 | 钱颂迪(南京航天管理干部学院)   |
|              | 胡运权(哈尔滨工业大学)      |
| 3. 整数线性规划    | 李维铮、杜纲(天津大学)      |
| 4. 非线性规划     | 郭耀煌(西南交通大学)       |
| 5. 动态规划      | 甘应爱(华中科技大学)       |
| 6. 图与网络分析    |                   |
| 第11章         | 田丰(中国科学院系统科学研究所)  |
| 第12章         | 钱颂迪               |
| 7. 排队论       | 李维铮、杜纲            |

- |           |                 |
|-----------|-----------------|
| 8. 存储论    | 李梅生、邓成樑(华中科技大学) |
| 9. 对策论    | 陈秉正(清华大学)       |
| 10. 决策论   |                 |
| 第 16 章    | 钱颂迪、顾基发         |
| 第 17 章    | 顾基发             |
| 11. 启发式方法 | 郭耀煌             |

本书如有不妥之处,敬请广大读者批评指正。

钱颂迪

2012.4

# 前言(第1版) PREFACE

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了严重损失。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,往往都是来自数学专业。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義的。

中国数学会运筹学会 许国志 桂湘云

1981.9

# 目 录 CONTENTS

## 第1篇 绪 论

<b>第1章 运筹学概论</b> .....	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

<b>第2章 线性规划与单纯形法</b> .....	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
<b>第3章 对偶理论和灵敏度分析</b> .....	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
<b>第4章 运输问题</b>	<b>92</b>
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
<b>第5章 线性目标规划</b>	<b>116</b>
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

<b>第6章 整数线性规划</b>	<b>133</b>
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4篇 非线性规划

<b>第7章* 无约束问题</b>	<b>157</b>
7.1 基本概念	157
7.2 一维搜索	170

7.3 无约束极值问题的解法 .....	176
<b>第 8 章* 约束极值问题 .....</b>	<b>199</b>
8.1 最优性条件 .....	199
8.2 二次规划 .....	203
8.3 可行方向法 .....	206
8.4 制约函数法 .....	210
习题 .....	217
参考资料 .....	220

## 第 5 篇 动态规划

<b>第 9 章 动态规划的基本方法 .....</b>	<b>225</b>
9.1 多阶段决策过程及实例 .....	225
9.2 动态规划的基本概念和基本方程 .....	226
9.3 动态规划的最优性原理和最优性定理 .....	235
9.4 动态规划和静态规划的关系 .....	237
习题 .....	246
<b>第 10 章 动态规划应用举例 .....</b>	<b>249</b>
10.1 资源分配问题 .....	249
10.2 生产与存储问题 .....	261
10.3* 背包问题 .....	271
10.4* 复合系统工作可靠性问题 .....	275
10.5 排序问题 .....	277
10.6 设备更新问题 .....	280
10.7* 货郎担问题 .....	283
习题 .....	285
参考资料 .....	290

## 第 6 篇 图与网络分析

<b>第 11 章 图与网络优化 .....</b>	<b>293</b>
11.1 图的基本概念 .....	294
11.2 树 .....	298

11.3	最短路问题 .....	304
11.4	网络最大流问题 .....	312
11.5	最小费用最大流问题 .....	318
11.6	中国邮递员问题 .....	321
	习题 .....	325
	参考资料 .....	329
<b>第 12 章</b>	<b>网络计划 .....</b>	<b>330</b>
12.1	网络计划图 .....	330
12.2	网络计划图的时间参数计算 .....	334
12.3	时标网络计划图 .....	338
12.4	网络计划的优化 .....	339
12.5	网络计划软件 .....	343
	习题 .....	345
	参考资料 .....	346

## 第 7 篇 排 队 论

<b>第 13 章</b>	<b>排队论 .....</b>	<b>349</b>
13.1	基本概念 .....	349
13.2	到达间隔的分布和服务时间的分布 .....	354
13.3	单服务台负指数分布排队系统的分析 .....	361
13.4	多服务台负指数分布排队系统的分析 .....	372
13.5	一般服务时间 $M/G/1$ 模型 .....	379
13.6	经济分析——系统的最优化 .....	382
13.7*	分析排队系统的随机模拟法 .....	386
	习题 .....	390

## 第 8 篇 存 储 论

<b>第 14 章</b>	<b>存储论 .....</b>	<b>397</b>
14.1	存储论的基本概念 .....	397
14.2	确定性存储模型 .....	400
14.3	随机性存储模型 .....	414
14.4	其他类型存储问题 .....	428

习题 .....	434
参考资料 .....	436

## 第 9 篇 对 策 论

<b>第 15 章 对策论基础</b> .....	439
15.1 引言 .....	439
15.2 矩阵对策的基本定理 .....	442
15.3 矩阵对策的解法 .....	455
15.4* 其他类型对策简介 .....	466
习题 .....	473
参考资料 .....	476

## 第 10 篇 决 策 论

<b>第 16 章 单目标决策</b> .....	479
16.1 决策的分类 .....	479
16.2 决策过程 .....	480
16.3 不确定型的决策 .....	481
16.4 风险决策 .....	485
16.5 效用理论在决策中的应用 .....	491
16.6 决策树 .....	494
16.7 灵敏度分析 .....	498
习题 .....	499
参考资料 .....	502
<b>第 17 章 多目标决策</b> .....	503
17.1 引言 .....	503
17.2 基本概念 .....	504
17.3 化多为少的方法 .....	507
17.4 分层序列法 .....	515
17.5 直解求非劣解 .....	516
17.6 多目标线性规划的解法 .....	517
17.7 层次分析法 .....	522
参考资料 .....	527

## 第 11 篇 启发式方法

第 18 章* 启发式方法 .....	531
18.1 基本概念 .....	531
18.2 应用及例子 .....	534
习题 .....	544
参考资料 .....	547

\* 表示可选讲内容

**P**  
**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其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·诺依曼和摩根斯坦(O. Morgenstern)合著的《对策论与经济行为》(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。