

OPERATIONS
RESEARCH



运筹学

(II类)

徐玖平 胡知能 李军 编著



科学出版社
www.sciencep.com



运筹学

(Ⅱ类)

徐玖平 胡知能 李 军 编著

教育部优秀青年教师教学科研奖励计划资助



科学出版社

www.sciencep.com

内 容 简 介

本书系统介绍了运筹学的主要内容,重点讲述了应用最为广泛的决策技术、网络计划、线性规划、整数规划、非线性规划、目标规划、动态规划、图论、对策论、库存论、排队论、可靠论、预测以及模拟等定量分析的理论与方法。阅读本书只需要微积分、线性代数与概率统计的基本知识。

本书是教学改革项目“基于信息平台的运筹学立体化教材”的成果,配备有完整的教学支持系统,包括:教师手册、多媒体课件、习题案例答案、补充习题及其答案、教学案例库、考试测评系统、在线支持等。

本书作为教材,适用于文科背景的管理类专业本科生,理工科背景的管理类和工程类专业专科生,以及要求相对全面地掌握运筹学知识的经济管理类研究生、MBA、MPA 和工程硕士。

图书在版编目(CIP)数据

运筹学(Ⅱ类)/徐玖平,胡知能,李军编著.—北京:科学出版社,2004

中国科学院规划教材·管理系列

ISBN 7-03-013900-3

I. 运… II. ①徐…②胡…③李… III. 运筹学-本科生-教材 IV. O22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 070076 号

策划编辑:陈 亮/文案编辑:王玉敏/责任校对:鲁 素

责任印制:安春生/封面设计:北新华文

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2004年9月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2004年9月第一次印刷 印张:27 1/4

印数:1—3 000

字数:512 000

定价:34.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(环伟))

序

运筹学是利用现代数学研究各种广义资源的运用、筹划与相关决策等问题的一门新兴学科,其目的是根据问题的要求,通过分析与运算,做出综合性的合理安排,使有限资源发挥更大效益。

自 20 世纪 50 年代以来,运筹学的研究与实践在我国得到长足的发展,在工程建设、企业管理、科研规划以及国民经济发展的其他诸多方面都发挥了巨大的效益和作用。随着经济改革开放的深入,作为一门优化决策的学科,运筹学受到了前所未有的重视,运筹学课程逐渐成为管理科学、应用数学、系统科学、信息技术、工程管理、交通运输等专业的基础课程之一。

进入 21 世纪以来,科技进步与社会发展提出了培养信息社会高素质人才的要求,高等教育改革不断深化,运筹学教育面临着新的挑战和问题,表现为在培养目标上对学生解决实际问题能力的强调和课时总体压缩及多样化的趋势。这就要求教师,一方面要摒弃过去那种只讲理论而轻视甚或忽视实践的教学模式,把引导学生在理解运筹学的基本理论和方法的基础上大幅度提高其运用运筹学方法构建优化决策的能力作为教学的首要目标;另一方面必须大幅度地提高运筹学教学的效率,以更加新颖、有效的教学手段实现教学目标。迎接这些挑战,意味着我们必须重新对运筹学原有的教学体系作全面的审视和思考,根据 21 世纪的人才培养需要,从教学目标、教学内容体系和教学手段三个方面对运筹学教学进行新的定位和改革。

在教育部优秀青年教师教学科研奖励计划的支持下,我们在参考和借鉴国内外大量运筹学优秀教材、学习并融会诸多运筹学课程优秀教师的经验的基础上,推出了“基于信息技术平台的立体化运筹学教材系列”。经过 5 年的酝酿和编写,3 年的实际讲授与修订,这套运筹学教材基本上体现了我们对于如何建设 21 世纪运筹学教学体系的一些想法,包含了我们自己在教改中获得的一些经验和成果。

本套教材最大的特点是把教材作为实现教学目标、承载教学内容和融会教学手段的一个基本载体来看待,构建出一个包括教学方案、教师手册、习题案例集、考试测评系统、多媒体教学课件、运筹学软件使用手册、在线教学支持等在内的内容丰富、结构严密、支持完备的教学体系。“掌握理论、强化应用、突出能力”作为“信息时代的运筹学课程”的培养目标贯穿整个教学体系的建设过程之中。

本系列教材不同于以往教材的特色有:

(1) 适用性广, 针对性强.

目前, 在各个层次的院校中, 相当多专业都开设了运筹学课程. 显然, 不同办学层次、专业背景、学校类型的人才培养目标不同, 学生素质及其知识结构也存在差异, 因而要求运筹学教师在教学内容的选择、难度深浅、教学侧重点等一系列问题上必须做到“量身定做、因材施教”. 因此, 有必要分析和归纳不同的人才培养目标, 分类设置不同的运筹学教学目标和要求, 构建出不同的教学内容和结构体系, 以立体化教材系列和支持体系来代替过去单一教材.

为此, 我们力图通过教材及支持体系的立体化、教学内容的模块化和强调教师选用教学内容的自主性等个性化定制策略, 构筑出极具弹性又特色鲜明的教学体系, 以便教师能够根据实际的教学需要来选择相近的教学方案和教材.

本系列教材分成六册:

- 《运筹学 (I 类)》
- 《运筹学 (II 类)》
- 《高级运筹学》
- 《运筹学 —— 数据 · 模型 · 决策》
- 《运筹学 —— 线性系统优化》
- 《运筹学 —— 非线性系统优化》

前四册教材构成一个纵向系列, 强调运筹学教学目标对学生的原有知识结构以及培养目标的适应性, 在要求牢固掌握运筹学基本知识的基础上, 培养学生运用运筹学方法求解实际问题的能力. 此系列适用于把运筹学作为数学与优化决策的接口学科、强调其工具性的运筹学课程.

后两册教材构成一个横向系列, 强调运筹学作为一个学科体系的完备性, 适用于要求从整体上把握运筹学理论、方法和应用的运筹学课程.

另外, 在各册教材的编写过程中, 我们以模块思路组织课程内容, 通过加注星号的方式标注出选用内容, 并配以针对性不同的多种教案、供选讲的习题

案例以及繁简不同、可快速调整组合的多媒体教学课件,构造出一个基本框架相对稳定的教学体系,但具体教学内容和课时在很大程度上可依教师和教学目标需要进行个性化的调整,从而提高了教学效率,加强了教学的针对性。

(2) 强化应用,突出能力.

运筹学真正的价值和魅力在于其为解决各个领域中的优化决策问题提供了一套切实可行的解决办法.我们认为,运筹学教材应照顾到学科体系的完整性,为学生打牢理论基础,但在信息时代对学生动手解决实际问题的能力要求提高的背景下,更应根据人才培养目标,突出培养学生的实践能力.

因此,作为一个基本的设计原则,“强化应用,突出能力”的要求贯穿于整套教材的编写中.在每册教材中,我们通过精选的例题和案例来复原典型运筹问题的情景,在讲解这些从实践中抽取并经过精心改造和设计的例题和案例的过程中,逐步地建立起学生应该掌握的运筹学理论框架.例题都具有充分的代表性,尽量做到算法有效而互不重复,并基本覆盖各自的教学对象在实践中最常见的运筹学问题的各个类型,从而为学生实际求解提供足够的启示和指导.

尽管计算过程仍然作为教学的一个基本而重要的内容,但从实际应用角度出发,我们更强调运用运筹学软件来解决计算问题.每册教材中都讲解了 LINDO, LINGO, MATLAB 或者 WinQSB 等常用软件的使用方法.

另外,我们非常注意运筹学教材与其他课程的衔接问题,对于涉及到其他课程的一些概念,予以简明的讲解,使之不成为理解和实际运用的障碍.

在对实践要求比较高的《运筹学——数据·模型·决策》中,我们还专门讨论了在实践中解决运筹学问题的流程,侧重讨论了统计数据的获取和分析,以及对运筹学解决方案的评价与反馈等问题.

(3) 易教易学,支持完备.

除了精心设计、可供自由选择的教材系列之外,我们还特别注意了教学形式的互动性和多样化.在教材编写体例上,借鉴了国外优秀教材的编写规范,同时吸收了国内教材简洁明了的优点,力图做到内容的设置和阶梯难度符合学生的认知规律,强调知识的传授与启发式教学的结合,通过引入实际问题来引发学生的学习兴趣,以简明扼要的讲解来构建学生的知识与逻辑体系,以活跃的思维想象与迂回的教学技巧帮助学生掌握教学难点,以精选的习题来巩固学生的课堂认知,以经典案例的讨论来激发学生的学习热情和主动性,以参考文献的标注来引导学有余力的学生深入探索,最终目的是要通过多样化的教学形式更加鲜明、生动、有效地实现教学的预设目标.

要达到这一目标,首先就要使教师得到更多的教学“装备”、更多的教学

支持和指导,使他们从繁忙的科研教学任务和备课的重负中解脱出来,把精力集中到现场教学的组织和控制上。为此,我们为每册书准备了包括教学大纲、教学建议、教学难点和重点提示等在内的教师手册,以及书中所有习题和案例的详细解法,作为对书中内容的补充与扩展的习题案例集,可根据教师要求灵活定制的个性化的多媒体教学课件,包含大型题库的考试测评系统以及随时更新、内容丰富的在线教学支持站点与运筹学教学论坛等。选用本系列丛书的教师可以从 http://www.chinatex.org/index2_14.htm 上得到我们全方位的、完备的教学支持。

具体来说,各教材的特点和适用对象如下:

《运筹学(I类)》与《运筹学(II类)》是教材系列中普适性最强的两本教材,强调学科知识的系统性。I类适用于理工科背景的管理类、工程类专业的本科生、少数对运筹学要求较严格的专科生、部分本科未学过运筹学但目前又要求具备较全面运筹学知识的研究生。II类适用于文科背景的管理类专业的本科生,理工背景的管理类与工程类专业的专科生,以及要求具备相对全面运筹学知识的MBA、MPA与工程硕士。

《运筹学——数据·模型·决策》是教材系列中最突出培养目标的实践操作性、最强调运筹学作为解决实际问题的“工具性”的一种教材。从这个意义上讲,它非常适合那些希望“最经济地”掌握运筹学知识以尽快地使每一点所学都“见到实效”的学生。我们推荐MBA、MPA、工程硕士与在职研究生班的学员,以及学时较少的经济管理类专业的本科生使用这种教材。它对先修数学的要求比其他教材要稍微低一些,但很注重对运筹方案的制定和评价以及对计算工具的熟练掌握,非常适合于这些将从战略和执行角度来考虑运筹问题的学生。

当然,对实用性的追求会在一定程度上影响学生运筹学知识体系的完整程度。尽管在实践中这不是最重要的,但随着需要求解的问题的复杂性的增强,学生终有一天会认识到他们需要了解更多一些。那么,其他教材,特别是《高级运筹学》将给予他们更多的指导和帮助。

顾名思义,《高级运筹学》适合于需要在运筹学上知道得“比一般人更多一点,更深入一点”的学生。该书侧重于讲述运筹学更高级、更复杂一些的理论、方法与应用,并对运筹学研究的一些最新进展和最新应用进行讨论,适用于对数量方法有一定程度要求的研究生,或者学过其他四册书之一、对运筹学感兴趣并希望进一步深造的其他读者。不过,对于学过《运筹学(II类)》与《运筹学——数据·模型·决策》的读者,建议在阅读《高级运筹学》之前,

最好再翻阅一下《运筹学 (I 类)》。

《运筹学 —— 线性系统优化》和《运筹学 —— 非线性系统优化》可能适合于要求全面、系统地掌握运筹学的原理、方法与应用的学生。据我们所知, 已经有相当一部分院校已经采取类似的教学体系分别教授本科和研究生。这两册教材的特点是按照系统优化的内在逻辑顺序组织教学内容, 各部分都有一个从易到难的过程。不过, 理论与实际的联系依然体现在书中每一个内容模块中。

总之, 在这个系列教材中, 我们紧紧围绕着信息时代人才培养目标的特殊性, 以信息技术为平台, 在运筹学教学上努力做出一些新的探讨和实践, 希望能够对新世纪的运筹学教学的进步有所裨益。当然, 事物总是在不断革新和进步中发展, 本书的不足之处也有待于广大读者和同行的指正。我们真诚地期待您的批评和建议, 来信请发至: xujiuping@openmba.com, huzhineng@openmba.com, 或 huzn@email.scu.edu.cn。

徐玖平

2004 年 7 月

常用符号说明

$x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ —— n 维行向量 (或点)

$x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ —— n 维列向量 (或点)

x_i —— n 维向量 x 的第 i 个分量

$x > y$ —— x 的每个分量都大于 y 的相应分量

$\alpha, \alpha_i, \beta, \beta_i, \gamma, \gamma_i$ —— 实数

$[\alpha, \beta]/(\alpha, \beta)$ —— 闭区间 $\alpha \leq \xi \leq \beta$ /开区间 $\alpha < \xi < \beta$

$S = \{x|x \text{ 所满足的性质}\}$ —— 满足某种性质的 x 的全体 (集合)

$S = \{x^1, x^2, \dots, x^n\}$ —— 由 $x^1, x^2, \dots, x^n$ 组成的有限集合

$\emptyset$ —— 空集

E^n —— n 维欧氏空间

$x \in S (x \notin S)$ —— x 属于 (不属于) 集合 S

$X \cup Y (X \cap Y, X \setminus Y)$ —— X 与 Y 之并集 (交集、余集)

$X \subseteq (C) Y$ —— Y 包含 (完全包含) X

$\|x\|$ —— x 的范数

$x^T y = x_1 y_1 + \dots + x_n y_n$ —— 两个 n 维列向量的内积

$A = [a_{ij}]_{m \times n}$ —— $m \times n$ 矩阵

A^T —— 矩阵 A 的转置

A^{-1} —— 满秩方阵 A 的逆矩阵

$|A| = \det A$ —— 方阵 A 的行列式

$\text{tr } A$ —— 方阵 A 的迹

$f(x)$ —— 向量 x 的函数 (或 n 元函数)

$\max(a_1, a_2, \dots, a_n)$ —— 数 $a_1, a_2, \dots, a_n$ 中最大者

$\min(a_1, a_2, \dots, a_n)$ —— 数 $a_1, a_2, \dots, a_n$ 中最小者

$\max_{x \in R} f(x)$ ($\min_{x \in R} f(x)$) —— $f(x)$ 在 R 上的最大 (最小) 者

$\exists$ —— 存在

$\forall$ —— 对任意的

$\Rightarrow$ —— 可推出

$\dot{x}, \frac{dx}{dt}$ —— x 对时间 t 的导数

x', x'' —— x 的一阶 (二阶) 导数

$x_t, x(t)$ —— x 是时间 t 的函数

$\partial_x f, f_x$ —— $f(x)$ 对 x 的一阶偏导

$<, >, \ll, \gg$ —— 小于, 大于, 远小于, 远大于

$\leq, \geq, \neq$ —— 小于等于, 大于等于, 不等于

$\prec, \preceq$ —— 严格地次于 (严格地不优于), 次于 (不优于)

$\succ, \succeq$ —— 严格地优于 (严格地不次于), 优于 (不次于)

f^* 表示 f 的最优值或最优解

目 录

引 言	1
0.1 运筹发展	1
0.2 应用价值	3
0.3 应对挑战	4
第 1 章 决策技术	6
1.1 不定决策	6
1.2 风险决策	10
1.2.1 先验决策	10
1.2.2 信息价值	12
1.2.3* 后验决策	12
1.3 效用函数	14
1.4 序列决策	18
1.5 敏感分析	20
1.6 马氏决策	23
1.7 多属性决策	24
1.7.1 基本概念	26
1.7.2 规范处理	29
1.7.3 基本方法	32
1.7.4* 层次分析方法	39
1.7.5* 数据包络分析	46
1.8* 群决策	51
1.8.1 群意见法	52
1.8.2 德尔菲法	53
习 题	57

第 2 章	网络计划	61
2.1	确定型网络图	62
2.1.1	概念引入	62
2.1.2	绘制过程	63
2.1.3	时间参数	64
2.2	概率型网络图	71
2.3	网络图的优化	76
2.3.1	时间优化	76
2.3.2	资源优化	77
2.3.3	费用优化	79
	习 题	83
第 3 章	线性规划	87
3.1	规划模型	87
3.1.1	数学模型	87
3.1.2	标准形式	90
3.2	几何思路	91
3.2.1	图解示意	92
3.2.2	几何意义	93
3.3	单纯形法	94
3.3.1	几何语言	94
3.3.2	代数形式	95
3.4	对偶理论	101
3.4.1	对偶问题	101
3.4.2	经济解释	103
3.4.3	敏感分析	106
3.5	软件实现	107
3.5.1	LINDO	107
3.5.2	LINGO	112
3.5.3	MATLAB	114
3.6	模型讨论	115
3.6.1	单一模型	115
3.6.2	组合模型	118

习 题	123
第 4 章 整数规划	125
4.1 模型描述	125
4.1.1 变量设置	125
4.1.2 特殊约束	126
4.1.3 模型举例	128
4.2 计算方法	134
习 题	135
第 5 章 非线性规划	138
5.1 问题分类	138
5.2 求解思路	141
5.2.1* 最优条件	141
5.2.2 图解方法	146
5.2.3 软件求解	147
习 题	148
第 6 章 目标规划	151
6.1 目标分析	151
6.1.1 多目标之间的关系	151
6.1.2 组织中的三层目标	152
6.1.3 各层次目标的关系	152
6.2 问题描述	153
6.3 软件举例	157
习 题	159
第 7 章 动态规划	161
7.1 概念描述	161
7.2 基本思想	163
7.3 基本方程	167
7.4 应用举例	169
7.5 软件示范	172
习 题	173
第 8 章 对策论	175
8.1 基本问题	176

8.2	鞍点对策	178
8.3	优势原则	179
8.4	混合策略	180
8.5	求解方法	183
	习 题	185
第 9 章	图 论	187
9.1	概念陈述	188
9.2	树图结构	189
9.3	最小费用流	192
	9.3.1 模型分类	194
	9.3.2 软件应用	197
9.4	最短路问题	200
	9.4.1 规划模型	200
	9.4.2 权重算法	200
	9.4.3 布点问题	204
9.5	最大流问题	207
9.6	运输问题	208
9.7	分配问题	209
9.8*	旅行推销商问题	211
9.9*	中国邮递员问题	213
	习 题	215
第 10 章	库存论	220
10.1	问题引入	220
10.2	确定库存	222
	10.2.1 基本模型	222
	10.2.2 缺货模型	226
	10.2.3 供货有限模型	231
	10.2.4 批量折扣模型	235
	10.2.5 约束条件模型	239
10.3	动态库存	240
10.4*	随机库存	241
	10.4.1 无固定订购费	242
	10.4.2 带固定订货费	244

习 题	244
第 11 章 排队论	247
11.1 问题构架	247
11.1.1 模型概述	247
11.1.2 符号表示	249
11.1.3 数量指标	250
11.2 分布函数	251
11.2.1 Poisson 过程	251
11.2.2 负指数分布	252
11.2.3 Erlang 分布	253
11.3 生灭系统	254
11.3.1 等待制排队模型	255
11.3.2 混合制排队模型	263
11.3.3 有限源排队模型	267
11.4 普适系统	268
11.5 优化设计	269
11.6* 随机模拟	271
习 题	275
第 12 章*可靠论	278
12.1 产品属性	278
12.1.1 可靠指标	278
12.1.2 寿命分布	280
12.2 产品系统	281
12.2.1 串联系统	281
12.2.2 并联系统	282
12.2.3 混联系统	285
12.2.4 表决系统	287
12.3 软件简介	289
习 题	290
第 13 章*预 测	292
13.1 应用范围	292
13.2 方法介绍	293
13.2.1 时间序列法	293

13.2.2 因果分析法	302
13.2.3 判断预测法	307
习 题	308
第 14 章*模 拟	311
14.1 模拟概述	311
14.2 变量模拟	315
14.3 软件介绍	318
14.3.1 软件基础	318
14.3.2 软件选择	319
习 题	320
附录 A 案例分析	322
A.1 战略管理	322
A.1.1 合作对策	322
A.1.2 战略对应	326
A.2 市场营销	329
A.2.1 广告预算	329
A.2.2 市场分配	333
A.3 生产运作	335
A.3.1 食油生产	335
A.3.2 设备维修	340
A.4 财务管理	341
A.4.1 资本结构	342
A.4.2 财务评判	344
A.5 金融投资	346
A.5.1 贷款组合	346
A.5.2 长期筹资	350
A.6 人力资源	354
A.6.1 人事管理	354
A.6.2 人力计划	356
A.7 土地资源	359
A.7.1 土地需求量预测	359
A.7.2 商业用地与交通	361

A.8 行政管理	366
A.8.1 交通环境	366
A.8.2 社区建设	367
A.9 社会保障	369
A.9.1 最低生活保障线	369
A.9.2 大气污染物控制	374
A.10 卫生事业	376
A.10.1 财务预算计划	376
A.10.2 基本诊疗项目	380
A.11 教育经济	385
A.11.1 学校财务	386
A.11.2 课程设置	387
附录 B 应用练习	390
参考文献	410
索 引	412