



中国科学院研究生院教材

Textbooks of Graduate University of Chinese Academy of Sciences

多目标线性决策系统

——理论及应用

■ 石 勇 钟仪华 张建军 刘育骥 著

**Multiple Criteria Linear Programming
Decision Systems:** Theory and Applications



高等教育出版社
Higher Education Press



中国科学院研究生院教材

Textbooks of Graduate University of Chinese Academy of Sciences

多目标线性决策系统

——理论及应用

■ 石 勇 钟仪华 张建军 刘育骥 著

**Multiple Criteria Linear Programming
Decision Systems: Theory and Applications**



高等教育出版社
Higher Education Press

内容提要

本书系统介绍了以线性规划(LP)、多目标线性规划(MC)和多目标多约束水平线性规划(MC²)为主体的线性规划决策理论及其应用.在近二十年中,作者和国际学者们一起致力于MC²线性规划问题的理论研究和实际应用的研究工作.本书集中反映了他们的主要研究成果.理论基础包括MC²线性规划、整数MC²线性规划、MC²运输模型、模糊MC²和MC²问题的模糊对偶性、最优系统设计和突发性计划、MC²决策支持系统及MC²计算机软件开发.应用领域涉及会计、财务、管理信息系统、长途通信管理、生产计划、数据挖掘、计算机安全和农业政策的制定.

本书适合管理科学与工程、计算机与工程设计等相关专业的本科生、研究生、教师作为教学用书,也可供相关领域的研究人员和应用人员参考.

图书在版编目(CIP)数据

多目标线性决策系统:理论及应用 / 石勇等著. —北京:高等教育出版社, 2007.1
ISBN 978-7-04-020144-4

I.多... II.石... III.多目标决策系统 - 研究生
—教材 IV.N94

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 156405 号

策划编辑 赵天夫 责任编辑 赵天夫 封面设计 王凌波
责任印制 尤 静

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
印 刷	北京四季青印刷厂		http://www.landaco.com.cn
		畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787×1092 1/16	版 次	2007 年 1 月第 1 版
印 张	27.5	印 次	2007 年 1 月第 1 次印刷
字 数	540 000	定 价	56.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物 料 号 20144-00

中国科学院研究生院教材编审委员会

主 任：白春礼

顾 问：余翔林

副主任：马石庄（常务） 刘志鹏 韩兴国 苏 刚

委 员（按姓氏笔划排列）：

石耀霖 李家春 李伯聪 李 佩 刘嘉麒 张文芝

张增顺 吴 向 汪尔康 汪寿阳 杨 乐 徐至展

阎保平 黄荣辉 黄 钧 彭家贵 裴 钢 谭铁牛

数学学科编审组

主 编：杨 乐

副主编：彭家贵

编 委：王世坤 李克正 李炳仁 陈希孺

邹国华 袁亚湘 曹礼群

总 序

在中国科学院研究生院和高等教育出版社的共同努力下，凝聚着中国科学院新老科学家、研究生导师们多年心血和汗水的中国科学院研究生院教材面世了。这套教材的出版，将对丰富我院研究生教育资源、提高研究生教育质量、培养更多高素质的科技人才起到积极的推动作用。

作为科技国家队，中国科学院肩负着面向国家战略需求，面向世界科学前沿，为国家作出基础性、战略性和前瞻性的重大科技创新贡献和培养高级科技人才的使命。中国科学院研究生教育是我国高等教育的重要组成部分，在新的历史时期，中国科学院研究生教育不仅要为我院知识创新工程提供人力资源保障，还担负着落实科教兴国战略和人才强国战略，为创新型国家建设培养一大批高素质人才的重要使命。

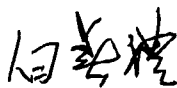
集成中国科学院的教学资源、科技资源和智力资源，中国科学院研究生院坚持教育与科研紧密结合的“两段式”培养模式，在突出科学教育和创新能力培养的同时，重视全面素质教育，倡导文理交融、理工结合，培养的研究生具有宽厚扎实的基础知识、敏锐的科学探索意识、活跃的思维和唯实、求真、协力、创新的良好素质。

研究生教材建设是研究生教育中重要的基础性工作。由一批活跃在科学前沿，同时又具有丰富教学经验的科学家编写的中国科

学院研究生院教材,适合在校研究生学习使用,也可作为高校教师和专业研究人员的参考书。这套研究生教材内容力求科学性、系统性、基础性和前沿性的统一,使学习者不仅能获得比较系统的科学基础知识,也能体会蕴于其中的科学精神、科学思想、科学方法,为进入科学研究的学术殿堂奠定良好的基础;优秀教材不但是体现教学内容和教学方法的知识载体、开展教学的基本条件和手段,也是深化教学改革、提高教育质量、促进科学教育与人文教育结合的重要保证。

“十年树木,百年树人”。我相信,经过若干年的努力,中国科学院研究生院一定能建设起多学科、多类型、多品种、多层次配套的研究生教材体系,为我国研究生教育百花园增添一枝新的奇葩,为我国高级科技人才的培养作出新的贡献。

中国科学院 常务副院长
中国科学院研究生院 院长
中国科学院 院士



二〇〇六年二月二十八日

前 言

本书是在石勇的英文著作 “Multiple Criteria and Multiple Constraint Levels Linear Programming” (World Scientific Publishing Ltd., 2001) 的基础上, 将以石勇为主的数十位国内外学者在多目标线性决策系统上的科研和应用成果汇集而成的. 这些工作的主要时间跨度大约为二十年 (1985—2005). 该书以石勇在多目标和多约束水平线性规划上一系列的原创性工作为主线, 详细描述了将多目标 (Multiple Criteria, 简称为 MC) 与多约束水平 (Multiple Constraint Levels, 也简称为 MC) 结合的 MC^2 线性系统的概念、理论和大量的应用实例. 这些创新性的思维方式、研究和实践将开阅读者的眼界, 丰富其知识.

线性系统的单纯形法最初只是考虑一个约束水平的单目标问题, 但它对运筹学和管理科学做出了巨大的贡献. 不幸的是许多重要的决策问题都涉及多目标、多水平的约束和不确定性. 这使我们很难应用单目标、单约束水平的单纯形法实际问题. 在清楚地认识到这个困难后, 在 20 世纪 70 年代, 包括石勇的博士导师 P. L. Yu 在内的国际学者开始研究多目标 (MC) 单纯形方法. 随后, P. L. Yu 及他的学生 L. Seiford 进一步提出了多目标和多约束水平 (MC^2) 单纯形方法的基本思想. 这些原始工作的积累成为日后石勇和他的同事们完善和发展 MC^2 线性系统理论的基础.

本书的目的是全面介绍多目标和多约束水平 (MC^2) 的线性规划. MC^2 的线性规划已经变成多目标决策制定 (MCDM) 领域的主要部分. 这本书最早的基础是 1993 年石勇在美国内布拉斯加州立大学讲授荣誉课程 MCDM 时的讲义. 讲义中涉及到 2001 年前的科研和应用成果曾被包括在前面提到的英文著作中. 石勇曾在 2005 年秋季用该书在中国科学院研究生院开设 “多目标决策理论及其应用” 课程. 这部由我们共同完成的新书有两个特点. 其一是描述多目标多约束水平规划的原创性工

作,其二是将近五年来我们的工作做了一个总结,有利于国内读者了解该领域的最新进展。

本书介绍了作为线性规划(LP)和多目标(MC)线性规划以及扩展的 MC^2 线性规划的概念、技术和应用。本书可作为具有线性代数或相关知识的本科生和研究生的教科书或参考书;也可作为现场工作者处理线性规划类型问题的工具书。

本书大致分为两个部分。第一部分为理论基础,包括第一至十五章;第二部分为应用工作,包括第十六至二十六章。除内容描述外,前十五章都包括一些注释和必要的练习题。每章的内容如下。

第一至四章介绍基本概念和技术。第一章回顾了LP、MC和 MC^2 问题的历史,并用例子解释了三种问题的意义;第二、三章回顾了LP和MC问题的基本原理;第四章主要选自于Yu(1985)的第8章,讨论 MC^2 问题的基本知识。

第五至六章处理特殊的 MC^2 问题。第五章首先讨论 MC^2 0-1规划(或二元)问题,然后讨论一般的 MC^2 整数规划问题;第六章详细阐述了 MC^2 运输问题,一种模型是稳态问题,而另一种问题是动态问题。

本书第四、五、六章提到了用于解决不同 MC^2 问题的软件包,由于这些软件正被发展成为一个完整的 MC^2 应用系统,故没有包含在本书中。如果读者对该软件感兴趣,可以直接向我们索取。

第七至八章介绍了模糊 MC^2 问题。模糊 MC^2 问题的解是由隶属函数划分的一类折衷解。第七章描述了原始模糊 MC^2 问题,第八章提供了对偶模糊 MC^2 问题的方法。

第九至十二章讨论最优线性设计。第九章提供了设计最优系统的一般框架,它的意义远远超过对一个已给线性系统找一个最优点,然后讨论最优突发性计划;第十章把系统设计推广到广义的好系统,并进一步讨论广义好系统的原始突发性计划;第十一和十二章各自详细论述了系统设计和广义好系统的对偶突发性计划,同时在第十二章也介绍了集成所有不同线性设计的计算机辅助系统。

第十三至十五章提供了与 MC^2 相关的方法。与Yu(1985)的第4章紧密相关的第十三章介绍了LP和MC问题的重要的内在联系,它是用于解决具有MC特征的各种应用问题的简化方法;第十四章是另一种方法,称为线性系统设计的De Novo规划方法。在De Novo规划中,资源可用性是未知的。第十五章展示了一个有效的算法,这种算法可节约在解 MC^2 问题中寻找其受控机会(变量)的计算时间。

第十六至二十六章的应用工作大致分为两方面。第十六至二十章着重介绍如何利用多目标规划方法解决数据挖掘问题。这些成果大多数是近五年来取得的。第二十一至二十六章则为其他方面的应用。第二十一章讨论运输价格;第二十二章研究资本预算;第二十三章处理信息管理中的数据分配;第二十四章涉及农村无线电通信系统;第二十五章确定聚合生产计划;第二十六章提供农业政策的制定方法。它们都可直接或间接地从 MC^2 的框架中得到解。为方便读者,这部分的每章都自成体系。

如果这本书用于高年级的本科生课程,可选择第一至六章、第十三章和第十六至二十六章;如果它用于研究生课程,可选择第一至九章和第十六至二十六章.特别推荐最优系统设计专业的本科生、研究生学习第一至四章和第九至十二章的内容;实际工作者的最好选择是第一至四章和第十六至二十六章的内容.

本书的写作过程中,我们各自分担的工作如下:石勇负责全面的组织、协调和修改工作;钟仪华完成了第七至八、十二至十八、二十三至二十六章的写作工作;张建军完成了第一至六、九至十一、十九至二十二章的写作工作;刘育骥负责全书的最终审稿工作.高等教育出版社的赵天夫编辑和其他工作人员以及石勇指导的中国科学院研究生院的刘荣博士为本书的顺利出版做了大量辛勤的工作,在此一并表示感谢.此外,本文的写作受到了国家自然科学基金委员会面上项目(编号:70472074)、重点项目(编号:70531040)、创新团队项目(编号:70621001),科技部973项目(编号:2004CB720103)等基金的支持.我们谨对它们表示感谢.最后,我们四位作者对我们的家人在写作本书过程中的关怀和支持深表谢意.

石勇、钟仪华、张建军、刘育骥

北京 中关村

2006年12月

目 录

第一章 引 言	1
§1.1 线性规划问题	1
§1.2 简短的历史	3
§1.3 MC 线性规划问题	4
§1.4 MC ² 线性规划问题	6
§1.5 进一步说明	7
练习	8
第二章 线性规划的基本方法	13
§2.1 线性规划的公式	13
§2.2 对应于两维问题的图形方法	16
§2.3 单纯形法和计算机求解过程	19
§2.4 单对偶理论及其经济解释	23
§2.5 互补松弛性	25
§2.6 灵敏度分析	26
§2.6.1 改变目标向量 c	27
§2.6.2 改变约束水平向量 d	27
§2.7 复杂性分析与其他方法	28
§2.7.1 计算复杂性的基本概念	28
§2.7.2 单纯形法的复杂性	29

§2.7.3 Khachian 椭球法	29
§2.7.4 Karmarkar 射影法	30
§2.8 进一步说明	31
练习	31
第三章 LP、MC 及 MC² 问题的关系	33
§3.1 MC 线性规划的框架	33
§3.2 矩阵优化	37
§3.3 关系理论	40
§3.4 基于应用远景的扩张	42
§3.4.1 两个根源	43
§3.4.2 潜在的应用领域	43
§3.5 进一步说明	45
练习	45
第四章 MC² 线性规划	47
§4.1 MC ² 线性规划模型的建立	47
§4.2 潜在解的概念	48
§4.3 MC ² 单纯形转移	49
§4.4 潜在解结构	51
§4.5 MC ² 单纯形法	54
§4.6 MC ² 对偶性	58
§4.7 MC ² 计算机软件	61
§4.7.1 人 - 机交互式软件	62
§4.7.2 文件输入 - 输出软件	62
§4.8 进一步说明	63
练习	64
第五章 MC² 整数规划问题	66
§5.1 整数潜在解	67
§5.2 MC ² 0-1 问题与分支定界法	68
§5.3 一般 MC ² 整数问题与分支分割法	76
§5.4 MC ² 整数问题的计算机软件	82
§5.5 进一步说明	83
练习	83

第六章	MC² 运输问题	85
§6.1	一个稳态的 MC ² 运输问题	86
§6.2	稳态 MC ² 运输模型的算法	88
§6.3	动态 MC ² 运输问题	97
§6.4	动态 MC ² 运输模型的一个算法	99
§6.5	MC ² 运输问题的计算机软件	110
§6.6	进一步说明	112
练习		113
第七章	模糊 MC² 问题	116
§7.1	模糊潜在解	117
§7.2	特殊的模糊潜在解	125
§7.3	进一步注释	133
练习		133
第八章	模糊 MC² 问题的对偶性	135
§8.1	模糊 MC ² 的对偶问题的构造性方法	135
§8.2	模糊 MC ² 对偶性的参数法	143
§8.3	进一步注释	150
练习		150
第九章	最优系统设计和应急规划	152
§9.1	设计最优系统的一种基本方法	153
§9.2	原始严格设计与应急规划	155
§9.2.1	求原始严格应急规划	155
§9.2.2	外部资源价格的分析	162
§9.3	原始灵活设计与应急规划	164
§9.4	进一步说明	167
练习		168
第十章	广义好系统与应急规划	169
§10.1	利用并算子产生新设计	169
§10.2	关于广义好系统的原始严格应急规划	179
§10.3	对应于广义好系统的原始灵活应急规划	184
§10.4	进一步说明	184
练习		185

第十一章 最优系统设计与对偶应急规划	186
§11.1 最优系统设计与对偶严格应急规划	186
§11.2 最优系统设计和对偶灵活应急规划	195
§11.3 进一步说明	204
练习	204
第十二章 计算机辅助系统的广义好系统和对偶突发性计划	205
§12.1 广义好系统的严格对偶突发性计划	205
§12.2 广义好系统的灵活对偶突发性计划	207
§12.3 一个最优系统设计的计算机辅助系统	208
§12.3.1 建模关系	209
§12.3.2 一个 CAS 的解程序	209
§12.3.3 算法的流程图	211
§12.3.4 一个从上到下的设计	213
§12.3.5 一个伪语言程序	215
§12.4 进一步说明	217
练习	217
第十三章 满意和折衷模型	218
§13.1 满意模型	219
§13.1.1 目标设置	219
§13.1.2 满意模型和它的交互式方法	221
§13.2 折衷模型	225
§13.2.1 遗憾函数和折衷解	226
§13.2.2 计算折衷解	229
§13.2.3 折衷模型的交互式方法	233
§13.3 进一步注释	235
练习	236
第十四章 多目标的 De Novo 规划	237
§14.1 最优路径比	238
§14.1.1 基本 De Novo 规划模型	238
§14.1.2 De Novo 规划的几个最优路径比	239
§14.1.3 一个最优模式匹配问题	241

§14.2 多个决策者和可能负债的 De Novo 设计	244
§14.2.1 一个带有多个决策者和可能负债的系统设计模型	245
§14.2.2 突发性计划和 De Novo 最优系统设计	246
§14.2.3 算法与算例	249
§14.3 进一步注释	253
练习	254
第十五章 消去永久性劣机会	255
§15.1 对 $\Gamma \times \Lambda$ 的子集消去永久性劣机会	255
§15.2 对整个参数空间消去永久性劣机会	260
§15.3 多目标线性规划问题的消去技术	263
§15.4 进一步的注释	267
练习	267
第十六章 多目标线性规划的数据挖掘基本方法	268
§16.1 多目标线性规划分类的模型	270
§16.2 MCLP 分类算法的体系结构	275
§16.3 算法实现与软件开发	278
§16.4 一个现实世界的数据库的实验结果	281
§16.5 MCLP 方法与决策树方法比较	285
§16.6 总结	286
第十七章 信用卡客户管理的两类分析方法	289
§17.1 信用卡数据集	290
§17.2 信用卡有价证券决策的方法学	293
§17.3 计算经验和 MCLP 模型的特性	296
§17.4 主要研究结果和进一步的研究	297
第十八章 信用卡客户管理的其他方法	301
§18.1 用模糊线性规划进行分类	302
§18.2 来自于现实生活中的一个数据库的实验结果	304
§18.3 多目标二次规划模型公式	311
§18.4 MCQP 分类的实验研究	312
第十九章 多目标线性规划数据挖掘方法在破产预测中的应用	317
§19.1 背景	318

§19.2 多目标线性规划分类模型	319
§19.3 数据采集与研究设计	320
§19.4 总结	323
第二十章 多目标规划方法在网络入侵侦测中的应用	324
§20.1 网络入侵侦测	324
§20.2 KDD-99 数据集	325
§20.3 交叉证据的经验研究	325
§20.4 利用 MCLP 进行总体分析	326
§20.5 MCQP 的经验研究与交叉验证	328
§20.6 利用 MCQP 进行总体分析	330
§20.7 关于 MCQP 的总结意见	330
第二十一章 在转让定价中的最优交易分析	332
§21.1 现存的转让定价模型	332
§21.2 多因子转让定价模型	334
§21.3 模型的推断	335
§21.3.1 数字例子	335
§21.3.2 最优交易和它们的会计含义	338
§21.4 进一步说明	342
第二十二章 具有多目标和多决策者的资本预算	344
§22.1 资本预算的背景	345
§22.2 AHP 框架	346
§22.3 多目标决策者资本预算的模型	346
§22.4 模型含义	349
§22.4.1 数值例子	349
§22.4.2 管理含意	352
§22.5 进一步说明	352
第二十三章 数据文件的分配	356
§23.1 通过广域网的文件分配	357
§23.2 0-1 折衷模型	360
§23.3 一个分布式信息系统的例子	362
§23.4 进一步的注释	364

第二十四章 农村的无线电通信系统	366
§24.1 农村的无线电通信需求	367
§24.2 一个折衷模型	367
§24.3 案例研究	369
§24.4 进一步的注释	373
 第二十五章 聚合生产计划	 376
§25.1 一个多因素的聚合生产计划模型	377
§25.2 最优平衡和管理含义	379
§25.3 进一步的注释	385
 第二十六章 农业政策的制定	 386
§26.1 农业政策的制定	387
§26.2 多目标和多经济情形模型	388
§26.2.1 MCMES 的模型公式	388
§26.2.2 模型的含意	390
§26.3 例子	391
§26.4 总结性的注释	396
 参考文献	 397

第一章 引言

线性规划 (LP) 建立于单目标和单 (固定) 资源利用水平. 在过去 50 年中, 线性规划广泛应用于很多真实世界的决策问题. 但是, 像任何科技进步一样, 线性规划并不是一个完美的工具. 例如, 如果一个决策问题涉及到多个矛盾的目标, 诸如使利润最大的同时使生产成本最小. 线性规划在有效协调多目标方面具有局限性, 这个缺点被称为多目标 (MC) 线性规划的数学模型所克服, MC 通过将单目标变为多目标提高了线性规划的使用价值.

尽管实际工作者对 MC 线性规划的反应非常积极, 但 MC 线性规划并不是最好的模型工具. 例如, 如果使用 MC 模型来确定一个在股票市场投资 1 千万美元的最好决策 (解) 时, 它的右端项的水平 (资源可利用) 应当不固定, 未来股票价值上升的幅度 (水平) 应不同于未来股票价值下降的幅度 (水平). 能否用线性规划模型来更灵活、更实际地反映真实世界? 多目标多约束水平 (MC^2) 线性规划就是答案. 除了从线性规划扩展到 MC 线性规划外, MC^2 线性规划明显地表达了多资源 (离散的) 的利用水平. 换言之, 线性规划的单个固定的可行集由几个灵活的可行集代替.

在这一章, 我们首先在 §1.1 回顾线性规划、MC 线性规划和 MC^2 线性规划的历史. 为了激发读者的兴致, 我们在 §1.2、§1.3、§1.4 使用一个简单的例子来说明线性规划、MC 线性规划和 MC^2 线性规划的概念. 最后, 在 §1.5 我们给出了一些附注供读者进一步阅读.

§1.1 线性规划问题

线性规划最初的发明可追溯到 20 世纪 30 年代末期, 当时俄国数学家 L. K. Kantorovich 发现: 可用一类线性规划模型来制定生产规划. 在美国, J. Von Newman