

运筹学

(第二版)

方法与模型

傅家良 编著



復旦大學出版社

www.fudanpress.com.cn

图书在版编目(CIP)数据

运筹学方法与模型/傅家良编著. —2版. —上海:复旦大学出版社,2014.5
ISBN 978-7-309-10342-7

I. 运… II. 傅… III. 运筹学-高等学校-教材 IV. 022

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 029629 号

运筹学方法与模型(第2版)

傅家良 编著

责任编辑/范仁梅

复旦大学出版社有限公司出版发行

上海市国权路 579 号 邮编:200433

网址:fupnet@fudanpress.com http://www.fudanpress.com

门市零售:86-21-65642857 团体订购:86-21-65118853

外埠邮购:86-21-65109143

大丰市科星印刷有限责任公司

开本 787 × 1092 1/16 印张 30.25 字数 646 千

2014 年 5 月第 2 版第 1 次印刷

ISBN 978-7-309-10342-7/O · 528

定价: 56.00 元

如有印装质量问题, 请向复旦大学出版社有限公司发行部调换。

版权所有 侵权必究

运筹学

方法与模型 (第二版)

傅家良 编著

复旦大学出版社

内 容 简 介

本书介绍了运筹学中线性规划、目标规划、整数规划、网络规划、网络计划技术、动态规划、排队论、存储论、决策分析和排序问题等分支的基本概念和方法,并把各种运筹学求解方法归纳成接近于程序语言的算法步骤.本书特别重视各个运筹学分支对数学模型的建立,配备了相当数量的应用例题,使读者充分理解建立数学模型是一种艺术.本书力求深入浅出,注重应用.每章结尾都配有一定数量的习题,部分习题还附有答案.

本书可作为大专院校交通运输管理类、经济管理类和理工类其他有关专业的本科生、研究生的教材或教学参考书,也可作为各类专业人员的自学参考书.

前 言(第二版)

本书自2006年1月第一版出版后,经过多年的教学实践,作者凭借教学过程中积累的心得体会,对本书进行了修改与完善.现在第二版与读者见面了,在这里,作者深切感谢使用者对作者的支持.

1979年在我刚刚登堂入“室”——运筹学领域时,我如饥如渴地学习新知识,收集了大量国内外运筹学教材、习题集、试卷;并利用一切机会,与教学、研究运筹学的同行进行交流.在学习、教学运筹学知识的过程中,我深深体会了伽利略说的“数学是上帝让我们描述宇宙的语言”:数学让人陶醉,也让人感受到学习数学知识的艰难.

本书是我数十年教学经验的结晶,在写作风格和内容处理上与其他《运筹学》著作有所不同.本书内容丰富,最具特色的是对各个数学分支配备了相当数量的建立数学模型的例题,让学生在学的过程中深切体会到建立数学模型是“艺术”.本书对一些算法的描述别具特色(例如,最短路径算法、最大流算法、动态规划使用矩阵与表格求解),既利于教学,又便于学生掌握新知识.本书既是一本教材,某种程度上也是一本学术著作.

在此,作者向读者介绍本书别具一格的一些内容.“分支定界法”是非常有特色的数学方法.本书写了“纯整数规划”、“0-1背包问题”、“0-1规划”、“机器看管排序问题”、“旅行售货员问题”等的分支定界法,目的是让读者更多地了解这个富有创意的方法.“边际分析法”也是一个令人感兴趣的方法,在“排队论”、“决策论”、“存储论”等分支都有出现,希望读者能够喜欢.在网络规划中编写了“第 k 短路径问题”,这个算法有它的独特的功能,但在收敛性问题上还可进行研究,抛砖引玉,希望引起读者的重视.最大流算法在“最优分配问题”、“网络计划技术赶工费用问题”中的应用,体现了该算法的功能,是其他运筹学教材没有的内容.本书相比其他运筹学教材,多写了“排序问题”一章,旨在引起广大读者对这个在日常活动中大量存在的数学方法的重视.

第二版对部分算法思想的描述进行了修改,使算法更易让人理解.大学的教学,比传授知识更重要的是培养学生的创新能力,所以在运筹学的教学中,教师应该重视算法思想的教学,而不是仅仅“依样画葫芦”把一个计算方法教会学生.第二版对部分分支补充了数学模型、计算例题、调整了习题;从应用角度新写了“参数规划”一节、“马尔柯夫分析”一章;考虑篇幅,删除了“有界技术”等几个算法.本书第一版孙焰参加的“博弈论”一章,在第二版中忍痛割爱,在此对他在第一版中的工作表示深切的感谢.

由于作者功力的局限,本书难免有许多不当之处,敬请读者批评指正。

本书的出版和再版,得到范仁梅编辑的鼎力相助,让我在古稀之年圆了自己的梦,我十余年的合作,在人生的旅途上写下了灿烂的一页。

运筹学是一门相当生动的课程,对教师的讲课艺术提出了更高的要求。教师应该运用各种教学手段,艺术、合理地组织、剪裁教材内容,把这门课演绎成提高学生思维能力、训练数学语言的精彩课程。

2007年上半年(我退休以后的第五年),是我生命中最灿烂的一页,为了培养青年教师,学校返聘我再去开运筹学课。每周星期二、四,在我讲授运筹学课时,两位青年教师来听课并进行录音(他们已经在2006年完整地听过我的课);星期三、五我到学校去听他们上同样内容的运筹学课(这样的教学日程,是在我的建议下的有意识安排)。我听他们课的全神贯注,胜过自己在学生时代的努力。我把他们教学方法欠缺之处、知识理解错误之处全部记录下来。待他们课讲完后,我再与他们一起商讨,点评他们的教学方法与制作的PPT。我特别对他们指出,你们不但要学习我的教学方法,更加要继承我的教学理念——必须严格要求自己与学生。我听了他们几十节课。为了什么?为了我心目中的理念——教学质量是教师的生命,青年教师都应该成为优秀教师,大学太需要优秀的教师。

钱学森希望我们社会能够出大师,他的呐喊永远在社会上空回荡。大学教学,是我们所有社会问题中的重中之重。我呼吁:任何一所大学,教学质量是第一,青年教师的培养、老教师对年轻人呕心沥血的“传帮带”必须放到议事日程上,一定要给青年教师成长的空间。不要追求形式,片面以论文的多少来量化考核青年人,不要过多重视学位而忽视人的能力与品格。领导与教师,不能浮躁、不能功利第一,必须做到心静,必须尊重“教育质量是大学的生命线”这个理念。

大学教育的成功,就是社会的成功!

在我人生已经有限的古稀之年,我把这本著作奉献给社会与工作几十年的学校。我深爱三尺讲台,在这里摘录本人写的“教师之歌”中的一段,来表达我写这篇前言的心情:

每当我走上讲台,
望着那一双双聚精会神、对知识充满着渴望的眼睛,
我胸中就像有一团烈火在燃烧。
生命的力量在我身上的每个细胞迸放,
我的神采会越加飞扬,
我讲课的声音会越加响亮。
我孜孜不倦追求的知识就像潺潺的流水,
在同学们的脑海里轻轻地、欢乐地流淌、流淌!
我为教师的历史使命欢唱:
在这讲台上,

今天我们为学生讲授知识、陶冶情操，
来日他们肩负起国家和民族的希望，
为社会谱写新的诗章。

我深深地知道：

我讲授的知识，数年后或许会被同学们遗忘，
但是，在培养学生逻辑思维能力、健全思想方法、理解人生价值的台阶上，
我就像一块锋利的磨刀石给同学磨了刀。

谁说教室小？

这里是知识的海洋，师生之间的感情交流逐浪高；

谁说讲台小？

这里的天地最宽广，能写下最美丽的诗章！

教育是民族的希望，教师是教育的希望，

太阳底下没有一个职业比教师更高尚！

让我们用我们的爱、我们的热血，

把教师之歌一代一代地歌唱！

谢谢读者浏览这篇别具一格的前言！

如果青年教师喜欢使用这本新教材，可以通过范仁梅编辑与我联系，本人一定倾心交流教学上的心得体会并提供相关资料。

傅家良 2014年4月
于同济大学交通运输工程学院

前 言 (第一版)

管理是一门科学. 运筹学是用定量化的方法, 对所研究的各类管理优化问题建立数学模型并进行求解, 然后进行定量和定性分析, 为决策者作出合理的决策提供科学的依据.

本书对运筹学各个组成分支都尽可能地以各种实际问题为背景, 建立起各种类型的数学模型, 然后通过对几何特征的分析或运用其他直观的手段, 给出求解模型的算法思想, 进而导出归纳成接近于程序语言的算法.

运筹学作为一门应用性的学科, 在教学中除了让新学者掌握各个组成分支的计算方法之外, 更重要的目标是帮助新学者学习和训练建立数学模型的技巧. 但这个重要的目标却往往为国内许多《运筹学》的作者所忽视. 本书编写了一定数量的富有建模技巧的典型应用实例, 以培养读者建立数学模型的能力, 并使读者深刻地理解用数学语言描述客观事物是一种“艺术”.

本书从读者认识事物、接受知识的规律出发, 尽可能使各章内容深入浅出、重点突出, 力求使读者感到运筹学是一门可亲可近而生动的应用性学科. 本书对运筹学各个分支的基本概念、基本理论的系统性仍给予足够的重视, 但又不偏于数学方法的严谨论证.

我这次非常高兴邀请了 4 位合作者参加了本书的编写, 他们承担的任务具体如下 (扉页署名以此先后为序):

第四章 目标规划 李枫(同济大学交通运输工程学院)

第十章 存储论 郝勇(上海工程技术大学)

第十一章 博弈论 孙焰(同济大学交通运输工程学院)

第十二章 决策分析 吴晓(浙江师范大学交通学院)

其余各章均由本人编写, 并对全书进行了统稿和定稿, 力求全书的风格统一.

我教授运筹学已经有数十年, 这本《运筹学方法与模型》是我多年教学经验的结晶, 在写作风格和内容处理上可能和其他《运筹学》著作有所不同. 这次蒙复旦大学出版社范仁梅编辑的鼎力相助, 使我多年的心愿得以实现.

本书部分章节打上了“*”, 教学时可根据具体情况决定取舍. 由于各章节配备的应用举例比较多, 并且有些例子在建立模型时有一定的难度, 要全部讲掉它们在学时上根本就不允许, 所以也应该在教学时作一定的取舍.

在此,我向复旦大学统计运筹系魏国华教授、上海工程技术大学管理学院徐克绍教授、上海大学吕立生教授、第二工业大学唐国春教授、同济大学官世燊教授表示衷心的感谢。在我长期的教学工作中,我和他们一起交流心得体会,使我学到了许多宝贵的知识和经验。我更要感谢我以前母校西南交通大学的导师苗邦均教授、侯振挺教授、周贤祥教授对我的关心和指导,他们对教学工作和学生的热爱使我终生难忘。我也要感谢我在教学工作岗位上的老领导季令教授对我的长期关怀、支持和帮助,使我各方面的工作能够顺利地展开。我怀念曾经和我一起编写《实用运筹学》的合作者、复旦大学出版社的周仲良教授,他待人宽厚、工作认真,可惜他英年早逝,令人扼腕叹息。

在本书的编写过程中,上海工程技术大学管理学院张伯生教授、徐克绍教授对本书的内容及体系提出了许多宝贵的意见;该校城市轨道交通学院青年教师朱海燕帮助搜集资料供我参考,在此表示深切的感谢。

在成稿工作中,王永秋、朱亚男、傅亚丽给我提供了许多帮助,在此表示衷心感谢。

任何人在他人生的路途上都离不开老师、同事、朋友、领导、亲人的帮助和合作。对那些在我追求知识的道路上曾给我以深切关怀和无私帮助的老师、同事、朋友,我心里面永远保持着对他们的衷心感谢。珍贵的友谊,是人生最美好的回忆。

我希望这本别具风格的《运筹学方法与模型》教材能够得到读者的欢迎,更希望得到运筹学教学工作者的批评指正。

现在我们这些从20世纪70年代末、80年代初就开始从事运筹学教学工作的老教师,都逐渐退出了教学舞台,我们相信未来运筹学的教学工作将更加光辉灿烂。

本书可以作为高等院校交通运输管理类、经济管理类和理工类其他有关专业的本科生、研究生的教材,同时,编者也深盼本书能受到那些孜孜不倦、刻苦追求知识的自学者的欢迎。

由于本人和我的合作者水平有限,本书难免有不当之处,敬请读者批评指正。

傅家良 2005年9月

于同济大学交通运输工程学院

目 录

第一章 线性规划

§ 1.1 线性规划模型	(1)
1.1.1 数学模型	(1)
1.1.2 标准型线性规划	(4)
§ 1.2 线性规划的几何特征	(6)
1.2.1 两个变量的线性规划的图解法	(6)
1.2.2 标准型线性规划的几何特征	(9)
§ 1.3 基本可行解	(11)
§ 1.4 单纯形法	(13)
1.4.1 单纯形表和最优化条件	(14)
1.4.2 转轴	(15)
1.4.3 单纯形法	(18)
1.4.4 关于最优解唯一性的讨论	(22)
§ 1.5 单纯形表的矩阵描述	(25)
§ 1.6 改进单纯形法	(27)
§ 1.7 大 M 法和两阶段法	(31)
1.7.1 大 M 法	(32)
1.7.2 两阶段法	(37)
* 1.7.3 退化情况与勃兰德法则	(44)
§ 1.8 线性规划应用举例	(46)
习题一	(54)

第二章 线性规划的对偶理论与灵敏度分析

§ 2.1 对偶问题	(62)
§ 2.2 对偶理论	(67)

§ 2.3 对偶单纯形法	(71)
§ 2.4 对偶问题的最优解	(75)
§ 2.5 灵敏度分析	(80)
2.5.1 参数 c_i 的灵敏度分析	(81)
2.5.2 参数 b_i 的灵敏度分析	(84)
2.5.3 增加新的约束条件	(87)
§ 2.6 影子价格	(90)
§ 2.7 参数规划	(95)
2.7.1 C 的参数变化	(96)
2.7.2 b 的参数变化	(99)
2.7.3 特定参数的变化	(102)
习题二	(104)

第三章 运输问题

§ 3.1 运输问题的数学模型	(110)
§ 3.2 表上作业法	(113)
3.2.1 初始基本可行解的寻求	(113)
3.2.2 位势法	(118)
§ 3.3 应用举例	(123)
习题三	(130)

第四章 目标规划

§ 4.1 目标规划原理、概念与数学模型	(132)
4.1.1 目标规划原理与概念	(132)
4.1.2 目标规划数学模型	(135)
§ 4.2 目标规划的图解法	(138)
习题四	(140)

第五章 整数规划

§ 5.1 整数规划模型	(142)
§ 5.2 纯整数规划的割平面法	(158)

5.2.1	割平面法的几何特征	(158)
5.2.2	柯莫利割	(159)
5.2.3	柯莫利割平面法	(162)
* § 5.3	混合整数规划的割平面法	(165)
§ 5.4	分支定界法	(169)
5.4.1	0-1 背包问题	(169)
5.4.2	分支定界法	(175)
* § 5.5	0-1 规划的分支定界法	(183)
5.5.1	划分和定界	(183)
5.5.2	分支定界算法	(189)
§ 5.6	最优分配问题	(193)
5.6.1	匈牙利方法	(194)
5.6.2	应用举例	(198)
习题五	(201)

第六章 网络规划

§ 6.1	图的基本概念	(208)
6.1.1	无向图	(209)
6.1.2	有向图	(211)
6.1.3	图的矩阵表示	(213)
6.1.4	树	(215)
§ 6.2	最短路径问题	(216)
6.2.1	狄克斯特拉算法	(216)
* 6.2.2	弗劳德算法	(220)
6.2.3	应用举例	(224)
§ 6.3	最长路径问题	(228)
6.3.1	最长路径算法	(229)
6.3.2	应用举例	(232)
* § 6.4	第 k 短路径问题	(236)
§ 6.5	最小生成树	(240)
6.5.1	破回路法	(240)
6.5.2	克鲁斯卡算法	(241)
* § 6.6	中国邮路问题	(243)
6.6.1	欧拉环游问题	(243)
6.6.2	中国邮路问题	(246)

§ 6.7 运输网络	(249)
6.7.1 运输网络与流	(249)
6.7.2 割、最小割和最大流	(253)
§ 6.8 最大流	(254)
6.8.1 增流链	(254)
6.8.2 最大流算法	(255)
* 6.8.3 最大流算法在最优化分配问题中的应用	(260)
6.8.4 应用举例	(262)
§ 6.9 最小代价流问题	(266)
6.9.1 伴随 f 的增流网络	(267)
6.9.2 最小代价流算法	(270)
6.9.3 应用举例	(274)
习题六	(280)

第七章 网络计划技术

§ 7.1 工程网络图	(285)
7.1.1 PERT 网络	(285)
7.1.2 网络图的时间参数和关键路径	(288)
* § 7.2 网络计划的优化问题	(291)
7.2.1 总工期-成本优化问题	(292)
7.2.2 总工期-资源的优化问题	(303)
§ 7.3 非肯定型 PERT 网络	(308)
习题七	(311)

第八章 动态规划

§ 8.1 引例	(313)
§ 8.2 动态规划模型和求解方法	(316)
§ 8.3 动态规划应用举例	(321)
习题八	(344)

第九章 排队论

§ 9.1 泊松过程、生灭过程和负指数分布	(348)
9.1.1 泊松过程	(348)

9.1.2	生灭过程	(351)
9.1.3	负指数分布	(353)
9.1.4	爱尔朗分布	(355)
§ 9.2	一般排队系统结构	(356)
9.2.1	输入过程	(356)
9.2.2	服务机构	(357)
9.2.3	排队规则	(358)
9.2.4	排队模型的符号表示	(358)
9.2.5	排队模型的数量指标和基本公式	(359)
§ 9.3	泊松输入、负指数分布服务的排队模型	(361)
9.3.1	$M/M/S$ 排队模型	(361)
9.3.2	$M/M/1$ 排队模型	(367)
9.3.3	$M/M/\infty$ 排队模型	(373)
9.3.4	$M/M/S/k$ 排队模型	(374)
9.3.5	$M/M/S/m/m$ 排队模型	(379)
§ 9.4	一般服务分布 $M/G/1$ 排队模型	(382)
9.4.1	$M/G/1$ 排队模型	(382)
9.4.2	$M/D/1$ 排队模型	(383)
9.4.3	$M/E_k/1$ 排队模型	(384)
习题九	(385)

第十章 存 储 论

§ 10.1	存储模型的结构及基本概念	(387)
10.1.1	费用构成	(387)
10.1.2	存储控制的数量指标和参数符号	(388)
10.1.3	存储控制策略	(389)
§ 10.2	确定型存储模型	(389)
10.2.1	不许缺货的经济订货批量模型	(389)
10.2.2	允许缺货的经济订货批量模型	(391)
10.2.3	不许缺货的生产批量模型	(392)
10.2.4	有数量折扣的经济订货批量模型	(394)
§ 10.3	随机型存储模型	(395)
10.3.1	(s, S) 策略存储模型	(395)
10.3.2	(q, Q) 策略存储模型	(398)
习题十	(401)

第十一章 马尔柯夫分析

§ 11.1 马尔柯夫链	(403)
§ 11.2 马尔柯夫分析	(407)
11.2.1 正规转移概率矩阵与稳态概率向量	(407)
11.2.2 应用举例	(408)
习题十一	(414)

第十二章 决策分析

§ 12.1 随机型决策方法	(417)
12.1.1 期望值准则与报童问题	(418)
12.1.2 决策树	(423)
12.1.3 灵敏度分析	(425)
12.1.4 贝叶斯决策	(427)
§ 12.2 非确定型决策方法	(431)
§ 12.3 效用函数方法	(434)
12.3.1 效用值决策准则	(434)
12.3.2 效用函数曲线	(434)
习题十二	(436)

*第十三章 排序问题

§ 13.1 车间生产计划排序问题	(439)
13.1.1 一台机器和 n 个工件的排序问题	(439)
13.1.2 两台机器和 n 个工件的排序问题	(442)
13.1.3 3 台机器和 n 个工件的排序问题	(445)
§ 13.2 旅行售货员问题	(452)
13.2.1 旅行售货员问题	(452)
13.2.2 分支定界法	(455)
习题十三	(460)
附录 部分习题答案或提示	(462)
参考书目	(466)

第一章 线性规划

§ 1.1 线性规划模型

1.1.1 数学模型

在经济建设、企业管理和生产实践的各项活动中,我们常常面临把有限的资源分配到若干活动上去的分配问题:

(1) 对有限的资金、材料、设备、场地、能源和劳动力等财力、物力和人力,如何以最佳方式作有效的分配,以期获得最大的效益.

(2) 在既定的任务之下,如何统筹安排,以做到用最少量的财力、物力和人力来完成任务.

这些最优分配问题的数学模型在运筹学中处于中心的地位,而线性规划是解决这一类问题的一个理论和方法都比较成熟的运筹学分支.下面我们来看两个实例.

例 1-1 (生产计划问题) 某工厂生产 1[#], 2[#] 和 3[#] 三种产品,每种产品需经过 3 道工序.每件产品在每道工序中的工时定额、每道工序在每周可利用的有效工时和每件产品的利润由表 1-1 给出.问每种产品各生产多少,可使这一周内生产的产品所获利润最大?

表 1-1

定额(工时/件)		$j^{\#}$ 产 品			每周可利用的有效工时
		1 [#]	2 [#]	3 [#]	
工 序	A	1.2	1.0	1.1	5 400
	B	0.7	0.9	0.6	2 800
	C	0.9	0.8	1.0	3 600
利润(元/件)		10	15	12	

解 本问题是要把有限的工时资源合理地分配到 3 种产品的生产活动上去,以期获得最多的利润.

首先我们引进决策变量:设一周内 $j^{\#}$ 产品的生产件数为 x_j ($j = 1, 2, 3$).

然后,根据每件产品的工时定额以及各工序允许的有效工时列出约束条件:

1[#] 产品每生产一件需 A 工序 1.2 工时,现生产 x_1 件,故 1[#] 产品耗费 A 工序的工时数为 $1.2x_1$. 类似地,生产 2[#] 产品和 3[#] 产品耗费 A 工序的工时数分别为 $1.0x_2$ 和 $1.1x_3$,