



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高等学校管理科学专业系列教材

运筹学 (第二版)

○ 朱道立 徐 庆 主编
丁家声 王 军 副主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高等学校管理科学专业系列教材

运筹学 (第二版)

○ 朱道立 徐庆 主编
丁家声 王军 副主编

YUNCHOUXUE



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容简介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是高等学校管理科学专业系列教材之一。本次修订强调从分析方法上更具启发性,不仅增加了内容,而且从新的角度论述、讲解了基本原理和方法,增加了大量实用案例和思考题,并详细介绍了每类模型的 Excel 求解。

本书包括线性规划、线性规划对偶理论、目标规划、整数规划、排队论、动态规划、网络优化、网络计划、库存论、博弈论、非线性规划等 13 章。每章后附有练习题,并在教学课件中给出参考答案。

本书可以作为普通高等学校管理科学与工程类专业本科或研究生教材,也可作为相关领域的培训或自学参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

运筹学/朱道立,徐庆主编. —2 版. —北京:高等教育出版社,2013.7

ISBN 978-7-04-037739-2

I. ①运… II. ①朱… ②徐… 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(2013)第 133727 号

策划编辑	解琳	责任编辑	解琳	封面设计	张志
版式设计	马敬茹	责任校对	孟玲	责任印制	朱学忠

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
印 刷 北京玥实印刷有限公司
开 本 787mm×960mm 1/16
印 张 22.5
字 数 400 千字
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598

网 址	http://www.hep.edu.cn http://www.hep.com.cn
网上订购	http://www.landaco.com http://www.landaco.com.cn
版 次	2006 年 4 月第 1 版 2013 年 7 月第 2 版
印 次	2013 年 7 月第 1 次印刷
定 价	35.10 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 37739-00

第二版前言

作为一门科学,运筹学至今已走过 70 多年的发展历程。目前,运筹学在企业管理、公共管理和工程管理等各种管理活动中,以及经济、金融和军事等领域,都有着广泛的应用。可以说,运筹学是一门实用的科学,它在不断地发展,以解决人们在管理实践中出现的新问题。如今,运筹学已成为管理领域最重要的科学方法之一。管理人员利用运筹学方法制定目标选优的最佳方案,从而为他们做出最终决策提供科学依据。

教育部高教司制定的全国普通高等学校管理科学与工程类专业本科生教学基本要求中明确提出,运筹学课程是整个管理科学与工程类四个专业的核心课程,也是管理科学专业的主干课程。受高等学校管理科学与工程类教学指导委员会的委托,按照基本要求中制定的教学要点,我们编写和出版了本教材的第一版。

自 2006 年第一版发行以来,本教材被很多高校数次选为教材或参考用书。在历年的教学实践中,很多读者提出了大量的修改意见和建议,作者自己也有了更多的教学积累,从而对第一版进行了大幅度的修订。

本教材第二版对章节结构和内容进行了大量调整和改进,内容更加丰富,分析方法更具启发性:

(1) 增加了更多实际应用案例和思考题,案例选择也更有代表性。使读者通过实际案例分析思考,进一步加深对运筹学理论求解实际问题的理解。

(2) 细化求解方法,对每类模型的 Excel 求解方法进行了详细介绍,使读者能快速掌握并应用到求解实际问题中。

(3) 从全新的角度对求解原理和方法进行了详细的论述和讲解。

(4) 重写了排队论一章,增加了网络计划、非线性规划两章。其他章节也均有修订。

教材包含了运筹学的重要分支:线性规划、线性规划对偶理论、目标规划、整数规划、排队论、动态规划、网络优化、网络计划、库存论、博弈论、非线性规划等,每章后均附有习题,并在配套教学课件中给出解答。考虑到各高校教学的实际情况,令各章节具有相对独立性,使教师在使用教材时可根据实际课时进行选讲。

本书可以作为普通高等学校管理科学与工程类专业本科或研究生教材,也可作为相关领域的培训或自学参考用书。

本教材由朱道立、徐庆教授主编;朱道立教授编写第1、11章并审核全书;徐庆教授编写第2~5、8、9、11、13章;王军副教授编写第6章;丁家声副教授编写第7、10章。在教材的修订过程中,得到了很多老师、研究生的帮助,在此一并表示感谢!书中疏漏之处在所难免,恳请读者多提宝贵意见。

编者

2013年1月于青岛

第一版前言

自 1938 年英军在与纳粹德国作战中首次运用运筹学,这门现代科学已走过了近 70 年的发展历程。这个发展历程已经证实了,运筹学在企业管理、公共管理和工程管理等各种管理活动以及经济、金融和军事等方面,都有着广泛的应用;也正是这些应用,促进了运筹学在很多方面的发展。可以说,运筹学是一门面向实用的科学,它在不断地发展,以解决人们在管理实践中提出的新问题。到如今,运筹学已成为管理领域最重要的科学方法之一。管理人员可以利用运筹学方法制定目标选优的最佳方案,从而为他们作出最终决策提供科学依据。

根据教育部高教司 2004 年制定的全国普通高等学校管理科学与工程类本科生教学基本要求,运筹学课程是整个管理科学与工程类四个专业的核心课程,也是管理科学专业的主干课程。本编写小组受高等学校管理科学与工程类教学指导委员会委托,按照基本要求中制定的教学要点,编写了这本《运筹学》教材。本编写小组的成员都是具有 20 年以上教学经验的教师,也都一直做着运筹学和管理科学领域的理论和应用研究工作,对管理科学与工程专业的教学需求有较深入的理解,并力图把这些理解渗入到这本教材中去。

本教材共 12 章,每章都附有习题,并在书中提供了习题答案;每章也都提供了运用 Excel 求解相关模型的方法。为了便于多媒体教学,本教材附有一张光碟,内有课程讲义 PPT 文件和有关模型的 Excel 文件。编者也考虑了各章节的相对独立性,以便在使用这本教材时可按课时需要适当选讲。

本教材由朱道立教授任主编,他统筹和审核了全书,并编写了第 11 章;徐庆副教授编写了第 1 至 7 章、第 9 章和第 12 章;叶耀华副教授编写了第 8 章和第 10 章。在编写过程中,许多研究生作了辅助工作,编者在此一并表示感谢!

使用本教材的教师和学生们,编者对你们表示感谢,并请你们提供宝贵的意见!

编 者

2005 年 12 月 1 日

于复旦大学

普通高等学校管理科学与工程类学科核心课程及 专业主干课程系列教材

管理科学与工程类学科核心课程教材

管理学

李垣

管理运筹学(第3版)

韩伯棠

管理信息系统

陈国青 李一军

管理信息系统

乔东亮

应用统计学(第二版)

刘思峰

管理统计学

胡培

信息管理与信息系统专业主干课程教材

信息系统分析与设计(第二版)

陈禹

管理信息学(第二版)

杨善林

信息管理学(第三版)

李兴国

信息资源管理(第二版)

马费成

信息资源管理(第二版)

薛华成

信息检索(多媒体)教程(第二版)

沈固朝

信息存储与检索(第二版)

张帆

信息经济学(第三版)

谢康 肖静华

商务智能

李一军

商务智能应用教程

陈进

管理系统模拟

陈国青

信息法教程(第二版)

朱庆华

信息系统技术概论

陈福集

管理科学专业主干课程教材

技术管理

李垣

生产管理

张群

运筹学(第二版)

朱道立 徐庆

系统工程导论

陈宏民

决策理论与方法
预测方法与技术
质量管理与可靠性
生产计划与控制
先进制造与管理
系统建模与仿真

郭立夫
刘思峰
罗国勋
叶春明
但 斌
罗国勋

工程管理专业主干课程教材

工程项目管理
建设工程成本计划与控制
工程经济学
工程合同法律制度与工程合同管理
项目管理
现代项目管理
不动产估价

(副) 王雪青
孙 慧
洪 军
(副) 余立中
张连营
戴大双
虞晓芬

房地产开发与管理专业主干课程教材

房地产经济学(第二版)
房地产法(第二版)
房地产价格评估
房地产金融与投资概论
房地产市场营销(第二版)
房地产企业经营管理
房地产企业会计
物业管理理论与实务(第三版)
物业管理学
物业管理学案例集

(副二第) 张永岳
(副二第) 钱品石
(副二第) 崔 裴
(副二第) 龙胜平
(副二第) 彭加亮
(副二第) 吴伟良
李 岚
王青兰
韩 朝
(副二第) 韩 朝

工业工程专业主干课程教材

基础工业工程
工业工程基础
物流工程
人因工程
人因工程

阚树林
张正祥
齐二石
廖建桥
孙林岩

人因工程学
质量工程与管理
设施规划与物流系统设计

张宏林
罗国勋
马汉武

目 录

第一章 绪论	1
第二章 线性规划和单纯形法	5
本章导读	5
第一节 线性规划模型	5
第二节 线性规划的图解法	8
第三节 线性规划标准模型与基本性质	10
第四节 单纯形法	17
第五节 用 Excel 求解线性规划	28
第六节 线性规划的应用	30
本章练习题	40
第三章 线性规划对偶理论及其应用	46
本章导读	46
第一节 线性规划对偶问题	46
第二节 对偶规划的基本性质	51
第三节 对偶单纯形法	55
第四节 影子价格和灵敏度分析	61
第五节 用 Excel 进行灵敏度分析	73
本章练习题	77
第四章 运输问题	83
本章导读	83
第一节 运输问题的基本模型	83
第二节 求解初始方案的方法	85
第三节 最优性检验	89
第四节 解的改进	93
第五节 供需不平衡及转运问题	97
第六节 用 Excel 求解运输问题	103
本章练习题	107
第五章 目标规划	109

本章导读	109
第一节 目标规划模型	109
第二节 目标规划求解方法	113
第三节 目标规划的应用	120
第四节 用 Excel 求解目标规划	124
第五节 目标规划的灵敏度分析	125
本章练习题	129
第六章 整数规划	132
本章导读	132
第一节 整数规划问题	132
第二节 割平面法	135
第三节 分支定界法	138
第四节 0—1 规划	142
第五节 指派问题	146
第六节 用 Excel 求解整数规划	150
本章练习题	153
第七章 排队论	158
本章导读	158
第一节 排队论的基本概念	158
第二节 生灭过程	161
第三节 常用的排队模型	165
第四节 其他排队模型及优化	175
第五节 Excel 在排队系统中的应用	179
本章练习题	186
第八章 动态规划	188
本章导读	188
第一节 动态规划原理和模型	188
第二节 一维动态规划求解方法	195
第三节 动态规划在经济和管理中的应用	198
第四节 Lingo 软件对几类特殊动态规划问题的实现	212
本章练习题	215
第九章 网络优化	219
本章导读	219
第一节 图与网络	219

第二节 树和最小树问题	222
第三节 最短路问题	225
第四节 最大流问题	229
第五节 最小费用流问题	235
第六节 用 Excel 求解网络优化问题	238
本章练习题	243
第十章 网络计划	246
本章导读	246
第一节 网络计划的基本概念	246
第二节 计划评审技术(PERT)	250
第三节 网络计划的优化	255
本章练习题	258
第十一章 库存论	262
本章导读	262
第一节 库存论模型的基本概念及分类	262
第二节 确定性库存模型	263
第三节 单周期随机库存模型	275
第四节 Excel 在库存论中的应用	286
本章练习题	297
第十二章 博弈论	301
本章导读	301
第一节 博弈论的基本概念	301
第二节 纯策略矩阵博弈	304
第三节 混合策略矩阵博弈	308
第四节 其他类型博弈简介	318
本章练习题	324
第十三章 非线性规划基础	326
本章导读	326
第一节 非线性规划的基本概念	326
第二节 凸函数	329
第三节 最优性条件	333
第四节 非线性规划问题的算法	340
本章练习题	342
参考文献	344

第一章 绪 论

一、运筹学的产生和发展

运筹学的思想在古代就已经产生了。战国时期著名的“田忌赛马”，就是在已有条件下，经过筹划、安排，选出最佳方案最终得以取胜的经典案例。所谓“运筹帷幄之中，决胜千里之外”就是对运筹学在实际应用中的最好诠释。

在经济和管理工作中，常常会面临各种决策问题，如各种计划的确定、控制执行和决策分析等。如何进行科学、合理的决策，使决策效率达到最优就是运筹学要解决的问题。通过运用运筹学理论和方法，对决策问题进行分析、建模和求解，为决策提供有效依据。

1976年，美国运筹学会给出了运筹学的定义：运筹学是研究用科学方法来决定资源不充分的情况下，如何最好地设计人一机系统，并使之最好地运行的一门学科。至今，运筹学已成为近代应用数学的一个重要分支。

运筹学的研究方法有：①从现实生活中抽出本质要素来构造数学模型，寻求一个跟决策者目标有关的解；②探索求解结构并导出系统求解过程；③从可行方案中寻求系统最优解法。

在处理各种实际问题时，运筹学通常按照以下步骤来进行：①确定目标；②制定方案；③建立模型；④制定求解方法；⑤选择最优方案。

运筹学是一门实用性很强的方法科学，它涵盖了适用于各种经济和管理决策问题的模型方法，如线性规划、非线性规划、整数规划、目标规划、运输问题、网络优化模型、动态规划、决策分析、排队论、存贮论和博弈论等。

二、运筹学的主要内容

（一）数学规划

数学规划是在研究计划管理工作中，在给定约束条件下，按某一衡量指标来寻找最优的方案。它可以表示为在满足约束条件下，求极大极小值问题。数学规划和古典的求极值的问题有本质上的不同，古典方法只能处理具有简单表达式和简单约束条件的情况。而现代数学规划中的目标函数和约束条件都很复

杂,而且要求给出某种精确度的数值解,因此其算法研究特别受到重视。数学规划包括线性规划、非线性规划、动态规划和参数规划等。

线性规划是最简单的数学规划,因为其约束条件和目标函数都是线性函数。线性规划主要应用于企业规划和工农业的管理决策方面,其基本理论已渗透到自然和社会科学的许多领域。线性规划及其解法——单纯形法的出现,对运筹学的发展起了重大的推动作用。随着计算机技术的发展,单纯形法使解决一些大型的复杂的实际问题得以实现。

非线性规划是线性规划的进一步发展和继续。许多实际问题如设计问题、经济平衡问题都属于非线性规划范畴。非线性规划扩大了数学规划的应用范围,同时也使数学中的一些理论问题如凸分析、数值分析等也得到了发展。

动态规划是与时间有关的规划,它研究多阶段决策过程的最优化问题,已经成为工程控制、技术物理和通信的最佳控制应用的重要工具。

参数规划是系数或常数项中带有参数的规划,主要针对以下问题:当参数在什么范围变化时问题有解,以及参数变化对最优解的影响。

(二) 排队论

排队论也称为随机服务系统理论,其研究目的是解决某些服务机构组织的服务对象的问题,使某种指标达到最优。比如一个港口应有多少码头、一个工厂应有多少维修人员等。

排队论的研究源于20世纪初,由丹麦工程师艾尔郎对电话交换机进行效率研究开始,在第二次世界大战中,因为要估算飞机场跑道的合理容量等,其研究得以进一步发展,与之相关的学科如更新论、可靠性理论等也相继开始并发展起来。

关于排队论研究,可以形象地描述为以下问题:服务台接待顾客,当服务台已被某顾客占用时,其他顾客就要排队,因此,服务台会时闲时忙。因为排队是一个随机现象,因此排队现象的研究工具主要是概率论和微分方程,需通过数学方法求出顾客等待时间、排队长度等概率分布。

排队论研究用于很多实际应用中,如水库贮水量、流水线工作量、铁路调度、电网设计等。

(三) 库存论

库存论是一种研究物资最优存储及存储控制的理论。物资存储是生产和经济运转的必然现象。物资存储过多,不仅占用大量仓储空间,且会增加很多无用开支;存储过少,则可能因失去销售时机而减少利润,甚至造成停产。因此,寻求一个恰当的采购、存储方案就成为库存论研究的主要问题。

（四）图论

图论是指对那些可由节点和边组成的图形对象进行的研究。根据具体的研究对象,规定图中各节点代表具体网络中的起点、中转点或终点,赋予图中各边具体参数,如时间、流量、距离等,继而用图论方法对各类图形网络的结构和流量进行分析和优化。

（五）博弈论

博弈论是通过数学模型研究冲突对抗条件下最优决策的理论。为建立冲突对抗条件下的决策模型,必须用数学语言描述冲突各方所有可能的行为方式及其结果,因此博弈论被视为运筹学的一个分支。

目前公认美籍匈牙利数学家冯·诺依曼(1903—1957)是系统创建博弈论学科研究的第一人,他也是现代计算机结构的创始人。

最初博弈论主要是通过数学方法,研究冲突双方在竞争性活动中,找出是否存在自己制胜对方的最优策略,以及如何找出这些策略的问题。由于博弈论是研究双方冲突、制胜对策的问题,所以这门学科在军事方面应用非常广泛。随着社会的发展,博弈论在市场竞争、经济管理等领域也有了广泛应用。

三、运筹学在管理中的应用

对于大量的、复杂的现实管理决策问题,只依靠人的经验进行定性分析和决策,早已无法适应现代社会的要求。因此,必须借助科学的定量分析方法,使定性分析建立在科学的定量分析基础上。运筹学提供了大量的定量分析方法,为科学决策分析提供了有效的工具。

运筹学的应用领域非常广泛,目前已渗透到经济、管理、军事、工程技术等很多领域。随着科学技术和社会经济建设的不断发展和进步,运筹学的应用将更加广泛。

运筹学在经济、管理中的应用主要有:

(1) 工程设计和决策。如怎样使完成工程任务的时间最少、运输费用最省等。

(2) 生产计划与管理。如怎样确定生产、存贮和劳动力的合理分配,以适应不断变化市场需求。

(3) 市场营销管理。如广告预算和媒体的选择、竞拍定价、产品开发、销售计划的制定等。

(4) 库存管理。如估计停车场容量、发电设备容量、水库容量等。

(5) 会计与财务分析。如预算、贷款、成本分析、定价、投资、证券、现金管理等。

(6) 人力资源管理。如各种指派问题、人员需求估计、人才开发和人员分配等。

(7) 物流管理与交通运输。在空运、水运、公路运输、铁路运输、管道运输等方面,如确定飞行航班、机组人员服务时间、航运计划、港口装卸、设备运行安排等。

第二章 线性规划和单纯形法

本章导读

许多经济、管理中的问题都能用线性规划模型来表示。本章通过引例引入线性规划模型概念,继而阐述求解模型的单纯形算法及其解法。同时,给出多个典型应用实例,说明建立线性规划模型的方法。最后通过家庭理财案例的分析,加深对线性规划求解实际问题的掌握。

第一节 线性规划模型

一、引例

企业生产计划中,为制造不同产品,必须考虑原材料、劳动力、运输等各种生产要素。同时,不同的生产工艺模式,其相应的生产要素在产品制造单位时间中的消耗量也不相同。如何在每种生产要素消耗量具有限制的条件下,对各种生产模式所需的时间进行合理计划,使产品的产出量最大,是企业制定生产计划的必要问题。下面给出两个具体例子。

例 2.1 某公司计划生产甲、乙两种产品。通过分析生产过程,得出以下结论:生产 1 吨甲产品需要用煤 9 吨,用电 4 千千瓦·时,用油 3 吨;生产 1 吨乙产品需要用煤 4 吨,用电 5 千千瓦·时,用油 10 吨。但该公司现有资源有限,共有煤 360 吨,电 200 千千瓦·时,油 300 吨。通过市场调研部门和会计部门的调查核算得知,1 吨甲产品的利润是 7 万元,1 吨乙产品的利润是 12 万元。从管理者角度考虑:两种产品的产量各为多少,才能使销售收入最大?

分析:

要计划产品产量,先引入以下决策变量: x_1 = 产品甲的计划生产量; x_2 = 产品乙的计划生产量。且 $x_1 \geq 0, x_2 \geq 0$, 即产量应为正值。

由此得到公司的总销售收入为: $7x_1 + 12x_2$ 。最终目标是得出 x_1, x_2 的取值,使总销售收入值最大。

已知,生产 1 吨甲产品耗煤 9 吨,则生产 x_1 吨甲产品耗煤为 $9x_1$ 吨;生产 1