

■ 普通高等教育管理类专业系列教材

运筹学

吴祈宗 主编



机械工业出版社
China Machine Press

普通高等教育管理类专业系列教材

运 筹 学

主 编 吴祈宗

副主编 李金林 王 宁 甘宏业 韩润春

参 编 肖继先 刘黎明 朱心想 常世彦



机 械 工 业 出 版 社

本书内容主要包括线性规划、运输问题、动态规划、排队论、决策分析及图与网络分析等内容。这些内容是管理、经济类本科学生应具备的必要知识。全书着重阐述基本思想、理论和方法,力求做到深入浅出,通俗易懂,适于教学和自学。每一章末配置了适当的习题,便于读者理解、消化书中的内容。在书的后部,编写了结合各章内容的练习题,并附有参考答案,供读者学习时使用。为了支撑教师的教学,我们把多年来在教学中积累的教学课件做成光盘,奉献给读者特别是教师,仅供参考。

本书可作为管理、经济类各专业教材,也可作为其他本科专业的教材或教学参考书,并对于希望了解、认识及应用运筹学的各类人员都有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

运筹学/吴祈宗主编. —北京:机械工业出版社, 2002.2

普通高等教育管理类专业系列教材

ISBN 7-111-09700-9

I. 运... II. 吴... III. 运筹学—高等学校—教材 IV. 022

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 092503 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:曹俊玲 版式设计:冉晓华 责任校对:李汝庚

封面设计:陈沛 责任印制:付方敏

北京市密云县印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2002 年 2 月第 1 版·第 1 次印刷

1000mm×1400mm B5·9 印张·348 千字

0 001—5 000 册

定价:26.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010)68993821、68326677-2527

北京地区部分高等院校管理类 专业教材编审委员会

主任委员：	韩福荣（北京工业大学）	教授、博士生导师
副主任委员：	张 群（北京科技大学）	教授、博士生导师
	乞建勋（华北电力大学）	教授、博士生导师
	吴祈宗（北京理工大学）	教授、博士生导师
	余元冠（北京科技大学管庄校区）	教授、博士生导师
	乔 忠（中国农业大学）	教授、博士生导师
	姚 飞（北京化工大学）	教授
	葛新权（北京机械工业学院）	教授
	孙义敏（北京机械工业学院）	教授
	刘家顺（河北理工学院）	教授
	林 松（机械工业出版社教材编辑室）	高级工程师
委员单位：	北京工业大学经济与管理学院	
	北京科技大学管理学院	
	华北电力大学工商管理学院	
	中国农业大学管理工程学院	
	北京理工大学管理与经济学院	
	北京科技大学管庄校区	
	北京化工大学经济管理学院	
	北京机械工业学院工商分院	
	河北理工学院经济管理系	
	机械工业出版社教材编辑室	
	北京印刷学院经济管理系	
	北京信息工程学院经济管理系	
	北方工业大学经济管理学院	
	机械工业出版社教材编辑室	

编 者 的 话

新世纪伊始，北京地区部分高等院校联合成立了管理类专业教材编审委员会，组织编写、出版一套适合各校情况、满足本科层次教学需要的管理类专业系列教材。在各校管理学院、系领导及教师的大力支持和参与下，经过一年多的努力，系列教材终于面世了。

改革开放以来，我国管理学科的发展极其迅猛。在这种形势下，各高等院校普遍设置了管理专业，其发展速度之快，规模之大，也是前所未有的。而教材建设一直是专业建设和教学改革瓶颈。

据对参加编审委员会的院校管理专业的统计，在我们这支协作队伍中，有 5 个博士点，30 多个硕士点，并拥有 400 多名专业教师，其中不乏教学经验丰富、学术造诣较深的老、中、青骨干力量。编委会认为，集中各校优势，通过合作方式实现教学资源优化配置，编出一套适合各校情况的教材，对加强各校的合作交流，推动师资培养，促进相关课程的教学改革，是一件一举多得的好事。

“质量第一，开拓创新”是我们编写这套教材的指导思想，出版精品是我们的奋斗目标。现阶段应该从教材特色做起。有特色才能有市场，才能为各校师生所接受和欢迎。这套教材具有以下特点：一是内容上有创新，在继承的基础上，反映了当代管理学科的新发展；二是适用、好用，教材编写精练，并留有余地，各教材每章后都附有相配套的作业题；三是有理工科特色，合作院校的教学对象多数是理工科学生。

为了确保教材质量，经过编委会遴选各门课程教材都由资深的教授担任主编，并经过编委会遴选。同时各教材编写组成员相对稳定，教材根据使用情况及时修订，使其常用常新，不断提高。

为了配合各校开展多媒体教学的需要，某些教材编写组将合作制作与教材配套的课件，以方便广大师生使用。

机械工业出版社是我国于 20 世纪 50 年代初成立的国家级出版社。数十年来，曾出版过许多在国内外有重大影响的科技和管理图书。改革开放以来曾经承担全国理工科院校管理工程专业全国统编教材的出版发行，为我国管理专业的建设和发展作出了重大贡献。这套系列教材出版得到机械工业出版社的大力支持，谨表示衷心感谢！

北京地区部分高等院校管理类专业教材编审委员会
2001 年 10 月

前 言

运筹学在自然科学、社会科学、工程技术生产实践、经济建设及现代化管理中有着重要的意义。随着科学技术和社会经济建设的不断发展进步,运筹学得到迅速的发展和广泛的应用。作为运筹学的重要组成部分——线性规划、运输问题、动态规划、排队论、决策分析及图与网络分析等内容成为管理、经济类本科生所应具备的必要知识和学习其他相应课程的重要基础。本书根据管理、经济类本科生知识结构的需要,系统地介绍了上述内容的基本思想、有关理论及应用方法。内容尽力体现新颖、实用,力求跟上时代步伐。

在管理、经济类本科专业,运筹学课程的地位越来越重要,但是有较好针对性的运筹学教材却很少。编写一本对管理、经济类本科专业有较好针对性的运筹学教材成为有关专业建设的迫切需求,面对这种情况编写了本教材。

本书的主编和副主编来自北京理工大学、北京工业大学、北京化工大学及河北理工学院,都是长期从事运筹学教学与科研的教授和副教授,有着丰富的经验。本书的编写还参考了国内外的大量有关资料文献,吸取了有关兄弟院校的宝贵经验,可以说,本教材的编写是集体智慧的结晶。本书建立在读者具备高等数学和线性代数知识的基础之上,努力讲清各部分内容的基本思想、基本理论及方法过程,力求做到深入浅出,通俗易懂,适于教学和自学。多数章节增加了方法应用的内容,以提高学生建模能力,并努力做到理论联系实际,学以致用。

作为有一定针对性的教材,我们在内容的选择、例题的安排等方面注意专业知识的相关性,在每一章末配置了适当的习题,便于读者理解、消化书中的内容。为了给读者提供深入学习、理解教材的条件,我们在书的后部编写了结合各章内容的练习题,并附有参考答案。这部分内容相当一个习题集,与教学内容构成一体,供读者学习时使用。为了支撑教师的教学,我们还把多年在教学中积累的教学课件做成光盘,奉献给读者特别是教师。其中的内容不是教材的简单复制,而是为了扩大整个教学的信息量,作为附件仅供教师与其他读者参考。

本书的编写由多人协作完成,其中第一、二、四章由吴祈宗教授、朱心想、常世彦(北京理工大学)执笔,第三章由李金林教授(北京理工大学)执笔、第五、六章由王宁副教授、刘黎明(北京工业大学)执笔,第七、八章由甘宏业副教授(北京化工大学)执笔,练习与解答部分由韩润春副教授、肖继先(河北理工学院)执笔。本书由吴祈宗担任主编,李金林、王宁、甘宏业、韩润春担任副主编。

在本书的编写过程中，北京机械工业学院孙义敏教授给予了大力的支持和帮助。我们在编写过程中还参考了大量的国内外有关文献书籍，它们对本书的成文起了重要作用。在此对一切给予我们支持和帮助的朋友、同事、有关人员以及参考文献书籍的作者一并表示衷心感谢。

限于编者水平，书中难免有不当或失误之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

2001 年 10 月

目 录

编者的话
前言

第一章 绪论	1
第一节 运筹学概述	1
第二节 运筹学的内容及特点	4
第三节 运筹学的学习与应用	6
第二章 线性规划建模及单纯形法	10
第一节 线性规划的概念	10
第二节 线性规划解的概念、性质及图解法	16
第三节 单纯形法	26
第四节 线性规划应用	45
习题	57
第三章 线性规划问题的对偶与灵敏度分析	61
第一节 线性规划的对偶问题	61
第二节 对偶单纯形法	73
第三节 灵敏度分析	77
习题	86
第四章 运输问题	90
第一节 运输问题模型及有关概念	90
第二节 运输问题求解——表上作业法	95
第三节 运输问题的应用	108
习题	112
第五章 动态规划	115
第一节 多阶段决策过程的最优化	115
第二节 动态规划的基本概念和基本原理	119
第三节 动态规划方法的基本步骤	125
第四节 动态规划方法应用举例	135

习题	144
第六章 排队论	149
第一节 基本概念	151
第二节 输入过程和服务时间分布	156
第三节 泊松输入——指数服务排队模型	159
第四节 其他模型选介	170
第五节 排队系统的优化目标与最优化问题	172
习题	176
第七章 决策分析	179
第一节 决策的分类与过程	179
第二节 确定型决策问题	181
第三节 不确定型决策问题	182
第四节 风险型决策问题	185
第五节 灵敏度分析	189
第六节 效用理论在决策中的应用	190
习题	194
第八章 图与网络分析	195
第一节 图的基本概念与基本定理	196
第二节 树和最小支撑树	199
第三节 最短路问题	203
第四节 网络系统最大流问题	208
第五节 网络系统的最小费用最大流问题	214
第六节 中国邮递员问题	216
习题	220
附 录	
附录 A 练习	222
附录 B 练习解答	252
参考文献	278

第一章 绪 论

本章内容要点

- 本章主要介绍运筹学的简史，运筹学的性质、特点、应用及其发展前景；
 - 根据学习本课程的经验提出一些建议。
-

第一节 运筹学概述

运筹学是一门基础性的应用学科，主要研究系统最优化的问题，通过对建立的模型求解，为决策者进行决策提供科学依据。

一、运筹学简史

运筹学的英文通用名称为“Operations Research”简称 OR，按照原意应译为运作研究或作战研究。在我国汉朝时，汉高祖刘邦称赞张良用了“运筹于帷幄之中，决胜于千里之外”的话，人们取其义把它译为“运筹学”。国内外许多学者公认，这个译法非常恰当。事实上，运筹学的思想出现得很早。我国历史上在军事和科学技术方面对运筹思想的运用是世界闻名的：公元前 6 世纪春秋时期著名的《孙子兵法》中处处体现了军事运筹的思想；战国时期的“田忌齐王赛马”故事是对策论的典型范例；刘邦、项羽在楚汉相争过程中，依靠张良等谋士的计谋，演出一幕又一幕体现运筹思想的作战战例；三国时期的战争中更可以举出很多运用运筹思想取得战争胜利的例子。除军事方面，在我国古代农业、运输、工程技术等方面也有大量体现运筹思想的实例，如北魏时期科学家贾思勰的《齐民要术》一书就是一部体现运筹思想，合理策划农事的宝贵文献；古代的粮食和物资的调运，都市的规划建设，水利方面如四川都江堰工程等，亦处处反映了运筹思想的运用。

在欧美，运筹学早期工作的历史可追溯到 20 世纪前叶：1914 年提出了军事运筹学中的兰彻斯特（Lanchester）战斗方程；1917 年排队论的先驱者丹麦工程师爱尔朗（Erlang）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；20 世纪 20 年代初提出了存贮论的最优批量公式；20 世纪 30 年代，在商业方面列温逊已经运用运筹思想来分析商业广告和顾客心理等。

这些都反映出，运筹学注意系统数据采集、分析并研究优化方案的思想是一种朴素、自然的思想。在实际上，很多人都在自觉、不自觉地运用这个思想。另一方面，我们常说“道高一尺，魔高一丈”，在竞争中各方共同运用这些思想解决问题时，就表现为对运筹学内涵的研究、运用能力。

运筹学作为科学名字最早出现在 20 世纪 30 年代末。当时英、美使用雷达作为防空系统的一部分在军事上对付德国的空袭，在技术上没有问题，但是在实际运用中效果并不理想。为此，一些有关领域的科学家把“如何合理运用雷达”作为一类新的问题进行研究。由于它与研究技术问题不同，于是就称作“运作研究”。第二次世界大战期间，英、美军队中成立了一些专门小组，面对一些实际问题开展了短期的和战术性的研究。例如，雷达系统有效防空问题，研究设计将雷达信息传送给指挥系统及武器系统的最佳方式、雷达与防空武器的最佳配置等；护航舰队保护商船队的编队问题，研究当船队遭受德国军队攻击时如何使船队减少损失等；大西洋反潜战问题，研究如何设计反潜舰艇或飞机投掷深水炸弹的最佳方案等。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，以兰德公司（LAND）为首的一些部门开始着重研究战略性问题。例如，为美国空军评价各种轰炸机系统，讨论未来的武器系统和未来战争的战略等；研究苏联的军事能力及未来的预报等。总的来说，在这段时间里运筹学的研究与应用范围主要是与战争相关的战略、战术方面问题。随着世界性战争的结束，各国的经济建设迅速发展，世界范围内的剧烈竞争也体现在经济、技术方面，运筹学的研究发展也向这些方面拓展。由于运筹学适应了时代的要求，在近 60 年中，它无论从理论上还是应用上都得到了快速的发展。在应用方面，今天运筹学已经涉及到了服务、管理、规划、决策、组织、生产、建设等诸多方面，甚至可以说，很难找出它涉及不到的领域。在理论方面，由于运筹学的需要和刺激而发展起来的一些数学分支，如数学规划、应用概率与统计、应用组合数学、对策论、数理经济学、系统科学等等，都得到迅速发展。

20 世纪 50 年代中期，我国著名的科学家钱学森、许国志等将运筹学从西方引入我国，并结合我国的特点在国内推广应用。自从引入以来，运筹学在我国已有 40 多年的历史。经过这 40 多年，运筹学在我国有了很大的发展，确立了它在经济建设中的地位。但是，运筹学在我国的发展状况与世界其他国家相比，尚有不小的差距，其中最主要的是认识与基础的问题。

随着科学技术的发展，特别是信息社会的到来，运筹学的内涵不断扩大，涉及的数学及其他基础学科的知识越来越多，于是熟练掌握并运用这门学科有效解决实际问题的难度也逐渐加大。根据运筹学的发展，数学、计算机科学及其他新兴学科的最新知识、技术都能很快融合到其中，使得运筹学发展更进入一个崭新的阶段。

为了加强运筹学的研究与应用,国内外成立了许多学术性的组织。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1986年为止,国际上已有38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1976年,亚太运筹学协会(APORS)成立于1985年等。

二、运筹学的应用

运筹学的早期应用主要是在军事领域,二次大战后运筹学的应用才转向民用。经过几十年的发展,运筹学的应用已经深入到社会、政治、经济、军事、科学、技术等各个领域,发挥了巨大作用。这里选择几个管理方面的应用给予简单介绍。

(1) 生产运作:生产总体计划要求从总体确定生产、存贮和劳动力的配合规划,以适应波动的需求计划。运筹学的应用主要在生产作业的计划、日程表的编排、合理下料、配料问题、物料管理等方面。

(2) 物资库存管理:多种物资库存的系统组织与安排管理,确定某些设备的能力或容量,如停车场的大小、新增发电设备的容量、电子计算机的内存量、合理的水库容量等。将库存理论与计算机的物资管理信息系统相结合,确定合理的库存方式,计算最佳的库存量等。

(3) 物资运输问题:涉及空运、水运、公路运输、铁路运输、管道运输、厂内运输。常常涉及班次和人员服务时间安排等,需要确定最小成本的运输线路、物资的调拨、运输工具的调度等。

(4) 组织人事管理:对人员的需求和使用方面的预测,确定人员编制、人员合理分配,建立人才评价体系、人才开发的规划、激励机制的研究等。

(5) 市场营销:广告预算、媒介选择、产品定价、新产品的引入和开发、销售计划制定、市场模拟研究等。

(6) 财务管理和会计:各经济项目的预测、预算,贷款、成本分析、证券管理、现金管理等。常使用的方法有统计分析、数学规划、决策分析、盈亏点分析法、价值分析法等。

(7) 计算机应用和信息系统开发:运筹学中的数学规划方法、网络图论、排队论、存储论、模拟与仿真方法等对其均起到巨大作用。

(8) 城市管理:各种紧急服务系统的设计和运用,城市垃圾的清扫、搬运和处理,城市供水和污水处理系统的规划,区域规划,市区交通网络的规划与管理等。

三、运筹学的发展

随着运筹学的应用越来越广泛和深入,众多有识之士对运筹学将向哪个方向

发展、如何发展的问题进行了广泛和深入的研究。美国前运筹学会主席邦特(S. Bonder)认为,运筹学应在三个领域发展:运筹学应用、运筹科学和运筹数学,并强调发展前两者,从整体讲应协调发展。目前运筹学工作者面临的大量新问题是:经济、技术、社会、生态和政治等因素交叉在一起的复杂系统。因此,早在20世纪70年代末80年代初就有不少运筹学家提出:要注意研究大系统,注意运筹学与系统分析相结合。美国科学院国际开发署写了一本书,其书名就把系统分析和运筹学并列。有的运筹学家提出了从运筹学到系统分析的报告,认为由于研究新问题的时间范围很长,因此必须与未来学紧密结合;由于面临的问题大多是涉及技术、经济、社会、心理等综合因素的研究,在运筹学中除常用的数学方法以外,还必须引入一些非经典数学的方法和理论等。美国运筹学家沙旦(T. L. Saaty)在20世纪70年代末提出了层次分析法(AHP),并认为过去过分强调细巧的数学模型,可是它很难解决那些非结构性的复杂问题。因此宁可用看起来是简单和粗糙,但加上决策者的正确判断恰能解决实际问题的方法。切克兰特(P. B. Checkland)把传统的运筹学方法称为硬系统思考,它适用于解决那种结构明确的系统以及战术和技术性问题。硬系统思考方法对于结构不明确的、有人参与活动的系统无法很好地处理,这就应采用软系统思考方法:它相应的一些概念和方法都应有所变化,如将过分理想化的“最优解”换成“满意解”等。

目前,运筹学领域工作者比较一致的共识是运筹学的发展应注重以下三个方面:理念更新、实践为本、学科交融。

第二节 运筹学的内容及特点

一、运筹学的分支

我国运筹学的老前辈、中国工程院院士许国志教授曾在1992年《运筹与管理》杂志创刊号发表的“运筹学的ABC”一文提出了运筹学的三个来源是:军事、管理和经济,同时还讨论了运筹学的三个组成部分:运用分析理论、竞争理论和随机服务理论即排队论。

由于运筹学涉及到广泛的应用和有关的学科领域,经历数十年的发展形成了其自身的各个分支。

线性规划是由美国运筹学工作者丹捷格(G. B. Dantzig)在1947年发表的成果,它当时所解决的问题是由美国空军在军事规划时提出的。丹捷格提出了求解线性规划问题的单纯形法。列昂节夫约在1932年提出了投入产出模型;冯·诺伊曼(Von. Neuman)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。回顾历史，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、军官和各行业的实际工作者。

运筹数学的飞快发展，促使并形成了运筹学的许多分支。通常提到的有：

- 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
- 模糊规划等

以上人们常常统称之为数学规划，此外还有：

- 图论与网络
- 排队论（随机服务系统理论）
- 存贮论
- 对策论
- 决策论
- 搜索论
- 维修更新理论
- 排序与统筹方法等

二、运筹学的定义及原则

为了更好地研究和应用，人们希望对运筹学给出一个确切的定义，以便更加深入地明确它的性质和特点。但是，由于本学科复杂的应用科学特征，至今还没有统一且确切的定义。我们利用以下几个比较有影响的定义来说明运筹学的性质和特点。

• 为决策机构在对其控制下的业务活动进行决策时，提供以数量化为基础的科学方法（P.M.Morse & G.E.Kimball）。

这个定义首先强调的是科学方法，重视某种研究方法要求能够可以用于整个一类问题上，并能够控制和进行有组织的活动，而不单是这些研究方法分散和偶然的应用。另一方面，它强调以量化为基础，必然要用到数学理论和成果。我们知道，任何决策都包含定量和定性两方面，而定性方面又不能简单地用数学表示，如政治、社会等因素，只有综合多种因素的决策才是全面的。在这里，运筹学工作者的职责是为决策者提供可以量化的分析，指出那些定性的因素。

• 运筹学是一门应用科学，它广泛应用现有的科学技术知识和数学方法，解决实际中提出的专门问题，为决策者选择最优决策提供定量依据。

这个定义表明运筹学具有多学科交叉的特点，例如：综合运用数学、经济

学、心理学、物理学、化学等的一些方法。运筹学强调最优决策,但是这个“最”过分理想了,在实际生活中很难实现。

- 运筹学是一种给出问题坏的答案的艺术,否则的话问题的结果会更坏。

这个定义表明运筹学强调最优决策过分理想,在现实中很难实现,于是用次优、满意等概念来代替最优。

为了有效地应用运筹学,前英国运筹学学会会长托姆林森提出的下列六条原则,得到众多运筹学工作者的认同:

(1) 合伙原则。是指运筹学工作者要和各方面人士,尤其是同实际部门工作者合作。

(2) 催化原则。在多学科共同解决某问题时,要引导人们改变一些常规的看法。

(3) 互相渗透原则。要求多部门彼此渗透地考虑问题,而不是只局限于本部门。

(4) 独立原则。在研究问题时,不应受某人或某部门的特殊政策所左右,应独立从事工作。

(5) 宽容原则。解决问题的思路要宽,方法要多,而不是局限于某种特定的方法。

(6) 平衡原则。要考虑各种矛盾的平衡、关系的平衡。

第三节 运筹学的学习与应用

一、运筹学研究的工作步骤

由于运筹学与许多学科领域、各种有关因素有着横向和纵向的联系,为了有效地应用运筹学,根据运筹学的特征,人们把运筹学研究的工作步骤归纳为以下几方面内容:

(1) 目标的规定。确定决策者期望从方案中得到什么。这个目标不应限制在过分狭小的范围内,也要避免把研究目标作不必要的扩大。

(2) 方案计划的研制。实施一项运筹学研究的过程常常是一个创造性过程,计划的实质是规定出要完成某些子任务的时间,然后创造性地按时完成这一系列子任务。这样做能够推动运筹学分析者作出结论,有助于方案的成功。若对计划任意延期和误时,会导致分析者的消极工作和管理者的漠不关心。

(3) 问题的表述。这项工作需要与管理人员深入讨论,经常包括与其他职员和业务人员的接触和必要数据的采集,以便了解问题的本质、历史及未来、问题各个变量之间的关系。这项任务的目的是为研究中的问题的内容提供一个模型框架,并为全部以后的工作确立方向。在这里,第一要考虑的是问题是否能够分解

为若干串行或并行的子问题；第二要确定模型建立的细节，如问题尺度的确定、可控制决策变量的确定、不可控制状态变量的确定、有效性度量的确定和各类参数、常数的确定。

(4) 模型的研制。模型是对各变量关系的描述，是正确研制成功解决问题的关键。构成模型的关系有几种类型，常用的有定义的关系、经验关系和规范关系等。

(5) 模型求解。在这一步应充分考虑现有的计算机应用软件是否适应模型的条件，解的精度及可行性是否能够达到要求。若没有现成可直接应用的计算机软件，则需要做以下两步工作：

1) 计算手段的拟定。在模型研制的同时，需要研究如何用数值方法求解模型。其中包括对问题变量性质（确定性、随机性、模糊性）、关系特征（线性、非线性）、手段（模拟、优化）及使用方法（现有的、新构造的）等的确定。

2) 程序明细表的编制，程序设计和调试。对于计算过程需要编制程序来实现计算机运算，运筹学研究应包含算法过程的描述、计算流程框图绘制。程序的实现及调试可以交由程序员完成，或会同程序员完成。

(6) 数据收集。把有效性试验和实行方案所需的数据收集起来加以分析，研究输入的灵敏性，从而可以更准确地估计得到的结果。

(7) 解的检验（验证）。验证在运筹学的研究与应用中的重要性无论怎样强调都不会过分。验证包括两个方面：第一是确定验证模型，包括为验证一致性、灵敏性、似然性和工作能力而设计的分析和实验；第二是验证的进行，即把前一步收集的数据用来对模型作完全试验。这样一种试验的结果，往往必须重新设计模型，并要求相联系的程序重编。

(8) 解方案的实施。有些人认为，在模型验证后任务就完成了，这是不对的。事实上，一项研究的真正困难往往在解方案实施的最后一步。很多问题常常在这时暴露出来，它们会涉及到研制方案的全过程。因此，必须由参与整个过程的有关人员参与才能解决。

二、运筹学建模的一般思路

运筹学建模在理论上应是属于数学建模的一个部分。因此，运筹学建模所采用的手段、途径与一般在数学建模中所采用的类似。下面介绍根据运筹学本身的特征来处理建模问题的一般思路。

经过长期、深入的研究和发展，运筹学处理的问题将归纳成一系列具有较强背景和规范特征的典型问题。因此，运筹学建模就要把相当的精力放在将实际问题合理地描述为某种典型的运筹模型上。在这个过程中，一般要求运筹学工作者具有以下几个方面的知识和能力：

(1) 熟悉典型运筹模型的特征和它的应用背景。

(2) 有分析、理解实际问题的能力, 包括广博的知识, 搜集信息、资料和数据的能力。

(3) 有抽象分析问题的能力, 包括善于抓主要矛盾, 善于逻辑思维、推理、归纳、联想、类比等能力。

(4) 有运用各类工具知识的能力, 包括运用数学、计算机、其他自然科学的知识和工程技术等的能力。

(5) 有试验校正和维护修正模型等的能力。

根据问题本身的情况, 运筹学在解决问题时, 按研究对象的不同可构造各种不同的模型。模型是研究者对客观现实经过思维抽象后用文字、图表、符号、关系式以及实体描述所认识到的客观对象。模型的有关参数和关系式比较容易改变, 这样将有助于问题的分析和研究。利用模型可以对所研究的问题进行一定预测及灵敏度分析等。

目前运筹学中用得最多的是符号或数学模型。建立、构造模型是一种创造性劳动, 成功的模型往往是科学和艺术的结晶。常见的构模方法和思路有以下几种:

(1) 直接分析方法。当我们对问题的内在关系、特征等比较熟悉时, 可以根据对问题内在机理的认识直接构造出模型。运筹学中已有不少现存的模型, 如线性规划模型、投入产出模型、排队模型、存贮模型、决策和对策模型等等。这些模型都有很好的求解方法及求解的软件。有时模型的参数也可直接从问题本身得到。

(2) 类比方法。通过对问题的深入分析, 结合经验, 常常会发现有些模型的结构性质是类同的。这就可以互相类比, 通过类比把新遇到的问题用已知类似问题的模型来建立该问题模型。这种情况往往得到是模型归类, 而模型参数需用其他的方法取得。

(3) 模拟方法。利用计算机程序实现对问题的实际运行模拟, 可以得到有用的数据。这些数据常用来求解模型参数, 或对所建立模型的合理性、正确性进行检验。

(4) 数据分析法。利用数据处理的方法分析各数据变量之间的关系是确定关系, 还是相关关系, 以及是何种相关等。这种方法还可以用回归分析找出变量的变化趋势, 从而得到合理的数学模型。大量模型参数的求得也常常使用数据处理的统计方法。另外, 回归模型常常就是一个无约束最优化模型。

(5) 试验分析法。通过试验分析建模是工程管理中常用的方法。这类方法是以局部的试验产生数据, 经过统计处理得到总体的模型或模型归类。试验分析更多地用于产生模型参数。

(6) 构想法。当有些问题的机理不清楚, 既缺少数据, 又不能作试验来获得