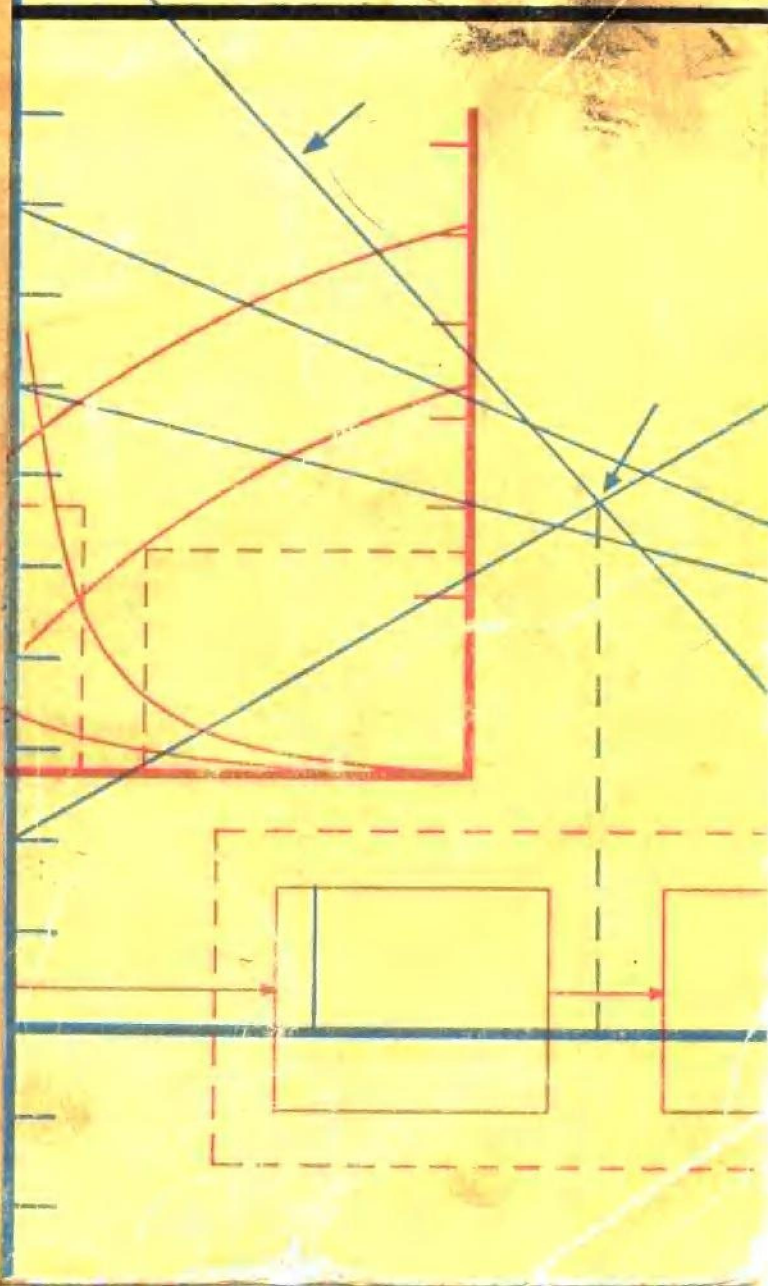


运筹学



吴立照 朱幼文译

运筹学

上海人民出版社

责任编辑 黄明辉
封面装帧 许明耀

运筹学

【美】哈姆迪·阿·塔哈 著

吴立煦 朱幼文 译

上海人民出版社出版

(上海绍兴路 54 号)

新华书店上海发行所发行 上海中华印刷厂印刷

开本 850×1166 1/32 印张 23.75 插页 2 字数 547,000

1985 年 11 月第 1 版 1985 年 11 月第 1 次印刷

印数 1—8,200

书号 4074·565 定价 4.25 元

12/1/28/13

前 言

写出运筹学第二版的目的在于改进和更新第一版的内容。已经加进新的资料,并且在许多方面改变了叙述的方法,以便有一个较简明的表达,并使各章有较大的独立性。

第三章中叙述方法的改变就是一个例子。初学的人往往对单纯形法的代数解法难于理解。因此,这一章已重新改写,以便读者能够从图象上把这种方法的原理直接同解线性规划的更具体方法联系起来。形成独立一章的例子,则可在第五章讨论运输方法中找到,而在第一版中,它是需要以第四章(对偶理论)作为前提的。重写这一章使得我们可以单独地学习,虽然读者仍然可以按对偶理论来弄懂运输方法。作者坚信运筹学的学生必须对各种数学方法之间的相互关系有理性上的认识。

新的内容包括:“决策论和对策”(第十章),“模拟”(第十四章)和“无约束非线性问题的算法”(第十六章 16.2 节)。为了平衡书中各章的内容,在第五章中删去了包含一般运输模型的特定的线性规划和网络。把老的第八章和第九章合并成现在的第六章,而用第十三章代替老的第十四章和第十五章。

第二版分三个部分:线性规划、动态规划和整数规划(第二章到第八章),概率模型(第九章到第十四章)和非线性规划(第十五章和第十六章)。第一部分和第二部分可以分别作为独立的课程。第三部分对非线性规划提供一个介绍。第一部分的内容中除第六章线性规划的进一步讨论而外,都是以通俗而易懂

的笔法来叙述的。第六章中进一步讨论的内容放在第一部分是
因为这是它本来的位置，虽然删去这一章并不失去连贯性。这
样的安排也使第一部分的内容可以作为一门正式的线性规划的
课程。

第二部分包括概率，决策论和对策，统筹法和关键路线法，
存储论，排队论和模拟。为了在选择这门课程内容和深浅程度
的时候有灵活性，这些章节都有充分的独立性。初等的概率论
(第九章)和微积分对研究概率模型，特别是排队论和概率存储
模型是必不可少的，但是确定性的存储模型、统筹方法和模拟则
只需要很少的概率和微积分的知识。

第三部分非线性规划需要较深的数学理论，用通俗的笔法
来叙述这部分内容是不容易和行不通的。不过作者认为一个学
生在学完第一部分和第二部分之后，在学第三部分时是不应该
遇到很大困难的。

虽然这本书的内容被分成三个部分，叙述却是灵活的，足以
使得制定课程的人可以从不同的部分中取材。作者要强调的是，
虽然第二版各章比第一版允许有较大的独立性，但要完全独立，
那只有象“烹调全书”那样来叙述内容。正因为这不是本书的目
的，所以希望学生在学习后面的内容之前能具备前面某些章节
的基本知识。例如，有些存储模型是以动态规划为基础的，虽然
学生可以独立地研究这些模型，但动态规划的知识将帮助他们
更完整地来理解这个内容。

全书有 480 个习题，差不多每一道题都提出一个新的思想。
部分习题的答案在附录 D 中，对全部习题已有一本完整的题
解。

H. A. T.

内 容 提 要

本书系根据 Hamdy A. Taha 所著 “Operations Research—An Introduction” 1976 年第二版译出。这是一部内容比较完整的运筹学教材。全书共分三大部分。第一部分包括线性规划、动态规划和整数规划；第二部分是概率模型，包括决策论、统筹方法、存储论、排队论和模拟等；第三部分是非线性规划。本书的特点是由浅入深，着重应用，每一章末都附有大量习题。

本书可作为工科和财经高等院校运筹学课程的教材，也可供企业管理人员、科研人员和工程技术人员作为参考。

目 录

第一章 运筹学基础	1
§ 1.1 引言	1
§ 1.2 运筹学的发展概况	1
§ 1.3 建立模型的技巧	2
§ 1.4 运筹学研究的阶段	11

第一部分 线性规划, 动态规划和整数规划

第二章 线性规划的应用	17
§ 2.1 引言	17
§ 2.2 线性规划的应用举例	17
§ 2.3 线性规划的一般定义	34
习题	40

第三章 单纯形法	47
§ 3.1 引言	47
§ 3.2 两个变量线性规划的图解法	47
§ 3.3 单纯形法的制定	49
§ 3.4 单纯形法计算程序的小结	60
§ 3.5 人工变量方法	63
§ 3.6 单纯形法应用的变型	69
习题	80

第四章 对偶问题和最优化后分析	89
§ 4.1 引言	89

§ 4.2	对偶问题的定义	89
§ 4.3	单纯形表格中的最优对偶解	95
§ 4.4	原始与对偶问题的重要性质	101
§ 4.5	对偶单纯形法	109
§ 4.6	最优化后分析或灵敏度分析	111
	习题	122
第五章	运输问题	132
§ 5.1	引言	132
§ 5.2	运输模型	132
§ 5.3	运输模型的应用	152
	习题	160
第六章	线性规划的进一步讨论和参数规划	168
§ 6.1	引言	168
§ 6.2	数学定义	168
§ 6.3	线性规划问题的矩阵定义	170
§ 6.4	线性规划问题的最优解	172
§ 6.5	单纯形法条件的推导	176
§ 6.6	单纯形表格的矩阵形式	181
§ 6.7	有效的计算方法	183
§ 6.8	对偶问题的矩阵形式	209
§ 6.9	参数线性规划	212
	习题	228
第七章	动态规划	238
§ 7.1	动态规划模型的要素	238
§ 7.2	递归方程表示法	243
§ 7.3	动态规划应用的举例	250
§ 7.4	向前和向后计算	260
§ 7.5	动态规划中维数的问题	264
§ 7.6	用动态规划来解线性规划	265

习题	268
第八章 整数规划	274
§ 8.1 整数的最优化	274
§ 8.2 整数规划的一些应用	276
§ 8.3 整数规划的解法	280
§ 8.4 建立整数模型的一般原则	311
习题	312

第二部分 概率模型

第九章 概率论复习	321
§ 9.1 引言	321
§ 9.2 结果、样本空间和事件	321
§ 9.3 概率的定律	322
§ 9.4 随机变量和概率分布	324
§ 9.5 联合概率分布	334
§ 9.6 随机变量的期望和矩	339
§ 9.7 矩母函数	343
§ 9.8 中心极限定理	346
§ 9.9 卷积	347
§ 9.10 随机过程	350
§ 9.11 z 变换	359
习题	365
第十章 决策论和对策	369
§ 10.1 引言	369
§ 10.2 风险型决策	371
§ 10.3 非确定型决策	384
§ 10.4 对策论	390
§ 10.5 展望	406
习题	407

第十一章	工程计划中的统筹方法	415
§ 11·1	引言	415
§ 11·2	箭头(网络)图表示法	417
§ 11·3	关键路线的计算	421
§ 11·4	时间表的编制和资源均衡	426
§ 11·5	工程计划中的概率和成本因素	430
§ 11·6	工程控制	444
	习题	445
第十二章	存储模型	450
§ 12·1	存储问题的定义	450
§ 12·2	需求量的抽象化	453
§ 12·3	确定性模型	455
§ 12·4	随机性模型	488
	习题	511
第十三章	排队论	520
§ 13·1	引言	520
§ 13·2	基本定义和符号	522
§ 13·3	用公理推导普阿松排队的到达和离开分布	529
§ 13·4	普阿松排队模型	536
§ 13·5	非普阿松排队模型	549
§ 13·6	串列排队	552
§ 13·7	排队的决策模型	556
§ 13·8	专题研究	561
§ 13·9	排队论和嵌入马尔科夫链	570
	习题	579
第十四章	模拟	592
§ 14·1	模拟的必要性	592
§ 14·2	模拟的类型	593
§ 14·3	事件型或离散模拟	594

§ 14.4	模拟中的随机现象	598
§ 14.5	模拟中的统计分析	606
§ 14.6	模拟语言	609
§ 14.7	结论	609
	习题	609

第三部分 非线性规划

第十五章	古典最优化理论	615
§ 15.1	引言	615
§ 15.2	无约束的极值问题	615
§ 15.3	有约束的极值问题	623
	习题	650
第十六章	非线性规划的算法	654
§ 16.1	引言	654
§ 16.2	无约束非线性问题的算法	654
§ 16.3	有约束非线性问题的算法	660
	习题	690

附 录

附录 A	向量和矩阵的复习	697
A.1	向量	697
A.2	矩阵	698
A.3	二次型	709
	习题	711
附录 B	微分学基本定理的复习	713
B.1	定义	713
B.2	罗尔(Roll)定理	714
B.3	中值定理	714
B.4	罗必达法则	716

B.5	多项式近似	717
B.6	凸函数和凹函数	721
	习题	721
附录 C	计算普阿松排队公式的一般程序	723
附录 D	部分习题答案	732

第一章 运筹学基础

§ 1.1 引言

这一章提出运筹学(缩写为 OR)的全貌, 它的起源以及研究运筹学的几个基本阶段。这里虽然不可能详细谈到运筹学的各个部分, 但要提出这门学科的统一处理方法, 以此作为解决运筹学问题的一个总的指导思想。因此, 这一章提出了用来表达问题和解决问题的运筹学概况。

§ 1.2 运筹学的发展概况

第二次世界大战期间, 英国军事管理部门邀请了一批科学家来研究与全国的空中和地面防御有关的战略与战术问题。他们的目的是要确定最有效地利用有限的军事资源。其应用包括研究新发明的雷达的使用方法以及新式轰炸机的效能, 这个科学小组的建立标志着第一次正式的运筹学活动。

显然, 运筹学这个名字是由于这个小组在研究(军事)作战问题而采用的。自从它诞生以后, 为了确定最有效地利用有限资源, 各个学科小组应用科学知识使这个新的决策领域形成它自己的特点。

英国作战研究小组所得到的可喜成果促使美国军事管理部门也开始进行类似的活动。在美国小组有成效的应用中, 包括

复杂逻辑问题的研究,新的作战方案的发明,埋设水雷的计划以及电气设备的有效利用。

战后,工业管理家们注意到军事小组的成就,也想用来解决它们的问题。这些问题由于在商业机构中推行职能专门化而变得更加突出了。尽管最初建立专门的职能部门是为机构的整个目标服务,但是这些职能部门的个别目标常常和机构的总目标不一致,这样产生了复杂的决策问题,终于使商业机构要利用运筹学这个有效的工具。

虽然英国是运筹学这门新学科的创造者,但美国在这方面迅速取得了最快的发展速度。第一个在这方面广泛被公认的数学方法称为线性规划的单纯形法,它是在1947年由美国数学家丹捷格(G. B. Dantzig)所制定的。自此以后,经过高等院校和工业界中爱好者的努力和合作,许多新的方法和应用都得到发展。

运筹学学科的发展如此之快,在很大程度上是由于现代数字电子计算机的同时发展,这种计算机在计算速度和信息的储存与检索方面是有巨大能力的。事实上如果没有电子计算机,具有大型计算问题的运筹学就不可能得到目前所许可的各种计算状态。

现在,运筹学的作用可以影响到许多方面,这可由高等院校以各种程度开设这门课程的数目来说明。许多管理的顾问团体目前也进行运筹活动。这些活动已超出军事和商业应用的范围而包括医院,财政机关,图书馆,城市规划,运输系统,甚至罪犯的调查研究等。

§ 1.3 建立模型的技巧

运筹学的研究包括建立一个实际状况的模型。一个运筹学

的模型是一个现实生活系统的一个理想(简化的)表达形式。这个系统可以是已经存在的,也可以是一种还在等待实行的计划。在前一种情况下,模型的目的是分析系统的特性以便改进它的工作效能,在后一种情况,目的则是指出未来系统的最佳结构形式。

现实系统的复杂性是由于控制系统特性的元素(变量)太多,而在引入每一个变量活动的特殊过程中,却产生了一个基本困难。所好的是虽然现实情况可能包含着许多变量,但一般地这些变量中的一小部分却真真支配着系统的特性。因此,用一个模型来简化现实系统主要集中在确定支配变量和统治它们的相互关系。

图 1-1 描绘了从一个现实生活状况产生一个模型结构的抽象过程。通过把控制现实系统特性的支配变量集中的方法从现实状况中抽象出“假定的现实世界”。模型是假定的现实世界的一个抽象,它把这些变量之间的相互关系确定下来,并简化为一个适合于分析的形式。

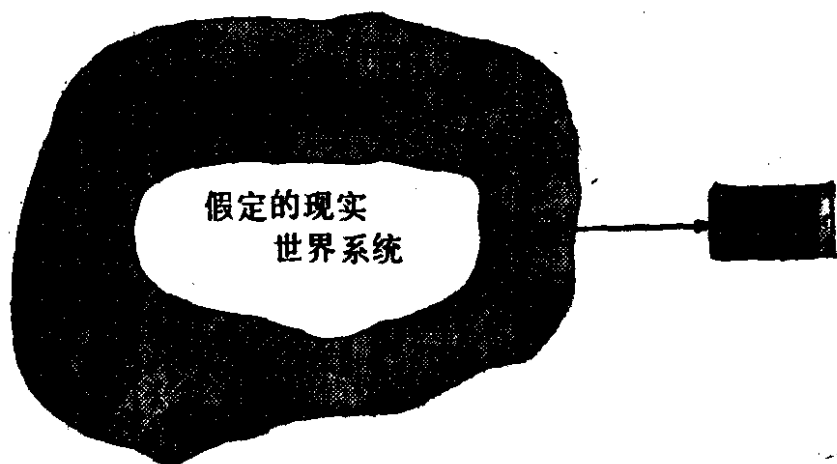


图 1-1

为了了解各种抽象的意义,现在举一个例子。

►例 1·3-1

一种产品的制造,从设计到到达顾客手中总要经过许多工序。在设计被批准后,把生产定单发到生产部门,而生产部门又向材料部门索取必要的材料。材料部门或者从它的库存中满足这种需要,或者向采购部门发出采购单。当产成品完工后,销售部门连同营业部门承担着把产品分配给顾客的责任。

假如目标是要确定工厂的产量。从整个系统来看,我们发现许多变量直接影响着产量。对这些变量举几个例子如下:

1. 生产部门: 现有的机器小时, 现有的人工小时, 机器上所规定的作业顺序, 生产过程中的存货, 次品的件数, 检验率。

2. 材料部门: 现有的材料库存, 购入材料的交货率, 储存限额。

3. 营业部门: 销售预测, 广告的宣传作用, 分配机构的能力, 产品的竞争效果。

以上变量中的每一个都(直接或间接)影响产量。但是企图在这些变量和产量之间建立一个明确的关系是一件困难的工作。

抽象工作的第一步要按照支配变量来确定“假定的现实”系统。稍加考虑后,觉得主要可以用两个变量来表示这个系统:

1. 表示生产率的变量。

2. 表示消费率的变量。

在确定生产率中,象现有机器小时,现有人工小时,作业顺序,材料的可获量等这些变量必须加以考虑以便预测出一个尽可能比较现实的生产率。消费率按照与营业部门有关的变量来确定。换句话说,从“现实”系统到“假定的现实”系统的简化是通过把现实系统中的几个变量归并到假定的现实系统中的一个变量的方法来完成的。

现在按假定的现实系统来考虑问题就比较容易了。根据生产率和消费率, 我们可以对一个给定的产量确定存货剩余或短缺的数量, 这样可以构造一个从假定的系统中抽象出来的模型来分别均衡存货剩余和短缺的成本。当然, 这个模型不是唯一可以从假定的系统抽象出来的。例如, 我们也可以有兴趣来确定最大剩余存货量总在某个上限以内的产量。◀

一般说, 在图 1-1 中, 如何进行抽象并没有固定的规则可以引用。把控制系统的变量减少到相当少的支配变量以及从假定的现实世界中抽象出一个模型, 这与其说是一门科学, 不如说是一种技巧。模型在表示现实系统时的有效性主要决定于运筹学家和在这方面工作人员的创造性、远见和想象力。这种个人的特性不可能用建立模型的固定规则来统一。

虽然不可能提出怎样建立模型的固定规则, 但是提出有关运筹学各种模型的设想, 它们一般的结构和它们一般的特点, 也许还是有些帮助的。这就是本节中其余各小节的主要内容。

1.3.1 运筹学模型的类型

最重要的运筹学模型的类型是符号模型或数学模型。在形成这种模型时, 我们假定所有有关的变量都是可以计量的。因此, 用数学符号来表示变量, 再通过采用适当的数学函数来描绘系统特性从而把这些变量联系起来, 最后用以后各章所说明的各种数学计算方法得到模型的解。

大多数运筹学家认为运筹学这个名词主要是指数学模型。其理由是这样的, 模型适合于数学分析, 而这种分析常常可以用简便的数学工具求出模型“最好的”解。因此对于在运筹学中把极大的注意力集中在制定数学模型上也就不足为怪了。

除数学模型而外, 也利用模拟和试验模型。模拟模型“摹仿”