TURING 图灵数学·统计学丛书 22

PEARSON
Prentice Hall

Operations Research
An Introduction

运筹学导论

初级篇

(第8版)

[美] Hamdy A. Taha 著
薛毅 刘德刚 朱建明 侯思祥 译
韩继业 审校

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

TURING 图灵数学·统计学丛书 22

Operations Research An Introduction

运筹学导论

初级篇

（第 8 版）

[美] Hamdy A. Taha 著
薛毅 刘德刚 朱建明 侯思祥 译
韩继业 审校

人民邮电出版社
北 京

图书在版编目(CIP)数据

运筹学导论：第 8 版，初级篇/(美)塔哈(Taha, H. A.)
著；薛毅等译. —北京：人民邮电出版社，2008. 8
(图灵数学·统计学丛书)
书名原文：Operations Research: An Introduction
ISBN 978-7-115-18150-3
Ⅰ. 运… Ⅱ. ①塔… ②薛… Ⅲ. 运筹学 Ⅳ. O22
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 071809 号

内 容 提 要

本书是运筹学方面的经典著作之一，为全球众多高校采用. 初级篇共 12 章，内容包括线性规划建模、单纯形方法和灵敏度分析、对偶性和后最优分析、运输模型及其变型、网络模型、目标规划、整数线性规划、确定性动态规划、确定性库存模型、决策分析和对策论、排队系统等，并附有 AMPL 建模语言简介.

本书可作为经营类专业、数学专业和计算机专业本科生的教材，也可供相关研究人员参考.

图灵数学·统计学丛书

运筹学导论：初级篇(第 8 版)

◆ 著　[美] Hamdy A. Taha
译　薛 毅　刘德刚　朱建明　侯思祥
审校　韩继业
责任编辑　张继发
◆ 人民邮电出版社出版发行　北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061　电子函件 315@ptpress.com.cn
网址：http://www.ptpress.com.cn
北京隆昌伟业印刷有限公司印刷
◆ 开本：700×1000　1/16
印张：33
字数：726 千字　2008 年 8 月第 1 版
印数：1–3 000 册　2008 年 8 月北京第 1 次印刷

著作权合同登记号　图字：01-2006-5777 号

ISBN 978-7-115-18150-3/O1

定价：69.00 元

读者服务热线：(010)88593802　印装质量热线：(010) 67129223

反盗版热线：(010)67171154

版权声明

译者序

运筹学起源于 20 世纪二次大战期间, 是一门应用性很强的学科. 1938 年, 英国皇家空军部门在 Bawdsey 成立了一个从事作战研究的科学家小组, 小组的科学家把他们的研究工作称为 “operational research” (“operation” 在军事术语中意为 “作战”). 这是 “运筹学” 一词最早出现于文献的时间. 二战中英军每一个大的指挥部大都成立了这种运筹研究小组. 之后, 美国和加拿大的军事部门也成立了若干运筹研究小组 (美国称这种研究工作为 “operations research”). 他们广泛地研究有关战果评价、战术革新、技术援助、战略选择和战术计划等问题. 二战期间英、美、加等国军事部门的运筹研究小组的工作为同盟国战胜德、意、日等轴心国做出了卓越的贡献. 但对于人类社会的科学进程而言, 这些科学家的集体工作和智慧开创了一门崭新的学科 —— 运筹学.

体现运筹学思想和方法的某些早期先驱性的研究工作, 可以追溯到 20 世纪初期. 例如, 1908 年丹麦工程师埃尔朗提出的电话话务理论是运筹学中排队论 (queueing theory) 的起源; 1916 年英国的兰彻斯特提出的战斗模型方程是军事运筹学早期的一项重要成果; 1939 年前苏联数学家坎托罗维奇在 *The Mathematical Method of Production Planning and Organization* 一书中, 开创性地提出线性规划, 并研究了工业生产的资源合理利用和计划等问题, 这一卓越贡献使他获得了 1975 年诺贝尔经济学奖; 基本的对策均衡的思想可追溯到 1838 年库尔诺的文章; 1913 年德国的策梅洛提出了抽象战略对策的数学模型; 1928 年冯 · 诺伊曼提出了关于二人零和对策的解的一般理论. 这些都是关于对策论的早期研究. 上述这些先驱性成就对以后运筹学的发展有着深远的影响.

二战以后, 美国等国家的军事部门保留和调整了运筹研究组, 人员编制得到了扩大, 运筹学有了新的发展. 1949 年美国成立了著名的兰德 (RAND) 公司. 与此同时, 许多运筹学工作者从军方转入企业、大学或政府部门. 在新的更广阔的环境中, 运筹学的应用研究和理论研究得到了迅速发展, 多年来它已为欧美等国创造了数以亿计的社会财富.

简略地说, 运筹学的研究对象是现实世界中的运行系统, 这些运行系统的设计和运转受到管理人员决策的影响和作用. 运筹学创造出一些理论 (包括数学模型) 和方法, 用来描述和分析这些运行系统的现象、性质和变化, 以寻求影响和作用于运行系统的设计与运转的最有效 (最优) 的决策, 发挥有限资源的最大效益, 使得运行系统达到总体最优的目标.

半个世纪以来, 运筹学在研究和解决各种复杂的实际问题中不断地得到创新和发展, 新模型、新理论和新方法不断涌现, 至今它已成为一个庞大的学科, 包括线性的和非线性的、连续的和离散的、确定性的和不确定性的许多分支. 运筹学的基本方法中有数学方法、统计学方法、模拟 (仿真) 方法、计算机科学方法等, 其中各种

优化方法处于非常重要的地位.

运筹学的非凡价值使得许多国家的大学里的运筹学系、管理科学系、经济学系、工业工程系、系统科学系、数学系、计算科学系等早已开设了关于运筹学及其一些分支学科的课程. 我国的情况也大致如此. 从适应于不同院系专业的学生学习运筹学的角度来考虑, 一本好的运筹学基础的教科书十分重要. 在国外关于运筹学基础的诸多教材中, Hamdy A. Taha 著的 *Operations Research, An Introduction* 是非常优秀的一本. Taha 是美国阿肯色大学工业学院工业工程教授, 世界知名运筹学家. 他著的 *Operations Research, An Introduction, Preliminary edition* 出版于 1968 年. 此书经过多次修改与扩增, 今年已出版了第 8 版. 该书被世界上多所大学采用为运筹学基础教材, 已有西班牙文、日文、俄文、土耳其文、印尼文等多种译本出版. 它有 3 大重要特色. 一是内容广泛、取材得当. 连同附带的光盘, 共有 24 章和 5 个附录, 内容涉及线性规划、运输问题、网络问题、目标规划、整数规划、动态规划、库存问题、非线性规划等确定性运筹分支, 以及随机动态规划、随机库存问题、排队系统、马尔可夫决策过程、决策分析、对策论、模拟问题、预报问题等随机性运筹分支. 这些内容覆盖了迄今运筹学所研究的大部分重要问题. 该书在取材上首先是重视对上述运筹问题的基本知识的讲解, 但对某些问题也包括了较高深的内容, 以满足不同读者的需要. 二是突出实用性. 书中各章总是通过若干实际问题的求解来引导出所要讲的运筹问题的数学模型. 这既凸显出这些运筹问题的实际背景, 也使读者可学到如何进行建模. 第 24 章详细地介绍了 15 个实际应用案例, 运用了多种运筹学技术进行建模、数据采集以及求解计算等. 附录 E 还收录了近 50 个应用例子. 作者精心收集和分析的这些实例来源于工业、商业、金融、社会、体育、娱乐等许多行业, 是很好的运筹学教学资料. 三是计算方法与软件相结合. 全书大量使用教学辅助软件 TORA、电子表格程序 Excel 及 AMPL 等. 读者可以利用这些软件工具对所学的模型和计算方法进行计算和检验.

在我国, 运筹学基础一类的图书拥有大量读者, 这类图书的累计销售量有的已达几十万册. 但国内目前这类图书只有很少几种. 2006 年人民邮电出版社图灵公司邀我们翻译新出版的《运筹学导论》(第 8 版), 这体现了出版社对发展我国运筹学的重视. 由于书的篇幅宏大, 有 1 000 多页, 中译本分成上下两册出版. 上册包括原书中属于基础部分的 12 章, 下册包括属于提高部分的 12 章. 每册均可用作一个学期的教材. 本书第 2, 3, 4, 13 章及附录 A 由薛毅教授翻译, 第 5 章由侯思祥教授翻译, 第 6, 7, 8, 16, 20 章及附录 C 由朱建明博士翻译, 其余各章及附录 B, D, E 由刘德刚博士翻译, 由我校阅. 中译本难免有疏漏和翻译不妥之处, 敬请读者给予指正.

韩继业

2007 年 5 月于中科院

前　言

本书第 8 版对内容作了很多的修订，在教材的编排上突出反映运筹学中的应用问题和计算方法.

- 第 2 章通过城市规划、货币套利交易、投资、生产计划、混合配比、排序以及下料等实际问题的应用，主要介绍了线性规划的建模. 新增加的习题也涉及从水质管理、交通控制到军事领域等多个运筹问题.
- 第 3 章以一种简单和直接的方式介绍了一般性的线性规划灵敏度分析，包括对偶价格和简约费用 (reduced cost)，作为单纯性表计算部分的直接扩充.
- 本版的第 4 章主要是基于对偶性进行线性规划最优化后的分析.
- 针对旅行商问题 (Traveling Salesperson Problem, TSP)，介绍了一个基于 Excel 的组合式最近邻点反向启发式算法.
- 新增的第 17 章扩充了马尔可夫链的处理方法.
- 在全新的第 24 章里，详细介绍了 15 个实际应用案例. 对这些案例的分析通常涉及多种 OR 技术 (例如启发式算法和线性规划，或者线性整数规划和排队论)，用来进行建模、数据采集以及问题的求解计算等. 这些应用问题在相关的各章里都有引用，让读者能够充分了解实际生活中如何运用运筹学技术.
- 新的附录 E 收录了按照章节排列的约 50 个小型实用问题的例子.
- 本书还布置了 1 000 多个节后习题，其中题前标有星号 (*) 的表示附录 C 给出了相应的答案.[①]
- 每章开头都有**本章导读**，帮助读者了解教材内容，有效利用附带的软件程序.
- 把教材与软件相结合可以让读者对需要深入介绍的概念进行实际检验：
  1. 全书都用到了 Excel 程序，包括动态规划、旅行商问题、库存问题、层次分析法、贝叶斯概率、“电子化”统计表、排队问题、模拟、马尔可夫链以及非线性规划等. 一些程序中的交互式用户输入功能有助于对相应方法的更好理解.
  2. 对 Excel 规划求解程序的使用扩展到了全书，特别用在线性规划、网络规划、整数规划和非线性规划问题.
  3. AMPL® 是一种强大的商业化建模语言，本书将 AMPL 结合在大量的例题中，这些例子涉及线性、网络、整数和非线性规划问题. 附录 A 给出了 AMPL 的语句规则以及本书例题中所引用的语言素材.
  4. 本书中，TORA 仍然充当教学软件的重要角色.
- 所有与计算机相关的材料都相对独立，有的作为单独的章节，有的按照标题

① 原书附录 C 拆分到上、下两册. 本书将不包含习题答案，读者可到图灵网站 (www.turingbook.com) 免费注册下载. —— 编者注

优化方法处于非常重要的地位.

运筹学的非凡价值使得许多国家的大学里的运筹学系、管理科学系、经济学系、工业工程系、系统科学系、数学系、计算科学系等早已开设了关于运筹学及其一些分支学科的课程. 我国的情况也大致如此. 从适应于不同院系专业的学生学习运筹学的角度来考虑, 一本好的运筹学基础的教科书十分重要. 在国外关于运筹学基础的诸多教材中, Hamdy A. Taha 著的*Operations Research, An Introduction* 是非常优秀的一本. Taha 是美国阿肯色大学工业学院工业工程教授, 世界知名运筹学家. 他著的*Operations Research, An Introduction, Preliminary edition* 出版于 1968 年. 此书经过多次修改与扩增, 今年已出版了第 8 版. 该书被世界上多所大学采用为运筹学基础教材, 已有西班牙文、日文、俄文、土耳其文、印尼文等多种译本出版. 它有 3 大重要特色. 一是内容广泛、取材得当. 连同附带的光盘, 共有 24 章和 5 个附录, 内容涉及线性规划、运输问题、网络问题、目标规划、整数规划、动态规划、库存问题、非线性规划等确定性运筹分支, 以及随机动态规划、随机库存问题、排队系统、马尔可夫决策过程、决策分析、对策论、模拟问题、预报问题等随机性运筹分支. 这些内容覆盖了迄今运筹学所研究的大部分重要问题. 该书在取材上首先是重视对上述运筹问题的基本知识的讲解, 但对某些问题也包括了较高深的内容, 以满足不同读者的需要. 二是突出实用性. 书中各章总是通过若干实际问题的求解来引导出所要讲的运筹问题的数学模型. 这既凸显出这些运筹问题的实际背景, 也使读者可学到如何进行建模. 第 24 章详细地介绍了 15 个实际应用案例, 运用了多种运筹学技术进行建模、数据采集以及求解计算等. 附录 E 还收录了近 50 个应用例子. 作者精心收集和分析的这些实例来源于工业、商业、金融、社会、体育、娱乐等许多行业, 是很好的运筹学教学资料. 三是计算方法与软件相结合. 全书大量使用教学辅助软件 TORA、电子表格程序 Excel 及 AMPL 等. 读者可以利用这些软件工具对所学的模型和计算方法进行计算和检验.

在我国, 运筹学基础一类的图书拥有大量读者, 这类图书的累计销售量有的已达几十万册. 但国内目前这类图书只有很少几种. 2006 年人民邮电出版社图灵公司邀我们翻译新出版的《运筹学导论》(第 8 版), 这体现了出版社对发展我国运筹学的重视. 由于书的篇幅宏大, 有 1 000 多页, 中译本分成上下两册出版. 上册包括原书中属于基础部分的 12 章, 下册包括属于提高部分的 12 章. 每册均可用作一个学期的教材. 本书第 2, 3, 4, 13 章及附录 A 由薛毅教授翻译, 第 5 章由侯思祥教授翻译, 第 6, 7, 8, 16, 20 章及附录 C 由朱建明博士翻译, 其余各章及附录 B, D, E 由刘德刚博士翻译, 由我校阅. 中译本难免有疏漏和翻译不妥之处, 敬请读者给予指正.

韩继业

2007 年 5 月于中科院

目录

第 1 章 什么是运筹学

本章导读 最早期的较为正式的运筹学 (Operations Research, OR) 活动出现在第二次世界大战时期, 当时有一批英国的科学家着手研究如何利用科学方法进行决策, 以最佳地利用战时的资源. 战后, 人们对军事作战中提出来的这些运筹学思想进行了改进, 使之用于民用领域以提高工作效率和生产力.

本章将让你熟悉运筹学的基本术语, 包括数学建模、可行解、最优化和迭代运算等基本概念. 你将会了解到, 对问题做出正确的定义是运用运筹学最重要 (也是最困难) 的一步. 本章还强调, 虽然数学建模是运筹学最基本的工作, 但在最终决策时还必须考虑到一些无形的因素 (不能定量化的因素, 如人的行为). 随着对本书的学习, 你会接触到各式各样的应用实例, 有解题的例子, 也有各章的习题. 特别是第 24 章 (在下册), 全部是精心编制的案例分析. 各章内容均与这些案例互相配合, 以充分展现运筹学在实际中的运用情况.

1.1 运筹学模型

设想你有一项工作任务, 需要 5 周完成, 其间要往返于 Fayetteville (FYV) 与 Denver (DEN) 之间. 每个星期一你都要乘飞机从 Fayetteville 出发, 星期三返回. 普通的往返机票价格是 400 美元, 但如果机票往返期间内跨越周末的话, 则可以享受 20% 的票价折扣. 不论去程还是回程, 一张单程机票的价格都是普通往返机票的 75%. 那么, 你应该如何购买这 5 周期间的机票呢?

可以把这个例子看作是一个决策问题, 要求解这个问题需要回答 3 个提问:

(1) 都有哪些可能的**决策方案**?

(2) 是在什么**限制条件**下作出这个决策的?

(3) 评价这些方案的**目标评判标准**是什么?

考虑 3 种可能的决策方案:

(1) 购买 5 张普通的 FYV-DEN-FYV 往返机票, 每周星期一出发, 星期三返回.

(2) 购买 1 张 FYV-DEN 的单程机票和 4 张跨越周末的 DEN-FYV-DEN 往返机票, 再买 1 张 DEN-FYV 单程机票.

(3) 先购买 1 张第一周星期一出发、最后一周星期三返程的 FYV-DEN-FYV 往返票, 再买 4 张跨周末的 DEN-FYV-DEN 往返机票. 这一方案中所有机票都至少跨越一个周末.

对这些方案的限制条件都是，你必须要每周星期一从 FYV 出发，并在本周的星期三返回。

评价所提出的各种方案的一个明显的目标评判标准就是购买这些机票的总费用，花费最少的方案最佳。针对上述 3 种方案，我们有

方案 1 的费用 $= 5 \times 400 = \$2\,000$

方案 2 的费用 $= 0.75 \times 400 + 4 \times (0.8 \times 400) + 0.75 \times 400 = \$1\,880$

方案 3 的费用 $= 5 \times (0.8 \times 400) = \mathbf{\$1\,600}$

因此，你应该选择方案 3。

虽然上述例子表明了运筹学模型的 3 个主要的构成部分，即备选方案、目标评判标准和约束条件，但在对每个部分如何进行详细构造时会遇到各种各样的情况。为了说明这一点，我们考虑用一段长度为 L 英寸的电线来围成一个矩形，要让这个矩形的面积最大，它的长和宽各应该取多少呢？

和购买机票的例子不同的是，现在这个例子中的可能方案数不是有限个，因为矩形的长和宽可能有无限多个值。为了把这个问题用公式表示出来，我们把长和宽定义成两个连续的 (代数) 变量，用来标识该问题的所有可能方案。

令 $w =$ 用英寸表示的矩形长；$h =$ 用英寸表示的矩形宽。

根据这些定义，问题的限制条件可以叙述为

(1) 矩形长 + 矩形宽 = 电线长度的一半； (2) 长和宽不能为负值。

这些限制条件可用代数形式表示成

(1) $2(w+h) = L$； (2) $w \geqslant 0, h \geqslant 0$。

现在剩下的部分就是问题的目标了，即让矩形的面积最大。令 z 为该矩形的面积，则整个模型就变成了

$$
\begin{aligned}
\max \quad & z = wh \\
\text{s.t.} \quad & 2(w+h) = L, \quad w,\ h \geqslant 0
\end{aligned}
$$

这个模型的最优解为 $w = h = \frac{L}{4}$，它要求构造的是一个正方形。

基于前面的两个例子，一般的运筹学模型可以组织成下面的通用格式：

max 或 min	**目标函数**
s.t.	**约束条件**

一个模型的解如果满足所有的约束条件，则称它是**可行的** (feasible)；如果既是可行的，且又取得了目标函数的最佳 (最大或者最小) 值，则称它是**最优的** (optimal)。在购机票的例子中，该问题提出了 3 个可行的方案，第 3 个方案得到了最优解。而在构造矩形的例子中，可行方案必须满足条件 $w + h = \frac{L}{2}$，w 和 h 取非负值。这样就产生了无穷多个可行解，和购机票问题不同的是，这一最优解是通过适当的数学工具求出来的 (在这个例子中，我们用了微积分方法)。

虽然运筹学模型是要在一组约束条件下, 使得某一具体的目标评判标准达到"最优", 但它所得出的解的质量取决于模型对实际问题刻画的完全性. 以购机票问题为例, 假如我们不能够找出购买机票的所有方案的话, 那么所得到的解只相对于所选模型是最优的. 具体说, 假如方案 3 没有包括在模型中, 那么所得到的"最优"解就是要用 1 880 美元来购买这些机票, 这只是一个**次最优** (suboptimal) 解. 我们的结论是, 一个模型的"最优"解只是对这个模型是最好的, 只有当这个模型恰当地表达了实际问题时, 它的解对于实际问题才是最优的.

习题 1.1A

1. 在购买机票例子中, 找出第 4 种可能的方案.

2. 在构造矩形例子中, 找出两个可行解, 并计算哪一个更好.

3. 求出构造矩形问题的最优解. (提示: 利用约束方程表示出单变量的目标函数, 然后用微积分求解.)

4. Amy、Jim、John 和 Kelly 正站在一条河的东岸, 想用木筏划到河的西岸去. 木筏每次最多能坐两个人, Amy 身体最棒, 她能在 1 分钟内划过河, 而 Jim、John 和 Kelly 分别需要用 2 分钟、5 分钟和 10 分钟划过对岸. 假如有两个人在木筏上, 过河时间按照较慢的人算. 目标是要用尽可能短的时间让这 4 个人都过到河的对岸.

(a) 找出至少两个可行的过河方案 (记住, 木筏是唯一的交通方式, 而且不允许放空船).

(b) 定义评价各方案的评判标准.

***(c)** 把 4 个人都渡到对岸的最短时间是多少?

***5.** 在棒球比赛中, Jim 当投手, Joe 是击球队员. 假设 Jim 可随机投出快球或曲线球. 如果 Joe 能够正确判断出一个曲线球的话, 他就能保持 0.5 的平均击中率; 否则假如 Jim 投出一个曲线球, 而 Joe 按照快球来准备的话, 他的平均击中率则下降到 0.2. 另一方面, 如果 Joe 正确地判断出快球, 他能达到 0.3 的平均击中率; 否则, 他的击中率仅有 0.1.

(a) 针对上述情况, 找出可能的方案.

(b) 求该问题的目标函数, 并讨论它和我们熟悉的对某一评判标准的最优化 (最大化或最小化) 有什么不同.

6. 在建造一幢房子时, 共有 6 根 24 英尺长的地板龙骨, 每根都必须切割成 23 英尺长的成料, 切割龙骨的操作步骤如下:

操作步骤	所需时间 (秒)
(1) 把龙骨放置到锯床上	15
(2) 量出所需的长度 (23 英尺)	5
(3) 标画出圆锯切割线	5
(4) 把龙骨切割成所需的长度	20
(5) 把切好的龙骨堆放到指定的区域	20

这项作业需要 3 名工人操作: 两名装料工必须同时操作第 1 步、第 2 步和第 5 步, 一名切割工负责第 3 步和第 4 步操作. 共有两对锯床, 待锯的龙骨放在上面准备切割, 每对锯床最多可并排放置 3 根龙骨. 请给出切割这 6 根龙骨的一个好的工序安排方案.

1.2 运筹学模型的求解

在 OR 中, 我们并没有一种万能的技术能求解出实践中可能出现的所有数学模型. 恰恰相反, 数学模型类型的多样性和复杂程度的各异性决定了求解方法迥异的特性. 例如在 1.1 节中, 为求出购票问题的解, 只要对各方案按照机票总费用排个顺序就行了; 而对于构造矩形问题的求解, 就需要利用微积分来确定最大的面积.

线性规划(linear programming) 是最常用的 OR 技术, 专门用于带有线性目标函数和约束函数的模型. 其他方法还有**整数规划**(integer programming)(变量取整数值)、**动态规划**(dynamic programming)(初始模型可分解成多个较小的子问题)、**网络规划**(network programming)(问题可以刻画成一个网络), 以及**非线性规划** (nonlinear programming)(模型的函数是非线性的). 还有许许多多的其他运筹学方法.

大多数运筹学技术的一个特性是, 问题的解常常不是通过某种 (像解析式一样的) 闭形式 (closed form) 得到的, 而是利用某些**算法** (algorithm) 求出来的. 算法提供一些固定的计算规则, 利用它反复对问题进行计算, 每次重复计算 [称为**迭代** (iteration)] 所得到的解都向最优解逐步靠近. 由于每次迭代的计算往往都是类似的, 计算量又大, 这些算法必须在计算机上运行.

有些数学模型可能非常复杂, 已有的最优化算法都无法求出最优解来. 在这种情况下, 可能必须放弃寻找*最优解*, 这就需要利用某些**启发式算法**或某些*经验方法*, 找到一个*较好的解*.

1.3 排队模型和模拟模型

排队和模拟用于研究等待队列, 它们不属于最优化技术, 而是用来度量等待队列的性能, 例如队列中的平均等待时间、服务的平均等待时间, 以及服务设施的利用率等.

排队模型利用概率论和随机模型对等待队列进行分析, 模拟则是通过模仿实际系统的行为, 来估计这些性能指标. 从某种意义上, 模拟可以被认为是观察实际系统的一种最好的方法. 排队和模拟之间的主要差别在于, 排队模型是纯数学的, 因此不得不服从于具体的假设, 这就限制了它们的应用范围, 而模拟却非常灵活, 可用来分析任何实际的排队情形.

模拟的使用也并非没有缺点. 建立模拟模型的过程既费时又费力, 此外, 即使在最快的计算机上运行模拟模型, 通常也很慢.

1.4 建模的艺术

1.1 节中所建的示例模型是对实际情况的真实表达, 这在运筹学中是很少出现的, 因为大多数应用问题中, 通常都涉及 (不同程度的) 各种近似. 图 1.1 表示运筹学建模过程中表现出来的抽象水平. 我们把注意力放在控制实际系统行为的主要变量上, 从真实情况中抽象出假定的实际系统. 这样的模型用某种可处理的方法, 表达出代表这个假定的实际系统行为的数学模型.

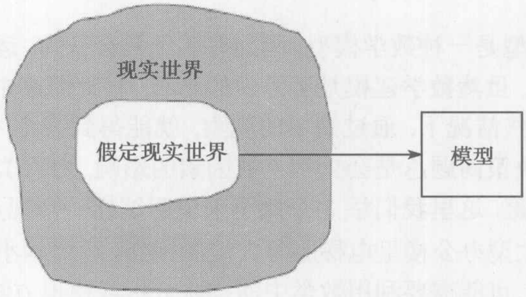

图 1.1 建模中的抽象水平

为了说明建模中的不同抽象水平, 我们以 Tyko 制造公司为例. 该公司生产各种塑料容器制品, 当一份生产订单下达到生产部门时, 必要的原材料要从公司的库存获得或从外面购买. 一旦完成了批量生产以后, 销售部门负责向客户分销这些产品.

在对 Tyko 公司的情况进行分析时, 一个自然的问题是要决定生产批量的大小. 那么, 如何用模型来表达这个问题呢?

考察整个系统后我们发现, 有许多变量都可以直接用来表示生产水平, 下面是按照部门分类的一部分变量:

(1) 生产部门: 用现有机器、工人工作时间、半成品库存量, 以及质量控制标准表示的生产能力.

(2) 原材料部门: 现有原材料库存量、采购供货安排、库存限量.

(3) 销售部门: 销售预测、分销网能力、广告促销能力和竞争效果.

在这些变量中, 每一个都影响着 Tyko 公司的生产量水平, 要想在这些变量与产量水平之间建立起明确的函数关系的确并非易事.

第一个抽象水平需要定义出假定实际系统的边界. 通过仔细分析, 我们可以用下面两个主要变量来近似描述实际系统:

(1) 生产率; (2) 消费率.

计算生产率要用到生产能力、质量控制标准、现有原材料等一些变量, 消费率则可以从与销售部门有关的变量中算出. 本质上, 从现实世界到假定现实世界的简化, 是通过把多个现实世界变量"简化"成某个单一的假定现实世界变量来实现的.

这样, 从假定的现实世界抽象出一个模型就比较容易了. 从生产率和消费率中, 就可以建立起库存剩余或不足的度量, 然后就可以建立起抽象出来的模型, 用来平衡库存过剩或库存短缺所引起的冲突成本, 使得库存的总费用达到最少.

1.5　仅有数学是不够的

由于运筹学模型是一种数学模型, 因此有人经常会认为, 运筹学的运用*总是*要根植于数学的分析. 虽然数学建模是运筹学的基石, 但我们首先还是应该运用一些简单的方法. 在一些情况下, 通过简单的观察, 就能得到某个"*常识性的*"解. 其实, 由于大多数的决策问题总是会受到人的因素的影响, 对人类心理的研究可能就成为解决问题的关键. 这里我们举 3 个例子来说明这样一个观点:

(1) 针对某个大型办公楼里电梯服务太慢的抱怨, 运筹学小组一开始觉得这是一个等待队列问题, 可能需要利用数学中的排队分析或模拟方法来解决. 在对提出这些抱怨的人们的行为进行研究以后, 小组里的心理学专家提议, 在电梯口安装一些落地镜子. 不可思议的是, 这些抱怨随之消失了, 因为人们在等待电梯时, 只顾着自己照镜子了.

(2) 一个美加联合专家小组用排队论对英国某大机场值机柜台的实际情况进行研究和分析. 建议在适当位置放置一些指示牌, 以便让离登机时间不足 20 分钟的紧急旅客可以直接排到队首, 申请即刻办理登记手续. 但这个解决办法并不奏效, 因为大部分旅客是英国人, 他们"习惯于非常严格的排队行为", 因此不愿意插到其他排队旅客的前面.

(3) 在某钢铁厂, 先用铁矿石炼出钢锭, 然后用来制造钢条和钢梁. 管理人员注意到, 从钢锭生产到运送到下一个生产环节 (制成最终产品) 之间, 要耽误很长的时间. 在理想情况下, 为了降低重新加热的成本, 应该在钢锭离开熔炉后马上开始钢梁的制造. 一开始, 这个问题被看成是一个生产线均衡问题, 为解决这个问题, 要么减少钢锭的产量, 要么提高制造过程的能力. 运筹学小组利用了简单的图表, 把每天三班期间炼炉的产量进行汇总, 他们发现, 即使第三班从晚上 11 点就开始, 但大部分的钢锭还是在早上 2 点到 7 点之间生产出来的. 进一步调查还发现, 第三班工人愿意在刚开始接班的时候多休息一会儿, 因此造成了早班产量的下降. 最终问题的解决方案是, 让整个第三班期间的钢锭产量"均衡"下来.

从上述这些例子中我们可以得出 3 个结论:

(1) 在着手构造复杂的数学模型之前, 运筹学专家应该探讨是否能用"突破常