

运筹学

概率模型应用范例与解法

第 4 版

Operations Research Introduction to Probability Models

Wayne L. Winston 著

李乃文 崔群法 林细财 周辉 等译

运筹学

概率模型应用范例与解法

第 4 版

Operations Research
Introduction to Probability Models

Wayne L. Winston 著

李乃文 崔群法 林细财 周辉 等 译

清华大学出版社
北京

Wayne L. Winston

Operations Research: Introduction to Probability Models(Fourth Edition)

EISBN:0-534-40572-X

Copyright © 2004 by Brooks/Cole, a division of Thomson Learning

Original language published by Thomson Learning (a division of Thomson Learning Asia Pte Ltd). All Rights reserved.

本书原版由汤姆森学习出版集团出版。版权所有,盗印必究。

Tsinghua University Press is authorized by Thomson Learning to publish and distribute exclusively this Simplified Chinese edition. This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only (excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan). Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. No part of this publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

本中文简体字翻译版由汤姆森学习出版集团授权清华大学出版社独家出版发行。此版本仅限在中华人民共和国境内(不包括中国香港、澳门特别行政区及中国台湾)销售。未经授权的本书出口将被视为违反版权法的行为。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

978-981-254-829-0

北京市版权局著作权合同登记号 图字 01-2004-6862 号

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有 Thomson Learning(汤姆森学习出版集团)防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

运筹学——概率模型应用范例与解法(第4版)/(美)温斯顿(Winston, W. L.)著;

李乃文等译.—北京:清华大学出版社,2006.8

书名原文:Operations Research: Introduction to Probability Models(Fourth Edition)

ISBN 7-302-13319-0

I. 运… II. ①温… ②李… III. 运筹学 IV. 022

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 073241 号

出版者:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦

<http://www.tup.com.cn> 邮 编:100084

社总机:010-62770175 客户服务:010-62776969

组稿编辑:冯志强

文稿编辑:林都佳

印刷者:北京嘉实印刷有限公司

装订者:三河市兴旺装订有限公司

发行者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×260 印张:45.25 字数:1125 千字

版 次:2006年8月第1版 2006年8月第1次印刷

书 号:ISBN 7-302-13319-0/TP·8297

印 数:1~3000

定 价:88.00 元

前 言

当今世界,如何模拟不确定性的知识在做出良好决策时非常有用。本书综合介绍了各种各样的问题,以及模拟和分析这样的决策所要求使用的技术。最近几年,模拟和解决涉及不确定性问题的软件日益普及。其用法的讲述将贯穿本书始终。但是,像大多数工具一样,只有用户了解了其应用和目的,它才是有用的。用户必须确保数学输入准确反映需要解决的现实问题,并正确运用数值结果来解决这些问题。本书注重阐述如何正确应用这些方法所需要的理论。但是,本书的焦点最终是如何将概率论方法应用于实际问题。本着这一目的,本书着重介绍了建模和软件输出的解释。

面向读者

本书针对学习过初级微积分以及概率论与统计学预备课程的高年级大学生或刚入学的研究生。不要求正式学习过概率论。第1章回顾了本书所需要的关于概率论和微积分的知识。

本书着重讲述了概念的开发,并通过生产、金融和操作领域的应用说明了这些概念。本书扩展了《运筹学——应用范例与解法》中所讲述的概率模型,并更加综合地介绍了一些流行的概念。本书应该适用于下列课程:

- 企业管理学系、运筹学系、数学系、商业学校,以及雇主财务计划中提供的概率论模型或随机过程中的课程。
- 运筹学系列中的第二门课程。
- 为导引性课程提供足够材料的财务工程学中的课程。

范围和结构

本书是完全独立的;第1章回顾了所有必要的数学背景。各章都是模块化的,这使教师能够根据其需要来调整各章节的顺序。对于掌握了运筹学基础知识的读者,我们指出了自第3版以来增加的新内容。本书包含800个问题,包括原有运筹学书籍中没有出现过的200个新问题。

第1章回顾了微积分和基本概率论中的一些主题,本书后面的章节将始终需要这些主题。本章包括矩母函数和Excel正态分布函数的用法。

第2章讲述了进行不确定决策的典型方法,包括决策树和效用理论等主题。它讨论了Kahneman获得诺贝尔奖的关于不确定决策的著作。还包括用于多目标决策的层次分析法。

第3章和第4章讲述了运筹学中所讲述的确定性和随机性库存模型。

第5章讲述了离散时间马尔可夫链。

第6章和第7章更新了运筹学中所讲述的确定性和随机性动态规划。

第8章是排队论的以前资料的扩充学习。

第9章介绍了模拟技术的基本概念。

第10章说明如何使用功能强大的、用户友好的模拟软件包 Process Model 模拟排队系统。

第11章介绍进行蒙特卡罗模拟的 Excel 插件@Risk。其应用范围包括资金预算、项目管理和可靠性。

第12章介绍了使用 Excel 数据表和 OFFSET 在移动平均预测中最优化周期的数量。

第13章介绍了期权定价论中的一些重要主题,包括实际选择在资金预算中的使用。

第14章开发了资产组合最优化的场景方法。

第15章介绍了预测模型的知识。

第16章介绍了随机运算和随机控制。它讲述了 Ito 引理,并记录了 Black-Scholes 期权定价公式的最初推导过程。

计算机的运用

- @Risk。由 Palisade 公司开发,一种专业的用于 Excel 的蒙特卡罗模拟插件。
- Riskoptimizer。在模拟模型中采用最优化的软件。它的特点见第12章。
- Process Model。一种易于学习和使用的离散事件模拟软件。它的说明见第11章。

Process Model 由 Process Model 公司提供。

致谢

非常感谢第2版的审阅者,他们的意见大大提高了原稿的质量:Esther Arkin, State University of New York at Stony Brook; James W. Chrissis, Air Force Institute of Technology; Rebecca E. Hill, Rochester Institute of Technology; 以及 James G. Morris, University of Wisconsin。

目 录

第 1 章 微积分和概率论	1
1.1 积分	1
1.2 积分求导	4
1.3 概率的基本法则	4
1.4 贝叶斯法则	7
1.5 随机变量、均值、方差和协方差	9
1.5.1 离散型随机变量	9
1.5.2 连续型随机变量	10
1.5.3 随机变量的均值和方差	12
1.5.4 独立随机变量	13
1.5.5 两个随机变量的协方差	13
1.5.6 随机变量之和的均值、方差与协方差	14
1.6 正态分布	16
1.6.1 正态分布的重要性质	17
1.6.2 利用标准化求正态概率	17
1.6.3 利用 Excel 求正态概率	20
1.7 z 变换	24
1.8 本章小结	26
1.8.1 确定不定积分的公式	26
1.8.2 对积分求导的莱布尼兹法则	27
1.8.3 概率	27
1.8.4 贝叶斯法则	27
1.8.5 随机变量、均值、方差和协方差	27
1.8.6 正态分布的重要性质	28
1.8.7 z 变换	29
1.9 复习题	29
第 2 章 不确定决策	31
2.1 决策准则	31
2.1.1 受支配动作	32
2.1.2 悲观准则	32

2.1.3	乐观准则	33
2.1.4	遗憾准则	33
2.1.5	预期值准则	34
2.2	效用理论	35
2.2.1	冯·诺依曼-摩根斯坦公理	39
2.2.2	为什么我们可以假设 $u(\text{最坏结果})=0$ 和 $u(\text{最好结果})=1$	40
2.2.3	评估一个人的效用函数	42
2.2.4	一个人的效用函数和他或她面对风险的态度之间的关系	43
2.2.5	指数效用函数	47
2.3	预期效用最大化的缺陷: 前景效用理论和架构效应	51
2.3.1	前景效用理论	51
2.3.2	架构	52
2.4	决策树	54
2.4.1	将风险规避结合进决策树分析	56
2.4.2	样本信息的预期值	58
2.4.3	完善信息的预期值	59
2.5	贝叶斯法则和决策树	64
2.6	多目标决策	70
2.6.1	确定情况下的多属性决策: 目标规划	71
2.6.2	多属性效用函数	73
2.7	解析分层进程	83
2.7.1	获得各个目标的权	84
2.7.2	检查一致性	86
2.7.3	求目标选择的分数	87
2.7.4	在电子表格上实现 AHP	89
2.8	本章小结	97
2.8.1	决策准则	97
2.8.2	效用理论	97
2.8.3	前景效用理论和架构	98
2.8.4	决策树	98
2.8.5	贝叶斯法则和决策树	98
2.8.6	多目标决策	98
2.8.7	AHP	99
2.9	复习题	100
第3章	确定型 EOQ 存储模型	107
3.1	基本的存储模型	107

3.1.1 存储模型所涉及的费用	107
3.1.2 EOQ 模型的假设	108
3.2 基本的 EOQ 模型	109
3.2.1 基本 EOQ 模型的假设	109
3.2.2 基本 EOQ 模型的导出	109
3.2.3 总费用对于订购数量微小变化的灵敏度	113
3.2.4 在以库存的美元价值表示存储费用时确定 EOQ	115
3.2.5 非零交付周期的影响	115
3.2.6 基本 EOQ 模型的电子表格模板	117
3.2.7 二幕订购策略	117
3.3 计算允许数量折扣时的最优订购量	121
3.4 连续速率的 EOQ 模型	127
3.5 允许延期交货的 EOQ 模型	130
3.6 什么时候使用 EOQ 模型	134
3.7 多产品 EOQ 模型	135
3.8 本章小结	138
3.8.1 表示法	138
3.8.2 基本 EOQ 模型	138
3.8.3 数量折扣模型	139
3.8.4 连续速率模型	139
3.8.5 允许延期交货的 EOQ	139
3.9 复习题	139
第 4 章 随机型存储模型	141
4.1 单周期决策模型	141
4.2 边际分析的概念	141
4.3 卖报人问题: 离散需求	142
4.4 卖报人问题: 连续需求	148
4.5 其他单周期模型	151
4.6 包含不确定需求的 EOQ: (r, q) 和 (s, S) 模型	152
4.6.1 确定再订购点: 允许延期交货的情况	154
4.6.2 确定再订购点: 脱销情况	157
4.6.3 连续检查 (r, q) 策略	158
4.6.4 连续检查 (s, S) 策略	158
4.7 具有不确定需求的 EOQ: 确定安全库存等级的服务等级法	160
4.7.1 确定 SLM_1 的再订购点和安全库存水平	162
4.7.2 使用 LINGO 计算 SLM_1 的再订购点等级	168

4.7.3	使用 Excel 计算正态损失函数	168
4.7.4	确定 SLM_2 的再订购点和安全库存水平	169
4.8	(R, S) 定期检查策略	170
4.8.1	确定 R	173
4.8.2	实现 (R, S) 系统	173
4.9	ABC 存储分类系统	174
4.10	交换曲线	176
4.10.1	缺货的交换曲线	178
4.10.2	交换曲面	180
4.11	本章小结	181
4.11.1	单周期决策模型	181
4.11.2	卖报人问题	181
4.11.3	确定不确定需求的再订购点和订购量: 最小化年度预期费用	182
4.11.4	确定再订购点: 服务等级法	183
4.11.5	(R, S) 定期检查策略	183
4.11.6	ABC 分类	183
4.11.7	交换曲线	184
4.12	复习题	184
第 5 章	马尔可夫链	186
5.1	什么是随机过程	186
5.2	什么是马尔可夫链	187
5.3	n 步转移概率	191
5.4	马尔可夫链中的状态分类	194
5.5	稳态概率和平均最先通过时间	197
5.5.1	暂态分析	199
5.5.2	稳态概率的直观解释	199
5.5.3	稳态概率在决策中的用法	200
5.5.4	平均最先通过时间	202
5.5.5	在计算机上求解稳态概率和平均最先通过时间	203
5.6	吸收链	206
5.7	劳动力规划模型	216
5.8	本章小结	222
5.8.1	n 步转移概率	222
5.8.2	马尔可夫链中的状态分类	222
5.8.3	稳态概率	222
5.8.4	吸收链	223

5.8.5 劳动力规划模型	223
5.9 复习题	223
第6章 确定性动态规划	229
6.1 两个难题	229
6.2 网络问题	230
6.2.1 动态规划的计算效率	233
6.2.2 动态规划应用的特征	235
6.3 存储问题	237
6.4 资源分配问题	243
6.4.1 资源示例的网络表示	246
6.4.2 广义的资源分配问题	247
6.4.3 使用动态规划求解背包问题	248
6.4.4 背包问题的网络表示	250
6.4.5 背包问题的可供选择的递归	251
6.4.6 收费理论	252
6.5 设备更新问题	254
6.5.1 设备更新问题的网络表示	256
6.5.2 可供选择的递归	257
6.6 表述动态规划递归	258
6.6.1 将资金的时间价值纳入动态规划表述中	259
6.6.2 使用动态规划的计算难点	265
6.6.3 非求和递归	265
6.7 Wagner-Whitin 算法和 Silver-Meal 启发式算法	270
6.7.1 动态批量模型简介	270
6.7.2 Wagner-Whitin 算法的论述	271
6.7.3 Silver-Meal 启发式算法	274
6.8 使用 Excel 求解动态规划问题	275
6.8.1 在电子表格上求解背包问题	275
6.8.2 在电子表格上求解一般的资源分配问题	277
6.8.3 在电子表格上求解库存问题	278
6.9 本章小结	280
6.9.1 逆推	281
6.9.2 动态批量模型的 Wagner-Whitin 算法和 Silver-Meal 启发式算法	281
6.9.3 计算时的注意事项	281
6.10 复习题	281

第7章 随机性动态规划	285
7.1 当前阶段的费用不确定,而下一周期的状态确定	285
7.2 随机性存储模型	288
7.3 如何最大化有利事件发生的概率	292
7.4 随机性动态规划表述的更多示例	298
7.5 马尔可夫决策过程	305
7.5.1 MDP 的描述	306
7.5.2 策略迭代	308
7.5.3 线性规划	310
7.5.4 值迭代	311
7.5.5 最大化每个周期的平均收益	313
7.6 本章小结	315
7.6.1 表述随机性动态规划问题(PDP)的关键	315
7.6.2 最大化有利事件发生的概率	316
7.6.3 马尔可夫决策过程	316
7.6.4 策略迭代	316
7.6.5 线性规划	317
7.6.6 值迭代或连续近似值	317
7.7 复习题	317
第8章 排队论	321
8.1 一些排队术语	321
8.1.1 输入或到达过程	321
8.1.2 输出或者服务过程	322
8.1.3 排队规则	322
8.1.4 到达者加入队列的方式	322
8.2 建立到达和服务过程的模型	323
8.2.1 建立到达过程的模型	323
8.2.2 建立服务过程的模型	328
8.2.3 排队系统的 kendall-Lee 符号表示法	330
8.2.4 等待时间矛盾论	331
8.3 生灭过程	333
8.3.1 生灭过程的动作定理	334
8.3.2 指数分布与生灭过程的关系	334
8.3.3 生灭过程的稳态概率的推导	335
8.3.4 求解生灭流量平衡方程	338

8.3.5	使用电子表格计算稳态概率	339
8.4	$M/M/1/GD/\infty/\infty$ 排队系统和排队公式 $L=\lambda W$	342
8.4.1	稳态概率的推导	342
8.4.2	L 的推导	343
8.4.3	L_q 的推导	343
8.4.4	L_s 的推导	344
8.4.5	排队公式 $L=\lambda W$	344
8.4.6	排队优化模型	347
8.4.7	使用电子表格计算 $M/M/1/GD/\infty/\infty$ 排队系统	348
8.5	$M/M/1/GD/c/\infty$ 排队系统	352
8.6	$M/M/s/GD/\infty/\infty$ 排队系统	355
8.6.1	使用电子表格计算 $M/M/s/GD/\infty/\infty$ 排队系统	359
8.6.2	使用 LINGO 计算 $M/M/s/GD/\infty/\infty$ 排队系统	362
8.7	$M/G/\infty/GD/\infty/\infty$ 和 $GI/G/\infty/GD/\infty/\infty$ 模型	364
8.8	$M/G/1/GD/\infty/\infty$ 排队系统	366
8.9	有限源模型: 机器维修模型	368
8.9.1	使用电子表格计算机器维修问题	371
8.9.2	使用 LINGO 计算机器维修模型	372
8.10	串行指数分布队列和开放式排队网络	374
8.10.1	开放式排队网络	375
8.10.2	数据通信网络的网络模型	377
8.11	$M/G/s/GD/s/\infty$ 系统(被阻挡客户被清除)	381
8.11.1	使用电子表格计算 BCC 模型	382
8.11.2	使用 LINGO 计算 BCC 模型	384
8.12	如何断定到达时间间隔和服务时间服从指数分布	385
8.13	闭合式排队网络	389
8.14	$G/G/m$ 排队系统的近似求解法	393
8.15	优先排队模型	395
8.15.1	非抢占式优先模型	396
8.15.2	$M_i/G_i/1/NPRP/\infty/\infty$ 模型	396
8.15.3	具有客户等待成本的 $M_i/G_i/1/NPRP/\infty/\infty$ 模型	397
8.15.4	$M_i/M/s/NPRP/\infty/\infty$ 模型	398
8.15.5	抢占式优先级	399
8.16	排队系统的瞬变行为	400
8.17	本章小结	404
8.17.1	指数分布	404
8.17.2	爱尔朗分布	405

8.17.3	生灭过程·····	405
8.17.4	排队系统参数的表示法·····	405
8.17.5	$M/M/1/GD/\infty/\infty$ 模型·····	406
8.17.6	$M/M/1/GD/c/\infty$ 模型·····	406
8.17.7	$M/M/s/GD/\infty/\infty$ 模型·····	407
8.17.8	$M/G/\infty/GD/\infty/\infty$ 模型·····	407
8.17.9	$M/G/1/GD/\infty/\infty$ 模型·····	407
8.17.10	机器维修($M/M/R/GD/K/K$)模型·····	408
8.17.11	串行指数分布队列·····	408
8.17.12	$M/G/s/GD/s/\infty$ 模型·····	409
8.17.13	到达时间间隔或服务时间不服从指数分布的处理·····	409
8.17.14	封闭式排队网络·····	409
8.17.15	$G/G/m$ 排队系统的近似求解法·····	410
8.17.16	排队系统的瞬变行为·····	410
8.18	复习题·····	411
第9章	模拟技术·····	415
9.1	基本术语·····	415
9.2	离散事件模拟示例·····	416
9.3	随机数和蒙特卡罗模拟·····	423
9.3.1	随机数生成器·····	424
9.3.2	随机数的计算机生成·····	425
9.4	蒙特卡罗模拟示例·····	427
9.5	使用连续随机变量执行模拟·····	431
9.5.1	逆转方法·····	431
9.5.2	接受-排除法·····	437
9.5.3	正态分布的直接和卷积方法·····	439
9.6	随机模拟示例·····	442
9.7	模拟中的统计分析·····	448
9.8	模拟语言·····	450
9.9	模拟过程·····	452
9.10	本章小结·····	453
9.10.1	模拟简介·····	453
9.10.2	模拟过程·····	453
9.10.3	生成随机变量·····	454
9.10.4	模拟类型·····	454
9.11	复习题·····	455

第 10 章 使用 Process Model 执行模拟	459
10.1 模拟 M/M/1 排队系统	459
10.2 模拟 M/M/2 系统	464
10.3 模拟串行系统	467
10.4 模拟开放式排队网络	471
10.5 模拟爱尔朗服务时间	474
10.6 Process Model 的其他功能	477
10.7 复习题	478
第 11 章 使用 Excel 插件@Risk 执行模拟	480
11.1 @Risk 简介: 卖报人问题	480
11.1.1 求解预期利润的置信区间	484
11.1.2 使用 RISKNORMAL 函数建立正态需求模型	484
11.1.3 求解目标和百分比	485
11.1.4 用@Risk 创建图	486
11.1.5 使用 Report Settings 选项	487
11.1.6 使用@Risk 统计	487
11.2 建立新产品现金流模型	489
11.2.1 三角形随机变量	489
11.2.2 Lilly 模型	492
11.3 项目计划模型	498
11.4 可靠性和保修建模	504
11.4.1 机器使用寿命的分布	504
11.4.2 机器组合的一般类型	505
11.4.3 估计保修费用	507
11.5 RISKGENERAL 函数	508
11.6 RISKCUMULATIVE 随机变量	510
11.7 RISKTRIGEN 随机变量	512
11.8 基于点值预测创建分布	513
11.9 预测大型公司的收入	515
11.9.1 净收入不相关的求解方法	517
11.9.2 检查相关性	517
11.10 使用数据获得新产品模拟的输入	518
11.10.1 模拟容量不确定性的方案	518
11.10.2 用一个独立变量模拟统计关系	519
11.11 模拟和投标	527

11.12	用@Risk 玩掷双骰子游戏	529
11.13	模拟 NBA 总决赛	530
11.14	复习题	531
第 12 章	使用 Riskoptimizer 在不确定情况下实现最优化	535
12.1	Riskoptimizer 介绍: 卖报人问题	535
12.1.1	Settings 图标	537
12.1.2	Start Optimization 图标	539
12.1.3	Pause Optimization 图标	539
12.1.4	Stop Optimization 图标	539
12.1.5	Display Watcher 图标	539
12.1.6	将 Riskoptimizer 用于日历示例	540
12.2	涉及历史数据的卖报人问题	542
12.3	不确定情况下的人员安排	543
12.4	产品组合问题	546
12.5	不确定情况下的农业计划	550
12.6	加工车间作业安排	552
12.7	旅行推销员问题	554
12.8	复习题	555
第 13 章	期权定价和实际期权	563
13.1	股票价格的对数正态模型	563
13.1.1	均值的历史数据估计和股票利润的波动率	564
13.1.2	求对数正态分布变量的均值和方差	565
13.1.3	对数正态随机变量的置信区间	565
13.2	期权的定义	566
13.3	实际期权的类型	567
13.3.1	购买飞机的期权	567
13.3.2	放弃期权	567
13.3.3	其他实际期权机会	568
13.4	用套利法评估期权	568
13.4.1	在买入期权定价不当的情况下创造赚钱机器	570
13.4.2	为什么股票的上涨率不影响买入价格	571
13.5	Black-Scholes 期权定价公式	572
13.6	估计波动率	575
13.7	期权定价的风险中立法	577

13.7.1	风险中立法背后的逻辑	577
13.7.2	风险中立定价的示例	578
13.7.3	证明美式买入期权决不应及早执行	579
13.8	用 Black-Scholes 公式评估 Internet 启动项目和 Web TV	580
13.8.1	评估 Internet 启动项目	580
13.8.2	评估“创新期权”：Web TV	582
13.9	二项式模型和对数正态模型之间的关系	584
13.10	使用二项树给美式期权定价	585
13.10.1	股票价格树	586
13.10.2	最优决策策略	587
13.10.3	使用条件格式化描述最优执行策略	587
13.10.4	灵敏度分析	588
13.10.5	与放弃期权的关系	589
13.10.6	计算及早执行边界	589
13.10.7	应当何时放弃	592
13.11	通过模拟给欧式卖出和买入期权定价	594
13.12	使用模拟评估实际期权	598
第 14 章	投资组合风险、优化和规避风险	603
14.1	风险价值度量	603
14.2	投资组合优化：Markowitz 法	608
14.2.1	随机变量的和：均值和方差	608
14.2.2	矩阵乘法和投资组合优化	611
14.3	使用情境法优化投资组合	613
14.3.1	自举未来的年度利润	614
14.3.2	使投资组合的标准差风险最小化	615
14.3.3	使损失的概率最小化	616
14.3.4	使 Sharpe 比率最大化	618
14.3.5	使负面风险最小化	619
14.3.6	极小极大方法	620
14.3.7	最大化 VAR	621
第 15 章	预测模型	625
15.1	移动平均数预测法	626
15.2	单指数平滑法	630
15.3	Holt 法：涉及趋势的指数平滑法	632

15.4	Winter 法: 涉及季节性的指数平滑法	635
15.4.1	Winter 法的初始化	635
15.4.2	预测精确度	638
15.5	Ad Hoc 预测法	642
15.6	简单线性回归	653
15.6.1	适合情况	656
15.6.2	预测精确度	656
15.6.3	回归中的 t 检定	657
15.6.4	简单线性回归模型下面的假设条件	658
15.6.5	用 Excel 运行回归	661
15.6.6	用 Excel 获得散点图	663
15.7	适当表现非线性关系	663
15.7.1	用电子表格适当表现非线性关系	666
15.7.2	使用 Excel Trend Curve	666
15.8	多重回归	668
15.8.1	预计 β_i 的值	669
15.8.2	重新分析拟合优度	670
15.8.3	假设检验	670
15.8.4	选择最佳的回归方程	672
15.8.5	多重共线性	672
15.8.6	哑变量	672
15.8.7	解释哑变量的系数	674
15.8.8	倍增模型	675
15.8.9	多重回归中的异方差性和自相关	675
15.8.10	在电子表格上实现多重回归	676
15.9	本章小结	680
15.9.1	移动平均数预测法	680
15.9.2	单指数平滑法	681
15.9.3	Holt 法	681
15.9.4	Winter 法	681
15.9.5	简单线性回归	681
15.9.6	适当表现非线性关系	682
15.9.7	多重回归	682
15.10	复习题	682
第 16 章	布朗运动、随机运算和随机控制	689
16.1	什么是布朗运动	689