

(第2版)

普通高等教育“十二五”规划教材

APPLIED MULTIVARIATE STATISTICAL ANALYSIS

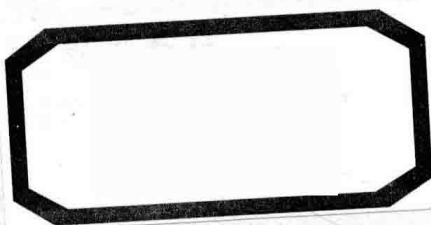
应用多元统计分析

韩明 编著



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

普通高等教育“十二



Applied Multivariate Statistical Analysis

应用多元统计分析

(第2版)

韩明 编著



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书共分 12 章,在介绍多元统计的有关概念、背景的基础上,突出统计思想,着重讲解常用方法,主要包括:多元数据的表示、线性回归分析、逐步回归与回归诊断、广义线性模型与非线性模型、方差分析、聚类分析、判别分析、主成分分析、因子分析、对应分析、典型相关分析。注重体现多元统计分析在各个领域的应用,将应用案例贯穿理论讲解的始终,并给出了 R 软件、MATLAB 的相关程序。本书汲取了国内外教材中流行的直观、灵活的教学方法以及通过图表和应用案例进行教学的长处。

本书可以作为高等院校有关专业本科生、研究生“多元统计分析”课程的教材或参考书,也可作为全国大学生(研究生)“数学建模竞赛”、全国大学生“统计建模大赛”的培训教材或参考书,还可以供有关专业的教师、研究人员和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

应用多元统计分析/韩明编著. —2 版. —上海:同济大学出版社,2017. 7

ISBN 978-7-5608-7211-7

I. ①应… II. ①韩… III. ①多元分析—统计分析—高等学校—教材 IV. ①O212. 4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 169592 号

普通高等教育“十二五”规划教材

应用多元统计分析(第 2 版)

韩 明 编著

责任编辑 张 莉

责任校对 徐春莲

封面设计 潘向葵

出版发行 同济大学出版社

www.tongjipress.com.cn

(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 浙江广育爱多印务有限公司

开 本 787 mm×960 mm 1/16

印 张 20

字 数 400 000

版 次 2017 年 7 月第 2 版 2017 年 7 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-7211-7

定 价 48.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换

版权所有 侵权必究

前 言

本书的第1版(2013年)出版以来,受到广大师生的关心和厚爱,在此作者表示衷心的感谢.

面对我国高等教育的新形势,教学改革是一个永恒的主题.无论是一门课程,还是相关的教材,我们都需要勇于探索,不断地进行教学改革.

在本书的第1版出版以后,作者继续关注国内外“多元统计分析”课程教学改革的有关动态.本次修订结合了广大师生在使用本书第1版的过程中提出的意见和建议,并结合作者近些年来的教学实践、教学研究心得和体会等进行的.作者试图借鉴国内外同类教材的成功经验,并注重汲取其中的养分,努力提高教材的质量,突显本书的特色.

本书作者经过多年来的教学实践,深感一本内容简练、实用,又适合当前教学改革精神的《多元统计分析》教材的重要性,并一直在努力探索该课程的教学改革,已将其中的部分教学研究成果融入了本书中.

在本次修订中,作者修改了第1版中的不当之处,对部分内容的叙述进行了改写,调整、补充了个别例题和思考与练习题,保留了第1版的内容体系和大部分内容.

受同济大学出版社的委托,王家宝教授曾审阅过本书第1版的初稿;在本书第1版出版后,王家宝教授又认真审阅(对书中的一些程序亲自上机验证),并提出了修改意见和建议,给作者很多具体指导和鼓励,在此作者表示感谢.

作者虽然努力使本书成为一本既有特色又便于教学的教材,但由于水平有限,书中难免还有一些疏漏甚至错误,恳请专家和读者批评指正.希望继续得到广大师生的关心和厚爱,让我们共同努力,把这本教材建设好.

韩 明

2017年3月

第1版前言

本书在介绍多元统计分析的有关概念、背景的基础上,突出统计思想,着重讲解常用方法,并侧重于应用,书名为《应用多元统计分析》(*Applied Multivariate Statistical Analysis*),着意于“应用”.对一些严格的数学推导被略去而只列出结论(降低了数学基础的要求),读者学习时关键是理解这些结果,清楚它们的意义和背景,对一些被略去的推理论证部分可参考书后列出的有关文献.

作者在多年来的教学实践中,深感一本内容简练但又实用的“多元统计分析”教材的重要性.随着我国高等教育进一步“大众化”,特别是相关软件的普及,学习“多元统计分析”的人越来越多,人们不再只满足于学习一些理论知识,而且大家学习它更重要的是作为工具借助计算机和相关软件进行数据处理和分析.

本书中的例题可以分为两类,一类是为了说明有关理论或方法的简单问题,这类问题一般不需要借助软件;另一类是为了应用有关理论或方法解决一些比较复杂的问题(应用案例),这类问题一般需要借助软件才能实现.

考虑到作为一款免费软件,R软件具有丰富的资源、良好的扩展性和完备的帮助系统;另外,考虑到MATLAB在工程等领域中应用广泛性、在国内外各高等院校使用的普及性,本书的应用案例采用R软件和MATLAB,并给出了相应的程序.

本书的初稿完成后,许家清高级统计师、尹志博士审读第1—6章,梁方楚副教授审读第7—12章;受同济大学出版社的委托,王家宝教授审阅了本书初稿.以上各位对本书的初稿提出了许多宝贵的意见,这对提高本书的质量起到了重要作用,作者在此一并致谢.除了作者写作的内容外,本书的部分内容参考了书后所列的参考文献,在此对参考文献的作者表示感谢.

虽然作者力图使本书写成一本既有特色又便于教学(或自学)的教材,但由于水平所限,书中难免还存在一些疏漏甚至是错误,恳请专家和读者批评和指正.

韩 明

2013年6月

目 录

前言

第1版前言

1 绪论	001
1.1 多元统计分析概述	001
1.2 多元统计分析的应用	002
1.3 有关软件介绍	004
1.4 本书的基本框架和内容安排	005
1.5 思考与练习题	006
2 多元数据的表示	007
2.1 多元数据的数学表示	008
2.1.1 多元数据的一般格式	008
2.1.2 多元数据的数字特征	009
2.2 多元数据的展示及图表示	011
2.3 思考与练习题	023
3 线性回归分析	024
3.1 一元线性回归的回顾	025
3.1.1 一个例子	025
3.1.2 数学模型	026
3.1.3 回归参数的估计	026
3.1.4 回归方程的显著性检验	027

3.1.5 预测	033
3.2 多元线性回归	034
3.2.1 多元线性回归模型	034
3.2.2 回归参数的估计	035
3.2.3 回归方程的显著性检验	036
3.2.4 预测	038
3.2.5 血压、年龄以及体质指数问题	040
3.2.6 电力市场的输电阻塞管理问题	043
3.3 多项式回归	050
3.4 思考与练习题	058
4 逐步回归与回归诊断	061
4.1 逐步回归	061
4.1.1 变量的选择	062
4.1.2 逐步回归的计算	062
4.2 回归诊断	068
4.2.1 什么是回归诊断	068
4.2.2 儿童智力测试问题	073
4.3 Box-Cox 变换	077
4.4 思考与练习题	082
5 广义线性模型与非线性模型	085
5.1 广义线性模型	085
5.1.1 广义线性模型概述	085
5.1.2 Logistic 模型	087
5.1.3 对数线性模型	095
5.2 一元非线性回归模型	097
5.3 多元非线性回归模型	104
5.3.1 R 软件中非线性拟合函数及其应用	106

5.3.2	MATLAB 中非线性回归函数及其应用	108
5.4	思考与练习题	111
6	方差分析	114
6.1	单因素方差分析	114
6.1.1	数学模型	115
6.1.2	方差分析	116
6.1.3	用 R 软件做单因素方差分析	118
6.1.4	用 MATLAB 做单因素方差分析	120
6.1.5	均值的多重比较	123
6.2	双因素方差分析	125
6.2.1	不考虑交互作用	126
6.2.2	考虑交互作用	128
6.3	多元方差分析	134
6.3.1	多个正态总体均值向量的检验	134
6.3.2	多个正态总体协方差矩阵的检验	138
6.4	本章附录	140
6.5	思考与练习题	142
7	聚类分析	144
7.1	聚类分析的基本思想与意义	144
7.2	Q 型聚类分析	146
7.2.1	两点之间的距离	146
7.2.2	两类之间的距离	150
7.2.3	用 MATLAB 进行聚类分析	151
7.2.4	用 R 软件进行聚类分析	153
7.3	R 型聚类分析	155
7.3.1	变量相似性度量	156
7.3.2	变量聚类法	156

7.4 我国高等教育发展状况的聚类分析	162
7.4.1 问题的提出	162
7.4.2 问题的分析与建模	164
7.4.3 问题的求解	165
7.4.4 问题的研究结果	169
7.5 聚类分析要注意的问题	170
7.6 思考与练习题	170
8 判别分析	171
8.1 距离判别	172
8.1.1 马氏距离	172
8.1.2 判别准则与判别函数	173
8.1.3 多总体情形	175
8.1.4 R 软件中的判别函数介绍与应用	176
8.2 Fisher 判别	187
8.2.1 判别准则	187
8.2.2 判别函数中系数的确定	188
8.2.3 确定判别函数	189
8.3 Bayes 判别	195
8.3.1 误判概率与误判损失	196
8.3.2 两总体的 Bayes 判别	197
8.3.3 再看某气象站有无春旱的判别问题	204
8.3.4 有关 MATLAB 程序和计算结果	206
8.4 蠓虫分类问题	209
8.4.1 问题的提出	209
8.4.2 问题的分析与模型的建立	210
8.4.3 模型求解	211
8.5 判别分析中需要注意的几个问题	214
8.6 思考与练习题	214

9 主成分分析	216
9.1 主成分分析的基本思想及方法	217
9.2 特征值因子的筛选	218
9.3 主成分回归分析	223
9.4 成年男子 16 项身体指标的主成分分析	225
9.5 学生身体四项指标的主成分分析	228
9.6 我国部分地区人均消费水平的主成分分析	230
9.7 我国高等教育发展情况的主成分分析	233
9.7.1 计算特征值和特征向量	234
9.7.2 选择主成分与计算综合评价值	234
9.7.3 问题的求解	235
9.7.4 问题的研究结果	237
9.8 主成分分析中需要注意的几个问题	238
9.9 思考与练习题	238
10 因子分析	239
10.1 因子分析模型	240
10.1.1 数学模型	240
10.1.2 因子分析模型的性质	241
10.1.3 因子载荷矩阵中的几个统计性质	241
10.2 因子载荷矩阵的估计方法	242
10.2.1 主成分分析法	242
10.2.2 主因子法	249
10.2.3 求因子载荷矩阵的例子	249
10.3 因子旋转	252
10.4 因子得分	254
10.4.1 因子得分的概念	254
10.4.2 加权最小二乘法	255
10.5 因子分析的步骤	256

10.6	学生六门课程的因子分析	257
10.7	我国上市公司的实证分析	259
10.8	思考与练习题	263
11	对应分析	264
11.1	对应分析简介	264
11.2	对应分析的原理	266
11.2.1	对应分析的数据变换方法	266
11.2.2	对应分析的原理和依据	268
11.2.3	对应分析的计算步骤	269
11.3	文化程度和就业观点的对应分析	272
11.4	美国授予哲学博士学位的对应分析	273
11.5	对应分析在品牌定位研究中的应用	277
11.6	思考与练习题	280
12	典型相关分析	281
12.1	典型相关分析的基本思想	281
12.2	典型相关的数学描述	282
12.3	原始变量与典型变量之间的相关性	285
12.4	典型相关系数的检验	287
12.5	康复俱乐部数据的典型相关分析	289
12.6	职业满意度的典型相关分析	293
12.7	中国城市竞争力与基础设施的典型相关分析	299
12.7.1	城市竞争力指标与基础设施指标	299
12.7.2	城市竞争力与基础设施的典型相关分析	301
12.7.3	有关 MATLAB 程序	304
12.8	思考与练习题	305
	参考文献	306

1 | 绪 论

多元统计分析(Multivariate Statistical Analysis)是应用统计方法来研究多变量(多指标)问题的理论和方法,它是一元统计学的推广。

在实际问题中,很多随机现象涉及的变量不是一个,而经常是多个变量,并且这些变量之间又存在一定的联系.我们常需要处理多个变量的观测数据,那么如何对多个变量的观测数据进行有效的分析和研究呢?一种做法是把多个变量分开分析,一次处理一个地去分析和研究;另一种做法是同时对多个变量进行分析和研究.显然前者的做法有时是有效的,但一般来说,由于变量多,避免不了变量之间有相关性,把多个变量分开处理不仅会丢失一些信息,往往也不容易取得很好的研究结果.而后一种做法通常可以用多元统计分析方法来解决,通过对多个变量的观测数据的分析,来研究变量之间的相互关系以及揭示这些变量内在的变化规律.

1.1 多元统计分析概述

如果说一元统计分析是研究一个变量统计规律的学科,那么多元统计分析则是研究多个变量之间的内在统计规律的统计学科.

早在 19 世纪就出现了处理二维正态总体的一些方法,但系统地处理多维概率分布总体的统计分析问题,则开始于 20 世纪.多元统计分析起源于 20 世纪初,1928 年, Wishart 发表的论文《多元正态总体样本协方差阵的精确分布》,可以说是多元统计分析的开端.之后 Fisher, Hotelling, Roy, 许宝騄等人作出了一系列奠基性的工作,使多元统计分析在理论上得到迅速的发展.

20 世纪 40 年代,多元统计分析在心理、教育、生物等方面有不少的应用,但由于计算量大,使其发展受到影响.20 世纪 50 年代,随着计算机的出现和发展,使多元统计分析在地质、医学、气象、社会学等方面得到了广泛的应用.20 世纪 60 年代,通过应用和实践又完善和发展了理论,由于新理论和新方法的不断出现又促使它的应用范围更加扩大.20 世纪七八十年代,在我国才受到各个领域的极大关注.

近 40 年来,我国在多元统计分析的理论和应用上取得了许多显著的成绩.

进入 21 世纪后,人们获得的数据正以前所未有的速度迅速增加,产生了海量数据、超大型数据库等,遍及超级市场销售、银行存款、天文学、粒子物理、化学、医学、生物学以及政府统计等领域,多元统计分析与人工智能、数据库技术等相结合,已经在经济、商业、金融、天文、地理、农业、工业等方面取得了成功的应用.

“多元统计分析”也称为“多元分析”(Multivariate Analysis). 例如 Mardia et al. (1979) 的书,书名 *Multivariate Analysis*. 英国著名的统计学家 Kendall 在《多元分析》一书中,把多元统计分析所研究的内容和方法概括为以下几个方面:

(1) 简化数据结构(降维问题)

简化数据结构就是将某些复杂的数据结构通过变量变换等方法,使相互依赖的变量变成互不相关的;或把高维空间的数据投影到低维空间,使问题得到简化而损失的信息又不太多. 例如,主成分分析、因子分析、对应分析等就是这样的一类方法.

(2) 分类与判别(归类问题)

归类问题就是对所考察的观测点(或变量)按照相近程度进行分类(或归类). 例如,聚类分析、判别分析等就是解决这类问题的统计方法.

(3) 变量间的相互联系

相互依赖关系:分析一个或几个变量的变化是否依赖于另外一些变量的变化? 如果是,建立变量之间的定量关系式,并用于预测或控制——回归分析.

变量之间的相互关系:分析两组变量之间的相互关系——典型相关分析.

(4) 多元数据的统计推断

这是关于参数估计和假设检验的问题. 特别是多元正态分布的均值向量和协方差矩阵的估计和假设检验等问题.

(5) 多元统计分析的理论基础

多元统计分析的理论基础包括多维随机向量(特别是多维正态随机向量),以及由此定义的各种多元统计量,推导它们的分布并研究其性质,研究它们的抽样分布理论.

1.2 多元统计分析的应用

多元统计分析可以应用于几乎所有的领域,主要包括:经济学、农业、地质学、医学、工业、气象学、金融、精算、物理学、地理学、军事科学、文学、法律、环境科学、考古学、体育科学、遗传学、教育学、生物学、管理科学、水文学等,还有一些交叉学

科或方向等.多元统计分析的应用实在是难以一一罗列,以下简要地介绍一下多元统计分析在文学、数据挖掘(作为交叉学科或方向的代表)领域的应用.

在文学方面,自从20世纪30年代末,英国著名的统计学家Yule把统计方法引入到文学词汇的研究以来,这个领域已经取得了不少进展,其中最有名的是Mosteller与Wallace在20世纪60年代初对美国立国三大文献之一的《联邦主义者》文集的研究.

在1985—1986年,复旦大学李贤平教授对我国名著《红楼梦》的著作权进行了研究.使用的统计方法主要是多元统计分析.先选定数十个与情节无关的虚词作为变量,把《红楼梦》一书中的120回作为120个样品,统计每一回(即每个样品)选定的这些虚词(即变量)出现的频数.由此得到的数据矩阵作为分析的依据.

在《红楼梦》著作权的研究中使用较多的是聚类分析、主成分分析、典型相关分析等方法,由分析结果可以看出:

(1) 前80回和后40回截然地分为两类,证实了前80回和后40回不是出于一个人的手笔;

(2) 前80回是否为曹雪芹所写?通过曹雪芹的另一著作,做类似的分析,结果证实了用词手法完全相同,断定为曹雪芹一人手笔;

(3) 而后40回是否为高鹗写的?分析结果发现后40回依回目的先后可分为几类,得出的结论推翻了后40回是高鹗一人所写.后40回的成书比较复杂,既有残稿也有外人笔墨,不是高鹗一人所续.

以上这些论证在红学界引起了轰动.他们用多元统计分析方法提出了关于《红楼梦》作者和成书过程的新学说.

李贤平教授等还把这类方法用于其他作家和作品,结果证明统计方法的分辨能力是很强的.

在数据挖掘方面,随着科学技术的发展,利用数据库技术来存储、管理数据,利用机器学习的方法来分析数据,从而挖掘出大量的隐藏在数据背后的知识,这种思想的结合形成了深受人们关注的非常热门研究领域:数据库中的知识发现(knowledge discovery in databases),数据挖掘(data mining)技术便是其中的一个最为关键的环节.数据挖掘、机器学习(machine learning)等为统计学(包括“多元统计分析”)提供了一个新的应用领域,同时也提出了很多挑战.多元统计分析中的聚类分析(cluster analysis)是按照某种相近程度,将用户数据分成一系列有意义的集合,例如在金融领域中,将贷款对象分为低风险和高风险等.数据挖掘是一个交叉学科,它涉及到:数据库、人工智能、统计学、并行计算等不同学科和领域,近年来受到各界的广泛关注.应该指出Johnson & Wichern在*Applied Multivariate Statistical Analysis* (6th ed. 2007)中补充了“数据挖掘”部分以及多元统计分析方

法在数据挖掘中的应用.数据挖掘与统计学有着密切的关系,那么统计学如何为数据挖掘服务呢?这是在“数据挖掘”飞速发展的今天统计学必须回答的一个问题(令人高兴的是,现在可以从统计学在数据挖掘领域里的研究与应用情况看到对这个问题的各种回答).数据挖掘对统计学带来的挑战,无疑将推动统计学的发展(韩明:数据挖掘及其对统计学的挑战,统计研究,2001).

1.3 有关软件介绍

相关软件的种类很多,有些功能齐全,有些价格便宜,有些容易操作,有些需要更多的实践才能掌握.这里简要介绍最常见的几种.

(1) SAS 这是功能非常齐全的软件;尽管价格相当不菲,许多公司,特别是美国制药公司都在使用,这多半因为其功能众多和某些美国政府机构一些人的偏爱.尽管现在已经尽量“傻瓜化”,但仍然需要一定的训练才可以进入.也可以对它编程,但对于基本统计课程则不那么方便.

(2) SPSS 这是一个很受欢迎的统计软件;它容易操作,输出漂亮,功能齐全,价格合理.它也有自己的程序语言,但基本上已经“傻瓜化”.它对于非专业统计工作者是很好的选择.

(3) Excel 它严格地说来并不是统计软件,但作为数据表格软件,必然有一定统计计算功能.而且凡是有 Microsoft Office 的计算机,基本上都装有 Excel.但要注意,有时在装 Office 时没有装数据分析的功能,那就必须装了才行.当然,画图功能是已经具备的了.对于简单分析,Excel 还算方便,但随着问题的深入,Excel 就不那么“傻瓜化”,需要使用宏命令来编程;这时就没有相应的简单选项了.多数专门一些的统计推断问题还需要其他专门的统计软件来处理.

(4) S-plus 这是统计学家喜爱的软件.不仅由于其功能齐全,而且由于其强大而又方便的编程功能,使得研究人员可以编制他们的程序来实现其自己创造的理论和方法.它也在进行“傻瓜化”以争取顾客.但仍然以编程方便为顾客所青睐.

(5) R 软件 这是完全免费的(在网站 <http://cran.r-project.org/bin/windows/base> 上可下载到 R 软件的 Windows 版,按照提示安装即可),由志愿者管理的软件.其编程语言与 S-plus 所基于的 S 语言一样,很方便.还有不断加入的从事各个方向研究者编写的软件包和程序.在这个意义上可以说,其函数的数量和更新远远超过其他软件.它的所有计算过程和代码都是公开的,它的函数还可以被用户按需要改写.它的语言结构和 C++, Fortran, MATLAB, Pascal, Basic 等很相似,容易举一反三.对于一般非统计工作者来说,主要问题是它没有“傻瓜化”.

(6) MATLAB 这也是应用于各个领域的以编程为主的软件,在工程上应用广泛.编程类似于 S 和 R. MATLAB(matrix laboratory)提供了一个人机交互的数学系统环境,并以矩阵作为基本的数据结构,可以大大节省编程时间. MATLAB 具有强大的符号演算、数值计算和图形分析功能.

当然,还有很多其他的软件,这里就不一一罗列了.其实,读者只要学会使用一种软件,使用其他的软件也不会困难,最多看看帮助和说明即可.学习软件的最好方式是需要时在使用中学.

本书的案例采用 R 软件和 MATLAB(吴喜之教授用 SPSS, SAS 和 R 写的教材《统计学:从数据到结论》影响很大,值得一读).

1.4 本书的基本框架和内容安排

“多元统计分析”课程已经被越来越多将来需要与大量数据打交道的本科生、研究生相关专业列为必修课或选修课.《多元统计分析》的教材版本众多,其中有的教材侧重理论的讲述(传统的相关教材大多属于此类),读者需要具备较深厚的数学基础;有的教材则注重模型的应用,理论和技术细节不是重点.本书在介绍多元统计分析的有关概念、背景和常用方法的基础上,侧重于应用,书名为《应用多元统计分析》(*Applied Multivariate Statistical Analysis*),着意在“应用”.

为了吸引广大读者学习多元统计分析,本书不得不在某种程度上牺牲内容难度的一致性;有些章节的难度可能会略大一些,因而初次阅读时会感到一些困难,希望教师们能在选择适合学生的章节时设法弥补这种不平衡,必要时可以降低一些要求.本书将一些严格的数学推导略去而只列出结论(降低了数学基础的要求),读者学习时关键是理解这些结果,清楚它们的意义和背景,对一些被略去的推理论证部分可参考书后列出的有关文献.

考虑到作为一款免费软件,R 软件具有丰富的资源(涵盖了多种行业数据分析中几乎所有的方法),良好的扩展性(方便的编写函数和程序包,可以胜任复杂数据的分析、绘制精美的图形),完备的帮助系统(每个函数都有统一格式的帮助);另外,考虑到 MATLAB 在工程等领域中应用广泛性、在国内外各高等院校使用的普及性,本书的案例采用 R 软件和 MATLAB.

本书在介绍有关概念、背景的基础上,突出统计思想,重点介绍多元统计分析中的常用方法,主要包括:多元数据的表示、线性回归分析、逐步回归与回归诊断、广义线性模型与非线性模型、方差分析、聚类分析、判别分析、主成分分析、因子分析、对应分析、典型相关分析.注重体现多元统计分析在各个领域的应用,将应用案

例贯穿于理论讲解的始终,并给出了 R 软件、MATLAB 的相关程序.本书汲取了国内外教材中流行的直观、灵活的教学方法以及通过图表和应用案例进行教学的长处.

本书中的例题可以分为两类,一类是为了说明有关理论或方法的简单问题(这类问题一般不需要借助软件),另一类是为了应用有关理论或方法解决一些比较复杂一些的问题(应用案例),这类问题一般需要借助软件才能实现.

说明:本书不再给出关于 R 软件、MATLAB 的“使用说明”,建议需要的读者可参考:

(1) 关于 R 软件的“使用说明”,可参考:Cryer & Chan(2008);薛毅,陈立萍(2007);汤银才(2008);何春雄,朱锋峰,龙卫江(2012);吴喜之(2013)等.

(2) 关于 MATLAB 的“使用说明”,可参考:Freedman(2008);包科研(2011);韩明,王家宝,李林(2015)等.

1.5 思考与练习题

1. 根据你感兴趣的领域,查阅有关资料并说明多元统计分析在该领域中的应用情况.
2. 根据你感兴趣的软件(例如 R 软件、MATLAB 等),请选择一种安装在你的个人计算机上(或已安装该软件),为配合本课程的学习请熟悉该软件的基本操作.