

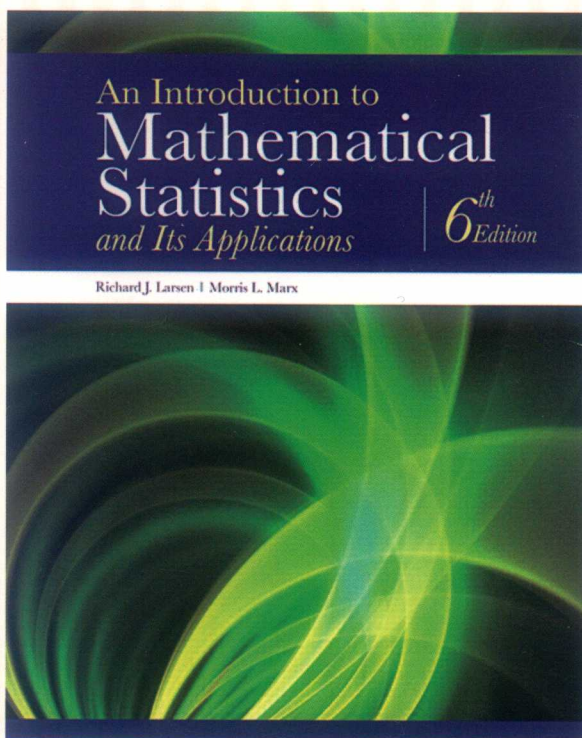
华章统计学原版精品系列

数理统计及其应用

An Introduction to Mathematical Statistics and Its Applications

(Sixth Edition)

(英文版·原书第6版)



[美] 理查德·J. 拉森 (Richard J. Larsen) 莫里森·L. 马克思 (Morris L. Marx) 著



机械工业出版社
China Machine Press

数理统计及其应用

(英文版·原书第6版)

An Introduction to Mathematical Statistics and Its Applications (Sixth Edition)

本书以全面而有趣的方式介绍概率论与数理统计的基础知识，不仅讲授了实验设计和数据分析方法，而且重视培养将这些原理应用于实践的技能。


第6版主要更新

- 共18个新的“案例研究”，以帮助读者理解新增的概念。
- 第2章包含10个新例子，包括对“恺撒最后一口气”问题的重复独立试验分析。
- 第4章新增一个附录，总结了常用概率密度函数的所有重要属性。
- 第5章重写了参数估计（5.2节）和误差边缘（5.3节）的内容。
- 第8章扩展了关于不同数据模型的讨论，并增加析因数据模型。
- 第11章对非线性模型部分进行了全面修订，重点强调它们与不同增长律的关系。
- 第12章增加一节，展示了如何在不知道任何单个测量值的情况下“重建” k 样本数据集的整个ANOVA表。
- 本书配套网站www.pearsonhighered.com/mathstatsresources/ 可以下载第15章和文中分析所用的数据集。该网站还为学生和教师提供其他资源。

作者简介

理查德·J. 拉森 (Richard J. Larsen) 范德堡大学数学系教授，曾任本科教学主任17年，因杰出的教学成果而获得1976年的Ingalls奖。他于2005年退休，学校为了纪念他而设立了Richard J. Larsen本科数学教学成就奖。

莫里森·L. 马克思 (Morris L. Marx) 西佛罗里达大学数学与统计学教授，专注于统计学、概率论、几何和拓扑方面的教学与研究。曾于1988~2002年担任该校第三任校长。

 Pearson

www.pearson.com

For sale and distribution in the People's Republic of China exclusively (except Taiwan, Hong Kong SAR and Macau SAR).

仅限于中华人民共和国境内（不包括中国香港、澳门特别行政区和中国台湾地区）销售发行。



投稿热线: (010) 88379604
购书热线: (010) 68326294
客服热线: (010) 88378991 88379833

华章网站: www.hzbook.com
网上购书: www.china-pub.com
数字阅读: www.hzmedia.com.cn



上架指导: 数学/数理统计

ISBN 978-7-111-62407-3



9 787111 624073 >

定价: 139.00元

图例 (CIP) 目次附录并图

华章统计学原版精品系列

数理统计及其应用

An Introduction to Mathematical Statistics and Its Applications

(Sixth Edition)

(英文版·原书第6版)

[美] 理查德·J. 拉森 (Richard J. Larsen) 莫里森·L. 马克思 (Morris L. Marx) 著



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

数理统计及其应用 (英文版·原书第6版) / (美) 理查德·J. 拉森 (Richard J. Larsen), (美) 莫里森·L. 马克思 (Morris L. Marx) 著. —北京: 机械工业出版社, 2019.4 (华章统计学原版精品系列)

书名原文: An Introduction to Mathematical Statistics and Its Applications, Sixth Edition

ISBN 978-7-111-62407-3

I. 数… II. ①理… ②莫… III. 数理统计-高等学校-教材-英文 IV. O212

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 061417 号

本书版权登记号: 图字 01-2018-4601

Authorized Reprint from the English language edition, entitled *An Introduction to Mathematical Statistics and Its Applications*, Sixth Edition, Richard J. Larsen, Morris L. Marx, published by Pearson Education, Inc., Copyright © 2018, 2012, 2006 Pearson Education, Inc.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

English language edition published by China Machine Press, Copyright © 2019.

本书英文影印版由 Pearson Education Inc. 授权机械工业出版社独家出版。未经出版者书面许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书内容。

此影印版仅限于中华人民共和国境内 (不包括香港、澳门特别行政区及台湾地区) 销售发行。

本书封面贴有 Pearson Education (培生教育出版集团) 激光防伪标签, 无标签者不得销售。

出版发行: 机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街22号 邮政编码: 100037)

责任编辑: 曲 熠

责任校对: 殷 虹

印 刷: 北京瑞德印刷有限公司

版 次: 2019年4月第1版第1次印刷

开 本: 186mm×240mm 1/16

印 张: 46.75

书 号: ISBN 978-7-111-62407-3

定 价: 139.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88378991 88379833

投稿热线: (010) 88379604

购书热线: (010) 68326294

读者信箱: hzsj@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光/邹晓东

前 言

John Tukey (1915—2000) 是 20 世纪后半叶最杰出 (被引最多) 的统计学家之一。曾经有人问他选择这一职业有什么特别的乐趣, 他毫不犹豫地说: “做统计学家最棒的就是, 可以在每个人的后院玩耍。”这在很大程度上反映了 Tukey 不拘一格的兴趣, 也说明了这本书是关于什么的。

我们希望这本书能满足以下两个目标: 第一, 以全面而有趣的方式介绍概率论与数理统计的基础知识, 适合已经学过三个学期微积分课程的学生学习; 第二, 为学生应用这些原理提供必需的技能 and 洞察力。在我们看来, 只满足前者而不满足后者是不够的, 这样的两学期课程对于学生来说就像外卖快餐一样缺乏营养。

完成第一个目标似乎能自动赋予学生实现第二个目标所需的知识。其实并非如此。数理统计主要处理个体测量值的性质, 或处理从测量样本中计算出的简单属性——均值、方差、分布、与其他测量值的关系等。然而, 分析数据时需要对整个测量集所属的实验设计有更多的了解。借用经济学家的一些术语, 数理统计很像这门学科的微观方面, 实验设计则是宏观方面。在两学期的课程中, 有足够的时间来均衡对待这两个问题。

实验设计有许多种, 但依据它们出现的频率及其与第一门课程中所涉及的数理统计的关系, 有 8 种是特别重要的。教学生分析数据的第一步是帮助他们学习如何识别这 8 种“数据模型”: 单样本数据、两样本数据、 k 样本数据、配对数据、随机区组数据、回归 / 相关数据、分类数据和析因数据。我们认为, 只是简单介绍这些模型是不够的, 需要用一章来对它们进行逐一比较和描述, 并结合实际数据做出说明。

当然, 识别数据模型并不是一项很难掌握的技能, 任何参与数据分析工作的人都能很快学会。但是对于刚开始学习统计学的学生来说, 忽视这个主题会让他们对这门课程的发展和原因一无所知。本书搭建了一个非常有用的框架, 将所有材料整合在一起, 在学生学习 Z 检验、 t 检验、 χ^2 检验和 F 检验之前彻底解决这个问题。

处理第二个目标的最后一步是向学生展示数理统计的应用及其针对真实数据创建的方法。编造或捏造的数据是不能满足要求的, 因为它们无法提供必要的细节或复杂性。比如, 为什么使用这种设计而不是另一种设计? 如何解释某些似乎已经发生的异常现象? 什么样的后续研究看起来是有保证的? 这些都是编造或捏造的数据无法回答的问题。在此, 我们要对所有为本书提供数据的研究人员表示深深的感谢, 他们慷慨地允许我们使用部分数据来作为全书 80 多个案例研究的基础。我们希望这些信息会像 Tukey 教授发现的有趣的“后院”一样有帮助。

本版更新内容

- 新增第 15 章“析因数据”(在线章节, 可访问 www.pearsonhighered.com/mathstatsresources/ 下载), 描述了将方差分析应用于析因数据时的理论和实践。这一章涵盖两因子析因、三因子析因、 2^n 设计和分式析因, 与本书的其他两种方差分析处理方法 (第 12 章和第 13 章)

处于同一数学水平。这是所有多因素实验设计中最重要中的一个。

- 第 2 章增加 10 个新例子，包括对经常被引用的“恺撒最后一口气”问题的重复独立试验分析。
- 全书共包含 18 个新的案例研究，以帮助读者理解新增的概念应用。
- 在第 4 章末尾添加了一个附录，总结了常用概率密度函数 (pdf) 的所有重要属性。
- 处理参数估计的 5.2 节的大部分内容已经重写，5.3 节的误差边缘部分已经完全重写。
- 扩展了第 8 章中关于不同数据模型的讨论，并增加了第 8 个模型 (析因数据)。这一章包含 7 个新的案例研究。
- 在第 11 章中，对非线性模型部分进行了全面修订，重点强调它们与不同增长律的关系。由于篇幅和成本的考虑，期刊和技术报告通常只显示实验结果的摘要。第 12 章增加了一节，展示了如何在不知道任何单个测量值的情况下“重建” k 样本数据集的整个 ANOVA 表。
- 本书配套网站 www.pearsonhighered.com/mathstatsresources/ 可以下载第 15 章和分析所用的数据集。该网站还为学生和教师提供了其他资源[⊖]。

致谢

我们要感谢本书当前和之前版本的所有审稿人，他们提出了许多有益的意见和建议。每个版本都得益于他们的见解和专业知识。

第 6 版的审稿人：

Adam Bowers, University of California, San Diego
 Bree Ettinger, Emory University
 Eugene D. Gallagher, University of Massachusetts, Boston
 Mohammad Kazemi, University of North Carolina, Charlotte
 Ralph Russo, University of Iowa
 Neslihan Uler, University of Michigan, Ann Arbor
 Bin Wang, University of Southern Alabama

之前版本的审稿人：

Abera Abay, Rowan University
 Kyle Siegrist, University of Alabama in Huntsville
 Ditlev Monrad, University of Illinois at Urbana-Champaign
 Wen-Qing Xu, California State University, Long Beach
 Katherine St. Clair, Colby College
 Yimin Xiao, Michigan State University
 Nicolas Christou, University of California, Los Angeles
 Daming Xu, University of Oregon
 Maria Rizzo, Ohio University
 Dimitris Politis, University of California, San Diego

同时，我们也要向培生团队中所有指导这个项目完成的人表示最深切的感谢。你们的专业

⊖ 关于本书教辅资源，只有使用本书作为教材的教师才可以申请，需要的教师请联系机械工业出版社华章公司，电话 010-88378991，邮箱 wanguang@hzbook.com。——编辑注

和友好使我们努力写作成为一种乐趣。谢谢大家!

在这个版本中没有改变的是,我们真诚地希望读者能发现数理统计具有挑战性、知识性和趣味性,也许是在最意想不到的时候,你将发现它是如此充满乐趣。

Richard J. Larsen
范德堡大学
Morris L. Marz
西佛罗里达大学

Table of contents listing chapters and sections such as: 第1章 绪论, 第2章 描述数据, 第3章 概率论, 第4章 二项式数据, 第5章 多元数据, 第6章 多元统计, 第7章 多元统计, 第8章 多元统计, 第9章 多元统计, 第10章 多元统计, 第11章 多元统计, 第12章 多元统计, 第13章 多元统计, 第14章 多元统计, 第15章 多元统计, 第16章 多元统计, 第17章 多元统计, 第18章 多元统计, 第19章 多元统计, 第20章 多元统计, 第21章 多元统计, 第22章 多元统计, 第23章 多元统计, 第24章 多元统计, 第25章 多元统计, 第26章 多元统计, 第27章 多元统计, 第28章 多元统计, 第29章 多元统计, 第30章 多元统计, 第31章 多元统计, 第32章 多元统计, 第33章 多元统计, 第34章 多元统计, 第35章 多元统计, 第36章 多元统计, 第37章 多元统计, 第38章 多元统计, 第39章 多元统计, 第40章 多元统计, 第41章 多元统计, 第42章 多元统计, 第43章 多元统计, 第44章 多元统计, 第45章 多元统计, 第46章 多元统计, 第47章 多元统计, 第48章 多元统计, 第49章 多元统计, 第50章 多元统计, 第51章 多元统计, 第52章 多元统计, 第53章 多元统计, 第54章 多元统计, 第55章 多元统计, 第56章 多元统计, 第57章 多元统计, 第58章 多元统计, 第59章 多元统计, 第60章 多元统计, 第61章 多元统计, 第62章 多元统计, 第63章 多元统计, 第64章 多元统计, 第65章 多元统计, 第66章 多元统计, 第67章 多元统计, 第68章 多元统计, 第69章 多元统计, 第70章 多元统计, 第71章 多元统计, 第72章 多元统计, 第73章 多元统计, 第74章 多元统计, 第75章 多元统计, 第76章 多元统计, 第77章 多元统计, 第78章 多元统计, 第79章 多元统计, 第80章 多元统计, 第81章 多元统计, 第82章 多元统计, 第83章 多元统计, 第84章 多元统计, 第85章 多元统计, 第86章 多元统计, 第87章 多元统计, 第88章 多元统计, 第89章 多元统计, 第90章 多元统计, 第91章 多元统计, 第92章 多元统计, 第93章 多元统计, 第94章 多元统计, 第95章 多元统计, 第96章 多元统计, 第97章 多元统计, 第98章 多元统计, 第99章 多元统计, 第100章 多元统计.

目 录

第 1 章 绪论	1	4.5 负二项分布	259
1.1 概述	1	4.6 伽马分布	267
1.2 一些例子	2	4.7 再看统计学 (蒙特卡罗模拟)	271
1.3 发展简史	6	附录 4.A.1 常用概率密度函数的性质	274
1.4 本章小结	14	附录 4.A.2 中心极限定理的证明	276
第 2 章 概率	15	第 5 章 估计	278
2.1 引论	15	5.1 引论	278
2.2 样本空间和集合代数	17	5.2 估计参数: 最大似然法和矩量法	280
2.3 概率函数	26	5.3 区间估计	293
2.4 条件概率	31	5.4 估计量的性质	308
2.5 独立性	50	5.5 最小方差估计: Cramér-Rao 下界	316
2.6 组合	65	5.6 充分估计量	319
2.7 组合概率	89	5.7 一致性	326
2.8 再看统计学 (蒙特卡罗技术)	99	5.8 贝叶斯估计	329
第 3 章 随机变量	102	5.9 再看统计学 (超越经典估计)	341
3.1 引论	102	第 6 章 假设检验	343
3.2 二项式和超几何概率	103	6.1 引论	343
3.3 离散随机变量	116	6.2 决策规则	344
3.4 连续随机变量	127	6.3 检验二项式数据—— $H_0: p = p_0$	353
3.5 期望值	137	6.4 第一类和第二类错误	359
3.6 方差	153	6.5 最优性的概念: 广义似然比	375
3.7 联合密度	160	6.6 再看假设检验 (统计显著性与 “实际”显著性)	378
3.8 变换和组合随机变量	174	第 7 章 基于正态分布的推断	380
3.9 均值和方差的更多性质	182	7.1 引论	380
3.10 顺序统计量	192	7.2 比较 $\frac{\bar{Y}-\mu}{\sigma/\sqrt{n}}$ 和 $\frac{\bar{Y}-\mu}{S/\sqrt{n}}$	381
3.11 条件密度	199	7.3 推导 $\frac{\bar{Y}-\mu}{S/\sqrt{n}}$ 的分布	383
3.12 矩母函数	206	7.4 关于 μ 的推断	389
3.13 再看统计学 (解释均值)	215	7.5 关于 σ^2 的推断	404
第 4 章 特殊分布	218	7.6 再看统计学 (第二类错误)	412
4.1 引论	218	附录 7.A.1 \bar{Y} 和 S^2 的一些分布结果	414
4.2 泊松分布	219	附录 7.A.2 证明单样本 t 检验是 GLRT	416
4.3 正态分布	235		
4.4 几何分布	257		

附录 7.A.3 定理 7.5.2 的证明	418	12.5 数据变换	604
第 8 章 数据类型: 简要概述	421	12.6 再看统计学 (把统计学的各个学科结合起来——Ronald A. Fisher 的贡献)	606
8.1 引论	421	附录 12.A.1 定理 12.2.2 的证明	608
8.2 分类数据	427	附录 12.A.2 H_1 为真时 $\frac{SSTR/(k-1)}{SSE/(n-k)}$ 的分布	608
8.3 再看统计学 (为什么样本是无效的)	448	第 13 章 随机区组设计	613
第 9 章 两样本推断	450	13.1 引论	613
9.1 引论	450	13.2 随机区组设计的 F 检验	614
9.2 检验 $H_0: \mu_X = \mu_Y$	451	13.3 配对 t 检验	628
9.3 检验 $H_0: \mu_X^2 = \mu_Y^2$ —— F 检验	463	13.4 再看统计学 (在两样本 t 检验和配对 t 检验中进行选择)	634
9.4 二项式数据: 检验 $H_0: p_X = p_Y$	468	第 14 章 非参数统计	638
9.5 两样本问题的置信区间	473	14.1 引论	638
9.6 再看统计学 (选择样本)	478	14.2 符号检验	639
附录 9.A.1 对两样本 t 检验的推导 (定理 9.2.2 的证明)	480	14.3 Wilcoxon 检验	645
第 10 章 拟合优度检验	483	14.4 Kruskal-Wallis 检验	658
10.1 引论	483	14.5 Friedman 检验	662
10.2 多项式分布	484	14.6 随机性检验	665
10.3 拟合优度检验: 所有参数已知	488	14.7 再看统计学 (比较参数化和非参数化过程)	669
10.4 拟合优度检验: 参数未知	498	第 15 章 析因数据 (在线)	15-1
10.5 列联表	507	15.1 引论	15-1
10.6 再看统计学 (离群值)	517	15.2 两因子析因	15-4
第 11 章 回归	520	15.3 两因子析因的平方和	15-16
11.1 引论	520	15.4 期望均方	15-26
11.2 最小二乘法	520	15.5 例子	15-30
11.3 线性模型	543	15.6 三因子析因设计	15-40
11.4 协方差与相关性	563	15.7 2^n 设计	15-51
11.5 二元正态分布	570	15.8 分式析因	15-72
11.6 再看统计学 (如何不解释样本相关系数)	576	附录 A 统计表	674
附录 11.A.1 定理 11.3.3 的证明	577	奇数编号问题的答案	701
第 12 章 方差分析	580	参考文献	725
12.1 引论	580		
12.2 F 检验	582		
12.3 多重比较: Tukey 方法	592		
12.4 对比检验子假设	596		

Contents

1 INTRODUCTION 1

- 1.1 An Overview 1
- 1.2 Some Examples 2
- 1.3 A Brief History 6
- 1.4 A Chapter Summary 14

2 PROBABILITY 15

- 2.1 Introduction 15
- 2.2 Sample Spaces and the Algebra of Sets 17
- 2.3 The Probability Function 26
- 2.4 Conditional Probability 31
- 2.5 Independence 50
- 2.6 Combinatorics 65
- 2.7 Combinatorial Probability 89
- 2.8 Taking a Second Look at Statistics (Monte Carlo Techniques) 99

3 RANDOM VARIABLES 102

- 3.1 Introduction 102
- 3.2 Binomial and Hypergeometric Probabilities 103
- 3.3 Discrete Random Variables 116
- 3.4 Continuous Random Variables 127
- 3.5 Expected Values 137
- 3.6 The Variance 153
- 3.7 Joint Densities 160
- 3.8 Transforming and Combining Random Variables 174
- 3.9 Further Properties of the Mean and Variance 182
- 3.10 Order Statistics 192
- 3.11 Conditional Densities 199
- 3.12 Moment-Generating Functions 206
- 3.13 Taking a Second Look at Statistics (Interpreting Means) 215

4 SPECIAL DISTRIBUTIONS 218

- 4.1 Introduction 218
- 4.2 The Poisson Distribution 219
- 4.3 The Normal Distribution 235
- 4.4 The Geometric Distribution 257
- 4.5 The Negative Binomial Distribution 259
- 4.6 The Gamma Distribution 267
- 4.7 Taking a Second Look at Statistics (Monte Carlo Simulations) 271
- Appendix 4.A.1** Properties of Frequently-Used pdfs 274
- Appendix 4.A.2** A Proof of the Central Limit Theorem 276

5 ESTIMATION 278

- 5.1 Introduction 278
- 5.2 Estimating Parameters: The Method of Maximum Likelihood and the Method of Moments 280
- 5.3 Interval Estimation 293
- 5.4 Properties of Estimators 308
- 5.5 Minimum-Variance Estimators: The Cramér-Rao Lower Bound 316
- 5.6 Sufficient Estimators 319
- 5.7 Consistency 326
- 5.8 Bayesian Estimation 329
- 5.9 Taking a Second Look at Statistics (Beyond Classical Estimation) 341

6 HYPOTHESIS TESTING 343

- 6.1 Introduction 343
- 6.2 The Decision Rule 344
- 6.3 Testing Binomial Data— $H_0: p = p_0$ 353
- 6.4 Type I and Type II Errors 359
- 6.5 A Notion of Optimality: The Generalized Likelihood Ratio 375
- 6.6 Taking a Second Look at Hypothesis Testing (Statistical Significance versus “Practical” Significance) 378

7 INFERENCES BASED ON THE NORMAL DISTRIBUTION 380

- 7.1 Introduction 380
- 7.2 Comparing $\frac{\bar{Y}-\mu}{\sigma/\sqrt{n}}$ and $\frac{\bar{Y}-\mu}{S/\sqrt{n}}$ 381
- 7.3 Deriving the Distribution of $\frac{\bar{Y}-\mu}{S/\sqrt{n}}$ 383

- 7.4 Drawing Inferences About μ 389
- 7.5 Drawing Inferences About σ^2 404
- 7.6 Taking a Second Look at Statistics (Type II Error) 412
- Appendix 7.A.1** Some Distribution Results for \bar{Y} and S^2 414
- Appendix 7.A.2** A Proof That the One-Sample t Test Is a GLRT 416
- Appendix 7.A.3** A Proof of Theorem 7.5.2 418

8 TYPES OF DATA: A BRIEF OVERVIEW 421

- 8.1 Introduction 421
- 8.2 Classifying Data 427
- 8.3 Taking a Second Look at Statistics (Why Samples Are Not "Valid"!) 448

9 TWO-SAMPLE INFERENCE 450

- 9.1 Introduction 450
- 9.2 Testing $H_0: \mu_X = \mu_Y$ 451
- 9.3 Testing $H_0: \sigma_X^2 = \sigma_Y^2$ —The F Test 463
- 9.4 Binomial Data: Testing $H_0: p_X = p_Y$ 468
- 9.5 Confidence Intervals for the Two-Sample Problem 473
- 9.6 Taking a Second Look at Statistics (Choosing Samples) 478
- Appendix 9.A.1** A Derivation of the Two-Sample t Test (A Proof of Theorem 9.2.2) 480

10 GOODNESS-OF-FIT TESTS 483

- 10.1 Introduction 483
- 10.2 The Multinomial Distribution 484
- 10.3 Goodness-of-Fit Tests: All Parameters Known 488
- 10.4 Goodness-of-Fit Tests: Parameters Unknown 498
- 10.5 Contingency Tables 507
- 10.6 Taking a Second Look at Statistics (Outliers) 517

11 REGRESSION 520

- 11.1 Introduction 520
- 11.2 The Method of Least Squares 520
- 11.3 The Linear Model 543
- 11.4 Covariance and Correlation 563

- 11.5 The Bivariate Normal Distribution 570
- 11.6 Taking a Second Look at Statistics (How *Not* to Interpret the Sample Correlation Coefficient) 576
- Appendix 11.A.1** A Proof of Theorem 11.3.3 577

12 THE ANALYSIS OF VARIANCE 580

- 12.1 Introduction 580
- 12.2 The F Test 582
- 12.3 Multiple Comparisons: Tukey's Method 592
- 12.4 Testing Subhypotheses with Contrasts 596
- 12.5 Data Transformations 604
- 12.6 Taking a Second Look at Statistics (Putting the Subject of Statistics Together—The Contributions of Ronald A. Fisher) 606
- Appendix 12.A.1** A Proof of Theorem 12.2.2 608
- Appendix 12.A.2** The Distribution of $\frac{SSTR/(k-1)}{SSE/(n-k)}$ When H_1 Is True 608

13 RANDOMIZED BLOCK DESIGNS 613

- 13.1 Introduction 613
- 13.2 The F Test for a Randomized Block Design 614
- 13.3 The Paired t Test 628
- 13.4 Taking a Second Look at Statistics (Choosing between a Two-Sample t Test and a Paired t Test) 634

14 NONPARAMETRIC STATISTICS 638

- 14.1 Introduction 638
- 14.2 The Sign Test 639
- 14.3 Wilcoxon Tests 645
- 14.4 The Kruskal-Wallis Test 658
- 14.5 The Friedman Test 662
- 14.6 Testing for Randomness 665
- 14.7 Taking a Second Look at Statistics (Comparing Parametric and Nonparametric Procedures) 669

15 FACTORIAL DATA (AVAILABLE ONLINE) 15-1

- 15.1 Introduction 15-1
- 15.2 The Two-Factor Factorial 15-4
- 15.3 Sums of Squares for Two-Factor Factorials 15-16
- 15.4 Expected Mean Squares 15-26
- 15.5 Examples 15-30
- 15.6 The Three-Factor Factorial Design 15-40
- 15.7 2ⁿ Designs 15-51
- 15.8 Fractional Factorials 15-72

Appendix A: Statistical Tables 674

Answers to Selected Odd-Numbered Questions 701

Bibliography 725

INTRODUCTION

CHAPTER
OUTLINE

- 1.1 An Overview
- 1.2 Some Examples
- 1.3 A Brief History
- 1.4 A Chapter Summary

“Until the phenomena of any branch of knowledge have been submitted to measurement and number it cannot assume the status and dignity of a science.”

—Francis Galton

1.1 AN OVERVIEW

Sir Francis Galton was a preeminent biologist of the nineteenth century. A passionate advocate for the theory of evolution (his nickname was “Darwin’s bulldog”), Galton was also an early crusader for the study of statistics and believed the subject would play a key role in the advancement of science:

Some people hate the very name of statistics, but I find them full of beauty and interest. Whenever they are not brutalized, but delicately handled by the higher methods, and are warily interpreted, their power of dealing with complicated phenomena is extraordinary. They are the only tools by which an opening can be cut through the formidable thicket of difficulties that bars the path of those who pursue the Science of man.

Did Galton’s prediction come to pass? Absolutely—try reading a biology journal or the analysis of a psychology experiment before taking your first statistics course. Science and statistics have become inseparable, two peas in the same pod. What the good gentleman from London failed to anticipate, though, is the extent to which *all* of us—not just scientists—have become enamored (some would say obsessed) with numerical information. The stock market is awash in averages, indicators, trends, and exchange rates; federal education initiatives have taken standardized testing to new levels of specificity; Hollywood uses sophisticated demographics to see who’s watching what, and why; and pollsters regularly tally and track our every opinion, regardless of how irrelevant or uninformed. In short, we have come to expect everything to be measured, evaluated, compared, scaled, ranked, and rated—and if the results are deemed unacceptable for whatever reason, we demand that someone or something be held accountable (in some appropriately quantifiable way).

To be sure, many of these efforts are carefully carried out and make perfectly good sense; unfortunately, others are seriously flawed, and some are just plain nonsense. What they all speak to, though, is the clear and compelling need to know something about the subject of statistics, its uses and its misuses.

This book addresses two broad topics—the *mathematics of statistics* and the *practice of statistics*. The two are quite different. The former refers to the probability theory that supports and justifies the various methods used to analyze data. For the most

part, this background material is covered in Chapters 2 through 7. The key result is the *central limit theorem*, which is one of the most elegant and far-reaching results in all of mathematics. (Galton believed the ancient Greeks would have personified and deified the central limit theorem had they known of its existence.) Also included in these chapters is a thorough introduction to combinatorics, the mathematics of systematic counting. Historically, this was the very topic that launched the development of probability in the first place, back in the seventeenth century. In addition to its connection to a variety of statistical procedures, combinatorics is also the basis for every state lottery and every game of chance played with a roulette wheel, a pair of dice, or a deck of cards.

The practice of statistics refers to all the issues (and there are many!) that arise in the design, analysis, and interpretation of data. Discussions of these topics appear in several different formats. Included in most of the case studies throughout the text is a feature entitled “About the Data.” These are additional comments about either the particular data in the case study or some related topic suggested by those data. Then near the end of most chapters is a Taking a Second Look at Statistics section. Several of these deal with the *misuses* of statistics—specifically, inferences drawn incorrectly and terminology used inappropriately. The most comprehensive data-related discussion comes in Chapter 8, which is devoted entirely to the critical problem of knowing how to start a statistical analysis—that is, knowing which procedure should be used, and why.

More than a century ago, Galton described what he thought a knowledge of statistics should entail. Understanding “the higher methods,” he said, was the key to ensuring that data would be “delicately handled” and “warily interpreted.” The goal of this book is to help make that happen.

1.2 Some Examples

Statistical methods are often grouped into two broad categories—descriptive statistics and inferential statistics. The former refers to all the various techniques for summarizing and displaying data. These are the familiar bar graphs, pie charts, scatterplots, means, medians, and the like, that we see so often in the print media. The much more mathematical inferential statistics are procedures that make generalizations and draw conclusions of various kinds based on the information contained in a set of data; moreover, they calculate the probability of the generalizations being correct.

Described in this section are three case studies. The first illustrates a very effective use of several descriptive techniques. The latter two illustrate the sorts of questions that inferential procedures can help answer.

CASE STUDY 1.2.1

Pictured at the top of Figure 1.2.1 is the kind of information routinely recorded by a seismograph—listed chronologically are the occurrence times and Richter magnitudes for a series of earthquakes. As raw data, the numbers are largely meaningless: No patterns are evident, nor is there any obvious connection between the frequencies of tremors and their severities.

Shown at the bottom of the figure is the result of applying several descriptive techniques to an actual set of seismograph data recorded over a period of several years in southern California (73). Plotted above the Richter (R) value of 4.0, for example, is the average number (N) of earthquakes occurring per year in that region having magnitudes in the range 3.75 to 4.25. Similar points are

Episode number	Date	Time	Severity (Richter scale)
⋮	⋮	⋮	⋮
217	6/19	4:53 P.M.	2.7
218	7/2	6:07 A.M.	3.1
219	7/4	8:19 A.M.	2.0
220	8/7	1:10 A.M.	4.1
221	8/7	10:46 P.M.	3.6
⋮	⋮	⋮	⋮

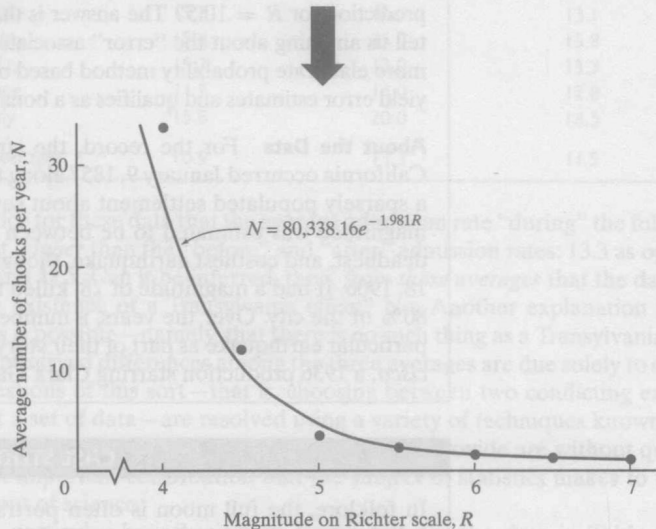


Figure 1.2.1

included for R -values centered at 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, and 7.0. Now we can see that earthquake frequencies and severities are clearly related: Describing the (N, R) 's exceptionally well is the equation

$$N = 80,338.16e^{-1.981R} \quad (1.2.1)$$

which is found using a procedure described in Chapter 11. (*Note:* Geologists have shown that the model $N = \beta_0 e^{\beta_1 R}$ describes the (N, R) relationship all over the world. All that changes from region to region are the numerical values for β_0 and β_1 .)

Notice that Equation 1.2.1 is more than just an elegant summary of the observed (N, R) relationship. It also allows us to estimate the likelihood of future earthquake catastrophes having values of R that have never been observed. On the minds of all Californians, of course, is the Big One, the dreaded rip-roaring 10.5-Richter-scale monster megaquake that turns buildings into piles of rubble, sends busloads of tourists careening into the San Francisco Bay, and moves the intersection of Hollywood and Vine to somewhere in downtown El Segundo. How often might an earthquake of that magnitude be expected?

Letting $R = 10.5$ in Equation 1.2.1 gives

$$\begin{aligned} N &= 80,338.16e^{-1.981(10.5)} \\ &= 0.0000752 \text{ earthquakes/year} \end{aligned}$$

(Continued on next page)