

现代外国统计学优秀著作译丛

# 实验设计与分析

DESIGN AND ANALYSIS  
OF EXPERIMENTS

[美] Douglas C. Montgomery 著

汪仁官 译  
陈荣昭

中国统计出版社

现代外国统计学优秀著作译丛

# 实验设计与分析

(第三版)

[美] Douglas C. Montgomery 著

汪仁官 陈荣昭 译

中国统计出版社

---

一位都提到了, 其中最主要的有波音公司的 Tom Bingham 先生, Dick Vaughn 先生, Julian Anderson 博士, Richard Alkire 先生, 以及 Chase Madison 先生; Alcoa 的 Mike Goza 先生, Don Walton 先生, Karen Madison 女士, Jeff Stevens 先生, 以及 Bob Kohm 先生; IBM 的 Jay Gardiner 博士, John Butora 先生, Dana Lesher 先生, Lolly Marwah 先生, Paul Tobias 博士, 以及 Leon Mason 先生; 可口可乐公司的 Elizabeth A. peck 女士; Signetics 的 Sadri Khalessi 博士和 Franz Wagner 先生; Monsanto 化学制品公司的 Robert V. Baxley 先生; 精密零件铸造公司的 Harry Peterson-Nedry 先生和 Russell Boyles 博士; 联合信号航空航天公司的 Bill New 先生, Randy Schmid 先生, 和 Diane Nowatney 女士; John Fluke 制造公司的小 John M. Fluke 先生; 乔治亚太平洋的 Larry Newton 先生和 Kip Howlett 先生; BBN 软件产品公司的 William DuMouchel 博士, Cynthia Lowry 博士, Ernesto Ramos 博士和 Pat Spagon 博士。

我也感谢 E. S. Pearson 教授和 Biometrika 的理事们, John Wiley & Sons, Prentice-Hall, 美国统计学会, 数理统计学会, 以及允许我们复制版权资料的 Biometrics 的编者。我感谢海军研究局和 IBM 公司对我在工程统计学和实验设计方面的研究工作给予的支持。

道格拉斯 C. 蒙哥马利  
*Tempe, 亚利桑那*

**版权公告:**

**Copyright notice:**

实验设计与分析

DESIGN AND ANALYSIS OF EXPERIMENTS

*(Third Edition)*

[美] Douglas C. Montgomery

Copyright ©1976, 1984, 1991, by John Wiley & Sons, Inc.

All rights reserved.

Authorized translation from English language edition published  
by John Wiley & Sons, Inc.

本书中文版翻译、出版专有权归国家统计局  
统计教育中心和中国经济出版社

(京)新登字 041 号

图书在版编目 (CIP) 数据

实验设计与分析/(美)D.C. 蒙哥马利著(Montgomery, D. C.);  
汪仁官等译. —北京: 中国统计出版社, 1998. 6

(现代外国统计学优秀著作译丛)

书名原文: DESIGN AND ANALYSIS OF EXPERIMENTS

ISBN 7-5037-2448-X

I. 实…

I. ①蒙… ②汪…

Ⅱ. ①实验设计(数学) ②实验分析(数学)

Ⅳ. O212. 6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 07066 号

著作权合同登记: 图字 01-97-0388 号

中国统计出版社出版

(北京三里河月坛南街 75 号 100826)

新华书店经销

科伦克三莱印务(北京)有限公司印刷

\*

850×1168 毫米 32 开本 23.875 印张 60 万字

1998 年 6 月第 1 版 1998 年 2 月北京第 1 次印刷

印数: 1—4 000 册

\*

定价: 49.60 元

(版权所有 不得翻印)

# 现代外国统计学优秀著作译丛 专家委员会

## 主任:

翟立功 国家统计局副局长

## 副主任:

贺铿 国家统计局副局长

王吉利 国家统计局统计教育中心主任

## 委员:

刁锦寰 美国芝加哥大学商学院 教授

吴建福 美国密西根大学统计系 教授

孟晓犁 美国芝加哥大学统计系 博士

张尧庭 上海财经大学数量经济研究所 教授

茆诗松 华东师范大学数理统计系 教授

陈家鼎 北京大学概率统计系 教授

郑祖康 复旦大学统计与运筹系 教授

吴喜之 南开大学数学系 教授

袁卫 中国人民大学统计系 教授

邱东 东北财经大学统计系 教授

郝国印 国家统计局统计教育中心副主任

谢鸿光 中国统计出版社副总编

## 办公室:

刘启荣 国家统计局统计教育中心教材处处长

严建辉 中国统计出版社第二书籍编辑部主任

李毅 国家统计局统计教育中心教材处副处长

## 出版说明

为了加强对国外统计理论与实践的研究和了解,全面反映国外统计科研和教学的发展,促进我国统计教学改革和教材内容更新,在国家统计局领导的大力支持下,全国统计教材编审委员会组织翻译出版了这套“现代外国统计学优秀著作译丛”。

随着我国社会主义市场经济体系的逐步建立,统计教育正面临着十分严峻的挑战。一方面,在社会主义市场经济条件下,不论国家的宏观经济调控还是企业的生产经营管理,都要求准确地把握市场运行的态势,科学地分析经济中各种错综复杂的关系,因而,对统计信息的需求越来越大,对统计人才的业务素质提出了更高的要求;另一方面,我国过去的统计教育模式是按为高度集中的计划经济体制服务的要求建立的,培养的统计人才的知识结构比较单一,难以适应经济体制、统计体制改革的需要。为使统计人才的培养适应建立社会主义市场经济体制的需要,满足二十一世纪现代化建设的要求,缩小与国际先进水平的差距,基础在教育,关键在教材。在继续组织有关专家、学者编写一批反映国内统计科学和统计实践发展的新教材的同时,必须尽快引进并翻译出版一批外国先进统计教材。这是学习外国先进统计知识的一种直接而且十分有效的方式,对于推动国内统计教材内

容更新和教学改革,造就一大批具有渊博知识和多方面业务技能的复合型人才,具有十分重要的意义。

为了做好这套丛书的翻译出版工作,全国统计教材编审委员会成立了现代外国统计学优秀著作译丛专家委员会,对国外统计著作的出版和使用情况进行了调查研究,分析了国内对外国统计教材的需求,在此基础上制定了翻译著作选题规划。在这套丛书的翻译出版过程中,我们得到了国内外有关专家、有关院校统计系和国外有关出版公司的大力帮助和支持,在此表示衷心的感谢。

全国统计教材编审委员会  
1995年7月



## 译者序

由道格拉斯·C. 蒙哥马利写的这本关于实验设计与分析的教科书(第三版),既包括对经典的 Fisher 三原则、区组设计、拉丁方设计、析因实验等的介绍,又有对响应曲面、模型诊断的讨论,还有对田口玄一参数设计的评论,涉及的内容是全面的。

本书还有两个显著的特点:

1. 例子(包括每章后面的问题)极其丰富,所有重要的概念、方法都通过实例反复说明,甚至有的例子本身就是一个小课题。

2. 尽可能通过简单图形与表格来说明概念、方法、结果。甚至有的图形本身就是一种方法。这也是近代应用统计学的一个特色。

这使本书更切合实际,更贴近读者。

若本书中译本的出版发行,有助于实验设计这一科学方法在我国的进一步推广应用,有助于应用统计学在我国的进一步发展,译者将感到莫大的欣慰。

译者

1996年9月20日

# 序 言

这是一本论述实验设计与分析的入门教科书。它是在这20年来我在乔治亚理工学院、华盛顿大学和亚利桑那州立大学任教实验设计大学本科生水准课程的基础上写成的，它也反映了通过自己的专业实践认为有用的实验设计方法。我的专业实践是作为产品和工序的设计与开发、工序故障分析，以及质量改进等多个领域的管理顾问。

本书是供学完统计方法第一课程的读者以及熟悉正态、 $t$ 、卡方、和  $F$  分布，置信区间，普通假设检验的基本概念的读者使用。第15和16章的部分内容要求读者有点矩阵代数的知识。

因为要求的预备知识相对适中，本书可用作工程、物理、数学、生物以及社会科学的大学生的第二统计学教程。我曾经用这本书作为开业的专业人员的实验设计研究班的基础教程，也给来自各种各样的工业领域的工程师、科学工作者、技术员以及经理们教授过本书。在一年级研究生的实验设计课程中，侧重于学科的数学方面，书中的一般内容可以较迅速地翻过去。书中有数据例子用来说明大多数的设计和分析方法，这也使本书可作为各种学科的实验者的参考书。这些例子都是从实验设计在现实世界中的应用而来的。

## 关于本书

第三版是本书的重要修订版。在保持设计和分析这两方面平

衡的同时，我加进了很多新材料和几个新例子。在重新组织第9、10和11章的关于 $2^k$ 析因设计和分式析因设计的材料时，对这些重要课题的处理提高了深度。关于析因设计和分式析因设计的若干其他的论题的第12章是新的。在该章中，讨论了参数设计的田口方法及对这个方法的一些批评，并推荐了一些其他的方法。第16章关于响应曲面，包含了关于响应曲面设计的选择问题，还引入了混料设计问题。

通贯本书，我强调了工程师在产品设计和开发、工序开发和改进、工序故障分析等方面用实验设计作为工具的重要性。说明了利用实验设计有助于工程师开发出不受环境因素和其他变异来源影响的所谓稳健的产品和工序。我相信，在产品/工序开发的早期阶段，成功地应用实验设计会大大缩短开发时间和降低成本，而且比起用其他方法说来，所开发的工序和产品会有更好的性能并有更高的可靠性。

本书含有多于一门通常课程能讲得完的材料，我希望教师们能灵活组织每次课提供的内容，或者根据班级的兴趣更为深入地讨论某些论题。每章之末有一些问题，这些问题从计算练习的角度是多种多样的，有助于加强基础理论的学习和推广或完善基本原理。

## 致谢意

我感谢很多用过本书前两版的学生和教师，他们对本书的修改提出了很有帮助的建议。Lloyd S. Nelson 博士，Andre Khuri 博士，Stephen R. Schmidt 博士，Russell G. Heikes 博士，Harrison M. Wadsworth 博士，William W. Hines 博士，Arvind Shah 博士，Jane Ammons 博士，以及 Pat Whitcomb 先生的建议尤其宝贵。

和我一起工作过的专业人员的建议极其宝贵。这里不能把每

# 目 录

## 序言

<b>1 引言</b> .....	( 1 )
1.1 什么是实验设计? .....	( 1 )
1.2 实验设计的应用 .....	( 3 )
1.3 基本原理 .....	( 8 )
1.4 设计实验指南 .....	(10)
1.5 历史的回顾 .....	(12)
1.6 在实验方法中用统计方法 .....	(13)
<b>2 简单比较实验</b> .....	(15)
2.1 引言 .....	(15)
2.2 基本统计概念 .....	(17)
2.3 抽样与抽样分布 .....	(22)
2.4 关于均值差的推断, 随机化设计 .....	(30)
2.4.1 假设检验 .....	(31)
2.4.2 样本量的选取 .....	(34)
2.4.3 置信区间 .....	(37)
2.4.4 $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ 的情形 .....	(38)
2.4.5 $\sigma_1^2$ 与 $\sigma_2^2$ 为已知的情形 .....	(39)
2.4.6 均值与已知值的比较 .....	(40)
2.4.7 小结 .....	(41)
2.5 关于均值差的推断, 配对比较设计 .....	(43)
2.5.1 配对比较问题 .....	(43)
2.5.2 配对比较设计的优点 .....	(46)

2.6	关于正态分布的方差的推断 .....	(47)
2.7	问题 .....	(50)
<b>3</b>	<b>单因素实验：方差分析 .....</b>	<b>(55)</b>
3.1	一个例子 .....	(55)
3.2	方差分析 .....	(60)
3.3	固定效应模型的分析 .....	(61)
3.3.1	总平方和的分解 .....	(62)
3.3.2	统计分析 .....	(66)
3.3.3	模型参数的估计 .....	(71)
3.3.4	模型适合性检测：预告 .....	(74)
3.3.5	非平衡情况 .....	(74)
3.4	各个处理均值的比较 .....	(75)
3.4.1	均值的图解比较法 .....	(75)
3.4.2	对照法 .....	(77)
3.4.3	正交对照法 .....	(78)
3.4.4	用来比较全部对照的 <i>Scheffé</i> 法 .....	(80)
3.4.5	处理均值的配对比较法 .....	(82)
3.4.6	将各个处理与一个控制进行比较 .....	(89)
3.5	随机效应模型 .....	(90)
3.6	计算机输出示例 .....	(97)
3.7	问题 .....	(98)
<b>4</b>	<b>关于单因素实验的进一步论述 .....</b>	<b>(105)</b>
4.1	模型适合性检测 .....	(105)
4.1.1	正态性假定 .....	(106)
4.1.2	依时间顺序的残差图 .....	(110)
4.1.3	残差对拟合值 $\hat{y}_{ij}$ 的图形 .....	(111)
4.1.4	选择方差稳定化变换 .....	(114)
4.1.5	残差对其他变量的图形 .....	(121)
4.1.6	寻找分散效应 .....	(121)
4.2	样本量的选择 .....	(123)
4.2.1	特性曲线 .....	(123)

4.2.2	规定标准差的增量 .....	(127)
4.2.3	置信区间的估计方法 .....	(128)
4.3	单因素模型的拟合响应曲线 .....	(129)
4.3.1	回归方法 .....	(129)
4.3.2	正交多项式 .....	(131)
4.4	方差分析的回归处理法 .....	(134)
4.5	方差分析的非参数方法 .....	(140)
4.5.1	Kruskal-Wallis 检验法 .....	(140)
4.5.2	关于秩变换的一般评论 .....	(141)
4.6	重复度量 .....	(142)
4.7	问题 .....	(145)
<b>5</b>	<b>随机化区组, 拉丁方, 与有关的设计 .....</b>	<b>(148)</b>
5.1	随机化完全区组设计 .....	(148)
5.1.1	统计分析 .....	(149)
5.1.2	模型适合性检测 .....	(162)
5.1.3	缺失值的估计 .....	(165)
5.1.4	估计模型参数与一般回归显著性检验 .....	(168)
5.1.5	计算机输出示例 .....	(171)
5.2	拉丁方设计 .....	(173)
5.3	正交拉丁方设计 .....	(184)
5.4	问题 .....	(187)
<b>6</b>	<b>不完全区组设计 .....</b>	<b>(194)</b>
6.1	引言 .....	(194)
6.2	平衡不完全区组设计 .....	(194)
6.2.1	统计分析 .....	(195)
6.2.2	参数的最小二乘估计 .....	(201)
6.3	平衡不完全区组设计中区组内部信息的恢复 .....	(202)
6.4	部分平衡不完全区组设计 .....	(206)
6.5	尧登方 .....	(209)
6.6	格子点设计 .....	(212)
6.7	问题 .....	(213)

<b>7 析因设计导引</b> .....	(217)
7.1 基本定义与原理 .....	(217)
7.2 析因设计的优点 .....	(220)
7.3 二因素析因设计 .....	(222)
7.3.1 一个例子 .....	(222)
7.3.2 固定效应模型的统计分析 .....	(224)
7.3.3 模型适合性检测 .....	(233)
7.3.4 估计模型参数 .....	(235)
7.3.5 样本量的选择 .....	(238)
7.3.6 假定在二因素模型中没有交互作用 .....	(240)
7.3.7 每单元一个观察值 .....	(241)
7.4 随机模型与混合模型 .....	(245)
7.4.1 随机效应模型 .....	(245)
7.4.2 混合模型 .....	(248)
7.4.3 样本量的选择 .....	(252)
7.5 一般的析因设计 .....	(252)
7.6 拟合响应曲线与曲面 .....	(262)
7.7 不平衡数据的处理 .....	(270)
7.7.1 成比例数据: 一种容易情况 .....	(272)
7.7.2 近似方法 .....	(273)
7.7.3 精确法 .....	(276)
7.8 问题 .....	(276)
<b>8 平方和与期望均方的计算法则</b> .....	(284)
8.1 平方和计算法则 .....	(284)
8.2 期望均方的计算法则 .....	(287)
8.3 近似 $F$ 检验法 .....	(291)
8.4 问题 .....	(296)
<b>9 <math>2^k</math> 析因设计</b> .....	(298)
9.1 引言 .....	(298)
9.2 $2^2$ 设计 .....	(299)

9.3	$2^3$ 设计	(308)
9.4	一般的 $2^k$ 设计	(319)
9.5	$2^k$ 设计的单次重复	(321)
9.6	附加中心点的 $2^k$ 设计	(340)
9.7	$2^k$ 设计的 Yates 算法	(343)
9.8	问题	(344)
<b>10</b>	<b><math>2^k</math> 析因实验的混区设计</b>	<b>(354)</b>
10.1	引言	(354)
10.2	两个区组的 $2^k$ 析因设计	(354)
10.3	四区组的 $2^k$ 析因设计	(362)
10.4	$2^p$ 个区组的 $2^k$ 析因混区设计	(365)
10.5	部分混区设计	(366)
10.6	问题	(371)
<b>11</b>	<b>二水平分式析因设计</b>	<b>(373)</b>
11.1	引言	(373)
11.2	$2^k$ 析因设计的二分之一分式设计	(374)
11.3	$2^k$ 设计的四分之一分式设计	(391)
11.4	一般的 $2^{k-p}$ 分式析因设计	(402)
11.5	分辨度为 III 的设计	(414)
11.6	分辨度为 IV 和 V 的设计	(425)
11.7	小结	(427)
11.8	问题	(428)
<b>12</b>	<b>有关析因设计和分式析因设计的一些其他专题</b>	<b>(438)</b>
12.1	$3^k$ 析因设计	(438)
12.1.1	引进 $3^k$ 设计的动机与 $3^k$ 设计的记号系统	(438)
12.1.2	$3^2$ 设计	(439)
12.1.3	$3^3$ 设计	(443)
12.1.4	一般的 $3^k$ 设计	(448)
12.1.5	$3^k$ 设计的 Yates 算法	(450)
12.2	$3^k$ 析因设计的混区设计	(451)



12.2.1	三区组的 $3^k$ 析因设计	(452)
12.2.2	九区组的 $3^k$ 析因设计	(456)
12.2.3	$3^p$ 个区组的 $3^k$ 析因设计	(458)
12.3	$3^k$ 析因设计的分式重复	(459)
12.3.1	$3^k$ 设计的三分之一分式设计	(459)
12.3.2	其他的 $3^{k-p}$ 分式析因设计	(462)
12.4	混合水平的析因设计	(464)
12.4.1	二水平和三水平的因素	(465)
12.4.2	二水平和四水平的因素	(467)
12.5	田口玄一对实验设计和质量工程学的贡献	(469)
12.5.1	田口的基本思想	(470)
12.5.2	参数设计的田口方法	(472)
12.6	问题	(494)
<b>13</b>	<b>套设计或分级设计</b>	(500)
13.1	引言	(500)
13.2	二级套设计	(501)
13.2.1	统计分析	(501)
13.2.2	诊断检测	(507)
13.2.3	模型参数的估计	(509)
13.3	一般的 $m$ 级套设计	(513)
13.4	有被套因素和交叉因素的设计	(515)
13.5	问题	(520)
<b>14</b>	<b>带随机化约束的多因素实验</b>	(524)
14.1	多因素的随机化区组设计和拉丁方设计	(524)
14.2	裂区设计	(532)
14.3	裂裂区设计	(537)
14.4	问题	(540)
<b>15</b>	<b>回归分析</b>	(544)
15.1	引言	(544)
15.2	简单线性回归	(545)