

(第二版)

郭祖超 主编

国际统计方法

人民卫生出版社

医用数理统计方法

(第 3 版)

主编 郭祖超

编者(按姓氏笔划数排列)

尹全焕	史秉璋
陆守尊	苏炳华
杨树勤	范思昌
胡琳	高玉建
郭祖超	龚纯

人 民 卫 生 出 版 社

责任编辑 范君媵 徐向凝

医用数理统计方法

(第 3 版)

郭祖超 主编

人民卫生出版社出版

(北京市崇文区天坛西里 10 号)

北京密云卫新综合印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米16开本 59 $\frac{1}{2}$ 印张 4插页 1395千字

1964年4月第1版 1988年10月第3版第2次印刷

印数: 4,601—10,630

ISBN 7-117-10316-2/R·317 定价: 15.65元

[科技新书目160—62]

编写说明

本书在 1948 年版本（《医学与生物统计方法》）和 1963 年版本的基础上，由五个医学院校、研究所的统计学教授协作，根据本学科近二十年来在国内外的进展，作了较多的增订。全书（以下简称“第 3 版”）共二十四章，其中正常值范围、圆形分布、逐步回归、判别分析、聚类分析与主成分分析、非参数检验及其它方法、相对危险度、资料的综合分析、调查设计等章都是新增加的。其余各章也增加了新内容、新资料。较复杂的方法在各该章之末附有计算机计算程序。书末附矩阵基本运算、统计用表四十种、常用符号与缩写、汉英数学与统计词汇，其中名词后的数字为该名词重点讨论的章节号。

第 3 版仍保持原版本的格调特色，通过对实际资料的分析，介绍数理统计方法在医学科研中的具体应用。主要读者对象是医学科研人员、高等医药院校教师、高级卫生防疫人员、医学各专业研究生及其它有关专业人员。

本书编写过程中承上海第二医科大学、华西医科大学、南通医学院、上海市肿瘤研究所等单位的热情支持。南通医学院卫生系蔡辉、吴杰等同志绘制了书中所有插图并核算数据，上海第二医科大学生物统计教研室的同志们核对程序、上机运算，陈峰、张开宁等同志承担了清样校对工作。在此一并表示衷心的感谢！

由于编者的水平与时间条件所限，书中难免存在不少缺点错误，欢迎读者批评指教，以便下次印刷时改正。

郭 祖 超

一九八七年

于中国人民解放军第四军医大学

目 录

第一章 绪论 (郭祖超、史秉璋编)	1
1.1 医学科学研究与数理统计方法	1
1.2 统计资料的来源——调查与实验	2
1.3 统计资料的性质与整理分析	3
1.4 随机事件、样本空间	3
1.5 频率与概率	6
1.6 等可能概型 (古典概型)	7
1.7 条件概率	8
1.8 全概率公式	10
1.9 Bayes 公式	12
1.10 电子计算机在医学统计中的应用	13
小 结	16
练 习 题	17
参考文献	18
第二章 平均数与变异指标 (胡 琳编)	19
2.1 计数资料与计量资料	19
2.2 频数表及其编制	20
2.3 平均数的概念	23
2.4 均数	25
2.5 几何均数	26
2.6 众数	27
2.7 中位数及百分位数	27
2.8 变异指标的概念	30
2.9 极差	30
2.10 四分位数间距	32
2.11 均差	34
2.12 标准差	34
2.13 变异系数	38
小 结	40
练 习 题	41
参考文献	42
第三章 正态分布与对数正态分布 (杨树勤编)	43
3.1 正态分布	43
3.2 正态曲线下一区间的面积	46
3.3 标准正态分布的分位数	48

3.4	概率单位	46
3.5	正态曲线拟合	49
3.6	拟合优度检验	52
3.7	正态性检验	56
3.8	正态性目测法	65
3.9	对数正态分布	68
小 结		70
练 习 题		71
参考文献		72
第四章	正常值范围 (杨树勤编)	73
4.1	正常值范围的意义	73
4.2	确定正常值范围的一般原则和方法步骤	73
4.3	百分位数法	77
4.4	正态分布法	79
4.5	容许区间法	82
4.6	混杂样本剖析法	84
小 结		90
练 习 题		90
参考文献		91
第五章	t检验与u检验 (陆守曾编)	92
5.1	样本均数的抽样误差	92
5.2	样本标准差与样本方差的分	98
5.3	t分布	98
5.4	由样本均数估计总体均数	100
5.5	样本均数与总体均数的比较	101
5.6	差值均数的假设检验	102
5.7	小样本中两个均数的比较——t检验	105
5.8	个别比较与团体比较	106
5.9	大样本中两个均数的比较——u检验	107
5.10	I型错误与II型错误	108
5.11	单侧检验与双侧检验	109
5.12	两个几何均数的比较	112
5.13	两个中位数的比较	114
5.14	两个方差的比较	115
5.15	方差不齐时两个均数间比较的近似法	116
5.16	假设检验的正确应用	118
小 结		119
练 习 题		120
参考文献		121

第六章 圆形分布 ····· (郭祖超编)	122
6.1 圆形分布在医学上的应用·····	122
6.2 圆形分布资料的图示·····	123
6.3 角的均数·····	123
6.4 角的标准差·····	124
6.5 平均角的假设检验·····	126
6.6 两个或多个样本角均数间的比较·····	128
6.7 角度正常值的计算·····	130
6.8 昼时性或季节性流行病学资料的统计分析·····	135
小 结·····	138
练 习 题·····	139
参考文献·····	140
第七章 几种离散型分布 ····· (郭祖超编)	141
7.1 二项分布·····	141
7.2 二项分布的图示·····	142
7.3 二项分布的均数、方差与标准差·····	142
7.4 二项分布的应用·····	144
7.5 二项分布的可信区间·····	148
7.6 Poisson (泊松) 分布·····	149
7.7 Poisson 分布的图示·····	150
7.8 Poisson 分布的均数、方差与标准差·····	152
7.9 Poisson 分布的应用·····	153
7.10 超几何分布·····	156
7.11 超几何分布的图示·····	156
7.12 超几何分布的均数、方差与标准差·····	158
7.13 超几何分布的应用·····	158
7.14 负二项分布·····	159
7.15 负二项分布的概率、均数、方差与图示·····	161
7.16 负二项分布参数 k 的计算方法·····	162
小 结·····	167
练 习 题·····	168
参考文献·····	168
第八章 计数资料的分析 ····· (郭祖超编)	169
8.1 率与构成比·····	169
8.2 率的抽样误差·····	170
8.3 由样本相对数估计总体相对数·····	171
8.4 两个样本率的比较——四格表的 χ^2 检验·····	171
8.5 χ^2 分布、 χ^2 值表与四格表自由度的说明·····	174
8.6 配对资料的 χ^2 值计算·····	175

8.7 χ^2 的合并	176
8.8 四格表的确切概率	178
8.9 四格表中 χ^2 值的校正	184
8.10 多个样本率或两个样本构成比的比较—— $2 \times k$ 表的 χ^2 检验	186
8.11 χ^2 的分量或分割	187
8.12 有序分组资料的线性趋势检验	188
8.13 计数资料的相关分析	190
8.14 计数资料的典型相关分析	192
8.15 两个四格表的交互作用—— $2 \times 2 \times 2$ 表的 χ^2 检验	198
小 结	200
练 习 题	201
参考文献	203
第九章 直线相关 (陆守曾编)	205
9.1 直线相关与相关系数	205
9.2 二元正态分布的特性与相关表	208
9.3 相关系数的假设检验	211
9.4 z 变换值及 r 的可信区间	213
9.5 两个相关系数的比较与合并	214
9.6 多个相关系数的比较与合并	215
9.7 相关分析的正确应用	216
小 结	217
练 习 题	218
参考文献	220
第十章 直线回归 (史秉璋编)	221
10.1 回归的意义	221
10.2 回归方程的计算	222
10.3 回归系数的显著性	224
10.4 过定点的直线回归方程	227
10.5 两种回归模型	229
10.6 大样本中回归方程的计算	231
10.7 直线回归用于区间估计	236
10.8 应变变量平方和的分析	239
10.9 回归的方差分析	240
10.10 直线回归的近似算法	242
10.11 两条回归线的比较	243
10.12 多条回归直线的比较	247
10.13 加权直线回归	249
10.14 相关与回归	251
10.15 直线回归的应用	252

小 结	254
练 习 题	256
参考文献	258
第十一章 方差分析 (陆守曾编)	259
11.1 方差分析的意义	259
11.2 单因素多个均数间的比较	260
11.3 单因素多个均数间的两两比较	263
11.4 单因素多个实验组与一个对照组均数间的两两比较	266
11.5 F值、t值、q值和 q' 值检验之间的关系	269
11.6 两因素多个均数间的比较	272
11.7 拉丁方试验中均数间的比较	274
11.8 缺项的估计	278
11.9 平衡不完全配伍组试验中均数间的比较	285
11.10 参数之估计	292
11.11 多个方差的齐性检验	295
11.12 方差不齐时多个均数间比较的近似F值检验法	297
11.13 变量的变换	299
小 结	303
练 习 题	304
参考文献	305
第十二章 析因实验的方差分析 (郭祖超编)	307
12.1 正交比较	307
12.2 线性模型参数的估计	309
12.3 三因素析因实验—— $3 \times 2 \times 2$ 实验	314
12.4 交互作用显著时主效应的分析	316
12.5 三因素析因实验的随机模型与混合模型	320
12.6 析因设计的符号与 Yates 算法	324
12.7 混杂设计的方差分析	327
12.8 部分混杂设计的方差分析	330
12.9 分数 2^k 析因设计	332
12.10 分数 2^{k-p} 析因设计的特殊形式	334
小 结	339
练 习 题	339
参考文献	341
第十三章 协方差分析 (龚 纯、范思昌编)	342
13.1 回归问题的方差分析	342
13.2 在完全随机的实验中有两种处理时的协方差分析	343
13.3 多组完全随机试验的协方差分析	355
13.4 配伍组资料的协方差分析	361

13.5	析因试验中的协方差分析	365
13.6	多元协方差分析	368
小 结		374
练 习 题		374
参考文献		376
第十四章	多元回归及相关 (史秉璋、苏炳华编)	377
14.1	多元回归的概念	377
14.2	多元回归的用途	377
14.3	多元回归的一般解法	378
14.4	二元回归方程的计算实例	380
14.5	假设检验	381
14.6	区间估计	385
14.7	多元回归通用解法	387
14.8	标准偏回归系数及正规方程组的标准化	389
14.9	多元相关	392
14.10	三元回归分析的完整过程	396
14.11	自回归	403
小 结		409
多元回归计算程序		410
练 习 题		412
参考文献		414
第十五章	逐步回归 (史秉璋、苏炳华编)	420
15.1	概念	420
15.2	逐步回归的计算步骤	422
15.3	计算实例	425
15.4	指标的数量化	432
15.5	逐步回归分析在医学上的应用	434
15.6	逐步回归分析中的几点讨论	442
15.7	前进法与后退法	444
15.8	从全部自变量组合中选取最优回归的方法	446
小 结		448
逐步回归计算程序		449
练 习 题		452
参考文献		452
第十六章	判别分析 (史秉璋、苏炳华编)	458
16.1	概念	458
16.2	最大似然法	459
16.3	Bayes 公式法	464
16.4	Fisher 准则下的判别分析	465

16.5 Bayes 准则下的判别分析	472
16.6 逐步判别分析	479
16.7 回归分析与判别分析的关系	491
小 结	493
逐步判别分析程序	494
练 习 题	498
参考文献	500
第十七章 聚类分析与主成分分析	(史秉璋、苏炳华编) 510
17.1 聚类分析概念	510
17.2 聚类统计量	511
17.3 系统聚类法	515
17.4 逐步聚类法	524
17.5 有序样品的聚类	530
17.6 讨论	539
17.7 主成分分析	539
17.8 因子分析	547
小 结	549
系统聚类法程序	550
有序样品聚类程序	553
主成分分析程序	555
练 习 题	558
参考文献	560
第十八章 曲线回归	(陆守曾编) 573
18.1 引言	573
18.2 曲线回归的用途与一般拟合步骤	573
18.3 简单抛物线的拟合	575
18.4 三次抛物线的拟合	580
18.5 指数曲线的拟合	583
18.6 双曲线的拟合	588
18.7 logistic 曲线的拟合	593
18.8 logit 变换	598
18.9 S 形曲线的三种直线化变换	602
18.10 曲线的比较	602
18.11 曲线拟合的正确应用	608
小 结	609
曲线拟合程序	610
练 习 题	616
参考文献	617
第十九章 非参数检验及其它方法	(陆守曾、陈红子编) 631

19.1	概念	631
19.2	符号检验	632
19.3	秩和检验	634
19.4	超越检验	642
19.5	游程检验	645
19.6	等级相关分析	647
19.7	极差分析	650
19.8	Ridit 分析	653
19.9	序贯分析	656
	小 结	662
	练 习 题	663
	参考文献	665
第二十章	半数效量 (陆守曾编)	666
20.1	引言	666
20.2	概率单位法	667
20.3	加权概率单位法	672
20.4	ED_{50} 的抽样误差	675
20.5	ED_{10} 和 ED_{90}	678
20.6	累计法	679
20.7	平均法	681
20.8	序贯法	683
20.9	半数致死时间	684
20.10	半数效量的正确应用	687
	小 结	688
	练 习 题	689
	参考文献	689
第二十一章	相对危险度 (高玉堂、程国曙编)	691
21.1	概述	691
21.2	队列研究中发病密度资料的分析	691
21.3	队列研究中累计发病率资料的分析	697
21.4	成组(不配对)病例对照研究资料的分析	704
21.5	配对病例对照研究资料的分析	710
21.6	logistic 模式应用简介	718
	小 结	726
	练 习 题	726
	参考文献	728
第二十二章	资料的综合分析 (陆守曾编)	730
22.1	引言	730
22.2	多组均数间的比较与变化趋势	730

22.3 差值与回归·····	735
22.4 多层次分析·····	738
22.5 计量与计数·····	747
小 结·····	748
练 习 题·····	748
参考文献·····	750
第二十三章 调查设计 ····· (杨树勤编)	751
23.1 医学科研中的统计设计·····	751
23.2 调查计划·····	751
23.3 调查方法·····	755
23.4 整理分析计划·····	756
23.5 抽样设计·····	757
23.6 样本含量估计·····	765
23.7 非抽样误差的控制·····	767
小 结·····	769
练 习 题·····	770
参考文献·····	771
第二十四章 实验设计 ····· (郭祖超、尹全焕编)	772
24.1 实验设计的一般原则·····	772
24.2 几种随机数字表的用法·····	773
24.3 完全随机设计·····	775
24.4 配对设计与交叉设计·····	778
24.5 配伍组设计·····	782
24.6 拉丁方设计·····	783
24.7 平衡不完全配伍组设计·····	784
24.8 析因试验设计·····	787
24.9 裂区试验设计·····	790
24.10 正交试验设计·····	793
24.11 样本含量·····	796
小 结·····	803
参考文献·····	804
附录一 矩阵及其基本运算 ····· (史秉璋、苏炳华编)	805
1. 矩阵·····	805
2. 矩阵的运算·····	806
3. 矩阵的转置·····	809
4. 对角形矩阵·····	810
5. 对称矩阵、反对称矩阵和正交矩阵·····	811
6. 行列式·····	811
7. 矩阵的初等变换·····	815

8. 逆矩阵·····	817
9. 线性变换与矩阵·····	819
10. 矩阵的秩·····	822
11. 特征根和特征向量·····	823
附录二 统计用表 (目录见829—924页) ·····	829
附录三 本书常用符号与缩写 ·····	925
附录四 本书汉英数学统计词汇 ·····	929

第一章 绪 论

1.1 医学科学研究与数理统计方法

医学科学研究需用数理统计方法,这一事实已为愈来愈多的人所认识。首先,在阅读医学书刊时,经常遇到一些统计学上的名词、概念、公式、符号,如果对它们不了解,就可能影响对文章内容的理解。假如要验证别人的研究结果,对于文献中所用的统计方法,更非透彻了解不可。其次,在新技术革命的形势下,由于学科间的相互渗透,以及新边缘学科的兴起,数学与电子计算机在医学研究中的应用日益广泛,使数理统计方法成为必不可少的手段。其三,进行科学研究工作,从开始设计、搜集资料到整理分析、作出结论、撰写论文,全部过程都与数理统计方法有关。经常注意这些问题,可以少走弯路,或避免不应有的浪费。

作者在多年的审稿工作中发现,科研设计严密,方法资料准确可靠,数据处理恰当,分析论证合乎逻辑的论文占多数;但是,有缺点错误的文章也不少。例如:

(1) 设计时对于设立对照组的必要性认识不足,相互对比的组与组之间缺乏均衡性。曾有某研究用狗做实验,实验组用了好几条狗,对照组只用两条。由于手术后没有很好护理,中途又死了一条,对照组有结果的只有一条狗。谁也不敢说这一条狗的代表性如何,也无法进行统计处理。又某单位进行预防疟疾药物的现场观察,由于事先没有周密设计,观察员不固定,开始不设对照,后来虽然设了对照组,但是以部队战士和居民对比,两组根本没有可比性,做了几年工作,没有得出正确的结果。

(2) 实验记录不完整,数据残缺不全。某病患者治疗前后脑脊液免疫球蛋白的测定,病人总数有 20 例。但由于搜集资料缺乏计划性,治疗前及治疗后若干日作免疫球蛋白测定者仅 7 例,另 12 例只做了治疗前的测定,还有 1 例做了治疗前后血清免疫球蛋白测定。这样零碎不全的资料无法作出治疗前后免疫机能变化情况的结论。

在同一篇论文里,各表有关数字前后应完全一致,这是统计资料质量好的标志之一。原始记录不完整,就不能达到这个要求。某医院根据三十年来收治伤寒病人的情况,作了某地五十年代到七十年代伤寒患者病情变迁的分析,论文中有九张统计表,摘录各表三个年代的例数如表 1.1。同一年代各表例数参差不齐,这是记录不全的结果。

表 1.1 某医院不同年代收治伤寒病例数

年 代	各 表 例 数								
	表一	表二	表三	表四	表五	表六	表七	表八	表九
1950—59	146	146	138	128	141	146	138	146	146
1960—69	182	182	170	156	175	182	135	182	182
1970—79	120	120	119	101	119	120	91	120	120

(3) 数据未经统计处理,凭表面现象或印象作结论。有的论文作者凭印象写文章,结论中写着孰大孰小、孰高孰低。但经统计分析,结果为相差不显著。文章中的结论在

统计上不成立。如在《注氧前后脑脊液压力及酸碱、气体分析变化》的论文中，有15例病人。原作者作出“脑脊液压力与 $p\text{CO}_2$ 呈正相关，脑脊液压力与 $p\text{H}$ ， $p\text{O}_2$ ， SO_2 呈负相关”的结论。可能这个结论是从参考文献里来的。审稿人用原作者提供的15例病人各项测定数据计算相关系数，结果为不显著。因此从原作者的数据不能得出他所作的结论，导致材料与观点不统一。

我们又发现：有的论文作者只顾写文章，对于统计分析结果不加考虑，甚至统计表有明显错误，写文章的人也不管。曾有一篇论文，实验对象分为三组，甲组的标准差是1.2，乙组的标准差是12.3，丙组的标准差是128。这些数字列在该文的统计表内，文章中也“照抄无误”。由于丙组标准差约为甲组的107倍，这种现象在实际资料中很难见到，引起审稿人的怀疑。经核对原始数据，乙组的标准差是对的，而甲、丙两组都搞错了小数点。

根据上述情况，我们认为统计工作者有普及统计学知识并在普及的基础上提高的责任。医学科研人员有学习统计方法基本知识的需要，通过实践，积累经验，加以正确运用。

1.2 统计资料的来源——调查与实验

统计工作可分为三个阶段，即搜集资料、整理资料与分析资料。科学研究通过调查或实验来搜集资料，这个阶段关系着整个统计工作的质量。若原始资料不准确、不完整，任何复杂的统计加工只能给人以假象。因此必须做好调查设计或实验设计。

调查设计的要求：

1. 明确调查目的和准备用什么指标来阐明问题。例如调查儿童身体发育情况，用同年龄、同性别儿童的平均身高、体重、胸围等指标。

2. 确定调查对象和观察单位。调查对象分清要调查什么，不调查什么。例如调查居住某地五年以上的某民族儿童，那么迁来不满五年的该民族儿童以及其他民族都不在调查之列。调查单位以人为单位，不以家庭为单位。

3. 确定调查方法。

4. 确定调查项目和调查表。

5. 确定搜集原始资料的方式。

6. 制订调查的组织计划。

实验设计的要求：

1. 确定相互比较的实验组与对照组，组与组之间除实验因素作有计划的安排外，其它有关因素应尽量一致，即保持实验条件的“均衡性”。

2. 确定实验对象、观察单位及其数量。

3. 根据实验目的和条件，按“随机化”原则，有计划地将各个观察单位分配到各組中去。

4. 确定实验观察的项目、方法和记录的时间、次数等。

调查与实验有区别，又有密切联系。调查涉及面较广，观察数量较多，影响因素较复杂。实验研究涉及面较小，观察例数不多，实验条件易于严格控制。现场调查提供深入研究的线索，在此基础上开展实验研究；实验研究的成果也需要到现场中去验证。二者密切结合，使研究工作逐步深入。

详见本书第二十三、二十四章。

1.3 统计资料的性质与整理分析

统计资料按其性质大体上可分为三类。

1. 计数资料 计数资料是先将观察单位按某种属性或类别分成若干组,再清点各组观察单位个数所得到的资料。如测定血型,要清点O、A、B、AB型的各多少人;如作结核菌素试验,要计算阳性、阴性各多少人等。计数资料在同组各观察单位之间一般没有量的差别,但各组之间有质的不同,不同性质的观察单位不能归入一组。

2. 计量资料 计量资料是用仪器、工具或其它定量方法对每个观察单位的某项指标进行测量,并把测量结果用数值大小表示的资料,一般带有度量衡或其它单位。如体检时测量的身高、体重、胸围、肺活量、体温、脉搏、呼吸次数、血压,又如病人的年龄、红细胞和白细胞计数、血红蛋白、血小板计数、住院天数等。计量资料每个观察单位的观察值之间有量的区别,但同一批观察单位必须是同质的,否则不能归入一个组。

3. 等级资料或半定量资料 等级资料也是先将观察单位按某种属性或某个标志分组,然后清点各组观察单位个数得来的,但所分各组之间具有等级顺序。这些资料既具有计数资料的特点,又兼有半定量的性质,故称为等级资料或半定量资料。例如对一批急性病毒性肝炎患者作麝香草酚絮状试验,试验结果按-、+、++、+++、++++分组,各组之间既有等级顺序,又有程度与量的差别。又如某病住院病人的治疗结果,按治愈、好转、无效、加重、死亡分组。其它如滴度分为 $>\frac{1}{40}$ 、 $\frac{1}{40}$ 、 $\frac{1}{80}$ 、 $<\frac{1}{80}$ 等都是等级资料。

统计资料的整理分析,须根据研究目的与资料性质。计数资料可先计算率或构成比,然后用本书第八、七或五章的有关部分进行分析比较。计量资料可先计算平均数、标准差等,见第二章,然后用第五、十一、十二章的方法作进一步分析,角度资料的处理见第六章。计算正常值范围可参阅第三、四章。关于变量间的相互关系则在第九、十、十三、十八章讨论。医学上的资料常受多因素的影响,数学上称为多元。第十四至十七章是讨论处理这些资料的。由于多元分析运算复杂,故章后附有电子计算机程序。等级资料及一部分计量资料则用第十九章的方法来处理。药理、毒理研究中常用的半数效量见第二十章,流行病学研究中常用的相对危险度见第二十一章。一批统计资料可以从不同的角度进行整理分析,所用的统计方法往往不止一种,各种方法所得的结果反映事物的不同侧面,因此需要综合分析,在第二十二章中举例说明。

统计工作最根本的一条就是实事求是、如实反映情况。因此在科研工作中必须养成严肃认真的作风和反复核对的习惯,遵守良好的科学道德,同一切弄虚作假的现象进行坚决的斗争,尽最大努力获得正确数据,使分析结论建立在可靠的基础上。

1.4 随机事件、样本空间

为了使读者了解概率论与数理统计方面常用的名词概念,在这里我们将介绍有关概率论、集合论的基本知识。

1. 随机事件 一个随机试验的所有可能的结果是可以知道的,但在每次试验之前却不能确定哪个结果会出现。例如同一批医护人员用同一种疗法治疗某病病人,结果可以有治愈、好转、无效或死亡。对于刚入院的该病某一病人,治疗后究竟发生哪一种结