

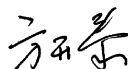
序 一

统计学有很长的历史,在工农业、科技、商业、社会科学、政府决策等领域已得到普遍的应用,已经或正在成为社会发展的必不可少的工具。统计学的普遍应用只是近 40 年的事,得益于计算机的飞速发展。毫不夸张地说,没有计算机及统计软件的支撑,统计学的发展绝大部分只能停滞在理论研究上。一个新的统计方法,如果没有统计软件的支撑,是很难普及的。统计软件成为统计学发展的重要方面。

中国学者对统计软件的关注由来已久。早在“文化大革命”期间,由于地质勘探的需要,中国许多地质大队和大的油田花了大量的人力编制应用多元统计分析的统计软件。可惜编制这些软件的力量没有能够集中、提高,绝大多数团队自然衰退。以中国科学院前计算中心(现属中国科学院数学与系统科学研究院)的张建中、杨自强研究员为首的团队,一直在发展中国人自己的大型系统统计软件。在 20 世纪 80 年代,他们推出了统计软件包 SASD,对中国应用统计的发展起了很大作用。随着中国的改革开放,许多国际通用的大型统计软件包如 SAS、SPSS、MATLAB、R 等逐渐进入中国的统计教育和统计软件市场,中国人自己发展的各种统计软件包的国内市场却日益缩小。

中国是一个大国,需要有中国人自己发展的视窗系统,同时也需要具有自主知识产权的大型统计软件系统。这样的想法不是“闭关自守”,也不是“狭隘的民族主义”。

统计是一门大的学科,包括了众多的方法,如数据的描述性统计、单变量的统计分析(如 t 检验、 F 检验等)、多变量的统计分析、定性数据的数据分析、生存分析、实验的设计和建模、非参数统计等。一个大的统计软件包大多是由一个公司、一个研究单位或一所大学的一个大的团队来研制、发展、推销及服务。使我万分惊讶的是,DPS 统计软件是由唐启义教授个人用了 20 多年的时间,以“愚公移山”的精神研制和发展起来的。该软件涉及面广,使用方便,很受广大用户欢迎。唐启义教授坚持不懈的精神,令人感动。相信在唐启义教授的呵护下,DPS 统计软件会与时俱进,更加人性化,不仅在中国处处开花结果,而且能深入到全世界广大华语地区。



2009 年 5 月于中国珠海市

序 二

——青目睹人少，问路白云头

有所谓“文字的学问”，有所谓“数字的学问”。从科举制度迄今，文字学问的重要性不言而喻。相形之下，数字学问的普及与认知，尚有一段漫长的路。常言道：“数字会说话”，此言不假。但是当数字说话时，您听得懂、看得明白吗？统计学，作为研究数字学问的一门主要学科，在中国历史源远流长。相传在伏羲时代，人们便开始“结绳记事”（详见《周易》），《管子》“问篇”亦提及：“不明于数，欲举大事，如舟之无楫而欲行于大海也。”商鞅在公元前 390 年更提出：“强国需知十三数”，为统计的重要性立下经典。近来在商场上盛行的古代兵书《孙子兵法》更直言：“多算胜，少算不胜。”这些都说明统计在古代中国受重视的程度，数千年后的今天读起来依然意味深长。

计算机当属 20 世纪对人类历史推动最大的技术。自 1946 年在美国宾夕法尼亚大学诞生第一台计算机以来，计算机在功能上以飞快的速度发展，影响领域也从最开始的军事领域拓展到经济社会，以及其他各个领域。1974 年，Intel 公司发布了其面向个人机的八位微处理器芯片 8080。随着超大规模集成电路和微处理器技术的进步，计算机技术更从过去主要集中在大型机和小型机高端领域逐渐进入普通人的生活。自 20 世纪 80 年代初第一台个人计算机面世以来，计算机的成本快速下降。之后，随着互联网技术、多媒体技术的飞速进步，计算机技术快速发展。1993 年互联网开始商业化运行，1995 年 Windows 95 发布，日新月异的技术促进了计算机的快速发展与普及。1997 年 IBM 深蓝计算机战胜了人类国际象棋世界冠军，标志着人工智能发展日趋成熟。21 世纪以来，计算机发展更为迅猛，其与通信技术等的相互渗透和融合，大大推动了人类社会的进步。

计算机硬件的发展为统计学的发展提供了难得的历史机遇。统计学发展初期的方法虽然很好，但是由于计算工作量大，统计分析方法并没有在实践中有效推广开来。电子计算机的发展促进了软件的开发与商业化，推广了统计学的应用。具体来说，计算机从两个方面促进了统计学的发展。一方面，统计计算技术使得统计学家可以在计算机上验证自己的理论，推动了统计理论的发展；另一方面，大量统计软件的普及使得统计分析广泛应用到社会的各个方面，这些实践活动又推动了统计理论的发展。总之，现代统计学已经离不开计算机的发展，计算机已成为统计学发展的基本工具。

根据 1977 年 Kohm 在美国统计学会上的介绍,当时美国有 55 个公众可用的统计软件。1981 年,Francis 的著作中介绍了当时世界各国已有的统计软件 117 个。随着统计方法的不断改进,统计软件也在不断改进。70 年代百家争鸣以来,研发出了一批目前占据主流地位的统计分析软件,比如 SAS、MINITAB、BMDP、SPlus、SPSS 等。由于使用目的的不同,这些统计软件有着不同的使用人群。一般而言,BMDP 和 SPSS 比较受生物医药和社会科学领域人员的喜爱,主流的应用统计人员则更倾向于 SAS,而 SPlus 则更适合于进行统计研究的科研工作者。SAS 公司是目前全世界最大的统计软件公司。其他享有较好声誉的统计分析软件还有 SYSTAT, DataDesk 和 JMP 等。这些软件都是商业软件,由于比较昂贵,在教育界未能充分普及。20 世纪 90 年代末期,出现了类似于 S 语言的 R 软件,该软件平台是免费的,大大增加了其普及性,而由于其灵活性及强大的编程实现能力,该软件获得迅速发展和推广。

在中国统计学快速发展的过程中,统计分析软件必不可少。虽然 20 世纪 80 年代以来,各科研单位所编制的统计分析软件和程序数不胜数,但是随着统计学的发展,绝大多数统计软件由于各种各样的原因而渐渐淡出市场,使得国外较规范的统计分析软件如 SAS、SPSS、BMDP、GLIM 等占据了国内统计分析软件的大部分市场。但是,国内也产生了一批优秀的统计分析软件,如 NOSA、SPLM、Qstat、PEMS、Markway、DPS 等,其中 DPS 分析软件便是最为出色的统计分析软件之一。它立足国内市场,从初期主要用于处理农林生物科研数据起步,经过不断改进,至今已发展成为一款综合性的大型统计软件,尤其是它还开发了具有全球领先地位的均匀实验设计、混料实验设计、动态聚类分析几个功能模块的独创算法。如今,DPS 应用已遍及全国各地,涉及自然科学和社会科学各个领域,如农林牧渔、医药卫生、气象、水文地质、工程计算、市场调研、社会经济、金融等。

改革 30 年,我国经济一天比一天繁荣,但我们的教育与科研并没有明显的同步提升,距离国际水平尚有一大段发展空间。许多方面尚需努力与世界接轨,更遑论领导世界潮流。不过从另一个角度看,我们也不该一味迷信西方理论,而应该从我国国情出发,建立一套适合我国学术与教育的统计软件。这正证实了《孙子兵法》“虚实篇”所言:“致人而不致于人”。换言之,如何自力更生,建立一套属于中国人特质的统计分析软件,而不将就于外国人的思维与文化,进而进军国际市场,影响全世界。作为国内最为优秀的统计分析软件之一,DPS 统计软件研发始于 1988 年,经过 20 多年的努力,发展到现在的规模,填补了国内具有自主知识产权的大型统计软件的空白。

统计大师赵民德先生在《探索真相》一书的导读中引用了《鹿鼎记》第二十二回中韦小宝为了学“一指禅”就询于少林寺首座澄观和尚的一段对话。此话给我印象极深,特别引用如下:

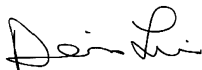
“韦小宝：‘你说那一指禅并不难学，可是从少林长拳练起，一路路拳法练将下来，练成这一指禅，要几年工夫？’

澄观道：‘这在般若堂的典籍中是有记载的。五代后晋年间，本寺有一位法慧禅师，生有宿慧，入寺不过三十六年，就练成了一指禅，进展神速，前无古人，后无来者。料想他前生一定是一位武学大宗师，许多功夫是前生带来的。其次是南宋建炎年间，有一位灵兴禅师，也不过花了三十九年时光。那都是天纵聪明、百年难遇的奇才，令人好生佩服。前辈典型，后人也只有神驰想象了。’”

统计学之深奥，多少人穷极一生都无法参透，吾等凡夫俗子又如何在有生之年得到真谛呢？《DPS[®]数据处理系统》让我们看到了一线曙光。该书内容涵盖之广，仿佛一本统计百科全书。全书8篇52章，包山包海，几乎包括了目前统计应用的主要方向。全书由浅入深，精辟易懂，配合软件操作，让一门高深的统计学可以在短期内得以理解并熟练地应用在生活周边的事务上。那统计学的“一指禅”在一年半载内借由该书得以学到六七成功力，不亦乐乎！

浙江大学唐启义教授是个认真的学者，同时也是热情而务实的工作者。从另一个角度看，唐教授是个理论扎实的统计学家，同时也是应用统计实务的执行者。更者，他是个计算机专家。通过他精心设计，妙笔生辉，该书充分反映了这些特质，也适时地满足了我国目前统计界的需求。

是以为序。

林共进 

2009年春写于美国宾夕法尼亚州

第 6 版前言

DPS 数据处理系统经过 30 多年的开发升级以及数以万计用户的应用反馈,目前已具备了较为完整、适用于各个专业试验设计及试验结果数据统计分析的能力。同时,DPS 数据处理系统已经可以在 Windows 系统及不同芯片架构的国产操作系统下运行。

DPS 数据处理系统反映了我国在具自主知识产权的统计分析软件开发方面实现核心技术的自主可控,解决了数据统计分析等关键领域长期依赖国外技术的问题,实现了各行各业数据统计分析的国产替代。

《DPS[®]数据处理系统》是基于我们开发的 DPS 数据处理系统计算机软件,介绍 DPS 数据处理系统软件试验设计及数据统计分析的工具书。目前版本是第 6 版,篇章结构仍沿用第 5 版。第 6 版主要新增内容有:

第一卷,完善了广义线性模型功能,将复杂的广义线性模型功能以方便操作的图形界面的形式提供给读者。另外,在第一卷中,作者增加了多指标 Kendall 趋势检验等功能。

第二卷,在 BP 神经网络建模中新增了目前常用的激励函数,以及对 BP 神经网络模型中各输入变量对输出变量的影响效应评估的改进。

第三卷,增加了大量的统计内容。这里介绍了作者在综合评价、多属性决策及机器学习中高维数据降维到一维方面的研究成果,即作者提出的最大熵-最小残差非线性数学模型。该数学模型解决了令人头疼的多指标综合评价、多属性决策过程中各个指标权重系数如何科学、客观、精确估计的世界性难题。在专业统计中,还增加了测量系统分析、统计质量控制、多因子分析的决策试验及评价实验室法(Dematel 法)和解释结构模型法(ISM)等内容,完善了 Meta 综合评价分析方法等。同时根据用户建议,对专业统计分析中一些统计功能结果输出进行了完善和充实。

本书各卷和前几版一样,用户界面中对于图中颜色的表述,均是 DPS 软件使用时在屏幕上的显示特征,和书中黑白印刷示意图有所差别,读者在阅读本书时需予以注意。

包括在国产操作系统下,各个版本的 DPS 数据处理系统软件试用版以及相关的帮助文档可从 DPS 数据处理系统网站(网址: www.dpsw.cn)下载。DPS 高级版下载安装之后在安装文件夹下面有一个“例子数据(高级版)”,里面有本书所附的所有例子数据,以供用户了解、练习 DPS 数据处理系统的功能。

DPS 数据处理系统既是我们 30 多年不懈努力的结晶,更是与广大 DPS 统计软件用户一如既往地反馈、支持密不可分。用户的需求是我们软件开发的动力!在此,我们对广大用户的使用、反馈致以衷心感谢。

本书再版得到了农业农村部“农作物病虫害监测、预警与防治服务”(代码: A120301)和杭州睿丰信息技术有限公司的资助。本书成稿过程中得到了作者所在单位和科学出版社的大力支持。这里作者感谢浙江大学生命科学学院冯明光教授和中国水稻研究所胡国文研究员多年来对作者工作的支持和帮助。对已故的浙江大学原副校长程家安教授、湖南省农业厅李绍石研究员、华南农业大学庞雄飞院士在作者从事科研的过程中给予的殷切关怀和鼓励致以衷心的感谢。同时对 30 多年来对作者在 DPS 软件开发、文稿撰写过程中给予帮助的各位朋友、同事、学生,以及我的家人,一一表示感谢。

最后,对 DPS 数据处理系统的广大用户以及关心和扶持 DPS 成长的各个领域的专家、学者表示衷心感谢。

唐启义

2025 年 11 月

第 5 版前言

这是一本介绍试验设计及数据统计分析的工具书,是基于我们开发的 DPS 数据处理系统计算机软件而成的。DPS 数据处理系统经过我们 30 多年的开发以及数以万计的用户的反馈、升级,已较好地满足各个专业试验设计及试验结果数据统计分析的需求。本书也反映了我们在具有自主知识产权的统计分析软件开发方面几十年来不懈努力的成果。

目前的第 5 版,篇章结构仍沿用第 4 版,主要新增内容有:

第一卷,改进了随机区组试验每个处理标准差、标准误的计算方法,即将区组效应去掉之后再计算;增加了两随机变量回归分析、Joinpoint 回归(折线回归)分析功能。

第二卷,这次再版主要新增了两个章节,即第 16 章“高维数据 Lasso 回归分析”和第 20 章“有序约束下的多峰识别模型”。前者既提供了高维数据在变量数量大(多重共线性)且大于样本数时的回归建模技术,又提供了自变量含有分类变量且有缺失数据情形下筛选重要因子、建立回归模型的途径。后者介绍了作者首次提出的有维度限制的多峰识别模型,它提供了解决一维、二维、三维及更高维有序样本的统计分析(如聚类分析)的技术。另外在时间序列分析章节中增加了向量自回归模型、格兰杰因果检验、协整检验和误差修正模型。并对 BP 神经网络算法进行了改进,使之可适合于含缺失数据的情形,并在 BP 神经网络模型中增加了估计各输入变量对输出变量的影响效应的功能。

第三卷,这次再版将面板数据一章调整到第二卷。功能上主要新增了水文气象频率分析,其中对 Wakeby 分布的参数估计提出了独创的新的算法,使拟合精度提高,进行百年一遇、千年一遇重现期估计时更精准。同时根据用户建议,对专业统计分析中一些统计功能结果输出进行了完善和充实。

本书各卷,和前几版一样,用户界面中对于图中颜色的表述,均是 DPS 软件使用时在屏幕上的显示特征。因此和书中黑白印刷示意图有所差别,读者在阅读本书时需予以注意。

DPS 数据处理系统软件试用版以及相关的帮助文档可从 DPS 数据处理系统网站(网址: www.dpsw.cn)中的“下载中心”下载。DPS 高级版下载安装之后在安装文件夹下面有一个“例子数据(高级版)”,里面有本书所附的所有例子数据,以供用户了解、练习 DPS 数据处理系统的功能。

DPS 数据处理系统既是我们 30 多年来不懈努力的结晶,更是广大 DPS 统计

软件用户一如既往地支持的成果。读者和用户的需求是我们软件开发的动力!

本书再版得到了国家重点研发计划项目(项目编号:2016YFD0201302)的资助。作者所在单位和科学出版社给予了大力支持。这里作者感谢浙江大学生命科学学院冯明光教授多年来对作者工作的支持和帮助。对浙江大学原副校长程家安教授、中国水稻研究所胡国文研究员及已故的湖南省农业厅李绍石研究员、华南农业大学庞雄飞院士对作者在 DPS 统计软件开发、升级,以及文稿写作过程中给予的殷切关怀和鼓励致以衷心的感谢。同时特别感谢郭若艳同志在这次再版过程中为校对文稿所付出的大量心血。最后对方开泰教授、王静龙教授、周仁郁教授、刘明芝教授、方萍教授、黄敬峰教授、张承恩高级工程师、董玉恒教授及夏结来博士等给予的帮助表示感谢。多年来浙江大学研究生高薇、孙传恒、唐洁、沈爱华、时嵩、彭奇、宛庭利、刘顺、罗巍等在协助文稿整理、图表编辑处理方面做了很多工作;浙江大学昆虫科学研究所、浙江大学环境毒理研究所的同事给作者工作以很大帮助,在此一并表示感谢。

最后,对 DPS 广大用户以及关心和扶持 DPS 成长的各个领域的专家、学者表示衷心感谢。

唐启义

2020 年春于浙江大学紫金港校区

第 4 版前言

光阴荏苒。DPS[®]数据处理系统软件及其配套专著自 1997 年首次出版以来,经过近 20 年不懈努力,DPS[®]数据处理系统软件得到了长足的发展。配套专著先后以《实用统计分析及其计算机处理平台》《实用统计分析及其 DPS 数据处理系统》《DPS[®]数据处理系统——实验设计、统计分析及数据挖掘》,以及三卷本的《DPS[®]数据处理系统》配套专著形式出版,其篇幅亦从 60 多万字增加到目前的近 200 万字。

目前的第 4 版,篇章结构仍沿用第 3 版,主要的新增内容有:

第一卷,在相关和回归分析(第 6 章)中增加了 Deming 回归、具重复测量试验回归;在分类数据模型分析(第 8 章)中增加了广义线性模型;非参数统计(第 9 章)增加了 Passing-Bablok 回归;混料试验设计与分析(第 12 章)增加了极端顶点设计功能。另外,在第 2 章、第 4 章和第 5 章改进了数据分析方法、用户界面,增加了各个处理直方图比较,以及模型残差作图分析。

第二卷中,作者对相关、回归分析章节内容按是否是多个因变量进行了重组,将典型相关分析、多重筛选逐步回归、偏最小二乘回归分析及线性联立方程合并成“多因变量统计分析”一章,并将原来结构方程模型与路径分析放到本章节。统计分析功能方面,作者改进了逐步回归分析和双重筛选逐步回归分析的用户界面,优化了双重筛选逐步回归相关算法,并在时间序列分析章节中新增了单位根检验等内容。

第三卷中的专业试验统计,增加了面板数据统计分析、多点试验统计分析、格子设计统计分析等方法。并根据用户建议,对一些统计功能结果输出进行了完善、充实,改进许多 DPS 使用时的用户界面。

本书各卷中,对于图中颜色的表述,均是 DPS 软件使用时在屏幕上的显示特征。因此和书中黑白印刷示意图有所差别,读者在阅读本书时需予以注意。

DPS 数据处理系统软件试用版以及相关的帮助文档,可从 DPS 数据处理系统网站(网址:<http://www.dpsw.cn>)中的“下载中心”下载。注意 DPS 数据处理系统有高级版(最新版本)和标准版(2007 年底以前)两个版本。DPS 系统高级版下载安装后,在安装文件夹下面有一个“例子数据(高级版)”文件夹,其中有本书所附的所有例子数据,供用户了解、练习 DPS 数据处理系统及其使用。

在广大读者和 DPS 统计软件用户支持下,经过这三年多的努力,DPS 系统功能又得到了进一步的增强。作者衷心希望广大读者一如既往地支持 DPS 这一国

产统计分析软件,读者和用户的需求就是我们软件开发的动力!读者和用户在实验设计、统计分析和数据挖掘方面如遇到困难,可以通过访问我们为 DPS 提供的专门网站 <http://www.dpsw.cn>,即可得到技术咨询和软件升级。

本书再版得到了国家重点研发计划项目(2016YFD0201300)的资助。作者所在单位和科学出版社给予的大力支持。这里,作者感谢浙江大学生命科学学院冯明光教授多年来对作者工作的支持和帮助。对浙江大学原副校长程家安教授、湖南省农业厅李绍石研究员、中国水稻研究所胡国文研究员及已故的中国科学院庞雄飞院士对作者在 DPS 统计软件开发、升级,以及本书写作过程中给予的殷切关怀和鼓励致以衷心的感谢。并对方开泰教授、王静龙教授、周仁郁教授、刘明芝教授、方萍教授、黄敬峰教授、张承恩高级工程师、董玉恒教授及夏结来博士等给予的帮助表示感谢。多年来浙江大学研究生高薇、孙传恒、唐洁、沈爱华、时嵩、彭奇、宛庭利、刘顺、罗巍等在协助文稿整理、图表编辑处理方面做了很多工作;浙江大学昆虫科学研究所、浙江大学环境毒理研究所的同事给作者的工作以很大帮助,在此一并表示感谢。

最后,对 DPS 广大用户以及关心和扶持 DPS 成长的各个领域的专家、学者表示衷心感谢。

唐启义

2016 年夏于浙大紫金港

第 3 版前言

《DPS[®]数据处理系统》(第 3 版)是作者基于自主开发的 DPS 统计软件而撰写的,以实用为目的的统计工具书。

随着 DPS 统计软件功能的不断完善,相应配套专著已变得越来越厚。许多 DPS 用户、读者反映书本太厚了一些,使用起来不甚方便。因此,这次出版对版面进行了较大调整,并将整个书稿分成三卷出版,第一卷为基础统计及实验设计;第二卷为现代统计及数据挖掘;第三卷为专业统计及其他。

第一卷包括了第二版的第一篇和第二篇及原来“抽样技术”一章,并将原“概率统计模型”一章中的加权列联表分析、多因子综合相关分析放在本卷第 8 章“分类数据模型分析”里面。

在第一卷中,新增了相关和回归分析(第 6 章),系统介绍了相关和回归分析原理、应用及应用中需注意的一些问题。另外,在第 1 章里面增加了“工作表中图形输出”和“DPS 系统应用常见问题解答”两节,在第 2 章里面增加了“缺失值处理”,在第 7 章里面增加了“Poisson 分布抽样下多样本检验”,在第 11 章“多因子优化设计与分析”里面,改写了实验设计工作界面,增加了区组设计的统计分析内容。

第二卷主要包括了第二版的第三篇(多元统计分析)、第四篇(数学模型模拟分析)和第七篇(时间序列分析)以及第八篇中的第 43 章“神经网络和支持向量机”。

在第二卷中新增的内容主要是第 19 章“结构方程模型”,介绍了如何在 DPS 系统下,借助良好的用户界面,实现结构方程的建模与分析。另外,在第 15 章里面增加了“线性联立方程”一节,并以第 2 版第 43 章“神经网络和支持向量机”为主体,增加了“随机森林”,将该章命名为“数据挖掘”。在第 3 版的第 21 章“回归方程模型”主要是原第 2 版的第 30 章“非线性回归模型”内容,但充实了许多内容,如联立方程模型功能得到加强。在时间序列分析领域,增加了时间序列数据的游程检验、谐波分析、奇异谱分析等功能。

第三卷主体内容为第 2 版的第三篇“专业实验统计”、第六篇“常用数值分析”和第八篇“其他数据分析方法”。

在专业实验统计中,这次我们主要增加了生物测定及药物代谢统计学分析、品种区试 AMMI 模型分析作图技术,并根据用户建议,对一些统计功能结果输出进行了完善、充实,修改了许多 DPS 使用时的用户界面。

在本书各卷中,对于图中颜色的表述,均是 DPS 软件使用时在屏幕上显示特征的描述。因此和书中黑白印刷的示意图有所差别,请读者在阅读本书时需予以

注意。

在广大读者和 DPS 统计软件用户的支持下,经过作者三年多的努力,DPS 系统功能又得到了进一步增强。希望广大读者一如既往地继续支持 DPS 这一国产统计分析软件,读者和用户的需求就是我们软件开发的动力!读者和用户在实验设计、统计分析和数据挖掘方面如遇到困难,可以通过访问我们为 DPS 提供的专门网站 <http://www.dpsw.cn> 得到技术咨询和软件升级。

本书这次再版得到了国家重点基础研究发展计划(“973”)课题(编号:2010CB126201)部分资助。作者所在单位和科学出版社给予了大力支持。这里,作者感谢浙江大学生命科学学院冯明光教授多年来对作者工作的支持和帮助。对浙江大学原副校长程家安教授、湖南省农业厅李绍石研究员、中国水稻研究所胡国文研究员及已故的中国科学院庞雄飞院士对作者在 DPS 统计软件开发、升级,以及本书写作过程中给予的殷切关怀和鼓励致以衷心的感谢。对方开泰教授、王静龙教授、周仁郁教授、刘明芝教授、方萍教授、黄敬峰教授、张承恩高级工程师、董玉恒教授及夏结来博士等给予的帮助表示感谢。浙江大学 2004 级软件工程专业唐睿和外语系沈宁宁协助完成了 DPS 数据处理系统软件英文版的翻译与转换工作;研究生宛庭利、刘顺、罗巍,湖南农业大学实习生徐西林、刘云协助第 3 版书稿里面的图表编辑处理;浙江大学昆虫科学研究所、浙江大学环境毒理研究所的同事给作者的工作以很大帮助,在此一并表示感谢。

最后,对 DPS 广大用户以及关心和扶持 DPS 成长的各个领域的专家、学者表示衷心感谢。

唐启义

2013 年春于浙大紫金港

第 2 版前言

《DPS[®]数据处理系统——实验设计、统计分析及数据挖掘》(第 2 版)是作者基于自主开发的 DPS 软件,以实用为目的的统计工具书。

根据读者、用户建议,这次再版除对原有的一些内容进行修改、补充外,还增加了作者在过去两年研发出来的若干新功能的介绍。全书新增了 3 章共 30 多节,并对一些章节的顺序进行了调整。新增的 3 章是:

第 11 章“混料实验设计与分析”。在第 1 版的均匀实验设计技术取得的重大进展的基础上,本章介绍了自主开发的、较目前已有的混料实验设计方法更有效的混料实验设计的新技术,该技术能适合各种情形的混料设计,特别是组分多、实验次数大、限制条件“苛刻”的情形。同时提供了混料实验数据分析和优化的数学模型,为工业、农业和科学实验中应用混料设计提供了新的技术。

第 12 章“数据包络分析与随机前沿面分析”。主要用来评价相同类型部门或单位(称为决策单元)中各成员之间的相对有效性,其中包括非参数的数据包络分析(data envelopment analysis, DEA)和属于参数方法的随机前沿面分析(stochastic frontier analysis, SFA),并给出了在实际工作中计算生产效率时应用较多的 Malmquist 指数。

第 16 章“序贯实验分析”。在进行下一次实验以前,已经知道前面实验的结果,这种一次接着一次的抽样实验为序贯实验。本章提供了在序贯实验中计算各接收时刻的接收概率和各时间区段的拒收概率的方法,并给出了工作特性曲线。

除这 3 章外,还在方差分析、非参数检验、多因子优化与分析、量表分析和顾客满意度指数模型、多变量统计检验、回归分析、多因子分析、非线性回归模型、时间序列及多指标综合评价等 10 多个章节,增加了新的统计分析功能,如实验设计和方差分析中的 Box-Behnken 设计、平衡不完全区组设计实验方差分析、增广随机区组设计及方差分析、多元方差分析的线性模型方法,回归分析中的稳健回归、积分回归和主导分析,多变量时间序列的独立分量分析,以及结合分析、展开法、非参数回归、支持向量机和投影寻踪分类等。

经过这两年多的努力,尽管 DPS 系统功能又进一步增强,但距离广大读者的要求仍差距甚大。希望广大读者一如既往地继续支持 DPS 这一国产统计分析软件,及时指出目前版本的缺点和不足,以便我们继续改进,加速开发新的数据分析技术。读者可通过访问网站 <http://www.chinadps.net> 得到技术咨询和软件升级。

本书再版得到了国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2006AA10Z217)和农业公益性行业科研专项(200803003)的资助。在本书出版过程中,作者所在单位和科学出版社给予了大力支持。这里,作者特别感谢浙江大学生命科学学院冯明光教授多年来对作者工作的支持和帮助。对浙江大学原副校长程家安教授、湖南省农业厅李绍石研究员、中国水稻研究所胡国文研究员及已故的中国科学院庞雄飞院士对作者在 DPS 统计软件开发、升级,以及本书写作过程中给予了殷切关怀和鼓励致以衷心的感谢。并对方开泰教授、王静龙教授、周仁郁教授、刘明芝教授、张承恩高级工程师、董玉恒教授及夏结来博士等给予的帮助表示感谢。浙江大学软件工程专业唐睿和外语系沈宁宁协助完成了 DPS 数据处理系统软件英文版的翻译与转换工作;研究生时嵩、彭奇、高薇、缪清玲协助完成了本书文稿的文字处理;浙江大学植物保护系、昆虫科学研究所农业部作物病虫分子生物学重点开放实验室以及浙江省农业遥感与信息技术重点研究实验室的同事给作者的工作以很大帮助,在此一并表示感谢。

最后,对 DPS 广大用户以及关心和扶持 DPS 成长的各个领域的专家、学者表示衷心感谢。

唐启义

2009 年春节于杭州华家池

第 1 版前言

呈现在读者面前的《DPS[®] 数据处理系统——实验设计、统计分析及数据挖掘》是作者于 2002 年出版的《实用统计分析及其 DPS 数据处理系统》的补充和发展。和原来版本一样,它既是一本以实用为目的的统计工具书,更是一份请柬。它邀请读者进入 DPS 数据处理系统漫游,寓复杂繁冗而又沉闷乏味的统计分析于轻松自如和无穷乐趣之中。

现代科学研究,不管是自然科学还是社会科学的各个领域(物理、化学、工程、医学、生物、经济、社会等),只要存在带有随机性的数据,就需要应用数理统计方法去有效地收集、整理和分析,以便得出正确的结论,为相关决策行动提供科学依据。

统计学的形成可以追溯到 20 世纪 20 年代。当时 Fisher 等以农业科学实验为对象,探讨实验资料的整理和统计分析方法。1922 年,Hayes 研究亲代与子代蛋白质含量的相关性,提出了相关分析的理论。翌年,Fisher 和 Maekenzie 研究肥料对马铃薯产量的影响,首次提出了方差分析和交互作用的概念。1925 年,Engel-dow 研究不同品种在不同地区和不同年份的产量表现时,进一步阐述了因素间的交互作用。Fisher 等正是在研究农业科学实验方法的基础上,建立起了统计学基本理论和方法。这些已被广泛地应用于科学研究、工农业生产和现代经济管理。

随着经典数理统计科学的发展,在 20 世纪四五十年代,多元统计分析在 Pearson 及 Fisher 等人开拓性工作基础之上又有了坚实的理论基础,如关于多元正态分布的理论著述、Anderson(1958)的《多元统计分析导论》等著作,标志着统计学进入到一个新的发展阶段。但是,多元统计分析的发展、完善和广泛应用,离不开计算机科学和计算数学的发展。由于多元统计分析的计算工作量十分惊人,没有计算机是不可想象的。正是由于计算机技术的飞速发展,一些独特的多元统计分析技术,如偏最小二乘法、主成分分析、典型相关(又称“典范相关”)、因子分析、对应分析、判别分析、聚类分析等,在农林、医药、气象、地质、生物、心理、工业、经济、社会等许多研究和生产领域获得了广泛应用。目前,多元统计分析已是统计学中最活跃的分支学科之一。

传统的自然科学和社会科学研究以定性描述为主。Fisher 等创立的一套经典统计方法在定量研究方面迈出了一大步。但囿于其固有缺陷,实验结果的统计推断不能对有关数量关系从机理上予以合理解释,因而其统计模型仍属经验范畴。因此,现代科学工作者们正力图使具体学科的理论及研究对象同数学有机地结合起来,以模型来描述、解释自然现象和社会、经济的运动规律,从而解决科研和生产

中的实际问题。

自 20 世纪六七十年代以来,一些新的统计理论和分析技术发展起来。如 20 世纪 60 年代 Zadeh 提出的模糊集合论在各个领域的应用已十分广泛。实践证明,模糊数学方法在农业、图像识别、天气预报、地质地震、交通运输、医疗诊断、信息控制、人工智能等领域的应用已初见成效,其发展前景广阔。作为预报和控制的有力工具,研究系统变化规律的时间序列分析技术目前正被广泛应用于地质、石油、气象、商业、工程控制等领域,在农业中已被用于作物病虫害的中长期预测预报,并获得了可喜的成功。灰色系统是我国学者邓聚龙先生于 20 世纪 80 年代初提出的用于控制和预测的新技术,目前亦在我国农业、社会和经济等领域广泛应用,并已取得显著成就。

统计学的发展源远流长,内容十分丰富。迄今为止,国内外统计学专著和教科书已有多种版本见诸于世。如果按照一般统计学著述的内容和体裁,我们没有必要再推出一本教科书似的理论专著,让广大科技工作者在复杂的数学公式堆中艰难跋涉。本书的编写宗旨强调实用性。作者在内容上刻意求新,形式上力求通俗易懂,在取材上尽可能全面,并注意反映国内外在实验设计和统计分析方面的最新研究进展。书中介绍的 400 多种统计分析方法,可以满足各个领域的统计分析需要,且都能在作者设计制作的 DPS 计算机数据处理系统中随意调用,自如操作。本着服务于读者、服务于用户的最高宗旨,作者对入选的 400 多种统计分析方法分门别类,每一类(种)统计分析技术按照方法或原理简介与操作示例两个基本部分编写,全书共分 8 篇 41 章。同时,作者按书中篇目类别设计 DPS 系统的套叠下拉式主菜单和子菜单,将带给读者和用户极大的便利。下面分篇给予简单介绍,以引导读者高效率地使用书中的各种分析技术和 DPS 数据处理系统。

第一篇主要介绍 DPS 系统的性能、特点和操作要领。DPS 数据处理系统是作者独立研究开发的大型通用多功能数据处理分析应用软件系统。该系统在 IBM PC 及其兼容机、中文 Windows 98/2000/XP 下运行。因此,在使用 DPS 系统之前,建议读者首先浏览本篇内容,熟悉该系统将使读者在数据处理和统计分析中事半功倍。

第二篇的编写充分考虑到经典实验统计的完整性和系统性,提供了比较全面的实验设计和实验结果统计分析的内容,如 t 测验、方差分析、列联表分析、非参数检验、最优回归实验设计与分析以及多元方差分析等,尤其对方差分析给予了较为详尽的介绍。因此,各个层次、各个领域的读者都可使用这些基本的统计学分析方法。

第三篇介绍了一些应用于某些较特殊专业领域的统计分析技术,如心理统计中的量表分析、顾客满意指数的结构方程模型分析、实验评价的 ROC 曲线分析、地理统计分析,还为育种学工作者提供了品种区域实验的统计分析技术,为生态学

工作者提供了动植物种群数量抽样、动植物种群数量空间分布研究、生物群落的消长演替过程分析、生存分析等方面的内容;对从事生物测定研究的科技人员来说,作者既提供了经典 Finney 概率分析方法,还重点引入近几年才逐渐发展起来的更为完善的分析工具,即时间—剂量—死亡率模型(TDM)分析技术。

第四篇以较大篇幅介绍多变量统计分析技术,并注意反映目前国内外的最新研究动态,将最新的技术提供给读者。近年来,多变量统计分析技术已被广泛应用于各个领域的科学实验中,因为人们越来越多地将研究对象作为一个有机结合的整体即多元素系统(亚系统)来对待,而不是分割开来作为单独事物处理。“从树木到森林”,抓住系统运动变化的本质,舍弃次要因素,通过简化系统的结构,探索系统运动变化的总趋势,为人类征服自然、改造自然服务。因此,偏最小二乘回归分析、主成分分析、因子分析、对应分析、典型相关分析、聚类与判别分析以及马尔可夫链分析等多因子分析技术备受自然科学和社会科学各领域科研人员的重视。在 DPS 中还提供了我们研发的含有定性变量的逐步回归分析技术。

第五篇和第六篇向读者介绍相当灵活的通用数学模型的模拟分析和数值计算工具。因前面介绍的分析方法和程式基本上都有完整的体系和要求,读者必须按部就班地照着去做。而利用第五、六篇的通用工具,读者将尽可能地发挥自己的专长和展现自己的学识水平,实现思维活动的飞跃。例如,模拟作物生长发育过程或经济活动的演替规律,建立结合自己专业和学科特点的数学模型,而不是套用别人的现成模型。读者可以借助 DPS 系统强大的数学建模功能,在计算机上实现自己的思维活动,获得所想即所见、所见即所得的效果。

第七篇介绍时间序列分析技术。时间序列分析是根据系统观测得到的时间序列数据,通过曲线拟合和参数估计来建立数学模型的理论和方法,常用于国民经济宏观控制、区域综合发展规划、企业经营管理、市场潜量预测、气象预报、水文预报、地震前兆预报、农作物病虫害灾害预报、环境污染控制、生态平衡、天文学和海洋学等方面。

第八篇为读者提供一些不属于经典统计学但近年来发展迅速且应用已经相当广泛的模型分析技术,即模糊数学分析、灰色系统分析和神经网络模型技术。只要读者有兴趣,DPS 系统可以帮助读者熟悉和掌握上述各项分析技术,并应用到研究实践中去。

综上所述,本书和 DPS 数据处理系统是密不可分的整体。作为通用的数据处理和统计分析的工作平台,作者在系统的设计方面注重专用性与通用性以及“傻瓜”性和灵活性的关系,以适应不同层次读者的需要。

专用性和通用性。DPS 的有些功能是专为某些领域或完成某一类工作而专门设计的,如“生物测定”是专为从事化学或生物制剂的生物活性测定的人员而设计的;种群空间分布型及群落参数统计分析、品种区域实验等章节都是服务于某个领

域的科学工作者。相对来说,它们的用途比较专一。但是,本书中绝大部分统计分析和建模技术都是通用的,例如丰富的数学函数、交互方式的矩阵运算功能以及通用数学模型的模拟分析技术。DPS 处理数学公式的功能非常独特,有利于读者发挥潜在的想象力和创造力。同时,数学计算功能,特别是矩阵交互式处理功能,在当前微机普及的情况下,将有助于高等院校数理统计课程的教学,使繁冗无味的矩阵运算得以在计算机上精确而快速地进行,并且在一定程度上提高学生的学习积极性和教学质量。

“傻瓜”性和灵活性。在 DPS 平台上进行经典统计分析的过程十分简单。它无需读者懂得数学推导,无需读者了解运算细节,只需读者将自己的实验数据输入电子表格,将它们定义成数据块(移动鼠标将待分析的数据“框”起来),然后调用分析功能(用鼠标点选菜单),按回车键就可在当前光标下面得到分析结果。虽然有些较复杂的统计分析需要读者输入参数,但系统会自动给以提示,如用户事先没有相关的经验,系统会给出缺省值,用户只管用鼠标点击“确定”按钮,就可以获得较优的分析结果;又如时间序列分析,系统以直观的图形方式让读者确定参数,只要读者稍有常识,无需牢记一大堆统计分析过程中的参数辨识准则,就可成为高水平的建模能手;再如在系统聚类分析中,聚类结果一次成“像”,给出的是非常直观的聚类谱系图等。系统的这些功能,好比一只傻瓜型照相机,使用时只需按快门。另一方面,DPS 系统在数据处理和模型模拟中又比较灵活,完全取决于读者的经验和知识水平。如数据行列的转换功能、通用方差分析的广义线性模型的应用、自定义数学模型的拟合、逐步回归及逐步判别分析中 F 检验临界值的随意调整等等,使读者大有用武之地,挥洒自如。

应当指出,本书不是一本基础理论教材,而是一本不需要高深数理统计知识即可看懂的统计方法论专著。事实上,要把本书中每种统计方法的理论背景在这样一本书中完全交代清楚是不太可能的,因为有些章节本身就是一本书的内容。作者的主要目的是要把读者从繁琐的统计分析中解放出来,既要用最适合、最先进的统计分析技术为自己的研究工作服务,又不被它们复杂的数学公式和运算所困扰。如果本书及其 DPS 数据处理系统能使读者在数据处理和统计分析方面有所获益或帮助,作者的基本目的就达到了。

DPS 统计软件相关图书自 1997 年中国农业出版社第一次出版以来,已经历了 10 个不平凡的年头。在这 10 年中,国内外统计软件品种繁多,竞争十分激烈,但由于有广大用户的大力支持,DPS 终于突破重围,在国内应用统计软件领域占有了一定地位。为此,我们对 DPS 广大用户以及关心和扶持 DPS 成长的各个领域的专家、学者表示衷心的感谢!

经过 4 年的努力,尽管 DPS 系统的功能又进一步增强,但离广大读者的要求还有较大差距。作者希望广大读者继续支持 DPS 数据处理系统这一国产统计分

析软件,使之不断完善。在使用过程中如发现缺点和不足请及时反馈给作者,以便再次修订时改进。作者将不辜负广大读者的期望,努力工作,不断充实新内容。为方便广大读者、用户使用 DPS 数据处理系统,及时解答用户在应用中的技术问题,加快更新 DPS 软件步伐,使之日臻完善,特设立了为 DPS 统计软件提供技术支持的网站 <http://www.chinadps.net> 和 <http://www.statforum.com>。读者可通过访问该网站及时得到 DPS 使用技术咨询和软件的升级服务。

本书的出版得到国家自然科学基金(30370914)和国家 863 计划项目(2002AA243041)的资助。在本书修订和出版过程中,作者所在单位和科学出版社给予了大力支持;浙江大学原副校长程家安教授、湖南省农业厅李绍石研究员、中国水稻研究所胡国文研究员及已故的中国科学院庞雄飞院士对作者在 DPS 统计软件开发、升级,以及本书写作过程中给予了殷切关怀和鼓励;香港浸会大学方开泰教授、华东师范大学王静龙教授、成都中医药大学周仁郁教授、湖南中医学院刘明芝教授以及第四军医大学夏结来博士等给予大力帮助;研究生孙传恒、唐洁和沈爱华协助本书文稿的文字处理;浙江大学昆虫科学研究所的各位同事给作者工作以很大帮助,作者在此一并表示感谢。

作 者

2006 年 3 月于杭州

目 录

序一

序二

第 6 版前言

第 5 版前言

第 4 版前言

第 3 版前言

第 2 版前言

第 1 版前言

第六篇 常用数值分析

第 32 章 矩阵计算·····	1283
32.1 矩阵转置 ·····	1283
32.2 矩阵基本运算 ·····	1284
32.3 矩阵自乘 ·····	1286
32.4 矩阵样本方差 ·····	1287
32.5 矩阵总体方差 ·····	1289
32.6 解正规方程组 ·····	1289
32.7 矩阵求逆 ·····	1290
32.8 奇异值分解 ·····	1291
32.9 实对称矩阵特征值和特征向量 ·····	1292
32.10 实矩阵特征值和特征向量·····	1295
32.11 应用矩阵运算组建多元线性回归模型·····	1299
参考文献 ·····	1301
第 33 章 方程求解及多项式求根·····	1302
33.1 线性方程组求解 ·····	1302
33.2 非线性方程组求解 ·····	1303
33.3 实系数多项式求根 ·····	1304
参考文献 ·····	1307
第 34 章 微积分数值计算·····	1308
34.1 定积分 ·····	1308

34.2 多重积分	1309
34.3 数值微分	1311
34.4 微分方程(组)初值求解	1313
参考文献	1316

第七篇 专业试验统计

第 35 章 生物测定与药物动力学	1319
35.1 质反应生测机率值分析	1320
35.2 数量反应生测机率值分析	1327
35.3 混剂互作毒力系数统计分析	1329
35.4 时间-剂量-死亡率模型分析	1340
35.5 药物代谢动力学(房室模型)	1344
35.6 药物代谢动力学(非房室参数估计)	1353
参考文献	1357
第 36 章 诊断试验评价	1360
36.1 诊断试验常用指标	1360
36.2 有序分类资料 ROC 曲线	1365
36.3 定量数据 ROC 曲线分析	1371
36.4 汇总多个样本的 SROC 曲线分析	1373
36.5 序贯试验分析	1379
参考文献	1396
第 37 章 生存分析	1398
37.1 生存率估计	1399
37.2 两样本生存率 Log-Rank 检验	1403
37.3 寿命表的编制与分析	1405
37.4 比例风险模型——Cox 回归	1416
37.5 指数模型	1421
37.6 Weibull 模型	1424
参考文献	1426
第 38 章 数学生态学方法	1427
38.1 标记-重捕获方法	1428
38.2 种群空间分布型聚集度指标测定	1438
38.3 负二项分布公共 k 值估计	1440
38.4 二元变量距离系数	1442
38.5 距离系数计算	1445

38.6	极点排序	1448
38.7	物种丰富度估计	1450
38.8	对数序列参数估计	1451
38.9	对数正态分布模型参数估计	1453
38.10	群落多样性指数	1454
38.11	生态位宽度指数	1458
38.12	生态位重叠指数	1460
	参考文献	1462
第 39 章	地理统计	1465
39.1	空间自相关分析	1465
39.2	空间联系统计分析	1470
39.3	局部空间相关分析	1473
39.4	实验半变异函数	1475
39.5	协方差函数及相关系数	1478
39.6	变异函数理论模型的最优拟合	1479
39.7	交叉验证	1483
39.8	克立格插值	1485
	参考文献	1487
第 40 章	品种区试及其他农学试验	1489
40.1	一年多点区域试验的稳定性分析	1489
40.2	一年多点区域试验的统计分析	1501
40.3	多年多点品种区域试验的统计分析	1504
40.4	品种区域试验 AMMI 模型分析	1508
40.5	SHMM 模型	1516
40.6	增广随机区组设计试验	1518
40.7	格子设计统计分析	1523
40.8	多点随机区组设计试验方差分析	1527
40.9	作物品种区试 GGE 双标图	1532
	参考文献	1541
第 41 章	遗传统计	1543
41.1	世代平均数分析方法	1543
41.2	遗传力	1547
41.3	重复力(率)	1558
41.4	遗传相关	1563
41.5	选择指数	1569

41.6	最佳线性无偏预测	1572
41.7	NC I 设计(两因素巢式设计)	1575
41.8	NC II 设计(不完全双列杂交设计)	1577
41.9	NC III(回交系统)设计	1584
41.10	完全双列杂交 Griffing 配合力分析	1586
41.11	双列杂交设计 Hayman 分析法	1604
	参考文献	1611
第 42 章	环境风险评估	1613
42.1	频率分析的几个基本概念	1614
42.2	两参数分布频率分析	1618
42.3	Pearson-III 型分布	1625
42.4	广义极值分布	1629
42.5	广义帕雷托分布	1637
42.6	广义 Logistic 分布频率分析	1643
42.7	广义正态分布频率分析	1647
42.8	Kappa 分布	1651
42.9	Wakeby 分布	1656
42.10	物种敏感度分布	1661
42.11	区域灾害风险评价	1669
42.12	标准化降水指数 SPI	1671
42.13	标准化降水-蒸散发指数	1679
	参考文献	1683
第 43 章	数据包络分析和随机前沿面分析	1686
43.1	生产效率分析基本原理	1687
43.2	数据包络分析 CCR 模型	1689
43.3	数据包络分析扩展模型	1698
43.4	考虑价格因素时的 DEA 模型	1705
43.5	面板数据的 Malmquist 指数	1710
43.6	随机前沿模型	1715
43.7	面板数据随机前沿模型	1725
	参考文献	1736
第 44 章	量表分析和顾客满意指数模型	1739
44.1	项目分析	1739
44.2	量表可信度分析	1742
44.3	顾客满意指数模型	1748

44.4 结合分析	1756
参考文献	1761
第 45 章 抽样检验及测量系统分析	1762
45.1 属性一致性分析	1762
45.2 计数产品抽样检验	1770
45.3 测量系统偏倚分析	1775
45.4 测量系统线性分析	1776
45.5 测量系统重复性、再现性(R&R)的方差分析	1779
参考文献	1783
第 46 章 控制图及其统计过程控制	1784
46.1 常用控制图	1784
46.2 正态分布过程能力分析	1801
46.3 非正态分布过程能力分析	1810
46.4 二项分布过程能力分析	1814
46.5 Poisson 分布过程能力分析	1818
参考文献	1821
第 47 章 综合评价暨多属性决策数学模型	1822
47.1 最大熵-最小残差综合评价模型	1824
47.2 综合评价研究设计、实施与数据预处理	1832
47.3 残差诊断	1840
47.4 DPS 系统下最大熵-最小残差建模	1843
47.5 综合评价模型和目前常用模型比较	1850
47.6 对称型 S 曲线模型	1857
47.7 非对称型 S 曲线模型	1868
47.8 其他类型综合评价模型	1875
47.9 其他残差函数综合评价模型	1885
47.10 系统分亚组综合评价模型	1887
47.11 面板数据多因子综合评价模型	1899
47.12 因子加权综合评价模型	1908
47.13 考虑影响因子的综合评价模型	1912
47.14 广义熵-最小残差模型	1922
47.15 最大条件熵-最小残差综合评价模型	1926
47.16 其他形式综合评价模型	1940
参考文献	1945
第 48 章 Meta 分析	1948

48.1	连续型变量的效应量	1948
48.2	二分类数据效应量	1951
48.3	其他实验处理的效应量	1954
48.4	固定效应和随机效应	1957
48.5	异质性	1964
48.6	数据偏倚分析——漏斗图	1968
48.7	数据结果分析——森林图	1970
48.8	连续变量 Meta 分析示例	1971
48.9	二分类变量 Meta 分析示例	1974
48.10	其他效应量 Meta 分析	1977
48.11	亚组分析	1983
48.12	Meta 分析的局限性	1992
	参考文献	1992
第 49 章	圆形分布资料统计分析	1994
49.1	平均角及其假设检验	1994
49.2	两个或多个样本平均角的比较	1998
49.3	多个样本平均角的比较	2001
49.4	圆-圆相关	2002
49.5	圆-线相关	2004
	参考文献	2006
第八篇 其他数据分析方法		
第 50 章	模糊数学方法	2009
50.1	模糊聚类分析	2009
50.2	模糊模式识别	2018
50.3	模糊相似优先比方法	2021
50.4	模糊综合评判	2024
50.5	模糊关系方程求解	2028
50.6	综合评判逆问题	2030
	参考文献	2032
第 51 章	灰色系统分析	2033
51.1	关联度分析	2033
51.2	灰色动态(GM)建模基本原理	2042
51.3	灰色数列 GM(1,1)模型	2046
51.4	灰色数列 GM(2,1)模型	2050

51.5 灰色数列 GM(1,N)模型	2053
51.6 灾变预测	2057
参考文献	2059
第 52 章 其他综合评价方法	2060
52.1 DEMATEL 法	2060
52.2 ISM 分析	2064
52.3 投影寻踪分类模型	2072
52.4 Topsis 法	2087
52.5 层次分析法	2089
参考文献	2102

第六篇 常用数值分析

数值计算是计算机处理和工程技术研究的重要内容。作为实用的实验统计的计算机数据处理平台,我们把重点放在一些统计分布理论上,处理一些带有随机误差的实验数据,根据各个专业的规律建立数学模型,以期有助于解释自然界的某些现象的运动过程。而一般用于工程技术的、精确的数学计算问题的数值分析技术,目前在生物统计分析方面应用较少。因此我们仅介绍一些最基本的数值分析技术,以便读者参考、应用。

考虑到本书的主要对象是各个领域的科研工作者,故本篇只对一些数值分析方法,在简述其原理的基础上,给出一些例子,使读者能在 DPS 计算机处理平台上灵活地应用。

DPS 平台主要包括以下几类数值分析工具:

(1) 矩阵计算:计算数据矩阵各列(变量)均值、方差、标准差及变异系数及矩阵的奇异值分解;计算数据矩阵各个变量间的相关系数、实对称矩阵以及一般实矩阵特征值、特征向量计算,矩阵求逆等。

(2) 方程求解:包括线性方程组求解、非线性方程组求解和实系数多项式求根。

(3) 常用微分数值分析技术:包括求定积分、多重积分、导数以及解微分方程组初值问题,这是本篇的重点。例如,在生物学中有很多生物现象的变化过程是动态的,著名的 Logistic 模型

$$\frac{dN_t}{dt} = N_t r \left(1 - \frac{N_t}{K} \right)$$

和 Lotka-Volterra 竞争模型

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = ax - bx^2 - cxy \\ \frac{dy}{dt} = ey - fxy - gy^2 \end{cases}$$

等都是微分方程。

在 DPS 平台上,微分数值分析技术是模拟分析生态过程、揭示生物运动规律的有用工具之一。

第 32 章 矩 阵 计 算

线性代数是多变量统计分析和计算方法的重要基础。在统计学教学、科研及应用工作中经常碰到矩阵运算。这类运算尽管原理相当简单,但实施计算操作却相当费时费力。因此,DPS 系统包括了常用的矩阵运算功能,供读者在处理平台上灵活运用。

DPS 数据处理系统提供了许多种常用的矩阵计算功能,所有功能以菜单和工具按钮两种形式给出,这里仅介绍一些主要计算功能。

进行数据矩阵计算前需要先定义数据矩阵块。在作矩阵的加、减、乘运算时需要两个数据矩阵,数据块的定义最通用的方法是将鼠标位置移到数据块的块首,按下鼠标左按钮并拖动鼠标到数据块的块尾位置,然后松开按钮。如需定义第二个数据块,可在按下“Ctrl”键时再按下并拖动鼠标,即可定义第二个数据块。在此将有关计算功能的定义及操作使用方法予以介绍,并以多元线性回归参数求解为例,对矩阵运算的应用技巧进行说明。

32.1 矩 阵 转 置

如欲对数据矩阵进行转置,先将数据编辑、定义成数据块,再用鼠标点击工具按钮。对如图 32-1 所示的数据矩阵进行转置,可将数据按图 32-1 方式定义数据块。

	A	B	C	D	E	F	G	H
1		虚拟变量	x1	x2	x3	x4	Y	
2		1	7	26	6	60	78.5	
3		1	1	29	15	52	74.3	
4		1	11	56	8	20	104.3	
5		1	11	31	8	47	87.6	
6		1	7	52	6	33	95.9	
7		1	11	55	9	22	109.2	
8		1	3	71	17	6	102.7	
9		1	1	31	22	44	72.5	
10		1	2	54	18	22	93.1	
11		1	21	47	4	26	115.9	
12		1	1	40	23	34	83.8	
13		1	11	66	9	12	113.3	
14		1	10	68	8	12	109.4	
15								

图 32-1 矩阵转置的数据块编辑、定义方式

然后,点击按钮,即可得到结果如下:

虚拟变量	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
x1	7	1	11	11	7	11	3	1	2	21	1	11	10
x2	26	29	56	31	52	55	71	31	54	47	40	66	68
x3	6	15	8	8	6	9	17	22	18	4	23	9	8
x4	60	52	20	47	33	22	6	44	22	26	34	12	12
Y	78.5	74.3	104.3	87.6	95.9	109.2	102.7	72.5	93.1	115.9	83.8	113.3	109.4

32.2 矩阵基本运算

32.2.1 矩阵加

设有两个 n 行 m 列的矩阵 $A=[a_{ij}]$ 和 $B=[b_{ij}]$, 那么 A 和 B 的和为

$$\begin{aligned} A+B &= \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nm} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1m} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \cdots & b_{nm} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} a_{11}+b_{11} & a_{12}+b_{12} & \cdots & a_{1m}+b_{1m} \\ a_{21}+b_{21} & a_{22}+b_{22} & \cdots & a_{2m}+b_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{n1}+b_{n1} & a_{n2}+b_{n2} & \cdots & a_{nm}+b_{nm} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

需要注意,只有当两个矩阵的行数和列数都相同时,这两个矩阵才能进行相加运算。在 DPS 平台上,定义两个数据矩阵块,并按按钮,即可完成矩阵的加法运算。例如,我们希望对图 32-2 中的两个矩阵实施相加运算,只需按图 32-2 所示方式编辑定义数据块。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1			矩阵A				矩阵B		
2		3	6	5		2	1	7	
3		4	2	1		3	6	2	
4		1	1	7		1	2	0	
5									

图 32-2 实施矩阵加法运算数据编辑定义图

然后在 DPS 数据处理系统中用鼠标点击按钮,即可得到计算结果:

5	7	12
7	8	3
2	3	7

32.2.2 矩阵减

设有两个 n 行 m 列的矩阵 $A=[a_{ij}]$ 和 $B=[b_{ij}]$,那么 A 和 B 之差为

$$\begin{aligned} A-B &= \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nm} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1m} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \cdots & b_{nm} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} a_{11}-b_{11} & a_{12}-b_{12} & \cdots & a_{1m}-b_{1m} \\ a_{21}-b_{21} & a_{22}-b_{22} & \cdots & a_{2m}-b_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{n1}-b_{n1} & a_{n2}-b_{n2} & \cdots & a_{nm}-b_{nm} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

需要注意,只有当两个矩阵的行数和列数都相同时,这两个矩阵才能进行相减运算。在 DPS 平台上,定义两个数据矩阵块,第一个矩阵是被减数,第二个是减数,并按按钮,即可完成矩阵的减法运算。例如,我们希望对图 32-3 中的两个矩阵实施相减运算,只需按图 32-3 所示方式编辑定义数据块。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1		矩阵A					矩阵B		
2		3	6	5		2	1	7	
3		4	2	1		3	6	2	
4		1	1	7		1	2	0	
5									

图 32-3 实施矩阵减法运算数据编辑定义图

然后在 DPS 数据处理系统中用鼠标点击按钮,即可得到计算结果:

计算结果		
1	5	-2
1	-4	-1
0	-1	7

32.2.3 矩阵相乘

若实施矩阵 $A = [a_{ij}]_{m \times p}$ 和 $B = [b_{ij}]_{p \times n}$ 相乘, 必须满足前一个矩阵(矩阵 A) 的列数 p 和后一个矩阵(矩阵 B) 的行数相等, 所得到的结果矩阵为 $C = [c_{ij}]_{m \times n}$:

$$c_{ij} = \sum_{k=1}^p a_{ik} b_{kj} = a_{i1} b_{1j} + a_{i2} b_{2j} + \cdots + a_{ip} b_{pj}$$

可见, 乘积矩阵 C 的元素 c_{ij} 等于矩阵 A 中的第 i 行与矩阵 B 中的第 j 列对应元素乘积的代数和。

矩阵乘法在生态学研究中的应用是广泛的, 如在种群生态学中应用甚广的 Leslie(1945, 1948) 种群矩阵模型, 其实质是简单的矩阵乘法运算过程。在 DPS 平台上, 定义两个数据块, 第一个矩阵是被乘数, 第二个是乘数, 并按按钮 , 即可完成矩阵的乘法运算。例如, 对图 32-4 中的两个矩阵实施乘法运算, 只需按图 32-4 方式编辑定义数据块。

	A	B	C	D	E	F	G
1							矩阵 B
2		矩阵 A					2
3		1	2	3	4		1
4		2	1	0	3		2
5		1	1	1	1		1
6							

图 32-4 实施矩阵乘法运算数据编辑定义图

然后在 DPS 数据处理系统中用鼠标点击按钮 , 系统将输出计算结果 $\begin{bmatrix} 14 \\ 8 \\ 6 \end{bmatrix}$ 。

32.3 矩阵自乘

对任意实矩阵 $A = [a_{ij}]_{n \times m}$, 将它转置后得 $A^T = [a_{ji}]_{m \times n}$, 再与它原来的矩阵相乘, 所得到的矩阵为

$$\begin{aligned} C &= [c_{ij}]_{m \times m} \\ &= \sum_{k=1}^n a_{ik} a_{kj} \\ &= \sum_{k=1}^n a_{i1} a_{1j} + a_{i2} a_{2j} + \cdots + a_{in} a_{nj} \end{aligned}$$

即 C 为一方阵。矩阵自乘在多元统计分析中的应用很多,如多元线性回归模型参数最小二乘估计过程中建立联立方程组,即是对变量矩阵实施自乘($X^T X$)的过程。在 DPS 平台上,工具按钮可完成矩阵自乘运算。例如,在建立一个有 4 个自变量,1 个因变量的回归模型时,其联立方程组可通过对图 32-5 中的数据矩阵自乘运算实现。计算时只需按图 32-5 方式编辑数据(第 1 列是虚拟变量,全为 1)。

	A	B	C	D	E	F	G	H
1		虚拟变量	x1	x2	x3	x4	Y	
2		1	7	26	6	60	78.5	
3		1	1	29	15	52	74.3	
4		1	11	56	8	20	104.3	
5		1	11	31	8	47	87.6	
6		1	7	52	6	33	95.9	
7		1	11	55	9	22	109.2	
8		1	3	71	17	6	102.7	
9		1	1	31	22	44	72.5	
10		1	2	54	18	22	93.1	
11		1	21	47	4	26	115.9	
12		1	1	40	23	34	83.8	
13		1	11	66	9	12	113.3	
14		1	10	68	8	12	109.4	
15								

图 32-5 为建立多元线性回归模型联立方程组而编辑定义的数据矩阵

然后用鼠标点击数据矩阵自乘按钮,系统将输出计算结果如下:

13.0000	97.0000	626.0000	153.0000	390.0000	1240.5000
97.0000	1139.0000	4922.0000	769.0000	2620.0000	10032.0000
626.0000	4922.0000	33050.0000	7201.0000	15739.0000	62027.8008
153.0000	769.0000	7201.0000	2293.0000	4628.0000	13981.5000
390.0000	2620.0000	15739.0000	4628.0000	15062.0000	34733.3008
1240.5000	10032.0000	62027.8008	13981.5000	34733.3008	121088.0938

32.4 矩阵样本方差

对资料矩阵

$$\begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2p} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{N1} & x_{N2} & \cdots & x_{Np} \end{bmatrix}$$

根据公式

$$S_{ij} = \frac{1}{N-1} \sum_{a=1}^N (x_{ia} - \bar{x}_i)(x_{ja} - \bar{x}_j)$$

计算样本的协方差阵。

在 DPS 平台上,工具按钮可完成该功能。例如,有 4 个变量、13 个样本的数据矩阵,可编辑成图 32-6 中数据块格式。

	A	B	C	D	E	F
1		x1	x2	x3	x4	
2		7	26	6	60	
3		1	29	15	52	
4		11	56	8	20	
5		11	31	8	47	
6		7	52	6	33	
7		11	55	9	22	
8		3	71	17	6	
9		1	31	22	44	
10		2	54	18	22	
11		21	47	4	26	
12		1	40	23	34	
13		11	66	9	12	
14		10	68	8	12	
15						

图 32-6 计算样本协方差阵数据编辑方式

计算时点击工具按钮,就可完成该功能计算,给出如下结果:

34.60256	20.92308	-31.05128	-24.16667
20.92308	242.1410	-13.87820	-253.4167
-31.05128	-13.87820	41.02564	3.166667
-24.16667	-253.4167	3.166667	280.1667

32.5 矩阵总体方差

对资料矩阵

$$\begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2p} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{N1} & x_{N2} & \cdots & x_{Np} \end{bmatrix}$$

根据公式 $S_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{a=1}^N (x_{ia} - \bar{x}_i)(x_{ja} - \bar{x}_j)$ 计算总体协方差阵。矩阵总体协方差阵的计算,在 DPS 平台上,工具按钮  可完成该功能。若对图 32-6 中数据块进行计算。计算时点击工具按钮  可得到计算结果如下:

31.94083	19.31361	-28.66272	-22.30769
19.31361	223.5148	-12.81065	-233.9231
-28.66272	-12.81065	37.86982	2.923077
-22.3076	-233.9231	2.923077	258.6154

32.6 解正规方程组

本功能采用 Cholesky 分解法(即平方根法)将矩阵分解为对称正定的线性代数方程组。计算时将系数矩阵放在左边,常数放在右边。如将图 32-5 数据进行矩阵自乘得到的结果,定义成数据矩阵(图 32-7)。

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2		13.0000	97.00	626.00	153.00	390.00	1240.5000	
3		97.0000	1139.00	4922.00	769.00	2620.00	10032.0000	
4		626.0000	4922.00	33050.00	7201.00	15739.00	62027.8008	
5		153.0000	769.00	7201.00	2293.00	4628.00	13981.5000	
6		390.0000	2620.00	15739.00	4628.00	15062.00	34733.3008	
7								

图 32-7 解线性方程组数据编辑格式

再点击解线性方程组工具按钮 , 即可得到计算结果:

方程系数	
x1=	64.97440
x2=	1.524686
x3=	0.483688
x4=	0.074888
x5=	-0.170013

32.7 矩阵求逆

32.7.1 矩阵求逆及行列式值

对 n 阶方阵,采用高斯-若尔当选主元消去法对数据矩阵求逆并计算其行列式值。但应注意,实施求逆运算的数据矩阵必须是方阵,且是非奇异矩阵。

在 DPS 平台上,定义待求逆的数据矩阵块,然后用鼠标点击按钮 $\mathbf{x}^{-1}$,即可完成矩阵求逆运算。例如,对图 32-8 中 4 阶方阵实施求逆运算,只需按图 32-8 所示方式编辑定义数据块。

	A	B	C	D	E	F
1						
2		1	2	3	5	
3		3	2	1	3	
4		3	4	3	2	
5		9	7	4	9	
6						

图 32-8 实施矩阵求逆运算数据编辑定义图

然后在 DPS 数据处理系统中用鼠标点击按钮 $\mathbf{x}^{-1}$,系统将输出结果:

逆矩阵系数			
0.2500	13.2500	2.0000	-5.0000
-0.7500	-20.7500	-3.0000	8.0000
0.7500	17.7500	3.0000	-7.0000
0.0000	-5.0000	-1.0000	2.0000
矩阵行列值= 4.0000000			

32.7.2 矩阵广义逆

在前面矩阵求逆运算中,一个矩阵的 A^{-1} 与矩阵 A 相乘的积是单位矩阵,即 $A^{-1}A = AA^{-1} = I$ 。如果 $\text{rank}(A) = \gamma = n$, 矩阵 A 是满秩(full rank)矩阵,存在 A^{-1} ; 如果 $\text{rank}(A_{n \times n}) = \gamma < n$, 则不存在 A^{-1} 。