



格致方法·定量研究系列 吴晓刚 主编

图解代数： 用系统方法进行数学建模

[美] 考特尼·布朗 (Courtney Brown) 著
郭茂灿 译



NLIC2970870120

- ★ 革新研究理念
- ★ 丰富研究工具
- ★ 最权威、最前沿的定量研究方法指南

格致出版社 上海人民出版社

36

格致方法·定量研究系列 吴晓刚 主编

图解代数：用系统方法 进行数学建模

[美] 考特尼·布朗 (Courtney Brown) 著

郭茂灿 译



SAGE Publications, Inc.

格致出版社 上海人民出版社

图书在版编目(CIP)数据

图解代数:用系统方法进行数学建模/(美)布朗
(Brown, C.)著;郭茂灿译. —上海:格致出版社:
上海人民出版社, 2013
(格致方法·定量研究系列)
ISBN 978-7-5432-2213-7

I. ①图… II. ①布… ②郭… III. ①数学模型-应
用-社会科学-科学研究 IV. ①C3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 313726 号

责任编辑 高璇

格致方法·定量研究系列

图解代数:用系统方法进行数学建模

[美]考特尼·布朗 著

郭茂灿 译

出版 世纪出版集团 格致出版社
www.ewen.cc www.hibooks.cn
上海人民出版社
(200001 上海福建中路193号24层)



编辑部热线 021-63914988

市场部热线 021-63914081

发行 世纪出版集团发行中心
印刷 浙江临安曙光印务有限公司
开本 920×1168 毫米 1/32
印张 4.75
字数 74,000
版次 2013 年 1 月第 1 版
印次 2013 年 1 月第 1 次印刷
ISBN 978-7-5432-2213-7/C·99
定价 15.00 元

出版说明

由香港科技大学社会科学部吴晓刚教授主编的“格致方法·定量研究系列”丛书,精选了世界著名的 SAGE 出版社定量社会科学研究丛书中的 35 种,翻译成中文,集结成八册,于 2011 年出版。这八册书分别是:《线性回归分析基础》、《高级回归分析》、《广义线性模型》、《纵贯数据分析》、《因果关系模型》、《社会科学中的数理基础及应用》、《数据分析方法五种》和《列表数据分析》。这套丛书自出版以来,受到广大读者特别是年轻一代社会科学工作者的欢迎,他们针对丛书的内容和翻译都提出了很多中肯的建议。我们对此表示衷心的感谢。

基于读者的热烈反馈,同时也为了向广大读者提供更多的方便和选择,我们将该丛书以单行本的形式再次出版发行。在此过程中,主编和译者对已出版的书做了必要的修订和校正,还新增加了两个品种。此外,曾东林、许多多、范新光、李忠路协助主编参加了校订。今后我们将继续与 SAGE 出版社合作,陆续推出新的品种。我们希望本丛书单行本的出版能为推动国内社会科学定量研究的教学和研究作出一点贡献。

总序

往事如烟,光阴如梭。转眼间,出国已然十年有余。1996年赴美留学,最初选择的主攻方向是比较历史社会学,研究的兴趣是中国的制度变迁问题。以我以前在国内所受的学术训练,基本是看不上定量研究的。一方面,我们倾向于研究大问题,不喜欢纠缠于细枝末节。国内一位老师的话给我的印象很深,大致是说:如果你看到一堵墙就要倒了,还用得着纠缠于那堵墙的倾斜角度究竟是几度吗?所以,很多研究都是大而化之,只要说得通即可。另一方面,国内(十年前)的统计教学,总的来说与社会研究中的实际问题是相脱节的。结果是,很多原先对定量研究感兴趣的学生在学完统计之后,依旧无从下手,逐渐失去了对定量研究的兴趣。

我所就读的美国加州大学洛杉矶分校社会学系,在定量研究方面有着系统的博士训练课程。不论研究兴趣是定量还是定性的,所有的研究生第一年的头两个学期必须修两门中级统计课,最后一个学期的系列课程则是简单介绍线性回归以外的其他统计方法,是选修课。希望进一步学习定量研

究方法的可以在第二年修读另外一个三学期的系列课程，其中头两门课叫“调查数据分析”，第三门叫“研究设计”。除此以外，还有如“定类数据分析”、“人口学方法与技术”、“事件史分析”、“多层线性模型”等专门课程供学生选修。该学校的统计系、心理系、教育系、经济系也有一批蜚声国际的学者，提供不同的、更加专业化的课程供学生选修。2001年完成博士学业之后，我又受安德鲁·梅隆基金会资助，在世界定量社会科学研究的重镇密歇根大学从事两年的博士后研究，其间旁听谢宇教授为博士生讲授的统计课程，并参与该校社会研究院(Institute for Social Research)定量社会研究方法项目的一些讨论会，受益良多。

2003年，我赴港工作，在香港科技大学社会科学部，教授研究生的两门核心定量方法课程。香港科技大学社会科学部自创建以来，非常重视社会科学研究方法论的训练。我开设的第一门课“社会科学里的统计学”(Statistics for Social Science)为所有研究型硕士生和博士生的必修课，而第二门课“社会科学中的定量分析”为博士生的必修课(事实上，大部分硕士生修完第一门课后都会继续选修第二门课)。我在讲授这两门课的时候，根据社会科学研究生的数理基础比较薄弱的特点，尽量避免复杂的数学公式推导，而用具体的例子，结合语言和图形，帮助学生理解统计的基本概念和模型。课程的重点放在如何应用定量分析模型研究社会实际问题，即社会研究者主要为定量统计方法的“消费者”而非“生产者”。作为“消费者”，学完这些课程后，我们一方面能够读懂、欣赏和评价别人在同行评议的刊物上发表的定量研究的文章；另一方面，也能在自己的研究中运用这些成熟的

方法论技术。

上述两门课的内容,尽管在线性回归模型的内容上有少量重复,但各有侧重。“社会科学里的统计学”(Statistics for Social Science)从介绍最基本的社会研究方法论和统计学原理开始,到多元线性回归模型结束,内容涵盖了描述性统计的基本方法、统计推论的原理、假设检验、列联表分析、方差和协方差分析、简单线性回归模型、多元线性回归模型,以及线性回归模型的假设和模型诊断。“社会科学中的定量分析”则介绍在经典线性回归模型的假设不成立的情况下的一些模型和方法,将重点放在因变量为定类数据的分析模型上,包括两分类的 logistic 回归模型、多分类 logistic 回归模型、定序 logistic 回归模型、条件 logistic 回归模型、多维列联表的对数线性和对数乘积模型、有关删节数据的模型、纵贯数据的分析模型,包括追踪研究和事件史的分析方法。这些模型在社会科学研究中有着更加广泛的应用。

修读过这些课程的香港科技大学的研究生,一直鼓励和支持我将两门课的讲稿结集出版,并帮助我将原来的英文课程讲稿译成了中文。但是,由于种种原因,这两本书拖了四年多还没有完成。世界著名的出版社 SAGE 的“定量社会科学研究”丛书闻名遐迩,每本书都写得通俗易懂。中山大学马骏教授向格致出版社何元龙社长推荐了这套书,当格致出版社向我提出从这套丛书中精选一批翻译,以飨中文读者时,我非常支持这个想法,因为这从某种程度上弥补了我的教科书未能出版的遗憾。

翻译是一件吃力不讨好的事。不但要有对中英文两种

语言的精准把握能力，还要有对实质内容有较深的理解能力，而这套丛书涵盖的又恰恰是社会科学中技术性非常强的内容，只有语言能力是远远不能胜任的。在短短的一年时间里，我们组织了来自中国内地及港台地区的二十几位研究生参与了这项工程，他们目前大部分是香港科技大学的硕士和博士研究生，受过严格的社会科学统计方法的训练，也有来自美国等地对定量研究感兴趣的博士研究生。他们是：

香港科技大学社会科学部博士研究生蒋勤、李骏、盛智明、叶华、张卓妮、郑冰岛，硕士研究生贺光烨、李兰、林毓玲、肖东亮、辛济云、於嘉、余珊珊，应用社会经济研究中心研究员李俊秀；香港大学教育学院博士研究生洪岩璧；北京大学社会学系博士研究生李丁、赵亮员；中国人民大学人口学系讲师巫锡炜；中国台湾“中央”研究院社会学所助理研究员林宗弘；南京师范大学心理学系副教授陈陈；美国北卡罗来纳大学教堂山分校社会学系博士候选人姜念涛；美国加州大学洛杉矶分校社会学系博士研究生宋曦。

关于每一位译者的学术背景，书中相关部分都有简单的介绍。尽管每本书因本身内容和译者的行文风格有所差异，校对也未免挂一漏万，术语的标准译法方面还有很大的改进空间，但所有的参与者都做了最大的努力，在繁忙的学习和研究之余，在不到一年的时间内，完成了三十五本书、超过百万字的翻译任务。李骏、叶华、张卓妮、贺光烨、宋曦、於嘉、郑冰岛和林宗弘除了承担自己的翻译任务之外，还在初稿校对方面付出了大量的劳动。香港科技大学霍英东南沙研究院的工作人员曾东林，协助我通读了全稿，在此

我也致以诚挚的谢意。有些作者,如香港科技大学黄善国教授、美国约翰·霍普金斯大学郝令昕教授,也参与了审校工作。

我们希望本丛书的出版,能为建设国内社会科学定量研究的扎实学风作出一点贡献。

吴晓刚

于香港九龙清水湾

序

本书与本书作者的另一本书——《微分方程：一种建模方法》一起，很好地拓展了对社会科学中的数学应用这一话题的讨论。该话题在本丛书中并没有被广泛地涉及（只有几本书才提到了这一点，比如 No. 108 和 No. 109 关于社会科学的基本数学、No. 110 关于微积分以及 No. 27 关于差分方程作为动态建模的一种方法）。尽管如此，数学应用依然是定量社会科学研究中不可或缺的一部分，虽然到现在为止，它还一直处于统计学应用的阴影里。

图解代数的方法在社会科学中已经发展了 30 多年。不过，布朗这本书（以及他早些时候关于微分方程的书）的出版仍然是及时的，因为它又重新激发了一轮用数学来沟通社会理论和经验模型的兴趣。最近几年，国家科学基金（NSF）支持了一系列暑期学校，专门探讨理论模型的经验启示（EITM）这一题目。这些暑期学校出现在一些最好的大学里：2002 年的第一期在哈佛大学，2003 年的第二期在密歇根大学，2004 年的第三期在杜克大学，2005 年的第四期在加州大学伯克利分校，2006 年的第五期又在密歇根大学。

这些暑期学校的主题非常一致。比如 2006 年的关注点是制度和制度分析、对因果关系的经验性评价以及复杂性研究(包括多元化、网络关系、适应和出现);2005 年关注的则是政治制度模型、谈判和强制模型,还有合作性博弈——制度分析正是这两年共同的关注点。制度模型中的一些重要话题有均衡分析、集体行为的形成、联合治理、动态博弈,等等。这些理论问题都可以用图解代数来研究,因为它能够通过代数表达方式将理论和经验模型连接起来。

简言之,本书和《微分方程:一种建模方法》一书通过使用一些和理论同形的数学模型(包括线性的和非线性的模型、连续时间的和非连续时间的模型),提供了一种可以更好地理解以及呈现社会、政治理论的方法。另外,本书在把一些更常用于工程学、物理学中的方法与社会科学连接起来这一方面,做出了一个很好的表率。

这并不是说,统计方法就不可以用来理解理论模型的经验启示——它们可以。只是,数学模型可以建立起与理论更为紧密的联系。在这一意义上,本书为社会科学研究者合理理解政治、心理、社会行为,提供了另一种很有价值的指导工具。

廖福挺

目 录

序	1
第 1 章 系统分析	1
第 1 节 结构和功能	9
第 2 节 本书实例概览	12
第 2 章 图解代数基础	15
第 1 节 输入、输出和正向路径	18
第 2 节 反馈循环和曼森法则	23
第 3 节 经济学的一个例子:凯恩斯乘数	27
第 3 章 图解代数和非连续时间线性算子	31
第 1 节 非连续时间的延迟算子和加速算子	34
第 2 节 在图解代数中包含叠加常数项	39
第 3 节 非连续时间的差分算子和积分算子	44
第 4 节 一个估计的范例:工会成员身份	52
第 4 章 图解代数和方程系统	61
第 1 节 用图解代数理解 Richardson 军备竞赛模型	63

第 2 节	Richardson 军备竞赛模型的变体	67
第 3 节	估计含有非线性或者潜在参数的多重方程的一个例子:Richardson 军备竞赛模型	73
第 5 章	图解代数和连续时间模型	77
第 6 章	图解代数和非线性时间模型	83
第 1 节	非线性过滤	85
第 2 节	logistic 模型	88
第 3 节	非线性模型中算子的放置法则	94
第 4 节	图解代数和混沌理论	97
第 5 节	受迫振动	100
第 7 章	条件路径的使用	103
第 1 节	逻辑和决策系统	106
第 2 节	民主转型的一个例子	109
第 8 章	系统、刺激和随机性	113
第 9 章	图解代数和社理论	119
参考文献		130
译名对照表		134

第 **1** 章

系统分析

很少有一种用于发展理论的新方法能够像图解代数 (graph algebra) 这样, 可以有力地影响到社会科学家建构关于社会、政治现象的数学模型。图解代数既是一种工具, 也是一种源于系统论的语言。它最初是由三位社会科学家——Fernando Cortes、Adam Przeworski 以及 John Sprague——提出来的, 首先出现于 1974 年的一本研讨性质的书 (*System Analysis for Social Scientists*) 当中。本书将解释什么是图解代数, 并介绍它在处理数学和社会理论问题方面的一些最新的应用。因此, 本书不仅仅是对已有文献的回顾, 它还含有许多新的内容。这表明, 像其他还存活的语言一样, 图解代数会随着研究人员的理论需求而不断发展。这一事实, 证明了它最初的三位创建者的思想力量。

在本质上, 图解代数可以帮助研究人员针对复杂的社会现象建立起新颖的模型, 包括线性模型和非线性模型。他们可以通过图解代数语言, 把社会科学的理论翻译成数学公式或者模型。事实上, 一些富有创造力的研究者, 常常会通过图解代数, 将即便是最为复杂而精致的理论, 用代数的形式形象地表现出来。还很重要的一点是, 图解代数可以把研究人员从对简单线性回归模型的依赖中“解放”出来——这些线性

回归模型建立在简单的截距和斜率之上,只能体现出一系列变量之间的相关关系。不过,在常用的统计软件中,回归分析也常常可以被创造性地用于估计一些很有意思的图解代数模型。这就允许了研究人员在使用常见的统计步骤的同时,也可以用代数模型来拓展其理论深度。

一些读者将会发现,本书很好地回应了社会科学中关于理论建构的提议。其中,最具代表性的观点是由国家科学基金(NSF)提出的。不久前,NSF发布了一项名为“理论模型的经验性启示”(The Empirical Implications of Theoretical Models, EITM)的报告。该报告认为:

在那些用高度数学化的语言进行正式建模(formal modeling)的人,和那些侧重于强调使用应用统计来建立经验模型的人之间,存在着很大的鸿沟。这使得政治学的许多研究,往往只在一方面很扎实,而在另一方面比较薄弱。即,要么是正式模型,但是只使用了标准的(或者没有)经验检验;要么是经验模型,但是没有明确的数学表述。这样的缺陷令我们不能很好地确认理论中的大致因果关系,从而增加了有效积累科学知识的难度。(NSF, 2002:1)

本书的目的是面向所有的社会科学(不仅仅针对政治学)。值得注意的是,在许多领域,我们确实需要更好地将社会、政治理论与经验模型联系起来。问题是“该怎么”达到这一点;更为直接的问题则是,“该如何教别人也这样做”。对于大部分研究者来说,有意思的代数模型意味着巨大的挑

战,这就是他们为什么会仅仅依赖于“包装好了的”线性回归模型。另外一些研究者意识到了问题本身的难度和值得严肃对待的地方。他们发现,研究者或者按照自己的理论来定义模型,或者放弃理论而只使用不具有任何结构的统计分析方法;后者正是所谓的“没有理论的方法”(参见 Signorino & Yilmaz, 2003)。作为回应,本书将提供一种具有很强实用性的新的图形语言。它可以使研究者发展出基于他们自己理论的精巧的代数模型,从而能够处理一些可能之前看似不行、甚至完全不可能的问题。

在社会科学中,有一些例子引人瞩目地使用了图解代数模型。在一些情况下,图解代数会出现在一项研究的理论建构阶段,以便建立起关于社会、政治过程的代数模型,不过它本身并不体现在最后的报告中。Prezeworski 和 Sprague (1986)的书 *Paper Stones: A History of Electoral Socialism* 就是这样的情况。该书建立了一个关于 20 世纪大部分时间欧洲左派投票发展的理论模型;其中,图解代数在建立这一模型的早期被用到了。本书稍后会呈现和解释该模型的代数形式。

在另外一些情况下,图解代数本身会出现在最后的研究报告中,以简化一些可能会对读者造成困扰的复杂模型。Duvall 和 Freeman(1983)的研究即是如此。他们分析了在很多发展中国家中,一些精英是怎样主导了工业化进程的。我自己的一项关于美国国会投票的研究也是这样。在这项研究中,我用图解代数呈现了一个理论模型,以帮助读者对这个有点复杂的政治理论有一个宽泛的理解(Brown, 1997)。还有一些情况,图解代数会被有效地包含在最后的报告里