



Social Science Research Methodology Series

社会科学研究方法丛书

多层
线性

模型应用

张雷 雷雳 郭伯良 著

Applied
Multilevel
Data Analysis

Lei Chang, Li Lei, Boliang Guo

教育科学出版社

Educational Science Publishing House

Applied Computational Mathematics Series

多层 线性

模型应用

王洪斌 王洪斌 著

Applied
Multilevel
Data Analysis

科学出版社

张雷 雷雳 郭伯良 著

Appplied
DMultilevel
Data Analysis

**多层线性
模型应用**

教育科学出版社

·北京·

策划编辑 韦 禾
责任编辑 鲁 民
责任印制 滕景云
责任校对 何清萍

图书在版编目 (CIP) 数据

多层线性模型应用 / 张雷, 雷雳, 郭伯良著. —北京:
教育科学出版社, 2003.1

(社会科学研究方法丛书 / 张雷, 侯杰泰主编)

ISBN 7-5041-2414-1

I. 多... II. ①张...②雷...③郭... III. 线性模
型 IV. 0212

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 088813 号

出版发行 教育科学出版社

社 址 北京·北三环中路 46 号

邮 编 100088

电 话 62003339

传 真 62013803

网 址 www.esph.com.cn

经 销 各地新华书店

印 刷 保定市印刷厂

开 本 787 毫米×960 毫米 1/16

印 张 13.25

版 次 2003 年 1 月第 1 版

字 数 244 千

印 次 2003 年 1 月第 1 次印刷

定 价 26.00 元 (含光盘一张)

印 数 00 001-5 000 册

(如有印装质量问题, 请与本社发行部联系调换)

作者简介



张雷，1988年和1991年先后在美国南加州大学获得硕士和博士学位，主要研究方向为心理统计、心理测验、发展心理等。曾先后执教于美国南加州大学教育心理系、中佛罗里达大学教育学院，现为香港中文大学教育心理系教授。



雷雳，先后在北京师范大学获学士学位、硕士学位、博士学位。香港中文大学博士后。现任首都师范大学教授，同时兼任中国心理学会发展心理学专业委员会委员、学校心理学专业委员会委员、北京市心理学会理事。曾主持多项研究课题，发表论文30余篇。研究兴趣是“个性与社会性发展”。



郭伯良，1996年毕业于湖南医科大学医学心理研究中心，获硕士学位，就职于中央教育科学研究所。曾在英国伦敦大学学习多水平模型分析技术，现为香港中文大学教育心理系博士研究生，专业方向为心理测验、心理统计等。

总序

对现代科学尤其是社会科学而言，研究方法的发展在很大程度上能够起到推动整个学科发展的作用，研究方法的落后必然会限制学科的发展。在我国现阶段，同学科专业的建设及发展相比，社会科学研究方法的建设和普及却显得相对薄弱，很多学科的研究方法，尤其是量化方法，还远远落后于世界先进水平，这无形中妨碍了有关学科专业的进一步发展。

社会科学研究方法的落后，首先表现在缺乏一大批热心于研究方法的学者，多数优秀学者往往致力于专业研究，而较少顾及到研究方法的研究。其次表现为此领域相关书籍的匮乏，特别是介绍、讲解现代研究方法的专著不仅数量有限，而且内容陈旧，更没有一套可以系统介绍社会科学研究方法的教材，很多学科苦于找不到合适的方法课用书。而在先进国家，每一种主要的统计分析方法在每一学科中都可找到多种专著及更多的普及读物，以供学者、学生选用。针对这样的情况，我们决定编辑这套社会科学研究方法丛书。

在我国学科建设飞速发展的20年里，社会科学研究方法

II

在西方也经历了一场空前的革命，20世纪70年代EM (Expectation Maximization) 算法的出现和计算机技术的发展，带来了新一代的统计和测量理论及方法。传统的回归及方差分析和经典测量理论，虽然仍广泛应用，但已不再是主要的、更不是惟一的研究方法系统，也无法应付由新一代研究方法带动下的学科专业发展。

新一代统计分析方法最突出的发展是结构方程的发展和应用。到了80年代，结构方程这套新的数据分析系统已经成熟，目前正为广大社会科学研究人员所接受，并成为各类社会科学学科研究生的必修课。结构方程的路径分析思想拓展了社会科学研究的思路，很多学科的专业课题已由过去的只研究单变量转变成研究多变量，由分析主效应到同时分析交互效应，由对单指标和直接观测变量进行研究到对多指标和潜变量进行研究。与此同时，结构方程的技术日趋专业化、深入化和复杂化，不少学者以此为研究专业，并且也有专门的学术期刊专注于结构方程及其相关技术的发展和运用。

统计分析方法的另一大突破性发展是多层分析的理论和方法。多层和嵌套分析的思想由来已久，但直到20世纪90年代才发展成一套完整而系统的理论和方法，并逐渐推广和为研究人员所接受。多层分析技术系统地解决了困扰社会科学半个多世纪的生态谬误 (Ecological Fallacy) 问题。在教育、管理、经济以及社会学、心理学等领域的研究中，取样往往呈嵌套结构，例如学生嵌套于学校，学校又嵌套于社区，这种嵌套型的样本用传统的OLS回归方法分析会导致估计误差。多层分析方法不仅可以减少这种统计误差，而且可以避免由人为选择分析单位而可能出现的错误。在多层分析中各层样本均可作为分析单位，而且还可以研究他们之间的交互作用，从而拓宽了各专业的研究范围，深化了各专业的研究思路。目前多层分析方法日趋成熟，并在新一代统计分析方法中处于前沿位置。

新一代统计方法的发展还体现在对追踪数据和发展模型的处理上。这一进展的主要特点是借助和延伸已有的方法，建构一套处理重复数据的具体步骤。目前最为广泛接受的是基于结构方程的追踪数据分析方法和基于多层分析技术的发展模型方法。这些方法通过对结构方程与多层分析的巧妙应用，而各自形成了一套独立的系统。

此外，在上述统计方法系统发展的同时，很多专门的数据处理技术也迅速

改进。分析类别变量 (categorical variable) 的方法就是其中一个例子。传统的统计方法多建立在对连续变量进行分析的基础上, 而对建立在分类资料基础上的社会科学问题则不能很好地加以解决, 分析类别变量的方法则解决了这一难题。另一个困扰研究者的统计问题是如何对缺失值 (missing value) 进行处理, 新一代的基于 bootstrap 等的方法则能更有效、更完整地处理缺失值。

随着新一代统计分析理论及方法的发展、推广与应用, 测量方法也有了质的飞跃。与自然科学相比, 社会科学的主要难题在于难以直接、精确地对人类行为加以测量, 而要依靠测量理论对其进行推断。然而, 传统的经典测量理论不能同时对项目难度和考生能力进行估计, 无法应付大规模自适应考试的要求。随着计算机技术的发展, 经典测量理论在教育 and 心理测量领域的应用逐渐让位于项目反应理论 (item response theory, IRT)。美国和欧洲的著名测量机构均把 IRT 应用于设计、测试集成、测试校准、建构测试题库以及其他的测验发展过程。计算机自适应测验 (computer adaptive test) 的普遍应用更是 IRT 在测量应用方面的一大贡献。

另一个新一代的测量理论和方法是概化理论, 概化理论最近的发展是同人们对考试认识的改变分不开的。越来越多的学者和教育工作者对标准化、多重选择类的考试方法提出了质疑, 表现性评价 (performance assessment) 的思想则逐渐生根。然而, 随之出现的问题是由这种直接操作的测试方法所产生的多种误差无法用传统测量理论来解决, 于是概化理论在这种新环境中的作用逐渐被人所认识并得到发展。此外, 人力资源测评、管理咨询等也推动了概化理论的发展和应用。

这套丛书将对上面提到的新一代数据分析和测量评估的理论及方法陆续进行介绍, 旨在推动我国社会科学研究方法的发展, 改变该领域发展滞后的现状。每一本专著的作者都是该领域颇有建树的专家, 在写作风格上既强调数理及专业技术方面的严谨性, 也兼顾语言和介绍方式上的通俗化, 从而适合具有不同数学背景读者的需要。丛书的另一个特点是对方法应用性的强调, 旨在满足大多数社会科学专业研究人员对应用研究方法的需要。为了加强其应用性, 丛书要求作者从实际操作入手, 以具体研究为例, 准确清楚地介绍各研究的操作步骤。丛书的第三个特点是重点突出, 一般只抓住某一方法和理论的中心, 尽量不涉及偏难及纯技术的, 尤其是在理论上尚有争议或技术上不成熟的问题,

IV

从而使初学者能够掌握到要领而又不致过于肤浅，或者感到信息量太大而难于接受、消化。最后，这套丛书的内容均是作者结合自己的研究实践亲笔撰写而就，并非翻译、编纂之举。

这套丛书可以作为教育、心理以及其他社会科学学科的研究生和部分本科生的教材，也可以作为从事社会科学研究的人员的参考书、工具书。我们希望这套丛书的出版能起到抛砖引玉的作用，唤起更多热心于方法研究的学者多出书、出好书，多参与我国社会科学研究方法和理论的建设工作，把我国的社会科学研究方法推向一个新起点。

张 雷 侯杰泰

2002年12月于香港

序

在社会科学研究进行取样时，样本往往来自不同的层级和单位，由此得到的数据带来了很多有趣的跨级（多层）现象，本书将介绍一种新的数据分析方法——多层模型分析技术，来解决研究中的这一跨级推断问题。开创及发展这一方法的主要贡献者之一，英国伦敦大学的 Harvey Goldstein 教授及研究者把这种统计方法称做“多层分析”（Multilevel Analysis）。该方法的另一主要开拓者，美国密歇根大学的 Stephen Raudenbush 教授和同行把它叫做“分层线性模型结构”（Hierarchical liner modeling）。本书中我们称其为“多层线性模型”或“多层模型”，并以 Raudenbush 教授的理论 and 相应的统计分析软件为基础撰写此书。

本人曾多次到各地讲授多层分析方法，参加培训的学员们反映目前中国尚未有一本这方面的工具书，于是我就根据自己的教学和科研实践，将一些讲义整理成此书，因此本书既可做教材用，也可做统计分析的参考书、工具书用。

本书以自己做过的几个研究为例，以程式化的方法循序渐进地讲解如何应用多层模型分析技术来解决具体的研究问

II

题，书中部分内容将演示如何使用 HLM 软件。该软件的出版商——国际科技软件公司（Scientific Software International）——同意我随本书发送学生版的 HLM 软件，读者可从书后面附送的光盘里直接安装学生版本的 HLM 软件供学习、练习和处理简单的多层模型之用。该软件的学生版保留了其商业版的几乎所有功能，本书中的演示例题除第六、七章外都是用学生版的 HLM 软件做的，所用的数据也都保存在光盘里，读者可使用这些数据进行练习。需要使用正式版 HLM 软件的单位和个人请与该软件的出版公司联系，该公司的主页为 <http://www.ssicentral.com>。

本书以我写的教材及研究报告为基础，由我统筹计划，由郭伯良、雷雳整理并撰写成书。第一章、第二章选自我上课的讲义，第三章由雷雳和郭伯良以我的一个研究和 HLM 软件自带的数据为例演示使用 HLM 软件的具体过程，第四章和第五章由郭伯良以我从事过的两个研究项目为例，演示具体的多层模型分析过程，第六章演示如何使用该软件分析三层结构的数据，最后一章通过我的一个研究的分析过程演示如何使用多层分析技术对研究中的组效应和交互效应进行分析。本书以初学者为对象，对某些尚未应用的多层模型技术不作介绍。

在此，我首先对国际科技软件公司为本书提供学生版的 HLM 软件表示衷心的感谢。另外，在本书的出版过程中，教育科学出版社的韦禾、鲁民两位编辑为本书的出版付出了大量的时间和精力，对她们的辛勤劳动，我也表示由衷的谢意。本书稿写完之后，虽经反复校阅，书中或许还会存在一些错误和不当之处，希望得到读者和同行们的谅解。

目前在社会科学和教育研究领域里使用多层分析技术撰写的文章还不多，希望本书能为推动多层线性分析技术在国内的应用起到抛砖引玉的作用，唤起更多的社会科学及教育研究者在研究中应用多层分析技术。

张 雷

2002 年 3 月

于香港中文大学

目 录

序

第一章 引论	(1)
一、多层数据结构的普遍性	(1)
二、多层研究方法的历史回顾	(2)
三、多层模型的形成	(4)
四、多层模型的应用范围	(6)
五、本书内容安排	(7)
第二章 多层线性模型的应用原理	(11)
一、普通最小二乘回归	(11)
二、多层线性模型的基本形式	(12)
1. 零模型	(13)
2. 完整模型	(13)
3. 协方差分析模型	(15)
4. 随机效应回归模型	(16)

三、预测变量的定位	(17)
四、多层线性模型的统计估计	(17)
五、发展模型	(21)
六、三层模型	(24)
第三章 多层线性模型的应用程序	
——HLM 软件包的初步应用	(28)
一、HLM 程序的输入文件、输出文件及 SSM 文件的创建	(28)
1. HLM2 的文件	(29)
2. HLM3 的文件	(30)
3. 创建 SSM 文件	(30)
4. 原始数据文件中的 ID 变量	(31)
二、HLM 程序建构的分层模型的基本类型	(32)
1. 二层线性模型 (HLM2)	(32)
2. 三层线性模型 (HLM3)	(32)
三、利用 SPSS 文件创建二层数据结构的 SSM 文件	(33)
四、利用 SPSS 文件创建三层数据结构的 SSM 文件	(43)
第四章 二层线性模型应用：组织模型	(48)
一、研究概述	(48)
1. 研究背景和问题的提出	(48)
2. 研究假设	(49)
3. 资料收集	(49)
4. 研究结果	(50)
二、不包括第二层预测变量的二层模型	(55)
1. 模型描述	(55)
2. 创建命令文件	(56)

3. 结果解释	(61)
三、包括第二层预测变量的二层模型	(75)
1. 模型描述	(75)
2. 创建命令文件	(76)
3. 结果解释	(81)
第五章 二层线性模型应用：发展模型	(90)
一、研究概述	(90)
1. 研究背景	(90)
2. 研究问题	(91)
3. 研究方法和资料收集	(92)
4. 研究结果	(93)
二、基本线性生长模型	(96)
1. 模型描述	(96)
2. 创建命令文件	(97)
3. 结果解释	(99)
三、带有第二层自变量的线性增长模型	(107)
1. 模型描述	(107)
2. 创建命令文件	(107)
3. 结果解释	(110)
四、跨级相关	(116)
五、参数的显著性检验和第一层单元的方差齐性检验	(117)
六、第二层自变量的探索性分析	(122)
第六章 三层线性模型的应用	(127)
一、无条件模型（零模型）	(128)
1. 模型描述	(128)
2. 创建命令文件	(129)
3. 结果解释	(132)

二、随机截距和斜率模型	(136)
1. 模型描述	(136)
2. 创建命令文件	(136)
3. 结果解释	(139)
三、具有固定及随机斜率的模型	(144)
1. 模型描述	(144)
2. 创建命令文件	(145)
3. 结果解释	(150)
第七章 用多层模型分析组效应和交互效应 ...	(155)
一、研究概述	(155)
1. 研究背景和问题的提出	(155)
2. 现有研究中潜在的班级效应	(156)
3. 社交环境模型	(157)
4. 性别的作用	(158)
5. 年级的作用	(159)
二、研究对象和测试方法	(160)
三、结果	(161)
1. 描述性统计结果	(161)
2. 第一层 (学生水平) 效应的分析	(163)
3. 第二层 (班级水平) 效应的分析	(164)
4. 性别的作用	(166)
5. 年级的作用	(167)
四、与本分析有关的模型建构	(169)
1. 不包括第二层自变量的多层分析模型	(169)
2. 各效应的原始方差	(171)
3. 包括第二层变量作用的模型	(177)
4. 探索年级作用的模型	(189)
参考文献	(196)

第一章

引 论

本书介绍一种用于多层嵌套结构数据的线性统计分析方法，这一方法的开创及发展的主要贡献者之一英国伦敦大学的 Harvey Goldstein 教授及其同事把这种统计方法称做“多层分析”(Multilevel Analysis)。这一方法的另一主要开拓者美国密歇根大学的 Stephen W. Raudenbush 教授和同行把它叫做“分层线性模型结构”(Hierarchical Liner Modeling)。在本书中，我们把它称为“多层线性模型”或“多层模型”。

一、多层数据结构的普遍性

在社会科学中，很多研究问题都体现为多水平的、多层的数据结构。其中最为典型的例子就是在教育研究中，学生镶嵌于班级，而班级又镶嵌于学校的现象，或者可以简单地把学生看成是镶嵌于学校。在此，学生代表了数据结构的第一层，而班级或者学校则代表了数据结构的第二层。如果数据是学生镶嵌于班级、且班级镶嵌于学校，那么就是三层的数据结构。对于第一层的学生数据，研究者可以提出一系列的研究问题。除此之外，也可以针对第二层的班级或学校又提出一系列的研究问题。传统的线性模型，比如，ANOVA 或回归分析，只能对涉及某一层数据的问题进行分析，而不能将涉及两层或多层数据的问题进行综合分析。在教育研究中，更为重要和令人感兴趣的正是关于学生层

的变量与班级或学校层变量之间的交互作用问题。比如，学生之间的个体差异在不同班级或学校之间可能是相同的、也可能是不同的。在学生数据层，不同变量之间的关系也可能因班级或学校的不同而不同。这些学生层的差异可以解释为班级或学校层的变量的函数。然而，牵扯到两层或三层数据结构的研究课题就不能用传统的统计方法来解决了，多层模型提供了解决这些问题的统计方法。

相似的例子在组织心理学中也可以看到，这里研究者的兴趣常常在于组织与镶嵌于不同组织的雇员之间的关系。与前面类似，雇员层上的变量结果中的差异，或者变量之间的相关的差异，可以解释为组织层上的预测变量的函数。

其他的多层数据可见于在不同的地理政治区域进行的大规模的评价和调查。比如，对学生大学入学测验分数有影响的因素，在不同的地区可能会受到当地社会经济特征的影响而起不同的作用，因而考生间的差异以及考生层变量间相关的差异都可能受地区层的变量影响。

另一种类型的两层镶嵌数据来自纵向研究或重复测量研究。在发展心理学中，研究者可以在一段时间内对儿童或其他被试进行多次观察。不同时间的观测数据形成了数据结构的第一层，而被试之间的个体差异就形成了第二层。接下来，可以探索个体在其发展趋势或发展曲线上的差异。比如，为什么某些儿童获得某种能力或技能的速度比其他儿童快？发展趋势或结果上的差异是由个体变量造成的吗？在日记法的研究中，每一个个体的思想日记可能描绘了自己独特的发展趋势，这种差异可以由反映个体差异的变量来解释。

二、多层研究方法的历史回顾

组效应或者说背景效应问题，已经困惑了社会科学研究者大约半个世纪。社会科学研究的基本假设是，个体并不是生活在真空中的。个体的行为既受到其自身的个体特征的影响，也受到其生活于其中的环境的影响。研究者一直试图把个体效应与组效应或背景效应加以区分。例如，在教育中，学生的学业自我概念与其学业成绩有关（个体效应），也与其他学生的教育背景有关（组效应）。后者就是所谓的“大鱼小池塘”（big-fish-small-pond）效应。在组织研究中，合作意愿既受到雇员工作满意度和其他特征的影响，也受到工作小组的凝