

Structural Equation Model  
and Its Applications

结构方程模型  
及其应用

教育科学出版社

· 北京 ·

策划编辑 韦 禾  
责任编辑 葛 都  
版式设计 尹明好  
责任校对 徐 虹  
责任印制 曲凤玲

### 图书在版编目 (CIP) 数据

结构方程模型及其应用 / 侯杰泰, 温忠麟, 成子娟著.  
北京: 教育科学出版社, 2004.7

(社会科学研究方法丛书 / 张雷, 侯杰泰主编)

ISBN 7-5041-2816-3

I. 结... II. ①侯... ②温... ③成... III. 线性模型: 统计模型—应用—教育心理学—研究 IV. G44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 022475 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  
传 真 010-62013803

市场部电话 010-62003339  
编辑部电话 010-62384600  
网 址 <http://www.esph.com.cn>

经 销 各地新华书店  
印 刷 北京中科印刷有限公司  
开 本 787 毫米×960 毫米 1/16  
印 张 26.5  
字 数 360 千  
定 价 39.00 元 (含光盘一张)

版 次 2004 年 7 月第 1 版  
印 次 2004 年 7 月第 1 次印刷  
印 数 1-3 000 册

---

如有印装质量问题, 请到所购图书销售部门联系调换。

## 作者简介



侯杰泰，香港中文大学教育心理系教授、系主任。主要研究方向为学习动机，应用统计和香港语文政策。曾多次在北京、上海、南京、长春、广州等地举办的地区或全国性结构方程分析研习班上讲学。

---



温忠麟，华南师范大学心理系教授。1986年毕业于云南大学，获硕士学位。曾先后在英国曼彻斯特大学和澳大利亚西悉尼大学做访问学者。现为香港中文大学博士候选人。主要研究方向为心理统计和测量，数理统计。

---



成子娟，香港教育学院讲师。1999年毕业于香港中文大学，获博士学位。主要研究方向为结构方程在内隐观研究中的应用，数学逻辑思维的发展和教学。

---

# 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 and 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。

932482/07

在我国学科建设飞速发展的 20 年里，社会科学研究方法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 20 世纪 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方法的操作步骤。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,

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

在社会科学以及经济、市场、管理等研究领域，有时需要处理多个原因、多个结果的关系，或者会碰到不可直接观测的变量（即潜变量），这些都是传统的统计方法不好解决的问题。20世纪80年代以来，结构方程分析迅速发展，弥补了传统统计方法的不足，成为多元数据分析的重要工具。

简单而言，与传统的回归分析不同，结构方程分析能同时处理多个因变量，并可比较及评价不同的理论模型。与传统的探索性因子分析不同，在结构方程模型中，我们可提出一个特定的因子结构，并检验它是否吻合数据。通过结构方程多组分析，我们可了解不同组别（如不同性别）内各变量的关系是否保持不变，各因子的均值是否有显著差异。

学一门新的统计方法，对害怕数学的人来说是件苦差事。因为结构方程模型涉及到的统计概念、方法和软件较多，许多初学者的感觉是无从下手。本书通过简单易懂的例子、详尽的编程和结果解释、螺旋式的内容编排，希望铺就一条比较平坦的路，能让初学者比较轻松地步入结构方程的阵地。



本书是一本由初级到中上程度的结构方程分析著作,可作为有关专业本科高年级学生或研究生的教科书和应用工作者的参考书。读者应具备基本的统计知识(如:标准差、 $t$ 检验、相关系数),明白回归分析和因子分析的基本概念。部分读者可能对结构方程的数学模型有兴趣,为此,我们在第九章至第十一章,以矩阵为基础,比较深入地介绍了结构方程的统计原理。但其他各章,并不要求矩阵知识和高等数学。

根据以往的经验,初学者会用自己的数据,修改或模仿书上的例子,去学习结构方程模型,并尝试用于自己的研究。例题越多越有助于学习和借鉴。为此,我们编译了 LISREL 和 PRELIS 手册内的例子(包括研究简介和程序),并随书附送 LISREL8.54 学生版软件和该软件所附的例子及本书所有例子程序(含数据)光盘一张。对 Scientific Software International 公司的支持和允准,深表谢意。

自 1995 年以来,我曾先后在北京师范大学、华东师范大学、东北师范大学、华南师范大学、南京大学、吉林大学、江西师范大学等高等学府举办结构方程模型研习班,深感许多研究生和年轻教师统计基础良好、求学态度认真,在时间短、资料有限的情况下,大都能掌握结构方程分析的基本概念。本书的另外两位作者,都是在研习班上开始学习结构方程模型的,后来成了我的博士研究生。温忠麟撰写了本书的第九章至第十一章以及大部分附录,并协助我对全书进行统稿。成子娟为本书第二章、第六章、第七章撰写了部分初稿。其余工作由我完成。

在过去举办研习班时,曾得到各高等院校诸多教授的支持和鼓励,借此书出版之际,再致万分谢意。此外,在本书的出版过程中,教育科学出版社的韦禾和葛都两位编辑付出了辛勤的劳动,我们也表示衷心感谢。

如何写一本深入浅出的好书,可能比学习结构方程还难。本书只是一个尝试,期望能对推广结构方程的应用,略尽一点薄力。书中难免有错漏之处,敬请海内外专家和广大读者指正。

侯杰泰

2003 年 12 月 18 日

于香港中文大学

# 目 录

## 序

### 第一部分 结构方程模型入门

|                        |        |
|------------------------|--------|
| 第一章 引言 .....           | ( 3 )  |
| 一、描述数据 .....           | ( 3 )  |
| 二、具体例子展示准确与简洁的考虑 ..... | ( 4 )  |
| 第二章 结构方程模型简介 .....     | ( 12 ) |
| 一、结构方程模型的重要性 .....     | ( 12 ) |
| 二、结构方程模型的结构 .....      | ( 14 ) |
| 三、结构方程模型的优点 .....      | ( 15 ) |
| 四、结构方程模型包含的统计方法 .....  | ( 17 ) |
| 五、路径图的图标规则 .....       | ( 18 ) |
| 六、结构方程分析软件包 .....      | ( 18 ) |

七、LISREL 操作入门 ..... (21)

## 第二部分 结构方程模型应用

第三章 应用示范 I: 验证性因子分析和全模型 ..... (25)

一、验证性因子分析 ..... (25)

二、多质多法模型 ..... (52)

三、全模型 ..... (61)

四、高阶因子分析 ..... (70)

第四章 应用示范 II: 单纯形和多组模型 ..... (80)

一、单纯形模型 ..... (80)

二、多组验证性因子分析 ..... (89)

三、多组分析: 均值结构模型 ..... (99)

四、回归模型 ..... (104)

第五章 结构方程建模和分析步骤 ..... (112)

一、验证模型与产生模型 ..... (112)

二、结构方程分析步骤 ..... (113)

三、参数估计和拟合函数 ..... (115)

四、拟合检查 ..... (117)

五、模型修正和交互效度 ..... (119)

六、模型比较的原理 ..... (120)

## 第三部分 结构方程模型专题研究

第六章 专题讨论——涉及数据的问题 ..... (125)

一、样本容量 ..... (125)

二、数据类型 ..... (127)

三、处理非正态数据 ..... (128)

四、异常数据 ..... (130)

---

|                                  |              |
|----------------------------------|--------------|
| 五、缺失数据 .....                     | (130)        |
| 六、可否应用相关矩阵作分析 .....              | (132)        |
| 七、处理小样本的方法 .....                 | (133)        |
| <b>第七章 专题讨论——涉及模型拟合的问题 .....</b> | <b>(135)</b> |
| 一、忽略测量误差所引致的错误 .....             | (135)        |
| 二、非正定协方差矩阵 .....                 | (136)        |
| 三、不收敛 .....                      | (137)        |
| 四、不恰当的解 .....                    | (139)        |
| 五、单指标潜变量 .....                   | (141)        |
| 六、误差相关 .....                     | (142)        |
| 七、因子的单位与附加限制 .....               | (143)        |
| 八、为什么要考虑等同模型 .....               | (143)        |
| 九、模型与数据拟合是否表示模型正确 .....          | (145)        |
| 十、结构方程是否验证变量间的因果关系 .....         | (146)        |
| 十一、怎样避免潜变量名实不符的问题 .....          | (148)        |
| 十二、合宜和错误的高阶因子 .....              | (149)        |
| 十三、如何报告结构方程分析结果 .....            | (151)        |
| <b>第八章 拟合指数 .....</b>            | <b>(154)</b> |
| 一、拟合指数概述 .....                   | (154)        |
| 二、绝对拟合指数 .....                   | (155)        |
| 三、相对拟合指数 .....                   | (159)        |
| 四、简约拟合指数 .....                   | (161)        |
| 五、拟合指数定义一览 .....                 | (161)        |
| <b>第四部分 结构方程模型统计原理</b>           |              |
| <b>第九章 验证性因子分析原理 .....</b>       | <b>(169)</b> |
| 一、验证性因子分析的基本概念 .....             | (169)        |
| 二、因子分析模型及其协方差结构 .....            | (176)        |

|                            |              |
|----------------------------|--------------|
| 三、因子分析模型识别的若干准则 .....      | (177)        |
| 四、参数估计 .....               | (181)        |
| 五、模型评价 .....               | (184)        |
| 六、有均值结构的因子分析模型 .....       | (192)        |
| 七、多组比较 .....               | (194)        |
| <b>第十章 路径分析原理 .....</b>    | <b>(198)</b> |
| 一、因果模型中的结构方程 .....         | (198)        |
| 二、路径分析与效应分解 .....          | (200)        |
| 三、因果模型的协方差矩阵 .....         | (204)        |
| 四、因果模型识别准则 .....           | (205)        |
| 五、参数估计 .....               | (210)        |
| 六、模型评价与修正 .....            | (211)        |
| 七、因果模型与因果分析 .....          | (213)        |
| <b>第十一章 结构方程分析原理 .....</b> | <b>(215)</b> |
| 一、结构方程基本概念 .....           | (215)        |
| 二、结构方程模型及其协方差结构 .....      | (216)        |
| 三、若干特殊的结构方程模型 .....        | (218)        |
| 四、模型识别 .....               | (219)        |
| 五、参数估计 .....               | (224)        |
| 六、模型评价与修正 .....            | (228)        |
| 七、标准化系数 .....              | (230)        |
| 八、有常数项的结构方程模型 .....        | (230)        |
| 九、多组比较 .....               | (233)        |

## 第五部分 LISREL 软件

|                               |              |
|-------------------------------|--------------|
| <b>第十二章 LISREL 语法结构 .....</b> | <b>(237)</b> |
| 一、LISREL 语法中的矩阵 .....         | (237)        |
| 二、LISREL 语法通则和特性 .....        | (239)        |

---

|                          |              |
|--------------------------|--------------|
| 三、LISREL 语法结构一般法则        | (243)        |
| 四、LISREL 程序结构            | (246)        |
| 五、标题指令句                  | (247)        |
| 六、输入格式                   | (247)        |
| 七、一般分析格式                 | (253)        |
| 八、模型指令格式                 | (254)        |
| 九、其他模型设定格式               | (257)        |
| 十、输出格式                   | (260)        |
| <b>第十三章 PRELIS 语法结构</b>  | <b>(263)</b> |
| 一、PRELIS 程序结构            | (263)        |
| 二、标题指令句                  | (264)        |
| 三、输入格式                   | (264)        |
| 四、操控数据指令                 | (264)        |
| 五、处理缺失数据                 | (268)        |
| 六、分析和输出指令                | (269)        |
| 七、多元设算指令                 | (272)        |
| <b>附录 I LISREL 示范程序</b>  | <b>(273)</b> |
| 一、本章内容                   | (273)        |
| 二、各研究内容简介及相应的 LISREL 程序  | (277)        |
| <b>附录 II PRELIS 示范程序</b> | <b>(377)</b> |
| 一、本章内容                   | (377)        |
| 二、各研究内容简介及对应的 PRELIS 程序  | (379)        |
| <b>附录 III 结构方程讨论小组</b>   | <b>(397)</b> |
| <b>参考文献</b>              | <b>(398)</b> |

# 第一部分

---

---

## 结构方程模型入门





# 第一章

## 引 言

### 一、描述数据

#### (一) 描述数据的两难：要准确还是要简洁

假设我们收集到 100 名学生的数学测验得分，它们是：68，68，68，68，68，68……68，68。那么一个既准确又简洁的报告是：所有得分都是 68 分。这类既简洁又准确的结果，在真实研究中罕见。

假设学生的得分是：66，50，70，55，69，77，62，65……最准确的报告似乎是列出所有得分。但是这样做不仅工作量大，而且难以了解它们的分布趋向。如果关注的不是具体某个学生的成绩，而是整个集体的数学表现，这种列出所有数据的做法，对我们帮助不大。学过统计的读者都知道，对这 100 个数，我们可以计算它们的均值和标准差（假设均值  $M = 65$ ，标准差  $SD = 10$ ）。只要报告  $M = 65$ ， $SD = 10$ ，其他研究者对这些学生的数学表现就有大致的了解。

那么，是逐一列出 100 个得分，不管其复杂性，只要求准确性？还是用一个不一定准确，但简洁得多的方法来描述数据（例如，报告  $M = 65$ ， $SD = 10$ ）？