

UJIEGOU
JENXIMOXING

赵守盈
○ 编著

矩结构分析模型

——从入门到精通



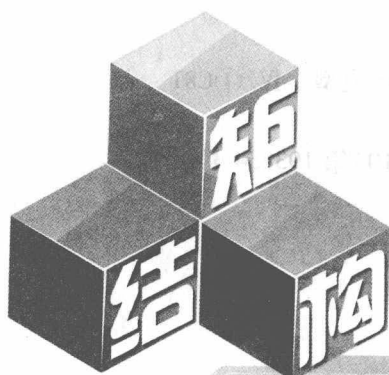
暨南大学出版社
JINAN UNIVERSITY PRESS

赵守盈 编著

第1版 (2013) 第1次印刷

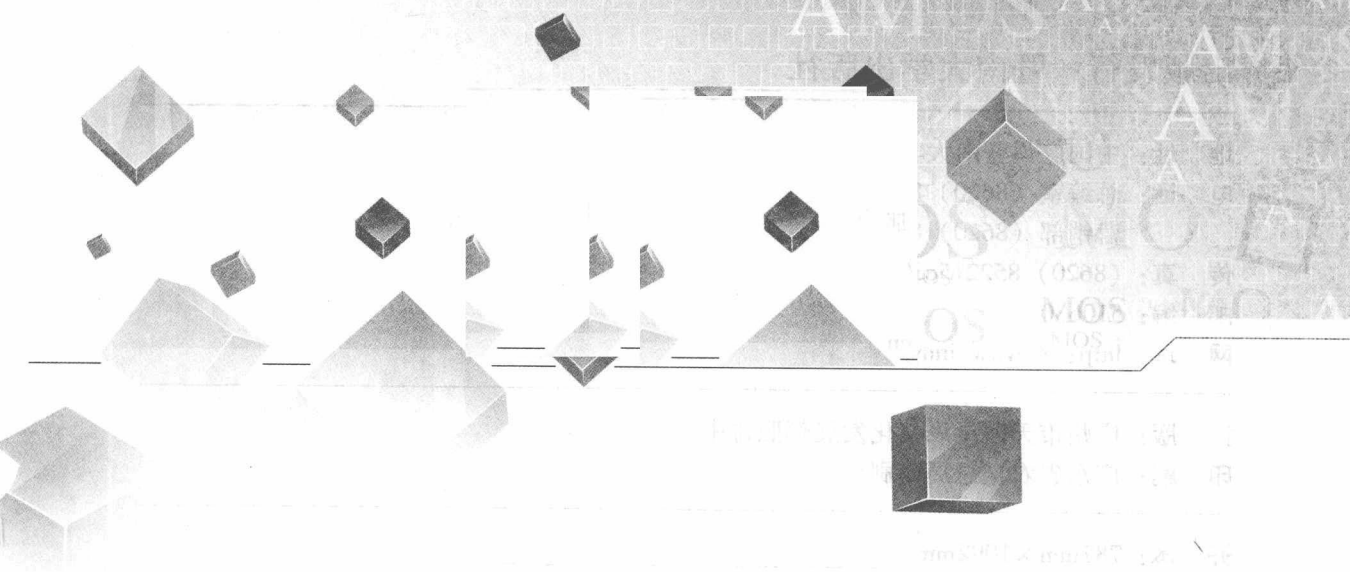
ISBN 978-7-309-09588-8 (I) 978-7-309-09588-8

8-130-15111-1 (I) 978-7-309-09588-8



分析模型

——从入门到精通



暨南大学出版社
JINAN UNIVERSITY PRESS

中国·广州

图书在版编目 (CIP) 数据

矩结构分析模型: 从入门到精通/赵守盈编著. —广州: 暨南大学出版社, 2010. 10
ISBN 978 -7 -81135 -661 -8

I. ①矩… II. ①赵… III. ①统计模型 IV. ①C81

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 193854 号

出版发行: 暨南大学出版社

地 址: 中国广州暨南大学

电 话: 总编室 (8620) 85221601

营销部 (8620) 85225284 85228291 85228292 (邮购)

传 真: (8620) 85221583 (办公室) 85223774 (营销部)

邮 编: 510630

网 址: <http://www.jnupress.com> <http://press.jnu.edu.cn>

排 版: 广州市天河星辰文化发展部照排中心

印 刷: 广东省农垦总局印刷厂

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

印 张: 16

字 数: 380 千

版 次: 2010 年 10 月第 1 版

印 次: 2010 年 10 月第 1 次

定 价: 36.00 元

(暨大版图书如有印装质量问题, 请与出版社总编室联系调换)

前言

2002 年,笔者在北京师范大学攻读博士学位时,正赶上刘红云老师讲授协方差结构模型课程。虽然是在一个大教室里,但仍然容纳不下那些前去听课的学生,所以每次上课之前都必须提前去占位置。尽管在刚开始接触这方面的知识时,还听不大懂,但从听课的人对这方面的知识所表现出来的极大兴趣,笔者认识到学好这一知识的必要性。后来笔者到贵州师范大学给心理学专业的硕士研究生上课,经常会有很多学生问到关于这方面的问题,尽管能够回答学生提出的大部分问题,但还是感觉自己在这方面的知识非常欠缺。作为一名老师,笔者觉得在这一方面做一些钻研,给学生提供更多的帮助是自己的责任。所以这些年来一直没有停止阅读这方面的书籍,也会抓住一切机会向有关专家求教。值得庆幸的是,后来认识了香港中文大学的侯杰泰教授,他是这一领域的权威专家,两次到我校做结构方程专题学术讲座,让笔者收获颇多。侯教授做学问的严谨与执著,做人的谦逊与坦诚深深感染了笔者,笔者也觉得应该在这方面做些力所能及的事。此外,笔者又有幸在 2006 年得到国家留学基金委的资助,得到到英国曼彻斯特大学访学半年,笔者在那里找到了这方面的一些较为系统的英文资料,经过几年的钻研,结合自己在平常教学与科研工作中的一些感悟,整理出这本书。目的是帮助社会科学领域的广大学生和科研工作人员了解和使用协方差结构模型。无独有偶,有一次去广州参加会议,笔者与暨南大学出版社张仲玲女士偶遇,她答应帮助出版此书,这更增强了笔者的信心。然而,由于平常除忙于教学、科研工作外,还要处理学院事务,使本书的出版拖延了 3 年多的时间,好在到目前为止关于 AMOS 的书还没见几本。

本书强调了 AMOS 从入门到精通,既可作为入门读物适合那些对协方差模型了解不多的读者,也可作为参考读物适合那些在这方面较为熟悉的研究人员。前面的内容介绍了一些最基本的概念以及 AMOS 的最基本的应用实例;后面的内容则对多组样本分析和复合模型技术作了详细介绍,尤其是对其他书上还很少提及的 AMOS 对缺失数据的处理和 Bootstrapping 技术的应用作了介绍。另外,书中还对 Amos Basic 的运用作了较多的分析与讨论。相信这些内容对于那些具有一定基础的读者更深入地认识 AMOS 的原理和使用是有所助益的。

本书以 Amos 4.0 为基础,虽然现在已经有了 Amos 7.0 及更高版本,书中也简要介绍了较高版本的一些知识,但是笔者记得当初学开车时,是用手动档的车来考试,很是吃力,但等到开自动档的车时就感觉特别轻松了。因此,本书从 Amos 4.0 讲起,从基础入手,那么,在使用高版本的 AMOS 软件时就会得心应手了。况且,高版本的 AMOS 和低版本的 AMOS 相较而言,变化并不是很大,只是使用起来更为便捷了。本书编写过程中的这一做法相信对读者会更有好处。

尽管这些年来一直把学习作为自己的责任，但由于自己天资愚钝，虽倾力而为，却自知水平不及，所以书中不当之处一定还有很多，真诚希望广大读者及朋友指正。

赵守盈

2010年8月

目 录

前 言	(1)
第一章 SEM 简介	(1)
第一节 SEM 的发展	(1)
第二节 SEM 的原理与特点	(4)
第三节 SEM 检验指标	(10)
第二章 AMOS 简介	(19)
第一节 运行 Amos Graphics 程序	(20)
第二节 运用 Amos Basic 编写程序	(35)
第三节 运用 Visual Basic 编写 AMOS 程序	(49)
第三章 方差、协方差的估计及简单假设检验	(58)
第一节 方差、协方差的估计	(58)
第二节 方差、协方差的假设检验	(74)
第四章 假设检验进阶	(88)
第一节 相关系数假设检验	(88)
第二节 方差、协方差差异显著性检验 ——兼谈多组数据的同步分析	(95)
第三节 均值的估计和假设检验	(112)
第四节 平均数差异检验 ——一种供选择的协方差分析	(122)
第五章 验证性因子分析	(135)
第一节 普通验证性因子分析	(135)
第二节 多个被试组的联合因子分析	(143)
第三节 含均值参数的因子分析	(153)

第六章 因果分析方法	(164)
第一节 线性回归	(164)
第二节 回归方程的截距	(175)
第三节 路径分析	(183)
第七章 AMOS 关于缺失数据的巧妙处理方法	(205)
第一节 缺失数据及处理	(205)
第二节 缺失数据的其他处理方法	(217)
第八章 Bootstrapping 技术及其巧妙运用	(227)
第一节 运用 Bootstrapping 技术估计参数标准误	(227)
第二节 运用 Bootstrapping 方法进行模型比较	(234)
第三节 运用 Bootstrapping 方法比较不同的估计方法	(242)
参考文献	(247)

第一章 SEM 简介

AMOS 是 Analysis of Moment Structures (矩结构分析模型) 的简称, 是用于结构方程模型 (Structure Equation Modeling, SEM), 也称协方差结构模型 (analysis of covariance structures) 的统计分析软件。

结构方程模型 (SEM) 是一种非常实用的统计建模技术, 现已成为心理学、管理学、经济学、社会学、政治科学、市场营销学和教育科学等领域通用的一种研究工具。它利用方程求解, 却没有很严格的假定限制条件, 同时允许自变量和因变量存在测量误差。它不仅对变量间不同类型的因果关系进行同时性评估, 而且能够严格检查和比较两个或多个样本之间的近似性与差异性, 还可证明一个模型的结构以及检验测验的信度等。

第一节 SEM 的发展

SEM (结构方程模型) 是因素分析 (factor analysis) 与通径分析 (path analysis) 两种统计技术的结合体。Kaplan 指出, SEM 的历史根源来自于两个重要的统计学门类: 心理统计学和生物与经济统计学。

一、心理统计学根源

因为因素分析法能够处理人类行为研究当中最棘手的潜在结构 (latent construct) 问题, 所以, 近几十年来在社会与行为科学领域, 因素分析已成为一种受到广泛重视的统计技术。早在 1869 年, Galton 就注意到人的许多心理特征是无法直接测量的, 只能通过观察人的外在行为来对潜在的心理结构作出推测。1904 年, Spearman 开始讨论心理特质潜在结构的具体问题, 这为因素分析技术甚至是结构方程模型的发展开启了第一扇窗口。

Spearman 为因子分析技术的创始人。他认为人类智力测验得分之间的相互关系, 可以被视为是这些分数背后一个潜在的共同因素 (common factor) 的影响结果, 这个一般性智力因素 (general ability) 影响了所有心智能力测量指标的分数。

20 世纪 30 年代以后, 芝加哥大学的 Thurston 教授与他的同事对用单一因素来说明智力的结构与关系提出质疑, 认为在复杂的智力测量结果背后, 应该存在着不同且独立的一组共同因素, 并进一步发展出了同时估计多重因素的因素分析法。可以说, 这是因素分析技术中最关键的一项突破。另外, Thurstone 还把 Spearman 的“四差标准” (tetrad difference criterion) 运用于相关系数大小的等级分析, 用以决定公共因子的数目, 从而把矩阵方法紧密地结合到因素分析之中, 大大地促进了因素分析法的发展。Thurstone 还提

出了“最简结构”(simple structure)的概念和方法。后来,最简结构原则成了因素分析技术最根本的一项原则。

在1950年到1970年之间,心理学界掀起了一股因素分析的研究热潮,使得因素分析在原理与技术层面都取得了快速发展。Jöreskog与Lawle开发出极大似然估计的因素分析技术,为检验因素分析所得因子结构的有效性铺平了道路,人们可以对因子模型的正确性做出客观的评价。这一时期在心理学研究中因素分析也得到了广泛的应用,J. P. Guilford的三维智力结构理论、Cattell的人格因素理论都是在因素分析技术的支持下发展起来的。

因素分析法又被称为探索性因子分析(Exploratory Factor Analysis, EFA)。这是因为,在对变量群进行分析之前,研究者并不知道它们潜在的因子结构,进行因素分析的目标就是找出一群有相互关系的变量群背后潜在的最简化结构。20世纪50年代之后,一批学者(如Anderson and Rubin, Jöreskog等)又将因素分析技术扩展到验证性因子分析(Confirmatory Factor Analysis, CFA),使得研究者可以更进一步地检验用不同样本与不同方法所得因子结构的有效性。目前,验证性因子分析已经在心理学各个领域成为最强有力的研究手段之一,它既是心理学理论发展方面的重要工具,又促使研究者细致、认真地考虑研究的理论构思与变量结构,使研究更为严密且富有理论与实际意义。

目前,不论是探索性因素分析还是验证性因素分析,在社会与行为科学的量化研究中都占有相当重要的地位,因为它们在处理潜在特质与抽象概念最为有效的一种统计方法。

二、生物与经济统计学根源

SEM的另一个源头是“路径分析”(path analysis),这是源自于生物统计学家发展的理论与技术。挪威生物统计学家Sewall Wright提出了将一组变量之间的共变关系转换成一组模型化参数的方法,并将这一模型用路径图的形式表现出来,以回归方程式来估计变量之间的假设性函数关系。这种方法不仅可以估计变量之间的直接预测关系,而且可以估计变量之间的间接效应。在此基础上,Wright发展出路径分析模型,并应用于骨骼的测量研究。

在经济学领域中,量化研究一向备受重视。从17世纪开始,经济学家就已经应用数学模型去解释与预测经济学的各种现象。Haavelmo在1943年利用一系列的联立方程来探讨经济变量之间的相互关系。联立方程分析的发展及其在经济学研究中的应用,对于当时的经济统计学来说是一项突破,这也引起了经济学家的高度重视。后来一些研究者将其与极大似然估计结合起来,发展出一种重要的假设检验方法。联立方程分析技术虽然可以用来探讨复杂变量的关系,对于总体经济现象的解释有重要的实用价值,但也存在着诸如无法针对特定的经济现象进行精确有效的时序性预测等这样一些局限性。尽管如此,这一技术的基本原理还是具有重要的开创性价值的。

三、SEM的出现

因素分析从众多变量的交互相关中找出起决定作用的基本因素,这些基本因素也称



为公因子，实际上就是我们无法直接测量的潜在变量（latent factors）。这些相互关联的观测变量就是预测这些潜在变量的标志（indicators）。对这些标志变量进行观察总是包含了大量的测量误差，而因子分析不仅可对潜在变量设立多元标志，还可处理测量误差。并且因子分析把一组观测变量化为少数几个因子后，可以进一步将原始观测变量的信息转换成这些因子值，然后用这些因子代替原来的观测变量进行其他的统计分析。

路径分析是一种探索系统因果关系的统计方法，其主要功能是研究变量之间关系的不同形式，比回归分析的功能更强。它可以将一个变量对另一个变量的总效应分解为直接作用和各种形式的间接作用，使整个模型系统中变量的因果关系更为清晰、具体。路径分析的着眼点主要在变量之间作用系数的分解上，不仅能够对简单的回归系数进行分解，而且可以对简单相关系数进行分解。在研究方法论上，变量之间是否存在相关和偏相关常常被作为检验因果关系的必要条件之一。因此，路径分析对相关系数的分解更具一般方法论的意义。

SEM 是因素分析技术与路径分析技术相整合的产物。因素分析代表的是潜在变量研究模式，路径分析代表的是回归—因果模式。这两种统计模型经过整合就形成了结构方程模型（SEM）。按照 Jöreskog 最初的设想，SEM 中最重要的概念由两部分组成，第一部分是测量模型（measurement model），反映了观测变量与潜在变量之间的关系，其构成的数学模型是验证性因素分析；第二部分是结构关系的假设检验，即结构模型（structure model），透过结构模型使潜在变量之间的关系可以通过路径分析的概念来讨论。当观测变量没有测量误差时，SEM 对于结构关系的假设检验就完全等同于经济统计学中的联立方程模型分析。

四、近年来的发展

近年来，SEM 在基本原理方面取得了重要发展，SEM 除了可以应用到非正态的资料分析中，包括二分变量、顺序或类别变量等，对于特定的问题，如非随机性缺失值的处理等也提出了相应的策略。此外，关于 SEM 在多重样本研究、纵向研究等领域的应用也取得了较大的发展。

Breckler 于 1990 年检索发现，从 1977 年到 1987 年在人格与社会心理学的相关期刊中，曾应用到 SEM 的论文有 72 篇，Hulland, Chow & Lam 于 1996 年做了另一项检索，发现 1980 年到 1994 年间在消费行为研究领域应用 SEM 的论文有 186 篇。另外，Maccallum & Austin 在 2000 年再次做了检索，发现 1993 年到 1997 年间有 500 篇关于 SEM 的应用论文发表在 16 种心理学主要期刊上。2007 年 1 月 17 日，在中国期刊网查阅到标题中含 SEM 的学术论文有 606 篇。这些数据表明 SEM 正被广泛应用于我国各领域的研究中。

[拓展阅读]

矩的知识

在我国，矩是木工用来画直角的工具，“没有规矩不成方圆”中的“矩”就是这种意思。

与数量相关联的矩（moments）最早出现在物理学中，指的是作用于杠杆上的力与力

的作用点到支点（旋转轴）之间距离的乘积。

后来，数学领域也出现了矩的概念，指反映某一随机变量总体分布特点的期望值。一个随机变量 X 关于常数 n 的 k 阶矩记为： $E[X - n^k]$ 。这样，如果 n 为 0，那么随机变量 X 的一阶矩就是其平均值，如果 n 为随机变量 X 的平均值，那二阶矩就是其方差，也是一个二阶中心矩。一阶矩提供了均值信息，二阶中心矩提供了随机变量的离散程度信息，三阶矩提供了随机变量分布形状的信息，如果三阶矩为正值，变量为正偏态分布，三阶矩为负值，变量为负偏态分布。

由两个随机变量的乘积组成的随机变量的一阶矩为这两个变量的协方差，提供了这两个随机变量关联程度的信息，如果矩的值为 0，表明这两个变量没有关联，如果矩的值越大，表明这两个随机变量的关联程度就越大。

第二节 SEM 的原理与特点

SEM 主要是利用一定的统计手段，对复杂的理论模型加以处理，并根据模型与数据关系的一致性程度，对理论模型作出适当评价，从而达到证实或证伪研究者事先假设的理论模型的目的。SEM 实际上是广义线性模型（General Linear Models, GLM）的扩展。路径分析、因素分析、多元方差分析以及多元回归分析等都是 SEM 的特例。

一、SEM 的基本原理

（一）假设检验

SEM 主要是一种验证性（confirmatory）技术，而不是一种探测性技术。研究人员从一定的理论模型或研究设想出发，以 SEM 来描述各种研究变量之间的关系，并以实证性资料对模型加以检验，以评价提出的理论观点或设想的正确性。在这一过程中，既包括对整个模型合理性的假设检验，也包括对个别变量间关系参数的估计与假设检验。

一旦建立了 SEM，就可以根据观测变量的方差、协方差进行参数估计。SEM 的估计过程完全不同于传统的统计方法。SEM 分析追求的目标是尽量缩小样本的方差、协方差与依据假设模型估计的方差、协方差之间的差异，不是以每个观察样本元素的因变量预测值与观测值之间的差异，而是将观测的方差、协方差（observed variances/covariances）与预测的方差、协方差（predicted variances/covariances）之间的差别作为残差（residuals）。SEM 的基本假设是，观测变量的方差、协方差矩阵是一套参数的函数。固定参数值和自由参数的估计值将被代入结构方程，然后推导出一个方差、协方差矩阵 Σ [称为引申的方差、协方差矩阵（implied moments）]，使矩阵 Σ 中的每一个元素都尽可能地接近于样本中观测变量的方差、协方差矩阵 S 中的相应元素。如果设定模型正确， Σ 将非常近似于 S 。它的估计过程采用特殊的拟合函数使 Σ 与 S 之间的差异最小化。对于模型是否恰当所作的评价就是以反映 Σ 与 S 之间的差异大小的统计指标为依据。

不同的 SEM 软件估计引申方差、协方差矩阵的方法不同。常用的方法有极大似然估计法（Maximum Likelihood, ML）和广义最小二乘法（Generalized Least Squares, GLS）。



AMOS软件估计引申方差、协方差矩阵的默认方法为极大似然估计法，备选方法有非加权最小二乘法（Unweighted Least Squares, ULS）、自由尺度最小二乘法（Scale-Free Least Squares, S - FLS）以及渐进自由分布法（asymptotically distribution-free）。图 1 - 1 为 AMOS 的估计方法设置窗口，如果在运用 AMOS 时需要选择特定的估计方法即可打开这一窗口对估计方法作出选择。

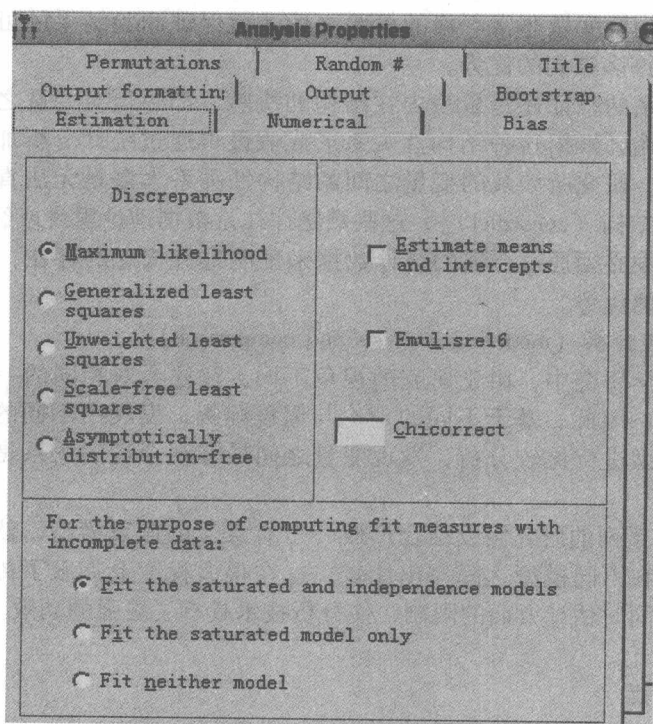


图 1 - 1 AMOS 的估计方法设置窗口

与其他分析方法一样，用 SEM 进行假设检验的前提也是首先要根据已有的理论和研究资料对所提出假设的合理性做全面分析。也就是说，应该考虑所提出的假设是否是基于强有力的理论基础，或是经过严谨的推理过程而得出的某一研究假设，这样才能有效地提升研究的检验效能，并得出理想的研究结果。

（二）结构验证（structure confirmatory）

在社会及行为科学研究中，探讨的问题往往涉及一组变量之间的关系。SEM 就是用联立方程的形式来描述一组变量之间的关系假设。例如，一项对于学业成就的研究，最常用的解释变量为智力，不过，研究者还可能会考虑到除了智力因素外，学生先前的学习经验（Exp.）也会影响他们的学业成就（GPA），而先前学习经验的影响还可能通过成就动机（Ach.）的中介作用间接影响学业成就。根据这种设想，可以将所研究变量之间的关系用下面的方程式来表示：

$$GPA = a \times IQ + b \times Exp. + c \times Ach. + e_1$$

$$Ach. = d \times Exp. + e_2$$

上述两个方程式说明了 GPA 与 IQ、GPA 与 Exp. 以及 GPA 与 Ach. 三组变量之间的共变关系,而且陈述了智商、学习经验、成就动机对学业成就影响作用的途径,即变量之间的结构性关系。当然,这只是一个简单的例子,在实际研究中,还可能涉及更多的变量,变量之间的作用关系也更加复杂。不过,用 SEM 可以将变量之间的复杂关系表达得非常清晰。在心理学领域,测验内在结构的验证是心理测验编制过程中的一项重要工作,往往要对测验的结构效度做非常严格的检验之后才能保证测验结果的可靠性。在处理这一问题上,SEM 有许多独到的优势。

不管是因果关系的验证还是量表内在结构的检验,都必须对变量之间的假设性关系作清晰而科学的陈述,根据这种结构性关系形成假设再通过统计分析加以检验。在社会与行为科学领域中,研究所涉及的变量之间的结构性关系大多是无法直接观察与测量的抽象命题[或称为结构(construct)],这些命题往往是根据理论思辨或经验反思而得出的构想,在研究过程中必须通过严谨的统计数据来证明这种构念的存在,SEM 在处理这一问题上也有其独到的优势。

(三) 模型比较分析(modeling analysis and comparison)

在社会行为科学研究中,由于研究的视角不同,往往会对相同的一组变量之间的关系提出不同的观点。因此,基于不同的理论与假设前提,发展出不同的备择模型,通过实证资料对不同模型进行比较分析,发现变量之间最客观合理的关系是研究的主要内容之一。

SEM 可以将一系列的研究假设结合形成一个有意义的假设模型,然后通过统计分析对模型进行验证,在不同模型之间作出比较,这在很大程度上克服了传统的路径分析用多组回归等式进行同时估计方面的限制,使分析技术具有了更强的功效。

二、SEM 的特点

Jöreskog & Sörbom 曾指出,SEM 的应用可以分为三个层次。第一层次是单纯的验证(confirmatory),即针对单一的先验假设建立模型,通过对模型适合性的评价来检验假设是否成立,这一层次的研究可以称为验证型研究。第二层次为模型的产生(model generation),其程序是先设定一个起始模型,再与实际观察资料进行比较,进行必要的修正以得到最佳拟合的模型,这一层次的研究可以称为产生型研究。第三层次是备择模型的比较,确定哪一个模型最能反映真实资料,这一层次的研究称为模型比较分析研究。

相对于相关、回归分析、路径分析等研究变量间关系的统计方法来说,SEM 从两个方面完善了这些常用方法的不足:第一,克服了探索性因素分析假设限制过多的缺点,对变量之间关系结构的探讨更富弹性;第二,在考虑测量误差的前提下建立变量间的因果关系。区分了观测(外显)变量和潜在(内隐)变量,进而通过观测外在表现推测潜在概念,不仅可以探讨变量间直接影响、间接影响和总效应以及表达中介变量作用,而且用潜在变量代替路径分析中的单一外显变量,并考虑变量的测量误差,使研究结果更精确。概括地讲,SEM 具有以下特点。

(一) SEM 具有理论导向性

SEM 分析最重要的一个特性就是理论导向性,也就是说,研究者所建立的模型都是



基于一定理论基础的。在 SEM 分析过程中,从变量内容的界定、变量之间关系假设的提出、参数的设定、模型的修正都必须有清楚的理论概念或逻辑作为依据,它是检验某一先期提出的理论模型合理性的一种统计分析技术,所以通常被视为验证性统计方法。从统计学原理的角度来说,SEM 必须同时遵循多项传统统计分析的基本假设,如线性关系、正态分布等。

SEM 中的因子分析与传统的因子分析方法之间存在一定的区别。SEM 所使用的因素模型有相当严格的限制,研究者对于潜在变量的内容与性质,在测量之初必须有非常明确的认识。也就是说,这些潜在变量是在具体的理论基础上提出的,并且对潜在变量、观察变量以及特异变量之间的关系有了清楚的理论构想。例如,研究者认为智力为一个潜在变量,那么在测量之初依据有关智力的理论对智力的内容与性质就有了较为全面的认识,并且对智力因子结构及测量的方法提出了一定的假设。SEM 分析就是对这一先期提出的因素结构的正确性进行检验。除了在编制测量工具时可以利用 SEM 因子分析来检验其结构的有效性,对于理论架构的检验也可以用这一方法。因此,在 SEM 中因子分析又被称为验证性因子分析。

(二) 灵活性

SEM 可以说是多种不同统计技术与研究方法的综合体,它不是指某一种特定的统计方法,而是一套用以分析协方差结构的技术的整合。SEM 的另一个特点是灵活性,它对数据特点及结果解释的限制更为宽泛,克服了传统分析技术限制条件过分严格的不足。例如,结果解释常常受数据本身制约,要体现理论构想比较困难,有些数学前提假设不利于建构心理学理论。就传统的探索性因子来说,数据必须满足以下条件:①所有潜在因素要么都相关,要么都不相关;②所有的潜在因素都直接影响所有观测变量;③特异性误差之间均无相关;④所有潜在因素与所有特异性误差间不相关。这些限制条件过分绝对,使得传统的因子分析方法应用不够灵活,结果的解释也不够客观(因为在分析之前因素的数量以及因素之间的关系都是未知的,理论的导向性差),但 SEM 在这方面的限制就宽泛得多,这使得 SEM 更加符合实际、结构更为清晰,应用更为灵活。例如,对于因子分析来说,①可以假定潜在因素哪些是相关的,哪些是不相关的;②能确定哪个观察变量受哪个特定潜在变量的影响,而不是受所有潜在变量影响;③可指定哪些特异性误差之间是相关的,而不是假定所有特异误差不相关等。另外,SEM 根据先前的理论和已有知识来形成变量之间的相互关系模型,使得模型的建立与修正更具逻辑性。

SEM 以协方差分析为核心,同时也可处理平均数估计以及平均数差异检验等问题。在 SEM 中,协方差分析具有两种功能:一是描述性功能,通过协变量之间的关系考察多个连续变量之间的相关程度;二是验证性功能,通过比较依据理论逻辑分析建立的模型所导出协方差矩阵与观察数据所产生的协方差矩阵之间的差异来检验理论模型反应的构想是否成立。除了这种协方差分析功能之外,SEM 还可以处理变量的集中倾向及平均数差异检验等问题。传统上,均值差异检验是以 t 检验或方差分析实现的。由于 SEM 可以对截距进行估计,使得 SEM 可以将平均数差异的比较纳入分析模型中,同时若配合潜在变量的概念,还可以估计潜在变量的均值,这使得 SEM 的应用范围更广、更灵活。

(三) 同时处理测量与分析问题

SEM 将观察变量(外显变量)和潜在变量(内隐变量)加以区分,通过观测外在表

现推测潜在概念,利用外显变量的模型化分析来估计不可直接观察的潜在变量,不仅可以估计测量过程中的误差,还可以评估测量的信度与效度。这样,在探讨变量关系的同时,把测量过程产生的误差包含于分析过程之中,把测量信度的概念整合到路径分析等统计推断决策过程。这成为 SEM 的又一个突出特点。

(四) 适用大样本分析

由于 SEM 主要用于处理多变量之间的复杂关系,因此,SEM 分析所使用的样本规模越大越好。当样本规模小于 100 时,SEM 分析结果将不稳定。一般而言,大于 200 的样本才可以称得上是中型样本,若要得到稳定的分析结果,样本容量应该大于 200。

(五) 重视多重统计指标的运用

SEM 虽然集多种不同统计技术于一身,但对统计显著性的依赖程度却远不及一般统计分析。这是因为 SEM 所处理的是整个模型的比较,所以所参考的指标不是以单一的参数为主要参考量,而是整合性的系数,同时 SEM 发展出多种不同的统计评估指标,从而可以从不同的角度进行分析。而且,由于 SEM 适用于大样本分析,又以卡方统计量作为显著性的核心指标,大样本分析情况下卡方统计量会被严重扭曲,为此 SEM 不以单一参数为主要标准,而是以整合性的系数作为模型评价的参考量,并发展出不同的统计评估指标,使使用者可以从不同的角度进行分析和评价。

三、SEM 的新应用

SEM 在早期的应用主要体现在两个方面:一是对中介关系和直接关系的检验;二是验证性因素分析。但近年来,SEM 又有了一些新的应用,主要包括:

(一) 多重样本分析

采用 SEM 可以估计变量间的关系模型在两个或多个总体中是否有显著差异。同样,可以检验 SEM 在不同的总体或样本中是否相同。在此过程中,主要是先固定某些路径的估计值,使它们在不同样本中相等,从而检验个别路径或一系列路径在不同样本中是否有差异。多重样本分析还可以检验在某个样本中不能识别的模型,在另一个或多个样本中是否能够识别。此外,多重样本分析还可作为交叉证实模型的一种极好工具。

(二) 交互作用效应的检验

心理学研究中常常对变量间的交互作用十分关注,对于实验研究中多因素设计来说,因素间的交互作用更是不容忽视。但是,在观察研究中探测交互作用比实验研究的难度更大,原因在于检验交互作用的主要途径是采用一个新变量,该变量是两个连续变量的组合。交互作用的二级检验能力通常低于各个独立的连续预测值所表示的主效应检验能力,因为组合项的信度将明显低于各个主效应项的信度。Kenny 认为,应用 SEM,研究者可以把组合项定义为一个潜在变量,并为其设置多个指标,同时对测量误差加以控制,这就可以解决组合项检验能力信度低的问题。虽然 Kenny 和 Judd 的方法是切实可行的,但其复杂性却限制了许多研究者对它的应用。近年来有研究者又提出了一些更为简单的变式,这些简单的变式可以为研究者提供更多的选择余地。

(三) 均数差异检验

以往 SEM 主要用于探讨变量间的相关或协方差关系,但近年来人们对 SEM 在估计平

均数差异（类似于多元方差分析）方面的应用作了进一步探讨并取得了较大进展。与 SEM 把路径系数指定为参数估计值相似，研究者不仅可以把观察变量的均值作为待估参数，而且还可以把潜在变量平均数作为待估参数，这是传统统计方法难以实现的。从技术上讲，就是把潜在概念的方差分成两个部分：平均数和离均差。在此分析中，除了要输入外显变量或观测变量间的协方差，还要输入平均数。如果要比两组或多组（如实验组和控制组）平均数，则可以把模型与各个组相拟合（类似于前面所述的多重样本分析），其中指定平均数为潜在概念。这时，就可以比较两个模型，一个模型中的平均数在各个组保持不变，而另一个模型的平均数却是可以变化的。对这两个嵌套模型的比较结果将表明这些平均数是否有显著差异。虽然多元方差分析有时比 SEM 优越，但在多数情况下，SEM 对平均数差异的分析将比多元方差分析更有经验和概念上的优势。首先，SEM 考虑到潜在变量的平均数。在大多数情况下，用潜在变量能更好地代表所感兴趣的概念。其次，SEM 考虑到所要估计的各个测量误差。而在传统方差分析中，外显变量的线性组合则混淆了所有的测量误差。通过考虑测量误差，SEM 为自变量和因变量的关系所提供的参数值更为准确。最后，SEM 允许研究者用模型去解释自变量对因变量的变化或影响机制。因此，SEM 比协方差分析在解释实验干预的影响时所提供的信息更多。

（四）纵向设计

横向设计对因果方向的确定主要取决于理论，而不是经验。即使在已经确定了因果方向的情况下，有的研究者也指出，横向设计所得出的总影响、直接影响和间接影响的估计值都含有一定的偏差。虽然纵向设计也不会自动为横向设计所存在的问题提供答案，但它却能为变量的相互影响机制提供更有力的经验证据。利用 SEM 建立纵向数据模型，其最普遍的看法已贯穿于自回归模型。自回归模型的实质是任何时间点的分数源自于以前时间点的分数。例如，纵向数据的 SEM 将含有时间 1 的每个概念到时间 2 相应概念的路径。对时间 2 任何概念的影响都可以看作是以时间 1 的概念为条件的。目前，与自回归模型取向不同的另外一种处理纵向数据的技术——层次模型（HLM）也成为 SEM 的一种特殊形式。自回归模型集中于理解两个时间点之间的变化，而技术——层次模型（HLM）则集中于理解诸如每一个个体在整个观察期间的变化或成长速率等参数。多水平模式目前已受到相当大的关注，因为它们为探索变化的新方法提供了理论优势和实践优势。

四、SEM 的局限性

与任何统计程序一样，SEM 也存在一定的局限性。其具体表现为：①在 SEM 应用早期，由于其自身的相对复杂性和不完善性，使研究者未能准确把握其内涵，因而出现了误用，并把统计结果作为确定因果关系方向的证据，这显然是本末倒置的。又由于 SEM 对模型的接受没有统一标准，所以在有等价模型的情况下，研究者很难拒绝某些模型，这也给模型选择带来了困难。②影响 SEM 解释能力的主要问题是指定误差，但 SEM 目前还不能对指定误差加以检验。如果模型未能正确指定概念间的路径或者没有指定所有的关键概念，就可能会引起指定误差。当模型含有指定误差时，该模型可能与样本数据拟合很好，但此样本所在的总体可能拟合得并不好。这时，如果用样本特征来推论总体，就会犯以偏概全的错误。③SEM 对样本容量的要求较高，也要求模式必须满足识别条件，

并且它不能处理真正的分类变量。

总之，虽然 SEM 的优点是主要的，但其局限性也不容忽视，还有待进一步发展和完善。

第三节 SEM 检验指标

参数估计结果的顺利得出（即模型得以成功识别）和模型合理性的检验是 SEM 应用中非常重要的两个基本问题。模型合理性检验的目的就是要通过客观的模型检验指标来评价研究者所提出的假设模型是否能够得到实际观察资料的支持，即依据理论构想所建立的假设模型是否具有实证性意义。

一、卡方检验方法

（一）卡方检验

对模型合理性加以检验，或者说对理论模型与经验数据的一致性加以验证，需要有一些科学的指标。其中最常用的评价指标是卡方统计量。在 SEM 分析中，卡方值是由拟合函数得来的统计量，反映的是 SEM 假设模型的导出矩结构与观察矩结构的差异程度的平方。其导出公式如下：

$$T = (N - 1) F_{\min}$$

T 代表的是模型拟合度的检定值，也可将其视为卡方值； N 为样本数； $F_{\min}$ 表示以各种不同参数估计方法（极大似然估计法 ML，广义最小二乘估计法 GLS 等）得出的拟合函数的最小估计值，这一数值也反映了最佳化的参数统计量（假设模型与观察资料差异的最小值）。在符合卡方分布的条件下，可以对 T 值做卡方检验来检验其显著性。当 T 值达到显著水平时，代表模型拟合度不佳；反之，当 T 值未达到显著水平时，代表模型拟合度良好。

虽然以卡方分布来做模型拟合度检验符合抽样理论的基本思想，但以此方法做统计决策却有诸多限制，直接以卡方检验来决定 SEM 模型的合理性常常受到质疑，这是因为：

首先，卡方统计量依赖于所用的估计方法（即 ML，GLS，ADF，ML-SCALED，GLS-SCALED），因此，有几种估计方法就应该有几种不同的卡方统计量。

其次，传统卡方检验的虚无假设与 SEM 拟合度卡方检验的假设不同。多数传统卡方检验的虚无假设多是平均数没有差异，并希望检验结果达到显著；而在 SEM 拟合度卡方检验中，其虚无假设通常是假定某些参数值为 0，并希望不能拒绝虚无假设，即卡方统计量不显著。

再次，卡方统计量本身并不在模型路径的基础上评价拟合度。该统计量是以所删除的路径为基础的。例如，过度识别模型来源于恰好识别模型，只是删除了某些路径。恰好识别模型能完全再生所输入的数据（即与数据完全拟合），但过度识别模型将受到更多的限制（即路径更少），因此，通常不能与数据完全拟合。恰好识别模型的自由度为 0（自由度等于输入值个数与参数估计值个数之差），过度识别模型的自由度等于从恰好识别模型中删除的路径条数。因此，卡方统计量表示恰好识别模型的完全拟合相对于过度