

一种新的统计方法和研究思路

——结构方程建模述评^{*1)}

张建平

中国科学院心理研究所,北京,100012

摘 要

结构方程建模(SEM)是一种新的统计方法和研究思路,近年来在心理学和社会科学领域的应用日益增多。本文在非数学化的基础上,结合心理学研究实例介绍了SEM的渊源、发展、基本概念、分析过程以及相应的计算机统计软件LISREL。本文认为SEM有四大优点:①引进潜变量使研究更为深入,②遵循一般线性模式进行验证型分析,使研究更有意义,③妥善处理多变量间的复杂关系,④模型具有参数不变性。SEM应该引起国内心理学界的重视。

关键词: 结构方程建模, 统计方法, LISREL, 心理学研究

结构方程建模(Structural Equation Modelling,以下简称SEM)^[1],也称为“协方差结构分析”(Analysis of Covariance Structure)^[2]、“因果建模”(Causal Modelling)^[3]、“线性结构方程”(Linear Structural Equation)^[4]等,是一种新的统计方法和研究思路,出现于六十年代后期,目前已经广泛应用于心理学、行为与社会科学、生物医学等领域,这项研究被称为近年来统计学的三大进展之一(Aiken, et al, 1990)^[4]。本文将在非数学化的基础上介绍SEM的渊源、发展、基本概念和原理、分析过程及相应的统计软件LISREL。

一、渊源与发展

SEM是由几个相对独立的学科各自发展、交汇在一起的^[1,3]。心理测量学中的因素分析方法和信度效度理论都蕴含着潜变量(latent variable)的概念,即在纷繁复杂的心理和社会现象中,隐含着一些不能被直接观测的潜在因素或特质,这些潜变量可能是某种理论构思、某种研究假设,或是尚不能用现存方法精确并直接测量的客观实在。潜变量可以用来解释观察到的现象,简化观测变量间的关系,加深人们对心理和社会现象的认识。在生物测量学中,Wright(1934)最早在遗传学研究中提出路径分析(path analysis),用来直观表达变量之间的关系。在计量经济学中,很早就开始了联立方程组的研究和应用,用数学方法同时计算多个方程、多个变量之间的关系。六十年代以后,社会学家首先将这三个学科的发展融合起来。他们把路径分析陈述的简洁性与联立方程表达的系统性相结合,引进了潜变量模型的深入性。在这方面做出贡献的社会学家主要有Blalock, Duncan等^[3]。七十年代中期,瑞典统计学家——心理测量学家Karl G. Joreskog,提出SEM统计

* 感谢为本文写作提供资料的张建新、张风雨同志,冯刚同志对本文初稿提出了修改意见,一并致谢,

1) 本文于1992年1月30日收到。

计算模型,把潜变量引进路径分析,同时利用最大似然(ML)因素分析方法,把潜变量和观测变量有效结合起来,并在此基础上,率先研制成功 LISREL 软件(Linear Structure Relation)^[6],使研究者能方便灵活地运用 SEM 技术处理各种实际问题,这是 SEM 发展史上的重大突破。LISREL 目前已成为使用最广泛的 SEM 软件,并引发了一系列同类软件的研制,如 EQS(Bentler,1989)、COSAN (McDonald,1985)、TETRAD (Glymour,1988)^[6]等。LISREL 第七版(Joreskog & Sorbom,1989)^[7]还配有一个 PRELIS^[8]程序,对数据进行初步处理,尤其适用于分类、排序等离散数据和编态分布的数据,大大增强了 LISREL 的功能。由于 LISREL 的特殊地位,本文就以 LISREL 为代表介绍 SEM 的方法与思想。

二、基本概念

1. 变量的分类

观测变量(observed variable)是指操作化的可以观察度量的变量,也称指示变量(indicator)。潜变量的概念前面已提到,虽无法直接观测,但它对某些观测变量的影响是可以观测到的,因此也是可以研究的。例如,一个人的社会经济地位是潜变量,无法直接观测,我们可以通过他的职业、经济收入和受教育年限等可观测变量来衡量。

在一组变量系统中,受其它变量影响的变量称为内源变量(endogenous variable),即因变量,而把“引起”其它变量且自身变化又假定由系统外其它因素所决定的变量称为外源变量(exogenous variable),即自变量。这时,认为任一内源变量的变化是由于外源变量和其余内源变量联合作用的结果。

2. 路径图的表示法和 SEM 的变量名称

用路径图(path diagram)可以直观地表现 SEM 分析中变量间的相互关系。用于 SEM 计算的各种统计软件都有一套自己的符号体系,这里我们以 LISREL 的规定来说明路径图的表示法和各种变量的名称^[7]:

x 为外源观测变量, y 为内源观测变量,画在方框或长方框内;

ξ 为外源潜变量, η 为内源潜变量,画在圆圈或椭圆内。

δ 、 ϵ 分别表示 x 变量和 y 变量的测量误差, ζ 表示用 ξ 预测 η 的剩余误差。

两个变量间的单箭头表示一个变量(起点)对另一个变量(终点)的直接影响;两个变量间的双箭头(或曲线)表示这两个变量间可能互为影响,或两个变量可能是相关的;箭头上的数字表示效应量(见图 3)。

3. 结构方程模型的表达形式

SEM 包括两种基本形式,一种是描述观测变量与潜变量之间的测量关系,称为测量模型(measurement model);另一种是描述潜变量之间的结构关系,称为结构模型(structure model)。下面简要介绍各模型的矩阵表达式。

$$\textcircled{1} \text{测量模型: } \begin{cases} X = \Lambda x \xi + \delta & (1) \\ Y = \Lambda y \eta + \epsilon & (2) \end{cases}$$

其中, X 、 Y 为观测变量的($q \times 1$)、($p \times 1$)向量, ξ 、 η 为潜变量的($n \times 1$)、($m \times 1$)向量, Λx 、 Λy 表示($q \times n$)、($p \times m$)的因素负荷矩阵, δ 、 ϵ 为观测变量测量误差的($q \times 1$)、($p \times 1$)向

量； ε 与 η 、 δ 与 ξ 、 ε 与 δ 均不相关。

由于我们认为潜变量对观测变量有影响，因此观测变量可看作潜变量的线性组合，这与一般的因素分析模式很相似。事实上，测量模型可看作观测变量对潜在变量（潜因素）的度量，故此也称验证型因素分析(Confirmatory Factor Analysis, CFA)，有别于传统的探索型因素分析(Exploratory Factor Analysis, EFA)。

②结构模型： $\eta = B\eta + \Gamma\xi + \zeta$ (3)

其中， η 、 ξ 分别为内源潜变量的($m \times 1$)向量和外源潜变量的($n \times 1$)向量， B 为内源潜变量 η 之间相互影响的结构系数矩阵($m \times m$)， Γ 为外源潜变量 ξ 对内源潜变量 η 的效应的结构系数矩阵($m \times n$)， ζ 表示模型的误差向量($m \times 1$)， ζ 与 η 不相关。

这个方程囊括了所有潜变量之间的直接效应。 B 矩阵的元素反映了内源潜变量之间的直接作用大小， Γ 矩阵的元素反映了外源潜变量对内源潜变量的直接作用大小。因此，我们可以把每一个内源潜变量表示为所有其他潜变量和误差变量的线性组合。 ζ 是内源潜变量在用系统内其他潜变量解释时所不能解释的残余项。

完整的结构方程模型，又称 LISREL 模型，既包括测量模型，也包括结构模型。对一个 LISREL 模型的求解，涉及八个参数矩阵，除上面提到的 B 、 Γ 、 Λ_x 、 Λ_y ，还有四个是：

Φ ：外源潜变量的协方差矩阵，类似于多元线性回归中的自变量间的相关；

Ψ ：误差变量 ζ 的协方差矩阵。如果某些潜变量没有包括在模型中（因此它们的效应就贡献于结构干扰项 ζ ），而这些潜变量恰巧又同时对两个内源潜变量有影响，因此导致两个内源潜变量的误差项产生相关。

Θ_ε 、 Θ_δ ：误差变量 ε 、 δ 的协方差矩阵。

对于 LISREL 模型来说，所有变量和参数矩阵的关系如图 1 [1] 所示。

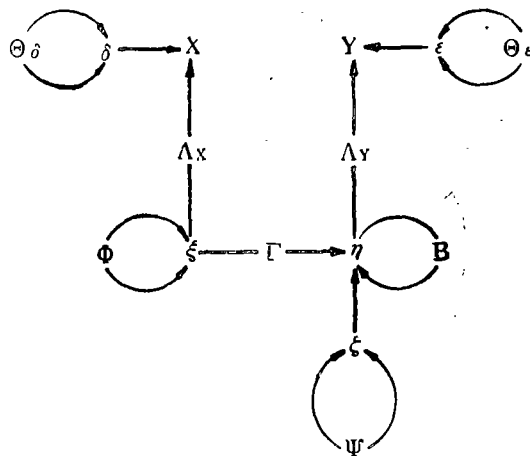


图1 LISREL 模型示意图(来自 Bentler,1988)

通过设定某类变量的数目为 0，可以获得各种 LISREL 亚模型。LISREL 第七版列出了四个亚模型，可以解决的问题有：验证型因素分析、多变量多元回归(典型相关)、路径分析(有或无潜变量)、二阶因素分析、计量经济学模型、MIMIC 模型、纵向数据分析(two-waves model、simplex model)、MTMM 矩阵的分析、多样本或多组的数据分析等[7]。

三、结构方程建模的分析过程

1. 基本思想与研究设计

传统的统计方法，如方差分析、多元回归、因素分析等，都是从已有的数据中探索、发现客观规律，这种分析属于探索型分析。以 SEM 为代表的验证型分析则不同，其基本思想是：研究者首先根据先前的理论和已有的知识，经过推论和假设，形成一个关于一组变量之间相互关系（常常是因果关系）的模型。由于在社会和行为研究中，许多变量都是不

可直接观察的或只是研究者的理论构思(如焦虑、动机、智力、态度等),因此模型中多数变量可能属于潜变量。为了使潜变量能有效、可靠地得到表现,就应该对每个潜变量选用多种指标变量进行测量。经抽样测量后,获得一组观测变量的数据和基于此数据而形成的协方差矩阵,这个样本协方差矩阵 S 是进行 SEM 分析的基础,故而 SEM 也称协方差结构分析。用这个协方差矩阵去估计模型的各项参数矩阵,使根据估计出的模型参数复制的协方差矩阵 $\Sigma(\theta)$ 尽量接近、拟合 S ,并计算模型对数据 ($\Sigma(\theta)$ 对 S) 的拟合程度。假设样本能很好地反映总体的性质 ($S = \Sigma$),如果模型表达了总体所具有的内在结构关系,那么模型协方差矩阵 $\Sigma(\theta)$ 就应该等于总体协方差矩阵 Σ ,即 $\Sigma = \Sigma(\theta)$ 。评价模型对观测数据的拟合程度有很多统计学指标,如 X^2 检验等。如果模型能很好地拟合数据,模型就是可接受的;如果模型不能很好地拟合数据,模型就被否定、证伪了,必须对模型做出修正,以使其能更好地拟合数据。因此,验证型分析是先建立模型,然后用数据去验证模型。

实际上,验证型分析与探索型分析是研究过程的两个阶段,不能截然分开,两者结合运用能够相得益彰,使研究更有深度。Anderson(1988)^[10] 建议,在发展理论的过程中,先通过探索型分析建立模型,再用验证型分析去检验和修正模型。例如,在一个样本中先用 CFA 找出变量的因素结构,再在另一个样本中用 EFA 验证和修改,这个程序称为交叉证实(cross-validation)。

SFM 最初是用来对现场研究的数据进行因果关系推断的,后来的发展证明 SEM 不仅对非实验、准实验设计的数据分析非常有帮助,而且对于严格的实验室设计,也能使研究者对实验结果有更深入的理解,因为 SEM 引进潜变量,用多重指标全面评估并考虑测量误差,对数据的统计判断就会比较准确和有说服力。SEM 既可用于横切研究,也适用于纵向研究,还可用于多样本或多组研究^[6]。总之,涉及多元变量的研究设计都可用 SEM 来处理数据。

2. 模型设定和变量识别

在用 SEM 分析数据时,首先要进行模型设定(specification)。将所研究的理论模型用路径图画出各种变量以及代表它们之间相互关系的各种参数。需要估计的参数是自由参数,模型指定数值的参数为固定参数,不需估计。然后把路径图“翻译”成 LISREL 的方程式语言,确定各参数矩阵的形式。很多研究者对同一组数据同时设定几个不同的、互相嵌套的模型(nested models),通过比较不同模型对数据的拟合程度,对某些结构参数的重要性进行假设检验(Bentler, 1980)^[8]。这里还涉及一个模型和变量的“识别”(identification)问题。不识别的参数估计值是不确定的和不精确的,影响整个模型的检验。只有过度识别和恰好识别的模型才能得到准确的参数估计和假设检验。检查模型识别的一条基本规则为: $t \leq 1/2p(p+1)$, p 为观测变量的数目, t 为待估的模型自由参数的数目^[11]。例如,模型包含 5 个观测变量,那么要想使模型可以识别,就必须满足“模型自由参数数目不多于 15 个”的条件。

3. 参数估计

参数估计的一般思想是,模型未知参数的估计值要使 $\Sigma(\theta)$ 尽量接近 S ,即 $(S - \Sigma(\theta))$ 尽量接近于零。参数估计的数学运算方法很多,其运算过程是极为复杂的,只有使用计算机程序才能获得满意的结果。LISREL 第七版提供了七种叠代估计方法:工具变量法(IV)、

两段最小平方法 (TSLs)、未加权最小平方法 (ULS)、广义最小平方法 (GLS)、最大似然法 (ML)、一般加权最小平方法 (WLS)、对角线加权最小平方法 (DWLS)^[7]。一般是用 IV 或 TSLs 计算开始值 (starting values), 然后用 ML 进行 LISREL 估计。每一种估计方法都有一个代表 Σ 接近 S 的拟合函数, 运算的目的就是要使这个拟合函数的值达到最小。一般 LISREL 要求满足两个假设: 观测变量服从多元正态分布; 变量之间的关系是线性可加的。但很多研究表明, 在数据偏离上述假设不太严重时, LISREL 的参数估计与统计检验仍是稳健的 (robust) (Lomax, 1989)^[8]。

4. 模型的评价

对 LISREL 模型的评价一般按照 LISREL 输出结果的先后, 着重检查下列内容: ① 参数估计值的合理性, 如果出现不合理的估计结果, 例如方差为负值或相关系数大于 1, 就说明存在模型误差; ② 测量模型的适当性, 在考察结构模型中潜变量之间的关系是否有意义之前, 必须先检查测量模型的信度和效度, 这一般要看每个测量变量的决定系数和整个测量模型的决定系数 (平方的多重相关系数); ③ 模型的整体拟合程度, 检验模型对数据的拟合是否达到了可接受的水平, 评价指标有 χ^2 检验、拟合优度指数 (GFI)、校正的拟合优度指数 (AGFI)、均方根残差 (RMR) 等; ④ 模型每个参数估计值的评价, 检验参数估计值所表示的效应量是否有显著意义。LISREL 给出每个参数估计值的“t 值”, 服从标准正态分布, 如果 t 值大于 2 ($P < 0.05$) 或大于 3 ($P < 0.01$), 说明这个参数的效应具有显著统计学意义, 反之, 就说明这个参数所代表的路径在模型中不重要, 可以去掉。评价单个模型参数的指标还有标准化残差、修正指数 (MI) 等^[12]。

5. 模型修正与再验证

如果对模型的评价不能令研究者满意, 就必须对理论模型进行修正 (modification), 使其能更好地拟合数据, 更好地接近客观现实。从这个意义上来讲 SEM 也具有探索性的功能。模型修正可以单纯根据模型评价提供的线索来进行, 如测量模型的信度、拟合残差的形态、t 值和修正指数等。更重要的是结合这些线索来重新考虑整个理论模型的建构、样本大小及对总体的代表性、删掉或增加某条路径的实际意义等, 这样才能保证理论修正的合理性, 不致于使人脑成为计算机的奴隶。为了慎重地修改模型, 一般每次只增或删一条路径, 重新验证后再看对模型的评价, 如果不满意则再修改, 直到满意为止。对模型的再验证, 很多研究者都提倡交叉证实的程序^[3, 13, 14], 以保证验证型分析的合理性。

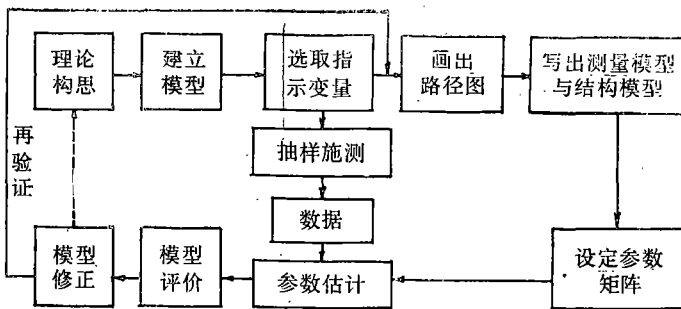


图 2 SEM 研究思路与分析过程示意图

四、建构方程建模的应用

我们用一个实例来说明 SEM 的分析方法和 LISREL 的运行过程。Bagozzi(1980)^[16] 在一项关于工业销售力的研究中,想知道“工作效果”与“工作满意度”之间是否有联系,是前者影响后者,还是相反? 为了排除其它因素的干扰,他引进三个与之相关的变量:成就动机、执行具体任务中表现的自尊、口才。根据理论分析与先前研究,建立一个结构方程模型,选择若干观测指标来度量无法直接测量的潜变量。整个模型如图 3,所有观测变量的相关矩阵见表 1。

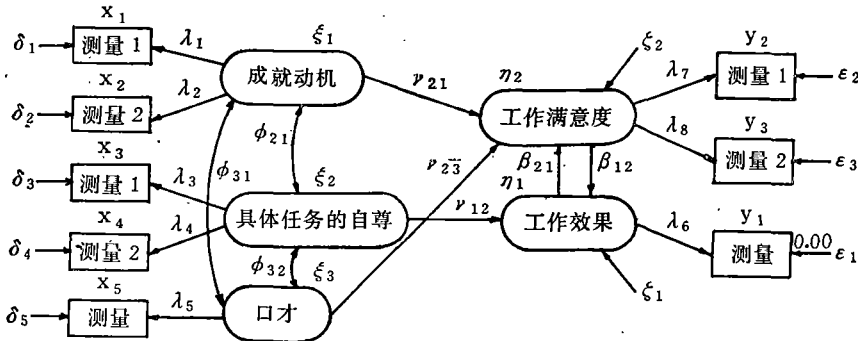


图 3 工作满意度与工作效果关系的路径图(改自文献[7],p.184)

注: ν₂₁、ν₂₃、ν₁₂ 分别为 γ₂₁、γ₂₃、γ₁₂。

表 1 Bagozzi模型中观测变量的相关矩阵、均数与标准差 (N=122)

变量	y1	y2	y3	x1	x2	x3	x4	x5	均数	标准差
y1	1.000								720.86	209.06
y2	.418	1.000							15.54	3.43
y3	.394	.627	1.000						18.46	2.31
x1	.129	.202	.266	1.000					14.90	1.95
x2	.189	.284	.208	.365	1.000				14.35	2.06
x3	.544	.281	.324	.201	.161	1.000			19.57	2.16
x4	.507	.225	.314	.172	.174	.546	1.000		24.16	2.06
x5	-.357	-.156	-.038	-.199	-.277	-.294	-.174	1.000	21.36	3.65

将路径图翻译成 LISREL 的方程式语言,即:

测量模型:

$$X = \Lambda x \xi + \delta \quad \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ * & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & * & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \\ \xi_3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} * \\ * \\ * \\ * \\ 1.998 \end{pmatrix}$$

$$Y = \Lambda y \eta + \epsilon \quad \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & * \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ * \\ * \end{pmatrix}$$

结构模型: η = Bη + Γξ + ξ

$$\begin{pmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & * \\ * & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & * & 0 \\ * & 0 & * \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} * \\ * \end{pmatrix}$$

除以上七个矩阵外, 矩阵

$$\Phi = \begin{pmatrix} 1 & & \\ * & 1 & \\ * & * & 1 \end{pmatrix}$$

其中, ① 为了使测量模型中潜变量与观测变量有可比的度量单位, 也出于模型识别的原因, 习惯上将其中一个指标变量的因素负荷定为 1, 因此我们使 Λx 中的 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 和 Λy 中的 λ_6, λ_7 等于 1; ② x_5 的信度是 0.85, 因此 δ_5 的方差值即为 $0.15 \times 3.65^2 = 1.998$, 其中 3.65^2 是 x_5 的方差^[7]。

分析这个模型的 LISREL 命令文件为:

DA NI=8 NO=122

LA

Y-1 Y-2 Y-3 X-1 X-2 X-3 X-4 X-5

KM FI=C:\TRY\EX.DAT

SD FI=C:\TRY\EX.DAT

MO NY=3 NX=5 NE=2 NK=3 BE=FU PS=DI

FR LY 3 2 LX 2 1 LX 4 2 BE 2 1 BE 1 2

FI TE 1 TD 5 GA 1 1 GA 2 2 GA 1 3

VA 1 LY 1 1 LY 2 2 LX 1 1 LX 3 2 LX 5 3; VA 1.998 TD 5

OU TV EF MI

关于这个命令文件的内容, 这里不再详细解释, 请参见文献[7](184—187页)。表 2 列出

表 2 Bagozzi 模型的部分 LISREL 输出结果

参数估计值	LAMBDA X(Λx)			LAMBDA Y(Λy)				
	ξ_1	ξ_2	ξ_3	η_1	η_2			
X-1	1.000	.000	.000	Y-1	1.000	.000		
X-2	1.138(3.4)	.000	.000	Y-2	.000	1.000		
X-3	.000	1.000	.000	Y-3	.000	.882(6.1)		
X-4	.000	.866(6.3)	.000	(注: 括号内为此参数的 t 值)				
X-5	.000	.000	1.000					
GAMMA(Γ)			BETA(B)					
	ξ_1	ξ_2	ξ_3	η_1	η_2			
η_1	.000	1.111(5.0)	.000	η_1	.000	.220(-1.4)		
η_2	1.057(2.4)	.000	.265(2.5)	η_2	.816(3.9)	.000		
测量模型的决定系数	Y-1	Y-2	Y-3	X-1	X-2	X-3	X-4	X-5
	1.000	.583	.675	.341	.396	.581	.479	.850
结构模型的决定系数	η_1	η_2	总决定系数					
	.409	.433	.547					
拟合度检验:	$\chi = 12.11(df = 14, p = .597)$			GFI = .974	RMR = .288			

了本例部分 LISREL 输出结果。

从结果可以看出, $\beta_{21} = .816$, t 值 = 3.888 ($P < 0.01$), 而 $\beta_{12} = -.220$, t 值 = 1.363 ($P > 0.05$), 所以, η_2 对 η_1 的效应是不显著的, 说明 η_1 与 η_2 之间的因果关系实际上是单向的而不是可逆的, 即工作效果影响工作满意度。

综上所述可以看出, SEM 的出现和逐渐普及, 说明它具有其它统计分析所不及的长处和越来越为研究者所认可的重要性。笔者认为, SEM 有四大优点:

第一, 引进潜变量使研究更为深入。多重指标的测量可以准确表达研究者的理论构思, 避免了用单一指标代表理论概念的片面性。因为有了潜变量, 在参数估计时就可以同时考虑测量误差, 把有意义的效应与误差分离开来, 提高了研究的精确性。

第二, 遵循多变量分析的一般线性模式进行验证型分析, 不仅把方差分析、多元回归等传统统计方法也包容在 LISREL 亚模型中, 还可以发挥验证型的优势, 使研究更有意义。

第三, 继承并发展了路径分析的优势, 应用路径图使多变量间的复杂关系一目了然, 又克服了路径分析基本假设过多、无法包含潜变量、不能处理互逆因果关系等缺点^[16]。另外, 路径分析采用标准的 OLS 方法 (通常的最小二乘法) 对方程分别进行估计, 而 SEM 则是用 ML 方法将模型中所有参数同时进行估计^[16], 也只有这样同时考虑多个变量之间的关系, 才能排除其它因素的影响, 比较准确地估计两个变量之间的因果关系 (如上例)。SEM 除了可以计算变量间的直接效应外, 还能推导出间接效应和总效应, 表达中介变量的作用; 通过增加乘积项或乘方项变量, 表达变量间的交互作用与非线性关系。

第四, 基于仅有可观测变量的统计方法, 较适合于现象的描述和预测, 而不能达到解释因果过程和理解结构关系的目的, 后者则要在潜变量水平上分析。因此, 对事物内在规律的认识使得 SEM 的模型在不同的人群或样本之间存在一致性, 所估计的模型参数具有相对的稳定性, 即“参数不变性”, 而心理学和行为科学研究的最大困扰之一就是研究结果受特定样本的影响太大^[17]。

应当指出, SEM 并非包治百病的灵丹妙药, 与其它统计方法一样也有局限性和不足之处。例如, 易使研究者错误地推论因果关系, 潜变量的解释具有模糊性和随意性等。如果没有深入理解 SEM 的理论基础, 很容易产生滥用与错误解释的现象 (Breckler, 1990; Long, 1988)^[13, 18]。

总之, SEM 目前已成为心理学和社会、行为科学各领域最强有力的研究手段之一, 它是理论发展的重要工具, 促使研究者细致、认真地考虑研究的理论构思与变量结构, 使研究更为严密并富有理论与实际意义 (王重鸣, 1989)^[17]。据不完全统计, 八十年代以来有关 SEM 技术性研究的文献已超过 300 篇 (Austin & Wolfle, 1991)^[11]; 三种权威性的人格和社会心理学期刊上, 1977~1987 年间, 涉及 SEM 应用的研究报告达 72 篇之多^[18]; 已有三分之一的美国与加拿大大学心理系的博士学位课程开设了 SEM 训练^[4]。因此, 本文认为, SEM 应该引起我国心理学界的注意、应用和研究。

参 考 文 献

- [1] Austin, J. T. & Wolfle, L. M., Annotated bibliography of structural equation modelling: Technical work. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 1991, V44(1), 93—152.
- [2] Joreskog, K. G., Analysis of Covariance Structures. In Nesselroad & Cattell (Eds) *Handbook of Multivariate Experimental Psychology*, 2nd ed. New York: Plenum, 1988.
- [3] Bentler, P. M., Multivariate analysis with latent variables: Causal modelling. *Annual Review of Psychology*, 1980, V31, 419—456.
- [4] Aiken, L. S., et al, Graduate training in statistics, methodology, and measurement in psychology. *American Psychologist*, 1990, V45, 721—734.
- [5] Joreskog, K. G. & Sorbom, D., *Advances in Factor Analysis and Structural Equations Models*. Cambridge, MA: Abt Books, 1979.
- [6] Lomax, G. R., Covariance structure analysis: extensions and developments. In (Eds) *Advances in Social Science Methodology*. V1, JAI Press, 1989.
- [7] Joreskog, K. G. & Sorbom, D., *LISREL7 User's Reference Guide*, Moorresville, IN: Scientific Software, 1989.
- [8] Joreskog, K. G. & Sorbom, D., *PRELIS: A Program for Multivariate Data Screening and Summarization*. Moorresville, IN: Scientific Software, 1988.
- [9] Bentler, P. M., Causal modeling via structural equation systems. In Nesselroad & Cattell(Eds) *Handbook of Multivariate Experimental Psychology*. 2nd ed. New York: Plenum, 1988.
- [10] Anderson, J. C. & Gerbing, D. W., Structural equation modelling in practice: A review and recommended two-step procedure. *Psychology Bulletin*, 1990, V103, 411—423.
- [11] Bollen, K. A., *Structural Equations with Latent Variables*, NY: Wiley, 1989.
- [12] Byrne, B. W., *A Primer to LISREL*. New York: Springer, 1989.
- [13] Breckler, S. J., Applications of covariance structure modelling in psychology: Cause for concern? *Psychological Bulletin*, 1990, V107, 260—273.
- [14] MacCallum, R. C., et al, Model modifications in covariance structure analysis. The problem of capitalization on chance. *Psychological Bulletin*, 1992, V111, 490—504.
- [15] Bagozzi, R. P., Performance and satisfaction in an industrial sales force: An examination of their antecedents and simultaneity. *Journal of Marketing*, 1980, V44, 65—77.
- [16] 柯惠新, 因果关系模型的估计与检验(I—IV), *数理统计与管理*, 1991, No.1—4.
- [17] 王重鸣, 《心理学研究方法》, pp.293—295, 北京:人民教育出版社, 1990.
- [18] Long, J. S., *Common Problem/Proper Solutions*, Beverly Hills:Sage, 1988.

STRUCTURAL EQUATION MODELLING: A NEW KIND OF STATISTICAL AND RESEARCH METHOD

Zhang Jianping

Institute of Psychology, Academic Sinica

Abstract

Structural equation modelling (SEM) is a new kind of statistical technology and research method, which is applied more and more in the field of psychology and social science in recent years. This article introduces the resources, development, basic concepts, analytic procedure, and corresponding computer statistical package LISREL based on nonmathematical language. The author considers that SEM has four types of advantages, a. Introduction of latent variables makes the research more profound; b. Confirmatory analysis following common linear models makes the research more meaningful; c. Complex relationships within multivariates are treated appropriately; d. Structural equation models are characterized by invariance in model parameters. Therefore Chinese psychologists should pay attention to SEM.

Key words: structural equation modelling (SEM), statistical method, LISREL, psychological research