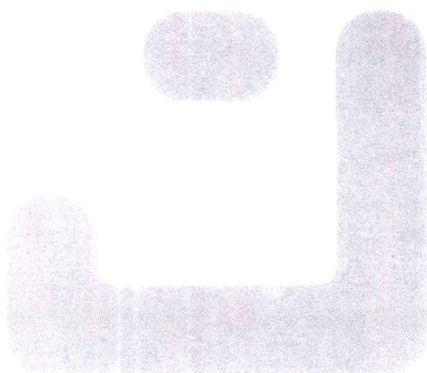


万卷方法

JIEGOU FANGCHENG  
MOWING  
SIMPLIS DE  
YINGYONG



# 结构方程模型 ——SIMPLIS的应用

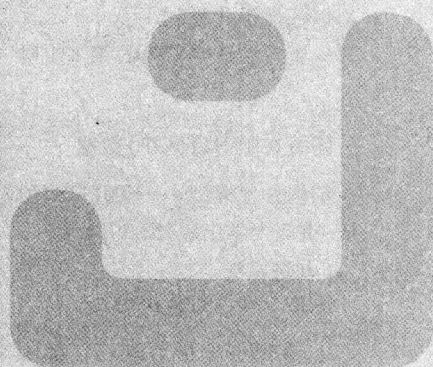
吴明隆 著



重庆大学出版社  
<http://www.cqup.com.cn>

万卷方法

JIEGOU FANGCHENG  
MOWING  
SIMPLIS DE  
MINGWONG



# 结构方程模型 ——SIMPLIS的应用

吴明隆 著

重庆大学出版社

结构方程模型——SIMPLIS。原书由台湾五南图书出版股份有限公司出版。原书版权属台湾五南图书出版股份有限公司。

本书简体中文版由台湾五南图书出版股份有限公司授予重庆大学出版社, 未经出版者书面许可, 不得以任何形式复制。

版贸渝核字(2010)第 181 号

#### 图书在版编目(CIP)数据

结构方程模型——SIMPLIS 的应用/吴明隆著. —重庆: 重庆大学出版社, 2012. 7

(万卷方法)

ISBN 978-7-5624-6603-1

I. ①结… II. ①吴… III. ①社会科学—统计模型—线性模型—研究 IV. ①C32

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 034439 号

## 结构方程模型——SIMPLIS 的应用

吴明隆 著

策划编辑: 雷少波 林佳木

责任编辑: 林佳木 版式设计: 林佳木

责任校对: 刘真 责任印制: 赵晟

\*

重庆大学出版社出版发行

出版人: 邓晓益

社址: 重庆市沙坪坝区大学城西路 21 号

邮编: 401331

电话: (023)88617183 88617185(中小学)

传真: (023)88617186 88617166

网址: <http://www.cqup.com.cn>

邮箱: [fxk@cqup.com.cn](mailto:fxk@cqup.com.cn) (营销中心)

全国新华书店经销

重庆升光电力印务有限公司印刷

\*

开本: 787 × 1092 1/16 印张: 26.5 字数: 628 千

2012 年 7 月第 1 版 2012 年 7 月第 1 次印刷

印数: 1—4 000

ISBN 978-7-5624-6603-1 定价: 53.00 元

---

本书如有印刷、装订等质量问题, 本社负责调换

版权所有, 请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书, 违者必究

## 序 言

---

早期提到结构方程模型的分析,若要使用到 LISREL 统计软件,多数研究生宁愿以其他多变量统计分析方法,来取代结构方程模型的分析。究其原因,是因为早期 DOS 版本的 LISREL 语法指令太过艰深、繁复,不好学也不好应用,使得很多研究生望而却步。但视窗版 LISREL8.0 之后的版本,增列了 SIMPLIS 功能:简称 SIMPLIS,大大改善了使用者对 LISREL 的观感,因为 SIMPLIS(简易 LISREL)是以“使用者界面”为出发点,其语法程式为一般通俗语法,以日常英文生活的语句来撰写程式,不用背复杂的语法指令,尤其是不懂数学矩阵符号的使用者也可以使用,这就是为什么 SIMPLIS 受到多数使用者喜爱的原因。

本书的系统结构,完全呼应了上述的论点,全书的内容以“SIMPLIS 的应用”为主,对结构方程模型的认识与概念厘清、模型适配度的内涵与评估、SIMPLIS 的语法介绍与操作说明、实例应用与报表解析等,均有完整介绍。在实例应用方面,包括初阶验证因素分析、高阶验证因素分析、观察变量的路径分析、潜在变量的路径分析、完整结构方程模型、可逆结构模型与等化限制模型、多群体样本分析等,这些均是研究者在使用结构方程模型分析时,最常使用到的假设模型。

由于本书是以实务及使用者界面为导向,对于初次接触结构方程模型的研究生或使用者,相信在实质上会有不少助益,综括本书内容有三大特色:一为系统而有条理,前后相互连贯;二为实务应用取向,详细的范例语法介绍与报表解析;三为配合各种输出模型图,使读者对输出结果有更深入认识。本书不仅可作为结构方程模型的参考用书,更可作为论文写作量化研究从事 SEM 分析的工具书。

以 SIMPLIS 语法进行各种 SEM 模型检验,除了可以使用观察变量的相关矩阵或协方差矩阵外,最好直接使用单变量或多变量统计分析时之原始数据文件(常见为 SPSS 文件或 EXCEL 文件),LISREL 中可将 SPSS 统计分析之原始文件直接汇入转为 PRELIS 文件,以 PRELIS 文件进行 SEM 模型检验更具有弹性,也较为方便。此外,若研究者能配合使用 SIMPLIS 专案(Project),则建立的 SIMPLIS 语法更为简易,研究者只需设定测量模型及结构模型,或设定参数限制条件即可。如何读取 SPSS 原始文

件、如何完整设定 SIMPLIS Project 语法、如何使用画图法,及如何解读报表与进行合理的模型的修正,是本书这一版增订的重要内容。

本书得以顺利出版,首先要感谢五南图书公司的鼎力支持与协助,尤其是张毓芬副总编辑与吴静芳编辑的联系与行政支援,其次是感谢恩师高雄师范大学教育学系傅粹馨教授、长荣大学师资培育中心谢季宏副教授在统计方法的启迪与教诲。由于笔者所学有限,拙作著述虽经校对再三,谬误或疏漏之处在所难免,尚祈各方先进及学者专家不吝指正。

吴明隆

谨志于台湾高雄师范大学师培中心

# 目 录

<b>第一章 结构方程模型的基本概念</b> .....	1
1.1 结构方程模型的特性 .....	2
1.2 测量模型 .....	6
1.3 结构模型 .....	10
1.4 结构方程模型图中的符号与意义 .....	14
1.5 参数估计方法 .....	17
1.6 模型的概念化 .....	19
1.7 模型的修正 .....	21
1.8 模型的复核效化 .....	24
<b>第二章 模型适配度统计量的介绍</b> .....	28
2.1 模型基本适配指标 .....	30
2.2 整体模型适配度指标(模型外在质量的评估) .....	30
2.3 模型内在结构适配度的评估(模型内在品质的检验) .....	42
2.4 模型统计检验力的评估 .....	47
2.5 典型相关分析与结构方程模型关系 .....	50
<b>第三章 SIMPLIS 的基本操作步骤</b> .....	52
3.1 SIMPLIS 的操作 .....	52
3.2 模型估计的问题 .....	65
<b>第四章 SIMPLIS 的语法与实例解析</b> .....	69
4.1 SIMPLIS 的语法说明 .....	69
4.2 假设模型图与语法举例 .....	83

<b>第五章 一阶验证性因素分析</b> .....	101
5.1 语法程序 .....	102
5.2 操作程序 .....	106
5.3 报表结果 .....	108
5.4 模型契合度评鉴结果摘要表 .....	130
5.5 SIMPLIS 报表 .....	131
5.6 多因素直交模型 .....	135
<b>第六章 探索性因素分析与验证性因素分析</b> .....	145
6.1 探索性因素分析 .....	146
6.2 激励策略量表中验证性因素分析的应用 .....	155
<b>第七章 二阶验证性因素分析</b> .....	182
7.1 研究问题 .....	183
7.2 语法程序 .....	183
7.3 结果报表 .....	185
7.4 模型的修正 .....	196
<b>第八章 观察变量的路径分析</b> .....	204
8.1 企业组织员工工作满意的因果模型 .....	207
8.2 多元回归与路径系数检验 .....	222
8.3 饱和模型的路径分析 .....	232
<b>第九章 结构方程模型的检验</b> .....	240
9.1 研究问题 .....	240
9.2 语法程序 .....	242
9.3 结果报表 .....	244
<b>第十章 可逆模型与相等化限制之结构模型分析</b> .....	257
10.1 工作满意 A 理论模型图 .....	258
10.2 工作满意 B 理论模型图 .....	265
10.3 互惠效果模型 .....	269
10.4 路径相等化限制模型 .....	273
10.5 等化模型的应用范例 .....	276
<b>第十一章 潜在变量路径分析与多群组样本分析</b> .....	292
11.1 潜在变量的路径分析 .....	292
11.2 调节模型之路径分析 .....	302
11.3 多群组样本测量模型分析 .....	315
<b>第十二章 画图法与 PRELIS 文件的应用</b> .....	324
12.1 文件的汇入 .....	324

12.2 因果模型图的绘制[一]	341
12.3 因果模型图的绘制[二]	347
12.4 汇入 Excel 文件或 Access 文件	351
12.5 SIMPLIS Project 的简化操作——一阶三因素 CFA 为例	354
12.6 SIMPLIS Project 的简化操作——SEM 为例	364
<b>第十三章 SIMPLIS 专案语法应用</b>	<b>373</b>
13.1 假设因果模型图的验证	376
13.2 SIMPLIS 基本语法文件的建立	380
13.3 不恰当的模型修正	395
13.4 合理模型的修正	400
<b>参考文献</b>	<b>411</b>



# 第一章 结构方程模型的基本概念

---

结构方程模型一词与 LISREL 统计应用软件密不可分, LISREL 是线性结构关系 (Linear Structural Relationships) 的缩写, 就技术层面而言, LISREL 是由统计学者 Karl G. Joreskog 与 Dag Sorbom 二人结合矩阵模型的分析技巧, 用以处理协方差结构分析的一套电脑程序。由于这个程序与协方差结构模型 (covariance structure models) 十分近似, 所以之后学者便将协方差结构模型称之为 LISREL 模型。结构模型使用领域非常广泛, 包括经济、行销、心理及社会学, 它们被应用于探讨问卷调查或实验性的数据, 包括横向式及纵贯式的研究。协方差结构分析是一种多变量统计技巧, 在许多多变量统计的书籍中, 均纳入结构方程模型的理论实务。此种协方差结构分析结合了 (验证性) 因素分析与计量经济模型的技巧, 用于分析潜在变量 (latent variables) (无法观察的变量或理论变量) 间的假设关系, 上述潜在变量可被显性指标 (manifest indicators) (观察指标或实证指标) 所测量。一个完整的协方差结构模型包含两个次模型: 测量模型 (measurement model) 与结构模型 (structural model), 测量模型描述的是潜在变量如何被相对应的显性指标所测量或概念化 (operationalized); 而结构模型指的是潜在变量之间的关系, 及模型中其他变量无法解释的变异量部分。协方差结构分析本质上是一种验证式的模型分析, 它试图利用研究者所搜集的实证数据来确认假设的潜在变量间的关系, 与潜在变量与显性指标的一致性程度, 此种验证或检验就是在比较研究者所提的假设模型隐含的协方差矩阵与实际搜集数据导出的协方差矩阵之间的差异。此种分析是利用协方差矩阵来进行模型的统合分析, 而非使用输入个别的观察值进行独立式的分析, 协方差结构模型是一种渐进式的方法学, 与其他推论统计有很大的差别 (Diamantopoulos & Sigauw, 2000)。由于 LISREL 能够同时处理显性指标 (观察变量) 与潜在变量的问题, 进行个别参数的估计、显著性检验与整体假设模型契合度的检验, 加上其视窗版人性化操作界面, 使得其应用普及率愈来愈高, LISREL 一词逐渐与结构方程模型划上等号。

结构方程模型 (structural equation modeling; 简称 SEM), 有学者也把它称为潜在变量模型 (latent variable models, 简称 LVM) (Moustaki *et al.*, 2004)。结构方程模型早期称为线性结构关系模型 (linear structural relationship model)、协方差结构分析 (covariance structure analysis)、潜在变量分析 (latent variable analysis)、验证性因素分析 (confirmatory factor analysis)、简单的 LISREL 分析 (Hair *et al.*, 1998)。通常结构方程模型被归类于高等统计学范畴中, 属于多变量统计 (multivariate statistics) 的一种, 它整合了因素分析 (factor analysis) 与路径分析 (path analysis) 两种统计方法, 同时检验模型中包含了显性变量、潜在变量、干扰或误差变量 (disturbance variables/error variables) 间的关系, 进而获得自变量对因变量影响的直接效果 (direct effects)、间接效果 (indirect effects) 或总效果 (total effects)。

## 1.1 结构方程模型的特性

SEM 或 LVM 是一个结构方程式的体系,其方程式中包含随机变量(random variables)、结构参数(structural parameters),有时亦包含非随机变量(nonrandom variables)。随机变量包含三种类型:观察变量(observed variables)、潜在变量(latent variables)、干扰/误差变量(disturbance/error variables),因而学者 Bollen 与 Long(1993)明确指出:“SEM 是经济计量、社会计量与心理计量被发展过程的合成物”,两人认为:SEM 大受欢迎的关键来自于它们本身的普及性,就像在经济计量中,SEM 可允许同时考量到许多内衍变量(endogenous variables)的方程,不像大多数的经济计量方法,SEM 也允许外衍变量(exogenous variables)与内衍变量之测量误差或残差项的存在。就如在心理计量以及相关性的社会计量中被发展出来的因素分析(factor analysis),SEM 允许多数潜在变量指标存在,并且可评估其信度与效度。除此之外,SEM 比传统的因素分析结构有更多普遍性的测量模型,并且能够使研究者专一地规划出潜在变量之间的关系(此关系在 SEM 分析中,称为结构模型)(周子敬,2006)。

传统上,使用探索性因素分析可以求得测量量表所包含的共同特质或抽象构念,但此种建立建构效度的因素分析有以下的限制:①测量的个别项目只能被分布至一个共同因素,并只有一个因素负荷量,如果一个测量题项与两个或两个以上的因素构念有关,因素分析就无法处理;②共同因素与共同因素之间的关系必须是全有(多因素斜交)或全无(多因素直交),即共同因素间不是完全没有关系就是完全相关;③因素分析假定测量题项与测量题项之间的误差是没有相关的,但事实上,在行为及社会科学领域中,许多测量的题项与题项之间的误差来源是相似的,也就是测量题项间的误差间具有共变关系。相对以上因素分析的这些问题,采用结构方程模型就具有以下优点(黄芳铭,2004):

1. 可检验个别测量题项的测量误差,并且将测量误差从题项的变异量中抽离出来,使得因素负荷量具有较高的精确度。
2. 研究者可根据相关理论文献或经验法则,预先决定个别测量题项是属于哪个共同因素,或置于哪几个共同因素中,亦即,在测量量表中的每个题项可以同时分属于不同的共同因素,并可设定一个固定的因素负荷量,或将数个题项的因素负荷量设定为相等。
3. 可根据相关理论文献或经验法则,设定某些共同因素之间具有相关,还是不具有相关,甚至于将这些共同因素间的相关设定为相等的关系。
4. 可对整体共同因素的模型进行统计上的评估,以了解理论所建构的共同因素模型与研究实际取样搜集的数据间是否契合,即可以进行整个假设模型适配度的检验。故结构方程模型可说是一种“理论模型检验”(theory testing)的统计方法。

结构方程模型有时也以“共变结构分析”(covariance structure analysis)或“共变结构模型”(covariance structure modeling)等名词出现,不论是使用何种名词,结构方程模型具有以下几个特性(邱皓政,2005)。

### SEM 具有理论先验性

SEM 分析的一个特性,是其假设因果关系必须建立在一定的理论上,因而 SEM 是一

种用以验证某一理论模型或假设模型適切与否的统计技术,所以 SEM 被视为一种“验证性”(confirmatory)而非“探索性”(exploratory)的统计方法。

### SEM 可同时处理测量与分析问题

相对于传统的统计方法,SEM 是种可以将测量(measurement)与分析(analysis)整合为一的计量研究技术,它可以同时估计模型中的测量指标、潜在变量,不仅可以估计测量过程中指标变量的测量误差,也可以评估测量的信度与效度。SEM 模型的分析又称潜在变量模型,在社会科学领域中主要在分析观察变量(observed variables)间彼此的复杂关系。潜在变量是无法直接测量的构念,如智力、动机、信念、满足与压力等,这些无法观察到的构念可以借由一组观察变量(或称指标)来加以测量,方法学中的测量指标包括间断、连续及类别指标,因素分析模型就是一种具有连续量尺指标的潜在变量模型的特殊案例(Moustaki *et al.*, 2004)。

### SEM 关注于协方差的运用

SEM 分析的核心概念是变量的协方差(covariance)。在 SEM 分析中,协方差有两种功能:一是利用变量间的协方差矩阵,观察出多个连续变量间的关联情形,此为 SEM 的描述性功能;二是可以反映出理论模型所导出的协方差与实际搜集数据的协方差间的差异,此为验证性功能。

所谓协方差(covariance)就是两个变量间的线性关系,如果变量间有正向的线性关联,则其协方差为正数;相反的,若是变量间的线性关联为反向关系,则其协方差为负数。如果两个变量间不具线性关系(linear relationship),则二者间的协方差为 0,协方差的数值介于  $-\infty$  至  $+\infty$  之间。协方差的定义如下:

$$\text{总体数据: } \text{COV}(X, Y) = \sum (X_i - \mu_X)(Y_i - \mu_Y) \div N$$

$$\text{样本数据: } \text{COV}(X, Y) = \sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}) \div (N - 1)$$

在 SEM 模型分析中,样本的方差协方差矩阵(variance-covariance matrix)简称为协方差矩阵(covariance matrix)。协方差矩阵中对角线为方差,此数值即变量与它自己间的协方差,对角线外的数值为协方差矩阵,如观察数据获得的 S 矩阵中,有两个变量 X 与 Y,则其样本协方差矩阵如下:

$$S = \begin{pmatrix} \text{COV}(X, X) & \text{COV}(Y, X) \\ \text{COV}(X, Y) & \text{COV}(Y, Y) \end{pmatrix}$$

由于  $\text{COV}(X, X) = \text{VAR}(X)$ ;  $\text{COV}(Y, Y) = \text{VAR}(Y)$ ;  $\text{COV}(X, Y) = \text{COV}(Y, X)$ , 所以上述样本协方差矩阵也可以表示如下:

$$S = \begin{pmatrix} \text{VAR}(X) & \\ \text{COV}(X, Y) & \text{VAR}(Y) \end{pmatrix}$$

而两个变量的协方差是两个变量之交叉乘积除以样本数减一,其定义公式改为变量间交叉乘积(CP),其公式如下:

$$\text{COV}(X, Y) = \sum (X - \bar{X})(Y - \bar{Y}) / (N - 1) = \text{CP}_{xy} / (N - 1)$$

在 LISREL 模型估计中,会用到总体或样本的协方差矩阵,所以变量间的协方差矩阵,在 SEM 模型的分析中是非常重要的数据。协方差与积差相关系数有以下关系存在:两个变量的协方差等于两个变量间的相关系数乘以两个变量的标准差,因而从变量的标准差与相关系数,可以求出两个变量间的协方差。在 SEM 模型的分析中,研究者可以直接键入观察变量间的协方差矩阵,也可以输入观察变量间的相关系数矩阵,并陈列变量

的标准差,此外,也可以以原始数据作为分析的文件,若是键入原始文件或相关系数矩阵,LISREL 会求出变量间的协方差矩阵,再加以估计。

$$\begin{aligned} r_{xy} &= \sum (X - \bar{X})(Y - \bar{Y}) / (N - 1) S_x S_y \\ &= CP_{xy} / (N - 1) S_x S_y = [CP_{xy} \div (N - 1)] / S_x S_y \\ &= COV(X, Y) / S_x S_y \quad COV(X, Y) = r_{xy} S_x S_y \end{aligned}$$

正由于两个变量间的协方差与相关系数呈现正向关系,因而 SEM 模型分析中,若是设定两个测量指标变量误差间有共变关系,即是将这两个测量误差值设定为有相关。如果两个变量均已标准化(如 z 分数,平均数为 0、标准差等于 1),此时 X 变量与 Y 变量的协方差就等于二者的积差相关系数,其为两个变量的标准差均为 1:

$COV(\text{标准化 } X, \text{标准化 } Y) = COV(X, Y) / S_x S_y = r_{xy}$ ,类似两个变量间的相关系数,其值介于 -1 至 +1 之间。

### SEM 适用于大样本的统计分析

与其他统计技术一样,SEM 适用于大样本的分析,取样本数越多,则 SEM 统计分析的稳定性与各种指标的适用性也越佳。一般而言,大于 200 以上的样本,才可以称得上是一个中型的样本,若要追求稳定的 SEM 分析结果,受试样本数最好在 200 以上。

在 SEM 分析中,到底要取多少个样本最为适当? 对于此一论点,有些学者采用相关统计的“首要规则”(rules of thumb),亦即,每一个观察变量至少要 10 个样本,或 20 个样本,对 SEM 分析而言,样本数愈大愈好,这与一般推论统计的原理相同,但是 SEM 适配度检验中的绝对适配度指数  $\chi^2$  值受到样本数的影响很大,当研究者使用愈多的受试样本时, $\chi^2$  容易达到显著水平( $p < 0.05$ ),表示模型被拒绝的机会也扩增,假设模型与实际数据愈不契合的机会愈大。因而,要在样本数与整体模型适配度上取得平衡是相当不容易的,学者 Schumacker 与 Lomax(1996)的观点或许可作为研究者参考,其二人研究发现,大部分的 SEM 研究样本数介于 200 至 500 之间。在行为及社会科学研究领域中,当然某些研究取样的样本数会少于 200 或多于 500,此时采用学者 Bentler 与 Chou(1987)的建议也是研究者可采纳的,其二人认为研究的变量符合正态或椭圆的分布情形,每个观察变量 5 个样本就足够了,如果是其他的分布,则每个变量最好有 10 个样本以上(黄芳铭,2004)。在完整的结构方程模型分析中,若是有 15 个观察变量或测量指标,则研究样本数应有 75 位,较佳的研究样本数应有 150 位以上。Kling(1998)研究发现,在 SEM 模型分析中,若是样本数低于 100,则参数估计结果是不可靠的。Rigdon(2005)认为 SEM 模型分析,样本数至少应在 150 位以上,若是样本数在 150 位以下,模型估计是不稳定,除非变量间方差协方差矩阵系数非常理想,其认为观察变量数若是超过 10 个以上,而样本大小低于 200 时,代表模型参数估计是不稳定的,且模型的统计检验力会很低。

学者 Baldwin(1989)研究指出在下列四种情境下,从事 SEM 模型分析,需要大样本:模型中使用较多的测量或观察变量时;模型复杂,有更多的参数需要被估计时;估计方法需符合更多参数估计理论时(如采用非对称自由分布法——ADF 法)时;研究者想要进一步执行模型叙列搜索时,此时的样本数最好在 200 以上。Lomax(1989, p. 189)与 Loehlin(1992)认为在 SEM 模型分析中,样本数如未达 200 以上,最少也应有 100 位。Mueller(1997)认为单纯的 SEM 分析,其样本大小标准至少在 100 以上,200 以上更佳,如果从模型观察变量数来分析样本人数,则样本数与观察变量数的比例至少为 10:1 至 15:1 间(Thompson, 2000)。

## SEM 包含了许多不同的统计技术

在 SEM 分析中,虽然是以变量的共变关系为主要核心内容,但由于 SEM 模型往往牵涉到大量变量的分析,因此常借用一般线性模型分析技术来整合模型中的变量,许多学者常将 SEM 也纳入多变量分析之中。SEM 是一种呈现客观状态的数学模型,主要用来检验有关观察变量与潜在变量之间的假设关系,它融合了因素分析(factor analysis)与路径分析(path analysis)两种统计技术。Bollen 与 Long(1993)指出:SEM 可允许同时考虑许多内衍变量、外衍变量与内衍变量的测量误差,及潜在变量的指标变量,可评估变量的信度、效度与误差值,整体模型的干扰因素等(周子敬,2006)。

## SEM 重视多重统计指标的运用

SEM 所处理的是整体模型契合度的程度,关注的整体模型的比较,因而模型参考的指标是多元的,研究者必须参考多种不同指标,才能对模型的适配度作一整体的判别,个别估计参数显著性与否并不是 SEM 分析的重点。在整体模型适配度的检验上,就是要检验总体体的协方差矩阵( $\Sigma$ 矩阵),与假设模型代表的函数,即假设模型隐含的变量间的协方差矩阵( $\Sigma(\theta)$ 矩阵),二者间的差异程度,其虚无假设为: $\Sigma$ 矩阵 =  $\Sigma(\theta)$ 矩阵。然而在实际情境中,我们无法得知总体的方差与协方差,或根据总体导出的参数( $\theta$ ),因而只能依据样本数据导出的参数估计值( $\hat{\theta}$ )代替总体导出的参数( $\theta$ ),根据样本适配假设模型导出的方差与协方差矩阵为 $\hat{\Sigma} = \Sigma(\hat{\theta})$ , $\hat{\Sigma}$ 矩阵为假设模型隐含的协方差矩阵,而实际样本数据导出的协方差矩阵为 S 矩阵(代替总体的 $\Sigma$ 矩阵)。LISREL 模型适配度的检验即在检验样本数据的 S 矩阵与假设模型隐含的协方差矩阵 $\hat{\Sigma}$ 矩阵之间的差异,完美的适配状态是 S 矩阵 -  $\hat{\Sigma}$ 矩阵的差异值为 0,二者差异的数值愈小,模型适配情形愈佳,两个矩阵元素的差异值即为残差矩阵(residual matrix),残差矩阵元素均为 0,表示假设模型与观察数据间达到完美的契合,此种情境,在行为及社会科学领域中达成的概率值很低(Diamantopoulos & Siguaw, 2000)。

近年来 SEM 所以受到许多研究者的青睐,主要有三个原因(Kelloway, 1996; Kelloway, 1998; 周子敬,2006):

1. 行为及社会科学领域感兴趣的是测量及测量方法,并以测量所得数据来代替构面(construct)。SEM 模型之中的一种型态是直接反映研究者所选择构面的测量指标的有效性如何。SEM 采用的验证性因素分析(confirmatory factor analysis; CFA 法),比起较为传统的探索性因素分析(exploratory factor analysis; EFA 法)来显得更有意义、周详。EFA 法多数由直觉及非正式法则所引导,SEM 模型中的因素分析则奠基于传统的假设检验上,其中也考量因素分析模型的整体品质,以及构成模型的特别参数(如因素负荷量)。SEM 方法中最常用到的是一种方式是执行验证性因素分析来评估因素构念与其指标变量间的密切关系程度。
2. 除了测量问题之外,行为及社会科学领域学者主要关注的是“预测”的问题。随着时代进步,行为及社会科学领域中所发生的事物越来越复杂,相对地预测模型也越演变越复杂。传统的复回归统计无法完全解释这复杂的实体世界,而 SEM 允许精确确认及检测复杂的路径模型,可以同时进行多个变量的关系探讨、预测及进行变量间因果模型的路径分析。
3. SEM 可同时考量测量及预测独特的分析,特别是“潜在变量模型”(latent variable

models), 这种 SEM 分析型态提供一种弹性及有效度的方法, 可以同时评估测量品质及检测构念(潜在变量)间的预测关系, 亦即 SEM 可同时处理传统 CFA 及路径分析的问题。这种 SEM 的分析型态允许研究者在他们所探讨的主题中, 比较可信地用理论架构反映真实世界, 因而 SEM 可以说是一种“统计的改革”(statistical revolution) (Cliff, 1983)。

结构方程模型中有两个基本的模型: 测量模型(measured model)与结构模型(structural model)。测量模型由潜在变量(latent variable)与观察变量(observed variable; 又称测量变量)组成, 就数学定义而言, 测量模型是一组观察变量的线性函数, 观察变量有时又称为潜在变量的外显变量(manifest variables 或称显性变量)或测量指标(measured indicators)或指标变量。所谓观察变量是量表或问卷等测量工具所得的数据。潜在变量是观察变量间所形成的特质或抽象概念, 此特质或抽象概念无法直接测量, 而要通过观察变量测得的数据反映而得, 在 SEM 模型中, 观察变量通常以长方形符号表示, 而潜在变量(latent variables)又称“无法观察变量”(unobserved variables), 通常以椭圆形符号表示。

在行为社会科学领域中, 有许多假设构念(hypothetical construct)是无法直接被测量或观察到的, 这些假设构念如焦虑、态度、动机、工作压力、满意度、投入感、角色冲突等, 此种假设构念只是一种特质或抽象的概念, 无法直接得知。要得知当事者在这些构念上的实际情况, 只能间接以量表或观察等实际的指标变量来反映。这就好像一个人的个性与行为一样, 一个人的个性如何, 我们无法得知, 因为它是一个抽象的构念, 但我们可以借由此人的外表行为表现, 作为其个性判断的指标, 外表行为的特征很多, 综合这些外表行为的特征, 可以了解一个人的个性如何。上述个性就是一个假设构念, 也就是“潜在变量”, 而外表具体行为表现就是个性潜在变量的指标变量(也称显著变量、观察变量)。外表行为表现的指标愈多, 则对一个人的个性判断的正确性会愈高, 可信度会愈佳。

潜在变量模型隐含的主要概念是潜在变量可以解释指标变量因变量间多少的变异量。潜在变量的个数需要少于指标变量的数目, 在应用上, 需要增列共变的变量或解释变量, 以将潜在变量与其指标变量联结在一起。一个关注的焦点是从模型中确认潜在变量, 并探讨解释变量的测量效果, 指标变量被潜在变量解释的变异程度, 可以反映出指标变量的有效性。一个潜在变量模型包含两个部分, 一为潜在变量与一组观察指标之共变效果, 这种直接效果称为“测量模型”(measurement model); 二为潜在变量间或一组观察变量与潜在变量间的联结关系, 称为“结构模型”, 结构模型中变量间的影响效果可以为直接或间接, 在结构模型中, 研究者可能会关注一组潜在变量之共变效果或不同指标的共变效果(Moustaki, *et al.*, 2004)。

## 1.2 测量模型

在 SEM 分析的模型中, 一个潜在变量必须以两个以上的观察变量来估计, 称为多元指标原则, 不同观察变量间的协方差, 反映了潜在变量的共同影响。观察变量由于受到特定潜在变量的影响, 使得观察变量分数呈现高低的变化, 通常每个观察变量多少会有不同程度的测量误差或残差(观察变量的变异量中, 无法被共同潜在变量解释的部分), 或是反映某种抽象的概念意涵。一个 SEM 分析模型中, 观察变量一定存在, 但潜在变量不可能单独存在, 因为在研究过程中, 潜在变量并不是真实存在的变量, 而是由观察变量所测量估计出来的(邱皓政, 2005)。

在一份学校效能量表中,各题项所测量的数据为观察变量,各题项所抽取的共同因素或概念,可称为潜在变量,如学校气氛、工作满足、行政绩效等构念均无法直接观察或测量得到,只有由受试者在学校效能知觉感受问卷所测得的分数代替。题项加总后的得分愈高,表示学校气氛愈佳,或工作满足感愈高,或行政绩效愈好。因而潜在变量必须通过其外显的测量指标测得,由于测量会有误差,所以每个潜在变量解释观察变量的变异量不是百分之百,但若是潜在变量只有一个观察变量,则潜在变量正好可以全部解释其测量指标,此时的误差项值为0。一个观察变量与潜在变量的基本模型图如图 1-1:

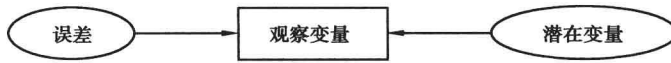


图 1-1

多个观察变量与潜在变量的测量模型图如图 1-2:

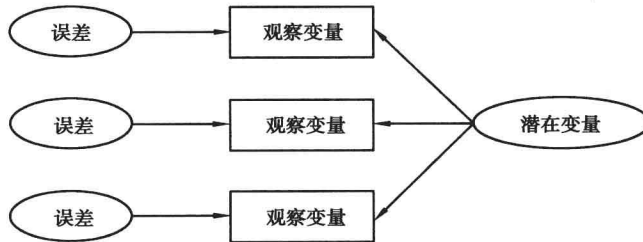


图 1-2

有三个外显变量的测量模型如图 1-3:

上述测量模型的回归方程式如下:

$$X_1 = \lambda_{11}\xi_1 + \delta_1$$

$$X_2 = \lambda_{21}\xi_1 + \delta_2$$

$$X_3 = \lambda_{31}\xi_1 + \delta_3$$

$$Y_1 = \lambda_1\eta_1 + \varepsilon_1$$

$$Y_2 = \lambda_2\eta_1 + \varepsilon_2$$

$$Y_3 = \lambda_3\eta_1 + \varepsilon_3$$

上述回归方程式可以矩阵方程式表示如下:

$$X = \Lambda_x \xi + \delta$$

$$Y = \Lambda_y \eta + \varepsilon$$

其中  $\varepsilon$  与  $\eta, \xi$  及  $\delta$  无相关,而  $\delta$  与  $\xi, \eta$  及  $\varepsilon$  也无相关。 $\Lambda_x$  与  $\Lambda_y$  为指标变量(X、Y)的因素负荷量 (loading),而  $\delta, \varepsilon$  为外显变量的测量误差,  $\xi$  与  $\eta$  为外衍潜在变量 (exogenous latent variables) 与内衍潜在变量 (endogenous latent variables)。

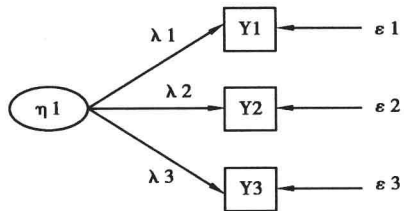
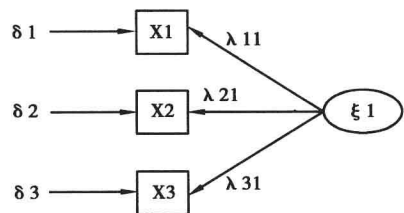


图 1-3

以观察变量作为潜在变量的指标变量,根据指标变量性质的不同,可以区分为反映性指标 (reflective indicators) 与形成性指标 (formative indicators) 两种。反映性指标又称为果指标 (effect indicators),指的是一个以上的潜在变量构念是引起 (cause) 观察变量或显性变量的因,观察变量是潜在变量基底 (underlying) 成因的指标,此种指标能反映其相

对应的潜在变量,此时,指标变量为“果”,而潜在变量为“因”。相对的,形成性指标又称为因指标或成因指标(cause or causal indicators),这些指标变量是成因,潜在变量被定义为指标变量的线性组合(加上误差项),因此潜在变量变成内衍变量(被其指标变量决定),而其指标变量变为没有误差项(error terms)的外衍变量。在 LISREL 模型假定的测量模型估计中,显性变量(manifest variable)通常是潜在变量的“反映性指标”,如果将其设定为形成性指标,则模型程序与估计会较为复杂(Diamantopoulos & Siguaw, 2000)。

反映性指标与形成性指标所构成的回归方程式并不相同,如一个潜在变量  $\eta$ ,两个指标变量  $X_1, X_2$ ,若两个显性变量是一种反映性指标,其回归方程式如下:

$$X_1 = \beta_1 \eta + \varepsilon_1$$

$$X_2 = \beta_2 \eta + \varepsilon_2$$

其中  $\beta_1$  与  $\beta_2$  为估计的参数,  $\varepsilon_1$  与  $\varepsilon_2$  为测量的误差。

若两个显性变量是一种形成性指标,则潜在变量是两个观察变量的线性组合,其回归方程如下:

$$\eta = \gamma_1 X_1 + \gamma_2 X_2 + \delta$$

其中  $\gamma_1$  与  $\gamma_2$  为估计的参数,而  $\delta$  为残差。

反映性指标测量模型图如图 1-4:

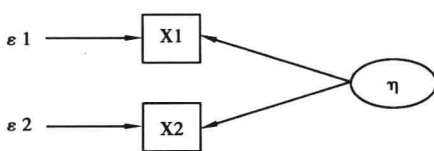


图 1-4

形成性指标的模型图如图 1-5:

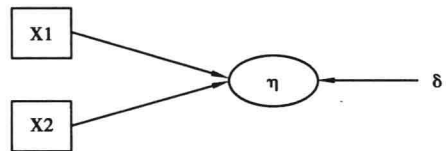


图 1-5

形成性指标的特性与估计之测量品质(measurement quality)的程序与反映性指标的特性与估计程序有很大的不同,研究在界定指标变量时不可混淆,否则会产生错误的结果。如果显性变量要作为形成性指标,在结构模型中要详细说明清楚,以免让他人误以为理论模型界定错误。

如在学校组织效能调查中,组织效能中的层面行政绩效为一个潜在变量,此变量为一个抽象的概念,无法直接观察或测量得到,也无法以数据量化来呈现,为了测得学校行政绩效的程度,可以下列 5 个观察变量或指标变量(indicator variables)来测得:

- ▶ 本校行政人员能专心投入学校的行政工作。(专心投入)
- ▶ 本校各处室能充分沟通协调,业务上能相互支援配合。(沟通协调)
- ▶ 本校在行政上充分授权同仁,在工作上有专业自主的空间。(充分授权)
- ▶ 本校各处室订有详细明确的工作职掌且运作顺畅。(职掌明确)
- ▶ 本校行政程序力求简化有效率。(程序简化)

行政绩效潜在变量与测量变量间所形成的测量模型图如图 1-6:

上述测量模型中,行政绩效为专心投入、沟通协调、充分授权、职掌明确、程序简化 5 个观察变量所共同建构的因素(factor)或潜在变量, $\lambda_1$  至  $\lambda_5$  为因素负荷量(factor loading),  $\delta_1$  至  $\delta_5$  表示各观察变量的残差,可视为每个观察变量去估计潜在变量的测量误差(measurement errors)。每个观察变量的因素负荷量愈高,表示受到潜在变量影响的强度愈大;因素负荷量愈低,表示受到潜在变量影响的强度愈小。在 SEM 模型中,测量误



差可以被估计出来,可以被视为一个潜在变量。测量模型的测量误差、观察变量、因素负荷量、潜在变量(潜在因素)、两个潜在因素间关系如图 1-7:

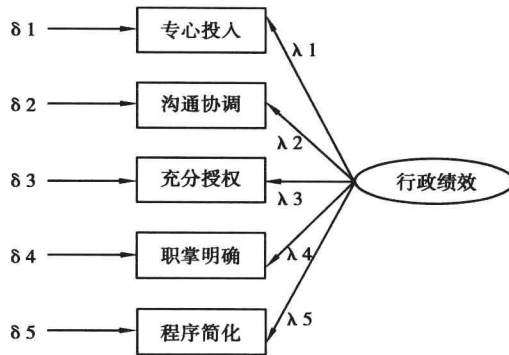


图 1-6

——测量误差——观察变量——因素负荷量——潜在变量——潜在变量间的相关

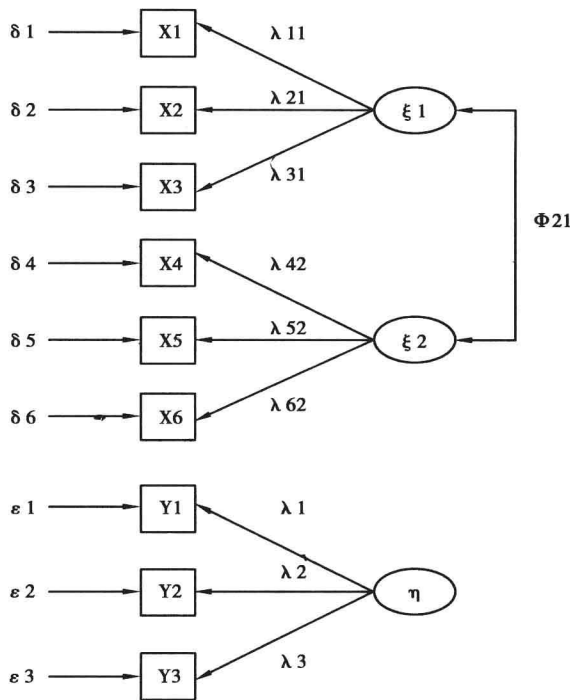


图 1-7

测量模型在 SEM 的模型中就是一般所谓的验证式因素分析 (confirmatory factor analysis; CFA), 验证式因素分析的技术是用于检核数个测量变量可以构成潜在变量(潜在因素)的程度, 验证式因素分析即在检验包括测量模型中的观察变量 X 与其潜在变量  $\xi$  间的因果模型图是否与观察数据契合。在 SEM 模型分析中, 变量又可以区分为外因变量(或称外衍变量) (exogenous variables) 与内因变量(或称内衍变量) (endogenous variables)。外因变量在模型当中未受任何其他变量的影响, 但它却直接影响别的变量, 外因变量在路径分析图中相当于自变量 (independent variables); 内因变量在模型当中会