

万卷方法 | 统计分析方法丛书

JIEGOU FANGCHENG
MOWING
AMOS DE CAOZUO
YU
YINGYONG

附光盘版



结构方程模型

——AMOS的操作与应用

(第2版)

吴明隆 著



重庆大学出版社

<http://www.cqup.com.cn>



统计分析方法丛书

JIEGOU FANGCHENG
MOWING
AMOS DE CAOZUO
YU
YINGYONG


附光盘版



结构方程模型

——AMOS的操作与应用

(第2版)

吴明隆  著

重庆大学出版社

100033 - 41

结构方程模型——AMOS 的操作与应用。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。

本书简体中文版专有出版权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(2008)第 036 号

图书在版编目(CIP)数据

结构方程模型:AMOS 的操作与应用/吴明隆著. —
2 版. —重庆:重庆大学出版社,2010.10
(万卷方法)
ISBN 978-7-5624-5720-6

I. ①结… II. ①吴… III. ①统计分析—统计程序,
AMOS IV. ①C819

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 188965 号

结构方程模型

——AMOS 的操作与应用

(第 2 版)

吴明隆 著

责任编辑:林佳木 版式设计:林佳木

责任校对:夏宇 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:重庆市沙坪坝正街 174 号重庆大学(A 区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱: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:33 字数:815 千 插页:16 开 2 页
2009 年 7 月第 1 版 2010 年 10 月第 2 版 2010 年 10 月第 3 次印刷

印数:5 001—10 000

ISBN 978-7-5624-5720-6 定价:65.00 元(含 1CD)

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

自序

结构方程模型(Structural Equation Modeling,简称 SEM)是当代行为与社会领域量化研究的重要统计方法,它融合了传统多变量统计分析中的“因素分析”与“线性模型之回归分析”的统计技术,对于各种因果模型可以进行模型辨识、估计与验证。在量化研究取向之多变量统计方法中,有愈来愈多的研究者使用 SEM 进行各种测量模型或假设模型图的验证,SEM 渐成为数据分析的一门显学。

适用于 SEM 的统计软件最常被研究者使用的有 LISREL 与 AMOS,两大统计软件包各有其优劣与特色,本书内容介绍主要以 AMOS 软件的操作与应用为主。之所以选择 AMOS 统计软件,主要有以下几个原因:AMOS 软件为 SPSS 家族系列之一,二者数据文件完全可以互通;AMOS 软件中的 Graphics 绘图区完全以图像钮为工具,各种 SEM 理论模型图的绘制均以图形对象表示,基本参数值的设定,AMOS 均有默认值,使用者只要熟悉工具箱图像钮的使用,即可快速绘制各种假设模型图;三是 AMOS 输出的报表数据对使用者而言,解读较为简易。

AMOS 是 Analysis of Moment Structures(矩结构分析)的简称,能验证各式测量模型、不同路径分析模型;此外也可进行多群组分析、结构平均数的检验,单群组或多群组多个竞争模型或选替模型的选优。本书的系统结构主要分为三大部分:一为 SEM 理念与模型适配度的介绍,二为 AMOS 窗口界面的操作介绍与各式模型图的绘制,三为实例应用与报表诠释,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、混合模型的路径分析、多群组分析与结构平均数分析等,这些实例与模型均是研究者在使用结构方程模型分析时最常用到的假设模型。

由于本书是以实务取向及使用者界面为导向,对初次接触结构方程模型的研究生或使用者,相信有不少实质的帮助,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,提供详细的范例模型介绍与报表解析;三为配合了各种输出模型图,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,更可作为用量化方法进行论文写作者从事 SEM 分析的工具书。

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的联系与行政支持,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上的启迪与教诲。由于笔者所学有限,拙作虽历经琢磨,著述虽经校对再三,谬误或疏漏之处在所难免,尚祈各方专家学者不吝指正。

吴明隆 谨志于高雄师范大学师培中心
2007年8月

目 录

第一章 结构方程模型的基本概念	1
第一节 结构方程模型的特性	2
第二节 测量模型	8
第三节 结构模型	15
第四节 结构方程模型图中的符号与意义	20
第五节 参数估计方法	24
第六节 模型的概念化	28
第七节 模型的修正	31
第八节 模型的复核效化	33
第二章 模型适配度统计量的介绍	37
第一节 模型适配度检核指标	37
一、模型基本适配指标	39
二、整体模型适配度指标(模型外在质量的评估)	40
三、模型内在结构适配度的评估(模型内在质量的检验)	53
四、模型统计检验力的评估	59
第二节 模型识别的范例	62
一、正好识别模型	64
二、过度识别模型	65
三、低度识别模型	68
第三章 Amos Graphics 界面介绍	72
第一节 Amos Graphics 窗口的介绍	72
一、开启【Amos Graphic】应用软件	75
二、工具箱窗口的图像钮操作介绍	82
第二节 图像钮综合应用	106
一、绘制第一个测量模型	107
二、绘制第二个测量模型	108
三、绘制第三个测量模型	110
第四章 Amos 执行步骤与程序	115
第一节 路径分析的程序与执行	115
一、建立路径模型图	116
二、开启数据文件	116
三、设定观察变量	121
四、设定误差变量的变量名称	121
五、设定文字报表要呈现的统计量	123
六、将路径模型图存盘与计算估计值	124
七、浏览模型的结果	125

第二节	路径因果模型图的设定	136
一、	外因变量间没有相关的设定	136
二、	内因变量没有界定残差项	139
第三节	饱和模型与独立模型	141
一、	饱和模型	141
二、	独立模型	148
第四节	结构方程模型图	149
一、	结构方程模型图的绘制步骤	149
二、	执行结果的标准化参数估计值路径图	155
三、	模型的平行检验	156
第五节	结构模型与修正指标	158
一、	模型 A: 初始模型	160
二、	模型 B: 修正模型 1	164
三、	模型 C: 修正模型 2	165
四、	模型 D: 修正模型 3	167
第六节	单一文件多重模型的设定	171
第五章	参数标签与测量模型	176
第一节	参数标签的设定与特定样本的分析	176
一、	更改特定群体名称与模型名称	177
二、	开启数据文件选入指标变量	178
三、	设定分析属性与计算估计值	179
四、	增列模型变量或对象的参数标签名称	180
五、	增列参数标签名称的模型估计结果	183
六、	全体群体假设模型的修正	185
第二节	特定群体的分析	186
一、	分析男生群体	187
二、	分析女生群体	189
第三节	测量模型参数值的界定	190
一、	测量模型假设模型	191
二、	限制不同测量指标的路径参数 λ	192
三、	低度辨识的模型	194
四、	增列参数限制条件	195
五、	误差变量的界定	196
六、	测量模型的修正	201
七、	测量模型参数标签名称的设定	202
第四节	测量模型的平行测验检验	203
第五节	多因子测量模型潜在变量的界定	206
一、	初始模型	206
二、	修正模型	207
三、	斜交关系的测量模型	207
四、	界定测量模型潜在变量间没有相关	208
五、	完全独立潜在变量参数修正	209

六、单向度测量模型与多向度测量模型	210
第六章 验证性因素分析	212
第一节 一阶验证性因素分析——多因素斜交模型	216
一、假设模型	217
二、输出结果	218
第二节 一阶验证性因素分析——多因素直交模型	241
一、假设模型	241
二、模型适配度摘要表	243
第三节 二阶验证性因素分析	246
第四节 一阶 CFA 模型多模型的比较	255
第五节 一阶 CFA 模型测量不变性检验	258
一、描绘一阶 CFA 假设模型图	258
二、单一群组多个模型的设定	259
三、模型估计结果	260
第七章 路径分析	263
第一节 路径分析的模型与效果	263
第二节 路径分析模型——递归模型	267
一、研究问题	267
二、采用传统复回归求各路径系数	268
三、Amos Graphics 的应用	270
四、模型图执行结果	271
五、文字报表输出结果	271
第三节 饱和模型的路径分析	282
一、饱和模型假设模型图	282
二、参数估计的模型图	283
三、参数估计及适配度结果	283
第四节 非递归模型的路径分析一	287
一、假设模型图	287
二、参数估计的模型图	287
三、参数估计值	288
四、模型适配度摘要表	289
第五节 非递归模型的路径分析二	291
一、设定回归系数的变量名称	291
二、设定回归系数值 $W5 = W6$	292
三、参数估计的模型图	292
四、参数估计值	293
五、设定两个内因变量测量误差的方差相等	296
第六节 模型界定搜寻	298
一、饱和模型图	299
二、执行模型界定搜寻	299

第八章	潜在变量的路径分析	306
第一节	潜在变量路径分析的相关议题	306
一、	原始数据文件变量排列	307
二、	快速复制对象及参数格式	308
三、	增列简要图像标题	309
四、	增列参数标签名称	309
五、	估计值模型图参数移动	310
六、	模型适配度的评估	311
七、	模型的修正	312
八、	PA-LV 模型修正	313
第二节	数学效能 PA-LV 理论模型的检验	314
一、	研究问题	314
二、	Amos Graphics 窗口中的模型图	317
三、	计算估计的模型图	321
四、	参数估计相关报表	322
第三节	模型的修正	328
一、	参数格式的模型图	330
二、	参数估计相关统计量	330
第四节	混合模型的路径分析	344
一、	路径分析假设模型图	344
二、	增列模型图像标题	345
三、	路径分析模型估计结果	346
四、	采用潜在变量路径分析模型	348
五、	混合路径分析模型范例二	354
六、	混合路径分析模型范例三	360
七、	混合路径分析模型——非递归模型	365
第九章	多群组分析	371
第一节	多群组分析的基本理念	374
一、	绘制男生群体路径分析模型图	374
二、	开启数据文件及选择目标群组变量	375
三、	开启数据文件界定观察变量	375
四、	设定参数标签名称	376
五、	设定群组名称	376
六、	输出结果	377
七、	女生群体的分析模型图	377
八、	多群组分析	378
第二节	多群组路径分析	385
一、	绘制理论模型图	385
二、	读取数据文件及观察变量	385
三、	设定群体名称	387
四、	界定群体的水平数值及样本	387
五、	界定群体模型图的参数名称	389

	六、界定输出格式	390
	七、预设模型输出结果	390
第三节	多重模型的设定	395
	一、预设模型(未限制参数)	395
	二、协方差相等模型	396
	三、方差相等模型	396
	四、路径系数相等模型	396
	五、模型不变性模型	396
	六、多个模型的输出结果	397
第四节	多群组验证性因素分析	401
	一、绘制理论模型图	402
	二、读取数据文件及观察变量	402
	三、设定群体名称	404
	四、界定群体分组变量名称及其水平数值	404
	五、设定多群组分析模型	406
	六、输出结果	409
第五节	多群组结构方程模型	412
	一、绘制 Amos 理论模型图	412
	二、读取数据文件并设定群组变量及水平数值	413
	三、设定多群组分析模型	413
	四、群组模型执行结果	416
	五、模型注解说明	417
第六节	三个群组测量恒等性的检验	423
第七节	多群组路径分析	429
	一、绘制模型图与读入数据文件	429
	二、增列群组及设定群组名称	430
	三、设定两个群组数据文件变量与变量水平	430
	四、执行多群组分析	431
	五、计算估计值	432
	六、输出结果	433
第十章	多群组结构平均数的检验	438
	一、SPSS 数据文件	439
	二、设定平均数参数	439
	三、范例一模型 A	440
	四、范例一模型 B	441
	五、范例二模型 A	442
	六、范例二模型 B	443
第一节	结构平均数的操作程序	443
	一、绘制理论模型与设定模型变量	444
	二、增列群组与群组的变量水平数值	444
	三、增列平均数与截距项参数标签	444
	四、执行多群组分析程序	444

五、模型估计	448
第二节 增列测量误差项间有相关	451
一、执行多群组分析	452
二、模型截距项、平均数相等模型评估	453
三、测量残差模型的修正	456
第三节 结构平均数的因素分析	458
一、增列平均数与截距项参数标签	458
二、更改女生群体共同因素平均数的参数名称标签	459
三、设定多群组分析模型	460
四、输出结果	462
第十一章 SEM 实例应用与相关议题	466
第一节 社会支持量表测量模型的验证	467
一、测量模型的区别效度	467
二、测量模型的收敛效度	472
第二节 缺失值数据文件的处理	475
一、观察变量中有缺失值	475
二、增列估计平均数与截距项	476
三、数据取代	477
第三节 SEM 模型适配度与参数估计关系	480
一、模型 A: 初始模型	480
二、模型 B	484
第四节 样本大小与适配度卡方值	486
一、样本数 N 为 100	487
二、样本数 N 为 300	487
三、样本数 N 为 500	488
四、样本数 N 为 700	488
五、样本数 N 为 900	489
六、样本数 N 为 1100	489
七、样本数 N 为 1500	489
八、样本数 N 为 2000	490
第十二章 典型相关分析与结构方程模型关系	492
第一节 典型相关分析	494
一、CANCORR 语法指令	494
二、典型相关分析结果	494
第二节 SEM 执行程序	500
一、第一个典型变量	500
二、第二个典型变量	506
三、MIMIC 分析结果	512
参考文献	514

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计算机程序。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。协方差结构模型使用非常广泛,包括经济、营销、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,包括横式的研究及纵贯式的研究设计。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的内容。此种协方差结构分析结合了(验证性)因素分析与经济计量模型的技巧,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,以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资料来确认假设的潜在变量间的关系,以及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,而非输入之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 & Siguaw, 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的操作界面,使得其应用普及率愈来愈高,早期 LISREL 一词逐渐与结构方程模型划上等号(但现在多数研究者已将 SEM 与 AMOS 联结在一起,此趋势可能与 SPSS 统计软件包的普及应用及 AMOS 图形式界面操作有关)。

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),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的显性变量、潜

在变量、干扰或误差变量 (disturbance variables/error variables) 间的关系,进而获得自变量对依变量影响的直接效果 (direct effects)、间接效果 (indirect effects) 或总效果 (total effects)。SEM 模型分析的基本假定与多变量总体统计法相同,样本数据要符合多变量正态性 (multivariate normality) 假定,数据必须为正态分布数据;测量指标变量呈现线性关系。

SEM 基本上是一种验证性的方法,通常必须有理论或经验法则支持,由理论来引导,在理论导引的前提下才能建构假设模型图。即使是模型的修正,也必须依据相关理论而来,它特别强调理论的合理性。此外,SEM 模型估计方法中最常用的方法为极大似然法 (maximum likelihood),使用极大似然法来估计参数时,样本数据必须符合多变量正态性假定 (multivariate normality),此外样本数据的样本数也不能太少,但样本数太大,使用极大似然法来估计参数时,适配度的卡方值会过度敏感,因而进行 SEM 模型估计与决定模型是否被接受时应参考多向度的指标值加以综合判断 (黄俊英,2004)。

在 SEM 的分析软件中,常为研究者及机构使用者除 LISREL 外,EQS 与 AMOS 也是甚为普及的软件,尤其是 SPSS 家族系列的 AMOS 软件,因为 SPSS 统计软件包使用的普及率甚高,加以 AMOS 的图形绘制模型功能及使用者界面导向模块,使得以 AMOS 来进行 SEM 分析的使用者愈来愈多。AMOS 不仅可以进行各种 SEM 模型的分析,也可以进行多群组分析、多群组平均数检验、潜在平均结构分析、因素结构不变性检验、因果结构型态不变性检验、协方差分析等。虽然 AMOS 的操作界面与 LISREL 不同,但二者对于 SEM 模型分析的假定、程序及结果是相同的,二者最大的差别在于 AMOS 的输出结果及假设模型变量的界定均无法使用 SEM 理论中所提的希腊字母,也无法使用下标字于绘制的理论模型中。

AMOS 是 Analysis of Moment Structures (矩结构分析) 的简写,矩结构与协方差矩阵内涵类似,实务应用于结构方程模型 (SEM) 的分析,此种分析又称为协方差结构分析 (analysis of covariance structures) 或因果模型分析 (analysis of causal modeling),此种分析历程结合了传统的一般线性模型与共同因素分析的技术。AMOS 是一种容易使用的可视化模块软件,只要使用其提供的描绘工具箱中的图像钮便可以快速绘制 SEM 图形、浏览估计模型图与进行模型图的修改,评估模型的适配与参考修正指标,输出最佳模型 (AMOS7.0 使用手册)。对于 SEM 的分析与操作,本书主要以 AMOS7.0 的界面说明,其图像钮的应用与各式模型的检验分析,也适用于先前的各版本。

第一节 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) 以及干扰/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发展过程中的合成物”,二人认为: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 可允许同时考虑到许多内涵变量 (endogenous variables) 的方程式,不像大多数的经济计量方法,SEM 也允许外涵变量 (exogenous variables) 与内涵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给予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验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测验的个别项目只能被分配给一个共同因素,并只有一个因素负荷量,如果一个测验题项与两个或两个以上的因素构念间有关,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因素分析假定测验题项与测验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,许多测验的题项与题项之间的误差来源是相似的,也就是测验题项间的误差间具有共变关系。

相对于因素分析的这些问题,结构方程模型就具有以下优点(黄芳铭,2004):

①可检验个别测验题项的测量误差,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,预先决定个别测验题项是属于哪个共同因素,或置于哪几个共同因素中,亦即,测验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是具有相关,还是不具有相关存在,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,结构方程模型均具有以下几个特性(邱皓政,2005):

(1) SEM 具有理论先验性

SEM 分析的一个特性,是其假设因果模型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性与否的统计技术,所以 SEM 被视为一种验证性(confirmatory)而非探索性(exploratory)的统计方法。

(2) SEM 可同时处理测量与分析问题

相对于传统的统计方法,SEM 是一种可以将测量(measurement)与分析(analysis)整合为一体的计量研究技术,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用于分析观察变量(observed variables)间彼此的复杂关系,潜在变量是个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,方法学意义上的测量指标分为间断、连续及类别指标,因素分析模型就是一种具连续量尺指标的潜在变量模型的特殊案例(Moustaki et al., 2004)。

(3) SEM 关注协方差的运用

SEM 分析的核心概念是变量的协方差(covariance)。在 SEM 分析中,与协方差有关的有两种功能: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:

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

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:

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

而两个变量的协方差是两个变量之交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数据文件,若是键入原始数据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。

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

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。如果两个变量均为标准化(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,两个变量的标准差均为 1:

$$\text{COV}(\text{标准化 } X, \text{标准化 } Y) = \text{COV}(X, Y) / S_x S_y = r_{xy}, r_{xy} \text{ 类似两个变量间的相关系}$$

数,其值介于 ± 1 之间。

(4) SEM 适用于大样本的统计分析

协方差分析与相关分析类似,若是样本数较少,则估计的结果会欠缺稳定性。SEM 分析乃根据协方差矩阵而来,因而参数估计与适配度的卡方检验对样本数的大小非常敏感。与其他统计技术一样(如因素分析),SEM 适用于大样本的分析,取样样本数愈多,则 SEM 统计分析的稳定性与各种指标的适用性也愈佳。学者 Velicer 与 Fava(1998)发现在探索性因素分析中,因素负荷量的大小、变量的数目、样本数的多寡等是决定一个良好因素模型的重要变因,此种结果可类推至 SEM 分析程序中。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。虽然 SEM 的分析以大样本数较佳,但较新的统计检验方法允许 SEM 模型的估计可少于 60 个观察值(Tabachnick & Fidell, 2007)。

在 SEM 分析中,到底多少个样本最为适当? 对于此一问题,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十个样本,或二十个样本。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,但是在 SEM 适配度检验中,绝对适配度指数 χ^2 值受到样本数的影响很大,当研究者使用较多的受试样本时, χ^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不契合的机会较大。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,他们二人经研究发现,大部分的 SEM 研究,其样本数多介于 200 至 500 之间,但在行为及社会科学研究领域中,有时某些研究取样的样本数会少于 200 或多于 500,此时学者 Bentler 与 Chou(1987)的建议也是研究者可采纳的——此二人认为研究的变量如符合正态或椭圆的分布情形,则每个观察变量 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 个,较佳的研究样本数应有 150 个以上。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 个以上,若是样本数在 150 个以下,模型估计是不稳定的,除非变量间方差矩阵系数非常理想,他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(power)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);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 个。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)。

(5) 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)。

(6) 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,就是要检验总体的协方差矩阵(Σ 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: Σ 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(θ),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(θ),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 Σ 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 = 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出现的概率很低(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念(construct)。SEM 模型之中的一种就是检验直接反映研究者所选择构念的测量指标的有效性。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)显得更有意义、更周详。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,其中也考虑因素分析模型的整体质量,以及构成模型的特别参数(如因素负荷量)。SEM 方法中最常用到的一种方式就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,相对的预测模型也会演变得更复杂。这使得传统的复回归统计无法周延解释这复杂的实体世界,而 SEM 允许精致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、预测及变量间因果模型的路径分析。

③SEM 可同时考虑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,可以同时评估测量质量及检测构念(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,比较可信地以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)。

SEM 一般统计分析程序或最初模型检验程序在于决定假设模型 (hypothesized model) 与样本数据 (sample data) 间的适配度情形, 评估研究者所提的假设模型结构能否适用于样本数据, 此即为检验观察数据适配于严格结构的分析。因为在观察数据与假设模型中很少会有完美适配 (perfect fit) 的状况存在, 因而二者之间总是存有某种程度的差异, 此差异项称为残差项 (residual terms), 模型适配程序可以简要表示为: 数据 = 模型 + 残差, 数据项是依据样本在观察变量中的分数测量值作为代表, 而假设结构则是连结观察变量与其潜在变量间的关系, 残差项代表的是假设模型与观察数据间的差异值 (discrepancy) (Byrne, 2001)。

目前结构方程模型的一般策略架构, 大致分为三种模型策略 (Byrne, 2001; Joreskog, 1993):

(1) 严格验证策略

严格验证策略 (strictly confirmatory strategy; 简称 SC) 就是单一假设模型图的验证。研究者根据相关理论或经验法则提出单一的假设模型, 根据模型的属性搜集适当的样本数据, 进而检验假设模型与样本数据是否适配, 模型检验结果不是拒绝假设模型就是接受假设模型, 研究者不会因假设模型与样本数据不契合, 就根据修正指标值来修正模型, 此种检验是严格的, 因而是一种严格验证策略。进行此种模型策略时, 预设的前提是研究者所提的假设模型能与理论模型十分接近, 且模型的界定正确。

(2) 替代或竞争策略

模型替代或竞争策略 (alternative models strategy; 简称 AM) 是研究者根据理论, 提出数个假设模型, 进而搜集实证资料来检验哪一个假设模型的适配度最佳, 数个适配度均达合适的比较模型称为替代模型 (alternative models) 或竞争模型 (competing models)。在 SEM 模型检验中, 一个与样本数据契合的假设模型并不一定是最适当或最佳的模型, 采用替代或竞争模型策略可以从数个与实证数据契合的模型中, 选择一个最好的模型。比较数个模型时, 可从复核效度 (cross-validation)¹ 指标值进行模型选取的判断。复核效度指标值包括 ECVI、AIC、CAIC、BIC 等, 复核效度指标值愈小者表示模型愈佳、愈精简。在 AMOS 输出结果之适配度统计量中, 均会呈现上述检验模型的复核效度指标值。

(3) 模型发展策略

模型发展策略 (model generating strategy; 简称 MG) 的目的在于建构一个与实证数据可契合的假设模型。研究者根据相关理论先提出一个初始假定模型, 若是此假定模型与实证数据无法契合, 模型的适配情形不理想, 则研究者会根据相关数据指标进行模型的修正, 模型修正完后再重新估计模型, 以建构一个与样本数据能适配的理论模型。模型发展策略的步骤为: 初始理论模型建构 → 模型估计 → 理论模型修正 → 重新估计 → 理论模型再修正 → 再重新估计模型……如此不断进行模型修正与模型估计, 以发展一个可以接受的模型。模型发展策略其实已变成探索性的而非验证性的, 研究者虽然建构出一个可接受的模型, 但此理论模型可能无法推论至其他样本, 其策略的最终目标在于发展一个有实质意义且达统计上良好适配的理论模型, 策略运用并非模型检验 (model testing), 而是模型产出 (model generating)。

¹ 也称为“交互效度分析”。