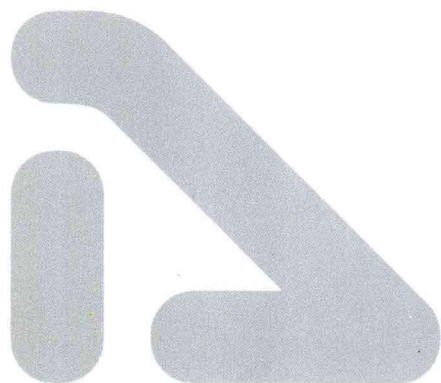


万卷方法

JIEGOU FANGCHENG  
MOWING  
AMOS SHI  
WU JIN JIE

《结构方程模型  
——AMOS的操作与应用》（提高版）



# 结构方程模型 —— Amos 实务进阶

吴明隆 著



重庆大学出版社

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

万卷方法

JIEGOU FANGCHENG  
MOWING  
AMOS SHI  
WU JIN JIE



# 结构方程模型 —— Amos 实务进阶

吴明隆 著

重庆大学出版社

结构方程模型——Amos 实务进阶。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权重庆大学出版社在大陆地区出版发行简体字版本。未经出版者书面许可,不得以任何形式复制。

版贸渝核字(2011)第199号

#### 图书在版编目(CIP)数据

结构方程模型:Amos 实务进阶/吴明隆著. —重庆:重庆大学出版社, 2013. 3

(万卷方法)

ISBN 978-7-5624-7145-5

I. ①结… II. ①吴… III. ①统计分析—统计模型—线性模型 IV. ①C819

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 309045 号

### 结构方程模型——Amos 实务进阶

吴明隆 著

策划编辑:林佳木 邹 荣

责任编辑:邹 荣 版式设计:林佳木

责任校对:贾 梅 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:24.75 字数:586 千

2013 年 3 月第 1 版 2013 年 3 月第 1 次印刷

印数:1—4 000

ISBN 978-7-5624-7145-5 定价:58.00 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

---

《结构方程模型——Amos 实务进阶》(Structural Equation Modeling—Tips for Practical Application) 为 SEM 系列丛书之三 (SEM 系列丛书之一为《结构方程模型——SIMPLIS 的应用》之二为《结构方程模型——Amos 的操作与应用》)。结构方程模型 (Structural Equation Modeling; 简称 SEM) 是当代行为科学领域中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“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, 其因果模型验证的属性是“验证性”而非是“探索性”的。

本书着重实际案例的解析与统计分析技巧及结果的诠释, 其中包括研究者在进行 SEM 模型检验时常犯的错误及 SEM 基本概念的厘清, 包括不适当解值及整体适配度指标的判别、修正指标的使用及模型界定、验证性因素分析、形成性指标与反映性指标的实例、潜在及混合变量的路径分析、多群组 SEM 分析、小样本情境下贝氏估计法的应用等。全书以深入浅出的方式, 以实际案例说明结构方程模型的各种应用, 是一本 SEM 量化研究的参考用书。书籍内容完全是实例问题导向, 结合研究问题、实证数据与图表, 让使用者对 SEM 各种模型估计有清晰完整的概念, 表格范例与详细数据诠释可作为研究者进行模型检验与论文撰写的参考, 是一本简单易懂而实用的 SEM 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, 其中在贝氏估计法部分数据的整理与校对要感谢郑浣云督导员的帮忙。由于笔者所学有限, 拙作虽历经半年多的琢磨, 又经校对再三, 谬误或疏漏之处仍在所难免, 尚祈各方先进及学者专家不吝指正。

吴明隆、张毓仁

谨志于高雄师范大学师培中心

# 目 录

<b>第一章</b>	<b>结构方程模型理论内涵</b> .....	1
第一节	假设模型与模型的界定 .....	2
第二节	样本的大小 .....	8
第三节	模型适配度的评估 .....	11
第四节	数据插补法 .....	27
第五节	模型估计程序 .....	34
	参考文献 .....	37
<b>第二章</b>	<b>测量模型的验证与模型聚敛效度检验</b> .....	38
第一节	测量模型验证的相关理论 .....	38
第二节	测量模型的识别 .....	41
第三节	量表或测量的 CFA 模型验证 .....	43
第四节	测量模型的聚敛效度 .....	61
第五节	一阶因素模型与二阶因素模型 .....	63
第六节	反映性测量与形成性测量 .....	69
	参考文献 .....	78
<b>第三章</b>	<b>因素构念的区别效度检验</b> .....	79
第一节	区别效度的意涵 .....	80
第二节	量表区别效度的操作实务 .....	87
第三节	区别效度解析——以父母期望量表为例 .....	95
<b>第四章</b>	<b>潜在变量路径分析</b> .....	116
第一节	Amos 的操作流程 .....	116
第二节	界定参照指标的路径系数 .....	124
第三节	参数估计与模型检验 .....	128

<b>第五章</b>	<b>模型界定与模型修正</b> .....	151
	第一节 模型的测量模型与结构模型 .....	152
	第二节 限定特殊群体为分析样本数据 .....	167
	第三节 模型的修正或再界定 .....	176
	参考文献 .....	201
<b>第六章</b>	<b>因果结构效度的检验</b> .....	202
	第一节 混合测量模型的因果结构分析 .....	202
	第二节 退休教师生活满意的因果模型分析 .....	214
	第三节 未符合模型简约原则的修正 .....	222
	第四节 模型简化修正图 .....	236
<b>第七章</b>	<b>多群组分析</b> .....	250
	第一节 多群组分析相关理论 .....	250
	第二节 测量模型不变性 .....	252
	第三节 多群组分析范例说明 .....	271
	第四节 建立基线模型 .....	273
	第五节 建立多群组分析模型图与模型估计 .....	277
	第六节 多群组分析的竞争模型 .....	282
	第七节 性别变量的多群组分析 .....	297
	参考文献 .....	309
<b>第八章</b>	<b>贝氏估计法</b> .....	310
	第一节 贝氏估计法相关理论 .....	310
	第二节 贝氏估计法的操作实例 .....	313
	第三节 CFA 模型的贝氏估计应用 .....	333
	第四节 非散布事前分布的贝氏估计法 .....	342
	第五节 潜在变量路径分析——贝氏估计法 .....	349
	第六节 贝氏估计法的 $PP_p$ 值解析 .....	360
	第七节 贝氏估计法在多群组的应用 .....	364
	参考文献 .....	370
<b>附 录</b>	<b>模型估计的其他议题</b> .....	371
	第一节 不适当解值的问题 .....	371
	第二节 非正定问题 .....	377
	第三节 潜在变量间关系的修正 .....	379

# 第一章 结构方程模型理论内涵

完整的结构方程模型(structural equation modeling; SEM)包含测量模型(measurement model)与结构模型(structural model),测量模型中作为指标变量者称为测量变量(或称观察变量、指标变量、显性变量),模型图中以正方形或长方形对象表示,测量模型中的指标变量通常都是量表的题项,而量表是采总加量表的形式。以李克特(Likert-scaled item)五点量表为例,测量模型中各指标变量的平均数介于1至5分之间。因素构念称为潜在变量(latent variables)(或称构念、无法观察变量、潜在因素),模型图中以圆形或椭圆形对象表示,测量模型的潜在构念是量表在探索性因素分析中萃取的因素(factor),这些因素构念无法直接被观察测量,而是借由各指标变量来反映。测量模型的无法观察变量又称为共同因素(common factor),此共同因素的变异是由一个以上观察变量(一个以上题项)共同来反映。

模型适配度判断准则是 $\chi^2$ 检验统计量,当 $\chi^2$ 统计量未达0.05显著水平时表示假设模型是个可接受的模型,此模型可良好代表真实世界的现象。在小样本情况下, $\chi^2$ 检验统计量 $T = (N - 1)F_{min}$ 就会偏离 $\chi^2$ 分布;相对地,在大样本情况下, $\chi^2$ 检验统计量需要大的统计检验力(power),以使界定模型不会轻易因 $\chi^2$ 检验统计量反映了样本数据的协方差矩阵与适配模型的极小差异而被拒绝;此外, $\chi^2$ 检验统计量的数据结构必须符合多变量正态性假定,若是样本数据分布违反多变量正态性假定, $T = (N - 1)F_{min}$ 统计量也会偏离 $\chi^2$ 分布,因而在评估模型适配度时, $\chi^2$ 检验统计量并不是一个完全可靠的测量值,此时,研究者应从绝对适配度指标(如GFI、AGFI、CK、MCI、CN、ECVI等)、残差分析指标(如RMSR、RMSEA)、增值适配度指标(如CFI、NFI、NNFI、BFI)与简约适配度指标(如PNFI、PGFI、AIC)等进行综合评估。综合学者观点,模型适配度判断重要准则如下(Singh, 2009, p. 209):

1. 对于计量数据(连续变量)而言,整体模型适配度可以接受的指标门坎值为:RMSEA值 $<0.06$ ,TLI值 $>0.95$ ,CFI值 $>0.95$ ,SRMR值 $<0.08$ 。
2. 就类别变量而言,整体模型适配度可以接受的指标门坎值为:RMSEA值 $<0.06$ ,TLI值 $>0.95$ ,CFI值 $>0.95$ ,WRMR值 $<0.90$ (WRMR为加权RMR值),如果模型中的变量属性包含连续与离散变量,则WRMR值 $\leq 1.00$ 。
3. 当 $N > 250$ 时,整体模型适配度可以接受的指标门坎值为:RMSEA值 $<0.07$ ,CFI值 $>0.95$ ;当 $N > 500$ 时,整体模型适配度可以接受的指标门坎值为TLI值 $>0.95$ 且CFI值 $>0.95$ 。
4. 如果标准化残差分布极端偏离Q-plot直线,表示模型可能界定错误。

## 第一节 假设模型与模型的界定

SEM 中以单箭号直线表示变量间的因果关系,箭头所指的变量为“果”变量(effect variable),直线起始处为“因”变量,双箭头符号表示两个变量间有共变关系但没有因果关系(causal relation),即没有直接效果。路径分析是检验连结的观察变量间的因果关系,验证性因素分析(confirmatory factor analysis; CFA)是检验连结的观察变量与潜在构念(因素)间的关系,完整的结构方程模型除检验连结的观察变量与潜在构念(因素)间的关系外,也检验潜在构念彼此间的关系。CFA 与 SEM 均是理论导向的(theory driven),因而是一种验证性程序,CFA 与 SEM 的观察变量对象虽然都是以长方形(或方形)表示,且观察变量的名称必须是 SPSS 数据文件中的变量名称,但两个模型观察变量所表示的指标是不同的,就 CFA 模型而言,指标变量一般是个别题项,潜在变量为因素构念;就 SEM 模型而言,指标变量一般是量表的向度(或称构面或层面),向度分数为数个个别测量题项的总和或数个测量题项的平均数,潜在变量为二阶因素构念而非一阶潜在因素。

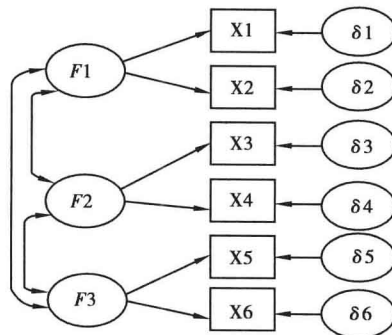


图 1-1 一般三个共同因素的验证性因素分析假设模型范例图

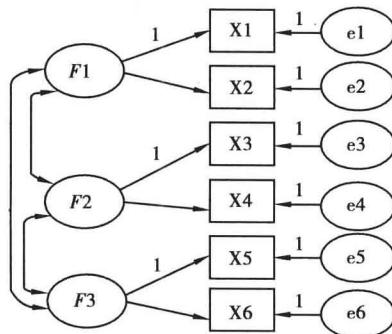


图 1-2 三个共同因素验证性因素分析模型图 (Amos 窗口界面图)

在“小学级任教师知识管理能力与班级经营效能的相关研究”(方惠丽,2009)中,研究者搜集数据的工具包括“教师知识管理力量表”与“班级经营效能量表”,量表填答采用李克特五点量表:非常符合、大部分符合、一半符合、少部分符合、非常不符合。知识管理力量表经探索性因素分析共萃取三个因素构念:知识取得(第 1 题至第 4 题)、知



识储存(第5题至第8题)、知识应用(第9题至第12题);班级经营效能量表共萃取四个因素构念:常规管理(第1题至第4题)、教学掌控(第5题至第8题)、师生互动(第9题至第12题)、亲师沟通(第13题至第16题)。两份量表测量题项如下,测量题项后面的附注为SPSS数据文件中的变量名称,变量的第一个字母为因素构念的编号,第二个字母为量表的属性,X表示为外因潜在变量的测量题项(教师知识管理量表)、Y表示为内因潜在变量(班级经营效能量表)的测量题项,第三个字母及第四个字母为题项流水编号。

#### 【第一部分】知识管理能力量表

01. 我会阅读教育书籍、期刊、报章杂志,以获取班级经营的新知。【AX01】
02. 我会参加各种教师研习活动,以增进自己的班级经营知能。【AX02】
03. 我会通过与其他教师的讨论,来取得班级经营的经验与知能。【AX03】
04. 我会借由教学观摩或其他教师的教学文件,来获取班级经营的经验和新知。【AX04】
05. 我会将阅读到的班级经营相关数据,以书面或计算机储存建文件。【BX05】
06. 我会将日常教学及班级经营的情形,以拍照或摄影记录保存。【BX06】
07. 我会将日常教学及班级经营的情形,以书面或电子文件记录保存。【BX07】
08. 我会将其他专家或教师对我班级经营的意见记录下来并分类。【BX08】
09. 我会将网络搜集的信息知能应用于自己的班级经营活动。【CX09】
10. 我会将观摩其他教师的教学活动或文件,实际应用于自己的班级经营。【CX10】
11. 我会将研习进修所获取的新知,应用于班级经营活动。【CX11】
12. 我会运用其他教师或专家学者的方法,来解决班级经营的问题。【CX12】

#### 【第二部分】班级经营效能量表

01. 我能设计完善的奖惩制度,并让学生了解原因。【AY01】
02. 我班上的学生都能确实遵守班规。【AY02】
03. 我班上学生的秩序良好,受到科任教师的肯定。【AY03】
04. 我能有效处理学生违规问题。【AY04】
05. 我能确实掌控教学进度,让学生可循序渐进地学习。【BY05】
06. 我能使教学流程顺畅,不受其他事物的干扰。【BY06】
07. 我的教学方法,能有效地提升学生学习表现。【BY07】
08. 我能运用不同的评量方式来评量学生的学习成效。【BY08】
09. 我能倾听班上学生的说话内容,并适时给予回馈。【CY09】
10. 我会主动了解每位学生的生活情形及学习态度。【CY10】
11. 我会竭尽所能为学生解决问题。【CY11】
12. 我能依学生的个别差异,而有不同的正向期望与要求。【CY12】
13. 家长会积极参与亲师座谈会或班上的活动。【DY13】
14. 家长能配合我在班级经营上所提出的要求。【DY14】
15. 家长对我班级经营的方式,能支持与信任。【DY15】
16. 家长很满意我的班级经营方式。【DY16】

两个量表的CFA假设模型图如图1-3:在CFA模型中潜在变量为初阶因素构念(又称一阶因素构念;first-order factors),初阶因素构念通常是在量表进行探索性因素分析程

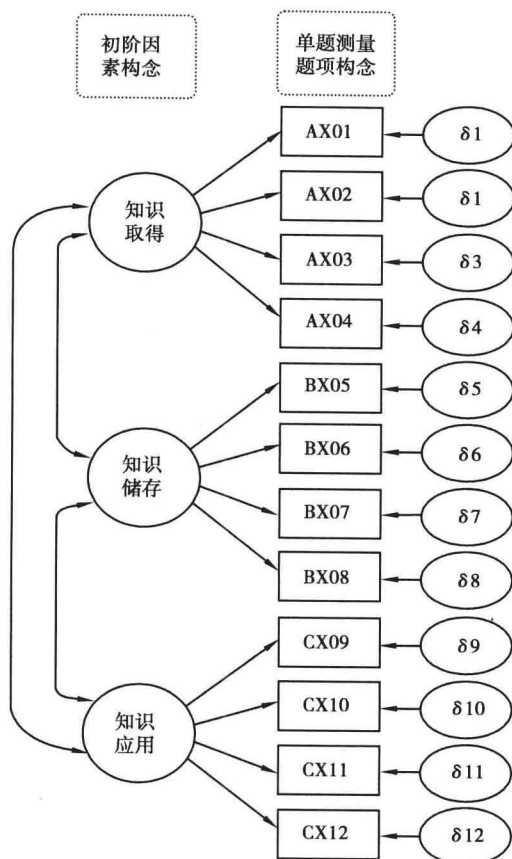


图 1-3 理论架构的教师知识管理能力量表 CFA 假设模型图

序时萃取的共同因素,测量变量为量表个别的题项,测量变量无法被初阶因素构念解释的部分称为独特变量( uniqueness)或残差( disturbance),一般称为误差项( error)。CFA模型的假定中,潜在因素构念与各测量变量的误差项间没有共变关系,修正指标中允许各测量变量的误差项间有共变关系,当两个测量变量的误差项间有相关存在,表示两个测量变量反映的潜在行为特质内涵有某种程度的重叠性;修正指标也允许两个不同潜在因素路径同时指向一个测量变量,此种情形表示此测量变量反映两种潜在因素构念,测量变量具有跨因素效度的属性,在探索性因素分析中就是一个题项在两个共同因素都有很高的因素负荷量。

就反映性测量模型而言,反映同一因素构念变量的指标变量(题项)间应有中高度的相关,如果指标变量(题项)间的相关太低,则因素构念的聚敛效度与信度会欠佳;但若是同一因素构念变量的指标变量(题项)间皆呈高度相关,则模型估计结果的参数可能会有“无法接受的解值”( inadmissible solution)出现,如标准化负荷量(标准化路径系数)的绝对值大于 1.00。此种情形的产生乃是测量变量间有严重多元共线性,当反映相同潜在构念的测量变量中,有两个以上测量变量间有很高的相关,模型估计结果就可能会出现不可接受的解值,当模型出现不可接受的解值参数估计值时,表示假设模型有严重不当界定模型存在,此时研究者应重新进行模型界定或删除导致共线性问题的指标变量(题项)。

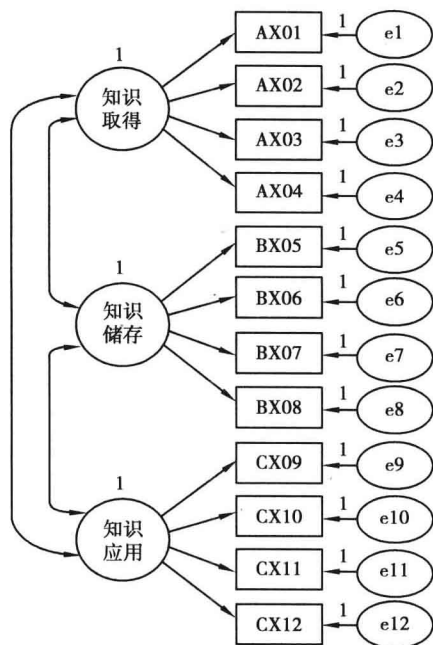


图 1-4 Amos 软件窗口界面绘制的教师知识管理力量表 CFA 假设模型图  
(直接将潜在因素的方差界定为 1)

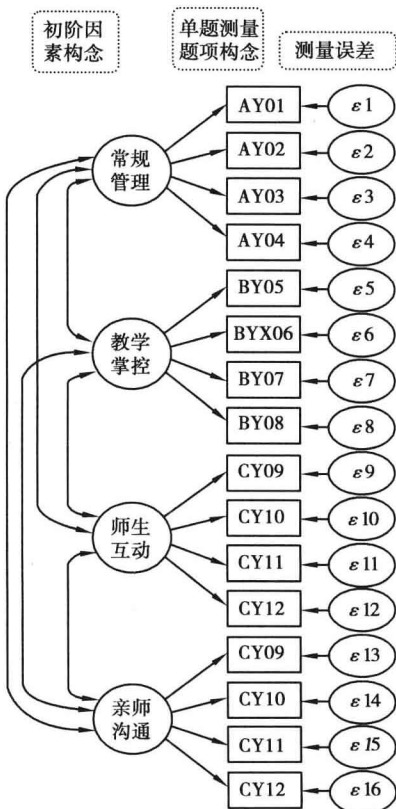


图 1-5 理论上的班级经营效能量表 CFA 假设模型图

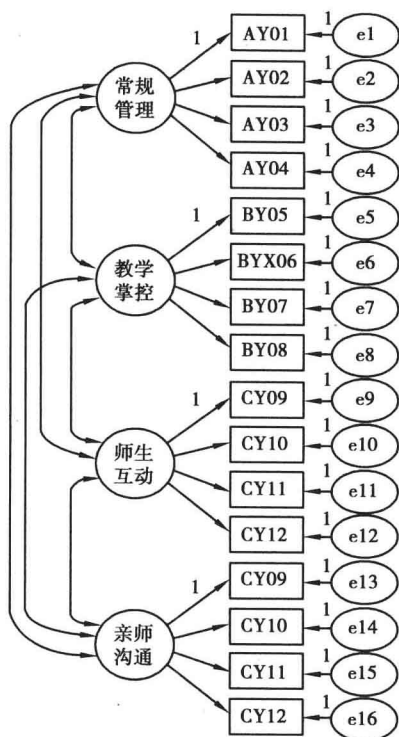


图 1-6 Amos 窗口界面绘制的班级经营效能量表 CFA 假设模型图  
(因素构念界定一个参照指标,此为 Amos 工具图像按钮绘制时的预定图样)

若研究者进行的是教师知识管理能力对班级经营效能因果模型的验证,则外因潜在变量为教师知识管理力量表中的高阶因素构念(second-order factor;又称二阶因素构念),高阶因素构念一般为研究者采用量表所要测得的整体潜在心理特质,此潜在心理特质的测量值在 SPSS 数据文件中的变量为量表所有测量题项的加总分数,范例中高阶因素构念为教师知识管理,当以高阶因素构念作为潜在变量时,其指标变量为初阶因素向度,教师知识管理潜在变量三个指标变量为知识取得、知识储存、知识应用;内因潜在变量的名称为班级经营效能,班级经营效能潜在变量四个指标变量为常规管理、教学掌控、师生互动、亲师沟通,两个潜在变量的指标变量测量值用初阶因素所包含的题项分数加总或向度单题平均分数均可。教师知识管理能力对班级经营效能因果模型的两个测量模型如图 1-7:

外因潜在变量教师知识管理能力的三个指标变量为“教师知识管理能力”EFA 分析中初阶因素三个构面,内因潜在变量班级经营效能四个指标变量为班级经营效能量表 EFA 分析中的初阶因素四个构面,两个潜在变量的指标变量并非是量表中的个别测量题项(量表中的单一题项),CFA 模型通常以量表的个别测量题项作为观察变量,以初阶因素构念作为潜在变量;SEM 多数使用量表的初阶因素向度名称作为指标变量,以二阶因素构念作为潜在变量。教师知识管理能力对班级经营效能因果模型在 Amos 窗口界面中的假设模型图如图 1-8:

由于 SEM 最常使用的最大似然估计法(ML 法)在数据结构严重偏离多变量正态性(multivariate normality)时参数估计会产生偏误,模型参数估计的正确性及稳定性均较不可靠,因而进行 SEM 分析的数据必须符合多变量正态性(multivariate normality)的假定。

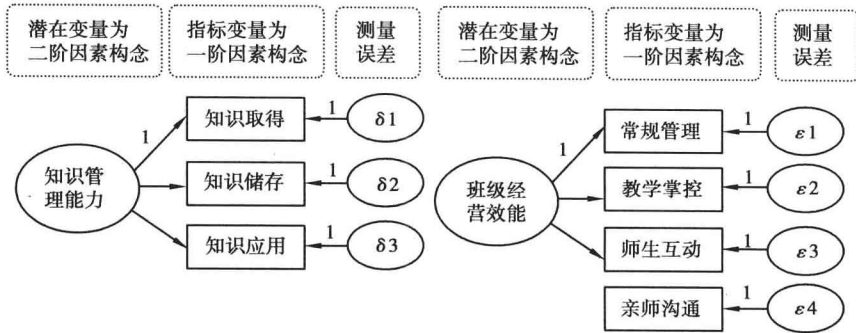


图 1-7

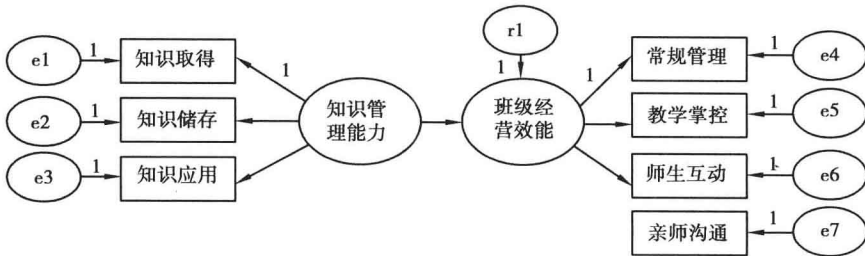


图 1-8

如果数据结构正态性检验结果严重偏离正态分布,此时模型估计方法应改为“渐进自由分布法”(asymptotic distribution-free),否则模型估计结果会产生偏误。相关研究证实,对于非正态分布的数据结构,以 ML 法作为 CFA 模型检验也有很高的统计稳健性(robust)。此外,采用 ADF 估计法时样本数的大小最好大于 2 500 位以上,如果是小样本(样本数 60 至 120 位)时,可改采用 Yuan-Bentler 检验统计法。SEM 分析时,必须有足够的样本,如此模型参数估计的结果才会正确(吴明隆,2009)。

进行 SEM 模型估计要考虑到以下几个议题:样本大小与遗漏值(missing data)、多变量正态性(multivariate normality)与极端值(outliers)、测量变量间的线性关系、多元共线性(multicollinearity)或奇异性(singularity)问题、残差(residuals)。SEM 是以协方差矩阵为模型参数估计的基准,协方差与相关系数一样在小样本时参数估计较不稳定,SEM 模型的参数估计与模型适配度检验卡方值对于样本大小非常敏感,SEM 与因素分析都是一种大样本的统计程序,Velicer 与 Fava(1998)发现探索性因素分析程序中要得到一个良好因素模型,下面三个要素都很重要:因素负荷量的高低、测量变量的个数及样本的大小。多变量正态性指的是每个测量变量及测量变量所有的组合都是正态分布,符合多变量正态性数据结构,其估计的残差也是正态分布且互为独立;线性关系是指两个计量变量间的关系呈直线或接近直线模型,由于潜在变量是否为线性关系的检验较为困难,因而 SEM 模型的线性关系假定指的是配对测量变量间的线性关系,配对测量变量间是否为线性关系可采用散点图加以检验。测量变量间的相关太高可能发生多元共线性及奇异性问题,测量变量间如果呈现高度的相关(如相关系数高于 0.90),则模型估计易发生共线性问题,所谓奇异性指的是测量变量在测量模型中是多余的,因为此测量变量是其余两个测量变量或更多变量的组合。在传统回归分析中,皆假定残差项具有正态性与独立性,在 SEM 模型估计程序中,模型的残差应该要很小且接近 0,残差协方差的次数分布应

该为对称,次数分布中非对称的残差分布参数表示假设模型是一个适配不良的模型 (Tabachnick & Fidell, 2007, pp. 682-684)。

## 第二节 样本的大小

SEM 参数估计的稳定性和样本的大小有关,一般最少的样本需求为 200 位以上,若是以待估计参数(自由参数)的个数来检核,则样本大小视待估计参数的总数而不同,每个待估计参数的样本数最好介于 5 至 10 位之间,多数学者观察认为样本大小至少应为待估计自由参数的 10 倍以上,如一个假设模型图待估计的参数有 30 个,则样本数的大小最好能达 300 位( $10 \times 30 = 300$ )。学者 Pohlmann(2004) 建议如果研究者一次搜集的有效样本数很大,可以将样本随机分割成两部分,之后对模型进行两次估计,以检核假设模型的稳定与适配情形,第一部分随机选取分析的样本称为“测定样本”(calibration sample),第二部分随机选取分析的样本称为“效度样本”(validation sample),两个随机选取的样本数至少要为假设模型中待估计自由参数个数的十倍以上。图 1-9 的 CFA 假设模型图中,两个潜在因素构念变量分别为 FA、FB,每个因素构念各有四个测量变量,模型中的固定参数(fixed parameter)有 10 个(在模型估计中因为要进行模型识别或顺利估计参数,要将某些参数限定为一个常数,常数项通常为 1,部分固定参数限定为 0),被估计的自由参数(free parameter)有 17 个(模型中被估计的自由参数愈小,模型的自由度愈大,表示模型愈精简),17 个自由参数中有 1 个协方差(covariance)、6 个路径系数(regressions)、10 个方差,由于待估计的自由参数有 17 个,因而有效样本数至少要在 170 位以上。Kaplan 与 Ferguson(1999) 研究发现使用相同总体的假设模型,当样本数增加后,模型中各参数估计值的偏误会降低。

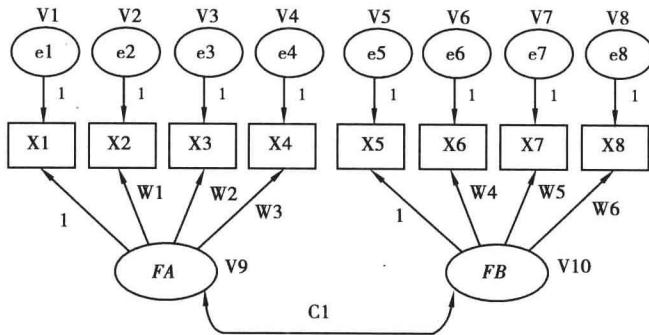


图 1-9 两个因素构念的 CFA 假设模型图

表 1-1 Parameter summary (Group number 1)【参数摘要表】

	Weights (路径系数)	Covariances (协方差)	Variances (方差)	Means (平均数)	Intercepts (截距项)	Total (总和)
Fixed(固定参数)	10	0	0	0	0	10
Labeled (有参数标签的自由参数)	6	1	10	0	0	17

续表

	Weights (路径系数)	Covariances (协方差)	Variances (方差)	Means (平均数)	Intercepts (截距项)	Total (总和)
Unlabeled (无参数标签的自由参数)	0	0	0	0	0	0
Total(总和)	16	1	10	0	0	27

Amos 浏览文件窗口的模型参数摘要表可检核相关的参数个数,参数摘要表显示模型中的参数个数总共有 27 个:固定参数 10 个、自由参数 17 个。模型估计最少样本数个数自由参数的 10 倍,模型中的自由参数有 17 个,因而有效样本数至少要 170 位以上(学者要求的最低下限是 200 位以上),数据文件的样本数要排除遗漏值,以受试者在每个测量变量的数据均为有效者为准。此外,Amos 分析的数据文件若是没有符合多变量正态性假定、线性关系假定等,则所需的有效样本数可能要更大;若数据文件有遗漏值,一般不建议采用“配对删除法”(pairwise deletion),因为采用配对删除法无法保证删除后的数据全部为有效样本,模型估计时可能产生“非正定协方差矩阵”(nonpositive covariance matrix),造成参数无法顺利估计。而“完全删除法”(listwise deletion)虽然可以保留完全有效的数据文件,但可能删除过多有用的数据,造成分析有效样本数的不足。若本数据文件很大,采用完全删除法后还可保留足够的样本数,可以考虑采用完全删除法(将受试者全列的数据删除);如果每位受试者在少数几个观察变量有遗漏值,而观察变量只在少数样本数有遗漏值,可考虑采用“置换遗漏值”的方式,以全部有效样本的平均数取代遗漏值,或以各群组有效样本数的平均数取代,此外另一常见的方法为回归估计的插补法。

Computation of degrees of freedom(预设模型)

Number of distinct sample moments:36

Number of distinct parameters to be estimated:17

Degrees of freedom(36-17):19

模型的自由度(19)为独特样本矩的个数(36)与被估计独特参数个数(17)的差异值,独特样本矩的个数包括方差与协方差(variances and covariances)的个数,如果模型增列估计平均数与截距项(means & intercepts),独特样本矩的个数也包括平均数。被估计独特参数个数即自由参数,模型中有些参数会被限制固定为一个常数(constant),此种参数称为固定参数,固定参数没有包含于被估计独特参数的个数之中,被估计独特参数个数通常会少于模型中总参数的个数(模型中全部参数包括路径系数、方差、协方差、平均数与截距项),如果是多群组分析,独特样本矩的个数与被估计独特参数个数为各群组的加总。独特样本矩的个数可以由测量变量(观察变量)的个数来估算,如果  $p$  为模型中测量变量的个数,则独特样本矩的个数为  $p \times (p + 1) \div 2$ ,范例 CFA 测量模型中有 8 个观察变量,独特样本矩的个数 =  $8 \times (8 + 1) \div 2 = 36$ 。模型中自由参数个数有 17 个,模型的自由度等于  $36 - 17 = 19$ 。假设模型中若增列估计平均数与截距项,则增列参数卷标名称的假设模型如图 1-10,外因潜在变量及误差项的平均数界定为 0。

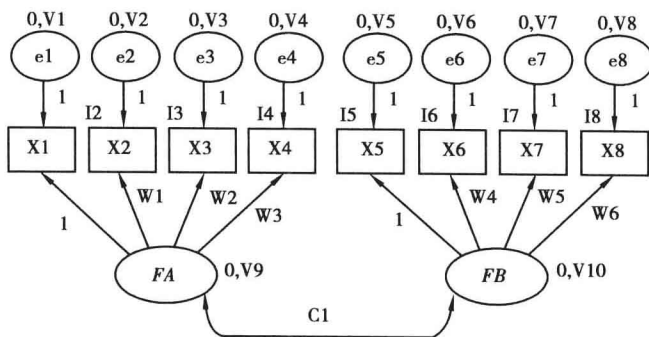


图 1-10 两个因素构念的 CFA 假设模型图

表 1-2 Parameter summary (Group number 1)

	Weights (路径系数)	Covariances (协方差)	Variances (方差)	Means (平均数)	Intercepts (截距项)	Total (总和)
Fixed(固定参数)	10	0	0	0	0	10
Labeled (有参数标签的自由参数)	6	1	10	0	8	25
Unlabeled (无参数标签的自由参数)	0	0	0	0	0	0
Total(总和)	16	1	10	0	8	25

增列估计平均数与截距项的参数摘要表显示,固定路径系数有 10 个,自由参数有 25 个,25 个被估计的参数都有增列参数标签,其中包括 6 个路径系数(W1 至 W6)、1 个协方差(C1)、10 个方差(V1 至 V10)、8 个截距项/常数项(11 至 18),模型中所有参数总和为 10 + 25 = 35。

Notes for Model(预设模型)【模型批注】

Computation of degrees of freedom(预设模型)【模型自由度的计算】

Number of distinct sample moments:44

Number of distinct parameters to be estimated:25

Degrees of freedom(44 - 25):19

模型中初始数据点个数为  $p \times (p + 1) \div 2 = 8 \times (8 + 1) \div 2 = 36$ ,因为增列估计平均数,所以独特样本矩的个数为初始数据点个数加上平均数个数 = 36 + 8 = 44,模型中被估计的独特参数个数(自由参数)为 25,模型的自由度为 44 - 25 = 19。模型的自由度大小与模型精简情形有关,当模型自由度愈大,表示模型愈简约;相对地,模型自由度愈小,表示模型愈复杂。如果模型的自由度为负值,表示假设模型无法识别,此时,模型中的所有参数均无法估计,当然模型的卡方值也无法计算。CFA 程序中,因素构念预测测量变量,表示潜在变量对测量变量有直接影响,由于测量变量无法百分之百反映其潜在变量,因而潜在变量无法完全解释测量变量的变异量,因素构念对测量变量无法解释的变异量称为测量误差或测量残差项(residual)。测量变量与因素构念间关系模型称为



“测量模型”(measurement model),每个测量模型均会有一个潜在构念及数个测量变量,将每个测量模型加以组合,即成为一个完整的测量模型。多因素测量模型表示有两个以上的因素构念(潜在变量),这些因素构念间如果没有相关,表示因素构念为直交模型,如果因素构念间有共变关系,表示因素构念为斜交模型,结构模型(structural model)是潜在变量(因素构念)间因果关系的探究。

传统上所探究的因素分析(factor analysis)是探索性因素分析(EFA),EFA是一种数据导向技巧(data-driven technique),CFA则是一种实质的理论导向与期望经验法则取向,在本质上,EFA和CFA的理论观点与数学模型是有区别的。CFA是以一合理的理论模型来描述与解释实际数据,模型的建构必须根据之前数据结构的信息或相关的理论,研究者建构的模型必须是有根据的,如经由探索性因素分析而得,或经由理论文献归纳而来等。CFA模型中每个指标变量被限制只能反映到一个或少数几个潜在构念(因素)(每个变量通常只在一个因素构念上有因素负荷量),EFA模型每个指标变量均反映到所有的潜在构念(因素)(每个变量在所有的因素构念均有一个因素负荷量)。

SEM模型估计输出结果要介绍使用的软件及模型估计方法,因为不同的软件程序所提供的信息并非完全相同,有些软件只适用于连续或离散观察数据,选用的模型估计方法会受到样本大小、数据分布正态性与误差独立性的影响。最后模型分析的重点应在于假设模型变量间关系的系数显著性检验以及假设模型(hypothesized model)是否适配于观察数据(observed data),此外残差值的检验也是模型适配的另一个重要指标,适配的残差矩阵为假设模型推导而得的总体协方差矩阵 $\Sigma(\theta)$ (或以符号 $\hat{\Sigma}$ 表示)与样本数据计算而得的协方差矩阵 $S$ 的差异值,残差矩阵元素的差异值愈小,表示假设模型与观察数据愈适配,将残差值进行标准化转换后的数值称为“标准化残差”(standardized residuals),一般而言,当标准化残差值的绝对值大于2.58,表示标准化残差值显著的较大。模型路径系数的显著性检验包括结构模型中的路径系数与测量模型的路径系数,前者表示的是外因潜在构念(latent construct)对内因潜在构念的影响,或内因潜在构念对内因潜在构念的影响;后者表示潜在构念对观察变量的直接影响(CFA中的路径系数为因素负荷量),路径系数显著性的检验通常借由统计量 $t$ 值或 $z$ 值来评估,除提供路径系数显著性数据外,也应提供系数的标准误(standard errors)。

### 第三节 模型适配度的评估

探索性因素(EFA)分析程序采用相关矩阵将观察变量加以分组,同一群组中的观察变量相关较为密切,这些观察变量反映的潜在特质即为因素构念;CFA则使用样本的协方差矩阵进行模型参数估计,CFA提供的是待估计无结构化总体协方差矩阵与待估计结构化总体协方差矩阵的比较检验,样本协方差矩阵常作为无结构化总体协方差矩阵的参数估计值,而假设模型则作为待估计结构化总体协方差矩阵参数估计值,因而CFA模型适合度的检验即检验假设模型(结构化总体的估计值)导出的协方差矩阵与样本数据(无结构化总体的估计值)得到的协方差矩阵间的差异程度,若是二者的差异值愈小,表示假设模型与样本数据可以契合或适配(fit)(吴明隆,2009)。

CFA技巧的使用在于比较数据的实证化协方差矩阵(估计未结构化总体协方差矩阵