

圖解式結構方程模式軟體 AMOS 之 簡介與應用

李茂能

嘉義大學國民教育研究所教授

摘 要

本文企圖透過 AMOS 的圖解式功能，導引讀者進入線性結構方程的學術殿堂。文首，簡介了線性結構方程的理論與參數估計之流程。文中，利用驗證性因素分析、徑路分析與共變數分析的實例，示範 AMOS 的解法，顯示出使用者僅需畫出徑路圖，其餘則交給 AMOS。文末，簡略說明了：AMOS 的參數估計方法、AMOS 程式出錯原因與除錯方法、SEM 模式的辨識與適合度指標、與其應用上的應注意事項。

關鍵詞：線性結構方程、AMOS、驗證性因素分析、徑路分析、共變數分析

結構方程模式已是目前國內外資料分析界的顯學，討論或使用它的國外文獻可謂汗牛充棟(參見 PsycINFO 或 EBSCOHost 等線上資料庫)。國內教育界當推林清山(1984)於測驗年刊，首度推介線性結構關係(LISREL)電腦程式的理論與應用。至今 20 餘年間，出現過數篇介紹線性結構或結構方程模式的文章(姚開屏，1993；邱皓政，1997；葉美玲、高美玲，1998；高美玲、葉美玲，1998；馬信行，1999)及一本專書(黃芳銘，2002)。應用線性結構或結構方程模式進行研究的論文亦不在少數(參見國內期刊及博、碩士論文資料庫)，涵蓋的面亦甚廣(普及各個專業)。這些論文使用結構方程模式之主要的目的有二：第一、考驗理論模式(test of theory)，第二、考驗測量工具的建構信度(construct reliability)或因素結構效度(validity of factorial structures)。雖然結構方程模式是繼 GLM(general linear model)模式之後，統計功能更強、更全的多變項統計模式，但由於其數理運作的複雜度常非一般使用者所能理解，導致應用過程中常遭遇到許多頭痛的程式撰寫及程式除錯的問題。常見程式出錯的問題有：模式不可辨識、參數估計的問題、多元共線性問題、非正定矩陣、適合度的問題、模式修正的問題(馬信行，1999)。為了讓一般測驗工具的編製者免除撰寫結構方程程式，本文將透過幾個測驗統計的實例，介紹一個像傻瓜相機的視窗版統計軟體 AMOS4.0。文末，並系統整理出一些該程式出錯可能原因，讓您輕鬆 DIY 除錯的方法。

一、結構方程模式簡介

結構方程模式(Structural Equation Models, 簡稱 SEM)，早期稱為線性結構方程模式(Linear Structural Relationships, 簡稱 LISREL)或稱為共變數結構分析(Covariance Structure Analysis)。其實 SEM 亦可以處理如 ANOVA & MANOVA 的平均數結構分析(蔡坤宏，1994；Bollen, 1989；Kline, 1998 & 2000)，可說是一種真正在分析變異數與共變數的全功能的統計方法(傳統的變異數分析旨在分析平均數間之差異)，但主要目的在於考驗潛在變項(Latent variables)與外顯變項(Manifest variable, 又稱觀察變項)之關係，此種關係猶如古典測驗理論中真分數(true score)與實得分數(observed score)之關係。它結合了因素分析(factor analysis)與路徑分析(path analysis)，包涵測量與結構模式。測量模式旨在建立測量指標與潛在變項間之關係，主要透過驗證性因素分析以考驗測量模式的效度；而結構模式旨在考驗潛在變項間之因果路徑關係，主要針對潛在變項進行徑路分析，以考驗結構模式的適配性(參見圖 1)。



圖 1 結構方程的兩大模式

根據圖 1，一個完全的結構方程模式，其基本統計工作步驟含有：建構理論導向的因果關係、建構該模式的徑路圖、將徑路圖轉化成測量與結構模式(方程式)、選定輸入資料型態與進行模式之估計、結構模式辨識性之評估、適合度指標的評鑑與模式的解釋與修正。一般在考驗理論模式時，才使用到此完整模式。使用完整模式時，邏輯上最好先確認測量模式的效度，再進行結構模式的驗證。如僅在考驗測量工具的建構信度 (construct reliability) 或因素結構效度，則只需進行測量模式的驗證，亦即驗證性的因素分析。上述統計工作核心為結構方程式的參數估計，其疊代的演算過程甚為繁複，所幸目前全靠電腦去執行，一般研究者只需知道基本流程即可。

二、結構方程模式的參數估計流程

參數估計方法旨在分析觀察變項的共變數矩陣與結構參數間的關係。理論上，假如結構方程模式正確及母群參數已知時，母群共變數矩陣 (Σ) 會等於理論隱含的共變數矩陣 [$\Sigma(\theta)$]，根據回歸方程式中的參數所重組之共變數矩陣，亦即 $\Sigma = \Sigma(\theta)$ ，式中 θ 向量包含模式中所有待估計的參數，例如 $\theta = \{\Lambda, \Phi, \Theta\}$ 。不過，通常母群之變異數與共變數的參數並不知道，需以樣本估計值 ($\hat{\theta}$) 取代之。因此，實際上，結構方程模式中的參數通常依下列程序估計之：

- (1) 規劃測量模式與結構模式中之自由參數，
- (2) 選定參數矩陣的估計值 ($\hat{\theta}$)，代入隱含的共變數矩陣 [$\Sigma(\hat{\theta})$] 中，
- (3) 比較理論隱含的共變數矩陣與觀察資料之共變數矩陣 (S)，
- (4) 採疊代法極小化上述兩大矩陣之殘差矩陣 [$S - \Sigma(\hat{\theta})$]，
- (5) 透過極小化適配函數 (如 ML, GLS, ADF, ULS, SLS) 評估 $S - \Sigma(\hat{\theta})$ ，並計算適配函數值 (F)，當前後兩次的適配函數值之差小於聚斂標準，則終止估計。

前述適配函數值係利用差距函數： $F = (s-\sigma)'W(s-\sigma)$ 計算而得。式中 s 是觀察共變數矩陣 S 中不重複的變異數與共變數，所形成的向量。 σ 是隱含共變數矩陣 $\Sigma(\hat{\theta})$ 中不重複的變異數與共變數，所形成的向量。 W 是校正加權矩陣，不同 W 會形成不同的適配函數(林世華，2000)。例如，若觀察變項呈多變項常態性，則 $F=1/2 \text{ trace}[V(S-\Sigma(\hat{\theta}))^2]$ 。當 $V=I$ 時， F 為 ULS 適配函數；當 $V=S^{-1}$ 時， F 為 GLS 適配函數；當 $V=\Sigma^{-1}(\hat{\theta})$ 時， F 為 ML 適配函數；當 $V=(\text{diag}(S))^{-1}$ 時， F 為 SLS(scale-free least square)適配函數。

此時電腦會根據所獲得的最小適配函數值，進行 χ^2 考驗(計算公式為： $\chi^2=(N-1)*F$ ， $df=(p+q)(p+q+1)/2-t$ ， p 與 q 為觀察變項數(含自變項與依變項)， t 為待估計的參數數目)。一般研究者，均不希望 χ^2 考驗結果達到統計上之顯著水準，以便接納虛無假設： $S=\Sigma(\hat{\theta})$ ，亦即希望所提的理論模式與觀察資料可以適配，而不是推翻它。

三、結構方程模式的統計分析軟體

常用 SEM 分析軟體有 LISREL, EQS, PROC CALIS。LISREL 原先亦可搭配於 SPSS 上使用。最近 SPSS 已改搭配圖像式 AMOS 軟體(由美國 SmallWaters 公司發行)，它係 Analysis of Moment Structure 之簡稱，旨在分析平均數與共變數結構而得名，亦在處理 SEM 的問題。本文將介紹 AMOS4.0，係由 Arbuckle 與 Worthke(1999)所研發的最新版軟體，係搭配 Microsoft 視窗而開發的軟體。本軟體兩大運作模式：一為圖解式 AMOS，一為 Basic 語法式 AMOS。語法式 AMOS 較具彈性、適合於大型模式之分析及允許操控輸出結果，但需撰寫語法程式。圖解式 AMOS 最大的優點在於其路徑圖的圖形使用者介面，免去傳統一般 DOS 軟體撰寫程式的繁瑣與迷惑。使用者只要利用它所提供的 60 餘個繪圖工具(參見圖 3)，將待驗證的理論模式繪製於徑路圖介面上即可(參見圖 2)，AMOS 程式就可自動轉化為相關的聯立方程式，供其參數估計與統計考驗，無須顧及八大矩陣與程式語法等問題。因此，本文將只簡介圖解式 AMOS 的基本運作，作為研究 SEM 的敲門磚。讀者可至 SmallWaters 公司網頁(<http://www.smallwaters.com>)下載其免費的學生版軟體，試跑一下即知 AMOS 的可愛處：輕鬆讓 SEM 成為一般研究者資料分析桌上的家常菜，而非無法下嚥的統計專家私房菜。

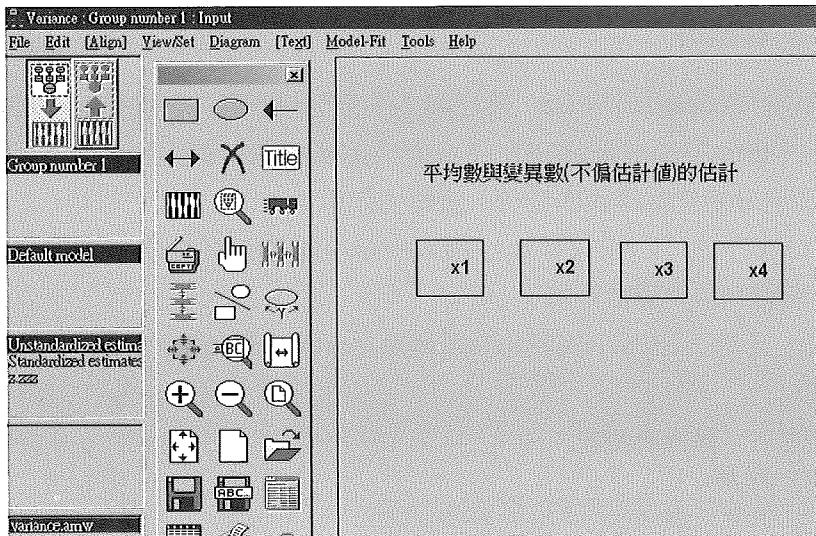


圖2 AMOS 的圖解式介面

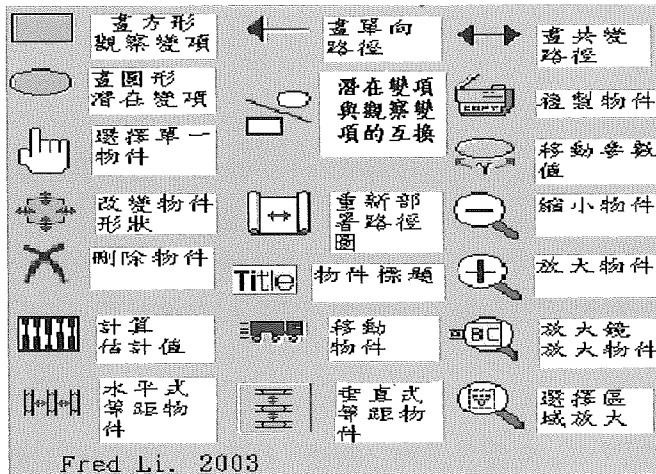


圖3 AMOS 徑路圖繪製工具例子

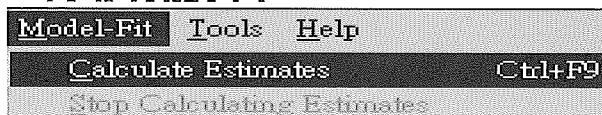
研究者可利用滑鼠點選圖 3 中的圖像，在徑路圖繪製區進行徑路圖設計或顯示相關的統計分析等等功能。因為介面空間之限制，AMOS 的繪圖工具通常不會全部載入於使用者介面中，如需載入更多的工具按鈕可至功能表單『Tools』中，利用『Move Tools』載入所需的工具按鈕。

四、AMOS 的基本操作

AMOS 的圖解式介面(Graphic Mode, 參見圖 2)主要分成三區：最左側為分析結果與檔案顯示控制區、中間為工具按鈕顯示區、最右側為徑路圖設計與編輯區或分析結果顯示區。AMOS 的資料分析之基本操作步驟，茲簡述如下：

1. 利用 AMOS 『FILE』下之 『DATA FILES』讀入相關矩陣(需加列標準差)或原始資料(參見圖 4a & 4b 與圖 5)或共變數矩陣，
2. 按 AMOS 『FILE』下之 『NEW』與利用其所提供之 ICONS，根據理論於徑路圖設計區繪製徑路圖，
3. 接著即可執行 AMOS，執行方法有二：

I. 利用功能表單



II. 利用下列ICON



使用者可以點選功能表單『Model-Fit』下之『Calculate Estimates』或按下計算器的Icon 即可執行統計分析。AMOS 可以讀入三種資料檔案，需要在此稍作說明。AMOS 可以讀入相關矩陣或共變數矩陣與原始資料。因此，研究者可以利用一般文書處理軟體建立純文字檔或使用 SPSS 等統計軟體建立資料分析檔案，以供 AMOS 呼叫。茲分別圖示說明如下：

1. 利用一般文書處理軟體建立純文字檔

當使用純文字檔建檔時，需以『，』隔開各變項之數據，且第一行需列出變項的名稱。從第二行開始，依序輸入各變項的數據如圖 4a。

```
ID, AGE, MATH, SCIENCE, CHINESE
1, 12, 90, 80, 95
2, 11, 65, 70, 80
3, 10, 87, 88, 92
4, 12, 66, 78, 80
5, 9, 68, 75, 66
```

圖 4a 純文字檔之輸入格式

2. 使用 SPSS 資料編輯器建立資料檔案

	rowtype_	varname_	form1	form2	form3	form4
1	n		60.00	60.00	60.00	60.00
2	corr	FORM1	1.00	.	.	.
3	corr	FORM2	.29	1.00	.	.
4	corr	FORM3	.39	.30	1.00	.
5	corr	FORM4	.50	.42	.52	1.00
6	stddev		1.90	2.10	1.75	2.00
7	mean		2.00	2.50	1.90	2.20

圖 4b SPSS 相關矩陣之輸入

圖 4b 係利用 SPSS 資料編輯器，輸入相關矩陣的建檔方式(注意需輸入各變項的標準差，AMOS 方能將之轉成共變數矩陣)，如所輸入的資料如為共變數矩陣時，需把 rowtype_ 變項下的 corr 改成 cov 即可。rowtype_ 變項下的 stddev 與 mean 在進行平均數結構分析時才需用到，研究者如只需進行共變數結構分析可省略。一般使用共變數矩陣進行資料分析時，比較適合於進行不同母群或樣本間之比較(具推論性)，但不易解釋所得結果(因每一建構的測量單位不同)、進行理論的考驗(test of theory)及驗證因果關係。而使用相關矩陣進行資料分析時，(如遇次序性或名義有變項時，請使用 tetrachoric or polychoric 相關矩陣，再利用 ADF 法進行估計)，比較適於模式內係數間之比較，與探究關係組型(patterns of relationships)，如利用 CFA 進行不同變項間相對重要性之比較(Hair, Anderson, Tatham, & Black, 1998)。

3. 使用 SPSS 資料編輯器讀入原始資料

圖解式結構方程模式軟體 AMOS 之簡介與應用

	subject	age	v_short	vocab
1	1.00	65.00	12.00	72.00
2	2.00	68.00	14.00	77.00
3	3.00	64.00	14.00	74.00
4	4.00	77.00	13.00	74.00
5	5.00	72.00	6.00	46.00
6	6.00	75.00	14.00	77.00

圖 5 SPSS 原始資料矩陣之輸入格式

圖 5 係 SPSS 資料編輯器，建立原始資料檔案的格式，利用此檔案格式可進行平均數或共變數結構分析。當上述資料分析檔案建立後，按下 AMOS 『FILE』 下之 『DATA FILES』，出現圖 6 之視窗後，點選『File Name』讀入如 SPSS 資料編輯器所建檔的資料。當待分析的資料檔名稱出現在視窗之中，即表示 AMOS 已可將徑路圖與此資料檔相互連接。此後，如欲查看所連結的 SPSS 檔案內容，可按下圖 6 『Data Files』視窗中之『View Data』查看。

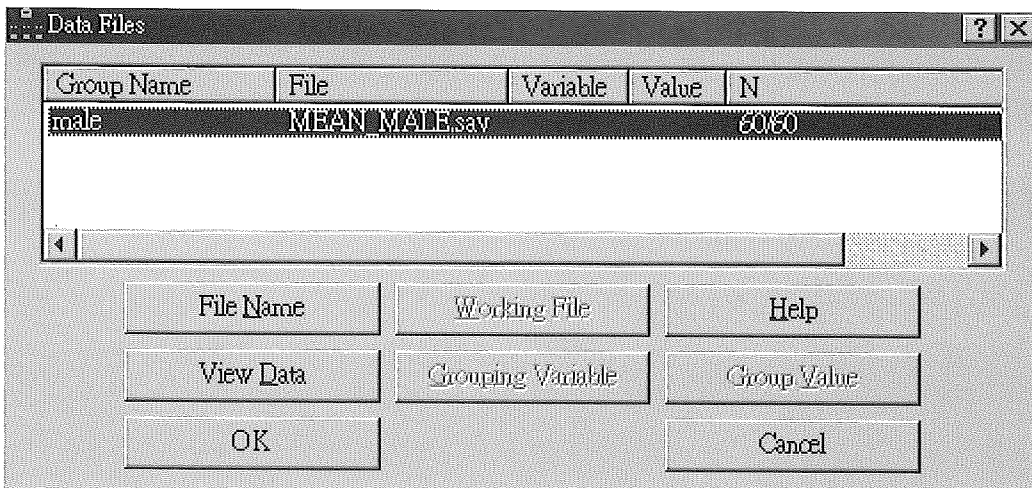
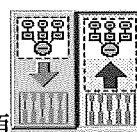


圖 6 資料檔呼叫視窗

以下將分四節就教育與心理研究中常用的統計分析為例子，導引讀者熟練 AMOS 的使用方法，盼此趟作中學之旅，您能快速體會 AMOS 繪圖工具繪製徑路圖的方法、學會資料的建檔與呼叫方法、學會執行 AMOS 的方法、並學會查看輸出報表、徑路係數圖與檢驗測量工具的信效度等等。第一節為平均數與變異數的估計，第二節為測驗工具的同質性分析，第三節為回歸分析與徑路分析，第四節為共變數分析。

(一)估計觀察變項之平均數與變異數

事實上，在共變數結構分析中並不需使用到平均數的資訊。筆者只是希望透過大家最熟悉的平均數與變異數，介紹 AMOS 的操作方法。資料係取自林清山(1993)心理與教育統計學中，變異數同質性考驗的例子(P. 333)。首先，利用 AMOS 的繪圖工具『長方形』(參見圖 3)，在徑路圖框內製作 4 個長方形圖框，代表觀察變項 X1, X2, X3, X4。圖 2 中的四個變項間並無任何因果或共變關係的徑路設計(無單向→或雙向↔箭頭直線之連接)，表示四個變項間各自獨立無關，假如變項間連接有單向→或雙向↔箭頭，即可估計變項間之相關係數與共變數。使用滑鼠於長方形圖框上，按兩下打開該物件之屬性(object properties)視窗，進行變項名稱、文字顏色、與格式之設定。並使用 AMOS 的繪圖工具『Title』，在徑路圖框內製作標題。如欲顯示各個變項的平均數則需另外打開分析視窗(Analysis Properties，在 View/Set 功能表單之下)，按『Estimation』一下，在打開的視窗中點選『Estimate Means and Intercept』，並在 Bias 表單下點選『Unbiased』，以便使用不偏共變數進行分析。最後，點選『Model-Fit』功能表單之下的『Calculate Estimates』(或按下工具列中的計估計值圖像，參見圖 2)，即可依指示進行平均數與變異數的估計。



AMOS 於執行指令完畢後，可利用左上角這兩個圖項，在徑路圖設計階段與估計結束階段間之互換。按下第一個圖像可回到徑路圖設計，當程式設計無誤的話，按下第二個圖像可顯示變項估計值(參見圖 7)。研究者亦可在 View/Set 功能表單之下，點選『Test Output』或『Table Output』(參見圖 8)，查看更詳細的統計分析結果。利用圖 8 上方的功能表單，讀者不難發現研究者可以輕鬆完成小數位數的設定、數值大小的排序與列印結果等等。

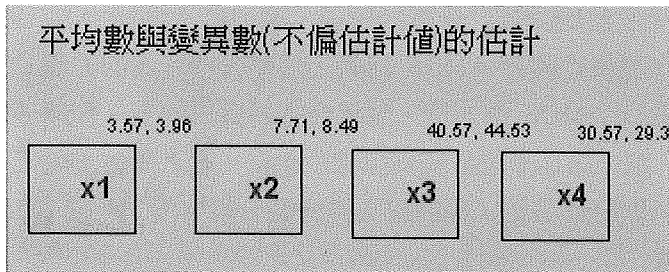


圖 7 平均數與變異數的估計值

由圖 7 或圖 8 知，四個變項的平均數分別為：3.57, 7.71, 40.57, 30.57，而變異數的母群不偏估計值分別為：3.96, 8.49, 44.53, 29.30。研究者如欲將估計值排序，需先用滑鼠選擇排序區塊後按排序按鈕，如欲增刪小數位數，點選小數位數即可。研究者如欲將徑路圖輸出，請按 EDIT 下之『COPY』按鈕，即可輸出徑路圖形於剪貼簿中，供其它軟體作圖文整合之用。

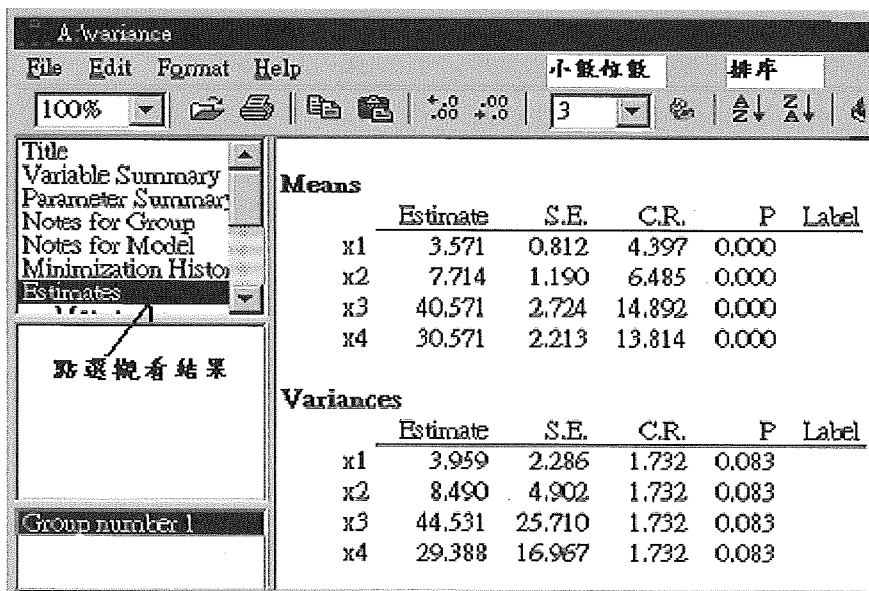


圖 8 統計結果輸出報表視窗

(二) 進行測驗工具的同質性分析

測驗工具的信、效度考驗在教育與心理研究上，是建立量化工具的基本例行工作。

以下將以男女性氣質量表為例(引自表 2, Kline, 2000)說明測驗工具的同質性分析, 該量表含有四個交替測驗(alternative forms, 國內測驗界又稱為複本測驗), 受試者為 60 對男女青年。該表原始資料重製如表 1。為避免統計分析的錯誤(理由第六節中後敘), AMOS 會根據表 1 的相關係數與標準差, 重新建立共變數矩陣, 再進行統計分析。

表 1

四個男女性氣質交替測驗的平均數、標準差與相關係數(N=60)

交替測驗	1	2	3	4
1	1.00	.50	.39	.45
2	.29	1.00	.46	.50
3	.39	.30	1.00	.50
4	.50	.42	.52	1.00
女性平均數	4.25	3.75	2.90	3.20
女性標準差	2.30	2.00	2.20	1.90
男性平均數	2.00	2.50	1.90	2.20
男性標準差	1.90	2.10	1.75	2.00

註: 相關矩陣中上三角為女性資料, 下三角為男性資料。

假設研究者希望了解(1)這四個交替測驗是否都在測一共同因素: 男女性氣質 (congeneric tests)? (2)這四個交替測驗是否為 τ -等值測驗(τ -equivalent tests)? (3)這四個交替測驗是否為平行測驗(parallel tests)? (4)除了均為測一共同因素的平行測驗之外, 這四個交替測驗的平均數是否相等? (5)上述這些屬性的組型, 在男女生間是否相同? 那麼, 進行線性結構的平均數結構分析, 當是有效分析途徑之一。以下將以 AMOS4.0 為分析工具, 主要利用表 1 男性資料為例(參見表 1 或圖 4b 之 SPSS 檔案內容), 逐一扼要分析說明如下。

1. 同質性或單向度測驗的考驗

欲了解這四個交替測驗是否為同質性測驗(a congeneric test), 研究者可以利用驗證性

圖解式結構方程模式軟體 AMOS 之簡介與應用

因素分析回答這一個問題。假如發現這四個交替測驗雖測量單位與信度不同，但均在測量一個共同因素(a common factor)，那麼這四個交替測驗即可視為同質性測驗，亦即都有相同的真分數($T_1=T_2=T_3=T_4$)，但因素負荷量($w_1 \neq w_2 \neq w_3 \neq w_4$)與測量誤差的標準差均不相等 ($\delta_{d1} \neq \delta_{d2} \neq \delta_{d3} \neq \delta_{d4}$ ，參見 P.208, Bollen, 1989)。研究者根據此一假設，繪製如圖 9 之男性樣本之徑路圖，其中 Form1~Form4 為觀察變項以方形表示之，而 Personality 為潛在變項以圓形表示之。在 SEM 的徑路圖設計中，潛在變項可視為因，觀察變項可視為果，因此箭頭均由因指向果。同時，點選分析視窗(Analysis Properties，在 View/Set 功能表單之下)，按『Estimation』一下，在打開的視窗中點選『Estimate Means and Intercept』，以便設定四個分測驗的截距(intercepts)：int1~int4。此徑路圖的基本假設為：

- (1)已標出所有重要因果關係，
- (2)測量誤差互為獨立，
- (3)僅存在線性因果關係。

圖 9 中左側的徑路圖知，因為此四個分測驗均在測同一特質，其徑路係數均固定為 f1，以表示 $T_1=T_2=T_3=T_4$ 。在 AMOS 中，徑路係數給予相同名稱，即表示研究者希望對這些係數作相等之設定。注意，圖 9 左側之徑路圖設計可以簡化如右側之徑路圖設計。

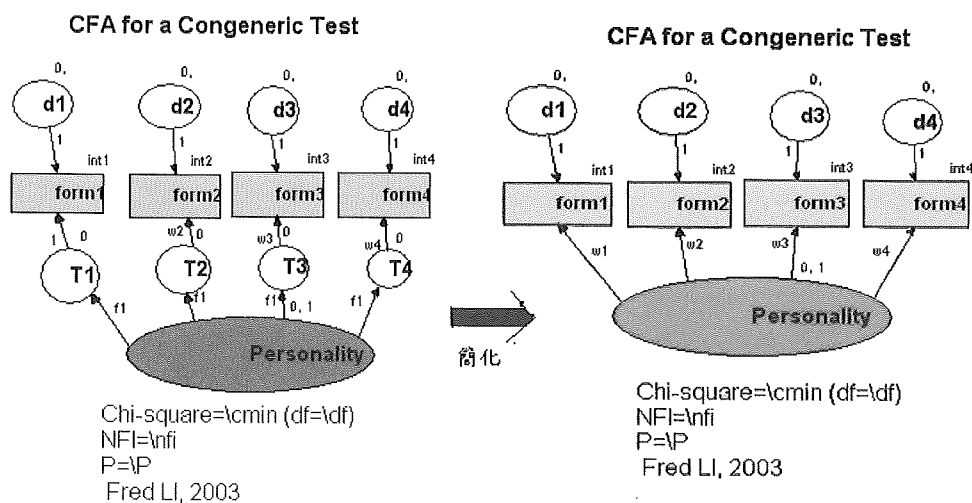


圖 9 四個交替測驗與潛在變項間之徑路設計圖

右側圖 9 中，四個『長方形』代表觀察變項或外顯變項(*manifest variables*)：四個交替測驗，底下『圓形』代表潛在變項(*Latent variables*)，係無法觀察得到之概念或構念：

男、女性氣質，僅能由測量指標(indicators)估計之。圖上方的四個『圓形』代表四個交替測驗的測量誤差，亦為無法觀察得到之概念，其徑路係數需設定為 1，平均數設定為 0，否則會造成不可辨識的模式(underidentified models)，因而無解。為估計所有 W1~W4 等四個因素負荷量，需將潛在變項的變異數設定為 1，潛在變項的平均數設定為 0(不進行因素分數之估計)。依此測量模式，本徑路圖含有 12 個參數(四個測量誤差、四個測量指標截距與四個因素負荷量)等待估計。本研究含有四個觀察變項，共有 14 個觀察值(=4*7/2)，等於四個平均數、四個變異數與六個共變數(如僅為共變數結構時，則共有 4*5/2(=10)個觀察值)。因此本模式的自由度為 2(=14-12)。當模式的自由度大於 0 時，該模式為過度辨識(overidentified)，即資料矩陣所擁有的資訊比待估計的參數量為多。此時研究者企圖在最大的自由度之下(最簡潔),以求滿意的適配性。假如模式中每一未知參數均有一最適值(optimal value),則該模式為可辨識。假如該模式為可辨識，通常其最大可能性疊代解法為可聚斂，即可得到一最佳解(optimal solution)，此參數估計值為該資料的最適配值。

原始資料與徑路圖互相連結之後，根據第四節 AMOS 的操作步驟，即可得到圖 10 中的分析結果($\chi^2=.062, df=2, P=.97, NFI=1.0$)，此項分析結果，如須一併顯示於徑路圖中，請於徑路圖中加註如圖 9 下端三行之控制指令，以便輸出 χ^2 統計分析結果，否則就必須呼叫圖 8 之統計結果輸出視窗。由此結果，前述所提出之模式與資料很適配，顯見四個替代測驗均在測量同一因素：它們為同質性測驗。此圖可利用 AMOS 功能表單 Edit 下之『Copy』指令複製到 Windows 剪貼簿中，以供圖文整合之用。Personality 因素與 Form1~Form4 間之因素負荷量，亦稱為未標準化的回歸係數。研究者如欲獲得標準化的回歸係數，可點選圖 2 視窗左側『Standardized estimates』，AMOS 即會將標準化係數一併顯示於徑路圖中(參見圖 11)。

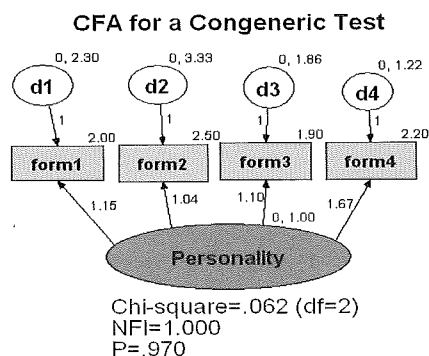


圖 10 未標準化的徑路係數與考驗結果

圖解式結構方程模式軟體 AMOS 之簡介與應用

此模式亦可用來分析測驗題目是否為測量單一向度的題目，尤其在項目反應理論 (IRT) 中，常需要求測驗題庫為單一向度的題庫。至於檢定潛在變項的信度，可以 SEM 本身所建構之建構信度 (construct reliability) 表示該因子之信度，參見下列公式一與二。可惜，AMOS 尚未自動提供此建構信度，讀者可上網至

<http://mkorchia.free.fr/sem/sem-stats.xls> 下載免費軟體，計算建構信度與平均變異抽取量 (Korchia, 2001)。根據圖 11 的標準化的徑路係數 (.60, .50, .63, .83)，利用此軟體計算該因素之建構信度與平均變異抽取量，所得之結果分別為：.74 與 .424。此因素信度 .74 差強人意，但平均變異抽取量 42.4% 則偏低。由圖 11 亦知，personality 這個因素分別可以解釋 Form1~Form4 總變異量的 36%，25%，39%，70% (可作為這四個測驗的信度估計值，係標準化徑路係數的平方值)，足見 Form1~Form3 並不能有效反映 personality 這個因素，因而導致平均變異抽取量偏低。

$$\text{建構信度} = \frac{(\sum \text{standardized loading})^2}{(\sum \text{standardized loading})^2 + \sum \epsilon_j}$$

$\epsilon_j = 1 - \text{指標信度} = 1 - (\text{指標之標準化負荷係數})^2$ 公式一

$$\text{變異抽取百分比} = \frac{\sum (\text{standardized loadings}^2)}{\sum (\text{standardized loadings}^2) + \sum \epsilon_j}$$

..... 公式二

一般來說，因素建構信度最好大於 .70，而平均變異抽取量最好大於 .50。注意建構信度與平均變異抽取量通常具有密切相關，建構信度會大於平均變異抽取百分比。但有時，一個具有高信度的量表亦可能產生很低的平均變異抽取百分比。例如，有時刪去一些不佳題目以提高信度，但卻降低平均變異抽取量 (因為內容效度可能遭到破壞)。因此，測驗編製者通常需在此兩者之間取得一平衡點。

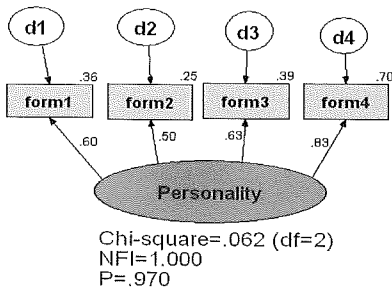


圖 11 標準化的徑路係數與考驗結果

另外，由圖 11 的標準化的徑路係數：.60, .50, .63, .83，亦反映出這四個交替測驗的聚斂效度(convergent validity)並不很理想。

2. τ -等值測驗的考驗

假如這四個交替測驗擁有相同的真分數與相同的因素負荷量(測量單位相同)，但其測量誤差的變異數不相等，謂之 τ -等值測驗。因此，需要再對因素負荷量限制為相同(亦即使用相同量尺，限制方法為均設定為 w_1 ，參見圖 12)，其它之徑路係數設定與前例完全相同。

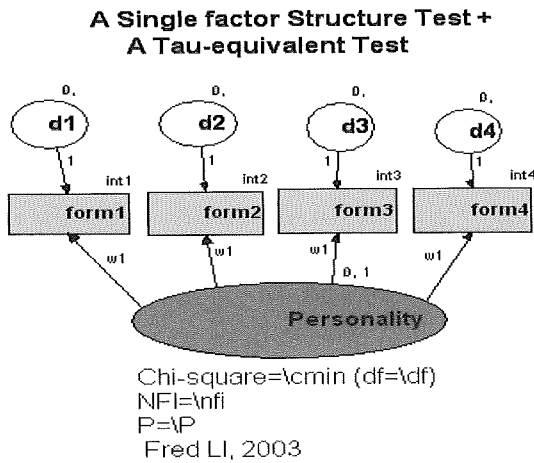


圖 12 四個 τ -等值測驗的考驗之徑路圖設計

使用者點選功能表單『Model-Fit』下之『Calculate Estimates』或按下計算器的 Icon 後，即可獲得如圖 13 之統計分析結果($\chi^2=3.815, df=5, P=.576, NFI=.984$)。本模式比前例少估計 3 個因素負荷量，因此自由度 df 增為 5。由此結果，前述所提出之模式與資料很適配，顯見四個替代測驗不僅在測量同一共同因素，而且為 τ -等值測驗。

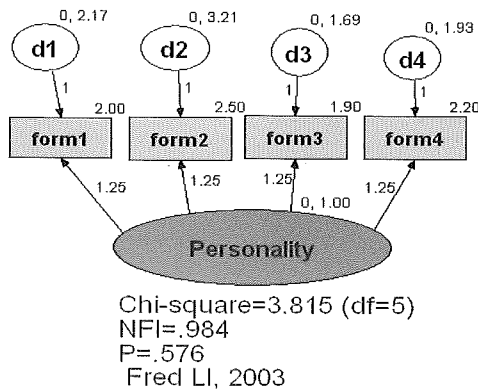


圖 13 四個 τ -等值測驗的考驗之結果

3. 平行測驗的考驗

當這四個交替測驗的真分數、因素負荷量與測量誤差的變異數均相等，謂之平行測驗(參見 P.208, Bollen, 1989)。因此，需要額外再對測量誤差的變異數限制為相同(亦即均設定為 v_1)，其它之徑路係數設定與前例完全相同(參見圖 14)。依此測量模式，本徑路圖含有 6 個參數(一個測量誤差、四個測量指標截距與一個因素負荷量)等待估計。本研究含有四個觀察變項，共有 14 個觀察值($4 \times 7/2$)，等於四個平均數、四個變異數與六個共變數(如僅為共變數結構時，則共有 $4 \times 5/2 (=10)$ 個觀察值)。因此本模式的自由度為 $8 (=14-6)$ ，為可辨識之模式。

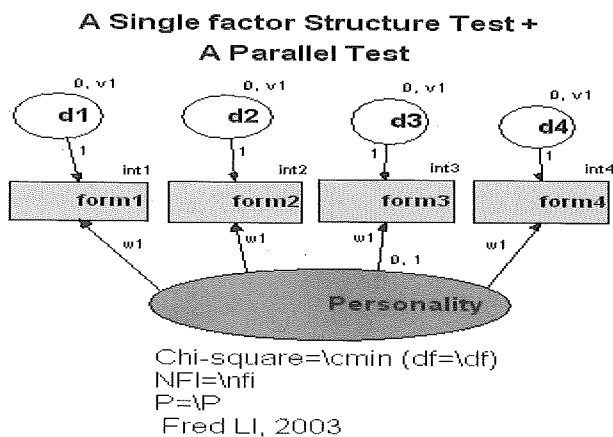


圖 14 四個平行測驗考驗之徑路設計圖

本模式經 AMOS 統計分析，結果為： $\chi^2=8.266, df=8, P=.408, NFI=.965$ 。由此結果知，前述所提出之模式與資料很適配，顯見四個替代測驗不僅在測量同一共同因素，而且為平行測驗。為節省篇幅，相關之徑路係數圖從略。

4. 平行測驗平均數相等的考驗

在 SEM 的共變數分析中並未使用到平均數相等的考驗，因此所有觀察與潛在變項的平均數均設定為 0。如欲估計這些平均數，研究者可以增加一平均數結構到共變數結構中，即增加一截距參數項(公式 10.1~10.6, Joreskog & Sorbom, 1989)。因此，輸入的資料中需含有平均數與共變數的資訊。在 SEM 中進行平均數的分析，可建置一個 CONST 常數項(設定為 1)當作預測變項，進行觀察變項的回歸分析，此常數項所得的未標準化係數即為觀察變項的平均數(如使用 SPSS 進行回歸分析，模式之截距需設定為 0)。在 AMOS 中，不需建置一個 CONST 常數項，只需點選分析視窗(Analysis Properties，在 View/Set 功能表單之下)，按『Estimation』一下，在打開的視窗中點選『Estimate Means and Intercept』，AMOS 即自動將平均數結構加入共變數結構分析中(參見公式三)。圖 15 之徑路圖意謂著：常數項對於每一指標均只有一個直接效果且 $\kappa=0$ (潛在變項的平均數)，因此其截距(int1)即為平均數(參見公式三)。在本模式中，form1~form4 的截距均設定為相同(變項名稱均為 int1)，即本模式比前例更進一步假定這四個平均數為相等，以便進行平均數相等之統計考驗。

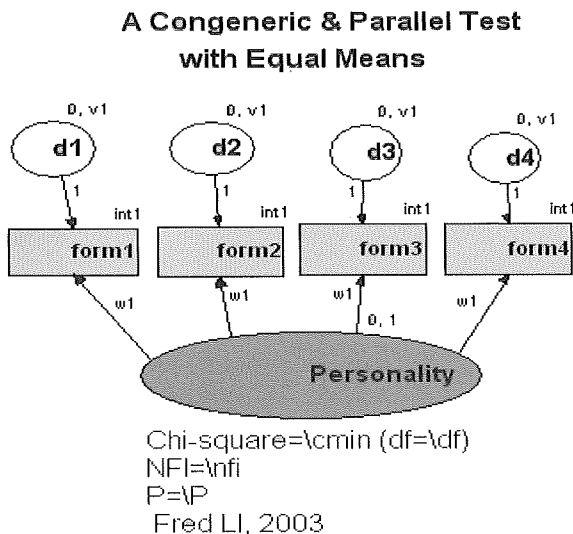


圖 15 四個平行測驗考驗之平均數相等考驗之徑路設計圖

本模式經 AMOS 統計分析，結果顯示： $\chi^2=13.656, df=11, P=.253, NFI=.943$ 。由此結果得知，前述所提出之模式與資料尚適配，顯見四個平行測驗不僅在測量同一共同因素，而且這四個平行測驗的平均數(觀察值分別為 2.0、2.5、1.9、2.2)，在男性樣本上並無顯著不同。

經由前面幾個實例之分析可推知，(一)SEM 加入平均數結構時，其參數估計值可以反映出測量工具的重要屬性。因素負荷量可反映出測量單位或預測力大小，測量的誤差變異量可反映出測量工具的信度或測量誤差，截距則可反映出測量工具的難度或長度，(二)同質性的測驗並不一定是平行測驗或 τ -等值測驗。此外，傳統用來檢驗測驗同質性的統計指標(如 Cronbach α)，並無法反映上述測驗工具的特質。這是使用 SEM 分析測驗特質的優勢地方。

5. 同時進行兩組資料分析

當欲同時分析兩組資料時，在完成第一組資料之設定後，雙擊圖 16 中 Group number 1(位於左側組別欄中)，即會出現 Manage Group 交談框。接著，按 New 自動設定為 Group number2 或設定新組別名稱，接著再與資料檔案相連接(使用 Data Files 連接設定)，以完成兩組資料之徑路設計圖與原始資料的連接設定。欲進行同時進行多組資料分析，以此類推設定。

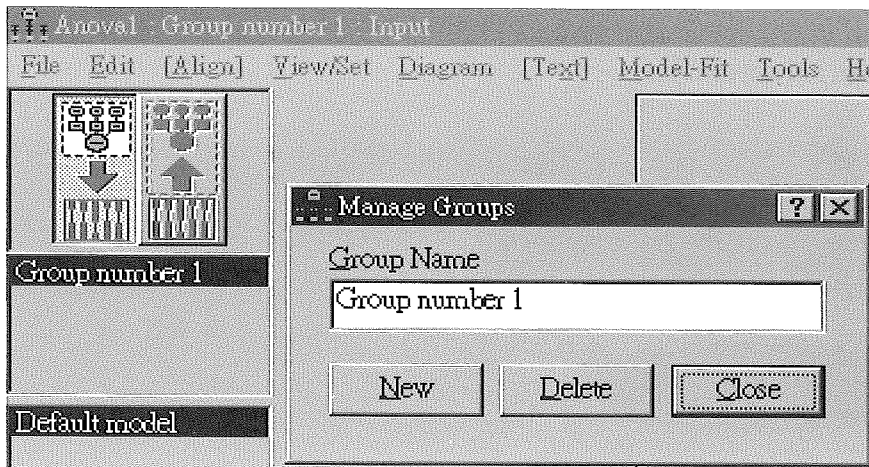


圖 16 多組資料同時分析的設定

例如，欲分析表 1 之男女性在四個交替測驗上的單因素結構與平均數結構時，研究者依前述方法完成第一組男性資料之設定與相關之徑路圖設計後(參見圖 17)，雙擊

Group number 1(位於左側組別欄中)，即會出現 Manage Group 交談框。接著，按 New 自動設定為 Group number2 或設定女性組名稱與相關之徑路圖設計後(參見圖 18)，接著使用 Data Files 與資料檔案相連接，以完成兩組資料之徑路圖與相對應原始資料的連接設定。

男性樣本徑路圖

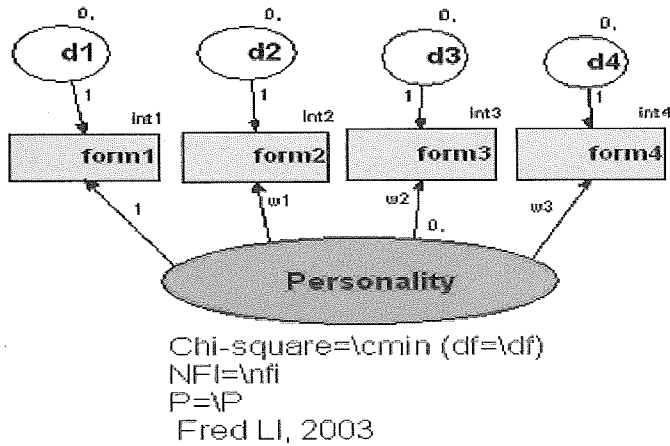


圖 17 男性樣本的徑路圖設計

女性樣本徑路圖

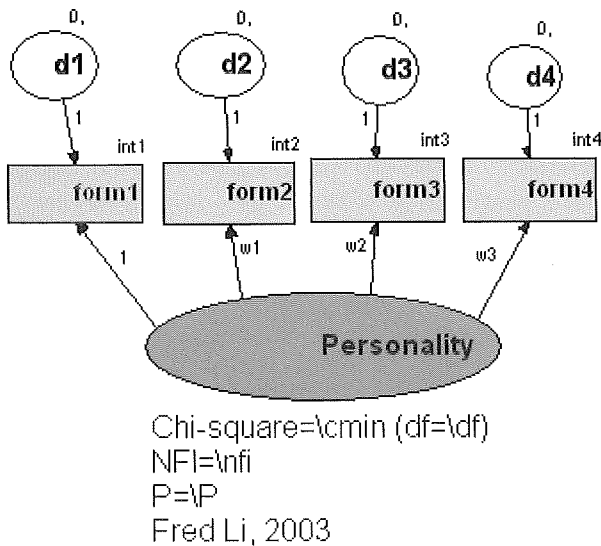


圖 18 女性樣本的徑路圖設計

圖解式結構方程模式軟體 AMOS 之簡介與應用

由圖 17 可知，潛在因素的平均數固定為 0，代表研究者把男性當作參照組，而女性潛在因素的平均數與變異數設定為自由參數(見圖 18)，等待估計。而估計出的女性因素平均數，如為正數代表女生比男生平均所高出的分數。從圖 17 與圖 18 知，personality 在 form1 上的因素負荷量，在男女樣本上均設定為 1，亦即以 Form1 設定為參照指標賦於該因素原點與測量單位，其餘的因素負荷量與截距則設定為兩組間相等。在 SEM 分析上，因為潛在變項的原點與測量單位是未知的，研究者通常會選擇一最具代表性的觀察變項(或選擇預測力最大的)作為潛在變項的量尺原點與單位。

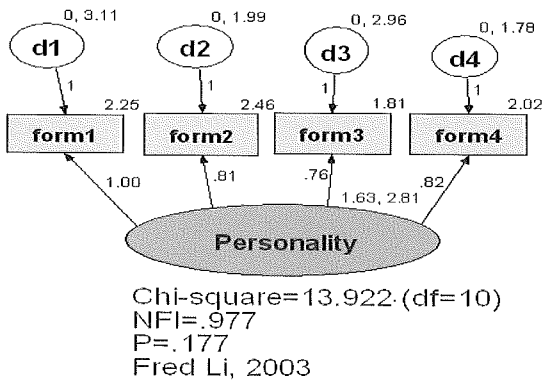
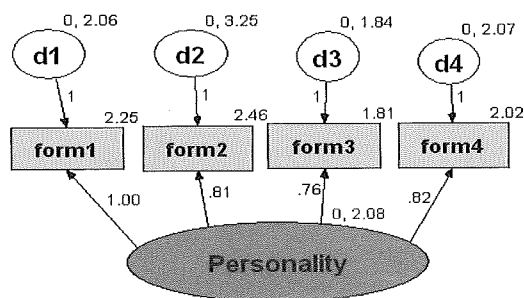


圖 19 女性樣本的考驗之結果

本模式經 AMOS 統計分析，由圖 19 與 20 知： $\chi^2=13.922, df=10, P=.177, NFI=.977$ 。由此結果知，前述所提出之平均數-共變數結構與資料適配，顯見不分男女性別，這四個交替測驗僅在測量一共同因素，而且這四個平行測驗的平均數與信度，在男女性樣本上之型態並無顯著不同，亦即男女生之因素結構並無顯著差異。而女性因素平均數為 1.63，代表女生比男生之因素平均數高出 1.63 分。依照平均數-共變數結構方程式(見公式三)，就可求出女性在四個分測驗上的預測分數。

$$\mu_x = \tau_x + \lambda_x \kappa \dots\dots\dots \text{公式三}$$

由圖 19 知，在 form1 上 τ_x (tau-x)截距為 2.25， λ_x (lambda-x)負荷量為 1，因素分數期望值 κ (kappa)為 1.63。將這些值代入公式三，可得到女性在第一個分測驗上的預測分數為 3.88。同理，可得到女性在第二~第四個分測驗上的預測分數為 3.78、3.05、3.36。與其原來的四個樣本觀察值 4.25、3.75、2.90、3.2 相去不遠。



Chi-square=13.922 (df=10)
 NFI=.977
 P=.177
 Fred LI, 2003

圖 20 男性樣本的考驗之結果

由於缺乏客觀而自然的原點，欲正確解釋組間因素平均數差異 1.63 分，可借助於效果值指標 d (Cohen, 1988)。Cohen 建議 d 值 .20 以下為小差異， d 值 .50 左右為中等差異， d 值大於 .80 為大差異。利用男女生在因素上的併組標準差 $1.56(\sqrt{(2.81+2.08)/2})$ ，求出 d 值 $(1.63/1.56) : 1.04$ 。由此 d 值，知男女生在潛在變項上的性別差異達 1 個標準差以上，應屬大差異。值得一提的是，當前述男女生因素結構不同時，比較因素平均數之差異是無意義的 (Hox & Bechger, 1998)。

(三) 進行回歸分析或徑路分析

回歸分析是 SEM 的一個特例：不區分潛在變項、觀察變項 (假設無測量誤差)。而徑路分析乃是回歸分析的應用。因此，將以徑路分析實例說明 AMOS 的應用方法。假設研究者想探討學業成就 (AA) 與心智能力 (MA) 對自我概念的影響力 (SC)，於是蒐集相關之樣本資料如表 2：學業成就 (X)、心智能力 (Y) 與自我概念 (Z)。

表 2

學業成就 (X)、心智能力 (Y) 與自我概念 (Z) 之原始資料矩陣

	rowtype_	varname_	x	y	z
1	n		200.00	200.00	200.00
2	corr	x	1.00	.	.
3	corr	y	.38	1.00	.
4	corr	z	.41	.29	1.00
5	stddev		10.12	4.67	2.76

圖解式結構方程模式軟體 AMOS 之簡介與應用

根據理論知，心智能力會影響學業成就與自我概念，且學業成就也會影響自我概念，所設計之徑路圖如圖 21。因為假設 X、Y 均無測量誤差，所以圖中並未畫出潛在變項。此外，因為不區分潛在變項、觀察變項，所以圖中設定 X 與 MA，Y 與 AA，Z 與 SC 之徑路係數為 1 ($R^2=1$ ，信度為 1)。因此圖 21 之徑路設計可以簡化為圖 22 之徑路設計。

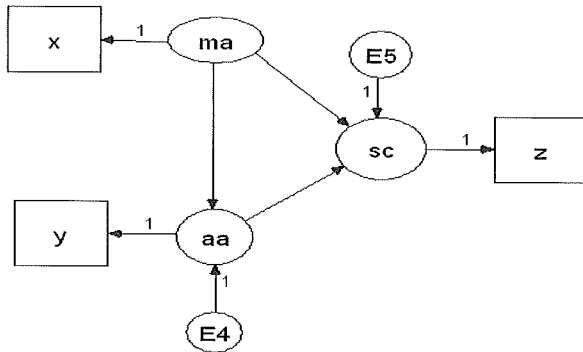


圖 21 SEM 模式之徑路設計

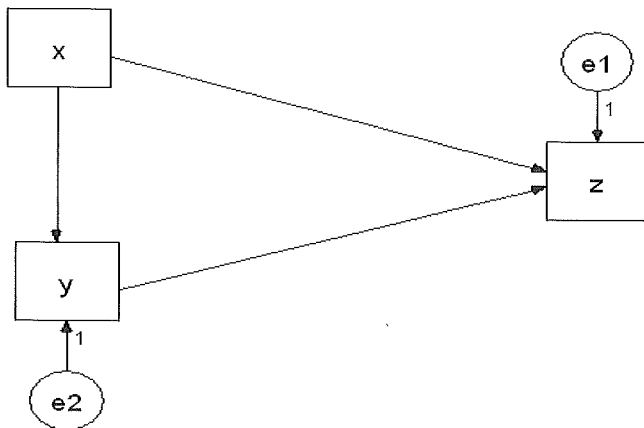


圖 22 回歸分析之徑路設計

由圖 21 與圖 22 的比較得知，傳統的徑路分析附有極不合理之基本假設：潛在變項能 100% 預測觀察變項，亦即觀察變項無測量誤差。而 SEM 則可以將觀察變項之測量誤差納入測量模式中，進行檢驗。

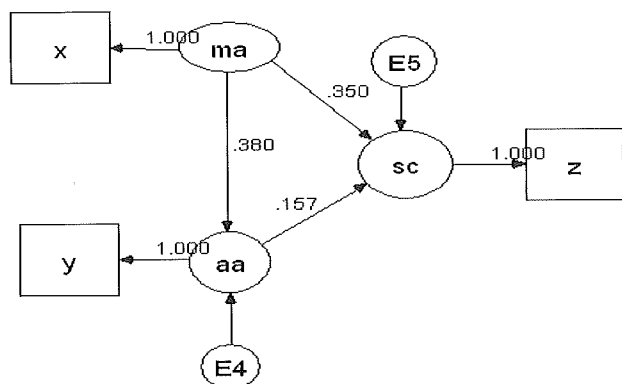


圖 23 學業成就與心智能力對自我概念的分析結果(標準化係數)

由圖 23 之標準化係數得知，MA 對 AA、SC 的直接效果(direct effects)為.38 與.35，而 MA 透過 AA 對於 SC 的間接效果(indirect effects)為： $.38 \times .157 = .06$ 。因此，可見中介變項 AA 對於 SC 的影響不大，且知 MA 的總效果為 $.35 + .06 = .41$ 。研究者可在 View/Set 功能表單之下，點選『Table Output』(參見圖 24)，查看總效果、直接效果與間接效果的統計分析結果。例如，點選圖 24 中的『Standardized Indirect Effects』，即可獲得標準化間接效果的矩陣，將之顯示於右側欄內。

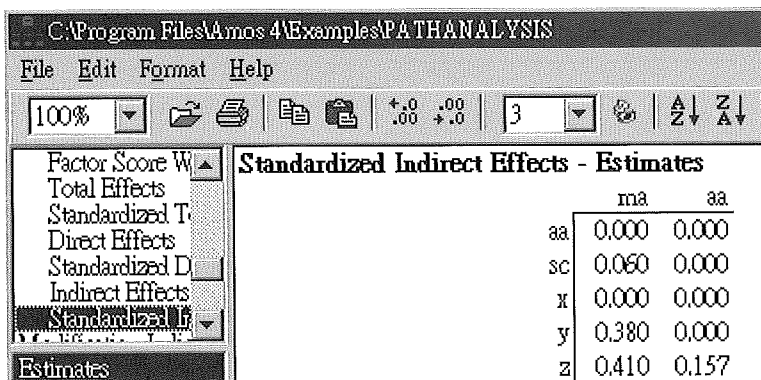


圖 24 AMOS 之間接效果報表

(四) 進行共變數分析

最後，筆者利用林清山(1993)之心理與教育統計學中『例 19-1』為例子，對照說明如何使用 AMOS 進行共變數分析。該例子中研究者想研究演講法、編序教學法、和啟發式教學法對小學數學科學習成績的影響。為害怕智力會影響研究結果，乃利用智力分

圖解式結構方程模式軟體 AMOS 之簡介與應用

數當共變項，進行共變數分析。沿用迴歸分析進行分析共變數分析的做法，需使用二個虛擬變項(X1 與 X2)代表這三個組別，如圖 25 中 SPSS 之建檔方式與變項設定。

	x1	x2	智力	數學成績	int1	int2
1	1	0	3	5	3	0
2	1	0	1	2	1	0
3	1	0	2	4	2	0
4	1	0	4	3	4	0
5	1	0	3	6	3	0
6	1	0	5	7	5	0
7	0	1	4	13	0	4
8	0	1	3	11	0	3
9	0	1	2	10	0	2
10	0	1	6	12	0	6
11	0	1	5	12	0	5
12	0	1	7	14	0	7
13	0	0	10	14	0	0
14	0	0	6	11	0	0
15	0	0	12	15	0	0
16	0	0	10	12	0	0
17	0	0	7	12	0	0
18	0	0	9	14	0	0

圖 25 SPSS 原始資料(數學科學習)矩陣之輸入格式

接著，利用這兩個虛擬變項與智力變項當作預測變項，數學成績當作效標進行迴歸分析。為了檢驗是否違反斜率同質性之基本假設，特別建立兩個交互作用項(INT1 與 INT2)，亦納入預測變項中，設計之徑路如圖 26。INT1 為 X1 與智力之交乘績，INT2 為 X2 與智力之交乘績。

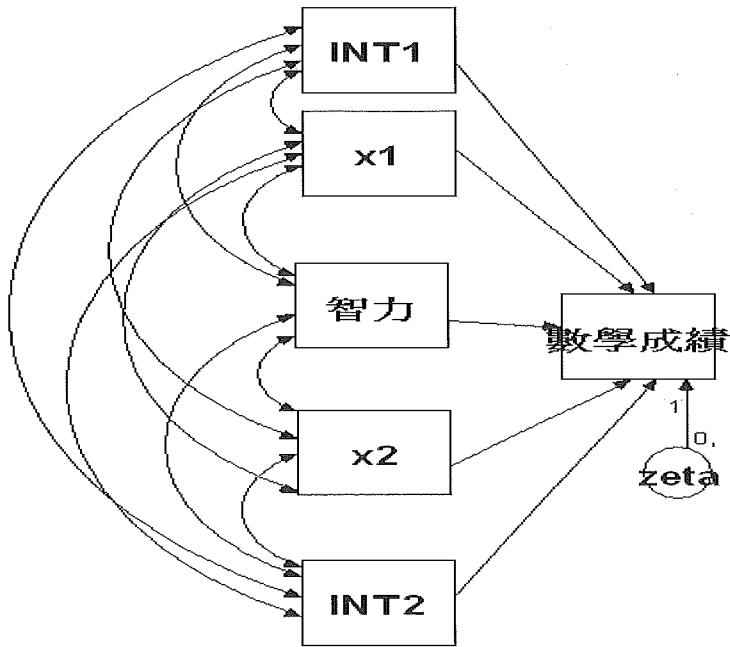


圖 26 斜率同質性考驗之徑路設計圖

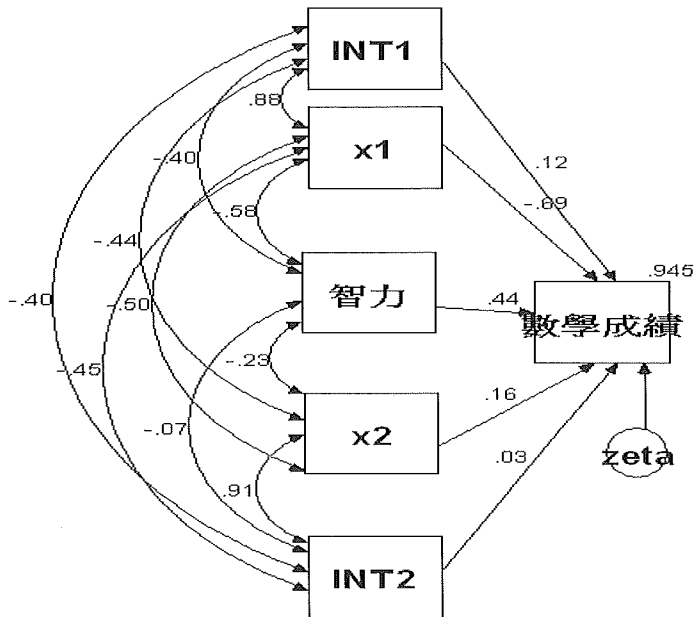


圖 27 斜率同質性之考驗結果

接著，排除兩個交互作用項，再進行回歸分析，徑路設計與分析結果參見圖 28 與圖 29。比較圖 27 與圖 29 中之 R^2 值: .9453 與 .9429(此兩個值為更精確之值，可由圖 8 之小數位數控制查看)，知其 R^2 改變量為 .0024。研究者可由此值進行斜率同質性之考驗，F

$$\text{考驗結果為：.263。 } F = \frac{\frac{0.0024}{(3-1)}}{\frac{(1-.9453)}{3(6-2)}} = .263$$

查表知其臨界值為 $F_{.95}(2,12)=3.89$ ，顯示三組的斜率沒有顯著差異。研究者可安心進行共變數分析，而不必理會組別與智力間的交互作用。

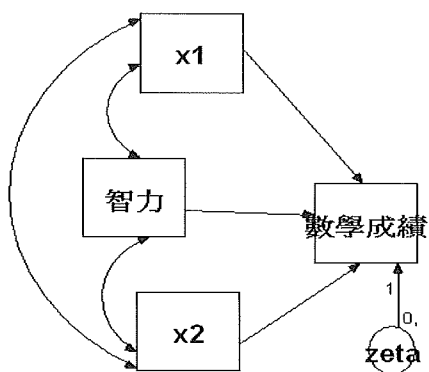


圖 28 共變數分析徑路設計圖

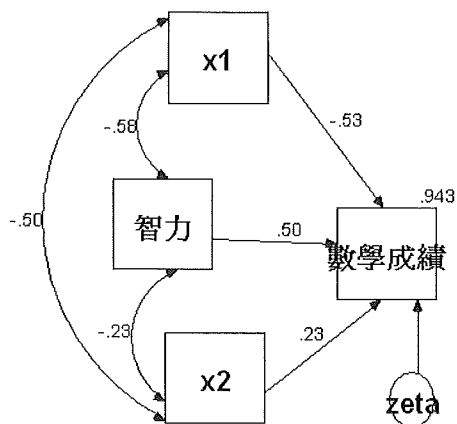


圖 29 標準化共變數分析結果

由圖 29 知，智力與組別對於數學成績之預測力為.943(R^2)。為排除智力對於數學成績之影響力，需單獨針對智力與數學成績進行回歸分析。由圖 31 知，單獨智力之預測力為.558。

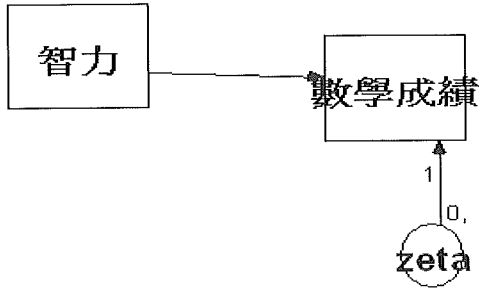


圖 30 智力對數學成就之回歸分析徑路圖

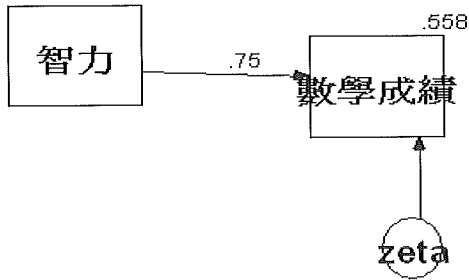


圖 31 智力對數學成就之回歸分析結果

利用圖 29 與圖 31 之 R^2 值: .9429 與 .5578(此值為更精確之值,可由圖 8 之小數位數控制查看),其 R^2 改變量為.3851。研究者可由此值進行共變數分析,考驗結果 F 值為: 47.21。其計算公式為 $F = [(.9429 - .5578) / 2] / [(1 - .9429) / (18 - 3 - 1)] = 47.21$ 。顯示三組的學習成就具有顯著差異(臨界值為 $F_{.99(2,14)} = 6.51$)。此值與教科書 P. 485 之結果甚為相近(係割捨誤差所致)。至於各組之調整後平均數,其計算公式為 $Posttest = 7.06 - 4.54X_1 + 1.97X_2 + .66M_{Pretest}$ (參見圖 32)。例如:第一組的調整後平均數為 $7.06 - 4.54 + .66 * 5.5 = 6.15$ ($M_{Pretest}$ 為前測平均數, 5.5), 第二組的調整後平均數為 $7.06 + 1.97 + .66 * 5.5 = 12.66$, 第三組的調整後平均數為 $7.06 + .66 * 5.5 = 10.69$ 。

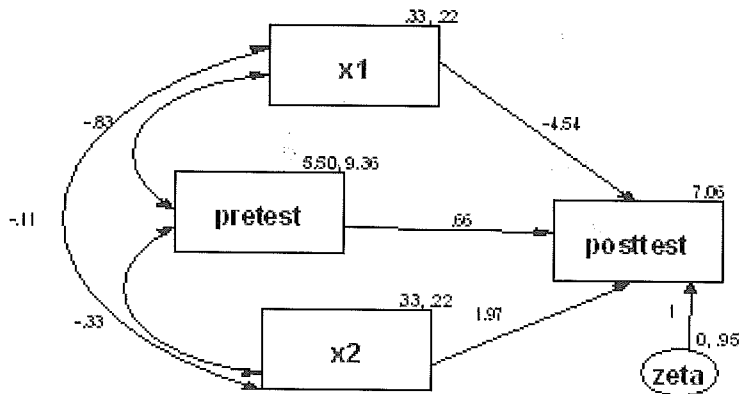


圖 32 未標準化共變數分析結果

由此例知，使用共變數結構分析軟體，進行平均數結構分析不如 SPSS 或 SAS 等統計分析軟體之便捷，實屬意料中事。

五、程式除錯的問題

俗話說『土水師父怕抓漏』，程式設計師最怕抓蟲。SEM 程式除錯涉及層面甚多，有時相當不易找出真正問題所在，常必須不斷的嘗試錯誤與累積經驗方能有效排除問題。以下僅就常見的問題、可能原因與對策，作扼要說明。

(一) 模式辨識問題

模式辨識係指研究者在解聯立方程式之前，判斷未知參數是否為無限多解、唯一解值、還是無解。這些未知參數包括 B 、 Γ 、 Ψ 、 Φ 、 Λ_y 、 Λ_x 、 Θ_e 、 Θ_s 等八個矩陣內等待估計之之參數。模式不可辨識性(non-identification)肇因於研究者所提供的資訊不足，可能研究者未嚴謹界定模式或需要更多的變項才能正確估計模式中的參數，為 SEM 研究者最頭痛的議題。為使所提的模式具有可辨識性，研究者須先確保兩個必要條件。第一、自由度不可為負值(**Order condition**)，第二、每一潛在變項至少有一固定之參數與唯一解(**Rank condition**)。進行共變數結構分析時，其自由度的計算公式為：

$$df = \frac{1}{2}[(p+q)(p+q+1)] - t$$

p = 內衍變項指標數

q = 外衍變項指標數

t = 待估計係數的數目

在結構方程模式中，已知參數(來自測量模式)通常為測量變項的相關係數、變異數或共變數，而未知參數(來自結構模式)則依適配該資料的模式而定。假設有四個測量變項及有一適配該觀察共變數矩陣的模式。此時該矩陣包含 $4*(4+1)/2 = 10$ 非重複性的元素，假如待估計的參數超過 10，則該模式即為不可辨識。又如，有一單因子模式(係對角線誤差矩陣)適配該資料時，未知參數為 8(4 個因素負荷量, 4 個誤差變異量)，此模式為可辨識模式。不過，有時研究者所提出的理論模式雖在理論上為可辨識，亦可能產生實徵上不可辨識。實徵辨識問題可能來自於模式中變項間的相關過高、反饋迴圈中的徑路係數接近 0、或每一建構之測量指標過少(如少於 3)。

模式不可辨識的症狀，主要有：無法計算反矩陣、負的誤差變異量、標準化係數超過 1、相關係數的絕對值達到.85 或.90 以上(多元共線性問題)與過大的標準誤。AMOS 程式會自動標識無法辨識的變項，研究者需逐一加以解決。可能的解決方法主要有：

1. 限制模式中部分的變項或參數之因素負荷量或變異數，可設定為 1 或限制為相等。其中，內衍變項之變異數不允許設定為 1，
2. 刪除部分徑路(如相關參數之 MI 指標超過 100)，
3. 固定潛在變項的測量誤差，
4. 刪除反饋徑路，
5. 增加外衍變項，
6. 使用不同估計法，
7. 提供較佳估計值，
8. 每一潛在變項至少有 3 個指標。

(二)參數估計的問題

有時 SEM 程式會出現問題，可能係使用者使用了不正確的統計估計方法。AMOS 提供了以下參數估計方法(參見圖 33)：未加權最小平方方法(ULS)、一般化最小平方方法(GLS)、最大似估計法(ML)、不受量尺限制最小平方方法(SLS)、與漸進無分配限制的最小平方方法(ADF)。ULS 未加權最小平方方法，假定誤差項間無關與單向性關係。違反時請使用 2-stage Least-Square(使用工具變項，LISREL 提供此法)，ULS 法因採用單元矩陣

作為加權，忽視誤差項變異數異質性的問題，而無法獲得漸進不偏性。GLS 法採用樣本共變數矩陣的反矩陣作為加權量，本估計法具有量尺不變性(scale invariant)及不受量尺限制(scale free)之特性，亦即不管您使用相關矩陣或共變數矩陣(改變或轉換測量工具的測量單位)，所得的適配值將不變。ML 為最常用的適配函數，對非常態性資料非常敏感。因其估計值較具穩定與精確性，一般最好使用本法，ML 估計法亦具有量尺不變性及不受量尺限制之特性。通常在大樣本的情況下，ML 所得的 χ^2 將與 GLS、SLS 法相當接近。ADF 漸進無分配限制最小平方法，乃是一種不受母群分配限制的估計法，因依賴原始資料進行峰度的修正，必須使用原始資料進行統計分析。本法適用於違反多變項常態性假設及使用於非連續性變項上，但需要更大樣本。

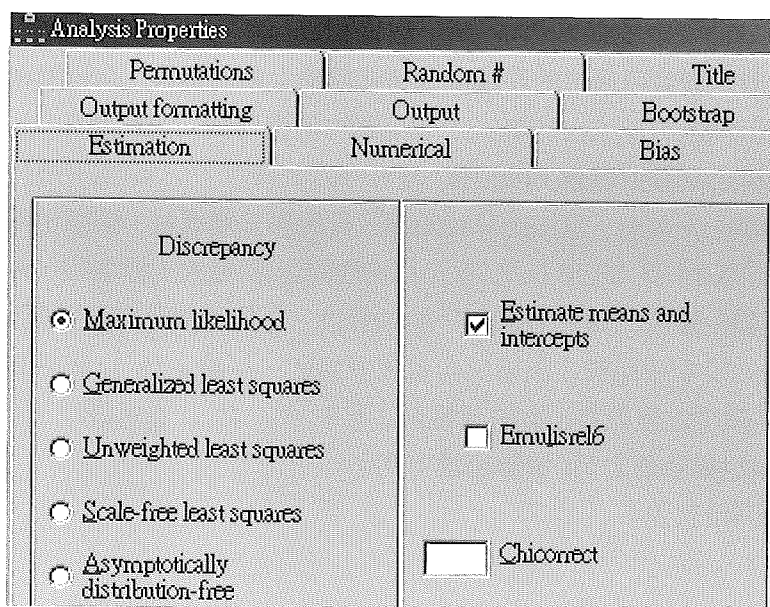


圖 33 AMOS 參數估計法

上述這些參數的估計值大都具有漸近不偏性(asymptotically unbiased)及漸進常態性(asymptotically normally distributed)，如果模式有效的話，且樣本過大的話，所估計出來的值會接近母群參數。因此需要比較大的樣本，以滿足不偏性及漸進常態性的要求。不過，樣本過大又會造成統計考驗力過強的兩難處境。遇到非使用小樣本不可的情境時，可以利用 AMOS 的 Bootstrap 樣本產製功能(參見圖 34)，利用此具有代表性的小樣本當作母群，先進行大量的隨機抽樣，接者進行每一 Bootstrap 樣本進行參數估計，最後計算每一參數的平均值與標準誤。由圖 34 知，研究者希望進行 200 個 Bootstrap 樣本的參

數估計，估計方法選定為 ML 法。另外，假如研究者同時點選所有的估計方法，即可進行比較不同估計方法所得的差異函數，以進行模式的選擇。

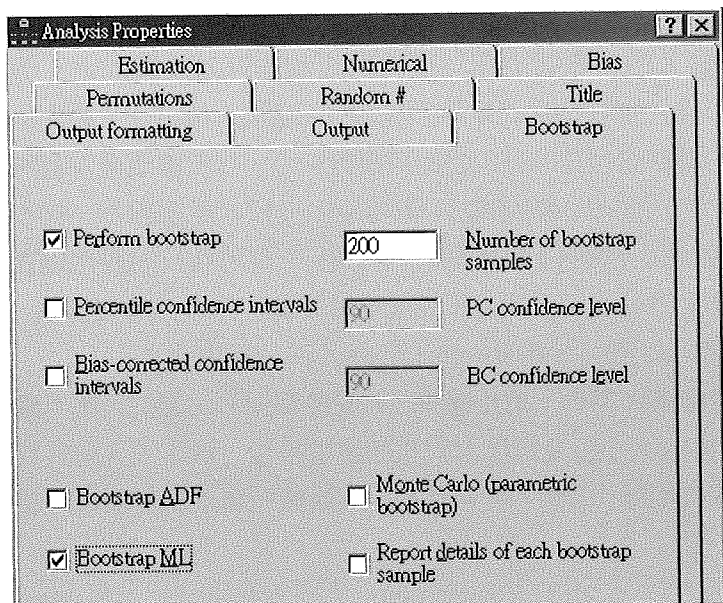


圖 34 AMOS 的 Bootstrap 樣本的產製與估計法之設定

(三)特異(Singular)矩陣或非正定(Not positive definite)矩陣

當矩陣為正定矩陣，必為非特異矩陣。非正定矩陣可能發生在以下四種情境：(1)輸入的共變數矩陣或相關矩陣，(2)加權矩陣(使用 ADF/WLS 時)，(3)模式隱含的共變數矩陣，(4)模式內的參數矩陣(Joreskog & Sorbom, 1989)。AMOS 會自動標註出問題之所在。進行 SEM 分析時可能產生特異矩陣或非正定矩陣的困擾(探索式因素分析也會發生這些問題)，主要原因有：

- (1)共變數矩陣對角線上的變異數為負值(可能原因:資料輸入錯誤、模式界定錯誤)，
- (2)違反三角不均等條件：共變數矩陣內的共變數受限於其對角線上的變異數大小(不能大於個別變項變異數的平均值)，在相關矩陣中，須符合三角不均等條件(黃芳銘, 2002)。

如 r_{13} 需介於 $r_{12}r_{23} \pm \sqrt{(1-r_{12}^2)(1-r_{23}^2)}$

違反三角不均等條件主要係部份缺失值所致，樣本夠大可使用表列 (list-wise)全部刪除法，使用配對(pair-wise)刪除法易導致超出合理範圍的相關計值(Kline, 1998)，

- (3)使用多分或四分相關矩陣時(尤其含有很多變項時)，
- (4)變項為常數時，

(5)線性相依、極端值、或樣本數比變項數還少等等。

(四)適合度的問題

適合度考驗旨在了解實際輸入的共變數矩陣與模式所預測的理論矩陣間之一致性。當兩套共變數矩陣間存在者巨大的差異時，即表示模式的不適配。原則上，要先檢查每一測量工具是否具有太大的標準化殘差(>2.0)及修正指標(>4.0)，其次需要檢查有無不良估計值(*offending estimates*)；例如，負的誤差變異量(可能由於模式界定誤差、樣本太小、多元共線性)、標準化係數過小(需刪除相關變項)或超過 1(會導致負的誤差變異量)、與過大的標準誤。接著，研究者可運用下列之三類適合度指標，作全面性之評估。

1. 整體適配性的評估，主要透過絕對適配指標(absolute fit measures)評鑑之：

(1)Likelihood-Ratio χ^2 ，AMOS 中簡稱 CMIN，愈小愈好，P 值最好大於.1 或.2。本考驗較適合 100~200 人的樣本，因為 χ^2 的大小會受到樣本大小的嚴重影響，樣本太大時其統計考驗力過強會導致任何模式均被拒絕。因此，研究者不可僅依賴一種指標作最後之結論。

(2)Noncentrality Parameters (χ^2 -df)與 Scaled Noncentrality Parameters[(χ^2 -df)/sample size]：前者簡稱 NCP，後者 AMOS 簡稱 F0，兩者適合模式間之比較，

(3)Goodness-of-Fit Index(0:poor fit~1:perfit)，AMOS 中簡稱 GFI，

(4)Root Mean Square Residuals，此值最好在.025 以下，愈低愈好，較適合相關矩陣的分析，AMOS 中簡稱 RMR，

(5)Root Mean Square Error of Approximation，此值最好.05 以下，AMOS 中簡稱 RMSEA，AMOS 併提供 RMSEA 的虛無假設(H_{null} :RMSEA \leq .05)考驗的 P 值：PCLOSE，

(6)Expected Cross-Validation Index:適合模式間之比較，AMOS 中簡稱 ECVI，

2. 增值適配指標(Incremental fit measures)，係底限模式或獨立模式(baseline or independent model)，假設不存在任何徑路關係與提議模式(hypothesized model)的比較，了解改進適配的程度，主要指標有：

(1)Adjusted Goodness-of-Fit Index，此值(最好>.90，AMOS 中簡稱 AGFI(自由度列入考慮)，

(2)Tucker-Lewis Index/Bentler-Bonett Non-Normed Fit Index(最好>.90)，AMOS 中簡稱 TLI，

(3) Bentler-Bonett Normed Fit Index(最好>.90)，其計算公式為 $(\chi^2_{null} - \chi^2_{proposed}) / \chi^2_{null}$ ，

AMOS 中簡稱 NFI。如該值為.96 即表示提議模式接近完全適配模式(saturated model，包含所有徑路關係)，當該值為 0 時，即表示提議模式完全不適配(接近獨立模式)，

(4)Comparative Fit Index，適合用在模式發展與小樣本上，其計算公式為 $1-(NCP_{proposed}/NCP_{null})$ ，此值最好 $>.90$ ，AMOS 中簡稱 CFI。

3. 精簡適配指標(Parsimonious fit measures)，這些指標都為自由度比值(即考慮到參數估計數目)的加權值。主要指標有：

(1)Parsimonious Normed Fit Index: 其計算公式為 $(df_{proposed}/df_{null})*NFI$ (最好.06 以下)，AMOS 中簡稱 PNFI，

(2)Parsimonious Goodness-of Fit Index，本值愈大，表模式愈精簡，AMOS 中簡稱 PGFI(自由度列入考慮)，

(3)Normed χ^2 ，AMOS 中簡稱 CMIN/DF(自由度列入考慮)，此值小於 1 表示過度適配，大於 3 則表示模式不適配。因此此值最好介於 1~3 之間，

(4)Akaike Information Criterion，本值愈小，表模式適合度佳且愈精簡，其計算公式為 $\chi^2 + 2*(\# \text{ of estimated parameters})$ ，AMOS 中簡稱 AIC，適用於模式間之比較。

(五)模式修正的問題

當研究者發現自己所使用提出的模式適配度不佳時，可先檢查測量工具是否有問題?(例如，建構信度滿意嗎? R^2 高嗎?)，再檢查有無不良估計值(例如：負的誤差變異量、標準化係數過小或超過 1 與過大的標準誤)。其次，利用圖 35 中 AMOS 的分析屬性視窗(在 View/Set 功能表單之下)點選修正指標：『Modification indices』(簡稱 MI)，查看修正指標(Lagrangian multiplier test)是否過大(如大於 4)。修正指標之右側『Threshold for modification indices』，就是設定研究者希望顯示修正指標的臨界值。因為當 $\alpha=.05$ ， χ_1^2 的臨界值為 3.84，所以 AMOS 會自動設定為 4。

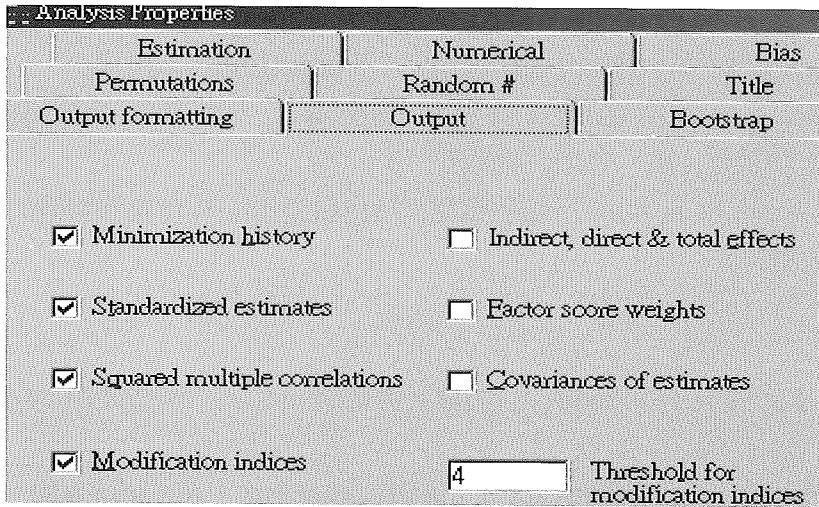


圖 35 AMOS 的分析屬性視窗

六、運用結構方程模式的注意事項

(一)樣本大小

樣本大小的決定因素：

- (1)模式大小：樣本大小需大於觀察變項的數目。每一估計的參數最好有 10 個觀察值以上，
- (2)模式之界定誤差(Missing constructs)：當有模式界定誤差之可能時，儘可能增大樣本大小，
- (3)常態性與否：偏離常態時，儘量增大樣本，
- (4)視估計方法而定。

MLE/GLS 是最常見的估計法。雖有時可低至人數為 100。一般而言，最好 200 以上(critical sample size)。ADF 則需更大之樣本數，例如 400 以上。筆者認為適當的樣本應顧及統計考驗力，樣本過大(>.95)與過小(<.80)均不適當。建議讀者可參考相關之 MacCallum 氏(1996)統計考驗力對照表(如表 6-5 與表 6-6，黃芳銘，2002)。從務實觀點著眼，一般研究者可查看近似適配樣本數即可。

(二)輸入矩陣型式

共變數結構分析，按理應使用共變數矩陣進行資料分析，以了解建構變異的解釋量。但因教育與心理的研究上，觀察變項的測量單位通常是武斷的而沒有明確的意義，

研究者一般都直接使用相關矩陣分析，以探究關係組型(patterns of relationships) ,如 CFA 。

不過，Cudeck(1989)就指出使用相關矩陣進行共變數結構分析會產生三個嚴重問題：

- (1)當您針對參數設限為相等而相關變項之標準差卻不同時，會修正分析模式，
- (2)當您針對變項加以標準化且進行跨組參數相等限制時，會產生不正確的 χ^2 值與適合度指標，
- (3)因為相關矩陣與共變數矩陣的抽樣分配屬性不同，會產生不正確的標準誤(ADF/WLS 估計法除外)，尤其當您使用 ML 估計法時。

針對上數之困擾問題，AMOS 進行模式估計時，會自動將相關矩陣轉換成共變數矩陣，再進行參數估計。此乃為什麼使用相關矩陣資料時，AMOS 會要求您亦輸入各變項之標準差資訊(AMOS 可用此標準差資訊將它轉成共變數矩陣)。因此，研究者可以不去顧慮到底使用了哪一種資料進行分析(當您使用其它 SEM 分析軟體時，最好使用共變數矩陣進行分析，以確保統計結果的正確性)。研究者需要顧慮的是，到底要使用標準化係數或未標準化係數去解釋研究結果。標準化係數是根據變項 z 分數或相關矩陣求得，未標準化係數是根據變項原始分數或共變數矩陣求得。一般來說，在以下情境使用未標準化係數比較適當：進行不同母群或樣本間之比較、欲了解建構變異的解釋量或進行理論的考驗(test of theory)。在以下情境使用標準化係數比較適當：分析的問題不受量尺限制時、進行模式內係數間之比較、欲探究關係組型(patterns of relationships) ,如 CFA 或進行不同變項間相對重要性之比較(因為測量單位不同的變項是無法互相比較的，例如年齡與數學成績)。

(三)測量層次

原則上，SEM 與因素分析一樣，分析的變項應為等距變項以上。假如在大樣本且符合常態性的假設，SEM 亦適用於 4 類別以上的 Likert 量尺。如使用於二分類別的變項上時，需使用四分相關或多分相關矩陣，再進行統計分析。不過，較易發生模式不可辨識的困擾。

七、結語

任何統計方法均非萬能。截至目前為止，結構方程模式雖是考驗因果模式的最有效利器，但仍無法保證所提之模式為最佳。猶如一個男人雖極力尋找最適配的佳人，到了

結婚那一天亦仍無法肯定是否還有更適配的對象。這點限制 Otis D. Duncan(1975)說的很白：

Indeed, it would require no great sophistry to show that we will never have the “right” model in absolute sense. Hence, we will never be able to compare any of our many wrong models with a definitely right one(引自 Kline, 2000).

大部分行為科學研究的 SEM 分析資料，都來自於非實驗性的研究。通常 SEM 並無法利用相關性的資料進行因果性的結論。因此，進行因果性結構模式的建立應謹慎評估(1)變項間是否具充分的關聯性?(2)有無理論依據?(3)變項間是否具時間序?(4)有無其它致因變項?(5)有無遺漏重要的預測變項(外部模式界定錯誤)?(6)有無遺漏重要的變項關係(內部模式界定錯誤)?此外，適合度高的模式並不意謂著其模式已被證實為真，它只不過尚未被證明為假而已。因此，多個有理論依據的競爭模式間的比較可能比單一模式的事後修正更能發現最適模式。適配指標僅能排除不佳模式，無法驗證所提模式為最佳。適配度高的模式不意謂著：外衍變項是形成內衍變項的因(例如，適配好的模式亦可能出現於外衍變項與內衍變項無關的模式上)。而適配度不佳的模式可能係因測量模式不佳所致，而非結構模式有誤。因此，研究者應同時報告適合度指標與徑路係數、或進行效度覆核。

透過上述幾個測驗統計的實例說明，盼您能體會 AMOS 之『您聰明，它傻瓜』的功能，這些基本功能熟悉以後，必可有效應用於測驗工具的發展與統計分析上。深盼 AMOS 是您進入 SEM 分析學術殿堂的敲門磚。

參考文獻

中文部份

林清山(1984)。線性結構關係(LISREL)電腦程式的理論與應用。*測驗年刊*, 31, 149-164。

林清山(1993)。心理與教育統計學。台北：東華。

林世華(2000)。結構方程模式簡介(PPT 檔案)。線上檢索日期：2003 年 2 月 12 日。網址：

<http://epnet2.ecpsy.ntnu.edu.tw/~linsh>

- 邱皓政(1997)。結構方程模式在心理與教育測驗發展的應用。載於國立台南師範學院主編，*教育測驗新進發展趨勢學術研討會*。台南：國立台南師範學院。
- 姚開屏(1993)。結構方程模型的基本原則及符號。*職能治療學會雜誌*，11，79-93。
- 高美玲、葉美玲(1998)。結構方程模式的應用—驗證性因素分析。*護理研究*，7(6)，594-605。
- 馬信行(1999)。線性結構模式在教育上的應用及所遭遇之問題。*教育與心理研究*，22，1-14。
- 黃芳銘(2002)。結構方程模式理論與應用。台北：五南。
- 蔡坤宏(1994)。以線性結構關係模式替代多變量變異數分析之應用探討。*政大學報*，68，297-316。
- 葉美玲、高美玲(1998)。結構方程模式與線性結構關係之簡介。*護理研究*，7(5)，490-497。

外文部份

- Arbuckle, J. L., & Wothke, W.(1999). *AMOS4.0 User's Guide*. Chicago, IL: SmallWaters.
- Bollen, K. A. (1989). *Structure equations with latent variables*. New York: John Wiley & Sons.
- Cohen, J.(1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*(2nd ed.). New York: Academic Press.
- Cudeck, R. (1989). Analysis of correlation matrices using covariance models. *Psychological Bulletin*, 105, 317-327.
- Hox, J.J., & Bechger, T.M. (1998). *An introduction to structural equation modeling*. *Family Science Review*, 11, 354-373.
- Joreskog, G., & Sorbom, D.(1989). *LISREL7: A guide to the program and applications*(2nd). Chicago, IL: SPSS Inc.
- Kline, R. B.(1998). *Principles and practice of structural equation modeling*. New York: Guilford Press.
- Kline, R. B.(2000). *Supplemental chapter B: Introduction to mean structure*. Retrieved Jan. 12, 2003 from the World Wide Web:
<http://www.psychology.concordia.ca/department/faculty/kline/books/sem1/supplemental>

圖解式結構方程模式軟體 AMOS 之簡介與應用

Hair, J. F.; Anderson, R. E.; Tatham, R. L.; & Black, W. C. (1998). *Multivariate Data Analysis*. New Jersey: Prentice-Hall International, Inc.

Korchia, M. (2001). *SEM Stats*. Retrieved Jan. 2, 2003 from the World Wide Web:
<http://mkorchia.free.fr/sem/sem-sfats.xls>

文稿收件：92. 01. 19.

接受刊登：92. 05. 27.

李茂能

An Introduction to Structural Equation Modeling Using AMOS Graphics

Fred Li

Abstract

This article presents a non-technical introduction to structural equation modeling(SEM) using AMOS Graphics. It intends to provide an easy access to SEM via the AMOS Graphics interface without much effort and pain. First, SEM is introduced in brevity. Next, for didactic purpose, confirmatory factor analysis, path analysis, and covariance analysis are empirically done using AMOS Graphics. What the user needs to do is just draw the path diagram with AMOS drawing tools and it will take care of the model specification and others. Finally, selection of parameter estimation techniques, identification problems, ways of debugging implied AMOS program, uses of model fit indices, cautions with AMOS Graphics applications are briefly discussed.

Key words: AMOS · Structural Equation Modeling · Confirmatory Factor analysis · Path Analysis · Covariance Analysis

圖解式結構方程模式軟體 AMOS 之簡介與應用