



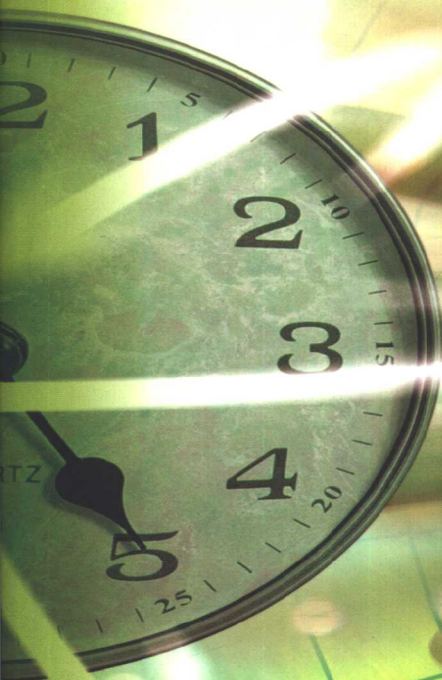
五南商学Top



结构方程模式

理论与应用

黄芳铭 著



中国商务出版社



结构方程模式

理论与应用

[台湾] 黄芳铭 著



中国统计出版社

图书在版编目(CIP)数据

结构方程模式: 理论与应用/黄芳铭著. —北京: 中国税务出版社,
2005. 3

ISBN 7-80117-733-9

I. 结... II. 黄... III. 社会科学—统计模型: 线性模型 IV. C32

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 018667 号

本书为(台湾)五南图书公司授权中国税务出版社在
大陆地区出版发行简体字版本。

著作权合同登记号图字:01-2005-1880 号

版权所有·侵权必究

书 名: 结构方程模式: 理论与应用

作 者: 黄芳铭

责任编辑: 刘 莉

特约编审: 杨天赐

责任校对: 孙荣杰 刘 坤

出版发行: 中国税务出版社

经 销: 北京中税五南文化发展有限责任公司

地 址: 北京市宣武区宣武门西大街 28 号大成广场 9 号门 1904 室

邮 编: 100053

电 话: 010-63601825 转 604/606

传 真: 010-63601825 转 601

e-mail: wunan@vip.sina.com

印 刷: 北京雷杰印刷有限公司

规 格: 720 毫米×1000 毫米

印 张: 24.75

字 数: 367 千字

版 次: 2005 年 4 月第 1 版 2005 年 4 月北京第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-80117-733-9/F. 653

定 价: 48.00 元

如发现印有装错误 可随时寄经销处调换

运筹帷幄 决胜千里
商场如战 快意驰骋



科学的工具 量化的数据



理性的判断 正确的决策

自序

结构方程模式是当代社会及行为科学研究量化典范最重要的新兴研究方法与技术之一。它整合了因素分析与回归分析这两大当代的统计技术，也影响到研究设计的原理与测量方法的运用，更是社会及行为科学理论验证的一项利器。在海外，结构方程模式已经是一个相当成熟的学科；在台湾，则有成为资料分析界一个显学的趋势。

基于结构方程模式仍是相当复杂的统计方法学，要能够好好地将其应用于实质的研究上，对它所涉及的哲学含义、理论基础、方法技术、观点议题以及批判等，皆有必要做全面性及深入的探讨。惟在有限的精力与时间之下，本书前8章仅仅针对结构方程模式方法学的核心概念所涉及的理论范畴、方法技术、相关议题，以及批判等进行基础性的探究；第9章到第12章将结构方程模式的方法学应用于研究者所搜集的教育资料，建立量化研究的可行性程序；最后一章，探讨台湾教育研究，在应用结构方程模式时，整体评鉴指针使用的趋势以及对此类应用的评析。

本书的完成要感激一些背后默默付出与支持鼓励的人，是他们让我在学术的孤寂道路上依然能够往前走。最应当感谢的是我的家人，内人惠玲辛勤持家，关照于庭与绘襄，着实令人感动。嘉义大学教育学院蔡荣贵院长、教育系周立勋主任，以及教育学院同仁们的切磋鼓舞，令我在此领域着实增进不少。感谢五南图书出版公司杨荣川先生、总编辑王翠华女士，以及副总编辑张毓芬协助出版此书。

本书是笔者在结构方程模式方面的第二本著作，虽然此书已较先前精进些，但是个人知识能力依然有限，必有不少偏失谬误之处，在此愿就教于先进学者与各方高明，若蒙不吝指正，笔者必虚心学习，并于日后补正之。

黄芳铭 谨识

2005年1月

目 录

第 1 章 结构方程模式的意义与概念 / 1

- 1 结构方程模式的基本概念 / 4
- 2 共变数 / 20
- 3 结构方程模式的分析过程 / 23
- 4 结 论 / 26

附录 1-1 反映性指标与形成性指标 / 28

第 2 章 理论与模式界定 / 31

- 1 理论的角色 / 32
- 2 模式界定——发展理论基础的模式 / 43
- 3 模式界定的议题 / 53
- 4 结 论 / 58

附录 2-1 青少年生活经验量表 / 59

附录 2-2 SIMPLIS 程式说明 / 61

第 3 章 模式识别 / 71

- 1 t 规则 / 74
- 2 虚无 B 规则与递回规则 / 75
- 3 识别非递回模式的顺序与等级规则 / 76
- 4 CFA 测量模式的一些识别问题 / 80
- 5 结 论 / 82

第 4 章 结构方程模式的假定 / 85

- 1 多变项常态分配 / 86

- 2 遗漏值 / 93
- 3 界定误差 / 109
- 4 大样本 / 111
- 5 抽样假定 / 112
- 6 其他观察资料分配特性的问题 / 114

第5章 模式估计 / 119

- 1 最大似法 / 121
- 2 一般化最小平方法 / 124
- 3 ML 与 GLS 估计的问题 / 126
- 4 渐近分配自由法 / 128
- 5 估计方法的经验适配的差距与参数估计 / 130
- 6 非正定问题 / 132
- 7 结 论 / 136

附录 5-1 LISREL 中参数估计的方法 / 137

附录 5-2 三种不同适配领域 / 138

第6章 适配度评鉴 / 141

- 1 违犯估计 / 143
- 2 整体适配考验的问题与指标的使用 / 145
- 3 内在结构适配度的问题与指标的使用 / 159
- 4 统计考验力的评鉴 / 162
- 5 结 论 / 169

附录 6-1 近似误 / 170

第7章 模式修正 / 173

- 1 模式修正的基本概念 / 174
- 2 模式修正的统计显著检验法 / 178
- 3 其他实证性的修正程序 / 184
- 4 结 论 / 186

第8章 复核效度 / 189

- 1 复核效度的定义与使用时机 / 190

- 2 复核效度的类型 / 191
- 3 复核效度的策略 / 193
- 4 多群体比较 / 194
- 5 AIC 及 ECVI 在复核效度中的应用 / 196
- 6 结 论 / 201

第 9 章 模式的解释 / 203

- 1 非标准化以及标准化参数估计 / 205
- 2 效 果 / 208
- 3 各种效果的矩阵公式 / 213
- 4 结 论 / 215

第 10 章 肯证式因素分析——测验面向性之检验 / 217

- 1 检验测验的面向性 / 218
- 2 模式界定 / 220
- 3 模式识别 / 225
- 4 资料检视 / 225
- 5 模式估计 / 234
- 6 模式适配度评鉴 / 251

附录 10-1 次序性变项的分析 / 257

第 11 章 肯证式因素分析——测验效度与信度评鉴 / 261

- 1 效 度 / 262
- 2 信 度 / 266
- 3 测验效度与信度：一个应用的实例 / 271

第 12 章 二级肯证式因素分析 / 281

- 1 整体模式适配度评鉴 / 282
- 2 模式修正 / 287
- 3 模式之复核效度 / 291
- 4 模式内在结构评鉴 / 292

附录 12-1 MI 值以及期望改变值 / 297

附录 12-2 修正模式 F 之 LISREL 程式 / 307

附录 12-3 CVI 之 LISREL 程式 / 308

第 13 章 广义的结构方程模式之应用——检验因果结构的有效性 / 311

1 模式界定 / 312

2 模式识别与资料检视 / 322

3 模式估计与适配度评鉴 / 324

4 理论的剪裁 / 336

5 家庭对偏差行为影响效果之分析 / 337

6 结 论 / 341

附录 13-1 蔡××与瞿××之职业声望表 / 343

附录 13-2 偏差行为量表 / 345

第 14 章 总 结 / 347

1 结构方程模式的批判 / 349

2 其他未包含的重要主题 / 352

3 结 论 / 364

参考书目 / 365

第 1 章

结构方程模式的意义与概念

· 内容提要 ·

- 1 结构方程模式的基本概念
- 2 共变数
- 3 结构方程模式的分析过程
- 4 结论

附录 1-1 反映性指标与形成性指标

结构方程模式 (structural equation modeling, SEM) 是一个新的统计技术, 它大量地应用在社会及行为科学的领域里也不过是近 30 年的事。SEM 是什么呢? Mulaik 和 James (1995) 认为 SEM 是一种呈现客观状态 (objective status of affairs) 的数学模式。所以说, 它是一种呈现客观状态的语言^[1]。从统计的语言来说, SEM 是用来检验有关于观察变项 (observed variables) 与潜在变项 (latent variables) 之间假设关系的一种全包式统计取向 (Hoyle, 1995)。它所以能够是一种全包式统计的方法论乃是因为融合了因素分析 (factor analysis) 以及路径分析 (path analysis) 两种统计技术。

SEM 为何如此受欢迎呢? Bollen 和 Long (1993) 认为是因为 SEM 具有普遍性 (generality) 的特质。它是为研究者用于量化与理论检验提供的一种包罗万象的方法。如果读者对计量经济学 (econometrics) 熟悉的话, 那么会发觉 SEM 和计量经济学中的联立方程模式 (simultaneous equation modeling, 又可称为路径分析) 一样, 可以处理具有许多内因变项 (endogenous^[2] variables) 的联立方程式。但是在计量经济学里, 测量变项皆被视为是没有任何测量误差 (measurement errors) 存在, 也就是说, 假设这些观察变项的信度皆为 1.00。学理上, 我们皆了解任何测量都会产生误差, 例如, 用尺来量身高, 尺的精确度会导致误差存在。对 SEM 而言, 其允许处理变项的测量误差, 并且试图更正测量误差所导致的偏误 (biases)。这点使得其较计量经济学中的联立方程模式更为受欢迎。

在心理计量学与社会计量学中, 因素分析 (factor analysis) 是很受欢迎的一个统计技术, 常用来从一堆变项中抽取出一些共同因素 (common factors), 用以呈现潜在的理论建构 (construct)^[3]。因素分析的起源可以追溯到 Galton^[4] 与 Pearson (1904) 的作品, 然而, 真正处理潜在因素与观察变项之间的关系的文章是 Spearman 在 1904 所发表的作品 (Cudeck, Toit, & Sörbom, 2001)。

当共同因素被抽取出来之后, 就可以获得每个项目和每个因素间的因素负荷量 (factor loadings), 用以代表测验项目测量共同因素的重要性指标。它也可以让研究者从因素负荷量来判断个别项目与相对应因素的关系, 更可以从因素转轴中所获得的指标来评量项目的优劣。虽然, 因素分

析有如此多的优点，但是，其只能作为测验编制过程中的初步结构探讨或理论形成之用，而无法作为检验理论因素建构之用。其次，因素分析也有以下的限制：

1. 测验的个别项目只能分派到一个因素，并只有一个因素负荷量。如果一个测验项目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. 因素与因素之间的关系必须是全有或全无，即因素必须是完全相关或完全无相关。

3. 因素分析假定测验项目与测验项目之间的误差是不相关的，但事实上，许多测验的项目与项目之间的误差来源是相似的。

相对于因素分析的这些问题，SEM 就具有以下优点：

1. 可作项目分析，精确的估计个别项目，且将项目分析的概念融合于因素结构的检测中。

2. 可检验个别项目的测量误差，并且将测量误差从项目的变异量中抽离出来，使得因素负荷量具有较高的精确度。

3. 可依据理论，预先设定项目放置于哪一个因素中，或哪几个因素中，也就是说，一个项目可以同时分属于不同因素，并可设定一个固定因素负荷量，或设定任何几个项目的因素负荷量相等。

4. 可依据理论，设定某些因素之间具有或不具有相关，甚至于将这些相关设定为相等的关系。

5. 可对整体因素模式做统计的评估，来了解理论所建构的因素模式与所搜集资料间的符合程度。所以说，SEM 是一种理论模式检验（theory-testing）的统计方法。

看到上面这些理由，我们不得不承认 SEM 是一个应用范围广的统计技术，难怪，近年来在许多地区的社会与行为科学界都流行起来。



结构方程模式的基本概念

SEM是一个结构方程式的体系，在这些方程式里包含有随机变项（**random variables**）、结构参数（**structural parameters**）、以及有时也会包含非随机变项（**nonrandom variables**）。随机变项包含3种类型：观察变项^[5]、潜在变项^[6]以及干扰/误差变项（**disturbance/error variables**）。

观察变项是可以直接被测量的变项。例如教育水准、收入、职业等。潜在变项则是由理论或假设来建构（**construct**），它们通常无法直接地测量。例如文化资本（**cultural capital**）、社会资本（**social capital**），以及疏离感（**alienation**）。而潜在变项是可以用观察变项来加以建构。SEM中变项与变项之间的联结关系是以结构参数来呈现。结构参数是提供变项间因果关系的不变性常数。结构参数可以描述观察变项与观察变项间的关系、观察变项与潜在变项间的关系，以及潜在变项与潜在变项间的关系。非随机变项则是探测性变项，他们的值在重复随机抽样下依然不变。

上述变项所组成的SEM体系又可以分为2个次体系：测量模式（**measurement model**）次体系以及结构模式（**structural model**）次体系。

一、测量模式

使用观察变项来建构潜在变项的模式就是测量模式。也就是说，用观察变项来反映潜在变项。正因为此种原因，在SEM中的观察变项有时也被称为是反映指标（**reflective indicators**）（关于此一概念的详细探讨请见附录1-1）。有时为了与潜在变项有相对应的关系，有些学者便称观察变项为显在变项（**manifest variables**）。

测量模式在SEM的体系里就是一般所称的肯证式因素分析（**confirmatory factor analysis, CFA**）模式，也就是说，在SEM中的肯证式因素分析的技

术是用于评鉴观察变项可以定义潜在变项的程度。在 SEM 中, 测量模式可以界定为外因 (exogenous) [7] 观察变项或独立 (independent) 观察变项与内因 (endogenous) 观察变项或依赖 (dependent) 观察变项两类。

我们采用 LISREL [8] 的命名方式, 则外因观察变项是以 X 变项命名, 内因观察变项则是以 Y 变项命名。由 X 变项所反映的潜在变项称为外因潜在变项 (exogenous latent variables) [9], 这些变项以罗马字 ξ (X_i) 代表。 ξ 与 ξ 之间所形成的变异数——共变数矩阵 (variance-covariance matrix, 简称共变数矩阵) 则是以 Φ (phi) 表示。构成外因观察变项与外因潜在变项间的回归系数 (结构参数) 以 Λ_x (lambda x) 表示。外因观察变项的测量误差以 δ (delta) 表示, δ 之间的共变数矩阵以 Θ_δ (theta-delta) 表示。由 Y 变项所反映的潜在变项称为内因潜在变项 (endogenous latent variables) 以 η (eta) 表示。Y 变项的测量误差以 ε (epsilon) 表示。 ε 之间的共变数矩阵以 Θ_ε (theta-epsilon) 表示。构成外因观察变项与外因潜在变项间的回归系数以 Λ_y (lambda y) 表示。

这些变项关系的组合形成各种测量模式, 以下就常遇到的测量模式以图解方式加以说明。图 1-1 呈现以外因观察变项为定义的测量模式。图 1-2 呈现以内因观察变项为定义的测量模式。

图 1-1 以回归方程式的表示如下:

$$x_1 = \lambda_1 \xi_1 + \delta_1 \quad [1-1]$$

$$x_2 = \lambda_2 \xi_1 + \delta_2 \quad [1-2]$$

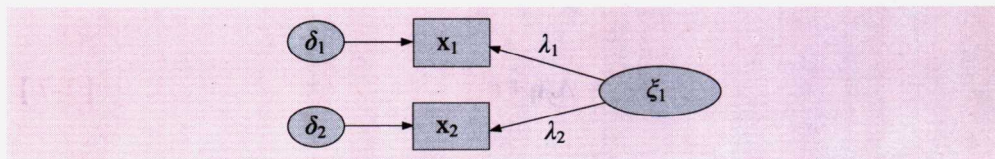


图 1-1

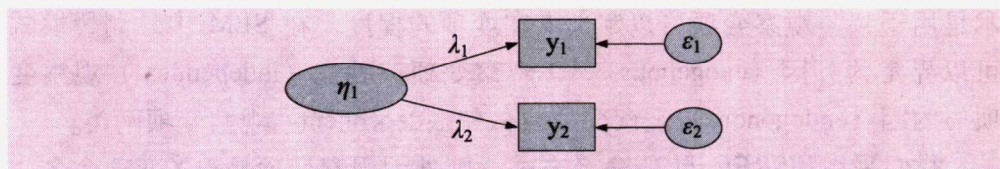


图 1-2

方程式 1-1 和 1-2 可以用下面矩阵形式的方程式来表示:

$$\mathbf{x} = \Lambda_x \boldsymbol{\xi} + \boldsymbol{\delta} \quad [1-3]$$

在此个方程式中 $E(\boldsymbol{\xi})=0$ 与 $E(\boldsymbol{\delta})=0$, 而且 $\boldsymbol{\xi}$ 与 $\boldsymbol{\delta}$ 无相关存在。
方程式 1-3 转成向量形式如下:

$$\begin{matrix} \mathbf{x} & \Lambda_x & \boldsymbol{\xi} & \boldsymbol{\delta} \\ \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} & = & \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad [1-4]$$

图 1-2 以回归方程式的表示如下:

$$y_1 = \lambda_1 \eta_1 + \varepsilon_1 \quad [1-5]$$

$$y_2 = \lambda_2 \eta_1 + \varepsilon_2 \quad [1-6]$$

方程式 1-5 与 1-6 可以用下面矩阵形式的方程式来表示:

$$\mathbf{y} = \Lambda_y \boldsymbol{\eta} + \boldsymbol{\varepsilon} \quad [1-7]$$

在此方程式中, $E(\boldsymbol{\eta})=0$ 与 $E(\boldsymbol{\varepsilon})=0$, 而且 $\boldsymbol{\varepsilon}$ 与 $\boldsymbol{\eta}$ 无相关存在。
方程式 1-7 转成向量形式如下:

$$\begin{matrix} y \\ \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} \end{matrix} = \begin{matrix} \Lambda_y \eta \\ \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \end{bmatrix} \end{matrix} + \begin{matrix} \varepsilon \\ \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad [1-8]$$

图 1-1 与图 1-2 皆是单一潜在变项的测量模式。测量模式也可以推展到两个以上有共变关系的潜在变项。图 1-3 就是属于两个有共变关系潜在变项的测量模式，每一个潜在变项以 3 个观察变项来建构。此种测量模式由于 2 个潜在因素是属于同一层次，因此称为一级（first-order）或初级（primary）肯证式因素分析测量模式。当然，对于一级肯证式因素分析测量模式而言，形成一级的潜在因素，可以是 2 个因素、3 个因素、4 个因素——而反映这些因素的观察变项可以用 2 个、3 个、4 个等。

图 1-3 之矩阵形式的方程式表示如下：

$$\mathbf{x} = \Lambda_x \xi + \delta \quad [1-9]$$

方程式 1-9 转成向量形式如下：

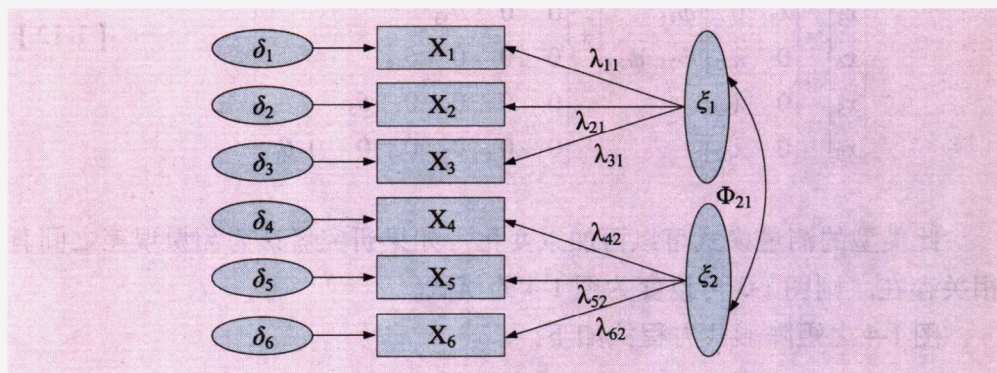


图 1-3