



北京師範大學
BEIJING NORMAL UNIVERSITY



AICFE
未|來|教|育|高|精|尖|創|新|中|心
Advanced Innovation Center for Future Education

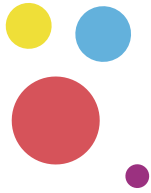
从因子分析到结构方程模型

主讲人：罗九同

北京师范大学未来教育高精尖创新中心 学科教育实验室

& 珠海校区人文和社会科学高等研究院 教育科技中心

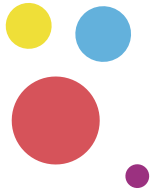
2020年12月23日



目录

一、因子分析：探索性与验证性因子分析

二、结构方程模型：横断面（Cross-sectional）数据、纵向（Longitudinal）数据



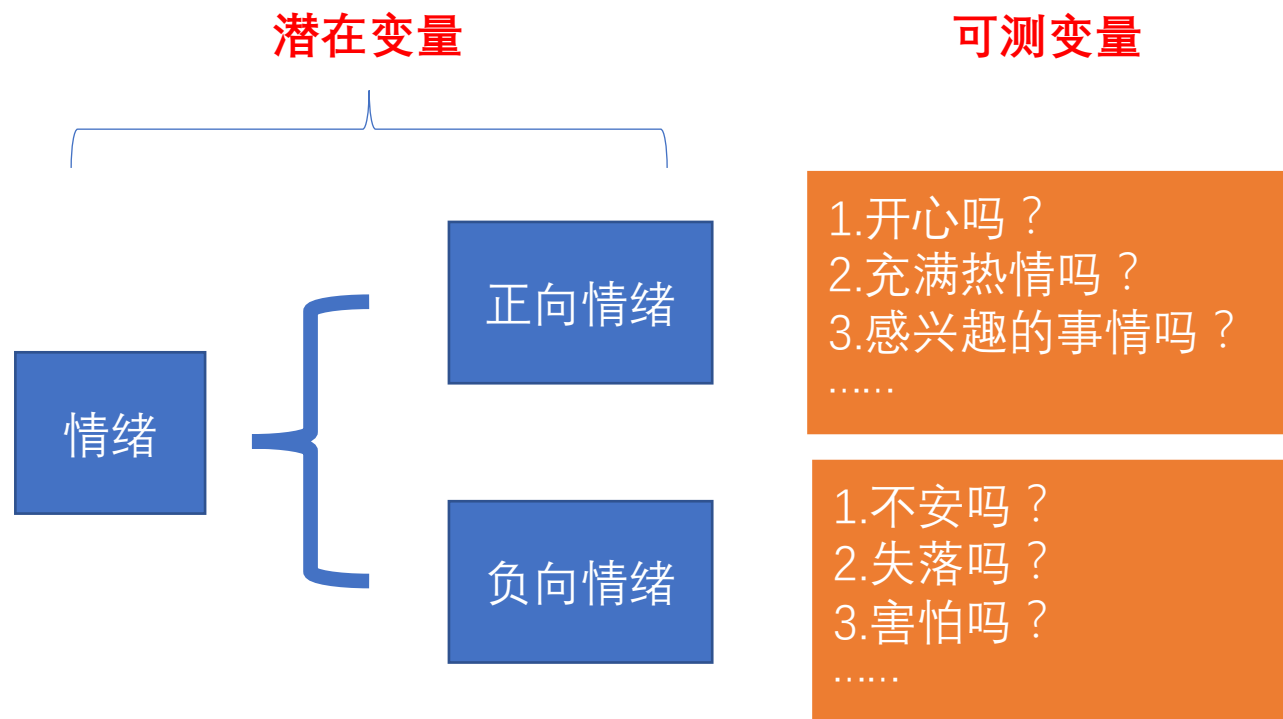
因子分析

➤ 变量的可测性

- **可测变量**（Measured variable）：可以直接观测或测量得到的变量；
- **潜在变量**（Latent variable）：不能或不易直接观测到的变量。这种变量往往是根据某种理论假设的，所以也称为理论变量（Theoretical variable）。



因子分析





因子分析

➤ 什么是因子分析（**Factor analysis**）？

- **因子分析**是用来寻找那些隐藏在可测变量中的，无法直接观察到的，却影响或支配可测变量的潜在因子；并估计潜在因子对可测变量的影响程度以及潜在因子之间的关联性的一种多元统计方法。
- 主要运用于社会科学，特别是心理测量，现在也已经拓展到自然科学领域等。



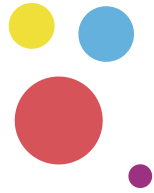
因子分析

➤目的:

- 理论上：研究原始变量（可测变量）的内部关系，简化原始变量的内部结构，分析变量中存在的相关关系。
- 应用上：寻求众多变量的共同因子，即探讨多个能直接测量的且有一定相关性的实测指标是如何受少数几个不能直接测量的相对独立的因子支配的。

➤基本思想:

- 根据变量间相关性的把变量分组，使得同组内的变量之间的相关性（共性）较高，并用一个因子来代表这个组的变量，而不同组的变量相关性较低。



因子分析

➤探索性因子分析（Exploratory Factor Analysis; EFA）：

- 涉及到很多的可测变量，而且在研究之前，并不清楚有哪些可能的潜在因子会影响这些可测变量。
- SPSS等实现

注意事项：

- 1) 两者都至少较大样本（200以上）；
- 2) 一般不可对同一组数据即进行EFA又进行CFA！！！！

➤验证性因子分析（Confirmatory Factor Analysis; CFA):

- 根据以往的经验或根据EFA的结果已经大致清楚哪些可测变量可能被哪个潜在因子所影响，而只需进一步确定每一个潜在变量对可测变量的影响程度，以及了解这些潜在因子之间的**关联度**。
- Amos, Mplus等实现

案例1：因子分析

媒体“一心多用” (*Media Multitasking*)

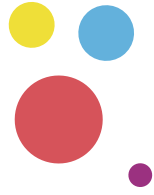


执行定义

- 用户同时开展多种媒体活动或频繁由一种媒体活动转换到另一媒体活动 (Ophir et al., 2009)。
- 此后，又有研究者将其拓展为即可以是在不同媒体活动之间，又可以是在媒体活动与非媒体活动之间的转换 (e.g., Lim & Shim, 2016)。

研究发现

- 2010年，一项调查研究表明，媒体“一心多用”占据了青少年使用媒体的约29%的时间；而这个数据进一步上升到2015年的60%左右 (Rideout et al., 2010; Rideout, 2015)。
- 特别是，研究发现，高媒体“一心多用”群体经常在认知任务（如执行功能任务）和心理特征上表现不如低媒体“一心多用”群体 (Ophir et al., 2009; Sanbonmatsu et al., 2013)。



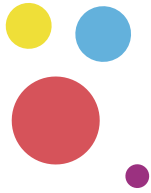
案例1：因子分析

| | Print media | Television | Computer-based video (such as YouTube or online television episodes) | Music | Nonmusic audio | Video or computer games | Telephone and mobile phone voice calls | Instant messaging | SMS (text messaging) | Email | Web surfing | other computer-based applications (such as word processing) |
|--|-------------|------------|--|---------|----------------|-------------------------|--|-------------------|----------------------|---------|-------------|---|
| Total number of hours spent per week | __ hour | __ hour | __ hour | __ hour | __ hour | __ hour | __ hour | __ hour | __ hour | __ hour | __ hour | __ hour |
| ①Most of the time; ②Some of the time; ③A little of the time; ④Never | | | | | | | | | | | | |
| Print media | | | | | | | | | | | | |
| Television | | | | | | | | | | | | |
| Computer-based video (such as YouTube or online television episodes) | | | | | | | | | | | | |
| Music | | | | | | | | | | | | |
| Nonmusic audio | | | | | | | | | | | | |
| Video or computer games | | | | | | | | | | | | |
| Telephone and mobile phone voice calls | | | | | | | | | | | | |
| Instant messaging | | | | | | | | | | | | |
| SMS (text messaging) | | | | | | | | | | | | |
| Email | | | | | | | | | | | | |
| Web surfing | | | | | | | | | | | | |
| other computer-based applications (such as word processing) | | | | | | | | | | | | |

- 对研究者和被试来说，都过于复杂 (Baumgartner et al., 2017; Wilmer et al., 2017)。
- 研究者经常根据自己的需要修订量表的长度，因此，不能很好的进行不同人群的比较。
- 没有经过因子分析。

媒体“一心多用”问卷(MMQ; Ophir et al., 2009)
 144 blanks (simplified version ranges from **49 – 144 items**)



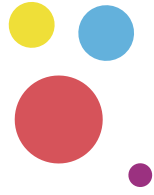


案例1：因子分析

- 目的：开发和验证一个适用于中国青少年的媒体“一心多用”量表。
 - 根据以往研究，列举了50个题目，即50个可测量的变量；
 - 从以往经验和研究中，不能很好地解释其潜在因子；
 - 因此，需要使用EFA进行探索并使用CFA验证。

- 做法：发放并成功回收1140份问卷；随机对半分开，一半做EFA，一半做CFA。





案例1：因子分析

探索性因子分析结果

| Item | Factor Loading | | |
|--------------------------|----------------|-------|--------|
| | MAM | MMNM | CWM |
| MAM01 | 0.75 | | |
| MAM02 | 0.74 | | |
| MAM03 | 0.70 | | |
| MAM04 | 0.78 | | |
| MAM05 | 0.77 | | |
| MMNM01 | | 0.63 | |
| MMNM02 | | 0.64 | |
| MMNM03 | | 0.79 | |
| MMNM04 | | 0.70 | |
| CWM01 [*] | | | 0.67 |
| CWM02 [*] | | | 0.73 |
| CWM03 [*] | | | 0.74 |
| CWM04 [*] | | | 0.79 |
| CWM05 [*] | | | 0.77 |
| Eigenvalue | 4.07 | 1.25 | 2.34 |
| Explained Variance | 29.09% | 8.96% | 16.72% |
| Total Explained Variance | 54.77% | | |

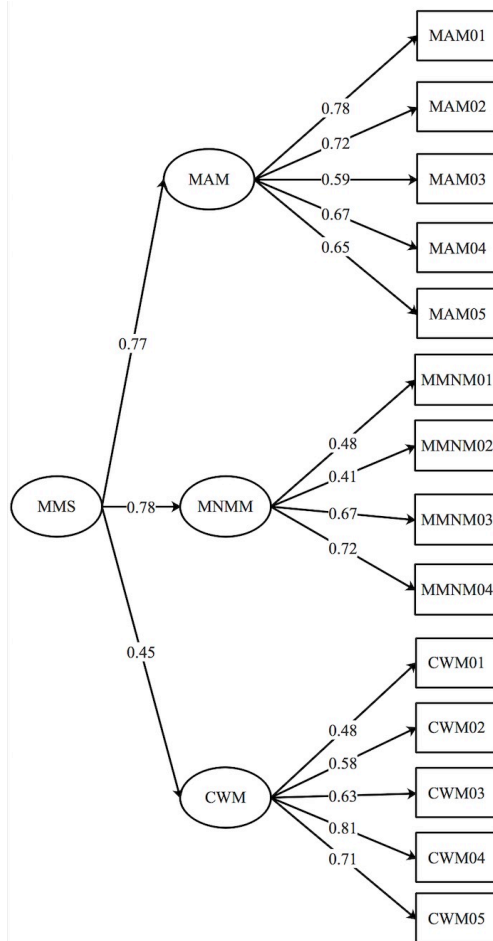
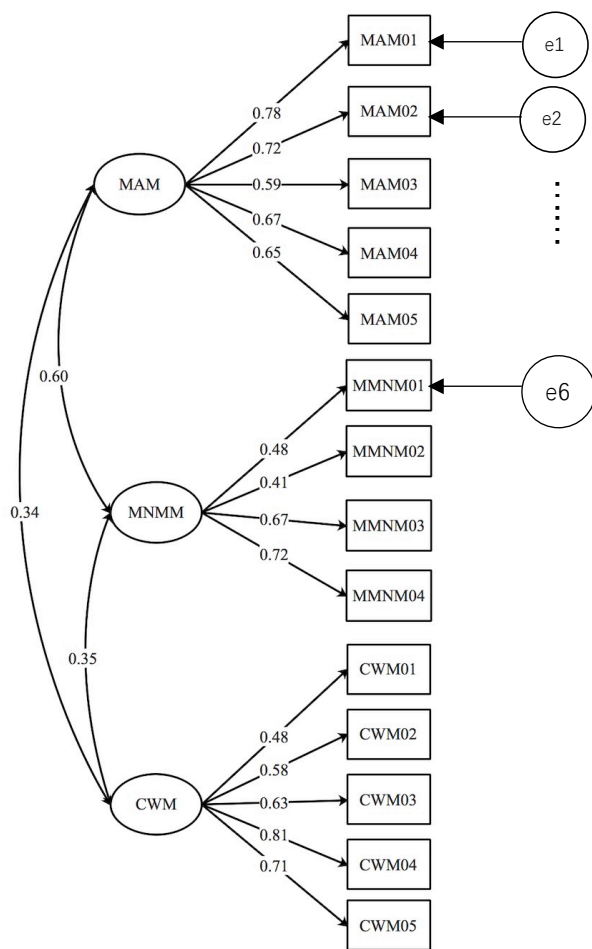
• 特征值 > 1
• 因子载荷大于0.60 (交叉载荷不大于0.30)

三个维度：

- 不同媒体间的“一心多用”：Multitasking across media activities; MAM
- 媒体与非媒体的“一心多用”：Multitasking with media and non-media activities; MMNM
- 专心而不“一心多用”：Concentration without multitasking (反向题); CWM

案例1：因子分析

验证性因子分析结果



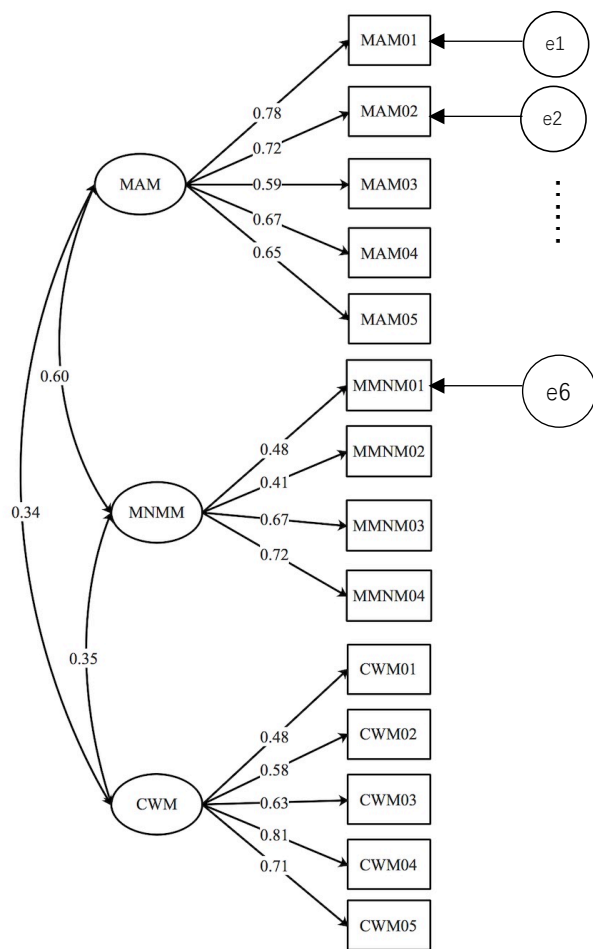
- 一阶CFA模型拟合参数：
 $\chi^2=181.867$, $df=74$, $p < .001$,
CFI=0.939, TLI=0.925,
RMSEA=0.051, SRMR=0.040.

- 二阶CFA模型拟合参数：
 $\chi^2=181.867$, $df=74$, $p < .001$,
CFI=0.939, TLI=0.925,
RMSEA=0.051, SRMR=0.040.

- $\chi^2/df < 3$ (为宜) < 5 (部分情况可以接受)
- CFI, TLI > 0.9 (adequate) > 0.95 (better)
- SRMR, RMSEA < 0.06 (good) < 0.08 (adequate)

案例1：因子分析

模型修正



- 如果模型拟合参数未达到理想情况：
 - 1) 参考输出报告中的Modification indices，逐个将能带来最大模型改变的两个误差连起来；
 - 2) 只能选择在同一维度里进行；
 - 3) 尽可能少。

- $\chi^2 / df < 3$ (为宜) < 5 (部分情况可以接受)
- CFI, TLI > 0.9 (adequate) > 0.95 (better)
- SRMR, RMSEA < 0.06 (good) < 0.08 (adequate)



小节

- 因子分析本质上是对数据进行降维，从可测变量中寻找潜在变量，可分为探索性和验证性因子分析（EFA & CFA）；
- EFA是探索性，由数据驱动的，其产生的因子个数也由数据决定；CFA是验证性，由理论或经验驱动，其因子个数由研究者指定；
- 开发问卷时，通常需要先进行EFA，再进行CFA；并且两种分析不能运用同一个数据集；
- 一阶CFA每个维度至少需要包含3个题目，二阶CFA至少需要包含3个因子；否则不能识别。
- 考察标准：
 - EFA：特征值 > 1 ；因子载荷大于0.60 (交叉载荷不大于0.30或0.40)；总解释方差大于50%
 - CFA： $\chi^2 / df < 3$ （为宜） < 5 （部分情况可以接受）；CFI, TLI > 0.9 (adequate) > 0.95 (better)；SRMR, RMSEA < 0.06 (good) < 0.08 (adequate)



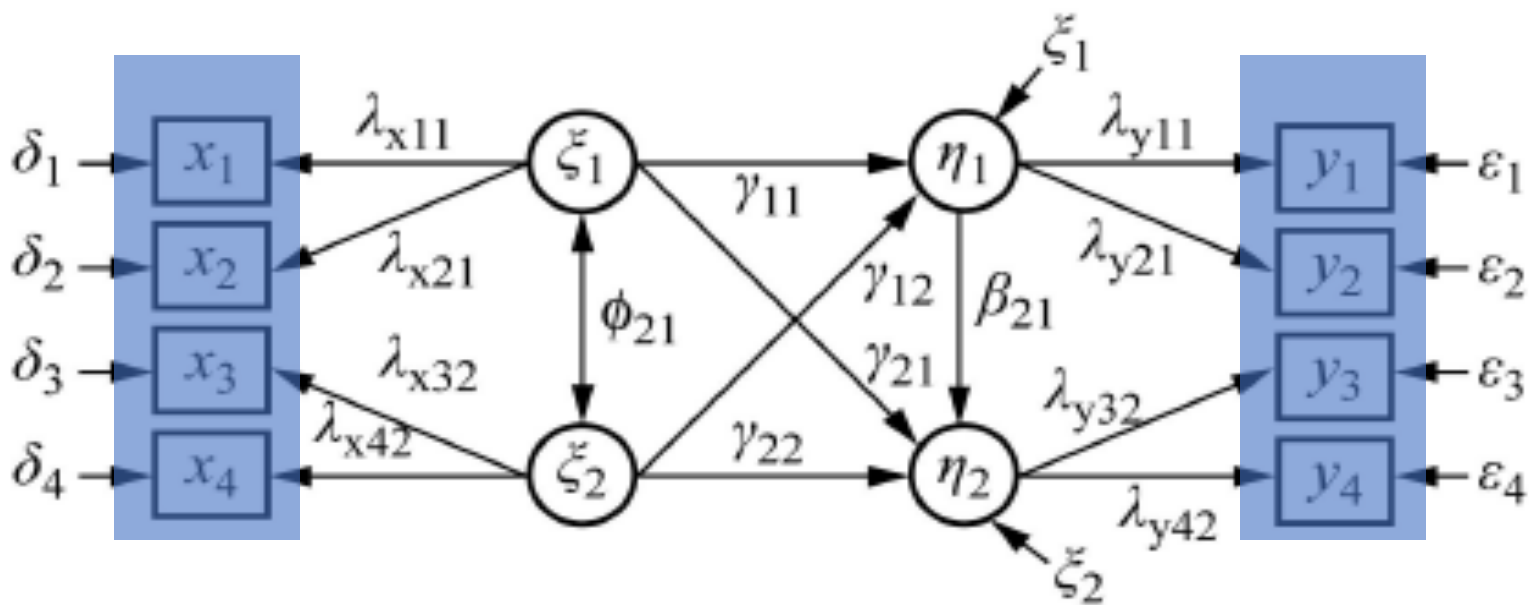
结构方程模型

➤ 结构方程模型（Structural Equation Modeling; SEM）

- **定义：**应用线性方程表示观测变量与潜在变量之间，以及潜在变量之间关系的一种多元统计方法，其实质是一种**广义的一般线性模型**。
- **类型：**
 - ✓ 1) 横断面数据分析（Cross-sectional data）：对一次采集的数据进行分析；
 - ✓ 2) 纵向数据（Longitudinal data）：对长周期的数据进行分析。
- **衍生分析：**
 - ✓ 多群组分析（Multigroup analysis）：对不同群组数据进行分析（可以是横断面数据，也可以是纵向数据）；
 - ✓ 测量不变性（Measurement invariance）分析：对不同群组、多次测量等结果模型的变化程度。

结构方程模型

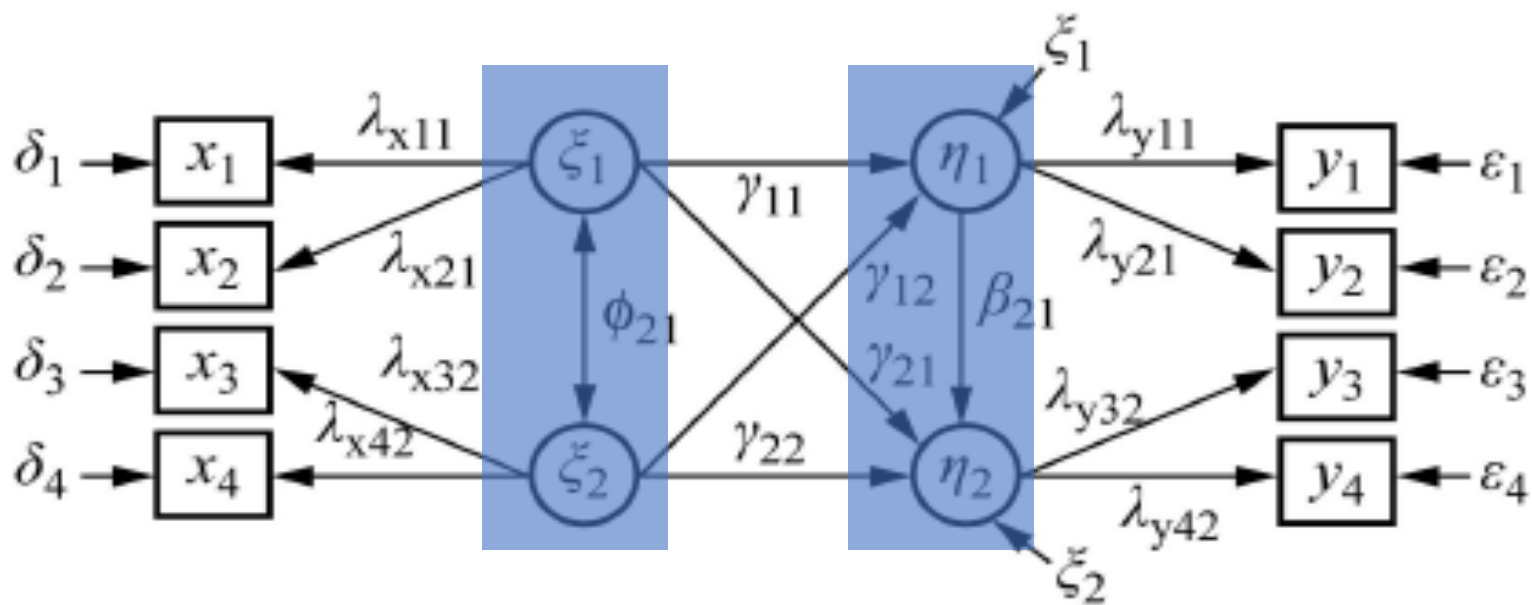
➤ 结构方程模型 (Structural Equation Modeling; SEM)



- **观测变量:** 能够观测到的变量 (长方形表示)。

结构方程模型

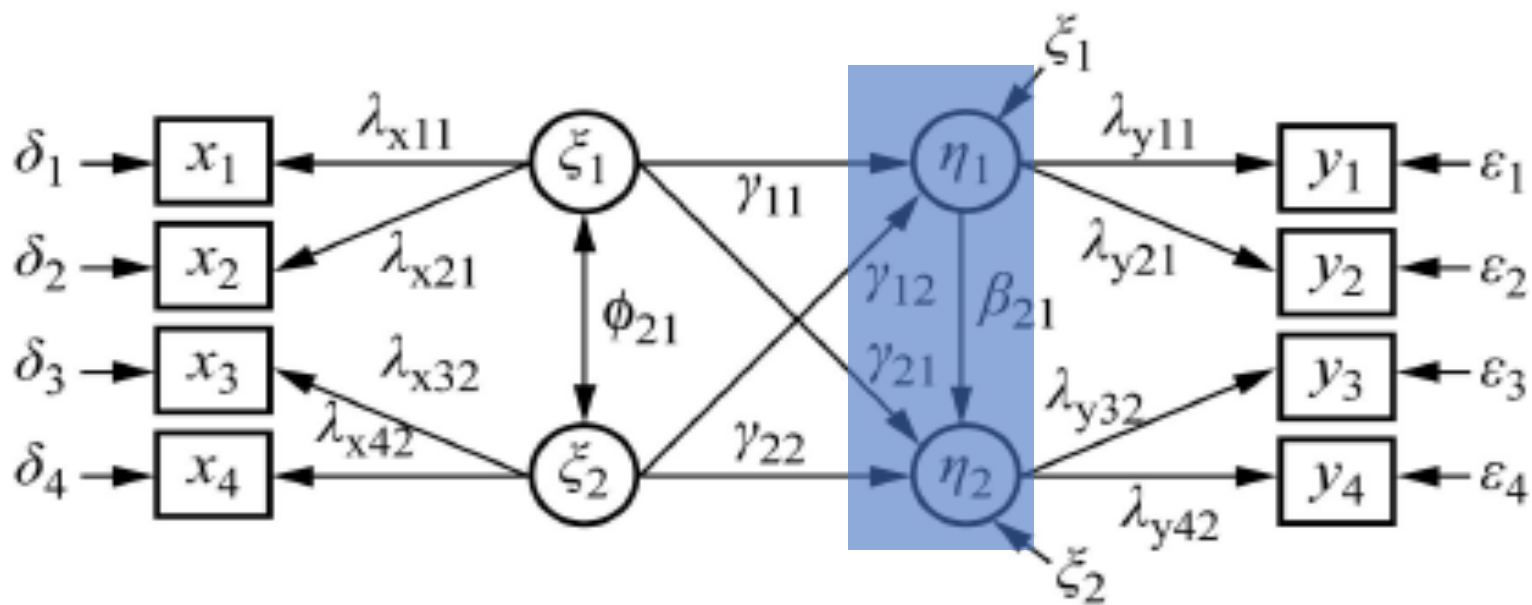
➤ 结构方程模型 (Structural Equation Modeling; SEM)



- **潜在变量:** 难以直接测量到的抽象概念，由测量变量推估出来（椭圆形表示）。

结构方程模型

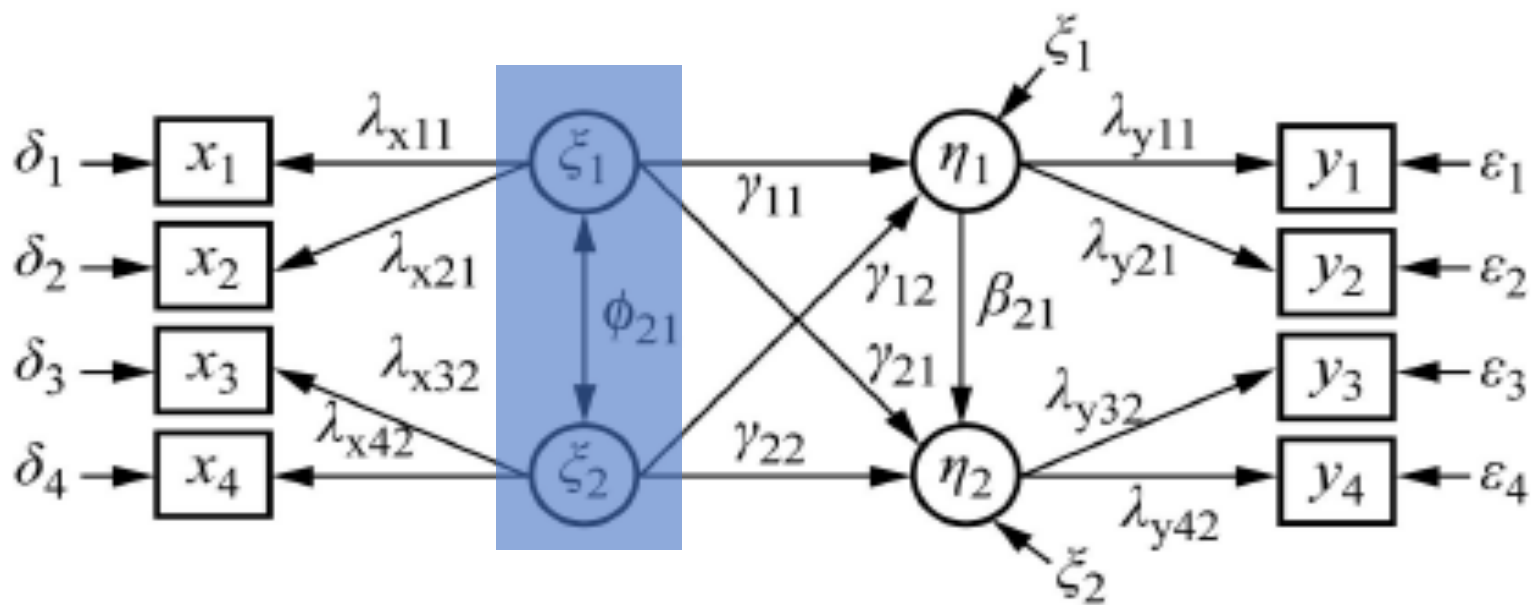
➤ 结构方程模型 (Structural Equation Modeling; SEM)



- **内生变量（因变量）：**模型总会受到任何一个其他变量影响的变量（会受到任何一个其他变量以单箭头指向的变量）。

结构方程模型

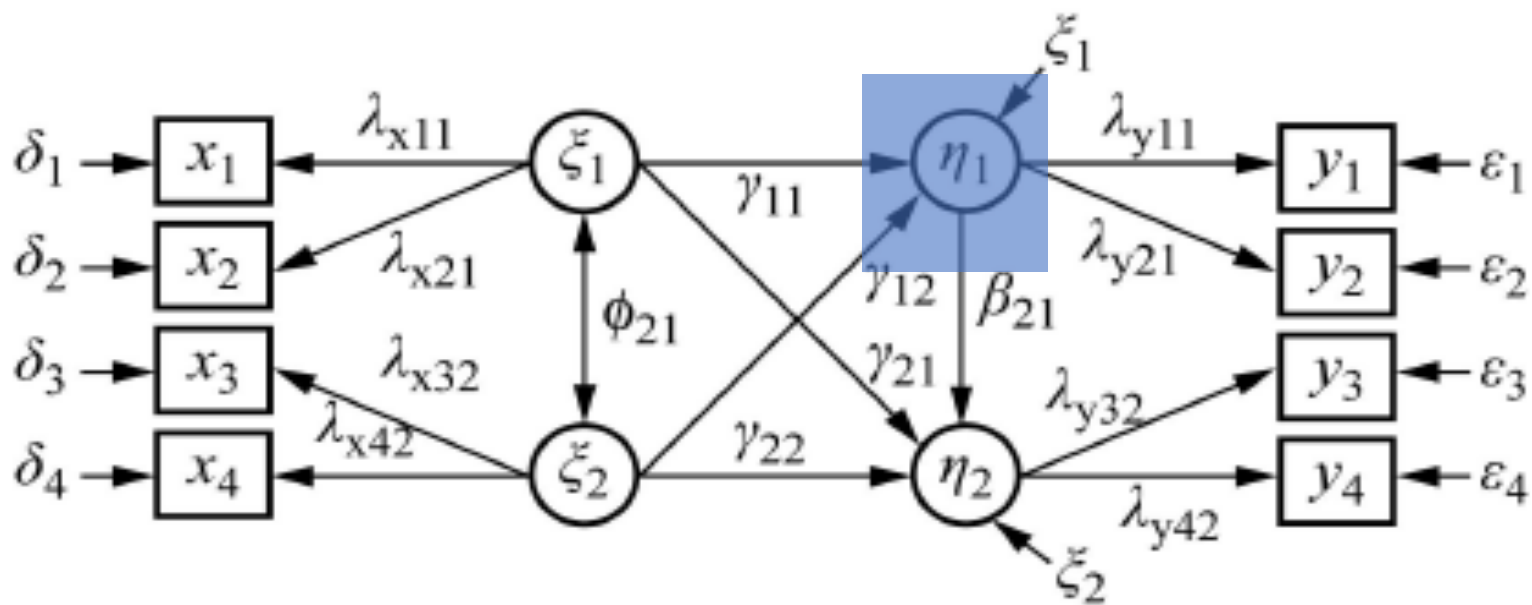
➤ 结构方程模型 (Structural Equation Modeling; SEM)



- **外生变量（自变量）：**模型不受任何其他变量影响，但影响其他变量的变量（会指向任何一个其他变量，但不受任何变量以单箭头指向）。

结构方程模型

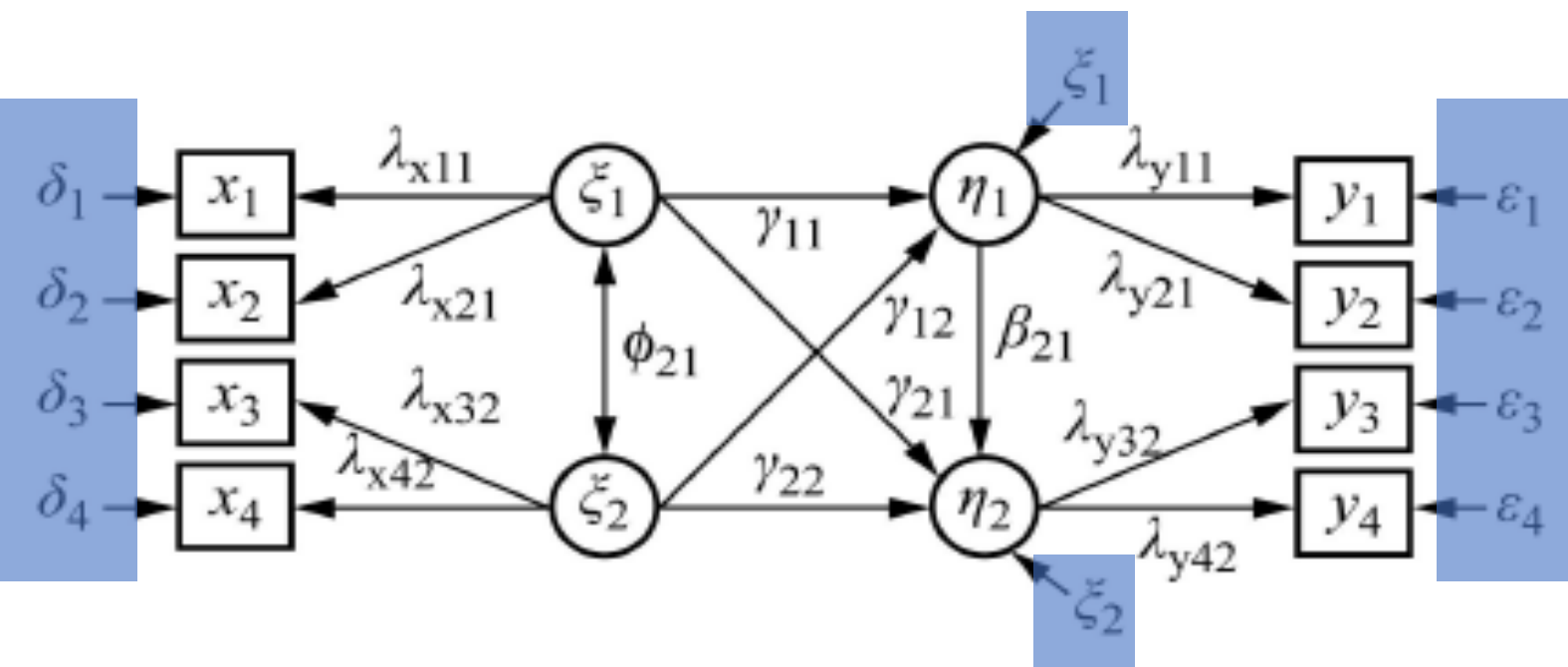
➤ 结构方程模型 (Structural Equation Modeling; SEM)



- **中介变量:** 当内生变量同时作为因变量和自变量时, 表示该变量不仅被其他变量影响, 还可能对其他变量产生影响。

结构方程模型

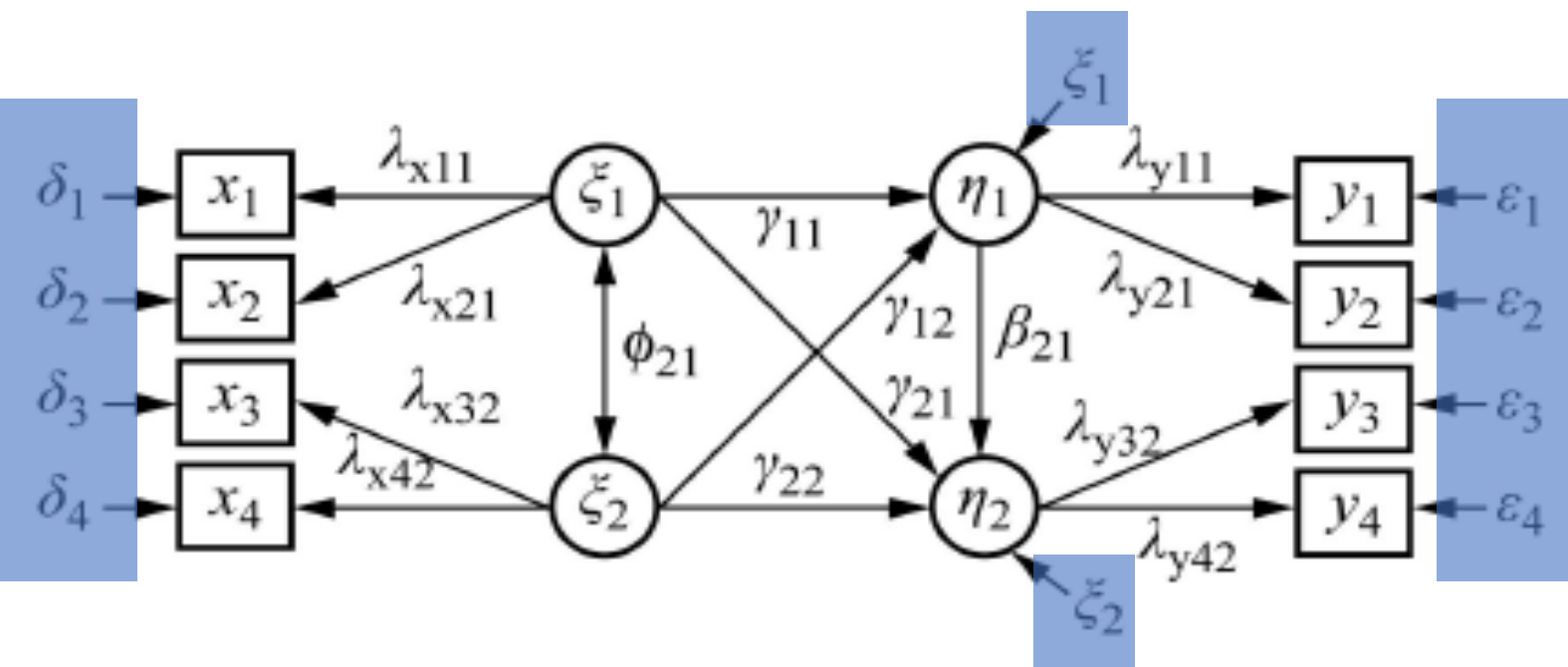
➤ 结构方程模型 (Structural Equation Modeling; SEM)



- **误差项:** 模型里未能解释的部分 (所有变量及变量关系未能解释的部分; 用小圆圈或者无任何边框表示)。
- 单向箭头指向观测变量, 表示测量误差; 指向因子或潜在变量, 表示内生变量未能被外甥潜在变量解释的部分, 是方程的误差。

结构方程模型

➤ 结构方程模型 (Structural Equation Modeling; SEM)



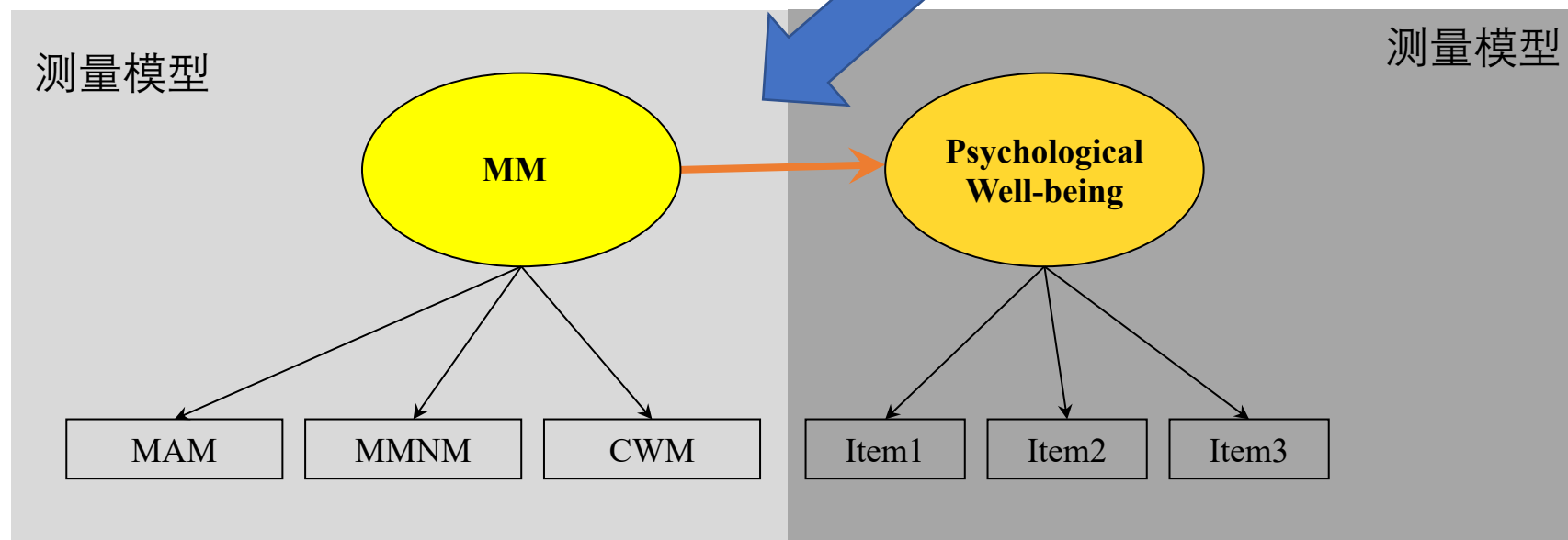
- 单向箭头连接的两个变量表示假定有因果关系，箭头由外生变量（自变量）指向内生变量（因变量）；
- 连线的两端都有箭头：表明它们之间互为因果；
- 弧形双箭头：表示相关关系；
- 没有连接线：没有之间关系。

结构方程模型

➤ 结构方程模型 (Structural Equation Modeling; SEM)

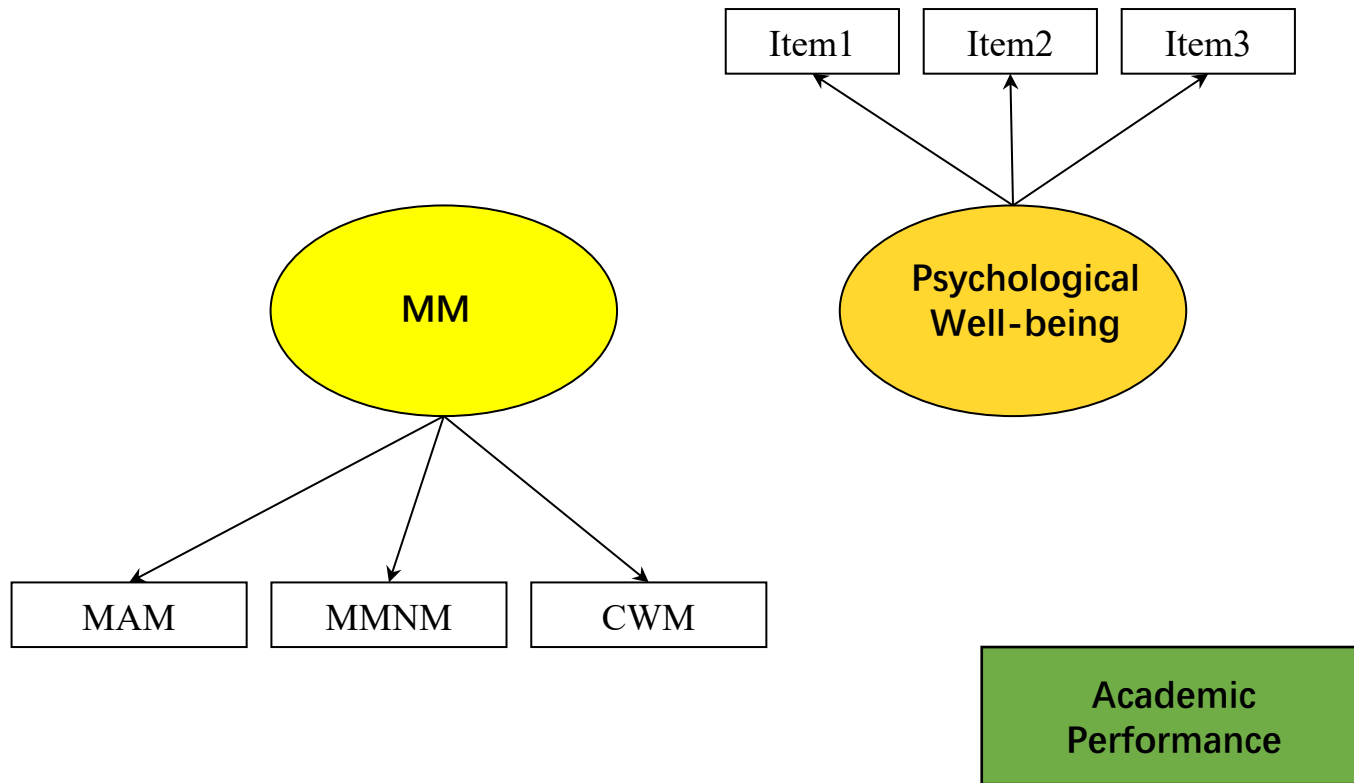
- 测量模型+结构模型
- 其中，测量模型即为CFA，而结构模型则类似于回归

路径系数

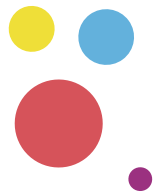




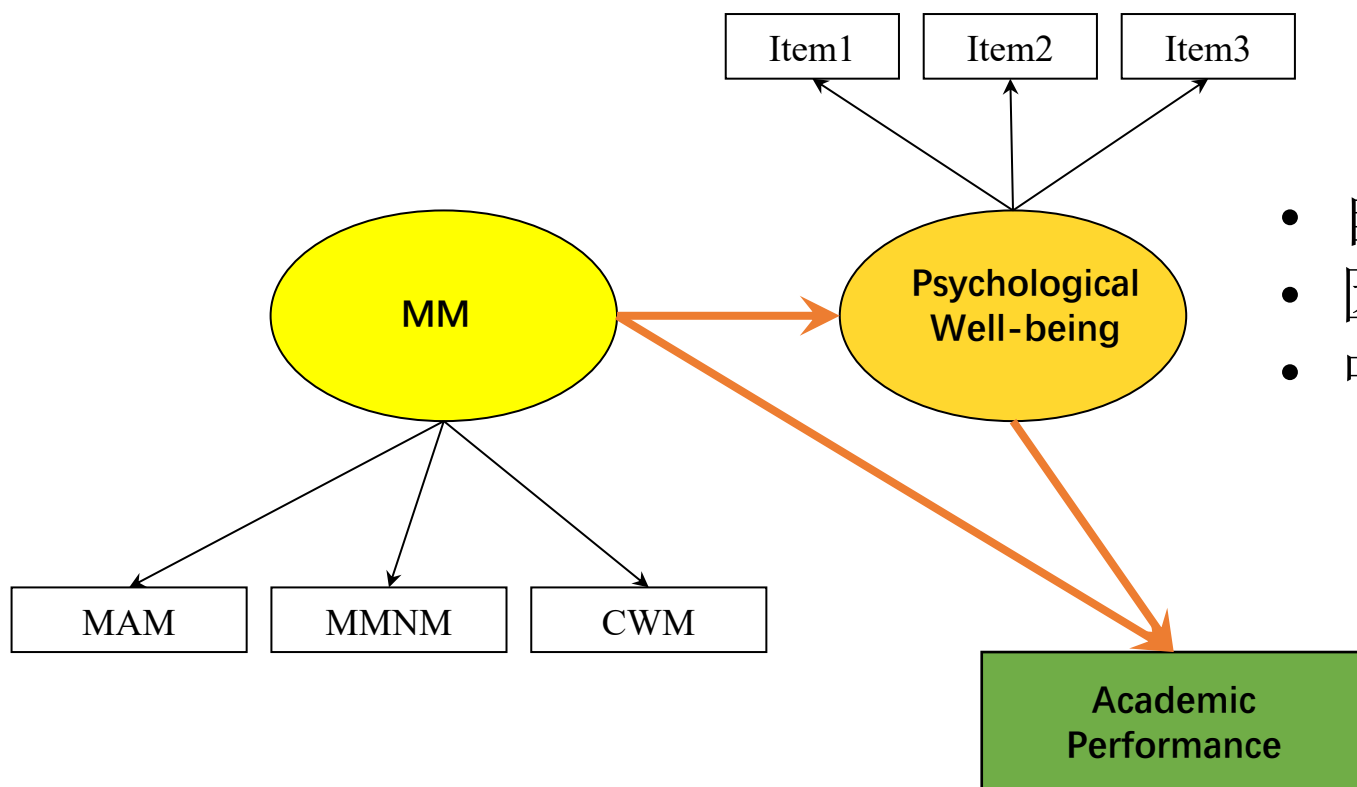
结构方程模型



- 都是测量模型；
- 其中，MAM, MMNM, CWM, Item1, Item2, Item3, Academic Performance都是观测变量（可测量变量）

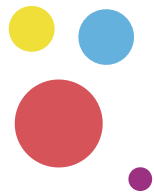


结构方程模型

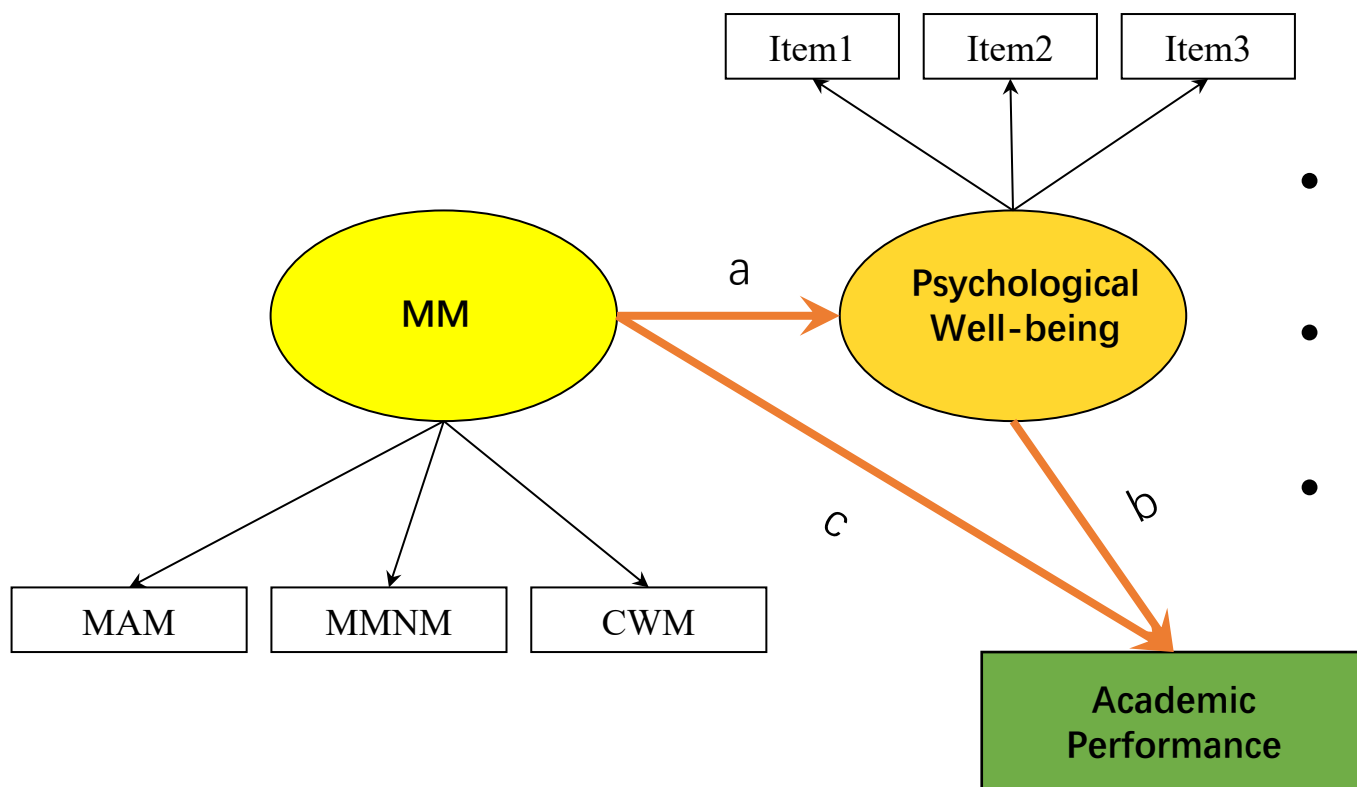


- 自变量: MM;
- 因变量: Academic Performance ;
- 中介变量: Psychological Well-being (同时具有自变量和因变量的性质)





结构方程模型



- 直接效应：大小等于路径系数 (a, b, c)；
- 间接效应：大小等于路径系数的乘积 ($a*b$)；
- 总效应：直接效应+间接效应 ($c+a*b$)。





结构方程模型

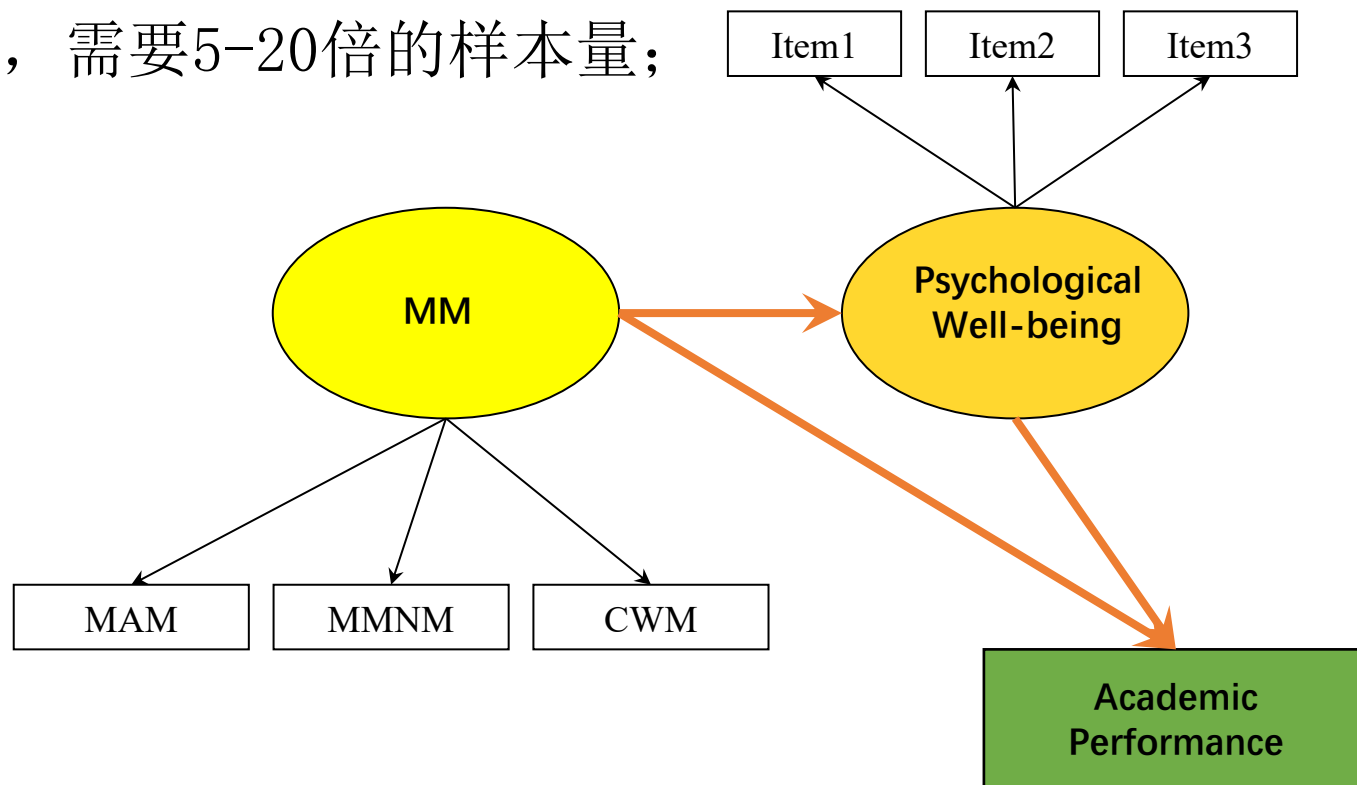
➤ 技术特性

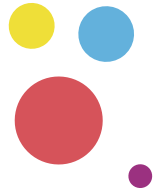
- 具有**理论先验性**，因而常被视为验证性而非探索性统计方法；
- 同时处理因素的**测量关系**和因素之间的**结构关系**；
- 以**协方差矩阵**的运用为核心；
- 适用于大样本分析；
- 包含**不同的统计技术**，融合了因子分析和路径分析两种统计技术；
- 重视**多重统计指标**的运用。

结构方程模型

➤ 样本大小

- 一般以估计参数数量为参考，需要5-20倍的样本量；
- 或者至少保证200以上样本。

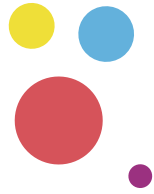




结构方程模型

➤ 三种模型策略：

- **严格验证策略（纯粹验证）**：就是单一假设模型的验证。只有一个模型去拟合现有数据，分析的目的在于验证模型是否拟合样本数据（心中只有一个模型；不常见，无论接受或者拒绝假设模型，通常都希望有更好的选择）。
- **替代策略（选择模型）**：提出多个模型，从各模型拟合的优劣，来决定哪个模型最为合适（但在实际中也会对模型进行轻微的修改，成为产生模型）。
- **模型发展策略（产生模型）**：先提出一个或多个基本模型，基于理论或数据，找出模型中拟合欠佳的部分，修改模型，并再次通过同一或者其他样本，检查修正模型的拟合程度，目的在于产生一个最佳模型。



结构方程模型

➤ 分析步骤:

- **模型建构 (Model Specification)**

- ✓ 观测变量与潜在变量的关系;
- ✓ 潜在变量之间的相互关系。

- **模型拟合 (Model Fitting)**

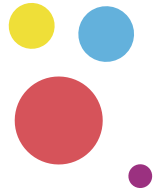
- ✓ 运用软件对模型求解，主要是模型参数的估计，求得参数使模型隐含的协方差矩阵与样本协方差的“差距”最小。

- **模型评价 (Model Assessment)**

- ✓ 路径系数/载荷系数的显著性;
- ✓ 各参数与预设模型的关系是否合理;
- ✓ 各拟合参考指标是否达到要求。

- **模型修正 (Model Modification)**

- ✓ 模型发展（参考修正指数）、模型限制（删除或限制部分路径）等



结构方程模型

➤ 模型评价：

- 任务：评价假设的模型对数据的拟合程度；
- 原因：一个拟合优度高的模型并不表示该模型是正确的模型，也不表示该模型有很高的实用性，只能说假设模型比较符合实际的数据。

有时候，研究者无法对估计和检验的结果进行解释。因此，SEM强调理论的重要性，要依据相关理论来构建假设模型，之后再根据拟合优度指标来评价模型；而不应该完全从数据出发，随意调整模型。



结构方程模型

➤ 模型评价：

- **基本拟合标准：** 用来检验模型的误差以及误输入等问题。
- **主要包括：**
 - ✓ 不能有负的测量误差；
 - ✓ 测量误差必须达到显著性水平；
 - ✓ 因子载荷必须 >0.4 （但不能高于 0.95 ）；
 - ✓ 估计参数统计量彼此之间相关的绝对值不能太接近 1 ；
 -





结构方程模型

➤模型评价：

- **内在结构拟合度：**评价模型内估计参数的显著度、各指标及潜在变量的信度（即模型内在质量的检验）。
- **主要包括：**
 - ✓ 潜变量的组合信度（CR），0.7以上表明组成信度较好（所有观测变量的信度的组合，用来分析潜变量的各观测变量间的一致性）；
 - ✓ 平均提取方差，0.5以上为可接受的水平（估计测量模型的聚合效度，反应了潜变量的各观测变量对该潜变量的平均差异解释力，即前变量的各观测变量与测量误差相比，在多大程度上捕捉到了该潜变量的变化）。

结构方程模型

➤ 模型评价:

- 整体模型拟合度: 评价模型与数据的拟合程度。
- 主要包括:
 - ✓ 绝对拟合度: 确定模型可以预测协方差矩阵和相关矩阵的程度;
 - ✓ 简约拟合度: 用来评价模型的简约程度;
 - ✓ 增值拟合度: 理论与虚无模型比较。

| 指标 | 绝对拟合度 | | | | | 简约拟合度 | | 增值拟合度 | | |
|------|----------|-------------|------|-------|-------|-------|------|-------|------|------|
| | χ^2 | χ^2/df | GFI | SRMR | RMSEA | PNFI | PGFI | NFI | TLI | CFI |
| 评价标准 | 不显著 | <3 | >0.9 | <0.08 | <0.08 | >0.5 | >0.5 | >0.9 | >0.9 | >0.9 |



结构方程模型

➤ 模型修正:

- 测量模型修正:

- ✓ 添加或删除因子载荷;
- ✓ 添加或删除因子之间的协方差;
- ✓ 添加或删除测量误差的协方差。

- 结构模型修正:

- ✓ 添加或减少潜在变量数目;
- ✓ 添加或删除路径系数;
- ✓ 添加或删除残差项的协方差。

- **注意事项:**

- ✓ 实质上是增加和删除路径工作;
- ✓ 每次只修改一个参数。



衍生分析（CFA和SEM）

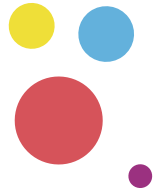
➤多群组分析：

- 具体开展多群组分析：性别、年龄等。

➤测量不变性：

- 解决问卷翻译、测量形式、不同人群、不同时间、跨文化等过程中，模型是否具有的一致性；
- 跨组别和多时间研究的逻辑起点和先决条件。





案例2：多群组分析

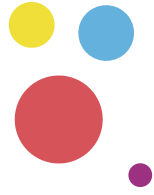
目的：研究媒体“一心多用”和自尊心的关系，以及人际关系（同伴影响和家庭功能）的中介效应。

被试

- 725名12-18岁的中国青少年

测量工具

- 媒体“一心多用”量表 (Luo et al., 2018)
- 自尊心量表 (Dong & Lin, 2011; Shi et al., 2017)
- 家庭功能量
- 同伴影响量表 (Steingerg & Monahan, 2007)



案例2：多群组分析

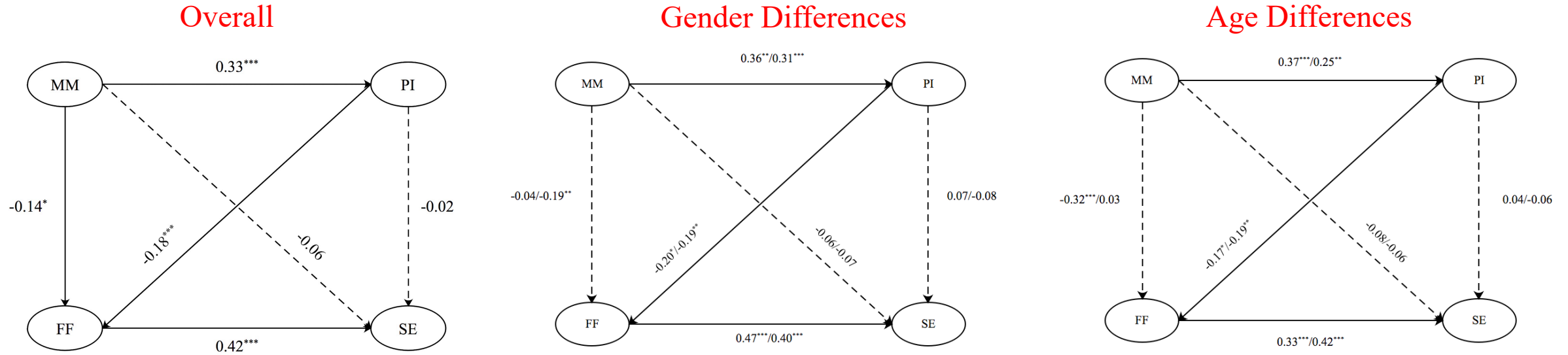
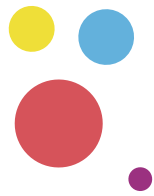


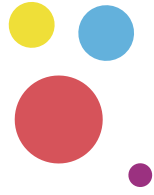
Figure. Finalized structural model (left), Gender differences model (middle; boys/girls), and age differences model (right; early/middle adolescents)



衍生分析（CFA和SEM）

➤ 测量不变性:

- **形态等值 (Configural Invariance)**: 也称因素模式等同、构形不变性、相等形式, 检验潜变量的构成形态或模式 (structure), 是其他不变性的前提条件。
- **单位等值 (Metric invariance)** 或弱等值 (Weak Invariance), 也称度量不变性/弱 (阶乘) 不变性/等因子负荷, 检验测量因子与项之间的关系——因子负荷 (factor loading) 是否跨组等值。等因子负荷意味着观测项和潜在因子之间在不同组间具有着相同的意义, 即不同组别的被试对同一个构念 (construct) 的理解是一致的。
- **尺度等值 (Scalar invariance)** 或强等值 (Strong Invariance), 也称标量不变性/强 (阶乘) 不变性/等截距: 检验观测变量的截距 (intercept) 是否跨组等值。等截距意味着不同组别被试对测量内容的系统倾向性一致, 也意味着不同组被试如果对一个潜在构念有赋值相同, 则对此构念包含的项的赋值也相同。



案例3：结构方程模型（Longitudinal data，纵向）

目的：研究媒体“一心多用”、自尊心和学习成绩间的交叉滞后效应。

被试

- 447名12-18岁的中国青少年

测量工具

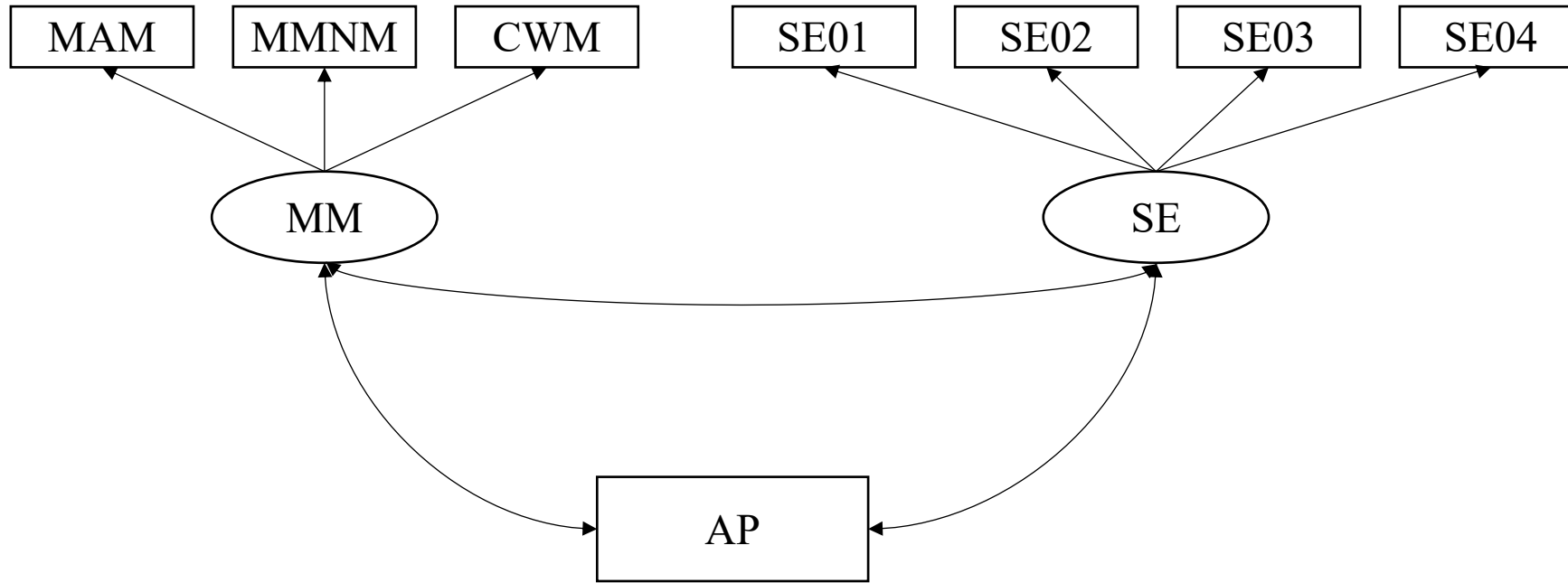
- 媒体“一心多用”量表 (Luo et al., 2018)
- 自尊心量表 (Dong & Lin, 2011; Shi et al., 2017)
- 学习成绩
- 测量两次，间隔6个月





案例3：结构方程模型（Longitudinal data, 纵向）

- 测量模型





案例3：结构方程模型（Longitudinal data，纵向）

- 测量不变性

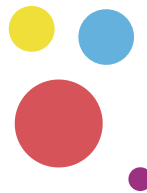
Model fit statistics for longitudinal measurement invariance, autoregressive, cross-lagged and mediation models.

| Model fit | Model 1 | Model 2 | Model 3 | Model 4 | Model 5 | Model 6 |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| χ^2 | 117.913 | 122.992 | 141.716 | 193.862 | 174.324 | 194.680 |
| df | 26 | 33 | 40 | 90 | 84 | 89 |
| χ^2/df | 4.535 | 3.727 | 3.543 | 2.154 | 2.075 | 2.187 |
| p | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| CFI | 0.943 | 0.944 | 0.937 | 0.955 | 0.961 | 0.954 |
| TLI | 0.908 | 0.929 | 0.934 | 0.940 | 0.944 | 0.955 |
| RMSEA | 0.063 | 0.055 | 0.053 | 0.051 | 0.049 | 0.052 |
| 90% CI | 0.052–0.075 | 0.045–0.066 | 0.044–0.063 | 0.041–0.061 | 0.039–0.059 | 0.042–0.061 |
| SRMR | 0.089 | 0.084 | 0.089 | 0.074 | 0.068 | 0.072 |

Note. Model 1 = configural invariance model, Model 2 = metric invariance model, Model 3 = scalar invariance model, Model 4 = autoregressive model, Model 5 = cross-lagged model, Model 6 = mediation model, χ^2 = chi-square, df = degrees of freedom, CFI = comparative fit index, TLI = Tucker-Lewis index, RMSEA = root mean square error of approximation, CI = confidence interval, SRMR = standardized root mean residual.

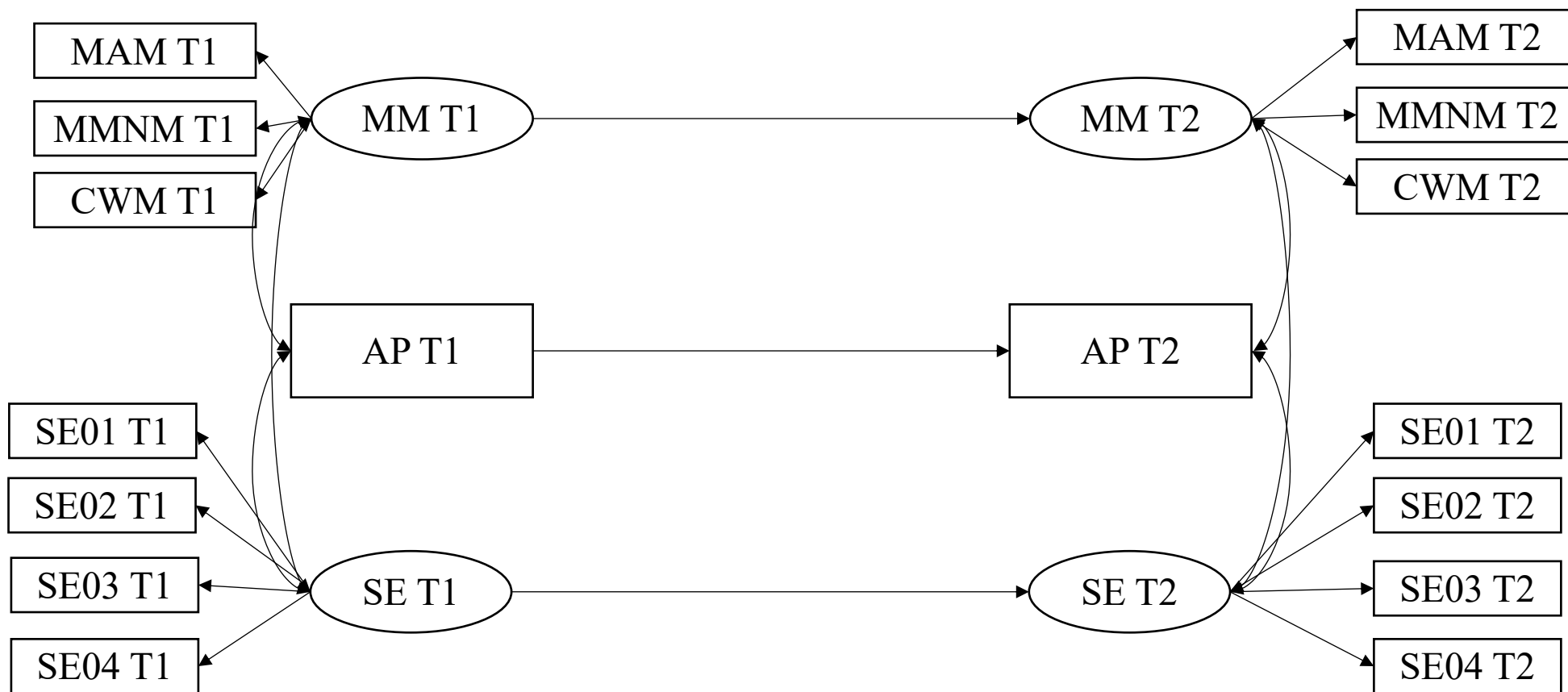
- 测量不变性的满足条件： $|\Delta CFI|$ 不超过 0.01, $|\Delta RMSEA|$ 不超过 0.015

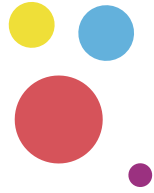




案例3：结构方程模型（Longitudinal data, 纵向）

- 自回归模型



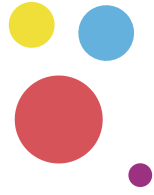


案例3：结构方程模型（Longitudinal data，纵向）

Model fit statistics for longitudinal measurement invariance, autoregressive, cross-lagged and mediation models.

| Model fit | Model 1 | Model 2 | Model 3 | Model 4 | Model 5 | Model 6 |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| χ^2 | 117.913 | 122.992 | 141.716 | 193.862 | 174.324 | 194.680 |
| df | 26 | 33 | 40 | 90 | 84 | 89 |
| χ^2/df | 4.535 | 3.727 | 3.543 | 2.154 | 2.075 | 2.187 |
| p | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| CFI | 0.943 | 0.944 | 0.937 | 0.955 | 0.961 | 0.954 |
| TLI | 0.908 | 0.929 | 0.934 | 0.940 | 0.944 | 0.955 |
| RMSEA | 0.063 | 0.055 | 0.053 | 0.051 | 0.049 | 0.052 |
| 90% CI | 0.052–0.075 | 0.045–0.066 | 0.044–0.063 | 0.041–0.061 | 0.039–0.059 | 0.042–0.061 |
| SRMR | 0.089 | 0.084 | 0.089 | 0.074 | 0.068 | 0.072 |

Note. Model 1 = configural invariance model, Model 2 = metric invariance model, Model 3 = scalar invariance model, Model 4 = autoregressive model, Model 5 = cross-lagged model, Model 6 = mediation model, χ^2 = chi-square, df = degrees of freedom, CFI = comparative fit index, TLI = Tucker-Lewis index, RMSEA = root mean square error of approximation, CI = confidence interval, SRMR = standardized root mean residual.



案例3：结构方程模型（Longitudinal data, 纵向）

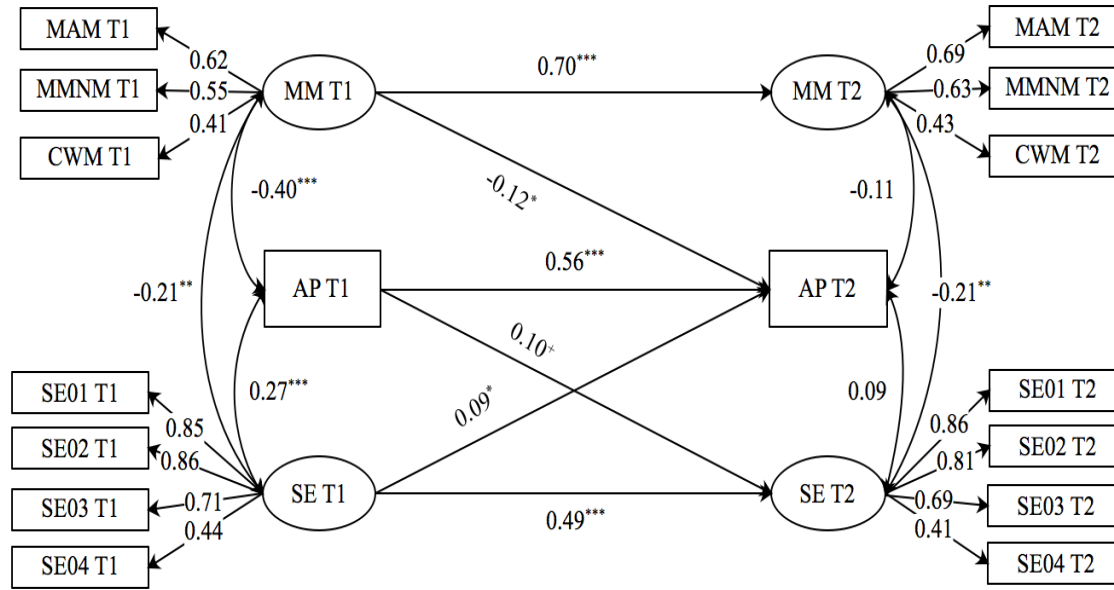
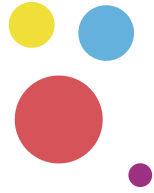


Figure. Cross-lagged association among media multitasking, self-esteem, and academic performance

The measurement error and non-significant paths were omitted to enhance clarity of the figure. All factor loadings were significant at 0.001 level. Standardized estimates were shown.

+ $p = 0.053$; * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$.

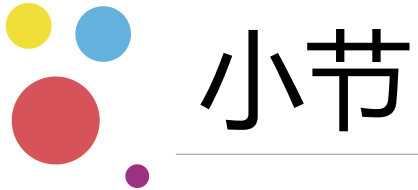


案例3：结构方程模型（Longitudinal data, 纵向）

Model fit statistics for longitudinal measurement invariance, autoregressive, cross-lagged and mediation models.

| Model fit | Model 1 | Model 2 | Model 3 | Model 4 | Model 5 | Model 6 |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| χ^2 | 117.913 | 122.992 | 141.716 | 193.862 | 174.324 | 194.680 |
| df | 26 | 33 | 40 | 90 | 84 | 89 |
| χ^2/df | 4.535 | 3.727 | 3.543 | 2.154 | 2.075 | 2.187 |
| p | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| CFI | 0.943 | 0.944 | 0.937 | 0.955 | 0.961 | 0.954 |
| TLI | 0.908 | 0.929 | 0.934 | 0.940 | 0.944 | 0.955 |
| RMSEA | 0.063 | 0.055 | 0.053 | 0.051 | 0.049 | 0.052 |
| 90% CI | 0.052–0.075 | 0.045–0.066 | 0.044–0.063 | 0.041–0.061 | 0.039–0.059 | 0.042–0.061 |
| SRMR | 0.089 | 0.084 | 0.089 | 0.074 | 0.068 | 0.072 |

Note. Model 1 = configural invariance model, Model 2 = metric invariance model, Model 3 = scalar invariance model, Model 4 = autoregressive model, Model 5 = cross-lagged model, Model 6 = mediation model, χ^2 = chi-square, df = degrees of freedom, CFI = comparative fit index, TLI = Tucker-Lewis index, RMSEA = root mean square error of approximation, CI = confidence interval, SRMR = standardized root mean residual.



小节

- 结构方程模型=因子分析+路径分析;
- 三种模型策略：严格验证、替代、和**模型发展**;
- 四个步骤：模型建构、模型拟合、**模型评价**、**模型修正**;
- 常见模型：中介模型、多群组模型、纵向模型等;
- 考察标准：
 - 总体与CFA标准一致： $\chi^2 / df < 3$ （为宜）；CFI, TLI > 0.9 (adequate) > 0.95 (better); SRMR, RMSEA < 0.06 (good) < 0.08 (adequate)
 - 测量不变性标准： $|\Delta CFI| < 0.01$, $|\Delta RMSEA| < 0.015$



Thank You!

Q & A