

# 从因子分析到结构方程模型

Factor Analysis → Structural Equation Modeling

教育科学学院心理系 倪雨菡

15626094461, [yuhanni@qq.com](mailto:yuhanni@qq.com)

- 涉及概念及基础
- 对因子分析的简单回顾
- 结构方程建模（以Mplus为例）

## 思考和讨论

**结构方程模型 = 中介/调节模型？**

# 学习结构方程模型需要的基础知识

- ✓ 数字特征（均值、方差、标准差、协方差、相关系数）
- ✓ 参数估计和假设检验基础
- ✓ 回归分析（主要概念）
- ✓ 因子分析（基本概念）

# 结构方程模型涉及的统计方法

- ✓ t 检验、方差分析
- ✓ 回归分析、路径分析
- ✓ 探索性因子分析、验证性因子分析
- ✓ 潜变量因果模型（全模型）
- ✓ 高阶因子分析、双因子分析
- ✓ 潜变量增长模型

# 为什么需要结构方程模型？

## ➤ 通常的统计分析步骤（以相关和回归分析为例）



相关性

相关性			
		Dep	Anx
Dep	皮尔逊相关性	1	.753**
	Sig. (双尾)		.000
	个案数	1355	1355
Anx	皮尔逊相关性	.753**	1
	Sig. (双尾)	.000	
	个案数	1355	1355

\*\* . 在 0.01 级别（双尾），相关性显著。

# 为什么需要结构方程模型？

## ➤ 忽视测量误差 (以相关系数为例)

问卷分

实际  
特质

- 假设  $r_{xy}$  为  $x$ 、 $y$  的相关系数， $r_{\xi\eta}$  为  $\xi$ 、 $\eta$  的相关系数， $r_{xx}$ 、 $r_{yy}$  分别为  $x$ 、 $y$  的信度。则可推导

$$r_{\xi\eta} = r_{xy} / \sqrt{r_{xx}r_{yy}}$$

- 设  $r_{xy} = 0.75$ ， $r_{xx} = 0.8$ ， $r_{yy} = 0.8$ ， $r_{\xi\eta} = 0.75 / \sqrt{0.8 \times 0.8} = 0.94$ 。即，传统相关系数假设变量没有误差，从而低估了潜变量真正的相关。

# 为什么需要结构方程模型？

## ➤ 潜变量的概念

- 潜变量：无法被直接观测的、抽象的概念，如学生能力
- 显变量：可以直接观测、被测量的，如成绩

## ➤ 心理、教育、管理等研究领域涉及大量潜变量

- 如，智力、学习动机、学业成就、家庭社会经济地位、自我概念、抑郁等



# 主要概念

- **变量与因子**
- **潜变量与指标**
- **外源变量(exogenous)与内生变量(endogenous)**
- **测量模型(measurement model)**
- **结构模型(structural model)**

# 变量与因子

- 调查某校高中一年级新生的情况(温忠麟, 2006), 包括:
  - 身高、体重、语文入学成绩、数学入学成绩、英语入学成绩、家庭人均年收入、家庭月均支出。

# 变量与因子

表1 变量的相关矩阵

		1	2	3	4	5	6	7
身形	身高	1.00						
	体重	.57	1.00					
学业成绩	语文	.11	.10	1.00				
	数学	.08	.09	.50	1.00			
	英语	.09	.12	.55	.48	1.00		
家庭经济状况	收入	.10	.13	.10	.09	.09	1.00	
	支出	.09	.07	.09	.09	.08	.64	1.00

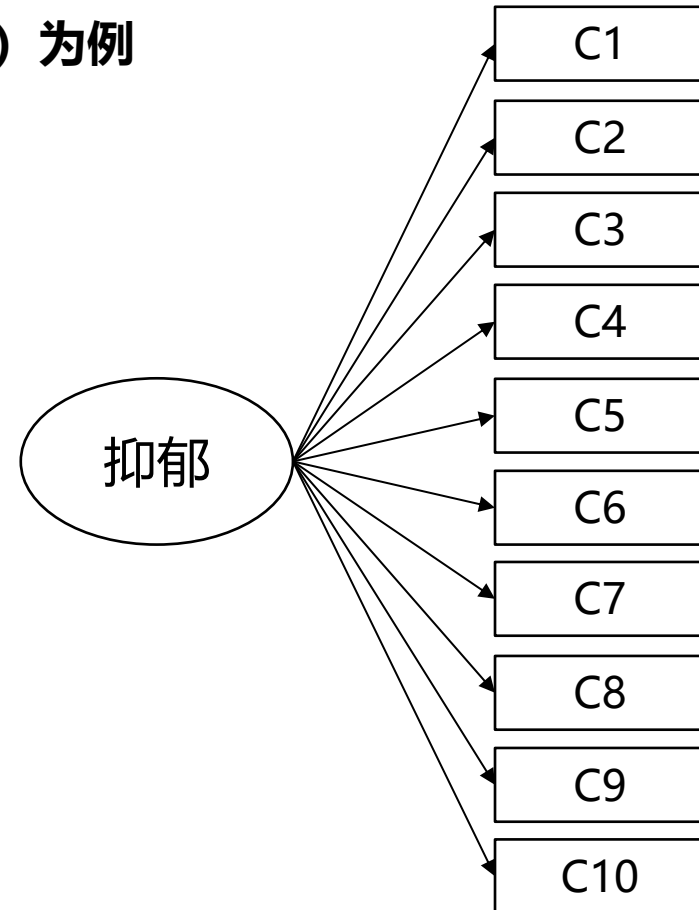
# 变量与因子

- 学生的身形、学业成绩、家庭经济状况就称为因子 (factor) , 它们是各组变量共同的属性、特征或结构。
- 因子是**潜变量**, 不能直接测量, 它是某组变量 (外显指标) 综合提取的产物。

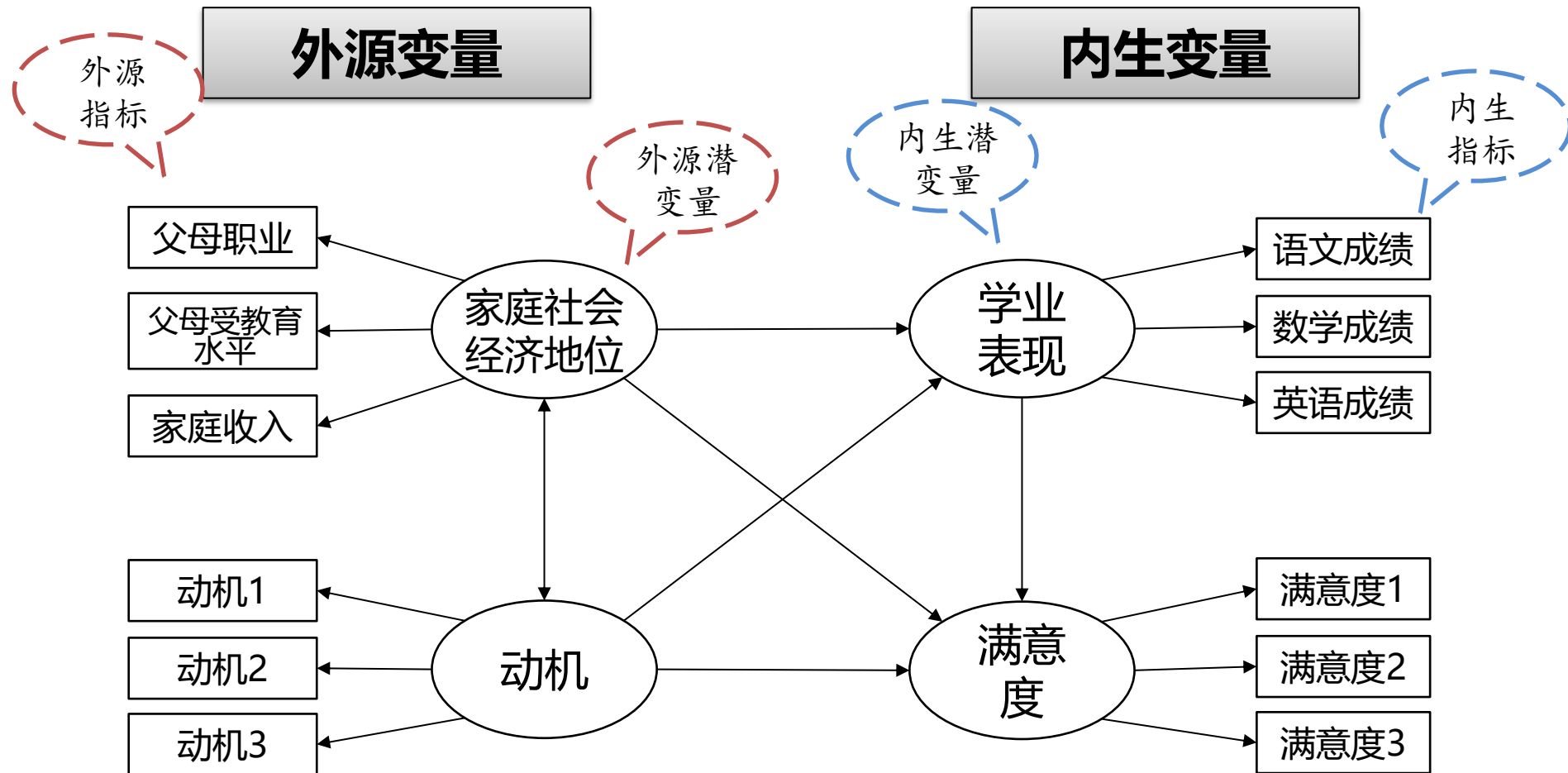
# 潜变量与指标

## ➤ 抑郁：以流掉中心抑郁量表（CES-D 10）为例

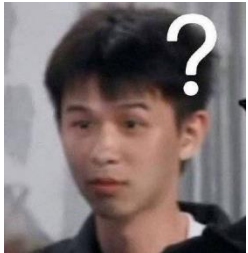
- 我因一些小事而烦恼
- 我在做事时很难集中精力
- 我感到情绪低落
- 我觉得做任何事都很费劲
- 我对未来充满希望
- 我感到害怕
- 我的睡眠不好
- 我很愉快
- 我感到孤独。
- 我觉得我无法继续我的生活



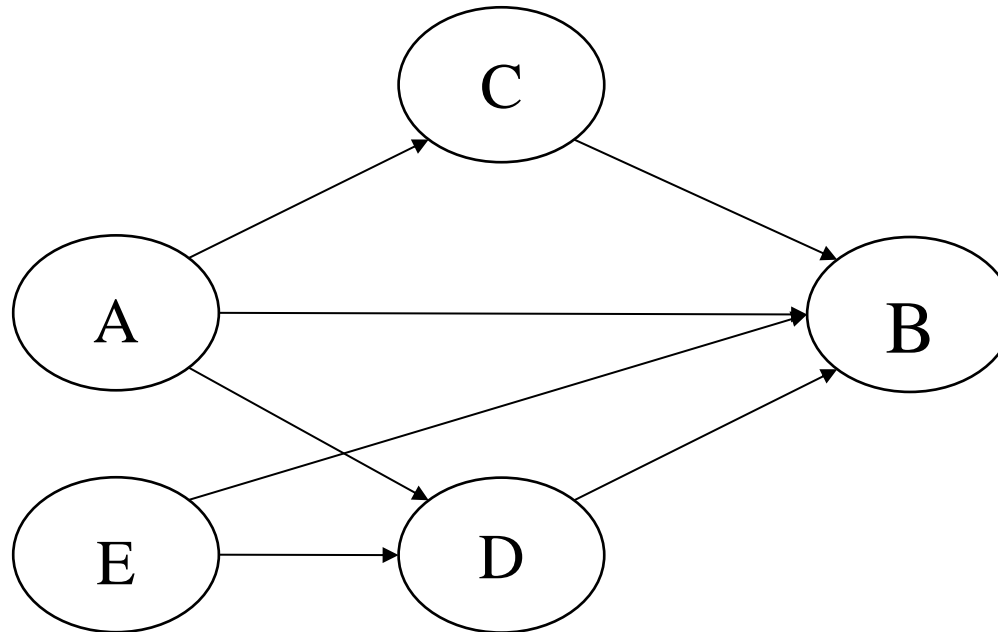
# 外源变量与内生变量



# 外源变量与内生变量



哪些是外源变量？ 哪些是内生变量？



# 结构方程模型的测量部分

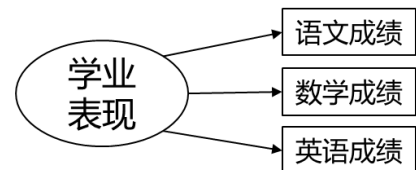
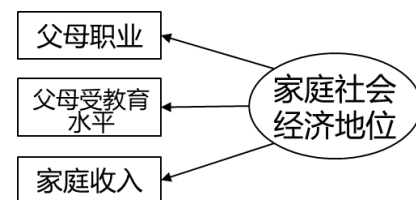
指外显指标与潜变量间的关系，通常写作**测量方程**：

$$x = \Lambda_x \xi + \delta$$

$$y = \Lambda_y \eta + \varepsilon$$

其中，

- $x$  ——外源指标(如父母的职业、受教育水平、收入)组成的向量
- $y$  ——内生指标(如语、数、英成绩)组成的向量
- $\Lambda_x$  ——外源指标与外援潜变量之间的关系（如父母的职业、受教育水平、收入与家庭社会经济地位SES的关系），是外源指标在外援潜变量上的因子负荷矩阵
- $\Lambda_y$  ——内生指标与内生潜变量之间的关系（如语数英成绩与学业表现），是内生指标在内生潜变量上的因子负荷矩阵
- $\delta$  ——外源指标 $x$ 的误差项
- $\varepsilon$  ——外源指标 $y$ 的误差项





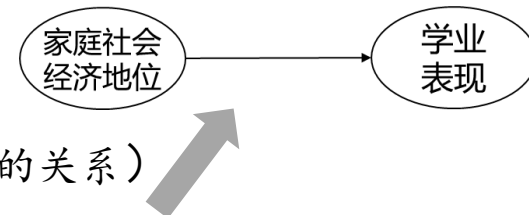
# 结构方程模型的结构部分

指潜变量之间的关系，通常写作**结构方程**：

$$\eta = B\eta + \Gamma\xi + \zeta$$

其中，

- $\eta$  —— 内生潜变量 (如学业表现)
- $\xi$  —— 外源潜变量 (如家庭社会经济地位SES)
- $B$  —— 内生潜变量间的关系 (如学业表现与其他内生潜变量的关系)
- $\Gamma$  —— 外源潜变量对内生潜变量的影响 (如SES对学业表现的影响)
- $\zeta$  —— 结构方程的残差项，反映 $\eta$ 在方程中未能被解释的部分



**潜变量之间的关系，即结构模型，是研究的重点**，所以整个模型称为结构方程模型。

# 结构方程模型的结构

简单理解,

**结构方程模型 = 因子分析 + 回归分析/路径分析**

测量：指标与潜变量间的关系

The diagram shows two arrows originating from the equation above. One arrow points from '因子分析' (Factor Analysis) to the '测量' (Measurement) text below. The other arrow points from '回归分析/路径分析' (Regression/Path Analysis) to the '结构' (Structural) text below.

结构：潜变量间的关系

# 因子分析 (Factor Analysis, FA)

## ➤ 因子分析的学术定义为：

- 根据相关性大小把变量分组，使得同组内变量之间的相关性较高，不同组之间的相关性较低。变量分组后，问题得到简化，可以从不同的角度来分析和解释变量组 (温忠麟, 2006)。
- 本质上，是一种对**变量 “降维”** 的思路。

# 因子分析 (Factor Analysis, FA)

	探索性因子分析 (Exploratory Factor Analysis, EFA)	验证性因子分析 (Confirmatory Factor Analysis, CFA)
方法原理	数据驱动	理论驱动
	探索外显指标（即变量/题目）的背后有哪些潜变量（即因子），及指标与潜变量之间的关系。 <b>事先不知道明确的关系</b>	理论假设在前， <b>指标与潜变量间的关系是明确的</b> ，也被称作测量模型 (Measurement Model)
适用情境	探索量表/问卷结构，常用于问卷编制、解决多元统计分析中的变量间强相关问题	验证量表/问卷结构，常用于效度分析
建模流程	通常对指标与潜变量之间的从属关系、因子个数、因子结构都不做设定。	事先提出指标与潜变量的关系，然后收集数据，测试预先设定的因子结构是否符合实际数据。

# 探索性因子分析 (EFA) 步骤



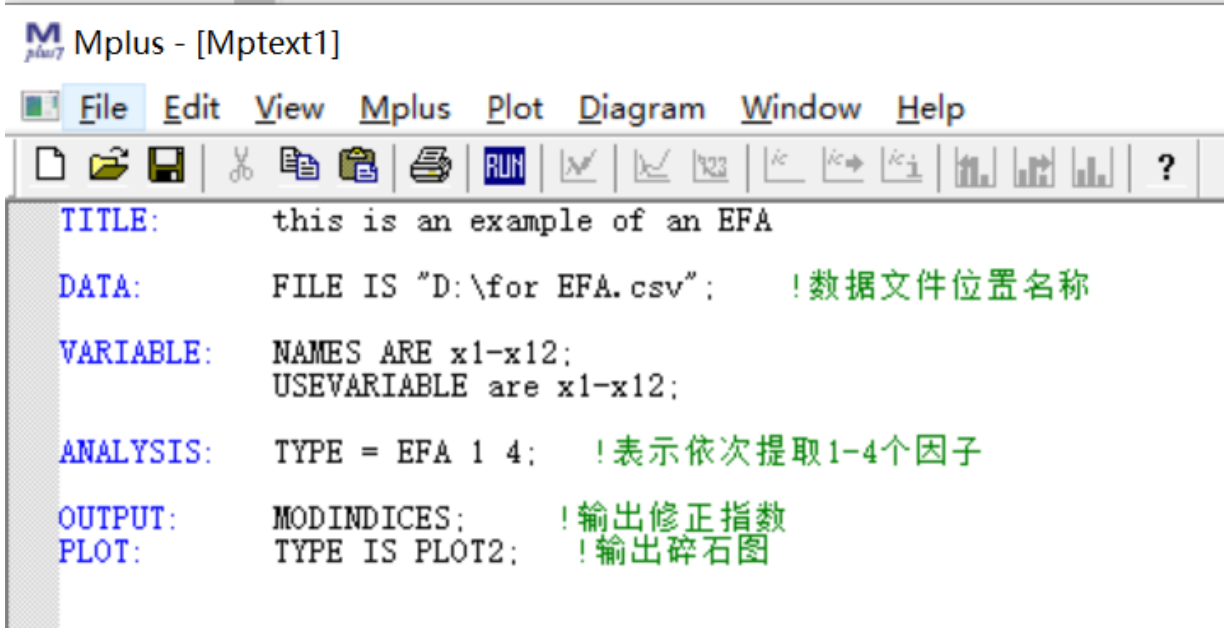
# Mplus简介

- [Mplus](#) 是一款功能强大的多元统计分析软件，可以分析基本统计、因子分析、结构方程模型(Structural equation modeling)、混合模型(Mixture modeling)、增长模型(Growth modeling)、多水平模型(Multi-level modeling)等。
- 特色：**功能强大、语言简单、价格不菲**

# Mplus简介

## ➤ 语句基本格式：

- 以命令块区分，命令符显示为蓝色
- 其他为黑色，每一段语句末尾以小写 ; 作为结束
- 注释以小写 ! 开始，字体为草绿色



```
TITLE:      this is an example of an EFA
DATA:      FILE IS "D:\for EFA.csv";    !数据文件位置名称
VARIABLE:  NAMES ARE x1-x12;
           USEVARIABLE ARE x1-x12;
ANALYSIS:  TYPE = EFA 1 4;    !表示依次提取1-4个因子
OUTPUT:    MODINDICES;      !输出修正指数
PLOT:      TYPE IS PLOT2;    !输出碎石图
```

# Mplus简介

## ➤ Mplus常用命令

<b>TITLE:</b>	!给你的程序语句起个名字
<b>DATA:</b>	!读取数据
<b>VARIABLE:</b>	!变量名称
<b>DEFINE:</b>	!定义新变量或给变量赋值
<b>ANALYSIS:</b>	!定义分析方式
<b>MODEL:</b>	!定义模型结构
<b>OUTPUT:</b>	!输出结果，有多种统计量
<b>SAVEDATA:</b>	!保存数据或统计量
<b>PLOT:</b>	!画图
<b>MONTECARLO:</b>	!蒙特卡洛模拟



# Mplus简介

## ➤ Mplus常用命令：DATA COMMAND

DATA:	FILE IS “数据名.csv”;
TYPE IS	!只识别dat、txt、csv文件格式，且数据不允许有变量名 INDIVIDUAL; COVARIANCE; CORRELATION; FULLCOV; FULLCORR; MEANS; STDEVIATIONS; MONTECARLO; !一般不用做定义
NOBSERVATIONS ARE	样本量; 1000;
NGROUPS =	组数; 1;

# Mplus简介

## ➤ Mplus常用命令：VARIABLE COMMAND

<b>NAMES ARE</b>	数据集中的变量名称;
<b>USEVARIABLES ARE</b>	本次分析需要使用的变量名称;
<b>MISSING ARE</b>	ALL(9); C1(9) C2(99); *; .;
<b>IDVARIABLE IS</b>	ID变量名;
<b>GROUPING =</b>	组别; gender(1=male 2=female);
<b>CATEGORICAL ARE</b>	类别变量的变量名称; C1-C5;
<b>CLASSES =</b>	潜在变量名(潜在类别数); L(3);

# Mplus简介

## ➤ Mplus常用命令：DEFINE COMMAND

### 第一种，对变量做数学变换：

LOG	base e log	LOG (y);
LOG10	base 10 log	LOG10 (y);
EXP	exponential	EXP (y);
SQRT	square root	SQRT (y);
ABS	absolute value	ABS(y);
SIN	sine	SIN (y);
COS	cosine	COS (y);
TAN	tangent	TAN(y);
ASIN	arcsine	ASIN (y);
ACOS	arccosine	ACOS (y);
ATAN	arctangent	ATAN (y);

### 第二种，对变量按条件赋值：

IF (conditional statement) THEN transformation  
statements;

```
IF (gender EQ 1 AND ses EQ 1) THEN group = 1;  
IF (gender EQ 1 AND ses EQ 2) THEN group = 2;  
IF (gender EQ 1 AND ses EQ 3) THEN group = 3;  
IF (gender EQ 2 AND ses EQ 1) THEN group = 4;  
IF (gender EQ 2 AND ses EQ 2) THEN group = 5;  
IF (gender EQ 2 AND ses EQ 3) THEN group = 6;
```

# Mplus简介

## ➤ Mplus常用命令：ANALYSIS COMMAND

<b>TYPE =</b>	<b>GENERAL;</b> !默认 <b>MIXTURE;</b> !混合建模，包括潜在类别、混合增长 <b>TWOLEVEL;</b> !多水平 <b>EFA;</b>
<b>ESTIMATOR =</b>	<b>ML; MLM; MLMV; MLR; MLF; MUML;</b> <b>WLS; WLSM; WLSMV; ULS; ULSMV;</b> <b>GLS;</b> !一般默认是ML估计，可以不用做设定
<b>PARAMETERIZATION =</b> <b>LINK =</b> <b>ROTATION =</b> <b>ALGORITHM =</b>	<b>DELTA; THETA; LOGIT; LOGLINEAR;</b> <b>LOGIT; PROBIT;</b> <b>CF-VARIMAX; CF-QUARTIMAX; .....</b> <b>EM; EMA; .....</b>
<b>STARTS =</b>	初始值和终值设定; 100 10;
<b>PROCESSORS =</b>	使用几个处理器; 4;

# Mplus简介

## ➤ Mplus常用命令：MODEL COMMAND

字符	含义	功能	示例
<b>BY</b>	Measured by	通过指标定义潜变量	x BY x1-x4;
<b>ON</b>	regressed on	定义回归关系	y ON x;
<b>WITH</b>	co-vary with	定义相关	f1 WITH f2;
<b>*</b>	free a parameter	自由估计 初始值设定为某个值	x BY x1* x2; x BY x1*.5 x2*.6;
<b>@</b>	set a constraint	固定参数	x BY x1 x2@.5;
<b>\$</b>		定义类别变量阈限	x1\$1;
<b>#</b>		定义类别	C#1;

# Mplus简介

## ➤ Mplus常用命令：OUTPUT COMMAND

输出指令	功能
SAMPSTAT	样本统计量
STANDARDIZED	标准化参数统计量，包括三种形式：stdyx stdy std
CINTERVAL	置信区间
CINTERVAL(BCBOOTSTRAP)	偏差校正的置信区间
MODINDICES	修正指数，默认输出大于等于10的路径，可以改写为mod(数字)
TECH1	所有参数及自由参数初始值
TECH4	估计均值、协方差和潜变量相关
TECH11	混合模型中的LMR和aLMR检验信息
TECH12	混合模型中观测和估计的均值、方差、协方差、残差
TECH13	混合模型中模型拟合单变量、多元偏态和峰态模型的双侧检验
TECH14	混合模型中BLRT检验信息

# 探索性因子分析 (EFA)

## ➤ 因子分析程序：案例1-EFA

```
TITLE:      this is an example of an EFA
DATA:      FILE IS "D:\data\for EFA.csv";  !数据文件位置名称
VARIABLE:  NAMES ARE x1-x12;
              USEVARIABLE ARE x1-x12;
ANALYSIS:  TYPE = EFA 1 4;  !表示依次提取1-4个因子
OUTPUT:    MODINDICES;  !输出修正指数
PLOT:      TYPE IS PLOT2;  !输出碎石图
```

上述模型有如下设置为程序默认：①因子方差固定为1；②指标截距和误差方法、误差不相关；③GEOMIN旋转。

# 探索性因子分析 (EFA)

## ➤ 因子分析程序：案例1-EFA

### MODEL FIT INFORMATION

Number of Free Parameters 66

Loglikelihood

H0 Value -7869.377  
H1 Value -7856.478

Information Criteria

Akaike (AIC) 15870.755  
Bayesian (BIC) 16148.919  
Sample-Size Adjusted BIC 15939.431  
( $n^* = (n + 2) / 24$ )

Chi-Square Test of Model Fit

Value 25.799  
Degrees of Freedom 24  
P-Value 0.3635

RMSEA (Root Mean Square Error Of Approximation)

Estimate 0.012  
90 Percent C.I. 0.000 0.039  
Probability RMSEA  $\leq .05$  0.995

CFI/TLI

CFI 0.999  
TLI 0.996

Chi-Square Test of Model Fit for the Baseline Model

Value 1436.819  
Degrees of Freedom 66  
P-Value 0.0000

SRMR (Standardized Root Mean Square Residual)

Value 0.012

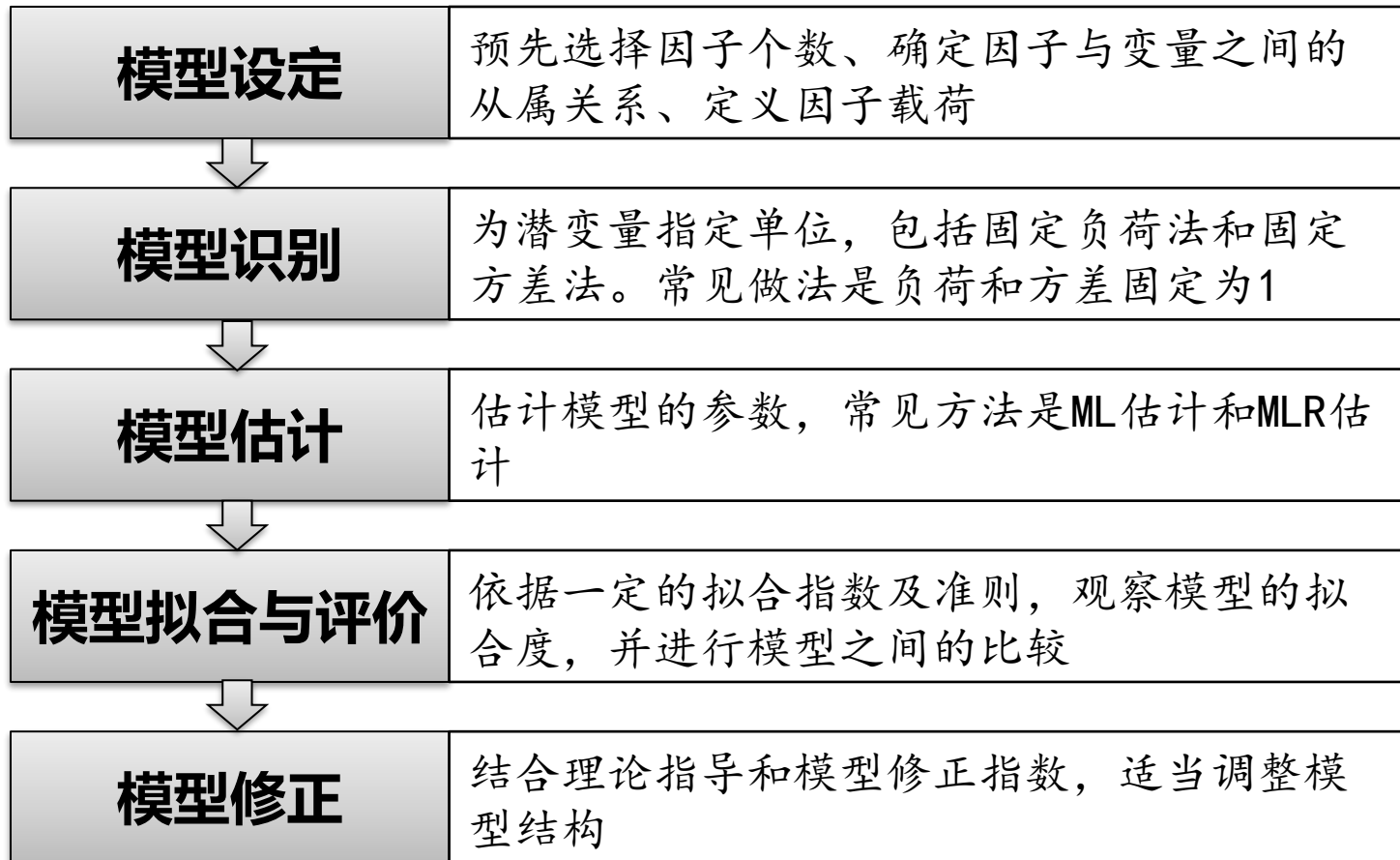
MINIMUM ROTATION FUNCTION VALUE 0.33660

GEOMIN ROTATED LOADINGS (\* significant at 5% level)

	1	2	3	4
X1	0.637*	0.008	0.074	-0.021
X2	0.808*	0.022	-0.005	0.041
X3	0.631*	-0.042	-0.058	-0.028
X4	0.027	0.646*	-0.002	-0.018
X5	-0.029	0.760*	-0.023	0.017
X6	0.010	0.674*	0.030	-0.012
X7	-0.006	0.003	0.734*	0.018
X8	-0.040	0.002	0.727*	-0.016
X9	0.049	-0.007	0.707*	-0.001
X10	-0.037	0.006	-0.010	0.692*
X11	0.004	0.013	0.001	0.791*
X12	0.035	-0.036	0.008	0.658*



# 验证性因子分析（CFA）建模步骤



# 验证性因子分析 (CFA) 建模步骤



模		$\chi^2/df$	CFI	TLI	RMSEA	SRMR
	很好	(1, 3)	>0.95	>0.95	<0.05	<0.05
	可接受	(1, 5)	>0.90	>0.90	<0.08	<0.08

(Hu & Bentler, 1999; Steiger, 1990)

# 验证性因子分析 (CFA)

## ➤ 因子分析程序：案例2-CFA

```
TITLE:      this is an example of a CFA
DATA:      FILE IS "D:\data\ptsd.csv";    !数据文件位置名称
VARIABLE:  NAMES ARE x1 x2 y1-y17;
              USEVARIABLE ARE y1-y17;
ANALYSIS:  ESTIMATOR = ML;                !默认的估计方法
MODEL:     f1 BY y1-y5;                    !因子f1由指标y1-y5测量
              f2 BY y6-y12;
              f3 BY y13-y17;
OUTPUT:    STANDARDIZED;                  !输出标准化估计
              MODINDICES;                   !报告修正指数
```

上述模型有如下设置为程序默认：①为了模型识别，每个因子的第一个题目的负荷默认为 1；②四个因子之间彼此相关；③因子方差、题目误差方差和题目截距自由估计；④题目误差不相关。

# 验证性因子分析 (CFA)

## ➤ 因子分析程序：案例2-CFA

### OUTPUT

### MODEL FIT INFORMATION 拟合指数

#### MODEL FIT INFORMATION

Number of Free Parameters	54
Loglikelihood	
H0 Value	-13820.017
H1 Value	-13626.583
Information Criteria	
Akaike (AIC)	27748.035
Bayesian (BIC)	27981.743
Sample-Size Adjusted BIC	27810.321
(n* = (n + 2) / 24)	
Chi-Square Test of Model Fit	
Value	386.868
Degrees of Freedom	116
P-Value	0.0000

#### RMSEA (Root Mean Square Error Of Approximation)

Estimate	0.065	
90 Percent C.I.	0.058	0.072
Probability RMSEA <= .05	0.000	

#### CFI/TLI

CFI	0.904
TLI	0.888

#### Chi-Square Test of Model Fit for the Baseline Model

Value	2961.742
Degrees of Freedom	136
P-Value	0.0000

#### SRMR (Standardized Root Mean Square Residual)

Value	0.045
-------	-------

# 验证性因子分析 (CFA)

## ➤ 因子分析程序：案例2-CFA

### OUTPUT

#### STDYX Standardization 完全标准化解

		Estimate	S.E.	Two-Tailed P-Value
F1	BY			
	Y1	0.560	0.034	16.401
	Y2	0.496	0.037	13.527
	Y3	0.717	0.027	26.532
	Y4	0.599	0.032	18.597
	Y5	0.631	0.031	20.584
F2	BY			
	Y6	0.554	0.033	16.564
	Y7	0.624	0.030	20.758
	Y8	0.573	0.032	17.798
	Y9	0.590	0.032	18.600
	Y10	0.701	0.027	26.394
	Y11	0.672	0.027	24.791
	Y12	0.456	0.037	12.328
F3	BY			
	Y13	0.557	0.034	16.588
	Y14	0.598	0.032	18.836
	Y15	0.598	0.032	18.588
	Y16	0.609	0.031	19.354
	Y17	0.566	0.034	16.863

因子负荷

		Estimate	S.E.	Two-Tailed P-Value
F2	WITH			
F1		0.833	0.028	29.465
F3	WITH			
F1		0.844	0.031	26.836
F2		0.898	0.025	35.430

因子间的  
相关

# 验证性因子分析 (CFA)

## ➤ 因子分析程序：案例2-CFA

### OUTPUT

### MODEL MODIFICATION INDICES 修正指数

Minimum M.I. value for printing the modification index		10.000			
		M. I.	E.P.C.	Std E.P.C.	StdYX E.P.C.
BY Statements					
F1	BY Y6	13.500			0.410
F1	BY Y7	16.97			0.449
F1	BY Y10	18.7			-0.462
F1	BY Y15	10.1			-0.416
F3	BY Y10	10.52			-0.550
WITH Statements					
Y5	WITH Y3	10.534	-0.157	-0.157	-0.186
Y7	WITH Y1	15.877	0.153	0.153	0.185
Y7	WITH Y6	71.648	0.317	0.317	0.398
Y8	WITH Y6	11.530	-0.133	-0.133	-0.157
Y9	WITH Y6	20.592	-0.183	-0.183	-0.211
Y10	WITH Y7	13.110	-0.130	-0.130	-0.183
Y10	WITH Y8	15.281	0.146	0.146	0.193
Y10	WITH Y9	49.782	0.272	0.272	0.350
Y12	WITH Y6	10.160	-0.134	-0.134	-0.144
Y17	WITH Y11	14.417	-0.163	-0.163	-0.180

如果允许指标y6  
和y7的误差相关，  
可以减少71.648  
个卡方

**不可仅从数据驱动，  
随意允许误差相关！**

**什么条件下可以允许指  
标之间误差相关？**

- 嵌套模型比较，卡方  
差异检验显著，误差  
相关改进了模型拟合
- 理论支持
- 重复测量情境下

# 验证性因子分析 (CFA)

## ➤ 因子分析程序：案例2-CFA-Modified

```
TITLE:      this is an example of a CFA
DATA:      FILE IS "D:\data\ptsd.csv";  !数据文件位置名称
VARIABLE:  NAMES ARE x1 x2 y1-y17;
           USEVARIABLE are y1-y17;
ANALYSIS:  ESTIMATOR = ML;  !默认的估计方法
MODEL:    f1 BY y1-y5;      !因子f1由指标y1-y5测量
           f2 BY y6-y12;
           f3 BY y13-y17;
           y6 WITH y7;      !允许指标y6和y7的误差相关
OUTPUT:    STANDARDIZED;    !输出标准化估计
           MODINDICES;      !报告修正指数
```

此时，CFA-Modified模型的所有自由参数是CFA模型内同类参数的一部分，即，CFA-Modified嵌套于CFA模型内，二者是嵌套模型的关系。

# 验证性因子分析 (CFA)

## ➤ 因子分析程序：案例2-CFA-Modified

### OUTPUT

### MODEL FIT INFORMATION 拟合指数

```
MODEL FIT INFORMATION
Number of Free Parameters          55
Loglikelihood
  H0 Value          2783.774
  H1 Value          26.583
Information Criteria
  Akaike            677.549
  Bayesian          27915.585
  Sample-Size Adjusted (n* = (n + 2) / 24) 27740.988
Chi-Square Test of Model Fit
  Value              314.382
  Degrees of Freedom    115
  P-Value              0.0000
```

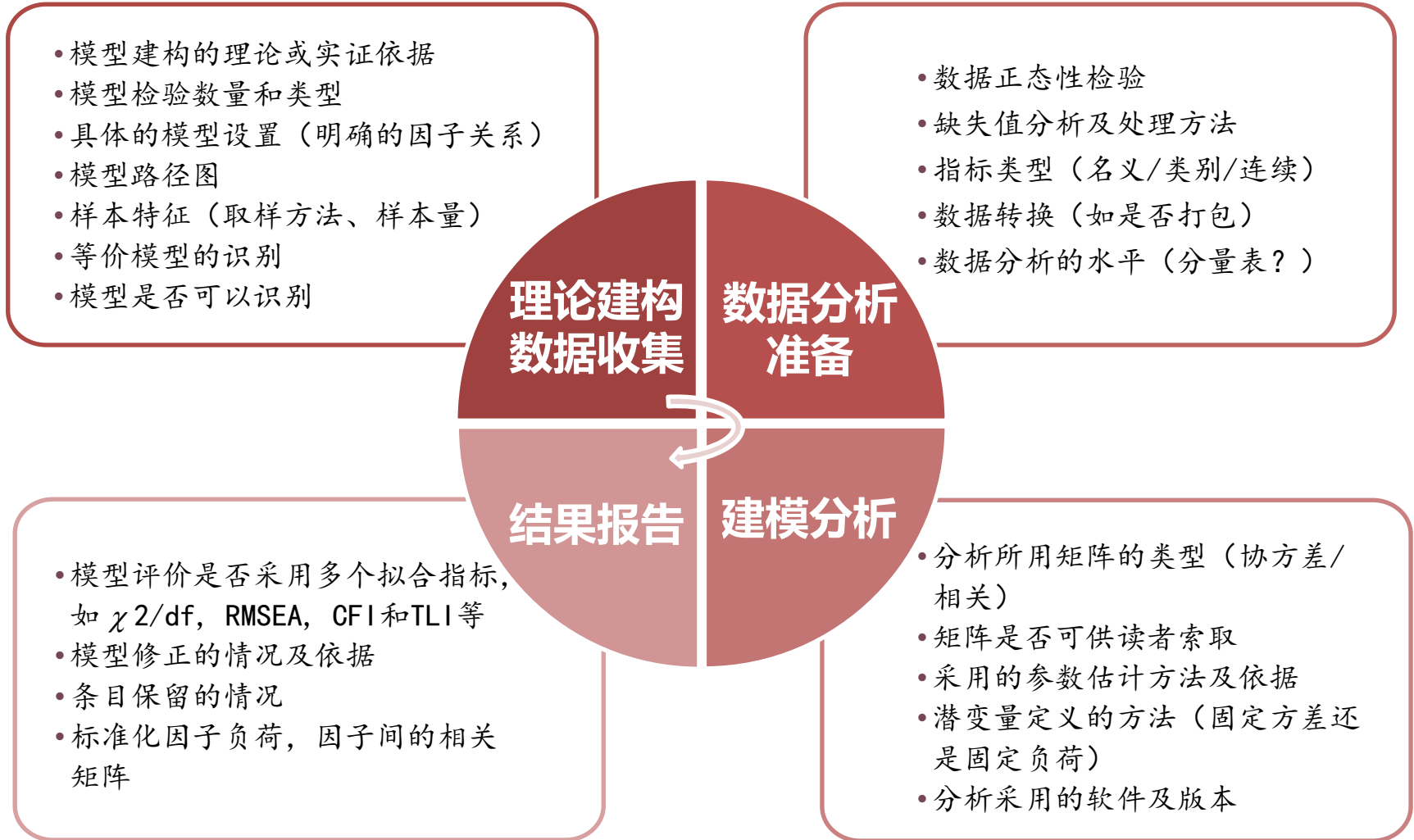
卡方减少约71.648;  
df减少1 (允许误差  
相关); 卡方/df从  
3.33到2.73

```
RMSEA (Root Mean Square Error of Approximation)
  Estimate          0.056
  90 Percent C.I.   0.048  0.063
  Probability RMSEA <= .05  0.100
CFI/TLI
  CFI               0.929
  TLI               0.917
Chi-Square Test of Model Fit for the Baseline Model
  Value              2961.742
  Degrees of Freedom    136
  P-Value              0.0000
SRMR (Standardized Root Mean Square Residual)
  Value              0.044
```

CFI、TLI增大,  
模型拟合改善



# CFA研究报告清单(Jackson, et al., 2009)



# 因子分析 (Factor Analysis, FA)

	探索性因子分析 EFA	验证性因子分析 CFA
适用情境	探索量表/问卷结构，常用于问卷编制、解决多元统计分析中的变量间强相关问题	验证量表/问卷结构，常用于效度分析
因子个数	未知	已知
因子负荷	存在交叉载荷	不允许交叉载荷
特点	<ul style="list-style-type: none"><li>• 仅从数据出发很难得到科学的结果，甚至可能与已有理论或经验相悖；</li><li>• 在结构化量表开发中，不适用于项目分析之后的量表</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• CFA的模型更简约</li><li>• 允许拟合多个“竞争”模型，可以比较不同理论模型优劣</li><li>• 可以检验测量不变性</li></ul>

# 结构方程模型的结构

**结构方程模型 = 因子分析 + 回归分析/路径分析**

测量：指标与潜变量间的关系

The diagram consists of a central equation '结构方程模型 = 因子分析 + 回归分析/路径分析'. From '因子分析', an arrow points down to '测量：指标与潜变量间的关系'. From '回归分析/路径分析', an arrow points down to '结构：潜变量间的关系'.

结构：潜变量间的关系

# 中介效应分析

打麻醉



手术死亡



会得到错误的归因和推论：

打麻醉可能导致手术失败死亡，建议术前不要打麻醉。

# 中介效应分析

术前吃东西 → 打麻醉 → 窒息 → 手术死亡



正确的归因和推论：

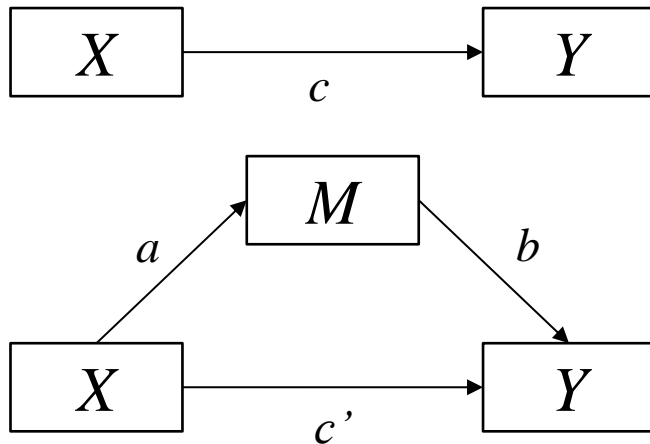
打麻醉前病人吃了东西，食物反流造成手术期间窒息死亡，所以术前不要进食。

➤ **中介效应模型：**为了解决影响机制是怎么样的问题，弄清前因后果，这样才能做合理地推论。



# 中介效应 (Mediating Effect)

- 简单中介，指的就是一个变量（中介变量）对两个其他变量（自变量和因变量）之间的关系产生影响的过程。



$$Y = cX + \varepsilon_1 \quad (3-1)$$

$$M = aX + \varepsilon_2 \quad (3-2)$$

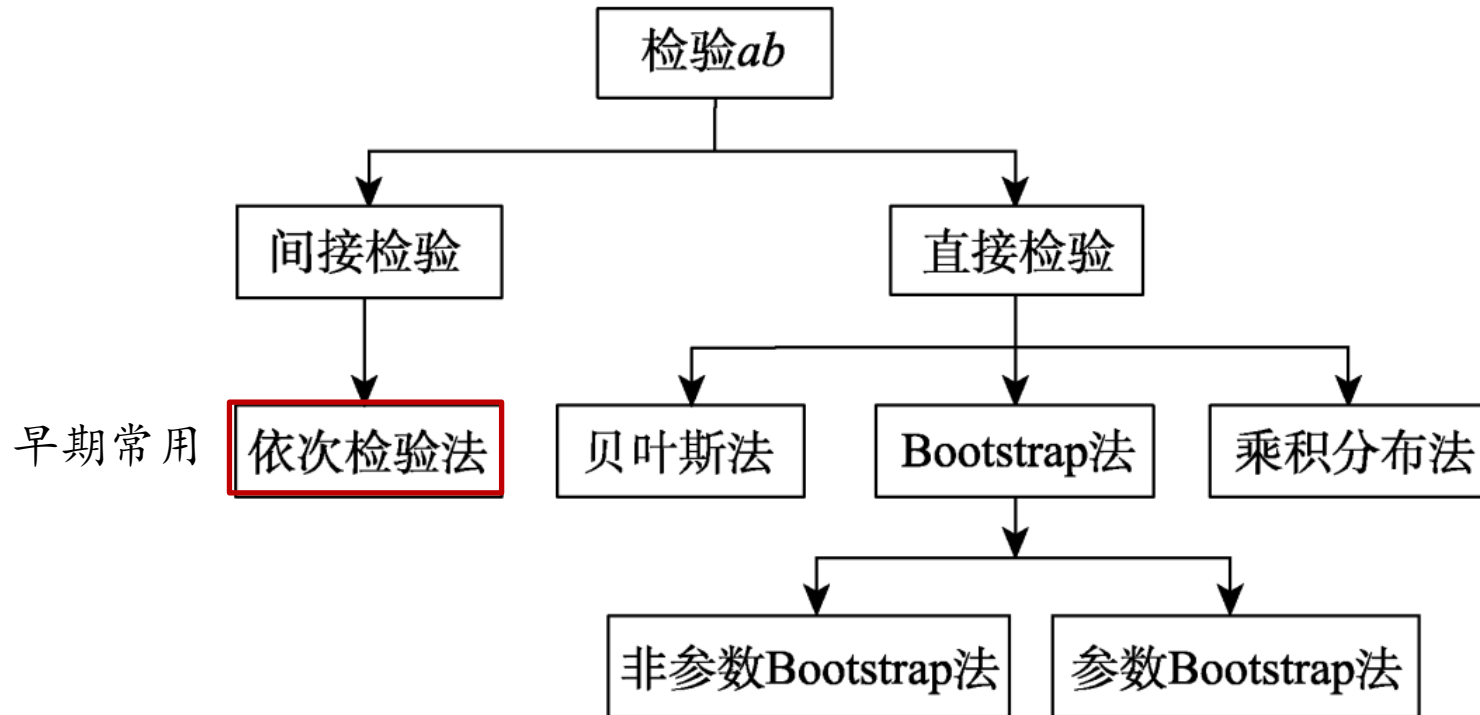
$$Y = c'X + bM + \varepsilon_3 \quad (3-3)$$

$$Y = (c' + ab)X + \varepsilon_2 b + \varepsilon_3 \quad (3-4)$$

- $c$ 为总效应， $c'$ 为考虑中介效应后的直接效应， $ab$ 为中介效应也称间接效应
- $ab$ 和 $c$ 符号一致时，中介效应的相对大小（中介效应量）
- 中介效应与总效应之比： $P_m = ab/(c' + ab)$
  - 中介效应与直接效应之比： $R_m = ab/c'$

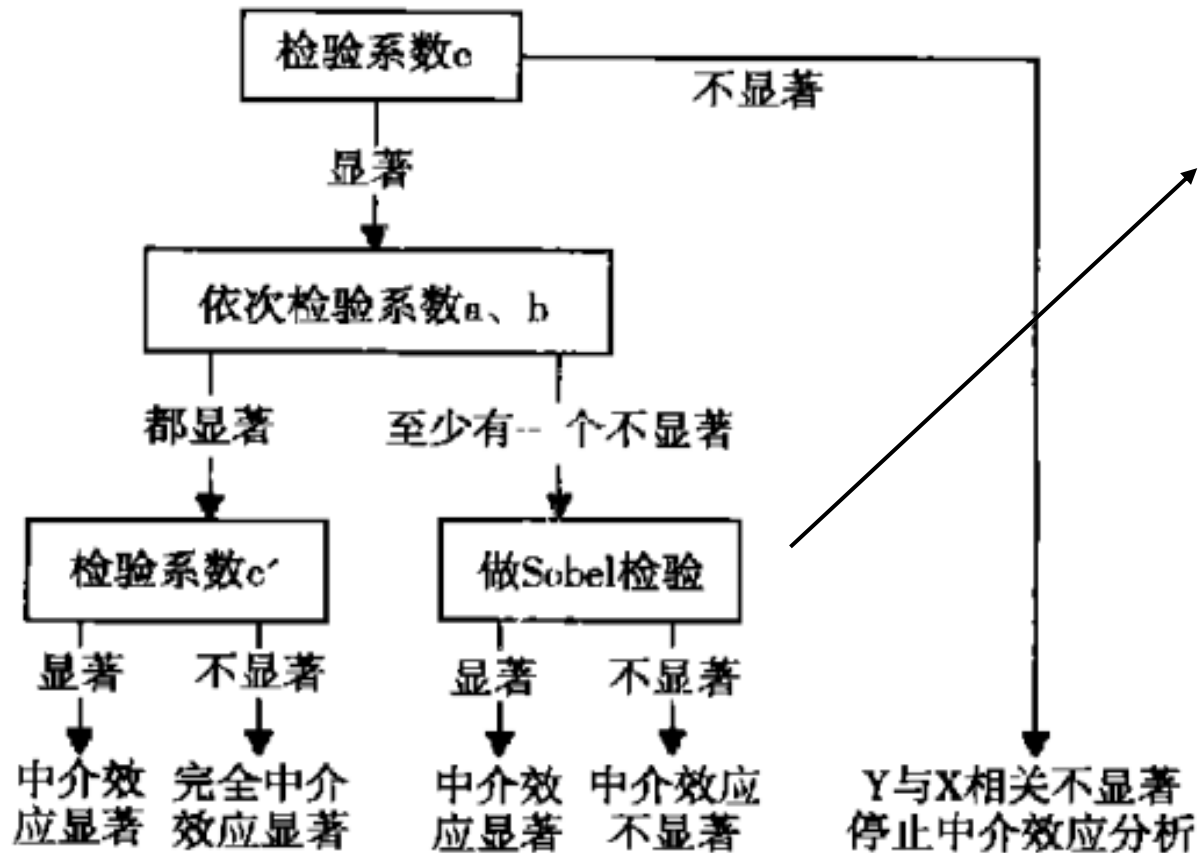
# 中介效应 (Mediating Effect)

## ➤ 中介效应检验程序 (温忠麟等, 2022)



# 中介效应 (Mediating Effect)

## ➤ 中介效应检验程序：依次检验法（温忠麟，张雷，侯杰泰，刘红云，2004）



$$z = ab / s_{ab}$$
$$s_{ab} = \sqrt{a^2 s_b^2 + b^2 s_a^2}$$

依次检验的主要问题：

- 统计功效不高
- 无法给出  $ab$  的置信区间



# 中介效应 (Mediating Effect)

## ➤ 中介效应检验程序：Bootstrap法

- Bootstrap的原理是当正态分布假设不成立时，经验抽样分布可以作为实际整体分布用于参数估计。
- Bootstrap以研究样本作为抽样总体，采用放回取样，从研究样本中反复抽取一定数量的样本（如，抽取500次），通过平均每次抽样得到的参数作为最后的估计结果(Efron & Tibshirani, 1993; Mooney & Duval, 1993)。

# 中介效应 (Mediating Effect)

## ➤ 中介效应检验程序：Bootstrap法

- Bootstrap不需要分布假设，避免了系数乘积检验违反分布假设的问题，且该方法不依赖标准误，避免了不同标准误公式产生结果不一致的问题。
- 模拟研究发现，Bootstrap较其他中介效应检验方法有较高的统计效力(e.g., Briggs, 2006; Cheung, & Lau, 2008; MacKinnon et al., 2002,2004)。
- 因此，**Bootstrap法是目前比较理想的中介效应检验法**(Preacher, & Hayes, 2008; Hayes, Preacher, & Myers, 2011)。

# 中介效应 (Mediating Effect)

## ➤ 中介效应检验程序：Bootstrap法

Mplus提供两种Bootstrap: 标准的和残差的(Bollen & Stine, 1992; Enders, 2002)。

- 残差的Bootstrap只适应于连续变量的ML估计。
- 因为涉及到再抽样，所以在估计时要求输入数据为原始数据。
- 如果置信区间包括0则说明参数不显著；如果不包括0说明系数显著。

# 中介效应 (Mediating Effect)

## ➤ 中介效应检验程序：案例3-显变量简单中介

```
TITLE:      this is an example of a Mediation
DATA:      FILE IS "D:\data\Mediation.csv";  !数据文件位置名称
VARIABLE:  NAMES ARE x m y;
               USEVARIABLE are x m y;
ANALYSIS:  ESTIMATOR = ML;
               BOOTSTRAP=1000; !使用bootstrap法估计系数，次数设定为1000
MODEL:      Y on X (cdash);  !cdash表示y对x的回归系数c'
               M on X (a);      !a表示m对x的回归系数
               Y on M (b);      !b表示y对m的回归系数
MODEL CONSTRAINT:
               new (ab TOTAL);
               ab=a*b;          !构造ab乘积项，即中介效应
               TOTAL = ab + cdash; ! X对Y的总效应
OUTPUT:     SAMPSTAT STDYX cinterval (bcbootstrap); !输出样本统计量、标
               准化解、偏差校正的bootstrap置信区间
```

# 中介效应 (Mediating Effect)

## ➤ 中介效应检验程序：案例3-显变量简单中介

### OUTPUT

#### SAMPLE STATISTICS 样本统计量

SAMPLE STATISTICS			
Means			
	M	Y	X
1	2.840	2.699	4.880
Covariances			
	M	Y	X
M	136.359		
Y	82.864	197.322	
X	103.324	149.560	281.254
Correlations			
	M	Y	X
M	1.000		
Y	0.505	1.000	
X	0.528	0.635	1.000

#### MODEL FIT INFORMATION 拟合指数

Chi-Square Test of Model Fit		
Value	0.000	
Degrees of Freedom	0	
P-Value	0.0000	
RMSEA (Root Mean Square Error Of Approximation)		
Estimate	0.000	
90 Percent C.I.	0.000	0.000
Probability RMSEA <= .05	0.000	
CFI/TLI		
CFI	1.000	
TLI	1.000	
Chi-Square Test of Model Fit for the Baseline Model		
Value	273.534	
Degrees of Freedom	3	
P-Value	0.0000	
SRMR (Standardized Root Mean Square Residual)		
Value	0.000	

我这里用的是模拟生成的数据，所以模型刚好识别，是饱和模型

# 中介效应 (Mediating Effect)

## ➤ 中介效应检验程序：案例3-显变量简单中介

### OUTPUT

### MODEL RESULTS 模型估计结果

#### MODEL RESULTS

		Estimate	S.E.	Est./S.E.	Two-Tailed P-Value
Y	ON				
	X	0.428	0.039	11.0	0.000
	M	0.284	0.084	3.4	0.001
M	ON				
	X	0.367	0.039	9.4	0.000
Intercepts					
	M	1.048	0.104	10.1	0.000
	Y	-0.193	0.104	-1.9	0.061
Residual Variances					
	M	98.400	7.1	14.018	0.000
	Y	109.864	9.1	12.065	0.000
New/Additional Parameters					
	AB	0.104	0.025	4.180	0.000
	TOTAL	0.532	0.034	15.603	0.000

- 中介效应：0.104
- 总效应：0.532
- 中介效应量=0.104/0.532=19.5%

# 中介效应 (Mediating Effect)

## ➤ 中介效应检验程序：案例3-显变量简单中介

### OUTPUT

### CONFIDENCE INTERVALS OF MODEL RESULTS 置信区间

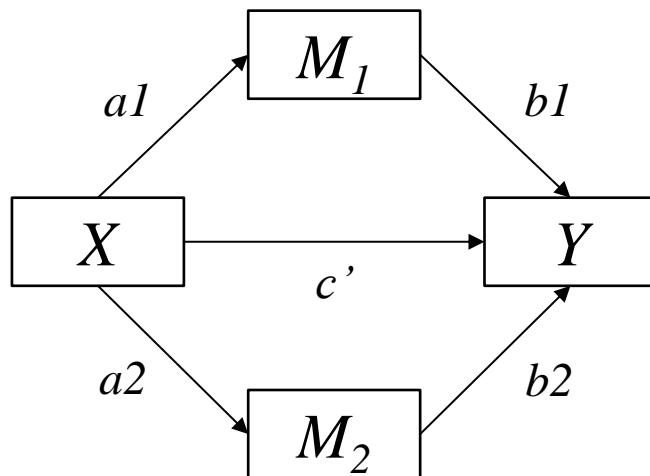
#### CONFIDENCE INTERVALS OF MODEL RESULTS

		Lower .5%	Lower 2.5%	Lower 5%	Estimate	Upper 5%	Upper 2.5%	Upper .5%
Y	ON							
	X	0.327	0.345	0.353	0.428	0.485	0.495	0.514
	M	0.116	0.163	0.188	0.284	0.379	0.399	0.424
M	ON							
	X	0.283	0.304	0.316	0.367		0.434	0.449
Intercepts								
	M	-0.560	-0.191	0.027	1.04		2.191	2.640
	Y	-1.773	-1.366	-1.184	-0.193		1.026	1.466
Residual Variances								
	M	82.022	86.268	87.989	98.400	111.731	114.062	119.219
	Y	89.713	93.783	96.754	109.864	126.950	130.620	143.083
New/Additional Parameters								
	AB	0.042	0.060	0.067	0.104	0.148	0.157	0.169
	TOTAL	0.437	0.464	0.472	0.532	0.584	0.593	0.614

置信区间不包括0，说明存在中介效应

# 中介效应 (Mediating Effect)

- 多重中介，指的就是多个中介变量对自变量和因变量之间的关系产生影响的过程，可分为并行中介和链式中介。



并行中介

$$M_1 = a_1X + \varepsilon_1 \quad (3-5)$$

$$M_2 = a_2X + \varepsilon_2 \quad (3-6)$$

$$Y = c'X + b_1M_1 + b_2M_2 + \varepsilon_3 \quad (3-7)$$

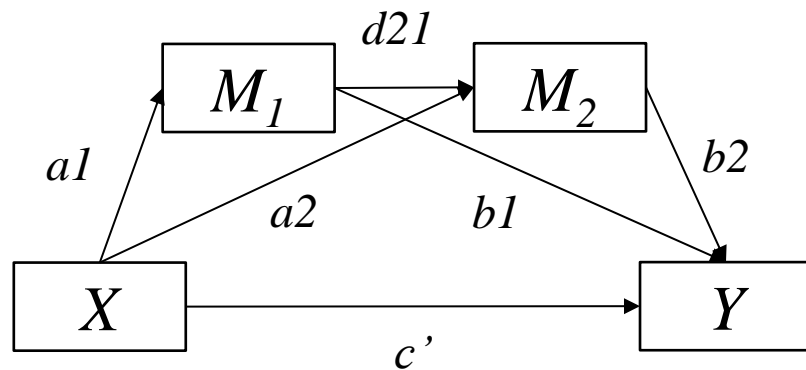
$$Y = (c' + a_1b_1 + a_2b_2)X + \varepsilon_1b_1 + \varepsilon_2b_2 + \varepsilon_3 \quad (3-8)$$

直接效应      M1的中介效应      M2的中介效应



# 中介效应 (Mediating Effect)

- 多重中介，指的就是多个中介变量对自变量和因变量之间的关系产生影响的过程，可分为并行中介和链式中介。



链式中介

$$M_1 = a_1X + \varepsilon_1 \quad (3-9)$$

$$M_2 = a_2X + d_{21}M_1 + \varepsilon_2 \quad (3-10)$$

$$Y = c'X + b_1M_1 + b_2M_2 + \varepsilon_3 \quad (3-11)$$

$$Y = \begin{matrix} \text{直接效应} & \text{M1单独} & \text{M2单独} & \text{M1M2链式} \\ & \text{中介效应} & \text{中介效应} & \text{中介效应} \end{matrix} (c' + a_1b_1 + a_2b_2 + a_1d_{21}b_2)X + \varepsilon_1b_1 + \varepsilon_1d_{21}b_2 + \varepsilon_2b_2 + \varepsilon_3 \quad (3-12)$$

# 中介效应 (Mediating Effect)

## ➤ 中介效应检验程序：案例4-显变量并行中介

```
TITLE:      this is an example of a Multiple Mediation
DATA:      FILE IS "D:\Multiple Mediation.csv";  !数据文件位置名称
VARIABLE: NAMES ARE x m1 m2 y;
              USEVARIABLE ARE x m1 m2 y;
ANALYSIS:  ESTIMATOR = ML;
              BOOTSTRAP=1000;
MODEL:     Y ON X (cdash); !y对x的回归系数c'
              M1 ON X (a1);   !m1对x的回归系数
              M2 ON X (a2);   !m2对x的回归系数
              Y ON M1 (b1);   !y对m1的回归系数
              Y ON M2 (b2);   !y对m2的回归系数
MODEL INDIRECT:
              Y IND M1 X;    !可使用INDIRECT语句,也可通过后面的CONSTRAINT设定
              Y IND M2 X;
```

# 中介效应 (Mediating Effect)

## ➤ 中介效应检验程序：案例4-显变量并行中介

MODEL CONSTRAINT:

new (H1 H2 H3 H4 TOTAL);

H1 =a1\*b1; !m1的中介效应

H2=a2\*b2; !m2的中介效应

H3=H1+H2; !两个中介效应的和

H4=H1-H2; !两个中介效应的差，即中介效应差异比较

TOTAL = H3 + cdash; ! X对Y的总效应

**OUTPUT:** SAMPSTAT STDYX cinterval (bcbootstrap); !输出样本统计量、标准化解、偏差校正的bootstrap置信区间

# 中介效应 (Mediating Effect)

## ➤ 中介效应检验程序：案例4-显变量并行中介

### MODEL RESULTS

		Estimate	S.E.	Est./S.E.	Two-Tailed P-Value
Y	ON				
	X	0.435	0.034	12.852	0.000
	M1	0.262	0.050	5.235	0.000
	M2	0.268	0.054		
M1	ON				
	X	0.336			
M2	ON				
	X	0.257			
Intercepts					
	M1	-0.355			
	M2	-0.447			
	Y	0.588			
Residual Variances					
	M1	111.129	10.1		
	M2	92.844	7.1	11.745	0.000
	Y	91.525	6.1	13.676	0.000
New/Additional Parameters					
	H1	0.088	0.021	4.246	0.000
	H2	0.069	0.016	4.205	0.000
	H3	0.157	0.027	5.753	0.000
	H4	0.019	0.026	0.748	0.454
	TOTAL	0.592	0.032	18.416	0.000

- m1中介效应：0.088
- m1中介效应量=0.088/0.592=14.9%
- m2中介效应：0.069
- m2中介效应量=0.069/0.592=11.7%
- m1、m2中介效应差异不显著

# 中介效应 (Mediating Effect)

## ➤ 中介效应检验程序：案例4-显变量并行中介

### CONFIDENCE INTERVALS OF MODEL RESULTS

		Lower .5%	Lower 2.5%	Lower 5%	Estimate	Upper 5%	Upper 2.5%	Upper .5%
Y	ON							
	X	0.337	0.366	0.376	0.435	0.487	0.494	0.516
	M1	0.121	0.160	0.173	0.262	0.340	0.350	0.376
	M2	0.116	0.167	0.182	0.268	0.359	0.374	0.413
M1	ON							
	X	0.253	0.269	0.278	0.336	0.392	0.403	0.428
M2	ON							
	X	0.183	0.200	0.208	0.257	0.322	0.320	0.336
Intercepts								
	M1	-1.912	-1.548	-1.367	-0.35	964		1.441
	M2	-2.037	-1.573	-1.356	-0.44	699		1.110
	Y	-0.936	-0.437	-0.295	0.58	717		1.964
Residual Variances								
	M1	86.435	92.236	95.853	111.129	128.881	131.406	138.136
	M2	75.726	79.711	81.706	92.844	109.178	111.283	114.448
	Y	75.991	79.668	81.303	91.525	104.226	106.369	108.625
New/Additional Parameters								
	H1	0.042	0.049	0.054	0.088	0.124	0.131	0.141
	H2	0.029	0.041	0.045	0.069	0.099	0.103	0.112
	H3	0.088	0.106	0.113	0.157	0.203	0.212	0.226
	H4	-0.045	-0.031	-0.022	0.019	0.063	0.068	0.085
	TOTAL	0.508	0.527	0.539	0.592	0.644	0.654	0.670

置信区间不包括0，说明存在中介效应

# 调节效应分析



# 调节效应分析

## ➤ 为什么有的人：

跟着帕姐做**有氧操**👉一个月已经把疫情假胖的十二斤都减掉啦！！！完全不觉得运动很痛苦，真实地体会到了出汗的快乐！而且体脂率下降都同时肌肉含量还上升了！🔊最近刚好在考虑加强度就看到这！太好了我永远喜欢帕姐！

2020-08-20 22:48    👍 2123    💬 回复

## ➤ 有的人却——

减肥

运动减肥

减肥经验

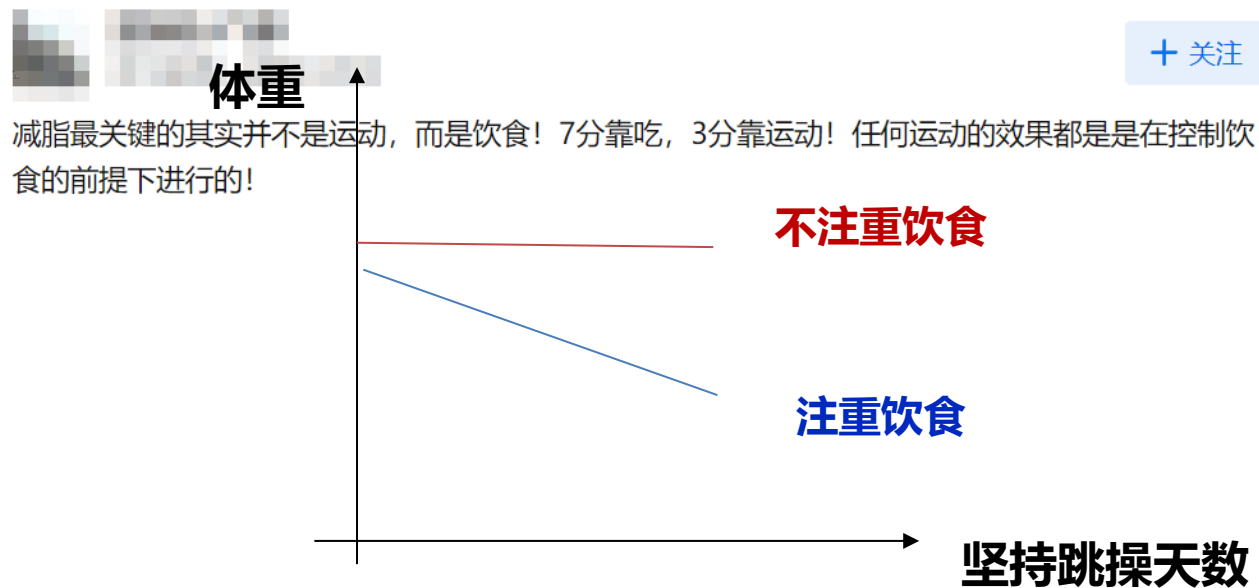
**坚持做帕梅拉一斤没瘦，为什么？**

**做帕梅拉真的有用吗，为什么我做了十天一点变化都没有？**

这十天我每天晚上都会做帕梅拉的瘦腿训练。最开始两天做的跟现在的不一样，现在做的是一个20分钟的👉一个15分钟的👉拉伸，如图：

# 调节效应分析

## ➤ 我们发现，可能是饮食结构的原因

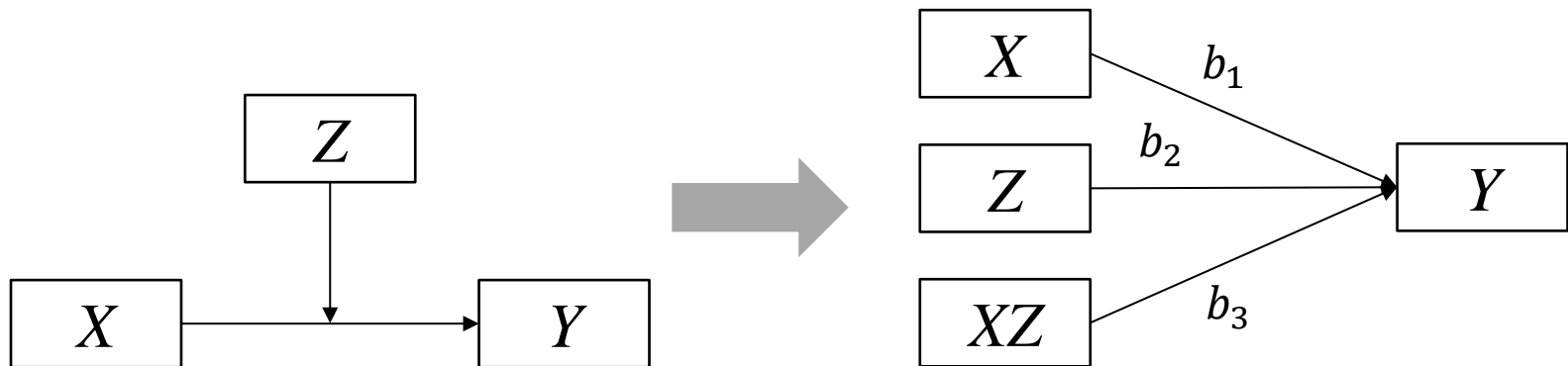


- 调节效应模型：为了回答心理现象无法适用于所有情景——为什么有些情况这样、有些情况那样的问题。



# 调节效应 (Moderating Effect)

- 调节效应：两个变量之间关系的大小和方向，随着第三个变量（调节变量）的取值不同而产生变化。



$$Y = b_0 + b_1X + b_2Z + b_3XZ + \varepsilon$$
$$= b_0 + (b_1 + b_3Z)b_1X + b_2Z +$$

# 调节效应 (Moderating Effect)

## ➤ 显变量调节效应检验方法 (温忠麟等, 2012)

调节变量 (Z)	自变量 (X)	
	类别	连续
类别	两因素ANOVA 交互效应即调节效应	1. 分组回归 按z的取值分组,做y对x的回归,若回归系数的差异显著,则调节效应显著 2. 层次回归 对调节变量虚拟处理
连续	层次回归 自变量虚拟处理	层次回归 1. 变量做中心化或标准化处理 2. 做y对x和z的回归,得测定系数 $R_1^2$ 3. 做y对x、z和xz的回归得 $R_2^2$ , 若 $R_2^2$ 显著高于 $R_1^2$ ,则调节效应显著;或者作xz的回归系数检验,若显著则调节效应显著

# 调节效应 (Moderating Effect)

## ➤ 调节效应检验程序：简单斜率检验

1. 将调节变量分别取高、中、低的水平，画出这三种水平下，X和Y之间的回归直线，从而直观地看到调节变量起的作用。
2. 由于X对Y的回归系数会受到Z取值的影响，那么可能在Z取某些值时，X对Y没有效应，即回归系数与0没有显著差异。

在进行简单斜率检验时，最好检验标准化的系数。

取调节变量均值，以及±一个标准差的值，代入到方程，能够得到简单斜率的检验。分别取自变量和调节变量均值，以及±一个标准差的值，可以绘制简单效应分析图 (Dearing & Hamilton, 2006)。

# 调节效应 (Moderating Effect)

## ➤ 调节效应检验程序：案例5-显变量交互效应非标准化解（不画图）

```
TITLE:      this is an example of a Moderation
DATA:      FILE IS "D:\data\Moderation.csv";    !数据文件位置名称
VARIABLE: NAMES ARE x z y;
              USEVARIABLE are x z y xz;           !注意这里要写上交互项
DEFINE:    CENTER x z (GRANDMEAN);             !中心化
              xz=x*z;                             !生成交互项
ANALYSIS: ESTIMATOR = ML;
              BOOTSTRAP = 1000;
MODEL:     y ON x (b1)      ! x的主效应b1，注意末尾没有结束不加上；
              z (b2)          ! z的主效应b2
              xz (b3);        ! 交互效应b3
OUTPUT:    Standardized; CINTERVAL (bcbootstrap);
```

# 调节效应 (Moderating Effect)

## ➤ 调节效应检验程序：案例5-显变量交互效应非标准化解（画图）

```
TITLE:      this is an example of a Moderation
DATA:      FILE IS "D:\data\Moderation.csv";    !数据文件位置名称
VARIABLE:  NAMES ARE x z y;
               USEVARIABLE ARE x z y xz;          !注意这里要写上交互项
DEFINE:    CENTER x z (GRANDMEAN);             !中心化
               xz=x*z;                             !生成交互项
ANALYSIS:  ESTIMATOR = ML;
               BOOTSTRAP = 1000;
MODEL:     y ON x (b1)      ! x的主效应b1，注意末尾没有结束不加上；
               z (b2)         ! z的主效应b2
               xz (b3);       ! 交互效应b3
MODEL CONSTRAINT: NEW(LOW_z MED_z HIGH_z SIMP_L SIMP_M
SIMP_H); !生成新参数
               LOW_z = 4.786-5.412;             ! z均值-1标准差
               MED_z = 4.786;                   ! z均值
               HIGH_z = 4.786+5.412;            ! z均值+1标准差
```

# 调节效应 (Moderating Effect)

## ➤ 调节效应检验程序：案例5-显变量交互效应非标准化解（画图）

```
SIMP_L = b1 + b3*LOW_z;  
SIMP_M = b1 + b3*MED_z;  
SIMP_H = b1 + b3*HIGH_z;
```

```
PLOT(LOMOD MEDMOD HIMOD);  
LOOP(XVAL,-1,10,1);      !x轴取值范围为1到10，间隔1，可修改
```

```
LOMOD = (b1 + b3*LOW_z)*XVAL;  
MEDMOD = (b1 + b3*MED_z)*XVAL;  
HIMOD = (b1 + b3*HIGH_z)*XVAL;
```

```
PLOT:          TYPE = PLOT2;  
OUTPUT:       Standardized; CINTERVAL (bcbootstrap);
```

# 调节效应 (Moderating Effect)

## ➤ 调节效应检验程序：案例5-显变量交互效应

### MODEL RESULTS

	Estimate	S.E.	Est./S.E.	Two-Tailed P-Value
Y ON				
X	0.279	0.017	16.294	0.000
Z	0.247	0.015	15.966	0.000
XZ	0.503	0.002	238.051	0.000
Intercepts				
Y	2.667	0.079	33.819	0.000
Residual Variances				
Y	1.058	0.086	12.346	0.000
New/Additional Parameters				
LOW_Z	-0.626	0.000	*****	0.000
MED_Z	4.786	0.000	0.000	1.000
HIGH_Z	10.198	0.000	*****	0.000
SIMP_L	-0.036	0.018	-1.993	0.046
SIMP_M	2.688	0.011	238.372	0.000
SIMP_H	5.412	0.014	396.437	0.000

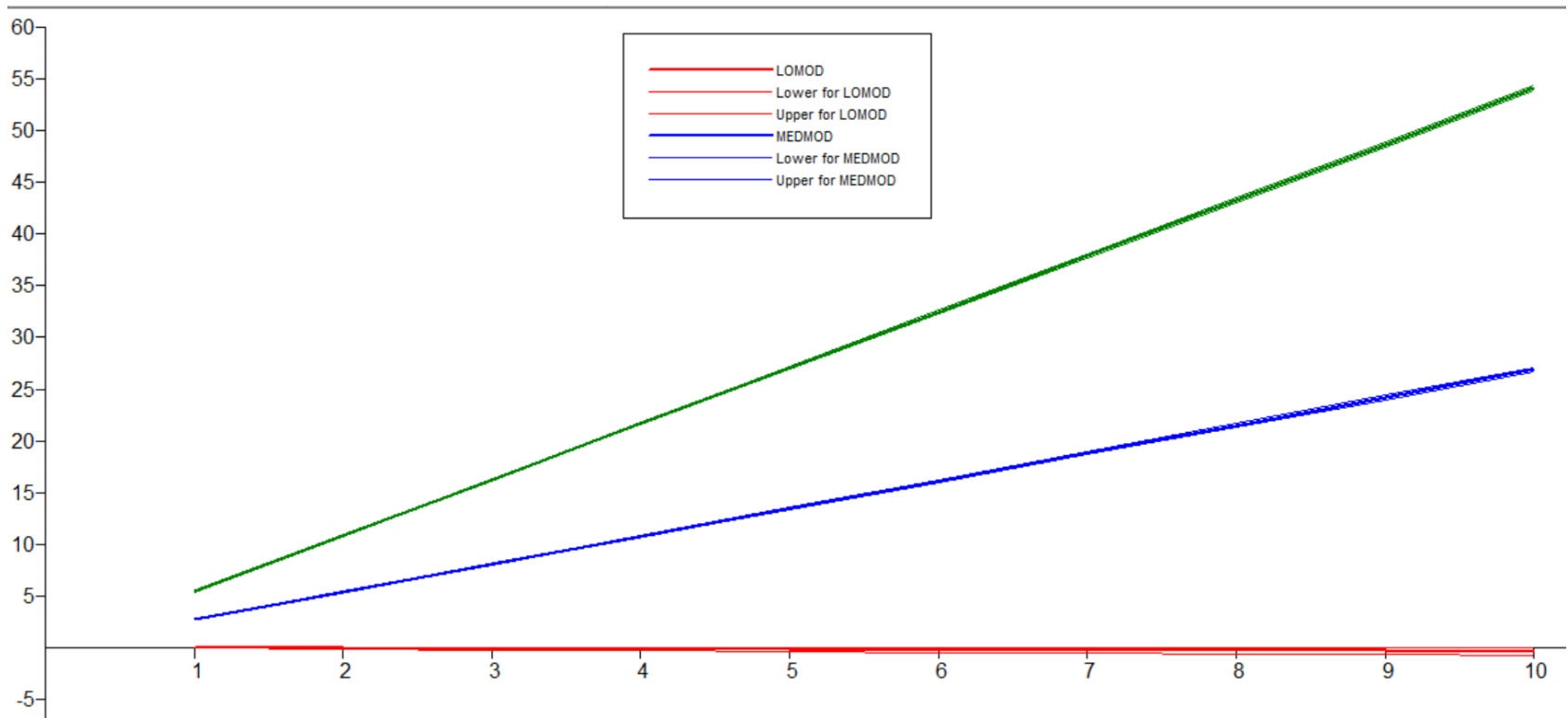
主效应、  
调节效应  
都显著

z低：x增加1个单位，y会减小0.036

z高：x增加1个单位，y会增加5.412

# 调节效应 (Moderating Effect)

## ➤ 调节效应检验程序：案例5-显变量交互效应





# 调节效应 (Moderating Effect)

## ➤ 调节效应检验程序：案例5-显变量交互效应

- 使用Excel宏

请只在有填充色的单元格中，输入必需的信息。如需帮助，请访问：  
[www.obhrm.net/index.php/ModFigure](http://www.obhrm.net/index.php/ModFigure)

[返回菜单](#)

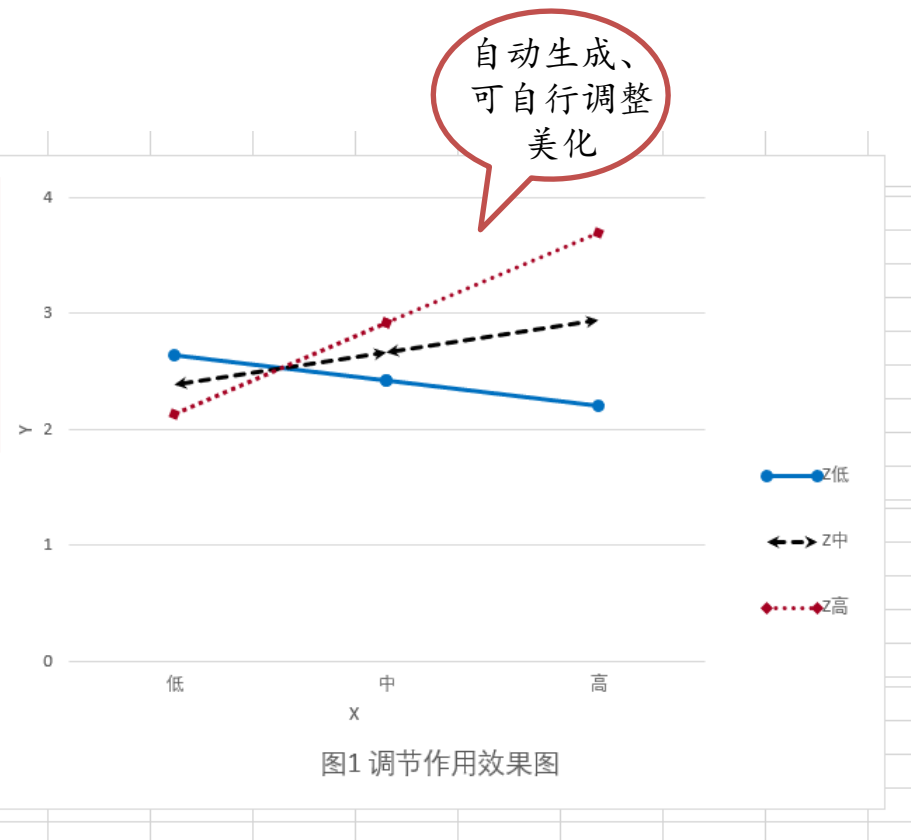
图形标题	图1 调节作用效果图
横轴标题	X
纵轴标题	Y
自变量图例 (低)	低
自变量图例 (中)	中
自变量图例 (高)	高
调节变量图例 (低)	Z低
调节变量图例 (中)	Z中
调节变量图例 (高)	Z高
非标准化回归系数 (B)	
主效应	0.279
调节变量效应	0.247
调节效应	0.503
常量	2.667

	低	中	高
Z低	2.644	2.42	2.196
Z中	2.388	2.667	2.946
Z高	2.132	2.914	3.696

MODEL RESULTS		
		Estimate
Y	ON	
X		0.279
Z		0.247
XZ		0.503
Intercepts		
Y		2.667

自动  
计算



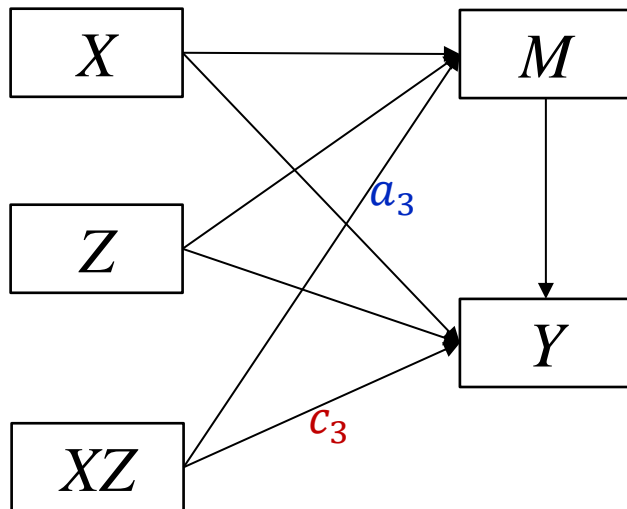
# 调节效应 (Moderating Effect)

## ➤ 中介效应 vs. 调节效应

	中介效应	调节效应
研究目的	$X \rightarrow Y$ 的内部影响机制或因果序列	X何时影响Y
适合情境	探索 $X \rightarrow Y$ 的内部影响机制	X对Y的影响时强时弱
中介/调节变量的位置	M在XY中间	X、Z都在Y的前面
中介/调节变量和X、Y的关系	M和X、Y相关都显著	Z和X、Y相关可显著或不显著
效应	$ab$	$b_3$

# 混合效应：中介效应 + 调节效应

- 1. 有中介的调节(Mediated Moderation)：先检验调节效应，调节交互项影响中介变量，进而影响因变量。



$$Y = c_0 + c_1X + c_2Z + \textcolor{red}{c}_3XZ + \varepsilon_1$$

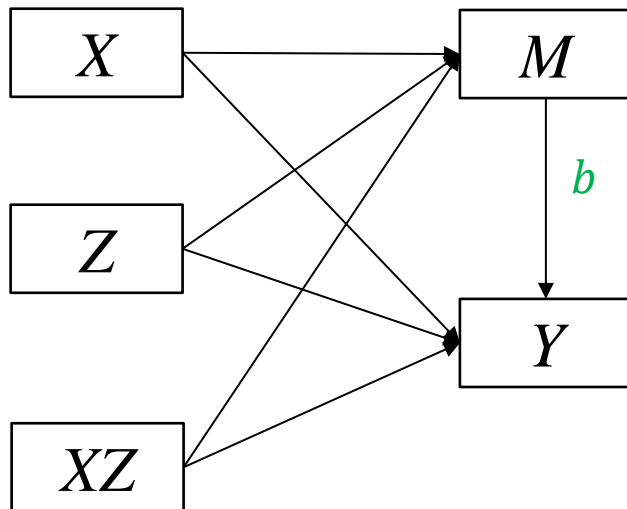
ZX的系数 $c_3$ 显著，说明调节效应显著

$$M = a_0 + a_1X + a_2Z + \textcolor{blue}{a}_3XZ + \varepsilon_2$$

ZX的系数 $a_3$ 显著

# 混合效应：中介效应 + 调节效应

- 1. 有中介的调节(Mediated Moderation)：先检验调节效应，调节交互项影响中介变量，进而影响因变量。



$$Y = c_0 + c_1X + c_2Z + \textcolor{red}{c_3}XZ + \varepsilon_1$$

$XZ$ 的系数 $c_3$ 显著，说明调节效应显著

$$M = a_0 + a_1X + a_2Z + \textcolor{blue}{a_3}XZ + \varepsilon_2$$

$XZ$ 的系数 $a_3$ 显著

$$Y = c'_0 + c'_1X + c'_2Z + c'_3XZ + \textcolor{green}{b}M + \varepsilon_3$$

$M$ 的系数 $b$ 显著，说明中介效应显著

$c'_3$ 为直接的调节效应， $a_3b$ 是间接的调节效应。

# 混合效应：中介效应 + 调节效应

## ➤ 混合效应检验程序：案例6-显变量有中介的调节

```
TITLE:      this is an example of a Mediated Moderation
DATA:      FILE IS "D:\data\Mediated Moderation.csv";  !数据文件位置名称
VARIABLE: NAMES ARE x z m y;
              USEVARIABLE are x z m y xz;
DEFINE:    CENTER x z (GRANDMEAN);      !中心化
              xz=x*z;                      !生成交互项
ANALYSIS:  ESTIMATOR = ML;
              BOOTSTRAP = 1000;
MODEL:     y ON m (b)
              x z xz;
              m ON x (a1)
              z xz (a3);
OUTPUT:    Standardized; CINTERVAL (bcbootstrap);
```

# 混合效应：中介效应 + 调节效应

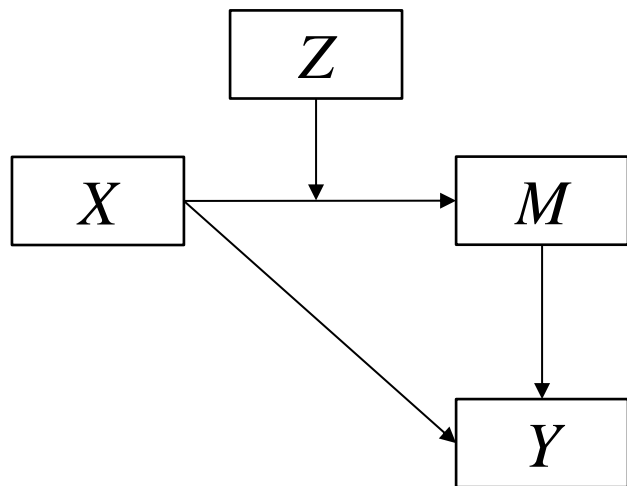
## ➤ 混合效应检验程序：案例6-显变量有中介的调节

### MODEL RESULTS

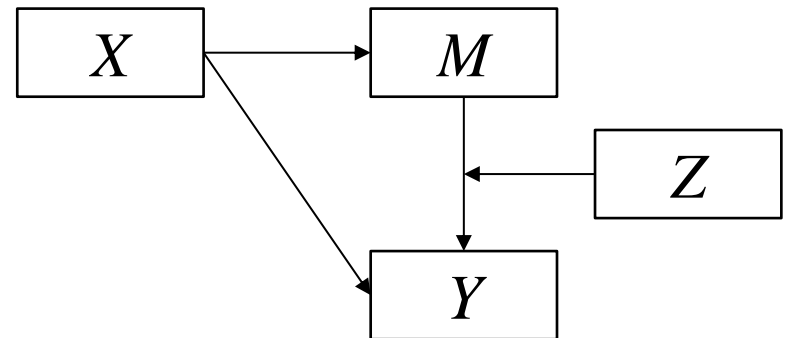
		Estimate	S.E.	Est./S.E.	Two-Tailed P-Value
Y	ON				
	M	0.183	0.062	2.955	0.003
	X	0.313	0.021	15.100	0.000
	Z	0.303	0.022	13.834	0.000
	XZ	0.373	0.017	21.726	0.000
M	ON				
	X	0.206	0.014	15.196	0.000
	Z	0.273	0.002	172.533	0.000
	XZ	0.273	0.002	172.533	0.000
Intercepts					
	M	2.263	0.066	34.227	0.000
	Y	3.032	0.166	18.258	0.000
Residual Variances					
	M	0.910	0.077	11.881	0.000
	Y	0.850	0.064	13.284	0.000

# 混合效应：中介效应 + 调节效应

- 2. 有调节的中介(Moderated Mediation): 先检验中介效应，经过中介变量的中介效应受到调节变量的影响。



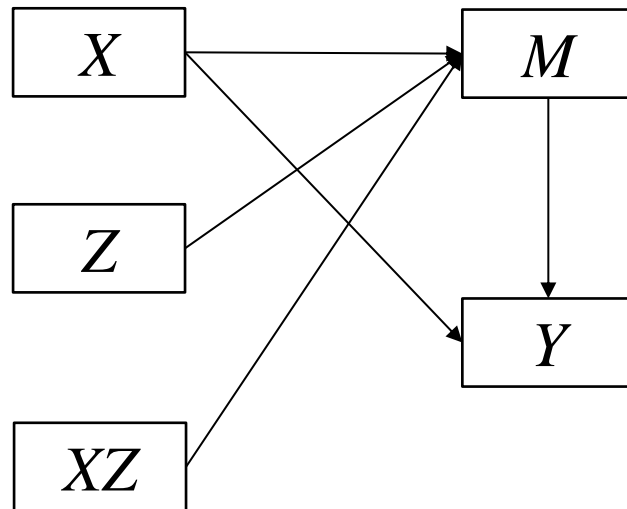
调节效应发生在  
前半段



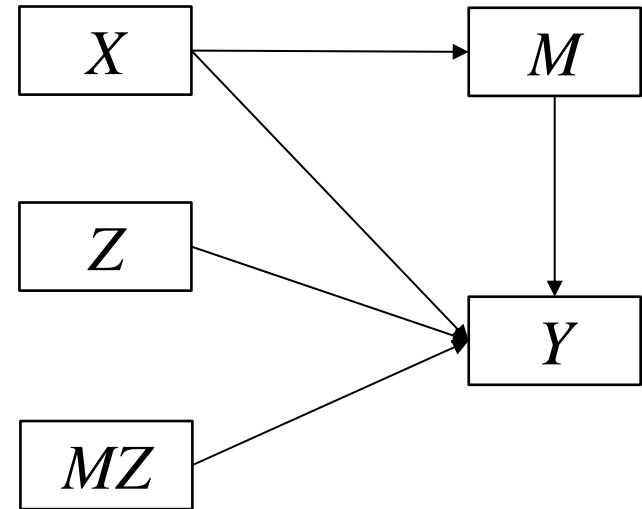
调节效应发生在  
后半段

# 混合效应：中介效应 + 调节效应

- 2. 有调节的中介(Moderated Mediation): 先检验中介效应，经过中介变量的中介效应受到调节变量的影响。



调节效应发生在  
前半段

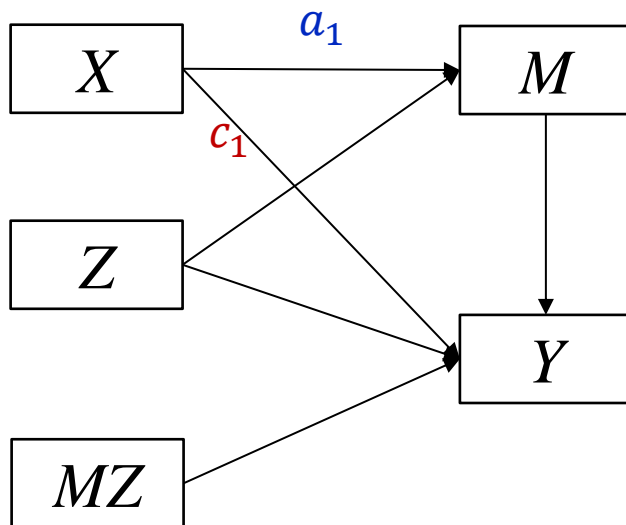


调节效应发生在  
后半段



# 混合效应：中介效应 + 调节效应

- 2. 有调节的中介(Moderated Mediation): 先检验中介效应，经过中介变量的中介效应受到调节变量的影响。



$$Y = c_0 + \textcolor{red}{c}_1 X + c_2 Z + \varepsilon_1$$

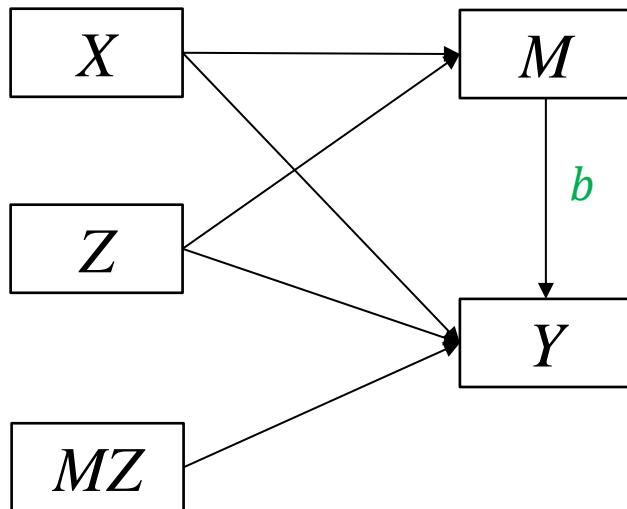
X的系数 $c_1$ 显著

$$M = a_0 + \textcolor{blue}{a}_1 X + a_2 Z + \varepsilon_2$$

X的系数 $a_1$ 显著

# 混合效应：中介效应 + 调节效应

- 2. 有调节的中介(Moderated Mediation): 先检验中介效应，经过中介变量的中介效应受到调节变量的影响。



$$Y = c_0 + \textcolor{red}{c}_1 X + c_2 Z + \varepsilon_1$$

X的系数 $c_1$ 显著

$$M = a_0 + \textcolor{blue}{a}_1 X + a_2 Z + \varepsilon_2$$

X的系数 $a_1$ 显著

$$Y = c'_0 + c'_1 X + c'_2 Z + \textcolor{green}{b} M + \varepsilon_3$$

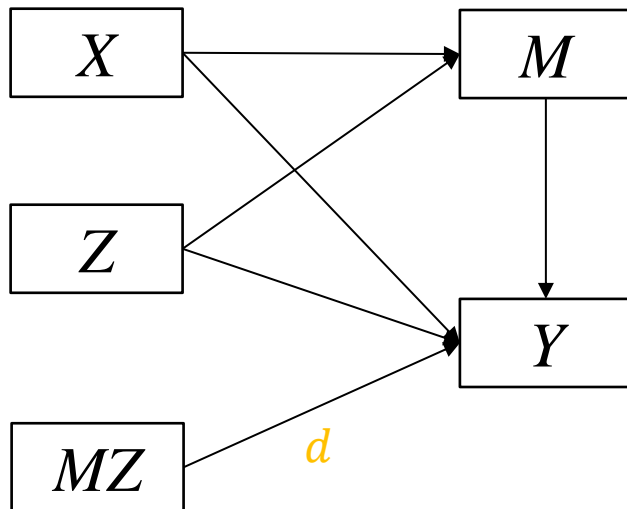
M的系数 $b$ 显著，至此说明中介效应显著

$$Y = c''_0 + c''_1 X + c''_2 Z + b' M + d MZ + \varepsilon_4$$

MZ的系数 $d$ 显著

# 混合效应：中介效应 + 调节效应

- 2. 有调节的中介(Moderated Mediation): 先检验中介效应，经过中介变量的中介效应受到调节变量的影响。



$$Y = c_0 + \textcolor{red}{c}_1 X + c_2 Z + \varepsilon_1$$

X的系数 $c_1$ 显著

$$M = a_0 + \textcolor{blue}{a}_1 X + a_2 Z + \varepsilon_2$$

X的系数 $a_1$ 显著

$$Y = c'_0 + c'_1 X + c'_2 Z + \textcolor{green}{b} M + \varepsilon_3$$

M的系数 $b$ 显著，至此说明中介效应显著

$$Y = c''_0 + c''_1 X + c''_2 Z + b' M + \textcolor{orange}{d} MZ + \varepsilon_4$$

MZ的系数 $d$ 显著

# 混合效应：中介效应 + 调节效应

## ➤ 混合效应检验程序：案例6-显变量有调节的中介

```
TITLE:      this is an example of a Moderated Mediation
DATA:      FILE IS "D:\data\Moderated Mediation.csv";    !数据文件位置名称
VARIABLE:  NAMES ARE x m z y;
               USEVARIABLE ARE x m z y mz;
DEFINE:    CENTER x z m (GRANDMEAN);    !中心化
               mz=m*z;                      !生成交互项
ANALYSIS:  ESTIMATOR = ML;
               BOOTSTRAP = 1000;
MODEL:    y ON m (b)
               x z mz (d);
               m ON x (a1)
               z (a2);
OUTPUT:    Standardized; CINTERVAL (bcbootstrap);
```

# 混合效应：中介效应 + 调节效应

## ➤ 混合效应检验程序：案例6-显变量有中介的调节

### MODEL RESULTS

		Estimate	S.E.	Est./S.E.	Two-Tailed P-Value
Y	ON				
	M	0.244	0.056	4.376	0.000
	X	0.354	0.004	97.597	0.000
	Z	0.354	0.004	97.597	0.000
	MZ	0.354	0.004	97.597	0.000
M	ON				
	X	0.216	0.012	18.741	0.000
	Z	0.221	0.013	17.040	0.000
Intercepts					
	M	0.000	0.061	0.000	1.000
	Y	4.073	0.086	47.370	0.000
Residual Variances					
	M	1.107	0.095	11.668	0.000
	Y	1.008	0.083	12.168	0.000

## 混合效应：中介效应 + 调节效应

- 小结：如果画出路径图或者示意图，有中介的调节模型和有调节的中介模型可以是一模一样的，**不同的是看问题的视角和检验步骤**（叶宝娟, 温忠麟, 2013）。
- 可以参考这两篇论文：
  - 叶宝娟 & 温忠麟. (2013). 有中介的调节模型检验方法: 甄别和整合. 心理学报 (09), 1050-1060.
  - 温忠麟 & 叶宝娟. (2014). 有调节的中介模型检验方法: 竞争还是替补?. 心理学报 (05), 714-726.

# 为什么需要结构方程模型？

## ➤ 心理学研究的现状及问题：

- 变量之间的影响机制复杂，通常涉及多个变量
- 基于显变量建模忽略了测量误差，会导致统计偏误

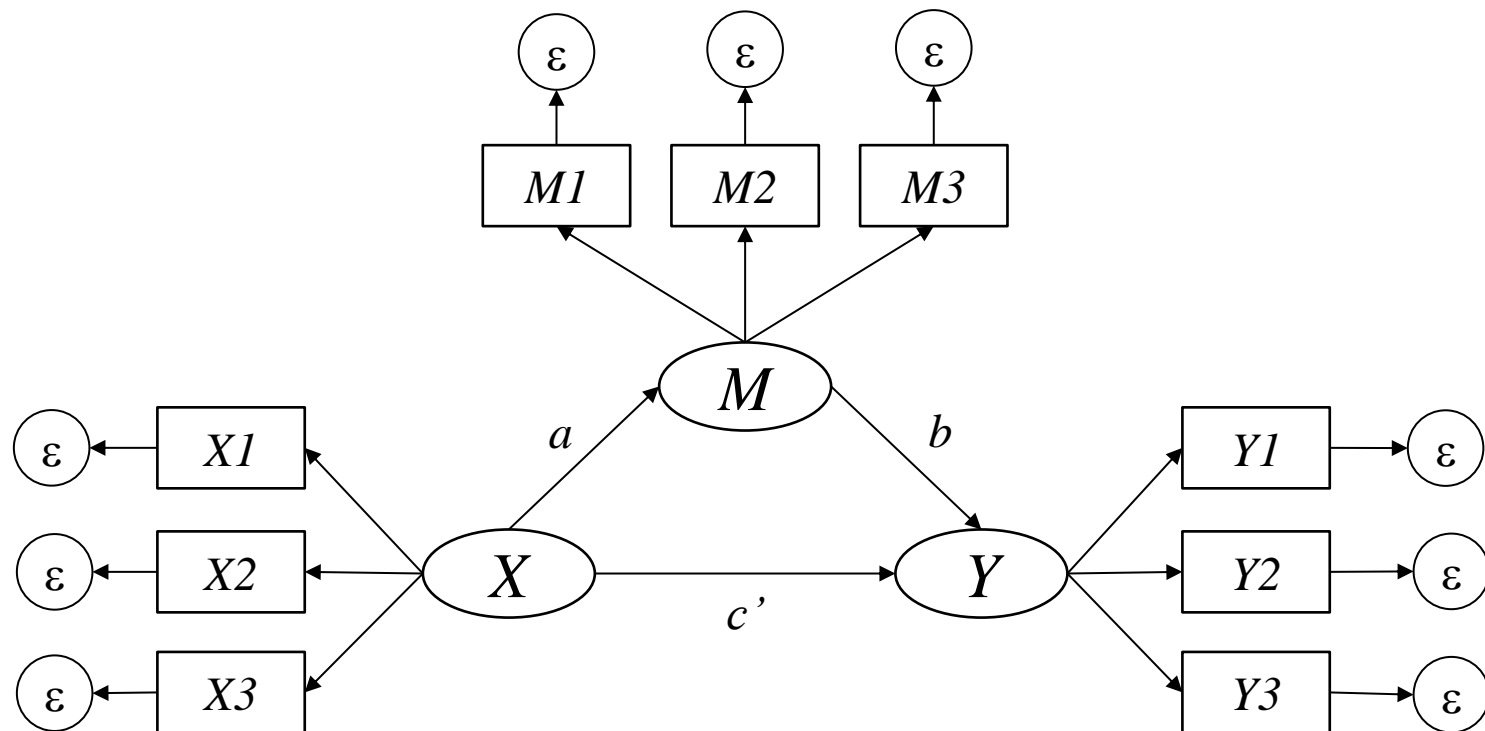


## ➤ 结构方程模型的好处：

- ✓ 同时处理多个因变量
- ✓ 容许自变量和因变量含测量误差
- ✓ 估计模型拟合程度，以比较不同模型

# 中介效应 (Mediating Effect)

## ► 潜变量中介效应建模





# 中介效应 (Mediating Effect)

## ➤ 潜变量中介效应检验程序：案例7-潜变量简单中介

```
DATA: FILE IS "D:\data\SEM-Mediation.csv"; !数据文件位置名称
VARIABLE: NAMES ARE x1-x3 m1-m3 y1-y3;
USEVARIABLE ARE x1-x3 m1-m3 y1-y3;
ANALYSIS: ESTIMATOR = ML;
bootstrap=1000;
MODEL: x BY x1-x3; !测量部份：定义潜变量x和指标x1-x3的从属关系
m BY m1-m3; !比显变量建模多的部分
Y BY y1-y3;
y ON x (cdash); !结构部分：cdash表示y对x的回归系数c'
m ON x (a); !a表示m对x的回归系数
y ON m (b); !b表示y对m的回归系数
MODEL CONSTRAINT:
new (ab TOTAL);
ab=a*b; !构造ab乘积项，即中介效应
TOTAL = ab + cdash; !X对Y的总效应
OUTPUT: STDYX cinterval (bcbootstrap); !偏差校正的bootstrap置信区间
```

# 中介效应 (Mediating Effect)

## ➤ 潜变量中介效应检验程序：案例7-潜变量简单中介

Chi-Square Test of Model Fit

Value	30.473
Degrees of Freedom	24
P-Value	0.1696

卡方/df  
= 1.27

RMSEA (Root Mean Square Error Of Approximation)

Estimate	0.030	
90 Percent C.I.	0.000	0.059
Probability RMSEA <= .05	0.858	

CFI/TLI

CFI	0.990
TLI	0.985

Chi-Square Test of Model Fit for the Baseline Model

Value	676.341
Degrees of Freedom	36
P-Value	0.0000

SRMR (Standardized Root Mean Square Residual)

Value	0.035
-------	-------

STANDARDIZED MODEL RESULTS

		Std. Estimate	1
X	BY		
	X1	0.864	
	X2	0.634	
	X3	0.662	
M	BY		
	M1	0.934	
	M2	0.620	
	M3	0.561	
Y	BY		
	Y1	0.982	
	Y2	0.447	
	Y3	0.416	
Y	ON		
	X	0.266	
	M	0.158	
M	ON		
	X	0.407	

测量部分：  
因子负荷

# 中介效应 (Mediating Effect)

## ➤ 潜变量中介效应检验程序：案例7-潜变量简单中介

New/Additional Parameters				
AB	0.072	0.034	2.092	0.036
TOTAL	0.369	0.073	5.093	0.000

中介效应：0.072  
总效应：0.369

### CONFIDENCE INTERVALS OF MODEL RESULTS

	Lower .5%	Lower 2.5%	Lower 5%	Estimate	Upper 5%	Upper 2.5%	Upper .5%
New/Additional Parameters							
AB	-0.003	0.015	0.024	0.072	0.138	0.148	0.179
TOTAL	0.182	0.224	0.253	0.369	0.496	0.517	0.565

99%置信水平的  
区间为[-0.003,  
0.179]。包含0,  
中介效应不显著

# 调节效应 (Moderating Effect)

- 潜变量调节效应分析方法:
- 潜变量一般认为是连续变量, 因此通常只考虑如下两种情形

自变量 (X)	调节变量 (Z)	
	类别	潜变量
潜变量	分组SEM	乘积指标法 潜调节结构方程建模

# 调节效应 (Moderating Effect)

## ➤ 潜变量调节效应检验程序：案例8-潜变量调节-指标乘积法

```
DATA: FILE IS "D:\data\SEM-Moderation.csv"; !数据文件位置名称
VARIABLE: NAMES ARE x1-x3 z1-z3 y1-y3;
USEVARIABLE = x1-x3 z1-z3 y1-y3 xz1-xz3;
DEFINE: CENTER x1-x3 z1-z3(GRANDMEAN); !此处选择总均值中心化
xz1=x1*z1; !中心化后的配对乘积生成指标
xz2=x2*z2;
xz3=x3*z3;
ANALYSIS: ESTIMATOR = MLM; !MLM指令用SB法矫正标准误
MODEL=NOMEANSTRUCTURE; !使用无均值结构建模法
INFORMATION =Expected;
MODEL: x by x1-x3; !定义测量模型
z by z1-z3;
y by y1-y3;
xz by xz1-xz3; !定义交互效应因子的测量模型
y ON x z !检验主效应;
xz; !检验交互效应;
OUTPUT: STDYX CINT;
```

# 调节效应 (Moderating Effect)

## ➤ 潜变量调节效应检验程序：案例8-潜变量调节-指标乘积法

```

RMSEA (Root Mean Square Error Of Approximation)

      Estimate                0.035
      90 Percent C.I.         0.005  0.055
      Probability RMSEA <= .05 0.889

CFI/TLI

      CFI                    0.968
      TLI                    0.957

Chi-Square Test of Model Fit for the Baseline Model

      Value                    623.900
      Degrees of Freedom       66
      P-Value                  0.0000

SRMR (Standardized Root Mean Square Residual)

      Value                    0.044

WRMR (Weighted Root Mean Square Residual)

      Value                    0.919
  
```

### STDYX Standardization

		Estimate	S.E.	Two-Tailed P-Value
X	BY			
	X1	0.669	0.042	15.990
	X2	0.775	0.038	20.646
	X3	0.615	0.047	13.196
Z	BY			
	Z1	0.754	0.049	15.553
	Z2	0.642	0.045	14.370
	Z3	0.600	0.049	12.134
Y	BY			
	Y1	0.671	0.041	16.538
	Y2	0.718	0.042	17.047
		0.667	0.040	16.608
X				
		0.498	0.121	4.129
		0.336	0.085	3.942
	XZ3	0.249	0.080	3.122
Y	ON			
	X	0.563	0.077	7.326
	Z	0.459	0.100	4.604
	XZ	0.447	0.123	3.646

测量部分：  
因子负荷

结构部分：  
主效应和  
调节效应

# 调节效应 (Moderating Effect)

## ➤ 潜变量调节效应检验程序：案例9-潜变量调节-LMS法

```
DATA:      FILE IS "D:\data\SEM-Moderation.csv";  !数据文件位置名称
VARIABLE: NAMES ARE x1-x3 z1-z3 y1-y3;
              USEVARIABLE = x1-x3 z1-z3 y1-y3 xz1-xz3;
ANALYSIS: TYPE = RANDOM; !选择的分析类型为RANDOM;
              ALGORITHM = INTEGRATION;
              PROCESSORS=4; !设置使用4个处理器，可以提高计算速度；
MODEL:    x by x1-x3;      !定义测量模型；
              z BY z1-z3;
              y by y1-y3;
              x z y@1;        !建议采用固定方差法指定潜变量单位
              xxz|x XWITH z;  !定义交互效应；
              y ON x z        !检验主效应；
                           xxz; !检验交互效应；
OUTPUT:    tech1 tech8;    ! LMS不提供标准化结果；
```

# 调节效应 (Moderating Effect)

## ➤ 潜变量调节效应检验程序：案例9-潜变量调节-LMS法

MODEL RESULTS					
		Estimate	S.E.	Est./S.E.	Two-Tailed P-Value
X	BY				
	X1	1.000	0.000	999.000	999.000
	X2	1.273	0.130	9.808	0.000
	X3	0.948	0.110	8.632	0.000
Z	BY				
	Z1	1.000	0.000	999.000	999.000
	Z2	0.823	0.073	11.289	0.000
	Z3	0.785	0.082	9.562	0.000
Y					
	Y1	1.000	0.000	999.000	999.000
	Y2	0.931	0.099	9.438	0.000
	Y3	0.900	0.112	8.058	0.000
Y	ON				
	X	0.665	0.092	7.201	0.000
	Z	0.361	0.068	5.297	0.000
	XXZ	0.371	0.073	5.110	0.000
Z	WITH				
	X	-0.127	0.065	-1.960	0.050

结构部分：  
主效应和  
调节效应



# 结构方程建模步骤

## ➤ 一切开始之前，先确定你的目的，验证模型？产生模型？

### 纯粹验证

(strictly confirmatory, SC)



心目中只有一个模型，这类分析不多，无论接受还是拒绝，仍希望有更佳的选择

### 选择模型

(alternative models, AM)



从拟合的优劣，决定那个模型最为可取，但我们仍常做一些轻微修改，成为MG类的分析

### 产生模型

(model generating, MG)



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份；然后修改模型，通过同一或其他样本，检查修正模型的拟合程度，目的在于产生一个最佳模型

## 结构方程建模步骤

模型建构

模型估计

模型评价

模型修正

模型比较

- **指定观测指标（题目）与潜变量（因子）的关系**
- **定义各潜变量间的相互关系**（指定哪些因子间有相关或直接效应）
- **在复杂的模型中，限制因子负荷或因子相关系数等参数的数值或关系**（如，2个因子间相关系数限定为0.3）

# 结构方程建模步骤

模型建构

模型估计

模型评价

模型修正

模型比较

## ➤ 模型识别：

- 测量部分识别
- 结构部分识别

## ➤ 参数估计：通常使用极大似然法（ML）方法

## 结构方程建模步骤

模型建构

模型估计

模型评价

模型修正

模型比较

- **模型的求解是否适当、迭代是否收敛、参数估计值是否合理**（如，相关系数在 +1 与 -1 之内）
- **参数与预设模型关系是否合理。** 各参数是否互相矛盾，或与先验假设有严重冲突
- **检视多个不同类型的拟合指数。** 如CFI、RMSEA和  $\chi^2$  等
- **检视每一个测量模型的负荷**

## 结构方程建模步骤

模型建构

模型估计

模型评价

模型修正

模型比较

- 依据理论提出合理的先验模型
- 建立测量模型，可能增删或重组题目
- 确立测量模型部分的合理后，最后才将所有因子合并成预设的先验模型，作一个总体检查
- 检查标准误、t值、修正指数等，重复3-4步骤
- 用另一个独立样本交互确定

# 结构方程建模步骤

模型建构

模型估计

模型评价

模型修正

模型比较

## ➤ 嵌套模型比较

- 多出的自由参数是否显著
- 卡方检验（比较卡方之差与自由度之差）
- 比较拟合指数的变化

## ➤ 非嵌套模型比较

- 比较卡方/自由度
- 比较拟合指数
- 比较模型的可解释性

# 结构方程建模中的注意事项

## ➤ 题目数量

- 多设计几题，测试时删去不好的题目，最后每个因子应有3个及以上题目

## ➤ 最小样本量需求

- 模型越复杂，需要估计的参数越多，样本量需求越大。综合研究和经验，样本数应该大于问卷题目数的10倍。

## ➤ 数据缺失问题

- 可以使用Mplus进行FIML处理

## ➤ 多重共线性检验

- 事先做VIF检验，值 $<5$ ，则不存在共线性(温忠麟等, 2018)

## ➤ 建模依据

- 最好依据理论，依次提出假设，模型的每条路径都有充分的理据

# 结构方程建模中的注意事项

## ➤ 控制变量

- 分别做自变量和因变量对控制变量的回归，用残差作为变量的观测值(温忠麟, 2017b)

## ➤ 项目是否要打包?

- 打包法的前提条件是单维、同质，适合目的是结构模型分析的研究，使用打包后需要报告每一步流程(吴艳, 温忠麟, 2011)

## ➤ 模型修正提示允许误差相关?

- 除非是特殊设计(重复测量)或理论解释，一般不容许误差可以相关

## ➤ 是否需要报告完全中介或部分中介?

- 合适的做法是直接报告中介效应和直接效应的显著性(方杰等, 2012; 温忠麟, 刘红云, 2020)。



# 结构方程建模拓展

## ➤ 与贝叶斯的结合

- 贝叶斯的潜变量调节效应 (Asparouhov & Muthén, 2021)
- 贝叶斯结构方程模型 (潘俊豪等)

## ➤ 与多水平建模结合

- 多层数据的调节效应 (方杰, 温忠麟, 吴艳, 2018)
- 两层有中介的调节 (2meMO) 模型 (刘红云, 袁克海, 甘凯宇, 2021)

## ➤ 纵向数据拓展

- 纵向数据的调节效应、中介效应 (方杰等, 2018, 2021)

## 推荐学习资料

### 书籍

侯杰泰, 温忠麟, 成子娟. (2014). 结构方程模型及其应用. 北京: 教育科学出版社.

温忠麟, 刘红云. (2020). 中介效应和调节效应: 方法及应用. 北京: 教育科学出版社.

温忠麟, 刘红云, 侯杰泰. (2012). 调节效应和中介效应分析. 北京: 教育科学出版社.

王孟成. (2014). 潜变量建模与 Mplus 应用: 基础篇. 重庆大学出版社.

### 文献

关注作者: “温忠麟” “刘红云” “方杰”

## 推荐学习资料

### 在线资源

Mplus官网: <https://www.statmodel.com/ugexcerpts.shtml>

#### Mplus User's Guide Chapters with Examples

Following are excerpts from the Version 8 Mplus User's Guide. Chapters 3 - 13 include over 250

## Chapter 5: Confirmatory Factor Analysis and Structural Equation Modeling

[Download all Chapter 5 examples](#)

Example	结果	语句	数据	模拟生成数据的语句	
	View output	Download input	Download data	View Monte Carlo output	Download Monte Carlo input
5.1: CFA with continuous factor indicators	<a href="#">ex5.1</a>	<a href="#">ex5.1.inp</a>	<a href="#">ex5.1.dat</a>	<a href="#">mcex5.1</a>	<a href="#">mcex5.1.inp</a>
5.2: CFA with categorical factor indicators	<a href="#">ex5.2</a>	<a href="#">ex5.2.inp</a>	<a href="#">ex5.2.dat</a>	<a href="#">mcex5.2</a>	<a href="#">mcex5.2.inp</a>
5.3: CFA with continuous and categorical factor indicators	<a href="#">ex5.3</a>	<a href="#">ex5.3.inp</a>	<a href="#">ex5.3.dat</a>	<a href="#">mcex5.3</a>	<a href="#">mcex5.3.inp</a>
5.4: CFA with censored and count factor indicators	<a href="#">ex5.4</a>	<a href="#">ex5.4.inp</a>	<a href="#">ex5.4.dat</a>	<a href="#">mcex5.4</a>	<a href="#">mcex5.4.inp</a>

# 谢谢大家！