

探索性因素分析、目标旋转与因素结构的一致性*

李育辉¹ 黄飞^{2,3} 张建新²

(¹ 中国人民大学劳动人事学院, 北京 100872) (² 中国科学院心理研究所, 北京 100101)

(³ 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要 在因素结构水平上评估跨群体的一致性是在心理学研究中常常遇见的一个问题, 对此问题的解答, 可以选择探索性因素分析→目标旋转→一致性评估这一途径。本文首先介绍正交目标旋转的简单原理, 然后介绍其在心理研究中的应用以及相关软件和程序。目标旋转之后, 结构一致性的量化可以采用一致性系数等指标, 这些指标可采用一定的实证分布、近似处理或经验标准进行统计检验。之后采用一项实证数据, 演示探索性因素分析、目标旋转以及结构一致性的评估方法。

关键词 探索性因素分析; 目标旋转; 结构一致性

分类号 B841

1 引言

探索性因素分析 (Exploratory Factor Analysis, EFA), 是心理学研究的一种重要的分析方法 (Fabrigar, Wegener, MacCullum, & Strahan, 1999)。随着统计技术的发展和各类问题的出现, EFA 程序中出现不同的变式。此类分析常涉及因素旋转, 这样的旋转往往是任意的。于是当要比较从不同的样本或在不同的情景收集到的数据的因素结构时, 旋转就成为一个问题 (Kiers, 1997; Lorenzo-Seva, Kiers, & ten Berge, 2002; van de Vijver & Leung, 1997)。因此, 要评估针对同一组变量进行多次探索性因素分析得到的因素结构的相似性程度, 评价它们是否等同, 就应当首先解决因素旋转的问题。其中目标旋转 (Target Rotation), 也称为强制一致旋转 (Procrustes Rotation) 是解决此类问题的一种方法。目标旋转之后, 对于因素结构一致性的衡量则有几种不同的量化指标可供选择。因此, 探索性因素分析→目标旋转→一致性评估的分析思路, 是评估测量工具属性的一种尝试 (e.g. Lorenzo-Seva & ten Berge, 2006; McCrae, Zonderman, Costa, Bond, & Paunonen, 1996; Terracciano, 2003)。

EFA 在国内心理学相关研究中的应用, 不乏在

多个群体中使用同一组变量进行分析的, 尤其是使用他人开发的工具, 研究者有意无意中会进行一定的比较, 比如对于外向性的中西方比较 (崔红, 王登峰, 2006), 也有少部分跨文化群体的比较。在这些情况下, 因素结构的一致性研究者需要关注的焦点之一。此外, 交叉验证的思路涉及在不同的情境或不同的人群中的重复性验证, 其中就包括结构一致性这个内容。对于因素结构一致性的评估方法, 除了多组验证性因素分析方法之外, 使用探索性因素分析加上目标旋转以及结构一致性指标的计算也是可取的方法 (van de Vijver & Leung, 1997; Aluja, García, García, & Seisdedos, 2005)。

2 目标旋转

EFA 中的旋转方法有很多种, 这些方法的共同特点是以变量间的内部结构为准则, 这也正是“探索性”的意味所在。但有时在很强的理论假设以及大量的实证经验积累的基础上, 可能需要通过某种方法, 使得实际数据的因素结构来拟合假设的结构, 目标旋转就是其中一种方法 (Chan, Ho, Leung, Chan, & Yung, 1999)。在此类分析中, “简单结构”和“最大一致性”是旋转的两大目的 (Kiers, 1997; Lorenzo-Seva, et al., 2002)。有一本书对目标旋转问题进行全面的探讨 (ten Berge, Gower, & Dijksterhuis, 2005)。而国内探索性因素分析的应用则多数以“简单结构”为目的进行的旋转, 而对于第二个目的实践则少, 只有一些文献中简略提及 (如 张建新, 周明洁,

收稿日期: 2009-01-09

* 国家自然科学基金面上项目 (70872104) 和中国人民大学校内项目 (08XNC007) 资助。

通讯作者: 黄飞, E-mail: huangf@psych.ac.cn

2006)。下面简单介绍常用的正交目标旋转的基本原理以及简要回顾该方法在心理测量学相关领域中的应用。

2.1 原理简述

为直观起见,以较常用到目标旋转的研究场合为背景,比如跨文化研究中常见的在结构水平上对于工具的考察。假设矩阵 X 为一个 k 行 m 列的负载矩阵,即从一个国家/文化样本在 k 个条目上的应答结果中抽取 m 个因素后的完全负载矩阵,常常是一个旋转到简单结构的负载矩阵 (Lorenzo-Seva & ten Berge, 2006)。同一组条目在另一个文化下的一个样本中施测,使用相同方法同样抽取 m 个因素,得到负载矩阵 Y 。若将 X 设定为目标矩阵, Y 设定为待旋转的矩阵,而正交目标旋转就是寻找一个 m 行 m 列的正交旋转方阵 T ,使得 Y 以 X 为目标旋转得到矩阵 Z (矩阵 Y 和 T 相乘的结果)。 T 可以通过函数 1 最小或函数 2 最大为条件来计算 (Brokken, 1983),即,使得旋转后的矩阵和目标矩阵之差的自乘的迹最小或旋转后的矩阵的转置矩阵与目标矩阵的乘积的迹最大。而如果有多个待旋转的矩阵,则寻找多个 T ,使得每个矩阵都向目标矩阵旋转 (ten Berge, 1977)。

$$f(T) = \text{tr}(Y-Z)(Y-Z) \quad (1)$$

$$g(T) = \text{tr}ZX \quad (2)$$

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ x_{k1} & x_{k2} & \cdots & x_{km} \end{pmatrix}$$

$$Y = \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1m} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2m} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ y_{k1} & y_{k2} & \cdots & y_{km} \end{pmatrix}$$

$$T = \begin{pmatrix} t_{11} & t_{12} & \cdots & t_{1m} \\ t_{21} & t_{22} & \cdots & t_{2m} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ t_{m1} & t_{m2} & \cdots & t_{mm} \end{pmatrix}$$

$$Z = \begin{pmatrix} z_{11} & z_{12} & \cdots & z_{1m} \\ z_{21} & z_{22} & \cdots & z_{2m} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ z_{k1} & z_{k2} & \cdots & z_{km} \end{pmatrix}$$

对于方程 2 的解可能出现两个,这就有严格的正交目标旋转和不严格的旋转之分,后者是一个镜像 (ten Berge, 2006)。而这里要求的是严格的正交旋转,可以通过一定的限制实现 (ten Berge, 2006)。对于严格正交目标旋转,旋转后得到的矩阵 Z 与旋转前矩阵 Y 的迹没有差别,其内部相对结构不发生改变,也就是说旋转并没有改变变量之间的相对关系。这里,旋转的目的是为了得到与目标结构最大的一致性,是众多目标旋转问题中的一个特殊应用。除了正交目标旋转之外,还有斜交旋转等其他旋转方法 (e.g. Cramer, 1974; Bevels, 1978)。还有许多技术将两个或多个矩阵在简单和一致性的双重目的下进行旋转 (Kiers, 1997; Lorenzo-Seva, et al., 2002)。

2.2 在研究中的应用

目标旋转可用在化学结构测量 (Commandeur, Kroonenberg, & Dunn, 2004; Christie, 1996; Andrade & Gómez-Carracedo, 2004) 和脑电的空间分布 (Fjell & Walhovd, 2003) 等情形中。在心理测量学中的应用则主要用于检验心理结构一致性的场合。这些应用表明,在涉及空间结构,或者能用空间结构的思想进行分析的场合都可以用到目标旋转的方法,而不管这种结构是简单二维、三维还是复杂的多维结构,也不管是实在的分子结构,还是一种潜在的推测的变量间的内部结构。当然,还有专门以目标旋转为研究对象的方法学层面的探讨,比如评价什么因素会影响旋转后的结构与目标结构的一致性偏高 (Paunonen, 1997)。

一组变量背后的因素结构是因素分析等统计分析所要揭示的,探索性因素分析中涉及的多种旋转可以看成是原始的负载矩阵向着一个理论的简单负载矩阵的旋转过程。而这里所探讨的目标旋转则还包括以一个人确定的理论矩阵或实证得出的矩阵为目标的旋转,而待旋转的起始矩阵可以是未经旋转之前的矩阵,也可以是经过一定旋转之后的矩阵 (Lorenzo-Seva & ten Berge, 2006),还可以分别对多种方法得到的多个矩阵进行分析,以检验原始的旋转方法是否会影响随后的旋转得到的结果 (e.g. Aluja, et al., 2005),然后综合多种方法的结果下结论。

如前面提到的,要探索两个或多个群体在一组变量上的反应背后的结构是否一致,目标旋转能让结果变得很直观而且不至于低估一致性 (van de Vijver & Leung, 1997)。在心理测量领域,旋转的结

构多为人格结构 (e.g. Allik & McCrae, 2004; Cheung, Cheung, Leung, Ward, & Leong, 2003; Lin & Church, 2004; McCrae, et al., 2005a, 2005b; McCrae, et al., 1996; Yamagata, et al., 2006), 不仅是狭义的人格特质结构, 还包括兴趣、态度等结构; 也可以是能力结构 (e.g. Reddon, Brito, & Nicholls, 2003), 人格表现型背后的遗传结构和环境结构 (Yamagata, et al., 2006) 等。而群体划分标准则有多种多样, 比如跨文化研究中的不同的文化, 不同的国家, 不同的民族等等 (e.g. Rossier, Quartier, Enescu, & Iselin, 2007; McCrae, et al., 2005a), 性别差异中的男性和女性 (e.g. Rossier, et al., 2007), 正常群体和临床群体的差别 (e.g. Egger, De Mey, Derksen, & van der Staak, 2003; O'Connor, 2002), 年龄差别中的不同年龄分段 (e.g. Savla, Davey, Costa, & Whitfield, 2007; 黄飞, 李育辉, 张建新, 2008) 等。也就是说目标旋转方法可以用在多种心理构念在不同的群体之间的结构比较中。

在应用中, 目标矩阵的选择是需要考虑的一个问题。如果是跨文化研究或性别差异等其他群体分类下某个心理结构的比较, 那么目标矩阵的确定可以人为确定, 即任意一个矩阵都可以作为目标矩阵。若多个群体的条件下, 目标矩阵可以是其中一个矩阵也可以是一个联合公共矩阵, 称之为质心 (van de Vijver & Leung, 1997)。质心的确定可以来自于理论背景, 也可以来自所有群体下的样本得到的公共矩阵, 后者可能需要在分析前在群体内标准化以消除不必要的群体差异 (van de Vijver & Leung, 1997)。一个建立良好的常模负载矩阵也常常用作目标矩阵。也有同时用到多种矩阵作为目标矩阵的尝试 (e.g. Jolijn Hendrik, et al., 2003)。

除了将目标旋转应用于探索性因素分析得到的负载矩阵, 其他统计分析方法得到的负载矩阵也可以进行目标旋转, 比如验证性因素分析, 多维量表分析等 (van de Vijver & Leung, 1997)。

2.3 统计软件和程序

在 McCrae 等人 1996 年的一篇文章的附录中有 SAS/IML 统计软件中的计算程序 (McCrae, et al., 1996)。在 van de Vijver 和 Leung (1997) 著的有关跨文化研究中的数据分析方法一书中则有 SPSS 统计软件的计算程序, 此外还有其他一些专门用于目标旋转的统计软件, 比如 Procrustes-PC 程序。前面两个程序, 只需要将一定的目标矩阵和待旋转的矩

阵以正确的格式输入, 运行后就能计算出旋转后的矩阵以及和目标矩阵的相似性程度的各种指标。

3 结构一致性的评估指标

探索性因素分析得到的因素负载矩阵显示出一组变量与背后因素的关系, 描述了变量在这些因素所构置的“空间结构”中的位置。而结构一致性 (agreement), 或者相似性 (similarity)、等同性 (equivalence), 是指两个或多个负载矩阵在数量模式以及其所代表的空间结构的相似程度。量化和评估目标旋转之后的结构与目标结构的一致性程度是人们关注的焦点。其中包括整体结构, 一个变量在所有因素上的负载模式, 以及所有变量在一个因素上的负载模式三个角度。

对于因素一致性的评估, 最常使用的是统计量是 Tucker 系数 (Tucker's Coefficient)。不同的学者有不同的命名 (Abdi, 2007), 最先是在 1948 年由 Burt 称之为未校正的相关 (unadjusted correlation), 1951 被 Tucker 命名为一致性系数 (congruence coefficient, CC), 有时也称之为单调性系数 (monotonicity coefficient); 也有人称之为比例系数 (proportionality coefficient, van de Vijver & Leung, 1997)。本文采用一致性系数这个术语。这个系数类似于相关系数, 因而有时也被称为向量或矩阵相关系数 (Abdi, 2007), 取值范围和相关系数一样, 在 -1 和 +1 之间, 但是和相关系数的计算方法不同。整体结构的一致性系数的计算公式如公式 (3) (以上述旋转前的 X、Y 两个矩阵为例):

$$\varphi_{XY} = \frac{\sum_{k,m} x_{k,m} y_{k,m}}{\sqrt{\left(\sum_{k,m} x_{k,m}^2\right)\left(\sum_{k,m} y_{k,m}^2\right)}} = \frac{\text{tr}XY'}{\sqrt{(\text{tr}XX')(\text{tr}YY')}} \quad (3)$$

对于某个因素的一致性系数则只考虑所有变量在该因素上的负载情况, 其计算公式如公式 (4)。也就等于两个列向量空间夹角的余弦值。同理, 对于某个变量的一致性则只考虑该变量在所有因素上的负载模式, 其计算公式如公式 (5)。也就是两个行向量空间夹角的余弦值。

$$\varphi_{F_x F_y} = \frac{\sum_k x_k y_k}{\sqrt{\left(\sum_k x_k^2\right)\left(\sum_k y_k^2\right)}} \quad (4)$$

$$\phi_{v_x v_y} = \frac{\sum_m x_m y_m}{\sqrt{\left(\sum_m x_m^2\right)\left(\sum_m y_m^2\right)}} \quad (5)$$

从上面三个计算公式可以推导出, 这个指标对于负载矩阵的乘法运算不敏感, 而对于加法运算敏感 (van de Vijver & Leung, 1997)。从向量空间夹角的余弦值这个角度来理解, 就能直接的推出上述结果的取值范围: 如果完全重合, 也就是夹角为 0, 那么一致性系数为 1, 如果夹角为 90 度, 也就是两者正交, 那么一致性系数为 0, 如果夹角为 180 度, 那么两者方向相反, 一致性系数为-1。另外, 从上面三个公式可以看出, 正交目标旋转不会改变分母的大小, 而是以公式 (3) 的分子最大为目标, 即目标旋转可以避免低估整体结构的一致性, 但单个因素或变量的一致性系数则不一定全是增大。

除了最常与目标旋转搭配使用的一致性系数之外, 还有其他一些指标可以用来量化评估结构一致性, 有学者指出最好使用多个指标来评估一致性 (van de Vijver & Leung, 1997)。包括相同系数 (identity coefficient), 添加性系数 (additivity coefficient) 和线性系数 (linearity coefficient) (van de Vijver & Leung, 1997)。它们用来衡量因素或变量跨群体一致性的计算公式分别为公式 (6) 到公式 (8)。

$$e = \frac{2\sum x_i y_i}{\sum x_i^2 + \sum y_i^2} \quad (6)$$

$$a = \frac{2s_{xy}}{s_x^2 + s_y^2} \quad (7)$$

$$r = \frac{s_{xy}}{s_x s_y} \quad (8)$$

公式 (6) 中, i 表示矩阵中第 i 行或第 i 列的负载系数。公式 (7) 和公式 (8) 中, s_{xy} 表示两矩阵的对应某行或列之间的协方差, s_x 表示矩阵 X 中某行或列的标准差, s_y 表示矩阵 Y 中某行或列的标准差。

相同系数对于加法运算和乘法运算都敏感, 是最严格的一个指标, 而线性系数对于两种线性转换都不敏感, 添加性系数对于加法运算不敏感, 而对于乘法运算敏感。有学者建议同时报告这四个指标能更全面的评估两个结构的相似性, 如果各个指标的差异比较大, 结构一致性可能存在疑问, 就需要检查因素负载的差异以及背后的原因 (van de Vijver

& Leung, 1997)。

计算出各种系数之后, 接下来要对上述四种一致性指标进行统计检验, 这需要了解其抽样分布形态, 以便统计推断计算得到的一致性系数是否仅仅出于偶然, 还是有实质性意义, 比如检验某个数值是否来自参数为某个数值的总体 (Abdi, 2007; Bedeian, Armenakis, & Randolph, 1998)。然而上述几个指标的抽样分布多数未知, 不能通过分析的方法来确定 (Abdi, 2007), 因而不能计算置信区间 (van de Vijver & Leung, 1997)。但是可以使用计算的方法达成, 比如使用蒙特卡罗研究 (Broadbooks & Elmore, 1987) 或有放回的抽样方法 (Chan, et al, 1999) 来构置一个抽样分布, 继而利用这一分布特征对样本计算得到的数值进行统计检验。原始因素结构中的几个参数会影响这些实证的抽样分布形态, 因而处理起来相对比较繁杂, 但是可以使用某些近似的方法来检验 (Abdi, 2007)。比如上面的线性系数的计算方法与积差相关的计算方法相同, 而积差相关是否为 0 的统计检验可以根据费舍尔转换来处理。也可以将其他三个指标视为相关系数处理, 采用相关系数的统计检验方法进行检验。此外, 在实际应用中, 人们常使用的简便方法是根据一些经验准则来判断相似性程度 (MacCallum, Widaman, Zhang, & Hong, 1999)。对于一致性系数 (CC) 的经验标准, 有几种不同的设定, 比如以 0.95 作为两个结构一致性很好的标准, 而低于 0.90 或 0.85 则作为两个结构存在不可忽略的不一致的标准 (e.g. Chan, et al, 1999; van de Vijver & Leung, 1997)。对于一致性系数及其经验标准的心理意义的研究表明当两个结构的一致性系数达到 0.85 时, 两个结构相当相似, 而当一致性达到 0.95 时, 比较的两个结构可视为均等 (Lorenzo-Seva & ten Berge, 2006)。这样的研究支持了经验标准设定的合理性。

除此之外, 函数 (1) 和 (2) 的计算结果也可以当作一致性的量化指标, 但较少应用。

这些结构一致性指标对于细微差异不是很敏感, 于是在实证应用中, 不管各个指标的数值多大, 还需要视觉化比较两个结构中的单元, 找出具有差异的地方 (van de Vijver & Leung, 1997), 这样才能弥补整体检验的不足。上面目标旋转中提到的统计软件和程序中可以加上各种一致性指标的计算。

4 实证数据演示

比较的对象和结构: 中学生男生、女生的积极

消极情感结构。样本：中学生 2771 名，其中男生 1295，女生 1476。变量：14 个描述消极或积极情感体验的短语或句子，如表 1 所示。

表 1 待探索性因素分析的一组变量

消极情感体验 NA	积极情感体验 PA
I2 感到非常孤独或者与别人距离很大（在情感或兴趣方面）	I1 觉得事事顺心
I3 为一些事情生气，而这些事情在一般情况下并不让自己烦恼	I4 感到幸福
I5 对某些事因为自己做不好而不能去做它	I6 对某些事感到特别热衷或兴奋
I7 感到沮丧	I8 对前景感到乐观
I10 感到心烦意乱	I9 因为成功地做完某件事而感到高兴
I13 觉得坐立不安	I11 因为做事受到别人赞扬而感到自豪
I16 觉得莫名其妙的烦躁	I12 感到快乐

分性别样本以及全部样本进行探索性因素分析 的因素负载矩阵如表 2 所示。

表 2 分性别以及总体数据的主成分分析结果

变量	男生组			女生组			全部样本		
	PA	NA	共通度	NA	PA	共通度	NA	PA	共通度
I2	-0.071	0.659	0.439	0.667	-0.148	0.467	0.664	-0.113	0.454
I3	0.071	0.502	0.257	0.546	0.098	0.307	0.527	0.084	0.285
I5	0.085	0.579	0.342	0.552	0.065	0.309	0.565	0.072	0.325
I7	-0.118	0.727	0.543	0.749	-0.137	0.579	0.739	-0.130	0.564
I10	-0.118	0.774	0.612	0.794	-0.155	0.654	0.785	-0.138	0.635
I13	-0.068	0.716	0.517	0.738	-0.053	0.548	0.726	-0.066	0.531
I16	-0.121	0.717	0.529	0.713	-0.173	0.538	0.715	-0.151	0.534
I1	0.628	-0.167	0.422	-0.314	0.550	0.401	-0.241	0.593	0.409
I4	0.713	-0.158	0.533	-0.282	0.658	0.513	-0.217	0.689	0.522
I6	0.538	0.160	0.316	0.174	0.575	0.361	0.169	0.552	0.333
I8	0.705	-0.093	0.506	-0.129	0.713	0.526	-0.108	0.711	0.517
I9	0.754	-0.024	0.569	0.023	0.757	0.574	0.006	0.754	0.569
I11	0.679	0.176	0.492	0.154	0.680	0.486	0.166	0.677	0.486
I12	0.751	-0.219	0.612	-0.339	0.723	0.637	-0.274	0.741	0.624
特征根	3.347	3.342	/	3.655	3.245	/	3.486	3.301	/
%	23.91%	47.78%	/	26.11%	49.28%	/	24.90%	48.48%	/

注：量表的内部一致性信度均在 0.80 以上。全部采用主成分分析；男生女生以及总体数据 KMO 检验结果分别为 0.876、0.877、0.881；球形检验结果均在 0.001 水平上显著。因素数确定方法是根据理论假设，同时结合碎石图事后检验，以及 MAP 检验。上述呈现的负载矩阵、特征根以及方差解释率是经过 Varimax with Kaiser Normalization 旋转之后的结果。%表示累计方差解释率。没有缺失数值，计算之前统计分析发现男生女生在这个量表计算出来的积极消极情感体验上差异并不明显，因此没有分别对男生和女生数据进行标准化。

通过目测男生女生的情感结构的异同：变量在这两个成分上的负载模式非常相似；男生的第一个成分是积极情感解释的变异略为大于消极情感所解释的变异，女生的第一个成分是消极情感解释的变异则稍微大于积极情感所解释的变异；负载系数差异最大的是 I1。同时，还可以采用其他的分析方法，

比如主轴法，极大似然法，结合其他的旋转方法，比如斜交旋转，然后计算各种组合下的因素负载矩阵的一致性系数，将这些系数平均作为综合指标。

若以全部样本得到的负载矩阵为目标矩阵，男生的负载矩阵和女生的负载矩阵分别以此为目标进行旋转并计算一致性系数。比较男生女生的情感体

验的结构时，男生负载矩阵以女生负载矩阵为目标旋转，然后计算旋转后的矩阵与目标矩阵之间的因素以及变量的一致性系数，结果见表 3。

表 3 目标旋转后的负载矩阵和一致性系数

变量	男生组→全部样本			女生组→全部样本			男生→女生		
	NA	PA	CC	NA	PA	CC	NA	PA	CC
I2	0.664	-0.160	0.998	0.660	-0.065	0.998	0.661	-0.053	0.990
I3	0.548	0.088	1.000	0.501	0.076	1.000	0.500	0.085	1.000
I5	0.553	0.055	1.000	0.578	0.090	1.000	0.576	0.101	0.998
I7	0.746	-0.151	1.000	0.728	-0.111	1.000	0.730	-0.098	0.999
I10	0.791	-0.170	0.999	0.775	-0.111	1.000	0.777	-0.096	0.998
I13	0.737	-0.067	1.000	0.717	-0.061	1.000	0.718	-0.048	1.000
I16	0.710	-0.186	0.999	0.718	-0.114	0.999	0.720	-0.101	0.995
I1	-0.304	0.556	0.994	-0.173	0.626	0.993	-0.185	0.623	0.974
I4	-0.270	0.663	0.997	-0.165	0.712	0.997	-0.178	0.708	0.987
I6	0.185	0.572	1.000	0.155	0.540	1.000	0.145	0.542	1.000
I8	-0.116	0.715	1.000	-0.100	0.704	1.000	-0.113	0.702	1.000
I9	0.037	0.756	0.999	-0.031	0.754	0.999	-0.045	0.753	0.996
I11	0.167	0.677	1.000	0.170	0.681	1.000	0.157	0.684	1.000
I12	-0.325	0.729	0.998	-0.226	0.749	0.998	-0.240	0.745	0.992
CC	0.999	0.999	0.999	0.998	0.999	0.998	0.994	0.995	0.998

注：CC 表示一致性系数，上面呈现出旋转后的男生女生负载矩阵与全部样本的负载矩阵的变量和因素以及整体结构的一致性系数，旋转后的男生和女生负载矩阵的一致性系数。整体、因素及变量一致性系数的计算分别用公式（3）、（4）和（5）。

从上面的系数可以看出，中学生中男生和女生积极消极情感体验的两因素结构的一致性很高，从这个角度证明了情感量表的两维结构在两个群体中具有较高的结构一致性，从而可以放心的用来测量和比较两个群体的积极情感和消极情感的差异。

5 总结和展望

作为一种数据分析技术和思路：探索性因素分析→目标旋转→一致性评估是一种在跨文化等领域的研究中较常用的方法（van de Vijver & Leung, 1997）。三个过程作为一个整体，每一个步骤都不能疏忽，需要有一个标准的程序。

数据收集后，探索性因素分析需要注意的问题有：原始数据的筛查，因素分析前是否需要需要对数据进行一定的变换，对数据是否适合进行探索性因素分析进行评估，因素抽取方法的选择，最佳因素数量的确定，旋转方法的选择，结果的报告和解释。程序的客观翔实以及结果呈现的客观全面是一项基本要求，这有利于对研究的评价以及重复性，也有利于资料的积累和便于随后的附加分析等。其他注意事项在一些文献中有总结（Fabrigar, et al., 1999;

范津砚, 叶斌, 章震宇, 刘宝霞, 2003）。

在多个群体进行探索性因素分析之后，常常面临结果的多方面比较，包括因素结构的比较。因素结构的一致性是一个属性，被很多研究者认为是其他比较的一个基础。如果直接进行结构比较，计算各种一致性指标，可能会低估结构的一致性程度，因此在比较之前需要对结构进行一定的旋转，即目标旋转。正交目标旋转不会改变待旋转的结构内部的相对关系，而以与目标最大一致为目标，是心理测量学相关领域应用较多的一种方法。在目标旋转中涉及的问题包括：初始矩阵的确定，目标矩阵的确定，以及旋转矩阵的确定。

目标旋转之后，仅仅通过目测来评价两个结构的一致性是不够精确的，将其量化是更可取的方法。可以选用多种量化指标，其中最为常用的是一致性系数，该指标从引入到现在 60 多年，依然非常流行（Lorenzo-Seva & ten Berge, 2006）。一致性指标的问题包括：指标的选择，具体的计算，指标数值的评估，整体结构、因素以及变量指标数值对结构一致性检验的作用。这些指标可用于评估整个量表、

因素或其中的条目的跨群体的属性在多大程度上等同,从而为下一步的工具修订、均值比较、功能差异分析提供依据和起点。

本文介绍的方法能提供一种视角去评价测量工具的属性。当前国内逐渐流行的多组验证性因素分析在很多场合被证明是一种有效的检验结构等同性的方法,而本文介绍的探索性因素分析→目标旋转→一致性评估思路同样是一种可供选择的方法。而且后者在前者所面临的模型估计不能收敛的情况以及没有明显的简单结构的前提下更为适用,是一种值得推荐的且相对容易操作的方法。

参考文献

- 崔红,王登峰.(2006).中西方“外向性”人格维度的内涵分析——中西方人格量表在人群中的测量. *心理学报*, 37, 414-421.
- 范津砚,叶斌,章震宇,刘宝霞.(2003).探索性因素分析——最近10年的评述. *心理科学进展*, 11, 579-585.
- 黄飞,李育辉,张建新.(2008).年级还是年龄?两种不同的效应来源——以青少年人格横断比较为例. *心理学报*, 40, 1287-1296.
- 张建新,周明洁.(2006).中国人人格结构探索——人格特质六因素假说. *心理科学进展*, 14, 574-585.
- Abdi, H. (2007). RV coefficient and congruence coefficient. In Salkind N (Ed.). *Encyclopedia of Measurement and Statistics*. Thousand Oaks (CA): Sage.
- Allik, J., & McCrae R R. (2004). Escapable conclusions: Toomela (2003) and the universality of trait structure. *Journal of Personality and Social Psychology*, 87, 261-265.
- Aluja, A., García, Ó., García, L. F., & Seisdedos, N. (2005). Invariance of the “NEO-PI-R” factor structure across exploratory and confirmatory factor analyses. *Personality and Individual Differences*, 38, 1879-1889.
- Andradea, J. M., & Gómez-Carracedo, M. P. (2004). Procrustes rotation in analytical chemistry, a tutorial. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 72, 123-132.
- Bedeian, A. G., Armenakis, A. A., & Randolph, W. A. (1998). The significance of congruence coefficients: A comment and statistical test. *Journal of Management*, 14, 559-566.
- Bevels, K. (1978). On Meredith's solution for weighted Procrustes rotation. *Psychometrika*, 44, 121-122.
- Broadbooks, W. J., & Elmore, P. B. (1987). A Monte Carlo study of the sampling distribution of the congruence coefficient. *Educational and Psychological Measurement*, 47, 1-11.
- Brokken, F. B. (1983). Orthogonal Procrustes Rotation maximizing congruence. *Psychometrika*, 48, 343-352.
- Chan, W., Ho, R. M., Leung, K., Chan, D. K., & Yung, Y. F. (1999). An alternative method for evaluating congruence coefficients with Procrustes Rotation: A bootstrap procedure. *Psychological Methods*, 4, 378-402.
- Cheung, F. M., Cheung, S. F., Leung, K., Ward, C., & Leong, F. (2003). The English version of the Chinese Personality Assessment Inventory. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, 34, 433-452.
- Christie, O. H. J. (1996). Data Laundering by target rotation in chemistry-based oil exploration. *Journal of Chemometrics*, 10, 453-461.
- Commandeur, J. J. F., Kroonenberg, P. M., & Dunn, III. W. J. (2004). A dedicated generalized Procrustes algorithm for consensus molecular alignment. *Journal of Chemometrics*, 18, 37-42.
- Cramer, E. M. (1974). On Browne's solution for oblique Procrustes rotation. *Psychometrika*, 39, 159-163.
- Egger, J. I. M., De Mey, H. R. A., Derksen, J. J. L., & van der Staak, C. P. F. (2003). Cross-cultural replication of the five-factor model and comparison of the NEO-PI-R and MMPI-2 PSY-5 scales in a Dutch psychiatric sample. *Psychological Assessment*, 15, 81-88.
- Fabrigar, L. R., Wegener, D. T., MacCallum, R. C., & Strahan, E. J. (1999). Evaluating the use of exploratory factor analysis in psychological research. *Psychological Methods*, 4, 272-299.
- Fjell, A. M., & Walhovd, K. B. (2003). On the Topography of P3a and P3b across the adult lifespan—A Factor-Analytic study using orthogonal Procrustes Rotation. *Brain Topography*, 15, 153-164.
- Jolijn Hendrik, A. A., Perugini, M., Angleitner, A., Ostendorf, F., Johnson, J. A., De Fruyt, F., et al. (2003). The five-factor personality inventory: Cross-cultural generalizability across 13 countries. *European Journal of Personality*, 17, 347-373.
- Kiers, H. A. L. (1997). Techniques for rotating two or more loading matrices to optimal agreement and simple structures: A comparison and some technical details. *Psychometrika*, 62, 545-568.
- Lin, E. J., & Church, A. T. (2004). Are indigenous Chinese personality dimensions culture-specific? *Journal of Cross-Cultural Psychology*, 35, 586-605.
- Lorenzo-Seva, U., Kiers, H. A. L., & ten Berge, J. M. F. (2002). Techniques for oblique factor rotation of two or more loading matrices to a mixture of simple structure and optimal agreement. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 55, 337-360.
- Lorenzo-Seva, U., & ten Berge, J. M. F. (2006). Tucker's congruence coefficient as a meaningful index of factor similarity. *Methodology*, 2, 57-64.
- MacCallum, R. C., Widaman, K. F., Zhang, S., & Hong, S. (1999). Sample size in factor analysis. *Psychological Methods*, 4, 84-99.
- McCrae, R. R., Terracciano, A., & 78 Members of the Personality Profiles of Cultures Project. (2005a). Universal features of

- personality traits from the observer's perspective: Data from 50 cultures. *Journal of Personality and Social Psychology*, 88, 547–561.
- McCrae, R. R., Terracciano, A., & 78 Members of the Personality Profiles of Cultures Project. (2005b). Personality profiles of cultures: Aggregate personality traits. *Journal of Personality and Social Psychology*, 89, 407–425
- McCrae, R. R., Zonderman, A. B., Costa, P. T. Jr., Bond, M. H., & Paunonen, S. V. (1996). Evaluating replicability of factors in the revised NEO Personality Inventory: Confirmatory factor analysis versus Procrustes rotation. *Journal of Personality and Social Psychology*, 70, 552–566.
- O'Connor, B. P. (2002). The Search for dimensional structure differences between normality and abnormality: A statistical review of published data on personality and psychopathology. *Journal of Personality and Social Psychology*, 83, 962–982.
- Paunonen, S. V. (1997). On chance and factor congruence following orthogonal Procrustes Rotation. *Educational and Psychological Measurement*, 57, 33–59.
- Reddon, J. R., Brito, C. G., & Nicholls, K. A. (2003). Confirmatory factor analysis of the Wechsler Adult Intelligence Scale-III (WAIS-III): 1-, 2-, and 4-factor models. In S. P. Shohov (Ed.), *Advances in psychology research* (Vol. 19, pp. 3–43). Hauppauge, NY: Nova Science.
- Rossier, J., Quartier, V., Enescu, R., & Iselin, A. (2007). Validation of the French Version of the Hierarchical Personality Inventory for Children (HiPIC): Influence of Gender and Age on Personality Traits in 8- to 12-Year-Olds. *European Journal of Psychological Assessment*, 23, 125–132.
- Savla, J., Davey, A., Costa, P. T. Jr., & Whitfield, K. E. (2007). Replicating the NEO-PI-R factor structure in African-American older adults. *Personality and Individual Differences*, 43, 1279–1288.
- ten Berge, J. M. F. (1977). Orthogonal Procrustes Rotation for two or more matrices. *Psychometrika*, 42, 267–276.
- ten Berge, J. M. F. (2006). The rigid orthogonal Procrustes Rotation problem. *Psychometrika*, 71, 201–205.
- ten Berge, J. M. F., Gower, J. C., & Dijksterhuis, G. B. (2005). Procrustes problems. New York: Oxford University Press. *Psychometrika*, 70, 799–801.
- Terracciano, A. (2003). The Italian version of the NEO PI-R: conceptual and empirical support for the use of targeted rotation. *Personality and Individual Differences*, 35, 1859–1872.
- van de Vijver, F. J. R., & Leung, K. (1997). *Methods and data analysis for cross-cultural research*. Thousand Oaks: Sage Publications. 88–99.
- Yamagata, S., Suzuki, A., Ando, J., Ono, Y., Kijima, N., Yoshimura, K., et al. (2006). Is the genetic structure of human personality universal? A cross-cultural twin study from North America, Europe, and Asia. *Journal of Personality and Social Psychology*, 90, 987–998.

Exploratory Factor Analysis, Target Rotation and Factorial Agreement

LI Yui-Hui¹; HUANG Fei^{2,3}; ZHANG Jian-Xin²

¹ The School of Labor and Human Resource, Renmin University of China, Beijing, 100872, China)

² Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

³ Institution of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: Applications of structure-oriented techniques to investigate cross-group or cross-situation factorial agreement/similarity are common practices in psychological researches (e.g. cross-cultural research). Exploratory factor analysis followed with target/Procrustes rotation and factorial agreement/similarity assessment is an approach to accomplish this purpose. In this article, the brief principle of orthogonal Procrustes rotation is introduced, then, the application in psychological researches is reviewed, and some related software and procedure are recommended. After target rotation, factorial agreement can be measured by some indications like congruence coefficient, which can be tested according to empirical sampling distribution or rule of thumb. The proposed analysis procedure for assessing factorial agreement is illustrated with empirical data of positive affect and negative affect of male and female adolescents. Finally, most of the important issues in the three stages of the procedure are summarized.

Key words: exploratory factor analysis; target rotation; factorial agreement