Study on the Evaluating of Regional S&T Innovation Ability with Structural Equation Modeling

Xuejun, ZHANG
College of Economics and Management, Henan University of S&T, Luoyang, Henan, China
haustxj@sina.com

Abstract: The possible existed correlation and level differences between factors of the regional S&T innovation ability evaluating index system may be neglected. Structural equation modeling（SEM） can filter the errors, analyze the direct or indirect effects of variables at different levels at the same time, and identify the inherent structural relationship between variables. So it is possible and necessary to use SEM in evaluating the regional S&T innovation ability. It is very important to selecting the right indicators and making up a suitable model. One should also pay more attention to fixing the sample size, handling the missing data and testing the reliability and validity of the index system.

Keywords: region; S&T innovation capacity; structural equation modeling (SEM); evaluation

基于结构方程建模的区域科技创新能力评价

张 学 军
河南科技大学经济与管理学院，河南洛阳，中国，471003
haustxj@sina.com

【摘　要】现有区域科技创新能力评价方法大多忽视了指标体系中各因素之间可能存在的相关关系和层级差异。结构方程建模能够过滤误差、同时考察不同层级变量间的直接作用与间接作用，找出变量间存在的内在结构关系，在分析区域科技创新能力评价指标体系各种变量间多种关系方面具有可行性和必要性。应用 SEM 时除了要注意选取恰当指标、构建合适模型以外，还应注意对样本容量、缺失数据的处理和信度效度的检验。

【关键词】区域；科技创新能力；结构方程建模；评价

1 引言

区域科技创新能力是指特定区域运用技术基础设施，采用多种手段合理有效地配置科技人力、信息、技术和资金等资源，通过不同层次的科技创新活动以促进经济和社会发展的能力。[1]在经济全球化背景下，区域经济日益直接参与国际竞争，区域科技创新能力已逐步成为区域获得国际竞争优势的决定性因素。对区域科技创新能力进行评价，不仅有利于从整体上把握科技创新活动和科学制定创新政策，也有助于在一定范围内对不同地区的科技创新活动进行横向比较，为制定地区经济发展政策提供科学依据。

国内学者对于区域科技创新能力的研究基本上可分为两类：一是侧重外显指标的选择，[2-5]这类研究互相之间选择指标的结果往往相差无几；二是侧重评价方法的选择，一般采用因子分析法、[6-7]系统聚类和优化的聚类方法、[1]数据包络分析（DEA）法、[8-9]集对分析法、[10]网络层次分析（ANP）法[11]等。在这些相关研究中，影响区域科技创新能力的因素和评价指标被认为是相互平行、相互独立的，忽略了评价指标间可能并不在同一个层次上以及可能存在相互关联和相互影响的作用，直接使评价的结果失真，最终导致政府或有关部门难以根据评价结果采取针对性的改进措施。

结构方程建模(Structural Equation Modeling，SEM)是近几十年来应用统计领域中发展最为迅速的一个分支，已被广泛地应用于经济、管理、教育等社会科学领域。它包含了方差分析、因子分析、路径分析和回归分析，能够过滤误差及个体差异、同时考察不同层级变量间的直接作用与间接作用，并能够找出变量间存在的内在结构关系或验证某种结构关系是否合理。在分析多因果联系和潜变量关系方面弥补了传统统计分析方法的不足。因此，本研究尝试将 SEM 方法应用于区域科技创新能力的评价。

2 SEM 与区域科技创新能力评价

2.1 SEM 简介

结构方程建模也称协方差结构分析或线性结构建模。它综合运用多元回归分析、路径分析、验证性因子分析等技术，利用搜集到的数据对假设的多个自变量之间关系的理论模型进行处理，根据理论模型与实际数据关系的一致性程度，对理论模型做出评价和修正，以达到对现实生活中错综复杂的多因素之间关系等进行定量研究的目的。[12]

结构方程建模有如下优点：其一，可以同时处理多个变量。虽然相关分析、多元回归分析等其他统计分析技术也能处理多个变量，但对于变量的计算都是一一进行的，在计算某一个变量的影响或者关系时，都忽略了其它因变量的存在和影响。而 SEM 可以同时对多个变量之间的影响加以考察。其二，容许自变量和因变量含有测量误差。社会科学研究中的变量大多不能够准确地测量，误差在所难免。当自变量和因变量都不能准确测量时，回归方程等统计分析方法不能用来估计变量间的关系。其三，能够同时估计因子结构和因子关系。一般来说，同一个研究中共存的因子间及其结构，会相互影响，不仅影响因子间关系而且还会影响因子的内部结构。一般在分析多个潜变量之间的相关时，先用因子分析方法计算潜变量与题目的关系（即因子负荷），进而得到因子得分，作为潜变量的观测值，然后再计算因子得分的相关系数，作为潜变量间的相关系数。这是两个独立的步骤，在计算因子负荷的时候，并不考虑其它共存的因子的作用。在计算相关系数的时候，也同样不会考虑各个因子的负荷。这种分裂开来的做法显然有缺陷。而在结构方程分析中，各个因子之间的相关关系以及因子间的结构会在同一个步骤中同时考虑，这就能够在分析因子间的结构时兼顾其它同时存在的变量而有所调整和改变。其四，容许更大弹性的测量模型。有时某一指标的得分可能表示对 2 个或者多个因子的测量（英文版的数学题不仅考察数学能力，而且考察了英语水平）。传统的因子分析难以处理诸如此类一个指标从属于多个因子或考虑高阶因子等有复杂从属关系的模型。结构方程模型可以做到这点。其五，能够估计整个模型的拟合程度。而传统的路径分析只能估计出单一路径的强弱关系。

2.2 SEM 应用于区域科技创新能力评价的可能性和必要性

现有的区域科技创新能力评估方法大多数是应用统计学方法进行的。这些方法在区域科技创新能力的评估研究过程中，提供了有益的探讨和借鉴，取得了一定的成绩。然而正如前文所述，这些方法忽视了影响区域科技创新能力的各个指标（因素）之间可能存在的相互关系和层级差异，最终将导致结果的不准确。SEM 是一种综合了方差分析、回归分析、路径分析和因子分析等传统统计方法的一种新方法，具备分析测度指标与潜变量以及潜变量内部之间关系的功能，而区域科技创新能力本身就是一种潜变量，因此能够并且很有必要将 SEM 应用于区域科技创新能力的评价研究中。

3 SEM 在区域科技创新能力评价中的应用

3.1 指标的选取

对区域科技创新能力进行评价需要建立具有多个层次的指标体系，并注意其相互间可能存在的因果关系。一般来说，区域科技创新能力指标的划分与选择因人而异，通常将其构成要素或过程能力作为主评价指标，把影响构成要素与过程能力的因素作为二级评价指标，并根据实际情况再细分出下级指标。

理论上讲，结构方程建模包含到模型中的变量越多，越能够接近自然状态就越能够发挥 SEM 的作用，而变量过少发生错误的可能性反而增大。但是变量的增加也加大了模型的复杂性，使得后边的模型评价和修正、结果的解释变得繁琐不堪。有的研究者为了穷尽各个变量间的关系，将各种内生变量、外生变量之间可能的关系都用箭头标注在路径图上，反而使各变量之间关系主次不分。实际上，“多”不等于“好”，一个尽善尽美的路经图并不表示一定必须包含尽可能多的箭头，相反，统计学上最感兴趣的是，寻找用尽可能少的箭头去联结尽可能少的变量，而这时的路经图又能对所代表的样本拟合得好。

综合前人及本文研究结果，选取科技资源水平、科技产出能力、科技活动强度、科技影响范围和技术创新水平等能力评价五个维度，以此为基础构建区域科技创新能力评价指标体系（如表 1 所示）。其中，对区域科技创新能力的评价是总体评价目标，一级评价指标为能力指标，它们分别反映了区域科技创新过程的不同方面。这是无法直接测量的，对它们的测度必须借助二级评价指标进行；二级评价指标能够直接测量，指标值可依据统计数据或由专家根据区域科技创新各方面的实际情况逐项打分得到。

978-1-935068-05-1 © 2010 SciRes.

Table 1. Index system of evaluating regional S&T innovation ability

表 1　区域科技创新能力评价的指标体系

总体评价维度	一级评价指标	二级评价指标
科技资源水平	科技人力资源	专业技术人员总数 从事 R&D 人员人数 科学家或者工程师
	科技财力资源	科技事业费 科研基建费 科技管理经费 R&D 经费 精密仪器和部件费用
科技产出能力	专利产出	专利申请受理量 专利授权量
	科技论文	国内科技论文总数 国内重要科技论文数量 国际科技论文总数 国际重要科技论文数量
	科技成果	国家级奖励总数 省级奖励总数
科技活动强度	R&D 发展活动	在研基础研究 在研应用研究 在研试验发展 R&D 成果应用和科技服务
科技影响范围	经济增长水平	国内生产总值 社会劳动生产率 工业技术进步贡献率 农业技术进步贡献率
	教育潜力	高校在校生人数 中等职业学校在校生人数 教育经费总量 教育经费/GDP
	科技素质	公共图书馆和博物馆数量 每万人计算机拥有量 每万人科技人员数量 因特网上网用户数 广播电视覆盖率
技术创新水平	定量指标	创新的费用 创新的产出及效益
	定性指标	区域技术创新的目标 技术创新的阻碍因素 产学研模式 政府的作用认识 对技术创新政策认识

基于上述对于变量及其关系的分析，可以给出以下的假设：H1：科技资源水平越高，表明区域科技创新能力越高；H2：科技产出能力越大，表明区域科技创新能力越高；H3：科技活动强度越高，表明区域科技创新能力越高；H4：科技影响范围越大，表明区域科技创新能力越高；H5：技术创新水平越高，表明区域科技创新能力越高。

3.2 模型的构建

模型构建的主要任务是首先提出一个描述潜在构念与指标变量之间关系的，可以反映预先假设的一个理论模型；接着要运用可测变量使潜在构念变得可操作化，并描绘出其与观测变量之间的关系，即提出一个可测量模型。研究者应当根据自身不同的需要并结合一定的理论知识，提出初步的变量间相互关系的假设，表示自变量与因变量、自变量与中间变量之间的相互关系，建立初步的模型体系；然后通过路径图将自己的模型描述出来，将有关潜在构念与其指标变量之间所有的因果关系都用箭头表示出来。

结构方程模型中各种变量之间的影响和对应关系通常可用路径图来表示。一般采用矩形表示外显变量，椭圆形或者圆形表示潜在变量；单向箭头表示单项影响或者因果关系，双向箭头表示相关关系或者方差。根据前面的理论分析和提出的假设，可以给出结构方程模型的路径图（如图 1 所示）。

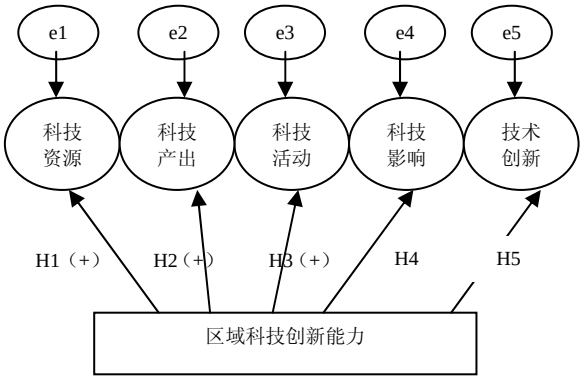

Figure 1. SEM path diagram of regional S&T innovation ability

图 1　区域科技创新能力结构方程建模路径图

注：括号中“+”号表示正向假设关系，“－”号表示负向假设关系

4 需要注意的问题

4.1 样本容量的确定

尽管对样本容量的最少数量还没有一致意见，但是按照统计的基本知识，样本容量越大结果拟合得越好。结构方程建模的应用同样要求较大的样本规模。可是在研究中却往往受到研究成本、资料收集的难度以及时间等因素的制约而并不允许太大的样本量。在这种情况下，样本容量的确定就显得尤为重要。一般要求被试的人数需要是变量的 10 倍，根据成本效益原则，一般建议样本容量在 200 个左右为佳。否则，可能会违反模型变量的正态分布假设。当然，也可以为了减少模型的题目数量，将数题合成小组，将小组得分作为指标处理。

4.2 缺失数据的处理

在进行问卷调查或实验性研究时，通常会因为各种各样的原因使得被试数据有缺失值。如果被试数量比较大，最为简单的方法就是将有数据缺失的被试删

除。当然也可以用均值替代法、最大似然估计法等对缺失数值进行估计。在 LISREL 软件中，还提供了 EM 算法和 MCMC 算法。

4.3 注意进行信度、效度的检验并满足适用条件

如非正态分布、小样本数据就不适合应用 SEM，否则会得出错误的结论。同时，应当注意正确处理模型修正、模型不能识别等问题。

致谢

作者感谢河南科技大学科技处朱选功教授、经管学院岳佐华博士提出的宝贵意见。

References (参考文献)

[1] Shao Yunfei, Tang Xiaowo, Chen Guang. A clustering empirical analysis of China's regional technological innovation ability[J], *China Soft Science*, 2003(5):113-118.
邵云飞,唐小我,陈光.中国区域技术创新能力的聚类实证分析[J].中国软科学,2003(5):113-118.

[2] Ma Qinyu, Yang shenggang. Evaluation index system of regional self-directed innovation capability and its measuring method[J], *Statistics and Decision*, 2008(11):51-53
马钦玉,杨胜刚.区域自主创新能力评价指标体系及其测算方法[J].统计与决策,2008(11):51-53.

[3] Liu Yaobin, Wang Qifang, Song Xuefeng. Assessment and Analysis on the Capacity of Region Technical Innovation in China during Transitional Phase[J], *Science & Technology Progress and Policy*, 2004,21(9):13-15.
刘耀彬,王启仿,宋学锋.转型时期中国区域技术创新能力评价与分析[J].科技进步与对策,2004,21(9):13-15.

[4] Mei Qiang, Li Wenyuan, Wang Bangzhao. Study on the evaluation of area technological innovation ability and coordinated development of Jiangsu province[J], *Science and Technology Management Research*, 2007,27(12):123-126.
梅强,李文元,王邦兆等.江苏省区域技术创新创业能力评价及其协调发展的研究[J].科技管理研究,2007,27(12):123-126.

[5] Deng Guoqu, Zhu Xuangong. Study on the evaluation of area technological innovation ability of Henan province [J], *Henan Science and technology*, 2009,(2) :16-17.
邓国取，朱选功.河南省区域自主创新能力评价研究[J].河南科技,2009,(2) :16-17.

[6] Wu Xianying. Factor analysis for evaluation of regional technology innovation ability[J], *Journal of Harbin Engineering University*, 2003,24(2):233-236.
吴显英.区域技术创新能力评价中的因子分析[J].哈尔滨工程大学学报,2003,24(2):233-236.

[7] Li Xiaolu, Zhou Zhifang. Study on the evaluation of regional technology innovation ability system and regional difference based on factor analysis model[J], *Scientific Management Research*, 2006(2) :5-10.
李晓璐,周志方.我国区域技术创新能力体系评价及提升——基于因子分析法的模型构建与实证检验[J].科学管理研究,2006(2) :5-10.

[8] GUAN Jiancheng, HE Ying. The performance of Chinese regional innovation system evaluation based on data envelopment analysis[J], *Studies In Science of Science*, 2005,23(2):265-272
官建成,何颖.基于 DEA 方法的区域创新系统的评价[J].科学学研究,2005,23(2):265-272.

[9] Ni Dongsheng. Application of Data Envelopment Analysis Method in Study on China's Regional Technological Innovation Capability[J], *Technology Economics*, 2008,27(8) :22-28.
倪东生.数据包络分析方法在我国区域技术创新能力研究中的应用[J].技术经济,2008,27(8) :22-28.

[10] LIU Fengchao, PAN Xiongfeng, SHI Dingguo. Research on the Evaluation of Regional Independent Innovation Ability Based on Set Pair Analysis[J], China Soft Science, 2005(11):83-91,106
刘凤朝,潘雄锋,施定国.基于集对分析法的区域自主创新能力评价研究[J].中国软科学,2005(11):83-91,106.

[11] WEI Momei, CHEN Yihua, DONG Yucheng. Applying of ANP on the Evaluation of Region Enterprise Technology Innovation[J], *Mathematics in Practice and Theory* , 2007,37(17):14-20
魏末梅,陈义华,董玉成.ANP 法在区域企业技术创新能力评价中的应用[J].数学的实践与认识,2007,37(17):14-20.

[12] SUN Lianrong. The Principle and Operation of Structural Equation Modeling (SEM)[J], *Journal of Ningbo University(Educational Science Edition)*, 2005, 27(02):31-35.
孙连荣.结构方程模型(SEM)的原理及操作[J].宁波大学学报(教育科学版), 2005, 27(02):31-35.

978-1-935068-05-1 © 2010 SciRes.