

# 基于结构方程模型的企业技术创新能力评价研究

杨智勇<sup>1,2</sup>, 覃 锋<sup>2</sup>

(1.天津大学 管理学院,天津 300072;2.江西师范大学 数学与信息科学学院,江西 南昌 330022)

**摘 要:**提出了企业技术创新能力评价的因果关系模型,利用结构方程模型对评价指标间的因果关系进行了建模和求解。实证研究表明,模型能够有效描述指标间的因果关系,准确定位企业技术创新能力的关键影响因素,为评价和改进企业技术创新能力提供了有力依据。

**关键词:**技术创新能力;评价;结构方程模型

中图分类号:F062.4

文献标识码:A

文章编号:1001-7348(2009)12-0119-03

## 0 引言

企业技术创新能力决定了企业的核心竞争力,已经成为企业生存和发展的主要决定因素之一。如何科学地评价企业的技术创新能力,对于企业制订创新战略、增强企业核心竞争力和提高企业经济效益具有重要意义。

创新的概念最早由Schumpeter<sup>[1]</sup>提出,而技术创新能力的概念则由Burns等人<sup>[2]</sup>提出。对技术创新的度量研究最早可追溯到上世纪50年代,Solow<sup>[3]</sup>首先建立了技术外生模型来测算技术创新对经济增长的贡献。目前,技术创新能力评价可分为创新绩效能力评价和创新过程能力评价两大类。前者主要有Arrow的技术内生经济增长理论及学习理论、Romer的思想驱动内生增长模型、Porter的国家产业竞争优势的集群理论、Nelson的国家创新理论以及知识论等。后者主要有Utterback的三段论、Zaltman等的两段论、Freeman的五段论、Robert的六段论<sup>[4]</sup> Chiesa等的七大过程及Burbelma等的五维度创新能力框架。我国学者一般根据企业技术创新过程将创新能力分解为投入能力、研发能力、创新倾向、创新管理、制造能力以及营销能力等<sup>[5]</sup>,具体测量指标有所不同。

基于创新过程能力的企业技术创新能力评价模型和方法目前主要有层次分析法(AHP)、数据包络分析(DEA)、BP神经网络、模糊综合评价、密切值法、多层次灰色评价、弱势指标倍数法、E-V模型和灰色聚类分析法等。在这些模型和方法中,影响企业技术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存在的相互关联和相互影响,可能使评价结果失真,并导致企业无法根据评价结果采取有针对性的改进措

施。

## 1 企业技术创新能力评价指标体系及指标间的关系

对企业技术创新能力进行评价,需要建立具有多个层次的指标体系,并注意研究分析评价指标相互间可能存在的因果关系。

企业技术创新能力指标的划分与选择因人而异,通常将企业技术创新能力的构成要素或过程能力作为主评价指标,影响构成要素与过程能力的因素作为二级评价指标,并可根据实际情况再细分出下级指标。

综合前人及本文研究结果,选取投入能力、研发能力、管理能力、生产能力及营销能力等能力评价指标,以此为基础构建企业技术创新能力评价指标体系,如表1所示。其中,对企业技术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,它们分别反映了企业技术创新过程的不同维度,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;二级评价指标是能够直接测量的指标,指标值可由专家根据企业技术创新各方面的实际情况逐项打分得到。

值得注意的是,在以往的研究中,企业技术创新过程的各个能力因素(即能力评价指标)间一般被认为是相互独立不相关的。事实上,某个能力评价指标对其它指标可能是存在影响的。研究显示,除各能力评价指标对企业技术创新能力的直接影响外,研发能力与企业技术创新资金和人员等方面的投入能力及企业的创新管理水平密切相关,并在一定程度上决定了产品的市场竞争力;而创新管理能力则对技术创新投入和企业的新技术新产品研发

表1 企业技术创新能力评价指标体系

评价指标	二级评价指标	
管理能力 $\xi_1$	管理层创新倾向	$x_1$
	创新决策能力	$x_2$
	创新战略可行性	$x_3$
	创新执行力	$x_4$
投入能力 $\eta_1$	R&D 资金投入强度	$y_1$
	R&D 人员投入强度	$y_2$
研发能力 $\eta_2$	R&D 人员创新意识	$y_3$
	R&D 人员技术结构	$y_4$
	R&D 项目技术水平	$y_5$
	R&D 项目管理能力	$y_6$
生产能力 $\xi_2$	生产设备技术水平	$x_5$
	生产人员技术水平	$x_6$
	生产管理水平	$x_7$
营销能力 $\eta_3$	市场反应能力	$y_7$
	新产品竞争力	$y_8$
	新产品盈利能力	$y_9$
企业技术创新能力 $\eta_4$	总体创新能力	$y_{10}$
	相对于其它企业而言本企业的技术创新能力	$y_{11}$
	企业的技术创新能力	$y_{11}$
	对总体创新能力的失望度	$y_{12}$

能力均会产生相当的影响。因此有必要对评价指标之间可能存在的因果关系加以描述和求解,这对于客观地对企业技术创新能力进行评价具有重要意义。

## 2 企业技术创新能力评价的结构方程模型

### 2.1 结构方程模型

结构方程模型 (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。结构方程模型能够过滤误差及个体差异,同时考察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的结构关系或验证某种结构关系是否合理。

在结构方程模型中,按变量的可直接测量与否,将变量分为显变量 (Manifest Variable, MV) 与潜变量 (Latent Variable, LV) 两类<sup>[6]</sup>。潜变量无法直接测量,它们的测量需要借助可测量的显变量来实现。显变量又称为指标变量 (Indicator),是可直接测量的。同时,根据变量间的因果关系,还可以把变量分为外生变量 (Exogenous Variable) 和内生变量 (Endogenous Variable) 两类。外生变量即自变量,它的取值由外界因素决定;内生变量即因变量,它的取值由外生变量决定。

模型中变量间的关系可用通路图 (图1) 直观地显示,也可以利用结构方程 (Structural Equations) 进行表示<sup>[7]</sup>,这两种表示方法是等价的。

结构方程模型包括测量方程 (Measurement Equation)、结构方程 (Structural Equation) 和模型假设。测量方程描述

了潜变量与其测量指标之间的关系,结构方程则描述了潜变量之间的因果关系。可用公式表示如下:

测量方程:

$$x = \tau_x + \Lambda_x \xi + \delta \tag{1}$$

$$y = \tau_y + \Lambda_y \eta + \varepsilon \tag{2}$$

结构方程:

$$\eta = \alpha + B\eta + \Gamma\xi + \zeta \tag{3}$$

其中  $x$  是  $k_q \times 1$  外源指标向量,  $\xi$  是  $n \times 1$  外源潜变量向量 (设  $\xi_i$  有  $k_{qi}$  个指标,  $i=1, \dots, n$ , 则  $k_q = \sum k_{qi}$ ),  $\Lambda_x$  是  $x$  在  $\xi$  上的  $k_q \times n$  因子负荷向量,  $\delta$  是  $k_q \times 1$  的测量误差向量,  $\tau_x$  是  $k_q \times 1$  的常数项向量;  $y$  是  $k_p \times 1$  的内生指标向量,  $\eta$  是  $m \times 1$  的内生潜变量向量 (设  $\eta_i$  有  $k_{pi}$  个指标,  $i=1, \dots, m$ , 则  $k_p = \sum k_{pi}$ ),  $\Lambda_y$  是  $y$  在  $\eta$  上的  $k_p \times m$  因子负荷向量,  $\varepsilon$  是  $k_p \times 1$  的测量误差向量,  $\tau_y$  是  $k_p \times 1$  的常数项向量;  $\alpha$  是  $m \times 1$  的常数项向量,  $\zeta$  是  $m \times 1$  的残差向量。  $B$  是  $\eta$  与  $\eta$  之间的  $m \times m$  系数矩阵,  $\Gamma$  是  $\eta$  与  $\xi$  之间的  $m \times n$  系数矩阵。

模型假设:

- (1)  $\delta, \varepsilon, \zeta$  均为零均值向量;
- (2)  $\delta$  与  $\xi, \varepsilon$  与  $\eta$  不相关;
- (3)  $\delta$  与  $\varepsilon$  无关,  $\delta_i$  与  $\delta_j$  无关,  $\varepsilon_i$  与  $\varepsilon_j$  无关 ( $i \neq j; i, j=1, \dots, q; r \neq s; r, s=1, \dots, p$ );
- (4)  $\zeta$  与  $\delta$  和  $\varepsilon$  不相关;
- (5)  $\zeta$  与  $\eta, \xi$  无关。

### 2.2 企业技术创新能力评价模型的构建与求解

基于表1中的企业技术创新能力评价指标体系,以及评价指标间的相互关系,构建企业技术创新能力评价结构方程模型通路图,如图1所示。

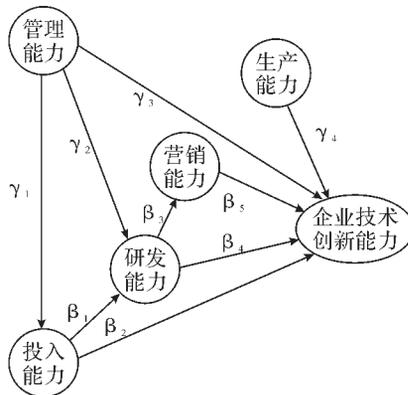


图1 企业技术创新能力结构方程模型通路

其中,管理能力和生产能力为外源潜变量,投入能力、研发能力、生产能力、营销能力及企业技术创新能力为内生潜变量,企业技术创新能力也是模型的最终评价目标,它们都是不可直接测量的,对它们的测度需要借助相应的指标变量 (即二级评价指标) 来进行。模型中的潜变量可用表1中对应的希腊字母表示,相应指标变量的命名如表1所示。

模型的求解采用PLS (Partial Least Square, 偏最小二乘)<sup>[8]</sup> 方法。PLS采用迭代的方式对结构方程模型进行估计,不需要数据分布假设,适用于连续变量和分类变量。

PLS能够估计测量变量的权重,使它们对企业技术创新能力评价的解释能力最大化,评价以最终的内生变量或因变量的形式出现在模型中,估计出的权重用于构建企业技术创新能力评价分值。评价得分计算如下:

$$Q_{IE} = \frac{E(\xi) - \min(\xi)}{\max(\xi) - \min(\xi)} \times 100 \quad (4)$$

其中 $Q_{IE}$ 是企业技术创新能力评价分值, $\xi$ 是创新能力评价潜变量, $E(\xi)$ 、 $\min(\xi)$ 、 $\max(\xi)$ 分别代表变量的期望值、最小值和最大值。变量的最小值和最大值由相应的观测指标值决定,即:

$$\min(\xi) = \sum_{i=1}^n w_i \min(x_i) \quad (5)$$

$$\max(\xi) = \sum_{i=1}^n w_i \max(x_i) \quad (6)$$

其中, $x_i$ 为潜在技术创新能力评价的观测指标, $w_i$ 为权重, $n$ 为观测指标个数。

### 3 实证研究

某交通电子设备公司依靠技术创新不断发展壮大,注册资本金由2000年公司成立时的100万元增至2005年的3 000万元,其生产的汽车牌照识别系统及高速雷达测速系统在全国20余省(自治区)得到广泛应用,年销售额近亿元,并于2005年10月成功引入美国投资,目前已成功研发出产品的香港、澳门及韩、日本版。为进一步扩大投资规模,开拓欧美等海外市场,需要对其技术创新能力进行全面评估。

根据前文构建的企业技术创新能力评价结构方程模型,设计并面向企业管理人员、企业普通职员及外聘专家分发调查问卷93份,回收有效问卷89份。利用PLS结构方程模型估计方法对所得数据进行处理,得到模型结构方程各参数估计值及统计量,如表2所示。

表2 模型参数估计值及统计量

系数估计值	标准误差	t 统计量
$\gamma_1=0.31$	0.24	2.26
$\gamma_2=0.45$	0.13	5.24
$\gamma_3=0.39$	0.08	1.67
$\gamma_4=0.12$	0.31	7.10
$\beta_1=0.62$	0.18	4.22
$\beta_2=0.59$	0.21	2.54
$\beta_3=0.17$	0.12	6.33
$\beta_4=0.72$	0.26	1.26
$\beta_5=0.20$	0.27	2.57

结果显示,企业技术创新能力主要取决于管理能力、投入能力和研发能力( $\gamma_3=0.39$ , $\beta_2=0.59$ , $\beta_4=0.72$ ),营销能力与生产能力对其影响相对较小( $\beta_5=0.20$ , $\gamma_4=0.12$ )。因此技术创新能力的提高主要应当通过加强创新管理、提高创

新投入水平及提升研发能力等途径来实现。企业的创新管理优势将在一定程度上影响创新投入水平( $\gamma_1=0.31$ )和技术研发能力( $\gamma_2=0.45$ ),而创新投入则对增强企业的技术研发能力具有决定性的作用( $\beta_1=0.62$ )。

依据式(4)计算可得该企业技术创新能力评价得分为87,显示该企业仍具备较强的技术创新能力。类似地,利用相同公式可得该企业管理能力得分为73、投入能力得分为91、研发能力得分为82、营销能力得分为89、生产能力得分为95。可见该企业技术研发能力与其投入能力、营销能力和生产能力并不完全配套,究其原因主要是企业管理水平仍有较大的提升余地。

上述结果表明,该企业技术创新能力较强,但若能够在保持现有技术创新投入水平的基础上提升企业管理水平,其技术研发能力可得到进一步的增强,并最终提升企业技术创新能力的总体水平,为进一步开拓国际国内市场及引进外部资金打下坚实基础。

### 4 结论

本文在研究企业技术创新能力各评价指标间相互关系的基础上,提出了企业技术创新能力评价的因果关系,利用结构方程模型进行评价模型的构建和求解。实证研究显示,企业技术创新能力各评价指标之间并非相互独立而是相互影响、相互关联的。片面提高单个能力指标的水平并不一定能直接提升企业技术创新能力,甚至可能适得其反。相反,把握各指标之间的相互影响与因果关系,准确定位关键指标和影响因素,才是有效增强企业技术创新能力的关键所在。

#### 参考文献:

- [1] SCHUMPETER J.The Theory of Economic Development [M]. Cambridge,MA: Harvard University Press,1912.
- [2] BURNS T,STALKER G.The management of innovation [M]. London:Tavistock Publication,1961.
- [3] SOLOW R.Technical change and the aggregate production function[J].Review of Economics and Statistics,1957,39(3): 312-320.
- [4] 张国良,陈宏民.国内外技术创新能力指数化评价比较分析[J].系统工程理论方法应用,2006,15(5):385-392.
- [5] 唐炜,蒋日富,鹿盟.企业技术创新能力评价理论研究综述[J].科技进步与对策,2007,24(5):195-200.
- [6] 孙尚拱,隐变量分析简介(1)[J].数理统计与管理,2002,21(1):52-56+13.
- [7] JOHN C LOEHLIN.Latent Variable models: An Introduction to Factor,Path,and Structural Analysis [M].Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates,NJ,1998,1-37.
- [8] JAN-BERND LOHMOELLER.Latent Variables Path Analysis with Partial Least Squares [M].Heidelberg: Physicaverl,1989.

(责任编辑:王尚勇)