基于BP神经网络的企业技术创新能力综合评价体系研究

叶宝忠

【提　要】技术创新是企业发展的动力来源。对企业技术创新能力的客观、科学评价，影响着企业经营战略和竞争力的提升。企业技术创新能力评价涉及评价指标的构建和科学评价方法的选择。为了更好地对企业技术创新能力进行客观、综合的评价，有必要将企业文化、决策者等定性指标引入到评价指标体系之中，并构建能够反映企业内部各指标复杂非线性关系的神经网络综合评价模型，从而为企业技术创新的发展提供科学的指导。

【关键词】技术创新能力　BP神经网络　技术创新能力综合评价
〔中图分类号〕F273.1〔文献标识码〕A〔文章编号〕1000－2952（2013）02－0032－05

在经济全球化与竞争国家化的知识经济时代，企业技术创新已经成为企业获取市场竞争优势、确保竞争力的重要条件。在此背景下，学者们从多方面进行了研究，其中，对企业技术创新能力的评价和测量研究是企业技术创新研究的重点内容。但目前现有的企业技术创新能力评价和测量方法研究中，存在着两方面问题。一是现有评价指标体系不完善。目前，企业技术创新能力评价指标体系主要以企业的技术创新投入、技术创新管理、技术创新产出等定量指标为主，缺乏企业创新战略、企业文化、决策者等方面的定性评价指标，尽管定性评价指标存在不易测定、不易引入模型等缺陷，但这些指标却是衡量企业创新能力的重要指标，应该补充到企业技术创新评价指标体系中。[①] 二是现有评价方法有待于改进。目前，企业技术创新能力评价方法主要有层次分析法、模糊评价法、综合评价法等，尽管这些方法都从不同角度对企业技术创新能力进行了评价，但仅借助于这些评价方法，各类评价指标之间错综复杂的影响关系很难客观地被反映，尚需要寻找一种能综合映射企业内部各要素之间相互联系、相互影响的非线性复杂关系的评价方法。本文拟从企业技术创新能力评价指标体系和评价方法两个方面做一些有益的探讨，从而为企业技术创新的发展提供科学的指导。

一、企业技术创新的内涵界定

20世纪初，美籍奥地利经济学家约瑟夫·阿罗斯·熊彼特（J. A. Schumpeter）在《经济发展理论》（1912年）一书中，首次提出创新的

① 薛风平：《企业技术创新测评方法述评》，《技术经济与管理研究》2006年第3期。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

概念，认为“创新”就是建立一种新的生产函数或供应函数，即把一种从来没有过的生产要素和生产条件的“新组合”引入生产体系。在熊彼特看来，“创新”是一个经济范畴而非技术范畴，它不是仅指科学技术上的发明创造，而是指把已发明的科学技术引入企业之中，形成一种新的生产能力。[①] 具体来说，创新包括五方面的内容：一是引入新产品或提高产品质量（产品创新）；二是采用新的生产方法（工艺创新）；三是开辟新市场或打破一种垄断（市场创新）；四是获取新的供给来源（资源开发利用创新）；五是实行新组织形式（体制和管理的创新）。

现代技术创新理论正是在熊彼特创新理论的基础上衍生和发展起来的。在此后的技术创新研究热潮中，国内外专家、学者以及相关研究机构对技术创新的概念有着不同的理解和认识。曼斯费尔德（M. Mansfield）认为，产品创新是从企业对新产品的构思开始，以新产品的销售和交货为终结的探索性活动。厄特巴克（J. M. Utterback）在他1974年发表的《产业创新与技术扩散》中认为，与发明或技术样品相区别，创新就是技术的实际采用或首次应用。弗里曼（C. Freeman）认为，技术创新在经济学上的意义只是包括新产品、新过程、新系统和新装备等形式在内的技术向商业化实现的首次转化。

综合上述学者们的观点，本文认为，企业技术创新就是企业应用创新的知识和新技术、新工艺，采用新的生产方式和经营管理模式，提高产品质量，开发生产新的产品，提供新的服务，占据市场并实现市场价值的过程。技术创新过程涉及创新构思产生、研究开发、技术管理与组织、工程设计与制造、用户参与及市场营销等一系列活动。在企业技术创新过程中，这些活动相互联系，有时要循环交叉或并行操作。技术创新过程不仅伴随着技术变化，而且伴随着组织与制度创新、管理创新和营销方式的创新。

二、企业技术创新能力评价指标体系构建

（一）企业技术创新能力评价指标构建的原则

在确定企业技术创新指标体系的过程中，本文遵循了如下方面的原则：

（1）综合性原则。企业技术创新能力是一个综合性指标，它涉及企业经营管理的诸多环节，其指标的选择应尽量覆盖影响企业技术创新的各方面，既包括技术创新投入、研发、制造、营销等职能活动的定量指标，也包括企业创新战略、企业文化、决策者等定性指标，只有两类指标综合在一起，才能全面评价企业的技术创新能力。[②]

（2）科学、可操作性原则。为做到科学评价，在确定指标时尽量避免指标之间的相关性和相近性；为保证评价过程的可操作性，指标选择尽量少而精，微观层次的指标控制在20个左右。

（二）企业技术创新能力评价指标的选择

如前所述，企业技术创新能力是一个组合概念，由若干能力要素组合而成。对此，我国著名学者傅家骥先生将技术创新能力分解为：（1）技术创新的基本性质和基本过程；（2）成功技术给予的启示；（3）企业技术创新调查分析结果。据此，将技术创新能力分解为创新资源投入能力、创新管理能力、创新倾向、研究与开发能力、制造能力和营销能力。从本质上而言，一个企业的技术创新能力是反映企业自主创新或模仿采用其他企业创新成果能力的指标，包括创新或采用创新的数量和速度两类指标。[③] 因此，衡量企业自主创新和模仿创新数量与速度的因素都应作为评价企业技术创新能力的指标。基于本文构建技术创新能力评价的基本原则，本文所确定的企业技术创新能力评价指标体系如表1所示。

本文在技术创新能力评价指标中引入了决策者、企业文化两类指标。决策者是企业技术创新活动的始作俑者、组织者、领导者，决策者的创新意识、能力和价值观对企业技术创新活动的开展有重大影响；企业文化引导着企业员工的思考和行为方式。员工对企业的某种制度安排和战略选择的认同，并以符合这种制度安排和战略选择

① 陈劲：《我国企业技术创新国际化战略框架和战略途径研究》，《科研管理》2004年第6期。

② 杨忠敏：《企业技术创新能力的评价理论与方法综述》，《科学进步与对策》2004年第3期。

③ 郑海鳌、尤建新：《国内外企业技术创新绩效测评理论研究述评》，《上海管理科学》2008年第2期。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

的价值理念约束自己的行为是企业任何战略得以成功实施的基本保障。因此，企业文化中创新价值观、创新激励制度和创新氛围决定着企业技术创新的成败。将这两类评价指标纳入到评价指标体系中来，会使企业技术创新能力评价指标体系进一步完善，评价结果也将更有说服力。

表 1 企业技术创新能力评价指标体系

	指标类别	具体指标	指标性质
技术创新能力	企业投入能力	研究与开发投入	定量
		人员投入	定量
		非研发投入	定量
	企业创新管理	技术创新战略	定性
		技术创新机制（制度安排）	定性
	企业研发能力	试验室设备及人员的技术水平	定量
		重大技术创新项目数	定量
		科研人员比重	定量
		研发速度	定量
	决策者	决策者的创新意识	定性
		决策者的能力	定性
		决策者的价值观	定性
	企业文化	创新在企业价值观中的地位	定性
		员工对创新精神的认同	定性
		企业鼓励创新容忍失败的程度	定性
		企业对优秀创新人才的奖励制度	定性
	制造能力	企业技术装备水平	定量
		工人的技术等级及工作质量	定量
	营销能力	新产品销售收入	定量
		新产品销售率	定量
		专职销售人员人数及比例	定量

（三）企业技术创新能力评价指标的标准化处理

本文企业技术创新能力评价指标体系中包含了定性和定量两类指标。定性指标的数据通过 Likert 5 点量表法按 1～5 来评分，属于无量纲指标；定量指标，如投入指标、人员指标、销售额指标等属于有量纲指标，且各类指标量纲又不统一，因此，需要对各类评价指标进行标准化处理。

对于技术创新能力评价指标体系中无量纲指标，采取线性递增函数进行标准化：

$$f(x_i)=\begin{cases}0 & x_i \leqslant x_{min}\\ \dfrac{x_i-x_{min}}{x_{max}-x_{min}} & x_{min}<x_i\leqslant x_{max}\\ 1 & x_i>x_{max}\end{cases}$$

（公式 1）

式中：

x_{max}——评价指标体系中某项指标的最大值；

x_{min}——评价指标体系中某项指标的最小值；

x_i——评价指标体系中第 i 项指标的实际值。

对于技术创新能力评价指标体系中有量纲指标，则采取二次抛物线函数进行标准化：

$$g(x_i)=\begin{cases}0 & x_i \leqslant x_{min}\\ \left[\dfrac{x_i-x_{min}}{x_{max}-x_{min}}\right]^2 & x_{min}<x_i\leqslant x_{max}\\ 1 & x_i>x_{max}\end{cases}$$

（公式 2）

三、企业技术创新能力的 BP 神经网络综合评价模型

（一）BP 神经网络的基本原理

BP 神经网络（Back Propagation Artificial Neural Network）是一种模拟生物神经系统结构的人工智能技术，由大量神经元广泛联结组成一个多层网络，各神经元之间是一种非线性关系，可以映射企业内部各要素之间的复杂影响关系。BP 神经网络一般分为输入层、隐含层和输出层三个层次。①

BP 神经网络是一个单向网络，具有较强的自组织性和自学习性。BP 神经网络的学习原理是：通过误差的反向传播来消除误差。学习过程通过调整网络模型中各层次神经元之间的连接权值来实现。先假设一组初步的连接权值，输入足够样本点的技术创新评价指标的实际值，利用 BP 模型的算法计算实际技术创新能力目标和期望技术创新能力目标之间的误差，将误差值反向传递，根据误差情况调整连接权值，再进入新一轮训练。这样，经过反复训练后，最终得到一个训练好的 BP 神经网络。该网络对应的各神经元之间的连接

① 朱祖平：《基于神经网络的企业技术创新效果的模糊综合评价》，《系统工程理论与实践》2003 年第 9 期。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

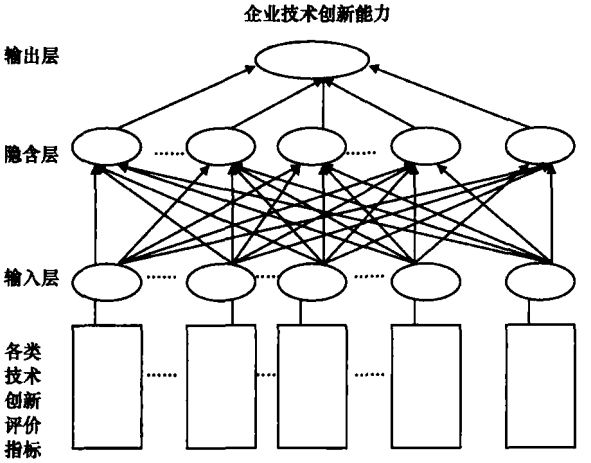
权值就是评价模型的最终权值。将目标企业中技术创新评价指标实际值输入到模型中就可以对目标企业的技术创新能力做出评价。

（二）基于 BP 神经网络的企业技术创新能力综合评价过程

基于 BP 神经网络的企业技术创新能力综合评价模型与过程包括如下步骤：

1. 根据 BP 神经网络模型及其算法，结合企业技术创新能力指标体系，构建出企业技术创新能力评价的 BP 神经网络拓扑图，见图 1。输入神经元是经过标准化处理的各类评价指标，输出神经元是企业综合技术创新能力指标。

图 1　　212 个节点的样本网络



2. 为神经网络的各层神经元之间的连接权值进行初始赋值。连接权值的初始赋值一般根据经验或专家打分法来获得。

3. 输入样本企业的技术创新能力评价指标实际值，计算中间隐含层神经元的状态及神经网络的实际输出（即企业技术创新能力实际值）。每个样本点包括各指标标准化的实际数据和期望输出（理想的技术创新能力）。[①] 期望输出可参考企业技术创新战略目标，也可以根据同行业优秀企业的实际值来确定。

（1）中间隐含层神经元状态的计算

中间隐含层神经元状态可通过如下模型来计算：

$$net_{pi} = \sum_i w_{ji} o_{pi} \qquad \text{（公式 3）}$$

式中：

P——表示第 P 个样本点；

W_{ji}——从神经元 u_i 到神经元 u_j 的连接权值；

O_{pi}——BP 神经网络模型的输入神经元 u_i 在第 P 个样本点下的输入。

（2）网络的实际输出计算公式

$$O_{pj} = f(net_{pj}) \qquad \text{（公式 4）}$$

式中：

P_{pj}——神经网络的神经元 u_j 在第 P 个样本点下的实际输出；

net_{pj}——神经网络的神经元 u_j 在第 P 个样本点下的输入；

f（x）——为非线性、可微、非递增函数，一般为 S 型函数，其模型为：

$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \qquad \text{（公式 5）}$$

4. BP 神经网络的训练。BP 神经网络的训练通过误差的反向传递来实现。首先，计算 BP 网络输出的误差。

BP 模型输出误差的计算模型为：

$$E_p = \frac{1}{2}\sum_j (t_{pj} - o_{pj})^2 \qquad \text{（公式 6）}$$

式中：

E_p——BP 网络的输出误差；

t_{pj}——神经元 u_j 在第 P 个样本点下的理想输出；

o_{pj}——神经元 u_j 在第 P 个样本点下的实际输入。

若计算出的 Ep 没能小于给定的收敛值 ε，则从企业技术创新能力的输出层开始按下列公式调整权值，并重复第 3、4 步骤的做法。

$$\Delta w_{ji}(n+1) = \eta\delta_{pj} o_{pj} + \alpha\Delta w_{ji}(n) \qquad \text{（公式 7）}$$

式中：

$\Delta w_{ji}(n+1)$——连接权值的每次调整值；

α——网络过去学习效果，是确定的常数，$0<\alpha<1$；

$\Delta w_{ji}(n)$——上一次学习周期的权值修正值；

η——表示学习速率的常数，$0<\eta<1$；

① 赵金超：《基于神经网络模型的企业综合绩效评价方法研究》，《天津理工学院学报》2004 年第 6 期。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

δ_{pj}——第P个样本点下神经元 u_j 的输出端误差。

对输出神经元，有

$$\delta_{pj}=o_{pj}(1-o_{pj})(t_{pj}-o_{pj}) \quad (公式8)$$

对隐含神经元，有

$$\delta_{pj}=o_{pj}(1-o_{pj})\sum_{k}\delta_{pk}w_{kj} \quad (公式9)$$

式中：w_{kj}——神经元 u_j 相联到输出神经元 u_k 的连接权值。

经过上述算法过程的多次训练，直到 $E_P<\varepsilon$，BP神经网络的训练结束，得到了训练好的评价企业技术创新能力的神经网络。

5. 确定技术创新能力评价指标的权重，对目标企业的技术创新能力进行评价。训练好的BP神经网络对应的不同层神经元 u_i、u_j 间的连接权值为 w_{ij}，就是企业技术创新能力各评价指标的权重，由此，确定出企业技术创新能力BP神经网络评价模型，将目标企业的技术创新能力各项指标的实测值输入到BP模型中，可得目标企业的技术创新能力。

四、结论

本文在企业技术创新能力评价指标体系及评价模型方面进行了一些尝试，进一步补充完善了评价指标体系，借助神经网络技术构建了评价模型。本文构建的评价模型具有下列优势：(1) 该模型很好地拟合了企业内部影响企业技术创新能力的各因素之间的非线性关系，进一步提高了企业技术创新能力评价的综合性、客观性；(2) 该模型具有较强的自学习性、自适应性和很强的容错性。

除此之外，该模型的实施需要特别注意以下几个问题：(1) 指标体系的构建要尽量科学、全面地覆盖企业技术创新影响因素，这是科学评价的前提。(2) 训练样本的数量与质量在很大程度上影响着模型的训练效果，进而影响最终评价模型中权值的确定，从而影响模型评价效果的客观性，因此，要精心选择训练样本。① (3) 神经网络的层次和中间隐含层的确定也影响着网络模型的学习效果，因此，要科学合理地确定神经网络的层次和中间神经元的层次。由于上述三个问题的存在，增大了BP神经网络模型的实施难度和复杂性，尽管如此，BP神经网络模型代表了目前该领域研究的趋势与方向，仍不失为一种有效的企业技术创新能力评价方法。

本文作者：东南大学经济管理学院博士后

责任编辑：王姣娜

① 田方军、董静：《企业技术创新风险的聚类分析：一项实证研究》，《科技进步与对策》2007年第1期。

The Research on Comprehensive Evaluation System of Enterprise Technological Innovation Capability based on BP Neural Network

Ye Baozhong

Abstract: Technological innovation is the impetus for enterprise development. The objective and scientific evaluation of technological innovation capability of enterprises has an impact on management strategy and competitiveness promotion. Enterprise technological innovation ability evaluation involves the construction of evaluation index and selection of scientific evaluation methods. The paper builds a complex nonlinear relationship between internal indicators that reflect neural network comprehensive evaluation model through the introduction of corporate culture, policy makers and other qualitative indicators, which provides a scientific guidance for the development of enterprise technology innovation.

Key words: technological innovation capability; BP neural network; comprehensive evaluation of technological innovation capability

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net