

战略性新兴产业自主技术创新能力测度与评价

曹兴^{1,2}, 张伟^{1,3}, 张云³

(1. 中南大学商学院, 湖南长沙, 410083; 2. 湖南第一师范学院, 湖南长沙, 410205;
3. 湖南工业大学商学院, 湖南株洲, 412007)

摘要: 根据战略性新兴产业自主技术创新能力的形成路径, 提炼出资源投入能力、执行能力、产出能力以及环境支撑能力四个测量维度, 依此构建了战略性新兴产业自主技术创新能力评价指标体系。在综合运用层次分析法和熵值法组合赋权基础上, 根据物元可拓集合理论建立多级优度评价模型和评价方法。以湖南省医药制造业统计数据为例进行了评价, 结果表明, 该模型和评价方法具有较好的适用性, 能为战略性新兴产业自主技术创新能力的评价和培育提供决策参考。

关键词: 战略性新兴产业; 自主技术创新能力; 可拓多级优度评价

中图分类号: F270

文献标识码: A

文章编号: 1672-3104(2017)01-0101-09

战略性新兴产业发展关系到国民经济和社会发展和产业结构优化升级, 具有全局性、长远性、导向性和动态性等特征^[1]。拥有自主的关键技术, 加快培育自主技术创新能力是确保战略性新兴产业快速、持续发展的重要基础和关键前提。因此, 构建一个综合的战略性新兴产业自主技术创新能力评价体系, 满足既能客观清晰地反映单个评价对象的现状与特点, 又能得到总体的综合评价信息, 对于战略性新兴产业自主技术创新能力的培育和提升均具有重要的指导意义。本文通过文献梳理及自主创新能力的形成过程分析, 提炼了战略性新兴产业自主技术创新能力测度指标, 构建了评价指标体系, 综合运用层次分析法和熵值法对评价指标组合赋权, 然后利用物元多级可拓分析定量化各项指标, 结合可拓关联函数对构成战略性新兴产业自主技术创新能力的各个维度进行优度评价, 期望能为战略性新兴产业自主技术创新能力培育提供参考决策。

一、文献综述

徐新、高山行认为企业要想研发自主技术, 必须具备一定的技术创新能力, 充分利用企业自身的资源,

根据市场的变化进行技术改革, 以新技术为手段增强企业的市场竞争力, 获得较高的利润^[2]。自主技术创新过程包含了多个环节, 企业自主技术创新能力的水平是以每一环节的能力评估为依据, 从而进行综合评价所得出来的^[3]。杨楠认为产业自主技术创新能力是在某种特定的经济技术背景下, 以产业本身经济、技术实力为基础, 获得对产业可持续发展具有推动作用的专利技术, 同时采用引进消化再吸收的方式, 强化产业的核心技术, 为产业获得市场竞争力所具备的综合能力^[4]。国外关于创新能力评价最具代表性的研究成果是OECD推出的《技术创新数据搜集和解释指南》(1992), 即《奥斯陆手册》^[5]。世界经济论坛从1979年开始发布的《世界竞争力报告》是目前最具权威的竞争力评价指标体系。我国国家统计局于2005年首次公布的《中国企业自主创新能力分析报告》, 将潜在技术创新资源、技术创新活动、技术创新产出能力、技术创新环境作为一级指标, 对企业自主创新能力进行评价^[6]。陈劲等从可持续发展视角出发, 认为测度因素不仅有创新的资金、人才、创新过程以及创新所产出的最终绩效, 还包括环境绩效^[7], 并对绿色技术创新做了实证研究^[8]。林平凡、高怡冰认为自主技术创新能力由资源、科研实力、管理能力、产出绩效以及营销能力5个方面构成, 在此基础上构建了包含5个

收稿日期: 2016-10-20; 修回日期: 2016-12-20

基金项目: 国家自然科学基金项目“新兴技术‘多核心’创新网络形成及企业成长机制研究”(71371071); 湖南省哲学社会科学基金项目“湖南省战略性新兴产业技术赶超方式与路径研究”(16YBA088)

作者简介: 曹兴(1964-), 男, 四川大竹人, 中南大学商学院教授, 博士生导师, 湖南第一师范学院商学院教授, 主要研究方向: 技术创新, 技术管理, 知识管理; 张伟(1977-), 男, 湖南湘潭人, 中南大学商学院博士研究生, 湖南工业大学商学院讲师, 主要研究方向: 技术创新, 知识管理; 张云(1984-), 女, 浙江温州人, 湖南工业大学商学院硕士研究生, 主要研究方向: 现代经营工程, 技术创新管理

一级和 25 个二级指标的评价指标体系^[9]。Wang、Lu 等基于不确定视角,采用模糊积分法,从研发能力、创新决策能力、营销能力、制造能力和资本能力 5 个方面,综合评估企业进行技术创新所具备的能力^[10]。宋河发、穆荣平认为产业的自主创新能力的测度应遵循以技术创新为中心,根据价值创造的过程特点兼顾绝对指标与相对指标,并构建了包含 4 个一级指标、15 个二级指标和 36 个三级指标的高技术产业自主创新能力评价指标体系^[11]。游达明、陈凡兵用熵值法确定产业自主技术创新能力突变评价模型中指标权重,并以 21 个高技术子产业自主创新能力评价为例验证了其具体用法^[12]。Shan 和 Zhang 探讨了可拓评价法在企业自主创新能力评价中的基本应用^[13]。吴佳运用时序全局主成分法对天津市高技术产业技术创新能力进行了横向和纵向的比较^[14]。鲁正莉运用主成分分析法,对西部 12 个省市的高技术产业自主技术创新能力进行了评价分析^[15]。谢黎构建了战略性新兴产业竞争力指标体系,并综合采用主成分法和模糊聚类法对其进行了评价^[16]。徐建中、王纯旭构建了基于自适应遗传算法的产业自主创新能力组合评价模型,选择了多个制造业产业进行了实证研究^[17]。石书德总结企业创新能力评价的相关文献,认为已有文献主要从组成部分、投入—过程—产出过程、创新能力系统三个维度进行相关研究^[18]。

已有文献研究表明,对于产业或企业自主技术创新能力的评价大多从投入—过程—产出的角度予以构建指标体系,同时还从系统观出发,充分考虑内部条件和外部环境支撑因素共同作用;在评价方法上,集成多种方法的综合评价也更为科学合理。因此,借鉴已有文献相关成果,研究拟从资源投入能力、执行能力、成果产出能力和环境支撑能力等方面构建指标体系。考虑到主观评价和客观评价结合的有效性,将综合利用层次分析法、熵值法和物元可拓多级优度评价

方法对战略性新兴产业自主技术创新能力进行全面和客观的评价。

二、评价指标体系构建

战略性新兴产业自主技术创新能力形成包含了载体子系统、环境子系统和产出子系统,其中载体主要指的是创新主体、人员、资金和设备等^[19]。在创新环境的促动以及利益追求者对产出的要求下,载体子系统中的人员、资金和设备作为创新资源,被分配到创新主体中,经过主体的创造性行为,最终实现创新收益和整体能力提升。因此,应结合战略性新兴产业的特点,围绕自主创新能力的形成过程从产业内在的资源、能力和产业外部环境的动态变化两个层面合理构建战略性新兴产业自主技术创新能力指标体系,如图 1 所示。

(一) 评价指标体系构成

(1)资源投入能力。自主技术创新资源投入能力是指能够被创新活动所利用的资源总量,它是形成战略性新兴产业自主技术创新能力的根本,代表着产业未来可持续发展的潜力,主要包括创新人才、仪器设备和创新经费三方面资源的投入能力。人才是创新活动的执行者,主要指从事研发活动的科技人员,选用 R&D 活动人员数占该产业从业总人数的比例、科技人员人均劳务费用支出两个指标来反映人才质量及投入情况;拥有充足的资金支持是创新活动顺利进行的必要条件,因此将创新经费投入强度以产业科技活动经费内部支出占主营业务收入比重来反映;仪器设备是必要的生产工具,科技活动经费中用于仪器设备的费用支出越多,说明自主技术创新的硬件条件越好。

(2)执行能力。自主技术创新执行能力是指实现创新资源有效转化为最终创新成果的能力,主要由官产学研合作创新能力、企业自主研发能力和创新扩散能

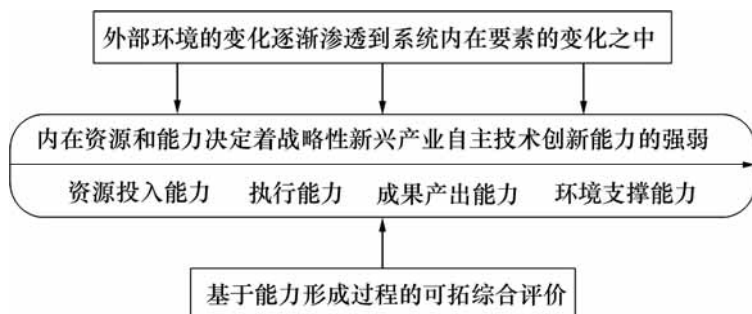


图1 战略性新兴产业自主技术创新能力评价思路图

力三个部分构成。战略性新兴产业的高风险性,使部分企业选择与其他创新主体进行合作研发,以降低新技术研发失败和新技术溢出的风险,同时战略性新兴产业在我国经济发展的战略地位,决定了政府在其发展过程中的保障性作用,故“官产学研”合作成为了最常见的合作创新模式,但由于官产学研合作创新能力无法通过量化核算得到,需在实际调研的基础上通过专家综合评分得到评价价值。除合作研发外,企业内部自主研发仍然是战略性新兴产业的自主技术创新主要组成部分,其本质特征是具有自主知识产权,可选取当年行业 R&D 项目总经费占 R&D 经费内部支出的比重、R&D 人员折合全时当量占全行业科技活动人员数的比重,以及发明专利拥有数来反映产业自主研发能力的强弱。创新扩散能力是产业内技术知识流动溢出的体现,是实现创新成果产业化的有效途径,技术市场成交额能够反映技术市场的繁荣程度和技术流动的顺畅程度^[20],可选用技术改造经费支出占新产品销售收入总额的比重和每千人专利申请数来衡量创新扩散能力。

(3)产出能力。自主技术创新产出能力是指能够实现产业化和商业化的科技成果和创新产品,包括成果产出能力和成果商业化能力两个方面。成果产出能力可以从产生数量和产出效率两个角度进行测度,分别以新产品产值率和新产品劳动生产率来衡量成果产出能力情况。新兴技术的高收益、高投入性,要求战略性新兴产业中创新主体的科研成果必须具有较强的商业化能力,而通过收获较高的商业回报,可以使得创新主体能够获得源源不断的创新资源,从而保障创新活动持续下去。因此,将创新活动所产出的最终成果应用于市场,不仅决定着自主技术创新能力的形成与发展,而且是战略性新兴产业得以持续创新的基本驱动力之一。选择新产品销售收入在新产品产值和主营业务收入中的比重,分别体现了新产品市场适应程度和科技成果转化程度,以此反映创新成果商业化能力对战略性新兴产业发展的贡献程度。

(4)环境支撑能力。自主技术创新环境支撑能力是由创新政策环境、市场环境、科技服务水平、社会经济发展水平、技术进步水平等共同组建而成的综合能力,是整个创新系统得以实现的基础与保障。创新政策环境主要选取了政府资金和金融机构贷款占科技活动经费筹集额的比重、财政科技支出占当年工业企业科技活动经费内部支出的比重、财政教育支出占教育经费总支出的比重来体现政府和金融机构对自主创新的支持程度。对于战略性新兴产业自主技术创新能力系统所处环境中具有广泛影响力的市场因素,

考虑从其市场盈利能力和开放程度入手,分别用产业利税与主营业务收入比和出口交货值与产业总产值比来衡量市场环境的支持力度。近年来,科技服务条件的改善和科技服务能力的提升使科技服务成为助推战略性新兴产业发展的新支点,可以选用全国从事该产业科技机构服务人数占全国该产业从业人数来体现科技服务的普及程度,进而反映其服务水平。社会经济发展水平是人民生活水平高低的体现,采用人均 GDP 增长率作为具体衡量指标。技术进步水平可由产业劳动生产率来表示,衡量方法为同期该产业工业增加值与从业人数之比。

环境支撑能力为其他三大模块提供了必要支持,同时也直接或间接地影响着战略性新兴产业自主技术创新能力的形成。结合对战略性新兴产业的实地调研和学者专家的意见,经过多次提炼和测试,建立了一个多级评价指标体系,如表 1 所示。

(二) 评价指标体系组合赋权

本研究综合运用 Delphi-AHP 法和 Entropy 法对评价指标体系进行组合赋权。采用该综合集成方法所确定的指标权数,既可以参考和保留了专家学者们的主观意见,又能够体现数据的客观规律,提高了评价结果的真实可靠性。

主观权数确定中,采用专家调查法发放问卷,在取得专家小组较为一致的反馈意见后,利用加权平均法得到评分结果,利用 yaahp0.5.3 层次分析法软件,计算各级指标主观权数。其中,通过 Delphi-AHP 法的求解,得到三级指标权数(W')分别为: (0.800 0, 0.200 0); (0.527 8, 0.332 5, 0.139 6); (0.333 3, 0.666 7); (0.750 0, 0.250 0); (0.250 0, 0.750 0); (0.587 6, 0.323 4, 0.089 0); (0.875 0, 0.125 0)。

采用熵值法(Entropy)确定评价指标的客观权数。根据熵值法的计算步骤,通过编制 Matlab 程序进行运算,得到了三级指标权数(W'')分别为: (0.501 8, 0.498 2); (0.254 6, 0.315 6, 0.429 8); (0.012 0, 0.988 0); (0.355 8, 0.644 2); (0.983 6, 0.016 4); (0.973 4, 0.023 9, 0.003 7); (0.775 9, 0.224 1)。

按照基于单元化约束条件的组合赋权步骤^[21],进一步计算,得出重要性系数 $\bar{\alpha}^* = 0.6755$ 和 $\bar{\beta}^* = 0.3245$; 将系数带入组合权数计算公式 $W = \bar{\alpha}^* W' + \bar{\beta}^* W''$, 最终求得的三级指标权数结果为:

(0.703 2, 0.296 8); (0.439 1, 0.327 0, 0.233 8); (0.229 0, 0.771 0); (0.622 1, 0.377 9); (0.488 1, 0.512 0); (0.712 8, 0.226 2, 0.061 3); (0.842 8, 0.157 2)。以上各指标权数计算结果如表 1 所示。

表 1 评价指标体系及权数

一级指标	二级指标	三级指标
A1 自主技术创新资源投入能力(0.1608)	B1 创新人才投入强度(0.3090)	C1 R&D 人员数比例(0.703 2)
	B2 创新经费投入强度(0.5816)	C2 科技人员人均劳务费用支出(0.296 8)
	B3 仪器设备投入强度(0.1095)	
A2 自主技术创新执行能力(0.2705)	B4 官产学研合作创新能力(0.1744)	
	B5 自主研发能力(0.6941)	C3 自主研发经费投入比率(0.439 1)
		C4 自主研发人员投入比率(0.327 0)
		C5 发明专利拥有数(0.233 8)
	B6 创新扩散能力(0.1315)	C6 技术改造经费支出(0.229 0)
		C7 每千人专利申请数(0.771 0)
A3 自主技术创新产出能力(0.4233)	B7 成果产出能力(0.2500)	C8 新产品产值率(0.622 1)
		C9 新产品劳动生产率(0.377 9)
	B8 成果商业化能力(0.7500)	C10 科技成果转化程度(0.488 1)
		C11 新产品市场适应程度(0.512 0)
A4 自主技术创新环境支撑能力(0.1453)	B9 金融、政策环境(0.077 0)	C12 政府资金和金融机构贷款占科技活动经费筹集额的比重(0.7128)
		C13 财政科技支出占科技活动经费内部支出的比重(0.226 2)
		C14 财政教育支出占教育经费总支出的比重(0.061 3)
	B10 市场环境(0.395 9)	C15 市场盈利能力(0.842 8)
		C16 市场开放程度(0.157 2)
	B11 科技服务水平(0.152 0)	
	B12 社会经济发展水平(0.174 6)	
	B13 技术进步水平(0.200 5)	

三、多级优度评价模型构建

优度评价法是基于可拓论的多指标综合评价方法，通过关联函数建立事物之间、因素之间的关联程度和数量的有机联系，进而确定待评对象关于某评价指标符合要求的程度^[22]。

(一) 多级物元模型

可拓学中的物元是由物 O ，特征 C 以及特征的量值 X 共同构成的有序三元组，记为 $R=(O,C,X)$ 。若 O_i 有 n_i 个二级评价指标，则有 $C_i=(C_{i1},C_{i2},\cdots,C_{in_i})$ ， $X_i=(X_{i1},X_{i2},\cdots,X_{in_i})$ ，用 C_{im_i} 表示第 i 个一级指标下的第 m_i 个二级指标 ($m_i=1,2,\cdots,n_i$)， X_{im_i} 表示二级评价指标 C_{im_i} 的实际测量值，则待评对象 O_i 的物元模型可表示为：

$$R_i = \begin{bmatrix} O_i & C_{i1} & X_{i1} \\ & C_{i2} & X_{i2} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_{in_i} & X_{in_i} \end{bmatrix}$$

(1)

将战略性新兴产业自主技术创新能力设定为评价对象 O ，已知有 4 个一级评价指标，第 i 个一级评价指标 O_i 所对应的物元关系用 $R_i(i=1, 2, 3, 4)$ 表示，则 $R=(R_1, R_2, R_3, R_4)$ 。依据已有评价指标体系，可建多级物元模型：

$$R = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \\ R_4 \end{bmatrix} = \left\{ \begin{bmatrix} O_1 & C_{11} & X_{11} \\ & C_{12} & X_{12} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_{1n_1} & X_{1n_1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} O_2 & C_{21} & X_{21} \\ & C_{22} & X_{22} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_{2n_2} & X_{2n_2} \end{bmatrix} \right.$$

$$\left[\begin{array}{ccc} O_3 & C_{31} & X_{31} \\ & C_{32} & X_{32} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_{3n_3} & X_{3n_3} \end{array} \right] \left[\begin{array}{ccc} O_4 & C_{41} & X_{41} \\ & C_{42} & X_{42} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_{4n_4} & X_{4n_4} \end{array} \right] \quad (2)$$

(二) 经典域、节域和关联函数

可拓集描述了事物的可变性, 用 $(-\infty, +\infty)$ 中的数来描述事物具有某种性质的程度, 用质变域描述事物是与非的相互转化。零界和论域的边界是可拓集的两条疆界, 超越任意一条疆界, 事物都会产生质变^[23]。经典域是指评价物元中各指标关于各个优度等级的量变范围, 节域是指评价物元中各指标相对于优度等级全体的最大取值范围。

关联函数是用来定量化描述客观事物从量变到质变的过程, 同时可以计算出事物具有某种性质的程度。针对不同的具体问题, 必须要建立恰当的关联函数, 才能达到合理解决问题的目标。对所建评价指标体系而言, 其所有指标值都应该是越大越好, 各级指标的取值越大, 表示对应的该项能力就越强, 越能充分发挥各种资源和能力, 实现整体能力最大化。因此, 为了体现这种正向关联的性质, 选择最优点在经典域最右侧的关联函数, 即当待评物元量值 $x_{oim_i} = b_{jim_i}$ 时, 与其对应的等级关联度最大。结合可拓工程方法, 可得第 i 个一级指标下第 m_i 个二级指标的量值 x_{im_i} 与第 $j(j=1, 2, \dots, r)$ 等级区间 X_{jim_i} 的位置关系为:

$$\rho(x_{im_i}, b_{jim_i}, X_{jim_i}) = \begin{cases} a_{jim_i} - x_{im_i}, & x_{im_i} \leq b_{jim_i} \\ x_{im_i} - b_{jim_i}, & x_{im_i} > b_{jim_i} \end{cases} \quad (3)$$

同理得 x_{im_i} 与节域区间 X_{pim_i} 的位置关系为:

$$\rho(x_{im_i}, d_{pim_i}, X_{pim_i}) = \begin{cases} c_{pim_i} - x_{im_i}, & x_{im_i} \leq d_{pim_i} \\ x_{im_i} - d_{pim_i}, & x_{im_i} > d_{pim_i} \end{cases} \quad (4)$$

由于 $X_{jim_i} \subset X_{pim_i}$, 且无公共端点, 故 $\rho(x_{im_i}, d_{pim_i}, X_{pim_i}) \neq \rho(x_{im_i}, b_{jim_i}, X_{jim_i})$, 则 x_{im_i} 与第 j 等级区间套 $X_{jim_i} \leq a_{jim_i}, b_{jim_i} >$ 和 $X_{pim_i} \leq c_{pim_i}, d_{pim_i} >$ 的位值为:

$$D(x_{im_i}, X_{jim_i}, X_{pim_i}) = \begin{cases} \rho(x_{im_i}, d_{pim_i}, X_{pim_i}) - \rho(x_{im_i}, b_{jim_i}, X_{jim_i}), & x_{im_i} \notin X_{jim_i} \\ \rho(x_{im_i}, d_{pim_i}, X_{pim_i}) - \rho(x_{im_i}, b_{jim_i}, X_{jim_i}) + a_{jim_i} - b_{jim_i}, & x_{im_i} \in X_{jim_i} \end{cases} \quad (5)$$

因此, 建立最优点在经典域右端点的初等关联函数为:

$$K_j(x_{im_i}) = \frac{\rho(x_{im_i}, b_{jim_i}, X_{jim_i})}{D(x_{im_i}, X_{jim_i}, X_{pim_i})} = \begin{cases} \frac{\rho(x_{im_i}, b_{jim_i}, X_{jim_i})}{\rho(x_{im_i}, d_{pim_i}, X_{pim_i}) - \rho(x_{im_i}, b_{jim_i}, X_{jim_i})}, & x_{im_i} \notin X_{jim_i} \\ \frac{\rho(x_{im_i}, b_{jim_i}, X_{jim_i})}{\rho(x_{im_i}, d_{pim_i}, X_{pim_i}) - \rho(x_{im_i}, b_{jim_i}, X_{jim_i}) + a_{jim_i} - b_{jim_i}}, & x_{im_i} \in X_{jim_i} \end{cases} \quad (6)$$

由此可见, 当 $K_j(x_{im_i}) < 0$ 时, $x_{im_i} \notin X_{jim_i}$; 当 $K_j(x_{im_i}) \geq 0$ 时, $x_{im_i} \in X_{jim_i}$, 并且 x_{im_i} 与 $K_j(x_{im_i})$ 之间存在正向递增关系, 而 $K_j(x_{im_i})$ 值越大, 则表示指标 x_{im_i} 属于第 j 等级的程度越明显, 同时可根据这种递增性直接对多个评价对象进行排序。

(三) 可拓综合评价方法

构造二级指标 C_{im_i} 关于所有等级的关联度矩阵 $K(x_{im_i}) = (K_j(x_{im_i})) (j=1, 2, \dots, r)$, 令 C_{im_i} 的权数为 ω_{im_i} , 则所对应的二级指标的权向量为 $W_{im_i} = (\omega_{im_i})$, 由此可得各一级评价指标的可拓综合评价模型:

$$K(x_i) = (K_j(x_i)) = [\omega_{i1}, \omega_{i2}, \dots, \omega_{ir}] \times \begin{bmatrix} K_1(x_{i1}) & K_2(x_{i1}) & \dots & K_r(x_{i1}) \\ K_1(x_{i2}) & K_2(x_{i2}) & \dots & K_r(x_{i2}) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ K_1(x_{in_i}) & K_2(x_{in_i}) & \dots & K_r(x_{in_i}) \end{bmatrix} \quad (7)$$

若满足 $K_{j_0}(x_i) = \max_{j=\{1, 2, \dots, r\}} K_j(x_i)$, 则称待评指标

C_i 属于第 j_0 等级。同理可判断其他层级指标的综合可拓评价模型和隶属等级。

四、算例分析

为了验证以上评价指标体系和评价方法, 选取湖南省医药制造业进行算例分析。目前, 湖南省医药制造领域的高新技术企业达 258 家, 占全省总数的 14.2%, 数量在 9 个高新技术领域中排第 3 位。2016 年上半年湖南省经济运行数据显示, 医药制造产业继续维持 10%以上的高速增长, 比全国医药制造业平均水平高 2.1 个百分点, 比全省工业平均水平高 5.5 个百分点^[24]。在经济下行压力继续增大、多个产业板块持续低迷的大背景下, 湖南省药制造业能够继续保持强势发展劲头与该产业自主技术创新能力的不断提升密不可分。

根据国家统计局公布的《战略性新兴产业分类

(2012)》(试行)标准,生物技术产业有三个子类,其中生物药品制造业与现有国民经济行业分类中的医药制造业有较大关联。因此,为简化计算,主要以《湖南统计年鉴》(2012—2015年)中湖南省医药制造业2011—2014年的实际数值作算例分析,并对该产业自主技术创新能力进行评价,原始数据如表2所示。评价因子后面的数据为按权折合后的指标权数,评价指标体系中部分二级指标不设下级指标,将二、三级指标按权合并为同级的评价因子,直接进行一级指标的优度评价。

结合战略性新兴产业的特点和专家意见,确定了经典域和节域,规定每两个经典域区间之间不存在公共端点,如表3所示。

为了使评价结果具有更强的实际导向作用,优度等级均划分为四个级别:较弱、一般、较强、强,与其相对应的经典域分别记为 R_1, R_2, R_3, R_4 。

根据评价对象的特性,结合公式(5)、(6)分别计算

出不同年度第一级评价指标的综合关联度,如表4所示。

在此基础上,进行第二级优度评价。依据对每个一级指标的综合关联度及权数计算结果,结合公式(7)得到湖南省医药制造业自主技术创新能力在2011—2014年的综合关联度,其等级隶属情况如表5所示。评价结果表明:2011—2014年,湖南省医药制造业自主技术创新能力从“较弱”水平经过了“一般”水平,提升为“较强”水平。

依据可拓评价中关联度的意义,可知多个评价对象关于同一优度等级,综合关联度越大者具有更多该等级的特征,隶属于该等级的程度也越大。选用最优点在经典域右端点的关联函数,表示离右端点越近,则关联度越大,即所属等级的程度也越大,拥有的某项能力越强。在2011年,湖南省医药制造业自主技术创新能力与“较弱”等级的关联度最大,其次是“一般”,第三是“较强”,最小为“强”,这表明该产业自

表2 原始数据统计表

评价因子(权数)	年份			
	2011	2012	2013	2014
C1 R&D活动人员数比例(0.217 3)	0.108 5	0.126	0.128 0	0.160 0
C2 科技人员人均劳务费用支出(0.091 7)	2.533 1	4.080 1	6.471 1	6.560 0
B2 创新经费投入强度(0.581 6)	0.011 0	0.018 8	0.016 0	0.016 8
B3 仪器设备投入强度(0.109 5)	0.077 7	0.062 8	0.129 7	0.102 0
B4 官产学研合作能力(0.174 4)	9	14	16	17
C3 自主研发经费投入比率(0.304 8)	0.875 7	0.614 1	0.896	0.912
C4 自主研发人员投入比率(0.227 0)	0.547 4	0.813 2	0.706 5	0.703 0
C5 发明专利拥有数(0.162 3)	195	310	382	659
C6 技术改造经费支出(0.030 1)	0.044 5	0.052 0	0.081 1	0.073 9
C7 每千人专利申请数(0.101 4)	1.183 6	6.061 7	27.437 5	33.805 0
C8 新产品产值率(0.155 5)	0.095 3	0.200 5	0.222 5	0.233 3
C9 新产品劳动生产率(0.094 5)	6.265 0	17.560 6	47.600 0	59.600 0
C10 科技成果转化程度(0.366 1)	0.087 7	0.206 5	0.221 6	0.239 0
C11 新产品市场适应程度(0.384 0)	0.885 3	0.984 1	0.955 6	0.972 2
C12 政府资金和金融机构贷款占科技活动经费筹集额的比重(0.054 9)	0.020 4	0.074 2	0.038 1	0.068 2
C13 财政科技支出占科技活动经费内部支出的比重(0.017 4)	0.194 9	0.162 1	0.205 0	0.191 0
C14 财政教育支出占教育经费总支出的比重(0.004 7)	0.603 1	0.648 3	0.723 0	0.773 0
C15 市场盈利能力(0.333 7)	0.170 9	0.150 4	0.143 0	0.135 0
C16 市场开放程度(0.062 2)	0.018 3	0.019 6	0.017 2	0.019 7
B11 科技服务水平(0.152 0)	0.017 6	0.033 4	0.054 0	0.063 9
B12 社会经济发展水平(0.174 6)	0.128 3	0.112 1	0.093 3	0.087 2
B13 技术进步水平(0.200 5)	50.421 2	60.022 5	66.412 1	79.141 2

表 3 战略性新兴产业自主技术创新能力的经典域和节域

评价因子	较弱	一般	较强	强	节域
C1	[0,0.05]	(0.05,0.1]	(0.1,0.15]	(0.15,0.2]	[0,0.2]
C2	[0,2.4]	(2.4,4.8]	(4.8,7.2]	(7.2,10]	[0,10]
B2	[0,0.025]	(0.025,0.05]	(0.05,0.075]	(0.075,0.1]	[0,0.1]
B3	[0,0.05]	(0.05,0.12]	(0.12,0.21]	(0.21,0.32]	[0,0.32]
B4	[0,5]	(5,10]	(10,15]	(15,20]	[0,30]
C3	[0,0.3]	(0.3,0.5]	(0.5,0.75]	(0.75,1]	[0,1]
C4	[0,0.3]	(0.3,0.5]	(0.5,0.75]	(0.75,1]	[0,1]
C5	[0,250]	(250,600]	(600,1000]	(1000,1500]	[0,1500]
C6	[0,0.04]	(0.04,0.10]	(0.10,0.18]	(0.18,0.3]	[0,0.3]
C7	[0,10]	(10,20]	(20,30]	(30,40]	[0,40]
C8	[0,0.1]	(0.1,0.2]	(0.2,0.35]	(0.35,0.5]	[0,0.5]
C9	[0,20]	(20,40]	(40,60]	(60,80]	[0,80]
C10	[0,0.1]	(0.1,0.2]	(0.2,0.35]	(0.35,0.5]	[0,0.5]
C11	[0,0.3]	(0.3,0.5]	(0.5,0.8]	(0.8,1]	[0,1]
C12	[0,0.02]	(0.02,0.05]	(0.05,0.08]	(0.08,0.15]	[0,0.15]
C13	[0,0.075]	(0.075,0.15]	(0.15,0.25]	(0.25,0.35]	[0,0.35]
C14	[0,0.25]	(0.25,0.5]	(0.5,0.75]	(0.75,1]	[0,1]
C15	[0,0.07]	(0.07,0.15]	(0.15,0.22]	(0.22,0.3]	[0,0.3]
C16	[0,0.025]	(0.025,0.05]	(0.05,0.075]	(0.075,0.1]	[0,0.1]
B11	[0,0.025]	(0.025,0.05]	(0.05,0.075]	(0.075,0.1]	[0,0.1]
B12	[0,0.07]	(0.07,0.15]	(0.15,0.22]	(0.22,0.3]	[0,0.3]
B13	[0,25]	(25,50]	(50,75]	(75,100]	[0,100]

表 4 2011—2014 年湖南医药制造业一级评价指标综合关联度计算结果

一级评价指标	年份	关联度结果				等级
		较弱	一般	较强	强	
自主技术创新资源投入能力	2011	0.139 3	-0.175 4	-0.544 8	-0.702 5	较弱
	2012	0.305 9	-0.126 3	-0.410 7	-0.616 8	较弱
	2013	0.188 6	-0.274 8	-0.294 7	-0.553 8	较弱
	2014	0.229 7	-0.203 5	-0.393 0	-0.504 9	较弱
自主技术创新执行能力	2011	0.141 8	-0.106 5	-0.388 5	-0.484 9	较弱
	2012	-0.261 8	-0.040 8	-0.176 7	-0.408 2	一般
	2013	-0.802 5	-0.275 1	0.006 0	-0.286 3	较强
	2014	-0.848 0	-0.425 9	-0.120 1	-0.073 4	强
自主技术创新产出能力	2011	0.261 9	-0.151 5	-0.350 3	-0.403 5	较弱
	2012	-0.402 5	-0.176 8	-0.070 0	-0.114 6	较强
	2013	-0.740 7	-0.318 8	0.598 4	-0.403 4	较强
	2014	-0.765 8	-0.406 9	0.159 9	-0.276 6	较强
自主技术创新环境支撑能力	2011	-0.063 5	-0.080 6	-0.148 2	-0.402 9	较弱
	2012	-0.208 8	-0.025 3	-0.166 8	-0.326 4	一般
	2013	-0.682 1	0.534 0	-0.246 4	-0.999 7	一般
	2014	-0.718 3	0.082 2	-0.059 1	-0.740 3	一般

表5 2011—2014年湖南省医药制造业自主技术创新能力
综合可拓评价结果

年份	综合关联度结果				等级
	较弱	一般	较强	强	
2011	0.162 4	-0.132 9	-0.362 5	-0.473 5	较弱
2012	-0.222 3	-0.109 9	-0.167 7	-0.305 5	一般
2013	-0.599 4	-0.176 0	0.171 7	-0.482 5	较强
2014	-0.621 0	-0.308 2	-0.036 6	-0.325 7	较强

主技术创新能力正蓄势待发,向着“一般”等级发展;同理可知,在2012年,湖南省医药制造业自主技术创新能力是处于“一般”等级中偏向“较强”等级的发展状态;到2013年和2014年,该产业的自主技术创新能力发展为“较强”等级。对4年的湖南省医药制造业自主技术创新能力评价结果进行排序,2013年和2014年该产业都在较强等级,但2014年优度评价价值(-0.036 6)小于2013年(0.171 7);2012年等级小于2013年,但高于2011年,因此自主创新能力优度最终排序为:2011年<2012年<2014年<2013年,具体数据可见表6。

表6 2011—2014年湖南省医药制造业自主技术创新能力
可拓排序结果

	2011	2012	2013	2014
所属等级	较弱	一般	较强	较强
优度评价价值	0.162 4	-0.109 9	0.171 7	-0.036 6
可拓排序	4	3	1	2

从这几年的发展情况看,湖南省医药制造业自主技术创新能力的发展基本上可分为较明显的两个阶段。从2011年到2012年,自主技术创新能力状态从较弱逐渐发展到一般水平,从关联度结果分析,主要是自主技术创新执行能力、产出能力和环境支撑能力均得到了加强;2012年到2013年自主技术创新能力状态从一般水平提升到较强水平,主要归结为自主技术创新执行能力、产出能力的发展贡献;而2013年到2014年的自主技术创新能力基本处于维持状态。同时可知,近年来资源投入能力和环境支撑能力发展相对缓慢,是制约该产业自主技术创新能力继续提升发展的主要瓶颈,其发展的策略和措施可以从相关二级、三级指标上找到切入点。可见,对多级优度评价结果进行分析,不仅能客观评价战略性新兴产业自主技术创新能力整体发展状况、驱动因素及主要原因,还能挖掘出制约发展的瓶颈环节和政策发力点。

五、结论与展望

通过分析战略性新兴产业自主技术创新能力的形成过程,结合湖南省战略性新兴产业的特点,构建了一个包含4个一级指标、13个二级指标和16个三级指标的评价指标体系,采用Delphi-AHP组合方法确定一、二级指标权数,利用Delphi-AHP-Entropy法计算三级指标的组权数,根据可拓关联函数对构成战略性新兴产业自主技术创新能力的各维度进行优度评价。算例结果显示,该方法将定性分析和定量分析较好地结合起来,能科学和客观地判断战略性新兴产业自主技术创新能力各维度的现状、水平的高低以及整体发展趋势,决策者亦能根据该指标体系和评价模型提高分析的针对性和提出更具操作意义的对策建议。

算例仅采用湖南省医药制造业数据进行分析,在以后的研究中,可通过收集不同区域、不同产业的数据对战略性新兴产业自主技术创新能力进行横向对比分析,并结合多级可拓评价的结果进行更为深入地剖析和挖掘,为决策者提供更为精确可靠的理论依据。

参考文献:

- [1] 中国经济热点分析报告. 战略性新兴产业: 推动中国经济增长的下一组支柱产业[EB/OL]. <http://wenku.baidu.com/view/00909ccca1c7aa00b52acbf6.html>, 2011-10-12.
- [2] 徐新, 高山行. 企业自主技术创新测度研究: 基于资源、能力和技术成果归属的整合模型[J]. 技术经济, 2011, 30(8): 11-16.
- [3] 徐新, 高山行. 基于建立测量指标的自主技术创新概念研究[J]. 科学学与科学技术管理, 2009, 30(9): 46-52.
- [4] 杨楠. 河南省高新技术产业自主创新能力评价[J]. 科学管理研究, 2012, 30(1): 27-31.
- [5] 经济合作与发展组织, 欧盟统计署. 奥斯陆手册: 创新数据的采集和解释指南[M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 2011.
- [6] 国家统计局中国国情研究会. 中国企业自主创新能力分析报告提要[EB/OL]. <http://business.sohu.com/20051105/n240663574.shtml>, 2005-11-05.
- [7] 陈劲, 刘景江, 杨发明. 绿色技术创新审计指标测度方法研究[J]. 科研管理, 2002, 23(2): 64-71.
- [8] 陈劲, 刘景江, 杨发明. 绿色技术创新审计实证研究[J]. 科学学研究, 2002, 20(1): 107-112.
- [9] 林平凡, 高怡冰. 企业自主技术创新能力评价指标体系研究[J]. 科技管理研究, 2006, 26(12): 40-42.
- [10] Wang C H, Lu I Y, Chen C B. Evaluating firm technological

- innovation capability under uncertainty [J]. *Technovation*, 2008, 28(6): 349–363.
- [11] 宋河发, 穆荣平. 自主创新能力及其测度方法与实证研究——以我国高技术产业为例[J]. *科学学与科学技术管理*, 2009, 30(3): 73–80.
- [12] 游达明, 陈凡兵. 产业自主技术创新能力突变评价模型研究[J]. *科技管理研究*, 2008, 28(11): 70–73.
- [13] Shan W, Zhang Q. Extension theory and its application in evaluation of independent innovation capability [J]. *Kybernetes*, 2009, 38(3/4): 457–467.
- [14] 吴佳. 天津市高技术产业技术创新能力评价研究[D]. 天津: 天津大学, 2011.
- [15] 鲁正莉. 西部地区高技术产业自主技术创新能力评价研究[D]. 重庆: 重庆工商大学, 2012.
- [16] 谢黎. 战略性新兴产业竞争力评价方法探讨[J]. *统计与决策*, 2015(15): 60–62.
- [17] 徐建中, 王纯旭. 产业自主创新能力自适应遗传算法组合评价[J]. *哈尔滨工程大学学报*, 2016, 37(10): 1–8.
- [18] 石书德. 企业技术创新能力评价研究评述[J]. *技术管理研究*, 2013, 33(10): 13–16.
- [19] 曹兴, 张云, 张伟. 战略性新兴产业自主技术创新能力形成的动力体系[J]. *系统工程*, 2013, 31(7): 78–86.
- [20] 苏屹, 李柏洲. 基于随机前沿的区域创新系统创新绩效分析[J]. *系统工程学报*, 2013, 28(1): 125–133.
- [21] 王书吉. 大型灌区节水改造项目综合后评价指标权重确定及评价方法研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2009.
- [22] 蔡文, 杨春燕, 林伟初. 可拓工程方法[M]. 北京: 科学出版社, 1997.
- [23] 杨春燕, 蔡文. 可拓工程研究[J]. *中国工程科学*, 2000, 2(12): 90–96.
- [24] 湖南省科技厅. 科技创新护航我省医药产业持续健康发展[EB/OL]. http://kjt.hunan.gov.cn/xxgk/gzdt/kjcx/201608/t20160803_3120459.html, 2016–08–03.

Measurement and evaluation of independent technological innovation capability of strategic emerging industry

CAO Xing^{1, 2}, ZHANG Wei^{1, 3}, ZHANG Yun³

(1. Business School of Central South University, Changsha 410083, China;

2. Hunan First Normal University, Changsha 410205, China;

3. College of Business, Hunan University of Technology, Zhuzhou 412007, China)

Abstract: Independent technological innovation capability of strategic emerging industry includes four sub-capacity modules: resources capability, executive capability, output capacity, and environment supporting capability. By using these four modules as the first level indicators of the evaluation index system, the present study chose multi-level priority-degree evaluation method to conduct comprehensive evaluation, and took Hunan's pharmaceutical industry as an illustrative example to provide references for decision-making.

Key Words: strategic emerging industry; independent technological innovation capability; priority-degree evaluation

[编辑: 谭晓萍]