

产业集群内基于时间和距离的技术创新扩散模型研究

邵云飞, 杜晓明

(电子科技大学 管理学院, 四川 成都 610054)

摘要:以创新和扩散为导向的集群经济效益已成为产业集群的竞争优势所在。基于时间和空间距离因素,构建了产业集群内的技术创新空间扩散模型,应用数据仿真实验,分析了在集群内进行技术创新空间扩散的动态过程,探讨了模型参数变化对技术创新扩散的影响,并着重分析了空间距离对技术创新扩散的影响。结果表明,产业集群内的技术创新扩散是典型的时空统一扩散过程,空间距离会阻碍技术创新的扩散,而且集群内采用技术创新的企业数量与距离因素呈负指数关系,为客观地预测和控制产业集群内时空统一的技术创新扩散过程提供了理论依据。

关键词:产业集群;技术创新;空间扩散;时空距离

DOI:10.3969/j.issn.1001-7348.2011.20.015

中图分类号:F091.354

文献标识码:A

文章编号:1001-7348(2011)20-0067-05

0 引言

技术创新是一个社会或企业获得持续竞争力的关键,也是一个国家或地区经济实现增长的主要推动力。产业集群是在特定领域内相互联系、在地理位置上相对集中的企业和机构的集合。其具体包括一批对竞争起重要作用的、相互联系的产业和其它实体,并向下延伸至销售渠道和客户,或从侧面扩展到辅助性产品的制造商,以及与技术、技能或投入相关的其它企业。产业集群能够将企业及相关机构的优势充分结合,形成并充分发挥集群的知识外溢效应、互补性效应,因此产业集群有促进知识、资源、技术、信息传播与扩散的机制和动力。这对于培养企业或集群的技术创新能力、促进区域技术创新能力的形成^[1],都有重大的推进作用。

由于技术创新的先进性、独特性等特征,并非每个企业都能自己研发出新技术,而大多时候是通过采用和吸收集群内的技术创新来发展自己。由此来看,产业集群内的技术创新扩散更利于企业技术创新能力及其竞争力的提高。技术创新对集群内的经济增长、生产率的提高、生产技术新观念的产生以及新生产组织管理方式的形成等多方面的影响,都是通过技术创新

的扩散来实现的。正是有了这些技术创新扩散,产业集群才能持续不断地发展。

然而,产业集群是不断变化发展的,群内的技术创新扩散由技术创新源、潜在使用者和传播渠道构成,并表现为技术创新在空间上的传播和转移。产业集群内的技术创新扩散不但随时间的迁移而变化,而且受创新源与潜在使用者之间距离的改变而变化。距离技术创新源的远近程度会影响企业获得技术创新的成本,同时影响各企业对技术创新的选择。当一项技术创新与潜在使用者距离较远时,潜在使用者会考虑使用这项技术创新的成本和收益,从而影响技术创新的应用。因此,产业集群内的技术创新扩散过程是随时间和空间距离的改变而变化的,只有将技术创新扩散的时空过程统一起来,才能真实、客观地反映技术创新扩散的本质过程。

1 文献回顾

国外许多学者研究了产业集群内技术创新随时间变化而扩散的特征,但大多是基于时间因素的理论研究。曼斯菲尔德, D. L. Anderson、Webber 等研究了基于 Logistic 模型的技术创新扩散特征^[2-4],即产业集群内采用技术创新的企业累计数量与时间的变化与生物

收稿日期:2010-12-31

基金项目:教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-08-0094);科技部科技基础性工作专项项目(2007FY140400)

作者简介:邵云飞(1963-),女,浙江金华人,电子科技大学经济与管理学院教授、博士生导师,研究方向为创新管理;杜晓明(1984-),男,陕西宝鸡人,电子科技大学经济与管理学院硕士研究生,研究方向为创新管理。

种群的进化模式相似; Rui Baptista 联系公司的战略特征,从经济学视角研究了基于 Logistic 曲线的网络文化的技术扩散过程、传播和学习效应^[5]; Jarmo Ilonen 等人研究了预测技术创新扩散的自动框架模型^[6]; C. Michalakelis 等人^[7]认为高技术产品的市场创新较快,后代效应明显,并以 Logistic 曲线为基础,研究了具有后代效应的技术扩散模型; 瑞典地理学家 T. Hagesstrand^[8]认为,空间距离是影响信息流动的最主要阻力因素,并从形式上将扩散区分为 3 种不同的类型,即接触扩散、等级扩散和迁移扩散; Per Botolf Maurseth, Bart Verspagen 通过对欧洲地区技术溢出情况的研究,得出:两个地区间的溢出效应是随着距离的增加而显著减少,距离每增加 1%,就会使预期溢出减少 0.37%^[9]。

我国学者也对产业集群内的技术创新扩散进行了大量研究。方世建^[10]认为技术创新扩散是一个马尔科夫随机过程,探讨了显性和隐性两类创新技术的扩散现象; 陈旭在假设产业集群内的技术创新扩散具有马尔科夫性质的基础上,研究了产业集群内采用技术创新的企业累计数量随时间变化的模型,并且分析了模型中参数的变化对技术创新扩散速度和加速度的影响^[11]; 聂荣等人研究了多技术创新扩散随时间变化而变化的特征,建立了网络式及辐射式两种技术创新扩散模型,并根据微分方程的定性理论对模型进行了分析^[12]; 廖志高、徐玖平提出了一种基于两种不同群体之间成员流动的创新技术扩散动力学速度模型,并对该动力学模型进行了稳定分析^[13]; 徐玖平、陈学志研究了早育秧技术创新扩散的动力机制模型,用控制论的方法对模型进行了探讨^[14]。以上理论研究都是基于时间变化的扩散研究,其大多理论都应用 logistic 曲线分析。关于技术创新扩散的实证研究,如: 窦丽琛、李国平两位学者^[15]通过技术创新扩散,对我国区域生产力的影响实证研究发现,距离对地区间的技术创新扩散存在负影响; 刘笑明、李同升以杨凌示范区作为创新源头、周边区域作为扩散区域,通过实际调查与数据分析,探讨了杨凌农业技术创新扩散的空间特征^[16],结果表明:在小尺度的地域范围内,距离确实是影响技术创新扩散的重要阻力因子。陈子凤、官建成(2009)利用投入产出法,结合 R&D 投入指标和网络分析法,对我国制造业的技术创新扩散模式进行了分析^[17]。曾刚^[18]通过对上海张江科技园区的实证研究认为,在不同的空间尺度上距离因子对技术扩散的影响程度并不相同。在小尺度地域范围内,距离构成技术扩散的主要阻力,此时的技术扩散主要表现为接触扩散;但在大尺度—全国乃至全球尺度上,距离并不是影响技术扩散的主要因素,此时的扩散表现为明显的等级扩散。余迎新、康凯^[19]等利用场论方法对技术创新的空间扩散进行了研究,认为技术创新扩散会受到地理空间的制约。

通过以上国内外对产业集群内技术创新扩散的研

究来看,学者们对技术创新随时间因素而变化的扩散过程做了比较充分的研究,对技术创新随空间距离的变化而扩散的过程也有些实证分析,但尚缺乏对其理论模型的研究。有文献认为,集群内大量的企业集中在较小的地理空间范围内,距离的影响较小,从而可以被忽略。然而,产业集群虽然在地里位置上相对集中,空间距离较小,但实际观察后表明:距离因素确实影响技术创新在集群内的扩散,距离技术创新源的远近程度会影响企业获得技术创新的成本,同时影响各企业对技术创新的选择。因此,距离对产业集群内技术创新扩散的影响不可忽视,忽略空间的扩散研究不能抓住技术创新扩散的本质。进一步研究集群内技术创新的空间扩散模型,将其上升到理论高度,对认识和把握技术创新扩散的内在规律、促进技术创新的扩散速度和水平、提升集群竞争力、实现可持续发展、指导有关政策的制定,都有重大意义。

2 模型建立

2.1 模型假设

本文在已有的技术创新扩散随时间变化的研究基础上,为研究产业集群内的技术创新空间扩散作了如下假设:

H1: 集群内的技术创新源是单个的技术创新或没有相互作用、互不影响的多个技术创新。如果集群内有多个相互影响的技术创新源,创新源之间相互促进或相互制约的关系会影响扩散过程。

H2: 扩散环境中的介质均匀分布。扩散空间的特征差异(如政策、资源等)均匀分布在集群内,如果扩散空间的特征差异分布不均匀,则技术创新在此空间的扩散过程会很复杂,甚至无法预测与控制。此假设是为了控制其它因素,单考虑空间距离对技术创新扩散的影响。

H3: 技术创新的扩散是围绕扩散源向周围连续扩散,在空间上具有连续性。技术创新受邻近效应、等级效应等作用,在空间扩散上有 3 种表现形式,即扩展扩散(空间上具有连续性)、等级扩散(遵循一定的等级顺序,进行蛙跳式扩散)、位移扩散(技术创新拥有者随时间产生空间位移)。由于扩散环境中的介质均匀分布,扩散不会呈现出蛙跳式等级顺序,故必然在空间上具有连续性。

H4: 技术创新扩散具有马尔科夫性,即技术创新的时空扩散过程具有无记忆性,企业主要依据目前积累的创新采用情况而制定采用决策^[10-13]。

基于以上假设,来研究基于时间和距离两个因素的产业集群技术创新扩散模型,并定量分析此模型中的参数变化对扩散过程的影响。

2.2 模型构建

产业集群内的技术创新扩散过程是随时间和距离

变化而变化的空间扩散过程, 它受时间和空间距离两个因素的共同作用。设集群内采用该技术创新的潜在最大企业数量为 N , 技术创新扩散时间为 t , 与技术创新源距离为 d 时采用该技术创新的企业数量为 $x(t, d)$, λ 表示基于距离的自然扩散速率。因集群内的距离会影响企业获得技术创新的成本和是否采用创新的决策——当技术创新源与潜在采用者距离较远时, 企业会出于成本和收益的考虑, 有可能放弃使用该项技术创新, 由此距离因素会实际阻碍技术创新的扩散。依据 T. Hagestrand, Per Botolf Maurseth, Bart Verspagen^[8-9] 等学者的实证结果, $\lambda < 0$ 。基于假设, 在距离 $d + \Delta d$ 与 d 之间, 采用该创新技术的企业满足以下差分方程:

$$x(t, d + \Delta d) - x(t, d) = \lambda x(t, d)(\Delta d) \quad (1)$$

令 $x(t, 0) = x(t)$, 即不考虑距离因素时技术创新扩散受时间因素的作用。

其中, $x(t)$ 为产业集群内采用技术创新的企业数量与时间 t 的函数关系, 基于曼斯菲尔德, D. L. Anderson, Webber, 陈旭等学者的研究^[2-4, 11]:

$$x(t) = \frac{NN_0}{N_0 + (N - N_0)e^{-rt}} \quad (2)$$

其中, N 为集群内采用该技术创新的潜在最大企业数量, t 时刻已经采用该创新技术的企业累计数量为 $x(t)$, r 表示基于时间的自然扩散速率, $x(0) = N_0$, 即初始时集群内只有 N_0 家企业拥有该项技术创新。

解式(1), 得:

$$x(t, d) = x(t)e^{\lambda d} = \frac{NN_0 e^{\lambda d}}{N_0 + (N - N_0)e^{-rt}} \quad (\lambda < 0) \quad (3)$$

设参数 $N = 1\ 000, N_0 = 1, \lambda = -0.005, r = 0.02$, 用 Matlab 绘制方程式(3)的曲线, 如图 1 所示。

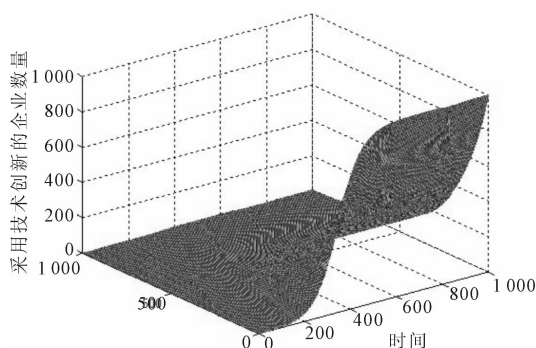


图 1 采用技术创新的企业数量随时间和距离变化的空间扩散过程

由图 1 可知, 产业集群内的技术创新空间扩散是时间和距离两个因素共同作用的结果, 在时间维度上是典型的 logistic 模型曲线, 在距离维度上呈负指数形式。在时空两个维度中, 假设产业集群内某些个体企业采用了技术创新的成果。由于集群内个体企业采用技术创新的这一举动, 形成了由个体企业组成的空间扩散过程, 这个空间过程又形成了空间扩散的布局, 它是技术创新在产业集群内进行空间扩散的产物。在集

群内, 由于某些企业采用了该项技术创新, 创造了更多的价值, 或者节约了资源和成本、提高了系统的运行效率、创造了更大的市场, 从而与集群内未采用此项技术创新的企业形成了“位势差”; 为了消除这种“位势差”, 其它企业就会吸收并采用此项技术创新, 这也促进了技术创新在集群内的扩散。在集群内部, 并非每个企业都采用该项技术创新, 可能只在某些技术方面进行吸收、扩散并再次创新, 进而向技术创新源反馈扩散。

3 模型分析

3.1 产业集群内的技术创新扩散随空间距离变化的模型分析

在式(3)中, 设 $t = 0$, 即只考虑产业集群内技术创新扩散随空间距离变化的过程, 得:

$$x(d) = N_0 e^{\lambda d} \quad (\lambda < 0) \quad (4)$$

设参数 $N_0 = 100, \lambda_1 = -0.002, \lambda_2 = -0.005, \lambda_3 = -0.01$, 用 Matlab 绘制方程式(4)的曲线, 如图 2 左所示。

设参数 $N_{01} = 100, N_{02} = 200, N_{03} = 300, \lambda = -0.005$, 绘制方程式(4)的曲线, 如图 2 右所示。

由图可知, 对不同的基于距离的自然扩散率 λ , 产业集群中基于距离的技术创新扩散曲线保持负指数函数形状不变, 但随着扩散率绝对值的增加, 曲线向左移动, 这就说明集群内与技术创新源较近的企业首先采用技术创新, 距离较远的企业随后或者不采用技术创新。因此, 距离确实能影响技术创新的扩散速率。距离扩散源较近的区域, 由于接收信息较便捷等原因, 使它们在扩散中具有相对其它区域的距离扩散优势, 从而更快地吸收技术创新成果。随着距离的增大, 欲采用创新技术的企业考虑到自身的技术基础、经济基础、市场基础及消化和吸收此项技术创新的能力等因素, 加之采用此技术创新所需的成本较大, 因此采用者的数量逐渐较少, 潜在采用者与技术创新源之间的距离同采用技术创新的企业累积数量呈负指数相关。这也与窦雨琛、李国平的研究结果^[15] 和刘笑明、李同升^[16] 等学者的研究结果相吻合, 即距离对地区间的创新技术扩散存在负影响, 并且基于不同数量的创新源, 技术创新的扩散速度也明显不同。技术创新源较多时, 扩散曲线较陡峭。由于技术创新对周围企业的影响较大, 与其周围形成的“位势差”较大, 而周围企业为了消除这种“位势差”, 采用者数量会增多, 扩散很快就达到稳定状态。

对式(4)两边积分, 得与技术创新源距离为 d 时采用该技术创新的企业累计数量 $X(d)$ 为:

$$X(d) = \int_0^d x(d) dd = \frac{N_0}{\lambda} (e^{\lambda d} - 1) \quad (\lambda < 0) \quad (5)$$

设参数 $N_{01} = 100, N_{02} = 200, N_{03} = 300, \lambda = -0.005$, 用 Matlab 绘制方程式(5)的曲线如图 3 左所示。

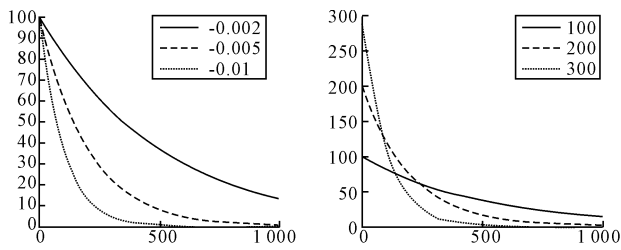


图2 不同技术创新扩散率和技术创新源数量与距离的技术创新扩散平面图

设参数 $N_0 = 100, \lambda_1 = -0.002, \lambda_2 = -0.005, \lambda_3 = -0.01$, 用 Matlab 绘制方程式(5)的曲线如图3右所示。

由图可知,集群内累计采用技术创新的企业数量与距离的变化呈递增关系,即随着企业与技术创新源距离的增大,采用该技术创新的企业累计数量也会增加,但是非累计的采用者数量会减小。对于不同数量的技术创新扩散源,累计采用技术创新的企业数量不同;扩散源较多时,累计采用者的数量较多,达到稳定状态时的距离较远;而当扩散源较少时,在扩散源周围的较小范围内即可达到稳定状态。对于不同的基于距离的自然扩散率,当其绝对值较大时,集群内的技术创新扩散在扩散源周围的较小范围内即可达到稳定状态。

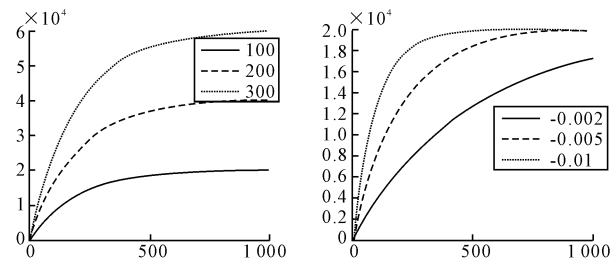


图3 采用技术创新的累计企业数量与距离的变化关系

3.2 产业集群内的技术创新扩散随时间变化的模型分析

在式(3)中,令 $d = 0$, 即只考虑产业集群内的技术创新扩散随时间变化的过程,也即式(2):

$$x(t) = \frac{NN_0}{N_0 + (N - N_0)e^{-rt}}$$

则 t 时刻采用该技术创新的企业数(非累计)或扩散速度为:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{rNN_0(N - N_0)e^{-rt}}{[N_0 + (N - N_0)e^{-rt}]^2} \quad (6)$$

设参数 $N = 1000, N_0 = 1, r_1 = 0.02, r_2 = 0.03, r_3 = 0.05$, 用 Matlab 绘制方程式(2)、(6)的图像,分别为图4左和图4右。

由图可知,集群内的技术创新扩散同自然界中的生物种群进化过程相似,也要经过产生、发展、稳定、共生的演化过程。当产业集群内出现一项技术创新时,采用者面对不确定的市场需求,对此技术创新的了解较少、风险较大,因此采用者较少、扩散速度较慢;随着

该技术创新被了解、认可后,集群内产生的位势差越来越大,这时在利益驱动下群内的潜在使用者急剧增加,使技术创新扩散速度加快,同时促使更多的企业采纳该技术。这就导致集群内竞争加剧,采用该技术创新的利润越来越小,使该项技术创新的市场达到饱和,从而使技术扩散近乎出现停止。对于不同的基于时间的扩散速率,集群内的技术创新扩散要达到饱和状态,其所需时间不同;对于扩散速率较大的技术创新,其达到饱和状态所需时间较少;较小扩散速率的技术创新,其扩散的时间较长。并且不同扩散速率对扩散速度的影响也不同,较大的扩散速率意味着速度变化较快,且到达的峰值较高。

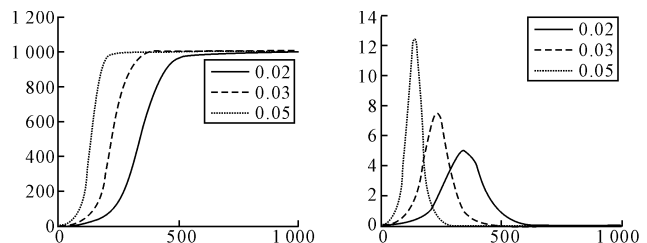


图4 采用技术创新的企业累计数量和非累计数量随时间变化的曲线关系

4 结语

本文在前人基于技术创新随时间扩散的研究基础上,研究了产业集群内技术创新随时间和距离两个因素变化的空间扩散模型,通过对空间扩散的动态过程进行数据仿真实验,显示出产业集群内的技术创新是典型的时空统一扩散过程,并着重分析了集群内的空间距离对技术创新扩散的影响,结果表明距离确实影响集群内的技术创新扩散速率,且空间距离与采用技术创新的企业数量呈负指数关系,时间因素与采用技术创新的企业数量呈典型的 logistic 曲线关系。

而实际当中,产业集群内的技术创新扩散是比较复杂的,不但受企业自身、技术创新等内部因素的影响,还受经济政策、社会支持等外部因素的影响,因此放松文中的假设条件,本文的研究内容仍有待深化。本文仅对产业集群内单技术的空间扩散进行了研究,关于多种技术的扩散过程及技术创新在非匀质环境中的扩散过程将是后续进一步研究的内容。

参考文献:

- [1] 邵云飞,谭劲松. 区域技术创新能力形成机理探析[J]. 管理科学学报, 2006, 9(4): 1-4.
- [2] Wang Wendi, Fergola P. Innovation diffusion model in path Environment[J]. Applied Mathematics and Computation, 2003, 134.
- [3] Mansfield E. Technical change and the rate of imitation [J]. Econometrics, 1961, 29.
- [4] Brow IA. Innovation diffusion[M]. Methuen&Co. Ltd,

- 1981.
- [5] Rui Baptista. The diffusion of process innovations: A selective Review[J]. *International Journal of the Economics of Business*, 1999(6):1.
- [6] Jarmo Ilonen, Joni-Kristian Kamarainen, Kaisu Puumalainen, Sanna Sundqvist, Heikki K71vi7inen. Toward automatic forecasts for diffusion of innovations [J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2006, 73:182.
- [7] Christos Michalakelis, Dimitris Varoutas, Thomas Sphicopoulos. Innovation diffusion with generation substitution effects [J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2009, 11:1-17.
- [8] Hagestrand T. *Innovation as a Spatial Process*[M]. Chicago: University of Press, 1976:12-14.
- [9] 李正风, 曾国屏. 走向跨国创新系统: 创新系统理论与欧盟的实践[M]. 济南: 山东教育出版社, 2001:526-547.
- [10] 方世建. 技术创新扩散的随机过程模型[J]. *数量经济技术经济研究*, 2001(3):70-73.
- [11] 陈旭. 基于产业集群的技术创新扩散研究[J]. *管理学报*, 2005, 2(3):333-336.
- [12] 聂荣, 钱克明, 潘德惠. 基于 Logistic 方程的创新技术传播模式及其稳定性分析[J]. *管理工程学报*, 2006(1):41.
- [13] 廖志高, 徐玖平. 一类技术创新扩散模型的稳定性及其应用[J]. *系统工程理论与实践*, 2007(8):65-72.
- [14] 徐玖平, 陈学志. 早育秧技术扩散模型与实证分析[J]. *管理工程学报*, 2001(1):14-18.
- [15] 窦丽琛, 李国平. 技术创新扩散与区域生产率差异[J]. *科学学研究*, 2004, 22(5):538-541.
- [16] 刘笑明, 李同升. 小尺度地域范围内距离因子对杨凌农业技术创新扩散的影响研究[J]. *科技进步与对策*, 2008, 25(2):117-118.
- [17] 陈子凤, 官建成. 我国制造业技术创新扩散模式的演化[J]. *中国软科学*, 2009(2):20-27.
- [18] 曾刚. 论技术扩散的影响因子[J]. *世界地理研究*, 2006, 15(1):1-7.
- [19] 余迎新, 许立新, 康凯, 等. 技术创新空间扩散机理研究[J]. *河北大学学报: 自然科学版*, 2002, 22(2):124-128.

(责任编辑:胡俊健)

Technology Innovation Diffusion Model Based on Time and Distance in Industry Cluster

Shao Yunfei, Du Xiaoming

(School of Management, Electronic Science and Technology University, Chengdou 610054, China)

Abstract: Cluster economic benefit oriented by innovation and diffusion has become competitive advantage for industrial cluster. Based on the two factors of time and space distance, the paper constructs technological innovation spatial diffusion mathematical model, applies date simulation, and studies the technological innovation spatial diffusion dynamic process within industrial cluster. Then it discusses how the change of parameter influences the technological innovation diffusion in space and analyzes how the change of space length influences diffusion process. The results indicate that technological innovation diffusion is a typical time-space unifies to spread the process, space distance can hinder the process of diffusion and the amount of enterprises adopting to technological innovation taking on negative index with distance in industrial cluster, to supply theoretical evidence to objectively reflect the essence of technological innovation diffusion process in space.

Key Words: Industrial Cluster; Technological Innovation; Spatial Diffusion; Time-Space Diffusion