

基于复杂网络的中国企业互联式创新

安同良 魏 婕 姜 舸

摘 要：数字技术深刻影响着企业创新行为，工业时代的线性创新、交互式创新正在向数字时代的新模式——互联式创新转变。互联式创新是由嵌入互联网的分布式多主体——企业、异质性知识体与消费者，通过目标知识搜寻发生广泛的连接，从而形成知识变革与创新涌现的创新模式。基于复杂网络构建互联式创新模型，揭示互联式创新网络结构的特征；以企业作为节点，解析其在互联式创新网络演化过程中的行为特征；使用中国上市公司数据，对企业互联式创新行为机理进行实证检验。结果表明：数字经济时代，融入互联式创新网络越深，进行互联式创新活动越多，企业创新绩效越好，因为互联式创新行为会形成创新成本节约和知识偏好连接的基本特征。互联式创新为中国技术后发企业的知识搜寻、核心技术突破与创新规制等提供了新路径。

关键词：数字技术 互联式创新 复杂网络 连接成本 知识偏好连接

作者安同良，南京大学商学院教授（南京 210093）；魏婕，南京大学数字经济与管理学院院长聘副教授（苏州 215163）；姜舸，南京大学经济学院助理教授（南京 210093）。

引 言

伴随三次产业革命形成了三种生产组织模式，即手工生产、大规模生产和柔性化协同生产。^① 在手工生产时期，主要由个体工匠通过隐性知识的积累与传播，实现技艺或技术的改进，创新行为更强调能工巧匠的个体而非组织的重要性。^② 随着大规模生产替代手工生产，企业技术创新的标准化、规模化与战略化成为显著特征。此阶段强调的是“单向线性创新模式”，即企业创新被抽象成一个具有先后次序与线

① Michael J. Piore, “The Revival of Prosperity in Industrial Economics: Technological Trajectories, Organizational Structure, Competivity,” in Dominique Foray and Christopher Freeman, eds., *Technology and the Wealth of Nations: The Dynamics of Constructed Advantage*, New York: Printer Publishers, 1993.

② M. Berg, “The Genesis of Useful Knowledge,” *History of Science*, vol. 45, no. 2, 2007, pp. 123-133.

性联系的过程，企业创新行为源于内部组织的基础和应用研究。20世纪80年代后期，随着柔性化协同生产组织方式的普及，“精益生产”与更快的创新—老化周期使得创新活动不再遵循固定的时序或层级结构，“交互式创新”成为主流。

创新是科学、技术和市场之间的耦合。参与者之间互动学习，协同促进知识链、价值链和产业链的融合，表现为一个复杂互动作用的非线性过程。创新动机源于市场需求、独占性和技术机会，创新过程具有不确定性、突发随机性与多种知识融合性等特征，创新模式正在从企业内部的封闭式创新，走向与外部伙伴合作的开放式创新。

以互联网、大数据、区块链、人工智能、基因工程等数字与生物技术深度融合为核心的新一代信息技术革命迅猛发展，人类正在迈入“人机物”融合共生、万物互联的数字时代。传统创新理论已经无法清晰刻画数字时代企业创新行为的内在特征以及创新速度迭代加快的内在动因。^① 创新经济学研究的前沿，正在聚焦以新一代信息通用技术为核心的第四次产业革命引致企业创新行为的革命性变化。

通用技术（General Purpose Technologies）的革新，会导致创新行为的变革以及重大经济转型。从历史范畴来看，人类经历了三种通用技术：蒸汽机、电动机及计算机。^② 正在兴起的新一代信息通用技术——数字技术从根本上改变了创新行为、创新组织甚至创新理论的假设，此类创新是一种典型的颠覆性创新。^③ 在数字时代，企业可以充分利用数字技术，实现创新机会的快速识别、创新资源的高效配置、创新主体的交互参与，从而提升企业运营效率和组织绩效，并改变竞争格局。很多学者用“数字创新”来概括数字时代的企业创新行为，并将其定义为在创新过程中使用信息、计算、沟通和连接技术的组合，创造新的产品、改进生产过程、变革组织模式以及商业模式等。^④

① M. J. Benner and M. L. Tushman, “Reflections on the 2013 Decade Award—‘Exploitation, Exploration, and Process Management: The Productivity Dilemma Revisited’ Ten Years Later,” *Academy of Management Review*, vol.40, 2015, pp.497-514.

② T. Bresnahan, “General Purpose Technologies,” in B. H. Hall and N. Rosenberg, eds., *Handbook of the Economics of Innovation*, Amsterdam:Elsevier, 2010, pp.761-789.

③ A. Kumaraswamy, R. Garud and S. Ansari, “Perspectives on Disruptive Innovations,” *Journal of Management Studies*, vol.55, no.7, 2017, pp.1025-1042; S. Nambisan, M. Wright and M. Feldman, “The Digital Transformation of Innovation and Entrepreneurship: Progress, Challenges and Key Themes,” *Research Policy*, vol.48, no.8, 2019, pp.67-72.

④ S. Huesig and H. Endres, “Exploring the Digital Innovation Process: The Role of Functionality for the Adoption of Innovation Management Software by Innovation Managers,” *European Journal of Innovation Management*, vol.22, no.2, 2019, pp.302-314; 刘洋、董久钰、魏江：《数字创新管理：理论框架与未来研究》，《管理世界》2020年第7期。

梳理相关文献发现既有研究存在以下不足：第一，或聚焦于某一具体数字技术及其产出，或过于宽泛，难以清晰刻画新一代信息通用技术引致企业创新行为的本质特征。第二，虽然说明了数字时代创新主体边界消失、更低的搜索与分享成本，使得创新主体能够更为有效地获取知识与合作，实现开放式网络化创新，^①但在分析方法上仍显不足，并未契合数字经济时代的新研究范式。

数字时代的核心是万物互联的信息化与智能化，“连接”成为万物互联的基本机制。这一新时代最根本变革在于价值链的逆转：供给的传统优势地位让位给需求，消费者成为创新需求与生产的主导者，导致由供给者主导的传统价值链发生了根本性的重构。^②伴随新一代数字通用技术的普及与价值链的颠覆性变革，制造业生产方式与企业组织形态发生根本性改变，即柔性化协同生产日益被智能网络化的生产过程与组织形态替代。这种生产形态最大的特点是，具有技术复杂性、组织复杂性、行为复杂性、适应和驾驭复杂性等“多维复杂性”。对于万物互联数字时代的“多维复杂性”特征，大多数学者仍应用新古典经济学的框架，他们为了逻辑自洽从未考虑经济系统的复杂性与持续演化特征。^③复杂经济学与新古典经济学在思维逻辑、理论范式与研究方法层面均有本质区别。^④与人类进入万物互联数字时代引致形成更复杂的智能网络化生产相契合，以复杂经济学新范式的主要分析工具——复杂网络来剖析数字时代企业创新模式正当其时。

复杂网络是网络科学家为理解现实世界中的复杂系统演化过程，将大量个体以及个体间复杂的相互关系以网络形式来映射复杂系统的模型。一般来说，复杂网络展现出与简单的网格网络或简单随机网络所不具备的拓扑结构。

在创新经济学的通常范式中，研究较多的是两两微观主体之间以合作连接与创新投入形成的R&D网络，^⑤但R&D网络与复杂网络有本质区别，此类研究重点在于非数字通用技术背景下企业间协作研发网络下的竞合关系，研究对象仅限于从事R&D活动的企业，关心的是代表性微观个体的收益成本以及不同竞合关系的均衡结果，并对其进行比较分析形成最优选择。数字时代由全社会所有分布式多主体驱动、依靠互联网加速知识传递形成的创新，即企业创新行为在互联式创

① S. Nambisan, M. Wright and M. Feldman, “The Digital Transformation of Innovation and Entrepreneurship: Progress, Challenges and Key Themes,” *Research Policy*, vol. 48, no.8, 2019, pp.67-72.

② 参见简·梵·迪克：《网络社会》，蔡静译，北京：清华大学出版社，2020年，第92页。

③ D. Helbing and S. Baliotti, “Fundamental and Real-World Challenges in Economics,” *Science and Culture*, vol.76, nos.9-10, 2010, pp.1-18.

④ W. B. Arthur, “Foundations of Complexity Economics,” *Nature Reviews Physics*, vol.3, 2021, pp.136-145.

⑤ 参见 S. Goyal and J. L. M. Gonzalez, “R&D Networks,” *The Rand Journal of Economics*, vol.32, no.4, 2001, pp.686-707.

新网络的演化逻辑，需要基于知识网络的偏好连接规律、度分布等复杂网络的工具来刻画。

本文基于复杂网络，运用拓展的 Watts-Strogatz “小世界网络”及 Kleinberg 贪心选路算法 (Greedy Routing Algorithm) 构建互联式创新模型，揭示互联式创新特征，进而以企业作为节点解析其在互联式创新网络演化过程中的行为特征，并使用中国上市公司的数据对其进行实证检验。本文余下部分内容安排如下：第一部分基于复杂网络构建互联式创新模型；第二部分运用复杂网络解析互联式创新行为机理；第三部分对互联式创新行为机理进行实证检验；最后一部分为结论和启示。

一、基于复杂网络的互联式创新模型构建及其特征

万物互联时代企业创新颠覆性变化，使得传统创新理论中“创新仅在物理空间特定个体层面展开”的假设正在被修改。^① 首先，新一代信息通用技术集群作为互联式创新的技术基础会创生出诸多新技术机会，依托数字技术形成的万物互联可以应对技术与知识占有性变化所带来的不确定性。更为重要的是在多变、复杂的互联网技术环境中，各类显性与隐性知识的迁移变得更为容易与直接。^② 其次，随着底层通用技术的革命性变化和知识迁移形式的改进，创新更是在企业间和生态层面展开，原因在于以融合和生成作为特征的数字技术正在模糊行业 and 部门之间的界限。企业创新行为将颠覆之前的涌现模式，呈现出一种由企业本身、异质性知识体和消费者分布式多主体驱动的万众创新新模式。最后，通过不同主体在互联网中发生连接以及与技术协同演化开启一条新的技术轨迹，使得物理空间和信息网络空间实现融合。在多主体驱动创新和多维空间耦合化的过程中，新主体、新技术、新业态、新产品、新算法不断涌现。

据此可知，数字时代作为分子的企业在互联网的连接下形成新式组织——技术聚合联盟。这一组织内部是一个巨大的、包括各种级别与业务功能的知识、信息关系网络；外部与其他组织依靠互联网形成彼此之间的连接关系，进而形成人人参与其中，总体表现优于个体加总的互联式效应。所以创新不再是工业时代冗长而费力

^① A. Kumaraswamy, R. Garud and S. Ansari, “Perspectives on Disruptive Innovations,” pp.1025-1042.

^② C. Forman and N. V. Zeebroeck, “Digital Technology Adoption and Knowledge Flows within Firms: Can the Internet Overcome Geographic and Technological Distance?” *Research Policy*, vol.48, no.8, 2019, 103697.

的“少数派”工作，而是在互联网连接下的万众创新。在 Tapscott 的思想启发下，^① 本文提出互联式创新。互联式创新是指，嵌入互联网的分布式多主体——企业本身、异质性知识体和消费者，在多边网络下通过目标知识搜寻发生广泛的连接，从而在新一代信息通用技术支撑下形成知识变革，进而创生出新产品、新工艺、新服务、新算法以及新组织与新制度等。

互联式创新超越了传统创新理论中仅将企业作为创新主体的限制，将具有知识创造能力的多主体纳入知识网络中，分布式多主体成为数字时代各类创新的“起点”。其中，异质性知识体是指消费者以外的产生新知识的企业、个人及其他组织。互联式创新呈现四大整体特征：新一代信息通用技术的支撑性、各类知识可迁移性、分布式多主体驱动性，以及多层空间的融合性。

万物互联数字时代，企业依托互联网这一底层技术，通过与异质性知识体、消费者发生联系以及合作，从外部获取异质性创新资源而开展创新。在此过程中，个体所能触及的知识网络极大延展，同时随着时间推移作为“种子思想”的块状知识会不断增长，基于块状化知识的“积木式创新”会不断涌现。^② 知识可以通过连接在网络中传递、迁移、整合，从而体现出一般复杂网络中的常见特质。为此，可基于复杂网络构建互联式创新行为模型：将市场中每一个创新的参与者，包括企业本身、异质性知识体和消费者作为网络中的知识节点，节点间通过信息传递、市场交易、创新合作以及社会关系等建立连接。

（一）基于复杂网络的互联式创新模型

考虑一个有 n 个节点的连通网络， $N = \{1, 2, 3, \dots, n\}$ 代表网络中的节点集合，每个节点代表互联式创新网络中的企业、异质性知识体或消费者。假设企业可以通过三种情形进行创新活动：（1）在内部研发部门中搜寻；（2）通过创新合作，与行业中的其他企业形成创新资源互补；（3）通过从非契约关系的异质性知识体与消费者获得创新的前端要素——知识。本文提出的企业互联式创新，并非传统的开放式创新。^③ 传统的开放式创新核心在于为企业创新引入外部创新能力，是超越企业个体边界的思路。本文建模的假设是对分布式多主体的刻画，不再局限于传统开放式创新企业角度的最优逻辑，而是上升到复杂网络主体互动与社会角度的最优，任何主体均融入、依托互联网而生存。

^① D. Tapscott, *The Digital Economy: Rethinking Promise and Peril in the Age of Networked Intelligence*, New York: McGraw-Hill (Anniversary Edition), 2015, pp. 1-5.

^② 参见埃里克·布莱恩约弗森、安德鲁·麦卡菲：《第二次机器革命：数字化技术将如何改变我们的经济与社会》，蒋永军译，北京：中信出版社，2016年，第93页。

^③ 参见亨利·切萨布鲁夫、维姆·范哈弗贝克、乔·韦斯特：《开放式创新：创新方法论之新语境》，扈喜林译，上海：复旦大学出版社，2016年，第18页。

在此，本文重点分析后面两种情形。^① 企业根据获取创新资源的需要，将选择不同的途径在互联式创新网络中寻找目标节点。图 1 所示刻画了一个互联式创新网络：圆形 A、B、C 代表不同企业，矩形 a—e 代表异质性知识体，三角形代表消费者。同时，用有双箭头的实线表示情形之一，企业间的合作创新关系；用单箭头的虚线表示情形之二，企业与异质性知识体形成创新连接；用单箭头的点状线表示情形之三，消费者对企业提出产品、工艺的创新建议。

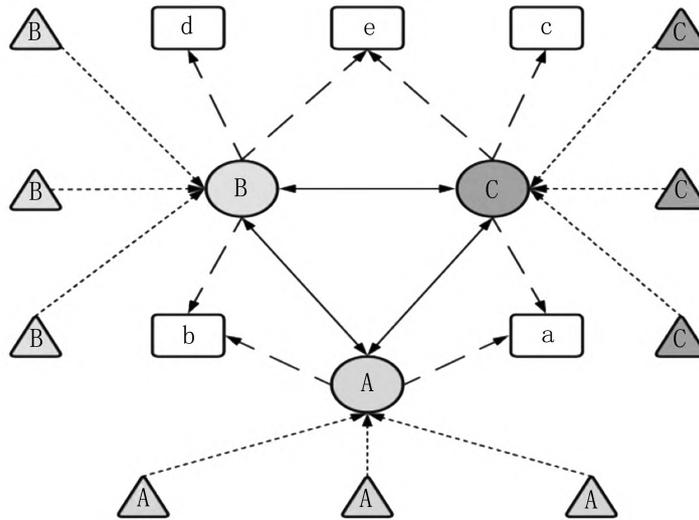


图 1 互联式创新网络示例图

（二）互联式创新网络的特征

已有研究表明创新网络、知识网络具有与复杂网络相似的拓扑结构特征，既存在小世界特性，^② 又呈现出无标度特性。^③ 互联式创新网络，作为在互联网底层技术支撑下的创新网络，呈现出多维的网络特性。即在不同的视角下表现出不同的网络特征，同时两种网络特征可以相容。

首先，互联式创新网络呈现出小世界网络^④的特征，网络中分布式多主体之间

① 在智能网络化生产时代，企业“单打独斗式”的创新几乎绝迹，即使仍存在，其内部也是个复杂网络，和后续分析的内在逻辑是一致的。

② 参见陈子凤、官建成：《合作网络的小世界性对创新绩效的影响》，《中国管理科学》2009年第3期。

③ J. Choi, A. S. Hyun and M. S. Cha, “The Effects of Network Characteristics on Performance of Innovation Clusters,” *Expert Systems with Applications*, vol.40, no. 11, 2013, pp.4511-4518.

④ D. J. Watt and S. H. Strogatz, “Collective Dynamics of ‘Small World’ Networks,” *Nature*, vol.393, 1998, pp.440-442.

有较高的聚集系数与较短的平均路径长度。小世界网络的平均路径长度表示为 d ，是指网络中所有节点对之间的平均距离，令 d_{ij} 为节点 i 到 j 的最短路径长度，对于包括 n 个节点的有向网络，则有：

$$d = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{\substack{i,j=1,\dots,n \\ i \neq j}} d_{ij} \quad (1)$$

聚集系数刻画了一个节点的邻近节点之间彼此连接的稠密程度。对于一个度为 k_i 的节点 i ，其聚集系数定义为式 (2)，其中 L_i 表示节点 i 的 k_i 个邻居之间的连接数：

$$C_i = \frac{2L_i}{k_i(k_i-1)} \quad (2)$$

整个网络的聚集程度可以通过其所有节点的平均聚集系数 C 来刻画，则计算小世界网络的聚集系数可以表示为：

$$C = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N C_i \quad (3)$$

由此，在互联网支撑下，作为节点的分布式多主体之间合作更为便捷、紧密，节点之间信任的提升会形成较高的聚集系数。另外在互联网底层技术下，企业会更方便地从物理距离较远的节点获取知识信息，网络的平均路径长度也明显下降。

其次，互联式创新网络呈现出无标度网络的性质，具体表现为生长特征和偏好连接特征。生长特征，即网络存在 m_0 个节点，每一期增加一个点，该点与已有的旧点连接产生 m 条新边；偏好连接特征，即新加入的点以更高概率去连接网络中度高（链接数较多）的枢纽节点。经过时间 t 期可以得到一个有 $t+m_0$ 个节点，和链接数为 $m_0+m \times t$ 的网络。偏好连接，即节点在网络中的连接度越大，它与其他节点之间连接的概率就越大。无标度网络的度分布具有幂律分布的特征，根据偏好连接算法，网络的度分布可以写成：

$$P(k_i=k) = p_k = \frac{2m(m+1)}{k(k+1)(k+2)} \quad (4)$$

进一步可以得出，网络期望连接度是：

$$\begin{aligned} \sum_{k=m}^{\infty} k p_k &= \sum_{k=m}^{\infty} \frac{2m(m+1)}{(k+1)(k+2)} \\ &= \sum_{k=m}^{\infty} \left[\frac{2m(m+1)}{k+1} - \frac{2m(m+1)}{k+2} \right] \\ &= \frac{2m(m+1)}{m+1} = 2m \end{aligned} \quad (5)$$

在互联网底层技术支撑下各类知识快速便捷流动，无标度网络的特征使得少数具有大量连接边的枢纽节点在偏好连接下不断生长，网络真正的中心位置属于那些在网络中具有重要地位的枢纽节点。于是，我们需要进一步分析互联式创新网络的演化特征，即以企业为“节点”的互联式创新行为机理。

二、以企业为节点的互联式创新行为机理

(一) 数字时代以企业为节点的互联式创新行为机理

基于互联式创新网络模型及其所揭示的多维网络特征，本部分进一步聚焦以企业作为节点在互联式创新网络演化过程中的行为特征。对此，本文立足于互联式创新网络呈现出的小世界网络特征以及无标度网络特征，进一步引申出该网络下企业创新行为的两个主要机理。

1. 互联式创新网络的小世界网络特性会形成连接成本节约、创新效率提升的企业创新新特征。在一个去中心化的互联式创新网络中，每个企业作为节点仅仅通过自己与邻居位置的信息以及利用现有网络结构，找到能够形成创新的目标知识节点。若企业要实现所需的知识整合，就需要采取与网络结构相匹配的搜寻策略和算法。为此，将互联式创新网络所在的空间假设为一个正则网格网络，每个企业是正则网格网络中的一个节点。由此，可以通过网络节点间的距离定义互联式创新网络中任意两个个体之间的距离。我们对 Kleinberg 提出的分散式搜索下的贪心选路算法^①进行适度修正，并将其应用于数字时代企业运用互联网技术进行目标知识搜寻的场景。

假设互联式创新网络中企业连接具有 Kleinberg 模型中“小世界网络”的特征——近距离节点间充分连接，同时存在少数远距离节点间的连接。一方面对于近距离连接，假设对于任一节点 i ，都有距离值 p ，使得 i 与所有距离小于 p 的点相连，即每个点与局部邻近点完全连接；另一方面对于远距离连接，假设对于任一节点 i ，都存在一个参数 α ，使得 i 与任意远距离点 j 之间相连的概率和该两点之间的距离 ($d > p$) 的 α 次幂成反比，即从点 i 与点 j 连接的概率与 $d(i, j)^{-\alpha}$ 成正比。其中参数 α 作为关键参数决定了网络节点间是如何互相连接的。

不同于 Kleinberg 模型的假设，本文放松了对每个分布式多主体的远距离连接数量的限制。这一限制的放松使得本文的模型能更清楚地刻画出互联式创新网络的特征，原因是在互联网底层技术的支持下，主体之间的联系能够突破地理、行业限制，更容易实现远距离的连接。假设在互联式创新网络中，节点 S 代表能够产生创新的新知识需求方，节点 T 代表网络中能解决此需求的目标知识节点（节点 S 的目标方）。两个节点的位置随机分布于网络中，在去中心化的条件下，需要寻找到一个信息传送路径，即以尽可能少的步数将创新需求知识信息由节点 S 送达节点 T 。在

^① J. Kleinberg, "The Small-World Phenomenon: An Algorithmic Perspective," *Proceedings of the Thirty-Second Annual ACM Symposium on Theory of Computing*, 2000, pp. 163-170; J. Kleinberg, "Navigation in a Small World," *Nature*, vol. 406, no. 8, 2000, p. 845.

此节点 S 和搜寻路径中的每个传递者，都仅仅了解两类信息：一是与自己连接的点的位置，二是节点 T 在平面中的位置。对此，根据贪心选路算法的基本思想，传递路径上的每个节点都尽可能地将知识需求信息传递给其距离节点 T 最近的邻居。^①由于本文放松了节点远距离连接数量限制的假设，对于节点 S 的距离为 x 的另一个节点 K，它们相连形成远距离连接的概率为：

$$g(x) = \lambda |x|^{-\alpha} \quad (6)$$

令 V 代表不包含节点 S、与 S 距离小于 x 的节点集，则在 V 中节点 S 的远距离邻居数量可以表达为 $\int_V g(x) dx$ 。对于任意 $\alpha > 0$ ，总有以下的变换：

$$\int_{\alpha V} g(x) dx = \alpha^{2-\alpha} \int_V g(x) dx \quad (7)$$

从上式中可以看出，当 $\alpha = 2$ 时有：

$$\int_{\alpha V} g(x) dx = \int_V g(x) dx \quad (8)$$

不同范围内节点 S 的远距离邻居数量的分布不随范围大小改变。由此，如果在 $\alpha = 2$ 时，远距离连接均匀分布于不同的距离范围，通过贪心选路算法可以在每一步传递过程中将当前信息持有者与目标节点 T 的距离减半。根据本文的设定，由于互联网底层技术条件下任意一点的远距离邻居数量没有限制，于是就会有更多的远距离连接。因此，在更多的远距离连接条件下，给定 $\alpha = 2$ 的条件不变，网络中任意两点间最短搜索路径长度自然会减少。所以在互联网底层技术支撑下企业互联式创新行为中，远距离连接更加便捷，搜索效率进一步提高。

通过上述模型分析可以看出，互联式创新造成了连接成本的显著下降，原因在于互联网底层技术的发展有效地解决了信息发现与共享难题，使得知识与信息的传播速度大幅增加，交流和搜寻成本大幅降低；同时在网络空间下，经济主体对系统内各类信息的搜集、整合、分类、加工和处理的能力得到了大大的拓展。另外，随着人工智能、机器学习与数据挖掘技术的发展，经济主体不仅能够明晰正在发生的典型事实，而且在一定程度上还能对将要发生的事件进行预测。于是企业能更好地借助人工智能、大数据等数字技术有效整合外部知识，将内外部信息连接起来，提升对外部知识的吸收能力。除此之外，互联式创新由于实现了任意两个知识节点间更快的搜寻，显著提升了信息和各类知识传递的效率；不仅能够促进企业间、企业与其他分布式多主体之间合作共享过程中知识的吸收、反馈和利用，而且使得企业能够更有效地洞察竞争对手的创新策略，针对消费者进行定制化创新，保证微观个体能更有效地利用互联式创新网络结构实现知识整合、加速创新过程以及提高创新效率。由此可见在万物互联时代，任何主体所拥有的目标知识都可以是企业创新的起

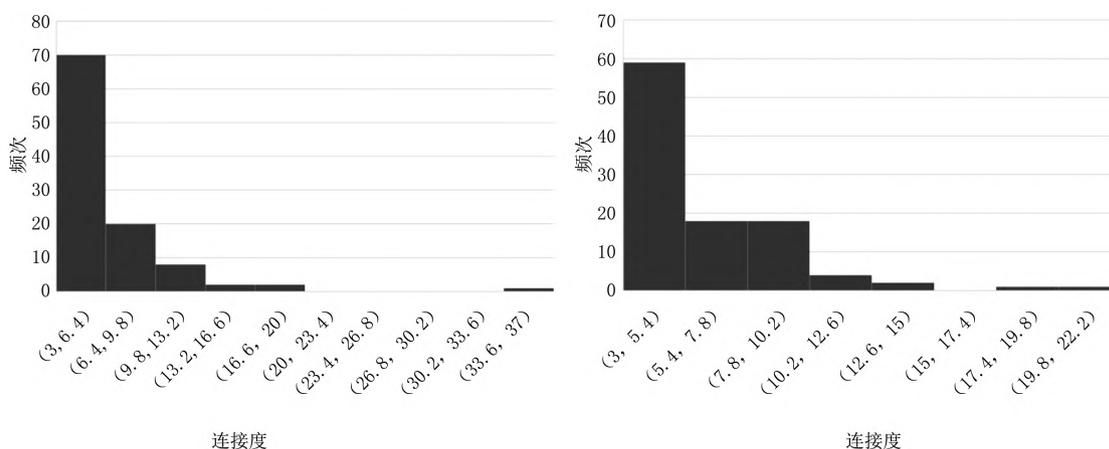
^① Kleinberg 模型认为分散式搜索下的贪心选路算法，传递路径上的每个节点都尽可能地将信息传递给其距离节点 T 最近的邻居。当网络中的每个节点都采取这一策略时，Kleinberg 模型证明了，当且仅当 $\alpha = 2$ 时，这一分散式的搜索方法可以以最少的步数完成信息的传递。

始点，分布式多元主体驱动的创新模式正在形成。

2. 互联式创新网络的无标度网络特征会表现出节点的知识偏好连接，形成枢纽企业主导创新的新格局。在前互联网时代，企业在传统的创新网络中，当企业需要从外部获得异质性知识时，就需要与直接的合作者联系，扩大企业从知识网络中获取信息的涵盖面，表现为与合作者交换创新信息和知识，尤其是与知识网络中的重要合作者相联系。从网络角度来分析，在这一过程中，企业只能通过直接连接获得外部信息，因而需要不断地提高自身在网络中基于连接度的中心性。

事实上，随着互联网与数字技术的发展，不仅显性知识的传递变得更简单，而且不同企业之间可以利用技术手段实现类似于面对面的交流，隐性知识的传递也变得更高效，从而知识皆可迁移。企业创新实质上基于知识流，它贯穿于知识的创造、传播和运用的全过程，进入互联网时代，企业作为知识网络中的节点可以更加便捷地通过间接的网络连接获取知识。企业已经不再单纯依赖自然形成的网络关系寻求合作与帮助，合作的过程不再是直接的联系，而是通过与枢纽节点结合融入特定平台。在互联网底层技术支撑下的企业互联式创新中，互联网的便利性直接地使得网络连接密度增加。另外，由于间接连接也可以获得外部信息，因而企业在这种技术背景下不再单纯关注自身连接度的重要性，而是扩展性地去追求提高基于全局最短路径的中心性。

由于互联式创新网络呈现出无标度网络特征，分布式多主体的连接具有生长和偏好连接的形成机制。在此，我们将企业进行两种类型的区分：一类是在互联式创新网络中中度中心性（Degree Centrality）较高的枢纽企业，另一类是在互联式创新网络中接近中心性（Closeness Centrality）较高的知识聚合枢纽。我们使用 Python 编程来比较两类不同知识偏好连接模型，即度中心性和接近中心性。本文考虑了初始点及新增点的初始连接数量为 3（即 $m=3$ ）的情形，经过 100 期的演变（即 $n=100$ ）后我们发现：基于度中心性的知识偏好连接模型与基于接近中心性的知识偏好连接模型体现出不同的度分布（见图 2）。



(a) 基于度中心性的知识偏好连接模型度分布 (b) 基于接近中心性的知识偏好连接模型度分布

图 2 不同中心性的偏好连接模型比较 (n=100 和 m=3)

在互联式创新网络中中度中心性较高的头部企业，其知识偏好连接演化后，网络连接更加集中，体现出更明显的长尾现象（见图 2（a））。在互联式创新网络中，头部企业为了在创新中获得更多的知识，更在意自身在整体知识网络的位势，网络中的枢纽节点，既保持了与其他企业间的直接合作，又通过技术规范、信息共享平台等形式成为影响更广泛的枢纽节点。所以在万物互联数字时代头部企业会形成独特的“产业经济体”，即一个产业或多个产业几乎被 1—2 个经济体控制，形成以其为网络枢纽节点的创新生态系统。这些头部企业作为枢纽节点的偏好生长，慢慢会形成有序的相变：一方面，枢纽节点与其连接节点易结成创新共同体，为中小企业创新遮风挡雨，形成“大树底下好乘凉”的创新良性生态。另一方面，枢纽节点富者愈富的特征易扼杀非枢纽节点的各种形式创新，产生“大树底下不长草”的局面，并催生出枢纽节点在创新方面“一家独占”的特征。另外，在无标度网络中，枢纽节点的先发先至以及偏好连接的特性，使枢纽节点天然拥有先发优势，并且通过“富有的”连接使得自身沿着动态、可延展的方向不断演化，产生“积木式”的衍生迭代创新。

在互联式创新网络中，基于接近中心性的知识偏好连接模拟可以发现连接度的分布更为平均，且最大连接点的度较小（见图 2（b））。这类知识聚合枢纽企业是其他企业优先选择的合作对象。知识聚合枢纽企业在与其他企业创新合作过程中协同博弈，提升自身作为创新平台的作用。一方面吸引更多的新兴企业和自身的平台形成合作关系；另一方面，将自己的技术规范、行业标准通过协同合作拓展出去，提高自身在行业中的影响力。在数字经济形态下面对层出不穷的技术机会，一些创新能力和管理水平较高的新兴企业会形成网络中的高适应度的节点，进而通过适应性学习能力的提升，成为不同节点间沟通不可或缺的“中间人”。可见，知识聚合枢纽通过自身较高的整合和辐射能力形成引领创新的新模式。

（二）数字时代中国企业互联式创新行为的典型事实

万物互联数字时代，中国直面第四次技术革命的机遇与挑战。2022 年我国数字经济规模达 50.2 万亿元，总量稳居世界第二，^① 在规模总量方面与美国双峰并峙，而且电子商务、移动支付规模全球领先；中国企业通过全面数字化转型并运用数字技术进行新场景、新模式、新业态创新，业已形成自己独特的数字创新生态。

1. 在互联网助力下，企业知识搜寻更为便捷，互联式创新使得创新空间网络化。作为数字技术最为关键的底层技术——互联网，其核心特征在于打破时空限制，将物理空间与信息空间深度融合，以数据生产要素为载体，拓展信息与知识的传播渠道及传播速度。华为领先的 5G 技术即源于对土耳其 Arıkan 数学论文的搜寻与解

^① 参见国家互联网信息办公室发布的报告《数字中国发展报告（2022 年）》。

析。更为重要的是，数字时代企业创新活动不仅仅在纵向一体化的企业内部展开。作为人类最强大的平台，互联网促使多元化创新主体在网络空间彼此连接、交互创新，创新方式的网络化、协同化成为企业创新的基本特征。在创新中企业数字技术应用水平显著提升，截至 2022 年 6 月底，工业企业数字化研发设计工具普及率达 75.1%。此外，通过智能化改造，110 家智能制造示范工厂产品研发周期平均缩短 28%。^①

2. 数字创新平台作为底层支撑者，赋能和孵化多维创新，互联式创新使得创新主体的边界模糊化。数字时代自我生长形成的数字创新平台与各类创新主体，在创新禀赋和信息之间优势互补、赋能孵化。一方面，创新型平台或是技术型平台本身就是创新引擎，其为生产者提供核心技术架构，确保企业在此架构上提供更具价值的新产品。以小米 IoT 开发者平台为例，其通过赋能平台上与其组成生态链的公司快速、低成本的产品创新，形成了创新型平台支撑和孵化企业创新新模式。另一方面，服务型或交易型平台强大的“大数据池”和“云上功能”，通过数据挖掘生成服务于企业的数据产品，赋能企业实现端到端的新产品开发和价值创造。阿里云 supET 和腾讯的未来网络实验室作为这类平台的典型代表，正在助力企业全面转型以及创新生态根本性变革。

3. 注意力经济引致以消费者为起点驱动创新，互联式创新促使创新链逆转。数字技术的普及和网络反馈机制的建立，使消费者可以直接通过消费体验结合各自异质化的知识，为新产品提供创意支撑；同时专业化的消费者可以通过早期试用和反馈，帮助企业明晰产品特点以及创新改进方向，从而降低创新成本和提高创新速度。在互联网的网络空间，实现了真正意义上的“用户即创新者”。^② 随着注意力经济蓬勃发展，人人都可以成为注意力的生产者与消费者，微观创新主体呈现分布式节点成长。更为重要的是，任何企业、个人皆受注意力的钳制，企业创新链的源泉变为消费者。

三、中国企业互联式创新行为机理的实证检验

（一）样本选取

企业互联式创新这一动态演化过程难以被精准度量，特别是以企业为节点通过

^① 参见何立峰：《国务院关于数字经济发展情况的报告》，2022 年 10 月 28 日，第十三届全国人民代表大会常务委员会第三十七次会议。

^② “用户即创新者”于 20 世纪 70 年代由美国麻省理工学院 Hippel 提出，参见 E. V. Hippel, “The Dominant Role of the User in Semiconductor and Electronic Subassembly Process Innovation,” *IEEE Transactions on Engineering Management*, vol. EM-24, no. 2, 1977, pp. 60-71.

网络技术形成的互联与连接难以被一个或者几个指标清晰地刻画。本文考察企业融入互联式创新网络的程度对企业创新产出的具体影响。万物互联时代，从事 ICT 的公司在数字技术下创新活动最频繁，也最能反映数字经济形态下的创新逻辑。因此，本文选取 2015—2020 年从事企业级 ICT 业务的中国上市公司 500 强作为研究对象。在研究时段方面，从 2013 年开始，互联网模式逐步走向成熟，越来越多的传统企业开始进行互联网模式的战略转型。但 2013 年并非研究互联式创新的起点，这仅是企业互联网模式倒逼下的企业数字化转型与改造的开始。2015 年“互联网思维”几乎贯穿了所有企业，企业创新模式开始有了互联式创新的特征与趋势。因此，本文数据从 2015 年开始。

（二）变量定义

被解释变量：企业专利申请和授权情况。专利是企业的创新产出，在此既用“企业当年申请专利数量”、又用“企业当年授权专利数量”来度量，并对两个指标均进行加 1 后取对数处理。另外，借鉴张栋等^①的做法，本文没有对专利数量进行滞后处理，原因是既有当年的专利申请数量又有授权数量，已经考虑到了一般创新产出需要一定的时间，从而存在的滞后性问题。解释变量：由于企业依托互联式创新网络无法用一个单一的指标来度量，我们认为企业在互联式网络中的位势会影响其创新产出，企业在互联式网络中融入程度不同也会对创新产生影响。

1. 互联式网络构建及网络位势度量

理论分析表明，网络有助于企业获得对创新活动至关重要的异质性知识。基于此，我们在国家知识产权局手动检索 2015—2020 年上述从事企业级 ICT 业务的中国上市公司 500 强合作专利中的合作机构，从而搭建了 2015—2020 年各年的样本企业互联合作网络，然后测度该网络结构的中心性，从而验证企业在互联合作网络中的位势对创新的影响机制。进一步根据上文的行为特征分析，将企业区分为在互联式创新网络中度中心性较高的枢纽企业和接近中心性较高的知识聚合枢纽。据此，本文以企业的度中心性、接近中心性指标衡量企业在网络中的位势，后续以中介中心性、结构洞指标作稳健性检验。

（1）度中心性，核心在于测量与某一节点直接连接节点的数目。度中心性高的企业意味着与网络中大量的其他组织建立了连接，一方面该类企业享有丰富的信息资源且能整合不同来源的知识，是网络中知识传播的重要载体；另一方面该类企业易与网络中其他连接者建立研发资金、互补技术等方面的联系。对于由 n 个节点构成的网络图 $G = (V, E)$ ，节点 i 的度中心性 $D_c(i)$ 为：

^① 参见张栋、胡文龙、毛新述：《研发背景高管权力与公司创新》，《中国工业经济》2021 年第 4 期。

$$Dc(i) = \sum_{j=1}^n x_{ij} \quad (i \neq j) \quad (9)$$

其中, V 是网络图 G 所有的点, E 是网络图 G 所有的边, x_{ij} 表示节点 i 与节点 j 之间是否有直接联系, 有即为 1, 没有即为 0。

(2) 接近中心性, 反映网络中某一节点与其他节点之间的接近程度。一般以某个节点到所有其他节点的最短路径距离之和的倒数来表示接近中心性。接近中心性较高的企业很容易与网络中其他参与者进行互动, 在获取外部知识的过程中较少依赖其他企业, 获取外部信息的效率更高, 在空间上处于中心位置。节点 i 的接近中心性 $Cc(i)$ 为:

$$Cc(i) = \frac{1}{\sum_{j=1}^n d_{ij}} \quad (i \neq j) \quad (10)$$

其中, d_{ij} 表示节点 i 到节点 j 的最短路径长度。

2. 企业互联网融入程度的度量

我们需观察在互联式创新网络中企业互联网融入的程度, 以此明晰企业运用互联网进行知识搜寻和偏好连接的创新产出。企业互联网融入, 是企业运用互联网技术优化生产流程、完善组织管理以及重构战略定位改善业绩的战略行为。从《OECD 互联网经济展望 2012》的发表开始, 诸多研究均是从企业微观调查来获取互联网融入程度。^① 由此产生两种度量互联网融入方法: 一是考察目标公司是否有互联网涉入, 若有则赋值为 1, 没有则赋值为 0; 二是运用相关指标度量企业互联网融入程度。^② 在后一种度量方法中, 主要有两个方向: 一是根据上市公司年报进行关键词识别, 统计出涉及“互联网+”的词频来刻画企业互联网融入程度。^③ 二是利用上市公司相关固定资产、无形资产、主营业务等明细来构建企业互联网融入程度的指标。可以说用相关财务指标度量企业互联网融入程度更为客观。由于企业互联网融入是一个复杂的过程, 单一指标虽然也是企业融入互联网程度的重要体现, 但存在不够全面略显单薄的问题。据此, 我们借鉴世界银行构造的 DAI 指数^④的方法, 通过结合企业互联网融入的内涵以及中国基本现实, 构建企业互联网融入指数

① A. Usai et al., “Unveiling the Impact of the Adoption of Digital Technologies on Firms’ Innovation Performance,” *Journal of Business Research*, vol. 133, no. 4, 2021, pp. 327-336.

② 参见马骏、李书娴、李江雁:《被动模仿还是主动变革?——上市公司互联网涉入的同群效应研究》,《经济评论》2021年第5期。

③ 参见杨德明、刘泳文:《“互联网+”为什么加出了业绩》,《中国工业经济》2018年第5期。

④ 世界银行在《2016年世界银行报告:数字红利》中曾构造了数字技术采用指数(Digital Adoption Index, DAI), 该指数是一个全球性的指数, 用来衡量各国采用数字技术的情况。

来反映企业互联网融入程度，见表 1。^①

表 1 企业互联网融入指数构建

	所含维度	具体指标	指标计算
企业互联网 融入指数	微观本体	IT 硬件投资	互联网相关固定资产占总固定资产比重
		IT 软件投资	互联网相关软件购买占无形资产比重
		主营业务涉互联网收入	互联网相关主营业务收入总额 (按产品分类的互联网业务)
	宏观支撑	所在城市互联网 接入端口密度	城市互联网接入端口/年末常住人口

企业互联网融入指数包含微观本体和宏观支撑两个维度。企业购入互联网相关软件与硬件设施，是从投入角度对企业融入互联网程度的客观衡量，如企业在无形资产明细中披露的 ERP 等软件以及在固定资产明细中披露的“服务器”等电子设备，均被表征为互联网的采用；^② 企业主营业务所涉互联网业务的收入，是从产出角度对其融入互联网程度的直接衡量。《OECD 互联网经济展望 2012》强调地区互联网接入及使用程度对于企业至关重要，所以本文以企业所在城市互联网接入端口密度来表征企业融入互联网的宏观支撑。

首先，确定表 1 所列微观本体维度的三大指标的计算方法，综合已有文献确定的有关互联网识别的关键词，利用 RESSET 数据库上市公司财务报表附注信息，识别企业固定资产、无形资产和主营业务中融入互联网的投入和产出部分。^③ 其次，企业互联网融入指数宏观支撑维度中“城市互联网接入端口”等数据源于中国研究数据服务平台（CNRDS）数字经济数据库和《中国城市统计年鉴》。最后，企业互联网融入指数运用熵值法合成。将从事企业级 ICT 业务的中国上市公司 500 强互联网融入指数按年平均，可以看出这些公司互联网融入程度在逐年加深，说明企业均在探索更好地借助互联网助力企业发展的路径。

控制变量：对控制变量的选取主要借鉴已有文献的做法，考虑公司规模、公司

① M. Skare and D. R. Soriano, “How Globalization Is Changing Digital Technology Adoption: An International Perspective,” *Journal of Innovation & Knowledge*, vol. 6, no.4, 2021, pp.222-233.

② H. Blichfeldt and R. Faullant, “Performance Effects of Digital Technology Adoption and Product & Service Innovation-A Process-Industry Perspective,” *Technovation*, vol. 105, 2021, 102275; 刘飞、田高良：《信息技术是否替代了就业——基于中国上市公司的证据》，《财经科学》2019 年第 7 期。

③ 当资产明细科目包含任一“互联网”关键词时，认定该项投入为互联网融入相关投入和产出。其中主营业务按产品分类的明细数据由 Python 提取自上述 500 强上市公司年报“营业收入构成”，固定资产和无形资产缺失数据均经查阅相关公司年报进行填补。

成立年限、财务杠杆、盈利能力、企业成长性、股权集中度、股权性质，并对行业、地区、年份效应进行了控制，具体计算见表 2 所示。

表 2 主要变量定义

类型	变量简称	变量名	定义
被解释变量	Patent_a	已申请专利总数	—
	Patent_g	已授权专利总数	—
解释变量	Internet	企业互联网融入指数	—
	Dc	度中心性	—
	Cc	接近中心性	—
企业个体控制变量	R&D	研发投入强度	研发投入占营业收入的比重
	Size	企业规模	企业总资产取对数
	Age	企业年龄	被调查年—企业成立年份
	Lev	负债比率	总负债/总资产×100
	Roa	资产收益率	净利润/总资产×100
	Grow	成长性	营业收入增长率
	Share	股权集中度	用第一大股东的持股比例
	Soe	股权性质	如果控股股东是国有企业为 1，非国有企业为 0
	Industry	行业变量	基于证监会发布的《2012 年行业分类指引》对制造业行业代码进行三位数划分，构造行业虚拟变量
	Province	地区变量	公司所在省份虚拟变量
Year	年份变量	年度虚拟变量	

本文所涉企业包括香港股票市场公司、沪深主板和沪深三板的企业。由于信息缺失严重，删除在香港股票市场上市和交易的公司、沪深三板的企业。沪深主板公司研发及创新数据源于中国研究数据服务平台（CNRDS）创新专利研究数据库（CIRD），其他有关上市公司的相关指标分别来自国泰安 CSMAR 数据库的“中国上市公司财务报告数据库”“中国上市公司财务指标分析数据库”“中国上市公司首次公开发行研究数据库”和“中国上市公司财务报表附注数据库”。以上市公司的“证券代码”作为匹配标识，个别公司成立日期、所有制形式等数据缺失，通过“同花顺”软件进行手动填充。删除数据严重缺失的企业，最终获得 392 家企业的研究样本。研究样本企业每年的年报文本源于“巨潮资讯网”。为了消除极端值的影响，对连续变量的 1% 和 99% 百分位进行 Winsorize 处理。

（三）检验模型及方法

对于面板数据的估计，首先我们设估计方程如下所示：

$$Patent_{it} = \beta_0 + \beta_1 C_{it} + \sum_{j=1}^n \gamma_j Control_{it-1} + FE + \mu_{it} \quad (11)$$

$$Patent_{it} = \beta_0 + \beta_1 C_{it} + \beta_2 Internet_{it} + \beta_3 Internet_{it} \times C_{it} + \sum_{j=1}^n \gamma_j Control_{it-1} + FE + \mu_{it} \quad (12)$$

其中：FE = IndustryFE + LocationFE + YearFE

Patent_{it}表示创新产出，C_{it}为企业在互联网网络的位势，Internet_{it}为企业互联网融入程度；Control_{it}为一系列控制变量，下标 i 和 t 分别表示第 i 个企业和第 t 年，所有控制变量滞后一期以降低内生性。根据面板数据的特点，本文采用固定效应模型，FE 为模型取固定效应时不随时间变化的效应，其中 FE 由行业、所在地、时间固定效应组成，IndustryFE、LocationFE、YearFE 分别代表行业固定效应、所在地固定效应和时间固定效应。另外 μ_{it} 为残差项，β_i、γ_j 为待估参数。

企业在互联网式创新网络中的位势影响自身创新，所以运用式（11）验证“创新产出好的企业，是否为网络中具有重要地位的枢纽节点企业”。互联网式创新实质是企业依托互联网的广泛运用与其他主体发生广泛的连接，从而产生创新的新形态、新路径，并显著地提升创新产出。为此，将企业互联网融入指数与其所在创新网络中位势的交乘项作为企业运用互联网式网络进行创新的度量，用式（12）进一步验证“创新产出好的企业，是否为融入互联网式网络更深、进行互联网式创新活动更多的企业”。

（四）基准估计结果

为了印证前述的逻辑假设，本文采取多维固定效应模型进行初步检验。为了尽量缩小异方差，本文所有回归模型的标准误差为聚类到企业的稳健标准误差 (Robust Standard Error)。表 3 报告了估计结果。从具体回归结果来看，不论被解释变量是“已申请专利总数”还是“已授权专利总数”，整体来看企业在网络中的中心性与创新产出显著正向相关。因为不论是以“度中心性”还是“接近中心性”度量企业在网络中的位势，系数均显著为正。由此证明，在互联网式创新网络中不论是度中心性高的龙头企业，还是接近中心性高的知识聚合枢纽，均实现了较好的创新产出。原因在于这类企业依托互联网进行知识搜寻，网络形成的创新成本节约和知识偏好连接会使得企业能够在更宽的范围内利用与整合资源，进而基于自身的禀赋沿着动态且可延展的方向进行创新。

表 3 企业在网络中的位势对创新的影响

	(1)	(2)	(3)	(4)
	Patent_a	Patent_g	Patent_a	Patent_g
Dc	0.145*** (3.302)	0.150*** (3.259)		

续表 3

	(1)	(2)	(3)	(4)
	Patent_a	Patent_g	Patent_a	Patent_g
Cc			40.331*** (4.378)	41.811*** (3.956)
Constant	-12.233*** (-8.029)	-11.731*** (-8.713)	-12.411*** (-8.365)	-11.916*** (-9.058)
控制变量	控制	控制	控制	控制
行业固定效应	YES	YES	YES	YES
地区固定效应	YES	YES	YES	YES
时间固定效应	YES	YES	YES	YES
N	1306	1306	1306	1306
R ²	0.443	0.444	0.444	0.445

注：***、**、* 分别表示在 1%、5%、10% 水平下显著，括号内为稳健 t 统计量；省略了控制变量的回归结果，可联系作者索要。

进一步对式 (12) 进行检验，即考虑企业互联网融入指数与网络中位势的交乘项。为了更直观地展现企业互联网融入程度与其在创新网络位势的交互作用，本文进一步绘制了以已授权专利总数^①为被解释变量的交互作用效果图 (见图 3)。当企业互联网融入指数较高时，不论是以度中心性还是以接近中心性衡量，企业在网络中的位势与企业创新产出的关系曲线都趋于陡峭，这说明创新产出更好的企业，是互联网融入程度更深，即会更广泛运用互联网进行知识搜寻、位势更好的枢纽节点。

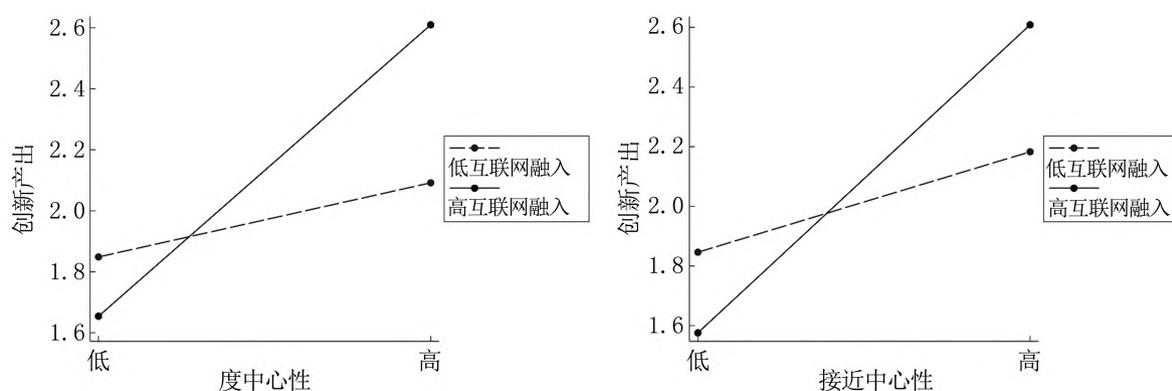


图 3 企业互联网融入程度与创新网络中心性的交互作用

(五) 稳健性检验

稳健性检验之一：改变因变量度量方式。由于专利具有滞后性，考虑该影响，

^① 由于以“已授权专利总数”为被解释变量的方程的拟合优度均大于以“已申请专利总数”为被解释变量的方程，故在此以已授权专利总量为被解释变量绘制交互作用的效果图。

借鉴已有文献的方法，本文在此用三期专利的平均值来作为被解释变量的替代，即用 $t-1$ 、 t 和 $t+1$ 期已申请专利总量或是已授权专利总量的平均值，作为 t 年已申请专利总量或是已授权专利总量的替代。一般来说，刻画企业创新程度与水平的专利主要分为两大类：发明专利和非发明专利（实用新型和外观设计）。已有文献均认为发明专利属于实质性创新或是突破式创新，所以本文采取发明专利申请总量和发明专利授权总量作为被解释变量的替代，其中分别对发明专利申请总量与发明专利获得总量进行 Winsorize 处理后，再加 1 取自然对数。改变因变量的度量，重新进行回归，发现本文研究结论依旧稳健。

稳健性检验之二：改变自变量度量方式。重新度量企业在创新网络中的地位。用中介中心性（Betweenness Centrality）和结构洞（Structural Holes）两个指标进行自变量替换。中介中心性是以经过某个节点的最短路径数目来刻画节点重要性。一般来说中介中心性较高的企业频繁地占据其他网络成员联系的必经之路，是网络中枢纽位置的基本度量。因为该指标高的企业对网络内的信息、知识流动具有较强的控制权，在网络中有较高的地位。节点 i 的中介中心性 $Bc(i)$ 为：

$$Bc(i) = \sum_{s \neq t \neq i \in V} \frac{\delta_{st}(i)}{\delta_{st}} \quad (13)$$

其中， $\delta_{st}(i)$ 表示从 s 到 t 的最短路径中经过节点 i 的数量， δ_{st} 是 s 到 t 的最短路径数。结构洞是指节点之间的非冗余联系，占据结构洞位置的企业能够获得更多异质性知识。结构洞可以用网络约束系数值来衡量，网络约束系数数值越大，约束性越强，跨越结构洞的可能性就小。据此可知结构洞越小，即网络约束系数 SH 越大，对创新的负面作用就越强。节点 i 网络约束系数 SH 为：

$$SH = \sum_j (p_{ij} + \sum_{q, q \neq i, q \neq j} p_{iq} p_{qj})^2 \quad (14)$$

a_{ij} 表示节点 i 和 j 两点间的边的属性值（即权重）， $p_{ij} = \frac{a_{ij} + a_{ji}}{\sum_k (a_{ik} + a_{ki})}$ ，表示节点 i 与 j 联系的强度，即节点 i 的所有邻接点中节点 j 所占的权重， k 表示节点 i 的所有邻接点， q 是节点 i 和节点 j 的共同邻接点。

将上述企业互联网融入指数简化为只考虑企业互联网资产，即用上述通过“互联网”关键词甄别出的企业无形资产和固定资产中涉及互联网资产的部分进行加总，然后除以“无形资产和固定资产总和”，来作为企业互联网融入程度的衡量。以新的因变量进行回归，并构成新的交乘项进行检验，结果证明上述结论依旧具有稳健性。

稳健性检验之三：改变计量模型处理内生性。考虑内生性问题，本文在式（11）和式（12）基础上建立动态面板数据模型来修正内生性问题，即采用系统 GMM 重新进行估计。其中 Sargan 统计量和 AR（1）均显示了系统 GMM 模型的有效性，相关回归证明企业在创新网络中越居于中心位置，其创新产出就越好，同时企业互联网融入程度的提升会强化这一机制。

结论与启示

以万物互联、人工智能为代表的新一代信息通用技术革命正在重塑全球的企业生产方式、组织结构与创新范式，而中国诸多微观主体已涌现出引领世界的数字时代的创新行为与模式。本文提出企业创新的新模式——互联式创新。针对呈现多维复杂性的数字经济生产方式与创新生态系统，本文应用复杂网络方法——拓展的Watts-Strogatz“小世界网络”与Kleinberg贪心选路算法，构建多主体的互联式创新行为模型。该行为模型从底层逻辑层面，揭示了企业互联式创新的行为机理：分布式多元创新主体依托互联网形成连接，进而演化形成的互联式创新网络呈现出复杂网络常见特性。一是互联式创新网络的小世界网络特性，使得互联式创新行为表现出连接成本节约、创新效率提升的新特征；二是互联式创新网络的无标度网络特性决定了互联式创新呈现出知识偏好连接进而引致枢纽节点主导创新。本文进一步运用2015—2020年中国上市公司数据，对互联式创新行为机理进行实证检验，结果表明：数字经济时代创新绩效更好的企业，是融入互联式创新网络更深，采用互联式创新行为更广泛的企业。依据理论分析与实证结论，本文提出数字时代中国未来践行创新驱动的对策思路。

第一，互联式创新形成的多主体协同的全球创新网络，更有利于企业整合资源、搜寻各类知识、攻关“卡脖子”技术，实现关键核心技术的突破。为此，中国企业需要全方位地数字化转型并深度融入万物互联新时代，以互联式创新为抓手，抓住新一代信息通用技术进化引致的“技术创造的机会窗口”，努力成为全球知识网络中的枢纽节点，进而主导数字时代的创新格局。

第二，构筑自立自强的数字技术创新体系，实现数字技术创新重大突破，关键在于多措并举，降低企业的知识连接成本。打通数字基础设施大动脉，加大数字基础设施投资，加快数字基础设施建设，是形成各类主体有效连接的可行路径。以《数字中国建设整体布局规划》等顶层设计为引领，打通网络基础设施、算力基础设施和数字化平台的全场景，构筑高效联通的数字社会基础设施底座。

第三，数字时代创新治理的重心在于促进以知识聚集为核心特征的创新枢纽节点的成长。枢纽节点决定着互联式创新网络的演化。一方面，要强化以知识聚集为底层支撑的创新枢纽节点在创新中的引领作用，打造枢纽企业主导的资源共享、协同研发的开放创新体系。另一方面，更为重要的是，对枢纽节点企业进行甄别与规制。要明辨龙头企业优势地位到底是由于知识偏好连接内生演化，还是其他非市场因素外生形成。以企业对市场主体造成福利损失而非企业规模作为反垄断的标准，鼓励创新反垄断工具。

〔责任编辑：梁 华〕