

知识密集型产业技术创新演化机理研究

孙 冰 袭 希/著

Research on Evolutionary Mechanisms of
Technological Innovation in
Knowledge-Intensive Industry



科学出版社

014030241

F406.3
23

知识密集型产业技术 创新演化机理研究

Research on Evolutionary Mechanisms of Technological
Innovation in Knowledge-Intensive Industry

孙 冰 袁 希 著

国家自然科学基金项目(项目编号:71173059)

教育部新世纪优秀人才支持计划(项目编号:NCET-10-0051)



科 学 出 版 社

北 京



北航

C1717143

F406.3
23

内 容 简 介

在知识经济全面冲击传统经济的今天,系统、深入地研究知识密集型产业技术创新的演化问题,对于我国经济的健康发展、产业的结构调整和技术持续进步具有重要的理论和现实意义。本书描述了知识密集型产业技术创新及其演化的复杂适应性特征,进行了知识密集型产业技术创新演化的内外动力要素识别。基于内外动力要素之间的不同交互关系,将知识密集型产业技术创新演化分为“技术—环境”交互下的演化和“技术—技术”交互下的演化,并运用“刺激—反应”模型、ARTHUR 博弈模型等分别对其机理进行了描述,进而运用智能体仿真模型分析了知识密集型产业技术创新演化的动态过程。同时,构建了知识密集型产业技术创新演化相关政策的设计框架,并以吉林省新能源汽车产业为例,在该框架的指导下提出了促进知识密集型产业技术创新演化的相关政策。

本书可供创新管理领域的研究人员、高校师生以及政府有关部门的决策人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

知识密集型产业技术创新演化机理研究/孙冰,裘希著. —北京: 科学出版社, 2013

ISBN 978-7-03-039398-2

I. ①知… II. ①孙… ②裘… III. ①高技术工业—技术革新—研究—中国 IV. ①426

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 309832 号

责任编辑:李 莉 / 责任校对:张怡君
责任印制:阎 磊 / 封面设计:无极书装

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京通州皇家印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014 年 3 月第 一 版 开本:720×1000 B5

2014 年 3 月第一次印刷 印张:12 1/4

字数:244 000

定价:58.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

面对经济增长带来的各方面压力，中国已经开始意识到产业动态位置调整对于稳定经济地位、促进经济发展的重要作用。十八大报告中明确指出，创新战略的实施要以科技知识为基础，通过促进产业创新实现经济飞跃。由此，以技术创新管理为核心的知识密集型产业已经成为推动我国经济发展的中流砥柱。在经济学进入多元化发展的今天，在当前多变且复杂的社会经济环境中，系统、深入地研究知识密集型产业技术创新的演化问题，科学、可行地提出相关政策和建议，对于我国经济的健康发展、产业的结构调整 and 技术的持续进步具有重要的理论和现实意义。

尽管目前关于技术创新演化的研究成果较为丰富，但研究视角多集中于企业层面，而经济波动的原因在于中观而非微观，产业层面对技术创新演化的分析越来越重要。同时，现有关于技术创新演化的研究大多倾向于将知识和技术创新、技术创新复杂性和演化割裂开来，忽略了彼此本质上的联系，更缺乏运用合理的研究方法，以及研究工具对动态、复杂的技术创新演化的详细描述和深入剖析。鉴于此，本书的研究目的在于：从中观经济学、演化经济学和知识经济学角度拓展技术创新的研究领域，系统而深入地探讨当前社会经济条件下我国知识密集型产业技术创新演化规律，运用理论模型实现知识密集型产业技术创新演化的智能体模型仿真，并力争让理论研究指导实践。因此，本书的研究成果可以为我国区域技术创新相关政策的制定、促进区域产业技术创新健康演化提供理论依据和决策借鉴，对于改善区域技术创新现状、推动区域经济发展具有实际应用和参考价值。

本书主要在以下几方面做了探索性研究工作。

(1) 知识密集型产业技术创新演化复杂性的描述。引入复杂性科学的观点，分析了知识密集型产业技术创新及其演化的复杂适应性特征，论述了知识密集型产业及其演化的多层次结构和适应系统优越性。在此基础上，提出了知识密集型产业技术创新适应性演化的观点，定义了 *kene*（即知识 *knowledge* 和基因 *gene* 的结合）和知识空间，探讨了知识密集型产业技术创新演化的适应性机理，并规定了知识密集型产业技术创新演化的智能体仿真基础。

(2) 知识密集型产业技术创新演化动力要素的识别。采用假设检验的方法对知识密集型产业技术创新演化的外部和内部动力要素进行识别：在因子分析和相

关分析的基础上,提炼知识密集型产业技术创新演化的外部动力要素;基于结构方程的分析结果,验证了知识密集型产业技术创新演化的内部动力要素。根据内外动力要素之间的不同交互关系,将知识密集型产业技术创新演化分为“技术—环境”交互下的演化和“技术—技术”交互下的演化两种类型,其中后者又包括竞争与合作两种情况。

(3) 知识密集型产业技术创新演化机理模型的构建和智能体仿真研究。根据选择、学习和改变三个方面的机理,借鉴复杂适应系统中环境与主体互动影响的研究方法,建立知识密集型产业“技术—环境”作用下创新演化的“刺激—反应”三层模型。将知识密集型产业“技术—技术”作用下的创新演化机理分为竞争和合作两方面的内容,分别运用 Arthur 博弈模型和巨元组网络模型建立了知识密集型产业竞争和合作关系的技术创新演化模型,又据此构建了知识密集型产业技术创新演化的整体模型。在模型分析的基础上,运用智能体仿真对机理模型分别进行了仿真模拟。

(4) 知识密集型产业技术创新演化相关政策框架的设计和案例分析。提出知识密集型产业技术创新演化相关政策的分析框架,从驱动强化政策、支撑政策和引导政策三个方面阐述相关的政策内容。以吉林省新能源汽车产业作为研究对象,采用政策分析框架描述了该产业技术创新演化中的功能模式和诱导阻碍机制,提出吉林省发展新能源汽车产业技术的相关政策。

本书的写作是不断发现新问题的过程,也是我们不断探索和攀登高峰的过程。作为知识密集型产业技术创新演化研究的抛砖之作,本书期待着创新领域研究者和实践者的赐阅。如能对读者有些许启发,笔者将倍感欣慰。由于笔者水平有限,虽然经过反复推敲,但书中难免存在疏漏之处,恳请各位读者多提宝贵意见和建议,以使本书和后续研究不断完善。

作 者

2014 年 1 月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 本书的研究背景和研究目的	1
第二节 国内外研究现状及评述	4
第三节 本书的研究思路和研究方法	15
第二章 知识密集型产业技术创新演化的理论基础研究	19
第一节 知识密集型产业的界定	19
第二节 知识密集型产业技术创新演化研究的理论依据	23
第三节 知识密集型产业技术创新及其演化复杂性的内涵	24
第四节 知识密集型产业技术创新的适应性演化观点	30
第五节 知识密集型产业技术创新演化的仿真基础	34
第六节 本章小结	38
第三章 知识密集型产业技术创新演化的动力要素识别及类型划分	39
第一节 知识密集型产业技术创新演化的外部动力要素提炼	39
第二节 知识密集型产业技术创新演化的内部动力要素分析	48
第三节 基于动力要素的知识密集型产业技术创新演化类型划分	60
第四节 本章小结	64
第四章 知识密集型产业“技术—环境”交互下的创新演化机理	65
第一节 环境对知识密集型产业技术创新的自然选择机理	65
第二节 知识密集型产业技术创新对环境的学习机理	69
第三节 技术创新演化对环境的改变机理	70
第四节 知识密集型产业“技术—环境”交互下创新演化的仿真	72
第五节 本章小结	79
第五章 知识密集型产业“技术—技术”交互下的创新演化机理	81
第一节 知识密集型产业在“技术—技术”交互下创新演化中的竞争 与合作	81
第二节 基于 Arthur 博弈模型的竞争技术创新演化机理	86
第三节 基于网络的知识密集型产业合作技术创新演化机理	95
第四节 本章小结	114

第六章 知识密集型产业技术创新的演化模型及其仿真	116
第一节 群落观点下知识密集型产业技术创新演化的 CAS 描述	116
第二节 知识密集型产业技术创新的演化模型	120
第三节 知识密集型产业技术创新演化模型的智能体仿真	124
第四节 本章小结	136
第七章 知识密集型产业技术创新演化相关政策设计	137
第一节 技术创新政策的相关理论	137
第二节 系统演化观点下知识密集型产业技术创新政策的设计过程	144
第三节 知识密集型产业技术创新演化的相关政策内容	151
第四节 本章小结	154
第八章 知识密集型产业技术创新演化相关政策的案例分析	156
第一节 吉林省新能源汽车产业技术创新演化概况分析	156
第二节 吉林省新能源汽车产业技术创新演化政策的设计过程	159
第三节 吉林省新能源汽车产业技术创新演化的相关政策	165
第四节 本章小结	167
参考文献	168
附录	185
后记	187

第一章 绪 论

第一节 本书的研究背景和研究目的

一、本书的研究背景和意义

(一) 知识密集型产业的研究有利于推动我国产业动态位置的调整

芮明杰(2012)曾经提出,在信息时代与知识经济时代,全球价值链的分布特点是:发达国家的产业往往为资金或知识密集型,处于价值链的上游;而发展中国家的产业则多为劳动密集型,处于价值链的下游,上游和下游获得的附加值相差极大。所以,一个国家产业发展水平与竞争力大小在很大程度上取决于其产业在价值链中的动态位置。2010年第二季度数据显示,由于经济的增速超过预期,中国已经超过日本成为全球第二大经济主体。一些经济学家认为,中国在第二大经济体的未来之路上仍面临几个重要的挑战,其中包括劳动力资源如何向创新力资源挺进的问题。由此可见,知识密集型产业的发展将成为我国经济类型转轨和突破瓶颈的一个重大标志。然而,我国由于产业发展的惯性问题,知识密集型产业的发展仍处于较低的水平。英国《经济学家》周刊2010年9月30日的报道称:虽然印度与中国相比存在许多问题,但是随着全球经济更加趋向知识密集型,印度有望借助其私营企业强大的知识密集优势超过中国。

面对经济增长带来的各方面压力,中国已经开始认识到产业动态位置调整对于稳定经济发展和经济地位的重要作用。以技术创新和人力资源为管理核心的知识密集型产业将成为我国产业发展的中流砥柱。中国作为技术的后发国家,如何健康地发展知识密集型产业进而推动技术创新的进程是一个重要的研究议题。本书针对知识密集型产业发展的核心——技术创新展开相关机理研究,研究成果可以为突破经济发展的瓶颈与促进产业结构的调整提供参考和借鉴,因而具有较强的现实意义。

(二) 复杂视角下的演化研究有助于探索技术创新呈现的新特征

傅家骥等(1998)曾经提出,技术创新是知识经济的基础,国际竞争的输赢在于一国的技术创新努力是否有效。换言之,一国国际竞争力增强的过程,正是该国技术创新积累的过程(Liao et al., 2010)。新时期、新环境变量下,技术创新的数量扩张机制和演化趋势原理已成为技术创新研究领域的核心问题:近年来

的研究普遍显示,作为经济增长重要内生力量的创新呈现出了非线性和高互动性等复杂特性(Kline et al., 1986; Dosi, 1988a; Malecki, 1997),技术创新总是在越来越迅速地进行,在这个过程中,随着许多具有自组织、自催化的新技术突然产生,创新过程会突然急剧强化,所以技术创新过程是一个越来越强的波动式过程,即从数量上而言技术创新是一种非线性的扩张(郑亚莉等, 2001)。同时,这种具有自我组织、自我催化的新技术能够自主地与其他技术单元有机组合,或者自主地催化其他不同的技术单元进行有机结合,这是从两个不同技术单元的结合来考察一个新技术单元进化的过程(陶海青等, 2002),也是在从另一角度研究技术创新的演化过程。可见,在知识经济全面冲击传统经济的今天,知识基础上非线性扩张的技术创新演化的研究是一个深层次的关键问题,也是提高我国经济实力的重要途径。

近年来,学者们从不同角度对技术创新所呈现的新特性进行了研究,并提出了重要的理论和观点,如以野中郁次郎(Ikujiro Nonaka)教授为代表的知识创造理论,以Nelson和Winter、Dosi为代表的演化经济学理论,以及以Lundvall为代表的技术创新复杂性观点。这些理论和观点对于技术创新的理论发展是十分有益的,只是彼此之间还处于相对分割中。鉴于此,本书尝试将知识创造、演化经济学、技术创新复杂性理论相融合,并结合复杂适应系统理论和智能体模型仿真(agent-based modeling simulation, ABMS)的最新成果对知识密集型产业的技术创新演化机理进行研究,这将有助于深入探索技术创新呈现的新特征,拓展技术创新的研究领域,因而具有较强的理论意义。

(三) 前沿范式的运用对目前的经济实践具有指导意义

21世纪,经济学已经进入了一个多元化的时代,新古典主流的资源配置、均衡分析的固定框架、“华盛顿共识”的最优和机械思维等主流经济学范式已经不适合知识经济和信息技术发展的客观要求,与其相应的,知识经济的资源创造、动态经济发展的分析模式、“北京共识”的多样性和创新逐渐成为现代经济学的前沿问题。演化经济学是21世纪经济学所面临的革命性变化的主导力量。它致力于了解经济组织的内部结构,以便更好地研究技术进步及行业和产品变迁,理解创新发生的过程并寻求经济的演化过程。与经济学研究范式的发展类似,目前系统科学的研究正处于从无生命系统研究到有生命系统研究的转变,从工程技术领域到社会科学、生命科学的领域转变(焦李成等, 2007)。当学者们逐渐意识到系统的复杂性时,传统的简单线性的系统研究方式也就被复杂的非线性的模型所取代。复杂适应系统(complex adaptive system, CAS)和智能体模型仿真作为第三代复杂理论的代表,成为目前系统科学研究的新范式,被广泛运用于各个领域。

为此,本书尝试运用复杂适应系统理论和演化经济学理论对知识密集型

产业的技术创新进行研究,探讨其在内外部动力因子作用下的演化机理,以更深入地探求我国知识密集型产业技术创新的运行状况和发展规律。同时,运用智能体模型仿真对我国知识密集型产业技术创新演化进行模拟分析,提出促进其技术创新发展的相关政策,对于产业政策制定和创新实践发展具有一定的指导作用。

二、本书的研究目的

本书力图实现以下三方面的研究目的。

一是从中观经济学、演化经济学和知识经济学角度拓展技术创新的研究领域。如前所述,在目前这个以知识为重要生产要素的时代,新古典经济学的均衡、资源配置等范式已经不适合经济和社会的发展现状,传统的宏观经济学和微观经济学的思维方式也因只强调“时间”要素而完全忽略了“空间”要素。现有的关于技术创新的研究使学者们清晰地看到,在知识基础上,将以时间、空间、效益、环境等为特征的中观经济学(周杨明,2006)和以创造性毁灭为特征的演化经济学(Metcalfe,1998)相结合具有必然性和深远的意义。本书旨在进一步阐述这种必然性,分析知识密集型产业技术创新演化的相关内涵、特征、动力因子及其作用机理,以丰富技术创新研究的体系与内容。

二是系统而深入地探讨当前社会经济条件下我国知识密集型产业技术创新演化规律。技术创新已经成为经济发展的重要内生变量,但不同发达程度的国家对技术变革的理解和执行程度有所不同,最终导致产业和企业技术创新行为及演化路径的差异。本书将立足于我国本土知识密集型产业的技术创新现状,在对我国知识密集型产业进行实地调查和分析的基础上,寻求其技术创新及演化的时代与地域特征,并在此基础上识别演化的关键动力因子,探索不同作用条件下技术创新演化的内在机理。

三是运用理论模型实现仿真,并力争使理论研究指导实践。一方面,智能体模型仿真作为目前仿真模型和技术发展的新方法,虽已应用于不少领域,但是在经济管理尤其是技术管理领域的应用还不是十分广泛。本书将尝试在产业技术创新演化研究方面实现智能体模型仿真,进一步探索该模型在技术创新领域的应用方法与适用条件。另一方面,作为世界第二大经济主体,我国的经济发展状况日益受到国际社会的关注,而作为国民经济重要内生变量的技术创新更需要健康且持续的发展。本书力求通过知识密集型产业技术创新演化的仿真分析,为知识密集型产业和相关企业准确预测产业技术的未来走向与发展路径,以及为各级政府和行业管理部门进行科学决策和制定相关政策提供重要依据。

第二节 国内外研究现状及评述

一、知识密集型产业的研究

知识密集型产业是一种按生产要素密集程度分类的产业类型,迄今为止,学术界对其没有统一的概念界定。概括而言,知识密集型产业是指在生产和服务过程中对知识的需求依赖程度较大的产业,或者可以是以知识的生产和传播为主体的产业(简新华,2001)。按照 OECD 的提法,知识密集型产业是指具有较为密集的技术和人力资源投入的部门,可分为知识型制造业和知识型服务业两种(伍忠贤等,2003)。

根据学者们对知识与技术关系的不同理解,知识密集型产业的范围界定也有所不同。一部分学者将技术与知识视为一体,并据此提出了产业的三分法。其中,一些学者认为知识是包括技术在内的广义的知识,因此将产业划分为劳动密集型产业、资本密集型产业和知识密集型产业三种(苏东水,2005);另一些学者则认为技术中包含着知识,因而将产业划分为劳动密集型产业、资本密集型产业和技术密集型产业三种(司春林等,1998;杨公朴等,1999)。而还有部分学者将技术与知识区分开来,进一步提出了四分法和七分法。例如,芮明杰(2005)把全部产业划分为劳动密集型产业、资本密集型产业、技术密集型产业和知识密集型产业四类;周勇等(2006)将产业划分为资源密集型产业、劳动密集型产业、资本密集型产业、技术密集型产业、信息密集型产业、网络密集型产业和知识密集型产业七类。可见,无论知识与技术的关系如何,知识密集型产业都是产业分类中重要的组成部分。

目前,关于知识密集型产业的理论研究主要集中在以下五个方面。

一是关于知识密集型产业特点的研究。Willoughby (2004)提出,在高研发密集度的条件下,知识密集型产业中员工之间具有正式组织交流的企业将拥有更好的绩效,即知识密集型产业是以人力资源为主要特点的。许强(2007)和高汝熹等(2007)进一步认为,知识密集型产业中的企业具有向顾客提供不同范围的创新来解决不同问题的特点。它们的知识是嵌入在人力资本中的,即使这种知识可能已经被部分地制度化和本地化了。基于对知识密集型产业特点的认识,Luo等(2009)在对美国某知识密集型产业的300个企业进行调查后得出结论,知识密集型产业对人力资本的要求较高,倾向于雇佣高学历、经验丰富并受过培训的员工。

二是关于知识密集型产业发展的关键问题研究。鉴于人力资源在知识密集型产业中的重要性,学者们指出,对团队的管理是知识密集型产业发展的关键。国外学者的研究表明,在面对需要快速和创新响应的动态环境时,市场驱动的学习

型组织能够获得自身的竞争力,而学习型团队的整合在适应动态环境的过程中也体现出明显的优越性(Cohen, 1993; Scott et al., 1999)。我国台湾学者 Liao 等(2010)在对该地区的知识密集型产业进行案例研究的基础上也得出了相似的结论:在面对多变需求和有限资源的条件下,学习型组织是发展与保持产业竞争力的关键途径,也是知识密集型产业发展战略的最佳选择。

三是关于知识密集型产业运行机理的研究。Martin-de-Castro 等(2008)与高汝熹等(2007)的观点较有代表性。他们一致认为,知识密集型产业运行过程就是知识创造的过程,即隐性知识和显性知识的相互转化与作用是知识密集型产业运行的核心,相应地,知识管理也就成为发展知识密集型产业的关键一环。刘鹏(2004)在相关研究中也阐述了与此相似的观点。

四是关于知识密集型产业评价的研究。学者们认为,对知识密集型产业的评价主要应从产业投入和产业产出两个方面进行。其中,产业投入指标包括人力资源投入指标和 R&D 投入指标;产业产出指标包括生产成果产出指标和技术成果产出指标。他们运用主成分分析法构建了知识密集型产业定量评价模型,并对上海市的医药制造业、航空航天器制造业等五个知识密集型产业进行了评价和实证分析(高汝熹等, 2007)。

五是知识密集型产业中集群与联盟形成的研究。Hershberg 等(2007)认为,高校与企业之间的联系是形成知识密集型产业集群的重要前提和标志。Luo 等(2009)则认为,科学家作为知识密集型产业中的一种关键的智力资本,是产业中融资与研发联盟形成的原因。科学家比率越高,产业越倾向于形成联盟,然而联盟一旦形成,科学家比率就不再是融资联盟的关键影响因素。

二、知识基础上的技术创新研究

目前,创新环境(Camagni, 1991)、创新系统(Edquist, 2005)、创新网络(Powell et al., 2005)和知识溢出(Bottazzi et al., 2003)等方面的研究都支持了这样一种观点:技术创新是一个基于知识产生、扩散和应用的交互过程(Tödtling et al., 2009)。

在认同知识交互产生创新的研究者中,最具代表性的是被称为“知识创造理论之父”的日本著名知识管理学者野中郁次郎教授。他借鉴并继承了 Polanyi (1966)对知识的分类、Anderson (1983)对认知的探索和 Badaracco (1991)对知识的研究,在对日本一些著名企业(如佳能、本田、松下、NEC 等)进行实地考察的基础上,提出了与盛行于当时的美式理论迥然不同的“知识创造”理论。他指出,创新是由“知识螺旋”运动产生的,而后者又是由隐性知识(或暗默知识, tacit knowledge)和显性知识(或形式知识, explicit knowledge)共同作用导致的,正是这种基于知识创造的创新引导日本企业获得了优良的生产技

术。野中郁次郎教授还和研究伙伴描绘出著名的 SECI 模型 (Nonaka, 1994; Nonaka et al., 2000), 并通过实践和理论研究说明知识不能和催化其产生的环境相分离。知识创造和共享是嵌入在暂时的环境中的, 包括“从前、现在、之后的情况、条件和社会环境” (Reinmoeller, 2001)。他借鉴日本哲学家 Nishida 的观点将这种环境命名为“ba”——共享、创造和运用知识的具有时空特点的一个空间的概念 (Nonaka et al., 2000) 创新小组为了促进联系和实践形成的物质的、虚拟的、精神的或者三者任意结合的共享的空间。野中郁次郎教授的研究体系和思想从提出至今经历了十几年时间, 取得了很大的进展并且影响了大批学者的研究, 其代表性文献在 1995 年到 2004 年共被引用了 1600 余次。尽管“知识创造”理论是基于日本企业的实践提出的, 但是其适用性已经在其他国家和地区得到证实, 在一些特定企业 (如知识密集型企业) 中尤其适用 (Martin-de-Castro et al., 2008)。

在基于知识的技术创新研究中, 有两个热点问题受到学者们的广泛关注, 即隐性知识基础上的技术创新问题、知识流动和知识网络基础上的技术创新问题。

(一) 隐性知识基础上的技术创新

Polanyi (1966) 界定了显性知识和隐性知识: 显性知识是能够编纂的, 能够被表达的, 因此也可以交流; 隐性知识不能够被编纂和交流, 并且是“个人的”。他认为隐性知识表现为“我们比我们能够讲出来的知道更多” (we know more than we can tell)。这种分类虽然模糊, 但是仍被很多学者 (Nonaka et al., 1995; Spender, 1996) 广泛运用。研究这两种知识与技术创新关系的文献数量很多, 但几乎所有学者都认为, 在技术创新中隐性知识的管理相对而言更重要 (Koskinen et al., 2002)。隐性知识基础上的技术创新研究主要可分为以下四类。

第一类 (即较早期的) 研究侧重于分析隐性知识通过技术创新对企业竞争力的间接影响。在 Polanyi (1958) 看来, 隐性知识是所有知识的支配原则, 个人与企业关注隐性知识的原因就在于显性知识只是“冰山一角” (Sveiby, 1997), 如果给隐性知识以更大的空间, 更稳固的知识基础能够促进持续的改进过程, 进而产生技术创新, 公司的竞争地位就会被加强 (Thurow, 1997; Stewart, 1997; Johannessen et al., 2001)。因此, 很多文献 (Nonaka et al., 1995; Spender, 1996; Sweeney, 1996; Teece et al., 1997) 认为, 在动荡的市场环境和全球经济条件下, 企业具有何种程度的竞争力正是由隐性知识基础上的技术创新所决定的。

第二类研究关注于隐性知识对技术创新的直接作用。Leonard 等 (2000) 指出, 由现代产品和服务所构成的复杂系统的产生要求来自不同角度、准则和个人技能的知识的融合, 这些知识以隐性知识的形式对组织的创新活动起着重要作用。Nightingale (1998) 的观点认为, 隐性知识之所以能够对技术创新产生作

用,是因为技术所表现的特质是基于隐性知识的。据此, Koskinen 等 (2002) 认为, 隐性知识对技术创新的作用主要体现在创新的初始阶段 (发明创造和新产品开发), 产生于隐性知识的信息交流即学习过程中。隐性知识对技术创新作用的关键并不在于拥有隐性知识的员工的数量, 而在于员工对隐性知识的运用情况。因此, 小型技术企业对隐性知识的运用效果往往强于大型技术企业, 而企业与客户之间隐性知识的交互学习更有利于促进技术创新的产生。与其观点相类似的是 Mascitelli (2000) 的研究, 他认为隐性知识意味着丰富的想法、即兴创作 (improvisation) 和艺术性创造的整合, 因此往往容易引发突破性技术创新。他同时提出, 培养团队成员的归属感、提倡研发过程中亲密的沟通是促进隐性知识交流、产生突破性技术创新的有效途径。

第三类研究则分析了隐性知识基础上技术创新的形成机理。竹内弘高和野中郁次郎所提出的 SECI 模型从本质上解释了技术创新来源于“知识螺旋”(即知识的获取和转化) 的观点。不少学者 (Hamel, 1991; Badaracco, 1991; Koskinen et al., 2002) 认为, 隐性知识的基础是经验, 它孕育在社会网络中, 有高度的环境和历史依赖性, 从本质上而言难以获得和转化。尽管如此, 一些研究 (Nonaka et al., 1995; von Krogh et al., 1996) 仍然提出了隐性知识获取和转化的两个方法, 即内部化 (internalization) 和社会化 (socialization)。其中, 内部化是从以“干中学”为标志的从显性知识到隐性知识的转化, 而社会化则是通过非正式的面对面的交流和模仿进行的从隐性知识向隐性知识的转化。隐性知识基础上的技术创新就形成于内部化和社会化的过程中。我国学者阎维洁等 (2009) 却认为 SECI 模型对技术创新形成的解释并不深入, 他们提出了强调沟通的“场”的概念并定义了物理场、虚拟场、人才场、实践场和资金场。在这五种类型的“场”中, 隐性知识得以应用, 同时能够实现加速知识创造与技术创新的目的。

第四类研究则从个体层面的隐性知识转向了群体层面的隐性知识, 这也是近年来隐性知识基础上技术创新研究的新视角。Nonaka 等 (2003) 首先提出群体隐性知识 (group tacit knowledge, GTK) 的概念, 尽管知识创造理论强调所有知识的来源是个人, 但是在群体中推进知识创造和技术创新也同样重要, 正如个人的创造力构成了组织的知识 (Spender, 1996)。Erden 等 (2008) 在 GTK 的研究方面具有重大贡献, 他们认为技术创新作为一个复杂的过程, 不是一个人能够做到的, 而是对 GTK 关注的团队集体工作的结果。同时在隐性知识基础上的技术创新过程中, SECI 模型中的社会化是最关键的步骤。群体内的隐性知识不能进行局部或个人分配, 因此它难以被复制和模仿。这也是为什么一些企业为了更好地达到技术创新的目的, 不只是转移和雇佣一个人, 而是转移和雇佣一整支曾经共同合作、解决过复杂技术难题的团队的原因。

(二) 知识流动和知识网络基础上的技术创新

Debra Amidon 在《面向知识经济的创新战略》中指出,与其他的创新行为相比,基于知识的技术创新具有四个基本特征,战略商业网络是其中之一(其他三个基本特征分别是创新价值体系、合作利益和消费者成功)。他认为单一的战略商业单位仅能建立知识的孤岛,而战略商业网络则鼓励创新过程中知识网络的形成,网络能够使知识在合作者、客户、供应商、科研机构和其他股东包括竞争者之间流动(傅家骥等,1998)。

基于此,目前众多学者(Kaufmann et al., 2003; Tseng, 2009; Tödtling et al., 2009; Gupta, 2009)都将技术创新尤其是产业中的技术创新置于知识流动和知识网络的视角下进行研究。三者之间的关系如下:知识流动包括知识在企业内和企业间的流动[有的学者将企业间的流动称为知识扩散(方凌云, 2001)],它们导致企业内和企业间复杂的知识网络的形成,进而在产业层面上衍生出时间和空间上的技术创新聚集。学者们通常运用知识流动和知识网络对技术创新进行衡量和过程描绘,关于知识流动(知识扩散)和知识网络基础上的技术创新研究大体可分为以下两类。

第一类研究侧重于衡量技术创新中的知识流动。OECD 在 2001 年即提出,产业中的知识流动是设计技术创新体系、发展技术创新政策的基础。因此,知识流动的测量将能够为技术创新的量化和衡量提供依据。Park 等(1999)在衡量技术创新中的知识流动时,将产业中知识流动分为体现性和非体现性两类。早期的研究主要聚焦于以投入产出为衡量指标的体现性知识流动(Verbeek, 1999; Hauknes, 1999; Roelandt et al., 1999),近期的研究统计却显示,非体现性知识流动的衡量研究呈现出上升的趋势。Park 等(2009)提出体现性知识流动蕴涵在机械、设备和新技术组件的交易过程中,而非体现性知识流动则包含在人员流动和溢出传播知识的过程中,这两种形式的知识流动都在技术创新体系中处于核心的位置(Archibugi et al., 2005)。非体现性知识流动可以用专利的合作发明(Ejermo et al., 2006)、人力资源流动性(Criscuolo, 2005)、战略联盟(Gay et al., 2005)和专利申请等方法进行衡量,其中以专利申请信息的使用最为频繁(Park et al., 2009)。这些知识流动的衡量方法经常被用于国家(Jaffe et al., 2000; Hu et al., 2003)、产业(Park et al., 2005)和企业(Ham et al., 1998)层面上的技术创新研究。

第二类研究关注于知识流动(知识扩散)和知识网络基础上的技术创新。大量的理论与实证研究(Sinani et al., 2004; Escribano et al., 2009; Shin et al., 2010)显示,随着信息技术的发展,发源于一个国家、一个产业或一个企业的知识与技术正日益跨越界限地扩散,并促进其他国家、产业或企业技术创新的发展。Shih 等(2009)通过实证研究指出了各国在国际技术扩散和创新网络中所

扮演的四种不同角色：第一层次的国家提供技术知识的来源；第二层次的国家把来自源头的知识扩散出去；第三层次的国家处于技术知识输送的过程中；第四层次的国家则无互惠地吸收技术知识。他们提出了适用于低层次国家的两个技术创新追赶策略：以发展为导向的策略和以研究为导向的策略。前者是通过学习嵌入在资本货物中技术溢出的新知识来丰富国家技术储备，最终产生非体现性知识基础上的技术创新；后者是先提升非体现性知识模式下的创新能力，然后通过产品设计和开发的体现性知识模式实现进一步的技术创新。Hu（2008；2009）的研究支持了以上观点，他们认为，从知识流动和知识网络的角度来看，尽管美国、日本等技术创新能力较高的经济合作组织国家仍然是创新知识的主要来源，但亚洲国家和地区作为产业的后进入者，已将知识来源中特定的外化核心技术进行内部化，其知识扩散日益呈现出区域化的现象，技术创新能力得到了有效提高。其中，韩国和我国台湾由于“技术后发”的势头强劲，在很多技术的研发方面已超过了领先的发达国家，被称为“世界层次的创新者”（world-class innovator）。此外，我国台湾学者 Hung 等（2008）和 Tseng（2009）根据对台湾地区内外产业间知识流动的观察模拟建立了知识网络，他们的研究结果显示，地区之间的知识扩散正是技术创新能力发展的有效联系和激励因素。

三、技术创新的复杂性研究

随着现代科学尤其是复杂科学的发展，包括技术创新在内的各研究领域的研究范式也发生了迅速的变化。Castellani 和 Hafferty 的著作 *Sociology and Complexity Science* 就给出了运用复杂理论研究社会学问题的研究框架和普遍使用的方法。他们描绘了复杂科学的发展路线，为学者们今后的研究梳理了清晰的理论脉络和方向。与他们的研究相似，Rose-Anderssen 等（2005）绘制出了基于复杂理论的技术创新研究范式的发展图。综合以上学者的观点可知，在经典的均衡模型之后，基于复杂科学的技术创新的研究范式（即研究的假设模型）可分为三种：机械式模型、自组织模型和演化模型。

陈禹（2001）认为传统的复杂科学是建立在机械式模型的基础上的。20 世纪 50 年代，机械思想的控制论成为了研究主流，并被学者们称为一个时代的标志。然而到了 20 世纪 70 年代，由于控制论在社会经济领域并没有取得成功，机械系统的思想逐渐走向下坡路。原因在于，机械模型的核心是预测，而预测的前提必须是基于一个“不会改变”的系统（Rose-Anderssen, 2005）。因此，Allen（1994，1998，2000）的研究体系指出，只有排除了技术创新，一个开放的社会系统才有可能运用机械式模型进行分析（陈禹，2001）。

继机械系统之后，20 世纪 70 年代兴起的耗散结构理论和协同学成为第二代复杂科学理论，其核心是自组织模型。借鉴自组织模型的思想，学术界开始将技

技术创新描述为一个具有非线性和高度互动性的过程,认为该过程所嵌入的系统是一个复杂系统(Katz, 2006),即技术创新具有复杂性。技术创新的复杂性主要来源于以下四个方面:一是技术本身的复杂性;二是创新主体的复杂性;三是技术创新组织的复杂性;四是技术创新环境的复杂性(Lundvll, 1992; 曹克, 2000; 埃德加·莫兰, 2001; 吴彤等, 2003; 张东风, 2005; 刘汶荣等, 2008)。基于对技术创新复杂性来源的认识,我国学者郑亚莉和陶海青(2001)指出,技术创新本身具有非线性,能够自我组织和自我催化,进而预测技术创新具有一个越来越强的波动式过程,从此引发了技术创新复杂性的讨论。此方面的研究可以分为两类:一部分研究集中在技术创新本身的复杂性上,学者们普遍认为技术创新呈现出非线性、整体性、层次性(多层性)、涌现性、开放性、动态性、自适应性、自组织性(远离动态平衡)和自相似性(刘汶荣等, 2008; 贾凤亭, 2003; 王润霞, 2009)等复杂特性,进而构成了技术创新的复杂系统。另一部分研究则侧重于运用第二代复杂科学理论分析技术创新的相关问题,如孙冰等(2006; 2010a; 2010b)分别运用耗散结构理论、协同学理论和系统动力学理论分析了技术创新动力系统的作用机理和运行机制;叶金国等(2003; 2004)和李锐等(2010)则运用自组织模型和混沌理论对技术创新与产业系统的演化机制、过程及演化混沌问题进行了探讨,指出多变的技术创新模型参数导致了产业系统演化过程的多样性和复杂性。

然而,第二代复杂科学理论的自组织模型应用于经济、社会领域时仍不能令人满意(陈禹, 2001)。20世纪90年代以来,国内外学者不约而同地将注意力集中到个体与环境的互动作用上,产生了第三代复杂理论的演化模型,其核心为强调个体的主动性。Fleming等(2001)认为,将技术创新看成一个复杂适应系统时,能够更加深入地了解发明创造的过程。Rose-Anderssen等(2005)的研究中提出,演化模型的运用范围已扩展到了生态、生物、经济、社会系统和组织机构等领域。技术创新的演化是在动态环境下的现实系统中发生的,既有量变的产生,又有质变的产生。因此,复杂科学理论的演化模型为技术创新研究提供了一个新的框架。Sherif和Xing(2006)将企业中知识创造过程看成是包含四个机制(标签机制、经验机制、可信度赋值机制和开发探究机制)的CAS,认为四个机制的综合作用产生了组织学习和技术创新。我国学者也进行了一些相关研究,如张东风(2005)认为技术创新是一个CAS,原因在于用于构建CAS理论的基础概念(如主体、聚集、非线性、流、多样性等)在技术创新系统中都可以得到相应的解释。

四、技术创新的演化研究

演化经济学对技术变革与创新的基本假设起源于熊彼特的研究,“熊彼特理