

# 复杂技术系统背景下技术体制新解

龚天宇 袁健红

(东南大学经济管理学院)

**摘要:** 在解释技术体制、技术范式和技术轨迹间的关系,并指出原有技术体制在复杂技术系统下存在的缺陷的基础上,引入技术场网络作为技术体制的新维度,解释复杂技术系统中技术场网络主体间的技术联系,并区分了这种技术联系的强弱,讨论了技术体制的新维度与原有维度间的关系,提出了相应的假设。

**关键词:** 技术体制; 技术范式; 技术轨迹; 技术场网络

**中图分类号:** C93 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-884X(2012)06-0857-06

## A New Explanation of Technological Regime in the Environment of the Complex Technical System

GONG Tianyu YUAN Jianhong

(Southeast University, Nanjing, China)

**Abstract:** This paper explores the relationship among technological regime, technological paradigm and technological trajectory and points out the flaw the original technological regime has in the background of the complex technical system. Based on which, this paper introduces a concept of network of technological field as a new dimension of the technological regime to distinguish the degree of the technological link between the actors in the network of technological field in the background of the complex technical system. This paper also tentatively explores the relation between the new dimension of technological regime and old ones to make some theoretical assumptions.

**Key words:** technological regime; technological paradigm; technological trajectory; network of technological field

从熊彼特提出创新理论开始,学者们从不同的角度研究产业创新,但是随着产业间的融合,传统方法和理论难以作出令人信服的解释,直到提出技术体制的概念<sup>[1]</sup>,这个问题的研究才得到进一步推进。技术体制用于描述企业所处的技术环境。此后学者又引入技术范式和技术轨迹的概念<sup>[2]</sup>。技术体制、技术范式和技术轨迹是研究技术变革领域理论建构的三大支柱<sup>[3]</sup>,这三者间到底是怎样的关系?随着产业技术环境复杂化,原有技术体制在复杂技术系统下能否解释企业所处的技术环境?这些问题的答案不仅可以丰富技术体制的概念,还能为研究其他问题,如企业创新模式和创新能力、产业间创新差异、技术追赶,提供新的视角。

## 1 技术体制、技术范式和技术轨迹的关系

### 1.1 技术体制的概念

技术体制是企业利用技术知识解决问题(生产产品、提供服务)时所处的技术(知识)环境<sup>[1]</sup>,这种环境可以从技术机会、创新独占性、创新累积性和知识基础 4 个维度进行描述<sup>[4]</sup>。

技术机会反映在将一定量的资源投入研究中,并产生创新成果的难易程度,高机会能吸引企业进行创新活动,因为其产生创新成果的概率更高。创新独占性指企业保护创新成果免于被模仿和从创新成果中获利的可能性,分为 2 个方面:独占方式和水平。独占方式是指企业通过申请专利、商业秘密、持续创新、控制互补资产等方法来保护创新成果;高独占性水平意味企业能够成功地保护自己的创新成果免受模

仿,低独占性水平意味企业所处的技术环境允许大量的知识外溢。创新累积性指企业当前的创新活动形成了今后创新的起点,当前进行创新的企业与没有进行创新的企业相比,在将来更可能在特定的技术领域实现创新。知识基础指创新活动所依赖的知识特性。知识的特性主要指知识的缄默性和复杂性。缄默性相对于编码性,指产业中的知识基础是否具有易编码性(利于知识传播和学习);复杂性相对于简单性,指产业中的知识基础是否由不同类别的学科知识结合而成。通常缄默性知识比较复杂,编码性知识比较简单。

### 1.2 技术范式和技术轨迹的概念

技术范式是解决备选技术问题的模式,这种模式是由当前的自然科学准则及材料科学决定的<sup>[2]</sup>。从宏观看,新技术范式的出现与扩散和自然科学突破有关,电磁技术将人类从蒸汽机时代带入了电气化时代,通信技术又将人类引入了信息化时代。从微观看,技术范式与主导设计<sup>[5~7]</sup>类似,主导设计具有“准”技术范式的特性,技术范式变化就是产业中主导设计变化<sup>[6]</sup>。技术轨迹用于动态地描绘技术经济结构的特征,指由技术范式决定的解决问题的“通行”模式,技术轨迹确定后,有一种自发的惯性来决定问题解决活动向哪个方向前进<sup>[2]</sup>,也就是说技术轨迹是由技术范式所决定的各种技术变量间的相互博弈(作用)决定的。技术范式和技术轨迹,两者显示了技术变化的方向,应该探索哪一技术领域(同时放弃其他技术领域),这2个概念常用来解释技术的连续性变化和连续性变化,连续性技术变化是沿着一定技术轨迹进行的,这种技术轨迹由当时的技术范式决定;而不连续技术变化则与新技术范式产生有关。

### 1.3 技术体制、技术范式、技术轨迹三者的关系

本研究认为,技术范式、技术轨迹和技术体制共同定义了技术变化(技术创新)空间。技术范式是在特定期限内技术空间中的主流技术(知识),比如第一次工业革命中的蒸汽机械化技术(其知识核心是牛顿力学和热力学理论),这种主流技术的变化总是伴随着突破性技术的产生,它决定了具体技术(知识)的发展,如第一次工业革命中蒸汽机械化技术决定了纺织、轮船和火车等机械化产品的发展,本研究称技术范式为技术变化空间的第1维度(描述技术发生突变);技术轨迹是由技术范式所决定的具体

技术的发展路径,具体技术的发展路径多种多样<sup>①</sup>,如1956~1990年间,计算机硬盘有2条技术轨迹:①重视硬盘容量胜过硬盘体积,这种硬盘一般用于大中型计算机;②重视硬盘体积胜过硬盘容量,这类硬盘用于微型计算机。当技术范式发生转变时,融入新技术范式的技术轨迹会得到发展,被锁入旧技术范式的技术轨迹会逐渐消亡,笔者把技术轨迹称为技术变化空间的第2维度(描述具体技术沿时间轴发生的渐进变化);技术体制则定义了企业利用具体技术(知识)解决问题(生产产品、提供服务)时的技术(知识)环境,会影响技术轨迹所决定的具体技术发展的路径,可以从技术机会、创新独占性、创新累积性和知识基础4个维度来描述。随着时空的变化,技术环境会发生变化,原因可能是三者相互作用的结果,如技术范式变化会使技术体制的技术机会增加,导致技术体制发生变化。本研究称技术体制为技术变化空间的第3维度(描述技术发生变化的环境)。三者间关系见图1,在技术空间中,随着时间的变化,不同的技术轨迹(小箭头)在一个技术范式(大箭头)内演化,由于时空的不同,技术体制各维度也发生变化,技术空间中的企业在技术体制下沿着一条技术轨迹进行创新。当科学变革引发技术范式转变时,融入新技术范式的技术轨迹得到发展,锁入旧技术范式的技术轨迹逐渐消亡;同时技术范式转变会促使技术体制变化,导致技术空间中的企业在新技术环境中沿着新技术轨迹继续创新。

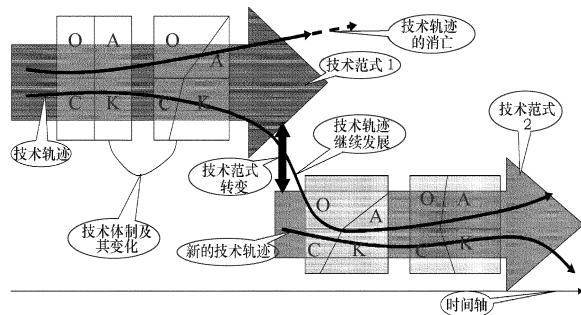


图1 技术体制、技术范式和技术轨迹的关系

注:O是技术机会,A是技术独占性,C是技术积累,K是知识基础,四者面积变化表示技术体制变化。

## 2 复杂技术系统下的技术体制

### 2.1 复杂技术系统

目前技术创新的发展趋势是复杂技术系统

① 技术轨迹并不完全由技术范式决定,还与市场需求、政府政策等因素相关,这些因素已经超出了本研究的讨论范围。

的创新,1970年复杂技术系统占世界30种最有出口价值商品的43%,而1995年这个数值已经占到82%<sup>[9]</sup>。复杂技术系统是由一系列部件技术通过特定架构形成的一个系统<sup>[10]</sup>,该系统的有形载体是产品或服务,如大型飞机就是典型的复杂技术系统。无形载体是蕴藏在有形载体下的知识集合,如大型飞机涵盖了材料、机械、电子和通讯等多方面知识。复杂技术系统的创新通常由多个产业中的企业共同进行,具有3个特征:①系统性,指复杂技术系统具有层次性,由基本部件和子系统构成;②网络性,子系统内部的联系、子系统各层次上的联系构成一个复杂网络<sup>[11]</sup>;③不可分割性,对子系统分割会导致系统功能的下降<sup>[12]</sup>。

在复杂技术系统下,拥有技术的企业是系统中的部件,而企业所在产业是子系统,由网络性可知,企业与所处产业内(子系统)其他企业存在技术(知识)上的联系,与其他子系统(其他产业)内的企业也存在技术上的联系,甚至企业还会与系统之外的组织,如政府、科研机构、大学等组织产生技术联系,众多的技术联系(相互作用)将致使企业所处的技术环境复杂化,但是依据技术体制原有的4个维度,无法对引发技术环境复杂化的技术联系进行解释。鉴于此,在复杂技术系统下,原来技术体制难以准确描述企业所处的技术环境。这一观点得到了学者们普遍的支持。例如,PARK等<sup>[13]</sup>用技术体制研究技术追赶时,发现原有技术体制无法准确描述韩国、中国台湾企业在技术上追赶发达国家时的技术环境,因此在原有4个维度基础上又增加了4个新维度<sup>①</sup>来定义技术体制。本研究要探索的,即如何解决原有技术体制在复杂技术系统下存在的缺陷。

## 2.2 技术体制的新维度——技术场网络

在复杂技术系统下,原有技术体制解释力下降是因为无法解释企业与其他主体间的技术联系,本研究认为,可以用网络来解释主体间的技术联系,用技术场来界定技术联系的边界。

### 2.2.1 网络

网络包括3个基本要素:行为主体、主体间关系、资源。行为主体包括个人、单个企业或企业群、政府、中介机构、大学和科研院所、教育和培训组织等;主体间关系指主体内部以及主体间的知识传递活动;资源包括物质资源、金融资源、人力资源和技术资源<sup>[14]</sup>。网络在企业技术创新中的重要性已经被许多学者证明,产业技术创新活动正被具有不同知识、能力和资源的

参与者间的相互作用(形成的网络)深深影响<sup>[15]</sup>。有关网络和技术间关系的研究,在理论上,一方面合作网络既是企业自身选择的结果,也是技术相互联系的结果;另一方面合作网络会影响技术变化,网络和技术间的相互作用是自我增强的,从而在合作网络的形成和演化上形成路径依赖过程<sup>[15]</sup>。在实证上,学者研究了合作网络联系紧密程度与技术变化的关系,结果表明松散联系的合作网络容易导致技术的不连续性变化,因为松散联系容易形成外围代理者,降低网络集中度,但是在不连续性技术产生后会形成新的网络,新网络会加强技术的稳定性,产业中在位者会增加其在网络中的重要性<sup>[16]</sup>。从研究中可以发现,网络不仅可以解释事物间的联系,还能定义联系的强度。

### 2.2.2 技术场

笔者主要研究如何描述企业在复杂技术系统中进行创新的技术环境。复杂技术系统的有形载体是产品或服务,无形载体是蕴藏在有形载体下的知识集,所以复杂技术系统的内涵是知识集。如何界定复杂技术系统的外延(边界)?受组织场概念启发,即组织场指一群组织(包括关键供应商、产品的消费者、代理商以及其他具有类似功能的组织)构成的一个可以被识别的组织活动领域<sup>[17]</sup>,引入“技术场”来界定复杂技术系统的边界。“场”在物理学中用于描述无形但真实存在的物质,技术场指的是复杂技术系统包括的一个无形技术领域,该领域包含了复杂技术系统所涉及的所有技术,它规定了复杂技术系统的边界。只要某个产业的技术能够对技术场形成的产品或服务在技术上做出贡献,该产业就属于这个技术场。在技术场内部有部分产业处于主导地位,另一些产业处于从属地位(见图2)。一个产业是否全部处于技

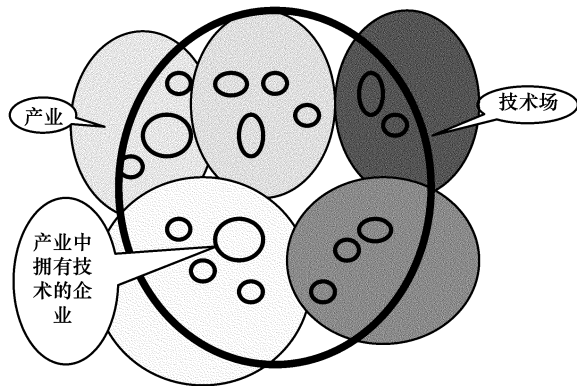


图2 技术场

① 4个新维度是外部知识基础,某技术领域初始知识存量,技术生命周期和技术轨道不确定性。

术场内,由这个技术场是否囊括了该产业所有技术而定。同样地,在不同的产业内部,可能存在处于主导地位的大企业和一些小企业,也可能整个产业主要是中小企业。

### 2.2.3 技术场网络

根据网络和技术场2个概念,本研究引入技术场网络作为技术体制的新维度来描述处于复杂技术系统中企业间的技术联系。

技术场网络指由技术场内部主体形成的内部网络和科研院所、大学、政府及外国企业等组织构成的一个复杂技术网络。技术场网络作为一个技术体制的维度,主要描述技术场内部主体间技术联系的紧密程度、技术场内部主体和外部主体间技术联系的紧密程度。技术场内部主体间的技术联系指在技术场内的企业间的技术联系,内部主体和外部主体间的技术联系主要指技术场内企业和科研院所、大学、政府及外国企业等组织间的技术联系。在技术体制中加入该维度后可以解释在复杂技术系统下引起技术环境复杂化的多重技术联系,使技术体制的概念能够适应产业技术复杂化的发展趋势。运用技术场网络的概念要注意4个问题:①技术场网络内部主体,可以从2个方面去考虑,根据复杂技术系统的系统性原则,各个产业中企业可作为系统中最小部件,各个产业是由企业部件构成的子系统,技术场界定的复杂技术系统则是最终的系统,所以从微观层面可以把产业中企业作为内部主体,从宏观角度可以明确将哪一个作为主体,并根据研究问题的对象来决定,本研究将产业中企业作为内部主体。技术场网络的外部主体包括科研院所、大学、政府及外国企业。②内外主体间的技术联系本质上是知识传递。③技术场网络中的资源从有形角度看是技术部件,从无形角度看是知识。④技术场网络不同于组织网络。技术场网络中主体间联系和网络中的资源分别是技术联系和知识资源,这种联系和资源仅仅是组织网络中联系和资源的一部分,所以技术场网络无论是概念的内涵还是外延都小于组织网络,技术场网络是一种特殊的组织网络。

根据社会网络理论中的弱关系力量假设,将技术场网络内外主体间技术联系分为强弱关系。强关系表示长期累积性相互联系,主体间十分信任和了解,信息流动便利;弱关系表示短期暂时性相互联系,主体间缺乏信任和了解,信息流动困难<sup>[18]</sup>。从2个维度测量技术联系的强弱:①主体间技术互动的频率。互动的次数多

为强关系,少为弱关系。②企业技术互惠交换。互惠交换多而广为强关系,反之为弱关系。这种测量方法不仅为进一步的实证研究打下了基础,而且可以定量地定义技术场网络内外主体间的技术联系,但为了研究方便仅定性地将技术联系分为强弱关系。当整个技术场网络以强关系为主时,内外部主体间知识传递比较频繁,这种技术环境不仅有利于提高技术场内企业技术创新的频率,还有利于提高企业技术创新的程度,企业在这种技术环境下不仅创新的次数多而且更有可能产生突破性创新;当整个技术场网络以弱关系为主时,内外部主体间知识传递较少,在这种技术环境下技术场内部企业进行创新比较困难,创新的次数较少,主要进行渐进性创新。整个技术场网络内外部主体间关系可见图3。

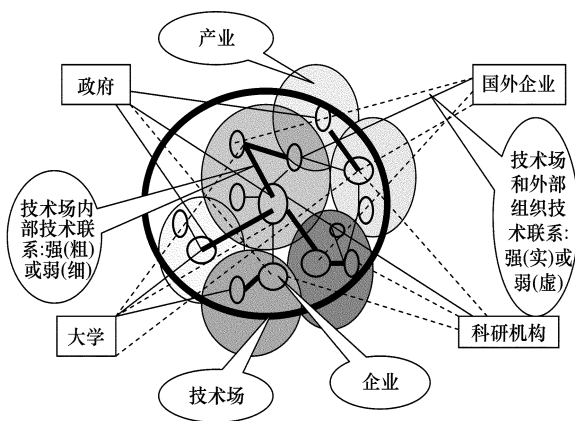


图3 技术场网络内外主体间关系

技术场网络内外主体间技术联系的强弱关系并不是一成不变的,会随时间和空间的变化而变化,导致整个技术场网络技术联系的强弱关系发生变化。通常技术场网络内部主体间的技术联系是一种强关系,因为主体属于一个复杂技术系统,需要共同向市场提供一种产品(服务)才能生存,所以它们之间共同的利益依赖关系会促使形成强关系。内部主体和外部主体间的技术联系是一种弱关系,因为科研院所、大学、咨询机构和政府等外部组织并不完全依赖某个技术场而生存,相比前者间的关系,后者间的技术联系较弱。此时整个技术场网络是以强关系还是以弱关系为主取决于该技术场的开放程度,技术场的开放程度越强,内外主体间技术联系就变强,整个技术场网络呈强关系状态;反之,则呈弱关系状态。这种状态并不是一成不变的,随着技术场的演化,强弱关系会发生改变。比如,在一个技术场形成初期,作为新兴的技术场,知识积累较少,内部企业数量很少,企

业间合作较少,但会得到政府、大学等外部主体的支持;或者国内技术场是转移国外技术形成,这时国内技术场中企业会得到国外企业技术上的支持。此时技术场内外主体间知识传递就比较频繁,技术联系是强关系,技术场内企业间技术联系相比而言是弱关系。随着技术场的发展,不断进入新企业,技术场内部知识积累增加,当企业间合作加强时,企业与政府、大学等外部主体间的合作可能会减弱(因为企业的精力是有限的)。从动态角度看,技术场内部主体间技术联系可能是强关系,也可能是弱关系;技术场内外主体间的技术联系亦然。技术联系的强弱取决于技术场演化的阶段,这种动态关系类似于技术体制原有 4 维度和熊彼特 I 创新和 II 创新间随产业生命周期的演变发生的变化<sup>[19]</sup>。两者间强弱关系的变化又决定了整个技术场网络技术联系的强弱。

此外,在技术发展程度不同的地区,技术场内部主体间的技术联系和内外主体间的技术联系也会不同,在技术先进地区(发达国家),知识积累充足,法律制度健全,一个技术场网络由内而外形成,主要依靠技术场内知识积累,较少依赖外部主体支持,这样的技术场网络在正常情况下从形成初期到生命周期结束,都是以内部技术联系为强关系,内外技术联系为弱关系,整个技术场网络的状态则取决于技术场开发程度。在技术落后地区(发展中国家),知识积累薄弱,法律制度不健全,技术场网络通常由外而内形成,在形成初期主要依靠外部力量推动,达到一定的规模后才注重内部知识积累,这样的技术场网络在形成初期,内部技术联系较弱,内外技术联系较强,当其生命周期发展到某一个阶段,技术联系可能会发生转变,内部技术联系由弱变强,内外技术联系由强变弱,PARK 等<sup>[13]</sup>在研究中国台湾和韩国技术追赶与技术体制的关系时曾做过类似的描述。

### 3 技术场网络与技术体制原有维度的关系

下面将讨论技术场网络与技术体制原有维度的关系,并作出假设但不进行实证分析。

(1)技术场网络与技术机会 技术机会反应将一定量的资源投入研究,该研究产生创新成果的难易程度。当整个技术场网络的技术联系是强关系时,技术联系比较紧密,容易产生创新成果,技术机会水平较高,主体间的多重技术联系会增加(技术机会)多样性,使解决问题的技术方案更丰富,同时提高技术机会的广度,扩

大技术机会的来源,因此假设强关系技术场网络能提高技术机会水平,弱关系技术场网络会降低技术机会水平。

(2)技术场网络与创新独占性 技术场网络主体间复杂的技术联系,会加速知识传递,促使知识溢出。随着技术场网络中技术联系增强,技术溢出随之增加,保护创新成果就变得困难,因此假设强关系技术场网络会降低创新独占性水平,弱关系技术场网络会提高创新独占性水平。

(3)技术场网络与创新累积性 随着技术场网络中技术联系增强,技术溢出增加,新知识加速形成,使技术知识流量增加,当初始创新累积相同时,流量的增加会提高创新累积性。由此,本研究假设强关系技术场网络会提高创新累积性,弱关系技术场网络会降低创新累积性。

(4)技术场网络与知识基础 技术场网络中技术联系增强会导致知识独立性降低,难以从系统中分离,知识基础趋于复杂化。由此,本研究假设强关系技术场网络会增强知识基础复杂性,弱关系技术场网络会降低知识基础复杂性。

## 4 结语和展望

本研究以复杂技术系统背景下的技术体制为切入点,做了以下 3 项工作:①解释了技术体制、技术范式和技术轨迹间的关系。技术体制、技术范式和技术轨迹共同定义了技术变化(技术创新)空间,在技术空间中,随着时间的变化,不同的技术轨迹在一个技术范式内演化,由于时空的差异,技术体制各维度也不断变化,技术空间的主体处于特定技术环境下沿某条技术轨迹进行技术创新,当突破性科学变革引起技术范式转变时,能够融入新技术范式的技术轨迹得到发展,被锁入旧技术范式的技术轨迹则逐渐消亡,同时技术范式的转变会促使技术体制变化,导致技术空间中的主体在新技术环境中沿着新的技术轨迹继续创新。②指出原有技术体制无法解释复杂技术系统内外部主体间的技术联系,而这种联系会导致企业所处的技术环境复杂化,故本研究在技术体制原有 4 个维度基础上,引入技术场网络来描述复杂技术系统中创新主体间的技术联系,并区分了技术联系的强弱,给出了定量测量的方法。③讨论了技术场网络与原有技术体制维度间的关系,并作出假设。

本研究仅提出了技术场网络这个新概念,

后续有许多问题有待研究:①虽然区分了技术场网络主体间技术联系的强弱,提出了测量强弱关系的方法,但没有在实证中测量技术联系的强弱。②没有研究哪些因素会影响技术场网络主体间技术联系的强弱关系(静态的研究影响因素)。③在第2个问题的基础上,随着时间和空间的变化,技术场网络主体间技术联系的强弱会如何改变(动态的研究影响因素)。④对技术场网络与原有技术体制维度的关系,仅在理论上提出了假设,没有进行实证研究。⑤仅从理论上提出技术场网络主体间技术联系的强弱关系对技术场内部创新活动的影响,没有进行实证研究。本研究认为以技术场网络为核心概念,以这5个问题为基础,可以研究复杂技术系统下的产业创新问题。

#### 参 考 文 献

- [1] NELSON R R, WINTER S G. An Evolutionary Theory of Economic Change [M]. Cambridge: The Belknap Press of Harvard University, 1982.
- [2] DOSI G. Technological Paradigms and Technological Trajectories: As Suggested Interpretation of the Determinants and Directions of Dechnical Change [J]. Research Policy, 1982, 11(3): 147~162.
- [3] CASTELLACCI F. Technological Regimes and Sectoral Differences in Productivity Growth [J]. Industrial & Corporate Change, 2007, 16(6): 1 105 ~ 1 145.
- [4] MALERBA F, ORSENIGO L. Technological Regimes and Patterns of Innovation: A Theorecinl and Empirical Investigation of the Italian Case [M]. Ann Arbor: University of Michigan Press, 1990.
- [5] ABERNATHY W J, UTTERBACK J. Patterns of Industrial Innovation [J]. Technology Review, 1978, 80(7): 40~47.
- [6] ANDERSON P, TUSHMAN M L. Technological Discontinuities and Dominant Designs: A Cyclical Model of Technological Change [J]. Administrative Science Quarterly, 1990, 35(4): 604~633.
- [7] HENDERSON R M, CLARK K B. Architectural Innovation: The Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of Established Firms [J]. Administrative Science Quarterly, 1990, 35(1): 9~30.
- [8] MURMANN J P. Toward a Systematic Framework for Research on Dominant Designs, Technological Innovations, and Industrial Change [J]. Research Policy, 2006, 35(7): 925~952.
- [9] KASH E D, RYCROFT W R. Technology Policy in the 21st Century: How Will We Adapt to Complexity [J]. Science and Public Policy, 1998, 25(2): 71~72.
- [10] SINGH K. The Impact of Technological Complexity and Interfirm Cooperation on Business Survival [J]. Academy of Management Journal, 1997, 40(2): 339~367.
- [11] SIMON H A. The Sciences of the Artificial [M]. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology: Press, 1969.
- [12] HOLLAND J H, MILLER J H. Artificial Adaptive Agents in Economic Theory [J]. American Economic Review, 1991, 81(2): 365~370.
- [13] PARK K-H, LEE K. Linking the Technological Regime to the Technological Catch-up: Analyzing Korea and Taiwan Using the US Patent Data [J]. Industrial and Corporate Change, 2006, 15(4): 715~753.
- [14] HAKANSSON H. Industrial Technological Development: A Network Approach [M]. London: Croom Helm, 1987.
- [15] MALERBA F. Innovation and the Dynamics and Evolution of Industries: Progress and Challenges [J]. International Journal of Industrial Organization, 2007, 25(4): 675~699.
- [16] MADHAVAN R, KOKA B R, PRESCOTT J E. Networks in Transition: How Industry Events (re) Shape Interfirm Relationships [J]. Strategic Management Journal, 1998, 19(5): 439~459.
- [17] DIMAGGIO P J, POWELL W W. The Iron Cage Revisited: Institutional Isomorphism and Collective Rationality in Organizational Fields [J]. American Sociological Review, 1983, 48(2): 147~160.
- [18] MARK S G. The Strength of Weak Ties [J]. American Journal of Sociology, 1973, 78(6): 1 360~1 380.
- [19] STEFANO B, FRANCO M, LUIGI O. Technological Regimes and Schumpeterian Patterns of Innovation [J]. The Economic Journal, 2000, 110(463): 388~410.

(编辑 丘斯迈)

通讯作者: 袁健红(1966~), 女, 江苏苏州人。东南大学(南京市 210096)经济管理学院副教授。研究方向为技术创新与管理。E-mail: pensonic@seu.edu.cn