

技术融合研究进展分析*

陈亮^{1,2} 张志强¹ 尚玮姣³

(1. 中国科学院国家科学图书馆兰州分馆/中国科学院资源环境科学信息中心 兰州 730000;
2. 中国科学院大学 北京 100190; 3. 中国林业科学研究院图书馆 北京 100091)

摘要 系统梳理了自技术融合起源以来该研究领域所取得的理论和实践成果。首先对技术融合以及临近概念的内涵进行界定,之后介绍了技术融合的发生形式、主要驱动力及其理论框架,并根据研究范围不同,将技术融合研究方法分为技术层面方法和企业、产业层面方法分别加以阐述,文章最后探讨了当前研究中存在的问题和挑战,并给出了应对建议。

关键词 技术会聚 技术融合 技术集成 技术多元化 技术侧写

中图分类号 G353.1

文献标识码 A

文章编号 1002-1965(2013)10-0099-07

A Review of Research on Technological Convergence

Chen Liang^{1,2} Zhang Zhiqiang¹ Shang Weijiao³

(1. Lanzhou Library of the Chinese Academy of Sciences / Scientific Information Centre for Resources and Environment, CAS, Lanzhou 730000;
2. University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190;
3. Library of Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091)

Abstract This paper systematically summarizes the achievement of technological convergence in aspects of theory and practice since its origin. First of all, we distinguish the implications of technological convergence from its surrounding concepts, and introduce its driving forces, occurring forms and main theoretical framework. Then, we explain the research methods of technological convergence by dividing them into categories of technology level, corporate level, and industry level based on research scope. At last, the main problems and challenges existing in current research are discussed and some corresponding advices are provided.

Key words technological convergence technology fusion technological integration technological diversification technological profile

0 引言

现代技术的迅猛发展在极大地改变社会组织结构和人们生活方式同时,自身展现出新的特点和规律,如技术的互补性和累积效应逐步加强、技术合作日益密切、不同产业间的技术交融机会增多、技术关联愈发紧密等。如今产业间的技术流动成为现代工业最显著的特征,一个产业的技术进步越来越依赖其他产业的技术变化^[1-2],与此同时,技术创新模式逐步由传统的科学突破模式转变为技术融合^[3],如机床工具产业中机械技术、电子技术融合形成机电一体化(mechatron-

ics),通讯产业中光学、电学领域相结合产生光纤通讯系统等。相比传统创新模式,新模式融合了多个独立技术领域的渐进式创新,通过技术之间的互补和合作创造出革新产品,以非线性的方式实现市场上的技术替换^[3-4]。自20世纪70年代起,技术融合创新的份额不断加大,由多种技术所组成复杂产品的比重不断上升^[5]。与此相应,学术界对技术创新的关注点逐步由重大发明转移到其所嵌入的技术关系网络。通过网络底层的知识流动来分析技术融合,可以反映技术活动现状,为技术人员探究技术发展规律提供可靠的帮助,同时对确定科技优先领域、合理配置科技资源具有指

收稿日期:2013-07-09

修回日期:2013-08-13

基金项目:中国科学院知识创新工程重要方向性项目“影响经济社会重大体系的战略性科技问题分析”资助(编号:Y110071)。

作者简介:陈亮(1982-),男,博士研究生,研究方向:学科情报与战略情报研究;张志强(1964-),男,博士,研究员,博士生导师,研究方向:科技战略与科技政策研究、科技情报理论与方法研究;尚玮姣(1985-),女,硕士,助理馆员,研究方向:文献信息资源建设与服务。

导意义,因而成为当今技术研究领域的重要方向。

本文采用文献调研法对技术融合研究进展展开分析。鉴于国内目前取得的学术成果较少,研究还处于起步阶段,本文的文献来源以国际重要学术专著和科技政策期刊、会议论文集为主,所使用的检索平台包括 ISI 的 Web of Knowledge、谷歌学术检索以及 IEEE 的 Xplore 等。接下来本文组织形式如下,首先通过相关概念对比分析对技术融合进行界定,之后系统梳理了当前技术融合研究所取得的理论成果,并从技术层面和企业、产业层面出发,对技术融合研究方法进行归纳和总结,文章最后指出当前技术融合研究存在的问题和不足,并给出应对建议。

1 技术融合概念界定

由于技术融合现象的多样性和复杂性,至今尚未形成技术融合的统一定义。长期以来不断有学者们从各自角度对其展开研究,并提出了多个概念,如技术会聚(technological convergence)、技术融合(technology fusion)、技术集成(technological integration)等,它们的研究内容虽然有所重合,但侧重点存在差异。

1.1 技术会聚 最早的技术融合研究可追溯至1963年,N. Rosenberg 发现机械制造、金属加工产业间存在类似的金属加工工序,虽然这些产业最终产品不同,但从技术基础角度来看却关系密切,在生产流程和待解决技术问题上存在较强共性,他把这种现象称为技术会聚(Technological convergence)^[1],该定义从技术角度诠释现代产业发展,它强调产业融合作为技术关联的结果而存在^[1-6],因而 N. Rosenberg 虽未明确定义产业融合,但却被学界认为是产业融合研究的开篇之作^[7-8]。之后,多数学者沿用技术会聚来描述技术融合现象,D. T. Lei 认为技术会聚意味着,随着跨越不同市场的创新潮流和产品概念出现,产业结构、产业边界的渗透性增强,一个产业中的技术可以对其他产业的产品、流程演化产生重要影响甚至改变它们^[9]。F. Fai 认为技术会聚是某产业领域新出现的技术范式对全部产业施加影响力的过程^[10]。F. Hacklin 从产业演化角度出发,认为技术会聚表明知识融合向技术创新潜力的转化,从而允许产业间的知识溢出,以实现新的技术整合^[11]。

1.2 技术融合 F. Kodama 在技术会聚基础上提出技术融合(technology fusion)概念,并把其定义为将多种现存技术整合成混合技术的技术发展方式,他进一步指出技术融合并非不同技术的简单叠加和互补,它还将前未所有的特性赋予发明,从而开辟出新的市场^[3]。D. T. Lei 认为技术融合作为寻求构建公司竞争力的高阶方法引入,与技术会聚强调产业融合相比,它

更偏重公司实践,更强调将不同技术深度整合以形成全新技术和产品^[9];Lee 更进一步将技术融合定义为不同技术的水平整合(horizontal integration),所谓水平整合即基于创建新功能或者新产品目的,不同领域技术相互吸收以求扩展各自专业技术、强化企业间的合作关系^[12]。

1.3 技术集成 技术集成(technological integration)指为了选择合适的技术以满足应用需要,而做出的调研、评估、精化等一系列行为的集合,它在研发活动和产品制造、加工流程之间发挥重要的调和作用^[13]。技术集成的研究目的是为企业提供面对技术变革的应对策略^[14],它强调知识在产品制造中的基础作用,原因在于,第一,知识为产品设计过程的技术选择提供支持,第二,知识为技术之间以及技术与系统之间的良好匹配提供保障。技术集成的结果是否有效,取决于相关理论的知识交融与制造系统、用户环境的互动关系^[13-15]。其后虽有学者将技术集成等同于技术融合^[8-16],但严格来说,技术集成是一个行为流程,该流程通过正确运用资源、工具和方法将符合商业环境的产品概念付诸实现^[13],而技术融合则是一种现象,该现象中来自不同产业的多种技术通过彼此结合导致新产业的出现,两者存在明显差别。

总体来说,虽然上述三个概念的研究内容都聚焦于技术发展中不同技术的组合融汇现象,但相比较而言,“技术会聚”强调技术发展对产业间关系的影响,“技术融合”着重分析新技术(包括渐进性技术和突破性技术)的产生方式,“技术集成”则是一套基于应用目的对多种技术进行组合搭配的方法流程,在现代技术由于通用性而导致其产业属性模糊的背景下^[10],不同产业的技术结构日渐趋同,上述三个概念的研究内容和相互关系日渐密切,甚至在一定情况下意义互通,有鉴于此,本文以“技术融合”概念来统一指称“技术会聚”、“技术融合”和“技术集成”,并将其含义界定如下,技术融合是一种创新模式,与科学突破的创新模式相比,该模式下不同技术(包括已有技术和新技术)之间通过自身的有机组合实现技术创新,以提升原有应用的性能或实现新的应用。

2 技术融合理论发展现状

2.1 技术融合分类 当前研究者主要从技术融合的发生形式和参与融合的技术的新颖性两种角度出发,对技术融合予以分类。

D. T. Lei 从发生形式上将技术融合分为技术替代(Technology substitution)和技术互补(Technology complementarity)两类^[9]。S. Greenstain 等提出了类似分类,但使用技术集成(technology integration)来描述

创新中包含的多种技术的互补协作现象^[17]。当创新产品(服务)与当前产品(服务)相比属性类似但具有更高性价比时,它们之间具有稳定的互换性,从而为技术融合奠定了基础,多数情况下技术替代所依赖的创新从其他产业的技术突破中获取,进而引发多个独立产业间技术集合的冗余和当前产业领域企业核心竞争力、价值链的破坏^[9-18],最终形成产业融合。此外,多个产品(服务)通过技术互补乃至形成大型平台或系统,达到提高生产率、缩减用户成本、提高便利性和丰富产品特征的目的,但技术互补的重要作用不仅在于从组合中实现更高层次的集成功能以及相应的价值增生,还在于它促进了多种技术的协同演化,研发公司开始从多种产品视角去学习新的方法、技术和流程,用以发展集成产品,一旦集成产品的性价比达到客户接受度的临界值,它将可能完成对相关独立产品的替换^[9-17]。

F. Hacklin^[19]注意到基于持续性创新的技术融合是产生破坏性创新的重要来源,他依据参与融合的持续性技术的新颖程度,将技术融合分为应用融合(application convergence)、横向融合(lateral convergence)、潜在融合(potential convergence)三类,如表1所示,并结合市场实证分析对其展开论述。他认为应用融合所导致的破坏性源自创新者将已知技术合并后形成的附加值;横向融合中,当一个(多个)现有技术与一个(多个)新技术融合时,新技术通过提升现有技术将突破性特征赋予当前解决方案,破坏性通过新旧技术成熟期的交接来实现;潜在融合所包含的新技术本身并不具备破坏性,但它们的整合可以产生突破性技术方案,从市场角度来说,该类融合的成功依赖于新技术在性能上的较大提升。

表1 基于新颖性的融合创新类型

	现存技术	新技术
现存技术	应用融合	横向融合
新技术		潜在整合

2.2 技术融合的过程 技术融合并非技术层面的单一、孤立的现象,在其产生和发展过程中,不仅相关基础科学、应用科学为技术融合提供重要支持,产业融合与它也存在密切关系,此外还有社会经济、法律规则和用户等影响因素,因而只有采用系统观点,才能更加准确、全面地理解和掌握技术融合的运行机制和动态特征。演化经济学(evolutionary economics)提出将技术融合作为复杂融合过程的一个环节展开研究,它强调竞争、成长、资源限制和复杂的相互依赖在融合过程中的重要作用,从而为全面、系统地分析技术融合提供了理论支撑^[11,20-21]。

F. Hacklin 在此基础上通过观察和分析实际案例,

提出一套可用于分析技术融合的演化框架,他将整个融合过程划分为知识融合、技术融合、应用融合和产业融合四个时间序列^[11]。Curran 等(2010)提出类似框架,不同之处在于将应用融合替换为市场融合^[22],具体如图1所示。

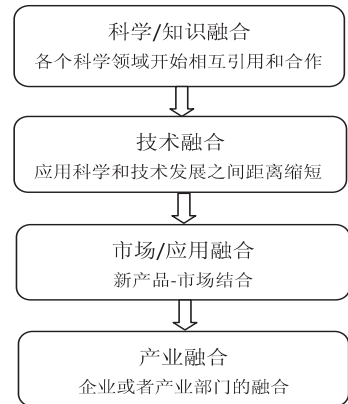


图1 理想化的技术融合流程

在该框架中,融合流程起始于不同学科论文之间的交叉引用,并逐渐深入到多学科的合作研究,随着基础学科之间距离逐渐缩短以及应用学科、技术的不断发展,技术融合产生,并进一步促使了新的产品-市场结合出现并导致市场融合产生和企业间合并,最终完成产业融合。该理论框架是将真实融合过程大量简化后得到的理想模型,其所归纳的四个步骤,符合大多数融合案例,该模型就理解融合现象和研究融合识别、预测方法而言,具有重要的理论和应用价值^[23]。

A. Nystrom^[24]采用更大粒度的分类标准将融合划分为技术融合和产业融合,从两者关联互动角度构建理论框架来研究融合过程,具体如图2所示。其主要观点包括:a. 融合为技术因素、社会经济因素和组织机构三种因素驱动;b. 技术融合可以但不一定导致产业融合,它也可能仅仅停留在技术层面或者基础设施层面;c. 供应商和最终用户在市场供需两端共同决定产业融合的产生;d. 产业融合可能会导致子产业创建、已有商业生态系统的改变或新商业生态系统的生成以及产业领域融合等若干形态;e. 融合的具体产出取决于其所处的阶段。

2.3 技术融合的驱动力 从根本上讲,技术融合源自技术改变和新技术的出现^[24],它的主要驱动力包括规则瓦解(deregulation)、增加的产品绑定机会和将多个产品整合成系统的集成技术。一般来说,法律变化会导致竞争性质、市场规模以及新技术潜在应用的巨大变化,进而对现有规则产生破坏作用,其结果主要表现在两个方面:其一,不仅本产业中替代技术的研发企业,其他产业中能够将技术直接应用于本产业的企业也加入竞争;第二,较低的顾客转换成本(customer switching costs)和价格持久战破坏已有利润空间,进

而改变规则瓦解产业的内部结构^[9]。产品绑定对技术融合的推动作用体现在,一种产品或平台的技术改进及增值属性提高会导致企业加快对补充产品的改良和创新以保持其竞争优势。产品绑定策略有助于企业应用相似的生产流程提供产品和服务以形成规模经济和成本效益,同时增加了品牌资产和基于差异化的竞争优势;将多个分散功能或产品特征进行有效集成的系统平台,为开发可用于多个产品或服务的通用技术进而形成技术融合奠定了基础,使企业能够利用自身知识和技能大大降低新市场的进入成本,为其开辟进入产业的新途径提供了必要条件。此外,集成系统的复杂性使企业采取技术多元化策略提高自身的技术经验和能力,从而使集成系统从分散技术、集成技术两个层面都对多个产业的发展产生影响^[9-26]。

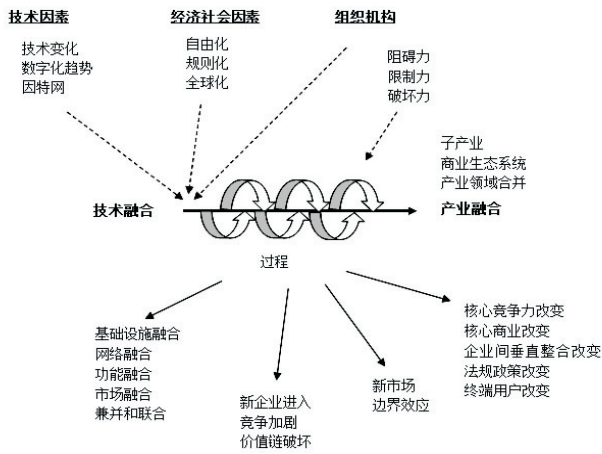


图2 技术融合的过程^[24]

技术融合理论的发展深化人们对技术融合现象及其运行机制的认识,为技术融合研究方法提供理论基础,然而,当前关于技术融合的理论成果仍然较为分散,虽然诸多学者对技术融合的分类、产生过程以及驱动力展开研究,并提出了采用整体观点来分析技术融合现象的融合框架,但至今尚未形成系统化的融合理论,其原因一方面在于随着时代的进步,技术融合在与社会环境交互中不断展现出新的特点,进而对现有理论提出挑战,另一方面囿于数据资源限制,常用的技术代理数据如技术研发投入、公司持有股票和专利数据都存在各自缺陷^[27-28],而其他可用于技术融合分析的金融数据、企业数据和技术数据往往难以及时获取^[29],这些都为技术融合理论研究的进一步发展带来困难。

3 技术融合研究方法

虽然技术融合现象具有重要的研究价值,但相关研究因融合数据难以获取而受到制约^[30],专利数据具有高度结构化且易于获取的特点,而且由于法律条文和商业重要性的限制,专利信息编撰严谨、涵盖广

泛^[22],因而成为技术融合研究使用的主要数据;此外也有学者利用经济数据、产品数据和企业数据等展开研究^[31]。当前技术融合研究方法种类较多,如表2所示,研究范围涵盖微观技术层面的知识基础扩张、技术创新发展,较宏观的企业、产业层面上现有产品服务的进步、新兴市场的形成,多数研究方法从技术数据或产业、企业与技术的互动关系来分析技术融合的特征规律,也有学者从战略管理角度考虑技术融合对企业技术路线和市场行为的意义^[24]。

表2 技术融合研究方法

研究层面	主要方法	方法介绍
技术层面	专利引文分析法	对不同专利文献之间以及专利文献与非专利文献之间引用关系所形成的网络进行分析 ^[32]
	专利分类分析法	依据两个技术领域中共现专利的数量来分析多个技术领域间的技术融合 ^[33-35]
	文本挖掘方法	从大量、无结构、有噪音的文本信息中发现潜在的数据模式、内在联系、规律、发展趋势 ^[36]
企业、产业层面	技术侧写法	使用技术标准对产业或企业的技术结构进行衡量和分析
	价值链法	依据企业在产业价值链上所处位置将其分类,之后分析不同类别企业间的专利引文

3.1 技术层面 该层面的技术融合研究方法以专利数据为基础,研究技术领域间的知识流动,根据选用的专利信息不同可细分为专利引文分析法^[32,37-40]、专利分类分析法^[33-35,41-43]、文本挖掘法^[16,36,44-47],也有研究将多种方法相结合起来分析技术融合^[7-45]。

专利引文法中应用较多的是主路径算法,它是 N. P. Hummon 等^[37]提出的一种基于科学引文权重来识别引文网络重要部分的方法,旨在反映其中的知识流动,被识别出来的重要部分称为主路径,2001年, V. Batagelj^[38]改进该算法使其可以处理百万节点级别的大型网络,并将其应用于专利引文网络以抽取技术主题, B. Verspagen 等^[39]、 A. Martinelli 等^[40]使用该算法分析燃料电池和电信交换器行业的专利引文网络,得到较清晰的技术发展交融轨迹。

专利分类分析法具有涵盖技术领域较为完整、不受时间老化和技术差异影响等特点,但它仅将技术领域间的直接关系纳入技术融合研究范畴,却忽略了其他技术的影响,与此相对, E. Engelsman 等^[41]和 S. Breschi 等^[42]从技术关系网络整体出发,以技术领域 i 、 j 和其他技术领域在专利共现分布上的结构等价 (structure equivalence) 程度来衡量 i 、 j 之间关系,此外, L. Nesta 等^[43]提出幸存者相关性测度 (survivor measure of relatedness) 的专利分类分析方法,使用概率方法来测度技术领域关系。

当前基于专利文献的文本挖掘研究以分析技术领域的发展规律和揭示技术主题演变趋势为主^[44-47],虽然较少涉及技术融合,但已为其形成了良好的技术积淀,也有学者从其它文本数据着手展开研究,如J. Lind使用文本挖掘法对道琼斯路透商业资讯(Factiva)展开分析,提出了反映融合过程中技术关键词词频变化的Hype Cycle模型^[16]。

此外,也有将两种或多种方法相结合的研究,Y. Geum等使用专利引文测度技术领域间基于知识流动的技术融合,之后使用专利分类法鉴别微观层次的融合技术^[7]。J. Pennings等将专利引文网络中的专利节点替换为相应的专利分类号,依据专利类别间引用次数的增加来识别技术融合^[48]。H. No等进一步将专利类别引用划分成6种模式,不同模式对应于相应专利类型引用在技术融合过程中的不同作用^[30]。

3.2 企业、产业层面 20世纪70年代后,随着技术复杂性提高和互补性增强,技术机会广泛地分散在多个技术领域,企业作为技术发展的主要驱动力^[49],往往需要综合应用多种技术来实现发明创新和技术进步,同时单个行业包含的技术领域和单个技术领域的知识溢出所涉及的行业数量逐步增多,从而形成企业、行业内部的技术多元化(technological diversification)和行业间的技术融合。企业、产业层面的技术融合研究方法将技术行为者和企业产出(包括商品和服务)纳入研究范围,不仅有助于全面、准确地分析技术融合本身,而且也揭示了技术多元化、技术路径依赖与技术融合之间的复杂作用机制提供了必要条件,使整个研究层次更加深入。

技术侧写法(technological profile)是这一层次研究技术融合的代表性方法。技术侧写指通过选取一组技术标准对产业或企业的技术结构进行度量^[50],同一产业的技术侧写会因所选标准不同而有所差异。F. Fai依据企业主要产出将产业总体分为四个集群,同时以专利为技术代理,选择美国专利分类法(USPC)为技术标准对这四个产业集群进行技术侧写,并将侧写结果与产业集群内部的技术增长排序相结合来识别技术范式的迁移及其所蕴含的技术融合现象^[10]。F. Kodama以国际专利分类法(IPC)为技术标准,采用专利主分类号和专类分类号共现相结合的方法分析参与融合的各技术轨迹间的支持和互补关系^[27]。A. Gambardella等使用企业在产业领域的专利分布状况来表示该企业的技术多元性,企业商业操作(如收购、兼并、联合投资)的分布状况表示该企业的商业多元性,通过线性方程来拟合企业的商业表现与技术多元性、商业多元性之间关系。实证研究发现,融合环境下企业的商业表现与其商业领域收敛程度和技术领域分散

程度都存在着正相关关系^[25]。

除技术侧写法外,M. Karvonen等依据企业在价值链上所处位置将企业归类,试图通过分析各个类别企业所属专利引用关系的变化情况,揭示价值链上技术融合的过程特征^[29,51]。还有学者从战略管理角度研究技术融合对企业商业行为的影响,S. Athreye等研究技术融合对同一产业公司间兼并、收购和公司内部新建子公司等商业行为的影响^[52];C. Borés探讨了在市场不稳定和技术融合的环境下,公司如何选择商业战略(如合并还是结盟)^[53]。

综上所述,当前技术融合研究方法将专利作为主要数据源,以网络分析或文本挖掘方法作为主要手段进行技术融合分析。经过十余年的发展,虽然技术融合研究方法取得了长足进展,但依然存在各种困难,如技术融合研究方法的发展对专业知识和领域专家的依赖程度较高、所有的专利分类体系都不可能保证绝对的完备性和可比性^[54]等,从而导致其相比技术融合理论,技术融合研究方法发展仍显滞后,使得技术融合理论中的一些重要概念(如技术轨迹、技术范式)由于缺乏有效的验证手段而显得主观^[40],关于如何合理应用专利数据进行技术融合分析,目前仍然处于探索之中。

4 总结和前瞻

随着多个产业之间技术边界不断弱化和技术基础趋近相同,技术融合逐渐成为当代技术发展的普遍现象和重要特征,它不仅标志着全新创新模式的日渐崛起,也意味着生产方式的重大变革。技术融合环境下,创新要求从员工、机构、技术所形成的复杂网络中整合资源以形成对技术机会的快速响应,相比科学突破创新,它更强调创新者的快速学习能力和创新过程的沟通与协调,是21世纪技术创新的主要趋势^[4],对于技术管理和企业、产业战略决策具有重要的研究价值。

技术融合的涉及领域众多,对社会发展和技术创新具有广泛和深远的影响,虽然当前对于技术融合取得了一定认识,但仍然存在大量开放性课题亟待解决,如突破性技术在技术融合中的扩散过程,各技术分布状况及其成熟度对技术融合速度和范围的影响机制,技术融合环境下技术范式的变迁识别等,同时,现有的技术融合研究方法依然以网络分析为主,通过节点间耦合、共引、结构等价性等网络度量指标定量描述技术之间的相互关系,对文本挖掘技术的应用并不充分。为此,研究者一方面需要在加强技术融合理论研究的同时,关注技术多元化、技术溢出、复杂性技术发展等相关领域发展态势,以期从多个角度综合理解技术融合的方式和规律;另一方面,现代技术领域尤其是关联数据、数据挖掘、网络分析等迅速发展,在丰富技术融

合研究手段的同时,也为之前面临的困难如技术领域难以准确划分和基础数据不能及时获取提供了新的解决思路,值得加以引入并深入研究。

参 考 文 献

- [1] Rosenberg N. Technological Change in the Machine tool Industry, 1840-1910 [J]. *The Journal of Economic History*, 1963, 23 (4): 414-443
- [2] Rosenberg N. Exploring the Black box: Technology, Economics, and History [M]. Cambridge University Press, 1994
- [3] Kodama F. Emerging Patterns of Innovation: Sources of Japan's Technological Edge [M]. Boston: Harvard Business School Press, 1995
- [4] Rycroft R W, Kash D E. The Complexity Challenge Technological Innovation for the 21st century [M]. London: Pinter, 1999
- [5] Kash D E, Rycroft R. Emerging Patterns of Complex Technological Innovation, Technological Forecasting and Social Change, 2002, 69(6): 581-606
- [6] Kim M S, Kim C. On a Patent Analysis Method for Technological Convergence [J]. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2012, 40: 657-663
- [7] Geum Y J, Lee S J, Kim M S, et al. Technological Convergence of IT and BT: Evidence From Patent Analysis [J]. *ETRI Journal*, 2012, 34(3): 439-449
- [8] Stieglitz N. Digital Dynamics and Types of Industry Convergence [C]. Maskell P, Christensen J F, eds. *The Industrial Dynamics of the New Digital Economy*. Cheltenham: Edward Elgar Pub, 2003: 179-208
- [9] Lei D T. Industry Evolution and Competence Development: the Imperatives of Technological Convergence [J]. *Technology Management*, 2000, 19(7/8): 699-738
- [10] Fai F, Tunzelmann V N. Industry-specific Competencies and Converging Technological System: Evidence from Patents [J]. *Structural Change and Economic Dynamics*, 2001, 12(2): 141-170
- [11] Hacklin F. Management of Convergence in Innovation [M]. Heidelberg: Physica-Verlag, 2007
- [12] Lee K R. Patterns and Processes of Contemporary Technology Fusion: the Case of Intelligent Robots [EB/OL]. [2013-04-08]. https://smartechn.gatech.edu/bitstream/handle/1853/35604/Lee_Kong_Rae_Patterns_and_Process.pdf?sequence=1
- [13] Iansiti M. Technology Integration: Making Critical Choices in a Dynamic Worlds [M]. Boston: Harvard Business School Press, 1997
- [14] 彭志国. 技术集成的实证研究-以 Iansiti 对美日半导体行业的研究为例 [J]. *中国软科学*, 2002(12): 94-99
- [15] Iansiti M. Technology Integration: Managing Technological Evolution in a Complex Environment [J]. *Research Policy*, 1995, 24 (4): 521-542
- [16] Convergence: History of Term Usage and Lessons for Firm Strategies [EB/OL]. [2013-03-05]. http://www.itseurope.org/ITS%20CONF/berlin04/Papers/1_LIND.doc
- [17] Greenstein S, Khanna T. What Does Industry Convergence Mean [C]. Yoffie D B, eds. *Competing in the Age of Digital Convergence*. Boston: Harvard Business Review Press, 1997
- [18] Christensen C. 创新者的窘境 [M]. 胡建桥, 译. 北京: 中信出版社, 2010
- [19] Hacklin F. How Incremental Innovation Becomes Disruptive: the Case of Technology Convergence [EB/OL]. [2013-03-05]. <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=01407070>
- [20] Nelson R R, Winter S G. An Evolutionary Theory of Economic Change [M]. Cambridge: Belknap Press, 1985
- [21] Verspagen B, Fagerberg J. Technology-gaps, Innovation-diffusion and Transformation: an Evolutionary Interpretation [J]. *Research Policy*, 2002, 31(8/9): 1291-1304
- [22] Curran C, Broring S, Leker J. Anticipating Converging Industries Using Publicly Available Data [J]. *Technological Forecasting & Social Change*, 2010, 77(3): 385-395
- [23] Curran C, Leker J. Patent Indicators for Monitoring Convergence - Examples from NFF and ICT [J]. *Technological Forecasting & Social Change*, 2011, 78(2): 256-273
- [24] Nystrom A. Understanding Change Process in Business Network [M]. Abo: Abo Akademi University Press, 2008
- [25] Gambardella A, Torrisi S. Does Technological Convergence Imply Convergence in Markets Evidence From the Electronics Industry [J]. *Research Policy*, 1998, 27(5): 445-463
- [26] Porter M. 竞争优势 [M]. 陈小悦, 译. 北京: 华夏出版社, 2005
- [27] Suzuki J, Kodama F. Technological Diversity of Persistent Innovators in Japan Two Case Studies of large Japanese Firms [J]. *Research Policy*, 2004, 33(3): 531-549
- [28] Park G, Park Y. On the Measurement of Patent Stock as Knowledge Indicators [J]. *Technological Forecasting & Social Change*, 2010, 77(1): 63-75
- [29] Karvonen M. Patent Analysis for Analysing Technological Convergence [J]. *Foresight*, 2011, 13(5): 34-50
- [30] No H J, Park Y. Trajectory Patterns of Technology Fusion: trend Analysis and Taxonomical Grouping in Nanobiotechnology [J]. *Technological Forecasting & Social Change*, 2010, 77(1): 63-75
- [31] Wan X, Xuan Y, Lv K. Measuring Convergence of China's ICT industry: An input-output Analysis [J]. *Telecommunications Policy*, 2011, 35(4): 301-313
- [32] Narin F. Patent Bibliometrics [J]. *Scientometrics*, 1994, 30(1): 147-155
- [33] Joo S H, Kim Y. Measuring Relatedness Between Technological Fields [J]. *Scientometrics*, 2009, 83(2): 435-454
- [34] Leydesdorff L. Patent Classifications as Indicators of Intellectual Organization [J]. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 2008, 59(10): 1582-1597
- [35] Suzuki K, Sakata J, Hosoya J. An Empirical Analysis on Progress of Technology Fusion [C]. // IEEE. *Third International Conference on Digital Information Management. (ICDIM 2008)*. Piscataway: IEEE Xplore, 2008: 937-939
- [36] Feldman R, Sanger J. The Text Mining Handbook: Advanced Approaches in Analyzing unstructured data [M]. London: Cam-

- bridge University Press,2007
- [37] Hummon N P, Dereian P. Connectivity in a Citation Network; the Development of DNA theory[J]. Social Networks, 1989, 11(1): 39-63
- [38] Batagelj V. Efficient Algorithms for Citation Network Analysis [EB/OL]. [2013-03-05]. <http://arxiv.org/pdf/cs/0309023v1>
- [39] Verspagen B. Mapping Technological Trajectories as Patent Citation Networks: A Study on the History of fuel Cell research[J]. Advances in Complex Systems, 2007, 10(1): 93-115
- [40] Martinelli A. An Emerging Paradigm or Just another Trajectory Understanding the Nature of Technological Changes Using Engineering Heuristics in the Telecommunications Switching Industry [J]. Research Policy, 2012, 41(2): 414-429
- [41] Breschi S, Lissoni F, Malerba F. Knowledge-relatedness in Firm Technological Diversification[J]. Research Policy, 2003, 32(1): 69-81
- [42] Engelsman E C, Van Raan A F J. A Patent-based Cartography of Technology[J]. Research Policy, 1994, 23(1): 1-26
- [43] Nesta L, Saviotti P. Coherence of the Knowledge Base and the Firms' Innovative Performance: Evidence From the U. S. Pharmaceutical industry [J]. The Journal of Industry Economics, 2005, 53(1): 123-142
- [44] 方曙, 胡正银, 庞弘桑, 等. 基于专利文献的技术演化分析方法研究[J]. 图书情报工作, 2011, 55(22): 42-46
- [45] Yoon B. A Text-mining-Based Patent network: Analytical tool for High-technology Trend[J]. The Journal of High Technology Management Research, 2004, 15(1): 37-50
- [46] Chang P L, Wu C C, Leu H J. Using Patent Analyses to Monitor the Technological Trends in an Emerging field of technology: a Case of Carbon nanotube field Emission Display[J]. Scientometrics, 2010, 82(1): 5-19
- [47] Kim Y G. Visualization of Patent Analysis for Emerging Technology[J]. Expert System with Application, 2008, 34(3): 1804-1812
- [48] Pennings J M, Puranam P. Market Convergence Firm Strategy: Towards a Systematic Analysis. [EB/OL]. [2013-03-05] http://userpage.fu-berlin.de/~jmueller/its/conf/berlin04/Papers/1_LIND.doc
- [49] Cantwell J, Fai F. Firms as the Source of Innovation and Growth: the Evolution of Technological Competence[J]. Journal of Evolutionary Economics, 1999, 9(3): 331-366
- [50] Bar - El R, Felsenstein D. Technological Profile and Industrial Structure: Implications for the Development of Sophisticated Industry in Peripheral Areas[J]. Reginal Studies, 1989, 23(3): 253-266
- [51] Karvonen M, Kassi T. Patent Citation Analysis as a Tool for Analyzing Industry Convergence[EB/OL]. [2013-03-05]. <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&number=6017646>
- [52] Athreye S, Keeble D. Technological Convergence, Globalization and Ownership in the UK Computer Industry[J]. Technovation, 2000, 20(5): 227-245
- [53] Borés C, Saurina C, Torres R. Technological Convergence: a Strategic Perspective[J]. Technovation, 2003, 23(1): 1-13
- [54] Narin F, Olivastro D, Stevens K A. Bibliometrics /Theory, Practice and Problems[J]. Evaluation Reviews, 1994, 18(1): 65-76

(责编:贺小利)

(上接第110页)

- [11] 袁平, 韩景润, 党海飞. 空间元数据自动生成技术研究[J]. 地理信息世界, 2005, 3(1): 11-15
- [12] 陈斌, 李迪, 周志逵. 地理空间元数据管理系统的设计[J]. 情报杂志, 2005, 24(3): 29-30, 33
- [13] 胡芬, 周骋. 空间元数据检索方法研究[J]. 软件导刊, 2008, 7(2): 117-119
- [14] 王芳. 我国电子政务元数据的构建及其基于 Web 服务的共享实现[J]. 情报学报, 2007, 26(1): 125-133
- [15] 王红霞, 苏新宁. 基于元数据的电子政务信息资源组织模式[J]. 情报理论与实践, 2007, 30(1): 116-121
- [16] 付佳佳. 基于本体的元数据在电子政务中的应用初探[J]. 现代情报, 2006, 26(1): 164-165, 169
- [17] 吉文杰, 夏小玲. 基于元数据的电子政务发布系统的设计与实现[J]. 计算机应用与软件, 2011, 28(12): 175-178, 209
- [18] 曾蕾, 张甲, 张晓林. 元数据标准的演变[J]. 中国图书馆学报, 2003, 29(4): 10-14
- [19] 肖珑, 陈凌, 冯项云, 等. 中文元数据标准框架及其应用[J]. 大学图书馆学报, 2001, 19(5): 29-35
- [20] 冯项云, 肖珑, 廖三三, 庄纪林. 国外常用元数据标准比较研究[J]. 大学图书馆学报, 2001, 19(4): 15-21
- [21] 程妍妍. 电子文件管理元数据标准化研究[J]. 中国档案, 2005(12): 24-26
- [22] 张弛. 我国电子文件管理元数据研究现状分析及其在文档一体化运用中的思考[J]. 浙江档案, 2008(4): 42-45
- [23] 潘定, 沈钧毅. 数据仓库环境的元数据管理技术综述[J]. 微电子学与计算机, 2005, 22(11): 17-20
- [24] 丁长松, 胡周君. 基于 CWM 的企业元数据集成中元数据抽取与导出研究[J]. 计算技术与自动化, 2008, 27(3): 88-91, 128
- [25] 赵慧勤, 段明莲. 数字图书馆元数据方案设计有关问题探讨[J]. 现代图书情报技术, 2003(3): 24-26, 95
- [26] 肖珑. 元数据格式在数字图书馆中的应用[J]. 大学图书馆学报, 1999, 17(4): 18-24
- [27] 毕强, 韩毅. 语义网格环境下基于元数据本体的数字图书馆互操作研究[J]. 图书情报工作, 2009, 53(15): 17-20, 82
- [28] 田兆清. 浅谈区域数字图书馆群构建过程中元数据访问技术[J]. 山东图书馆学刊, 2011(4): 90-92
- [29] 孔庆杰, 宋丹辉. 元数据互操作问题技术方案研究[J]. 情报科学, 2007, 25(5): 754-758
- [30] Lee B, Jeong Y I, Mapping Korea's National R&D Domain of Robot Technology by Using the Co-Word Analysis[J]. Scientometrics, 2008, 77(1): 3-19
- [31] 苏娜, 张志强. 社会网络分析在学科研究趋势分析中的实证研究——以数字图书馆领域为例[J]. 情报理论与实践, 2009, 32(9): 79-83

(责编:刘影梅)