



专利引证视角下的技术演化研究综述

张 嫻^{1,2}, 方 曙¹, 王春华^{1,2}

(1. 中国科学院 成都文献情报中心, 成都 610041; 2. 中国科学院大学, 北京 100190)

摘要:专利引文信息因反映技术传承关系、容易获取、便于定性定量研究等特点,已越来越多地应用于技术演化分析。首先从专利引证角度对技术演化研究相关理论成果进行了系统梳理,将主要研究内容总结为技术主题演化趋势分析、技术前沿变迁比较、技术发展主路径识别、技术演化网络形态特征刻画与发展预测等四类,将涉及的主要研究方法总结为专利引文分析、文本挖掘、技术生命周期经典模型、TRIZ理论、网络分析等五类;分别针对各项研究内容与研究方法进行评述,逐一总结了各自的优势与局限;最后从研究思想、研究内容、研究方法、研究手段四个方面提出未来技术演化研究的发展方向:体现系统性思想、关注动态性与未来预测性、探索多元化方法体系、开发具有强大计算能力的软件。

关键词:技术演化;技术轨道;技术路径;专利引证;文献综述

中图分类号: FFFF **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-0241(2016)03-0058-10

0 引 言

技术是人类社会大系统中的一个相对独立的子系统,按照一定的规律发生和发展。当前主流观点认为技术的发展是连续的、累积式的,会呈现出明显的阶段性又可能在某一个历史时期取得突破性进展^[1]。学者们针对技术累积式发展模式开展的“技术演化”研究,目前形成了几种主要观点:技术范式与技术轨道模式、技术创新扩散进化模式、技术进化的内推外拉模式、技术框架与技术包容的进化模式、技术进化发展的阶段论模式、技术域与技术理解进化模式等^[2]。这些研究中,对于技术演化模式基本存在两种解释方式:一是自组织理论模式,认为技术系统具有自创生、自生长、自适应、自复制等自组织特性,技术系统自组织是一种在没有特定外部条件干预下由技术系统内部组分相互作用而自行从无序到有序、从低序到高序、从一种有序到另一种有序的演化,技术创新过程也是一个自组织的进化过程^[3];另一种是修正的生物进化论模式,认为生物种群的互利共生

的关系在技术体系中非常普遍,相互关联的各种创新可以被描述为一个关于人工制品的协同进化的完整生态系统^[4]。上述两种观点,都体现出对技术演化模式的可分析、可描述特性的认同。

开展特定技术领域的技术演化分析,有助于梳理技术发展脉络和内部技术活动的发展历史,反映技术活动现状,为探究、回溯技术起源和发展提供可靠的帮助,对识别科技优先领域、合理配置科技资源具有重要意义。随着科技迅猛发展,技术进步与创新成为经济发展的原动力,世界上主要国家、地区、组织、机构对技术演化分析予以高度重视。20世纪70、80年代,随着计算机技术的迅速发展,技术演化研究进入快速发展阶段,技术演化研究的理论与方法也在不断地丰富与完善^[5]。

专利作为世界上最大的技术信息源,包含了世界科技信息的90%~95%,是知识与技术的重要载体,已成为社会和企业技术创新和新产品开发过程中必须借鉴的重要信息来源^[6]。作为创新活动的完整记

收稿日期:2015-08-27

基金项目:中国科学院科技服务网络计划(STS计划)项目(KFJ-EW-ST-032)

第一作者简介:张嫻(1973—),女,湖北武汉人,中国科学院成都文献情报中心,副研究员,博士生,研究方向:专利计量学、专利战略研究。

通信作者:张嫻, zhangx@clas.ac.cn

录,专利文献可以被看作是技术创新中创新技术、创新产品、创新工艺的核心内容和基础,记载了一项技术自诞生之日起的一系列主要事件,能够反映不同时期技术开发活动的状况,因此,专利信息能很好地反映技术演化的线索,有助于探究特定技术领域的发展历程^[7]。专利引文是当某件专利文献公布时,在专利文件中列出的与该专利申请相关的其他文献,包括专利文献和科技期刊论文、专著、会议文件等非专利文献。专利引用关系能很好地反映某件专利的技术基础和科学基础,体现技术间的前后继承、累积关系。因此,依照引用关系生成的专利引文网络,可以分析得到专利技术发展历程,研究技术发展的历史脉络,为开展技术评价、选择及预测活动提供重要参考。相对于经济、市场数据,专利引文信息具有基础数据容易获取、便于定性定量描述等特点,正逐步应用于技术演化研究中^[8]。

1 相关研究现状

1.1 专利引证视角的技术演化研究内容

现阶段,从专利引证关系角度入手的技术演化研究,研究的行为主体对象涉及国家、地区、机构等不同层面,技术客体对象有技术主题、单件专利,具体研究内容主要涉及以下几个方面。

1.1.1 技术主题演化趋势分析

专利文献引证关系不仅体现了某一技术领域内的继承、分化,也体现出不同技术领域之间的交叉、融合、分化。国内外已有一些学者针对不同技术领域开展了技术演化范式及演化瓶颈识别研究^[9-11],通过专利文献间的引证关系辨识先有技术(被引证专利)与在后发明(施引专利)之间的技术流动,分析其间的技术继承,挖掘演化走势。

例如采用知识遗传分解方法,以专利引证网络为载体,量化地评价技术演化进程中的早期专利对于后继专利的知识贡献度与知识传播能力,从稳定性、遗传性以及变异性等基本特征出发,研究技术演化进程中所遗传的知识基因的表现形式与提取方法^[12-14];借助组织生态学中的种群演化理论,研究专利技术种群进化过程与规律,探讨单一专利技术种群

内部进化和两个子种群间协同进化的动力、方向和机理,以及多个专利技术种群之间的协同进化关系^[15-17]。这类研究侧重通过对比技术主题的时序变化^[18-19],探测领域间的技术融合程度与发展轨迹^[20],寻找潜在的技术机会^[21]。

1.1.2 技术前沿变迁比较

跟踪监测技术研发前沿的变化也是技术演化分析的重要内容之一。参考 Small、Garfield、Persson 采用同被引文献簇^[22]、由同被引文献簇及其引证文献簇共同组成的文献群^[23]、同被引文献簇的引证文献簇来表征研究前沿的做法^[24],学者们将技术前沿表征为同被引专利簇、引文耦合专利簇;常用于研究前沿识别的论文同被引分析、耦合分析^[25],则被应用于专利分析,由高被引专利、引文耦合专利共同构成技术前沿,识别、比对不同时间片中技术前沿簇的主题变化,通过连续性表示来形成技术前沿演化轨道,研究不同时空的技术前沿结构发展^[26-27]。

这些研究中也结合了共词分析、聚类分析等技术深层次挖掘技术前沿特点。例如:通过探测演化过程中的突现词来找出核心的技术前沿,对比前后时间片来探寻技术前沿的发展规律^[28-29];利用聚类算法研究专利引证网络的结构特点,比如不同时间片的社团间的父子关系,探测新兴前沿的结构特征与变化^[30]。

1.1.3 技术发展主路径识别

依据技术进化的思想,每一件专利个体可被看成隐含着知识的零散片段,呈现这些知识片断继承关系的专利引证网络的“关键路径”则可被视为技术进步的主干,因此,通过识别专利引文网络“关键路径”来探测技术演化主路径成为技术演化的关注重点之一。1989年 Hummon 与 Doreain 发表了关于科技文献引文网络“关键路径”的应用研究,介绍了搜索路径连接统计值(search path link count, SPLC)和搜索路径节点对统计值(search path node pair, SPNP)两种路径搜索算法^[31]。Verspagen 将它们应用于燃料电池领域的技术路径识别,证实了这两种路径识别算法在专利引文网络中的可行性^[32]。Verspa-

gen还提出了一种新算法NETP(network of the evolution of top path),揭示最优路径在一定时间间隔之后发生的变化。Choi等则提出了前向引证节点对统计值算法(forward citation node pair,FCNP)^[33]。

这些算法被陆续应用于不同领域考察技术演化路径的连续性、稳定性、分化点,验证算法合理性,对比优劣^[34-38]。SPLC、SPNP最为常用,用于识别演化主路径、筛选路径上高价值专利节点(中间专利、终点专利、汇聚专利)、考察技术演化的选择性和持续性。有研究认为二者应用结果总体上基本一致,也存在细微区别,当研究演化主路径或核心专利时,SPNP算法更适合;当研究路径的衍生时,SPLC算法更适合^[39]。学者们还从不同需求出发进行算法优化,如:对路径遍历数进行不同因子的加权调节,对比识别效果^[40];设计兼顾直接引证与间接引证的专利被引强度指标V,在节点搜索过程中选择V值最大的专利作为发展路径中的下一个专利节点^[41];设计了知识适应指数,研究技术演化主路径中专利技术节点的知识适应能力、消亡与突变等优胜劣汰现象^[42]。

1.1.4 技术演化网络形态特征刻画和发展预测

这方面研究根据内容揭示层面可归纳为四类:一是统计刻画层面,主要是度量技术引证网络系统结构的性质与特征,以及研究对这些性质特征的最佳度量方法;二是理解分析层面,通过建立技术演化网络模型,帮助理解上述统计性质的意义、产生机理、动力学特征;三是预测层面,根据演化网络全域或局域的结构性质、重要节点的个体行为与影响,分析和预测演化网络的发展可能;四是调控层面,提出改善已有技术演化网络性能和设计新的演化网络的有效方法,特别是在演化网络的连通性、稳定性、协同性等方面。

这类研究的特点是从不同层面关注技术演化活动的形态、过程、效率,考察伴随演化过程所产生的技术扩散、技术溢出、技术传播的动力机制与行为特点以及未来走势。网络结构属性指标的特征值,如网络规模、密度、各种中心性指标、中心与边缘指标、集聚系数、块模型等,常用来刻画技术演化的阶段性

特征与代际性特点,以及对技术演化路径形成的影响力度^[43-45];在这些网络属性指标的基础上,衍生出更多的复合型指标,结合战略坐标分析等其他方法,研究技术演化网络中的重要子网构成及演化、主干路径的汇聚与分化^[46]、关键中介的角色类型^[47-48],从而考察分析技术发展路径、行为主体活动的演化特征,划分战略群组,预测演化走势^[49-50]。

1.2 专利引证视角的技术演化研究方法

1.2.1 专利引文分析方法

由于数据规范且容易获取,专利引文分析已成为技术发展脉络、技术评价、技术选择及预测活动的重要研究手段。专利同被引分析、专利耦合分析、专利引文时序分析等都所有应用,也形成了一些获得普遍认可的经典分析指标,如TCT(technology cycle time)、SL(science linkage)^[51-52]。与聚类分析结合,专利引用分析可以反映技术之间的流动性、相似性,根据专利之间的引用关系(共引、耦合等)可以将相似专利技术聚在一起,形成具有不同技术主题的聚簇,结合不同技术主题之间的关联分析绘制出技术演化进程,判断技术发展趋势^[53-54]。

1.2.2 文本挖掘方法

由于对文本信息具有整理、分析、挖掘能力,文本挖掘方法能够找出有助于区分数据重要程度的潜在变量,深入解释专利数据的内在模式,故成为技术演化研究的重要手段。最常用的如词频分析法,通过提取专利文本域中的技术关键词,根据技术关键词出现频率来反映技术领域研究状况。近年来,伴随技术演化分析的各类场景,主题特征项识别、词汇映射、聚类分析、关联分析、文本树技术、语义分析等,在技术演化与新兴技术预测方面得到越来越多的应用,取得了一些研究成果^[55-60]。

1.2.3 技术生命周期经典模型

技术生命周期的概念衍生自产品生命周期,代表一种以周期变化为特征的技术变革模式^[61]。Arthur D Little对技术生命周期给予了明确定义^[62],技术生命周期被划分为四个阶段:萌芽期、成长期、成熟期、衰退期。Ernst将Arthur的技术生命周期循环

概念与 TRIZ 理论相结合形成了 S 曲线模型^[63],并提出用量化的专利指标来代表技术性能的衡量指标。学者们开展了相关的应用研究,主要采用 Logistic 成长模型、冈珀兹曲线模型(Gompertz)对 S 曲线进行拟合,预测未来的专利申请数量,判断技术生命周期^[64-67],有观点认为单纯利用 S 曲线并不一定能满足技术生命周期预测需要,认为技术轨道理论更适合于分析技术演化^[38,68]。

1.2.4 TRIZ 理论

TRIZ 是前苏联发明家 G. Altshuller 及其同事在 1946—1985 年间发展起来的一套基于逻辑和数据的问题解决方法,核心思想是技术矛盾和冲突的解决是技术系统的进化动力。基于 TRIZ 思想的“技术难题—解决方案”启发式方法现已成为技术范式演化分析的依据^[69],应用于技术进化轨迹的连续性和稳定性研究。计算机技术的应用提高了 TRIZ 方法的自动化程度和效率,使 TRIZ 具备更强的问题解决能力,如:采用 SAO 三元分析法取代传统的物质场分析法;利用计算机协助识别目标技术系统中的技术冲突;利用自然语言处理技术抽取特征词,实现进化规则关联;利用语义相似计算来识别技术进化趋势和阶段等^[70-74]。

1.2.5 网络分析方法

社会网络分析方法研究的成果,为基于专利引文网络的技术演化分析带来了新契机。各种网络结构分析指标与算法、可视化工具等,为研究技术演化网络的形态结构、性质特征、动力学要素、未来演化等提供了有效手段。网络研究方法有条件强调专利引证关联形成的网络整体与其中的节点、连边、社团的关系,而不是相互孤立或隔绝地看待它们的属性,因而在分析技术演化中各要素的协同性、依赖性方面更具有相对优势。而网络建模与仿真方法,对于新兴技术领域的创新动力学特征研究尤具优势^[75-79]。

2 现状评述

总体看来,现阶段由专利引证角度研究技术演化已经有较丰富的研究,形成了一些基本的分析方法,但也存在以下一些局限与不足。

2.1 研究内容现状评述

(1) 关于技术主题演化趋势研究,大多采用对引证网络主题聚类、划分时间片、对比不同阶段专利类群技术主题特点的方式,总体上侧重于对领域内过去技术主题的描述、对当前主题现状的判断,而对未来主题发展预测的关注不够。其次,这些技术主题演化研究,多数是对不同时间阶段的专利类群主题、类群中重要专利文献内容的统计性的历史描述,显得定性化描述有余、定量化测度不足。第三,这种统计性的历史描述法,对于分析人员的知识参考点要求较高,如果分析(即便是技术领域专家)的知识参考点偏低,有可能导致判断性偏差。

(2) 关于技术前沿变迁比较研究,通过专利引文分析识别技术前沿的研究正在深化当中。但是经由科学引文表征研究前沿与经由专利引文表征技术前沿,二者是否存在差异,两类前沿各自的演化机理是否相通,都还有待详细研究。同时,在技术研发活动中,所谓“前沿”是根据研究对象当前在领域中所处地位来确定的,因而“动态性”是根本特性。但当前大多数研究主要是基于时间线对不同时间截面“前沿”识别结果的跟踪,对技术前沿演变的形成机理和知识结构特征揭示不够,譬如对于某时间窗内某技术在下一时间窗中演化成什么技术及其原因、不同演化轨道的比较、更微观知识单元层面的探讨等,都有待深入。

(3) 关于技术发展主路径识别研究,当前主要关注不同路径搜索算法的应用效果比较、通过实证来辨析算法的合理性与可行性、针对不同目的调节优化算法。研究思路大多是构建专利引证网络、析出最大子图、运用搜索算法识别主路径。在主路径构建过程中,叶子节点(簇)由于在当前阶段的引证相对弱势而被排除在路径之外,但其间不乏一些低支持度、高置信度的节点,可能蕴含着技术演化的突变信息。当前研究方法对其他路径的放弃,实质上是对网络最大子图的再一次增强型解读,而忽视了引证频次较小的早期路径,因而有可能忽视了重要的技术突变。同样,对算法的加权调节优化,也可能

造成信息流失,例如利用引证频次加权,有可能失去一些颠覆性技术的信息。

(4) 关于技术演化网络形态特征刻画和发展预测,当前对网络拓扑结构性质等静态统计特征的刻画居多,对网络演化的动态特征分析的定量化程度与揭示深度不够,对网络演化前景探索及趋势预测较少,对未来方向的判断研究比较欠缺。关于技术演化网络建模与仿真研究,在理论层面,缺乏对基于专利引证的技术演化的形成过程、不同节点相互关系的深入理解,因而制约了对演化微观机制和动态特性的有效捕捉;在实证层面,由于理论研究的上述不足影响到有效构造符合引证演化特性的理论模型以及针对需求对系统内在动力学性质的实证分析,因而对于揭示技术演化形成机制、提高网络应用能力造成了影响。

2.2 研究方法现状评述

(1) 专利引文分析方法是重要的专利计量分析方法,对于专利质量、专利价值分析具有重要意义,但在专利技术演化分析的应用空间相对有限。因为技术演化是一个复杂体系,技术演化分析必然涉及系统构成要素、相互作用、内外环境影响、演化动力学特征分析。单纯的专利引文分析,系统观不足,容易停留在引证数量的特征统计层面,对技术演化驱动机制、网络演化中各种关联关系、动力学成因等的系统分析能力不足,不能充分反映出演化系统机理与动态历程。

(2) 文本挖掘方法已在当前专利技术演化分析中有所应用,如聚类分析、主题映射、关联算法、语义抽取、文本分类等,但还有较大提升空间。例如:一件专利技术可能复分入多个不同技术领域,那么是否更适合应用模糊聚类法而不是通常的“硬”聚类?是否有更精确的语义结构与层次概念用以度量语义相似度?基于技术进化的特性,在社团主题演化、路径节点的选择分析中是否可考虑结合遗传算法特点?总之,有待结合专利技术演化分析的特点及需求,在具体应用时加以针对性地选用和改进。

(3) 技术生命周期法通常适用于判断技术目前所处的阶段,对于揭示技术流向、演化动因、影响要

素及内在联系、过程路径及未来趋势的效果不佳,也不便于区分线性演化、非线性演化。分析效果有赖于数据规模,通常适合大规模、中等规模样本量,对于细小技术分支领域、小规模数据量的分析效果不佳;也有赖于选用合适的指标来量化技术性能。但是虽然不能作为主干分析方法,技术生命周期法却可提供特有参考视角,例如在演化进程的时间片对比分析中,为时间阶段划分提供定量依据。

(4) TRIZ理论的“P-S”启发式分析模式,便于深入理解技术进化规则,因而在技术演化分析中具有独特意义。TRIZ尤其适合对具体专利技术方案的内容解构。不同于技术生命周期模型,TRIZ在细小技术分支领域的演化分析效果更佳。局限之处在于,TRIZ只考虑了技术难题、解决方案二维线性逻辑关系,而实质上技术演化动力系统不仅体现了技术横向、纵向的发展过程和规律的统一,还体现了外部扩展、内部自我积累的合力作用,阶段性、集群性、协同性等特点纷呈。此外,TRIZ的应用也需要与本体技术、语义分析等更多文本挖掘技术相结合,方能更好地发挥作用。

(5) 网络分析方法在大数据时代刺激下得到迅猛发展,复杂网络分析方法与工具在科学引文系统研究中已经有不少相关成果,例如科学家影响力、论文内在质量、引文链路预测分析等,但在专利引证系统研究中的应用相对较少。总体上,当前大部分工作基本都关注静态网络分析,基于特定拓扑结构下展开,如社团结构、偏好依附、富人俱乐部,对演化发展的实证以及预测研究相对薄弱。已有的网络演化研究,大部分是针对实现特定网络结构的机制模型研究,网络演化行为的实证和理论研究并不完善。现有的链路预测方法主要集中在无向无权网络,关于网络随时间演化的动态特征对链路预测研究的重要性,缺乏一个清晰而成熟的含时预测框架来描述含时网络上的链路预测算法,对于有向、含时、加权的技术演化网络的研究较少。

3 未来研究展望

针对现有研究中存在的不足,本文从研究思想、

研究内容、研究方法、研究手段四个方面提出关于专利引证视角下技术演化研究的几点思考。

(1) 应充分体现技术演化的系统性。技术演化是技术领域内部动力、环境发展推力、需求拉力等多合力作用的结果,不仅存在技术领域自身的递进发展,还有技术领域间的协同关系。这种合力促进技术呈“螺旋式”上升,在演化过程中呈现出技术结构性、路径选择性、发展周期性。因此,专利引证技术演化分析不应仅仅局限于由专利引证关系看技术继承与整合,而应该视为一个多目标决策问题,应关注更多显性和隐性的影响要素及其相互关系、各要素对技术演化进程的不同影响、不同技术群落的动态演化关系,研究如何实现了演化、为什么以这种方式演化、分别变革式演化或者递进式演化等技术演化机制与动力学特征问题,总结其间的普适性规律和一些特殊现象及其原因。

(2) 关注技术演化的动态性特点和未来预测。无论是技术主题、发展路径、热点前沿、关系网络的演化研究,都应重视从局域、中观和宏观的不同尺度揭示演化规律,总结演化类型,并在此基础上重点探索未来演化前景、预测推演发展趋势。此外,专利引证研究视角能够提供论文引证研究视角所不具备的独特线索:专利文献内容多反映技术、产品,与产业和市场的关系更紧密,因而专利引证流中蕴含着发明创造技术的产业扩散或市场扩散信息——方法专利、产品专利、用途专利之间的关系,引证流中介点与市场选择可能等。因此,由专利引证来研究技术演化应该有独特的探索与思考,譬如,如何表征市场价值与风险的影响、如何反映出这些因素对技术演化进程的反馈、如何细分这些复杂关系判断一些高度不确定的发展环境、如何预测技术的发展趋势和进化潜能等。

(3) 综合多种研究方法的优点,探索多元化方法体系。单纯采用哪一种方法,都不能全面深入地揭示技术演化历程中的动态变化。譬如技术生命周期理论有助于划分演化阶段;技术轨道理论比技术生命周期理论更适合于分析演化路径;TRIZ理论适用于在提

取主路径后推导阶段性技术矛盾和发展动力;文本挖掘技术可与各方法结合来深度挖掘更多知识规律。近年复杂网络分析方法研究取得成果,为专利引证技术演化研究提供了方便法门,正成为重要的新兴方法,但应用中也需注意适用性,比如:怎样控制边界条件,避免专利引文网络碎片化程度过高导致引证路径过短;采用什么网络指标反映节点与路径的演化潜能、演化进程对系统的正负反馈;开发更多新指标,满足专利技术演化分析的特定需要等。

(4) 开发具有强大计算能力的软件、可视化工具以提供支撑。技术演化分析涉及大量数据计算以及可视化呈现,以主路径算法优化与拓展为例,涉及计算遍历权重的穷举搜索算法,计算量庞大并直接影响到路径选择结果;而且,无论什么主路径算法都应该与技术领域的特征相匹配、与技术领域对应的专利主题数据库相匹配,在此基础上进行算法的拓展计算结果和经典主路径算法计算结果之间的对比研究,或是不同算法计算结果之间的对比研究,然后确定优化方法,然后才可以再深入进行不同技术路径的技术差异研究,因此必须有强大计算能力的软件手段作支撑。同时,分析中还涉及语义相似计算、自然语言处理等,以及探究网络连通性、鲁棒性、有效性的各种结构性能分析,涉及技术演化走势的模型仿真推演,因此,集成化的分析工具开发也将成为技术演化研究的重要部分。

参考文献

- [1] 许良. 技术哲学[M]. 上海:复旦大学出版社,2004.
- [2] 李亚青. 技术进化的趋势与展望[J]. 科学技术与辩证法, 2002(5):48-50.
- [3] 秦书生,陈凡. 技术系统自组织演化分析[J]. 科学学与科学技术管理,2003(1):34-35.
- [4] 约翰·齐曼. 技术创新进化论[M]. 孙喜杰,曾国平,译. 上海:上海科技教育出版社,2002.
- [5] 陈亮,张志强. 技术演化研究方法进展分析[J]. 图书情报工作,2012,56(17):59-66.
- [6] 陈燕,黄迎燕,方建国,等. 专利信息采集与分析[M]. 北京:清华大学出版社,2006.

- [7] 刘倩楠. 基于专利引文网络的技术演进路径识别研究:以“以太网技术”为例[D]. 大连:大连理工大学,2010.
- [8] 刘小玲. 基于专利网络的技术演进研究[D]. 北京:中国科学院研究生院,2011.
- [9] Kuusi O, Meyer M. Anticipating technological breakthroughs: Using bibliographic coupling to explore the nanotubes paradigm[J]. *Scientometrics*, 2007,70(3):759-777.
- [10] 张伟. 基于专利引用的碳捕获与封存技术发展研究[D]. 北京:北京工业大学,2013.
- [11] Fontana R, Nuvolari A, Verspagen B. Mapping technological trajectories as patent citation networks: An application to data communication standards[J]. *Economics of Innovation and New Technology*, 2009,18(4): 311-316.
- [12] Dewulf S. Directed variation of properties for new or improved function product DNA: A base for connect and develop[J]. *Procedia Engineering*, 2011(9):646-652.
- [13] 许琦,顾新建. 一种基于 Subject-Action-Object 三元组的知识基因提取方法[J]. *浙江大学学报(工学版)*,2013,47(3):385-399.
- [14] Yoon J, Choi S, Kim K. Invention property-function network analysis of patents: A case of silicon-based thin film solar cells[J]. *Scientometrics*, 2011(86):687-703.
- [15] Hannan M, Carroll G. Dynamics of Organizational Populations: Density, Legitimation, and Competition [M]. London: Oxford University Press, 1992.
- [16] 黄鲁成,李江. 专利技术的生态学描述[J]. *科学学研究*, 2009(5):666-671.
- [17] 黄鲁成,李江. 专利技术种群增长的生态过程:协同与竞争:以光学光刻技术种群为例[J]. *研究与发展管理*,2010,22(2):24-31.
- [18] Hsu C W, Chang P L, Hsiung C M, et al. Charting the evolution of biohydrogen production technology through a patent analysis[J]. *Biomass & Bioenergy*, 2015(76):1-10.
- [19] Choi J, Hwang Y S. Patent keyword network analysis for improving technology development efficiency[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2014,83(2):170-182.
- [20] No H J, Park Y. Trajectory patterns of technology fusion: Trend analysis and taxonomical grouping in nanobiotechnology[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2010,77(1):63-75.
- [21] Kim B, Gazzola G, Lee J M, et al. Inter-cluster connectivity analysis for technology opportunity discovery[J]. *Scientometrics*, 2014,98(3):1811-1825.
- [22] Samll H, Griffith B C. The structure of scientific literatures I: Identifying and graphing specialties[J]. *Science Studies*, 1974,4(1):17-40.
- [23] Garfield E. Research fronts[J]. *Current Contents*, 1994(41):3-7.
- [24] Persson O. The intellectual base and research fronts of JASIS 1986-1990[J]. *Journal of the American society for Information Science*, 1994,45(1):31-38.
- [25] 王立学,冷伏海. 简论研究前沿及其文献计量识别方法[J]. *情报理论与实践*,2010,33(3):54-58.
- [26] Chen S H, Huang M H, Chen D Z, et al. Detecting the temporal gaps of technology fronts: A case study of smart grid field[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2012,79(9):1705-1719.
- [27] Huang M H, Chen D Z, Dong H R. Identify technology main paths by adding missing citations using bibliographic coupling and co-citation methods in photovoltaics[C]. Oregon: Proceedings of PICMET 11: Technology Management in the Energy-Smart World (PICMET), 2011.
- [28] 赵佳. 专利视阈下物联网领域知识图谱及产业引导政策研究[D]. 南京:南京邮电大学,2013.
- [29] 侯剑华,范二宝. 基于专利家族的核心技术演进分析:以太阳能光伏电池技术为例[J]. *情报杂志*,2014,33(12):30-35+40.
- [30] Lin S Z, Chen S H, Wang C C, et al. A comparison of technology trajectories between the global and the United States in smart grid[C]. Singapore: IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering management (IEEM), 2011.
- [31] Hummon N P, Doreain P. Connectivity in a citation network: The development of DNA theory[J]. *Social*

- Networks, 1989,11(1):39-63.
- [32] Verspagen B. Mapping technological trajectories as patent citation networks: A study on the history of fuel cell research[J]. *Advance in Complex System*, 2005,10(1):93-115.
- [33] Choi C, Park Y. Monitoring the organic structure of technology based on the patent development paths[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2009,76(6):754-768.
- [34] David B T, Fernando J S, Itziar C M. Mapping the importance of the real world: The validity of connectivity analysis of patent citations networks[J]. *Research Policy*, 2011,40(3):473-486.
- [35] Yuan F, Miyazaki K. Understanding the dynamic nature of technological change using trajectory identification based on patent citation network in the electric vehicles industry[C]. Kanazawa: Portland International Conference on Management of Engineering & Technology (PICMET), 2014.
- [36] Guan J C, Shi Y. Transnational citation, technological diversity and small world in global nanotechnology patenting[J]. *Scientometrics*, 2012,93(3):609-633.
- [37] Xu Y S, Hua X F. Mapping technological trajectories as patent citation networks: Taking the aero-engine industry as an example[C]. Kanazawa: Portland International Conference on Management of Engineering & Technology (PICMET), 2014.
- [38] Yang Z K, Huang Y, Liu J, et al. Research on identification of technological trajectory based on patent citation network: Taking wind motors technology as an example[C]. Hangzhou: Proceeding of 2012 International Symposium on Management of Technology (ISMOT'2012), 2012.
- [39] 彭爱东,黎欢,王洋. 基于专利引文网络的技术演进路径研究:以激光显示技术领域为例[J]. *情报理论与实践*, 2013,36(8):57-61.
- [40] Liu J S, Chen H H, Ho M H, et al. Citations with different levels of relevancy: Tracing the main paths of legal opinions[J]. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 2014,65(12):2479-2488.
- [41] 潘颖. 基于专利引证强度的关键技术发展路径研究[J]. *情报理论与实践*, 2014,37(12):71-75.
- [42] 许琦. 一种面向技术进化的知识适应能力评价方法:基于专利引证网络的知识遗传分解[J]. *情报理论与实践*, 2013,36(3):68-76+55.
- [43] 向希尧,蔡虹. 跨国技术溢出网络结构分析与路径识别:基于专利引用的实证分析[J]. *科学学研究*, 2009,27(9):1348-1354.
- [44] 张翀,龚艳萍. 专利引证形式下标准化技术的演变路径研究[J]. *科技进步与对策*, 2012,29(23):14-17.
- [45] Bekkers R, Martinelli A. Knowledge positions in high-tech markets: Trajectories, standards, strategies and true innovators[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2012,79(7):1192-1216.
- [46] Lin Y, Chen J, Chen Y. Backbone of technology evolution in the modern era automobile industry: An analysis by the patents citation network[J]. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 2011,20(4):416-442.
- [47] Ho M H, Lin V H, Liu J S. Exploring knowledge diffusion among nations: A study of core technologies in fuel cells[J]. *Scientometrics*, 2014,100(1):149-171.
- [48] Ho M H, Cheo H Y. Analyzing the brokerage roles of stakeholders in a technological network: A study of GMO plant technologies[C]. Kanazawa: Portland International Conference on Management of Engineering & Technology (PICMET), 2014.
- [49] 黄晓斌,梁辰. 基于专利引用网络的4G通信技术竞争态势分析[J]. *情报杂志*, 2014,33(4):51-58.
- [50] Kim E, Cho Y, Kim W. Dynamic patterns of technological convergence in printed electronics technologies: Patent citation network[J]. *Scientometrics*, 2014,98(2):975-998.
- [51] Kurtossy J. Innovation indicators derived from patent data[J]. *Social & Management Sciences*, 2004,12(1):91-101.
- [52] Narin F. Patents as indicators for the evaluation of industrial research output[J]. *Scientometrics*, 1995,34(3):489-496.

- [53] 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.
- [54] Chen S H, Huang M H, Chen D Z. Identifying and visualizing technology evolution: A case study of smart grid technology[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2012,79(6):1099-1110.
- [55] 方曙,胡正银,庞弘燊,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.
- [56] 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.
- [57] Kim Y G, Suh J H, Park S C. Visualization of patent analysis for emerging technology[J]. *Expert System with Application*, 2008,34(3):1804-1812.
- [58] 刘小玲,谭宗颖. 基于专利网络的技术演进研究方法探索[J]. *科学学研究*,2013,31(5):651-656+731.
- [59] 旷景明,兰小筠. 基于专利信息分析的创新技术预测方法综述[J]. *情报杂志*,2014,33(9):33-39+50.
- [60] Erdi P, Makovi K, Somogyvari Z, et al. Prediction of emerging technologies based on analysis of the US patent citation network[J]. *Scientometrics*, 2013,95(1):225-242.
- [61] 刘斌强,江玉得. 基于专利信息分析的技术生命周期判断与应用[J]. *唯实*,2011(1):77-79.
- [62] Little A D. The strategic management of technology [C]. Davos: European Management Forum, 1981.
- [63] Ernst H. The use of patent data for technological forecasting: The diffusion of CNC-technology in the machine tool industry[J]. *Small Business Economics*, 1997,9(4):361-381.
- [64] 于慧伶. 利用TRIZ理论S曲线进化法则的人造板技术发展预测[J]. *林业科技*,2009,34(4):57-60.
- [65] 朱昭铭. 以技术生命周期分析薄膜太阳能产业趋势之研究[D]. 南京:国立中央大学,2009.
- [66] 唐田田,刘平,张鹏,等. 罔珀兹曲线模型在专利发展趋势预测中的应用[J]. *现代图书情报技术*,2009(11):59-63.
- [67] 赵莉晓. 基于专利分析的RFID技术预测和专利战略研究:从技术生命周期角度[J]. *科学学与科学技术管理*, 2012,11(33):24-30.
- [68] Meister C, Meister M. Trends and trajectories in MEMS-related technologies: An analysis on the basis of patent application data[C]. Bucharest: IEEE- Electron Society and Romanian Academy, Semiconductor Conference, 2005.
- [69] 许琦. 基于专利引证网络的技术范式分析:以半导体制造领域为例[J]. *图书情报工作*,2013,57(4):112-119.
- [70] Verhaegen P A, D'hondt J, Veltommen J, et al. Relating properties and functions from patents to TRIZ trends[J]. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 2009,1(3):126-130.
- [71] Yoon J, Kim K. An automated method for identifying TRIZ evolution trends from patents[J]. *Expert Systems with Applications*, 2011,38(12):15540-15548.
- [72] He C, Loh H T. Grouping of TRIZ inventive principles to facilitate automatic patent classification[J]. *Expert Systems with Applications*, 2008,34(1):788-795.
- [73] Loh H T, He C, Shen L. Automatic classification of patent documents for TRIZ users[J]. *World Patent Information*, 2006,28(1):6-13.
- [74] Cascini G, Russo D. Computer-aided analysis of patents and search for TRIZ contradictions[J]. *International Journal of Product Development*, 2007,4(1/2):52-67.
- [75] Cecere G, Corrocher N, Gossart C, et al. Technological pervasiveness and variety of innovators in green ICT: A patent-based analysis[J]. *Research Policy*, 2014, 43(10):1827-1839.
- [76] Dangelico R M, Garavelli A C, Petruzzelli A M. A system dynamics model to analyze technology districts' evolution in a knowledge-based perspective[J]. *Technovation*, 2010,30(2):142-153.
- [77] Gao J P, Ding K, Teng L, et al. Hybrid documents co-citation analysis: Making sense of the interaction between science and technology in technology diffusion[J]. *Scientometrics*, 2012,93(2):459-471.
- [78] 陈文婕. 低碳汽车技术创新网络演化研究[D]. 长沙:湖南大学,2013.
- [79] 孙德忠,周荣,喻登科. 高校与非高校上市公司专利技术扩散网络模型[J]. *科学学与科学技术管理*,2014,35(1):57-65.

Review on Technology Evolution Research from Patent Citation Perspective

ZHANG Xian^{1, 2}, FANG Shu¹, WANG Chunhua^{1, 2}

(1. Chengdu Library of the Chinese Academy of Science, Chengdu 610041, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract: The behavior of patent citation is a significant and measurable approach of technology evolution. Firstly, the significance of patent citation analysis for technology evolution research was elaborated, and then a comprehensive literature review of the technology evolution research based on patent citation information was conducted. The research achievements were summarized as four aspects, which involves five major research methods. For each research aspect and method, the advantages and limitations in current were discussed. Finally, the possible research work in the future was suggested.

Key words: technology evolution; technological trajectory; technology development path; patent citation; literature review