

张 谦, 郝继英. 基于专利的生物技术融合研究进展分析[J]. 中华医学图书情报杂志, 2022, 31(9): 20-26.

DOI: 10.3969/j.issn.1671-3982.2022.09.003

· 研究与探讨 ·

基于专利的生物技术融合研究进展分析

张 谦, 郝继英

[摘要]目的: 对基于专利的生物技术融合研究的进展进行系统总结与分析, 为后续的生物技术融合研究提供参考。方法: 通过中国知网和 Web of Science 数据库检索得到基于专利的生物技术融合研究的相关文献, 按照研究方法系统总结了研究的主要进展, 分析了存在的不足。结果: 现有基于专利的生物技术融合研究主要涉及 4 种研究方法并初步展示了生物技术融合概况, 但总体来说研究还不够完善, 存在问题主要包括研究广度与深度不足、对新型分析方法的探索不足、对趋势预测的关注不足等。结论: 为了深度揭示生物技术领域的融合特征与未来趋势, 应扩大数据源、引入新型数据挖掘方法, 对生物技术领域进行全面探索, 再佐以有关情报信息进行深入分析。

[关键词]技术融合; 生物技术; 专利数据

[中图分类号]Q-0; G306 **[文献标志码]**A **[文章编号]**1671-3982(2022)09-0020-07

Analysis of the research progress of patent-based biotechnology convergence

ZHANG Qian, HAO Ji-ying

(Information Research Center of Military Sciences, Academy of Military Sciences, Beijing 100142, China)

Corresponding author: HAO Ji-ying

[Abstract] Objective The progress of patent-based biotechnology convergence research was systematically summarized and analyzed to provide a reference for the subsequent research in this field. **Methods** The literature on patent-based biotechnology convergence research was retrieved through CNKI and Web of Science, and the main progress of the research was systematically summarized according to the research methods, and the existing deficiencies were analyzed. **Results** Existing research on patent-based biotechnology convergence mainly involves 4 research methods and initially demonstrates the general situation of biotechnology convergence, but overall the research is not perfect and the problems mainly include lack of research breadth and depth, insufficient exploration of new analysis methods, and inadequate attention to trend forecasting, etc. **Conclusion** In order to deeply reveal the characteristics and future trends of biotechnology convergence, it is necessary to expand the data sources, introduce new data mining methods, and explore the field of biotechnology comprehensively, followed by in-depth analysis of relevant intelligence information.

[Key words] Technology convergence; Biotechnology; Patent data

[作者单位]军事科学院军事科学信息研究中心, 北京 100142

[作者简介]张 谦 (1996-), 女, 硕士研究生, 研究方向为科技信息分析。

[通讯作者]郝继英 (1972-), 女, 硕士, 副研究员, 硕士生导师, 研究方向为科技信息分析。E-mail: tanhijy@163.com

技术融合 (technology convergence) 一词最早是由美国学者在研究美国机械工具产业时提出的, 用以描述“产品没有明显联系的行业在技术基础上变得非常相关 (技术融合)”^[1]。之后有学者思考技术融合是否也出现在其他行业中, 有关技术融

合的学术研究由此展开。虽然关于技术融合的研究逐步增加,但至今尚没有公认的定义。有学者将技术融合定义为“知识融合向技术创新潜力的转变,以允许行业间的知识溢出促进新的技术组合^[2]”;有学者认为技术融合是将两种或两种以上现有技术组合成一种新的混合技术后出现技术突破的现象^[3];有学者认为技术融合是为解决多个产业同时面临的技术问题而产生的技术创新现象^[4]。尽管不同学者对技术融合的界定不同,但都包含了从“不同技术领域交叉融合”到“产生新技术”的过程。

生物技术具有典型的技术融合特征,生物技术领域内部及生物技术与其他技术领域之间的技术融合现象都相当普遍,尤其是生物技术与其他技术的交叉融合发展,已经导致了許多新技术新领域的出现,如生物芯片技术、纳米生物技术、合成生物学、生物信息学等。技术融合给生物技术带来了新的变革与突破,对生物技术融合进行系统研究,对探究生物技术融合的发展历程、现状及未来趋势具有重要意义。

目前用于研究技术融合的数据来源主要包括专利数据、论文数据^[5]、维基百科数据^[3,6]、标准数据^[7]等。专利是前沿的、可靠的知识来源^[8],能够直观展现技术融合的发生与发展过程,是进行技术融合分析的最佳选择^[9]。本文将对基于专利的生物技术融合研究的进展进行系统总结,并分析其中的不足。

1 数据来源

2022 年 4 月 16 日,笔者从中国知网和 Web of Science 数据库以“基于专利的技术融合研究”为题分别进行中外文献检索,时间范围不限,中文检索式为“TI=(‘技术融合’+‘融合技术’+‘会聚技术’+‘技术会聚’+‘交叉技术’+‘技术交叉’+‘会聚指数’+‘会聚趋势’)AND(AB=(专利+IPC)or TI=(专利+IPC)or KY=(专利+IPC))NOT TI=(技术交叉许可)”,英文检索式为“TI=((technolog* and converg*)or(technolog* and fusion))and TS=(patent or IPC)”,得到该领域的文献 146 篇(中文 66 篇、英文 80 篇)。从

检索结果中人工筛选出“基于专利的生物技术融合研究”文献 15 篇(中文 9 篇、英文 6 篇),其中包含 2 篇中文综述。

对检索得到的文献进行分析,发现该研究领域较为新颖,国外与国内分别于 2006 年与 2009 年对基于专利的技术融合开展研究,且近年来国内外均有一定数量的研究成果产出,已经成为一个不可忽视的研究领域。其中针对生物技术领域的研究虽数量不多,但贯穿始终,在基于专利的技术融合研究中占据一席之地,可见其重要性。对检索得到的中英文文献进行研读,将基于专利的生物技术融合研究文献按照使用的具体方法划分为 4 类并总结其研究进展,再系统分析其中的不足之处。

2 基于专利的生物技术融合研究现状

研究技术融合方法主要包括专家法^[10]、文献计量法^[11]、引文分析法、专利共现分析法、数据挖掘方法、指标法等。随着方法的改进更新,技术融合的研究也进一步深入。基于此,本文将检索得到的文献按照其研究生物技术融合时使用的主要方法划分为 4 类,以便对该领域的研究现状有一个较为清晰的概览。生物技术融合研究是从使用指标法开始的。随着信息技术的快速发展及专利数量的急速增长,使用专利引文分析法与共现分析法逐渐成为主流。但从本质上来说,二者都是基于专利的结构化数据进行研究,而数据挖掘方法弥补了这一缺陷,成为近年来备受关注的一种新方法。

用于技术融合分析的常用外文专利数据库有德温特创新索引数据库(Derwent Innovations Index, DII)、美国专利数据库(United States Patent and Trademark Office, USPTO)、世界知识产权数据库(World Intellectual Property Organization, WIPO)、IncoPat 数据库等,常用的中文专利数据库有中国国家知识产权局专利数据库、中国专利信息信息中心专利数据库等。

2.1 专利引文分析法

专利引文分析法主要基于专利之间的引用信息进行技术融合分析。引文分析法通常会使用网络分析来识别技术融合^[12],构建专利引文网络有助于识别知识流动和演化轨迹^[13]。进行专利引文分

析需要使用包含较全面的引文信息的专利数据库,常用的有欧洲专利局开发的 EPOQUE 系统中的专利引文文献数据库 REFI 与德温特创新索引数据库 (DII)。

2010 年,有学者为了探索纳米生物技术的融合轨迹,使用专利的前向与后向引用数据衡量跨学科技术领域的融合程度,再根据流入和流出技术领域的多样性将融合机制划分为 6 类,最后以融合度为权重,将引文网络可视化,追踪技术融合轨迹、检测技术融合模式,清晰完整地呈现纳米生物技术融合发展全貌^[14]。2017 年,有学者通过分析专利之间的引用关系识别技术之间的知识流动,并将其引入依赖结构矩阵 (dependency-structure matrix, DSM) 分析信息技术与生物技术领域间现有的融合趋势,再利用神经网络分析预测未来专利引用矩阵的值,最后利用预测结果再度构建依赖结构矩阵 (DSM),预测未来信息技术与生物技术领域之间的技术融合情况^[15]。

2.2 专利共现分析法

专利共现分析法主要基于专利分类号之间的共现关系开展技术融合研究。通过专利分类之间的交叉重叠 (即专利分类号的共现),可间接挖掘技术之间的融合关系^[16]。技术融合研究中涉及的分类型号包括国际专利分类号 (International Patent Classification, IPC)、德温特专利手工代码 (Derwent Manual Code, MC)、德温特专利分类号 (Derwent Class Code, DC)、美国专利分类号 (U.S. Patent Classification, USPC) 等。此外,也可将分类号与 ISI-OST-INPI 分类体系对照使用以便分析产业技术融合的情况^[17-19]。基于分类号的共现关系构建技术共现矩阵与技术融合网络是进一步探索技术融合特征的有效工具。

2012 年,有学者同时采用专利引文分析法与专利共现分析法对信息技术与生物技术领域进行系统的技术融合分析。在宏观层面上,采用引文分析法,基于技术知识流整体把握信息技术与生物技术领域之间的融合关系;在微观层面上,采用共现分析法,通过计算融合强度与融合覆盖度 2 项指标识别具体的融合技术,并绘制投资组合图提供未来

信息技术与生物技术领域间的技术机会^[20]。2021 年,有学者先后构建技术领域共现网络与德温特手工代码 (MC) 共现网络,分别从整体和局部两个层面探究合成生物学领域的技术融合情况。在整体层面,通过将 IPC 与 ISI-OST-INPI 分类体系对照构建技术领域共现网络,了解合成生物学的整体分布与融合情况;在局部层面,通过计算技术融合度、共现频次、中介中心性等指标,从 MC 共现网络中筛选出技术融合热点,预测合成生物学技术融合情况^[21]。

2.3 数据挖掘方法

近年来,关联规则挖掘、聚类分析、神经网络、链路预测、隐含狄利克雷分布 (latent dirichlet allocation, LDA) 主题模型等多种数据挖掘方法被逐步应用到技术融合分析中。数据挖掘方法有助于将实际技术内容与技术融合特征关联起来^[22]。将数据挖掘方法与传统的专利共现、专利引文分析方法结合起来,能够提高分析的科学与精准性。经实践证明,数据挖掘方法更擅长识别技术融合关系与预测技术的融合发展。

2018 年,有学者在生物技术与信息技术间进行了技术机会发现,即通过预测潜在的技术知识流识别可能发生融合的技术机会,实质是在构建专利引文网络的基础上,通过基于边介中心性的链路预测方法构建潜在的专利引文网络,再结合各种技术知识流指标筛选出信息技术与生物技术领域的技术融合机会^[23]。2019 年,有学者提出了一种基于关联规则的多元交叉影响关系测度模型,用以识别生物技术领域的重要融合技术,即利用 Apriori 算法挖掘生物技术领域中的多元技术会聚组合后,采用经过改进的多元技术融合交叉影响分析法计算出会聚技术之间的影响关系,基于特征向量中心度判断每一个会聚技术在生物技术领域的会聚影响力^[24]。2021 年,有学者基于突变检测算法对经过排列组合的二元与三元 IPC 技术组合进行识别,探测生物芯片技术的融合前沿^[25]。

2.4 指标法

测量技术融合程度的常用指标有香农-威纳指数、辛普森多样性指数、赫芬达尔指数、交叉影

响值、余弦相似度、Jaccard 系数、技术融合度、结合力指标等。其中一部分指标是从其他领域引入的。如香农-威纳指数与辛普森多样性指数均来自于生物学指标;还有一部分指标是学者在研究中提出并定义的新指标,如技术融合度^[26]、结合力指标^[27]等。

2009 年,有学者以上市公司的授予专利为样本,使用赫芬达尔指数对我国农业与生物产业间的融合程度进行分析,得出当时我国农业与生物产业处于低度融合状态的结论^[28]。2013 年,有学者使用基于专利的交叉影响法对 NBIC 会聚技术进行了分析,通过计算交叉影响值确定 NBIC 的热点融合领域^[29-31]。2014 年,有学者提出并计算技术融合指数 (convergence index, CI) 与市场指数 (market index, MI),从技术和市场两个角度追踪纳米生物传感器技术的融合发展路径,其中技术融合指数 (CI) 通过专利共现衡量技术融合的规模,而市场指数 (MI) 则利用专利族数据衡量全球市场的发展潜力,依据二者的变化可划分出了 4 种技术融合发展路径^[32]。2016 年,有学者构建了基于专利的技术融合分析框架,通过共现矩阵与计算余弦相似度进行静态分析,通过香农-威纳指数与辛普森多样性指数等进行动态分析,并最终在生物芯片技术领域实现了应用^[17]。

3 存在的不足

目前,生物技术融合研究使用的数据源主要是专利数据,基于专利数据使用的具体分析方法包括专利引文分析法、专利共现分析法、数据挖掘法与指标法等,而研究内容主要涉及测量技术融合程度、识别技术融合关系、考察融合发展路径、预测未来融合方向等,展示了生物技术与其他领域技术融合概况,为更深刻认识生物技术融合、促进生物技术及生物产业的发展提供了有益参考。但总体来看,基于专利的生物技术融合研究数量并不多,研究范围、研究方法与研究内容也都有待进一步深化。

3.1 研究广度与深度不足

目前,基于专利的生物技术融合研究主要集中在生物技术与信息技术、纳米技术之间的融合研究,本身就高度具备融合属性的生物芯片技术也受

到了学者们的关注。但总体来看,生物技术融合研究的范围仍比较局限。生物技术领域十分广阔,无论是生物技术领域内的技术融合发展情况还是生物技术与其他技术领域的融合发展情况,都需进一步探索,尤其是新兴技术领域。近年来,生物技术与人工智能、自动化和 3D 打印等新兴技术的交叉融合发展,给生物产业带来了变革性的巨大影响。如 3D 生物打印技术有望利用活性生物材料构建具备生物学功能的组织和器官,带来组织工程领域的革命性变化;生物大数据分析技术有望提供个性化、针对性的精准医疗,开辟疾病诊疗模式的全新道路;生物实验室的自动化技术有望在病原体检测与监控中发挥巨大作用,大大降低人类面临的生物安全风险等。对上述研究领域的技术交叉融合仍有待进一步探究。

3.2 对新型分析方法的探索不足

从现有的研究成果看,生物技术融合研究对上述专利引文分析法、专利共现分析法、指标法、数据挖掘方法等 4 类主要方法均有涉猎,但最近几年涌现出的新型技术融合分析方法还未被应用于生物技术领域。如有学者认为专利内部的主副分类号之间同样伴随着知识的流动,并基于此改进了传统的技术知识流网络,并利用马尔科夫模型预测了石墨烯产业的占比情况^[33];有学者通过研究验证了多层次的 IPC 共现有助于提高链路预测的准确性^[34]。还有学者基于 LDA 模型提出了一种将定量分析与定性分析结合起来的新框架,通过 LDA 探测出的关键词总结出有希望的技术融合主题,再通过链路预测的方法识别出潜在的技术融合关系^[35];有学者在通过专利共现网络识别出技术融合关系的基础上,引入基于 Katz 指标的链路预测方法,预测电动汽车产业未来的融合关系和发展方向^[36]。大部分研究都只使用一个链路预测指标,但有学者使用 5 种 18 个链路预测指标,而这可能会导致重要信息的丢失,从中选择出预测效果最佳的随机森林模型来预测化学工程与环境技术领域的技术融合模式^[37],有学者采用 GTM 算法开发专利地图,自动检测专利真空区域,再结合社会网络分析与关联规则挖掘预测技术融合关系^[38]。随着多种新型

数据挖掘方法被引入技术融合研究中,结构化数据与非结构化数据的结合使用大大提高了分析的精准度与科学性,尤其是技术融合预测方面。生物技术作为典型的交叉融合领域,是尝试新型研究方法的最佳领域,再结合验证有效的传统方法,就能科学地进行深入的技术融合研究。

3.3 对趋势预测的关注不足

测量生物技术领域融合程度与识别生物技术融合热点领域,有助于认识生物技术的发展现状,但只有准确识别出技术融合的发展机制与未来趋势,才能为生物技术发展指引方向。如有学者在构建 IPC 共现矩阵后,利用 Louvain 算法从中聚类出多个技术群,再通过余弦相似度指标对相邻时间窗口的技术群进行计算与可视化,展示出增材制造技术的融合与演化路径^[39];有学者以城市创新技术为例,论证了垂直融合与水平融合是同步发生的,并利用关联规则挖掘构建技术生态网络,以初级专利类-补充专利类的形式描述多技术融合的主要结构模式,最后利用基于 logistic 回归模型的链路预测分析多技术融合的前景^[40];还有学者基于技术融合的视角挖掘新嵌入人工智能领域的技术并持续追踪它们的热度变化,借助桑基图直观展示新技术进入人工智能领域的融合过程,分析人工智能领域技术融合的特点,找到人工智能技术的突破口^[41]。目前,如何准确而快捷地进行趋势预测是技术融合研究领域的重点问题,而基于多种指标进行预测的链路预测方法则是新兴的有效手段。因此,我们在研究生物技术融合时,可借鉴上述研究方法,把握生物技术融合轨迹与模式,找到未来生物技术融合的方向,为政策制定者制定管理政策、专家学者进行技术创新,企业与投资者促进产业升级提供一份科学的、前瞻的、专业的参考意见,为生物技术的创新与发展提供有力支撑。

4 结语

2022 年 5 月,国家发展和改革委员会公布《“十四五”生物经济发展规划》,提出我国要在“十四五”期间加快生物技术与生物产业的发展。技术融合是技术创新与进化的基石,是产业形成与发展的驱动器,因此,若能准确地对技术融合进行

分析预测,国家就能制定合适的科技政策以主动引导科技创新与产业发展,企业就能提高市场竞争力,科学家就能找到技术突破口。生物技术作为具有典型融合特征的领域,在技术融合研究中占据了一席之地,其中,基于专利数据对生物技术融合进行研究是目前主要的研究方法。

从研究现状来看,基于专利的生物技术融合分析主要采用了专利引文分析法、专利共现分析法、数据挖掘方法与指标法等方法,每种方法在实际应用中都有其特点和不足,基于专利的生物技术融合研究还不够完善与深入。

一是专利引文分析方法能更好揭示技术融合的复杂关系,但使用范围比较受限。首先,专利引文信息获取难度较高,只有少数专利数据库拥有部分专利的引用数据。其次,由于引用行为本身具备时滞性,再加上新兴技术专利往往缺乏足够的后向引用,因此专利引文分析法只适用于已经形成主导设计的技术。最后,由于与发明相关的法律问题,专利引用活动很容易产生偏见和扭曲^[42],也并非每项专利都具有引用数据。

二是专利共现分析法更具时效性与可操作性,但一般只能相对静态地展现某一时间段内大致的技术融合情况^[41]。首先,不论是何种分类号,都不能覆盖所有的技术领域,并且可能因分类号的发展产生较大的变动^[43]。其次,分类号的更新往往需要一定的时间,无法及时反映专利中出现的最新技术。最后,分类号表达的技术粒度较粗,无法揭示技术融合的详细特征。

三是数据挖掘方法能提高技术融合分析的精准度,但通常还需要与其他方法结合使用才能发挥出更大的效用。

四是指标法使用起来简单快捷。但一个指标往往只能揭示技术融合某一方面的特征,因此实际应用中通常会将多个指标结合使用,或者联合社会网络分析方法构建多维度的技术融合指标体系。

因此,在后续的研究中,应更注重利用专利引文信息与多层级的分类号信息,根据研究需求选择合适的方法,可尝试引入新型数据挖掘方法,对生物技术领域的技术融合情况进行全面探索,包

括技术融合关系的识别、技术融合程度的计算、技术融合的发展趋势分析与预测、技术融合的模式判别等多方面研究。此外,技术融合的驱动因素、基于技术融合研究的新兴技术的形成机制、基于技术融合进行技术机会发现等课题也有待于研究。研究人员应围绕研究目标,佐以有关情报信息进行深入分析,才能够深度揭示生物技术领域的融合现状及其特征,并提出对策建议,为我国生物技术的发展提供更加高效的情报支撑。

【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] Hacklin F. Management of convergence in innovation: Strategies and capabilities for value creation beyond blurring industry boundaries[M]. Heidelberg: Physica-Verlag, 2008.
- [3] Kim J, Kim S, Lee C. Anticipating technological convergence: link prediction using Wikipedia hyperlinks[J]. *Technovation*, 2019, 79: 25-34.
- [4] Sung K, Kim T, Kong H K. Microscopic approach to evaluating technological convergence using patent citation analysis[C]//U-and E-Service, Science and Technology, 2010: 188-194.
- [5] Jamali H R, Azadi-Ahmadabadi G, Asadi S. Interdisciplinary relations of converging technologies: nano–bio–info–cogno (NBIC)[J]. *Scientometrics*, 2018, 116(2): 1055-1073.
- [6] Hong S, Lee C Y. Effective indexes and classification algorithms for supervised link prediction approach to anticipating technology convergence: a comparative study[J/OL]. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 2021 [2021-08-06]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9508418>.
- [7] 刘康, 刘西怀. 基于学科视角的技术融合度研究: 以中国知网技术标准共类分析为例[J]. *科技管理研究*, 2017, 37(24): 33-38.
- [8] Griliches Z. Patent statistics as economic indicators: a survey[R]. National Bureau of Economic Research, 1990.
- [9] 吕璐成, 赵亚娟. 基于专利数据的技术融合研究综述[J]. *图书情报工作*, 2021, 65(6): 138-148.
- [10] Chen J M, Ho C M. Path to bio-nano-information fusion[J]. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2006, 1093(1): 123-142.
- [11] 栾春娟. “纳米–生物”会聚技术的测度及启示[J]. *科研管理*, 2012, 33(7): 48-58.
- [12] Giordano V, Chiarello F, Melluso N, et al. Text and dynamic network analysis for measuring technological convergence: a case study on defense patent data[J/OL]. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 2021[2021-06-02]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9445575>.
- [13] 李姝影, 方曙. 测度技术融合与趋势的数据分析方法研究进展[J]. *数据分析与知识发现*, 2017, 1(7): 2-12.
- [14] 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.
- [15] Kim J, Lee S. Forecasting and identifying multi-technology convergence based on patent data: the case of IT and BT industries in 2020[J]. *Scientometrics*, 2017, 111(1): 47-65.
- [16] 彭爱东. 基于同被引分析的专利分类方法及相关问题探讨[J]. *情报科学*, 2008, 26(11): 1676-1679, 1684.
- [17] 李丫丫, 赵玉林. 基于专利的技术融合分析方法及其应用[J]. *科学学研究*, 2016, 34(2): 203-211.
- [18] 赵玉林, 李丫丫. 技术融合、竞争协同与新兴产业绩效提升: 基于全球生物芯片产业的实证研究[J]. *科研管理*, 2017, 38(8): 11-18.
- [19] 刘鑫, 武兰芬. 面向专利技术融合的 3D 打印产业化路径选择研究[J]. *科技进步与对策*, 2017, 34(22): 72-77.
- [20] Geum Y, Kim C, Lee S, et al. Technological convergence of IT and BT: evidence from patent analysis[J]. *ETRI Journal*, 2012, 34(3): 439-449.
- [21] 吴晓燕, 胡雅敏, 陈方. 基于专利共类的技术融合分析框架研究: 以合成生物学领域为例[J]. *情报理论与实践*, 2021, 44(10): 179-184.
- [22] 许佳婷, 殷进进. 基于 SNA 的生物与信息产业技术融合演化特征与路径研究[J]. *科技创新与生产力*, 2021(9): 26-29.
- [23] Park I, Yoon B. Technological opportunity discovery for technological convergence based on the prediction of technology knowledge flow in a citation network[J]. *Journal of Informetrics*, 2018, 12(4): 1199-1222.
- [24] 宋博文, 栾春娟. 基于多元技术会聚的会聚影响力研究[J]. *科技进步与对策*, 2019, 36(16): 1-8.
- [25] 王康, 陈悦. 基于突变检测的技术融合前沿及其演进分析: 以生物芯片专利为例[J]. *情报杂志*, 2021, 40(7): 1-7, 73.
- [26] Choi J Y, Jeong S, Kim K. A study on diffusion pattern of technology convergence: patent analysis for Korea[J]. *Sustainability*, 2015, 7(9): 11546-11569.
- [27] Cho Y, Kim M. Entropy and gravity concepts as new methodological indexes to investigate technological convergence: Patent network-based approach[J]. *PLoS One*, 2014, 9(6): e98009.
- [28] 梁伟军, 易法海. 农业与生物产业技术融合发展的实证研究: 基于上市公司的授予专利分析[J]. *生态经济*, 2009, 25(11): 145-148.
- [29] 苗红, 秦立芳, 黄鲁成, 等. 基于专利交叉影响法的 NBIC 会聚趋势研究[J]. *科技进步与对策*, 2013, 30(20): 94-98.
- [30] 苗红, 黄鲁成. 基于专利交叉影响法的 NBIC 会聚趋势分析[J]. *中国科技论坛*, 2014(1): 134-139.
- [31] 秦立芳. 基于专利交叉影响法的 NBIC 会聚趋势研究[D]. 北

- 京: 北京工业大学, 2013.
- [32] You Y B, Kim B K, Jeong E S. An exploratory study on the development path of converging technologies using patent analysis: the case of nano biosensors[J]. *Asian Journal of Technology Innovation*, 2014, 22(1): 100-113.
- [33] 李 慧, 孟 玮, 徐存真. 基于专利知识流网络的技术融合分析: 以石墨烯领域为例[J]. *现代情报*, 2021, 41(5): 121-130.
- [34] Sasaki H, Sakata I. Identifying potential technological spin-offs using hierarchical information in international patent classification[J]. *Technovation*, 2021, 100: 102192.
- [35] Feng S D, An H, Li H, *et al.* The technology convergence of electric vehicles: Exploring promising and potential technology convergence relationships and topics[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 260: 120992.
- [36] 王宏起, 夏 凡, 王珊珊. 新兴产业技术融合方向预测: 方法及实证[J]. *科学学研究*, 2020, 38(6): 1009-1017, 1075.
- [37] Cho J H, Lee J, Sohn S Y. Predicting future technological convergence patterns based on machine learning using link prediction[J]. *Scientometrics*, 2021, 126(7): 5413-5429.
- [38] Cho Y, Han YJ, Hwang J, *et al.* Identifying technology opportunities for electric motors of railway vehicles with patent analysis[J]. *Sustainability*, 2021, 13(5): 2424.
- [39] 陈 悦, 王 康, 宋 超, 等. 一种用于技术融合与演化路径探测的新方法: 技术群相似度时序分析法[J]. *情报学报*, 2021, 40(6): 565-574.
- [40] Nguyen N U P, Moehrle M G. Combining the analysis of vertical and horizontal technology convergence: Insights from the case of urban innovation[J]. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 2021[2021-07-02]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9473037>.
- [41] 陈 悦, 王 康, 宋 超, 等. 基于技术融合视角下的人工智能技术嵌入态势研究[J]. *科学学研究*, 2021, 39(8): 1448-1458.
- [42] Gambardella A, Giuri P, Luzzi A. The market for patents in Europe[J]. *Research Policy*, 2007, 36(8): 1163-1183.
- [43] Caviggioli F. Technology fusion: identification and analysis of the drivers of technology convergence using patent data[J]. *Technovation*, 2016, 55/56: 22-32.

[收稿日期: 2022-07-02]

[本文编辑: 刘 娜]