

基于文献计量和颠覆性潜力测度的 颠覆性技术识别研究

——以 5G 技术为例

刘洪民, 张世昌, 李林遥, 吕海萍

(浙江科技学院 经济与管理学院, 杭州 310023)

摘要:颠覆性技术的识别对国家、产业和企业抓住战略发展机遇、形成创新竞争力具有重要意义。提出一种主客观、定性定量相结合的颠覆性技术识别框架,并以移动通信领域第 5 代移动通信技术(5G)为例进行实证。首先借助 CiteSpace 软件进行文献的可视化分析,梳理发现前沿技术研究热点。其次根据颠覆性技术的演化特征,从技术新颖性、融合性、突破性以及技术市场潜力 4 个维度构建技术颠覆性潜力测度指标,借助专利数据测度其颠覆性变革的潜力,并与同领域成熟度相对较高的技术进行对比,识别前沿技术的颠覆性潜力。结果表明,5G 技术在移动通信领域具有较大的颠覆性潜力,验证了研究框架的科学性,为颠覆性技术的预测与识别提供了一种新思路。

关键词:颠覆性技术;技术识别;颠覆性潜力测度;知识图谱;5G 技术

中图分类号:G304;F273.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2023)06-0016-10

颠覆性技术推动产业迭代升级,影响国家力量对比,重塑国际竞争格局^[1]。把握颠覆性技术机会窗口,持续动态优化创新决策,对国家经济、科技、军事以及企业跨越式发展具有重要的战略意义。根据颠覆性技术的演变特征构建科学的技术监控体系是响应外部技术环境变化的有效工具^[2],颠覆性技术的识别是技术监控体系的重要组成部分和着力点,尽早识别技术的颠覆性潜力,既有利于优化国家对技术培育的规划与指导,增强国家科技创新竞争力,把握未来战略发展主动性,也有利于企业提升核心竞争力,获得领先优势,抢占市场先机。

孙永福等^[1]认为引发产业变革的颠覆性技术具有技术突破性、产品替代性、市场广泛性、产业变革性四大特征,颠覆性技术的这种复杂性集成性为其识别带来了特殊困难,识别技术的颠覆性潜力一直是技术预测研究的难点。在总结分析前人研究成果的基础上,基于文献计量和技术颠覆性潜力测度

提出“主观+客观”“定性+定量”的识别方法,从技术新颖性、技术融合性、技术突破性以及技术市场潜力 4 个维度构建颠覆性潜力指数(disruptive potential index,DPI),测度前沿技术给现有技术、市场带来的颠覆性变革程度,以期为颠覆性技术预测与识别提供借鉴。

1 文献综述

“颠覆性技术”一词最早由哈佛大学商学院 Christensen 教授在对磁盘驱动器行业进行研究时提出^[3],是指通过提供低端的新产品或新服务,开辟一个新的利基市场,逐渐改变行业原有规则,不断提高完善产品性能,形成全新市场和价值体系,并最终取代原有技术的破坏性技术。已有的研究表明,颠覆性技术既可以是基于新原理、新发现的原始创新,也可以是现有技术的集成创新与应用,还可以是科学原理与成熟技术的转移与创新应用^[4]。Danneels^[5]指出低价格和低性能只是颠覆性技术的

收稿日期:2022-11-01

基金项目:教育部人文社会科学研究规划基金项目(22YJA630052);浙江省高校重大人文社科攻关计划项目(2021GH029);浙江省哲学社会科学规划课题(21NDJC106YB);浙江省软科学研究计划重点项目(2023C25037)。

作者简介:刘洪民(1972—),男,河南许昌人,浙江科技学院经济与管理学院,教授,博士,研究方向为创新与战略管理;张世昌(1997—),男,河南信阳人,浙江科技学院经济与管理学院,硕士研究生,研究方向为国际商务、创新管理;李林遥(1998—),女,湖北荆门人,浙江科技学院经济与管理学院,硕士研究生,研究方向为国际商务、创新管理;吕海萍(1976—),女,浙江嵊州人,浙江科技学院经济与管理学院,副教授,博士,研究方向为技术经济与管理。

部分属性,颠覆性技术不只限于低端市场和新市场,还存在着高端颠覆性技术创新,例如数码相机对胶片相机的颠覆等。黄鲁成等^[6]认为颠覆性技术“遵循自下而上的性能轨道,以新技术属性集为依据引入新竞争平台,替代现有技术范式,改变企业技术竞争态势”。不同主体对于颠覆性技术的认识也不尽相同。国家和产业视角关注的是颠覆性技术开辟了全新技术轨道^[7],导致传统产业归零或价值网络重组,决定性影响社会技术体系升级跃迁,重构国家现有产业基础、能力和结构^[8]。学者们关于颠覆性技术的识别与预测在国家、区域、产业、企业等不同领域的重要性基本达成共识^[6],颠覆性技术的识别与遴选受到了理论和实践界的广泛研究与讨论,目前主要集中在基于文献和专利数据分析的客观识别方法以及基于专家经验、技术管理和技术多指标分析评价框架的主观识别方法。

客观识别方面,文献分析在颠覆性技术识别领域得到了广泛应用。文献信息挖掘有助于企业尽早发现潜在的颠覆性技术,密切关注竞争对手的研发动向,并及时调整研发策略。Guo等^[9]基于文献分析设计了一个多维测量框架,根据识别出的技术特征、市场动态和外部环境来评估颠覆性创新,并验证了该框架的有效性。专利数据分析被认为是识别潜在颠覆性创新的另一种有效而客观的方法,科睿唯安(Clarivate Analytics)是全球专利申请活动和科学文献出版物分析、提供创新见解的领导者^[10]。专利数据包括专利数量、专利引用、专利摘要等科学文献中被广泛用于识别颠覆性技术创新,例如技术的专利数量变化能够反映技术的商业化程度,而技术的专利引用量与技术的创新程度密切相关。Momeni等^[11]通过探测专利发展路径、*k*-core分析和专利摘要等主题建模来识别颠覆性技术。王超等^[12]综合利用三螺旋协同性测度模型和社会网络分析法探究颠覆性技术创新的耦合。

主观识别方面,Vojak等^[13]提出了一种基于观察行业历史变化来识别潜在颠覆性技术的启发式五成分方法。Sainio等^[14]根据颠覆性技术的特征来构建评价框架,包括技术的颠覆性潜力及其对企业的战略重要性,并用于跨案例分析。Hang等^[15]构建了一个基于市场定位、技术突破和政府政策的颠覆性技术评估框架,并通过4个案例验证了该框架的有效性。但该方法具有明显的局限性:一方面基于专家意见的主观性判断方法,准确性很大程度上与专家的经验知识有关;另一方面从技术路径上

看,颠覆性技术会打破原有技术的技术生命周期,打断原有技术轨道并形成新的技术轨道。传统的基于技术路线图的预测方法更适合预测持续性技术,不适合用于颠覆性技术的识别。为了完善对特定领域潜在颠覆性技术的分析,许多学者根据颠覆性技术的特征搭建多指标的颠覆性技术评价框架^[16-17]。相对于传统的技术路线图法,多指标分析评价框架更易操作、更简单有效。

目前颠覆性技术预测与识别的研究已形成了专家调查、访谈以及评议等多种专家参与方式,形成了文本挖掘、自然语言处理、专利分析、数据挖掘等多种数据分析手段,使用了文献关联、技术演化、指标模型等多种研究方法。但现有的研究方法仍存在着评价体系不完善、指标适用性差或者评价指标的度量复杂、数据获取难度大、过度依赖于专家学者的经验等诸多不足^[18],也未能将颠覆性技术的内在特征和其外部影响有机结合^[19]。同时,颠覆性技术创新是一个动态过程,除了技术本身是否先进以外,政策、制度、市场等外部环境也会一定程度影响技术的颠覆性潜力。在颠覆性技术识别方法的研究中,有必要减少对专家经验知识的依赖,更多地基于对文献或专利客观数据的分析。不仅仅局限于技术层面,更需考虑市场等外部因素的作用,构建适用面广,可行性强的评价指标体系,以便尽可能在早期对技术的颠覆性潜力有全面客观清晰的认知。

2 研究思路与框架

颠覆性技术的产生与发展主要有基础研究的重要突破或技术跨学科跨领域的创新应用两种方式。不论是哪种方式,都会在科学论文和专利等文献信息中有所体现。通过文献计量方法,挖掘分析文献知识的内外部关系,可以识别技术领域的前沿热点与前沿技术。前沿技术是指代表某一领域发展方向的技术,通常在国内外科学文献中得到大量关注。Bloodworth^[20]基于文献中的关键词频次对学术文献衍生的属性集进行探索,并通过内容分析后预测技术的新颖性、破坏性,在颠覆性创新的方法研究中得到普遍运用。

如图1所示,设计一种主客观相结合的颠覆性技术识别框架。颠覆性技术的识别首先依赖于文献计量分析对前沿技术的识别,在此基础上,基于颠覆性技术的技术与市场特征构建颠覆性潜力测度指标,借助技术专利数据测度前沿技术的颠覆性潜力,并与同领域技术进行对比分析和检验。

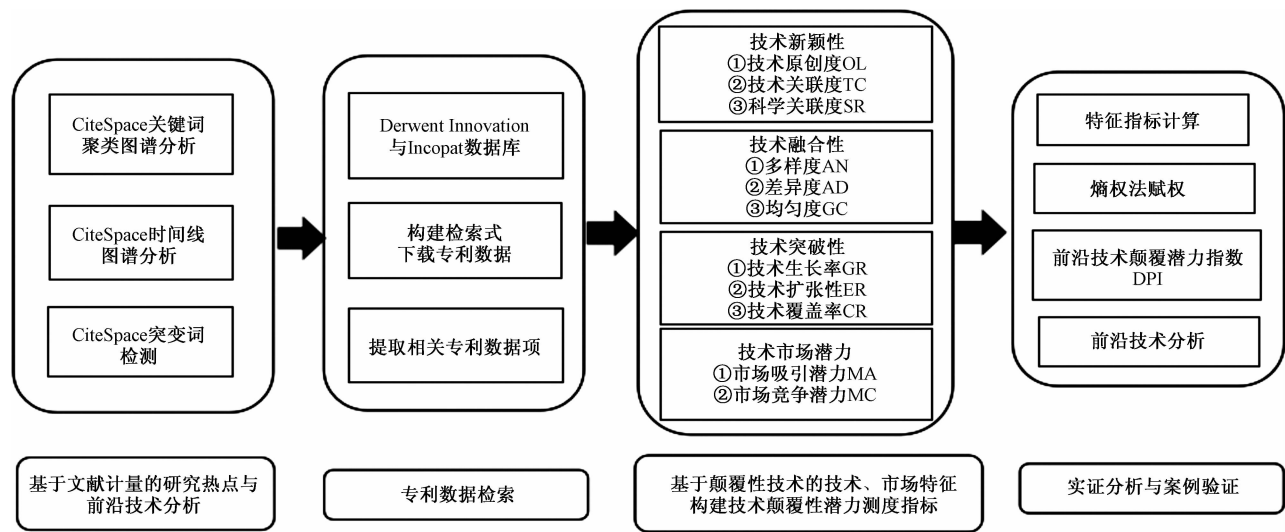


图 1 颠覆性技术识别研究框架

依据图 1 研究框架的设计逻辑,技术识别主要分为 4 个步骤:①使用文献计量学的方法确定特定领域的前沿技术。文献计量学方法通过采用统计学方法定量描述、评价、预测学术现状,可以有效地反映合作程度及研究人员之间的关系^[21]。CiteSpace 是一款能够探索知识域在某个时间维度的发展机制、前景和动向,形成研究前沿的演绎过程的文献可视化分析软件^[22]。运用 CiteSpace 软件对相关技术绘制知识图谱,包括关键词共现、聚类分析和突变词检测,探究该领域研究热点和前沿技术的演进过程。②根据子技术以及技术所涉及的行业构建检索式,使用德温特专利数据库和 IncoPat 合享数据库进行专利数据检索,获取相关专利数据。③根据颠覆性技术的演进特征,并借鉴李乾瑞等^[23]提出的技术颠覆性潜力测度体系的观点,从技术新颖性、融合性、技术性能突破性以及技术市场潜力等 4 个维度构建多指标分析评价框架。④进行实证分析,计算颠覆性潜力指数 DPI,并通过与同领域相关成熟技术、新兴技术的对比,分析前沿技术的颠覆性与跨领域应用,从而实现对技术颠覆性潜力的认知。

3 基于文献计量的前沿技术研究热点分析

3.1 数据来源

以移动通信领域第 5 代移动通信技术(5G)为例。为了更好地把握移动通信领域的发展现状和研究热点,提高数据质量,选取的文献来自中国知网 CNKI 数据库,采用关键词组合的方式进行高级检索。文献的检索条件:以“移动通信”“通信技术”“5G 技术”“物联网”“技术创新”等主题为检索词,文献来源类别选择核心期刊论文,搜集年限为 2000—2020

年。为确保分析结果的真实客观,删除不相关的条目,并借助 CiteSpace 5.8 软件进行除重处理,最终得到有效中文文献 2 069 篇。文献检索时间为 2021 年 7 月 31 日,考虑到文献发表和收录的滞后性,基本上代表了 2000—2020 年的文献数据。

3.2 关键词聚类图谱分析

关键词是文献研究内容的高度概括和浓缩,是研究主体的精髓与核心^[24],关注相关文献的高频关键词往往能够了解到该研究领域的热点问题以及该领域的发展动向。借助 CiteSpace 软件关键词聚类分析的方法,能够将移动通信领域研究的前沿与热点以多维化、可视化的方式展现出来,以便对其进行更加直接和客观的观察与分析。

关键词聚类视图更加侧重于体现聚类间的结构特征,突出关键节点以及重要连接^[25]。通过对具有代表性的 2 069 篇移动通信领域文献进行关键词的聚类分析,揭示移动通信技术的研究主题与热点。经过上述步骤处理后,在 CiteSpace 软件中生成了节点数为 711,连接数为 681,密度为 0.002 7,聚类模块值(modularity Q)为 0.896 9,聚类平均轮廓值(mean silhouette)为 0.985 9 的关键词聚类图谱。对关键词进行聚类分析整理得到移动通信技术领域的研究热点如图 2 和表 1 所示。聚类图谱的聚类模块值 Q 大于 0.3,说明聚类团体结构化显著,聚类平均轮廓值 S 大于 0.7,说明该聚类是高效率且令人信服的。

图 2 聚类图谱中所反映的信息与表 1 中高频关键词是相对应的。聚类图谱中的每个节点代表一个关键词,关键词出现的概率由节点的大小来反映,节点越大表示关键词出现的频率越高^[26]。

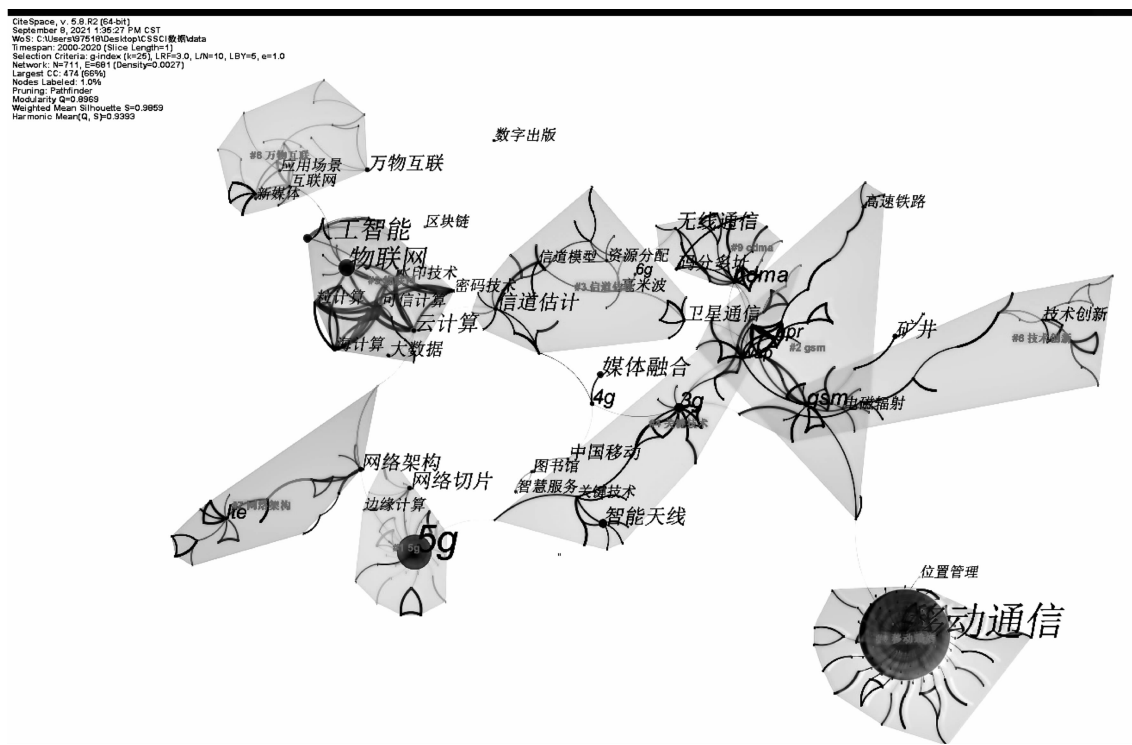


图 2 移动通信领域研究热点关键词聚类图谱

表 1 移动通信技术研究领域的高频关键词

序号	关键词	计数	中心度	年份	序号	关键词	计数	中心度	年份
1	移动通信	390	0.38	2000	11	矿井	17	0.04	2000
2	5G	328	0.29	2013	12	无线通信	17	0.01	2001
3	物联网	48	0.07	2010	13	网络切片	16	0.02	2016
4	人工智能	38	0.06	2001	14	网络架构	15	0.12	2014
5	4G	25	0.44	2004	15	卫星通信	13	0.1	2000
6	媒体融合	24	0.02	2015	16	万物互联	13	0.11	2019
7	CDMA	22	0.07	2000	17	短视频	12	0.23	2019
8	云计算	21	0.29	2012	18	大数据	11	0.02	2016
9	GSM	20	0.41	2001	19	技术创新	9	0.14	2008
10	信道估计	18	0.26	2003	20	可信计算	9	0.12	2012

由图 2 和表 1 中可以看出,“移动通信”“5G”“物联网”是移动通信研究领域最高频词的 3 个节点。除去“移动通信”本身外,“5G”共出现了 328 次,频次仅次于移动通信,且远超第 3 位“物联网”(48 次),可见在移动通信领域专家学者们对 5G 的关注程度很高。学术界高度聚焦 5G 技术,也充分说明第五代移动通信技术(5G)是移动通信领域当前绝对的研究热点^[27]。一般认为关键词中心度的值大于等于 0.1 时,说明该关键词在合作网络中具有枢纽性的作用,具有很强的中心性^[26]。节点中心度越高,其关联词越多,在该领域内的影响也越大^[28]。在表 1 中,中心度较高的词包括“移动通信”“5G”“4G”“云计算”“GSM”“信道估计”“网络架构”“卫星通信”“万物互联”“短视频”“技术创新”“可信

计算”等,表明这部分关键词是移动通信研究领域的主要中介节点,“云计算”“技术创新”“万物互联”等亦是移动通信领域研究中关注的重点,由此可见移动通信领域的研究主题与研究内容一直处在不断发展与丰富的过程中。

3.3 时间线图谱分析

将收集到的 CNKI 数据库中的移动通信领域相关的文献作为样本数据, 导入到 CiteSpace 软件中, Node Types 栏选择 Keywords, 其余设置默认, 在图像中选择 Timeline 模式, 得到移动通信研究热点关键词时间线图, 在关键词聚类分析的基础上进行研究热点关键词时间线图分析, 如图 3 所示。相比较关键词聚类图谱, 时间线视图 (Timeline) 的侧重点在于勾画各聚类之间的联系, 以及某一个聚类中文

献的时间跨度^[25]。图 3 关键词时间线图将每个聚类中关键词的发展情况按照时间线展开,可以看出移动通信领域的高频词被聚类为 10 个类别,分别为移动通信、5G、GSM、信道估计、关键技术、物联网、技术创新、网络架构、万物互联、CDMA,代表了移动通信领域的研究热点关键词聚类结果。

根据时间线视图,可以分析各个聚类开始出现的时间、研究成果何时增加或减少、研究热度何时变热或趋冷以及是否有重要文献出现。图示聚类 #0 主要是关于移动通信的技术发展与应用。该聚类开始于 2000 年,2000—2010 年总体保持着较高的关注度,2010—2020 年研究热度有所下降,但至今每年都有新的研究成果,反映出移动通信领域的技术在不断地更新,应用场景也在不断地多样化;聚类 #1 是关于 5G 技术的研究,包括 5G 技术的业务网络、应用网络,以及 5G 技术所带来的网络安全问题等,该聚类始于 2013 年,2013—2018 年热度较低,但从 2018 年开始 5G 技术的热度不断增高。聚类 #5 主要是关于物联网技术的研究,包括与车联网、4G 通信、可视计算、类脑计算等之间的联系,该聚类始于 2010 年,2010—2016 年热度较高,近两年该领域的热度相对有所降低。通过对时间线图的分析可以发现,移动通信领域的研究热度保持稳

定,且技术在不断地优化创新。5G 技术研究在近两年受到了专家学者们的聚焦,5G 技术在日常生活中的应用也越来越广泛,且不断地与新技术相结合,这再次验证了 5G 技术是当前移动通信领域毫无争议的明星和焦点,也是目前移动通信领域的前沿技术。

3.4 突现词检测

本部分通过探测移动通信主题突现词(burst terms)上升情况考察移动通信领域的研究前沿,如图 4 所示。突现词能够探测出某一时间段内频率变化高的术语,一个新兴领域的出现可能预示着主题的发展方向,通过突增算法得到的结果可以识别出研究主题在时间上的变化趋势。高突现性节点代表文献在某时间段受到了学者的格外关注,一定程度上意味着该技术研究在相应领域的前沿性^[28]。图 4 图谱列出了 25 个高突现性关键词及其突现的时间段,以此传达出突现值和突现时间两种信息。“移动通信”“CDMA”“物联网”等 3 个主题词突现时间较长,“移动通信”和“CDMA”从 2000—2010 年连续 10 年突现,在 2010 年之后逐渐降温。“物联网”从 2012 年到 2018 年连续 7 年突现,2018 年后其受研究关注程度下降。“5G”和“人工智能”从 2018 年开始升温,其中“5G”的突现值最大,为 97.02,“人工

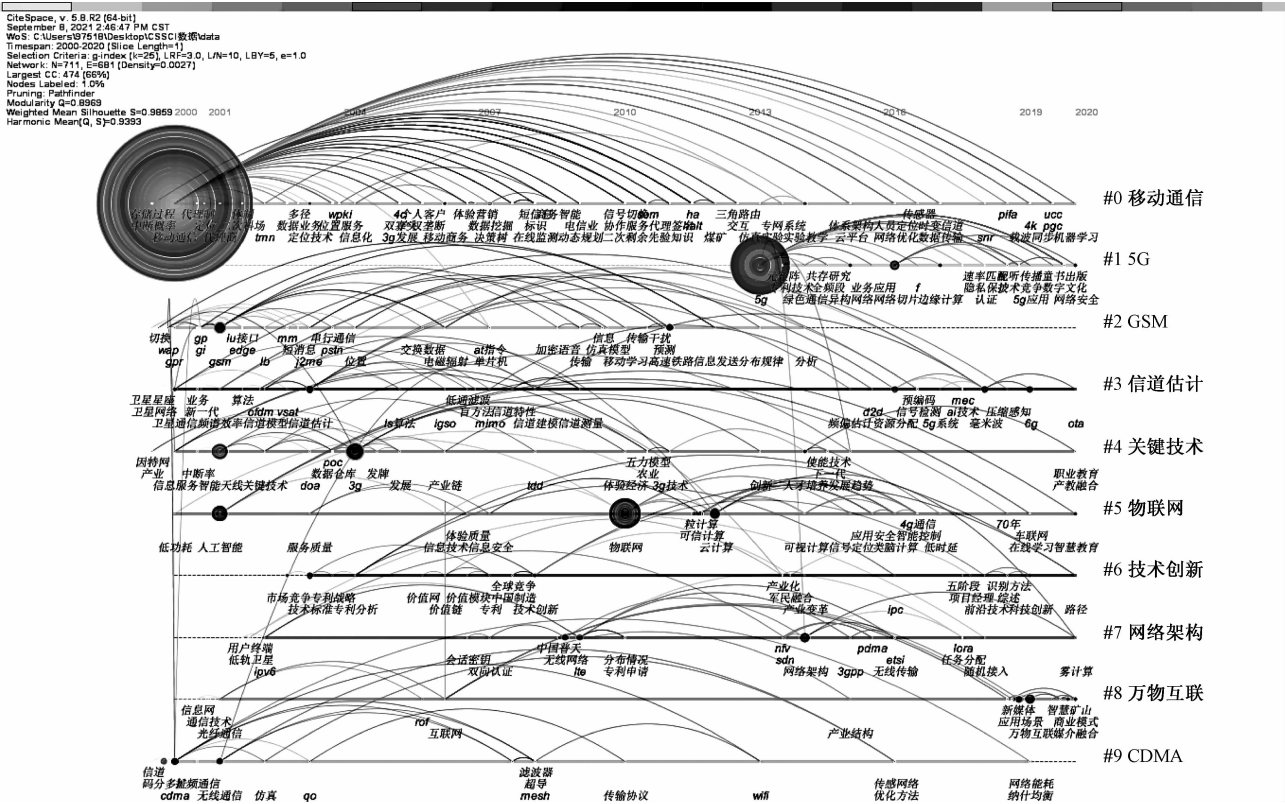


图 3 移动通信研究热点关键词时间线图

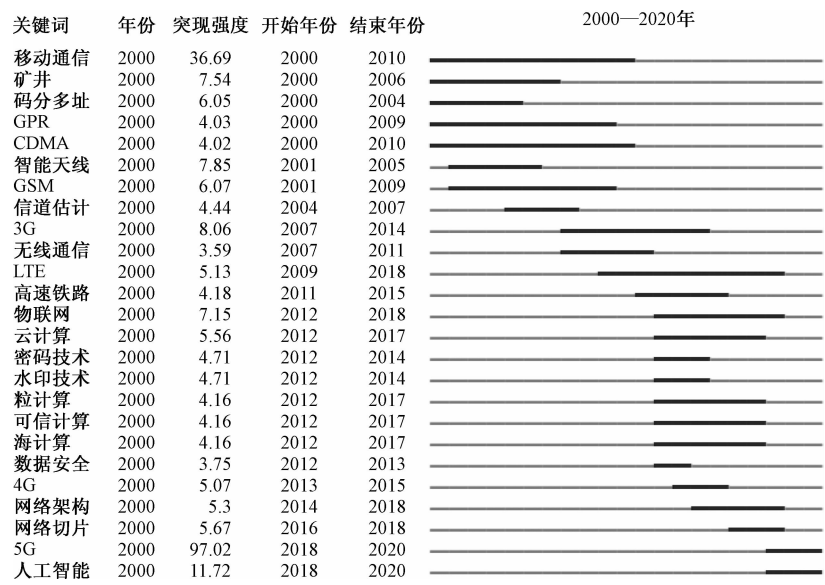


图 4 移动通信领域研究关键词被引突现图谱

智能”的突变值也相对较高,为 11.72。综合突现值和突现时间两个指标可以发现,5G 和人工智能是近两年受到广泛关注的研究主题和前沿。同时由图 4 可知,移动通信的研究前沿具有很强的时序性,研究主题和热点因时在不断地拓展分化与衍生更替,前沿技术的更替速度较快。

综上,通过使用 CiteSpace 软件对移动通信领域相关文献进行关键词聚类、时间线视图、突现词检测等图谱可视化分析后,可以确认 5G 技术是移动通信领域的研究热点和前沿技术,为下一步进行技术颠覆性潜力的测度奠定基础。

4 技术的颠覆性潜力测度

4.1 技术颠覆性潜力评价指标的构建

4.1.1 技术新颖性

技术原创度是技术的核心价值之一,反映新技术为后续研究提供原技术无法获得的独特知识的程度^[29],可用专利中未出现的 IPC(international patent classification,国际专利分类)数量来反映,未出现的 IPC 数量越多,技术原创度越高;技术关联度反映专利与专利的技术之间的相互联系,可用专利引用其他专利数量来表征。Dahlin 等^[30]认为技术关联度越高,技术新颖性越强,越容易实现颠覆性创新;科学关联度是反映技术基于基础研究的创新特征的典型指标^[31],可用专利总数中非专利引用文献占比来测度。Arts 等^[32]认为科学关联度与技术新颖性和技术颠覆潜力正相关。综上,将由技术原创度、技术关联度以及科学关联度加权拟合得到的技术新颖性作为构建技术颠覆性潜力评价的第一个一级指标。

4.1.2 技术融合性

融合性是颠覆性技术的共同特征之一。Walsh 等^[33]认为颠覆性技术可以是全新的技术突破,也可以是现有技术的全新应用,既可以是多种技术的融合发展,也可以是多学科多领域的交叉融合。Fleming^[34]认为专利的交叉融合性越强,专利技术颠覆性创新的可能性越大。综上,将技术融合性作为技术颠覆性潜力评价的第二个一级指标,主要从多样性、差异度、均匀度 3 个维度来衡量。

4.1.3 技术突破性

技术突破性是颠覆性技术创新产生的主要动力。Keller 等^[35]将技术突破性作为颠覆性技术评判指标之一。技术突破使得颠覆性技术具有更高性能,并逐渐取代主流技术,呈现快速扩张的趋势,因此借助技术增长率、技术扩张性以及技术覆盖率来表征技术突破性,并将技术突破性作为评价技术颠覆性潜力的第三个一级指标。

4.1.4 技术市场潜力

技术的市场潜力分析是技术研发者选择研发方向的重要依据^[36]。前沿技术是否能够对现有成熟技术产生颠覆,除了前沿技术本身是否先进以外,还需衡量技术的商业化前景。本文将技术市场潜力作为第四个一级指标,技术市场潜力包含市场吸引潜力和市场竞争潜力两个二级指标。市场吸引潜力用专利族数量进行衡量,专利族数量体现专利技术的市场扩散程度。前沿技术的市场吸引潜力越大,潜在颠覆性越高;市场竞争潜力用权利要求数量进行衡量,专利权利要求数量指标代表专利

受保护程度,专利受保护程度越强越能够有效控制

正相关。

市场,前沿技术的市场竞争潜力与技术颠覆性潜力

技术颠覆性潜力评价指标体系见表 2。

表 2 技术颠覆性潜力评价指标体系

一级指标	二级指标	计算方法
技术新颖性	技术原创度 OL	$OL = \frac{\sum_{i=1}^N \text{Num}(\text{IPCA}_i \notin \text{IPCB}_i)}{\text{Num}(\text{IPCA}_i)/N}$, IPCA_i 为专利 i 的 IPC 组合的集合, IPCB_i 为专利 i 在申请年之前已出现的 IPC 组合的集合, N 为该领域的专利数量
	技术关联度 TC	$TC = \frac{\sum_{i=1}^N Q_i}{N}$, Q_i 为专利 i 引用的专利文献数量, N 为专利总数
	科学关联度 SR	$SR = \frac{\sum_{i=1}^N P_i}{N}$, P_i 为专利 i 引用的非专利文献数量, N 为专利总数
技术融合性	多样性 AN	$AN = \frac{n}{N}$, n 为技术类别数量, N 为专利总数
	差异度 AD	$AD = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i \neq j} (1 - S_{ij})$, n 为技术类别数量, S_{ij} 为技术类别 i 和 j 的相似度
	均匀度 GC	$GC = 1 - \frac{\sum (2i - n - 1)x_i}{n \sum x_i}$, i 为序列数, n 为技术类别数量, x_i 为第 i 个类别的数量
技术突破性	技术增长率 GR	$GR = \frac{\sum_{i=1}^M \left(N_i / \sum_{j=i-4}^{j=i} N_j \right)}{M}$, N_i 为第 i 年申请的专利数量, $i = 1, 2, \dots, M$
	技术扩张性 ER	$ER = \frac{\sum_2^Y (\text{IPC}_j - \text{IPC}_{j-1})}{\text{IPC}_{j-1}}$, IPC_i 为专利 i 对应的 IPC 分类号数量
	技术覆盖率 CR	$CR = \frac{\sum_{i=1}^N \text{IPC}_i}{N}$, IPC_i 为专利 i 对应的 IPC 分类号的数量, N 为专利总数
技术市场潜力	市场吸引潜力 MA	$MA = \frac{\sum_{i=1}^n b_i}{N}$, b_i 为第 i 件专利同族数, N 为专利总数
	市场竞争潜力 MC	$MC = \frac{\sum_{i=1}^N C_i}{N}$, C_i 为第 i 件专利权利要求总数, N 为专利总数

4.2 评价指标的熵权法赋权

信息熵用来度量系统的无序程度,指标的信息熵越大,说明信息的无序程度越高,该指标提供的信息量越小,所占权重就越小^[37]。熵权法赋权的具体步骤如下:

1)数据标准化。将各个指标的数据进行标准化处理。假设给定 m 个指标 $x_1, x_2, \dots, x_m$, 其中 $x_i = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}\}$, 假设各指标数据标准化后的值为 $y_1, y_2, \dots, y_m$, 那么

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_i)}{\max(x_i) - \min(x_i)}$$

(1)

2)计算各指标信息熵 e_j 。

$$e_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij}$$

(2)

式中: $p_{ij} = y_{ij} / \sum_{i=1}^n y_{ij}$; e_j 为第 j 项指标的熵值; $\frac{1}{\ln n}$ 为信息熵的系数。

3)计算差异性系数 g_j 。

$$g_j = 1 - e_j$$

(3)

4)确定各指标权重 w_j 。

$$w_j = \frac{g_j}{\sum_{i=1}^m g_i}, j = 1, 2, \dots, m$$

(4)

4.3 数据的收集与检索

5G 技术产业链的上游、中游和下游分别对应为基础层、传输层以及终端和应用^[38]。基础层主要包括 PCB/CCL、芯片、光器件等;传输层涉及光通信、通信网络设备、基站等;终端和应用涉及智慧城市、智慧教育、智慧安防、终端设备、无人机等。根据 5G 技术所涉及的具体行业以及技术构建检索式:(5G) and (“芯片” OR “射频器件” OR “光器件” “半导体材料” OR “PCB” OR “CCL” OR “天线” OR “通信网络设备” OR “基站” OR “光通信” OR “网络运营” OR “网络规划维护” OR “终端设备” OR

“智慧交通” OR “AR” OR “VR” OR “智能制造” OR “远程医疗” OR “智慧教育” OR “智慧城市” OR “无人机” OR “智慧安防” OR “超高清视频”) 以及((“5G”) OR (“5th Generation Mobile Communication Technology”)) and ((“microcircuit”) OR (“integrated circuit”) OR (“chip”) OR (“radio frequency components”) OR (“radio frequency device”) OR (“optical device”) (“semiconductor material”) OR (“PCB”) OR (“CCL”) OR (“antenna”) OR (“communication network equipment”) OR (“base station”) OR (“optical communication”) OR (“ Network Operation”) OR (“Network Planning and Maintenance”) OR (“ Terminal Equipment”) OR (“Smart Transportation”) OR (“AR”) OR (“VR”) OR (“Smart Manufacturing”) OR (“Telemedicine”) OR (“Smart Education”) OR (“Smart City”) OR (“None Human

Machine”) OR (“Smart Security”) OR (“Ultra HD Video”)),共检索到与 5G 技术相关的专利数据 26 018 条。为更好地反映 5G 通信技术的颠覆性潜力,同时测度通信领域其他两种不同通信技术的颠覆性潜力并进行比较,3 种通信技术分别为 5G 技术、光纤通信技术、量子通信技术。以相同的方式检索到光纤通信技术专利数据 18 524 条,量子通信技术专利数 16 347 条。

4.4 技术颠覆性潜力结果对比分析

技术新颖性、融合性、突破性、市场潜力共同构成了技术颠覆性潜力指数 DPI,DPI 数值大小反映技术颠覆性潜力的可能性。在计算颠覆性技术特征值的基础上,对数据进行标准化、熵权法赋权,各特征指标信息熵、差异性系数以及指标权重见表 3,加权计算后得到技术的颠覆性特征指标值以及技术颠覆性潜力指数 DPI,结果见表 4、表 5。

表 3 各特征指标信息熵、差异性系数以及指标权重

指标	OL	TC	SR	AN	AD	GC	GR	ER	CR	MA	MC
信息熵	0.557	0.918	0.915	0.938	0.770	0.646	0.958	0.163	0.432	0.947	0.920
差异性系数	0.443	0.082	0.085	0.062	0.230	0.354	0.042	0.837	0.568	0.053	0.080
指标权重	0.156	0.029	0.030	0.022	0.081	0.125	0.015	0.295	0.200	0.019	0.028

表 4 技术颠覆性潜力指数

技术	技术新颖性			技术融合性			技术突破性			技术市场潜力		颠覆性潜力指数 DPI
	OL	TC	SR	AN	AD	GC	GR	ER	CR	MA	MC	
光纤通信技术	0.125	0.734	4.270	1.128	0.253	0.266	0.268	0.054	0.390	5.830	11.550	0.779
量子通信技术	0.144	0.480	5.679	1.400	0.327	0.340	0.251	0.165	0.415	2.890	11.450	0.818
5G 通信技术	0.073	0.320	12.442	1.290	0.068	0.049	0.298	0.647	4.489	3.320	12.370	1.938

表 5 技术颠覆性特征指标

技术	技术新颖性	技术融合性	技术突破性	技术市场潜力
光纤通信技术	0.169	0.079	0.098	0.434
量子通信技术	0.207	0.100	0.135	0.377
5G 通信技术	0.394	0.040	1.094	0.411

总体来看,颠覆性潜力指数 DPI 最高的是 5G 通信技术,说明其颠覆性潜力最大,量子通信技术次之,颠覆性潜力值最低的是光纤通信技术,这一分析结果与现实认知实践比较一致。细分技术特征值来看,光纤通信技术在技术市场潜力指标方面有优异的表现,光纤通信技术在现代通信网络中扮演着主干道的角色,是互联网时代的重要承载力量^[39]。随着大数据、人工智能等新兴技术的涌现,信息传递的需求日益增长,光纤通信技术具有显著的市场潜力。量子通信技术在技术融合性的表现

最为耀眼。量子通信技术是信息论与量子论结合的产物,具有很强的技术融合性。同时量子通信具有传统通信方式所不具备的绝对安全特性,在国家安全、金融等信息安全领域有着重大的应用价值和前景,目前仍处于技术研究开发阶段,应用程度不高,但具备一定的产业化潜力^[40]。

5G 技术是一个融合协同、多层次多制式共存的异构网络,相较光纤通信技术与量子通信技术,5G 通信技术的技术新颖性与突破性更为显著,具体表现在科学关联度 SR、技术生长率 GR、技术扩张性 ER、技术覆盖比率 CR、市场竞争潜力 MC 5 个指标。这表明 5G 通信技术涉及的科学文献数量多,技术原创程度高、适应性强,技术跨领域扩张迅速。从技术演进轨迹分析,3G 技术的发展为 5G 通信技术的成熟奠定了基础,实现了从量变到质变的提升。5G 通信技术在 3G 技术平滑演进的基础上有

新的技术性能突破,多频段传输技术、多天线传输技术、高密度无线网络技术以及超高效能的无线传输技术等关键技术的使用使得5G技术实现了突破^[41]。不仅科学技术原理的重大突破会产生颠覆性技术,新兴技术的跨领域、非常规应用也会产生颠覆性效果。相对于3G技术主要应用于移动通信领域,物联网是5G技术最重要的应用场景,5G技术的发展与物联网的普及有着密不可分的关系,伴随物联网而来的海量传感机器以及多样庞大的数据,需要灵活高效且具有自我调整等智能化能力的5G技术的支撑,随着万物互联时代的到来,5G通信技术的颠覆性发展与应用将迎来爆发式增长。

5 结论与讨论

本文提出了一种新的颠覆性技术识别框架,该框架集成了基于文献专利数据分析的客观识别方法和基于多指标分析评价的主观识别方法,具体包括3个部分:①借助CiteSpace软件进行关键词共现、聚类知识图谱以及突变词检测等可视化分析手段识别前沿和新兴技术;②使用德温特专利引文索引数据库获取前沿技术的专利数据,根据颠覆性技术的技术特征以及市场特征构建了技术颠覆性潜力测度体系,并运用该测度体系对前沿技术以及同领域的成熟技术以及新兴技术进行颠覆性潜力测度,计算相关技术的颠覆性潜力指数DPI;③将测度结果进行对比,分析前沿技术的技术影响,识别技术的颠覆性潜力。并将构建的框架应用于移动通信领域进行研究,识别并验证5G技术是通信领域最具颠覆性潜力的技术。

技术领域的前沿信息以及最新研究成果往往蕴含在期刊论文、会议论文等相关文献中,而专利则是科学理论研究成果向技术应用的一种重要体现。挖掘相关领域论文文献、专利数据有助于搜集技术前沿信息,两种数据的融合运用能够弥补定性分析的不足,同时构建技术评价体系的颠覆性技术识别方法相对高效、便利,能够减少对于专家经验知识的依赖。提出的“主观+客观”“定性+定量”的识别方法充分利用了情报计量和数据挖掘的方法,通过案例分析证明了该方法在识别颠覆性潜力技术方面的有效性。除了技术本身外,创新的落地离不开市场,产业政策、产业结构、制度环境等外部因素都会对技术的颠覆性创新产生重要影响。主要从技术、市场角度进行颠覆性潜力的测度,颠覆性技术在不同的外部环境下的表现有所差异,未来技术的颠覆性潜力测度体系还应当加入更多的制

度、政策等外部环境指标,以更加全面的识别和测度。同时,本文的验证仅针对移动通信领域5G技术,研究框架扩展到其他行业的研究效果有待检验。

参考文献

- [1] 孙永福,王礼恒,陆春华,等.国内外颠覆性技术研究进展跟踪与研究方法总结[J].中国工程科学,2018,20(6):14-23.
- [2] 刘洪民,蒋芸菁,吕海萍.基于颠覆性创新的创新型企业技术监控:流程特征及框架结构[J].情报理论与实践,2021,44(5):133-139.
- [3] CHRISTENSEN C M. The innovators dilemma: when new technologies cause great firms to fail[M]. Boston: Harvard Business School Press, 1997.
- [4] 王安,孙棕檀,沈艳波.国外颠覆性技术识别方法浅析[J].中国工程科学,2017,19(5):79-84.
- [5] DANNEELS E. Disruptive technology reconsidered: a critique and research agenda[J]. Journal of Product Innovation Management, 2004, 21(4): 246-258.
- [6] 黄鲁成,成雨,吴菲菲,等.关于颠覆性技术识别框架的探索[J].科学学研究,2015,33(5):654-662.
- [7] 刘安蓉,李莉,曹晓阳,等.颠覆性技术概念的战略内涵及政策启示[J].中国工程科学,2018,20(6):7-13.
- [8] 韩凤芹,罗理.构建面向颠覆性创新的财政科研资助体系[J].中国软科学,2020(10):26-35.
- [9] GUO J, PAN J, GUO J. Measurement framework for assessing disruptive innovations[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2019, 139(1): 250-265.
- [10] 李政,刘春平,罗晖.浅析颠覆性技术的内涵与培育:重视颠覆性技术背后的基础科学研究[J].全球科技经济瞭望,2016,31(10):53-61.
- [11] MOMENI A, ROST K. Identification and monitoring of possible disruptive technologies by patent-development paths and topic modeling[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2016, 104(1): 16-29.
- [12] 王超,马铭,张伟然,等.颠覆性技术关注方向演化研究[J].科技进步与对策,2022,39(8):19-29.
- [13] VOJAK B A, CHAMBERS F A. Roadmapping disruptive technical threats and opportunities in complex, technology-based subsystems: the SAILS methodology[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2004, 71(1-2): 121-139.
- [14] SAINIO L M, PUUMALAINEN K. Evaluating technology disruptiveness in a strategic corporate context: a case study[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2007, 74(8): 1315-1333.
- [15] HANG C C, CHEN J, YU D. An assessment framework for disruptive innovation[J]. IEEE Engineering Management Review, 2011, 41(5): 109-118.
- [16] 姜照华,周文博,李昊,等.基于专利指标的新兴电化学储能技术未来产业影响力比较[J].科技管理研究,2018,

- 38(21):77-86.
- [17] 王超,马铭,李思思,等. Altmetrics 视角下颠覆性技术的社会影响力探测研究[J]. 情报理论与实践,2022,45(1):93-104.
- [18] 刘秋艳,吴新年. 国内外颠覆性技术发现方法研究综述[J]. 图书情报工作,2017,61(7):127-136.
- [19] 刘洪民,林琳. 克里斯坦森颠覆性创新理论的演进脉络及启示[J]. 科技促进发展,2022,18(1):58-65.
- [20] BLOODWORTH I. A search for discriminative linguistic markers in ICT practitioner discourse, for the ex ante identification of disruptive innovation [D]. Wellington: Victoria University of Wellington,2012.
- [21] 叶鹰. 文献计量法和内容分析法的理论基础及软件工具比较[J]. 评价与管理,2005,3(3):24-26.
- [22] 李慧军,魏翠兰,李垂坤,等. CiteSpace 软件可视化分析运动与认知[J]. 中国组织工程研究,2020,24(14):2277-2283.
- [23] 李乾瑞,郭俊芳,黄颖,等. 基于专利计量的颠覆性技术识别方法研究[J]. 科学学研究,2021,39(7):1166-1175.
- [24] 叶棚闻,张芷. 基于 CiteSpace 的国内青少年犯罪问题研究演进路径分析[J]. 预防青少年犯罪研究,2017(3):68-77.
- [25] 陈悦,陈超美,刘则渊,等. CiteSpace 知识图谱的方法论功能[J]. 科学学研究,2015,33(2):242-253.
- [26] 邱均平,吕红. 基于知识图谱的知识网络研究可视化分析[J]. 情报学,2013,31(12):3-8.
- [27] 战睿,王海军,孟翔飞. 企业创新生态系统的研究回顾与展望[J]. 科学学与科学技术管理,2020,41(5):179-197.
- [28] 陈悦,陈超美. 引文空间分析原理与应用: CiteSpace 实用指南[M]. 北京:科学出版社,2014:136.
- [29] SHIBAYAMA S, WANG J. Measuring originality in science[J]. Scientometrics, 2020, 122(1):409-427.
- [30] DAHLIN K B, BEHRENS D M. When is an invention really radical? defining and measuring technological radicalness[J]. Research Policy, 2005, 34(5):717-737.
- [31] 樊霞,宋丽. 基于科学的创新与产业技术能力构建:基于中日美生物技术产业的比较分析[J]. 科学学与科学技术管理,2017,38(3):3-11.
- [32] ARTS S, VEUGELERS R. The technological origins and novelty of breakthrough inventions[J]. SSRN Electronic Journal, 2013. DOI:10. 2139/ssrn. 2230366.
- [33] WALSH S T, LINTON J D. Infrastructure for emergent industries based on discontinues innovation [J]. Engineering Management Journal, 2000, 12(2):23-31.
- [34] FLEMING L. Recombinant uncertainty in technological search[J]. Management Science, 2001, 47(1):117-132.
- [35] KELLER A, HÜSIG S. Ex ante identification of disruptive innovations in the software industry applied to web applications: the case of Microsoft's vs. Google's office applications [J]. Technological Forecasting and Social Change, 2009, 76(8):1044-1054.
- [36] CHUN H, MUN S B. Innovative activities of an incumbent and a potential entrant: an empirical exploration of the role of uncertainty in product and process innovations [J]. Asian Journal of Technology Innovation, 2014, 22(2):219-233.
- [37] 杨力,刘程程,宋利,等. 基于熵权法的煤矿应急救援能力评价[J]. 中国软科学,2013(11):185-192.
- [38] 张儒雅,杨洋,马研. 我国 5G 产业知识型人才流动研究及实证分析[J]. 中国科技人才,2021(3):14-23.
- [39] 谈仲伟,吕超. 光纤通信技术发展现状与展望[J]. 中国工程科学,2020,22(3):100-107.
- [40] 曹原,赵永利. 量子通信网络研究进展[J]. 激光杂志,2019,40(9):1-7.
- [41] 曾剑秋. 5G 移动通信技术发展与应用趋势[J]. 电信工程技术 & 标准化,2017,30(2):1-4.

Research on Disruptive Technology Identification Method Based on Literature Measurement and Disruptive Potential Measurement:

A case of 5G technology

LIU Hongmin, ZHANG Shichang, LI Linyao, LYU Haiping

(School of Economics and Management, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: The identification of disruptive technologies is of great significance for countries, industries and enterprises to seize strategic development opportunities and form innovative competitiveness. A disruptive technology identification framework is proposed which combines subjective and objective, qualitative and quantitative, and takes 5G technology in the field of mobile communication as an example. Firstly, CiteSpace software is used for visual analysis of the literature to sort out the hot spots of cutting-edge technology research. Secondly, market potential disruptive potential measure index is built from four dimensions including technical novelty, fusion, breakthrough and technology according to the evolution characteristics of disruptive technology. Patent data is used to measure the potential of its disruptive change, and compared with relatively high maturity in the field of technology to identify disruptive potential of cutting-edge technology. The results show that 5G is a potentially disruptive technology in the field of mobile communications. A new idea for the prediction and identification of disruptive technologies is provided.

Keywords: disruptive technology; technology identification; disruptive potential measurement; knowledge graph; 5G technology