

技术生长点:内涵、识别研究进展与展望*

■ 李昌¹ 杨中楷¹ 周锦锦²

¹大连理工大学公共管理学院 大连 116024

²东北农业大学经济管理学院 哈尔滨 150006

摘要: [目的/意义] 技术生长点是具有生长潜力且可以形成新技术的技术领域。理清其概念内涵,系统梳理当前识别研究进展并对未来进行展望,以期深化相关学者对该领域的认知与理解。[方法/过程] 首先,梳理技术生长点的概念,归纳相关理论模型,辨析与其他技术概念之间的关系,并归纳总结其特征;其次,从识别与预测方法以及与其他技术研究的不同等角度总结主要研究进展;最后,进一步对研究趋势进行展望。[结果/结论] 技术生长点作为新兴的研究领域悄然兴起,与已有研究相比,其概念和研究具有独特特征和价值,正逐渐形成独立的研究领域;未来研究中,还需深化规律和特征研究,聚焦技术融合视角,融合多源数据,优化识别与预测方法,同时注重技术生长点的实践应用以及合理善用机器学习和大语言模型技术。

关键词: 技术生长点 新技术领域 生长潜力 研究进展

分类号: G250

DOI: 10.13266/j.issn.0252-3116.2023.23.012

1 引言

2021年人民日报署名文章《下好先手棋 打好主动仗》,是习近平总书记关于防范化解重大风险重要论述的综述。2022年党的二十大报告中又提出:

“开辟发展新领域新赛道,不断塑造发展新动能新优势”。这就要求当前要在技术创新上开辟新技术领域,在特定领域形成自己的优势,不仅要突破“卡脖子”技术,更要提前布局,抢占技术新领域新赛道,占据技术主动性和先导权,掌握扼制对方技术的筹码。上述表明科技创新已成为重要战略目标并进入新的发展阶段^[1],我们不仅要知道当前的研究重点,还要明晰未来技术及其发展方向。

技术生长点是具有生长潜力的技术领域,该领域包含技术创新的起点和未来新技术结构的雏形^[2],因具有强烈的生长潜力,极易形成具有变革性和破坏性特征的新技术领域^[3],是未来新技术创新和产业升级的重要突破口,且常出现在科学技术发展的交叉处和关键部位^[4],是更具突破性创新的新技术领域^[5],具有影响未来技术和社会发展的潜力。因此技术生长点的研究,有利于把握前沿技术方向,将核心技术掌握到自己手中,可以明晰新领域新赛

道,提前下好先手棋,在未来关键技术节点上形成自己的优势,与当前国内科技创新在新发展阶段的需求相契合。

然而,技术生长点的研究并不充分,研究人员面临的最大的困难是怎么找到这个新赛道、新领域,也不清楚拥有的知识可以与哪些知识结合^[4],能促使技术生长点的形成与发展。因此本文在厘清技术生长点的概念及内涵基础上,总结技术生长点的相关理论模型,区分与其他技术概念之间的关系,并在此基础上梳理技术生长点的特征、识别与预测现状,并对潜在的发展方向进行展望,以期深化相关学者对技术生长点的认知与理解,为技术生长点的研究与实践提供参考。

技术生长点在一定条件下可以转化为其他技术,虽与其他技术研究有所区别,但当前研究还主要分散在其他技术研究之中(下文2.3节中有详细说明),并未形成完全独立的研究领域。本文通过文献调研找到与技术生长点关系密切的其他技术概念,将其他技术概念研究中涉及技术生长点的研究内容进行提取和总结,以梳理技术生长点的研究进展。其中,中文文献来自中国知网,检索式:TI=(“新兴技术”OR“颠覆性技术”OR“知识生长点”OR“科学生长点”

* 本文系中国工程院战略研究与咨询项目“面向科技自立自强的工程科技人才资源开发研究”(项目编号:2023-XY-07)研究成果之一。

作者简介:李昌,博士研究生;杨中楷,教授,博士,博士生导师,通信作者,E-mail:email@dlut.edu.cn;周锦锦,博士研究生。

收稿日期:2023-05-10 修回日期:2023-08-07 本文起止页码:138-150 本文责任编辑:王传清

OR “技术生长点” OR “前沿技术” OR “技术机会” OR “技术演化” OR “早期技术”); 英文文献来自 Web of Science 核心合集, 检索式: TI=(“Emerging technology*” OR “disruptive technology*” OR “Knowledge growth point*” OR “Discipline Growth Point” OR “Technological growth point*” OR “Cutting-edge technology*” OR “Technical Opportunity*” OR “Technological evolution*” OR “Early Technology*”), 检索时间为 2023 年 2 月 18 日, 获得中英文文献分别为 760 篇和 1 462 篇。对检索结果进行阅读研判, 只保留包含技术生长点研究或含有具有生长潜力和未来可能形成新技术研究内容论述的文献, 并在文献阅读过程中依据文献的参考文献进行补充性检索, 最终获得有关阐述技术生长点研究的中英文文献分别为 56 篇和 261 篇, 作为本文研究样本。通过阅读技术生长点相关文献进行总结分析, 归纳分析技术生长点的内涵和识别研究进展, 并对研究趋势进行展望, 以期深化技术生长点研究的认知和理解, 为后续研究提供基础。

2 技术生长点的内涵

2.1 技术生长点的概念

技术生长点概念起源于植物学中“生长点”一词。“生长点”原指植物根和茎的顶端细胞分生组织。因其具有旺盛分裂能力的特征, 被自然科学引申, 形容在一个科学技术领域中具有活跃的生长因素并具有发展的生长条件, 常与特定事物结合表征事物具有强烈的发展能力和形成新事物的能力, 例如: 某理论生长点^[6]、科学生长点^[7]、知识生长点^[4]等, 技术生长点也是基于这一引申意义而来, 表示具有生长潜力且能形成新技术的技术领域。

但当前学者们对技术生长点含义的理解有差别, 主要从过程属性、结果属性和过程与结果属性 3 个角度进行研究。例如于文强等认为技术生长点的成长潜力大^[8], X. Han 认为技术生长点是技术具有进一步发展的机会^[9], 关注其过程属性, 即具有旺盛的生长能力; 杨竞衡认为技术生长点是新发展方向能够产生新的产品^[10], O. Sercan 等将技术地图中的空白区域视为新技术点^[11], 更关注其结果属性, 即能形成新技术的技术领域; 张道民^[7]和师昌绪^[12]认为生长点应具有生长潜力且能形成新的研究领域, 是从过程和结果两个方面对其进行研究。具体如表 1 所示:

表 1 技术生长点的多维属性概念

Table 1 Concept of multidimensional attributes of technological growth points

属性	内涵	部分代表文献
过程属性	具有旺盛生长能力	X. Han, D. Zhu, Y. Qiao ^[9] ; 于文强, 陈宗民 ^[8]
结果属性	能形成新技术领域	杨竞衡 ^[10] ; O. Sercan, A. Homayounfard, S. Christopher等 ^[11]
过程和结果属性	具有生长潜力且能形成新技术的技术领域	张道民 ^[7] ; 师昌绪 ^[12]

在当前技术融合已成为技术创新的主要来源的情境下^[13-14], 技术生长点由其他技术或知识融合而来, 与参与融合的技术具有明显传承或依附关系。从技术融合视角结合“知识游离与重组理论”来看, 技术生长点指多个技术领域存在着相互关联和相互渗透的知识, 这些知识包括不同领域的基础理论、方法、经验以及实践中获得的经验和教训等, 通过知识间的相互结合和重构使其跨越原有的领域边界产生新的理论、功能和方法等新知识, 新知识的不断积累形成新的且具有发展潜力技术领域, 从而开创新的研究方向和应用领域。因此本文对技术生长点进行以下定义:

技术生长点由多个技术领域中有组合潜力的知识相互渗透、吸收、重组形成具有生长潜力的技术领域。

依据其具体的定义, 技术生长点指在成熟之前具有生长潜力的技术领域, 且潜力具有客观性, 即指依据已有的知识该技术领域范围有继续拓展的可能, 又具有相对性, 即指在一个范围更大的技术领域中技术生长点的生长潜力比其他技术领域要大。例如, 纳米医学领域是技术生长点, 纳米医学领域包含的纳米机器、纳米干细胞和纳米药性评估等技术领域因其并未成熟且具有能依靠已有知识快速扩展其研究领域的可能, 同样也是技术生长点, 但纳米颗粒、纳米造影剂等技术领域虽未完全成熟, 其发展因遇到技术瓶颈等原因, 已有知识并不能使其研究领域得到快速的发展, 因此不是技术生长点。

同时, 因技术领域的不断发展以及现实中不同需求对技术领域的划分等使得技术领域大小范围没有特定的标准, 导致技术生长点本身具有层级结构。例如, 纳米医学包含纳米干细胞, 而纳米干细胞又包含细胞工程和基因工程等。

2.2 技术生长点概念的理论模型

本文依据技术生长点概念, 在技术融合视角下总结技术生长点的“形成过程模型”和“生命周期、知

识和载体的变化模型”，以对技术生长点的内涵进行详细的阐释。

技术生长点包括渐进式和突破式发展两种创新路径，技术生长点总体遵从渐进式的发展，但是当在某时刻新知识突破已有知识范围的边界，就会开辟出新的技术轨道，其在创新路径的 S 形曲线中表现为从一个 S 曲线跳跃至另一个 S 曲线。在技术生长点形成过程中：首先，至少两个已有技术领域间知识发生关联产生新知识，已有技术领域处于相对离散的状态，且可能出现在其生命周期的任何时期。其次，相关技术领域间的关系逐渐增强，知识在不断继承

与变异中交叉融合，已有技术领域之间的相对距离不断变小，新知识不断积累，技术生长点不断扩大。但此时技术生长点因专利、科学文献等载体太少而没有形成一个清晰的技术领域，处于隐性阶段，难以被直接观测到。最后，随着承载新知识的载体不断增加，逐渐形成一个可被观测、显性的新技术领域，技术生长点所体现的功能、理论、方法等逐渐清晰，并开始形成较为稳定的技术结构和较明确的技术轨道。技术生长点相对于其他技术处于不断深化发展的状态，新知识积累更快，更具有发展潜力且经历新的技术发展规律。具体如图 1 所示：

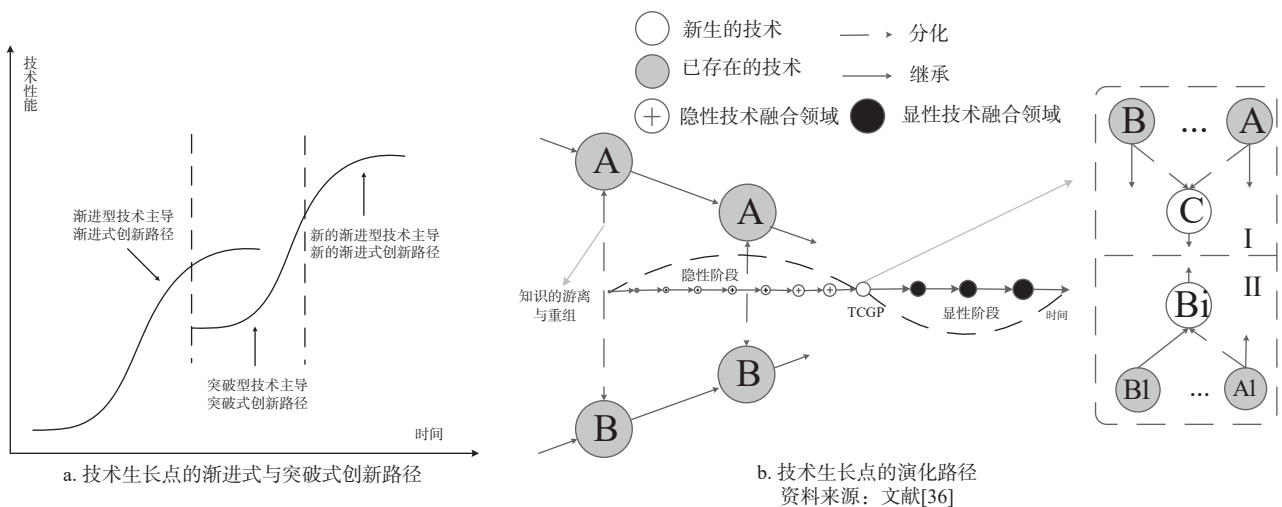


图 1 技术生长点的形成过程模型

Figure 1 Process Model for the Formation of Technological Growth Points

技术发明并非凭空出现，它们由现有知识或技术组件的组合构建而成^[15-17]，技术的发展是在已有知识基础上进行新知识的创造或更新，渐进式和突破式之间的区别主要在于知识创造和更新速度的快慢以及新知识是否突破已有知识范围的边界，不论是渐进式还是突破式的发展，其新知识创新都是建立在已有知识之上。因此，本文在知识层次构建技术生长点的生命周期、知识和载体的变化模型。其中，技术生长点存在于技术的孵化期和技术成长期，又可划分为孕育阶段、萌芽阶段和新兴阶段。技术生长点开始于科学知识与技术知识之间交融形成的新知识，新知识在孕育阶段产生，萌芽阶段时期知识的载体开始出现，在新兴阶段新知识的载体开始快速出现，整个过程具有长期潜藏和不易被发觉的特征；技术生长点是尚未进入成熟阶段的技术领域，因其具有旺盛的生长能力，相对于其他技术，更易形成突破性创新的新技术领域^[9]，因此会形成新的技术领域但并不是所有的新技术领域都是由技术生长点形成；从第二物质世界和第三客观知识

世界看，技术生长点的载体、知识总量和知识增量都是处于快速增长状态，相对于其他技术这个增长速度会更快且处于连续状态。具体见图 2。

2.3 技术生长点与其他技术概念之间的关系

为加深对技术生长点内涵与外延的理解，对其他技术概念的内涵和特征进行归纳，并总结它们之间的联系和区别。

技术生长点在发展过程中，因技术与非技术因素（技术本身正确与否、技术条件是否充足，社会条件、科研人员的选择等）的影响，导致技术领域中的知识结构出现了不同^[2,18]，知识类别与知识存量及其知识单元之间的链接关系和链接强度出现不同，使得技术领域展现出了不同的功能、理论、方法等。现实中依据不同需求设置不同的评价标准就产生了特指一类技术概念，如关键技术、共性技术等，可以说技术生长点是成熟技术的基础，在一定条件下可以转变为其他技术，这也导致其研究多散落分布在其他技术研究之中。具体见图 3。

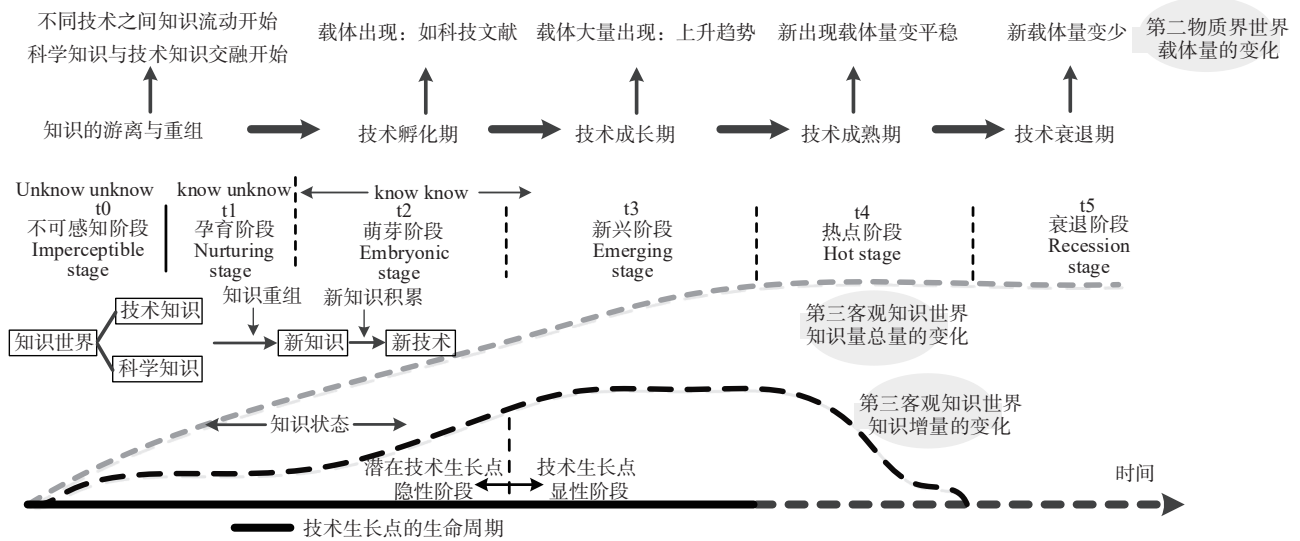


图2 技术生长点的生命周期、知识和载体的变化模型

Figure 2 The Lifecycle, Knowledge, and Carrier Change Model of Technological Growth Points

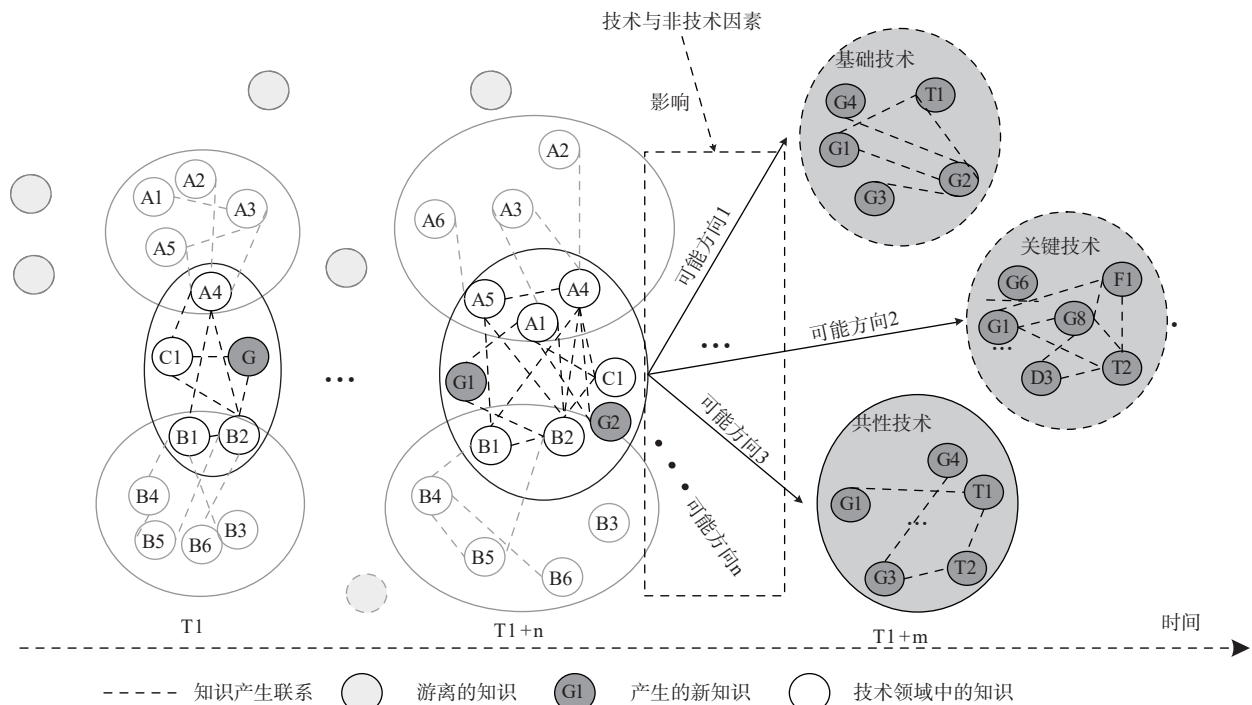


图3 技术生长与其他技术之间的联系

Figure 3 The connection between technological growth and other technologies

通过总结发现其他技术概念与技术生长点主要有以下3点不同, 展现技术生长点概念的独特价值和研究的必要性, 具体见表2。

首先, 在技术生命周期上, 其他技术概念多侧重快速发展或成熟阶段的技术领域研究^[5,19], 忽略处在孕育与萌芽阶段技术的论述, 而技术生长点的生命周期包括孕育阶段与萌芽阶段和新兴阶段, 关注技术孕育产生和生长发展。虽有早期技术的概念, 但也是一个相对概念, 其生命周期模糊, 并不特指具体哪一生

命周期。因此技术生长点弥补了当前技术缺少针对孕育与萌芽阶段表述的不足。其次, 在技术发展状态上, 技术生长点所在技术领域本身具有发展潜力, 相对于其他技术概念, 其具有更猛烈的生长势头, 仅涉及从简单到复杂的技术进化, 而现有技术少有强调生长潜力。最后, 在技术发展结果上, 其他技术概念多侧重于已存在的技术, 而技术生长点侧重于能产生新技术的技术领域, 且包括技术的渐进式发展和突破式发展两种结果。

表2 技术生长点与其他概念的区别

Table 2 Differences between technological growth points and other concepts

其他技术概念	内涵	典型特征	区别	
			其他技术概念	技术生长点
新兴技术	最近出现且快速发展的技术 ^[20]	新颖性、相对较快的增长、连贯性、突出的影响、不确定性 ^[20]	强调正在兴起并引起研究人员高度关注, 忽视技术的孕育和萌芽阶段研究	技术在兴起之前有很长一段时间的潜伏期, 即孕育与萌芽阶段
颠覆性技术	是一种对现有技术体系或市场价值体系产生重大影响和突破并逐渐实现整体替代或根本性替代的技术创新 ^[21]	归零效应、未来主流、重塑格局 ^[21] 、过程复杂 ^[22] 、高度不连续 ^[23]	强调对已有技术的颠覆或者替代, 从边缘技术到主流技术的过程 ^[21]	有可能是对已有技术的颠覆, 也可能是对已有技术的丰富; 技术从无到有的过程
前沿技术	高技术领域中具有前瞻性、先导性和探索性的重大技术 ^[24]	前瞻性、先导性、探索性	已具有较高的社会关注度	强调新技术领域的形成与发展
技术机会	技术进步的可能性, 某领域内已有技术新出现的技术形态或技术发展点 ^[25-26]	技术空白点 ^[27] 、未开发的技术形态 ^[28] 、科学与技术差异 ^[29] 、技术融合 ^[30]	发生在技术领域生命周期的任何时期; 并不强调未来发展的潜力, 只说明有发展的可能	不存在技术的成熟与衰退期, 强调技术未来的发展潜力
技术演化	某一领域从技术出现开始到未来一定阶段领域内部所有的技术活动 ^[31]	技术创新的产生、发展、分裂、合并甚至消亡等状态变化 ^[32]	包括从简单到复杂的技术进化和复杂到简单的技术退化, 因此演化的方向不确定, 只强调技术创新可能有的方向和强度 ^[33]	产生新技术且具有生长潜力的技术领域, 发展方向是技术进步
科学生长点	科学生长点具有活跃的生长因素和产生新学科、新知识条件 ^[7]	先进性、综合性、可变性、关键性等	主要是针对科学领域	针对的是技术领域
知识生长点	产生新知识的科学生长点 ^[4]	先进性、关键性、综合性等	包含科学知识和技术知识, 是技术生长点的一部分	包括知识生长点, 技术是由科学和技术知识形成
早期技术	技术发挥作用前或达成共识前的技术 ^[21]	前瞻性、弱信号等	相对概念, 不特指哪一生命周期, 不具备快速发展的能力	从技术的孕育期开始到技术成熟前, 且具有不断发展的潜力

2.4 技术生长点的特征

张道民^[7]是较早讨论生长点特征的研究者, 认为科学生长点应具有先进性、可变性、综合性和关键性4个特征, 其中先进性指研究方法先进, 技术精尖, 理论性强, 知识水平高, 新的科学事实不断涌现, 新的理论应运而生; 关键性指在整个领域发展过程中处于关键环节或处在整个科学技术领域中的关键部位。卢希谦与李恩昌认为生长点应具有模糊性、反常性和增值性^[34]。李长玲等在此基础上进一步总结知识生长点的先进性、关键性和综合性特

征^[4]。李昌等认为技术融合是知识融合转化为创新潜力的过程^[35], 并在技术进化论基础上总结出技术生长点的交叉性、高关注性、前沿性、关键性、持续发展性的特征^[36]。

根据文献[36]对技术生长点的特征描述, 本文依据已有研究基础对技术生长点的特征进行归纳, 得出技术生长点具有前沿性、交叉性、关键性、成长性4个特征, 在特征含义和文献查阅基础上对特征进行细分并找到当前对特征测度的部分典型指标, 具体如表3所示:

表3 技术生长点特征与典型计量指标

Table 3 Characteristics of technological growth points and typical measurement indicators

特征	特征含义	子特征	子特征含义	计量指标
前沿性	方法先进, 技术精尖, 理论性强, 知识水平高	技术影响性 ^[20]	学术影响力和社会影响力	被引次数 ^[37] 、专利家族数、作者/专利权人/用户数量 ^[38] 、主题强度等
		技术新颖性 ^[39]	出现时间新, 现有内容新	新词出现时间、论文或专利平均出现年 ^[40] 、原创性 ^[41] 、技术相似度等
成长性	具有生长潜力, 具有不断的生长动力, 未来不断发展深化	技术广度与技术深度 ^[42]	技术范围不断扩大; 技术深度不断加深	技术增长率、词增长率、论文增长率 ^[43] 、专利增长率 ^[44] 、IPC增长率 ^[42] 等
		技术增长性 ^[20]	快速发展, 具有高活跃度	
关键性	技术发展过程的关键环节或整个技术结构体系的关键位置	技术重要性 ^[42]	技术发展中的关键环节	点度中心性、接近中心性 ^[42] 、中间中心性、特征向量中心性、Pagerank等 ^[4]
		技术中心性 ^[4]	技术系统中的关键节点	
交叉性	知识不断从原有的技术领域中游离而出组合成新知识; 多形成在技术的交叉领域	技术多样性 ^[4]	技术交叉种类的丰富性, 技术分布的均衡性和技术间的差异性	IPC类别、融合技术的数量 ^[42]
		技术聚集性 ^[45]	领域交叉融合的紧密程度	

3 技术生长点的识别研究

3.1 技术生长点的识别方法

技术生长点研究多蕴含于其他技术研究之中, 技术生长点针对性研究并不充足, 且部分研究也多把技术生长点作为一种重要手段用于捕捉发展机遇, 为尽可能全面展示技术生长点识别的研究, 本文将含有具有生长潜力和将来可能形成新技术研究的内容作为补充。当前主要有“基于专家意见”“基于静态知识网络分析”“基于动态技术系统演化规律”3种方法进行技术生长点的识别与预测研究。其中基于专家意见是利用专家经验知识对生长点进行识别和预测, 例如, 张凤娟从社会需求角度认为当前信息技术与外语学习之间是一种分离的关系, 但却无法适应新形势的发展, 不能有效帮助学生掌握未来职场和社会文化生活所需的英语技能和信息素养, 因此认为电子语言素养是信息技术与外语整合的生长点^[46]; 再如师昌绪从未来高速发展、当前研究前沿和未来发展趋势3个角度对材料科学技术的生长点进行了阐释^[12]。利用专家经验知识的方法, 虽然对特定的技术生长点有洞察力, 但这些方法存在主观性、专家可用性有限和验证困难等缺点^[47], 此处不再过多赘述, 以下主要对另外两种方法进行详细阐述:

3.1.1 基于静态知识网络分析

技术进化的本质是知识进化^[48], 技术生长点多利用知识在网络中的结构关系进行研究, 例如, 李长玲在分析科学生长点的基础上, 定义了“知识生长点”的概念, 认为知识通过跨学科引用和输入, 能与其他学科知识合作产生“跨学科知识生长点”^[4], 刺激知识创新与生长, 依据知识节点的影响力与共现强度, 识别跨学科知识生长点的生命周期^[49], 并提出输入推动力概念, 从生长质量和传播速度两个方面构建跨学科知识生长点动能模型, 测度跨学科知识生长点成长态势^[50]; J. Winnink 等找到科学知识到技术出现的突破点, 以识别可能演变成新技术的科学潜在突破^[51]; 曹志鹏等将两层网络中的节点映射到低维的向量空间, 利用链路预测找到未来可能结合的新知识^[52]; H. Ren 等根据技术词的句法依赖关系自动构建领域知识网络, 应用蚁群优化来发现新知识和新技术的生长点^[53]; A. Ebadi 等提出一种多层次的定量方法, 能够从科学出版物中识别未来的迹象判断当前技术的潜力^[3]; Z. Luo 等从语义角度出发,

提出了一种基于 BERT 词向量的问题—方法组合新颖性度量算法, 以测量技术的生长潜力^[54]。

除此之外, 还有利用知识之间的弱信号^[55]和知识突变方法进行技术生长点的识别与预测研究。其中, 知识突变方法是分析某一时刻的突变程度或离群数据去识别具有创新性的新知识^[56]; 弱信号的主要思想是随着技术的产生、发展, 有一些线索和迹象会显露出来^[57], 当前的弱信号在将来可能会变成强信号, 依此对技术生长点进行识别和预测研究, 具体包括环境扫描法^[58]、情景分析法^[59]、模糊综合评价法^[60]、突变理论识别法^[61]以及机器学习手段检测法^[62]等测算技术的生长潜力和可能的新技术领域。

3.1.2 基于动态技术系统演化规律

技术系统演化规律定义了技术演化的趋势和模式, 已被广泛用于实践和学术界的创新研究中^[63], 可以找到技术的知识基础以及新兴趋势^[64], 被认为是预测新技术系统未来的最有用的工具之一^[65], 技术生长点主要是从技术创新演化规律或技术结构变化规律进行研究。

例如, S. Berg 等提出了一种预测未来新兴主导地位早期信号的新方法, 侧重于不断发展的新知识和新技术基础^[66]; S. Yun 等利用专利语义信息从目的和效果的角度提取技术演进模式, 通过将目标领域的演变模式与参考领域的演变模式进行比较来预测未来的演进方向以识别新技术机会^[67]; X. Li 等识别技术演进路径, 并利用科技差距分析预测短期内技术未来发展趋势以找到可能的新技术^[68]; 李昌等在丰富技术融合的“融合—分化”模型基础上, 依据技术融合过程中的动态变化特征, 识别出融合技术的生长点^[36]; J. Kim 等提出了一种使用维基百科数据库和链接预测方法预测新技术融合领域的系统方法^[69]; Y. Zhou 等基于论文引文网络和拓扑聚类, 展示了新技术产生过程, 并利用其发展的阶段识别新技术^[70]。也有研究人员利用文献计量学和关键词网络分析, 确定新技术的出现和演变^[18,37]。

综上, 技术生长点的识别和预测方法主要流程是先找到该领域中存在的技术, 再依据不同规则建立指标进行识别和预测。具体方法以定量为主定性为辅, 测量的知识单元(节点)主要包括主题、技术词、科技文献集, 在网络中的链接关系多凭借引用关系、语义关系和共现关系, 具体的预测模型多为机器学习模型、链路预测模型和回归模型等。但识别和预测结

果多为成熟或快速发展的技术领域，大部分研究是回顾性或评价性研究，且多针对技术生长点的快速发展

或具有生长潜力中的某一方面进行研究，具体研究方法的优势和局限如表4所示：

表4 技术生长点识别和预测方法的优势与局限

Table 4 Advantages and limitations of technological growth points identification and prediction methods

方法	典型子方法	含义	优势	局限
基于专家意见	问卷调查、专家访谈、经验总结等	借助专家丰富学识和经验知识判断	对单一领域有共识的结果十分有效	专家可用性有限、验证困难和跨领域研究相对困难
基于静态知识网络分析	知识网络结构	测度特定时期知识结构的情况，识别关键知识节点	方法简单，在知识丰富情况下效果明显	时效性不足，难以体现技术整体发展脉络
	知识间弱信号	知识间的弱链接在将来可能会形成强链接关系	可以识别技术早期的状态	具有不确定性且数量众多，准确性难以保障；难以判断萌芽阶段以外的技术及其生长潜力
	知识突变	关注某时刻数据中突发词的变化，可能具有强新颖性和创新性	从新颖性和创新性角度便于测量和理解	角度单一，忽略其他不通过知识突变技术的判断
基于动态技术系统演化规律	技术演化	依据技术演化的规律判断当前现状和未来趋势	具有时效性，从技术发展规律出发也更具有效力	在演化网络构建时需要分析师的主观能动性
	技术网络结构变化	新信息的进入将影响技术网络结构的稳定性，在技术网络结构随时间的变化中进行判断	不仅方法简单，还可展现技术整个结构的变化	需要先准确探寻技术的演化规律，难度较高 适用技术发展到一定程度后

3.2 技术生长点研究与其他技术研究的不同

依据上述分析，技术生长点研究虽多分散在其他技术研究之中，其他技术研究为技术生长点研究提供了理论基础和思路参考，例如，技术机会识别和预测为技术生长点识别与预测研究提供了部分可行的方法参考，但技术生长点的研究又具有独特的价值和研究必要性。

首先，让其他技术研究视角拓展到技术源头的研究。从技术发展源头开始的技术识别和预测对把握技术趋势，提前进行战略布局等具有重要意义，而当前多是针对快速发展或成熟的技术，缺少面向技术发展源头的研究。技术生长点开始于知识的交叉融合^[53]，直到新领域发展能力丧失，因此技术生长点的提出，使得当前技术研究拓展到技术发展源头的研究。

其次，是针对可以形成新技术的技术领域研究。当前的技术研究更多关注已有成熟技术，而技术生长点侧重可以形成新技术的技术领域研究，且该领域具有强大的生长潜力。

同时，为当前技术的识别和预测带来新的思路。当前的技术识别和预测研究大都从与技术关联度高的现象和特征入手展开，但缺失形成原因、技术创新过程、形成机理的解析^[20]。新技术是从知识之间交融开始，初始状态知识量少且难以直接观察，传统的方法难以识别和预测，需要了解知识产生前后的变化规律，把控整体知识流动过程。技术生长点研究把发展过程具象为创新演化过程中知识的产生、发展、演变、融合或消亡等变化过程，利用知识、载体等动态变化规律，发现技术发展过程中的潜在突破，为技

术的识别和预测带来新思路。

最后，对开辟新领域问题的解决更具针对性。面对国外刻意技术封锁，亟需科研人员在特定领域找到突破点，开辟发展新领域新赛道，而科研人员所面临的困难之一是不知如何找到新领域和新赛道。技术生长点是可以形成新技术的技术领域，找到技术生长点就相当于找到了可能的新领域和新赛道，方便针对性地对开辟新领域和“卡脖子”问题进行研究。

4 技术生长点的研究展望

综上，当前技术生长点的研究已经取得了一些成果，但研究的深度和广度还有待拓展，本文根据前文讨论和总结，认为未来还需要在以下方面开展深入探讨。

4.1 回归技术本身的规律和特征研究

本文认为技术生长点的研究，应回归技术自身的规律和特征，这是清晰认识技术生长点的前提，也是技术生长点后续研究的基础。而当前技术生长点研究缺少对技术生长点的现象和特征产生原因的分析，其发展规律和典型特征并不明确，识别与预测指标的设计与选择上缺少原理性指导，所建立的指标与定义、特征之间缺乏关联解释，导致识别与预测的判断标准不一，研究结果并不精确。下一步研究应结合计量学理论与方法和语义分析研究技术生长点的形成机理和发展过程，研究其孕育、诞生、发展的机制和规律，透视技术发展全景，研究发展过程中知识的载体变化，典型特征及其最优的计量指标，尤其在关注渐进

式发展的同时要重点研究其突破式发展的技术规律和特征, 为后续研究奠定理论基础, 也有助于潜在科技人才的评价、发现和管理。

4.2 聚焦技术融合视角, 明晰技术源头

随着技术变革和问题复杂性的加剧, 依赖单一知识领域不足以解决复杂多变的技术和社会经济问题^[71-72]。相对于基础科学的新发现或现有技术的突破而言, 技术融合提供了大量的技术创新机会和丰富的技术解决方案^[33], 是当前技术创新的主要来源, 也是技术生长点形成新技术领域的主要方式。从技术融合视角进行研究可以追溯技术的起源与过程, 是技术生长点研究的可行道路, 也是其超越发展的捷径。虽然部分研究比较了各时间段之间的技术生态网络^[73], 但不能清晰展示整个融合过程, 一些研究也关注了融合过程与技术源头^[19], 而所用方法受到仅使用引文网络结构的限制, 忽略了文本数据的语义相关性^[74]。未来还需在技术融合视角下对技术生长点的起源和发展过程等进行更清晰的解读。

4.3 融合多源数据, 提高研究准确性与针对性

科学技术发展具体体现在人才与成果上, 而人才与成果最终也要在文献上表现出来^[75]。技术生长点的知识分布在不同数据载体上, 如基金项目、政策文本、行业报告、预印本、科技文献等。任何局部视角都无法准确揭示技术生长点的内在机理, 需将研究置于全局视野下, 尽可能细致地理清其影响因素、形成过程与机理、载体随时间的变化规律、特征等, 才能保证技术生长点研究的准确性, 而当前研究以专利和学术论文数据为主, 由于专利和论文数据本身的滞后性, 导致大部分研究都是回溯性分析。同时不同数据源对技术生长点本身所揭示的内容和力度有差异^[33], 例如, 专利数据侧重技术的性能和方案, 而学术论文数据更多展现技术的基础知识。除此之外不同数据源在出现的时间线上也存在不同, 技术生长点不一定在哪类文献中先出现, 也不确定会在哪类文献中形成大量研究以及何时会向其他文献扩散。因此, 当前直接合并相同年份的多源数据或是找到不同数据源的主题后再利用相似性算法进行合并的方法远不能解决当前存在的问题, 未来不仅要测度不同数据源之间科学合理的权重, 还要平衡在时间线上出现的差异, 探讨技术生长点研究在多源数据中的成长变化规律, 这不但可以提高研究的准确性, 也可以在一定程度上纾解数据的滞后性问题, 还方便后期通过数据交叉的方法对研究结果进行验证。

4.4 优化技术生长点的识别与预测方法

技术生长点的识别与预测可提前知晓具有生长潜力且能形成新技术的技术领域, 使研究人员明晰自己的知识与哪些知识结合能形成新技术, 方便调整研究方向, 促进技术活动的开展和产出, 从而为未来技术发展的选择与引导提供参考, 利于新技术领域创建、扶持和培育。其定义和特征不明晰, 导致技术生长点的识别研究不够精准; 预测研究多利用机器学习、链路预测和回归模型, 其中机器学习运行过程不可观测, 属于“暗箱操作”, 回归模型不适合突破性技术生长点的研究, 链路预测无法对已存在技术生长点进行研究, 且模型存在一定的情境适用性, 缺少可操作性强且专门、定制化的识别与预测模型。现已有研究从技术生长点的形成过程出发对其进行针对性识别^[36], 未来还需结合其特征及其生命周期、知识在载体上的变化规律等提出更有针对性的识别和预测模型。

4.5 注重技术生长点研究的实践应用

技术生长点的研究虽还不成熟, 却更需要注重其研究在实践中的应用价值, 将研究应用到具体实践决策中不仅为科学技术发展贡献力量, 科学技术的发展还可反哺技术生长点的研究, 促使技术生长点研究快速发展。具体的实践应用有两个方向: 一是技术生长点应用到其他研究领域, 例如, 研究不同学科之间、不同技术之间、科学与技术之间能产生技术生长点的领域, 研究该领域的成长规律, 为研究者提供研究视角的同时, 促进新研究领域的诞生, 推动跨学科领域的发展; 二是技术生长点本身在社会实践产生作用, 例如, 立足于当前中国被“卡脖子”的现实情况, 在深度理解技术生长点生长规律、特征和最优计量指标的基础上, 研究“卡脖子”领域中当下和未来的技术生长点, 评估其价值并据此进行选择、培育, 通过提前布局, 抢占发展制高点, 不仅可以开辟新领域, 绕过被“卡脖子”的技术, 甚至实现先发优势, 反过来掌握扼制对方的技术筹码。此外, 需要明确的是现实中技术实践应用受到很多因素的影响, 从技术实践过程来看, 一般经历技术识别与预测、技术评估与选择和技术传播与培育等环节, 贯穿着人工发现、人工遴选和人工培育等过程, 为了更好的产生作用, 人工参与是技术生长点应用实践的必要环节, 且还需结合一定程度的实验仿真和科研活动来试验实践的可行性。技术生长点研究实践应用过程如图4所示:

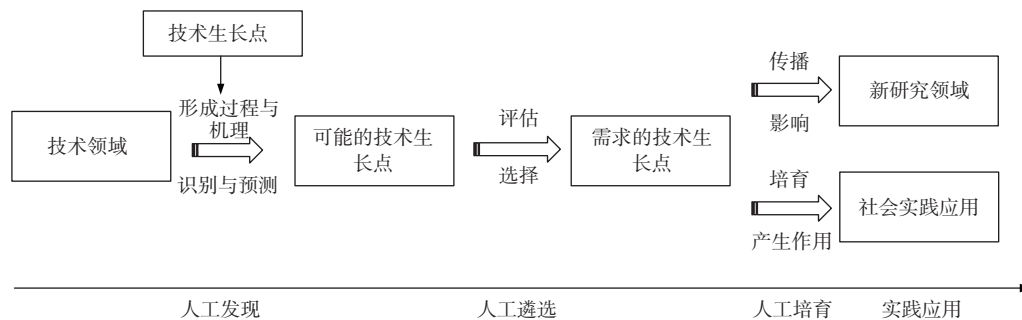


图4 技术生长点研究的实践应用过程

Figure 4 The practical application process of technology growth point research

4.6 合理善用人工智能和大语言模型技术

随着人工智能和大语言模型技术的发展,尤其是ChatGPT的出现提供了更加便捷获取所需信息和服务的方式,若能有效地利用、充分发挥它们的优势将推动技术生长点研究的快速和高质量发展:首先,收集多样化、丰富的数据是发现技术生长点的关键。合理利用人工智能和大语言模型技术,可以更全面、自动化地从各种来源(如科学文献、专利、社交媒体等)搜集数据,并进行预处理和清洗,减少学习成本的同时提高数据的质量和有效性。其次,根据具体的识别任务,选择适当的算法和模型。例如,可以结合大语言模型技术,提高对技术生长点中复杂问题的理解并对自己所提的识别和预测等研究方法进行初步可行性分析,也可以使用机器学习算法中特征选择对技术生长点的典型特征进行筛选等。最后,在技术生长点识别与预测结果研判时,可以利用大语言模型技术对结果进行初步的理解并对识别结果自动研判。当然,人工智能和大语言模型技术对技术生长点研究的帮助也是有限制的,除训练和推理计算源消耗较高、模型参数的存储和传递成本较大、模型鲁棒性和隐私保护等问题导致专用型的模型训练难度非常大之外,其在可解释性方面也具有不足,且只能转述已有的知识资源,其本身并不能创造知识,在面对技术生长点的识别和预测等研究时,并不能结合现实具体情况提供具有创造性的方法和准确的研究结果判断。因此,人工智能和大语言模型技术只能作为技术生长点研究的辅助工具,具体的研究思路、方法和最终结果的研判,还需要人来主导,只能合理善用相关技术而不能过分依赖和信任。

5 结语

随着国际竞争的加剧和跨学科研究的加深,技术生长点作为新兴的研究领域悄然兴起。技术生长点

是指在成熟之前且具有生长潜力的技术领域,具有前沿性、成长性、关键性和交叉性等特征,其具体研究可包括技术生长点的内涵研究、识别与预测研究、应用研究等方面,从技术生长点的产生来看,多源于技术之间的交叉融合,根源在于交叉研究的发展;从发展的生命周期来看,整个发展过程可以划分为孕育阶段、萌芽阶段和新兴阶段;技术生长点可以形成其他技术,其技术概念和识别研究相比于其他技术概念研究具有独特的价值和研究必要性。虽然借助其他技术研究的“外壳”,有了长足的进步,但缺乏对该研究领域技术结构和发展规律的整体性认识,理论研究相对较弱,对其概念还未形成统一的定义,缺少针对性的识别与预测方法,尚未建立一套较为成熟且公认的研究体系,虽然正逐渐形成独立的研究领域,但仍处于成长的初级阶段。因技术生长点研究在开辟新领域中的重要作用,有必要对其进行更深入的研究,而当前学者们对其关注还不够,还有诸多亟待探索的方向,未来研究在数据源上要转向多源数据,聚焦技术融合视角开展后续研究,借鉴跨学科相关研究的理论和方法,深化技术生长点自身的发展规律和特征研究,同时还需优化其识别和预测方法,注重实践应用,切实为促进实践中科学技术质的飞跃提供有力可靠的情报支持。

参考文献:

- [1] 袁立科. 国家关键技术选择与技术预测40年回顾与思考[J]. 中国科技论坛, 2022, 38(12): 25-34. (YUAN L K. Retrospective review of 40 years of national critical technologies selection and technology foresight[J]. Forum on science and technology in China, 2022, 38(12): 25-34.)
- [2] WANG J, ZHANG Z, LIU P. Development of technology opportunity analysis based on technology landscape by extending technology elements with BERT and TRIZ[J]. Technological forecasting and social change, 2023, 191(6): 122481.
- [3] EBADI A, AUGER A, GAUTHIER Y. Detecting emerging

- technologies and their evolution using deep learning and weak signal analysis[J]. *Journal of informetrics*, 2022, 16(11): 101344.
- [4] 李长玲, 高峰, 牌艳欣. 试论跨学科潜在知识生长点及其识别方法 [J]. *科学学研究*, 2021, 39(6): 1007-1014. (LI C L, GAO F, PAI Y X. Research on potential interdisciplinary knowledge growth points and its identification methods[J]. *Studies in science of science*, 2021, 39(6): 1007-1014.)
- [5] 许海云, 刘亚辉, 罗瑞. 突破性科学创新早期识别研究综述 [J]. *情报理论与实践*, 2021, 44(4): 198-205. (XU H Y, LIU Y H, LUO R. A Review on early identification of science breakthrough[J]. *Information studies: theory & application*, 2021, 44(4): 198-205.)
- [6] 蒋永福. 基础理论研究中两个新的生长点: 知识自由和信息公平 [J]. *中国图书馆学报*, 2008(2): 80-81, 73. (JIANG Y F. Two new growth points in basic theoretical research: knowledge freedom and information fairness[J]. *Journal of library science in China*, 2008(2): 80-81, 73.)
- [7] 张道民. 试论科学生长点 [J]. *科学、技术与辩证法*, 1986(1): 1-7. (ZHANG D M. On the growth point of science[J]. *Studies in philosophy of science and technology*, 1986(1): 1-7.)
- [8] 于文强, 陈宗民. 工程材料与热成形技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2020. (YU W Q, CHEN Z M. *Engineering materials and hot forming technology*[M]. Beijing: China Machine Press, 2020.)
- [9] HAN X, ZHU D, QIAO Y. Technology opportunity analysis: combining SAO networks and link prediction[J]. *IEEE transactions on engineering management*, 2021, 68(5): 1288-1298.
- [10] 杨竞衡. 机电一体化一些新的技术生长点 [J]. *自动化与仪表*, 1994(2): 18-21. (YANG J H. Some new technological growth points in mechatronics integration[J]. *Automation & instrumentation*, 1994(2): 18-21.)
- [11] SERCAN O, HOMAYOUNFARD A, CHRISTOPHER S, et al. Technology roadmapping using text mining: a foresight study for the retail industry[J]. *IEEE transactions on engineering management*, 2022, 69(1): 228-244.
- [12] 师昌绪. 材料科学技术的生长点 [J]. *材料科学进展*, 1990(2): 97-104. (SHI C Z. The frontiers of materials science and technology[J]. *Chinese journal of materials research*, 1990(2): 97-104.)
- [13] CURRAN C, LEKER J. Patent indicators for monitoring convergence—examples from NFF and ICT[J]. *Technological forecasting and social change*, 2011, 78(2): 256-273.
- [14] KARVONEN M, KÄSSI T. Patent citations as a tool for analysing the early stages of convergence[J]. *Technological forecasting and social change*, 2013, 80(6): 1094-1107.
- [15] UZZI B, MUKHERJEE S, STRINGER M, et al. Atypical combinations and scientific impact[J]. *Science*, 2013, 342(6157): 468-472.
- [16] HOFSTRA B, KULKARNI V V, GALVEZ S M, et al. The diversity–innovation paradox in science[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2020, 117(17): 9284-9291.
- [17] LIN Y, EVANS J A, WU L. New directions in science emerge from disconnection and discord[J]. *Journal of informetrics*, 2022, 16(1): 101234.
- [18] DOTSIKA F, WATKINS A. Identifying potentially disruptive trends by means of keyword network analysis[J]. *Technological forecasting and social change*, 2017, 119(6): 114-127.
- [19] ZHOU J, LI P, MENG L. Toward new-generation intelligent manufacturing[J]. *Engineering*, 2018, 4(4): 11-20.
- [20] ROTOLO D, HICKS D, MARTIN-BEN R. What is an emerging technology?[J]. *Research policy*, 2015, 44(10): 1827-1843.
- [21] 邓建军, 刘安蓉, 曹晓阳, 等. 颠覆性技术早期识别方法框架研究——基于科学端的视角 [J]. *中国科学院院刊*, 2022, 37(5): 674-684. (DENG J J, LIU A R, CAO X Y, et al. Methodological framework of identifying disruptive technologies on emerging stage: based on science[J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2022, 37(5): 674-684.)
- [22] 邢晓昭, 任亮, 雷孝平, 等. 基于专利主题演化的颠覆性技术识别研究——以类脑智能领域为例 [J]. *情报科学*, 2023, 41(3): 81-88. (XING X S, REN L, LEI X P, et al. The identification of disruptive technology based on patent theme evolution: taking the field of brain-inspired intelligence as an example[J]. *Information science*, 2023, 41(3): 81-88.)
- [23] 吴可凡, 王伟, 张世玉, 等. 技术不连续性视角下颠覆性技术识别方法研究 [J]. *情报理论与实践*, 2022, 45(10): 125-131. (WU K F, WANG W, ZHANG S Y. Research on disruptive technology identification methods from the perspective of technological discontinuity[J]. *Information studies: theory & application*, 2022, 45(10): 125-131.)
- [24] 中华人民共和国国务院. 国家中长期科学和技术发展规划纲要 [EB/OL]. [2023-09-16]. http://www.gov.cn/jrzq/2006-02/09/content_183787.htm. (State Council of the People's Republic of China. Outline of the national medium and long term science and technology development plan [EB/OL] [2023-09-16] http://www.gov.cn/jrzq/2006-02/09/content_183787.htm.)
- [25] KLEVORICK A K, LEVIN R C, WINTER S G. On the sources and significance of interindustry differences in technological opportunities[J]. *Research policy*, 1995, 24: 185-205.
- [26] OLSSON O. Technological opportunity and growth[J]. *Journal of economic growth*, 2005, 10(1): 31-53.
- [27] LEE S, YOON B, PARK Y. An approach to discovering new technology opportunities: keyword-based patent map approach[J]. *Technovation*, 2009, 29(6): 481-497.
- [28] YOON B, PARK Y. A systematic approach for identifying

- technology opportunities: keyword-based morphology analysis[J]. *Technological forecasting and social change*, 2005, 72(2): 145-160.
- [29] 王静静. 基于论文和专利的技术机会分析 [D]. 北京: 北京工业大学, 2016. (WANG J J. Analysis of technological opportunities based on papers and patents[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2016.)
- [30] 翟东升, 刘鹤, 张杰, 等. 一种基于链路预测的技术机会挖掘方法 [J]. *情报学报*, 2016, 35(10): 1090-1100. (ZHAI D S, LIU H, ZHANG J. Approach to mining technology opportunity based on link prediction[J]. *Journal of the China Society for Scientific and Technical Information*, 2016, 35(10): 1090-1100.)
- [31] 王敏, 银路. 技术演化的集成研究及新兴技术演化 [J]. *科学学研究*, 2008, 26(3): 466-471. (WANG M, YIN L. An integrated study on technology evolution and its new research focus - evolution of emerging technology[J]. *Studies in science of science*, 2008, 26(3): 466-471.)
- [32] BART V. 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.
- [33] 黄颖, 叶冬梅, 丁凤, 等. 技术演化路径识别: 内涵释义与研究进展 [J]. *图书情报工作*, 2022, 66(22): 142-154. (HUANG Y, YE D M, DING F. Identification of technology evolution pathway: connotation interpretation an research progress[J]. *Library and information service*, 2022, 66(22): 142-154.)
- [34] 卢希谦, 李恩昌. 关于学科生长点 [J]. *山东医科大学学报 (社会科学版)*, 1995, 9(3): 46-50. (LU X Q, LI E C. On the growth points of the discipline[J]. *Journal of Shandong Medical University (social sciences edition)*, 1995, 9(3): 46-50.)
- [35] HACKLIN F, MARXT C, FAHRNI F. Coevolutionary cycles of convergence: an extrapolation from the ICT industry[J]. *Technological forecasting and social change*, 2009, 76(6): 723-736.
- [36] 李昌, 周锦锦, 杨中楷. 动态演化过程视角下技术融合生长点识别研究 [J]. *图书情报工作*, 2022, 66(7): 99-109. (LI C, ZHOU J J, YANG Z K. Research on technological convergence growth point identification from the perspective of dynamic evolution process[J]. *Library and information service*, 2022, 66(7): 99-109.)
- [37] NOH H, SONG Y, LEE S. Identifying emerging core technologies for the future: case study of patents published by leading telecommunication organizations[J]. *Telecommunications policy*, 2016, 40(10): 956-970.
- [38] SONG H, HOU J, ZHANG Y. The measurements and determinants of patent technological value: lifetime, strength, breadth, and dispersion from the technology diffusion perspective[J]. *Journal of informetrics*, 2023, 17(1): 101370.
- [39] BREITZMAN A, THOMAS P. The emerging clusters model: a tool for identifying emerging technologies across multiple patent systems[J]. *Research policy*, 2015, 44(1): 195.
- [40] CHOI Y M, CHO D. A study on the time-dependent changes of the intensities of factors determining patent lifespan from a biological perspective[J]. *World patent information*, 2018, 54(9): 1-17.
- [41] 杨冠灿, 丁月, 徐硕, 等. 基于专利动态指标的新兴技术预测建模方法——以癌症药物领域为例 [J]. *情报学报*, 2022, 41(8): 786-795. (YANG G C, DING Y, XU S, et al. A novel modeling method for predicting emerging technologies based on patent dynamic indicators: taking the field of cancer drugs as an example[J]. *Journal of the China Society for Scientific and Technical Information*, 2022, 41(8): 786-795.)
- [42] 李昌, 杨中楷, 董坤. 基于多维属性动态变化特征的新兴技术识别研究 [J]. *情报学报*, 2022, 41(5): 463-474. (LI C, YANG Z K, DONG K. Recognition of emerging technologies based on dynamic characteristics of multi-dimensional attributes[J]. *Journal of the China Society for Scientific and Technical Information*, 2022, 41(5): 463-474.)
- [43] PORTER A, GARNER J, CARLEY S, et al. Emergence scoring to identify frontier R&D topics and key players[J]. *Technological forecasting and social change*, 2019, 149(9): 628-643.
- [44] 李宏宽, 何海燕, 单捷飞, 等. 特征分析视角下半导体制造产业关键技术分布研究 [J]. *中国科技论坛*, 2019, 35(6): 80-94. (LI H K, HE H Y, SHAN J F, et al. Research on the distribution of key technologies in the semiconductor manufacturing industry from the perspective of feature analysis[J]. *Forum on science and technology in China*, 2019, 35(6): 80-94.)
- [45] 张雪, 张志强, 曹玲静, 等. 学科领域研究前沿识别方法研究进展 [J]. *图书情报工作*, 2022, 66(12): 139-151. (ZHANG X, ZHANG Z Q, CAO L J, et al. Research progress of research front recognition methods in subject field[J]. *Library and information service*, 2022, 66(12): 139-151.)
- [46] 张凤娟, 曲鑫. 电子语言素养——信息技术与外语课程整合的生长点 [J]. *情报科学*, 2013, 31(2): 110-114. (ZHANG F J, QU X. Electronic language literacy: the growth point of the integration of information technology and foreign language curriculum[J]. *Information science*, 2013, 31(2): 110-114.)
- [47] YOON B, MAGEE C L. Exploring technology opportunities by visualizing patent information based on generative topographic mapping and link prediction[J]. *Technological forecasting and social change*, 2018, 132(7): 105.
- [48] XU H, WINNINK J, YUAN G. Topic-linked innovation paths in science and technology[J]. *Journal of informetrics*, 2020, 14(2): 101014.
- [49] 荣国阳, 李长玲, 范晴晴, 等. 基于生命周期理论的跨学科知识生长点识别——以引文分析领域为例 [J]. *情报理论与实践*, 2022, 45(6): 9-16. (RONG G Y, LI C L, FAN Q Q, et

- al. Identification of interdisciplinary knowledge growth points based on life cycle theory: take the field of citation analysis as an example[J]. *Information studies: theory & application*, 2022, 45(6): 9-16.)
- [50] 李长玲, 范晴晴, 荣国阳, 等. 动能理论视角下跨学科知识生长点成长态势分析——以图书情报领域为例 [J]. *情报理论与实践*, 2023, 46(3): 9-15. (LI C L, FAN Q Q, RONG G Y, et al. Analysis of the growth trend of interdisciplinary knowledge growth points from the perspective of kinetic energy theory[J]. *Information studies: theory & application*, 2023, 46(3): 9-15.)
- [51] WINNINK J J, TIJJSSEN R J W. Early stage identification of breakthroughs at the interface of science and technology: lessons drawn from a landmark publication[J]. *Scientometrics*, 2015, 102(1): 113-134.
- [52] 曹志鹏, 潘定, 潘启亮. 基于表示学习的双层知识网络链路预测 [J]. *情报学报*, 2021, 40(2): 135-144. (CAO Z P, PAN D, PAN Q L. Two-layer knowledge network link prediction based on representation learning[J]. *Journal of the China Society for Scientific and Technical Information*, 2021, 40(2): 135-144.)
- [53] REN H, ZHAO Y. Technology opportunity discovery based on constructing, evaluating, and searching knowledge networks[J]. *Technovation*, 2021, 101(3): 102196.
- [54] LUO Z, LU W, WANG Y. Combination of research questions and methods: a new measurement of scientific novelty[J]. *Journal of informetrics*, 2022, 16(2): 101282.
- [55] VEEN B L V, ORTT J R. Unifying weak signals definitions to improve construct understanding[J]. *Futures*, 2021, 134(12): 102837.
- [56] 张金柱, 张晓林. 利用引用科学知识突变识别突破性创新 [J]. *情报学报*, 2014, 33(3): 259-266. (ZHANG J Z, ZHANG X L. Identification of radical innovation based on mutation of cited scientific knowledge[J]. *Journal of the China Society for Scientific and Technical Information*, 2014, 33(3): 259-266.)
- [57] 刘亚辉, 许海云. 突破性创新早期识别与弱信号分析综述 [J]. *图书情报工作*, 2021, 65(4): 89-101. (LIU Y H, XU H Y. A review of early recognition of breakthrough innovations and the weak signal analysis[J]. *Library and information service*, 2021, 65(4): 89-101.)
- [58] MIAO H, GUO X, YUAN F. Research on identification of potential directions of artificial[J]. *IEEE transactions on engineering management*, 2021, 1: 1-16.
- [59] MEISSNER P, BRANDS C, WULF T. Quantifying blind spots and weak signals in executive judgment: a structured integration of expert judgment into the scenario development process[J]. *International journal of forecasting*, 2017, 33(1): 157-170.
- [60] 邓胜利, 林艳青, 王野. 企业竞争弱信号的特征提取与定量识别研究 [J]. *图书情报工作*, 2016, 60(10): 67-75. (DENG S L, LIN Y J, WANG Y. Research on feature extraction and quantitative recognition of weak signals in enterprise competition[J]. *Library and information service*, 2016, 60(10): 67-75.)
- [61] SCHEFFER M, BASCOMPTE J, BROCK W A, et al. Early-warning signals for critical transitions[J]. *Nature*, 2009, 461(7260): 53-59.
- [62] YU M, PASMAN H, KRAVARIS C. A framework to identify and respond to weak signals of disastrous process incidents based on FRAM and machine learning techniques[J]. *Process safety and environmental protection*, 2022, 158(2): 98-114.
- [63] CHEN L S, CHEN S H. Using TRIZ techniques to new product function development of smart phones[J]. *Industrial engineering and management systems*, 2011, 10(3): 179-184.
- [64] KASHANI E S, ROSHANI S. Evolution of innovation system literature: intellectual bases and emerging trends[J]. *Technological forecasting and social change*, 2019, 146(9): 68-80.
- [65] CHECHURIN L, BORGIANNI Y. Understanding TRIZ through the review of top cited publications[J]. *Computers in industry*, 2016, 82(10): 119-134.
- [66] BERG S, WUSTMANS M, BRÖRING S. Identifying first signals of emerging dominance in a technological innovation system: a novel approach based on patents[J]. *Technological forecasting and social change*, 2019, 146(9): 706-722.
- [67] YUN S, CHO W, LEE S. Technological trend mining: identifying new technology opportunities using patent semantic analysis[J]. *Information processing & management*, 2022, 59(4): 102993.
- [68] LI X, XIE Q, HUANG L. Forecasting technology trends using text mining of the gaps between science and technology: the case of perovskite solar cell technology[J]. *Technological forecasting and social change*, 2019, 146(9): 432-449.
- [69] KIM J, KIM S, LEE C. Anticipating technological convergence: link prediction using Wikipedia hyperlinks[J]. *Technovation*, 2019, 79(1): 25-34.
- [70] ZHOU Y, DONG F, LIU Y. Unfolding the convergence process of scientific knowledge for the early identification of emerging technologies[J]. *Technological forecasting and social change*, 2019, 144(7): 205-220.
- [71] HACKLIN F, BORIS B, KROGH G V. Strategic choices in converging industries[J]. *MIT Sloan management review*, 2013, 55(1): 65-73.
- [72] JEONG S, LEE S. What drives technology convergence? exploring the influence of technological and resource allocation contexts[J]. *Journal of engineering and technology management*, 2015, 36(4): 78-96.
- [73] LEE C, HONG S, KIM J. Anticipating multi-technology convergence: a machine learning approach using patent information[J]. *Scientometrics*, 2021, 126(3): 1867-1896.
- [74] KONG D, YANG J, LI L. Early identification of technological convergence in numerical control machine tool: a deep learning

approach[J]. *Scientometrics*, 2020, 125(3): 1983-2009.

- [75] 中国大百科全书总编辑委员会. 中国大百科全书图书馆学·情报学·档案学 [M]. 北京: 中国大百科全书出版社, 1998: 18-19. (Editorial committee of the Chinese encyclopedia. *Encyclopedia of China library science. information science. archival science* [M]. Beijing: China Encyclopedia Publishing

House, 1998: 18-19.)

作者贡献说明:

李昌: 研究思路设计, 论文撰写与修改;
杨中楷: 选题建议, 研究思路设计与改进;
周锦锦: 研究资料收集与筛选, 论文修改与校对。

Technological Growth Points: Progress and Prospects of Connotation and Identification Research

Li Chang¹ Yang Zhongkai¹ Zhou Jinjin²

¹ School of Public Administration and Policy, Dalian University of Technology, Dalian 116024

² College of Economics and Management, Northeast Agricultural University, Harbin 150006

Abstract: [Purpose/Significance] The growth point of technology is a technological field that has growth potential and can form new technologies. Clarify its conceptual connotation, systematically review current research in identification progress, and provide prospects for the future, in order to deepen the cognition and understanding of relevant scholars in this field. [Method/Process] First, the concept of technological growth points is clarified, relevant theoretical models are summarized, and the relationship with other technological concepts are analyzed, and their characteristics are synthesized. Second, the primary research progress is summarized from perspective like identification and prediction methods, as well as differences from previous technological research. Furthermore, the research trends are prospected. [Result/Conclusion] As emerging research area, the study of technological growth points has quietly emerged. Compared with existing research, their concepts and research have unique characteristics and value, it is gradually forming an independent research field. In future research, it is necessary to deepen the study of laws and features, integrate multi-source data, focus on the perspective of technological fusion, optimize identification and prediction methods, and simultaneously focusing on the practical application of technological growth points. Additionally, the reasonable and effective use of machine learning and large language model technology should be considered.

Keywords: technological growth points new technology field growth potential research progress