

突破性创新及其实现方法研究综述

张换高, 贾树璇

(河北工业大学 国家技术创新方法与实施工具工程技术研究中心, 天津 300401)

摘要: **目的** 梳理并总结突破性创新的实现方法与路径, 为后续突破性创新的实现提供理论指导。**方法** 在查阅突破性创新相关文献的基础上, 对突破性创新的概念及其界定进行了梳理, 并以创新对超系统的影响程度为标准提出定义。基于不同视角探讨了突破性创新的驱动因素及驱动机制。最后研究了突破性创新机遇的识别方法以及不同影响层面下以不同目标为导向的突破性创新设想的具体产生方法。**结果** 在宏观层面可通过调节驱动因素促进突破性创新的实现; 在微观层面可以通过识别创新机遇并建立系统化的创新方法指导突破性创新的实现。**结论** 突破性创新的本质在于解决超系统发展过程中由当前技术系统发展滞后引起的冲突, 以该理论为核心将宏观与微观层面的研究成果进行融合与拓展, 为突破性创新的实现提供了一条新路径。

关键词: 突破性创新; 驱动因素; 创新机遇识别; 创新设计过程模型

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)02-0023-11

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.02.003

Review of Radical Innovation and Its Realization Methods

ZHANG Huan-gao, JIA Shu-xuan

(National Engineering Research Center for Technological Innovation Method and Tool,
Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China)

ABSTRACT: The work aims to sort out and summarize the methods and paths of radical innovation, to provide theoretical guidance for realization of subsequent radical innovation. On the basis of consulting relevant literature on radical innovation, the concept and definition of radical innovation were sorted out and defined according to the impact of innovation on the super system. Based on different perspectives, the driving factors and driving mechanisms of radical innovation were discussed. Finally, the identification methods of radical innovation opportunities and the specific generation methods of radical innovation ideas oriented by different goals at different impact levels were studied. It was found that at the macro level, the radical innovation could be promoted by adjusting the driving factors; At the micro level, the realization of radical innovation could be guided by identifying innovation opportunities and establishing systematic innovation methods. The essence of radical innovation is to solve the conflict caused by the lagging development of the current technical system during the development of the super system. With this theory as the core, the research results at the macro and micro levels are integrated and expanded, providing a new path for realization of radical innovation.

KEY WORDS: radical innovation; driving factors; identification of innovation opportunities; model of innovative design process

创新是一个组织持续成功的关键。通过创新, 企业建立了可持续的竞争优势, 提高了利润, 并为股东

创造出了高于平均水平的回报^[1]。自党的十八大以来, 我国持续深入实施创新驱动发展战略, 大力建设

收稿日期: 2022-09-20

基金项目: 科技部创新方法工作专项项目 (2019IM050200)

作者简介: 张换高 (1973—), 男, 博士, 教授, 主要研究方向为技术创新方法、产品平台设计理论、专利布局与规避设计、机电产品创新设计。

创新型国家和科技强国。党的二十大报告指出应持续贯彻创新精神,将创新融入经济社会发展中,令全社会高度重视并主动参与创新,从此步入全面创新时代^[2]。按照创新的强度可将其分为突破性创新与渐进性创新。其中,与渐进性创新相比突破性创新具有更高的价值,特别是在技术迅速变化的高新技术产业中。在这种情况下,突破性创新对于解决行业乃至国家的技术锁定问题至关重要,是提高可持续竞争力的重要因素^[3]。

在历史上,数码相机的出现令如柯达、宝丽来等传统相机及相关产品供货商们的销售额发生暴跌直至破产,而佳能、尼康等公司却借机不断发展壮大^[4];晶体管的发明大规模替代了不断进行渐进性创新的电子管;而华为面临着美国在通讯与芯片两个领域的技术封锁,华为通过自主研发推出了5G技术与鸿蒙系统,从而打破了当前市场的垄断局面。此外突破性创新还能大幅度地提高客户利益、降低成本,并提升创造新业务的能力,使组织能够在高速变化的环境中与快速演进的客户需求保持一致^[5],从而对垂直市场和围绕该垂直市场的经济活动产生重大影响^[6]。2000年处于线下视频租赁市场领先地位的百视达拒绝了Netflix为其拓展线上业务的合作请求,然而随着互联网行业的蓬勃发展,人们的消费方式逐渐由线下转变为线上,直到2010年百视达终是难以为继,不得已宣布破产,而Netflix却逐渐成为了全球首屈一指的视频网站;圆珠笔一经问世便由于其便利性受到了广大用户的青睐,从而淘汰了大多数的钢笔制造商^[4];此外,石英表由于其低廉的价格与更高的精度对瑞士传统机械表行业造成了极大的挑战,令日本抢占了大部分的钟表市场。而近些年来我国一些关键核心技术的突破,如载人航天事业的高速发展、北斗卫星导航系统的全面开通、港珠澳大桥的顺利通车亦使我国由制造大国转变为创造大国^[7],并成功跻身于创新型国家行列。当前国际竞争日益激烈,通过突破性创新可以打破技术壁垒、抢占国际市场先机,大幅度提高我国的国际竞争能力,从而在国际上占据技术领

先地位与市场主导地位,无需再受其他国家的掣肘。然而,突破性创新虽能带来高额的利润与领先的地位,但由于其实现过程通常无章可循而导致实施困难大、风险高,令众多企业对其望而却步,局限于安全稳妥的渐进性创新。因此,进行突破性创新方法的研究不仅对降低创新难度、促进技术跨越式发展具有重要的理论指导意义,更有帮助企业与国家成为领域领跑者的现实意义。

自突破性创新这一概念提出以来,便有大量学者对其展开研究。早期的研究重点大多集中于对突破性创新的概念进行界定,并将其与渐进性创新进行辨析以便将二者区分开来进行后续的研究。在管理学领域,学者在宏观层面上从不同的研究视角对突破性创新的驱动因素与驱动机制进行了研究,试图通过对创新过程的合理化管理来促进突破性创新的实现。而在工程领域,学者则是从微观角度出发,探讨了突破性创新机遇的识别方法,建立了系统化的创新过程模型,以在模糊前端阶段产生具有突破性的高质量设想,为后续的技术跃迁奠定基础,从而帮助企业实现突破性创新。

1 突破性创新的概念、特征

1.1 突破性创新概念

突破性创新来源于熊彼特的“创造性破坏”,随着这一思想的提出,便不断有学者从不同角度对突破性创新进行界定,如表1所示。

总结上述文献,突破性创新的定义可以分为实现原理、创新结果与对超系统的影响三个层次,如图1所示。即突破性创新最终要对市场、产业等外界超系统产生巨大影响,而这一影响可以通过应用全新的技术与科学知识使产品的性能特征、概念结构等产生大幅度的改变来实现。其中,原理的改变与技术的突破只是突破性创新的实现手段,其本质在于解决超系统发展过程中由当前系统发展滞后引起的冲突,从而实现了对超系统的积极影响。

表1 突破性创新的概念界定
Tab.1 Definition of radical innovation

层次	学者	定义
创新对超系统的影响	Wind 等	突破性的创新是一个产品类别中新颖的、独特的、最先进的技术进步,能显著地改变一个市场的消费模式 ^[8] 。
	Chandy 等	将突破性产品创新定义为企业引入新产品的倾向,这些新产品要包含与现有产品本质不同的技术,还能够比现有产品更好地满足关键客户的需求 ^[9] 。
	Detienne 等	将突破性创新定义为范围、广度和成本上的创新,这里指的是战略创新或提供的新产品或服务或创造新的市场 ^[10] 。
	付玉秀等	突破性创新是指导致产品性能主要指标发生巨大跃迁,对市场规则、竞争态势、产业版图具有决定性影响,甚至导致产业重新洗牌的一类创新 ^[11] 。

续表

层次	学者	定义
创新的结果	Dewar 等	突破性创新是指在工艺技术层面上产生重大进步或改进的创新 ^[12] 。
	Henderson 等	突破性创新建立了一个新的主导设计, 一套新的核心设计概念体现在部件中, 这些部件在一个新的架构中连接在一起, 这表明突破性创新须由两个要素组成, 一是全新的产品概念, 二是核心部件的连接要发生重大改变 ^[13] 。
	Kotelnikov	将满足下列条件之一的创新定义为突破性创新: 一是工艺、产品或服务在性能上拥有全新特征; 二是特征虽然相似但是性能有大幅度提升且成本有大幅度下降; 三是创造出一种新产品, 这种产品能够使现有的产业和市场产生变革, 甚至会产生新的产业和市场 ^[14] 。
	Leifer	满足如下几点要求之一的创新可以被认定是突破性创新: 产品具有全新的性能特征; 产品的性能特征大幅度提高至原来的 5 倍及以上; 产品的成本大幅度缩减 30% 及以上 ^[15] 。
	平恩顺等	机械产品的突破性创新是指使产品某一主功能的技术子系统工作原理发生改变, 且改变后的主功能使技术系统性能极限提高 ^[16] 。
创新的实现原理	Ettlie 等	如果一项技术对采用单位来说是新的, 对相关组织来说是新的, 或者它既需要产量(工艺)也需要产品(生产或服务)的变化, 那么该组织所要求的变化的规模或成本可能足以保证一种罕见的、突破性的技术 ^[17] 。
	Abernathy 等	突破性创新基于全新的技术, 且不同于组织现有的创新, 并且会创造出新市场 ^[18] 。
	Dess 等	突破性创新是建立在全新的工程与科学知识基础之上的, 并且会开启新市场、产生新的产品应用价值 ^[19] 。
	冯雁霞	突破性创新是指在新的科学或工程原理之上, 对已有产品的工作原理进行升级换代即对产品核心技术进行更新换代, 或者对产品核心部件之间的连接进行重大改变, 改变后使产品的性能极限提高或创造出拥有全新特色产品的一类创新 ^[20] 。

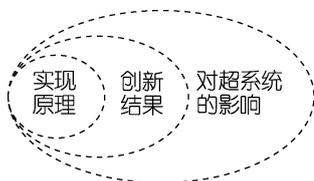


图 1 突破性创新的定义层次
Fig.1 Definition level of radical innovation

因为任何系统存在的目的都是其在超系统中执行一定的有用功能, 因此系统的突破性创新必然会对超系统功能和性能产生重大影响, 为超系统突破某方面的瓶颈奠定基础。基于此提出以下定义: 突破性创新是指能够对超系统产生重大影响(改变其相关超系统的种类、数量、运行方式或性能提高等)的一类创新, 这种影响是通过改变技术系统的功能、原理、结构提高其性能极限(技术系统)或提升其性能速度(技术子系统)来实现的。如图 2 所示为突破性创新的发生时机与技术系统性能变化, 其中技术子系统的突破性创新发生在 e 点处, 技术系统的突破性创新发生在 b 点和 c 点处。

1.2 突破性创新的特征

突破性创新是沿着随机和非线性的过程展开的; 它涉及高度的不可预测性、意外的发现和意外的结果^[1]。如表 2 所示为突破性创新的特征。

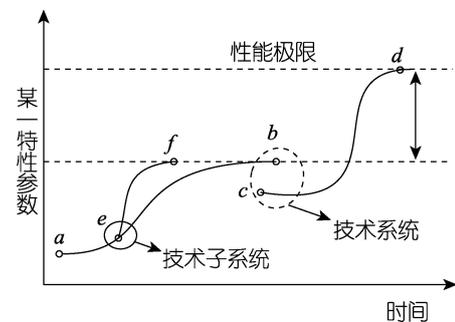


图 2 突破性创新的发生时机及技术系统性能变化
Fig.2 Opportunity of radical innovation and change of technical system performance

表 2 突破性创新特征
Tab.2 Features of radical innovation

特征	描述
非线性、不连续性	突破性创新一般出现在两条技术生命周期 S-曲线的交界处 ^[21] 。
不确定性	资源不确定性、技术不确定性、组织不确定性、市场不确定性 ^[11] 。
随机性	许多学者以机缘巧合、偶然或偶然的科学发现来解释突破性创新 ^[22] 。
学科交叉性	多出现在学科交叉较强处 ^[23] 。
创新周期长	突破性创新项目的完成周期一般在十年以上 ^[11] 。

正是由于上述特征,使企业在进行突破性创新时面临着极大的困难与挑战。但是经过不断的研究发现,突破性创新也是有规律可循的,许多因素能够驱动突破性创新的产生以及发展,从而促进突破性创新的最终实现。

2 突破性创新的驱动因素

当对突破性创新的概念特征有一个较为清晰的

界定后,研究重点便转向突破性创新的实现方式上,在管理学领域,研究多通过不同的理论视角解释突破性创新的成因及驱动因素,具体研究内容如表3所示。

上述研究从宏观视角出发,指明企业可以通过提高组织能力、引入社会资本来促进组织学习获得全新的或跨领域的知识,以市场需求为指导、以环境为激励来实现突破性创新,如图3所示。

表3 不同理论视角下突破性创新的驱动因素
Tab.3 Driving factors of radical innovation from different theoretical perspectives

理论视角	观点	学者
组织学习理论视角	拥有不同知识领域的企业更有可能产生前沿思想和知识的新颖组合 ^[24] 。	Taylor 等
	知识重组在创新中具有双刃剑的作用。在进行突破性创新时,既需要对不同的知识进行重组,又必须对一个特定的知识领域进行深刻地理解与挖掘 ^[25] 。	Kaplan 等
	通过对探索式学习与利用式学习的研究发现,高度的探索能够实现突破性创新,并且当探索水平较高时,较低的创新动机水平会促进突破性创新的增加 ^[26] 。	Blank 等
组织能力理论视角	组织能力包括四种类型,即开放能力、整合能力、自治能力和实验能力,研究发现具有这几种能力的成熟企业,其突破性创新绩效会显著提高 ^[27] 。	Chang 等
	具有感知、学习和整合能力的新产品开发团队能够提升项目的有效性。此外,具有高度学习、整合和协调能力的团队将提高项目效率,这些发现为新产品开发团队的动态能力对项目绩效的有益作用提供了更广阔的图景 ^[28] 。	Darawong
社会资本理论视角	供应商和制造商间的关系在知识开发、资源利用、合作创新中发挥着关键作用 ^[29] 。	Takeishi
	供应商的声誉会通过影响消费者对新技术的期望而对产品质量的感知而影响突破性创新 ^[30] 。	Montaguti 等
	企业间的商业关系显著增加了企业的冒险精神和突破性创新机会 ^[31] 。	Wang 等
权变理论视角	企业间项目层面的合作广度与突破性创新绩效呈倒U型关系 ^[32] 。	Kobarg 等
	环境的不确定性直接影响着突破性创新,因为它会使一个具有前瞻性的组织意识到外部的变化 ^[33] 。	Germain
	变化的环境与突破性创新有显著的关系,随着环境活力的增加,突破性创新也在增加 ^[10] 。	Detienne
市场导向理论视角	突破性创新会随着环境动态性的增加而增加 ^[34] 。	Koberg
	顾客的参与会使企业发现新的技术,并也能够分享他们的经验,但是当顾客过多地参与进来时,则会抑制突破性创新的产生 ^[35] 。	Scaringella 等
	进行原型设计可以通过花费完整系统成本的一小部分来规避由于经济和技术不确定性产生的风险,作为回报,可以获得与技术系统相关的经济和技术信息 ^[36] 。	Lai 等
	非客户即那些潜在的客户可以发起突破性创新,这些创新可能会改变行业,创造新的市场,并产生长期的社会和经济影响 ^[37] 。	Rosenzweig

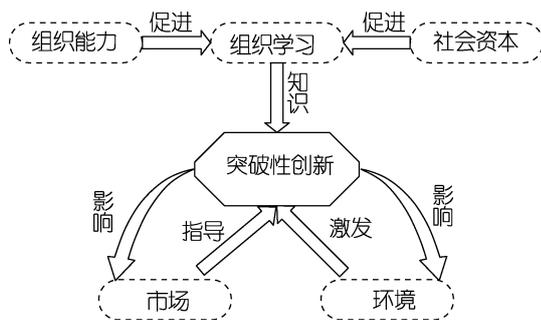


图3 突破性创新与驱动因素间关系
Fig.3 Relationship between radical innovation and driving factors

3 突破性创新方法

3.1 突破性创新机遇识别

突破性创新虽具有高度的不确定性,但其出现的过程并非完全不可预测的,通过合理的手段识别具有突破性创新潜力的领域,可帮助企业明确研发方向、缩短创新周期。早期突破性创新机遇的识别多依赖于专家的主观判断,以小组讨论或问卷调查的形式探讨未来易产生突破性创新的领域与方向^[38-39]。然而这种方法易受专家经验与观念的影响,预测周期长且结果主观性高。于是后续逐渐有学者开始将专家经验与技

术预测工具相结合进行机遇识别。蒋国平等^[40]以企业研发因素为变量, 结合市场占有率轨道图预测了企业进行突破性创新的适当时机。平恩顺^[41]基于技术进化理论预测了产品中实现主功能的技术子系统的突破性创新潜力。刘力萌等^[42]基于情景分析, 通过建立演化机制探索产品未来可能的使用情景, 从而在产品创新的模糊前端阶段识别创新机会。

为进一步提升预测结果的客观性, 开始有学者通过信息挖掘来识别突破性创新机遇, 其中专利作为技术载体, 囊括了大量的先进技术信息, 是进行信息提取的优选对象。Schoenmakers 等^[43]认为知识间的重组更容易产生突破性创新。于是张金柱等^[44-45]分别以知识的新颖性与交叉性作为突破性创新的识别标准, 对于新颖性, 通过从专利科学引文中抽取关键词和学科分类代表被引科学知识, 选择被引知识突变程度较高的主题作为突破性创新的高发主题; 而对于交叉性, 则通过专利引文的学科交叉情况预测突破性创新发生的学科分类和主题。曹艺文等^[46]从知识跃迁和持续增长两方面构建识别标准, 利用新兴技术发文的时序构建引文曲线并拟合, 通过提炼引文曲线的主要特征实现对突破性创新技术主题的预测。

随着人工智能技术的兴起, 机器学习被引入该研究领域, 刘健壮^[47]通过比较创新产品与主流产品的特征因素差异性, 提取相关特征因素并对其进行量化表征, 最后利用 K 临近算法对大量创新案例进行分析, 建立起了突破性创新的预测模型。马德荣等^[48]先应用解释结构模型构建了机遇识别特征体系, 再将突破性创新案例与非突破性创新案例进行对比提取各特征因素变化趋势, 并以其为自变量通过建立神经网络, 构建了突破性创新机遇识别模型。

此外, 还有不少学者从其他视角进行了相关研究。张栋^[49]基于突破性创新特征提取测度, 并在此基础上建立了涵盖突破对象性质、创新资源条件与创新实现影响因素三方面的突破性创新预测体系。刘亚辉等^[50]则认为现有研究多注重特征较为明显的强信号、强关系, 而在突破性创新的萌芽期, 其常以技术主题间弱关系的形式存在, 加强对弱关系的分析可实现对突破性的早期识别。

综合上述研究发现, 突破性创新机遇识别方法不断向着更客观、高效与全面的方向发展, 从而更快速、准确地帮助企业抓住创新机会, 使其能合理地分配创新资源并及时地抢占技术与市场先机。

3.2 突破性创新过程模型

技术系统存在的意义就是要满足超系统的某种需求, 但超系统的需求并非是一成不变的而是会随着时间与空间进行变换的, 这就要求技术系统通过创新来满足不断变化的超系统需求。如图 4 所示, 按照需求的涉及范围, 可将其分为技术层面、社会层面与自

然层面。其中技术层面的需求是指保障技术系统正常运行所需的结构、功能与性能等; 社会层面进一步考虑了客户的想法及社会文化、环境等要素; 自然层面则是要求技术系统的存在应顺应生态环境, 符合生态经济规律。其中技术作为突破性创新的实现手段, 是决定突破性创新能否成功的关键之一。而要想在新产品开发阶段跳出原有的技术轨道, 就要求在创新最开始的模糊前端阶段产生具有一定新颖性与独特性的想法或是能产生从原理上切实解决现有技术阻碍的方案^[51]。TRIZ 作为一种高效的创新方法, 被广泛地运用在产品创新的模糊前端阶段以产生具有突破性的创新设想来实现超系统不同层面的需求。

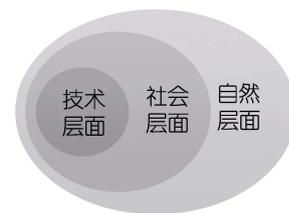


图 4 超系统需求的不同层次
Fig.4 Different levels of super system requirements

3.2.1 技术层面

3.2.1.1 以技术进化为导向

要想对技术进行突破, 就要跳出当前的技术水平, 向未来技术状态进化。而一项新技术或新产品是否被社会所接受取决于技术或产品是否符合技术进化的一般规律^[52]。技术进化定律作为提高技术系统当前理想化水平的工具指明了进化的客观方向^[53], 通过应用这些定律, 可以预测技术系统的未来潜力状态, 使产品快速地从一种核心技术跃迁到另一种新的核心技术, 并突破原有性能的极限, 从而实现突破性创新^[16]。如 5 图所示为技术系统的技术进化潜力。

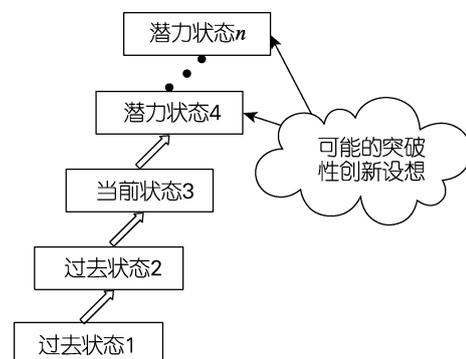


图 5 技术进化潜力
Fig.5 Technological evolutionary potential

在探究技术进化潜力的过程中还可以通过技术成熟度预测工具约束技术进化的方向, 如图 6 所示为 S-曲线与技术生命周期, 可针对产品在技术生命周期中所处的位置, 有针对性地采取不同措施来进行突破

性创新。若产品处于婴儿期或成长期,则应对其结构、性能等进行技术改进,推动其快速发展;若产品处于成熟期或衰退期,则企业应大力进行新技术的研发,以便推出新一代产品来替代现有产品^[54]。

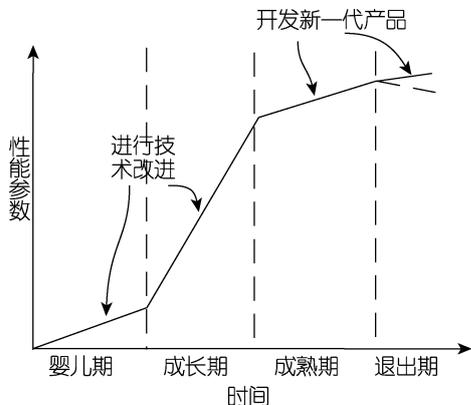


图6 S-曲线与技术生命周期
Fig.6 S-curve and technology life cycle

孙建广等^[55]通过对技术进化分支进行深入研究,归纳出了突破性创新的技术进化路线分支机理来指导产品进行突破性创新设计。Ping等^[56]基于TRIZ的最终理想解与技术进化定律,提出了一种进行产品突破性创新设计的方法,并将其结果作为模糊前端最高质量的理念。平恩顺等^[57]为指导机械产品突破性创新设计概念的产生,选择成熟期产品作为研究对象;基于物质-场模型,针对机械产品提出了突破性创新的方法并建立了面向成熟期产品突破性创新设计模糊前端阶段过程模型。

3.2.1.2 以冲突解决为导向

技术系统中的冲突,是阻碍其发生技术跃迁的主要原因。而冲突的发现与解决则是推动产品与技术进化的动力^[52]。如图7所示,为冲突与突破性创新关系。杨伯军等^[58]选择在产品创新的模糊前端阶段对其进行激进式裁剪,再通过标准解、效应等工具对裁剪后的产品进行功能重组从而产生突破性创新设想。武胜璇^[59]同样选择通过裁剪来解决冲突,在对冲突区域进行裁剪后,对被裁剪子系统进行技术预测并获得多个潜力状态,最后通过求解得到满足全局理想化的潜力状态来指导突破性创新产品的开发。

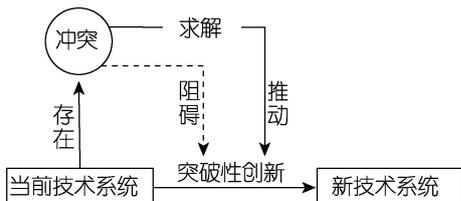


图7 冲突与突破性创新关系
Fig.7 Relationship between conflict and radical innovation

3.2.1.3 以问题求解为导向

技术系统中存在的问题阻碍着突破性创新的产

生,而这些问题也并非独立存在,大多通过网络的形式联结在一起。如图8所示为技术系统中的问题网络。因此,可通过对问题进行分解,找到深层问题之间的联系,确定关键问题再对其进行解决以产生突破性创新。基于此,Wang等^[21]提出了一种对产品设计进行突破性创新的求解方法,包括问题识别、功能分析、关键问题确定、效应选择、结构映射和方案评价。

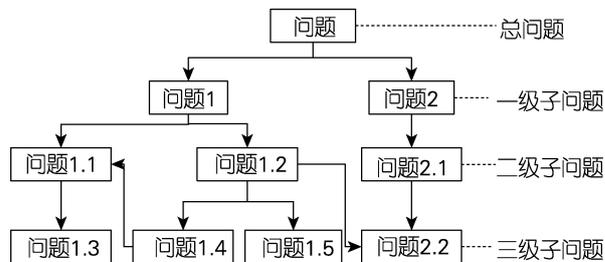


图8 技术系统中的问题网络
Fig.8 Problem network in technical system

3.2.1.4 以功能组合为导向

除通过改进现有产品之外,还可以通过研发新产品来实现突破性创新。而效应作为功能与科学原理之间的纽带,是功能实现的科学依据,利于高级别、高质量创新解的产生^[60]。如图9所示为新产品突破性创新实现过程。基于以上原理,檀润华等^[61]建立了创新机遇分析、设想产生、功能与效应综合以及原理方案设计等过程的突破性创新设计模型。侯晓婷^[62]则提出利用多生物效应来指导产品的突破性创新设计,在开发了多生物效应知识库的基础上,归纳总结了能够指导工程设计的多生物效应实现的一般模式。

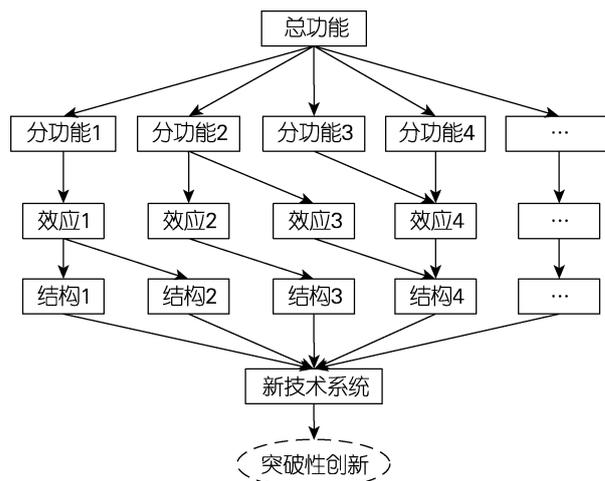


图9 新产品突破性创新实现过程
Fig.9 Realization process of radical innovation of new products

3.2.2 社会层面

在TRIZ中将需求定义为用户主观上对产品的期望状态与产品实际状态之间的差距,如图10所示为需求分析与需求预测模型。

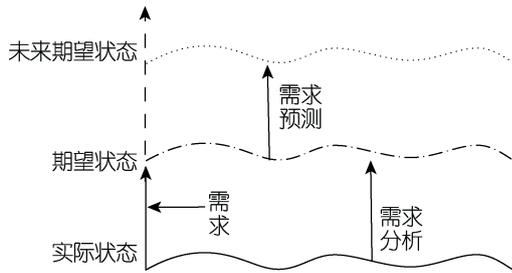


图 10 需求分析与需求预测
Fig.10 Demand analysis and demand forecast

性能作为功能完成的数量与质量的体现,是顾客衡量产品的直接标准。因此,可从顾客需求中获取技术系统性能,并以性能提升为目的对技术系统中的功能进行改进来实现突破性创新。如图 11 所示为以产品性能提升为目的的突破性创新方法。Yang 等^[63]将 QFD 扩展为产品质量屋与设计质量屋。以需求为基础在产品质量屋中开发了基于 TRIZ 的功能分解和性

能分析方法,以识别突破性创新的性能特征,并将 TRIZ 中的标准解和裁剪用于设计质量屋来确定最后的突破性创新产品方案。

回顾文献发现,如图 12 所示,不管以何种目的导向进行突破性创新,都会经历研究对象选择、问题分析与问题求解过程并最终在模糊前端阶段产生突破性创新设想,以预见后续新产品开发阶段的突破性创新技术,并为商业化的成功奠定基础。

TRIZ 通过提供上述标准化工具指导企业技术人员进行突破性创新,不仅可以帮助企业对外部的市场、环境等因素进行分析,指导企业确定问题并求解,产生符合超系统需求的创新设想;还能在问题分析与求解过程中提高组织能力、促进组织学习并替代社会资本帮助企业扩充知识库、降低创新风险,并最终激发出突破性创新设想。降低了突破性创新的风险与难度,使更多的企业可以参与进来,有利于产业技术的快速发展。

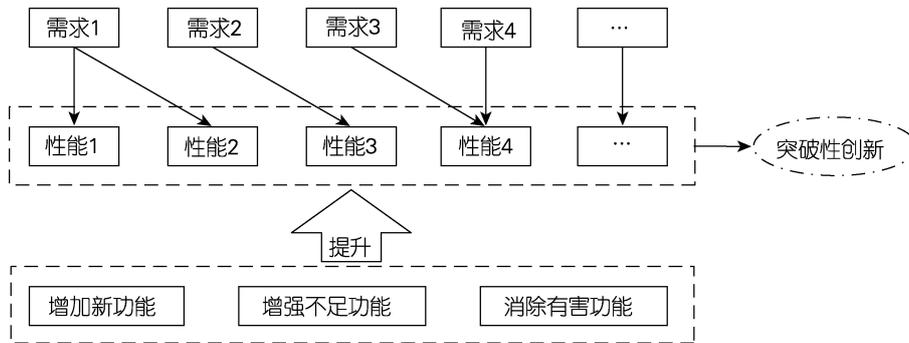


图 11 以产品性能提升为目的的突破性创新方法
Fig.11 Radical innovation methods aiming at improving product performance

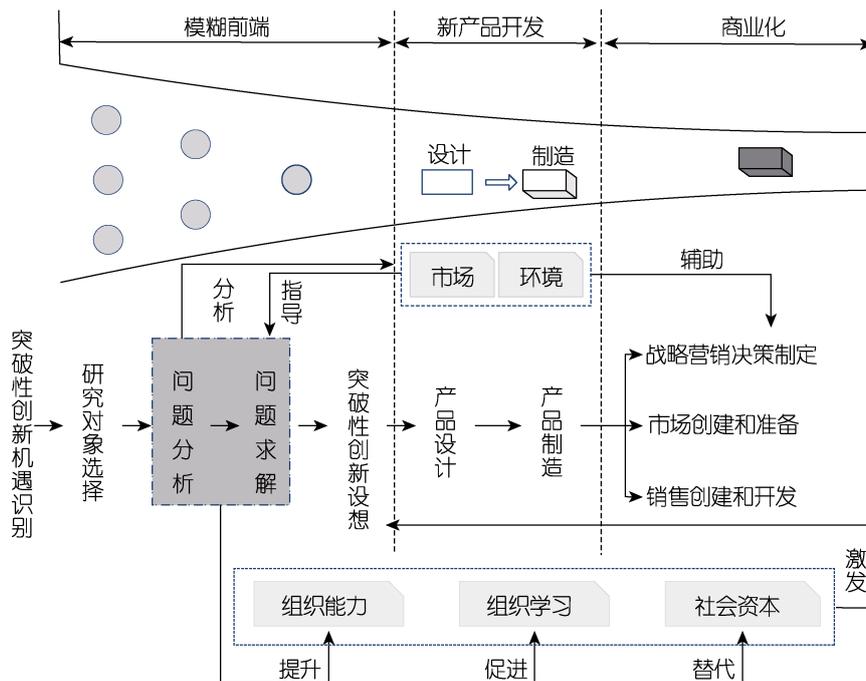


图 12 产品创新过程模型^[64]
Fig.12 Model of product innovation process^[64]

4 不足与展望

通过文献分析,可以发现对突破性创新及其实现方法的研究取得了很多成果,但还存在以下不足:

1) 不同领域的研究成果相对独立,缺乏有效的融合。管理学领域的研究在宏观上明确了突破性创新的驱动因素以及驱动机制。而工程学领域则是从微观角度出发应用各类工具识别突破性创新机遇并构建产生突破性创新设想的模型,其本质是在创新过程中应用创新工具和方法促进各驱动因素发挥作用。即两个领域的研究存在着对应关系,但现有突破性创新方法的研究多是从技术系统自身出发,通过问题发现与求解实现创新,在突破性创新方法中缺乏对各类驱动因素的考虑。

2) 在进行突破性创新机遇识别时,研究局限于识别“突破性技术”。突破性创新需要同时满足技术与商业两个维度上的成功。而在现有研究中,鲜有考虑技术是否符合社会需求与自然需求,即是否能实现成功的商业化;且在突破性创新的早期,技术大多尚未发展成熟且突破性特征尚不明显,此时仅以技术作为研究对象容易导致其被误判为渐进性创新,使企业失去了进行突破性创新的机会。

3) 对阻碍突破性创新实现因素的分析限制在所研究的技术系统范围内,而忽略了超系统对系统进化的决定性作用。对一个技术系统而言,超系统决定了当前技术系统应具有哪些功能及性能水平,并为其功能的实现提供了场景及约束。如图13所示,除了技术系统不能满足超系统的需求外,超系统还会对技术系统产生限制作用,即突破性创新的瓶颈会以技术系统与超系统间的不协调现象的形式出现。

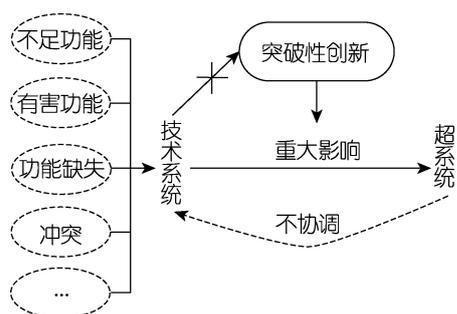


图13 突破性创新实现阻碍

Fig.13 Obstacles to realization of radical innovation

4) 在进行突破性创新时,目标导向的建立未能准确把握突破性创新的本质。技术系统因超系统需求而存在,其作用就是要对超系统产生积极影响,而技术系统的功能、性能仅是产生这种影响的实现手段。当技术系统由于滞后阻碍了超系统的发展时,技术系统就会对超系统产生负面影响,此时就需要重点解决当前技术系统与超系统间的冲突来实现突破性创新。但现有创新过程模型皆是通过技术系统功能的改进

及性能极限的提升来实现突破性创新的,因此也难以保证最终的创新结果符合突破性要求。

5) 现有研究中所提出的创新过程模型只能满足低层次的超系统需求。通过应用现有研究中提出的方法进行创新虽然能够对超系统产生一定的积极影响,但研究更多地注重技术上的跃迁,使创新结果局限在技术需求的满足上,而未能考虑更高级别的社会需求与自然需求,从而限制了创新的突破程度。

综合上述研究中存在的不足,对未来的研究方向提出展望。在研究方法方面,可通过管理学的研究成果指导突破性创新过程模型的建立,在创新模型各阶段中体现对驱动因素的促进作用,从而提升创新模型的有效性与可靠性,提高突破性创新的成功概率。在研究视角方面,未来可将视角由技术系统拓展至超系统,一是要从超系统视角更加全面地分析实现突破性创新的阻碍,在创新过程中不仅要挖掘、求解技术系统内部的问题,更要消除技术系统与超系统间的不协调现象;二是要把握突破性创新的本质,以提升技术系统对超系统的影响为目标导向进行创新,并通过预测创新对超系统的影响程度来识别突破性创新机遇;三是要继续对超系统视角进行拓展,在进行突破性创新机遇的识别时,不能单纯地考虑技术上的突破还要进一步考虑其与社会、自然层面需求的符合程度,最后通过技术与商业两个维度的综合评判预测突破性创新机遇;而进行创新设计时同样不仅要满足超系统的技术需求,还应进一步考虑通过用户特征、社会文化来满足社会需求,通过顺应自然环境并合理利用自然资源来满足自然需求,进而扩大创新对超系统的有益影响,实现更高级别的创新并提升创新的突破性。

5 结语

随着经济的快速发展,企业乃至国际间的竞争也日益激烈。要想提高竞争实力,成功应对快速变化的市场就要积极地进行创新。渐进性创新只能帮助组织维持当前的市场,当竞争对手成功地实现突破性创新并将其引入市场时,就会大幅度削减组织当前的市场份额与竞争能力。因此,想要赶超竞争对手,实现市场格局重塑,就要进行突破性创新。

众多文献表明,突破性创新与渐进性创新的本质区别就在于其能对超系统带来更为重大的影响。基于此,以创新对超系统的影响程度为标准对突破性创新进行定义。从宏观视角归纳了不同理论视角下突破性创新的驱动因素与驱动机制。从微观视角,梳理了突破性创新机遇的识别方法;以创新对超系统的影响范围为标准,论述了不同目标导向作用下突破性创新设想的产生方法,指出了突破性创新实现的基本步骤及应用创新工具指导突破性创新设想产生的意义。最后对当前研究的不足进行了分析并对未来研究方向进

行了展望。

参考文献:

- [1] COLOMBO M G, VON KROGH G, ROSSI-LAMASTRA C, et al. Organizing for Radical Innovation: Exploring Novel Insights[J]. *Journal of Product Innovation Management*, 2017, 34(4): 394-405.
- [2] 吕江涛. 国家超级计算天津中心应用研发首席科学家孟祥飞: 将“超级算力”转化为生产力[J]. *中国经济周刊*, 2022(20): 98-99.
LYU Jiang-tao, Meng Xiang-fei, Chief Scientist of Applied R&D of National Supercomputing Tianjin Center: Turning “Supercomputing Power” into Productivity[J]. *China Economic Weekly*, 2022(20): 98-99.
- [3] ZHANG Zhen, YU Jin-tian. Game Simulation Analysis of Radical Innovation Processes of High-Tech Enterprises Based on WoO-EGT Model[J]. *Tehnicki Vjesnik - Technical Gazette*, 2019, 26(2): 518-526.
- [4] COOPER R G. Product Innovation and Technology Strategy[J]. *Research-Technology Management*, 2000, 43(1): 38-41.
- [5] PENKER M, KHOH S B. Cultivating Growth and Radical Innovation Success in the Fourth Industrial Revolution with Big Data Analytics[C]//2018 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM). Bangkok, Thailand. IEEE, 2019: 526-530.
- [6] SLATER S F, MOHR J J, SENGUPTA S. Radical Product Innovation Capability: Literature Review, Synthesis, and Illustrative Research Propositions[J]. *Journal of Product Innovation Management*, 2014, 31(3): 552-566.
- [7] 张晓兰, 金永花, 黄伟熔. 发达国家举国工程与我国举国体制的比较及启示[J]. *宏观经济管理*, 2022(11): 83-90.
ZHANG Xiao-lan, JIN Yong-hua, HUANG Wei-rong. The Comparison between and the National Projects of Developed Countries and China's National System and Its Inspiration[J]. *Macroeconomic Management*, 2022(11): 83-90.
- [8] WIND J, MAHAJAN V. Issues and Opportunities in New Product Development: An Introduction to the Special Issue[J]. *Journal of Marketing Research*, 1997, 34(1): 1-12.
- [9] CHANDY R K, TELLIS G J. Organizing for Radical Product Innovation: The Overlooked Role of Willingness to Cannibalize[J]. *Journal of Marketing Research*, 1998, 35(4): 474-487.
- [10] DETIENNE D R, KOBERG C S. A Fresh Look at Incremental and Radical Innovation in the Entrepreneurial Firm[C]// Proceedings of the USASBE/SBIDA 2001 National Conference, Florida, 2001.
- [11] 付玉秀, 张洪石. 突破性创新: 概念界定与比较[J]. *数量经济技术经济研究*, 2004, 21(3): 73-83.
- FU Yu-xiu, ZHANG Hong-shi. Breakthrough Innovation: Concept Definition and Comparison[J]. *Quantitative & Technica Economics*, 2004, 21(3): 73-83.
- [12] DEWAR R D, DUTTON J E. The Adoption of Radical and Incremental Innovations: An Empirical Analysis[J]. *Management Science*, 1986, 32(11): 1422-1433.
- [13] HENDERSON R M, CLARK K B. Architectural Innovation: The Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of Established Firms[J]. *Administrative Science Quarterly*, 1990, 35(1): 9.
- [14] KOTELNIKOV V. Radical Innovation Versus Incremental Innovation[M]. Boston: Harvard Business School Press, 2000.
- [15] LEIFER R. Radical innovation: how mature companies can outsmart upstarts[M]. Boston: Harvard Business School Press, 2000.
- [16] 平恩顺, 檀润华, 孙建广. 基于TRIZ的机械产品突破性创新设想产生过程研究[J]. *中国机械工程*, 2014, 25(18): 2439-2446.
PING En-shun, TAN Run-hua, SUN Jian-guang. Research on Ideas Generation Process for Mechanical Product Radical Innovation Based on TRIZ[J]. *China Mechanical Engineering*, 2014, 25(18): 2439-2446.
- [17] ETTLIE J E, BRIDGES W P, O'KEEFE R D. Organization Strategy and Structural Differences for Radical Versus Incremental Innovation[J]. *Management Science*, 1984, 30(6): 682-695.
- [18] ABERNATHY W J, UTTERBACK J M. Patterns of Industrial Innovation: Technology Review[J]. *研究技术计画*, 2017, 3(4): 555.
- [19] DESS G G, BEARD D W. Dimensions of Organizational Task Environments[J]. *Administrative Science Quarterly*, 1984, 29(1): 52.
- [20] 冯雁霞. 基于系统结构改变的突破性创新设计过程研究[D]. 天津: 河北工业大学, 2018: 5-6.
FENG Yan-xia. Research on Radical Innovation Design Process Based on the Change of System's Structure[D]. Tianjin: Hebei University of Technology, 2018: 5-6.
- [21] WANG Kang, TAN Run-hua, PENG Qing-jin, et al. Radical Innovation of Product Design Using an Effect Solving Method[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2021, 151: 106970.
- [22] GODOE H. Innovation Regimes, R&D and Radical Innovations in Telecommunications[J]. *Research Policy*, 2000, 29(9): 1033-1046.
- [23] 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 Hai-yun, LIU Ya-hui, LUO Rui. A Review on Early Identification of Science Breakthrough[J]. *Information Studies: Theory & Application*, 2021, 44(4): 198-205.
- [24] TAYLOR A, GREVE H R. Superman or the Fantastic Four? Knowledge Combination and Experience in Innovative Teams[J]. *The Academy of Management Journal*, 2006, 49(4): 723-740.

- [25] KAPLAN S, VAKILI K. The Double-Edged Sword of Recombination in Breakthrough Innovation[J]. *Strategic Management Journal*, 2015, 36(10): 1435-1457.
- [26] BLANK T H, NAVEH E. Competition and Complementarity of Exploration and Exploitation and the Achievement of Radical Innovation: The Moderating Effect of Learning Behavior and Promotion Focus[J]. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 2019, 66(4): 598-612.
- [27] CHANG Y C, CHANG H T, CHI Hui-ru, et al. How do Established Firms Improve Radical Innovation Performance? the Organizational Capabilities View[J]. *Technovation*, 2012, 32(7-8): 441-451.
- [28] DARAWONG C. Dynamic Capabilities of New Product Development Teams in Performing Radical Innovation Projects[J]. *International Journal of Innovation Science*, 2018, 10(3): 333-349.
- [29] TAKEISHI A. Bridging Inter- and Intra-Firm Boundaries: Management of Supplier Involvement in Automobile Product Development[J]. *Strategic Management Journal*, 2001, 22(5): 403-433.
- [30] MONTAGUTI E, KUESTER S, ROBERTSON T S. Entry Strategy for Radical Product Innovations: A Conceptual Model and Propositional Inventory[J]. *International Journal of Research in Marketing*, 2002, 19(1): 21-42.
- [31] WANG Gang, LI Lin-wei, MA Gang. Entrepreneurial Business Tie and Product Innovation: A Moderated Mediation Model[J]. *Sustainability*, 2019, 11(23): 6628.
- [32] KOBARG S, STUMPF-WOLLERSHEIM J, WELPE I M. More is not always Better: Effects of Collaboration Breadth and Depth on Radical and Incremental Innovation Performance at the Project Level[J]. *Research Policy*, 2019, 48(1): 1-10.
- [33] GERMAIN R. The Role of Context and Structure in Radical and Incremental Logistics Innovation Adoption[J]. *Journal of Business Research*, 1996, 35(2): 117-127.
- [34] KOBERG C S, DETIENNE D R, HEPPARD K A. An Empirical Test of Environmental, Organizational, and Process Factors Affecting Incremental and Radical Innovation[J]. *The Journal of High Technology Management Research*, 2003, 14(1): 21-45.
- [35] SCARINGELLA L, MILES R E, TRUONG Y. Customers Involvement and Firm Absorptive Capacity in Radical Innovation: The Case of Technological Spin-Offs[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2017, 120: 144-162.
- [36] LAI C S, LOCATELLI G. Valuing the Option to Prototype: A Case Study with Generation Integrated Energy Storage[J]. *Energy*, 2021, 217: 119290.
- [37] ROSENZWEIG S. Non-Customers as Initiators of Radical Innovation[J]. *Industrial Marketing Management*, 2017, 66: 1-12.
- [38] RONZHYN A, WIMMER M A, SPITZER V, et al. Using Disruptive Technologies in Government: Identification of Research and Training Needs[C]//Electronic Government: 18th IFIP WG 8.5 International Conference, EGOV 2019, San Benedetto Del Tronto, Italy, September 2-4, 2019, Proceedings. New York: ACM, 2019: 276-287.
- [39] GOVINDARAJAN V, KOPALLE P K. The Usefulness of Measuring Disruptiveness of Innovations Ex Post in Making Ex Ante Predictions[J]. *Journal of Product Innovation Management*, 2006, 23(1): 12-18.
- [40] 蒋国平, 刘朵. 企业突破性技术创新时机预测研究[J]. *天津商业大学学报*, 2008, 28(2): 26-29.
- JIANG Guo-ping, LIU Duo. On Timing Forecast of Radical Innovation in Enterprises[J]. *Journal of Tianjin University of Commerce*, 2008, 28(2): 26-29.
- [41] 平恩顺. 负熵驱动的突破性创新关键技术研究[D]. 天津: 河北工业大学, 2015.
- PING En-shun. Research on Negentropy Driven Development of Key Technologies for Radical Innovation[D]. Tianjin: Hebei University of Technology, 2015.
- [42] 刘力萌, 檀润华, 刘伟, 等. 基于情景的模糊前端创新机会识别[J/OL]. *计算机集成制造系统*: 1-20 [2023-01-08]. <http://kns.cnki.net.http.hebutlib.proxy.hebut.edu.cn/kcms/detail/11.5946.TP.20210618.0946.010.html>.
- LIU Li-meng, TAN Run-hua, LIU Wei, et al. Identification of Innovation Opportunities in Fuzzy Front End Based on scenario[J/OL]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*: 1-20[2023-01-08]. <http://kns.cnki.net.http.hebutlib.proxy.hebut.edu.cn/kcms/detail/11.5946.TP.20210618.0946.010.html>.
- [43] SCHOENMAKERS W, DUYSTERS G. The Technological Origins of Radical Inventions[J]. *Research Policy*, 2010, 39(8): 1051-1059.
- [44] 张金柱, 张晓林. 基于被引科学知识主题突变的突破性创新识别[J]. *现代图书情报技术*, 2016(S1): 42-50.
- ZHANG Jin-zhu, ZHANG Xiao-lin. Radical Innovation Identification Based on Topic Mutation of Scientific Knowledge Cited in Patents[J]. *New Technology of Library and Information Service*, 2016(S1): 42-50.
- [45] 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 Jin-zhu, ZHANG Xiao-lin. 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.
- [46] 曹艺文, 许海云, 武华维, 等. 基于引文曲线拟合的新兴技术主题的突破性预测——以干细胞领域为例[J]. *图书情报工作*, 2020, 64(5): 100-113.
- CAO Yi-wen, XU Hai-yun, WU Hua-wei, et al. Study on Radical Innovation Prediction to Emerging Technology Topics Based on Citation Curve Fitting—Taking the Field of Stem Cells as an Example[J]. *Library and Information Service*, 2020, 64(5): 100-113.

- [47] 刘健壮. 基于机器学习算法的突破性创新预测方法研究[D]. 天津: 河北工业大学, 2022.
LIU Jian-zhuang. Research on Radical Innovation Prediction Method Based on Machine Learning Algorithm [D]. Tianjin: Hebei University of Technology, 2022.
- [48] 马德荣, 曹国忠, 杨雯丹. 基于神经网络的产品突破性创新机遇识别[J]. 河北工业科技, 2022, 39(4): 310-319.
MA De-rong, CAO Guo-zhong, YANG Wen-dan. Opportunity Recognition of Product Radical Innovation Based on Neural Networks[J]. Hebei Journal of Industrial Science and Technology, 2022, 39(4): 310-319.
- [49] 张栋. 面向2035年的突破性创新测度、识别与预测[J]. 中国科技论坛, 2020(8): 11-14.
ZHANG Dong. Measurement, Identification and Prediction of Breakthrough Innovation Facing 2035[J]. Forum on Science and Technology in China, 2020(8): 11-14.
- [50] 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 Ya-hui, XU Hai-yun. A Review of Early Recognition of Breakthrough Innovations and the Weak Signal Analysis[J]. Library and Information Service, 2021, 65(4): 89-101.
- [51] 崔露露. 产业技术与政策制度影响突破性技术创新阶段转换的机理[D]. 西安: 西安理工大学, 2020.
CUI Lu-lu. The Mechanism of Industrial Technology and Policy Institutions Affecting the Transition of Breakthrough Technology Innovation Stages[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2020.
- [52] 檀润华, 孙建广. 破坏性创新技术事前产生原理[M]. 北京: 科学出版社, 2014.
TAN Run-hua, SUN Jian-guang. Principle of Prior Generation of Innovative Technology[M]. Beijing: Science Press, 2014.
- [53] 张换高. 创新设计: TRIZ 系统化创新教程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2017.
ZHANG Huan-gao. Innovative Design[M]. Beijing: China Machine Press, 2017.
- [54] 崔寒冰. 后发企业突破性技术创新过程研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2015.
CUI Han-bing. Study on the Radical Technology Innovation Process in Latecomer Firms[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2015.
- [55] 孙建广, 檀润华, 李晓婷, 等. 基于技术进化分支理论的突变性创新事前产生方法[J]. 计算机集成制造系统, 2013, 19(2): 253-262.
SUN Jian-guang, TAN Run-hua, LI Xiao-ting, et al. Methods for Roadmapping Mutational Innovation Based on Technological Evolution Bifurcations[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2013, 19(2): 253-262.
- [56] PING En-shun, TAN Run-hua, SUN Jian-guang, et al. Research on Radical Innovation Design Process on the Stage of Fuzzy Front End by TRIZ[C]//2013 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management. Bangkok, Thailand. IEEE, 2014: 699-703.
- [57] 平恩顺, 檀润华, 孙建广, 等. 面向成熟期产品突破性创新设计模糊前端阶段过程研究[J]. 工程设计学报, 2014, 21(2): 101-108.
PING En-shun, TAN Run-hua, SUN Jian-guang, et al. Research on Maturity Stage Product Radical Innovation Design Process on the Stage of Fuzzy Front End[J]. Chinese Journal of Engineering Design, 2014, 21(2): 101-108.
- [58] 杨伯军, 冯雁霞, 孙群. 基于激进式裁剪的产品突破性创新设计过程[J]. 中国机械工程, 2018, 29(9): 1025-1030.
YANG Bo-jun, FENG Yan-xia, SUN Qun. Product Radical Innovation Design Processes Based on Radical Trimming[J]. China Mechanical Engineering, 2018, 29(9): 1025-1030.
- [59] 武胜璇. 面向企业产品的系统化创新过程研究实现[D]. 天津: 河北工业大学, 2016.
WU Sheng-xuan. The Research and Implementation of the Process of Systematic Innovation Oriented Enterprise Products[D]. Tianjin: Hebei University of Technology, 2016.
- [60] 檀润华. TRIZ 及应用: 技术创新过程与方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 2010.
TAN Run-hua. TRIZ and Applications[M]. Beijing: Higher Education Press, 2010.
- [61] 檀润华, 曹国忠, 刘伟. 创新设计概念与方法[J]. 机械设计, 2019, 36(9): 1-6.
TAN Run-hua, CAO Guo-zhong, LIU Wei. Concepts and Methods of Innovative Design[J]. Journal of Machine Design, 2019, 36(9): 1-6.
- [62] 侯晓婷. 面向突破性创新的多生物效应研究及应用[D]. 天津: 河北工业大学, 2017.
HOU Xiao-ting. The Study and Application of Multi Biological Effect Oriented Radical Innovation[D]. Tianjin: Hebei University of Technology, 2017.
- [63] YANG Wen-dan, CAO Guo-zhong, PENG Qing-jin, et al. Effective Radical Innovations Using Integrated QFD and TRIZ[J]. Computers & Industrial Engineering, 2021, 162: 107716.
- [64] AARIKKA-STENROOS L, LEHTIMÄKI T. Commercializing a Radical Innovation: Probing the Way to the Market[J]. Industrial Marketing Management, 2014, 43(8): 1372-1384.