

# 技术演化研究方法进展分析\*

陈 亮<sup>1,2</sup> 张志强<sup>1</sup>

<sup>1</sup>中国科学院国家科学图书馆 兰州 730000 <sup>2</sup>中国科学院大学 北京 100190

[摘要] 技术演化因其在国家、企业战略管理中具有重要地位而为世界主要国家所重视,各国投入巨大的人力物力开展研究。首先探究技术演化概念的产生和发展,之后系统梳理技术演化方法的发展脉络和各个阶段的主要特点,并对几种有代表性的技术演化研究方法如文献计量方法、TRIZ 法、文本挖掘法、德尔菲法等的主要研究内容和发展状况进行介绍。最后,在对技术演化研究方法体系进行总结的基础上,探讨现代技术发展新形势的挑战和应对策略。

[关键词] 技术演化 文献计量法 TRIZ 文本挖掘 德尔菲法

[分类号] G353.1

## Development of Technological Evolution Research Methods

Chen Liang<sup>1,2</sup> Zhang Zhiqiang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>National Science Library, Chinese Academy of Science, Lanzhou 730000

<sup>2</sup>University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190

[Abstract] According to the important status in strategic management of country and enterprise, major countries of the world put emphasis on technological evolution, and make immense investment on it. After exploring the origin and development of concept of technological evolution, the authors describe roadmap for the development of technological evolution research method, analyze the major characters of each development stage, and systematically summarize main contents and developments of some typical research methods, including bibliometrics, TRIZ, text-mining and so on. Based on concluding family of technological evolution research method, the authors outlook the challenge caused by new situation of modern technology's development and the coping strategies available to adapt.

[Keywords] technological evolution bibliometrics TRIZ text-mining Delphi method

技术进步是促进经济发展的重要力量,是衡量综合国力的重要标志。尤其是自 20 世纪中叶以来,以信息技术、生物技术、纳米技术为代表的高新技术迅速发展,对人类的生活、工作产生了巨大而深刻的影响,是国家经济发展的重要推动力。分析特定技术领域的演化过程,可以梳理其发展脉络和内部技术活动的发展历史,反映其技术活动的现状,为技术人员探究、回溯技术起源和发展提供可靠的帮助,并对识别科技优先领域、合理配置科技资源具有重要意义,因而得到了世界上主要国家政府、学界的高度重视。随着科技的迅速进步,技术演化(technological evolution)研究获得了长足发展,与此同时,不断有学者从其他领域以不同的视角对技术演化展开研究,产生了多种技术演化研究方法,大大提高了人们对技术演化发展的认识。

## 1 技术演化的产生和发展

技术演化的产生源自人们观察到技术发展和生物进化的相似性,期望采用演化这一隐喻方式来描述技术的发展变化<sup>[1]</sup>。目前关于技术演化尚无明确定义,一般认为,它指的是对于特定的技术领域,从技术出现到当前阶段,技术领域内部的技术活动、子技术或技术主题随着时间推移的发展、继承和变化的过程。早在 1935 年, S. C. Gilfillan 就注意到“发明的本质……是一个进化过程,而并非一系列创造活动,并且它与生物过程非常类似”;1939 年 J. A. Schumpeter 指出发明“表明了工业界相同的变异过程”<sup>[2]</sup>。接下来数十年,因创新行为的核心被认为“难以估量”,对于技术演化的理论

\* 本文系中国科学院知识创新工程重要方向项目“影响经济社会重大体系的战略性科技问题分析”(项目编号:40001250-2)研究成果之一。

收稿日期:2012-03-27

修回日期:2012-06-29

本文起止页码:59-66

本文责任编辑:王善军

研究陷入低潮<sup>[3]</sup>,更多的探讨围绕着技术演化的动因展开并产生两种理论,其中需求拉动论(demand-pull)主张市场力量是技术改变的决定力量<sup>[4]</sup>,而技术推动论(technology-push)认为科学驱动了创新并最终将技术发展推向前进<sup>[5]</sup>。随后的研究中出现了这两种理论的折衷观点——将技术和市场作为技术创新过程的两端对技术演化进行分析,认为科学技术同市场需求一起,在创新过程中以一种互动方式起着核心作用<sup>[6-7]</sup>。20世纪70、80年代,随着计算机技术的迅速发展和一系列重要理论成果<sup>[8-9]</sup>,如技术生命周期模型(technology life circle)、技术范式(technology paradigm)和技术轨道(technology trajectory)的产生,技术演化研究进入快速发展阶段:一方面,持续发展的理论和模型为应用计算机技术高效提取演化知识提供了有力支持;另一方面,不断有学者从其他领域加入进来,从新的视角对技术演化展开研究,在深入理解技术发展行为的同时,形成了较大的技术演化研究方法家族。

## 2 技术演化研究方法

### 2.1 技术演化研究方法概况

技术演化方法研究起源于20世纪40年代,最早的研究方法有形态分析法(morphological analysis)<sup>[10]</sup>和TRIZ法(“发明问题解决理论”俄文首字母缩写)<sup>[11]</sup>;1949年A. Seidel提出用专利引文进行技术分析的概念<sup>[12]</sup>;进入50年代,兰德公司开始采用德尔菲法来研究技术演化和技术预见<sup>[13]</sup>,1968年日本采用技术路线图(technology roadmap)的方式对技术发展进行分析和结果展示<sup>[14]</sup>。总的来说,这一时期对技术演化的理解处于探索阶段,出现的技术演化分析方法多为依赖专家判定的定性分析方法,分析结果主观性较强;同时,因处理专利文献的手段依靠人工,效率低下,当时出现的一些定量分析方法如专利引文分析法、专利共词分析法的发展较慢。

20世纪70年代起,技术演化方法研究进入了快速发展阶段,技术生命周期框架的提出<sup>[8]</sup>使得学者们开始使用数学模型来描述技术生命周期,并发展出一系列创新行为指标来反映技术发展变化<sup>[15-16]</sup>;信息技术的发展和大型专利数据库的建立为利用计算机技术分析技术演化提供了便利条件,在推动原有技术演化分析方法如TRIZ法<sup>[17-21]</sup>、专利引文分析法<sup>[22-32]</sup>等快速发展的同时,产生了新的分析方法如文本挖掘方法<sup>[33-36]</sup>;此外,一部分专家开始从社会学、经济学、组

织关系学等多个角度出发来考察政策、市场、产品与技术演化之间的关系,产生了多个分析技术演化的框架和方法,如价值网络法(value network)<sup>[37]</sup>和技术传递系统法(technological delivery system)<sup>[38]</sup>等,产生了较为广泛的影响。下面分别对几种较为典型的技术演化分析方法的研究现状和应用进展进行阐述。

### 2.2 文献计量学方法(bibliometrics)

文献计量学是对业已存在的出版物单元、书目单元或它们的代用品进行定量研究的科学<sup>[39]</sup>。它采用数学、统计学等计量方法,研究文献的分布结构、数量关系、变化规律和定量管理,进而探讨科学技术的某些结构、特征和规律。在技术演化分析上,文献计量学方法以专利、论文为数据源来分析技术的发展变化,其下属分类如表1所示:

表1 技术演化研究采用的文献计量学方法

| 名称      | 介绍  |   |
|---------|---|---|
| 专利引文分析法 | 1949年专利引文分析概念提出,1981年后逐步被证实,90年代起开始发展完善 <sup>[40]</sup> 。具体方法有专利同被引分析法、专利耦合分析法、专利引文时序分析法等 <sup>[41]</sup> 。 |   |
| 专利分类分析法 | 按照专利分类标准对不同技术领域专利申请或授权量进行统计,以了解该领域的技术构成和技术焦点。   |   |
| 技术生命周期法 | 数学模型法   | 1975年技术生命周期概念提出后,S曲线开始用于技术生命周期预测。S曲线常见模型有Logistic模型和Gompertz模型。 |
|         | 指标分析法   | 指标是基于特定目的的度量,采用指标来分析技术生命周期,可以发掘出技术发展影响因素的实证信息。                  |

2.2.1 专利引文分析法 专利引文分析法对不同专利文献之间以及专利文献和科学文献之间的引用关系进行分析<sup>[42]</sup>。引用关系反映了某项专利的技术基础和科学基础,高被引量不仅意味着专利的重要性,也铺垫了此类专利技术的基础<sup>[35]</sup>。沿着引用关系生成的专利引文网络,可以分析得到专利的继承性和发展历程。因专利引文分析法具有基础数据容易获取、能够定性地揭示发明信息、适合研究技术动态发展等特点<sup>[26]</sup>,人们采用这种方法在技术演化分析上进行了大量研究工作,研究内容主要围绕如何构建专利引文网络和对专利引文网络进行分析两个方向展开。

在专利引文网络构建上,除基于直接引用关系的专利引文网络外,还有以共被引关系和引文耦合关系作为专利的技术主题相似度构建的专利网络<sup>[23-24]</sup>,这些网络从不同角度揭示技术的发展演化。有专家认为专利引文耦合反映了技术的共享性,专利直接引文链反映技术专业性<sup>[25]</sup>,专利同被引则可用于分析不同技术发展中的相互关联<sup>[12]</sup>。传统专利引文网络只考虑专利之间的被引频次,存在专利信息未被充分挖掘

的缺陷,由此出现了一些专利引文网络的变体,如根据专利权人所属机构和所属国家之间的引用关系建立专利网络<sup>[27]</sup>,也有研究者采用文本挖掘技术构建专利网络<sup>[33-36]</sup>,来取代专利引文网络进行技术演化分析。

当前分析专利引文网络的主要方法有三类:①在专利引文网络上进行聚类操作,之后分析聚簇之间的关系以及随时间变化情况以识别技术演化<sup>[23-24,30]</sup>;②提出度量引文权重的指标,根据测算出的引文权重来识别专利引文网络中的知识流动主路径以绘制技术演化轨迹<sup>[26,28-29]</sup>;③采用社会网络分析的方法来评价技术演变阶段<sup>[31-32]</sup>。此外,针对专利引用网络中存在时间老化和技术领域差异的问题,研究者也提出了多种修正策略,以消除引用频次可能产生的误导<sup>[14,43-44]</sup>。

**2.2.2 专利分类分析法** 专利分类是根据专利揭示的技术内容所提供的一种简易和通用的技术分类系统<sup>[14]</sup>。对各个专利分类号所属专利进行数量统计、共现分析和频次排序,可以帮助分析专利技术的布局、发展趋势以及技术间关系的变化情况。作为技术演化分析的基础方法,专利分类分析法以一种较为简单有效的方式直接从数据中生成技术报告,再以此为基础开展进一步的分析工作。J. Suzuki 等<sup>[45]</sup>通过绘制基于 IPC(International Patent Classification)主分类号、扩展分类号和方面分类号(facet code)的技术轨迹,来分析不同领域产品发展的技术演化过程。K. Suzuki<sup>[46]</sup>采用专利 IPC 分类号共现的方法来研究技术发展中的融合,从中得到结论,某个创新流程的相关发明会从最初阶段涉及的多个 IPC 分类号逐渐收敛到若干个甚至一个 IPC 分类号下。除单独使用专利分类号外,也有研究将专利分类与其他要素组合起来进行分析,如使用专利分类和申请年来分析各技术领域的发展趋势、热门技术、研发动向等<sup>[14]</sup>。

**2.2.3 技术生命周期法** 技术生命周期模型将一个完整的技术创新分为流动性阶段、过渡性阶段和明确性阶段,标准设计的产生标志着创新从流动性阶段进入过渡性阶段,此时过程创新活动将超过产品创新活动,在明确性阶段,无论产品创新还是过程创新都会减少<sup>[8]</sup>。技术生命周期分析一般使用数学模型法,但也有通过多个技术指标进行评价的研究。常用的数学模型有 Logistic 模型和 Gompertz 模型<sup>[15]</sup>,这些模型中应用的数据一般是专利申请量。用技术指标来评价技术生命周期,可以在获取技术状态信息的同时,避免对目标技术领域的所有专利和专利申请人进行全面调查,因此较适合用来分析技术生命周期。代表性的技术指

标有专利向后引用数量、专利向前引用数量、专利引用中值、技术增长率、技术成熟系数、技术衰老系数等<sup>[15-16]</sup>。

文献计量学的技术演化分析方法有其自身缺陷,比如基于统计量的方法难以进行定性分析,很多技术发展无法反映在出版物和专利中(至少无法及时地反映出来);不同领域和科研机构在申请专利和发布出版物上行为差异很大(有公司会发表大量文献出版物,有的公司从不发表文献)<sup>[47]</sup>;另外,所有的专利分类体系都不可能保证绝对的完备性和可比性,这也使得文献计量学方法的应用受到限制<sup>[48]</sup>。

### 2.3 TRIZ 法

TRIZ 法是由前苏联发明家 G. Altshuller 及其同事在 1946 - 1985 年间发展起来的一套基于逻辑和数据的问题解决方法<sup>[11]</sup>。TRIZ 法的核心思想是技术系统一直处于进化之中,解决技术矛盾和冲突是进化的动力,进化速度随技术系统一般矛盾的解决而降低,使其产生突变的唯一方法是解决阻碍技术系统进化的矛盾和冲突<sup>[49]</sup>。TRIZ 法在大规模专利分析基础上,将产生新工作过程的原理具体化,并提出一系列规则、算法与发明创造原理,形成一套比较完整的创新设计理论。TRIZ 法基本内容包括 9 个方面,它们之间的相互联系如图 1 所示<sup>[50]</sup>:

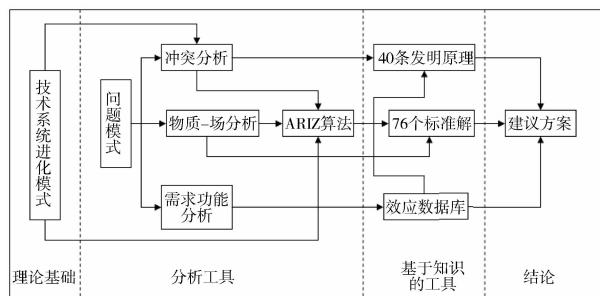


图 1 TRIZ 基本内容及其相互联系<sup>[50]</sup>

TRIZ 法发展早期,其主要应用于机械、电子电气和化学工程领域<sup>[51]</sup>,由于历史原因,TRIZ 法在后来兴起的如信息技术、生物技术等领域发展不足<sup>[49]</sup>。对此,有研究者对 TRIZ 矛盾矩阵进行了修订,将原矩阵中的 39 个工程参数扩充为 48 个<sup>[52]</sup>,将系统演化趋势从 8 种扩充到 35 种<sup>[53]</sup>,同时增加了发明创新原理的数量,把解决物理矛盾的分离原理调整为 4 个,增加了效应库中有关信息和生物技术的内容<sup>[49]</sup>。

20 世纪 80 年代后,TRIZ 法开始向简单易用的方向发展,出现了系统发明思维(SIT)及其变形高级系统发明思维(ASIT)和标准化发明思维(USIT)<sup>[50]</sup>;RLI 公



司提出采用三元分析法(包括主动者、被动者、使动行为)取代传统的物质场分析法。J. Kowalick 指出,采用三元分析法不仅可以更快地解决问题,而且三元分析法可以将一个流程分步骤进行拆解,具有更强的问题解决能力<sup>[54]</sup>。

与此同时,大量计算机技术的应用促进了 TRIZ 自动化程度和效率的提高。H. T. Loh 等<sup>[17,55]</sup>将专利自动划分到 45 个发明原则中;G. Cascini 等<sup>[19]</sup>利用计算机协助识别目标技术系统中的技术冲突;P. -A. Verhaegen<sup>[20]</sup>利用自然语言处理技术抽取专利文献中的形容词,并将其关联到 35 个进化规则上;J. Yoon 等<sup>[21]</sup>利用句子语义相似度比较的方式来识别技术进化趋势和阶段;也有软件公司如 Inventive Machine、IWENT 等推出了 TRIZ 应用软件,为工程技术人员提供了综合分析工具和创新方案库。

#### 2.4 文本挖掘方法(text-mining)

文本挖掘是指从大量、无结构、有噪音的文本信息中发现潜在的数据模式、内在联系、规律、发展趋势等,抽取有效、新颖、可理解的、散布在文本文件中的有价值的信息和知识的过程<sup>[56]</sup>。因对文本信息具有整理、分析、挖掘能力,其很快成为技术演化研究的有效手段。根据是否直接从数据中获取结论,文本挖掘方法可划分为基本分析方法和高级分析方法,

具有代表性的基本分析方法是词频分析法,它通过提取专利项、摘要和标题中的技术关键词,并根据技术关键词的出现频率来反映技术领域的研究状况<sup>[57]</sup>;与此不同,高级分析方法认为,目前缺乏严格的理论来指导基于论文专利数据的科技发展分析,如果假定存在能够区分数据重要程度的潜在变量(也即技术挖掘结构,tech mining construct),将会有助于解释论文专利数据的内在模式,进而开展技术的演化研究<sup>[58]</sup>。A. Porter 等提出 6 个技术挖掘结构(见表 2)。当前,需要研究者开发更多的技术挖掘结构以满足不同的技术分析目的。

高级文本挖掘的分析技术包括词汇映射(term mapping)、聚类分析(clustering techniques)、基于树的技术(tree-based techniques)和网络分析技术等若干大类,在实际研究中往往同时应用多种技术。2004 年 B. Yoon<sup>[34]</sup>等根据技术关键词频率将专利文献转化为关键词向量,通过计算专利文献之间的距离建立专利网络,用以分析技术领域的发展阶段和规律;P. L. Chang<sup>[35]</sup>在此基础上对专利网络进行聚类,来分析每个聚类的特点及重要技术;Y. G. Kim 等<sup>[36]</sup>、方曙等<sup>[33]</sup>

表 2 关键的技术挖掘结构<sup>[58]</sup>

| 结构名称                          | 实证方法                      |
|-------------------------------|---------------------------|
| 名誉(prestige)                  | 引用关系                      |
| 构思的生命周期(life circle of ideas) | 出版物或专利趋势;引用趋势             |
| 不可见学院(invisible colleges)     | 主题内容的重点;方法的重点;作者共现关系和引用模式 |
| 学习(learning)                  | 主题或方法的重点                  |
| 知识结构(structure of knowledge)  | 主题或方法的重点(使用词汇);期刊或会议的流行度  |
| 知识生产(knowledge production)    | 出版物和专利;作者和发明者背景变动         |

依据技术关键词的频次和其在所在专利的申请日绘制出揭示技术主题演变趋势的专利网络图,但在具体实现方案上有所差异。

文本挖掘是一门涉及信息检索、数据挖掘、机器学习、统计和计算机语言学的交叉学科。它起步较晚,作为其支撑技术的自然语言处理目前存在很多挑战<sup>[59]</sup>,从文本中提取不可见知识的实用方法较少,另外研究角度集中于通过信息检索方式,也限制了文本挖掘的发展<sup>[60]</sup>。

#### 2.5 其他方法

形态分析法将研究对象视为一个系统,通过系统分析方法将其分解为相对独立的子系统,子系统所实现的功能成为基本元素,实现各子系统功能的技术手段成为基本形态,通过排列与组织方法可以得到多种可行解,经过删选可从中确定系统的最佳方案<sup>[61]</sup>。最初的形态分析过于依靠专家意见<sup>[62-64]</sup>,为使其更加系统、客观和高效,研究者引入其他方法来协助形态结构定义。B. Yoon 等抽取专利信息中的关键词形成技术词典,在技术词典的基础上借助专家的领域知识定义某一类专利技术的形态结构<sup>[63]</sup>;王吉武等从专利信息中抽取关键词形成共词矩阵并进行因子分析,专家在分析的基础上定义形态结构<sup>[65-66]</sup>。这些方法虽然为专家定义形态结构提供了有力的支持,提高了形态分析的效率,但是对专家知识依然存在很强的依赖。C. Y. Lee 等直接用文本挖掘方法所选择的特征词表示服务与技术的形态<sup>[67]</sup>,S. Cunningham<sup>[68]</sup>提出一套利用 Monte Carlo 模拟法生成层次随机图(hierarchical random graph)的方法进行技术形态分析。从效果上看,这些方法虽然摆脱了形态结构定义对专家的依赖,但是形态结构的准确性受到了一定的影响。

技术路线图目前尚无统一定义,原因是它实践性较强,不同使用者使用技术路线图的侧重点不同,使用的技巧和表现形式也不同<sup>[40]</sup>,两个比较有代表性的定

义如下:R. Galvin 认为技术路线图是针对某一特定领域,集合众人意见对重要变动因素所作的未来的展望<sup>[69]</sup>;WIPO(世界知识产权组织)对技术路线图的定义是:对专利分析全部结果的可视化表达,通过对目标技术领域相关专利信息进行搜集、处理和分析,使复杂多样的专利情报得到方便有效的理解<sup>[70]</sup>。当前绘制技术路线图的主体包括政府机构、产业部门和企业组织,根据各自需求不同,技术路线图的绘制方式、表达形式和功能作用有所侧重,有代表性的技术路线图软件包括微软的 Excel,汤森路透的 TDA 和 Aureka, Search Technology 公司的 VantagePoint 等。

专家调查法是以专家作为索取信息的对象,依靠专家的知识 and 经验,由专家通过调查研究对问题做出判断、评估和预测的一种方法<sup>[71]</sup>。在数据缺乏、非技术因素起主导作用的条件下,利用专家知识和经验是进行技术发展分析和预测的有效途径。最具代表性的专家调查法是德尔菲法,它起源于 20 世纪 50 年代兰德公司一项关于应用专家意见的研究,最初目的是通过一系列密集问卷调查和可控意见反馈,从一组专家中获取最可靠的一致性意见<sup>[72]</sup>。经过 60 年代、70 年代快速发展,德尔菲法现在已经发展成为一个家族,主要成员及特点如表 3 所示:

表 3 德尔菲法家族主要成员及其特点

| 方法名称                            | 特点简述   |
|---------------------------------|--|
| 经典德尔菲法<br>Classic Delphi        | 以向专家组进行多轮询问的方式来采集信息,直到最终获取一致性意见,常用于预测领域发展尤其是科学技术领域的长期变化 <sup>[73]</sup> 。                                  |
| 政策德尔菲法<br>Policy Delphi         | 并不对某一具体情况寻求统一看法,适用于如下场合:焦点并不在于一致性看法本身,而在于替换方案以及对替换方案的正反论证 <sup>[74]</sup> 。                                |
| 决策德尔菲法<br>Decision Delphi       | 具有分散化的组织形式,分析聚焦在与受访小组决策相关的问题上,较适合于更容易受到个人决策而不是普遍规则的影响的领域 <sup>[75]</sup> 。                                 |
| 对话德尔菲法<br>Conversational Delphi | 所提出的面对面交流可以对研究课题的关键意见进行公开讨论;用稳定而非一致性意见作为方法停止的标准,保留了有价值的不同意见;快速反馈不仅节省时间,而且有助于参与者保持思路的连贯性 <sup>[76]</sup> 。  |
| 电子德尔菲法<br>Electronic Delphi     | 目前有应用电子会议系统、群体决策支持系统和计算机仿真等手段。一方面摆脱了时间、空间的限制,实时检查专家组的回应,同时计算机仿真避免了专家组进行危险操作,并分析出无偏见信息 <sup>[74,77]</sup> 。 |
| 模糊德尔菲法<br>Fuzzy Delphi          | 可以对存在于预测议题和受访者提供信息中的模糊性进行处理,同时也可以对专家组中的个人贡献进行解释 <sup>[78]</sup> 。  |

此外,C. Christensen<sup>[37]</sup>等汲取 G. Dosi 的技术范式思想,从企业结构和产品结构的相互依赖关系出发,提出了分析技术发展的价值体系法(value network)。A. Sage 等<sup>[79]</sup>致力于通过分析社会环境和技术行为之间复杂互动关系的 TDS(technology delivery system)框架来研究技术发展。也有人将多种方法结合起来使用,

以达到减小或消除单个方法缺陷的目的。Y. C. Shen<sup>[80]</sup>等中国台湾学者将模糊德尔菲法、层次分析法和专利同被引分析方法结合起来对专利数据进行分析,获得技术情报,帮助技术导向型公司在日趋复杂的技术环境中选择正确的技术。T. Daim 等<sup>[81]</sup>将专利文献计量方法与情景规划、增长曲线、类推法和系统动力学等传统的技术预测工具结合,对新兴技术发展进行分析和预测。

### 3 总结与展望

经过近 70 年的发展,技术演化分析方法目前已经发展成为成为包含众多成员的家族体系。究其原因,除在现代经济社会中地位重要外,技术本身具有广泛性和层次性,其发展的影响因素众多,从而使技术演化研究方法家族跨度较广,涵盖了不同的专业领域,各有侧重。技术演化和技术扩散、技术预见、技术预测等研究领域有所重合,这使邻近领域的研究方法可以作为技术演化分析方法的有益补充。研究者需基于自身的研究目的来选择合适的技术演化研究方法,以便尽可能高效准确地获取结果。

随着时代的进步,技术发展在与社会环境交互中展现出一些新特点,如科技转化速度加快,技术领域之间的交融逐渐深入,技术机构合作网络的作用越来越大,新技术领域不断产生等。伴随而来的新的技术演化影响因素和规律,对现有技术演化研究方法提出了挑战,如目前 TRIZ 法无法用于分析纳米技术的演化<sup>[52]</sup>。为此,研究者一方面需要技术演化理论的进步,来帮助他们更好地理解、把握技术演化的方式和规律,进而推动技术演化研究方法的发展;另一方面,现代技术领域尤其是数据挖掘、社会计算等的迅速发展,在丰富技术演化研究的研究手段的同时,也为之前面临的困难(如新兴技术领域分析缺乏历史数据支持)提供了新的解决思路,需要加以引入并深入研究。

#### 参考文献:

- [1] Ziman J. 技术创新进化论[M]. 孙喜杰,曾国屏,译. 上海:上海科技教育出版社,2002.
- [2] Fleming L. Recombinant uncertainty in technological search[J]. Management Science,2001,47(1):117-132.
- [3] Arthur W B. The nature of technology[M]. New York:Free Press,2011.
- [4] Mowery D, Rosenberg N. The influence of market demand upon innovation:A critical review of some recent empirical studies[J]. Research Policy,1979,8(2):102-153.

- [ 5 ] Chidamber S R, Kon H B. A research retrospective of innovation inception and success; The technology -push, demand -pull question [J]. *International Journal of Technology*, 1994, 9(1) : 94 - 112.
- [ 6 ] Freeman C, Soete L. The economics of industrial innovation [M]. 3rd ed. Abington: Routledge, 1997.
- [ 7 ] Rosenberg N. Exploring the black box: Technology, economics, and history [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.
- [ 8 ] Utterback J M, Abernathy W J. A dynamic model of process and product innovation [J]. *OMEGA*, 1975, 3(6) : 639 - 656.
- [ 9 ] Dosi G. Technological paradigms and technological trajectories [J]. *Research Policy*, 1982, 11(3) : 147 - 162.
- [ 10 ] Zwichky F. Morphological astronomy [EB/OL]. [2012 - 06 - 29]. <http://adsabs.harvard.edu/full/19480bs.68.121z>.
- [ 11 ] Barry K, Domb E, Slocum M S. TRIZ - What is TRIZ? [EB/OL]. [2012 - 06 - 29]. [http://www.triz-journal.com/archives/what\\_is\\_triz/](http://www.triz-journal.com/archives/what_is_triz/).
- [ 12 ] Seidel A. A citation system for patent office [J]. *Journal of the Patent Office Society*, 1949(31) : 554 - 567.
- [ 13 ] Mitchell V W. The Delphi technique: An exposition and application [J]. *Technology Analysis & Strategic Management*, 1991, 3(4) : 333 - 358.
- [ 14 ] 肖卫卫, 顾震宇. 专利地图方法与应用 [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2011.
- [ 15 ] 侯筱蓉. 基于引文路径分析的专利技术演进图研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2008.
- [ 16 ] Haupt R, Kloyer M, Lange M. Patent indicators for the technology life cycle development [J]. *Research Policy*, 2007, 36(3) : 387 - 398.
- [ 17 ] Loh H T, He C, Shen L. Automatic classification of patent documents for TRIZ users [J]. *World Patent Information*, 2006, 28(1) : 6 - 13.
- [ 18 ] Liang Y, Tan R. A text-mining-based patent analysis in product innovative process [C] // Leon-Rovira N. *Trends in Computer Aided Innovation*. Boston: Springer, 2007: 89 - 96.
- [ 19 ] Cascini G, Russo D. Computer-aided analysis of patents and search for TRIZ contradictions [J]. *International Journal of Product Development*, 2007, 4(1/2) : 52 - 67.
- [ 20 ] Verhaegen P -A, D' hondt J, Veltommen J, et al. Relating properties and functions from patents to TRIZ trends [J]. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 2009, 1(3) : 126 - 130.
- [ 21 ] Yoon J, Kim K. An automated method for identifying TRIZ evolution trends from patents [J]. *Expert Systems with Applications*, 2011, 38(12) : 15540 - 15548.
- [ 22 ] Hummon N P, Doreain P. Connectivity in a citation network: The development of DNA theory [J]. *Social Networks*, 1989, 11(1) : 39 - 63.
- [ 23 ] Moge M E, Kolar R G. Patent co-citation analysis of Eli Lilly & Co. patents [J]. *Expert Opinion on Therapeutic Patents*, 1999, 9(3) : 291 - 305.
- [ 24 ] Huang M H, Chiang L Y, Chen D Z, et al. Constructing a patent citation map using bibliographic coupling: A study of Taiwan's high-tech companies [J]. *Scientometrics*, 2003, 58(3) : 489 - 506.
- [ 25 ] von Wartburg I, Teichert T, Rost K. Inventive progress measured by multi-stage patent citation analysis [J]. *Research Policy*, 2005, 34(10) : 1591 - 1607.
- [ 26 ] Martinelli A. An emerging paradigm or just another trajectory? Understanding the nature of technological changes using engineering heuristics in the telecommunications switching industry [J]. *Research Policy*, 2012, 41(2) : 414 - 429.
- [ 27 ] Hsueh C C, Wang C C. The use of social network analysis in knowledge diffusion research from patent data [C] // IEEE Computer Society. 2009 International Conference on Advances in Social Network Analysis and Mining. Los Alamitos: IEEE Computer Society, 2009: 393 - 398.
- [ 28 ] Verspagen B. 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.
- [ 29 ] Mina A, Ramlogan R, Tampubolon G, et al. Mapping evolutionary trajectories: Applications to the growth and transformation of medical knowledge [J]. *Research Policy*, 2007, 36(5) : 789 - 806.
- [ 30 ] Choi C, Park Y. Monitoring the organic structure of technology based on the patent development paths [J]. *Technological Forecasting & Social Change*, 2009, 76(6) : 754 - 768.
- [ 31 ] Su H N, Lee P C. Dynamic and quantitative exploration on technology evolution mechanism: The case of electrical conducting polymer anocomposite [C] // Kocaoglu D F, Anderson T R, Daim T U, et al. *Portland International Conference on Management of Engineering & Technology 2009*. Piscataway: IEEE, 2009: 2433 - 2440.
- [ 32 ] Batagelj V, Kejzar N, Korenjak-Cerne S, et al. Analyzing the structure of U. S. patents network [C] // Batagelj V, Bock H H, Ferligoj A, et al. *Data Science and Classification (Studies in Classification, Data Analysis, and Knowledge Organization)*. Berlin: Springer, 141 - 148.
- [ 33 ] 方曙, 胡正银, 庞弘燊, 等. 基于专利文献的技术演化分析方法研究 [J]. *图书情报工作*, 2011, 55(22) : 42 - 46.
- [ 34 ] Yoon B. A text-mining-based patent network: Analytical tool for high-technology trend [J]. *The Journal of High Technology Management Research*, 2004, 15(1) : 37 - 50.
- [ 35 ] Chang P L, Wu C C, Leu H J. Using patent analysis to monitor the technological trends in an emerging field of technology: A case of carbon nanotube field emission display [J]. *Scientometrics*, 2010, 82(1) : 5 - 19.
- [ 36 ] Kim Y G, Suh J H, Park S C. Visualization of patent analysis for emerging technology [J]. *Expert System with Application*, 2008, 34(3) : 1804 - 1812.
- [ 37 ] Christensen C. 创新者的窘境 [M]. 胡建桥, 译. 北京: 中信出版社, 2010.
- [ 38 ] Porter A L, Roper A T, Mason T W, et al. Forecasting and man-

- agement of technology[M]. 2nd ed. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2011.
- [39] 王崇德. 文献计量学引论[M]. 桂林: 广西师范大学出版社, 1997.
- [40] 黄鲁成, 李欣, 吴菲菲. 技术未来分析理论方法与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [41] 胡利勇, 陈定权. 引文分析可视化研究[J]. 情报杂志, 2004(11): 78-81.
- [42] Narin F. Patent bibliometrics[J]. *Scientometrics*, 1994, 30(1): 147-155.
- [43] Jaffe A, Trajtenberg M. International knowledge flows: Evidence from patent citations[J]. *Economics of Innovation and New Technology*, 1999, 8(1): 105-136.
- [44] Wu H C, Chen H Y, Lee K Y. Unveiling the core technology structure for companies through patent information[J]. *Technological Forecasting & Social Change*, 2010, 77(7): 1167-1178.
- [45] Suzuki J, Kodama F. Technological diversity of persistent innovators in Japan: Two case studies of large Japanese firms[J]. *Research Policy*, 2004, 33(3): 531-549.
- [46] Suzuki K, Sakata J, Hosoya J. An empirical analysis on progress of technology fusion[C]//IEEE. Third International Conference on Digital Information Management (ICDIM 2008). Piscataway: IEEE Xplore, 2008: 937-939.
- [47] Watts R, Porter A. Innovation forecasting[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 1997, 56(1): 25-47.
- [48] Narin F, Olivastro D, Stevens K A. Bibliometrics/Theory, practice and problems[J]. *Evaluation Reviews*, 1994, 18(1): 65-76.
- [49] 沈世德. TRIZ 法简明教程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [50] 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.
- [51] Nakagawa T. Creative problem-solving methodologies TRIZ/USIT: Overview of my 14 years in research, education, and promotion[EB/OL]. [2012-06-29]. <http://www.aitriz.org/articles/TRIZFeatures/4E616B61676177612D30343132.pdf>.
- [52] Mann D. Updating TRIZ: 2006-2008 patent research findings[EB/OL]. [2012-06-11]. <http://www.triz-journal.com/archives/2009/01/02/>.
- [53] Mann D, Dewulf S. Updating TRIZ: 1985-2002 patent research findings[EB/OL]. [2012-06-11]. <http://www.systematic-innovation.com/Articles/02,%202003,%202004/Dec02-Updating%20TRIZ-%201985-2002%20Patent%20Research%20Findings.pdf>.
- [54] Kowalick J. TRIADS: Their relationship to TRIZ - Elaboration on the use of triads and TRIZ to solve impossible problems and create next-generation, breakthrough designs[EB/OL]. [2012-06-07]. <http://www.triz-journal.com/archives/1998/06/a/index.htm>.
- [55] He C, Loh H T. Grouping of TRIZ inventive principles to facilitate automatic patent classification. *Expert Systems with Applications*, 2008, 34(1): 788-795.
- [56] Feldman R, Sanger J. The text mining handbook: Advanced approaches in analyzing unstructured data[M]. London: Cambridge University Press, 2007.
- [57] 肖国华, 郭捷婷. 专利分析方法研究[J]. 情报杂志, 2008(1): 12-15.
- [58] Porter A, Cunningham S. Tech mining: Exploiting new technologies for competitive advantage[M]. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2005.
- [59] 宗成庆. 统计自然语言处理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008.
- [60] Gupta V. A survey of text mining techniques and applications[J]. *Journal of Emerging Technologies in Web Intelligence*, 2009, 1(1): 60-76.
- [61] Ayres R. Technological forecasting and long range planning[M]. New York: McGraw-Hill, Inc., 1969.
- [62] Ritchey T, Stenstrom M, Eriksson H. Using morphological analysis to evaluate preparedness for accidents involving hazardous materials[EB/OL]. [2012-06-29] <http://www.swemorph.com/pdf/gma.pdf>.
- [63] Yoon B, Park Y. Morphology analysis approach for technology forecasting[J]. *IEEE Transaction on Engineering Management*, 2007, 54(3): 588-599.
- [64] 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.
- [65] 王吉武, 黄鲁成, 卢文光. 基于形态分析和联合分析方法的技术机会评价实证研究[J]. *上海经济研究*, 2008(5): 66-72.
- [66] Huang Lucheng, Li Jiang. Empirical research on technology share based on hybrid approach for morphology analysis and conjoint analysis of patent information[C]//Al-Dabass D, Orsoni A, Brentnall A, et al. 11th International Conference on Computer Modelling and Simulation 2009. Los Alamitos: IEEE Computer Society: 293-298.
- [67] Lee C Y, Seol H, Park Y. Identifying new IT-based service concepts based on the technological strength: A text mining and morphology analysis approach[C]//Lei Jingsheng, Yu Jian, Zhou Shuigeng, et al. Fourth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery. Los Alamitos: IEEE Computer Society, 2007: 36-40.
- [68] Cunningham S W. Analysis for radical design[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2009, 76(9): 1138-1149.
- [69] Galvin R. Science roadmaps. *Science*, 1998, 280(8): 803.
- [70] WIPS Co. Ltd, Patent map (PM)[EB/OL]. [2012-06-10]. [http://www.wipo.int/edocs/mdocs/sme/en/wipo\\_ip\\_bis\\_ge\\_03/wipo\\_ip\\_bis\\_ge\\_03\\_16-annex1.pdf](http://www.wipo.int/edocs/mdocs/sme/en/wipo_ip_bis_ge_03/wipo_ip_bis_ge_03_16-annex1.pdf).
- [71] 包昌火. 情报研究方法论[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1990.
- [72] Linstone H, Turoff M. The Delphi method techniques and application[M]. Boston: Addison Wesley Publishing Company, 2002.



- [73] Keeney S, Hasson F, McKenna H. Consulting the oracle: Ten lessons from using the Delphi technique in nursing research[J]. *Methodological Journal of Advanced Nursing*, 2006, 53(2): 205 - 212.
- [74] Mitchell V. The Delphi technique: An exposition an application [J]. *Technology Analysis & Strategic Management*, 1991, 3(4): 333 - 358.
- [75] Tichy G. The decision Delphi as a tool of technology policy - The Austrian experience[J]. *International Journal of Technology Management*, 2001, 21(7/8): 756 - 766.
- [76] Nelms K, Porter A. EFTE: An interactive Delphi method[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 1985, 28(1): 43 - 61.
- [77] Winter G, Gunjal K. Computerized Delphi: An application to quota value determination in the Quebec dairy industry[J]. *Canadian Journal of Agricultural Economics/Revue canadienne d'agroeconomie*, 1986, 34(3): 417 - 431.
- [78] Chang P T, Huang L C, Lin H J. The fuzzy Delphi method via fuzzy statistics and membership function fitting and an application to the human resources[J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 2000, 112(3): 511 - 520.
- [79] Sage A P, Armstrong J E. *Introduction to systems engineering*[M]. New York: Wiley-Interscience, 2000.
- [80] Shen Y C, Chang S H, Lin G T R. A hybrid selection model for emerging technology [J]. *Technological Forecasting & Social Change*, 2010, 77(1): 151 - 166.
- [81] Daim T, Rueda G, Martin H, et al. Forecasting emerging technologies: Use of bibliometrics and patent analysis [J]. *Technological Forecasting & Social Change*, 2006, 73(8): 981 - 1012.

[作者简介] 陈亮,男,1982年生,博士研究生。

张志强,男,1964年生,研究员,副馆长,兰州分馆馆长,博士,博士生导师,发表论文260余篇。

(上接第103页)

- [17] 华迎. 网站可用性测试设计[EB/OL]. [2012-04-25]. <http://www.51testing.com/html/52/n-191052-3.html>.
- [18] Tullis T, Albert B. 用户体验度量[M]. 周荣刚,等译. 北京:机械工业出版社,2009:164,75.
- [19] Sauro J, Kindlund E. Using a single usability metric (SUM) to compare the usability of competing products[C] //Stephanidis C. *Proceedings of the Human Computer Interaction International Conference. Las Vegas: Mira Digital Publishing*, 2005:55 - 64.
- [20] Sauro J, Kindlund E. How long should a task take? Identifying specification limits for task times in usability tests [C] //Stephanidis C. *Proceedings of the Human Computer Interaction International Conference. Las Vegas: Mira Digital Publishing*, 2005:64 - 69.

[作者简介] 董玮,女,1985年生,硕士研究生。

詹庆东,男,1969年生,副研究馆员,硕士生导师,发表论文20余篇。

(上接第125页)

发生的浏览兴趣转移进行预判断的不足,通过调整挖掘阈值,能任意地扩充或缩减用户的潜在知识需求网。笔者通过实验分析,发现支持度阈值的设置区间在30% - 41%之间,置信度的阈值设置在45% - 58%之间推送结果较为理想。要想更为精准地完成挖掘阈值的设置,还需要在实践中进一步地探寻、论证。

#### 参考文献:

- [1] 黄艳娟. 基于RSS的图书馆个性化信息推送服务[J]. *情报科学*, 2006(7): 1023 - 1026.
- [2] 甘特尔, 威尔. 形式概念分析[M]. 马垣, 张学东, 译. 北京: 科学出版社, 2007: 1 - 9.
- [3] Cole R, Eklund P. Document retrieval for E-mail search and discovery using formal concept analysis[J]. *Applied Artificial Intelligence*, 2003(17): 257 - 280.
- [4] 黄微, 高俊峰. 基于概念格的Web学术信息搜索结果的二次组织[J]. *现代图书情报技术*, 2010(5): 8 - 12.
- [5] 滕广青, 毕强. 基于概念格的数字图书馆用户用法细分——数字图书馆用户使用方法的关联规则挖掘[J]. *现代图书情报技术*, 2010(5): 8 - 12.
- [6] 高俊峰. 基于形式概念分析的开放存取资源组织方法研究[D]. 长春: 吉林大学管理学院, 2011.
- [7] Bastide P Y, Taoul R, Lakhil L. Discovering frequent closed item sets for association rules[C] // *Proceedings of 7th International Conference Database Theory (ICDT99)*. Jerusalem: Springer-Verlag, 1999: 398 - 416.
- [8] 吴振兴. RSS元数据在门户网站建设中的应用[J]. *现代图书情报技术*, 2004(10): 60 - 64.

[作者简介] 高俊峰,男,1987年生,助理馆员,发表论文3篇。

王淑梅,女,1968年生,馆员,发表论文6篇。