

国外技术预测理论与实践进展*

何然¹, 李钢²

(1. 美国北卡罗来纳大学教堂山分校 经济系, 纽约州 克林顿市 17764; 2. 中国社会科学院 工业经济研究所, 北京 100732)

摘要: 对技术发展趋势和新兴技术的潜力进行系统性预测是国际上技术经济领域备受关注的研究课题。对国外近年来技术预测领域的相关研究成果和所使用的技术预测方法进行回顾,将主流技术预测方法划分为模型化方法、统计和数据挖掘方法以及描述性方法三类,对各类方法的优点和局限加以梳理,并总结现有文献对不同方法的比较研究。

关键词: 技术预测; 增长曲线; 数据挖掘; 专利分析; 技术路线图

中图分类号: F 403.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-0823(2015)02-0097-012

技术预测(Technology Forecasting, TF),有时也称为未来导向的技术分析(Future-Oriented Technology Analysis),是对潜在技术的特点和产生时间进行预测的一类方法^[1],可用于对技术的状态、参数及其变化趋势进行预测^[2]。技术预测试图从现有信息中发现未来技术的发展趋势^[3],得出符合一定逻辑的、量化的对于技术参数、特性和功能变化程度及时间的估计^[2]。技术预测正逐渐成为影响产业和技术发展方向的一个重要的驱动因素,已经被许多公司用于制定企业技术研发策略^[4],也被政府用于制定相关技术和产业政策^[5]。然而对技术的未来走向进行预测是一项复杂的工作,这样的预测需要将社会科学和自然科学的知识相结合^[6],既需要预测者对科学的预测方法有透彻的把握,也要求其对相关技术领域有一定的了解^[3]。对技术预测方法的研究大致开始于二十世纪上半叶,如今许多常用的技术预测手段都可以追溯到二十世纪五六十年代,在冷战背景下,它们的诞生很大程度是受到政府的影响^{[7][51]}。

在技术预测方法的分类上,许多文献综述只是将不同方法罗列出来^[8-9]。一些学者简单地将其划分为数量型方法和判断型方法^[1],还有一些学者^{[10][20-30]}将其划分为判断型或经验性方法、趋势外推方法、模型方法、场景测试和模拟方法、其它方法等五类。也有学者^[11]将所有方法分为九大类,包括:专家意见、趋势分析、监测及智能方

法、统计方法、模型和模拟方法、场景测试、决策方法、描述性及矩阵方法、创新方法等。目前学界并没有一个权威的技术预测分类。在本文中,笔者根据不同方法的技术特点和预测结果特点将其分为三大类加以描述,分别为模型化方法、统计和数据挖掘方法、描述性方法。

除了对不同方法进行划分,由于技术预测在不同机构、不同预测目的、不同框架下没有统一的名称,所以有必要对相关名词进行明确解释归类。2003年以来,一项名为“未来技术预测方法工作组”(Technology Futures Analysis Methods Working Group, TFAMWG)的项目^[12]致力于在未来技术预测领域构建一个统一的框架,他们对众多与技术预测相关的名词进行了归类,具体如下:

技术检测、技术观望、技术警戒等属于同义词,重点都在收集和解释信息的过程。技术知识和竞争性知识属于同义词,主要指将收集到的技术信息转变为可以理解的知识。技术预测主要预测未来技术的方向和变化。技术路线重点则在制定计划,以使目前产品和未来所预测的技术趋势相衔接。技术评估以及各种形式的影响评估,如战略性环境评估等是同义,主要是对技术变化所带来的无法预料的、间接的、滞后的效应进行预测技术前瞻。国家及地区前瞻重点关注发展策略以及如何推进某一技术。需要注意的是以上这些名词所代表的过程有时使用相同的方法,其目的也

收稿日期: 2014-10-02

基金项目: 国家软科学研究计划重大项目(2013GXS6B213)。

作者简介: 何然(1990-),男,云南昆明人,美国北卡罗来纳大学教堂山分校经济系硕士生,主要从事产业经济学等方面的研究; 李钢(1973-),男,贵州思南人,研究员,《中国经济学人》编辑部主任,主要从事产业经济学等方面的研究。

* 本文已于2014-11-27 09:37 在中国知网优先数字出版。网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/21.1558.C.20141205.1039.001.html>

或多或少有所重合,但是在政府的技术预测和企业的技术预测中往往以不同名称出现^[13]。

一、模型化方法

(一) 常见的技术进步预测模型

1. 间断平衡模型

间断平衡(Punctuated Equilibrium)是一个演化生物学理论。此理论认为有性生殖的物种可在某一段时间中经历相对传统观念而言较为快速的物种形成过程,之后又经历一段长时间无太大变化的时期。一些学者将这一理论延伸至社会组织的变迁以及技术进步的模式等社会科学领域。Abernathy 和 Utterback 在其经典文章《产业创新的模式》^[14]中对颠覆性创新和演化性创新作出了区分,提出演化性创新的特点是持续的微小创新,伴随生产规模扩大,专业化程度和标准化程度的提高和边际成本的下降使得行业逐渐失去灵活性,越来越依靠规模经济来弥补固定成本,因而面对需求变化和技术淘汰变得愈加脆弱。颠覆性创新则集中地带来品种繁多的、具有全新功能和特性的新产品。他们通过对飞行器、汽车、半导体、电灯泡等行业技术创新模式的归纳分析发现:在成熟产业内的技术进步往往限于积累性的产品和技术,剧烈的技术创新往往是由外部因素导致的,如小公司的创立、其它行业大公司涉足新行业、政府补贴的变动、产业规制的变动等。颠覆性创新发生后,往往开辟出新的产业及其主导产品,与市场需求的磨合使产品的定义和功能逐渐清晰,之后该行业就进入演化性创新阶段,直到新产品再次带来颠覆性创新。在两次颠覆性创新之间是所

谓的间断平衡阶段。Connie J. G. Gersick^[15]对平衡阶段作出的描述是:系统在平衡阶段也会针对一些内在或外在的波动进行微小的调整,但是不会改变其深层次结构。一个经典例子是花旗银行后台面对日益增加的纸面工作,在十年间只是不断增加雇员数量,直到70年代 John Reed 彻底革新了后台运行模式,并大力推广了自动取款机^[16]。Jonathan Grudin^[17]指出,如同生物的进化一样,小的变异在不断涌现,只是在技术领域这样的变异并不是随机的,在平衡阶段,产品内部的零件越来越小,成本越来越低,性能越来越好。以个人电脑为例,20世纪80年代,电脑主机内部从挤满了电路板进步到电路只占机箱空间的很小一部分,1984—1987年,苹果的 Macintosh 电脑空间从128 KB 增加到512 KB 又增加至1 MB,处理速度从8 MHz 增加到16 MHz。这些变化虽然只是量的变化,但却使得 Macintosh 电脑从1984年一个失败的商业化产品于1987年摇身一变成为史无前例的成功商品,因为到1987年时,其硬件平台已经优化到可以支持图形处理和一系列1985年出现的新产品的运行,如激光打印机、Aldus Pagemaker、微软 Word 和 Excel 处理软件等。Jonathan Grudin 对计算机硬件平台和人机交互领域的技术进步进行了分析,发现尽管摩尔定律以及其它一些指数增长模型都在连续地发生作用,但是新型芯片每隔几年就会出现,而剧烈的技术进步每十年发生一次(见图1^[17])。在新的主导产品出现之前,一种技术或产品可能在不断地积累着变异,直到有足够的性能以及足够完善的周边产业使得新的主导产品出现。

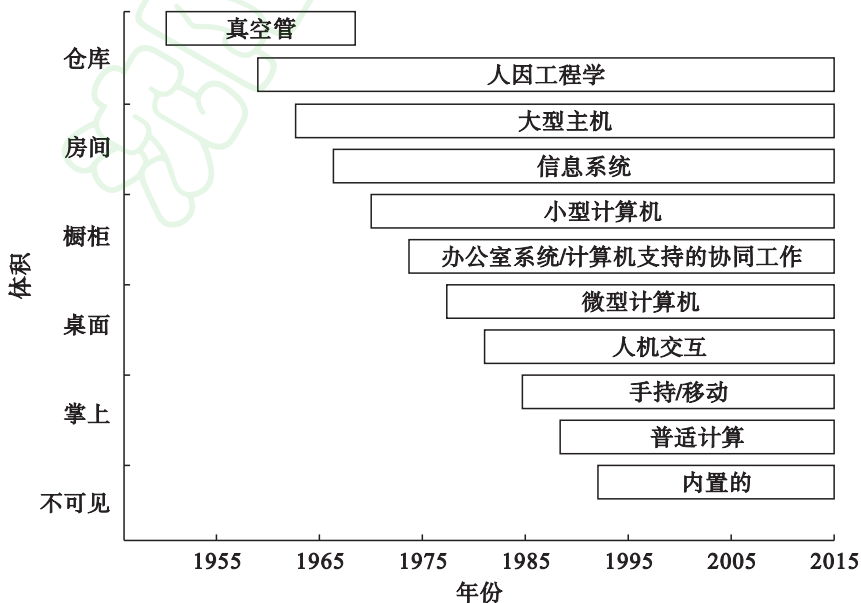


图1 20世纪50年代以来硬件平台及主要人机交互部件研发领域的变迁

间断平衡模型给出了一种技术进步预测的范式,大体上描述了技术演化的基本模式,并且大多数相关研究都认为外在因素的破坏和内部条件达到某一临界值同时发生时,平衡就会被打破^[15]。该模型可以对以往的技术进步作出解释,但是很难作出精确的预测。另外有文章^[18]指出,能源产业和信息产业的技术参数如传输速度、传输效率等在过去 250 年间并未体现出“间断平衡”的特点,而是持续不断地提升,并强调“间断平衡”是一个在广义上对技术进步所带来的间断性的经济和社会结构剧烈变动的一种抽象,而非对技术进步本身的描述。

2. Logistic 增长曲线

在技术进步的定量预测方面^[19],20 世纪末许多研究者^[20-25]通过对大量行业历史数据的拟合,发现 logistic 模型对技术进步乃至个人和集体行为等方面的预测效果较好。这类曲线的特点是呈“S”型,一开始呈指数增长,然后增长率趋缓,并逐渐贴近最大值。

经典的逻辑曲线表达式为

$$P(t) = K / (1 + \exp\{-\alpha(t - \beta)\}) \quad (1)$$

式中: K 为曲线的渐近最大值; α 为增长率的变化率; β 为曲线的拐点。

Fisher-Pry^[26]利用式(2)将逻辑曲线进行了线性化,即

$$P'(t) = F(t) / (1 - F(t)) \quad (2)$$

式中, $F(t) = P(t) / K$,于是有

$$\log[P'(t)] = \alpha(t - \beta) \quad (3)$$

图 2^[27]给出了经过 Fisher-Pry 变形的海上超大油轮数量的增长变化。

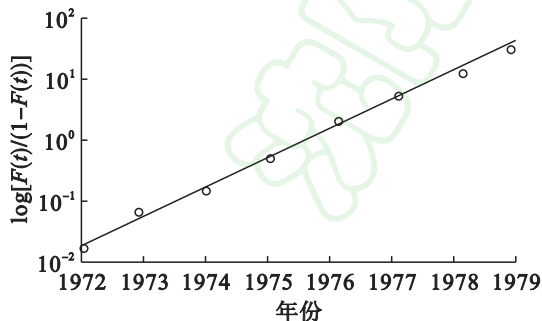


图 2 海上超大油轮数量的增长

逻辑曲线及类似的“S 形曲线”不仅可以用于预测具体参数随时间的变动,还可以用来描述新技术对旧技术的替代过程。Fisher 和 Pry^[26]分析了历史上百余次技术替代案例,发现了新旧技术的替代大体遵循 Logistic 替代模式,经过 Fisher-Pry 变形后可以方便地拟合为线性模型。图 3^[27]

展示了新旧技术间典型的替代模式,图 4^[27]展示了人类不同出行方式间的替代模式。

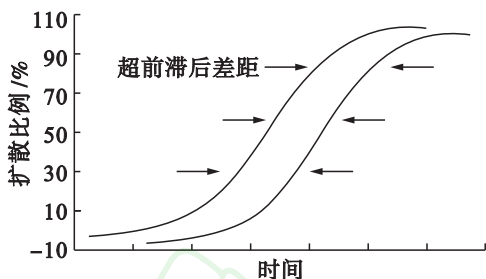


图 3 新旧技术间典型的替代模式

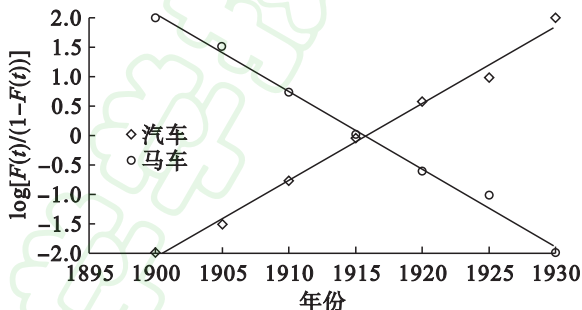


图 4 20 世纪上半叶马匹与汽车之间的替代模式

这类“S”曲线模型有许多变形,如 Gompertz 模型^[28]和描述新产品需求量与时间关系的 Bass 模型^[29]等。

3. 摩尔定律

Gordon E. Moore^[30]首次提出摩尔定律,即芯片上的集成电路密度每年会翻一番,后来他将其调整为每两年翻一番,并称这一指数递增规律可以延伸到整个半导体产业,且适用于体积、单位成本、密度、速度等一系列技术参数。过去几十年间,微处理器、动态随机存取存储器(DRAM)等技术似乎也在按照摩尔定律所预测的规律演进^[31-32]。还有些研究者发现这一规律也适用于生物技术、纳米技术和基因技术等^[33-34]。除经典的摩尔定律外,还有一些变形过的指数增长模型,如 Wright 模型^[35],Goddard 模型^[36],SKC 模型^[37]等。

在进行技术预测时,可以通过历史数据估计模型中的参数,然后对未来走势进行趋势外推。这也是许多文章中的预测模型所使用的方法^[8]。

(二) 模拟方法

随着计算机模拟技术的进步,一些研究者开始运用软件对基于微观主体的模型(Multi-agent-based Models)进行模拟,期望发现微观主体间决策互动所引发的技术变迁规律。运用主体模型,研究者在虚拟环境中模拟大量按照特定规则互动的主体,并对整个系统状态的变化进行观察。这些主体遵照不同的行动规则进行决策,它们所存

在的环境也可以按照给定的规则变化。Juneseuk Shin 和 Yongtae Park^[38]指出这类方法可以较好地描述技术演化过程中主体间非线性的互动;同时,模拟方法不像传统模型外推方法那样给出一个确定的预测结果,而是给出一个不同结果的概率分布。这是因为这类方法所模拟的是复杂系统,该系统在很简单的规则指导下会产生很复杂的变化。如 Theodore J. Gordon^[39]所述,模拟方法具有一些共同的特点,包括:(1) 尽管方程或者行动规则很简单,输出结果却往往很复杂;(2) 尽管已知方程或者行动规则,却难以预测某一时刻主题的状态;(3) 对于初始条件极其敏感;(4) 在看似随机的行为中出现自组织现象。

模拟方法中基于微观主体的模型大体有两类:多主体模型和元胞自动机。Gordon^[39]利用多主体模型在计算机上模拟出了一种传染病在人群中的传播过程,他提出这一模型可以用于模拟任何具有人际传播特点的过程,比如疾病、思想或者市场行为、技术扩散。Joanne G. Phillips 等^[40]指出 Gordon 的模型可以拓展并用于模拟可持续能源技术的发展,可以将每一种能源技术视作一个主体,如清洁煤炭技术、潮汐技术、太阳能技术等。每一种技术有其自身特点,比如清洁煤炭技术不容易被大众所接受,太阳能技术则比较容易,潮汐技术居中,然后在其所处空间按照一定分布安排专家、大众和政府,当不同技术遇上不同人群时,会产生不同的传播效果。Juneseuk Shin、Yongtae Park^[38]设计了一个由布朗主体构成的模型,用以模拟在位的或潜在的技术开发者,以软件技术为技术空间,主体根据投资回报率等信息选择是否开发某一项技术,他们指出文中的模拟结果与韩国软件产业的真实分布很吻合,但是没有进行有效的统计检验。

元胞自动机模型可以看作是一个二维的单元列阵,一些单元开始是“活的”,另一些是“死的”,有事先制定好的规则根据周围单元的状态来决定每一个单元在下一回合的状态^[41]。Bhargava 等^[42]设计了一种元胞自动机模型,在初始回合,一些单元是某一技术的采用者,另一些单元是这项技术的潜在采用者,每一单元下一回合采用该技术与否根据一定的概率分布进行变化,模拟结果显示采用某一技术的单元数量随时间推移呈“S”型曲线变化。Joseph P. Martino^[42]认为可以向该模型中引进“创新”元素,以更好地模拟现实。Goldenberg 等^[43]通过随机元胞自动机模型对研发主体间的互动进行了模拟,发现由于在短

期内发现新兴需求的概率波动性很大,如果根据市场调查来发现潜在新兴需求并开始研发相应技术,能够成为该产业“领头羊”的概率很小。

基于主体的模型所面临的主要问题是:为了得到贴近现实的结果,模型需要什么达到何种程度的细节,是很难判断的;另外,互动个体的特征有时很难定义^[40]。

模拟的方法还包括复杂适应性系统模型(Complex Adaptive System Modeling)、系统模拟(System Simulation)等^[13]。

二、统计和数据挖掘方法

1. 文献计量、科学计量、专利分析

信息技术和信息科学的发展为技术预测提供了许多日益受到重视的预测工具,其中比较常用的是科学计量方法(Scientometrics)和文献计量方法(Bibliometrics),这类工具以往被运用于信息科学领域,用以识别技术网络。如今,这两种方法结合了机器学习、统计分析以及建模方法和数据库技术,被尝试运用于发现大量数据之间的细微联系以及指引未来趋势的潜在规律^[44]。正如 Porter, Cunningham^[45]所指出的,社会科学家早在几十年前就已开始使用内容分析(Content Analysis)的方法。统计技术文献数量以预测技术走向的做法至少可以追溯到1965年 Derek de Solla Price^[46]的文章。随着电子文本资源日益丰富,内容分析法发展成为文本挖掘的方法,数据挖掘要求从大量数据中提取有用信息,而文本挖掘则从文本数据中提取信息。文献计量分析最主要的优点是可以摆脱专家咨询所带来的系统性主观偏见,使得人们得以发现一些原本由于知识局限或视角偏颇所难以发现的规律。

在文献计量具体的应用上, Marcio de Miranda Santo^[44]等利用美国 Web of Science(WOS)的学术文献数据对纳米技术领域进行分析。他们通过分析47个纳米领域子技术文献的数量从1994年到2004年的变化,并横向比较不同国家之间的文献数量,根据其使用“文本挖掘”方法对WOS数据的分析,计算出了各国技术研发的大致速度,发现巴西纳米技术相关文献的数量及增长速度大大低于其他处于世界领先水平的国家,所以巴西的研发策略应是“差别化”,建议巴西政府在纳米领域实施差别化政策以最大化利用巴西的比较优势。由于该文是一篇方法导向的文章,选取纳米技术也是因为数据原因,所以未跟踪到巴西政府针对其建议所采取的相应政策。在过去十年间,

各国学者们对基本的文本挖掘方法展开了诸多改进和创新,以适应技术预测的需求,而非仅仅对过去技术发展的轨迹进行粗糙的描述。文本挖掘用于技术预测时主要使用的是各国的专利文件数据,因此这类方法又称为专利分析(Patent Analysis)。近年来,随着创新过程日益复杂,创新周期日渐缩短,市场需求波动性增加,专利分析在高新技术管理领域受到越来越多的重视^[47]。

Sungjoo Lee 等^[48]设计了一套基于专利地图的方法用于识别未来可能出现较大发展空间的技术领域。他们首先运用文本挖掘的方法将专利文件整理为具有规整结构的数据库以便于识别出一系列关键词向量。接着他们利用主成分分析方法减少关键词向量的数量,以便将之对应于二维的专利地图。然后地图上大面积低密度的空白部分便是潜在的“技术空位”,这些空位经过专业的技术分析以及一些技术趋势指标的筛选后便可以得出有意义的潜在技术领域。他们将这一方法运用于对个人掌上电脑(PDA)技术的分析。从美国专利商标局(USPTO)的数据库收集了141份与PDA相关的专利文件,提取出了39个关键词,如“数据”、“操作”、“内存”等,他们建议使用“机器加专家决策”的方法提取关键词,首先利用专业文本挖掘(Text Mining)软件或者依据词语出现频率初步确定每份文件的关键词,然后请专家从初选词中选取最终采用的关键词;将专利文件转化为141个39维的关键词向量,每个关键词向量在对应的关键词处的取值即为该专利文件中该关键词出现的频数。同时通过主成分分析(Principal Component Analysis)的方法将141个39维向量转化为141个2维向量表示在一个二维坐标系中,压缩后的维度只能根据每个维度的载荷来大致判断其含义。通过连接每项专利在二维图中所对应的点的方法初步找出6个“技术空位”(见图5^[48]),每个空位的定义依赖于周边专利技术,这里“空位”的实际意义可能比较模糊,不过最终目的是要寻找“空位”周边有哪些技术,只要能得到“空位”周边的“点”及其所对应的技术,就达到了作者的目的。Sungjoo Lee 等建议咨询技术专家来决定哪些周边技术更有价值,然后通过分析该空位周边已存在的专利的特点以及关键词出现频率的趋势分析的方法对每个空位进行有效性排序,并选择出有效性较高的空位作为潜在技术领域。作者指出,定义空位和怎样理解空位是这一方法的最大局限所在。该方法只能指出某一些技术周边领域比较“空”,建议有针对性地

拓展“空位”周边的技术,但这一方法并不能直接指出那些“空位”具体是什么样的技术。

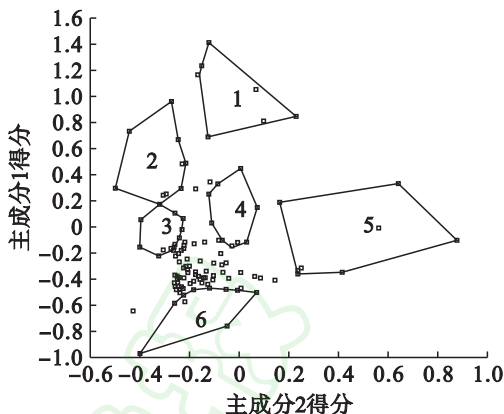


图5 个人掌上电脑(PDA)技术的二维专利地图

Sunghae Jun 等^[49]利用类似的专利地图和K维聚类分析(KM-SVC)对美国、欧盟和中国的技术管理领域(Management of Technology, MOT)的潜在技术进行了预测,发现美国和欧盟的“技术空位”出现在“移动通信技术管理”领域,而中国的“技术空位”出现在“半导体技术管理”领域。他们利用2006年以前的数据对2007年之后的技术趋势进行了预测,发现2007—2010年间他们所关注的技术领域内的专利文件数量急剧增加,所以他们认为其方法在一定程度上是有效的。

Charles V. Trappey^[50]等对我国的射频识别(Radio Frequency Identification, RFID)相关技术的发展趋势进行了预测。他们对从中华人民共和国知识产权局(SIPO)收集到的1389份1995—2008年的专利应用数据按照41个关键词进行聚类分析,分为6大类,并按照逻辑曲线进行拟合,估计出每一类技术目前所处的发展阶段。结果显示:被解释为射频识别无线通信设备的一类技术已经进入了饱和阶段,因此具有有限的发展潜力;“射频识别概念和基础应用”、“射频识别架构”、“射频识别追踪”、“射频识别传输”四大类技术已经进入了成熟阶段;而“射频识别频率和波段”技术看起来正处于初期成长阶段,这说明国内的相关领域研究似乎正集中于提升“射频识别频率和波段”的相关技术领域,因此在这方面的研究将具有较大的潜在价值。

另一方面,许多学者利用文本挖掘和网络分析相结合的手段对专利数据进行分析,开辟了许多新的技术预测方法。复杂网络在过去十年间日益受到关注,其在创新网络中的应用为理解创新路径提供了一种新的视角^[51]。Byungun Yoon^[47]等对基于网络的专利分析方法进行了较为清晰的梳理。首先,从数据库中获得所感兴趣领域的专

利数据,并通过专业文本挖掘软件提取出专利文件的关键词,将所获得的文本数据转变为便于统计处理的向量型数据。然后利用计算机将这些向量以专利网的方法表示出来,其中专利就是网络中的节点,专利间的关系由连接节点的线表示。之后可以借由一些量化的指标对专利网进行深度分析并得出可以指导决策的量化信息。在确定两个专利间是否相关时,首先利用式(4)计算出两项专利间的关联值(Association Value):

$$A_{ij} = \sqrt{\sum_{s=1}^k (n_{is} - n_{js})^2 / k} \quad (4)$$

式中, n_{is} 为第*i*份专利文件中关键词*s*的出现频率。当两项专利间的关联度超过某一经验值时,便视为两项专利相关,于是关联矩阵的对应元素取值为1,否则为0。以此为基础,Byungun Yoon等利用Ucinet 5和Krackplot 3.0软件绘制了韩国波分复用领域(Wavelength Division Multiplexing, WDM)相关技术的专利网络(见图6^[52])。

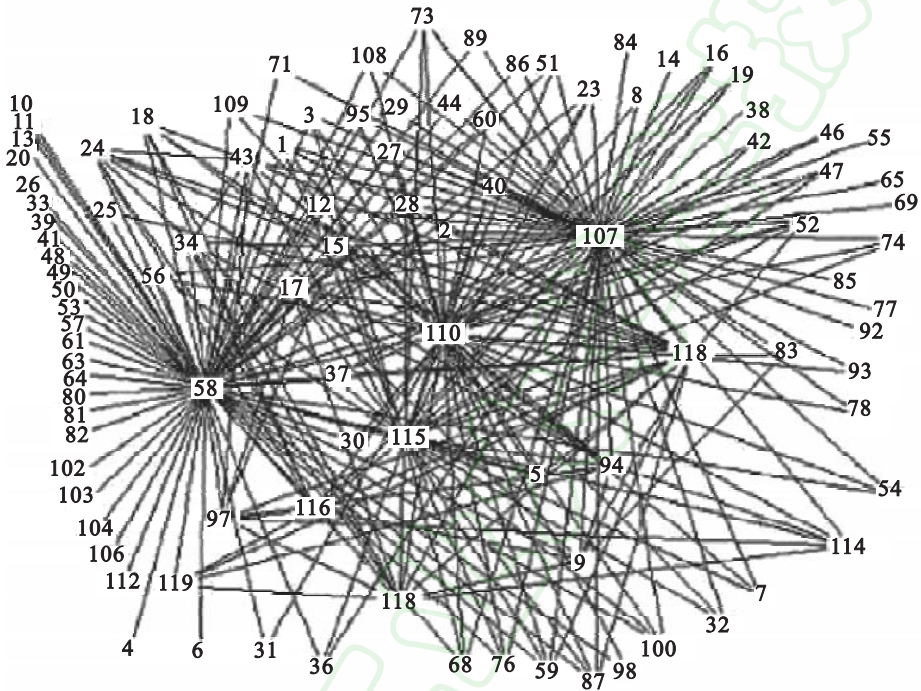


图6 Byungun Yoon等绘制的WDM技术领域的专利网络

注:图中数字为专利编号。

之后他们根据每个节点的关联数和关联节点的参数设计出两个指标分别衡量专利的中心度和技术所处的阶段,根据这两种指数对网络中的每个节点进行聚类分析,并试图给每一类专利集作出实际解释,以发现具有较大潜力的技术领域。

在一项最新的研究中,Péter Érdi等^[51]通过不同专利间相互引用的数据构建了专利网络。他们的基本思路是首先提取出每项专利的“引用向量”,这一向量包含了其被其它专利引用的频数。他们假设拥有相似“引用向量”的专利属于同一技术领域,因此可以利用聚类分析将其划分为一些大的技术集合。根据这些技术集合的变化和新技术集合的产生,就可以观察到新技术领域的诞生和发展,并对未来可能产生的新变化进行预测。

为了检验这一预测方法的有效性,他们利用与美国全国经济研究所(NBER)所划分的第11类专利分类(农业、食品和纺织行业)相关技术的专利数据进行了分析。基于美国专利和商标局(USPTO)提供的1991—1996年的数据,他们对即将生成新技术的领域进行了预测,预测结果与1997年USPTO所宣布的第11类专利分类下的新增子类——第442行业小类明显重合^①。

Sunghae Jun等^[53]通过多元回归和简单的神经网络模型对韩国纳米技术进行了分析,他们借助国际专利编码(IPC)来代表不同技术领域,发现纳米技术的进步需要编码为C01B、B32B、B29C和G01N技术的进步,同时间接地受到编码

① USPTO的分类系统将专利分为450个大类和12万余个小类。NBER的一个分类项目中将这450个大类进一步合并为36类。USPTO的产品分类是专利分类,但作者称USPTO的分类受到实体经济的影响,所以USPTO如果新划分出来一类,至少说明这一行业在真实经济中确实有所显现。

为 B01J 和 B05D 技术的影响。

此外,使用专利分析进行预测的案例还有很多,如 Kajikawa Y, Usui O, Hakata K 等^[54]利用引用分析和聚类分析技术预测新兴技术。同时他们还使用了路线图技术在不同概念之间建立了联系。另一个研究中 Kajikawa Y 和 Takeda Y 利用专利引用数据分析了生物质能源领域的技术预测。Kajikawa Y 和 Takeda Y^[55]还运用类似的方法对可再生药物技术进行研究。还有一些文章利用简单的统计方法基于专利信息进行技术预测^[56-59]。

这类技术预测方法存在的局限性包括:(1)技术预测的结果,比如聚类分析结果中的分类,很难对其作出具有社会经济意义的解释^[53]。(2)一些关键步骤仍然需要进行主观的判断,比如对“技术空位”的选取和判断网络中专利是否相关时所设定的“阈值”等。(3)预测结果受分析者对数据库的了解程度和搜索技术的影响较大^[44]。因此,一般在使用科学计量方法、文献计量方法时都会联合专家调查法等定性方法一起使用。如 Byungun Yoon^[60]联合使用句法分析模型(Morphology Analysis)和专利分析对薄膜电晶体液晶显示器(TFT-LCD)技术进行了预测。Carvalho 等^[61]建议在使用技术路线图的同时使用文献计量方法等。

2. 数据包络分析方法

技术预测数据包络分析(TFDEA)是对传统数据包络分析(DEA)的拓展,后者最早作为一种运筹学方法被 Charnes 等于 1978 年提出^[62]。DEA 方法基于相对效率的比较对决策的效率进行分析。在经典的 DEA 模型中,时间被视为均等分割的,但是技术预测所关注的时间是间断分布的。因此人们对 DEA 进行了一些修正以使其得以对技术进行预测,称为 TFDEA。TFDEA 方法中一个关键概念是“尖端技术”(state-of-the-art, SOA),如果一项技术是尖端技术,那么它的效率比同时期的其它技术要高,且规定其效率得分为 1,余下技术的效率得分根据先前的尖端技术依次进行赋予^[63]。TFDEA 最早由 Inman 等^[64]提出,用于测量某种产品性能的变化率。他们认为简单的产品周期无法用来测量产品性能随时间的变化,因此将 TFDEA 运用于测量在线交易处理平台微小的技术进步,并利用事务处理性能委员会(TPC)所提供的数据计算出最佳状况下在线交易处理平台性能的年变化率。这一变化率用于预测 TPC 在未来所设置的性能标准。TFDEA 还被运用于战斗机产量的预测,在 Inman 等^[65]文章中,TFDEA 的预测效果是 Martino^[66]使用回归方法

所作出的预测效果准确率的 1.3 倍。在另一项研究中,TFDEA 在微处理器领域的预测比摩尔定律要精确,不仅预测的维度有所提升,而且还发现耗电量是一个非常重要的影响预测结果的变量。Inman^[67]基于磁盘驱动器的数据对 TFDEA 的预测效果和 Christensen^[68]所使用的经典技术管理预测模型的预测效果作了比较。Anderson 等^[69]在韩国的一个会议论文中再次拓展了 TFDEA 方法,他们在应用 TFDEA 之前增加了构建技术描述这一步骤。Lamb 等^[70]给出了一个运用 TFDEA 方法预测商务飞机行业的基本框架,即首先计算出 2007 年前每一种飞机相对于其之前所有飞机的相对性能,然后计算其在预测年份的相对性能为所有飞机计算性能的变化率,最后计算出所有飞机的平均性能变化率。

三、描述性方法

1. 技术路线图

描述性方法中近年来发展最为迅速的工具是技术路线图(Technology Roadmap, TRM)。大多数针对 TRM 的文章都是通过案例研究来阐述 TRM 的步骤和基本思想,TRM 的基本框架^[71]为:(1)需求及源动力;(2)可以满足需要的产品和服务;(3)可以支持这类产品和服务的技术;(4)在以上三个步骤间建立联系;(5)设定计划来获取这类技术;(6)为这类计划分配资源。

TRM 可以分为国家层面^[72-74]、产业层面^[75]和国际技术层面^[76]。TRM 在美国全面产业规划中很早就被应用,1992 年美国的“全国技术路线图”对美国半导体产业的研发产生了深远影响。这个路线图引起了该产业内的许多技术讨论,并且经常在国际技术会议上被提上议题。政府利用路线图辅助对半导体产业的技术研发进行财政支持的决策。这类路线图并不只在半导体产业存在。美国国家研究委员会和美国科学院曾经在基础科学的研究领域进行路线图规划^[77]。此外,日本经济技术产业省(METI)从 2003 年就开始积极进行国家技术的路线图规划。欧盟也有类似的机构进行技术演化路径的预测,欧盟“卓越网”技术平台——European Networks of Excellence and Technology Platforms 是一个综合技术评估平台,可以对大规模的科研投资进行评估和预测,其运用的方法也是 TRM^[78]。英国曾专门就技术路线图在国家技术发展中的作用及使用方法进行过研究和实践^[79]。对某一产业技术进行预测的案例研究非常多,例如对能源产业的预测^[71],对纳米

技术路线图的预测^[80]等。

基于技术路线图的方法,近年来许多学者对其进行了拓展,比如一些学者^[81]设计了多路线技术路线图并尝试为镜片实验室设备(lab-on-a-

chip)的技术路径做出规划。有些学者^[82]提出了预测创新路径(Forecasting Innovation Pathways, FIP)的框架,主要运用于对刚刚出现的技术进行创新路径的预测,框架如图7^[81]所示。

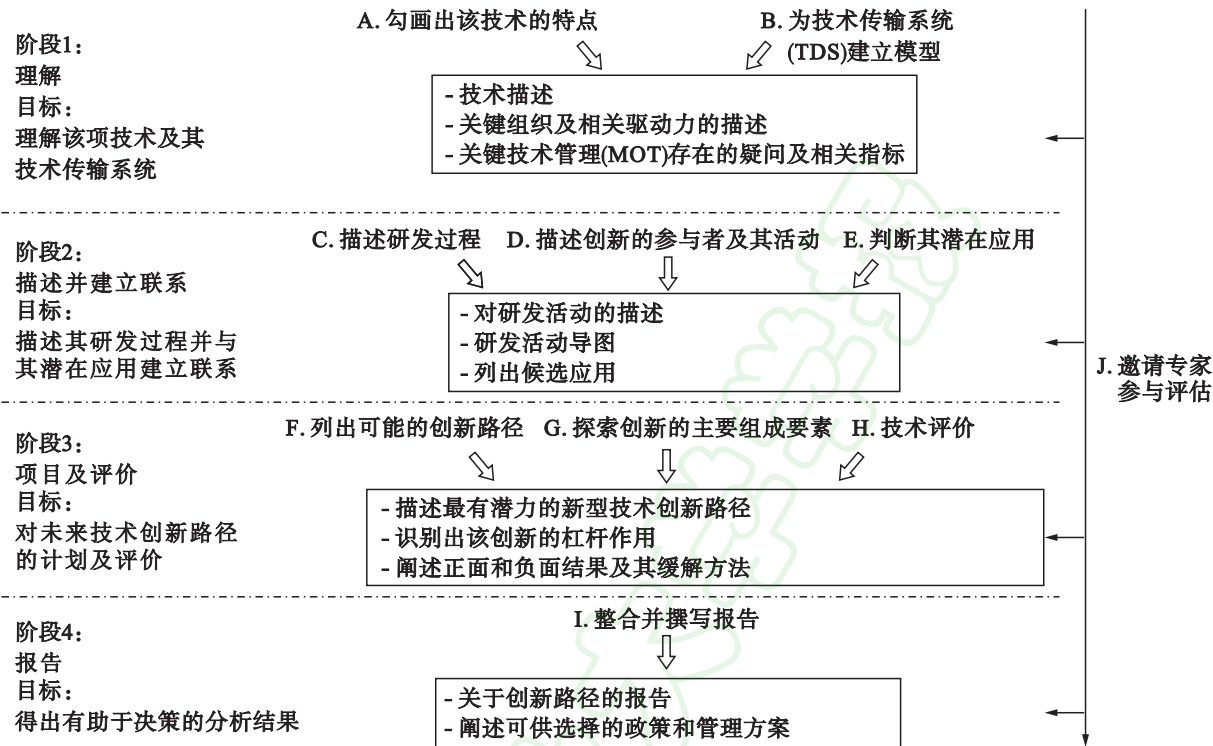


图7 FIP 框架

学者利用该框架对纳米生物传感领域和深度人脑交互设备领域进行了深入的案例分析。Phaal^[83]等筛选出了在私人企业中被使用过的16种形式的技术路线图。

2. 专家调查法

专家调查法又称德尔菲法,一直以来是最为常用的技术预测方法,主要步骤是有专家对关于特定技术的调查问卷进行独立回答,然后将专家的答案进行统计,作出相应的预测,再回馈给专家,由他们作二次判断或预测,再次将其加以统计,如此反复几轮,直至专家意见趋于一致。近20年间在技术预测领域对专家调查法的大范围应用出现在韩国、德国、日本和印度,这类调查在全国范围的专家圈内对信息技术等行业进行了预测^[84-85]。Dransfeld等^[86]对专家调查法作出了重要的补充,他们在合并调查问卷结果时,对不同问卷赋予了贝叶斯权重,根据被访者在某一问题上所具有的经验、所处机构的类别以及被访者就该问题准确性的自我评估,将每一位专家对每一个问题的回答赋予不同权重,其中对于所处机构类别和专家经验的权重来自于根据过往预测数据计算得到的先验概率。

专家调查法仍然是技术预测领域最为常用的方法。对于全国或者整个产业的大范围预测,专家调查法很可能是唯一可行的方法^[41]。

四、不同方法间的比较研究

Young(1993)^[87]对利用46项技术的数据对9种增长曲线间的预测效果和拟合效果进行了比较,有以下几个发现:一是对历史数据拟合较好的模型对未来预测的效果较差;二是如果数据的上界未知,那么Bass模型、Harvey模型^[88]以及经过拓展的Riccati模型^{[89]51-53}的预测效果相对好一些,而逻辑曲线、Gompertz曲线的预测效果都不是很好;三是数据的时间序列跨度、数据是否达到上界的50%等因素对模型的选择都会产生重要影响,如Harvey模型更适合进行长周期的预测,Bass模型对于数据未达到上界值的50%的技术预测效果更好。这些说明通过趋势外推的方法进行预测的效果受数据特点的影响较大,应基于数据特点来选择预测模型,这些特点包括:是否有明确上界、时间跨度、数据是否达到了上界值的50%,甚至相关的旧技术的数据特点等。Doynne Farmer^[90]等基于62项技术的成本和产量的时间

序列数据对以下模型的预测效果进行了比较。(1)摩尔定律(Moore's Law):单位成本随时间指数递减;(2)莱特模型:单位成本随累积产量指数变化;(3)Goddard's Model:单位成本随当年产量指数变化;(4)上述模型的一些变形:SKC,延后一期的Wright's model。

他们发现总体上莱特模型和摩尔定律预测效果最好,而不同模型的预测效果随数据跨度和技术领域而变化。同时,他们得出了一项有意义的结论,即不同技术虽然在模型参数上有所不同,但是其产量和成本随时间变化的过程是十分相似的,这意味着每项技术的变化曲线可以被看作是从总体中抽出的一个样本,通过增加样本容量(甚至可以将其他技术的数据也包括进来),我们可以对技术的变动趋势以及随机误差进行更好的估计。

另一项研究^[91]对Kryder's law^[92]、Logistic Model^[93]²⁵、Bass Model^[29]、Gompertz' Model^[28]、Gupta Model^[94]、Tobit II Model、摩尔定律7个模型进行了比较并建立了一个新的Step and Wait模型(SAW),通过数据表明SAW的预测效果超过了这7个理论模型的预测效果。类似的文章还有很多^[95-97]。

在以上文章中,对多种“S形曲线”模型及指数增长模型的预测能力的比较主要关注对某一技术或产业的单位成本以及增长速度进行预测的能力,作为预测对象的技术已经存在一段时间或者刚刚萌芽,它们的进步大多不属于颠覆性创新(competency-destroying innovation),而属于成本节约型创新(competency-enhancing innovation)。但是对这类技术发展趋势进行研究对于预测颠覆性创新至关重要,因为颠覆性创新往往在周遭产业已经相当成熟,上游成本非常低廉,新的市场需求产生迁移的情况下发生^[14]。此类的定量研究还比较新,近几年才有相关的文章相继涌现。值得关注的是“S形曲线”还曾被用于预测技术间的替代。有美国学者^[98]将Gompertz、Fisher-Pry、Stapleton^[99]、Sharif-Islam^[100]的模型对技术替代的预测能力进行了比较,该研究的测试数据是彩色电视机相比黑白电视机的市场占有率和机械船舶相比帆船的市场占有率的时间序列数据。他们发现这些模型对于技术替代具有一定的预测能力,但不同模型对于不同数据的预测效果相差很大。然而,由于这一研究发生在这些技术替代已经完成之后,所以如何发现并评估潜在的市场主导技术仍然没有得到解决,而且其发现的这些模

型只对短期(5年以下)预测有效。

五、总结

纵观现有文献对技术预测领域的研究,能够成功预测“颠覆性”技术创新的案例十分罕见,但是这并不影响当技术已经成熟并形成规模之后对产品的成本、产量、市场占有率以及其它经济参数进行预测。很多文章对技术替代的模型进行了探讨,但大部分是替代已经发生后的“回溯性”预测,在已知某一技术将替代另一技术的情况下,一些模型可以比较成功地描述出两项技术间的替代过程,比如Fisher-Pry模型。但如果候选技术过多,就很难决定哪些技术终将成为主导技术,哪些技术不过是昙花一现。

参考文献:

- [1] Ercan O, Mustafa B A. A quantitative approach for measuring technological forecasting capability by international journal of innovation and applied studies [J]. Technological Forecasting & Social Change, 2013, 4(1):75-82.
- [2] Martino J P. Technology forecasting: an overview [J]. Management Science, 1980, 26(1):28-33.
- [3] Jun S, Park S, Jang D. Technology forecasting using matrix map and patent clustering [J]. Industrial Management & Data Systems, 2012, 112(5):115-117.
- [4] Grupp H, Linstone H A. National technology foresight activities around the globe: resurrection and new paradigms [J]. Technological Forecasting & Social Change, 1999, 60(1):85-94.
- [5] Philip M, Swinehart K. Technological forecasting: a strategic imperative [J]. Journal of Global Business Management, 2010, 6(2):75-78.
- [6] Lemos A D, Porto A C. Technological forecasting techniques and competitive intelligence: tools for improving the innovation process [J]. Industrial Management & Data Systems, 1998, 98(7):330-337.
- [7] Cristiano C, Michael K, Ron J, et al. Rémi Barré future-oriented technology analysis: strategic intelligence for an innovative economy [M]. Heidelberg: Springer Havas, 2008.
- [8] Imundo L V, Lanford H W. Approaches to technological forecasting as a planning tool [J]. Long Range Planning, 1974, 7(4):49-58.
- [9] Martino J P. A review of selected recent advances in technological forecasting [J]. Technological Forecasting & Social Change, 2003, 70(8):719-733.
- [10] Committee on Forecasting Future Disruptive Technologies, Air Force Studies Board, Division on Engineering and Physical Sciences, et al. Persistent forecasting of disruptive technologies [M]. Washington D C: National Academies Press, 2008.
- [11] Coates M, Faroque R, Klavins K, et al. On the future of technological forecasting [J]. Technological Forecasting and Social Change, 2001, 67(1):1-17.
- [12] Technology Futures Analysis Methods Working Group. Technology futures analysis: toward integration

- of the field and new methods [J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2004, 71(3): 87-303.
- [13] Ayse K F, Wei L W, Stuart M. Technological forecasting: a review [J]. *Harvard Business Review*, 2008(9): 11-12.
- [14] Abernathy W, Utterback J. Patterns of industrial innovation [J]. *Management of Innovation*, 1988(3): 97-108.
- [15] Gersick C J. Revolutionary change theories: a multi-level exploration of the punctuated equilibrium paradigm [J]. *Academy of Management Review*, 1991(16): 10-36.
- [16] Seeger J A, Lorsch J W, Gibson C F. First national city bank operating group [D]. Massachusetts: President and Fellows of Harvard College, 1974: 25-28.
- [17] Grudin J. Punctuated equilibrium and technology change [J]. *ACM Interactions*, 2012, 19(5): 62-66.
- [18] Heebyoung K, Christopher L M. A functional approach for studying technological progress [J]. *Technological Forecasting & Social Change*, 2008, 75(6): 735-758.
- [19] Martino J P. Technological forecasting for decision making [J]. *Elsevier*, 1972(25): 115-124.
- [20] Lenz R C. A heuristic approach to technology measurement [J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 1985(27): 249-264.
- [21] Yonas B. Model induction with support vector machines: introduction and applications [J]. *ASCE Journal of Computing in Civil Engineering*, 2001, 15(3): 208-216.
- [22] Vanston J H. Technology forecasting: an aid to effective management [J]. *Technology Futures*, 1988(10): 245-256.
- [23] Marchetti C. Primary energy substitution models: on the interaction between energy and society [J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 1977(10): 75-88.
- [24] Marchetti C. Anthropological invariants in travel behavior [J]. *Technology Forecasting and Social Change*, 1994(47): 214-215.
- [25] Marchetti C. A very simple mathematical model for very complex social systems [J]. *Previsione Sociale Previsione Politica*, 1996(5): 2-15.
- [26] Fisher J C, Pry R. A simple substitution model for technological change [J]. *Technology Forecasting and Social Change*, 1971(3): 75-78.
- [27] Steven R. Quantitative technology forecasting techniques [D]. Norfolk: Old Dominion University, 2012: 103-123.
- [28] Gompertz B. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 1825(115): 513-585.
- [29] Bass F M. A new product growth for model consumer durables [J]. *Management Science*, 1969(15): 215-227.
- [30] Moore G E. Cramming more components onto integrated circuits [J]. *Electronics*, 1965, 38(8): 19-21.
- [31] Mollick E. Establishing Moore's law [J]. *IEEE Annals of the History of Computing*, 2006(17): 62-75.
- [32] Schaller R R. Moore's law: past, present and future, spectrum [J]. *IEEE*, 1997, 34(6): 52-59.
- [33] Edwards C. The many lives of Moore's law [J]. *Engineering & Technology*, 2008, 3(1): 36-39.
- [34] Wolff M F. Chase Moore's law inventors urged [J]. *Research Technology Management*, 2004, 47(1): 6-7.
- [35] Wright T P. Factors affecting the costs of airplanes [J]. *Journal of Aeronautical Sciences*, 1936(10): 302-328.
- [36] Goddard C. Debunking the learning curve [J]. *IEEE Transactions on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology*, 1982(5): 328-335.
- [37] Sinclair G, Klepper S, Cohen W. What's experience got to do with it? sources of cost reduction in a large specialty chemical producer [J]. *Management Science*, 2000(46): 28-45.
- [38] Shin, Juneseuk, Park, et al. Brownian agent-based technology forecasting [J]. *Technological Forecasting & Social Change*, 2009, 76(8): 1078-1091.
- [39] Gordon T J. A simple agent model of an epidemic [J]. *Technological Forecasting & Social Change*, 2003, 70(5): 397-417.
- [40] Potter, Ian J, Heidrick, et al. Technology futures analysis methodologies for sustainable energy technologies [J]. *International Journal of Innovation and Technology Management*, 2007, 4(2): 171-190.
- [41] Bhargava S C, Kuman A, Mukerjee A. A stochastic cellular automata model of innovation diffusion [J]. *Technological Forecasting & Social Change*, 1993, 4(4): 87-97.
- [42] Martino J P. A review of selected recent advances in technological forecasting [J]. *Technological Forecasting & Social Change*, 2003, 70(8): 719-733.
- [43] Jacob E S. Using cellular automata modeling of the emergence of innovations by goldenberg [J]. *Technological Forecasting & Social Change*, 2001, 68(3): 293-308.
- [44] Marcio, Coelho, Gilda M, et al. Text mining as a valuable tool in foresight exercises: a study on nanotechnology [J]. *Technological Forecasting & Social Change*, 2006, 73(8): 1013-1027.
- [45] Porter A L, Cunningham S W. Techmining: exploiting new technologies for competitive advantage [J]. *John Wiley & Sons*, 2005, 150(4): 52-59.
- [46] Alan L, Porter S W. Is technology historically independent of science? a study in statistical historiography [J]. *Technology and Culture*, 1965, 6(4): 533-535.
- [47] Yoon, Byungun, Park, et al. A text-mining-based patent network: analytical tool for high-technology trend [J]. *Journal of High Technology Management Research*, 2004, 15(1): 37-50.
- [48] Lee S, Yoon, Byungun P, et al. An approach to discovering new technology opportunities: keyword-based patent map approach [J]. *Technovation*, 2009, 29(6): 481-497.
- [49] Sang S P, Sunghae J, Dong S J. Technology forecasting using matrix map and patent clustering [J]. *Industrial Management & Data Systems*, 2012, 112(5): 786-807.
- [50] Wu H Y, Taghaboni D, Fataneh, et al. Using patent data for technology forecasting: China RFID patent analysis [J]. *Charles V Advanced Engineering Informatics*, 2011, 25(1): 53-56.
- [51] Péter É, Kinga M, Zoltán S, et al. Prediction of emerging technologies based on analysis of the U. S. [J]. *Patent Citation Network Scientometrics*, 2013, 95(1): 225-242.
- [52] Yoon B, Park Y. A text-mining-based patent network: analytical tool for high-technology trend [J]. *Journal*

- of High Technology Management Research, 2004, 15 (1): 37 - 50.
- [53] Sunghae J, Seung J. Emerging technology forecasting using new patent information analysis U. S. [J]. International Journal of Software Engineering and Its Applications, 2012, 6(3): 107 - 115.
- [54] Kajikawa Y, Takeda Y. Structure of research on biomass and bio-fuels: a citation-based approach [J]. Technological Forecasting and Social Change, 2008, 75(4): 1349 - 1359.
- [55] Kajikawa Y, Usui O, Hakata K, et al. Structure of knowledge in the science and technology roadmaps [J]. Technological Forecasting and Social Change, 2008, 75(4): 1 - 11.
- [56] Fattori M, Pedrazzi G, Turra R. Textmining applied to patent mapping: a practical business case [J]. World Patent Information, 2003(25): 335 - 342.
- [57] Indukuri K V, Mirajkar P, Sureka A. An algorithm for classifying articles and patent documents using link structure [J]. Proceedings of International Conference on Web-Age Information Management, 2008 (15): 203 - 210.
- [58] Jun S, Uhm D. Patent and statistics: what's the connection? [J]. Communications of the Korea Statistical Society, 2010, 17(2): 205 - 222.
- [59] Kasravi K, Risov M. Patent mining-discovery of business value from patent repositories [J]. Proceedings of 40th Annual Hawaii International Conference on System Sciences, 2007(18): 54 - 58.
- [60] Byungun Y, Yongtae P, Yoon, et al. Development of new technology forecasting algorithm: hybrid approach for morphology analysis and conjoint analysis of patent information [J]. IEEE Transactions on Engineering Management, 2007, 54(3): 588 - 599.
- [61] Carvalho, Marly M, Fleury, et al. An overview of the literature on technology road mapping (TRM). Technological Forecasting & Social Change, 2013, 80(7): 1418 - 1437.
- [62] Charnes A, Cooper W W, Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units [J]. European Journal of Operational Research, 1978, 2(6): 429 - 444.
- [63] Durmusoglu A, Dereli T. On the technology forecasting using data envelopment analysis (TFDEA) [J]. 2011 Proceedings of PICMET '11: Technology Management in the Energy Smart World (PICMET), 2011(11): 1 - 6.
- [64] Anderson T, Hollingsworth K, Inman L. Assessing the rate of change in the enterprise database system market over time using DEA [J]. Management of Engineering and Technology, 2001(1): 203 - 205.
- [65] Inman O L, Anderson T R, Harmon R R. Predicting U. S. jet fighter aircraft introductions from 1944 to 1982: a dogfight between regression and TFDEA [J]. Technological Forecasting and Social Change, 2006, 73(9): 1178 - 1187.
- [66] Martino J P. Comparison of two composite measures of technology [J]. Technological Forecasting and Social Change, 1993, 44(2): 147 - 159.
- [67] Inman O L. Technology forecasting using data envelopment analysis [D]. Portland: Portland State University, 2004: 151 - 156.
- [68] Christensen C M. The Innovator's dilemma [M]. Boston, MA: Harvard Business School Press, 1997.
- [69] Anderson T R, Daim T U, Kim J. Technology forecasting for wireless communication [J]. Technovation, 2008, 28(9): 602 - 614.
- [70] Lamb A, Anderson T R, Daim T U. Forecasting airplane technologies [J]. Foresight, 2010, 12(6): 38 - 54.
- [71] Oliver, Terry, Daim. Implementing technology roadmap process in the energy services sector: a case study of a government agency [J]. Technological Forecasting & Social Change, 2008, 75(5): 687 - 720.
- [72] Spencer W J, Seidel T E. National technology roadmaps: the U. S. semiconductor experience [J]. 4th International Conference on Solid-state and Integrated Circuit Technology, 1995(18): 211 - 220.
- [73] Diebold A C. Overview of metrology requirements based on the 1994 national technology roadmap for semiconductors [J]. Advanced Semiconductor Manufacturing Conference and Workshop, 1995(15): 50 - 60.
- [74] Prem H, Raghavan N R. Building a technology roadmap in high performance computing in the Indian context [J]. Technology Management: A Unifying Discipline for Melting the Boundaries, 2005(4): 121 - 123.
- [75] Ning T H. A CMOS technology roadmap for the next fifteen years [J]. 1995 IEEE Region 10th International Conference on Microelectronics and VLSI, 1995(9): 1 - 4.
- [76] Schaller R. Technological innovation in the semiconductor industry: a case study of the international technology roadmap for semiconductors (ITRS) [J]. PICMET, 2001(11): 195 - 196.
- [77] Spencer W J, Seidel T E. National technology roadmaps: the U. S. semiconductor experience [J]. Proceedings of 4th International Conference on Solid-State and IC Technology, 1995(7): 211 - 220.
- [78] Robinson, Douglas K R, Propp, et al. Multi-path mapping for alignment strategies in emerging science and technologies [J]. Technological Forecasting & Social Change, 2008, 75(4): 517 - 538.
- [79] Yasunaga Y, Watanabe M, Yasuda A. Study on technology road mapping as a management tool for R&D [J]. The Journal of Science Policy and Research Management, 2007, 21(1): 117 - 128.
- [80] Masayoshi W, Yuko Y, Motoki K. Application of technology roadmaps to governmental innovation policy for promoting technology convergence [J]. Technological Forecasting & Social Change, 2009, 76(1): 61 - 79.
- [81] Robinson, Douglas K R, Propp, et al. Multi-path mapping for alignment strategies in emerging science and technologies [J]. Technological Forecasting and Social Change, 2008, 75(4): 517 - 538.
- [82] Huang L, Porter A L, Robinson D K R, et al. Forecasting innovation pathways (FIP) for new and emerging science and technologies [J]. Technological Forecasting & Social Change, 2013, 80(2): 267 - 285.
- [83] Phaal R, Farrukh C J P, Probert D R. Characterisation of technology roadmaps: purpose and format [J]. PICMET, 2001(3): 215 - 217.
- [84] Chakravarti A K, Vasanta B, Krishnan A S A, et al. Modified Delphi methodology for technology forecasting: case study of electronics and information technology in India [J]. Technological Forecasting & Social Change, 1998(58): 155 - 165.
- [85] Shin T. Using Delphi for a long-range technology

- forecasting and assessing directions of future R&D activities; the Korean exercise [J]. *Technological Forecasting & Social Change*, 1998(58):125-154.
- [86] Dransfeld H, Pemberton J, Jacobs G. Quantifying weighted expert opinion: the future of interactive television and retailing [J]. *Technological Forecasting & Social Change*, 2000(63):81-90.
- [87] Young P. Technological growth curves [J]. *Technological Forecasting & Social Change*, 1993, 44(4):375-389.
- [88] Harvey A C. Time series forecasting based on the logistic curve [J]. *Journal of the Operational Research Society*, 1984(35):644-646.
- [89] Kendall M G, Stuart A, Ord J K. *The advanced theory of statistics* [M]. New York: Macmillan, 1983.
- [90] Farmer, Doyne J, Quan M, et al. Statistical basis for predicting technological progress [J]. *Plos One*, 2013, 8(2):1932-6203.
- [91] Sood A, Zhu J, Tellis G J, et al. Predicting the path of technological innovation; Saw versus Moore, Bass, Gompertz, and Kryder [J]. *Marketing Science*, 2012, 31(6):964-979.
- [92] Walter C. Kryder's law [J]. *Scientific American*, 2005(2):32-34.
- [93] Foster R D. *Innovation: the attacker's advantage* [M]. New York: Summit Books, 1986.
- [94] Gupta S. Impact of sales promotions on when, what, and how much to buy [J]. *Journal of Marketing Research*, 1988(25):342-355.
- [95] Dmitry K, Roland D G. Application of S-shaped curves [J]. *Procedia Engineering*, 2011(12):559-572.
- [96] Nigel M, Towhidul I. Forecasting with growth curves; an empirical comparison [J]. *International Journal of Forecasting*, 1995, 11(2):199-215.
- [97] Philip H F. A method to select between Gompertz and logistic trend curves [J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 1994, 46(1):45-49.
- [98] Jack C L, Lu K W. On a family of data-based transformed models useful in forecasting technological substitutions [J]. *Technological Forecasting & Social Change*, 1987, 53(31):61-78.
- [99] Stapleton E. The normal distribution as a model of technological substitution [J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 1976, 31(8):325-334.
- [100] Sharif M N, Islam M N. The weibull distribution as a general model for forecasting technological change [J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 1980, 72(18):247-256.

Theoretical and practical advances in technology innovation forecasting

HE Ran¹, LI Gang²

(1. Department of Economics, University of North Carolina-Chapel Hill, Clinton City 17764, USA; 2. Institute of Industrial Economics, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100732, China)

Abstract: Systematical prediction of technological advance, as well as the evaluation of the potentials of emerging technologies, has been a research field that drawn substantial interest globally. The advances are comprehensively reviewed in both the relevant research results and the methodologies in the field of technology forecasting in recent years. According to the proposed review, the mainstream methods of technology forecasting are classified into 3 categories: model-based methods, statistical and data mining-based methods, and descriptive methods. The advantages and limitations of different types of methods are reviewed and the various results from comparative research between different methods are summarized.

Key words: technology forecasting; growth curves; data mining; patent analysis; technology roadmap

(责任编辑:吉海涛)