

# 大数据分析方法在战略性新兴产业技术预见中的应用

刘宇飞<sup>1</sup>, 周源<sup>2</sup>, 廖岭<sup>3</sup>

(1. 华中科技大学生命科学与技术学院, 武汉 430074; 2. 清华大学公共管理学院, 北京 100084;  
3. 华中科技大学机械科学与工程学院, 武汉 430074)

**摘要:** 作为创新战略管理工具, 技术预见受到越来越多的重视。学术界对技术预见方法及其应用进行了大量的相关研究, 但是对不同路径的新兴产业进行技术预见, 尤其针对发展中国家的追赶型产业创新进行技术预见, 仍是亟待深入探讨的理论难题。另外, 大多数技术预见仍然以德尔菲法专家分析法为主, 其制定过程主要还是依赖专家的知识经验, 而缺乏客观的大数据支撑, 在分析研究上往往偏向主观而缺乏信度和效度。本文将探索专利、文献等大数据应用于支撑我国新兴产业技术预见的理论和方法研究。

**关键词:** 技术预见; 文献计量; 专利分析; 大数据分析; 新兴产业

**中图分类号:** TP3      **文献标识码:** A

## Application of Big Data Analysis Method in Technology Foresight for Strategic Emerging Industries

Liu Yufei<sup>1</sup>, Zhou Yuan<sup>2</sup>, Liao Ling<sup>3</sup>

(1. College of Life Science & Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China; 2. School of Public Policy and Management, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 3. School of Mechanical Science & Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** As an innovative strategic management tool, technology foresight has received increasing interest. There is a large number of related scholarship on technology foresight and its application. The theoretical difficulty is how to conduct technology foresight for different kinds of emerging industries, especially for targeted types of industry innovation in a developing country. Delphi expert analysis is currently the most popular method for technology foresight. This method is undermined by a lack of reliable and valid big data to support expert experience. The authors propose a new method for patent and technical document analysis for the use of technology foresight for China's emerging industries.

**Key words:** technology foresight; bibliometric; patent analysis; big data analysis; emerging industry

收稿日期: 2016-05-25; 修回日期: 2016-06-26

作者简介: 刘宇飞, 华中科技大学生命科学与技术学院, 博士, 主要研究方向为大数据分析支持工程科技战略咨询;

E-mail: liuyufei0418@qq.com

基金项目: 中国工程院重大咨询项目“‘十三五’战略性新兴产业培育与发展规划研究”(2014-ZD-7); 中国工程院知识中心项目(20155660158); 国家自然科学基金项目(L1524015, 71203117, 71233005); 清华大学绿色经济与可持续发展研究中心研究子项目(20153000181)

本刊网址: www.enginsci.cn

## 一、大数据分析在战略性新兴产业技术预见中的重要性

### (一) 战略性新兴产业在国民经济发展中处于重要地位

进入 21 世纪, 科技创新能力已经成为国家综合国力的一项重要衡量指标, 成为国际竞争的焦点<sup>[1]</sup>。世界范围内新一轮科技革命和产业变革与我国转变经济发展方式实现历史性交汇, 新一轮工业革命正在兴起, 全球科技进入新的创新密集期<sup>[2]</sup>。发展战略性新兴产业, 是着眼于国际经济格局, 立足于国内未来可持续发展的重要战略决策。战略性新兴产业将成为我国未来经济增长、产业转型升级、创新驱动发展的重要着力点。培育发展战略性新兴产业, 高起点构建现代产业体系, 加快形成新的经济增长点, 抢占未来经济和科技制高点, 对我国经济社会真正走上创新驱动、内生增长、持续发展的轨道具有重大的战略意义。党的十八大报告明确指出, 推进经济结构战略性调整, 加快传统产业转型升级, 优化产业结构, 促进经济持续健康发展的一个重要举措就是积极推动战略性新兴产业的发展。认识战略性新兴产业的发展规律, 找准发展方向, 对于加快战略性新兴产业培育与发展至关重要。

在培育与发展战略性新兴产业方面, 自主创新能力的提升既要满足国家经济发展的需要, 又要面向新一轮科技革命带来的产业升级, 还要把握产业核心技术未来的发展趋势。对技术发展有规划的进行预见工作, 其必要性与重要性越来越得到各国的认可<sup>[3-7]</sup>。美英日德韩等国, 通过国家级的科技发展监测, 对未来 10 至 20 年的技术态势进行预见, 制定科技发展规划和行动计划, 从而提高资源配置效率, 已经取得了显著成效。例如, 技术对外依存度这一指标, 美英日德韩等国仅为 5%。

### (二) 技术预见在战略性新兴产业发展中扮演重要角色

技术预见已经受到越来越多国家的重视, 成为一种新的科技战略管理工具, 但其结合科学、技术、经济、管理等多学科交叉的特点, 又增加了准确进行技术预见工作的难度。技术预见的主要目的是: 探索国家未来的技术需要, 识别未来重点研究领域, 制定科学有效的发展规划。为更好地提升我国自主创新能力, 通过持续开展技术预见, 形成一种研究

机制与管理模式, 不断完善对国家未来技术需要的判断, 提高预测技术发展趋势的能力<sup>[8]</sup>。

针对战略性新兴产业发展的技术预见越来越受到研究人员的关注<sup>[9]</sup>, 同时也存在着理论及方法方面的重要难题。一方面, 近年来研究认为, 新兴产业的形成与发展有不同的路径, 主要有以下 4 种<sup>[10]</sup>: 产业新生、产业分化、产业派生和产业融合。这些路径的不同导致我们需要差异化的技术预见理论和方法。另外, 中国等发展中国家在产业技术创新上处于跟随国际前沿的转变时期, 在新兴产业技术的发展上与世界水平还存在需要追赶的创新差距。将创新差距的追赶纳入到我国的技术预见理论及方法中, 将是一个新的挑战。因此, 针对不同路径的新兴产业进行技术预见, 尤其是要考虑发展中国家的创新追赶, 将是技术预见亟待深入探讨的理论难题。

### (三) 大数据分析在技术预见中将发挥重要作用

随着信息爆发式增长, 在宏观产业发展战略和技术预见中, 完全依靠专家们自身有限的领域知识做出方向性的判断, 已经越来越受到争议。而有效地使用大数据方法帮助专家完成信息的收集与筛选, 数据的整理与分析, 将信息与数据指标化、图表化, 帮助专家们解决信息的收集与分析问题, 以便将更多精力投入到对技术预见和战略问题的判断与建议上, 是技术预见的发展方向。需要注意的是, 大数据方法的使用是为了支持而不是取代决策者, 这些方法是为了让专家们可以将更多的时间与精力用在他们所擅长的工作中——判断与建议, 从而最终提高战略咨询服务的质量。将这些客观数据通过大数据分析的方法嵌入到战略性新兴产业的技术预见流程中, 为专家提供数据支持, 更科学地发挥专家专业知识与丰富经验, 降低主观偏见性, 进而提高技术预见的信度与效度, 是亟待解决的应用难题。

专利和文献的大数据分析方法是以战略性新兴产业的论文、专利为数据, 采用文献计量学、数据挖掘、数据分析等方法, 研究论文、专利数据中所包含的相关信息, 从而分析相关技术的热点和前沿、发展趋势、国家对比、企业竞争力研究等<sup>[11-15]</sup>。国内外的一些学者也将数据分析应用于技术预见工作, 但更多的是将数据分析作为技术预见的背景资料的一部分提供给领域专家<sup>[16-20]</sup>, 鲜有将数据分析与专家经验相结合, 在技术预见的整个流

程中产生互动,以研究未来技术的发展趋势与战略规划<sup>[21-29]</sup>。同时,关于数据与专家交互的研究也积累了一定成果<sup>[30-33]</sup>,但是将数据分析方法大规模的投入到实际的咨询工作中仍然有所欠缺。在国家正在进行的中长期科学和技术发展规划研究和制定这一宏观背景下,研究技术预见、关键技术选择等方法,对我国宏观发展战略制定具有较好的科学意义和现实意义。

因此,本文希望在理论设计和深度案例应用研究的基础上,建立基于专利文献等大数据的“新兴产业技术预见”的分析框架及流程,提高数据搜索与使用能力,加强数据分析能力,将专利文献数据分析流程系统化,同时增强易用性,降低使用门槛。本项目将使用客观分析方法,如文献计量、专利分析、技术路线图等方法改进现有的咨询流程,对现有研究项目的背景情况、技术发展等进行筛选,整理与分析,提供相关技术研究的发展路线、国内外研究热点,预测技术走向,生成分析报告供专家学者参考,从而建立一套针对大数据时代下的新兴产业技术预见的适用性、有效性更高的战略咨询流程与分析框架。实现以专家决策为中心,充分利用大数据理念和方法作支撑,实现科学、系统的工程科技发展战略中的新兴产业技术预见的理论深化、流程凝练及工具应用。

## 二、大数据分析支持技术预见之初探

为更好地发挥数据对战略咨询的支持作用,需要系统地对咨询流程与框架进行标准化设计,对数据分析方法与工具进行深入研究,对重大战略性新兴产业项目进行调研分析,生成针对性更高的数据分析报告,更好地满足院士专家以及广大科研人员对数据的需求,为重大战略咨询提供强有力的知识支撑,更充分发挥院士专家在战略性新兴产业领域的决策支持的核心作用。

本文将大数据方法以功能模块方式嵌入到咨询流程中,加强战略性新兴产业研究过程中的数据收集处理能力,扩展数据挖掘功能,增强不同数据间关联性分析能力,并在重点咨询项目中推广试运行,为院士专家做好知识支撑工作,提高咨询服务质量,最终建立一个适用性广、易用性强、上手难度低的面向院士专家、咨询服务工作人员及广大战略性新

兴产业研究人员的支持平台。

因此,大数据分析支持技术预见将从战略性新兴产业战略咨询的流程设计、战略性新兴产业战略咨询研究数据分析模块开发、战略咨询方法应用案例研究三个方面开展。

### (一) 战略性新兴产业战略咨询的流程设计

调研国内外战略咨询的现状和发展趋势,针对战略咨询研究特点,对咨询流程进行标准化设计,将大数据分析从流程阶段就结合到咨询服务中。根据已完成的咨询项目积累的经验,对于不同的咨询项目,进行分类,针对咨询项目各自的特点,使用不同的数据分析方法对项目所涉及的数据进行整理与分析,可将其分为三类:

#### 1. 战略规划演进分析类

对该项目领域学术论文、专利成果、产业发展报告进行综合分析,明确该领域研究成果转化到产业过程的时间,利用数据发现产业重点,为专家判断提供支撑。

#### 2. 技术预见类

对该项目领域内过往的数据进行挖掘与分析,总结其发展趋势、技术路线、相关成果分布,预测候选热点技术供专家参考。

#### 3. 评估类项目

主要通过该项目产生的相关成果及项目立项前后该领域内的成果变化趋势对该项目进行评估。

根据目前咨询项目进行的战略咨询项目工作流程设计见图1。

将不同项目的流程进行总结、梳理,形成流程库,以供未来的咨询项目开展时调取。

### (二) 战略性新兴产业战略咨询研究数据分析模块开发

数据分析模块开发将以数据库、方法库、指标库为基础功能模块进行框架设计。

#### 1. 数据库

结合中国工程院和清华大学的资源,对学术文献、专利文件、商业报告、新闻报道、会议纪要等数据,针对每一个具体项目构建一个多维度数据库,用来进行后续的数据挖掘与数据分析工作。初步可用的数据有中国知网的中文论文数据、Web of Science 的英文论文数据、Thomson Innovation 的专



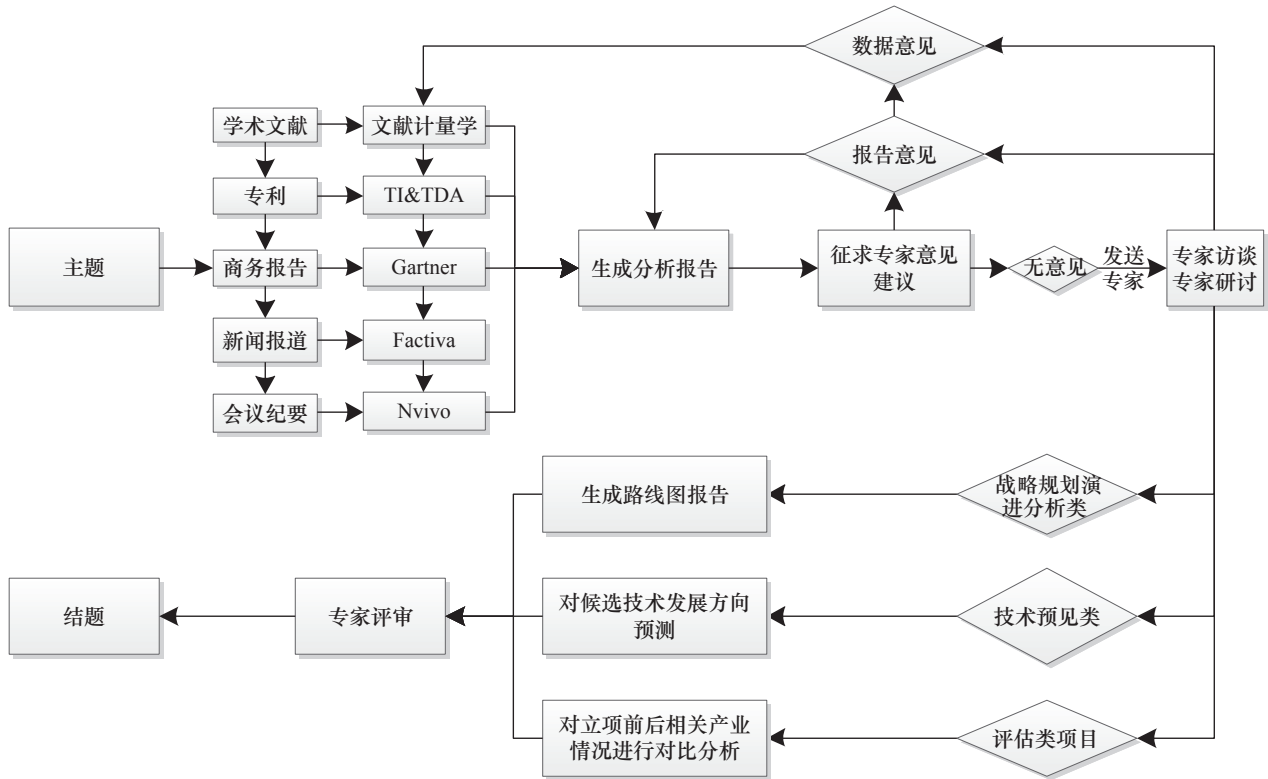


图1 咨询项目工作流程图

利数据、Gartner 的商务报告、Factiva 的新闻报道等。

## 2. 方法库

建设平台过程中使用的数据挖掘与数据分析主要目的是对数据库中的数据根据项目需要进行清洗，以及对不同类型数据进行相关性分析。数据源的质量是决定分析结果质量的最重要因素，所以在整合过程中，将使用文献计量学、文本挖掘、专利分析和文本数据预处理的结构化主谓宾结构识别(SAO)分析等方法对数据进行清洗，获得最符合需求的清洁数据源。然后，使用各数据库相关分析软件对清洁数据源的数据进行分析，对得到的软件结果进一步使用主路径分析、技术路线图等方法对结果进行评估、筛选、优化，以得到更符合战略性新兴产业战略咨询要求的分析结果，最后利用关联规则、聚类、分类、预测等数据挖掘方法对不同类别的数据进行综合分析，并生成分析报告供院士专家参考。

目前已有多个数据分析软件可以应用于战略性新兴产业战略咨询研究工作，如：Thomson Data Analyzer (TDA) 文本挖掘软件、NVivo 质性分析(Qualitative Data Analysis) 软件、UCINET 网络分析软件、Pajek 大型复杂网络分析工具等。

虽然已经有很多研究机构在使用其中的数据并利用相关软件与数据挖掘方法进行分析，但是很少有研究机构在分析问题同时使用多种数据库，并将不同类别的数据进行关联分析。该平台采用集成的方式，利用多种数据库中的信息与分析软件，对各个类别的数据进行选择、集成和优化，形成优势互补的有机数据链，从而得到某一领域不同类别数据的相关关系。

## 3. 指标库

目前，专利分析指标和论文分析指标已经积累了一定的研究成果，主要研究指标见表1和表2。

## (三) 战略咨询方法应用案例研究

新兴产业在我国主要有三种表现形式：①整体落后，持续追赶；②理论同步，应用落后；③整体先进，制造领先。针对不同类型的新兴产业，需要展开的主要预见工作也有所不同，因此，项目拟针对这三种表现形式的典型新兴产业，包括机器人产业、3D 打印产业、新能源与节能产业，进行技术预见的具体化研究。

### 1. 机器人产业

我国机器人产业的理论、技术与市场应用整体

表 1 专利分析指标

计量指标	计算方法	指标说明, 表征的意义
专利数量	统计一个技术点包含的专利数量	描述该技术产业的发明活动情况。数量越大, 说明该技术产业的发明活动越丰富
技术集中度	统计该技术点下 IPC 分类号的个数	可以描述该技术产业的子技术领域分布情况。指标越大, 说明子技术领域分布范围越广
技术增长率 $v$	$v = a/A$ , 其中 $a$ 表示当年发明专利数量, 而 $A$ 为追溯 5 年的发明专利数量	通过计算连续若干年的 $v$ 值, 若递增, 则表明该技术处于生长期
技术成熟系数 $\alpha$	$\alpha = a/(a+b)$ , $a$ 为当年发明专利申请量; $b$ 为当年实用新型专利申请量	通过计算连续若干年的 $\alpha$ 值, 若递减, 则说明该技术已处于成熟期
技术衰老系数 $\beta$	$\beta = (a+b)/(a+b+c)$ , $a$ 为发明专利该年的申请量; $b$ 为实用新型专利该年申请量, $c$ 为外观设计或商标该年的申请数	通过计算连续若干年的 $\beta$ 值, 若递减, 则预示该技术正逐渐陈旧
美国授权量	优先权国家是“US”的专利总量	高技术含量的专利数量, 指标越大, 说明该技术的含量越高
PCT 申请数	优先权国家是“WO”的专利总量	PCT 国际申请在一定程度上反映了申请专利所含技术的重要性和申请人所占国际市场的迫切愿望, 可以在一定程度上衡量专利质量。指标越大, 说明该技术专利质量越高, 技术活动的水平越高
专利增长率	$R = \frac{Pa(n) - Pa(n-1)}{Pa(n-1)}$ ( $Pa(n)$ 表示第 $n$ 年的专利数量)	专利增长率反映了技术创新能力的变化程度。指标越高, 说明该技术的创新能力增强越多
当前影响指数 (CII)	该企业现行年前 5 年期间的专利平均每件被现行年专利引用的比率 / 所有专利被引用的比率	CII 反映了该技术的技术实力及其技术领先程度。指标越大, 说明该技术相应的研究机构与企业的技术实力越强, 领先程度越高
技术力量 (TS)	技术点专利量 $\times$ CII	TS 反映了技术点的创新质量状况, TS 越高, 说明该技术相应的研究机构与企业的创新能力与质量越高
技术独立性	$\frac{\text{技术点专利自引次数}}{\text{技术点专利总被引次数}}$	反映了该技术点与其他技术点依赖程度与研发自主性水平。指标越高, 说明该技术与其他技术的依赖性越低, 研发自主性水平越高
技术影响力指标 (TII)	(某年专利位居被引用次数前 10% 的最具影响力专利件数 / 当年专利量) / (所有专利位居最具影响力的专利件数 / 技术点所有专利量)	比当前影响指数更能体现一个企业的技术领先程度。指标越大, 说明该技术相应的研究机构与企业的技术实力越强, 领先程度越高
发明专利率	$\frac{\text{技术点发明专利量}}{\text{技术点所有专利数量}}$	衡量技术点的技术发展阶段。指标高, 说明技术点处在萌芽或发展期。指标越低, 说明技术发展越成熟
前向引文量	该专利被后期专利引用的次数	衡量该专利对后来技术发展的影响程度。指标越高, 说明该技术点越基础或重要
科学关联度	引用科学文献的平均数量	反映技术点所涉及的技术领域与科学的联系程度。该数量大, 说明研发活动和技术创新紧跟最新科技的发展

落后, 处于追赶世界先进技术的地位。对这类新兴产业进行技术预见时, 首先, 需要厘清我国机器人技术与世界先进水平在哪些方面存在差距; 其次, 需要分析造成这些差距的原因; 最后, 寻找追赶差距的技术点, 指导产业发展。主要研究内容如下: 基于文献计量、专利分析方法识别机器人领域科学、技术、产业应用及其之间转移过程的差距; 结合历史数据与专家知识, 识别机器人领域造成创新差距的未来政策、市场、产业等宏观因素; 绘制机器人

产业技术路线图, 指导产业发展。

## 2. 3D 打印产业

我国 3D 打印产业技术的理论研究同步于世界先进水平, 但市场应用则相对落后。在对这类新兴产业进行技术预见时, 第一, 需要按世界发展先进水平进行技术预见; 第二, 需要特别考虑基础研发到产业技术的协调转化。因此, 有必要持续保持对技术研究热点、技术空白点、技术发展趋势等方面的前沿研究和深入探索, 保持我国理论研究的整体

表2 论文分析指标

计量指标	计算方法	指标说明, 表征的意义
分区刊均论文数量	分别统计 ABCD 四个分区 (论文数量 / 该分区的期刊数)	反映了该技术点不同研究水平的论文数量, 从而可以了解该技术点学术研究活动水平
论文综合指标	分区刊均论文数量 × 该分区的刊均影响因子	反映了该技术点学术研究活动水平。指标越高, 说明该技术点的学术研究水平越高
文献增长率	$R = \frac{Pa(n) - Pa(n-1)}{Pa(n-1)}$ ( $Pa(n)$ 表示第 $n$ 年的文献发表数量)	文献增长率反映了技术创新能力的变化程度。指标越高, 说明该技术的创新能力增强越多
篇均引用量	论文被引用的总次数 / 论文总数	理论上讲, 被引次数是衡量学术论文影响力和质量的标尺。指标越高, 反映了该技术点越强的重要性和地位

先进性、综合实力与竞争力。研究将主要围绕新兴技术的识别、科学基础、影响力等方面展开实证研究, 主要研究内容如下: 基于专利数据的新兴技术发现分析; 基于论文和专利数据的新兴技术科学基础分析; 基于网络信息数据的新兴技术潜在影响力分析。

### 3. 新能源与节能产业

我国新能源与节能技术的研究整体处于世界先进水平, 所以在针对这类新兴产业进行技术预见时, 首先考虑到, 这类产业发展相对成熟, 我国具有突出的制造优势, 因此预见可以以产业技术的发展为主线; 其次可根据上述产业特征, 进行全主题的技术发展及预见。主要研究内容如下: 结合文献计量、专利分析、网络分析法与技术路线图研讨, 识别新能源与节能技术的技术发展阶段; 使用文献计量识别科学到技术的演进过程, 使用专利分析识别技术到应用的转化过程, 使用技术路线图研讨识别应用到市场的推广。

## 三、战略性新兴产业战略咨询研究支持平台原型

本研究系统地对技术预见的分析框架进行标准化设计, 更好地满足技术预见中专家对专利、文献等数据的需求, 为新兴产业发展战略提供强有力的知识支撑, 更科学地发挥专家在新兴产业技术预见及战略规划的决策支持作用。拟设计数据库、方法与工具库、指标库、流程库四个模块, 更好地完成数据收集、数据挖掘、数据分析工作, 以这些模块为基础, 构建基于大数据分析的技术预见理论框架。

最终建立一个集全面优质数据源、先进的分析方法、全面的分析指标、有效的咨询流程、丰富的

咨询案例为一体的综合战略咨询支持平台原型, 见图 2。

在平台的建立过程中, 深入解析了国内外技术预见的理论及应用难题, 探索客观大数据、技术路线图等方法与专家知识的内在联系, 构建大数据分析、技术路线图嵌入技术预见的分析框架与流程, 优化专家为核心的决策支持过程。

为了探索研究上述嵌入式的技术预见分析框架和流程, 此平台一方面将研究大数据分析、技术路线图等方法与技术预见的契合点, 另一方面将针对契合点进行具体方法和工具上的创新、开发与应用。

此平台将大数据概念方法和技术预见概念框架应用于机器人、3D 打印、新能源与节能三类不同发展路径的新兴产业实际案例研究, 进行指标构建研究, 探寻具体产业技术领域内的新兴技术、新兴技术未来发展路径、影响新兴技术未来发展的因素以及这些因素之间的变化关系, 为新兴技术及产业发展提供科学依据与决策支撑。

### 参考文献

- [1] Miles I. The development of technology foresight: A review [J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2010, 77(9): 1448–1456.
- [2] Blind K, Cuhls K, Grupp H. Current foresight activities in Central Europe [J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 1999, 60(1): 15–35.
- [3] Georghiou L. The UK technology foresight programme [J]. *Futures*, 1996, 28(4): 359–377.
- [4] Martin B R, Johnston R. Technology foresight for wiring up the national innovation system: experiences in Britain, Australia, and New Zealand [J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 1999, 60(1): 37–54.
- [5] Kuwahara T. Technology forecasting activities in Japan [J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 1999, 60(1): 5–14.
- [6] Lee S K, Mogi G, Kim J W. Energy technology roadmap for the

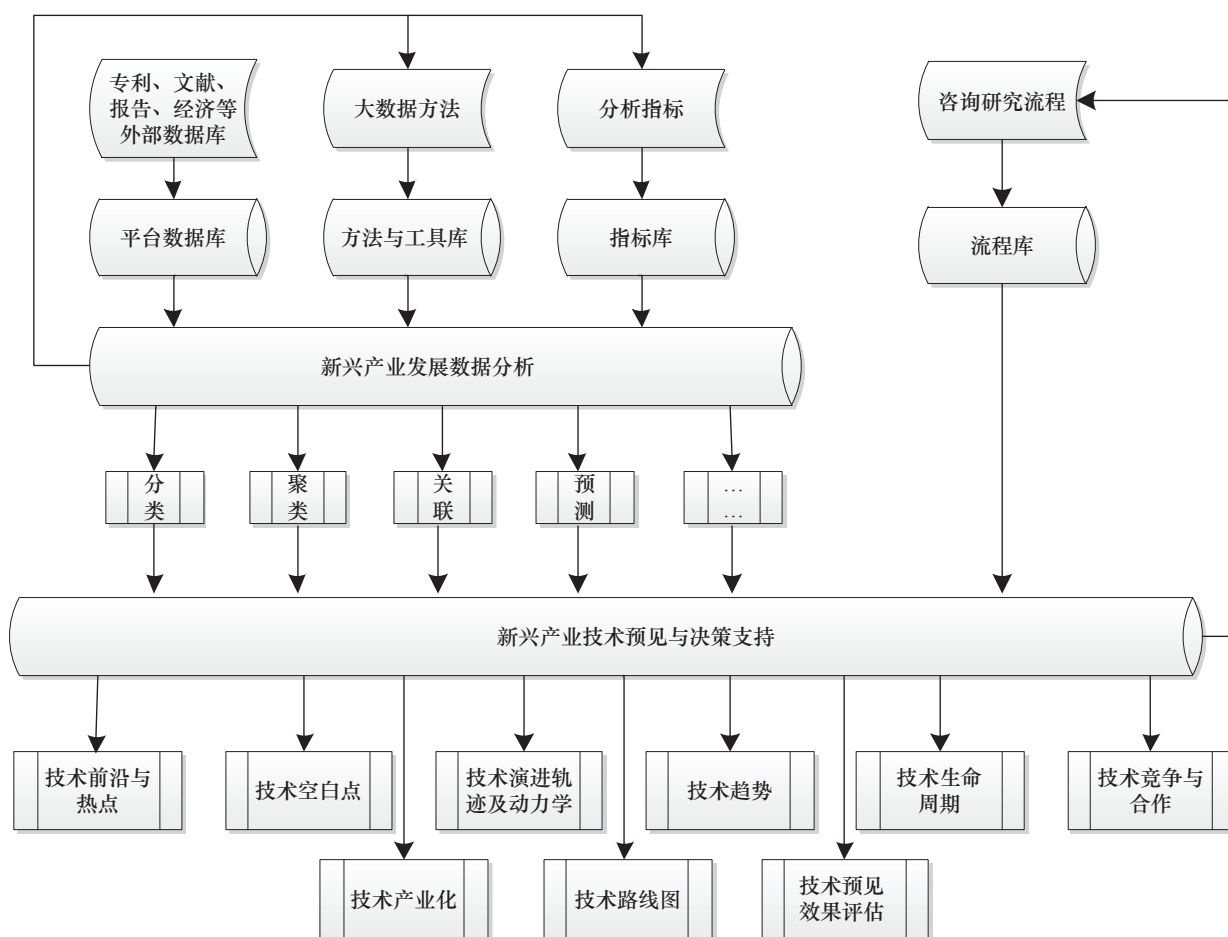


图2 战略性新兴产业战略咨询研究支持平台原型

- next 10 years: The case of Korea [J]. *Energy Policy*, 2009, 37(2): 588–596.
- [7] Choi M, Choi H L, Yang H Y, et al. Characteristics of 4th Korean technology foresight[C]//Institute of Electrical and Electronics Engineers. 2012 Proceedings of PICMET'12: Technology management for emerging technologies (PICMET) July29-Aug 2, 2012, Vancouver, BC. New York: IEEE, 2012: 1330–1354.
- [8] 郭卫东. 技术预见理论方法及关键技术创新模式研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2007.
- Guo W D. Technology foresight theory method and key technology innovation model research [D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2007.
- [9] 薛澜, 周源, 李应博, 等. 战略性新兴产业创新规律与产业政策研究(白皮书)[M]. 北京: 科学出版社, 2015.
- Xue L, Zhou Y, Li Y B, et al. Strategic emerging industries and industrial policy research on innovation (white paper) [M]. Beijing: Science Press, 2015.
- [10] Lee S, Seol H. Using patent information for designing new product and technology: Keyword based technology roadmapping [J]. *R&D Management*, 2008, 38(2): 169–188.
- [11] Phaal R, O'Sullivan E, Routley M, et al. A framework for mapping industrial emergence [J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2011, 78(2): 217–230.
- [12] Daim T U, Rueda G, Martin H, et al. Forecasting emerging technologies: Use of bibliometrics and patent analysis [J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2006, 73(8): 981–1012.
- [13] 李欣, 黄鲁成. 基于文献计量的染料敏化太阳能光伏技术可视化分析[J]. *情报杂志*, 2013, 32(12): 98–103.
- Li X, Huang L C. Visualization analysis of dye-sensitized solar cells technology based on bibliometric [J]. *Journal of Intelligence Journal*, 2013, 32(12): 98–103.
- [14] Jun S, Lee S J. Emerging technology forecasting using new patent information analysis [J]. *International Journal of Software Engineering and Its Applications*, 2012, 6(3): 107–114.
- [15] Kim Y G, Suh J H, Park S C. Visualization of patent analysis for emerging technology [J]. *Expert Systems with Applications*, 2008, 34(3): 1804–1812.
- [16] 张巍, 汪雪峰, 郭颖, 等. 基于文献计量学方法的技术路线图构建模型研究[J]. *科学学研究*, 2012, 30(4): 495–502.
- Zhang, Y, Wang X F, Guo Y, et al. Technology roadmap to construct model based on the method of literature metrology research [J]. *Studies in Science of Science*, 2012, 30 (4) : 495–502.
- [17] 郭颖, 汪雪峰, 朱东华, 等. “自顶向下”的科技规划—基于专利数据和技术路线图的新方法[J]. *科学学研究*, 2012, 30(3): 349–358.
- Guo Y, Wang X F, Zhu D H, et al. “LIP-to-down” science and technology planning: A new approach based on patent data and



- technology roadmapping [J]. *Studies in Science of Science*, 2012, 30(3): 349–358.
- [18] Robinson D K R, Huang L, Guo Y, et al. Forecasting innovation pathways (FIP) for new and emerging science and technologies [J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2013, 80(2): 267–285.
- [19] 李欣, 黄鲁成. 基于技术路线图的新兴产业形成路径研究[J]. *科技进步与对策*, 2014, 31(1): 44–49.  
Li X, Huang L C. Emerging industry based on the technology roadmap forming path research [J]. *Science and Technology Progress and Countermeasures*, 2014, 31(1): 44–49.
- [20] Li X, Zhou Y, Xue L, et al. Integrating bibliometrics and roadmapping methods: A case of dye-sensitized solar cell technology-based industry in China [J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2015, 97: 205–222.
- [21] 乔杨. 专利计量方法在技术预见中的应用——以国内冶金领域为例[J]. *情报杂志*, 2013, 32(4): 34–37.  
Qiao Y. Application of patent bibliometrics methods in technology foresight—Take the subsection of metallurgy as an example [J]. *Journal of Intelligence*, 2013, 32(4): 34–37.
- [22] 王金鹏. 基于科学计量的技术预见方法优化研究(硕士学位论文)[D]. 武汉: 华中师范大学, 2011.  
Wang J P. Technology forecast method based on the scientific measurement optimization research (Master's thesis) [D]. Wuhan: Central China Normal University, 2011.
- [23] 崔志明, 万劲波, 浦根祥, 等. 技术预见与国家关键技术选择应遵循的基本原则[J]. *科学学与科学技术管理*, 2002, 23(12): 9–12.  
Cui Z M, Wan J P, Pu G Y, et al. The basic principles of technology foresight and national key—technology choice in China [J]. *Science of Science and Management of S&T*, 2002, 23 (12): 9–12.
- [24] 王旭超, 吴腾枫, 江小蓉, 等. 面向技术预测的专利情报分析实证研究[J]. *情报科学*, 2014, 32(7): 139–144.  
Wang X C, Wu T F, Jiang X R, et al. Empirical research on patent intelligence analysis oriented to technology forecast [J]. *Information Science*, 2014, 32(7): 139–144.
- [25] 穆荣平, 任中保, 袁思达, 等. 中国未来20年技术预见德尔菲调查方法研究[J]. *科研管理*, 2006, 27(1): 1–7.  
Mu R P, Ren Z B, Yuan S D, et al. The study on methodology of delphi survey of technology foresight of China towards 2020 [J]. *Journal of Scientific Research Management*, 2006, 27(1): 1–7.
- [26] 孙静芬, 袁建华, 赵滢, 等. 国外航天未来发展技术预见实施研究[J]. *中国航天*, 2015(10): 37–41.  
Sun J F, Yuan J H, Zhao Y, et al. Technology foreign aerospace technology to foresee the future development research [J]. *Aerospace Chinese*, 2015(10): 37–41.
- [27] Zhang Y, Zhang G Q, Chen H S, et al. Topic analysis and forecasting for science, technology and innovation: Methodology with a case study focusing on big data research [J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2016.
- [28] Wang X F, Qiu P J, Zhu D H, et al. Identification of technology development trends based on subject–action–object analysis: The case of dye-sensitized solar cells [J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2015, 98: 24–46.
- [29] Nassirtoussi A K, Aghabozorgi S, Wah T Y, et al. Text mining of news-headlines for FOREX market prediction: A Multi-layer dimension reduction algorithm with semantics and sentiment[J]. *Expert Systems with Applications*, 2015, 42(1): 306–324.
- [30] Keppell M. Principles at the heart of an instructional designer: Subject matter expert interaction [C]// Sims R, O' Reilly M, Sawkins S, et al. Learning to choose—Choosing to learn. Proceedings of the 17<sup>th</sup> Annual Conference of the Australasian Society for Computers in Learning in Tertiary Education, 2000, Coffs Harbour, NSW, Australia: ASCILITE, 2000: 317–326.
- [31] Quiazade A, Mugny G, Cléopas A D, et al. Interaction styles and expert social influence [J]. *European Journal of Psychology of Education*, 2003, 18(4): 389–404.
- [32] Lee M F, Mehlenbacher B. Technical writer/subject-matter expert interaction: The writer's perspective, the organizational challenge [J]. *Technical Communication*, 2000, 47(4): 544–552.
- [33] Kenny P G, Parsons T D, Gratch J, et al. Evaluation of novice and expert interpersonal interaction skills with a virtual patient [J]. *Lecture Notes in Computer Science*, 2009, 5773: 511–512.