

基于动态赋值的存储芯片产业颠覆性技术识别研究

张秀妮¹ 刘武英² 武 茜¹

(1.陕西省科学技术情报研究院, 陕西西安 710054; 2.西安邮电大学, 陕西西安 710121)

摘要: 为了探索存储芯片领域的颠覆性技术发展趋势, 辅助产业界精准把握技术机会, 以Web of Science数据库和德温特专利数据库中存储芯片技术领域的论文和专利作为数据源, 在LDA (Latent Dirichlet Allocation) 模型技术主题筛选的基础上采用动态赋值法对6个技术指标进行综合评价, 并结合数据解读和人工智能识别出存储芯片领域颠覆性技术。研究表明, 新型非易失性存储器技术中的可变电阻式存储器和相变化存储器、磁阻式随机存取存储器和仿生电子元器件及仿生神经计算机可能成为存储芯片领域的颠覆性技术点。

关键词: 存储芯片; 颠覆性技术; 动态赋值; 主题模型; 层次分析法

DOI: 10.3772/j.issn.1674-1544.2022.04.010

CSTR: 15994.14.issn.1674.1544.2022.04.010

中图分类号: G358

文献标识码: A

Research on Identification of Disruptive Technologies in the Memory Chip Industry Based on Dynamic Assignment

ZHANG Xiuni¹, LIU Wuying², WU Xi¹

(1. Shaanxi Institute of Science and Technology Information, Xi'an 710054; 2. Xi'an University of Posts and Telecommunications, Xi'an 710121)

Abstract: In order to explore the development trend of disruptive technologies in the field of memory chips and assist the industry to accurately grasp the technological opportunities, the papers of the Web of Science database and the patents of the Derwent patent database in the field of memory chip technologies are used as data sources, and the dynamic assignment method is used to comprehensively evaluate the six technical indicators based on the LDA model technology theme screening, and finally combine data interpretation and Human intelligence identifies that in the field of memory chips, variable resistive memory and phase change memory in the new non-volatile memory technology, magneto resistive random access memory, bionic electronic components and neural-like computers may become disruptive technology points in this field.

Keywords: storage chips, disruptive technologies, dynamic assignment, topic models, Analytic Hierarchy Process

0 引言

存储芯片是全球半导体的主战场, 也是全

球半导体超级周期的主抓手, 直接影响到产业和信息安全, 全球各个国家都高度重视, 而颠覆性技术带来的战略时间窗口期和产业技术窗口期是

作者简介: 张秀妮 (1981—), 女, 陕西省科学技术情报研究院副研究员, 研究方向为科技情报研究和信息检索 (通信作者); 刘武英 (1978—), 女, 西安邮电大学副编审, 研究方向为情报研究和分析; 武茜 (1984—), 女, 陕西省科学技术情报研究院助理研究员, 研究方向为信息检索和情报研究。

基金项目: 陕西省社会科学基金项目“大数据环境下的产业颠覆性技术识别研究”(2019P003); 陕西省重点研发计划项目“基于陕西省科技文献共享平台的数据关联分析系统开发及应用”(2019GY-214)。

收稿时间: 2021年11月25日。

目前各国博弈以及采取其他动作最重要的考虑因素。准确识别存储芯片产业发展可能的颠覆性技术,是面向世界科技前沿,推动科技创新的先决条件,可以将人、财、物等资源精准投入到最具有价值的创新科技研究中,这对解决我国产业的卡脖子技术起到促进作用,对我国信息技术产业的创新发展起到重要的支撑作用,对国家抢占全球前沿科技和新兴产业发展的战略制高点具有重要的理论和现实意义。

颠覆性技术概念在1995年由Bower和Christense提出,是指一种独辟蹊径的、对已有的传统技术或者主流技术产生颠覆性效果的技术。颠覆性技术强调的是技术在性能或功能上产生重大突破,并将逐步取代已有技术。颠覆性技术主要特征表现在突变性、渗透性、时效性3个方面。突变性是指颠覆性技术起源自创新思维,使得原有技术的发展轨迹发生了巨大改变,技术应用领域进行了新的拓展,是常识无法预料的,产生“技术突袭”的奇效。在性能或功能方面,颠覆性技术会通过向各个领域的渗透,对新旧组织形态的转变产生一定影响,最终在新的技术体系的基础上形成新的组织形态;某方面基础研究的突破和渗透可能会促成某些重要技术的形成和发展。在当今信息爆炸时代,环境的变化瞬息万变,技术的发展速度日新月异,以指数级速度在不断的刷新,原有的主流技术很难长期保持其垄断地位,因此颠覆性技术也具有时效性。

国内外的研究人员试图通过各种方法来识别颠覆性技术。Vojak等^[1]采用技术路线图的方法来协助决策者对颠覆性技术进行识别。Kostoff等^[2]在文本挖掘法的基础上综合考虑专家意见后识别潜在颠覆性技术。Sood等^[3]在建立样本外识别模型的基础上对颠覆性技术的定义提出7个假设。Govindarajan等^[4]和Adams等^[5]采用一个具有多个评估指标的框架进行颠覆性技术识别^[6]。Bloodworth等^[7]以文献作为数据源,从技术发展前沿和技术性能突破这两个评价指标入手,根据颠覆性技术和主流技术在其属性集中不同位置的关键属性特征进行颠覆性技术识别。黄鲁成等^[8]

引入了物种入侵理论模型,通过集对分析方法计算前沿技术在出现前后其属性集的相似度,进而度量颠覆强度值。苏敬勤等^[9]利用专利数量时间分布的J型曲线、专利被引数量时间分布的λ型曲线和专利被引率时间分布的L型曲线来分析颠覆性技术的演化轨迹。张枢盛等^[10]提出了企业技术产品的成熟度、市场的成熟度、产业的标准化、产业的分工度等颠覆性技术的评价指标。李存斌等^[11]从技术投资、扩散和支持3个方面构建了颠覆性技术的评价指标体系。

目前,国内外学者关于颠覆性技术识别方法的研究主要有两个方面:一是从微观层面技术属性出发,以评估科学技术的管理与应用这一属性为主的主观判断识别法^[12];二是以专利数据或学术论文作为数据来源,对技术本身进行探测判断其是否具有颠覆性特征的量化方法。目前的多数量化研究方法均停留在采用相对简单的数据统计来描述现象从而识别颠覆性技术,对数据质量及数据反映出的技术市场化等深层次因素对颠覆性技术的影响考虑不够,缺乏采用定性、定量多种方法相结合的同时考虑数据质量的颠覆性技术综合识别研究,且采用的数据源比较单一,往往只采用单一的学术论文或者专利文献开展相关研究。论文记载着对未解的前沿科学问题开展研究所取得的最新研究进展或创新的知识信息,但缺乏对产业技术发展后期技术创新活动的相关研究。专利数据记载着技术发展过程中发明创造的轨迹和成果,但缺乏技术领域的基础研究相关的原始理论创新相关内容。颠覆性技术的特征决定了其识别方法,实质上属于技术预见范畴,目前其识别体系还不够全面、不够系统,还没有一个统一的衡量标准。

鉴于此,本文将基于存储芯片产业,针对目前颠覆性技术识别方法中数据源比较单一的问题,综合采用会议论文和专利文献两种异构数据,拟从学术研究和技术创新两个维度产生的研究成果来深度挖掘科学和技术两个层面丰富信息;为了充分考虑那些具有颠覆性特征的技术主题,本文选取了选取论文近3年被引频次增长率

和专利 3 年引用率指标体现技术时效性的同时兼顾了渗透性；采用关键词凸现度体现颠覆性技术的突变性，科学关联度指标着重体现基础研究对技术创新的渗透性；针对目前颠覆性技术识别方法中缺乏考虑数据质量的定性与定量相结合动态评价识别方法的问题，引入关键词凸现度和专利价值指数等基于数据质量的评价指标，将群决策思想融入层次分析法，采用动态赋值法优化目前颠覆性技术识别的方法，主观和客观方法相结合使得颠覆性的评价识别更加科学和全面。

1 研究框架及评价指标设计

1.1 研究框架

从异构数据视角出发，本文提出一种定性与定量相结合的、基于数据质量的动态权重分配评估方法。首先，通过综合考虑专利的组合规模、市场范围以及专利年龄、不同领域引用行为差异

等质量因素，提供一种更加准确的专利资产评估算法，突破常规仅通过专利数量判断技术价值的局限性。其次，将竞争情报分析、专利资产指数分析、专家意见调查等方法相结合，基于专利和论文两种异构数据构建产业颠覆性技术识别模型。最后，设计一种动态权重分配算法为分析指标进行动态权重值分配，经过加权计算后甄别出目标领域的颠覆性技术。本文选取战略新兴产业中规模大、创新密集的存储芯片产业作为具体研究对象，通过以上方法识别出存储芯片领域的颠覆性技术，以期为抢占信息技术发展高地提供新的借鉴视角。基于动态赋值的颠覆性技术识别方法的整体研究框架如图 1 所示。

在动态权重赋值法中，为了摆脱评估过程的随机性以及专家的主观随意性等原因对权重的影响，避免确定的权重与实际相悖的不足，将群决策的思想融入层次分析法（AHP）^[13]。即将专家

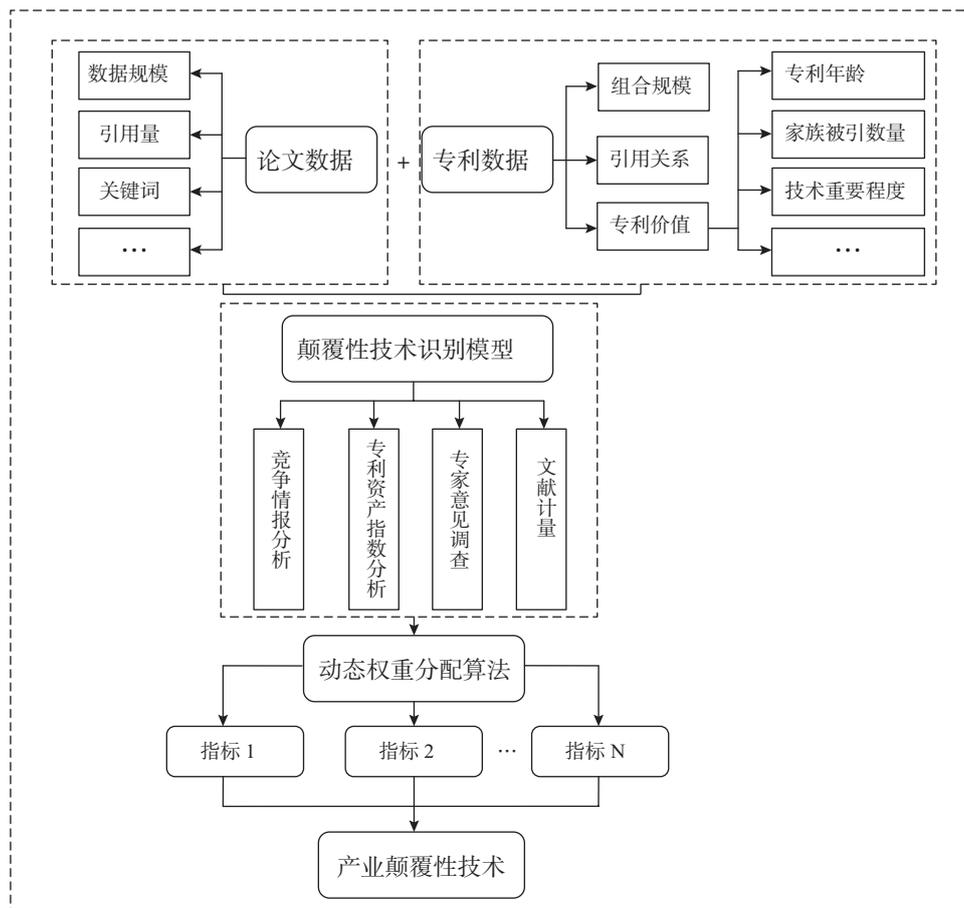


图 1 产业颠覆性技术识别流程

意见作为对各个指标赋权的主要依据,并根据评价指标之间的相互逻辑关系逐步调整各个指标的权重占比,保持动态赋权,从而改进传统的AHP法并应用在颠覆性技术评价指标层次结构模型中确定指标权重。

1.2 颠覆性评价指标及定义

1.2.1 论文指标选取

(1) 近3年被引频次增长率

处于科学研究初期阶段的颠覆性技术,往往采用论文形式作为基础研究成果呈现出来。这个时期论文的被引用频率通常会增长,因此可以采用选定技术领域中论文的近3年被引频次增长率来反映技术的基础研究随时间的变化情况。论文的被引频次增长率表示学者的影响力变化幅度,通过增长率能够较好地刻画产出影响力变化情况。增长率可通过式(1)得出。

$$f(x) = ae^{bx} \quad (1)$$

式中, a 为初始年份的被引频次, b 为增长率, x 为距离初始年份的年数, $f(x)$ 为 x 时刻论文的被引频次。

(2) 文献增长率

在科学研究的初期,颠覆性技术相关的专利往往数量会很少,论文文献中的技术指标信息虽然没有专利信息丰富,但作为专利上游的论文的数量通常会出现较快增长^[12],因此也可以采用选定技术领域的论文文献增长率来反映技术的基础研究随时间的变化情况。

(3) 关键词凸现度

最直观的观察技术主题变化趋势的方法就是查看关键词词频随时间的变化状况。以词频为指标可能会过多地关注基本关键词,而基本关键词会在大部分论文中出现,应该被过滤掉。所以,不能直接引用频次这一指标,而应和总的关键词集联系起来,综合描绘关键词随时间的变化程度。由此提出了关键词凸现度概念,引用了 $tf-idf$ 指标。 tf 指关键词的频次, idf 指关键词在整个数据集中的重要程度。

$$idf(t) = \log \frac{1+n}{1+df(t)} + 1 \quad (2)$$

式中, n 等于总的文档数, $df(t)$ 是文档集中包含关键词的文档数,从而得到

$$tf-idf(t,d) = tf(t,d) \times idf(t) \quad (3)$$

再将所得的 $tf-idf$ 向量通过欧几里得范数归一化。

$$v_{norm} = \frac{v}{\|v\|_2} = \frac{v}{\sqrt{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2}} \quad (4)$$

1.2.2 专利指标选取

(1) 近3年被引用率

在考虑时间因素的基础上,采用了专利的近3年被引用率这一技术指标。该指标是指选定技术领域或某项技术的专利数据集在其公开年、公开后次年和第3年这3年中的总的被引用量与该技术公开年当年的专利数量之比^[14]。这一指标可以从特定角度体现出某项技术最近的创新性突破和研究水平的发展情况。

(2) 专利价值指数

根据 Holger 等^[15]提出的和国内一些学者加以完善的专利价值指数分析方法,并结合马雨菲等^[16]对技术竞争力的评价研究,确定了4个对专利进行评价的指标,分别为组合规模、市场范围、技术重要程度和竞争影响力。组合规模是指特定时间段内企业授权专利和有效专利的数量规模,反映企业专利组合布局;市场范围是用于衡量在全球市场内某项专利的受保护程度的指标;技术重要程度反映专利的发展潜力与质量;竞争影响力是测度其可竞争优势的指标,反映了个别专利技术的长期竞争优势能力。专利价值指数的计算方法:首先将某规模组合专利中个别专利家族的技术重要程度指标值与市场范围指标值相乘,计算出该专利家族的竞争影响力指标;再计算专利组合包含的所有专利家族的竞争影响力指标总和,从而得出该专利组合的专利价值指数。

(3) 科学关联度

专利对论文的引用可以有效地反映出相关领域的基础研究成果对技术创新的影响,引用了学术论文的专利文献,更容易受到后来技术发明者的注意,激发产生新的技术。科学关联度 (Science Linkage, SL) 由计量学泰斗 F.Narin 首次提

出，指的是专利引用学术论文的平均数量^[17]，如式（5）所示。

$$SL = \frac{PT_num}{P_num} \quad (5)$$

式中， SL 代表科学关联度， PT_num 代表专利引用的会议论文数量， P_num 代表专利本身的数量。科学关联度可以用来衡量一个国家或地区或某技术领域或产业领域的基础科学研究与技术创新活动之间的相互联系，从而用来表征基础科学研究给技术创新活动带来的影响，进一步反映基础科学研究活动对技术创新发展的效用。该值越大，说明科学基础研究对技术创新发展的推动作用越大。

1.3 动态赋值评价的逻辑程序

基于上述的基本研究框架，将颠覆性技术识别过程划分为以下几个具体步骤。

步骤1：数据获取。选定采用的数据库来源获取论文和专利数据，在文献调研的基础上结合专家意见来确定试检策略，并通过试检反复修正直至检索出数据集可以全面准确反映出所选的技术领域。

步骤2：将所得数据进行清洗与处理后，采用LDA（Latent Dirichlet Allocation）主题模型对论文和专利的融合数据集的标题、关键词和摘要文本进行分析，确定备选技术主题。

步骤3：结合对技术领域已有资料的研究和专家意见，不断调整和合并技术主题，筛选出较为理想的颠覆性技术主题结果。

步骤4：选用改进的层次分析法对筛选出的颠覆性技术主题进行多指标动态综合评价，根据综合重要度值选择可用于进一步进行颠覆性技术点识别的主题。

步骤5：对选定的技术主题下的关键词选取阈值不断调整，并考虑关键词凸现度随年份的变化情况，结合专家智慧挖掘颠覆性技术点。

2 存储芯片产业颠覆性技术识别

2.1 数据获取

选取在国际上具有很高权威性的Web of

Science数据库中的核心合集中的会议论文和德温特世界专利索引（DWPI）数据库进行数据的采集。对于文献定量分析来说，数据的全面和准确是整个分析的基础，只有当所采用的数据集能够涵盖研究领域该类数据的主体且可反映出研究领域的最主要问题时，后续的分析研究才有现实意义。在充分了解存储芯片领域概况的基础上，本着兼顾数据的查全率和查准率的原则，选取检索词并组配检索式，优化确定了以下存储芯片领域检索策略。

论文数据库检索式是：主题=“memory chip” or “NAND Flash” or RAM or “Flash Memory” or EEPROM or DRAM or ROM or “Random Access Memory” or “Read Only Memory” or “NOR Flash” or DDR or SDRAM or “synchronous dynamic random-access memory” or NVDIMM；标题=“storage cell” OR “memory location” OR “bank bit” OR “memory cell” OR “memory unit” OR “store location” OR “storage location” OR “store cell” OR “bit cell” OR “Storage Unit”。把这两个检索式合并之后进行研究方向和学科的筛选得出最终数据集。

专利数据库检索式是：德温特标题TID=（“DDR” OR “SDRAM” OR “synchronous dynamic random access memory” OR “NVDIMM” OR “storage cell” OR “memory location” OR “bank bit” OR “memory cell” OR “memory unit” OR “store location” OR “storage location” OR “store cell” OR “bit cell” OR “Storage Unit” OR “memory chip” OR “NAND Flash” OR “RAM” OR “Flash Memory” OR “EEPROM” OR “DRAM” OR ROM or “Random Access Memory” or “Read Only Memory” or “NOR Flash”）AND 全部文本字段ALLD=（chip）。

检索的时间跨度为2011—2020年，共获取了15 062篇会议论文和26 175个DWPI专利同族。

2.2 整体概况

将获取的论文和专利数据导入DDA（Der-

went Data Analyzer) 文本挖掘软件中, 采用其数据统计和分析等功能模块辅助构建文献数量—时间矩阵, 从而得到论文和专利数量随年份的变化趋势情况, 如图 2 所示。

从图 2 可以看出, 自 2011 年起, 存储芯片领域的论文数量呈现稳步上升的趋势, 2020 年的数量可能由于专利公开以及会议论文的滞后性, 造成数据的不准确, 不具有实质性参考意义。其中, 2011 年之前会议论文增长相较于专利数量的增长较为缓慢, 说明国内外学者对存储芯片领域的关注度保持在一定水平, 变化不大。专利数量增长的速率大于会议论文, 一直呈直线增长, 在 2018 年较上年略有下降, 但整体规律未变, 说明近年来存储芯片领域技术的研发以及创新应用活动十分活跃, 技术迭代更新迅速。专利的申请在某种意义上象征着技术所具有的商业前景和商业价值。技术通常是在前期科学理论研究积累的基础上, 当该理论研究较为成熟的时候, 被市场大规模应用, 并进一步推动着技术的迭代式创新发展, 这也说明储存芯片是一个持续飞速发展的技术领域。为了从宏观上了解会议论文和专利数据, 下面对会议论文和专利数据分别进行数据概况分析。

2.3 技术主题筛选

将每一年的论文和专利归为一组, 对标题、

关键词和摘要文本建立数据集, 对文本内容进行分词、去除停用词和数字、同义词合并等处理, 采取 TF-IDF 算法进行文本处理, 提炼出具有价值、高频的技术特征词 32 914 个, 为 LDA 模型分析作准备。

将会议论文和专利文献结合起来, 利用 pyLDAvis 工具包及困惑度指标确定主题数, 在采用 LDA 主题聚类模型识别技术主题的同时结合 N-gram 方法提取词组用来确定技术主题名称。在技术主题聚类时, 首先设定每个技术主题聚簇个数为 10 个, 再分析聚类结果输出的每个聚簇下的高频词, 去除主题词频高不能反映实质内容的词汇之后, 通过关键词共现分析, 查看相似的可以归为一类的关键词, 构成一个技术主题。根据这些关键词确定各个技术主题的名称。但这些技术主题可能出现颗粒度不一致的问题, 或各个技术主题之间的关键词相似度较高, 需要根据各个技术主题的内涵结合已有技术领域背景资料对现有的技术主题进行调整和合并, 最终确定技术主题个数为 5 个 (图 3), 通过不断调整阈值, 将每个主题筛选后的结果控制在 30 个关键词左右。这里的阈值设置就是在最高的 $tf-idf$ 值的基础上, 不断下调, 最后得到理想的结果。

2.4 各主题指标测算

将以上 5 个主题与其对应的论文和专利数据

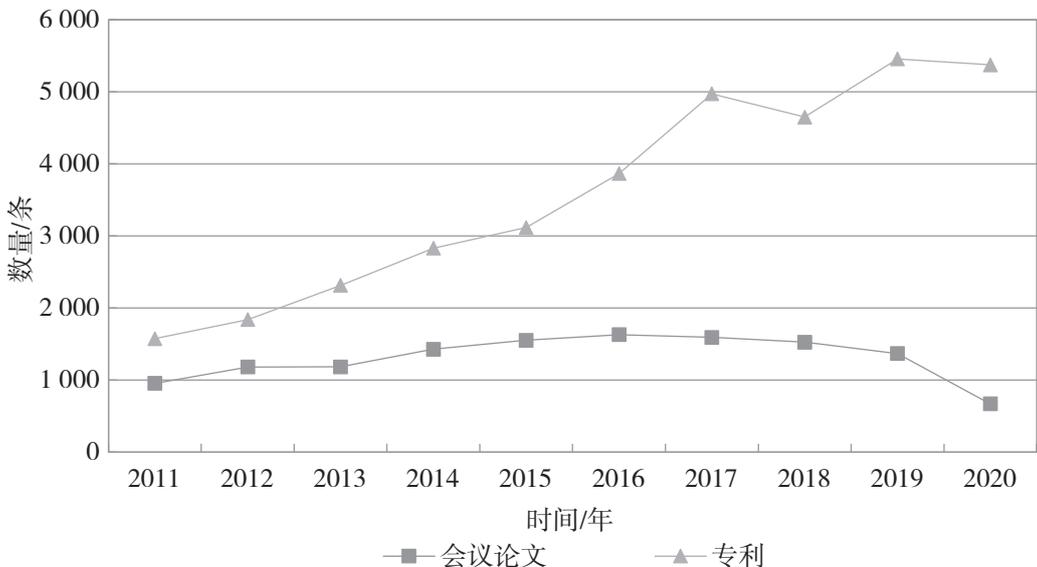


图 2 存储芯片领域的论文与专利数量年度分布

进行匹配，形成 5 个主题的子数据集，然后对每个子数据集的各项指标进行测算，最终根据子数据集的各项指标结果采用动态赋值法进行评价。论文和专利数据与各主题的匹配方法为：通过确认 LDA 算法生成的词频矩阵中每个记录对应每个主题最高的概率（即每一行的最大值）来确定该记录归属的主题。因为是以高频词聚类得到的主题，高频词又是一篇文章浓缩出来的最有价值的词，可以近似认为一篇论文或专利对应的高频词即为这个论文或专利想要表达的主题，因此找到高频词对应的主题即为这篇论文或专利的主题。根据文档对应主题的概率分布情况，进行各个主

题的指标计算。

5 个主题对应的评价指标生成的主题—评价指标矩阵如表 1 所示。

2.5 动态赋值评价

通过改进的层次分析法对备选的颠覆性技术主题进行多指标动态综合评价分析^[18]。

2.5.1 建立层次结构模型

首先绘出层次结构图，共分为决策目标、考虑的决策准则因素和决策对象 3 层^[19]。选取了论文近 3 年被引频次增长率、论文的文献增长率、论文关键词凸现度、专利近 3 年引用率、专利价值指数和科学关联度 6 个指标。具体结构如图 4

topic 1: earth water sram lamp rammed bluetooth patients touch inline namespace trim
topic 2: parity rram flush stram conductive metal decoder oxide nram film floating
topic 3: destination performs circuits garbage subsystem persistent included readwrite count redundant
topic 4: nan spi dna deep-learning machine-learning cpld san duty neural-network neuromorphic rams
topic 5: audio termination oram guest initiator victim token readout proxy television

图 3 存储芯片领域确定的 5 个技术主题的 Top 10 关键词

表 1 存储芯片技术领域各主题的评价指标矩阵

主题	论文指标			专利指标		
	近 3 年被引频次增长率	文献增长率	关键词凸现度	近 3 年引用率	专利价值指数	科学关联度
Topic 1	0.247 451	0.241 234	0.200 461	3.426 230	12.045 867	1.732 240
Topic 2	0.168 404	0.169 644	0.209 456	6.057 602	11.145 916	2.792 257
Topic 3	0.122 235	0.102 763	0.255 491	4.552 293	13.609 005	3.687 917
Topic 4	0.346 432	0.350 178	0.222 219	3.511 236	12.624 157	4.870 787
Topic 5	0.115 477	0.136 181	0.112 374	5.564 616	13.865 608	2.462 366

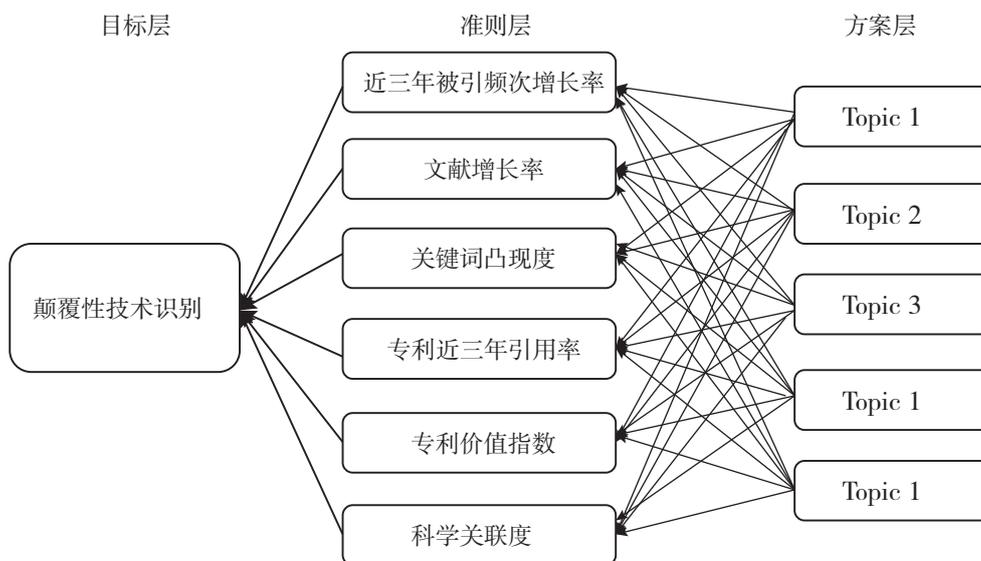


图 4 评价模型的层次结构

所示。

2.5.2 分层构造判断矩阵

多层次的评价指标体系一般具有比较复杂的结构，各个评价指标对应的权重确定是个难点也是关键点，采用两两比较评价因子的重要性来确定权重的方法比一次性确定所有因子的权重更加容易把握。因此，没有把所有因子放在一起进行比较，而是因子之间两两相互比较。对比时采用相对尺度，以尽可能降低性质不同的因子之间相互比较的难度，来提高准确度。

对于 n 个因子而言，可得两两相比较的判断矩阵 A （正交矩阵）：

$$A = (a_{ij})_{n \times n} \quad (6)$$

满足：

$$a_{ij} \geq 0, a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}, a_{ii} = 1 \quad (7)$$

由专家对准则层内 6 个评价指标的两两相对重要性进行打分，其相对重要性的比例标度取值范围为 1 至 9 之间^[20]。根据专家打分结果整理分析出判断矩阵结果如表 2 所示。

将每个备选的颠覆性技术主题计算得到的指标矩阵输出，作为各个备选技术对每个准则的判断矩阵。如各技术主题的专利近 3 年引用率指标矩阵如表 3 所示。

2.5.3 计算权重

将颠覆性技术识别评价指标重要性的判断矩阵 A 的各行向量采用方根法几何平均后进行归一化，得到各评价指标的权重和特征向量 W 。

权重向量 $W = (W_1, W_2, \dots, W_n)^T$ 可直接由式 (8) 得出：

$$W = \left(\frac{a_{11}}{w_0}, \frac{a_{21}}{w_0}, \dots, \frac{a_{n1}}{w_0} \right)^T \quad (8)$$

其中： $W_0 = \sum_{i=1}^n a_{i1}$

2.5.4 一致性检验

若矩阵 A 是一致矩阵，那么 A 的最大特征值所对应的特征向量即准确地对应于权重向量 W ， $AW = \lambda_{\max} W$ 。采用求和法计算判断矩阵权向量的过程中，首先将矩阵按列归一化，然后将归一化后的元素按行相加，最后将得到的每一行的和向量进行归一化即得权重。由于在实际应用中，判断矩阵 A 一般不可能是一致矩阵，因此要进行一致性检验，检查该方法得到的权重向量是否有效。计算一致性指标 $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$ ，其中 n 代表的是判断矩阵的阶数。

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{W_i} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} W_j}{W_i} \quad (9)$$

计算一致性比例 $CR = \frac{CI}{RI}$ ，当 CR 小于 0.1

表 2 颠覆性技术识别评价指标重要性的判断矩阵

指标	论文关键词凸现度	论文增长率	论文近 3 年被引频次增长率	专利价值指数	科学关联度	专利近 3 年引用率
论文关键词凸现度	1	4	3	1	1/2	2
论文增长率	1/4	1	1/2	1/7	1/5	1/3
论文近 3 年被引频次增长率	1/3	2	1	1/6	1/4	1/2
专利价值指数	1	7	6	1	1	5
科学关联度	2	5	4	1	1	2
专利近 3 年引用率	1/2	3	2	1/5	1/2	1

表 3 各主题的专利近三年引用率指标矩阵

主题	Topic1	Topic2	Topic3	Topic4	Topic5
Topic 1	1.000 000 00	0.565 608 31	0.752 638 29	0.975 790 29	0.615 728 30
Topic 2	1.768 007 99	1.000 000 00	1.330 670 50	1.725 205 03	1.088 612 56
Topic 3	1.328 659 49	0.751 500 84	1.000 000 00	1.296 493 03	0.818 093 25
Topic 4	1.024 810 36	0.579 641 25	0.771 311 51	1.000 000 00	0.631 004 75
Topic 5	1.624 092 95	0.918 600 46	1.222 354 54	1.584 774 14	1.000 000 00

时，认为该判断矩阵的一致性是可以接受的，即判断思维的逻辑一致性是合理的。最终得到所有特征向量，如图 5 所示。

2.6 颠覆性技术方向识别

将得到的 5 个技术主题的特征向量与 6 个指标的权重向量相乘，即可计算每个技术主题的综合重要度，如表 4 所示。从表 4 可以看出，对于 5 个备选的颠覆性技术主题，Topic 1 的综合重要度值最高，为 0.229 017 09，该主题代表的是直插式内存模块等。综合重要度值较高的是 Topic 4，为 0.210 814 61，该主题代表的是生物电子学，即仿生电子元器件。其次是 Topic 2，代表的是存储介质的创新。为了进一步挖掘在这 3 个技术主题下的颠覆性技术研究方向，不断调整技术主题下关键词选取的阈值，并且考虑关键词突现值随着年份的变化情况，对技术方向进行解读。同时咨询专家意见，选取颠覆性技术方向。

颠覆性技术主题 1：新型非易失性存储器技术。这种技术让存储器比 SRAM、DRAM、FLASH 等传统技术更快，能耗更低，效率更高^[21]，典型的运用场景是新兴的物联网领域。RRAM 的凸现度从 2011 年开始逐步增长，并保

持上升趋势。RRAM (Resistive random-access memory，缩写为 RRAM 或 ReRAM) 是可变电阻式存储器，是新型非易失性存储器的一种，具有低能耗、数据耐久度高、每次写入或存储的数据单位小等特点。而这恰好是即将到来的物联网所需要的，其电压较低，所消耗的电力也比较少，且 RRAM 写入信息的速度比 NAND 闪存这种非易失性存储器快 1 万倍，因此在这个信息化数字化高速发展时代，可变电阻式存储器绝对是一个不可或缺的存在^[22]。与 RRAM 随年代变化趋势类似的还有相变化存储器 (PCM)，同样是一种非易失性存储器设备，是未来可能取代闪存的技术之一。

颠覆性技术主题 2：磁阻式随机存取存储器 (MRAM)。MRAM 这个关键词从 2015 年突然出现并且其凸现度居于较高位置，如图 6 所示。关键词前缀 stt，代表了自旋转移矩 (Spin-transfer torque)，是可用于翻转磁阻式随机存取内存中的有源元件^[23]。

颠覆性技术主题 3：仿生电子元器件。2019 年新出现了多个关键词，其中有 3 个词与深度学习相关，它们为 deep learning，machine learning，

准则层：最大特征值 6.152073，CR=0.024528，检验通过							
准则层权重=[0.14719336 0.04040188 0.0607356 0.44441274 0.20741553 0.0998409]							
方案层							
	Topic 1	Topic 2	Topic 3	...	最大特征值	CR	一致性检验
关键词凸现度	0.200461	0.209456	0.255491	...	5.0	1.947465e-10	True
文献增长率	0.241234	0.169644	0.102763	...	5.0	-9.864260e-10	True
近三年被引频次增长率	0.067417	0.235727	0.375860	...	5.0	-6.776107e-10	True
专利价值指数	0.190326	0.176107	0.215024	...	5.0	-1.608396e-10	True
科学关联度	0.111430	0.179618	0.237233	...	5.0	8.508210e-10	True
专利近三年引用率	0.148245	0.262099	0.196968	...	5.0	4.160462e-10	True

图 5 所有指标特征向量计算截图

表 4 各技术主题的综合重要度计算结果

主题	综合重要度
Topic 1	0.229 017 09
Topic 2	0.200 634 83
Topic 3	0.165 844 13
Topic 4	0.210 814 61
Topic 5	0.193 689 34

补，既避免了单独采用某一种方法的片面性，又综合了两种方法的优势；在考虑指标实际意义的同时实现了客观评价，同时也使得评价模型的可扩展性得到了增强，可以应用在颠覆性技术识别中。

(3) 关键词解读结合专家智慧识别出存储芯片领域潜在的颠覆性技术。其突破点为：① 新型非易失性存储器技术：可变电阻式存储器 (RRAM)、相变化存储器 (PCM)；② 磁阻式随机存取存储器 (MRAM)；③ 仿生电子元器件、仿神经计算机。

在研究过程中还存在一些不足和可以改进的地方，如在指标选取方面，对于“近3年被引频次增长率”指标，可以进一步改进其计算方法，确定每一篇论文在每一年的被引频次，并赋予各年对应的权重，以加权平均的方式进一步计算。还可以进一步研究引进学科融合性的度量、其他学科引用率等其他指标是否能起到优化结果的作用，最终在多个指标之间进行取舍。在数据源方面，下一步可以丰富数据来源的类型，将科技报告、网络数据等添加到数据源中，多角度更加全面地识别颠覆性技术。

参考文献

- [1] VOJAK B A, CHAMBERS F A. Road mapping disruptive technical threats and opportunities in complex, technology-based subsystem: the SAILS methodology[J]. *Technological forecasting and social change*, 2004, 71(1): 121-139.
- [2] KOSTOFF R N, BOYLAN R, SIMONS G R. Science and technology test mining: disruptive technology roadmaps[J]. *Technological forecasting & social change*, 2004, 71(1): 141-159.
- [3] SOOD A, TELLIS G J. Demystifying disruption: a new model for understanding and predicting disruptive technologies [J]. *Marketing science*, 2011, 30(2): 339-354.
- [4] GOVINDARAJAN V, KOPALLE P K. Disruptiveness of Innovations: measurement and an assessment of reliability and validity[J]. *Strategic management journal*, 2006, 27(2): 189-199.
- [5] ADAMS F P, BROMLEY B P, MOORE M. Assessment of disruptive innovation in emerging energy technologies[C]//*Electrical Power and Energy Conference (EPEC)*. Calgary: IEEE, 2014: 110-115.
- [6] 马利彬, 刁天喜, 房彤宇. 颠覆性技术识别方法研究与应用分析[J]. *军事医学*, 2018, 42(1): 4-8, 12.
- [7] BLOODWORTH I. A search for discriminative linguistic markers in ICT practitioner discourse, for the Ex Ante identification of disruptive innovation[D]. New Zealand: Victoria University of Wellington, 2012.
- [8] 黄鲁成, 成雨, 吴菲菲, 等. 关于颠覆性技术识别框架的探索[J]. *科学学研究*, 2015, 33(5): 654-664.
- [9] 苏敬勤, 刘建华, 王智琦, 等. 颠覆性技术的演化轨迹及早期识别: 以智能手机等技术为例[J]. *科研管理*, 2016, 37(3): 13-20.
- [10] 张枢盛, 陈继祥. 颠覆性创新的框架分析及技术的角色[J]. *科技进步与对策*, 2013, 30(2): 1-4.
- [11] 李存斌, 鲁平. 基于突变理论的国网公司颠覆性创新技术评价研究[J]. *陕西电力*, 2016, 44(4): 60-64, 74.
- [12] 张秀妮, 辛一, 任蕾. 技术壁垒环境下产业核心技术预见方法研究: 以航空航天产业为例[J]. *中国科技论坛*, 2020(8): 15-23.
- [13] 刘本本, 孙清琳, 柳鑫, 等. 基于群决策和层次分析法的雄安新区公园绿地植物综合评价体系构建与物种筛选[J/OL]. *应用与环境生物学报*, 2021(2): 1-14[2021-10-26]. <https://doi.org/10.19675/j.cnki.1006-687x.2021.02002>.
- [14] 赵格. 基于多源异构数据的颠覆性技术识别[D]. 武汉: 华中科技大学, 2017.
- [15] HOLGER E, NILS O. The patent asset index: a new approach to benchmark patent portfolios[J]. *World patent information*, 2010, 33(1): 34-41.
- [16] 马雨菲, 刘敏榕, 陈振标. 专利视角下企业技术竞争力评价研究: 以LTE-Advanced技术为例[J]. *图书情报工作*, 2016, 60(21): 96-102.
- [17] 魏佳丽, 苏成, 高继平. 专利质量视角下的我国人工智能领域存在问题的分析及对策[J]. *科技管理研究*, 2020, 40(23): 213-221.
- [18] 张守明, 张斌, 张笔峰, 等. 颠覆性技术的特征与预见方法[J]. *科技导报*, 2019, 37(19): 19-25.
- [19] 傅耀威, 相红, 宋阳, 等. 支撑智能社会的颠覆性技术评价体系构建[J]. *中国基础科学*, 2020, 22(5): 59-66.
- [20] 王俊岭, 吴宾, 徐怡, 等. 改进AHP法优化供水绩效指标权重研究[J]. *科技管理研究*, 2019, 39(9): 49-55.
- [21] 俞斌, 胡忠强, 程宇心, 等. 多铁性磁电器件研究进展[J]. *物理学报*, 2018, 67(15): 130-143.

- [22] 章鹰.5G+AIoT时代,三种创新芯片和新型存储器发展方向[EB/OL].[2020-12-17].<http://m.elecfans.com/article/1423074.html>.
- [23] 下一代超低功耗磁随机存储器(MRAM)技术现状[EB/OL].[2021-01-21].<https://news.skynix.com.cn/future-semiconductor-technology-the-present-of-the-next-generation-ultra-low-power-mram-technology/>.
- [24] 清华教授研发忆阻器芯片,可实现存储数据“原地”计算[EB/OL].[2021-01-29].<https://www.nsf.gov.cn/csc/20340/20289/57063/index.htm>.

(上接第55页)

宏基因组二代测序技术数据是医疗健康领域重要的基础性战略资源,因此开展合规性工作,就显得尤为重要。

对于从事宏基因组二代测序的相关厂商和医疗机构,急需了解并掌握《民法典》《网络安全法》和《个人信息安全规范》《数据安全法(草案)》《个人信息保护法(草案)》等相关规定,并结合相关法律法规,制定相关合规性制度文件,切实保证测序机构不出现数据合规风险或法律纠纷。

本文探索性地提出了宏基因组二代测序数据合规性框架和数据合规要点,为医疗机构,在利用宏基因组二代测序数据开展医疗诊治活动的同时,为强化内部内部管理、兼顾社会效益、承担相应的社会责任、积极开展数据合规培训和教育提供了工作指南。

参考文献

[1] 张彭.大数据安全背景下欧盟《通用数据保护条例

(GDPR)》研究[D].上海:华东师范大学,2020.

- [2] 中华人民共和国数据安全法[EB/OL]. [2021-06-10].
<http://www.npc.gov.cn/npc/c30834/202106/7c9af12f51334a73b56d7938f99a788a.shtml>.
- [3] 中华人民共和国个人信息保护法[EB/OL].[2021-08-20].
<http://www.npc.gov.cn/npc/grxxbhfca/grxxbhfca.shtml>.
- [4] 信息安全技术 健康医疗数据安全指南[EB/OL]. [2020-12-14].
<http://www.phic.org.cn/zcyjybzpj/bzypj/bzgf/gjbz/202103/P020210331605989883649.pdf>.
- [5] 何承成,何连福,严桥路. A review of the value of next-generation sequencing in the diagnosis of lower respiratory tract Infection[J]. 临床医学进展, 2021, 11(6): 2521-2525.
- [6] ZHOU P, YANG X L, WANG X G, et al. A pneumonia outbreak associated with a new coronavirus of probable bat origin[J]. Nature, 2020, 579(7798): 270-273.
- [7] LYNCH T, PETKAU A, KNOX N, et al. A Primer on infectious disease bacterial genomics[J]. Clin Microbiol Rev, 2016, 29(4): 881-913.