



情报杂志
Journal of Intelligence
ISSN 1002-1965, CN 61-1167/G3

《情报杂志》网络首发论文

题目：知识迁移下基于融合知识网络与链路预测的技术机会识别
作者：王金凤，杨慧琳，赵伟宇，冯立杰，阎竞博
网络首发日期：2024-12-12
引用格式：王金凤，杨慧琳，赵伟宇，冯立杰，阎竞博. 知识迁移下基于融合知识网络与链路预测的技术机会识别[J/OL]. 情报杂志.
<https://link.cnki.net/urlid/61.1167.G3.20241212.0932.010>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

知识迁移下基于融合知识网络与链路预测的技术机会识别*

王金凤^{1,2} 杨慧琳² 赵伟宇^{1,3,5} 冯立杰⁴ 阎竞博⁶

(1. 上海海事大学中国(上海)自贸区供应链研究院 上海 201306;

2. 上海海事大学经济管理学院 上海 201306;

3. 上海大学悉尼工商学院, 上海 200444;

4. 上海海事大学物流工程学院 上海 201306;

5. 上海大学管理学院 上海 200444;

6. 华东师范大学经济与管理学院 上海 200062)

摘要: [研究目的] 精准识别新兴技术机会对不断提升企业创新实力至关重要,但新兴技术研发常因缺乏指引而导致方向不明,且现有文献较少经由跨领域知识迁移开展技术机会的识别。为此,文章提出一种知识迁移视角下的技术机会识别方法,旨在借由相似技术领域的参考技术高效识别本领域的技术机会。[研究方法] 首先,检索并预处理目标领域的相关专利;其次,基于功能相似性确定参考技术,运用 BERTopic 主题模型提取技术主题并分类,以确定目标领域功能层面的知识组成,进而借助 IPC 代码及余弦相似度确定参考技术;然后,通过 SAO 语义挖掘构建目标领域技术和参考技术的融合知识网络;最后,运用链路预测方法和二维评价矩阵评估并研判技术创新机会。[研究结果/结论] 以氢燃料电池汽车领域为例进行案例分析,实现了成熟领域技术知识向新兴技术领域迁移,成功跨领域识别技术机会,验证了本文提出的知识迁移视角下基于融合知识网络与链路预测的技术机会识别方法的可行性,能够为企业科学开展技术创新提供有益的借鉴。

关键词: 技术机会识别;知识迁移;融合知识网络;链路预测;氢燃料电池汽车领域

中图分类号: TP311.5; G304

Technology Opportunity Identification Based on Fused Knowledge Network and Link Prediction from the Perspective of Knowledge Transfer

Wang Jinfeng^{1,2} Yang Huilin² Zhao Weiyu^{1,3,5} Feng Lijie⁴ Yan Jingbo⁶

(1. Shanghai Maritime University China (Shanghai) Institute of FTZ Supply Chain, Shanghai 201306;

2. School of Economics and Management, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306;

3. SHU-UTS SILC Business School, Shanghai University, Shanghai 200444;

4. Logistics Engineering College, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306;

5. School of Management, Shanghai University, Shanghai 200444;

6. School of Economics and Management, East China Normal University, Shanghai 200062)

Abstract: [Research purpose] Accurate identification of emerging technology opportunities is crucial for continuously improving corporate innovation capabilities. However, emerging technology research and development often lack clear direction due to the absence of guid-

基金项目:国家自然科学基金面上项目“多维度-多法则耦合的关键核心技术创新区域识别与创新路径选择研究”(项目编号:72371155)的研究成果。

作者简介:王金凤,女,1963年生,博士,教授,研究方向:工业工程与管理;杨慧琳,女,1999年生,硕士研究生,研究方向:技术创新与管理;赵伟宇,女,1988年生,博士,讲师,研究方向:技术创新与管理,技术预测;冯立杰,男,1966年生,博士,教授,研究方向:管理创新与技术创新;阎竞博,男,1997年生,博士研究生,研究方向:技术创新与管理。

ance, and existing literature rarely identifies technology opportunities through cross-domain knowledge transfer. To this end, this paper proposes a technology opportunity identification method from the perspective of knowledge transfer, aiming to efficiently identify technology opportunities in a specific field by referencing technologies from similar technological domains. [Research method] Firstly, retrieve and preprocess relevant patents in the target technology field. Secondly, determine the reference technology based on functional similarity, use the BERTopic topic model to extract and classify technical topics to determine the functional level knowledge composition of the target technology field, and then determine the reference technology with the help of IPC code and cosine similarity. Thirdly, build a fusion knowledge network of the target domain technology and reference technology through SAO semantic mining. Finally, link prediction methods and a two-dimensional evaluation matrix are applied to assess and identify technological innovation opportunities. [Research result/conclusion] Taking the field of hydrogen fuel cell vehicles as an example, this case study demonstrates the transfer of technological knowledge from mature fields to emerging technologies. It successfully identifies technological opportunities across different fields and verifies the feasibility of the technological opportunity identification method based on integrated knowledge networks and link prediction from the perspective of knowledge transfer proposed in this paper. This provides a useful reference for enterprises to scientifically carry out technological innovation.

Key words: technology opportunity identification; knowledge transfer; fused knowledge network; link prediction; hydrogen fuel cell vehicles

新兴技术创新对推动产业崛起与转型升级至关重要^[1],但大多数新技术在发轫初期充满着不确定性。传统方法多局限于单一领域内部挖掘技术机会,难以应对这种不确定性^[2]。因此,跨领域技术机会识别成为当下研究热点。知识迁移理论为此提供了新思路,通过借鉴相似领域的技术发展过程,直面新兴技术在发轫初期的不确定性,更加准确地识别技术创新机会,从而快速完成新兴领域的技术迭代^[3-4]。鉴于此,本文从知识迁移视角出发,构建跨领域融合知识网络,通过链路预测方法预测领域间的潜在知识迁移,并利用二维评价矩阵筛选出高价值、高新颖性的知识迁移作为技术机会,为企业开展技术创新提供参考思路。

1 理论基础

1.1 技术机会识别的相关研究

技术机会分析作为技术预测领域的一个新兴研究分支,泛指通过系列技术手段和方法从科学情报中发掘技术机会的过程^[5]。

现有研究中学者们借由形态分析或专利地图开展了技术机会分析^[2]。如桂美增^[6]等利用 GTM 算法绘制了具有发展潜力技术领域的专利地图,并通过 GTM 逆向映射获得了相关技术机会;王金凤^[7]等在专利文本挖掘和形态分析基础上,从科研投入、技术先进性和技术效益等指标对形态矩阵进行了评价,进而识别出了 3D 打印机的技术创新机会。但通过这类方法识别出的技术机会较少能够呈现较易解读的、清晰的技术机会结构信息。

对此,网络分析方法作为一种强大的数据处理工具,逐渐受到学者们的青睐,因为它能够从海量数据中提取有用信息,在预测具象技术领域的热点和发展趋势基础上,为技术机会分析提供了新的研究视角^[8]。然而,仅仅依靠网络分析方法难以深入挖掘技术之间

的内在关联关系。为此,链路预测方法被引入到技术机会分析中,旨在通过分析网络中的节点和链接信息,预测未来可能出现的链接关联关系^[9]。

不难看出,将网络分析方法与链路预测方法结合,不仅能够更准确地揭示技术之间的内在联系和发展趋势,而且能够更高效地发现新的技术创新机会。

鉴于此,本文提出了一种基于知识网络和链路预测的技术机会分析方法,为企业通过现有技术快速寻找新的技术发展方向以确定研发重点,精准高效开展创新提供了新的思路与实现方法。

1.2 知识迁移的相关研究

知识迁移对促进技术及资源的传递与扩散,帮助企业突破技术瓶颈,进而加速新兴领域的技术创新起着至关重要的作用^[10],尤其是组织创新绩效的提升以及新兴产业的快速发展均离不开知识在不同组织间的有效迁移^[11]。

此外,跨领域的有效知识迁移更被视作宝贵的技术机会,能够加速相关领域的技术创新。如冯立杰^[12]等从产品相似性视角,通过多维技术创新地图将技术要素与创新法则耦合,获取了目标产品的系列技术创新方案。在此基础上,Wang^[13]等利用 BERT 和 TEMPEST 对目标领域的技术要素按功能进行了分类,并通过面向功能的技术搜索拓展技术要素,然后将原技术要素和拓展技术要素进行重组,进而生成了系列技术创新机会。

上述研究为本文提供了重要的参考思路,但其主要从技术要素本身出发所涵盖的技术知识不够全面,由此可能会错失关键技术机会。而利用 SAO 语义分析方法能够较好地解决这一问题,通过深度解析自然语言文本,能够较为清晰地揭示其中的语义结构,不仅能够细化知识结构,将复杂的文本信息分解为清晰、可理解的语义单元,而且能够保留主要知识实体及其语

义关系。

因此,本文运用 SAO 语义分析方法挖掘了目标领域和迁移领域的技术知识,以构建领域间的链接桥梁,旨在确保领域知识的全面性的同时,从知识迁移视角,为技术机会识别提供更为系统高效的工具。

2 研究设计

基于上述分析,本文提出了一种知识迁移视角下基于融合知识与链路预测的技术机会识别方法,如图 1 所示。

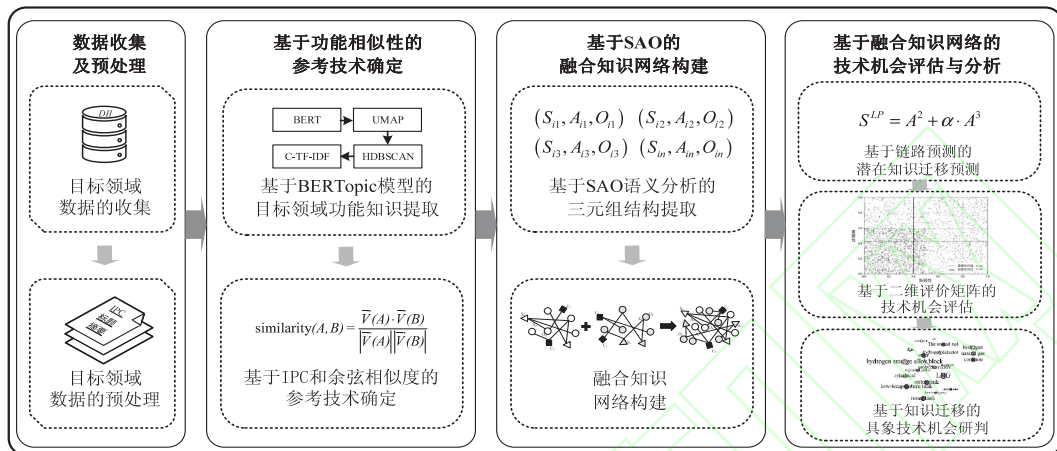


图1 研究框架

由图 1 可知,本文提出的技术机会分析方法主要分为四个阶段。首先,收集目标领域专利数据并对其进行预处理;其次,基于 BERTopic 主题模型提取目标领域功能知识,根据功能知识中的 IPC 代码分布确定相关参考技术,并结合余弦相似度测量选取相似度最高的技术作为最终参考技术;然后,通过 SAO 语义分析方法提取目标领域技术和参考技术的三元组结构,构建融合知识网络;最后,通过链路预测算法预测融合知识网络中的潜在知识迁移,并基于二维评价矩阵开展技术机会评估,进而选定潜在的具象技术创新机会。

2.1 数据的收集及预处理

本文选取德温特专利数据库作为目标领域的技术知识数据源。

首先,确定目标领域的检索表达式及检索时间范围,从德温特数据库中获取目标领域的专利数据。

其次,仅保留有摘要的专利并删除无关专利,从保留的专利数据中抽取 IPC 代码、标题和摘要数据。

最后,对抽取的摘要及标题数据进行预处理,去除停用词、符号等噪声数据,并进行词性还原等操作。

2.2 基于功能相似性的参考技术选取

鉴于知识的属性和功能相似性越高,发生迁移的概率就越高^[14,15]。本文依据领域内各功能所蕴含技术知识的差异性原理,对领域知识进行功能性分类。在此基础上,通过功能相似性为各功能匹配相应的参考技术,从而为精准识别技术机会提供一种可资借鉴的方法。

首先,运用 BERTopic 主题模型提取技术主题,依据功能对技术主题进行分类,进而确定目标领域的功能知识组成。

其次,通过分析目标领域功能知识中的 IPC 代码,确定候选参考技术。

最后,通过余弦相似度计算目标领域技术与候选参考技术之间的相似值,基于功能相似性确定重要参考技术。

2.2.1 基于 BERTopic 模型的目标领域功能知识提取

本文利用 BERTopic 主题模型提取目标领域的技术主题,同时依据功能将技术主题进行分类,进而确定目标领域功能层面的知识组成。其中,BERTopic 作为一个融合 BERT 和 Top2vec 预训练句子转换器模型的文档主题聚类方法^[16],相较于 LDA 和 DTM,该模型因无需预先设置大部分模型超参数,可实现无监督动态调整模型效果并达到聚类效果最优,故在提取技术主题方面得到了广泛的应用^[17]。

构建 BERTopic 模型主要包括文本嵌入、文档聚类以及基于 c-TF-IDF 的主题表示这三个阶段^[18]。

一是文本嵌入。即利用 BERT 的深度双向 Transformer 架构捕获文本中的上下文信息,并将文本转换为高维空间的向量表示。

二是文档聚类。即利用均匀流形近似与投影 (Uniform Manifold Approximation and Projection, UMAP) 算法将高维嵌入映射至一个低维空间,然后运用基于分层密度的噪声应用程序空间聚类 (HDBSCAN) 算法对文档进行分组,并自动生成最优聚类结果。

三是基于 c-TF-IDF 的主题表示。即利用 c-TF-IDF 算法计算上述聚类集群中词汇的重要度,然后通过最大边际相关性提取与主题最为相关的候选词,计算公式如下:

$$c - TF - IDF_t = \frac{b_t}{n_t} \times \log \left(1 + \frac{m}{\sum_{l=1}^k b_l} \right) \quad (1)$$

式(1)中, b_t 表示词语 b 在聚类 t 中出现的次数, n_t 表示聚类 t 的总词语数, m 表示文档总数, k 表示总聚类数。

2.2.2 基于 IPC 代码和余弦相似度的参考技术确定

将具有相似功能的成熟技术引入目标领域,是促进技术革新和领域融合的有效策略。国际专利分类(International Patent Classification, IPC)是专利文献分类工具,包含类似技术主题或功能的专利通常分配至同一个 IPC 代码^[19]。鉴于此,本文将与 2.2.1 节中提到的功能在同一个 IPC 代码下的其他技术,视为促进该功能创新发展的候选参考技术,并利用余弦相似度确定重要参考技术。

首先,通过分析目标领域技术所包专利的 IPC 代码,选取与目标领域技术在同一 IPC 代码下的技术为候选参考技术。

其次,制定候选参考技术的检索策略,以获取候选技术的专利数据,并进行预处理,然后采用 BERTopic 主题模型提取技术主题和特征词。

最后,计算目标领域技术与各候选参考技术的余弦相似度。本文基于欧几里得距离计算余弦相似度^[20],余弦相似度指标反映了目标领域技术与参考技术的关联程度,数值越高表明关联性越强。因此,本文选择与目标领域技术关联度最高的候选参考技术作为最终的迁移对象。

2.3 基于 SAO 的融合知识网络构建

在知识迁移过程中,确保不同领域间相似概念的精确识别与匹配,对知识的有效传递和应用至关重要。构建目标领域技术和参考技术的融合知识网络,通过网络分析挖掘领域间的联系,从而识别技术机会,有助于推动目标领域创新发展。对此,本文采用 SAO 语义分析方法,将结构信息转化为网络化的知识表示,构建

一个融合目标领域技术知识与参考技术知识的知识网络,提取其中的 SAO (Subject-Action-Object) 结构,旨在揭示关键的概念与组件并探索其间的复杂关系,进而捕获专利文本的语义联系^[21],具体包括三元组提取和融合知识网络构建两个阶段。

2.3.1 基于 SAO 语义分析的三元组结构提取

该流程涵盖句法分析、SAO 结构三元组的提取及 SAO 结构三元组规范化处理三个步骤。

一是句法分析。本文基于 Stanford Parser 提取句子的语法结构,生成包括各个成分(如名词短语 NP、动词短语 VP)及其之间关系的句法分析树^[22]。

二是 SAO 结构三元组的提取。鉴于 Spacy 与其他实体关系抽取工具相比更适合处理长文本数据^[23],故本文基于 Spacy 从句法分析树中进行 SAO 三元组结构的识别与抽取。

三是 SAO 结构三元组规范化处理。鉴于抽取的 SAO 三元组存在缺失和重复等问题,故需要进行规范化处理^[24]。本文将提取出的 SAO 三元组结构表示为: $(S_{i1}, A_{i1}, O_{i1}), (S_{i2}, A_{i2}, O_{i2}), (S_{i3}, A_{i3}, O_{i3}) \dots i \in (n, t)$, 其中, i 表示领域、 n 表示目标领域、 t 表示参考领域。

2.3.2 融合知识网络的构建

网络分析方法可用于理解某一研究对象的成熟度、知识结构和规模^[25],一般的知识网络由 SAO 构成,有助于从细粒度知识层次了解研究对象^[26]。

有鉴于此,本文选取 S (Subject) 和 O (Object) 为节点, A (Action) 为连边,以目标领域技术知识网络和参考技术知识网络中共有的节点为桥梁,构建融合知识网络。

此外,由于知识迁移不仅会发生在不同领域,同领域的相似知识也会发生迁移。因此,本文在构建知识网络时对目标领域技术和参考技术的 SAO 三元组分别进行标注,以区分迁移发生的对象。具体流程如图 2 所示。

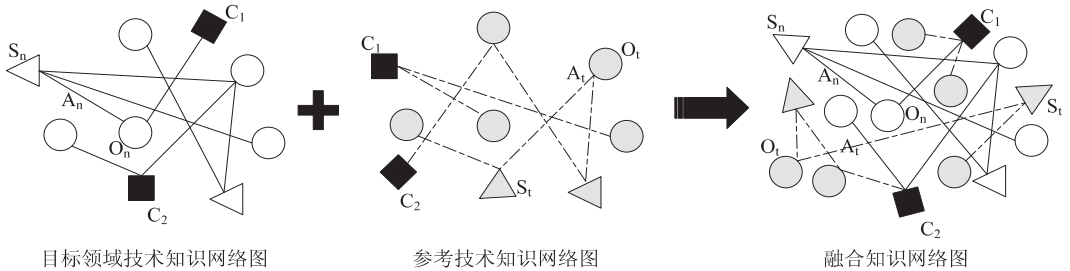


图2 融合知识网络的构建流程

图 2 中的 (S_n, A_n, O_n) 表示目标领域技术三元组, (S_t, A_t, O_t) 表示参考技术三元组, $C1$ 和 $C2$ 则表示目标领域技术知识网络和参考技术知识网络中拥有的共同节点。

2.4 基于融合知识网络的技术机会评估及研判

在构建融合知识网络时,尽管本文区分了不同领域的节点及其共同节点,但并未明确预测链接类型。而链接类型具有多样性,既包括目标领域技术内部、参

考技术内部,同时也包括两者之间的链接。本文的核心研究在于预测和评估目标领域技术与参考技术之间的潜在迁移,并将其视为推动技术创新的契机。据此,本文主要关注这两个技术领域间节点的潜在链接及其能够带来的技术机会。

2.4.1 基于链路预测的潜在知识迁移预测

知识网络通常仅能够展示部分显性知识间的联系,而现实中却存在大量的潜在关系和隐性知识有待发掘^[27],链路预测技术能够较为深入地挖掘这些隐含的联系,因此被广泛应用于从网络中提取缺失信息并预测其未来的演化发展趋势^[28]。通过链路预测能够识别出不同领域间的潜在联系,继而促进跨领域知识的迁移与创新,为解决复杂技术创新问题提供新的研究思路。

本文选取基于节点相似性的链路预测方法,以识别2.3.2节构建的融合知识网络中的潜在知识迁移。首先,利用局部路径指标(Local Path Index, LP)对整个融合知识网络进行计算,以确定技术知识间是否具有潜在迁移关系;然后根据LP指标的计算结果,保留领域间的潜在迁移链接用于后续技术机会评估与分析。

2.4.2 基于二维评价矩阵的技术机会评估

通过构建二维评价矩阵用于评估前述预测出的领域间的知识迁移技术机会,并通过新颖性和重要性两个评价指标确定其后续研发价值。

一是新颖性指标体系的选择。链路预测的结果反映了技术知识之间新链接存在的可能性,所识别出的潜在连边链路预测相似性指标反映了技术机会的新颖程度大小。因此,本文分别选取LP、AA、ACT、Cos+、RA和Katz等六个基于相似性的链路预测指标来衡量技术机会的新颖性。首先,计算融合知识网络中具有潜在连边节点对的六个指标;然后,对这六个指标进行标准化和归一化处理,使其转化为无量纲且取值范围为[0,1]的数值;最后,计算上述指标的平均值,依此表征技术机会的新颖性。

二是重要性指标体系的选择。本文通过词频-逆向文档频率(Term Frequency - Inverse Document Frequency, TF-IDF),计算所识别技术机会中技术实体词对在技术文档中的重要程度,依此表征技术机会的重要性。TF-IDF因能够充分考虑所有文档中的低频词的重要性而不仅仅考虑词频大小,由此使得筛选出的关键词更为准确,关键词的TF-IDF值表示词的重要程度^[29]。

2.4.3 基于知识迁移的具象技术机会研判

在技术机会评估基础上,还需以新颖性和重要性均较高的知识迁移链接作为重点关注的技术机会,进

一步开展技术机会分析。

首先,从识别出的高新颖性和高重要性的知识迁移链接出发,寻找两个节点的已有链接;其次,通过分析已有链接的文本信息,找到对应的专利摘要;最后,结合识别出的知识迁移链接和专利摘要信息,进行具象技术机会研判。

3 案例分析

氢能作为一种储量丰富、重量轻、导热性及燃烧性好,且可回收利用、环保的清洁能源,在我国未来能源体系构建中占据举足轻重的地位。相较于传统燃油,氢能在燃烧中仅产生水,实现了零污染排放;与电力驱动相比,氢能汽车在加氢迅速,能够满足长途行驶需求,有效弥补了电动汽车续航短与充电效率低的不足。然而,氢燃料电池汽车领域的发展仍面临一些亟待解决的挑战,尤以氢气的生产、安全高效的储存方案及经济可行的运输方式最为突出^[30]。

基于此,本文开展了氢燃料电池汽车领域创新机会识别的研究。有别于现有研究侧重于技术本身的迭代更新,本研究从其他具有相似功能的成熟技术中提取了可用于氢燃料电池汽车领域创新的知识进行了迁移,旨在为我国新能源汽车精准高效开展技术机会识别提供科学的决策参考依据。

3.1 氢燃料电池汽车领域的 数据收集及预处理

本文选用Derwent Innovations Index(德温特专利数据库,简称DII)进行专利检索,检索表达式为:“TS=((vehicle OR car OR automobile OR bus OR lorry OR truck) AND (hydrogen fuel cell))”,检索时间范围为:“2004-04-01—2024-04-01”,共检索到17 407条专利数据。

图3展示了氢燃料电池汽车领域在2004年4月至2024年4月每年的专利申请数量。

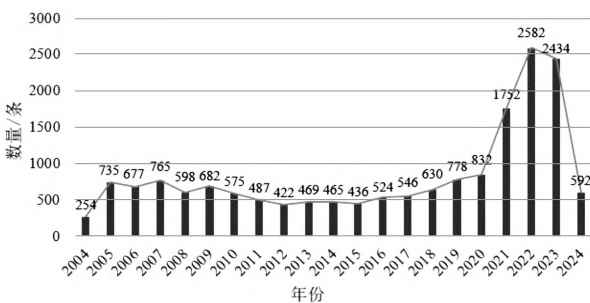


图3 2004—2024年氢燃料电池汽车领域相关专利的每年申请量

从图3可以看出,有关氢燃料电池汽车领域的专利数量呈连年显著上升趋势,表明氢燃料电池汽车领域正在迅猛崛起。

对此,本文对前述检索的17 407项专利数据进行了分析。在剔除不相关专利后,最终选取了9 606项

专利作为后续分析的数据来源。

3.2 基于功能相似性的氢燃料电池汽车领域参考技术选取

利用 BERTopic 模型对经过预处理的专利摘要数据集进行主题建模,本文共识别出 23 个主题,主题的命名和代表性特征词等结果见表 1。

3.2.1 氢燃料电池汽车领域的功能知识提取

表 1 氢燃料电池汽车领域主题及其代表性特征词

编号	主题	专利数/条	特征词
1	冷却系统设计	2241	cooling, heat, plate, battery, temperature, liquid, frame, connect, stack, air
2	氢气储存与供应	2020	valve, pressure, gas, air, flow, exhaust, supply, control, compressor, inlet
3	燃料电池组件	769	electrode, electrolyte, membrane, polymer, layer, ion, film, positive, battery, material
4	重整反应制氢	667	ammonia, reformer, methanol, gas, reactor, carbon, combustion, heat, catalyst, dehydrogenation
5	驱动控制系统	589	voltage, speed, current, torque, hybrid, battery, brake, drive, time, step
6	储氢罐制造工艺	516	liner, layer, fiber, resin, portion, hose, tank, pressure, container, reinforce
7	直流充电制动	457	dc, charging, voltage, converter, battery, current, circuit, controller, output, capacitor
8	氢气浓度检测	378	sensor, detection, gas, concentration, film, detect, element, leakage, detector, layer
9	燃料电池堆工作原理	343	anode, cathode, stack, gas, path, valve, flow, recirculation, pressure, exhaust
10	储氢合金材料	320	steel, alloy, hydride, stainless, metal, titanium, aluminum, magnesium, chromium, manganese
11	催化剂纳米材料	263	catalyst, carbon, platinum, metal, nanotube, oxide, monoxide, precursor, nanoparticles
12	气体湿度控制	230	humidifier, air, stack, membrane, supply, inlet, gas, humidity, unit, valve
13	燃料电池组件材料	202	material, resin, rubber, atom, component, coating, compound, silicon, resistance, seal
14	驱动系统旋转部件设计	151	rotor, shaft, gear, pump, motor, stator, transmission, rotate, magnet
15	智能通信与控制模块	150	module, user, data, network, communication, controller, signal, display, processor, drive
16	汽车外观设计	141	bottle, solar, panel, roof, lamp, light, glass, window, automobile, mirror
17	脱硫技术	49	sulfur, desulfurizing, desulfurization, hydrocarbon, compound, agent, raw, oil, content, stream
18	气体分离膜材料	41	glass, separation, silica, porous, permeation, particle, carbon, material, membrane, film
19	电解质溶液	20	electrolyte, solvent, aqueous, salt, lithium, battery, solution, anion, carbonate, ion
20	电力电子元件设计	19	inductor, capacitor, inverter, winding, core, mounting, converter, module, bar, magnetic
21	汽车轴承润滑技术	17	grease, bearing, sliding, oil, lubricant, lubricating, composition, rolling, component, prelubricated
22	压电陶瓷材料	13	ceramic, piezoelectric, titanate, porous, barium, oxide, zinc, doped, cobalt, hour
23	噪声处理	10	sound, audio, noise, signal, frequency, engine, pedestrian, synthetic, chord, enhancement

结合领域专家意见,本文进一步将上述聚类出的 23 个主题按功能进行了分类,具体分类结果见表 2。

表 2 氢燃料电池汽车领域主题按功能分类结果

类别	主题
车载储氢	氢气储存与供应,储氢罐制造工艺,储氢合金材料
能量反应	重整反应制氢,催化剂纳米材料,脱硫技术
系统控制	驱动控制系统,氢气浓度检测,智能通信与控制模块,压电陶瓷材料
热管理	冷却系统设计,气体湿度控制
电力制动	直流充电制动,驱动系统旋转部件设计,电力电子元件设计,汽车轴承润滑技术
燃料电池发电	燃料电池组件,燃料电池堆工作原理,燃料电池组件材料,气体分离膜材料,电解质溶液
驾驶体验	汽车外观设计,噪声处理

由表 2 可知,氢燃料电池汽车领域具有车载储氢、能量反应、系统控制、热管理、电力制动、燃料电池发电和驾驶体验等功能。其中,氢燃料电池汽车领域的车载储氢功能知识由氢气储存与供应、储氢罐制造工艺和储氢合金材料等三个技术主题组成。

3.2.2 氢燃料电池汽车领域参考技术的确定

车载储氢技术作为氢燃料电池汽车领域的核心技术,直接制约着氢燃料电池汽车的关键性能,包括安全性、经济性及商业化应用前景^[31]。通过将已有相关成熟技术向车载储氢技术迁移,可开展具象技术创新机会识别。鉴于此,本文仅选择了车载储氢功能作为研究重点。

此外,由表 2 可知,车载储氢功能包括氢气的储存与供应、储氢罐制造工艺和储氢合金材料等三个技术主题,对这三个主题所包含专利的 IPC 代码进行分析发现,其对应的 IPC 代码大多集中在 F17 技术领域。根据 DII 给出的分类注释“气体或液体的贮存或分配”所包含的功能信息进行同功能专利检索,本文选择了车载储天然气、航空航天氢气储存、推进剂储存和氧气储存等技术作为知识迁移的候选参考技术。

为了进一步确定参考技术,还需收集各候选参考技术的专利摘要数据,本文选取 DII 作为数据源,各候选参考技术相关专利的检索策略见表 3。

表 3 候选参考技术相关专利检索策略

候选参考技术	检索式	专利数/条	时间范围
车载储天然气	IP=(F17*) AND (TS=((natural gas storage) AND ((vehicle*) OR (car*) OR (bus*))))	2718	2004-04-01—2024-04-01
航空航天氢气储存	IP=(F17*) AND (TS=((hydrogen storage) AND ((aerospace) OR (aviation) OR (rocket) OR (aircraft))))	245	
推进剂储存	IP=(F17*) AND (TS=(propellant storage))	101	
氮气储存	IP=(F17*) AND (TS=(nitrogen storage))	2984	
氧气储存	IP=(F17*) AND (TS=(oxygen storage))	1788	
氩气储存	IP=(F17*) AND (TS=(Argon storage))	403	
液化石油气储存	IP=(F17*) AND (TS=(Liquefied petroleum gas storage))	1001	

通过 BERTopic 主题模型,可提取各候选参考技术的技术主题及其特征词,并使用 word2vec 对特征词进行向量化表征,然后计算目标领域技术与各候选参考技术的余弦相似度,计算结果见表 4。

表 4 余弦相似度计算结果

候选参考技术	余弦相似值
车载储天然气	0.8599
航空航天氢气储存	0.6901
推进剂储存	0.4473
氮气储存	0.5630
氧气储存	0.5824
氩气储存	0.5102
液化石油气储存	0.7242

由表 4 可知,车载储天然气技术与车载储氢技术的余弦相似度最高,且天然气和氢气均被视为清洁能源,在常温常压下均为气体状态,在存储和运输方面具有相似之处^[32]。由此可知,车载储天然气与车载储氢技术之间的知识不仅存在交叉,而且有一定的互补性,加之这些技术应用相对成熟,能够帮助甄别车载储氢技术的问题和机遇。因此,本文将车载储天然气技术作为最终参考技术。

3.3 氢燃料电池汽车领域及其参考技术的融合知识网络构建

本文选择车载储天然气技术作为车载储氢功能知识迁移的参考技术,构建了基于 SAO 语义关系的融合知识网络。

首先,从表 2 主题分类结果可知,车载储氢功能共包含了 2856 项专利,对这些专利进行三元组提取,得到 12263 个 SAO 三元组结构。同理,从 2718 项车载储天然气相关专利中抽取 11279 个 SAO 三元组结构。

此外,对初始三元组进行规范化处理,如词性标注、词性还原和去除重复项等,最终本文得到了 7135 个车载储氢功能相关的三元组结构,以及 7088 个车载储天然气相关的三元组结构。部分三元组抽取结果见表 5。

表 5 车载储氢和车载储天然气专利摘要的三元组抽取结果示例

类别	三元组示例
车载储氢	The tank, passing, liquid
	A bypass line, flow, the gaseous hydrogen
	The heat, released, supplied ambient air
	A hydrogen supply device, supply, store
	A positioning block, sliding, the conveying pipe
车载储天然气	Cooler, liquefied, the liquefied natural gas
	A selector valve, detects, supply
	Heating, caused, mechanical stresses
	A measuring device, detecting, the outer shell
	The container, is made of, an ultra-high strength low-alloy steel

最后,以三元组结构中的 S 和 O 为知识网络的节点,A 为网络中节点间连接的边,以车载储氢技术和车载储天然气技术中的共同节点为桥梁,构建融合知识网络,该网络由 15729 个节点,18412 条边构成。

3.4 氢燃料电池汽车领域的技术机会评估与研判

3.4.1 氢燃料电池汽车领域潜在知识迁移预测

链路预测方法通常被用于预测网络中两个节点未来可能存在联系的可能性^[33]。鉴于此,本文通过构建链路预测方法来识别氢燃料电池汽车领域的车载储氢技术和车载储天然气技术之间的潜在知识迁移。

为了保证预测结果的准确性,本文通过随机抽样方法对融合知识网络存在的连边,按 2:8 比例划分了测试集和训练集。其中,测试集包含有 2845 个三元组,训练集包含有 11378 个三元组。

表 6 14 种链路预测指标的 AUC 值

指标	AUC	指标	AUC
CN	0.6550	LHN-1	0.5504
Salton	0.6365	PA	0.6235
Jaccard	0.6017	AA	0.7048
Sorenson	0.6205	RA	0.7051
HPI	0.5534	LP	0.7315
HDI	0.6211	Katz	0.7215
ACT	0.7220	Cos+	0.6944

此外,为了选取最适合此次知识迁移预测的链路预测方法,本文将 14 种基于相似性指标构建的链路预测方法对数据集进行了训练与预测,并利用 AUC 评估

以选取最优的相似性指标。不同链路预测方法下的 AUC 值见表 6。

由表 6 可知,LP 指标的 AUC 值在 14 个相似性指标中最高,因此,本文选择 LP 指标构建的链路预测方法对融合知识网络进行预测,以识别相关技术间的潜在知识迁移。

3.4.2 氢燃料电池汽车领域技术机会评估

通过对现有的 25 975 条连边进行潜在知识迁移预测,本文共识别出了 18 663 个具有潜在迁移的链接,其中领域间的潜在链接有 5 584 个。

为了从具有潜在迁移关系的 5 584 对链接中筛选出最有研究价值的技术机会,本文从新颖性和重要性两方面构建了二维评价矩阵,在对所有技术机会进行评估基础上,将新颖性指标和重要性指标计算结果映射在了二维坐标,具体评估结果如图 4 所示。

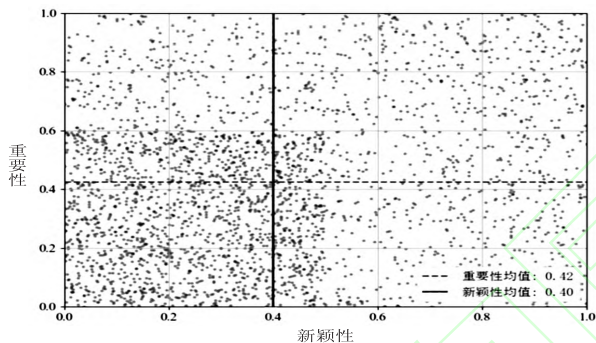


图 4 技术机会评估结果

由图 4 可知,本文所识别出的技术机会主要集中在左下象限,新颖性和重要性均较低,研发价值不高;而右上象限的技术机会新颖性和重要性均较高,研发价值较高。

为了进一步识别具有研发价值的技术机会,本文在二维评价矩阵基础上,对所属右上象限的技术机会进行了剖析,并针对其新颖性和重要性数值计算了平均值,进而选取了右上象限的技术机会作为最有价值的技术创新机会。

3.4.3 氢燃料电池汽车领域技术机会研判

根据 3.4.2 节得出的技术机会评估结果,可从新颖性和重要性均相对较高的技术机会中随机选择三个技术机会进行创新机会研判。为了便于理解,本文将邻近潜在链接节点的周边节点进行了可视化,其中,标注 hydrogen 的圆圈表示车载储氢技术的知识节点,标注 natural gas 的圆圈表示车载储天然气技术的知识节点,标注 common 的圆圈表示两者共有的知识节点,细线代表网络中的已有链接,粗线则表示潜在链接,具体如图 5-7 所示。

技术机会之一< pressure control equipment, high pressure tank>:高压储氢瓶安装压力控制设备(pres-

sure control equipment)。本文预测出压力控制设备与高压罐(high pressure tank)在未来具有链接的可能性。压缩天然气(CNG)储罐的进气口和出气口安装了压力控制系统,该系统包含压力传感器、减压阀排气口、呼吸孔和过压保护装置。此压力控制系统能够在保障天然气恒压输送的同时,最大程度保障用户的安全。从图 5 可以看出,压力控制设备是车载储天然气技术的知识节点,并未应用于车载储氢技术,而压力控制系统同样适用于车载氢气高压储存罐,不仅能保障氢能使用中的安全性,而且能提高系统的可靠性和效率。因此,高压储氢瓶安装压力控制设备,可以视为提升车载储氢技术的一种潜在技术机会。

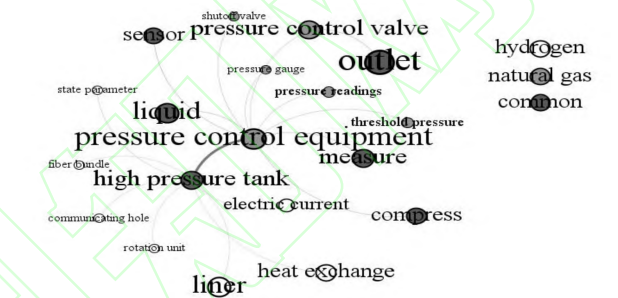


图 5 技术机会之一链路预测的可视化图谱

技术机会之二< sandwich structure, inner>: 珠光砂(sandwich structure)用作液态储氢瓶的绝热材料。本文预测出珠光砂与内衬(inner)在未来具有链接的可能性。已有研究表明,珠光砂作为一种高效的低温绝热材料,在液化天然气(LNG)储罐夹层中得到了广泛应用,它能够显著降低导热系数和吸湿率,同时提升储罐的抗冻性和耐火性^[34]。从图 6 可以看出,珠光砂仅出现在车载储天然气的技术知识中,并未应用于车载储氢技术。然而,液态氢气与液化天然气的性质相似,都需要在极低的温度下储存以保持其液态,且考虑到氢气的燃点更高,珠光砂的耐火性在一定程度上能够增强储氢瓶的安全性。因此,将珠光砂作为液态储氢瓶的绝热材料,可以视为提升车载储氢技术的一种潜在技术机会。

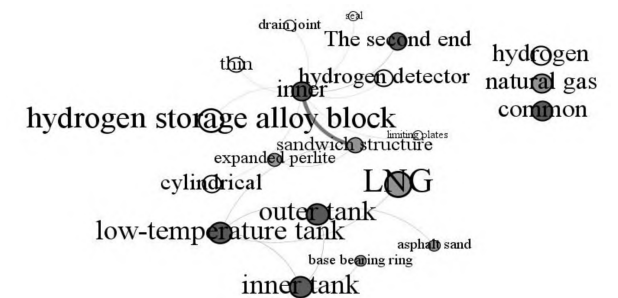


图 6 技术机会之二链路预测的可视化图谱

技术机会之三< solid hydrogen storage, natural gas hydrate storage tank>:水合物储存技术应用于固态储氢(solid hydrogen storage)。本文预测出固态储氢与

天然气水合物储罐 (natural gas hydrate storage tank) 在未来具有链接的可能性。已有研究表明,天然气水合物储存技术是利用特定条件下的水合物形成材料,如在低温高压下,天然气会与水反应形成固态水合物,以此储存天然气,能够在较小的空间储存大量的天然气^[35]。此外,在适当的温度和压力下,天然气水合物的结构相对稳定,由此减少了天然气的泄漏风险,提高了储存的安全性。从图 7 可以看出,天然气水合物储罐仅出现在车载储天然气技术知识中,而水合物储存技术的高存储容量和低泄露风险能够极大地改善车载储氢技术,进而推动氢燃料电池汽车的规模化生产与应用。因此,将水合物储存技术应用于固态储氢,亦可以视为提升车载储氢技术的一种潜在技术机会。



图7 技术机会之三链路预测的可视化图谱

4 研究结论

为精准识别新兴领域技术机会,本文提出了一种知识迁移视角下基于融合知识网络与链路预测的技术机会识别方法。该方法以知识迁移理论为理论基础,探究不同领域之间的知识迁移,揭示了知识价值的实现途径。通过运用 IPC 代码与余弦相似度算法,科学精准地确定了参考技术,有效避免了传统方法中依赖专家直观判断的主观性,确保了跨领域技术机会识别的客观性和准确性。同时,本文基于 SAO 结构构建了目标领域技术与参考技术的融合知识网络,该网络不仅为不同技术领域之间搭建了沟通的桥梁,还实现了领域知识的细化和整合,确保了知识体系的全面性和深度。此外,本文还引入了二维评价矩阵对技术机会进行筛选,显著降低了人工进行筛选的工作量,提高了识别的效率与精准度。

以氢燃料电池领域为研究对象的案例分析结果表明,该方法能够促使新兴领域有效地从成熟领域中汲取技术知识,快速识别技术机会。同时,该方法还能够揭示新兴领域与成熟领域之间潜在的联结纽带,为企业明确技术发展方向提供了有力支持。

尽管本文取得了一定进展,但仍存在一些局限性。首先,在知识迁移过程中,本文仅聚焦于单一目标领域与单一参考领域间的交互,而实际中的知识迁移往往

涉及多个领域,因此,后续研究需拓展至多领域知识迁移的复杂场景。其次,在数据源方面,本文仅对专利数据展开研究,未来研究应纳入科学论文、市场报告等多源数据,以丰富知识迁移的维度与深度,进一步提升技术机会识别的全面性和前瞻性。

参考文献

- [1] 刘晋霞,侯倩倩,杜静,等.子话题及词汇关联视角下的新兴领域热点主题演化研究[J].情报杂志,2023,42(3):123-129.
- [2] 伊惠芳,刘细文,龙艺璇.技术创新全视角下技术机会发现研究进展[J].图书情报工作,2021,65(7):132-142.
- [3] 余传明.基于深度循环神经网络的跨领域文本情感分析[J].图书情报工作,2018,62(11):23-34.
- [4] 储节旺,罗怡帆,莫玲.行动者网络理论下企业创新生态系统知识转移机制研究[J].情报理论与实践,2023,46(11):27-36.
- [5] Lee M, Kim S, Kim H, et al. Technology opportunity discovery using deep learning-based text mining and a knowledge graph[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2022, 180: 121718.
- [6] 桂美增,许学国.基于深度学习的技术机会预测研究——以新能源汽车为例[J].图书情报工作,2021,65(19):130-141.
- [7] 王金凤,吴敏,岳俊举,等.创新过程的技术机会识别路径研究——基于专利挖掘和形态分析[J].情报理论与实践,2017,40(8):82-86.
- [8] 胡雅敏,吴晓燕,廖兴滨,等.融合深度学习和链路预测的细粒度技术预测研究——以合成生物技术为例[J].图书情报工作,2022,66(24):92-103.
- [9] 金可怡,周立军,杨静.基于 SAO 结构的颠覆性技术关联机会发现路径研究[J].情报杂志,2024,43(9):84-91,111.
- [10] Kwon D, Sohn S Y. Convergence technology opportunity discovery for firms based on technology portfolio using the stacked denoising autoencoder (SDAE)[J]. IEEE Transactions on Engineering Management, 2022, 71: 1804-1818.
- [11] 肖瑶,李守伟,王怡涵. FPGA 芯片产业链及知识转移网络特征分析[J].复杂系统与复杂性科学,2022,19(3):20-26.
- [12] 冯立杰,范华森,王金凤,等.产品相似性视角下基于多维技术创新地图的技术创新路径及其应用[J].工业工程与管理,2021,26(4):102-108.
- [13] Wang J, Zhang Z, Feng L, et al. Development of technology opportunity analysis based on technology landscape by extending technology elements with BERT and TRIZ[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2023, 191: 122481.
- [14] 周可,孙溪梓,李佳桐. 社会网络视角下组织间知识重叠对知识创造的影响机理研究[J].情报科学,2023,41(8):162-167,183.
- [15] 林素青,罗定南,张书华.推荐算法研究进展及知识图谱可视化分析[J/OL]. 计算机工程与应用,1-20[2024-10-10]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2127.TP.20240723.1314.004.html>.

- [16] 郝雯柯,杨建林. 基于语义表示和动态主题模型的社科领域新兴主题预测研究[J]. 情报理论与实践,2023,46(2):184-193.
- [17] 刘洋,柳卓心,金昊,等. 基于BERTopic模型的用户层次化需求及动机分析——以抖音平台为例[J]. 情报杂志,2023,42(12):159-167.
- [18] 刘春丽,臧东宇,陈爽. 科学—技术—产业关联测度与主题演化规律研究——以生物医药领域为例[J]. 图书情报工作,2024,68(14):95-116.
- [19] 王金凤,陈慧源,刘振锋,等. 基于生成式拓扑映射和类比设计方法的技术机会识别[J]. 情报理论与实践,2023,46(6):127-135.
- [20] 李子彪,孙可远,陈迪,等. 基于科技差距评估GTM专利地图识别的技术机会[J]. 情报杂志,2023,42(7):147-153,44.
- [21] Li X, Wu Y, Cheng H, et al. Identifying technology opportunity using SAO semantic mining and outlier detection method: A case of triboelectric nanogenerator technology[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2023, 189: 122353.
- [22] 黄磊,李寿山,周国栋. 基于句法信息的微博情绪识别方法研究[J]. 计算机科学,2017,44(2):244-249.
- [23] 刘越,郑德俊,程为. 面向信息资源管理领域的学术创新特征分析[J]. 图书情报工作,2024,68(4):83-96.
- [24] 张金柱,叶晓宇. 基于结构-功能语义关联的技术机会识别研究[J/OL]. 情报科学,1-22[2024-10-10]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/22.1264.G2.20240129.0944.012.html>.
- [25] 李姝影,胡正银,隗玲,等. 大数据视角下技术机会分析研究综述[J]. 科技管理研究,2023,43(18):25-35.
- [26] 任海英,李真. 基于输入输出型SAO网络的核心技术链识别方法研究——以量子计算领域为例[J]. 图书情报工作,2021,65(19):117-129.
- [27] 李东巧,陈芳,韩涛,等. 基于二模复杂网络的隐性知识发现方法研究——以潜在药物靶点挖掘为例[J]. 图书情报工作,2020,64(21):120-129.
- [28] 周志刚,窦路遥,李毅. 专利视域下融合协同过滤与链路预测的企业潜在合作关系预测研究[J]. 情报杂志,2023,42(12):144-152.
- [29] Ba Z, Meng K, Ma Y, et al. Discovering technological opportunities by identifying dynamic structure-coupling patterns and lead-lag distance between science and technology[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2024, 200: 123147.
- [30] Lieutenant K, Borissova A. A landscape of hydride compounds for off-board refilling of transport vehicles[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2020, 45(4): 2954-2966.
- [31] Saeed M, Marwani H M, Shahzad U, et al. Nanoscale silicon porous materials for efficient hydrogen storage application[J]. Journal of Energy Storage, 2024, 81: 110418.
- [32] Amid A, Mignard D, Wilkinson M. Seasonal storage of hydrogen in a depleted natural gas reservoir[J]. International journal of hydrogen energy, 2016, 41(12): 5549-5558.
- [33] 梁镇涛,毛进,李纲. 融合“科学-技术”知识关联的高颠覆性专利预测方法[J]. 情报学报,2023,42(6):649-662.
- [34] Jin B, Wang H, Xu H, et al. Bio-inspired nacre-like composites with excellent mechanical properties, gas-barrier function and fire-retardant performances based on self-assembly between hyperbranched poly(amido amine)s and montmorillonite[J]. RSC Advances, 2023, 13(6): 3661-3668.
- [35] Nguyen N N, Nguyen A V. “Nanoreactors” for boosting gas hydrate formation toward energy storage applications[J]. ACS Nano, 2022, 16(8): 11504-11515.