

引用格式: 李文清, 齐晓曼, 庄子艾, 等. 基于专利文献的颠覆性技术识别框架研究——以绿氢行业为例 [J]. 世界科技研究与发展, 2024, 46(2): 226-238.

# 基于专利文献的颠覆性技术识别框架研究<sup>\*</sup>

## ——以绿氢行业为例

李文清<sup>1</sup> 齐晓曼<sup>1</sup> 庄子艾<sup>2</sup> 袁银池<sup>2</sup> 陈赟<sup>2</sup> 陆娇<sup>\*,2</sup>

( 1. 国网上海市电力公司电力科学研究院, 上海 200031;  
2. 中国科学院上海生命科学信息中心, 中国科学院上海营养与健康研究所, 上海 200031 )

**摘要:**新一轮科技革命背景下,全球颠覆性技术创新方兴未艾,各国政府、产业界和学术界也积极寻求有效识别颠覆性技术的方法和路径。专利作为传递技术信息最有效的媒介,在识别颠覆性技术方面发挥着重要作用。本文依托专利文献,结合颠覆性技术的特点,首先从技术突破的角度,筛选出潜在的颠覆性技术清单;然后从技术新颖性、技术扩散性和技术影响力三个维度构建技术颠覆性程度的测度体系,并运用层次分析法赋权,提出一套系统的颠覆性技术识别框架,用于从某个特定产业中识别技术颠覆性程度。本文选取绿氢行业对该模型开展了实证研究,并结合颠覆性技术识别框架对绿氢行业的技术进行分析,发现该行业中“太阳能制氢-供电”“生物制氢”“汽车应用”等是颠覆性潜力较高的领域。通过对初筛技术主题的相关调研,验证了该方法对潜在颠覆性技术的前瞻性预测有效。

**关键词:**颠覆性技术;识别框架;专利文献;绿氢

**DOI:** 10. 16507/j. issn. 1006-6055. 2023. 09. 002

## Study on Measurement Framework of Disruptive Technology Based on Patent Literature: A Case Study of Green Hydrogen Patents<sup>\*</sup>

LI Wenqing<sup>1</sup> QI Xiaoman<sup>1</sup> ZHUANG Ziyi<sup>2</sup> YUAN Yingchi<sup>2</sup> CHEN Yun<sup>2</sup>  
LU Jiao<sup>\*,2</sup>

( 1. Shanghai Electric Power Research Institute, State Grid, Shanghai 200031, China;  
2. Shanghai Information Center for Life Sciences, Chinese Academy of Sciences, Shanghai Institute of Nutrition and Health, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200031, China)

**Abstract:** In the context of a new round of technological revolution, global disruptive technological innovations are flourishing. Governments, industries, and academia of various countries are actively seeking effective methods and pathways

<sup>\*</sup> 国家电网有限公司科技项目“基于专利分析的新型电力系统颠覆性技术识别框架与实证分析研究”(52094022003Q)

<sup>\*\*</sup> E-mail: jlu@sinh.ac.cn; Tel: 021-54922853

to identify disruptive technologies. Patents, as the most effective carriers of technological information, have been widely applied in the identification of disruptive technologies. A measurement framework is developed for characterizing potentially disruptive technologies using patent indicators, based on patent data. First, a list of potential disruptive technologies is selected through the analysis of technological breakthroughs. Then a measurement system for the degree of technological disruption is constructed using three dimensions: technological novelty, technological diffusion, and technological impact. This model is used to identify the degree of disruptive technologies within a specific industry. In this article, the green hydrogen industry is selected for empirical research using the proposed model. The disruptive potential of technologies in the green hydrogen industry is analyzed using the framework for identifying disruptive technologies. It is found that “solar hydrogen production and supply”, “biological hydrogen production” and “automotive applications” are areas with relatively high disruptive potential in this industry. Through relevant research on the initially screened technological themes, the validity of this method in prospectively predicting potential disruptive technologies is verified.

**Keywords:** Disruptive Technology; Measurement Framework; Patent Literature; Green Hydrogen

新一轮科技革命背景下,全球颠覆性技术创新不断涌现,催生着新产业和新业态的迅猛发展,将深刻重塑世界经济格局和国际竞争格局。根据国家“十四五”规划和 2035 年远景目标纲要,未来要加强前沿技术多路径探索、交叉融合和颠覆性技术供给<sup>[1]</sup>。“十四五”重点研发计划实施了“颠覆性技术创新”重点专项,主要集中在电子信息、人工智能、未来通信、虚拟现实等可能带来重大颠覆性突破的领域。在此背景下,北京、上海、浙江等多地发力竞相开展颠覆性技术的布局<sup>[2]</sup>。

近年来,各国政府、产业界和学术界也积极寻求有效识别颠覆性技术的方法和路径<sup>[3]</sup>,识别和预测颠覆性技术意义重大。刘柳等<sup>[4]</sup>指出传统的模型测度、多维指标评估和文献计量法仍然是颠覆性技术识别中比较常用的方法,大数据关联挖掘分析的方法也逐渐开始被应用到颠覆性技术的识别中。由于颠覆性技术发展是一个动态变化的过程,未来应更多地考虑基于创新全过程,探索对颠覆性技术进行动态、分类识别。目前还没有统一的颠覆性技术识别方法,但设立全面有效的实时定量技术预警监测体系,发掘和筛选颠覆性潜力技术,通过常态化地进行监测、预测和比对,有利于国家安全和科技安全,是推动科技创新发展的重要保障措施。

本文在颠覆性技术和创新研究的基础上,归纳了颠覆性技术的分类及特点,通过技术突破性分析梳理出潜在的颠覆性技术清单,接着从技术新颖性、扩散性和影响力三个维度进行了考量,构建技术颠覆性的测度体系,并运用层次分析法赋权,提出一套系统的技术颠覆性测度模型,用于评价技术颠覆性程度。本文选取绿氢产业对该模型开展了实证研究,同时探究该模型的有效性。

## 1 颠覆性技术的概念及演化

### 1.1 颠覆性技术和颠覆性创新

颠覆性技术最初由美国管理专家克里斯坦森 (Clayton M. Christensen) 教授于 1995 年在《哈佛商业评论》上首次提出,即该技术虽然在主要特征方面呈现一般性,然而在被现行主流技术所忽视的特性上具备独特或潜在的优势,通过吸引市场或行业中非主流客户的方式,逐步迎头赶上现有行业领导者,最终使颠覆性技术在市场上超越原本市场中的现有技术<sup>[5]</sup>。

1997 年,克里斯坦森在著作《创新者的窘境》(The Innovator's Dilemma) 中给出了该研究成果的进展,正式系统提出颠覆性创新的概念和理论分析框架<sup>[6]</sup>。克里斯坦森颠覆性创新理论的研究包含了技术、市场、组织三维要素,从颠覆性技术的

市场意义、颠覆性创新市场的细分、支撑颠覆性创新的相对独立的组织、组织模式的变革等多维度全方位阐释了颠覆性创新实践的方法论<sup>[7]</sup>。

1.2 颠覆性技术的分类及特点

综合现有研究,颠覆性创新是动态变化的,对颠覆性创新的观察视角一般有技术属性视角和市场效应视角。从这两个方面,乔亚丽<sup>[8]</sup>提出颠覆性技术的类型,如表 1 所示。

表 1 颠覆性技术类型  
Tab.1 Types of Disruptive Technology

| 观察视角 | 类型                   | 颠覆方式                                                                                     |
|------|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| 技术属性 | 现有技术交叉融合(颠覆性技术)      | 通过对现有技术功能或产品性能的革新性突破,创造出与主流技术性能迥异的产品。通过持续地升级和迭代,逐渐吸引主流用户,最终颠覆主流技术,在主流市场取得领先地位,构建全新的价值体系。 |
|      | 全新技术(颠覆性科学)          | 源自全新概念和原理的原始创新技术,一旦获得认可,将快速渗透至各个领域,这类技术通常对社会产生深刻变革。                                      |
| 市场效应 | 提供与现有技术相同或相似特征的技术或产品 | 通过满足现有市场需求,从原始价值网络的底端发起攻击,针对利润较低和服务过度的客户逐步满足主流客户的需求,最终取而代之成为主流市场技术。                      |
|      | 研发满足新需求的技术或产品        | 创造新的价值网络,开辟全新市场。                                                                         |

由此可见,无论是现有技术交叉融合,还是全新技术,颠覆性技术展现出与科学研究的密切联系,最初都具有新颖性,是低影响力的一类技术创新影响力逐渐扩大的过程,是技术融合驱动的过程。颠覆性技术的主要特征包括两点。

1) 开始于科学研究的科学突破。颠覆性技术通常源自于科学研究的突破,其构建基于科学革新,并依赖于科学前沿的成果,因此与创新链上的基础研究密切相关。

2) 发展于技术影响性和技术跨领域性。颠覆性技术在后续发展中,通过技术影响性和技术跨

领域性不断扩散,从而实现颠覆性应用。

1.3 颠覆性技术的识别方法

目前,国内外学者已经进行了大量研究来探讨颠覆性技术的识别和预测方法,所采用的研究方法主要包括主观判断法、指标识别法、模型分析法、文献计量法四类。

1) 主观判断法。以德尔菲法为主,主要是通过大量匿名问卷调查,采集相关研究领域专家对潜在颠覆性技术的意见,并形成统一的意见<sup>[9]</sup>,例如高盛集团、麦肯锡、毕马威公司、新美国安全中心等均发布过颠覆性技术相关研究报告<sup>[10]</sup>。

2) 指标识别法。结合颠覆性技术的特征建立多维指标体系,包括定性指标、定量指标或混合指标体系,根据指标得分来研判识别颠覆性技术,例如冯倩倩邀请专家从技术颠覆、产业变革、经济价值、社会影响 4 个维度进行打分,通过加权评分最终计算出各项目综合评分,层层递进以完成颠覆性技术的遴选<sup>[11]</sup>。

3) 模型分析法。引入一定的理论模型,如 TRIZ 模型、QFD 模型等,借助构建评估指标框架和量化模型,筛选与颠覆性技术有关的参数和变量,从微观角度对颠覆性技术进行预测,从而实现对潜在颠覆性技术的精准识别,例如许泽浩等学者在建立评价体系基础上,通过专家评分和采用灰色模糊综合评价方法,相对客观而有效地评估了新技术的颠覆性创新潜力<sup>[12]</sup>。

4) 文献计量法。基于科学论文和专利文献,通过从文献中提取关键信息,描绘颠覆性技术的特征,进行计量分析,从而客观识别和预测颠覆性技术。举例来说,英国知识产权局的专利信息团队利用与颠覆性技术相关的专利数据样本,如微波加热、闪存、模数转换等,开发了具备颠覆性技术预测功能的原型工具。该团队采用初期技术专

利作为训练集,持续优化该工具的性能<sup>[13]</sup>。基于专利分析数据的颠覆性技术识别的实践总结如表 2 所示。

综上,专家评估的判断周期相对较长,且有一定的主观性;指标识别法和模型分析法相对较为客观,但部分缺乏量化数据的支持,因此也存在一定局限性。

基于专利数据的颠覆性技术识别已有较多实践,部分分析结果有赖于分析输出图表的解读;并且专利数据在研判技术发展、法律保护以及市场趋势上,都有相对成熟的指标表征,能够开展定量计算。因此本文采纳第四种方法,以专利作为数据源,按照一定的判断逻辑和指标,从客观角度建立颠覆性技术识别框架,能够从三个维度识别技术颠覆性程度。

## 2 基于专利分析的颠覆性技术识别框架

### 2.1 颠覆性技术识别流程

基于颠覆性技术的概念及特征分析,以及现

有研究的基础,提出“突变识别—颠覆程度识别”的识别框架(图 1),本文从识别流程上分为两个阶段。

第一阶段,鉴于颠覆性技术有较强的科学突破性,会导致其关键词在短时间里爆发,因此通过 CiteSpace 的突变检测获取某个领域内潜在的颠覆性技术清单;

第二阶段,结合颠覆性技术的新创性、扩散性以及技术影响力,构建了以专利为表征的指标集合,进而得到计算模型,通过计算得到第一阶段技术清单的颠覆性程度。

### 2.2 技术突现分析

突现词是指某段时间内频率变化较大的关键词,作为文献内容挖掘的重要工具,突现词分析能够展现特定领域的研究前沿和发展趋势,显示在特定时间段内研究人员对某关键词的极高关注<sup>[18]</sup>。通常,突现词分析被广泛应用于探测某个领域中新出现的动态概念和潜在的研究问题,揭示领域发展的新趋势和急剧变化,同时反映活跃或处于前沿的研究节点。

表 2 颠覆性技术的专利识别方法

Tab. 2 Types of Patent Identification Methods for Disruptive Technology

| 文章来源                                         | 专利分析视角                                                     | 分析方法                                                                  | 案例与结论                                                                                                  |
|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 基于专利和 Bass 模型的颠覆性技术识别方法研究 <sup>[14]</sup>    | 后向引用的专利引文相似度                                               | 采用专利后向引用的方法对颠覆性技术的特征进行分析专利数据两两之间的专利引文相似度的数值。                          | 案例研究选择了薄膜电池领域,研究显示其技术扩散呈现典型的 S 型轨迹,并将在未来 40 年进入技术快速扩散期。                                                |
| 基于引文网络的颠覆性技术发展路径研究 <sup>[15]</sup>           | 引文网络                                                       | 确定了颠覆性程度、三方组分析、网络特征和路径特征四个角度,颠覆性技术的发展路径进行了测度研究。                       | 案例研究选择了 3D 打印技术领域,通过主路径分析发现 3D 打印技术的“选择性激光烧结”子技术经历了材料应用层面的多次颠覆。                                        |
| 专利网络视角下的潜在颠覆性技术识别——以自动驾驶领域为例 <sup>[16]</sup> | 专利网络                                                       | 基于专利网络视角,构建领域层、发明层、主题层多层分析结构识别潜在颠覆性技术。其中主要通过分阶段 IPC 共现网络、对应专利及主题解读实现。 | 案例研究选择了自动驾驶领域,识别出无线网络等技术对自动驾驶领域知识网络影响力有扩散趋势,具有颠覆性潜力;通过技术解读明确了人机交互、V2V 技术、电池智能化管理等方向是主要的技术方向。           |
| 技术融合视角下基于专利的颠覆性技术识别研究 <sup>[17]</sup>        | 结合滑动窗口和 LDA (Latent Dirichlet Allocation) 构建探测技术主题颠覆性潜力的指标 | 将样本数据的指标测度与发展趋势预测紧密结合,从时间序列的迭代连续性探索历史发展趋势能更好地揭示颠覆性技术的演化细节及其内在依赖性。     | 案例选择了人工智能领域,采用美国专利文献为样本验证该方法在识别与预测颠覆性技术方面的可用性,并结合颠覆性技术主题中关联强度较高的前 10 个 IPC 大组共同表征颠覆性技术内容,进一步检验方法的实践价值。 |

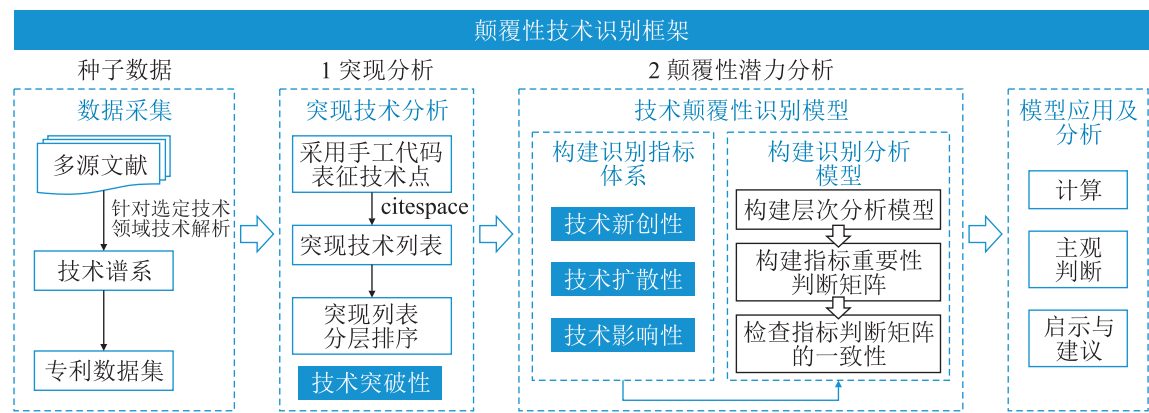


图 1 颠覆性技术识别框架

Fig. 1 Measurement Framework for Assessing Disruptive Technology

不同于论文数据通常有较为精准的关键词描述,可作为 Term Type (被抽取的词),本文采用专利的 Derwent 手工代码作为突现词参与分析。

2.3 技术颠覆性潜力的测度体系

结合前文所述颠覆性技术的特征,以及专利数据的特点,构建表征颠覆性技术在新创性、扩散性及影响力三个维度的识别指标体系,对每一个技术指标进行量化分析。

1) 技术新创性。判断技术新创性(技术领域的科学强度),较为简单的方法是引用非专利文献(Non-patent literature, NPL)的情况。专利中科学文献类参考文献的存在及其量化和分析是描述这种科技联系的指标<sup>[19]</sup>。第一个指标“篇均非专利引用量”是一个技术领域中专引引用非专利文献的绝对量的平均值。第二个指标“篇均科学引用量与总引用量的比率”是专利引用非专利文献的相对值,即其占总引用量的比率。

2) 技术扩散性。判断技术集成创新、跨领域应用等能力,主要利用 IPC 分类号数量和同族数量进行识别。第一个指标“篇均技术分类(IPC 类)数量”:IPC 类别表明了一个专利的技术广度。如果一个专利集包含了来自许多不同的 IPC 类的文

档,那么该专利集就涵盖了广泛的技术范围。是专利 IPC 的技术分类跨度,用于体现其技术扩散情况;第二个指标“篇均同族数量”:一个专利的专利家族规模(也称为国际范围或地理家族规模)通常被定义为共享相同优先级文件的不同司法辖区的数量,可以表征技术的市场布局跨度,体现其市场扩散情况。

3) 技术影响力。判断专利的技术影响,通常可以使用专利文件发表后的引文(远期引文)。通过前人的调查,单项专利的经济价值随着正向引用次数的增加而增加。第一个指标“篇均前向引用次数”即该技术领域范围内每件专利的前向引用次数的均值;第二个指标“突破性专利数量占比”即该领域被引用数量较多专利的占比情况,其中突破性专利被定义为同一队列中被引用最多的 10%。

2.4 构建颠覆性技术潜力的识别模型

在确定了颠覆性技术所具有的三大特征属性指标后,本部分选用层次分析法对各特征属性的二级指标赋权值,进而计算不同时间窗内各技术主题的综合指标。运用层次分析法赋值的基本思想是:1) 确定评价的目标是对潜在的颠覆性技术进行排序,得出颠覆性程度较高的技术分支;2) 评

价的准则是表 3 中描述的技术新创性、技术扩散性以及技术影响力;3) 准测层则使用表 3 中的六个二级指标来表征。

表 3 颠覆性技术潜力的识别指标体系

Tab.3 Identification Index System for Disruptive Technology

| 一级指标  | 二级指标             | 说明                   |
|-------|------------------|----------------------|
| 技术新创性 | 篇均非专利引用量         | 技术引用非专利文献的情况         |
|       | 篇均科学引用量与总引用量的比率  | 技术来自非专利文献的占比情况       |
| 技术扩散性 | 篇均技术分类( IPC 类)数量 | 该技术的技术分类跨度,体现其技术扩散情况 |
|       | 篇均同族数量           | 该技术的市场布局跨度,体现其市场扩散情况 |
| 技术影响力 | 篇均前向引用次数         | 专利的技术影响情况            |
|       | 突破性专利数量占比        | 被引用数量较多专利的占比情况       |

在这个环节的具体工作中,通过专家咨询法对同一层次的各元素的重要性两两比较,构造两两比较矩阵;通过判断矩阵计算被比较元素的相对权重,并进行一致性检验,最终得到各指标的权重如表 4 所示。

表 4 颠覆性技术识别模型

Tab.4 Disruptive Technology Recognition Model

| 一级指标  | 二级指标             | 权重     |
|-------|------------------|--------|
| 技术新创性 | 篇均非专利引用量         | 0.0933 |
|       | 篇均科学引用量与总引用量的比率  | 0.1566 |
| 技术扩散性 | 篇均技术分类( IPC 类)数量 | 0.0869 |
|       | 篇均同族数量           | 0.0986 |
| 技术影响力 | 篇均前向引用次数         | 0.2644 |
|       | 突破性专利数量占比        | 0.3002 |

3 实证研究

绿氢是指利用可再生能源分解水得到的氢气,其燃烧时只产生水,从源头上实现二氧化碳零排放。但目前,全球仍以化石能源制氢为主,根据国际能源署最新数据,2021 年全球氢气产量

的 9400 万吨中绿氢占比仅为 0.4‰。近年来,越来越多的国家选择布局氢能,视其为实现碳中和目标和确保国家能源安全的重要战略选项。我国在 2022 年 3 月发布的《氢能产业发展中长期规划(2021—2035 年)》中提出,到 2025 年使可再生能源制氢量达到每年 10 万吨至 20 万吨,到 2030 年形成较为完备的氢能产业技术创新体系;氢能发展要坚持清洁低碳原则,重点发展可再生能源制氢,也就是绿氢。

本部分将以绿氢行业为例,运用前文建立的颠覆性技术识别框架开展实证研究。

3.1 数据获取与处理

本文数据来源为科睿唯安( Clarivate Analytics )公司的德温特全球专利数据库( Derwent World Patent Index, DII )。

本文首先对总的“绿氢”产业的技术进行分解,主要分为基于可再生能源的氢能的制备、氢能的储运,以及氢能的运用(图 2),基于这三个环节确定检索要素。依托团队前期研究基础,本文实证研究的检索式制定主要从德温特手工代码( Manual Code )、技术构成调研、关键词角度制定如下检索式 TS = ( “hydrogen production” OR “hydrogen manufacturing” OR “hydrogen generation” OR “hydrogen making” ) AND ( TS = ( PEM OR SOEC OR AEM OR “Green Hydrogen” OR water-electrolytic OR electrolytic OR “electrolysis of water” OR “brine electrolysis” OR “alkaline electrolysis” OR “proton exchange membrane” OR “water electrolysis” OR “ion exchange membrane” OR amberplex ) OR TS = ( photocatalytic OR “water photolysis” OR “water splitting” OR “solar energy” OR “sun energy” OR photothermolysis OR “wind energy” OR photovoltaic OR photoelectrochemi\* OR “renewable energy” ) OR

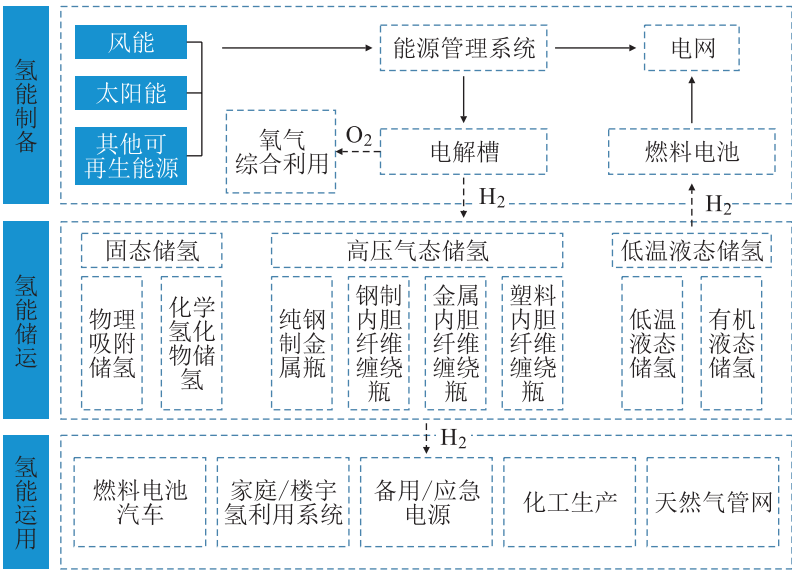


图 2 绿氢产业的产业链

Fig.2 Industrial Chain of the Green Hydrogen Industry

TS = ( biological OR biomass OR biology OR thermochemical conversion OR “thermochemical conversion” OR microorganism OR microbial OR biohydrogen OR bio-hydrogen ) ) AND ( MAN = ( E31-A02A OR X16-C17A\* OR J03-B\* OR X25-R\* ) OR IP = ( C01B-003/02 OR C25B-001/04\* OR F25J-003/02 OR C25B-001/06 OR C25B-001/08 OR C25B-001/10 OR C25B-001/12 ) ) ,时间跨度为 25 年,检索时间为 2022 年 10 月 30 日,共检出 DII 专利家族 3000 余项专利家族。

由于工作中未针对绿氢产业的每个技术节点分支进行针对性检索,因此得到的专利并未涵盖绿氢产业的全部专利;由于检索时纳入了绿氢产业密切相关的检索词及分类号,因此获得的专利数据集合较有代表性,采用这 3000 余项专利作为专利种子数据。

3.2 突现技术分析

本文通过 CiteSpace 的“Burst Detection”分析进行聚类后的“突变词探测”,绘制了 1996—2022

年出现的突现主题(以 Derwent 手工代码表征每项专利的关键词,作为突现主题)。其中,Year 表示该主题第一次出现的年份,Begin 和 End 表示该主题作为前沿的起始和终止年份,Strength 表示的是突现强度。

进行 Burst 探测后,可得到图 3 上方所示突现强度排名前 142 的技术主题,由于 Derwent 手工代码的分类具有上下位关系,因此整理为图 3 下方所示的表格进一步筛选颠覆性技术清单。

通过对技术主题种类(Subject Categories)排序后,可见绿氢产业的专利主要分布在 A、D、E、H、J、L、N、X 等大部。为了选出较有代表性的颠覆性技术清单,本文设定了如下筛选原则:第一优先级为突现强度高于 10 的技术主题(图 3 下方中红色字体的技术主题);第二优先级为突现起始年份为 2012 年以后的技术主题(图 3 下方中绿色背景色的技术主题);兼顾上下位分类号共同出现在突变词技术主题中的,选取上位技术,例如 X15-B(风力发电)与 X15-B01B(风力发电机)均出现的,

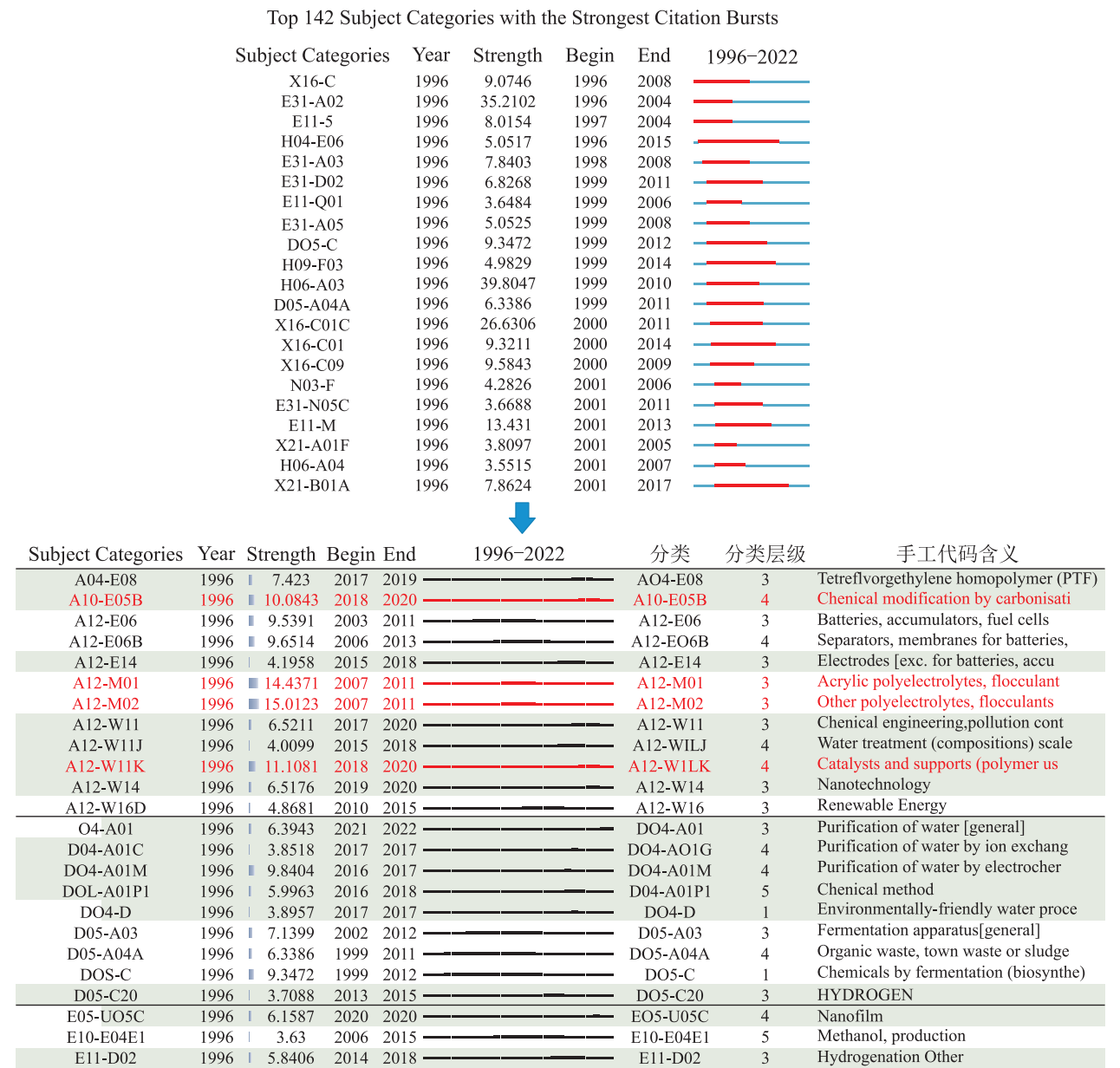


图 3 使用 CiteSpace 的“突变词探测”整理过程

Fig.3 Sorting Process of Burst Detection with CiteSpace

选取 X15-B\* 开展检索,以便完成后续检索。

结合这些筛选原则,并通过人工阅读判断相关技术主题的代表性专利,选取初步颠覆性技术清单列于表 5。

3.3 颠覆性潜力分析

针对上述颠覆性技术清单,结合表 4 中的颠覆性技术潜力分析的识别模型。可得到图 4、图 5

所示的每一个指标的量值,以及每项技术的颠覆性潜力值。

3.3.1 技术突破性

技术突现强度及突现时间段在一定程度上表征颠覆性技术的前沿性和突破性,以及其高速发展的时间段。从该维度看,“氢气的生产、存储”“电能存储”“汽车应用”是选出的技术主题中突现强

表 5 绿氢产业领域颠覆性技术清单

Tab.5 List of Disruptive Technology in Green Hydrogen Industry

| 技术主题       | 相应 Derwent 手工代码                     | 突现时间段 <sup>1)</sup> | 突现强度     |
|------------|-------------------------------------|---------------------|----------|
| 太阳能制氢 – 供电 | MC=(X15-A02*)                       | 2021—2022           | 6. 0078  |
| 光催化技术      | MC=(J04-E04C* OR J04-E09C* OR E35*) | 2009—2022           | 15. 1312 |
| 风力发电       | MC=(X15-B*)                         | 2021—2022           | 7. 5027  |
| 生物制氢       | MC=(D05-C*)                         | 1999—2015           | 9. 3472  |
| 制氢催化剂制备    | MC=(J04-E11)                        | 2016—2020           | 14. 1700 |
| 电能存储       | MC=(X12-H06)                        | 2021—2022           | 16. 2072 |
| 氢气的生产、存储   | MC=(E31-A02*)                       | 1994—2012           | 35. 2102 |
| 制氢的控制      | MC=(X25-R01D)                       | 2021—2022           | 12. 6779 |
| 平衡网络负载能量储存 | MC=(X12-H01A7)                      | 2019—2022           | 11. 4830 |
| 水净化        | MC=(D04-A01*)                       | 2016—2022           | 9. 8404  |
| 纳米技术       | MC=(E31-U03 OR E31-U02 OR E31-U01)  | 2013—2022           | 7. 5235  |
| 汽车应用       | MC=(L03-H05)                        | 2006—2017           | 13. 7692 |

1) 由于部分技术主题覆盖了多个Derwent手工代码,因此其突变时间段选自多个突变时间段的并集。

| 技术主题       | 突现强度    | 专利数量<br>(家族数) | 技术新创性    |                 | 技术扩散性          |        | 技术影响力    |           | 颠覆性<br>潜力值 |
|------------|---------|---------------|----------|-----------------|----------------|--------|----------|-----------|------------|
|            |         |               | 篇均非专利引用量 | 篇均科学引用量与总引用量的比率 | 篇均技术分类(IPC类)数量 | 篇均同族数量 | 篇均前向引用次数 | 突破性专利数量占比 |            |
| 太阳能制氢-供电   | 6.0078  | 308           | 7.67     | 0.33            | 4.86           | 14.08  | 1.71     | 0.13      | 3.07       |
| 光催化技术      | 15.1312 | 2650          | 2.10     | 0.37            | 4.23           | 9.86   | 1.01     | 0.11      | 1.89       |
| 风力发电       | 7.5027  | 384           | 0.30     | 0.10            | 5.11           | 13.06  | 1.05     | 0.09      | 2.08       |
| 生物制氢       | 9.3472  | 358           | 37       | 0.44            | 3.71           | 19.32  | 1.03     | 0.13      | 2.92       |
| 制氢催化剂制备    | 14.17   | 1820          | 2.17     | 0.37            | 4.58           | 9.09   | 0.98     | 0.12      | 1.85       |
| 电能存储       | 16.2072 | 225           | 0.50     | 0.19            | 5.80           | 12.33  | 0.54     | 0.12      | 1.97       |
| 氢气的生产、存储   | 35.2102 | 153           | 1.00     | 0.28            | 3.93           | 12.36  | 0.24     | 0.13      | 1.80       |
| 制氢的控制      | 12.6779 | 936           | 0.24     | 0.09            | 4.34           | 9.57   | 0.41     | 0.17      | 1.52       |
| 平衡网络负载能量储存 | 11.483  | 334           | 0.44     | 0.18            | 5.21           | 9.91   | 0.76     | 0.10      | 1.73       |
| 水净化        | 9.8404  | 1177          | 0.89     | 0.25            | 4.10           | 10.65  | 0.94     | 0.10      | 1.81       |
| 纳米技术       | 7.5235  | 728           | 2.30     | 0.40            | 4.42           | 6.83   | 1.05     | 0.12      | 1.65       |
| 汽车应用       | 13.7692 | 389           | 1.68     | 0.24            | 4.21           | 26.63  | 1.52     | 0.10      | 3.62       |

图 4 绿氢领域主要技术主题的颠覆性潜力计算

Fig.4 Disruptive Potential Calculation of Main Technical Subjects in the Industry of Green Hydrogen

度最高的前三名,这三个主题涵盖了氢气的制、储与应用,是绿氢产业链上最为重要的主题。

氢气的生产、存储,是氢能利用的第一步,在1994—2012年间较为密集的发展。使用可再生能源电解水制氢,能有效解决可再生能源消纳问题,是有前景的清洁能源技术路径。

电能存储是稳定使用绿氢技术前提条件之一,在2021—2022年形成密集研究,快速发展。

汽车应用是氢能利用最为聚焦的领域,在2006—2017的近十年较为密集地发展,并在全球形成大量应用。氢动力在货车、长途汽车应用中有着无可比拟的优势,氢动力叉车凭借其灵

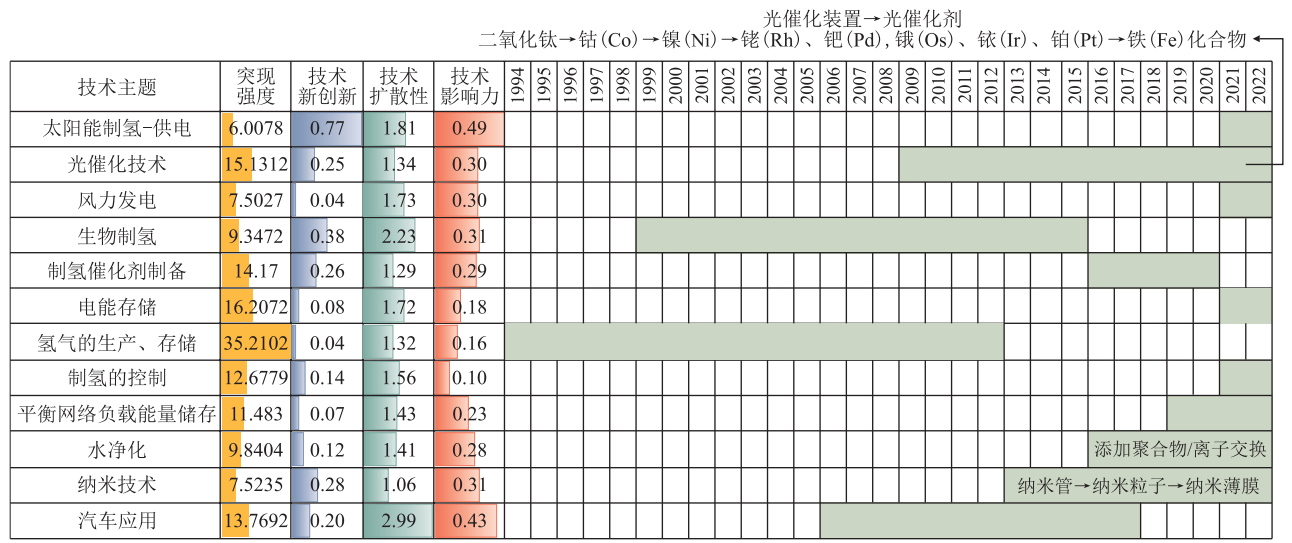


图 5 绿氢领域主要技术主题的颠覆性潜力分析

Fig. 5 Disruptive Potential Analysis of Main Technical Subjects in the Industry of Green Hydrogen

活性和快充性能已实现推广使用<sup>[20]</sup>。

3.3.2 技术创新性

从绿氢领域的技术创新性看,排名较为靠前的技术主题包括:太阳能制氢-供电技术、生物制氢技术、纳米技术、制氢催化剂制备、光催化技术。

以太阳能制氢-供电技术为例,可见其引用非专利文献最多的专利聚焦于“使用含镓和氮的有源区的应变工程方法和相关光学器件”“集成 III-V 族(砷化物、磷化物、氮化物、异质结构、同质结构和合金)和硅器件和制造”等,可用于光电化学水分解和氢生成设备。而以光催化技术为例,其细分的突现主题按照时间排列为光催化装置→光催化剂,以及二氧化钛→钴(Co)→镍(Ni)→铑(Rh)、钯(Pd)、钌(Ru)、铱(Ir)、铂(Pt)→铁(Fe)化合物。

从这些技术主题的新创性可以看出,绿氢技术的进一步发展,有赖于新材料的研发,从而实现产业应用中降成本、提升稳定性的需求。

3.3.3 技术扩散性

从绿氢领域的技术扩散性看,排名较为靠前

的技术主题包括:汽车应用、生物制氢、太阳能制氢-供电。

以汽车应用为例,其较早地实现了燃料电池的技术扩散,且实现了投产。纵观世界各国的燃料电池技术水平,日本在该领域的表现尤为突出,且其以技术含量较低的家用燃料电池 ENE FARM 入手。1999 年东京燃气与松下正式联合,开展燃料电池商用化开发的基础研究。到 2004 年,在 NEF 基金支持下,双方共同努力实现了商业化示范运营。随着商业化示范运营初具成效,燃料电池技术进一步成熟,在 2009 年开始普通家庭推广 ENE FARM,随后 ENE FARM 发展进入了快车道。从提出商业化思路到商业化普及推广经历了 10 年,期间得到了政府相关基金大力支持,企业间的深入合作、相关协会(FCCJ、FCA)协调配合也起到了非常重要作用。

由此可见,技术的扩散需要政策的鼓励 and 市场的培育,日本燃料电池的技术扩散中可以借鉴: 1) 范围经济。产业早期除了电池产业发展以外,应该鼓励电堆厂从技术难度较低、场景固定的应

用领域切入,更容易实现产业化。2) **顶层设计**。政府在制定战略时要科学论证,目光长远,目标明确。3) **合理补贴**。在制定产业补贴政策时,政府需要审时度势,根据不同阶段,不同产品,不同生态,适时调整。4) **培育生态**。在产业发展早期,打通技术链条,培育产业生态,促进全产业链协同发展。

### 3.3.4 技术影响力

在绿氢领域的技术影响力看,排名较为靠前的技术主题包括:太阳能制氢-供电、汽车应用、纳米技术、生物制氢。

以太阳能制氢-供电为例,日本在 2021 年实现了太阳能大规模制氢;国内近几年处于筹备或建设中的“绿氢”项目中,超过三分之二的项目都采用了“光伏+氢”这一技术路线。可见其有望成为推动氢能源的商业化的主要技术路线之一。

以生物制氢为例,可见该领域的高被引专利相对较多。生物法制氢技术利用氢化酶和固氮酶这两种关键酶的催化活性,将生物质中的水分子与有机底物转化为氢气。常见的生物法制氢技术有直接光解法、间接光解法、光发酵法、暗发酵法、光暗耦合发酵法、无细胞系统制氢等。虽然生物废物储量丰富,但是对于废物的收集、分离、大规模预处理、运输和储存仍面临着严峻的挑战<sup>[21]</sup>。

## 4 结论与展望

本文探究颠覆性技术的内在特征和发展规律,采用技术突现分析表征颠覆性技术的突变特征,采用专利指标表征颠覆性技术的技术新创性、技术扩散性和技术影响力,提出了基于专利文献识别颠覆性技术的测度体系,并运用层次分析法赋权,提出识别技术颠覆性程度的测度模型。通过对绿氢技术领域专利数据的分析,发现“太阳能

制氢-供电”“生物制氢”“汽车应用”等是颠覆性潜力较高的领域。通过对初筛技术主题的相关调研,对潜在颠覆性技术的发展有了更加直观清晰的了解;通过对初筛主题在技术突破性三个维度的分析,分析结果与相关主题在创新链所处位置、市场表现情况符合程度较高。

本文在研究中尚存在一些不足:首先本文研究的侧重点是从技术突现强度入手对颠覆性技术主题进行识别,提出颠覆性技术清单,但限于专利分类号的层级性,需要较多的主观判断提取技术主题,应进一步考虑通过自动化或半自动化的方式处理技术突现主题,从而较快提取较为合适颗粒度的技术主题;第二是数据源选择单一,虽然专利数据能够较好地表征从基础研究到市场应用的技术类文献,但在研究中与非专利文献的数据印证方面尚有欠缺,仅能从个别点上略作探讨;应考虑结合质量较高的期刊文献、会议文献,以及纳入产品、市场类的信息,进一步梳理筛出技术主题的颠覆性程度,以形成较为精准的决策支持建议。

## 参考文献

- [1] 新华社. 中华人民共和国国民经济和社会发展的第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要 (Xinhua News Agency. Outline of the 14th Five-year Plan and the Vision for 2035 for National Economic and Social Development of the People's Republic of China) [EB/OL]. (2021-03-13) [2022-12-01]. [http://www.gov.cn/xinwen/2021-03/13/content\\_5592681.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2021-03/13/content_5592681.htm).
- [2] 经济参考报. 央地加快布局颠覆性技术 抢抓创新主动权 (Economic Information Daily. Central and Local Governments Accelerate the Layout of Disruptive Technologies to Seize the Initiative of Innovation) [EB/OL]. (2021-08-06) [2022-12-01]. <https://>

- economy.gmw.cn/2021-08/06/content\_35057244.htm.
- [3] 王超, 马铭, 张伟然, 等. 颠覆性技术关注方向演化研究[J]. 科技进步与对策, 2022(8): 19-29. (WANG Chao, MA Ming, ZHANG Weiran, et al. Profits of Disruptive Technological Innovation Concerning Direction [J]. Science & Technology Progress and Policy, 2022, 39(8): 19-29.)
- [4] 刘柳, 吴新年. 颠覆性技术识别方法研究进展述评[J]. 数字图书馆论坛, 2022(1): 2-9. (LIU Liu, WU Xinnian. Review on the Research Progress of Disruptive Technology Identification Methods [J]. Digital Library Forum, 2022(1): 2-9.)
- [5] BOWER J L, CHRISTENSEN C M. Disruptive Technologies: Catching the Wave [J]. Harvard Business Review, 1995, 73(1): 43-53.
- [6] CHRISTENSEN C M. The Innovators Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail [M]. Boston: Harvard Business School Press, 1997.
- [7] 刘洪民, 林琳. 克里斯坦森颠覆性创新理论的演进脉络及启示[J]. 科技促进发展, 2022(1): 58-65. (LIU Hongmin, LIN Lin. Evolution of Christensen's Disruptive Innovation Theory and Its Enlightenment [J]. Science & Technology for Development, 2022(1): 58-65.)
- [8] 乔亚丽, 黄颖, 张硕, 等. 多维视角下颠覆性技术识别: 研究进展与未来思考[J]. 情报杂志, 2022, 41(8): 45-52. (QIAO Yali, HUANG Ying, ZHANG Shuo, et al. The Identification of Disruptive Technology from a Multi-dimensional Perspective: Research Progress and Future Prospects [J]. Journal of Intelligence, 2022, 41(8): 45-52.)
- [9] 王刚, 侯广辉, 廖桂铭. 不确定性条件下的“创新漏斗”: 颠覆性技术的识别方法与多阶段筛选路径研究[J]. 管理评论, 2022, 34(9): 98-107, 119. (WANG Gang, HOU Guanghui, LIAO Guiming. “Innovation Funnel” under Uncertainties: Recognition Method of Disruptive Technology and Multi-stage Screening Path [J]. Management Review, 2022, 34(9): 98-107, 119.)
- [10] 王安, 孙棕檀, 沈艳波, 等. 国外颠覆性技术识别方法浅析[J]. 中国工程科学, 2017, 19(5): 79-84. (WANG An, SUN Zhongtan, SHEN Yanbo, et al. Analysis of Disruptive Technology Identification Methods in Foreign Countries [J]. China Engineering Science, 2017, 19(5): 79-84.)
- [11] 冯倩倩, 张光宇, 戴海闻, 等. 颠覆性技术遴选的指标体系与流程设计——基于扎根理论的多案例研究[J]. 科技管理研究, 2021, 41(24): 50-59. (FENG Qianqian, ZHANG Guangyu, DAI Haiwen, et al. Index System and Process Design of Disruptive Technology Selection: A Multi-case Research Based on Grounded Theory [J]. Science and Technology Management Research, 2021, 41(24): 50-59.)
- [12] 许泽浩, 张光宇, 黄水芳. 颠覆性技术创新潜力评价与选择研究: TRIZ理论视角[J]. 工业工程, 2019, 22(5): 109-117. (XU ZEHAO, ZHANG GUANGYU, HUANG Shuifang. A Research on Disruptive Technology Innovation Potential Evaluation and Selection: Perspective of TRIZ [J]. Industrial Engineering Journal, 2019, 22(5): 109-117.)
- [13] UK Government. Are Patents a Useful Tool for Assessing the Potential of Science-Intensive, Emerging Disruptive Technologies? [EB/OL]. (2005-07-05) [2023-02-01]. <https://www.gov.uk/government/publications/disruptive-technology-a-toolkit>.
- [14] 于光辉, 宁钟, 李昊夫. 基于专利和Bass模型的颠覆性技术识别方法研究[J]. 科学学研究, 2021, 39(8): 1467-1473, 1536. (YU Guanghui, NING Zhong, LI Haofu. Research on Identification Method of Disruptive Technology Based on Patent and Bass Model [J]. Studies in Science of Science, 2021, 39(8): 1467-1473, 1536.)
- [15] 刘云, 桂秉修, 王小黎. 基于引文网络的颠

- 覆性技术发展路径研究[J]. 科研管理, 2022,43(11):32-44. (LIU Yun, GUI Bingxiu, WANG Xiaoli. Research on the Disruptive Technology Development Path Based on Citation Network Analysis [J]. Science Research Management, 2022, 43(11): 32-44.)
- [16] 纪亚琨,余翔,张奔,等. 专利网络视角下的潜在颠覆性技术识别——以自动驾驶领域为例[J]. 情报杂志,2022, 41(12): 46-50, 139. (JI Yakun, YU Xiang, ZHANG Ben, et al. Identifying Potentially Disruptive Technologies from the Perspective of Patent Networks: The Field of Self-Driving Vehicles as an Example [J]. Journal of Intelligence, 2022, 41(12): 46-50, 139.)
- [17] 王康,陈悦. 技术融合视角下基于专利的颠覆性技术识别研究[J]. 情报杂志,2022, 41(4): 29-36, 134. (WANG Kang, CHEN Yue. Research on Disruptive Technology Identification Based on Patent from the Perspective of Technology Convergence [J]. Journal of Intelligence, 2022, 41(4): 29-36, 134.)
- [18] CiteSpace. Burst Detection [EB/OL]. (2023-02-01) [2023-02-01]. <https://citespace.podia.com/glossary-burstness>.
- [19] VELAYOS-ORTEGA G, LÓPEZ-CARREÑO R. Non-Patent Literature [J]. Encyclopedia 2021, 1: 198-205.
- [20] 徐硕,余碧莹. 中国氢能技术发展现状与未来展望[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2021, 23(6): 1-12. (XU Shuo, YU Biying. Current Development and Prospect of Hydrogen Energy Technology in China [J]. Journal of Beijing Institute of Technology (Social Sciences Edition), 2021, 23(6): 1-12.)
- [21] 尹正宇,符传略,韩奎华,等. 生物质制氢技术研究综述[J]. 热力发电,2022, 51(11): 37-48. (YIN Zhengyu, FU Chuanlve, HAN Quihua, et al. Review on Technologies of Hydrogen Production from Biomass [J]. Thermal Power Generation, 2022, 51(11): 37-48.)

#### 作者贡献说明

李文清:设计论文框架,查阅梳理文献;

齐晓曼:指导文章撰写,参与讨论文章框架;

庄子艾:数据收集与分析,文章审校;

袁银池:数据收集与分析;

陈 赞:文献收集与整理;

陆 娇:设计识别方法,撰写文章。