

基于文献挖掘的颠覆性技术早期识别研究

石 慧 潘云涛 赵筱媛 苏 成
(中国科学技术信息研究所, 北京 100038)

摘要: 利用论文和专利两种数据源进行了颠覆性技术的早期识别研究。首先提出论文主题词基于时序突变的3种情况, 利用专利手工代码 Σ (Sigma)值判断技术创新性, 根据主题词在突变情况种数以及所属创新性技术领域个数两个维度的数值作四分图, 根据主题词在四分图中所处位置判断主题词所代表技术是否潜在颠覆性技术。在此基础上, 通过电动汽车/混合动力汽车所用锂电池技术领域实证, 证明本文所提出的方法是一种有效的颠覆性技术预见方法。

关键词: 颠覆性技术; 早期识别; 主题词突变; 手工代码; 四分图

中图分类号: G301

文献标识码: A

DOI: 10.3772/j.issn.1674-1544.2019.04.016

Research on Early Identification of Disruptive Technology Based on Literature Mining

SHI Hui, PAN Yuntao, ZHAO Xiaoyuan, SU Cheng

(Institute of Scientific and Technical Information of China, Beijing 100038)

Abstract: Based on two kinds of data sources of paper and patent, the early identification of disruptive technology is carried out. First, three cases based on time series mutation are proposed, and the technical innovation is judged by the value of the patent manual code sigma, and the number of the theme words in the mutation situation and the number of the number of the innovative techniques are made in four points. According to the location of the subject word in the four part diagram, we can judge whether the technology of the subject word represents the potential disruptive technology. Through the field of lithium battery technology used in electric vehicles/hybrid vehicles, it proves that the proposed method is an effective field of disruptive technology foreseeing methods.

Keywords: disruptive technology, early identification, subject mutation, manual code, Four partite graph

0 引言

颠覆性技术最早是由美国学者C. Christensen教授^[1]提出的, 是指从低端或边缘市场切入, 以简单、方便、便宜为初始特征, 通过不断改进与

完善性能, 对已有技术造成颠覆性影响的技术。从字义上看, 颠覆性技术就是指对行业主流产品造成一定程度颠覆的技术, 不遵循传统技术的发展思路和技术路线, 可产生巨大的效益。例如, 数字技术在照相领域的应用颠覆了传统的胶片照

作者简介: 石慧 (1995—), 女, 中国科学技术信息研究所硕士研究生, 研究方向: 科学计量学与科技评价 (通讯作者); 潘云涛 (1967—), 女, 硕士, 中国科学技术信息研究所研究员、科学计量与评价研究中心主任、研究生导师, 研究方向: 科学计量学与科技评价; 赵筱媛 (1978—), 女, 博士, 中国科学技术信息研究所研究员、科学计量与评价研究中心副主任, 研究方向: 竞争情报与竞争战略; 苏成 (1973—), 男, 博士, 中国科学技术信息研究所研究员, 研究方向: 科学计量学与科技评价。

收稿时间: 2019年1月20日。

相技术，导致柯达等主流企业的衰败，最终走向了没落^[2]。

颠覆性技术产生的内因是主流市场存在大量性能过剩：在位企业通过不断研究开发新技术来改进产品性能，以应对激烈的市场竞争，但是技术进步的速度往往超过消费者实际需求的性能改进速度，从而产生性能过剩，导致消费者被过度服务。部分消费者根本无法利用产品的更多功能，消费者的边际效用降为零，对便宜而性能简单的产品提出了新的需求。与在位企业维护自身现有利益相比，新兴的中小企业利用具有简单化、便捷性等特点的技术满足低端市场或非主流市场的需求来获得立足和发展。因此颠覆性技术是指从市场角度出发，初期服务对象为新客户/潜在客户，具有明确的取代对象且便宜、方便等特点，从低端市场或新市场开始发展，逐渐取代主流市场和在位企业的技术。

实践已经并将继续证明，谁能及时发现并部署推动颠覆性技术，谁就可赢得当今全球化竞争的发展先机^[3]。但是，由于技术发展的不确定性，任何一项技术在成为颠覆性技术之前很长一段时间内不被大众所关注，因此颠覆性技术的早期识别和预测一直是个难点。

目前，潜在颠覆性技术识别的方法大致分为以下 5 大类：德尔菲法（专家意见法）、指标预测法、技术路线图法、情景分析法、文献计量法。其中，德尔菲法是典型的以专家意见为基础的识别和预测方法，预测结果的准确性主要依靠专家的知识基础和对新技术的敏感性，存在一定程度上的主观性，一般比较多地应用在国家层面的预测^[4-7]；技术路线图是一种灵活的方法，是一种结构化、图形化的技术规划管理工具^[8-12]，但该方法主要关注技术、产品等要素，较少关注外部环境的变化，具有一定局限性；情景分析法的基本思想是认为影响某一事物发展的因素是众多的，较全面地考虑到未来发展的各个情景，考虑问题较全面^[13-15]，但该方法需要耗费较多的时间和精力掌握内外部环境信息；指标预测法就是要构建指标评估框架，易操作、简单有效^[16-18]，但

评判指标的提出和确定很困难，对于不同技术领域指标的确定不尽相同，没有形成一套统一的评判指标体系，缺乏通用性；文献计量法就是利用专利、论文或网络数据等作为数据源，进行识别^[19-23]。文献计量法中的网络数据存在很大的不真实性，数据的筛选有较大的困难，而专利和论文则蕴含丰富可挖掘的技术信息：创新思想和前沿技术往往会先通过学术论文（包括会议论文、期刊论文等）呈现出来，专利则是将科学研究成果和创新思想转化为实用型技术的结果体现。专利体现的创新能力与学术论文相辅相成^[24]，用来进行早期颠覆性识别，可以较客观地得出结论。因此，本文拟选用论文和专利两种数据源，进行整合，深度挖掘，对颠覆性技术的早期识别进行初步探讨。

1 研究思路及数据准备

本文从某一特定领域的论文和专利数据出发，通过对论文数据划分分析时间窗，分析主题词在时间窗内的突变情况，利用 CiteSpace 软件对专利进行突变监测，得到德温特专利手工代码的 σ 值大小，在结果中综合某项技术对应主题词在时间窗内突变的情况和该技术领域手工代码的创新性进行综合分析，判断该项技术是否是潜在的颠覆性技术，具体流程如图 1 所示。

按照特定的检索策略，从 Derwent Innovations Index（DII）数据库中下载专利文献。在 Web of Science（WoS）核心合集数据库中按照较优的检索策略下载同一研究领域的论文。

德温特手工代码是德温特专利数据库的一大特色，由德温特的标记人员分配给专利，构成一个分类结构的等级体系，按等级排列，标记符号越多，代码越精确，所代表的技术范围越明确。每个专利对应一个以上的德温特手工代码，反映了专利的核心内容和创新之处^[25]。因此本次专利分析是使用手工代码，但由于 CiteSpace 软件在处理德温特专利数据时，将德温特分类代码作为处理关键词的字段，因此在进行正式分析前，要对专利数据进行预处理，采取的方法是借助 Excel

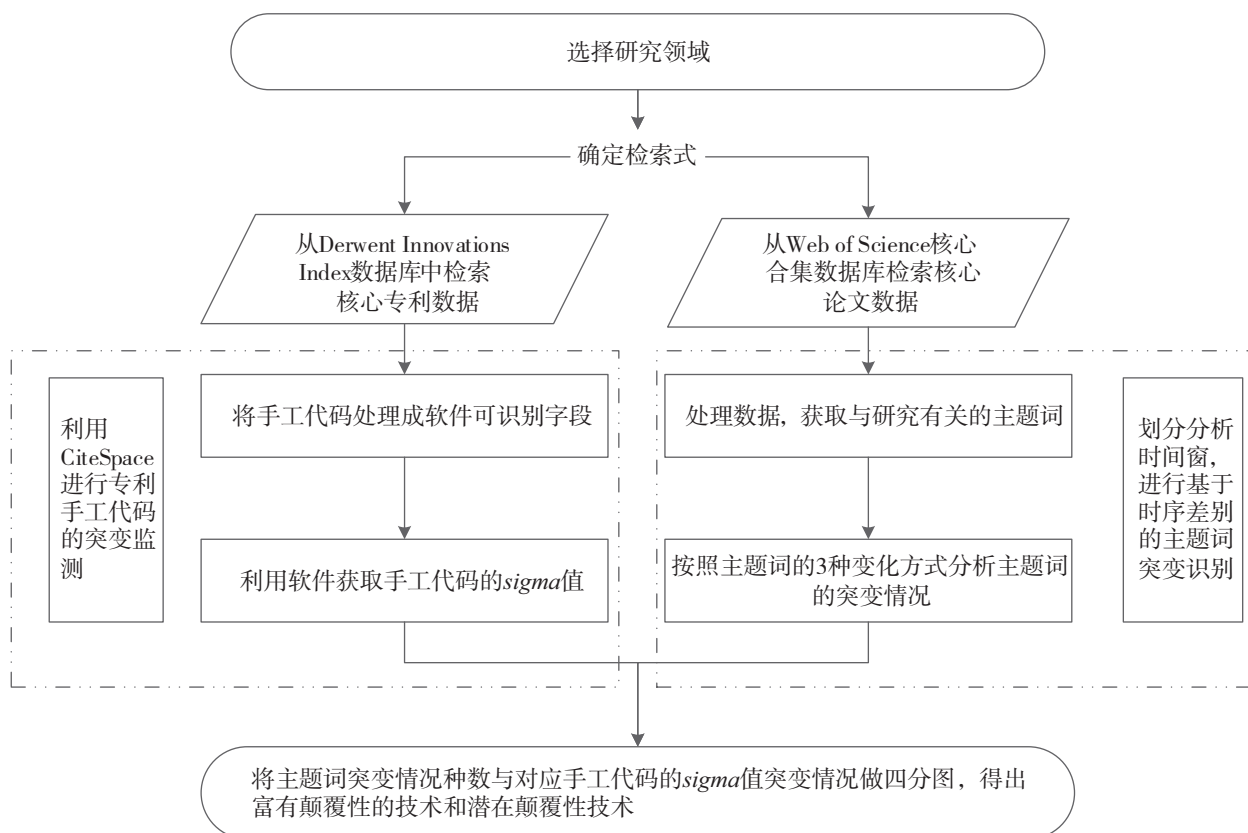


图1 研究思路流程图

软件将德温特手工代码替换成可处理的德温特分类代码。

2 数据处理与分析

2.1 专利数据处理与分析

突变监测 (Burst Detection) 算法是 Kleinberg 于 2002 年提出的^[26], 通过词出现时的密度而不是时间的长短识别出频次相对增长率突然增加的词, 即突变词。专利数据时间段的选取与论文的时间范围一致, 用 CiteSpace 软件的突变监测算法对专利数据进行分析, 在结果中基于 σ 值来实现专利手工代码共现, 得到基于 σ 值的手工代码共现图谱, 根据图谱进行技术领域创新性的总体分析。结合 σ 值排名前十的手工代码进行具体分析, 根据专利手工代码的 σ 指数大小来识别具有创新性的技术研究领域。 σ 指数是陈超美教授于 2009 年提出来的测度科学创新能力的一个计量指标, 用于确定具有创

新性的科学文献^[27]。 Σ (Sigma) 的公式可表示为:

$$\Sigma = (Centrality + 1)^{burstness} \quad (1)$$

其中, $Centrality$ 为中介中心性值, 表示一个主题词的影响力和重要程度; $burstness$ 为激增 (Burst) 指数的值, 表示一个主题词自身的热点程度。若某技术领域手工代码的 Σ 值越高, 则表明其创新性越高, 越有可能是研究的前沿和潜在的颠覆性技术。

2.2 论文数据处理与分析

将下载论文按照一定的标准 (例如论文的数量以及重要的时间节点等) 划分分析时间窗, 由于代表颠覆性技术的主题词一般在前期不被大众所关注, 主题词出现频率不高, 因此通过主题词频率进行主题词的颠覆性判断在某种程度上是行不通的, 因此笔者在本文中是基于时序差别的主题词突变进行识别, 通过判定主题词在分析时间

窗内是否满足突变情况以及满足突变情况的种数来判断该主题词所代表的某类技术是否是潜在的颠覆性技术。主题词的突变分为新主题词的出现、新形式新内容的出现、多主题的融合 3 种情况。

(1) 新主题词的出现。如果某类新主题词在某个时间窗内第一次出现后，又接连在 3 个及以上（总时间窗个数大于 4）的时间窗内出现，那么该主题词很有可能代表某新兴技术的萌芽，并且有研究者一直在进行该方面的研究，说明该研究有一定意义并且将可能取得一定的突破。将这种突变情况作为潜在颠覆性技术的条件之一。

(2) 新形式、新内容的出现。如果某类关键词在某个时间窗口第一次出现后，在接下来的时间窗内接连出现，并且该类主题词具体内容或表现形式发生了一定程度的变化，说明该类主题词持续被研究并且在研究上很有可能取得了新的突破。将此作为潜在颠覆性技术的另一条件。

(3) 多主题的融合。如果某两类主题词在某个时间窗内融合成新主题词后，新主题词在接下来的时间窗内和其类主题词再次融合成一个新主题词，并且每一次融合都有一定形式或内容上的突破，则这几类主题词的融合有可能产生突破性创新，因此该种情况也是潜在颠覆性技术的条件之一。用主题词融合率来判断两个主题词是否融合，如果主题词融合率 ≥ 0.5 ，则认为两个主题词融合成新的主题词。其中，主题词融合率公式为：

$$C(A_i, A_{i-1}) = \frac{\text{coin}(A_i, A_{i-1})}{\min(A_i, A_{i-1})}, i > 1 \quad (2)$$

其中， A_i 是第 i 个时间窗内的主题词， A_{i-1} 是第 $i-1$ 个时间窗内的主题词， $\text{coin}(A_i, A_{i-1})$ 指两个主题词的重复字数， $\min(A_i, A_{i-1})$ 指 A_i 和 A_{i-1} 中字数较少的主题词所包含的字数。

2.3 综合结果分析

基于论文主题词在时间窗口序列上的变化情况来判断其是否是潜在的颠覆性技术，基于突变监测得到的手工代码 σ 值来判断某个技术领域研究的创新性，综合两种数据源的分析结果用四分图来客观判断某类主题词所代表的技术领域

是否具有颠覆性，如果某类主题词满足某一种或某几种突变情况，而且该类主题所涉及的技术研究领域具有很高的 σ 值，即具有很强的创新性，那么将其作为潜在颠覆性技术。

3 实证研究

现选择电动/混合动力汽车所用的锂电池技术发展进行实证分析验证。

3.1 原始数据下载

以 WoS 核心合集数据库为论文来源数据库中，利用 $TS=((\text{electr}^* \text{ NEAR/2 vehicle}^* \text{ OR hybrid NEAR/2 vehicle}^*) \text{ AND } (\text{“lithium batter}^* \text{” OR “lithium cell}^* \text{” OR “li batter}^* \text{” OR “li cell}^* \text{” OR “lithium-ion batter}^* \text{” OR “lithium-ion cell}^* \text{” OR “li-ion batter}^* \text{” OR “li-ion cell}^* \text{”}))$ 为检索式，检索时间段设为 1998 年至 2010 年下载论文数据。在 DII 数据库中利用检索式 $TI=((\text{electr}^* \text{ NEAR/2 vehicle}^* \text{ OR hybrid NEAR/2 vehicle}^*) \text{ AND } (\text{“lithium-ion batter}^* \text{” OR “lithium-ion cell}^* \text{” OR “li-ion batter}^* \text{” OR “li-ion cell}^* \text{” OR “lithium batter}^* \text{” OR “lithium cell}^* \text{” OR “li batter}^* \text{” OR “li cell}^* \text{”}))$ 下载 1998 年至 2010 年的专利，下载时间是 2018 年 1 月 2 日。

3.2 论文主题词分析

将 1998 年至 2010 年的论文数据导入 CiteSpace 软件，时间跨度设置为 1998 年至 2010 年，单个时间片长度选为 2 年，即以 2 年的时间对论文进行时间切片；主题词来源选择标题、摘要、系词和标识词；术语类型选择 Burst Term；节点类型选择 KeyWord；阈值设置为 Top 50，即每时间片长度中选取被引频次最高的前 50 个节点；其他选择默认值。得到的 σ 值排名前十的主题词如表 1 所示。从表 1 可看出，前六名的主题词分别是电池、锂电池、电动汽车，这是所选电动汽车/混合动力汽车所用锂电池领域的主要主题词。排名第七的聚合物电解质和第八的电极都是对电池电极进行研究，说明对电极的研究具有创新性。排名第九的磷酸铁锂和第十的六氟磷酸锂属于电极材料，电极材料属于电极研究的

一个领域。

由表1可知,电极材料的研究是极具创新性,本文以电极材料领域的具体主题词在不同分析时间窗内的突变情况进行研究。由各年论文的数量来看,2010年的论文数量比较多,之前年份的论文数量都相对较少,因此将1998年至2009年的论文按照2年的时间进行切片,2010年的论文数据单独作为一个分析时间窗,对所有时间窗

内有关电极材料的主题词进行抽取,得到的主题词如表2所示。

碳基材料是以碳主导的一系列材料,从表2看出,碳基材料(碳)在第1个时间窗第一次出现后,在接下来的6个时间窗内都出现了,说明碳基材料从开始作为锂电池电极材料以来,一直都是电极材料研究的热点,符合第1种突变情况。在第4个时间窗内碳的内容和形式开始出现了变化,除碳和石墨外,开始出现了包覆石墨、石墨层间化合物。其中包覆石墨具有循环寿命长和与电解液有很好的相容性等特点,很好地解决了石墨与电解液相容性差、首次充放电可逆容量低、不适合大电流充放电、循环性能差等问题;石墨层间化合物也称为膨胀石墨,具有超强导电性。第6个时间窗内出现了碳纳米管,碳纳米管是由单层或多层同轴炭片层组成的“具有类似于石墨层状结构”的材料,具有很好的电子传导和离子运输能力。第7个时间窗内出现了石墨烯,石墨烯是最薄也是最坚硬的纳米材料,在电

表1 1998—2010年论文Σ(sigma)值排名前十的主题词

序号	sigma值	主题词
1	2.63	cell,1998(电池,不储电)
2	1.67	battery,2000(电池,储电)
3	1.38	lithium battery,1998(锂电池)
4	1.32	electric vehicle,1998(电动汽车)
5	1.24	lithium-ion battery,2000(锂离子电池)
6	1.16	li-ion battery,2002(锂离子电池)
7	1.15	polymer electrolyte,2000(聚合物电解质)
8	1.10	electrode,2002(电极)
9	1.07	lifepo4,2007(磷酸铁锂)
10	1.03	lipf6,2007(六氟磷酸锂)

表2 各时间窗口内电极材料主题词列表

序号	时间段	材料主题词
1	1998—1999年	锂化合物(锰酸锂、尖晶石型锰锂氧化物、钛酸锂) 氧化物(五氧化二钒、氧化钴、镍基氧化物、二氧化锰、锰氧化物) 碳基材料(石墨、热解石墨、碳)
2	2000—2001年	锂化合物(锂/黄铁矿、高锰酸锂、钴酸锂、镍钴酸锂) 氧化钒、锰氧化物、二氧化锰、钠/镍、镉镍、锰、laves相合金、锌、镍催化剂、镍金属氢化物 碳基材料(碳、碳素材料)
3	2002—2003年	锂化合物(高锰酸锂、锰酸锂、 $\text{Li}_x\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.15}\text{Al}_{0.05}\text{O}_2$ 、掺杂尖晶石锰酸锂) 镉镍、钠超离子导体、锂超离子导体、镍金属氢化物 碳基材料(碳)
4	2004—2005年	锂化合物(硫化铁锂、尖晶石锂锰氧化物、 $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.15}\text{O}_2$ 、双草酸硼酸锂、纳米型钴酸锂、 $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.15}\text{Al}_{0.05}\text{O}_2$) 氧化锡、锰、金属氢化物、纳米聚合物 碳基材料(碳、包覆石墨、石墨层间化合物、嵌锂石墨、天然石墨、活性炭)
5	2006—2007年	锂化合物(磷酸铁锂、六氟磷酸锂、镍锰酸锂、钛酸锂、Ni-NiH) 陶瓷、铝合金、钴、氧化钴、钒、纳米线、纳米复合物、纳米棒 碳基材料(碳、天然石墨、石墨)
6	2008—2009年	锂化合物(磷酸铁锂、碳包裹的磷酸铁锂、掺杂尖晶石型锰酸锂、双草酸硼酸锂、磷酸镍锂) 氧化钴包覆、钒、氢能源、纳米材料、纳米多孔材料、纳米线、纳米、硅、钠超离子导体 碳基材料(碳、石墨化催化剂、碳覆层、碳纳米管、无定形碳)
7	2010年	锂化合物(磷酸铁锂、碳包裹的磷酸铁锂纳米复合物、尖晶石镍锰酸锂、钛酸锂、 $\text{Li}_7\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$ 、 $\text{Li}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_3/\text{C}$ 、钛酸锂、磷酸铁、锡包裹的钛酸锂、磷酸钒锂) 锌空气电池、氢能源、尖晶石型、铝代替的纳米棒、纳米线、纳米多孔碳、纳米颗粒 碳基材料(碳、乱层石墨、石墨烯、碳纳米管)

池导热、导电性、电池稳定性、安全和电子迁移率等方面都较传统石墨有很大的优势。从第 1 个时间窗内碳材料到第 7 个时间窗内石墨烯材料, 碳基材料在形式和内容上不断有新的发展和突破, 满足第 2 种突变情况。将满足两种突变情况的石墨烯技术作为候选潜在颠覆性技术之一。

由表 2 可看出, 磷酸铁锂 (LiFePO_4) 在第 5 个时间窗口内开始出现后在接下来的 3 个时间窗口都出现了, 说明磷酸铁锂材料一直是研究热点, 满足第 1 种突变情况。从表 1 也可看出, 磷酸铁锂的研究是非常具有创新性的。从第 5 个时间窗内的磷酸铁锂到第 6 个时间窗内的碳包裹磷酸铁锂 ($\text{LiFePO}_4/\text{carbon}$) 再到第 7 个时间窗内的纳米碳包裹磷酸铁锂 ($\text{LiFePO}_4/\text{carbon nanocomposite}$), 磷酸铁锂在形式和内容上不断取得新进展。 LiFePO_4 因化学性能稳定、储量丰富、价格低廉和环境友好等优点备受科学家关注, 是目前商业化的锂离子电池正极材料之一, 但其缓慢的锂离子扩散速率和较差的导电性严重抑制锂离子电池的充放电速率和电化学性能。碳包裹是一种提升 LiFePO_4 倍率性能和循环寿命的重要方法, 可以增强 LiFePO_4 的导电性、减少电极的极化效应并使锂离子的脱嵌更加容易。而减少颗粒大小以及制备碳包覆纳米复合材料更是解决上述 LiFePO_4 存在问题的有效途径, 满足主题词第 2 种突变情况。碳与磷酸铁锂还有碳包裹磷酸铁锂与纳米碳磷酸铁锂的主题融合率都不低于 0.5, 说明这些主题词实现了一定形式或内容上的融合, 满足第 3 种突变情况。碳纳米管和石墨烯作为纳米碳单质, 对于 LiFePO_4 性能改善的研究是十分有意义的, 因此将满足 3 种突变情况的纳米碳包裹的 LiFePO_4 技术作为候选的潜在颠覆性技术之一。

从表 2 可看出, 第 4 个时间窗内出现了纳米聚合物这样一个新关键词后, 接下来连续 3 个时间窗口都出现了在形式和内容上发生很大变化的纳米材料, 第 5 个时间窗口出现了纳米线、纳米管, 第 6 个时间窗口出现了纳米硅, 第 7 个时间窗内出现了碳纳米管, 满足第 1 种突变情况。将

纳米材料运用于锂离子电池时具有很多独特的物理和化学性质, 比如大电流下充放电时具有电极极化程度小、可逆容量高、循环寿命长等特点。碳纳米管代替石墨作为锂电池负极材料, 可以大幅提高锂电池容量, 而且碳纳米管除具有一般纳米粒子的尺寸效应外, 还具有力学强度大、柔韧性好、电导率高等独特的性质, 成为聚合物复合材料理想的增强体。从纳米复合材料到纳米棒再到碳纳米管, 纳米材料在形式和内容上不断取得新突破, 满足突变的第 2 种情况, 将碳纳米管作为候选的潜在颠覆性技术之一。

3.3 专利数据分析

专利表征技术上的创新, 将 1998—2010 年的专利数据导入 CiteSpace 软件, 时间跨度设为 1998—2010 年, 单个时间片长度选为 2 年; 主题词来源选择标题、摘要、系索词和标识词; 术语类型选择 Burst Term; 节点类型选择 KeyWord; 阈值设置为 Top50, 即每个时间片长度中选取被引频次最高的前 50 个节点; 其他的选择默认值。得到基于高 σ 值显示的手工代码共现图如图 2 所示。从图 2 中看出, x21、x16 和 L03 三者占有很大的比重, x21 含义是电动汽车, 其中 x21-b01() 比重最大, 含义是对于电池的充电状态、效率等进行管理; x16 含义是电化学存储, 其中 σ 值最大的手工代码是 x16-e01 类, 含义是活性材料, 具体包括一些有机、无机化合物还有纳米材料等, 说明这类材料的研究是极具创新性的; l03 类的手工代码都集中在 l03-e01 类中, l03-e01 含义是初次和二次电池电极的组成部分, 其中就包括了铅电极、空气或氧气电极、石墨电极、镍镉电极, 说明这几个电极材料的研究也具有创新性, 其中包括属于石墨电极的石墨烯材料。

σ 值排名前十的手工代码具体如表 3 所示。从表中可看出, 与电极材料代码有关的有 4 个, 分别为排名第一的 x16-e01c, 含义为无机化合物, 主要包括各类含锂的化合物, 比如磷酸铁锂、磷酸镍锂等, 石墨烯和碳纳米管都是由碳原子组成, 也属于无机化合物, 说明这类电极

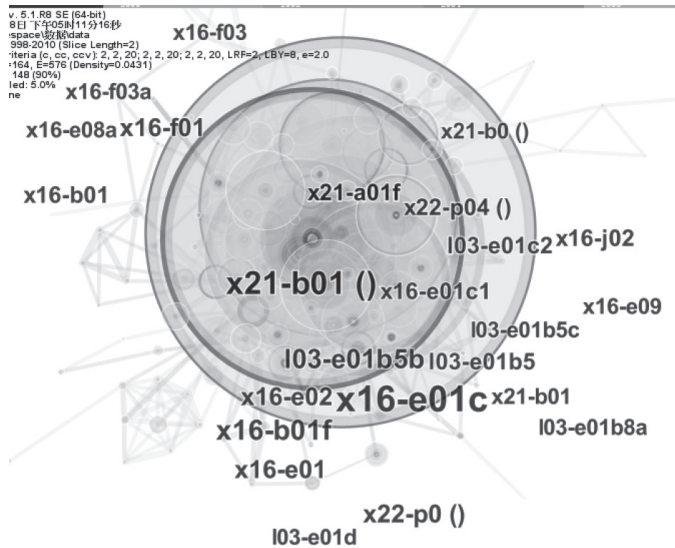


图 2 基于 $\sum(\sigma)$ 值的手工代码共现图

表 3 $\sum(\sigma)$ 值排名前十的手工代码

序号	σ 值	主题词
1	1.63	x16-e01c,1998
2	1.49	x21-b01(),1998
3	1.32	x16-b01f,1998
4	1.27	l03-e01b5b,2001
5	1.14	x16-e01,1998
6	1.14	x22-p0(),1998
7	1.12	x16-e02,2003
8	1.12	x16-f01,1998
9	1.11	x16-e01c1,1998
10	1.09	x16-j02,2000

材料的研究是极具创新性的；排名第四的l03-e01b5b，含义是锂基电极，包括各种锂化合物，其中包括磷酸铁锂；排名第五的x16-e01 大类包括有机化合物、无机化合物还有活性材料等，含括纳米碳包裹的磷酸铁锂、石墨烯和碳纳米管；排名第九的x16-e01c1 含义是氧化物和氧化复合物，包括磷酸铁锂等锂基氧化物。

3.4 综合分析

综合主题词突变情况和专利手工代码的 σ 值大小情况，将主题词满足突变情况种数和所属创新性技术领域个数分别为横、纵坐标作四分图（横纵坐标交叉点为突变种数和创新性领域个数的平均值），如图 3 所示。纳米碳包裹的

磷酸铁锂处于图 3 的右上角，突变情况种数和所属技术领域个数均高于平均值，属于纳米材料的碳纳米管在横坐标上也超过平均值，两者的研究极具创新性，而且碳纳米管属于碳的同素异形体，因此碳纳米管与磷酸铁锂相结合的产物在接下来的几年也将是极具颠覆性，将其作为潜在颠覆性技术之一。石墨烯满足突变情况种数处于平均值以上，所属技术领域个数与平均值相同，是富有颠覆性的技术，将其作为潜在颠覆性技术。

2010 年诺贝尔物理学奖颁发给了石墨烯发明者安德烈·海姆和康斯坦丁·诺沃肖洛夫，自此石墨烯锂电池成为公认的锂电池领域中的颠覆性技术，这与本文实证结果相同。碳纳米管和纳米碳包裹的磷酸铁锂目前还不是公认的颠覆性技术，但都是极具颠覆前景的技术。

4 结论

（1）本文提出一种颠覆性技术的早期识别方法，通过某类早期频次不高的主题词基于时序的突变情况，分析其是否可作为候选的颠覆性技术，再依据手工代码的 σ 值大小判断该类主题词所属研究领域是否具有创新性，最后以主题词突变情况种数和所属创新性领域个数为横纵坐标作四分图，由主题词在四分图中的位置判断是

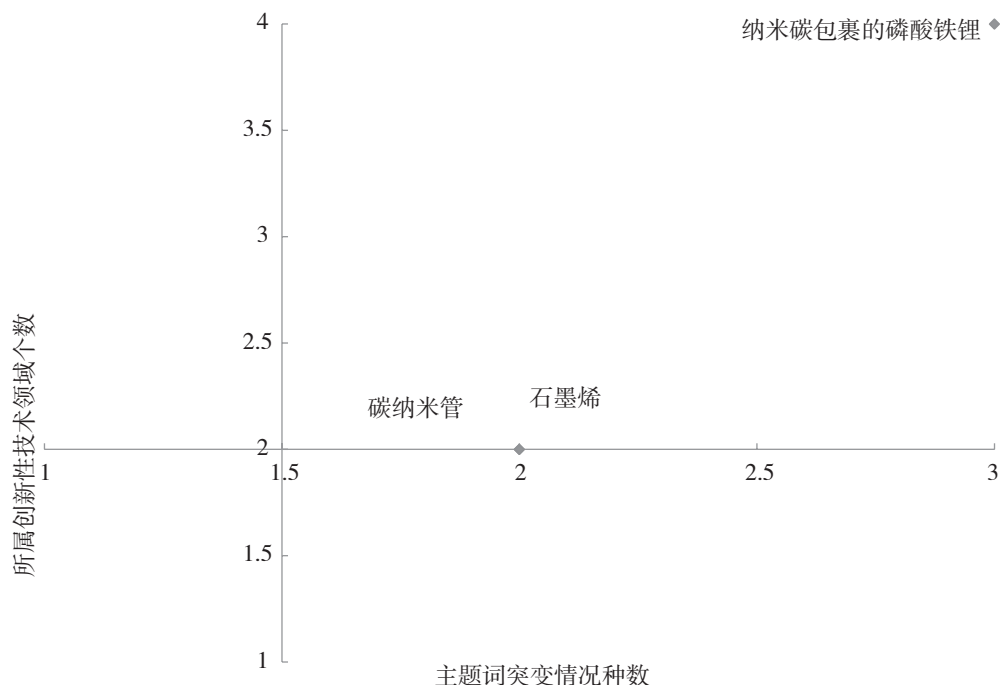


图3 主题词四分图

否将其作为潜在的颠覆性技术。该方法属于文献计量的方法，但与已有的从专利和论文主题词识别“颠覆性技术”不同，本文不仅分析主题词的频数变化，而且分析论文主题词和专利手工代码的突变情况，其中提出论文主题词的3种突变情况，分析主题词在连续时间窗内的变化，给后续的研究提供一定的参考。

(2) 利用论文与专利两种数据，对电动汽车/混合动力汽车所用锂电池技术进行了上述方法的实证研究。效果验证表明，石墨烯、碳纳米管、纳米碳包裹的磷酸铁锂都是极具颠覆性的锂电池技术。本文所提方法是基于文献的客观分析法，具有可操作性，结果具有一定的可靠性，可为学者们在该方面的研究提供一定参考。

(3) 本文的研究尚存在不足之处：实证研究人抽取主题词的过程带有主观性。有待今后对识别方法进一步细化和改进，将属于同一技术领域的主题词进行自动提取聚类，减少人为抽取划分主题词的主观性和不严谨性，对手工代码所代表的技术领域进行更为细致的划分，不断完善这一方法体系。

参考文献

- [1] CHRISTENSEN CM. The innovator's dilemma: When new technologies cause great firms to fail[M]. Boston: Harvard Business Review Press, 1997.
- [2] 李政, 刘春平, 罗晖. 浅析颠覆性技术的内涵与培育: 重视颠覆性技术背后的基础科学研究[J]. 全球科技经济瞭望, 2016, 31(10): 53–61. DOI: 10.3772/j.issn.1009–8623.2016.10.010.
- [3] 白光祖, 郑玉荣, 吴新年, 等. 基于文献知识关联的颠覆性技术预见方法研究与实证[J]. 情报杂志, 2017, 36(9): 38–44. DOI: 10.3969/j.issn. 1002–1965. 2017. 09.007.
- [4] STOICIU A, SZABO E, TOTEV M, et al. Assessing the disruptiveness of new energy technologies—an ex-ante perspective[R]. Vienna, Austria: University of Economics and Business, 2014: 36–47.
- [5] 李晓龙, 鲁平, 李存斌. 基于Delphi和DEMATEL法影响国网的颠覆性创新技术影响因素综合排序分析[J]. 科技管理研究, 2017, 37(6): 127–133. DOI: 10.3969/j.issn.1000–7695.2017.06.020.
- [6] 但智钢, 史菲菲, 王志增, 等. 中国环境工程科技2035技术预见研究[J]. 中国工程科学, 2017, 19(1): 80–86. DOI: 10.15302/J-SSCAE-2017.01.012.
- [7] “中国工程科技2035发展战略研究”农业领域课题

- 组. 中国工程科技农业领域2035技术预见研究[J]. 中国工程科学, 2017, 19(1): 87–95. DOI: 10.15302/J-SSCAE-2017.01.013.
- [8] PHAAL R, FARRUKH C J, PROBERT D R. Technology road mapping: A planning framework for evolution and revolution[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2004, 71(1): 5–26. DOI: 10.1016/S0040-1625(03)00072-6.
- [9] VOJAK B A, CHAMBERS F A. Road mapping disruptive technical threats and opportunities in complex, technology-based subsystems: The SAILS methodology[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2004, 71(1): 121–139. DOI: 10.1016/S0040-1625(03)00047-7.
- [10] KOSTOFF R N, BOYLAN R, SIMONS G R. Disruptive technology roadmaps [J]. Technological forecasting and social change, 2004, 71(1/2): 141–159. DOI: 10.1016/S0040-1625(03)00048-9.
- [11] SPINARDI G. Road-mapping, disruptive technology, and semiconductor innovation: the case of gallium arsenide development in the UK[J]. Technology analysis & strategic management, 2012, 24(3): 239–251. DOI: 10.1080/09537325.2012.655410.
- [12] CAMPONOVO G, PIGNEUR Y. Extending technology road mapping for environmental analysis[A]. Proceedings of the Colloquies sur la Veille Strategique, Scientifique et Technologique(VSST)[C]. Toulouse, France, 2004.
- [13] 曾忠禄, 张冬梅. 不确定环境下解读未来的方法: 情景分析法[J]. 情报杂志, 2005(5): 14–16. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1965.2005.05.005.
- [14] AHN J H, SKUDLARK A. Managing risk in a new telecommunications service development process through a scenario planning approach[J]. Journal of Information Technology, 2002, 17(3): 103–118. DOI: 10.1080/02683960210161258.
- [15] 王知津, 周鹏, 韩正彪. 基于情景分析法的技术预测研究[J]. 图书情报知识, 2013(5): 115–122. DOI: 10.13366/j.dik.2013.05.001.
- [16] HANG C C, CHEN JIM, DAN YU. An assessment framework for disruptive innovation[J]. Foresight, 2011, 13(5): 4–13. DOI: 10.1108/14636681111170185.
- [17] HUSIG S, HIPPE C, DOWLING M. Analyzing disruptive potential: The case of wireless local area network and mobile communications network companies[J]. R&D Management, 2005, 35(1): 17–35. DOI: 10.1111/j.1467-9310.2005.00369.x.
- [18] KELLER A, HUSIG S. Ex-ante identification of disruptive innovations in the software industry applied to web applications: The case of Microsoft's vs. Google's office applications[J]. Technological forecasting & social change, 2009, 76(8): 1044–1054. DOI: 10.1016/j.techfore.2009.03.005.
- [19] BUCHANAN B, CORKEN R. A toolkit for the systematic analysis of patent data to assess a potentially disruptive technology[R]. United Kingdom, London: Intellectual Property Office, 2010: 2–16.
- [20] 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. DOI: 10.16192/j.cnki.1003-2053.2015.05.003.
- [21] MOMENI A, ROST K. Identification and monitoring of possible disruptive technologies by patent-developing paths and topic modeling[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2016, 104: 16–29. DOI: 10.1016/j.techfore.2015.12.003.
- [22] 张金柱, 张晓琳. 利用引用科学知识突变识别突破性创新[J]. 情报学报, 2014, 33(3): 259–266. DOI: 10.3772/j.issn.1000-0135.2014.03.004.
- [23] KIM J, PARK Y, LEE Y. A visual scanning of potential disruptive signals for technology road mapping: investigating keyword cluster, intensity, and relationship in futuristic data[J]. Technological analysis & strategic management, 2016, 28(10): 1225–1246. DOI: 10.1080/09537325.2016.1193593.
- [24] 刘秋艳, 吴新年. 国内外颠覆性技术发现方法研究综述[J]. 图书情报工作, 2017, 61(7): 127–136. DOI: 10.13266/j.issn.0252-3116.2017.07.018.
- [25] 黄鲁成, 张静. 基于专利分析的产业共性技术识别概念框架[J]. 技术经济, 2013, 32(12): 1–4. DOI: 10.3969/j.issn.1002-980X.2013.12.001.
- [26] KLEINBERG J. Bursty and hierarchical structure in streams [A]. EDMONTON: 8th ACM/SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, 2003, 7(4): 373–397. DOI: 10.1023/A:1024940629314.
- [27] CHEN C, LEBEKEW SANJUAN F, HOU J. The structure and dynamics of co citation clusters: A multiple-perspective analysis[J]. Journal of American Society for Information Science and Technology, 2010, 61(7): 1386–1409. DOI: 10.1002/asi.21309.