

基于专利耦合的 中国、美国、日本锂离子电池技术前沿及差距分析

佟贺丰 傅俊英 曹燕
(中国科学技术信息研究所, 北京 100038)

摘要: 基于定量分析识别技术前沿并测度各国的技术差距具有重要的理论和现实意义。本研究初步探讨了基于专利数据, 利用文献计量学的引文耦合分析法, 进行技术前沿的识别和技术差距粗略测度, 并以锂离子电池为例进行实证研究。研究表明, 该方法所识别出来的中国、美国和日本在锂离子电池领域的技术前沿以及各国之间的技术差距, 与产业现状具有一定一致性, 是一条可行的研究途径。

关键词: 技术前沿; 技术差距; 专利; 耦合分析; 锂离子电池; 文献计量分析

中图分类号: G306; U469.72 文献标识码: A DOI: 10.3772/j.issn.1674-1544.2016.02.005

Study on Technical Fronts as Well as Gaps Based on the Patent Bibliographic Coupling in the Field of Lithium-ion Battery Related to China, US and Japan

TONG Hefeng, FU Junying, CAO Yan

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

Abstract: Recognition of technical fronts as well as measure of technical gaps among countries based on quantitative analysis has important theoretical and practical significances. In this paper, a new method for identifying technical fronts and measuring technical gaps roughly in terms of bibliographic coupling analysis based on patent data is discussed, and the field of Lithium-ion battery is selected to perform empirical analysis. Results show that technical fronts for Japan, the USA, and China, as well as technical gaps among them recognized according to the method above is in accordance with industrial status. So the method used in this paper is an effective and feasible approach.

Keywords: technical front, technical gap, patent, bibliographic coupling analysis, lithium-ion battery, literature measurement analysis

1 引言

科技前沿通常是指具有前瞻性、先导性、理论性和探索性, 对科学未来发展有重大影响和

引领作用的领域, 是培育学科创新能力的主要基础^[1]。科研人员需要了解一个科技领域前沿的概貌和进展, 这是科研工作的基本环节, 科学而准确地把握科技前沿以及各国的创新水平也是科研

作者简介: 佟贺丰 (1977—), 男, 中国科学技术信息研究所研究员, 硕士, 主要研究方向: 科技政策、科技情报研究; 傅俊英* (1972—), 女, 中国科学技术信息研究所研究员, 博士, 主要研究方向: 科技情报、生物技术领域研究; 曹燕 (1980—), 女, 中国科学技术信息研究所副研究员, 硕士, 主要研究方向: 科技情报研究。

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务专项基金“未来学”(XK2015-2)。

收稿时间: 2016年1月11日。

人员和科技管理部门共同关注的焦点。各国政府都希望实时掌握科技前沿,洞悉发展先机,确定领先优势和发展战略。从宏观层面看,科技差距是指科学技术水平在世界范围内所形成的差别,是科学技术在基础研究、应用研究和开发研究中差别的总和^[2]。创新将扩大国家间的技术差距,而扩散则有利于缩小这些差距^[3]。对技术差距的研究最早始于20世纪60年代的Posner^[4],研究发现当一国率先完成技术创新后,就会凭借这一优势开展该创新产品的国际贸易,从而形成国别差距。而随着贸易的扩张,技术在增长中的示范效应不断加强,最终使其他国家掌握这一技术,从而使技术差距收敛。但是,并非技术差距越大,科技知识从高科技水平国家溢出至低科技水平国家的效应越强。当技术差距太大时,反而会阻碍溢出效应的产生^[5]。

目前,科技前沿分析主要采用定性方法、德尔菲法、内容分析法、科技政策分析、比较分析法、社会调查法和专家咨询等研究方法^[6]。由此可见,现在科技管理部门和科研人员常用的科技前沿识别方法是以专家智慧为基础的定性和半定性方法。另外,许多学者试图以定量方法来识别领域的关键热点研究主题,即利用文献计量学理论来分析科学出版物,从中得出包括科技前沿在内的重要科技信息。文献计量学研究认为,文献间的“引用—被引用”的关系反映了知识流动和传播的现象。美国科学计量学家Price^[7]首次提出“研究前沿”的概念,基于后期发表论文所引用的共同参考文献,可以将早期发表的论文聚集成簇,而形成该时期正在关注的热点领域和涌现的具有发展潜力的研究方向。包括共被引和文献耦合的引文分析以及包括词频分析和共词分析的词语分析,是目前识别研究前沿的最常用方法^[8]。而对于国家之间在某一个科技领域的差距研究工作,目前还处于初始探索阶段。文献耦合的概念于1963年由麻省理工学院教授Kessler^[9]提出,即当两篇论文引用了同一篇参考文献时,这两篇论文就构成文献耦合关系,而且,文献耦合强度与其共同引用的参考文献的数量呈正相关关系。

Kessler通过分析Physical Review期刊的9000余篇论文,证实具有文献耦合关系的论文在主题上相关,而且耦合强度越高,则主题相似性越高。但受限于当时计算机的数据处理能力,文献耦合的研究没有得到充分发展。直到Vladutz等^[10]使用了大型数据来检验Kessler由小型数据得出的结论,证实具有文献耦合关系的论文确实具有主题相似性,且相似程度与论文之间的耦合强度相关。1998年,光盘版SCI和SSCI数据库开始提供文献的耦合论文功能,表明文献耦合方法得到普遍认可并具有较好的可及性和现实意义。继Price于1965年提出基于共被引关系的研究前沿概念,Persson^[11]于1994年提出基于耦合关系的研究前沿定义,即一簇引用了共同的参考文献的相似文献。其中,研究前沿即施引文献,其引用的参考文献被称为知识基础。随后,一些学者对耦合分析识别研究前沿的方法进行了深入探讨,并在多个领域进行实证研究^[12-15]。与共被引分析相比,文献耦合方法具有更好的时效性,因为它不是使用需要时间积累才能获得的文献被引用信息,而是直接利用其引用的参考文献得到表征相同主题的聚类。同时,文献耦合关系也能随着新文献的加入而增加并产生新的聚类,因此,能够在识别各阶段研究前沿的基础上,探索研究前沿的演变历程^[16-17]。

一般认为,期刊论文主要偏于理论研究,可以表征基础科学研究水平;而专利文献是技术研发的重要产出,可以表征技术创新能力和水平。故本文从专利耦合现象来分析中、美、日三国锂离子电池研发的技术前沿和差距。

2 数据来源及研究方法

本研究的锂离子电池专利数据来源于德温特创新索引数据库(Derwent Innovation Index, DII)和Innography专利数据库。在与北京理工大学机械与车辆学院专家共同对锂离子电池领域进行技术细分并制定检索策略,然后再由专家对获得的专利进行人工筛选,经此步骤后共获取锂离子电池相关专利家族13302个,作为研究数据

库。检索时间范围为1974年1月1日至2014年10月10日。对锂离子电池专利数据进行了如下处理，用以识别技术前沿及技术差距。

(1) 采用计算专利技术生命周期以划分时间窗。技术周期 (Technology Cycle, TCT) 计算法是基于“技术生命周期可以用专利在其申请文件扉页中所有引证文献技术年龄的中间数表示”而发展得来^[18]。对于目标领域来说，是通过计算其数据库中每件专利的TCT，然后再求平均值。TCT具有产业依存性，领域和产业不同，其技术生命周期年限也不尽相同，发展较快和相对热门的技术TCT较短，如电子技术的技术生命周期一般为三四年，而技术变化缓慢的领域，如造船技术，技术生命周期一般在15年或以上。具体算法如下：

专利年龄 = 本专利申请年 - 参考专利申请年

$TCT = \text{中间年龄} = \text{专利年龄由大到小排列于中间位置的年龄}$

中间位置 = 参考专利数 / 2 (如果参考专利数为偶数，则结果为整数；如果参考专利数为奇数，则结果保留至小数点后一位)

本研究通过以上方法计算得出，锂离子电池领域的技术生命周期为7年。故本研究采用7年为时间窗的宽度进行时间划分。

(2) 下载数据。将从DII下载的锂离子电池相关专利的专利号再次导入Innography数据库，并下载发明人地址所在的国别分别为中国、美国和日本专利，以获得三个国家发明人所申请的专利信息 (该专利在本研究中分别冠以中国专利、美国专利和日本专利)。因为简单专利家族中的所有专利有着相同的优先权专利，可以代表相同的技术点，所以本研究以专利家族为研究对象。

(3) 基于引用耦合关系，建立专利共现矩阵。利用中国科学技术信息研究所雷孝平博士编写的插件，将Innography数据库下载的专利数据按国别导入Thomson Data Analyzer (TDA) 分析软件进行操作。因为第一件中国专利的公布年份为1994年，锂离子电池领域的技术生命周期为7

年，故本研究将1994—2014年划分为15个逐年滑动时间窗，即：1994—2000年，1995—2001年，……，2008—2014年。将三个国家每个时间窗内的专利基于耦合关系分别做出专利家族共现矩阵，而且，在TDA中选择了cosine转换方法将专利原始共现矩阵转换成专利相似度矩阵。

(4) 获得专利聚类。将专利家族的相似度矩阵导入UCINET软件，基于社会关系网络方法，得到专利聚类图。根据领域的发展现状，本研究以在每一滑动时间窗内获得1—10聚类 (技术前沿) 为目标，最终设定相关系数r值为0.35作为技术前沿分组的标准。根据文献[17]，将包含三个或以上专利件数的聚类组群算作一个技术前沿。但是，由于发明人所在地为中国的相关专利数据大多缺少引用信息，通过文献耦合得到的专利共现对比较少，本研究为便于对比中国、美国和日本的技术前沿，对中国专利并未严格地遵照相关系数阈值要求和三个专利家族才能构成一个聚类的要求。

(5) 命名技术前沿。对每个聚类中的专利公布年求平均值，作为技术前沿的出现时间。结合专利的联合专利分类以及摘要和权利要求项的内容，给每个聚类命名，得到三国的技术前沿结构和时间变化，比较了它们之间的差异和技术差距。

3 中国、美国、日本锂离子电池专利聚类情况

3.1 中国情况

对中国108件锂离子电池相关专利进行聚类分析。因为中国的专利数量较少，而且缺乏专利引用信息，结果15个时间窗仅获得3个聚类 (技术前沿)，分别为1995—2001年、2005—2011年和2006—2012年3个时间窗，包含8个专利家族 (表1)。如果严格按聚类标准要求，基于专利耦合分析，中国在锂离子电池方面尚未形成技术前沿。

从表2可见，中国锂离子电池相关专利主要在锂离子电池电流导体连接、摇椅电池和制动力

矩等三个方面有创新活动。其中,制动力矩和锂离子电池导体连接相关的创新为包含较多专利的较大的技术前沿以及最新的技术前沿。

3.2 美国情况

美国锂离子电池相关专利共1647件,进行同上的聚类分析。15个时间窗共获得26个聚类(技术前沿),包含89个专利家族。同理,1994—2000年时间窗的聚类个数最多,达到6个,涵盖了25个专利家族。其次是1999—2005年、1997—2003年和2003—2009年聚类个数分别达到4个、3个和3个,涵盖的专利家族数量均超过9个。这与日本在锂离子电池方法的创新活动频繁年份重合度较高,表明在该领域美国和日本在1999—2009年研发活动较多,产出成果丰硕(表3)。

从表4可见,美国的锂离子电池相关专利主要涉及电极、同时均衡充电电路、锂离子电池电解液、锂离子电池电流导体连接、摇椅电池、双

电层电容器、蓄电池加热或冷却、真空和磁场储存电能、测电池电压/电流/轮胎、制动力矩和电机等方面的创新。其中,电机、制动力矩和电池状况(包括电压、电流和轮胎等)测定等三个内容为包含较多专利的较大的技术前沿,而三元锂电池、电池状况的测定和蓄电池的冷却为最新或持续至今的技术前沿。

3.3 日本情况

日本锂离子电池相关专利共6766件,聚类分析中在多个时间窗内重复出现的聚类,以第一次出现时间为准,去除其后各滑动时间窗内相同专利家族组成的聚类。结果15个时间窗共获得50个聚类(技术前沿),包含173个专利家族。1994—2000年时间窗的聚类个数最多,达到10个,这是因为本研究从1994年数据开始分析,因此,该时间窗没有去除之前年份可能出现过的相同聚类。其次,1997—2003年与1999—2005年聚类个数均达到6个,涵盖的专利家族数量超过

表1 中国锂离子电池专利聚类情况

专利公布年	专利家族数量/件	聚类个数/个	聚类所包含的专利家族数量/个
1994—2000	2	0	0
1995—2001	4	1	2
1996—2002	3	0	0
1997—2003	3	0	0
1998—2004	4	0	0
1999—2005	6	0	0
2000—2006	7	0	0
2001—2007	13	0	0
2002—2008	18	0	0
2003—2009	24	0	0
2004—2010	46	0	0
2005—2011	77	1	2
2006—2012	88	1	4
2007—2013	96	0	0
2008—2014	93	0	0

表2 中国锂离子电池专利聚类中专利的平均公布年(专利件数)

技术前沿	聚类中专利的平均公布年(专利件数)
1.锂离子电池电流导体连接(25%)	2009(2)
2.摇椅电池(25%)	2001(2)
3.制动力矩(50%)	2008(4)

表3 美国锂离子电池专利聚类情况

专利公布年	专利家族数量/件	聚类个数/个	聚类所包含的专利家族数量/个
1994—2000	301	6	25
1995—2001	315	2	6
1996—2002	308	2	6
1997—2003	321	3	9
1998—2004	325	1	3
1999—2005	321	4	15
2000—2006	317	1	3
2001—2007	327	0	0
2002—2008	332	0	0
2003—2009	355	3	10
2004—2010	357	2	6
2005—2011	331	1	3
2006—2012	301	1	3
2007—2013	272	0	0
2008—2014	227	0	0

表4 美国锂离子电池专利聚类中专利的平均公布年(专利件数)

技术前沿	聚类中专利的平均公布年(专利件数)
1.电极(3.53%)	
1.1锂锰钴镍电极	2002(3)、2008(3)
1.2含活性硫电极	2000(3)
2.同时均衡充电电路(3.53%)	1997(6)
3.锂离子电池电解液(3.53%)	1996(6)、2003(3)
4.锂离子电池电流导体连接(4.71%)	1996(3)
5.摇椅电池(7.06%)	1998(3)
6.双电层电容器(7.06%)	1996(4)
7.蓄电池加热或冷却(10.59%)	
7.1加热	2000(3)、2001(4)
7.2冷却	2009(3)
8.真空和磁场储存电能(10.59%)	1998(3)、2001(3)
9.测电池电压/电流/轮胎(11.76%)	1998(3)、2003(3)、2005(4)、2008(6)、2011(3)
10.制动力矩(15.29%)	2006(3)
11.电机(22.35%)	
11.1电机结构	2005(3)
11.2电机控制	
11.2.1位置控制	2000(3)
11.2.2控制电流	2004(4)
11.3永磁同步电机	2004(3)

20个。表明在这两个时间窗内，日本锂离子电池相关的创新活动频繁，成果较多(表5)。

本研究获得各聚类后，主要依据聚成一簇专利共同的CPC分类号以及摘要和权利要求项的内容进行命名，并按CPC分类号的层级结构细分

领域(表6)。从表6中可见，日本的锂离子电池相关专利主要涉及电极、同时均衡充电电路、锂离子电池电解液、锂离子电池电流导体连接、混和电池、摇椅电池、双电层电容器、储氢合金电池、蓄电池加热或冷却、电池外部外形、真空和

表5 日本锂离子电池专利聚类情况

公布年	专利家族数量/件	聚类个数/个	聚类所包含的专利家族数量/个
1994—2000	649	10	37
1995—2001	750	2	6
1996—2002	833	5	16
1997—2003	934	6	20
1998—2004	1037	4	13
1999—2005	1147	6	22
2000—2006	1331	1	5
2001—2007	1516	0	0
2002—2008	1703	1	3
2003—2009	1946	4	9
2004—2010	2258	4	15
2005—2011	2573	3	13
2006—2012	2817	3	11
2007—2013	3019	1	3
2008—2014	2782	0	0

表6 日本专利聚类中专利的平均公布年及专利件数

技术前沿	聚类中专利的平均公布年(专利件数)
1.电极(17.18%)	
1.1锂锰钴镍电极	2001(3)、2002(7)、2010(6)
1.2含氟锂锰镍电极	2008(4)、2009(5)
1.3含活性硫电极	2000(3)
2.同时均衡充电电路(6.75%)	1997(8)、2009(3)
3.锂离子电池电解液(7.98%)	1996(3)、2000(3)、2003(4)、2012(3)
4.锂离子电池电导体连接(6.13%)	1996(3)、2000(3)、2001(4)
5.混和电池(4.91%)	1996(5)、1999(3)
6.摇椅电池(1.84%)	1998(3)
7.双电层电容器(1.84%)	1996(3)
8.储氢合金电池(1.84%)	1994(3)
9.蓄电池加热或冷却(6.13%)	
9.1加热	2000(3)、2001(4)
9.2冷却	2001(3)
10.电池外部外形(5.52%)	2002(4)、2003(5)
11.真空和磁场储存电能(1.84%)	2001(3)
12.测电池电压/电流/轮胎(17.18%)	1997(6)、2002(4)、2003(5)、2005(4)、2008(6)、2011(3)
13.制动力矩(1.84%)	2006(3)
14.电机(19.02%)	
14.1电机控制	
14.1.1位置控制	2000(3)
14.1.2控制电流	2001(3)
14.1.3转子位置测定	2001(3)、2003(3)
14.1.4控制功率	2010(4)
14.2永磁同步电机	2004(6)
14.3电机绕组	2005(3)
14.4磁成分电机	2007(3)
14.5电机冷却	2000(3)

磁场储存电能、测电池电压/电流/轮胎、制动力矩和电机等方面的创新。其中，电机、电极和电池状况（包括电压、电流和轮胎等）测定等三个内容为包含较多专利的较大的技术前沿。而三元锂电电极、含氟三元锂电电极、同时均衡充电电路、电解液和电池状况的测定为最新或持续至今的技术前沿。

4 中国、美国、日本锂离子电池技术前沿的比较与差距

中国、美国和日本在锂离子电池专利聚类中专利的平均公布年（专利件数）即技术前沿的对比（图1）表明，日本专利聚类出来的技术前沿较多，在电极、同时均衡充电电路、锂离子电池电解液、锂离子电池电流导体连接、混和电池、摇椅电池、双电层电容器、储氢合金电池、蓄电池加热或冷却、电池外部外形、真空和磁场储存电能、测量电池电压/电流/轮胎、制动力矩和电机等方面均有涉及。尤其在锂离子电池的核心技术

方面，包括电极和电池状况的测定两个技术点的研发成果较多。美国则在含氟锂锰镍电极、混和电池及电池外部外形等方面没有形成技术前沿，而在形成的技术前沿的聚类中专利的数量较少。但是，美国在电机结构上形成了技术前沿，这是日本所没有的。从专利的文献耦合分析来看，中国在锂离子电池领域并没有形成真正的技术前沿（未达到相关系数阈值要求和每个聚类中专利家族个数的要求），其研发仅在锂离子电池电流导体连接、摇椅电池和制动力矩三个方面有所涉及。

将中国、美国和日本三个国家在锂离子电池技术前沿的最早年份设定为该前沿的形成时间，然后对比三个国家在各个技术前沿的差距（表7），可以发现，美国在锂三元电极和测定电池状况等技术方面落后日本1年，在蓄电池冷却技术方面落后8年，在控制电流以控制电机技术方面落后3年，但在双电层电容器和真空和磁场储存电能技术方面超过日本1~2年。

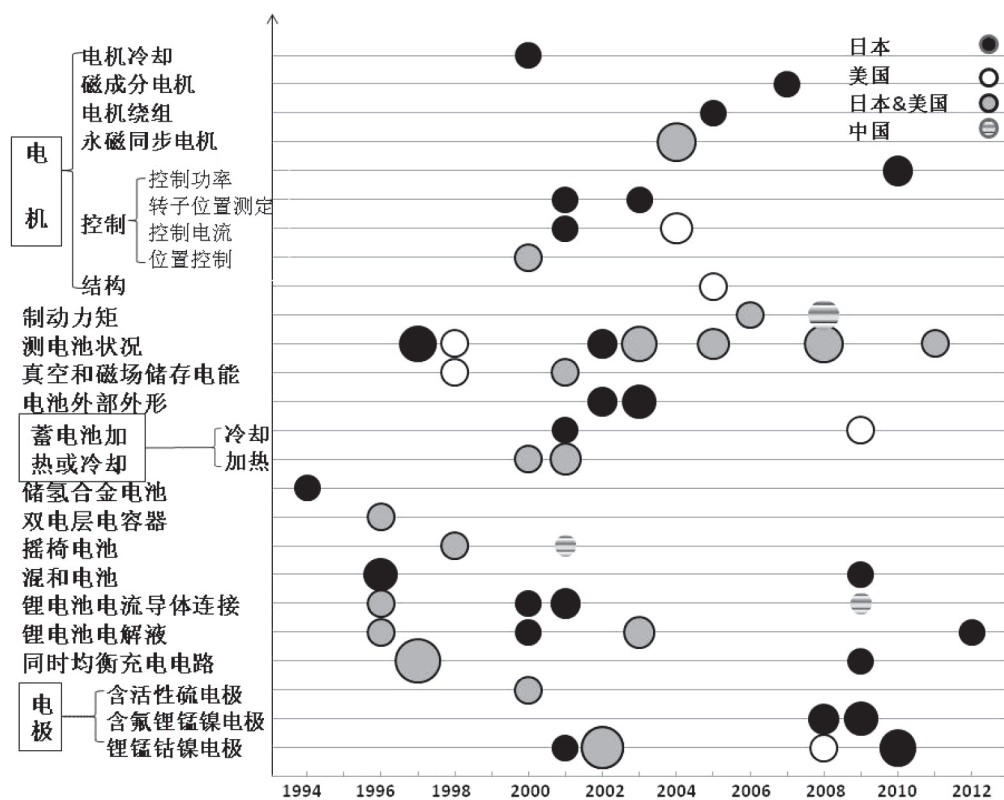


图1 中国、美国和日本锂离子电池技术前沿的比较

表7 中国、美国和日本锂离子电池技术前沿的差距

技术点	美中差距/年	日中差距/年	日美差距/年
1. 电极	-	-	-
1.1 锂锰钴镍电极	-	-	1
1.2 含氟锂锰镍电极	-	-	-
1.3 含活性硫电极	-	-	0
2. 同时均衡充电电路	-	-	0
3. 锂离子电池电解液	-	-	0
4. 锂离子电池电流导体连接	13	13	0
5. 混和电池	-	-	-
6. 摇椅电池	3	3	0
7. 双电层电容器	-	-	-1
8. 储氢合金电池	-	-	-
9. 蓄电池加热或冷却	-	-	-
9.1 加热	-	-	0
9.2 冷却	-	-	8
10. 电池外部外形	-	-	-
11. 真空和磁场储存电能	-	-	-2
12. 测电池电压/电流/轮胎	-	-	1
13. 制动力矩	2	2	0
14. 电机	-	-	-
14.1 电机结构	-	-	-
14.2 电机控制	-	-	-
14.2.1 位置控制	-	-	0
14.2.2 控制电流	-	-	3
14.2.3 转子位置测定	-	-	-
14.2.4 控制功率	-	-	-
14.3 永磁同步电机	-	-	0
14.4 电机绕组	-	-	-
14.5 磁成分电机	-	-	-
14.6 电机冷却	-	-	-

基于专利耦合分析, 中国与日本、美国的技术差距最小的是电动汽车制动力矩方面, 仅相差2年; 而在摇椅电池和锂离子电池电流导体连接等技术点落后两国3年和13年; 在其他的技术领域, 中国尚未形成真正的技术前沿。

5 结论

(1) 文献计量学的耦合方法所识别出来的中国、美国和日本在锂离子电池的技术前沿与差

距, 通过与领域专家撰写的技术发展分析进行对比^[19-21], 表明该方法得到的结论与专家意见一致性较高。在一定程度上可以证明锂离子电池专利耦合研究方法用于技术前沿识别和技术差距判定比较可行。

(2) 本研究主要通过锂离子电池专利引用关系中的耦合关系进行专利相似度的评价, 进而将表征相同技术的专利聚合在一起。但只凭单一的耦合关系, 可能漏掉其他重要的引用关系信息

(如共被引、直接引用和间接引用等),使专利间的关系网络不完整,进而影响了聚类结果。

(3)通过对比分析发现,日本在锂离子电池方面技术前沿较多,特别是在核心技术方面;美国在电机结构上形成了技术前沿;中国还没有形成真正的技术前沿。从技术差距来看,中美均与日本有一定差距。美国在双电层电容器及真空和磁场储存电能技术方面超过日本1~2年,其他方面都落后于日本;中国与日本、美国的技术差距最小的是电动汽车制动力矩方面,仅相差2年,其他方面全面落后。

(4)本方法主要基于锂离子电池专利的引用关系获得聚类(技术前沿),但我国的专利缺少引用信息,则难以形成有效的聚类结果而识别技术前沿,这可能会低估了我国锂离子电池研发的前沿水平,有待下一步的研究工作探索解决。

参考文献

- [1] 沙勇忠,牛春华.信息分析[M].北京:科学出版社,2009.
- [2] 孙兆刚,王鹏,陈傲,等.技术差距对知识溢出的影响分析[J].科技进步与对策,2006(7):165-167.
- [3] SJOHOIM F. Technology gap, competition and spillovers from direct foreign investment: evidence from establishment data [J]. Journal of Development Studies, 1999, 36(1): 53-73.
- [4] POSNER M. V. International trade and technical change [J]. Oxford Economic Papers, 1961(13):323-341.
- [5] KOKKO A. Technology, market characteristics and spillovers [J]. Journal of Development Economics, 1994,43(2):279-293.
- [6] 刘小平,冷伏海,李泽霞.国际科技前沿分析的方法和途径[J].图书情报工作,2012(12):60-65.
- [7] PRICE DD. Networks of scientific papers [J]. Science (S0036-8075), 1965, 149: 510-515.
- [8] 王立学,冷伏海.简论研究前沿及其文献计量识别方法[J].情报理论与实践,2010,33(3):54-58.
- [9] KESSLER MM. Bibliographic coupling between scientific papers [J]. American Documentation, 1963, 14(1):10-25.
- [10] VLADUTZ G, COOK J. Bibliographic coupling and subject relatedness[J]. Proceedings of the American Society for Information Science, 1984, 21: 204-207.
- [11] PERSSON O. The intellectual base and research front of jasis 1986-1990 [J]. Journal of the American Society for Information Science, 1994, 45 (1): 31-38.
- [12] MORRIS SA, YEN G, WU Z, et al. Time line visualization of research fronts [J].Journal of American Society for Information Science and Technology, 2003, 54 (5):413-422.
- [13] JARNEVING B. The outbreak of SARS mirrored by bibliometric mapping: combining bibliographic coupling with the complete link cluster method [J]. Library and Information Science Research, 2007, 11 (9) :37-62.
- [14] ZHANG T, LIU Z, ZHAO T. Timeline and landscape: a case study of visualizing the evolution of science communication research front [J]. Journal of the China Society for Scientific and Technical Information, 2008(28): 923-928.
- [15] YANG L, MORRIS SA, BARDEN EM. Mapping institutions and their weak ties in a research specialty: a case study of cystic fibrosis body composition research [J]. Scientometrics, 2009, 79(2):421-434.
- [16] HICKS D. Limitations of co-citation analysis as a tool for science policy [J]. Social Studies of Science, 1987, 17: 295-316.
- [17] 张嘉彬.以书目耦合及共被引探讨不同引用区间之研究前沿:以OLED领域为例[D].台北:台湾大学,2011.
- [18] 陈燕,黄迎燕,万建国.专利信息采集与分析[M].北京:清华大学出版社,2006:244-248.
- [19] 戴永年,杨斌,姚耀春,等.锂离子电池的发展状况[J].电池,2005,35(3):193-195.
- [20] 黄学杰.锂离子电池及相关材料进展[J].中国材料进展,2010,29(8):46-52.
- [21] 陈礼春.我国锂离子电池产业技术创新问题研究[D].上海:上海师范大学,2013.