

生物燃料电池技术专利计量分析

胡阿沛, 张 静, 雷孝平, 张晓宇

(中国科学技术信息研究所, 北京 100038)

摘 要: 专利文献是科学技术的宝库, 它能够反映科学技术的发展动态。以德温特专利数据库收录的生物燃料电池相关专利为分析对象, 从时间、技术领域、国家和主要专利权人的角度对其进行专利计量分析, 并利用社会网络分析软件 Ucinet 绘制合作网络图, 对生物燃料电池专利的合作研发情况进一步分析, 以为政府和科研机构以及企业制定生物燃料电池科技发展计划、研发计划、寻找合作伙伴、了解竞争格局以及把握产业发展趋势提供对策建议。

关键词: 生物燃料电池; 专利计量; 专利分析; 合作网络; 德温特创新索引

中图分类号: TM911.45 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2013.08.011

人类社会在快速发展的同时, 面临着能源短缺、环境污染等种种严峻问题的挑战。燃料电池作为一种高效、清洁的新能源技术, 有望缓解能源短缺等问题。作为燃料电池中特殊的一类——生物燃料电池 (Biofuel Cell, BFC), 是一种以自然界的微生物或酶为催化剂, 直接将燃料中的化学能转化为电能的特殊燃料电池^[1]。理论上, 生物燃料电池具有很高的能量转化效率, 并且其原料来源广泛、生物相容性好以及所需操作条件温和, 可以用多种天然有机物作为燃料, 是一种真正意义上的可再生绿色电池^[2]。同时, 生物燃料电池具有很好的应用前景, 可以利用废液、废物作燃料, 不仅产生了电能, 而且净化了环境, 也可作为新型的人体起搏器, 比如, 以人体的体液为燃料, 做成体内埋植型的驱动电源以及用作生物传感器, 有望在医疗、航空和环境治理等领域广泛使用^[1,3]。

专利文献是科学技术的宝库, 它涉及所有技术领域最新、最活跃的创新技术信息, 能够反映科学技术的发展动态^[4]。据世界知识产权组织 (WIPO) 统计, 专利信息是世界上最大的申请技术信息源之一, 它包含了世界上 90%~95% 的技

术信息, 并且技术信息的公开要比其他载体早一两年。正是专利文献的以上特点, 对某一技术领域的专利文献进行有效分析, 可以获得高价值情报, 对政府、科研机构和企业制定科技发展计划及研发计划等具有指导意义。

燃料电池分为质子交换膜燃料电池、直接甲醇燃料电池和生物燃料电池等多个种类。目前, 已有部分研究人员对燃料电池技术进行专利计量分析, 以发现燃料电池的研究重点、发展趋势等^[5-7]。但其分析多停留在燃料电池层面, 并没有深入对某类燃料电池进行分析。因此, 本文选择生物燃料电池技术, 试图通过分析其专利文献揭示生物燃料电池技术发展现状, 为政府和科研机构以及企业制定生物燃料电池研发计划、寻找合作伙伴、了解竞争格局和产业发展趋势提供重要参考。

1 数据来源及分析方法

1.1 数据来源

本研究的数据来源于 ISI Web Of Knowledge 系统的德温特创新索引 (DII)。该数据库收录了 41 个专利机构 (涵盖 100 多个国家) 的超过 1 800

第一作者简介: 胡阿沛 (1989—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为文本挖掘与专利分析。

收稿日期: 2013-04-15

万条基本发明专利, 3 890 多万条专利情报, 数据可回溯到 1963 年。DII 收录的数据不仅全面, 而且数据都经过专业人员的加工整理, 数据质量高^[8]。本文以主题检索与德温特手工代码结合的检索策略检索生物燃料电池相关专利数据, 检索式为“TS= ("bio\$fuel cell\$" OR "biological fuel cell\$" OR "bio\$fuel batter*" OR "biological fuel batter*" OR "microbial fuel cell\$" OR "microbial fuel batter*" OR "enzymatic fuel batter*" OR "enzymatic fuel cell\$" OR "BFC" OR "MFC" OR "EFC") OR MAN= ("X16-C06" OR "L03-E04K")”, 共检索到 1 201 条生物燃料电池技术专利记录, 每条记录代表一族专利 (以下分析中, 一件专利代表一族专利)。数据检索与下载时间为 2012 年 12 月 18 日。由于专利从申请到公开有 18 个月的滞后期, 故 2011 年、2012 年的数据不全, 仅供参考。

1.2 分析工具及方法

本文利用 Thomson Data Analyzer (TDA) 对生物燃料电池技术专利数据进行清洗、加工, 利用 Excel 数据处理软件绘制相关图表和社会网络分析软件 Ucinet 绘制合作网络图。

采用文献计量学和统计学的方法, 从时间、技术领域、国家和主要研发机构等角度进行专利计量分析, 并采用社会网络分析方法分析研发机构和发明人合作网络图。

2 结果与分析

2.1 生物燃料电池技术专利发展趋势

图 1 所示是 1966—2012 年生物燃料电池技术每年的专利申请情况, 可以反映生物燃料电池技术发展趋势。对图中反映的趋势加以分析, 可以得出: 1966 年有少量生物燃料电池技术专利申请; 1969 年及之后几年, 保持一定的生物燃料电池技术专利申请量, 这或许是 20 世纪 60 年代末、70 年代初, 生物燃料电池技术在开发可植入人体、作为心脏起搏器或人工心脏等人造器官电源上应用的带动^[2]; 紧随其后, 生物燃料电池技术专利申请量迅速减少, 甚至为零, 并且该情况一直持续到 80 年代初, 分析原因, 很有可能是当时一种可植入人体的锂碘电池的研究取得了突破, 并很快应用于医学临床, 生物燃料电池技术研发因此受到较大冲击^[2]; 1982—1996 年, 生物燃料电池技术每年专利申请量保持在 10 件左右, 说明生物燃料电池技术在技术上有突破与发展并且有一定的应用前景; 此后, 生物燃料电池技术专利申请量迅速增加, 从 1996 年的 13 件增长到 2010 年的 158 件, 保持很强劲的增长趋势。

据以上分析可以推断: 生物燃料电池技术取得了一些重要突破, 同时其市场前景得到充分肯定, 发展势头良好。

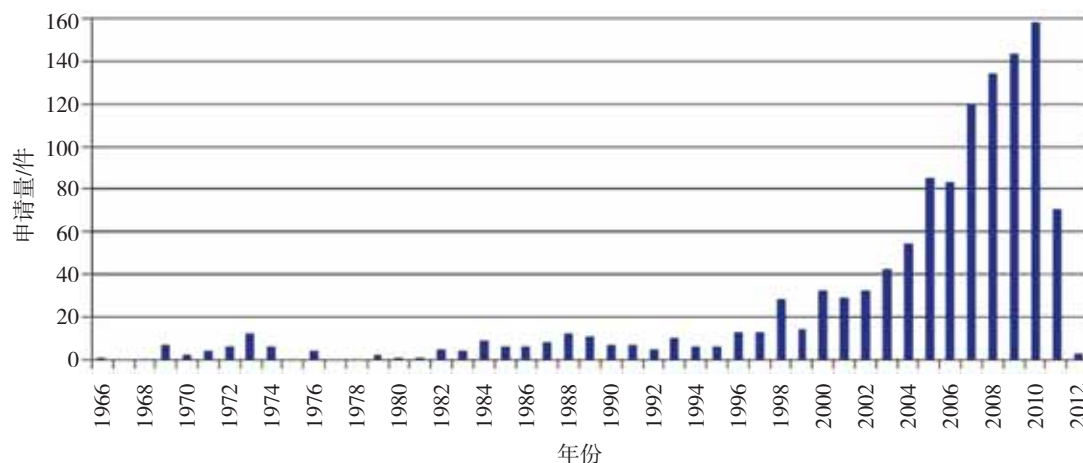


图 1 1966—2012 年生物燃料电池专利申请趋势图

2.2 生物燃料电池专利技术领域分布

生物燃料电池专利技术领域分布反映了生物燃料电池的相关技术领域和主要研发方向。IPC 专利分类号是根据技术主题对专利分类, 因此, 通过对

IPC 分类号进行统计分析等可获取生物燃料电池技术领域的相关情报。本文利用 TDA 分析软件统计出生物燃料电池技术专利的 IPC 小组及各小组专利数量, 并从中选取专利量排名前 15 位的 IPC 小

组, 结果见表 1 所示。

表 1 1966—2012 年生物燃料电池专利技术领域分布

序号	IPC 组	技术内容	专利数/个	所占比例/%
1	H01M-008/16	生物化学燃料电池, 即用微生物作催化剂的电池	556	46.29
2	H01M-008/02	零部件 (非活性部件的结构零件, 电极)	129	10.74
3	H01M-004/90	电极催化材料的选择	121	10.07
4	H01M-004/86	用催化剂活化的惰性电极, 例如用于燃料电池	107	8.91
5	H01M-008/04	辅助装置或方法, 例如用于压力控制的, 用于流体循环的	80	6.66
6	H01M-008/10	固体电解质的燃料电池	67	5.58
7	H01M-004/88	电极的制造方法	60	5.00
8	H01M-004/96	碳基电极	59	4.91
9	H01L-021/02	半导体器件或其部件的制造或处理	54	4.50
10	H01M-008/06	燃料电池与制造反应剂或处理残物装置的结合	51	4.25
11	C02F-003/34	以利用微生物为特征的水、废水、污水或污泥的处理	45	3.75
12	H01M-008/00	燃料电池及其制造	45	3.75
13	G01N-027/327	生物化学电极	40	3.33
14	C12N-011/00	与载体结合的或固相化的酶、微生物细胞及其制备	33	2.75
15	C12N-001/20	细菌及其培养基	29	2.41

生物燃料电池分为微生物燃料电池和酶生物燃料电池, 分析表 1 可以得出: 用微生物作催化剂的电池 (H01M-008/16) 共有专利 556 件, 远远高于其他技术主题的专利数量; 与酶相关的 IPC 小组仅有 C12N-011/00, 其专利数量为 33, 说明目前生物燃料电池的研发主要集中在微生物燃料电池, 对酶生物燃料电池的研发相对较少; 涉及生物燃料电池电极的 IPC 小组共 6 个, 为 H01M-008/02、H01M-004/90、H01M-004/86、H01M-004/88、H01M-004/96、G01N-027/327, 共包含专利数量 521 件, 可见电极是生物燃料电池技术的研发重点, 反映了电极在生物燃料电池中的重要性, 其中, 电极催化材料的选择 (H01M-004/90) 和用催化剂活化的电极 (H01M-004/86) 都是有关电池电极催化的, 共计专利数量 228 件, 足可以说明电极催化是生物燃料电池电极技术的关键。另外值得注意的是, IPC 小组 C02F-003/34 是有关废水、污水或者污泥处理的生物燃料电池技术专利, 可见, 生物燃料电池技术在水污染治理上具有应用前景, 相关机构在水污

染治理上可借鉴生物燃料电池相关技术。

根据以上结果, 为进一步分析有关微生物燃料电池、电池电极和废水处理的生物燃料电池技术发展情况, 对其对应的 8 个 IPC 小组 1998—2012 年的专利申请情况进行了统计, 其结果见图 2 所示。

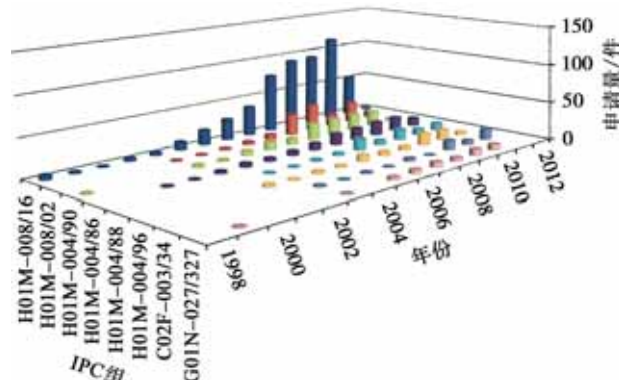


图 2 生物燃料电池技术专利 IPC 小组专利申请趋势

从图 2 可以看出, 8 个 IPC 小组的专利申请量最近几年在总体上都保持上升的趋势, 其中: 有关微生物燃料电池 (H01M-008/16) 的专利申请

量增长最快，尤其在 2004 年之后增长趋势十分明显；有关电极的 6 个 IPC 小组，其专利申请总量与 H01M-008/16 小组的专利申请增长情况相当；有关废水、污水处理的 IPC 小组专利申请量虽保持增长趋势，但增长速度比较缓慢。这进一步说明：以微生物作为电极催化剂的生物燃料电池获得了研究者们的青睐，并且其技术最近几年发展迅速，具有较好的市场前景；生物燃料电池电极的研发也取得了较快的发展；有关废水、污水处理的生物燃料电池专利申请量虽有所增长，但相较而言没有明显的增速，可以反映出这方面的技术虽然有所进步，但发展缓慢。

2.3 不同国家或组织生物燃料电池技术专利申请情况

2.3.1 专利申请量

根据统计数据，生物燃料电池技术专利分布在 26 个国家或组织，其中排名前 10 位的国家或组织的专利申请量如图 3 所示。可以看出：生物燃料电池技术专利申请集中分布在美国、日本、中国、

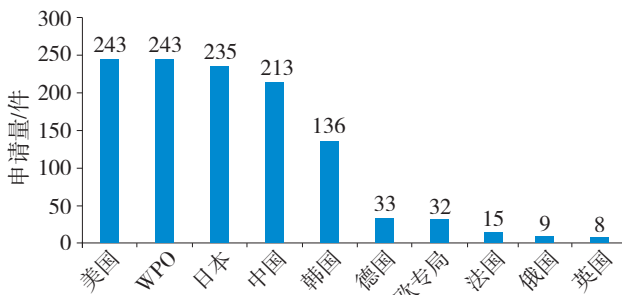


图 3 1966—2012 年生物燃料电池技术专利申请量排名前 10 的国家或组织的专利申请总量

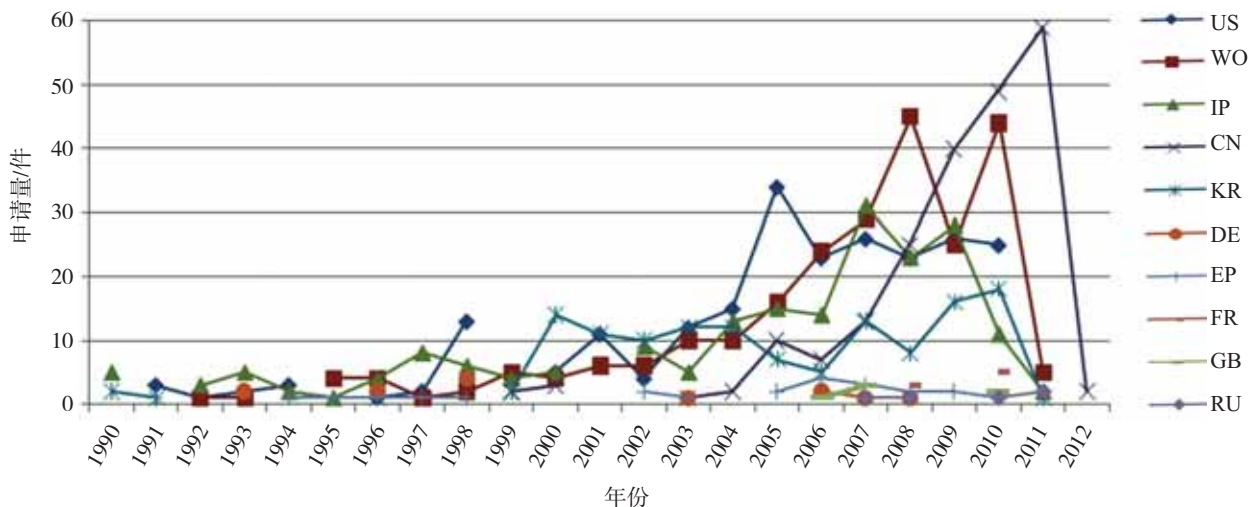


图 4 1990—2012 年生物燃料电池技术专利申请量排名前 10 的国家或组织的专利申请趋势图

韩国以及世界知识产权组织（WPO），占总专利申请量的 89.1%；分布在其他国家或组织很少，多数不足 10 件；在美国、WPO、日本和中国的专利申请量都超过 200 件，处于领先地位；在韩国，生物燃料电池技术的专利申请量也很可观，达到了 136 件；与美国、日本、中国和韩国相比较，欧洲几国及欧专局的生物燃料电池技术专利申请量比较少。可以说明：生物燃料电池技术在美国、日本、中国和韩国获得了肯定；而在欧洲，可能生物燃料电池技术市场前景不佳，对其缺少重视。同时，从世界知识产权组织的专利申请量来看，说明专利申请人十分重视生物燃料电池技术的国际保护，生物燃料电池技术很有可能在未来得到广泛应用。

2.3.2 专利申请趋势

图 4 所示是专利申请量排名前 10 的国家或组织 1990—2012 年专利申请量变化趋势图。从图中可以看出：美国、日本、中国和韩国以及 WPO 的专利申请量呈明显上升趋势，使总体上生物燃料电池技术专利申请量呈现较快增长趋势，说明生物燃料电池技术最近几年获得较快发展。值得注意的是中国专利申请量的变化情况，其专利申请量在 2004 年之前寥寥无几，但进入 2004 年后迅速增加，到 2009 年其年专利申请量领先于所有国家或组织，可以说明：生物燃料电池技术最近几年在中国获得关注和重视并取得快速发展。欧洲几国在生物燃料电池技术专利申请量一直处于低水平，并且无增长趋势，可能是生物燃料电池技术在欧洲的市场前景不佳，得不到重视。

2.4 生物燃料电池技术领域主要研发机构分析

2.4.1 主要研发机构情况

为了解生物燃料电池主要研发机构的相关情

况, 对其专利申请量排名前 10 位的研发机构的专利申请量、所属国家、活动年期、发明人数量和专利平均年龄进行了统计, 其结果见表 2 所示。

表 2 1966—2012 年生物燃料电池技术专利申请量排名前 10 的全球机构

序号	公司	专利数/个	国家	活动期/年	发明人数量/位	专利平均年龄/年
1	索尼 (SONY)	69	日本	19	79	4.6
2	三星 (SMSU)	30	韩国	23	62	9.8
3	中科院 (CHSC)	23	中国	8	41	2.5
4	栗田工业 (KURK)	21	日本	5	8	3.9
5	丰田 (TOYT)	20	日本	6	36	4.0
6	东南大学 (UYSE)	14	中国	2	21	1.5
7	爱信精机 (AISE)	13	日本	15	18	9.1
8	哈工大 (HAIT)	11	中国	7	20	3.7
9	清华大学 (UYQI)	11	中国	6	16	3.1
10	浙江大学 (UYZH)	11	中国	8	25	3.4

从表 2 可以看出: 有 4 家机构属于日本, 1 家机构属于韩国, 5 家机构属于中国; 日本和韩国的几家机构都是企业, 而中国的 5 家机构则为研究所或者大学。由此可以得知, 日本和韩国在生物燃料电池技术的研发活动主要是在企业, 而中国主要是在科研院所和学校, 说明我国在生物燃料电池研发上主要是由科研院所牵头, 企业在该领域的研发能力弱。

从专利申请量看: 日本的索尼公司以 69 件遥遥领先, 大于紧随其后的三星和中科院专利申请量的总和, 仅仅比排名前 10 的中国 5 家机构专利申请量的总和少 1 件。

从专利活动年期和专利平均年龄看: 三星具有最长的活动年期, 为 23 年, 由此可知三星在前 10 家研发机构中最先进行了生物燃料电池技术的研发, 但其专利平均年龄也是最大, 为 9.8 年, 说明三星近几年申请的专利较少, 专利竞争力比较小; 日本的索尼和爱信精机的专利活动年期分别排名第 2 和第 3, 为 19 年和 15 年, 说明索尼和爱信精机也较早进入了生物燃料电池技术的研发, 索尼和爱信精机的专利平均年龄分别为 4.6 和 9.1, 说明索尼投入研发的时间早, 并且其在生物燃料电池方面有持续创新, 竞争力强, 而爱信精机虽投入研发时

间也较早, 但其专利平均年龄长, 专利新颖性相对较小, 竞争力弱; 中国几家研发机构的活动年期都相对较短, 专利平均年龄也最短, 尤其是东南大学仅为 2 年, 由此可以看出, 中国在生物燃料电池技术研发上属于后入国家, 但是从专利数量以及专利平均年龄上看表现不错, 说明中国生物燃料电池技术发展迅速。

从发明人数量来看: 索尼公司的生物燃料电池技术研发团队人数最多, 紧随其后的是三星和中国科学院; 中国的 5 家机构虽然对生物燃料电池技术研发的时间都较短, 但其拥有较多发明人, 这估计也是其在短期内获得快速发展的重要保障。

综合以上分析, 索尼公司不仅拥有最多的专利申请量和发明人, 其对燃料电池的研究也较早并持续创新, 具有最强的实力。另外, 中国的研发机构对生物燃料电池的研发相对较迟, 但发展速度快。

2.4.2 主要研发机构专利布局

通过分析研发机构专利的技术内容可得知企业的专利布局 and 研发侧重点。对专利申请量排名前 5 的研发机构进行进一步的研究, 其专利的主要 IPC 小类分布情况见图 5 所示。

从图 5 可以看出: 索尼、中科院、栗田工业和丰田的专利主要集中在小类 H01M (用于直接转

变化学能为电能的方法或装置，例如电池组），其中，索尼和丰田在小类 C12N（微生物或酶；其组合物）和小类 G01N（借助于测定材料的化学或物理性质来测试或分析材料）也有相对较多的专利；三星与其他企业或者研究所不同，其专利只分布在 G01N 和 H01L（半导体器件；其他类目中不包括的电固体器件），并且属于 H01L 的专利占有绝大部分；5 家机构中，只有栗田工业和中科院的部分专利分布在小类 C02F（水、废水、污水或污泥的处理）。

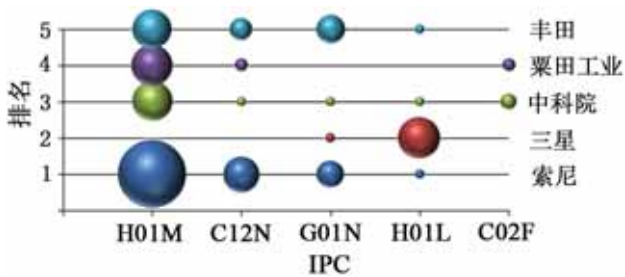


图5 排名前5的专利权人主要IPC小类分布情况

2.5 生物燃料电池技术合作网络分析

2.5.1 研发机构合作情况

统计发现，在 1 201 条申请专利中，共有 312

件是通过多个研发机构共同申请，占 26.0%；研发机构共有 899 个，出现的总频次为 1 725 次，平均每个专利由 1.9 个研发机构合作完成，其中共有 339 个研发机构是独立申请生物燃料电池专利。这一点说明，研发机构之间没有建立普遍的合作关系，不少机构是独立研发。

另外，合作次数大于等于 1, 2, 3, 4 的合作对分别有 1 068, 90, 9 和 3 个，最大合作次数为 5 且仅有 1 个合作对。足见合作的研发机构之间，合作深度较低。

为了更加直观地了解生物燃料电池技术专利研发合作情况，将合作次数的阈值设为 2，利用社会合作网络分析软件 Ucinet 绘制了研发机构合作网络图，见图 6 所示。从图中可以看出，合作网络图由几个合作群体和一些独立的合作对组成：最大的合作群体由 7 家研发机构组成，次大的合作网络由 6 家研发机构组成，有 2 个由 5 家机构组成的合作群体，有 3 个由 4 家机构组成的合作群体，有 5 个由 3 家机构组成的合作群体，有 15 个独立的合作对。研发机构之间的合作呈现出了群体性，群体与群体之间相互独立。

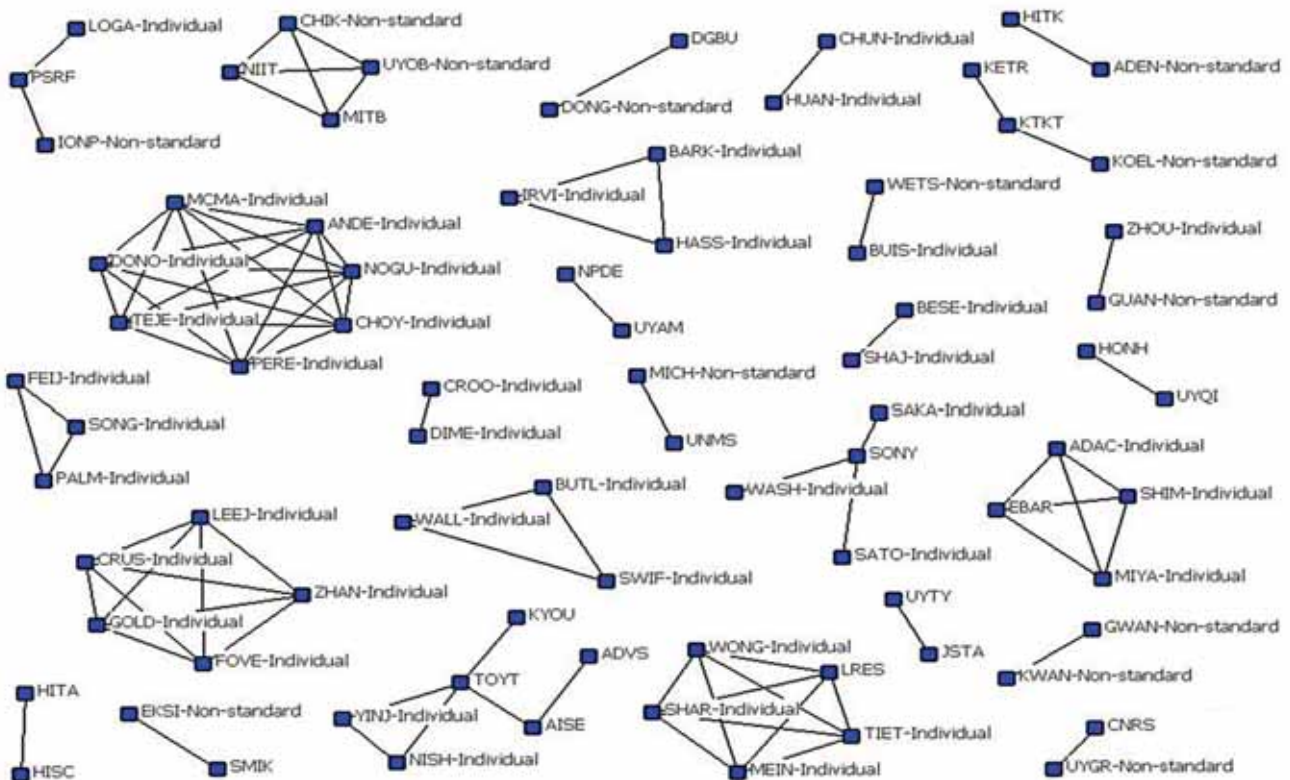


图6 生物燃料电池技术专利研发机构合作网络图

综合可知,生物燃料电池技术研发机构之间没有建立普遍的合作关系,合作呈现出群体性和封闭性,同时研发机构之间的合作深度较低。

2.5.2 发明人合作情况

统计发现,在生物燃料电池技术的 1 201 件专利中,有 874 件专利是由多个发明人合作研发,合作率为 72.8%。所有专利共有发明人 2 126 位,发明人出现总频次为 3 854,平均每件专利由 3.21 个

发明人共同完成。由此可见,生物燃料电池专利大部分由多个发明人合作完成。

由于对所有发明人的合作情况进行可视化将无法得到清晰的合作网络图,也无法对合作网络图进行有效地分析^[9]。因此,选择发明人合作次数大于等于 5 的合作对构成合作网络图,如图 7 所示。可以很清楚地看到,发明人合作网络图由多个合作群体组成,说明发明人的合作也具有群体性。

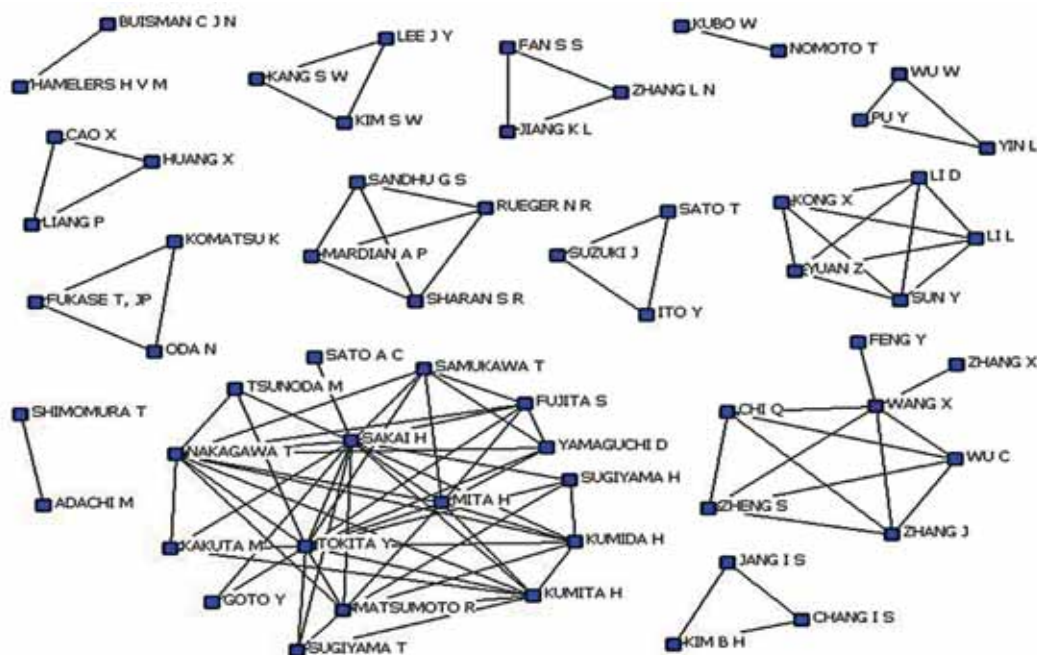


图 7 生物燃料电池技术专利发明人合作网络图

最大的合作群体由 16 位发明人组成,其群体规模远远大于其他发明人合作群体,并且可看出其合作关系紧密。分析该群落发明人对应的专利权人发现,该合作群体发明人基本来自索尼(SONY)公司。由此可见,索尼公司内容生物燃料电池技术合作研发程度高,实力强大,但其与其他公司人员的合作研发程度很小。

第二大合作群体由 7 个发明人组成,其中 5 个发明人(WU C、CHI Q、WANG X、ZHANG J、ZHENG S)的合作非常紧密,而另外 2 个发明人(ZHANG X、FENG Y)仅与 WANG X 的合作紧密,说明 WANG X 相对比较活跃,与其他发明人的合作比较广泛。进一步分析发现,该合作群体主要由天津理工大学和哈尔滨工业大学的研究人员组成。

分析其他发明人合作群体,第三大合作群体由来自中科院研发人员组成,第四大合作群体由美光

科技的研发人员组成,其他剩余的合作群体的成员也基本上来自同一机构。由此也进一步证实了研发机构之间的合作呈现出封闭性,机构之间的合作程度较低,多为研发机构内部人员的合作。

3 结论与建议

通过对生物燃料电池技术的专利计量分析可以看出,1996 年之后生物燃料电池技术专利申请量迅速增加,说明 20 世纪末开始生物燃料电池技术进入较快发展时期。从技术领域分布来看,生物燃料电池的研发集中在微生物燃料电池,其专利申请量进入 21 世纪后迅速增长,同时电极及电极催化物质也是生物燃料电池的研究重点。从专利申请在不同国别或组织分布可以发现:美国、日本和中国生物燃料电池技术专利申请量排名前 3,其中,中国虽然出现生物燃料电池专利申请的时间短,但其

年专利申请量迅速增加并于 2009 年领先，总量仅次于美国和日本；德国、法国、俄国和英国的生物燃料电池技术专利申请量偏低。分析主要研发机构发现：日本的索尼公司拥有最多的专利申请量和发明人，其对生物燃料电池的研究较早并持续创新，具有最强的实力，同时值得注意的是中国对生物燃料电池技术的研发较迟，但其发展迅速；研发机构的研发主要集中在小类 H01M。通过分析研发机构和专利发明人合作情况发现：研发机构之间的合作呈现群体性，机构之间的合作研发程度低，多为研发机构内部人员的合作，表现出研发活动的封闭性。

鉴于以上分析结论，对我国生物燃料电池技术的研发提出 3 点建议：

（1）从分析可以看出，生物燃料电池技术处于起步阶段，其应用具有广阔的市场前景。我国在政策上，应加强对生物燃料电池产业的扶持力度，确保我国能在市场竞争中处于有利地位。

（2）我国生物燃料电池的研发机构基本是科研院所和高校，在一定程度上说明我国在该领域上的产业化水平差，企业在该领域研发能力低。要加强企业、科研院所和高校的合作，推动产学研结合，提高企业的研发能力并促进其产业化发展。生物燃料电池属于高新技术产业，需要大量的资金投入，因此，政府要在鼓励企业进军该领域的同时，对相关企业给予政策和资金支持。

（3）我国应时刻关注生物燃料电池领域的研究进展，向日本、美国等技术领先的国家学习，加强与其交流合作；同时，加强国内研究机构之间的合作力度，建立有效的合作机制，达到优势互补，促进知识共享，提高研发水平。■

参考文献：

- [1] 辛存良, 马晓燕, 李冬梅. 生物燃料电池的研究进展[J]. 电源技术, 2012, 36(5): 754-756.
- [2] 贾鸿飞, 谢阳, 王宇新. 生物燃料电池[J]. 电池, 2000, 30(2): 86-88.
- [3] 杨冰, 高海军, 张自强. 微生物燃料电池研究进展[J]. 生命科学仪器, 2007, 5(1): 3-12.
- [4] 王庆民. 专利信息的情报功能和专利情报分析[J]. 现代情报, 2007(7): 223-224.
- [5] Steve Barrett. Patent Analysis Identifies Trends in Fuel Cell R&D[J]. Fuel Cells Bulletin, 2005(11): 12-13.
- [6] 黄鲁成, 韩佳. 燃料电池技术专利分析[J]. 科协论坛, 2008(3): 63-64.
- [7] 朱科, 石继仙. 燃料电池技术领域中国专利申请状况分析[J]. 中国发明与专利, 2012(1): 40-43.
- [8] 陈长益, 杜艳艳, 张旭. 美国生物乙醇技术的专利计量分析[J]. 现代生物医学进展, 2011, 11(1): 144-148.
- [9] 刘则渊, 陈悦, 侯海燕, 等. 科学知识图谱——方法与应用[M]. 北京: 人民出版社, 2008.

Patent Bibliometrics Analysis on Biofuel Cell

HU A-pei, ZHANG Jing, LEI Xiao-ping, ZHANG Xiao-yu

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

Abstract: Based on biofuel cell patents downloaded from Derwent Innovation Index database, the paper conducts a patent bibliometrics analysis on biofuel cell technologies from the perspective of parents date, technology fields, country and patent assignees, and draws collaboration networks by using Ucinet software to analyze cooperative R&D on biofuel cell patents, thus providing support for government, research institutes and enterprises in making the science and technology development plans and R&D projects, searching cooperative partners, as well understanding the competition pattern and industrial development trend.

Key words: biofuel cell; patent bibliometrics; patent analysis; collaboration network; Derwent Innovation Index