

基于科学计量学的中美氢燃料电池领域对比研究

赵蕴华 苑朋彬 吴云龙

中国科学技术信息研究所 北京 100038

摘要 氢燃料电池是清洁高效的能源载体，在分布式电站、交通运输等领域已有较多应用。本文基于科学计量分析方法，利用氢燃料电池领域的科技论文和专利数据，探讨其理论研究和应用研究的开展情况。研究结果显示，尽管中美两国的论文和专利数量差距正在逐步缩小，中国在学术影响力和专利质量上仍与美国存在一定差距。加强中美国家、机构、个体间的合作对于促进氢燃料电池发展具有重要的意义，本研究期望为国内发展氢燃料电池汽车做出决策参考。

关键词：氢燃料电池；论文；专利；计量分析；技术应用

中图分类号：G350

开放科学（资源服务）标识码（OSID）



Comparative Study of Hydrogen Fuel Cell Between China and the USA Based on Scientometrics

ZHAO Yunhua YUAN Pengbin WU Yunlong

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

Abstract Hydrogen fuel cell is a clean and efficient energy carrier which have been applied to many fields such as stationary power plant and transportation. This study discussed the development of theoretical research and application research using the technology papers and patent data in the field of hydrogen fuel cell based on the theoretical method of scientific metrology, The results showed that while the gap is narrowing between the number of papers and patents between China and the United States, China still lags behind the United States in terms of academic influence and patent quality. It is significance

基金项目：中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金《重点科技领域深度分析与研究》（ZD2017-01）。

作者简介：赵蕴华（1967-），硕士，研究馆员，研究方向：重点科技领域研究，E-mail: zhaoyh@istic.ac.cn；苑朋彬（1990-），研究实习员，研究方向：技术竞争情报；吴云龙（1988-），硕士，研究方向：科技情报与科技政策。

to strengthen the cooperation between the countries, agencies, and individuals of China and the United States. This study hopes to make decision reference for domestic development of hydrogen fuel cell vehicles.

Keywords: Hydrogen fuel cell; articles; patent; scientific metering analysis; technology application

0 引言

目前全球汽车保有量以每年 3,000 万辆的速度递增^[1], 预计 2050 年将增长到 35 亿辆^[2], 庞大数量的汽车将产生巨大能源消耗与环境污染问题, 因此发展清洁高效和可持续的新能源汽车技术引发了世界各国的关注^[3]。中美两国都将电池技术作为新能源汽车发展的关键技术, 分别制定了一系列的发展规划以促进电池技术的发展^[4]。与传统汽车相比, 氢燃料电池汽车是真正意义上的零排放、零污染的车^[5]。氢燃料电池能量转换效率高达 60~80%^[6], 实际使用效率是普通内燃机的 2~3 倍^[7], 是完美的汽车能源。

当前利用定量和定性结合方法对氢燃料电池进行分析的研究相对较少, 因此本文基于科学计量分析方法, 利用氢燃料电池领域相关的科技论文和专利产出成果数据, 探讨其基础理论和应用研究的开展情况, 并通过对比中国和美国的现状, 期望为国内发展氢燃料电池汽车做出决策参考。

1 中美氢燃料电池领域的理论研究对比

科技论文是记载科技人员或其他研究人员在科学实验基础上, 对自然科学、技术等研究

进行科学分析、综合的研究和阐述, 进行一些现象和问题的研究的总结^[8]。因此, 本研究是基于科学英文索引数据库 (Science Citation Index, SCI) 收录的氢燃料电池领域科技论文, 针对中美在氢燃料电池领域基础研究的情况进行对比研究。检索日期: 2015 年 12 月。

1.1 论文逐年发表情况

在 2005-2015 年 SCI 收录的期刊中, 全球共发表了氢燃料电池领域论文 3,205 篇。其中, 美国共发表了 888 篇, 中国发表了 508 篇, 中美合作发表了 52 篇。从图 1 所示的 SCI 收录的 2005-2015 年间氢燃料电池领域论文的发表情况来看: 中国和美国在该领域论文发表数量都处于稳步的上升阶段。分阶段来看: 2005-2012 年, 这个时期美国论文发表数量一直是中国论文数量的 2 倍左右。2012-2014 年, 中国论文发表的数量与美国论文数量的差距逐渐缩小。表明近几年中国在氢燃料电池领域加大了研究力度同时也取得了一些实际的理论成效。

从中美合作的趋势来看: 可以看出中美论文的相关合作是从 2007 年开始, 中美合作论文数量呈现出缓慢上升的趋势, 2013 年之后合作论文的数量保持在 10 篇以上。发展虽然比较缓慢, 但是也反映出了在氢燃料电池领域内, 中美逐渐重视相互之间的合作来推进该领域的共同发展。

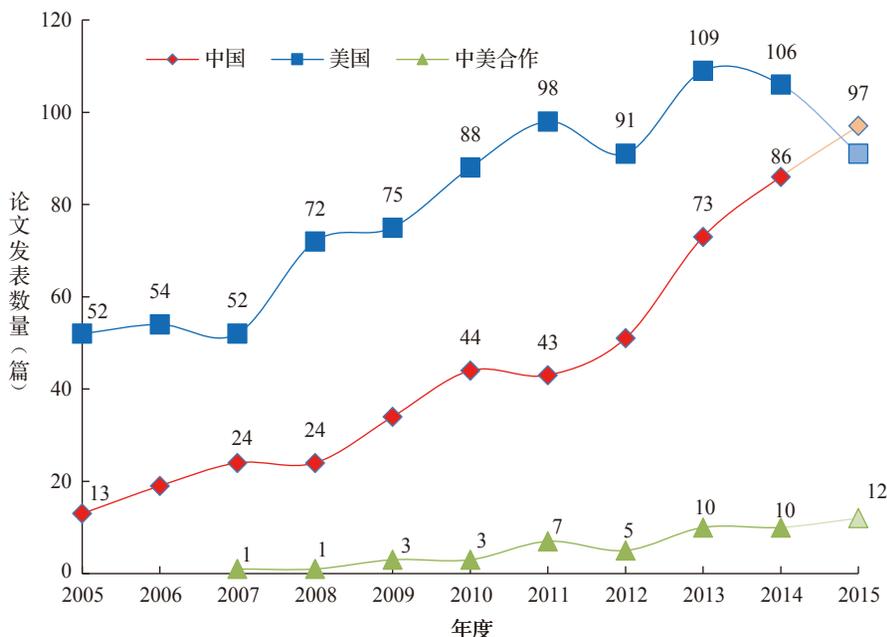


图 1 SCI 收录的中美氢燃料电池领域论文的发表情况

1.2 论文所属机构情况

图 2 中呈现了 SCI 收录的中国、美国以及中美合作的氢燃料电池领域前 15 位论文所属机构的排名情况。可以看出，在中美大学和科研院所是氢燃料电池领域基础科学研究的主要力量。中国在该领域发表论文数量最多的是清华大学，为 78 篇，其次为中国科学院和上海交通大学。而美国在该领域的研究机构最多的为美国能源部，论文发表数量为 138 篇，其次为加州大学和密歇根大学，发表篇数分别为 101 篇和 61 篇。

从中美合作情况看，以清华大学、美国能源部为 SCI 收录的氢燃料电池领域论文中美合作最多的研究机构。在前 15 名中美合作机构中，中国的大学和研究机构占到了 6 所，其中合作清华大学、北京理工大学和武汉理工大学分别排名前三。但总体来说，中美合作发表的论文数量还很少，在该领域还有很大的合作空间。

从表 1 可以看出，美国能源部在氢燃料电

动汽车研发领域与清华大学、北京航空航天大学、北京理工大学和中国汽车技术研究中心等机构开展合作研究；芝加哥大学在氢燃料电动汽车研发领域与北京理工大学、中科院和吉林大学等机构开展合作研究；加州大学在制氢技术领域与北京理工大学、武汉理工大学、大连理工大学、浙江大学和同济大学等机构开展合作研究；阿贡国家实验室在氢燃料电池质子交换膜技术领域与清华大学、北京航空航天大学、北京理工大学和中国汽车技术研究中心等机构开展合作研究。

1.3 论文项目资助机构情况

图 3 中呈现了 SCI 收录的氢燃料电池领域论文所涉及项目的前 10 位基金资助机构情况。从图中可见，中国主要的资助机构为中国国家自然科学基金（Natural Science Foundation of China, NSFC），资助文献数量达到 227 篇，是排名第二位国家高技术研究发展计划（“863”

计划)的 3.55 倍;美国的主要资助机构为海军研究局,资助论文数量达到 18 篇,第二位是陶氏化学,数量为 14 篇。中国排名前三的资助机构资助的论文数量占 SCI 收录的氢燃料电池领域的中国论文总量的约 60%;美国排名前三的

资助机构资助的论文数量占 SCI 收录的动力锂离子电池领域的美国论文总量的约 5%。可见中国在氢燃料电池领域的基金资助机构比较集中,主要依靠中国自然科学基金的支持;而美国在该领域的基金资助机构比较分散。

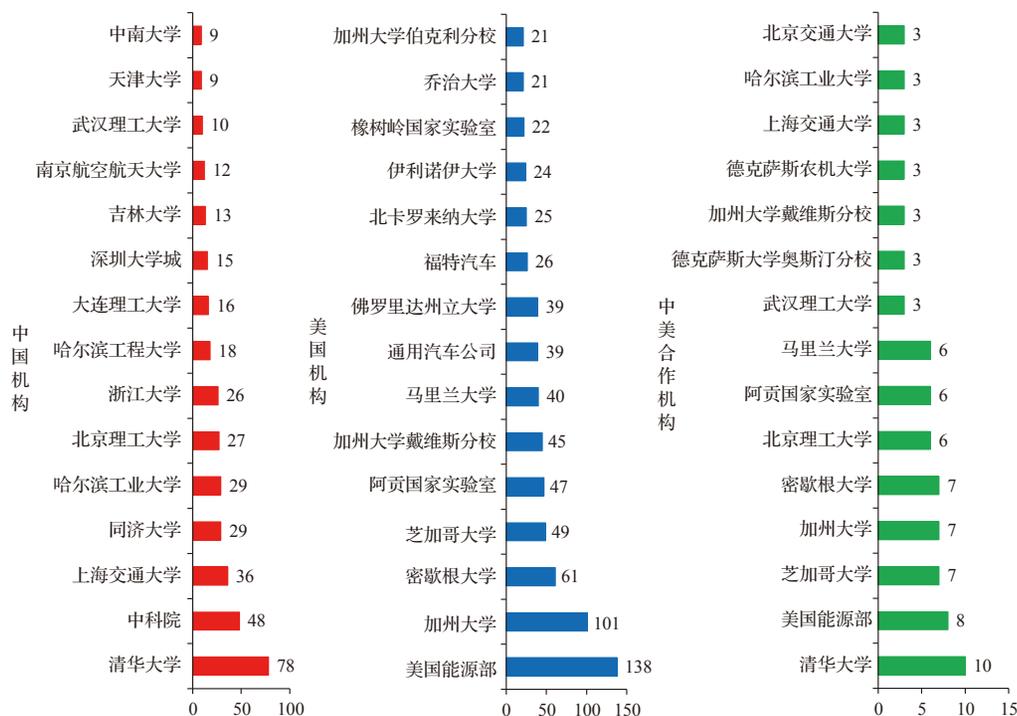


图 2 SCI 收录的中美氢燃料电池领域论文的前 15 位机构排名情况

表 1 中美在氢燃料电池领域论文的主要合作机构及主要研究内容

中国机构	美国机构	合著论文主要内容
清华大学 北京航空航天大学 北京理工大学 中国汽车技术研究中心	美国能源部	氢燃料电动汽车研发
北京理工大学 中科院 吉林大学	芝加哥大学	氢燃料电动汽车研发
北京理工大学 武汉理工大学 大连理工大学 浙江大学 同济大学 清华大学	加州大学	制氢技术
北京航空航天大学 北京理工大学 中国汽车技术研究中心	阿贡国家实验室	氢燃料电池质子交换膜技术

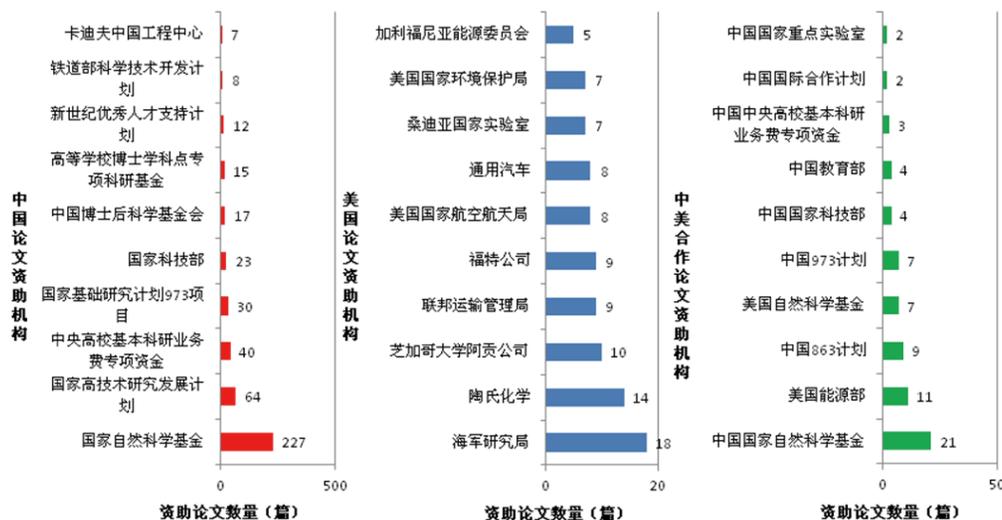


图3 SCI收录的中美氢燃料电池领域论文的项目/机构情况

中美合作论文资助机构中，位居前三名的分别为是中国国家自然科学基金、美国能源部以及中国国家高科技技术研究发展计划（“863”计划），且中美合作排名前10的资助机构中，有8家机构来自于中国。说明中国相对于美国，更加注重两国在氢燃料电池领域的合作。

1.4 论文高被引论文情况

高被引论文可以反映其在科学界的较高学术影响力和学术价值^[9]。氢燃料电池领域的高被引论文在此设定为论文引用次数居所有论文前10%的论文^[10]，如果前10%之后有论文的被引次数与第10%篇论文相等，即被引用次数相同，则同样收录。氢燃料电池领域的前10%高引论文数量为321篇。

从表2可见，在氢燃料电池领域，中国发表论文总量508篇，美国发表论文总量888篇，美国发文数量是中国发文数量的1.7倍。全球论文的27.71%是由美国作者贡献的，而中国作者仅贡献了15.85%的论文；其中在世界范围中国贡献的高被引论文数量为28篇，高被引论文

占有高被引论文比例为8.41%，而美国贡献的高被引论文为139篇，高被引论文占有高被引论文比例为43.3%，其所占比例是中国的5倍之多。表明中国今后还要有高质量、高学术影响力的创新性研究成果的产出。

表2 SCI收录的中美氢燃料电池领域的中美高被引论文情况

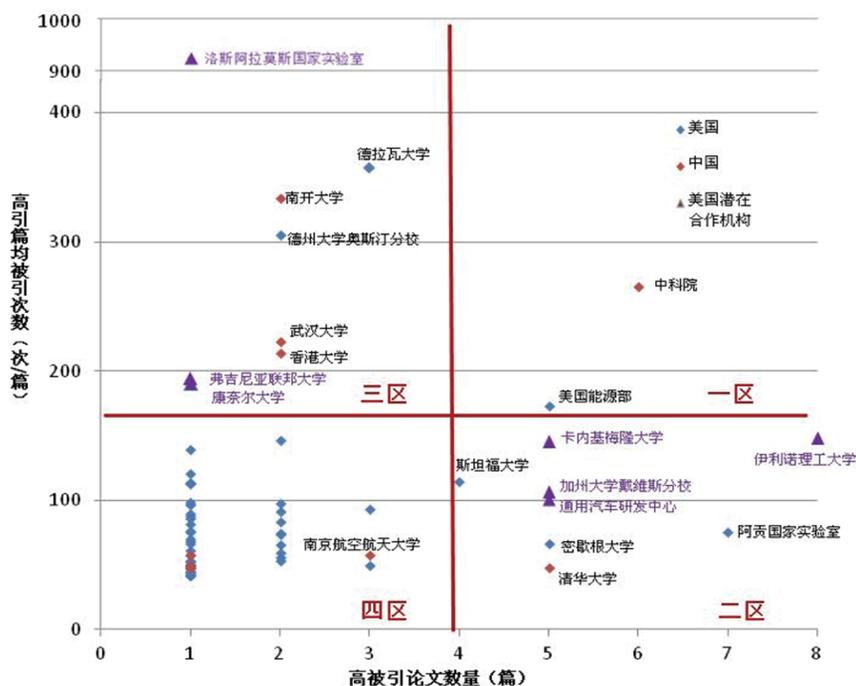
国别	中国	美国	中美合作
论文数量	508	888	52
论文占全球比例	15.85%	27.71%	1.62%
总被引次数	5,267	23,666	453
篇均被引次数	10.37	26.25	8.71
H指数	34	71	12
高被引论文数量	28	139	1
高被引论文占有高被引论文比例	8.41%	43.30%	0.03%
高被引论文占该国所发表论文比例	5.31%	15.65%	1.92%
高被引论文的被引次数	2,227	16,688	453
高被引文的篇均被引次数	82.48	120.06	8.71

1.5 基于高被引论文的氢燃料电池领域中美顶尖机构

如图4所示，根据高被引论文数量及其篇

均被引次数，发表高被引论文的顶尖中美研究机构被划分四个区域：高被引论文数量及其篇均被引次数均高者为第一区，有中科院和美国能源部；仅发表的高被引论文数量多者为第二区，如阿贡国家实验室、伊利诺理工大学和清华大学等；仅篇均被引次数高者为第三区，如

洛斯阿拉莫斯国家实验室、德拉瓦大学等；高被引论文数量及其篇均被引次数均不高者为第四区。结合表 3 可以得出：位于一区的中科院高被引论文数量为 6 篇，高被引论文篇均被引 266.3 次；美国能源部的高被引论文数量为 5 篇，高被引论文篇均被引 173.8 次。



注：红色为中国机构，蓝色为美国机构，紫色为潜在的美国合作机构。限于洛斯阿拉莫斯国家实验室数字的特殊性，纵坐标 900-1,000 的比例尺仅为示意，与 0-400 不同。

图 4 中美氢燃料电池领域的顶尖中美机构情况

表 3 氢燃料电池领域的中美高被引论文产出机构

序号	中国机构	高被引论文数	篇均被引次数	美国机构	高被引论文数	篇均被引次数
1	中科院	6	266.3	伊利诺理工大学	8	148.1
2	清华大学	5	48.6	阿贡国家实验室	7	75.6
3	南京航空航天大学	3	58.3	卡内基梅隆大学	5	145.4
4	南开大学	2	334.5	通用汽车研发中心	5	100.6
5	武汉大学	2	223.5	加州大学戴维斯分校	5	106.4
6	香港大学	2	214	密歇根大学	5	67.2
7	哈尔滨工程大学	1	58	美国能源部	5	173.8
8	哈尔滨工业大学	1	50	斯坦福大学	4	114.5
9	台达电子上海公司	1	49	密苏里科技大学	3	93.3
10	北京理工大学	1	48	加州大学伯克利分校	3	49.7
11	中国科技大学	1	48	德拉瓦大学	3	357

2 中美氢燃料电池领域的应用研究对比

专利是创新知识的载体，能够反映相关技术领域的技术应用情况^[11]。通过对《ISTIC-电动汽车专利数据库》2000-2015年专利进行检索，共获得氢燃料电池相关专利共24,537件，其中中国专利2,143件，美国专利4,180件，检索时间为2015年11月。由于专利从申请到公开存在1-2年的滞后^[12]，因2013年及以后的专利数

据公开不充分，仅供参考。

2.1 专利历年申请所占比例

图5中可以看到，氢燃料电池占新能源汽车专利申请量的比例变化较为明显，表明氢燃料电池技术在新能源汽车整体研发中的重要程度。2007年之前呈明显上升趋势，且2004年的申请量占到了新能源汽车专利申请量的31.04%；2007年后，受世界范围内氢燃料电池专利申请量下降的影响，氢燃料电池专利在新能源汽车专利申请中所占的比例却在持续下降^[13]。



图5 氢燃料电池专利占新能源汽车专利总数的比例变化

2.2 专利申请IPC小组的分布情况

图6和表4显示了氢燃料电池领域专利排名前15位的IPC小组的分布情况。其中，燃料电池的测量测试指示装置、燃料电池固体电解质、燃料电池零部件的相关专利最多，远超过其他类别，说明这三个领域是目前氢燃料电池主要的研究方向。

2.3 专利逐年申请趋势分析

从图7可见，2000-2007年间，全球氢燃料

电池领域的专利申请快速增长，并于2007年达到峰值3,108件，专利申请量每年增长300件左右；2007年之后相关专利申请量呈现逐年下降的趋势。

中国和美国氢燃料电池领域的专利申请数量变化趋势基本相同。2000-2007年，中美两国相关技术领域专利申请数量都在缓慢增加，并于2007年达到峰值，分别申请了274件和450件专利；之后中美相关专利申请数量逐年降低。值得注意的是，美国每年在氢燃料电池领域的

申请量均多于中国，说明美国在氢燃料电池领域的技术实力一直强于中国。同时又可以

看出，在专利申请数量上，中国与美国在氢燃料电池领域的差距在逐渐缩小。

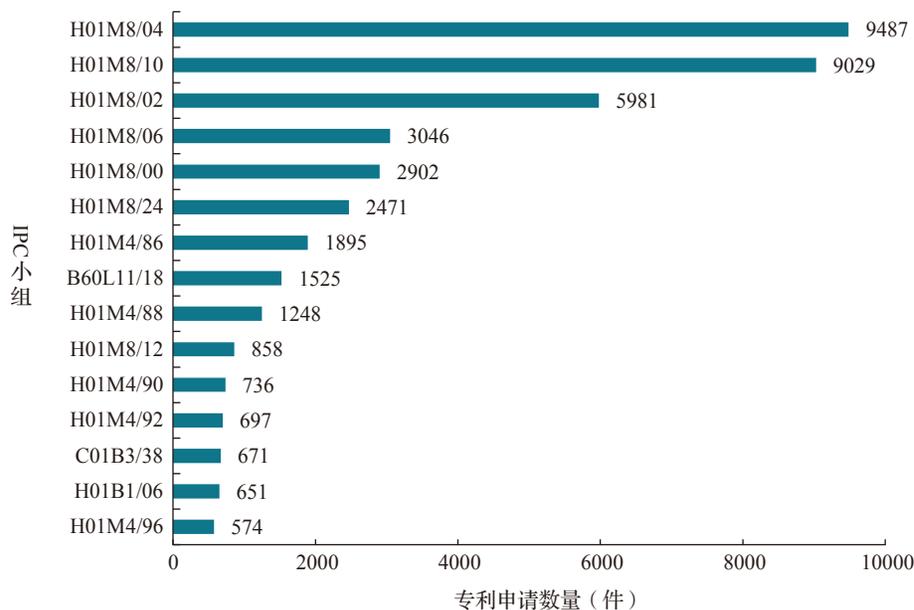


图 6 前 15 位氢燃料电池领域的专利分布情况 (IPC 小组)

表 4 前 15 位氢燃料电池领域专利 IPC 小组分类注释

序号	IPC 小组	专利数量	IPC 小组注释
1	H01M8/04	9,487	燃料电池的辅助装置或方法，例如用于压力控制的，用于流体循环的
2	H01M8/10	9,029	固体电解质的氢燃料电池
3	H01M8/02	5,981	燃料电池零部件
4	H01M8/06	3,046	氢燃料电池与制造反应剂或处理残物装置的结合
5	H01M8/00	2,902	氢燃料电池；及其制造
6	H01M8/24	2,471	把氢燃料电池组合成电池组，例如组合电池
7	H01M4/86	1,895	用催化剂活化的惰性电极，例如用于氢燃料电池
8	B60L11/18	1,525	使用初级电池、二次电池或氢燃料电池供电的电动车辆动力装置
9	H01M4/88	1,248	电池电极的制造方法
10	H01M8/12	858	高温工作的，例如具有稳定 ZrO ₂ 电解质的
11	H01M4/90	736	催化材料的选择
12	H01M4/92	697	铂族金属
13	C01B3/38	671	使用催化剂
14	H01B1/06	651	主要由其他非金属物质组成的
15	H01M4/96	574	碳基电极

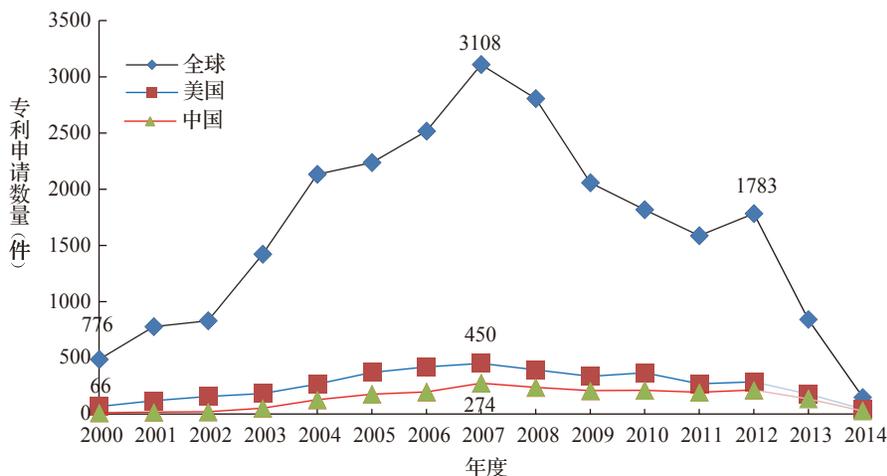


图7 中美两国氢燃料电池领域专利的逐年申请量变化情况

2.4 发明专利被引情况

专利被引量作为一个重要指标^[14]，在一定程度上能够反映专利所保护的技術的重要价值和价值，被引量越高的专利，说明对应的技术越重要，价值越高，因此该指标是评价专利质量的重要指标^[15]。图8显示的是中美氢燃料电池领域发明专利被引量情况。可以看到，中国申

请人申请的325件发明专利中，有200件都是0被引，占到了总数的61.5%，剩下的专利被引量绝大多数也都在50以内，最高被引也只达到57次。反之美国申请人申请的2,237件专利中，0被引的专利仅有5件，57.7%的发明专利被引在10次以上，有36件专利的被引超过了200。这体现了双方专利质量上的巨大差距。

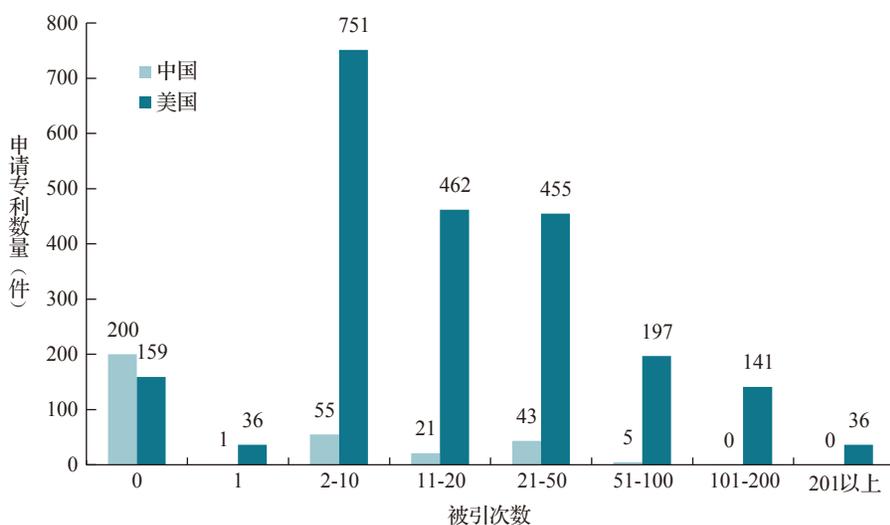


图8 中美氢燃料电池领域发明专利被引量情况

2.5 专利申请机构分析

对申请人中的机构情况进行清洗和分析，

表5显示了中美申请氢燃料电池领域专利数量排名前10位的企业情况。

表 5 中美氢燃料电池领域排名的前 10 的专利权人

排名	中国权人	专利数量	美国权人	专利数量
1	上海神力科技有限公司	30	通用汽车环球科技运作公司	992
2	中国第一汽车股份有限公司	28	UTC 氢燃料电池有限公司	93
3	清华大学	27	福特全球科技有限责任公司	83
4	新源动力股份有限公司	25	IdaTech 公司	76
5	中国科学院大连化学物理研究所	21	德尔福技术公司	72
6	上海氢燃料电池汽车动力系统有限公司	10	PolyFuel 公司	54
7	扬光绿能股份有限公司	10	3M 创新资产公司	41
8	同济大学	9	诺华公司	27
9	引峰新能源科技(上海)有限公司	7	埃克森美孚研究工程公司	26
10	昆山弗尔赛能源有限公司	6	布卢姆能源公司	25

申请氢燃料电池领域专利数量排名前 10 位的美国申请机构中，美国通用汽车环球科技运作公司排名第一，其专利申请量达到 992 件；其次为 UTC 氢燃料电池有限公司和福特全球科技有限责任公司。10 所美国研究机构全部为企业机构，说明美国在氢燃料电池领域的研发活动主要在企业中进行，已处于生产利用研究为主的阶段。中国申请氢燃料电池领域专利数量排名第一的是上海神力科技有限公司，其专利申请量达到 30 件；其次为中国第一汽车股份有

限公司和清华大学。10 所中国研究机构中有 2 所高校，1 家科研院所和 7 个企业，表明在中国，氢燃料电池领域的主要研究在企业中进行，也已处于生产利用研究为主的阶段，但大学和科研院所仍然具有一定的影响力。

关于专利联合申请，仅有少量来自中国的个人与美国企业进行专利联合申请的情况见表 6，未出现中美机构进行专利联合申请的情况。说明目前中美两国在氢燃料电池应用研究的合作还很少，未来具有很大的合作空间。

表 6 氢燃料电池领域中美合作申请专利情况

专利名称	申请人			
	美国机构	美国个人	中国机构	中国个人
固体氧化物燃料电池包括电解质、阳极和阴极，其包括具有钙钛矿结构的多孔混合离子电子导体和氧还原催化剂涂层	美国能源部	LIU MEILIN 等		LIU ZE
圆柱金属-空气-单元，包括中心电解液容器用于燃料电池的催化剂及其制备方法	通用电气公司			YANG HAI 等
用于制作硫属元素催化剂聚电解质燃料电池的方法	蓝纳米公司			DING YI 等
用于制作硫属元素催化剂聚电解质燃料电池的方法	洛斯阿拉莫斯国家安全有限责任公司	ZELENAY PIOTR 等		CHOI JONG-HO 等

3 结论

通过对中美两国氢燃料电池领域技术研发的对比研究，可以得出：在基础研究方面，美国氢燃料电池论文发表数量为 888 篇，中国为

508 篇，美国是中国的 1.75 倍；美国的高被引论文（被引用量居所有论文前 10% 的论文）为 139 篇，中国的高被引论文数量为 28 篇，美国是中国的 5 倍。中美在电池领域的基础研究合作以高校和科研院所为主。即美国与中国合作

较多的机构有美国能源部下属研究机构、芝加哥大学、加州大学、阿贡国家实验室等；中国与美国合作较多的机构有清华大学、北京理工大学、北京航空航天大学等。

在应用研究方面，中国申请人申请的发明专利为 325 件，但仅有 21% 的发明专利被引次数在 10 以上，最高被引也只达到 57 次；而美国申请人申请的 2,237 件专利中，有 57.7% 的发明专利被引在 10 次以上，有 36 件专利的被引超过了 200。中美在氢燃料电池领域的应用研究合作多为个人行为，未见有中美机构间的应用研究合作，具有很大的合作空间。

在未来发展方面，燃料电池汽车一直被视为新能源汽车的终极发展方向^[16]，与纯电动车型相比，氢燃料电池汽车的优势主要体现在电池电量不会下降、充放电性能不会下降、寿命不会衰减等几大方面^[17]。目前国内燃料电池汽车自身的产业链并未形成^[18]，且在技术上，国内燃料电池汽车技术水平同国外相比还是有一定差距。从政策角度出发，国家可以出台一些关于氢燃料电池汽车区域示范的政策^[19]，通过一定规模的示范提升质量，拉动上下游产业链，降低关键材料、零部件及整车产品的成本^[20]。从技术角度出发，中国可以多与以美国为代表的氢燃料电池研究大国进行合作交流，进而形成自己的研发优势。这对于促进燃料电池的发展具有战略性的意义。

参考文献

- [1] 辛克伟, 周宗祥, 卢国良. 国内外电动汽车发展及前景预测[J]. 电力需求侧管理, 2008, 10(1):75-77.
- [2] 薛震. 新能源汽车产业化风险研究[D]. 上海: 复旦大学, 2009.
- [3] 聂凯, 谢丹凤, 李巍. 新能源汽车城市物流碳排放模型的构建与分析[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2015(9):134-140.
- [4] 国家发展改革委, 国家能源局. 能源技术创新行动计划(2016-2030)[EB/OL]. (2016-04-20) [2016-05-01]. <http://www.gov.cn/xinwen/2016-06/01/5078628/files/d30f6e1ca23e45f3a8de7e6c563c9ec6.pdf>.
- [5] 毛宗强. 氢能知识系列讲座(5)利用氢能的高效设备(一)——低温燃料电池[J]. 太阳能, 2007(5):20-23.
- [6] 付甜甜. 电动汽车用氢燃料电池发展综述[J]. 电源技术, 2017, 41(4):651-653.
- [7] 宋文国. 自制简易氢氧燃料电池[J]. 化学教与学, 2013(8):97-97.
- [8] 吴利平. 科技论文撰写及常见错误分析[J]. 贵州医药, 2010, 34(2):190-192.
- [9] 韩维栋, 薛秦芬, 王丽珍. 挖掘高被引论文有利于提高科技期刊的学术影响力[J]. 中国科技期刊研究, 2010, 21(4):514-518.
- [10] 韩维栋, 薛秦芬, 王丽珍. 挖掘高被引论文有利于提高科技期刊的学术影响力[J]. 中国科技期刊研究, 2010, 21(4):514-518.
- [11] 刘翔, 李彦, 李文强, 等. 构建支持产品创新设计的专利知识库[J]. 机械设计与研究, 2010, 26(6):7-11.
- [12] 苑朋彬, 赵蕴华, 周肖贝. 中美碳捕集与封存技术专利布局研究[J]. 全球科技经济瞭望, 2016, 31(2):65-72.
- [13] 朱科, 石继仙. 燃料电池专利申请状况分析[J]. 电池, 2012, 42(2):106-109.
- [14] 祁延莉, 李婧. 用于知识流动测度的专利引文指标分析[J]. 中国基础科学, 2014(2):25-33.
- [15] 王俨, 郭婕婷, 肖国华. 社会网络理论在专利引用中的应用[J]. 情报理论与实践, 2008, 31(3):364-366.
- [16] 窦玉臣, 吴中元. 解析新能源汽车——新能源之燃料电池篇(下)[J]. 车主之友, 2009(8):184-187.
- [17] 孙田田, 王林, 郭巧巧, 等. 纯电动汽车与氢燃料电池汽车发展现状及前景[J]. 科技视界, 2016(4):163-164.
- [18] 裴冯来, 高怡晨, 郭则新. 氢燃料电池汽车产业链发展研究[J]. 质量与标准化, 2018(1):51-54.
- [19] 王墨林, 王贺武, 欧阳明高, 等. 燃料电池汽车及氢能基础设施在美国的最新进展[J]. 汽车安全与节能学报, 2013, 4(2):178-184.
- [20] 张琼. 双寡头市场上下游企业合作创新动力分析[J]. 经贸实践, 2016(1):281.