

基于专利视角的钙钛矿太阳电池发展研究^①

谢祥生^② 孟 浩^③

(中国科学技术信息研究所 北京 100038)

摘要 2021 年全国两会期间,碳达峰、碳中和成为热词,各界呼吁加快新能源技术发展与推广。近几年,钙钛矿太阳电池(PSC)作为一种新兴的太阳能技术受到了广泛关注。本文以德温特创新索引数据库为基础,利用专利分析方法从时间分布、地理分布、专利权人分布和技术分布等方面对 PSC 专利进行研究。结果表明,2013 年起 PSC 专利申请数量加速上升,进入成长期;PSC 技术主要来源国家有中国、美国、韩国和日本等,专利受理较为活跃的地区有美国、中国和欧洲等;中国专利申请以科研机构和新能源企业为主,韩国以科研机构为主导,日本以大企业为主导,其他国家和地区专利申请人较为分散;PSC 研发热点包括太阳电池电极、半导体材料和关键加工工艺等。

关键词 钙钛矿太阳电池(PSC); 专利分析; 科学计量学; 关键技术

0 引言

钙钛矿太阳电池(perovskite solar cells, PSC)作为新兴的第三代太阳电池,自诞生起就受到了广泛关注。2009 年,文献[1]首次将钙钛矿材料应用到量子点敏化太阳电池中,制备出首块钙钛矿太阳电池,光电转换效率为 3.8%。2013 年 12 月,文献[2]利用金属卤化物钙钛矿结构作为吸光材料的固态 PSC 被列为年度世界十大科技突破之一。经过 10 余年的发展,单结 PSC 的转换效率从 2009 年最开始的 3.8% 提高至 2020 年的 25.5%^[3],但是,目前 PSC 技术发展现状如何?研究热点有哪些?未来的发展趋势是什么?这一系列问题摆在决策者、研究者面前,能否找到合理的答案成为 PSC 技术发展的关键。

中国近年来非常重视新能源技术发展。2010 年,国务院印发《关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》,提出将新能源产业作为战略性新兴

产业发展。2016 年,发改委和国家能源局印发《能源生产和消费革命战略(2016-2030)》,其中提出实现能源增量需求主要依靠清洁能源,大力发展战略性新兴产业,提高太阳能和风能发电效率实现与常规电力同等竞争。2020 年 9 月,我国在联合国大会上宣布 2030 年二氧化碳排放达峰目标和 2060 年前碳中和愿景,此后又在多个重大国际场合多次重申这一目标。为实现碳达峰、碳中和目标,必须加速推广新能源的使用。PSC 作为几年来光伏领域最为热门的技术之一,研究其技术发展具有重要现实意义。

专利是集技术、法律和经济信息为一体的文献,代表了技术应用的成果,是竞争优势的核心基础之一。专利分析方法是研究能源技术现状的重要工具之一,通过对技术领域的专利进行分析,可以揭示技术的发展全貌和竞争态势。近年来,国内外研究人员已有从专利角度关注能源研究与发展。

首先,国外研究人员利用专利分析对风能、生物质能等领域进行了研究。文献[4]研究了公共研发支持和上网电价计划对风能行业创新的影响,指出

① 国家重点研发计划(2016YFC0503407)资助项目。

② 男,1995 年生,硕士生;研究方向:前沿领域分析和专利分析;E-mail:xiexsh2018@istic.ac.cn

③ 通信作者,E-mail: mengh@istic.ac.cn

(收稿日期:2020-11-08)

随着风电技术的成熟,提高上网电价可以促进风能技术专利申请。文献[5]对美国 2002–2015 年木质纤维素生物燃料专利数据进行分析,得出了该技术正在加大研发力度,关键技术专利增长迅速等结论。

其次,国内研究人员利用专利分析对氢燃料电池、太阳电池等领域进行了研究。文献[6]运用专利计量、技术生命周期的方法对氢燃料电池进行研究,得出固体聚合物燃料电池和电池隔离器是氢燃料电池主要研究方向等结论。文献[7]通过专利分析研究太阳电池研发态势及技术构成,指出晶体硅电池是目前研究的主流方向,染料敏化电池的发展态势较好,国内有关企业或科研机构可以重点关注该领域新技术的研发。

在研究钙钛矿太阳电池技术和产业发展方面,目前国内外研究论文还不多。2015 年,文献[8]对 PSC 关键技术进行综述,介绍了当时已经应用的制备技术。2017 年,文献[9]对 PSC 技术面临的挑战进行分析,认为砷化镓电池与其具有相似之处。在太阳电池技术方面,文献[10]基于文献计量和社会网络分析对太阳能技术和开放式创新进行了研究,得出国家伙伴关系发生在美国、日本、意大利、法国和韩国之间,中国在地方合作方面占据主导地位的结论。综合国内外研究,利用专利分析方法可以发

现能源技术发展现状、研究热点及趋势,可供研究者参考和借鉴,但是目前研究 PSC 技术发展更多的是定性研究,利用计量分析方法的文献较少^[11],尚未检索到从专利角度研究 PSC 技术发展的论文。因此,利用专利分析方法对 PSC 进行研究具有重要的理论与现实意义,其研究结果可供相关决策者和研究人员参考。

1 数据来源及方法

1.1 数据来源

本研究选取德文特创新索引数据库(Derwent innovations index,DII),该数据库是目前世界上最全面的国际专利信息数据库,收录了从 1963 年至今的专利信息。截至 2020 年 12 月,DII 收录了 59 个专利颁发机构的超过 8280 万个专利文件,索引涵盖化学、工程技术和电子电气工程 3 个领域^[12]。

根据 PSC 技术特点,以国际专利分类号(international patent classification, IPC)结合关键词的方法检索相关专利。世界知识产权组织下的 IPC 专家委员会列举出了“IPC 绿色清单”(IPC Green Inventory),其中包含太阳能光伏技术相关的 IPC 分类号^[13],如表 1 所示。

表 1 太阳电池(光伏)技术相关 IPC 列表

光伏领域相关技术	IPC
将辐射能转换成电能的装置	H01L 27/142, 31/00-31/078 H01G 9/20 H02S 10/00
使用有机材料生成电能的部分	H01L 27/30, 51/42-51/48
多个太阳电池组件	H01L 25/00, 25/03, 25/16, 25/18, 31/042
太阳电池最大功率的调节	G05F 1/67
含太阳电池或可充电的电力照明设备	F21L 4/00 F21S 9/03
光敏电池的储能系统	H02J 7/35
染料敏化电池(DSSC)	H01G 9/20 H01M 14/00

使用 IPC 结合关键词,确定最终检索式如下:

(IP = (H01L-027/142 OR H01L-031/00 OR H01L-031/02 * OR H01L-031/03 * OR H01L-031/04 * OR H01L-031/05 * OR H01L-031/06 * OR H01L-031/07 * OR H01G-009/20 OR H02N-006/00

OR H01L-027/30 OR H01L-051/42 OR H01L-051/44 OR H01L-051/46 OR H01L-051/48 OR H01L-025/00 OR H01L-025/03 OR H01L-025/16 OR H01L-025/18 OR H01L-031/042 OR G05F-001/67 OR F21L-004/00 OR F21S-009/03 OR H02J-007/35

OR H01G-009/20 OR H01M-014/00) AND TI = perovskite) OR (TS = (perovskite solar cell) OR TS = (perovskite photovoltaic) OR TI = (perovskite battery))

将时间跨度设定为 2009 年至 2020 年,检索到相关专利,经过去重和清洗,最终得到 4630 个专利家族,共计 1437 个专利申请人。检索时间为 2020 年 4 月 5 日。

1.2 分析方法

使用 Derwent Data Analyzer (TDA) 数据分析软件、Microsoft Excel 和 Python 汇编语言等工具对专利数据进行清洗和处理。使用专利分析方法,从专利

时间分布、地理分布、专利权人分布和技术分布等方面对 PSC 技术发展进行分析。使用 Pajek 和 VOS-viewer 可视化工具,运用社会网络分析方法直观展示专利技术共现并进行分析。

2 结果分析

2.1 专利时间分布

2.1.1 专利申请时间分布

将专利家族数按年度统计,由于专利申请一般在 18 个月后公开,所以 2019、2020 两个年度的专利家族数量用虚线表示,其仅供参考,如图 1 所示。

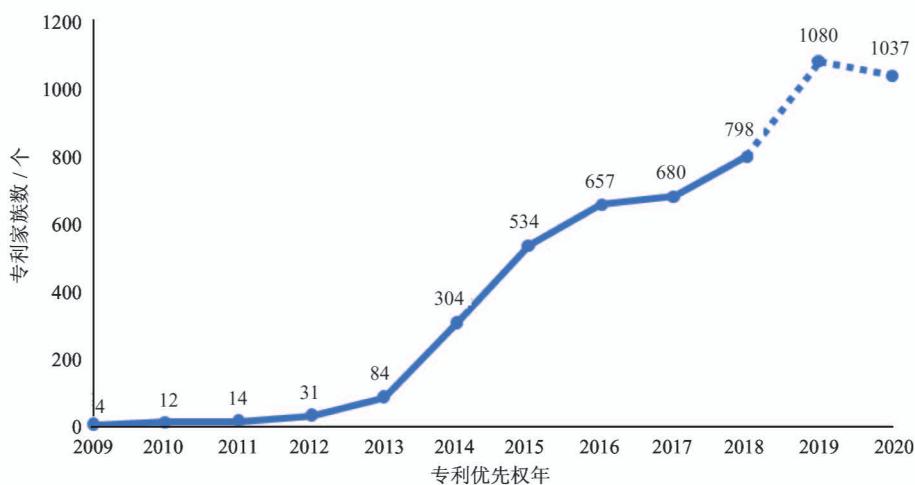


图 1 2009-2020 年 PSC 专利申请量逐年变化

由图 1 可见,PSC 相关专利申请量变化大致分为两个阶段。一是萌芽阶段(2009–2012 年),PSC 专利申请数量较少但呈现小幅增长,由 2009 年的 4 件增加到 2012 年的 31 件。二是加速上升阶段(2013 年起至今),2013 年专利数量开始加速上升,数量接近 2012 年的 3 倍,2014 年更是 2012 年的将近 4 倍,这与 2013 年 PSC 被 Science 评为十大年度科学突破^[2]、转换效率提升至 15%^[14]、PSC 基础理论和制备技术研究取得突破性进展^[15-17]等紧密相关。这进一步激发了研究人员对 PSC 的研究热情,促进 2013 和 2014 年度 PSC 的研究论文与专利数量激增,此后二者的增长趋势基本保持一致^[11]。

2.1.2 专利生命周期

专利技术在理论上遵循技术萌芽期、技术成长期、技术成熟期和技术衰退期 4 个阶段,在技术萌芽

期,只有少数的专利权人参与研发,申请数量较少;在技术成长期,申请人数量增多,专利申请量急剧上升,集中度减少,技术分部范围扩大;在技术成熟期,专利申请人增长速度放缓,专利数量增加趋于平缓;在技术衰退期,退出市场的企业增加,专利申请人减少。将专利申请人和专利发明人数量按年度统计,结果如图 2 所示。以专利申请人数量为横坐标,专利申请量作为纵坐标制成专利技术生命周期图,年份标注于节点,如图 3 所示。

根据图 1、图 2 和图 3 显示的 PSC 专利技术生命周期,得到以下结论。一是 PSC 专利技术萌芽期约为 2009–2012 年,此时专利权人较少,申请数量较少,增长较为缓慢;二是 PSC 专利技术成长期为 2013 年至今,参与研发企业(专利申请人)数量快速增长,专利数量快速上升。



图 2 2009-2020 年 PSC 专利申请人和发明人数量变化

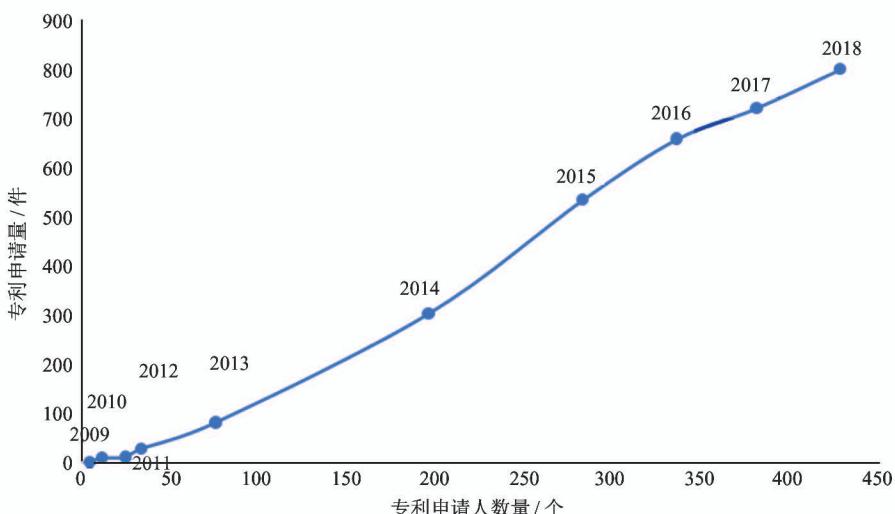


图 3 PSC 专利技术生命周期图

2.2 专利地理分布

专利优先权国家作为专利申请首次提交的国家,能在一定程度上显示出发明所在地,专利地理分布可以反映出国家或地区的技术研发情况。

2.2.1 专利的主要国家和地区分布

在 PSC 专利中,使用专利优先权国家或地区作为技术的来源国或来源地区,即申请人来源国家或地区,专利家族数在 10 个以上的国家和地区有 11 个,如图 4 所示。

由图 4 可见,PSC 专利目前比较集中。至 2019 年 12 月,PSC 大部分专利申请都来自中国,高达 2282 个,属于第一集团;其他主要技术来源国有日

本、韩国和美国,专利家族数都在 200~300 件左右,属于第二集团;其他技术来源国和地区有欧洲、英国、澳大利亚、加拿大、德国和巴西等,专利家族数在 10 件以上,属于第三集团。

中国的专利申请人申请 PSC 专利的热情要远远高于其他国家,专利数量存在数量级的差距。这一差距产生的原因主要有两点:一是中国科技创新政策的引导。近年来与太阳能技术有关的研发部署包括 863 计划、973 计划、国家自然科学基金、重点研发计划等项目^[18],这在很大程度上引导和激发了科研机构的研究热情。二是地方扶持高新企业并对专利申请进行财政补贴。根据科技部、财政部和国

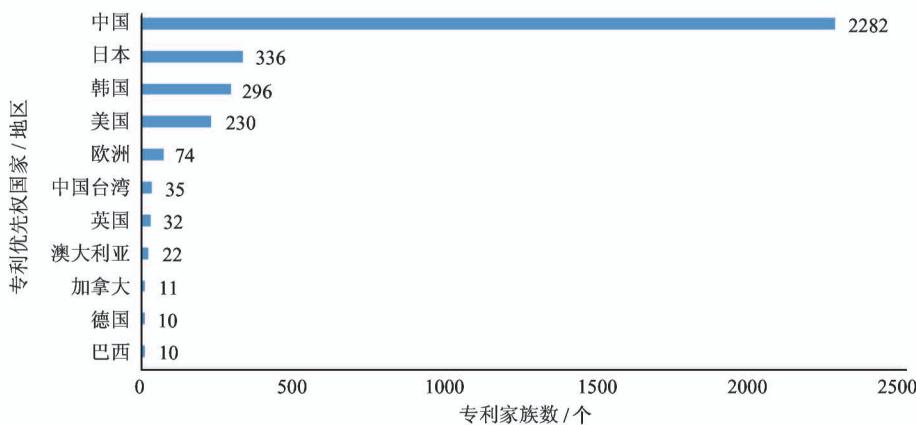


图4 PSC 各国专利申请总量

家税务总局制定的《高新技术企业认定管理办法》，企业申请成为高新技术企业认定必须要满足知识产权数量和质量的相关规定^[19]。各地方出台的促进科技发展办法鼓励申请专利，如2008年出台的《北京市专利申请资助金管理暂行办法》对专利的国内申请和PCT申请阶段就进行资金补助^[20]。2019年发布的《北京市知识产权资助金管理办法(试行)》规定对专利申请人获得国内发明专利、国内外观设

计专利和国外发明专利授权都有一定的资助^[21]。这一系列支持政策催生了一批新兴的光伏企业，促进中国近几年专利申请数量激增。

2.2.2 主要国家和地区专利布局

主要技术来源国家和地区以及主要专利受理国家和地区/组织分布如表2所示，其中外国专利受理为非本国或本地区技术来源的专利受理。

表2 主要国家和地区的专利申请和受理分布

受理国家和 地区/组织	技术来源国家和地区								外国专利 受理数量
	中国	日本	韩国	美国	欧洲	中国台湾	英国	—	
中国	2281	72	44	40	33	7	11	—	139
WIPO	102	113	83	138	64	1	30	—	—
美国	66	96	74	180	27	19	20	—	255
日本	43	307	23	27	19	5	8	—	70
韩国	37	13	295	27	21	1	10	—	67
EPO	57	43	29	41	56	4	20	—	150
中国台湾	19	22	5	11	15	32	—	—	55

注：WIPO代表世界知识产权组织，EPO代表欧洲专利局，截至2019年12月，欧洲专利局授权专利在38个成员国、2个拓展国和4个生效国共计44个国家内受到保护^[22]。

由表2可见，主要技术来源国和地区的专利布局都较为广泛。各国在专利申请和专利受理上有以下特点。

一是中国的专利申请量大，其专利海外布局主要在美国、欧洲和日本，但是海外专利数量相较于总量非常少，在美国、欧洲、日本的专利申请分别为66件、57件、43件，在世界专利布局上有很大提升空

间。中国的外国专利受理数量相对不多，为139件，绝大多数还是来自国内的申请。

二是美国专利海外布局主要包括中国和欧洲，在中国和EPO申请专利分别为40件和41件。从接受外国专利申请情况来看，美国是世界PSC专利布局最为活跃的地区，美国的外国专利受理数量255件，高于EPO和中国。

三是日本和韩国专利海外布局主要包括美国(96 件、74 件)、中国(72 件、44 件)和欧洲(43 件、29 件)。从海外专利占专利总量比例来看,日韩两国的海外专利布局要优于中国。

综上所述,日本和韩国的海外专利布局表现都要优于中国,中国专利权人还有非常大的海外布局空间。随着国际竞争日益激烈和中国更加对外开放,来自中国的专利权人势必要考虑加快专利海外布局,提升国际上的技术竞争优势。

2.3 专利权人分布

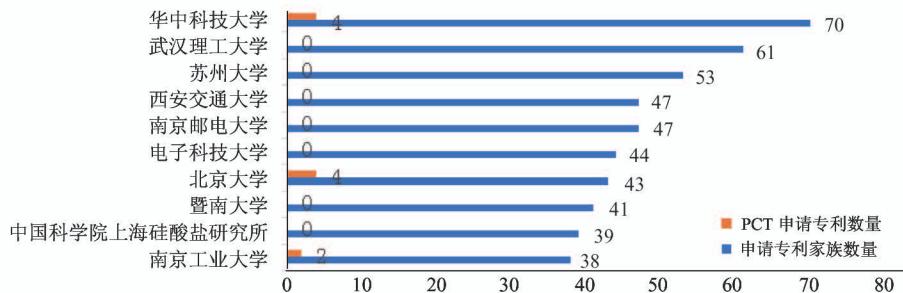
通过对专利权人、专利权人代码等字段进行合并去重,得到了 PSC 专利专利权人(专利申请人)的分布。专利权人一般分为企业专利权人、高校和科研机构专利权人和个人专利权人。

2.3.1 主要高校科研机构专利权人分布

由于 PSC 专利申请数量前 10 的高校和科研机

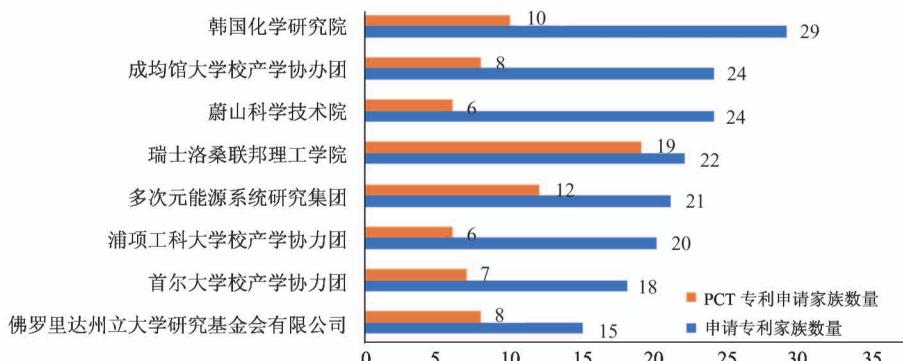
构专利权人都来自中国,外国的专利权人申请数量排名相对比较靠后,所以将国外主要的高校和科研机构专利权人单独列出便于分析。将 PSC 专利申请量前 10 的高校和科研机构与 PSC 专利申请量大于 15 的国外高校和科机构分别列出,如图 5 和图 6 所示。

相对于专利申请人的国内专利申请,以 PCT 专利合作条约的形式提出的国际申请具有较高的投入成本,包括资金和时间成本,申请人往往以盈利或者专利保护的角度考虑专利布局和权利要求的保护范围,因而具有较高的技术可信度和专利布局地位,相应专利家族技术价值高,代表了企业的重点研发方向和行业可能的发展趋势。通过分析主要专利权人的 PCT 申请专利数量,可以推测出它们所申请专利的价值大小和专利权人对所申请专利的重视程度、市场布局等信息。



注: 西安交通大学专利申请人包括西交利物浦大学,以上高校或研究机构名称以中国国家知识产权局网站标注的专利申请人名称为准。

图 5 PSC 专利申请量前 10 的高校和科研院所



注: 以上高校研究机构名称以中国国家知识产权局网站标注的专利申请人名称为准,韩国化学研究院又称韩国化学技术研究所(KRICT)。

图 6 PSC 专利申请量大于 15 的国外高校/科研院所

由图 5 可见,国内主要专利申请高校和科研机构有华中科技大学、武汉理工大学和苏州大学等,前

3 位专利家族申请数量都在 50 以上。这些高校和科研机构的 PSC 论文产出也居世界前列,截至 2018

年12月,北京大学、华中科技大学和苏州大学分别发表PSC相关论文258篇、229篇和206篇^[11],位居中国第2、3和4位,可以看出PSC专利产出与论文产出密切相关。

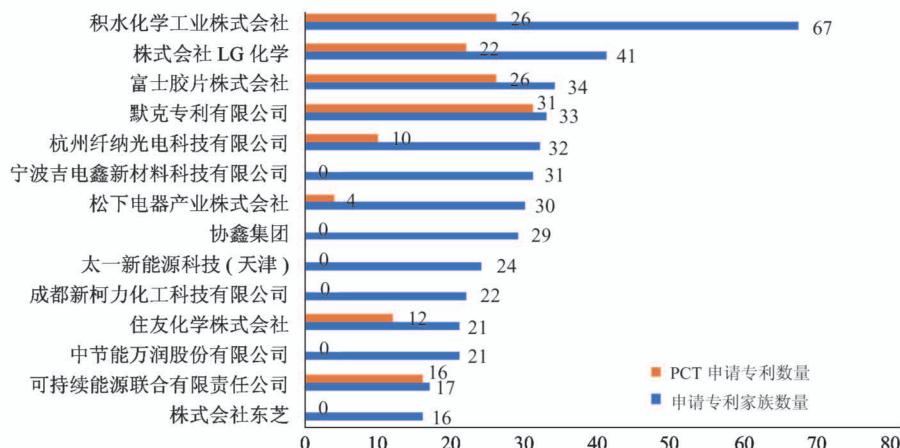
由图6可见,国外主要专利申请高校和科研机构主要分布于韩国,申请量大于15的8位申请人中韩国占据6位。其中,韩国化学技术研究所(KRICT)是近几年世界PSC研究活跃机构之一,7次刷新单结PSC光电转换效率,并于2019年8月和麻省理工学院将单结电池效率提升至25.2%,是当时的最高纪录^[3];成均馆大学、蔚山科学技术研究院等研究机构拥有如Park Nam-Gyu等优秀的科学家,多次推动PSC技术发展^[23-24]。瑞士洛桑联邦理工学院是PSC领域最有影响力的机构之一,以染料敏化电池发现者Michael Graetzel为核心的研究团

队在业内具有领导地位,为推动PSC研究的发展做出了重大贡献^[15,25-26]。

从图5、图6可以看出,国内的高校和研究机构虽然在PCT专利申请数量上对外国申请人具有明显优势,但是在PCT专利申请数量非常少,排名前10的专利申请人有7家没有PCT专利申请,只有华中科技大学、北京大学和南京工业大学申请了2~4件PCT专利。而国外的高校和科研机构的PCT专利申请至少在6件以上,差距较大。国内高校和科研机构申请专利更多在国内申请,而在海外布局、保护自身技术上面有所欠缺,未来需要加强在世界范围内进行专利布局。

2.3.2 主要企业专利权人分布

选取专利家族数量大于15的企业专利权人,如图7所示。



注:太一新能源科技(天津)全称为太一新能源科技(天津)合伙企业(有限合伙),协鑫集团主要专利申请人包括苏州协鑫纳米科技有限公司和苏州协鑫能源技术发展有限公司,以上企业名称以中国国家知识产权局网站标注的专利申请人名称为准。

图7 PSC专利申请主要企业

由图7可见,申请PSC专利数量在15以上的企
业专利权人有14个,其中中国6个、日本5个、韩国
1个、美国1个、德国1个。日本积水化工是PSC专
利数量最多的企业,有67个专利家族,其次是韩国
LG化学,有41个专利家族,其余企业专利数量都在
40以下。将专利权人按照所属国家进行分析,发现
以下特点。

一是中国企业分布较为广泛,以新能源公司为主
导。杭州纤纳光电于2015年成立,其研制的PSC光
电转换效率多次打破世界纪录,2019年被杭州市

政府列为最具成长性的准独角兽科创企业之一^[27]。
2019年8月,杭州纤纳将PSC大面积模组(200~
800 cm²)的转换效率提升到接近12%^[28],刷新了世
界纪录(后来被松下公司超越)。协鑫集团作为能
源龙头企业,多年位居中国企业500强新能源行业
首位^[29]。宁波吉电鑫新材料科技有限公司成立于
2017年,在2年时间内就申请了31件PSC相关专
利^[30],发展迅速。这些企业的出现和对PSC积极的
投入得益于中国经济进一步发展和政策的积极引
导。

二是日本专利申请以大型企业为主导。日本 5 个企业都是历史悠久的大公司,包括积水化工、富士胶片、松下电器、住友化学和东芝公司。日本企业在 PSC 专利申请上表现优异得益于日本企业积极配合实施国家 PSC 战略规划的相关项目。2015 年,日本新能源产业技术综合开发机构(NEDO)设立“高性能/高可靠性光伏发电成本降低技术”研发项目,其中包括 6 个子课题,子课题 2“研发革新的新结构太阳能电池”设立了钙钛矿太阳能电池专项,旨在验证新概念制造设备、可靠性保障技术、发电原理,建立高度可靠的性能评估技术,进一步提高钙钛矿太阳能电池性能。参与企业包括松下公司、积水化学工业株式会社、东芝公司和富士公司等^[18]。

三是韩国和德国的 2 家企业都以材料作为主要研发方向之一,美国的 1 家企业则是与政府机构有着紧密联系。韩国的 LG 化学公司以石油化学、信息电子材料和二次电池三个事业为中心,将“能源/水/生物”领域作为新成长动力并集中进行培养^[31]。德国默克集团主要致力于创新型制药、生命科学以及前沿功能材料技术^[32]。美国的可持续能源联合有限责任公司是为了承包国家可再生能源实验室(NREL)业务而成立的,作为管理和运营承包商,对美国能源部(DOE)能源效率和可再生能源办公室负责,以确保 NREL 的绩效^[33]。

在 PCT 专利申请上,中国企业表现相对其他国家企业欠佳。仅有杭州纤纳光电申请了 10 件 PCT

专利,将目光拓展到海外,其他企业更多的是在国内申请专利,增加专利数量。默克公司申请的 PCT 专利最多,33 件申请专利中有 31 件 PCT 专利,归因于默克公司的全球市场布局。日本、韩国的企业都拥有一定的 PCT 专利,美国的可持续能源联合有限责任公司大部分专利都进行了 PCT 申请,寻求在更多国家和地区的保护。

2.4 技术分布

DII 中的专利有 3 种分类代码标识,分别是国际专利分类码(IPC)、德温特分类代码(Derwent classification, DC)和德温特手工代码(Derwent manual code, DMC)。IPC 是 1971 年《斯特拉斯堡协定》(Strasbourg Agreement)建立的由独立于语言的符号构成的等级体系,用于按所属不同技术领域对专利和实用新型进行分类^[34]。DC 从分类应用性角度编制,将专利分为 21 个部,对应 21 个不同的英语大写字母,部内又分为类,每个 DC 由 1 位大写字母和两位阿拉伯数字组成^[35]。DMC 是德温特的专业人员按照严格的标准给专利标注的分类代码,表征出了该专利的技术点和创新点^[36]。通过研究专利的分类代码分布,可以分析该类技术的主要专利申请技术方向和技术发展趋势。

2.4.1 技术小类研究方向

由表 3 可见,PSC 专利主要为半导体器件相关技术,其他相对较多的技术包括能量转换技术、金属化合物材料、纳米结构和各类化合物等。可以看出,

表 3 PSC 专利排名前 10 位 IPC(小类)

IPC 小类	专利数量/件	释义
H01L	2915	半导体器件
H01G	290	电容器;电解型的电容器、整流器、检波器、开关器件、光敏器件或热敏器件
C09K	168	不包含在其他类目中的各种应用材料;不包含在其他类目中的材料的应用
H01M	167	用于直接转变化学能为电能的方法或装置,例如电池组
C01G	163	含有不包含在 C01D 或 C01F 小类中之金属的化合物
B82Y	157	纳米结构的特定用途或应用;纳米结构的测量或分析;纳米结构的制造或处理
C07D	156	杂环化合物
C07F	127	含除碳、氢、卤素、氧、氮、硫、硒或碲以外的其他元素的无环、碳环或杂环化合物
C07C	108	无环或碳环化合物
C23C	92	对金属材料的镀覆

PSC 作为新兴的太阳电池技术,其技术研发重点一是在相关电学器件的设计制作上,二是在其核心组件光吸收层材料制备技术上。

2.4.2 DMC 技术关键词共现

DMC 相比 IPC 而言,类别划分更为细致,含义指代更为精确。DMC 可作为特征项来表示专利文献。一项专利至少拥有一个 DMC,涉及多个技术点的专利拥有多个 DMC。DMC 可全面概括专利中所涉及到的技术概念,每一篇专利文献都可以通过一组 DMC 来表征其内容^[37]。

与关键词共现分析类似,DMC 共现分析可以获取技术领域的相关程度,若两个 DMC 共现程度较高,则证明两者有较强的相关性。

通过选取 PSC 专利高频 DMC(频次超过 100)并生成共现 38×38 共现矩阵。将矩阵导入 Pajek 软件并使用 Vosviewer 可视化软件生成 DMC 共现网络图。如图 8 所示,其中同一所属聚类标记相同颜色,节点大小与其频次大小正相关,节点之间连线的宽度与 DMC 之间的联系程度正相关,各 DMC 含义及所属聚类如表 4 所示。

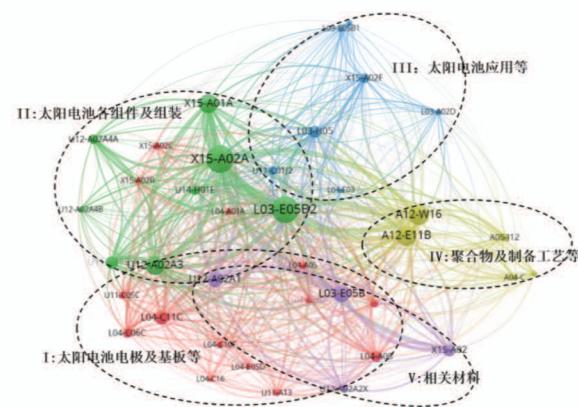


图 8 PSC 专利主要 DMC 共现网络图

从图 8 可见,L03-E05B2(太阳电池电极结构/材料)处于整个网络的中心位置,与其他节点联系程度最高,是专利中涉及最多的技术领域;次中心有 X15-A02A(单结太阳电池)、U12-A02A3(太阳电池制造)和 L03-H05(电子器件应用)等,与其他节点联系相对较高;边缘有 U11-A13(半导体制造中沉积工艺的前体)、L04-C06C(半导体加工(孔制造))和 A04-C(烯烃聚合物)等,与其他技术联系相对较少,在 PSC 专利中属于比较细分的技术领域。DMC 分布相对均匀,没有联系非常紧密的 DMC 集群。

表 4 主要 DMC 含义及聚类分布

聚类	DMC	含义	聚类	DMC	含义
1	X15-A02C	光伏面板	2	U12-A02A3	太阳电池制造
	X15-A02B	电池组装		U11-C18B9	电子设备制造
	U14-H01E1	透明导电氧化物		L03-E05B2	太阳电池电极结构/材料
	U11-C05C	电极和互连层的形成		X15-A02F	有机太阳电池
	U11-A13	半导体制造沉积工艺前体		X15-A02D1	染料敏化太阳电池
	L04-E05D	半导体光伏装置		U11-C01J2	半导体非晶/多晶薄膜
	L04-C16	半导体热处理		L04-E03	LED 发光装置
	L04-C11C	半导体电极加工		L03-H05	汽车中电子器件应用
	L04-C10F	其他导电层半导体加工		L03-E05B1	染料敏化太阳电池
	L04-C06C	半导体加工(孔制造)		L03-A02D	导电聚合物
	L04-A08	半导体前体材料成分和制备	4	A12-W16	可再生能源
	L04-A05	半导体纳米材料包括量子点		A12-E11B	光电池
	L04-A03D	半导体材料氧化锌		A11-B05B3	旋涂工艺
	L04-A01A	硅		A05-J12	聚吡咯和聚噻吩(导电聚合物)
	X15-A02A	单结太阳电池		A04-C	烯烃聚合物
2	X15-A01A	集热板	5	X15-A02	直接转换光伏面板
	U14-H01E	薄膜透明导电层		U12-A02A2X	用于太阳电池的半导体材料
	U12-A02A4B	太阳能电池基板		U12-A02A1	单结太阳电池
	U12-A02A4A	太阳电池电极		L03-E05B	太阳电池

DMC 共现图谱中出现了 5 个聚类,第 1 聚类包括 X15-A02B(电池组装)、L04-A08(半导体前体材料成分和制备)和 U14-H01E1(透明导电氧化物)等,涵盖太阳电池各组件及其加工组装,主要研发专利权人包括华中科技大学和积水化工公司等;第 2 聚类包括 L03-E05B2(太阳电池电极结构/材料)、U12-A02A4A(太阳电池电极)和 U12-A02A4B(太阳能电池基板)等,涵盖电池电极及基板等,主要研发专利权人包括积水化工公司和富士公司等;第 3 聚类包括 L04-E03(LED 发光装置)等,是太阳电池应用方面,主要包括苏州大学和 LG 公司等;第 4 聚类包括 A11-B05B3(旋涂工艺)等,涵盖太阳电池相关聚合物及制备工艺等,主要研发专利权人包括南京邮电大学和北京化工大学等;第 5 聚类包括 U12-A02A2X(用于太阳电池的半导体材料)等,是太阳电池的相关材料,主要研发专利权人包括 LG 公司和西安交通大学等。

综上所述,太阳电池电极、半导体材料、材料处理工艺、核心器件制造及关键加工工艺等是目前的技术研发热点,企业和科研机构都积极参与到研发之中。

3 结 论

通过专利分析的方法,结合主要国家科技政策和 PSC 技术研发事实,对 PSC 领域的发展进行研究,主要得出如下结论。

一是近几年 PSC 专利申请数量迅速上升。自 2009 年以来,PSC 相关专利数量有 3285 件,2009-2012 年专利数量缓慢上升,处于萌芽期,自 2013 年起专利加速上升,PSC 技术处于成长期,专利申请人数量快速增长,专利数量加速上升。

二是 PSC 主要技术来源国是中国、日本、韩国和美国,中国占据主导地位,但海外布局亟待加强。主要专利受理国家和机构有中国、日本、韩国、美国和欧洲专利局,其中美国是世界 PSC 专利布局最为活跃的地区,接受了最多的国外专利申请,其次是欧洲和中国。中国的海外专利布局相对于其他国家表现欠佳,中国的专利权人需要考虑专利的海外布局,

提升国际竞争力。

三是各国专利权人分布特点各异。中国的高校科研机构和企业专利权人都分布广泛,高校科研机构申请专利较多,企业专利权人主要由新能源企业构成;日本和韩国的主要专利权人则呈现完全不同的特点,韩国以高校科研机构为主,日本则以企业为主。

四是 PSC 研发热点集中在几个关键技术上。PSC 专利目前主要分布在太阳电池电极、半导体材料、材料处理工艺、核心器件制造及关键加工工艺等方面。研究人员可以将薄膜材料、电池电极和核心器件制造等作为主要研究方向,提高太阳电池的稳定性,加快推动 PSC 技术的产业化。

参 考 文 献

- [1] Kojima A, Teshima K, Shirai Y, et al. Organometal halide perovskites as visible-light sensitizers for photovoltaic cells [J]. *Journal of the American Chemical Society*, 2009, 131(17):6050-6051
- [2] Science News. Newcomer juices up the race to harness sunlight [J]. *Science*, 2013, 342(6165):1438-1439
- [3] NREL. Best research-cell efficiencies [EB/OL]. <https://www.nrel.gov/pv/assets/pdfs/best-research-cell-efficiencies.20191106.pdf>; NREL, 2020
- [4] Lindman A, Soderholm P. Wind energy and green economy in Europe: measuring policy-induced innovation using patent data [J]. *Applied Energy*, 2016, 179:1351-1359
- [5] Toivanen H, Novotny M. The emergence of patent races in lignocellulosic biofuels, 2002-2015 [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, 77:318-326
- [6] 张敏, 孟浩, 谢祥生. 基于专利计量的氢燃料电池技术研究 [J]. 中国能源, 2019, 41(12):33-39
- [7] 黄鲁成, 石媛婷, 吴菲菲. 基于专利数据的太阳电池研发态势及技术构成分析 [J]. 情报杂志, 2015, 34(2):116-123
- [8] Yao X, Ding Y, Zhang Y, et al. A review of the perovskite solar cells [J]. *Acta Physica Sinica*, 2015, 64(3):1-8
- [9] Petrus M, Schlipf J, Li C, et al. Capturing the sun: a review of the challenges and perspectives of perovskite solar cells [J]. *Advanced Energy Materials*, 2017, 7(16):1700264
- [10] Paulo A F, Porto G S. Solar energy technologies and open innovation: a study based on bibliometric and social network analysis [J]. *Energy Policy*, 2017, 108: 228-238
- [11] 谢祥生, 孟浩, 张敏. 基于科学计量的钙钛矿太阳电池发展研究 [J]. 高技术通讯, 2019, 29(10):1033-1041
- [12] Web of Science Group. Derwent innovations index on web of science [EB/OL]. <https://clarivate.com/webofsciencegroup/solutions/webofscience-derwent-innovation-index>; Clarivate, 2020

- [13] WIPO. IPC Green Inventory [EB/OL]. https://www.wipo.int/classifications/ipc/en/green_inventory: WIPO, 2019
- [14] Liu M, Johnston M B, Snaith H J. Efficient planar heterojunction perovskite solar cells by vapour deposition [J]. *Nature*, 2013, 501(7467): 395
- [15] Burschka J, Pellet N, Moon S J, et al. Sequential deposition as a route to high-performance perovskite-sensitized solar cells [J]. *Nature*, 2013, 499(7458): 316
- [16] Stranks S, Eperon G, Grancini G, et al. Electron-hole diffusion lengths exceeding 1 micrometer in an organometal trihalide perovskite absorber [J]. *Science*, 2013, 342(6156): 341-344
- [17] Xing G, Mathews N, Sun S, et al. Long-range balanced electron-and hole-transport lengths in organic-inorganic CH₃NH₃PbI₃ [J]. *Science*, 2013, 342(6156): 344-347
- [18] 边文越,李国鹏,周秋菊. 钙钛矿太阳电池国际战略规划及发展态势分析 [J]. 世界科技研究与发展, 2019, 41(2): 127-136
- [19] 科技部火炬高技术产业开发中心. 高新技术企业认定管理办法 [EB/OL]. <http://www.innocom.gov.cn/gxjsqyrdw/ztwj/201602/5e7d1f23faf547de9de2aff3ce9f434a.shtml>: 科技部, 2016
- [20] 北京市政务服务窗口. 北京市专利申请资助金管理办法暂行办法 [EB/OL]. <http://www.beijing.gov.cn/fuwu/qjd/zlsq/zewj/t1582219.htm>: 北京市政府, 2019
- [21] 北京市知识产权局. 北京市知识产权资助金管理办法(试行) [EB/OL]. http://zscqj.beijing.gov.cn/art/2019/12/9/art_6330_12338.html: 北京市知识产权局, 2019
- [22] EPO. Governance [EB/OL]. <https://www.epo.org/about-us/governance.html>: EPO, 2019
- [23] Im J H, Lee C R, Lee J W, et al. 6.5% efficient perovskite quantum-dot-sensitized solar cell [J]. *Nanoscale*, 2011, 3(10): 4088-4093
- [24] Im J H, Jang I H, Pellet N, et al. Growth of CH₃NH₃PbI₃ cuboids with controlled size for high-efficiency perovskite solar cells [J]. *Nature Nanotechnology*, 2014, 9(11): 927
- [25] Kim H S, Lee C R, Im J H, et al. Lead iodide perovskite sensitized all-solid-state submicron thin film mesoscopic solar cell with efficiency exceeding 9% [J]. *Scientific Reports*, 2012, 2: 591
- [26] Heo J H, Im S H, Noh J H, et al. Efficient inorganic-organic hybrid heterojunction solar cells containing perovskite compound and polymeric hole conductors [J]. *Nature Photonics*, 2013, 7(6): 486
- [27] 杭州纤纳光电科技. 公司介绍 [EB/OL]. <http://www.microquanta.com/about/#d1>: 杭州纤纳, 2019
- [28] NREL. Champion Module Efficiencies [EB/OL]. <https://www.nrel.gov/pv/assets/pdfs/champion-module-efficiencies.20191104.pdf>: NRE, 2019
- [29] 协鑫集团. 企业介绍 [EB/OL]. <http://www.gcl-power.com/site/about#level1>: 协鑫, 2019
- [30] 企查查. 宁波吉电鑫新材料科技有限公司 [EB/OL]. https://www.qichacha.com/firm_083ff8b488514dff7e412517bf7f72c.html: 企查查, 2019
- [31] LG Chem. Company [EB/OL]. <https://www.lgchem.com/company/company-information/about>: LG Chem, 2019
- [32] MERCK. About US [EB/OL]. <https://www.merck.com/about/home.html>: MERCK, 2019
- [33] Alliance for Sustainable Energy. About the Alliance [EB/OL]. <https://www.allianceforsustainableenergy.org/about.html>: Alliance for Sustainable Energy, 2019
- [34] WIPO. 国际专利分类(IPC) [EB/OL]. <https://www.wipo.int/classifications/ipc/zh>: WIPO, 2019
- [35] Derwent. DWPI classification system [EB/OL]. <https://clarivate.com/derwent/dwpi-reference-center/dwpi-classification-system>: Derwent, 2019
- [36] Derwent. DWPI Reference Center [EB/OL]. <https://clarivate.com/derwent/dwpi-reference-center>: Derwent, 2019
- [37] 王旭东. 基于德温特手工代码的专利技术挖掘研究 [D]. 大连: 大连理工大学材料科学与工程学院, 2017: 14-15

Research on the development of perovskite solar cells based on patent analysis

Xie Xiangsheng, Meng Hao

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

Abstract

Based on the patents data of perovskite solar cells (PSC) in the Derwent innovations index (DII), this paper discusses development of PSC through patent analysis from the aspects of time distribution, geographical distribution, patentee distribution and technology distribution. The results are as follows: the number of PSC patents has accelerated since 2013; the main source countries of PSC technology are China, US, Korea and Japan; most Chinese patentees are academic or research institutions and new energy enterprises, most Korean patentees are scientific research institutions while most Japanese patentees are large enterprises; PSC research focuses on cell electrodes, semiconductor materials and key processing technology.

Key words: perovskite solar cell (PSC), patent analysis, scientometrics, key technology