

全球核电发展态势分析^①

佟贺丰^② 曹 燕 张 静

(中国科学技术信息研究所 北京 100038)

摘 要 基于美国专利商标局 (USPTO) 授权专利数据库的专利数据分析了全球核电发展的态势。分析发现,核电技术缺少新的技术突破,核聚变技术仍在探索发展阶段;我国与国际核电技术前沿具有较大差距,国际核电技术仍然掌握在少数发达国家手中;法国、日本、韩国等通过核电产业的快速发展迅速站到了国际技术前沿,值得后发国家学习;核电站事故对发生国核电技术发展具有致命性的打击,日本核电危机为我国承接全球核电技术转移提供了契机;核电领域专利合作很少,但企业整合、兼并频繁,我国应利用核电产业快速发展的市场优势,在技术开发中能够协同作战,瞄准核心技术和关键技术,实现自主创新,摆脱依赖和控制。

关键词 核电, 专利, 核裂变, 核聚变, 美国专利商标局 (USPTO)

0 引 言

核能 (nuclear energy) 是原子核结构发生变化 (如核裂变或核聚变) 时释放出的能量。核能发电是利用核反应堆中核反应所释放出的热能进行发电的方式。核电已经成为一种重要的民用能源。根据国际原子能机构公布的数据,2011 年全球运行的核电机组共 442 个,核能发电量约占全球发电总量的 16%^[1]。从近 10 年核电消费情况看,2006 年达到最高值,为 6.35 亿吨油当量。我国 2007 年核能发电量 621 亿千瓦时,2011 年为 863 亿千瓦时,年均增长 9.7%。毋庸置疑,核能发电具有巨大应用潜力,而且若管理得好,是一种理想的“绿色技术”,因而发展前景无限。但是核能发电也存在巨大风险,在技术上、管理上的安全性要求极高,这些因素对其发展的影响极大,而且像 1979 年的三里岛核电站事故、1986 年的切尔诺贝利核电站事故和 2011 年日本的核电危机将引发社会对发展核电的约束力。面对这种状况,如何对核电的发展进行决策、管理和技术研发,是管理者和研发人员必须要考虑的。本文通过专利分析方法研究了全球 1976 年以来核电发展的过程,进行了一些分析,提出了一些看法,以供核电领域管理人员、研发人员参考。

1 研究方法

本研究采用专利分析方法。专利作为全球最大的技术信息源,包含了世界 90% 以上的技术情报信息^[2],很多研究人员从专利角度出发对全球技术状况进行分析^[3,4]。目前气候变化问题受到全球性的关注,为了对减缓气候变化的“绿色技术”有更深入的认识,很多国家的知识产权管理部门推出了应对气候变化专利技术的分类体系,将核电技术作为“绿色技术”的重要组成部分。英国知识产权局于 2009 年 1 月率先正式提出创建专门的气候变化减缓技术专利分类的建议,并于 2010 年 4 月公布了其环境友好型技术 (environmentally sound technologies, EST) 专利分类索引体系建立计划报告,将 EST 专利共分为 7 大类 (核能发电、可替代能源、交通运输、能源储存、污染控制、固体废物管理以及 EST 规则、设计或教育),共计 179 个子类和细类^[5]。该体系特别强调将核能发电作为大类单独提出,将其对应的国际专利分类法 (IPC) 类定义为 G21。世界知识产权组织 (WIPO) 于 2010 年 9 月推出了“IPC 绿色清单” (IPC Green Inventory),将约 200 个与无害环境技术直接相关的主题与 IPC 分类号关联起来,实现相关专利信息的在线检索^[6]。核电被归于单独

^① 国家自然科学基金 (71073153) 资助项目。

^② 男,1977 年生,副研究员;研究方向:系统动力学建模,科技政策;E-mail: thf2003@istic.ac.cn
(收稿日期:2012-08-09)

的一个大类,对应的 IPC 分类号同样是 G21,并且进一步细分为核聚变反应堆(G21B)、核裂变反应堆(G21C)和核电厂(G21D)。Ulrich 在为世界知识产权组织所做的技术分类体系中,将全部技术分为六大类 30 个小类,核能处于第二大类设备、设施中,属于第 9 个小类,对应的 IPC 号码是 G01T, G21, H05G, H^[7]。

综上所述,各个知识产权机构对核电对应的专利分类体系有比较统一的认识,一般都将其归于 G21 类。本研究采用 WIPO 的分类体系,将核电对应的 IPC 号码细分为核聚变反应堆(G21B)、核裂变反应堆(G21C)和核电厂(G21D),三者合计为核电的专利总数。因为存在着一个专利可能对应两个或两个以上 IPC 分类号的情况,三个子类的专利数之和可能会大于核电这个大类的专利数。本文针对该核电专利分类体系进行相关分析。

美国专利商标局(USPTO)专利库收集了 1976 年以来的所有在美申请和授权的专利数据。中国科学技术信息研究所(简称中信所)已获得其全部专利数据信息,并进行了相关的数据清洗和规范工作,建成了美国专利检索与分析平台^[8]。本研究以 USPTO 的授权专利库为基础,对各国核电专利数据进行分析。文中所用数据除引用或特别指出外,均来自 USPTO。与专利相关的时间包括申请日、公告日和优先权日,这里选用公告日为基准。对国别的判定,以专利申请中的专利权人所在地址为准。2010 年的数据截止到 2010 年 9 月 15 日。文中的中国指中国大陆地区,不包括港澳台地区。

2 核电专利整体情况分析

2.1 整体情况

1976-2010 年全球共有核电专利 6320 件(图 1)。

表 1 核电领域专利引用非专利文献的比例

年代	1976-1980	1981-1985	1986-1990	1991-1995	1996-2000	2001-2005	2006-2010
核聚变	76.92%	85.71%	78.26%	67.74%	50.00%	76.00%	77.78%
核裂变	21.22%	25.44%	25.19%	27.35%	31.93%	34.57%	53.59%
核电厂	19.05%	28.57%	20.00%	38.89%	36.84%	31.25%	37.50%

2.2 国家情况分析

美国是核电原创技术的发源地。从表 2 可以看出,美国在核电专利数量方面具有压倒性的优势,在所有子领域都处于领先地位。20 世纪中叶,西屋、通用电气等公司在参与军用生产堆和核潜艇开发的

从图 1 可以看出,核电专利的数量在 1986-1990 年达到峰值,之后开始逐渐下降。1986 年发生的切尔诺贝利核电站事故没有让核电技术研发停止,反而刺激了新技术的产生。专利权人的数量则相对平稳,这说明仍然有新的研究机构在进入这个研究领域,但在技术产出方面则进展较慢。可见,核电技术在 1990 年后的发展面临一定的技术瓶颈,这个结论与 Michel 的分析结果类似^[9]。

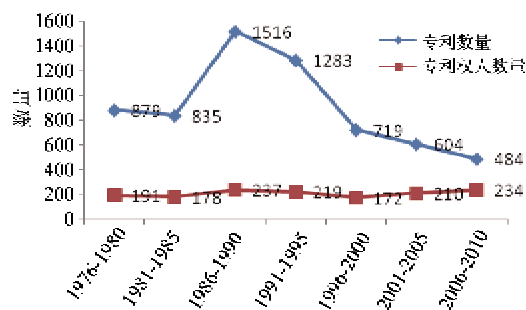


图 1 1976-2010 年核电专利和专利权人数量

从各个子类的专利分布来看,主要集中在核裂变领域,有 5915 件,占总数的 93.13%,而核裂变和核电厂的专利只占总数的 4.96% 和 1.91%。这说明核电领域的技术产出还是主要集中在核裂变领域,核聚变的研究还处于摸索之中。核聚变领域专利引用非专利文献(包括论文、专著、标准等,主要为论文)的比例为 78.10%,核裂变领域为 29.01%。可见,核聚变领域的研究与基础研究具有更紧密的联系,同样可以说明核聚变的研究还处于摸索之中。从表 1 还可以看出,核裂变领域近年来与基础研究的联系也有越来越紧密的趋势,说明在酝酿着新的技术突破。

基础上,率先掌握了压水堆、沸水堆等民用核动力技术,成为核电主设备供应商。日本、法国、德国紧随美国之后,成为第二集团。中国与发达国家相比则有较大差距。俄罗斯虽然是核电技术最初的发展国,但可能因为政治原因,其在美国只有 1 件核电专利。

表 2 1976 - 2012 年各国核电专利数量情况

国家	专利总数	核聚变	核裂变	核电厂
全球	6320	315	5915	121
美国	3600	264	3285	67
日本	770	32	723	19
法国	678	1	672	10
德国	616	5	601	16
瑞典	159	3	156	0
英国	116	1	115	0
韩国	54	0	54	0
中国	3	0	3	0

各国充分利用核电产业快速发展的契机,取得了核电技术的迅速突破。在核电技术的发展过程中,美国和俄罗斯是技术原创国,而法国、日本、韩国等国则通过核电站建设过程,引进、消化、吸收而形

成自己在核电技术方面的优势。美国核电装机容量从 1980 年的 5181 万千瓦发展到 1990 年的 9962 万千瓦以后,基本保持稳定发展(表 3)。而这期间也是美国核电专利产出的高峰,在 1987 年达到 304 件,1980 - 1990 年的专利占其 1980 - 2010 年总专利数的 45.18%。法国同样是在 1980 - 1990 年代核电装机和专利数量快速上升,1980 - 1990 年的专利占其 1980 - 2010 年总专利数的 54.96%。日本核电装机在 1980 - 1995 年代发展迅速,1991 年日本的核电专利排在全球第二位,并在这之后长期位于全球前三位。韩国的核电装机在 1990 年代开始增长加快,1995 年出现了第 1 件核电专利,2009 年则有 10 件,排到全球第 3 位。中国则在 2009 年才有了第 1 件核电专利。

表 3 各国核电装机容量 (单位:百万千瓦)

年代	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2009
美国	51.81	79.4	99.62	99.51	97.86	99.99	101
法国	14.39	37.49	55.75	58.52	63.18	63.26	63.13
日本	15.69	24.69	31.65	41.36	45.25	49.58	48.85
韩国	0.59	4.77	7.62	8.62	13.72	17.18	17.72

数据来源:EIA

2.3 专利权人情况分析

专利权人是指专利权利的拥有人。核电领域近年来发生了大量的合并、整合事件,使得专利权人的统计存在一定难度。以法国阿海珐集团(AREVA)为例,2001 年在整合法国多家核能企业的基础上组建而成,现包括珐马通先进核能公司(Framatome ANP)、考吉玛(Cogema)、阿尔斯通输配电(ALS-TOM T&D)等。自 2006 年后,所有一级子公司的名称,改为 AREVA。本文在分析过程中,对各公司之间的合并情况不予考虑,仍以原公司作为专利权人,只是在备注中说明情况。

从表 4 可以看出,美国、日本、德国和法国企业在核电领域表现突出。美国能源部和法国原子能委员会作为政府部门,也有很强的技术储备。从专利数量上看,美国企业有很大的优势,如西屋电气是美国最主要的核电技术供应商之一,其技术几乎被世界半数核电厂所使用。但这些企业现大多都在与日本公司进行合作。1979 年的三里岛核电站事故对美国的核电技术发展造成了很大的影响,美国巴威公司(B&W)作为三里岛核电站的技术承担方,在事故发生后一度退出了核电领域。其 1976 - 1990 年

共有专利 78 件,占其 1976 - 2010 年专利总数的 76.47%,可见此次事故对其影响之大。此次事故之后,美国核电产业发展也陷入了停顿,缺少创新技术的应用实践机会,造成美国核电技术能力的下降。日本企业在政府支持下则快速发展。2006 年,东芝、日立和三菱三大厂家纷纷与美国、法国企业整合、联合,日本一跃成为国际上最强的核电技术力量。

表 4 1976 - 2010 年核电领域主要专利权人专利数量情况

专利权人	专利数量	所属国家
西屋电气	1004	美国,现被东芝收购
通用电气	749	美国,现与日立合作
美国能源部	374	美国
日立	371	日本
西门子	362	德国
珐玛通	306	法国,现为阿海珐旗下,与三菱合作
美国燃烧工程公司(CE)	270	美国,现被东芝收购
法国原子能委员会	201	法国
东芝	136	日本
巴威公司(B&W)	102	美国
ABB Atom	68	瑞典

从表 5 可以看出,在核聚变领域,美国能源部做了大量的技术储备,而加州大学也申请了不少专利。公司的专利数量则相对较少。这说明核聚变领域还处于探索研究阶段。大部分公司仍然在等待基础研究的突破,然后再进入该领域。

表 5 1976—2010 年核聚变领域主要专利权人的专利数量

专利权人	专利数量
美国能源部	95
加州大学	13
General Atomic	11
三菱	11
Energy Profiles	7
通用原子能技术公司(GA Technologies)	7

3 核电专利合作情况分析

本文所指的核电技术的专利合作情况包括核电技术的产学研合作以及核电技术的国家及专利权人合作两个方面。

3.1 产学研合作情况

USPTO 在专利数据库中将专利权人的类别分为 8 类:美国公司、外国公司、美国个人、外国个人、美国政府、外国政府、县政府和州政府。这种分类存在两个问题,一是高校、研究机构、医院等重要的专利权人类型得不到体现,二是对于外国公司和外国个人等类型的抽检错误率较高^[10]。为了解决这个问题,在中信所开发的美国专利检索与分析平台中,在个人、政府两个类别,仍然使用 USPTO 的分类规则,即将美国政府、外国政府、县政府和州政府都归为政府类,美国个人和外国个人都归为个人类;在公司、大学和科研机构、医院这三类中,则使用关键词穷举的方式对其专利权人名称进行分类;如果某专利未能归到以上五类中,则并入其他类。产学研合作的专利指该专利至少包括两个专利权人,其中至少一个专利权人属性为公司,其他专利权人的属性为大学和科研机构。

从表 6 可以看出,核电领域大部分专利由公司获得,占总数的 85.84%;其次是政府部门,然后是大学和科研机构。个人的专利数量很少,说明这是一个比较成熟的领域,并且具有较高的进入门槛。政府拥有的专利大多是在 1990 年以前获得的,政府部门 1976—1990 年获得专利 588 件,占其总数的 89.09%,说明在 1990 年以后,政府比较少在该领域进行直接的技术资助。

表 6 1976—2010 年各类型核电专利权人的专利数量

类型	个人	公司	大学和科研机构	政府	其他
核电	13	5425	145	660	92
核聚变	1	149	29	118	6

1976—2010 年,公司和大学、科研机构共有合作专利 40 件,占总专利数的 0.63%;公司和政府部门共有合作专利 6 件,占总专利数的 0.09%。这说明在核电领域,公司与大学、科研机构和政府间比较少进行专利申请的合作,官、产、学、研的合作比较松散。

3.2 国家及专利权人合作情况

专利权人的专利合作情况是指该专利至少包括两个不同的专利权人,这两个(或以上)专利权人可能来自同一个国家,也可能来自不同的国家,如果是来自不同国家则将其定义为国际合作专利。国家的专利合作情况是指该专利的专利权人所属国家至少两个或以上,如果两国出现一次这样的情况,即为有一个相互合作专利。

从表 7 可以看出,在核电领域,大部分专利只有一个专利权人,有两个或以上专利权人的合作专利数量很少,只占总数的 4.02%。254 件合作专利中,法国 94 件、日本 83 件、韩国 32 件,排在所有国家的前三位。这三个国家是典型的通过核电产业发展引进消化而形成在核电技术方面的优势。可见,企业间的适当合作可以促进国家整体的技术进步。从专利权人分析看,法玛通、日立、考吉玛、韩国原子能研

表 7 各类型核电专利数量

专利类型	单一专利权人	合作专利	国际合作专利	专利总数
核电	6,066	254	12	6320
核聚变	308	7	1	315
核裂变	5,669	246	11	5915
核电厂	118	3	0	121

表 8 主要国家核电专利合作矩阵

	美国	日本	德国	法国	意大利	瑞士	瑞典
美国		2	1	1	1		
日本	2						
德国	1					2	
法国	1						1
意大利	1					1	
瑞士			2		1		
瑞典				1			

研究所等是合作专利数量最多的专利权人。因为核电技术的敏感性,不同国家之间合作的专利数量更少,只有 12 件,占总数 0.19%。从表 8 可以看出,美国、日本等七个国家之间共有合作专利 9 项,其中美国最多有 5 项。

4 结 论

核电技术缺少新的技术突破,核聚变技术仍在探索发展阶段。核电专利和专利权人都是在 1986-1990 年间达到了最高峰,之后都有不同程度的下降,这说明核电技术发展面临一定的瓶颈。核聚变领域专利数量仍然很少,并且主要是由政府 and 大学、研究机构所获得,并大量引用基础研究的成果,这都说明该领域仍然处于探索发展阶段。

国际核电技术仍然掌握在少数发达国家手中,但主导力量一直在变迁。美国、日本、法国和德国等少数发达国家牢牢垄断着国际核电技术前沿。法国、日本、韩国等通过核电产业的快速发展迅速站到了国际技术前沿。我国已经确定,引进的第三代核电技术为西屋电气的 AP1000 压水堆技术及阿海珉的 EPR 压水堆技术,应该利用引进的机会加大消化、吸收力度,最大程度地利用我国核电产业快速发展的市场优势。

核电站事故对发生国核电技术发展具有致命性的打击。美国因为三里岛核电站事故的发生,核电产业发展陷入停顿,企业缺少创新技术的应用实践机会,造成其核电技术向日本的大量转移。日本核电危机发生后,目前由其主导的全球核电技术装备供应状况可能会发生相应的改变。德国也宣布

2022 年前将关闭所有核电站。这些都为我国承接全球核电技术转移提供了契机。

核电领域专利合作很少,但企业整合、兼并频繁。核电领域官、产、学、研之间缺乏合作,国家之间的专利合作更少。但近年来,国内和各个国家之间发生了大量的企业整合、兼并事件,使得国际核电企业的垄断性越来越高。我国核电企业应该处理好相互之间的关系,在技术开发中能够协同作战,瞄准核心技术和关键技术,实现自主创新,摆脱依赖和控制。

参考文献

- [1] IAE (2011), Energy technology perspectives 2011. OECD/IAE, Paris
- [2] 郭峰,陈琳琳. 2000-2010 年离子液体中国专利分析报告. 甘肃石油和化工, 2012, 26(3): 50-54
- [3] Henk F M, Wolfgang G, Ulrich S. Handbook of Quantitative Science and Technology Research. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2004. 532-547
- [4] Jaffe A B, Trajtenberg M. Patents, Citations and Innovations: A Window on the Knowledge Economy. Cambridge: MIT Press, 2002
- [5] UKIPO. Green patent data banse launched. [EB/OL]. <http://www.ipo.gov.uk/press-release-20100604>, 2012
- [6] WIPO. IPC Green Inventory [EB/OL]. <http://www.wipo.int/classifications/ipc/en/est/-20120615>, 2012
- [7] Ulrich S. Concept of a technology classification for country comparisons. Karlsruhe, Germany, 2008
- [8] 贺德方. 基于事实型数据的科技情报研究工作思考. 情报学报, 2009, 28(5): 764-770
- [9] Michel B. What drives innovation in nuclear reactors technologies? An empirical study based on patent counts. CERN Working Paper Series, Paris, 2012
- [10] Mariette P, Bart V L, Song X Y, et al. Data production methods for harmonized patent statistics: patentee sector allocation 2009. Belgium, 2010

Analysis of global nuclear power based on USPTO's patent database

Tong Hefeng, Cao Yan, Zhang Jing

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

Abstract

Based on the USPTO's patent database, the article analyzes the developing trends of global nuclear power. It arrives at the conclusions below. The nuclear power lacks technological breakthroughs, and the nuclear fusion technology is still at the basic research stage. A few developed countries possess most of nuclear power patents, and China still far lags behind them. The results also show that the nuclear power plants construction gives a great positive impact on the nuclear innovation of France, Japan and Korea, and nuclear accidents give a great negative impact on nuclear innovation. Japan's nuclear accident would damage its dominant position in this field. China should learn from other countries' experiences and introduce, digest advanced technologies from abroad, to creat its own nuclear power technologies.

Key words: nuclear power, patent, nuclear fission, nuclear fusion, USPTO