

基于论文和专利计量的纳米技术研发态势研究

熊书玲, 傅俊英, 曾文, 王大伟, 侯禹

(中国科学技术信息研究所, 北京 100038)

摘要:本研究基于 Web of Science 论文数据库和 Innography 专利数据库 1990—2019 年的数据, 通过充分挖掘和利用数据信息, 从技术历年发展趋势、生命周期、主要研发国家及合作情况、关键词共现、主要创新机构及竞争情况、技术方向、专利强度、专利发明人、专利布局等多个维度展示了全球纳米技术在基础研究和应用研究领域的发展态势; 结合技术发展态势及对比分析, 对全球及我国纳米科技的未来发展进行展望, 并提出建议。

关键词: 纳米技术; 论文; 专利; 基础研究; 应用研究

中图分类号: G350 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2022.08.006

颠覆性技术是具有革命性影响的技术, 能够迅速颠覆现有技术的发展轨迹、行业市场格局, 进而改变人们的生产生活方式^[1, 2]。其中, 纳米技术是在纳米尺度上(1~100 纳米之间)研究物质的特性和相互作用, 以及利用这些特性的多学科交叉的科学技术, 诞生于 20 世纪 90 年代, 有望给医学、制造业、材料和信息通信等诸多行业带来变革。21 世纪, 全球范围内掀起了纳米技术的研究热潮^[3-6], 产出了一大批研究论文, 相关专利数量激增, 全球主要国家相继制定发展战略和计划^[7], 有力推动了纳米技术的发展。

科技论文是科研创新的重要成果, 是衡量国家及创新主体基础科研能力的重要指标^[8-10]。专利包含技术、经济等多方面信息, 是衡量国家及创新主体应用研究能力的关键指标^[11, 12]。本研究基于 Web of Science 论文数据库和 Innography 专利数据库, 检索得到 1990—2019 年的全球纳米技术科技论文数据 1 387 361 条和专利数据 563 428 条(同族扩展, 申请专利)。专利/论文的主题检索词为((nano*) NOT ((nano2) OR (nano3) OR (nano4) OR (nano5) OR (nanosecon*)

OR (nanogram*) OR (nanomol*) OR (nanophtalm*) OR (nanomeli*) OR (nanogeterotroph*) OR (nanoplankton*) OR (nanokelvin*) OR (nanocurie*) OR (nanos1) OR (nanoproto*) OR (nanophyto*) OR (nanoflagellate*) OR (nanoliter) OR (nanometer) OR (nanoampere) OR (nanofarad) OR (nanog)))。数据检索日期为 2022 年 5 月 7 日。结合论文和专利产出情况, 本文从多个维度分析了全球纳米技术的基础研究和应用研究情况, 以清晰展示全球纳米科技的发展态势。

1 全球纳米技术整体发展态势

1.1 论文及专利产出量年度变化趋势

1990—2000 年间全球纳米技术论文发表量和专利申请量呈缓慢增长趋势, 纳米技术基础研究和应用研究领域均进展缓慢, 见图 1。2000 年之后论文数量呈现大幅增长趋势, 基础研究领域迅猛发展。专利数量亦增长较快, 应用研究领域快速发展。自 2005 年起, 纳米技术论文数量一直领先于专利数量, 由此可见, 近年来全球的研究重点仍以纳米技术基础研究为主, 应用研究领域亟待突破。

第一作者简介: 熊书玲(1988—), 女, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为重点科技领域监测与分析。

项目来源: 中央级公益性科研院所基本科研业务费创新研究基金青年项目“‘双碳’目标下钢铁产业循环回收利用发展态势研究”(QN2021-03)。

收稿日期: 2022-05-23

1.2 技术生命周期

采用S曲线模型法^[13]对全球纳米技术生命周期进行分析,见图2。对比S曲线模型,2000年之前全球纳米技术研究进展缓慢,曲线接近平直,纳米技术处于导入期。2000—2019年,全球纳米技术研究进展快速,专利累计申请量曲线和论文累计发表量曲线均呈下凸型,纳米技术处于成长期。预计未来几年纳米技术还将持续快速发展。

2 论文产出情况

2.1 论文主要产出国家及合作情况

1990—2019年全球纳米技术领域论文产出量最

多的国家依次是中国、美国、印度、日本、韩国、德国、法国等,其基础研究研发实力较强,见图3。其中,中国论文产出量遥遥领先,在基础研究领域的创新能力最强。

由论文产出国家合作情况(见表1)可以看出,中国与美国的论文合作量最多,合作最为紧密,其次是与日本、德国、伊朗、韩国、法国等;除中国外,美国还与韩国、德国、日本、伊朗等合作较为紧密;印度主要与美国、韩国合作紧密,其次是中国、日本等;除中国和美国外,日本还与韩国、德国、印度等合作较为紧密;除中国和美国外,德国还与法国、伊朗、俄罗斯合作较

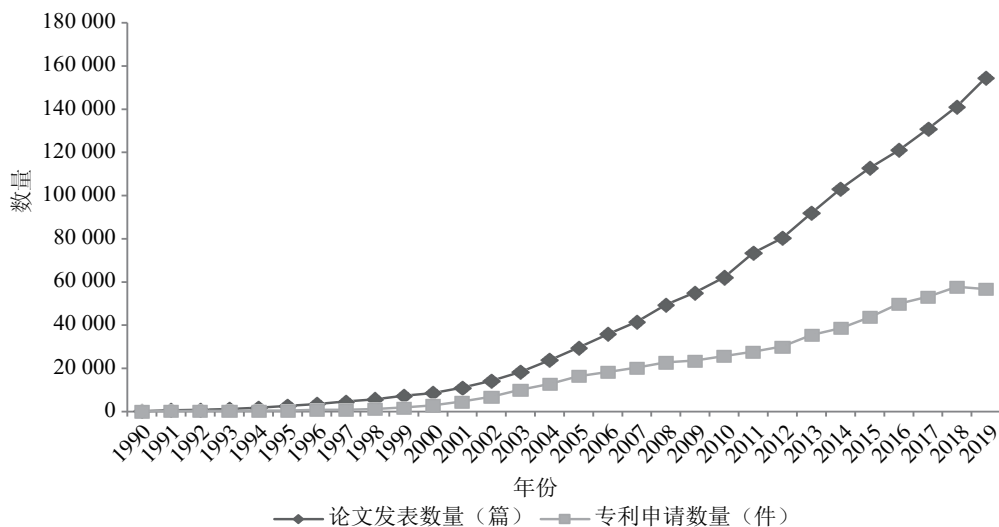


图1 1990—2019年全球纳米技术论文及专利年度产出量变化趋势

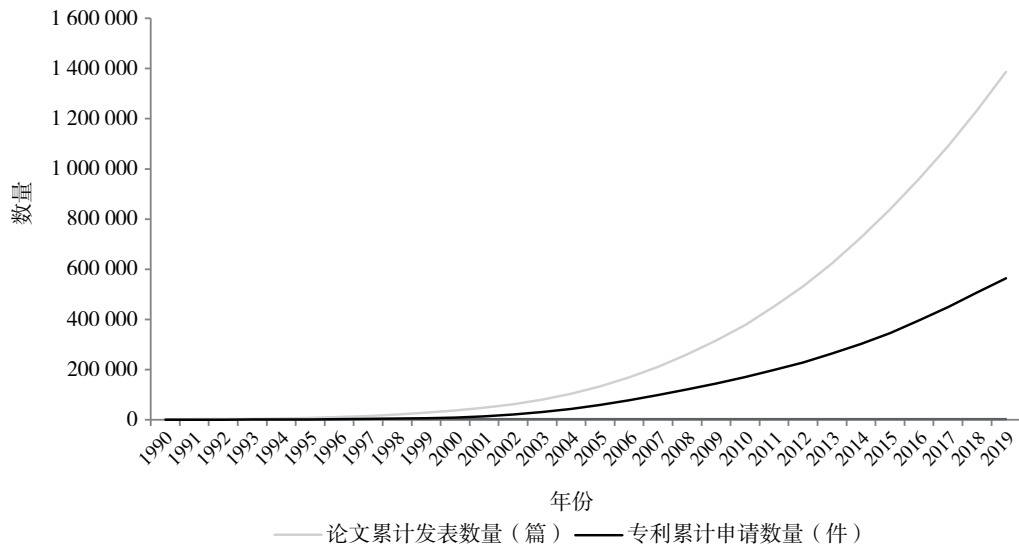


图2 1990—2019年全球纳米技术论文及专利年度累计产出量变化图

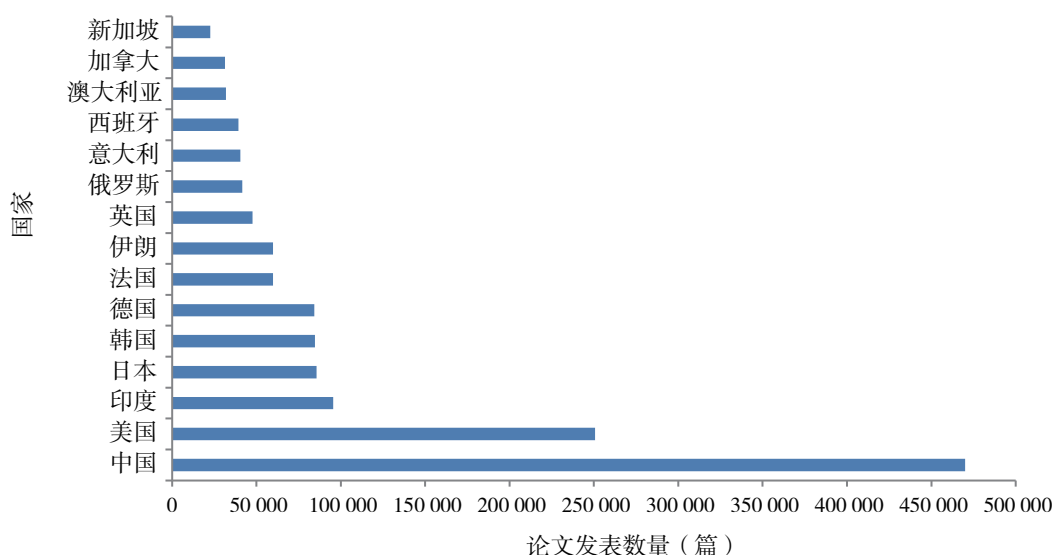


图 3 1990-2019 年全球纳米技术论文主要产出国家产出情况

表 1 1990-2019 年全球纳米技术主要论文产出国家的论文合著情况

合著论文数量 (篇)	中国	美国	印度	日本	韩国	德国	法国	英国	伊朗	俄罗斯
中国										
美国	40 378									
印度	2 417	4 455								
日本	9 183	6 030	2 128							
韩国	4 653	10 261	4 146	2 853						
德国	6 589	9 671	1 807	2 239	1 395					
法国	3 163	5 306	1 088	1 777	624	5 432				
英国	911	1 872	459	296	623	850	345			
伊朗	6 249	5 996	1 075	1 665	984	4 012	2 586	537		
俄罗斯	1 383	2 853	440	1 006	514	3 847	2 020	180	1 080	

为紧密；除德国外，俄罗斯还与美国、法国等合作较为紧密；英国与美国合作相对较多，其次是与中国、德国等。

2.2 论文主要产出机构

1990-2019 年全球纳米技术领域论文产出量最多的机构（不含政府组织 / 协会）依次是中国科学院、法国国家科学研究中心、俄罗斯科学院、美国加利福尼亚大学、印度理工学院、清华大学等，其

基础研究研发实力较强，见图 4。其中，中国科学院论文发表量遥遥领先，是中国纳米技术基础研究领域的中坚力量。

2.3 主要学科分布

从学科分布可以看出全球纳米基础研究领域的技术方向。1990-2019 年全球纳米领域产生的论文主要集中在化学和材料科学研究方向，其次是物理学、工程学、高分子科学等学科方向，如图 5 所示。

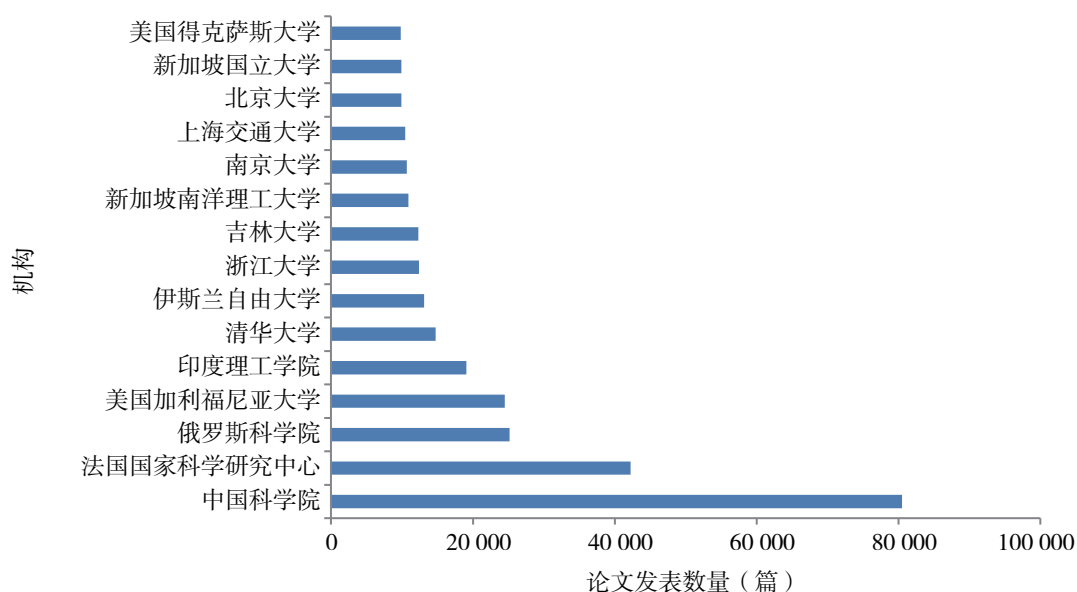


图4 1990-2019年全球纳米技术论文主要产出机构产出情况

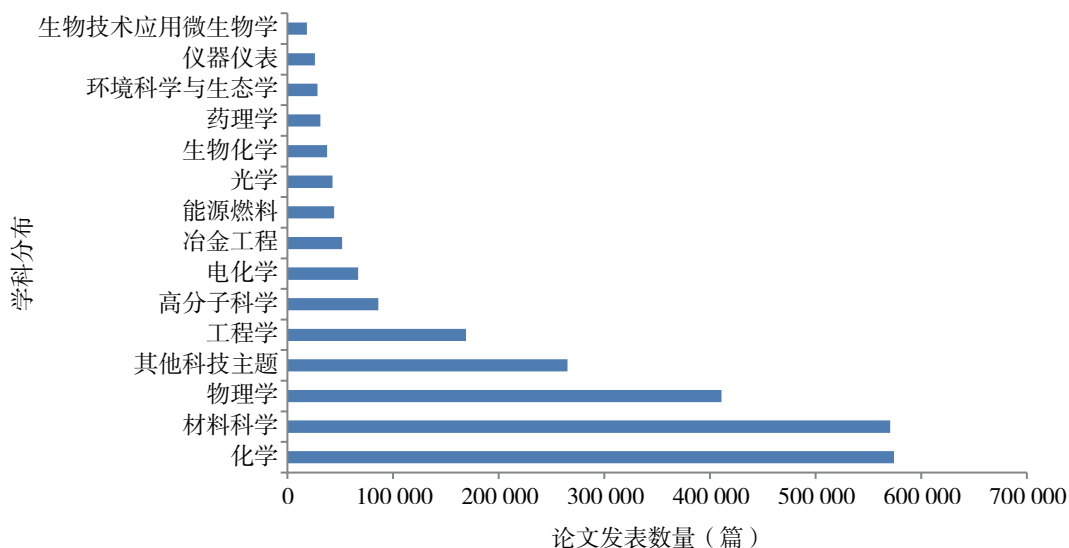


图5 1990-2019年全球纳米技术论文主要学科分布情况

2.4 主要高被引频次论文

1990-2019年全球纳米技术领域被引频次排名前10的论文见表2,被引用排名第1的研究论文是关于英国曼彻斯特大学首次制备出石墨烯的主题,美国哥伦比亚大学和美国西北大学发表的研究论文也均与石墨烯相关。日本电气公司、瑞士联邦理工学院、瑞士洛桑联邦理工学院和日本东京大学发表的研究论文是关于光伏电池、太阳能电池相关领域研究的,日本丰田公司则研究了纳米催化剂。可见,高频率被引论文主要集中在石墨烯、电池方

向,这两个领域是全球研究的热点,主要研究机构集中在英国、美国、日本和瑞士。

2.5 论文关键词共现分析

利用VOSviewer软件,对1990-2019年全球纳米技术领域的15371篇高被引论文进行关键词共现分析(取出现频次400以上的关键词,共计32个),见图6。可以看出,全球纳米基础研究领域依次重点关注纳米粒子、石墨烯(氧化)、纳米氧化还原、(碳)纳米管、纳米复合材料、纳米膜、纳米晶体等研究方向。

表 2 1990–2019 年全球被引频次排名前 10 的论文信息

排名	论文标题	产出机构	期刊	发表年份	引用次数
1	Electric field effect in atomically thin carbon films	英国曼彻斯特大学	《科学》(Science)	2004	41 984
2	Helical microtubules of graphitic carbon	日本电气公司	《自然》(Nature)	1991	34 073
3	A low-cost, high-efficiency solar-cell based on dye-sensitized colloidal TiO ₂ films	瑞士联邦理工学院	《自然》(Nature)	1991	23 531
4	Measurement of the elastic properties and intrinsic strength of monolayer graphene	美国哥伦比亚大学	《科学》(Science)	2008	12 988
5	Synthesis of graphene-based nanosheets via chemical reduction of exfoliated graphite oxide	美国西北大学	《碳》(Carbon)	2007	10 604
6	Photoelectrochemical cells	瑞士洛桑联邦理工学院	《自然》(Nature)	2001	10 575
7	Organometal halide perovskites as visible-light sensitizers for photovoltaic cells	日本东京大学	《美国化学学会期刊》 (Journal of the American Chemical Society)	2009	10 509
8	Visible-light photocatalysis in nitrogen-doped titanium oxides	日本丰田公司	《科学》(Science)	2001	10 276
9	Experimental observation of the quantum Hall effect and Berry's phase in graphene	美国哥伦比亚大学	《自然》(Nature)	2005	10 248
10	Graphene-based composite materials	美国西北大学	《自然》(Nature)	2006	9 837

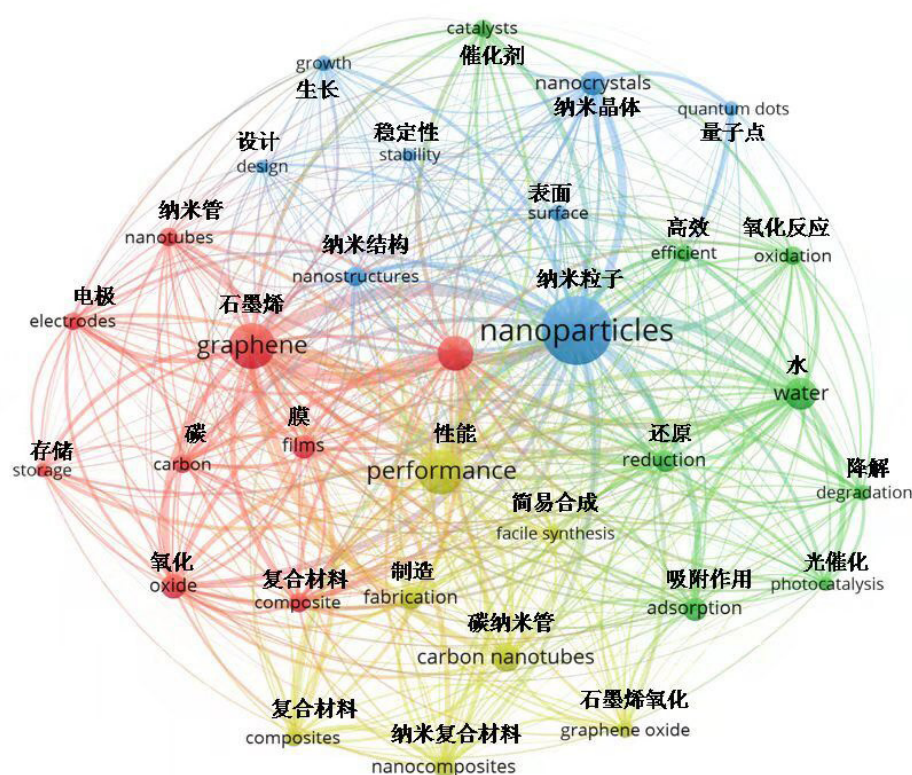


图 6 1990–2019 年全球纳米技术主要高被引论文关键词共现图谱

3 专利产出情况

3.1 主要专利受理国家/组织

1990—2019 年全球纳米技术主要专利受理国家/组织依次是中国、美国、世界知识产权组织(WIPO)、韩国、日本、欧洲专利局(EPO)等,见图 7。其中,中国受理的专利量遥遥领先,是美国的 2 倍之多,是韩国的 4 倍之多,纳米技术市场前景广阔。

3.2 主要专利权人

1990—2019 年全球纳米领域专利申请量排名

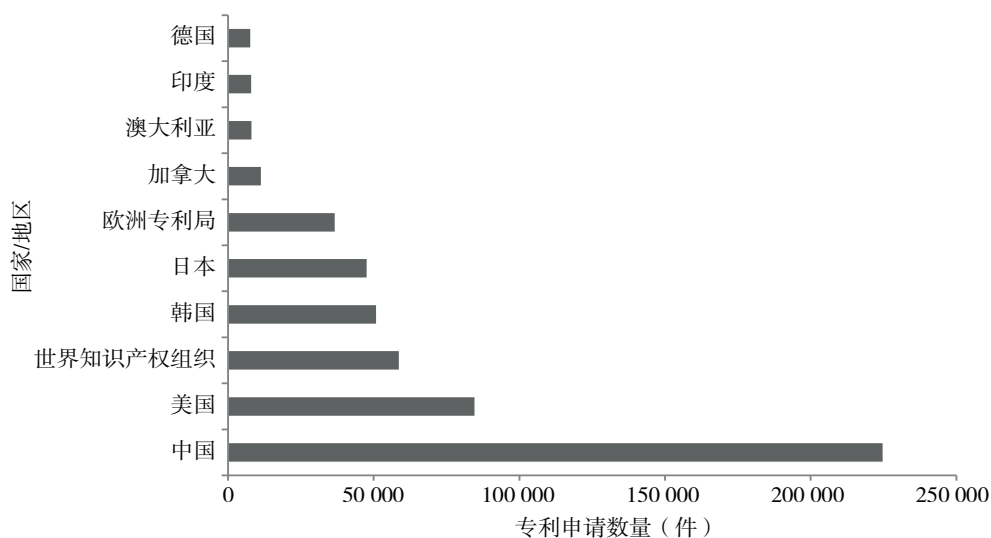


图 7 1990—2019 年全球纳米技术主要专利受理国家/组织

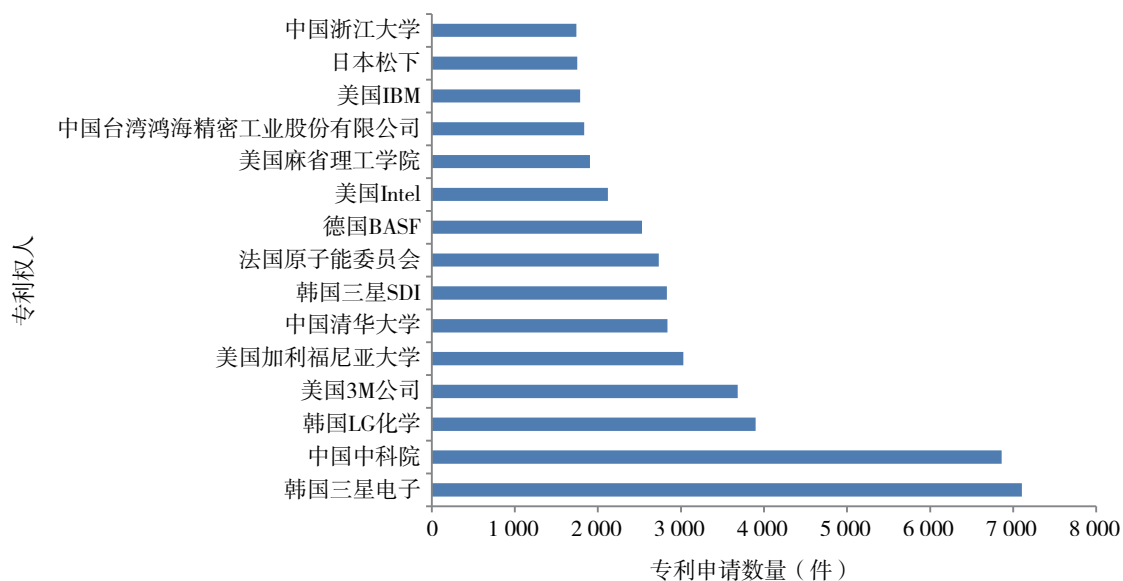


图 8 1990—2019 年全球纳米技术主要专利权人

靠前的专利权人依次是韩国三星电子、中国科学院、韩国 LG 化学、美国 3M 公司、美国加利福尼亚大学等,其在纳米技术应用研究领域的创新能力较强,见图 8。中国科学院的专利申请量较为领先,略少于三星电子,是中国纳米技术应用研究领域的主要创新力量。

3.3 主要技术领域分布

1990—2019 年对全球纳米技术专利申请数据进行 IPC 分类号统计,得到排名前 10 的纳米专利技术领域,见表 3。可以看出,全球纳米专利技术主要分布在电极电池、生物医药、半导体器件等应

用领域，以及纳米化合物的制备等。

3.4 中美韩主要专利权人对比分析

3.4.1 专利年度申请趋势对比

由图 8 可知，中国科学院、三星电子、3M 公司分别是中国、韩国、美国在纳米技术应用研究领域的主要创新力量。基于此，本研究选取中国科学院、三星电子和 3M 公司三个专利权人作为中美韩代表性创新机构进行重点对比研究。

1990–2019 年三星电子的专利申请量共计 7 105 件，中国科学院的专利申请量共计 6 860 件，3M

公司的专利申请量共计 3 683 件。三星电子的专利申请量自 2001 年开始大幅增加，于 2007 年达到峰值（599 件），之后整体呈现下降趋势。3M 公司的专利申请量自 2005 年开始快速增加，于 2011 年达到峰值，之后整体呈波浪式下降趋势（见图 9）。近年来二者在纳米技术应用研究领域发展后劲不足，这可能表明到了关键技术亟待突破的瓶颈期。而中国科学院的专利申请量自 2007 年开始大幅增加，并于 2013 年开始超过了三星电子和 3M 公司，近年来在纳米技术应用研究领域发展势头强劲。

表 3 1990–2019 年全球纳米技术主要专利技术领域分布

IPC 分类号	IPC 中文注释	专利申请数量 (件)
H01M 4/00	电极	19 703
A61K 9/00	以特殊物理形状为特征的医药配制品	15 393
H01L 21/00	专门适用于制造或处理半导体或固体器件或其部件的方法或设备	9 037
G01N 33/00	利用不包括在 G01N 1/00 至 G01N 31/00 组中的特殊方法来研究或分析材料	8 530
C01B 31/00	碳；其化合物	7 564
G01N 27/00	用电、电化学或磁的方法测试或分析材料	7 008
H01L 31/00	对红外辐射、光、较短波长的电磁辐射，或微粒辐射敏感的，并且专门适用于把这样的辐射能转换为电能的，或者专门适用于通过这样的辐射进行电能控制的半导体器件；专门适用于制造或处理这些半导体器件或其部件的方法或设备；其零部件	6 815
B01J 23/00	不包含在 B01J 21/00 组中的，包含金属或金属氧化物或氢氧化物的催化剂	6 790
G01N 21/00	利用光学手段，即利用红外光、可见光或紫外光来测试或分析材料	6 455
B82B 3/00	通过操纵单个原子、分子或作为孤立单元的极少量原子或分子的集合的纳米结构的制造或处理	6 304

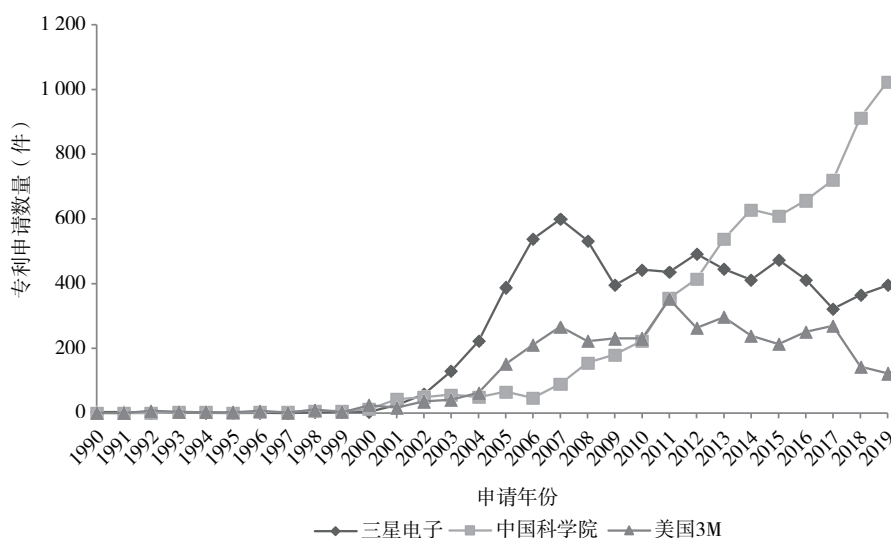


图 9 1990–2019 年重点专利权人的专利申请量年度变化趋势

3.4.2 专利布局对比

三星电子在韩国本土的专利申请量占比为39.5%，国外专利布局范围较广，主要分布在美国，其次是日本、中国等，具有较强的专利保护意识和竞争优势，见表4。3M公司在美国本土的专利申请量占比仅为19.0%，其在中国、WIPO、EPO、日本、韩国等均有广泛的专利布局，具有很强的专利保护意识和竞争优势。而中国科学院在中国本土的专利申请量占比高达93.4%，在WIPO、美国等有少量专利布局，海外专利布局有待加强。

3.4.3 专利强度对比

专利强度采纳了诸多价值参数，强度越大代表相应的专利价值越高。由专利强度分布图（见图10）可以计算得到，三星电子专利强度为50以上的高价值专利为1695件，占比约23.9%；中国科学院专利强度为50以上的高价值专利为294件，占比约4.3%；3M公司专利强度为50以上的高价值专利为812件，占比约22.1%。三星电子拥有的高价值专

利最多且占比较大，专利质量较高。虽然中国科学院的专利申请量排名靠前，但其高价值专利占比大幅低于3M公司和三星电子，专利质量有待提高。

3.4.4 专利发明人对比

由表5可知，3M公司的主要专利发明人拥有的专利最多，创新实力最强，其中Brant U Kolb和Naiyong Jing的个人专利超过了200件。其次是三星电子，主要发明人有Eun Joo Jang、Byoung Lyong Choi、Hyeon Jin Shin等。中国科学院的主要专利发明人为中科院大连化学物理研究所的张华民、包信和和李先锋，以及中科院深圳先进技术研究院的唐永炳、孙蓉等。

3.4.5 专利技术领域对比

三星电子的专利技术主要集中在半导体器件（H01L）领域，其次是纳米结构制备（B82B）、光学器件或装置（G02F）、电数字数据处理（G06F）、电池组（H01M）等方向；中国科学院的专利技术主要集中在催化作用及胶体化学等物理化学方法

表4 1990-2019年三个专利权人的主要专利申请国家/组织分布情况（单位：%）

机构	中国	美国	韩国	日本	WIPO	德国	EPO	英国	法国
三星电子	8.5	34.9	39.5	8.8	2.0	0.5	5.3	/	/
中国科学院	93.4	1.6	/	0.3	3.8	/	0.5	/	/
3M	17.9	19.0	9.2	14.2	16.8	0.3	14.4	/	/

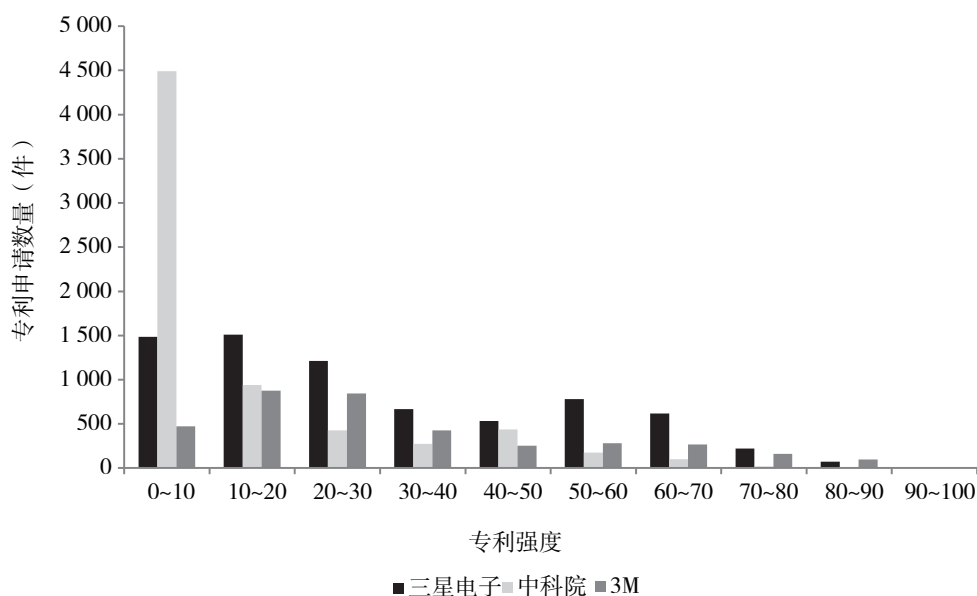


图10 1990-2019年三个专利权人的专利强度分布图

表 5 1990–2019 年三个专利权人的主要专利发明人

机构	专利发明人 (专利申请件数)
三星电子	Eun Joo Jang (172)、Byoung Lyong Choi (142)、Hyeon Jin Shin (142)、Jae Young Choi (112)、Eun Kyung Lee (101)、Shin Ae Jun (99)
中国科学院	张华民 (中科院大连化学物理研究所, 147)、唐永炳 (中科院深圳先进技术研究院, 106)、孙蓉 (中科院深圳先进技术研究院, 105)、成会明 (中科院金属研究所, 97)、包信和 (中科院大连化学物理研究所, 97)、李先锋 (中科院大连化学物理研究所, 97)
美国 3M	Brant U Kolb (232)、Naiyong Jing (222)、Richard J Pokorny (146)、Jimmie R Jr Baran (134)、Thomas P Klun (126)、David B Olso (126)

(B01J)、电池组 (H01M)、半导体 (H01L) 领域、材料测试分析 (G01N), 其次是医用配制品 (A61K) 等方向; 3M 公司的专利技术主要集中在光学元件及系统/仪器 (G02B)、层状产品 (B32B) 领域, 其次是涂料组合物 (C09D)、医用配制品 (A61K)、黏合剂 (C09J) 等方向, 见表 6。

表 6 1990–2019 年三个专利权人的主要专利技术领域分布情况

机构	IPC 小类 (专利申请件数)
三星电子	H01L (2427)、B82B (373)、G02F (352)、G06F (351)、H01M (291)
中国科学院	B01J (710)、H01M (603)、H01L (553)、G01N (550)、A61K (359)
美国 3M	G02B (327)、B32B (298)、C09D (257)、A61K (200)、C09J (194)

4 结论

2000 年之后, 全球以中、美、韩、日等为代表的主要国家在纳米技术基础研究领域迅猛发展, 在应用研究领域快速突破。全球纳米技术目前正处于快速成长期, 未来几年还将蓬勃发展, 有望在电池、生物医药、半导体等应用领域率先取得突破和实现大规模产业化发展。各国应抓住发展机遇, 积极抢占技术制高点, 加大在纳米技术应用研究领域的投入力度, 加快推进纳米技术的产业化步伐。我国在纳米技术领域的专利和论文产出量均居世界首位, 近年来在纳米科技领域取得了重要进展, 且发展势头猛进, 应加强海外专利布局, 增强技术竞争优势, 补齐短板, 推动纳米产业高质量发展。■

参考文献:

- [1] 中国科学院颠覆性技术创新研究组. 颠覆性技术创新研究: 信息科技领域 [M]. 北京: 科学出版社, 2018: 14-21.
- [2] Manyika J, Chui M, Bughin J, et al. Disruptive Technologies: Advances That Will Transform Life, Business and Global Economy[R]. San Francisco: McKinsey Global

Institute, 2013.

- [3] Bertrand N, Wu J, Xu X Y, et al. Cancer nanotechnology: The impact of passive and active targeting in the era of modern cancer biology[J]. Advanced Drug Delivery Reviews, 2014(66): 2-25.
- [4] Qu X L, Alvarez P J J, Li Q L, et al. Applications of nanotechnology in water and wastewater treatment[J]. Water Research, 2013, 47 (12): 3 931-3 946.
- [5] Duncan T V. Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: Barrier materials, antimicrobials and sensors[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2011, 363 (1): 1-24.
- [6] Zhang D Y, Seelig G. Dynamic DNA nanotechnology using strand-displacement reactions[J]. Nature Chemistry, 2011, 3 (2): 103-113.
- [7] 冯瑞华, 张军, 刘清. 主要国家纳米技术战略研究计划及其进展 [J]. 科技进步与对策, 2007, 24 (9): 213-216.
- [8] 王刚波, 官建成. 纳米科学与技术之间的联系: 基于学术型发明人的分析 [J]. 中国软科学, 2009 (12): 71-79.
- [9] Huang M H, Yang H W, Chen D Z. Increasing science and technology linkage in fuel cells: A cross citation analysis of

- papers and patents[J]. Journal of Informetrics, 2015, 9 (2): 237-249.
- [10] 刘云, 刘璐, 闫哲, 等. 基于专利计量的全球碳纳米管领域技术创新特征分析[J]. 科研管理, 2016, 37 (S1): 337-345.
- [11] 李冰. 科学知识在技术演化中的影响研究——基于纳米领域专利视角[D]. 辽宁大连: 大连理工大学, 2019.
- [12] 沙建超. 基于专利的碳纳米材料技术演进研究[D]. 北京: 中国科学技术信息研究所, 2013.
- [13] 李春燕. 基于专利信息分析的技术生命周期判断方法[J]. 现代情报, 2012, 32 (2): 98-101.

Research on the Development Trends of Nanotechnology Based on Research Paper and Patent Measurement

XIONG Shu-ling, FU Jun-ying, ZENG Wen, WANG Da-wei, HOU Yu
(Institute of Scientific and Technical Information of China, Beijing 100038)

Abstract: Based on data of 1990-2019 in Web of Science paper database and Innography patent database, this paper shows the development trends of global nanotechnology in basic and applied research fields from multiple aspects of technology development trends over the years, life cycle, main R&D countries and cooperation status, keyword co-occurrence, main innovation institutions and competition, technical directions, patent strength, patent inventors, patent layout and so on by fully mining and utilizing data information. Combined with the development trends and comparative analysis of nanotechnology, this paper prospects the future development of nanotechnology in the world and China, and puts forward some suggestions.

Keywords: nanotechnology; paper; patent; basic research; applied research

(上接第8页)

A Study on STI Policy Instruments of Major Countries and Regions in Response to COVID-19

CAO Wei-xiao, TAO Rui, SHI Xiao-yong, GAO Bai-yun
(National Center for Science & Technology Evaluation, Beijing 100081)

Abstract: Since the outbreak of COVID-19, many countries have taken science, technology and innovation (STI) as important response to the crisis, and introduced policy measures to support STI activities. Based on the information from OECD STIP COVID-19 Watch database, this paper sorted out and analyzed 935 STI policies issued by 56 countries and regions in response to COVID-19, illustrated 28 categories of policy instruments, and introduced the relevant policies of typical countries. The study found the COVID-19 pandemic has inspired reform and innovation of STI policies around the world, which may have a long-term impact on STI policies in the post-pandemic era. The paper suggested that China could learn from foreign practices, improve policy openness, integration and coordination, attach more importance to scientific decision-making, and improve the governance of STI in the post-epidemic era.

Keywords: COVID-19; science technology and innovation policy; policy instrument