



华南理工大学
South China University of Technology

博鳌亚洲论坛 创新报告

Boao Forum for Asia
Innovation Report | 2023

博鳌亚洲论坛
创新报告

Boao Forum for Asia
Innovation Report 2023

2023



目 录

第一章 全球科技创新趋势	1
一、科技创新趋势	1
（一）区域国家科技创新形成新格局	1
（二）学科聚合成为科技创新加速器	2
（三）科技创新聚焦于数字智能技术	2
（四）科技成果应用于民生健康产业	3
（五）激烈竞争致科技生态巨大变化	3
二、专利分布趋势	4
（一）高价值专利申请量达历史峰值	4
（二）数字技术 PCT 专利申请量居前	4
（三）科技企业为高价值专利引领者	5
（四）东亚专利申请量保持增长态势	5
（五）粤港澳大湾区领先于其他湾区	6
三、科技产业趋势	7
（一）前沿科创成果加速产业化布局	7
（二）主要经济体投入处于增长通道	7
（三）亚洲科创产业集群领跑于全球	8
第二章 全球科技创新挑战	9
一、研发投入面临挑战	9
（一）企业研发投入下降与流向不平衡	9
（二）政府经费集中流向前沿技术领域	9
（三）部分研发投入被移出中国和欧洲	10
二、科技合作面临挑战	10



(一) 科技供应链本土化呈现长期趋势	10
(二) 科技研发合作交流遭遇持续阻挠	11
(三) 割裂科技合作交流缺乏合理依据	11
三、科技监管面临挑战	12
(一) 新兴科学技术产生伦理法律风险	12
(二) 伦理法律监管滞后科技创新进程	12
四、科技人才面临挑战	13
(一) 科技创新人才争夺更加趋于激烈	13
(二) 顶尖科研人才全球分布过于集中	13
(三) 高水平科技创新人才仍流失严重	13
第三章 人工智能与数字科技	15
一、AI 大模型	15
(一) 发展趋势与区域竞争力	15
(二) 颠覆性技术创新的影响	19
二、通感算融合网络	21
(一) 发展趋势与区域竞争力	23
(二) 颠覆性技术创新的影响	25
第四章 信息与通信技术	29
一、5G/6G 无线技术	29
(一) 发展趋势与区域竞争力	29
(二) 颠覆性技术创新的影响	32
二、光通信技术	36
(一) 发展趋势与区域竞争力	37
(二) 颠覆性技术创新的影响	41
第五章 生命健康与生物医药	47
一、AI 制药	47

(一) 发展趋势与区域竞争力	47
(二) 颠覆性技术创新的影响	49
二、类器官	52
(一) 发展趋势与区域竞争力	52
(二) 颠覆性技术创新的影响	56
第六章 新能源与低碳技术	59
一、储能	59
(一) 发展趋势与区域竞争力	59
(二) 颠覆性技术创新的影响	62
二、核能发电	66
(一) 发展趋势与区域竞争力	67
(二) 颠覆性技术创新的影响	70
三、智慧能源	74
(一) 发展趋势与区域竞争力	74
(二) 颠覆性技术创新的影响	76
第七章 新材料与先进制造	80
一、新能源和可再生能源关键材料	80
(一) 发展趋势与区域竞争力	81
(二) 颠覆性技术创新的影响	83
二、第三代半导体	87
(一) 发展趋势与区域竞争力	87
(二) 颠覆性技术创新的影响	89
三、新型显示	93
(一) 发展趋势与区域竞争力	93
(二) 颠覆性技术创新的影响	95

第一章 全球科技创新趋势

一、科技创新趋势

（一）区域国家科技创新形成新格局

科技创新加速发展，全球创新形成新矩阵。2023 年据世界知识产权组织发布的研究报告，在欧洲，瑞士连续 13 年位居榜首，在创新产出方面领跑全球。瑞典跃居第二，在商业成熟度、基础设施以及人力资本和研究方面处于领先地位。北欧和波罗的海八个经济体整体上升。在北美，美国在多个创新指标上独占鳌头，包括全球研发投入、接收的风险资本、高校质量等。在亚洲，新加坡跻身前五，成为东南亚、东亚和大洋洲经济体的领导者。中国、韩国、日本、以色列都进入了全球排名前 15 名，其中，中国是唯一跻身 30 强的中等收入经济体。中东经济体创新排名也有显著提升。总体分析，在全球创新能力新矩阵中，北美洲以美国和加拿大为核心成为最具创新性的区域。在前 25 名经济体中，欧洲仍然占据领先地位，有 16 个国家。东南亚、东亚和大洋洲正在缩小与欧洲的差距，中亚和南亚逐渐接近拉丁美洲和加勒比地区。印度在中亚和南亚地区保持领先地位，以色列在北非和西亚持续领先，沙特阿拉伯进入 50 强，南非在撒哈拉以南非洲地区知识和技术产出方面居首。^① 另外，以创新绩效为指标，可将欧盟国家划分为创新领袖、强大创新者、中等创新者和新兴创新者四个绩效组（群）。北欧和西欧成为创新领袖和最强大创新者的主要地区，而南欧和东欧则是中等和新兴创新者的主要聚集地。^②

① 参见联合国世界知识产权组织（WIPO）：2023 年全球创新指数内容提要，第 11-26 页

② 参见欧盟委员会：2023 年欧洲创新记分牌，第 1-2 页



（二）学科聚合成为科技创新加速器

交叉产生洞见，聚合产生奇点。“大科学”时代，科技创新的广度、深度、难度不断发生数量级的提升，科学与技术之间、技术与技术之间边界日益模糊，单一学科的研究范式难以解决复杂问题、难以实现重大突破。在“融合科学”“开放科学”“计算社会科学”等新范式出现后，多学科融合创新成为激发高质量创新洞见、产生颠覆突破性成果的制高点。例如，机器人已经广泛应用到工业、农业、健康、国防等领域，机器人技术的研究、应用就需要多学科交叉融合，涉及新材料技术、自动控制技术、数据技术、5G 通讯、人工智能等关键技术的聚合。具体到应用领域的机器人，比如骨科手术机器人，在研发时就涉及医学、机械学、生物力学、计算机科学等多个学科的融合，而在成果完善应用层面，又涉及高校、公司、医院等机构的共同参与、密切合作，才能完成产品定型、转化和产业应用。

（三）科技创新聚焦于数字智能技术

数字化技术创新全面促进产业的数字智能化转型。2023 年各国科技创新与竞争的领域越来越聚焦于数字智能技术。全球数字智能技术创新的核心技术领域包括：^① 开拓元宇宙技术，元宇宙系由通过虚拟技术增强的物理和数字现实融合而成的集体虚拟共享空间，能够提供增强沉浸式体验。超级应用程序技术。超级应用，是一个聚合应用、平台和生态系统功能于一身的应用程序，它不仅有自己的的一套功能，而且还为第三方提供开发和发布他们自己的微应用平台。自适应 AI 技术，自适应 AI 系统通过不断反复训练模型并在运行和开发环境中使用新的数据进行学习来迅速适应在最初开发过程中无法预见或获得的现实世界情况变化。优化数字免疫系统，数字免疫系统通过结合数据驱动的运营洞察、自动化和极限测试、IT 运营中的软件工程以及应用供应链中的安全性来提高系统的弹性和稳定性。应用可观测性技术，应用可观测性以一种高度统筹和整合的方式将这些可观测的特征数据进行反馈，创造出一个决策循环，从而提高组织决策的有效性。AI 信任、风险和安全管理，AI 信任、风险和安全管理需要来自不同业务部门的参与者共同实施新的措施。行业云平台技术，企业可以将行业云平台的打包功能作为基础模块，组合成独特、差异化的数字业务项目，在提高敏捷性、推动创新和缩短产品上市时间的同时避免单一厂商锁定。无线价值实现，由于没有一项技

^① 参见 Gartner：2023 年十大战略技术趋势，载软件和集成电路，2022 年第 11 期，第 10 - 11 页

术能够占据主导地位，企业将使用一系列无线解决方案来满足办公室 Wi-Fi、移动设备服务、低功耗服务以及无线电连接等所有场景的需求。^①

（四）科技成果应用于民生健康产业

2023 年科技创新成果大量应用于民生、健康产业等领域。发掘长寿产品，修补细胞、再生身体部位、药物发现、抗衰老补充剂。打造超级应用程序，世界科技创新头部企业正在稳步扩张，依托应用程序发展成为集信息、支付、购物、游戏和送餐等诸多功能于一身的聚合平台，旨在在更多领域影响消费者的生活。加速金融科技的再生，金融科技公司逐渐朝两个关键方向发展：扩展新业务领域和开发产品功能、追求产品业务多样化落地。开发虚拟电厂，虚拟发电厂发展势头日益强劲，通过优化能源协调和使用，虚拟电厂可以帮助减少对煤炭和天然气的依赖，稳定电网，降低家庭的能源成本。拓延智慧医疗，智慧医疗借助传感器来收集与患者健康的相关数据，旨在推进更积极主动的诊断和治疗。夯实再生农业科技，再生农业通过在作物间种植树木、尽量减少耕作、避免使用合成肥料和杀虫剂以及采取轮流放牧技术等措施恢复土壤健康和保护生态环境。

（五）激烈竞争致科技生态巨大变化

全球主要发达国家近年来纷纷围绕新一轮科技革命和产业变革涉及的前沿技术，主要是大数据、人工智能、量子科技、5G/6G 通信、新能源、新材料，出台战略部署，发布政策法律，采取大规模增加研发投入、补贴产业化应用、吸引人才、设置出口限制、阻断合作交流、制裁竞争对手等一系列既促进本国创新、又限制阻击他国创新的措施。企图追求维持更长期的已有技术优势和更高效的取得新的技术优势，争夺新一轮科技革命的制高点。由此导致国家间的科技竞争空前激烈，全球前沿技术的原有研发生态、产业生态正在产生巨大变化。例如，2021 年以来全球高端芯片研发与产业化被强制分割为美国、欧盟、东亚三个相对独立的研发、产业生态，打破了依据资源禀赋、市场需求、研发优势等因素配置构建芯片研发链、产业链的最优生态，导致将产生全球重复研发、重复投资、市场需求不足的严重问题。另外，在人工智能、量子科技、5G/6G 通信、新能源等前沿技术领域也面临相同的激烈竞争、生态变化。

^① 苏大军：2023 年全球 11 大技术创新趋势，载中外企业文化，2023 年第 9 期，第 20-21 页



二、专利分布趋势

（一）高价值专利申请量达历史峰值

2022 年全球 PCT 申请量微增 0.3%，但已创历史单一年度最高纪录，达到 278 100 件。印度和韩国 PCT 申请量大幅增长，整体适度增长反映全球在政治和经济方面面临挑战。亚洲仍是国际专利申请主要来源，占总量的 54.7%。印度和中国推动全球专利申请创下新纪录，但中国增长率连续第二年下滑，从 2021 年的 6.8% 降至 2022 年的 3.1%。与此同时，印度的专利申请量在 2022 年增长了 31.6%，连续 11 年保持增长，位居前十大申请人之首。另外，2022 年，通过世界知识产权组织的工业品外观设计国际注册海牙体系提出的国际申请中包含的外观设计数量增长 11.2%。中国仍是 PCT 申请量最大的来源国，申请量同比增长 0.6%。申请量前五名还包括美国、日本、韩国和德国。亚洲的 PCT 申请量增长速度高于其他地区，总体份额从 2021 年的 54.2% 增至 2022 年的 54.7%。^① 全球高价值专利数量排名前 10 的国家中，美国位居第 1，共有 12 859 件，是排名第 2 的日本 3718 件的 3.4 倍。韩国以 2111 件排名第 3，中国以 1 650 件排名第 4，仅为美国数量的 12.8%。紧随中国的是德国 1632 件。排名第 6 到第 10 的国家为法国、荷兰、瑞士、英国以及加拿大。尽管中国的数字技术专利数量遥遥领先，但在高价值专利数量上明显落后于美国，也较日韩两国有差距。^②

（二）数字技术 PCT 专利申请量居前

以技术领域划分，全球 PCT 国际专利申请中，计算机技术在已公布的 PCT 申请中占比最大，为 10.4%，其次是数字通信 9.4%、电气机械 7.1%、医疗技术 7% 和测量 4.6%；与此同时，2022 年在排名前十的技术领域中有八个出现增长，其中数字通信 8.7% 和计算机技术 8.1% 的增长速度最快，其次是半导体 6.8%、生物技术 6.7% 和电气机械 6.1%。在 2021 年卫生相关技术领域出现特别强劲的增长之后，数字技术领域

^① 参见 BestLawyers. 全球国际专利申请趋势报告（2023），网址：<https://mp.weixin.qq.com/s/JDkU5X-7o-Qnyf6wxwGQow>

^② 参见阿里研究院：2023 全球数字科技发展研究报告，第 21 页

在 2022 年重新成为 PCT 申请增长最快的领域。^① 这一趋势也客观反映了数字经济快速发展的需要，数字通信、计算机技术是支撑数字经济发展的底层与核心技术，是引领全球科技创新方向的风向标。

（三）科技企业为高价值专利引领者

高科技企业是最有活力的科技创新主体，一个国家或区域的创新能力强弱与拥有的高科技企业的数量规模高度相关。中国华为公司仍然是迄今为止最大的 PCT 专利申请人，在 2022 年公布 7689 件 PCT 申请。韩国的三星电子位居第二为 4387 件，紧随其后的是美国的高通公司 3855 件、日本的三菱电机株式会社 2320 件和瑞典的爱立信公司 2158 件。在排名前十位的申请人中，三星电子的增速最快，增长 44.3%，也借此排进前两名。日本电信电话株式会社（NTT）也有大幅增长，在 2022 年上升了五位到第七位，其增长率为 24.9%。另外，在全球数字技术高价值专利数量排名前 10 的机构中美国企业数量共 5 家，中国 2 家，韩国、荷兰、日本各 1 家。三星公司以 1061 件高价值专利数量居首，美国微软公司和谷歌公司分别位居第二和第三。中国的华为公司和阿里巴巴分别以 373 件和 261 件的数量在排行榜上分别位居第五和第九位。这些高价值专利的持有者不仅反映了当前技术创新的方向，也凸显了这些企业在全全球数字技术创新中的领导地位。^②

（四）东亚专利申请量保持增长态势

聚焦亚洲的中国、日本、韩国在专利申请授权方面仍保持较强增长态势。截至 2023 年 9 月，中国有效发明专利和商标拥有量分别达到 480.5 万件、4512.2 万件，PCT 国际专利申请量连续 4 年位居世界第一。专利密集型产业和版权产业增加值占 GDP 的比重分别达到 12.44%、7.41%，有力促进了经济高质量发展。^③ 据相关研究报告显示，中国共 387989 件数字技术专利，是排名第 2 美国的 2.9 倍，是排名后 9 位国

^① 参见 BestLawyers. 全球国际专利申请趋势报告（2023），网址：<https://mp.weixin.qq.com/s/JDkU5X-7o-Qnyf6wxwGQow>

^② 参见阿里研究院：2023 全球数字科技发展研究报告，第 22 页

^③ 数字经济专利创新呈现蓬勃发展态势，载人民政协报，2023 年 11 月 10 日，第 6 版



家总和的 1.6 倍，中国数字应用技术整体研发能力在全球具有较强竞争力。^① 2022 年日本发明专利申请量为 289530 件，呈现总体增长趋势。日本专利局受理的 PCT 国际专利申请量为 48719 件，较 2019 年的最高值有所下降。此外，外观设计申请量为 31711 件，实用新型申请达到 4513 件，商标注册申请量为 170275 件。^② 截至 2023 年 9 月，韩国知识产权局（KIPO）发布了 2013 至 2022 年第四次产业革命技术领域专利申请统计分析结果。结果表明，韩国第四次产业革命技术专利申请在十年间年均增长 14.7%，其中，人工智能技术专利申请量第一，主导第四次产业革命技术的增长，融合性技术年均增长率为 37.8%。^③ 说明东亚地区已经成为全球最具有科技创新活力和重视专利布局的区域。

（五）粤港澳大湾区领先于其他湾区

对标纽约、东京等湾区，聚焦发明专利、PCT 专利、同族专利、专利被引频次四大专利指标，粤港澳大湾区的专利综合能力已经超越世界其他湾区。在发明专利数量方面，粤港澳大湾区创新态势持续向好，发明专利公开量年均增长位列四大湾区首位。2017—2021 年粤港澳大湾区发明专利公开总量及复合增长率分别为 176.90 万件和 21.74%，位列四大湾区首位，2021 年发明专利公开量增长 21.74%，达 44.96 万件，总量高于其他三大湾区之和。在 PCT 专利方面，粤港澳大湾区公开量仅次于东京湾区，2017—2021 年 PCT 专利公开量 13.68 万件，是纽约湾区和旧金山湾区的 3.19 倍和 3.81 倍。近五年粤港澳大湾区 PCT 专利公开量复合增长率达 9.82%，发展前景可观。在同族专利方面，粤港澳大湾区公开量和复合增长率位居四大湾区之首，2017—2021 年同族专利公开量 303.21 万件，数量多于其他三大湾区总和两倍有余，复合增长率为 20.24%，专利市场覆盖程度居四大湾区之首。^④ 粤港澳大湾区在新一代信息技术领域，其发明专利数量占比高达 62.37%，数字创意产业占比为 19.63%。同时，新能源汽车、相关服务、新材料和生物产业也表现出显著的创新贡献，为区域创新提供了多元动力。

① 参加阿里研究院：2023 全球数字科技发展研究报告，第 6 页

② 参见中国科学院知识产权信息：日本专利局发布 2022 年专利行政报告，网址：<http://www.zhimomo.com/mobile/e/action/ShowInfo.php?classid=17&id=664>

③ 参见王美元：韩国发布 2022 年知识产权趋势报告，网址：<https://www.worldip.cn/index.php?m=content&c=index&a=show&catid=64&id=2377>

④ 参见广州日报数据和数字化研究院：粤港澳大湾区协同创新发展报告（2022）

三、科技产业趋势

（一）前沿科创成果加速产业化布局

2023 年第四次科技革命的前沿科技创新成果的产业化应用、布局进入加速期和关键阶段。大数据与云计算推动产业转型，在数字化时代下，数据分析技术的产业应用将有效促进企业的现代化转型，云计算已经成为了一种成熟的获得大数据分析和存储的方式，也使企业运行更加高效便捷。人工智能产业应用潜力被不断挖掘，人工智能作为战略性的核心技术，将成为引领产业转型的重要力量，人工智能技术在医疗、智能制造、农业、交通等方面具有广泛的应用空间。量子计算机技术产业化应用处于关键阶段，预计下一代量子计算机将超越经典计算机的能力，实现新的科学计算、模拟、机器学习等领域的应用，而在智能交通、智能制造、智能金融等领域，量子计算机的应用也会得到更广泛的推广。机器人和自动化技术的产业化应用规模不断扩大，越来越广泛应用在医疗、装备制造、教育、国防等领域。生物技术引领生命科学的革新，基因编辑、CRISPR 等生物技术的应用在纯科研方面已经较为成熟，在医学、农业、环保等生命科学领域中的应用也将逐渐升温。数字双胞胎技术进一步发展，数字双胞胎有许多优势，如降低了产品和机器的研发成本、优化生产流程、提高生产效率和质量等，数字双胞胎的应用场景将涵盖更多的行业，在改变生产方式、产品设计等方面将获得更加广泛的应用。智能家居开启智能时代，智能家居设备与人类的生活更加紧密地相连，为人类的生活带来更为便捷和高效的体验。

（二）主要经济体投入处于增长通道

虽然全球科技合作交流与投资面临一系列挑战，但基于争夺科技创新主导权和支撑经济发展的需要，2022 年以来全球主要经济体的研发费用（R&D）仍然呈现增长趋势。2022 年美国研发投入达到了 7132 亿美元，比欧盟高了接近两倍，投入强度占 GDP 的 2.55%。2022 年中国研发资金投入 4590 亿美元（超过 3 万亿人民币），投入强度占 GDP 的 2.55%，连续 7 年增长，已经达到了美国的 64.18%，在亚洲比日本高出了整整三倍有余。欧盟科技研发的投入 3780 亿美元，投入强度占 GDP 的 2.27%，比上年



增长 8.9%。2022 年日本科研经费 1354 亿美元，投入强度占 GDP 的 2%。韩国 2022 年研发投入达到人民币 6111.8 亿元，投入强度占 GDP 的 4.81%。另外，欧盟发布的《2022 欧盟工业研发投资记分牌》显示，美国和中国公司的研发增长率分别为 16.5% 和 24.9%，继续超过欧盟公司。同时，美国的顶级研发投资公司数量 822 家，再次位居榜首；其次中国有 679 家；后面依次是欧盟 361 家；日本 233 家。^①

（三）亚洲科创产业集群领跑于全球

全球百强科技产业集群中，日本东京—横滨和亚洲四大集群共同引领百强科技集群；排名前五的科技集群全部位于东亚，依次是东京—横滨（日本）、深圳—香港—广州（中国）、首尔（韩国）、北京（中国）、上海—苏州（中国）。^② 其中，中国首次成为科技集群数量最多的经济体，共有 24 个科技集群进入百强榜单，比去年 21 个有所增加，增幅中位数为 12.1%，其中合肥 21.6%、青岛 19.4% 是两个全球增幅最快的集群。紧随其后的是美国 21 个、德国 9 个，日本、加拿大、印度和韩国各 4 个。除中国外，其他中等收入经济体的科技集群也实现了强劲的科技产出增长，尤其是印度，拥有 4 个顶级科技集群。^③ 亚洲科技产业集群数量的快速增长，表明亚洲创新能力、产业化水平的持续提升。与此同时，分析百强集群的科技强度，指出最密集的科技集群主要位于欧洲和美国，依次是英国剑桥和美国加州圣何塞—旧金山、牛津（英国）、埃因霍温（荷兰）和波士顿—剑桥（美国）；同时，韩国大田是亚洲科技集群密集度最高的地区，中国仅有北京入围。^④

① 清华五道口金融科技研究院：全球金融科技投融资趋势报告（2023 年上半年），网址：<https://thuir.pbczf.tsinghua.edu.cn/info/1011/2518.htm>

② 朱唐：创新浪潮为全球发展带来希望，载《社会科学报》，2023 年 10 月 19 日，第 1 版

③ 参见联合国世界知识产权组织（WIPO）：2023 年全球创新指数——科技集群报告，第 1-2 页

④ 参见联合国世界知识产权组织（WIPO）：2023 年全球创新指数——科技集群报告，第 73-74 页

第二章 全球科技创新挑战

一、研发投入面临挑战

由于受到贸易保护主义、技术与科技产品出口限制、科技产业链重构等非市场因素的干扰和限制，全球科学研究与实验发展费用的数量、流向都在发生较大变化。因此，将持续影响全球科技创新版图与科技产业结构。

（一）企业研发投入下降与流向不平衡

外商直接投资中的大部分资金通常流向科技型项目，但全球外国直接投资在 2022 年下降了 12%，降至 1.3 万亿美元，主要国家外商直接投资额产生了较大降幅，美国 2022 年外商直接投资（FDI）为 2850 亿美元，居全球第一，但比上年减少了 1000 多亿美元，降幅高达 26.5%。中国 2022 年吸引外商直接投资金额约为 1890 亿美元，比 2021 年相比略有提升。全球外商直接投资流向主要集中在发达经济体，新兴发展中经济体。特别是 46 个最不发达国家，他们吸引的外商投资总额只有 220 亿美元。根据 PitchBook 公布的数据，2023 年在第一季度，118 亿欧元流入了欧洲初创公司，比 2022 年第一季度大幅下降大约 57%，具体的交易数量则较上一季度下降了近五分之一。美国的科技投资和风险融资规模也在 2023 年年初大幅下降。美国同期初创企业融资大约 370 亿美元，为 13 个季度以来的最低季度水平。同时，2023 年北美的共享经济行业、车企行业、生物科技行业等一批“明星”独角兽企业先后破产。

（二）政府经费集中流向前沿技术领域

2022 年以来，美国、欧盟、英国、日本、韩国等发达国家均通过调整科技创新战略、制定科技投资法规，加大政府对芯片、人工智能、量子计算、新能源、5G 通信等高科技领域的研发投入和产业化实施的支持力度。美国就计划投入 2800 亿美元到芯片



与其他高科技领域，欧盟投入 430 亿欧元到芯片研发制造领域。其他发达经济体政府研发投入的力度也在不断加大。希望通过政府研发投入带动市场主体共同增加研发经费。但在这一过程中伴随出台了一系列故意割断科技产业链、限制技术与科技产品出口等违背市场规律的法律政策。

（三）部分研发投入被移出中国和欧洲

在全球经济下行态势下过往产业及其研发投入的稳定格局已被打破，部分技术研发投入逐步被移出中国和欧洲或不允许投入到中国。以医药创新研发投入、医药产品作为典型。欧洲公司在 2020 年的融资规模比 2019 年增加 1 倍多，但在此后两年有所下降，在 2018 年和 2019 年，欧洲公司平均获得 152 亿美元的总投资，而 2022 年仅有 78 亿美元。2020—2022 年三年里获得的平均投资超过 260 亿美元。中国公司在 2020 年和 2021 年的交易份额和绝对值都有所跃升，随后在 2022 年下降 59%，比 2019 年的水平低 11%。2023 年以来，这一趋势仍然在进一步加剧。

二、科技合作面临挑战

（一）科技供应链本土化呈现长期趋势

全球科技产业合作面临挑战。基于民族利益优先、本国利益至上、掌握科技创新主导权的立场，主要发达国家对外关闭或有条件地开放国内市场成为新常态。同时，各国加快调整产业链布局，试图重新掌控事关国计民生尤其是公共卫生安全领域的“话语权”，甚至试图强行改变全球化所形成的国际供应链格局，创新区域化逐步成为新的趋势。科技产业供应链和核心技术方面实现本土化、国产化以及自主可控已经成为趋势。例如，美国实施《2022 年芯片和科学法案》标志着针对单一产业高额补贴的法案正式生效，该法案授权对美本土芯片产业提供巨额补贴和减税优惠，并要求任何接受美方补贴的公司必须在美国本土制造芯片；美国此次法案是为补齐半导体产业链制造环节的短板，吸引台积电、三星等全球晶圆制造巨头去美国建厂。导致全球芯片产业链被一国本土化。未来，人工智能产业、新能源产业、量子技术产业、5G 产业等都可能被强制割断全球产业链，被部分或全部一国本土化。

（二）科技研发合作交流遭遇持续阻挠

美国、中国是全球最大的两个经济体，也是全球科技创新规模最大、拥有科技创新成果最多、科技产业化水平最高的经济体。全球科技创新能力的提升长期以来主要依靠美国、中国等国家密切的科技合作交流来互相促进和成就。但2018年以来，发达国家经济体出台了一系列行政令、政策、法律，干扰和阻碍科技研发项目合作、科技信息交流、科技服务、科技人才流动、科学专业留学等。例如，在2015到2020年间，由中国和美国科学家合著的论文数量从每年3412篇跃升到了每年5213篇——这在《自然》杂志编制的索引中超过任何其他两个国家的配对，但2021年后中美合作的论文数量开始快速下降。中美于1979年签署的一项里程碑式的合作协定——《中美科技合作协定》，在航空航天、信息技术、能源技术等众多领域，中美双方通过合作取得了丰硕的成果。该协议每五年续签一次，但2023年到期后能否续签却成了问题。这些干扰阻挠将对全球科技创新构成严重影响。

（三）割裂科技合作交流缺乏合理依据

2018年以来，部分发达国家不断加大对科技制裁政策工具的运用，联合一些国家商讨新版出口管制统筹委员会，希望与拥有先进技术的国家制定有效规则，防止关键技术、敏感技术被外泄出口到相关国家。该行为实际是要垄断前沿科技，牟取科技霸权。同时，还以国家安全、违反其国内法、违反其价值观等“莫须有”理由对其他国家科技企业、高校科研院所等进行单方制裁，到2023年还有加剧的趋势。这种人为阻断全球创新研发链、科技产业链的行为既不符合WTO规则，也背离科技创新市场规律。例如，个别国家以“民主价值观”为纽带加强与欧盟外交接触，在数据跨境流动与传输标准方面结盟，将改变当前数据治理分散化、碎片化状态，加剧国际数字规则博弈。^①还与欧盟、英国、澳大利亚和日本等联合发起《未来互联网宣言》，拟定未来互联网规则制约中国。^②但“师出无名”，理据不足。

^① 参见侯晓轩、杨金洁、郑实：2022年上半年世界前沿科技竞争发展态势，国防科技工业，2022年第11期，第59-61页

^② 参见刘典：科技巨头重塑地缘格局：审视俄乌冲突中的数字权力竞争，东方学刊，2022年第2期，第30-38页



三、科技监管面临挑战

（一）新兴科学技术产生伦理法律风险

新一轮科技革命的前沿科技正在产生显著的伦理、法律风险，对此如果不加以有效规制，将会严重影响科学技术的深度研发和产业化应用。例如基因编辑技术，就对现行生殖伦理、家庭伦理、继承法、婚姻法、收养法等构成冲击和挑战；人脸识别技术就面临生物隐私数据泄露、便利欺骗等伦理法律风险。2022年以来，生成式人工智能的研发与应用已经进入快速增长期，但生成式人工智能产生一系列的风险：第一，真实性风险。人工智能生成内容的真实性与准确性无从保证。虚假信息如进一步被不当应用又产生伤害与责任归属问题，法律难以界分不同的风险承担。第二，偏见与歧视风险。生成式人工智能所使用的训练数据来自人类社会，它也有可能继承人类社会中的歧视因素。第三，主体依赖风险。这里的依赖风险包括：一是对生成式人工智能的功能依赖。二是对生成式人工智能产生情感依赖。用户明确知道 ChatGPT 交互式对话机器人并非真人，仍可能将其作为人类并产生依赖，远离现实世界的人际交往，从而影响个体社会情感与交往能力的培养。

（二）伦理法律监管滞后科技创新进程

各国对前沿科技的监管，通常是伦理先行，法律跟随。当某项科学技术处于研发应用早期阶段，可能产生的风险、后果、责任尚不明确，可以先制定行业自律的伦理规范进行规制监管。当某项科学技术处于研发应用成熟阶段，可能产生的风险、后果、责任已经基本明确、稳定，则通过制定法律进行规制监管。当前，新一科技革命如火如荼，但伦理法律监管存在明显滞后，客观上会影响科技创新与产业化的进程。例如，生成式人工智能技术研发与产业化应用不断加速，但伦理法律监管明显滞后。美国 2022 年 10 月发布《人工智能权利法案蓝图：让自动化系统为美国人民服务》，2023 年 5 月，又发布《国家人工智能研发战略计划》，但要正式立法还尚待时日。中国于 2021 年 9 月发布《新一代人工智能伦理规范》，2023 年 7 月通过《生成式人工智能服务管理暂行办法》行政规章。欧盟在 2021 年先公布《人工智能法案》初稿，到 2023 年 12 月欧洲议会、欧盟委员会和 27 个成员国就《人工智能法案》达成协议，将成为全球首部

人工智能领域的全面监管法规。英国科学、创新和技术部于2023年3月发布了一份《人工智能白皮书》，而立法尚无时日。

四、科技人才面临挑战

（一）科技创新人才争夺更加趋于激烈

人才是创新的第一资源。全球已经进入科技格局重塑期，世界各国扩大智力引进，人才竞争加剧。发达国家利用优势地位，通过放宽技术移民政策、开放高等教育、设立合作研究项目等方式，持续增强对科研人员的吸引力，提高对全球科技人才引流的竞争力。例如，美国政府为加大技术移民数量，三次修订移民法相关规定，对杰出的高技术人才不设限额。除从法律层面为科技人力资源的流入提供保障，美国政府的科技政策和创新战略也为美国营造优越的科技创新环境，增强对高技术人才的吸引力。2023年德国、法国等也通过修改《移民法》，放宽对技术移民的条件，以满足人才需求。

（二）顶尖科研人才全球分布过于集中

2023年10月斯坦福大学发布了2023年度“全球前2%顶尖科学家榜单”，从全球近700万名科学家中遴选出世界排名前2%的科学家，共分为22个领域和176个细分子领域。美国、中国、日本等国家的顶尖科学家数量仍然排名领先，科学家团队主要分布在校科研院所、高科技企业，而其他发展中国家拥有的顶尖科学家与前述国家的差距十分明显。另外，就全球数字科技人才，据阿里研究院和智谱AI于2023年1月发布的《2023全球数字科技发展研究——科技人才储备实力研究报告》显示，基本来自美国顶尖高校（如斯坦福大学、卡内基梅隆大学、加利福尼亚大学等）、科技巨头（如谷歌、微软、IBM等）下设的科研机构。在全球高层次数字科技人才前十的机构中，美国六家、中国四家。四家中国机构依次为中国科学院第5名、北京大学第6名、清华大学第9名、上海交通大学第10名。相对而言，中国科学院是中国数字科技人才储备结构的缩影，人才基数大幅领先，但高层次人才仅占3%。

（三）高水平科技创新人才仍流失严重

发展中国家科技创新人才仍然存在“不想留”“留不住”，继续向发达国家流失。



发展中国家政府及高校通过实施各项举措，为优秀人才或储备人才提供出国学习和深造的机会，加大高水平国际化人才培养力度。然而，发展中国家培养的高水平创新人才大量流失到异国工作，某种程度上导致发展中国家公共教育资源的浪费，也造成发达国家与发展中国家高水平创新人才的分布明显不平衡，极大制约了发展中国家科技创新能力的提升。对此，发展中国家政府、高等教育系统应反思问题背后的动因，亟需采取有效措施缓解人才流失。同时，国际创新型人才引进过程中存在明显的信息不对称，一方面，国际高水平人才对相关国家公开招聘的信息了解不及时、不充分；另一方面，发展中国家在引进人才中难以深入全面了解人才的真实水平，导致引进待遇与其学术能力不对等、引进效果受限。

第三章 人工智能与数字科技

当前，世界人工智能与数字科技领域科技创新异常活跃，日益成为改变世界竞争格局的重要力量。大模型技术引发通用人工智能新一轮发展热潮，通感算融合网络已成为技术发展新趋势，为实现虚实平行空间下的随时随地、多元化、深度沉浸式体验展现了更加美好的愿景。

一、AI 大模型

AI 大模型是人工智能预训练大模型的简称，包含了“预训练”和“大模型”两层含义，二者结合产生了新的人工智能模式，即模型在大规模数据集上完成预训练后，仅需少量数据的微调甚至无需微调，就能直接支撑各类应用。这些模型通常具有多层神经网络结构，并使用高级的优化算法和计算资源进行训练，具有强大的泛化性、通用性和实用性，可以在自然语言处理、计算机视觉、智能语音等多个领域实现突破性性能提升。

（一）发展趋势与区域竞争力

1. 全球已发布大模型超 200 个，中美数量占全球的九成

2017 年谷歌发布的 Transformer 网络结构是大模型发展的源头技术，自此以后大模型技术在自然语言理解、计算机视觉、智能语音等方面都取得了标志性的技术突破，在模型精度、通用性和泛化能力等方面都实现了跨越式发展。

2018 年开始，谷歌、OpenAI、英伟达、Meta 和微软等大型科技企业纷纷推出自研大模型技术，预训练大模型逐渐成为自然语言处理领域的主流研究。

中国在大模型方面紧跟国际前沿步伐，2021 年在美国引领的大模型技术快速发展



的同时，中国也开启了大模型发布热潮，逐步涌现出一批具有行业影响力的大模型。从全球范围来看，中美在大模型领域引领全球发展。其中，基于在算法模型研发上的领先优势，美国大模型数量居全球首位，根据中国科学技术信息研究所、科技部新一代人工智能发展研究中心联合发布的《中国人工智能大模型地图研究报告》，截至2023年5月，美国已发布100个参数规模10亿以上的大模型，中国已发布79个，全球累计发布大模型202个，中美两国大模型的数量占全球大模型数量的近90%，中国大模型数量已进入第一梯队。

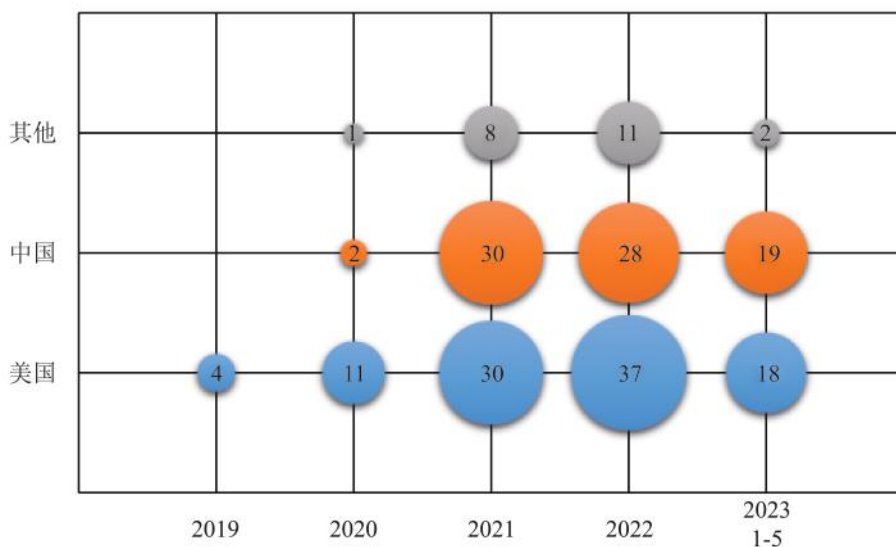


图1 全球大模型分布情况^①

(数据来源：中国科学技术信息研究所《中国人工智能大模型地图研究报告》)

2. 全球大模型市场规模破2028年突破千亿美元，中国突破千亿元人民币

大模型作为通用性技术，在自然语言处理、计算机视觉、语音识别、文本识别、推荐系统等多个领域均能展现其突出的作用，根据大模型之家的测算，到2023年，全球大模型市场规模将达到210亿美元，到2028年，其规模将达到1095亿美元；2023年，中国大模型产业市场规模将达到147亿元人民币，并在2028年达到1179亿元。

^① 统计口径为参数规模10亿以上的大模型

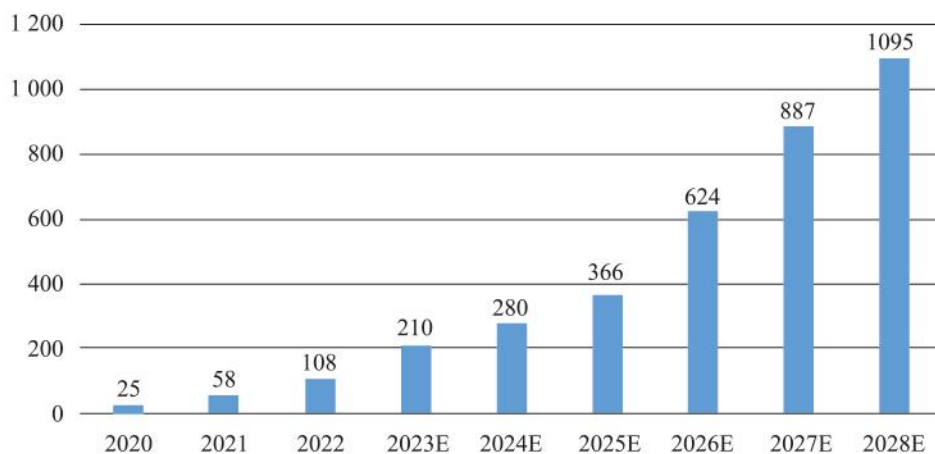


图2 2020—2028 年全球大模型市场规模（亿美元）

（数据来源：大模型之家《人工智能大模型产业创新价值研究报告》）

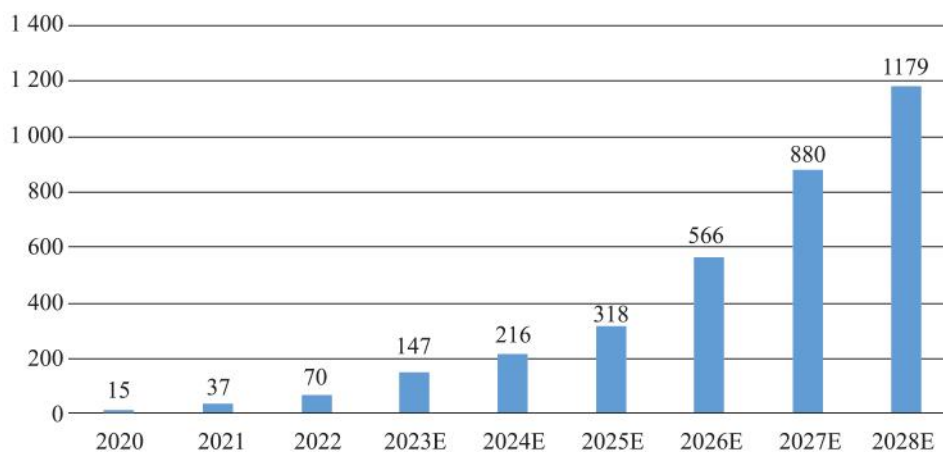


图3 2020—2028 年中国大模型市场规模（亿元人民币）

（数据来源：大模型之家《人工智能大模型产业创新价值研究报告》）

3. 全球 AI 大模型技术呈现快速增长趋势，专利技术主要来源于中、美、韩、日等国

如下图所示，自 2018 年起，全球 AI 大模型技术专利申请进入快速增长期。2021 年 AI 大模型技术专利申请量更是达到了近 1.4 万项。总体而言，大模型技术正处于快速发展期，其技术正在不断创新，市场正在不断挖掘，预计未来该技术的专利申请量将继续快速增长。

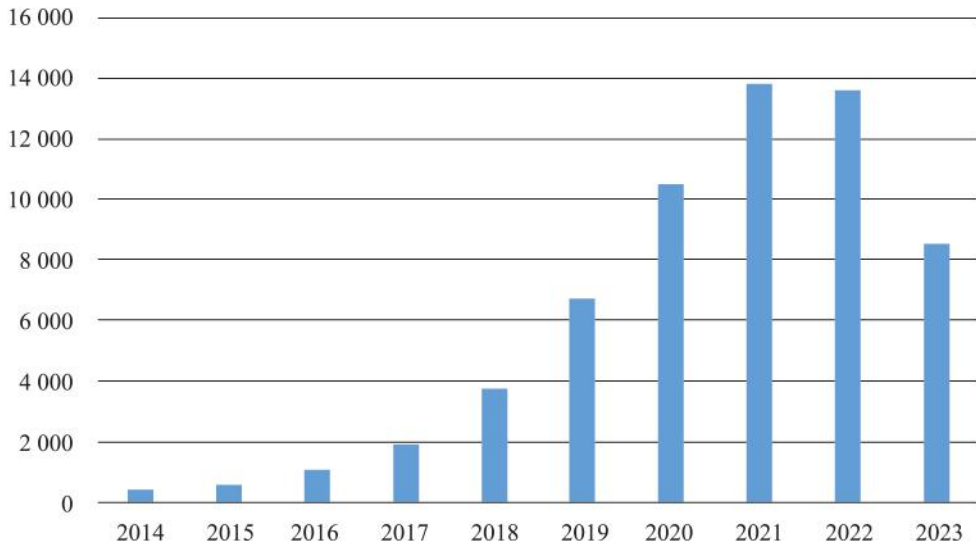


图4 全球 AI 大模型专利申请趋势（项）

（数据来源：智慧芽）

对 AI 大模型技术产出地区进行分析，如下图所示，中国占比高达 58%，中国、韩国和日本是亚洲专利主要产出地区，占全球七成。美国 AI 大模型技术占比 18%，从全球角度来看，其中中国、美国、韩国、日本、德国和印度稳居专利产出区域前列，体现出这些国家在该领域强大的技术实力。

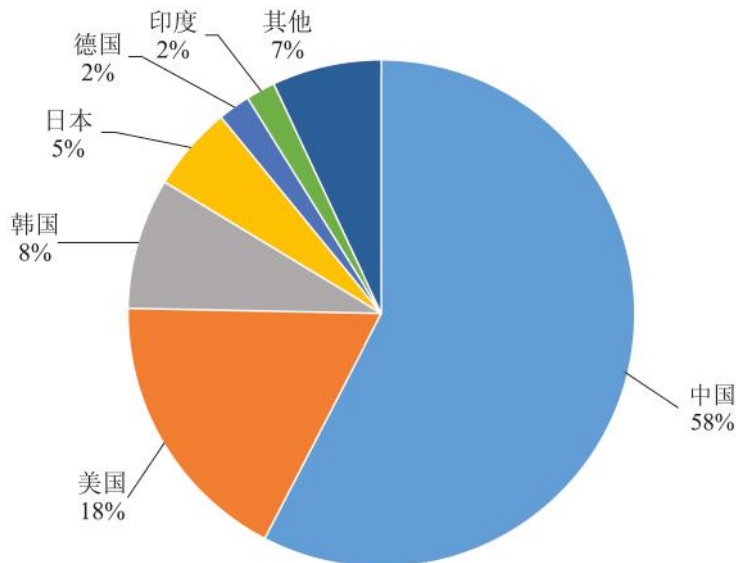


图5 全球 AI 大模型主要技术来源国分布

（数据来源：智慧芽）

（二）颠覆性技术创新的影响

伴随 AI 技术升级和大模型成熟，AI 绘画与 ChatGPT 的成功破圈，生成式 AI 技术迎来发展拐点，行业关注度大幅提升。

1. 大模型推动内容生产方式变革

生成式 AI 是指基于大模型、生成对抗网络 GAN 等人工智能技术，通过已有数据寻找规律，并通过适当的泛化能力生成相关内容的技术，可生成如图像、文本、音频、视频等原创内容变体^①。

自 2022 年 OpenAI 发布 ChatGPT 以来，全球爆发生成式 AI 热潮，诸多科技类企业纷纷推出生成式 AI 模型、产品和相关底层基础设施及服务。大模型实现了高质量、高效率、多样化的内容生产，成为推动内容生产方式变革的重要力量。

（1）文本生成

文本生成应用主要在四个领域：内容续写、文本风格迁移、摘要/标题生成及整段文本生成，与其相关的个性化文本生成及实时文本交互前景广阔。总体来看，基于 NLP 技术的文本生成是生成式 AI 中发展较早的应用，全球知名科技企业先后推出文本生成类应用工具，如 Microsoft、Xmind 等相关产品在文案写作、数据分析、演示文稿、思维导图等方面均有相关应用案例。

（2）图像生成

图像生成的技术场景划分为图像属性编辑、图像局部生成及更改、端到端的图像生成。其中，前两者落地场景为图像编辑工具，端到端的图像生成则对应创意图像生成及功能性图像生成两大落地场景。目前，图像编辑工具的使用已较为广泛，相关产品较为丰富；创意图像生成大多以 NFT 等形式呈现，功能性图像大多以营销类海报/界面、LOGO、模特图、用户头像为主。

（3）音频生成

音频生成在日常生活中已较为常见，其应用领域可进一步区分为语音合成和音乐创作，语音合成包括文本生成特定语音（TTS）和语音克隆领域。TTS 领域的技术成熟度较高，但在情感表现上仍有欠缺；语音克隆对电影、动画等行业意义重大值得关注；音乐创作可进一步细分为作词、作曲、编曲、录制、混音等多个方向，创作过程

^① 中国互联网协会，2023 年全球生成式 AI 产业研究报告



主要依托 Transformer 模型。

(4) 视频生成

视频生成有望成为未来跨模态生成领域的中高潜力场景。视频生成主要对应三个领域：视频属性编辑、视频自动剪辑、视频部分生成。视频属性编辑已广泛应用于视频创作领域，大幅提升视频剪辑效率；视频自动剪辑主要在技术尝试阶段；视频部分生成的原理本质与图像生成类似，强调将视频切割成帧，再对每一帧的图像进行处理，现阶段的技术在于提升修改精准度与修改实时性两方面。

(5) 数字人

数字人指存在于非物理世界（如图片、视频、直播、VR）中，并具有多重人类特征的综合产物。数字人代表着从文本/音频等低密度模态向图像/视频/实时交互等信息密度更高模态的转化，未来视频乃至元宇宙领域都将是数字人的重要应用场景。在生成式 AI 领域，数字人生成可划分为数字人视频生成和数字人实时互动，数字人视频生成是目前应用最广泛的领域之一，而数字人实时互动多应用于可视化的智能客服，更强调实时交互功能。

2. 大模型引领数字化变革^①

(1) 大模型推动产业跨域深度融合

凭借大数据、大市场、多场景优势，人工智能与交通、医疗、工业等传统行业深入融合，涌现出一批新业态新模式。在工业领域，大模型实现汽车、建模等设计的自动优化、打造 3D 模型、通过智能物流、智能安防实现智能化管理；在医疗领域，大模型实现蛋白质分子的结构预测、辅助医生影像读片与分析病例报告，推出 AI 陪护与交互式心理咨询；在金融领域，大模型催生了数字员工，借助 AI 客服、AI 投资顾问、AI 财务实现服务的自动化，并进一步优化投资管理与风险管理。据埃森哲预计，2035 年人工智能应用将为制造业带来 4 万亿美元额外增长，年增长率可达 4.4%。

(2) 大模型提升公共服务水平

当前，公共领域大模型应用如火如荼，为公共服务提质增效。美国、英国、葡萄牙、新加坡等 13 个国家或地区已将 ChatGPT 应用于政府内部办公、公共服务提供等场景。据日本野村综合研究所开展的网络问卷调查显示，政府部门对 ChatGPT 的利用率达 17.5%，仅次于信息通信业（32.8%）和制造业（19.2%）。从市场份额来看，根

^① 中国信通院，大模型治理蓝皮报告（2023 年）

据普鲁杜尔公司数据显示，2022 年各国政府应用大模型的市场份额超过 1 千万美元，预计 2032 年超过 5 亿美元，年复合增长率达 45.8%。大模型技术的引入可以显著提升人机交互的友好程度。同时，大模型在信息收集、数据分析以及语言重塑能力层面的优势，能够有效协助整合政府治理资源，改善政府治理结构，打破政府组织壁垒，实现跨部门、跨层级的协同治理。

3. 大语音模型产品未来发展展望

(1) 持续探究大模型的生成可控性^①

未来，如何建立一个统一可控的生成框架，生成内容的自我检测，以及生成内容的二次修改等内容，仍是值得探索的方向。目前的模型基本上是以文本和图像为主，3D 模型少之又少，以数字人为例，最难攻克的便是数字人的面部，即使现实中有很多可参照的原型，但图片所带来的数据，无法支撑 3D 场景的需求。近期，Magic3D 模型的出现打破了大模型在 3D 方面的僵局，但受到数据的影响，目前还无法将 3D 模型做成通用型的。未来视频生成一定是具有很大潜力和商业价值的领域，生成式 AI 也将迎来爆发式增长。

(2) 接近和超越人类的思维方式^②

目前所知的大语言模型的涌现能力决定了大语言模型在逻辑推理等方面的基本表现。更为复杂、严谨、灵活的逻辑推理和自学习能力仍然是目前大部分大语言模型面临的核心挑战。如何科学的解释大语言模型的涌现能力也是目前产业和科研领域的巨大挑战，可解释即代表着可复现，同时也代表着大语言模型涌现能力的工业化。

在逻辑推理之上理解人类情感是更高维度的思考方式。目前部分大语言模型可以对人类情感做出简单的判断。理解和在情感需求的基础上创造内容和解决方案是目前行业对大语音模型给予的殷切期待，也是很多头部大语音模型厂商的共同追求。

二、通感算融合网络

通感算融合网络是指同时具备物理 - 数字空间感知、泛在智能通信与计算能力的网络。该网络内的各网元设备通过通感算软硬件资源的协同与共享，实现多维感知、

^① IDC China, 2022 中国大模型发展白皮书

^② InfoQ, 大语言模型综合评测报告 2023



协作通信、智能计算功能的深度融合、互惠增强，进而使网络具备新型闭环信息流智能交互与处理及广域智能协作的能力，为智慧城市、智慧交通、智能家居等典型应用场景提供支持。

进一步，我们对通感算融合网络中感知、计算、通信的内涵进行如下解读：

感知：如同人体的感官。感知是指物理 - 数字多维空间的感知，包含：网络外部感知和网络内生感知两大部分。其中，网络外部感知包括对电磁环境（信道状态、频谱质量、电磁干扰等）、外部物理环境（目标运动状态检测与识别、目标成像等）的感知；网络内生感知包括对业务需求（传输速率、通信时延、算力要求等）、网络物理与数字空间状态（网元设备运行状态及资源使用情况、AI 训练模型库、数字孪生网络运行状态等）的感知。

计算：如同人体的大脑。一般意义上，计算是指零散、孤立的分散在网络各处的具有计算能力的网元。在通感算一体化网络中，计算是指增强感知与通信后可协同分配调用的分布式泛在智算。

通信：如同人体的神经。通信是赋予智能网络节点间多维感知信息共享、分布式智能计算等信息交互的载体，也是实现网络广域智能协作的基础。

通信、感知、计算三者深度融合、互惠增强，通感算融合网络通过云 - 边 - 端多维感知、协作通信、智能计算功能的深度融合、互惠增强，实现新型闭环信息流智能交互与处理，进而支持通感算融合网络广域智能协作^①。



图 6 通感算融合网络典型应用场景

① 通感算一体化网络前沿报告（2021 年），中国通信学会，2022 年 1 月

（一）发展趋势与区域竞争力

1. 通感算融合网络处于起步阶段，技术发展势头迅猛，中、美和欧为领头国家/地区

近年来，学术界与工业界对通、感、算之间的融合技术进行了研究。2020年11月，中国移动在世界5G大会提出了6G通感算融合的一体化框架。随之各国开始了对通感算融合网络技术的研发和规划，具体如下表1：

表1 通感算融合主要国家发展情况^①

国家/地区	事件
中国	2021年6月，欧盟正式启动了最新一轮框架计划—Horizon Europe 研究周期（2021—2027年），并发布6G愿景白皮书，以期保持欧洲在科技领域的领先地位，其中负责6G研究的Smart Networks and Services Joint Undertaking明确将通信感知融合作为6G的标志性技术，得到了各国学术界和标准组织的广泛关注。
美国	IMT-2030 6G推进组于2021年成立了通信感知融合任务组，负责面向6G的通信感知一体化预研。
欧洲	美国太赫兹与感知融合技术研究中心重点研究了通信感知融合技术，包括太赫兹超高速通信与超高精度成像。

在研究通感算融合网络技术过程中，也涌现了一些在通感算融合资源管理研究领域中的代表性论文，具体如下表2：

表2 通感算融合的资源管理研究领域的代表性论文^②

Introduction	The target or related work
Summarize the standard research progress of C-V2X and the resource pool of C-V2X	The centralized and distributed resource scheduling methods under LTE-V2X and NR-V2X are described, respectively
An edge intelligence multisource data processing scheme for autonomous driving in the loV is proposed	Improve the system throughput and the accurate inference rate of neural networks

^① 自动驾驶车联网中通感算融合研究综述与展望，<https://mp.weixin.qq.com/s/lcXZaScNaLY6dJtq2YGCw>

^② 自动驾驶车联网中通感算融合研究综述与展望，<https://mp.weixin.qq.com/s/lcXZaScNaLY6dJtq2YGCw>



续表

Introduction	The target or related work
The network architecture of the Next-generation IoV is proposed	Content distribution, edge caching, computing offloading, and autonomous driving technology are analyzed in detail
Compare with the delivery to the cloud, MEC reduces the transmission distance and transmission delay	An integrated platform is designed to solve the problem of resource deployment and management
A system based on MEC is constructed, and an offloading algorithm is proposed	To solve the problem of high traffic density in the Internet of vehicles, manage and control the data offloading of V2X
The mathematical model for task importance is established, and the task offloading sorting algorithm and the offloading algorithm based on Q learning are designed	The energy consumption and delay of task offloading are optimized
A distributed offloading strategy where multiple collaborative nodes have a serial offloading mode and parallel computing mode in the V2X scenario is proposed	The optimization problem of system delay minimization is established

通过表 2 可以发现，国内外研究学者在通感算融合的资源管理方面取得了一些进展，但是现有的相关研究工作，大多集中于通感、通算、感算等双边能力的一体化方面，而对通感算三者的深度融合，尚处于愿景与设想阶段。

2. 通感算融合网络技术近 5 年呈现快速增长趋势

如图 7 所示，自 2019 年起，全球通感算融合网络技术专利申请进入快速增长期。2022 年通感算融合网络技术专利申请量更是超过了 3000 件。总体而言，通感算融合网络技术产业正处于快速发展期，其技术正在不断创新，市场正在不断挖掘。

3. 全球通感算融合网络技术主要来源于亚洲和北美洲地区

对全球通感算融合网络专利技术产出地区进行分析。如图 8 所示，亚洲占比高达 59.9%，其中中国、韩国和日本是亚洲专利主要产出地区。从全球角度来看，其中中国、美国、韩国和日本稳居专利产出区域前列，体现出这些国家在该领域强大的技术实力。

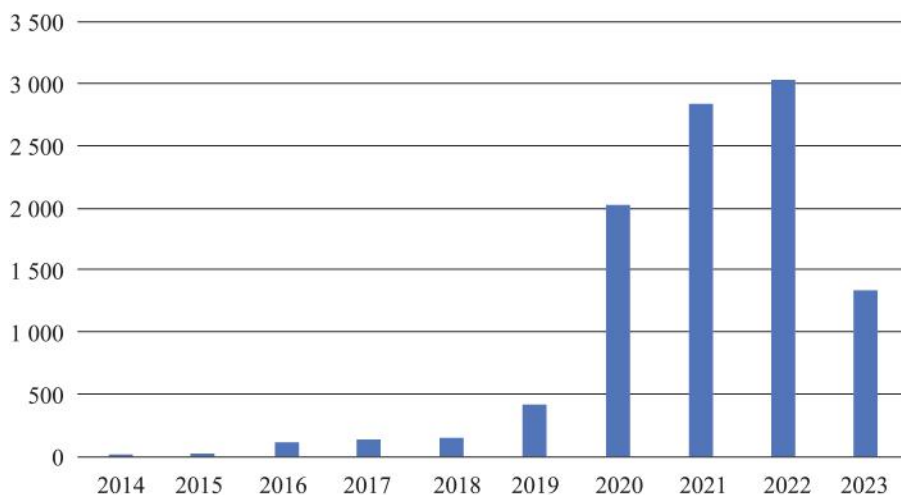


图7 截至2023年通感算融合网络技术专利申请趋势（件）
（数据来源：智慧芽）

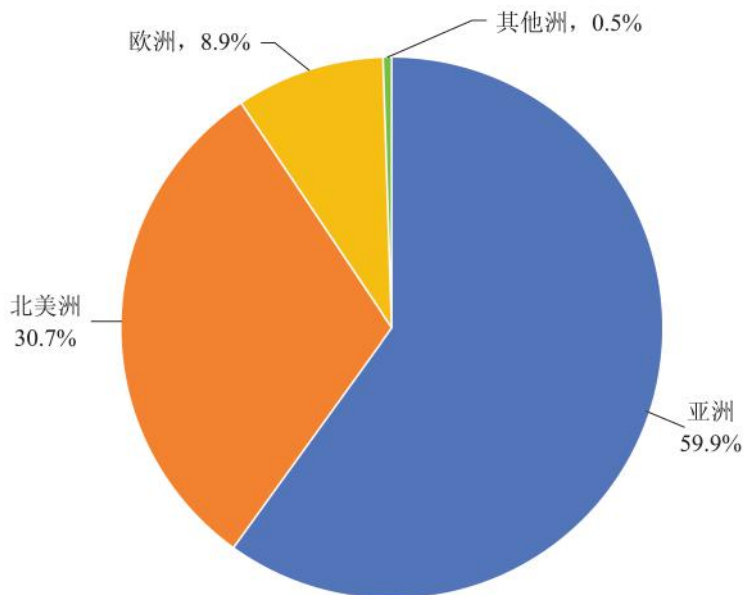


图8 截至2023年全球通感算融合网络技术来源区域（件）
（数据来源：智慧芽）

（二）颠覆性技术创新的影响

随着第五代移动通信技术（5G）的大规模商用，在全球范围内，业界已开启对第六代移动通信技术（6G）的系统性研究。从移动互联，到万物互联，再到万物智联，



6G 将推动构建普惠智能的人类社会，满足超能交通、通感互联、全息交互、元宇宙、精准医疗、智慧工业等 6G 新场景需求。6G 移动信息网络需要具备智慧内生、多维感知、数字孪生等新功能。通信 - 感知 - 计算融合网络应运而生，成为新一代移动信息网络的发展态势^①。

1. 无线空口技术

在无线通信中，信息需要通过空气（或者说是空口）从发送设备传输到接收设备，无线空口就是一种透过无线通讯，以连结终端用户与基地台技术。这个过程会受到很多因素的影响，比如距离、障碍物、天气等。因此，空口的管理和优化是无线通信系统设计的重要部分。

(1) 无线空口技术应用场景广

无线空口技术具有广泛的应用场景。例如，在智能电网中，无线空口技术可以用于数据采集和监控，实现远程管理和控制；在车载通信中，无线空口技术可以用于车辆之间的通信和车辆与路边设施之间的通信；在工业自动化控制中，无线空口技术可以用于设备之间的通信和数据交换；在智能医疗中，无线空口技术可以用于医疗设备之间的通信和数据交换。此外，无线空口技术还可以应用于公共安全、智慧城市等领域。

总之，无线空口技术的应用场景非常广泛，未来随着技术的不断演进和发展，其应用前景也将更加广阔。

(2) 6G 无线空口技术期待突破

以前每一代无线通信技术基本都是依赖无线空口技术的进步，提升了无线传输的速率。

2008 年，土耳其 Arıkan 教授发表了 Polar 码，到 2016 年被 3GPP 采纳为 5G 控制信道编码标准，从提出到现在超过十年。1980 年马可尼就提出用 MIMO 技术来抵抗信号的衰落，1995 年 Teladar 给出了在衰落情况下的 MIMO 容量，1998 年贝尔实验室建立了 MIMO 实验系统，到 5G 采用大规模 MIMO，也经历了 20 年。得益于大规模集成电路技术与算法的进步，5G 做了将前人的理论工程化实现的工作。

5G 在无线空口上未出现颠覆性技术。5G 将多年积累的大规模天线技术与新型信道编码技术加以应用，但看不到还有什么具有很大潜力的无线空口技术储备留给 6G。

^① 6G 通信 - 感知 - 计算融合网络的思考，<https://mp.weixin.qq.com/s/W4EGDJ42I7VAo6volSImA>

虽然 MassiveMIMO 还可以继续增加波束数，但效率不是成比例增加的，而且蜂窝半径还会越来越小。

扩展频谱到毫米波、采用非蜂窝架构、采用轨道角动量技术、从被动的躲开干扰到主动的消除和利用干扰等想法很好，但都有不少限制，难以在空中接口技术上有非常明显的突破。显然 6G 不仅需要在无线物理层技术上继续努力，还需要更多关注网络技术的创新。

2. 协作节点高精度同步技术

协作节点高精度同步技术是针对分布式网络中多个协作节点之间的时间同步需求而发展起来的一种技术。它通过利用网络中的多个节点之间的信息交互和协同工作，实现所有节点在相同的时间基准上工作，以保证网络中各个节点的协同操作和数据传输的同步精度。

(1) 协作节点高精度同步技术应用范围广

目前的协作节点高精度同步技术有多个应用场景，包括但不限于：

通信领域：通过高精度同步器，可以实现网络中各个节点的时间同步，保证通信带宽的有效利用和媒体资源的高效调度。

金融领域：在金融交易中，交易的时间戳非常重要，而高精度同步器可以为金融交易系统提供高精度、高可靠的时钟同步功能，确保金融交易的顺利进行。

制造领域：制造业中的自动化生产线需要严格的时间同步，而高精度同步器可以为生产线提供精准、稳定的时间同步服务，提高生产效率和产品质量。

能源领域：对于能源防控系统，采用高精度同步器可以保证能源设备之间的时间同步，使得系统的数据采集、控制和监控等功能得以有效实现。

空间领域：在卫星通信、空间探测等空间领域中，高精度同步技术可以用于实现天地一体化通信、对地观测数据的精准同步传输等。

除此之外，协作节点高精度同步技术还可以应用于车联网、物联网、边缘计算等领域。随着技术的不断发展和应用场景的不断扩展，协作节点高精度同步技术将在更多的领域得到应用。

(2) 目前技术遇到的难题多

协作节点高精度同步技术目前存在时间同步精度、网络安全、跨域同步、能耗和故障检测和恢复等问题。具体如下：

时间同步精度问题：虽然已经存在一些高精度的同步技术，但是这些技术的精度



仍然受到多种因素的影响，如网络延迟、时钟漂移、数据处理速度等，难以实现绝对精确的时间同步；

网络安全问题：协作节点高精度同步技术需要各个节点之间的紧密配合和信息交互，因此容易受到恶意攻击者的干扰和攻击，如何保证网络安全是一个重要的问题；

跨域同步问题：在分布式系统中，节点可能分布在不同地域和不同网络中，如何实现跨域同步是一个难题。由于不同网络之间的传输延迟和网络质量差异，导致跨域同步的精度和可靠性难以保证；

能耗问题：协作节点高精度同步技术需要大量的计算和信息交互，因此会消耗大量的能源和计算资源，如何降低能耗也是一个重要的问题；

故障检测和恢复问题：在协作节点高精度同步系统中，某个节点的故障可能会对整个系统的同步精度造成影响，因此需要快速检测和恢复故障，保证系统的正常运行。

针对以上问题，需要进一步研究和改进协作节点高精度同步技术，提高其同步精度和可靠性，同时加强网络安全防护和故障检测与恢复能力。

第四章 信息与通信技术

一、5G/6G 无线技术

5G 是继 4G LTE 之后的第五代蜂窝网络技术。它于 2019 年首次推出，Verizon 率先于当年 4 月开始进行商业部署。与之前的 3G 和 4G 不同，5G 不仅仅是一种渐进式技术进步，而是一种真正的跨越式技术。5G 与其前身的最大区别之一是速度。5G 提供高达每秒 10 吉比特的理论速度，比 4G LTE-Advanced 的 300Mbps 理论最大速度快 30 多倍。该技术还使用比前几代产品更高的频段，可部署在 24GHz 至 66GHz 的低频段、中频段或高频段毫米波中。这方面允许更快的数据传输速度和更大的带宽容量。

6G 是将接替 5G 的第六代蜂窝网络技术。它预计将于 2030 年上市，并承诺比其前身更快的速度。已经有报告称在中国的实验室环境中达到了每秒 206.25 吉比特。这项新技术将使用比 5G 更高的频段，在 30 至 300GHz 毫米波至 300 至 3000GHz 辐射范围内运行。此外，由于其频谱使用范围更广，它将提供更广的覆盖范围和更高的可靠性^①。

（一）发展趋势与区域竞争力

1. 各国在大幅提升 6G 科研支持力度

各国通过发布政策、组建研究小组、建设公共研究设施、增设 6G 研究项目等方式，加大 6G 领域资金投入，带动学术界与产业界 6G 前沿技术研究；同时，各国也以行业联盟或工作小组的形式为抓手，加速推动 6G 行业发展。

^① 一文读懂 5G 与 6G 的区别，<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1763679341664885174&wfr=spider&for=pc>



表 3 5G/6G 无线技术主要国家发展情况^①

国家/地区	事件	联盟
中国	2021 年，发布《“十四五”信息通信行业发展规划》、《“十四五”数字经济发展规划》。	IMT-2030 (6G) 推进组
	2023 年，工信部发布《中华人民共和国无线电频率划分规定》，率先在全球将 6425-7125MHz 频段划分用于 5G/6G 系统，布局 6G 研发。	
美国	2021 年，通过三项通信法案《未来网络法案》、《了解移动网络安全法案》以及《美国网络安全素养法案》，旨在确保美国在下一代通信技术方面处于领先地位。	NextG 联盟（专门管理北美 6G 发展的贸易组织）
	2022 年，美国国防部组建 6G 研发中心，启动了 Open6G、MHz 到 GHz 的弹性大规模 MIMO、新的频谱转换安全性和可扩展性三个项目，项目总经费超过 700 万美元。	
欧洲	2021 年，欧盟启动旗舰 6G 研究项目“Hexa-X”，旨在创建独特的 6G 用例和场景、研发 6G 基础技术、定义新型 6G 智能网络架构。	欧洲 6G 智能网络和服务行业协会 (6G-IA)
	2022 年 10 月，欧盟启动第二阶段 6G 旗舰项目 Hexa-X-II。	
	2022 年 12 月，SNSJU 通过了《2023-2024 年研究与创新 (R&I) 工作计划》。	
韩国	2020 年，《引领 6G 时代的未来移动通信研发战略》，提出要成为全球首个 6G 商用国家。	6G 研发战略委员会
	2021 年，韩国科学技术信息通信部制定“6G 研发实行计划”。	
	2023 年，韩国发布《韩国网络 2030 战略》。	
日本	2020 年，日本提出 2025 年实现 6G 关键技术突破、2030 年正式启用 6G 网络、日本掌握的 6G 技术专利份额超过 10% 等战略目标。	Beyond5G 推进联盟
	2023 年，日本总务省再次拨出 662 亿日元预算，在国家信息与通信技术研究所设立基金，用于支持 6G 无线网络研究。	

^① 全球 5G/6G 产业发展报告（2022—2023），北京电信技术发展产业协会，2023 年 3 月

2. 全球 6G 无线技术产业学术研究申请量总体呈快速增长态势

由图 9 可知, 6G 学术研究于 2018 年开始起步, 2019 至 2021 年快速增长, 处于高速上升期, 2021 年的文献数量已达到了 1067 篇, 预计未来仍将保持快速增长的势头。但 6G 学术仍处于初期阶段, 为更好地了解 6G 未来的发展趋势, 可以利用 5G 文献的分布趋势作为参考, 对比分析并预测 6G 未来的分布趋势。

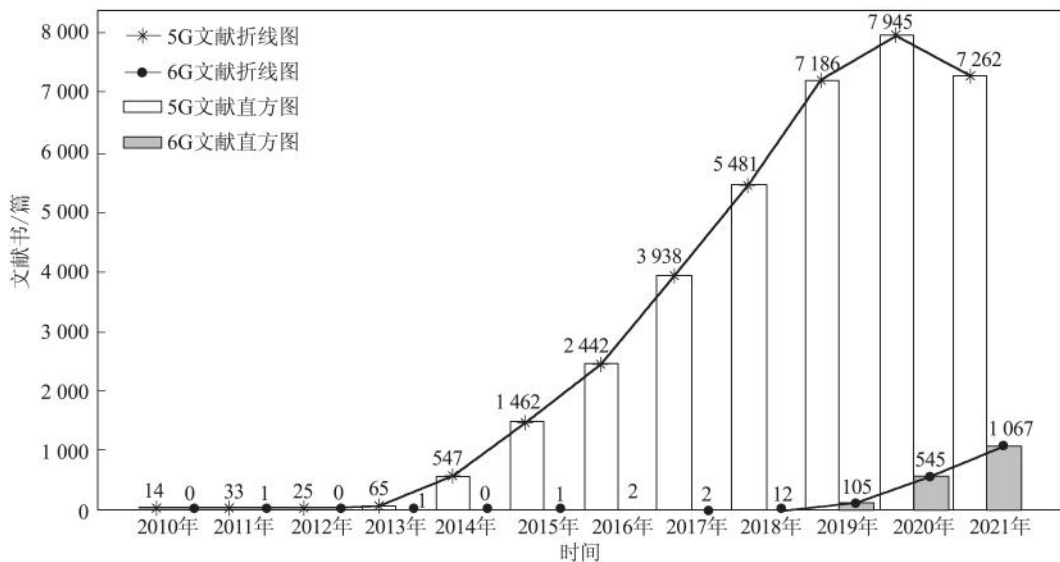


图 9 全球 5G/6G 文献分布统计^①

5G 学术研究起步于 2010 年开始出现; 2013 至 2019 年处于快速增长期; 2019 年后增长速度放缓, 并于 2020 年达到 5G 文献数量的峰值, 高达 7945 篇。从上述数据可以推断, 从初期到峰值的发展周期一般为 8~10 年。2020 年后, 呈现文献数量下降的趋势, 预计在未来将呈现由缓降到陡降分布趋势。

3. 全球 6G 无线技术近 5 年呈现快速增长趋势

如图 10 所示, 自 2019 年起, 全球 6G 无线技术专利申请进入快速增长期。2021 年 6G 无线技术专利申请量更是达到了近万件。总体而言, 6G 无线技术产业正处于快速发展期, 其技术正在不断创新, 市场正在不断挖掘。

^① 6G 知识体系构建: 面向全域全场景的学术知识挖掘及其按需应用, 沙子凡, 2023 年 9 月

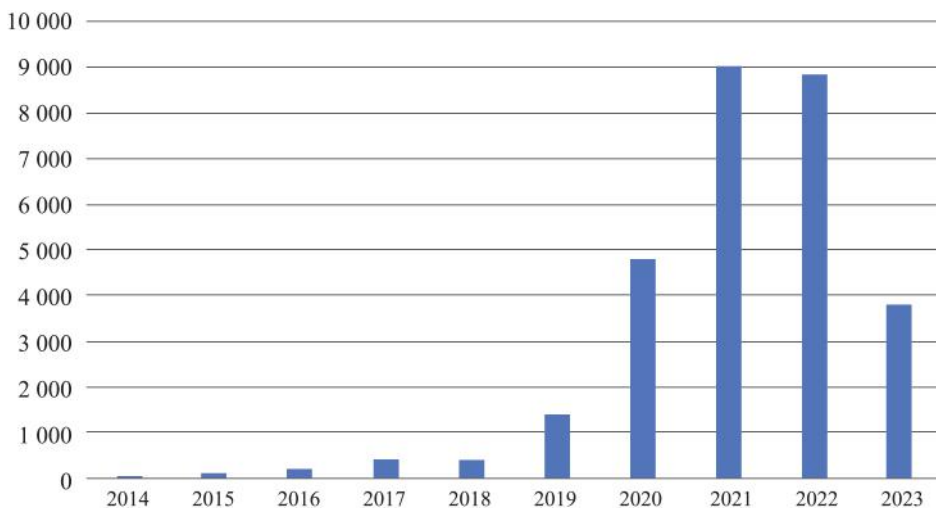


图 10 截至 2023 年 6G 无线技术专利申请趋势（件）

（数据来源：智慧芽）

4. 全球 6G 无线技术主要来源于亚洲和北美洲地区

对全球 6G 无线技术产出地区进行分析。如图 11 所示，亚洲占比高达 75.8%，其中中国、韩国和日本是亚洲专利主要产出地区。从全球角度来看，其中中国、美国、韩国、日本和瑞典稳居专利产出区域前列，体现出这些国家在该领域强大的技术实力。

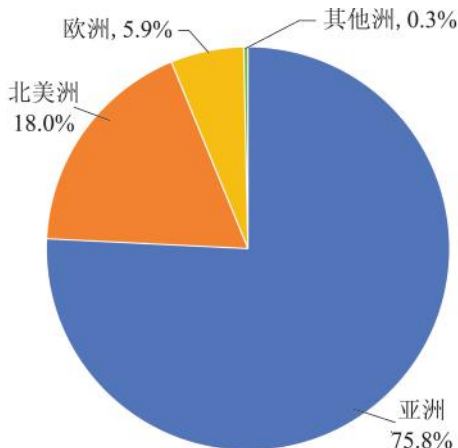


图 11 截至 2023 年全球 6G 无线技术来源区域（件）

（数据来源：智慧芽）

（二）颠覆性技术创新的影响

6G 关键技术大致可分为无线通信、无线组网和网络架构三大技术领域，其中主要包含“新型网络架构、内生 AI、通感一体化、异构融合组网、数字孪生网络、超大规模”

模 MIMO、新型无线传输、内生安全、空天地一体、新型无源物联”十大技术方向^①。

本报告选取空天地一体、数字孪生网络为颠覆性技术代表。



图 12 6G 无线技术

1. 空天地一体

“全球覆盖、随遇接入、按需服务、安全可信”的空天地一体化网络是未来 6G 重要的演进方向，其愿景是构建地基网络为基础，天基网络（含通导遥卫星）和空基网络为补充和延伸的立体网络结构，形成跨地域、空域、海域的天地一体融合通信网络，满足广域智慧连接和全球泛在无缝接入需求，实现统一高效的资源调度与网络管控，进而为广域立体空间范围内的应用提供全球时空连续通信、高可靠安全通信、区域大容量通信、高机动全程信息传输等能力，对提高应急水平、维护国家安全、保障国计民生、促进经济发展具有重大意义，面向 6G 的空天地一体网络架构，如图 13 所示。

空天地一体网络拥有显著的覆盖范围广、受环境影响小、容灾能力强通信优势，可不受地面限制向空、天、地、海等多维空间扩展，增强通信链路的可靠性及安全性。随着未来 6G 高中低轨卫星协同组网，空间基础设施与地面基础设施将从互联互通、互

^① 中国移动全力发展 6G 技术助力数字经济发展，<http://www.xinhuanet.com/info/20230920/d29ef19a87df4d10aebc7a88bc574698/c.html>



补融合逐步实现深度融合，提供更快的速率、更好的服务质量和更高的可靠性，为用户提供可靠、连续的通信服务。同时，利用蜂窝通信产业规模效应大幅降低卫星通信成本，进而在公众用户中推广卫星通信设备与服务，提供泛在、智能、协同、高效的通信服务。

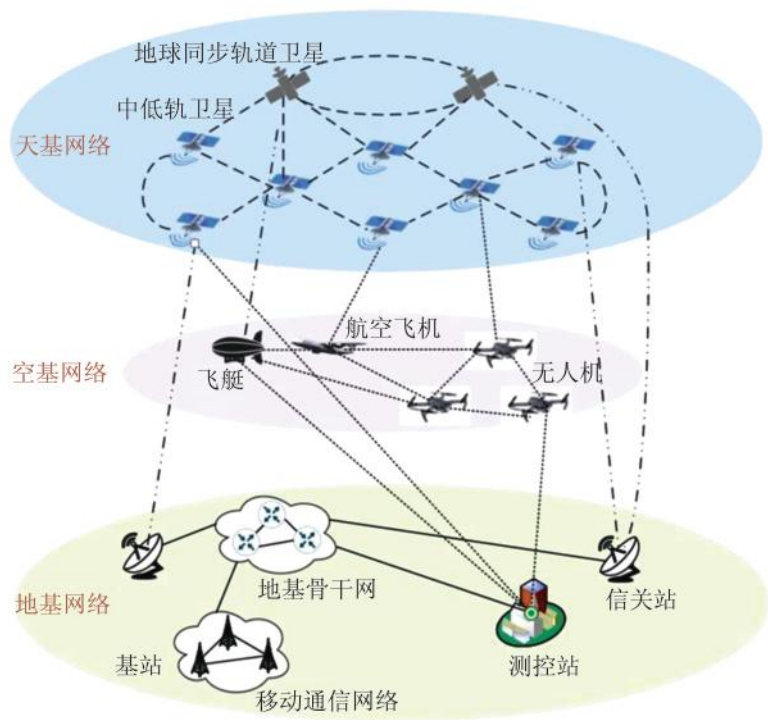


图 13 6G 空天地一体网络架构示意图①

(1) 卫星通信市场空间广阔

截至 2023 年 7 月，全球范围内多个国家均提出了自己的卫星星座计划，共包涵卫星 69937 颗。其中，美国 SpaceX 公司的 Starlink（星链）星座计划卫星数量最高，达 42000 颗，占总数的 60.05%；其次为中国的星网计划（GW），卫星数量为 12000 颗，占比 18.58%。

据摩根大通测算，星链计划单颗卫星造价在

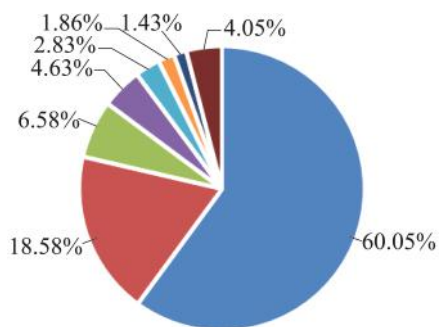


图 14 全球星座计划卫星数量占比
(资料来源：公开资料，太平洋证券整理)

① 6G 网络体系架构白皮书，中国联合网络通信有限公司研究院等，2023 年 6 月

50 万美金到 100 万美金之间（根据 NASA 官网数据，单星整备质量约 260kg）。若取中间值 75 万美金/颗，则星链计划总共将产生约 315 亿美金的市场。星链卫星的设计使用寿命约为 5 年。星链于 2019 年底开始建设卫星星座，2020 年一共发射卫星 833 颗，价值约 6.25 亿美金，预计在 2025 年开始进行替换。中国卫星制造成本相对较高，根据长光卫星招股说明书，和星链质量等级相同的卫星造价约为 5000 万人民币。以当前的卫星制造成本估算，将带来 6496 亿人民币的增量市场。

考虑卫星使用寿命到期后发射新卫星进行填补，同时，卫星制造成本将逐渐降至和星链相同数量级。截至 2030 年，预计将产生累计约 3122 亿的市场空间。

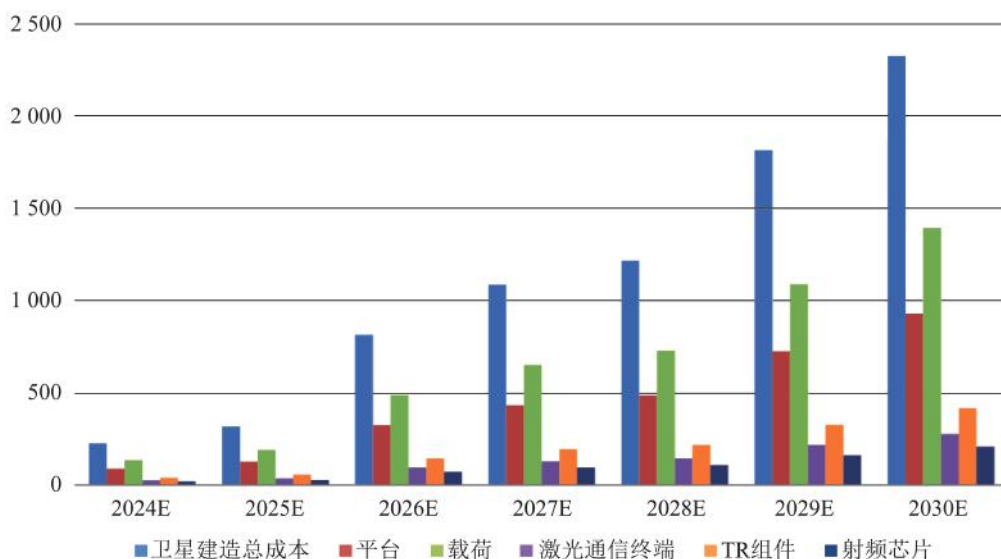


图 15 2024—2030 全球低轨通信卫星市场空间测算（亿元）

（资料来源：太平洋证券整理）

（2）频段资源紧缺，竞争激烈

当前国际电联申请卫星通信频段的原则为“先到先得”：ITU 接收到一个频段的申请，就会在一段时间内保留该申请，并为该申请者进行频谱协调和评估。如果在保留期限内没有其他申请者提交相同频段的申请，那么该申请者将获得该频段的使用权。当多个申请者都希望在一个特定频段内发射和运营卫星通信系统时，首先提交申请的申请者将优先获得该频段的使用权。一旦运营商申请一个低轨星座和通信频段后，必须在 7 年内发射一颗卫星并正常运行 90 天，然后在两年内发射卫星总量的 10%，5 年内发射 50%，7 年后将申请的卫星数量全部发射完毕。即运营商一共有 14 年的时间来完成整个星座的建设。



根据国际电联的频谱划分，卫星通信能使用 1 – 110GHz 范围内的 11 个无线频段。传统卫星通信主要使用 4 – 8GHz 的 C 波段，新型低轨星座广泛使用 Ku、Ka 波段。以美国公司 SpaceX 的 starlink 星链计划为例，第一期计划主要使用频段分布在为 Ku、Ka 以及 Q/V 频段。总共占据约 18.1GHz。Ku、Ka 以及 Q/V 频段带宽之和为 54GHz。星链计划共占据约 33.5%。第二期计划主要使用 Ku、Ka 频段，共占据 6.4GHz 占据 Ku、Ka 频段总带宽的 33.7%。频段资源严重短缺^①。

2. 数字孪生网络

数字孪生的概念最早由美国学者 M. Grieves 教授提出，并定义为三维模型，包括实体产品、虚拟产品以及二者间的连接。随着数字孪生技术的发展及其在生产制造等多个产业的应用，数字孪生技术理念在通信网络领域的应用也逐渐被业界研究和关注。数字孪生网络构建物理网络的实时镜像，可增强物理网络所缺少的系统性仿真、优化、验证和控制能力，助力网络新技术的部署，更加高效地应对网络问题和挑战。

(1) 数字孪生应用场景广泛，发展迅速

根据 WEF 数据显示，在全球数字孪生城市项目中，公共服务和公共管理中数字孪生应用占比超过 50%，领先于其他领域，社区发展、智能建筑和环境领域的渗透率也超过 40%，预计未来仍将高速发展。

(2) 数字孪生市场规模巨大

根据信通院数据，数字孪生市场增长潜力大，具备广阔的发展空间。2022 年全球数字孪生市场规模达到 77 亿美元，同比增长 57.1%，2020—2022 年 CAGR 为 57.6%。预计未来全球数字孪生市场仍保持高增速，2025 年市场规模达到 305 亿美元，2022—2025 年 CAGR 为 35.7%^②。

二、光通信技术

光通信是一种以光波作为传输媒介的通信方式。光通信具有通信容量大、传输距离远、信号串扰小、抗电磁干扰等优点，是目前世界最主流的信息传输方式。按传输介质的不同，光通信可分为大气激光通信和光纤通信。大气激光通信是利用大气作为

^① 通信网络天地一体化，未来并不远，太平洋证券，2023 年 9 月

^② 2023 年数字孪生行业研究报告，<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1774549106950003177&wfr=spider&for=pc>

传输介质的激光通信；光纤通信是以光波作为信息载体，以光纤作为传输介质的一种通信方式。

光通信技术可利用的频谱范围包括红外、可见光和部分紫外波段，与射频通信的频谱需要分配不同，光通信使用的频段属于空白频谱，无需授权即可使用。

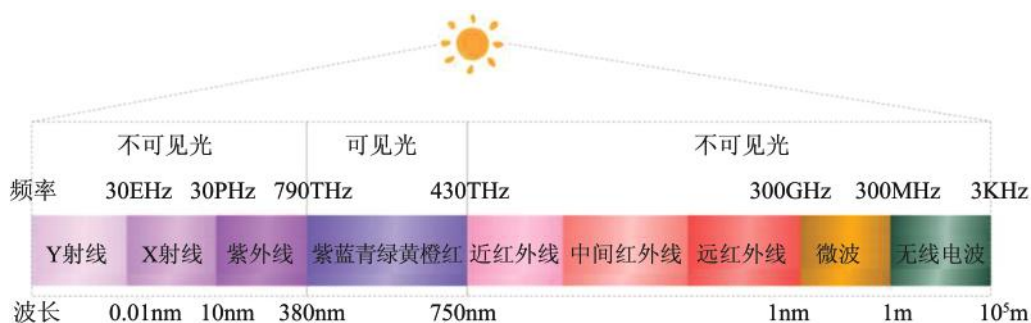


图 16 光通信频谱资源示意图

(数据来源: CSDN)

(一) 发展趋势与区域竞争力

1. 新兴市场热度爆发，光通信产业蓬勃发展

随着云计算、大数据、物联网、人工智能等信息技术的快速发展及加速投入市场，全球新兴市场热度不断爆发。2020 年，整体光通信下游收入规模上涨主要受四大新兴市场带动，其中泛娱乐的推动作用最为明显，占总体的收入规模预计将从 2020 年的 48% 上升到 2025 年的 55%。泛娱乐场景受用户需求驱动，整体增速较快，其中超清视频的整体占比最大；但从增速来看，VR/AR、直播和云游戏整体的增速更快。此外，生活场景和商业场景，主要受政策影响增速较快，其中智慧教育与智慧医疗，较其他场景具有更高的增速^①。

2. 用户及连网设备激增，“光进铜退”成趋势

在全球范围内，互联网用户总数从 2018 年的 39 亿增长到 2023 年的 53 亿，复合增长率为 3.5%，全球互联网用户数量呈现增长趋势，亚太地区的互联网用户占区域人口百分比从 2018 年的 52% 上升至 2023 年的 72%，增长率为 3.8%，亚太地区的互联网用户占区域人口百分比高于全球水平。研究数据显示，设备连接数量的增长速度（10%

^① 永安《全球光通信产业白皮书 2021》



的年复合增长率) 远远大于互联网用户 (6% 的年复合增长率)。^①

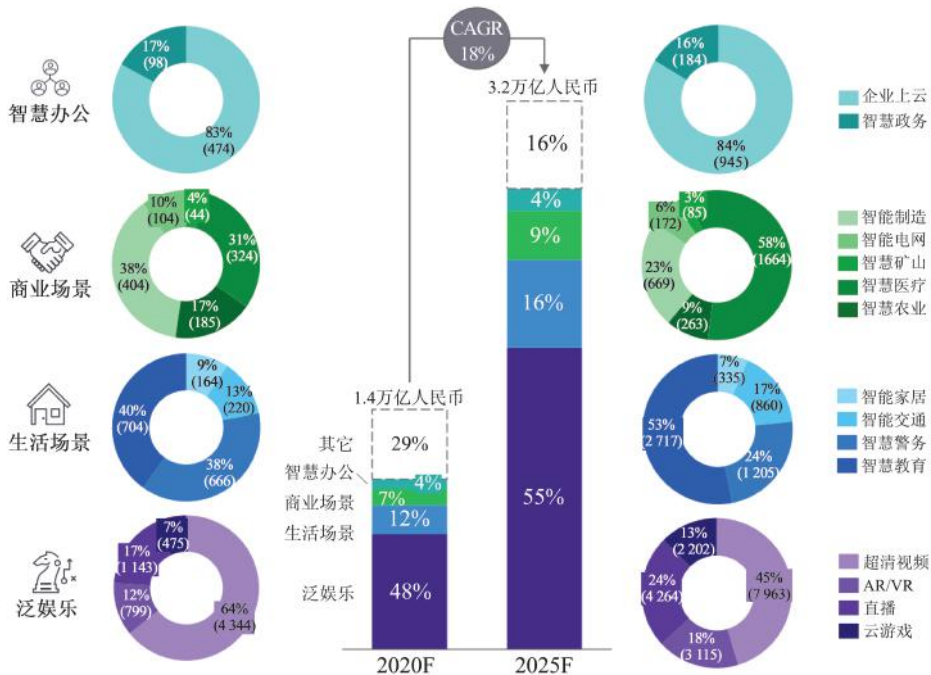


图 17 不同新兴市场带动全球固网光通信市场蓬勃发展

数据来源: 永安

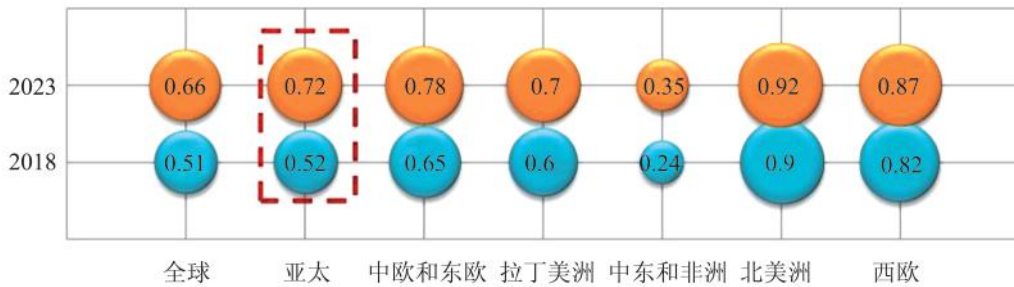


图 18 2018—2023 年互联网用户占区域人口的百分比

(数据来源: 思科)

设备连接数量的增长主要依赖于 M2M 应用, 如智能电表、视频监控、医疗保健监控、运输以及包裹或资产跟踪, 这为设备连接数量的增长做出重大贡献, 2023 年, M2M 连接将占设备和连接总数的一半或 50%。设备连接数量的不断增长与人均设备连

① Cisco Annual Internet Report (2018—2023)

接数量不断增长息息相关，人均设备连接数量从 2018 年的 2.4 个增长到 2023 年的 3.6 个，亚太地区从 2.1 个增长至 3.1 个，其中，2023 年人均设备连接数最高的国家分别是美国（13.6）、韩国（12.1）和日本（11.1）。

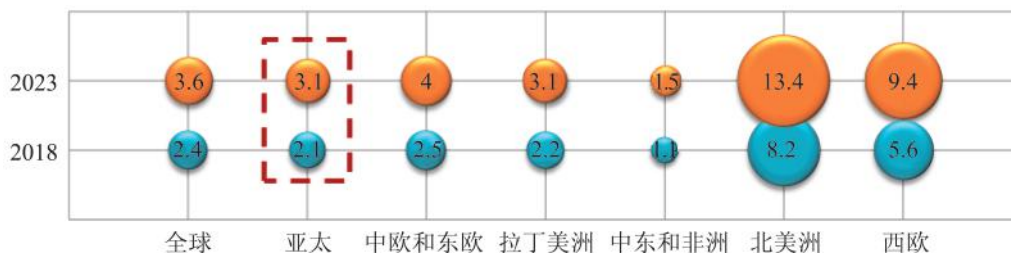


图 19 2018—2023 人均设备和连接数

（数据来源：思科）

目前，全球主要国家的光纤覆盖（HP）建设成本随着网络规模化建设以及新方案的成熟促进了 HP 建设成本的大幅下降，相对于早期平均每线下降 60%。同时光纤日益成为全球经济和社会发展数字化基础设施，因此，各国政府纷纷出台政策鼓励基于光纤的千兆网络发展。

与传统的使用铜线为介质的电通信相比，使用光纤为介质的光通信在传输速率、网络带宽、信号衰减、通信成本方面优势显著，迎合了数据流量爆发式增长对信息传播的高速率、高可靠性、广距离的需求，根据思科数据统计，2023 年，亚太地区的平均固定宽带速度高达 157.1Mbps，比 2018 年的 62.8Mbps 增长 2.5 倍。其中，日本、韩国和瑞典在宽带速度方面处于领先地位，这主要是因为这些国家广泛部署了 FTTH。

3. 专利申请快速增长，亚洲地区为主要技术来源

从专利数据研究全球光通信产业的发展趋势，如图 20 所示，光通信产业近二十年来的技术创新总体上呈现稳步发展的趋势，2004 年专利申请量仅为 24425 项，至 2022 年已增长至 41465 项，可见光通信产业专利申请数量总体上保持稳步增长态势。目前，随着云计算、大数据、物联网、人工智能等信息技术的快速发展，预计光通信技术未来的专利申请量将继续增长。

从专利角度分析全球光通信领域行业技术来源国分布情况，如图 21 所示，中国专利申请量最大，约占全球总量的 34%，远超其他国家，是全球光通信领域第一大技术来源国，同时也是世界上最大的光模块、光器件生产国；日本排名第二，其光通信领域专利申请量占全球总量的 30%；韩国和美国分别排名第三、四位，占比分别是 17%



和6%。由此可见，在全球光通信领域，以中国、日本、韩国为代表的亚洲国家的技术竞争力和创新能力较强，而中国优势最为突出。

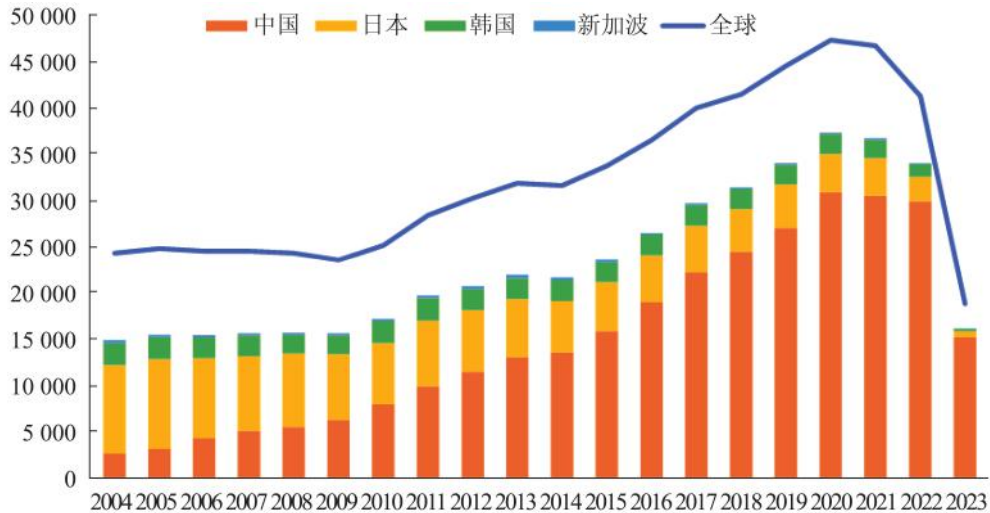


图20 全球光通信领域专利申请趋势 (项)

(数据来源: 智慧芽)

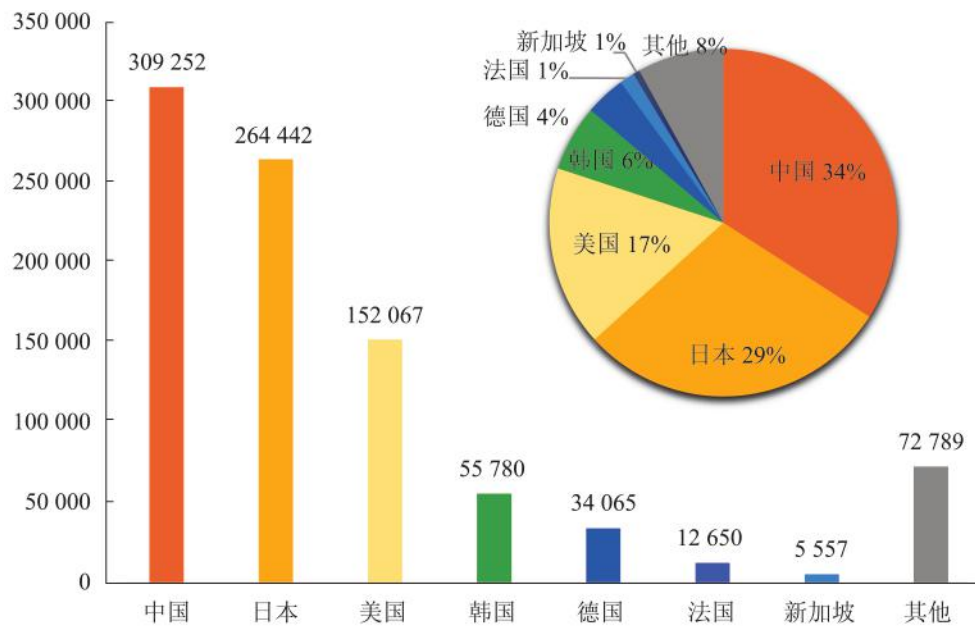


图21 全球光通信领域主要技术来源国分布

(数据来源: 智慧芽)

（二）颠覆性技术创新的影响

全球及中国的光通信技术的快速发展，光通信技术创新对大众生活形式的数字化转变具有十分重大的意义。目前，可见光通信作为一种照明和通信结合的新型模式，是现有无线射频通信的有效补充手段。F5G 即第五代固定网络，由欧洲电信标准协会（ETSI）定义，主要特征包括增强固定宽带（eFBB）、全光联接（FFC）和体验可保障（GRE），致力于从光纤到户迈向光联万物。可见，可见光通信和全光网是近年颠覆性技术。

1. 可见光通信

可见光通信（Visible Light Communication, VLC）利用发光二极管（Light Emitting Diode, LED）等可见光光源发出肉眼难以分辨的高速明暗变化的光信号来传输信息，再通过光电探测器（Photoelectric Detector, PD）等光电转换器将接收到的光信号转换为电信号来获取信息，是一种照明通信一体化的无线通信方式。VLC 作为一种照明和通信结合的新型模式，是现有无线射频通信的有效补充手段^①。

香港大学的 Grantham Pang 于 1999 年首次提出 VLC 的概念，而后日本庆应义塾大学的 M. Nakagawa 研究团队提出了 LED 可见光通信的接入方案，自此 VLC 技术在产学业成为了研究热点。室内 VLC 研究最先起始于日本，2000 年，日本 KEIO 大学的 Tanaka 和 Nakagawa 等学者提出 VLC 的概念^②。2003 年，日本成立了可见光通信联盟（VLCC），该联盟迅速成长为国际性组织^③。2004 年，日本国土交通省实现了速率为 10Mbit/s 量级的可见光传输^④。

（1）全球首个 LiFi 标准发布，可见光通信有望商业化发展

2023 年 7 月，国际电气电子工程师协会（IEEE）正式签署 IEEE 802.11bb 光通信

① 中国移动，6G 可见光通信技术白皮书

② TANAKA Y, HARUYAMA S, NAKAGAWA M. Wireless optical transmissions with white colored LED for wireless home links. [C] //11th IEEE International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications. London: IEEE, 2000.

③ 陈彦，杨红宇. 我国室内可见光通信现状及发展趋势 [J]. 光通信技术, 2015, 39 (3): 50-52.

④ KOMINE T, NAKAGAWA M. Performance evaluation of visible light wireless communication system using white LED lightings [C] // ISCC 2004. Ninth International Symposium on Computers and Communications. Washington: IEEE Computer Society, 2004: 258-263.



标准，该标准定义了使用光波进行无线通信的物理层规范和系统架构。该标准为可见光通信技术的广泛采用奠定了基础，并为 LiFi 系统与 WiFi 标准的互操作性铺平了道路。



图 22 IEEE802.11bb 光通信标准定义空间复用^①

从全球可见光通信领域的专利申请趋势分析可见（如图 23 所示），近二十年来，全球可见光通信领域的专利申请量分为两个阶段，2010 年之前，专利申请量增长趋势比较平稳，年申请量在 500 项以下，2010 年之后可见光通信专利申请量呈爆发性增长。其主要原因有：2010 年之前，受调制带宽的限制，VLC 遇到了传输速率的瓶颈，整体专利申请量增长平缓，但这一瓶颈很快被突破，2010 年，德国海因里希赫兹研究所的团队将通信速率提高至 513Mbit/s，创造了世界纪录，并申请了相关专利 EP2425557B1。此后，传输速率的记录不断刷新，2013 年的专利申请量也随之激增至 1000 项，2017 年达到 1711 项，随着全球首个 LIFI 标准发布，目前可见光通信产业正在通过寻找商业化机会，有望实现下一轮增长。

（2）可见光可通面临多种挑战，未来可实现产业化应用孵化

可见光通信技术有望满足 6G 需求中的诸如流量密度、用户体验速率等重要需求，并提升峰值速率、网络能效、定位精度等几个方面的网络性能，但在信道建模、器件、传输与组网等方面也面临比较大的挑战。根据中国移动分析，可见光通信技术研究时间表如图 24 所示，整体上，预计 2030 年实现产业化应用孵化。

^① IEEE P802.11bb，第七部分光通信

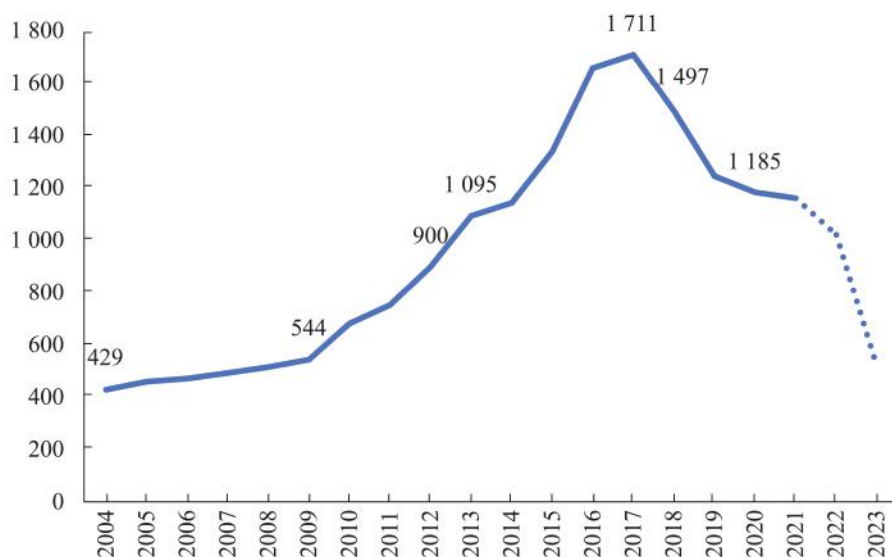


图 23 全球可见光通信专利申请趋势（项）

（数据来源：智慧芽）

目前，利用可见光对不同场景的信道建模还缺少实际工作场景的模型优化和应用测试；高性能关键器件大部分还是实验室试制阶段，尚缺比较成熟的产业化器件。此外，该技术还需要结合高性能可见光器件特性与可见光信道特性，与传统的射频通信（如中低频、毫米波、太赫兹等）一起形成无线可见光融合异构网络，以支持移动场景的连续高速率业务；还要考虑形成完整的可见光通信器件标准体系，以形成产业合力；在系统集成方面如何进行系统小型化与集成也是可见光通信产业化需要克服的挑战之一。

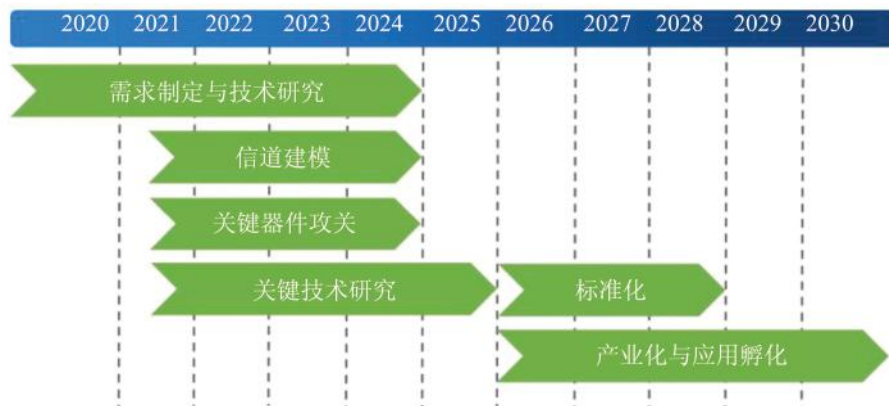


图 24 可见光通信技术研究时间表



2. 第五代固定网络

自 2019 年 12 月，欧洲电信标准协会（ETSI）成立 F5G 行业规范工作组（Industry Specification Group, ISG），进一步定义第五代固定网络技术（ISG F5G），明确了 F5G 的三大特征：增强型固定宽带（eFBB）、全光纤连接（FFC）和保证可靠体验（GRE）。F5G 以全光网络为目标，以 10GPON、Wi-Fi 6、200G/400G、下一代 OTN 等为代表技术，F5G 千兆光纤的技术支撑，将全人类推向“极速互联”与“光联万物”的崭新时代。

（1）全光网络覆盖加速升级，FTTR 打造高品质全光底座。

为实现千兆光宽带网络能力的无缝覆盖，从而直达用户和业务终端，业界提出了基于光纤的新一代全光网络 FTTR，FTTR 全光网络是基于 P2MP 架构的技术，将光纤延伸至各个房间，实现全屋千兆以上覆盖能力，是构建家庭和企宽高质量信息基础设施的关键。FTTR 能带来全屋无死角稳定千兆+覆盖及无缝漫游等体验，为数字家庭应用打造高品质的全光底座。

目前，发展建设 FTTR 已经成为产业共识，全球 100+ 运营商已发布 FTTR 商用套餐（中国 86 省运营商，海外 20+ 运营商），全球已发展千万家庭，HB 联通等领先运营商日发展 2000+ 用户。

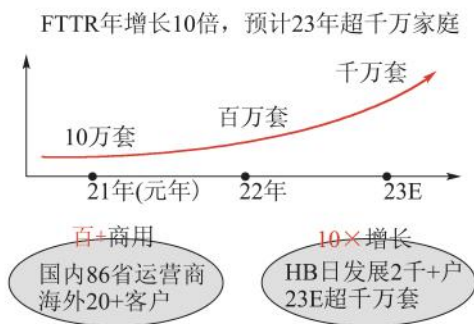


图 25 可见光通信技术研究时间表

（数据来源：华为）

（2）“东数西算”带动数据跨域流动，推动算力网络发展

随着生成式 AI 的快速成熟，未来几年所产生的数据量增长 10 倍，将释放海量带宽需求；大模型驱动算力汇聚到云，催生智算云服务新模式，包括算力产生和算力传递。

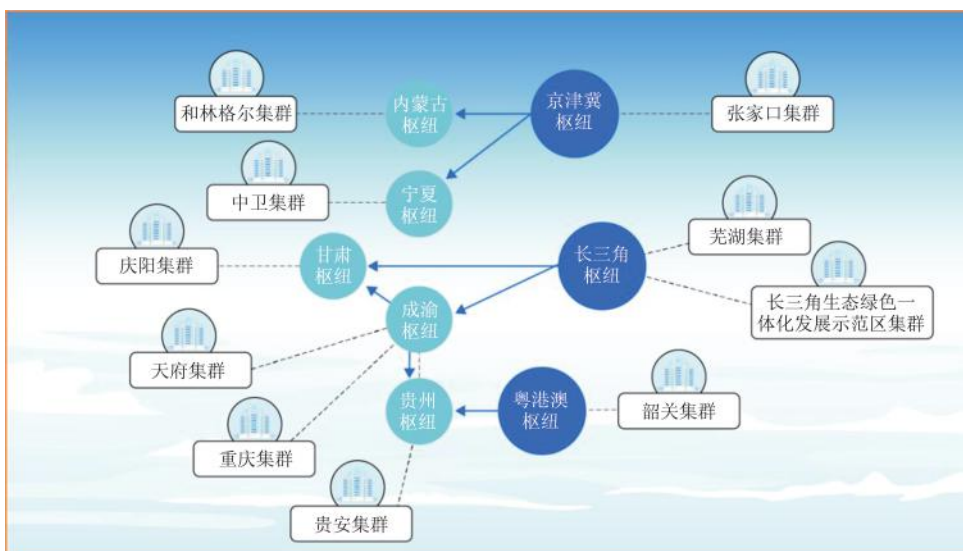


图 26 东数西算算力网络

(数据来源: 华为)

2022 年, 国家发改委、中央网信办、工业和信息化部、国家能源局联合印发通知, 同意在京津冀、长三角、粤港澳大湾区、成渝、内蒙古、贵州、甘肃、宁夏等 8 地启动建设国家算力枢纽节点, 并规划了 10 个国家数据中心集群。中国提出“东数西算”工程, 通过构建数据中心、云计算、大数据一体化的新型算力网络体系, 将东部算力需求有序引导到西部, 优化数据中心建设布局, 促进东西部协同联动。

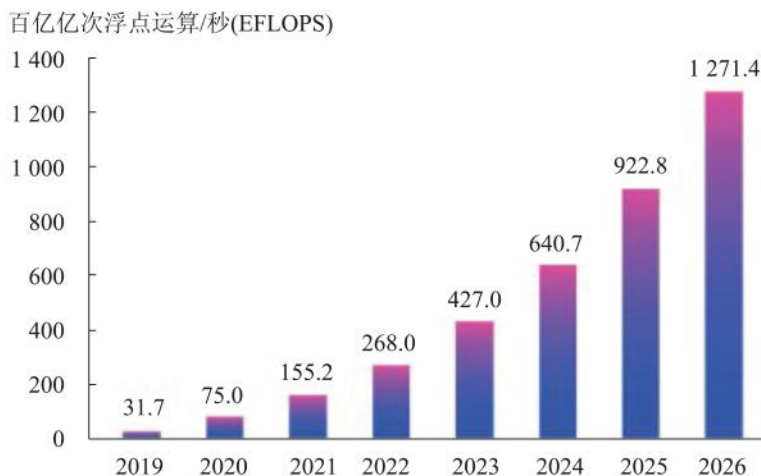


图 27 中国智能算力发展情况

(数据来源: 中国智能计算产业联盟)



算力网络是推动国家“东数西算”纵深发展的重要基础，“东数西算”将带来数据、算力跨域流动，实现产业跃升、平衡区域发展，同时每年节约用电 120 亿度，消纳弃光弃风，节能减排，助力“双碳”目标实现。

在通用算力方面，工信部数据显示，截止 2021 年底，我国在用数据中心机架总规模超过 520 万标准机架，平均上架率超过 55%。在智能算力方面，根据《智能计算中心创新发展指南》，2022 年我国智能算力规模快速增长，达到 268 百亿亿次每秒 (EFLOPS)，超过通用算力规模，预计未来 5 年中国智能算力规模的年复合增长率将达 52.3%。

第五章 生命健康与生物医药

生物医药技术是人类健康事业的重要组成部分，对人类健康产生了积极而广泛的影响与贡献。近年来，随着生命科学研究不断深入，与人民生命健康息息相关的一系列新兴技术蓬勃发展，AI 制药、器官芯片等技术加快应用，生命科学与其他学科如人工智能、大数据等正在广泛交叉。生物医药技术是生命健康产业发展的核心和助推器，它以科技创新为生命健康提供持续的科技支撑和保障。

一、AI 制药

传统的新药研发是一项复杂的系统工程，通过大规模的筛选发现先导化合物后，还需要药物专家反复的体外实验、动物试验和人体内试验来进行测试、优化，直到证明这个分子足够安全有效才会被获批上市。这门至今以实验科学为基础的领域，仍高度依赖药物学家的个人经验与创造力，还无法摆脱周期长、成本高、成功率低等问题。一个创新药从研发到最后上市，需要花费数十亿美元和 10 - 15 年的时间。鉴于种种痛点，如何将计算机等新技术和新方法应用于药物研发领域是制药行业一直以来探索的革新方向。

（一）发展趋势与区域竞争力

1. 全球 AI 药物研发保持增长态势，北美是全球 AI 药物研发最大市场，亚洲排名第三

AI 可以快速筛选和分析数百万个化合物，AI 制药正在越来越多的参与到新药研发中，2022 年全球 AI 制药市场规模达 10.4 亿美元。全球 AI 药物研发市场北美地区占比最大，亚太地区排名第三，预计全球 AI 药物研发市场规模将在 2025 年达到 38.8 亿美元。目前全球 AI 药物研发企业约 700 家，其中超过 50% 的公司集中在美国，英国和欧盟分别占据 12.5% 和 13.4%，亚洲大约 12.8%，其中中国占据约 4.7%。

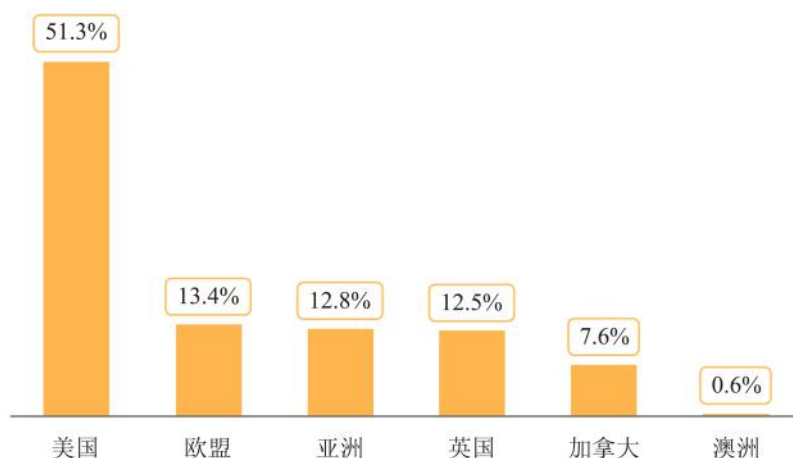


图 28 全球 AI 药物研发公司占比情况

(数据来源：火石创造)

2. 全球 AI 药物研发融资能力整体提升，亚洲投资者数量显著增长

2022 年全球 AI 药物研发相关融资总事件达 144 起，总金额为 62.02 亿美元。相较于 2021 年的整体共计 77 起，总金额共计 45.6 亿美元的融资情况呈现双双上涨的态势。其中，美国 AI 药物研发融资事件 71 起、中国 43 起，其他国家和地区 30 起，投融资活动主要活跃在中国、美国和欧洲。

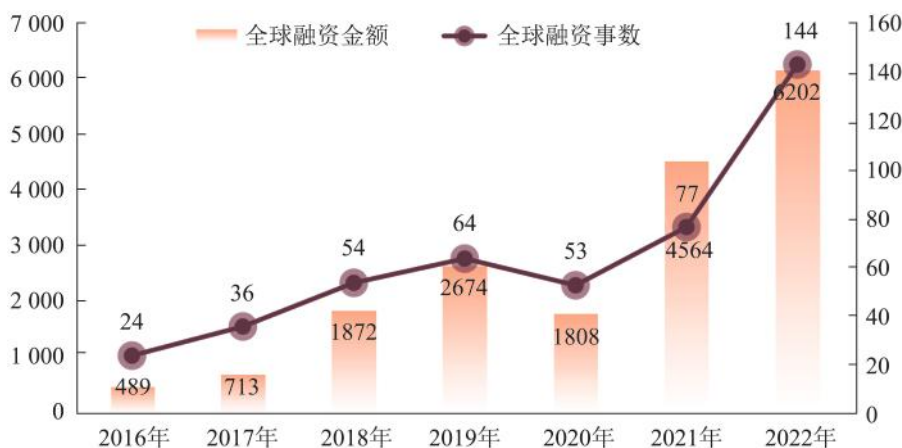


图 29 AI 制药领域融资概况 (单位：百万美元)

(数据来源：智药局)

投资机构数量上，目前约 1120 家机构和基金关注 AI 辅助药物研发赛道，近两年增长了近一倍。美国继续领先其他国家，因为这里坐落了全球超过一半的 AI 药物发现公司。与 2021 年相比，英国和欧洲、中国的投资者数量有了显著增长，分别为 212 家、

67 家、62 家。进一步看，AI 药物研发领域投资者 Top50 中，亚洲的投资者数量显著增长，主要落地在中国、中国香港和新加坡三个地区。

3. 近十年 AI 制药领域专利申请量增长迅猛，亚太地区专利数量突出

从专利数据研究全球 AI 制药产业的发展趋势，如下图所示，AI 制药产业近十年来的技术创新总体上呈现快速发展的趋势，2014 年专利申请量仅为 500 项左右，至 2022 年已增长至 5000 项以上，增长幅度超过 10 倍，可见全球 AI 制药产业专利申请数量总体上保持快速增长态势。未来，AI 制药有望在辅助药物发现、药物管理等药物研发的多个环节中发挥重要作用，预计未来该产业的专利申请量将继续增长。

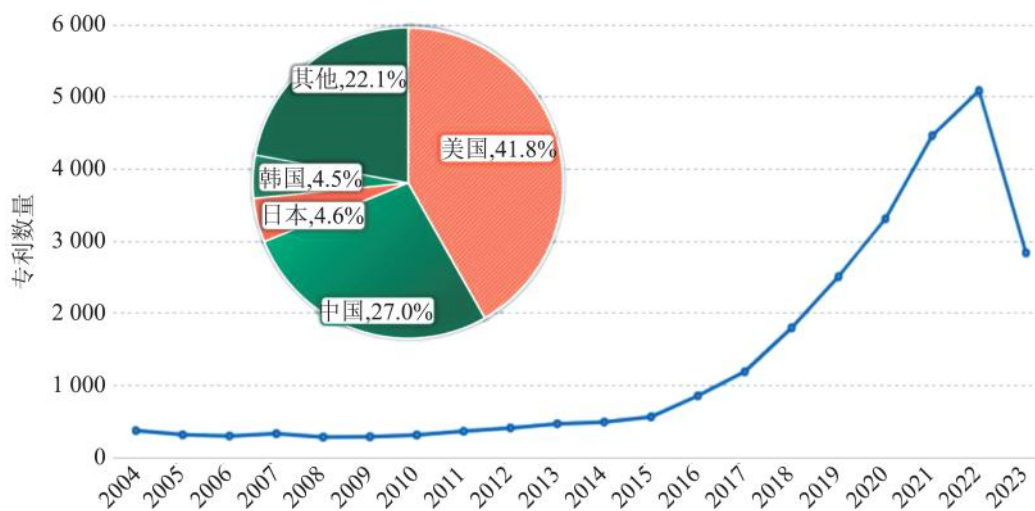


图 30 全球 AI 制药领域专利申请趋势及技术来源国 (项)

(数据来源：智慧芽)

全球 AI 制药行业技术来源国分布中，美国专利申请量最大，约占全球总量的 42%，远超其他国家，是全球 AI 制药领域第一大技术来源国；中国排名第二，其 AI 制药领域专利申请量占全球总量的 27%；日本和韩国分别排名第三、四位，专利申请量占全球总量的比例分别为 4.6% 和 4.5%。由此可见，在全球 AI 制药领域，以中国、日本、韩国为代表的亚洲国家的技术竞争力和创新能力较强，而中国优势最为突出。

(二) 颠覆性技术创新的影响

1. AI 技术在药物研发的多个环节发挥出巨大潜力

AI 制药研发主要集中在临床前阶段的药物发现和药物发展两个阶段，集中在小分



子药物上的应用较多。药物发现包括三个步骤，分别是疾病相关治疗靶点的确认，苗头化合物的发现及先导化合物的优化，最终获得候选药物，进入药物的发展阶段。药物开发阶段是对候选药物进行临床前评价和临床试验评价的过程，需要对候选药物的药代、药理、毒理、安全性、有效性进行系统的评价。人工智能在药物研发中的应用还包括理化性质预测（如晶型预测）、药物重定向、制剂开发中的应用等。人工智能不仅可应用于小分子药物研发，也可应用于抗体药物、核酸药物、免疫治疗药物的开发^①。

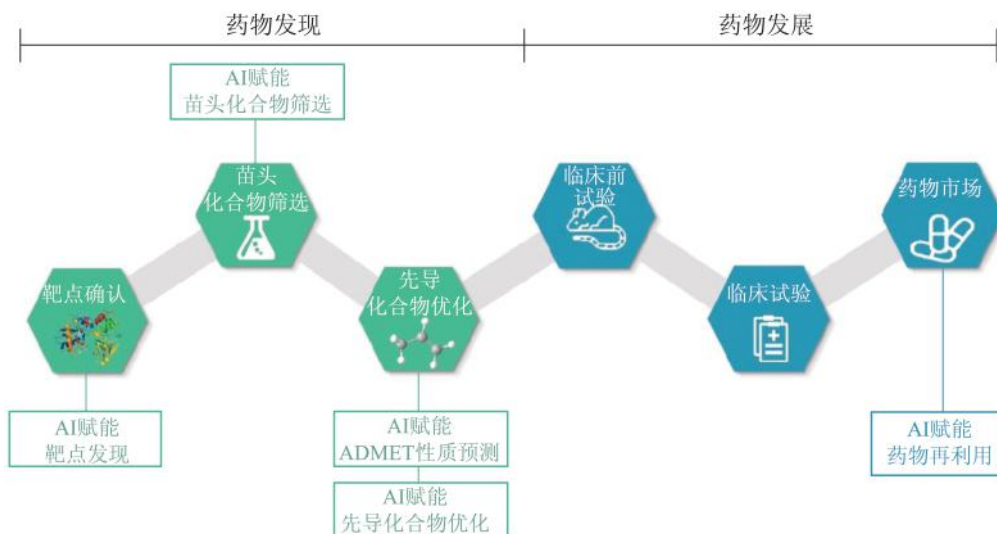


图 31 AI 助力药物研发的全过程

(1) 靶点发现

从海量的生物医学资料中提取基因组学、蛋白质组学、代谢组学等数据，借助人智能来分析非疾病和疾病状态之间的差异，可用来发现对疾病有影响的新靶点。药物靶点的发现核心是要从海量数据库中获得靶点和疾病之间的因果关系。例如，基于蛋白质结构的虚拟筛选能够快速从化合物数据库中发现与抗病毒靶点之间可能存在相互作用的小分子化合物，运用此方法能够在短时间内发现潜在的药物。

(2) 苗头化合物的筛选

在人工智能时代，深度生成模型的出现使得药物分子的生成得以更好地解决。生成模型能够从特定训练样本学习到样本的属性，然后自动生成具有类似特征的新实体，所以可以应用于分子设计和苗头化合物的筛选。

^① 可“AI”的药物研发：人工智能赋能药物研发的各环节，科学. 2022, 74 (05)

(3) 先导化合物优化

在先导化合物优化领域，深度生成的人工智能模型的共同目标是学习化学空间的分布，并对所需的化学特性进行定向优化。利用循环神经网络、长短记忆人工神经网络、变分自动编码器、生成对抗网络、对抗性自动编码器等人工智能工具都在先导化合物的优化中发挥了很好的作用。

(4) 药物再利用

此前，大多数药物的再利用都是偶然的。例如，西地那非用于治疗心绞痛，后被发现也可用于治疗勃起功能障碍。虽然药物再利用是药物开发中的一种重要方法，但通过实验识别药物仍然是一个挑战。目前，一些数据驱动的计算方法已经被开发出来，加快了重新定位候选药物的过程。与传统的从头药物发现方法相比，药物再利用方法显著缩短了时间，并减少了研发成本。

2. 通用分子指纹编码技术，显著提速药物分子筛选

变分图编码器（Variational Graph Encoder）包含变分自编码器元素的卷积图神经网络模型，被训练来预测分子的简单描述符和二进制分子指纹，而非重建输入^①，可以同时预测小分子药物的多种特性，例如吸收、分配、代谢、排泄和毒性，以及靶点特异性对接评分预测和药物-药物相互作用。使用这种模型可以实现目前最先进的虚拟筛选，具有高达两个数量级的加速优势。变分图编码器的隐空间最小化，还能与 Pareto 最优原则结合，加速特定药物的开发，并具有可解释性的额外优势。通过变分图编码器的中间数学表示（隐空间），可以训练代理模型来预测更复杂的属性。之前利用隐空间的工作包括在变分自编码器中采样，以产生有效的和选择性的 RIPK1 抑制剂和 BRAF 抑制剂。

3. AI 药物研发存在一定局限性

尽管 AI 在药物研发领域的应用前景广阔，但也有它的局限性。

(1) AI 制药的基础还需要发展

使用 AI 进行药物发现和开发的前提是使用算法来搜索海量数据，包括化合物的结构、动物研究和患者信息，以确定药物在人体内的靶标、哪种分子最适合、如何创造

^① Hilbert Yuen In Lam, Robbe Pincket, Hao Han, Application of variational graph encoders as an effective generalist algorithm in computer-aided drugdesign [J]. Nature Machine Intelligence, 2023, 5: 754-764



新的分子。然而，对于规模较小的私营公司来说，它们可能无法负担可购买的商业库，也没有大药企自己独有的分子库，数据的不足构成了其发展的主要障碍。此外，由于环境和行业的局限，AI 制药的算力也存在局限，目前类 Chat GPT 的工具都需要耗费大量的算力，要满足制药领域的高精度要求，短期内难以有胜任的硬件基础。

(2) AI 制药短期内无法脱离人力

基于经验和大模型的训练，都需要大量的数据作为支撑，AI 制药企业的核心在于数据生产力。因此 AI 制药目前主要应用在药物发现、先导化合物筛选等早期阶段，在临床试验阶段更多还是要依靠人来完成。

(3) AI 制药数据获取成本高昂

目前大部分 AI 公司都是引用公开数据来构建模型，如已发表的文献，公开的靶点库，药企、科研机构的公开数据等。这些数据差别大、质量参差不齐，因为发表的数据往往是积极的、经抽提过的数据，失败的数据也较少。更高质量、还原度高的数据需要通过做实验累积获得，然后再去挖掘它，提炼它，这样训练出来的 AI 模型可能更加准确，但会导致获取数据的成本直线增加。

二、类器官

类器官 (Organoids) 是利用多学科知识和技术，通过生物材料、细胞和工程结构组装而成的人工器官。具体来说，是将干细胞 (成体、多能干细胞) 培养于基质材料中，在化学小分子抑制剂/激活剂、细胞因子、培养基添加剂等物质作用下，通过增殖、分化和自我组织而形成的具有一定空间结构的组织类似物。

尽管类器官并不是真正意义上的人体器官，但其与原生组织在细胞类型、结构及功能上相似，能够最大程度地模拟体内组织结构及功能并能够长期稳定传代培养。类器官拥有自我更新能力，维持了来源组织的生理结构和功能特点，拥有“培养皿中的微器官”之称，在器官发育、精准医疗、再生医学、药物筛选、基因编辑、疾病建模等领域都有广泛的应用。

(一) 发展趋势与区域竞争力

1. 类器官研究快速发展，亚太地区研发能力较强

自 2009 年首类器官被建立以来，类器官领域呈现快速发展趋势，该项突破性

的成果也得到了科研界和产业界的广泛认可。2013年，类器官被 Science 评为年度十大技术；2015年，MIT 科技评论将类器官技术列为全球十大突破性技术之一；2018年初，类器官被 Nature Method 评为 2017 年度最佳方法；2019年，The New-England Journal of Medicine 杂志将其称为优良的临床前疾病模型。目前，多种脏器类器官已被成功构建，其中包括小肠、胃、结肠、肺、膀胱、大脑、肝脏、胰腺、肾脏、卵巢、食道、心脏等，不仅包括正常器官组织类器官，还有相应肿瘤组织类器官。

近几年，从 Web of Science 公开发表文献中搜索“Organoids”，涉及类器官技术的文献数量呈现直线上升，其中不乏多篇 CNS 等各大顶级期刊文献。下图显示，从 Hans Clevers 成功构建小肠类器官起，2009年发表 23 篇，发展到 2022 年发表 1682 篇，至今发表 7019 篇，类器官技术相关科研文献逐年上升，呈现快速增长趋势。

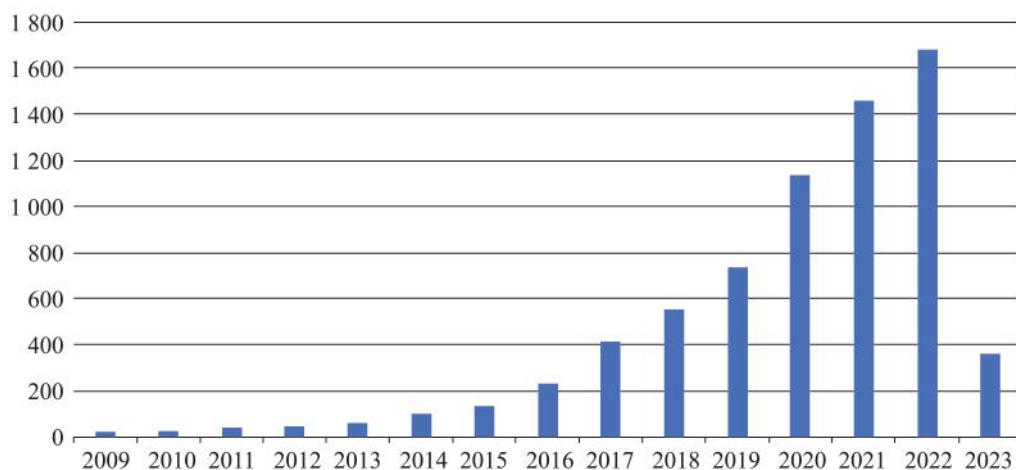


图 32 全球类器官历年文献数量

(数据来源：Web of Science)

从文献发表的国家/地区看，截至 2022 年 11 月，美国发表论文 2303 篇，位居世界第一，遥遥领先于其他国家/地区，是类器官领域的核心科研力量。欧洲的德国、英国、荷兰、意大利、法国共计发表论文 2134 篇，表明欧洲的类器官研究也非常活跃。亚太地区的中国、日本、韩国、澳大利亚均榜上有名，共计 1817 篇，少于北美与欧洲。在文献平均被引频次上，在论文数量前十的国家中，荷兰、英国、美国名列前茅，表明欧洲、北美引领类器官领域的研究方向。



表 4 全球类器官领域论文数量排名前十的国家

国家	论文数量	总被引频次	篇均被引频次	H 指数
美国	2303	97300	42.25	143
中国	794	13628	17.16	58
德国	606	17439	28.78	68
日本	537	19334	36	63
英国	513	24648	48.05	69
荷兰	505	44444	88.01	92
意大利	269	6132	22.8	41
韩国	259	5135	19.83	36
法国	241	5326	22.1	33
澳大利亚	227	7318	32.24	41

(数据来源：ISI Science Citation Index Expanded 数据库)

2. 类器官市场显著增长，肠道类器官占比较大

近年来，类器官市场呈现出显著增长趋势，无论是在研究发文还是专利申请上。在 2010 年~2022 年期间，新进入公司的份额占到总玩家的 64%。2022 年第四季度，类器官开发市场价值约为 1 031.384 百万美元。类器官市场在 2010 年至 2022 年这段时期的增长主要是由于类器官开发投资增加、研发增长、医疗保健支出增加以及药物研

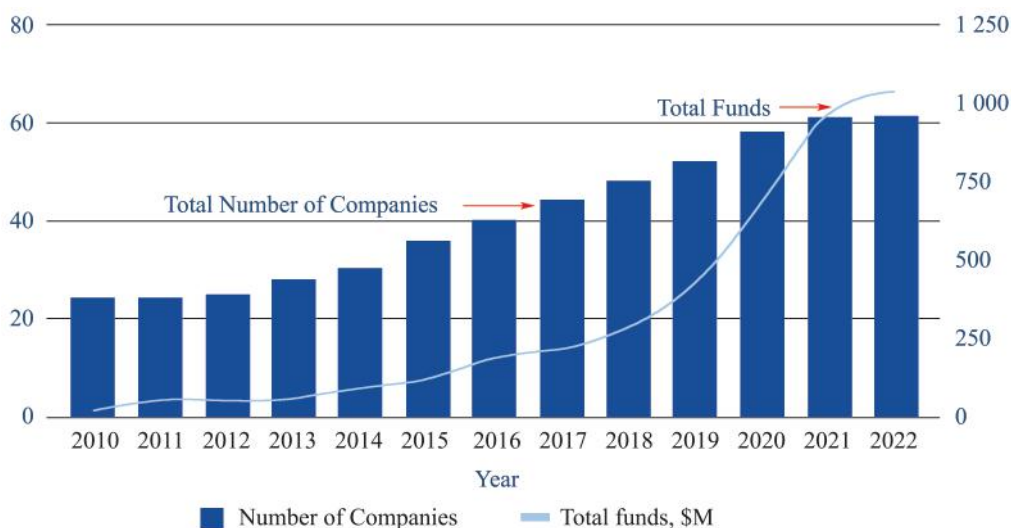


图 33 2010—2022 年期间类器官市场的企业数量、市场份额

(来源：翌圣生物)

发支出增加。据贝哲斯的调研数据，2023 年，全球类器官市场总收入或将达 0.97 亿美元，其中肠道类器官市场收入份额预计将达 35.49%^①。

3. 类器官领域专利申请量呈快速增长态势，技术主要来源于亚洲地区

从专利数据研究全球类器官领域的发展趋势，如下图所示，类器官产业近二十年来的技术创新总体上呈现快速发展的趋势，2004 年专利申请量仅为 238 项，至 2021 年已增长至 1582 项，增长幅度达到 6 倍，可见全球类器官产业专利申请数量总体上保持快速增长态势。

目前，类器官被广泛应用于功能组织诱导、疾病模型建立、药物筛选、抗炎试验、临床端研究等多个方面的研究，越来越受到世界各国的重视，预计未来该产业的专利申请量将继续增长。

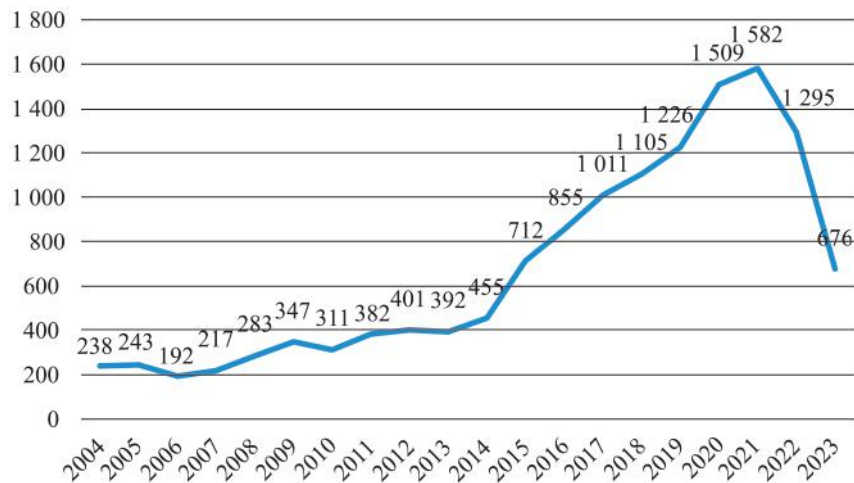


图 34 全球类器官产业专利申请趋势（项）

（数据来源：智慧芽）

从专利角度分析全球类器官产业技术来源国分布情况，如下图所示，中国专利申请量最大，约占全球总量的 39%，远超其他国家，是全球类器官第一大技术来源国；美国排名第二，其类器官领域专利申请量占全球总量的 28%；日本、德国并列第三，占比均在 5%，韩国排名第四，占比在 4%。由此可见，在全球类器官领域，以中国、日本、韩国为代表的亚洲国家的技术竞争力和创新能力较强，而中国优势最为突出。

^① 全球类器官市场发展预测，https://www.globalmarketmonitor.com.cn/market_news/2909215.html

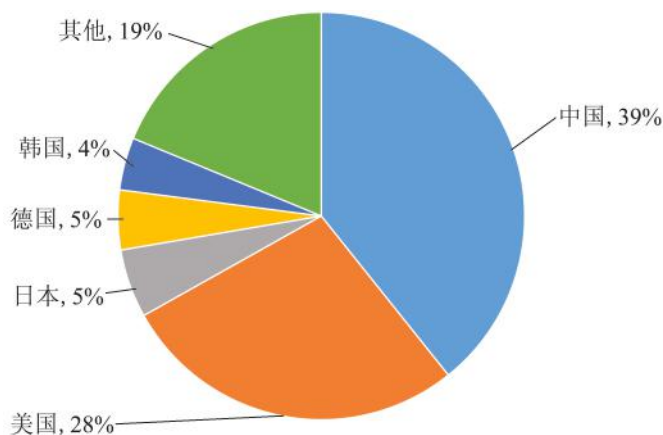


图 35 全球类器官产业主要技术来源国分布

(数据来源: 智慧芽)

(二) 颠覆性技术创新的影响

目前最前沿的便是由器官芯片技术与类器官组合成的“类器官芯片 (Organoid-on-a-chip)”技术, 其中器官芯片 (Organ-on-a-chip, OOC) 是以微流控芯片为核心, 由透明塑料、玻璃或柔性聚合物 (如聚二甲基硅氧烷, PDMS) 等材料组成, 具有多个模拟人体组织和器官环境的细胞培养分区, 各分区之间通过仿生循环系统进行连接。类器官芯片, 就是指将器官芯片和类器官技术相整合形成器官生理微系统, 使两者优势互补: 既能模拟器官的发育过程、生理状态和功能, 又能发挥器官芯片在构建复杂模型方面的优势。但类器官芯片目前还处于研究早期, 集类器官和器官芯片两者优势的同时, 也兼具两者的挑战^①。

1. 类器官芯片仍在起步中

2019 年, Science 杂志发表的综述首次提出了类器官芯片概念。类器官芯片也被视为器官芯片发展最前沿的方向之一。可以说, 类器官芯片是“升级版”的器官芯片或者是器官芯片概念的延伸。

类器官芯片作为一种“可能改变未来的颠覆性技术”, 其研究方兴未艾。总体来看, 整个类器官芯片领域的基础研究发展了近 20 年, 在模型的仿真度上有了长足的研究和技术积累。

^① 类器官与器官芯片行业白皮书, 第 9 页

2011年，美国NIH，FDA和国防部牵头推出了“微生理系统”计划（MPS计划），把器官芯片技术的开发和应用上升到国家战略层面。他们认为，“高仿生人源化芯片模型”能够显著降低新药发现的成本和周期，为新药开发领域带来一次重大革命。与此同时，欧洲发达国家也看好类器官芯片技术在新药研发以及精准医疗上的发展前景，持续投入支持这一领域的发展。2021年，中国也开始从科研和监管层面系统性推进类器官芯片技术的发展。

但总体来看，类器官芯片整体尚处于基础研究阶段，真正在药物研发上应用的目前还比较少。究其原因，类器官芯片分为芯片技术和模型构建两个方面，其中会涉及药学、生物医学工程、生物学、医学、材料学、流体力学等多学科知识，是一个技术壁垒高、多学科交叉的行业，开发过程涵盖从芯片的设计、工艺开发和生产，到模型构建和功能评价、最后到药物测试等一整套流程。

正因如此，当前，类器官芯片研究主要集中在高校实验室，而实验室的研究产物，往往针对非常具体的某个局部问题，缺乏系统层面的通用性，在商业化强调的可大规模生产和使用上仍有欠缺。而高校的研究开发与市场需求又存在脱节的现象，因此该技术的商业化部分还需要更多初创企业和大药企加入其中去推动。

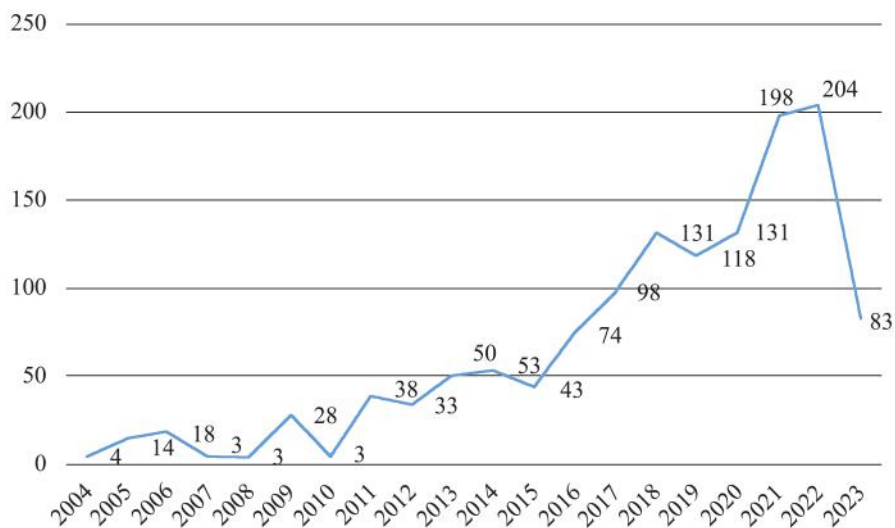


图 36 全球类器官芯片专利申请趋势（项）

（数据来源：智慧芽）

从全球类器官芯片的专利申请趋势分析可见，近二十年来，全球类器官芯片的专利申请量呈现指数式增长，2004年仅为4项，至2022年已增长至204项，增长幅度达



到 50 倍。由于该领域创新主体的创新积极性受各国的扶持政策及力度影响较大，近几年来世界各国均积极推动类器官研究，出台一系列利好政策，有利于刺激创新主体的积极性和研发热度，预计未来该领域的专利申请量将会继续呈现增长势头。

2. 技术发展趋势

类器官芯片以微型结构为特征，具有高通量和高灵敏度的特点，可集成类器官的分选、培养、观察、刺激诱导、检测分析等一系列实验过程于一体，应用于发育或疾病模型的构建、药物研发、免疫反应治疗、微生物感染等多个生物领域中，使临床的治疗方案更具有预测性并大大提高了实验的效率。

尽管类器官芯片在生物学方面具有显著的优势，但是依然存在许多问题亟须解决：

(1) 类器官芯片所广泛运用的材料 PDMS，具有稳定性较差、吸附疏水分子等缺点，因此这会导致所加入试剂的浓度下降，从而使获取的实验数据不准确。

(2) 虽然类器官芯片趋于微型化，但这同时会提高对检测仪器的灵敏度要求，而且目前类器官芯片仍未能兼容一些常用的细胞分析仪器，如质谱、液相色谱、核磁共振等，类器官芯片和细胞分析仪器一体化或许是类器官芯片发展的未来趋势。

(3) 使用类器官芯片分选出所需的类器官群体后，往往难以收集并开展后续的实验，但最近有研究者已设计出超疏水微孔阵列类器官芯片，可用于药敏测试及后续类器官的原位冻存传代^①。

① 类器官芯片在医学研究中的应用进展 https://www.sohu.com/a/534295850_120554400

第六章 新能源与低碳技术

一、储能

“碳达峰、碳中和”目标背景下，清洁能源替代是实现碳排放指标的唯一出路，清洁能源占比逐步提升，但大规模不稳定电源接入对电网的稳定运行带来挑战，部分地区弃风弃光造成资源浪费。储能成为新能源替代的关键，与新能源互补发展，提升能源系统灵活性、安全性。

从广义上讲，储能即能量存储，是指通过一种介质或者设备，把一种能量形式用同一种或者转换成另一种能量形式存储起来，基于未来应用需要以特定能量形式释放出来的循环过程。

从狭义上讲，储能特指针对电能的存储，即利用化学或者物理的方法将产生的能量存储起来并在需要时释放的一系列技术和措施。

根据不同的存储介质和技术路线，储能主要分为机械储能、电化学储能、电磁储能、热储能、氢储能五大类，其中机械储能包括抽水蓄能、压缩空气储能、飞轮储能、重力储能等，电化学储能包括锂离子电池、铅蓄电池、钠离子电池、液流电池等，电磁储能包括超级电容器储能、超导储能等。

（一）发展趋势与区域竞争力

1. 亚洲、欧洲、美洲地区引领全球储能市场，亚太地区是全球最大的区域储能市场

2022年以来，全球能源供需格局进入调整阶段，越来越多的国家将储能列为加速其清洁能源转型的必选项。根据中关村储能产业技术联盟（CNESA）数据，2022年全球新增投运电力储能项目装机规模30.7GW，同比增长98%，其中新型储能投运规模达到20.4GW。中国、欧洲和美国继续引领全球储能市场发展，三者合计占全球市场的86%。



根据中金公司预测，2023 年全球储能需求有望达到 189GWh，同比增长超 60%。亚洲、欧洲、美洲成为全球三大储能市场。国际能源署预测未来 5 年全球储能装机容量将增长 56%，到 2026 年达到 270GW 左右^①。

彭博新能源财经（BloombergNEF）发布预测报告显示，全球储能市场在 2022 年创纪录的增长之后，到 2030 年的复合年增长率将达到 23%，年增长将达到 88GW/278GWh，是 2022 年预计装机容量的 5.3 倍；到 2030 年，中国将超过美国成为最大的储能市场。

美国是迄今为止最大的储能市场，到 2030 年，美洲地区的年储能容量将达到千兆瓦的 21%，加州、西南部和德克萨斯州的一系列大型储能项目引领美国市场。欧洲、中东和非洲（Europe, the Middle East and Africa, EMEA）在 2022 年增加了 4.5GW/7.1GWh。住宅储能市场目前是该地区最大的市场，并将一直保持到 2025 年。EMEA 将迅速扩大规模，占 2030 年部署的千兆瓦的

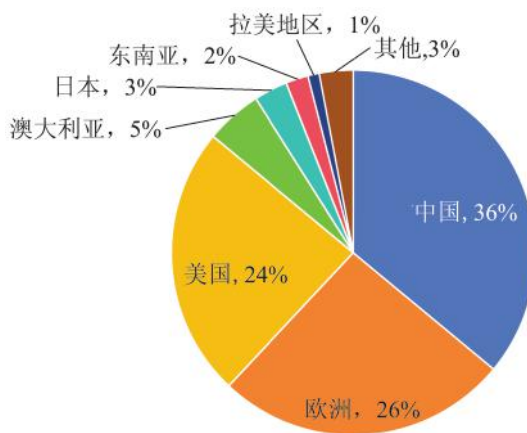


图 37 2022 年全球新增投运储能项目的地区分布
(数据来源：2023 年中国储能产业全景)

24%。预计到 2030 年底，EMEA 累计发电量将达到 114GW/285GWh，以千兆瓦计增长 10 倍，其中英国、德国、意大利、希腊和土耳其的增幅最大。亚太地区（APAC）在装机容量（千兆瓦）建设方面保持领先地位，占 2030 年新增装机容量的 44%，达到 39GW/105GWh。日本联邦和地方政府宣布了对公用事业规模电池的年度补贴计划，而韩国则设定了到 2036 年达到 25GW/127GWh 的储能目标^②。

2. 中国储能装机规模迅速发展

根据中关村储能产业技术联盟数据，截至 2022 年底，中国已投运电力储能项目累计装机规模 59.8GW，抽水蓄能累计装机占比首次低于 80%，新型储能继续高速发展，

^① 陈美珊. 2023 年中国储能产业全景. [EB/OL]. (2023-07-18)[2023-9-12]. https://www.163.com/dy/article/I9UIM88I055631P7.html?spss=dy_author

^② BloombergNEF. 1H 2023 Energy Storage Market Outlook. [EB/OL] (2023-03-21)[2023-9-12]. <https://about.bnef.com/blog/1h-2023-energy-storage-market-outlook/>

累计装机规模首次突破 10GW，达到 13.1GW，同比增长 128%。新型储能中，锂离子电池占据主导地位，压缩空气储能、飞轮储能、液流电池、钠离子电池等技术路线的项目在规模上也有突破，应用模式逐渐增多^①。

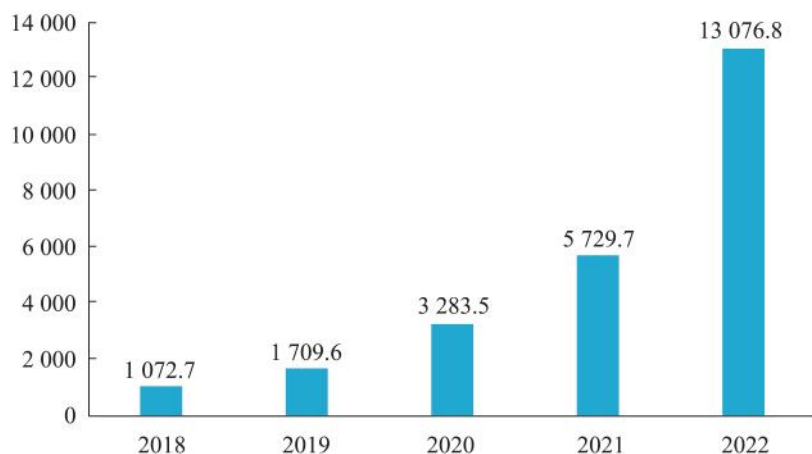


图 38 2018—2022 年中国新型储能市场累计装机规模 (MW)

(数据来源：2023 年中国储能产业全景)

3. 储能产业专利申请量总体上呈快速增长态势

从专利数据研究全球储能产业的发展趋势，如下图所示，储能产业近二十年来的技术创新总体上呈现快速发展的趋势，2004 年专利申请量仅为 2472 项，至 2022 年已

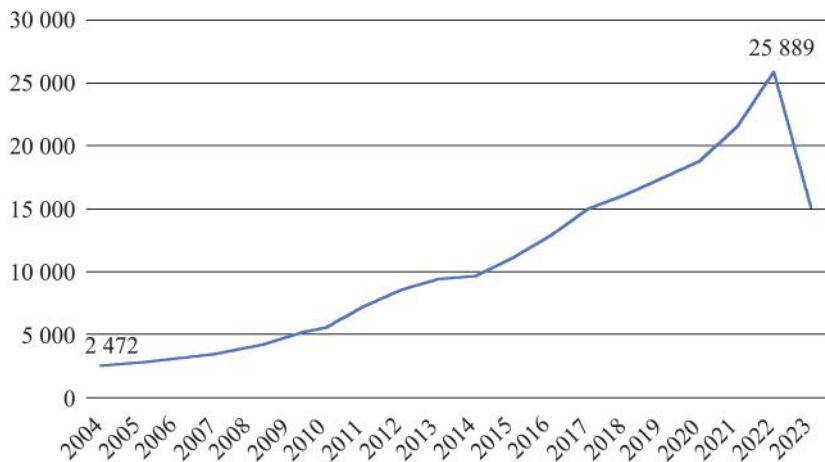


图 39 全球储能产业专利申请趋势 (项)

(数据来源：智慧芽)

^① 陈美珊. 2023 年中国储能产业全景. [EB/OL]. (2023-07-18) [2023-9-12]. https://www.163.com/dy/article/I9UIM88I055631P7.html?spss=dy_author



增长至 25 889 项，增长幅度超过 10 倍，可见全球储能产业专利申请数量总体上保持快速增长态势。目前，储能技术越来越受到世界各国的重视，预计未来该产业的专利申请量将继续增长。

（二）颠覆性技术创新的影响

根据中关村储能产业技术联盟（CNESA）公布的预测数据，“十四五”期间新型储能装机规模大幅增长，“碳中和”目标对可再生能源和储能行业都是巨大的利好，充分考虑各类直接或间接政策的支持，前瞻预计 2030 年中国新型储能装机规模有望达到 147GW（保守场景）、256GW（理想场景）。

虽然未来压缩空气储能、熔融盐储能等储能技术也将迎来火热发展，但综合来看，抽水蓄能与电化学储能依旧占据储能市场主导。前瞻预计，到 2030 年，中国储能整体装机规模有望达到 267GW（保守场景）、376GW（理想场景）^①。

1. 抽水蓄能

（1）抽水蓄能技术发展成熟，应用最广。

抽水蓄能技术利用电网负荷低谷时过剩的电力驱动水泵，由下水库抽水到上水库蓄能，待电网高峰负荷时，放水回到下水库进行发电。

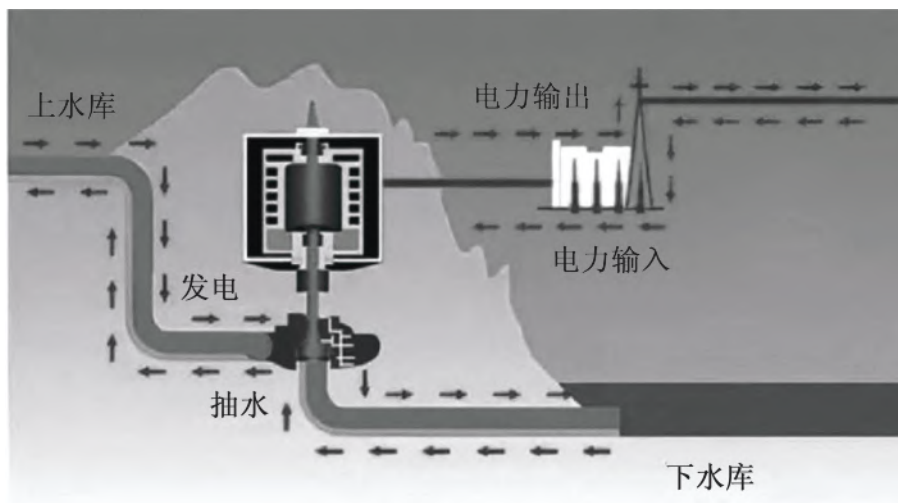


图 40 抽水蓄能技术原理

（资料来源：储能技术应用与发展趋势）

^① 预见 2023：《2023 年中国储能行业全景图谱》（附市场现状、竞争格局和发展趋势等），前瞻研究院

目前我国储能以抽水蓄能为主，它的优点是技术非常成熟，功率大、储存容量大、效率高，应用最广。根据水电水利规划设计总院发布的《抽水蓄能产业发展报告报告2021》，2021年核准抽水蓄能电站平均静态总投资为5 367元/kW，一般情况下，单位造价会随着规模增加而显著降低。抽水蓄能成本0.21~0.25元/(kW·h)，经济性较好。缺点在于需要大量的土地与水资源，且建设难度较高、时间较长抽水蓄能可用于大规模、集中式能量储存，在建设新型电力系统的背景下，可作为灵活调节电源的重要手段，用于电网的能量管理和调峰。

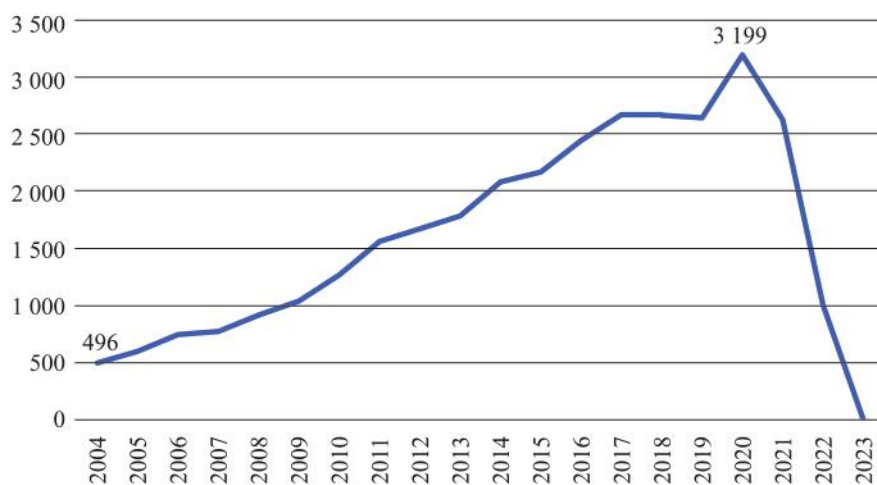


图41 抽水蓄能全球专利申请趋势（项）

（数据来源：智慧芽）

从专利数据研究抽水蓄能的发展趋势，抽水蓄能技术呈现不断发展的趋势，2004年开始至今，抽水蓄能技术均保持稳定增长趋势，近20年进入高速发展的黄金时期。2004年以来相关专利申请数量出现明显增长，专利申请量从2004年的496项增长到2020年的3199多项，增长幅度超过6倍，目前抽水蓄能相关技术的研发仍处于相对活跃的时期。

（2）技术发展趋势

结合我国《抽水蓄能中长期发展规划（2021—2035年）》，未来技术发展的重点包括：重点围绕大型地下洞室群智能化机械化施工、复杂地形地质条件下筑坝成库与渗流控制等开展重大技术攻关；创新抽水蓄能发展方式，中东部地区利用梯级水库电站建设混合式抽水蓄能电站，探索结合矿坑治理建设抽水蓄能电站等形式，将废弃的矿



井或采石场等洞穴作为地下水库；因地制宜在资源较好的省（区、市）建设中小型抽水蓄能电站；重点攻关超高水头大容量蓄能机组、大容量变速机组设计制造自主化，并进一步提升励磁、调速器、变频装置等辅机设备国产化水平；利用物联网、云计算和大数据等技术，推动抽水蓄能的数字化、智能化；建立具备实时监测、巡视检查、监督管理等功能的全国抽水蓄能电站智能综合监测平台^①。

2. 电化学储能

电化学储能技术利用电能和化学能之间的转换实现电能的存储和输出，具有快速响应和双向调节的技术特点，环境适应性强、小型分散配置且建设周期短的优点，可在电力系统电源侧、电网侧、用户侧承担不同的角色。电化学储能技术路线多样，且发展阶段各有不同，主要选择锂离子电池、钠离子电池、全钒液流电池和锌溴液流电池 4 种已经进入商业化或示范阶段的种类进行分析。锂离子电池储能在技术特性方面优势突出，而钒电池、钠电池等有望成为储能行业大发展赛道上的新星。

（1）锂离子电池相关技术迎来爆发式增长阶段

锂离子电池主要依靠锂离子在正极和负极之间移动来工作。充电时，锂离子从正极脱嵌，经过电解质嵌入负极，负极处于富锂状态；放电时则相反。锂离子电池材料包括正极材料、负极材料、电解质和隔膜等 4 大部分，正极材料决定电池的容量、寿命等多方面核心性能，一般占锂电池总成本 40% 左右。

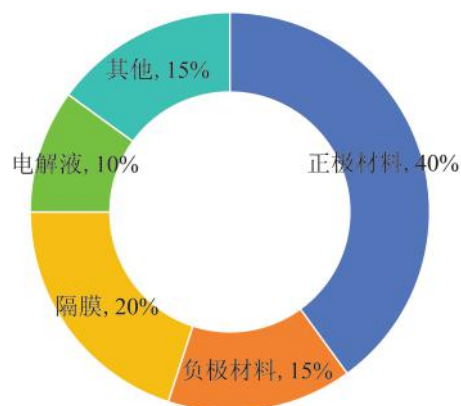


图 42 锂离子电池成本构成

（数据来源：储能技术应用与发展趋势）

锂离子电池能量密度在 130~200 W·h/kg，响应速度快，适用于 4 h 以下的储能系统，从正极材料看，锂电储能包括近年来发展迅猛的磷酸铁电池、三元锂电池、钴酸和锰酸电池等。经主要技术指标数据对比如下表所示，从投资成本、循环寿命、安全性角度来说，磷酸铁锂电池的综合特性最为优异，具有稳定性高、循环寿命长等优点，是国内电力储能的热门技术。根据工信部《锂离子电池行业规范条件（2021 年本）》要

^① 韦媚媚，项定先．储能技术应用与发展趋势 [J]．工业安全与环保，2023，49（S1）：4-12.

求，储能型单体电池能量密度 $\geq 145 \text{ W} \cdot \text{h}/\text{kg}$ ，电池组能量密度 $\geq 100 \text{ W} \cdot \text{h}/\text{kg}$ ，循环寿命 ≥ 5000 次。受电动汽车产业推动，磷酸铁锂电池成本下降极快，成本为 $0.7 \sim 1.0$ 元/(kW·h)。目前磷酸铁锂电池可以通过补锂、掺硅以及使用固液混合电解质等一系列改进，能量密度可以突破 $200 \text{ W} \cdot \text{h}/\text{kg}$ ，电池单体到系统的体积成组效率从40%增加到60%。不足之处是我国锂资源开采难度较大，生产成本低；锂离子电池需要做好回收，不然会造成环境污染；此外，锂电池储存的总能量和其安全性是成反比的，总能量越大，散热性能越差，安全性是目前亟需解决的问题。

表5 锂离子电池不同正极材料主要技术指标对比

项目	循环次数/次	低温性能	高温性能	安全性
钴酸锂	500~1000	好	好	差
锰酸锂	500~1000	好	差	较好
磷酸铁锂	≥ 2500	般	好	好
三元材料（镍钴锰酸锂）	1500~2000	好	一般	较好

（数据来源：储能技术应用与发展趋势）

从目前的应用情况来看，未来储能市场的主力军是循环寿命高且安全性高的磷酸铁锂电池。受磷酸铁锂成本下降及综合性能提升的影响，锂离子电池储能技术被广泛应用在电力系统发输配用各个环节。目前已经进入商业化成熟期，并已经迎来爆发式增长阶段。根据中国电子信息产业发展研究院、南方电网电动汽车服务有限公司联合发布的《中国锂电储能发展战略展望》，预计到2025年，我国锂电储能累计装机规模将达到50GW，市场空间约2000亿元；到2035年，达到600GW，市场空间约2万亿元。

如下图所示，从专利数据研究锂离子电池领域的发展趋势，可见近二十年来，太阳能电池相关的专利申请量呈波动增长态势，2014年以后，锂离子电池年专利申请量如破5000项，并保持至2021年，这一阶段每年专利申请量基本都在5000项以上。当前，全球锂离子电池技术仍处于成长期，全球锂离子电池产能不断提升，产业规模继续扩大，生产企业和创新主体也将继续在该领域加大研发投入，该领域的专利申请量会继续保持增长势头。

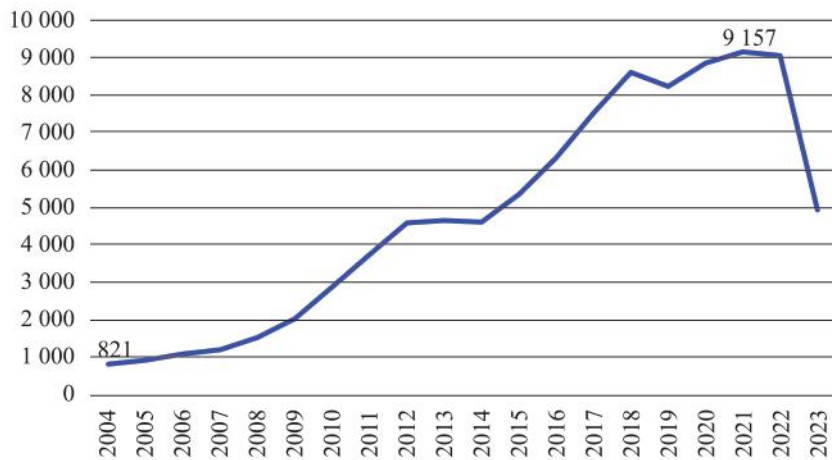


图 43 锂离子电池全球专利申请趋势（项）

（数据来源：智慧芽）

（2）技术发展趋势

锂离子电池技术创新方向主要是在现有基础上寻求百兆瓦级高安全性、低成本、长寿命的技术突破，主要包括：在锂资源开采和回收技术上，要求工艺流程更为简化和分离材料向着更高性能吸附方向发展；正极材料方面，目前可通过补锂质等方式推进，逐步提升能量密度是磷酸铁锂正极的发展趋势；负极材料未来发展趋势主要集中在具有高比容量的碳硅复合材料上；隔膜创新趋势主要集中在制备工艺和技术发展上，提高隔膜的热稳定性，有效提升安全性能；电解质方面，提高电池的安全性和稳定性。结合国家发展改革委、国家能源局《“十四五”新型储能发展实施方案》要求，锂离子电池技术发展趋势还包括智能传感技术、热失控阻隔技术、安全控制技术、智慧调控技术等核心技术装备攻关；加大关键技术装备研发力度，开展新型锂离子电池关键核心技术、装备和集成优化设计研究，研发储备固态锂离子电池等新一代高能量密度储能技术^①。

二、核能发电

核能是原子核结构发生变化时所释放出的能量，又称原子能。核能是通过核反应从原子核释放出能量，通常核能可通过三种核反应之一释放：（1）核裂变，较重的原

^① 韦媚媚，项定先．储能技术应用与发展趋势 [J]．工业安全与环保，2023，49（S1）：4-12.

子核分裂释放核能；(2) 核聚变，较轻的原子核聚合在一起释放核能；(3) 核衰变，原子核自发衰变过程中释放能量。核裂变能主要用于核电站发电，目前核电已与水电、火电一起构成世界能源的三大支柱。

(一) 发展趋势与区域竞争力

1. 核能在全球能源转型中的作用越来越突出，亚太区域核能发电发展势头强劲

核能是一种清洁、低碳、高效、运行稳定的能源形式，在保障能源安全、推动能源转型、助力碳达峰碳中和及气候目标实现中发挥着重要作用。目前，世界各国也更加关注能源的多样性及自主可控的能源供应。对于许多国家而言，发展核能是保障能源安全的现实选择。

国际能源署（IEA）研究表明^①，要实现《巴黎协定》的气候变化目标，到2050年全球核电容量需要翻一番。2023年4月19日更新的国际原子能机构（IAEA）动力堆信息系统显示，当前全球共有在运核反应堆420座，总装机容量374827MWe，在建核反应堆56座，容量58595MWe^②。

表6 各国核反应堆装机情况（截至2023年3月）

国家	中国 ^③	美国	俄罗斯	法国	日本
可运行的反应堆数量（座）	55	92	37	56	33
现有装机容量（MWe）	53181	94718	27727	61370	31679
在建反应堆数量（座）	22	2	3	1	2
在建装机容量（MWe）	24781	2500	2810	1650	2756
计划中的反应堆数量（座）	46	3	25	0	1
计划中容量（MWe）	51360	2550	23525	0	1385

（数据来源：世界核协会）

根据中国核能行业协会2023年发布的《我国核电运行年度综合报告（2022年度）》显示，截止2022年12月31日，世界范围内并网发电的核电机组共422台，总装机容量为3.99亿千瓦。2022年世界新并网核电机组6台，大部分位于亚太地区国家，其中中国2台、巴基斯坦1台、韩国1台、阿联酋1台、芬兰1台。

① 《全球核能发展动向及启示（2023）》，中能传媒研究院，2023年。

② MWe即兆瓦电力，是核电中的功率单位。

③ 注：统计数据未包括中国台湾地区。



由此可见，全球范围内核反应堆数量和并网发电的核电机组数量均呈增长趋势，核能在全球能源转型中的作用越来越突出。

由下表可知，2022 年全球核能发电量与 2021 年相比，略有下降。核能发电量最大的是北美洲区域，达到了 9096 亿千瓦时；其次是欧洲地区和亚太地区，分别为 7415 亿千瓦时和 7379 亿千瓦时，远超全球其他地区。从增长趋势看，2022 年亚太地区核能发电同比增长 3.33%，独联体地区增长率为 0.43%；其他区域均呈下降趋势。

尽管 2022 年亚太区域核能发电量相比北美洲区域还有一定的差距，但与欧洲地区比已相差无几。且北美洲区域和欧洲区域 2022 年核能发电量同比均呈下降趋势，尤其欧洲区域同比下降达 16%；而亚太区域 2022 年核能发电量同比增长 3.3%，发展势头强劲。

表 7 全球核能发电量（亿千瓦时）

排名	区域	2021	2022	2021—2022 增长率
1	亚太	7141	7379	3.33%
2	独联体	2302	2312	0.43%
3	北美洲	9246	9096	-1.62%
4	中南美洲	249	220	-11.65%
5	欧洲	8823	7415	-15.96%
6	非洲	124	101	-18.55%
	全球	28025	26790	-4.41%

（数据来源：世界能源统计年鉴 2023）

下图显示了 2022 年全球核能发电市场排名前十情况。由图可知，2022 年，全球十大核能发电市场集中于北美区域的美国 and 加拿大，亚太区域的中国大陆、韩国和日本，以及欧洲区域的国家。其中排名前五的美国、中国大陆、法国、俄罗斯和韩国的核能发电量远超排名第六到第十的国家。其中，美国核能发电量为 8121 亿千瓦时，占全球的比重为 30.3%，高居全球第一位。在亚太地区，中国大陆核能发电量为 4178 亿千瓦时，占全球的比重为 15.6%，位居全球第二位；韩国核能发电量为 1760.54 亿千瓦时，占全球的比重为 6.6%，位居全球第五位；日本核能发电量为 517.74 亿千瓦时，占全球的比重为 1.9%，位居全球第九位。

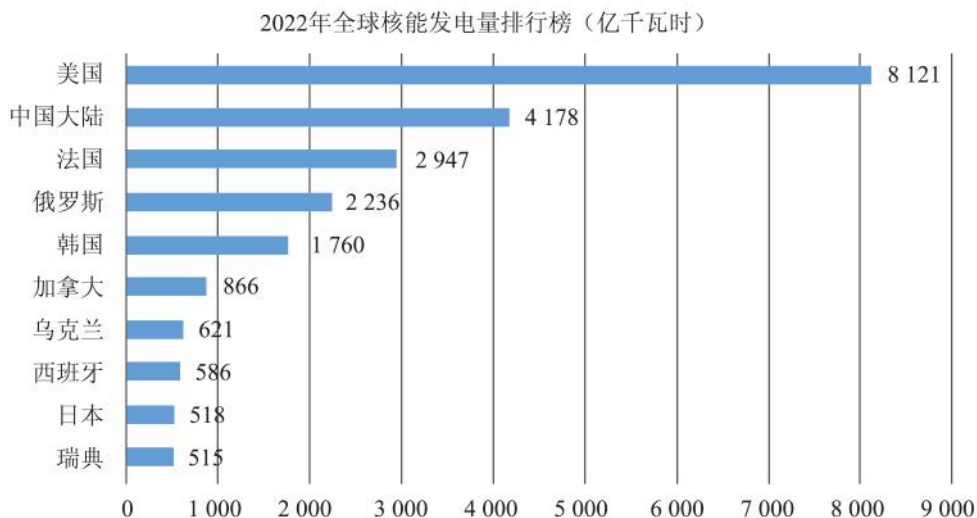


图 44 2022 年全球十大核能发电市场

（数据来源：世界能源统计年鉴 2023）

中国大陆在亚太区域核能发电市场的地位近年来一直保持领先，而中国之外的全部亚太地区国家合起来，所占全球份额仍低于中国。在全球范围内看，中国大陆在建反应堆数量和在建装机容量也是遥遥领先，发展势头强劲。

2. 核能发电产业专利申请量总体呈增长态势，全球核能领域技术主要来源于亚洲地区

从专利数据研究全球核能发电产业的发展趋势，如图 45 所示，核能发电产业近二十年来的技术创新总体上呈现快速增长态势，大致可以分为三个阶段。2012 年之前为快速发展时期；受日本福岛核泄漏事件影响，2012 年—2017 年技术发展趋势有所减缓；2017 年之后发展趋势再次加速。2004 年核能发电产业相关专利申请量为 2427 项，至 2021 年专利申请量达到 14011 项，是 2004 年的近 6 倍。2022 年的专利申请量相比 2021 年虽然有所减少，但仍达到了 12104 项，可见全球核能发电产业仍处于快速成长期。

从专利角度分析全球核能发电行业技术来源国分布情况，如图所示，中国^①专利申请量最大，约占全球总量的 42%，远超其他国家，是全球核能发电第一大技术来源国；日本排名第二，其核能发电领域专利申请量约占全球总量的 25%；美国和韩国分别排名第三、四位，全球占比分别为 11% 和 7%。由此可见，在全球核能发电领域，以中

^① 注：统计数据未包括中国台湾地区。



国、日本、韩国为代表的亚洲国家的技术竞争力和创新能力较强，而中国优势最为突出。

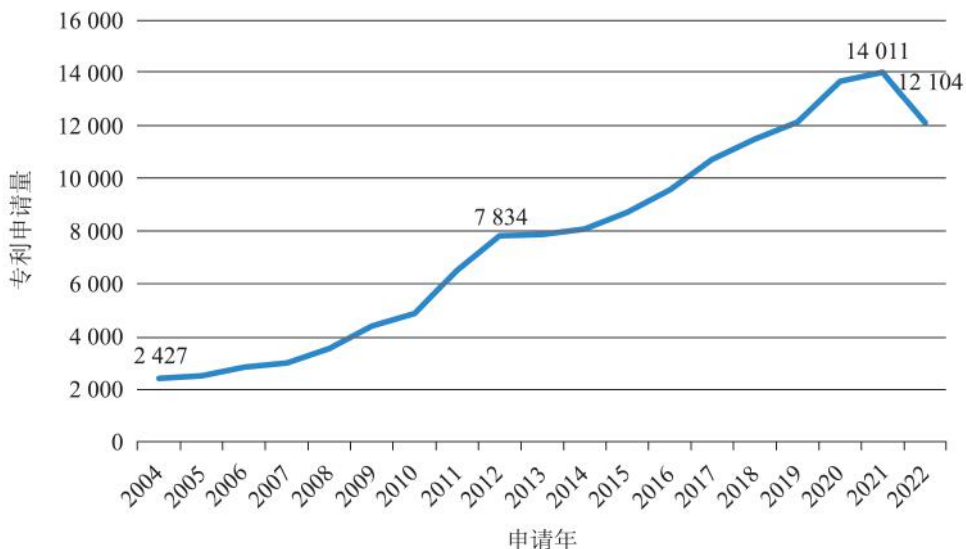


图 45 全球核能发电产业专利申请趋势（项）

数据来源：智慧芽

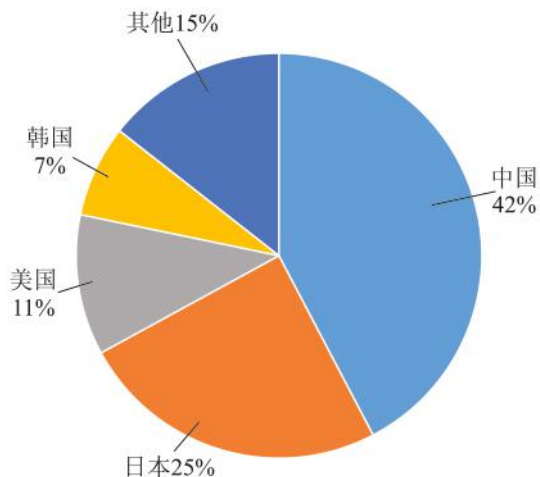


图 46 全球核能发电领域主要技术来源国分布

（数据来源：智慧芽）

（二）颠覆性技术创新的影响

核电技术经历了四代演变，第三代核电技术是目前主流的商用核电技术，包括美国 AP1000、法国 EPR、俄罗斯 VVER 以及中国自主研发的华龙一号。目前全球三代核

电技术已经较为成熟，四代核电技术可能将成为大国竞争的下一重点，核电强国积极布局四代核能系统研发应用。

相比三代核电，第四代核电技术具有更好的安全性、经济竞争力，核废物量少，可有效防止核扩散，是核能系统未来发展的方向。第四代核能系统国际论坛（GIF）推荐的六种第四代裂变核反应堆型分别为：气冷快堆、铅冷快堆、钠冷快堆、熔盐堆、超临界水冷堆和超高温气冷堆^①。

1. 钠冷快堆

钠冷快堆是利用液态钠作为冷却剂的四代堆，其堆芯运行安全性好、燃料再生速度高于消耗速度、可将核反应堆运行产生的长寿命锕系核素转变成短寿命的裂变产物，从而便于处置。小型钠冷快堆具有功率密度高、固有安全性好、小型化性能好、全寿期不换料等优势，可应用于远海岛礁等偏远地区，也可与风能、光伏等新能源耦合运行提高微电网稳定性，是小型先进反应堆的优选技术路线之一，也是第四代核能系统主力堆型之一。

（1）钠冷反应堆发展现状

美国已在上世纪 40 年代建成全球首座实验快堆，到目前为止，美国一共建成了 22 座快堆，其中钠冷快堆 19 座，并且已具备示范快堆燃料制造能力。俄罗斯（包括前苏联时期）快中子反应堆工作开始于上世纪 50 年代早期，2016 年 BN-800 型反应堆于正式投入商业运行，是全球在运的最大的钠冷反应堆。法国的快中子反应堆开始于 1953 年，研究发展工作集中在钠系统，先后建造了“妄想曲”（Rapsodie）反应堆和“凤凰”（Phenix）原型堆电厂。

亚太地区，日本先后建立了常阳（JOYO）堆和文殊（Monju）堆。中国是世界上第 8 个拥有钠冷快堆技术的国家，按照钠冷快堆实验堆—示范堆—商用堆的发展计划，中国目前已完成钠冷快堆实验项目，正在进行 600MW 示范堆建设。

从全球钠冷反应堆领域的专利申请趋势分析可见，近二十年来，全球钠冷反应堆领域的专利申请趋势整体呈增长态势，年申请量波动变化。尤其受日本福岛核泄漏事件影响，2011 年—2016 年专利申请量波动明显。2016 年之后呈现逐年增长趋势，2022 年申请的专利部分并未公开，检索的专利量偏少。由于该领域尚处于研发与实验阶段，因此发展过程中，技术研发及专利申请量难免出现波动。但钠冷快堆被称为第四代核电技术

^① 注：资料来源：核电行业深度系列报告（德邦证券）。



首选堆型，工程技术最为成熟，预计未来该领域的专利申请量将会继续呈现增长势头。

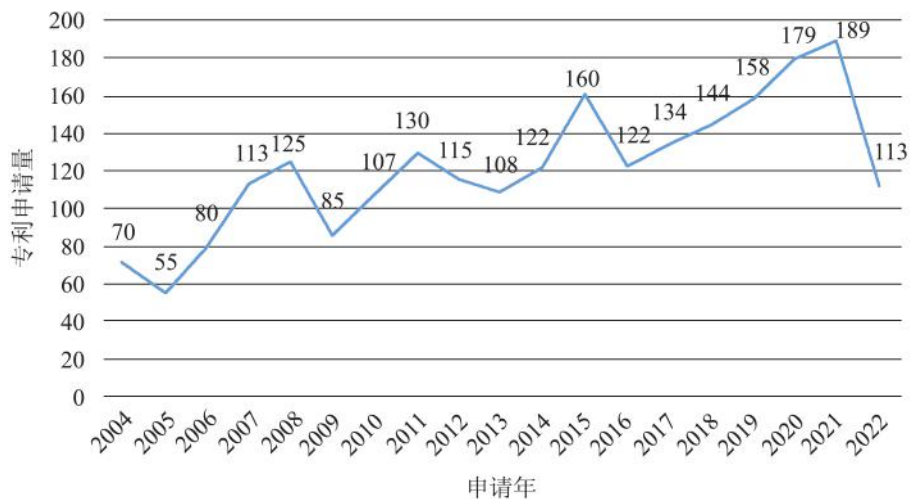


图 47 全球钠冷反应堆专利申请趋势（项）

（数据来源：智慧芽）

（2）技术发展趋势

在快堆技术中，钠冷快堆发展最快，具备燃料增殖与废料嬗变两大优势。为了在堆芯内维持快中子，除气体外不宜用含轻核的冷却剂，可选用钠、氦和铅等，钠冷快堆是第四代快堆堆型中发展最快，也最接近商业化的快堆。

和压水反应堆不同的是，钠冷快中子反应堆的冷却剂的温度控制在 883℃（钠的沸点），压力也不需要太高。但钠冷快中子反应堆遇到最大的问题是钠极易和空气与水产生激烈反应，导致冷却剂泄露引起火灾。根据堆型布置的不同，钠冷快堆可以分为回路式钠冷快堆和池式钠冷快堆。针对这两种不同的系统结构，未来还需要进一步研究。

2. 熔盐反应堆

熔盐堆是六种第四代核反应堆候选堆型之一，与其他使用固体燃料棒作为燃料的反应堆不同，最早熔盐堆使用含有铀或钍的高温液体熔融氟化盐作为燃料。目前已扩展为两类堆型：液态燃料熔盐堆（MSR-LF）和固态燃料熔盐堆（MSR-SF，也称为氟盐冷却高温堆-FHR）。熔盐堆具有高温、低压、高化学稳定性、高热容等反应堆热量传输特性，可建成常压、紧凑、轻量化和低成本的反应堆；熔盐堆输出温度可达 700℃ 以上，既可用于发电，也用于工业生产和高温制氢、吸收二氧化碳制甲醇等，实现核能综合利用。

(1) 熔盐反应堆发展现状

2001 年被第四代核反应堆国际论坛（GIF）选为六个候选堆型之一，钍基熔盐堆研发自此在世界范围内呈现急剧上升趋势。欧美各国积极推进国际合作并组建合作机构，开展熔盐堆概念设计和评估；欧盟自 2001 年起先后启动多个研究项目，由欧洲原子能共同体和其中六个国家参与，开展液态燃料熔盐堆的评估与可行性研究，提出熔盐快堆系统的优化设计。

在亚太区域，印度与日本正在积极推动液态燃料钍基熔盐堆的研究工作，韩国已经启动了固态熔盐堆研究计划。中国于 2011 年启动熔盐反应堆科技专项，计划用 20 年左右在国际上首先实现钍基熔盐堆的应用，同时建立钍基熔盐堆产业链和相应的科技队伍。2023 年 6 月中国国家核安全局发布关于颁发 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆运行许可证的通知，甘肃钍基熔盐实验堆获运行许可，标志着继高温气冷堆后，中国又一四代核能堆即将投运。

从全球熔盐反应堆领域的专利申请趋势分析可见，近二十年来，全球熔盐反应堆领域的专利申请趋势整体呈增长态势，年申请量波动变化，尤其 2012 年—2019 年专利申请量波动明显。2020 年专利申请量最大，达到 316 项，之后有下降趋势。2022 年申请的专利部分并未公开，检索的专利量偏少。由于该领域尚处于研发与实验阶段，且技术领域难度较大，技术研发及专利申请量难免出现波动。但随着技术的发展以及各个国家的投入加大，预计未来该领域的专利申请量将会继续呈现增长势头。

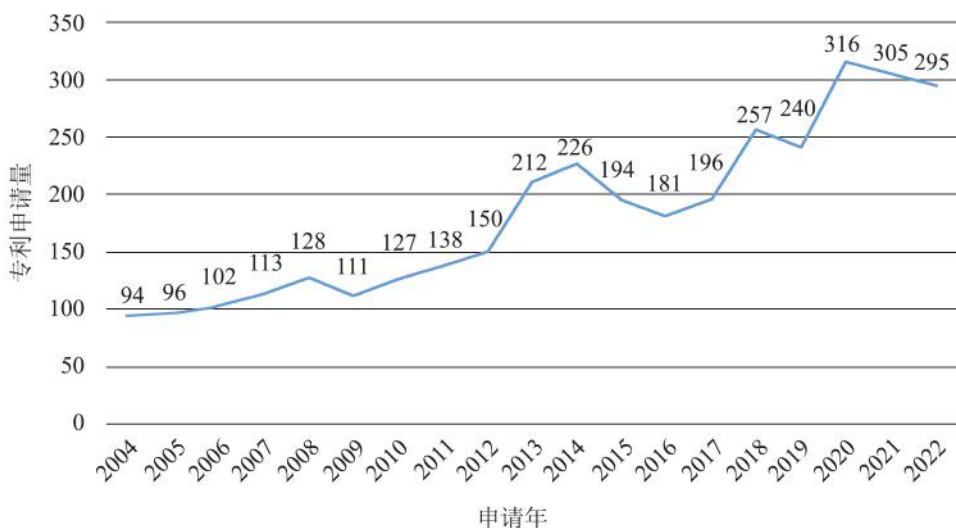


图 48 全球熔盐反应堆专利申请趋势（项）

（数据来源：智慧芽）



(2) 技术发展趋势

熔盐堆是以熔盐作为冷却剂的反应堆，不存在堆芯熔化的问题；熔盐的低蒸气压也减少了破口事故的发生；而当堆芯温度上升超过预警值时，底部的冷冻塞可以自动融化，熔盐会流入应急罐并冷却，不会造成核污染。熔盐堆可以使用钍基核燃料。钍基核燃料的储量高于铀基核燃料，同时钍基核能不易用于制造武器，更适合做民用用途。

液态钍基燃料熔盐堆具有良好的经济性、安全性、可持续性和防核扩散性，在当前技术基础条件下也具有极高的可行性。但是，针对液态钍基燃料熔盐堆运行温度高、熔盐腐蚀性强和后处理技术不成熟的特点，未来在反应堆设计和安全分析方法、燃料盐连续在线后处理技术、反应堆的相关材料和制作工艺方面还需要进一步研究。

三、智慧能源

智慧能源产业现阶段的实践聚焦于能源行业智能化转型，其技术与解决方案是由能源技术与互联网信息技术融合创新以及配套技术服务组成的新业态、新模式。

(一) 发展趋势与区域竞争力

1. 智慧能源构建“物联网”与“务联网”（服务互联网）无缝衔接的能源生态体系

智慧能源系统是以数字化、智慧化能源生产、储存、供应、消费和管理与服务为主线，追求横向“电、热、冷、气、水、氢”和“水、火、核、风、光、储”等多种能源品种和供应方式的协同，实现纵向“源-网-荷-储-用”等各环节间的互动优化，向终端用户提供综合能源一体化解决方案，构建“物联网”与“务联网”（服务互联网）无缝衔接的能源生态体系，其系统架构如图 49 所示。

2. 能源行业整体处于信息化向智能化迈进过程

当前，能源行业整体处于信息化向智能化迈进过程。各类能源系统由于特性差异，发展程度不尽相同。电力系统信息化基础较好，并积极探索泛在物联的数字化技术集成创新，已经进入能源智能化阶段，是能源数字化的先行领域。

数字技术助力能源行业降本增效。根据国际能源署（IEA）《数字化和能源》预

测，数字技术的大规模应用将使油气生产成本减少 10%~20%。可以在 2040 年将太阳能光伏发电和风力发电的弃电率从 7% 降至 1.6%，从而到 2040 年减少 3000 万吨二氧化碳排放。与此同时，数字化还可以使碳捕获和储存等特定的清洁能源技术受益。目前，世界各国纷纷采取措施，推动数字化进程，将大数据分析及机器学习、区块链、分布式能源管理和云计算等数字技术，应用到能源生产、输送、交易、消费及监管等各个环节。

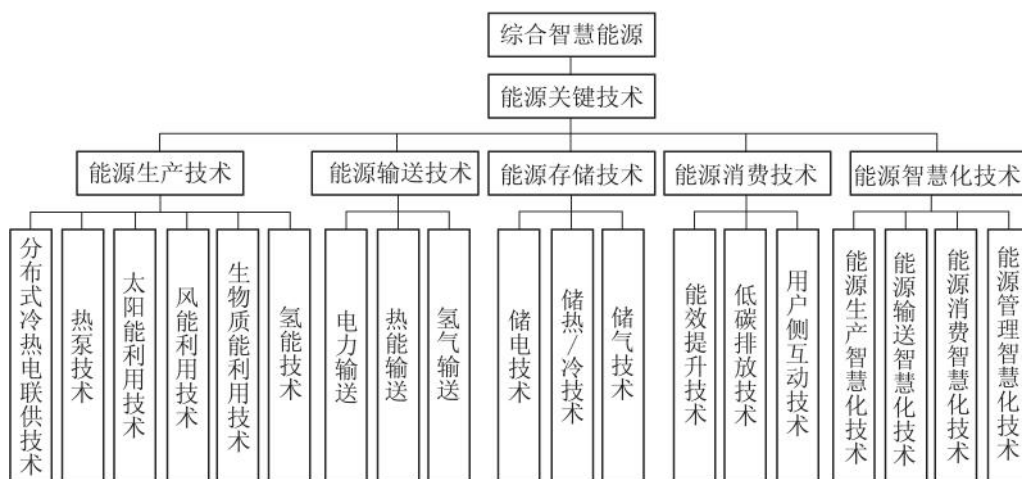


图 49 智慧能源系统架构图

3. 智慧能源产业专利申请量总体呈快速增长态势，技术主要来源于亚洲地区

从专利数据研究全球智慧能源产业的发展趋势，如图 50 所示，智慧能源产业近二十年来的技术创新总体上呈现快速发展的趋势，2004 年专利申请量仅为 2649 项，至 2022 年已增长至 45286 项，增长幅度超过 10 倍，可见全球智慧能源产业专利申请数量总体上保持快速增长态势。目前，智慧能源越来越受到世界各国的重视，预计未来该产业的专利申请量将继续增长。

从专利角度分析全球智慧能源行业技术来源国分布情况，如图 51 所示，中国专利申请量最大，约占全球总量的 74%，远超其他国家，是全球智慧能源第一大技术来源国，日本排名第二，其智慧能源领域专利申请量占全球总量的 7%；美国和韩国分别排名第三、四位，占比不超过 5%。由此可见，在全球智慧能源领域，以中国、日本、韩国为代表的亚洲国家的技术竞争力和创新能力较强，而中国优势最为突出。

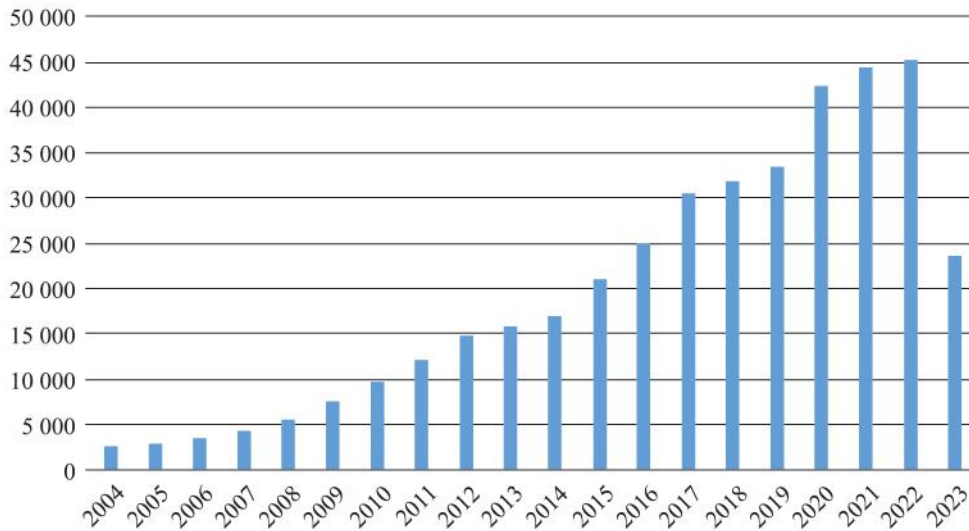


图 50 全球智慧能源产业专利申请趋势（项）

（数据来源：智慧芽）

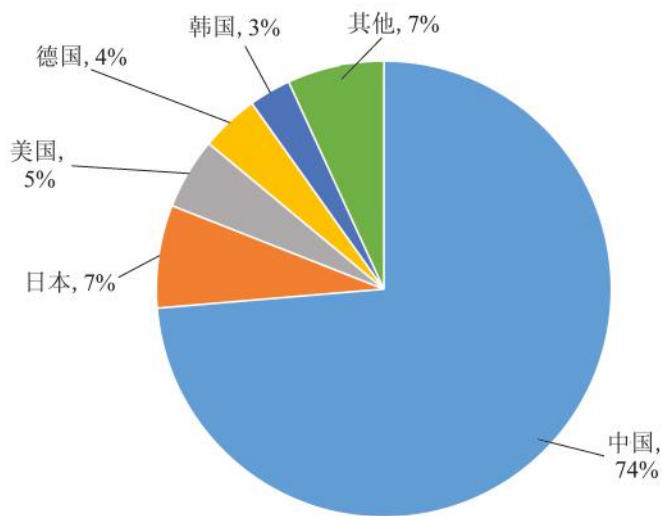


图 51 全球智慧能源领域主要技术来源国分布

（数据来源：智慧芽）

（二）颠覆性技术创新的影响

智慧能源利用物联网、大数据、多目标优化、人工智能等技术，实时监测、分析和计能源生产、调度、输配、存储、销售、使用等过程中的业务数据、性能数据和运行数据，实现能源预测、多参数寻优和闭环调控，推动能源和信息化的深度融合，实

现能源生产、运输、消费和管理的智能化，并对其进行故障判断，进行预测性维护，从而提升能源的使用效率，保证系统安全、稳定运行。

智慧能源在智慧生产、智慧营销、智慧管理等应用场景持续创新^①。

1. 智慧生产

能源行业是资产密集型行业，具有设备价值高、产业链长、危险性高、环保要求严的行业特征，面临设备管理不透明、工艺知识传承难、产业链上下游协同水平不高、安全生产压力大等行业痛点。随着世界能源格局的变化，能源发展向低碳化、分散化、智能化转变。能源消费服务市场的需求转变，倒逼生产、储运环节要更加安全、高效、清洁，因此需要依靠数字技术，提高能源生产过程的智能化水平。

(1) 电厂锅炉智能预警

目前，国内电厂因锅炉炉管泄漏事故造成的非计划停运时间占全年总停运时间的30%以上。锅炉炉管泄漏是造成机组非计划停运的主要原因，对锅炉运行的经济性影响较大。锅炉智能预警基于电厂机理模型和人工智能技术，通过运行状态监测，判断炉管是否发生泄漏，实现锅炉炉管泄漏的早期测报，并判断泄漏区域位置及泄漏程度，给设备预测性维护提供数据支持，将设备运行异常消除在萌芽阶段，减少非计划性停炉、停机，减少启停炉、启停机的能源消耗，大大提高设备使用效率。

(2) 智慧安全管理

能源企业引入人员定位系统，在三维立体空间建模基础上，对现场的位置进行划分、定位人员，并将每个位置所对应的安全注意事项与生产运行信息关联，帮助现场人员智能识别危险区域，避免出现人身伤亡事故。目前，人员定位误差可控制在20~50mm范围内，能够有效防止人员跑错间隔、避免发生误操作。例如，部分电厂将人员定位信息与三维虚拟电厂模型融合，设置虚拟电子围栏，实时监控高温、高压等危险区域及重要设备。智慧安全管理系统能够帮助生产现场人员识别危险区域，提醒越界人员以及安监人员确认，保障人员或设备的安全，减少不必要的损失。

(3) “无人值班、少人值守”新能源电站

基于互联网架构，融合人工智能、大数据、云计算、物联网、移动互联等技术，建设数据汇集、存储、服务、运营为一体的新能源大数据创新平台，实现源、网、荷侧多源异构数据的实时采集，实现风机部件级、光伏板件级最小颗粒度数据采集，采

^① 赛迪顾问，智慧能源白皮书——拥抱数字时代，育先机开新局



集时长 5~7 秒/次，高效支撑各类行业应用的构建和使用。实现多座新能源电站“无人值班、少人值守”模式，促进电站减员增效。目前，“无人值守”模式正在向新能源电站设计和建设领域延伸。发电企业依托平台创新业务模式，改变原有工作模式和经营模式，促进产业升级。

(4) 电力智能巡检

电力巡检的核心工作内容，是对输变电设备进行运维。电力企业利用 AI 算法，提升智能巡检机器人的设备图像识别准确率，可极大地降低运维成本，进一步解放劳动力。在预先设定巡检点位、规划巡检路线后，智能巡检机器人能够自动进行所有相关表计的检测与读取，有效减轻人工巡检负担，提高工作效率，减少人为因素导致的疏漏甚至是错误，最大限度消除安全隐患。

2. 智慧营销

人工智能、大数据等信息技术的应用，使得传统行业之间的壁垒和不同专业之间的“高墙”被打破，能源行业的形态发生了极大的变化。传统的能源企业正在面临负荷集成商市场新进入者以及众多基于互联网生态成立的全新企业的挑战，能源消费者将前所未有地成为重塑市场格局的重要力量。

(1) 综合能源服务

新一代信息技术使得传统业务之间的壁垒逐渐被打破，电力、燃气、分布式能源等以往各自为政的能源领域，也开始走向融合发展。综合能源服务是运用人工智能、云计算、物联网等信息技术，实现能源流和信息流的高度融合，即一定区域内整合煤炭、石油、天然气、电能、热能等多种能源，以满足多元化用能需求，并实现多种异质能源组合供应服务。

(2) 智慧电网营业厅

传统方式下，用户购电需要前往电力公司营业厅排队并到窗口人工办理。在智慧方式下，用户步入电力公司营业大厅即可快速被智能系统识别，并与系统中已登记客户信息比对核实身份，然后自动为用户发送应缴电费等业务办理信息。若发现用户等候时间较长，系统还将自动推送消息至现场客户经理的手持设备，提示主动提供服务。

3. 智慧管理

传统企业的管理模式，通过严明的管理机制和方法，标准化、流程化的手段来提高企业的生产效率。数字技术的发展为企业的运营管理注入了活力，也对企业的运营管理产生了颠覆式的冲击。在数字经济时代，快速变化的市场需求以及迭代更替的技

术手段，要求企业从经验驱动向数据驱动转变，敏捷响应市场变化；要从相互独立向协同发展转变，建立与数字创新相适应的运营流程；要从依赖人力和等级管理向智能化、数据化转变，实现业务管控效率和效益的提升。

（1）智能供应链管理

智慧供应链管理应用物联网、移动互联网、人工智能、大数据等新一代信息技术，站在全局、广域、产品全生命周期的高度，同时关注企业内部、外部的业务协同，将企业的采购—生产—销售的过程纳入统一网链结构中，采用可视化手段展示数据，使用移动化的手段访问数据。构建供应链管理云平台，推动各环节相互联通，供应端、使用端实现信息共享，高效协调物资的使用。制定科学、合理的物资分类，结合能源企业储备原则制定储备定额方案，保证品类和库存水平合理；根据能源企业实际情况优化供应链层面上的节点布局，物资储备区域分级，提高物资保障与供应能力，有效衔接采购、物流管理、电网体系覆盖区域的物资使用和消耗，有效降低成本，提高储备物资供给效益和效率，确保安全生产。

（2）智能协同办公

利用企业中台横向打通业务流程，实现跨职能的互联互通、相互协作。通过数据层面、应用系统、用户界面、业务流程的全面集成，将企业的业务流程、公共数据、应用软件、硬件和各种标准联合起来，在不同业务系统之间实现无缝集成，形成纵向专业管理、横向资源管理的网络协同化的管理模式，确保跨部门衔接的顺畅性，使得信息沟通交流的时间成本、经济成本下降，提升办公效率。通过构建以文档管理为基础的知识中台系统，借助人工智能技术，可在公文起草、审核、签批、办理等办理过程中，实现智能核稿、辅助定密、辅助签批、自动办毕、智能校检及错误纠偏等功能。运用人工智能、大数据技术，分析企业行政办公和经营数据，自动生成报告，支撑经营管理，为业务决策提供客观、理性的依据。

第七章 新材料与先进制造

由于新材料的重要性，世界各国都不失时机地调整产业政策，加速布局材料前沿技术和颠覆性技术。主要发达国家针对新材料重点领域，如新型显示材料、新型能源材料、第三代半导体材料等，还出台了专项政策，以加速关键材料研发生产及推动先进制造业创新发展。

一、新能源和可再生能源关键材料

早在 1981 年，联合国在肯尼亚首都内罗毕召开的“联合国新能源和可再生能源会议”中提出新能源和可再生能源的含义为：以新技术和新材料为基础，使传统的可再生能源得到现代化的开发和利用，用取之不尽、周而复始的可再生能源来不断取代资源有限、对环境污染的化石能源，重点在于开发太阳能、生物质能、海洋能、风能、地

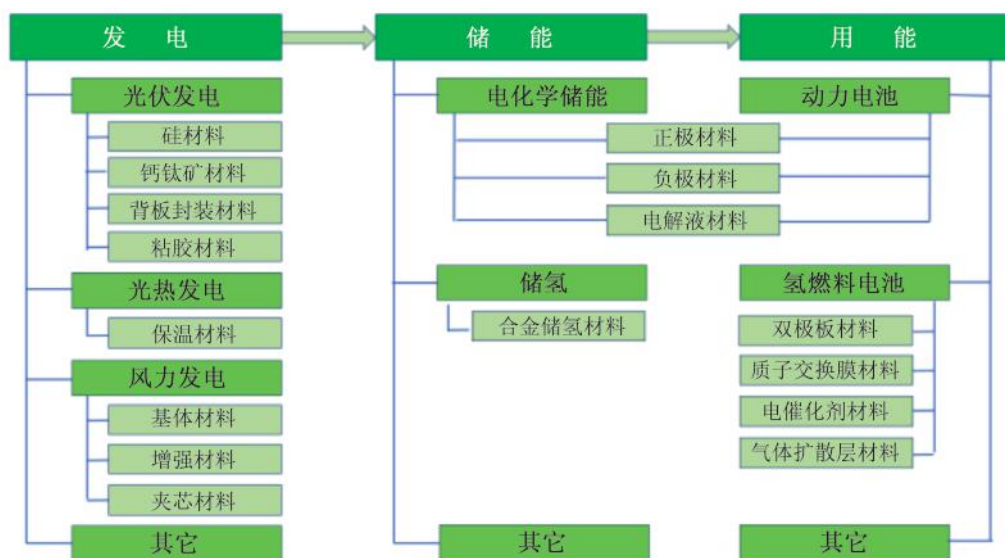


图 52 新能源和可再生能源关键材料汇总

(资料来源：奇点新材料)

热能和氢能等。近年来，随着环保意识的逐渐提高以及能源危机的不断凸显，新能源和可再生能源关键材料逐渐成为人们关注的焦点，它是指能够用于制造太阳能电池、风力发电机和电动汽车等新能源和可再生能源领域的材料。这些材料不仅能够提高能源的利用效率，还能够减少对环境的污染，对现在的社会和未来的可持续发展具有重要的意义。各种新能源和可再生能源的关键材料如图 52 所示。

（一）发展趋势与区域竞争力

1. 新能源和可再生能源关键材料的发展促使全球新材料产业市场规模不断增长

2021 年全球新材料产业规模超过 3 万亿美元，2017—2021 年年均复合增长率约为 8%。随着新能源等下游新兴产业的发展，关键材料需求日益增加，全球新材料产业市场规模预计将继续增长，2023 年有望达到 3.72 万亿美元。

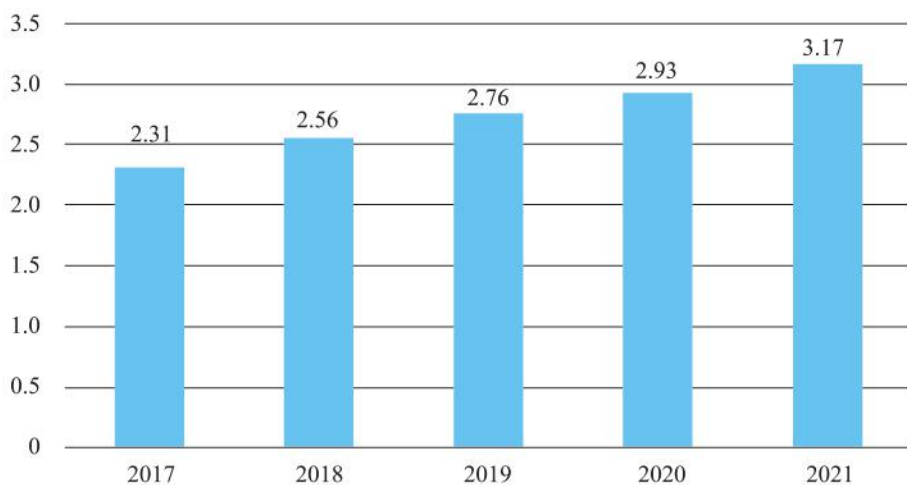


图 53 2017—2021 年全球新材料产业市场规模（万亿美元）

（数据来源：火石创造）

2. 新能源企业加速关键材料开发，营业收入大幅增长

全球新能源企业加速新能源与可再生能源关键材料的开发，在 market 需求的刺激下，企业的总体营业收入大幅增长。2023 年全球新能源企业总营业收入已经超过 10 万亿元人民币。其中，规模前 500 家企业的总营业收入规模达到 8.66 万亿元人民币，比上年度的 5.49 万亿元大幅增加 3.17 万亿元，增长 57.74%，产业规模实现爆发式增长。

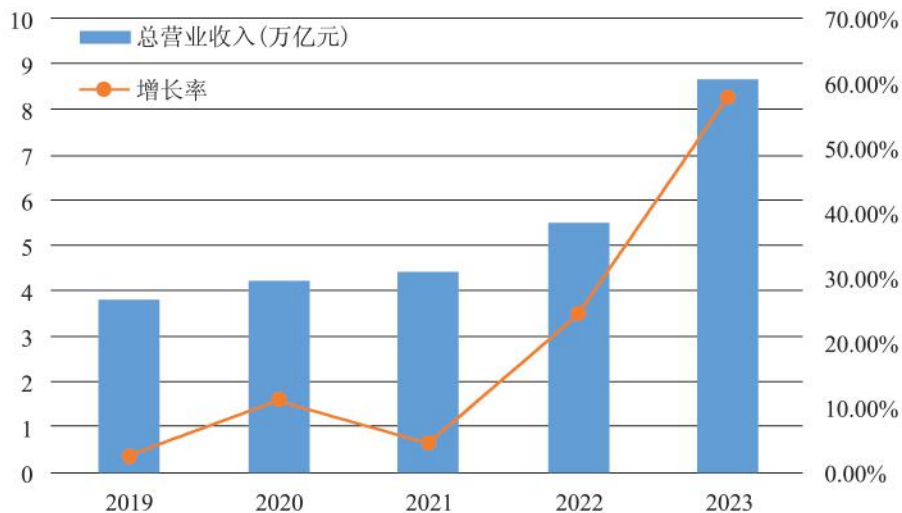


图 54 2019—2023 年 500 强新能源企业总营业收入（万亿元）

（数据来源：新材料情报 NMT）

3. 新能源和可再生能源关键材料领域专利申请量呈快速增长态势

近二十年来，新能源和可再生能源关键材料领域的专利申请呈现持续增长的趋势。随着全球对可再生能源需求的不断增加，对关键材料的需求也日益增长，关键材料的种类也越来越多。如图所示，2004 年全球新能源和可再生能源关键材料领域的专利申请数量不足 2500 项，2020 年已经增长到 13825 项，增长了 5 倍以上。

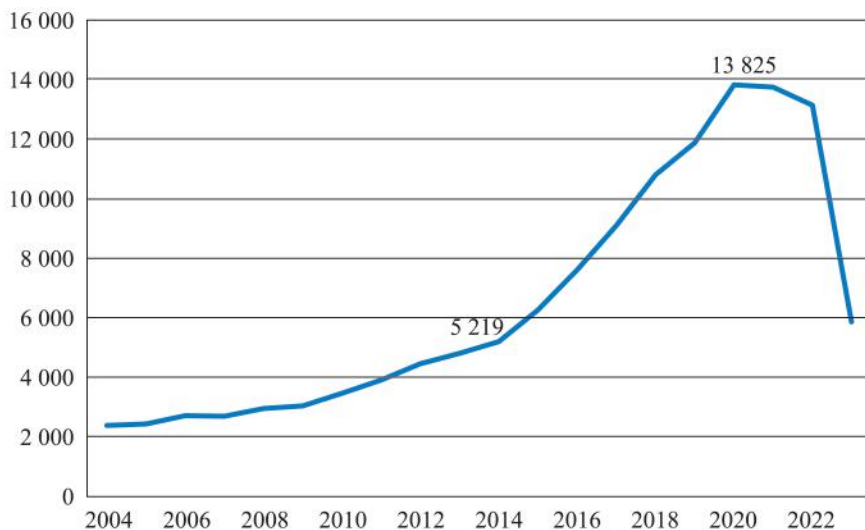


图 55 新能源和可再生能源关键材料领域的专利申请趋势

（数据来源：智慧芽）

4. 全球新能源和可再生能源关键材料领域技术主要来源于亚洲地区

如图所示为全球新能源和可再生能源关键材料领域技术来源国分布情况。其中中国的专利申请量占比高达49%，亚洲地区排名比较靠前的还有日本和韩国，专利申请量占比分别为23%和6%。中国作为亚洲地区的代表，拥有世界上最大的能源消费市场和最活跃的科技创新环境，在各级政府的推动下，新能源和可再生能源关键材料技术创新活跃。

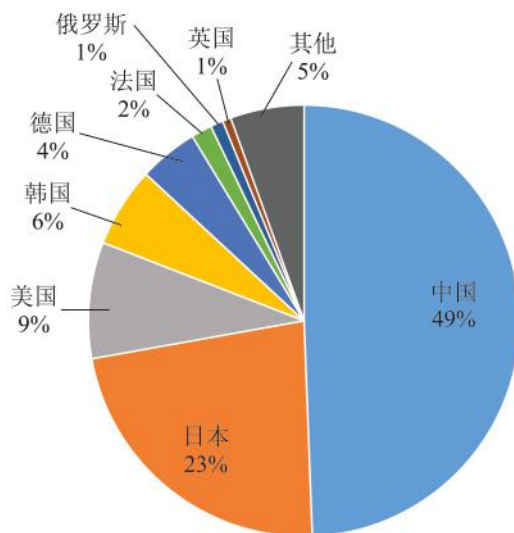


图 56 新能源和可再生能源关键材料领域技术来源分布

(数据来源：智慧芽)

(二) 颠覆性技术创新的影响

1. 钙钛矿电池材料

(1) 基于优异的性能，钙钛矿材料在太阳能电池领域备受关注

钙钛矿电池是近年来备受关注的新型太阳能电池技术之一，是以钙钛矿材料作为光电转换层，利用光子能量促进半导体材料中的电子跃迁，从而产生电流的一种太阳能电池。钙钛矿材料具有较高的光吸收系数和良好的载流子传输特性，可以有效提高太阳能电池的转换效率，随着技术的不断提高和成本的不断降低，钙钛矿电池有望成为未来太阳能电池市场的领导者。

随着技术的不断发展和成熟，钙钛矿电池的市场份额将会不断扩大。据市场研究



机构 BCC Research 预测，到 2025 年，全球钙钛矿电池市场的价值将达到 72 亿美元，其中以亚太地区为主导，预计占据全球钙钛矿电池市场的 44%^①。截至 2023 年 2 月底，中国已有协鑫光电、纤纳光电和极电光能等 3 条百兆瓦以上产能钙钛矿产线投产^②。

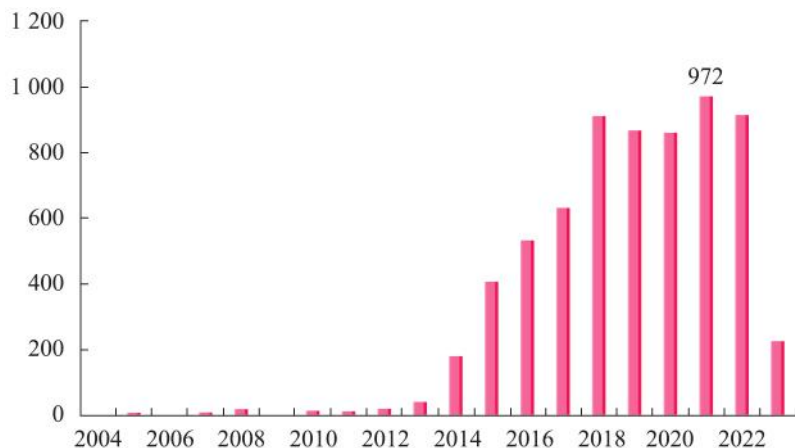


图 57 全球钙钛矿电池材料领域专利申请趋势（项）

（数据来源：智慧芽）

（2）近十年来，钙钛矿电池材料领域专利申请猛增

人们对钙钛矿的认知起步较晚，2009 年日本桐荫横滨大学的特聘教授宫坂力发现钙钛矿具有特殊的光电效应，以后钙钛矿材料便迅速发展起来。各国相关政策的提出对该领域的发展起到极大的促进作用：日本 2021 年《全球变暖对策推进法》明确提出开发下一代太阳能电池基础技术；美国能源部 2022 年提出，提供 2900 美元的资金在可回收太阳能技术上，并将钙钛矿光伏技术推向商业化；中国为推进钙钛矿电池标准化工作，今年已公开征集钙钛矿光伏电池领域新标准项目提案。从全球钙钛矿电池材料领域专利申请趋势可知，2014 年之前该领域的专利申请非常少，此后全球年专利申请数量开始迅速增加，从 2014 年的不足 200 项增长到 2021 年的 972 项，在各国政府的加持下，预计未来该领域专利申请还将有所增长。

（3）未来研究方向^③

解决钙钛矿材料本身的稳定性问题：钙钛矿材料是离子键结构，与晶硅材料的共

① 钙钛矿电池前景分析报告. <https://m.toutiao.com/is/iRyd8rL8/>

② 未来智库 - 新型光伏电池，吹响产业化号角. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1773075913261992353&wfr=spider&for=pc>

③ 钙钛矿电池主流技术路线、薄膜制备、三大痛点. https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_23085079

价键相比，钙钛矿材料更易发生分解与离子迁移，带来材料的不稳定性。这种不稳定性一般可以通过调整材料配方、优化电池结构设计解决，比如掺杂其他离子使得晶格稳定，或设计特殊钝化层减少离子迁移。

解决钙钛矿层薄膜在大面积制备时的均匀度、致密度问题：这需要设备、工艺、材料三者共同配合。材料上，可能会添加铯、锡、溴、氯等元素，需要不断优化材料体系，提升效率和稳定性。

解决钛矿层薄膜的制备工艺问题：在钙钛矿电池的生产中，镀膜、激光刻蚀、封装是三大核心工艺环节。其中最核心的是钙钛矿层薄膜的制备，如何在大面积基板上制备均匀、无孔洞的钙钛矿层薄膜是技术攻关的重点方向。

2. 质子交换膜

质子交换膜（Proton Exchange Membrane, PEM），也叫质子膜或者氢离子交换膜，是一种致密的离子选择性透过的膜。近年来随着燃料电池、液流电池等新能源技术的发展，质子交换膜成为新能源领域的关键材料，广泛应用于电解水制氢、燃料电池以及全钒液流电池等领域。

(1) 全球质子交换膜市场稳定增长，北美是最大消费市场

2022 年，全球质子交换膜市场销售额达到了 11.3992 亿美元，预计 2028 年将达到 25.3081 亿美元，年复合增长率（CAGR）为 14.22%（2022—2028）。

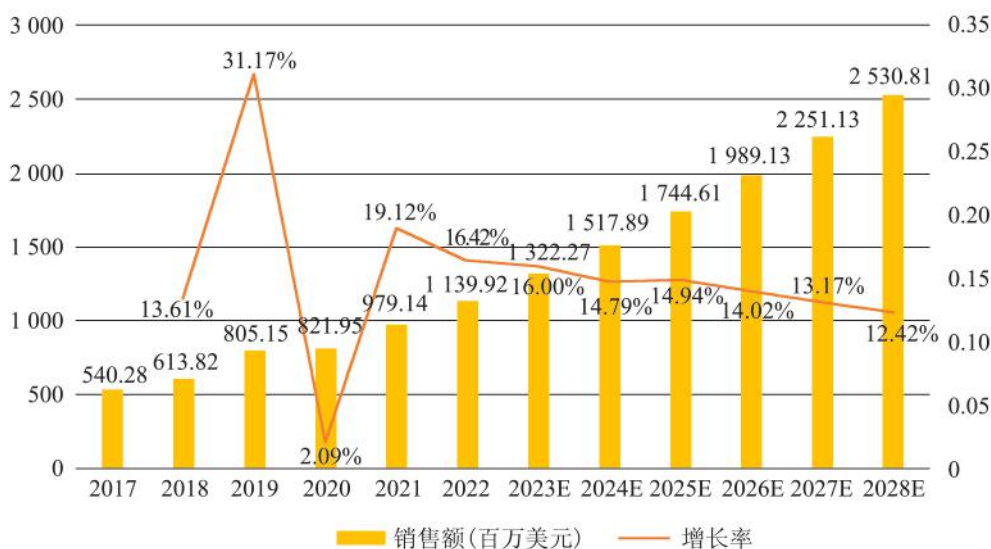


图 58 全球质子交换膜产值及发展趋势

(资料来源：QYResearch)



从产品类型方面来看，目前全氟磺酸质子交换膜在国内外应用最广泛，2021年占有89.67%的市场份额，市场收入达到877.96百万美元。同时就应用来看，燃料电池在2021年份额大约是74.78%，市场收入达到732.15百万美元，未来几年复合增长率（2022—2028）大约为14.69%。

消费层面来说，目前北美地区是全球最大的消费市场，2021年占有32.61%的市场份额，之后是中国和欧洲，分别占有26.60%和21.95%。

如图所示为亚太地区和其他地区在质子交换膜领域的专利申请趋势。全球质子交换膜领域的起步时间与燃料电池的起步时间几乎相同，以美国为代表的欧美地区在质子交换膜领域处于技术垄断地位。从图中可以看出，亚太以外的其他经济体在质子交换膜领域起步较早，2004年之前的专利申请数量较大，随着时间的推移，早期技术越来越成熟，其他经济体在该领域的专利申请数量逐渐下降。近十年以中国为代表的亚太地区在质子交换膜领域迅速发展起来，研发成果也开始显现，中国国产质子交换膜在质子电导率、气体渗透率等方面已经不输其他国家同类产品。从专利申请趋势上看，近十年来亚太地区的专利申请数量明显上升，2022年的专利申请数量已接近300项。

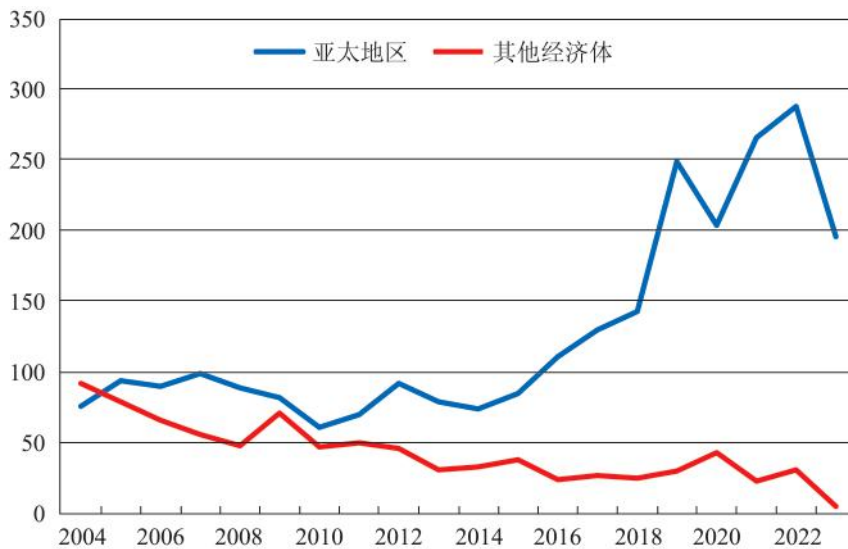


图 59 全球质子交换膜领域专利申请趋势（项）

（数据来源：智慧芽）

（2）技术发展趋势

当前，质子交换膜的研究和发展趋势主要有以下方面：一是材料改进，质子交换膜材料的改进优化是目前的热点，主要包括提高效率、提升稳定性、降低成本等方面。

二是结构优化，结构优化设计是影响质子交换膜性能的关键因素之一，目前的研究主要集中在膜结构的优化、膜层厚度的调整、膜表面等级化等方面。三是反应机理，反应机理的研究是质子交换膜性能提高的基础，目前主要集中在质子传导机理、膜的电化学反应特性等方面。四是高温应用，质子交换膜在高温条件下的应用是最近的研究热点之一，在高温条件下，质子交换膜的性能会有所提升，如提高电催化水电解的效率。五是复合材料，复合材料可以提高质子交换膜的性能，如电导率、阻燃性能等。六是可持续性。可持续性包括环境友好、低能耗、可回收等方面^①。

二、第三代半导体

第三代半导体是指禁带宽度大于 2.2eV 的半导体材料，如氮化镓、碳化硅、氧化锌等。与第一代和第二代半导体材料硅和锗相比，第三代半导体材料具有更高的击穿电场、更高的热导率、更高的电子饱和速率等性能优势，广泛应用于高功率、高频率、高温电子器件、LED 照明和电动汽车等领域。

（一）发展趋势与区域竞争力

1. 第三代半导体材料渗透率逐年提升，欧美地区优势明显

碳化硅和氮化镓作为最核心的第三代半导体材料，目前均处于高速发展阶段。以硅材料为代表的第二代半导体仍然占据 90% 的市场份额；第二代、第三代半导体合计市场份额不足 10%，主要作为补充市场。第三代半导体材料渗透率逐年提升，2023 年有望接近 5%。应用于功率元件的第三代半导体在各领域的渗透率呈现持续攀升之势，800V 汽车电驱系统、高压快充桩、消费电子适配器、数据中心及通讯基站电源等领域的快速发展，推升了 2022 年碳化硅、氮化镓功率半导体市场需求。根据 Yole 数据显示，第三代半导体渗透率逐年上升，碳化硅渗透率在 2023 年有望达到 3.75%，氮化镓渗透率在 2023 年达到 1.0%，第三代半导体渗透率总计 4.75%。

2022 年，美国在第三代半导体产业继续保持全球独大，拥有 Cree、II-VI、Dow Corning、Transphorm 等世界顶尖企业，占有全球 80% 的碳化硅产量；欧洲拥有完整的碳化硅衬底、外延、器件、应用产业链，独有高端光刻机制造技术，拥有英飞凌、意法半导体、Siltronic、IQE 等优势制造商。

^① 张艳红. 氢燃料电池关键材料发展现状研究. 中国材料大会 2022-2023 会议论文集. 8-13

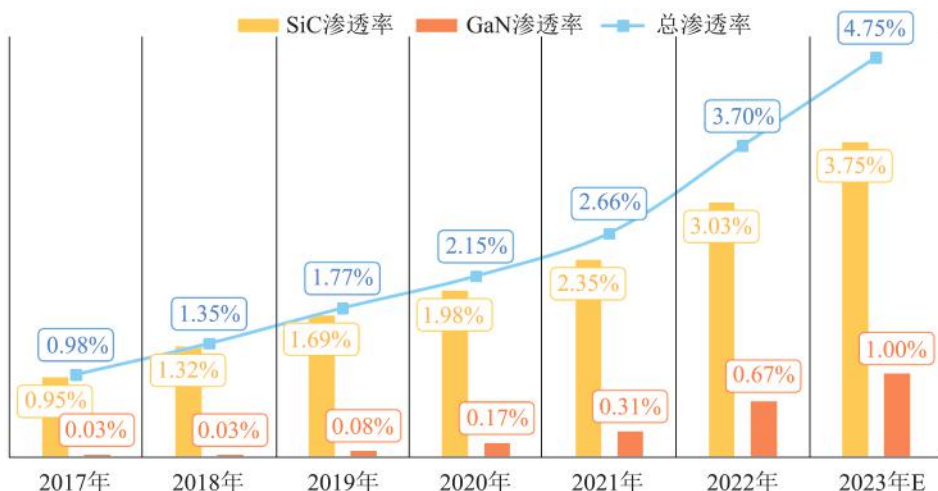


图 60 全球主要第三代半导体材料渗透率及预测

(数据来源: Yole Intelligence)

2. 全球第三代半导体领域专利申请近年来增长迅速, 亚太地区是主要专利技术来源

全球第三代半导体领域专利申请趋势如图 61 所示, 该产业近二十年来的技术创新总体上呈现快速发展的趋势, 特别是 2019 年以来, 增长迅速。全球第三代半导体领域技术来源国分布中, 中国专利申请量最大, 约占全球总量的 43.5%, 远超其他国家, 是全球第三代半导体领域第一大技术来源国; 日本排名第二, 其第三代半导体领域专利申请量占全球总量的 26.4%; 亚太地区的韩国占比约为 4.6%, 排名第四。由此可见, 在全球第三代半导体领域, 以中国、日本、韩国为代表的亚洲国家的技术竞争力和创新能力较强。

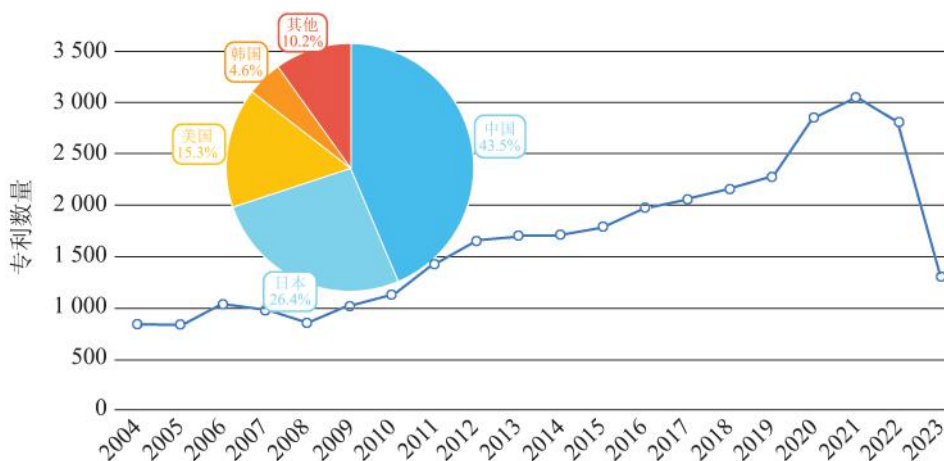


图 61 全球第三代半导体领域专利申请趋势及技术来源国 (项)

(数据来源: 智慧芽)

（二）颠覆性技术创新的影响

作为第三代功率半导体的绝代双骄，氮化镓晶体管和碳化硅 MOSFET 日益引起工业界，与传统的硅材料相比有诸多的优点。氮化镓和碳化硅材料更大的禁带宽度，更高的临界场强使得基于这两种材料制作的功率半导体具有高耐压，低导通电阻，寄生参数小等优异特性。当应用于开关电源领域中，具有损耗小，工作频率高，可靠性高等优点，可以大大提升开关电源的效率，功率密度和可靠性等性能。

1. 碳化硅

碳化硅的功率器件最大的特点是高电压、高频、低消耗等，可以最大限度地提高能源的转换效率。随着技术突破以及成本的降低，碳化硅功率器件将会大规模的应用于新能源电动汽车以及充电桩等不同的领域。

（1）碳化硅器件全球市场规模增速可观，欧洲、北美和亚太地区三足鼎立

随着电动汽车的发展，对电力电子功率驱动系统提出了更高的要求，即更轻、更紧凑、更高效、更可靠。据 Yole 数据显示，2022 年，全球碳化硅功率器件市场规模为 14.72 亿美元，同比增长 35.05%；预计 2023 年全球碳化硅功率器件市场规模将突破 19 亿美元。

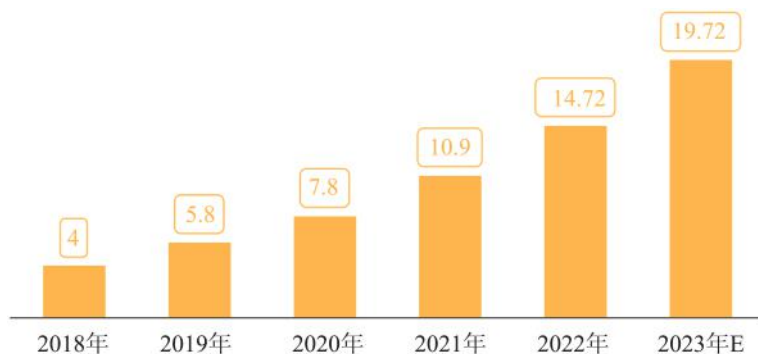


图 62 碳化硅功率器件市场规模预测（单位：亿美元）

（数据来源：Yole Intelligence）

随着碳化硅行业的不断发展，碳化硅功率器件的市场竞争格局也在发生变化。但是仍然是以全球巨头意法半导体、Wolf speed、罗姆、英飞凌、三菱电机、安森美等厂商垄断，全球 TOP6 占据 99% 的市场份额，其中意法半导体占比较大，超过了 40%。全球 TOP6 企业分属于欧洲、北美和亚太地区，亚太地区的罗姆和三菱电机市场占有率合计为 12.5%。



表 8 全球碳化硅功率器件竞争格局

区域	公司名称	市场占有率
欧洲	意法半导体	41.4%
欧洲	英飞凌	22.8%
北美	Wolfspeed	15.2%
亚洲	罗姆	9.9%
北美	安森美	5.1%
亚洲	三菱电机	2.6%

如图所示为全球碳化硅领域的专利申请趋势，分析可见，近二十年来，全球碳化硅领域的专利申请量总体上呈快速发展态势。近二十大致分为两个阶段，一是 2008 年至 2018 年，快速增长期，二是 2019 年至今，专利申请数量增长更为迅猛。

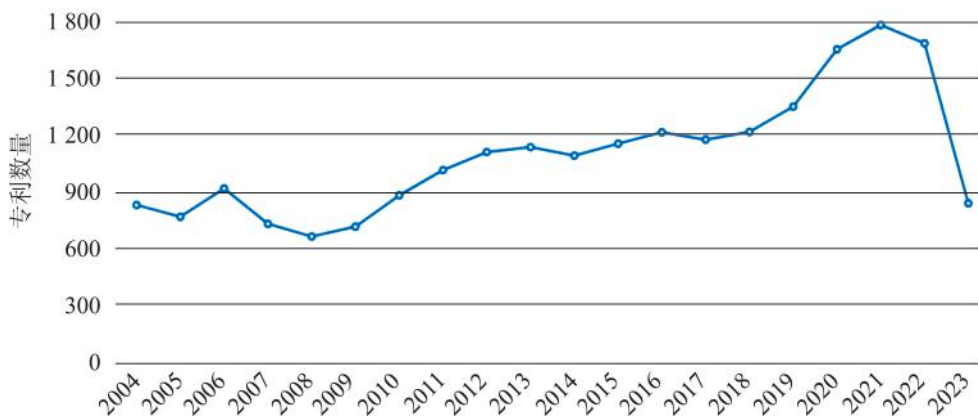


图 63 全球碳化硅领域专利申请趋势 (项)

(数据来源: 智慧芽)

(2) 技术发展趋势

碳化硅材料因其高熔点和硬度属性所需的工艺难度远高于硅基，且由于晶体生长速率慢、高品质碳化硅衬底生产周期远大于传统硅基，故碳化硅衬底较低的供应量和较高的价格一直是制约碳化硅基器件大规模应用的主要因素之一。碳化硅衬底制备通常以高纯碳粉、高纯硅粉为原料合成碳化硅粉，在特殊温场下，采用成熟的物理气相传输法生长不同尺寸的碳化硅晶锭，经过多道加工工序产出碳化硅衬底。核心工艺为晶体生长，核心设备为长晶炉。未来碳化硅衬底发展的关键点在于：一是，优化工艺和设备提高长晶速度，包括改进生长技术，如化学气相沉积和物理气相沉积等，新

的前瞻性制备技术，如电子束光刻、离子注入和氢退火等，有望改善碳化硅晶圆的加工和性能。二是，控制损耗和缺陷提升良率，通过精益的生长和处理技术，碳化硅晶圆的晶格缺陷可以降低，提高电子性能和可靠性。三是扩大晶圆尺寸和改进结构，更大直径的晶圆、异质结构或多层晶圆，以提供更多的设计灵活性和性能选择。

2. 氮化镓

氮化镓已经凭借高功率和高带宽的优势，渗透到了不同类型的电信基站，以提供高功率和宽带宽的优势。远程无线电头（RRH）基站和 5G 大规模 MIMO 广泛应用了 GaN-on-SiC 器件，如华为、诺基亚和三星均在其 5G 大规模 MIMO 设施中采用了氮化镓技术。

(1) 氮化镓市场空间巨大，亚太地区占据领先地位

氮化镓材料电子饱和漂移速率最高，适合高频率应用场景。随着成本的下降，氮化镓有望在中低功率领域替代二极管、IGBT、MOSFET 等硅基功率器件。以电压来分，0~300V 是 Si 材料占据优势，600V 以上是碳化硅占据优势，300V~600V 之间则是氮化镓材料的优势领域。根据 Yole 估计，在 0~900V 的低压市场，氮化镓都有较大的应用潜力，这一块占据整个功率市场约 68% 的比重，按照整体市场 154 亿美元来看，氮化镓潜在市场超过 100 亿美元。Yole group 发布的关于射频氮化镓器件市场的调查研究显示，2022 年射频氮化镓器件市场价值 13 亿美元，预计到 2028 年将达到 27 亿美元，2022 年至 2028 年复合年增长率为 12%。

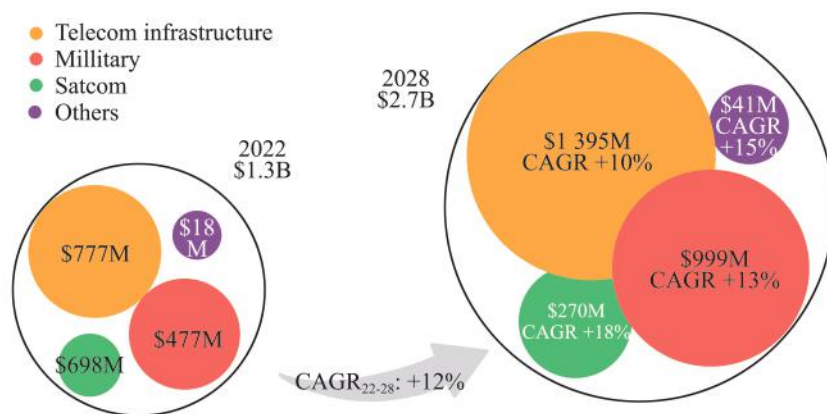


图 64 氮化镓射频器件 2022 年市场规模及 2028 年市场规模预测

(数据来源: Yole group)

全球氮化镓衬底市场格局来看，日本厂商在氮化镓衬底占据领先地位，包括住友



电工、三菱化学、住友化学等，三家日商合计市场份额超过 85%。氮化镓器件市场方面，中国英诺赛科 2022 年市场占有率为 16%，排名第三。可见亚太地区在该领域优势突出。

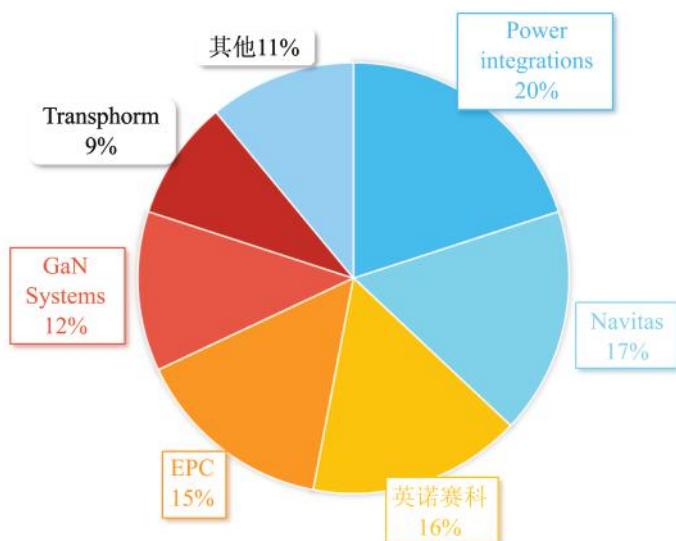


图 65 2022 年全球氮化镓功率器件供应商市场占有率

(数据来源: TrendForce 集邦咨询)

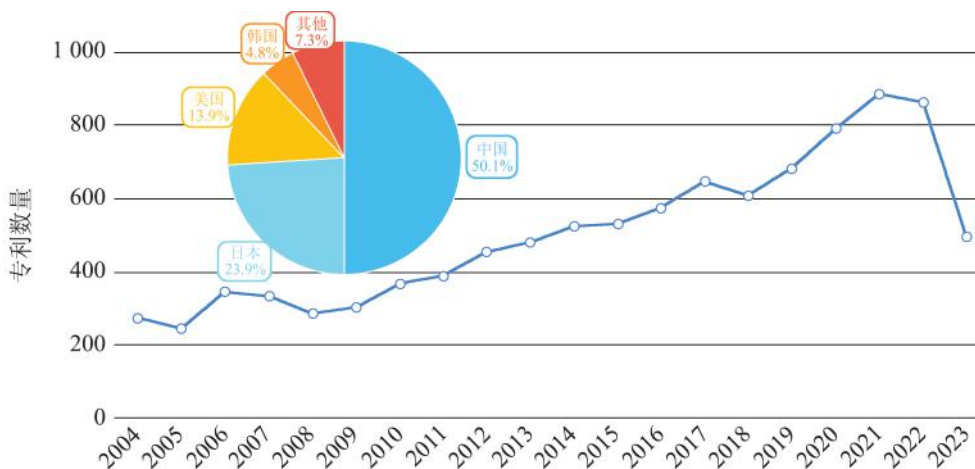


图 66 全球氮化镓领域专利申请趋势及技术来源国 (项)

(数据来源: 智慧芽)

全球氮化镓领域专利申请趋势如上图所示，氮化镓领域近二十年来的技术创新总体上呈现快速发展的趋势，2004 年专利申请量仅为 300 项左右，至 2022 年已增长至 900 项左右，增长幅度超过 3 倍，可见氮化镓领域专利申请数量总体上保持快速增长态

势。氮化镓领域技术来源国分布情况，如上图所示，中国专利申请量最大，约占全球总量的 50.1%，远超其他国家；日本排名第二，占比 23.9%；韩国占比 4.8%，排名第四。由此可见，在全球氮化镓领域，以中国、日本、韩国为代表的亚洲国家的技术竞争力和创新能力较强。

（2）技术发展趋势

目前虽然已经针对氮化镓材料开展了大量研究，但是要实现氮化镓材料及其器件的高可靠、长寿命，以下几个方面仍是未来发展重点方向。一是：p 型氮化镓的制备及工艺技术。与 n 型氮化镓材料相比，p 型氮化镓的研制比较困难，原生掺 Mg 的氮化镓由于被氢原子钝化，不能表现出受主的本性。因此，解决好 p 型氮化镓的制备及其工艺问题，是未来的发展方向；二是：高 Al 组分 AlGa_N 材料的制备及工艺技术。目前，制备高 Al 组分 AlGa_N 材料还有一定的难度，特别是制备具有器件结构的材料难度较大，其原因不仅在于传统的 MOCVD 生长方法中晶格失配大、各种反应过程复杂且难以控制，而且在于材料禁带宽度变宽、掺杂的激活效率变低等。因此，进一步优化高 Al 组分 AlGa_N 材料的制备及其工艺技术是重要发展方向^①。

三、新型显示

新型显示产业是指利用新技术、新材料和新工艺，生产高精度、高亮度、高清晰度的显示设备，包括液晶显示屏、OLED（有机发光二极管）显示屏、微型投影机、柔性显示屏等。随着信息化时代的到来，新型显示产业得到了迅速发展，成为了电子产品的重要组成部分。

（一）发展趋势与区域竞争力

1. 全球新型显示产业规模庞大，中国占比高

新型显示产业具有投资规模大、技术进步快、辐射范围广、产业集聚度高等特点，是一个全球年产值超过千亿美元的新兴产业。据统计，2022 年全球显示产业产值约 1985 亿美元，其中显示面板的市场规模为 1462 亿美元。预计到 2027 年全球显示面板

^① 季启政，王一凡，胡小锋．航天用氮化镓材料的研究进展，材料导报．2022，36（22）



的市场规模将达到 2551 亿美元，5 年复合年均增长率预计约为 11.8%^①。

近年来，中国新型显示产业不断发展壮大，已形成从供给端到应用端的完整产业体系。2022 年，中国显示产业产值 4900 多亿元，全球占比 36%，继续位居全球首位；其中显示面板产值 3600 多亿元，全球占比 48%；显示面板出货面积 1.6 亿平方米，全球市场占比 68.6%，同比增长 5 个百分点，牢牢占据世界首位^②。

2. 随着技术的进步，全球新型显示产业专利申请呈现第二次增长

2010 年之前，全球新型显示产业出现第一波发展浪潮，此时以 LCD 为主流技术，随着技术的不断完善，全球专利申请趋势呈现出先增长后下降的趋势。近年来，新型显示产业的技术革新加快。其中，2013 年，索尼发布了第一款 4K 电视，意味着新型显示进入了超高清时代；近年来，柔性显示、量子点显示、激光显示等技术不断出现，也为新型显示产业的发展提供了新的方向；同时新型显示技术的应用领域不断扩大，不仅应用于智能手机、电视等传统消费电子产品，还逐渐拓展到车载显示、智能家居、医疗、教育等领域。2010 年至今，全球新型显示产业的专利申请呈现第二次爆发式增长，2020 年左右的专利申请数量达到 25000 项以上。

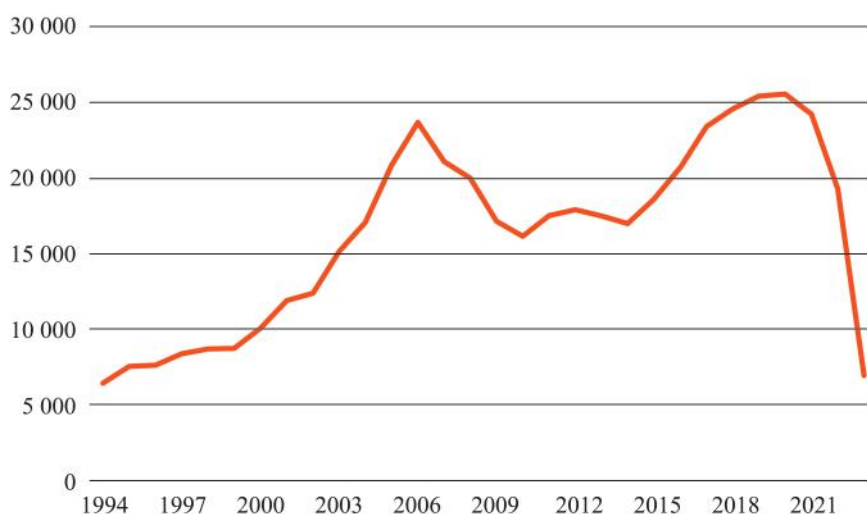


图 67 全球新型显示产业专利申请趋势（项）

（数据来源：智慧芽）

① 《新型显示产业技术发展白皮书（2023）》

② 工信部：中国显示产业规模持续位居全球首位。 <https://cn.chinadaily.com.cn/a/202308/22/WS64e478a4a3109d7585e4a510.html>

3. 东亚地区创新活跃，专利申请数量占比高达 90% 以上

亚洲地区，特别是东亚，已成为全球新型显示产业的最大生产和消费市场。该地区近年来见证了新型显示产业的重大进步，涌现出夏普、爱普生、索尼、TCL、京东方、海信、LG、三星等国际新型显示产业龙头。日本、中国、韩国专利申请数量位居全球前三，综合占比高达 92%。其中，中国在超薄、柔性、透明显示、4K/8K 超高清显示等领域取得明显进步，陆续推出多款全球首发产品，不断引领世界的潮流。

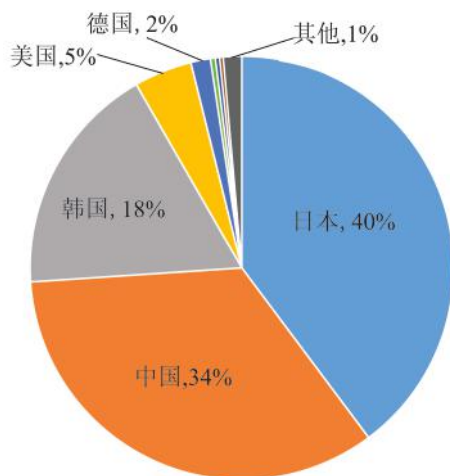


图 68 全球新型显示产业技术来源分布
(数据来源：智慧芽)

(二) 颠覆性技术创新的影响

1. Micro LED

Micro LED 技术是一种以微米量级 LED 作为像素元，按微米量级周期在 TFT 或 CMOS 背板上组装成的高像素密度 LED 平面显示技术，其显示原理是将 LED 结构设计进行薄膜化、微小化、阵列化，其尺寸仅在几微米至几十微米，然后将 Micro LED 发光芯片巨量转移至 TFT 或 CMOS 背板上，Micro LED 芯片阵列周期排列，且每一个点像素必须可控制、单独驱动点亮。Micro LED 显示具有高发光效率、高亮度、响应时间短和可靠性好的优点。

近年来，Micro LED 由于显示性能优异受到众多下游面板厂商的青睐，已向商用大型显示产品、多功能性头戴型与穿戴式设备等小型显示产品的方向迈进。高工产研 LED 研究所 (GGII) 预计，随着技术的逐步发展和成本的降低，2025 年全球 Micro



LED 市场规模将达 35 亿美元，2027 年有望达到 100 亿美元大关^①。

(1) 美国、中国、日本和韩国成为 Micro-LED 领域的主要技术来源

美国是目前全球 Micro-LED 显示技术最发达的国家。2006 年美国伊利诺伊大学就已经将微传输打印 (μ TP) 技术的早期研究成果转移给当时的初创企业 Semprius，后来该技术被 XTRIONN. V 的全资子公司 X-Celeprint 获得，目前已经实现了晶圆级器件在 1 微米精度下的批量打印转移。中国大陆地区紧跟国际研发步伐，龙头企业和高校加紧开展 Micro-LED 前瞻性技术的研发。其中，TCL 华星光电、新广联和三安光电已布局 Micro-LED 外延芯片，并实现了 15 微米微缩化工艺，三安光电将 Micro-LED 作为未来重点发展方向。日本和韩国大型企业也积极抢占 Micro-LED 市场，进行了大量的科研工作与产品的生产。

(2) 全球 Micro LED 领域专利申请呈稳步上升趋势

2000 年美国成功制备出 10×10 的蓝光 Micro-LED 阵列，为 Micro-LED 显示的发展奠定了理论基础。近年来，随着技术的不断进步和产业链的完善，Micro-LED 显示技术得到了迅速发展。特别是在 2010 年以后，国际上对 Micro-LED 显示技术的研究热情高涨，专利申请逐年增长，从 2010 年的 834 项增长到 2020 年的 3505 项。

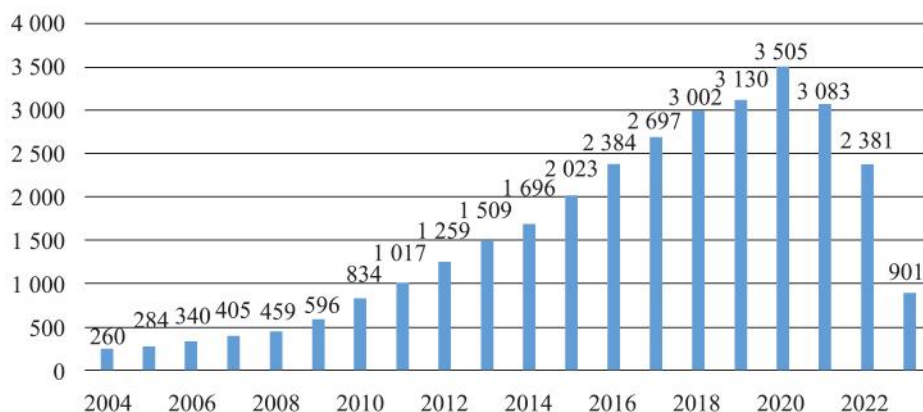


图 69 全球 Micro LED 领域专利申请趋势

(数据来源：智慧芽)

(3) 技术发展趋势

尽管 Micro LED 技术近年来发展迅猛，但其仍是一项处于发展初期的技术，规模

^① <https://mp.weixin.qq.com/s/pEqXHarJxGzjV1xzES2iOg>

化量产和应用仍需时间。因此，核心技术难题的解决便是 MicroLED 实现进一步发展的重要任务，四大发展趋势如下。

Micro LED 芯片技术：主要包括尺寸、像素排列、LED 色彩转换。1) 尺寸方面，当下，Micro LED 芯片尺寸正在进一步微缩，而这一趋势需要工艺与设备的同步支撑。另一方面，为了降低芯片微缩后的切割、边缘效应等难题，未来 Micro LED 将走向无衬底方向。2) 像素排列方式方面，目前主流技术是横向排列和纵向堆叠。3) LED 色彩转换技术方面，量子点色转换技术被认为是解决 Micro LED 显示所面临的红光 LED 低光效、巨量转移等难题的候选技术路线之一。

封装技术：COB/COG 技术近年来得到广大 LED 显示厂商的重视，但该技术对转移良率、模组基板精度要求较高，目前在良率、一致性和可量产性还需要改善，存在较大成长空间；而 MiP/IMD 在避免 COB/COG 的高要求的同时，又能解决混光等问题，是当下 Micro LED 主流封装与应用路径。

巨量转移：非接触式（主要是激光式转移）是当前巨量转移的热点方向，符合未来无衬底 Micro LED 大批量转移的趋势。

驱动和控制：近年来，PM 驱动方式得到快速发展。该技术能实现高度集成化、超低功耗、超高刷新率，且性价比也在逐步提升，但 PM 驱动芯片主要采用 PWM 扫描方式工作，存在闪烁等问题，在某些应用领域受到限制；AM 驱动理论上更具有潜力，但在 Micro LED 大尺寸显示中，AM 驱动面临成本高的问题，行业成熟度不够，需进一步发展与优化；而在微尺寸 Micro LED 显示中，硅基 CMOS AM 驱动已经成为主流驱动方式。

2. 裸眼 3D 显示

裸眼 3D 显示由于无需佩戴任何辅助设备即可观看到具有冲击力的立体视觉效果，其作为平板显示技术的必然发展趋势，被认为是最具有生命力的下一代显示技术，可广泛用于家庭娱乐、传媒广告、展览展示、科研教育等领域。

据尚普咨询集团数据显示，2022 年全球裸眼 3D 显示器出货量达到 3500 万台，市场规模达到 104 亿美元；预计 2027 年全球裸眼 3D 显示器出货量将达到 1.4 亿台，市场规模将达到 440 亿美元；预计 2023—2027 年全球裸眼 3D 显示器出货量和市场规模复合增长率分别为 28.6% 和 29.5%^①。

^① <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1768688905129035762&wfr=spider&for=pc>



(1) 亚太地区企业深入全产业链，展现出较强的竞争实力

目前全球裸眼 3D 行业主要由以下几类企业构成：

显示屏制造商：主要包括三星、LG、夏普等大型液晶显示屏制造商以及京东方、华星光电（TCL CSOT）等国内液晶显示屏制造商。这些企业主要通过添加光栅层或透镜层来实现裸眼 3D 效果，并将其应用于电视机、笔记本电脑、平板电脑等终端产品中。

裸眼 3D 解决方案提供商：主要包括康德新、TCL 科技、深康佳等国内裸眼 3D 解决方案提供商，以及 SuperD、易维视等国外裸眼 3D 解决方案提供商。这些企业主要通过提供软件算法、硬件模块、内容制作等一体化的裸眼 3D 解决方案，来帮助显示屏制造商或终端产品制造商实现裸眼 3D 效果。

裸眼 3D 内容制作商：主要包括万维云视、点睛创科、维真显示等国内裸眼 3D 内容制作商，以及 RealD、MasterImage 3D 等国外裸眼 3D 内容制作商。这些企业主要通过提供裸眼 3D 影视、游戏、动画等内容，来满足消费者对裸眼 3D 体验的需求。

(2) 近年来裸眼 3D 显示行业专利申请迎来了二次增长

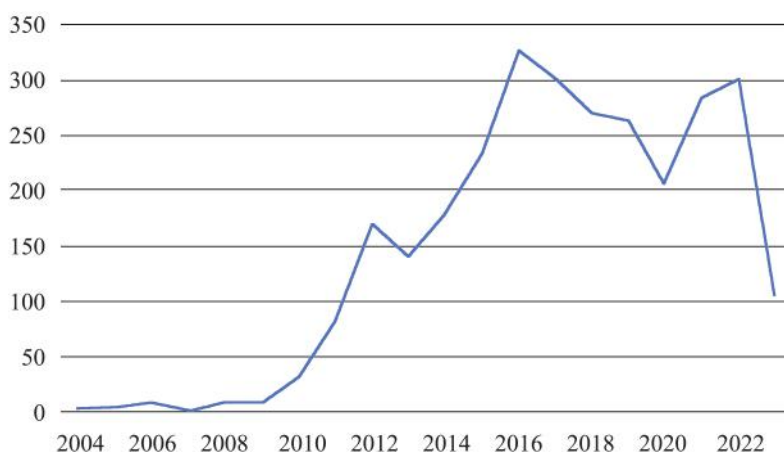


图 70 裸眼 3D 显示行业专利申请趋势

（数据来源：智慧芽）

裸眼 3D 显示行业起步较晚，2010 年，裸眼 3D 技术开始受到广泛关注，业界掀起了一股裸眼 3D 显示技术热潮。当时，夏普、HTC、LG、康佳、海信、东芝等许多厂商都曾在 PC、手机和电视产品上推出过搭载裸眼 3D 显示技术的产品，该阶段全球专利申请数量出现猛增。然而，因裸眼 3D 显示技术成熟度等方面的原因，导致这些产品在市场上纷纷遇冷。从专利申请趋势上看，2016 年，全球裸眼 3D 显示行业专利申请

数量出现第一次高峰，随后便开始下降。近几年，随着技术的逐渐突破、瞳孔追踪技术的发展，再加上元宇宙等新兴技术的助推，全球裸眼 3D 显示技术出现二次崛起，未来发展空间巨大。

（3）技术发展趋势

随着显示技术的不断进步，裸眼 3D 技术也在不断优化和创新，以提高分辨率、可视角度、观看距离、色彩还原等性能指标，同时降低成本和功耗，提高可靠性和兼容性。例如，利用微型 LED 或激光光源来实现更高亮度和对比度的裸眼 3D 显示；利用人工智能或深度学习来实现更高效和精准的裸眼 3D 图像处理和生成；利用全息成像或光场显示来实现更真实和自然的裸眼 3D 效果等。并且其应用场景也可能会逐渐扩大到更多领域，如医疗、教育、旅游等。裸眼 3D 显示技术还可能会与其他技术相结合，如 VR、AR 等，形成更加丰富的应用场景和体验效果^①。

^① <https://mp.weixin.qq.com/s/b2c-OCoeoFnFSimXJH8Jug>



博鳌亚洲论坛秘书处

地 址:北京市朝阳区建国门外大街1号
国贸大厦A座42层

电 话: +86-10-65057377

传 真: +86-10-65051833

官方网站: <http://www.boaoforum.org>

Secretariat of Boao Forum for Asia

Add.: Floor 42, China World Tower A, No.1 Jianguomenwai
Avenue, Beijing, 100004, PRC

Tel.: +86-10-65057377

Fax: +86-10-65051833

Website: <http://www.boaoforum.org>