

doi:10.3969/j.issn.1000-7695.2024.19.002

# 会聚视角下人工智能芯片领域关键核心技术 发展态势与突破路径研究

刘岩<sup>1</sup>, 刘妍<sup>1</sup>, 张如意<sup>2</sup>, 高艳慧<sup>1</sup>

(1. 西安工程大学管理学院, 陕西西安 710048;  
2. 西安邮电大学经济管理学院, 陕西西安 710124)

**摘要:** 中国为人工智能(AI)芯片领域研发的后发国家, 仍然面临着核心技术受制于人的困境, 因此需要探究中国AI芯片领域关键核心技术的突破路径。从技术会聚的角度出发, 基于全球AI芯片领域发明专利, 利用熵值法识别出关键核心技术, 以网络分析方法对比发现, 日本、美国、韩国和中国四国在关键核心技术会聚方面存在明显的异质性。中国在AI领域的发明专利申请数量自2007年起快速增加, 但其关键核心专利拥有量仅排全球第8位, 存在“重数量、轻质量”的问题; 中美日韩四国在下一代信息产业、数字文化创意活动、数字创意技术设备制造、电子核心产业等方面具备明显的优势, 在其他产业领域也有部分布局; 中美日韩在AI芯片领域研发有不同突破路径, 其中日本采取“多产业用途、少量多品种需求驱动+跨技术部类融合+产业链上下游企业深度协同合作”的路径; 美国通过“产业多领域共同发展+跨技术部改变类融合+产学研深度融合”的方式; 韩国采取“部分优势产业牵引+技术内部类别融合+领军企业带动产业链”的模式; 而中国的突破路径为“多领域蜻蜓点水式并行发展+技术内部类别松散融合+少数企业自主攻关”。建议中国在关键核心技术基础共性部分借鉴美国的突破路径, 在已有优势产业方面借鉴韩国经验, 构建以科技领军企业为主的创新生态系统。

**关键词:** 人工智能芯片; 关键核心技术; 产业经济; 自主攻关; 技术会聚

中图分类号: F49; G301

文献标志码: A

文章编号: 1000-7695(2024)19-0011-13

## Research on the Development Trend and Breakthrough Path of Key Core Technologies in the Field of Artificial Intelligence (AI) Chips from the Perspective of Convergence

Liu Yan<sup>1</sup>, Liu Yan<sup>1</sup>, Zhang Ruyi<sup>2</sup>, Gao Yanhui<sup>1</sup>

(1. School of Management, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, China;

2. College of Economics and Management, Xi'an University of Posts & Telecommunications, Xi'an 710124, China)

**Abstract:** China, as a latecomer in the field of artificial intelligence (AI) chip development, still faces the challenge of being constrained by foreign core technologies. Therefore, it is necessary to explore pathways for breakthroughs in key core technologies in China's AI chip sector. From the perspective of technological convergence, which involves the integration of diverse technological forces and the creation of synergistic effects, identifying the development trends of key core technologies in AI chips and their breakthrough pathways is of great value. In the highly competitive and rapidly evolving landscape of modern technology, the field of AI chips has emerged as a crucial area driving innovation across multiple industries. This research collects an extensive database of invention patents related to AI chips from various countries and regions, and employs the entropy method to identify key core technologies. A comparison using network analysis reveals significant heterogeneity in the convergence of key core technologies among Japan, the United States, the Republic of Korea, and China. Since 2007, China has seen a rapid increase in the number of AI-related patent applications, but it ranks only 8th globally in terms of key core patents, indicating a "focus on quantity over quality" issue. The four countries—China, the United States, Japan, and the Republic of Korea—have clear advantages in industries such as next-generation information networks, digital cultural and creative activities, digital technology

收稿日期: 2024-01-08, 修回日期: 2024-03-22

基金项目: 陕西省社会科学基金项目“知识视角下陕西省重点产业‘在位者-进入者’动态适配对产业重构的影响研究”(2022R022);

陕西省哲学社会科学专项青年项目“基于‘两链’融合的陕西省重点产业高质量发展路径研究”(20230N0127)

项目来源: 西安市社会科学基金项目“西安先进制造企业知识网络与合作创新网络交互对关键核心技术突破的影响机制研究”(24JX74)

equipment manufacturing, and the electronic core industry, while also having some presence in other sectors. In the AI chip field, the four countries have different breakthrough paths: Japan follows a "multi-industry application, small-batch multi-variety demand-driven approach + cross-technology integration + deep collaboration across the industry chain" strategy. The U.S. adopts a "multi-industry co-development + cross-technology category integration + deep collaboration between industry, academia, and research" approach. The Republic of Korea follows the model of "advantageous industries driving progress + internal technology integration + leading enterprises driving the industry chain." China's approach is "parallel development across multiple fields with a scattered focus + loose integration within technology categories + independent efforts by a few companies." It is recommended that China adopt the U.S. approach for breakthroughs in the foundational and common aspects of key core technologies, draw on the Republic of Korea's experience in its existing advantageous industries, and build an innovation ecosystem led by key technology enterprises.

**Key words:** AI chips; key core technologies; industrial economies; independent research and development; technology convergence

## 0 引言

人工智能 (AI) 技术已逐渐渗透到各行各业, 成为推动经济发展和社会进步的关键推动力。作为人工智能技术的核心组成部分, AI 芯片通过提供高性能、低功耗的计算能力, 能够在短时间内处理海量数据, 显著提高人工智能系统的运行速度和效率, 支持各种复杂和精密的人工智能应用, 是推动人工智能技术发展的核心驱动力之一<sup>[1]</sup>。中国作为全球最大的芯片市场之一, 发展 AI 芯片对于提升国家科技实力、促进经济发展和保障国家安全等方面具有重要意义<sup>[2]</sup>。然而, 以美国为首的西方国家以所谓的“国家安全”为由, 对中国芯片领域进行了技术封锁与限制。作为后发国家, 中国在 AI 芯片领域仍然面临着核心技术受制于人的困境。因此, 探究中国如何突破 AI 芯片领域的关键核心技术具有极其重要的现实意义。

现有关于关键核心技术的研究主要聚焦于内涵特征、测量方式和突破路径 3 个方面。在内涵方面, 基于内容角度, 陈凤等<sup>[3]</sup>、张羽飞等<sup>[4]</sup>多位学者将关键核心技术定义为在技术创新过程占据核心地位并发挥关键作用的技术, 通常由核心材料、部件、设备和工艺等组成。基于分类视角, 葛爽等<sup>[5]</sup>则将关键核心技术分类为集成型、攻关型、开放型和探索型 4 类, 并对每类关键核心技术的特征和攻关模式进行了讨论。在过程视角上, 陈劲等<sup>[6]</sup>学者指出关键核心技术为从理论到应用的突破性技术体系, 具有长周期、高投入和高风险特征。基于此, 学者们提出了关键核心技术识别方法, 包括专家经验 (如张玉臣等<sup>[7]</sup>、任佳妮等<sup>[8]</sup>、Ma 等<sup>[9]</sup>、胡旭博等<sup>[10]</sup>)、专利指标 (如陈旭等<sup>[11]</sup>、Berger 等<sup>[12]</sup>、Wang 等<sup>[13]</sup>、郑思佳等<sup>[14]</sup>)、专利网络指标 (如巩永强等<sup>[15]</sup>、毛荐其等<sup>[16]</sup>、Jeon 等<sup>[17]</sup>) 和文本挖掘 (如孔令凯<sup>[18]</sup>、Xu 等<sup>[19]</sup>) 4 个角度提出具体的测度方式。当然, 学者们也从多个角度对关键核心技术的突破路径进

行了探讨, 具体从全球产业链 (如江小涓等<sup>[20]</sup>)、融通创新 (如陈劲等<sup>[21]</sup>)、协同创新 (如王滋等<sup>[22]</sup>、张羽飞等<sup>[23]</sup>、王钰莹等<sup>[24]</sup>)、创新生态系统 (如谭劲松等<sup>[25]</sup>、柳卸林等<sup>[26-27]</sup>) 等视角出发; 此外, 张三保等<sup>[28]</sup>、李瑞等<sup>[29]</sup>学者提出需要通过构建新型举国体制来调动各级政府、全社会、全行业和微观市场组织的共同攻关。

Jeong 等<sup>[30]</sup>认为, 技术会聚的提出是源于技术发展呈现出明显的交叉融合趋势, 其定义为不同技术知识的交叉和融合<sup>[31]</sup>。结合关键核心技术的内涵, 关键核心技术不同于一般技术, 是复杂技术知识耦合的结果, 即关键核心技术具有明显的技术会聚特点。栾春娟等<sup>[32]</sup>、施锦诚等<sup>[33]</sup>和刘娜等<sup>[34]</sup>学者探讨了不同产业技术领域的会聚情况。施锦诚等<sup>[33]</sup>从技术会聚视角探讨了关键共性技术工业机器人轴承和前沿关键技术的脑机接口关键核心技术研发特征和突破路径, 为本文的研究提供了思路。不同于既有研究, 本文关注的是在相同技术领域, 不同区域在实现关键核心技术突破过程中呈现出的技术会聚特征。各个区域在技术资源、前期发展积累和技术布局存在明显差异, 即使是在同一技术领域, 各区域在关键核心领域的技术会聚特征也必然不同, 进而导致技术突破路径的差异性。基于此, 本文从技术会聚的视角下, 探讨 AI 芯片领域在各国关键核心技术发展态势表现出何种特征? 优势国家在实现关键核心技术突破的路径时采取了哪些路径? 这些路径是否存在差异? 本文旨在通过研究扩展关键核心技术突破的相关理论, 以期为中国应对 AI 芯片领域关键核心技术上的挑战提供启示。

## 1 基于发明专利的 AI 芯片关键核心技术演化规律分析

### 1.1 数据搜集

本文选取 AI 芯片领域进行分析的原因如下: 第

一,人工智能在中国未来产业布局中占据重要地位,也是各国抢占战略高地的重要领域。作为人工智能的关键底层硬件支持, AI 芯片的技术研发水平直接影响人工智能的发展和应[35]。第二, AI 芯片涉及的技术复杂,包括计算机体系结构、并行计算、存储管理、算法优化等众多领域[2],技术的突破需要多主体交互和多学科知识的交叉,呈现出极为明显的技术会聚现象。第三,全球范围内的 AI 芯片企业为了保护核心技术的专有性,在各知识产权局提交专利申请,大量专利信息有利于追踪该技术领域的发展轨迹,并识别出关键技术领域及其动态变化特征。

本文收集了全球范围内申请的 AI 芯片相关发明专利数据,数据来源包括世界知识产权组织(WIPO)、美国专利及商标局(USPTO)、欧洲专利局(EPO)等主要专利局公开的

专利数据。在此基础上,参考王燕鹏等[36]和陈旭等[37]学者的研究,根据 AI 芯片的应用方向,从用于机器学习的加速芯片、类脑仿生芯片和高效计算 AI 芯片方向设计检索词。截至 2023 年 10 月 27 日,通过同族合并后检索到 71 874 条发明专利作为基础数据。为了更深入挖掘 AI 芯片领域不同创新主体关键核心技术的技术会聚特征,参考陈旭等[38]学者的研究,从基础性、核心性和战略性 3 个角度识别出 AI 芯片领域的核心专利,将其作为该领域关键核心技术的近似替代,基于此,参考已有学者的研究,对基础数据进行归一化处理,之后用熵值法计算得出各指标的权重,具体结果见表 1 所示。通过熵值法计算结果,本文将前 5% 的发明专利被识别为关键核心专利,最终确定全球 AI 芯片领域关键核心专利共 3 594 条(以下简称“样本”)。

表 1 基于熵值法的关键核心专利识别指标体系及其权重

一级指标	二级指标及其权重	三级指标及其权重
关键核心专利	基础性 (57.10%)	引证专利数 (18.50%)
		引证非专利文献数 (34.90%)
		权利要求数 (3.70%)
	核心性 (20.30%)	被引证数 (13.20%)
		技术分类数 (6.50%)
		申请人数 (0.60%)
	战略性 (22.60%)	专利同族数 (3.40%)
		布局国家数 (16.40%)
		发达国家布局数 (2.80%)

## 1.2 数据分析

### 1.2.1 全球 AI 芯片发明专利申请数量概况

基于样本数据,进一步分析全球 AI 芯片发明专利的每年申请数量变化趋势和不同国家的申请数量变化。由此发现,美国一家早期的计算机技术公司——信息国际股份有限公司的关于“二值图像处理器(binary image processor)”是 AI 芯片领域相关技术的首件申请专利。基于专利申请数量的变化趋势可以将研究期间分为以下 3 个主要阶段(见图 1):第一阶段为初始阶段(1971—1981 年),各国的 AI 芯片发明专利申请数量一直维持在较低水平,增长速度相对较慢;第二阶段为快速增长阶段(1982—2007 年),这一时期 AI 芯片发明专利申请数量迅速增加,并于 2007 年达到最高峰;第三阶段为逐步下降阶段(2008—2018 年),各国在 AI 芯片发明专利申请数量呈现下降趋势。这可能由以下两方面原因造成:一是 AI 芯片技术逐渐成熟,初始的创新潮可能减缓;二是随着时间推移,一些技术可能整合到更加广泛的技术体系中,导致该领域发明专利申请数量减少。第四阶段为明显下降阶段(2019—2023 年),可能是由于从技术创新到专利申请批准需要经历一段时间,部分专利并未公布,导致出现明显的下降趋势。

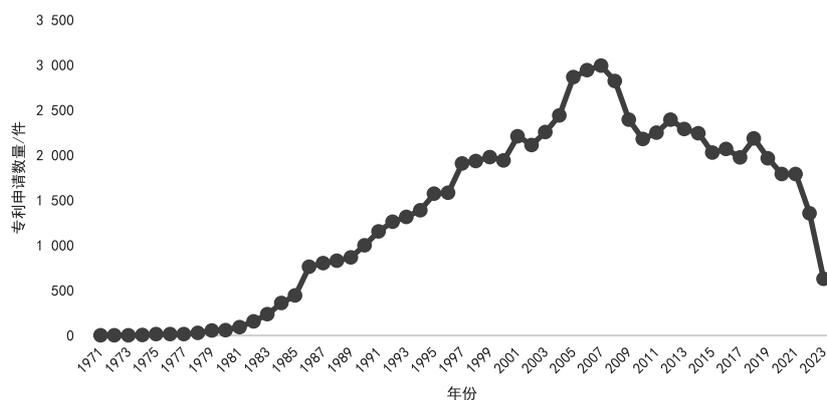


图 1 全球 AI 芯片领域发明专利申请数量年度分布

在 AI 芯片技术领域的发明专利申请数量全球排名前 20 位的国家如图 2 所示。其中，该领域发明专利申请量居前 4 名的国家分别为日本（47 380 件）、中国（未含港澳台地区数据，下同）（10 210 件）、

美国（6 171 件）和韩国（4 838 件）；尽管德国、英国的发明专利申请数均超过 500 件，但与前 4 名还是具有较大差距，表明日本、中国、美国和韩国在 AI 芯片这一领域具有一定的技术优势。

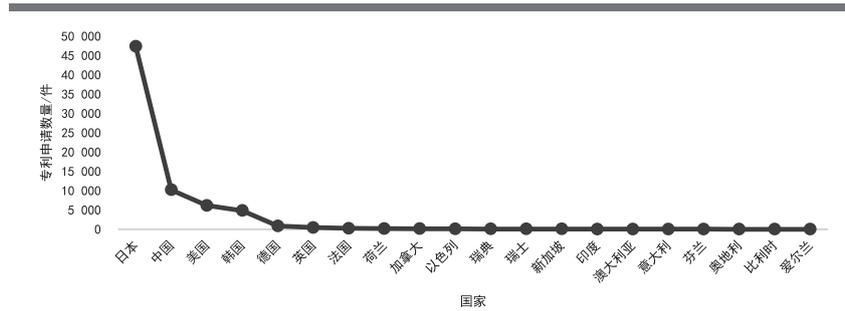


图 2 各国的 AI 芯片发明专利申请量分布

为了进一步对比分析，本文绘制了日本、中国、美国和韩国在 AI 芯片技术领域发明专利申请量的年度变化趋势图（见图 3）。从图 3 可以发现，日本在 1982—2017 年发明专利申请数量一直居全球第一位；自 2007 年起，中国在该领域的发明专利申请数量快速增加，尤其是自 2018 年起，中国在 AI 芯片领域的发明专利申请数量跃居全球第一位，这可能

与中国在 2018 年开始受到以美国为首的西方国家对中国半导体行业采取的一系列限制有关。为了应对这一挑战，中国政府一直支持芯片领域的研发与发展，加速推进 AI 芯片的国产替代，以减少对外部技术的依赖，因而中国在 AI 芯片领域技术创新能力不断增强。

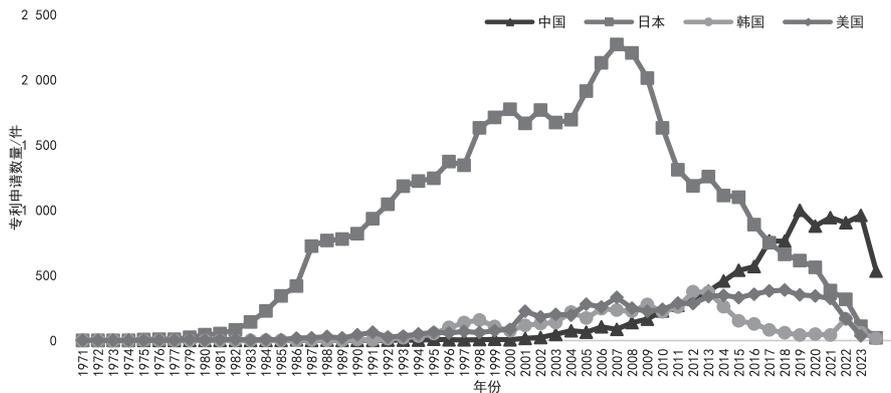


图 3 中美日韩四国 AI 芯片发明专利申请数量年度分布

1.2.2 AI 芯片领域关键核心技术变化

根据前文筛选出的关键核心专利数据，本文分析了全球每年申请关键核心专利的变化趋势（见图 4），并将其划分为以下 4 个阶段：第一阶段为 1971—1983 年，在这一时期，关键核心专利的申请数量相对较低，年均不超过 10 件，这表明 AI 芯片领域的关键核心技术申请活动在早期阶段较为有限；第二阶段为 1984—2001 年，这一阶段关键核心专利申请数量快速增加，显示出各国对 AI 芯片技术的重

视不断提升，产出了大量高价值的核心技术，反映出该领域的研究和创新活动蓬勃发展；第三阶段为 2002—2019 年，这一阶段关键核心专利申请数量呈波动趋势，年均申请数量维持在较高水平，均超过 100 件，然而也存在一些年份的波动，这也反映出技术研发的竞争激烈和技术创新的不稳定性；第四阶段为 2020—2022 年，这一阶段关键核心专利申请数量出现了明显的下降趋势，这可能与专利审查机制有关。

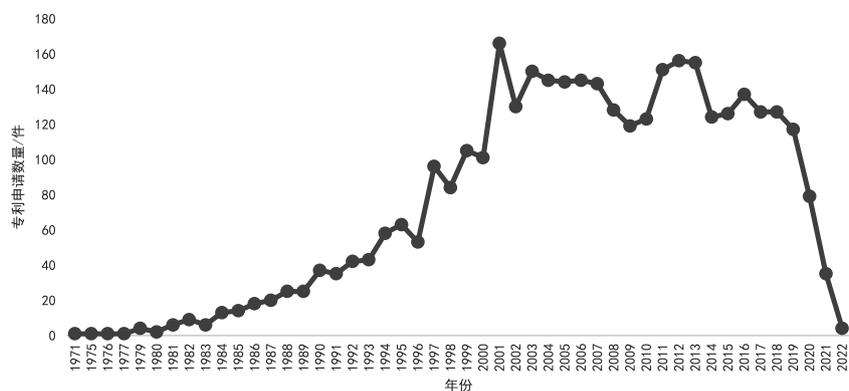


图4 全球AI芯片领域关键核心技术发明专利申请数量年度分布

同时，本文进一步探索了全球不同国家在AI芯片领域的关键核心技术拥有量。从图5可见，日本（1483件）和美国（1300件）分列第一位和第二位，两者占整体关键核心专利数量的77.43%，远超其他国家拥有的关键核心专利数量，这表明日本和美国在AI芯片领域扮演着技术引领的角色。通过与AI芯片发明专利申请数比较可知，日本是世界上AI芯片发明专利申请量最多的国家，同时其拥有的关键核心技术也名列全球第一位。美国申请的发明专利

数量为7049件，而其中的1300件属于关键核心技术，显示出美国在AI芯片领域具备较强的创新研发实力。相比之下，中国在AI芯片领域关键核心技术的发明专利仅有46件，占其在该领域的所有发明专利的0.45%，且占全球在该领域关键核心技术总量的比例仅为1.28%，说明中国的AI芯片申请发明专利中低价值专利比例较高，与世界强国相比存在较大的差距。

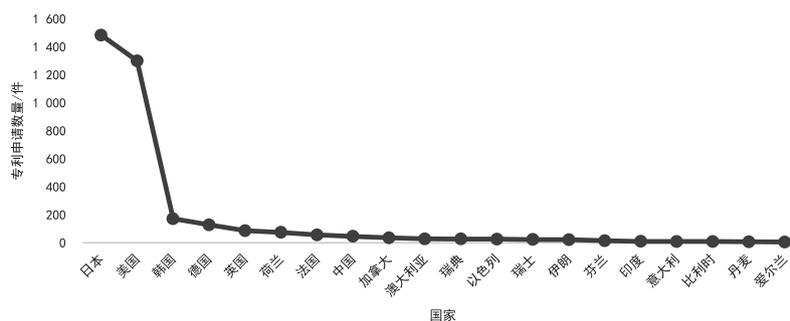


图5 AI芯片领域关键核心技术发明专利申请量排名前20位的国家

从图6可以发现，日本和美国在AI芯片领域关键核心技术发明专利申请数量上一直占据主导地位，且二者的申请数量变化呈现出3个不同的阶段：在1990年前，美国在该领域的关键核心专利数量高于日本；1991—2012年，日本超越美国；到2013—2021年，美国再度超越日本，成为AI芯片领域技术发展的引导者。值得注意的是，尽管美国整体申请数量仅为日本申请量的1/6，但其关键核心专利的占比达到18.44%；相比之下，日本AI芯片领域的关键核心专利占有发明专利申请量的比例仅为3.15%，进一步证明了美国在AI芯片领域具备高水平的创新能力。虽然韩国的AI芯片关键核心技术发

明专利申请量排名世界第3位，但从体量来看远低于美国和日本。而中国在关键核心专利方面的排名与其在该领域的总体发明专利申请量排名并不匹配。在2000年前，中国未拥有关键核心技术专利，之后虽然逐渐开始出现关键核心专利，但每年都未超过10件，直到2018年达到最高值（8件）。从2014年起，中国每年都会出现AI芯片的关键核心专利，数量上几乎与韩国持平。这说明中国在芯片领域重视程度不断提升，整体创新能力不断上升，但由于前期积累不足，因此与AI芯片领域世界强国相比依然存在一定差距。

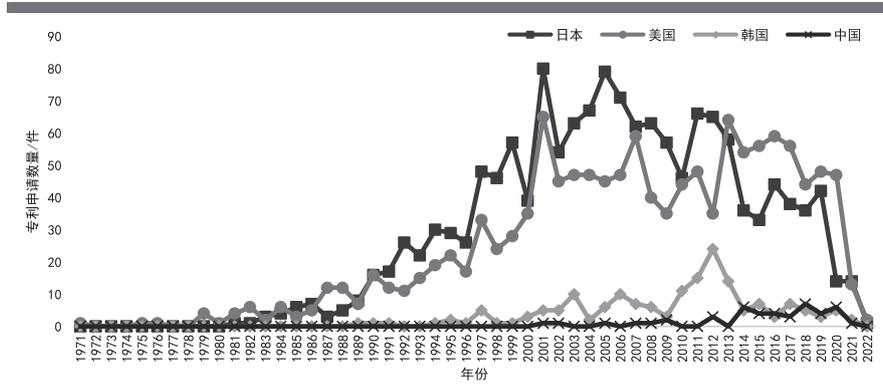


图 6 中美日韩四国的 AI 芯片关键核心发明专利申请量年度分布

基于上文的评价指标，进一步分析 AI 芯片领域发明专利得分前 20 件专利的情况如表 2 所示。可见，排名前 20 位的专利中有 17 件来自于美国，其中获得最高分的专利是“车载成像系统”，于 2005 年申请。中国得分最高的专利排在第 285 位，为腾讯公司于 2016 年申请。总体而言，得分居前 200 名的 AI 芯片发明专利中没有中国专利，这进一步说明中国在 AI 芯片技术领域的技术创新能力与领先国家显著差距。另外，得分居前 200 名的美国专利占比也达到 70.5%，远高于排名第二的日本（占比为 13%），表明美国在 AI 芯片领域的技术水平和创新实力处于全球领先地位。

表 2 得分居前 20 名的 AI 芯片发明专利

排名 / 位	专利文献号	申请人国别	得分 / 分
1	US20050232469A1	美国	0.555 8
2	US20080301619A1	美国	0.462 6
3	US20200307585A1	美国	0.431 4
4	US20140142809A1	美国	0.393 2
5	EP1210646A4	澳大利亚	0.379 6
6	US20070109651A1	美国	0.375 9
7	US20130024660A1	澳大利亚	0.327 6
8	US20090295928A1	澳大利亚	0.289 2
9	US20030056085A1	美国	0.280 7
10	US20120109849A1	美国	0.277 8
11	US20090202387A1	美国	0.268 9
12	US20200111163A1	美国	0.258 8
13	US20090182683A1	美国	0.242 7
14	US20140067830A1	美国	0.237 6
15	US20140192181A1	美国	0.222 7
16	US20150232034A1	美国	0.211 9
17	US20180035134A1	美国	0.205 9
18	US20070115467A1	美国	0.201 2
19	US20200117923A1	美国	0.199 9
20	CN201810805317.0	美国	0.199 4

## 2 中美日韩四国 AI 芯片关键核心专利技术会聚特征分析

借鉴施锦诚等<sup>[33]</sup>的研究，本文基于技术会聚的视角，从多样性和凝聚性两个维度对 AI 芯片领域

关键核心技术特征进行深入分析。在这个框架下，多样性体现了异质性，通过考察所属产业、技术和申请主体来自不同领域的情况进行测算；凝聚性则反映了技术集群的融合程度，利用社会网络方法进行测算。具体测算指标如表 3 所示。

表 3 技术会聚视角下对专利多样性和凝聚性的测量指标体系

维度	测量指标	测量方法
多样性	产业多样性	专利所属的产业领域范围
	技术领域交叉	专利分类号数量
	技术申请主体	发明专利申请人
凝聚性	主导技术识别	技术节点中心度
	技术集群关联	技术集群关联度
会聚指数	网络凝聚性	发明数量与专利分类小类数量差值 / 发明数量

### 2.1 多样性视角下中美日韩四国 AI 芯片关键核心技术的技术会聚分析

#### 2.1.1 产业多样性分析

AI 芯片涉及的产业多为新兴产业，因此本文利用中美日韩四国 AI 芯片关键核心技术发明专利所属的新兴产业分类进行了深入分析。研究发现，中美日韩四国的 AI 芯片领域关键核心技术发明专利所涉及的产业稍有差异：日本涉及 32 个产业、美国涉及 30 个产业、韩国涉及到 17 个产业，而中国涉及 12 个产业（见图 7），但各国产业领域存在明显的交叉。其中，日本 47.61% 的 AI 芯片关键核心技术发明专利属于数字文化创意活动、45.85% 属于下一代信息网络产业、36.68% 属于数字创意技术设备制造、18.41% 属于电子核心产业、15.85% 属于新技术与创新创业服务、11.73% 属于智能制造装备产业、10.32% 属于生物医学工程产业，以及 10.18% 属于人工智能产业；美国有 45.62% 的专利属于下一代信息网络产业、31.23% 属于数字文化创意活动、20.23% 属于电子核心产业、18.31% 属于数字创意技术设备制造、11.23% 属于人工智能，以及 10.69% 属于互联网；而在韩国，属于下一代信息网络产业、数字创意技术设备制造、数字文化创意活动、

电子核心产业以及人工智能的专利分别占 38.95%、33.72%、29.65%、17.44% 和 14.53%；中国有 32.61% 的专利属于下一代信息网络产业，19.57% 属于数字创意技术设备制造，17.39% 属于数字文化创意活动，15.22% 属于电子核心产业，13.04% 属于人工智能以及 10.87% 属于互联网与云计算、大数据服务产业。

综上所述，中美日韩四国在下一代信息网络产业、数字文化创意活动、数字创意技术设备制造、电子核心产业等方面具备明显的优势，在其他产业领域也有部分布局。除此之外，虽然中国与美国在整体布局较为相似，但在关键核心专利数量上存在较大差距。

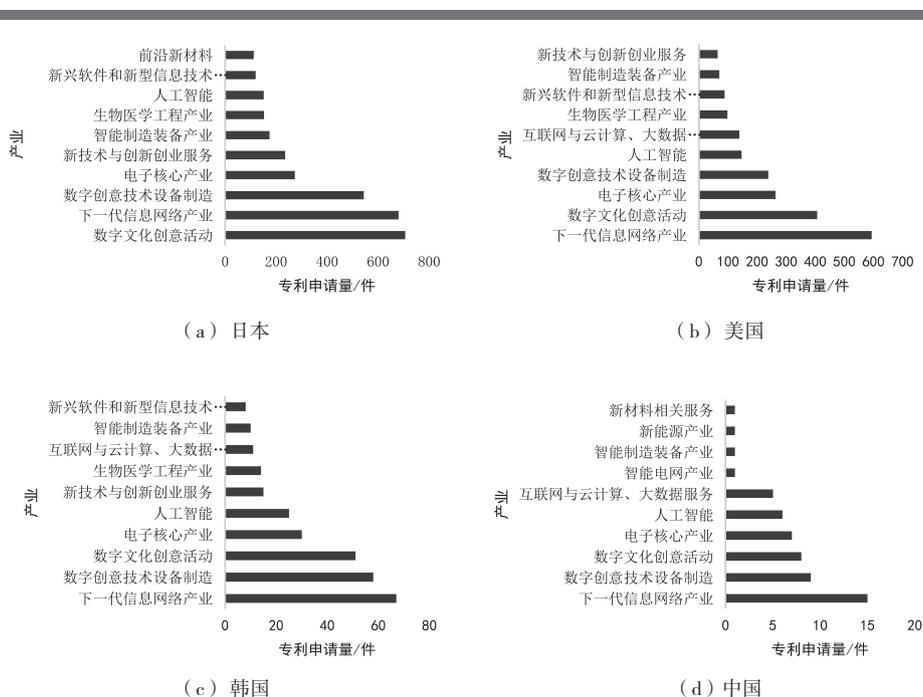


图 7 中美日韩四国 AI 芯片领域关键核心技术的产业分布

### 2.1.2 技术多样性分析

根据中美日韩四国关键核心专利涉及的国际专利分类号进行分析可以发现，这四国的技术布局存在显著差异。首先，对四国国际技术分类小类主分类号数量比较得出，美国共涉及 105 项，日本为 91 项，韩国为 38 项，而中国仅为 20 项。由此可见，尽管日本在 AI 芯片领域拥有的关键核心专利数量多于美国，但其布局的技术领域却少于美国，这初步反映出美国在 AI 芯片领域技术布局更为全面；另一方面，中国在 AI 芯片领域的技术领域涉及范围较小，远小于美国和日本。其次，通过比较中美日韩 AI 芯片领域关键核心专利数量前 10 位所涉及的技术分类可以发现，四国的 AI 芯片专利技术布局稍有差异（见表 4），但日本、美国、韩国三国的前 5 项技术分类是一致的，这在一定程度上说明这是 AI 芯片领域关键核心技术受到重点关注的五大领域。通过中国与美

日韩三国技术分类比较发现，中国在 AI 医学诊断辅助方面缺乏关键核心技术。这可能是由于中国生物医药产业虽然取得了长足的进步，然而，在 AI 技术助力生物医药产业创新发展过程中，中国对医学数据的处理技术尚不成熟，体现在缺乏对医学数据标注的技术和工具、在数据隐私保护技术方面不够成熟，以及难以整合医学诊断中多种模态数据；同时，中国在医学诊断方面的算法与模型技术处于探索阶段，体现在医学诊断算法方面准确率不高、缺乏根据患者个体差异精准诊断的 AI 模型，且对医学诊断模型决策过程的可解释性算法方面的研究较为薄弱；此外，中国高性能计算芯片与医学影像技术仍需加强<sup>[39]</sup>。最后，作为后发国家，中国的技术布局整体与美日韩三国差异性不大，但在数量上与日本和美国存在明显差距，这表明中国需要加大在 AI 芯片领域的持续投入，并加速生物医药产业技术的发展。

表 4 中美日韩 AI 芯片领域关键核心专利数量居前 10 位的技术

国家	技术名称	占比	国家	技术名称	占比
日本	图像通信技术 (H04N)	28.86%	韩国	图像通信技术 (H04N)	27.91%
	图像数据处理技术 (G06T)	19.22%		数字数据处理技术 (G06F)	11.05%
	数字数据处理技术 (G06F)	5.93%		图像数据处理技术 (G06T)	11.05%
	AI 医学诊断辅助技术 (A61B)	5.66%		指示器控制电路或装置技术 (G09G)	8.14%
	指示器控制电路或装置技术 (G09G)	3.44%		AI 医学诊断辅助技术 (A61B)	7.56%
	图像检索方法与技术 (G06V)	3.30%		电话通信 (H04M)	2.91%
	以游戏为应用的数字技术接入技术 (A63F)	3.10%		体育锻炼相关器械 (A63B)	2.33%
	光学元件、系统或仪器 (G02B)	2.56%		测定材料的化学或物理性质测试或分析材料 (G01N)	2.33%
	测定材料的化学或物理性质测试或分析材料 (G01N)	2.29%		图像检索方法与技术 (G06V)	2.33%
	数字识别、数据表示等 (G06K)	2.16%		机电传感器 (H04R)	1.74%
美国	图像数据处理技术 (G06T)	19.85%	中国	数字数据处理技术 (G06F)	17.39%
	数字数据处理技术 (G06F)	19.00%		图像通信技术 (H04N)	10.87%
	图像通信技术 (H04N)	11.00%		借助于测定材料的化学或物理性质来测试或分析材料 (G01N)	8.70%
	AI 医学诊断辅助技术 (A61B)	4.46%		图像数据处理技术 (G06T)	8.70%
	指示器控制电路或装置技术 (G09G)	3.54%		指示器控制电路或装置技术 (G09G)	6.52%
	半导体器件 (H01L)	3.15%		数字信息传输 (H04L)	6.52%
	数字识别、数据表示等 (G06K)	2.77%		以游戏为应用的数字技术接入技术 (A63F)	4.35%
	脉冲技术 (H03K)	2.77%		数字识别、数据表示等 (G06K)	4.35%
	数字信息传输 (H04L)	2.31%		基于特定计算模型的计算机系统 (G06N)	4.35%
	图像检索方法与技术 (G06V)	2.23%		电动机、发电机的控制或调节 (H02P)	4.35%

注：括号内代表 AI 芯片涉及的国际技术分类小类。下同。

2.1.3 申请人多样性分析

企业是中美日韩四国 AI 芯片领域关键核心技术的主要研发者，其申请专利数量的占比达到 91%，但领军企业并未表现出明显的垄断效应。具体来看，日本有 96.70% 的关键核心专利来自于企业，但排名第一位的索尼占日本所有关键核心专利数量的 21.17%，佳能占据 12.48%，奥林巴斯为 5.26%，剩余的由其他 205 家组织申请；美国有 79.92% 的关键核心专利来自企业，其中领先的高通公司占美国申请关键核心专利数量的 6.08%，麦格纳电子公司和英特尔分别占比 3.92% 和 3.85%，可见美国的关键核心专利并未被少数企业绝对垄断；韩国 89.53% 的关键核心专利来自企业，三星电子占据其中的 56.98%，LG 公司占比约为 6.40%，其他组织占比均低于 5.00%，可见韩国头部企业出现一定垄断效应；中国有 93.48% 的关键核心专利来自企业，华为技术有限公司（以下简称“华为”）占据 13.04%，北京小米科技有限责任公司、深圳市腾讯计算机系统有限公司均各占 8.70%，广东欧珀移动通信有限公司占比为 6.52%。与韩国相比，中国一方面拥有的关键核心专利数量较少，同时排名前 3 位的企业也

未出现明显的垄断效应。从四国的对比来看，尽管关键核心专利主要由企业发起，但美国的一些研究型大学、科研机构和个人也参与其中。根据本文收集的 AI 芯片领域关键核心专利申请人情况，排名前 20 名的主体中有 11 家日本企业、7 家美国企业、1 家韩国企业和 1 家荷兰企业，而中国企业未上榜，这进一步说明中国仍需要扩大和提升 AI 芯片领域的布局和技术水平。

2.2 凝聚性视角下 AI 芯片技术会聚分析

2.2.1 主导技术识别分析

借鉴以往学者的研究，本文对中美日韩四国的关键核心技术网络结构进行了分析。通过二次建库，构建了以该四国国际专利分类号为节点的网络结构。通过网络中心性分析发现（见表 5），中美日韩四国中心度居前十的技术节点有一定差异，但主导技术基本一致，主要以图像数据处理技术、图像通信技术、数字数据处理技术等为核心。进一步来看，日本和美国在数字识别、医学诊疗、车辆控制等方面主导技术；韩国在电通信方面具有一定的优势；而中国则侧重于材料测定和照明等领域。

表 5 中美日韩四国在 AI 芯片领域的十大技术网络节点

国家	国际技术分类	中心度	国家	国际技术分类	中心度
日本	图像数据处理技术 (G06T)	1 202	韩国	图像通信技术 (H04N)	107
	图像通信技术 (H04N)	1 196		数字数据处理技术 (G06F)	72
	数字数据处理技术 (G06F)	425		图像数据处理技术 (G06T)	67
	数字识别、数据表示等 (G06K)	295		AI 医学诊断辅助技术 (A61B)	46
	车辆配件 (B60R)	259		对用静态方法显示可变信息的指示装置进行控制的装置或电路 (G09G)	39
美国	对用静态方法显示可变信息的指示装置进行控制的装置或电路 (G09G)	255	传输 (H04B)	36	

表 5 (续)

国家	国际技术分类	中心度	国家	国际技术分类	中心度
日本	交通控制系统 (G08G)	233	韩国	电话通信 (H04M)	34
	AI 医学诊断辅助技术 (A61B)	223		无线通信网络 (H04W)	22
	打字机、选择性印刷结构 (B41J)	220		数字信息的传输 (H04L)	20
	光学元件、系统或仪器 (G02B)	219		信号装置或呼叫装置等 (G08B)	19
美国	数字数据处理技术 (G06F)	595	中国	图像通信技术 (H04N)	6
	图像数据处理技术 (G06T)	558		数字数据处理技术 (G06F)	5
	图像通信技术 (H04N)	481		借助于测定材料的化学或物理性质来测试或分析材料 (G01N)	4
	数字识别、数据表示等 (G06K)	227		与照明装置或系统的用途或应用有关的技术 (F21W)	3
	AI 医学诊断辅助技术 (A61B)	190		非便携式照明装置或其系统 (F21S)	3
	半导体器件 (H01L)	174		照明装置或其系统的功能特征或零部件 (F21V)	3
	对用静态方法显示可变信息的指示装置进行控制的装置或电路 (G09G)	152		一般车辆照明或信号装置的布置及其安装或支承或其电路 (B60Q)	3
	借助于测定材料的化学或物理性质来测试或分析材料 (G01N)	136		图像数据处理技术 (G06T)	3
	车辆配件 (B60R)	111		地球物理、重力测量等 (G01V)	3
	数字信息的传输 (H04L)	106		数字识别、数据表示等 (G06K)	2

### 2.2.2 技术集群关联分析

从图 8 可以发现,日本关键核心专利涉及的国际专利分类小类数达到 286 项,各节点间联系紧密;同时,日本 AI 芯片关键核心技术涵盖了图形图像处理 (GPU)、类脑芯片、深度学习处理器 (DPU)、视觉处理器 (VPU) 和神经网络处理器 (NPU) 等 5 个技术集群,并且各个集群间呈现出明显的交叉融合现象明显,表现出较强的系统连通性。

美国关键核心专利涉及的国际专利分类小类数量为 204 项,网络整体密度较大,其技术集群不仅包含了日本所有的技术集群,还包括了智能传感处理 (IPU) 和现场可编程逻辑门阵列 (FPGA) 两个技术集群;同时,各个技术集群间存在着明显的交叉融合。进一步分析还发现,除了具有与日本相似的优势技术集群外,美国在 AI 芯片领域还有一些特殊的技术布局,包括张量处理器 (TPU)、特殊应用集成电路 (ASIC)、复杂可编程逻辑处理器件 (CPLD) 与超大规模集成电路 (VLSI) 方面也有相应的技术布局。

韩国关键核心技术领域涉及的技术小类有 55 项,远低于日本和韩国,其拥有的技术集群主要包含有智能传感器、神经网络处理器、类脑芯片和图形图像处理器 4 个技术集群,集群间相互联通;除此之外,在视觉处理器 VPU 方面也有一定技术布局。尽管韩国的技术小类数量相对较少,但通过对其技术集群的分析可以看出,韩国在图形图像处理 (GPU) 与复杂可编程逻辑处理器件 (CPLD) 技术领域仍然有一定的技术优势,这些领域的发展对韩国 AI 芯片领域的未来发展产生积极影响。

中国关键核心技术领域涉及的国际专利分类共

有 30 项,各节点间联系较少,技术网络稀疏。从图 8 中观察可知,整体分为两个技术模块,而二者之间没有明显联系,存在一个技术集群,即神经网络处理器;另一技术模块并未形成技术集群,主要为 AI 芯片技术应用,具体表现在照明装置方面。可见,中国在 AI 芯片领域关键核心技术方面与日本和美国存在较大差距,尽管中国在神经网络处理器方面有一定的技术集群,但整体技术网络的稀疏性和缺乏明显的连接,表明其在关键核心技术领域的整体布局相对较为薄弱。

进一步比较各国关键核心专利涉及的主分类号小类数量和所有小类数量可以发现,日本的主分类号小类数量与其所有小类数量的差值最大,为 195 项。通过进一步分析其技术交叉区域可以得出,日本在 AI 芯片领域的关键核心技术主要是基于产业应用场景需求出发,是与其他技术领域交叉产出的成果;而美国关键核心专利的主分类号小类数量和所有小类数量的差值为 99 项,表明美国 AI 芯片技术涉及多个技术领域的交叉,且美国 AI 芯片关键核心技术不仅包含基于产业应用场景需求出发的部分,也呈现出技术集群间深度融合的特征。韩国的关键核心技术涉及的技术分类数量为 55 项,其主分类号小类数量为 38 项,二者之间差值不大,表明韩国本身技术布局和领域交叉与日本、美国差距明显。而中国的关键核心技术涉及的技术分类为 30 项,主分类号小类数量为 2 项,二者之间的差距低于日本、美国和韩国,这说明中国在 AI 芯片领域存在部分技术空白,同时各个技术节点间交叉程度低,需要探索与进步的空间巨大。

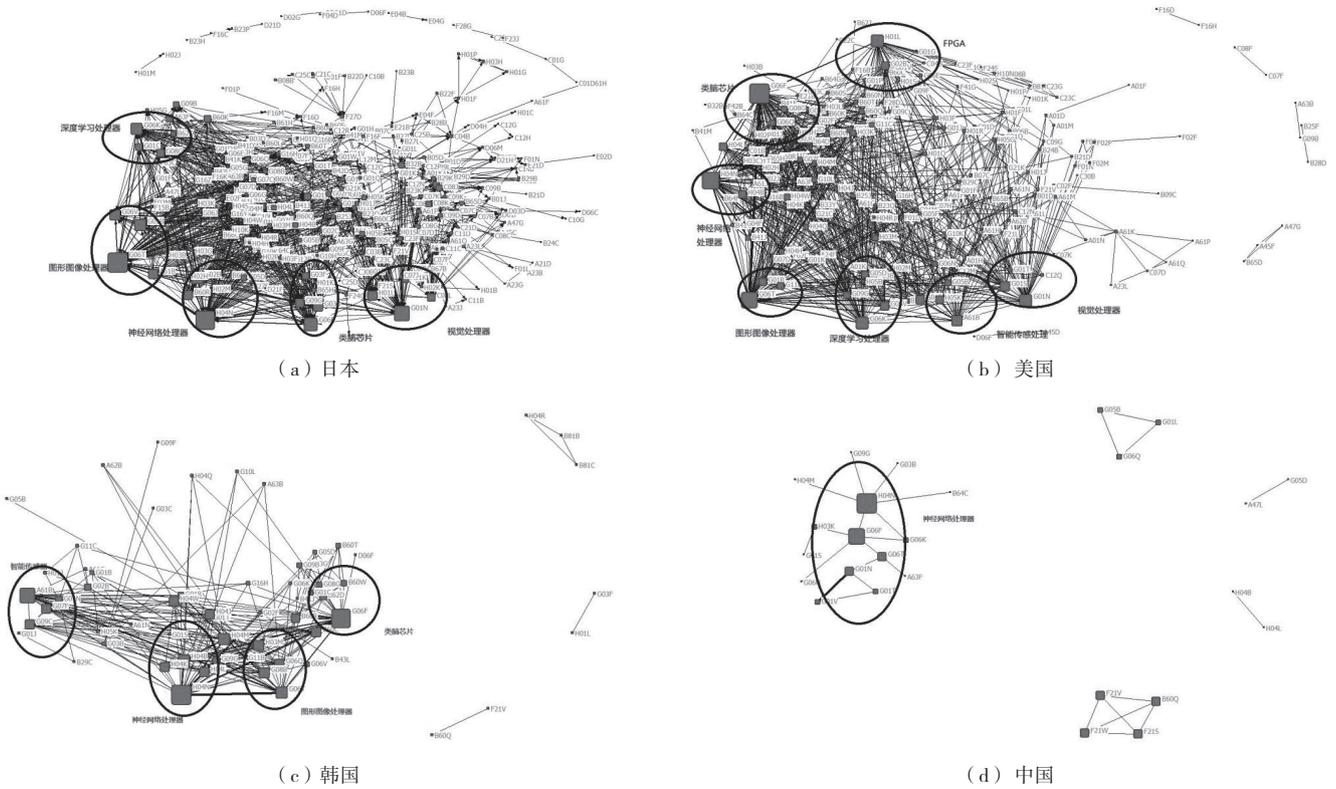


图 8 中美日韩四国的 AI 芯片关键核心技术集群

注：1) 图中节点代表的是国际技术分类小类，节点大小表示该技术在网络中的中心性；2) 节点间连接线粗细代表节点间联系强度；3) 圆圈表示的是 AI 芯片技术集群。

### 2.2.3 技术会聚指数分析

基于前文可知，中美日韩四国的 AI 芯片关键核心技术存在交叉融合，本文进一步分析这四国 AI 芯片关键核心技术领域的会聚情况是否与之一致。借鉴栾春娟等<sup>[32]</sup>学者的研究，本文利用网络凝聚力指标对中美日韩四国 AI 芯片技术领域关键核心技术会聚指数进行了测量。整体来看，日本的技术会聚指数为 80.71%，美国为 84.31%，韩国为 68.02%，而中国仅为 34.78%。由此可见，美国在这四国中技术会聚指数最高，说明其 AI 芯片领域技术交叉和融合程度最高，表明其技术会聚情况优于日本；同时，中国在这一技术领域的会聚程度低于其他三国，表明中国 AI 芯片领域技术各个知识元素间交叉融合程度较差，因此，需要加强各技术领域间的交叉融合。

## 3 中美日韩四国 AI 芯片关键核心技术突破路径探析

### 3.1 技术会聚视角下四国关键核心技术研发特征分析

中美日韩四国在 AI 芯片领域关键核心技术的会聚特征较为相似，但也存在一定差异。虽然各国在 AI 芯片领域关键核心技术拥有量差异较大，但都呈现出大范围产业交叉特征，其中日本与美国两国 AI 芯片涵盖了国际专利分类的全部 8 个部类，日本各部类间也均存在交叉，且具有明显的强联系；美国

仅有 7 个部类间出现相互交叉，且未出现部类间强关系，但网络较为紧密，强调技术集群多样性，显示出跨技术部类交叉为主的特征；韩国则涵盖了 6 个部类，且 4 个部类间相互交叉但密度较低；而中国仅涵盖 5 个部类，各部类间几乎没有相互交叉，连接非常稀疏。进一步分析发现，韩国在技术内部类别交叉较多，而中国无论是部类间还是技术内部类别交叉均呈现较低水平。另外，中美日韩四国 AI 芯片领域关键核心技术发明专利的申请主体多为企业，日本、美国除了企业外，还包含有研究型大学、科研机构和个人。

### 3.2 技术会聚视角下四国关键核心技术突破路径探讨

分别对中美日韩四国实现关键核心技术突破的路径进行剖析，结果如图 9 所示，其中圆形表示研究型大学、方形表示科研院所、三角形表示企业；图形越多，表明会聚的技术部类越多；连接线越多，表明技术间交叉越多。日本和美国在 AI 芯片领域都具有明显优势，但两国驱动方式存在差异。其中，日本采取了“多产业用途、少量多品种需求驱动+跨技术部类融合+产业链上下游企业深度合作”的路径，由此实现了关键核心技术的突破。具体而言，日本以超大规模集成电路计划为出发点，鼓励多家日本企业参与攻关，上下游企业配合，在前期积累

了半导体和芯片领域大量的知识和技术。在芯片产业领域上游部分，日本呈现出极大的优势。之后美国对日本半导体行业采取多项限制措施，导致日本在半导体技术领域的竞争力加速衰减。然而，日本并不愿意受制于人，加大了对中游 GPU、NPU、IPU 等技术研发，并从国内产业需求出发，采用多品种少量设计芯片的策略，因而在芯片设计、产品制造以及芯片应用方面表现强势。

从美国 AI 芯片领域的分析来看，其关键核心技术突破路径可以总结为“产业多领域共同发展 + 跨技术部改变类融合 + 产学研深度融合”。具体而言，芯片技术的早期研发源自美国，美国在前期具备良好的技术和能力累积。尽管后来受到日本半导体产业的冲击，美国通过制裁等手段对日本半导体产业进行限制，并加大了对这一行业的投入。美国 AI 芯片领域研究一直处在前沿区域，不仅在基础研究方面进行大量投入，而且在技术应用研究方面也保持了先发优势。研究型大学、科研院所、个人以及众多大中小型企业都参与了联合研发，实现了产学研的深度融合。这种多领域共同发展和跨技术部类融合策略使得美国能够在 AI 芯片领域不断取得关键核心技术的突破。

韩国在 AI 芯片领域的发展路径与日本和美国不同。尽管韩国在该领域早期的技术积累相对较少，

但在 20 世纪 80 年代的美国与日本的半导体之争过程中，韩国迅速发展起来，形成了“部分优势产业牵引 + 技术内部类别融合 + 领军企业带动产业链”的路径。在这一路径中，三星集团公司在半导体领域早期积累了技术与知识，以信息技术和通信等优势产业作为牵引力，推动整个产业协同发展。虽然与日本和美国具有较大差距，但韩国在 AI 芯片领域的整个产业链上都进行了技术布局，具有良好的产业发展基础。

中国在 AI 芯片领域属于后发国家，与日本和美国相比确实存在较大差距。目前，中国形成了“多领域蜻蜓点水式并行发展 + 技术内部类别松散融合 + 少数企业自主攻关”的关键核心技术突破路径。中国在产业链上游的量子晶片和光伏晶片方面具有一定优势，但在芯片制造方面与其他三国差距明显。近几年来，华为、中科寒武纪科技股份有限公司和紫光展锐（上海）科技有限公司等企业在芯片设计领域有大量研发，在产业链中游领域积累技术。然而，在下游领域，中国 AI 芯片应用的关键核心领域与其他三国差异性较大，主要集中在照明技术方面；同时，中国下游领域与产业链中上游领域联系并不紧密，说明中国的 AI 芯片技术需要加强与场景应用方面的深度耦合。

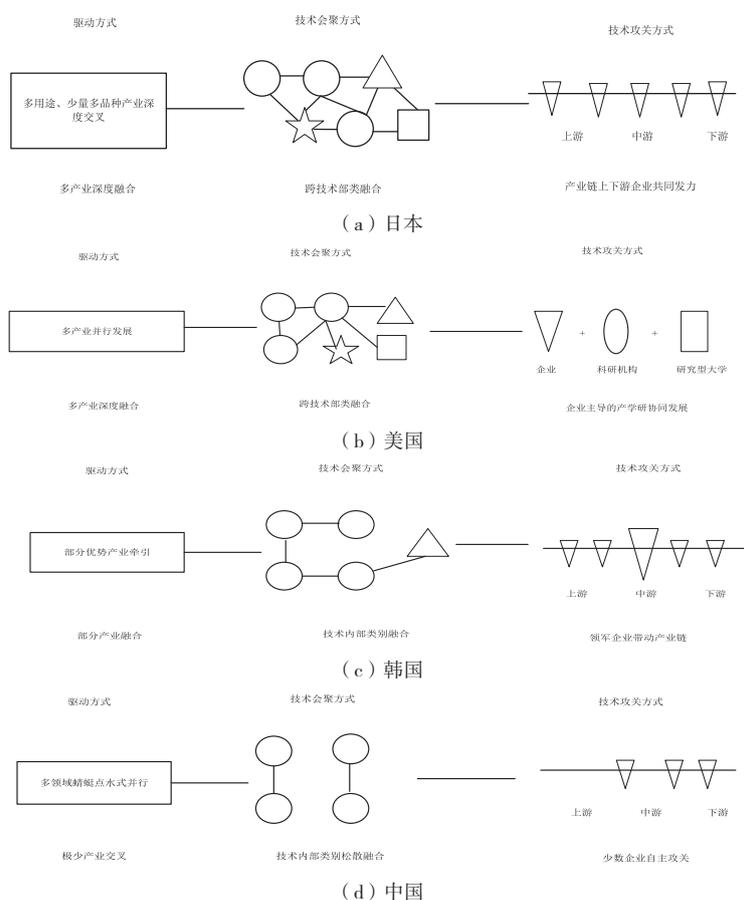


图 9 中美日韩四国 AI 芯片关键核心技术突破路径模型

## 4 结论与启示

### 4.1 研究结论

本文从技术会聚视角出发,以AI芯片技术为例,筛选了这一技术领域的关键核心专利,并分析其主要特征;利用社会网络分析方法,探索中美日韩四国AI芯片领域关键核心专利技术的会聚情况和突破路径,并得出如下主要结论:

第一, AI芯片领域发明专利申请数量排名前4位的国家分别是日本、中国、美国和韩国。然而,尽管中国在专利申请数量上表现出色,但其关键核心专利拥有量仅排第8位,反映出中国在AI芯片领域发明专利领域依然存在“重数量、轻质量”的问题。

第二,日本、美国、韩国和中国四国AI芯片领域关键核心专利的技术会聚存在显著差异。日本主要以产业需求为导向,注重多范围产业交叉和技术部类交叉,技术网络连通性强。美国以大范围产业交叉和技术部类交叉为主,技术集群涵盖AI芯片技术范围最广,同样具备强技术网络连通性。韩国同样呈现出多产业交叉的特征,但以技术内部类别交叉为主,会聚主要集中在部分优势技术领域。相较之下,中国虽然也呈现出多范围产业交叉,少数技术内部类别交叉现象,但涵盖的技术集群少,且技术集群间没有联系。

第三,日本、美国、韩国和中国四国AI芯片领域关键核心技术的突破路径存在差异。日本的突破路径主要是“产业多元化需求驱动+技术部类类别融合+产业链上下游企业共同发力”;美国的突破路径表现为“多产业协同发展+技术部类类别融合+产学研融通”;韩国的突破路径为“部分优势产业牵引+技术内部类别融合+领军企业带动产业链”;而中国现有的路径为“多产业领域蜻蜓点水式需求+技术内部类别融合+少数企业自主攻关”。

### 4.2 实践启示

中国各创新主体需要建立合理的激励机制,促使企业更有动力追求真正的创新;另一方面,知识产权部门应当提高审查标准。专利的技术含量是判断专利质量的核心标准之一,审查员具备的专业知识越为充足,越能准确地评价专利的技术含量,包括技术创新点、解决方案的明确性、技术的深度与前瞻性,减少技术含量较低的专利通过审查,从而促进发明专利质量的提升。第二,由于AI芯片领域涉及到未来产业,对于关键共性技术部分,应当充分发挥中国开展关键核心技术攻关的新型举国体制,考虑以美国为参照对象,构建产学研深度融合模式,解决AI芯片领域的关键共性技术“卡脖子”问题。第三,中国作为后发国家,可以参考韩国发展模式,

在中国当前较具优势的技术领域,例如变换算法和神经网络处理器等方面,构建以科技领军企业为主的创新生态系统,从基础知识、技术应用知识和产品研发均实现关键核心技术的自主可控。

### 4.3 局限与不足

第一,仅选择了AI芯片领域单一产业作为研究对象,研究结论可能存在普适性不足问题,未来可选择其他产业进行比较分析。第二,本文的AI芯片关键核心技术筛选方法为熵值法,未来可以考虑采取专家评价方法相结合的方式,提高关键核心技术筛选有效率。

### 参考文献:

- [1] HAEFNER N, WINCENT J, PARIDA V, et al. Artificial intelligence and innovation management: a review, framework, and research agenda [J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2021,162: 120392.1-120392.10.
- [2] VISWANATHAN S M. AI chips: new semiconductor era [J]. *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*, 2020, 7(8): 14687-14694.
- [3] 陈凤,戴博研,余江.从追赶后到追赶:中国领军企业关键核心技术突破的目标迁移与组织惯性应对研究[J].*科学学与科学技术管理*,2023,44(1):163-182.
- [4] 张羽飞,原长弘.产学研深度融合突破关键核心技术的演进研究[J].*科学学研究*,2022,40(5):852-862.
- [5] 葛爽,柳卸林.我国关键核心技术组织方式与研发模式分析:基于创新生态系统的思考[J].*科学学研究*,2022,40(11):2093-2101.
- [6] 陈劲,阳镇,朱子钦.“十四五”时期“卡脖子”技术的破解:识别框架、战略转向与突破路径[J].*改革*,2020(12):5-15.
- [7] 张玉臣,谭礼.关键核心技术的概念界定、特征辨析及突破路径[J].*中国科技论坛*,2023(2):20-29.
- [8] 任佳妮,张薇,杨阳,等.人工智能+医疗治新兴技术识别研究:以医疗机器人为例[J].*情报杂志*,2021,40(12):45-50.
- [9] MA D, HUNG S W. An integrated framework for the selection and acquisition of core technologies: the case of Taiwan's LED industry [J]. *Long Range Planning*, 2015, 48(6): 381-397.
- [10] 胡旭博,原长弘.关键核心技术:概念、特征与突破因素[J].*科学学研究*,2022,40(1):4-11.
- [11] 陈旭,施国良.基于情景分析和专利地图的企业技术预见模式[J].*情报杂志*,2016,35(5):102-107,132.
- [12] BERGER F, BLIND K, THUMM N. Filing behaviour regarding essential patents in industry standards [J]. *Research Policy*, 2012, 41 (1): 216-225.
- [13] WANG F Y, HUANG Z Y. Analysis of international competitive situation of key core technology in strategic emerging industries: new generation of information technology industry as an example [J]. *Plos One*, 2023, 18(6): 1-29.
- [14] 郑思佳,汪雪锋,刘玉琴,等.关键核心技术竞争态势评估研究[J].*科研管理*,2021,42(10):1-10.
- [15] 巩永强,王超,王锐,等.复杂网络视角下的核心专利识别研究[J].*情报理论与实践*,2022,45(10):103-113.
- [16] 毛荐其,杜艳婷,苗成林,等.基于专利共类的关键核心技术识别模型构建及应用:以光刻技术为例[J].*情报杂志*,

- 2022,41(11):48-54.
- [ 17 ] JEON J, SUH Y, KOH J, et al. Identifying core robot technologies by analyzing patent co-classification information [ J ] . Asian Journal of Innovation and Policy, 2019, 8(1):73-96.
- [ 18 ] 孔令凯. 基于文本挖掘的产业关键共性技术识别及演化研究 [ D ] . 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2022.
- [ 19 ] XU X G, GUI M Z. Applying data mining techniques for technology prediction in new energy vehicle: a case study in China [ J ] . Environmental Science and Pollution Research, 2021,28:68300-68317.
- [ 20 ] 江小涓, 孟丽君. 内循环为主、外循环赋能与更高水平双循环: 国际经验与中国实践 [ J ] . 管理世界, 2021,37(1):1-19.
- [ 21 ] 陈劲, 李振东, 张月遥. 融通创新视角下央地联动共破“卡脖子”技术问题的理论框架与长效机制 [ J ] . 陕西师范大学学报 ( 哲学社会科学版 ), 2023,52(1):141-152
- [ 22 ] 王滋, 张树满. 政产学研用深度融合如何系统突破关键核心技术 [ J ] . 中国科技论坛, 2023(6):75-85,107.
- [ 23 ] 张羽飞, 张树满, 刘兵. 产学研深度融合影响领军企业关键核心技术突破能力的理论分析与实证检验 [ J ] . 管理学报, 2024,21(4):568-576,615.
- [ 24 ] 王钰莹, 原长弘. 产学研融合管理策略与关键核心技术突破 [ J ] . 科学学研究, 2023,41(11):2027-2037.
- [ 25 ] 谭劲松, 宋娟, 王可欣, 等. 创新生态系统视角下核心企业突破关键核心技术“卡脖子”: 以中国高速列车牵引系统为例 [ J ] . 南开管理评论, 2023,26(5):4-17.
- [ 26 ] 柳卸林, 常馨之, 董彩婷. 构建创新生态系统, 实现核心技术突破性创新: 以 IMEC 在集成电路领域创新实践为例 [ J ] . 科学学与科学技术管理, 2021,42(9):3-18.
- [ 27 ] 柳卸林, 常馨之. 构建市场导向的核心技术创新生态系统 [ J ] . 科学学研究, 2024,42(3):614-623.
- [ 28 ] 张三保, 陈晨, 张志学. 举国体制演进如何推动关键技术升级?: 中国 3G 到 5G 标准的案例研究 [ J ] . 社会科学文摘, 2022(12):78-80.
- [ 29 ] 李瑞, 梁正, 薛澜. 技术演化理论视角下新型举国体制分类与边界 [ J ] . 科学学研究, 2024,42(6):1225-1233,1277.
- [ 30 ] JEONG S, KIM J C, CHOI J Y. Technology convergence: what developmental stage are we in? [ J ] . Scientometrics, 2015, 104: 841-871.
- [ 31 ] KOSE T, SAKAKA I. Identifying technology convergence in the field of robotics research [ J ] . Technological Forecasting and Social Change, 2019, 146: 751-766.
- [ 32 ] 栾春娟, 宋博文, 邓思铭. 全球绿色发明技术会聚与专利产出相互影响研究 [ J ] . 科技进步与对策, 2023,40(8):1-10.
- [ 33 ] 施锦诚, 朱凌, 王迎春. 会聚视角下关键核心技术研发特征与突破路径 [ J ] . 科学学研究, 2024,42(3):571-582.
- [ 34 ] 刘娜, 毛荐其, 余光胜. 技术会聚研究探析与展望 [ J ] . 科研管理, 2017,38(12):20-28.
- [ 35 ] 陈奇杰, 石震方. AI 芯片新禁令冲击: 这十大行业将受影响 [ EB/OL ] . (2023-10-26) [ 2024-01-02 ] . <http://www.eeo.com.cn/2023/1026/610859.shtml>.
- [ 36 ] 王燕鹏, 吕璐成, 张博, 等. AI 芯片专利技术研发态势 [ J ] . 科学观察, 2021,16(2):57-71.
- [ 37 ] 陈旭, 江瑶, 熊焰, 等. 关键核心技“卡脖子”问题的识别及应用: 以 AI 芯片为例 [ J ] . 中国科技论坛, 2023(9):17-27.
- [ 38 ] 陈旭, 江瑶, 熊焰, 等. 基于专利维度的关键核心技术“卡脖子”问题识别与分析: 以集成电路产业为例 [ J ] . 情报杂志, 2023,42(8):83-89,19.
- [ 39 ] 温砚中, 韩樾夏, 孙剑飞. AI 赋能的生物医学研究 [ J ] . 科学, 2024,76(3):26-31.

**作者简介:** 刘岩 (1986—), 女, 青海西宁人, 副教授, 博士, 主要研究方向为技术创新与知识管理; 刘妍 (1996—), 女, 吉林长春人, 硕士研究生, 主要研究方向为合作创新与关键核心技术突破; 张如意 (1983—), 男, 陕西宝鸡人, 讲师, 博士, 主要研究方向为技术创新与经济发展; 高艳慧 (1985—), 女, 陕西榆林人, 副教授, 博士, 主要研究方向为合作创新与知识管理。

(责任编辑: 叶伊倩)