



浙江省类脑智能产业 专利导航分析报告

浙江省知识产权保护中心

报告名称：浙江省类脑智能产业专利导航分
析报告

报告编号：ZJIPPC-DH-2025001

编制人：王潇雨、桂洁、齐红方、冯丹妮
陈欢、陈恩民

复核人：郑钰、申露

批准人：沈煜

检索日期：2025.05

报告日期：2025.07

浙江省知识产权保护中心

目录

第一章 项目概述	1
1.1 项目背景及意义	1
1.2 研究思路和方法	3
1.3 技术研究范畴	5
1.4 数据检索及处理	12
1.4.1 数据来源	13
1.4.2 检索策略	13
1.4.3 检索结果	14
1.4.4 数据说明	16
第二章 类脑智能产业发展现状	21
2.1 产业链介绍	21
2.1.1 脑机接口	21
2.1.2 类脑计算	33
2.1.3 类脑感知	41
2.2 国内外产业发展环境	48
2.2.1 产业政策	48
2.2.2 市场趋势	56
2.2.3 技术现状	60
2.2.4 市场主体	67
2.3 浙江省产业发展环境	72
2.3.1 产业政策	72
2.3.2 产业基础	75
2.3.3 市场主体	77
2.3.4 产业发展问题	81
2.4 本章小节	82
第三章 类脑智能产业发展方向	88
3.1 全球产业专利态势	88
3.1.1 全球专利申请趋势	88
3.1.2 全球技术领域分布	95

3.1.3 技术产出及目标市场分布	101
3.1.4 全球主要创新主体	105
3.2 中国产业专利态势	112
3.2.1 中国专利申请趋势	112
3.2.2 中国技术领域分布	117
3.2.3 中国主要创新主体	120
3.3 产业发展方向	125
3.3.1 产业结构调整方向	125
3.3.2 技术重点研发方向	135
3.3.3 企业竞争热点方向	152
3.3.4 国内市场潜在方向	156
3.4 本章小结	157
第四章 重点企业创新方向分析	162
4.1 美敦力	162
4.1.1 企业近期研究进展	162
4.1.2 技术分支、技术功效和 IPC 分类号统计	163
4.1.3 重点技术路线分析	169
4.1.4 高价值专利	171
4.2 飞利浦	175
4.2.1 企业近期研究进展	175
4.2.2 技术分支、技术功效和 IPC 分类号统计	175
4.2.3 重点技术路线分析	179
4.2.4 高价值专利	182
4.3 高通	187
4.3.1 企业近期研究进展	187
4.3.2 技术分支、技术功效和 IPC 分类号统计	188
4.3.3 重点技术路线分析	191
4.3.4 高价值专利	194
4.4 三星	198
4.4.1 企业近期研究进展	198

4.4.2 技术分支、技术功效和 IPC 分类号统计	199
4.4.3 重点技术路线分析	203
4.4.4 高价值专利	206
4.5 科利耳	214
4.5.1 企业近期研究进展	214
4.5.2 技术分支、技术功效和 IPC 分类号统计	215
4.5.3 重点技术路线分析	218
4.5.4 高价值专利	225
4.6 索尼	233
4.6.1 企业近期研究进展	233
4.6.2 技术分支、技术功效和 IPC 分类号统计	233
4.6.3 重点技术路线分析	237
4.6.4 高价值专利	240
第五章 浙江省产业定位	246
5.1 浙江省产业专利态势	246
5.1.1 产业分布	246
5.1.2 区域分布	252
5.1.3 申请趋势	260
5.1.4 创新主体	266
5.2 浙江省产业发展定位	273
5.2.1 产业结构定位	273
5.2.2 企业实力定位	299
5.2.3 人才实力定位	313
5.2.4 协同创新定位	318
5.2.5 专利运营定位	324
5.2.6 潜在方向趋势定位	329
5.2.7 科技项目立项情况	335
5.3 本章小节	343
第六章 浙江省产业发展路径导航	347
6.1 产业结构优化路径建议	347

6.2 企业引进培育路径建议	351
6.2.1 本地企业培育	351
6.2.2 外部企业引进	361
6.3 人才培养引进路径建议	366
6.3.1 本地人才培养路径	367
6.3.2 外部人才引进路径	371
6.4 技术创新路径建议	374
6.4.1 重点创新方向建议	375
6.4.2 热点技术布局建议	376
6.4.3 重要技术效果布局建议	380
6.5 专利布局运营路径建议	383
6.5.1 专利布局优化路径	383
6.5.2 专利运营优化路径	389

第一章 项目概述

1.1 项目背景及意义

类脑智能（brain-inspired intelligence）是借鉴生物脑的感知认知行为机制和信息传递机制，构建相关类脑智能算法、模型和系统，并通过软硬件协同实现的机器智能。

[1]人脑拥有近 1000 亿个神经元和约 100 万亿个连接，是目前已知最复杂的生物构件，其能耗仅约 20 瓦，体积仅 1500 立方厘米，相同算力下远优于当前冯诺依曼架构计算机系统。

近十年以来，全球主要经济体将脑科学作为新的创新热点和科技竞争焦点，高规格布局、大规模投入，旨在推动人脑深层机理研究，实现脑病康复治疗、类脑智能研发等多重目标。究其原因，一方面随着现代社会人类寿命延长，精神压力普遍偏大，世界范围内大脑相关的疾患发病人数快速增加。以抑郁症为例，根据世界卫生组织预计，到 2030 年，其总体医疗负担将跃升至世界第一位。[2]另一方面，作为新一轮科技革命的核心技术，人工智能的发展越来越受到算力和能耗限制，传统的冯诺依曼架构由于“存算墙”的存在，训练大参数 AI 模型的能耗居高不下，急需寻找存算一体的低能耗替代方案。

我国高度重视类脑智能的战略布局，将其列为重点未来产业之一。2016年编制的《“十三五”规划纲要》将“脑科学与类脑研究”列为国家重大科技创新和工程项目；2021年，《“十四五”规划纲要》明确提出，要前瞻谋划类脑智能在内的未来产业，组织实施孵化与加速计划，推动相关领域的创新突破和产业化发展；同年，科技部发布了《科技创新2030——“脑科学与类脑研究”重大项目2021年度项目申报指南》，其中类脑计算与脑机智能技术及应用被列为重点研究方向之一。

浙江省积极推动类脑智能产业发展。2023年发布的《关于培育发展未来产业的指导意见》中，将脑科学与类脑智能列为探索发展的6个未来产业之一。2024年发布的《关于加快人工智能产业发展的指导意见》中，提出推动类脑智能基础研究，布局研发类脑、存算一体等新型人工智能芯片，建设人工智能特色产业园区，发展类脑智能产业。杭州、德清2个国家新一代人工智能创新发展试验区获批建设，为类脑智能技术提供了创新平台。“类脑智能”央地协同项目作为国家首批试点进入科技部论证审核阶段，产出全球首款类脑互补视觉感知芯片“天眸芯”。

为进一步明确浙江省类脑智能产业发展定位，寻找技术发展热点，摸清产业链结构，辅助产业布局规划和政策制定，引导支撑产业科学发展，浙江省知识产权保护中心联合浙江

省工业和信息化研究院、浙江大学图书馆组织开展浙江省类脑智能产业专利导航项目。通过分析类脑智能产业的专利和非专利信息，准确把握产业的发展态势，合理规划浙江省产业发展路径，提高创新主体知识产权创新能力，助力浙江省类脑智能产业高质量创新发展。

1.2 研究思路和方法

本项目遵循 GB/T39551.3—2020《专利导航指南—产业规划》标准，在项目实施阶段，分三步进行。首先是数据采集阶段，选择国内外专利信息和产业统计数据、产业政策等非专利信息进行检索采集，确保数据的来源和可靠性，通过抽样开展查全查准。其次是数据处理阶段，将采集到的专利信息和非专利信息按照特定的格式进行数据整理，通过清洗、筛选、标引等方式进行规范化处理，生成内容完整、形式规范的数据信息。最后是导航分析阶段，综合专利数据和产业数据，构建产业发展方向分析、区域产业发展定位分析和产业发展路径导航分析的逻辑模型，最终在摸清类脑智能产业发展方向和浙江省本地产业定位的基础上，提出适合浙江省的产业发展路径建议。

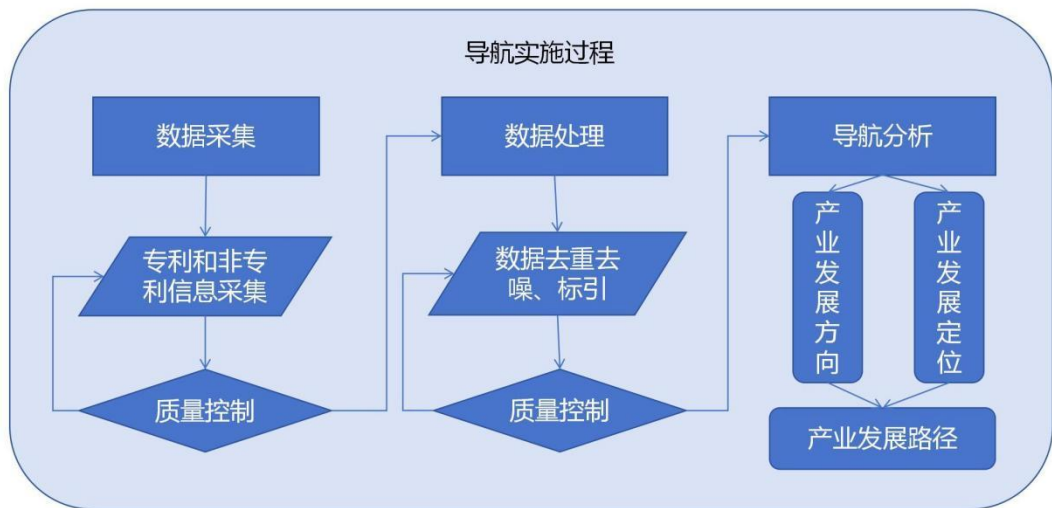


图 1.1 产业导航研究方法

在导航分析阶段,重点包括以下模块:

(一) 产业发展方向分析模块:

产业发展方向分析模块以全景模式展示类脑智能产业发展的整体趋势与基本方向。该模块以专利信息为基础,结合前期调研获得的产业、技术、市场等信息,研究产业结构调整规律、技术创新发展趋势、主要市场地域分布、国内外重要创新主体研发布局等,从市场、产品、技术、行业格局等角度出发,通过分析全球产业发展与专利布局的互动关系,寻找全球产业链中具有较强的专利控制力的各类主体,通过分析其专利布局等相关活动,判断产业发展方向。

(二) 区域产业发展定位分析模块:

区域产业发展定位分析模块以近景模式聚焦浙江省类脑智能产业在全球和我国产业链中的定位。该模块以检索到的专利数据信息为基础,结合产业数据,将浙江省与全球、

我国及国内重点省市在产业结构、产业集群、市场竞争、龙头骨干企业、主要产品、关键技术研发、人才储备等方面的情况进行对比，揭示浙江省类脑智能产业在产业结构、产业分工以及企业、技术、人才、专利等方面的优势和风险。

（三）产业发展路径导航模块：

产业发展路径导航模块以远景模式绘制浙江省类脑智能产业当前定位与发展规划目标之间未来实施的具体路径，为产业发展提供具体指引。该模块在对前面两个模块信息高度集成的基础上，结合浙江省实际情况，从产业结构优化、企业培育、人才引进、技术创新、专利布局运营等方面提出发展路径建议，从而为浙江省类脑智能产业提供合适的目标选择和针对性的路径向导。

1.3 技术研究范畴

专利数据分析需要明确的技术分类和清晰的技术边界，需要综合考虑技术、市场和产业因素，对检索涉及的技术进行细分。只有明确技术分类，才能有针对性地进行研究；只有划定清晰的技术边界，才能将相关专利从海量的专利文献中检索出来，并作为分析的数据基础。

从政策层面看，2017年国务院印发的《新一代人工智能发展规划》中提出建立新一代人工智能关键共性技术体系，重点突破高能效、可重构类脑计算芯片和具有计算成像功能的类脑视觉传感器技术，研发具有自主学习能力的高效能类

脑神经网络架构和硬件系统，实现具有多媒体感知信息理解和智能增长、常识推理能力的类脑智能系统。2021 年，科技部发布的《科技创新 2030——“脑科学与类脑研究”重大项目 2021 年度项目申报指南》中，项目选题涉及了脑机接口、类脑芯片、脉冲网络模型与算法、类脑听觉模型与系统等内容。2024 年浙江省发布的《关于加快人工智能产业发展的指导意见》中，提出布局研发类脑、存算一体等新型人工智能芯片。

从产业链角度看，类脑智能产业目前主要集中在脑机接口、类脑计算和类脑感知三个方向，其中脑机接口领域目前热度最高，类脑计算领域未来发展潜力巨大，类脑感知领域处于探索阶段。脑机接口又包括了植入式和非植入式采集传感、信号编解码等技术，类脑计算包括了脉冲神经网络、融合网络、忆阻器、类脑计算芯片等技术，类脑感知包括了类脑视觉、听觉、触觉和多模态感知等技术。

实地调研过程中，对象涉及浙江省内企业 8 家，涉及植入式脑机接口、非植入式脑机接口、类脑计算芯片、外骨骼系统、人工耳蜗、脑病筛查和脑病治疗等类脑智能产业热门领域。具体调研企业情况请见下表 1.1。

表 1.1 调研对象基本情况

序号	调研对象	区县	注册资本	企业标签	专利情况	主要产品	调研方式
1	杭州佳量医疗 科技有限公司	余杭	2973.947 8 万元人 民币	小微企业、科技 型中小企业、专 精特新中小企 业、雏鹰企业	有申请 114 件，其 中授权发明 12 件， 实用新型 33 件，外 观设计 8 件	植入式闭环自响应神经 刺激系统、磁共振引导 激光消融微创手术系统	实地考察
2	杭州灵汐类脑 科技有限公司	余杭	1000 万元 人民币	小微企业	名下无专利，股东 “北京灵汐科技有 限公司”有申请 596 件，其中授权 发明 205 件，实用	类脑芯片处理器、类脑 计算模组、类脑计算加 速卡、类脑计算服务器、 类脑计算边缘产品	实地考察

					新型 7 件，外观设计 2 件		
3	杭州程天科技发展有限公司	余杭	3520.528 633 万元 人民币	小微企业、科技型中小企业、专精特新中小企业、雏鹰企业	有专利申请 350 件，其中授权发明 58 件，实用新型 154 件，外观设计 44 件	下肢外骨骼康复步行器、帮扶机器人、关节模组	问卷调查
4	杭州暖芯迦电子科技有限公司	余杭	1504.122 1 万元人 民币	小微企业、高新技术企业、科技型中小企业、专精特新“小巨人”	有专利申请 111 件，其中授权发明 44 件，实用新型 27 件，外观设计 8 件	脑机接口芯片、模组及视觉脑机接口终端产品	问卷调查

5	浙江诺尔康神经电子科技股份有限公司	余杭	37920 万元人民币	高新技术企业、专精特新中小企业、国家重点实验室	有专利申请 318 件，其中授权发明 79 件，实用新型 105 件，外观设计 52 件	人工耳蜗、植入式电极、人工视网膜、植入式神经刺激系统、脑部神经刺激系统	实地考察
6	博灵脑机（杭州）科技有限公司	滨江	5000 万元人民币	小微企业、科技型中小企业	有专利申请 16 件，其中授权发明 1 件，实用新型 9 件，外观设计 4 件	上肢外骨骼系统、上肢运动辅助与增强系统、神经信号采集装置	问卷调查
7	杭州曼安智能科技有限公司	滨江	300 万元人民币	小微企业、高新技术企业、科技型中小企业	有专利申请 8 件，其中授权发明 1 件，外观设计 5 件	高性能脑机接口系统、脑功能测评系统、脑功能提升训练系统、孤独	问卷调查

						症/多动症/抑郁症数字 干预系统	
8	杭州妞诺科技 有限公司	滨江	969.6601 万元人民 币	小微企业、高新 技术企业、科技 型中小企业	有专利申请 21 件， 其中授权发明 4 件，实用新型 3 件， 外观设计 2 件	脑疾病筛查和诊断的脑 电 AI 大数据平台、脑电 一张网系统阿尔茨海默 病早筛 AI 算法服务、智 能化脑电硬件产品	问卷调查

综合上述因素，项目组对类脑智能产业结构和发展概况进行研究梳理，并向浙江省重点企业和技术分解进行意见征求，最终将脑机接口、类脑计算和类脑感知作为本次专利检索的范围，具体技术分解表如下。

表 1.2 类脑智能产业技术分解表

一级	二级	三级	四级
脑机接口	植入式采集传感	植入辅助	血管介入
			机器植入
			导航监测
		植入式电极	
	非植入式采集传感	非植入电极	原理
			形态
		光学传感	
	范式编码	P300	
		SSVEP	
		运动想象	
	信号解码	预处理	
		解码	特征提取
			信号分类
	应用领域	对外交互	脑控交流
			外设控制

		状态检测	
		神经调控	
类脑计算	脉冲神经网络	SNN 模型	
		SNN 编码	
		SNN 训练	
	SNN 融合网络	模型融合	
	忆阻器	离子迁移型	
		相变型	
		自旋电子型	
	类脑计算芯片	神经拟态结构	
		事件驱动的异步通信	
		多核并行计算	
类脑感知	类脑视觉感知	传感器	
		处理单元	
	类脑听觉感知	人工耳蜗	
	类脑触觉感知	人工皮肤柔性传感器	
	多模态协调感知	视触融合的机械手臂	

1.4 数据检索及处理

1.4.1 数据来源

本报告引用全球专利文摘数据及中国专利文摘数据，主要检索工具为智慧芽 Patsnap，数据检索截止时间为 2025 年 5 月 16 日。

1.4.2 检索策略

本项目在执行过程中为保证专利数据的查全和查准，采用分总式的检索策略，首先针对分解表中的末级分支进行检索，然后将检索结果逐层汇总，得到各个上级分支的文献量。检索步骤包括初步检索、扩展检索、补充检索、查全查准验证、二次检索，检索过程中将采用仅使用分类号检索、使用分类号与关键词结合检索、仅用关键词检索、关键词和主要申请人相结合等检索方法。

1. 初步检索：选择关键词和分类号对该技术主题进行初步检索，统计分析检索专利文献的关键词和分类号，并抽样人工阅读相关专利文献，提炼关键词，再根据需要调整检索方法和检索式，总结各检索要素在检索策略中所处的位置，再据此制定全面检索策略。

2. 扩展检索：选定精确关键词、扩展关键词、精确分类号和扩展分类号作为主要检索要素，充分利用系统算符，合理采用检索策略及其搭配，在中外专利数据库中进行全面准确的检索。

3. 补充检索：在前述检索的基础上，统计本领域重要申

请人和重要市场主体，以申请人为入口进行补充追踪检索，保证检索数据的全面和完整。

4. 查全查准验证：将检索得到的专利数据进行查全查准分析，通过申请人、发明人等方式检索构建查全样本，与检索命中专利数据进行运算并验证查全率，通过随机抽样构建查准样本，分析验证检索命中专利数据查准率。查全率、查准率超过 90%为合格。

5. 二次检索：对于查全验证不合格的情况，通过补充关键词、分类号进行二次检索，对于查准验证不合格的情况，通过更换关键词、分类号或批量去噪方式进行二次检索。

1.4.3 检索结果

表 1.3 类脑智能产业各分支检索结果

一级	二级	三级	四级	数据量 / 项
脑机接口	植入式采集传感	植入辅助	血管介入	1520
			机器植入	2696
			导航监测	4730
	非植入式采集传感	植入式电极		3650
		非植入电极	原理	3208
			形态	2561
		光学传感		1565
	范式编码	P300		3356

		SSVEP		1806
		运动想象		2621
	信号解码	预处理		11995
		解码	特征提取	7676
			信号分类	8088
	应用领域	对外交互	脑控交流	5005
			外设控制	7161
		状态检测		5687
		神经调控		5796
类脑计算	脉冲神经网络	SNN 模型		4543
		SNN 编码		6488
		SNN 训练		4215
	SNN 融合网络	模型融合		4603
	忆阻器	离子迁移型		5781
		相变型		8596
		自旋电子型		12691
	类脑计算芯片	神经拟态结构		7019
		事件驱动的异步通信		3875

		多核并行计算		8967
类脑感知	类脑视觉感知	传感器		1687
		处理单元		4010
	类脑听觉感知	人工耳蜗		2607
	类脑触觉感知	人工皮肤柔性传感器		4466
	多模态协调感知	视触融合的机械手臂		428

1.4.4 数据说明

（一）专利数据合并方式

在本报告中，当使用简单同族进行专利合并时，专利数量单位为“项”；当使用申请号合并时，专利数量单位为“件”。

简单同组合并指的是同一项发明创造在多个国家申请专利而产生的一组内容相同或基本相同的专利文献出版物，称为一个专利族或同族专利。从技术角度来看，属于同一专利族的多件专利申请可视为同一项技术。在进行专利数量统计时，对于数据库中以一族（这里的“族”指的是同族专利中的“族”）数据的形式出现的一系列专利文献，计算为“1项”。1项专利申请可能对应于1件或多件专利申请。

专利申请号合并即对相同申请号的专利文本进行合并，同一件专利可能具有多个公开号。

（二）数据完整性说明

下述原因导致了 2024—2025 年提出的专利申请统计不完全：1）PCT 专利申请可能自申请日起 30 个月甚至更长时间之后进入国家阶段，导致与之相对应的国家公布时间晚；2）发明专利申请的延迟公布，即自申请日（有优先权的自优先权日）起 18 个月（要求提前公布的申请除外）被公布；3）实用新型专利在授权后才能被公布。因此，本报告中 2024—2025 年可能出现专利申请量明显下降，这与专利检索无法得到完整结果有关。对于该情况，在此加以统一说明。

（三）申请人名称约定

本报告中，需要对一些申请人的表述进行约定：一是由于中文翻译的原因，同一申请人的表述在不同中国专利申请中会有所差异；二是为了方便申请人的统计，需要将一些公司的不同子公司或已收购公司的专利申请进行合并；三是为了便于在统计图和表格中进行标注，需要对一些专利申请人的名称进行简化。需要说明的是，根据分析目的的不同，在不同场景下，对同一申请人采用的约定方式可能会存在差异，不同的地方会在文中具体说明。

（四）术语简介

1. 全球申请/专利：申请人在全球范围各专利局提交

的专利申请/获得授权的专利。

2. X 国申请/专利：申请人在 X 国或地区的官方提交的专利申请/获得授权的专利。如中国专利，指的是在国家知识产权局递交申请并授权的专利。

3. 法律状态为“有效”：有效专利是指到检索截止日为止，专利权处于有效状态的专利申请。

4. 法律状态为“失效”：失效专利是指到检索截止日为止，专利权处于失效状态的专利申请。

5. 法律状态为“授权”：授权专利是指到检索截止日为止，获得过授权的专利申请，包括有效专利、未交年费、期限届满、授权后放弃的专利。

6. 法律状态为“审中”：审中专利是指到检索截止日为止，发明专利申请文件处于公开（公告）状态或处于实质审查阶段。

7. 有效专利维持年限：是指当前法律状态处于有效的专利从申请日之日起至检索截止日的实际时间，有效专利维持年限越长，从侧面表明该专利的技术含量和经济价值越高。

8. 协同创新：专利协同创新是指两个或两个以上企业、高校和科研机构申请人共同合作，完成一项专利技术的研发创新，并申请专利。一般而言，一个技术上协同创新（共同申请）的数量和占比越大，该技术的技术壁垒可能越强，受重视程度也越高，通常是产业发展的重要技术方向。

9. 专利运营：指企业为获得市场竞争优势，运营专利制度提供的专利保护手段及专利信息，谋求获取最佳经济效益的总体性谋划，包括转让、许可和质押。

10. 竞争主体：本报告中涉及市场竞争主体和专利竞争主体两类，其中市场竞争主体是指该产业或领域拥有市场份额，有产品生产或产值收益，专利竞争主体是指该产业或领域有专利申请的专利申请人。

11. 技术原创实力：专利技术来源国家或地区专利申请量情况，本报告中专利技术来源指首次申请国家或地区，是指该项专利技术申请人所属国家或地区，通常根据优先权号中的国别信息确定。

12. 目标市场分布：专利目标国家或地区专利申请量情况，本报告中专利目标市场指专利布局地，是指该项专利申请获得专利权的目标国家或地区，通常根据公开号中的国别信息确定。

13. 专利技术生命周期：指专利技术发展的不同阶段，专利申请量与专利申请人数量的一般性的周期性规律，包括萌芽期、发展期、成熟期、衰退期、复苏期五个阶段。

参考文献

1. 张旭，智能时代的脑科学与类脑智能研究，中国科学院院刊，2024，39(5)：840-850。
2. 杨丹辉，脑科学和类脑智能的发展前景展望，《人民论坛》2023年08月20日第01版，https://paper.people.com.cn/rmlt/html/2023-08/20/content_26018485.htm。

第二章 类脑智能产业发展现状

2.1 产业链介绍

2.1.1 脑机接口

脑机接口是指绕过人或动物大脑外周神经系统和肌肉组织，直接在大脑与外部设备间创建连接通路并进行控制反馈。脑机接口系统集成了神经科学、信号处理、计算机科学、人工智能以及电子工程等多个领域的技术。其基本系统组成包括了脑信号采集设备、脑信号处理设备、神经信息解码设备、控制接口以及相应的外设^[1]。

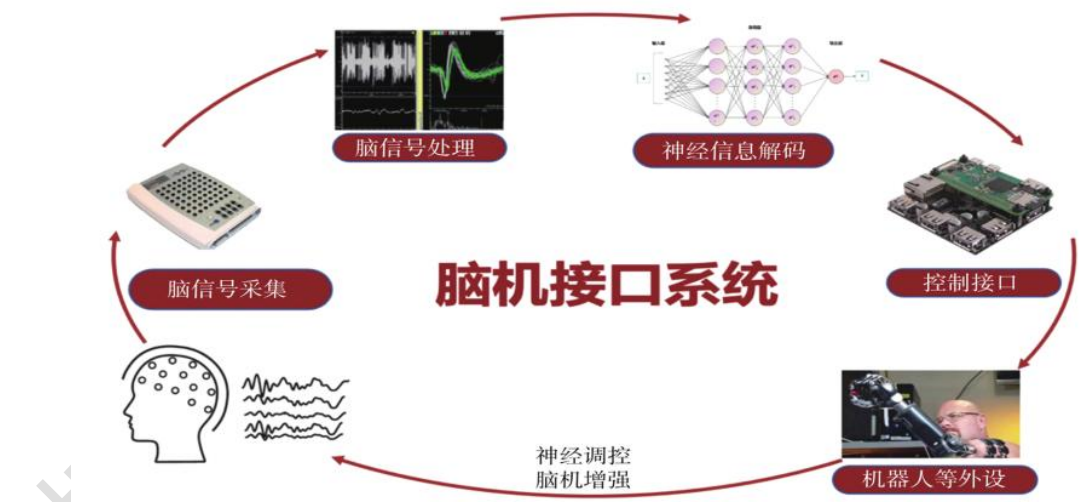


图 2.1 脑机接口系统组成部分

从产业链角度来看（图 2.2），脑机接口以脑电信号采集传感为基础，涵盖了植入式传感器和非植入式传感器，其中植入式传感器是将植入式电极直接植入到脑部皮层或组织中的待测部位，植入过程会采用血管介入、机器植入、导

航监测等辅助植入手段以保证电极能够精确植入至需要的部位。非植入式传感器是采用无创或微创的方式直接从头皮获取人类大脑的电信号，可根据记录脑电电极的形态和采集原理进行分类。应用关键技术包括了脑电的范式编码和信号解码，范式编码的常用范式有 P300、SSVEP、运动想象，信号解码通常采用滤波降噪、压缩等预处理技术，以及通过时域、频域、时频、溯源分析、机器学习等多种算法对信号进行分类，从而对脑电信号进行准确、高效地解码。典型应用领域包括对外交互、状态检测和神经调控，其中对外交互则包括脑控交流和外设控制。

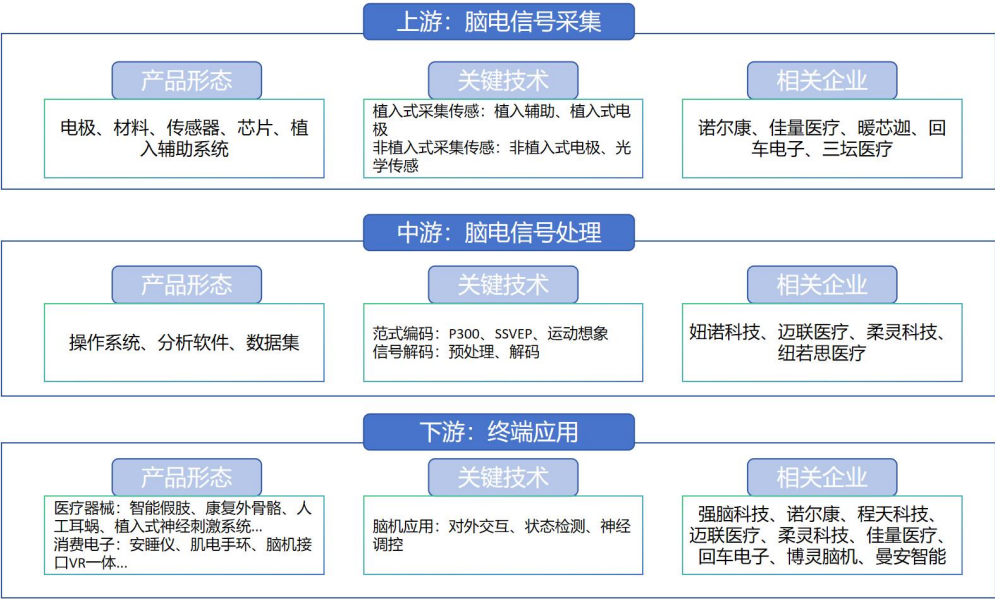


图 2.2 脑机接口产业链图谱

2.1.1.1 采集传感

脑部信号的采集传感是指通过电子设备对大脑的活动

进行采集传感和记录。采集传感按照技术路线可分为植入式采集传感和非植入式采集传感两类。植入式采集传感是通过外科手术将神经电极埋置于颅内，直接对神经元进行刺激，从大脑皮层或脑组织内提取脑电信号，并将相关信号转化为电信号进行传输或控制，其可以记录神经元产生的脑电信号，获取的信号质量非常高，一般能够实现毫秒级的动作电位记录。

植入式采集传感按照技术路线可分为植入式电极和植入辅助技术。植入式电极是指用于连接脑组织或者大脑皮层神经元的极细金属丝或其他导电体，根据微电极的形态可分为单电极系统和多电极阵列，多电极阵列能同时记录几十个神经元，可以提取大脑活动所产生的较复杂信息。但是，由于植入式电极需要植入颅内，长期存在于脑组织中，神经胶质细胞包围植入式电极会导致疤痕组织形成，增加电极阻抗，导致记录信号质量会随着时间推移明显下降。同时，植入式电极也会由于生物相容性存在排斥反应，导致植入部分的组织或细胞损伤。因此，植入式电极的研发致力于解决生物相容性、信号质量稳定性、抗干扰和尺寸缩小等问题，技术改进聚焦于电极和芯片的加工制造工艺手段革新、材料革新以及结构革新等方面。

电极的植入往往需要采取辅助手段以帮助电极能够准确高效植入采集传感的部位，常规的辅助植入手段主要包括

血管介入、机器植入以及导航监测。血管介入辅助植入是通过血管通路将植入式电极或传感器输送到大脑目标区域，以减少传统的开颅手术造成的创伤和风险。机器植入是通过自动化、机器人化技术或智能系统，辅助完成植入式电极或设备的精准定位、植入和校准，其结合了机器人工程、神经影像学和人工智能，可以提高手术精度、减少人为误差，降低对脑组织的损伤风险。导航监测是为了确保对植入电极进行精准定位，并实时跟踪其位置以便动态调整植入过程，可通过多模态影像、传感器融合和智能算法等技术，为植入手术提供全流程的实时导航与反馈，能够显著提升植入的安全性和有效性。

非植入式采集传感是采用无创或微创的方式直接从头皮获取人类大脑的电信号，可测量神经活动间接相关的信号，信号尺度在几百毫秒，获取的信号质量相对植入式采集传感较差。非植入采集传感主要有基于电、光、磁和超声这几种手段。其中脑电图成像（Electroencephalography, EEG）主要是基于电的传感；功能近红外光谱成像（Functional near-infrared spectroscopy, fNIRS）和正电子发射断层扫描（Positron Emission Tomography, PET）主要是基于光的传感；功能性核磁共振成像（Functional Magnetic Resonance Imaging, fMRI）和脑磁图法（Magnetoencephalography, MEG）是基于磁的传感。

根据电极记录脑电信号的原理可分为有源电阻式电极和电容式电极，有源电极在采集位置应用阻抗变换原理改善信号采集性能，有源电阻性电极需要头皮与电极之间直接接触以进行信号传输，通过集成有源电子元件（如场效应晶体管、放大器）或可变电阻材料，主动调节电极阻抗或信号放大能力，从而可显著提升非植入式脑机接口的信号采集性能。电容性电极是利用电容耦合效应，通过电容耦合原理获取脑电信号（EEG），其不与患者的头皮直接接触，而是在头皮和电极之间使用电容性连接，通过测量电容信号变化间接获取脑电信号。电容性电极无需导电膏或与皮肤直接接触就获取相关脑电信号，其能够减少皮肤刺激和过敏风险，同时也避免了毛发干扰，在多毛区域仍能有效采集相关脑电信号。

根据记录脑电信号电极的形态可分为干电极和凝胶电极，干电极是指无需导电膏或电解质凝胶，直接通过物理接触或电容耦合等方式拾取头皮脑电信号（EEG）的传感器，其可采用金属或导电聚合物通过压力或弹性贴合头皮进行直接接触，获取相关的脑电阻抗信号，也可采用电容耦合式干电极通过电极与皮肤间的电容效应传递电场信号。干电极使用方便，制造成本较低，但其信号质量与长期稳定性仍是主要瓶颈。在脑机接口（BCI）领域的非植入式采集传感电极中，凝胶电极是采用导电凝胶填充电极与皮肤之间的空

隙，降低皮肤接触阻抗、实现高保真的脑电信号采集。使用凝胶填充，既能够解决传统湿电极使用不便的问题，其信号保真度也不弱于传统湿电极，且预凝胶化的设计可维持数小时至数天的稳定接触。

2.1.1.2 范式编码

范式编码是指一种特殊的霍夫曼编码。在脑机接口中，通常涉及信号处理、模式识别和神经科学，因此主要针对 P300、SSVEP 和运动想象三种范式编码技术进行展开分析。

P300 诱发电位是 Sutton 等 1965 年发现的，是一种内源性的和认知功能相关的特殊诱发电位号，提取的是时域特征。是指人的大脑会在特定目标事件发生后约 300ms 左右时间进行响应，在大脑顶叶附近产生较为明显的正向峰值电位，也称为 P300 电位。基于 P300 电位的 BCI 具有几乎不需要训练即可使用，以及高信息传输率等优点，但单次 P300 响应的信噪比低，需要多次重复检测，该系统也需要外部刺激，并且在使用时需要精神高度集中，使用者不能分心[2]。

基于 P300 的 BCI 系统的一个很重要的应用就是拼写系统，其中最经典的应用就是 1988 年 Farewell 和 Donchin 设计的 P300 Speller，他们设计了一个包含字母的 6*6 的矩阵，并将其显示在屏幕上。每行每列都包含 6 个字母，并且随机地在实验者眼前闪烁。实验者通过集中注意力注视包含特定字母的方格，来选择特定字母。因为任务相关刺激会产生大

幅度的 P300 诱发电位，所以通过某种算法就可以选择出实验者所关注的字母并将其显示在计算机屏幕上，只有当实验者关注闪烁的行与列时，才会激发出 P300 诱发电位。如果实验者有视觉损伤，听觉刺激或触觉刺激同样可以运用于系统中。其可以使实验者与计算机进行一连串的字母通信，它可以使残疾病人通过计算机来进行通信，也同时也打开了医疗和康复、游戏、影音等的消费市场。

基于 SSVEP 的脑机接口主要使用的是频域特征，当用户注视一个以固定频率闪烁的目标时，视觉皮层会以闪烁频率和其谐波的形式出现 SSVEP 信号，通过检测 SSVEP 的频率即可识别目标。通常 SSVEP 诱发装置可以是阴极射线管显示器或 LED 灯，脑机接口研究中最常用的是 LED 灯诱发的 SSVEP，LED 灯的闪烁频率稳定，且易于控制，正常人在 6Hz 以上的刺激频率下诱发的脑电信号较稳定，通过分析 SSVEP 不同波形的频谱特性来判断受试者注视的闪烁频率，即进行了信号分类。同时，SSVEP 为诱发式脑电信，不易受到心电和肌等伪迹的干扰，SSVEP 脑机接口在使用时一般不需要受试者提前进行训练，具有较强的泛化能力，因此基于 SSVEP 开发的脑机接口系统常用于在线控制。

基于 SSVEP 的应用主要体现在控制外设和状态检测领域，由于 SSVEP 为诱发式脑电信号，不易受到心电和肌电等伪迹的干扰，SSVEP 脑机接口在使用时一般不需要受试者提

前进行训练，具有较强的泛化能力，因此基于 SSVEP 开发的脑机接口系统常用于在线控制。但因为传统 SSVEP 依赖高强度光闪烁视觉刺激进行诱发，易造成被试者视觉疲劳、环境干扰大等不足，导致系统性能不稳定、信息传输率低等问题。

基于运动想象（MI）的脑机接口是通过记录受试者想象不同肢体部位运动时自发产生的脑电信号，并根据 ERD/ERS 现象产生的幅值能量变化进行两类或者是多类脑电信号的分类。当人在想象某种运动行为时，相关的脑运动皮层会产生神经元反应，通过减少大脑疾病导致的运动意图与运动感觉反馈之间的差距，将有助于促进运动功能的恢复。运动想象是一个非常重要的脑机接口范式，其涉及大脑不同脑区的协作，能较好地反映出脑区间的信息互动和大脑的信息处理机制。MI 是一种主观运动意图，无需外界条件刺激和明显的动作输出就能诱发大脑感觉运动皮层的特定响应。目前，对于 EEG 而言，MI 能诱发大脑初级运动区 mu 节律和 beta 节律的事件相关，即某些特定频率成分的能量衰减或增强；通过解析不同特征变化所对应的 MI 任务，了解用户真正运动意图。

运动想象范式编码在医疗领域中具有极高的应用价值，特别是在中风康复领域的临床应用。运动想象可以作为一种激活运动网络的手段，通过对患者大脑的神经重塑，帮助脑卒中患者在任何阶段改善其肢体的运动功能。基于运动想象

的脑机接口可以很好地结合人脑的想象思维和实际的控制应用，将其应用于帕金森等脑损伤患者的康复治疗训练中，可帮助患者的肢体进行运动，改善患者的生活水平。同时，通过对癫痫患者的脑电信号进行分析，可以在检测到神经元异常放电后，对大脑进行相应的电刺激，从而减少癫痫发作，实现对病灶的定位。

2.1.1.3 信号解码

信号解码技术主要是实现数据的降噪、压缩和解码识别，包括预处理、特征提取和信号分类。信号解码的特征提取和分类阶段是决定脑机接口系统的关键所在。一方面是因为脑电信号可能由于肌电和眼电的干扰而失真；另一方面，为了减少特征提取阶段的复杂性，须尽量降低特征向量的维度，但同时要保证重要有用信息没有损失，这是一项非常具有挑战性的任务。因此，为了解码用户意图，选择合适且高效的方法提取有用特征，实现有效的分类识别显得至关重要。

预处理技术主要对脑电信号（EEG）进行滤波、降维、压缩、去除伪影或伪迹等操作。滤波是最常用到的预处理技术，可以有效减少 EEG 中的噪声，实际应用中会根据去除和需要保留的信号频率，来选择不同的滤波器类型。主流的降维方法包括主成分分析（PCA）、线性判别分析（LDA）、t-分布邻域嵌入（t-SNE）、自编码器（Autoencoder）等。

这些方法可以帮助将高维数据转换为低维表示，从而减少数据的复杂度和计算成本，同时保留数据的重要特征。去除伪影或伪迹是因为 EEG 会受到眼部伪影和肌电信号的影响，眼部伪影（EOG）是在受试者眼球或者眼皮改变眼向或眨眼时 EEG 中产生的扰动，肌电信号（EMG）则是由吞咽或者咬合时引起的，一般分布在 0-200Hz，ICA 和 DWT 是最常用的去除伪影的算法。

特征提取是 BCI 系统从获取的信号中抽取关键的电生理特征以定义大脑活动，从而编码用户的意图，电生理特征可分为频域特征和时域特征。例如，在基于 P300 事件相关电位的 BCI 系统中，特征提取主要在于检测特定时间点的峰值响应；在基于 SSVEP 的 BCI 系统中，通常是对不同波形的频谱特性进行提取分类；在基于运动想象的 BCI 系统中，通常关注的是 β 和 μ 频带的功率变化[1]。传统的特征提取方法包括常用的功率谱密度（PSD）、自回归模型（AR）、共变矩阵分析等。但随着人工智能和新一代信息技术的发展，特别是深度学习算法的应用显著提升了脑信号处理的性能，例如采用深度神经网络（DNN）、卷积神经网络（CNN）、长短期记忆网络（LSTM）、循环神经网络（RNN）等显著提高了从脑电信号提取特征的精度和速度。

信号分类是将提取到的特征转换为可操作的命令或输出。BCI 系统利用机器学习算法或其他分类方法来区分不同

的大脑活动模式，进而推断用户的意图。传统的信号分类方法有：支持向量机（SVM）、线性判别分析（LDA）、朴素贝叶斯等，这些算法在低维特征空间中表现良好，适合资源受限的实时应用，但传统分类器通常依赖于手工提取的低维特征，在面对高维、非线性、噪声大的信号时，分类精度较低。人工智能的发展引入了卷积神经网络（CNN）、生成对抗网络（GAN）、卷积循环网络（CRNN）等更复杂的分类模型，虽然他们在分类精度上超越了传统方法，但其高算力和大数据的需求使得实时性和资源消耗成为关键瓶颈，这也将成为下一步发展要攻克的难题。

2.1.1.4 脑机接口应用

脑机接口技术的应用场景可以分为对外交互、状态检测和神经调控。从信息流向来看，状态检测是信息从大脑流向外部设备和外围设备，神经调控则是信息从外部设备和外围设备流向大脑，而对外交互则是信息的双向流动。

对外交互又可以分为脑控交流、外设控制，其核心在于脑电信号的意图并转化为可执行指令。脑控交流是通过解码 EEG，将用户的意图转化为可理解的输出形式，转化为文字、语音或符号，例如通过屏幕显示或语音合成器输出。脑控交流可以帮助因神经系统疾病丧失语言交流能力的患者残障人士，例如渐冻症（ALS）患者、高位截瘫者通过脑控打字或语音合成与他人交流。BrainGate 项目就是通过植入式电

极让瘫痪患者用思维控制电脑光标打字，著名科学家霍金的高科技轮椅就是利用脑控技术让他可以重新“发声”。外设控制是指通过脑机接口直接操控外部硬件设备如机械臂、轮椅、智能家居等，实现“意念操控”。通常通过解码运动皮层信号，预测用户想要执行的动作如抓取、移动，或者结合眼电、肌电信号等其他生物信号增强控制稳定性，提升控制精度。

状态检测是指通过实时监测和分析 EEG，识别用户的生理或心理状态，如注意力、情绪、疲劳、意识水平等，或评估 BCI 系统自身的运行状态，如信号质量、设备稳定性，在医疗康复、疾病检测、教育、人机交互等领域具有广泛的应用潜力。

神经调控是指在脑机接口（BCI）中通过电、磁、光或其他物理手段主动调节大脑的神经活动，以治疗疾病、增强认知功能或实现人机交互。神经调控根据技术路线可分为侵入式神经调控和非侵入式神经调控。其中侵入式神经调控包括深部脑刺激（DBS）和皮质电刺激（ECoG），侵入式脑刺激（DBS）是指通过植入电极向特定脑区（如丘脑底核、苍白球）发送高频电脉冲，调节异常神经活动；皮质电刺激（ECoG）是指通过植入式电极阵列（如 ECoG 网格）直接刺激皮层，用于疾病定位或运动功能重建。非侵入式神经调控包括经颅磁刺激（TMS）和经颅电刺激（TES），经颅磁刺激

（TMS）是指利用交变磁场在皮层产生感应电流，激活或抑制神经元活动；经颅电刺激（TES）是指通过头皮施加低强度电流或电场，调节大脑神经元活动。

2.1.2 类脑计算

神经科学的研究为人工智能领域中新算法和新的智能体系结构的探索提供了丰富的资源，类脑计算是在神经科学研究成果的基础上发展起来的，通过模拟大脑信息处理机制来构建新型的计算机系统。其研究主要涉及核心硬件和算法模型。从产业链来看，核心硬件主要包括忆阻器和类脑计算芯片，算法模型主要包括脉冲神经网络和 SNN 融合网络。类脑计算可广泛地应用于计算机视觉任务、自然语言处理任务、推理决策任务等各行业应用场景。图 2.3 为类脑计算的产业链图谱。



图 2.3 类脑计算产业链图谱

2.1.2.1 核心硬件

2.1.2.1.1 忆阻器

1971 年，加州大学伯克利分校的蔡少棠教授首次提出忆阻器的概念，即在自然界应该还存在着某种描述电荷与磁通量之间关系的器件，但在当时的技术条件下没有找到能够描述这种关系的材料。2008 年，HP 团队第一次发现部分掺杂的 TiO_2 具有电阻记忆历史电流的特性，该材料为后续的忆阻器的结构和电路研究奠定了基础^[3]。

忆阻器因其电学特性与脑内神经突触的工作原理相似，是实现类脑计算的重要基本器件，按其阻变原理，可基本划分为离子迁移型、相变型和自旋电子型。忆阻器的电阻转变行为通常伴随着电子、离子等电荷的场致输运，场致电子或离子的迁移会导致器件中局部区域元素分布、价态成键和材料结构等的变化，改变材料能带结构和电荷输运性质，从而在器件两端电极之间导致金属性导电通道的生长和断裂过程^[4]。突触是神经网络的关键，由于忆阻器电阻取决于它过去状态的特性与脑内神经突触的工作方式类似，可以用来模拟人类大脑中的突触连接，并用于神经动力学的神经形态芯片的相关研究。HP 公司利用忆阻器设计的 RRAM 比现有闪存的密度高，或将替代 DRAM 和其他类型存储器^[5]。

国内高校及科研院所目前在忆阻器的研究中取得了以下成果：清华大学成功研制出模拟神经突触的忆阻器；北京

大学通过过渡金属氧化物忆阻器实现了脉冲时间依赖可塑性 (spike-timing dependent plasticity, STDP) 学习规则; 南京大学实现了基于氧化物双层晶体管的突触和神经元, 并且实现了 STDP、长期增强学习 (long-term potentiation, LTP) 等学习规则; 国防科技大学在忆阻器模型及器件研发方面取得了一定的成果; 中国科学院上海微系统与信息技术研究所 在相变存储器材料研制中取得了突破^[6]。

2.1.2.1.2 类脑计算芯片

类脑芯片是类脑计算产业中的支柱, 是类脑计算的核心部件, 它用类似于人脑的神经元和突触的结构和连接方式来实现信息的处理和传递。其研究重点包括了神经拟态结构、事件驱动的异步通信、多核并行计算等关键技术。

从类脑计算芯片发展史来看, 类脑芯片的代表是 IBM 2014 年发布的“真北” (TrueNorth), “真北”具有 4096 个处理核, 每个内核包含了 256 个硬件神经元, 因此总共可以模拟 100 万个神经元和 2.56 亿个突触。其峰值性能达到了 266GB/s 定点运算速度。“真北”芯片包含有 54 亿晶体管, 是迄今建造的最大的 CMOS 芯片之一^[7]。

当前其他主流类脑计算芯片及产品包括: 美国斯坦福大学开发的神经形态超级计算机 Neurogrid; 英国曼彻斯特大学开发的 SpiNNaker 类脑超级计算机; Intel 公司发布的神经拟态芯片 Loihi; 浙江大学使用 792 颗达尔文 2 代芯片,

研发出类脑计算机 Darwin Mouse；清华大学研发的天机芯片 (Tianjic)^[8]。下图为部分主流类脑计算芯片。

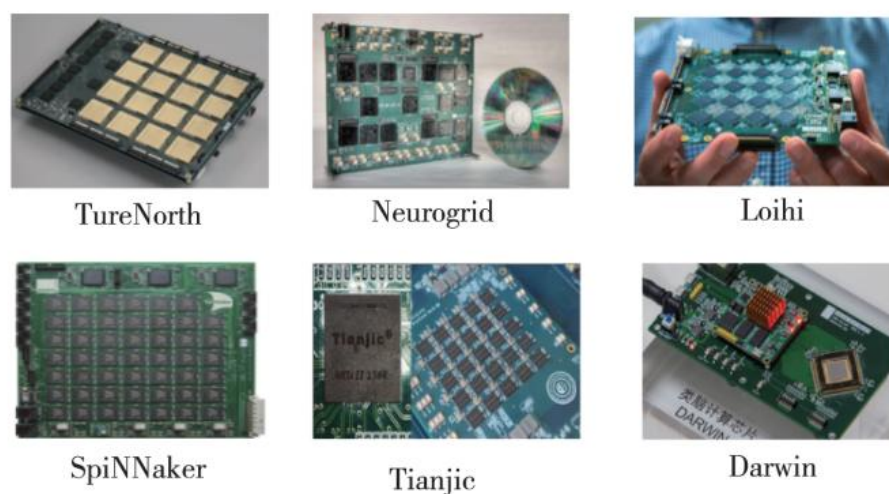


图 2.4 主流类脑计算芯片

国内高校和科研院所在类脑芯片研发方面的进展如下：浙江大学和杭州电子科技大学共同研发了中国首款脉冲神经网络芯片“达尔文”；华中科技大学研制的神经形态芯片可以实现突触和脉冲神经元的模拟,在此基础上还实现了多种形式的 STDP 学习；清华大学施路平团队发布了全球首款异构融合类脑计算芯片“天机芯”。

2.1.2.2 算法模型

2.1.2.2.1 脉冲神经网络

人工神经网络 (ANN) 作为人工智能技术发展的重要推动力,经过几代进化,已成为分析和解决问题的重要工具。第一代 ANN 被称为感知机,代表性的是 1958 年美国构建的两层神经元网络,可以模拟人类可感觉、可识别、可记忆和可反应的感知能力^[9]。第二代 ANN 是 20 世纪 80 年代中期出现

的基于联结主义的多层人工神经网络，特别是 2006 年以来以卷积神经网络 (CNN) 为基础的深度学习方案引领了人工智能发展^[10]。在类脑计算研究中，脉冲神经网络 (SNN) 占据核心地位，是最具有生物意义、最类似大脑运行机制的神经网络模型，被认为是新一代的神经网络^[11]，主要由 SNN 模型、SNN 编码、SNN 训练三部分内容组成。

2.1.2.2.1.1 SNN 模型

按照时间顺序：早期基于脉冲网络构建的类脑计算网络为基于 SNN 的浅层全连接类脑计算模型，结构简单，仅使用全连接形式，且层数较少，典型的为输入-隐藏-输出三层网络架构。由于卷积神经网络 CNN 是人工智能领域最重要的模型之一，在 SNN 领域中，专门针对卷积脉冲神经网络的研究很多，早期的基于 SNN 的卷积类脑计算模型研究主要通过训练或手工设计滤波器来开发脉冲卷积神经网络。注意力机制通过在混乱信息中聚焦于相关刺激，反映了自然信号解析的过程，这对于实现强大的智能至关重要，基于 SNN 的注意力类脑计算模型研究，直接将注意力机制引入脉冲网络架构中，以提高性能。2017 年 Transformer 被提出，利用自注意力机制进行特征提取打破了 CNN 在神经网络领域的主导地位，许多研究者在见证了 Transformer 在各个领域的成功之后，开始尝试将其应用到 SNN 中，形成了基于 SNN 的 Transformer 类脑计算模型^[12]。

具有动力学特性的神经元模型是 SNN 的基本要素及其相关生物学理论基础的主要内容。1952 年, Hodgkin 和 Huxley 研究了神经元中动作电位的启动与传播机制, 提出了电流通过膜电位的数学模型, 即 H-H 模型。1907 年, Lapicque 提出了 Integrate-and-Fire (I&F) 模型, 输入脉冲可以集成到膜电位中, 如果达到定义的阈值, 则输出产生脉冲, 膜电位回落至静息状态。2003 年, Izhikevich 提出了一个兼具 H-H 模型动力学特性和 LIF 模型计算效率的神经元模型, 即 Izhikevich 模型。SRM 是基于 LIF 模型提出的一种通用模型, 更加精确地描述了输入脉冲对膜电位的影响^[13]。

2.1.2.2.1.2 SNN 编码

在生物神经系统中, 信息是被分散编码并通过动态神经来表达的。脉冲神经网络利用不同的脉冲模式代表不同的信息。不同的编码方式采用不同的编码原理。例如, 对于时延编码, 不同的脉冲时延代表输入刺激的相对强度不同; 脉冲频率编码则用不同频率的脉冲序列作为不同输入的代表形式; 脉冲时序一致性编码是利用不同神经元的输出脉冲发生的同时性来代表输入信号的强弱; 地址事件表示 (address event representation, AER) 编码用于神经形态芯片中的一种编码方式, 每一个神经元被分配给一个地址, 当该神经元点火时就会将其地址信息推送到共享的异步总线上, 此编码方式便于在神经形态芯片中使用^[6]。

2.1.2.2.1.3 SNN 训练

SNN 的神经元信息以脉冲序列进行传递，不再满足连续可微的性质，因此传统的 ANN 学习算法不能直接应用于 SNN。研究人员在考虑各类神经元模型与信息编码的差异性、平衡生物合理性及计算可行性的基础上，提出多种训练算法。

在 SNN 的有监督学习算法中，大部分监督学习规则是基于梯度优化的方法，学习目标是试图最小化目标脉冲序列和输出脉冲序列之间的误差。SNN 的无监督学习算法是基于 Hebb 学习规则建立的，其中，STDP 学习规则是 Hebb 学习规则的典型代表，可以直观反映两个神经元之间的突触强度取决于突触前和突触后脉冲的相对时间。SNN 神经元复杂的动态行为和对时间的高度敏感性，导致 SNN 训练算法设计面临较大挑战，算法成熟度欠缺，一些研究者开始关注将 ANN 直接转化为 SNN，即利用较为成熟的 ANN 训练算法来训练深度神经网络，然后通过频率编码将 ANN 中 ReLU 函数的神经元非线性激活值转换为 SNN 中 I&F 神经元脉冲发放率，实现 ANN 向 SNN 的转化，从而避免了直接训练 SNN 的难题。研究人员试图将进化算法与 SNN 有机结合起来，基于进化算法训练 SNN，有效对脉冲神经元突触的权重进行优化，提高对复杂问题的求解能力。

2.1.2.2.2 SNN 融合网络

脉冲神经网络包含具有时序动力学特性的神经元节点、

低功耗的二值化脉冲传递模式，高度借鉴了生物脑部物理特征及其学习模式，因此具有强大的时空信息表征、异步事件信息处理、低功耗学习等能力。脉冲神经网络的离散脉冲具有稀疏性特征，可以大量减少网络运算量，在实现高性能、低功耗以及缓解过拟合等方面具有优势。

但是，脉冲网络并不是完美的。比如，已有的脉冲神经网络模型虽在能耗与生物可解释性方面有良好表现，但现今也无较为标准的方法与准确率方面的突破，在脑电情绪分类准确率方面有较大不足，而使用传统人工神经网络脑电数据处理与分类方法，诸如卷积神经网络(CNN)、图卷积神经网络(GCN)等方法来提取脑电空间信息，再使用如循环神经网络(RNN)、长短期记忆网络(LSTM)等方法来提取时间信息从而进行分类，在情绪识别准确率上达到了较好效果结果，传统方法乘法计算代价高、模型体量大，使其难以广泛搭载在便携式的嵌入式系统中使用。

脉冲神经网络与传统人工神经网络的异构融合被认为是发展人工通用智能的有力途径。单独采用人工神经网络或脉冲神经网络难以应对当前需求，脉冲神经网络与人工神经网络的融合与互补发展逐渐成为未来新一代人工神经网络的趋势。

2.1.2.3 应用场景

在计算机视觉领域，SNN 在图像分类、目标检测、动作

识别、光流估计等方向拥有广阔的应用前景。在自然语言处理方面，SNN 在语义认知、语音识别等任务中展现出显著的发展潜力，通过模拟神经元脉冲活动提供了更接近生物神经网络的信息处理方式。在推理决策领域，SNN 成功应用于资源分配、知识表示与生成等任务，利用神经脉冲的时空特性实现实时学习与决策。

随着 SNN 算法模型技术的成熟，其应用场景覆盖医疗健康、工业检测、民生消费、智能交通、安防联控和智慧金融、农业、军事领域等行业领域。

2.1.3 类脑感知

类脑感知以仿生学为理论根基，深度融合神经科学、材料学和人工智能等前沿技术，致力于开发兼具高性能和低功耗的智能感知系统。该技术涵盖了视觉感知、听觉感知、触觉感知以及多模态协同感知等多种仿生感知形式。类脑感知技术的潜在应用场景包括智能制造、医疗健康、自动驾驶、智能家居等。从产业链角度来看，类脑感知产业链主要由基础理论研究、算法模型、核心零部件以及执行产品这四个关键环节构成。



图 2.5 类脑感知产业链图谱

2.1.3.1 类脑视觉感知

在基础研究层面，类脑视觉智能已经发展到目前以深度学习为代表的视觉方法。1982 年，大卫·马尔的《视觉》一书问世，使得视觉计算理论成为跨界计算机科学与认知神经科学的桥梁。现在，不同的类脑神经网络框架与其他领域的模型，如自然语言处理领域的转换器已经取得最先进的性能。在产业发展层面，无人驾驶和具身智能等无人系统正走进我们的现实生活。“视觉感知”是无人系统获取信息的核心途径，通俗地说，它们好比“眼睛”，负责对复杂的环境作出感知。如何实现“视觉感知”高效、精确、低延时，挑战着全球科学界。人类视觉系统(Human Visual System, HVS)在处理复杂视觉信息方面表现出色。清华大学类脑计算研究

中心受人类视觉系统启发，提出了一种创新的互补感知新范式。这一范式包括基于原语表示和两条互补的视觉通路。通过借鉴人类视觉系统的基本原理，将视觉信息分解为基于原语的视觉表示，并通过有机组合这些原语，模拟人类视觉系统的特征，形成两条信息完备的互补视觉感知通路。基于这种新范式，清华大学研发了全球首款类脑互补视觉芯片“天眸芯”。这一突破不仅在每秒高达 10000 帧的速率下实现了 10 位精度和 130dB 的高动态范围，还在减少 90%带宽的同时保持较低功耗。这不仅打破了传统视觉感知范式的性能瓶颈，还能高效处理各种极端情况，确保系统的稳定性和安全性。



图 2.6 清华大学团队研发的类脑感知芯片“天眸芯”Nature 封面，

图片来源：nature

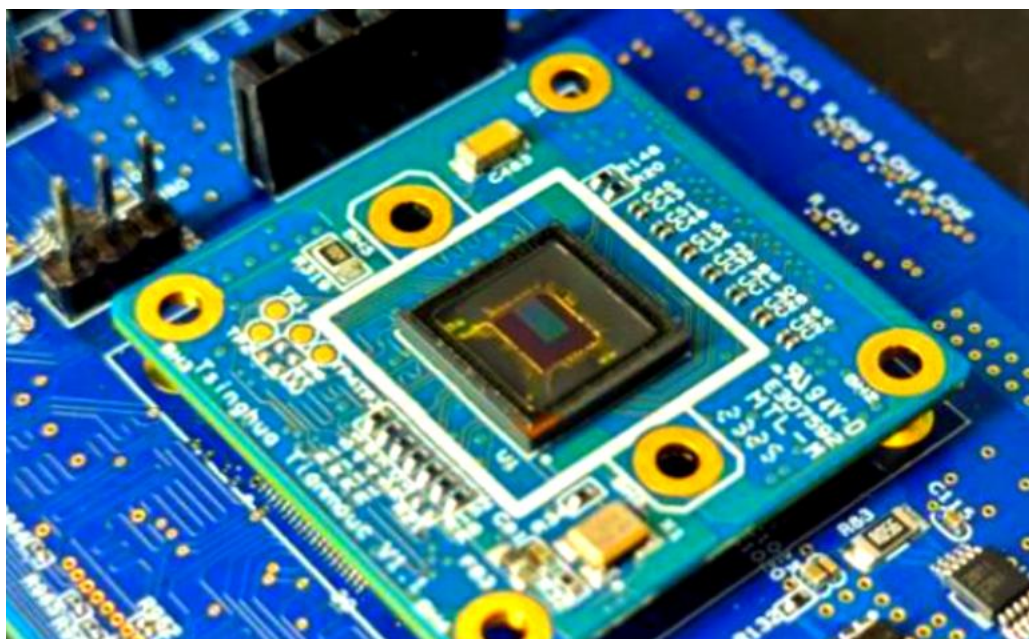


图 2.7 清华大学类脑感知芯片“天眸芯”，图片来源：清华大学

2.1.3.2 类脑听觉感知

类脑听觉感知是指通过模拟生物听觉系统功能和大脑处理信息的方式，使设备或系统能够像人类听觉系统一样，对声音进行接收、传递和处理，从而实现对声音的感知和理解。类脑听觉感知涉及的硬件有类脑耳蜗、动态音频传感器（DAS）、类脑听觉感算一体芯片等，这些硬件目前尚处于科研探索阶段，相关专利文献较少，不能形成有效的分析样本库，而人工耳蜗是一种听觉感知增强恢复硬件，是类脑听觉感知产业发展的关键技术，本次导航研究把人工耳蜗作为类脑听觉感知产业的主要分支进行检索分析。

人工耳蜗的工作原理是麦克风接收声音信息后转换成电信号，经言语处理器处理编码后传送到植入体内的接收器，产生的电脉冲送至相应的电极，由电极直接电刺激听神

经，使听神经纤维兴奋，将声音信息传入大脑，从而产生听觉。人工耳蜗产业是一个融合生物学、电子工程、材料科学及临床医疗的综合性产业，其组成涵盖从技术研发到临床应用的完整链条，包括上游原材料（钛合金材料、硅胶材料、晶体管、集成电路等）、研发与制造（植入体、语言处理器等）、下游应用（医疗机构等）。由于技术壁垒极高，属于高值医用耗材，行业中企业数量较少，市场集中度相对较高。当前国内人工耳蜗市场中，奥地利的 MED-EL、澳大利亚的科利耳（Cochlear）占据领先，国产厂家诺尔康、力声特和爱益声（AIC）逐步赶上。



图 2.8 voyager（远航）人工耳蜗系统和 CS-20A 植入体，图片来源：诺尔康官网

华经情报、Global Growth Insights 等研究机构报告显示，2024 年，全球人工耳蜗市场价值为 25.2 亿美元，预计到 2025 年将增长至 27.6 亿美元，到 2033 年将达到 57.1 亿美元，2025 年至 2033 年的预测期内复合年增长率高达 9.5%。国内人工耳蜗市场规模从 2017 年的 4.6 亿元增长至 2022 年的 11.4 亿元，预计人工耳蜗市场 2026 年、2030 年将增至

20.0 亿元、30.2 亿元。未来随着医保政策、政府项目等积极因素驱动，中国人工耳蜗产业将继续高速发展。

2.1.3.3 类脑触觉感知

类脑触觉感知是指模拟生物听觉系统功能和大脑处理信息的方式，使设备或系统能够像人类触觉系统一样，对触觉刺激进行接收、传递和处理，从而实现对物体形状、纹理、温度等信息的有效感知。电子皮肤是实现类脑触觉感知的重要载体和技术基础，是产业关键核心技术，柔性传感器是电子皮肤的核心传感元件，本次导航研究把电子皮肤和柔性传感器作为类脑触觉感知的主要分支进行检索分析。

电子皮肤是模仿人类皮肤的延展性、触觉感知能力、高机械韧性等特性的设备，一般是由电极、介电材料、活性功能层、柔性基材组成，当外界施加压力时，活性功能层将应变、湿度、温度等信号转换为可检测的电信号，位于功能层两侧的电极层接收并对电信号进行传输，最终信号传输到机器人“大脑”，完成一次“触觉”传递过程，电子皮肤本质上是一种仿生柔性触觉传感器系统。

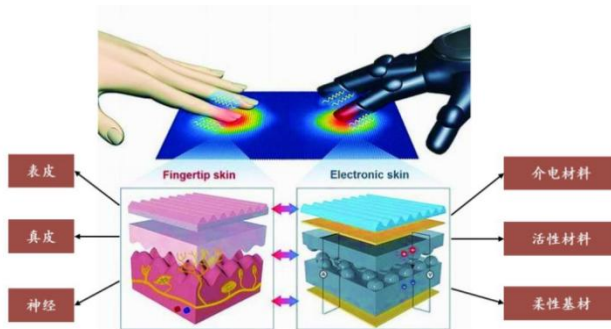


图 2.9 生物皮肤和电子皮肤比较，图片来源：商业新知官网，



图 2.10 指尖触觉传感器，图片来源：他山科技

柔性触觉传感器是电子皮肤的核心传感元件，具备类似于人类皮肤的柔韧性，可以适应任意载体形状，更利于测量物体表面受力信息、感知目标物体性质特征。柔性触觉传感器市场规模不断扩大，智研咨询和财通证券报告数据显示，2022 年全球柔性传感器市场规模约 19.3 亿美元，预计 2022—2029 年 CAGR 为 15.6%。2022 年中国柔性传感器需求量为 4923.1 万个，年产量为 1634 万个，国产化率也在逐步提高，2022 年中国柔性传感器国产化率为 32.5%。

2.1.3.4 多模态协同感知

类脑多模态协同感知是一个融合神经科学、人工智能和工程技术的交叉概念，核心在于模拟人类大脑处理多维度感官信息的机制，实现不同模态（如视觉、听觉、触觉等）的协同整合与智能感知，通过多感官协同提升感知精度、抗干扰能力和场景理解能力。视触融合的机械手臂是具身机器人感知的关键核心技术，在类脑多模态协同感知产业中处于核

心执行终端与技术融合载体的位置，是多模态感知与类脑决策的交汇点，视触融合机械手臂通过视觉传感器（如动态视觉传感器）和触觉传感器（如柔性电子皮肤）或者基于视觉的触觉传感器实现环境信息的多维感知，其感知能力覆盖物体形状、质地、温度、压力等物理属性，是具身机器人人类脑系统获取外界信息的关键入口和信息处理后的实际执行部件。



图 2.11 Meta FAIR 团队研发的视触融合的机械手臂，数据来源：

Science Robotics

本次导航研究把视触融合的机械手臂作为类脑多模态协同感知的主要分支进行检索分析。

2.2 国内外产业发展环境

2.2.1 产业政策

2.2.1.1 国际政策

2013 年，美国“脑计划”（Brain Research through Advancing Innovative Neurotechnologies，BRAIN

Initiative) 是由白宫科学技术政策办公室发起的一项政府与民间联合支持的研究计划^[14]。其通过推动创新神经技术开展大脑研究,旨在研究大脑的工作机制以彻底更新人类对大脑的理解,绘制大脑动态图谱以显示单细胞在复杂神经回路中的时空互作,以及针对无法治愈的大脑疾病开发新疗法。该政策颁布后,国立卫生研究院(National Institutes of Health, NIH)、国家自然科学基金会(National Science Foundation, NSF)和国防高级研究计划局(Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA)分别实施相应计划,其政策内容中都包括了脑机接口技术的发展并各有侧重。

2013年,欧盟启动“人脑计划”(Human Brain Project, HBP) (邹丽雪, 国际比较视角下脑机接口发展政策差异分析及其对中国的启示, 中国科学院文献情报中心, 北京 100190), 投入 6.07 亿欧元, 是欧洲最大的研究项目之一, 也是欧洲三大未来和新兴技术旗舰计划之一, 为期 10 年。该计划关注 10 个重点领域, 其中意识和认知、脑图谱、大脑模拟、医疗数据分析等重点领域研究都与脑机接口研究密切相关。欧盟侧重于大脑模拟, 更加注重计算、神经信息学和人工智能等跨学科方法的应用, 同时针对大脑研究及其应用产生的社会和伦理影响开展了研究。欧盟在“人脑计划”实施的 4 个阶段积累了非常重要的大脑数据, 并建设了脑科学研究基础设施, 每个阶段的成果、数据、工具等为脑机接

的发展提供了重要的资源和平台。

2022 年 3 月起，在“人脑计划”即将结束之际，欧盟又起草了《数字大脑研究的未来十年：未来神经科学技术与计算交叉的愿景》报告，旨在制定欧盟“人脑计划”未来发展路线图，确定下一个 10 年的数字大脑研究概念和共同目标。

2016 年，在澳大利亚科学院的支持下，澳大利亚神经科学学会、心理学会、科学院国家大脑和心理委员会共同组建澳大利亚大脑联盟（Australian Brain Alliance, ABA），旨在协调和促进澳大利亚大脑的战略性研究。2017 年，澳大利亚大脑联盟提议建立“澳大利亚脑计划”（Australian Brain Initiative, ABI），为期 5 年，投入 5 亿澳元，提出 4 项挑战，包括优化和恢复健康大脑功能、开发神经接口来记录和控制大脑活动以恢复功能、了解学习的神经基础以及为大脑启发的计算提供新见解，旨在协调澳大利亚大脑研究人员和其他学科的科学家的研究，破解大脑密码。

日本脑/思维计划 Brain/MINDS（Brain Mapping by Integrated Neurotechnology for Disease Studies），于 2014 年 6 月启动，该项目研究集中在三个领域：对普通猕猴大脑的研究、开发脑图绘制技术和人类脑图谱，其中相关研究涉及脑机接口技术，已有新闻和文献报道日本脑机接口研究。该项目将在 10 年内受到日本教育部、文化部以及日本医学研究与发展委员会共 400 亿日元的资助。

1998 年，韩国政府颁布了《大脑研究促进法》（Brain Research Promotion Act），韩国神经科学在第一个和第二个大脑研究促进基本计划（Brain Research Promotion Basic Plans）的基础上取得了显著进展。为了引领神经科学的创新，韩国政府决定在第三个大脑研究促进基本计划（2018~2027）之前推动一项为期十年的国家脑计划。2016 年 5 月 30 日，韩国政府宣布了韩国脑计划（Korean Brain Initiative, KBI），旨在推进脑科学和促进神经科学与产业的互动。其致力于基础研究，对诸如阿尔兹海默症（Alzheimer's disease AD）和帕金森病（PD）等神经退行性疾病进行临床研究，开发适用于基础和临床研究的新型神经技术。韩国脑计划是由韩国脑科学研究所（Korea Brain Research Institute, KBRI）、韩国科学技术研究院脑科学研究所（Brain Science Institute of Korea Institute of Science and Technology）以及由来自多所大学的科学家组成的神经工具开发小组三个研究机构牵头。研发项目的范围包括（1）建立多尺度的脑图谱；（2）开发用于绘制脑图谱的创新型神经技术；（3）加强与人工智能相关的研发；（4）开发针对神经系统疾病的个性化药物。

表 2.1 国际脑科学和类脑智能产业政策

发 布 时间	发布国家	政策名称	主要内容
2013	美国白宫	美国“脑计划”（Brain	●研究大脑的工作机制以彻底更新

年	科学技术政策办公室	Research through Advancing Innovative Neurotechnologies, BRAIN Initiative)	人类对大脑的理解, 绘制大脑动态图谱以显示单细胞在复杂神经回路中的时空互作, 以及针对无法治愈的大脑疾病开发新疗法
2013 年	欧盟	“人脑计划” (Human Brain Project, HBP)	● 开发研究脑和认知神经科学的平台, 重点领域包括意识和认知、脑图谱、大脑模拟、医疗数据分析等 ● 建设泛欧大脑研究基础设施 EBRAINS, 为研究人员开放和共享开发的模拟工具、设施、资源、大脑数据集和图谱等 ● 针对神经科学相关伦理问题开展研究
2022 年	欧盟	《数字大脑研究的未来十年: 未来神经科学技术与计算交叉的愿景》	● 短期目标: 扩展多层次人脑图谱, 建立一套复杂的高分辨率脑区模型 ● 中期目标: 发展全脑模型, 辅以全脑计算方法, 在诊断中应用数字孪生脑模型用于监测意识等 ● 长期目标: 开发真实的、大规模的具有感觉运动功能、认知、感知和语言功能的大脑模型
2016 年	澳大利亚科学院	澳大利亚大脑联盟	● 优化和恢复健康大脑功能、开发神经接口来记录和控制大脑活动以恢复功能、了解学习的神经基础以及为大脑启发的计算提供新见解
2014 年	日本	“脑科学时代”计划	● 制造出转基因猕猴, 并建立猕猴脑发育以及疾病发生的动物模型, 利用这种动物模型研究人类认知功能, 来加快对人类大脑疾病, 如老年性痴呆和精神分裂症等精神病和神经性疾病的诊断治疗方法。
2016 年	韩国	韩国脑计划	● 建立多尺度的脑图谱; 开发用于绘

2.2.1.2 国内政策

2016 年 7 月，国务院发布的《“十三五”国家科技创新规划》将脑科学与类脑研究列入科技创新 2030—“脑科学与类脑研究”重大项目，提出以脑认知原理为主体，以类脑计算与脑机智能、脑重大疾病诊治为两翼搭建关键技术平台，抢占脑科学前沿研究制高点（国务院关于印发“十三五”国家科技创新规划的通知，https://www.gov.cn/gongbao/content/2016/content_5103134.htm）。

2016 年 10 月，国务院通过《关于加快发展康复辅助器具产业的若干意见》，支持脑机接口等新技术在康复辅助器具产品中的集成应用。

2017 年 6 月，科技部在《“十三五”医疗器械科技创新专项规划》中提出加强人工智能、神经工程和机器人的前沿技术在医疗康复中的应用研究，加快发展康复、助残、养老等相关的人机交互、脑-机接口、人-机-电融合与智能控制等关键技术。

2018 年 12 月，工业和信息化部在《关于加快推进虚拟现实产业发展的指导意见》中，要求加快脑机接口等感知交

互设备的研发及产业化。2021 年 3 月，国家“十四五”规划将脑科学与类脑研究作为科技前沿领域攻关内容，提出加强类脑计算与脑机融合技术原创性引领性科技攻关。

2021 年 9 月 16 日，科技部发布《科技创新 2030—“脑科学与类脑研究”重大项目 2021 年度项目申报指南》，标志着“中国脑计划”正式启动，该计划为“一体两翼”结构，主体结构是脑认知功能的神经网络基础，两翼分别是重大脑疾病的诊断和诊疗方法、脑机智能技术。脑机智能技术则包括脑机接口和类脑研究两方面内容，项目资助金额预算达 31 亿元，部署 59 个研究方向。

2021 年 10 月，工业和信息化部、民政部、卫生健康委联合发布《智慧健康养老产业发展行动计划(2021--2025 年)》，提出攻关适用于家庭服务机器人的脑机接口等关键技术。

2021 年 12 月，工业和信息化部、国家卫生健康委员会等十部门共同制定《“十四五”医疗装备产业发展规划》，支持发展脑机接口、人-机-电融合与智能控制技术的新型护理康复装备，攻关可穿戴设备用脑电图传感器，促进脑起搏器应用，提升重点医疗装备供给能力。

表 2.2 中国脑机接口产业政策

发布时间	发布单位	政策名称	主要内容
2016 年 7 月	国务院	《“十三五”国家科技创新规划》	●将脑科学与类脑研究列入科技创新 2030—重大项目，

			提出以脑认知原理为主体，以类脑计算与脑机智能、脑重大疾病诊治为两翼搭建关键技术平台，抢占脑科学前沿研究制高点
2016 年 10 月	国务院	《关于加快发展康复辅助器具产业的若干意见》	●支持脑机接口等新技术在康复辅助器具产品中的集成应用
2017 年 6 月	科技部	《“十三五”医疗器械科技创新专项规划》	●加强人工智能、神经工程和机器人的前沿技术在医疗康复中的应用研究，加快发展康复、助残、养老等相关的人机交互、脑-机接口、人-机-电融合与智能控制等关键技术
2018 年 12 月	工业和信息化部	《关于加快推进虚拟现实产业发展的指导意见》	●要求加快脑机接口等感知交互设备的研发及产业化
2021 年 3 月	国务院	《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》	●将脑科学与类脑研究作为科技前沿领域攻关内容，提出加强类脑计算与脑机融合技术原创性引领性科技攻关
2021 年 9 月	科技部	《科技创新 2030—“脑科学与类脑研究”重大项目 2021 年度项目申报指南》	●重点支持新型无创或微创脑机接口技术、柔性脑机接口、面向癫痫诊疗的反应性神经调控脑机交互技术、面向运动和意识障碍康复的双向-闭环脑机接口、面向重大脑疾病诊治的新技术方法
2021 年 10 月	工业和信息化部、民政部、卫生健康委	《智慧健康养老产业发展行动计划（2021—2025 年）》	●支持突破康复干预技术、神经调控技术、运动功能康复评估与反馈等核心技术。攻关适用于家庭服务机器人

			的环境感知、脑机接口、自主学习等关键技术
2021 年 12 月	工业和信息化部、国家卫生健康委员会等	《“十四五”医疗装备产业发展规划》	●发展脑机接口、人-机-电融合与智能控制技术的新型护理康复装备。攻关可穿戴设备用脑电图传感器，促进脑起搏器应用

2.2.2 市场趋势

近年来，脑机接口技术成为全球科技前沿领域中最受瞩目的增长点之一，随着神经科学、人工智能和微电子技术的迅速发展，BCI技术正逐渐从实验室走向商业化应用。在2014年之前，脑机接口商业投融资活动较少，每年平均仅通过三项，交易筹集仅2400万美金。自2016年开始脑机接口投融资快速发展，并且在此后几年中均产生了多个超一亿美元的大规模融资轮次（见图2.12）。在2021年达到7.5亿美元的最高点。埃隆·马斯克创立的神经假体和神经植入物公司Neuralink在C轮融资中筹集了2.05亿美元，是2021年脑机接口领域最大的一笔投融资。2022年脑机接口的投融资轻微下滑，但由于Neuralink在D轮融资中筹集了3.23亿美元，使得脑机接口领域的投融资在2023年上涨到6.96亿美元。截至2025年2月，全球BCI领域投融资事件超过1500起，其中，美国相关事件超过700起；中国相关事件超过200起。2024年，在经济下行压力增大的背景下，仍有部分企业获得

了高额融资，如Precision Neuroscience公司在 2024 年获得 1.02 亿美元C轮融资，成为BCI行业资金最充足的公司之一。2025 年 2 月，上海阶梯医疗科技有限公司获得 3.5 亿元 B轮融资，是中国植入式BCI行业较大一笔融资^[15]。



图 2.12 全球脑机接口领域投资变化情况

据Grand view Research统计数据，全球脑机接口市场规模由 2019 年的 12 亿美元，逐年增长至 2024 年的 24.8 亿美元，2019—2024 年年平均增长率超 21.3%，并且根据测算到 2029 年全球脑机接口产业规模将达到 76.3 亿美元。

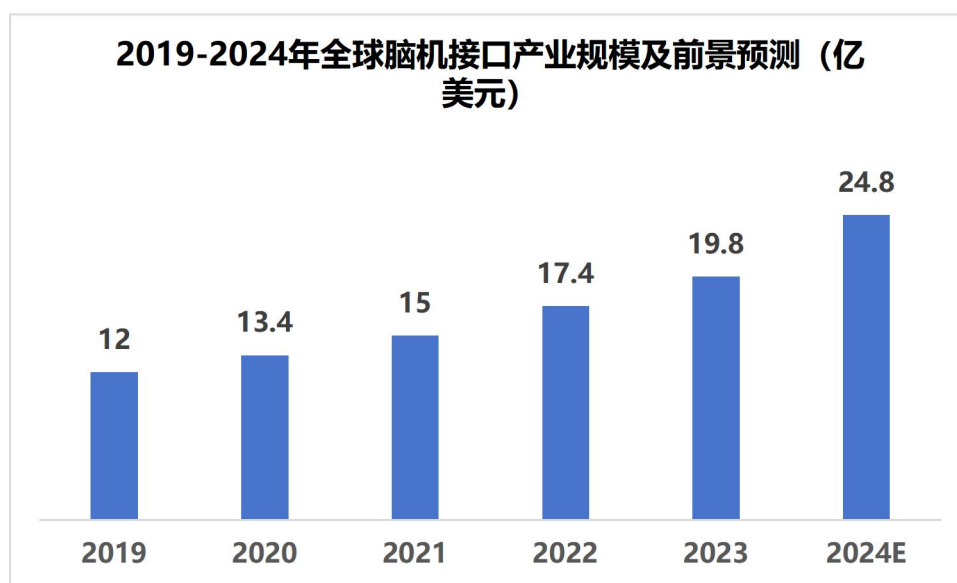


图 2.13 2019—2024 年全球脑机接口产业规模及前景预测(单位: 亿美元)

2020—2023 年我国的脑机接口市场逐年增长, 2020 年市场规模仅约 10 亿元, 至 2023 年增长至 17.3 亿元, 年均增长率 24.3%。表明我国近年来在脑机接口领域投入及产出均不断扩大, 在全球市场的占比也增长至 2023 年的 12.5%^[16]。

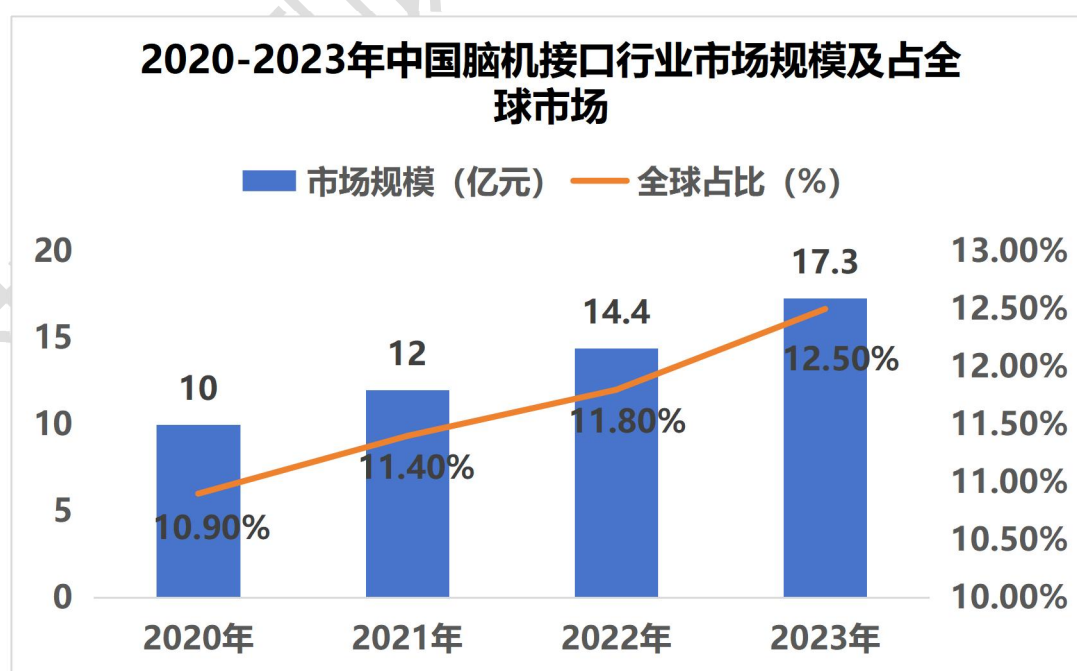


图 2.14 2020—2023 年中国脑机接口行业市场规模及占全球市场规模比重（单位：亿元，%）

随着各国对类脑计算愈发重视，全球类脑计算领域的研究近年来进入快速发展期，该领域的研究水平不断上升。从论文数上看，在Web of Science数据库中以Brain-like、Neuromorphic Computing、Brain-inspired、Deep Neural Network 为关键词检索的论文新增数量在近五年成倍增长，由 2014 年的 266 篇上升至 2019 年的 9225 篇。

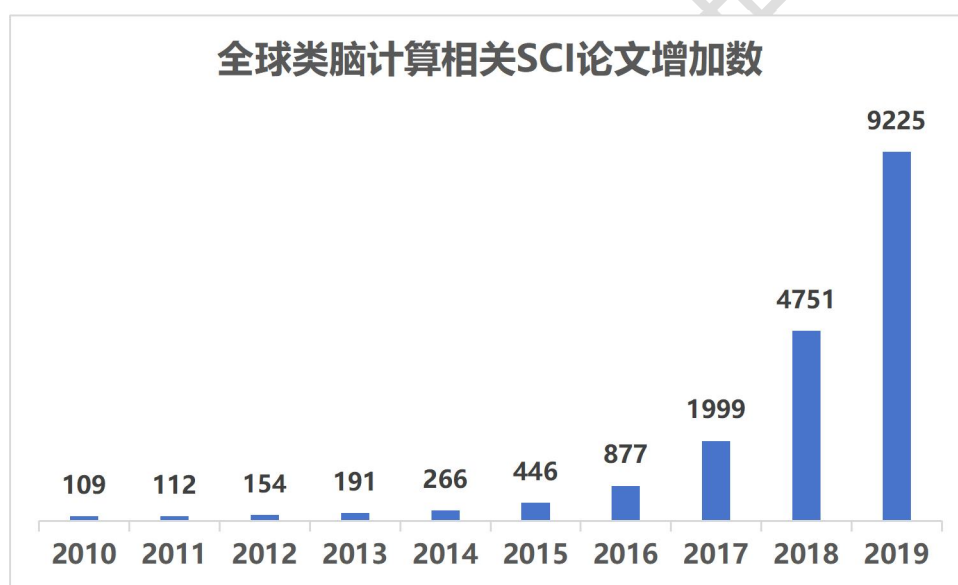


图 2.15 全球类脑计算相关SCI论文增加数

从各国发表的SCI论文总数上看，我国处于领先地位。1999 年至 2019 年，我国以 7683 的论文总量远远领先于其他国家，占全球类脑计算论文的 40% 左右。美国以 4941 的论文总数位列第二，韩国、英国、德国以 1321、1204、994 的论文总数分列三至五名。此外，日本、加拿大、澳大利亚、

印度、法国、意大利、西班牙等国的论文总数超过 500 篇，具备一定的研究基础。

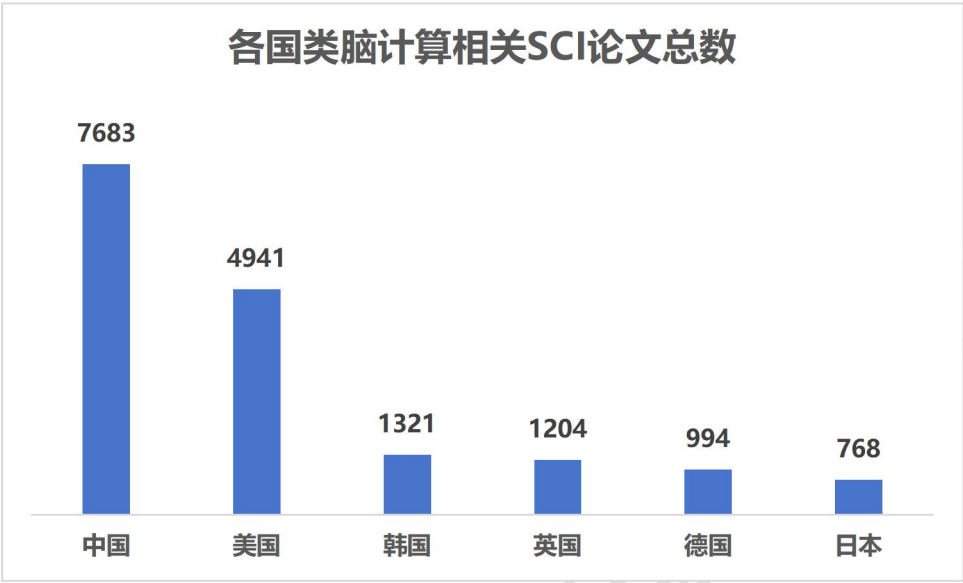


图 2.16 各国类脑计算相关 SCI 论文总数

从现状来看，全球主要国家投入了大量的资金和人力，希望通过脑研究在类脑芯片领域取得领先。根据Gartner分析报告，类脑芯片最快将于 2023 年成熟，能效比有望较当前芯片高 2 ~ 3 个数量级，2024 年将达到 65 亿美元市场规模。但与依靠冯诺依曼结构的CPU、GPU、ASIC芯片相比，目前的类脑芯片相对处于概念阶段，大规模的商业化应用有待推进，尚未形成事实的产业标准，产业蕴藏大量发展机会。

2.2.3 技术现状

随着类脑智能相关技术在学术界和产业界的快速发展，当前类脑智能的主流研究方向逐渐成形，并在多个方向上取得了较大进展，下面选取脑机接口、类脑计算和类脑感知的最新进展进行介绍。

2.2.3.1 脑机接口

脑机接口技术从1988年开始进入了快速发展阶段，多项关键学术研究和技术创新使得脑机接口逐渐从实验室走向实际应用。1988年，研究人员提出了基于P300成分的BCI系统，他们开发了一个拼写器系统，用户可以通过观察闪烁的字母来选择字符。进入21世纪以来，脑机接口技术取得了显著的进步。在硬件方面，小型化多通道放大器技术日趋成熟，诸如干电极、水凝胶电极的新一代传感器不断涌现；在交互范式方面，混合脑机接口、情绪脑机接口、认知脑机接口等诸多新范式相继涌现并日益成熟；在算法研究方面，先进的脑电信号处理和机器学习算法被应用于早期的BCI范式，显著提升了系统的性能，特别是减少了受试者需要的训练时间。从2013年到2022年，脑机接口的应用解决方案开始增多，应用范围由医疗扩展到非医疗。从2023年开始，预计到2032年结束，有望在十年内实现“应用解决方案效果良好，多类解决方案走向成熟商用”的目标。

目前，电极式采集传感技术是主流产业化方向，电极在非植入式采集传感技术的占比较为显著，随着微纳加工技术和电极材料的不断发展，微电极趋向于柔性、小型化、高通量和集成化发展，形成了以微丝电极、硅基电极和柔性电极为主的多元化发展局面。未来会以舒适度、小型化、便携性、易用性、提升信号质量作为研发方向，而利用低杨氏模量生

物材料和高性能界面材料制备柔性电极成为该领域的热点。信号编解码方面，将 P300 电位与其他物理刺激融合的范式研究是今年的热点；SSVEP 在目前的研究中，采用时频混合或时空频融合的编码方式，提升毛发区的 SSVEP 的响应强度；运动想象范式在大肢体部位的控制已经基本发展成熟，如何对更细微的运动作出想象并进行有效识别，是该范式编码的发展方向。信号解码当前的主流技术集中在植入式的卡尔曼滤波器以及非植入式的分解算法，黎曼几何、迁移学习、机器学习等等。

脑机接口技术面临的主要技术挑战包括信号感知的准确性和数据处理的复杂度。不论是侵入式还是非侵入式技术，都需要解决信号感知的准确性问题，尤其是在提高信号的传输速度方面。长期稳定性和生物相容性也是重要问题，因为侵入式设备可能会引发免疫反应或随着时间推移而逐渐失去信号质量。此外，数据处理的复杂度也是一个关键问题，尤其是在处理大量脑电信号时。对于人脑的理解仍然相对有限，神经元机理等脑机制研究有待深入。在硬件方面，国内生产的脑电采集设备在科研仪器市场的占有率较低，大多数研究使用的仍然是体积大、重量重、便携性差的高精度、多导联脑电采集设备。因此，迫切需要开发便携化、高性能的脑电采集及记录硬件来支持技术转化^[1]。

2.2.3.2 类脑计算

类脑计算起源于 20 世纪 40 年代、兴盛于 80 年代的人工神经网络 (Artificial Neural Networks) 可被广义上看作早期的类脑计算尝试，即用节点的激励函数来模拟神经元、利用节点间的连接权重模拟记忆。

1989 年，加州理工学院的卡弗·米德提出了“类脑工程”概念，采用亚阈值模拟电路来仿真脉冲神经网络，其应用是仿真视网膜。从 20 世纪 90 年代到 21 世纪初，基于冯·诺伊曼架构的处理器主频与性能持续增长，而基于仿真主义的类脑计算则沉寂十余年。自 2004 年起，类脑计算经过十多年的小众研究，开始成为热点。

虽然各国都已经开始布局类脑智能的研发，但从已有支持政策以及重点学术成果上看，关注点各有侧重。美国重视相关理论建模、脑机接口、类脑硬件等方面，将大脑的新技术和实现脑科学的新发现(包括绘制堪比人类基因图谱的“人类大脑动态图”)是“BRAIN 计划”的目标；日本的“脑科学战略研究项目”(SRPBS)重点开展脑机接口、脑计算机研发和神经信息相关的理论构建，该项目侧重在实现各层次脑功能的模拟；欧盟的“人脑计划”重点开展策略性人脑数据、脑研究数学与理论基础、大脑仿真平台、计算平台等领域的研究；韩国则重视脑图谱绘制和核心技术开发等领域。

而我国发布的“中国脑计划”(即“脑科学与类脑研究”国家重大科技专项)侧重以探索大脑认知原理的基础研究为主

体，发展类脑人工智能的计算技术和器件，应用方向主要为研发脑重大疾病的诊断干预手段。结合先前开展的“情感和记忆的神经环路基础”“脑功能联结图谱”等专项研究计划，我国脑科学研究已经铺开。

类脑计算主要研究创新分为三大部分，一是脉冲神经元建模，即对大脑信息基础处理原理的研究；二是脉冲神经网络的训练与学习算法，即对建模模拟的软件实现；三是类脑传感器，即将上述软件算法镶嵌在硬件中完成应用实现。

目前，类脑计算的发展还处于前期的实验室研究阶段，离工业界的实际应用还有较大差距，但这也为研究者提供了新的研究方向与机遇。专家预测，如果基于脉冲神经网络的类脑计算，在未来 5-10 年取得突破性进展，则有望实现大规模产业化应用。

类脑智能是高度交叉融合的研究领域，与数学、计算机、信息学、生物学、医学、生物医学工程等多学科关系密切，这些领域新方向和新技术的产生，都有望推动类脑计算的发展。因此，类脑计算的发展需要整合国家、区域相关研究力量和资源，加强资源开放共享，注重融合创新，培养复合型人才科研团队，进一步推动相关新技术、新方法的研究^[15]。

2.2.3.3 类脑感知

清华大学类脑计算研究中心在类脑视觉感知技术上提出了一种创新的互补感知新范式。这一范式包括基于原语表

示和两条互补的视觉通路。通过借鉴人类视觉系统的基本原理，将视觉信息分解为基于原语的视觉表示，并通过有机组合这些原语，模拟人类视觉系统的特征，形成两条信息完备的互补视觉感知通路，并基于此范式研发了全球首款类脑互补视觉芯片“天眸芯”。该款芯片有望成为未来视觉感知、空间智能的基座技术，为智能驾驶、工业自动化、消费成像、科学测量等领域带来深远变革。

人工耳蜗作为类脑听觉感知的最重要的应用，是神经仿生领域最常用的植入体。人工耳蜗发展历经研发萌芽期、产品发展期、国产化阶段三个发展阶段。当前，我国人工耳蜗行业发展正处于国产替代阶段：1995年，中国首位人工耳蜗植入者出现；2006年中国企业诺尔康购买了加州大学人工耳蜗技术专利；2011年，上海力声特取得中国首个耳蜗产品注册证。目前，全植入人工耳蜗具有创新性意义，它无需体外声音处理器，利用骨传导或压电传感器实现声音采集，能实现真正的“隐形聆听”，听障人士在游泳、睡眠等场景下都可无感使用，极大地提升了使用体验。澳大利亚的Cochlear公司的TIKI系统采用颞骨振动传感器替代传统麦克风，已完成人体可行性研究，预计2025年进入关键性临床试验。当前的技术瓶颈主要集中在能量密度限制（当前锂电池能量密度 $\leq 700\text{Wh/L}$ ），皮下麦克风的信噪比损失（约15dB），电磁兼容性问题（与MRI等医疗设备的冲突），这也将是未来

研究的重点方向。

在多模态数据集中，视触觉信息因其丰富的触觉信息可视化而在近年来受到研究界的青睐。视触觉传感器的工作原理可以类比为—个微型的“接触成像系统”。当物体接触传感器表面时，弹性材料会根据接触力的大小和方向产生不同程度的形变。这些形变通常肉眼难以分辨，但借助特殊设计的光学系统和高分辨率摄像头，可以将微小形变放大并转换为清晰的图像。GelSight 传感器作为视触觉传感器领域的佼佼者，由 MIT 的 Edward Adelson 团队在 2009 年首次提出。

“Gel”指代其弹性凝胶材质的表面，“Sight”则体现了其视觉工作原理——内置摄像头在 LED 灯光下捕捉物体与凝胶表面接触时产生的形变，并借助计算机视觉算法将其转化为触觉信息。但是其依赖复杂的视觉算法，需要较大的计算资源，因此在对实时性要求高的场景中可能会出现响应延迟，同时还会导致传感器发热量过大、输出的触觉信号频率降低等问题。而区别于 GelSight 的触觉感知技术方案采用的是红、绿、蓝三色光原理，香港科技大学机器人研究院创始院长王煜团队放弃三色光，采用单色光图案追踪原理，通过计算机视觉追踪特征点，结合几何标定，将二维形变场重建为三维稠密形变场。这不仅打破了 MIT 的技术壁垒、实现了视触觉传感器自主知识产权的突破，更具备小型化、算力要求低等优势。最终，其孵化出中国唯一一家具有自主知识产权

产权视触觉传感器的企业——戴盟机器人。戴盟机器人进一步研发了一套独立的数据收集外骨骼,已解决其如何采集大量真实世界的训练数据,该设备无需依赖机器人本体,只需穿戴者在日常生活中的简单动作,即可实现触觉信息的有效收集与回传。

2.2.4 市场主体

1、 Neuralink

Neuralink成立于2016年,由特斯拉和SpaceX的创始人Elon Musk创办。该公司致力于开发高带宽的侵入式脑机接口技术,其目标是实现人类与人工智能的共生,使人类能够跟上人工智能的发展步伐。Neuralink的技术具有高度创新性,其研发的植入物能够将1024根电极线植入到大脑的某块区域,采集大脑活动的电信号,并通过无线传输的方式将信号传导到终端设备。2020年,Neuralink公布了硬币大小、电池供电的N1芯片植入计划,并展示了其成功采集了猪的大脑电生理信号。2021年,Neuralink通过柔性电极让猴子实现意念玩电子游戏,这一成果引起了全球的广泛关注,展示了其在脑机接口技术方面的领先地位。2024年,Neuralink完成首例人类大脑设备植入手术,术后患者能用大脑控制笔记本电脑打游戏,这一突破性进展进一步证明了其技术的可行性和潜力。Neuralink采用“缝纫机式”植入技术,通过微型电极丝实现高通量脑电信号采集,单设备可支持3072

个电极触点。2025 年，其N1 植入物通过优化算法，将意念控制外部设备的延迟缩短至 50 毫秒以内，接近自然神经反应速度。

2、 BrainGate

BrainGate是由布朗大学等多所高校组成的研究联盟，其专注于侵入式脑机接口技术的研究和应用。BrainGate的技术主要应用于医疗康复领域，旨在开发脑机接口技术以恢复瘫痪患者的沟通和行动能力。通过在患者大脑中植入电极，BrainGate能够采集大脑的神经信号，并将其转化为控制外部设备如假肢、轮椅等的指令。2023 年 8 月，BrainGate 研究合作的科学家在恢复因瘫痪而失去说话能力的人的语言方面达到了一个重要的里程碑，使用植入与语音相关的大脑皮层区域的传感器可以准确地将ALS患者的大脑活动转化为屏幕上的单词，这一成果为语言功能受损的患者带来了新的希望。目前，其联合哈佛开发非侵入式BCI头环，准确率达 95%。BrainGate在脑机接口技术的临床应用方面积累了丰富的经验，其技术在医疗领域具有较高的认可度和应用价值。

3、 Synchron

Synchron总部位于澳大利亚，致力于开发可植入大脑的医疗设备，目前 Synchron 开发了血管支架式电极（Stentrode），通过血管植入，无需开颅手术。Synchron

主要用于神经康复如瘫痪患者控制机械臂、轮椅、高级假肢控制，渐冻症（ALS）患者意念打字、智能家居控制等。

4、 强脑科技（BrainCo）

强脑科技（BrainCo）成立于 2018 年，是国内脑机接口领域的独角兽企业，融资金额超 2 亿美元，拥有大量相关专利。该公司专注于非侵入式脑机接口技术的研发和应用，开发了无需导电膏的干电极传感器，极大提升了脑电信号采集的便捷性和精度，其产品涵盖了医疗康复、教育、智能家居等多个领域。在医疗康复领域，强脑科技的智能仿生手获得了 FDA 认证，能够帮助手部功能障碍患者恢复部分手部运动能力。在教育领域，其开发的脑机接口产品可以帮助学生提高注意力和学习效率。强脑科技还在智能家居领域进行了探索，通过脑机接口实现对家居设备的智能控制，为用户带来更加便捷的生活体验。

5、 博睿康医疗科技

博睿康医疗科技（上海）有限公司研发的脑机接口产品 NEO 是中国首款进入创新医疗器械审查的脑机接口产品，预示着我国在这一前沿领域的逐步突破。该公司与清华大学洪波教授团队合作开发的硬币大小的脑机接口产品，已植入多位瘫痪病人大脑，让他们能够完成下床坐轮椅、端起水杯喝水等动作。目前该产品仍处于临床试验阶段，预期将通过多中心临床试验后取得三类医疗器械注册证。博睿康在脑机

接口技术的临床转化方面走在了国内前列，为我国脑机接口技术在医疗领域的应用提供了重要的实践经验。

6、浙江诺尔康

浙江诺尔康神经电子科技股份有限公司成立于2006年，是一家生产经营神经电子医疗器械的高科技企业，其专注于神经电刺激技术，主要开发神经假体和神经调控产品，核心产品为人工耳蜗。作为全球第四家具备人工耳蜗制造能力的企业，其产品覆盖听力、视力、泌尿系统及神经调控四大领域。其自主创新的机器听觉系统能在复杂声音环境下分辨目标信号方面展现出领先水平。该系统结合机器学习技术，能在多种声音混叠的情况下，精准捕捉重要信号，为智能辅听领域带来技术革新。针对用户在复杂听声环境下面临的言语识别率下降问题，诺尔康团队巧妙地在人工耳蜗体外机中融入了声音场景识别算法。

7、深圳市越疆科技

深圳市越疆科技股份有限公司成立于2015年，致力于轻量型智能机械臂及协作机器人的研发、生产和销售，产品广泛应用于工业自动化、教育科研、医疗健康等领域。其核心技术包括：轻量型机械臂技术，可以通过高精度电机控制和模块化设计，实现安全、灵活的人机协作；AI视觉系统是集成深度学习算法，支持复杂环境下的目标识别与路径规划。越疆科技推出的面向工业级精细操作全尺寸仿生人形机

器人——Dobot Atom，其核心零部件、软硬件系统采用了自主研发的工业级方案，搭载自研神经驱动灵巧操作系统NDS（Neuro-Driven Dexterity System）和仿人直膝行走系统AWS（Anthropomorphic Walking System），这也是全球首款“灵巧操作+直膝行走”双突破具身智能人形机器人，可实现跨场景、多台协同、胜任复杂操作泛化任务，引领具身智能技术向工业、服务等多元场景深度落地。

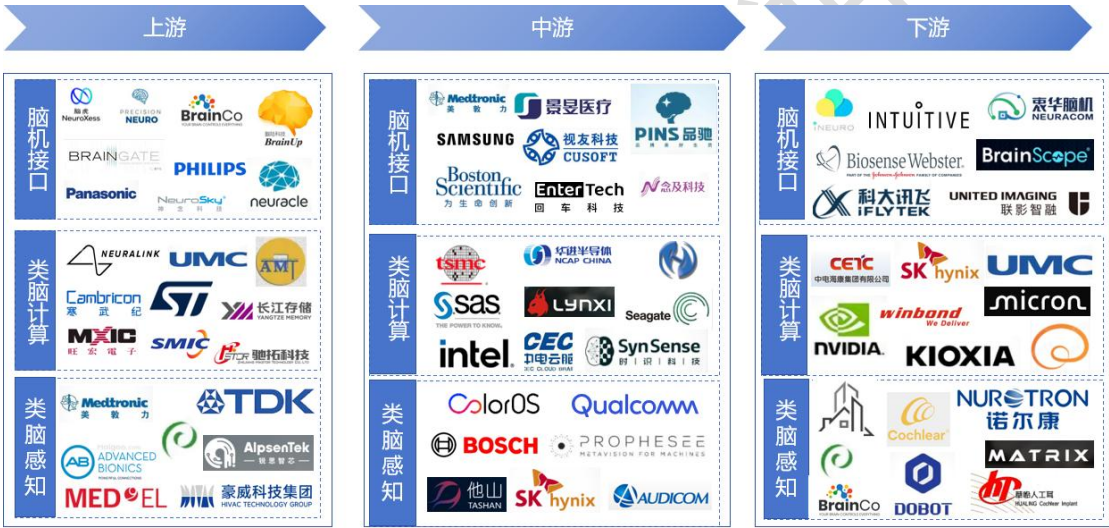


图 2.17 类脑智能产业链主体分布图

根据检索结果分析得到类脑智能产业链主体分布图如上
图 2.17，可以看到类脑智能产业链涵盖了从上游基础研究到下游实际应用的各个环节。在上游，主要由提供基础硬件如 BrainGate、美敦力、长江存储、博睿康、驰拓科技等企业构成，还包括了进行基础理论研究以及算法原型开发的企业，它们是整个产业链的技术基石，给类脑智能产业链提供了必要的技术支持和发展方向。中游聚集了专门从事算法开发、软件设计及平台构建的科技公司和研究机构如回车科

技、念及科技、华进半导体、英特尔、Prophesee等等，这些主体利用产业链上游提供的硬件支持，开发出能够模拟人脑处理信息方式的软件产品或解决方案，是构建起从理论到实践的桥梁，使得类脑智能技术能够被更广泛地应用到不同的场景中去。下游则包括将这些技术应用到不同行业如临床医疗、智能家居等领域的企业，像浙江诺尔康、衷华脑机、强脑科技、人工耳蜗公司等等，它们根据各自行业的特定需求，定制化地采用类脑技术和产品，从而实现技术创新对社会生产力的提升和人们生活方式的改变。

2.3 浙江省产业发展环境

2.3.1 产业政策

1、省级层面政策

浙江省人民政府办公厅印发《关于培育发展未来产业的指导意见》：探索发展 6 个潜力巨大的未来产业。围绕量子信息、脑科学与类脑智能、深地深海、可控核聚变及核技术应用、低成本碳捕集利用与封存、智能仿生与超材料等 6 个领域的未来产业，加强基础研究和应用研究，取得一批重大科技成果，集聚产业发展创新能量。前瞻布局重点领域未来化发展，积极应对人口老龄化、气候变化、能源危机等挑战，多方向、多路径开展不确定性未来技术预研。

浙江省政府印发《关于下达 2025 年浙江省国民经济和社会发展规划的通知》：布局建设未来产业，深化“人工智

能+”行动，加快布局人形机器人、量子信息、类脑智能、合成生物、空天信息和低空经济等新产业新业态，建立未来产业投入增长机制，培育一批未来产业先导区。

表 2.3 浙江省类脑智能产业政策

发布时间	发布单位	政策名称	主要内容
2021 年	科技部	长三角科技创 新共同体建设 发展规划	●在智能计算、高端芯片、智能感知、 脑机融合等重点领域加快布局，筹建 类脑智能、智能计算、数字孪生、全 维可定义网络等重大基础平台。
2022 年	浙江省科学技 术厅	关于印发《三省 一市共建长三 角科技创新共 同体行动方案 (2022-2025 年) 》的通知	●推动重点产业基础高级化。加快促 进量子计算、类脑智能、细胞治疗、 人类表型组等领域重大基础研究成 果产业化。聚焦产业基础能力薄弱环 节，推动在科技成果转化、主体培育、 精益品质、产业链保障能力等方面实 现创新突破。
2023 年	省政府办公厅	浙江省人民政 府办公厅关于 培育发展未来 产业的指导意 见	●围绕量子信息、脑科学与类脑智 能、深地深海、可控核聚变及核技术 应用、低成本碳捕集利用与封存、智 能仿生与超材料等6个领域的未来产 业，加强基础研究和应用研究，取得 一批重大科技成果，集聚产业发展创 新能量。前瞻布局重点领域未来化发 展，积极应对人口老龄化、气候变化、 能源危机等挑战，多方向、多路径开 展不确定性未来技术预研。
2024 年	杭州市科学技 术局	杭州市科学技 术局关于印发 杭州市“新雏 鹰”企业培育管	●企业产品(服务)属通用人工智能、 人形机器人、类脑智能、合成生物、 低空经济、前沿半导体、未来网络、 空天信息、元宇宙、未来医疗、氢能

		理办法的通知	与储能、前沿新材料、柔性电子、量子信息等重点发展的未来产业领域。
2024 年	杭州市政府办公厅	杭州市人民政府关于印发杭州市未来产业培育行动计划（2025—2026 年）的通知	●发挥杭州数字经济产业优势，围绕五大产业生态圈建设，优先推动通用人工智能、低空经济、人形机器人、类脑智能、合成生物等五大风口潜力产业快速成长，积极谋划布局前沿领域产业。
2025 年	浙江省人民政府	浙江省人民政府关于下达 2025 年浙江省国民经济和社会发展计划的通知	●布局建设未来产业，深化“人工智能+”行动，加快布局人形机器人、量子信息、类脑智能、合成生物、空天信息和低空经济等新产业新业态，建立未来产业投入增长机制，培育一批未来产业先导区。

2、市区级层面政策

杭州市人民政府印发《关于推动经济高质量发展的若干政策（2025 年版）的通知》：因地制宜布局新质生产力产业赛道。加快五大产业生态圈建设，清单化落实各项具体支持政策。大力发展通用人工智能、低空经济、人形机器人、类脑智能、合成生物等五大风口潜力产业以及未来网络、先进能源、前沿新材料、商业航天、无人驾驶等前沿领域产业，争创国家级、省级未来产业先导区。

杭州市人民政府关于印发《杭州市未来产业培育行动计划（2025—2026 年）的通知》：发挥杭州数字经济产业优势，围绕五大产业生态圈建设，优先推动通用人工智能、低空经济、人形机器人、类脑智能、合成生物等五大风口潜力产业

快速成长，积极谋划布局前沿领域产业。

2.3.2 产业基础

类脑智能产业生态圈包含四个层面：第一层是专业研究机构处于核心层；第二层是基础设施行业企业，比如类脑智能处理器、芯片、计算机、传感器企业等；第三层是产业链供应链，涵盖类脑智能相关的硬件生产企业、软件开发企业等；第四层是类脑智能科技赋能企业，包括智能服务网络、算力网、互联网等企业。

1、产业实力与创新环境

浙江省类脑智能产业发展已走在全国前列，省内拥有浙江大学脑机智能全国重点实验室、浙江省脑机协同智能重点实验室等一系列科创平台，强脑科技、柔灵科技等企业领衔发展，产学研一体化程度高。其中浙江大学脑机智能全国重点实验室面向世界科技前沿与国家重大需求，针对脑与机的交互、融合、模拟、增强的科学问题与技术难题，聚焦脑机神经基础、脑机信息读写、脑机智能建模、脑机融合增强等基础理论与技术的研究，做有组织的科研。强脑科技致力于脑机接口技术底层技术的突破，通过在大脑和外部设备之间建立信号传送通路实现两者信息交换的方式为残疾人康复、孤独症等脑疾病提供了解决方案，目前已有多款产品上市。

2、资金支持与平台建设

浙江省 2024 年底出台《关于支持构建浙江特色现代服

务业体系的若干财政政策措施》，其中提到“支持重塑软件信息服务优势行动”：支持打造高端软件产业集群。实施首版次软件保险补偿政策。实施省级特色产业集群核心区协同区财政专项激励政策。落实国家软件产业税收优惠政策。鼓励有条件的地方支持开源社区、人工智能开放创新平台等建设。推动人工智能融合应用。鼓励地方在科学、制造、金融、交通、医疗等领域，支持形成一批垂直应用场景，省级财政给予奖补支持。实施省级未来产业先导区财政专项激励政策。支持人工智能领域有实力的企业围绕高端软件领域实施重大科技专项，符合条件的单个项目给予最高 1000 万元支持。设立浙江省科创（人工智能）母基金，支持人工智能领域发展。

杭州市也出台了《关于印发支持人工智能全产业链高质量发展若干措施》，从加快算力设施建设、培育模型开放生态、加快赋能实体经济、推动全产业链发展、强化人才队伍支撑等方面进行了部署。其中提到要鼓励企业开展算力关键技术研发攻关，市级按照有关政策给予支持。鼓励企业承担国家、省重点研发任务，加速形成重大科研成果，对符合政策规定的项目按国家、省实际到账资助经费的 25% 给予资助，资助金额不超过 500 万元。

3、人才扶持与人才引进

浙江省在人才培养和引进方面也具有显著优势。众多高

等学府和科研机构为类脑智能提供了大量高素质的专业人才和技术支持。例如，浙江大学设立了脑机智能全国重点实验室，聚焦于脑与机的交互、融合、模拟、增强等基础理论与技术的研究，培养了大量从事类脑智能研发和应用的专业人才。此外，浙江省还积极引进国内外优秀人才，通过人才引进计划、国际合作交流等方式，不断提升类脑智能产业的人才储备和创新能力。这些人才为浙江类脑智能产业的发展提供了源源不断的智力支持。

2.3.3 市场主体

1、杭州佳量医疗科技有限公司

公司于 2020 年 4 月成立，是一家专注于脑科学和神经外科领域前沿技术产业化的高科技平台型企业，主要团队成员来自浙大植入式脑机接口团队，主要业务为研发治疗药物难治型癫痫的医疗器械，并已扩展至脑肿瘤、帕金森、抑郁症的治疗。主要产品为 3 类，其一是植入式闭环自响应神经刺激系统 Epilcure，是一款全颅骨植入、无线充电的小型刺激器，用于癫痫病的脑部神经调控；其二是磁共振引导激光消融微创手术系统 LaserRO，是一款双波长、实时测温的脑部微创手术系统，用于脑部癫痫病灶的消融；其三是用于癫痫诊断的 SEEG 电极，已在杭州车间生产，为配套产品。上述方案同样可用于脑肿瘤、帕金森、抑郁症的神经调控和手术治疗。

2、杭州灵汐类脑科技有限公司

公司 2023 年 9 月成立，为北京灵汐科技有限公司旗下全资子公司，北京公司 2018 年成立，是一家全球领先的类脑计算技术公司，团队来自清华类脑芯片团队，研发的天机类脑芯片、类脑感知芯片相关论文两次荣登 Nature 封面。灵汐科技产品包括类脑芯片、计算模组、标准 PCIe 接口的计算板卡、智能终端设备、边缘智能计算盒子、类脑服务器、大模型一体机以及相关算法和软件，并提供为客户定制化服务。产品应用覆盖智算中心、各种边缘智能计算场景和消费市场，其类脑计算芯片单颗集成 25 万神经元，采用同时支持深度神经网络和脉冲神经网络的异构融合架构，相比于 GPU、CPU 等传统冯诺依曼架构芯片具有同性能下更低的能耗。

3、浙江诺尔康神经电子科技股份有限公司

浙江诺尔康神经电子科技股份有限公司成立于 2006 年，是一家生产经营神经电子医疗器械的高科技企业，集自主研发、生产、销售于一身。公司专注于神经电刺激领域，坚持自主研发及创新，产品下分神经假体、神经调控两大方向，目前已形成听觉重建类产品、视觉重建类产品、泌尿系统调控、脑部系统调控四个产品线的发展布局。主要产品有人工耳蜗、植入式电极、人工视网膜、植入式神经刺激系统、脑部神经刺激系统。诺尔康是中国第一家规模化生产人工耳蜗

的企业，也让中国成为继美国、澳大利亚、奥地利之后，世界上第四个能够自主生产人工耳蜗的国家。

4、杭州程天科技发展有限公司

公司成立于 2017 年，是一家以技术创新为核心驱动力的国家高新技术企业。致力于核心算法与核心元器件在内的外骨骼机器人技术的研发与应用，目前专注于康复与养老领域，通过结合人机交互技术、人工智能技术、数据分析以及云计算为医疗康养机构和个人用户提供智能化产品和解决方案。公司在全国多地建设有工厂、研发中心和康复中心，通过机器人技术提升人体机能，拓展外骨骼技术在健康、工业、运输、安全、娱乐等领域的应用，以实现“人类 plus”为目标，最终让每一个人享受机器人的服务。主要产品有下肢外骨骼康复步行器、帮扶机器人、关节模组。

5、杭州暖芯迦电子科技有限公司

暖芯迦电子科技有限公司成立于 2014 年，是一家专门从事神经接口与生物传感研发的技术型企业，已有 17 年以上的研究和开发经历。目前公司在杭州、上海、深圳、澳大利亚墨尔本、越南胡志明市等多地设有办公室。公司具备晶圆&MEMS 封装、体外/植入式组件、终端产品的完整产业链供应能力，已成功研发高密度神经刺激芯片、生物分子信号连续检测芯片、脑电检测芯片、可编程神经刺激芯片等多款产品，芯片关键指标处于国际领先水平。同时还有高分辨率视

觉脑机接口、64 通道神经元动作电位检测芯片等多款产品在研。

6、博灵脑机（杭州）科技有限公司

博灵脑机（杭州）科技有限公司成立于 2021 年，是由浙江大学科研团队和上市公司创新医疗集团共同出资成立的以脑机接口为核心技术的科技公司，是浙江省科技厅“尖兵”“领雁”研发攻关计划项目单位、浙江省科技型中小企业、创新型中小企业。公司深度聚焦脑科学研究与医疗健康领域的成果转化，专注于中风偏瘫人群康复训练与生活辅助器具的设计开发和应用。依托脑机接口技术，陆续研发推出了国内首款上肢外骨骼康复系统、上肢运动功能辅助与增强系统、手部康复训练系统、神经信号采集装置，帮助患者提高基础生活质量。

7、杭州曼安智能科技有限公司

杭州曼安智能科技有限公司成立于 2014 年，是一家业内领先，专业从事高性能脑机接口研发及产业化应用的国家高新技术企业，是“5050 计划”重点扶持企业，中国创新创业大赛“全国优秀企业”。公司致力于高性能脑电信号采集/处理仪、高性能脑机接口控制器等高精尖技术产品的研发和产业化应用，产品多项关键指标处于国际先进水平，主要产品有高性能脑机接口系统、脑功能测评系统、脑功能提升训练系统、孤独症/多动症/抑郁症数字干预系统。

8、杭州妞诺科技有限公司

妞诺科技是一家神经科学领域脑电解决方案供应商，连接医生、患者、数据，聚焦于健康医疗领域，提供高准确度的脑电数据动态实时记录设备和服务，通过移动医疗领域的脑病理数据库及大数据分析，为应用领域提供脑电解决方案。主要产品有脑疾病筛查和诊断的脑电 AI 大数据平台、脑电一张网系统阿尔茨海默病早筛 AI 算法服务、智能化脑电硬件产品。

2.3.4 产业发展问题

2.3.4.1 技术应用受限

目前，类脑智能技术在应用层面存在诸多限制。在脑机接口领域，技术竞争较为激烈，企业普遍面临技术落地难的问题，缺乏优质应用场景。在类脑计算领域，应用难题同样突出。一方面，技术通用性不足。不同行业需求差异大，导致算法和硬件难以复用，碎片化需求迫使企业重复开发，推高成本；另一方面，技术成熟度制约场景扩展。芯片量产良品率低、算力规模有限等问题限制了复杂场景下的应用。为突破上述瓶颈，需要进一步推进技术能力、产业生态与市场需求的深度融合。通过协同创新，提升技术的通用性和成熟度，优化产业资源配置，精准对接市场需求，构建良好的产业生态体系。

2.3.4.2 规模化程度低

类脑智能领域学科交叉性强，技术研发难度大，而且投资回报周期较长，导致产业进入门槛高，目前市场主体都是一些创业公司，规模化水平普遍较低，这限制了产业的进一步发展。类脑感知是最新兴起的领域，技术研发与产业应用还在探索阶段，尚未形成产业规模。

2.3.4.3 产业链条不完备

项目前期调研中发现类脑计算领域芯片设计、验证、仿真工具和部分零部件仍需依赖海外产品，脑电数据采集部分依赖国外的高精度传感器技术，存在产业链环节缺失的问题，需要加强与长三角其他地区的合作，形成互补优势。

2.3.4.4 政策和人才短缺

类脑智能产业整体发展仍处于起步阶段，需要政府出台更多扶持政策，引导产业健康发展。该产业属于高技术产业，对高端人才的需求量大，需要加大人才引进力度，为产业发展提供智力支撑。

2.4 本章小节

本章聚焦类脑智能产业发展现状，从产业链架构、国内外政策环境、浙江省产业发展态势等维度展开，全面呈现类脑智能技术格局与产业动态。

类脑智能产业链以脑机接口、类脑计算、类脑感知三大模块为核心。脑机接口通过植入式或非植入式技术采集脑电信号，经 P300、SSVEP 等范式编码与机器学习解码后，实现

对外交互、状态检测与神经调控，如 Neuralink 植入设备让患者用意念控制电子设备。类脑计算依托忆阻器与类脑芯片等硬件，结合脉冲神经网络算法，在计算机视觉、自然语言处理等领域探索应用，如清华“天机芯”等芯片突破异构融合技术。类脑感知融合仿生学与人工智能，在视觉（如清华“天眸芯”）、听觉（人工耳蜗）、触觉（电子皮肤）及多模态协同（视触融合机械臂）等方向取得进展，推动智能驾驶、医疗康复等场景落地。

国内外产业环境呈现政策驱动与市场升温特征。国际上，美欧日韩等以“脑计划”推动基础研究与技术转化，美国 BRAIN 计划、欧盟人脑计划等聚焦脑图谱与神经调控；国内“十四五”规划将脑科学列为重点，2021 年启动了 31 亿元专项，覆盖脑机接口与类脑计算。市场层面，全球脑机接口 2024 年规模预计达 24.8 亿美元，中国 2023 年达 17.3 亿元、占全球 12.5%，Neuralink 等企业融资活跃，类脑计算论文量中国占比 40% 居首。技术上，脑机接口面临信号精度与生物相容性挑战，类脑芯片量产与算法效率待突破。

浙江省在类脑智能领域具备政策与创新优势。浙江省级相关政策将类脑智能纳入未来产业，杭州市将类脑智能列入“五大风口产业”进行布局，浙江大学脑机智能实验室等平台全力支撑产学研融合，强脑科技非侵入式脑机接口产品、诺尔康人工耳蜗等实现产业化。但调研发现浙江省类脑智能

相关产业存在技术应用碎片化、产业链上游依赖海外（如芯片设计工具）、企业规模化不足等问题，需强化核心技术自主化与人才政策支持。

整体而言，类脑智能产业已形成技术闭环，政策与资本加速从实验室向市场转化。未来需突破硬件兼容性、算法效率等瓶颈，加强产业链协同，需在核心技术国产化与场景规模化应用上持续发力，以提升全球竞争力。

参考文献

1. 肖松, 程和平, 脑机接口技术发展现状及未来展望 《科学与社会》 CSSCI 2024 年第 3 期 1-25, 共 25 页。
2. 钱久超, 夏斌, 杨文璐, 基于 P300 诱发电位的脑机接口技术研究综述 [C] //全国第 21 届计算机技术与应用(CACIS)学术会议. 上海: CACIS, 2010: 80-87。
3. 孙赫. 忆阻器原理与相关应用进展综述 [J]. 应用物理, 2021, 11 (6): 311-318. <https://doi.org/10.12677/APP.2021.116037>。
4. 温新宇等, 忆阻类脑计算, 物 理 学 报, Vol. 71, No. 14 (2022)。
5. Banchuin, R. (2021) The Fractional Order Generalization of HP Memristor Based Chaotic Circuit with Dimensional Consistency. Cogent Engineering, 8, Article ID: 1891731.
6. 王秀青, 基于脉冲神经网络的类脑计算, 北京工业大学学报, 第 45 卷第 12 期, 2019 年 12 月。
7. Merolla P A, Arthur J V, Alvarez-Icaza R, et al. A million spiking-neuron integrated circuit with a scalable communication network and interface[J]. Science, 2014, 345 (6197) : 668-673. [DOI: 10.1126 / science. 1254642]。

8. 莫宏伟等, 类脑计算研究进展, 导航定位与授时, 第 8 卷第 4 期, 2021 年 7 月。
9. Rosenblatt F. The perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain [J]. Psychological Review, 1958, 65(6): 386–408.
10. Hopfield J J. Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 1982, 79(8): 2554–2558.
11. Maass W. Networks of spiking neurons: The third generation of neural network models [J]. Neural Networks, 1997, 10(9): 1659–1671.
12. 王语晨, 基于脉冲神经网络的类脑计算模型及编程框架, CNKI。
13. 刘浩等, 脉冲神经网络研究现状与应用进展, 中国工程科学, 第 25 卷 第 6 期, 2023 年。
14. WHITE HOUSE. Brain research through advancing innovative neurotechnologies [EB / OL]. (2013-04-02) 1 2022-10-26 <https://obamawhitehouse.archives.gov/BRAIN>.

15. 周斌,王哲.类脑计算技术发展与产业应用展望[M].
中国电子信息产业发展研究院、赛迪工业和信息化研究院
(集团)有限公司,2020.
16. 前瞻产业研究院,2025 脑机接口产业蓝皮书,2025 年
1 月

浙江省知识产权保护中心

第三章 类脑智能产业发展方向

3.1 全球产业专利态势

3.1.1 全球专利申请趋势

3.1.1.1 全球专利申请趋势

截至检索日，自 1985 年以来，在本次检索分析范围内的已公开全球类脑智能产业专利（发明和实用新型）共 102993 组简单同族。其中，发明专利占比 95%，实用新型占比 5%。实用新型占比较低，或与实用新型专利保护的客体相关，其中，中国、欧洲、美国、日本、韩国的专利法均规定实用新型专利只保护产品。

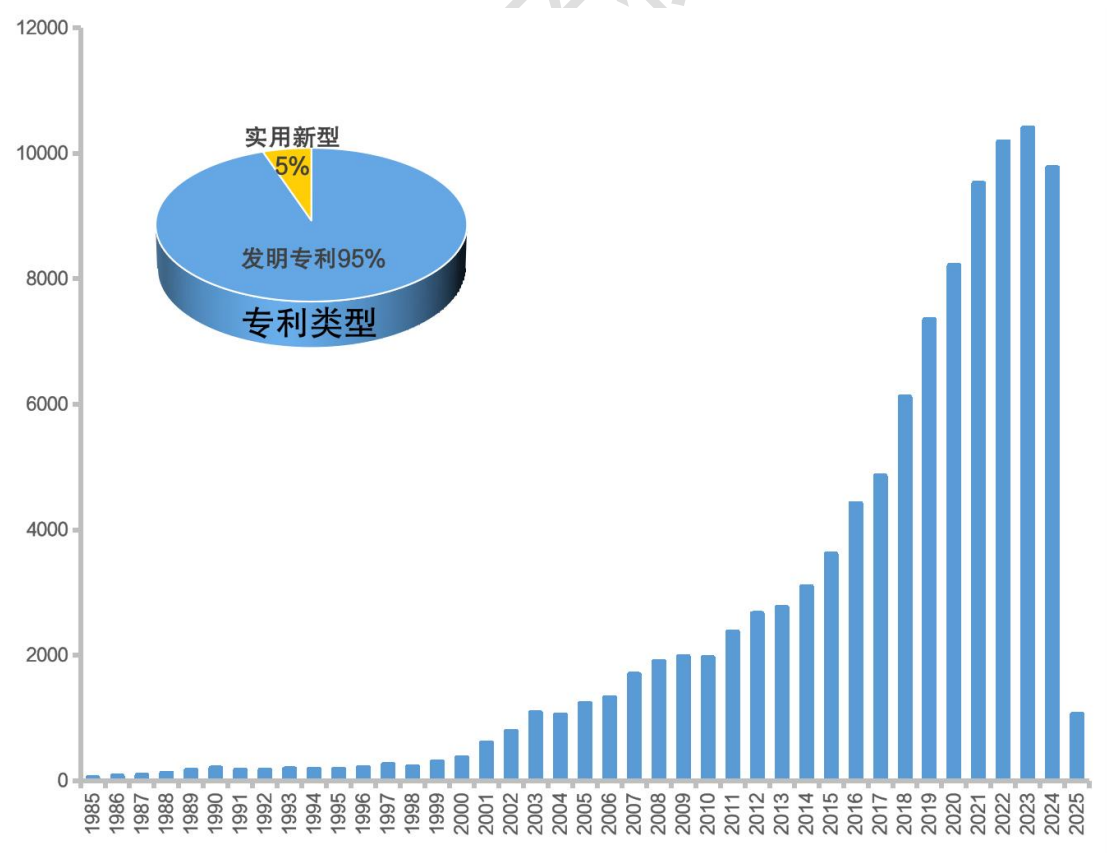


图 3.1 全球专利申请趋势及类型分布图

如图 3.1 所示，自 1985 年以来，类脑智能产业的全球专利申请趋势大致经历了三个阶段：第一阶段，1985 年—2000 年，年均申请量约为 185 组简单同族，此阶段申请趋势呈起伏式上升状；第二阶段，2001 年—2012 年，年均申请量相较于第一阶段约翻了三番，阶段内申请量起伏式上升；第三阶段，2013 年—2025 年，年均申请量相较于第二阶段翻了两番，阶段内申请量呈直线式上升（计算时剔除了不完整的 2025 年数据）。类脑智能产业蓬勃发展。

第一阶段，全球类脑智能产业专利申请总量偏少，申请人以美国、日本企业为主，典型的代表有国际商业机器公司（67 组简单同族，申请量第一）、株式会社日立制作所（57 组简单同族，申请量第二），这与美国在 1989 年提出的“全国性脑科学计划”，以及日本在 1996 年提出的“脑科学时代”相呼应。但是，美、日二者相比，日本申请人占据主导地位，在申请量超过 30 组简单同族的申请人中，美国申请人占比为 5/15，日本申请人占比为 8/15，美、日申请量之比约为 5: 11。欧盟在类脑智能产业也有专利布局，典型的代表为荷兰企业皇家飞利浦有限公司（申请量为 31 组简单同族），在第二代 ANN——基于联结主义的多层人工神经网络出现的 20 世纪 80 年代中期，其申请了“人工神经网络”（JP1989237754A），并进一步申请了“神经网络训练方法和神经网络分类器”（JP1993158910A）。韩国企业三星电

子株式会社申请量为 27 组简单同族，仅位居 16。中国类脑智能产业专利几乎空白。

第二阶段，全球类脑智能产业专利申请趋势总体发生了反转性的变化。韩国企业在类脑智能产业占据优势地位，申请量排名前二的申请人均为韩国企业：三星电子株式会社（1141 组简单同族）、爱思开海力士有限公司（716 组简单同族）。中国申请人异军突起：以旺宏电子股份有限公司、台湾积体电路制造股份有限公司等为代表的中国台湾申请人申请量合计 684 组简单同族；以中国科学院各研究所、中芯国际、清华大学等为代表的中国大陆申请人申请量合计 1023 组简单同族，中国 2006 年提出的“国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006-2020）”起到积极效果。日本企业索尼集团公司以 399 组简单同族申请量跃升至第三。但是，美、日二者相比，美国申请人占据主导地位，在申请量超过 240 组简单同族（参照第二阶段相较于第一阶段的年均申请量增长趋势）的申请人中，美国申请人占比为 4/9，日本申请人占比为 2/9，美、日申请量之比约为 8: 5。欧盟加快专利布局，主要申请人德国企业英飞凌科技股份有限公司和奇梦达股份公司，意大利企业意法半导体股份有限公司，合计申请量 397 组简单同族，其申请量的增长速度快于全球申请量的整体增长速度。特殊的是，尽管澳大利亚企业耳蜗有限公司（申请量为 256 组简单同族）申请量的增长速度稍慢于

全球申请量的整体增长速度，其仍然在人工耳蜗领域占据领先地位。

第三阶段，全球主要申请国家持续在类脑智能产业布局：2013 年美国提出 “US BRAIN Initiative”，2016 年韩国发布《脑科学研究战略》，三星电子株式会社以 1874 组简单同族申请量稳居第一，国际商业机器公司以 1312 组简单同族申请量、英特尔公司以 1007 组简单同族申请量分别跃升至第二、第三。中国类脑智能产业专利申请处于繁荣发展时期，国务院、科技部、工业和信息化部等部门相继出台目标纲要、行动计划、创新规划、产业政策、项目指南，指导引领类脑智能产业发展，主要相关企业及科研机构申请量合计 22835 组简单同族，超过全球申请量的四分之一。在申请量超过 500（若参照第三阶段相较于第二阶段的年均申请量增长趋势，只能取样排名前三的申请人）组简单同族的申请人中，中国申请人占比为 8/14，美国申请人占比为 3/14，日本申请人占比为 1/14，中、美、日申请量之比约为 13: 7: 2，中国申请人中，台湾积体电路制造股份有限公司申请量为 940 组简单同族、维持了第二阶段的优势地位，清华大学、华为技术有限公司、天津大学、浙江大学、杭州电子科技大学、华中科技大学、电子科技大学崭露头角。全球申请量超过 500 组简单同族的申请人中未包含欧盟申请人，但是，与欧盟在 2013 年、2022 年陆续提出的 “Human Brain Project”、

《数字大脑研究的未来十年：未来神经科学技术与计算交叉的愿景》相呼应，全球申请量超过 100 组简单同族的申请人中，以荷兰企业皇家飞利浦有限公司、原子能和替代能源委员会（法国）为代表的欧盟申请人合计申请量为 1129 组简单同族。

3.1.1.2 全球专利申请法律状态

截至检索日，自 1985 年以来，在本次检索分析范围内的已公开全球类脑智能产业专利（发明和实用新型）的法律状态如图 3.2（图 3.2 为全球专利申请法律状态图）所示，发明专利中，有 37240、32163、28038 组简单同族分别处于有效状态（有效、PCT 指定期内）、失效状态（失效、PCT 指定期满）、审中状态；实用新型专利中，有 2994、2446、27 组简单同族分别处于有效状态、失效状态、审中状态。其中，维持有效状态的类脑智能产业发明专利申请始于 2003 年，包括美敦力公司申请的“医疗器械系统重新交付治疗的定时延迟”（US7282030B2）、耳蜗有限公司申请的“医用植入给药装置”（US8515560B2）。维持有效状态的类脑智能产业实用新型专利申请则始于 2015 年，且均在检索日（5 月）之后，包括先进仿生学股份公司申请的“耳蜗植入系统中的高效后向遥感传输”（CN209075849U），受理局均为中国局（含中国台湾局）。

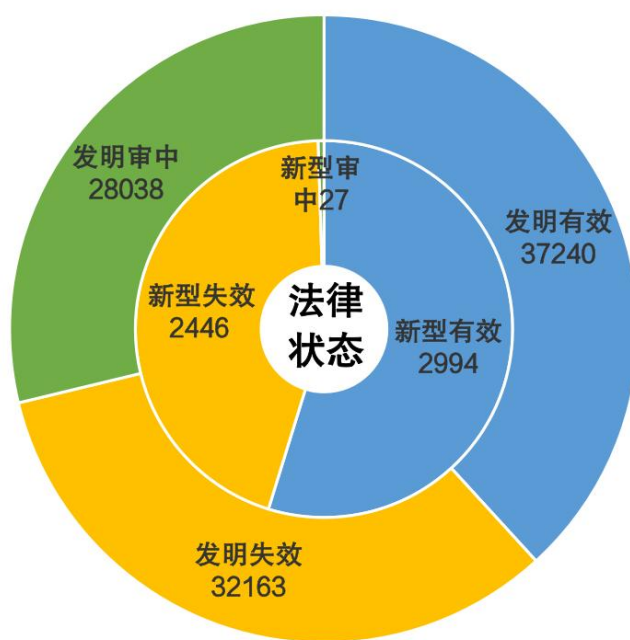


图 3.2 全球专利申请法律状态图

逾期未缴年费/维持费，是专利失效的主要原因。在全球主要专利申请国家和地域中，中国、欧洲主要国家、美国、日本、韩国发明专利的保护期限为 20 年，中国、欧洲主要国家实用新型专利的保护期限为 10 年，日本、韩国实用新型专利保护期限为 20 年，上述保护期限均自申请日起算，而美国实用新型专利的保护期限为 15 年，从授权日起算。专利持有人需要在专利获得授权后的固定年限缴纳年费/维持费，逾期未缴纳则会使得专利失效。当前维持有效状态的类脑智能产业实用新型专利申请的起始年月说明，此前的实用新型专利持有人或在保护期限届满的 10 年后并未选择缴纳年费/维持费；当前维持有效状态的类脑智能产业发明专利申请的起始年则说明，此前的发明专利持有人在保护期限

届满的 20 年后继续选择缴纳年费/维持费，保护自己的核心技术。高价值的发明专利稳定性更高。

驳回是常见的专利失效原因。专利失效的原因还包括：撤回、放弃、权利终止、全部撤销。当前失效的类脑智能产业发明专利申请中，撤回、放弃、权利终止、全部撤销之比约为 110: 65: 5: 3；当前失效的类脑智能产业实用新型专利申请中，撤回、放弃、权利终止、全部撤销之比约为 2: 2: 12: 1。对于实用新型专利而言，存在同日申请的发明专利时，为了避免重复授权，获得对应的发明专利权利，需要放弃已经获得的实用新型权利，当前失效的类脑智能产业实用新型专利申请中，有 154 组简单同族属于这种情形。实用新型专利只需经过初步审查即可授权，通常确权周期短于发明专利，申请人为了技术快速确权获得保护，会选择采取一案双申策略。

3.1.1.3 全球专利申请运营情况

截至检索日，自 1985 年以来，在本次检索分析范围内的已公开全球类脑智能产业专利（发明和实用新型）的主要专利运营情况如图 3.3（图 3.3 为全球专利申请运营情况图）所示，其中，分别有 9676、2561、927 组简单同族处于权利转移、质押、许可状态，分别有 69、45、36 组简单同族进入诉讼、无效、保全程序，有 25 组简单同族被提起异议，有 22 组简单同族办理信托。

其中，权利转移量在 100 组简单同族以上的申请人有 11 个，铠侠股份有限公司以 527 组简单同族权利转移量位居第一。质押量在 50 组简单同族以上的申请人有 10 个，美光科技公司以 325 组简单同族质押量位居第一。许可量在 20 组简单同族以上的申请人有 3 个，加利福尼亚大学董事会以 40 组简单同族质押量位居第一。从全球类脑智能产业的专利运营整体情况来看，以专利转让为主的技术层面专利运营、以及以质押为主的资本化专利运营是专利持有人主要的策略选择，国外在专利运营方面运作更为成熟。

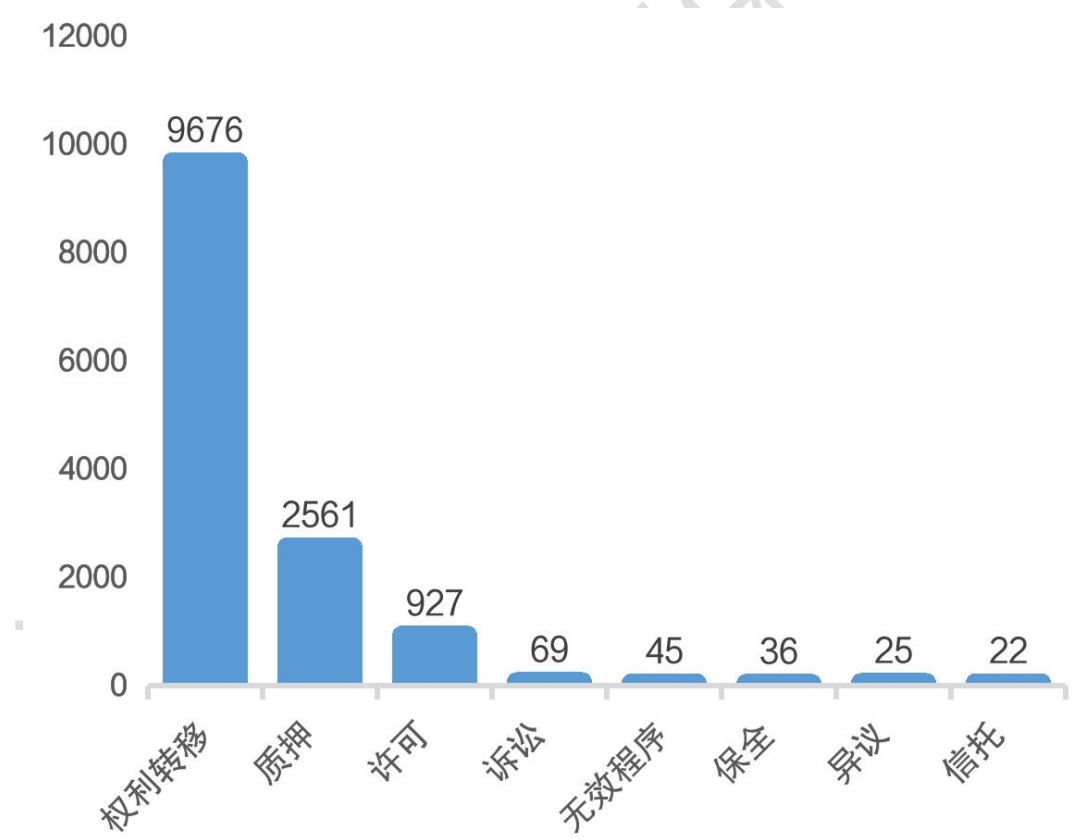


图 3.3 全球专利申请运营情况图

3.1.2 全球技术领域分布

全球类脑智能产业主要涵盖脑机接口、类脑计算、类脑感知三个技术领域。

3.1.2.1 脑机接口

截至检索日，自 1985 年以来，在本次检索分析范围内的已公开全球类脑智能产业专利（发明和实用新型）在脑机接口领域的申请分布图如图 3.4（图 3.4 为脑机接口技术领域全球专利申请分布图）所示，脑机接口技术领域包括三个二级分支/细分领域：采集传感、编码解码、应用领域。在采集传感细分领域，血管介入和光学传感的申请量相近，在 1500 组简单同族左右，机器植入与非植入式电极形态的申请量相近，在 2600 组简单同族左右，非植入式电极原理、植入式电极、导航监测的申请量依次递增，分别为 3208、3653、4748 组简单同族。在编码解码细分领域，P300、SSVEP、运动想象三者的申请总量与特征提取的申请量相近，在 7700 组简单同族左右，信号分类的申请量为 8084 组简单同族，预处理为 11883 组简单同族。应用领域细分领域的申请量分布较为均匀，脑控交流、状态检测、神经调控的申请量均为 5000 多组简单同族，外设控制的申请量则为 7088 组简单同族。



图 3.4 脑机接口技术领域全球专利申请分布图

其中，在采集传感细分领域，美敦力公司申请量位居第一，为 206 组简单同族，约为申请量第二的皇家飞利浦有限公司的 3 倍。在编码解码细分领域，天津大学与杭州电子科技大学申请量相近，以 372、371 组简单同族分列一、二。在应用领域细分领域，美敦力公司以 345 组简单同族申请量位居第一。中国申请人后来居上，在脑机接口领域获得举足轻重的地位，但是，外国申请人在脑机接口领域具有更丰富的应用场景。

3.1.2.2 类脑计算

截至检索日，自 1985 年以来，在本次检索分析范围内的已公开全球类脑智能产业专利（发明专利和实用新型）在类脑计算领域申请分布图如图 3.5（图 3.5 为类脑计算技术

领域全球专利申请分布图)所示,类脑计算技术领域包括四个细分领域:脉冲神经网络、SNN融合网络、类脑计算芯片、忆阻器。脉冲神经网络及SNN融合网络部分,即算法模型部分,各细分领域申请量相对均衡,其中,SNN模型、SNN训练在4300组简单同族左右,模型融合为5536组简单同族,SNN编码为6502组简单同族;类脑计算芯片及忆阻器部分,即核心硬件部分,各细分领域申请量差异较大,离子迁移型、相变型、自旋电子型的忆阻器以5786、8622、12684组简单同族依次递增,事件驱动的异步通信、神经拟态结构、多核并行计算以3882、7033、9017组简单同族依次递增。

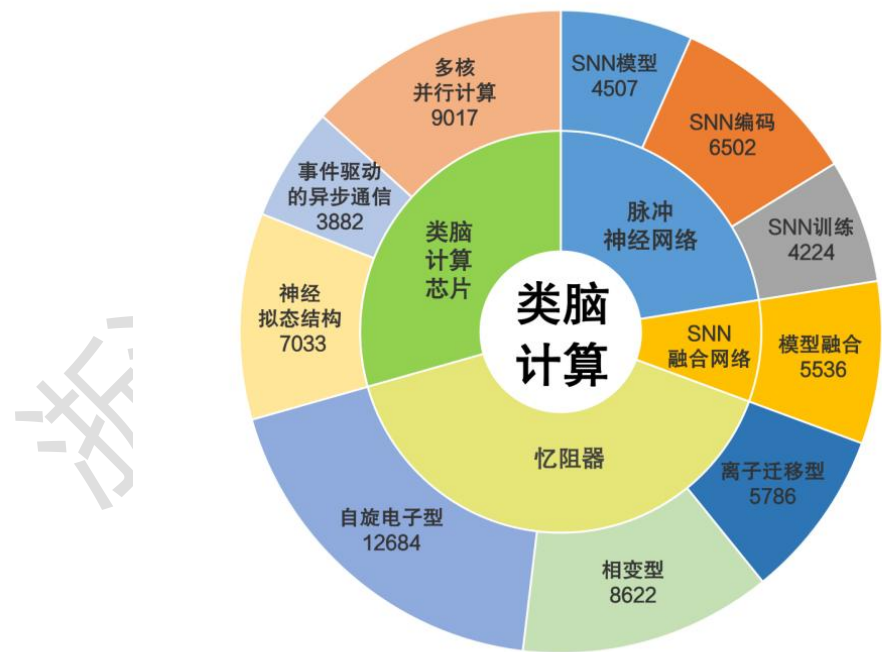


图 3.5 类脑计算技术领域全球专利申请分布图

其中,在脉冲神经网络细分领域,申请量在100组简单

同族以上的申请人有 11 个，中国申请人占比为 5/11，在 SNN 融合网络细分领域，申请量在 100 组简单同族以上的申请人有 8 个，中国申请人占比为 3/8，三星电子株式会社(韩国)和赛仕软件在脉冲神经网络细分领域及 SNN 融合网络细分领域均分列一、二。在类脑计算芯片细分领域，申请量在 200 组简单同族以上的申请人有 7 个，中国申请人占比为 3/7，国际商业机器公司位居第一。类脑计算中的算法模型部分，以及核心硬件部分包括的类脑计算芯片细分领域个体申请量均偏少，是全球类脑智能产业发展的未来方向。在忆阻器细分领域，三星电子株式会社(韩国)以 2213 组简单同族申请量位居第一，是申请量位居第三的台湾积体电路制造股份有限公司的两倍，但是，申请量在 200 组简单同族以上的中国申请人合计申请量为 3975 组简单同族，中国申请人在忆阻器领域具有重要地位。

3.1.2.3 类脑感知

截至检索日，自 1985 年以来，在本次检索分析范围内的已公开全球类脑智能产业专利（发明和实用新型）在类脑感知技术领域申请分布图如图 3.6（图 3.6 为类脑感知技术领域全球专利申请分布图）所示，类脑感知技术领域包括四个细分领域：类脑视觉感知、类脑听觉感知、类脑触觉感知、多模态协调感知。类脑视觉感知细分领域包括传感器和处理单元两部分，申请量分别为 1690、4007 组简单同族。类脑

听觉感知细分领域主要包括人工耳蜗，类脑触觉感知细分领域主要包括人工皮肤柔性传感器，多模态协调感知细分领域主要包括视触融合的机械手臂，三者的申请量分别为 2590、4420、427 组简单同族。

其中，在类脑视觉感知细分领域，索尼集团公司以 231 组简单同族位居第一，申请量超过 60 组简单同族的申请人有 11 个，中国申请人占比为 5/11；人工耳蜗是类脑感知领域发展最早的细分领域，耳蜗有限公司以 554 组简单同族位居第一，申请量超过 100 组简单同族的申请人有 5 个，中国申请人占比为 2/5；中国申请人在人工皮肤柔性传感器领域具有领先地位，浙江大学以 83 组简单同族位居第一，申请量超过 30 组简单同族的申请人均为中国申请人；中国申请人同样在视触融合的机械手臂领域具有领先地位，清华大学深圳国际研究生院以 16 组简单同族位居第一，该申请量总体偏少，是未来类脑感知技术领域的重点方向。

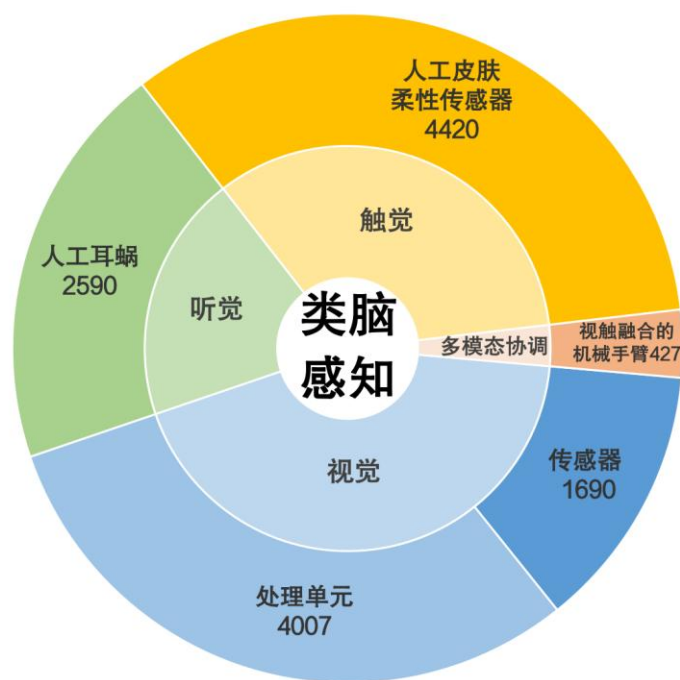


图 3.6 类脑感知技术领域全球专利申请分布图

3.1.3 技术产出及目标市场分布

3.1.3.1 技术来源国/地区分析

技术来源国/地区是指一项技术的原始产出国/地区。技术来源国的分析是将所有相关技术的专利申请按照对其首次提出国家进行的统计分析，通常将专利申请所要求的最早优先权国家/地区认定为其技术原创国/地区。技术来源国的分析反映了主要技术研发力量的分布情况，有助于评估各国或区域的创新能力。

全球类脑智能专利技术的来源国分布如图 3.7 所示，排名前 8 的国家分别为中国（34.53%）、美国（30.61%）、日本（9.12%）、韩国（7.61%）、德国（2.71%）、法国（1.84%）、

澳大利亚（1.63%）和加拿大（1.53%）。其中中美两国是类脑智能专利技术的重要来源国，占比均超过 30%，日韩两国紧随其后，占比均超过 7%。总体来看，目前在类脑智能领域开展技术竞争和专利布局的国家中，中美两国技术原创实力最强，投入的研发资源产生了较多专利技术。

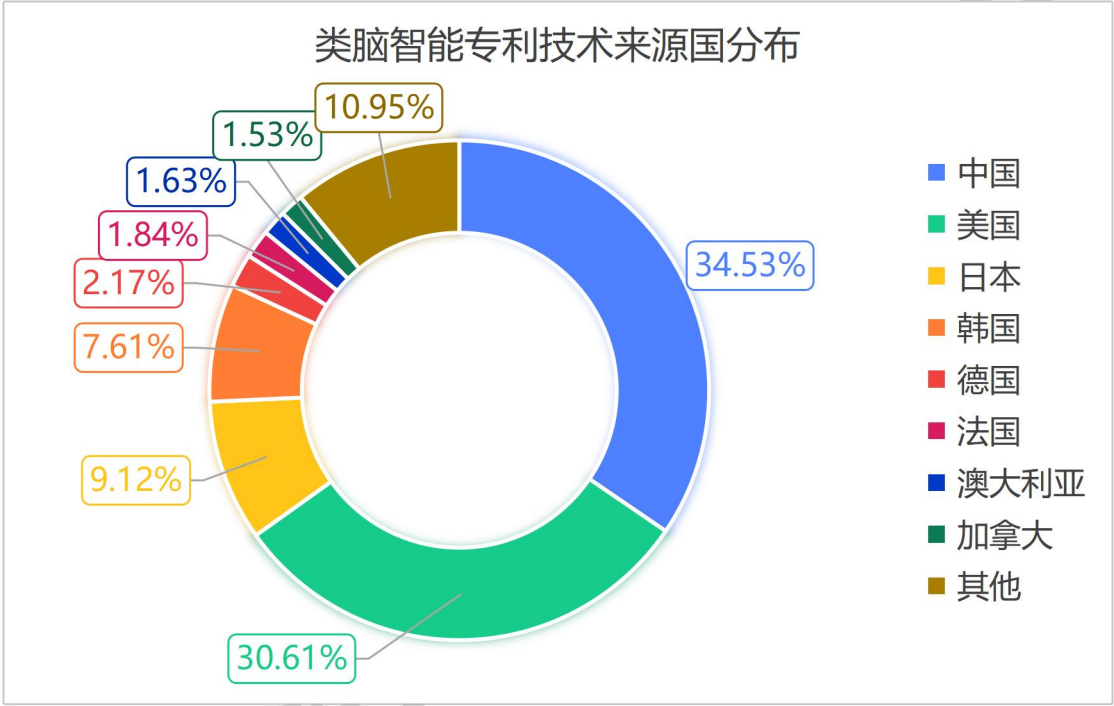


图 3.7 类脑智能专利技术来源国分布图

对类脑智能产业二级技术分支来源国开展进一步分析，前 5 技术来源国的占比情况如下表 3.1 所示。中国在脑机接口相关的非植入式采集传感、信号解码、应用领域二级分支，类脑感知相关的类脑视觉感知、类脑触觉感知、多模态协调感知二级分支，类脑计算相关的脉冲神经网络二级分支中，占比超过 40%，展现出了较强的创新实力。美国在脑机接口相关的植入式采集传感、非植入式采集传感二级分支，类脑

计算相关的脉冲神经网络、SNN 融合网络、忆阻器、类脑计算芯片二级分支中，占比超过 30%。日本在忆阻器和类脑视觉感知二级分支占比超过 16%，韩国则在忆阻器分支占比超过 13%。综合来看，中国在脑机接口、类脑计算和类脑感知方向广泛开展了技术研发，在脑机接口和类脑感知方向上目前占据一定优势，美国的研发重点在脑机接口和类脑计算方向，日本和韩国则将研发重点集中在了忆阻器和类脑视觉感知等细分领域。

表 3.1 类脑智能二级分支专利技术来源国占比

二级技术分支 \ 技术来源国	中国	美国	日本	韩国	德国
植入式采集传感	30.39%	45.55%	0.45%	0.33%	1.51%
非植入式采集传感	48.69%	31.72%	3.05%	1.49%	0.92%
范式编码	36.76%	25.51%	8.09%	5.23%	1.37%
信号解码	52.61%	16.92%	2.69%	6.28%	1.73%
应用领域	40.62%	28.96%	4.34%	5.70%	1.67%
脉冲神经网络	42.07%	33.93%	4.50%	4.89%	2.23%
SNN融合网络	30.92%	40.68%	6.30%	5.81%	1.78%
忆阻器	23.04%	34.18%	16.92%	13.46%	2.72%
类脑计算芯片	38.75%	34.07%	6.36%	7.70%	1.86%
类脑视觉感知	61.34%	6.59%	20.02%	6.14%	0.40%
类脑听觉感知	9.81%	20.29%	0.64%	1.57%	2.58%
类脑触觉感知	76.16%	5.80%	6.06%	3.93%	2.49%
多模态协调感知	83.89%	7.11%	1.88%	0.63%	1.05%

3.1.3.2 目标市场国/地区分析

目标市场国/区域是指某项专利技术的布局国家/区域，可以通过对专利申请的受理局进行统计分析获得，能够反映市场的竞争情况，体现了创新主体的全球市场布局意图，有助于从宏观层面了解世界范围的技术布局和市场变化趋势，为企业的专利布局提供参考。

图 3.8 展示全球类脑智能专利的受理局分布情况，前 8

依次为中国（39.68%）、美国（25.65%）、WIPO（8.91%）、欧洲（5.60%）、日本（5.14%）、韩国（4.47%）、德国（2.98%）、澳大利亚（1.45%）。中国是类脑智能专利布局的第一目标市场国，目前专利受理占比高于专利来源占比 5 个百分点，美国紧随其后，但专利受理占比低于专利来源占比 5 个百分点。中美两国作为类脑智能专利技术布局的重点国家，未来市场竞争趋势将较为激烈。

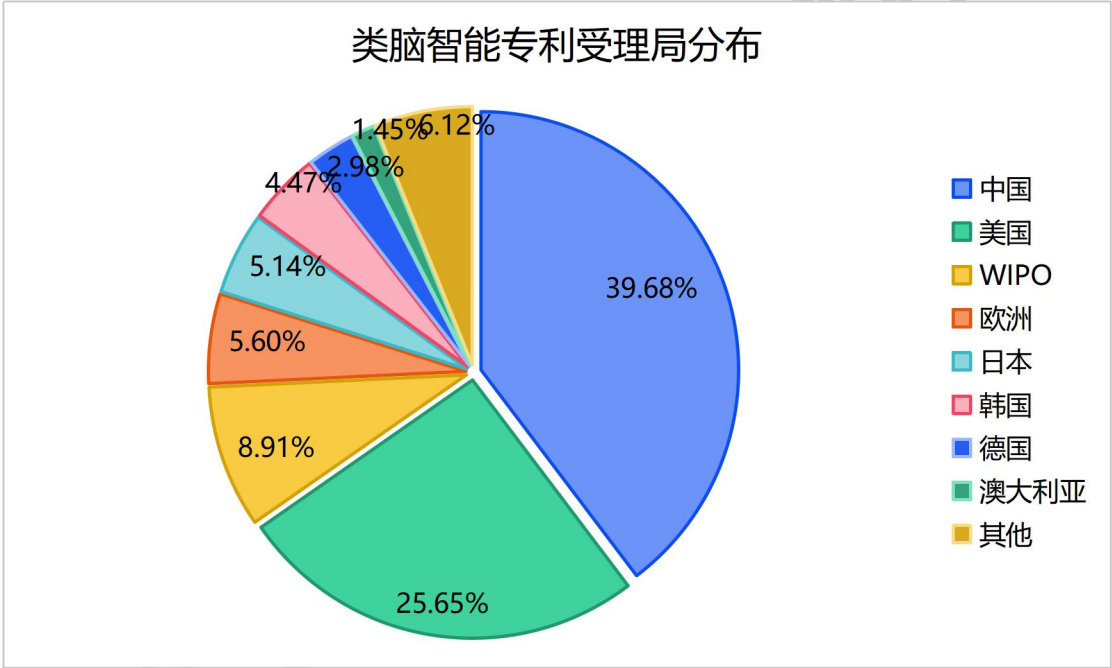


图 3.8 类脑智能专利受理局分布图

3.1.3.3 技术流向分析

从类脑智能产业专利技术流向（图 3.9）来看，中国申请人的专利申请量最多，但主要流向本国，在海外布局专利的数量仍偏少，且海外其他国家流入中国的专利多于中国流出专利，中国是专利技术的净流入国，这一方面反映出中国作为类脑智能产业发展主要市场的重要地位，另一方面也反

映出中国申请人海外布局意识和能力的欠缺不足。美国、日本、韩国流出本国专利均高于流入本国的专利数量，属于专利技术的净流出国，日本和韩国流出专利数量甚至超过 50%，反映出上述国家的申请人向海外市场进行专利技术输出的能力和意愿较强，国际化水平更高。

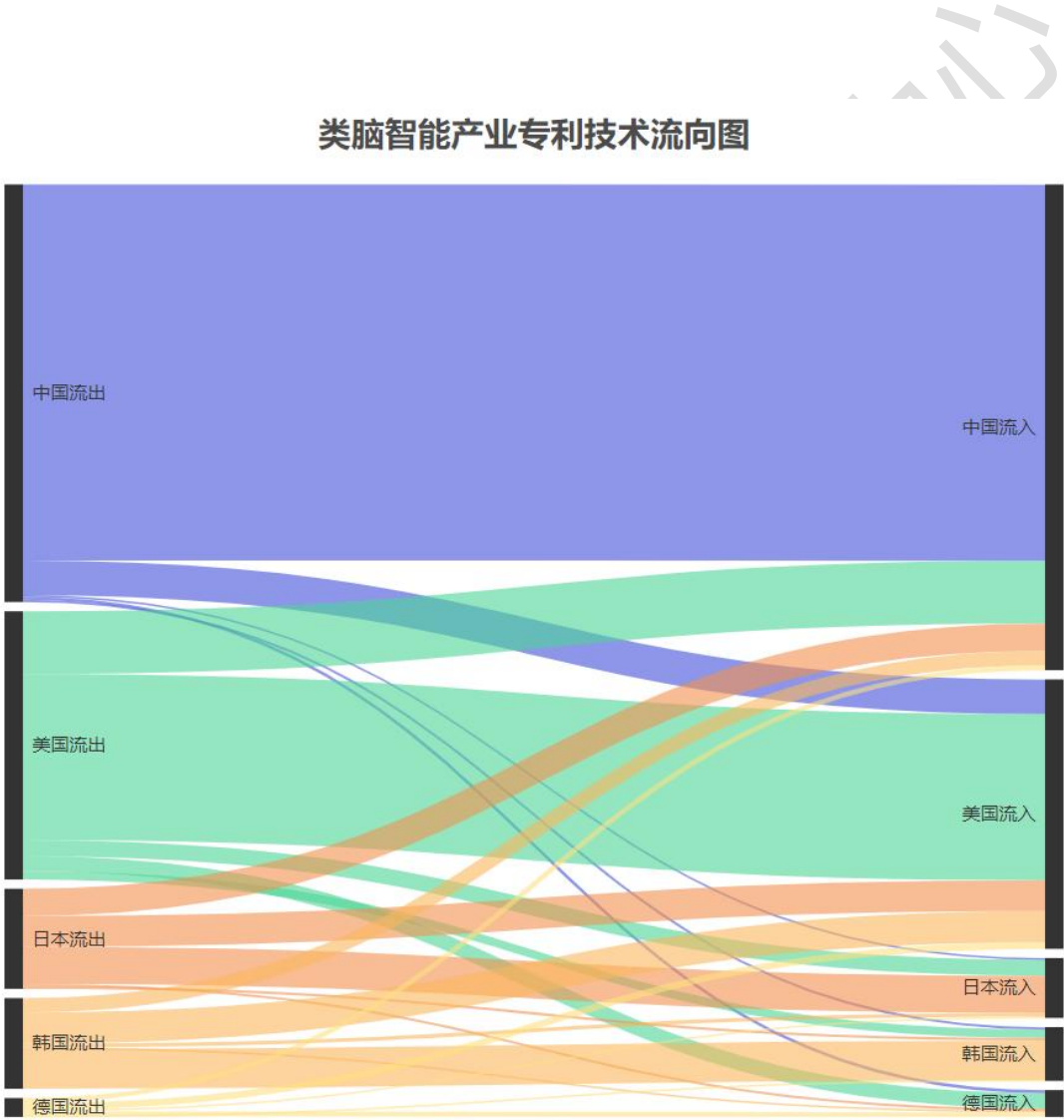


图 3.9 类脑智能产业专利技术流向图

3.1.4 全球主要创新主体

从申请人类型角度看，全球类脑智能产业专利分布如下

图 3.10 所示，65.63%的专利申请来自企业，高校科研机构占 22.26%，个人占 9.05%，其他来源占 3.06%。全球范围内，企业是占主导地位的创新主体。

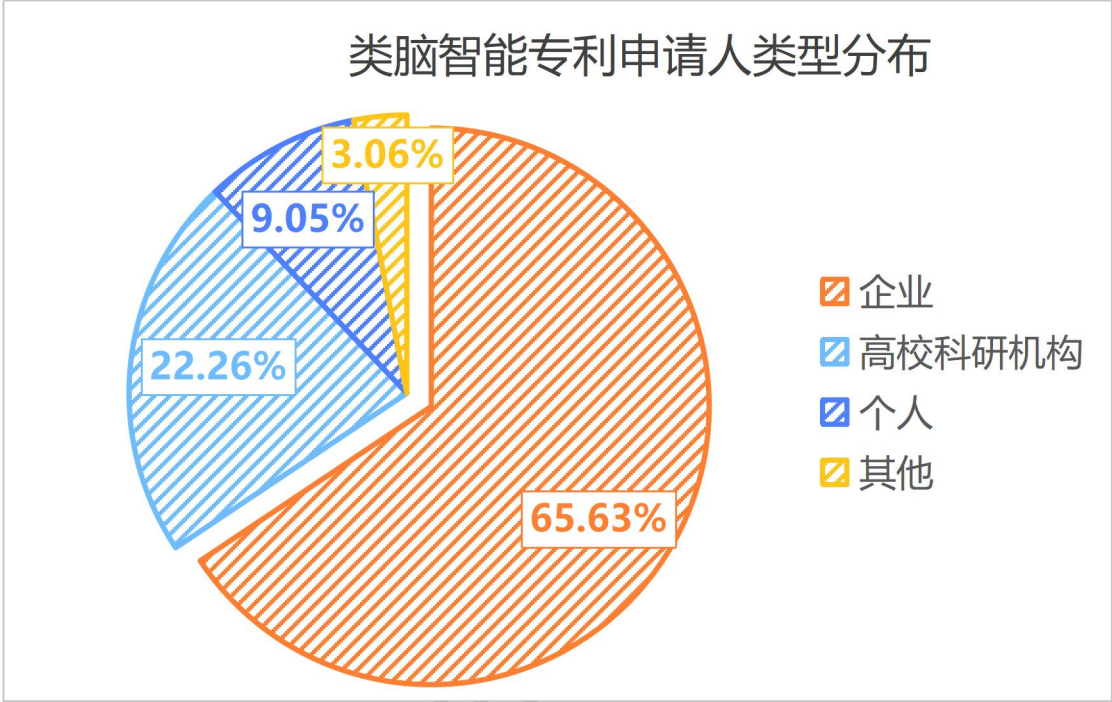


图 3.10 类脑智能专利申请人类类型分布图

因类脑智能产业三个一级分支下的创新主体类型存在较大的差异，现将三个分支的主要创新主体分开进行分析。

脑机接口分支下的全球前十二创新主体如下图 3.11 所示，其中 5 家为企业，7 家为高校科研机构。排名第一的美敦力为美国知名医疗科技企业，专利申请量断崖式领先，该企业在各类植入式医疗器械方面技术积累雄厚。另外 4 家企业中，皇家飞利浦、波士顿科学、耳蜗有限公司均涉及医疗器械研发制造，三星则主要聚焦于半导体和消费电子。7 家高校科研机构中，只有 1 家美国高校，其他 6 家均为中国头

部高校和科研机构。在脑机接口分支下，中国头部高校科研机构的创新实力强于中国头部企业，侧面说明了国内脑机接口产业化进程需要加快。

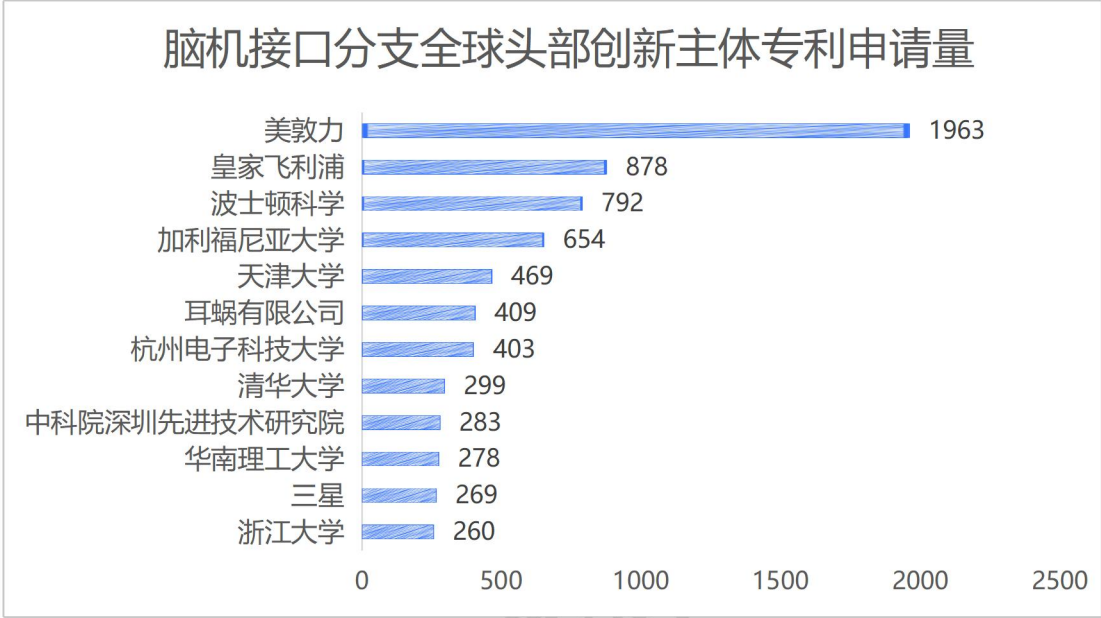


图 3.11 脑机接口分支全球头部创新主体专利申请量

从脑机接口的二级分支进一步分析其重点创新主体（表 3.2）。植入式采集传感和非植入采集传感二级分支涉及脑机接口的电极部件，其重点创新主体多数是企业，且以医疗器械企业为主，在这两分支下排入前十的中国企业为景昱医疗科技、华为两家。范式编码和信号解码二级分支涉及脑机接口的编解码技术，重点创新主体以高校科研机构为主，天津大学、杭州电子科技大学等多所国内高校进入前十。应用领域分支下，重点创新主体企业和高校科研机构数量接近，美敦力等医疗器械企业排名靠前。

表 3.2 脑机接口二级分支全球头部创新主体

二级分支 申请排名	植入式采集 传感	非植入式采 集传感	范式编码	信号解码	应用领域
1	美敦力	美敦力	天津大学	皇家飞利浦	美敦力
2	波士顿科学	德克斯康公 司	松下	杭州电子科 技大学	波士顿科学
3	耳蜗有限公 司	华为	加利福尼亚 大学	天津大学	天津大学
4	加利福尼亚 大学	天津大学	杭州电子科 技大学	华南理工大 学	加利福尼亚 大学
5	景昱医疗科 技	皇家飞利浦	高丽大学	西安交通大 学	雅培公司
6	德克斯康公 司	中科院深圳 先进技术研 究院	西安交通大 学	浙江大学	杭州电子科 技大学
7	奥地利听力 植入公司	加利福尼亚 大学	英特埃克森 有限公司	高丽大学	皇家飞利浦
8	皇家飞利浦	卓尔医学产 品公司	艾欧敏达有 限公司	北京理工大 学	华南理工大 学
9	尼科索亚股 份有限公司	三星	华南理工大 学	北京工业大 学	清华大学
10	直观外科手 术操作公司	清华大学	纽约大学	电子科技大 学	高丽大学

类脑计算分支下的全球前十二创新主体如下图 3.12 所示，包括 11 家企业和 1 家高校科研机构。其中 11 家企业全部是半导体和集成电路领域的龙头，其中前三依次为三星、IBM 和英特尔，中国企业包括台积电和华为。类脑计算是有望替代传统冯诺依曼架构的新型计算架构，其核心技术在于利用忆阻器等存算一体器件，模拟人脑实现低功耗运算，作

为其核心部件的存储器和 CPU 是布局重点。国内外一众头部企业已大量投入资源布局该方向，力求在未来激烈竞争中取得先机。

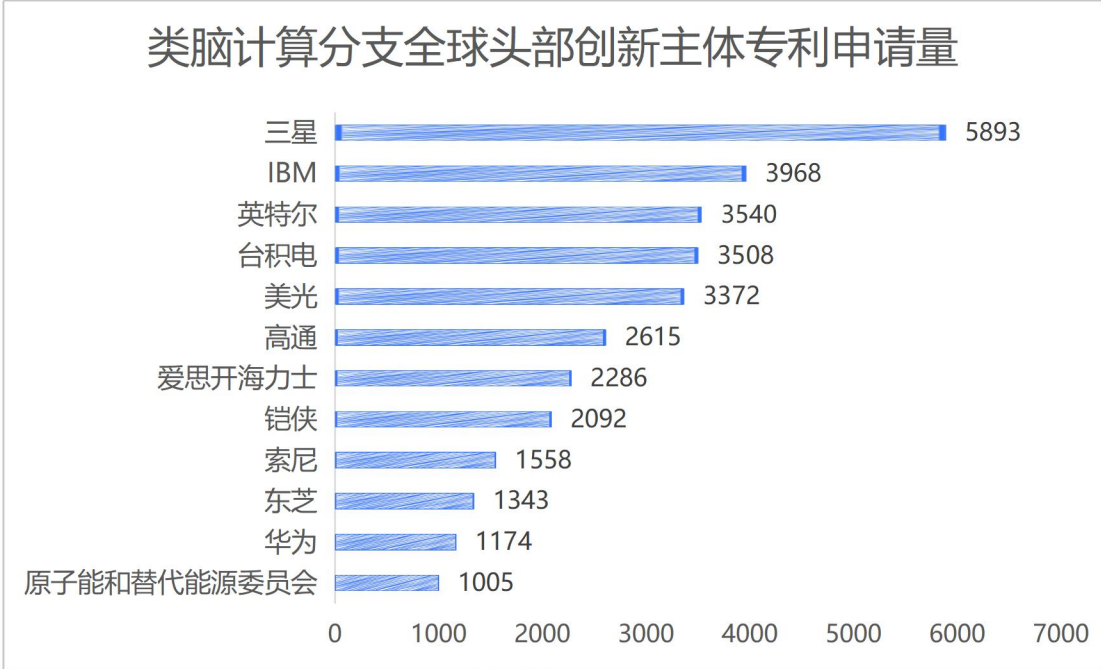


图 3.12 类脑计算分支全球头部创新主体专利申请量

从类脑计算的二级分支进一步分析其重点创新主体（表 3.3）。脉冲神经网络和 SNN 融合网络二级分支涉及类脑计算的算法模型，重点创新主体高度重合，国内浙江大学、北京灵汐科技有限公司、清华大学进入前十。忆阻器和类脑计算芯片分支下，前十创新主体全部为企业，且有多家集成电路制造和存储器领域龙头，国内台积电、中科寒武纪、华为进入前十。

表 3.3 类脑计算二级分支全球头部创新主体

二级分支	脉冲神经网络	SNN 融合网络	忆阻器	类脑计算芯片

申请排名				
1	高通	高通	三星	英特尔
2	Strong Force Intellectual Capital LLC	Strong Force Intellectual Capital LLC	台积电	IBM
3	三星	三星	美光	三星
4	赛仕软件	赛仕软件	IBM	高通
5	IBM	IBM	爱思开海力士	中科寒武纪
6	英特尔	英特尔	铠侠	华为
7	美光	美光	英特尔	谷歌
8	浙江大学	株式会社半导体能源研究所	高通	英伟达
9	北京灵汐科技有限公司	北京灵汐科技有限公司	索尼	微软
10	清华大学	清华大学	东芝	美光

类脑感知分支下的全球前十二创新主体如下图 3.13 所示，其中 10 家为企业，2 家为高校科研机构。排名前三的耳蜗有限公司、奥地利听力植入公司、先进仿生学股份公司和排名第十的浙江诺尔康均为国内外人工耳蜗的研发制造企业，可见在类脑感知分支下，类脑听觉感知（人工耳蜗）是产业化较为成熟的细分领域。同样进入前十二的国内创新主体还包括了清华大学、百度、华为、浙江大学和 OPPO，占比达到 50%，中国创新主体在类脑感知方向的探索较为积极。

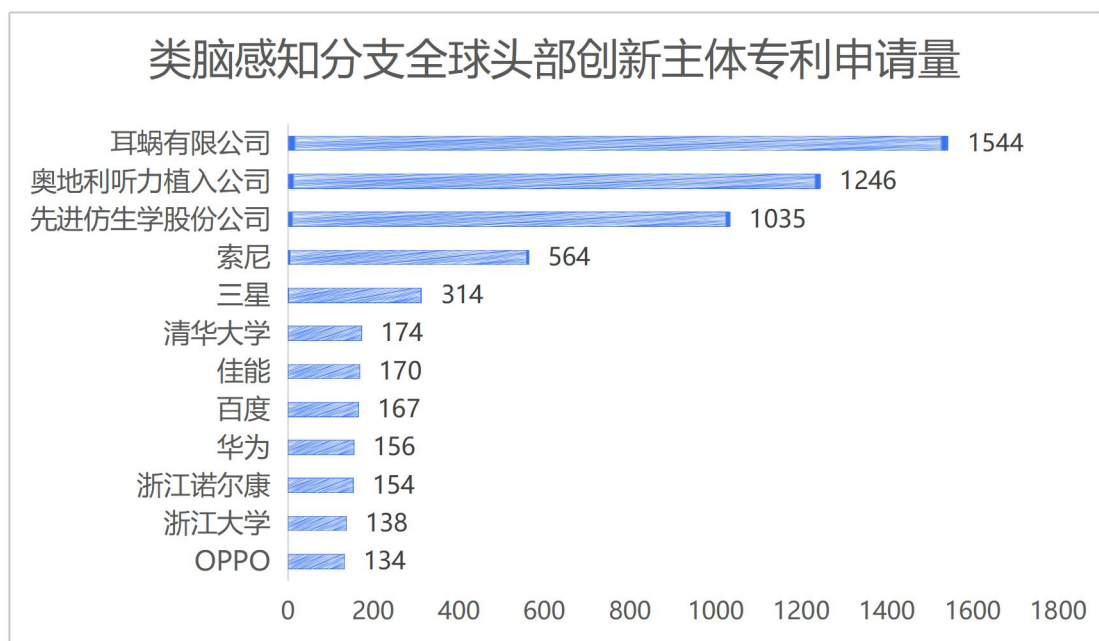


图 3.13 类脑感知分支全球头部创新主体专利申请量

从类脑感知的二级分支进一步分析其重点创新主体（表 3.4）。类脑视觉感知和类脑听觉感知分支下，重点创新主体基本为企业，技术产业化阶段的特征明显。类脑视觉感知进入前十的国内主体包括了百度、华为、OPPO、豪威科技股份有限公司、清华大学 5 家，占比达 50%。类脑听觉感知进入前十的国内主体包括了浙江诺尔康、上海力声特 2 家。类脑触觉感知和多模态协调感知分支下，重点创新主体为国内高校，当前产业化水平和技术成熟度偏低。

表 3.4 类脑感知二级分支全球头部创新主体

二级分支 申请排名	类脑视觉感知	类脑听觉感知	类脑触觉感知	多模态协调感知
1	索尼	耳蜗有限公司	浙江大学	清华大学
2	三星	奥地利听力植入公司	电子科技大学	浙江大学

3	佳能	先进仿生学股份公司	西安交通大学	佛山大学
4	百度	浙江诺尔康	清华大学	同济大学
5	华为	上海力声特	华中科技大学	鑫君特智能医疗器械
6	OPPO	美敦力	厦门大学	上海交通大学
7	富士胶片	恩沃伊医疗公司	罗伯特博世	腾讯
8	清华大学	墨尔本大学	华南理工大学	ABB
9	豪威科技股份有限公司	奥迪康医疗有限公司	东南大学	南京航空航天大学
10	爱思开海力士	格雷特巴奇有限公司	吉林大学	威博外科公司

3.2 中国产业专利态势

3.2.1 中国专利申请趋势

截止检索日，根据本项目对检索数据的处理分析，筛选受理局为中国的专利申请，可以得到我国类脑智能产业的专利申请达 63969 组简单同族，其中发明占比 91.8%，实用新型占比 8.2%。就申请趋势来看，2016 年后，中国类脑智能产业的申请量出现显著增长，这也与当年国务院在《“十三五”国家科技创新规划》中将脑科学与类脑研究列入科技创新 2030—重大项目有关，其明确提出了以脑认知原理为主体，以类脑计算与脑机智能、脑重大疾病诊治为两翼搭建关键技术平台，抢占脑科学前沿研究的制高点。此后，科技部、工业和信息化部、工业和信息化部、民政部、卫生健康委等

也相继推出了一系列产业政策，极大地推动了我国类脑智能产业的发展和专利申请量的增长。

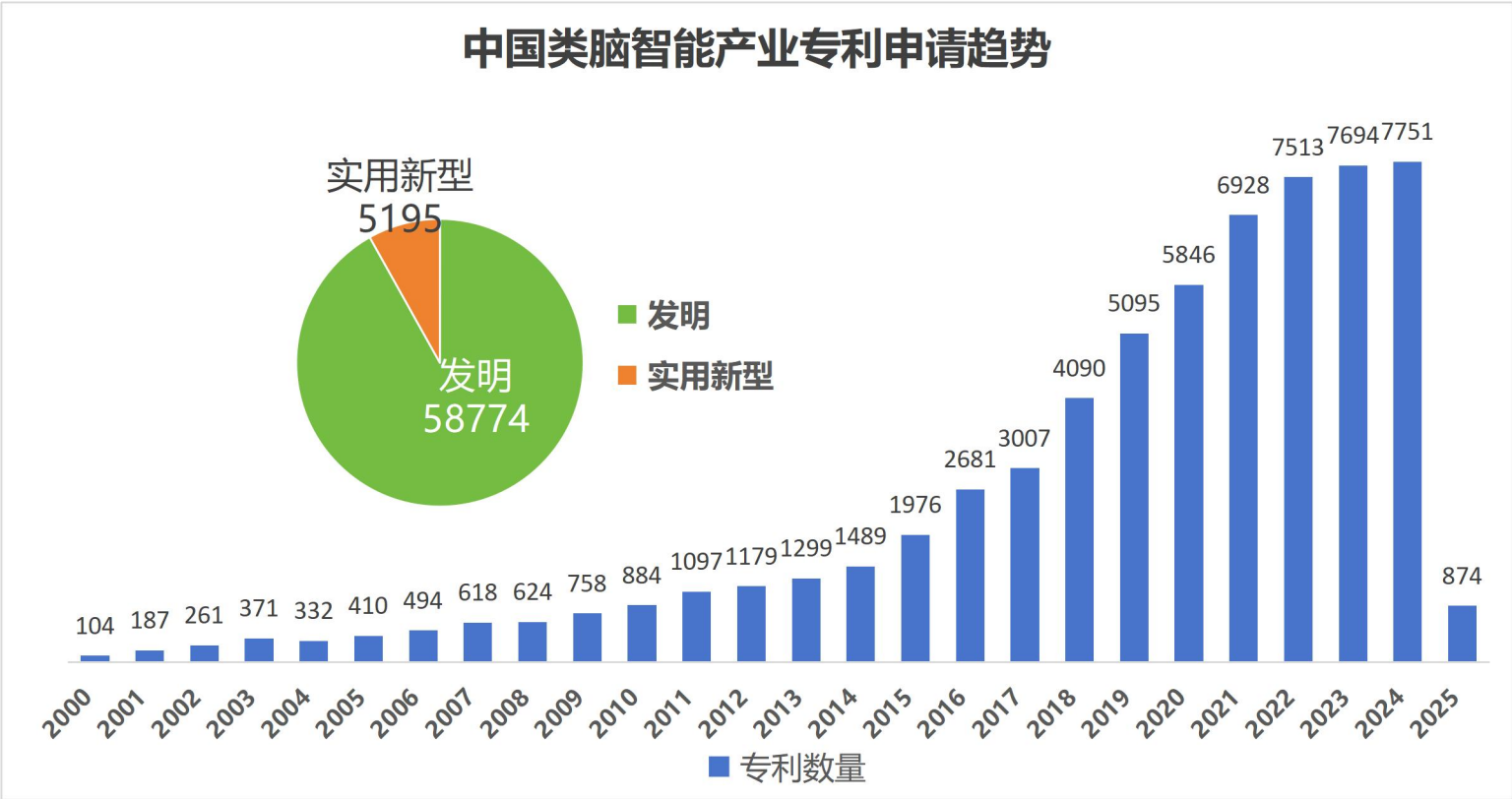


图 3.14 中国类脑智能产业专利申请趋势

从简单法律状态来看，授权状态专利占比 38.5%，审中状态专利占比 33.7%，失效状态专利占比 27.8%。

中国类脑智能产业专利简单法律状态

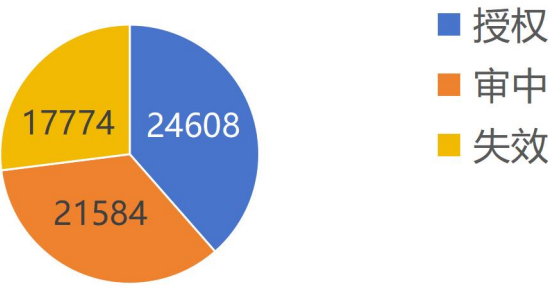
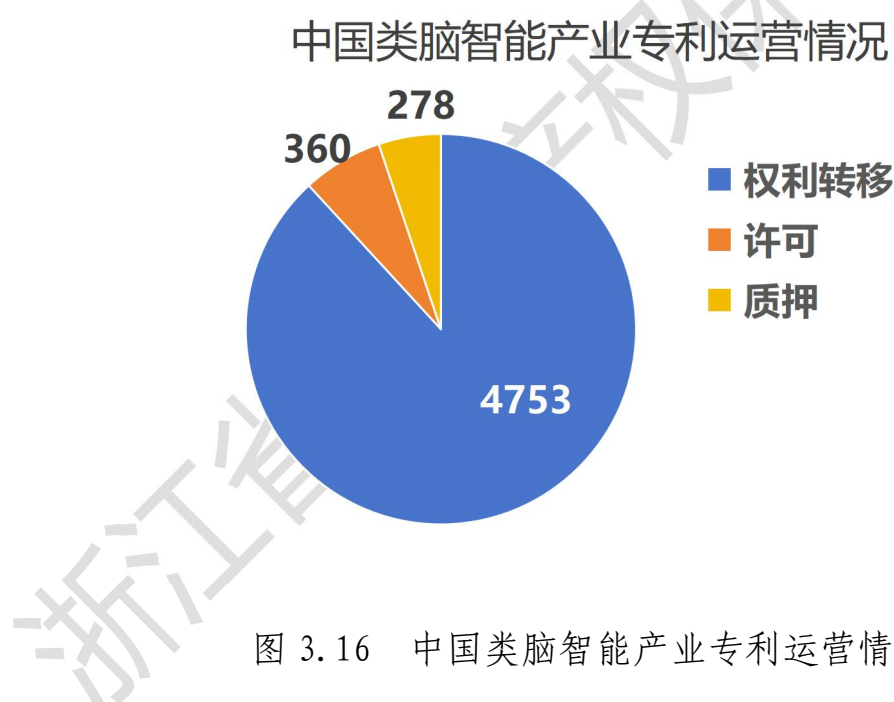


图 3.15 中国类脑智能产业专利简单法律状态

专利运营是指专利权人对专利权的资本管理与运作，主要包括权利转移、许可、质押等方式。专利运营的活跃程度可以反映创新主体或技术方向的创新生命力，还能体现该创新主体的综合技术实力。对中国类脑智能产业专利申请进行运营情况分析，可以得到专利运营形式主要集中在专利权的转移，其中权利转移有 4753 项，许可有 360 项，质押有 278 项。中国类脑智能产业专利的运营情况，从 2016 年开始有明显上升，这和当时推出的一系列产业政策密不可分。



从年份趋势来看，中国自 2002 年开始才有该产业的专利运营活动，专利转让比较活跃，许可和质押量相对较少。究其原因，类脑智能作为新兴交叉学科，产业化应用仍处于探索阶段。企业更倾向于通过专利转让快速整合技术资源或调整战略方向，而许可通常需技术具备一定稳定性和可复制

性，现阶段较为难以满足被许可方需求。而类脑智能产业的专利质押多数面临估值困境，金融机构缺乏专业评估能力，对技术风险和市场前景的担忧使其对质押融资持审慎态度。

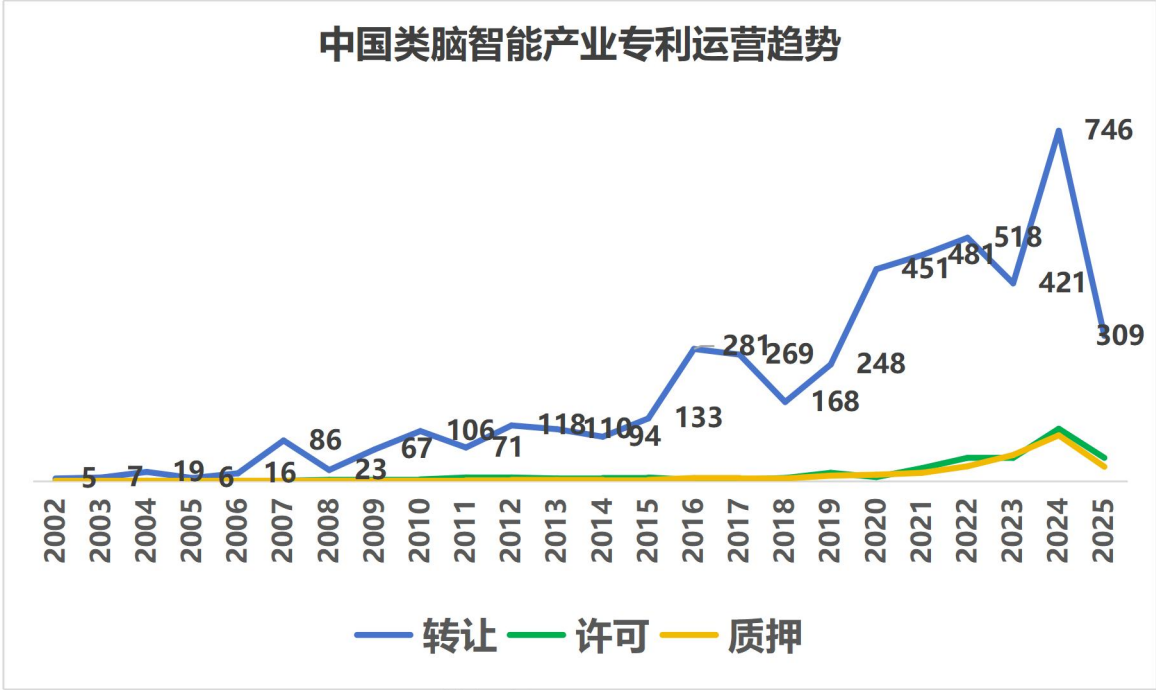


图 3.17 中国类脑智能产业专利运营趋势

在中国类脑智能产业专利的各省份分布中，北京申请数量为 8835，作为全国科研中心，更是集聚了众多高校、头部企业研发总部，科研资源叠加企业集聚效应，使得其申请数量遥遥领先。广东申请量 7309，仅次于北京，其电子信息产业基础雄厚，也为类脑智能产业的发展奠定了坚实基础。接下来就是上海、江苏、浙江，长三角一带，科技产业密集，高校和科研院所云集，推动了类脑智能技术的研发和应用。

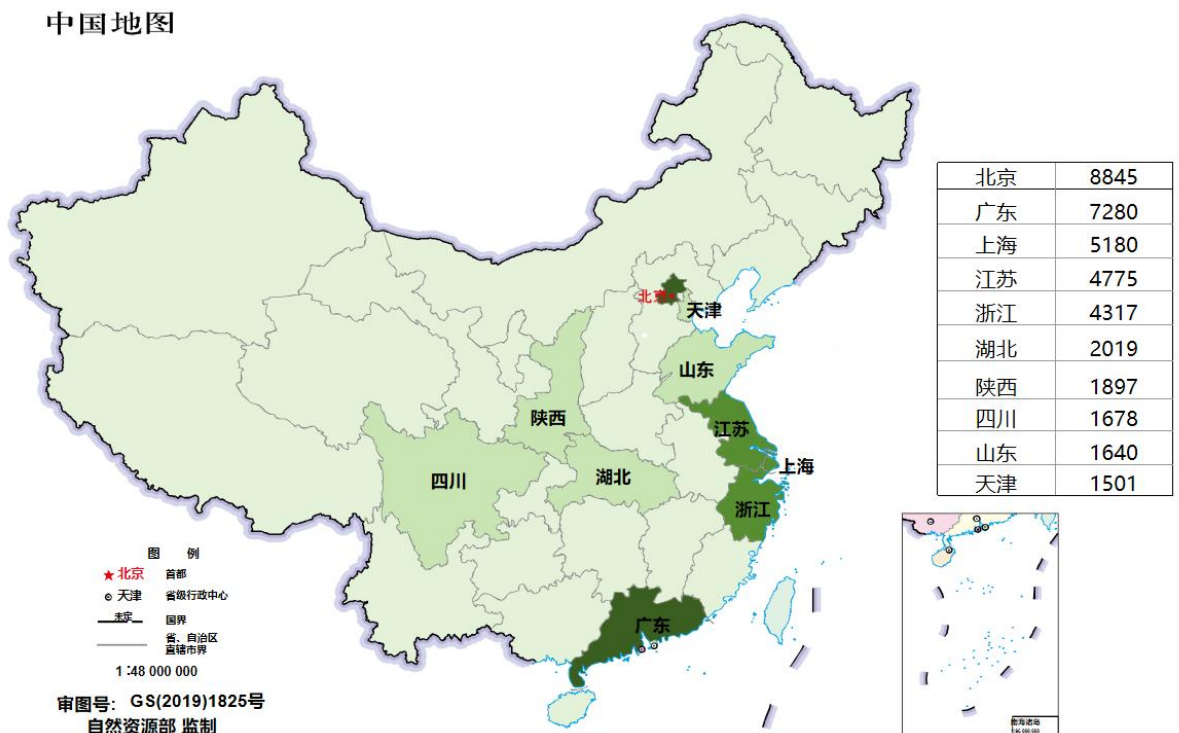


图 3.18 中国类脑智能产业各省市地域分布

专利申请量排名前五的省份的申请人来看，主要集中在高校、科研院所。类脑智能技术融合神经科学、人工智能和芯片设计等前沿学科，由于其存在研发周期长且不确定性高的特点，因此高校和科研院所更擅长承担此类长期性、探索性的基础研究。

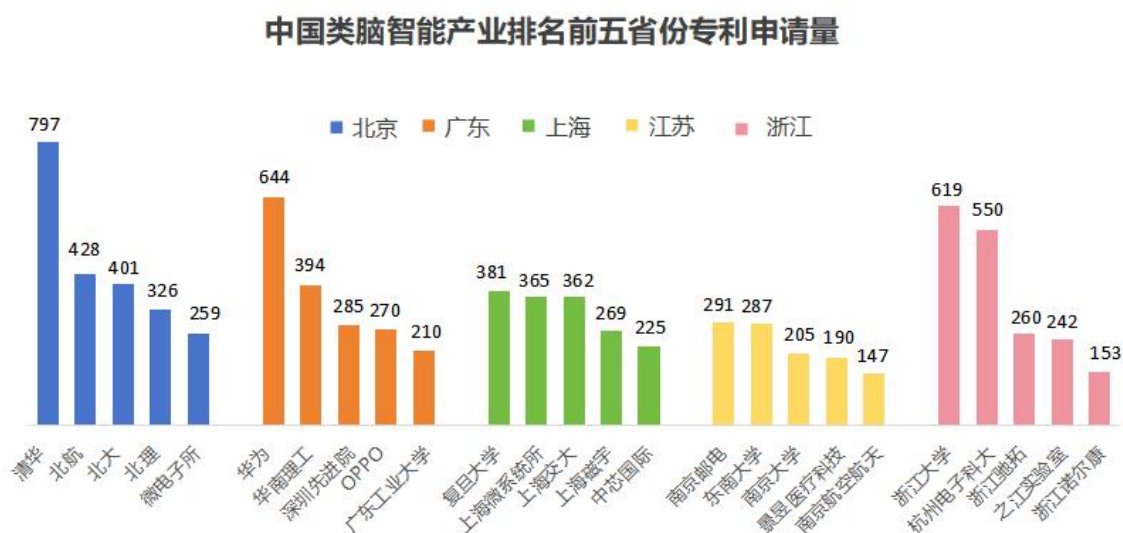


图 3.19 中国类脑智能产业排名前五省份专利申请量

3.2.2 中国技术领域分布

在脑机接口领域，我国的研发重点在于对脑机信号的编码解码，其专利申请量约占整个脑机接口技术领域申请量的一半，采集传感方向和应用技术方向的申请量接近，均约占整个脑机接口技术领域的 1/4。采集传感属于脑机接口的基础硬件设施，由于国外在脑机接口上的起步较早，诸多大型外国企业如美敦力、波士顿科学、神经调制公司等均布局较广，相关研究更深入，因此在这一领域我国较难实现赶超。然而，随着我国在移动通讯技术上的迅速发展，对于脑电信号的编解码研究实现弯道超车，如天津大学，杭州电子科技大学均具有 300 项以上的编解码同族专利。

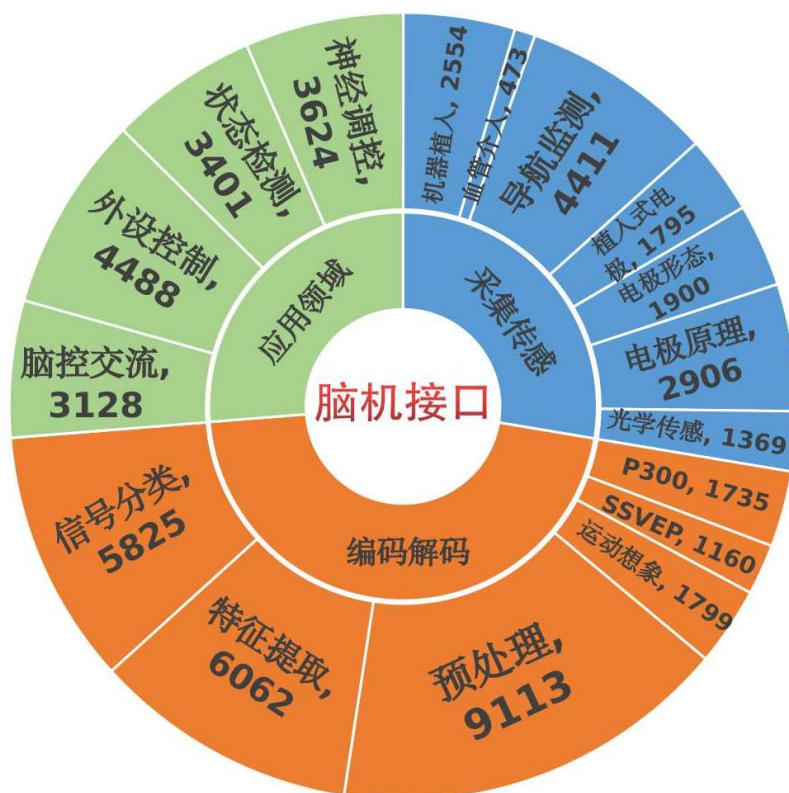


图 3.20 脑机接口技术领域中国专利申请分布

在类脑计算领域，我国忆阻器、类脑计算芯片以及脉冲神经网络均具有超 1 万项的同族申请。在忆阻器中，相变型和离子迁移型较自旋电子型忆阻器申请数均较少，自旋电子型忆阻器约占忆阻器的一半，具有较为广阔的应用。在类脑计算芯片中，多核并行的类脑计算芯片占据大半，神经拟态结构类脑计算芯片仅占约三分之一，事件驱动的异步通信计算芯片最少，仅 1908 项。在脉冲神经网络的专利申请中，SNN 编码占一半，SNN 模型和 SNN 训练均各占剩余的 1/4 申请量。除上述忆阻器、类脑计算芯片以及脉冲神经网络外，还有 3215 项同族聚焦于 SNN 融合网络技术领域。



图 3.21 类脑计算技术领域中国专利申请分布

类脑感知主要包括类脑视觉、类脑触觉、类脑听觉以及视触融合等方向。我国类脑视觉相关的专利申请占据类脑感知领域申请量一半以上，其中类脑视觉处理 3958 项同族，同族数是类脑视觉传感器的 3 倍左右。此外，属于类脑触觉的人工皮肤也具有 3743 项同族，说明我国在类脑视觉和类脑触觉领域具有优势，相关研发投入较大。属于类脑听觉的人工耳蜗仅 983 项同族，将视觉传感和触觉传感结合的视触融合类脑感知仅 390 项同族。

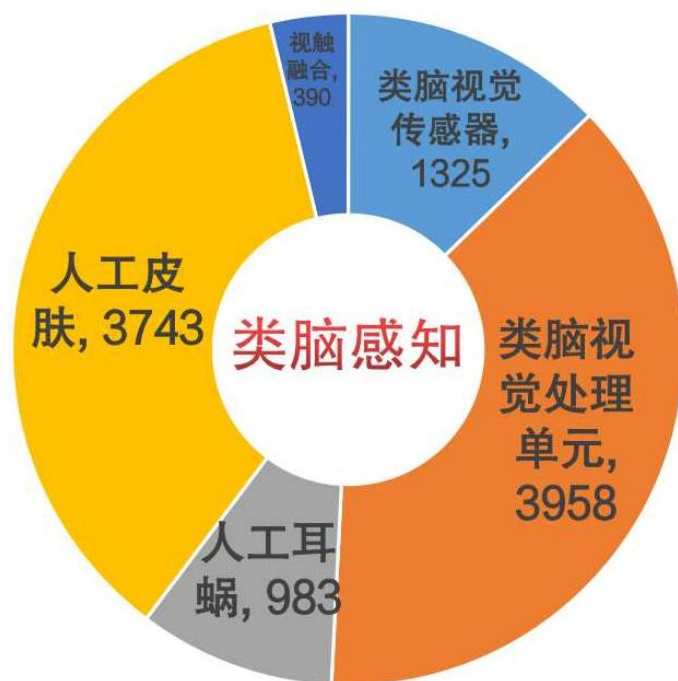


图 3.22 类脑感知技术领域中国专利申请分布

3.2.3 中国主要创新主体

下图是我国专利申请量排名前十的相关创新主体，对该主体进行分析可以有效获取我国的创新实力。如图所示，前十申请人中高校占据了 8 位，但台积电和华为作为相关创新企业分列第一和第三位，表明了二者在类脑产业的布局较广，研发实力较强。其中台积电作为全球领先的半导体制造公司，其绝大部分申请均与忆阻器相关，在类脑计算的忆阻器研发中具有优势地位。华为是全球信息与技术领域的“全能型选手”，其专利申请在脑机接口、类脑计算和类脑感知中均有布局。此外，8 家高校中清华大学以 884 项同族排在台积电之后，天津大学和浙江大学分列第 4 位和第 5 位。

类脑智能中国专利申请TOP10分布

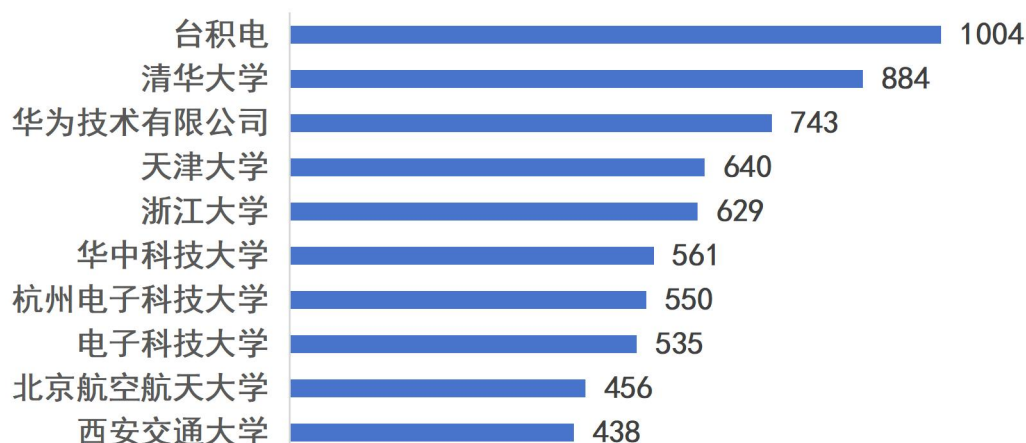
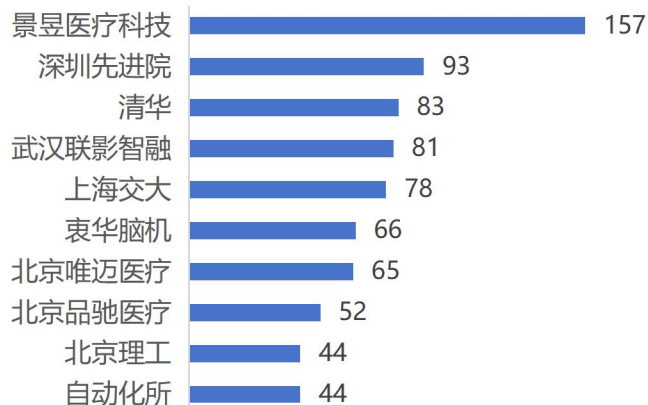


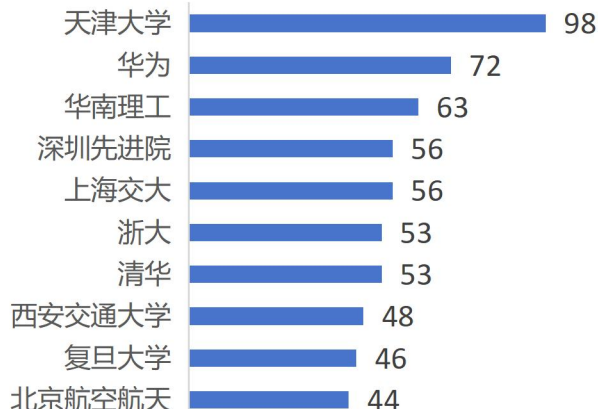
图 3.23 类脑智能中国专利申请 TOP10 分布

从具体二级分支来看，脑机接口分支高校的研究者众多，申请量也较大，例如天津大学、杭州电子科技大学、清华大学、浙江大学等。其中清华大学横跨脑机接口的五个二级分支，在各个分支中均位列前十，在脑机接口领域展示了强大的跨学科合作科研实力。其中景昱医疗科技(苏州)股份有限公司在植入式采集传感领域有很深的技术沉淀，其研发的多种植入式采集传感器在临床上得到了应用，且其研发的用于治疗药物成瘾的双靶点脑深部电刺激（DBS）技术，获得了美国食品药品监督管理局（FDA）授予的突破性医疗器械资质，这是中国企业首次在神经及精神疾病领域获得 FDA 突破性医疗器械资质。

植入式采集传感



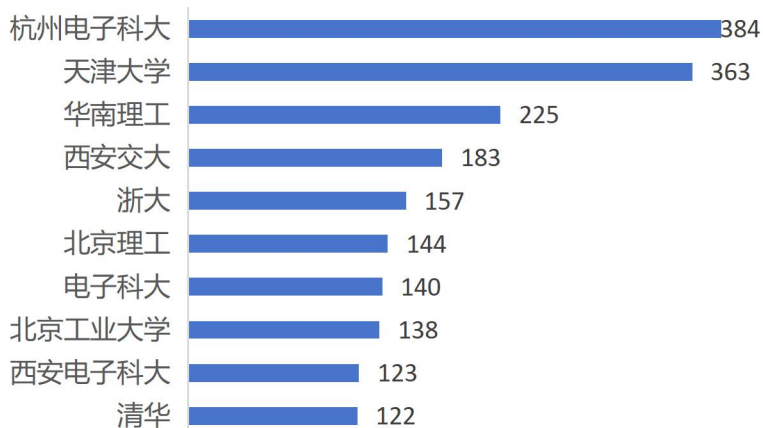
非植入式采集传感



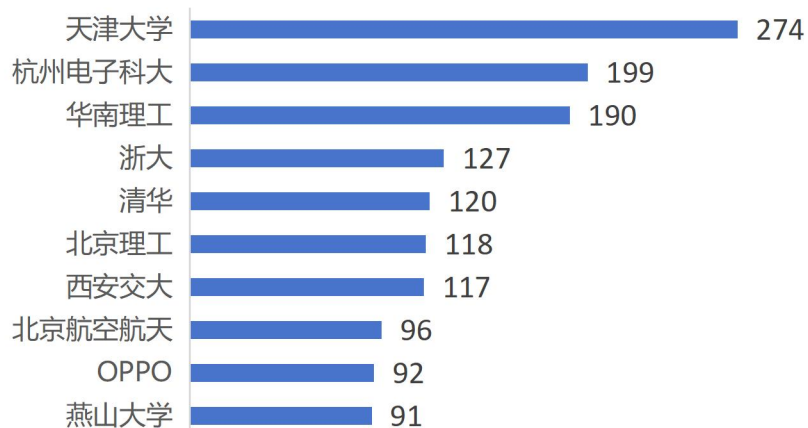
范式编码



信号解码



应用领域

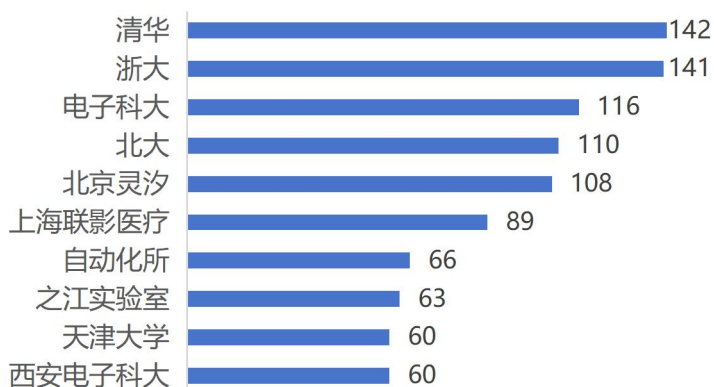


(a) 脑机接口

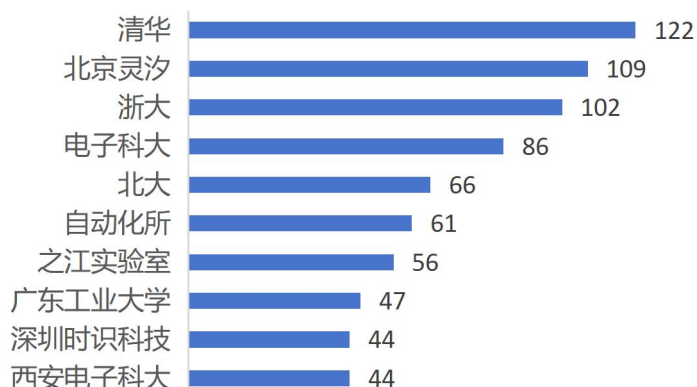
类脑计算分支的申请主体 TOP10 仍然是高校占据多数，清

华大学依然横跨类脑计算的四个二级分支，并且在脉冲神经网络和 SNN 融合网络分支中处于领跑地位。北京灵汐科技有限公司出现在了其中三个分支的 TOP10 中，作为一家全球领先的类脑计算技术公司，由北京脑科学与类脑研究中心、清华大学类脑计算研究中心及顶尖产业资本共同孵化，是中国“脑计划”在类脑智能领域的核心产业化载体，其致力于创造持续自主进化的新智能体，主要产品包括类脑芯片、计算模组、标准 PCIe 接口的计算板卡、智能终端设备、边缘智能计算盒子、类脑服务器等。台湾积体电路制造股份有限公司处于忆阻器分支的领军地位，华为则是类脑计算芯片分支的 TOP1。

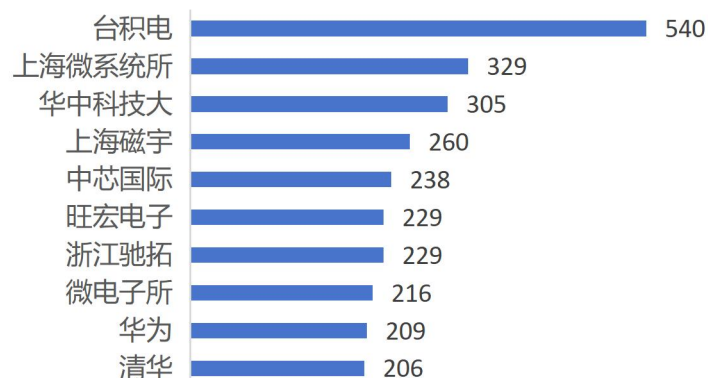
脉冲神经网络



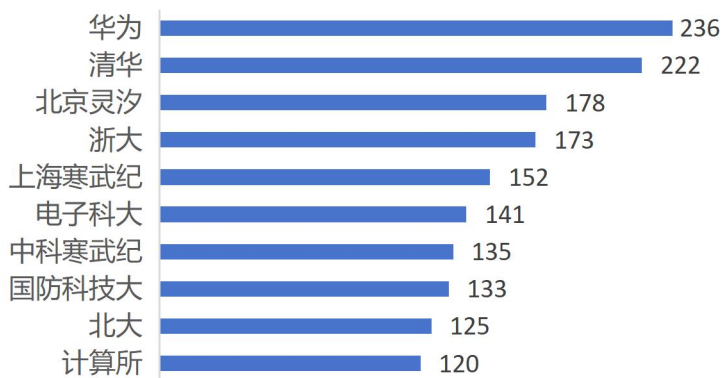
SNN融合网络



忆阻器



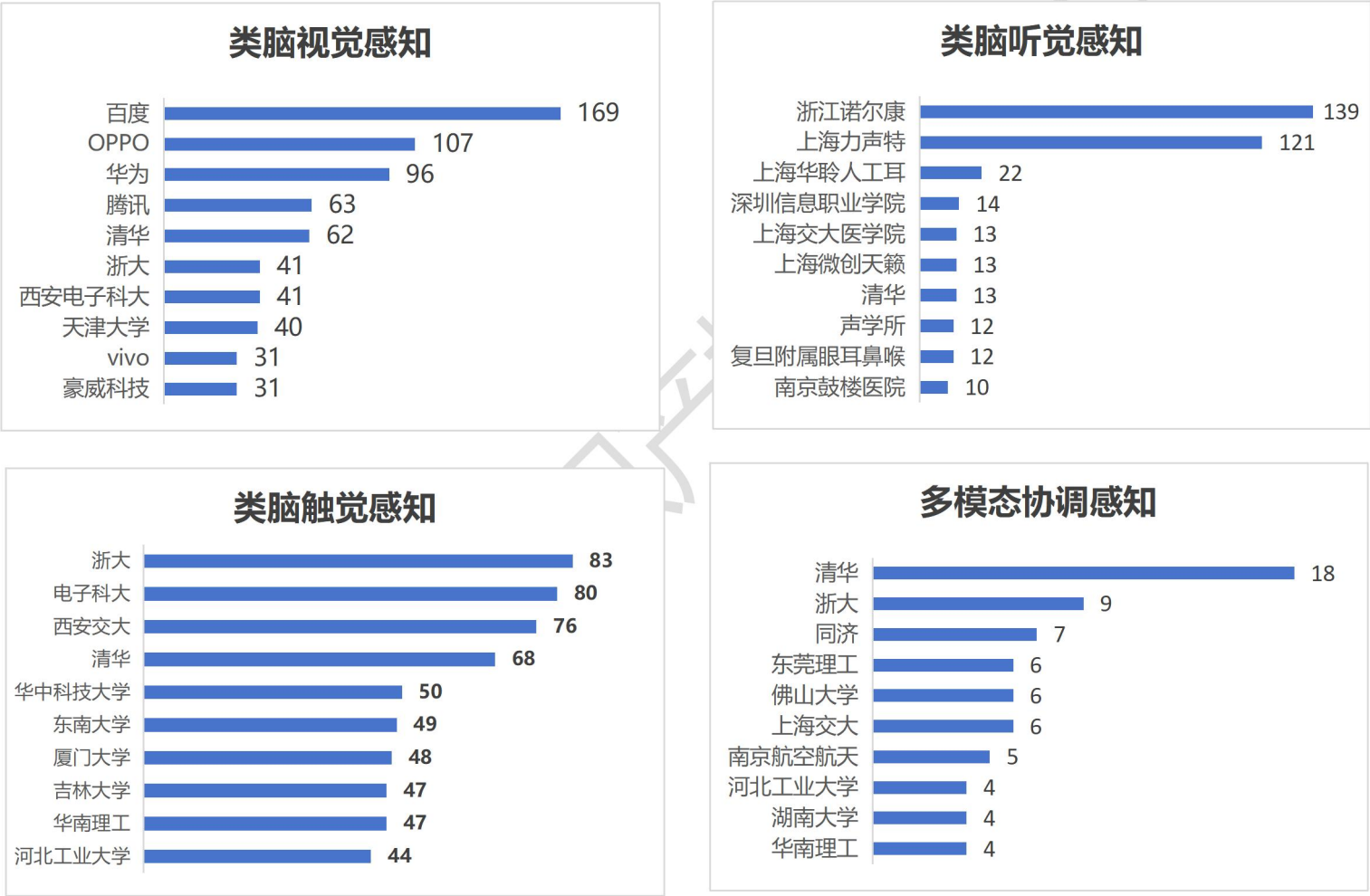
类脑计算芯片



(b) 类脑计算

类脑计算分支的申请主体的四个分支中，清华大学再次横跨类脑计算的四个二级分支，申请量均处于 TOP10。类脑视觉感知和类脑听觉感知两个分支中，企业占据多数，特别是百度在类脑视觉感知中专利申请量第一，其在图像处理方面拥有大量专利申请，为类脑智能产业中的视觉感知研究打下了坚实基础。浙江诺尔康神经电子科技股份有限公司在类脑听觉感知（人工耳蜗）分支的专利申请量居于国内领先地位，其自主研发了人工耳蜗及神经电子技术，并在 2023 年完成

3. 0T 磁共振兼容植入体首例临床手术，是类脑听觉感知（人工耳蜗）领域的领军企业。而在类脑触觉感知和多模态协调感知两个分支中，专利申请量 TOP10 均被高校占领，其中浙江大学、清华大学、电子科技大学均在该领域有领先的研究实力。



(c) 类脑感知

图 3.24 我国二级分支专利申请 TOP10 创新主体

3.3 产业发展方向

3.3.1 产业结构调整方向

3.3.1.1 全球产业结构调整方向

统计全球类脑智能产业各领域分支的专利情况，可以判断产业链布局结构的变化趋势。根据下图雷达图可知，1990年以来全球相关专利数量与总专利数在各个领域差值较小，可见，绝大部分专利是在1990年之后提出，以五年为周期，统计1990—2024年各领域专利申请量变化，如下图所示。

由于发明专利申请通常自申请日（有优先权的，自优先权日）起18个月（要求提前公布的申请除外）才能被公布，受限于2023年至今的部分专利还未完全公开，因此对于2020-2024年间的申请量占比小幅度降低本章节不做再次解释。

从整体来看，20世纪90年代初期（1990—1994年），脑机接口方向，信号解码领域申请量较多；类脑计算方向，类脑计算芯片申请量超过400项；类脑感知方向，触觉感知（人工皮肤柔性传感器）申请量超过50项。90年代后期（1995—1999年），类脑计算芯片和触觉感知领域申请量有小幅度下跌，其他几个方向均保持增长。

进入2000年以后，类脑智能产业涉及的13个技术方向均保持稳定增长态势。其中信号解码、应用领域、类脑计算芯片领域涨势最为明显，到2020-2024年间，申请量均已超过9000项，类脑计算芯片领域的申请量更是超过了10000项。



技术领域	1990-1994	1995-1999	2000-2004	2005-2009	2010-2014	2015-2019	2020-2024
植入式采集传感	16	47	215	559	1095	2619	5404
非植入式采集传感	12	35	103	288	676	2009	3354
范式编码	45	82	194	395	645	1533	3128
信号解码	145	175	388	717	1437	4311	9813
应用领域	114	207	494	930	1787	4894	9349
脉冲神经网络	56	144	271	414	884	1851	5043
SNN融合网络	31	38	65	126	386	931	3826
忆阻器	28	135	1734	4064	5170	6546	7506
类脑计算芯片	419	237	307	569	1353	4371	10048
类脑视觉感知	9	19	133	338	535	1367	3187
类脑听觉感知	23	88	221	378	557	633	660
类脑触觉感知	54	51	78	127	227	1132	2647
多模态协调感知	0	1	0	3	11	109	287

图 3.25 全球类脑智能产业各领域申请量和申请趋势

下沉至三级分支，对类脑智能产业各个领域细分方向的申请趋势进行统计，如下表所示，总的来看，在产业发展的初期（1990—1994 年），申请量集中在类脑计算芯片的神经拟态结构领域，占比达到 34.7%，随着产业的不断发展，各个领域的申请量趋于平均，到 2020-2024 年间，最高的占比

仅为 9%（信号解码的解码领域）。在 1990—2009 年这 20 年间，专利申请的热点从神经拟态结构芯片逐步转移到自旋电子型忆阻器和相变型忆阻器，在 2010—2024 年间，申请量趋势各三级技术分支逐渐趋于平均。下面对脑机接口、类脑计算和类脑感知细分方向展开分析。

脑机接口方向，信号解码的预处理领域申请量一直居于前列，在 1990—2009 年间，因为植入式采集传感、非植入式采集传感、神经调控应用等领域的快速发展，使得信号解码预处理领域的申请量占比出现了短暂的下滑，在 2010—2024 年间，申请量占比重新稳步上升。植入式和非植入式采集传感领域的申请量占比逐年上涨，其中植入式采集传感的上涨趋势要略快于非植入式采集传感。范式编码领域中，p300 的申请量占比逐年下降，SSVEP 的申请量占比比较稳定，运动想象的申请量占比略有提升。在应用领域方面，对外交互的应用申请量占比在整个统计周期内始终最高，状态检测和神经调控方面的应用申请量占比逐年提升，到 2020—2024 年时间段，三个方面的应用申请量占比已经趋于平均。

类脑计算方向，申请的重点从 1990—1994 年间的神经拟态结构计算芯片，逐渐迁移到 2000—2009 年间的自旋电子型、相变型忆阻器，清楚地显示了技术发展的迁移方向。到 2020—2024 年间，脉冲神经网络领域占比 12.5%，忆阻器领域占比 10.5%，类脑计算芯片领域占比 14.4%，整个类脑计

算领域的三个主要技术分支申请量占比趋于平均。

表 3.5 类脑智能细分方向申请量占比统计

技术方向			1990- 1994	1995- 1999	2000- 2004	2005- 2009	2010- 2014	2015- 2019	2020- 2024
脑机接口	植入式采集传感	植入辅助	1.1%	2.3%	2.7%	3.6%	4.7%	5.5%	5.7%
		植入式电极	0.5%	1.7%	2.6%	2.9%	2.9%	2.5%	2.3%
	非植入式采集传感	非植入电极	1.1%	2.3%	1.8%	2.5%	3.3%	4.3%	3.2%
		光学传感	0.1%	0.4%	0.6%	0.6%	0.8%	1.2%	1.1%
	范式编码	P300	3.4%	3.9%	3.1%	3.0%	2.6%	2.4%	1.9%
		SSVEP	1.3%	2.6%	1.1%	0.9%	1.2%	1.3%	1.1%
		运动想象	0.3%	0.5%	0.6%	1.3%	1.3%	1.8%	2.0%
	信号解码	预处理	11.8%	9.8%	5.9%	4.8%	5.8%	7.7%	8.6%
		解码	2.8%	4.5%	3.6%	3.6%	4.6%	7.2%	9.0%
	应用领域	对外交互	7.4%	9.2%	4.8%	4.4%	5.7%	7.9%	5.8%
		状态检测	3.5%	4.9%	4.3%	2.8%	2.8%	3.3%	4.2%
		神经调控	1.7%	2.6%	3.4%	3.7%	3.7%	3.7%	4.0%
类脑计算	脉冲神经网络	SNN模型	1.1%	1.9%	0.9%	0.7%	1.6%	2.1%	4.0%
		SNN编码	4.4%	9.0%	5.3%	3.6%	4.6%	3.7%	4.4%
		SNN训练	0.1%	0.1%	0.2%	0.4%	1.3%	1.9%	4.1%
	SNN融合网络	模型融合	3.0%	2.9%	1.5%	1.3%	2.4%	2.5%	4.9%
		离子迁移型	0.5%	0.5%	2.2%	6.2%	9.5%	4.5%	2.3%
		相变型	1.5%	1.5%	7.3%	23.8%	11.8%	4.6%	2.9%
		自旋电子型	0.8%	8.3%	30.4%	14.5%	12.2%	9.8%	5.3%
	类脑计算芯片	神经拟态结构	34.7%	9.6%	2.8%	1.3%	1.4%	5.6%	4.8%
		事件驱动的异步通信	4.2%	4.7%	2.0%	1.3%	2.0%	2.3%	2.9%
		多核并行计算	6.7%	5.0%	3.0%	3.9%	5.7%	5.6%	6.6%
类脑感知	类脑视觉感知	传感器	0.9%	1.4%	1.4%	1.3%	1.0%	1.1%	1.1%
		处理单元	0.0%	0.0%	1.7%	2.3%	2.3%	2.6%	3.0%
	类脑听觉感知	人工耳蜗	2.2%	6.6%	5.0%	4.0%	3.4%	1.7%	0.8%
	类脑触觉感知	人工皮肤柔性传感器	5.2%	3.8%	1.8%	1.3%	1.4%	3.0%	3.4%
	多模态协调感知	视触融合的机械手臂	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.1%	0.3%	0.4%

类脑感知方向，到 2020-2024 年间，类脑视觉感知的申请量占比最多，对视觉感知的结果进行处理的处理单元领域申请量占比逐年上涨，发展势头较好。听觉感知（人工耳蜗）经过多年的发展已经趋于成熟，申请量占比呈逐年下降的趋势。触觉感知（人工皮肤柔性传感器）领域，在 1990-2014 年间，申请量占比呈现下降趋势，因为当时的申请主题主要集中在柔性传感器上，随着人工皮肤概念的兴起，在 2015-2024 年间，该领域重新恢复上涨势头，成为类脑感知

领域的研究热点之一。视触融合的机械手臂领域仍处于研发探索的初期阶段，申请量占比有上涨趋势，但整体体量仍较小。

3.3.1.2 发达国家地区产业结构调整方向

主要发达国家和地区的产业发展往往处于全球领先梯队，对分析产业结构当前及未来的调整方向具有较强的参考意义。下表选取了在类脑智能产业中主要的发达国家和地区——美国、欧盟、日本作为分析对象，并分别对它们的专利申请量占比变化情况进行统计分析。

美国在植入式采集传感、非植入式采集传感、脉冲神经网络、SNN 融合网络、类脑视觉感知领域申请量占比整体呈现逐年上升的趋势，其中 SNN 融合网络领域在 2020-2024 时间段占比陡升，可能是未来几年的热点方向。忆阻器领域在 2009 年之前，经历了快速增长期，在 2009 年之后，申请量占比逐渐下降，回到 15.5%。类脑计算芯片领域是类脑智能产业早期增长热点，所以 1990-1994 年间占比达到 58.1%，随着其他领域的发展加速，占比回落到 2005-2009 年间的 6.7%，从 2009 年起，该领域申请量占比逐年提升，达到 28%，在产业螺旋式上升发展的过程中重新发挥引擎作用。信号解码和触觉感知（人工皮肤柔性传感器）领域占比呈现下降趋势，其中信号解码领域占比收窄明显，主要是受到其他领域的快速增长影响。听觉感知（人工耳蜗）在 2004 年之前，

美国申请量占比逐渐增加，从 2004 年之后，申请量占比逐步下降，这跟技术发展趋于成熟有关。从美国的各分支领域申请量占比统计来看，脑机接口方向是从信号解码分支发力，逐渐带动其他分支发展，到 2024 年植入式采集传感分支成长为新的发展引领分支；类脑计算方向从类脑计算芯片分支发力，逐渐带动忆阻器等领域分支的发展；类脑感知方向各分支相对独立发展，其中听觉感知（人工耳蜗）技术分支已经趋于成熟，视觉感知技术分支增长潜力较大。

欧洲的申请量占比趋势跟美国基本类似，在脑机接口应用领域，欧洲一开始的占比仅为 2.8%（美国为 4.6%），发展到 2020-2024 年间，申请量占比达到 5.8%，和美国的 6.4% 基本持平，补足了该领域的发展短板。欧洲地区在忆阻器领域的申请量占比，从 2004 年开始逐年下降，到 2020-2024 年间，占比只有 5.6%，只有美国同期占比（15.5%）的三分之一。欧洲的植入式采集领域申请量占比逐渐增加，到 2020-2024 年间，已经达到 20.3%，高于美国的 13.3%。从申请量占比趋势上来看，美国和欧洲在植入式采集传感和忆阻器两个领域的发展上存在分歧，美国在忆阻器领域更有优势，欧洲在植入式采集传感领域更有优势。

日本在植入式采集传感、非植入式采集传感、类脑视觉感知领域申请量占比逐年稳步上升，该领域发展趋势和其他发达国家地区的发展趋势基本一致，其中视觉感知的申请量

占比是三个国家地区中最高的，达到 5.3%。日本的脑机接口应用领域占比一开始就很高（5.0%），到 2020-2024 年间占比 4.8%，基本持平发展，略低于美国和欧洲。日本的类脑计算芯片领域占比发展趋势和美国、欧洲保持一致。

世界主要发达国家和地区类脑智能产业申请量占比发展趋势，因为发展重点不同而有所差异，但整体上看是有共性的，一是都是从类脑计算芯片领域开始发力，逐步带动其他产业方向发展，逐渐形成多核驱动结构；二是植入式采集传感、忆阻器、类脑计算芯片三个领域是当前占比较高的分支方向，预计未来持续发挥引领带动作用，其中植入式采集传感领域发展速度较快，值得关注；三是信号解码领域申领量占比持续下降，占比份额受其他分支高增速的影响；四是视觉感知领域占比逐年上涨，是类脑感知领域的发展潜力分支。

表 3.6 发达国家地区类脑智能产业各分支领域申请量占比统计

国家	技术分支	1990-1994	1995-1999	2000-2004	2005-2009	2010-2014	2015-2019	2020-2024
美国	植入式采集传感	2.2%	9.8%	12.6%	12.6%	14.1%	14.8%	13.3%
	非植入式采集传感	1.2%	2.9%	4.1%	5.1%	5.5%	6.2%	4.9%
	范式编码	4.7%	6.9%	7.0%	7.6%	5.8%	5.2%	5.2%
	信号解码	18.7%	18.7%	15.0%	11.6%	10.4%	9.2%	8.0%
	应用领域	4.6%	6.7%	5.7%	6.2%	5.4%	5.7%	6.4%
	脉冲神经网络	1.9%	6.0%	3.6%	2.5%	3.2%	3.5%	5.9%
	SNN融合网络	1.5%	1.1%	0.8%	1.0%	2.1%	2.3%	5.1%
	忆阻器	1.2%	6.6%	25.7%	31.3%	25.5%	18.5%	15.5%
	类脑计算芯片	58.1%	24.7%	7.3%	6.7%	15.0%	25.2%	28.0%
	类脑视觉感知	0.2%	0.7%	2.2%	3.2%	2.7%	3.1%	3.7%
	类脑听觉感知	3.9%	12.8%	14.2%	11.3%	9.4%	5.4%	3.2%
	类脑触觉感知	1.9%	3.1%	1.8%	0.8%	1.0%	0.8%	0.7%
	多模态协调感知	0.0%	0.1%	0.0%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%
欧洲	植入式采集传感	2.8%	10.9%	15.4%	17.6%	21.2%	22.0%	20.3%
	非植入式采集传感	0.9%	2.4%	4.8%	6.9%	8.1%	8.9%	7.1%
	范式编码	3.1%	6.3%	7.5%	9.2%	6.8%	6.3%	6.8%
	信号解码	21.9%	19.6%	17.3%	16.4%	14.0%	11.0%	9.2%
	应用领域	2.8%	4.6%	4.0%	5.4%	4.8%	4.7%	5.8%
	脉冲神经网络	2.9%	6.3%	4.6%	3.5%	3.3%	3.3%	4.5%
	SNN融合网络	1.5%	1.4%	1.1%	1.5%	1.5%	1.8%	3.5%
	忆阻器	1.2%	5.0%	15.3%	11.4%	7.4%	4.6%	5.6%
	类脑计算芯片	54.5%	22.0%	7.4%	7.0%	15.3%	25.4%	27.5%
	类脑视觉感知	0.1%	0.4%	2.6%	3.5%	2.5%	3.2%	3.9%
	类脑听觉感知	5.6%	16.3%	17.6%	16.2%	14.2%	7.8%	5.2%
	类脑触觉感知	2.7%	4.7%	2.3%	1.1%	0.9%	0.8%	0.6%
	多模态协调感知	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%	0.2%	0.1%	0.1%
日本	植入式采集传感	1.2%	9.4%	10.4%	10.0%	15.1%	16.3%	15.1%
	非植入式采集传感	0.5%	1.0%	4.1%	5.8%	6.9%	8.2%	6.3%
	范式编码	2.7%	6.0%	6.6%	8.0%	7.5%	7.4%	6.9%
	信号解码	12.7%	15.5%	14.1%	12.2%	12.3%	10.4%	9.1%
	应用领域	5.0%	6.9%	4.6%	5.1%	4.5%	5.4%	4.8%
	脉冲神经网络	2.7%	7.4%	4.7%	3.4%	3.7%	3.4%	4.6%
	SNN融合网络	1.8%	2.0%	0.8%	1.5%	2.4%	1.6%	3.2%
	忆阻器	1.8%	6.0%	29.4%	29.9%	22.4%	12.2%	11.5%
	类脑计算芯片	63.0%	27.0%	7.2%	6.8%	16.3%	26.4%	30.9%
	类脑视觉感知	0.8%	1.6%	4.1%	6.3%	5.3%	5.8%	5.3%
	类脑听觉感知	3.5%	12.3%	11.6%	9.3%	1.8%	1.3%	1.3%
	类脑触觉感知	4.2%	4.8%	2.5%	1.5%	1.5%	1.4%	0.9%
	多模态协调感知	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%	0.2%	0.1%	0.1%

3.3.1.3 龙头企业产业结构调整方向

本节选择三家龙头企业-美敦力、三星、索尼，通过追

踪上述龙头企业的研发热点来获悉类脑智能产业的历史专利热点变化。龙头企业基于主业积极布局相邻技术分支，逐渐形成多核驱动结构。

美敦力公司的专利申请主要集中在脑机接口领域，其中植入式采集传感和脑机接口应用是申请的热点。公司的申请方向从脑机接口应用逐渐迁移到植入式采集传感领域，非植入式采集传感领域美敦力公司也有专利布局，该领域的申请占比逐年递增，可能是美敦力公司未来的重点布局领域。

三星公司的专利申请主要集中在忆阻器领域，在2000-2004年间，忆阻器领域的专利申请占比最高达到95.5%，后来随着三星公司在类脑计算芯片、类脑视觉感知、脉冲神经网络和SNN融合网络领域的专利加速布局，占比回落到47.2%，但仍是第一大布局领域。

索尼公司的专利申请主要集中在类脑视觉感知、忆阻器、脉冲神经网络和SNN融合网络领域。在类脑视觉感知领域，从2000年开始，申请占比从11.9%逐步提升到45.6%，是索尼重点布局的类脑智能产业方向。忆阻器领域的专利申请占比可能是受到视觉感知申请增速的影响，占比逐渐下降到22.2%，仍然是重点布局领域之一。其他领域如脉冲神经网络、SNN融合网络、类脑计算芯片、脑机接口领域等也有专利布局，索尼公司在类脑智能产业中涉及的专利申请分支最为广泛。

表 3.7 龙头企业类脑智能产业各分支领域申请量占比统计

龙头企业	技术方向	1990-1994	1995-1999	2000-2004	2005-2009	2010-2014	2015-2019	2020-2024
美敦力	植入式采集传感	0.0%	19.4%	38.2%	36.2%	50.7%	54.7%	60.2%
	非植入式采集传感	0.0%	3.2%	0.0%	1.7%	7.6%	21.8%	14.3%
	范式编码	0.0%	0.0%	0.0%	0.6%	0.0%	0.0%	0.4%
	信号解码	100.0%	6.5%	6.6%	5.1%	3.1%	1.6%	2.7%
	应用领域	0.0%	71.0%	32.9%	51.4%	37.2%	21.4%	22.3%
	脉冲神经网络	0.0%	0.0%	0.0%	1.7%	0.4%	0.0%	0.0%
	SNN融合网络	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	忆阻器	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	类脑计算芯片	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	类脑视觉感知	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	类脑听觉感知	0.0%	0.0%	22.4%	3.4%	0.9%	0.4%	0.0%
	类脑触觉感知	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	多模态协调感知	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
三星	植入式采集传感	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.3%	0.0%
	非植入式采集传感	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	2.1%	3.2%	1.8%
	范式编码	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.4%	1.0%	0.0%
	信号解码	0.0%	20.0%	1.6%	0.7%	2.1%	4.1%	0.6%
	应用领域	0.0%	13.3%	0.4%	0.4%	2.1%	2.9%	1.1%
	脉冲神经网络	0.0%	20.0%	0.4%	0.7%	1.9%	5.2%	10.4%
	SNN融合网络	0.0%	6.7%	0.4%	0.2%	0.4%	3.5%	10.7%
	忆阻器	0.0%	33.3%	95.5%	94.6%	79.0%	56.3%	47.2%
	类脑计算芯片	100.0%	6.7%	1.6%	0.7%	6.9%	15.7%	22.4%
	类脑视觉感知	0.0%	0.0%	0.0%	1.8%	4.4%	7.7%	5.8%
	类脑听觉感知	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.4%	0.0%	0.0%
	类脑触觉感知	0.0%	0.0%	0.0%	0.7%	0.2%	0.1%	0.0%
	多模态协调感知	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%	0.0%	0.0%
索尼	植入式采集传感	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.5%	3.4%	1.5%
	非植入式采集传感	0.0%	7.7%	0.7%	1.9%	1.9%	1.3%	1.8%
	范式编码	0.0%	0.0%	0.0%	3.1%	0.9%	2.2%	0.6%
	信号解码	0.0%	7.7%	3.7%	0.6%	1.9%	2.6%	3.6%
	应用领域	0.0%	7.7%	5.2%	2.5%	3.7%	4.3%	2.7%
	脉冲神经网络	50.0%	30.8%	0.7%	1.3%	0.5%	0.4%	8.7%
	SNN融合网络	0.0%	7.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.9%	8.1%
	忆阻器	0.0%	30.8%	73.1%	47.8%	57.7%	35.3%	22.2%
	类脑计算芯片	50.0%	0.0%	4.5%	6.3%	0.5%	4.3%	5.1%
	类脑视觉感知	0.0%	0.0%	11.9%	36.5%	32.6%	45.3%	45.6%
	类脑听觉感知	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	类脑触觉感知	0.0%	7.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	多模态协调感知	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

3.3.2 技术重点研发方向

3.3.2.1 技术的发展阶段角度

3.3.2.1.1 植入式采集传感

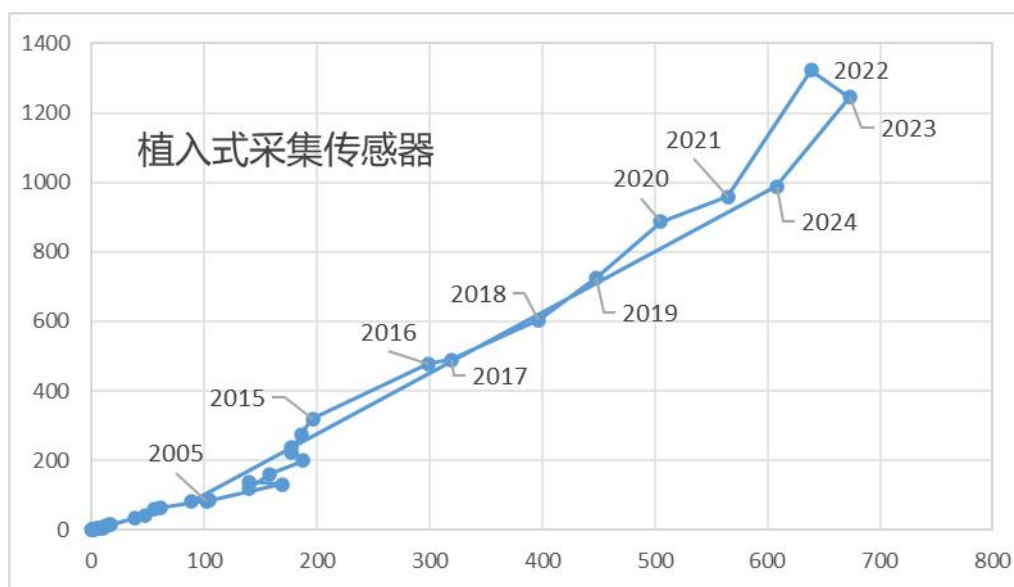


图 3.26 植入式采集传感器技术生命周期图

根据植入式采集传感器自 1985 年以来全球专利申请量与专利申请人随时间的推移变化曲线，可将技术生命周期划分为：1985 年—2005 年，专利申请人数量和专利申请量增长较为缓慢，专利年申请量和专利申请人数量均未超过 100，专利技术发展较为缓慢，属于植入式采集传感器的导入期。2006 年—至今，专利申请量和申请人数量增长迅速，专利申请量于 2015 年突破 300 项，2018 年突破 600 项，2022 年申请量达到峰值 1324 项，申请人数量也高达 639 项，说明植入式采集传感器处于快速成长期，这进一步证明了该技术在全球范围内受到了广泛的关注和追捧，技术创新活动频繁，市场应用不断拓展，为未来的进一步发展奠定了坚实的基础。

3.3.2.1.2 非植入式采集传感

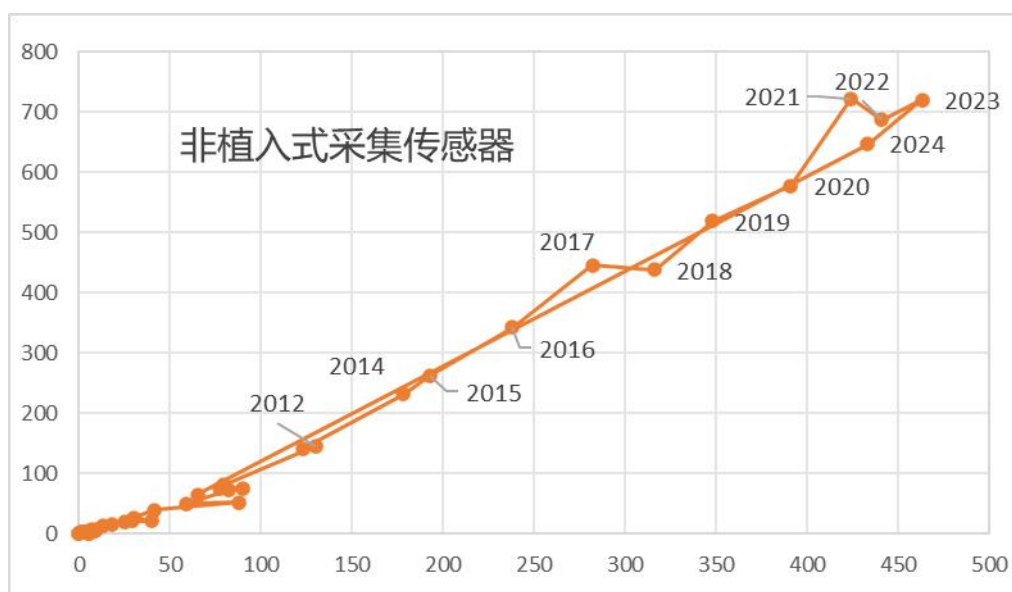


图 3.27 非植入式采集传感器技术生命周期图

根据非植入式采集传感器自 1985 年以来全球专利申请量与专利申请人随时间的推移变化曲线，可将技术生命周期划分为：1985 年—2011 年，专利申请人数和专利申请量增长较为缓慢，专利年申请量和专利申请人数量均未超过 100，专利技术发展较为缓慢，属于非植入式采集传感器的导入期。2012 年—至今，专利申请量和申请人数量增长迅速，专利申请量于 2016 年突破 300 项，2019 年突破 500 项，2021 年申请量达到峰值 722 项，申请人数量也高达 424 项，处于快速发展阶段，随后每年申请量均稳定在 600 项之上，这一阶段随着技术不断成熟和市场需求增加，越来越多的企业和研究机构开始投入研发资源，推动技术创新和专利申请。

3.3.2.1.3 范式编码

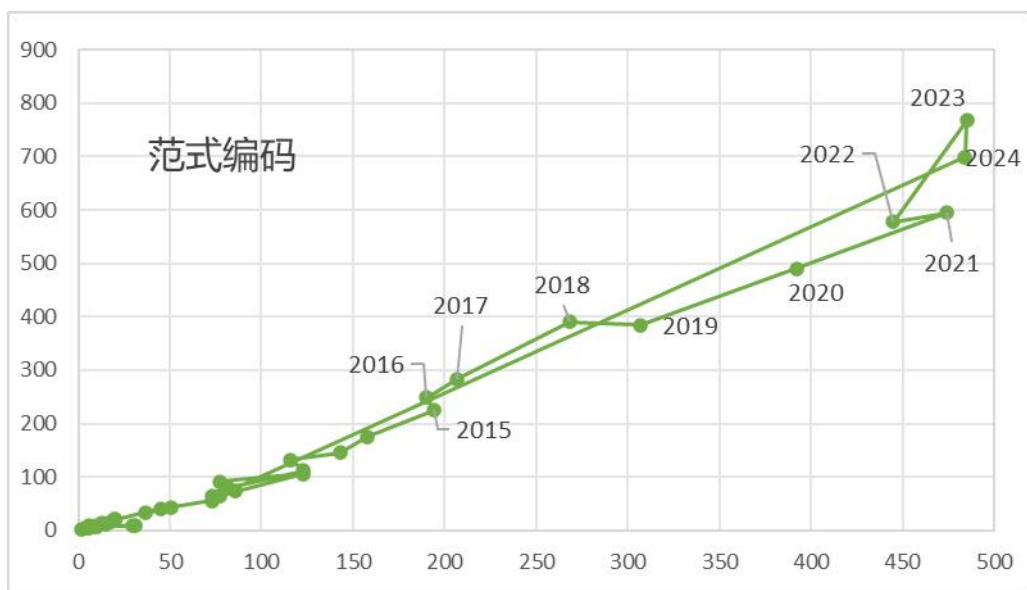


图 3.28 范式编码技术生命周期图

根据范式编码自 1985 年以来全球专利申请量与专利申请人随时间的推移变化曲线，可将技术生命周期划分为：1985 年—2014 年，专利申请人数和专利申请量增长较为缓慢，专利年申请量和专利申请人数均未超过 200 项，专利技术发展较为缓慢，属于范式编码技术的萌芽期。2015 年—至今，专利申请量和申请人数量增长迅速，专利申请量于 2015 年突破 200 项，2018 年突破 300 项，2023 年申请量达到峰值 767 项，申请人数量也高达 485 项，处于快速发展阶段。相较于其他技术，该技术的快速发展期开始较晚，从 2015 年之后该技术才迅速发展起来，属于较新兴前沿的技术。

3.3.2.1.4 信号解码

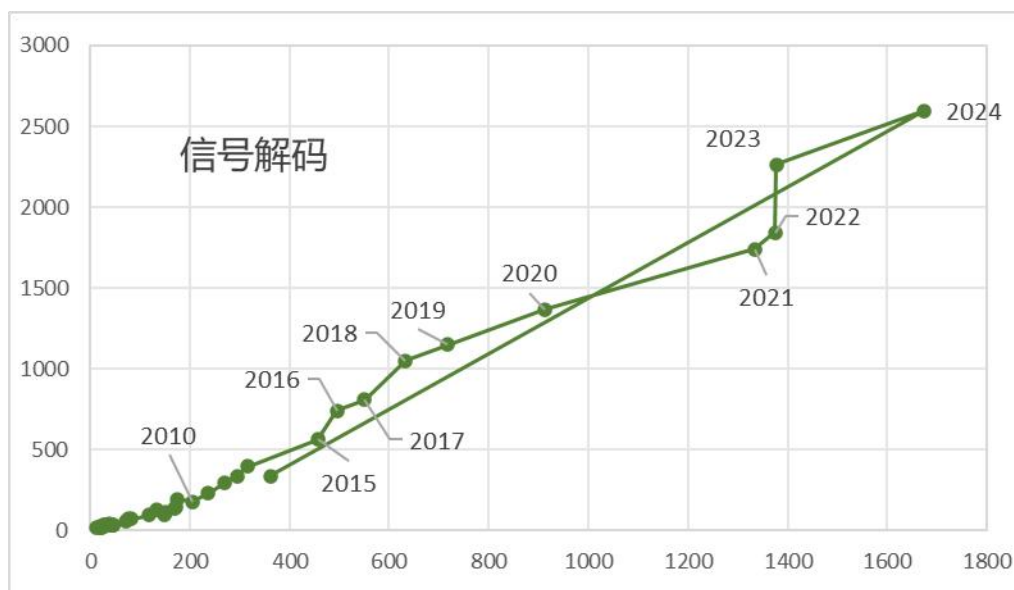


图 3.29 信号解码技术生命周期图

根据信号解码技术自 1985 年以来全球专利申请量与专利申请人数量随时间的推移变化曲线，可以看出该技术的发展较早，1985 年—2010 年属于技术萌芽期，从 2011 年开始专利申请量和申请人数量均未超过 200 项，2016 年开始专利申请量即超过 700 项，2017 年—至今处于逐年上升趋势，2024 年专利申请量达到顶峰 2595 项，说明目前信号解码技术正处于一个高度活跃和发展的阶段。

3.3.2.1.5 应用领域

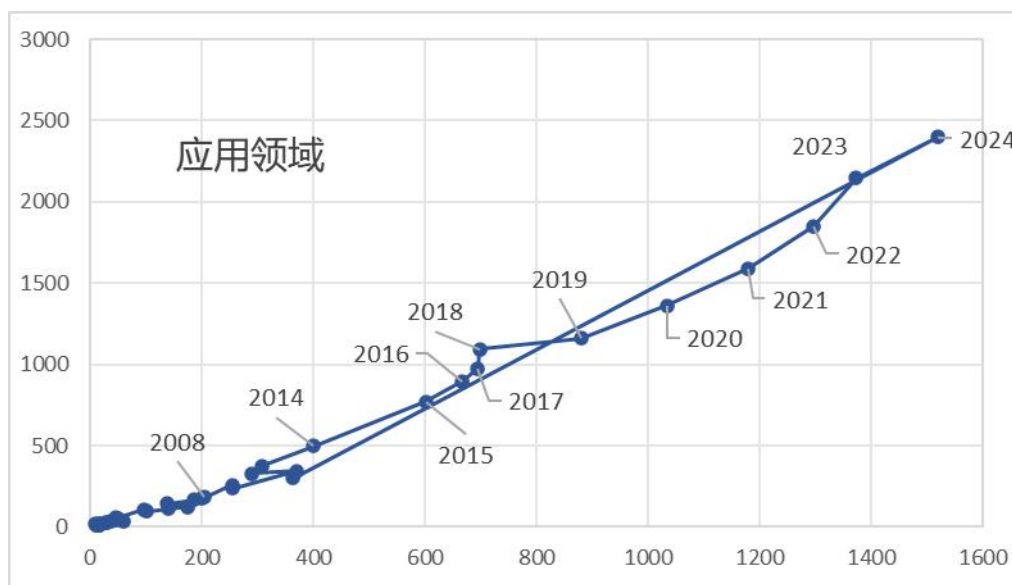


图 3.30 应用领域技术生命周期图

根据脑机接口应用领域自 1985 年以来全球专利申请量与专利申请人数量随时间的推移变化曲线，可以看出 1985 年—2008 年属于技术萌芽期，专利申请量和申请人数量均未超过 200 项，从 2009 年—至今处于快速增长阶段，2015 年专利申请量超过 500 项，2018 年超过 1000 项，发展迅速，并处于逐年上升趋势，2024 年达到顶峰，专利申请量为 2397 项，申请人数量达到 1519 项，说明目前脑机接口应用领域研究发展迅速，越来越多的企业和研究机构开始投入该方面的研究，不断加速该领域的发展。

3.3.2.1.6 脉冲神经网络

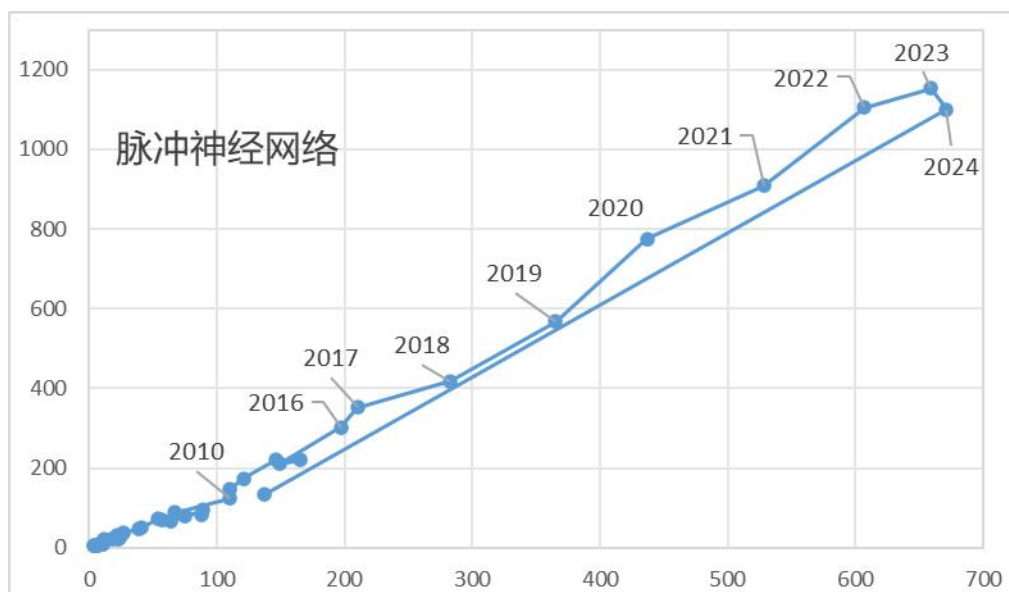


图 3.31 脉冲神经网络技术生命周期图

根据脉冲神经网络自 1985 年以来全球专利申请量与专利申请人数量随时间的推移变化曲线，可以看出 1985 年—2010 年属于技术萌芽期，专利申请量未超过 200 项、申请人数量未超过 100 项；2011 年—至今，属于快速成长期，专利申请量于 2018 年突破 400 项，2021 年突破 800 项，2023 年达到峰值 1153 项，申请人数量也高达 659 项。2018 年之后该领域的研究增长迅速，得益于近年来国家出台了一系列政策推动人工智能领域的发展，脉冲神经网络技术也正属于人工智能领域的核心技术。

3.3.2.1.7 SNN 融合网络

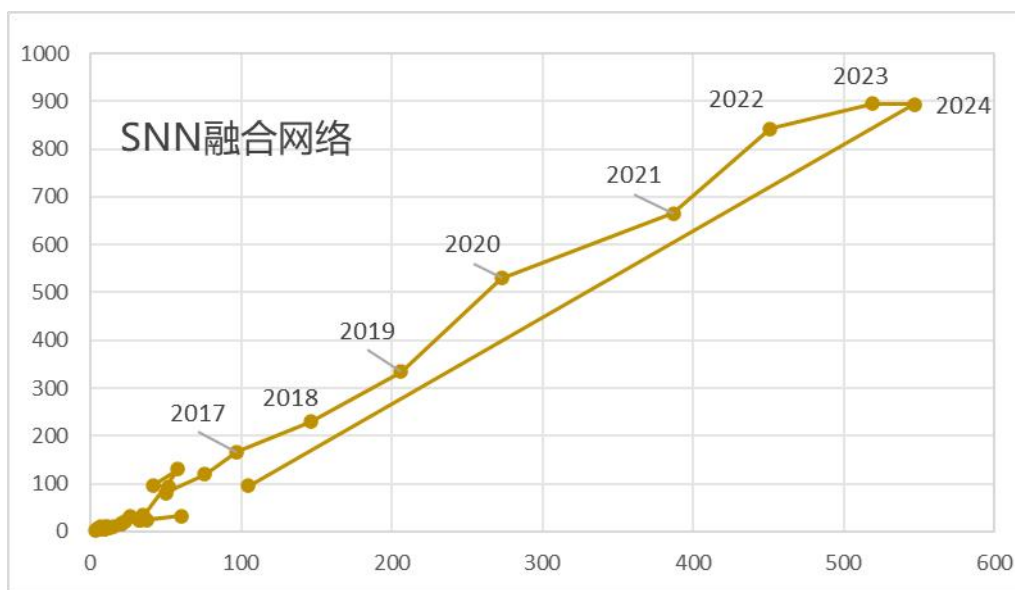


图 3.32 SNN 融合网络技术生命周期图

根据 SNN 融合网络自 1985 年以来全球专利申请量与专利申请人数量随时间的推移变化曲线，可以看出 1985 年—2017 年属于技术萌芽期，专利申请量未超过 200 项、申请人数量未超过 100 项；2018 年—至今，属于快速成长期，专利申请量于 2018 年突破 200 项，2023 年达到峰值 895 项，申请人数量也达到 519 项。可以看出 2018 年之后该领域的研究才迅速增长，2018 年也被称为人工智能元年，从这一年开始，人工智能的发展开始加速，SNN 融合网络作为第三代神经网络模型，也从 2018 年之后迅速发展起来。

3.3.2.1.8 忆阻器



图 3.33 忆阻器技术生命周期图

根据忆阻器自 1985 年以来全球专利申请量与专利申请人数随时间的推移变化曲线，可以看出，2001 年以前该技术处于萌芽期，专利申请量未超过 200 项，申请人数量未超过 100 项。2002—2007 年处于波动增长期，申请量在 2004 年出现了短暂的下降。2008 年—2021 年开始呈快速发展阶段，在增长过程中也存在轻微波动。专利申请量于 2021 年达到顶峰 1731 项，近几年有所下降，原因可能在于随着技术的不断发展，忆阻器的产品技术水平逐渐趋于成熟，创新难度加大，市场上已有的解决方案已经能够满足大部分需求，导致新的专利申请减少。

3.3.2.1.9 类脑计算芯片

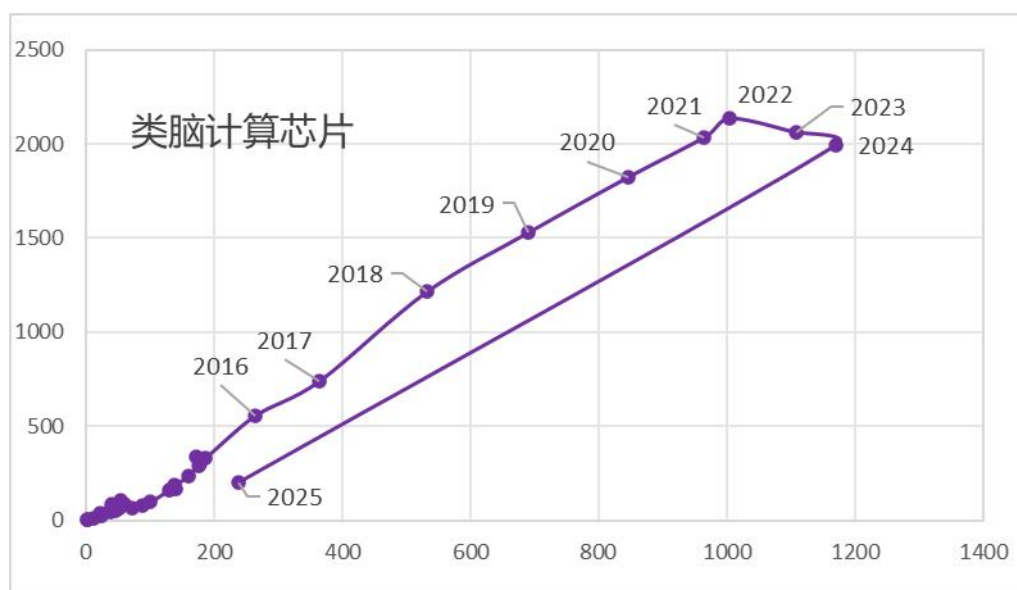


图 3.34 类脑计算芯片技术生命周期图

根据类脑计算芯片自 1985 年以来全球专利申请量与专利申请人数量随时间的推移变化曲线，可以看出 1985 年—2015 年该技术的增长趋势缓慢，专利申请量未超过 500 项、申请人数量未超过 200 项，属于技术导入期；2016 年—至今，属于快速成长期，专利申请量于 2016 年突破 500 项，2018 年即突破 1000 项，2021 年突破 2000 项，增长迅速，申请人数量也于 2022 年突破 1000 项。可以看出该领域的研究虽然发展较早，但在 2015 年之前一直处于平稳增长期，从 2016 年之后该领域的研究才迅速增长，这主要得益于近年来芯片领域的技术创新活动频繁，近两年受全球经济形势波动影响，专利申请量有所波动。

3.3.2.1.10 类脑视觉感知

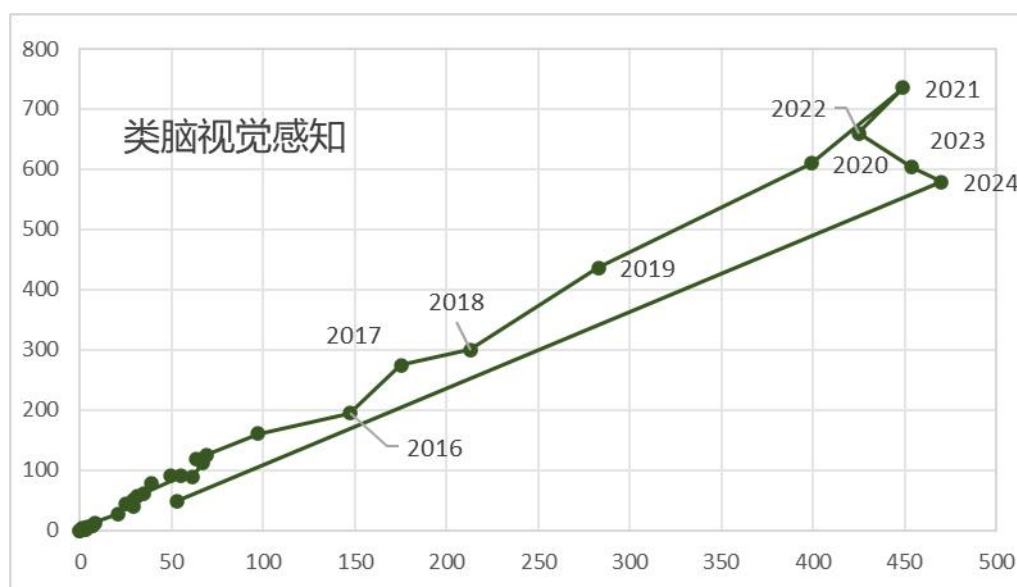


图 3.35 类脑视觉感知技术生命周期图

根据类脑视觉感知自 1985 年以来全球专利申请量与专利申请人数量随时间的推移变化曲线，可以看出 1985 年—2016 年该技术的生长趋势缓慢，专利申请量未超过 200 项、申请人数量未超过 150 项，属于技术导入期；2017 年—至今，属于快速成长期，专利申请量于 2019 年突破 400 项，2020 年突破 600 项，2021 年达到顶峰 735 项，增长迅速，申请人数量也于 2024 年达到顶峰 470 项。可以看出该领域的研究起步较晚，从 2017 年之后才开始迅速成长起来，近年来越来越多的企业和研究机构也开始加入该领域的研发，典型的如 2014 年成立的清华大学类脑计算研究中心。

3.3.2.1.11 类脑听觉感知

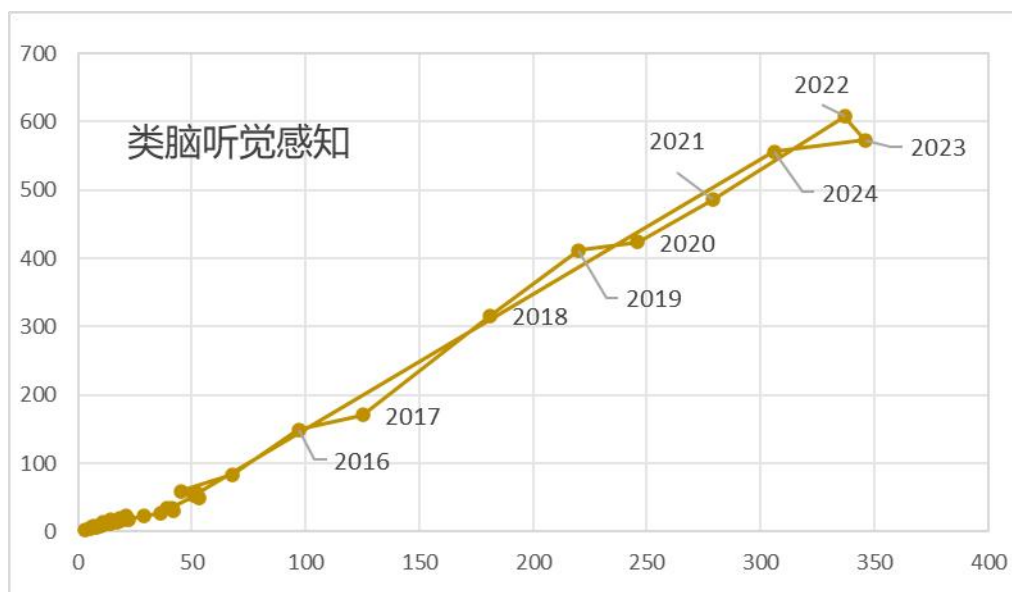


图 3.36 类脑听觉感知技术生命周期图

根据类脑听觉感知自 1985 年以来全球专利申请量与专利申请人数量随时间的推移变化曲线，可以看出 1985 年—2015 年该技术的增长趋势缓慢，专利申请量和申请人数量均未超过 100 项，属于技术导入期；2016 年—至今，属于快速成长期，专利申请量于 2019 年突破 400 项，2022 年达到顶峰 608 项，增长迅速，申请人数量也于 2022 年达到顶峰 608 项，可以看出该领域的研究起步较晚，从 2016 年之后才开始迅速成长起来。该技术前期国外研究较多，2006 年中国企业诺尔康购买了加州大学人工耳蜗技术专利；2011 年，上海力声特取得中国首个耳蜗产品注册证，近年来研究逐渐火热。

3.3.2.1.12 类脑触觉感知

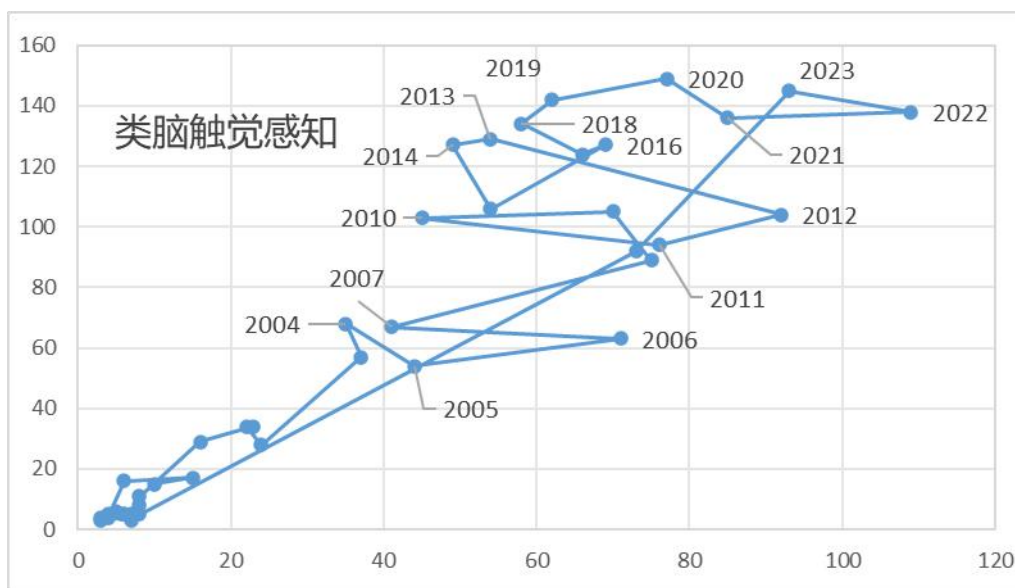


图 3.37 类脑触觉感知技术生命周期图

根据类脑触觉感知自 1985 年以来全球专利申请量与专利申请人数量随时间的推移变化曲线，可以看出，到目前为止类脑触觉感知的专利申请量与专利申请人数量均未突破 200 项，处于萌芽期。可能原因是类脑触觉感知是一种发展相对较为缓慢的感知技术，其研究和应用受限于多种因素的制约，包括技术难度、成本投入、市场需求等。近年来，随着科技的进步和人形机器人技术的快速发展，类脑触觉感知技术有望取得新的突破和创新。

3.3.2.1.13 多模态协调感知

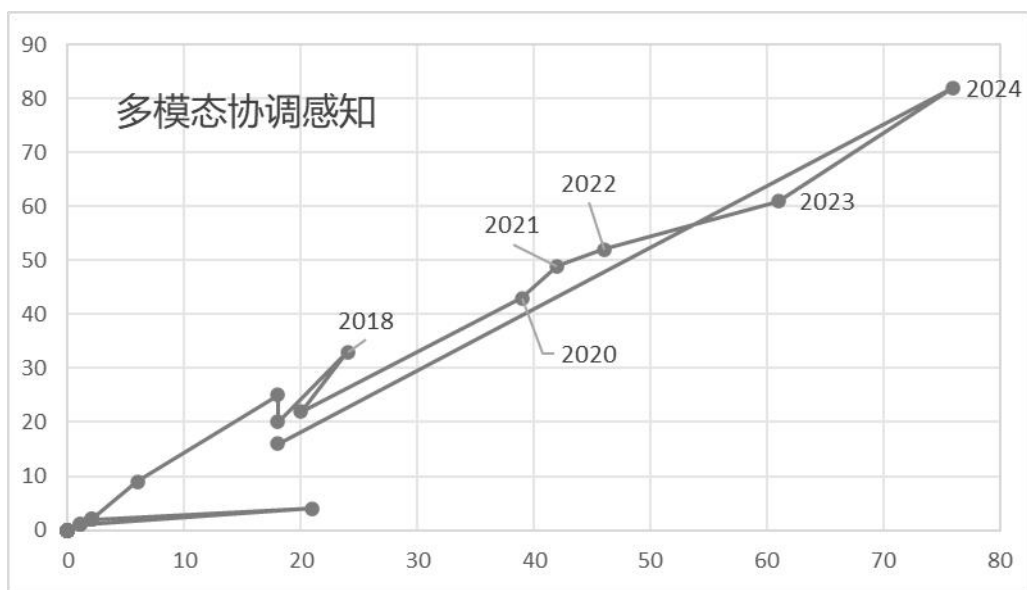


图 3.38 多模态协调感知技术生命周期图

根据多模态协调感知自 1985 年以来全球专利申请量与专利申请人数量随时间的推移变化曲线，可以看出，到目前为止多模态协调感知的专利申请量与专利申请人数量均未突破 100 项，处于萌芽期。可能原因是多模态协调感知是一种新型的感知技术，其研究和应用受限于视觉、触觉、听觉、嗅觉等多种感知技术的综合发展，近年来，随着脑科学和类脑技术的快速发展，类脑多模态协调感知技术有望取得新的突破和创新。

3.3.2.2 核心专利演进趋势角度

随着某一技术热度的提升，越来越多的创新主体加入研发，专利申请的质量和价值也随之提升，因此重点专利的技术分布也体现出产业发展的热点技术。对于类脑智能产业，通过关注重点专利（简单同族成员数量 ≥ 3 且同族被引用专利总数 ≥ 5 的专利项）统计分析其中记载的核心技术或者基

础技术分布情况，能够为技术发展热点方向研判提供有益参考。

从脑机接口领域的重点专利数量来看，涉及应用领域的数量最多，达到 2016 项，占该技术分支专利总量的 11%，植入式采集传感器紧随其后，达到 1792 项，占比 17.8%。从类脑计算领域的重点专利数量来看，涉及忆阻器的数量最多，达到 6049 项，占该技术分支专利总量的 23.8%，类脑计算芯片排第二，达到 1982 项，占比 11.2%。从类脑感知领域的重点专利数量来看，涉及类脑听觉感知（人工耳蜗）的数量最多，达到 764 项，占该技术分支专利总量的 29.3%，类脑视觉感知紧随其后，达到 638 项，占比 11.3%。纵观三个分支，13 个细分技术领域，除信号编码、类脑触觉感知以及多模态协调感知，其余 10 个分支重点专利占比均维持在 10% 以上，其中类脑听觉感知（人工耳蜗）、忆阻器 2 个分支的重点专利占比都在 20% 以上。由此说明，前述领域核心专利的比重大，保护的技术范围具有较高的重要性和关键性，保护的技术范围具有较高的重要性和关键性，对该领域甚至产业链上下游的影响力较大，结合上文分析内容，可以进一步验证，该领域价值较高，核心技术掌握在少数实力较强的创新主体手中，同时技术壁垒较高，产品升级大多发生在现有技术体系内部，技术颠覆可能性小，龙头成长可期，进入门槛较高。

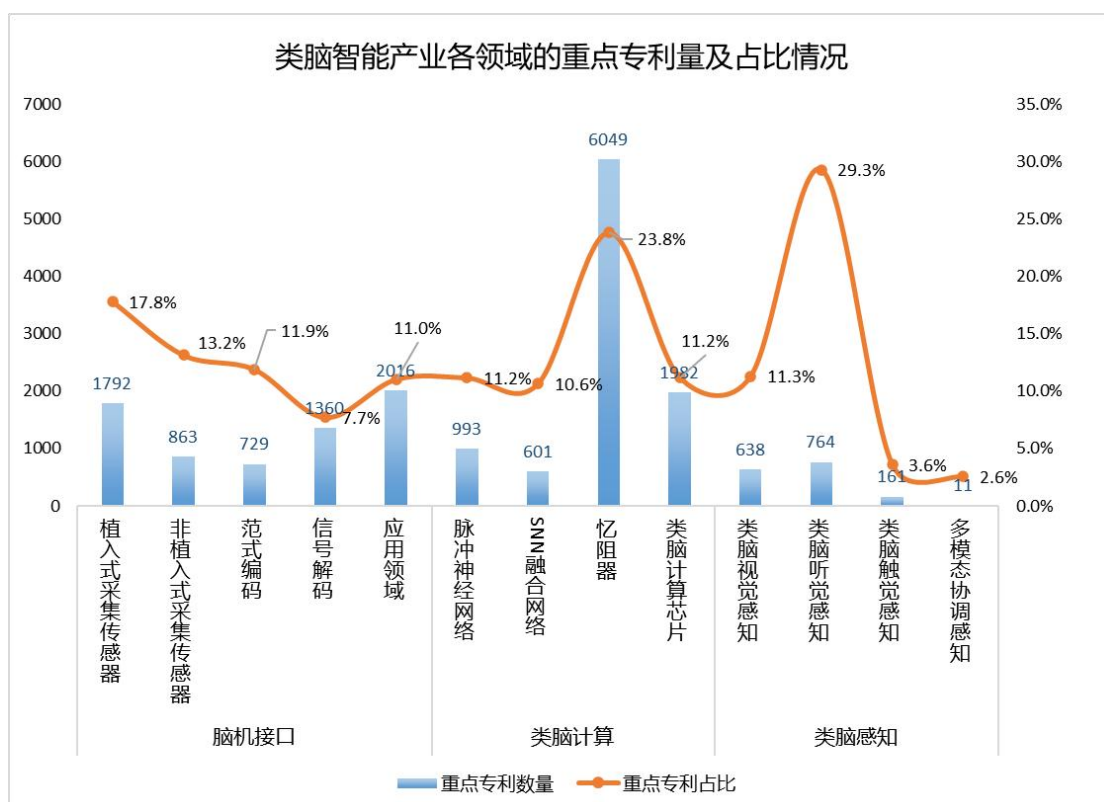


图 3.39 类脑智能产业各领域的重点专利量及占比情况

3.3.2.3 技术布局热点角度

由于发明专利申请通常自申请日（有优先权的，自优先权日）起 18 个月（要求提前公布的申请除外）才能被公布，受限于 2025 年至今的部分专利还未完全公开，我们将 2015-2019 五年内各二级技术分支的专利申请总量与 2020-2024 五年内各分支专利申请量进行了对比，统计了近五年专利申请量的变化情况，发现 13 个技术分支相较于前 5 年均有所增长。

脑机接口中，信号解码技术的增长速度最快，增长率高达 127.6%，增长率屈居第二位的是植入式采集传感器，增长率高达 106.3%。信号解码算法是脑机接口系统的核心部分，

承担着将神经信号准确翻译为运动指令的关键使命，其专利申请量的显著提升，不仅反映了信号解码技术的持续进步，也体现了科研工作者对于神经信号解码新算法的研究持续火热。类脑计算中，SNN 融合神经网络增长速度最快，达到 311%，其次是脉冲神经网络，增长率为 172.4%，体现了类脑智能领域中人工智能算法和模型的研究异常火热。类脑感知中，多模态协调感知的增长速度最快，高达 163.3%，其次是类脑触觉感知，增长率为 133.8%，该分支属于类脑感知中的新兴技术领域，是当前研究的热点方向，尤其是在柔性传感（电子皮肤）领域取得了显著进展，多模态协调感知技术也通过整合多种感知模态，为智能机器人和人机交互领域带来了革命性的进步。

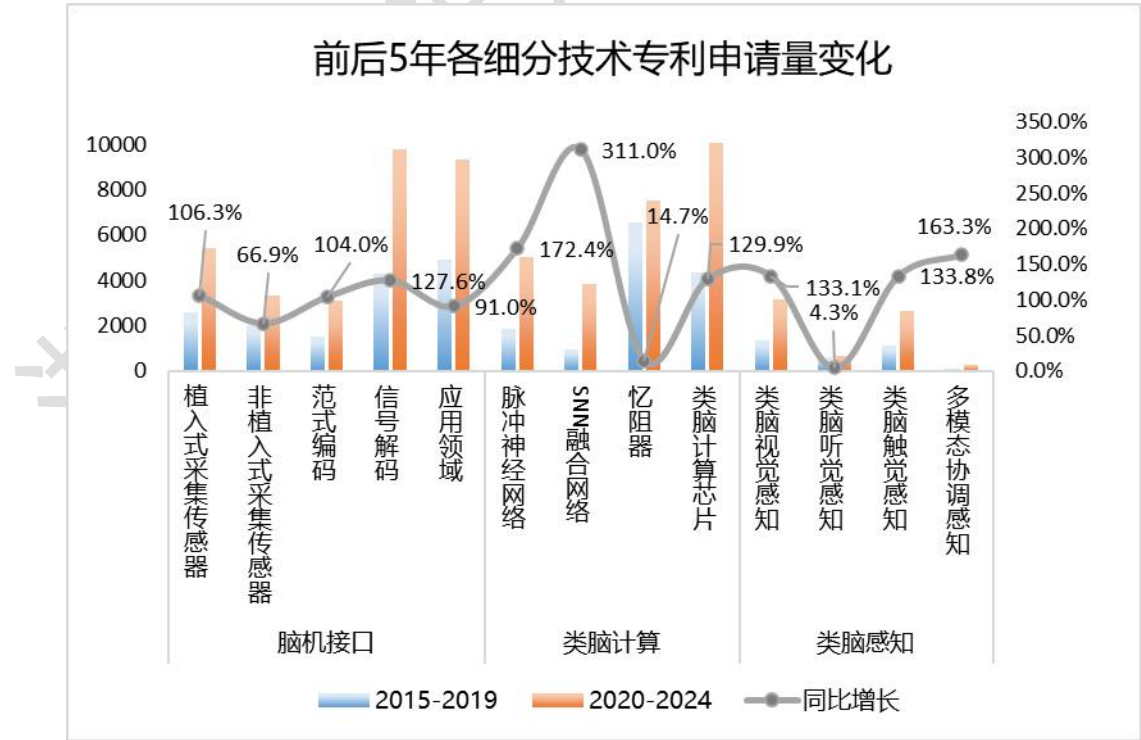


图 3.40 前后 5 年各细分技术专利申请量变化

3.3.3 企业竞争热点方向

3.3.3.1 创新协同热点方向

专利协同创新是指两个或两个以上申请人共同合作，完成一项专利技术的研发创新，并申请专利。一般而言，一个技术上协同创新（共同申请）的数量和占比越大，该技术的技术壁垒可能越强，受重视程度也越高，通常是市场竞争的重要技术方向。



图 3.41 类脑智能产业各领域协同创新情况

从协同专利占比来看，超过 10% 的领域只有三个，分别是范式编码、信号解码和应用领域，说明类脑智能产业仍处于发展探索阶段，整体交叉融合和创新合作的环境有待进一步改善。应用领域跨行业属性强，合作开发可以高效利用研

发资源。类脑视觉感知和多模态协同感知领域处于探索阶段，合作研发占比较少，协同创新比例只有 6.4%和 6.5%，类脑听觉感知和类脑触觉感知因为包括了人工耳蜗和柔性传感器技术，这两类技术经过多年发展，已经相对成熟，所以协同专利占比有所提升，达到 9.2%和 8.8%。忆阻器和类脑计算芯片领域，由于其应用广泛，市场对于技术成果的需求及期望较高，因此合作专利数量较多，但由于市场竞争激烈，主体为了抢占份额，较为倾向独立研发，因此二者的协同专利占比并不算高。

3.3.3.2 专利运用热点方向

专利运营是指专利权人对专利权的资本管理与运作，主要包括权利转移、许可、质押等方式。专利运营的活跃程度可以从侧面反映创新主体或技术方向的创新生命力。

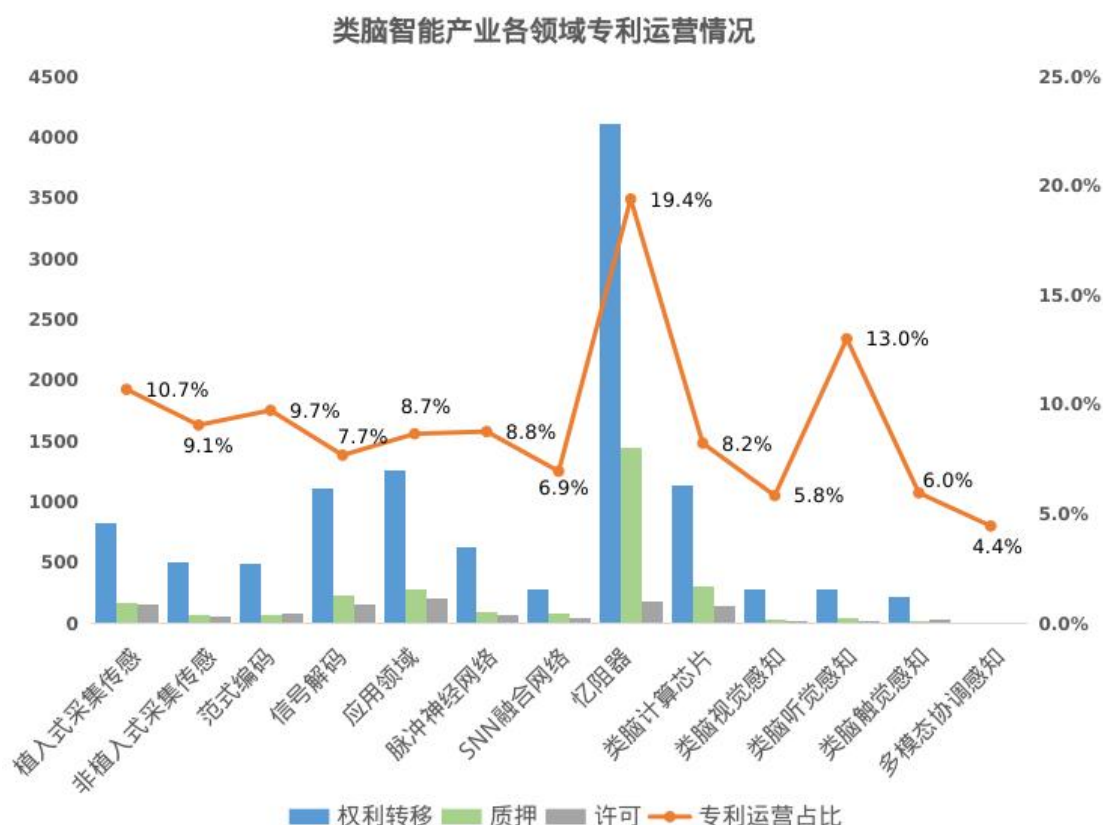


图 3.42 类脑智能产业各领域专利运营情况

对核心技术的专利运营情况进行分析，如表所示，专利运营占比超过 10% 的只有植入式采集传感、忆阻器和类脑听觉感知（人工耳蜗）三个领域，类脑智能产业整体来看专利运营程度不高。忆阻器领域因为研发成本高，周期长，所以技术使用者更倾向于直接购买专利或者获得使用许可，便于进一步的二次研发，专利运营占比达到 19.4%。类脑听觉感知（人工耳蜗）发展较为成熟，行业技术集中在少数头部企业手中，新进入者难度大，是运营占比较高的原因。类脑视觉感知和多模态协同感知仍处于技术发展初期，专利运营占比较少。

类脑智能产业的专利运营主要集中在权利转移上，质押

和许可的比例都比较少。

3.3.3.3 新进入者热点方向

产业发展全过程都伴随着竞争者的不断加入和退出，尤其是在产业发展的增长期，不断有新企业加入到竞争中来，因此从产业快速发展期新申请和新进入者的技术分布上，可以看出市场竞争的重点方向。下图所示为类脑智能产业高速发展的近五年（2020—2024 年）研究新申请量和新进入第一申请人的各领域分布情况。

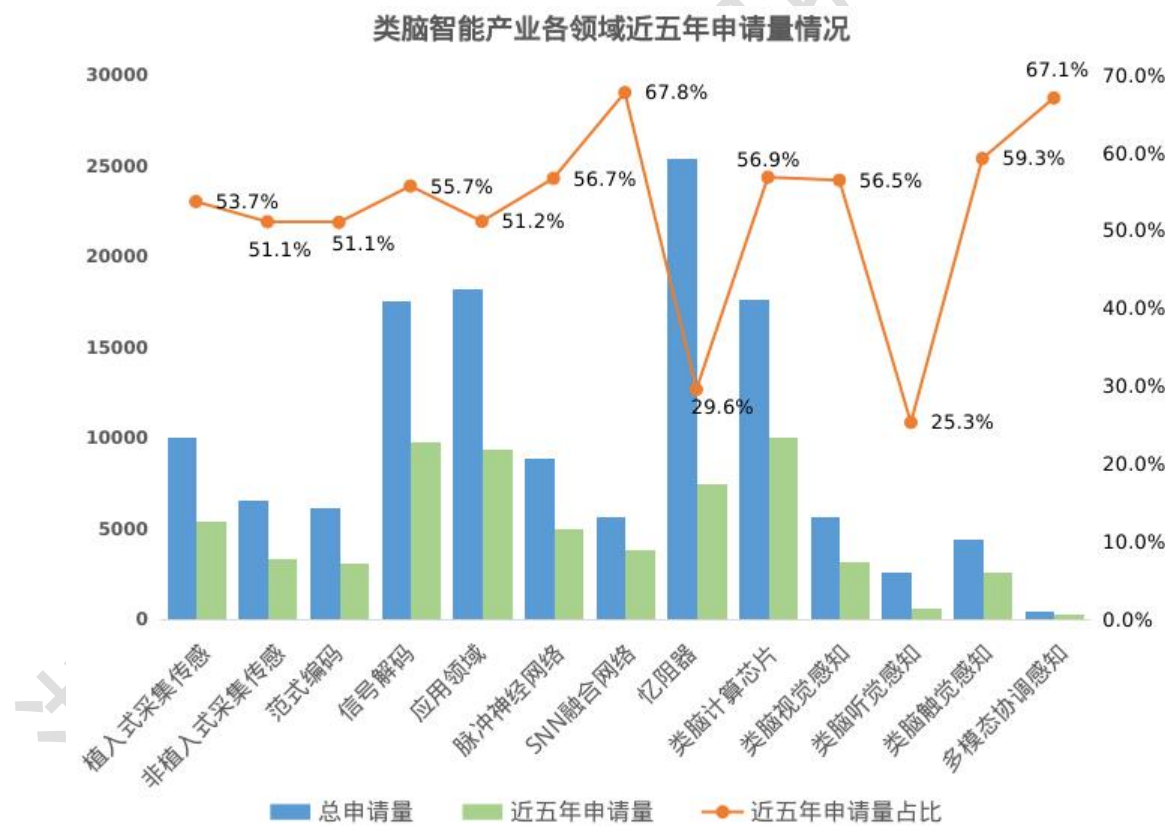


图 3.43 类脑智能产业各领域近五年申请量情况

类脑智能产业中，除了忆阻器和类脑听觉感知（人工耳蜗）外，其他领域的近五年申请量占比都超过 50%，新进入第一发明人占比都超过 40%，说明类脑智能产业仍处于快速

发展期，是市场关注的焦点产业，近五年竞争激烈。忆阻器和类脑听觉感知（人工耳蜗）产业发展较为成熟，市场集中度较高，大部分资源掌握在老牌创新主体手中，进入难度较大。

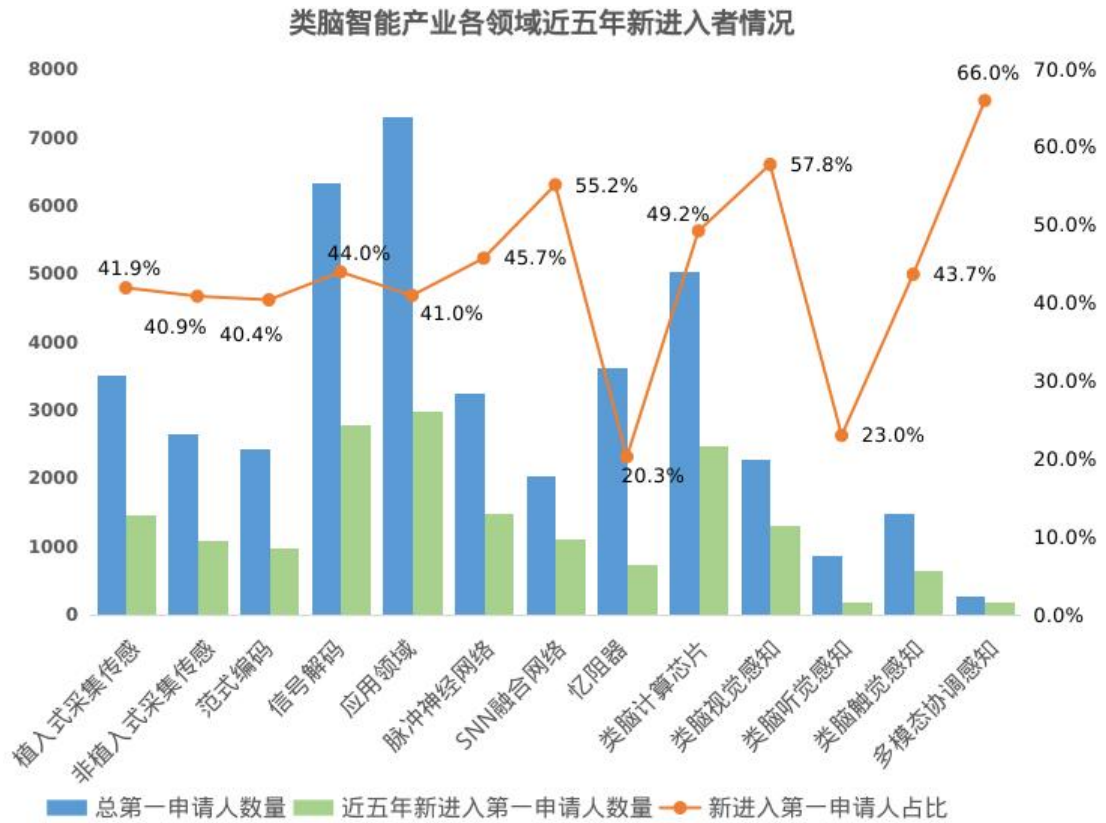


图 3.44 类脑智能产业各领域近五年新进入第一申请人情况

3.3.4 国内市场潜在方向

通过了解全球和国内市场在各领域的专利分布情况，分析国内市场的潜在增长点，总的来看，在各个技术领域，国内的审中专利占比基本高于有效专利占比，有效专利占比同样高于专利总量占比，说明国内在各个领域具有大量的申请正在审查过程中，近年来研发活动较为活跃，未来有希望涌入更多的新技术和新产品。具体看细分领域，在脉冲神经网络

络和多模态协调感知领域，有效专利占比略高于审中专利占比。在忆阻器、类脑听觉感知（人工耳蜗）中，国内还存在较大的发展空间，尤其是类脑听觉感知（人工耳蜗），在全球总量中仅占 40%上下，分析可能是该技术引入中国较晚，国内独角兽公司较多，具有较大的潜力和发展前景。

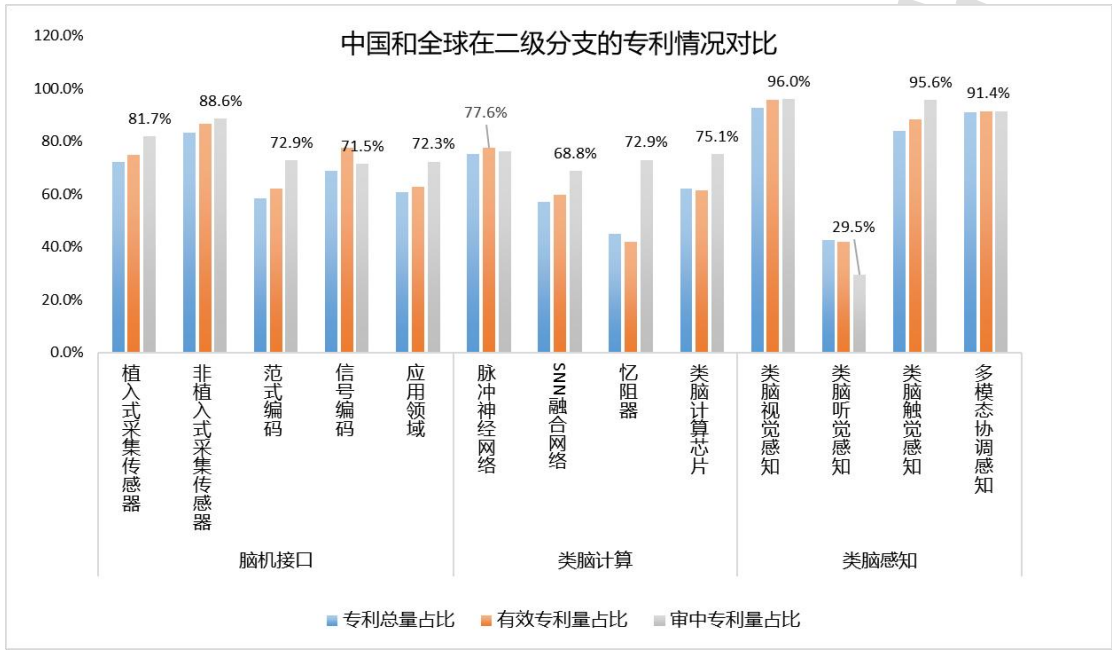


图 3.45 中国占全球在二级分支的专利情况对比

3.4 本章小结

1. 中国类脑智能产业发展迅速，但在多个方面与世界仍有差距

类脑智能产业在全球范围内拥有大量专利，总数达 102993 项（发明占比 95.0%），中国在该领域的专利申请量居全球首位，达 63969 项（发明占比 91.8%），中国是类脑智能专利技术最大来源国（占比 34.5%）和专利申请最大受理局（占比 39.7%），美国位居第二（占比分别为 30.6%和

25.7%)。中国专利占全球专利较低的分支是忆阻器和类脑听觉感知（人工耳蜗），占比仍有40%左右，国内技术领域没有明显的空白。

中国占有全球发展优势，但在多个方面与世界仍存在差距。一是在植入式采集传感、SNN融合网络、忆阻器、类脑听觉感知（人工耳蜗）分支上技术来源国占比低于美国，体现出这些分支上技术原创能力与美国仍有差距。二是中国专利主要流向本国，海外布局专利数量偏少，是专利技术的净流入国，表明海外布局意识和能力有欠缺。三是龙头企业数量质量不足，脑机接口领域，美敦力申请量断崖式领先，前5名中只有1家中国高校（天津大学，排名第五），前10名中有5家中国主体，均为高校和科研机构，缺少中国企业主体；类脑计算领域，前10名主体中只有1家中国企业（台积电，排名第四）；类脑感知领域，前10名主体中有3家中国企业（百度第八、华为第九、浙江诺尔康第十），排名比较靠后。

2. 产业分支发展趋于平衡，逐渐形成多核驱动结构，协同创新和运营管理有待提升

从全球产业结构调整方向来看，类脑智能产业从单点引领突破逐渐形成多核驱动发展结构，1990-1994年间，产业专利申请量占比最高的是类脑计算芯片（45.6%），排名第二的是信号解码（14.6%），依靠单点引领，逐步带动其他

产业方向发展，到 2020-2024 年间，排名前 5 的领域分支是信号解码(17.6%)、类脑计算芯片(14.3%)、应用领域(14%)、脉冲神经网络(12.5%)和忆阻器(10.5%)，逐渐形成多核驱动结构。

发达国家和地区产业结构形成类似多核驱动格局，具体驱动核心略有差异。到 2020-2024 年间，美国排名前 3 技术分支分别是类脑计算芯片(28.0%)、忆阻器(15.5%)、植入式采集传感(13.3%)，欧洲排名前 3 技术分支分别是类脑计算芯片(27.5%)、植入式采集传感(20.3%)、信号解码(9.2%)，日本排名前 3 技术分支分别是类脑计算芯片(30.9%)、植入式采集传感(15.1%)、忆阻器(11.5%)。发达国家和地区的植入式采集传感领域发展速度较快。

龙头企业基于主业积极布局相邻技术分支，形成多核驱动结构。美敦力公司从信号解码领域逐渐向植入式采集传感、应用领域、非植入式采集传感方向布局，三星公司从类脑计算芯片逐渐向忆阻器、SNN 融合网络、脉冲神经网络、类脑视觉感知方向布局，索尼公司从脉冲神经网络和类脑计算芯片方向逐渐向类脑视觉感知、忆阻器、SNN 融合网络布局。

协同专利占比超过 10%的领域只有三个，分别是范式编码、信号解码和应用领域，产业整体创新协同环境需要提升。运营占比超过 10%的领域有三个，分别是植入式采集传感、

忆阻器和类脑听觉感知（人工耳蜗），整体运营程度不高，且主要集中在权利转移，质押和许可的比例较少。

3. 优势分支体现技术积累，热点分支预示发展方向

从申请总量上看，脑机接口方向上**应用领域**分支申请量最多，专利申请量为 18266 项，类脑计算方向上**忆阻器**分支申请量最多，为 25384 项，类脑感知方向上**类脑视觉感知**分支申请量最多，为 5643 项。从重点专利数量来看，类脑计算领域的**忆阻器**分支申请数量最多，达到 6049 项，占该技术分支专利总量的 23.8%，脑机接口领域的**应用领域**分支排名第二，达到 2016 项，占比 11.0%，类脑感知领域的**类脑听觉感知（人工耳蜗）**申请量为 764 项，占比在所有分支中最高，达到 29.3%。从 1990 年以来，脑机接口领域中，**信号解码**、**应用领域**分支增量较多，类脑计算领域中，**类脑计算芯片**、**忆阻器**分支增量较多，类脑感知中，**类脑视觉感知**分支增量最多。这几类技术分支是产业优势技术分支，体现了发展过程中的技术积累趋势。

根据近五年专利申请量的变化，脑机接口领域中，**信号解码**的增长速度最快，增长率高达 127.6%，第二位的是**植入式采集传感器**，增长率高达 106.3%，类脑计算中，**SNN 融合神经网络**增长速度最快，达到 311%，其次是**脉冲神经网络**，增长率为 172.4%，类脑感知中，**多模态协调感知**的增长速度最快，高达 163.3%，其次是**类脑触觉感知**，增长率为 133.8%。

从近五年新进入第一申请人数量占比来看，多模态协同感知（66.0%）、类脑视觉感知（57.8%）和 SNN 融合网络（55.2%）分支占比较高，脑机接口领域中信号解码分支最高，达到44.0%。这几类分支是产业发展的热点分支，预示了产业的未来发展方向。

信号解码和类脑视觉感知分支既有多年的发展积累，又是当前的热点方向。

第四章 重点企业创新方向分析

4.1 美敦力

4.1.1 企业近期研究进展

美国美敦力公司由工程师厄尔·巴肯（Earl Bakken）与医生威廉·沃尔顿（William Wallace）于1949年创立，总部位于美国明尼苏达州明尼阿波利斯市，是全球领先的医疗科技公司。美敦力生产的知名产品之一是脑起搏器，即深部脑刺激（Deep Brain Stimulation, DBS），通过向患者特定的深部脑区植入电极，用微电极刺激脑区进行神经调控，是脑机接口的主要落地应用之一，可用于治疗帕金森引起的震颤，癫痫，特发性震颤，妥瑞综合征等疾病引起的多种药物难治型的运动障碍。美敦力脑起搏器临床案例17.5万以上，临床使用近40年。国内各大医院的DBS手术数据显示进口DBS脑起搏器产品以美敦力为主。蓬勃的市场需求也得益于美敦力在植入电极技术方面的不断创新改进。在1998年至2024年期间，美敦力的专利申请量呈现增长后下降态势。

2023年，美敦力推出一款具有大脑信号采集能力的脑机接口神经调控产品 Percept PC，主要应用于帕金森病、肌张力障碍、特发性震颤等疾病的治疗。

2025年，美敦力开发的 BrainSense 自适应深部脑刺激

(aDBS) 系统已获得 CE 标志认证，并在欧洲完成了首例植入，标志其在深部脑刺激 (DBS) 技术方面取得了重要进展。

4.1.2 技术分支、技术功效和 IPC 分类号统计

美敦力相关三级分支申请专利数量及技术功效见下表。

在植入辅助方向，美敦力投入了较大精力，共检索有 402 件专利属于植入辅助领域，主要技术功效包括降低手术风险、精确辅助电极植入到相关位置以及减小外界的干扰。美敦力一直侧重采用植入辅助对电极进行精准定位，采用机器人辅助、器械导航、植入检测、路径规划等方式提高植入部署的精准性和有效性。

在植入式电极方向，美敦力的植入电极专利持续在改进。共检索有 404 件专利申请属于植入式电极领域，主要技术功效包括提高电极采集信号的信噪比，提高信号采集的效率以及增加电极材料的表面积。以近二十年伴随产品的专利研发趋势看，从产品获批的 2002 年开始，美敦力一直侧重对电极的结构进行改进，包括引线的改进、电极主体的改进等，历年专利申请中很大一部分占比都是电极结构的革新。其次是通过电极材料进行技术创新，申请了较多专利，而且从发展趋势看，近些年通过材料改进的专利数量占比明显提升。其在专利中提到使用胶原与神经电接触可提供优异的电性能。且为了有效实现精细化的刺激控制，避免出现刺激扩散，美敦力对导线通过结构改进进行了加强，以弯曲的槽形

加强件确保导线精准植入。

对于非植入式电极方向，美敦力共有 141 项专利申请，其主要解决的技术功效为提高测量的准确性和可靠性，以及加强信号的输出质量。CN118055791A 公开了用于递送电刺激的装置、系统和技术。对于现有的电刺激治疗难以有效抑制脑部病理性频率振荡引起的症状，如僵硬、运动迟缓和静息性震颤，且可能影响正常脑功能的技术问题，其采用通过检测患者脑部的病理性频率，选择具有不同突发内脉冲频率的脉冲冲突发序列，向脑部区域递送电刺激以引起突触抑制，抑制病理性脑信号，而不夹带更大的生物电脑信号网络。有效减少或消除与病理性脑信号相关的症状，避免对正常脑功能的影响，提高治疗的精准性和安全性。

美敦力在神经调控领域也投入了较大的研发力量，共有 328 项专利申请，其主要解决的技术功效为提高测量的增加检测电极的数量，减小电极尺寸，以及促进待测对象的健康治疗。W02024224227A1 针对当前的深部脑刺激（DBS）疗法以开环方式进行，导致功耗低下，并且随着患者病情随时间的变化而缺乏针对性治疗，因为临床医生手动确定刺激参数，既耗时又无反应实时患者状态变化的技术问题，通过涉及一种闭环刺激系统，可根据患者状态或治疗模式在不同传感方式之间切换，使用包括生化、电物理和活动传感在内的配置来动态调整刺激参数，优化神经传感参数以实现更准确

和响应更灵敏的治疗。这种方法通过准确估计患者状态并实时调整刺激参数，减少副作用并改善治疗结果，实现更加定制、高效和反应灵敏的神经刺激治疗。

此外，美敦力还在信号解码预处理及信号解码分别有 22 和 21 项专利进行布局，在对外交互领域布局专利 19 项，在状态检测领域布局专利 62 项，在类脑听觉感知领域布局专利 26 项。

表 4.1 美敦力三级技术分支和技术功效统计

三级分支	申请量（项）	技术功效	申请量（项）
植入辅助	402	低风险	8
		部署简单	6
		干扰最小化	6
植入式电极	404	提高信噪比	9
		提高效率	8
		增加表面积	8
非植入式电极	141	提高准确性	2
		测量可靠	1
		提高质量	1
信号解码预处理	22	低成本	2
		连续监测	1
		提高可靠性	1
信号解码	21	测量准确	2
		提高质量	1
		提高可靠性	1
对外交互	19	提高可靠性	1
		同步性好	1

		运动顺畅	1
状态检测	62	提高水平	4
		提高质量	3
		品相好	3
神经调控	328	增加数量	7
		尺寸小	6
		促进健康	5
类脑听觉感知	26	快速测试	2
		更逼真	2
		增强耦合	2

在脑机接口领域，美敦力的专利主要集中在 A61N1 和 A61B5 两个 IPC 分类号小类。这些分类号涵盖了脑机诊断治疗的核心技术，包括用于诊断目的的测量，植入或插入躯体用的电极，与植入刺激有关的装置。

其中 A61N1 分类号下的专利主要是采用电学相关信号检测治疗相关疾病，共具有 640 项专利，表明美敦力主要是在脑机接口中采集电学相关信号，并通过电学信号解码相关信息。A61B5 分类号则涉及相关疾病诊断和目的的测量，通过采集脑部信号，进而进行疾病的诊断和测量。

A61B34 分类号下的专利关注辅助植入，采用机器人或器械辅助进行电极的植入及信号采集检测。采用机器辅助有利于将电极精准的植入到脑部待测位置，提高检测的可靠性和有效性，是脑机接口中较为关注的领域之一。

A61B17 分类号下的专利涉及外科器械、装置或方法，与 A61B34 类似，也是采用外科器械、装置或方法进行脑机接口电极的植入，其相比机器植入，属于较为传统的辅助植入手段，通常器械相对简单，实施过程较为容易，但植入的准确性不如机器植入。

A61M5 是采用皮下注射、静脉注射或肌肉注射的方式将介质引入体内的器械。其通常是采用血管植入辅助的方式将电极通过血流植入到脑部待测位置，该植入手段较为方便，不需要钻入颅骨或开颅手术，其在相关血管植入辅助电极产品进行了全方位的保护，在采集传感环境对电极本身的结构设计进行保护，也为辅助植入方法和术前规划方法申请保护，还为解码检测、反馈控制申请了专利，此外，并对基于血管电极进行神经调控的应用进行扩展，为其治疗癫痫、疏通血管申请等应用了专利。

总体来看，美敦力在脑机接口及类脑计算产业进行了较早的产业布局及技术创新的研发保护，相关产品主要集中在脑机接口中的植入式电极结构及材料的改进，在机器人及血管植入辅助也有涉及。这些技术的进步对于提升脑机接口信号采集的准确性至关重要，能够有效的应用于脑部疾病的诊断及治疗。

表 4.2 美敦力前十 IPC 大组分类号统计

序号	IPC 分类号	专利数量/项	分类号含义
1	A61N1	640	电疗法；其所用的线路（A61N2/00 优先；用于治疗或体内测试的导电药剂入 A61K50/00）[2006.01]
2	A61B5	624	用于诊断目的的测量（放射诊断入 A61B6/00；超声波、声波或次声波诊断入 A61B8/00）；人的辨识[2006.01]
3	A61B34	62	计算机辅助外科学；专门适用于外科的操纵器或机器人[2016.01]
4	A61B17	60	外科器械、装置或方法（A61B18/00 优先；牙科工具入 A61C3/00；眼科手术入 A61F9/007；耳科手术入 A61F11/20）[2006.01]
5	A61M5	43	皮下注射、静脉注射或肌肉注射的方式将介质引入体内的器械；其附件，例如充填或清洁器、靠手（专门适用于医用的联接管、耦合器、阀或分流元件入 A61M39/00；专门适用于医用或药用的容器入 A61J1/00）[2006.01]
6	G16H40	39	专门用于安排或管理医疗保健资源或设施的 ICT；专门用于经营或运行医疗设备或装置的 ICT[2018.01]
7	G16H50	36	专门适用于医疗诊断，医学模拟或医疗数据挖掘的 ICT；专门适用于检测、监测或建模流行病或传染病[2018.01]
8	A61B19	35	在 A61B1/00 至 A61B18/00 各组中都不包含的手术或诊断用的仪器、器械或附件，例如立体定位术、消毒作业、脱位处理、伤口边缘防护器（保护面罩入 A41D13/11；外科医生或患者用衣或服装入 A41D13/12，取得、处理或贮存体液的装置入 A61M1/00）
9	A61B18	34	向人体或从人体传递非机械形式的能量的外科器械、装置或方法（眼外科入 A61F9/007；耳外科入 A61F11/20）[2006.01]
10	A61B90	33	专门适应于手术或诊断的仪器、器具或附件，且不属于 A61B1/00 至 A61B50/00 组的任何一类，例如用于脱臼治疗或保护伤口边缘的器具[2016.01]

4.1.3 重点技术路线分析

从技术路线发展看，美敦力在植入式电极的结构改进方面持续创新。早在 1968 年即通过 US3654933A 提出柔性弯曲电极概念，使得植入身体部分良好电接触，而为了保护生物安全。不与身体接触的电极引线被封装惰性物质中。

1994 年提出半袖带电极，此类电极的中空半圆柱形部分由非导电材料制成，且有通过支架固定的 U 形体。这种半袖设计结构的电极在固定到神经时，半袖的一侧打开因而不会影响神经组织的营养物质，使得神经创伤最小化。且电极通过弹性支撑件确保对神经不施加过大偏压力。

2000 年美敦力提出带窗口的脑刺激电极。这种电极的结构改进使得窗口能选择性地暴露部分电极，从而产生定向刺激电流场，更有效地将电刺激定位到非常小的脑目标，从而减少大范围刺激脑组织引起的副作用。此外，这种定向引线还能在更精细的范围内感测大脑活动。

2006 年，提出可植入的细长电极，这种电极在植入患者体内时，能够膨胀，从而与周围组织接合。这一年还提出一种技术，能将电极功能进行拓展，将电极阵列设置在穿透组织的导管上，从而使得阵列的电极可用于感测周围组织或体液的特性，还能将物质、物品或装置输送到人或动物对象体内的特定目标位置。

2012 年，由于神经刺激电极数量需求的增加与微型化需

求的冲突，美敦力提出一种具有低计数连接器的电极。这种低计数连接器包括电源管理单元、控制器单元、通信单元和开关单元的探针，这种探针不需要修改传统的脉冲发生器单元，但可以将刺激递送至神经元组织，将脑组织连接到提供刺激脉冲的常规脉冲发生器单元。

2017 年，美敦力提出具有导电环的分段电极。因为导电环不受限于医疗引线的表面，电极边缘弯曲设计以减少电极边缘处的电流密度，这种设计更耐用、更精确、更耐电流泄漏。

2018 年，由于传统电极的电极刺激点都沿单个轴定位，在传递电荷和刺激场方面存在限制，美敦力提出具有多个电极位点的电极阵列和支撑该电极阵列的载流子。电极阵列耦合到载流子上，使得电极位点既围绕载流子排列，又沿载流子轴向排列。一组电极位点可以同时被激活以产生激活模式，从而使得深部脑刺激具有精细电极位点定位、选择性、可调性和精确激活模式。

2019 年，美敦力对电极导线结构进行优化，每个电极围绕中心管腔旋转不同的角度，基于螺旋形导管进行应力释放。

2022 年美敦力根据局部电场电位（LFP）测量确定用于递送治疗性电刺激信号的一个或多个电极，设计将环形电极应用于 DBS 中，得到基于诱发信号的脑深部刺激可编程系统。



图 4.1 美敦力植入式电极结构改进路线图

4.1.4 高价值专利

美敦力的高价值专利清单如下表所示，覆盖了植入式电极结构设计、材料选择、辅助植入手段优化及非植入式信号采集等方面。这些技术能够有效提高电极植入部署的准确性、安全性和有效性，并增强了相关诊断和治疗的效果。

对于高价值专利的申请情况可以看出美敦力高价值专利具有较高的被引次数，其超过 100 被引的专利就有 98 篇，

下表摘取其中部分仍有效的专利进行分析。可以看出相关高价值专利均存在同族，且部分同族超过 10 个，2007 申请的用于间质经血管介入的装置、系统和方法的专利申请同族数达 23 个。在运营方面，美敦力绝大部分专利都是自行运营，没有进行专利权转移和许可质押。在技术功效方面，美敦力高价值主要集中在提高电极部署的准确性，提高诊断治疗的有效性和安全性等方面进行布局。

表 4.3 美敦力部分高价值专利清单

序号	公开公告号	专利名称	申请年	同族数	被引用次数	运营情况	技术功效
1	US20120172892A1	植入式医疗器械固定	2011	8	531	无	方便固定
2	US20090105785A1	治疗方案选择	2008	3	296	无	改善帕金森病症状
3	US20070255118A1	收集姿势和活动信息以评估治疗	2007	2	281	无	提高药效 方便对比
4	US6669631B2	医疗设备系统中的深度计算应用	2001	5	272	无	加快并加深理解
5	US7130681B2	使用加速度计信号增强室性心律失常检测	2003	6	258	无	可靠地检测和分类
6	US9572982B2	放置医疗导线以对神经组织进行电刺激的技术	2009	18	230	无	电刺激,降低神经损伤风险,提高安全性和有效性。
7	US9717421B2	带系绳的植入式医疗器械输送导管	2012	1	224	无	精确部署,降低复杂性
8	US7027858B2	皮下 ECG 波形中心脏 R 波传感的方法和装置	2002	6	222	无	降低误检率 错误检测 提高传感性能 防止被感知 优化 R 波传感
9	US9833625B2	具有内护套和外护套的植入式医疗器械输送	2012	1	217	无	精准部署 ,减少侵入性
10	US6824512B2	用于可植入设备和药物分配器的通信系统	2002	5	208	无	加快并加深理解

11	US7846172B2	用于间质经血管介入的装置、系统和方法	2007	23	201	无	电刺激降低神经损伤风险,提高刺激疗法治疗效果
12	US20090196471A1	使用植入后成像对电刺激电极进行表征	2009	16	199	无	提高药效
13	US6836687B2	用于在静脉系统内输送医用电导线的的方法和系统	2002	5	195	无	准确安置,降低组织损伤风险并提高手术效率。
14	US20070255330A1	遥测同步生理监测和治疗传递系统	2006	3	184	无	同时记录心电图和脑电图数据,提高诊断准确性并降低猝死风险,降低设备复杂性和功耗。
15	US7881798B2	根据睡眠质量控制治疗	2007	1	184	无	提高水平 品相好 提高质量 减少需要
16	US6733500B2	用于在静脉系统内输送医用电导线的的方法和系统	2002	5	178	无	减少放置时间和风险,减少移位,提高心脏组织接触和电耦合。
17	US7282030B2	医疗器械系统重新交付治疗的定时延迟	2003	10	143	无	最大限度地减少不良反应,及时有效治疗神经系统疾病。
18	US20100036468A1	第一次正确放置 dbs 潜在客户	2007	10	136	权利转移	增加负担 定位精确
19	US7610099B2	在包括遥测处理器的可植入医疗设备中处理遥测信号的方法	2006	4	132	无	减少需求 节省体力 提高处理速度
20	US20080269854A1	具有多种电极配置的植入式医疗导线	2007	1	128	无	减少所需数量 消除毒副作用

4.2 飞利浦

4.2.1 企业近期研究进展

皇家飞利浦（Royal Philips），全称荷兰皇家飞利浦公司，由赫拉德·飞利浦和弗雷德里克·飞利浦于1891年在荷兰埃因霍温创建。作为一家健康科技公司，飞利浦的产品覆盖视听产品、母婴护理、厨房及家居等多个领域。医疗健康是其三大业务领域之一。医学成像技术是其优势之一。

2024年，飞利浦公司宣布推出 LumiGuide 成像技术，通过光导纤维反射光线，能够生成三维、高分辨率的彩色图像，为血管导航提供全新视角，有望在血管内手术时替代具有潜在有害辐射风险的 X 光成像技术。

2025年，飞利浦宣布与英伟达展开新的合作，以利用尖端的人工智能技术推动磁共振成像（MRI）技术的发展。两家公司的目标是在英伟达先进的人工智能计算平台的支持下，构建一个磁共振成像的基础模型。通过在海量数据集上训练的大型深度学习神经网络，加快扫描速度。两家公司还期望它能改善一系列临床应用中的诊断工作流程并提高诊断准确性。

4.2.2 技术分支、技术功效和 IPC 分类号统计

针对检索结果中皇家飞利浦公司的专利进行分析，根据类脑智能产业三级分支的统计，可以得到植入辅助分支的申

请量最多为 128 项，技术功效主要集中在如何让植入辅助设备的成本更低、更便于识别以及避免过量。SNN 编码有 104 项排位第二，从技术功效来看，如何让编码的计算速度快、分辨率更高、提高信噪比是该分支主要解决的问题。在预处理分支有 83 项排第三位，技术功效也是主要集中在提高准确性、提高质量效率方面。

表 4.4 皇家飞利浦三级技术分支和技术功效统计

三级分支	申请量	技术功效	申请量
植入辅助	128	成本低	4
		便于识别	3
		避免过量	3
植入式电极	11	增大切片厚度	1
		促进结果	1
		降低功能性	1
非植入电极	57	提高性能	2
		提高质量	1
		延长电池组的使用寿命	1
光学传感	8	促进连续监测	1
P300	17	降低敏感性	3
		对放置不敏感	3
		提高质量	2
运动想象	7	促进结果	1
		避免响应速度不够	1
		降低音量	1
预处理	83	提高准确性	4
		提高质量	3
		提高效率	3

解码	24	提高质量	1
		尽量减少唤醒	1
		减少生成量	1
对外交互	29	降低门槛	1
		移动速度快	1
		测量方便	1
状态检测	20	提高质量	2
		降低敏感性	2
		对放置不敏感	2
神经调控	38	促进结果	1
		感到疲劳	1
		更紧的弯曲	1
SNN 编码	104	计算速度快	2
		高分辨率	2
		提高信噪比	2
模型融合	9	成像准确	1
		高度安全, 防止传输错误	1
		提高安全问题	
相变型	11	/	/
自旋电子型	46	节省电量	2
		高效存储	1
		避免运输	1
神经拟态结构	12	/	/
事件驱动的异步通信	9	操作方便	1
		电路非常快	1
多核并行计算	5	/	/
传感器	5	高分辨率	1
		消除需要	1
		降低敏感性	1

处理单元	5	提高成像质量	1

根据检索结果分析，皇家飞利浦公司在类脑智能产业中的专利分类号主要集中在 A61B5，其次是 G01R33、A61B34、A61N1 等十个分类号大组下。这些分类号涵盖了类脑智能产业中的核心技术，包括用于诊断目的的测量、测量磁变量的装置或仪器、适用于外科的操纵器或机器人、使用特殊的电或磁存储元件的数字存储器等等。

A61B5 分类号下的专利专注于针对诊断目的的测量，诸如测量 ECG 波形中的心跳、心脏表面电特性、生理信号的实时测量、心电图信号中运动伪影的去除等等，对类脑智能中信息信号的采集准确性和稳定性等有重要作用。

G01R33 分类号下主要针对的是测量磁变量的装置或仪器，包括波谱磁共振成像、磁变量的测量、核磁共振频谱的测量、次声波的诊断等等，可以研究大脑神经活动中的微弱磁场变化，又助于诊断和开发新技术，为类脑智能产业提供了理论支持和技术手段。

表 4.5 皇家飞利浦前十 IPC 分类号统计表

序号	IPC 分类号	专利数量/项	分类号含义
1	A61B5	305	用于诊断目的的测量（放射诊断入 A61B6/00；超声波、声波或次声波诊断入 A61B8/00）；人的辨识[2006.01]
2	G01R33	81	测量磁变量的装置或仪器[2006.01]
3	A61B34	67	计算机辅助外科学；专门适用于外科的操纵器

			或机器人[2016. 01]
4	A61N1	44	电疗法；其所用的线路（A61N2/00 优先；用于治疗或体内测试的导电药剂入 A61K50/00）[2006. 01]
5	G11C11	37	以使用特殊的电或磁存储元件为特征而区分的数字存储器；为此所用的存储元件（G11C14/00 至 G11C21/00 优先）（5）[2006. 01]
6	A61B8	33	用超声波、声波或次声波的诊断[2006. 01]
7	A61B90	29	专门适应于手术或诊断的仪器、器具或附件，且不属于 A61B1/00 至 A61B50/00 组的任何一类，例如用于脱臼治疗或保护伤口边缘的器具[2016. 01]
8	A61M21	27	引起知觉状态改变的其他装置或方法；用机械、光学或声学方法产生或终止睡眠的装置，如用于催眠的（催眠床入 A61G7/043）[2006. 01]
9	G06N3	25	基于生物学模型的计算机系统[2023. 01]
10	G16H50	25	专门适用于医疗诊断，医学模拟或医疗数据挖掘的 ICT；专门适用于检测、监测或建模流行病或传染病[2018. 01]

4.2.3 重点技术路线分析

针对技术分支中提高植入设备的性能的技术路线图如下图所示。2008 年皇家飞利浦公司申请了 CN102112045B，为一种用于在可植入设备之间传送信息的系统和方法，该专利目前处于有效状态。该专利通过采用一种电信号的容积导电作为通信手段，在植入设备之间使用刺激脉冲信号进行信

息编码和解码，从而达到避免数据信号被电刺激污染的技术效果，减少了对专用电路和电极的需求，提高了传输的可靠性和效率。

2012 年申请了 CN103562959B，是一种用于提供支持对血管介入程序中的介入设备的准确引导的图像表示的医疗成像系统和方法，该专利目前处于有效状态。其通过采集介入设备的图像序列，检测并创建运动模型，分离心跳和呼吸运动的影响，利用算子减去呼吸运动诱发的形状变形，基于心跳运动推断解剖结构的姿态，实现了对植入设备的准确引导。

2013 年申请了 US10820829B2，是一种介入系统，该专利目前处于有效状态。其采用了一种配备光学形状传感光纤的介入系统，可确定随呼吸运动而移动的设备部分的位置，从而无需额外的跟踪设备即可进行准确的呼吸运动检测，并使用此信息创建相关图以进行精确的解剖定位。

2014 年申请的 CN106456038B，为一种制造柔性导电轨道装置的方法、柔性导电轨道装置和神经刺激系统，目前是未缴年费状态。它通过采用较薄的陶瓷电介质层堆叠和生物相容聚合物层，利用原子层沉积技术（ALD）形成低缺陷密度的电介质层，控制层厚度小于 500nm，结合平坦的生物相容聚合物层表面，简化制造过程，减少温度要求，提高柔性导电轨道装置的弯曲和缠绕性能。

2017 年申请的专利 CN111278381B，是一种对定位跟踪的介入设备的自动视场更新，该专利目前处于有效状态。它通过在介入设备中集成定位跟踪器，如 OSS 传感器、EM 传感器和原位传感器，利用这些传感器提供的定位跟踪数据，自动更新对图示介入设备在解剖区域内导航的图像显示。

2021 年申请的专利 W02023031258A1，是一种用于检测医疗植入物工作状态的装置，该专利目前是 PCT 进入指定国（指定期满）的状态。该专利通过振荡器将磁激励场转换为指示温度变化的磁响应场，从而允许通过发射/接收单元和控制器确定植入物的工作状态，控制器将磁响应转化为电信号，以评估植入物的温度和环境耦合。

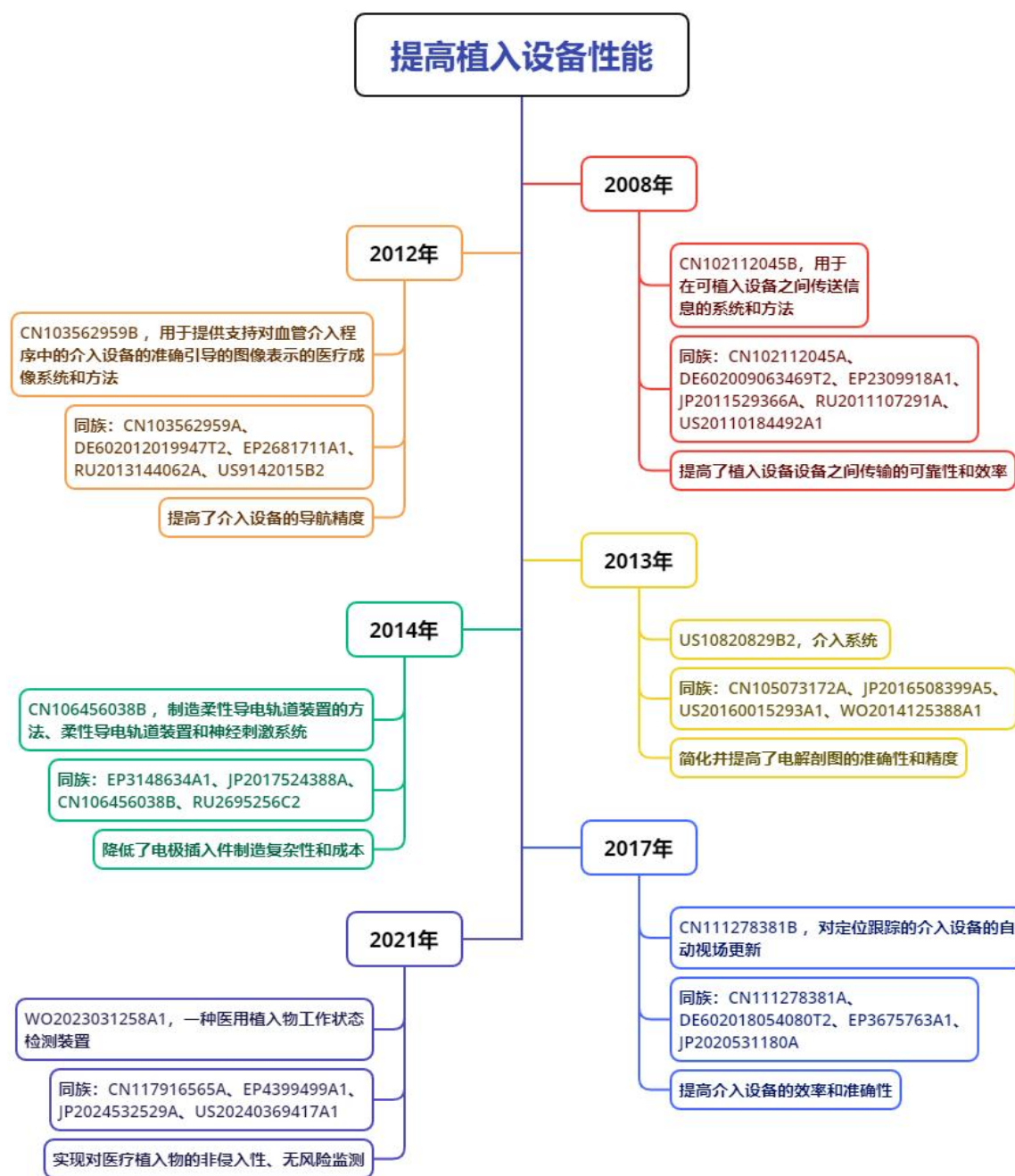


图 4.2 皇家飞利浦重点分支技术路线图

4.2.4 高价值专利

皇家飞利浦公司的高价值专利清单如下表所示。可以看到有多件专利申请的被引用次数都超过了 11 次，说明这些有效专利有较高的创新性和市场价值。也有多篇专利的海外

同族专利权超过 10，也为该企业在多国扩大保护范围、增强专利稳定性提供了有利基础，更进一步的，可以有效抵御无效宣告的风险，提升市场竞争力。在运营情况方面，多篇有效专利不仅实现了权利转移，还实现了有效的许可和质押，这对于企业的资源整合与优化和战略调整有着重要意义。除此之外，更是有多篇专利的维持年限超过 10 年，这不仅反映了专利权人对自身知识产权的重视程度，也从侧面表明了该专利在其类脑智能领域内的显著地位，体现了它们的高价值性。

表 4.6 皇家飞利浦部分高价值专利清单

序号	公开公告号	专利名称	申请年	同族数	被引用次数	运营情况	技术功效
1	US20080214904A1	测量患者瞬时视力值的仪器	2006	8	29	/	动态更新视力评分
2	US9496490B2	非易失性存储器	2005	9	28	/	提高相变存储器可靠性
3	CN107106856B	具有排定且连续的操作模式的除颤器	2015	10	27	/	提高电疗成功率
4	US11406355B2	用于腔内装置和相关装置的手持式医疗接口系统和方法	2018	4	18	转移	提高效率
5	US7712147B2	用于保护 mram 设备免受篡改的方法和设备	2003	1	18	转移、质押	确保数据完整性
6	CN106999052B	交互式心脏测试数据和相关联的设备、系统和方法	2015	10	16	/	提高了治疗的准确性和效率
7	CN104363823B	用于在 CPR 期间分析心律的方法和装置	2013	7	13	/	提高了电击成功率
8	US20120197137A1	用于进行光体积描记术的方法和系统	2010	10	12	/	提高生物识别信号识别能力，减少噪声和伪影
9	US9551804B1	运动检测装置及相应方法	2016	9	11	转移、质	提高检测的可靠性和准确

						押	性,
10	CN101163988B	用于 TOF-PET 的数字硅光电倍增管	2006	16	0	/	提高检测器器件的制造产量和性能
11	CN211409018U	用于测量至少一个皮肤参数的设备	2019	16	1	/	提高测量的稳定性和可靠性
12	CN113490465B	用于机器学习模型的训练数据收集	2020	15	0	/	提高介入设备定位精度和稳定性
13	US9604069B2	除颤器和使用肢体导联进行无伪影心电图的方法	2014	14	9	/	减少噪音伪影, 提高准确性
14	CN112788985B	用于在睡眠分阶段中使用呼吸事件的系统和方法	2019	14	0	/	提高睡眠质量监测的准确性
15	CN103765436A	失真减小的信号检测	2012	12	4	/	提高信号提取的精度和信噪比
16	US9524548B2	用于获得用于分析以表征其至少一个周期性分量的第一信号的方法和系统	2014	12	11	/	提高信噪比
17	CN104471939B	改进的 HDR 图像编码和解码方法和设备	2013	12	7	/	提高对 HDR 图像编码质量
18	CN106231999B	具有带有接合的芯体部件的分离区段的血管	2015	12	16	/	提高血管内特性的测量准

		内装置、系统和方法					确性
19	US8208293B2	可编程相变存储器及其方法	2005	10	9	转移、质 押	增强可扩展性
20	EP2437660B1	使用实时脑电图读数滴定光疗方案	2010	11	2	转移	提高治疗效果

高价值专利清单和技术功效前 20（有效发明：（1）同族 ≥ 5 ，（2）维持超过 10 年，（3）有转移、许可、质押，（4）被引用次数大于 5 次，满足上述其中一条）

4.3 高通

4.3.1 企业近期研究进展

高通创立于 1985 年，总部设于美国加利福尼亚州圣迭戈市。根据 iSuppli 的统计数据，高通在 2007 年度一季度首次一举成为全球最大的无线半导体供应商，并在此后继续保持这一领导地位。其经营范围包括无线电通信技术研发和芯片研发高通在类脑智能产业链也有布局，是全球类脑计算专利主要申请人之一。

高通的 AI 研究涵盖基础研究和应用研究。基础研究方面，覆盖压缩、量化、编译方面，对应到 CPU、AI 引擎以及 AI 的加速。AI 硬件方面，通过传统计算架构的转变，高通对内存中进行简单的数学计算进行研究，针对单比特操作，运算能效可以提升 10-100 倍。为了实现高效学习，高通还面向无监督学习的深度生成模型进行研究。高通对新型卷积网络方面也有研究，高通称为规范等变卷积神经网络 (Gauge Equivariant CNN)。

近年来，其人工智能产品持续发布。2023 年 1 月 4 日，高通宣布推出骁龙 (Snapdragon) Ride Flex 系统级芯片 (SoC)，为骁龙数字底盘产品组合带来最新产品。2024 年 4 月 24 日，高通推出骁龙 X Plus 平台。2025 年 4 月 2 日，推出骁龙 8s Gen4，同年 5 月，发布第四代骁龙 7 移动平台，同年 6 月，高通表示已在越南成立了一个人工智能研发中心，

其研究人员将专注于在智能手机、个人电脑、XR(扩展现实)、汽车和物联网应用中推进生成式和代理式人工智能解决方案。

4.3.2 技术分支、技术功效和 IPC 分类号统计

截至检索日，自 1985 年以来，在本次检索分析范围内的已公开全球类脑智能产业专利(发明专利和实用新型)中，高通类脑智能产业专利的申请量为 618 组简单同族，当中有 20 组简单同族属于共同申请的情形，延世大学校产学协力团是最主要的共同申请人。

高通在类脑智能产业链各技术领域的三级分支细分领域分布如表 1（高通三级分支细分领域分布统计表）所示，其专利布局集中在类脑计算技术领域：算法模型方面专利布局分布均衡，在脉冲神经网络细分领域的 SNN 模型、SNN 编码、SNN 训练部分以及 SNN 融合网络细分领域（融合网络），各申请量均在 110-130 组简单同族之间；核心硬件方面专利布局分布差异较大，专利申请集中在忆阻器细分领域的自旋电子型部分（262 组简单同族），以及类脑计算芯片细分领域的事件驱动的异步通信（144 组简单同族）和多核并行计算（101 组简单同族）部分。高通还在类脑视觉感知细分领域的传感器部分有一定量的专利积累（19 组简单同族）。

表 4.7 高通三级技术分支和技术功效统计

三级分支	申请量	技术功效	申请量

SNN 模型	111	增加紧密结构	3
		减少开销	3
		提高概率	2
		提高适应性	2
SNN 编码	128	提高价值	1
		准确区分	1
SNN 训练	110	提高鲁棒性	1
		降低复杂性	1
		提高效率	9
		减少延时	2
		增强学习能力	2
模型融合	114	提高鲁棒性	1
		降低复杂性	1
		优化配置	1
离子迁移型	41	成本低	9
		提高成品率	5
		降低阈值电压	4
		传感裕度得到改善	4
相变型	20	信号裕量改善	2
		减小大小	2
		工艺简单	1
自旋电子型	262	提高可靠性	11
		降低功耗	12
		减小大小	8
		减少氧化	6
神经拟态结构	66	增大差异	3
		增加紧密结构	2
		称量准确	2
事件驱动的异步通信	144	减少开销	3
		提高概率	1
多核并行计算	101	减少功耗	6

		减少延迟	3
		有效映射	2
传感器	19	降低功率要求	1

其中，高通在算法模型方面主要关注的技术功效是提高 SNN 训练的效率，在核心硬件方面的类脑计算芯片细分领域主要关注的技术功效为减少功耗/开销，上述二者合计申请量均为 9 组简单同族。在核心硬件方面的忆阻器细分领域，高通关注的技术功效较为广泛：主要为降低功耗、提高可靠性、减小大小、成本低、裕量改善、减少氧化、提高成品率，合计申请量分别为 12、11、10、9、6、6、5 组简单同族。

高通在类脑计算技术领域的研发力量相对更多的放在了核心硬件方面，这或与高通的主营业务芯片研发相关。

高通前十 IPC 分类号统计情况如表 2 所示，主要分为核心硬件方面（G11C11/16、H10N50/10、H10N50/01、H01L43/08、H10N50/80、H01L43/12、H01L27/22）和算法模型方面（G06N3/04、G06N3/08、G06N3/063）两部分。前十 IPC 分类号对应的申请中，核心硬件方面的申请量合计 597 组简单同族，约为算法模型方面的 3 倍，其中，分类号 G11C11/16（应用磁自旋效应的存储元件的 [2006.01]）、H10N50/10（磁阻器件 [2023.01]）、G06N3/04（体系结构，例如，互连拓扑 [2023.01]）对应的申请量分别以 180、100、93 组简单同族位居第 1-3 位。

从前十 IPC 分类号统计情况也可知，高通的专利布局集

中在类脑计算技术领域，且研发力量相对更多的放在了类脑计算技术领域的核心硬件方面。

表 4.8 高通前十 IPC 大组分类号统计

序号	IPC 分类号	专利数量/项	分类号含义
1	G11C11/16	180	应用磁自旋效应存储元件的静态存储器[2006.01]
2	H10N50/10	100	磁阻器件[2023.01]
3	G06N3/04	93	基于生物模型的计算机系统的体系结构，例如，互连拓扑[2023.01]
4	H10N50/01	78	电磁器件的制造或处理[2023.01]
5	G06N3/08	68	基于生物模型的计算机系统的学习方法[2023.01]
6	H01L43/08	68	磁场控制的电阻器[2006.01]
7	H10N50/80	60	电磁器件的结构零部件[2023.01]
8	H01L43/12	57	专门适用于制造或处理应用电—磁或者类似磁效应的器件的方法或设备[2006.01]
9	H01L27/22	54	包括有利用电—磁效应的组件的共用衬底器件，例如霍尔效应；应用类似磁场效应的[2006.01]
10	G06N3/063	48	采用电的基于生物学模型的计算机系统[2023.01]

4.3.3 重点技术路线分析

高通的专利布局集中在类脑计算技术领域，其中，算法模型是除核心硬件之外的另一个重要方面。SNN 的无监督学习算法是基于 Hebb 学习规则建立的，STDP (spike-timing dependent plasticity, 脉冲时间依赖可塑性) 学习规则是 Hebb 学习规则的典型代表。图 1（图 1 为高通使用 STDP 改进 SNN 技术路线图）示出了高通使用 STDP 改进 SNN 的技术路线情况（选取了每年具有代表性的专利申请），其中，提

高效率是高通一直致力改进的技术功效。

2013 年至 2021 年间，高通分别有 1、8、18、30、13、14、5、1、1 组简单同族专利申请使用 STDP 改进 SNN，根据侧重点，这些改进分为神经架构和神经学习方法两个方面。

示例性的，在神经架构方面，2013 年的 US20130325767A1 降低了复杂性，2016 年的 US9412064B2 提高了处理效率并减少了能耗，以及 US9460382B2 确保稳定性并防止故障，2021 年的 CN107077637B 提高了效率。示例性的，在神经学习方法方面，2014 年的 US20140351186A1、2015 年的 US9177245B2、2018 年的 CN105531724B 均提高了效率；2016 年的 US9342782B2、2020 年的 CN106575377B 均减少了延迟；2017 年的 US9600762B2 提高效率的同时还提高了适应性，2019 年的 CN106030620B 提高效率的同时还提高了准确性；2017 年的 CN103930908B 增强了学习能力。

高通的上述示例专利均有海外布局，从其专利布局的时间脉络和地域来看，中国内陆市场在高通心中的分量越来越重。

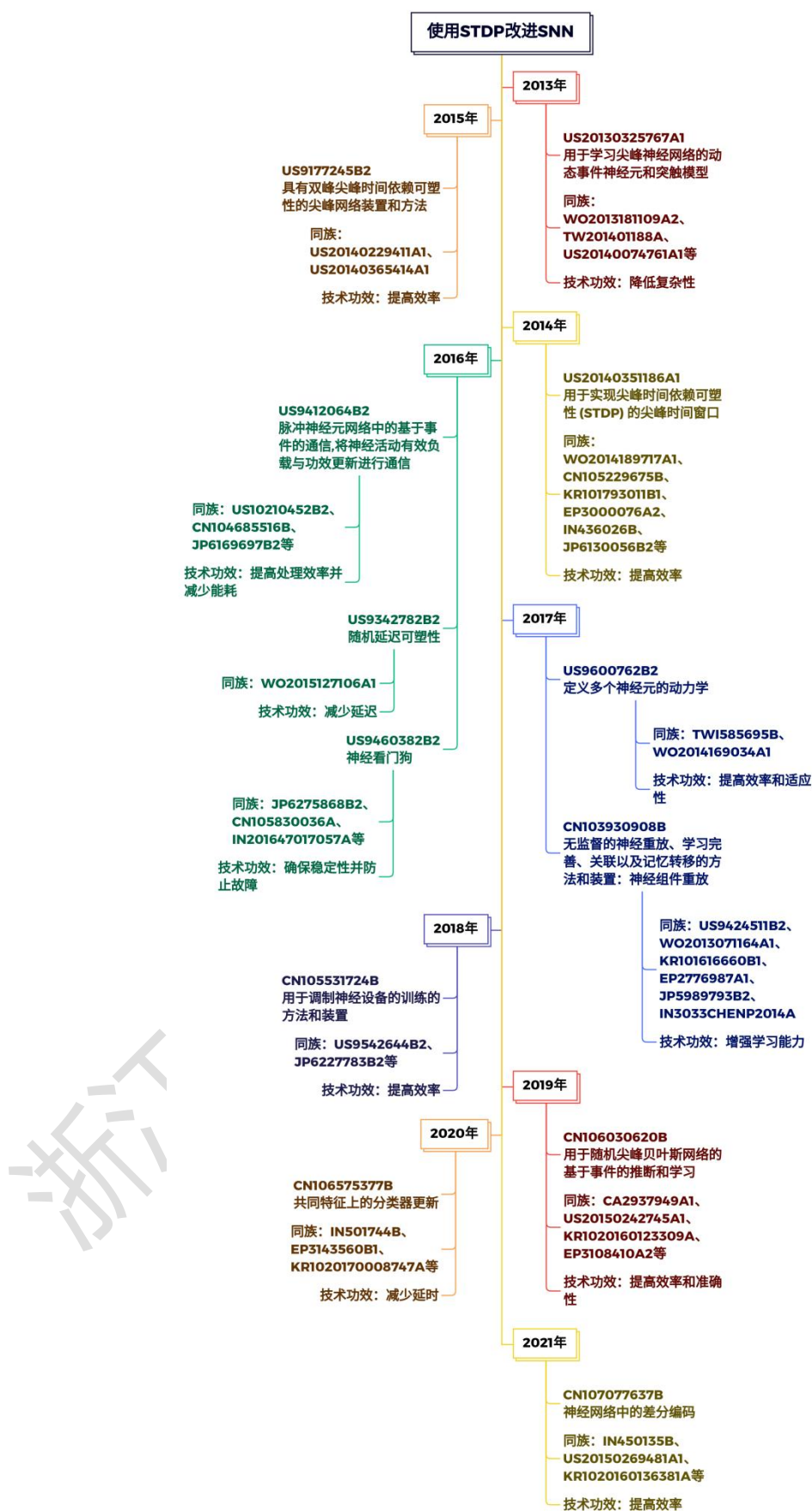


图 4.3 高通使用 STDP 改进 SNN 技术路线图

4.3.4 高价值专利

本章节的高通高价值专利是指当前高通维持有效的发明专利中，还至少满足下述任一条件的专利，条件具体为：

(1) 同族 ≥ 5 ，(2) 维持超过 10 年，(3) 有转移、许可、质押，(4) 被引用次数大于 5 次。表 3 (表 3 为高通高价值专利表) 列出了 20 件高通高价值专利，这些专利维持均超过 10 年，其中最早申请的专利始于 2008 年，属于忆阻器细分领域。其中，有 5 件发生了专利转移、有 7 件被引用次数大于 5 次，有 13 件同族数大于 5。

高通维持有效的发明专利中仅有一件同时满足上述 4 个条件，涉及神经架构，为“高级神经形态网络描述装置和方法”(US20130073500A1)，其具有 29 件同族申请，且被引用 138 次，被引用次数很高，说明该项专利保护的技术属于本领域的重要技术，或为开创性的基础性研究，或取得了重大技术突破。该专利通过高级网络描述 (HLND) 框架，使用类似于英语的结构化指令集以人类可读和机器可解释的格式定义神经网络架构，允许使用标签创建节点、连接和子集，并启用翻译成独立于硬件的机器可执行指令，HLND 框架为设计复杂的神经网络提供了用户友好的界面，便于在各种硬件平台上高效实现，无需专业知识，从而实现灵活高效的神经网络模拟。

表 4.9 高通部分高价值专利清单

序号	公开公告号	专利名称	申请年	同族数	被引用次数	运营情况	技术功效
1	US8159864B2	自旋转移矩磁阻随机存取存储器中的数据完整性保存	2008	3	17	/	提高可靠性
2	US8843426B2	初级视觉皮层简单细胞训练和操作的方法和装置	2011	2	/	/	提高效率
3	US9129222B2	用于导致稀疏连接的局部竞争学习规则的方法和装置	2011	12	20	/	提高效率
4	US8909575B2	基于神经资源的突触可塑性建模方法和装置	2012	2	8	/	减少操作
5	US20130073500A1	高级神经形态网络描述装置和方法	2012	29	138	权利转移	提高效率
6	US9224089B2	神经系统中自适应比特分配的方法和装置	2012	3	7	/	减少内存占用
7	CN103930908B	无监督的神经重放、学习完善、关联以及记忆转移的方法和装置：神经组件重放	2012	7	/	/	增强学习能力
8	US9177245B2	具有双峰尖峰时间依赖可塑性的尖峰网络装置和方法	2013	2	28	权利转移	提高效率
9	US9412064B2	脉冲神经网络中的基于事件的通信, 将神经活动有效负载与功效更新进行通信	2013	29	3	权利转移	提高处理效率并减少能耗

10	CN104685516B	用于在尖峰神经网络中实现基于事件的更新的装置和方法	2013	29	/	权利转移	提高适应性
11	CN104584037B	自适应行为的神经系统	2013	8	/	/	提高适应性
12	US9600762B2	定义多个神经元的动力学	2013	4	3	/	提高效率和适应性
13	US9460382B2	神经看门狗	2013	7	23	/	确保稳定性并防止故障
14	CN105531724B	用于调制神经设备的训练的方法和装置	2014	7	/	/	提高效率
15	CN106030620B	用于随机尖峰贝叶斯网络的基于事件的推断和学习	2015	13	/	/	提高效率和准确性
16	CN107077637B	神经网络中的差分编码	2015	9	/	/	提高效率
17	CN106575377B	共同特征上的分类器更新	2015	16	/	/	减少延时
18	US11551076B2	异步脉冲调制采样信号的事件驱动时间卷积	2015	4	/	权利转移	提高效率
19	US9652713B2	使用通用编程语言开发并行网络的装置和方法	2016	29	4	/	提高效率
20	US11842540B2	自适应使用视频模型以实现整体视频理解	2021	10	2	/	提高准确性

其中，另有 5 件专利同时满足上述 3 个条件：US9177245B2（涉及神经架构）发生了专利转移且被引用了 28 次；US9412064B2（涉及神经学习方法）、CN104685516B（涉及神经架构）发生了专利转移且均具有 29 件同族；US9129222B2（涉及神经学习方法）具有 12 件同族以及被引用 20 次；US9460382B2（涉及神经架构）具有 7 件同族以及被引用 23 次。

上述 6 件专利均属于类脑计算技术领域，高通为全球类脑计算技术发展作出了一定贡献。高通高价值专利的简单同族受理局中，除包括中（含中国台湾局）、日、韩、美、欧五大局外，还包括印度、巴西、加拿大、印度尼西亚等所属国家/地区的受理局，这或与高通的海外业务分布有关。

4.4 三星

4.4.1 企业近期研究进展

三星电子株式会社（以下简称三星电子）是全球领先的电子科技企业，成立于 1969 年，总部位于韩国。作为三星集团的核心企业，三星电子在全球消费电子、半导体、通信设备和人工智能等多个领域均占据重要地位。根据最新数据，三星电子在 2023 年的销售额高达 170.4 万亿韩元（约合 8436.5 亿元人民币），在韩国市场中稳居首位。三星电子的业务覆盖全球，拥有超过 117,904 名员工，其业务范围涵盖了智能手机、家电、电视、半导体等多个领域。

在研发方面，三星电子持续加大投入。2024 年，三星电子的研发支出达到 30.2 万亿韩元，占韩国前 1000 家研发投入企业的 36%。

三星电子在类脑智能产业方面的进展引人注目。2021 年，三星电子与哈佛大学合作，在《自然·电子学》（Nature Electronics）上发表了一项突破性研究，提出了一种将大脑神经元连接图“复制、粘贴”到高密度 3D 存储网络上的方法。这项研究的核心在于利用 CMOS 纳米电极阵列（CNEA）记录大脑神经元的连接图，并将其“粘贴”到三星电子的 3D 存储芯片上。这一技术有望在未来实现具有自主性和认知能力的类脑芯片，从而推动人工智能技术的发展。

2022 年，三星电子在国际电子器件会议 (IEDM) 上发表了

一篇题为"面向非易失性 RAM 应用的全球最节能 MRAM 技术"的论文，介绍了基于三星 28nm 和 14nm 逻辑工艺节点的面向非易失性 RAM 的产品技术。三星研究人员在 14nm FinFET 逻辑工艺平台上实现了磁性隧道结堆叠的磁阻式随机存取存储器（MRAM）制造，样品写入功耗仅每比特 25pJ，写入速率每秒 54Mbyte，读取功率 14mW，写入功率为 27mW，远低于传统存储器。

同年，三星电子研究团队公开了一种名为"电阻总和" (resistance sum) 的新型内存内计算架构和一种能演示内存内计算架构的 MRAM 阵列芯片，命名为"用于内存内计算的磁阻内存交叉阵列" (crossbar array of magnetoresistive memory devices for in-memory computing)。根据三星电子测试，在执行 AI 计算时，MRAM 内存内计算可以做到 98% 的笔迹识别成功率、93% 的人脸识别准确率。存内计算与人类大脑的计算类似，也发生在记忆或突触网络中。MRAM 阵列有望作为潜在的生物神经网络载体。

2024 年，三星电子代表曾表示其 8nm 嵌入式 MRAM 的技术开发已基本完成，计划于 2026 年实现量产。

4.4.2 技术分支、技术功效和 IPC 分类号统计

根据 3.1.4 节的分析，三星电子在类脑计算一级分支和忆阻器二级分支下专利申请量位于全球第一。为进一步分析其技术创新和专利布局的重点方向，对于三星电子在各三级

技术分支的申请情况和重点技术功效进行了统计，如下表 3.X 所示。可以看到其申请量在 100 项以上的三级分支包括了 SNN 模型、SNN 训练、模型融合、离子迁移型忆阻器、相变型忆阻器、自旋电子型忆阻器、神经拟态结构、多核并行计算、类脑感知传感器，其布局的重点放在了三种类型的忆阻器，尤其是自旋电子型忆阻器（1229 项），三星电子作为全球重要的半导体制造企业，在存储器方面有深厚的技术积累，自旋电子型忆阻器是 MRAM 的基础器件，也是类脑计算芯片可选的底层物理单元之一。从三星电子的专利布局来看，自旋电子型忆阻器已被其作为未来在类脑智能领域最重要的研发方向。其公开的类脑计算芯片方面取得的进展，也与自旋电子型忆阻器和 MRAM 有强关联关系。

从技术功效的统计来看，在脉冲神经网络的研究中，三星电子的重点放在了提高可靠性和提高检测识别准确性；忆阻器研究中，重点关注了提高可靠性和降低功耗，其中自旋电子型忆阻器把提高集成密度也作为重点；类脑计算芯片研究中，重点放在简化结构、降低功耗、提高效率/吞吐量/速度。

表 4.10 三星电子三级技术分支和技术功效统计

三级技术分支	申请量（项）	技术功效	申请量(项)
非植入电极	37	提高便捷性	2
		降低功耗	2
P300	10	缩短识别时间	2

预处理	41	去除噪音	3
解码	24	减少计算量	2
		提高信噪比	2
对外交互	42	缩短识别时间	2
		提升交互真实性	3
状态检测	15	提高准确性	3
		保护隐私	3
SNN 模型	133	提高可靠性	5
		提高网络性能	3
SNN 编码	83	提高检测精度	3
SNN 训练	133	提高可靠性	3
		提高准确性	2
模型融合	154	提高检测识别准确性	3
离子迁移型	218	提高可靠性	19
		降低功耗	5
相变型	987	提高可靠性	33
		降低功耗	16
		降低总电流	15
自旋电子型	1229	提高可靠性	67
		降低功耗	15
		提高集成密度	33
神经拟态结构	169	简化结构	4
		减小面积	3
事件驱动的异步通信	94	简化结构	3
多核并行计算	272	提高效率/吞吐量/速度	6
		降低功耗	5
传感器	104	提高帧率	2
处理单元	59	提高准确性	3

从统计的 IPC 分类号来看（表 4.11），数字存储器（G11C11、H10B69、G11C13），磁性存储元件（H10N50、

H01L43)、器件制造方法(H01L27、H01L21、H01L45、H01L29)、基于生物学模型的计算机系统(G06N3)都是三星电子重点布局的细分领域，自旋电子型忆阻器的结构材料、制造技术以及相应的MRAM的制造、类脑计算芯片和系统与上述分类号高度吻合，可见其技术优势也在于底层器件和存储器的制造技术。

表 4.11 三星电子前十 IPC 大组分类号统计

序号	IPC 分类号(大组)	专利数量(项)	分类号含义
1	G11C11	947	以使用特殊的电或磁存储元件为特征而区分的数字存储器；为此所用的存储元件
2	H01L27	722	由在一个共用衬底内或其上形成的多个半导体或其他固态组件组成的器件
3	H10N50	490	电磁器件
4	H01L21	419	专门适用于制造或处理半导体或固体器件或其部件的方法或设备
5	H01L43	417	应用电—磁或者类似磁效应的器件；专门适用于制造或处理这些器件或其部件的方法或设备
6	G06N3	361	基于生物学模型的计算机系统
7	H01L45	264	无电位跃变势垒或表面势垒的，专门适用于整流、放大、振荡或切换的固态器件，例如介电三极管；奥氏效应器件；专门适用于制造或处理这些器件或其部件的方法或设备
8	H10B69	259	不包括在 H10B41/00-H10B63/00 组中的可擦写可编程只读存储器（EPROM），例如，紫外线可擦写可编程只读存储器（UVEEPROM）
9	G11C13	228	使用不包括在 G11C11/00，G11C23/00 或 G11C25/00 各组内的存储元件的数字存储器
10	H01L29	220	专门适用于整流、放大、振荡或切换，并具有势垒的半导

			体器件；具有势垒的电容器或电阻器，例如 PN 结耗尽层或载流子集结层；半导体本体或其电极的零部件

4.4.3 重点技术路线分析

分析三星电子在自旋电子型忆阻器和 MRAM 方向上的专利，根据申请时间梳理技术研发路线，如下图 3.X 所示。

MRAM 使用磁性隧道结 (MTJ) 作为存储单元，通过测量电阻的变化来确定存储状态。MTJ 是由两个磁性层和一个绝缘层组成的三明治结构。当两个磁性层的磁化方向平行时，电阻较低；当两个磁性层的磁化方向反平行时，电阻较高。通过检测 MTJ 的电阻变化，可以实现对磁性材料磁化状态的读取；通过施加外部磁场或电流，改变磁性层的磁化方向，实现对数据的写入。

在 1998 年至 2004 年，三星电子开始布局自旋电子型忆阻器和 MRAM 专利，早期专利很大一部分来源于惠普的技术转让，例如检索到三星电子申请日最早的相关专利 US5982660A 来自惠普的转让，图中 2004 年的专利 CN100490005C 同样来自惠普。CN100490005C 中 MRAM 的 MTJ 单元的磁性层材料采用铁钴镍等磁性金属组成的软磁合金，并加入了过滤层和钉扎层，降低了反转场强度，提高了热稳定性。

2005 年至 2013 年，三星电子通过人才引进等方式，自研能力逐渐增强。这一阶段，MRAM 的垂直结构变得更加复杂。

2010 年专利 CN102024903B 中，磁性层材料仍以磁性金属合金为主，但开始引入铁磁层和非磁性层多层交叠的垂直磁化感应层，通过交换耦合提高磁阻比和降低操作功率。

2014 年开始，三星电子的研发速度和专利布局数量开始快速增加。专利 US9236564B2 首次出现利用 Heusler 合金的半金属特性构建 MTJ，以提供垂直和面内磁各向异性，实现减小阻尼，增大磁阻，减小开关电流的目的。

2017 年-2020 年，三星电子专利集中在改进 Heusler 薄膜工艺，实现室温沉积。US10396123B2 采用在室温下沉积的具有 B2 结构的非磁性 Co-Al 模板层，促进 Heusler 化合物外延生长，避免了高温处理。CN110970551B 和 CN110350082B 均是采用 Mn_xN 层或者 Mn_xN 层和 Co-Al 层的交替结构作为化学模板层，生长 Heusler 化合物的，形成具有高垂直磁各向

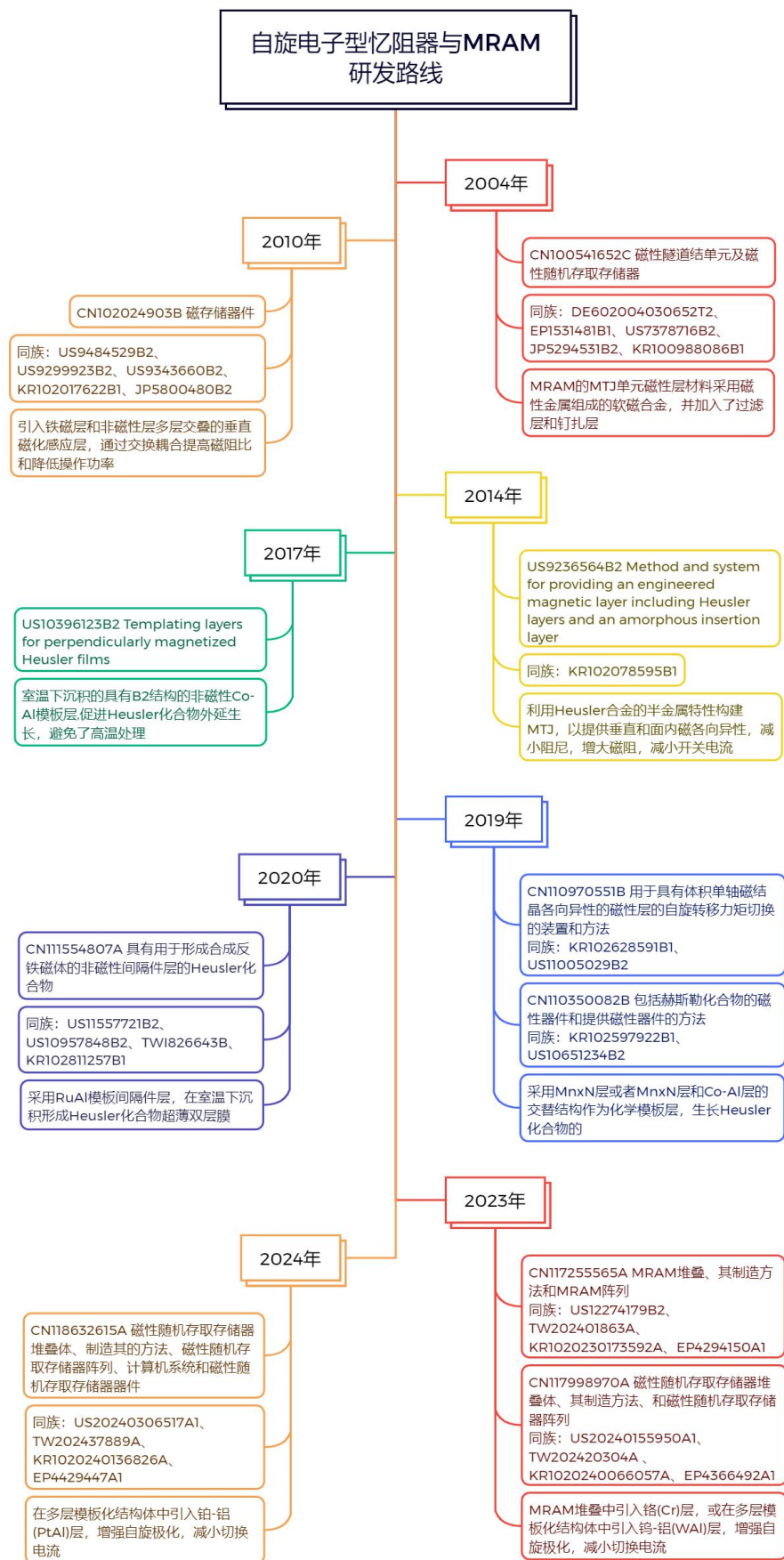


图 4.4 三星电子自旋电子型忆阻器和 MRAM 技术路线图

异性的超薄膜。CN111554807A 采用 RuAl 模板间隔件层，在室温下沉积形成 Heusler 化合物超薄双层膜，利用 B2 结构的模板层促进 Heusler 层的生长，并通过 RuAl 间隔件层的厚度控制磁矩的相对取向，实现反铁磁耦合。

2023 年至今，三星电子专利申请改进点转向多层模板化材料的改进。CN117255565A 通过在 MRAM 堆叠中引入铬 (Cr) 层，改善 Heusler 化合物的化学排序和结晶度，增强其自旋极化，从而提高 TMR 值。CN117998970A 和 CN118632615A 分别在多层模板化结构体中引入钨-铝 (WAl) 层和铂-铝 (PtAl) 层，以达到增强自旋极化，减小切换电流的效果。

总体来看，三星电子在自旋电子型忆阻器和 MRAM 领域已开展研发超过 26 年，从技术引进转向自主研发。技术路线从最初的 MTJ 结构加入过滤层和钉扎层，到增加垂直磁化感应层，再到引入 Heusler 合金，实现 Heusler 薄膜的室温生长，再到近期不断改进多层种子层的模板材料，实现了提高热稳定性、提高磁阻比、减小切换电流等一系列改进，其目标始终围绕着 MRAM 结构小型化和降低功耗。

4.4.4 高价值专利

参考国家知识产权局对于高价值专利的定义，筛选三星电子满足以下条件之一的有效发明专利：（1）同族 ≥ 5 ；（2）维持超过 10 年；（3）有转移、许可、质押的运营专利；（4）

被引用次数大于 5 次，综合考量后筛选出其中 20 件，如下表 3.X 所示。

这 20 件三星电子的高价值专利主要聚焦在神经形态电路实现和信号处理、三类忆阻器的设计制造。其中转让专利占 50%，主要来自 IBM、英特尔、闪迪、奇梦达。不同的技术方向下追求的技术手段和技术功效如下：

（1）神经形态电路实现和信号处理：

①技术手段：在神经形态电路输出端产生依赖于单元电阻的突触输出信号，在阵列配置中对每个突触并行编程。

技术功效：简化神经元间通信，提高系统操作效率。

②技术手段：通过模拟神经生物结构、使用泄漏积分激发 (LIF) 模型和突触连接来处理尖峰信号。

技术功效：降低功耗，提升速度。

③技术手段：具有可变电阻存储器件和晶体管的 STDP 功能单元在通信和学习模式之间切换，实现不工作时增加阻抗，防止信号泄露。

技术功效：增强人工神经网络的集成密度和功能。

（2）三类忆阻器的设计制造

①技术手段：减少相变型忆阻器的接口面积，增加隔热结构，增加电流密度，优化相变材料。

技术功效：降低功耗，提高可靠性。

②技术手段：自旋电子型忆阻器利用具有反铁磁层的导电线

感应实现选择性磁化反转，采用垂直和水平各向异性层与非磁性夹层的组合。

技术功效：降低临界电流和功耗，提高集成密度。

③技术手段：使用单独初始化焊盘和电压来满足高初始化电压和时间要求。

技术功效：减小资源消耗和设计负担。

从高价值专利的技术方案来看，三星电子的技术发展方向可大致概括为：神经形态电路以降低功耗、简化通信、提升速度和集成密度为主要目标；忆阻器以相变型和自旋电子型为主要器件类型，以降低功耗、提高可靠性、提高集成密度、减小设计负担为主要目标。忆阻器作为神经形态电路的基本元件，又决定了这两者之间高度相关，最终实现的技术目标高度统一，即高效、低功耗、高可靠性的类脑计算系统。

表 4.12 三星电子部分高价值专利清单

序号	公开公告号	专利名称	申请年	同族数	被引用次数	运营情况	技术功效
1	CN106796669B	神经形态突触电路和神经形态系统	2015	8	0	权利转移	实现了突触权重的动态演变和实时学习, 简化了神经元间的通信, 提高了系统的操作效率和学习应用的效率。
2	US9361576B2	Neuromorphic signal processing device and method for locating sound source using a plurality of neuron circuits	2013	5	0	无	该神经形态设备的运行功耗更低, 速度更快, 用更少的晶体管实现高效的声源定位, 并提供可听频带内声源的准确方向映射。
3	US8737112B2	Resistive memory devices, initialization methods, and electronic devices incorporating same	2011	5	3	无	通过将电阻式存储单元初始化过程与常规操作隔离来减少资源消耗和设计负担。
4	US9087302B2	Synapse for function cell of spike timing dependent plasticity (STDP), function cell of STDP, and neuromorphic	2012	6	11	无	通过在不工作时增加阻抗, 有效防止信号泄漏, 实现高效的信息传输和突触权重调整, 增强人工神经网络的集成密度和功能。

5	US7541609B2	Phase change memory cell having a sidewall contact	2006	5	10	权利转移	通过减少接口面积增加电流密度, 有效地减小编程相变存储单元的功耗, 提高相变存储器件的缩放和编程效率。
6	US9076541B2	Architecture for magnetic memories including magnetic tunneling junctions using spin-orbit interaction based switching	2013	7	7	无	通过利用自旋轨道相互作用来降低写入错误率并加快切换时间, 从而实现可扩展的高密度磁存储器解决方案。
7	CN104813472B	具有增强稳定性的垂直自旋转移扭矩存储器 (STTM) 器件以及其形成方法	2013	9	0	权利转移	显著提高了垂直 STTM 器件的稳定性, 矫顽力增大了大约 3-4 倍, 避免了电阻增加对 “0” 和 “1” 状态差异检测的干扰, 实现了更高的存储器元件密度和性能优化。
8	CN101999170B	侧壁结构的可切换电阻器单元	2009	17	0	权利转移	实现了低电阻状态的增加, 减小了重置电流和相关的 IR 压降, 降低了重置电压和功耗, 允许三维二极管阵列可靠地重置相对高电阻的细丝。
9	US10127956B2	Spin orbit torque magnetic memory device	2017	8	8	权利转移	允许高度集成的磁存储器件实现降低临界电流密度和增加隧道磁阻, 提高读取速度和热稳定性, 同时消除对外部磁场的需要, 从而提高集成密度和操作效率。

10	US10121965B1	Resistive random access memory device containing discrete memory material portions and method of making thereof	2017	5	13	权利转移	显著减少了相邻字线之间的漏电流,通过隔离存储材料部分并最小化非活动区域的电导率,增强了三维 ReRAM 器件中的数据存储可靠性和效率。
11	US7391644B2	Phase-changeable memory device and read method thereof	2006	8	30	无	该解决方案可确保稳定的读取操作,并提高感测裕度,减少预充电期间高压电路的电容负担,并在复位和置位状态之间保持足够的电压差。
12	US8445354B2	Methods for manufacturing a phase-change memory device	2012	5	5	无	该解决方案使相变存储器件具有改善的结晶温度、电阻、降低的设定电阻和驱动电流,同时保持耐用性和感测裕度。
13	US8138028B2	Method for manufacturing a phase change memory device with pillar bottom electrode	2007	5	67	权利转移、质押	在关键尺寸和电连接方面提供了卓越的均匀性和可靠性,通过集中电流密度和增强机械稳定性来改善相变存储单元的操作特性,从而解决了先前技术的局限性。
14	US8158445B2	Methods of forming pattern structures and methods of manufacturing semiconductor devices using the same	2010	7	7	无	通过减少缺陷、提高磁阻比和保持相变材料的成分完整性来增强磁性和相变存储器件的形成,从而产生具有改进的操作特性的可靠且高性能的存储器件。

15	US7236393B2	Phase-change semiconductor memory device and method of programming same	2005	3	46	无	提高了 PRAM 器件的集成和编程效率,使其能够通过高度集成和更快的操作来与现有存储器技术竞争。
16	US9478729B2	Spin transfer torque magnetic memory device using magnetic resonance precession and the spin filtering effect	2015	5	5	无	有效地降低了磁化反转的临界电流密度,增强了热稳定性,并在不恶化器件特性的情况下实现了更高的集成度和更低的功耗。
17	US7955958B2	Method for fabrication of polycrystalline diodes for resistive memories	2008	4	3	权利转移、质押	在晶体硅中形成高质量的 PN 结,通过确保有效的导电性和开关特性来增强存储器件的性能和集成度,从而改善电阻和相变存储器件的功能。
18	US7902051B2	Method for fabrication of single crystal diodes for resistive memories	2008	1	3	权利转移、质押	能够创建可靠的 PN 结和具有改进的导电性和相变存储能力的存储器件,从而增强微电子元件的性能和稳定性。
19	US7855435B2	Integrated circuit, method of manufacturing an integrated circuit, and memory module	2008	1	29	权利转移	通过最大限度地减少热损失和降低电流密度,提高了热管理效率,降低了功耗,并延长了编程存储器状态的时间。
20	US10461751B2	FE-FET-based XNOR cell usable in neuromorphic computing	2018	10	1	无	数字 XNOR 计算单元通过降低噪声、功耗和面积要求来增强神经网络的性能,用更少的神经元实现更快、更准确的操作,提高整体效率和

							准确性。

浙江省知识产权保护中心

4.5 科利耳

4.5.1 企业近期研究进展

澳大利亚科利耳有限公司（Cochlear）是全球领先的植入式听力解决方案研发与生产企业，公司创始人之一 Graeme Clark 教授主导研发了世界首款多通道人工耳蜗植入体。科利耳公司注重技术创新，每年将营收的 12% 持续投入技术研发，累计研发投入超 30 亿澳元（约合 150 亿人民币），这种连续性的创新投入机制确保了科利耳平均每 1-2 年推出一代新品，在人工耳蜗核心技术领域保持全球领先地位。

2024 年，科利耳公司宣布在中国大陆市场上市 Kanso 一体式声音处理器，对比常规声音处理器，该产品集双麦克风与 SCAN 智能场景识别技术于一身，可在噪声环境下获得高达 68% 的言语识别效果提升，实现不同场景下自动切换聆听程序，为人工耳蜗用户在各种环境中清晰聆听保驾护航。同年，科利耳公司推出一款骨传导声音处理器 Baha 6 Max，是科利耳首款可通过兼容式智能电子设备实现直连式传输的骨传导声音处理器，使用者可借助直连式传输享受智能电子设备上的电影、音乐和教育节目，可为传导性听力损失、混合性听力损失或单侧聋患者带来清晰、丰富而自然的聲音。在植入体领域，科利耳公司推出最新一代精细纤薄的人工耳蜗植入体（Nucleus CI622），其中接收器刺激器厚度仅 3.9 毫米，包括 20mm 和 25mm 的两个白色的植入深度指示标记，

结合安全的核磁共振（MRI）技术，满足听力损失群体的美观和安全需求。

2025 年，公司在博鳌乐城先行区宣布推出全球首款且唯一一款智能人工耳蜗植入系统——Nucleus Nexa 系统，Nexa 系统是全球首创应用先进智能、具备强大计算和存储能力芯片的智能人工耳蜗植入系统，包括可升级内置驱动软件、适配未来科技的能力，以及动态电量管理等创新功能。这款产品的推出，助力公司进入人工耳蜗智能新时代。

4.5.2 技术分支、技术功效和 IPC 分类号统计

表 4.13 科利耳有限公司三级技术分支和技术功效统计

三级分支	申请量/ 项	技术功效	申请量/ 项
植入辅助	142	提高信息准确性、减少电流相互作用、降低能耗	5
植入式电极	147	提高准确性、可靠性	7
		减小尺寸	5
		减少电极间距	2
非植入式电极	9	准确识别神经反应、听觉神经精准刺激、提高信号适配效果	3
神经调控	35	提高耦合系数、延长电池组的使用寿命、高分辨率测量神经反应	3
人工耳蜗	577	提高便捷性	48
		改变刚度	37
		优化尺寸	32

从技术分支的申请量来看，排名前三的三级分支是人工耳蜗、植入式电极和植入辅助，从市场产品来看，这也是科

利耳公司主要布局的产品方向。人工耳蜗领域中，提高便捷性（包括使用方便、植入方便等）、改变电极刚度、优化设备尺寸是最多出现的技术功效表述，说明人工耳蜗技术对于手术相关的植入便捷性和消费相关的使用体验感需求较多。

植入式电极和植入辅助领域中，技术功效的表述较为分散。植入式电极领域中出现较多的是提高准确性可靠性、减小尺寸、减少电极间距，说明公司期望解决的技术问题主要是电极植入后如何精准刺激神经、如何在长期使用中保持稳定刺激、如何缩小电极体积以及如何提升分辨率增强细节感知。

表 4.14 科利耳有限公司前十 IPC 大组分类号统计

序号	IPC 分类号	专利数量/项	分类号含义
1	A61N1	550	电疗法；其所用的线路（A61N2/00 优先；用于治疗或体内测试的导电药剂入 A61K50/00）[2006. 01]
2	H04R25	253	助听器[2006. 01]
3	A61F11	151	治疗耳朵或恢复听觉的方法或设备（替代或替代内耳部分的植入式假体，如耳鼓入 A61F2/18）（引起听觉意识状态改变的方法或装置入 A61M21/00）（对听觉系统进行电刺激疗法或其电路入 A61N1/36）（对听觉系统进行光刺激的放射疗法入 A61N5/06）（电声助听器入 H04R25/00）；非电助听器；使耳科患者通过听觉以外的生理感觉实现听觉感知的方法或装置；携于身上或手中的耳保护器件（带有护耳装置的头部覆盖物，如带有护耳装置的帽子或头盔入 A42B1/0186，A42B3/16）[2022. 01]
4	A61F2	104	植入血管的过滤器；假体，即身体部位的人工替代品或替代物；与身体连接的器具；提供通畅性或防止身体管状结构塌陷的装置，

			例如支架（牙科假体入 A61C13/00；人工肾脏入 A61M1/14；人工心脏入 A61M60/00）[2006. 01]
5	A61B5	79	用于诊断目的的测量（放射诊断入 A61B6/00；超声波、声波或次声波诊断入 A61B8/00）；人的辨识[2006. 01]
6	A61M31	16	体腔中引入或保留介质，例如药物的器械（A61M25/00 优先）[2006. 01]
7	A61L27	14	假体材料或假体被覆材料（假牙入 A61C13/00；假体的形状或结构入 A61F2/00；假牙配制品的应用入 A61K6/80；人工肾脏入 A61M1/14）〔4〕[2006. 01]
8	H04B5	11	近场传输系统，例如电感或电容传输系统[2024. 01]
9	A61B17	10	外科器械、装置或方法（A61B18/00 优先；牙科工具入 A61C3/00；眼科手术入 A61F9/007；耳科手术入 A61F11/20）[2006. 01]
10	G10L25	10	语音或声音分析技术，不限于入 G10L15/00-G10L21/00 组中的某一种技术（当语音检测器检测到信号的某些特殊特征时，例如检测到无信号时，静音基于半导体的放大器，入 H03G3/34）[2013. 01]

植入辅助领域中出现较多的表述是提高信息准确性、减少电流相互作用、降低能耗，说明公司期望解决的技术问题主要是如何提升信号传输的精确性以及如何延长设备续航提升用户体验。

在类脑智能产业中，科利耳有限公司的专利主要集中在 A61N、H04R、A61F 这几个 IPC 分类号小类中，这些分类号涵盖了人工耳蜗的基础技术特征，包括电疗法、电通信技术的相关硬件、治疗耳朵或恢复听觉的方法或设备、身体部位的人工替代品或替代物等。

具体来说，前五名 IPC 分类号中可以看出，有四个是跟医疗相关（A61N1、A61F11、A61F2、A61B5），三个跟听觉恢复设备相关（H04R25、A61F11、A61F2），说明科利耳有

限公司的专利重点布局在听觉/听力相关的医疗设备和治疗方法上，这跟实际市场是相一致的，科利耳有限公司的主要产品是人工耳蜗，是一种植入式医疗设备，原理是通过电刺激使患者获得声音感知。

除了跟产品特性直接相关的几个分类号外，排名 5-10 的分类号还可以看出科利耳有限公司的技术布局方向。A61M31（体腔中引入或保留介质，例如药物的器械）说明公司有技术涉及药物递送相关的植入式医疗设备，A61L27（假体材料或假体被覆材料）表明公司在植入式医疗设备的材料方向有一定的研发储备，H04B5（近场传输系统，例如电感或电容传输系统）涉及到设备的无线传输技术，是提升人工耳蜗整体性能的重点方向，A61B17（外科器械、装置或方法）说明公司的技术不仅涉及硬件产品，也会涵盖植入工具等医疗辅助设备，G10L25（语音或声音分析技术）说明公司在声音处理算法方向上有专利布局。

总体来看，科利耳有限公司的专利集中在听觉/听力相关的医疗设备和治疗方法上，公司市场定位清晰。为推动产品性能提升，进一步扩大产业影响力，科利耳有限公司在药物递送技术、材料科学、信号传输技术、外科手术辅助、语音分析技术等领域都有专利布局。

4.5.3 重点技术路线分析

信息传输技术是实现人工耳蜗功能的基础支撑技术，信息传输能力的提升是人工耳蜗产品发展的核心需求，不仅在于实现声音信号的有效传递，更在于通过技术创新不断突破传输效率、抗干扰能力、集成化设计等瓶颈，推动人工耳蜗从“基础助听工具”向“智能听觉系统”升级，提升用户体验。科利耳有限公司的信息传输技术发展经历了早期性能优化、多模式传输干扰优化、智能控制和细分场景优化几个阶

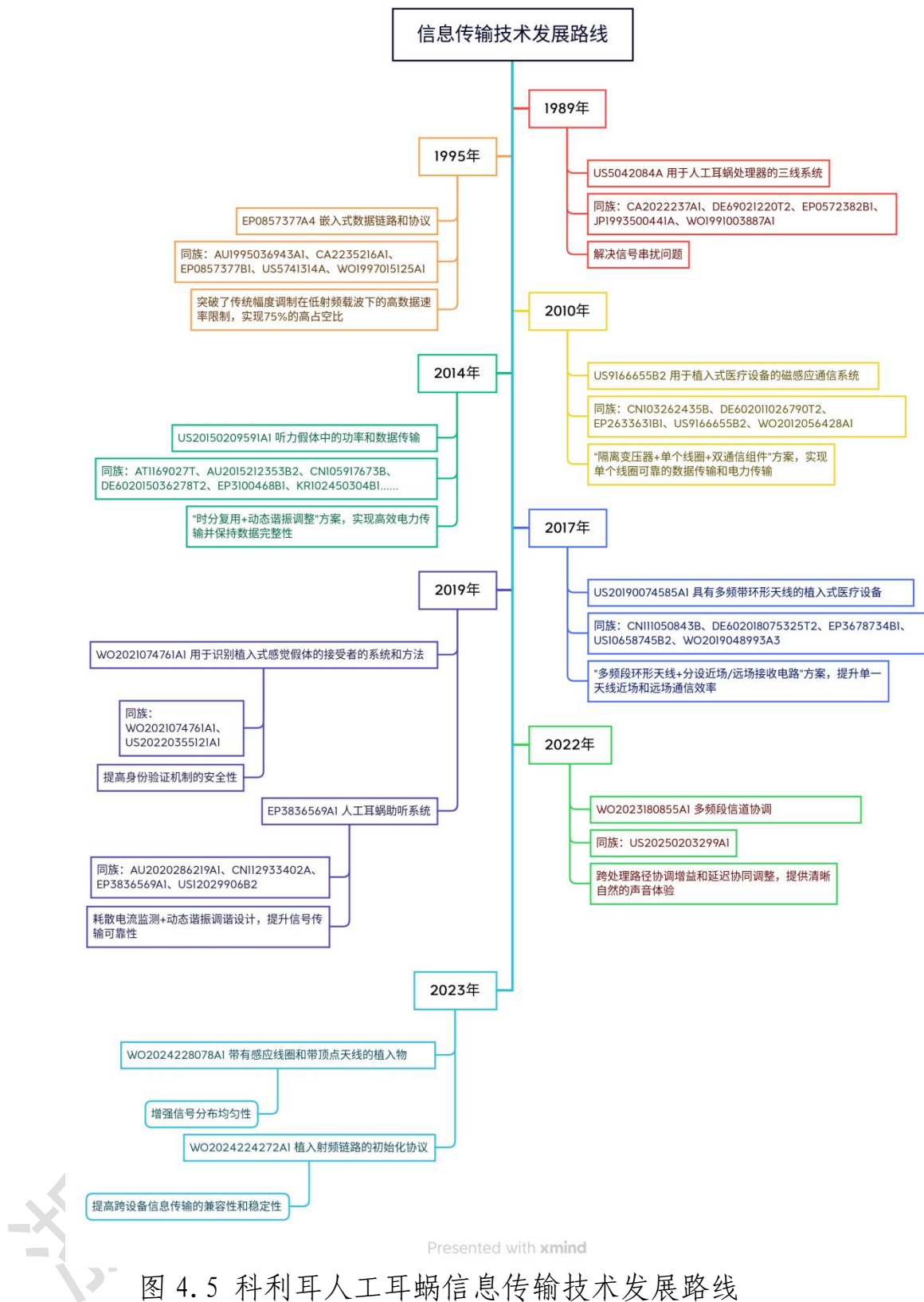


图 4.5 科利耳人工耳蜗信息传输技术发展路线

段, 具体技术路线分析如下:

(1) 早期性能优化

科利耳有限公司在发展早期, 从硬件结构优化和调制方式创新上入手, 解决基础信息传输可靠性与效率问题。

在 1989 年，科利耳有限公司申请了专利（US5042084A，用于人工耳蜗处理器的三线系统），该专利有 7 篇简单同族申请，涉及到 5 个国家或地区，当时并没有中国同族专利。专利中提到利用装备有射频滤波器和 E 类放大器的三线非屏蔽电缆系统，配合单电压电源，调整线圈间隔和电容，优化能量传输的同时，最大限度地减少低电平音频信号和高电平射频信号之间的串扰，实现音频和射频信号的可靠传输。

1995 年，科利耳有限公司和墨尔本大学共同申请了专利（EP0857377A4，嵌入式数据链路和协议），该专利有 5 篇简单同族申请，通过将数据嵌入代表刺激持续时间的射频脉冲突发中，并利用自计时机制和变化的线圈互作用来检测脉冲缺失，突破传统幅度调制在低射频载波下的高数据速率限制，实现 75% 的高占空比和高数据速率，同时保持低能量耗散和高效电力传输，整体提升了人工耳蜗的性能。

（2）多模式传输干扰优化

科利耳有限公司通过专利运营，获得了多个关于提升信息传输效率的专利，补充了公司技术发展过程中的短板。

2011 年，科利耳有限公司通过专利权转移获得了磁感应通信相关的专利（US9166655B2，用于植入式医疗设备的磁感应通信系统），该专利有 5 篇简单同族申请，涉及到 4 个国家或地区，其中包括中国。该专利通过“隔离变压器+单个线圈+双通信组件”的创新结构，解决使用单个线圈进行

电力和数据传输时的电压/谐振不匹配问题，实现了可靠的双向数据传输和电力传输，有效降低了设备复杂性和尺寸。

2014 年，科利耳有限公司通过专利权转移获得了新专利（US20150209591A1，听力假体中的功率和数据传输），该专利有 11 篇简单同族申请，有效专利分布国家或地区 6 个，被引用专利数量有 26 个，是一篇高价值专利。该专利针对可植入医疗设备的电力与数据经皮传输难题，提出了一种基于“时分复用+动态谐振调整”的创新方案，通过分离功率与数据时隙，并动态调整谐振电路的品质因数（Q 值），在保证高效电力传输的同时，显著提升了数据完整性，减少对多个射频链路的需求并最大限度地减少干扰，从而增强植入式医疗设备的自主性和功能。

2017 年，科利耳有限公司通过专利权转移获得了新专利（US20190074585A1，具有多频带环形天线的植入式医疗设备），该专利有 7 个简单同族申请，有效专利涉及 4 个国家或地区，该专利通过“多频段环形天线+分设近场/远场接收电路”的创新设计，解决了可植入医疗设备使用单一天线处理双模式通信的难题，其核心在于利用变压器与隔离耦合器的特性差异，分别优化近场与远场信号的接收效率，同时通过电容滤波和阻抗匹配提升信号质量，这一方案使植入式医疗设备能够有效地接收和处理近场和远场信号，提高信号强

度和阻抗匹配，并通过使用单个天线进行两种类型的通信来降低复杂性，提高设备的操作灵敏度和效率。

（3）智能控制和细分场景优化

这一阶段中，科利耳公司为了解决信息传输技术在面对信息安全、设备差异、环境变化及患者生理差异时产生的新挑战，系统提升用户的体验感，进行了一系列的技术创新。

2019 年科利耳有限公司申请了专利（W02021074761A1，用于识别植入式感觉假体的接受者的系统和方法），该专利提出了一种基于植入式感觉假体的安全身份验证系统，通过“秘密存储-代码生成-刺激信号传递-用户感知验证”的闭环流程，解决了传统身份验证方法在医疗设备场景中的安全与可用性矛盾。其核心创新在于将“动态生成的唯一代码”与“可感知的刺激信号”结合，既保障了访问安全，又通过自然交互减轻了用户负担，为可植入医疗设备的高效、安全运行提供了关键技术支持。该专利属于信息传输技术在安全验证领域的创新应用，利用信息传输技术实现高安全性的身份认证。

同样在 2019 年，科利耳有限公司申请了新的专利（EP3836569A1，人工耳蜗助听系统），该专利有 4 个简单同族申请，其中中国同族申请正在实质审查过程中。该专利通过耗散电流监测+动态谐振调谐的设计，解决了人工耳蜗系统中因感应链路不匹配导致的功率损耗问题，其核心在于

利用现有组件实时监测损耗，并通过调整谐振频率优化能量传输效率，同时适应不同患者的生理差异，这一方案显著提升了人工耳蜗的信号传输可靠性，为患者提供了更高效、稳定的听觉体验。

2022 年科利耳有限公司申请的专利（W02023180855A1，多频段信道协调），该专利涉及生成源滤波器通道信号并确定源增益值或延迟，然后使用加权组合来计算目标滤波器通道的目标增益值或延迟，从而允许跨处理路径协调增益和延迟调整，以优化声音处理和刺激传递。

2023 年科利耳有限公司申请的专利（W02024228078A1，带有感应线圈和带顶点天线的植入物），该专利通过平面感应线圈与 Y 型双向延伸天线的协同设计，可以有效提高无线功率和数据传输的效率和范围，从而确保了植入物和外部设备之间的可靠通信，同时最大程度地减少了信号损失和干扰，增强植入式医疗设备的性能。

2023 年科利耳有限公司申请的专利（W02024224272A1，植入射频链路的初始化协议），该专利提出通过近场耦合链路获取设备信息（频率偏移、时钟差异等），定制后续通信参数（频率、功率等），解决传统方案因设备差异导致的通信效率低、数据丢失问题，实现自适应参数优化。这种方法优化了不同医疗设备的通信链路，通过确定每种设备类型的

特定参数来增强数据完整性、稳定性和功率效率，从而提高整体性能。

4.5.4 高价值专利

科利耳有限公司在人工耳蜗领域拥有多项高价值专利，涉及结构设计、制造工艺、信号处理、电源管理、诱发复合动作电位（ECAP）测量等方面。

（1）高价值专利技术

1）结构设计和制造工艺

结构设计上，主要涉及设备的物理结构、组件布局，包括空间分离的线圈单元布局、集成电磁天线、MRI 场景兼容性结构设计、轻量化结构设计等，目的在于提升感应链路性能、兼容 MRI 使用场景、减少设备厚度和体积。

制造工艺上，使用绝缘材料封装设备，形成密闭密封的馈通结构，增强导电路径的耐压性和密封性。

2）声音信号处理技术

有高价值专利采用自适应信号映射技术保持逼真的声音响度映射，通过动态改变电气刺激来提高用户在不同环境中理解语音的能力。另有高价值专利通过快速傅里叶变换、频率-能量信号的组合和噪声滤波器，生成带限音频信号，并通过脉冲控制器和脉冲发生器产生电荷脉冲，刺激神经纤维以提供自然频率特性的声音感知。

3）电源管理技术

主要涉及双电源设计、动态功率调节技术、无线供电技术等。有高价值专利采用双电源配置的 RF 前端（并联+串联谐振回路），通过处理器监控电池状态和充电周期，动态调整电源模式以提高效率。另有高价值专利通过具有感应线圈的无线充电器系统，经皮将电力传输至植入式组件，从辅助充电器接收电力进行充电，使用同一线圈进行电力传输和接收，简化系统并增强可用性。

4）诱发复合动作电位（ECAP）测量技术

有高价值专利通过稀疏采样的刺激电平确定生长函数稳定性，利用 ECAP 记录数据确定反应的统计真实性，减少阈上电平测量的数量，快速检查神经反应是否在预定变化范围内，提高测量效率，减少临床时间，提高结果的准确性和可靠性。另有高价值专利通过实时控制刺激和测量信号，利用统计变量与先验知识识别听觉神经反应，缩短识别时间并降低噪声干扰，减少验配时间，提高测量的自动化程度。

（2）高价值专利技术功效

1）提高功率和数据传输效率：通过设备的结构设计、集成电磁天线等方式，实现功率和数据的高效传输。

2）提高声音感知能力：通过自适应信号映射技术、生成带限音频信号、双侧助听系统、优化刺激通道等方式，实现声音的感知优化。

3) 提高设计稳定性、降低成本：通过结构设计提高成品的可靠性，降低制造成本。

4) 提高 ECAP 测量效率：通过优化诱发复合动作电位 (ECAP) 信息处理，提高 ECAP 测量效率和准确性。

5) 提高电源管理效率：通过双电源和无线充电技术，简化充电过程，提高电源管理效率。

6) 提高 MRI 兼容性和安全性：通过结构设计，限制磁体的旋转，提高 MRI 场景下的安全性。

7) 提高使用者交互体验：通过引入动态用户接口，增强交互性和适应性。

(3) 高价值技术发展方向

从相关高价值专利看技术发展方向，可能包括：

1) 提高功率和信息传输效率：继续通过结构设计等方式，改善功率和信息传输效率。

2) 提升声音感知能力：通过软硬件结合和场景优化，提高设备的语音感知能力，实现更自然的聲音感知。

3) 设备小型化趋势：通过结构设计，实现高度集成和设备小型化，降低制造成本，提高成品稳定性。

4) 高效能源管理：继续改善现有的充电体验，提高电源管理效率。

5) 高效 ECAP 测量：进一步优化 ECAP 测量技术，提高测量效率和准确性，推动医疗精准化。

表 4.15 科利耳有限公司部分高价值专利清单

序号	公开（公告）号	专利名称	申请年	简单同族专利申请数量	简单同族被引用专利总数	运营情况	技术功效
1	US10632317B2	听力假体中的功率和数据传输	2017	11	50	期限延长	高效功率传输、提高数据完整性、减少多个射频链路的需求、减少干扰
2	CN105596118B	可植入医疗装置中的线圈组件	2015	11	9	权利转移	提高感应链路性能、增强数据和功率传输效率、减少磁干扰
3	AU2014233574B2	可植入皮下的装置	2014	9	81	—	陶瓷壳体的高效加工、降低制造成本、提高成品率、提高密封性和电连接可靠性
4	CN113769273B	磁体管理 MRI 兼容性	2016	13	56	—	限制磁体旋转、提高 MRI 环境稳定性和安全性

5	US8934984B2	带天线的耳后（BTE）假肢装置	2008	11	341	期限延长	促进双向数据和电力传输来增强通信范围和效率
6	US11128965B2	包含无线经皮链路的植入式医疗设备	2018	10	16	期限延长、权利转移	提高耦合系数、增强功率和数据传输、提高舒适性、MRI 安全性
7	CN112804630B	听力装置及助听器装置	2016	17	67	权利转移	高效音频信号传输和数据交换
8	AU2016273997B2	快速获取诱发复合动作电位记录的方法和系统	2016	8	30	—	提高 ECAP 记录测量效率和准确性，快速准确测量阈电平

9	CN106714902B	听力设备的用户接口	2015	11	14	—	提高操作体验和交互能力、提供视觉反馈和功能
10	CN109874368B	双电源	2016	7	18	—	提高功率传送效率、延长电池寿命
11	CN105664358B	具有非线性导体的馈通	2012	7	19	—	更薄更紧凑组件设计
12	AU2016200210B2	一种人工耳蜗及其操作方法	2016	11	21	权利转移	增强语音信息传送能力、提高不同环境理解语音的能力
13	CN104284288B	用于听力装置的信号处理器及听力装置的运行方法	2014	13	33	权利转移	增强语音信号、提高听觉体验

14	CN104905909B	双侧助听系统及验配双侧助听系统的方法	2015	7	34	权利转移	提高语音感知和声源定位能力、提高双耳信号匹配、提高听觉体验
15	US9597522B2	植入式医疗设备的便携式电源充电	2015	8	177	—	高效便捷的电力传输、简化充电流程
16	AU2015238796B2	听力系统	2015	8	32	权利转移	减少信号传输的能量消耗和数据量、提高效率 and 用户体验
17	CN103068439B	多电极通道配置	2011	7	40	—	实现更精细和聚焦的神经刺激、减少通道交互、提高听力修复的效率和频谱分辨率
18	CN104287872B	包括用于测量和处理电诱发神经反应的植入件的助听装置	2014	8	48	权利转移	提高 ECAP 测量效率和准确性、减少验配时间、降低噪声干扰

19	AU2016204490B2	连接馈通	2016	7	8	权利转移	提高焊接连接的可靠性和成品率、降低制造应力、增强成品可靠性
20	CN102740926B	用于刺激医疗设备的刺激 定时	2010	9	92	-	减少信号相位差丢失、降低刺激脉冲频率、延长电池寿命、降低成本、提高声音自然感和耳间定时提示的准确性

浙江省知识产权

4.6 索尼

4.6.1 企业近期研究进展

索尼公司（Sony Corporation）是一家总部位于日本东京的全球领先的电子、娱乐和科技公司。自 1946 年成立以来，其核心业务包括电子产品、影视娱乐、游戏和图像传感器等。

在动态视觉传感器领域，索尼近年来取得了显著进展。动态视觉传感器（Dynamic Vision Sensor, DVS）是一种基于事件驱动的新型图像传感器，与传统帧式传感器不同，DVS 仅在像素亮度发生变化时才输出信息，从而实现极高的动态范围和低延迟响应。这种技术特别适用于高速运动检测、机器人视觉、自动驾驶和增强现实等应用。

其近期推出产品主要包括多款基于事件的视觉传感器，可以通过异步方式检测各像素的亮度变化，结合坐标与时间信息，仅输出变化像素对应的数据，从而实现高效率、高速、低延迟数据输出，在工业领域中的高速物体检测、机器监控、物体检测与分析、图像识别等方面均可以发挥作用。

4.6.2 技术分支、技术功效和 IPC 分类号统计

索尼在类脑智能产业下的多个技术分支中都有专利布局，其中类脑计算中的自旋电子型忆阻器和类脑视觉感知中的传感器、处理电路技术分支涉及的专利申请量较大。自旋电子型忆阻器所涉及的技术功效主要有降低功耗、提高可靠

性、操作方便。类脑视觉感知传感器所涉及的技术功效主要有降低功耗、提高数据传输效率、增加功耗。类脑视觉感知处理电路所涉及的技术功效主要有灵敏度高、提高质量、便于理解。

表 4.16 索尼三级技术分支和技术功效统计

三级分支	申请量	技术功效	申请量
植入辅助	21	提高便捷性	4
		直径小	1
		观看舒适	1
非植入电极	30	减少潜在的不适	7
		降低本体噪音	2
		高精度检测	2
光学传感	12	增强愉悦感觉	2
		提高便捷性	2
		提高电场强度	2
P300	34	不引起的意识	2
		提高准确性	1
SSVEP	8	\	\
预处理	13	节约电能	1
		成本低	1
解码	72	改善性质	6
		稳定和提高	6
		使用方便	6
对外交互	77	不引起的意识	2
		缓慢震荡	2
		承受载荷小	2
状态检测	58	提高质量	2
		不引起的意识	2
		支持行为	2

神经调控	5	\	\
SNN 模型	88	结构简单	10
		减少消耗	10
		易于控制	3
SNN 编码	37	结构简单	10
		减少消耗	10
		实现双工传输	2
SNN 训练	66	易于控制	3
		减少计算量大	1
		提高转速	1
模型融合	30	减少计算量大	1
		提高转速	1
离子迁移型	90	提高可靠性	9
		改善特性	6
		容量大	5
相变型	39	提高可靠性	3
		密度高	3
		提高稳定性	2
自旋电子型	363	降低功效	40
		提高可靠性	33
		操作方便	27
神经拟态结构	13	提高学习效果	1
		读数准确	1
		学习效果	1
事件驱动的异步通信	18	计算结果准确	1
		提高水平	1
		检测准确	1
多核并行计算	21	提高开发效率	1
		减少存储量	1
		效果好	1
传感器	209	降低功耗	4

处理单元		提高数据传输效率	4
		增加功耗	4
	200	灵敏度高	3
		提高质量	3
		便于理解	3

索尼公司的类脑智能产业专利主要集中在 H04N5、G11C11、H01L27 等 IPC 分类号，这些分类号涵盖了类脑计算和类脑感知技术的关键领域，包括视觉传感器设计、制造，视觉处理电路、半导体存储器件等。

索尼的相关专利涉及最多的是 H04N5 分类，即关于电视系统的零部件，这是视觉感知技术中非常核心的部分，涉及传感器的设计和开发，表明索尼在该领域有大量的研发投入，可能在提高视觉传感器的成像质量、降低功耗、简化后续处理流程等方面有较好的专利技术。

其次，G11C11 分类号关注的是电磁数字存储器，属于类脑计算芯片中的关键组成部分，其设计直接影响芯片的存储性能，这表明索尼在该领域有较好的技术基础。

H01L27 分类号则涉及半导体存储器件，特别是闪存设备，说明索尼在芯片存储技术领域有所突破。

表 4.17 索尼前十 IPC 大组分类号统计

序号	IPC 分类号	专利数量 /项	分类号含义
1	H04N5	169	电视系统的零部件（扫描部件或其与供电电压产生的组合入 H04N3/00）

2	G11C11	131	以使用特殊的电或磁存储元件为特征而区分的数字存储器；为此所用的存储元件（G11C14/00 至 G11C21/00 优先）（5）
3	H01L27	89	由在一个共用衬底内或其上形成的多个半导体或其他固态组件组成的器件（其零部件入 H01L23/00，H01L29/00 至 H01L33/00，H10K，H10N；由多个单个固态器件组成的组装件入 H01L25/00）（2，8）
4	H04N25	88	固态图像传感器[SSI]的电路；及其控制[2023.01]
5	H01L21	48	专门适用于制造或处理半导体或固体器件或其部件的方法或设备
6	H01L43	39	应用电—磁或者类似磁效应的器件；专门适用于制造或处理这些器件或其部件的方法或设备（由在一个共用衬底内或其上形成的多个固态组件组成的器件入 H01L27/00）
7	A61B5	38	用于诊断目的的测量（放射诊断入 A61B6/00；超声波、声波或次声波诊断入 A61B8/00）；人的辨识
8	H04N23	30	包括电子图像传感器的相机或相机模块；其控制
9	G06F3	26	用于将所要处理的数据转变成为计算机能够处理的形式输入装置；用于将数据从处理机传送到输出设备的输出装置，例如，接口装置
10	H01L45	24	无电位跃变势垒或表面势垒的，专门适用于整流、放大、振荡或切换的固态器件，例如介电三极管；奥氏效应器件；专门适用于制造或处理这些器件或其部件的方法或设备（由在一个共用衬底内或其上形成的多个固态组件组成的器件入 H01L27/00；应用超导电性或高导性的器件入 H01L39/00；压电器件入 H01L41/00；体负阻效应器件入 H01L47/00）

4.6.3 重点技术路线分析

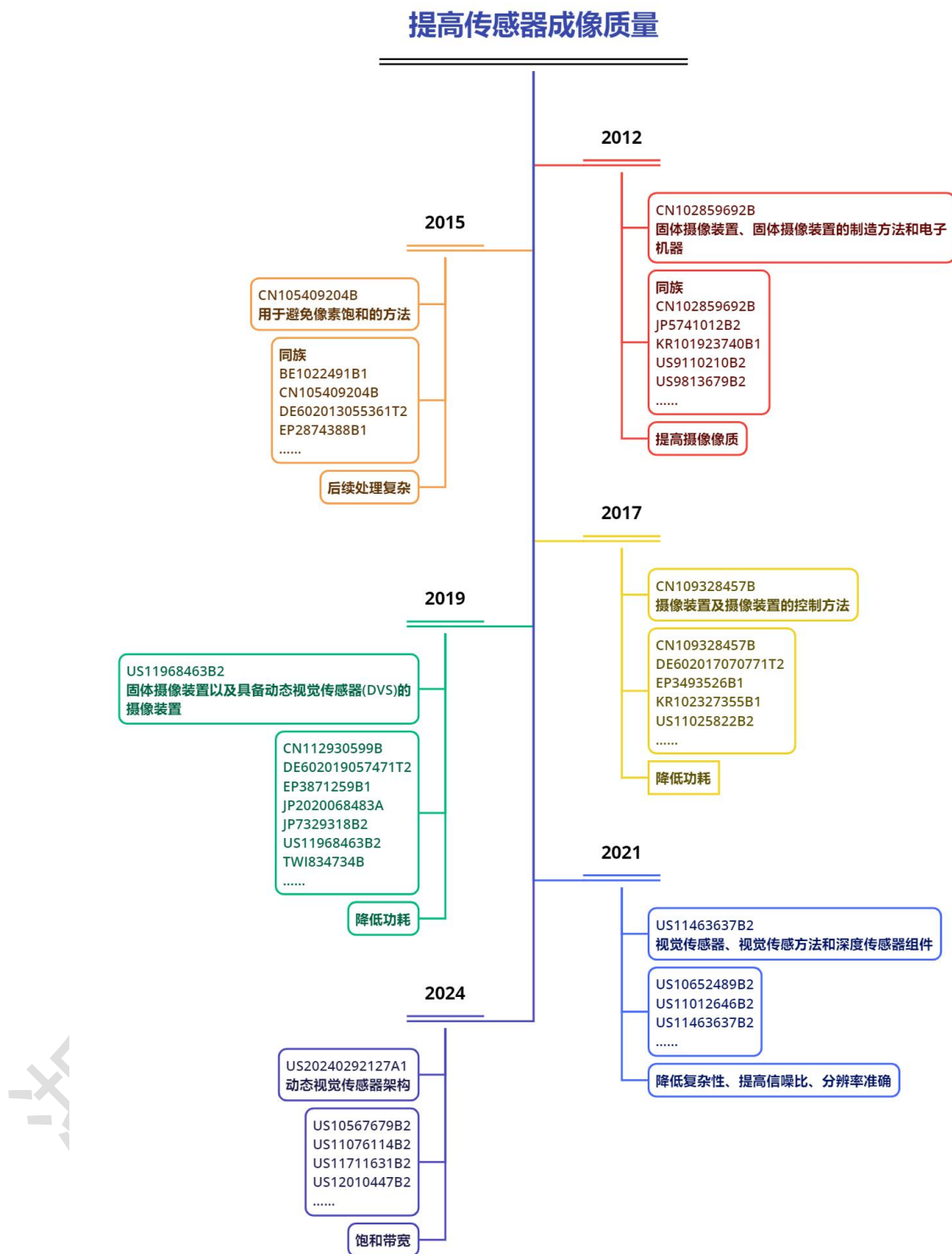


图 4.6 提高传感器成像质量技术路线图

早在 2012 年，索尼集团公司的前田兼作就申请了一种固体摄像装置、制造方法和电子机器，目前仍属于有效状态，

但权利已经转移给了索尼半导体解决方案公司。该专利包括中国、日本、韩国、美国等 5 件同族专利。该专利通过在复眼系固体摄像装置中夹设透明材料层，解决了微型透镜阵与摄像单元之间热膨胀引起的光轴偏离问题，实现了在高温高湿环境下的高像质摄像。

2015 年，软动力学传感器公司的 O·布蒂尔、T·菲纳特、W·范德腾佩尔等人申请了一种用于避免像素饱和的方法。该专利目前由于未缴年费处于失效状态，权利由软动力学传感器公司转移给了索尼深度传感解决方案股份有限公司。该专利包括比利时、中国、德国、欧洲、日本、韩国、美国等 7 件同族专利。该专利通过在 CMOS 像素传感器中采用同步复位像素技术，检测并复位像素的检测器节点，解决了像素饱和导致的图像伪像和深度测量失效问题，实现了高填充因子和准确的深度信息计算，提高了传感器的稳健性。

2017 年，索尼集团公司的饭沼隆弘申请了一种摄像装置及摄像装置的控制方法，该专利包括中国、德国、欧洲、日本、韩国、美国等 5 件同族专利。该专利通过在摄像装置中采用像素阵列单元和扫描电路的相加模式和正常模式切换，基于事件检测结果控制传输晶体管的工作方式，解决了模数转换次数增加和功耗增大的问题，实现了功耗的降低和图像质量的保持。

2019 年，索尼集团和索尼半导体解决方案公司联合申请

了一种固体摄像装置以及具备动态视觉传感器 (DVS) 的摄像装置。该专利包括中国、德国、欧洲、日本、中国台湾、美国等 6 件同族专利。该专利通过优化读出电路配置来解决 DVS 中的效率问题, 通过电压信号的受控对数转换来提高光接收效率, 从而提高高速成像的灵敏度和性能。

2021 年, 索尼高级视觉传感股份公司申请了一种视觉传感器、视觉传感方法和深度传感器组件。该专利包括美国的 3 件同族专利。其具有集成和计算电流差异的像素阵列的视觉传感器通过实现高信噪比和精确的时间分辨率、最大限度地减少深度估计中的运动伪影和计算复杂性, 解决了现有深度估计方法的局限性。

2024 年, 索尼高级视觉传感股份公司申请了一种动态视觉传感器架构。该专利通过动态视觉传感器 (DVS) 或变化检测传感器会对光强度的变化做出反应, 并以此方式监测场景的变化, 进而通过使用同步操作和全局快门解决大像素电路和时序抖动问题, 从而提高机器视觉应用的时间分辨率和高效数据处理。

索尼在类脑智能领域的高价值专利技术关注神经形态图像传感器、处理电路和类脑计算存储芯片的创新。

4.6.4 高价值专利

1) 图像传感技术:

CN107148780B: 通过在视频流和容器层中插入元数据信

息，使传统和 HDR 兼容接收器能正确处理 HDR 光电转换特性视频数据，解决了传统接收器处理 HDR 视频数据的兼容性问题，实现了适当的电光转换和亮度控制。

CN102859692B: 通过在复眼系固体摄像装置中夹设透明材料层，解决了微型透镜阵与摄像单元之间热膨胀引起的光轴偏离问题，实现了在高温高湿环境下的高像质摄像。

2) 图像处理技术:

CN102598651B: 通过在摄像机侧进行图像插值和滤波处理，生成多个缩小图像，并在主机终端侧选择和放大特定图像，解决了高性能摄像元件下摄像机侧延时问题，提高了系统性能和用户接口响应速度。

CN110418045B: 通过在图像处理装置中使用图像反向稳定化处理单元，根据抖动信息和沉浸感期望值调整图像效果，解决了现有技术中图像稳定性和真实感难以满足用户需求的问题，实现了灵活的图像处理和更高的用户体验。

CN105144229B: 通过在图像处理装置中结合分辨率转换和宽高比调节处理，生成适合显示装置的缩略图图像，解决了全景图像缩略图可视度不足和处理负担大的问题，提高了用户可识别性和显示效率。

3) 芯片存储技术:

CN101202325B: 通过在 MRAM 存储器中采用存储层、磁化固定层、自旋阻挡层和自旋吸收层的配置，抑制自旋抽运

现象，解决了现有技术中热稳定性和自旋注入效率低的问题，实现了低功耗和高可靠性的存储效果。

CN106887247B：通过在 ST-MRAM 中采用垂直磁化型层结构和镁氧化物绝缘层，利用层压方向上的电流进行自旋扭矩磁化反转，解决了存储层热稳定性和写入电流的平衡问题，实现了低功耗和高热稳定性的存储元件。

CN106935256B：通过在 ST-MRAM 中使用多个铁磁层的存储层结构和垂直电流流过存储元件的方法，解决了写入时间延长和错误率高的问题，实现了在 ST-MRAM 中快速可靠的写入操作。

（2）高价值专利技术功效

提高摄像像质：索尼在提高视觉传感器的成像质量上由深厚的研究基础，通过光电转换器、固体摄像装置的设计，实现高像质摄像。

改善图像质量：通过在图像处理装置中使用滤波处理、反向稳定化处理、分辨率转换、宽高比调节处理等图像处理方法，增强图像清晰度，提供高质量的投影显示。

提高可控性：在 MRAM 存储器中采用多种创新手段，抑制自旋抽运现象，解决存储层热稳定性低、自旋注入效率低、错误率高等问题，提高存储器的稳定可控性。

（3）高价值技术发展方向

从相关高价值专利看技术发展方向，可能包括：

1) 消除畸变: 通过改进图像处理方法, 改善相机成像中存在的畸变问题, 避免图像失真、影响视觉效果。

2) 抑制延迟: 通过优化视觉感知传感器配置和处理参数, 减少图像处理过程中的延迟, 提高处理速度, 减少成像滞后。

3) 降低功耗: 传统的 MRAM 存储器功耗极大, 难以缩放, 削弱了其成为通用存储器的竞争力, 索尼公司通过研究 STT-MRAM, 不使用外部磁场, 比传统的 MRAM 消耗更少的能量, 更容易缩放。

结构简单: 索尼公司凭借材料改进, 可以将新型自旋电子型忆阻器的密度提高到甚至是超越 DRAM 的水平, 还能降低写入功耗。

表 4.18 索尼公司部分高价值专利清单

序号	公开公告号	专利名称	申请年	同族数	被引用次数	运营情况	技术功效
1	CN107148780B	发送装置、发送方法、接收装置和接收方法	2015	21	0	/	具有附加的效果
2	US8788951B2	Avatar customization	2007	20	15	/	/
3	CN102598651B	动图像处理装置及方法、安装有动图像处理装置的摄像装置	2010	16	0	/	抑制延时/高分辨率
4	CN101202325B	存储元件和存储器	2007	14	0	/	提高自旋注入效率
5	CN106887247B	信息存储元件和存储装置	2012	12	0		保证热稳定性
6	US11839163B2	Storage element and memory	2022	11	0	/	增大电流/总电流下降
7	CN106935256B	自旋力矩磁随机存取存储器元件与磁阻效应型磁头	2012	11	0	/	保证热稳定性
8	CN110418045B	图像处理装置、图像处理方法和计算机可读介质	2015	10	0	/	/
9	CN105144229B	图像处理装置、图像处理方法和程序	2014	10	0	/	便于识别
10	CN104321803B	图像处理装置、图像处理方法和程序	2013	10	0	/	不产生畸变、高质量投影显示
11	TWI317886B	電腦結構中用於寬頻網路之外部資料介面	2005	9	1	/	/
12	CN107274925B	存储系统和存储器件	2013	9	0	/	缩短反转时间
13	CN105825882B	自旋转移扭矩存储元件和存储装置	2012	9	0	/	降低功耗、

							减小重写电流
14	CN103548337B	图像处理装置	2012	9	0	/	适当生成
15	CN102859692B	固体摄像装置、固体摄像装置的制造方法和电子机器	2012	8	0	转让	提高摄像像质
16	US10084017B2	Switch device and storage unit having a switch layer between first and second electrodes	2015	5	8	/	减小设备尺寸、提高阈值电压
17	US7362607B2	Solid-state memory device and method for arrangement of solid-state memory cells	2005	5	7	/	结构简单、快速编写
18	US7307270B2	Memory element and memory device	2005	3	26	/	足够的电阻变化、提高可靠性
19	US8569732B2	Memory element and memory device	2011	3	5	/	提高可控性、改善特性
20	CN107197628B	半导体器件	5	0	0	/	防止反转、结构紧凑

第五章 浙江省产业定位

5.1 浙江省产业专利态势

5.1.1 产业分布

5.1.1.1 全国各省市申请总量情况

截至检索日，自 1985 年以来，在本次检索分析范围内的已公开全球类脑智能产业专利（发明专利和实用新型）申请大致经历了三个阶段（第一阶段：1985 年—2000 年，第二阶段：2001 年—2012 年，第三阶段：2013 年—2025 年），中国类脑智能产业的专利申请量也经历了从几乎空白到异军突起、再到繁荣发展三个时期。在本次检索分析范围内的已公开全球类脑智能产业专利（发明专利和实用新型）中，中国专利申请量与国外专利申请量之比约为 1: 1，中国类脑智能产业专利申请占据了全球类脑智能产业专利申请的“半壁江山”。

在中国类脑智能产业专利中，如表 5.1 所示，各省/直辖市/自治区/特别行政区的专利申请量（考虑到专利申请人署名排序并不会改变每个申请人对专利权的法律权益，作为非第一顺位的申请人申请的专利也被统计到相应的省市）按照量级可分为三个梯队：第一梯队的申请量在 1000-10000 组简单同族之间，顺次包括北京、广东、上海、江苏、浙江、台湾、湖北、陕西、山东、四川、天津、安徽。第二梯队的申请量在 100-1000 组简单同族之间，顺次包括重庆、湖南、

福建、河南、辽宁、吉林、河北、黑龙江、江西、山西、广西、云南、甘肃、香港、贵州。第三梯队的申请量在 1-100 组简单同族之间，顺次包括海南、内蒙古、新疆、宁夏、西藏、澳门、青海。各省/直辖市/自治区/特别行政区类脑智能产业专利申请格局整体均衡，各省市均在类脑智能产业相关技术领域具有专利申请，但是申请量分布并不均衡。在专利申请量占据优势地位的第一梯队中，东、南、西、北、中部均有省市在列，但是，位居第一的北京的申请量与位居第五的浙江申请量之比约为 2: 1，北京、广东合计申请量与长三角四省市（上海、江苏、浙江、安徽）合计申请量之比约为 1: 1，申请量在 2000 组简单同族以下的省市占比为 50%。

表 5.1 全国各省市申请量排名表

NO.	省/直辖市/自治区/特别行政区	申请量	NO.	省/直辖市/自治区/特别行政区	申请量
1	北京	8896	18	吉林	552
2	广东	7538	19	河北	502
3	上海	5423	20	黑龙江	469
4	江苏	4728	21	江西	307
★5	浙江	4345	22	山西	292
6	台湾	3183	23	广西	225
7	湖北	2058	24	云南	213
8	陕西	1937	25	甘肃	186
9	山东	1692	26	香港	142
10	四川	1633	27	贵州	127
11	天津	1493	28	海南	62
12	安徽	1406	29	内蒙古	48
13	重庆	927	30	新疆	46
14	湖南	910	31	宁夏	22
15	福建	716	32	西藏	13
16	河南	681	33	澳门	11
17	辽宁	665	34	青海	6

中国各省/直辖市/自治区/特别行政区申请量分布不均衡，或与申请主体及其分布相关，中国类脑智能产业专利申请的申请主体主要为企业和高校/研究所。一方面，类脑智能产业相关企业申请主体少的省市，其申请数量少于具有较多类脑智能产业相关企业和高校/研究所双申请主体的省市（例如北京、上海、江苏、浙江、湖北、山东、安徽），更少于具有类脑智能产业领域头部企业所在的省市（例如广东、台湾）；另一方面，在高校/研究所是申请主力的省市，

类脑智能产业相关专业属于非强势学科的高校/研究所申请主体的申请量少于类脑智能产业相关专业属于强势学科的高校/研究所申请主体的申请量（例如陕西、四川、天津）。但是，企业和高校/研究所并不是完全独立的申请主体，有些企业依托同省市高校/研究所的技术成果转化发展起家并逐渐壮大，比如中科院与寒武纪、清华大学与灵汐科技；有些企业跨省市与高校/研究所进行产学研合作形成技术成果，比如达尔文芯片由浙江大学牵头，杭州电子科技大学与华为中央研究院分别参与了芯片研制与算法和应用场景研究工作；有些企业通过高薪酬或配套人才服务吸引了类脑智能产业专业属于强势学科的海内外高校/研究所毕业生汇聚，这些人成为企业申请主体的主要发明人，比如深圳华为。

5.1.1.2 全国各省市二级分支申请量情况

中国类脑智能产业完全覆盖了全球类脑智能产业涵盖的三个技术领域及其二级分支。在脑机接口技术领域包括的采集传感、编码解码、应用领域三个细分领域，各全国专利申请量占各全球专利申请量之比均在 55%左右；在类脑计算技术领域包括的脉冲神经网络、SNN 融合网络、类脑计算芯片三个细分领域，各全国专利申请量占各全球专利申请量之比均在 25%左右；在类脑感知包括的触觉感知、视觉感知两个细分领域，各全国专利申请量占各全球专利申请量之比均在 50%左右。中国申请量在上述各二级分支/细分领域之间的

分布形式，与全球趋于一致。但是，在类脑计算技术领域包括的忆阻器细分领域，以及在类脑感知技术领域包括的听觉感知细分领域，出现了全球申请量高，而中国申请量低的情形，且各全国专利申请量占各全球专利申请量之比分别为9%、6%，在全球市场并未饱和的情形下，中国申请主体可通过专利布局为自己争取优势地位；同时，在类脑感知包括的多模态协同感知细分领域，出现了全球申请量低，而中国申请量高的情形，全国专利申请量占各全球专利申请量之比为79%，中国申请主体在新兴赛道上把握了主动权。

表 5.2 示出了全国各省市二级分支申请量情况。从各二级分支的申请量来看，浙江在所有分支的申请量均在前 5 之列，在脑机接口编解码、脑机接口应用、SNN 融合网络、忆阻器、类脑听觉感知、类脑触觉感知分支下具有一定优势。

在忆阻器细分领域，申请量排名前 5 的省市依次为台湾、上海、北京、湖北、浙江，合计申请量占全国申请量之比为76%。其中，上海与北京申请量相近，约为 1100 组简单同族，湖北与浙江申请量相近，约为 600 组简单同族。在听觉感知细分领域，申请量排名前 5 的省市依次为上海、浙江、北京、广东、江苏，合计申请量占全国申请量之比为 84%，山东的申请量虽然排名第 6，但是其与排名第 5 的江苏差距并不明显，上述 6 省市是中国类脑智能产业中听觉感知细分领域的中坚力量。

表 5.2 全国各省市二级分支申请量情况

NO.	省/直辖市/自治区/特别行政区	脑机接口			类脑计算				类脑感知			
		采集传感	编码解码	应用领域	脉冲神经网络	SNN融合网络	类脑计算芯片	忆阻器	视觉感知	听觉感知	触觉感知	多模态协同感知
1	北京	1749	1925	1696	1046	663	2029	1188	722	63	370	55
2	广东	1345	1836	1726	717	381	1291	437	819	48	584	111
3	上海	1012	907	818	412	162	897	1308	235	217	233	37
4	江苏	997	1138	915	420	232	902	397	351	29	444	69
5	浙江	662	1151	903	409	234	706	569	279	159	421	36
6	湖北	401	323	315	147	77	267	661	112	2	124	11
7	天津	307	655	510	116	50	178	69	81	5	127	9
8	陕西	264	660	483	187	103	355	149	136	6	199	10
9	山东	231	461	400	149	60	319	139	125	21	126	21
10	四川	200	454	298	297	186	325	84	137	7	187	14
11	台湾	165	199	179	54	18	301	2313	30	5	15	0
12	重庆	151	326	214	96	62	157	21	86	9	85	13
13	安徽	148	331	283	116	52	268	212	104	8	144	27
14	湖南	130	201	168	121	71	244	75	67	8	79	10
15	河北	104	198	188	41	20	72	32	32	2	25	3
16	河南	96	220	182	57	25	106	42	67	1	50	5
17	辽宁	94	183	122	76	37	92	33	72	9	87	9
18	福建	87	145	147	64	19	133	90	53	3	90	9
19	吉林	71	225	166	51	17	53	26	42	1	73	4
20	黑龙江	62	134	87	64	33	78	17	54	5	42	11
21	山西	49	94	58	35	9	29	10	24	1	62	1
22	广西	47	66	52	25	19	41	21	26	1	11	2
23	江西	44	121	109	19	8	24	19	45	1	21	4
24	甘肃	38	70	53	19	11	32	15	7	0	22	1
25	云南	35	85	78	14	8	22	7	29	0	22	3
26	香港	32	28	21	14	4	14	8	10	1	12	2
27	海南	16	28	20	5	1	3	1	2	0	2	0
28	贵州	12	24	33	16	9	32	9	8	1	5	1
29	新疆	9	9	11	6	3	6	2	10	1	1	2
30	内蒙古	4	18	16	6	2	9	1	9	0	0	0
31	宁夏	4	7	2	3	1	2	0	3	0	1	6
32	澳门	3	3	0	1	1	1	2	1	0	0	0
33	西藏	1	3	2	1	0	4	0	1	0	0	0
34	青海	0	0	0	1	1	1	0	3	0	1	0

北京多个分支排名第一；上海在除 SNN 融合网络细分领域外的其他细分领域的申请量均在前 5，虽然其在 SNN 融合

网络细分领域申请量排名第 6，但与排名第 5 的四川差距并不明显；广东与江苏在除忆阻器细分领域外的其他细分领域的申请量均在前 5，虽然二者在忆阻器细分领域申请量分列 6、7，但与排名第 5 的浙江差距并不明显。

5.1.2 区域分布

5.1.2.1 浙江省内各地市地域分布

截至检索日，自 1985 年以来，在本次检索分析范围内的已公开全球类脑智能产业专利（发明专利和实用新型）中，浙江类脑智能产业的专利申请量属于中国类脑智能产业的专利申请量的第一梯队，以 4345 组简单同族申请量在全国各省/直辖市/自治区/特别行政区中位居第 5。

图 5.1 示出了浙江省各地市类脑智能产业专利申请量地域分布情况（考虑到专利申请人署名排序并不会改变每个申请人对专利权的法律权益，作为非第一顺位的申请人申请的专利也被统计到相应的地市）。浙江省类脑智能产业专利申请格局整体均衡，各地市均在类脑智能产业相关技术领域具有专利申请，但是申请量分布并不均衡：杭州、宁波、嘉兴、温州、绍兴、湖州、金华、台州、丽水、衢州、舟山分别以 3303、314、198、137、85、75、69、42、19、14、6 组简单同族申请量分居于第 1~11 位。

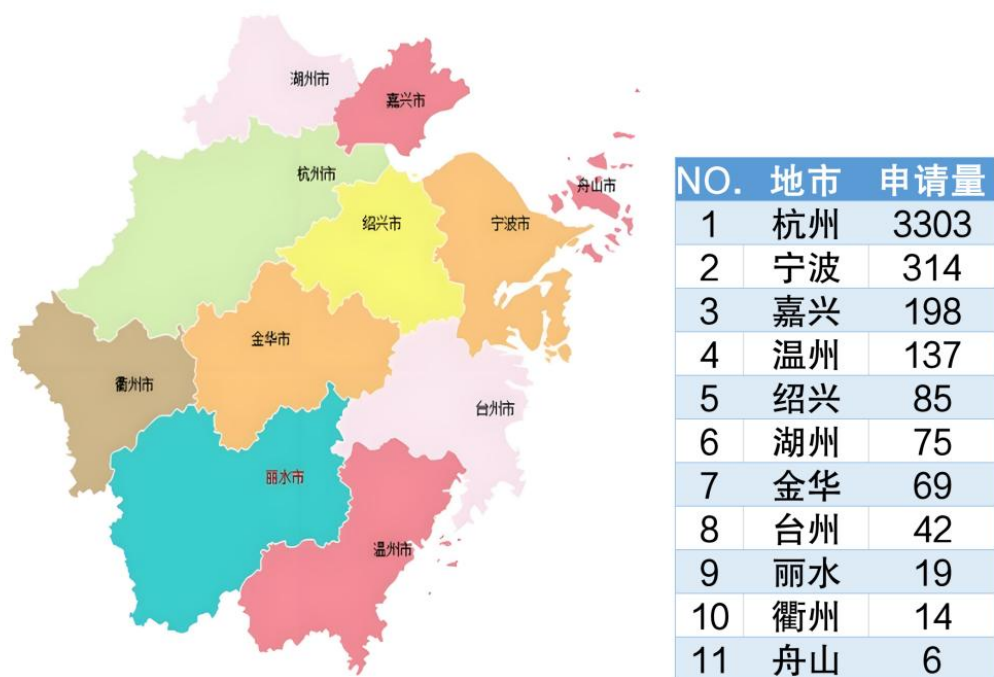


图 5.1 浙江省内各地市地域分布

浙江是具有较多类脑智能产业相关企业和高校/研究所双申请主体的省份，也是拥有具有类脑智能产业相关强势学科的高校/研究所申请主体的省份。但是，浙江省类脑智能产业相关企业和高校/研究所主要分布在杭州，杭州是浙江类脑智能产业专利申请的主力：在浙江省类脑智能产业专利申请量超过 100 组简单同族的申请人中，浙江大学、杭州电子科技大学以 629、549 组简单同族申请量分列 1、2，中国电子科技集团有限公司（浙江驰拓科技有限公司、中电海康集团有限公司、杭州海康威视数字技术股份有限公司）以 363 组简单同族申请量位居第 3，之江实验室、浙江诺尔康神经电子科技股份有限公司、浙江工业大学分别以 246、154、131 组简单同族分居于 4、5、6。

部分地市的高校/研究所和企业申请主体在类脑智能产业相关技术领域的申请量“势均力敌”：在杭州，高校/研究所申请主体的申请量为 1799 组简单同族，企业申请主体的申请量为 1472 组简单同族；在宁波、嘉兴、湖州，高校/研究所申请主体的申请量分别为 163、103、38 组简单同族，企业申请主体的申请量分别为 136、91、33 组简单同族；金华高校/研究所申请主体与企业申请主体申请量之比约为 1:1。

部分地市的高校/研究所和企业申请主体在类脑智能产业相关技术领域的申请量差异较大：在温州、衢州、舟山，高校/研究所申请主体的申请量明显高于企业申请主体的申请量，二者申请量之比分别约为 2、2、5；在绍兴、台州、丽水，企业申请主体的申请量明显高于高校/研究所申请主体的申请量，二者申请量之比分别约为 3、2、13。

浙江类脑智能产业技术领域中的企业和高校/研究所并不是完全独立的申请主体，二者之间有合作共同申请以及权利转移的情形，在申请量排名前 5 的地市中：杭州合计有 241 组简单同族呈现出相关情形，其中，浙江大学以 70 组简单同族申请量位居第一，约为杭州电子科技大学的 2 倍；宁波合计有 33 组简单同族呈现出相关情形，其中，中国科学院宁波材料技术与工程研究所与宁波大学分别以 6、5 组简单同族申请量位居第一、二；嘉兴合计有 32 组简单同族呈现出相关情形，其中，浙江清华长三角研究院、嘉兴大学均以

3 组简单同族申请量并列第二；温州合计有 22 组简单同族呈现出相关情形，其中，杭州电子科技大学和温州大学（含温州大学新材料与产业技术研究院），分别以 7、3 组简单同族申请量位居第一、二；绍兴合计有 8 组简单同族呈现出相关情形，包括浙江大学绍兴研究院、绍兴文理学院、浙江理工大学的各 1 组简单同族。

以浙江大学、浙江诺尔康神经电子科技股份有限公司为代表的部分杭州申请主体和省内外申请主体有共同合作申请的情形，其中，共同合作申请的省内申请主体为嘉兴，共同合作申请的省外申请主体包括上海、北京、江苏、广东、山东、江西、河南、福建，前 4 位的省外申请主体是主要的合作对象。宁波和嘉兴的申请主体均和北京的申请主体有共同合作申请的情形，湖州的申请主体和江苏的申请主体有共同合作申请的情形。

从专利申请量来看，当前浙江省内跨省市共同合作申请的申请量较少，共计 32 组简单同族，合作范围局限在合作主体关系先天较为密切（比如发明人与母校、公司集团内部子母/子公司、业务往来）、同领域、地域相近等方面。积极拓展合作方式以及匹配合适的合作对象是未来发展浙江省类脑智能产业链的重要方向。

5.1.2.2 浙江省内各地市二级分支申请量情况

浙江省的类脑智能产业完全覆盖了全球类脑智能产业

涵盖的三个技术领域及其二级分支/细分领域，如表 2 所示，其在所有细分领域的申请量均在全国前 5 之列，具有完整且初具规模的类脑智能产业链。其中，在脑机接口技术领域包括的采集传感、编码解码、应用领域三个细分领域，分别以 662、1151、903 组简单同族专利申请量位居全国第 5、3、4；在类脑计算技术领域包括的脉冲神经网络、SNN 融合网络、类脑计算芯片、忆阻器四个细分领域，分别以专利申请量 409、234、706、569 组简单同族专利申请量位居全国第 5、3、5、5；在类脑感知包括的视觉感知、听觉感知、触觉感知、多模态协同感知四个细分领域，分别以专利申请量 279、159、421、36 组简单同族专利申请量位居全国第 4、2、3、5。

虽然全国类脑智能产业专利申请量在忆阻器、听觉感知细分领域，出现了全球申请量高，而中国申请量低的情形，浙江省类脑智能产业专利申请量在所有二级分支/细分领域之间的分布形式，与全球趋于一致，且在听觉感知细分领域，浙江与上海、其他省市合计的申请量之比约为 2: 3: 3，趋近“三足鼎立”之势。但是，浙江省所有类脑智能产业二级分支/细分领域的专利申请量在各地市之间分布不均衡。

图 5.2 示出了浙江省内各地市二级分支申请量情况。其中，杭州与宁波在所有细分领域的专利申请量分居第 1、2 位，但是二者差距比较大，且差距呈现

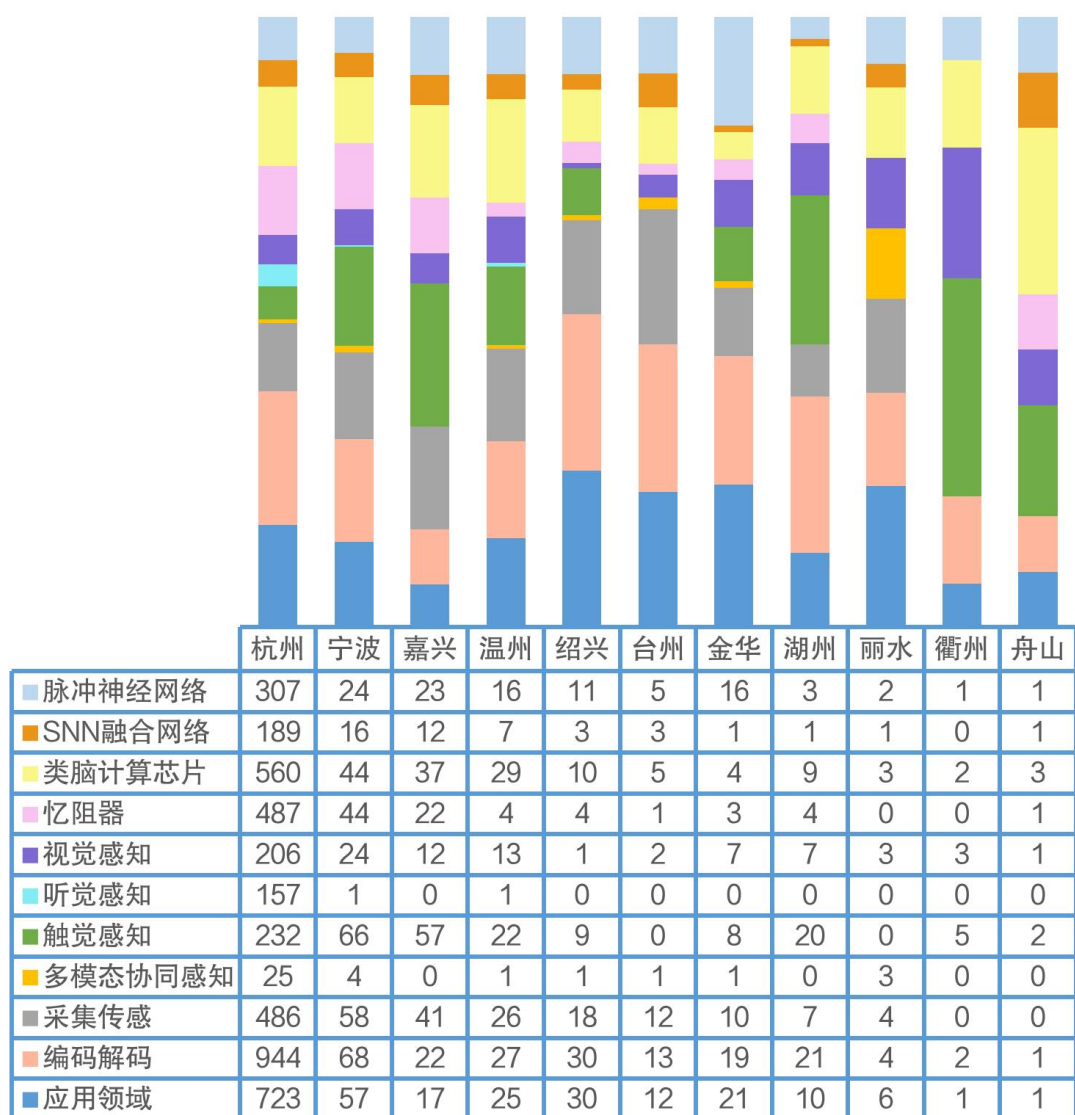


图 5.2 浙江省内各地市二级分支申请量情况

多样化：差距最小的细分领域为触觉感知，杭州专利申请量约是宁波专利申请量的 3.5 倍；差距最大的细分领域为听觉感知，杭州与宁波专利申请量之比为 157: 1；在多模态协同感知细分领域，杭州与宁波专利申请量之比约为 6: 1；在采集传感、视觉感知细分领域，杭州专利申请量约是宁波专利申请量的 8.5 倍；在脑机接口的编码解码、应用领域细分领域，以及类脑计算技术领域的各细分领域，杭州专利申

请量均是宁波专利申请量的 12 倍左右。杭州是浙江类脑智能产业所有细分领域/二级分支专利申请的主力。

杭州的脑机接口技术领域：浙江大学以 83 组简单同族申请量在采集传感细分领域位居第一，约为位居第二的杭州电子科技大学的 2 倍；杭州电子科技大学以 368 组简单同族申请量在编码解码细分领域位居第一，约为位居第二的浙江大学的 2 倍；杭州电子科技大学、浙江大学分别以 189、123 组简单同族申请量在应用领域细分领域位居第一、二。

杭州的类脑计算技术领域：浙江大学以 138、100 组简单同族申请量在脉冲神经网络、SNN 融合网络细分领域均位居第一，约为均位居第二的之江实验室的 2 倍；浙江大学、之江实验室分别以 168、104 组简单同族申请量在类脑计算芯片细分领域位居第一、二；忆阻器细分领域排名第一、二的分别是浙江驰拓科技有限公司（260 组简单同族）和中电海康集团有限公司（135 组简单同族），二者均属于中国电子科技集团有限公司。

杭州的类脑感知技术领域：浙江大学、杭州电子科技大学分别以 37、21 组简单同族申请量在视觉感知细分领域位居第一、二；浙江诺尔康神经电子科技股份有限公司以 139 组简单同族申请量在听觉感知细分领域位居第一，约为全市该细分领域申请量的 89%；浙江大学以 82 组简单同族申请量在触觉感知细分领域位居第一，约为位居第二的浙江理工大

学的 3 倍；浙江大学以 7 组简单同族申请量在多模态协同感知细分领域位居第一。

杭州具有完整且初具规模的类脑智能产业链，宁波、嘉兴具有完整且在部分细分领域申请量小有积累的类脑智能产业链，其他地市均不具有完整的类脑智能产业链，其中，杭州在浙江听觉感知细分领域具有举足轻重的地位，拥有 157 组简单同族申请，除宁波、温州在该细分领域还各有一组简单同族申请外，其他地市在该细分领域均无相关申请。在采集传感、SNN 融合网络、忆阻器、触觉感知、多模态细分技术领域，个别地市还存在申请量为 0 的情形，其中，多模态细分技术领域是申请量为 0 的地市最多的领域。

在宁波，脑机接口技术领域和触觉感知细分领域属于市内相对优势领域；在嘉兴，类脑计算芯片、触觉感知、采集传感细分领域属于市内相对优势领域；在温州，脑机接口技术领域和类脑计算芯片、触觉感知细分领域属于市内相对优势领域；在绍兴，编码解码细分领域属于市内相对优势领域；在台州，脑机接口技术领域属于市内相对优势领域；在金华，脉冲神经网络和脑机接口的编码解码、应用领域细分领域属于市内相对优势领域；在湖州，触觉感知、编码解码细分领域属于市内相对优势领域；丽水、衢州、舟山虽在部分细分领域有所布局，但是力量较为薄弱。

各省/直辖市/自治区/特别行政区在各类脑智能产业的

细分领域有其自身的特点或优势，当各地市的类脑智能产业链不完整或在某些细分领域较为薄弱时，跨省市合作是短时间内能够支撑产业高质量发展的有效途径。

5.1.3 申请趋势

5.1.3.1 浙江省总体申请趋势

截至检索日，自 1985 年以来，在本次检索分析范围内的已公开浙江省类脑智能产业专利（发明专利和实用新型）共 4345 组简单同族。如图 4.3 所示，发明专利占比 91%，实用新型占比 9%。实用新型占比较低，或与实用新型专利保护的客体相关，中国专利法规定实用新型专利只保护产品。

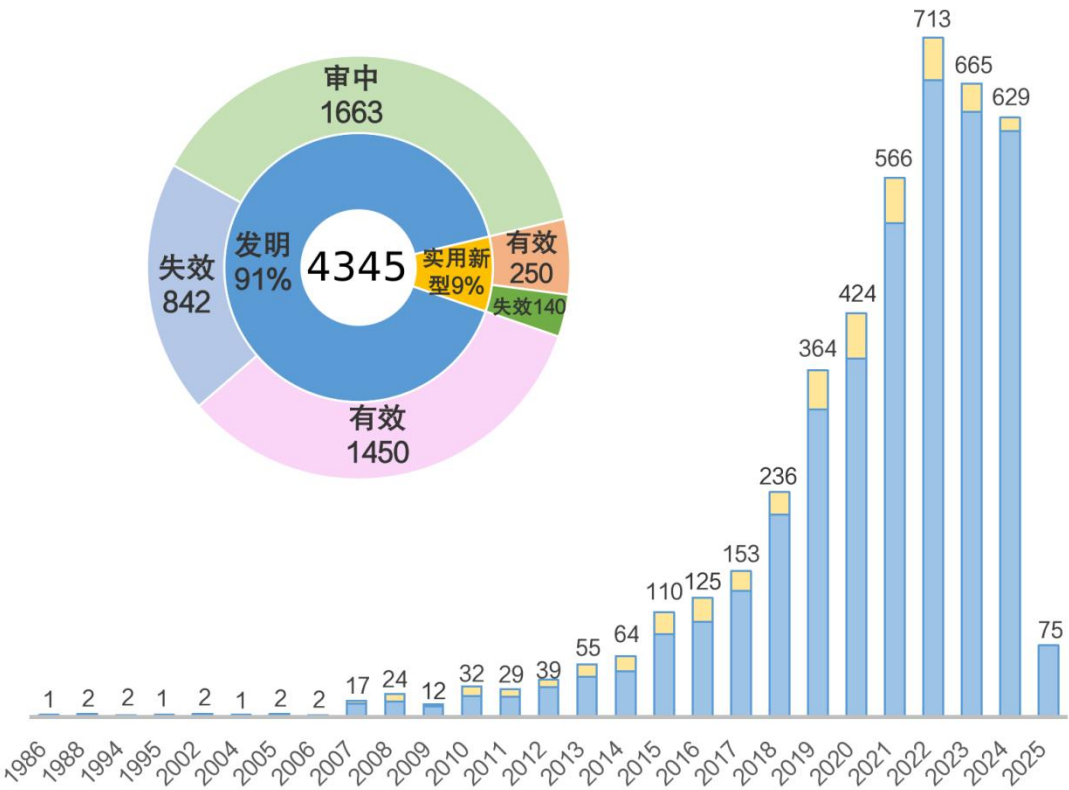


图 5.3 浙江省总体时间趋势、专利类型分布、法律状态

浙江省类脑智能产业专利总体申请趋势受到国际、国内双重趋势的影响，并呈现出自身的特点，按照类脑智能产业的全球专利申请趋势时间线：第一阶段（1985 年—2000 年），全省类脑智能产业专利申请总量偏少，仅有四分之一年中每年有 1 或 2 组专利申请，且申请年不连续；第二阶段（2001 年—2012 年），前半阶段（2001 年—2006 年）延续了第一阶段的申请趋势，申请总量偏少且申请年不连续，后半阶段（2007 年—2012 年）内申请量开始呈现起伏式上升，与全球类脑智能产业专利申请趋势大致相同，同时与中国 2006 年提出的“国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006-2020）”相呼应；第三阶段（2013 年—2025 年）：中国类脑智能产业专利申请进入繁荣发展阶段，国务院、科技部、工业和信息化部等部门相继出台目标纲要、行动计划、创新规划、产业政策、项目指南，指导引领类脑智能产业发展，浙江省类脑智能产业专利申请量也在 2013 年—2022 年呈直线式上升，但是在 2023 年—2024 年（2025 年数据不完整不予考虑）申请量略有下降，浙江省政府、杭州市人民政府、杭州市科学技术局相继出台发展计划、行动方案、指导意见、培育管理办法，积极谋划布局类脑智能产业等前沿领域产业。

其中，浙江大学、杭州电子科技大学、浙江诺尔康神经电子科技股份有限公司是第一、二阶段的主要申请人且在第

三阶段凭借快速增长的申请量稳居 1、2、5 位；在第三阶段，中国电子科技集团有限公司（浙江驰拓科技有限公司、中电海康集团有限公司、杭州海康威视数字技术股份有限公司）、之江实验室崭露头角，分别以 362、246 组简单同族申请量位居第 3、4 位。

5.1.3.2 浙江省专利总体法律状态

截至检索日，自 1985 年以来，在本次检索分析范围内的已公开浙江省类脑智能产业专利总体的法律状态如图 3 所示，发明专利中，有 1450、842、1663 组简单同族分别处于有效状态（有效、PCT 指定期内）、失效状态（失效、PCT 指定期满）、审中状态；实用新型专利中，有 250、140 组简单同族处于有效状态、失效状态，无审中状态。

其中，维持有效状态的类脑智能产业发明专利申请始于 2007 年，是浙江大学申请的“BCI 动物实验系统的脑神经电刺激/采集器”（CN100515187C），该案件较为特殊的是，其仅部分维持有效，且发生了专利权转让，当前的专利权持有人为“杭州诺为医疗技术有限公司”，属于“杭州佳量医疗科技有限公司”集团实体。维持有效状态的类脑智能产业实用新型专利申请则始于 2015 年，且均在检索日（5 月）之后，包括“睡眠改善装置”（CN205084213U），特殊的是，该专利在浙江华易智能制造有限公司集团实体内部发生了专利权转移（从宁波的浙江神灯生物科技有限公司转移到了

绍兴的喜临门家具股份有限公司），还包括浙江诺尔康神经电子科技股份有限公司申请的“一种人工耳蜗植入体芯片漏电检测单元”“包含脉宽调整的人工耳蜗神经遥测系统”，该公司针对这两件专利采用了一案双申的策略，且发明与实用新型专利当前均维持有效。

当前浙江省内维持有效状态的类脑智能产业专利申请的起始年月说明，此前的专利持有人在保护期限届满的 20 或 10 年后并未选择缴纳年费/维持费，但是高价值的专利授权后维持年限更久，也更稳定、市场地位更高。

驳回、撤回、未缴年费是浙江省类脑智能产业专利申请失效的主要原因，三者造成的专利失效量分别以 452、254、218 组简单同族位列前三。

5.1.3.3 浙江省总体专利运营情况

截至检索日，自 1985 年以来，在本次检索分析范围内的已公开浙江省类脑智能产业专利总体运营情况如图 4.4 所示。其中，分别有 209、42、27 组简单同族处于权利转移、许可、质押状态，各有 1 组简单同族分别进入诉讼、保全程序，无进入无效或保全程序、被提起异议、办理信托情况出现。

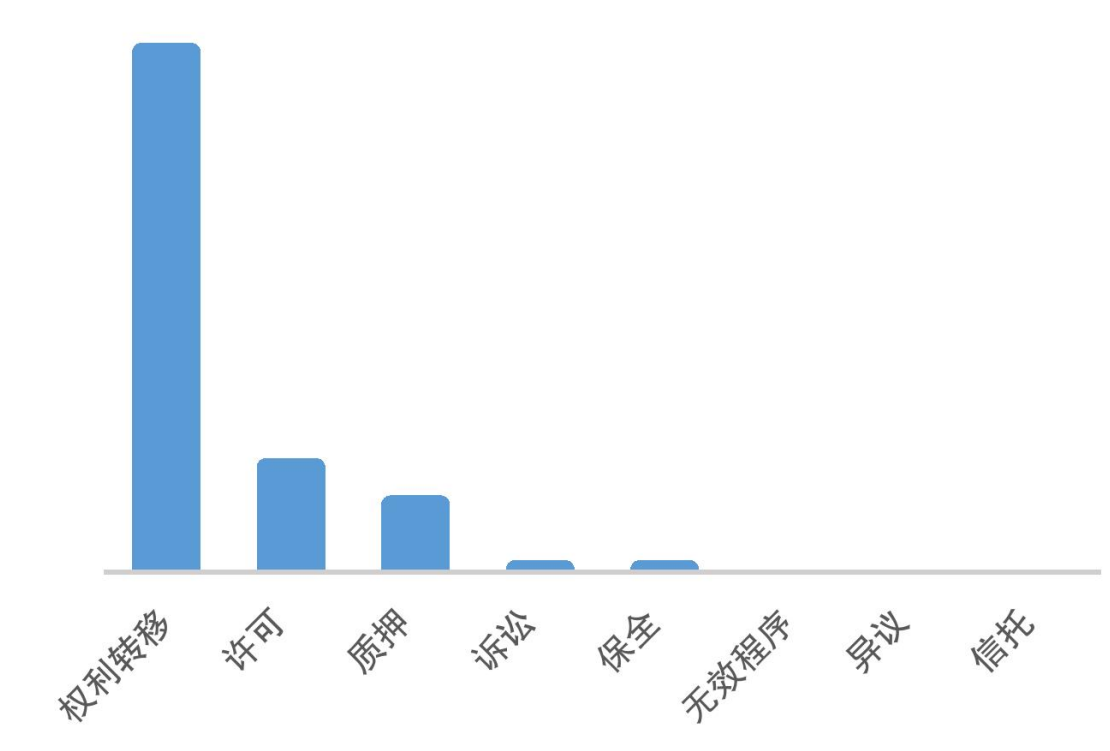


图 5.4 为浙江省总体专利运营情况

从全省类脑智能产业的专利运营整体情况来看，与全球趋势一致的是，以专利转让为主的技术层面运营以及以质押为主的资本运作层面运营是主要的选择，不同于全球趋势的是，以许可为主的强化比较优势运营也是主要的选择，且多于以质押为主的资本运作层面运营，这或与我国成熟且不断改革优化的专利许可制度有关。其中，中国电子科技集团有限公司（浙江驰拓科技有限公司、中电海康集团有限公司、杭州海康威视数字技术股份有限公司）是专利转让运营的主要实践者，以 71 组简单同族位居第一。

5.1.3.4 浙江省总体专利质量

图 5.5 示出了与国内主要省市(五个)专利质量对比(授权率、发明占比、海外同族占比、授权后维持率、维持至期

限届满专利占比)情况。其中,台湾以约73%的海外同族占比高居第一,这或与其申请主体的业务分布相关,广东、北京分别以海外同族占比约17%、10%位居第2、3位,这或与其申请主体的专利布局策略相关,上海、浙江、江苏分别以海外同族占比约8%、6%、4%、位居第4、5、6,其申请主体可以根据业务需求、发展方向加强海外专利布局。

其中,台湾以约69%授权率位居第1位,北京、上海、广东、江苏之间授权率差距很小,分别以约50%、49%、48%、47%的授权率位居第2~4位,浙江授权率稍低于前5位,约为45%。同时,授权后维持至期限届满专利占比中,台湾、江苏分别以4%、2%位居第一、二,其他省市(浙江包含其中)均约为1%。但是,授权后维持率出现了反转的情形,台湾以约80%的授权后维持率位居第6,浙江、北京、广东、江苏、上海则分别以约89%、88%、87%、87%、84%的授权率位居第1~5位。这或许说明台湾、江苏的申请人会对授权后的专利申请进行筛选并判断价值,再进一步投入资金进行维护。

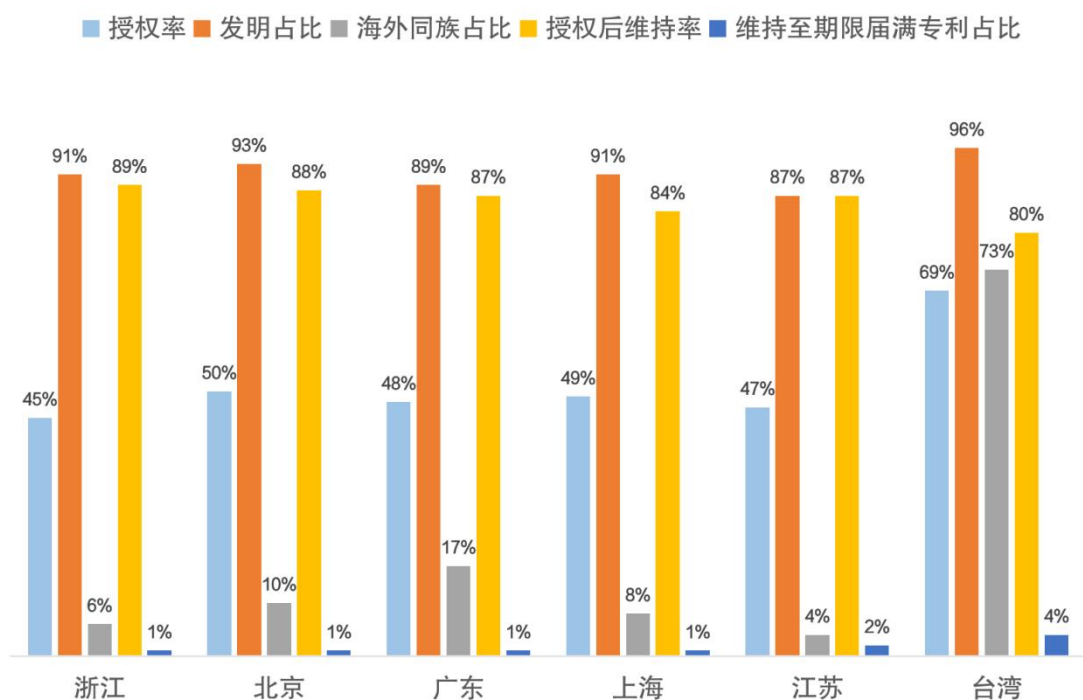


图 5.5 浙江省总体专利质量与国内主要省市对比情况

其中，台湾、北京分别以发明占比约 96%、93%位居第 1、2 位，浙江与上海发明占比持平，以约 91%发明占比并列第 3，广东、江苏分别以发明占比约 89%、87%位居第 5、6 位。发明专利能够同时保护方法和产品，是大多数申请人的选择。

5.1.4 创新主体

创新主体研究是区域产业研究的重要一环，其能有效反映创新参与者情况，对于分析产业发展阶段、明确重点企业、了解发展趋势有重要作用。对比浙江、中国、全球在类脑智能领域的创新主体类型（图 5.6），会发现浙江的高校科研机构专利占比超过 50%，高于全国 8.7 个百分点，是全球占比的 2.2 倍，相应的企业专利占比仅为 43.8%，低于全国和

全球水平。整体结构表明高校科研机构在技术创新过程中发挥了较大的作用，企业的创新潜力还需要挖掘。

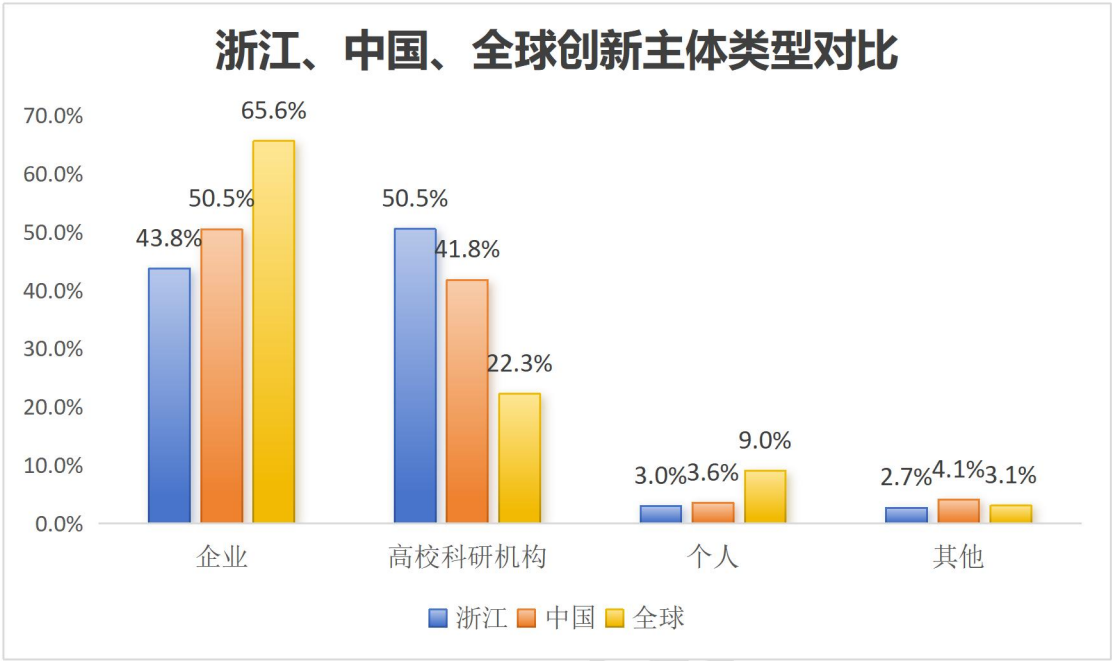


图 5.6 浙江、中国、全球创新主体类型对比

浙江省类脑智能领域的前十创新主体（图 5.7）包括了 4 家企业和 6 所高校科研机构。从申请量来看，浙江大学、杭州电子科技大学的申请量均在 500 件以上，远高于其他主体。企业主体中，浙江驰拓科技的申请量超过 250 件，浙江诺尔康和中电海康集团的申请量在 150 件左右，其余企业创新主体的专利申请量均在 100 件以下。

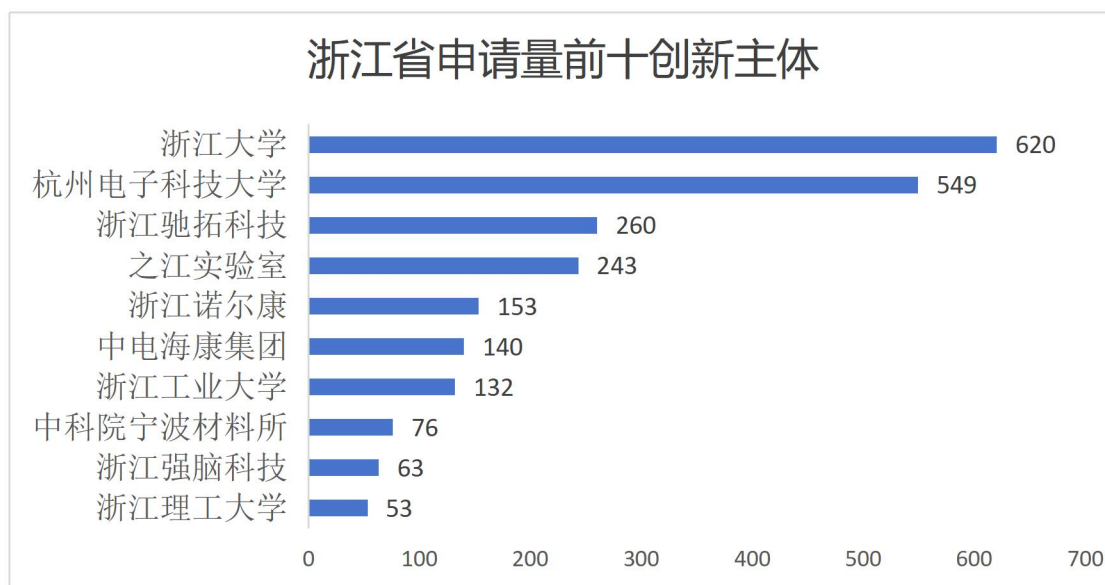


图 5.7 浙江省申请量前十创新主体

从各二级分支来看（表 5.3-5.5），高校科研机构研究范围较为宽泛，专利覆盖了脑机接口、类脑计算和类脑感知的多个下级分支，以浙江大学为例，所有二级分支中申请量均进入前十。而企业的申请范围则根据其产品和业务，较为集中，如浙江驰拓科技其主要产品为磁随机存储器，专利同样聚焦在忆阻器分支下，浙江强脑科技主要产品为仿生假肢和脑电消费电子产品，其专利也聚焦在非植入脑机接口相关的分支下，浙江诺尔康是国内少数几家人工耳蜗的研发制造企业，其专利也聚焦于植入式采集传感、类脑听觉感知分支。

脑机接口分支下，仅植入式采集传感一个二级分支下的前十创新主体企业占比超过 50%，其余分支前十创新主体均以高校科研机构为主。范式编码和信号解码涉及脑机接口的编解码算法、模型、数据处理等环节，杭州电子科技大学等高校的研究较为深入，专利积累较多，可以考虑多与相关企

业合作，将技术投入市场应用。植入式和非植入采集传感则以脑机信号采集端的零部件和设备为主，应用领域则涉及脑电信号外设控制、状态检测、神经调控等多种具体的应用场景，企业更加贴近市场和用户，应在这些分支技术的创新中发挥更大的主导作用。

表 5.3 脑机接口二级分支前十创新主体

二级分支 申请 排名	植入式采集 传感	非植入式采 集传感	范式编码	信号解码	应用领域
1	浙江大学	浙江大学	杭州电子科 技大学	杭州电子科 技大学	杭州电子科 技大学
2	浙江诺尔康	杭州电子科 技大学	浙江大学	浙江大学	浙江大学
3	杭州诺为医 疗技术	之江实验室	浙江工业大 学	之江实验室	浙江强脑科 技
4	杭州三坛医 疗科技	浙江工业大 学	之江实验室	浙江工业大 学	之江实验室
5	杭州德诺脑 神经	浙江强脑科 技	浙江迈联医 疗科技	杭州回车电 子	浙江工业大 学
6	杭州电子科 技大学	浙江清华柔 电院	中科院宁波 材料所	浙江柔灵科 技	杭州回车电 子
7	杭州佳量医 疗科技	浙江普可医 疗科技	杭州回车电 子	浙江强脑科 技	浙江迈联医 疗科技
8	之江实验室	浙医一院	北航杭州创 新研究院	浙江迈联医 疗科技	杭州诺为医 疗技术
9	浙江理工大 学	北航杭州创 新研究院	宁波慈溪生 物所	北航杭州创 新研究院	中科院宁波 材所
10	杭州堃博生 物科技	中科院宁波 材料所	浙江强脑科 技	宁波大学	浙江师范大 学

类脑计算分支下，脉冲神经网络和 SNN 融合网络分支涉及基础算法和模型的改进，高校科研机构开展了较多的研究，浙江大学、之江实验室和杭州电子科技大学均有较多的专利技术积累。这两个分支下的企业主要包括了宁波时识科技、海康威视、浙江神州量子和支付宝。忆阻器分支下企业占比达到了 50%，作为类脑计算系统的底层元件，忆阻器相关的研究启动时间较早，且已经进入产业化阶段，技术积累的主体逐渐变为半导体和集成电路的设计制造企业，以浙江驰拓科技、昕原半导体为代表的企业正在创新中发挥越来越重要的作用。类脑计算芯片目前尚处于发展的早期阶段，技术探索发展过程中高校科研机构是其中的主力，其分支下的头部创新主体分布也符合这一特点。

表 5.4 类脑计算二级分支前十创新主体

二级分支 申请 排名	脉冲神经网络	SNN 融合网络	忆阻器	类脑计算芯片
1	浙江大学	浙江大学	浙江驰拓科技	浙江大学
2	之江实验室	之江实验室	中电海康集团	之江实验室
3	杭州电子科技大学	杭州电子科技大学	浙江大学	杭州电子科技大学
4	浙江工业大学	宁波时识科技	杭州电子科技大学	浙江工业大学
5	宁波时识科技	浙江工业大学	中科院宁波材料所	中电科南湖研究院
6	浙江神州量子	中电科南湖研究院	宁波大学	阿里巴巴(中国)

7	中国计量大学	海康威视	之江实验室	宁波时识科技
8	中电科南湖研究院	支付宝	昕原半导体	海康威视
9	海康威视	西湖大学	芯盟科技	新华三
10	西湖大学	绍兴北大信创中心	普赛微科技	中科院宁波材所

类脑感知分支，整体专利量较少，技术发展处于早期阶段，头部企业创新主体稀少。类脑视觉感知和类脑听觉感知相对技术成熟，头部企业创新主体包括了海康威视和浙江诺尔康。类脑触觉感知和多模态协调感知的头部创新主体则几乎完全为高校科研机构。

表 5.5 类脑感知二级分支前十创新主体

二级分支 申请 排名	类脑视觉感知	类脑听觉感知	类脑触觉感知	多模态协调感知
1	浙江大学	浙江诺尔康	浙江大学	浙江大学
2	杭州电子科技大学	中国计量大学	中科院宁波材料所	浙江农林大学
3	海康威视	杭州听工场科技	浙江理工大学	浙江工业大学
4	之江实验室	杭州惠耳听力技术	浙江工业大学	杭州电子科技大学
5	中国计量大学	浙医一院	之江实验室	浙江理工大学
6	浙江工业大学	宁波大学	浙江清华柔电院	浙江人形机器人创新中心
7	宁波大学	杭州师范大学	杭州电子科技大学	余姚市机器人研究中心
8	浙江科技大学	浙江大学	温州大学	东方电气长三角研究院

9	浙江大华	杭州耳青聪科技	嘉兴大学	宁波斯帝尔科技
10	杭州海康慧影	西安电子科技大学 杭州研究院	中国计量大学	杭州申昊科技

专利申请同样能反映新进入市场的主体情况，下图是浙江省类脑智能产业各二级分支的近五年新进入第一申请人的情况。从整体的申请人数量来看，脑机接口的信号解码、应用领域分支，类脑计算的类脑计算芯片分支申请人数量超过 150 家，参与技术创新的主体较多，其主要原因在于这三分支涉及的技术应用场景较为宽泛，参与创新的主体较为多样。范式编码、SNN 融合网络、忆阻器、类脑听觉感知、多模态协调感知分支申请人数量低于 70 家，原因在于技术门槛较高或者处于技术发展尚处于早期，参与创新主体数量偏少。从近五年（2021-2025）新进入者占比的情况看，各二级分支均高于 50%，SNN 融合网络、类脑计算芯片、多模态协调感知分支更是超过 70%的创新主体是近五年才进入该领域，浙江类脑智能产业整体处于蓬勃发展的上升期。

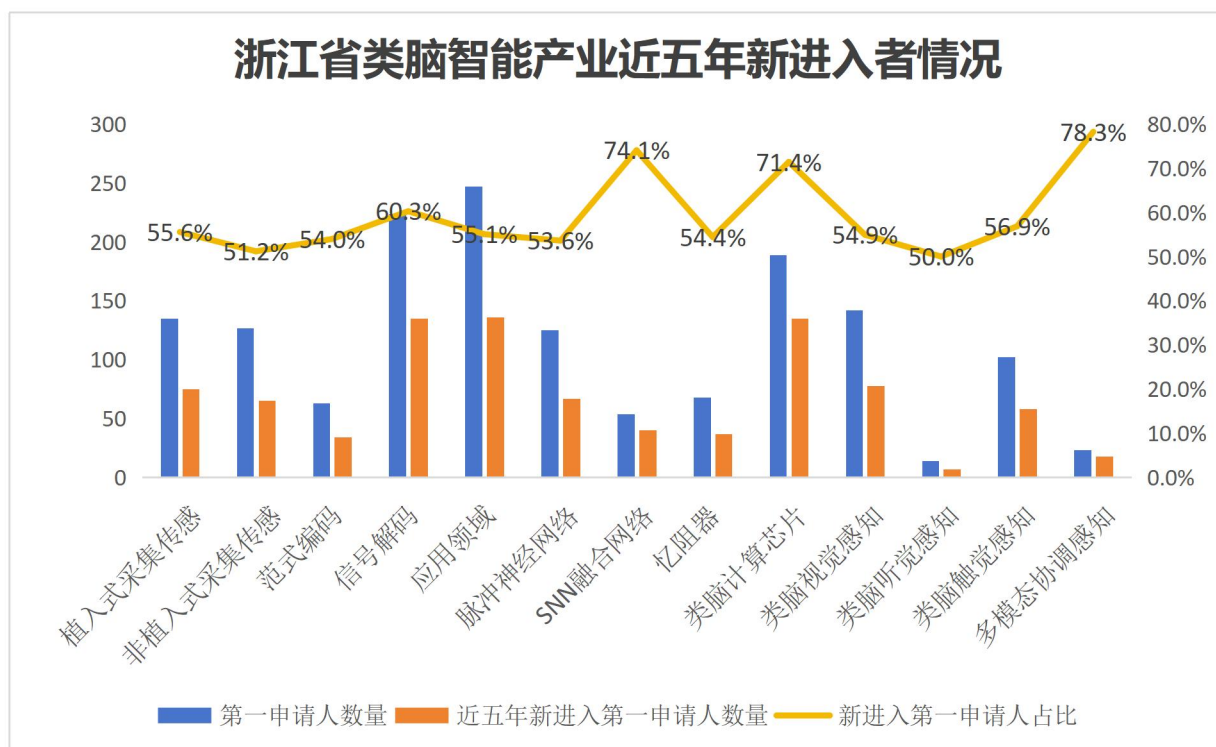


图 5.8 浙江省类脑智能产业近五年新进入者情况

5.2 浙江省产业发展定位

本节将浙江省内脑机接口、类脑计算及类脑感知产业发展水平与国内外主要产业区域进行对标分析，找准浙江省产业发展水平定位，梳理浙江省在脑机接口、类脑计算及类脑感知产业发展的优势和不足。对标维度将从两个层面展开，在国际范围内选取美国、日本、韩国和澳大利亚作为对标地区，在我国范围内根据专利申请量居前和地理位置相邻选取了江苏省、北京市、广东省和上海市作为对标区域。

5.2.1 产业结构定位

5.2.1.1 专利申请量

本节主要对比全球/中国水平、国内对标省份和浙江省

产业链环节的专利申请量配置情况。

5.2.1.1.1

将浙江省类脑智能产业的二级分支结构与全球主要国家进行比较，如下图所示。在脑机接口领域，我国植入式采集传感器占比仅低于澳大利亚，非植入式采集传感、信号解码、应用领域占比均为最高，范式编码占比 4.49% 低于澳大利亚和日本。在类脑计算领域，我国脉冲神经网络占比 6.81%，高于其他国家，SNN 融合网络占比 3.76% 低于美国，忆阻器占比 16.5%，仅高于澳大利亚，低于美日韩三国，类脑计算芯片占比 14.62%，略低于美国和韩国。在类脑感知领域，我国类脑视觉感知占比 5.24%，仅低于日本，类脑听觉感知占比 0.88，仅高于日本和韩国，类脑触觉感知和多模态协同感知占比均高于其他国家。

聚焦到浙江省，最强的是脑机接口领域的范式编码、信号解码和在相关应用领域中的占比，均高于全球其他国家，而在植入式采集传感和非植入式采集传感中占比与中国的占比相差不大，表明浙江省在脑机接口领域具有优势地位。在类脑计算领域，浙江省的脉冲神经网络占比 7.05%，高于全球主要国家占比，SNN 融合网络占比 4.03%，仅低于美国的占比，而在忆阻器和类脑计算芯片中占比较低，其中忆阻器仅高于澳大利亚，明显低于其他主要国家，类脑计算芯片低于中国、美国和韩国占比。在类脑感知领域，浙江省的类

脑触觉感知和多模态协同感知方面占比均为第一，高于世界主要国家，类脑视觉感知占比低于中国和日本，类脑触觉感知仅低于澳大利亚。综合来看，浙江省在脑机接口领域具有较强的竞争力，但在类脑计算和类脑感知方向，仍有较大的提升空间，浙江省可以借助人工智能的时代东风，大力发展类脑计算及类脑感知产业，争取在类脑智能上实现新的突破。

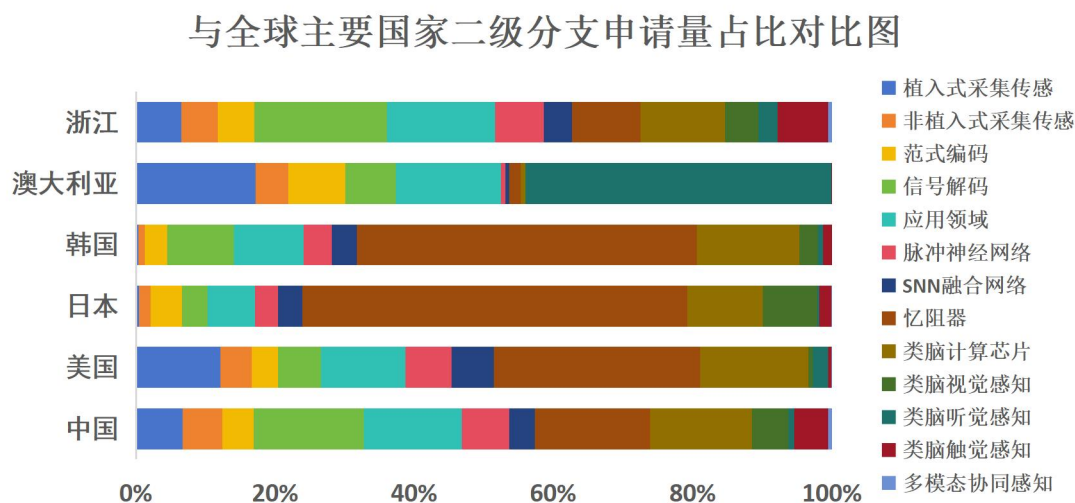


图 5.9 与全球主要国家二级分支申请量占比对比图

下图为浙江省与全球主要国家脑机接口分支的专利申请量，我国在非植入采集传感、范式编码、信号解码及应用领域的专利申请量均领先于其他国家，仅在植入式采集传感上落后于美国较多。浙江在植入式采集传感中较日本及韩国均领先较多，在非植入采集传感多于日本、韩国及澳大利亚，范式编码和应用领域仅高于澳大利亚，信号解码领域高于日本及澳大利亚。上述结果表明，我国在脑机接口的五个分支中均具有较强的研发和创新实力，浙江虽然在植入式及非植

入采集传感上申请量较多，但在范式编码和应用解码上仍具有较大的上升空间，需结合人工智能的兴起，加强相关领域的科研投入和技术创新。

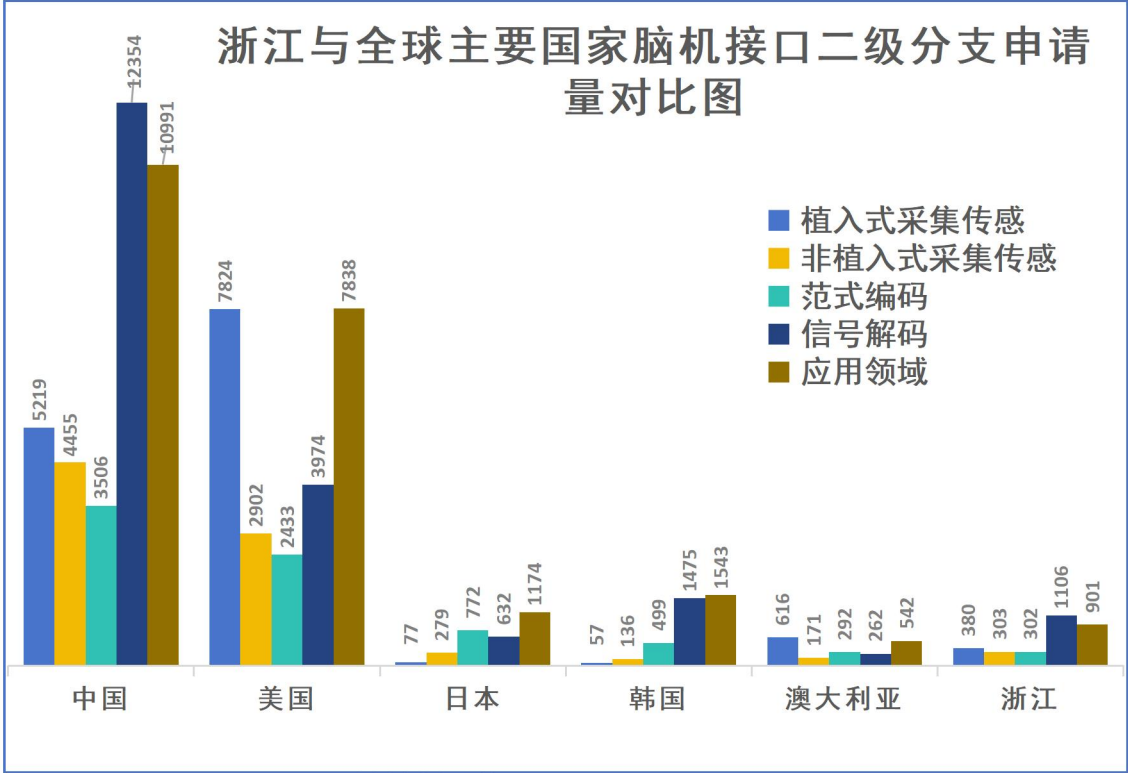


图 5.10 浙江省与全球主要国家脑机接口二级分支专利申请占比

下图为浙江省与全球主要国家类脑计算分支的专利申请量，我国在脉冲神经网络和类脑计算芯片的专利申请量均领先于其他国家，在 SNN 融合网络和类脑计算芯片上落后于美国。浙江在类脑计算的四个分支中仅领先于澳大利亚，但均与日本和韩国存在较大差距。表明我国在脉冲神经网络和类脑计算芯片的研发和创新上具有领先地位，在 SNN 融合网络和类脑计算芯片上仍具有较大空间。而浙江省在类脑计算中仍需努力，可加大投入，争取在类脑计算中取得突破。

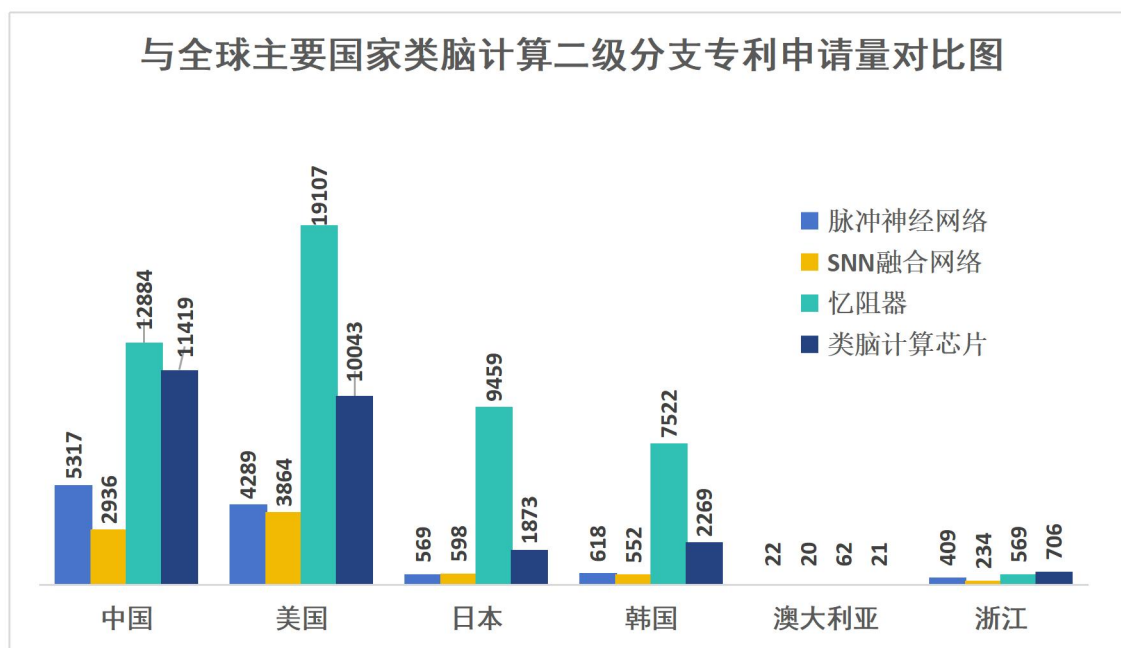


图 5.11 浙江省与全球主要国家类脑计算二级分支专利申请量对比

下图为浙江省与全球主要国家类脑感知分支的专利申请量，我国在类脑视觉感知、类脑触觉及多模态协同感知的专利申请量均遥遥领先于其他国家。类脑听觉感知的申请量上落后于美国和澳大利亚较多，其主要原因是澳大利亚的耳蜗有限公司占据了类脑听觉市场的主要地位，研发实力远远强于其他市场主体。浙江在类脑触觉感知申请量多于美日韩及澳大利亚，但在类脑视觉感知、类脑听觉感知及多模态协同感知中均不占优势，仍具有发展和投入空间。

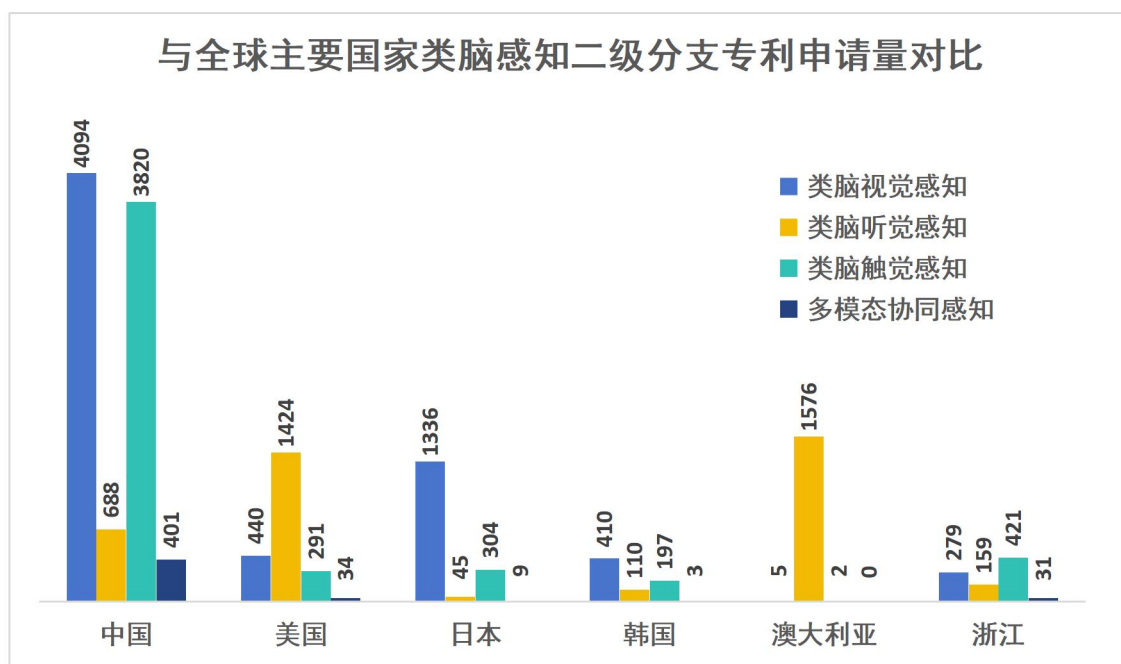


图 5.12 浙江省与全球主要国家类脑感知二级分支专利申请量对比
5.2.1.1.2 与国内其他省份比较

将浙江省各二级分支的专利数量与上海、江苏、广东及北京进行对比，如下图所示。从整体占比情况来看，与北京和广东这两个专利量全国领先的省份相比，浙江在范式编码、信号解码、类脑听觉感知和类脑触觉感知方向申请量较为突出，均高于北京和广东的申请量占比，特别是在类脑听觉感知方面，超过北京和广东 2% 以上。浙江在非植入式采集传感、脉冲神经网络及类脑计算芯片占比较低，均低于北京和广东的申请量占比。此外，在植入式采集传感、SNN 融合网络和多模态协同感知与北京和广东的申请量占比相差不大。在忆阻器领域占比达到 9.81%，能够紧跟北京，且高于广东 5% 以上。与江苏和上海这两个申请量相差不大的省份相比，在范式编码、信号解码、应用领域、脉冲神经网络及 SNN

融合网络的申请量占比均高于江苏和上海。但在非植入采集传感领域低于江苏和上海 3%以上，在忆阻器上占比略高于江苏，但低于上海 10%以上，在类脑视觉感知、类脑听觉感知和多模态协同感知中与江苏和上海这两个申请量占比相差不大。

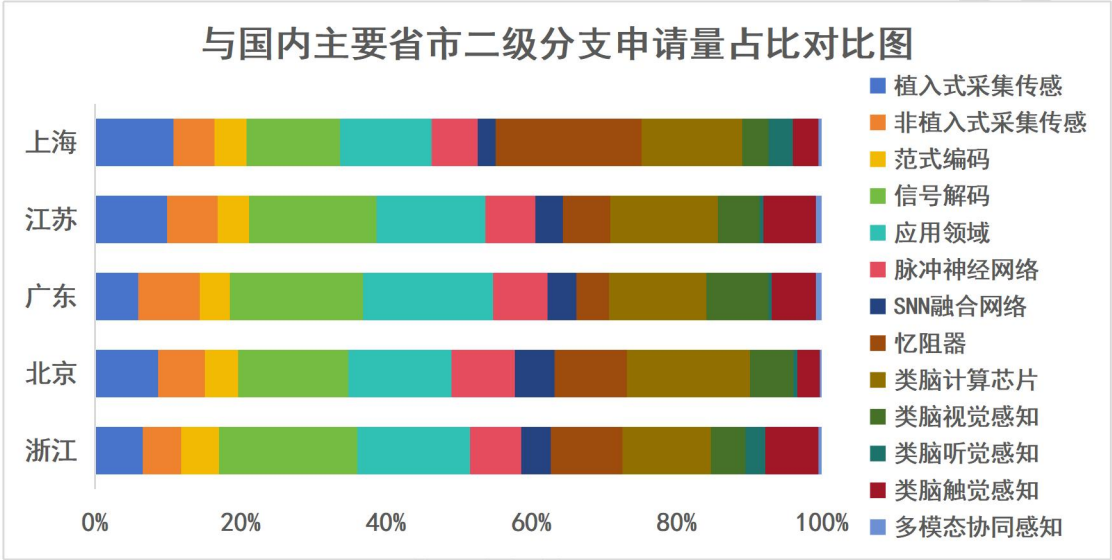


图 5.13 与国内主要省市二级分支申请量占比对比图

具体到三级分支，在植入式采集传感领域，五个省份均将植入辅助作为研发重点及核心，植入式传感器的辅助植入手段可包括血管介入、机器植入和导航监测，其有助于将传感器精准的植入到预定部位，现阶段备受关注，上海的植入辅助相关专利申请占其类脑智能整个产业的 8.4%，而浙江只占 4.82%，仅高于广东的 4.32%，距离第一梯队的上海仍有不少差距。而在植入式电极领域，浙江相关专利申请占其类脑智能整个产业的 1.05%，与其他省份差距不大。

在非植入式采集传感领域，非植入式及光学传感的非植

入式采集手段申请量占比均位于最后一名，但相对来说整体差距并不算大，可以在该领域进行补强。

在范式编码领域，在 P300 技术上各省的差距不大，整体维持在 2% 左右，在 SSVEP 技术上稍有欠缺，其申请量仅占比 0.82%，明显落后于其他省份，而在运动想象方面，则强于其他省份，占比达到 3.92%，均高于其他省份 1% 以上。

在信号解码领域，浙江省具有较大优势，在预处理和解码领域均明显高于其他省份，浙江省申请量均占比 11% 以上，比北京和上海高 3% 左右。这表明，随着人工智能的不断兴起，浙江省在信号解码方向取得较大进展，相关企业及高校研发热情高涨，相关成果转化显著。

在脑机接口相关的应用领域，整体来看，各地在状态检测和神经调控两个技术点专利申请量较少，浙江在对外交互上申请量占比 6.48%，低于广东和江苏，在状态检测上占比 4.23%，仅低于广东，在神经调控中占比 3.66%，仅高于江苏。

在类脑计算的脉冲神经网络方向，各地均对 SNN 编码投入较多研发经历，其中浙江的占比为 4.78% 居第三位，而在 SNN 模型中，浙江占 2.66%，仅高于上海；在 SNN 训练中，浙江仅低于北京，占比 2.86%。

在模型融合方向，各地研发投入占比相差不大，其中浙江占比 3.16%，低于北京和广东，但高于上海和江苏。

在类脑计算的忆阻器领域，浙江占比均不高。其中浙江

在离子迁移型忆阻器中占比 1.11%，相变型忆阻器占比 1.46%，均仅高于广东；但在自旋电子型忆阻器中，浙江占比为 6.91%，仅低于第一梯队的上海，且领先于北京、广东和江苏较多。

在类脑计算芯片领域，浙江整体占比偏低，尤其是在多核并行计算中，浙江仅占比 4.69%，是五个省份中占比最低的，而其他省份的占比均在 6.75%以上，表面浙江在该领域投入不足。而在神经拟态结构方向，浙江占比 3.9%，仅高于广东。在事件驱动的异步通信中占比 2.35%，仅低于北京的 2.35%。浙江应当加大在类脑计算芯片当中的投入占比，趁着人工智能的时代东风，大力发展相关产业。

在类脑感知领域，浙江在类脑视觉感知传感器及处理单元中仅高于上海，低于北京、广东和江苏；在类脑听觉感知中占比 2.15%，仅低于上海，远远高于其他省份；在类脑触觉感知中占比 5.69%，仅低于江苏，远远高于其他省份；在多模态协调感知中占比 0.42%，高于北京和上海，低于广东和江苏。整体上来看，浙江在类脑感知中占比仅低于广东，具有较多的研发和技术投入，显示出浙江在类脑感知中的多元化发展态势。

表 5.6 浙江与国内主要省市三级分支申请量对比

二级分支	三级分支	北京	广东	上海	江苏	浙江
植入式传感器	植入辅助	6.37%	4.32%	8.40%	7.60%	4.82%

	植入式电极	1.38%	1.02%	2.23%	1.70%	1.05%
非植入式采集 传感	非植入电极	3.65%	5.50%	3.56%	4.10%	3.08%
	光学传感	1.52%	1.50%	1.07%	1.65%	1.08%
范式编码	P300	2.65%	2.84%	1.92%	1.93%	1.97%
	SSVEP	1.18%	1.09%	1.32%	1.20%	0.82%
	运动想象	2.36%	2.15%	2.62%	2.88%	3.92%
信号解码	预处理	8.76%	10.99%	8.05%	10.54%	11.72%
	解码	8.42%	10.09%	7.28%	9.91%	11.26%
应用领域	对外交互	5.83%	8.58%	5.46%	6.79%	6.48%
	状态检测	3.40%	4.50%	2.87%	4.12%	4.23%
	神经调控	3.88%	4.28%	3.84%	3.44%	3.66%
脉冲神经网络	SNN 模型	3.71%	3.00%	1.60%	2.70%	2.66%
	SNN 编码	5.66%	4.92%	4.40%	4.65%	4.78%
	SNN 训练	3.64%	2.81%	1.60%	2.69%	2.86%
SNN 融合网络	模型融合	4.37%	3.22%	2.04%	3.11%	3.16%
忆阻器	离子迁移型	1.99%	0.84%	2.04%	1.59%	1.11%
	相变型	2.48%	1.39%	8.82%	1.79%	1.46%
	自旋电子型	5.54%	2.06%	9.46%	2.87%	6.91%
类脑计算芯片	神经拟态结构	4.93%	2.98%	4.21%	4.61%	3.90%
	事件驱动的异步通信	2.50%	2.11%	1.06%	1.29%	2.35%
	多核并行计算	7.87%	6.75%	7.19%	7.14%	4.69%

类脑视觉感知	传感器	0.82%	1.52%	0.65%	0.88%	0.69%
	处理单元	3.98%	5.48%	2.29%	3.82%	3.08%
类脑听觉感知	人工耳蜗	0.41%	0.41%	2.73%	0.39%	2.15%
类脑触觉感知	人工皮肤柔性传感器	2.44%	4.94%	2.93%	5.94%	5.69%
多模态协调感知	视触融合的机械手臂	0.27%	0.70%	0.39%	0.68%	0.42%

5.2.1.2 专利申请人

经过对检索数据的分析，从专利申请人的角度筛选出浙江省的类脑智能产业的专利申请人有 904 个。对其申请人类型进行分析，可以得到公司类型的有 596 个排名第一位，占比 66%，院校/研究所有 166 个位居第二，占比约 18%，其余的个人、医院、政府机构等的申请量较少。

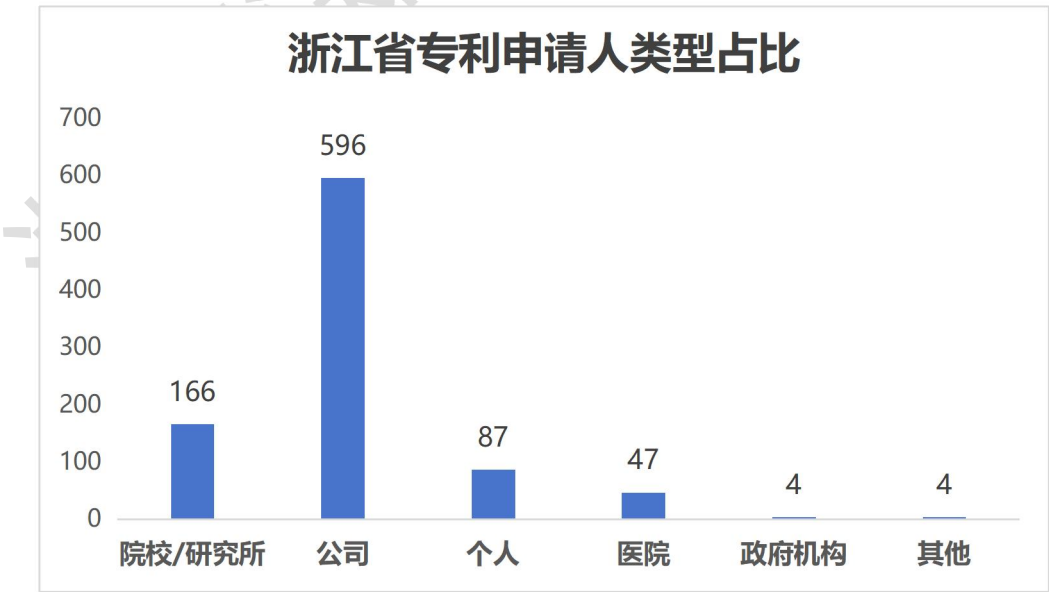


图 5.14 浙江省专利申请人类型占比

针对全球主要国家的申请人数量分析，选取了在类脑智能产业综合实力较强的五个国家：中国、美国、澳大利亚、日本、韩国，与浙江省的申请人数量占比进行分析。经统计，中国在类脑智能产业的专利申请人有 12122 个，美国在该产业的申请人有 6069 个，澳大利亚有 329 个，日本有 1332 个，韩国有 1482 个，浙江的有 904 个。因为不同分支中的申请人会有重合，因此各个分支的申请人会重复统计，严谨起见，将各个分支的申请人与该地区统计出的总的申请人数量进行分析对比。可以得到，浙江省在信号解码和应用领域两个分支中占比较高，这与我国国内其他地区水平基本持平，也超过了韩国、日本、美国的相应比例。特别是在应用领域方面，浙江的专利申请人占比 30% 高于我国整体水平 2.5%，可以显示出浙江省在该领域的微弱优势。但在类脑听觉感知和多模态协同感知分支，浙江省的专利申请人占比则相对较低，这与我国国内其他地区相应分支的申请人占比情况基本相同。但在类脑听觉感知方面，浙江省的专利申请人占比为 2%，远远低于澳大利亚在该领域的占比 69%，也可以看出浙江省在该领域较为薄弱。在忆阻器方面，浙江的专利申请人占比也不敌韩国和日本。

整体来看，浙江省在信号解码和应用领域两个分支的申请人占比优势和类脑听觉感知以及多模态协同感知方面的相对劣势形成鲜明对比，也从侧面反映了浙江省在不同技术

领域内的专利布局特点。

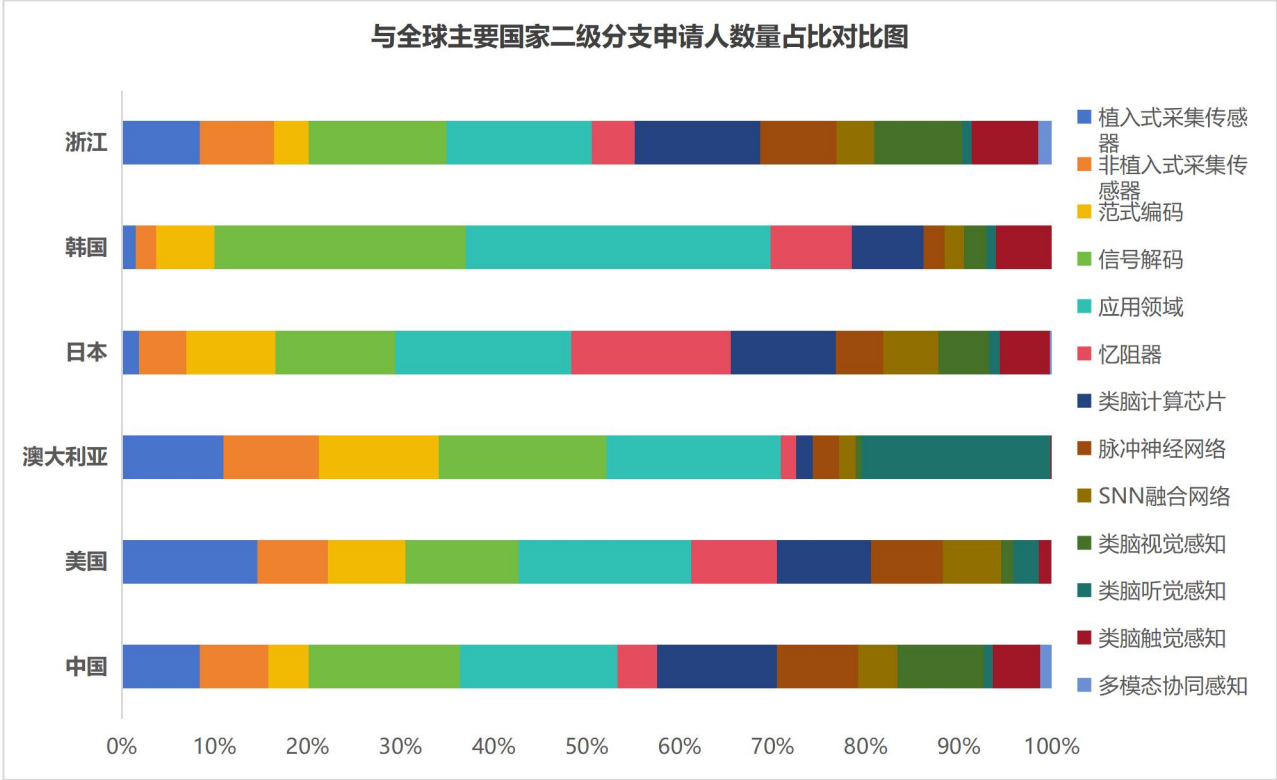


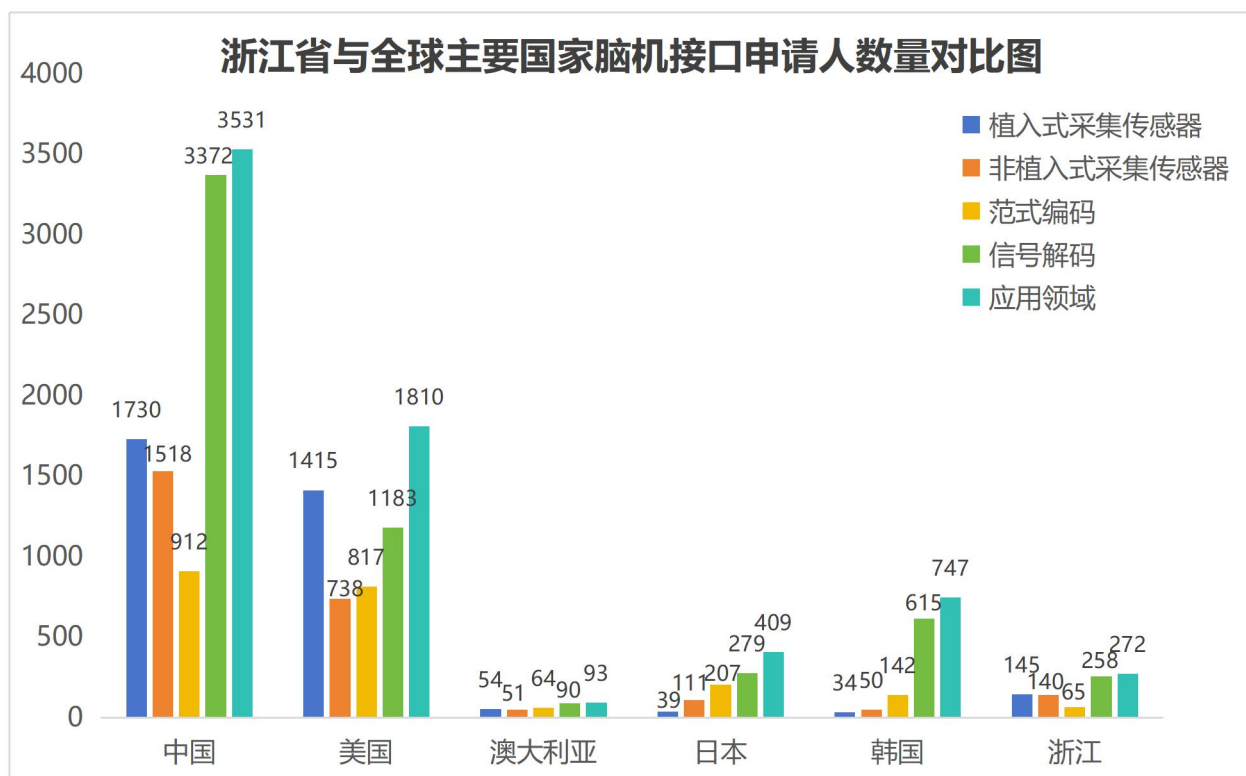
图 5.15 与全球主要国家二级分支申请人数量占比对比图

从申请人数量来看，在脑机接口方向中国的申请人数量均领先于其他国家，特别是在应用领域方面申请人数量高达 3531 个，超过美国的申请人数量 1810 个。在信号解码方向，我国的申请人有很大优势，以 3372 个排名第一，美国 1183 个位居第二。植入式传感器方向我国申请人数量为 1730，超过美国的申请人数量 1415。整体来看我国在脑机接口的申请人数量也远超澳大利亚、日本和韩国，暂列第一，优势明显。特别是在植入式采集传感器分支，申请人数量是日本的 44 倍，是韩国的 50 倍左右。浙江省在脑机接口的几个分支中与澳大利亚的申请人数量相比，优势明显。

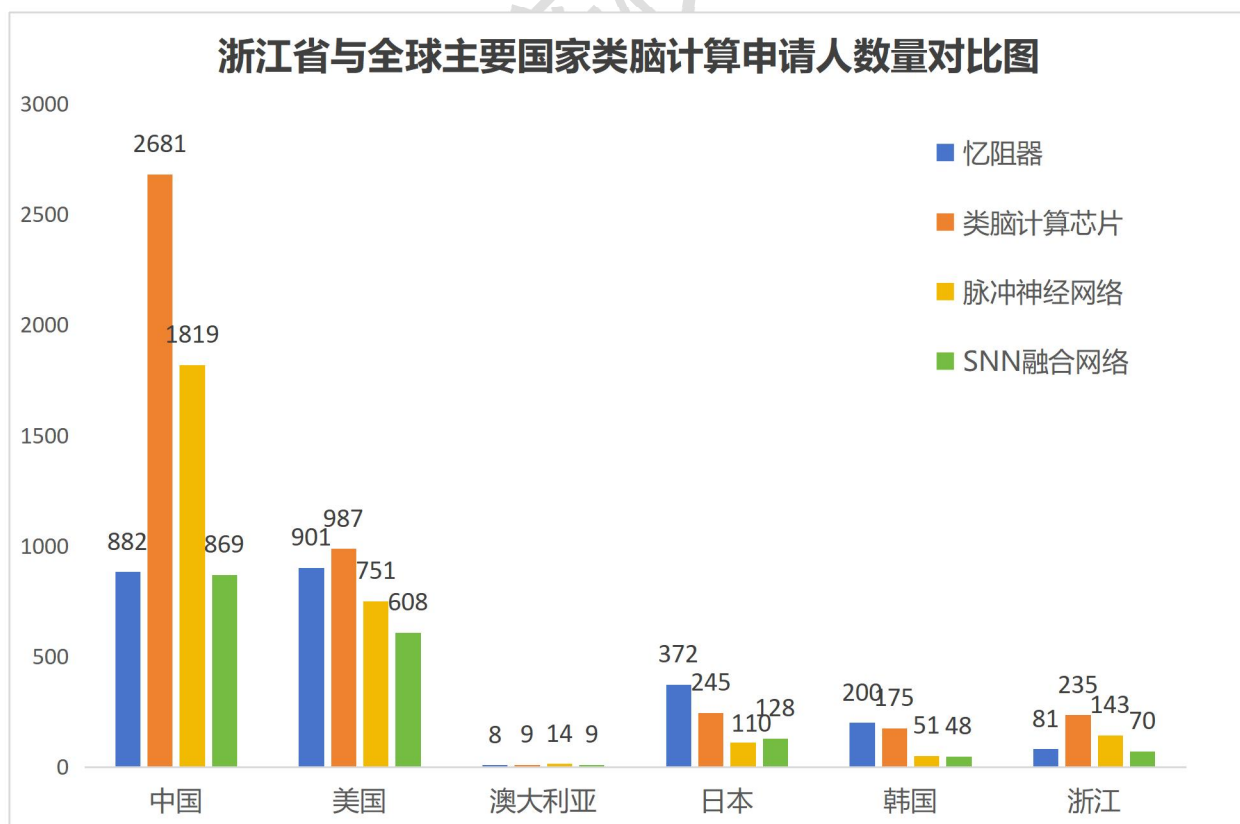
在类脑计算方向，中国的类脑计算芯片的申请人数量为

2681 个，超过美国的 987 个，脉冲神经网络方向的申请人数量 1819 个超过美国的 751 个，更是远远超过澳大利亚、日本和韩国。但在忆阻器领域，美国的申请人数量为 901 个超过中国的 882 个。日本相比韩国的申请人数量处于微弱领先优势，四个方向的申请人数量均比韩国的申请人数量多。浙江省在类脑计算的几个分支中也均比澳大利亚的申请人数量多，特别是在类脑计算芯片中，申请人数量是澳大利亚的 26 倍多。但在忆阻器分支中，申请人数量不敌日本和韩国相差较大。

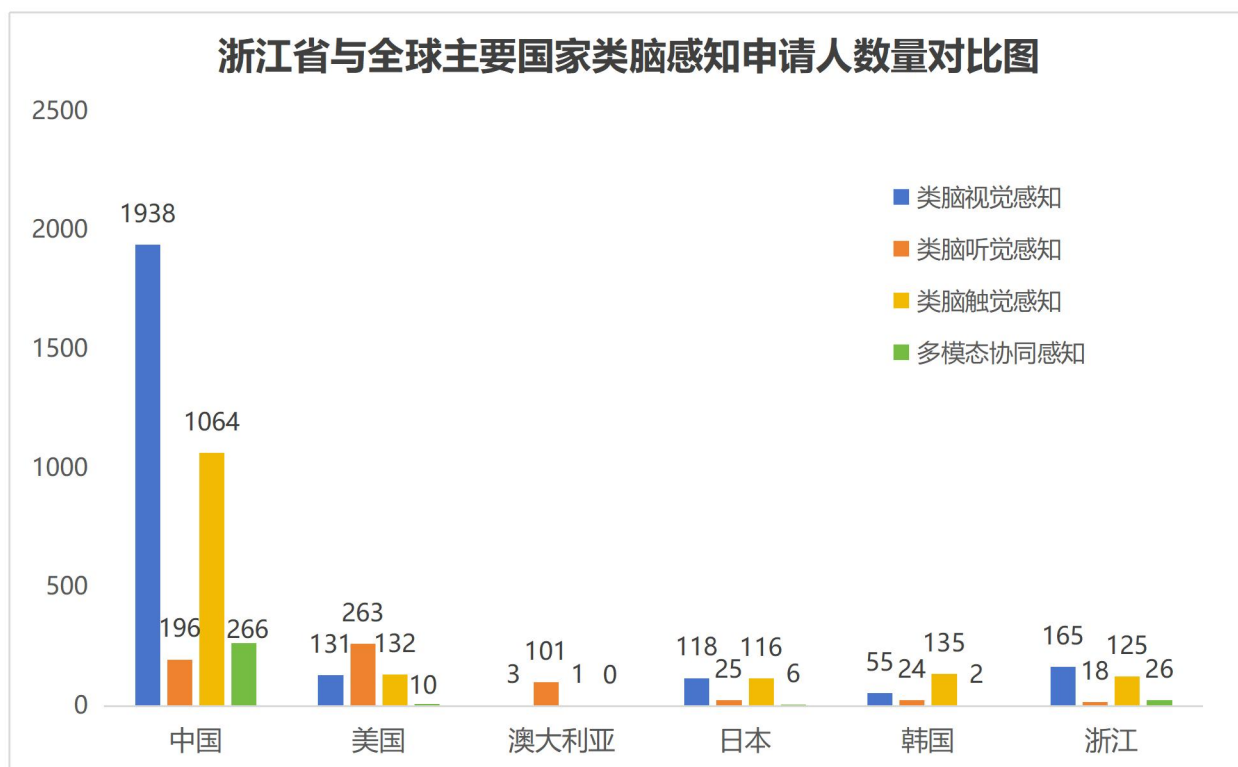
在类脑感知方向，中国的类脑视觉感知分支在全球主要国家中的申请人数量遥遥领先，多达 1938 个申请主体，类脑触觉感知方向也是高达 1064 个申请人，处于领跑地位，其他分支与美国的申请人数量交替排名首位。浙江省在类脑感知的几个分支中，除了类脑听觉分支的申请人数量少于澳大利亚，其余比澳大利亚的申请人数量多，但在类脑听觉感知和类脑触觉感知分支中，申请人数量逊色于日本和韩国。



(a) 脑机接口二级分支



(b) 类脑计算二级分支



(c) 类脑感知二级分支

图 5.16 浙江省与全球主要国家二级分支申请人数量对比图

将浙江省各二级分支的专利申请人数量与对标省份：北京、广东、上海、江苏进行对比。从整体申请人数量占比来看，每个省份的各个分支的占比趋势基本相同：信号解码和应用领域两个方向均在各自省份内的申请人占比处于领先地位，其次是植入式采集传感器、类脑计算芯片和非植入式采集传感器。而多模态协同感知、类脑听觉感知方向的占比均较低，其次占比较少的是和 SNN 融合网络以及忆阻器、范式编码。浙江各个分支的申请人数量均低于其他省份，而北京的各分支申请人数量基本处于领先地位，这也和北京拥有众多高水平的科研机构和企业密不可分。

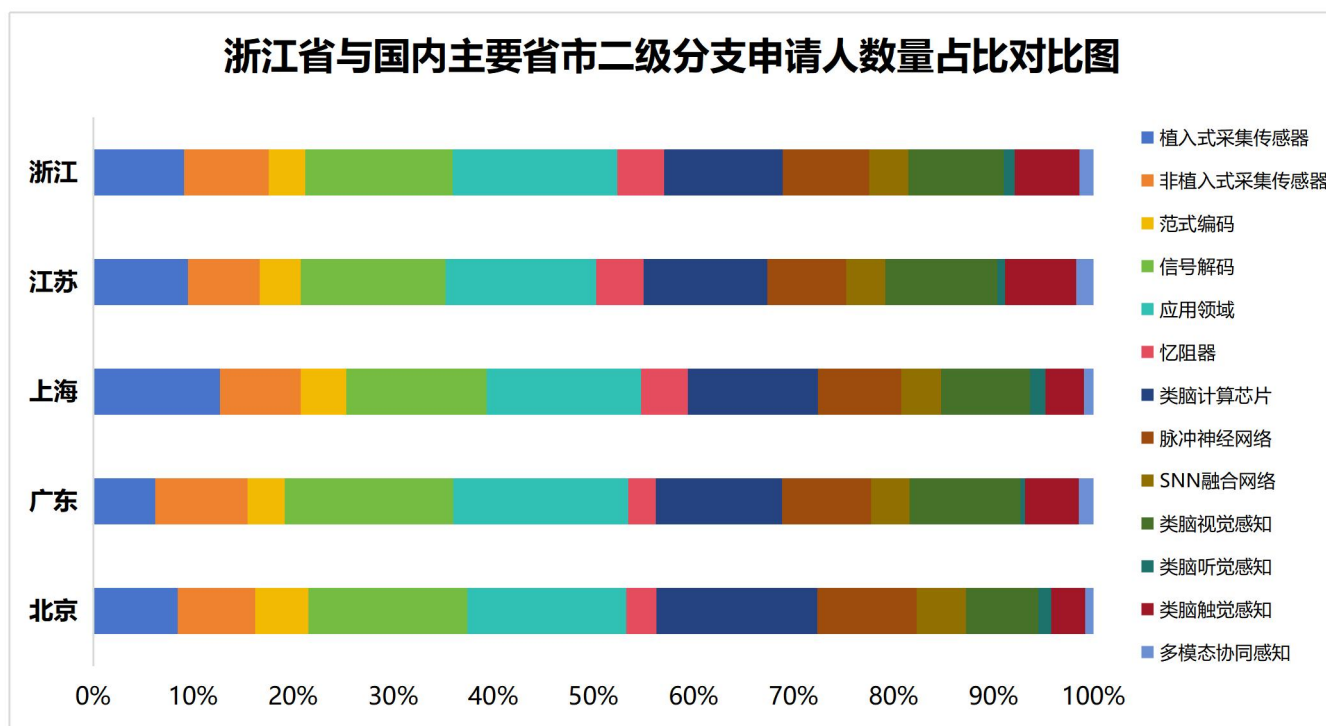
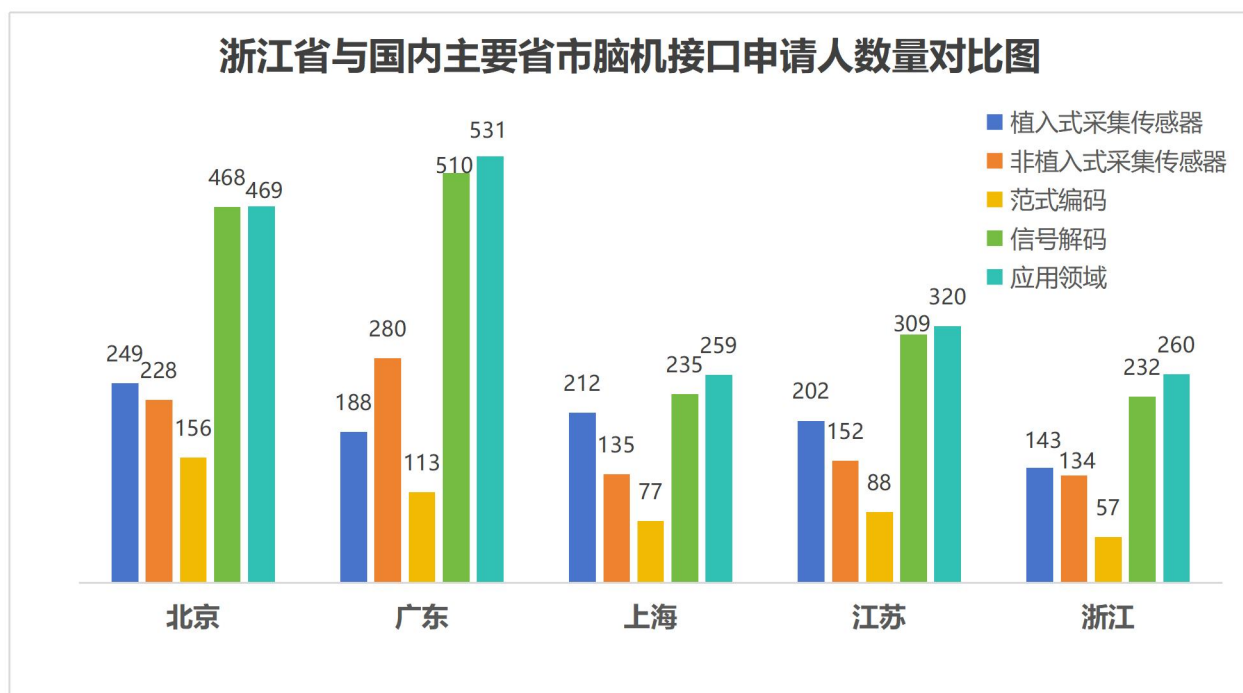


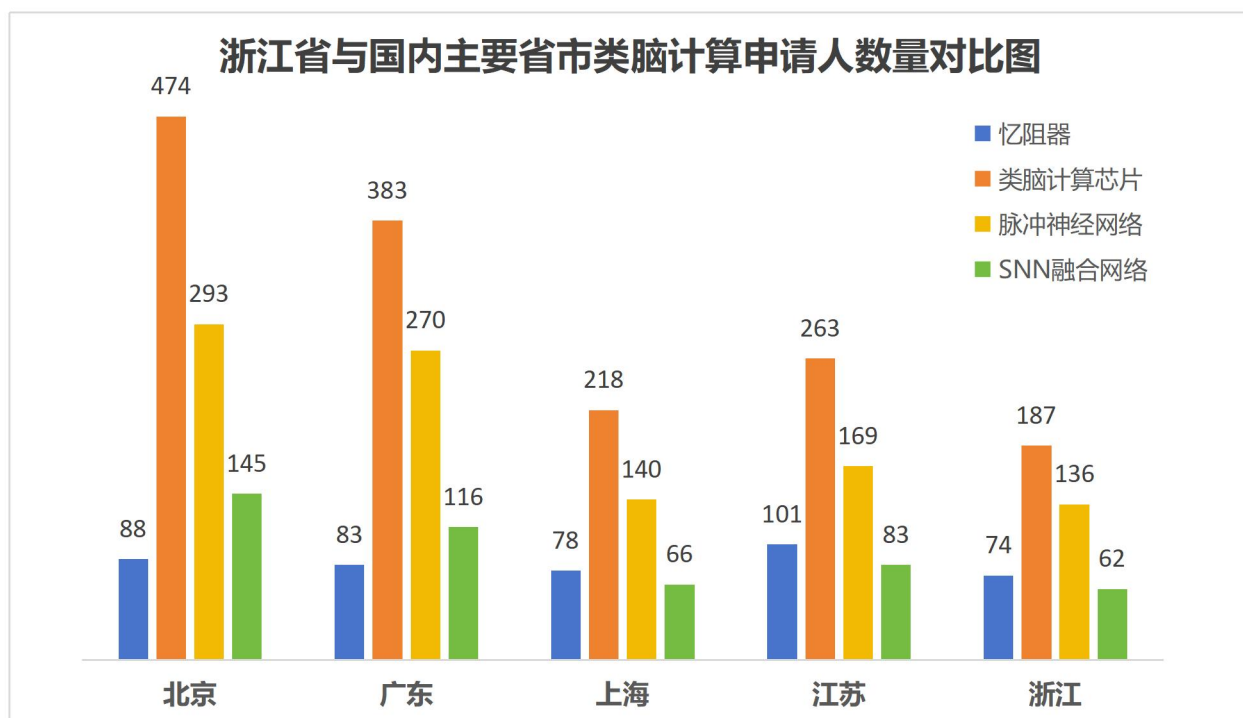
图 5.17 与国内主要省市（五个）二级分支申请人数量占比图

从申请人数量对比图来看，广东在脑机接口分支的信号解码和应用领域两个分支分别以 510 个和 531 个申请人处于领先地位，北京和江苏紧随其后，浙江与上海的申请人数量差距不大。而在植入式采集传感器方向，浙江的申请人数量落后于其他省份，特别是在范式编码的申请人数量只有 57 个。



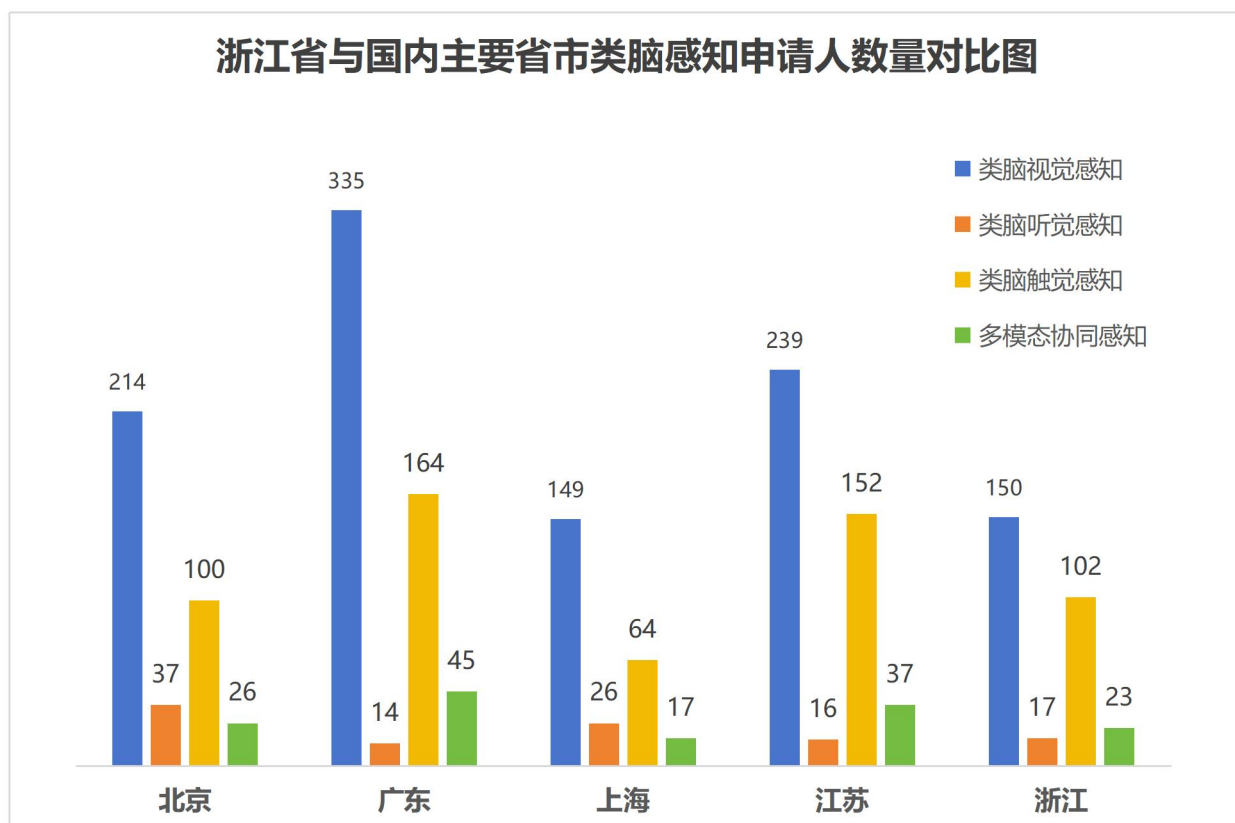
(a) 脑机接口二级分支

类脑计算分支，北京在类脑计算芯片的申请人数量高达 474 个，远超其他省份；在脉冲神经网络和 SNN 融合网络方向的申请人数量以微弱优势高于广东，但也远超其他省份，忆阻器分支中，五个省份的申请人数量基本无差别。但整体来看，浙江的几个分支的申请人数量均低于其他省份。



(b) 类脑计算二级分支

类脑感知分支中，广东在类脑视觉感知方向申请人数量为 335 个明显高于其他省份，江苏在该方向的申请人数量为 239 人超过北京位于第二位；类脑触觉感知方向，广东和江苏的申请人数量仍然处于领跑地位，远超其他省份。而在类脑听觉感知方向，各省份的申请人数量都不高，北京以 37 个申请人数量暂居第一。浙江在该四个分支中仍然相对落后，未来仍需提升在该方向的技术水平。



(c) 类脑智能二级分支

图 5.18 浙江省与国内主要省市二级分支申请人数量对比图

整体来看，浙江在二级分支的申请人数量及其占比均低于其余四个省份，未来，浙江也需要加大在该领域的研发投入，以提升其技术水平和市场竞争力。

下图为浙江省各三级分支的专利申请人数量与对标省份的百分占比图，在预处理、解码和对外交互几个分支中占比较大，这也与其他几个省份的分支的申请人占比趋势基本保持一致。在人工耳蜗、视触融合的机械手臂、SSVEP 和离子迁移型的申请人数量占比较低，处于劣势地位，对标其他省份，也是这几个分支的申请人数量占比较低。植入辅助、非植入电极、神经调控、SNN 编码、多核并行计算、处理单

元、人工皮肤柔性传感器几个分支均处于相对中间的位置。整体来看，五个省份在预处理和解码、对外交互几个方向的申请人数量占比较大，而在人工耳蜗、植入式电极和离子迁移型的申请人数量占比较低。

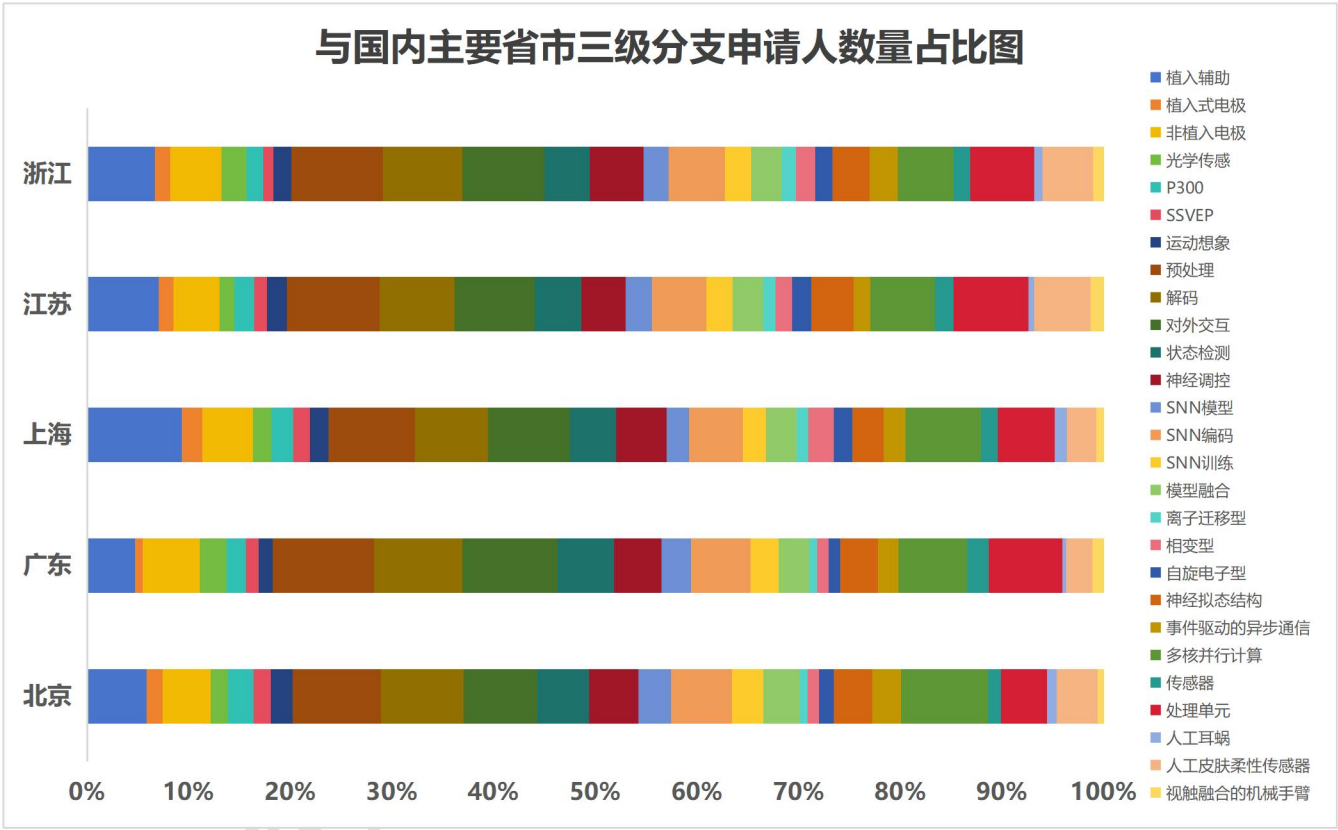


图 5.19 与国内主要省市三级分支申请人数量占比图

从浙江省各三级分支的专利申请人数量与对标省份来看，在人工耳蜗、视触融合的机械手臂、SSVEP 和离子迁移型的申请人数量较少，处于劣势地位。植入辅助、非植入电极、神经调控、SNN 编码、多核并行计算、处理单元、人工皮肤柔性传感器几个分支的申请人数量均处于相对中间的位置。相变型、自旋电子型两个方向与其他省市的申请人数量和其他几个省份的数量基本持平。但整体来看，各个分支

的申请人数量仍然低于其他几个省市。

表 5.7 与国内主要省市三级分支申请人数量对比

二级分支	三级分支	北京	广东	上海	江苏	浙江
植入式传感器	植入辅助	239	181	204	194	138
	植入式电极	63	31	45	39	31
非植入式采集传感	非植入电极	193	217	109	125	104
	光学传感	70	101	41	40	51
范式编码	P300	103	74	46	53	34
	SSVEP	70	48	36	34	21
	运动想象	86	55	41	54	36
信号解码	预处理	357	383	186	251	186
	解码	331	338	158	202	161
应用领域	对外交互	296	361	178	217	167
	状态检测	208	216	100	125	93
	神经调控	199	181	109	120	109
脉冲神经网络	SNN 模型	129	110	49	70	51
	SNN 编码	246	228	116	148	114
	SNN 训练	126	107	50	70	54
SNN 融合网络	模型融合	145	116	66	83	62
忆阻器	离子迁移型	33	31	25	34	28
	相变型	45	44	56	44	40
	自旋电子型	59	42	40	53	35
类脑计算芯片	神经拟态结构	154	145	68	113	75
	事件驱动的异步通信	117	77	47	45	57
	多核并行计算	348	262	163	175	114

类脑视觉感知	传感器	52	81	36	50	34
	处理单元	186	281	123	202	130
类脑听觉感知	人工耳蜗	37	14	26	16	17
类脑触觉感知	人工皮肤柔性传感器	166	100	64	152	102
多模态协调感知	视触融合的机械手臂	26	45	17	37	23

下表是浙江省与国内主要省市三级分支申请人数量百分比的展示，可以更加清晰地看出各三级分支在本省的申请人数量占比，也能与其他省份进行横向对比，找出差距。可以看到 27 个三级分支里，浙江的申请人数量和其他几个省份的数量占比相比，基本处于同一水平。

表 5.8 与国内主要省市三级分支申请人数量对比百分比

二级分支	三级分支	北京	广东	上海	江苏	浙江
植入式传感器	植入辅助	25.0%	18.9%	21.3%	20.3%	14.4%
	植入式电极	30.1%	14.8%	21.5%	18.7%	14.8%
非植入式采集传感	非植入电极	25.8%	29.0%	14.6%	16.7%	13.9%
	光学传感	23.1%	33.3%	13.5%	13.2%	16.8%
范式编码	P300	33.2%	23.9%	14.8%	17.1%	11.0%
	SSVEP	33.5%	23.0%	17.2%	16.3%	10.0%
	运动想象	31.6%	20.2%	15.1%	19.9%	13.2%
信号解码	预处理	26.2%	28.1%	13.6%	18.4%	13.6%
	解码	27.8%	28.4%	13.3%	17.0%	13.5%
应用领域	对外交互	24.3%	29.6%	14.6%	17.8%	13.7%
	状态检测	28.0%	29.1%	13.5%	16.8%	12.5%
	神经调控	27.7%	25.2%	15.2%	16.7%	15.2%
脉冲神经网络	SNN 模型	31.5%	26.9%	12.0%	17.1%	12.5%

络	SNN 编码	28.9%	26.8%	13.6%	17.4%	13.4%
	SNN 训练	31.0%	26.3%	12.3%	17.2%	13.3%
SNN 融合网 络	模型融合	30.7%	24.6%	14.0%	17.6%	13.1%
忆阻器	离子迁移型	21.9%	20.5%	16.6%	22.5%	18.5%
	相变型	19.7%	19.2%	24.5%	19.2%	17.5%
	自旋电子型	25.8%	18.3%	17.5%	23.1%	15.3%
类脑计算芯 片	神经拟态结构	27.7%	26.1%	12.3%	20.4%	13.5%
	事件驱动的异 步通信	34.1%	22.4%	13.7%	13.1%	16.6%
	多核并行计算	32.8%	24.7%	15.3%	16.5%	10.7%
类脑视觉感 知	传感器	20.6%	32.0%	14.2%	19.8%	13.4%
	处理单元	20.2%	30.5%	13.3%	21.9%	14.1%
类脑听觉感 知	人工耳蜗	33.6%	12.7%	23.6%	14.5%	15.5%
类脑触觉感 知	人工皮肤柔性 传感器	28.4%	17.1%	11.0%	26.0%	17.5%
多模态协调 感知	视触融合的机 械手臂	17.6%	30.4%	11.5%	25.0%	15.5%

下表为浙江省各四级分支的专利申请人数量与对标省份的申请人数量，由于只有脑机接口该一级分支下存在四级分支，因此着重分析脑机接口的几个四级分支。血管介入方向几个省份的申请人数量拉不开差距，但在机器植入、导航监测和特征提取方向北京领跑，在原理、形态和外设控制方向广东位居第一，其余的形态、信号分类和脑控交流方向，北京与广东不相上下。浙江在特征提取、脑控交流方向的申

请人数量超越上海排名第四，其余几个分支申请人数量都不敌其他省份，处于落后状态。

表 5.9 与国内主要省市四级分支申请人数量对比

三级分支	四级分支	北京	广东	上海	江苏	浙江
植入辅助	血管介入	24	26	29	19	16
	机器植入	98	57	85	68	52
	导航监测	195	144	164	145	105
植入式电极		63	31	45	39	31
非植入电极	原理	125	150	76	83	70
	形态	128	130	65	86	61
光学传感		70	101	41	40	51
P300		103	74	46	53	34
SSVEP		70	48	36	34	21
运动想象		86	55	41	54	36
预处理		357	383	186	251	186
解码	特征提取	264	254	117	156	136
	信号分类	246	241	121	158	118
对外交互	脑控交流	186	184	92	109	94
	外设控制	245	298	151	174	138
状态检测		208	216	100	125	93
神经调控		199	181	109	120	109
SNN 模型		129	110	49	70	51
SNN 编码		246	228	116	148	114
SNN 训练		126	107	50	70	54
模型融合		145	116	66	83	62
离子迁移型		33	31	25	34	28
相变型		45	44	56	44	40
自旋电子型		59	42	40	53	35

神经拟态结构	154	145	68	113	75
事件驱动的异步通信	117	77	47	45	57
多核并行计算	348	262	163	175	114
传感器	52	81	36	50	34
处理单元	186	281	123	202	130
人工耳蜗	37	14	26	16	17
人工皮肤柔性传感器	166	100	64	152	102
视触融合的机械手臂	26	45	17	37	23

下表是浙江省与国内主要省市四级分支申请人数量百分比的展示，可以更加直观地看出各四级分支在本省的申请人数量占比，也能与其他省份进行横向对比，找出差距与不足。从表中可以看到 9 个四级分支中，浙江的申请人数量占比同三级分支一样，基本位于同一水平线。

表 5.10 与国内主要省市四级分支申请人数量对比百分比

三级分支	四级分支	北京	广东	上海	江苏	浙江
植入辅助	血管介入	21.1%	22.8%	25.4%	16.7%	14.0%
	机器植入	27.2%	15.8%	23.6%	18.9%	14.4%
	导航监测	25.9%	19.1%	21.8%	19.3%	13.9%
植入式电极		30.1%	14.8%	21.5%	18.7%	14.8%
非植入电极	原理	24.8%	29.8%	15.1%	16.5%	13.9%
	形态	27.2%	27.7%	13.8%	18.3%	13.0%
光学传感		23.1%	33.3%	13.5%	13.2%	16.8%
P300		33.2%	23.9%	14.8%	17.1%	11.0%
SSVEP		33.5%	23.0%	17.2%	16.3%	10.0%
运动想象		31.6%	20.2%	15.1%	19.9%	13.2%
预处理		26.2%	28.1%	13.6%	18.4%	13.6%

解码	特征提取	28.5%	27.4%	12.6%	16.8%	14.7%
	信号分类	27.8%	27.3%	13.7%	17.9%	13.3%
对外交互	脑控交流	28.0%	27.7%	13.8%	16.4%	14.1%
	外设控制	24.4%	29.6%	15.0%	17.3%	13.7%
状态检测		28.0%	29.1%	13.5%	16.8%	12.5%
神经调控		27.7%	25.2%	15.2%	16.7%	15.2%
SNN 模型		31.5%	26.9%	12.0%	17.1%	12.5%
SNN 编码		28.9%	26.8%	13.6%	17.4%	13.4%
SNN 训练		31.0%	26.3%	12.3%	17.2%	13.3%
模型融合		30.7%	24.6%	14.0%	17.6%	13.1%
离子迁移型		21.9%	20.5%	16.6%	22.5%	18.5%
相变型		19.7%	19.2%	24.5%	19.2%	17.5%
自旋电子型		25.8%	18.3%	17.5%	23.1%	15.3%
神经拟态结构		27.7%	26.1%	12.3%	20.4%	13.5%
事件驱动的异步通信		34.1%	22.4%	13.7%	13.1%	16.6%
多核并行计算		32.8%	24.7%	15.3%	16.5%	10.7%
传感器		20.6%	32.0%	14.2%	19.8%	13.4%
处理单元		20.2%	30.5%	13.3%	21.9%	14.1%
人工耳蜗		33.6%	12.7%	23.6%	14.5%	15.5%
人工皮肤柔性传感器		28.4%	17.1%	11.0%	26.0%	17.5%
视触融合的机械手臂		17.6%	30.4%	11.5%	25.0%	15.5%

5.2.2 企业实力定位

5.2.2.1 省内企业创新水平

将浙江省的类脑智能产业相关企业数量与国内主要省市企业数量进行比较，广东的企业数量为 1362 家位居第一，北京企业数量有 1024 家，江苏有 1001 家分别位列第二第三

位，上海的企业数量有 706 家，而浙江省的有 596 家位于第五位。整体来看，浙江省的产业规模和企业数量仍有待提升，企业数量距离头部省份有一定的提升空间，产业聚集效应还有发展的余地。

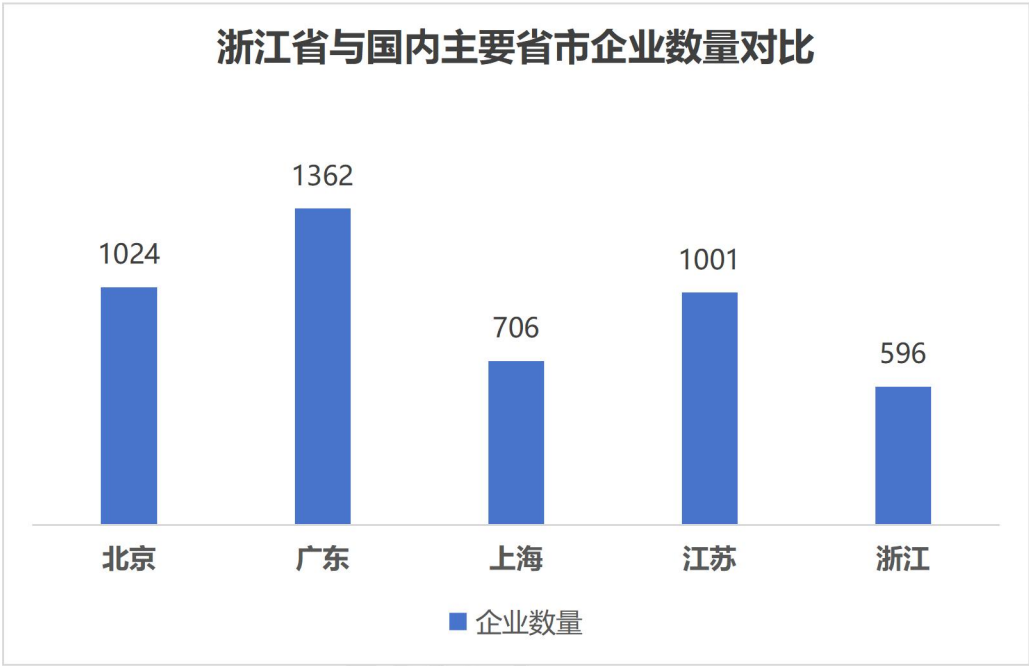
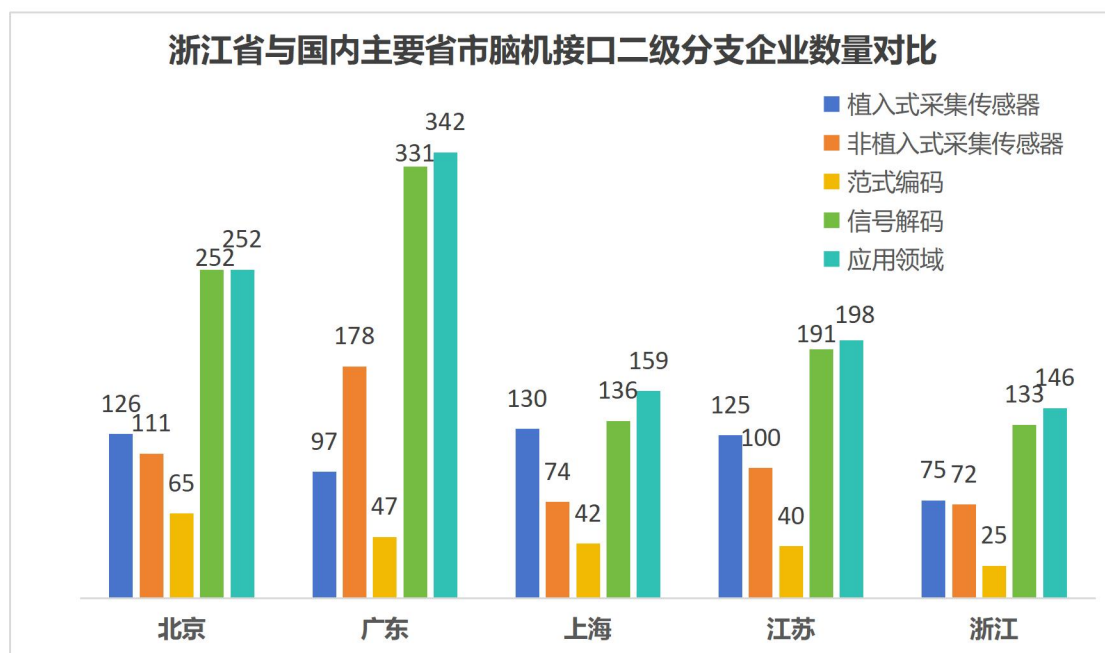


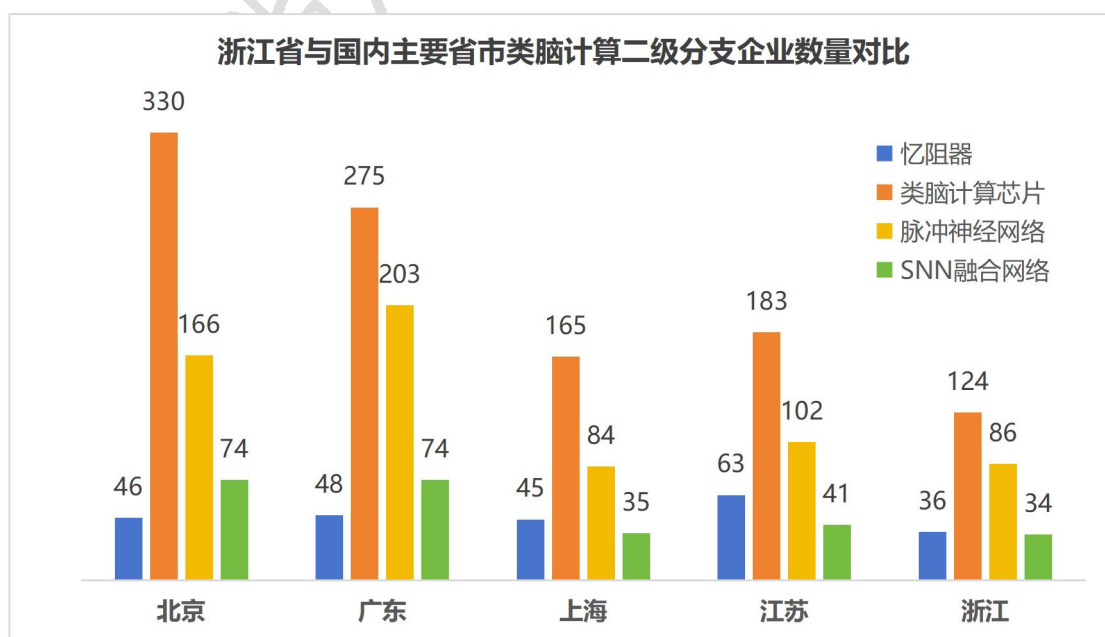
图 5.20 与国内主要省市（五个）企业数量对比

具体到脑机接口二级分支，广东的应用领域、信号解码的申请人数量分别为 342 个、331 个遥遥领先于其他省市，北京该两个分支的申请人数量均为 252 个排名第二，接下来依次是江苏、上海和浙江。另外，广东在非植入式采集传感器方向也远超其他省市，而范式编码方向在各省份的申请人数量都不多，浙江在几个分支的申请人数量指标中均处于落后地位。



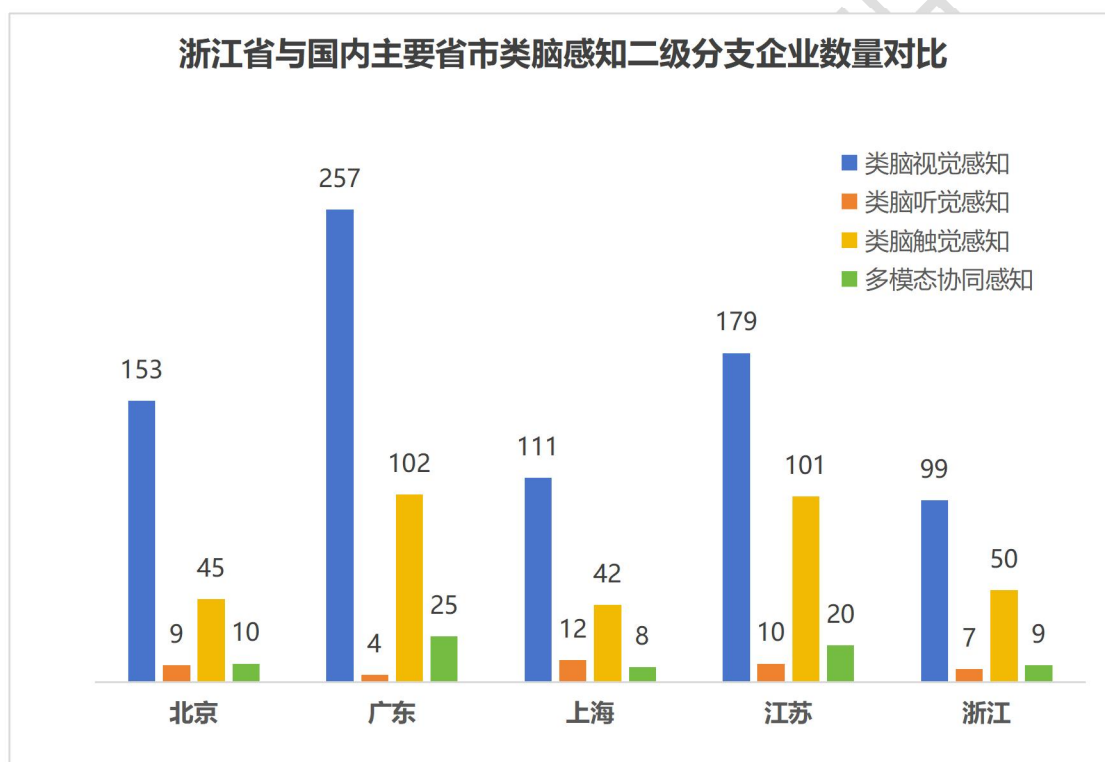
(a) 脑机接口二级分支

类脑计算分支，北京在类脑计算芯片方向申请人数量高达 330 个远超其他省市，脉冲神经网络方向则是广东以 203 个申请人位居第一，江苏比上海在各个方向的申请人数量有微弱优势，排名第三，而浙江的几个方向的申请人数量仍然是处于落后位置。



(b) 类脑计算二级分支

广东在类脑视觉感知方向以 257 个申请人数量处于绝对优势状态，其次是江苏有 179 个申请人位于第二；类脑触觉感知方向，广东和江苏的申请人数量不相上下处于领跑地位；而类脑听觉感知和多模态协同感知两个方向，各省份的申请人数量均较少。浙江在几个方向的申请人数量依然是处于落后位置。



(c) 类脑感知二级分支

图 5.21 浙江省与国内主要省市二级分支企业数量对比

整体来看，浙江省的企业数量指标在每个分支中基本处于落后位置。接下来可以加强在类脑智能方向的专项规划和扶持政策，整合现有资源，进行更有力的布局。其目标不仅

是缩小在“企业数量”上的差距，更是在未来产业的核心竞争力和市场份额上占据重要一席。

如下表所示为浙江与国内主要省市企业专利申请量分布情况，在浙江省内共有 596 家企业，申请量 1-5 项的有 548 家，申请量 6-10 项的有 27 家，申请量 11-20 项的有 12 家，申请量 21-50 项的有 5 家，申请量 51-200 项的有 3 家，申请量在 201 项以上的只有 1 家。整体上来看，浙江相关企业大部分是中小企业，浙江在类脑智能的脑机接口、类脑计算及类脑感知均具有相关代表性的领军企业，表明浙江在类脑智能产业的形成了由部分龙头企业带领，其他中小企业跟随的企业规模结构，在市场上占有一席之地，后续研发潜力强劲，具有较为广阔的市场发展前景。

对于国内其他主要省份，浙江仍有不足。北京专利申请量在 21 项以上的企业有 32 个，广东专利申请量在 21 项以上的企业有 22 个，上海专利申请量在 21 项以上的企业有 23 个，均远远多于浙江的 9 个，表明浙江的领军企业仍较少，在行业尖端上仍与其他省份存在差距。此外，申请量少于 10 项的企业，北京有 966 个，广东有 1311 个，江苏有 985 个，均远高于浙江的 575 个，表明浙江在中小企业的培育上仍具有较大的空间，需从政策上进行扶持，培育更多的企业，弥补产业上的不足。

表 5.11 浙江与国内主要省市企业专利申请量对比

区划	1-5 项	6-10 项	11-20 项	21-50 项	51-200 项	201 项以上
浙江	548	27	12	5	3	1
北京	913	53	26	20	10	2
广东	1261	50	29	15	5	2
江苏	951	34	9	6	1	0
上海	630	38	15	16	5	2

接下来对浙江的重点企业进行分析，特别是企业规模、在类脑智能产业链中的位置、主要产品、核心技术以及专利申请量和授权量，最后又对几个重点企业的地市分布进行分析。

从成立年份来看，中电海康集团成立于 2002 年是成立最早的企业，接下来是浙江诺尔康成立于 2006 年，最晚的是浙江柔灵科技成立于 2020 年，其次是浙江强脑科技和浙江迈联医疗成立于 2018 年，其余企业诸如浙江驰拓、杭州诺为医疗、宁波时代全芯科技、杭州回车电子成立年份分布在中间几年。

从位于类脑智能产业链中的位置来看，由于部分企业的研究范围较广，在产业链中的位置不止一处，因此会重复计算。经统计，分布在产业链下游的企业较多有 5 家，包括中电海康集团、浙江诺尔康、浙江强脑科技、杭州诺为医疗和浙江迈联医疗。位于上游和中游的均为 4 家，其中处于产业链上游较为突出的企业有浙江驰拓、中电海康、宁波时代全芯，浙江柔灵科技；位于产业链中游的有浙江强脑科技、杭州回车电子科技、浙江柔灵科技和浙江迈联医疗。

从专利申请量来看，浙江驰拓以申请量 260 项处于领先地位，其次是中电海康集团有 179 项，浙江诺尔康有 153 项。从授权量来看，浙江诺尔康授权的专利高达 103 项处于首位，中电海康授权量为 96 项，位于第二，浙江驰拓授权量为 84 项，位于第三。从授权率来看浙江诺尔康为 67%，是授权率最高的浙江企业。

从地市分布来看，大多数企业都集中在杭州，其余的像宁波时代全芯科技有限公司位于宁波，浙江迈联医疗科技有限公司位于绍兴。

表 5.12 浙江省重点企业列表

申请人	规模	产业链位置	主要产品	核心技术	专利申 请量	专利授 权量	地市
浙江驰拓科 技有限公司	成 立 于 2016 年，公司现有员 工 251 人（截至 2024 年）	上游	新 型 存 储 芯 片、MRAM 设计、 制造全套关键 技术	MRAM 设计、制造全套 关键技术，独立式存 储芯片和嵌入式 IP 等系列产品并可提供 90/40/28nm 多个先进 工艺节点下的芯片设 计、工艺研发、流片、 测试分析等全方位服 务	260	84	杭州
中电海康集 团	成 立 于 2002 年，参保人数 1528 人（截至 2023 年）	上游、下 游	信 息 存 储 产 品、全光谱视 频感知设备和 后端数据处理	类脑计算、神经形态 计算	179	96	杭州
浙江诺尔康 神经电子科	成 立 于 2006 年，参保人数	下游	听觉重建类产 品、视觉重建	人工耳蜗技术，机器 听觉系统（该系统集	153	103	杭州

技股份有限 公司	233 人（截至 2023 年）		类产品 and 泌尿 系统调控、脑 部系统调控四 个产品线	成了自动增益调整 （AGC）、单麦降噪技 术“E-Voice”以及双 麦降噪技术 “A-Beam”，显著提 升了听觉环境的纯净 度和听声质量）			
浙江强脑科 技有限公司	成立于 2018 年，参保人数 98 人（截至 2023 年）	中游、下 游	智能仿生手、 智能仿生腿、 智能仿生灵巧 手、智能安睡 仪、Brain AI、 神经调控头戴 设备	脑机接口技术	63	34	杭州
杭州诺为医 疗技术有限 公司	成立于 2016 年，参保人数 69 人（截至 2023 年）	下游	脉冲发生器、 电刺激系统、 神经刺激系统	脉冲神经网络、治疗 癫痫	40	18	杭州
宁波时识科 技有限公司	成立于 2017 年，截至 2024 年公司人员规 模为 11 人	上游	动态视觉智能 SoC、低维信号 通用类脑处理 器	类脑处理器和 Soc	17	17	宁波
杭州回车电 子科技有限 公司	成立于 2013 年，参保人数 19 人（截至 2023 年）	中游	FLOWTIME 智能 冥想头环、 LOOKTECH AI 智 能眼镜和脑 机接口 VR 一体 机	非植入式脑电采集技 术、脑机接口技术	31	18	杭州
浙江柔灵科 技有限公司	成立于 2020 年，参保人数 17 人（截至 2023 年）	上游、中 游	脑电睡眠监测 仪、脑机安睡 仪、肌电手环	非侵入式脑机接口技 术、柔性电极 EEG 技 术、基于 Metaverse 的神经 3D 交互系统	22	5	杭州

浙江迈联医疗科技有限公司	成立于 2018 年，参保人数 10 人（截至 2023 年）	中游、下游	脑电采集和信号处理系统、L-B300 脑电采集康复训练设备	人机融合智能脑机接口	22	11	绍兴

下面是几个重点企业的详细介绍：

浙江驰拓科技有限公司成立于 2016 年，在无锡还设有分公司，公司吸纳了众多来自国内外知名半导体企业及科研院所的专家和核心人才，已建成百余人的研发团队。其主要产品主要为新型存储芯片、MRAM 设计、制造全套关键技术，是类脑智能产业链上游的核心环节。其核心技术为 MRAM 设计、制造全套关键技术，独立式存储芯片和嵌入式 IP 等系列，其中 MRAM 技术同时具备 DRAM 的速度和 Flash 的非易失性，正是类脑芯片需要的核心硬件。浙江驰拓在浙江的重点企业中以专利申请量 260 项排名第一，授权量为 84 项。

中电海康集团成立于 2022 年，是中国电子科技集团有限公司（中国电科）旗下的核心骨干企业拥有海康威视、凤凰光学、萤石网络三家上市公司，专注于物联网、大数据、人工智能等技术的研究与应用。中电海康在脉冲神经网络 SNN 芯片设计、新型存储器开发、传感器技术等类脑产业链上游中有深入研究，另外在产业链的下游中也提供了智慧安防、医疗健康等多种解决方案。其申报的“基于原语表示的类脑互补视觉感知芯片”入选 2024 年世界互联网大会领先科技奖基础研究组获奖项目名单，主要产品和核心技术主要

集中在类脑计算、神经形态计算的信息存储产品。其申请量为 179 项，授权量为 96 项。

浙江诺尔康神经电子科技股份有限公司成立于 2006 年，是一家生产经营神经电子医疗器械的高科技企业，它作为全球第四家具备人工耳蜗制造能力的企业，其产品覆盖听力、视力、泌尿系统及神经调控四大领域，在产业链的下游占据重要地位。研发的听觉重建类产品、视觉重建类产品和泌尿系统调控、脑部系统调控四个产品线，成功打破了西方国家在人工耳蜗技术领域的垄断，尤其是浙江诺尔康的人工耳蜗技术大大改善了残障人士的生活质量，推动了全球医疗器械产业的发展，也是其核心竞争力的关键部分。浙江诺尔康的机器听觉系统结合了机器学习技术，能够在复杂声音环境中精准捕捉目标信号，解决了用户在复杂听声环境下言语识别率下降的问题。系统内置了声音场景识别算法，能够自动感知用户所处的环境特征，并智能启动相应的声音处理策略，还集成了自动增益调整（AGC）、单麦降噪技术“E-Voice”以及双麦降噪技术“A-Beam”，提供多模式、全方位的智能降噪功能，显著提升了听觉环境的纯净度和听声质量。浙江诺尔康的专利申请量为 153 项，授权量为 103 项，授权率高达 67%。

浙江强脑科技有限公司成立于 2018 年，是一家专注于脑机接口技术的高科技企业。BrainCo 强脑科技在全球脑机

接口领域中与马斯克的 Neuralink 并列，是该领域的领军企业之一。其在类脑智能产业链中主要覆盖中游例如算法平台和下游例如应用解决方案。强脑科技的核心技术有非侵入式脑机接口技术，可以通过高精度传感器与算法从皮肤表面采集微弱肌肉与神经信号，解码后驱动仿生设备，无需开颅，风险较低，其自主研发的固态凝胶电极解决了信号采集难题，信息精确度达到约 95%。另外还有动态脑电特征提取算法、自适应脑电调节矩阵、多模态数据融合技术、智能仿生手等核心技术，并在其主要产品诸如智能仿生手、智能仿生腿、智能仿生灵巧手、智能安睡仪、Brain AI、神经调控头戴设备这些产品上应用转化，促进学术界与产业界的深度融合与协同发展。强脑科技的申请量为 63 项，授权量为 34 项。

杭州诺为医疗技术有限公司成立于 2016 年，它聚焦于神经调控与脑功能干预技术的研发与落地，其核心产品和技术紧密围绕类脑智能在医疗场景的应用，尤其在闭环神经调控与神经疾病数字疗法领域形成独特优势，在产业链下游占据重要地位。其核心专利是自适应闭环神经调控算法，这在国内是独家技术，也临床应用到了闭环自适应神经调控系统、神经功能定量评估平台等产品上。杭州诺为申请量为 40 项，授权量为 18 项。

宁波时识科技有限公司成立于 2017 年，总部位于宁波，是类脑智能与应用解决方案提供商。公司专注类脑智能的研

究与开发，以苏黎世大学和苏黎世联邦理工学院 20+年全球领先的研发经验和技術积累为基石，聚焦边缘计算应用场景，提供超低功耗、超低延时的全栈式解决方案与服务，是全球首个同时拥有类脑智能领域感知与计算技术，并掌握该领域大量核心底层专利的类脑智能公司。时识科技率先实现了类脑芯片商业化应用零的突破，为人工智能向认知智能发展，万物互联向万物智联发展迈出了关键一步。其申请量为 17 项，授权量为 10 项。

杭州回车电子科技有限公司成立于 2014 年，以脑电、心率等生理信号与 VR/AR 技术融合为核心，开发了应用于失眠干预、认知障碍康复等领域的系列产品，包括 FLOWTIME 智能冥想头环、LOOKTECH AI 智能眼镜和脑机接口 VR 一体机，其核心技术主要是非植入式脑电采集技术、脑机接口技术，在产业链的中下游占据重要位置。其申请量为 31 项，授权量为 18 项。

浙江柔灵科技有限公司成立于 2020 年，专注于非侵入式脑机接口技术的研发与应用，公司核心团队由麻省理工学院、卡内基梅隆大学等顶尖高校的跨学科专家组成。其核心技术围绕“柔性电极-生物传感-神经交互”三位一体展开，在类脑智能产业链中核心定位为上游材料与传感器供应商，同时向中下游延伸提供解决方案。主要产品有脑电睡眠监测仪、脑机安睡仪、肌电手环，核心技术包括非侵入式脑机接

口技术、柔性电极 EEG 技术、基于 Metaverse 的神经 3D 交互系统。其向回车电子提供 NeuroSkin™ 电极，助其消费级脑环成本降低 40%，向中电海康供应 EpiTrace™ 薄膜，用于智能安防头盔的疲劳监测模块。其申请量为 22 项，授权量为 5 项。

浙江迈联医疗科技有限公司成立于 2018 年，总部位于绍兴，其核心产品与技术聚焦于“主动康复训练-神经功能重塑-闭环脑机交互”三位一体的数字疗法解决方案，在类脑智能产业链中深度覆盖中游（康复设备/算法平台）与下游（临床落地应用）。主要产品有脑机融合康复机器人系列、脑电采集和信号处理系统、L-B300 脑电采集康复训练设备，核心技术包括人机融合智能脑机接口技术、意图解码算法等。其申请量为 22 项，授权量为 11 项。

浙江的这些重点企业，都在类脑智能产业链的上、中、下游上发挥了重要作用，不断探索类脑智能技术在医疗健康领域、教育领域等跨领域的深度融合。

5.2.2.2 龙头企业实力

从申请量上来看浙江省类脑智能靠前的头部企业为浙江驰拓科技有限公司、中电海康集团、浙江诺尔康神经电子科技股份有限公司以及浙江强脑科技有限公司。浙江驰拓科技有限公司以 260 项专利申请领衔，中电海康集团以 179 项申请排第二，浙江诺尔康神经电子科技股份有限公司以 153

项申请排在第三，浙江强脑科技有限公司 63 项排在第四位。其中，浙江驰拓科技有限公司和中电海康集团有限公司相关专利主要集中在类脑计算，他们在类脑计算相关方向研发较为深入，市场占比较大；浙江诺尔康神经电子科技股份有限公司相关专利主要集中在类脑感知领域，其在人工耳蜗相关方向的研发和产品开发具有行业领先优势；浙江强脑科技有限公司的研发方向集中在脑机接口领域，其近些年不断加大研发投入，赢得了脑机接口的国内市场。北京市头部企业为北京灵汐科技有限公司，相关专利申请集中在类脑计算芯片方向，实力较强。广东省头部企业是华为，其类脑智能领域专利申请量居全国首位，在脑机接口、类脑计算及类脑感知领域均有涉及。江苏省的头部企业是景昱医疗科技(苏州)股份有限公司，其相关专利申请集中于脑机接口领域，是国内领先的脑机接口产品设备制造研发企业。上海市的头部企业是上海磁宇信息科技有限公司，但该公司在 2021 年以后未申请任何专利，专利申请处于停滞状态。从企业的背后股权结构来看，类脑智能领域大部分是民营企业，仅有浙江的中电海康集团和中芯国际属于国有企业，可见类脑智能市场化较高，资本参与热情也较强烈。对于类脑智能产业的海外布局，广东华为的海外布局最多，其次是北京百度和深圳腾讯，浙江省头部企业的海外布局量较不足，如果有出口需求，则应加大在海外的布局力度。

表 5.13 浙江与国内主要省市头部企业专利情况对比

省份	头部企业	总申请量	有效发明量	近 5 年新申请量	PCT 申请量	海外布局量
浙江	浙江驰拓科技有限公司	260	84	221	76	4
	中电海康集团	179	96	95	30	3
	浙江诺尔康神经电子科技股份有限公司	153	103	71	11	8
	浙江强脑科技有限公司	63	34	63	3	1
北京	北京灵汐科技有限公司	250	101	230	52	14
	北京百度	255	157	241	60	56
	中科寒武纪科技股份有限公司	138	89	79	37	32
	北京脑陆科技有限公司	102	16	102	0	0
广东	广东华为	652	204	487	430	199
	广东 OPPO	270	89	117	46	21
	腾讯科技(深圳)	171	96	156	47	42
江苏	景昱医疗科技(苏州)股份有限公司	190	83	136	38	13
	苏州元脑智能科技有限公司	69	40	69	17	9
	江苏集萃	60	30	60	0	0
上海	上海磁宇信息科技有限公司	269	158	103	1	3
	中芯国际	225	160	48	1	32
	上海寒武纪信息科技有限公司	147	100	56	16	28

5.2.3 人才实力定位

将浙江省类脑智能产业第一发明人数量与对标省份第一发明人数量进行比较,如下表所示,来自不同第一申请(专利权)人的同名发明人统计两次。北京和广东第一发明人数量领先,浙江排在第五位,有 2506 人,约为排名最高的北京市的 50%。浙江省的人数排名说明在类脑智能产业中整体

人才实力有待提高。从人均申请量来看，浙江省和陕西省并列第四，说明浙江类脑智能产业在创新活跃度、研发实力和知识产权保护意识上仍有提升空间。

表 5.14 对标省份与浙江省第一发明人数量对比

区域	第一发明人数量	人均申请量
北京	5016	1.8
广东	4986	1.5
上海	2834	1.8
江苏	3108	1.5
浙江	2506	1.7
湖北	1032	2.0
陕西	1094	1.7

从浙江省及对标省份第一发明人专利申请量区间分布来看，如下表所示，浙江省第一发明人的专利申请量基本在 1-5 项之间，6-10 项的有 55 人，11-20 项的有 27 人，21-50 项的有 4 人，>50 项的有 2 人，人才基础较为薄弱。浙江省重点发明人有浙江强脑科技有限公司的韩璧丞和杭州电子科技大学的孔万增，发明项数均超过了 50 项。但需要注意的是，>20 项的发明人数量，浙江仅排第五，落后于北京、广东、上海、湖北，领军人才数量存在弱势，在推进发展的前沿引领动力上稍显不足。

表 5.15 对标省份与浙江省第一发明人专利申请量分布对比

区域	1-5项	6-10项	11-20项	21-50项	> 50项
北京	96.3%	2.4%	0.8%	0.5%	
广东	97.9%	1.3%	0.6%	0.2%	
上海	96.3%	2.4%	0.9%	0.3%	0.1%
江苏	97.6%	1.9%	0.5%	0.1%	
浙江	96.5%	2.2%	1.1%	0.2%	0.1%
湖北	96.2%	2.1%	0.9%	0.6%	0.2%
陕西	96.5%	2.4%	0.8%	0.3%	

根据发明人与申请人的关系，可以将发明人分为企业人才和科研人才。企业人才是指行业内曾经从事知名企业核心技术研发，拥有行业领先技术成果，为产业发展做出了创新贡献的人。科研骨干力量是指高校、科研院所等科研组织内部担任科研活动的核心力量，拥有领先创新成果且创新活动活跃的人才。从浙江省第一发明人类型分布来看，浙江省第一发明人以科研人才为主，类型占比和湖北省比较类似，院校研究所的研发活力更强，同时企业创新活动也较为活跃。广东和上海第一发明人以企业人才为主，企业创新活动更为活跃。浙江省申请量排名靠前的第一发明人中，来自院校研究院的主要包括杭州电子科技大学、浙江清华柔性电子技术研究院、浙江大学，来自的公司主要包括浙江强脑科技有限公司、浙江诺尔康神经电子科技股份有限公司。

表 5.16 对标省份与浙江省第一发明人类型申请量分布对比

区域	院校/研究所	公司	医院	个人	政府机关
北京	42.2%	46.0%	6.4%	3.5%	0.9%
广东	29.6%	64.1%	2.9%	2.7%	0.5%
上海	38.1%	51.3%	7.3%	3.0%	0.2%
江苏	45.7%	48.4%	3.9%	2.0%	0.0%
浙江	49.5%	44.4%	3.0%	2.8%	0.0%
湖北	47.1%	44.5%	5.2%	3.0%	0.2%
陕西	72.8%	19.5%	4.1%	3.6%	0.0%

从脑机接口方向来看，浙江省信号解码领域表现出色，占比高达 17.1%，略低于陕西的 18.6%，应用领域上占比 15.1%，和广东、陕西并列第一，范式编码领域占比 4.7%，低于陕西 5.9%，排名第二，说明浙江省在这三个领域具有较强的技术实力和市场竞争力，这三个领域浙江占比贡献主要来自杭州电子科技大学和浙江大学。在植入式采集传感和非植入式采集传感领域，浙江省占比只有 7.1%和 6.2%，在重点省份中都仅排名第五，显示出在这两个领域还有较大的提升空间，植入式采集传感占比最高的是上海（11.7%），主要贡献来自上海交通大学和复旦大学，非植入式采集传感占比最高的是广东省（8.6%），主要贡献来自华为技术有限公司和中国科学院深圳先进技术研究院。

从类脑计算方向来看，脉冲神经网络、忆阻器和类脑计算芯片领域，浙江省占比和头部省份相比，差距明显。北京的脉冲神经网络领域占比 8.7%，浙江仅为 7.6%，在 7 个省份中排名第六；湖北省的忆阻器占比最高达到 15.5%，浙江仅为 7.8%；北京的类脑计算芯片领域占比达到 19%，浙江仅为 14.4%，排名第六，显示出浙江省在类脑计算方向的人才

储备上存在劣势。

从类脑感知方向来看，广东在类脑视觉感知领域占比最高，达到 10.9%，浙江仅为 6.7%，排名第六，人才数量上存在不足。在类脑听觉感知（人工耳蜗）领域，浙江占比达到 1.2%，低于上海的 2.1%，排名第二，浙江诺尔康神经电子科技股份有限公司是行业头部企业，对占比的贡献较大，上海因为有上海力声特医学、微创天籁医疗、华聆人工耳医疗等多家企业存在，总的人才数量上占有优势。在类脑触觉感知（人工皮肤柔性传感器）领域，浙江排名第三，略低于江苏和陕西，陕西贡献最多的是西安交通大学，江苏贡献最多的是东南大学和苏州大学。在多模态协同感知（视触融合的机械手臂）领域，浙江排名第三，略低于江苏和广东。浙江的贡献主要来自浙江大学，江苏的贡献主要来自南京航空航天大学、江苏大学、江苏科技大学等院校，广东的贡献主要来自佛山大学、清华大学深圳国际研究生院、华南理工大学等。多模态协同感知（视触融合的机械手臂）领域仍处于科研探索阶段，浙江高校数量的缺乏导致人才数量有所欠缺。

表 5.17 对标省份与浙江省各技术分支人才数量分布对比

技术分支		北京	广东	上海	江苏	浙江	湖北	陕西	浙江省排名
脑机接口	植入式采集传感	8.3%	5.7%	11.7%	8.5%	7.1%	9.8%	4.8%	5
	非植入式采集传感	6.0%	8.6%	6.3%	6.5%	6.2%	6.1%	7.0%	5
	范式编码	4.3%	3.4%	4.0%	4.3%	4.7%	3.0%	5.9%	2
	信号解码	14.8%	15.7%	13.6%	15.8%	17.1%	13.5%	18.6%	2
	应用领域	14.5%	15.1%	13.5%	14.5%	15.1%	13.0%	15.1%	1
类脑计算	脉冲神经网络	8.7%	8.2%	8.0%	7.4%	7.6%	8.0%	8.4%	6
	SNN融合网络	4.9%	4.1%	3.2%	4.0%	4.4%	3.9%	3.9%	2
	忆阻器	7.0%	4.6%	11.8%	6.3%	7.8%	15.5%	4.7%	3
	类脑计算芯片	19.0%	17.2%	15.6%	16.3%	14.4%	14.0%	16.6%	6
类脑感知	类脑视觉感知	8.3%	10.9%	5.8%	7.8%	6.7%	7.1%	7.2%	6
	类脑听觉感知	0.6%	0.4%	2.1%	0.5%	1.2%	0.1%	0.2%	2
	类脑触觉感知	3.2%	5.1%	3.8%	7.2%	6.8%	5.5%	7.1%	3
	多模态协调感知	0.4%	1.0%	0.7%	1.1%	0.8%	0.5%	0.4%	3

浙江省在类脑智能产业具有一定的优势和劣势，未来浙江省应积极引入植入式采集传感、非植入式采集传感、脉冲神经网络、类脑计算芯片、类脑视觉感知等领域的高层次人才，提升类脑智能产业的整体竞争力。

5.2.4 协同创新定位

5.2.4.1

1. 与全球及中国创新协同专利占比情况对比

专利的协同创新是指两个或两个以上申请人共同合作，完成一项专利技术的研发创新并申请专利。协同创新专利量占比能够反映相关地区创新主体之间进行协同创新的程度，数值越大表示该地区越偏好进行协同创新。通过与全球及全国平均水平对比，如下图所示，浙江省类脑智能产业协同创新专利占比为 10.75%，高于全球的 8.77%和全国的 7.10%。

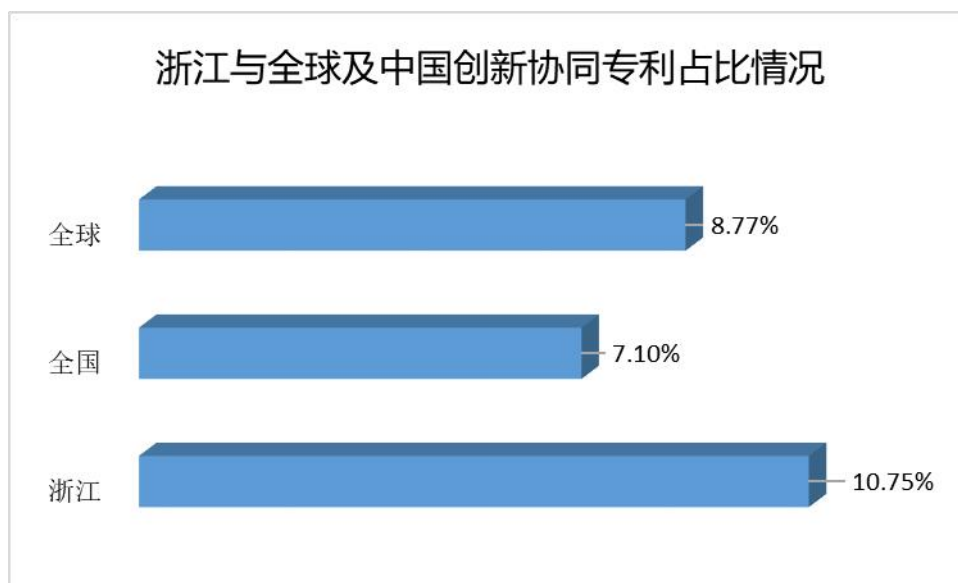


图 5.22 与全球及中国创新协同专利占比情况对比

2. 与国内主要省市（五个）协同创新专利占比情况对比

再进一步对比浙江省和对标省份的专利协同创新情况，如下图所示，与各对标省份相比，浙江省的协同创新专利量占比排第二，仅次于北京，这在一定程度上说明了浙江省创新主体之间合作共享的意识水平较高，企业、高校或研究机构选择合作研发的意愿相对较强，这种情况有利于各主体之间的技术融合和成果转化。共同申请专利可以集中优势资源，提高研发效率和专利质量，未来，浙江省还需继续优化骨干企业引领支撑带动中小微企业成长的政策环境。

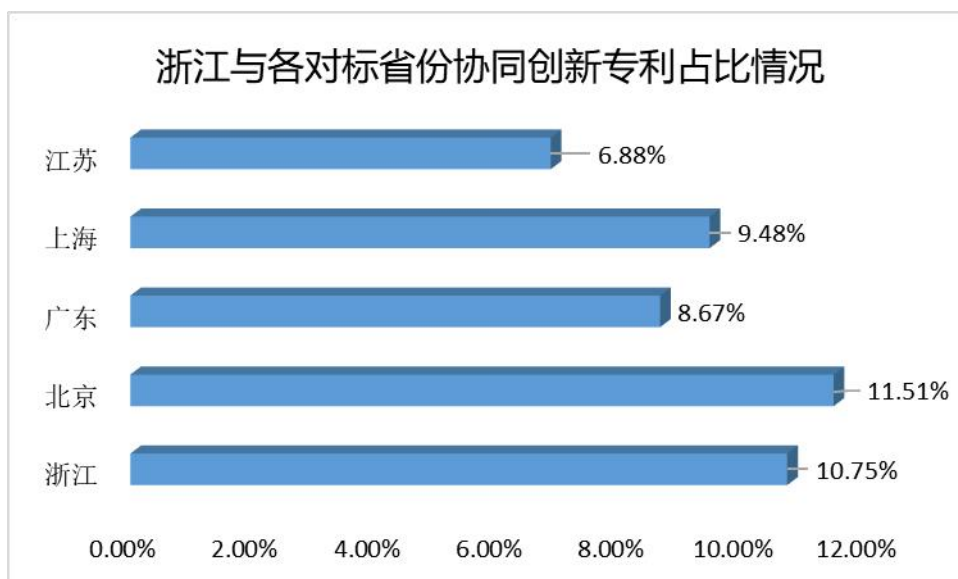


图 5.23 与国内主要省市（五个）协同创新专利占比情况对比

3. 与国内主要省市（五个）协同创新类型对比

各大创新主体间的协同创新类型依据主体类型的不同主要可分为企业与企业、院校/研究所与企业、院校/研究所与院校/研究所、企业与医院、院校/研究所与医院，当然，还包括个人和政府机关等主体，但在此以最常见也是最具代表性的几种类型进行分析。（可能有重复）

对比各对标省份不同类型协同创新的专利数量以及占比情况，如下图所示。企业与企业之间、院校/研究所与院校/研究所之间的合作协同在各个省份均占较大比重，在浙江省，是院校/研究所与院校/研究所之间的合作占比最高，达到 61.82%，说明浙江省内高校科研机构之间的创新资源整合度较高；其次为企业与企业联合申请，达到 52.71%，说明浙江省企业之间的联系也较为紧密，联合申请的比例结构良好；但是，浙江省在本领域内院校/研究所与企业之间的

联合申请占比较少，低于其他对标省份，说明该领域院校/研究所与企业之间的合作需加强。

总的来说，浙江省类脑智能产业的联合申请活动中，企业和企业以及企业和院校/研究所之间的联系较为密切，产业发展创新资源整合度尚可，但仍缺少企业和院校/研究所之间的协作。当前，创新活动需要多学科、多领域的深度融合，单个主体仅依靠自身资源去独立完成创新活动会增加较多成本，因此需要与多种不同类型的主体进行协同，从而充分利用社会资源，提高创新效率。

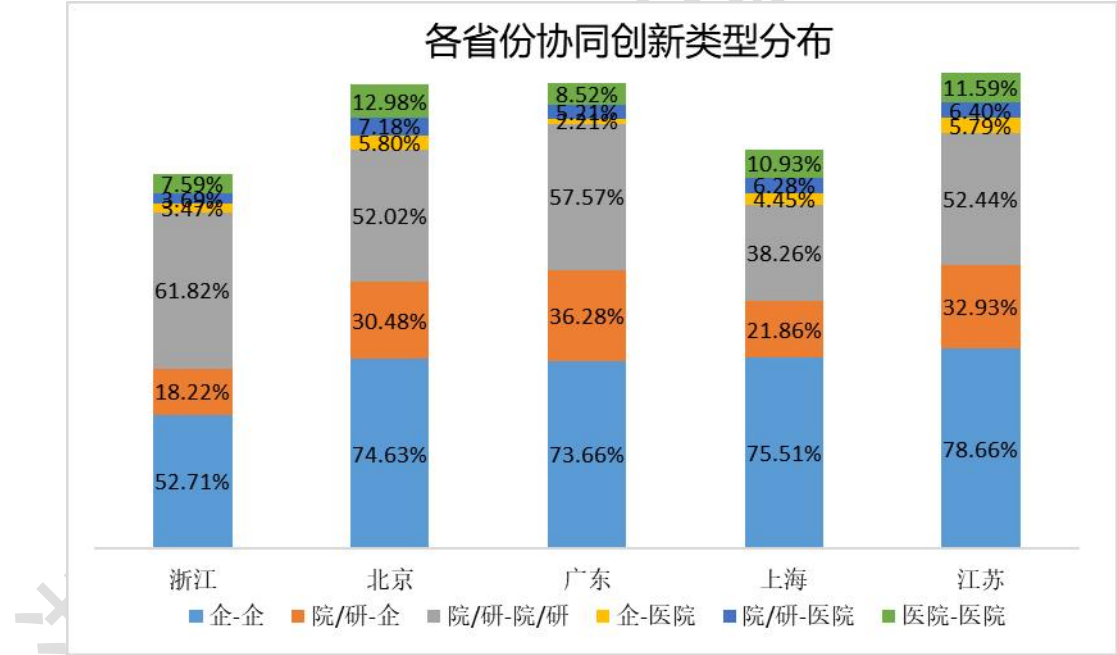


图 5.24 与国内主要省市（五个）协同创新类型对比

4. 浙江省协同创新重点主体清单

进一步的，将浙江省内的重点联合申请专利的具体情况
进行剖析，其中，浙江大学在院校和研究所联合方面较为活
跃，合作对象主要包括之江实验室，还包括其附属第一医院，

此外还包括其嘉兴研究院、滨江研究院、金华研究院、台州研究院等。浙江清华柔性电子技术研究院和清华大学联合申请了 28 项涉及类脑触觉感知、非植入式采集传感器等方面的专利。其中，浙江清华柔性电子技术研究院是浙江省人民政府与清华大学共建的新型高端科研机构，也是清华大学柔性电子技术研究中心的校外实体。其通过国家重大任务牵引，承担大量国家级重大科研项目，攻关国家战略领域关键技术来服务和支撑柔性电子技术行业的发展。可见，高校在协同创新活动中除了发挥自身的人力资源优势以外，还可通过设立研究院所的方式与地方政府合作，从而利用学科优势调动区域产业发展。

企业方面，浙江驰拓科技有限公司选择与其母公司中电海康集团有限公司进行联合申请，在 MRAM 存储器件方面布局了 69 项专利。浙江驰拓科技有限公司是中电海康的全资控股子公司，主要研究攻关新型存储芯片，核心业务为高端存储器件的研发与产业化，其现阶段的产品研发和产业化重点为磁旋存储器和基于磁旋存储器的应用系统与相关技术及产品开发。驰拓科技目前已经研究攻关了基于 40nm CMOS 平台的 4Mb 高可靠高性能新型存储 MRAM 芯片，该 MRAM 芯片具有 125 度下 10 年以上数据保持能力，支持超过万亿次重复写入，工作温区-40~125 度，其亚 ppm 级失效率的大容量阵列良率水平达到了 95%。

表 5.18 浙江省协同创新重点主体清单

联合申请人		申请项	二级分支
浙江大学	之江实验室	62	脉冲神经网络、SNN 融合网络、类脑计算芯片、信号解码、应用领域
	浙江大学医学院附属第一医院	3	植入式采集传感器、非植入式采集传感器、信号解码
浙江驰拓科技有限公司	中电海康集团有限公司	69	忆阻器
浙江清华柔性电子技术研究院	清华大学	28	类脑触觉感知、非植入式采集传感器
杭州电子科技大学	杭州电子科技大学温州研究院有限公司	8	植入式采集传感器
中国科学院宁波材料技术与工程研究所	宁波慈溪生物医学工程研究所	12	非植入式采集传感器、范式编码、信号解码、应用领域

5. 专利联合申请的二级分支分布

从浙江省进行协同创新的分布领域来看，如下图所示，类脑计算芯片涉及的专利量最多，占比达到 15.94%；其次是忆阻器，占比也达到 13.75%；再次是脉冲神经网络和信号解码，占比分别为 10.47%和 10.31%。总的来说，浙江省类脑计算方面的协同创新专利申请明显多于脑机接口和类脑感知，这可能与浙江省近年来支持类脑计算行业发展有关。早在 2020 年，浙江大学联合之江实验室就共同研制成功了我国首台基于自主知识产权类脑芯片的类脑计算机（Darwin

Mouse)。这台类脑计算机包含 792 颗浙江大学研制的达尔文 2 代类脑芯片，支持 1.2 亿脉冲神经元、近千亿神经突触，与小鼠大脑神经元数量规模相当，典型运行功耗只需要 350~500 瓦，同时它也是目前国际上神经元规模最大的类脑计算机。同时，杭州市人民政府印发的《杭州市未来产业培育行动计划（2025—2026 年）》中也明确提出了要发挥杭州数字经济产业优势，围绕五大产业生态圈建设，推进类脑芯片、类脑计算机、脑机接口等技术的产业化落地。

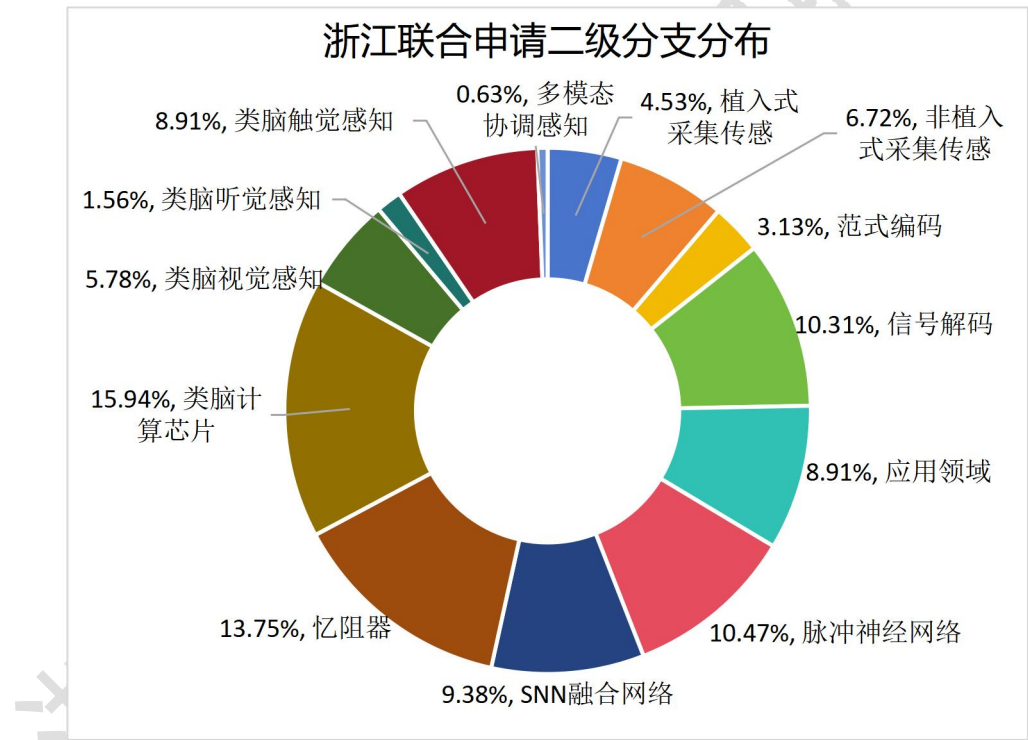


图 5.25 专利联合申请的二级分支分布

5.2.5 专利运营定位

专利运营是指专利权人对专利的资产管理与运作，主要包括转让、许可、质押、无效、诉讼等方式。专利运营的活跃程度从一个侧面反映了创新主体对于专利技术的综合应

用能力，也从一定程度上反映被运营专利技术的价值。对浙江、中国和全球的专利运营总体情况进行统计，总体情况如下图 5.26 所示，浙江开展专利运营类脑智能领域专利共 290 件，占全省专利申请量的 6.7%，占比略高于全国的运营占比（6%），但远低于全球的运营占比（14.2%）。这一方面体现出中国创新主体在专利的资产管理和运作方面，可能存在意愿不强、能力不足的问题，浙江主体运营能力虽然略高于全国水平，但也存在上述问题。另一方面，也说明中国专利中达到可运营水平的专利占比较低，专利质量仍有提升空间。

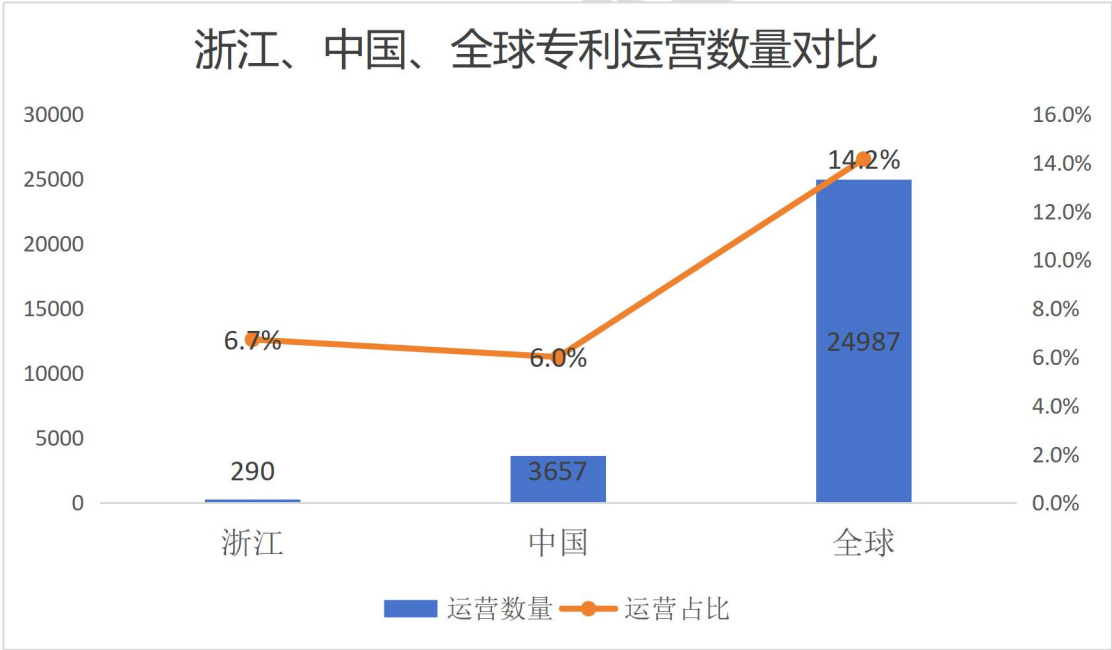


图 5.26 浙江、中国、全球专利运营数量对比

对浙江、中国和全球的类脑智能领域运营专利开展进一步对比分析，其运营类型的占比如下图 5.27 所示。浙江、中国和全球的专利运营主要类型都是权利转移、许可和质押

三类，其中权利转移的占比均超过 70%。全球运营专利中，质押专利占到了 20.8%，许可专利仅为 5.5%。中国运营专利中，权利转移专利占比达到了 83.2%，质押专利仅 5.9%。浙江运营专利中，权利转移专利占比高于全球 3.6 个百分点，但低于全国，许可专利占比达到了 13.4%，高于全国和全球水平，质押占比高于全国 3.4 个百分点。从上述数据看出，浙江主体在专利技术许可和利用专利融资方面较为活跃。

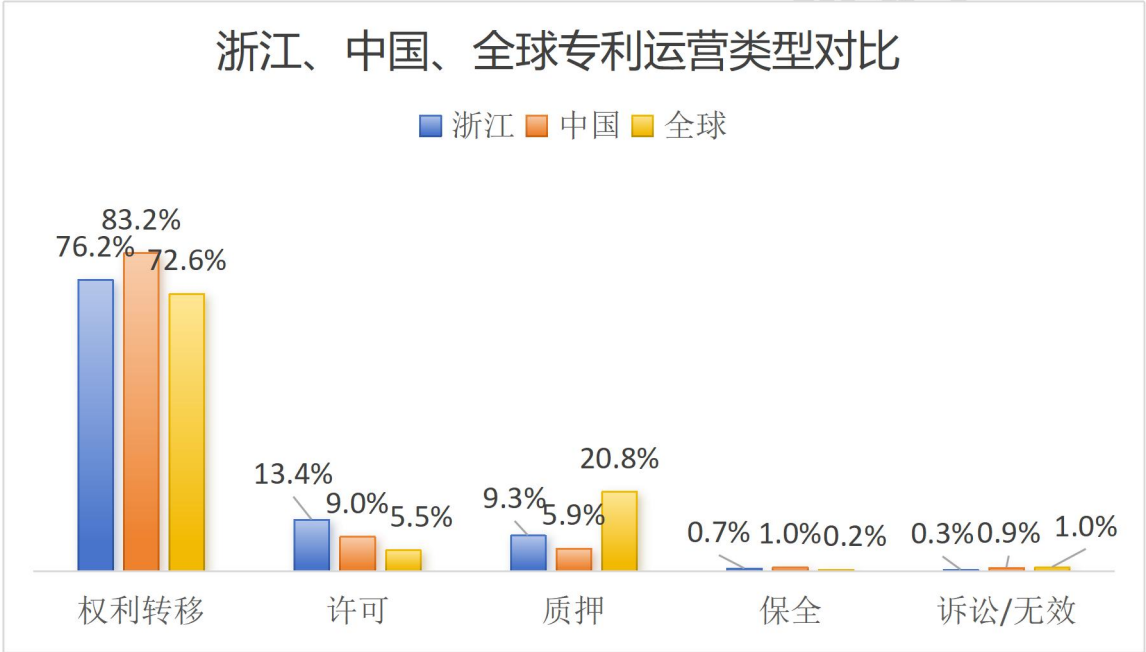


图 5.27 浙江、中国、全球专利运营类型对比

仅考虑权利转移、许可、质押三类运营方式的情况下，对标类脑智能领域专利申请量靠前的 4 省市（图 5.28），浙江的运营专利数量偏少，占比处于中游。五省市中，北京的运营专利数量最多，许可专利超过 100 件，江苏的运营专利占比最高，达到了 7.4%。与其他头部省市相比，浙江应加速类脑智能领域专利技术积累，提升专利的数量，同时积极支

持创新主体采用多种方式开展专利运营，充分盘活利用无形资产。

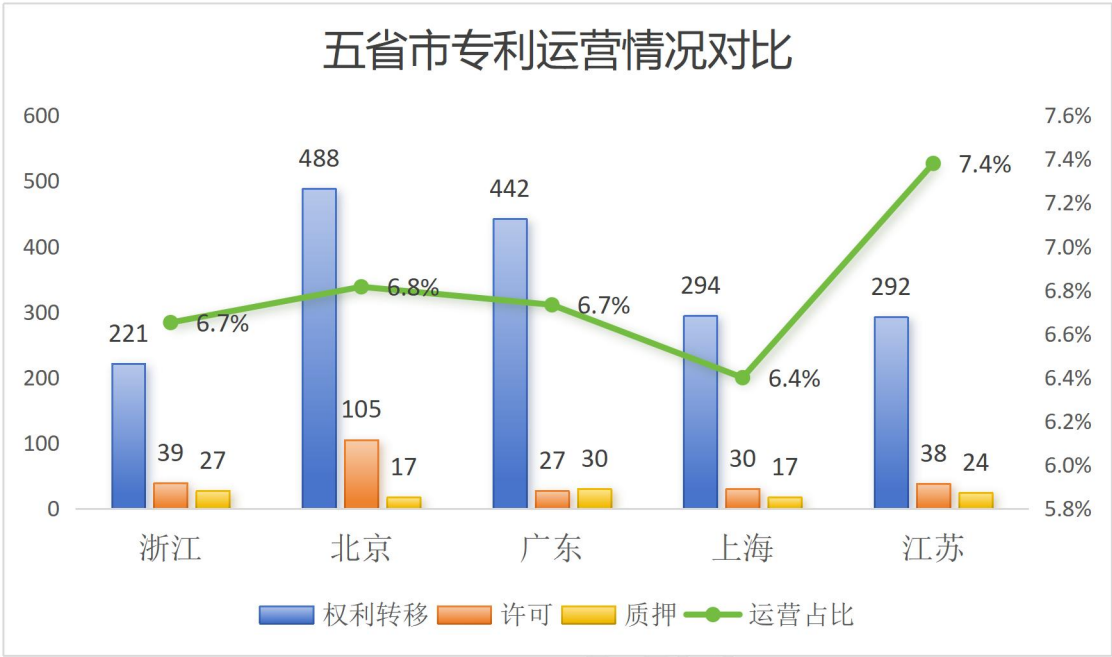


图 5.28 五省市专利运营情况对比

聚焦浙江专利运营创新主体情况（表 5.19），企业（158 件）和高校科研机构（107 件）是专利运营的主要主体。按专利运营类型来分，企业专利分别占权利转移专利的 56.6% 和质押专利的 85.2%，高校科研机构专利占权利转移专利的 34.4% 和许可专利的 69.2%，企业在权利转移和质押类运营中占主导，高校在许可类运营中占主导，在权利转移类运营中也扮演了重要角色。

表 5.19 浙江专利运营主体情况

主体类型	企业	高校科研机构	个人	其他	合计
运营类型					
权利转移	125	76	16	4	221

许可	10	27	2	0	39
质押	23	4	0	0	27
合计	158	107	18	4	287

将浙江参与专利运营数量超过 5 件的创新主体罗列在下表 5.20 中。其中浙江驰拓科技和中电海康集团将涉及忆阻器分支的 35 件专利进行权利转移，将权利人从中电海康集团变更为中电海康与驰拓科技共同所有，属于关联公司间的权利转移。杭州电子科技大学许可了 14 件专利至不同主体，涉及脑机接口编解码和脉冲神经网络的多个相关技术分支，并转移了 1 件专利的所有权。宁波时识的 10 件权利转移专利同样是关联公司间的权利转移，由深圳公司和成都公司转移至宁波公司，涉及类脑计算相关分支。瑞尔唯康的 6 件脑机接口相关专利由西安交大和北京理工转入，昕原半导体的 6 件忆阻器专利由美国科洛斯巴股份有限公司转入，上述两家公司的权利转移属于技术引进。中昊芯英的 6 件类脑计算专利也是从关联的深圳公司转入并对其中 3 件进行了质押融资。综合来看，排名靠前的创新主体开展的运营包括了关联公司间权利转移、高校科研机构对外许可和权利转移、外部技术引进、权利质押融资这四类。

表 5.20 浙江专利运营重点创新主体

创新主体	运营专利 总量（件）	权利转移 （件）	许可专利 （件）	质押专利 （件）	涉及技术分支
浙江驰拓科技有	35	35	0	0	忆阻器

限公司					
中电海康集团有限公司	35	35	0	0	忆阻器
杭州电子科技大学	15	1	14	0	信号解码、范式编码、应用领域、SNN 融合网络、类脑视觉感知、脉冲神经网络
宁波时识科技有限公司	10	10	0	0	SNN 融合网络、类脑计算芯片、脉冲神经网络、类脑视觉感知、
杭州瑞尔唯康科技有限公司	6	6	0	0	范式编码、信号解码、应用领域
昕原半导体(杭州)有限公司	6	6	0	0	忆阻器
中昊芯英(杭州)科技有限公司	6	6	0	3	类脑计算芯片

5.2.6 潜在方向趋势定位

为分析浙江与对标省市潜在方向上的趋势定位，抽取浙江、北京、广东、上海、江苏五省市在类脑智能二级分支下近五年的专利申请情况（图 5.29），北京和广东在较为热门的植入式采集传感、信号解码、脑机应用领域、脉冲神经网络、SNN 融合网络、忆阻器、类脑计算芯片这 7 个二级分支下都保持较高的新增申请量。浙江在信号解码、脑机应用领域、忆阻器和类脑触觉感知分支下新增申请较多，目前已超

过了上海和江苏。

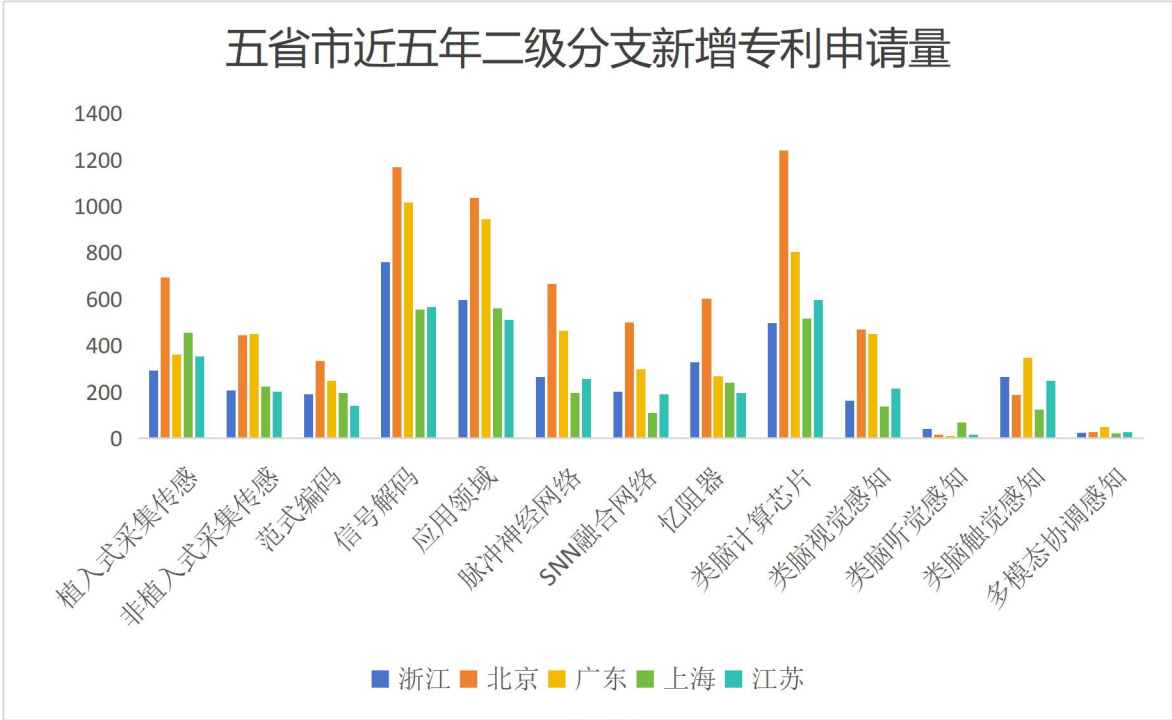


图 5.29 五省市近五年二级分支新增专利申请量

从近五年的复合增长率来看（表 5.21），浙江有 10 个二级分支近五年保持了年均 20%以上的增速，是五省市中增速最为明显的，其中植入式采集传感、SNN 融合网络、类脑计算芯片、多模态协调感知分支更是保持了 28%以上的增速，创新实力提升明显，体现了浙江近年来谋划布局类脑智能产业，积极引进先进企业和高端人才的显著成效。

表 5.21 五省市近五年二级分支申请复合增长率对比

省市 二级分支	浙江	北京	广东	上海	江苏
植入式采集传感	32.6%	24.0%	21.2%	22.6%	18.7%
非植入式采集传感	24.9%	18.3%	17.0%	21.2%	13.7%
范式编码	22.4%	20.0%	21.6%	26.3%	16.2%
信号解码	26.2%	22.5%	18.5%	24.0%	16.2%
应用领域	24.3%	20.3%	17.0%	25.9%	17.8%
脉冲神经网络	22.6%	22.0%	21.9%	13.5%	20.8%
SNN融合网络	48.7%	31.8%	33.9%	25.2%	42.0%
忆阻器	18.8%	14.9%	20.2%	4.1%	14.1%
类脑计算芯片	28.1%	19.7%	21.2%	16.2%	24.2%
类脑视觉感知	18.7%	23.2%	16.8%	18.8%	20.8%
类脑听觉感知	6.3%	6.0%	4.8%	7.8%	18.2%
类脑触觉感知	22.0%	15.0%	19.6%	16.3%	17.9%
多模态协调感知	38.9%	24.0%	19.8%	25.4%	16.3%

IPC 分类是国际通用的专利文献分类方法，世界各国各地区专利局均采用该方法对受理的专利文献进行分类。单篇专利文献可被赋予多个 IPC 分类号，每个分类号都可以代表某项技术的一个细分技术方向或者特征。通过分析专利文献的 IPC 分类号分布情况，可以一定程度上洞悉某项技术的发展趋势。

下表 5.22 是近五年类脑智能产业各二级分支下的重点 IPC 分类号及浙江在该分类号下的申请量和全球占比。其中近五年申请量超过 50 件，且申请占比超过 5% 的分类号包括了以下 13 个：A61B34/20（外科手术导航系统；外科器械的跟踪或导向装置）、A61B5/369（脑电图 [EEG]）、A61B5/372（脑电图的分析）、G06F18/213（模式识别的特征提取）、A61B5/374（检测脑电信号的频率分布）、G06F18/10（模式

识别预处理；数据清理）、G06F3/01（用于用户和计算机之间交互的输入装置或输入和输出组合装置）、G06N3/049（时间神经网络）、G06N3/08（神经网络学习方法）、H10N50/10（磁阻器件）、G11C11/16（应用磁自旋效应的存储元件）、G06F9/50（多道程序装置的资源分配）、G06N3/06（神经网络、神经元的硬件实现）。这 13 个分类号结合技术分支表征着浙江省创新主体的在类脑智能产业的重点技术创新方向包括以下内容：（1）植入式脑机接口的辅助外科手术导航技术和系统；（2）脑电信号非植入式采集；（3）脑电图分析；（4）脑电信号的数据预处理、特征提取和频率分析；（5）通过脑机接口实现人机交互；（6）脉冲神经网络及其学习方法；（7）利用自旋电子效应的忆阻器件和存储器；（8）类脑计算芯片的神经网络硬件实现和多程序资源分配。

表 5.22 近五年浙江省二级分支重点 IPC 分类号申请情况

二级分支	重点 IPC 小组分类号	近五年浙江申请量（项）	近五年浙江申请占比
植入式采集传感	A61N1/05 植入或插入躯体内用的电极元件	33	4.0%
	A61N1/36 通过接触电极施加刺激用交变电流	42	4.6%
	A61B34/20 外科手术导航系统；外科器械的跟踪或导向装置	57	5.6%
非植入式采集传感	A61B5/369 脑电图[EEG]	51	8.2%
	A61B5/1455 用光学传感	23	6.4%

	器测量体内血液特性		
	G06F3/01 用于用户和计算机之间交互的输入装置或输入和输出组合装置	13	5.7%
范式编码	A61B5/372 脑电图的分析	67	10.4%
	A61B5/378 使用视觉刺激诱导响应的脑电图	21	6.7%
	G06K9/00 识别模式的方法或装置	15	11.8%
信号解码	G06F18/213 模式识别的特征提取	167	10.8%
	A61B5/374 检测脑电信号的频率分布	119	11.7%
	G06F18/10 模式识别预处理；数据清理	123	11.5%
应用领域	G06F3/01 用于用户和计算机之间交互的输入装置或输入和输出组合装置	114	5.7%
	A61N1/36 通过接触电极施加刺激用交变电流	46	5.0%
	A61B5/0205 同时测定心血管状况和不同类型的身体状况的	16	5.0%
脉冲神经网络	G06N3/049 时间神经网络	90	10.4%
	G06N3/08 神经网络学习方法	63	7.5%
	G06N3/063 采用电实现的神经网络	46	8.2%

SNN 融合网络	G06N3/04 神经网络体系结构	39	7.6%
	G06N3/045 组合网络	15	6.8%
忆阻器	H01L45/00 无电位跃变势垒或表面势垒的，专门适用于整流、放大、振荡或切换的固态器件，专门适用于制造或处理这些器件或其部件的方法或设备	19	4.3%
	H10N50/10 磁阻器件	97	9.3%
	G11C11/16 应用磁自旋效应的存储元件	75	7.8%
类脑计算芯片	G06F9/38 并行执行指令的程序	9	2.0%
	G06F9/50 多道程序装置的资源分配	116	6.3%
	G06N3/06 神经网络、神经元的硬件实现	63	7.1%
类脑视觉感知	G06V10/82 使用神经网络进行图像或者视频的识别或者理解	42	7.3%
	G06V10/80 图像或视频特征融合，即在传感器级别、预处理级别、特征提取级别或分类级别融合来自各种来源的数据	20	6.2%
	G06V10/764 使用分类进行图像或者视频的识别或者理解	21	7.4%
类脑听觉感知	A61F2/18 耳内或鼻内的组	2	13.3%

	成部分的人工假体		
	A61N1/36 通过接触电极施加刺激用交变电流	26	8.3%
	A61N1/05 植入或插入躯体内用的电极元件	14	6.5%
类脑触觉感知	G01B7/16 采用电或磁计量固体的变形	39	9.9%
	G01L1/14 通过测量电元件的电容或电感量的变化计量力或者应力	41	11.7%
多模态协调感知	B25J9/16 机械手程序控制	14	10.8%
	B25J13/08 通过读出装置控制机械手	3	6.7%

5.2.7 科技项目立项情况

为分析省内类脑智能领域政府科技项目投入情况，统计了近五年（2021 年-2025 年）省内“尖兵领雁+X”项目在该领域的立项数据，如下表 4.23 所示。共计 35 项，其中尖兵计划项目 20 项、领雁计划项目 10 项，其他类型项目 5 项。

由于具体项目配套资金金额未公开，根据省科技厅今年项目申报通知，以尖兵计划项目配套资金 1000 万元、领雁计划项目和其他类型项目配套资金 300 万元来计算，浙江省政府已在类脑智能领域科技项目投入配套资金超过 2.45 亿元。

从项目承担单位来看，高校科研机构是主要项目承担者，占比 74.3%，企业承担占比 22.9%，浙江大学承担项目

数量最多，达到 11 项。

从涉及的技术领域来分析，脑机接口类项目 28 项，类脑计算类项目 5 项，类脑感知类项目 2 项。脑机接口类项目中，涉及植入式脑机接口的项目 8 项，涉及非植入式脑机接口的项目 13 项。脑机接口的细分研究方向中，神经调控（12 项）、状态检测（10 项）、外设控制（8 项）较为热门，主要应用为各类脑疾病的诊断治疗和康复外骨骼系统研发；此外，植入式电极阵列（3 项）和脑机信号解码（2 项）也是研究的重点。类脑计算的细分研究方向，主要包括类脑计算芯片（2 项）、类脑计算方法（2 项）、MRAM（1 项）。类脑感知主要涉及类脑听觉感知产品植入式人工耳蜗。

总体来看，近五年以来，浙江省在类脑智能领域的科研项目以脑机接口为主，项目承担主体是高校科研机构，总体投入政府配套资金估计为 2.45 亿元左右。

表 5.23 近五年浙江省“尖兵领雁+X”项目相关立项清单

序号	年度	项目编号	项目名称	项目承担单位	项目负责人	项目类型	涉及技术领域	承担单位类型
1	2022	2022C01048	基于存算一体器件的众核架构类脑芯片研发及应用	浙江大学	马德	尖兵计划项目	类脑计算芯片、多核并行计算	高校科研机构
2	2022	2022C03011	基于侵入式脑机接口的实时高精度汉语解码关键技术和系统	浙江大学	王跃明	尖兵计划项目	植入式脑机接口、信号解码	高校科研机构
3	2022	2022C03029	神经反馈引导的交互式外骨骼康复机器人产品研发及应用	杭州程天科技发展有限公司	王天	尖兵计划项目	非植入式脑机接口、外设控制、状态检测	企业
4	2022	2022C03034	面向脑机接口的外部信息输入与神经调控技术研究	浙大城市学院	龚薇	尖兵计划项目	脑机接口、神经调控	高校科研机构
5	2022	2022C03038	面向脑机接口的外部信息输入与神经调控技术研究	浙江大学	陈作兵	尖兵计划项目	脑机接口、神经调控	高校科研

								机构
6	2022	2022C01119	全植入脑机接口微系统关键技术与方法研究	杭州电子科技大学	洪慧	领雁计划项目	植入式脑机接口	高校科研机构
7	2022	2022C03064	阿尔茨海默病早期多模态融合预警系统及非侵入性神经调控新技术的研发	浙江大学	罗本燕	领雁计划项目	非植入式脑机接口、神经调控	高校科研机构
8	2022	2022C03136	智慧医疗设备和系统研发-基于可穿戴无创ta-VNS 的神经疾病诊断系统和智能调控技术研发	浙江环玛信息科技有限公司	刘俊飙	26 县高质量发展和重大社会公益等项目	非植入式脑机接口、神经调控、状态检测	企业
9	2022	2022C03148	基于多生理感知与神经理疗的智能上肢康复外骨骼系统研发	浙江工业大学	唐智川	26 县高质量发展和重大社会公益等项目	非植入式脑机接口、外设控制、状态检测	高校科研机构
10	2023	2023C03001	基于类脑计算的侵入式手部精细运动脑机接口研究	浙江大学	祁玉	尖兵计划项目	植入式脑机接口	高校科研机构
11	2023	2023C03002	面向儿童多动症/自闭症的脑机数字调控关键技术研究	杭州师范大学	胡治国	尖兵计划项目	非植入式脑机接口、神经调控	高校科研机构

12	2023	2023C03003	面向儿童多动症/自闭症的脑机数字调控关键技术研究	浙江大学	李海峰	尖兵计划项目	非植入式脑机接口、神经调控	高校科研机构
13	2023	2023C03026	基于多模态混合的双向闭环个性化脑机康复及评估技术研究	杭州电子科技大学	孔万增	领雁计划项目	脑机接口	高校科研机构
14	2023	2023C03094	磁共振兼容有源植入器械的研制和评价体系建设	浙江诺尔康神经电子科技股份有限公司	黄穗	领雁计划项目	类脑感知	企业
15	2023	2023C03159	基于多模态生理参数感知的神经肌肉电刺激关键技术研究、系统设备开发与临床试验	浙江工业大学	都明宇	重大社会公益计划项目	植入式脑机接口、神经调控、状态检测	高校科研机构
16	2023	2023C03160	智能化神经康复系统关键技术研究与应用	中国科学院宁波材料技术与工程研究所	柴国鸿	重大社会公益计划项目	非植入脑机接口、外设控制、状态检测	高校科研机构
17	2024	2024C01003	28nm 高可靠嵌入式磁随机存储芯片（eMRAM）研究	浙江驰拓科技有限公司	何世坤	尖兵计划项目	类脑计算、自旋电子型忆阻器、MRAM	企业
18	2024	2024C03001	新型高生物兼容微电极阵列与脑机微系统研发	南湖脑机交叉研究院	郝耀耀	尖兵计划项目	植入式脑机接口、电极阵列	高校科研

								机构
19	2024	2024C03002	新型高生物兼容微电极阵列与脑机微系统研发	西湖大学	杨杰	尖兵计划项目	植入式脑机接口、电极阵列	高校科研机构
20	2024	2024C01142	面向无人驾驶的感知决策一体化模型及类脑计算方法研究	杭州涿溪脑与智能研究所	郭雨晨	领雁计划项目	类脑计算	高校科研机构
21	2024	2024C01143	面向无人驾驶的感知决策一体化模型及类脑计算方法研究	浙江零跑科技股份有限公司	周洪涛	领雁计划项目	类脑计算	企业
22	2024	2024C03039	基于脑机接口的感知觉、运动增强与康复系统研究-脑机融合的多模式上肢运动功能重建与感知觉增强技术研究及应用	浙江大学	朱君明	领雁计划项目	非植入式脑机接口、外设控制、状态检测	高校科研机构
23	2024	2024C03040	基于脑机接口的感知觉、运动增强与康复系统研究-基于脑机接口的感知觉、运动增强与康复系统研发及应用研究	杭州医学院	叶祥明	领雁计划项目	非植入式脑机接口、外设控制、状态检测	高校科研机构
24	2024	2024C03041	基于脑机接口的感知觉、运动增强与康复系统研究-融合脑-肌-机和力触觉反馈的运动增强与康复系统研究	东阳市人民医院	吕忠	领雁计划项目	非植入式脑机接口、外设控制、状态检测	医院
25	2024	2024C03042	基于脑机接口的感知觉、运动增强与康复系统研	浙江大学温州	孙煜	领雁计划项目	非植入式脑机接	高校

			究	研究院			口、外设控制、状态检测	科研机构
26	2025	/	面向移动终端应用的多核异构芯片与系统	浙江驰拓科技有限公司	尹勋钊	尖兵计划项目	类脑计算芯片	企业
27	2025	/	基于高灵敏度声学传感器的全植入式人工听觉假体研发	浙江诺尔康神经电子科技股份有限公司	孙晓安	尖兵计划项目	类脑感知、人工耳蜗	企业
28	2025	/	面向抑郁症治疗的自适应脑机接口神经调控方法与全植入微系统研究	浙江大学	杨雨潇	尖兵计划项目	植入式脑机接口、神经调控	高校科研机构
29	2025	/	面向中枢神经系统的高通量可定制植入微电极阵列研发	浙江大学	宋吉舟	尖兵计划项目	植入式脑机接口、电极阵列	高校科研机构
30	2025	/	睡眠障碍神经调控关键技术及临床应用	浙江大学	陈炜	尖兵计划项目	脑机接口、神经调控	高校科研机构
31	2025	/	睡眠障碍神经调控关键技术及临床应用	浙江大学	彭国平	尖兵计划项目	脑机接口、神经调控	高校科研机构

32	2025	/	重大脑疾病靶向精准无创脑机接口调控技术及系统开发	西湖大学光电研究院	王敏敏	尖兵计划项目	非植入式脑机接口、神经调控	高校科研机构
33	2025	/	基于“感算调”一体化的闭环神经调控芯片研发	南湖脑机交叉研究院	徐建	尖兵计划项目	脑机接口、神经调控	高校科研机构
34	2025	/	基于多模态神经信息融合传感技术的智能上肢假肢系统研发	浙江强脑科技有限公司	阿迪斯	尖兵计划项目	非植入式脑机接口、外设控制、状态检测	企业
35	2025	/	国际科技合作载体联合研发项目-面向语言功能障碍人群的言语想象脑机接口解码关键技术与康复训练系统	杭州电子科技大学	朱莉	科技合作项目	非植入式脑机接口、信号解码	高校科研机构

5.3 本章小节

本章聚焦浙江省类脑智能产业专利情况，从布局方面确定浙江省在类脑智能产业中的发展定位，分析了浙江省在产业结构、企业培育、人才储备、协同创新、专利运营等方面的优势和问题。浙江省在类脑智能产业专利申请量在全国各省市排名第五，仅落后于北京、广东、上海和江苏，在脑机接口编解码和应用、SNN 融合网络、类脑视觉听觉触觉感知领域具有一定优势。省内各地市中，杭州市占据绝对的领导地位，申请占比超过 76%。自 2013 年以来，省内专利申请量逐年攀升，发明占比超过 90%。创新主体中，高校科研机构占比超过企业，申请量第一的主体为浙江大学。专利质量方面，浙江省专利授权率和海外同族专利占比偏低，发明专利占比和授权后维持率较高。

综合分析浙江省在类脑智能产业的产业结构、企业实力、人才实力、协同创新、专利运营和潜在方向趋势后，结合 SWOT 分析法，归纳出浙江省在该产业的优势、劣势、机遇和挑战。

产业优势：（1）高校科研机构在技术创新过程中持续发力。超过 50% 的省内专利来自高校科研机构，“尖兵领雁+X”项目承担比例超过 70%，浙江大学、杭州电子科技大学申请量占据省内前二。（2）省级和市级产业政策推动作用明显。近五年，在类脑智能领域科技项目投入配套资金超过

2.45 亿元，新增创新主体占比超过 50%，植入式采集传感、SNN 融合网络、类脑计算芯片等 10 个细分领域专利申请量保持了年均 20%以上的复合增长率，增速超过北京、广东、上海和江苏。（3）脑机接口相关产业链布局加速，类脑感知研究走在前列。脑机接口领域专利申请占比超过 50%，脑机接口信号解码、类脑听觉感知和类脑触觉感知分支申请量进入全国前三，涌现出强脑科技、诺为医疗、回车电子、诺尔康等一批代表性企业，相关技术应用于植入式医疗器械和消费电子产品。（4）人才资源富集，协同创新意识强。浙江省在类脑智能产业的人才数量全国第四，第一发明人人均申请量达 1.7 件，协同创新专利占比超过 10%，仅次于北京。（5）专利运营占比略高于全国平均水平，高校科研机构专利许可和企业专利质押融资较为积极。

产业劣势：（1）企业创新能级低。检索到相关企业 596 家，落后于北京、广东、上海和江苏。企业专利申请量占比 43.8%，低于全国（50.5%）和全球（65.6%）水平。龙头企业海外专利布局数量不足。“尖兵领雁+X”项目承担比例仅占 22.9%。（2）类脑计算相对薄弱。相比于美日韩和全国平均水平，忆阻器和类脑计算芯片分支专利申请占比偏低。在类脑智能领域“尖兵领雁+X”项目中占比仅 1/7。类脑计算相关企业数量低于北京、广东、上海等对标省市。虽然培育引进了驰拓科技、时识科技、灵汐科技等优质企业，但因起

步较晚且该领域内国际半导体巨头竞争激烈，存在一定劣势。（3）专利运营能力弱，技术转化滞后。专利运营占比（6.7%）远低于全球的水平（14.2%）。总体参与运营的专利数量不多，低于北京、广东等对标省市。企业与高校科研院所合作申请专利占比18%，低于北京、广东、上海和江苏。

产业机遇：自2016年以来，类脑智能产业成为全球新热点。脑机接口相关融资额逐年攀升，截至2025年2月，全球BCI领域投融资事件超过1500起。类脑计算作为有可能替代传统计算机架构的路线之一，研究热度不断上升，相关产品引起高度关注。类脑感知在医疗器械、工业自动化等领域研究不断扩展。国务院发布的《“十三五”国家科技创新规划》，将脑科学与类脑研究列入科技创新2030—重大项目，提出以脑认知原理为主体，以类脑计算与脑机智能、脑重大疾病诊治为两翼搭建关键技术平台，抢占脑科学前沿研究制高点以来。浙江省积极响应中央号召，先后在《关于培育发展未来产业的指导意见》《关于下达2025年浙江省国民经济和社会发展规划的通知》等政策规划中将类脑智能列为重点培育的未来产业之一。从远期来看，脑机接口有望在大脑研究、脑病治疗、电子产品人机交互等领域带来巨大变革；类脑计算有望在后摩尔定律时代推进新型高速低功耗计算机系统的诞生，解决未来人工智能等先进技术面临的能源瓶颈；类脑感知将推动人形机器人核心零部件、智能假体等

技术的发展。无论上述哪一项技术产业化取得突破，都将带来巨大的经济效益和社会效益。

产业挑战：（1）如何实现产业机构合理布局。类脑智能产业方兴未艾，国内国际竞争逐渐加剧，通过合理的产业结构优化，加强脑机接口产业长板，补齐类脑计算产业短板，是第一个挑战。（2）如何加速企业和人才的引进培育。企业是产业发展的主体，人才是产业发展的基石，实现高效内部培育和外部引进是产业发展的第二个挑战。（3）如何选择技术创新的路线和方向。产业发展过程中洞悉产业大趋势，选择合理的投入方向和技术路线，是关系到产业兴衰的第三个挑战。（4）如何将技术优势转化为产业优势。浙江高校科研机构技术积累雄厚，以浙大为例，其在13个二级技术分支中的8个申请量排名第一。采用多种方式实现技术产业化，将高校的科研投资有效转化为省内企业的生产力和竞争力是第四个挑战。

第六章 浙江省产业发展路径导航

6.1 产业结构优化路径建议

根据前面章节对于浙江省类脑智能产业定位的分析，可知浙江省在类脑智能产业布局相对全面，在脑机接口、类脑计算、类脑感知领域涌现出了一批具有活力的创新主体，专利技术积累进入全国前五。从省内各地市分布来看，杭州是浙江类脑智能产业的主要聚集地。

为进一步优化产业结构，从产业重点、技术热点、技术优势、企业主体、技术转移转化、进入门槛等 6 个维度来考量对于各二级分支的优化路径，具体建议如下表所示。

脑机接口总体来看是浙江在类脑智能产业的优势领域，其本身的产业化进程是三个领域中进展最快的。产业链上游是植入式和非植入式采集传感。其中植入式是当前的产业重点和技术热点，涉及植入式的神经调控医疗系统，国内外医疗器械企业都在该分支加大投入和布局，非植入式采集传感涉及助眠、康复外骨骼等产品的脑电信号采集，浙江在该环节相对劣势，主要创新主体包括了浙江大学、浙江诺尔康、杭州诺为医疗、强脑科技等。建议加大相关技术研发和积累，加强企业主体培育，尽快弥补薄弱环节。

产业链中游是范式编码和信号解码。其中信号解码是当前的产业重点和技术热点，涉及脑电信号的预处理和解码，而范式编码涉及三类脑电编码，属于植入式和非植入式的脑

机接口的信号处理中间环节，浙江在该环节相对优势，主要创新主体包括杭州电子科技大学、浙江大学、浙江工业大学、之江实验室等。建议巩固当前技术优势，加快高校科研机构技术向产业转移。

产业链下游是脑机接口的应用，属于产业发展的重点环节，涉及了外设交互控制、健康等状态检测和各类脑疾病的神经调控，浙江在该环节相对优势，主要创新主体包括电子科技大学、浙江大学、强脑科技和之江实验室等。建议巩固当前技术优势，加强企业主体培育，支持重点企业发展，着重提升产品竞争力。

类脑计算是浙江在类脑智能产业需提升的薄弱领域，其本身产业化刚刚起步，尚处于摸索阶段。脉冲神经网络和 SNN 融合网络是其底层的基础算法模型，当前是研究的技术热点，浙江在脉冲神经网络环节相对劣势，在 SNN 融合网络略显优势，主要的创新主体包括浙江大学、之江实验室、杭州电子科技大学、宁波时识科技等。建议在脉冲神经网络方向，进一步提升技术研发和积累，在 SNN 融合网络方向巩固当前技术优势，同时加快高校科研机构相关技术逐步向产业转移。

忆阻器和类脑计算芯片是类脑计算的核心零部件，是其产业的重点环节，由于其在未来低功耗计算机中扮演的关键角色，全球的半导体制造行业龙头都向该领域投入了大量资

源，当前技术竞争十分激烈，专利布局稠密，进入门槛很高，浙江在这两个环节起步都较晚，目前处于相对劣势，主要创新主体包括了浙江驰拓科技、中电海康集团、浙江大学、杭州电子科技大学等。建议进一步提升技术研发和积累，支持省内的重点企业发展，尽快弥补薄弱环节。

类脑感知是类脑智能的新兴领域，其中类脑视觉感知和类脑听觉感知产业化程度稍高，已出现了如动态视觉传感器、人工耳蜗之类的产品，属于产业的重点环节，而类脑触觉感知和多模态协调感知则处于相对早期的技术研究阶段。浙江在类脑视觉感知领域具有相对优势，主要创新主体包括浙江大学、杭州电子科技大学、海康威视和之江实验室等。建议巩固该领域的当前技术优势，加强企业主体培育。类脑听觉感知领域主要涉及人工耳蜗的研发，进入门槛较高，浙江主要企业为诺尔康，进一步提升技术研发和积累，支持重点企业发展。类脑触觉感知和多模态协调感知当前专利布局总量尚小，近期热度较高，浙江创新主体主要包括浙江大学、中科院宁波材料所等高校科研机构，企业主体较少，建议进一步提升技术研发和积累，弥补弱势环节。

表 6.1 浙江省类脑智能产业优化方向

一级	二级	三级	产业结构优化
脑机接口	植入式采集传感	植入辅助	产业重点和技术热点，建议进一步提升技术研发和积累，加强企业主体培育，弥补薄弱环节
		植入式电极	

	非植入式采集传感	非植入电极	建议进一步提升技术研发和积累，加强企业主体培育
		光学传感	
	范式编码	P300	建议巩固当前技术优势，加快高校科研机构技术向产业转移
		SSVEP	
		运动想象	
	信号解码	预处理	产业重点和技术热点，建议巩固当前技术优势，加快高校科研机构技术向产业转移
		解码	
	应用领域	对外交互	产业重点，建议巩固当前技术优势，加强企业主体培育，支持重点企业发展，提升产品竞争力
		状态检测	
		神经调控	
类脑计算	脉冲神经网络	SNN 模型	技术热点，建议进一步提升技术研发和积累，弥补薄弱环节，加快高校科研机构技术向产业转移
		SNN 编码	
		SNN 训练	
	SNN 融合网络	模型融合	技术热点，建议巩固当前技术优势，加快高校科研机构技术向产业转移
	忆阻器	离子迁移型	产业重点，进入门槛较高，建议进一步提升技术研发和积累，支持重点企业发展，弥补薄弱环节
		相变型	
		自旋电子型	
	类脑计算芯片	神经拟态结构	产业重点，进入门槛较高，建议进一步提升技术研发和积累，支持重点企业发展，弥补薄弱环节
		事件驱动的异步通信	
		多核并行计算	
类脑感知	类脑视觉感知	传感器	产业重点和技术热点，建议巩固当前技术优势，加强企业主体培育
		处理单元	

	类脑听觉感知	人工耳蜗	产业重点，进入门槛较高，建议进一步提升技术研发和积累，支持重点企业发展
	类脑触觉感知	人工皮肤柔性传感器	技术热点，建议进一步提升技术研发和积累
	多模态协调感知	视触融合的机械手臂	技术热点，建议进一步提升技术研发和积累， 弥补薄弱环节

6.2 企业引进培育路径建议

面对当前浙江参与技术创新的企业数量不足，企业专利申请量占比和政府科研项目承担占比偏低的现状，建议从本地企业培育、外部企业引进两个方向发力，壮大企业集群。

6.2.1 本地企业培育

针对本地企业培育，建议如下：一是充分利用浙江大学、杭州电子科技大学等本地高校科研机构在技术创新积累方面的优势，鼓励企业和投资机构加入高校科研机构技术转移转化，通过融资支持、市场推广等方式加速项目落地转化，孵化一批类脑智能领域的新兴企业，承担高校科研机构技术市场化的任务。二是鼓励省内大企业集团，通过业务剥离、公司拆分、投资并购等方式，投资类脑智能产业，为新生企业和技术提供应用场景和产品市场，助力产业发展。三是针对已培育的企业开展分级分类评估体系，开展个性化服务，通过税收优惠、金融保险、知识产权等方式，增强企业创新

能力。

根据前面章节的分析，梳理了浙江省类脑智能产业领域的重点企业，如下表所示。

浙江省知识产权保护中心

表 6.2 浙江省类脑智能产业重点培育企业清单

序号	企业名称	核心业务/产品	相关专利申请 数量/项	全部专利申请 数量/项	企业资质	领域
1	浙江驰拓科技有限公司	新型存储芯片、MRAM 设计、制造全套关键技术	260	430	高新技术企业	类脑计算
2	浙江诺尔康神经电子科技股份有限公司	听觉重建类产品、视觉重建类产品和泌尿系统调控、脑部系统调控四个产品线；人工耳蜗、植入式电极、人工视网膜、植入式神经刺激系统、脑部神经刺激系统	153	303	高新技术企业、专精特新中小企业、国家重点实验室、创新型中小企业	类脑感知
3	浙江强脑科技有限公司	脑机接口技术、智能仿生手、智能仿生腿、智能仿生灵巧手、智能安睡仪、Brain AI、神经调控头戴设备	63	364	浙江省级专精特新中小企业、国家级专精特新“小巨人”企业（2024 年）	脑机接口
4	杭州诺为医疗技术有限公司	脉冲神经网络、治疗癫痫/脉冲发生器、电刺激系统、神经刺激系统	40	111	小微企业	脑机接口
5	宁波时识科	动态视觉智能 SoC、低维信号通用类脑处理	17	17	小微企业	类脑计算

	技有限公司	器				
6	杭州回车电子科技有限公司	FLOWTIME 智能冥想头环 、 LOOKTECH AI 智能眼镜 和 脑机接口 VR 一体机	31	65	国家高新技术企业、雏鹰企业、浙江省最具成长性科技型百强企业	脑机接口
7	浙江柔灵科技有限公司	非侵入式脑机接口技术、柔性电极 EEG 技术、基于 Metaverse 的神经 3D 交互系统	22	172	高新技术企业	脑机接口
8	浙江迈联医疗科技有限公司	人机融合智能脑机接口/脑电采集和信号处理系统、L-B300 脑电采集康复训练设备	22	45	小微企业	脑机接口
9	杭州妞诺科技有限公司	脑疾病筛查和诊断的脑电 AI 大数据平台、脑电一张网系统阿尔茨海默病早筛 AI 算法服务、智能化脑电硬件产品	15	22	小微企业、高新技术企业、科技型中小企业	脑机接口
10	杭州佳量医疗科技有限公司	植入式闭环自响应神经刺激系统、磁共振引导激光消融微创手术系统	14	89	小微企业、科技型中小企业、专精特新中小企业、雏鹰企业、浙江省最具投资价值创新企业、准独角兽企业	脑机接口

11	杭州程天科技发展有限公司	下肢外骨骼康复步行器、帮扶机器人、关节模组	1	351	小微企业、科技型中小企业、专精特新中小企业、雏鹰企业	脑机接口
12	杭州暖芯迦电子科技有限公司	脑机接口芯片、模组及视觉脑机接口终端产品	1	71	小微企业、高新技术企业、科技型中小企业、专精特新“小巨人”	脑机接口
13	博灵脑机（杭州）科技有限公司	上肢外骨骼系统、上肢运动辅助与增强系统、神经信号采集装置	1	17	小微企业、科技型中小企业	脑机接口
14	杭州曼安智能科技有限公司	高性能脑机接口系统、脑功能测评系统、脑功能提升训练系统、孤独症/多动症/抑郁症数字干预系统	1	7	小微企业、高新技术企业、科技型中小企业	脑机接口
15	杭州灵汐类脑科技有限公司	类脑芯片处理器、类脑计算模组、类脑计算加速卡、类脑计算服务器、类脑计算边缘产品	名下无专利，股东“北京灵汐科技有限公司”有273项	名下无专利，股东“北京灵汐科技有限公司”有495项	小微企业	类脑计算

浙江驰拓科技有限公司主要产品主要为新型存储芯片、MRAM 设计、制造全套关键技术，是类脑智能产业链上游的核心环节。其核心技术为 MRAM 设计、制造全套关键技术，独立式存储芯片和嵌入式 IP 等系列，其中 MRAM 技术同时具备 DRAM 的速度和 Flash 的非易失性，正是类脑芯片需要的核心硬件。

浙江诺尔康神经电子科技股份有限公司作为全球第四家具备人工耳蜗制造能力的企业，其研发的听觉重建类产品、视觉重建类产品和泌尿系统调控、脑部系统调控四个产品线，成功打破了西方国家在人工耳蜗技术领域的垄断。其中机器听觉系统结合了机器学习技术，能够在复杂声音环境中精准捕捉目标信号，解决了用户在复杂听声环境下言语识别率下降的问题。

浙江强脑科技有限公司的核心技术有非侵入式脑机接口技术，可以通过高精度传感器与算法从皮肤表面采集微弱肌肉与神经信号另外还有动态脑电特征提取算法、自适应脑电调节矩阵、多模态数据融合技术、智能仿生手等核心技术，并在其主要产品诸如智能仿生手、智能仿生腿、智能仿生灵巧手、智能安睡仪、Brain AI、神经调控头戴设备这些产品上应用转化，促进学术界与产业界的深度融合与协同发展。

杭州诺为医疗技术有限公司聚焦于神经调控与脑功能干预技术的研发与落地，其核心产品和技术紧密围绕类脑智

能在医疗场景的应用，尤其在闭环神经调控与神经疾病数字疗法领域形成独特优势，也在临床得到了应用。

宁波时识科技有限公司创立于 2017 年，是类脑智能与应用解决方案提供商，专注类脑智能的研究与开发，以苏黎世大学和苏黎世联邦理工学院 20+年全球领先的研发经验和 技术积累为基石，聚焦边缘计算应用场景，提供超低功耗、超低延时的全栈式解决方案与服务，是全球首个同时拥有类脑智能领域感知与计算技术，并掌握该领域大量核心底层专利的类脑智能公司。目前已实现了类脑芯片商业化应用零的突破，为人工智能向认知智能发展，万物互联向万物智联发展迈出了关键一步。

杭州回车电子科技有限公司以脑电、心率等生理信号与 VR/AR 技术融合为核心，开发了应用于失眠干预、认知障碍康复等领域的系列产品，包括 FLOWTIME 智能冥想头环、LOOKTECH AI 智能眼镜和脑机接口 VR 一体机，其核心技术主要是非植入式脑电采集技术、脑机接口技术。

浙江柔灵科技有限公司专注于非侵入式脑机接口技术的研发与应用，公司核心团队由麻省理工学院、卡内基梅隆大学等顶尖高校的跨学科专家组成。其核心技术围绕“柔性电极-生物传感-神经交互”三位一体展开，在类脑智能产业链中核心定位为上游材料与传感器供应商，同时向中下游延伸提供解决方案。

浙江迈联医疗科技有限公司的核心产品与技术聚焦于“主动康复训练-神经功能重塑-闭环脑机交互”三位一体的数字疗法解决方案，主要产品有脑机融合康复机器人系列、脑电采集和信号处理系统、L-B300 脑电采集康复训练设备，核心技术包括人机融合智能脑机接口技术、意图解码算法等。

杭州妞诺科技有限公司专注于脑功能数据分析、脑机接口等技术领域，在类脑智能产业链中处于将脑科学研究成果与实际应用相结合的关键位置。其核心产品包括，脑疾病筛查和诊断的脑电 AI 大数据平台、脑电一张网系统阿尔茨海默病早筛 AI 算法服务、智能化脑电硬件产品。其合作各级医疗机构超 200 家，累计服务 1000 万+患者。

杭州佳量医疗科技有限公司构建了先进的脑机调控、医用激光以及脑机芯片三大技术平台，并自主研发了国内首款植入式闭环自响应神经刺激系统 Epicure，主要用于治疗难治性癫痫、帕金森病等。其核心产品包括用于脑部微创手术的磁共振引导激光消融系统，用于治疗癫痫、帕金森病的植入式闭环自响应神经刺激系统，以及颅内深部电极等。目前已与多家大学 and 医院展开产学研医合作，不断完善平台型创新技术体系。

杭州程天科技发展有限公司专注于医疗康复与康养领域的技术研发与应用，以及核心算法与核心元器件在内的外

骨骼机器人技术的研发与应用，并在外骨骼机器人技术、智能医疗器械、特种机器人技术与智能系统的开发领域提供了多种解决方案。

杭州暖芯迦电子科技有限公司的主要技术优势在于各类芯片及模组的小体积、低功耗、灵活可编程及长期体内工作安全性；MEMS 加工工艺的生物相容性、高可靠性、高寿命。其核心技术包括闭环神经调控、生物小信号/大数据的检测与分析、各类 MEMS 微加工工艺。

博灵脑机（杭州）科技有限公司开发的上肢运动功能辅助与增强系统，能够精准提取、识别患者的真实运动意图，实现患侧肢体在系统设备帮助下的“想动即动”而无需进行运动想象，是一种全新的主动康复训练模式，属于国内首创。其核心技术产品包括上肢外骨骼康复系统 AM5（医用版）、上肢运动功能辅助与增强系统 AC5（家用版）、手部柔性外骨骼康复系统 HC2（家用版）、神经信号采集分析模块（对外合作），实现了脑卒中等神经损伤造成的上肢运动障碍人群的上肢运动功能辅助与增强。

杭州曼安智能科技有限公司的核心产品包括高性能脑机接口系统、新一代脑功能测评系统、新一代脑功能提升训练系统、孤独症/多动症/抑郁症数字干预系统。

杭州灵汐类脑科技有限公司是北京灵汐科技有限公司旗下全资子公司，北京公司 2018 年成立，团队来自清华类

脑芯片团队，研发的天机类脑芯片、类脑感知芯片相关论文两次荣登 Nature 封面。目前杭州研发团队主要开展软件开发，主要产品为类脑计算芯片，以及配套的计算模组、加速卡、服务器和软件开发平台。其类脑计算芯片单颗集成 25 万神经元，采用同时支持深度神经网络和脉冲神经网络的异构融合架构，相比与 GPU、CPU 等传统冯诺依曼架构芯片具有同性能下更低的能耗。

上述 15 家企业中，全部为中小型企业，其中小微企业有 10 家，专精特新企业有 5 家。从领域来看，脑机接口领域 11 家，类脑计算 3 家，类脑感知 1 家。专利申请总量在 50 项以下的企业 6 家，申请量多于 50 件少于 100 项的企业 3 家，申请量超过 100 项的企业 6 家。针对专利技术积累不足的企业，鼓励其参加高价值专利培育项目，通过快速预审、优先审查等方式，加强核心知识产权布局。

鉴于上述企业发展现状，从整体来看，浙江省类脑智能产业已具备一定的基础，形成了“科研－产业－应用”初步闭环，在脑机接口领域具备一定优势。建议开展分梯次开展企业培育。优先重点培育具备一定规模，技术创新能力较强的企业，如浙江驰拓、浙江诺尔康、强脑科技、杭州程天科技发展有限公司，培育其成为本地产业链的龙头企业，引领产业发展。植入式脑机接口方面，重点培育杭州诺为医疗、浙江迈联医疗、杭州妞诺科技、杭州佳量医疗等，鼓励其加

强在人工智能辅助诊断、远程医疗服务等方面的技术创新，强化其在智能医疗器械、个性化健康管理解决方案等领域的产品创新和市场竞争力，帮助这些企业提升标杆产品质量。类脑芯片方面，重点培育宁波时代全芯科技、杭州暖芯迦电子、杭州灵汐类脑科技，鼓励其在类脑芯片处理器、脑机接口芯片、生物传感技术等领域的技术创新，提升产品性能与可靠性，加快高性能存储解决方案、类脑计算模组、类脑计算加速卡、智能健康监测设备的市场应用。非植入式脑机消费产品方面，鼓励杭州回车电子、浙江柔灵科技、杭州曼安智能科技等企业提升产品的智能化水平和用户体验，寻找更丰富应用场景。脑机康复设备方面，鼓励博灵脑机、杭州程天科技等企业在产业链中下游领域的技术创新，保持其技术优势；扩展外骨骼机器人的使用场景，加速拓展海外市场。

6.2.2 外部企业引进

外部企业引进方面，建议：一是补足产业短板，在类脑计算技术研发方面与北京、上海等地存在差距，整体产业布局较晚，可以考虑引进国内外该领域具有领先创新实力的企业。二是继续加强产业长板，紧盯植入式脑机相关医疗器械，引进相关优势企业或者加强本地企业与外部优势企业的合作，实现强强联合，拓展产品类型，打造完整解决方案，落地场景应用，强化省内产业先发优势。

通过专利分析，筛选出国内类脑智能产业领域技术优势

企业作为引进或者合作的对象，为浙江省招商引资或技术合作提供参考决策。

浙江省知识产权保护中心

表 6.3 浙江省类脑智能产业企业引进/合作清单

序号	企业名称	核心业务/产品	类脑智能产业专利申请数量/项	专利申请总量/项	企业资质	领域
1	台湾积体电路制造股份有限公司	2 纳米制程、CoWoS 封装技术	1125	43204	《2024 胡润中国 500 强》位列第 1 位、	类脑计算
2	旺宏电子股份有限公司	存储芯片、非易失性存储器	370	7648	高新技术企业	类脑计算
3	上海磁宇信息科技有限公司	磁性随机存储器（MRAM）	273	352	小微企业	类脑计算
4	景昱医疗科技（苏州）股份有限公司	脑深部电刺激系统（DBS）	257	513	国家级专精特新“小巨人”企业和工信部重点“小巨人”企业	脑机接口
5	华邦电子股份有限公司	DRAM 技术、编码型闪存、HYPERRAM、WLCSP、Flash 矩阵	272	5564	台湾证券交易所上市，股票代码华邦电 2344	类脑计算

6	长江先进存储产业创新中心有限责任公司	相变存储器（PCM）、三维存储架构优化、编程电流降低等关键技术	178	237	国有企业、小微企业	类脑计算
7	上海寒武纪信息科技有限公司	云端智能芯片、边缘智能端芯片	177	751	胡润中国人工智能企业50强（2024）	类脑计算
8	武汉联影智融医疗科技有限公司	uInterv C550 经皮介入机器人和数字减影血管造影系统（DSA）、医疗机器人、医疗可穿戴设备、智能手术室软硬件产品、医疗耗材及 3D 打印植入体等智能医疗产品	113	1486	高新技术企业	脑机接口
9	上海力声特医学科技有限公司	人工耳蜗 REZ-I、相关医疗器械、言语编码策略	121	230	高新技术企业、专精特新中小企业	类脑感知
10	北京脑陆科技有限公司	脑科学、脑健康筛查、脑电算法、脑电数据开放平台、类脑决策计算	106	156	中关村金种子企业、2020 年度十大创新力公司	脑机接口
11	武汉衷华脑机融合科技发展有限公司	底层 MEMS 工艺制备、CMOS 芯片设计、MEMS 工艺制造、CMOS 集成电路设计	88	160	科技型中小企业	类脑计算

12	北京品驰医疗设备股份有限公司	脑起搏器、迷走神经刺激器、脊髓刺激器、骶神经刺激器	85	543	专精特新中小企业、高新技术企业(2023)、专精特新“小巨人”	脑机接口

浙江省知识产权保护中心

台积电、旺宏电子等作为全球半导体产业的头部企业，在先进制程、芯片制造等领域具备较强的技术优势，同时布局了忆阻器相关的大量专利。上海磁宇、华邦电子、长江先进存储、上海寒武纪等企业，在存储器制造、AI 芯片等领域有深厚技术积累，也在类脑计算产业链的多个环节中做了充足的专利布局。景昱医疗、武汉联影智融医疗、北京品驰医疗在植入式医疗器械、侵入式脑机接口技术方面通过临床试验取得了显著成效，并进行了前瞻性专利布局。北京脑陆科技、武汉衷华脑机在脑科学、脑电算法、植入式电极、脑机接口芯片等方向进行了技术创新并积累了一定的专利。上海力声特医学科技有限公司是国内少数几家人工耳蜗研发企业之一。

引进上述企业，或者促进本地企业与其加强合作，有利于浙江在类脑计算、植入式脑机接口和类脑听觉感知方向上增强产业和技术实力，为产业壮大奠定基础。

6.3 人才培养引进路径建议

区域发展离不开人才支撑，创新人才资源是区域产业发展的关键，本节从本地人才培养、外部人才引进两个角度为浙江省类脑智能产业创新人才培养提供政策建议。浙江省创新人才专利产出相较于全国其他省市，处于中游水平。浙江省要加强在类脑智能领域的人才培育力度，特别是在类脑计

算、类脑感知等产业链弱势环节，提供智力资源支撑。因此，浙江省可以根据自身类脑智能产业发展实际，加大内部培养人才的力度，同时积极从国内外引进高端人才，提高浙江省创新人才实力，更好地实现产业发展。

6.3.1 本地人才培养路径

浙江省在类脑智能产业的关键环节已经拥有了一批具有较强创新能力的技术人才，基于专利数据的分析，识别出本地主要创新人才的分布情况，浙江省的重点创新人才主要来自浙江强脑科技有限公司、浙江诺尔康神经电子科技股份有限公司、浙江驰拓科技有限公司、杭州般意科技有限公司、杭州回车电子科技有限公司、杭州佳量医疗科技有限公司、浙江迈联医疗科技有限公司等企业，以及杭州电子科技大学、浙江大学、浙江清华柔性电子技术研究院等高校和科研院所。

本地人才培养方面，建议：一是优化高校学科建设，加强校企合作，鼓励企业与高校合作建设类脑智能产业实践基地，构建适合未来产业发展的人才培养模式。二是鼓励企业内部建立阶梯式人才培养计划，扩大企业人才基数，提高核心人才待遇。三是创造条件鼓励高校重点人才加深技术产业化参与度，通过校企互聘共享、技术入股、企业孵化等方式参与技术转化，对企业重点人才适当增加“尖兵领雁”等重点科研项目参与比例。

表 6.4 浙江省内重点培养创新人才基本情况

序号	创新人才	所属单位	主要研究方向	以第一发明人申请总量 (类脑智能产业数据库内项数)	人才标签
1	韩璧丞	浙江强脑科技有限公司、深圳市心流科技有限公司等	脑机接口	139	强脑科技创始人兼 CEO。2025 浙商独角兽之星、2022 年“中国 40 位 40 岁以下的商界精英”、2019 浙商年度创新人物。
2	孔万增	杭州电子科技大学	脑机接口	54	教授、博士生导师、脑机协同智能技术（科技部）国际联合研究中心副主任、浙江省脑机协同智能重点实验室主任、省级领军人才、2023 年全球前 2%顶尖科学家。
3	谭治平	浙江诺尔康神经电子科技股份有限公司	类脑感知	40	高级技师、省重点实验室首席工程师、浙江省科学技术进步奖（三等奖）、浙江省五一劳动奖章、浙江省劳动模范。
4	何世坤	浙江驰拓科技有限公司、中电海康集团有限公司	类脑计算	32	董事、经理、测试工程师、杭州市人大代表。
5	余青山	杭州电子科技大学	脑机接口	30	教授、博士生导师、中国仪器仪表学会科技进步一等奖、首批“杭电钱江学者”杰出青年

6	冯雪	浙江清华 柔性电子 技术研究 院	类脑感 知	28	清华大学长聘教授、国家 973 首席科学家、国家杰出青年基金获得者、清华大学柔性电子技术国家级重点实验室主任、应用力学教育部重点实验室主任、浙江清华柔性电子技术研究院院长、美国工程科学学会会士（SES Fellow）、美国机械工程师学会会士（ASME Fellow）、欧洲科学与艺术院院士（European Academy of Sciences and Arts）。
7	姚乃琳	杭州般意 科技有限 公司、深圳 般意科技 有限公司	脑机接 口	27	创始人
8	曹九稳	杭州电子 科技大学	脑机接 口	26	教授、博士生导师、杭州电子科技大学自动化学院（人工智能学院）院长、国家高层次青年人才、浙江省高层次人才、浙江省高校领军人才培养计划高层次拔尖人才、中国电子学会优秀科技工作者。
9	陈子豪	杭州回车 电子科技 有限公司	脑机接 口	19	监事
10	曾虹	杭州电子 科技大学	脑机接 口	18	教授、脑机协同智能技术国际联合研究中心（科技部）骨干、浙江省脑机协同智能重点实验室骨干。
11	汪延成	浙江大学	类脑感 知	17	教授、博士生导师、制造工程及自动化系副主任、流体动力基础件与机电系统全国重点实验室固定成员、浙江全省高端装备制造及检测技术重点实验室副主任、浙江大学

					机械工程国家级实验教学示范中心副主任。
12	潘纲	浙江大学	类脑计算	17	浙江大学求是特聘教授、博导、脑机智能全国重点实验室主任、国家杰出青年基金获得者、国家“万人计划”科技创新领军人才、计算机系统结构与先进计算研究所所长、中国人工智能学会会士、常务理事、脑机融合与生物机器智能专委会主任委员、中国自动化学会机器人智能专业委员会副主任委员、中国神经科学学会类脑智能分会副主任委员、脑机接口与交互分会副主任委员。
13	曹鹏	杭州佳量医疗科技有限公司、杭州诺为医疗技术有限公司	脑机接口	17	佳量医疗创始人、董事长、CEO、2023 年福布斯中国青年海归菁英百强。
14	熊保玉	浙江驰拓科技有限公司、中电海康集团有限公司	类脑计算	17	研发人员
15	彭勇	杭州电子科技大学	脑机接口	16	教授、博士生导师。
16	席旭刚	杭州电子科技大学	脑机接口	16	教授、博士生导师、浙江省科技创新领军人才、中国生物医学工程学会医学图像信息与控制分会秘书长、浙江省首席信息官协会人工智能专委会主任委员、国家重点研发

					项目评审专家、国家自然科学基金评审专家、浙江省“尖兵领雁”项目会评专家。
17	祁玉	浙江大学、浙江浙大西投脑机智能科技有限公司	脑机接口	16	教授、博士生导师、浙江大学脑与脑机融合前沿科学中心、脑机智能全国重点实验室研究员、浙江大学精神卫生中心兼聘研究员。
18	崔正哲	浙江迈联医疗科技有限公司	脑机接口	15	迈联医疗 CEO
19	李州	浙江驰拓科技有限公司、中电海康集团有限公司	类脑计算	15	研发人员
20	马玉良	杭州电子科技大学	脑机接口	14	教授、博士生导师、中国自动化学会高级会员、中国人工智能学会会员、中国生物医学工程学会会员、浙江省自动化学会会员、教育部科技进步二等奖、浙江省科技进步三等奖。
21	杨赓	浙江大学	类脑感知	13	研究员、博士生导师。国家级青年人才计划、浙江省特聘专家、浙江省自然科学基金杰出青年基金（浙江省杰青）、WUN 世界大学联盟防疫科技贡献奖。
22	马德	浙江大学	类脑计算	13	副教授、博士生导师。

6.3.2 外部人才引进路径

除了开展本地创新人才培养之外，还应充分利用本地人才政策优势，充分挖掘高校、科研院所的创新团队，通过引进、合作等方式加强外部人才的引进，特别是本地产业发展不足，且是未来重点发展方向的领域，如类脑智能产业中类脑计算领域要加强领军人才的引进，弥补本地人才缺口，为产业全面稳定发展储备创新力量。通过专利分析，梳理了浙江省外类脑智能领域的主要创新人才和团队，可以作为外部人才引进的参考。

表 6.5 浙江省外高校领军人才引进参考名单

高校	创新人才	专利数量/项	研究方向	人才标签
天津大学	高忠科	133	复杂网络多源信息融合理论、新型传感器技术、多相流检测、脑机融合与混合智能、智能医学、脑控康复机器人、水下机器人与自主智能系统等领域	天津大学电气自动化与信息工程学院教授、博士生导师，天津大学人工智能与网络科学研究所所长
	明东	505	神经仿生学与智能、神经刺激与调节、神经接口与反馈、神经传感和成像等领域	天津大学副校长、讲席教授
清华大学	施路平	169	类脑计算、存算一体感知芯片等领域	教授，清华大学类脑计算研究中心主任、清华大学光盘国家工程研究中心主任，清华大学教授
	吴华强	361	新型存储器与存算一体技术	教授，清华大学集成电路学院院长，清华大学微纳加工中心主任，北京市未来芯片技术高

				精尖创新中心副主任
华中科技大学	程晓敏	98	信息存储材料及器件，包括磁随机存储器材料及器件、相变随机存储器材料及器件、半导体存储器及器件、磁记录介质技术等；磁性材料；功能薄膜材料	光学与电子信息学院微电子学系教授
	缪向水	570	信息存储材料及器件	华中科技大学集成电路学院院长、武汉国际微电子学院院长、武汉光电国家研究中心微纳电子学方向召集人、信息存储材料及器件研究所所长、蔡少棠忆阻器研究中心主任
	李祎	101	高性能忆阻器件、基于忆阻器的机器学习加速、忆阻存算一体化技术等领域	华中科技大学集成电路学院副院长、教授，博士生导师。

对于外部创新人才的引进，特别是对高校和科研院所的人才引进，应积极探索多种引进模式，充分整合各方面资源，通过技术孵化支持、科研项目合作、人才奖补、住房补贴、税收优惠、贷款优惠等政策吸引高校领军人才参与浙江产业发展。同时，应建立符合未来产业的人才评价体系，提供全面优越的软硬件环境、营造宽松活跃的创新氛围，吸引青年科技人才和海外创新团队落户浙江。

除上述高校人才外，还可以考虑在产业发展的重点方向上引进企业创新人才，通过研发创新资助、银行贷款贴息、创业发展资助等吸引这些人才来浙江省进行创业，人才引进参考名单如下：

表 6.6 浙江省外企业创新人才引进参考名单

创新人才	所属单位	主要研究方向	专利数量/项	人才标签
张海平	OPPO 广东移动通信有限公司	脑电波采集技术、移动电子设备控制等领域	1633	研发总监
刘峻	长江先进存储产业创新中心有限责任公司	三维相变存储器等领域	369	新存科技总经理
龙翔澜	旺宏电子股份有限公司	相变存储器技术等领域	280	研发总监
汪待发	慧创科仪(北京)科技有限公司、丹阳慧创医疗设备有限公司、丹阳苏慧创脑科学研究中心	近红外脑功能成像技术、经颅光调控系统	204	法定代表人
吴臻志	北京灵汐科技有限公司	类脑智能理论、类脑计算芯片等领域	202	股东
孙滕湛	北京他山科技有限公司	人工智能触觉传感技术、人工皮肤、触觉芯片等	177	法定代表人
黄立	武汉衷华脑机融合科技发展有限公司	脑机接口技术，特别是双向脑机接口芯片领域	159	董事长
戴瑾	上海磁宇信息科技有限公司	磁性随机存储器(MRAM)领域	158	技术副总裁
黄韬	北京唯迈医疗设备有限公司	介入手术机器人技术领域	134	研发总监
张云森	上海磁宇信息科技有限公司	磁性随机存储器(MRAM)领域	125	研发总监

6.4 技术创新路径建议

基于前面章节对于类脑智能产业的技术研发、企业竞争热点、头部企业布局重点的分析，结合浙江省的产业定位和

产业优劣势，下文将给出基于重点方向、热点技术，以及重要技术效果方面的技术创新路径建议。

6.4.1 重点创新方向建议

近五年，美国、欧洲、日本和韩国在类脑智能领域专利布局占比最高的4个方向包括脑机接口植入式采集传感、脑电信号解码、忆阻器和类脑计算芯片。表明这4个方向是美欧日韩公认的研究重点。

从近五年二级分支专利申请量的增速来判断，全球在脑机接口植入式采集传感、脑电信号解码、SNN融合网络、脉冲神经网络、类脑视觉感知、多模态协同感知这6个方向创新热度持续升高，专利布局加快。

从专利情况看，浙江在脑电信号解码、SNN融合网络、类脑视觉感知相对具有一定优势，在脑机接口植入式采集传感、忆阻器、类脑计算芯片、脉冲神经网络、多模态协同感知5个方向相对弱势。

产业层面，浙江在脑机接口领域产业化方面走在国内前列，无论是植入式的医疗器械还是非植入式的电子消费产品都已经初具规模，类脑计算和类脑感知领域也具备了一定产业基础。

综合考量上述因素，依据发展长板，补足短板的原则，建议浙江省创新主体将脑机接口植入式采集传感、忆阻器、类脑计算芯片、脉冲神经网络这4个方向列为技术创新的重

点方向。多模态协同感知技术因尚处于发展早期，距离产业化尚远，可列为需关注的研究方向。

6.4.2 热点技术布局建议

为了判断当前产业界的热点技术，选取类脑智能领域的全球龙头企业，分析其专利布局可得出如下结论：脑机接口方面，美敦力主要布局的细分方向包括植入辅助、植入式电极和神经调控，飞利浦主要布局的细分方向是植入辅助。类脑计算方面，高通主要布局的细分方向包括 SNN 编码、自旋电子型忆阻器和事件驱动的异步通信类脑计算芯片，三星电子主要布局的细分方向包括相变型忆阻器、自旋电子型忆阻器和类脑计算芯片的多核并行计算。类脑感知方面，科利耳主要布局的细分方向包括植入辅助、植入式电极和人工耳蜗，索尼主要布局的细分方向包括自旋电子型忆阻器、视觉传感器和视觉处理单元。

分析上述龙头企业在细分方向的专利技术布局后，给出以下细分热点技术的布局建议（表 6.X）：

（1）植入辅助方向，建议开展导航监测技术的创新研究，可参考的技术方向包括在医疗植入物中内置状态检测装置或跟踪传感器，以检测植入物工作状态或者实现导航图像更新。

（2）植入式电极方向，建议开展电极结构的创新研究，可参考的技术方向包括设计具有多个电极位点的电极阵列、

实现电极信号可编程，或者设计螺旋状电极导线，以提高神经调控精确性、可控性、器械可靠性。

（3）SNN 编码方向，建议开展贝叶斯网络和差分编码的创新研究，可参考的技术方向包括采用随机尖峰贝叶斯网络模拟 STDP，提高网络效率和准确性，或者采用差分编码方法，提高信息传递效率。

（4）自旋电子型忆阻器方向，建议开展 MTJ 材料改进的创新研究，可参考的技术方向包括利用 Heusler 合金构建 MTJ 和改进 Heusler 薄膜种子层模板材料，以提高磁阻比、增强自旋极化、减小切换电流、提高集成密度。

（5）事件驱动的异步通信方向，建议开展片上网络和尖峰信号处理的创新研究，可参考的技术方向包括三维异步片上网络实现局部同步和全局异步的神经网络处理，以实现降低功耗和空间占用，提高安全性，或者尖峰信号频率调制，提高信号动态范围，提升信号传输效率。

（6）多核并行计算方向，建议开展负载均衡的创新研究，可参考的技术方向包括任务迁移，通过调度程序检测核心利用率，用元数据保存和还原逻辑减少迁移元数据初始化，以保持高性能并降低功耗。

（7）人工耳蜗方向，建议开展天线结构优化和信号传输优化的创新研究，可参考的技术方向包括多频段天线，降低通信复杂性，或者 Y 型双向延伸天线，减少信号损失和干

扰，或者动态谐振调谐，提高信号传输可靠性。

（8）视觉传感器方向，建议开展动态视觉传感器的创新研究，可参考的技术方向包括电压信号对数转换，提高光接收效率和灵敏度，或者使用单个比较器减小像素尺寸以及控制变化检测和读出阶段的全局快门信号，提高时间分辨率，降低功耗。

表 6.7 细分方向的热点技术布局建议

脑机接口			
植入式采集传感			
细分方向	热点技术	可参考的技术方向	技术功效
植入辅助	导航监测	内置状态检测装置: 医疗植入物内集成或附接的微型装置, 例如磁-力振荡器, 通过检测磁响应场中的温度变化来确定植入物的工作状态	方便检测植入物状态
		内置跟踪传感器: 在介入设备中集成定位跟踪传感器, 利用这些传感器提供的定位跟踪数据, 实现导航图像更新	提高介入程序的效率和准确性
植入式电极	电极结构	电极阵列: 设计具有多个电极位点的电极阵列, 允许电极位点独立激活	提高神经调控精确性和可控性
		电极信号可编程: 增加局部场电位测量功能, 基于测量结果递送不同参数的治疗性电刺激信号, 实现参数可编程	提高神经调控精确性和可控性
		螺旋状电极导线: 每个电极围绕中心管腔旋转不同的角度, 基于螺旋形导管进行应力释放	应力消除, 提高可靠性
类脑计算			
脉冲神经网络			
细分方向	热点技术	可参考的技术方向	技术功效
SNN	贝叶斯	随机尖峰贝叶斯网络模拟 STDP: 在节点处接收输	提高神经网络的

编码	网络	入事件,应用偏置权重和连接权重,计算中间值以确定节点状态,并根据随机点过程生成输出事件	效率、准确性
	差分编码	差分编码方法:基于神经元的先前激活值预测当前激活值,并通过两者之间的差值进行编码,减少神经元之间的通信量	降低数据传输量和计算成本,提高信息传递效率
忆阻器			
细分方向	热点技术	可参考的技术方向	技术功效
自旋电子型	MTJ 材料改进	利用 Heusler 合金构建 MTJ: 利用 Heusler 合金的半金属特性,提供垂直和面内磁各向异性	提高磁阻比、减小切换电流,提高集成密度
		改进 Heusler 薄膜种子层模板材料:例如多层模板化结构体中引入钨-铝(WAl)层和铂-铝(PtAl)层,增强 Heusler 化合物的结晶结构	增强自旋极化,减小切换电流,提高集成密度
类脑计算芯片			
细分方向	热点技术	可参考的技术方向	技术功效
事件驱动的异步通信	片上网络	三维异步片上网络:堆叠多个包括处理元件、非易失性存储器和通信模块的硅晶片,设置局部和全局功率管理器,采用异步通信和自适应电压管理,实现局部同步和全局异步的神经网络处理	降低功耗和空间占用,提高安全性
	尖峰信号处理	尖峰信号频率调制:在突触单元处频率调制突触前神经元接收的尖峰,生成突触后尖峰,提高尖峰信号动态范围	提升信号传输效率
多核并行计算	负载均衡	任务迁移:多核处理器带有调度程序、元数据保存和还原逻辑,可根据核心利用来确定任务迁移,以最大程度地减少任务迁移过程中元数据初始化,从而确保元数据在核心之间进行有效恢复	保持高性能并降低功耗
类脑感知			
类脑听觉感知			
细分方向	热点技术	可参考的技术方向	技术功效

人工耳蜗	天线结构优化	多频段天线：多频段环形天线，分设近场/远场接收电路，处理双模式通信	降低通信复杂性，提高设备的操作灵敏度和效率
		Y型双向延伸天线：平面感应线圈与Y型双向延伸天线的协同设计，提高无线功率和数据传输的效率和范围	减少信号损失和干扰，提高通信可靠性
	信号传输优化	动态谐振调谐：利用现有组件实时监测耗散电流，通过调整谐振频率优化能量传输效率	提高信号传输可靠性
类脑视觉感知			
细分方向	热点技术	可参考的技术方向	技术功效
视觉传感器	动态视觉传感器	电压信号对数转换：将电压信号转换为对数值，优化晶体管和光电转换区域的布置以减小电路规模并增强光接收效率	提高光接收效率，提高灵敏度
		全局快门：使用单个比较器减小像素尺寸以及控制变化检测和读出阶段的全局快门信号，实现自适应时间分辨率和事件速率控制，减少抖动和运动伪影	提高时间分辨率，降低功耗

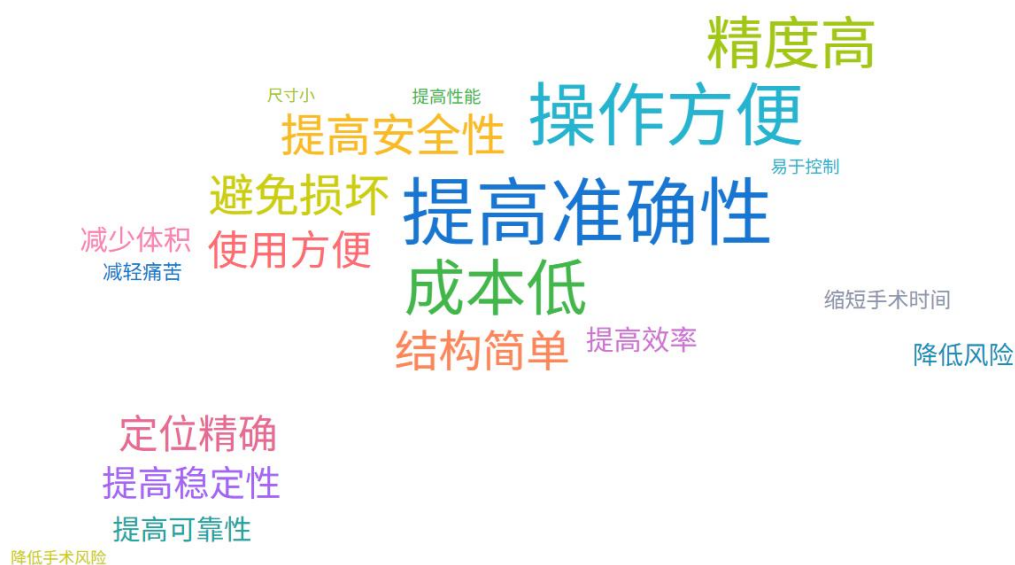
6.4.3 重要技术效果布局建议

专利文本中提及的技术效果，往往代表了创新主体期望实现的目标，也可以从侧面反映未来技术创新的方向。提取脑机接口植入式采集传感、忆阻器、类脑计算芯片、脉冲神经网络4个重点方向专利文本的词云分布（图5.X），分析后可得出如下结论：

植入式采集传感主要应用于各类植入式的医疗器械，对于安全性、准确性、操控性方面有较高的要求，因此其词云中关于这三个方面的技术效果词语较多。未来技术改进也会

围绕这三个目标进行，另外减小尺寸、简化结构、缩短手术时间、减轻患者痛苦同样也是改进的目标。

忆阻器、类脑计算芯片、脉冲神经网络技术都属于类脑计算分支，其内部存在关联性，忆阻器是类脑神经元硬件实现的基础单元，脉冲神经网络是类脑计算的关键算法模型，而类脑计算芯片是类脑计算系统的核心部件。类脑计算最大的优势在于低功耗，因此这三个方向的词云中低功耗都占据了较为显眼的位置。对忆阻器而言，高可靠性、低成本、高存储密度是关键的技术指标，相关技术效果在词云中占据了较大面积。对类脑计算芯片，高计算效率、高准确性、低成本、简单结构是设计追求的目标，相关词语在词云中大量出现。脉冲神经网络作为一种人工智能模型，提高网络的准确性、简化结构、降低成本开销、提高鲁棒性位于词云的突出位置。上述表征技术效果的词语，一定程度上反映了忆阻器、类脑计算芯片和脉冲神经网络技术未来改进的方向。



(a) 植入式采集传感



(b) 忆阻器



(c) 类脑计算芯片



(d) 脉冲神经网络

图 6.1 重点方向技术效果词云

6.5 专利布局运营路径建议

6.5.1 专利布局优化路径

6.5.1.1 专利布局基本策略

（1）时间布局：前瞻布局前沿技术，持续积累专利，进行战略性布局。

前瞻性布局：密切关注全球类脑智能产业发展趋势，及时布局前沿技术领域的专利，抢占未来技术制高点。例如，植入式电极、自旋电子型忆阻器等技术。

持续性布局：紧跟全球类脑智能产业前沿发展趋势，持续进行专利申请，保持专利技术的积累和更新，形成持续的竞争优势。

战略性布局：根据产业发展需要，进行战略性专利布局，例如，围绕关键核心技术、产业链上下游进行专利布局，构建完善的专利保护网。

（2）类型布局：以发明专利为主，实用新型为辅，外观设计补充。

发明专利为主：继续加大发明专利申请力度，提升浙江省类脑智能产业的原始创新能力。

实用新型专利为辅：注重实用新型专利的申请，促进技术成果的转化和应用。

外观设计专利补充：鼓励企业进行外观设计创新，提升产品的市场竞争力。

（3）地域布局：以杭州为核心，打造创新高地，引导差异化发展，促进区域协同。

重点区域集中布局：鉴于杭州市在类脑智能领域的专利申请量遥遥领先，建议进一步加大对杭州的政策支持和资源投入，将其打造成为长三角类脑智能产业的创新高地和专利密集区。

区域差异化发展：根据不同地区的产业基础和优势，引导各地发展具有特色的类脑智能技术方向。

区域协同发展：鼓励各地之间加强合作，形成优势互补、资源共享的协同发展格局。例如，可建立区域专利信息共享平台，促进技术交流合作创新。

（4）专利运营：促进专利权的资本化，鼓励企业围绕自身核心技术优势构建专利保护池。

促进专利资本化：鼓励企业、金融机构共同实现专利资源的资本化，通过将专利权进行质押、信托、出资入股、许可、转让等专利运营手段，使专利资源成为资本，在流动中保值和实现价值增值。

健全体系建设：进一步强化政策引导与制度保障，建立健全与专利运营相关的法律法规，规范专利交易、许可、质押等行为，推动知识产权保护效能，完善知识产权仲裁调解等纠纷多元化解决机制，营造规范、安全、活跃的专利运营环境。

培养风险意识：增强和培养浙江省内企业识别和应对知识产权风险的能力与意识，加强在质押、转让、许可等知识

产权运营方面的学习与实践。

构建常态化合作机制：鼓励企业与知识产权服务机构建立长期稳定的合作关系，为企业量身定制知识产权管理制度、战略规划和执行方案，构建常态化的知识产权运营机制。

6.5.1.2 专利布局方向优化策略

浙江省在类脑智能产业分布基本覆盖了脑机接口、类脑计算和类脑感知的各个细分领域，从浙江省专利申请趋势来看，专利申请主要集中在脑机接口各细分领域以及忆阻器及类脑听觉感知领域，相关专利申请呈现正向增长态势。下表表示了浙江省内相关优势企业在 13 个二级分支下的相关专利申请量，从表中可以看出，专利申请量排在前列的浙江拓驰仅在忆阻器领域进行了专利布局，诺尔康神经电子在植入式采集传感以及类脑听觉感知布局较多专利申请，中电海康集团主要在忆阻器领域进行专利布局，在脉冲神经网络和 SNN 融合网络进行少量布局，浙江强脑科技主要布局在相关的脑机接口应用领域及信号编解码和非植入式采集传感，其他的如杭州诺为、杭州回车电子、浙江迈联医疗、浙江柔灵科技均集中布局在了脑机接口领域。

针对上述情况，浙江省在脑机接口领域具有较好的技术基础，专利申请量在 2020 年显著增长，只不过相关企业还体量尚小，专利布局量和范围仍有不小的增长空间。建议浙江省可针对植入式采集传感和非植入式采集传感等硬件领

域扶持相关企业积极布局专利，力争在植入式医疗器械、非植入式消费电子等硬件领域形成优势地位。同时针对编解码等应用相关方向，整合优势资源，形成创新发展合力，与相关高校开展产学研合作，重点突破行业共性难题，提升创新能力，扩展专利布局深度。对于类脑计算产业，浙江省内相关优势企业主要研发经历集中在忆阻器领域，浙江拓驰科技和中电海康集团均是忆阻器研发的优势企业，且中电海康是拓驰科技的控股企业，二者具有关联关系。建议浙江省可针对省内优势细分领域，如自旋电子型忆阻器和磁性随机存储器（MRAM）等，加大科研投入和项目扶持，增加专利布局量，尽早建立专利防火墙。在类脑感知领域，浙江省内只有诺尔康神经电子从事类脑听觉感知相关研究，其他如类脑视觉和类脑触觉以及融合感知均不存在优势企业，建议适当开展产业和专利技术的提前布局。

表 6.8 浙江省内优势企业细分方向专利申请量对比

企业名称 二级 分支	浙江 驰拓	浙江诺 尔康神 经电子	中电海 康集团	浙江强 脑科技	杭州诺 为医疗 技术	杭州回 车电子 科技	浙江迈 联医疗 科技	浙江柔 灵科技 公司
植入式采集 传感	0	31	0	0	28	0	0	0
非植入式采 集传感	0	2	0	7	1	4	3	1
范式编码	0	0	0	5	0	9	11	0
信号解码	0	1	0	16	8	22	16	18
应用领域	0	2	0	55	18	19	18	9
脉冲神经网 络	0	0	5	0	1	0	0	0
SNN 融合网 络	0	0	4	0	1	0	0	0
忆阻器	265	0	135	0	0	0	0	0
类脑计算芯 片	0	0	4	0	0	0	0	0
类脑视觉感 知	0	0	1	0	0	0	0	0
类脑听觉感 知	0	140	0	0	0	0	0	0
类脑触觉感 知	0	0	0	0	0	0	0	0
多模态协同 感知	0	0	0	0	0	0	0	0

6.5.2 专利运营优化路径

通过浙江省专利运营定位分析，可以看出浙江省在类脑智能领域的专利运营基础略高于全国平均水平，但运营专利占比低于全球平均水平，浙江省企业的专利运营绝大多数集中在专利转移方面，在而在质押、许可和诉讼等方面的专利运营数量显著低于转让专利数量，因此浙江省需要进一步加强区域内高校院所和企业的专利运营能力，运用自身的优势专利资源，组建产业知识产权联盟，建设产业专利池，开展专利运营活动，一方面推动高校院所的科技成果转化，鼓励专利许可、质押，盘活专利资产，另一方面打通浙江省区域内的专利壁垒，加快关键技术攻坚突破与迭代升级。

除此之外，浙江省还应当进一步强化政策引导与制度保障，建立健全与专利运营相关的法律法规，规范专利交易、许可、质押等行为。同时，加强与金融机构的政策协同，吸引更多的优质专利资源向浙江省聚集。增强和培养浙江省内企业识别和应对知识产权风险的能力与意识，加强在质押、转让、许可等知识产权运营方面的学习与实践。建立常态化的知识产权风险排查与防控机制，以提升企业知识产权运营与风险防范的能力。同时，与知识产权服务机构建立长期稳定的合作关系，为企业量身定制知识产权管理制度、战略规划和执行方案，包括协助企业进行专利信息收集、知识产权评估、专利质押融资、知识产权运营和维权援助等工作，从

而有效增强企业在知识产权保护与运营方面的实力，提升企业综合竞争力。

为支持浙江省创新主体运用优势知识产权资源，更好地开展专利运营，以下对浙江省类脑智能专利资源进行梳理，利用智慧芽数据库专利价值度分别筛选出类脑智能产业三个一级分支专利价值度排名靠前的专利信息，以供浙江省企业和政府决策参考。

表 6.9 浙江省类脑产业链优势专利资源列表

产业链端	序号	公开(公告)号	标题	公开(公告)日	[标]当前申请(专利权)人	法律状态/事件	专利价值
脑机接口	1	CN113805836B	基于脑电波的冥想音效控制方法、装置、设备及存储介质	2024-12-17	浙江强脑科技有限公司	授权	\$ 99,000
	2	CN112971781B	一种基于脑功能网络抑郁对比装置	2022-10-28	杭州电子科技大学	授权	\$ 99,000
	3	CN111493865B	一种可用于多模态观测大脑的皮层脑电电极及阵列	2021-05-14	浙江大学	授权	\$ 99,000
	4	CN109117790B	一种基于频空指标的脑纹识别方法	2021-10-22	杭州电子科技大学 福建中医药大学附属康复医院	授权	\$ 99,000
	5	CN113520409B	SSVEP 信号识别方法、装置、电子装置和存储介质	2024-03-26	杭州回车电子科技有限公司	授权	\$ 98,000
	6	CN106228123B	自动调整处理的指纹识别器及其识别方法	2019-02-12	世维人工智能(嘉兴)有限公司	授权 权利转移	\$ 98,000
	7	CN105498088B	一种听性脑干刺激系统	2018-04-03	浙江诺尔康神经电子科技股份有限公司	授权	\$ 98,000
	8	CN113558640B	基于脑电特征的最小意识状态程	2024-07-26	杭州电子科技大学	授权	\$ 96,000

产业链端	序号	公开(公告)号	标题	公开(公告)日	[标]当前申请(专利权)人	法律状态/事件	专利价值
			度的评估方法				
	9	CN108421159B	定向电刺激人工耳蜗电极	2024-05-14	浙江诺尔康神经电子科技股份有限公司	授权 一案双申	\$ 96,000
	10	CN113283489B	一种基于联合分布匹配的半监督域适应学习的分类方法	2023-06-30	浙大宁波理工学院	授权	\$ 95,000
	11	CN112617859B	一种基于平衡脑功能网络特征的平衡能力评估方法	2022-05-13	杭州电子科技大学	授权	\$ 95,000
	12	CN106031666B	一种可视人工耳蜗电极、系统及其制作方法	2017-08-04	浙江诺尔康神经电子科技股份有限公司	授权 一案双申	\$ 93,000
	13	CN113812958B	一种脑内部刺激与检测系统及方法	2025-03-11	杭州诺为医疗技术有限公司	授权	\$ 93,000
	14	CN112163486B	一种基于稀疏学习和域对抗网络的脑电通道优化方法	2024-03-12	杭州电子科技大学	授权	\$ 93,000
	15	CN113276110B	一种基于 AR 技术的变电站操作机器人控制系统及方法	2022-12-16	国网浙江省电力有限公司嘉兴供电公司	授权	\$ 93,000
	16	CN113143275B	一种样本与特征质量联合量化评估的脑电疲劳检测方法	2022-04-26	杭州电子科技大学	授权	\$ 92,000

产业链端	序号	公开(公告)号	标题	公开(公告)日	[标]当前申请(专利权)人	法律状态/事件	专利价值
	17	CN111729200B	基于深度相机和磁共振的经颅磁刺激自动导航系统和方法	2022-06-17	浙江大学	授权	\$ 91,000
	18	CN114202068B	面向类脑计算芯片的自学习实现系统	2022-06-28	浙江大学	授权	\$ 89,000
	19	CN109009473B	脊椎创伤定位系统及其定位方法	2021-04-06	杭州三坛医疗科技有限公司	授权 复审	\$ 89,000
	20	CN111870241B	基于优化的多维样本熵的癫痫发作信号检测方法	2022-05-17	杭州电子科技大学	授权	\$ 89,000
类脑计算	1	CN103472250B	基于 FPGA 的声学多普勒流速剖面仪信号处理系统	2016-05-18	浙江工业大学	授权	\$ 99,000
	2	CN113629054B	U 型晶体管阵列及其形成方法、半导体器件及其形成方法	2024-10-25	芯盟科技有限公司	授权	\$ 98,000
	3	CN112906878B	一种模拟电磁辐射下的 Hopfield 神经网络模型	2024-10-15	杭州电子科技大学	授权	\$ 98,000
	4	CN111724796B	一种基于深度脉冲神经网络的乐器声音识别方法及系统	2023-01-13	之江实验室 浙江大学	授权	\$ 98,000
	5	CN113191491B	多维度并行的人工智能处理器架构	2022-08-09	杭州慧芯达科技有限公司	授权	\$ 98,000

产业链端	序号	公开(公告)号	标题	公开(公告)日	[标]当前申请(专利权)人	法律状态/事件	专利价值
	6	CN112990479B	利用机器学习分类器提高半导体芯片良品率的方法	2022-02-11	普赛微科技(杭州)有限公司	授权	\$ 98,000
	7	CN107946460B	一种用于多态相变存储器的Zn-Sb-Bi 薄膜材料及其制备方法	2021-05-18	宁波大学	授权	\$ 98,000
	8	CN104835911B	使用集成电路铸造相容工艺的单片集成电阻式存储器	2021-01-01	昕原半导体(杭州)有限公司	授权 权利转移	\$ 98,000
	9	CN114049964B	一种跨脑区人工神经通路的建模方法	2024-10-18	浙江大学	授权	\$ 97,000
	10	CN112270407B	支持亿级神经元的类脑计算机	2022-09-13	浙江大学	授权	\$ 97,000
	11	CN105094046B	一种压电陶瓷执行器控制台	2019-05-21	许献丰	授权 一案双申 权利转移	\$ 97,000
	12	CN113437210B	一种基于自旋轨道转矩的电流调控磁性随机存储器	2023-04-07	杭州电子科技大学	授权	\$ 95,000
	13	CN113687938B	一种医疗数据计算任务智能调度方法及系统	2022-02-22	之江实验室	授权	\$ 95,000
	14	CN113159302B	一种用于可重构神经网络处理器的路由结构	2022-07-19	浙江大学	授权	\$ 94,000

产业链端	序号	公开(公告)号	标题	公开(公告)日	[标]当前申请(专利权)人	法律状态/事件	专利价值
	15	CN114418073B	脉冲神经网络训练方法、存储介质、芯片及电子产品	2022-06-21	宁波时识科技有限公司	授权 权利转移	\$ 93,000
	16	CN111063142B	一种监控报警处理方法、装置及设备、可读介质	2022-04-26	杭州海康威视数字技术股份有限公司	授权	\$ 93,000
	17	CN111403599B	一种半导体结构及其制备方法	2022-11-04	杭州未名信科科技有限公司 浙江省北大信息技术高等研究院	授权	\$ 92,000
	18	CN109216538B	MRAM 与其的制作方法	2022-07-15	中电海康集团有限公司 浙江驰拓科技有限公司	授权 权利转移	\$ 92,000
	19	CN114429491B	一种基于事件相机的脉冲神经网络目标跟踪方法和系统	2022-07-08	之江实验室 浙江大学	授权	\$ 92,000
	20	CN111739570B	SOT-MRAM 存储单元及 SOT-MRAM 存储器	2022-05-31	中电海康集团有限公司 浙江驰拓科技有限公司	授权	\$ 92,000
类脑感知	1	CN103513152B	一种多电极测试方法及其装置	2016-04-27	浙江诺尔康神经电子科技股份有限公司	授权	\$ 99,000
	2	CN101816599B	一种电子耳蜗及其刺激脉冲产生方法	2012-12-05	浙江诺尔康神经电子科技股份有限公司	授权	\$ 99,000
	3	CN113503917B	一种基于微纳光纤的柔性温度和	2024-07-02	之江实验室 浙江大学	授权	\$ 98,000

产业链端	序号	公开(公告)号	标题	公开(公告)日	[标]当前申请(专利权)人	法律状态/事件	专利价值
			压力传感器				
	4	CN110953982B	薄膜器件及制备方法、柔性应变传感器及制备方法	2024-02-06	浙江清华柔性电子技术研究院 清华大学	授权	\$ 98,000
	5	CN112577642B	一种精准定位受力、灵敏度可调的柔性触觉传感器	2023-03-10	杭州凯维力传感科技有限公司	授权 权利转移	\$ 98,000
	6	CN112442204B	一种柔性温度传感器的制备方法	2023-01-03	浙江理工大学	授权	\$ 98,000
	7	CN112857630B	一种软体机器人手的三维凸面柔性触觉传感器及制造方法	2022-10-14	之江实验室 浙江大学	授权	\$ 98,000
	8	CN111105383B	一种面向三色视觉的图像融合颜色增强方法	2023-04-21	杭州电子科技大学	授权	\$ 97,000
	9	CN108421159B	定向电刺激人工耳蜗电极	2024-05-14	浙江诺尔康神经电子科技股份有限公司	授权 一案双申	\$ 96,000
	10	CN110072179B	一种用于人工耳蜗声音处理器外耳道口麦克风的固定装置	2024-04-26	杭州听工场科技有限公司	授权 一案双申 质押	\$ 96,000
	11	CN110460783B	阵列摄像模组及其图像处理系统、图像处理方法和电子设备	2021-01-26	宁波舜宇光电信息有限公司	授权	\$ 95,000
	12	CN109159105B	一种带翻滚摄像头的全景视觉滚	2023-05-26	逻腾(杭州)科技有限公司	授权 一案双	\$ 94,000

产业链端	序号	公开(公告)号	标题	公开(公告)日	[标]当前申请(专利权)人	法律状态/事件	专利价值
			动机器人及图像处理方法			申	
	13	CN113201929B	柔性温度传感材料及其制备方法、柔性温度传感器	2023-04-07	浙江诚品无纺科技有限公司	授权 权利转移	\$ 94,000
	14	CN111883556B	柔性触觉传感器及其制备方法	2022-11-25	浙江清华柔性电子技术研究院 清华大学	授权	\$ 94,000
	15	CN106031666B	一种可视人工耳蜗电极、系统及其制作方法	2017-08-04	浙江诺尔康神经电子科技股份有限公司	授权 一案双申	\$ 93,000
	16	CN104224406B	电子耳蜗反向信号射频传输接收芯片及系统	2016-01-13	浙江诺尔康神经电子科技股份有限公司	授权	\$ 93,000
	17	CN107308543B	一种人工耳蜗磁体及装置	2024-02-02	浙江诺尔康神经电子科技股份有限公司	授权 一案双申	\$ 92,000
	18	CN114429491B	一种基于事件相机的脉冲神经网络目标跟踪方法和系统	2022-07-08	之江实验室 浙江大学	授权	\$ 92,000
	19	CN110557572B	一种图像处理方法、装置及卷积神经网络系统	2021-04-27	杭州海康威视数字技术股份有限公司	授权	\$ 92,000
	20	CN101803972B	一种人工电子耳蜗系统及物理电极自动选择方法	2012-06-27	浙江诺尔康神经电子科技股份有限公司	授权	\$ 92,000