

引用格式:张旭,阮梅花.发展粤港澳大湾区的类脑智能产业.中国科学院院刊,2024,39(9):1602-1611,doi:10.16418/j.issn.1000-3045.20240725002.

Zhang X, Ruan M H. Development of brain-inspired intelligence industry in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2024, 39(9): 1602-1611, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20240725002. (in Chinese)

发展粤港澳大湾区的类脑智能产业

张旭^{1*} 阮梅花²

1 广东省智能科学与技术研究院 珠海 519031

2 中国科学院上海生命科学信息中心 上海 200031

摘要 类脑智能产业属于战略性高端制造业,在智能时代有着广阔的发展前景。未来,我国科技、经济、社会和国家安全各领域对类脑智能技术与产业都有巨大的需求。粤港澳大湾区通过实施重大专项并建设新型类脑智能专业科研机构,积极布局类脑智能技术研发,培育相关产业。目前,粤港澳大湾区类脑智能产业链初步建立,科研人才初具规模,已实现了初步的科研成果转化,出台了知识产权保护、科创金融服务等配套政策,但面临着产业链部分环节较薄弱、供应链缺乏、应用场景待拓展、高端产业转化人才不足等问题。文章提出5点建议:(1)加强脑认知与类脑智能基础前沿研究,并与产业需求紧密衔接;(2)完善类脑智能产业链,重点补齐芯片制造、封装测试等短板;(3)发展类脑智能产业供应链,升级设备制造业;(4)粤港澳协同合作,引进和培育高端产业人才;(5)通过多种方式加强国际合作。

关键词 粤港澳大湾区,类脑智能产业,类脑计算,类脑芯片,类脑计算系统,脑机接口

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.20240725002

CSTR 32128.14.CASbulletin.20240725002

近年来,我国的类脑智能理论和类脑智能技术(即脑科学/神经科学启发的智能理论和技术)得到迅速发展。类脑智能有着广泛的应用前景,有望对计算系统架构、智能芯片、智能计算机、智能机器人进行颠覆性创新。类脑智能产业是我国的战略新兴产业,

属于高端制造业,有着显著的技术供应链需求。《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》提出,在类脑智能、量子信息、基因技术、未来网络、深海空天开发、氢能与储能等前沿科技和产业变革领域,组织实施未来产业孵

*通信作者

修改稿收到日期:2024年9月9日

化与加速计划，谋划布局一批未来产业。粤港澳大湾区持续布局类脑智能领域，通过支持相关科研机构建设和产业发展，引进人才，加强成果转化，逐步建立类脑智能产业生态圈，未来需要弥补产业链短板，发展产业供应链。

1 新兴的类脑智能产业

1.1 类脑智能

类脑智能的内涵是类脑智能理论和技术，即脑科学/神经科学启发的智能理论和技术。狭义的类脑智能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。广义的类脑智能还包括类脑血管系统等生物脑的非神经元及神经网络系统，以及类脑组织工程^[1]。类脑智能的科技目标是在硅基和碳基上构造类似生物脑的结构和功能/智能，并在智能芯片、计算机、机器人、脑医学等方面加以应用。类脑智能有别于现今的人工智能（AI），类脑智能已成为脑科学的一部分，使传统的脑科学研究成为从发现步入创造的一门学科，其科研成果呈现多种形式。

1.2 类脑智能技术

脑科学/神经科学启发的智能技术统称为类脑智能技术，具有代表性的类脑智能技术包括类脑智能计算技术、类脑智能传感技术、类脑机器人技术、脑机接口与人机交互技术、类脑组织工程技术等。其中，类脑智能计算技术是一种模拟人脑结构及信息处理的计算技术，包括基于神经和认知原理的计算建模、智能处理器和芯片等感知认知器件设计、类脑智能计算机等。类脑智能计算的特点是计算速度快、能耗少、逻辑分析和推理能力更强。通常类脑智能计算机体积小，类脑血管散热系统有助于设计更加节能、更小体

积、更为安静、更快速度和更加智慧的类脑智能计算机系统。类脑组织工程应用多能干细胞诱导分化的方法，获取具有大脑细胞类型及结构的类脑器官，模拟和重现大脑的结构和功能及疾病发生过程。脑机接口与人机交互技术，以及类脑组织工程的医学应用，有助于改善或恢复受损伤大脑的功能。

1.3 类脑智能产业

类脑智能产业是我国的战略新兴产业，属于高端制造业，有着显著的技术供应链需求。类脑智能产业包括基础设施行业和应用行业。**基础设施行业**：脑感知认知神经网络解析成像、类脑神经网络、感知认知算法和模型及软硬件制造、类脑智能芯片、类脑计算基础软件和应用软件、类脑智能计算系统等。**应用行业**：类脑智能计算、类脑智能传感、类脑智能机器人、类脑智能互联网和物联网、类脑组织工程的医学应用等。

2 未来社会对类脑智能产业的需求

未来我国的科技发展、社会民生、产业升级和国家安全等各方面都需要类脑智能产业与技术。

类脑智能领域是各国科技领域必争的前沿阵地。发展类脑智能对国家科技创新、基础研究创新等都具有重要意义。2016年，中共中央、国务院发布的《国家创新驱动发展战略纲要》提出，要加强类人智能、自然交互与虚拟现实等技术研究；推进脑科学等重大科技项目。2020年，科学技术部等五部门发布的《加强“从0到1”基础研究工作方案》提出，持续支持脑科学等基础研究重点领域原创方向^①。类脑智能领域孕育着巨大的“从0到1”的源头创新机会，因此，我国迫切需要发展类脑智能领域，在这个领域有望发挥引领作用^[2]。

① 科技部等 科技部 发展改革委 教育部 中科院 自然科学基金委关于印发《加强“从0到1”基础研究工作方案》的通知. (2020-03-03)[2024-05-10]. http://www.cas.cn/zcjd/202003/t20200303_4736354.shtml.

产业升级发展方面，类脑智能产业已被列为国家战略性新兴产业。类脑智能作为新一代AI发展的重要路径，成为“十四五”重点布局的科技方向。2024年，工业和信息化部等七部门印发的《关于推动未来产业创新发展的实施意见》中，特别提出要聚焦人形机器人、脑机接口等领域。

3 类脑智能产业生态

3.1 类脑智能产业生态圈

类脑智能产业属于高端制造业，有着多领域交叉、技术供应链长、应用面宽等特色。类脑智能产业生态圈至少有4个层面：**核心层**是类脑智能专业研究机构，从事类脑智能基础理论和核心技术研发，为类脑智能企业提供技术支撑平台，吸引、培养科技人才；**第二层**是类脑智能科技的基础设施行业企业，如类脑智能处理器/芯片企业、类脑智能计算机企业、类脑智能传感器企业等；**第三层**是类脑智能科技产业链、供应链，包括类脑智能相关硬件生产企业、软件开发企业，如芯片制造、芯片封测、计算机印刷电路板（PCB）主板等企业；**第四层**为类脑智能科技赋能企业，即应用行业企业，如智能服务网络、算力网、互联网等企业。此外，还包括知识产权、金融投资、数据隐私安全、伦理等相关配套服务企业。

3.2 布局类脑智能研发专项

通过出台脑科学与类脑智能专项，积极布局类脑智能领域。类脑智能是广东省重点研发计划“脑科学与类脑研究”重大专项的重要布局方向。广东省于2018年开始编制《广东省重点领域研发计划“脑科学与类脑研究”重大专项实施方案及申报指南》，2022年正式启动广东省重点领域研发计划“脑科学与类脑研究”重大专项，其2023年度资助方向包括类脑计算与脑机智能研究，以及与类脑智能相关的脑感知认知机理研究、公共技术平台建设。其中类脑计算与脑机智能研究包括超大规模类脑芯片设计快速原型系统、

基于脑机制的感觉感知机理及功能重建技术、大规模高效能神经网络模型与算法研究及应用、大规模在线学习类脑芯片架构研究。

3.3 打造类脑智能专业研究机构

为从创新源头上强化我国智能科学前沿研究及智能技术的创新能力，2021年广东省科技厅批复成立广东省智能科学与技术研究院（以下简称“广东省智能院”），这是首家成建制、成体系和全链条研究类脑智能的科研机构^[1]。广东省智能院围绕“脑认知神经网络、神经网络计算、类脑智能计算”三大方向，建设6个研究中心：认知神经网络、脑机交互系统、认知图谱与类脑模型、类脑计算系统、生物医药智能、金融工商智能研究中心。广东省智能院还与企业和大学科研机构建立了多个联合实验室，分别开展感知认知、脑机接口、类脑芯片、类脑计算机系统、金融工商智能等方面的交叉、前沿研究。建设3个技术平台：神经网络结构和功能技术平台、国家新一代类脑人工智能公共算力开放创新平台、横琴先进智能计算平台。广东省智能院在澳门建设粤港澳脑智工程中心，建成国际科研创新网络、学术与人才交流和技术转移转化平台。

广东省智能院努力攻克脑神经网络技术、智能芯片技术、智能计算技术、智能信息技术、金融工商智能技术、智慧生物医药和健康医疗技术，围绕智能科技构建科研、设施和转化3个核心能力，建设打通科技创新全链条的新型研发机构。例如，广东省智能院研究团队发现了一条新的传导痛觉的脊髓-皮层直接通路、发现区分痛觉与痒觉的大脑神经网络机制、研发出大规模神经元重建平台、脉冲神经网络自适应突触缩放学习框架、创制了亿级神经元规模的可编程类脑晶圆计算芯片、创制了智能超算无源散热系统等一系列科研成果^[1]。基于这些科研成果，粤港澳脑智工程中心已开展了科研成果转化工作，引进孵化了5家类脑智能科技相关公司。

2023年科学技术部批准广东省智能院建设“国家新一代类脑人工智能公共算力开放创新平台”，这是目前唯一冠以“类脑”的智能算力平台，也是目前广东省唯一获批建设的新一代人工智能算力平台。该平台包括类脑智能基础与应用软件创新、类脑芯片工程研发、类脑智能器件微纳制造、类脑智能服务器多功能实验、类脑异构融合超算等子平台，形成类脑智能创新管理、开发、数据、工具、算力、合作链，为类脑智能产业发展提供优异的技术服务平台，打造类脑智能产业发展生态，重点服务人工智能、大数据、区块链、高算力芯片、生物医药、金融工商等领域，形成类脑智能产业生态圈^[1-3]。

华南理工大学、中山大学、南方科技大学、深圳大学、中国科学院深圳先进技术研究院、北京师范大学珠海校区，以及香港科技大学、香港大学、香港中文大学、澳门大学、澳门科技大学、澳门理工大学等粤港澳大湾区大学和科研院所也有一些从事类脑智能相关研究的课题组。例如，深圳市建设脑解析与脑模拟重大科技基础设施，包含脑编辑、脑解析和脑模拟等3个技术模块，具备动物模型制备以及跨尺度神经结构功能解析的能力；粤港澳大湾区脑科学与类脑研究中心是广东省“脑科学与类脑研究”重大专项支持建设的科研平台，聚焦脑认知、重大脑疾病、脑认知功能新技术、类脑等研究方向开展基础与应用研究。

3.4 推进智能算力和数据平台建设

广东省已建设了一批超算平台和数据中心。例如，国家超级计算广州中心、国家超级计算深圳中心、“鹏城云脑”、广州人工智能公共算力中心等超算平台，粤港澳大湾区算力调度平台、粤港澳大湾区一体化算力服务平台等算力平台，以及粤港澳大湾区大数据中心、中国电信粤港澳大湾区一体化数据中心、广州数据交易所、粤港澳大湾区数据保护和数据跨境服务平台。

特别是广东省智能院正在建设具有国际领先水平

的类脑融合智能超级计算系统和技术应用生态体系的大型公共科学基础设施，这些将成为新一代绿色类脑智能超算中心。2024年，广东省智能院将建成“国家新一代类脑人工智能公共算力开放创新平台”的类脑智能超算中心及其节点和终端计算设备，形成类脑智能计算网络，支撑服务于广东省智能院和企业的科研、开发。

3.5 发展类脑智能产业园区

当前，粤港澳大湾区正在建设深圳光明区脑科学技术产业创新中心等脑科学与类脑产业中心或园区；广州南沙区建设了广州产投大湾区数字经济和生命科学产业园，其中脑科学与类脑产业是其重点培育方向之一；珠海横琴国际科创中心建有广东省智能院和珠海先进集成电路研究院等相关科研机构和企业。总体来看，类脑智能产业园区的规模还有限，还有较大的发展空间。

此外，粤港澳大湾区定期举办大湾区科学论坛脑科学与类脑智能技术分论坛、粤港澳大湾区脑科学高峰论坛、松山湖科学会议脑科学与类脑技术论坛，这些会议已经形成品牌效应，有效促进了大湾区类脑智能产业与国内外同行的交流。

4 类脑智能产业发展现状

目前粤港澳大湾区类脑智能产业刚刚起步，未找到专门的类脑智能产业产值数据，类脑智能产业相关产值包含在AI产业中统计，广东省AI产业规模、核心产业规模、企业数量均居全国前列，位列国内第一梯队，重点终端产品发展迅速，部分产品全国领先。香港将AI、金融科技、智慧城市和生物科技同列为香港具有发展优势的四大范畴。澳门大力发展AI、物联网、大数据等产业。珠海市将AI产业作为重点发展方向之一，2022年珠海AI科技产业竞争力排名全国第8位，与佛山市、成都市和南京市一起位列AI产业竞争力较强的第二梯队。

4.1 产业链初步建立

(1) **类脑智能技术研发平台**。广东省智能院建设的“国家新一代类脑人工智能公共算力开放创新平台”涵盖了几乎整个类脑智能技术开发链的技术支撑平台,包括类脑计算芯片仿真和验证、类脑智能基础与应用软件、类脑智能芯片系统集成中试、类脑智能器件微纳制造、智能服务器多功能实验、类脑异构融合超算等子平台,为类脑智能产业发展提供技术服务。

(2) **类脑智能芯片**。类脑芯片是类脑智能的核心,芯片的研发与生产要经历芯片设计、硅片制备、封装、测试、质量控制与验证、上市等复杂过程。在**芯片设计方面**,由粤港澳脑智工程中心转化的“珠海天琴芯智能科技有限公司”研发出全球首颗亿级神经元规模的可编程类脑晶圆计算芯片,一颗单芯片拥有超2亿个神经元^[1]。目前,“天琴芯”系列类脑智能芯片已量产,投入应用。灵汐科技公司与清华大学合作研制出了异构融合类脑计算芯片和类脑互补视觉芯片^[4],实现了在多种极端场景下低延迟、高性能的实时感知推理。类脑智能芯片的制造和封装测试与传统芯片类似,可以通用。在**芯片制造方面**,制造环节也被称为晶圆代工,大湾区的晶圆制造有一定产能,但与设计比相对较低,形成了“设计强,制造弱”的局面。但这样的局面已开始有所改善,新建的粤芯半导体已实现量产,中芯深圳进入投产阶段,增芯、华润微等项目已开工建设,标志着大湾区芯片制造“从无到有”的突破。封装测试属于芯片制造的后道工序。在我国,封装测试企业主要集中在长三角地区,近年来大湾区的封装测试行业有一定的发展,如沛顿科技有限公司等企业。

(3) **类脑计算系统及系统集成**。“珠海横琴新近纪智能科技公司”和“珠海天琴芯智能科技有限公司”共同

开发出新一代类脑计算架构(LYRArc)的绿色类脑智能计算系统,该系统突破了面向全脑计算的晶圆级芯片计算架构、互连架构、物理架构等多项关键技术,无论从综合算力、体积能耗还是运作模式上,都更趋近人脑机理,可将数据中心能源效率控制在1.1以内,为解决类脑智能产业化发展的底层核心技术问题提供了新路径。

(4) **类脑智能相关软件、算法模型**。北京大学和广东省智能院研发出BrainPy脑动力学仿真与类脑计算通用编程框架^[1],该框架功能强大、灵活且可扩展,支持脑动力学的模拟、训练、分析等多种应用场景。

4.2 科研人才初具规模

粤港澳大湾区已经吸引了大量的类脑智能人才。通过检索分析类脑智能领域2020—2024年通信作者单位位于粤港澳大湾区的论文^②,结果表明,粤港澳大湾区以通信作者发表论文的作者数大概在200人左右,已经初具规模,但京津冀、长三角该领域发表论文的通信作者有500人左右。以通信作者发表类脑智能领域论文较多的研究人员分布在大学和科研院所及少数企业。

4.3 科技成果转化已初步实现

广东省智能院的粤港澳脑智工程中心负责科技成果转化,粤港澳脑智工程中心在澳门注册成立粤港澳大湾区脑智工程研究会。该中心建立了转移转化管理运营体系,制定科技成果转化管理办法,规范科技成果转化处置流程。广东省智能院在澳门和横琴设立2家科技成果转化平台公司:澳门脑智工程管理有限公司、广东脑智科技管理有限公司。目前,已完成“高密度智能计算及长距离无源散热系统”“脑功能检测与调控技术”2个项目的成果转化工作,在横琴粤澳深度合作区已经引进孵化“珠海横琴新近纪智能科技有限公司”“珠海横琴天琴芯智能科技有限公司”

② 检索自 Web of Science 数据库,检索日期为:2024-06-22,数据库更新日期:2024-06-21。

“燧人（珠海）医疗科技有限公司”“珠海横琴脑虎半导体有限公司”“赛默罗（珠海）生物科技有限公司”等5家类脑智能相关公司。

4.4 配套政策逐步完善

知识产权保护方面，《粤港澳大湾区发展规划纲要》《广东省知识产权保护和运用“十四五”规划》等多项规定提出要加强大湾区知识产权合作，强化行政执法和司法保护^[5]，提出的相关措施也适用于类脑智能领域的知识产权保护，包括加强大湾区知识产权交流合作、建设海外纠纷应对机制、建立知识产权案件跨境协作机制等。

数据安全与隐私保护方面，除实施《网络安全法》《个人信息保护法》《数据安全法》等法律法规外，大湾区在探索数据跨境流动规则方面先行先试^[3-5]。《广东省数据要素市场化配置改革行动方案》提出支持广州南沙（粤港澳）数据要素合作试验区、珠海横琴粤澳深度合作区建设，探索建立“数据海关”，开展跨境数据流通的审查、评估、监管等工作。《粤港澳大湾区（内地、香港）个人信息跨境流动标准合同实施指引》促进大湾区个人信息跨境安全有序流动；广东省《“数字湾区”建设三年行动方案》推动三地数字化规制规则有效衔接，并研制、实施相关“湾区标准”；香港特别行政区制定了《个人资料（私隐）条例》，澳门特别行政区出台网络安全法和个人资料保护法。

科创金融服务方面，各大商业银行已加快科创金融服务布局。例如，中国工商银行与科学技术部签署战略合作协议，实施科技金融创新服务“十百千万”专项行动，初步形成以“科创+战略性新兴产业”双轮驱动的服务格局，对国家重点支持的高新技术领域企业贷款、战略性新兴产业贷款余额均突破1万亿元。国家集成电路产业投资基金三期股份有限公司于2024年5月正式成立，注册资本达3440亿元人民币。该基金三期重点支持算力领域，包括高带宽存储芯片、类

脑芯片等，或将推动半导体设备、零部件，以及材料领域的国产替代加速，进一步地支持算力产业链发展。

5 类脑智能产业发展面临的问题

5.1 加强类脑智能源头理论创新

尽管粤港澳大湾区在类脑智能领域的源头理论创新方面取得显著进步，但与国内外其他地区相比，仍显不足。主要表现在：①颠覆性的类脑智能理论创新尚未出现，在源头上无法引领新一轮的类脑智能技术创新及产业创新；②资助和投入与国内外AI科技集聚区域相比还有较大差距，需更多的资金和资源来支持研究和产业化进程；③跨学科合作机制缺乏，类脑智能是一个高度跨学科的领域，涉及神经科学、计算机科学、信息科学、心理学等多个学科，加强这些学科之间的合作和交流，是推动理论创新的关键，但目前粤港澳大湾区还缺乏有效的跨学科合作机制。

5.2 产业链部分环节较薄弱

粤港澳大湾区芯片设计业较强，但在制造、封装测试等方面仍然薄弱。在芯片设计业中，设计环节中的关键技术IP核及电子设计自动化（EDA）软件设计的核心技术仍主要依赖国外公司，粤港澳大湾区内的EDA软件企业数量屈指可数，EDA软件研发能力不强，是粤港澳大湾区半导体设计业发展的瓶颈。

粤港澳大湾区的晶圆制造产能严重不足。无论晶圆制造的生产线数量还是技术水平，粤港澳大湾区都与长三角地区、京津冀地区存在较大差距。2021年长三角地区的8英寸、12英寸晶圆厂已建成项目产能是141.05万片/月，在建项目产能是28万片/月；粤港澳大湾区的8英寸、12英寸晶圆厂已建成项目产能是15万片/月，在建项目产能是8万片/月。由此可见，粤港澳大湾区的晶圆制造环节仍处在起步阶段，已建成项目和在建项目的产能远远低于长三角地区，晶圆制造产能不足制约了粤港澳大湾区内汽车、人工智能、通

信、机器人等高端制造业的发展。

5.3 供应链有待加强

近年来，全球正在发生产业供应链的演变^③。类脑智能相关供应链较为复杂，包括相关原材料、元器件、加工装备等。例如，类脑计算系统整机涉及几万个元器件。目前，粤港澳大湾区在元器件供应方面存在较大短缺，关键的元器件需要国外引进，大部分元器件需要从国内其他地区生产，粤港澳大湾区缺乏相关高端装备来生产这些元器件。例如，印刷电路板（PCB）上，要把芯片上的信号与PCB连起来的高速连接件，只能进口且价格昂贵；美国可以生产散热系统使用的两相泵，国内无法生产，在美国生产两相泵的成本20多美元/个，卖到中国单个泵价格高达5万元人民币。目前，粤港澳大湾区只能生产一些低中端零部件，无法生产高端元器件。在半导体材料领域，硅片高度依赖于国外主要企业，电子气体、靶材、光刻胶、湿电子化学品等材料也依赖国外企业。材料表征是半导体、芯片制造所必需的，也是粤港澳大湾区比较缺乏的。

粤港澳大湾区相关制造设备缺乏。芯片/集成电路的制造设备主要包括光刻机、刻蚀机、薄膜沉积设备等，制造过程所需的主要高端制造设备均由国外企业把控。在粤港澳大湾区，与芯片相关的设备业发展远远落后于京津冀地区和长三角地区，关键的核心设备仍无法实现自产。2021年，在中国半导体设备业上市企业十强名单中，只有深圳新益昌科技股份有限公司1家企业位于粤港澳大湾区。

5.4 应用场景偏低中端消费领域

目前粤港澳大湾区的人工智能产品/芯片产品的应用场景主要偏向低中端的消费市场，如消费电子、通信、汽车电子等领域；但也在向新的应用场景拓展，

如新能源车、工业控制、物联网等，还有少量应用于医疗器械等领域。广东省智能院开发的类脑计算系统可应用于科学和医学研究与开发中的仿真计算，以及金融、工商、互联网行业的大数据分析、知识图谱计算等场景。总之，粤港澳大湾区生产的主要是偏中低端、消费类芯片，产业应用领域有待拓展。

5.5 高端产业转化人才有待增加

在类脑智能领域，粤港澳大湾区产业转化人才不足。与（类脑）芯片/集成电路产业发展最密切的专业是神经科学、集成电路技术、微电子技术和AI等专业，分布在华南理工大学、中山大学、南方科技大学、深圳大学、中国科学院深圳先进技术研究院、北京师范大学珠海校区，以及香港科技大学、香港大学、香港中文大学、澳门大学、澳门科技大学、澳门理工大学等粤港澳大湾区的大学和科研院所。2022年，粤港澳大湾区高校在集成电路设计与集成系统专业及微电子科学与工程专业的本科招生人数是937人，硕士招生人数是292人，博士招生人数是49人。但是粤港澳大湾区在科研团队和集成电路高端人才培养的数量和质量上，仍与北京、上海等的高校和科研院所有一定差距。粤港澳大湾区需要大量从区外和国外引进高端人才，而且人才引进难度越来越大，人才供求矛盾突出，高端人才培养长期处于供小于需的状况，引才难度或逐渐加大。与此同时，急需培养和引进工程师、实验师等各类工程技术人才。

总之，粤港澳大湾区在发展芯片/集成电路产业中已经取得了一定的进展，但也面临着产业起步较晚、产业链协同不足、制造端和原材料基础薄弱等问题，同时面临国际合作与竞争的复杂性，导致产业链尚未完全形成。

③ 王缉宪：粤港澳大湾区双循环与全球供应链的演变趋势. (2022-12-26) [2024-05-16]. <https://www.planning.org.cn/report/view?id=587>.

6 对策建议

建议加强对相关领域前沿基础研究的支持，建立类脑智能概念验证中心和成果转化中心等平台，加强前沿技术与产业需求的紧密衔接等，突出粤港澳三地相关机构在人才培养、国际合作方面的优势和联动机制。

面向未来，为促进大湾区类脑智能产业发展，从前沿基础研究、产业链、供应链、人才培养、国际合作等方面提出建议。

6.1 加强脑认知与类脑智能基础前沿研究，并与产业需求紧密衔接

建议连续实施广东省重点领域研发计划项目——脑科学与类脑研究专项，持续支持脑认知与类脑智能基础前沿研究和类脑智能核心技术研发，加强对感知、认知神经网络结构与功能及类脑智能算法与模型、类脑计算的基础研究；加强对类脑智能芯片及其类脑计算系统、脑机接口和类脑传感器等智能器件及相关关键制造技术的研发；加强类脑智能应用技术的研发，促进类脑智能技术的转化和产业化。建议类脑基础研究机构通过组织相关大会、项目合作等方式，加强与企业合作，了解产业需求，通过产业需求指导基础研究，同时更利于扩大研究成果的应用范围。

6.2 完善类脑智能产业链，重点补齐制造、封测短板

在芯片制造方面，建议政府财政联合企业资金共同投入，积极探索先进制程芯片制造，缩小与长三角、京津冀等国内先进地区的差距，加快布局芯片制造项目，积极布局大规模特色工艺制程生产线。一方面，发挥广东省集成电路产业基金等财政支持的作用，积极培育粤芯半导体等“定制化代工”模式的大湾区本土企业，鼓励企业积极扩大晶圆制造产能；另一方面，政府出台相应优惠政策，积极引进国内晶圆制造龙头企业在大湾区布局成熟生产线。

未来，需要重点补齐大湾区封装测试能力：一方面，加快对封装测试技术的创新，利用大湾区内的研究中心、科研院所升级封装测试工艺技术，提升产能；另一方面，引进其他地区封装测试业龙头企业，同时培育大湾区内封装测试企业，通过集成电路产业基金支持鼓励大湾区内封装测试企业进行技术创新，支持现有封装测试企业开展兼并重组，实现大湾区封装测试能力的优化升级，促进全产业链协调发展。

6.3 发展类脑智能产业供应链，升级设备制造业

加强相关元器件的生产制造，将现有的制造业升级，发展高端制造业。针对大湾区相关材料、设备制造能力缺乏的问题，建议政府进行长期投入和积累。在设备制造方面，通过引进和培育等多种方式，升级现有的制造产业，更好地满足类脑智能产业的设备制造需求。从全球半导体供应链格局看，研发设计和设备供应环节的中心在美国、欧洲，原材料供应、制造和分销环节的中心在东亚，消费中心在中国大陆和美国。因此，还需要加强与国际企业深度合作，提升粤港澳大湾区的供应链水平。

6.4 粤港澳协同合作，引进和培育高端产业人才

类脑智能涉及脑科学、微电子与集成电路技术、固体理论、半导体材料、软硬件协同等多个领域。当前，粤港澳大湾区对类脑智能产业发展所需要的高端复合型人才培养和储备严重不足，需要同时采用“引进+培养”模式。一方面，积极从大湾区外引进国内外高端人才。面向国内外招揽高端、紧缺人才，完善税费减免科研奖励、购房补贴等人才激励政策。大湾区要以城市形象魅力和产业发展机遇有效吸引人才。另一方面，加强大湾区高校的人才培养能力。例如，减少制度因素对人才跨境流动的阻碍，加强大湾区高校、科研院所在脑科学、微电子与集成电路等领域的科研合作与交流。通过访问学者项目、联合培养项目等方式，鼓励大湾区高校与国际一流高校或科研机构在科研和人才培养方面的合作与交流。促进高校科技

创新链与市场应用链的融合,鼓励科研人员对科研成果进行市场化实践,构建高校研发与成果转化的产学研转化平台。加强大湾区内高校对脑科学、微电子和集成电路相关专业的建设,紧密根据大湾区类脑智能产业发展需求设置和调整课程、教学计划和教学方式,培养既有创新能力又懂市场运作的产业领军人才团队。

6.5 通过多种方式加强国际合作

充分借助“一带一路”、中欧班列等已有条件,加强与“一带一路”共建国家、欧洲国家的合作。合作方式多样化,例如,设立国际合作研究基金或共同申请国际合作项目等,以项目为牵引,开展高水平类脑智能科学研究。通过主办脑科学与类脑智能论坛推动区域和国际合作交流。充分利用粤港澳大湾区定期举办大湾区科学论坛脑科学与类脑智能技术分论坛、粤港澳大湾区脑科学高峰论坛、松山湖科学会议脑科学与类脑技术论坛等,推动大湾区、全国乃至全球脑科学与类脑智能领域的科学家、创新企业家之间的交流。

通过国际合作加强数据共享。通过国际合作共享资源,建立脑科学大数据库,为脑科学与类脑智能科研提供数据支持。推动产业合作,与国际企业和研究机构合作,推动类脑智能技术在医疗、教育、智能制造等领域的应用,开拓新的市场和经济增长点。另外,积极参与国际标准的制定,确保类脑智能技术的发展与国际接轨,促进技术在全球推广和应用。

致谢 感谢广东省智能院环宇翔、马宁、钟帅、兰海鹏、张飞豹,以及珠海横琴新近纪智能科技有限公司聂磊、燧人(珠海)医疗科技公司蔡江、珠海横琴脑虎半导体公司

王旭参与类脑智能产业链、供应链讨论,并提供相关材料。

参考文献

- 张旭. 智能时代的脑科学与类脑智能研究. 中国科学院刊, 2024, 39(5): 840-850.
Zhang X. Brain science and brain-inspired intelligence in the intelligent era. Bulletin of Chinese Academy of Sciences. 2024, 39(5): 840-850. (in Chinese)
- 中国科学技术协会, 中国神经科学学会. 类脑智能产业与技术发展路线图. 北京: 中国科学技术出版社, 2022.
China Science and Technology, Chinese Neuroscience Society. Roadmap for the Development of Brain-Inspired Intelligence Industry and Technology. Beijing: Science and Technology of China Press, 2022. (in Chinese)
- 沈梦怡. 中国科学院院士张旭: 聚焦原始创新 提供科技“硬支撑”. (2024-01-11) [2024-05-15]. https://www.cnbayarea.org.cn/news/voices/content/post_1198608.html.
Shen M Y. Zhang Xu, academician of the CAS Member: Focusing on original innovation to provide “hard support” for science and technology. (2024-01-11)[2024-05-15]. https://www.cnbayarea.org.cn/news/voices/content/post_1198608.html.
- Yang Z Y, Wang T Y, Lin Y H, et al. A vision chip with complementary pathways for open-world sensing. Nature, 2024, 629: 1027-1033.
- 邓瑞璇. 粤港澳大湾区推进知识产权服务升级. (2022-04-27) [2024-05-15]. https://www.gov.cn/xinwen/2022-04/27/content_5687487.htm. (in Chinese)
Deng R X. Promoting the upgrading of intellectual property services in the Guangdong Hong Kong Macao Greater Bay Area. (2022-04-27) [2024-05-15]. https://www.gov.cn/xinwen/2022-04/27/content_5687487.htm. (in Chinese)

Development of brain-inspired intelligence industry in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area

ZHANG Xu^{1*} RUAN Meihua²

(1 Guangdong Institute of Intelligence Science and Technology, Zhuhai 519031, China;

2 Shanghai Information Center for Life Sciences, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200031, China)

Abstract As an emerging frontier field of brain science, the brain-inspired intelligence has been developed rapidly during recent years, leading to the preliminary formation of the brain-inspired intelligence industry, which belongs to the strategic high-end manufacturing industry and has broad development prospects in the era of intelligence. In the future, there will be a huge demand for the brain-inspired intelligence technology and its industry in various fields in China. The Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area is actively planning the research and development of the brain-inspired intelligence technologies and cultivating the related industries by implementing major research programs and establishing new professional institutes for the brain-inspired intelligence. Currently, the brain-inspired intelligence industry chain in the Greater Bay Area has been preliminarily established. There are many research talents gathering in this area, and the transformation of scientific and technological achievements has been carried out. Moreover, the supporting policies such as intellectual property protection and financial services for scientific and technological innovation have been introduced. However, there are still many issues required to be improved, such as some weak links in the industry chain and the supply chain, the need to expand application scenarios, and the shortage of high-level talents for the industrial technology transformation. In the end, five suggestions are proposed: 1) To strengthen the basic research on brain cognition and brain-inspired intelligence, and closely link it with industry demands; 2) To improve the brain-inspired intelligence industry chain, focusing on IC fabrication, packaging and testing; 3) To develop the supply chain of the brain-inspired intelligence industry and upgrade the equipment manufacturing industry; 4) To introduce and cultivate high-level industrial talents by the cooperation among Guangdong, Hong Kong and Macao; 5) To strengthen the international cooperation through various means.

Keywords Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area, brain-inspired intelligence industry, brain-inspired computing, brain-inspired chip, brain-inspired computing system, brain-computer interface

张旭 中国科学院院士,发展中国家科学院院士,中国医学科学院学部委员。广东省智能科学与技术研究院院长、研究员。兼任上海脑-智工程中心主任、中国神经科学学会理事长。长期从事神经系统疾病的分子细胞生物学机理研究。
E-mail: xu.zhang@gdiist.cn

ZHANG Xu Academician of Chinese Academy of Sciences, Fellow of the World Academy of Sciences for the advancement of science in developing countries (TWAS), and member of Chinese Academy of Medical Sciences. President, Professor, and Principal Investigator of the Guangdong Institute of Intelligence Science and Technology. Also, Director of Shanghai Brain-Intelligence Project, President of Chinese Neuroscience Society. He has long been engaged in the study on molecular and cellular mechanisms of neurological diseases. Email: xu.zhang@gdiist.cn

■ 责任编辑: 张帆

*Corresponding author