2022年第4期(总第343期)

辽宁省财政科学研究所

辽 宁 省 财 政 学 会 2022年6月25日

**本期主题：脑科学**

[按]脑科学是生命科学最尖端、最前沿的领域，也是人类最难攻克的“科学堡垒”之一。同时，脑科学还是诸多前沿科技发展的基础，如人工智能、脑机接口、信息科学、仿生科学等，也是医学、教育和军事等领域发展的关键，尤其是事关人类生命健康的抑郁症、自闭症、帕金森症、阿尔茨海默症等神经性和精神性疾病，亟需脑科学的进步为其提供新的解决方案。自2013年以来，世界主要国家和地区纷纷发布“脑计划”，将脑科学的竞技赛推向新的高潮。我国自20世纪90年代开始重视脑科学，2015年发布“中国脑计划”。2021年，国务院发布的《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》将脑科学作为国家战略科技力量之一。脑科学的快速发展是一把双刃剑，在提升人类脑重大疾病诊治水平的同时，也影响到军事、伦理道德、生理健康、文化意识等领域，对国家安全和社会治理提出了新的挑战。

**脑科学的内涵和外延**

当前，全球有超过5000万阿尔茨海默病患者、3.5亿抑郁症患者，近10%的儿童患有多动症。根据世界卫生组织的统计，包括各种神经类和精神类疾病在内的脑相关疾病，已经超过心血管病、癌症成为人类健康最大的威胁。虽然人类已经可以“上九天揽月”“下

五洋捉鳖”，但对大脑这个由上千亿神经细胞组成的3磅重的器官，仍知之甚少。因此，越来越多的科研机构和科学家正在投入到脑科学的研究中。

1.内涵。脑科学有狭义和广义之分。狭义的脑科学一般指神经科学，是为了了解神经系统内分子水平、细胞水平、细胞间的变化过程，以及这些过程在中枢功能控制系统内的综合作用而进行的研究。

广义的脑科学是研究脑结构和脑功能的科学，主要包括脑形态及结构、脑部分区及功能、脑细胞及工作原理、脑神经与网络系统、脑的进化与发育等领域的研究，以及对脑生理机能的研究。比如脑是如何产生感觉、意识、动机和情绪，如何学习和记忆，如何传递信息、控制行为、进行自我修复和功能代偿等。总的来说，广义脑科学是从生物脑的角度探究大脑的物理构成、生物机理和工作机能，是一个认识脑的过程。

2.外延。脑科学的研究范围不仅仅局限于认识脑，如绘制人脑发育图谱、探究嗅觉工作机理等，还包括如何更好地保护脑、开发脑、创造脑。保护脑主要包括促进脑发育、预防脑损伤、治疗脑疾病、延缓脑衰老等方面；开发脑是指开发脑的未知功能、提高脑的运用效率，以及通过类脑研究，模拟脑的功能和工作原理，尤其是模拟人脑的信息处理机制；创造脑是指通过构建大脑仿真系统，开发脑型计算机，打造以数值计算为基础的虚拟超级大脑。

目前，以新一代脑科学研究为核心，以类脑智能研究、神经性疾病与治疗、脑科学技术与方法、脑科学信息与服务为中间层，以大脑控制、脑机接口、大脑模拟和人工智能等为应用层的脑科学发展图谱业已形成，并呈现出三大特征：一是神经科学与计算机、微电子、化学、材料、工程学、物理和数学等学科的交叉融合为脑科学的突破提供了契机；二是人造大脑成为主要研究目标，包括以模仿计算为主的虚拟超级脑，以及虚拟大脑与生物大脑一体化的融合超级脑两个研究方向；三是利用信息技术认识脑、了解脑、开发脑、模拟脑、创造脑和融合脑。

**脑科学的发展历程**

脑科学的发展历程可划分为混沌阶段、萌芽阶段、开拓阶段和大发展阶段。

1.混沌阶段（16世纪之前）。早在古希腊时期，著名医生阿尔克迈翁发现眼睛后部与大脑相连，从而发现了视神经，但其对脑的认识仍以主观想象为主。另一位医生希波克拉底认为，人的情绪和感觉均源自于脑，大脑是人类神智的载体。与希波克拉底相反，亚里士多德则认为神智在心而不在脑。此后，关于神智、灵魂、精神及元气的争论长达数世纪之久，人们对脑的认知一直停留在感性层面。

2.萌芽阶段（16世纪初至19世纪初）。文艺复兴时期，达·芬奇通过人体解剖绘制出了大脑的4个脑室。1543年，维萨留斯编著出版的《人体构造》对脑室进行了完整的描述。1664年，英国医师托马斯·威利斯出版《脑的解剖学——兼述神经及其功能》，其中插图与现在神经解剖学教科书上的解剖结构图基本相同。

进入18世纪，生理学研究方法被应用到脑科学研究中。脑的兴奋性与肌肉反应之间的关系、信息传递工作原理成为研究热点。但在蒙昧、迷信的时代环境下，人们对脑的研究主要还是以零散的、偶然的发现为主，主动、有意识的脑科学研究异常艰难，科学成果自然也寥若晨星。

3.开拓阶段（19世纪初至20世纪60年代）。19世纪，脑科学进入快速发展阶段，取得了一系列开拓性成就，如生物电的发现、神经元学说的创立、脑功能的定位、神经网络学说的创立等。

20世纪前后，人们对脑功能的研究取得突破性进展，尤其是乙酰胆碱的发现，加快了脑信息传递机理研究的进程。英国分子生物学家查尔斯·斯科特·谢灵顿将神经元之间的结构命名为“突触”，认为突触是神经元之间信息沟通的“桥梁”。随后，约翰·艾克尔斯与理查德·克里德证实了抑制性突触的存在。

20世纪50年代-60年代，科学家发现大脑皮层内和皮层下的边缘系统，组成了一个复杂的神经网络来控制情绪的生成和表达，以及情绪记忆的形成存贮和提取，从而建立了相对完整的脑功能图谱。

4.大发展阶段（20世纪60年代至今）。20世纪60年代，脑科学正式成为一门独立学科，其研究范围几乎涉及到生命科学的所有领域。例如，1961年，贝克西因发现耳蜗内部刺激的物理机制而获得诺贝尔生理学或医学奖；1970年和1977年的诺贝尔生理学或医学奖分别颁给了脑信息传递功能与情绪产生机理的发现者和研究者，他们发现神经元之间并不直接接触，而是以电脉冲的方式进行信息传递。

20世纪80年代-90年代，脑科学在微观领域的细胞分子学研究、宏观领域的大脑皮层功能研究成就卓然。1981年，美国科学家斯佩里因证明大脑左右两半球的功能存在显著差异而获得诺贝尔生理学或医学奖；1986年，意大利科学家利瓦伊·蒙塔尔奇尼因发现神经生长因子而获得诺贝尔生理学或医学奖；1991年，德国科学家内尔因发现细胞内离子通道、发明膜片钳技术而获得诺贝尔生理学或医学奖，其在神经突触传递和可塑性领域也非常权威。

此外，脑科学在视觉、听觉、嗅觉、脑损伤等方面的研究，以及在学习、记忆、语言、睡眠、觉醒等高级功能方面的研究，也取得较大进展。其中，瑞典科学家维瑟尔与美国科学家休伯尔因阐明视觉系统形成的机理而共同获得1981年的诺贝尔生理学或医学奖。

进入21世纪，脑科学研究呈现百花齐放、百家争鸣的局面。科学家们不但揭开了五觉（视觉、嗅觉、味觉、听觉、感觉）的工作原理、脑信息传递和优化处理的机制，揭示出精神疾病（如抑郁症、帕金森症、癫痫等）的产生机理，还成功绘制出大脑的动态发育蓝图，破译了人类大脑的两个组织轴，以及脑神经元网络结构适应环境的动态机制等。

**脑科学的主要应用领域**

脑科学的重要性毋庸置疑，其研究成果的应用推广对全人类来说意义非凡。但目前其应用领域还十分有限，主要有两大方面：一是在脑科学促进学科融合发展方面，脑科学与其他学科之间不断交叉拓展、向纵深融合，催生了新兴学科、新兴科技的诞生和繁荣，如脑机接口、神经教育学的兴起；二是研究成果直接应用于其他领域，如仿生科技、人工智能、医疗、军事等。

1.脑机接口。脑机接口是指在人或动物大脑与外部设备之间创建的直接连接，从而实现脑与设备的信息交换。脑机接口技术主要应用于人机交互、革命性假肢（神经控制假肢）、神经预测与新兴疗法、恢复主动记忆和RAM重播、神经工程系统设计、下一代非侵入性神经技术等领域。

2020年8月29日，美国“科技狂人”马斯克发布了最新的脑机接口设备。这个设备只有一枚硬币大小，在头上开一个小洞，只需要1小时手术就可以植入头骨，通过蓝牙和手机等设备连接。马斯克在发布会上展示了在猪的体内植入该设备后，可以清晰读取猪的脑部活动信息，而小猪也没有任何异常。

在人机交互领域，主要应用包括语音交互、智能操控、真人与虚拟影像互动等。神经科学家菲尔·肯尼迪曾研发“侵入式”脑机接口，让一位严重瘫痪的病人用大脑控制电脑光标以打字“发声”，通过回答“是”或“否”实现人机交流沟通。

在革命性假肢（神经控制假肢）领域，美国国防部高级研究计划署（DARPA）“革命性假肢”计划已经改造多款世界上最先进的假肢。这些假肢可以通过线路对手指和脚趾的动作产生反应。下一步，这些假肢将会与佩戴者的神经系统整合在一起，完全能够对各种神经信号作出反应。

在神经预测与新兴疗法领域，研究人员把个体大脑信息与其他数据融合，进行大数据分析，并实现个性化的神经预测，主要包括智力测验、认知障碍分析、脑疾病诊断等，甚至包括犯罪倾向预测等。通过对眼窝前额皮质进行开环的神经刺激，来调节与抑郁相关的大脑子网，从而缓解中度和重度抑郁。

在恢复主动记忆和RAM重播领域，主要是开发和测试用于人类临床的无线、完全可植入的闭环神经接口系统。该接口能够感知由损伤引起的记忆、缺陷，并提供针对性的神经刺激以恢复正常的记忆功能，从而帮助因疾病或创伤导致记忆力减退的患者恢复记忆。

在神经工程系统设计领域，通过开发可植入的神经接口，能够在大脑和计算机之间建立超过100万个神经元级别的双向通信系统，并提供空前的信号分辨率和数据传输带宽。

在下一代非侵入性神经技术领域，通过开发新一代的高分辨率非侵入式双向脑机接口，可同时写入和读取多个脑位点的信息，提高士兵与武器装备的高水平交互能力，以及士兵的超级认知、快速决策和脑控武器装备等超脑和脑控能力。

2.仿生科学。仿生学就是在工程上实现并有效地应用生物功能的一门学科，例如信息接受（感觉功能）、信息传递（神经功能）、自动控制系统等。仿生学与神经科学交叉融合，诞生了许多新兴科研领域和科技成果，如疏通血栓的微型机器人即将进入临床应用，能够杀死癌细胞的微型机器人也已研发成功等。

3.人工智能。脑科学与类脑科学（智能）是人工智能发展的基础。目前，全球人工智能研究正向机器智能进化，但仍有很多技术难题需要克服，如机器人还不够灵活，仿真模拟仍没有达到人类那样的协调性和灵活性，还需要大规模的高质量数据样本进行更加精确的计算等。人工智能仍缺乏高级认知能力和深度学习能力，尤其在可解释性、推理和举一反三等方面，与人脑的学习能力相比还有巨大的差距。现有算法与期望结果之间的差距，迫切需要对脑科学进行更加深入和精准的研究。

4.医疗领域。目前，包括各种神经类和精神类疾病在内的脑相关疾病，已经超过心血管病和癌症成为人类健康最大的威胁。例如，婴幼儿脑发育障碍所导致的癫痫、中风、自闭症，青壮年人群中的抑郁症、躁狂症，老年人神经退行性疾病，颅脑创伤后的应激综合征、植物人状态和神经损伤修复等。

脑科学的快速发展，为科学家研制新的治疗药物和策略提供了可能。例如，依据抑郁症病理机制，研发出抗抑郁有效药物——谷氨酸受体（NMDAR）抑制剂氯胺酮；通过靶向大脑中的小胶质细胞，实现神经保护和再生，帮助修复和减轻因脑损伤引起的认知缺陷；通过运动诱导AHN、提高脑源性神经营养因子（BDNF）水平，可以预防阿尔茨海默病；使用神经营养因子或结合辅助药物治疗帕金森病。

5.教育领域。脑科学领域的大脑神经突触生长呈倒U状模型学说、智力可塑性学说、多元智能理论和“情感智力”理论等，激发了人们对传统教育的反思。一方面，脑科学的发展推动着教育观、教育方式和教育体系的转变。教学过程就是学生脑智力开发的过程。教育必须适应学生身心特点和规律，教学活动必须根据青少年智力发展情况来开展。科学地进行早期教育和学校教育，才能更好地促进学生脑发育，达到更好的教学效果。另一方面，脑科学的研究成果也推动着教育评价体系的转变。不同类型的脑智能是学生个性化发展的基础，不能用单一的标准对学生进行评价。新型教育评价方式和评价体系的创建，既有助于学生素质的全面发展，又能使学生的特长得到充分挖掘和发展，并使学生保持良好的心态和进取精神，最大限度地预防、减少和精准干预学生的心理障碍和心理疾病。

6.军事领域。脑科学在军事领域的应用直接关系到国家安全。其在军事领域的应用主要包括：研制类脑军用机器人，以提升军事实力，并有效隆低军事投入中的人员损耗；研发脑控武器装备，以更加智能的方式操控武器；云控制敌方大脑，扰乱敌方大脑功能，甚至反指导敌方的军事行动；开发军事智联网和脑联网，通过脑机接口技术实现大脑与外界的信息交流和控制，开启人机、人人、物物、人物互通有无的智联时代。

美国国防部在以杜克大学神经工程中心为代表的全美6个实验室中开展了“思维控制机器人”研究，美国国防部高级研究计划局（DARPA）则开展了名为“阿凡达”的尖端军事科研项目，旨在扩展人类机能，控制进攻性武器。此外，“仿脑”技术的问世将大幅提高无人系统的智能化水平。为包括“作战云”服务军用机器人在内的多个领域带来颠覆性变革。未来，人们或可开发出基于脑联网的脑脑协同作战平台，实现战场感知、后勤保障、武器装备与指挥系统的高度优化与集成。从而使各作战环节和指挥效能得以最大限度地发挥，在瞬息万变的战场态势中捕获稍纵即逝的先机，实现出奇制胜。

**国外推进脑科学发展的主要做法**

近年来，美、欧、日等世界发达国家和地区先后启动了各有侧重的脑科学研究计划，从顶层强化战略部署。

1.各国争相布局战略计划。20世纪80年代早期，美国国内开展“利用新的计算机技术建立脑数据库或模型”论题研讨会。成立“人类脑计划”联邦协调委员会。1993年，发布“人类脑计划：第一期可行性研究”项目公告。1995年发布该计划的修订版本。1991年，决定设立一项专门用于资助神经科学与信息科学相结合的研究计划。1997年，“人类脑计划”在美国正式启动，并很快发展成为一个国际性的研究计划。2010年，美国国家卫生研究院推出“人脑连接组工程”（HCP）计划，旨在五年时间里利用最先进的核磁共振技术对1200名成人志愿者进行脑功能成像，获得具有更高分辨率的数据以进一步了解人类脑部神经环路的连接情况和功能。2013年4月，时任美国总统奥巴马宣布了投资达30亿美元的研究计划。2016年10月，美国白宫科技政策办公室下属国家科学技术委员会发布了《国家人工智能研究与发展战略计划》，提出了优先发展的人工智能7大战略方向和2个方面建议。

2013年1月，欧盟将“人脑工程”计划列入未来新兴旗舰技术项目。该计划由15个欧洲国家参与，预期10年，目标是开发信息和通信技术平台，侧重通过超级计算机技术来模拟脑功能。1996年，日本推出了“脑科学时代”计划纲要，每年支持1000亿日元，大力推进脑研究。2014年，日本启动“通过综合神经技术绘制脑疾病图谱”计划。2011年，加拿大提出“加拿大脑计划”。2016年，澳大利亚成立脑联盟，重点聚焦健康、教育、新工业三个领域。此外，德国、法国也纷纷部署脑科学相关研究计划，进入抢占科技战略制高点的行列。

2.聚焦重点领域寻求突破。美国的脑科学研究重点聚焦绘制出显示脑细胞和复杂神经回路快速相互作用的脑部动态图像，研究大脑功能和行为的复杂联系，了解大脑对大量信息记录、处理、应用、存储和检索的过程。

欧洲的脑科学研究更加侧重对脑数据的研究，旨在深入研究和理解人类大脑的运作机理，在大量科研数据和知识积累的基础上，开发出新的前沿医学和信息技术。

日本的脑科学研究突出“小、精、尖”特色，主要通过对狨猴大脑的研究来加快对人类大脑病症，如老年痴呆和精神分裂症的研究。

3.开放共享推进协同创新。脑科学具有跨行业、跨学科、高技术等特点，国外政府、军方、高校、企业等各方力量均积极参与并协同推进脑科学相关研究。美国的“脑计划”发布后，受到各方高度关注。除国家卫生研究院、国家科学基金会、国防高级研究计划局、食品药品监督管理局、情报高级研究计划局等5家联邦机构外，还有谷歌公司、波士顿大学、西蒙斯基金会等16家私营机构参与研究。甚至很多之前未涉足脑研究的化学家、物理学家、工程师，由于该计划的支持、吸引而进入脑科学领域，与神经科学家合作开展创新性研究。欧盟“人脑工程”由瑞士洛桑理工学院负责总协调，欧盟130余家有关脑神经科学、生命科学、临床医学和机器人技术的科研机构参与。2016年，来自21个国家的60余名科学家齐聚美国，讨论开展脑科学的全球合作，力图推动“国际大脑站”的建设，致力于搭建一个用于在全球范围内进行合作的技术基础设施，其本质是一个综合性云计算平台，各国研究人员均可利用该平台进行收集、存储、分析、共享数据。

4.以脑科学助推人工智能。国外注重利用脑科学研究成果推动人工智能技术步入新的发展阶段。美、欧、日等都将脑结构及运行机制研究列为重要内容，为人工智能技术新发展提供理论支撑。如美国科学家首次提出了基于先验知识的感知学习方法，更接近人类智能特征，实现了人工智能基础理论的新突破。在技术层面，功能磁共振成像技术和脑磁图技术实现“思维成像”，类脑计算芯片已成功模拟人脑工作机制，为脑认知和类脑智能研究奠定坚实基础。

5.关注军事航天领域应用。国外脑科学军事应用重点关注两个方向：一是使现代士兵具备高于常人的视力、听力、学习和记忆能力，战场作战能力及损害修复能力等，并能实现士兵与外界的实时信息接收与传输，进而实现战争的高效、远程控制和战场指挥，为特种作战、“斩首”战术等提供全新的超级士兵，这些战术的运用及超级士兵的参战有可能迅速改变战场态势。二是类脑智能同武器装备结合，充分发挥已有装备性能，大幅提升无人装备智能化水平，使战场人员与系统具有更强的协同作战能力，可带来多方面的军事优势。美国等发达国家在脑科学军事应用方面已进行了大量的探索研究，以确保其领先地位。

6.积极防范潜在风险。一是积极开展相关理论研究。为建立脑科学研究、发展与应用的伦理准则和管理政策，美国科学家已提出“神经伦理学”的概念，将其定义为一门“研究人脑治疗和增强以及对人脑干预的对与错、好与坏”的学科。二是探索建立脑科学研究与应用原则。英国纳菲尔德生物委员会针对脑科学研究所应遵循的原则框架开展了探索性研究，认为脑科学最基本的原则是有利和谨慎。不仅包括预防干预大脑所存在的潜在安全风险、隐私保护和病人决策中的自主性提升，还包括平等获取创新产品的公正问题，提升公众理解程度和对新技术的信任问题。该委员会建议用严格的监管和问责制度，保护和促进公众利益，尤其是在新技术面对短期利益和经济效益时，拒绝夸大能力、淡化风险。

**我国脑科学的发展现状**

2016年，旨在探索大脑秘密、攻克大脑疾病、开展类脑研究的中国脑计划正式启动。该计划以阐释人类认知的神经基础（认识脑）为“主体”，以研发重大脑疾病诊治新手段和脑机智能新技术为“两翼”，主要解决大脑三个层面的认知问题；一是大脑对外界环境的感官认知，如注意力、学习、记忆以及决策制定等；二是对人类及灵长类动物自我意识的认知，即通过动物模型研究人类及灵长类动物的自我意识、同情心及意识的形成；三是对语言的认知，探究语法及广泛的句式结构，用以研究人工智能技术。当前，我国脑科学研究发展迅速，已经取得多项世界级的重大研究成果。但与发达国家相比，在论文发表、专利申请等领域仍然有较大差距，从中美两国在脑科学领域的学术交流情况便可见一斑：2019年，参加第49届美国神经科学学会年会的嘉宾有3万余名，来自全球80多个国家，而参加中国神经科学学会年会的嘉宾仅有3000多人。科技部于2021年9月发布《科技创新2030-脑科学与类脑研究》重大项目计划，标志着脑科学在我国进入到全新的发展阶段。

1.脑科学的研究主体。目前，我国在脑科学领域已经形成了三大类研究主体。一是以上海脑科学与类脑研究中心、北京脑科学与类脑研究中心为代表的中国脑计划南北两个中心；二是以复旦大学脑科学前沿科学中心、浙江大学脑与脑机融合前沿科学中心为代表的教育部前沿科学中心；三是国内高校和科研院所成立的各类研究机构，如清华大学、北京大学、北京师范大学、中科院深圳先进技术研究院与IDG共建的麦戈文脑科学研究院。这些研究单位每年吸引大批海外脑科学人才回国，促进了我国脑科学研究的大发展。截至2020年底，教育部已批准建设14个前沿科学中心。

2.脑科学的论文和专利数量。2016年-2020年，我国在脑科学领域共发表论文9861篇，远低于同期美国的近15万篇；申请专利1730项，也远低于同期美国的8675项。这说明从论文发表和专利申请的角度，我国在脑科学领域与美国的差距十分巨大。但我国在脑科学领域发表论文数量的增长率较高，2001年-2005年、2011-2015年出现过两个峰值，2016年-2020年也达到了41.2%，远超同期全球19.2%的水平，说明我国脑科学研究一直处于朝气蓬勃阶段。2020年，受新冠肺炎疫情影响，中美两国在脑科学领域发表文章和申请专利的数量均出现了下滑。

2016年-2020年，我国在脑科学领域的论文发表机构以医学院为主，高校和科研院所的论文发表量偏少。我国在脑科学领域的专利申请量总体偏少，与美欧发达国家相比尚有很大差距。在前15名（Top15）专利申请机构或个人中，科研机构为我国贡献了71.8%的专利量，企业贡献了21.4%的专利量，个人贡献了6.8%的专利量，这充分说明我国在脑科学领域的研究仍以基础研究为主，且部分领域已进入产业化应用阶段。

3.脑科学的国际合作。2021年1月29日，“中日高层次科学家研讨交流活动——脑科学”以视频方式在线举办，来自中国、日本和英国等国家的40余名科学家参加活动，逾5000人次在线参与。研讨交流围绕以下四个方面：

一是推动跨学科的脑科学合作。建议设定合适的研究主题，整合各机构力量，组建跨学科团队；鼓励学生在不同实验室和科目间轮转；给予跨学科合作稳定的经费支持。

二是数据共享和国际队列研究。提出共享数据不仅是一个科学问题，更是一个政治问题，可在共享动物数据的基础上，推进人类数据的共享；不同国家和地区对如何进行数据库设立及其共享有不同的标准和规定，需要建立一个通用的原数据标准以便于跨国的数据搜索和共享；借鉴英、美等国数据库的成功运作经验，相信中日两国在数据收集与共享及开发基于大数据的分析方法方面能加强合作创新。

三是脑与类脑智能研究领域合作机会。中日两国地处东亚文化圈，具有相似的文化背景，应当意识到“文化共通性”的重要性，发挥两国文化传统、思维方式等共通的优势，开展认知心理学、精神疾病的合作研究，提升中日两国乃至东亚国家和地区在全球脑科学领域的发言权和地位；中日双方在多中心临床数据库建设与数据分享、转化应用和临床研究方面也有很多合作机会，在非人灵长类研究和基于神经影像的脑科学研究等方面具有广阔的合作空间；如果要共同推动新的技术，不仅需要共享资源，还需要开发更多通用的技术平台。

四是推动合作的资助形式与青年科学家培养。应当在青年科学家培养、训练和交流方面加大投入，培养脑科学领域长期可持续研究的中坚力量。鼓励青年学者进行更多跨国、跨机构的学术访问与科研合作，包括增加研究生交换生的资助比例、设立针对青年访问学者的职位资助、设立更多的合作项目以增加青年学者申报机会等；从基金资助层面加深两国合作与交流，加强基础脑科学的研究和投入，可考虑在两国之间建立真正的多学科指导或研究基金资助方案。

**脑科学带来的影响**

脑科学的发展提升了人类对脑的理解和脑重大疾病的诊治水平，也为发展类脑计算系统和器件、突破传统计算机架构的束缚、推进人机一体化提供了重要支撑。与此同时，脑科学也是一把双刃剑，其发展和应用也带来了军事、伦理、监管、健康、隐私等问题，对国家安全和社会治理提出了新的挑战。

1.对军事作战的影响。脑科学是生命科学的热点和难点领域，由于人脑结构功能的复杂性，探索人类思维的运行机制将成为人类进步新的里程碑。一场以“脑”为标志的颠覆性技术革命正在酝酿，这也必将给人类带来巨大的改变。从军事领域看，因为脑科学直接涉及到了人类最核心的思维意识领域，是一个全新的领域和空间，其所带来的变化甚至将超越核武器技术。战争将由传统的物理竞争空间向多维空间发展，战争形态以及战争的核心要素也将发生革命性的改变，以军事“脑科学”为核心的军事高新技术竞争，也将逐步发展成为国际军事领域研究的新热点。

2.对社会治理的影响。随着人类对脑结构和功能理解的不断深入，认知神经科学推动了在脑和神经系统层次上认识人的社会特性及其本质，“仿脑”“脑控”等应用相继融入人类社会发展进程。然而，脑科学与类脑智能的飞速发展加剧了人们对社会治理问题的关注和担忧。社会结构失衡、政治经济失稳和人机共存失控等新挑战将成为未来国际社会的讨论焦点。

3.对伦理道德的影响。未来以神经科学、人工智能、脑机接口等科学技术为代表的脑科学将深度融入各行各业，并将对经济发展起到积极的促进作用。虽然现代脑科学发展前景广阔，但同时它又模糊了物理现实与主观感受的心理界限，衍生出错综复杂的伦理、道德和安全问题。总的来看，人类社会不得不面对三类触及伦理道德底线的敏感难题，即人权自由、隐私保护和身份认同。

4.对生理健康的影响。保障民众健康的重大社会需求必将使脑疾病研究成为脑科学重点内容之一。脑科学多学科交叉集成发展的特点，使神经科学、类脑研究、计算机科学等学科与医学研究紧密地交织在一起。伴随脑成像、光遗传、脑电、细胞与分子生物学、人工智能、脑机接口等技术的日益成熟，神经系统疾病诊疗与社会健康医疗条件持续改善。未来，可穿戴智能健康检测设备、老年陪护机器人将广泛应用；基于人工智能的健康管理将成为现实；孤独症和儿童智障等神经发育疾病被精准诊断，阿尔茨海默症、帕金森症等神经退行性疾病将得到有效的早期诊断与干预；植入式芯片等脑机接口将被应用于各类神经精神性疾病治疗；虚拟现实广泛应用于科研、实验、临床、手术等领域的模拟训练；神经芯片、仿生器官将初步普及。脑科学技术在为人类带来健康保障和更长寿命的同时，也使各类疾病所产生的社会负担大幅降低。根据世界卫生组织（WHO）发布的《公共卫生领域应对痴呆症全球状况报告》，2019年全球有5520万人患有痴呆症，预计到2030年，全球将有约7800万痴呆症患者，痴呆症的全球成本预计将增加至1.7万亿美元。

5.对文化意识的影响。文化是一种社会现象，是人类群体共同创造的物质文明和精神文明的总和。文化在某种意义上也可以说是脑的产物。脑的进化为人类文化的产生奠定了物质基础，它又在文化的影响和熏陶下得到发展。以语言和脑的关系为例，脑和语言都是为了解决认知和感觉运动方面的问题而进化的。人类为了处理符号发展了语言技能以及相应的脑组织结构，而这些脑组织结构反过来又促进和发展了更高级的语言能力。

**推动脑科学发展的政策建议**

人类正经历一场向智能社会的革命性转变过程，其最核心内容是理解认知大脑高级功能的物质及结构基础，在防治认知障碍性疾病的同时，发展认知技术并广泛应用，从而实现由“信息时代”向“脑智时代”的跨越。脑科学研究已经成为时代潮流不可阻挡，脑科学的大规模进步必将为人类带来一个日新月异的新世界。

1．加大投入力度，支持脑科学基础研究。加强基础研究，设立脑科学发展的专项基金，促进成果转化。以规划为导向，以重大项目为抓手，谋划一大批面向“十四五”时期和2035年的重大项目、科研平台等，筹建或组建国家、省市级脑科学研究重大载体和实验室，加大学科建设投入，大力支持脑科学各类研究项目团队组建并申报重大课题，建立严格的高标准、高要求评审机制，促进脑科学研究量的突破、质的提升。鼓励脑科学相关学会、联盟、协会、社会团体的创建和发展，加强各类组织与国际脑科学资源的对接与交流合作，为我国脑科学的发展提供强大的社会支撑力量。

2．加强组织领导，推动战略性项目落地。坚持党对科技事业的领导，发挥党的领导政治优势，深化对创新发展规律、科技管理规律、人才成长规律的认识，抓重大、抓尖端、抓基础，为我国科技事业发展提供坚强政治保证，切实抓好落实工作。成立国家、省市级“脑科学专项工作组”，赋予其强有力的科技方案制定和科学决策、组织协调职责，统筹各方建议和资源，布局汇聚研究力量、推进学科建设、用好科研成果，广泛吸收业界代表，

细化、精确论证我国迫切需要发展的领域和战略必争领域，建立国家、省市重大项目创建机制，明确年度落地计划，压茬推进、滚动实施。

3．充分利用社会资源，助推脑科学产业化。充分调动和利用社会资源，发挥企业研发机构的积极性和主动性，使其参与到脑科学、类脑科学研究和应用研发中来。在重大科技项目设计上，紧紧围绕我国支持北京、上海、粤港澳大湾区建设“国际科技创新中心”的契机，加强脑科学领域原创性、引领性科技攻关，加大研发投入，鼓励社会各界科技创新力量参与到“脑科学、类脑科学”重大科技项目、重大课题研究、重点平台建设中来，加快科研人才与科研成果的集聚和流动，释放体制活力，提升脑科学领域的研究热情和活力，加快推进脑科学应用的产业化进程。

4．瞄准重点领域，提升国际竞争力。瞄准脑科学重要前沿领域，做好“脑科学重大项目”的顶层设计，明确具体发展目标、发展路径和技术方案；鼓励变革性技术研究和创新研发，广泛搭建国际合作交流平台，积极引进国际先进的脑科学研究机构和人才，汇聚全球脑科学研究和创新要素，为我国的脑科学研究提供强有力的智力资源保障，力争掌握未来智脑时代的领先地位，提升我国在原始科技创新方面的国际竞争力。

业务指导：于京东 地 址：沈阳市皇姑区北陵大街45-13号

策 划：张 季 邮 编：110032

采 编：孟宪民 电 话：(024)22826560