

中国科学院学部 科学与技术前沿论坛简报 第 64 次

学部工作局学术与文化处 编报
《中国科学》杂志社

2018 年 3 月 15 日

“脑科学与人工智能”科学与技术前沿论坛综述

脑科学与人工智能同属于 21 世纪的前沿学科，在过去几十年中，两个学科的发展相对独立，各自取得了长足的进步。近年来，随着研究手段的丰富和研究领域的突破，脑科学与人工智能的交叉与融合成为广泛关注的热点。脑科学可以为人工智能提供生理学原理、数据、机制，并启发更具通用性和自主性的人工智能新模态。人工智能则可以为脑科学提供仿真模拟手段、系统与平台，支持科学假设的验证，并为其提供广泛的应用前景。脑科学与人工智能的进一步交叉融合，有望在若干特色方向上取得突破，对探索人类的智能本质、提升人类的智能极限和推动社会的智能化水平具有重要研究价值和应用前景。

我国高度重视脑科学和人工智能领域的发展。2016 年 3 月，我国“十三五”规划纲要中将“脑科学与类脑研究”列为“科技创新 2030—重大项目”，推动开展以探索大脑秘密、攻克大脑疾病为导向的脑科学研究和以建立发展人工智能技术为导向的类脑研究。在《脑科学与类脑研究概述》一文中提到，哪个国家能率先占领脑科学和类脑研究的高地，很大程度要看谁能首先做到这两个领域真正地融合发展。由此可

见，我国已将“脑科学与类脑研究”上升为国家战略意图，致力于抓住历史机遇，突破重点领域。这对我国提升在国际上的科技话语权也具有重要的战略意义。

本次论坛以“脑科学与人工智能”为主题，借助中国科学院学部平台的学术影响力和组织号召力，充分听取两个学科领域专家学者的学术观点，充分交流两个学科的先进学术成果，对目前脑科学与人工智能的发展现状进行深入讨论，对脑科学与人工智能的融合方式和发展路径进行全面梳理，进一步加强两个学科的交叉力度和思想碰撞，更好地推动脑科学与人工智能的相互融合与共同发展，并为在国家层面上进行相关领域的跨学科发展的决策提供具有前瞻性与可行性的规划与建议，特别是为国家层面上实施“脑科学与类脑研究”重大项目进一步凝练目标、凝聚共识。

一、论坛概况

2017年5月8日，论坛在中国科学院学术会堂召开。中国科学院外籍院士、中国科学院神经科学研究所所长蒲慕明和中国科学院院士、中国科学院自动化研究所研究员谭铁牛担任本次论坛的执行主席。蒲慕明院士致开幕词。论坛期间，蒲慕明院士、谭铁牛院士、李德毅院士和何生研究员分别作特邀报告；郭爱克院士、王佐仁研究员、徐波研究员和刘成林研究员分别主持了报告会和专题研讨会；来自130余个高等院校、研究机构、企业的300余位专家学者参与论坛。与会专家围绕论坛主题，结合自身所在的领域，对脑科学与人工智能发展的趋势和前景进行了热烈的交流和深入的讨论。

本次论坛由中国科学院学部主办，中国科学院学部学术与出版工作委员会、中国科学院信息技术科学部和中国科学院生命科学和医学学部承办，中国科学院自动化研究所、中国科学院神经科学研究所和《中国科学》杂志社协办。

论坛的学术报告以视频资料的方式得以保存。

二、论坛报告

论坛邀请了来自国内外的神经科学领域和人工智能领域的专家作专题报告，通过专题报告提纲挈领，让谈论议题的目标更加聚焦，更好地指引两个学科互相借鉴研究成果、共同促进。

报告内容如下：

报告一：蒲慕明院士“大脑可塑性与类脑智能研究”

神经系统的最大特色在于其可塑性——即其结构与功能可依据使用的历史而改变。这种可塑性是大脑认知功能的基础，也是类脑智能系统最可借鉴的特性。神经科学虽然在过去半个世纪以来在细胞水平上探索神经可塑性取得显著进展，但对理解神经环路和大脑功能可塑性仍面临巨大挑战。如何从对大脑相当粗浅的理解中，抽取对类脑智能技术有启发性的内容，是当下类脑智能研究的主要课题，也是类脑智能取得突破的关键。报告回顾了神经可塑性研究的重大发现，并猜测新一代类脑神经网络可借鉴的自然神经网络的特性，简述了赫伯神经集群假说（Hebb Cell Assembly Hypothesis）的研究历程和对人工神经网络计算模型设计的可能贡献。报告还举例说明了人工智能的发展亦可对进一步理解人脑复杂网络的运作机制有所启发。

报告二：何生研究员“人脑视觉认知原理和启发”

认知科学主要研究人的知觉、注意、记忆、情绪、决策、问题解决、语言、意识等过程的功能和神经机制。人脑具有高度发达的视觉信息处理系统，并在长期研究中取得了相对深入的了解。报告讨论了认知科学研究人类视觉系统的多个平行通路（包括皮层上及皮层下）的不同特性和分工，前馈和反馈信号的相互作用，物体识别的多层次结构，专家化系统的形成以及知觉意识的功能等。讨论了在发展人工智能的过程中，人脑中的哪些工作原理值得学习和借鉴。

报告三：谭铁牛院士“生物启发的模式识别”

模式识别在过去几十年中取得了长足的进展，在特定领域取得了

成功的应用，甚至媲美人的性能。但是，现有模式识别方法与生物系统相比依旧存在显著不足。向生物学习，开展生物启发的模式识别有望实现模式识别理论与方法的新突破，达到对不同任务无缝切换、对环境自主适应、对知识凝练抽取等。报告回顾了模式识别的历史，阐述了模式识别的现状，对有望用于模式识别的生物机制进行凝练，进而对课题组和国内外同行在该方向的具体工作进行了介绍，最后给出生物启发模式识别方向的未来展望。

报告四：李德毅院士“自动驾驶认知”

自从图灵测试提出以来，脑认知的度量和测试一直是人工智能的热点话题。图灵测试根本上是一个不确定性人工智能测试。测试的问题域，无论是机器对话、机器写诗、机器为图配题，还是机器自动驾驶，图灵测试都允许测试者现场介入，尽管判定结果存在整体客观性，但都会带有近似性和主观性的成分。报告认为，和对话、诗词写作、图配题等智能活动相比，驾驶图灵测试可通过驾驶行为大数据进行更为精确、更为客观的评测机器人的认知。无人驾驶的根本问题不在于车而在于人，其核心是物化驾驶员在开放条件下对不确定性驾驶环境的认知，它是在长期的驾驶实践中从环境感知到决策控制的经验积累形成的。重点是物化驾驶员认知，解耦出类脑的功能模块，研发机器驾驶脑，和汽车一起构成轮式机器人。当前，国家正在建立多个智能驾驶专用试验场与评估环境，它们很可能发展成为人与轮式机器人比赛驾驶智能的试验场，发展成为赛车手和赛车机器人角逐冠军的比赛场，发展成为后图灵时代的图灵测试场。这样一来，基于驾驶的图灵测试可大大推动我国类脑研究和无人车的产业化发展。

三、论坛重点关注的议题

议题一：脑科学如何支持人工智能的发展

本议题由中国科学院神经科学研究所王佐仁研究员主持，议题的脉络从微观结构到宏观结构，从脑科学的网络结构到神经算法及整体

的情感意识自主机器人等六大主题分别进行讨论。

主题 1：关于神经科学的脑网络结构突触可塑性以及人工神经网络与学习算法的探讨

(1) 关于祖母细胞功能的细胞群讨论。用细胞群的概念来理解祖母概念，即祖母概念是跟祖母有关的一大群细胞，实验有可能只记录到了单个细胞。当这群细胞看到祖母或跟祖母相关的信息时就会放电，其中该细胞群中的细胞很可能是跟祖父相关的细胞，看到祖父时也会放电。这就意味着编码祖母和编码祖父的细胞群之间可能会有重叠。细胞群存在两种模式：一种是聚合模式，最终聚合为一个细胞；另一种是本身就是细胞群放电，该细胞群并没有聚合到某些特定编码细胞，有可能是细胞群在进行编码。

(2) 网络行为学和神经网络的差异性和如何统一不同网络的探讨。人是一个复杂的生物体，经过长时间进化，才形成特定的认知功能。人所具有的智能不是一个简单的物理或者数学公式计算的结果，虽有一定的匹配，但是这种匹配结果是由进化造成的，而不是计算最优得到的结果，例如人的天性看见蛇就会躲避。如果认为人是一个智能机器，其并非是一个完美的机器，而解决的问题也不是得到了某个具体问题的最优解，而是让人可以在自然界存活。大脑是宇宙中最复杂的系统之一，可以观察到非线性、临界态、耗散结构等一系列复杂的现象。大脑可以看成是一个学习机器。从人工智能的角度来考虑，大脑最基本的是网络结构，其次就是学习算法。生物大脑和计算大脑之间是可以互相借鉴、学习的：从神经微环路到介观层面网络结构的处理，再到宏观层面的脑区协作。这两者都是复杂异构的网络，如何从中探索共通之处是取得两个领域交叉的关键。

(3) 关于大脑可塑性的讨论。一个人的个性、可变性、可变通性、创造性是来源于其基因和遗传。举例来讲，领导的大脑网络和下属的大脑网络不一样，白领的大脑网络和管理者的大脑网络也存在一

定的差异。这种不一致性是由于自身所有的经验结果造成的网络结构不同，从而产生不同的个性和创新能力。在此过程中，基因提供了网络的基础材料，即基因合成蛋白，但是差异性主要受经验影响。同时，创新性和可变性可能和网络可塑性相关。因年龄增长可能会导致创新性和可变性下降，可能是和网络的连续使用和存储信息量相关，最可能的解释是由于知识积累会直接将创新性导入已建立好的网络中。

(4)人工智能可否借鉴神经系统中 Timing 实现同步和异步？这个问题的本质应该是大脑中的时间如何表征。在实际研究过程中发现，大脑在大多数情况下对时间编码是比较模糊的。只有在极其特殊的情况下，运动控制在小脑时间编码极为重要。目前人工智能采用递归神经网络模拟大脑的时序处理，该网络中存在大量的互相连接，同时存在兴奋性和抑制性两种连接，可以表征出多种动态性，如果参数调到某一范围时，该网络产生混沌状态，可以编码时序信息，学习一些对时间要求非常精确的运动任务。

(5)小脑的研究前景会优于大脑吗？小脑对于精确控制时间具有极重要的作用。传统递归神经网络在研究序列信息或语言信息的产生原理时遇到很大的瓶颈，所以小脑的神经网络研究领域基本是空白。现有神经科学对时序编码的研究存在一定的局限性，计算量的快速增长对数据学习的要求会越来越高。因此，考虑功耗和准确率等因素的影响，科学家们尝试实现时序编码是一个巨大的挑战。

(6)如果将主题“脑科学与人工智能”改为“认知科学与人工智能”或“神经生物学与人工智能”，是否会存在差异？这三个概念的主要区别在于：认知神经科学是比脑科学更高一个层次的领域。严格来讲，认知神经科学属于心理学概念，而神经科学以神经生物学为基础。从最合适的物质和思想来考虑，脑科学比较合适，而认知神经科学物质基础相对差一点。讨论物质基础，不仅是要从软件上实现类脑，而且也要从硬件上实现类脑，致力于发展类脑芯片的研究。

(7) 脑科学的研究领域太广泛，是否可从医学角度将脑认知作为研究出发点？深度神经网络实际结合了脑科学和认知科学两方面内容。生物上的研究成果是构建人工智能神经网络的重要原理，同时神经回路的研究成果也是深度学习的重要基础。在神经生物学中，包含有高层的认知研究、底层的分子研究、突触研究和细胞连接研究等内容，对于整个领域都具有重要的贡献。起初，科学家们可能觉得认知会更接近于人工智能，但是实际从各个层次方面进行综合探索，对于人工智能和了解人类认知具有重要的意义。

(8) 神经表征的本质是化学和电的探究讨论。从微电子角度分析，面临几个问题：一是性能局限，现有芯片对图像、语音的处理的效率较低；二是功耗制约，集成电路固有的制约限制因素就是功耗，芯片上的散热和功耗面临挑战。用数学表现突触和神经的一些现象，可以更好得理解脑科学的原理。例如在一个脉冲后，连续两个电压变化，这个叠加就是卷积，可以用数学公式表示，在实践中可以获得很好的应用。

(9) 基于脉冲神经学习计算的脉冲神经元的编码问题探讨。目前脑科学中对于编码研究已经有了初步的共识。起初科学家们在研究编码时认为脉冲幅度是固定的，即频率编码。目前有部分研究在探索进入皮层前的视觉信号时发现，通过实验可以测量到位于基底的细胞，但是位于中间的细胞在没有刺激的情况下无法测量。为探究中间细胞，科学家们构建了一个数学模型，尝试用电声去拟合，其研究成果对人工神经的研究起到了很大的启示作用。同时，有部分研究工作是将视觉视频的信息引入后编码成脉冲信号，尝试探究脉冲神经元编码。

主题 2：关于学习记忆的神经机制和类脑存储系统、泛化学习和智能生长的机制的探讨

(1) 如何将除神经元以外的内部信息更好地用于人工智能的发展？在记录大规模的神经元的活动中，很难证明神经元之间的功能性

联系。目前最大规模的记录是在某个脑区或几个脑区中打入电极阵列、微观电极阵列，但实验发现打到几百到上千神经元之间联系的概率不到 2%。目前技术上存在的最大困难应该是怎么证明神经元和神经元之间存在一个复杂的功能性联系。理论研究发现大脑中存在非线性动力学特征分析，因此还需要在实验技术上进一步取得突破和提升。

(2) 关于人脑中的量子纠缠问题的探讨。大脑是有物质基础的，量子纠缠就是其物质基础之一。但是量子纠缠是微观现象，和记忆学习意识不在一个层面上。脑科学中的语言和量子纠缠语言是完全不一样的，它们之间虽然有一定的关系，但是从现象联系到高层面的宏观现象，即记忆学习意识问题，还存在巨大的差别。

(3) 大脑的学习机制是否可以给工程应用提供有效借鉴？目前神经网络中应用的学习算法和大脑中的学习机理有很大的差别。例如在反向传播算法中可以将一个误差信号反推若干层，但是在生物体初步的实验中却无法验证大脑中如何反向传播。大脑最重要的性质是可以涌现智能，即在大规模的神经元中产生智能。演化和选择是神经科学家给人工智能专家可以提供的核心机制，从低等昆虫到人类的高等智力，神经科学家都是在演化历史的横断面上进行研究，但是这种演化断面都有一个连续性。人类大脑的演化不是随机的，而是具有偶然性、不可逆性和不可重复性。但是研究脑科学和人工智能，也要注重不同学科人才的智慧交流和深度融合。

主题 3：如何利用神经科学对外界信息处理的能力来做最优的抉择

脑科学可以提供的神经计算机理讨论。人工智能可以从脑科学的研究成果中得到很多借鉴。目前有一项研究尝试将临界态概念应用到现有算法中，可以高效地解决人工智能在产业化过程中遇到的实际问题。脑科学里应该存在一个完全对应关系。对于建立的认知模型，可以很好地进行语言识别和脸部识别等任务。

主题 4：语言的神经机制和自然语言处理

关于脑科学中对异常突变的人脑研究和大数据进行智能感知与决策的研究。不同人群之间存在差异性。目前有一项研究工作是集中描绘脑网络图谱。为了得出精神分裂和正常人、犯罪分子和普通人是不是属于同一网络的结论，实验中需要大量且质优的数据进行分析和讨论，肯定可以分析出两种人群的网络结构，但是这两种人群网络结构是否存在差异性还有待进一步考究。

主题 5：语言的神经机制

(1) 基于语言的脑网络连接图谱讨论。脑疾病研究过程中发现大脑中有一个特殊的脑区对人名和地名非常敏感。在对该脑区的神经元刺激后，可能会对人名和地名不再敏感。因此在自然语言处理过程中，设定一个独立的模块将人名和地名检测出来，在此基础上再翻译，可以取得更优异的性能。但是在语义理解和语义识别还没有成熟的图谱，是一个巨大的挑战。

(2) 神经科学中触觉研究对人工智能发展的影响。这个问题的本质是高等认知是不是学习演化得到的。有一项研究是将猴子放在镜子前面，它并不认识自己，只认得是另外的猴子，但是如果通过镜像跟它建立关系，训练一段时间后，猴子就可以建立对自我的感觉，产生自我意识。还有一种方法是训练猴子在看到激光打到板子的实验，看到镜子里面有板子，猴子摸对了，就有奖赏，通过训练它控制自己身体的位置，这叫做体感，属于躯体的一种感觉。高等的认知功能可能建立在这个层面。

主题 6：情感与意识自主机器人、运动控制

如何从脑机制及大脑理论来控制临床训练。运动康复主要分为两类：主动运动康复和被动运动康复。不太建议做被动运动康复，最好的运动应该是主动运动。在主动运动中，由于病患对感知和运动环路已经阻断，最好的方法是解码其大脑中的运动意念。这其中不仅是运动问题，还有学习记忆，即人类如何获得外界的技能，需要内部产生

一个主动参与的意向信号。

议题二：类脑智能的态势与发展研讨

本议题由中国科学院自动化研究所刘成林研究员主持，重点讨论人工智能目前的发展状况和趋势以及人工智能怎么从脑科学里面受到启发。讨论过程中通过不限定主题的形式，让不同领域的科学家通过自由提问，在争议中探究科学真理。

(1) 在人工智能发展到国家重要布局的背景时，社会对于新兴计算集群的计算需求量（例如量子计算机的计算能力）是多大？实现人工智能，甚至是通用人工智能，一定是基于物理载体发展，但是对于载体的选择可能是超级计算机，可能是集群，或是新的神经网络系统。但是强大的人工智能技术的发展必须依赖强大的物理实现载体。就单单从集群来讲，也是一个初期阶段。这种方式不是人工智能实现的合适平台，可以借助其进行仿真实验，但是真正大规模的实际应用，必须由专用应用系统支持。

(2) 在科普过程中，人工智能给社会带来的最前沿的产物是什么？是否有超级人工智能出现的可能性？以及是否会有超越人的智能出现？通过了解和控制大脑环路可以有效防止记忆衰退和防止老年痴呆，如刺激大脑睡眠中枢可以有效解决睡眠问题，可能协助指导治愈自闭症孩童的大脑失常问题。智能系统可以延展人类的智能能力，包含超级视觉能力和超级听觉能力。人工智能也可以很好地应用至养老和教育问题、疾病诊断和治疗，例如沃森可以很快诊断皮肤病，智能机器协助做手术等。未来的世界可能是人机共生、人机交互、人机并存的年代，可以通过数字拷贝，让生活更加丰富、更加精彩。

(3) 在神经科学领域，有没有实验条件观测到概念的形成过程？现在可以观测到活体大脑中大量神经元的放电过程。以祖母为例，祖母概念形成后，语言区的神经元观测听到祖母名字后会放电，面孔区的神经元在看见祖母后放电，但是这两个放电过程是不同步的。假设

这种情况是概念形成，即各个脑区跟祖母相关的神经元一起放电，形成大的集群，假如一起都出现了电活动，可以通过实验手段唤起祖母，尝试让实验者想祖母的概念，观测哪些神经元有活动，可以激活这些神经元是否能唤起祖母概念，这个实验从理论分析是可行的，但是技术上还欠成熟。目前类似的实验载体是猴或鼠，可以在猴或鼠的实验中检测到概念，也可以利用宏观影像检测到大面积的放电活动，但是各个区域是不是同时出现放电现象，是和概念相关的。在计算机视觉方面，可以通过一个范式形成的过程模拟观察放电活动的产生，假设集群的产生是因为同步放电，增强了集群之间的联系，可以观测到概念慢慢形成的过程。

(4) 卷积可以表示认知和记忆，但是如何从脑神经机制中得到用卷积表示认知和记忆？从神经科学角度，记忆是储存在网络中，但是具体存储在哪个区域和其运作原理还需要进一步探究。目前对于主流的人工神经网络跟生物神经网络之间是否有相似性是有一些争议的。早期人工智能的发展是受到神经网络的启发，如感知模型受到神经科学的启发。但是目前该网络全连接前向神经网络和卷积神经网络在进化过程中，已经和原生物神经网络之间的相似性越来越少。通过卷积表示认知和记忆，更偏向于计算方面，和神经科学有一定的差别。

(5) 人工智能伦理问题讨论：一是人工智能有没有负面作用，二是如何防止人工智能的负面作用。伦理道德问题是任何科学研究都需要探讨的问题。科学是发现和了解自然界既定存在的规律，技术是将科学发现的规律加以创造，但是也要遵循科学的基本规律。人工智能的负面作用产生来源是使用这项技术的人，而不是机器本身，当机器有了族群、生存和繁衍的概念才有这种可能性。

(6) 现阶段深度学习基于大数据而发展的，那么深度学习还能走多远？深度学习的下一个节点是什么？人类大脑本质上也是依靠大数据进行训练，人类的进化过程就是大数据的训练，生物大脑也是

通过反复训练得到的，下一步深度学习的网络趋向为复杂化，具体表现为规模复杂化、网络连接复杂化、行为动态化、模型复杂化。其中模型或许跟大脑结构相似，或许跟大脑结构不相似，复杂结构的训练会产生更多的可能性。目前深度学习最成功的例子是基于局部相关性展开研究。从属性、类别到语义之间的学习实际是一个渐进的过程。在渐进的过程中，从比较容易解决的属性类别入手，在储存了基本概念之后，才有希望解决复杂的概念关系。从计算机视觉的角度考虑，计算机视觉解决得是 **What** 和 **Where** 的问题，在不同的层次中，输入不同，得到的表达也不同。这个问题本身不一定完全从深度神经网络解决，必须要结合其他的机理和模型，如概念学习的网络是深层模型。举一反三是知识迁移的能力，将不同领域中不同方面的知识汇聚在一起，提升对知识的综合掌握能力和综合运用能力，这也是未来人工智能研究的目标之一。

(7) 人工智能研究领域中的自组织、自学习和终身学习的技术困难点在哪里，如何突破现有瓶颈？ 人工智能领域中的交互源自于对环境交互的学习，是一个综合的智能研究体系。研究类脑智能很重要的着力点是从结构出发，通过模拟神经元结构连接，探究智能如何从单个简单神经元产生。2014年，科学家发现了网络系统也可以产生对空间感知，即简单的神经元通过不同群组之间的连接产生智能。空间感知是一个复杂的智能，从结构角度出发，也可称为神经形态计算或神经形态工程。大脑中结构神经元之间不是简单的加法器或乘法器，神经突触是一种化学或生理电化反应，本身可以自己生长、自己修剪，但是硬件器件没有类似的功能和能力。研究下一代人工智能不能仅局限于模式识别及其性能提升，应该聚焦在两个方面：一是结构发现，发现一些神经回路特定结构可以实现特定功能；二是器件实现，模拟结构通过神经元之间的 **LTP**、**LTD** 自发调节来存储。

(8) 我国在神经科学领域中的哪些前沿成果有可能会应用到人

工智能领域？神经科学如何更好地支撑人工智能迅速发展？中国脑科学的重点研究问题是高等认知功能。我国在神经科学领域掌握着大量关于中国猕猴的研究资源，从研究水平来讲，处于世界领先，尤其是在转基因技术上。因此，从猕猴入手开始中国脑计划的研究具有研究基础和前期铺垫。以猕猴为载体的研究是研究其基本认知功能，更深层次为高等认知功能理解，如理解自我意识、理解决策的行为，这些行为跟人类比较接近，以猕猴为载体进行研究，虽然不能完全理解类脑研究，但是有些规则对研究高等智能的类脑智能具有重要的意义。如果神经科学可以把猕猴的神经网络图谱研究透彻，基于猕猴的图谱可以更加有助于科学家理解脑区功能。同时，猕猴是最接近人类的动物，对于人类脑疾病的诊断治疗也有重要的借鉴意义。

(9) 从脑计划的角度考虑，科学家什么时候才能将猕猴、果蝇、斑马鱼、鼠的图谱研究清楚？图谱有很多类别，包含宏观图谱、介观图谱。假设国家投入全力，估计 2030 年是一个可期望的目标时间，有可能不会完成全脑图谱，但是重要脑区的结构图谱将会建立完成，但是什么时间可以对每个脑区的工作原理研究透彻，还是一个未知数。从结构到功能的研究，实际是一条非常艰辛和漫长的道路，脑科学的研究成果从原理上能不能为人工智能所用，人工智能的研究成果能不能触动脑科学的研究灵感，目前还没有发现这两者之间的结合点。能否尝试从视觉打开研究的突破口，这是神经科学家和人工智能科学家共同面临的挑战。从神经科学角度考虑，结构研究可能相对比较容易，但是功能研究是一个巨大的挑战，如果研究清楚单个神经元功能，但若神经元簇成一个群体，群体研究又是一个极大的挑战。举一个简单的例子，从视觉角度来讲，响尾蛇具有红外和可见光的加工能力，目前了解到有 6 种神经元分别以不同的方式处理其可见光和红外的融合，这 6 种神经元的特性已经研究清楚，但是 6 种神经元如何一起协作又是一大研究难题。简而言之，从单个神经元的功能研究到群体神

经元的行为研究是一个巨大的跨度。人工智能神经网络基本上都是对于大脑部分的建模和研究，对于支撑大脑的小脑和脑干领域却基本无人涉及，即使不一定模仿人脑的生物结构，但也要研究其基本功能，并尝试去控制。从人工智能角度分析，如果机器人具有自主能力，如何控制大脑等区域也是非常重要的。因此，研究小脑和脑干也是重中之重。目前神经科学已经有很多确定性的结论，人工智能研究可以很好地借鉴其研究成果，两个学科交叉融合也是促进发展的基础。

(10) 神经科学的研究中，是否有一些方向性（如能量最小化）的指导原则？人工智能研究是否可以借鉴这类指导原则？神经科学的研究其实也借鉴了统计力学方面的思路。在神经计算中，有很多计算方法可以互相借鉴。神经科学家和人工智能科学家应更加注重学术上的交流和讨论，可以专门模拟人脑网络、神经自然网络，共同商讨建立模型和提出算法，对神经科学和人工智能都有巨大的帮助。

四、论坛总结

本次论坛是积极响应我国在“十三五”规划纲要中提出的“脑计划”的一场精彩学术论坛，它集聚了脑科学与人工智能领域的顶尖科研人才，探讨了脑科学与人工智能的发展方向，明确了新一代人工智能发展的战略目标。通过对脑科学与人工智能的深入探讨，论坛达成以下几点共识：

(1) 脑科学与人工智能发展进入新阶段。经过六十多年的演进，在大数据、超级计算机和脑科学等前沿知识的共同驱动下，受脑科学研究成果启发的类脑智能研究蓄势待发，逐步形成大数据驱动知识学习、人机协同增强智能、自主智能系统、类脑智能芯片等智能系统平台，标志脑科学与人工智能的发展进入到新阶段。

(2) 脑科学与人工智能发展遇到新机遇。在面临人口老龄化和资源环境约束等困境时，人工智能技术在国防、医疗、工业、农业、金融、商业、教育、养老、公共安全等领域取得了广泛应用，并且催

生出新业态和商业模式，引发产业结构深刻变革，实现了生产力的整体跃升。瞄准人类脑力的人工智能将成为智能化时代的关键使能技术，即将成为重塑世界格局、创造人类未来的主导力量。

(3) 脑科学与人工智能发展面临新挑战。脑科学与人工智能是影响面广的颠覆性技术，虽然现阶段其发展水平远不足以威胁人类生存，但是我们必须以清晰的头脑认识和重视脑科学与人工智能可能给人类社会带来的严峻挑战，加强前瞻预防和约束引导，确保人工智能技术朝着健康、安全、可靠、可控的方向发展，有效保障政府管理性工作有序、经济安全和社会稳定。

(4) 脑科学与人工智能发展需深度融合。脑科学为人工智能提供生理学原理、数据、机制等，并启发更具通用性和自主性的人工智能新模态。同时，人工智能为脑科学提供了仿真模拟手段、系统与平台，支持科学假设的验证。脑科学与人工智能的进一步交叉融合，有望在若干特色方向上取得突破，对探索人类的智能本质、提升人类的智能极限、推动社会的智能化水平具有重要的研究价值和应用前景。

本次论坛进一步明确了我国人工智能的主攻方向和突破口，从战略高度和基本国情出发，前瞻部署、谋划未来，为我国新一代人工智能发展的蓝图打下了坚实的基础。与会专家通过前沿科学理论和技术探讨，启迪不同学科领域专家的创新思维，充分发挥了中国科学院学部对我国目前的科技战略规划的引领作用，对于我国在 2030 年前建设完善的人工智能创新中心的蓝图规划发挥了重要的指导意义。

（作者：张兆翔，研究员，中国科学院自动化研究所，类脑智能研究中心；蒲慕明，中国科学院外籍院士，中国科学院神经科学研究所，神经可塑性研究组；谭铁牛，中国科学院院士，中国科学院自动化研究所，智能感知与计算研究中心）

