

# 脑机接口，从“解码语言”到更多可能

## 国际 科技前沿

脑机接口技术通过检测和调控大脑活动，在大脑与外部设备之间建立直接的信息通路，创造了前所未有的人机交互方式，也让“意念对话”从科幻照进现实。近年来，随着技术迭代发展，多国在相关领域开展实验探索，特别是在语言脑机接口领域取得了一系列突破：从中风瘫痪患者“脑波转语音”的实时沟通，到脑控机械臂书写汉字，再到帮助渐冻症患者提高生活质量……这一新型技术正在为语言障碍群体架起沟通世界的桥梁，也将为治疗神经系统等方面疾病提供新的思路和方案。

### 可实时将大脑活动转化为言语

大脑是一个强大而孤独的器官，它被颅骨严密保护，负责处理感觉、情感、记忆、决策与运动等信息。外界信息进入大脑，或大脑信息传至外界，依赖于我们身体的生物信息接口（即感官和神经系统）。现代科技的发展，使人类开始有能力检测到大脑活动信号，并从中解码所含信息，进而利用这些信息跳过肌肉系统，直接控制外部设备，相当于在大脑和外部世界间建立了一个人工的信息接口，这就是脑机接口技术。

语言脑机接口作为脑机接口的一个具体应用方向，它通过直接检测大脑活动，特别是从控制运动的脑区提取与说话相关的信号，解码其中包含的语句信息，进而控制语音合成设备“说出”患者想说的话。理想情况下，它就像一个实时的同声传译系统，不仅要准确解读人们的意图和想法，还应尽可能快速、保真地输出自然语言。要实现这一功能，科学家们需要解决信号解码、语音合成、输出延迟等一系列技术问题。

随着神经科学与工程技术的进步，全球多项研究正从不同维度推进语言脑机接口技术快速迭代，有望迈入“毫秒级解码+自然对话”的医疗应用新阶段。今年3月，我国自主研发的“北脑一号”半侵入式系统完成第三例人体植入，其柔性高密度电极实现了128通道同步信号采集，使渐冻症失语患者成功恢复语言交流能力，同时降低了手术创伤风险。前不久，美国加利福尼亚大学戴维斯分校研究团队发布了一种新型语言脑机接口系统。该团队在一名45岁因渐冻症而失语的男性患者脑部植入了256通道的微电极阵列，并运用深度学习算法捕捉他大脑中的相关信息，从而解析出他想说的话。系统可以每10毫秒捕获一次脑波信号特征，几乎可以实时解码失语患者试图发出的声音，



并且能显示语调变化，还能以3种音高哼唱出一串音符，整体表达更加自然流畅。

### 人工智能算法是技术突破的关键

集成并运用先进的人工智能模型，是脑机接口解码大脑神经信号、生成和输出自然语言的关键。

近年来，全球各地的科研机构在这一领域相继发布最新进展。荷兰乌得勒支大学医学中心与拉德堡德大学团队优化深度学习模型，将感觉运动皮层的神经活动实时转化为可识别的语言。该模型可以实现单个单词92%—100%的分类准确率，同时合成语音的语调和音色特征也得到高度保留。此次加利福尼亚大学戴维斯分校研究团队开发的深度学习模型中，还利用患者失语前的录音素材来训练人工智能算法，使其能够合成和输出近乎患者原声的语音。

汉语有418个音节和四声调，相较于英语等语言，研发针对汉语特征的神经编解码机制和信息处理手段面临更大的挑战。

我国复旦大学附属华山医院、上海科技大学、天津大学联合团队开发了面向中文的语言脑机接口。这种多流神经网络模型，同时对声调及音节进行解码，实现单字解码分类准确率最高达到76%，单字解码分类准确率达到91%。

这些研究进展为语言脑机接口走向实用奠定了坚实基础。未来更大的挑战可能在于对意图和语义的解码。目前的研究，主要是解决从控制发声的大脑皮层解码语言运动指令的问题，但有相当一部分失语症的患者，是因为组织语言的脑区而不是控制发声的脑区受损，所以难以组织通顺的句子。这需要直接从处理层级更高的大脑皮层记录信号，用以解码患者意图，并结合大语言模型等人工智能技术生成相应的语言表述。目前，对脑



内复杂意图的解码还处于研究的初期，期待未来的语言脑机接口能够进一步突破，实现真正的“所想即所得”。

### 有望为治疗神经系统疾病带来变革

在医疗领域，脑机接口技术不仅可以帮助失语症患者恢复语言能力，还有望在神经系统损伤或疾病治疗方面引发更多变革。

比如，瑞士洛桑联邦理工学院和洛桑大学医院的研究人员此前开发了一种脑—脊髓接口，通过解码大脑的运动控制指令并刺激参与行走的脊髓区域，让瘫痪患者实现了行走。目前该系统在植入后保持了一年以上稳定的稳定运行，患者可在家庭环境中独立使用，且无需频繁校准。

近日，复旦大学、中国科学院联合团队开发出全球首款光谱覆盖可见光和红外线的视觉假体。该装置植入眼底后，可在视网膜中替代感光细胞接收光信号，将其转化为电信号，激活视网膜上的神经节细胞，并将视觉信息传递至大脑。这一技术让失明的实验动物重新获得了对可见光和红外线的感知能力，未来有望在治疗视网膜病方面

取得突破。此外，脑机接口可以通过植入电极精准地调控脑中特定靶点的活动，也可以通过非侵入式的方法（比如经颅的电刺激或磁刺激）来进行调控。前者的成功例子包括利用深部脑刺激治疗帕金森病，后者目前已经有大量的研究在探索，用于治疗从重度抑郁到阿尔茨海默病等多种脑疾病。

不过，脑机接口技术仍有不少亟待攻克的挑战。植入式脑机接口需要进一步验证在体内长期工作的稳定性和安全性，进一步降低电极植入的创伤，并提高对于神经信号解码的准确性和运行稳定性。同时，脑科学研究需要揭示更多关于大脑信息处理过程和处理模式的知识，以便脑机接口可以更高效地与大脑进行交互。

与此同时，由于脑机接口技术直接涉及对大脑活动的检测和干预，其未来发展必须高度关注伦理、隐私、数据安全等潜在风险。这些问题已经得到联合国等国际组织以及我国相关主管部门的高度重视，脑机接口研究与应用相关的伦理、标准、规范正在逐步完善，以确保脑机接口技术和应用能够健康、可持续地发展，最终造福全人类。

（作者为中国科学院自动化研究所研究员）

图①：第十一届中国（上海）国际技术进出口交易会上的一款人工智能多模态脑机接口系统。 邵逸成 摄（影像中国）

图②：在瑞士洛桑，科学家在进行脑机接口实验。 ETThamPhoto（影像中国）

## R 科技大观

近日，一个来自太阳系外的星际天体正在高速穿越太阳系，引起全球天文学家和爱好者的高度关注。这是人类发现的第三颗“星际访客”，由“小行星撞击地球最后警报系统”（ATLAS）智利观测站发现，因此国际天文学会联合会将其正式命名为3I/ATLAS。这一发现，将为我们进一步探索星际天体的奥秘带来新的契机。

追溯“星际访客”的历史，2017年10月人类首次发现星际天体“奥陌陌”。这个外形奇特、呈雪茄状的天体，以每秒约26公里的速度闯入太阳系，随后又加速飞离，其独特的轨道和外观引发广泛猜测与讨论。有观点认为它可能是一颗彗星，也有人猜测它是小行星，甚至还有大胆的假设，认为它或许是外星文明的探测器。2019年8月，第二颗星际天体“鲍里索夫”被发现，其闯入太阳系的速度达到每秒32公里。相较于“奥陌陌”的神秘莫测，“鲍里索夫”呈现典型的彗星特征。科学家发现，其一氧化碳含量是太阳系彗星平均含量的9至26倍，意味着“鲍里索夫”可能诞生于一个遥远星系的极寒地带。

与前两颗星际天体相比，3I/ATLAS的运行速度更快。被发现时，3I/ATLAS在距离地球5亿公里外，正以每秒超过60公里的速度沿着双曲线轨道向内太阳系高速飞驰，表明它来自太阳系外的遥远星系。根据目前的观测数据推断，预计10月3日它将抵达距离火星大约2900万公里处，届时火星轨道上的探测器可能有机会对其进行观测。10月底，它将到达距离太阳最近处，随后逐渐远离太阳。2026年新年前，它将抵达距离地球最近处，相距约2.7亿公里，这样的距离不会对地球造成任何威胁。2026年3月，它将飞过木星轨道，最终离开太阳系，再次奔赴星际空间。

对天文学家而言，3I/ATLAS的出现是一次极为难得的研究机会。目前，天文学家正紧锣密鼓地调动地面和空间望远镜对其进行观测，获取其光变、颜色和光谱等信息，以对其自转、物质构成、形成机制以及在星际空间中的演化过程等进行分析。由于距离遥远，目前所获信息有限，仅能初步判断其呈现微弱的彗星特征，且直径很可能超过10公里，而此前两颗星际天体的尺寸均为几百米量级。未来当它靠近太阳时，或许会因太阳辐射的加热而释放出气体和尘埃，形成更显著的彗发和彗尾。

现阶段，科学家只能通过天文望远镜对3I/ATLAS进行“远观”，获得粗略的有限信息。精确测绘星际天体的三维形貌和物质成分特征，还需要更先进的探测器对其进行抵近“显微”探测，然而这并非易事。3I/ATLAS从被人类发现到飞出木星轨道，整个过程仅有9个月时间。目前，天文学界还没有合适的探测器对这位“星际访客”进行抵近探测。

事实上，人类深空探测器从设计、研制到发射，往往需要数年时间。要对星际天体进行探测，需要提前数年做好准备。2019年欧洲航天局公布的“彗星拦截器”计划就打算瞄准这样的“机遇”，该任务计划2029年发射到日地系统第二拉格朗日点附近待命。当地面望远镜发现星际天体或者来自远方的原始彗星后，“彗星拦截器”将启动快速响应轨道机动程序，对目标天体进行探测。也许，我们要等到下一颗星际天体来临时，“彗星拦截器”才有机会对其进行近距离飞掠。在恒星际旅行技术取得突破前，对闯入太阳系的星际天体开展“守株待兔”式“显微”观测，是目前人类近距离精细探测太阳系外天体的唯一途径。

作为迄今探测到的速度最快、体型最庞大的“星际访客”，3I/ATLAS提供了一个独特且稍纵即逝的研究窗口。然而，其极高的速度和有限的时间窗口，也限制了人类对其进行抵近探测的可能性。这也凸显了发展机遇型、前瞻性空间探测任务的必要性。同时，加强天地一体化监测网络的建设，将为我们发现并追踪“星际访客”争取更多宝贵时间。期待下一颗“星际访客”光临时，人类能够做好近距离精细探测的准备，实现对星际天体成分、结构乃至起源星系的突破性认知。

（作者为中国科学院国家空间科学中心研究员）

## 『星际访客』又来了

李明涛

# 能做塑料能发电，真菌拥有真本领

本报记者 徐 聰

在地球上，真菌几乎无处不在。一方面，泡菜、啤酒、奶酪、巧克力等食物的生产都离不开真菌，青霉素、头孢菌素、环孢素等药品的生产也依赖于真菌。另一方面，造成食物腐烂的“罪魁祸首”也是真菌。有些真菌还是致病病原体，具有高致病性的黄曲霉毒素就是真菌毒素的一种。

在科研人员看来，拥有如此多面孔的真菌则是探索不尽的宝藏。最近，瑞士联邦材料科学与技术研究所发布了与真菌有关的新成果：真菌生物电池和真菌基“塑料薄膜”，展现了真菌在可持续能源和环保材料领域的开发潜力。

“我们首次将两种真菌结合起来，成功制造出微生物燃料电池。真菌电池可以在干燥状态储存，在需要时通过添加水和营养物质即可激活它们。”该研究所纤维素和木材材料实验室研究员卡洛琳娜·雷耶斯介绍说，两种真菌的代谢过程可以相互补充：阳极为一种酵母真菌，可在代谢糖类过程中释放电子；阴极则是白腐真菌，可产生一种特殊的酶即漆酶，捕获电子并将其导出电池。相比于传统电池，真菌生物电池完全无毒，非常环保。电池使用完后，真菌还可将纤维素基电极作为营养物质，有助于电池分解。

更有趣的是，科研人员并不是将可以“发电”的真菌“种植”到电池里，而是把真菌细胞“汇入”到电池组件3D打印的“墨水”中，然后再打印成电极结构。这一方法说起来容易做起来难。“3D打印提供了许多便利，是如何找到一种能让真菌持续保持活性的柔性生物基材料颇具挑战。”纤维素和木材材料实验室负责人古斯塔夫·尼斯特罗姆解释道，这种“墨水”必须易于挤出且能



上图：尼斯特罗姆展示密封的真菌电池。  
左图：培养基中的裂褶菌。

以上图片均为瑞士联邦材料科学与技术研究所提供

特的菌褶在干燥时会裂开而得名。这种真菌可以休眠数十年，并在遇到水分时复活。菌丝在生长过程中会形成致密的三维网状结构，这给科研人员制造塑料带来了启发。但由于菌丝的强度、柔韧性等性能逊于石油基塑料，以往都需要通过化学加工来提高性能，这就使其环保性打了折扣。

此次瑞士联邦材料科学与技术研究所研究的贡献在于，利用真菌自身生成的物质来加

强材料性能。“真菌可以利用细胞外基质为自身提供结构和其他功能，我们为什么不这样做呢？”研究员阿什图什·辛哈介绍说，通过工业上比较成熟的液体培养和机械解纤技术，实验室成功制备出均匀分散的活体菌丝纤维，保留其代谢活性，用于后续材料构建。之后，这些活体菌丝纤维可以在不添加营养的情况下，依赖储存的能量继续生长以扩展网络结构。这些活体纤维还是天然的乳化剂，可以自修复。在其作用下，材料相分离速度是传统材料的27%，活体薄膜的抗拉强度增加了2.5倍，远超目前最强的纯菌丝体材料。

在雷耶斯和尼斯特罗姆看来，真菌在材料科学领域仍处于研究不足和利用不足的状态。相关统计显示，瑞士消耗的塑料中约75%是一次性包装。如果真菌薄膜未来投入产业应用，将极大缓解塑料对环境的危害。

中国科学院微生物研究所研究员张延平表示，上述相关研究展示了真菌学的研究边界在不断拓展，真菌的应用领域在不断丰富。真菌的研究不止于传统的食品、医药和健康等领域，真菌菌丝体材料在材料科学领域特别是环保材料方面也有很大发展空间。近年来，科研人员基于真菌代谢产物多糖、菌丝体等天然可降解、生物相容性好的特性，正在开发各种可降解的功能性材料，如纳米纤维膜、菌丝体皮革以及可3D打印的生物基建筑材料等；也有研究利用真菌代谢产生的某些酶或多糖等，用于微塑料降解、重金属吸附等污染治理领域。总之，发掘真菌资源、利用真菌代谢的多样性开展研发工作，大有可为。

### 头颈癌术后阶段首次通过免疫治疗改善疗效

本报巴黎电 （记者尚凯元）日前，法国头颈肿瘤放疗组织发布一项国际多中心三期临床试验成果，显示免疫药物纳武利尤单抗可显著降低头颈癌术后复发风险。该研究对象包括680名高复发风险患者，结果表明，在常规术后放化疗基础上加用该药，三年无病生存率可提高至63%，显著优于对照组的52%。

项目牵头人、法国古斯塔夫·鲁西癌症中心教授陶运淦指出，这是自2004年来首次通过术后免疫疗法改善头颈癌患者预后。纳武利尤单抗通过解除癌细胞“伪装”，激活免疫系统识别并清除残余病灶。此前该药已在晚期复发转移头颈癌中被证实可延长生存期，此次研究则是在手术后阶段应用方面的重要突破。

免疫治疗近年来成为癌症研究热门方向。该疗法的原理是通过激活人体免疫系统，让自身的免疫细胞识别并清除癌细胞，对于免疫活性较高的癌种效果更加显著。据介绍，这一疗法已经在肺癌等领域取得实质进展，在手术前后配合常规治疗可显著减少复发风险。

当前，免疫治疗还面临药物选择有限、治疗费用高昂及副作用管理等挑战。为进一步提升疗效、拓展适用范围，多国研究机构正致力于开发包括双特异性抗体、个体化肿瘤疫苗和基因改造T细胞等新一代疗法，努力将癌症治疗推向更精准、高效、温和的方向。

本版责编：王慧 黄发红

版式设计：沈亦伶