

他们让高位截瘫患者“随心所动”

■本报见习记者 江庆龄

11月的一天，中国科学院脑科学与智
能技术卓越创新中心(以下简称脑智卓越中
心)研究员赵郑拓看望了一位特殊的朋友—
—张先生。

半年前，张先生的生活还是一片暗淡。
高位截瘫的他，饮食起居全依赖父亲照料。

6月20日，命运的齿轮开始转动。张先生
在复旦大学附属华山医院完成手术，植入了
赵郑拓、脑智卓越中心研究员李雪团队与
合作企业联合开发的第一代高通量无线侵
入式脑机接口系统(WRS01)，成为第二例侵
入式脑机接口前瞻性临床试验受试者。

如今，张先生可以仅凭意念指挥轮
椅，和赵郑拓一起在小区遛弯了。“我想着
得往左边走，轮椅很自然地就向左了，基
本上没有延迟。”张先生说话并没影响轮
椅往前移动。

“钱不多，攒起来给儿子读大学”

2022年，张先生因意外摔倒导致高位
截瘫，脖子以下全都不能动。经过一年多的
康复治疗，情况仍未得到改善。

对张先生来说，痛苦不仅源于身体的禁
锢，还在于从家中的顶梁柱一下变成需要被
照顾的人。得知脑智卓越中心正在开展脑机
接口临床试验后，他第一时间报了名。经过多
轮筛选，张先生幸运地从数百位受试志愿者
中被选中入选，完成了一个微创手术，头
上多了一个硬币大小的脑机接口植入物。

“与我们合作的外科医生说，这是他们
整栋神经外科楼里最小的手术。”赵郑拓介
绍，这套植入系统是目前全球最小尺寸的侵
入式脑机接口植入物。手术时，通过5毫米
左右的颅骨小孔，就可以把柔性传感器递送
进大脑内部，大幅减小了手术创伤。

术后的张先生逐渐适应了身体的新变化。
经过2~3周的训练，他能够用意念控制电
脑等电子设备。之后，他能做的事情就越来越
多了。

“轮椅已连接。”随着提示音响起，张先生
取得了轮椅的“控制权”，无需他人帮助，就能到
到屋外晒晒太阳，或在小区“溜达”几圈。

“现在最让我兴奋的就是听到‘已连接’
的声音，好像把这些年断了的都重新连了起来。
也连起了我们的希望。”张先生说。

值得一提的是，张先生现在仅需花费很少
的“脑力”就能控制轮椅等设备，达到“随心所
动”的境界，将外设内化为“身体一部分”。

“就像学外语，最初我们要先在心中
翻译成中文再表达，熟练后就脱口而出
了。”赵郑拓解释，随着患者对脑控外设越
来越熟悉，完成任务所激活的神经元群体也
从初期“大兵团作战”逐渐演变为“精锐小队
出击”。调动的神经元数量减少，但单个神经元的
调控效率和贡献度提升，从而



▲研究人员用脑智卓越中心微纳电子
加工平台制作侵入式脑机接口柔性电极。
◀赵郑拓与张先生一起遛弯。
受访者供图

使认知负担大幅降低。

此外，张先生还能远程操作机器狗作为
“身体延伸”去取外卖。他不仅可以通过机器
狗的视角看到外面的世界，还能通过机器狗
配备的语音系统对外交流，和外卖小哥说
“请把东西放在机器狗身上”。

更重要的是，这套脑机接口系统帮助张
先生实现了“再就业”。赵郑拓和李雪与地方
残联“科技助残”项目合作，让张先生参与线
上数据标注工作，例如核对自动售货机人工
智能(AI)识别的准确性。现在，他已经是一
名实习分拣员，每天对着电脑，脑控光标练习商品分拣。

“虽然有难度，但对我来说是宝贵的机会。
钱不多，攒起来给儿子读大学，这是我作
为父亲的责任。”张先生说。

“做价值导向的研究”

赵郑拓和李雪在脑机接口领域深耕了
十余年。此前，他们一直用高精尖科研仪器
开展难度极高的科学实验，却在4年前发生
了转变。

“我们接触患者和医生后意识到脑机
接口不仅仅是科学研究的工具，也有希望
切实解除患者的病痛。”李雪回忆道，“我
们开始思考，如何既能保持攻克科学问题
的锐度，又能探索人文关怀的温度，解决

患者的实际问题。”

团队逐渐开始从临床找问题，将患者
的“愿望清单”融入研究中。在和受试者沟
通时，他们听到最多的是“希望自己能够独
立一些，减轻家人的负担”。

本着满足患者需求的初衷，团队在帮助第
一例患者时，主要专注于二维的电子设备控
制；在帮助第二例患者时，则聚焦控制三维的
物理外设，使其重新“触摸”真实的物理世界。

然而，这不是加个坐标轴那么简单。

首先，在信息提取的“源头”，团队开发了
高压缩比、高保真的神经数据压缩技术，并
融合了“尖峰频段功率”“相邻脉冲间隔”
“尖峰脉冲计数”几种数据压缩方式。这套混
合解码模型，即便在神经信号相对嘈杂的环
境中，也能高效提取有效信息，将脑控性能整
体提升15%~20%。

其次，考虑到真实环境中声、光、电磁等
各类噪声，以及患者自身生理、心理状态波
动等影响，团队引入了“神经流形对齐技术”。
这使系统可以从高维、多变的神经信号中，
提取代表核心意图、稳定的信号，而不会
被其他信息干扰。

此外，团队参考智能表可以自动联网校
准时间的特性，研发了“在线重校准技术”。
随着使用时间的推移，大脑中的神经元会发
生微小的位置变化，影响传感器信号接收的
准确度。过去，患者需要暂停使用，进行专项

校准。而有了在线重校准技术，系统能在患
者日常使用过程中，实时、无声地微调解码
参数，确保脑控准确性。

最关键的是反应速度。试想眼前出现了一
堵墙，大脑立刻给轮椅下指令转向，但后者
10秒后才能收到信号，免不了“人仰椅翻”。
为此，研究团队通过自定义的无线通信协
议连接脑机接口和外设，将信号采集到指
令下发送至外设的端到端延迟压缩到100毫
秒以内，而人体正常神经环路的传导延迟大
约在200毫秒。这使得患者的控制体验极其
流畅自然，意念与动作几乎同步。

“我们开展脑机接口研究的一个核心
原则是做价值导向的研究，即以满足患者
价值需求为目的，而非追求技术领先。”赵
郑拓强调。

这一理念也体现在第三例患者的临床试
验中。这位志愿者也是高位截瘫，已于10月
底完成手术，目前正在训练操纵机械臂。

训练中使用的机械臂并非实验室场景
中的高精尖仪器，而是普通的家用机械臂。
“我们希望患者能够支付得起，在日常生
活中切实获益。”赵郑拓补充道，“我始终认
为，科技应该是平权的代名词。我们不希望未
来只有部分人消费得起脑机接口技术。”

“短期理性，长期乐观”

在日前举行的2025脑机接口大会上，
团队发布了WRS02。相较上一代产品，二代
系统在多个维度实现了跨越式升级，其中通
道数提升至256。WRS02的首例前瞻性临
床试验计划在近期开展。

“这意味着我们从大脑中提取的有效信
息量翻了4倍，能够进行更精细的调控。”赵
郑拓估计，此类面向运动障碍的脑机接口技
术，有望在3年内迎来大规模临床应用，同时
时医疗消费场景的应用潜力也将逐渐显现。

团队目前还在开展语言解码、人工听觉
重建、视觉信息编码等方向的研究，未来也
将陆续推动研究成果落地应用，最终目标是
让脑机接口技术变成像手机一般的工具。或
许三三十年后，人类能够像控制自己的肢体一
样，通过意识直接控制外设，实现真正意义上
的“脑机融合”。

团队表示，实现这个目标需要多方参与
的良好生态。除了临床与科研端外，半导体、
材料、通信等上游供应链企业，各类智能设
备及软硬件构成的应用场景均在其中扮演着
重要角色。

“脑机接口目前仍是一个非常新且热门
的研究方向，确实存在‘蹭热度’的情况。我
们希望大家能够保持‘冷思考’，在短期内理
性看待脑机接口，长期期待乐观态度。”赵
郑拓和李雪提醒道，“相关标准体系和伦理规
范应尽快建立。”

发现·进展

安徽理工大学

无金属催化剂 为铝空气电池“提速”

本报讯(记者王敏 通讯员施培松)安徽理工大学教授张雷团
队构筑出一种具有层级多孔结构的氮/硫共掺杂碳纳米反应器，
并证明这种完全不含金属的催化剂能在铝空气电池中实现卓越
的氧还原性能。相关研究成果近日发表于《能源与环境科学》。

开发无金属、高活性、长寿命的催化材料，一直是领域内的
核心挑战。常规碳材料虽然具有氧还原潜力，但结构封闭、孔道不
畅，导致真正能参与反应的活性位点利用率很低。而团队构筑的
无金属纳米反应器拥有超高比表面积，并且材料内部构建有
微孔-介孔-大孔连续贯通的层级孔道网络。

“可以理解为我们给反应器开了许多窗子，把原本隔开的房
间全部连通，让氧分子能够快速进入并自由穿梭，从而大幅提高
反应效率。”张雷介绍，得益于这一结构，该无金属催化剂在碱性
与酸性体系中均表现出优异的氧还原活性，整体性能优于同类
无金属催化剂，展现出良好的介质适应性与应用潜力。

值得关注的是，该催化剂的活性位点具有“动态演化”能力。
团队结合原位表征与理论计算发现，材料内部原有的“硫-碳-
氮”结构会在反应过程中发生重排，逐步转变为一种更有利
于反应的新构型。这一结构变化能够调控碳原子的电子环境，使氧
还原反应中关键的中间体转化更加顺利，并显著降低反应能垒。

该研究表明，无金属材料同样可以实现高效氧催化，为未来
高性能、低成本、可持续的催化剂设计提供了新方向。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1039/D5EE03645C>

中国科学院新疆理化技术研究所 超薄柔性温度传感器 破解工艺兼容性难题

本报讯(记者赵宇彤)中国科学院新疆理化技术研究所研究
员孔雯雯团队采用“水溶性牺牲层辅助转移”策略，成功破解了高
性能敏感材料与柔性基底之间的工艺兼容性难题，制备出总厚度
仅40微米的超薄柔性温度传感器。相关研究成果近日发表于《ACS
应用材料与界面》。

团队提出的方案关键在于将敏感材料的高温制备工艺与其
在柔性基底上的器件构筑过程分步进行。这一设计既保障了敏感
材料必需的高温退火条件，又避免了柔性基底因高温而受损，从
而为高性能无机材料与柔性衬底的结合提供了可靠技术路径。

为保障材料转移后的界面质量，研究团队通过有限元仿真与
实验验证，设计并构筑了GeO₂/Ta₂O₅/MCO异质界面结构，实现了对界面性能的主动调控。该结构有效抑制了界面处的元素扩散
和热应力失配，显著提升了器件的可靠性与结构完整性。基于上
述转移策略与界面设计，超薄传感器展现出优异的综合性能。其
电阻温度系数(TCR)达-4.1%/℃，响应时间仅192毫秒，在反复
弯折与热冲击下仍能稳定工作。

研究团队表示，该成果不仅显著提升了超薄柔性温度传感器
的综合性能，更为发展下一代电子皮肤、可穿戴设备等柔性智能
感知系统提供了关键技术支撑。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1021/acsami.5c19044>

向陌生教授“索要”样品后……

■本报见习记者 赵婉婷

最近，留学英国的吴佳芯在社交平台发
的帖子“爆”了。她在帖子中惊喜地表示，
自己向一位美国加利福尼亚大学伯克利分校
教授发邮件，询问对方是否可以“施舍”一
份实验样品，没想到对方欣然给她快递了一份
样品，还“包邮”。

这给正在读博士一年级、处于科研初期
的吴佳芯带来了莫大的鼓励，让她对学术有了
更多信心，对科研共享有了更多思考。这个帖子
也引发了网友的热烈讨论。吴佳芯告诉《中国科
学报》，这次经历会成为她科研初心的“护城河”，
守护着她，把真理之炬的光与热一直传递下去。

以下是吴佳芯的自述。

坐飞机过来的质粒

今年春天，我来到英国伦敦大学学院开
启了博士生涯，专业分支是结构生物学。暑假
伊始，我开始尝试表达一种DNA结合蛋白
质——E. coli HupA。

如果把DNA想象成包围一团乱麻的
耳机线，这种蛋白质的功能就像绕线器，
可以稳定DNA结构。我希望通过观察这种
蛋白质和DNA的结合，进一步了解它的功能。

具体来说，我首先需要构建含有蛋白基
因的质粒，并将其与载体细胞相结合，进而
得到表达的蛋白质。

然而，在设计质粒的过程中，我遇到
一些困难。第一批构建的质粒与载体细胞相
结合后，并没有达到预期的蛋白表达效果。
和导师讨论时，我们猜测大概因为载体细
胞即大肠杆菌中已经存在这种蛋白的基
因，因此就不想表达重复的蛋白了，毕竟用不
着。

查阅文献的过程中，我注意到一位晶体
结构领域的教授。晶体结构对蛋白纯度要求
很高，蛋白令人垂涎。我灵机一动，不如试着
联系他，看他能不能送我一些质粒，让我直
接去构建质粒的步骤。

我怎么也没想到，邮件发出5小时后，

这位教授就回复了我，说愿意提供。我一下
紧张起来，因为完全没想到对方会回复。毕
竟，这位教授如今是加利福尼亚大学伯克利
分校的独立PI(课题组长)，而那篇论文是他
10年前的成果，他竟然还留着质粒！寄送生
化物品有什么要求？关税问题怎么办？

慌乱中，导师建议我提供一个快递账
号，这样就不需要对方出邮费了。然而，联
系学院安全部门、申请寄件账号、填报单
表、将关税与导师的资金进行关联，又耽
误了好几天。

我把寄件账号发给对方的第三天，就收
到了物流公司发来的运单号。没想到，这位
教授居然用了自己的寄件账号。我猜想，他
大概一开始就没打算让我出钱。

第二天，快递就到了，比我从国内转运
东西都要快。导师告诉我，因为我的质粒是
坐飞机过来的。这是我第一次收到国际礼
物，恰好在我22岁生日之后。

我的二导告诉我，大部分学者如有邮
寄质粒的需求，通常会将质粒液体点一滴在
纸上，直接快递这张纸，收件人将纸上的质粒
溶解后再提纯，从而规避生化物品的报备程
序。而这位教授直接提取了这种质粒，并将
满满一管质粒液体寄了过来，甚至不需要我
溶解并提纯。

“科学属于全人类”

收到质粒后，我想知道它为何可以提高
蛋白产量，于是对它进行了测序。

测序结果着实令我震惊。原来，这位教
授将质粒DNA上的密码子全部进行了“加密”，
相当于“欺骗”载体细胞说这不是它原
有的基因，从而猛猛地表达蛋白。

其实这样的加密工作很难，在骗过载体
细胞的同时，还要实现最终表达的目的。我
绝对想不到这样的方法。在给质粒测序的过
程中，我学到了很多。

目前，我已经成功将质粒构建到载体细
胞上，蛋白质的产量和纯度都令人满意。等
研究项目结束后，这位美国教授的名字会出
现在致谢中。

在社交平台发的帖子结尾，我写道：“科
研界是个命运共同体，科学家有国界，但科
学属于全人类。”

帖子发出后，我居然获得了2万多个点赞。
而读评论的过程也让我特别惊喜。

有人说，分子生物学领域，只要礼貌询
问，都会给；有人说，正经搞科研的都是这
样，共享才意味着更多交流，研究才能进步，
而不是大家藏着掖着相互竞争；有人说，好
感动，前辈帮助后来的人，学术界有你们这
种人我就放心了。

其实，我平常刷网络上的科研内容时，
看到的更多的是“吐槽”，这次看到那么多“心
软软”的评论，我不禁想，我们虽然需要发
泄，但科研的温暖与纯粹仍是我们的诉求。

“索要”样品的注意事项

不过，关于恳求“赠送”实验材料这件
事，可能需要视具体情况而定，并且也有一
些需要注意的事项和必备的礼仪。

其一，开头介绍自己和导师的背景，并
且用学校邮箱发送，确保对方可以在网上查
到你是谁，增加透明度和安全性。

其二，简单而真诚地阐述自己的实验困
境，并从专业角度肯定他的质粒或其他你可
能需要的实验样品，最后说明为什么他的样
品对于解决你的困难、推进你的实验有至关
重要的作用。因为大部分教授都是从博士一
路走来的，很能共情你做科研的难处。我的
导师也说，一般没有竞争关系的求助，他们
都会施以援手。

其三，在邮件里附上他的原文章和相关
段落的截图，方便教授能快速索引到你想要
的实验样品究竟是什么。

最后，无论对方答应与否，都要对他的
科研贡献表示认可，并祝他和他的实验室获
得好成绩。

其实，我踩过“坑”。前段时间我曾“擅
自”给另一位教授发邮件，询问对方是否可
以给我他未公开博士论文里的具体方法步
骤。我的导师看到对方的姓名吓了一跳，原
来这是他的“竞争对手”。怪不得我再也没有

得到对方的回复。

评论区也有人提到曾询问其他团队是
否可以借质粒，但被拒绝。还有人说，其中不
乏剽窃者。</p