聚焦不同领域的三个特等奖有何共同点？

十年磨剑潜心攻坚，他们破解大脑功能、软件安全、燃料电池电堆的重重难题

『入手』探大脑 全新脑可塑理论震惊国际医学界

奖项：2019年度上海市科技进步奖特等奖
项目名称：基于脑可塑理论新发展修复残障上肢的新方案
获奖团队：华山医院手外科团队

■本报记者 **沈湫莎**

这是一个跨越半个世纪、由师徒三代接力完成的科研项目；这是一项中国原创的、有关治疗中枢性偏瘫患者的重要临床研究成果；这是华山医院建院100多年来第一篇发表于《新英格兰医学杂志(NEJM)》的中国科研成果，位列颠覆性的、对推进医疗实践具有最重要意义的“2018NEJM最受瞩目论著”第一名。

故事始于1960年，华山医院是国内首批成立手外科的单位之一。1986年，华山医院手外科顾玉东院士在国际上首创了健侧颈七神经移位术，用于治疗全臂丛神经损伤患者。针对患者术后恢复呈现出的明显动态过程，手外科徐文东教授、顾玉东院士带领课题组进行了十余年的深入研究，发现大脑功能重塑参与了这一修复过程，进而提出脑科学领域的全新观点：一侧大脑具有同时控制双侧上肢的潜能。

在昨天召开的上海市科技奖励大会上，这一震惊国际医学界的重大成果被授予上海市科技进步奖特等奖。这套中国原创的“脑可塑理论”已经发展成“修复残障上肢功能的新方案”。

抓住灵感微光，实现“脑可塑理论”重大创新

传统神经科学观念认为，成年人的脑可塑性有限，并且中枢神经传导通路也是相对固定的。彼时正在专注于研究臂丛神经损伤类疾病的徐文东，却从神经移位手术病人的临床表现中发现了与传统理论不一样的地方。

臂丛神经是人类大脑指挥手及上肢做出相应动作的一条传输通路，“通路”如果受损，上肢相应的感觉运动功能就会瘫痪。上世纪80年代，顾玉东在千例臂丛神经损伤患者治疗经验积累的基础上，大胆提出设想，在国际上首创“健侧颈七神经移位手术”，即将健康肢体一侧的颈七神经，移位至瘫痪侧的靶神经，重新开辟一条新“通路”，从而恢复患者的肢体功能。

在对此类患者长期随访的过程中，徐文东发现了一个特别现象，凡是做过这一手术的患者，在触摸其瘫痪侧手掌时，健康侧的手也会有感觉。为了确认这不是术后应激反应或个别现象，徐文东通过各种方法找到了16年前接受此项创新手术的第一位患者，在验证了他也有如此反应后，一个想法在徐文东脑海里成型了。

“我一直认为控制手的周围神经和控制脑的中枢神经应该是一套固定的系统，一侧神经通路能让双手带来反应这一临床现象说明，改变周围神经通路也会引起大脑功能的可塑性变化，而患者年龄也说明大脑的可塑性并不局限于幼年，当周围神经通路改变后，成年人大脑也会随着发生改变。”他说。

沿着内心的这一“执念”，2001年起，徐文东带领团队开始了跨界攻坚，进入了一个国际上全新的研究领域——周围神经移位和脑功能的关系研究。通过十多年潜心研究，团队发现成年人大脑可以实现一侧半球同时控制双侧上肢的现象。这一新发现拓宽了原来臂丛损伤修复的理论体系，首次证实中枢损伤后，健康大脑的可塑性可被“诱发和调控”，这是脑可塑理论体系的重要新发展，为周围神经和中枢神经一体化提供了理论支撑。

练就灵巧双手，在血管、神经丛林中自如穿梭

理论有了突破，最终能否造福患者，还得落到医生的“手”上。想要基于脑可塑理论修复残障上肢功能，就要将健侧上肢颈神经移位至瘫痪侧的颈神经，避开损伤侧大脑半球，让偏瘫上肢与同侧健康大脑半球相连接。

一开始，这被认为是不可能完成的任务：徐文东团队在小鼠身上做试验，死亡率超过90%。“颈部环境太复杂了，感觉就像是一名科技工兵，穿梭在神经、血管丛林中。”可是，他从没想过放弃。回想起学生时代，导师顾玉东给他出过的一道“难题”——将跳动在心脏旁的膈神经剥离出来而缩短传统神经移位修复的距离，那也是一台令人心跳加速、手心冒汗的手术，可经过不断探索和尝试，在克服重重困难后，最终他也顺利完成。

同样，通过无数个日夜的训练，徐文东带领团队终于练到了“惟手熟尔”的境界，试验小鼠的存活率超过了95%。2008年，徐文东团队开展了这一新技术的第一台手术。那台手术做了七个多小时，在手术放大镜下用比头发丝还细的缝合线将切断后的患侧颈七神经与健侧颈七神经交叉移位吻合。走出手术室时，所有人都汗透衣衫。

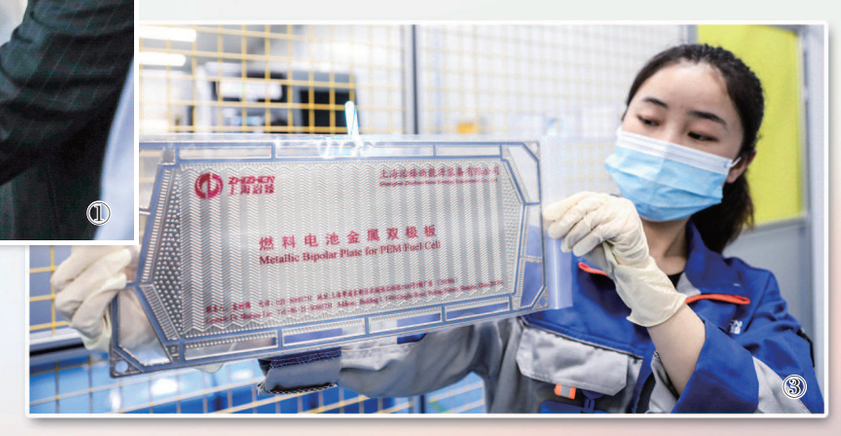
随着来华山医院接受手术治疗的患者越来越多，徐文东教授团队也在不断优化手术方案，现在完成此类手术的时间也已缩短到两小时左右。在慕名而来的人中，有不到10岁的孩子，也有年逾六旬的老人，甚至还有跨越半个地球远道而来的外国患者……那些原本被疾病折磨得生活不能自理的脑卒中、脑外伤等偏瘫患者，通过术后功能锻炼，都成功改善了患侧肢体功能，重新恢复了生活自理能力。

三代薪火相传，将“脑—手”理论引入人工智能

在证实了“半球内脑可塑”“脑可塑可诱导、可调节”等神经科学新理论并将其造福患者后，徐文东团队又推动其进一步发展。不久前，他们刚为一位下肢瘫痪的小姑娘完成了神经移位手术，经过8个月的休养，小姑娘将其翩翩起舞的视频上传到了抖音。

人工智能时代，徐文东的“脑可塑理论”还对人机结合设备有了启发。科幻片中，人们总是用脑电波操控机械臂，事实上，脑电波这种电信号并不稳定，假肢误伤人类自身的概率很大，这是产业界一个亟待解决的难题。徐文东团队提出，根据颅内神经与手相互对应的关系，可从手臂肌肉中提取电信号操控假肢。经测试，肌电信号假肢的运动模式识别率与国际同行相比有明显优势。

从上世纪60年代一路走来，华山医院手外科三代人薪火相传、不断创新，完成了理论和技术上的多项“第一”。徐文东说，人类大脑拥有许多未知和神秘的潜力，双手又是人体最复杂的器官之一。将手外科、脑外科、神经影像、神经康复、运动医学等多个学科进行整合，促进临床研究与基础研究交叉合作，未来一定会涌现出更多令人惊喜的发现和创新成果。



①修复残障上肢功能新方案凝聚了华山医院手外科几代人的心血。本报记者 **袁婧**摄
②可信软件项目应用于卡斯柯信号有限公司无人驾驶工程中心。 **傅正**摄
③我国首条金属双极板批量化生产线生产的“燃料电池金属双极板”。本报记者 **袁婧**摄

制图：李洁

“体检”排隐患 为国产软件打上“安全可信”标签

奖项：2019年度上海市科技进步奖特等奖
项目名称：面向重大工业装备核心控制软件的安全可信保障技术及应用
获奖团队：华东师范大学可信软件协同创新团队

■本报首席记者 **许琦敏**

万物互联的时代正在到来，电力运行、轨道交通、航空航天、大型装备……越来越多关系国计民生的大型系统都要靠复杂而智能的软件系统运行。如果这些软件“带病”上岗，一旦“发病”或被人操控，后果将不堪设想。

早在十多年前，为给国产软件打上学术界、产业界都认可的“安全可信”标签，中国科学院院士、华东师范大学软件学院教授何积丰带领团队从基础理论入手，破解重重难题，自主研发出了国内首款通过国际权威认证的测试工具SmartUnit，并形成11款具有完全自主知识产权的形式化建模、测试与验证工具，其中6款已商业化，近三年销售额达1.5亿元。

目前，这一系列工具已为我国风云四号卫星、探月工程三期等航空航天重大任务提供支撑，并为上海地铁10号线、17号线等多条国内外轨交线路提供安全保障。

破解软件“信任危机”，解决产业“卡脖子”难题

“十几年前我们就意识到，软件不总是可以让人信任的。”何积丰回忆，当时不断有企业找上门来：有的引进了国外软件，发现它水土不服，但又如同“黑匣子”，难以优化；有的自主开发软件产品，却不知如何说服客户信任它……

归根到底，我国要建立一套软件“体检”系统，通过它实现对软件的自动化验证、测试，及时找出软件中存在的隐患，确保运行安全无虞。何积丰说，随着软件运行和开发环境从传统的封闭、静态，转向开放、动态、多变的互联网环境，“可信软件”必将成为现代软件技术发展和应用的重要趋势和必然选择。

2007年底，国家自然科学基金委启动了“可信软件基础研究”重大研究计划，何积丰带领团队投入到艰苦的研发中。

软件的复杂性“分析难”、正确性“验证难”、可靠性“保障难”如同三座大山，矗立在科研团队面前。运用深厚的数学功底，何积丰决定从基本理论与算法入手，解决科学问题，建立方法体系，从而破解国产软件的“信任危机”。

“这是一个漫长的螺旋式上升的过程。我们从产业需求中发现问题，再回到产业中去验证，不断发现新问题。”十几年来，他们发展起了控制软件的可信保障技术，开发出了一系列自主可控的软件全生命周期工具链。值得一提的是，团队所开发的软件工具能对软件在数学层面进行仿真和验证，在代码生成之前就发现其中的缺陷，提醒开发者及时改进。

聚焦安全领域，与国际企业同台竞技

伴随安全可信软件保障技术的诞生与发展，国内相关软件企业开始在国内外市场崭露头角。

上海创景信息科技有限公司是可信软件项目团队中唯一一家民营企业，公司从代理国外软件产品起步，逐步转向自主开发软件工具产品，可理论缺乏令研发之路荆棘丛生。2013年，公司与华东师大成立联合实验室，将何积丰团队的理论成果转化到工具中。过去数年，这些工具成功支撑了神舟八号与天宫一号对接、风云四号卫星研制等多项重大航天任务。

身为项目团队成员，为上海地铁提供软件运维服务的卡斯柯信号有限公司，十年前开始投入自主运行系统研制。2012年，公司与何积丰团队开启全面合作，如今已成功实现了上海地铁17号线列车运行控制系统的100%自主研发。由该公司自主研发的城市轨道交通信号解决方案成功部署于埃塞俄比亚斯亚贝巴轻轨，成为中国第一套“走出去”的自主信号系统解决方案，开始与国际企业同台竞技。

据统计，可信软件项目新增直接经济效益和利润累计超过14.2亿元，间接带来了千亿元产值的效益。

2018年，依托该项目，作为支撑上海科创中心“四梁八柱”的重要创新力量，上海工业控制系统安全创新功能型平台成立。聚焦轨道交通、航空航天、汽车电子等安全攸关领域的软件研制，未来平台孕育的成果将辐射长三角，带动相关产业发展。

薄板藏玄机 氢能汽车“心脏”有了“中国方案”

奖项：2019年度上海市技术发明奖特等奖
项目名称：高功率密度燃料电池薄型金属双极板及批量化精密制造技术
获奖团队：上海交大、新源动力、上汽集团联合创新团队

■本报记者 **沈湫莎**

当前，发展氢能与燃料电池汽车已成为全球共识，我国也将燃料电池汽车列为国家新能源发展战略，预计2030年年产量将达百万辆。

如果说传统汽车的“心脏”是发动机，那么氢能源燃料电池汽车的“心脏”就是双极板和膜电极叠装而成的燃料电池电堆。2005年起，上海交通大学就开始研发“高功率密度燃料电池薄型金属双极板”，迄今已研发出了六代具有自主知识产权的产品，掌握了“全工艺链集成”关键自主核心技术，为氢能汽车“心脏”贡献“中国方案”；与上汽集团等联合成立上海治臻新能源装备有限公司产业化平台，落户上海自贸区临港新片区，实现了向国内核心主机厂及电堆企业的大规模量产供货。

昨天，这块轻薄、小巧的金属板及其全套精密制造技术被授予2019年度上海市技术发明奖特等奖。

创新“两板三场”结构，引爆全球燃料电池行业

这不就是一块车牌吗？任谁一眼看到这块长40厘米、宽10厘米的金属板，都会萌生出这样的念头。但如果再多看一眼，就能发现它的与众不同之处——在厚度不超过1.2毫米金属板上刻着七八十个流道，每个流道长约40厘米，间隔不超过400微米。400多块这样的金属双极板叠起来，就组成了一个高功率密度燃料电池电堆。

燃料电池电堆是整车制造的核心，双极板占电堆体积的80%。过去，大部分相关企业都采用“三板三场”结构，可即便是业内最薄的双极板也有2.1毫米厚，数百块板叠起来很难装进汽车前舱。上海交大机械与动力工程学院来新民教授课题组一开始就瞄准了“两板三场”结构，这样一来，双极板厚度仅有1毫米。

然而，要让这块板“瘦下来”并不容易。来新民说，此前大家之所以要用三板，是因为金属板需要承载氢、氧、水三种流场互不干扰的流通，抽掉中间一层隔板后，必须要通过结构创新让处在同一空间中的不同物质各走各道，难度可想而知。

2005年起，上海交大、新源动力、上汽集团组成联合攻关团队，终于在2008年推出了“两板三场”金属双极板，不仅单片厚度降低52%，电堆功率提高到原来的2.4倍，更实现了400片电池电堆在轿车前舱的成功布置。

“两板三场”结构的出现，直接“引爆”了氢能源燃料电池行业。在2019年世界新能源汽车大会上，项目团队开发的电堆被评为代表新能源汽车方向的八项前沿技术之一，国内外知名汽车企业纷纷来到位于临港的上海治臻考察，提出了多方面合作事宜。

从选材到制造工艺，没有经验借鉴只能一点点试

对于金属双极板来说，提出全新结构只是漫长创新链条的第一步。想要做出可支撑汽车跑上几百公里的燃料电池，前面还有无数只“拦路虎”等着他们。

氢能源燃料电池需要在充满“矛盾”的场景中工作——既要高导电，又要耐腐蚀，究竟选用什么样的材料让研发人员伤透脑筋。“没有前人的经验可以借鉴，只有靠老办法一点点试。”最终，涂着团队研发的多元复合涂层的电堆，成为国内首个通过车用5000小时寿命考核的电池。换句话说，这车跑上10年，发动机不会坏。

不断攻克技术难题的同时，上海治臻把金属双极板的全套制造工艺体系搭了起来。在位于临港的生产车间里，一卷卷光洁如镜的不锈钢板变成形如手风琴的电堆。在涂层车间，一排排成形和焊接好的极板“排队”进入有十余个腔体的磁控溅射涂层间，一分钟后，数十层致密复合膜已装涂完毕。

幸运背后，是上海这座城市对创新的崇尚与渴望

捧着特等奖证书，来新民不禁回想起十多年前梦开始的时候。因为预见到氢能源燃料电池汽车的发展机遇，他与志同道合的同事和学生开始创业。他们“幸运”地得到了上汽集团连续五年燃料电池技术攻关项目的稳定投入。在他看来，幸运背后，正是上海这座城市对创新的崇尚与渴望。

15年来，上海市科委不断加大对项目研发的投入力度，临港集团也给予了大力支持，让上海治臻从不到10人的小公司成长到80余人。如今，公司建成了年产50万片金属双极板全流程生产线，占据国内氢能源燃料电池市场半壁以上江山。

“这只是中国氢能源燃料电池汽车发展的一小步。”来新民说，中国汽车想要弯道超车，还需要在多个部件、材料、系统上有更大突破。团队成员希望，不久的将来，氢能源燃料电池汽车成规模地走上街头：只需加氢三五分钟，一口气跑上600公里不“喘气”。