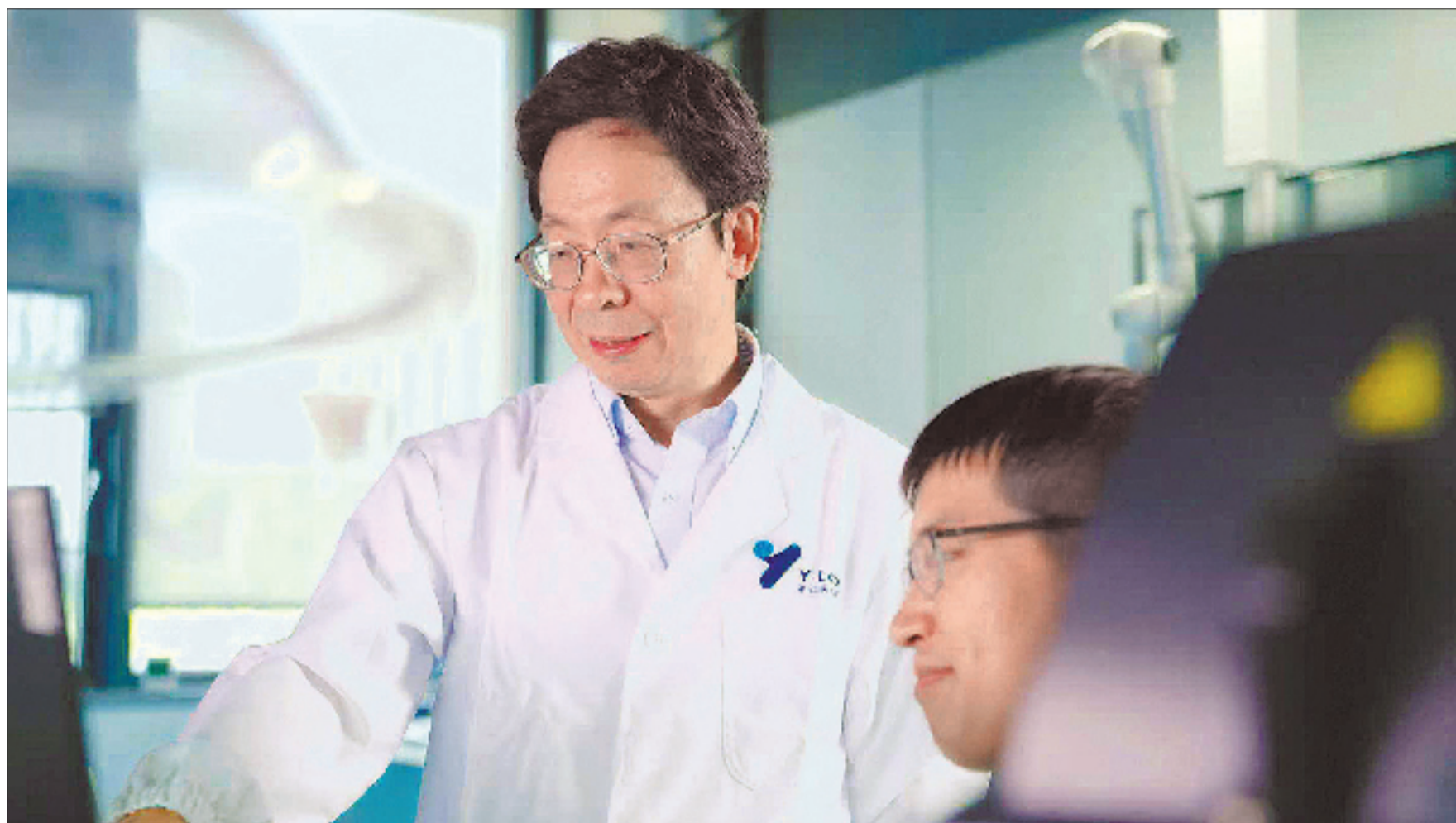


前沿周刊 / 科技

15年攻关,我国科学家打破压电材料性能纪录 给压电陶瓷穿上“宇航服”



任晓兵(左)和团队成员。

■ 本报记者 翁云騫

蜜蜂大小的无人穿梭探测,手术机器人在血管中巡游作业,新一代B超可捕捉到细胞的早期病变……这些高科技场景的实现,都离不开一种能把“力”与“电”进行超高效转换的压电材料。

前不久,国际顶刊《科学》杂志发表了甬江实验室先进智能材料研究中心主任任晓兵团队的突破性成果:经过长达15年的探索,团队成功研制出压电系数高达6850皮库仑每牛顿(pC/N,指施加一牛顿的力,在压电材料表面产生的电荷量)的压电陶瓷材料,这一性能是传统压电陶瓷的10至30倍,标志着一种兼具超高性能与工程实用性的“超级压电陶瓷”正式诞生。

更具里程碑意义的是,该团队开创了一种“主动模式”的研发范式创新——通过提供“最佳工作环境”,充分发掘材料的性能极限,从而使其产生“超能力”。“超级压电陶瓷”是怎样诞生的?跳脱传统窠臼的“主动发现”科研范式,又将为材料研究带来什么改变?

探寻压电性能的“珠峰”

什么是压电材料?任晓兵向记者做了一个十分形象的比喻:“这是一种有‘触觉’和‘听觉’的材料。它既能够感知到压力,也能够敏锐察觉到电的刺激。”

1880年,法国物理学家P.居里(即物理学家居里夫人的丈夫)和J.居里兄弟发现,把重物放在石英晶体上,晶体某些表面会产生电荷,电荷量与压力成比例。这一现象被称为压电效应。随即,居里兄弟又发现了逆压电效应,即在外电场作用下压电体会产生形变。

压电效应的机理,来源于压电材料内部的电荷运动。而借助这种特殊的性质,压电材料既能作为“传感器”将力学信号转换为电信号,也能作为“驱动器”将电能转化为精准的机械运动。

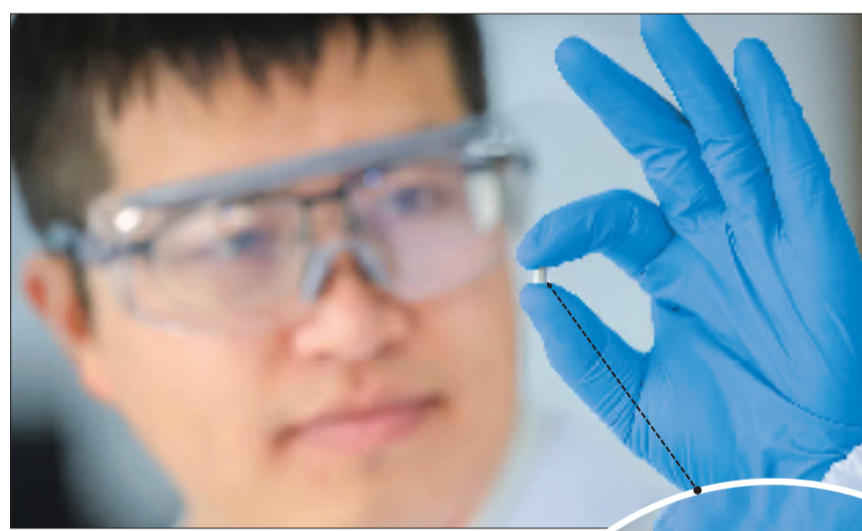
诞生一个多世纪后,压电材料在生活中已随处可见。当人们点燃燃气灶或热水器时,传动装置就把压力施加在压电陶瓷上,使它产生高电压,进而将电能引向燃气的出口放电。于是,燃气就被电火花点燃了。

进入新世纪,压电材料在高科技领域的应用越来越广泛。手机指纹识别、汽车倒车雷达与泊车辅助系统中的距离传感,乃至光刻机中纳米级精度的位移控制,都依赖于压电材料的应用。相关数据显示,当前全世界压电材料的市场规模或已达数百亿美元。

但是,压电材料的性能瓶颈却一直存在。

衡量压电材料的关键指标被称为压电系数。这一数值越高,材料的力电耦合转换性能就越优异。

“主流锆钛酸铅(PZT)多晶陶瓷的压电系数始终定格在200-600pC/N之间,数十年未有突破。20世纪80年代出现了一种弛豫压电单晶,性能可达2000pC/N量级,但造价堪比黄金,而且



团队成员展示样品。

受访者供图

稳定性很差,也极其脆弱,难以大规模应用。”团队成员、论文一作郝彦双介绍。作为智能时代的一种基础性材料,性能瓶颈如果突破了,就无法驱动更高级的器件。

2009年,时任西安交通大学前沿科学技术研究院院长的任晓兵提出了一个前瞻理论:在压电材料的相图多相交汇处,存在一个性能的“临界点”。在这个“临界点”上,各相之间的能量壁垒趋于消失,材料对外部激励的响应理论上可接近无限大,堪称压电性能的“珠穆朗玛峰”。

然而,一个困境使得该理论长期停留于猜想:这个性能的临界点恰恰位于传统压电材料的“死亡温度”——居里温度附近,也就是让压电材料性能消失的温度。在PZT陶瓷材料中的居里温度大约是350℃,这代表理想中的“性能珠峰”实际上无法实现。

原因在于,传统压电材料需通过强电场进行极化,使内部电偶极子排列一致以产生响应;然而一旦温度接近居里温度,热扰动便会迅速破坏这种有序性,导致压电性能完全丧失。基于此,不少人坚持认为,这一临界点只是“理论上存在,工程上根本无法实现”。

“我们发现了一座金矿,却无法靠近它。”任晓兵笑着说。

压电材料,真的无法攀上性能“珠峰”吗?

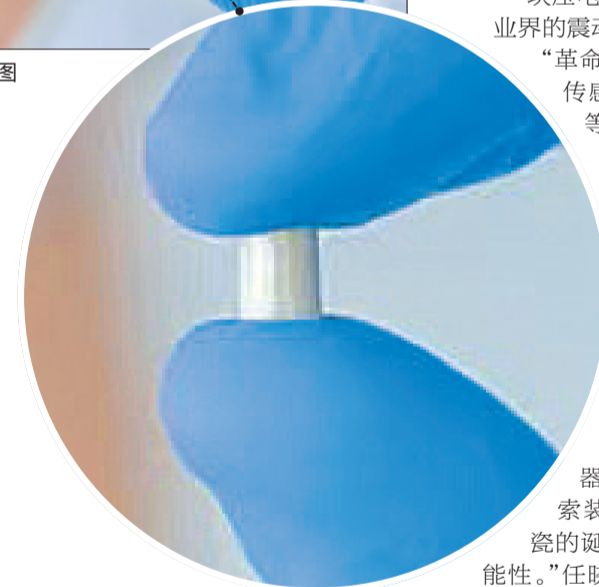
为压电陶瓷穿上“宇航服”

面对“一近巅峰就失效”的难题,任晓兵团队进行了大胆的逆向思考:能否设计一种方法,让压电材料能在传统的“死亡温度”下“维持生命”并高效工作?

“经过十多年试验,我们发现无论在材料配比上做多大改变,其压电性能都无法实现根本性提升。既然如此,我们干脆从材料的工作环境入手,化被动为主动。”任晓兵解释道。

2023年,任晓兵团队首创了压电器件开发的“主动工作模式”。形象地说,他们为压电材料穿上了一件“智能宇航服”。

这套“宇航服”最核心的创新点在于内置了“智能温控”,这使得不管外界是冷是热,它都能把陶瓷内部的温度精确



团队成员展示样品。

维持在一个恒定水平。同时,“宇航服”内还设置了一个微小的偏置电场,持续引导材料内部亿万电偶极子一致排列,抵消热扰动的破坏。借助这一设计,压电陶瓷就像是住进了空间站的宇航员,能够长久稳定在最佳工作状态,从而在极端环境下依然能够保持卓越性能。

工作原理看似简单,但做起来很难。首先是样品的制备。由于压电陶瓷需要接受超过300℃的高温考验,但通常压电材料在这个温度电阻率非常低,是测不出压电性能的。为攻克这一关键难题,团队付出了艰辛努力,从源头原料入手,对制备工艺进行反复打磨与迭代优化,细致把控每一步制备细节,历经无数次尝试与调整,系统开展了上千组试验条件的摸索与验证,最终突破了这一瓶颈。

此外,测试设备也很关键。“由于没有成熟的商用设备可以测试这个性能,这就需要我们自己来设计。”郝彦双告诉记者,在电路布局和控温模块的设计上,团队几乎是毫无经验,只能一边摸索一边攻关。为了搭建测试平台,团队四处搜集适配材料,手工拼凑调试零部件。其间先后尝试了多套设计方案,却都未达到预期效果。历经无数次修改与返工,团队前后耗时两年多,才“手搓”出一套好用的测试设备。

一系列创新工作,为压电材料性能跃升插上了翅膀。

经过多年持续攻关,基于主动工作模式构建的原型压电器件,最终实现了压电系数6000pC/N以上的稳定输出,并且在理论上还能进一步拓展至超低温

或超高温环境。

“随着集成技术的不断进步,我们可以把温控片做得更轻薄,把偏压电路做得更精巧,从而使整套压电器件能塞进电路板。”任晓兵介绍,他们正在组建一支规模更庞大的科研团队,希望通过人才引进和设备升级,早日让科研成果在医学检验等特定场景实现落地。

开辟材料科研新赛道

一块压电陶瓷的性能飞跃,引发了业界的震动。期刊审稿人评价其为“革命性发现”,有望重塑高端传感、精密驱动与智能交互等方向的技术格局。

“文章刊发仅仅一月,下载量就超过了4000次。”任晓兵自豪地说。

相比学界对材料性能突破的关注,产业界的积极反馈更让任晓兵团队感到振奋。

“在高端传感、下一代超声成像、微型机器人、光刻机乃至太空探索装备等领域,超级压电陶瓷的诞生让大家看到了更多可能性。”任晓兵展望道,它就像信息时代的芯片,有望成为智能时代关键功能部件的基础元件。“目前,已有不少开发传感器、驱动器等产品的企业主动联系我们,表达出对超级压电陶瓷的兴趣。”

从不起眼的压电陶瓷到能主动工作的“智能器件”,背后是科研模式从“被动”到“主动”的大胆革新。在任晓兵看来,这是本次研究的另一重大成果。

“在很多人的惯有思维里,压电材料和普通电阻、电容一样,是属于被动的元器件,要提高性能,只能从材料的内部结构和制备工艺着手进行改变。我们的研究突破了这样的思维定势。”

过去70余年,压电材料的发展始终围绕“优化材料本身”展开,追求材料在舒适区的固定高性能。但这种方法存在天然局限——材料性能受环境温度波动影响显著,难以在极端条件下稳定工作。

任晓兵团队开创的“主动工作模式”,正是通过外部条件的控制,将材料动态“锁定”在最佳工作状态,实现高性能与强环境适应性的统一。

这样的研究模式不仅仅是压电材料能用,在其他材料领域或许也能带来意想不到的新发现。

“很多材料只有待在一个‘舒适区’才能展现性能,如果能够给它一个特定的条件,这种性能就有可能实现飞跃,比如弹性材料、磁性材料等,都有这样的潜力。”任晓兵表示。

世上无难事,只要肯登攀。成功登顶“珠峰”的压电陶瓷,或已打开材料学研究的一条新赛道。

瘫痪患者福音 智能脊髓神经接口 走向常规诊疗



治疗师手中的平板电脑上,显示着患者腿部肌肉电信号。

受访者供图

■ 本报记者 朱平
通讯员 邓国芳 童小仙

瘫痪者再行走,不再是奇迹,而是一条正在被医学验证的临床路径。

近日,浙江大学医学院附属第二医院(以下简称“浙大二院”)脊髓损伤临床研究病区正式启用。这是浙江省首个“EES手术(脊髓硬膜外电刺激)+术后康复”一体化临床研究病区,标志着闭环脊髓神经接口技术从科研探索向常规诊疗迈出了重要一步。

对于全国370万脊髓损伤患者而言,一扇重新站立的门,正被推开。

从“科研探索”到“临床路径”

走进浙大二院泛血管与代谢中心(博奥)的脊髓损伤临床研究病区,康复室里除了下肢外骨骼机器人、悬吊减重训练设备、踝关节机器人等装置,还有更关键的一幕:一位患者正躺在训练床上,在治疗师的引导下缓慢抬脚。治疗师手中的平板电脑上,实时跳动着患者腿部肌肉的电信号——这些数据来自植入体内的神经刺激器,将被用于下一轮参数调整。

“我们不是简单地把病人集中管理,而是整合多学科优质资源,构建评估—手术—康复—随访全流程。”浙大二院康复科副主任(主持工作)熊冰介绍。

38岁的小慧(化名)便是病区的受益者之一。去年6月,她被一辆电动三轮车撞倒,胸椎多处骨折、脊髓严重受压,下半身毫无知觉,连最简单的翻身都需要家人全程照料,一度想要放弃治疗。今年1月,小慧接受了脊髓硬膜外电刺激手术。术后,康复团队与工程师团队为她量身定制数字化康复方案。如今,小慧已经能在保护下独立站立30分钟。

“她来的时候肌力只有一级,现在到了三级。”熊冰说。一级意味着只能看到肌肉轻微收缩,完全无法站立;三级则能够抵抗重力,把腿抬起来。“跨了两个等级,这个变化非常显著。”

小慧的蜕变并非孤例。从去年至今,已有十余例脊髓损伤患者在浙大二院完成了脊髓硬膜外电刺激手术,通过术后康复训练,实现了不同程度的功能恢复。

沉睡的神经需要一把钥匙

“脊髓损伤以后截瘫,是个世界性难题。以往经过康复、药物甚至干细胞治疗,都没有什么好办法。”浙大二院神经外科朱君明主任医师介绍。去年初,医院联合浙江大学医学院,率先开展了闭环脊髓神经接口植入手术,61岁的金大叔成为首批受益者。术后两个月,他从瘫痪在床恢复到能自主行走。

“如今,金大叔已经能在家门口500米长、15度的坡道上独自散步,每天两趟,生活基本自理。”朱君明笑着说。

让更多患者受益

从首例手术到临床研究病区的启用,团队积累的不仅是技术经验,更形成了一个清晰的认识:这项技术要想惠及更多人,必须形成一套可推广、可复制的“EES术后康复”临床方案。

“国际上,这项技术也处在探索阶段。”熊冰说,“传统脊髓康复有指南和共识,但针对损伤后的康复,并未涉及脊髓调控术后的康复治疗。我们在第一阶段康复中就发现,这两者完全不同,所以希望通过这个临床研究病房,把术后康复方案逐步确立下来。”

目前,团队已形成患者筛选标准。熊冰介绍:“完全性脊髓损伤,神经通路全部损毁,获益不大。我们聚焦的是脊髓不完全性损伤,ASIA分级C级或D级的患者,病程在6个月以上,3年以内。”

在病区的康复训练室里,记者见到了52岁的李老。他正在治疗师的陪伴下练习自主行走,步伐虽慢,但已不需要拐杖。他告诉记者,术前他只能拄着拐杖勉强走几步,腿“硬邦邦”的,家人必须时刻跟在身后。“现在我能自己从一楼走到四楼,回到学校上课了。”他说这话时,眼里有光。

在浙大二院脊髓损伤临床研究病区,治疗师给患者进行康复训练。

受访者供图