

解码摩擦纳米发电技术

看不见的“微能量”，看得见的大未来

本报记者 王昊男

院士讲科普

只要晃动一下手中的小盒子，通过电线与其相连的LED灯就被瞬间点亮。没有外部电源，也没有传统的磁铁和线圈，电从哪来？

位于怀柔科学城的中国科学院北京纳米能源与系统研究所，奇妙的发电场景比比皆是：走路、挥手，海水涌动、微风轻拂，甚至抖一抖衣服，都能发电。

“无论是火力、水力还是核能，人类发电本质上都是驱动电子流动。”中国科学院外籍院士、中国科学院北京纳米能源与系统研究所所长王中林及其团队，正在探索一种全新发电模式——摩擦纳米发电。“让材料在摩擦、弯曲、挤压时直接产生电，并从起电到发电。”王中林说。

这一新的发电技术，有什么特殊之处？其背后蕴藏着哪些新的应用？对我国能源发展有什么作用？近日，记者对王中林院士进行了专访。

摩擦起电+静电感应=摩擦纳米发电

冬天脱毛衣，“噼啪”作响；梳过头发的梳子，能吸起碎纸屑。这些人们熟悉的摩擦起电现象，正是摩擦纳米发电的底层逻辑。

“两种不同材料接触再分开，表面就会分别带上正电和负电；当外力让它们反复靠近、分开或滑动时，就会形成变化的电压，从而推着电路里的电子走的是另一条路，叫‘弱能量精准捕捉’，相当于在每一条小溪里放一台微型小车，水流再小也能转。”

摩擦纳米发电还有一个特点，就是“不挑食”。王中林介绍，火电、光伏、风电依赖特定场地或特定气候，是“集中式发电”；摩擦纳米发电不挑场景、不挑能量大小，人体运动、海浪起伏、机械振动，都能就地取材，更像遍布各处的“分布式微电站”。

仅几十厘米高的风车，只要对着它吹上一口气，与其连接的灯泡就亮了起来。“传统风力发电机，一般需要三级以上的风才能发电；摩擦纳米发电机无需磁铁、无需线圈，有点风就够用。”王中林说，这也填补了传统发电技术无法覆盖的微能量利用空白，“是对经典电磁应用场景的新拓展”。

从理论层面看，摩擦纳米发电技术还催生和推动了一系列重要的基础科学突破。传统发电基于传导电流理论，摩擦纳米发电机的理论根基，是麦克斯韦方程组中的位移

走出实验室，摩擦纳米发电能做什么？

你见过“认人”的键盘吗？中国科学院北京纳米能源与系统研究所就有一个。密码：3.1415926，就贴在电脑边上显眼的位置。记者逐一敲下，屏幕却提示：验证失败。

“密码是正确的，但速度、力度不匹配，就无法通过验证。”工作人员揭秘，键盘里嵌着摩擦纳米发电机，每次敲击的力度、节奏，都会被转化成电信号，成为密码之外的第二道锁，“密码可能被窃走，但一个人敲键盘的‘手劲儿’可偷不走。”

走进位于研究所一层的展厅，就像来到了一家“未来商店”。嵌着摩擦纳米发电机的智能鞋，能计步、可定位，全靠走路发电；布设120个阵列点的床垫，不到1秒就能识别出体重、呼吸、心率，识别准确率达98%；不用换滤芯的净化器，通过空气流动摩擦产生的静电场吸附和击穿有害物质，杀菌灭毒率可达99.99%。

医疗健康领域的应用最牵动人心。可穿戴医疗监测、神经疾病诊断、癌症的辅助治疗……借助摩擦纳米发电技术“自供电”与“高灵敏传感”的优势，很多诊疗手段正在摆脱电池束缚。

实验室里，更“重磅”的产品正在加紧完善。“在国家部署的‘六张网’建设中，我们的技术能破解基础设施感知‘供电难、运维难’的痛点。”王中林说，在无光照的地下管廊、覆冰山区等场景下，摩擦纳米发电技术能将微风振动、桥梁伸缩、雨滴撞击等高效转化为电能，使监测终端实现“自取能、自感知、自传输”无源运行。

在新型电网领域，该所研发的自供电线路监测装置已实现10毫瓦级功率发电，多参量传感平均功耗低至700微瓦。“先后安装在110千伏至500千伏不同电压等级线路上，并已通过百日带电运行考验。”王中林说。

图①：王中林院士（右一）在进行科研指导。冯 培 摄

图②：自供电可穿戴织物。

图③：无线无源气象监测系统。

图④：自发电智能鞋。

图⑤：动态界面电子学学科树示意图。

图②③④⑤均为中国科学院北京纳米能源与系统研究所提供

探一线

复旦大学研发搭载纯视觉端侧大脑的机器人靠“眼睛”，这款机器人自主行走

本报记者 黄晓慧

在上海举办的第二十六届中国国际工业博览会现场，一台有着“大眼睛”和像火星车一样底盘的白色机器人吸引了人们的目光。展会现场人群流动、场景复杂，这台机器人没有预先设置好的地图，不靠手柄遥控，仅凭“眼睛”就能自主找路，主动避让行人，和观众一起“逛展”。

这款机器人名为“旦宝”（见右图，魏鹏飞摄），搭载纯视觉端侧大脑，由复旦大学未来信息创新学院和极目天舒团队联合研发。研发团队负责人张天资介绍，长期以来，机器人的运动与作业主要依靠遥控、预编程和预先建图3种方式，而不是来自机器人自身对环境的实时理解。一旦环境或任务发生较大变化，就需要重新建图或编程。在抢险救灾、太空挖矿等作业场景中，变化因素多，急需能够实时理解环境并自主决策的机器人。

“旦宝”的诞生得益于纯视觉机器人端侧大脑技术突破。在模型层面，团队将机器人的各类运动统一归纳为“导航”问题，移动是将本体导航至目标位置，抓取等操作则是将指尖导航至目标物体附近。很多机器人抓取和行走用两套不同系统，存在数据一致性差、成本较高等问题，“旦宝”的大脑则能够指挥全身运动。基于上述“端侧大脑”训练出用于具身导航的物理技能——视觉空间智能导航，已在“旦宝”身上稳定运行。

张天资说，低算力、高智能是视觉空间智能导航的另一个特点。当前具身智能导航大模型的参数规模多为数十亿级，对算力要求较高，部分方案依赖离机推理，难以直接部署于现有机器人本体。视觉空间智能导航参数量约1.2亿，可在20瓦以内的功耗下支持最多8路视觉输入的端侧实时运行，让机器人摆脱对预建地图、预设程序的依赖，走向自主“理解”和决策、行动。

目前，研发团队正将成果与跑腿取送、巡检、农业、清洁等多类机器人开展适配，未来将探索让机器人从自主行走到自主完成任务，再到理解意图的持续“进化”。

华中科技大学团队完成全侵入式脑机接口手术架“桥梁”，让“沉睡”躯体被唤醒

本报记者 吴 君

在华中科技大学同济医学院附属同济医院的病房，高位截瘫的胡女士躺在床上，凝视着屏幕特定区域，通过眼动追踪配合意念聚焦，电脑光标随即精准移动起来。这一场景的实现依靠的正是脑机接口装置。

今年8月，在唐洲平教授、舒凯教授、胡峰副教授团队操刀下，8根直径比常人发丝还细的超柔性电极被精准植入胡女士的大脑运动区皮层，完成了这一全侵入式脑机接口手术。

对于脊髓损伤等患者而言，神经通路的损毁就像切断了大脑与肢体间的“信息桥梁”。“唐洲平介绍，‘芯片和电极在大脑与外部世界之间架起了新的信息通路，能在毫秒间捕捉到患者‘想动’的神经放电，经过解码之后，转化为具体的行动。’

除了侵入式，目前脑机接口还有非侵入式和半侵入式两条技术路线。“侵入式信号质量高、带宽大，但对安全性、长期稳定性要求高；非侵入式安全、便捷、可重复、成本低，但信号弱、个体差异大；半侵入式则提供了一个中间路径。”唐洲平说，选择哪种模式，需要根据患者的个体情况来确定。

除了改善肢体残疾患者的运动功能障碍，脑机接口在神经精神疾病领域同样展现出重要的临床干预价值。

“这类患者的脑信号发出了错误指令，导致躯体出现不自主运动、情绪失控或认知障碍等症状。”唐洲平介绍，依托脑机接口的精准调控与神经反馈训练，患者可在反复刺激与练习中，逐步重建大脑正常节律与功能秩序。

不过，个体间神经信号特征差异显著、动态变化复杂。脑机接口要实现稳定可靠的临床应用，仍需在“解读大脑信号”上攻克信号获取的保真度、算法模型的泛化性难题和技术效果的临床价值等难题，“脑机接口要真正落地临床，需要建立从脑信号采集、解码算法、神经调控，到临床试验、康复评价、医疗器械转化的完整链条。”唐洲平说。

前沿研究和我们的生活有什么关联

陈 征

2026年度诺贝尔奖前不久陆续揭晓：物理学奖授予了提出用南极冰层探测中微子的弗朗西斯·哈尔琴，化学奖授予了发现不对称有机合成中的非线性效应和自催化现象的亨利·B·卡甘和碇合宪三，生理学或医学奖则授予卡尔·戴塞罗思、彼得·黑格曼和格奥尔格·内格尔，以表彰他们在光门控离子通道和光遗传学方面的发现……但晦涩的术语、高深的专业知识，让人不禁疑问，这些前沿的研究，与我们的日常生活有什么关联？

基础科学在诞生之初往往是“无用之学”。19世纪，奥斯特发现通电导线旁的小磁针偏转、法拉第演示“铜盘实验”等，似乎都离日常生活很远，但当我们把时间线拉长，就会发现，给人类日常生活带来巨大改变的，大多是从当初那些“看不懂、不知道有什么用”的基础研究成果发展而来。

举个例子，今年的诺贝尔物理学奖授予了中微子探测相关成果，这是探索宇宙、认识世界的新方式，现在我们并不知道这与生活有什么关联。但当年回到1901年，获得首届诺贝尔物理学奖的“X射线”，在如今生产生活中的应用已数不胜数。

除了医疗上常见的X光片、CT和公共场所安防用的X光机等之外，X射线相关的诺奖成果和应用也深刻影响着当下。冯·劳厄发现X射线衍射，布拉格父子将其用于晶体结构分析，为今天各种新材料的开发提供了必需的分析手段；查尔斯·巴克拉发现元素的特征X射线，卡尔·西格班建立X射线光谱学，帮助我们分析矿石、土壤、合金乃至文物的元素成分，是从冶金、考古、环境监测到半导体芯片、电池材料等研发的必备检测手段。

在生命科学领域，此前，有的科学家把X射线晶体结构分析方法用于测定蛋白质分子，有的用其解析青霉素、维生素B12、胰岛素等分子，还有科学家用之揭示DNA双螺旋结构，将生物学深入到分子层次，为今天的新药合成、靶向药设计、疫苗研发等奠定了基础。

可以说，在许多领域，都有当时成果的延续。在2009年获诺贝尔物理学奖的光纤，是今天万物互联、全球互联的基础；2014年获得诺贝尔物理学奖的蓝光LED已普遍应用在照明、显示的各个角落；2019年获诺贝尔化学奖的锂电池正撑起新能源产业的发展……这些当时看起来艰深奥奥的成果，与我们的烟火生活之间的关联，往往需要一定时间才会显现。

基础研究周期长、短期内看不到回报，但它恰恰是未来技术的地基。让我们期待那些看起来很遥远的研究，在未来给我们生活带来的惊喜与改变。

（作者为中国科普作家协会理事会理事、北京交通大学物理科学与工程学院教授）

学术支持：中国科学技术协会

硬X射线自由电子激光装置首次出光能拍出记录微观世界快速运动的“分子电影”

据新华社上海电 （记者董雪）记者从上海科技大学获悉：国家重大科技基础设施硬X射线自由电子激光装置建设取得突破性进展。装置采用4吉电子伏特连续波超导直线加速器产生的电子束，驱动18台4米长、磁周期为55毫米的波荡器线，成功实现自由电子激光首次出光。

作为照亮微观世界的科研利器，硬X射线自由电子激光装置就像一台“超级摄像机”，能拍出记录微观世界快速运动的“分子电影”。

硬X射线自由电子激光装置于2018年4月启动建设。建成后，硬X射线自由电子激光装置加速器的电子能量将达到8吉电子伏特，首期两条波荡器线可产生光子能量覆盖0.2至15千电子伏特的自由电子激光辐射，光脉冲的长度可短至飞秒量级，最高重复频率可达1兆赫兹。装置可以精准捕捉原子分子快速动态变化过程，将为生命科学、量子材料、未来能源等前沿科学领域，提供微观结构解析、超快动力学研究等尖端研究手段。

国产卫星互联网打通全球通信“最后的盲区”

本报北京电 （记者刘诗瑶）记者从自然资源部获悉：执行中国第十六次北冰洋考察任务的“极地”号，目前已完成国产卫星互联网北极航线准业务化应用测试。

在中国极地研究中心（中国极地研究所）等单位的共同努力下，本航次首次成功开展北极、南极、青藏高原联网通信验证，在“极地”号、秦岭站、西藏自治区拉萨河试验站、北海局视频连线中，语音画面清晰流畅，实现了国产卫星互联网全球低时延高带宽通信，验证了国产卫星互联网通信系统在极低温、高海拔、强风沙、冰雾等多元恶劣环境下运行的稳定性，打通了全球通信“最后的盲区”。

本航次基于国产卫星互联网通信技术，已经累计收发文件300余份，数据量超过100GB，支持开展视频会议40余次，顺利完成语音通话、大数据量文件传输、船岸视频会议、调查装备数据传输国产化、预报平台全程在线运行等全场景通信测试。

我国水稻耐极端高温低温育种取得进展

本报长沙电 （记者杨迅）日前，中国农学会组织中国农业科学院、中国农业大学、中国科学院等单位专家，对湖南杂交水稻研究中心、湖南农业大学、北京金色农华种业科技股份有限公司等单位协同创制的水稻耐极端温度不育系粳233S及其系列杂交组合，分别在湖南平原区和云南高海拔区开展的耐极端高温和耐极端低温种植试验进行现场考察评议。专家组认为，粳233S耐极端高温和低温能力强，所配组合结实率显著高于对照，应用价值较高。

团队首席科学家、湖南农业大学校长唐文帮介绍，目前团队已建立从基因挖掘、种质创制、品种培育到示范推广的耐极端高/低温水稻创新技术体系，有望为我国水稻应对全球气候变暖、极端温度频发提供新的品种和技术支撑。