看不见的『微能量』，看得见的大未来

解码摩擦纳米发电技术

《人民日报》记者 王昊男

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？

在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来回流动，于是机械运动就变成了电。”王中林说，我们熟悉的“摩擦起电”加上“静电感应”，就形成了摩擦纳米发电。

摩擦纳米发电与传统发电有什么区别？

“传统发电是‘强能量集中转化’，烧煤、拦水、捕风，把大规模能量汇到一个点上释放。”王中林说，就好比用大坝拦住整条河流，“摩擦纳米发电走的是另一条路，叫‘弱能量精准捕捉’，相当于在每一条小溪里放一台微型水车，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电流。“相当于把‘摩擦起电’这个日常现象，变成了一个可系统化、可工程化的发电机制，这是前人没有系统做过的事情。”王中林说。

摩擦起电机理、接触电致催化、液固界面起电；摩擦电子学、压电电子学、压电光电子学……随着研究的不断深入，王中林和团队还将一系列发现的物理效应与已有学科进行系统整合，创立了“动态界面电子学”。

“过去电子学研究的是电子在材料内部怎么跑，现在拓展到研究界面在动态接触中怎么产生、调控和催化的电学过程。”王中林说，“这是基础物理层面一个探索性的创新。”

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，该所研发的自供能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。

“书架子”上的理论如何搬上“货架子”？

研究所西南方向，一间不算很大的独立建筑里“波涛汹涌”。造浪池里，一个黄色浮筒起起伏伏，浮筒上的屏幕始终亮着。

“海洋蕴藏着巨大的可再生能源潜力，全球波浪能理论总量高达数太瓦。”王中林介绍，如何高效捕获低频、不规则的海洋能量，一直是技术瓶颈，“摩擦纳米发电技术恰好擅长收集低频、无序的海洋波浪能，结构简单、环境适应性强、材料成本还相对低廉。”

从2023年开始，王中林把实验室里的团队派到了海上。第一次海试发电，峰值功率密度达120瓦每立方米，平均功率密度为22瓦每立方米。2025年，开始1立方米单体发电装置试验，今年峰值功率已达千瓦级。

“下一步我们将进行发电组网测试，初步目标是完成千瓦级示范应用。”王中林心里有着一张时间表：用5到10年，把海洋蓝色能源发展成继风电、光伏之后全新的零碳排放的大能源模式。

大海能给予我们的远不止这些。“摩擦纳米发电技术能助力实现海洋的自供能监测，进而助力组建海洋自供能物联网系统。”王中林说。

“在大范围海域部署高密度的自发电智能浮标，组成分布式传感器网络，海上物联网就有了稳定供电。”王中林说，从海洋牧场、海底管线的实时监测，到自动监测、跟踪、识别船只，“这对海洋强国具有重要的推动作用。”

从独行到众行，越来越多的研究者开始关注摩擦纳米发电。王中林介绍，截至2025年底，全球已有100多个国家和地区、4300多个研究单元、2.2万名学者在这一领域发表了研究论文，至少5000名学者从事压电电子学领域的研究。

“我们的重心，是把这些原创的技术和成果，从‘书架子’搬上‘货架子’，在产业应用和造福人类方面，展现出更大的价值。”王中林说。

据2026年10月31日《人民日报》

