脉冲式摩擦纳米发电机：

无电源亦可释放大能量

■本报记者 李惠钰

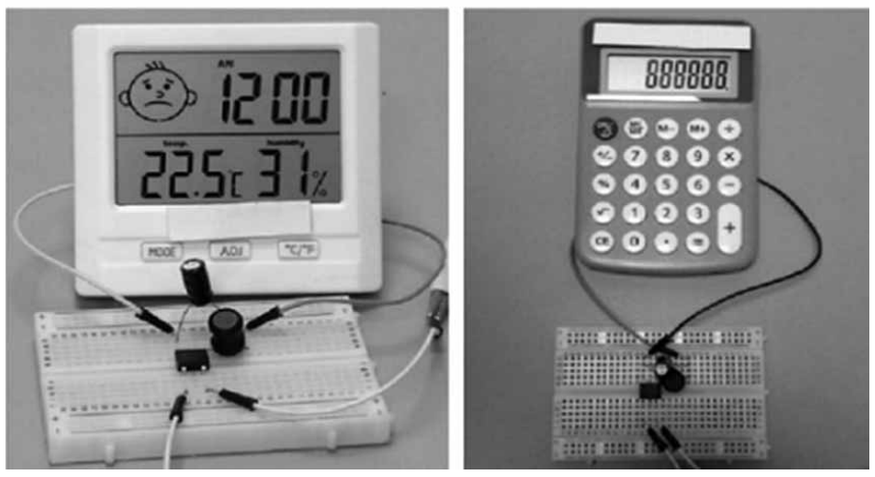
作为一种全新的能源技术，基于摩擦起电与静电感应效应耦合的摩擦纳米发电机（TENG）可以直接将环境中微小的机械能转换为电能，例如可以收集空气或水的流动、引擎的转动，甚至是人在走路、说话、心跳、肌肉收缩等运动中由摩擦产生的能量。

随着电子信息技术的发展，电子器件和传感器的体积和功耗越来越小，而 TENG 这种颠覆性技术的出现，也使得未来很多装置不再需要电池，从其工作的环境中获取能量就可以实现自己发电。

但是，由于 TENG 本身高电压、低电流和交流脉冲的输出特性，目前还没有一种 TENG 能够独立、持续、稳定地为电子器件供电，都需要电源管理电路和能量存储器件来实现稳定的输出。

为此，河南大学特种功能材料教育部重点实验室 / 材料学院程纲教授课题组设计了一种基于脉冲式摩擦纳米发电机（Pulsed-TENG）的通用无源电源管理电路，输出阻抗得到了最大程度的降低，并始终保持输出能量的最大化，很好地解决了传统 TENG 存在的输出阻抗高等问题。

该研究成果近日已发表于国际期刊 *Nano Energy* 上。



脉冲式摩擦纳米发电机可驱动电子设备。

优势：输出阻抗为零

TENG 与电磁发电机相比，其在较低的工作频率下具有较高的能量转化效率；与压电纳米发电机相比，其输出电压及能量提升了 3~4 个数量级，所用的材料和能量来源也更加广泛。将 TENG 与电子器件在具体的工作环境中有效地结合起来，发展自驱动的电子器件或系统，是可穿戴电子器件以及物联网中传感器的发展方向。

实际上，就工作原理来说，Pulsed-TENG 与传统的 TENG 是相同的，都是摩擦起电效应和静电感应效应的耦合。但是，Pulsed-TENG 却具有一个显著的优势——输出阻抗为零。

“传统的 TENG 具有输出电压高、电流低、输出阻抗很高（兆欧姆量级）和输出为交流脉冲形式的特点。”论文第一作者、河南大学特种功能材料教育部重点实验室 / 材料学院顾广钦博士告诉《中国科学报》，传统 TENG 的等效电路是一个恒压源和一个可变电容器的串联，电容器的变化速率由 TENG 的运动频率决定。但是，TENG 通常在低频下工作（几赫兹至几十赫兹），这使得在较小的负载时，其电学输出仅受控于运动频率，而与输出负载无关，这也是造成 TENG 输出阻抗高的根本原因。

针对上述问题，程纲课题组在 TENG 的输出端引入同步触发的机械开关，研发了 Pulsed-TENG。据介绍，Pulsed-TENG 的等效电路是一个恒压源、一个恒定电容器和一个开关的串联，其电学输出与 TENG 的运动频率无关，仅受输出负载的控制，因此其输出阻抗为零。这也使得 Pulsed-TENG 可以保持输出电压和能量的最大化，而不受外界阻抗的影响。

“这与普遍存在的 TENG 高内阻的特点有所不同，为未来该领域的研究带来了新的启示。”中国科学院北京纳米能源与系统研究所研究员张弛对《中国科学报》评价道，TENG 具有较大的功率密度，但受高输出阻抗特性的制约，其对储能器件直接充电效率极低，也无法直接为用电器件供电，而 Pulsed-TENG 有效的电源管理技术的进展与突破，有望解决 TENG 实用化的技术瓶颈。

从“有源”到“无源”

在此之前，很多小组发展了各式各样的有源电源管理电路，极大提高了 TENG 对电容或电池充电的能量存储效率。但是，由于 TENG 的输出阻抗大，与电源管理电路之间存在严重的阻抗不匹配，因此需要在电源管理电路中引入有源器件，这也增大了电路的复杂性和能耗。

对此，程纲课题组制备了具有单向输出的 Pulsed-TENG，并利用其阻抗匹配和单向输出的特点设计出无源的电源管理电路。不仅简化了电路结构，而且在实际的充电过程中获得了 48.0%的总能量存储效率。

但是，顾广钦告诉记者，由于单向开关的结构复杂，其使用环境受到较大的制约，难以与转盘式等多种广泛使用的 TENG 相匹配，因此无法用于收集环境中形式多样的机械能。因此，他们还需要开发一种与 Pulsed-TENG 相匹配的普适的无源电源管理电路，实现对 TENG 输出能量的高效管理和存储。

在本次工作中，程纲课题组就设计了一种基于 Pulsed-TENG 的具有普适性的无源电源管理电路。在模拟中，他们发现，匹配阻抗为 0.001Ω 时，其输出电压及能量仍可以达到最大值。这说明了 Pulsed-TENG 的输出能量可以保持最大化，不受负载电阻的影响，很好地解决了 TENG 与电源管理电阻阻抗不匹配的问题。

顾广钦表示，他们通过模拟和实际测试对基于静电振动开关的 Pulsed-TENG 的无源电源管理电路的能量存储效率进行了研究。模拟结果显示，其总能量存储效率可以达到 83.6%，在实际的充电测试中，能量存储效率为 57.8%。应用此电路存储的电能可以驱动商用计算器与温度湿度传感计等电子器件。

对此，张弛认为，这一数据也代表着其设计的电源管理电路对于实际的产业化应用已经是可以采用的策略。此外，通过简单的电路设计实现有效的电源管理，方法简单易行，为未来阵列化和大规模应用提供了理论基础。

产业化仍面临挑战

由于解决了 TENG 输出阻抗高的问题，Pulsed-TENG 将在基于 TENG 的自驱动能量包、自驱动传感器及其系统和网络等方面有重要的应用前景。

“但就目前来说，Pulsed-TENG 要想实现产业化应用，还有很多问题需要解决。首先就面临多模式、高性能 Pulsed-TENG 的设计和制备问题。”顾广钦坦言。

对此，程纲课题组已经展开研究。顾广钦表示，他们将从 Pulsed-TENG 的设计出发，集成现在 TENG 领域所有的技术手段和方法，提高 TENG 介电摩擦层的电荷密度，提高其输出特性，降低摩擦阻力和磨损，并提高其耐久性、稳定性。另外还将开发多种多样的机械开关，使其适用于更多模式和更多种类的 Pulsed-TENG，从而拓展 Pulsed-TENG 的应用范围。

不仅如此，顾广钦表示，现在的电源管理电路只是将 TENG 输出的电能高效地存储在电容中，但是，电容只是电能的暂存装置，不能对外输出稳定的电压。因此，还需要发展更高效、多功能的电源管理电路，不仅仅能够输出稳定的电压，还要对输出电能进行管理和分配，以满足不同传感器的需求。

“每项新发明的产业化应用总是存在着诸多困难，这是新技术走向消费者必然要经历的过程。”在张弛看来，基于 TENG 的空气净化器、汽车尾气处理装置和夜跑发光鞋等已经成功孵化。目前，Pulsed-TENG 在实验阶段已经取得了很多的成果，市场化的关键就是找到真正需要此类发明的地方，即“痛点”。

为此，张弛建议从 Pulsed-TENG 收集低频、低振幅的特点出发，寻找需要此类应用的地方。另外，为了尽快实现项目落地，初期的样机设计也必不可少，他建议在实验室成果报道的同时，做好样机的研发和推广。

相关论文信息：*https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2019.104372*

能言快语

1 月 6 日，美国马里兰大学全球可持续发展中心、国家发展改革委能源研究所和华北电力大学等单位共同发布《加快中国燃煤电厂退出：通过逐厂评估探索可行的退役路径》报告，详细阐述了在全球 1.5 摄氏度和 2 摄氏度升温目标的背景下，加快中国燃煤机组退役的可行性以及不同路径。报告认为，加快中国电力行业深度减排，推动传统燃煤电厂从能源系统中有序退出是可行的。

中国退出燃煤发电任重道远

■林伯强

《巴黎协定》提出，本世纪内要将全球升温控制在 1.5 至 2 摄氏度范围内，要想实现这一目标，现有的能源结构将面临重大调整。许多观点认为，由于煤炭的碳排放强度较高，未来应从能源消费中逐步退出。而全球煤炭消费中超过 50%是用于发电，因此煤炭退出意味着从现在开始停建燃煤电厂，并逐步退出燃煤发电。但现实中煤电依然在增长，特别是在目前经济增长比较快的东南亚国家。

中国的一次能源结构仍然以煤炭为主，电源结构中煤电也占据了主导地位。目前关于中国煤电退出的讨论，认为 2050 年煤电需要下降到 0 或接近于 0 的水平，由于火电服役年限一般为 30 年以上，因此应该从现在停止煤电建设。2018 年煤电占中国电源结构的比重应该超过 60%，如果电力需求增速比较高（如 2018 年 8.5%的电力增速），没有煤电增长将无法保障电力的供应。因此，煤电退出首先是个电力需求增长速度的问题，只有比较低的电力需求增长，可再生能源才有可能在满足电力需求增长的同时，替代煤电。

其次，虽然近年来光伏和风电等可再生电力的成本已经显著下降，但是由于其间歇性与波动性的特点，难以保障稳定的电力供应，中国现有的电力系统依靠火电的调峰来实现可再生能源消纳，且部分火电机组进入深度调峰的状态，也就是说煤电其实还承担了可再生能源的外部成本。即使可再生能源得以大幅增长，在储能技术的成本降到合适的区间以前，如果煤电大幅度退出，如何保障电力系统的安全运行是一个很大的挑战。

再次，在现有的技术条件下，煤电仍然是整体成本最为低廉的电力。如果政府希望降低工商业电价，为实体经济减负，那么煤电退出难度很大。事实上，最近几年一般工商业电价的下调，主要也是通过压低火电上网电价来实现的。因此，政府需要进一步支持可再生能源降低整体成本（发电和用电），才有可能大规模退出煤电。

因此，煤电退出除了政治决心，还需要有增加煤电成本，或者降低可再生能源成本的机制。除了电价机制改革，还需要推进碳排放。化石能源（煤炭）的使用带来的温室气体排放，是引起气候变化的主要原因，因此需要通过碳交易增加化石能源使用成本，从而增加可再生能源的相对竞争力。另一方面，中国可再生能源面临的主要矛盾已经改变，从发电的度电成本转为输配基础设施建设，政府需要快速加大对可再生能源输配基础设施建设，从而快速提升可再生能源电力占比，为大规模替代煤炭创造条件。

（作者系厦门大学中国能源政策研究院院长）

液氢：能“上天”可“落地”

■本报见习记者 池涵

日前，被大家亲切地称为“胖五”的长征五号遥三运载火箭在中国文昌航天发射场点火升空，成功将搭载的实践二十号卫星送入预定轨道。

“胖五”是我国首款重型运载火箭，具备将 14 吨载荷送入地球同步转移轨道的运载能力。那么，何种燃料才能助推这一“大家伙”一飞冲天？“液氢—液氧”就是其中之一。

不同于目前常规火箭使用的化学燃料，“胖五”的燃料大部分是 −183℃的液氧和 −253℃的液氢，因此又被称为“冰箭”。而此次“胖五”的成功发射，不仅证明液氢在我国航天领域的应用已经成熟，也为如火如荼的氢能产业吹来了一股新的东风。

全国氢能标准化技术委员会（氢能标委会）高级顾问、中国电子工程设计院研究员陈霖新告诉《中国科学报》，由于液氢储运具有明显优势，对于 200 公里以上的氢运输有很好的应用前景。他认为，液氢要想规模化发展，一定要解决液氢制取的产能问题和装备技术的“卡脖子”问题。

积极研发液氢是大势所趋

为“胖五”减负增力，液氢—液氧推进剂功不可没。液氢能够用于航天、军事领域，依据液氢的特性和液氢储运的优越性，在氢能发展备受关注的当下，液氢在民用领域，尤其是氢能产业的应用场景十分广阔。

据记者了解，一直以来，制约我国氢能产业发展的瓶颈之一就是氢的高密度储运。而液态氢是通过预冷和节流膨胀等工艺，把氢气降温到 −253℃从而变成液体，液态氢的密度是气氢的 780 倍，使得氢可以高效地储存和运输。

陈霖新对记者表示，液氢的体积能量密度大约是 35MPa 高压气氢的三倍，是 70MPa 高压气氢的 1.8 倍。虽然从气态氢液化为液态氢需在 −253℃实现，能耗较多，但是对于超过 200 千米的运输距离，采用液氢时的运输费和能耗费之和均低于高压气氢，所以液氢在规模化发展氢能产业的储存、运输方面具有明显的优势。

当前，氢的输送主要有三种方式：一是高压气态运输，这是目前氢能汽车发展的主流技术；二是管道输送；三是低温液氢输送。虽然我国当今尚以高压气态氢为主流，但陈霖新建议还应积极进行民用液氢的生产及应用示范。

我国在液氢的制备、储运及应用装备技术上要想取得突破，尚需时日，但预计 2030 年液氢储运所占比例将会明显增大。陈霖新表示，目前在我国积极开发液氢生产技术及其装备制造是大势所趋，应采取军民融合方式加快发展进程。

为此，陈霖新介绍，从 2017 年开始，全国氢能标委会组织国内涉及液氢生产运营和液氢装备研究、制造企业，高等院校编写制定了《液氢生产系统技术规范》《液氢贮存和运输安全技术要求》《氢能汽车用燃料液氢》三项国家标准，在调查研究、试验检测和总结经验的基础上完成了送审稿，已在 2019 年 10 月审查通过，可望在今年年中发布实施。

氢源绿色 氢能才绿色

“胖五”的成功发射，不仅推动液氢民用的步伐，也为整个氢能产业吹来一股东风。

对于我国氢能的发展，全国氢能标委会委员、国家能源集团北京低碳清洁能源研究院氢能技术开发部经理何广利向《中国科学报》介绍了“大氢能”的概念，即规模化、多元化地利用氢能。

目前，欧洲、日本等国都给予了“大氢能”极大的重视，例如，日本将氢气用于家庭电联产装置，既满足供热需求也能发电，或用氢气驱动燃气轮机等；欧洲一些国家也在天然气管网中掺入氢气，另有一些工厂直接用氢炼钢、炼铁。

反观我国，何广利表示，目前国内氢能产业主要集中于燃料电池汽车，而对别的领域关注较少。相比欧洲、日本等国，国内的氢能应用仍有待开发。

实际上，除了储氢，制氢也是我国氢能应用的一大障碍。如何选择氢源就是一个很重要的问题。“现在对于氢能的一个误区是总是片面地强调氢能的清洁性。然而，作为一种二次能源，氢能是否清洁取决于氢源的选择。”陈霖新说。

何广利告诉记者，制氢主要有几大来源，即化石燃料制氢、可再生能源制氢和副产氢（化工生产的某些环节作为副产物产出的氢）。面对中国富煤、贫油、少气的状况，有人提出中国氢源主要就是副产氢。

“这句话不十分准确。”陈霖新说，“副产氢本身并不一定是绿色的，生产过程中也会排放出二氧化碳，那么这样产出的氢算蓝氢还是灰氢？以焦炉煤气为例，其生产过程产出的焦炭和大量副产品，存在碳的分摊问题。”而天然气转化制氢不仅同样存在二氧化碳排放，而且还面临中国天然气缺乏的问题。

“制氢、氢储运”仍需技术攻坚

陈霖新认为，副产氢在氢能发展初期可以发挥作用，但是氢能的长远发展还是应该以可再生能源电力水电解制氢为主，或者研究开发太阳能光解水制氢等。

“中国每年因弃光、弃风、弃水弃掉 1000 多亿度电，如果用来制氢可以制造 200 多亿立方米氢。”陈霖新痛心疾首。他告诉记者，“碱性电解槽可以应付 20%~110%的波动，而 PEM（质子交换膜水电解制氢）电解槽可以应付 0%~150%甚至 200%的波动。”

“如果能在风能、太阳能资源丰富的西北地区以及水资源丰富的西南地区建设水电解制氢和氢储能设备，并以氢管道、液氢运出，既可以解决可再生能源浪费的问题，还可以实现低成本、零碳 / 低碳制氢。”陈霖新说。

但是，陈霖新强调，目前我国的规模化风电、水电、光伏电力制氢及其相关的氢储运装备和工程示范，尚存在严重短缺，为实现可再生能源制氢获得近零碳低成本的氢源，还应积极规划建设从制氢、氢储存到输送的示范工程，并着力解决其中的关键技术。

延伸阅读

氢能“热”还需“冷”思考

1 月 8 日，中国国际经济交流中心氢能课题组发布《中国氢能产业政策研究》一书。书中提出，当前我国氢能发展已经具备产业化条件，但也存在关键材料核心技术自主性不强、多元化应用不足、商业化推广模式尚未建立、产业过热苗头显现等问题。

发布会上，中国国际经济交流中心常务副理事长张晓强表示，当前氢能“热”中应进行客观理性的“冷”思考，应立足我国国情和国家能源发展战略科学谋划氢能定位，把握好终端应用节奏，防范发展过程中的无序竞争和产能过剩风险。

中国科学技术协会主席万钢指出，脱碳加氢和清洁高效是能源科技进步的大趋势，氢能和燃料电池技术正成为全球能源技术革命的一个重要方向和各国未来能源战略的重要组成部分，应积极探索中国特色氢能和燃料电池产业发展道路，坚持战略引领，坚持创新驱动，加快产业布局，坚持市场导向，坚持标准先行，扩大国际合作，推进氢能和燃料电池产业高质量发展。

中国工业经济联合会会长李毅中表示，业界在致力燃料电池攻关的同时，也要关注氢气的来源，只有落实了氢源，氢能产业链才是有源之水、有本之木。制氢路径的选择要把握环保性、经济性、安全性、能效性。燃料电池车的研发研制进展明显，在特定的应用场景更显其优势，有良好的发展前景，需全盘考虑、缜密规划、攻坚克难、有序发展。

书中也提出，要以氢能应用促进可再生能源发展，发挥体制优势促进关键核心技术攻关，尽快建立健全行业监管体系和标准体系，通过试点示范探索氢能多元化应用路径。

（李惠钰）

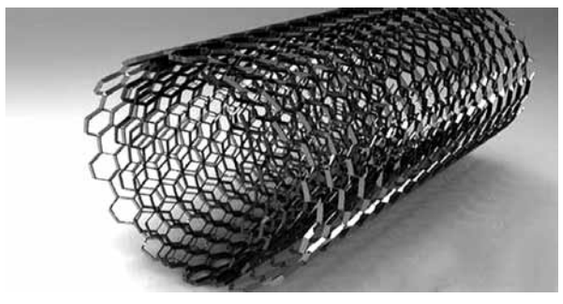
源创

全球首款半固态锂离子电池问世

日本电子公司京瓷推出一款住宅储能电池，该电池采用世界首创的半固态锂离子电池架构，能够大大提高电池的经济性，加快了电池储能的价格革命。

京瓷公司称，半固态电池的材料成本比标准锂离子电池的材料成本减少约 40%，制造时间则缩短了 2/3，因为在半固态电极中，电解质与材料混合形成了黏土状的浆料，无需黏合剂，从而去除了惰性物质，减少了如干燥、溶剂回收、压延和电解质填充等处理步骤。独特的生产工艺可以制造出比行业标准厚四到五倍的电极，从而减少了对铜、铝和隔板的需求。

（盛夏）



新型热电纳米天线可收集太阳能

利用纳米设备捕获可见光和红外辐射是收集太阳能的一个重要方面。日前，墨西哥科学家在《纳米光子学》杂志上展示了一种用于收集太阳能的新型热电纳米天线，其产生的热电电压比经典的偶极子纳米天线大三倍。

据介绍，该纳米天线是双金属的，使用镍和铂，并使用电子束光刻制作。科研人员在将它们的热电电压与经典的偶极子纳米天线进行比较时，纳米天线的效率是传统的 1.3 倍。此外，新型热电纳米天线的阵列也是收集余热能源的良好选择，可用于从废热收集能量、传感和太阳热能收集等许多领域。

（李木子）