

穿上这种衣服， 你出门不用带充电器和充电宝啦 “织”成衣服的衣服的电池来了



出门不需要带充电器和充电宝，通过身上穿的衣服，就可以对手机进行无线充电——听起来像科幻片的这一场景，正在逐步成为现实。

这正是复旦大学高分子科学系彭慧胜团队的研究方向之一。近日，团队通过系统揭示纤维锂离子电池内阻随长度的变化规律，有效解决了聚合物复合活性材料和纤维电极界面稳定性难题，连续构建出兼具良好安全性和综合电化学性能的新型纤维聚合物锂离子电池。

相关研究成果以《高性能纤维锂离子电池的规模化构建》为题，发表于《自然》杂志主刊。审稿人评价这项工作是“储能领域和可穿戴技术领域的里程碑研究”和“柔性电子领域的一个里程碑”。该研究得到科技部、国家自然科学基金委、上海市科委等项目支持。

理论探索， 摸清电池内阻变化规律

作为现代电子设备的“心脏”，以锂离子电池为代表的储能器件是现代电子工业和人们生活不可或缺的组成部分。彭慧胜团队从2008年开始研究新型柔性电池系统，在2013年提出并研制了新型纤维锂离子电池，为有效满足智能电子织物等可穿戴设备能源供给需求提供了新路径。

经过最近几年国际学术界的共同努力，纤维锂离子电池研究取得了系列积极进展，但仍然面临一些重大难题，限制了其实际应用。其关键挑战在于，面向块状锂离子电池的成熟生产体系很难适用于纤维锂离子电池，而国际上纤维锂离子电池的连续化制备研究几乎是空白。迄今为止报道的纤维锂离子电池长度往往在厘米尺度，并且基于整体质量的能量密度也比较低。

“纤维锂离子电池就如同毛线，要织成一件可以充电的毛衣，必须保证有足够长的毛线。”上述论文的共同第一作者、复旦大学高分子科学系博士生何纪卿和路晨昊形容道。

研究团队在长期研究过程中逐渐意识到，要实现纤维锂离子电池的连续化构建，首先需要解决的一个重要科学问题，那就是要从源头上厘清纤维电池内阻和长度的关系规律。团队成员突破以往的研究思路，通过大量的预实验筛选，广泛尝试了不同电学特性的纤维集流体材料，最终发现并揭示出纤维锂离子电池内阻随长度增加先减小后逐步趋于稳定的变化规律。并且纤维集流体的导电率越高，越能有效降低纤维锂离子电池的内阻，从而有利于提升连续长纤维电池的电化学性能。上述关系规律得到了系统的实验验证，为纤维锂离子电池的连续构建提供了有力的理论支

撑和依据。

创新路线， 实现连续化制备

要实现高效负载纤维锂离子电池活性材料的高效连续制备，必须有效解决活性材料与导电纤维集流体的界面稳定性难题。“在纤维表面进行涂覆时很容易产生串珠等涂覆不均匀的现象，就像糖葫芦一样，严重影响了纤维电极制备的连续性和电池的电化学性能。”何纪卿解释道，经典的平面涂覆方法很难适用于高曲率的纤维。

为此，团队发展出了高效负载纤维锂离子电池活性材料的连续化方法，通过调控正负极活性材料组分和黏附力，有效解决了聚合物复合活性材料与导电纤维集流体的界面稳定性难题，并自主设计和建立了面向纤维锂离子电池连续构建的标准化装置，实现了活性材料在千米级光滑纤维表面的高效负载和精准控制，获得了高负载量、涂覆均匀和容量高度匹配的正、负极纤维电极材料。团队进一步将正极纤维和包覆高分子隔膜的负极纤维进行缠绕组装，并进行有效的封装和电解液注入，最终实现了高性能纤维聚合物锂离子电池的连续化制备。所制得的纤维电池容量随长度线性增加，显示该构建

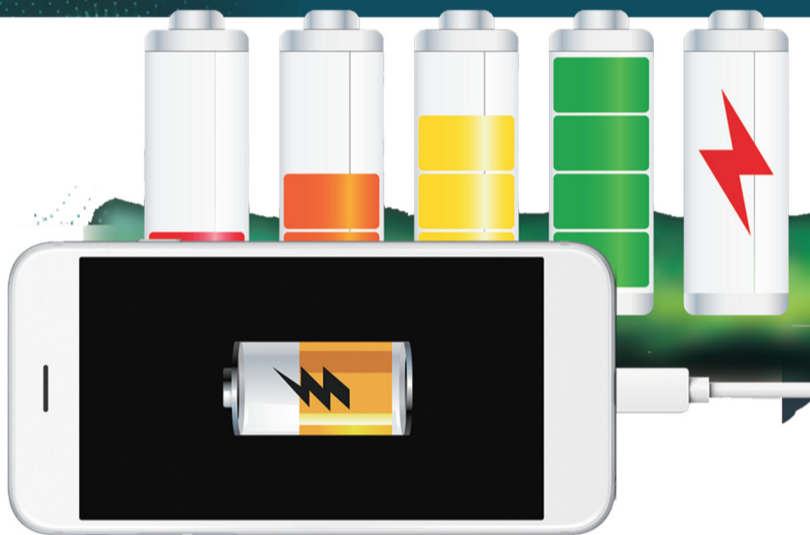
路线具有良好的可靠性。

应用前景广阔， 普及任重道远

今年3月，复旦大学彭慧胜、陈培宁的团队论文《大面积显示织物及其功能集成系统》发表于《自然》杂志主刊，他们自主研发的全柔性织物显示系统，可紧贴人体不规则轮廓，像普通织物一样轻薄透气，确保良好的穿着舒适度。

谈起这一成果，彭慧胜表示：“前者是用电，我们现在的这个研究是供电，二者完全不同但又紧密相关。”

该纤维聚合物锂离子电池表现出了良好的综合性能，显示了广阔的应用前景。基于包括封装材料在内的全电池重量，其能量密度超过85瓦时/千克(Wh/kg)，长度为1米的电池可以为智能手机、手环、心率监测仪、血氧仪等可穿戴电子设备长时间连续有效供电；纤维锂离子电池还具有良好的循环稳定性，循环500圈后，电池的容量保持率仍然达到90.5%，库伦效率为99.8%；在曲率半径为1厘米的情况下，将纤维锂离子电池弯折10万次后，其容量保持率仍大于80%；甚至在重复水洗、挤压等严苛环境下也可以保持较为稳定的电化学性能。进一步通过纺织方法，团队已经获得了高性能的大面积电池织物。



相关链接

柔性电子技术

柔性电子技术是指在柔性衬底上大面积、大规模集成不同材料体系、不同功能元器件，构成可拉伸/弯曲变形的柔性信息器件与系统的技术。柔性电子器件具有质量轻、形态可变、功能可重构的特点，颠覆性地改变了传统电子系统刚性的物理形态。因此柔性电子技术必将在人工智能、生物电子、脑机融合、物联网等领域产生巨大影响，是电子技术的重要发展方向之一。

与传统的基于刚性衬底和刚性材料的电子技术不同，柔性电子技术使用具有物理弯折能力并能够承受一定形变的材料和结构构建电子器件和系统，并通过系统变形、重组等方式，使得柔性电子系统可实现不同的功能或性能，使电子器件和系统在形态、结构、功能、应用等方面取得突破，极大地促进了人—机—物三元融合，是汇聚实体、数字和生物世界的变革性力量，对于推动信息、航天、航空、医疗、能源等领域的发展以及提高人类生活质量具有重要的战略意义。

随着柔性电子研究的不断发展，越来越多的传统和新兴材料都被用于构筑柔性电子器件。目前研究比较广泛的材料包括：无机半导体材料(如锗、砷、硅)、纳米碳材料、无机氧化物材料和有机半导体材料等。这些材料各有特点，优劣很难评判，未来可能应用于不同的领域。而且这些材料的特点具有很强的互补性，基于这些材料的电子器件在设计准则、制备工艺、表征手段、相关材料筛选等方面也具有一定的共性，可相互借鉴、相互促进。如果这些材料能恰当地相互融合，有望实现更高层次的柔性电子器件。

作为柔性电子技术中的重要组成部分，柔性传感器是近年来科学研究中的热门领域。在功能上，柔性传感器使用了极薄的压电材料、半导体材料、有机材料和金属材料，实现了植入式或可穿戴的人体健康监测、汽车电子和机器人传感器等方面的应用。在柔性传感器领域，一项革新性的成果是美国伊利诺伊大学的Rogers教授于2011年发明的柔性可延展表皮传感器。

据科学出版社

“如果将电池织物和无线充电发射装置集成，可安全、稳定地为智能手机进行无线充电。”何纪卿说。

从新现象到新规律，到连续构建关键技术的突破，到几乎所有核心设备的自主研发，再到工程化连续制备路线的不断提高……团队从未止步。通过十多年持续不断的深入研究，团队已经把纤维电池从实验室样品发展到了产品模型，特别是实现了高安全性纤维聚合物锂离子电池的连续化构建，并致力于推动纤维电池和织物系统的规模化应用研究。

“可穿戴纤维锂离子电池的很多功能已经实现，但对于真正的推广普及来说，依然任重道远。”彭慧胜说。

从电池本身来说，目前纤维聚合物锂离子电池与生活中常用的平面电池的能量密度相比，还有较大的提升空间；也需要发展面向纤维聚合物锂离子电池构建、性能评估和使用的行业标准或规范，推动其工程化和市场化应用；此外，在很多应用方面如可穿戴领域，还需要更加先进的编织技术，将纤维锂离子电池高效地编织到各种衣物中，穿着更舒适、更美观。

彭慧胜表示，期待锂离子电池领域产业界的合作者加入，共同探索解决新型电池体系在生产与实际应用中面临的各种问题。

据《武汉晚报》