



## News &amp; Highlights

## 无需电池或芯片即可实现智能化的新型纤维电子纺织品

Jennifer Welsh

Senior Technology Writer

2024年4月发表在《科学》期刊上的一份报道表明，“智能”纺织品离从实验室走向现实生活又近了一步[1–2]。该研究详细介绍了一种新型纤维，它可以从环境中收集能量并利用这些能量发送电信号和产生光，而无须使用电池或芯片。这一进步催生了一种能够直接响应用户触摸的纺织品，该种纺织品除了在医疗、工业和消费领域具有潜在应用前景外，还为人与环境之间的智能互动开辟了新途径。

“这是一项杰出的研究成果。我从未见过能发光的无线系统。”诺丁汉特伦特大学（英国诺丁汉）电子纺织品专业副教授 Theodore Hughes-Riley 表示。

包含电子元件的编织或布艺制品已有几十年的历史。第一代电子织物（如电热毯）在纺织层之间或外侧设有导电线路和电路，并由固定在织物上的设备控制。第二代电子织物（如心率监测胸带）则将电子元件编织进纺织品中，但仍需要独立的（含芯片的）组件和电源（通常是电池）。

最新一代的智能纺织品由功能性纱线编织而成，这种纱线可以传输信号，能够感知、存储、处理以及在纤维与穿着者之间传递数据[3–4]。由于智能纺织品将电子器件直接集成到具有典型织物特性的柔性纤维中，因此它们透气、透水，不会过度发热或变凉，在穿着时提供了透气性和舒适性[5]。随着电子织物变得越来越智能，根据位于美国加利福尼亚州旧金山的市场研究和咨询公司 Grand View Research 的数据，到2030年，这些可穿戴技术的市场规模可能超过210亿美元[6]。

发表在《科学》期刊上的论文的第一作者、东华大学

材料科学与工程专业的博士研究生杨伟峰表示：“自20世纪90年代以来，对智能纤维和纺织品的研究显著加速。近期的进展推动了智能纺织品的开发，这些纺织品能够执行诸如能量生成、温度调节甚至根据环境条件改变颜色等任务。”

不过，杨伟峰及其同事的研究成果独具特色，他们开发出了能够从人体收集能量而无须使用电池的智能纤维[1]——i纤维（i-fiber）。该纤维通过在人体和大地之间形成一个能量回路，从环境中收集电磁能量。同样独特的是，这些纤维能够直接将这种能量转化为射频信号和可见光（图1），而无须像其他电子织物一样使用芯片来执行这一功能。杨伟峰说：“我们这种无芯片的电子织物系统将特定功能直接集成到单根纤维中。这不仅在分布、舒适度和维护方面增强了智能服装的实用性，而且还提高了其耐洗性。”

i纤维的最初发现源于一次意外[7]。2021年，杨伟峰开始研发一种发光纤维，这种纤维原本计划由交流信号供电。一次实验中，电极脱落了，但杨伟峰注意到纤维依然在发光——这一现象表明，即便失去了物理连接，周围环境中仍存在一条低阻抗的能量通路，这十分令人意外。他表示：“这种由能量驱动的发光现象似乎是自发产生的，就像魔法一样。”

环境中充斥着为电器、手机等电子设备供电的电线所产生的电磁场。这些电磁场几乎存在于所有有电流流动的地方。研究人员设想，利用人体相较于空气更高的导电性，他们所

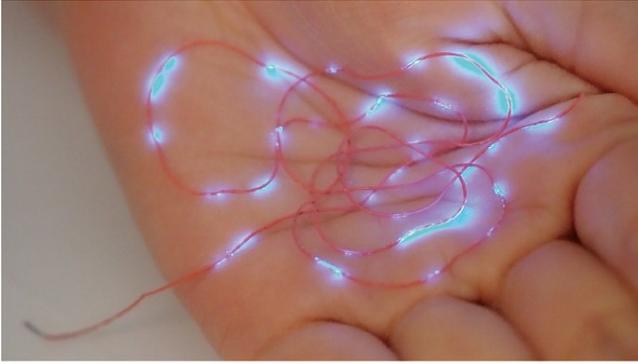


图1. i纤维线接触皮肤的部分会发光，无需任何芯片控制或电池供电。图片来源：Chengyi Hou，经许可。

提出的新型纤维可以作为提取和利用这种未开发能源的媒介。

该团队的i纤维包含三层结构：镀银尼龙内层充当天线，感应交变电磁场；由BaTiO<sub>3</sub>构成的介电复合树脂中间层增强了电磁耦合能力；由发光ZnS复合树脂构成的最外层在电场存在时会发光[1]。i纤维的各层协同作用，将环境中的电磁能转化为光和电信号，这些信号可以通过调整与身体接触的纤维量或纤维直径来改变[1]。外部传感线圈可以拾取这些信号并将其解码为指令。

杨伟峰表示，i纤维纤细、轻薄，编织后类似于市售的棉织物。由于编织的i纤维触感柔软，因此具有诸多潜在用途，可以集成到服装和家居装饰等日常用品中。杨伟峰称：“这些纺织品具有广泛的应用场景，适用于消费电子产品、医疗设备等多个领域。”

在一次演示中，研究人员制作了一种触感地毯。当有人踩踏时，这种地毯会发光并传输无线信号，而该信号可用于开启环境照明等多种用途[1]。研究人员还开发了一种带有发光显示屏、能够显示文字和图案的服装。该服装配备了一个交互界面，允许穿着者用手指在布料上书写，从而实时更新显示内容。他们推测，这项创新或许能帮助听力受损人士进行交流。此外，他们还利用该技术实现了对虚拟游戏的实时控制。“我们利用触摸这些纤维时产生的无线电信号，发明了一种织物控制器。”杨伟峰表示，“它能实时控制游戏动作，提供了一种突破性的交互方式：只需触摸一块柔软、轻质的织物，就能与虚拟游戏内容互动。”

该团队还提出，其研发的i纤维可用于服装制造，当穿着者靠近或进入具有潜在危险的环境时，这类服装能发出发光信号。杨伟峰表示，i纤维非常耐用，适用于真空、高压、极端温度和强辐射等恶劣环境。这种“坚固性”使i纤维在深空和深海探索方面表现尤为出色。杨伟峰说，i纤维可以用于宇航服、航天器以及深海探测器中，以使此类设备能够感知电磁辐射、高能粒子辐射、压力、温度、振

动、摩擦、碰撞等参数。

另一种潜在用途是将i纤维整合到机器人和智能假肢中，以收集关于人与其周围物体之间互动的全面信息。这些信息有助于训练机器人感知环境并作出恰当的交互[2]，但这些数据此前一直很难获取。

其他研究人员正致力于将智能纺织品应用于体育、医疗保健和军事等领域。他们已经能够捕捉运动员的心率和体温等生物特征数据，以监测并提升运动员的表现[7]。一些团队正在开发能够监测体温并自动调节保暖性的纺织品[7]。智能纺织品最终有望通过分析汗液来监测使用者的多种健康参数，包括身体活动、营养水平以及生物标志物含量[5]。美国政府已投资2200万美元用于“SMART ePANTS”计划，旨在制造能够记录音频、视频和位置的服装，以提高军事和情报人员在危险情况下的警觉性[8]。

尽管智能纺织品有许多令人振奋的潜在应用，但要使其成为现实仍面临一些挑战[9-10]。对于任何移动设备来说，供电始终是个问题。杨伟峰等[1]承认，i纤维的能量收集能力不足以满足许多应用的供电需求，可能需要补充背景电磁场。此外，还存在功率波动的问题，这可能最终意味着需要靠电池来提供稳定的能源。

另一个重大障碍是规模化自动化生产，这在很大程度上仍是未知数。虽然生产智能纺织品这类复杂材料通常成本较高，但i纤维的生产成本可能较低。“i纤维材料生产不需要复杂的合成步骤，并且原材料是市售的且价格低廉。”杨伟峰说，“我们已经实现了大规模生产。”i纤维具有的基本纺织品特性也使其能够与工业规模的制造工艺（如批量编织以及通过数字缝纫机和刺绣机进行操作）相兼容（图2）[1-2]。它们甚至可以染成不同颜色（图3）[1]。

东华大学团队的这项研究成果“应能推动功能性纤维的研发，并促进智能纺织品在不同领域的应用。它还强调了在泛在计算领域的应用，即将传感、显示和通信组件融



图2. i纤维可以用传统的数字缝纫机和刺绣机缝入织物，以制成发光标识，也可以用于编织纺织品，如图中佩戴者前臂上的织物键盘和显示屏。图片来源：Chengyi Hou，经许可。

入日常生活织物中”，美国伊利诺伊大学厄巴纳-香槟分校计算机科学助理教授 Yunzhu Li 和美国华盛顿大学西雅图分校电气工程与计算机科学助理教授 Yiyue Luo 在为杨伟峰等人[2]的报告撰写的社论中写道，“智能纺织品在改变人类生活、工作以及与世界交互的方式上，有着巨大的发展潜力。”

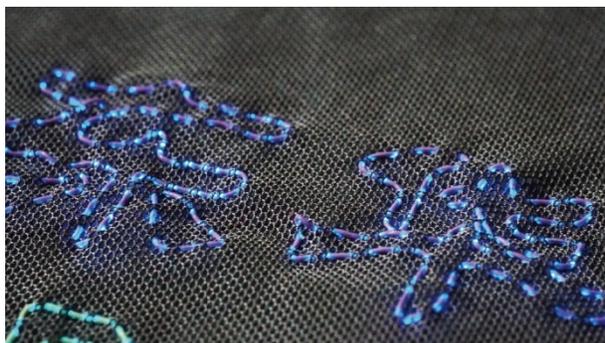


图3. i 纤维纺织品可以染成不同颜色，并能利用通过穿着者身体传递的环境电磁场收集的能量，发出白色、绿色或蓝色的光。图片来源：Chengyi Hou，经许可。

## References

- [1] Yang W, Lin S, Gong W, Lin R, Jiang C, Hu Y, et al. Single body-coupled fiber enables chipless textile electronics. *Science* 2024;384(6691):74–81.
- [2] Li Y, Luo Y. Intelligent textiles are looking bright. *Science* 2024;384(6691):29–30.
- [3] Hughes-Riley T, Dias T, Cork C. A historical review of the development of electronic textiles. *Fibers* 2018;6(2):34.
- [4] Dang C, Wang Z, Hughes-Riley T, Dias T, Qian S, Wang Z, et al. Fibres—threads of intelligence—enable a new generation of wearable systems. *Chem Soc Rev* 2024;53:8790–846.
- [5] Tone S. Is this light-up fiber the future of smart clothing? [Internet]. Shanghai: SixthTone; 2024 Jul 22 [cited 2024 Oct 2]. Available from: <https://www.sixthtone.com/news/1015552>.
- [6] Smart clothing market size, share & trends analysis report by textile (active, passive, ultra smart), by product (apparel, footwear, wearable patches), by distribution channel (offline, online), by end use, regionby, and segment forecasts, 2024–2030. Report. San Francisco: Grand View Research; 2023.
- [7] Peng Y, Cui Y. Thermal management with innovative fibers and textiles: manipulating heat transport, storage and conversion. *Nat Sci Rev* 2024;11(10): nwae295.
- [8] SMART ePANTS—smart electrically powered and networked textile systems [Internet]. McLean: Intelligence Advanced Research Projects Activity; 2023 [cited 2024 Oct 2]. Available from: <https://www.iarpa.gov/research-programs/smart-epants>.
- [9] Meena JS, Choi SB, Jung SB, Kim JW. Electronic textiles: new age of wearable technology for healthcare and fitness solutions. *Materials Today Bio* 2023;19:100565.
- [10] Dulal M, Afroj S, Ahn J, Cho Y, Carr C, Kim ID, et al. Toward sustainable wearable electronic textiles. *ACS Nano* 2022;16(12):19755–88.