

评论

Commentary

基于水分管理和蒸发冷却的吸湿性聚合物材料研究

Hygroscopic all-polymer composite for moisture management and evaporative cooling高琰¹, 李洋², 陈晓^{2,*}Yan Gao¹, Yang Li², Xiao Chen^{2,*}¹材料科学与工程学院, 北京科技大学, 北京市 100083, 中国¹ School of Materials Science and Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China²新材料研究院, 北京师范大学, 北京市 100875, 中国² Institute of Advanced Materials, Beijing Normal University, Beijing 100875, China* 通讯作者: 陈晓, xiaochen@bnu.edu.cn* Corresponding author: XiaoChen, xiaochen@bnu.edu.cn

引用格式

高琰, 李洋, 陈晓. 基于水分管理和蒸发冷却的吸湿性聚合物材料研究. 清洁能源科学与技术. 2024; 2(1): 143.
<https://doi.org/10.18686/cncest.v2i1.143>
Gao Y, Li Y, Chen X. Hygroscopic all-polymer composite for moisture management and evaporative cooling (Chinese). Journal of Clean Energy Science and Technology. 2024; 2(1): 143.
<https://doi.org/10.18686/cncest.v2i1.143>

文章信息

收稿日期: 2024-01-04
录用日期: 2024-02-05
发表日期: 2024-02-28

版权信息



版权 © 2024 作者。

《清洁能源科学与技术》由 Universe Scientific Publishing 出版。本作品采用知识共享署名 (CC BY) 许可协议进行许可。
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

English edition of this article is available online at <https://cae.usp-pl.com/index.php/cest/article/view/111>

吸附式水管理和蒸发冷却个人热管理 (personal thermal management, PTM) 技术在实现自适应温度调节、广泛适用性和低能耗方面具有巨大潜力。然而, 设计兼具高效散热和穿着舒适性的高性能耐用吸湿复合材料是一项挑战。最近, Xu等利用两种吸湿聚合物和交联策略, 开发出具有出色吸湿性、耐用性、延展性、透气性、耐洗性和抗菌性的吸湿织物。这项工作为全聚合物吸湿复合材料实现高效节能的吸湿和蒸发冷却的PTM应用前景铺平了道路。

环境热暴露对职业安全和健康构成重大危害, 对运动表现、体力劳动能力、工作时间和劳动生产率造成限制。同时出现的高温和潮湿会引发意想不到的健康问题, 而传统的冷却策略往往会导致全球用电量、燃料消耗量和温室气体排放量上升, 因此需要更先进的技术来解决这些问题 [1–4]。此外, 传统的空间冷却不适合户外娱乐活动和工作环境, 因此很难完全满足个人对热舒适度的偏好 [5–7]。鉴于这种健康与能源的两难境地, 迫切需要创新的使用点技术来促进节能和可持续性 [8,9]。

考虑到空间冷却技术的缺点, 基于湿度管理和蒸发冷却的 PTM 技术受到越来越多的关注 [10,11]。PTM 技术强调利用智能可穿戴设备/纺织品对人体、皮肤、衣物和微环境进行自适应热管理, 在实现自适应体温调节、广泛适用性和零排放方面具有巨大潜力。因此, 从节能、提高热舒适度和广泛适用性的角度来看, PTM 在未来的加热/冷却技术中发挥着重要作用。在这方面, PTM 可以改善暴露在高温下有中暑或烧伤风险的人群的健康状况。然而, 由于以下挑战, 很少有吸湿纤维和织物被制造成吸附冷却纺织品用于 PTM 应用: 1) 潮解和吸湿盐泄漏问题; 2) 高吸水性和吸湿动力学之间的兼容性; 3) 在潮湿环境中连续湿法纺制吸湿稳定纤维的难度 [12–14]。

为了有效解决上述难题, Li 等 [15]利用空气辅助电纺丝方法制备了一种基于吸湿性聚合物海藻酸钠 (sodium alginate, SA) 和聚乙烯亚胺

(polyethyleneimine, PEI) 的吸湿性全聚合物复合材料, 同时实现了湿度管理和蒸发冷却 (图 1(a))。多重交联反应克服了吸湿性聚合物在高湿度环境中的溶解性, 确保了织物结构的稳定性。此外, 多孔纤维不仅能确保透气性, 还能显著促进吸湿织物的快速吸湿和解吸动力学。PEI 表面丰富的质子化氨基也赋予了织物优异的抑菌性能。

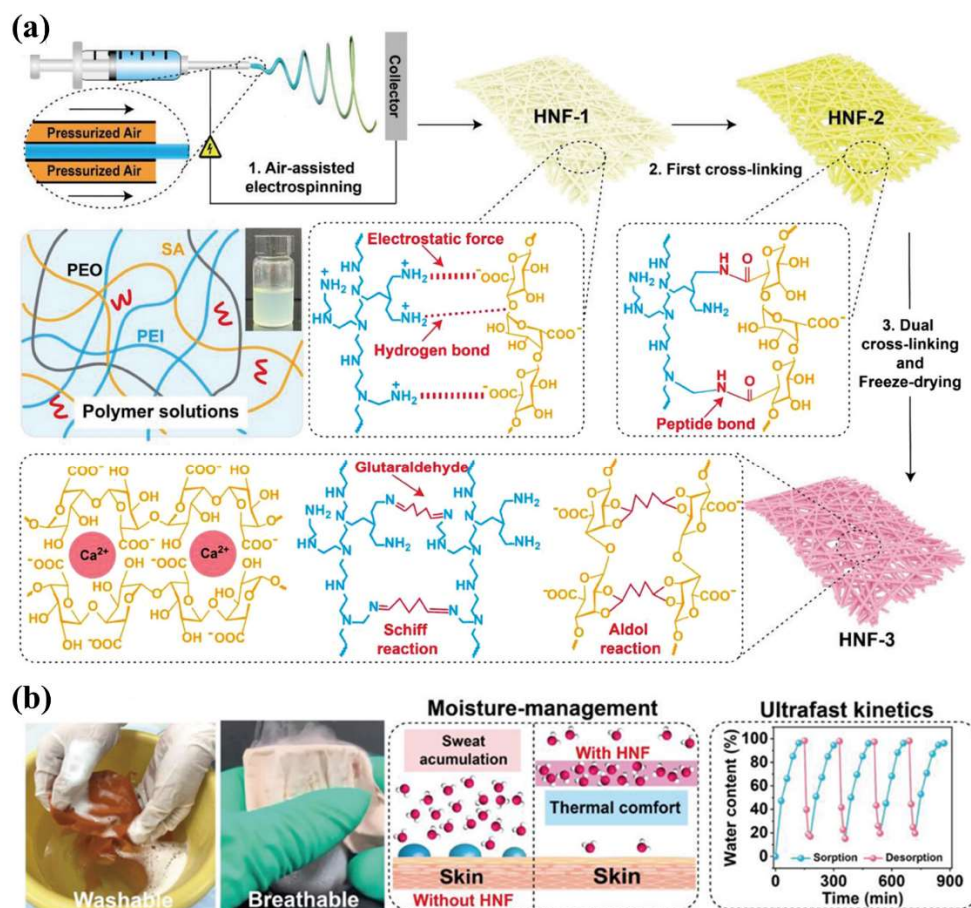


图 1. (a) 全聚合物吸湿织物的空气辅助静电纺丝示意图。(b) 研究中开发的具有透气性、耐用性、拉伸性和可洗性的全聚合物吸湿织物的示意图和数码照片, 可实现快速可靠的蒸发冷却和热管理 [15]。版权所有 2023, Wiley-VCH。

Figure 1. (a) Schematic illustration of air-assisted electrospinning of all-polymer hygroscopic fabrics. (b) Schematic illustration and digital photographs of all-polymer hygroscopic fabrics with breathability, durability, stretchability, and washability for rapid and reliable evaporation cooling and thermal management developed in the study [15]. Copyright 2023, Wiley-VCH.

由于其在高湿度环境中稳定的纳米纤维结构, 所制备的织物可以在较宽的阳光强度和温度范围内具有比大多数其他报道的干燥剂更高的解吸率。在真实的户外测试条件下, 吸湿织物能够实现每天五个吸湿/解吸循环。而且, 吸湿织物能吸收空气中的水蒸气, 降低皮肤与织物之间微环境的相对湿度, 从而降低皮肤表面温度。尺寸为 200 cm^2 的吸湿织物可在 30 min 内将密闭透明室 ($20\text{ cm} \times 20\text{ cm} \times 20\text{ cm}$) 的相对湿度 (relative humidity, RH) 迅速从 92%降

低至 51.5%。作者还进行了实际的出汗实验，以了解基于织物的热应激管理。随着汗液蒸发带走热量，手掌温度从 34.5 °C 下降到 32.6 °C。吸湿织物还将热指数从 71.0 °C 降低到 37.2 °C，大大提高了人体的热舒适性（图 1(b)）。此外，吸湿织物可以降低表观温度，缓解热应激，并防止衣服上出现汗渍。考虑到 3D 打印技术优异的技术可控性和材料制备精度，作者还利用该技术将 SA 和 PEI 吸湿材料与纳米纤维素混合制备 3D 吸湿凝胶基质（hygroscopic aerogel matrix, HAM），实现吸湿聚合物从 1D 纳米纤维和 2D 织物到 3D 矩阵的跨纬度应用。HAM 表现出优异的吸湿性和几乎与商业鞋垫相同的灵活性。通过将 HAM 与鞋垫集成，可以在保证舒适度的同时实现足底微环境的湿度管理，防止汗液积聚和细菌生长。

综上所述，本文提出了两种吸湿聚合物及其多网络交联策略，利用空气辅助电纺丝技术制备了具有吸湿性、耐久性、延展性、透气性、耐洗性和抗菌性的一维纳米纤维和二维多孔织物，实现了高效的大气吸水、湿度管理、蒸发冷却和体感温度调节。此外，还利用三维打印技术制备了具有多尺度孔隙结构的吸湿三维凝胶，以最少的吸湿材料获得高效的吸湿性能。这项工作凸显了活性吸附全聚合物材料在大气水收集和个人热管理方面的广阔应用前景。

利益冲突： 作者声明没有潜在的利益冲突。

参考文献

1. Lu G, Wang Z, Bhatti UH, et al. Recent progress in carbon dioxide capture technologies: A review. *Clean Energy Science and Technology*. 2023; 1(1): 32. doi: 10.18686/cest.v1i1.32
2. Zheng J, Chen X, Ma J. Advances in solid adsorbent materials for direct air capture of CO₂. *Clean Energy Science and Technology*. 2023; 1(2): 95. doi: 10.18686/cest.v1i2.95
3. Yan M, Wang Y, Chen J, et al. Potential of nonporous adaptive crystals for hydrocarbon separation. *Chemical Society Reviews*. 2023; 52(17): 6075-6119. doi: 10.1039/d2cs00856d
4. Yan M, Wang Y, Zhou J. Separation of toluene and alcohol azeotropes by nonporous adaptive crystals of pillar[n]arenes with analytical purity of 100%. *Cell Reports Physical Science*. 2023; 4(10): 101637. doi: 10.1016/j.xcrp.2023.101637
5. Dong L, Zhai F, Wang H, et al. An azobenzene-based photothermal energy storage system for co-harvesting photon energy and low-grade ambient heat via a photoinduced crystal-to-liquid transition. *Energy Materials*. 2022; 2(4): 200025. doi: 10.20517/energymater.2022.26
6. Wang L, Ma Z, Zhang Y, et al. Mechanically strong and folding-endurance Ti₃C₂T_x MXene/PBO nanofiber films for efficient electromagnetic interference shielding and thermal management. *Carbon Energy*. 2022; 4(2): 200-210. doi: 10.1002/cey2.174
7. Yang W, Zhang E, Zhao J, et al. Dawn of clean energy: enhanced heat transfer, radiative cooling, and firecracker-style controlled nuclear fusion power generation system. *Clean Energy Science and Technology*. 2023; 1(1): 61. doi: 10.18686/cest.v1i1.61
8. Woods J, James N, Kozubal E, et al. Humidity's impact on greenhouse gas emissions from air conditioning. *Joule*. 2022; 6(4): 726-741. doi: 10.1016/j.joule.2022.02.013
9. Deroubaix A, Labuhn I, Camredon M, et al. Large uncertainties in trends of energy demand for heating and cooling under climate change. *Nature Communications*. 2021; 12(1): 5197. doi: 10.1038/s41467-021-25504-8
10. Bai L, Zhang Y, Guo S, et al. Hygrothermic wood actuated robotic hand. *Advanced Materials*. 2023; 35(22): 2211437. doi: 10.1002/adma.202211437
11. Xu D, Chen Z, Liu Y, et al. Hump-inspired hierarchical fabric for personal thermal protection and thermal comfort management. *Advanced Functional Materials*. 2023; 33(10): 2212626. doi: 10.1002/adfm.202212626

12. Fan C, Zhang Y, Long Z, et al. Dynamically tunable subambient daytime radiative cooling metafabric with janus wettability. *Advanced Functional Materials*. 2023; 33(29): 2300794. doi: 10.1002/adfm.202300794
13. Cai L, Peng Y, Xu J, et al. Temperature regulation in colored infrared-transparent polyethylene textiles. *Joule*. 2019; 3(6): 1478-1486. doi: 10.1016/j.joule.2019.03.015
14. Guo Y, Bae J, Fang Z, et al. Hydrogels and hydrogel-derived materials for energy and water sustainability. *Chemical Reviews*. 2020; 120(15): 7642-7707. doi: 10.1021/acs.chemrev.0c00345
15. Li S, Shao K, Wu X, et al. Self-contained moisture management and evaporative cooling through 1D to 3D hygroscopic all-polymer composites. *Advanced Functional Materials*. 2023; 34(9): 2310020. doi: 10.1002/adfm.202310020