



## 弹热制冷: 弹性金属为建筑降温

Adriana Greco<sup>1</sup>, Claudia Masselli<sup>1</sup>, Mine Orlu<sup>2\*</sup> 和 Wilfried Weber<sup>3</sup>

<sup>1</sup>那不勒斯费德里科二世大学 (意大利, 那不勒斯)

<sup>2</sup>伦敦大学学院 药剂系 (英国, 伦敦)

<sup>3</sup>INM-莱布尼茨新材料研究所和萨尔大学 (德国, 萨尔布吕肯)

### 少年审稿人



SAKINA

年龄: 15



SARINA

年龄: 12

弹热制冷技术为空间供暖与制冷带来新办法——利用具有形状记忆功能的弹性合金（而非有害的气态制冷剂）调节室内温度。这类合金在受压或拉伸时会发热，复原时则吸热，这种物理现象称为“弹性热效应”。相比传统制冷系统，弹热制冷技术能效更高，是一种更加清洁环保的替代方案。弹热系统既能为住宅、学校及办公场所降温，也可在供电不足的地区用于食品和药品冷藏。研究人员还在探索此系统在电动汽车（延长电池寿命）及寒冷地区建筑供暖中的应用。尽管应用前景广阔，此技术仍需突破弹性合金材料的耐久性和成本等方面的挑战。随着研究不断深入，弹热制冷技术将有助于减少温室气体排放、降低能源成本，并在全球范围内为更多有需要的人提供救生级制冷服务。

### 人们需要新的凉爽体验

炎炎夏日让我们更能深切体会从户外踏入空调房时的那种凉爽感。其实，空调不仅仅是为了享受，它更是一种救生设备。高温对儿童、老年

### 制冷剂 (Refrigerant)

用于空调和冰箱制冷的固态或液态材料。某些制冷剂（主要为液体）泄漏时可能危害环境。

### 蒸汽压缩制冷 (Vapor-Compression Cooling)

目前用于绝大多数空调和冰箱的制冷工艺，工作原理为压缩和膨胀液态制冷剂。

### 弹热制冷 (Elastocalorics)

利用形状记忆合金在挤压/复原时的发热/吸热特性进行制冷的技术，可实现高效温控。

### 形状记忆合金 (Shape-Memory Alloys)

通常由镍和钛构成的金属混合物，能在拉伸或挤压后恢复原状。可反复拉伸并复原的特性使这种合金成为弹热制冷技术的核心材料。

人和特定疾病患者尤为危险，而凉爽的室内环境能有效预防由炎热导致的疾病，甚至能在极端热浪中挽救生命。

随着全球气温不断攀升，制冷需求急剧增长。预计到 2050 年，空调与冷藏能耗将增长两倍以上 [1]。现有制冷系统大多依赖电力，而发电过程需要燃烧大量化石燃料，所以能耗越高，温室气体排放量便越大，进而加剧气候变化。另一大问题在于**制冷剂**（如氟利昂或氢氟烃）：这些化学物质在制冷时可能会泄漏，使环境中的热量无法自由消散，进而加剧全球变暖。某些制冷剂的温室效应可高达二氧化碳的数千倍。

在电力不足或费用高昂的地区（尤其是发展中国家），数百万人无法依赖空调降温，因而缺乏应对极端高温的安全方式。我们需要这样一种新型制冷系统——能耗更低、摒弃有害化学物质，还能在电力匮乏地区稳定运行。

## 前沿技术：弹性热泵

如今，大多数制冷系统依赖**蒸汽压缩制冷**工艺，通过压缩和膨胀气态制冷剂先放热后吸热来降低周围气温。这一工艺尽管有效，但压缩机的能耗较高，还依赖有害的气态制冷剂。

**弹热制冷**技术提供了一种更好的冷暖调节新方案，其原理类似于肌肉运动。肌肉拉伸时，内部分子重新排列，彼此摩擦生热；肌肉放松时，张力解除，吸收周围热量。弹性热泵利用具有类似特性的材料——在拉伸或压缩时放热，复原时吸热。

与传统有害气态制冷剂不同，弹热系统采用镍钛等金属制成的**形状记忆合金**，可加工成柔性带材、卷材、管材或其他高级形态。当机器拉伸或挤压合金时，材料发热，产生的热量通过水或空气等流体导出建筑外；压力解除后，合金回弹并吸热，冷却周围空气或水，吸收的热量将在下一次循环中被流体带走，确保室内始终凉爽。这种循环过程可持续数百万次而不失效。

## 技术优化制冷方案

弹性热泵的一大优势在于高效，可直接将机械能（拉伸/压缩与复原）转化为冷量，跳过了传统系统中压缩和膨胀气态制冷剂的高耗能环节。因此，弹性热泵耗电量更低，是一种既环保又经济的替代方案 [2]，尤其适合电力不足或费用高昂的地区 [3]。

弹热技术已在供暖和制冷领域展现出巨大潜力。研究人员正在测试用弹性热泵替代传统空调（图 1C），更高效地为住宅、学校和办公场所降温，同时减少温室气体排放。此技术还可用于冷藏领域，特别是在电力

不足的地区。在广大农村或发展中国家, 弹性热泵能为食物保鲜和药品冷藏提供经济实惠的解决方案 (图 1A)。由于能耗较低, 弹热系统可依靠太阳能板等小型可再生能源运行, 更贴合这些地区的现实条件。

弹热技术的另一个潜在应用领域是电动汽车。目前, 汽车供暖和制冷系统能耗很高, 会快速耗尽电池电量, 缩短续航里程。弹热技术可提供更高效的解决方案, 帮助电动汽车在保持舒适温度的同时节省电能, 从而提升自身实用性和对消费者的吸引力 (图 1B)。

图 1

通过模拟肌肉收缩和放松的原理, 弹热技术可改善我们的空间制冷和供暖方式。(A) 可用于冷藏, 使食物或药品保持低温; (B) 减少制热/制冷所需的电池能耗, 延长电动汽车的续航里程; (C) 还可用于住宅和楼房供暖。能耗更低的弹热供暖与制冷系统是传统空调的环保替代方案。

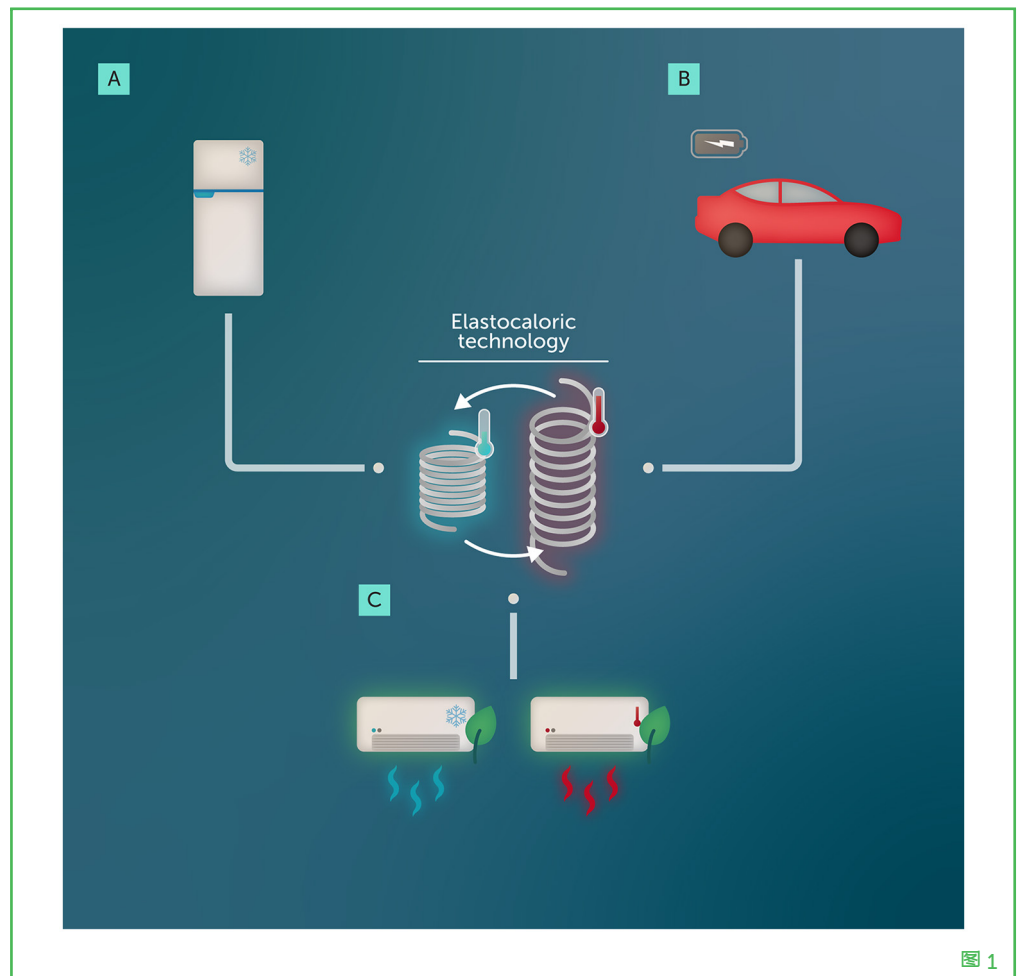


图 1

除制冷外, 弹性热泵还能改善寒冷气候下的供暖系统。通过逆转制冷流程——从室外空气中吸热, 然后向室内放热——它们可为建筑高效供暖, 提供一体化的温控解决方案。

## 重大挑战与更大机遇

在广泛应用之前, 弹热技术仍需攻克几大关键难题。首先是材料的耐久性。虽然形状记忆合金能承受数百万次拉伸和复原, 但研究人员仍需提升其使用寿命和性能, 以实现大规模应用的成本效益。其次是设计低能耗的驱动装置: 这种驱动系统必须精确、耐用、高效, 才能与主流蒸汽压缩



制冷系统竞争。工程师们正在测试不同设计方案（如先进电机或旋转装置），以促进不断循环的伸缩运动。最后，弹热系统所需的特种合金生产成本较高，研究人员正在探索适合大批量生产的低成本方案。控制材料成本是向全球推广该技术的关键。

如果能攻克这些难题，弹热技术将有效减少温室气体排放、降低能源开支，提供广泛适用的冷暖调节方案，帮助全世界的人抵御极端高温。

## 致谢

由 SJD Consulting, LLC. 科学撰稿人/编辑、毕业于美国马萨诸塞大学陈氏医学院晨兴生物医学研究生院的 Susan Debad 博士参与撰写和编辑。图表制作方为 Somersault18:24。

## AI 人工智能工具使用声明

本文中所有图表附带的替代文本（alt text）均由 Frontiers 出版社在人工智能支持下生成。我们已采取合理措施确保其准确性，包括在可行情况下经由作者审核。如发现任何问题，请随时联系我们。

## 原文

Orlu, M. 和 Weber, W. 2024. "Elastocalorics. Powering heat systems to work like muscles", 2024 年十大新兴技术报告（科洛尼：世界经济论坛），链接：<https://www.weforum.org/publications/top-10-emerging-technologies-2024/>（访问日期：2025 年 5 月 7 日）

## 参考文献

1. International Energy Agency 2018. "The future of cooling", in *Opportunities for Energy-Efficient Air Conditioning*. Available online at: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-cooling> (accessed May 7, 2025).
2. U.S. Department of Energy, Building Technologies Office 2014. *Energy Savings Potential and RD&D Opportunities for Non-Vapor Compression HVAC Technologies*, Page vii, Figure ES-1-2. Available online at: <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/03/f12/Non-Vapor%20Compression%20HVAC%20Report.pdf> (accessed May 7, 2025).
3. Wang, Y., Liu, Y., Xu, S., Zhou, G., Yu, J., and Qian, S. 2023. Towards practical elastocaloric cooling. *Commun Eng*, 2:79. doi: 10.1038/s44172-023-00129-5

线上发布：2025 年 9 月 30 日

编辑：Robert T. Knight

科学导师: **Javeed Shaikh Mohammed**

引用: Greco A, Masselli C, Orlu M 和 Weber W (2025) 弹热制冷: 弹性金属为建筑降温. Front. Young Minds. doi: 10.3389/frym.2025.1575501-zh

英文原文: Greco A, Masselli C, Orlu M and Weber W (2025) Elastocalorics: Cooling Buildings With Metals That Stretch. Front. Young Minds 13:1575501. doi: 10.3389/frym.2025.1575501

利益冲突声明: 作者声明本研究不涉及任何潜在商业或财务关系。

版权 © 2025 © 2025 Greco, Masselli, Orlu 和 Weber. 这是一篇依据 **Creative Commons Attribution License (CC BY)** 条款发布的开放获取文章。根据公认的学术惯例, 在注明原作者和版权所有者, 及在标明本刊为原始出处的前提下, 允许使用、传播、复制至其他平台。如违反以上条款, 则不得使用、传播或复制文章内容。

## 少年审稿人

**SAKINA, 年龄: 15**

我是一名初中生, 对 STEM 学科特别感兴趣, 喜欢烘焙、读书和学习新知识, 长大后想从事技术研究工作。



**SARINA, 年龄: 12**

我今年初二, 对科学和数学充满兴趣, 喜欢弹钢琴、钩针编织和读书。



## 作者

**ADRIANA GRECO**

Adriana Greco 是意大利那不勒斯费德里科二世大学的工程学教授, 研究方向为智能节能温控技术。她率领一支制冷与热传导研究团队与中国、西班牙、德国和印度等国的科学家开展国际合作。20 余年来, 她致力于研发基于环保特种材料的创新制冷技术, 曾参与打造意大利首套基于"弹性热效应" (即通过金属拉伸-复原实现制冷) 的热泵系统, 并主导旨在优化此技术的欧洲重点项目。迄今她已发表 140 余篇学术论文, 担任多个国际科学组织成员。凭借其卓越的科研成就, 她在 2020 和 2022 年成功入选"全球前 2% 顶尖科学家"榜单。



**CLAUDIA MASSELLI**

Claudia Masselli 是意大利那不勒斯费德里科二世大学的教授, 研究方向为热传导与生态友好型制冷系统设计。她十分推崇固态制冷技术 (采用特种材料替代有害气体), 已参与研制三套基于此技术的实用装置 (一套磁制冷、两套弹性合金制冷), 同时致力于改良传统制冷系统并采用可再生能源。迄今她已发表 120 余篇学术论文, 两度荣获青年



科学家研究奖项, 现任多家学术期刊主编与同行论文评审人, 还加入了多个国际制冷与能源系统科学组织。



#### MINE ORLU

Mine Orlu 是伦敦大学学院 (UCL) 的药物学家, 主要从事老年药物研究, 帮助开发适合老龄人群的便捷给药方案。她主导老年药学课题组, 并参与药剂学硕士项目运营。Orlu 博士还与英国及欧洲团队开展合作, 提升药物针对不同群体的安全性和效力。她尤其关注个体精准用药。\*[m.orlu@ucl.ac.uk](mailto:m.orlu@ucl.ac.uk)



#### WILFRIED WEBER

Wilfried Weber 现任德国莱布尼茨新材料研究所所长, 专注于仿生智能材料研发。例如, 受植物趋光性启发, 他设计出能适应周围环境变化的智能材料。他曾任弗莱堡大学教授, 通过生物与材料科学的交叉融合推动新技术开发。其科研成果在医药改良与可持续建筑材料开发领域具有重要价值。

中文翻译由下列单位提供  
Chinese version provided by

