
人工肌肉也能“弹性”十足？他们揭秘弹性驱动新机制

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/35024.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

人工肌肉也能“弹性”十足？他们揭秘弹性驱动新机制。想象一下，我们既能用手指捏起一粒芝麻，也能提起一桶水。无论外力大小如何变化，肌肉都能恢复到原来的长度，为下一个动作做好准备。中国科学院苏州纳米技术与纳米仿生研究所（以下简称苏州纳米所）研究员邱江涛说，这就是骨骼肌的弹性驱动特征。

然而，模仿哺乳动物骨骼肌设计的人工肌肉却并不具备此类弹性驱动机制，一旦用较大力度挤压拉扯，就像一根生锈的弹簧，出现无法恢复的不可逆形变，极大限制了人工肌肉纤维驱动器的驱动精度、重复性和实用性。

针对这个问题，邱江涛团队设计了一种尼龙纱线@聚二甲基硅氧烷（nylon@PDMS）弹性人工肌肉纤维，具有和生物肌肉类似的弹性驱动性能，并基于传统商业化材料开发，为商业化发展奠定良好基础。近日，相关研究发表于《物质》。

审稿人作出高度评价，该研究为对高耐用性和适应性有需求的机器人技术及可穿戴技术领域提供重要进展与参考。

人工肌肉弹力升级

人工肌肉是模仿哺乳动物骨骼肌设计的一种柔性驱动器，具备高输出应变、高输出能量、高输出功率和大负载能力等特点，体积小巧、运动灵活，在柔性机器人、柔性飞行器、生物医疗等领域有广阔应用前景。

然而，目前以碳纳米管、尼龙、液晶弹性体、镍钛合金丝等材料为主的人工肌肉纤维，在变负载驱动过程中存在塑性伸长现象，尤其是在较重负载的状态。邱江涛告诉《中国科学报》，在现实工作场景中，人工肌肉内部应力的方向和大小受外部载荷的变化而不断改变，无法作出精确反应，一旦受力超过承受范围，更无法像生物肌肉般恢复原状，严重限制了人工肌肉纤维的实际应用。

如何让人工肌肉纤维也能有弹性驱动特性，成了摆在无数科学家面前的难题。

邱江涛团队想了个新方法。既然受驱动材料和结构的限制，先前人工肌肉纤维存在塑性伸张现象，那么在外面披上一层有弹性的外衣呢？

因此，邸江涛团队尝试在普通尼龙纱线表面裹上一层聚二甲基硅氧烷（PDMS），这是一种常见的有机硅化合物，透明、弹性好，且化学性质稳定。

在连续变负载驱动测试中，他们发现，经过芯轴缠绕方法制备的尼龙纱线@聚二甲基硅氧烷人工肌肉纤维表现出良好的弹性驱动行为，在外力状态下可以完全拉直，释放外力后又会自卷曲，回归初始的螺旋状态。在连续变负载驱动测试中，逐步增加相同的负载，再逐步减小相同的负载，纤维长度和收缩量几乎不变，和生物肌肉一样具有出色的弹性和恢复能力。

一个意外发现

这类新型弹性驱动的人工肌肉纤维，诞生于一次意外发现。

我们原本想进一步提升感知—驱动一体化人工肌肉纤维的驱动性能，却在实验中意外发现，这种弹性驱动的人工肌肉纤维具有类生物肌肉的弹性驱动行为。论文第一作者、苏州纳米所博士后董立忠告诉记者，我们觉得这种具有弹性驱动行为的人工肌肉纤维可以在机器人上做一些工作，于是开始了在飞行器舵机上的尝试。

邸江涛介绍，原本是想根据飞行控制系统的要求，利用人工肌肉纤维的伸缩调整飞行器舵面的位置，以实现飞行器转向。但常规人工肌肉纤维在变负载过程中会发生塑性伸长，影响弹性性能，无法长时间保持稳定，基于其制备的拮抗结构舵机可控性较差。

我们想起了此前实验中的意外，弹性驱动行为的人工肌肉纤维正好可以解决这一难题。团队决定在飞行器上试一试。

不过，新的难题又摆在他们面前。要让这类具有弹性驱动的人工肌肉纤维结构更加稳定，必须要经过200℃高温退火的考验。然而，长时间加热该材料会破坏其表面静电纺丝纳米纤维结构，影响感知功能。

怎样让弹性驱动的人工肌肉纤维不怕火炼？团队尝试了各种方法，但都以失败告终。

他们决定换个思路，先把人工肌肉纤维进行高温退火，在外力作用下将其拉直定型，再在表面进行静电纺丝，相当于在其外层均匀地织上一层纳米纤维。之后，释放外力，弹性驱动人工肌肉纤维会恢复原本的螺旋状态，且其表面静电纺丝纳米纤维结构也完好无损。

这为螺旋纤维的表面功能优化设计提供了一种通用策略。邸江涛告诉记者，人工肌肉纤维在大于50%收缩量的条件下实现了感知功能集成。

应用前景广阔

弹性驱动人工肌肉纤维基于传统商业化材料开发，具有良好的市场化前景。邸江涛介绍。

基于弹性驱动人工肌肉纤维，团队不仅开发了人工肌肉纤维拮抗驱动舵机，还有一种可自主调节压力的智能压力带，具备主动节律性加压和实时压力监测功能，主动施加的最大压力可以达到3牛，短时间工作温度接近38℃，持续工作温度低于人体低温烫伤极限值的42℃。

然而，大规模商业化应用对人工肌肉纤维连续制备设备的开发提出了更高要求。邸江涛表示，随

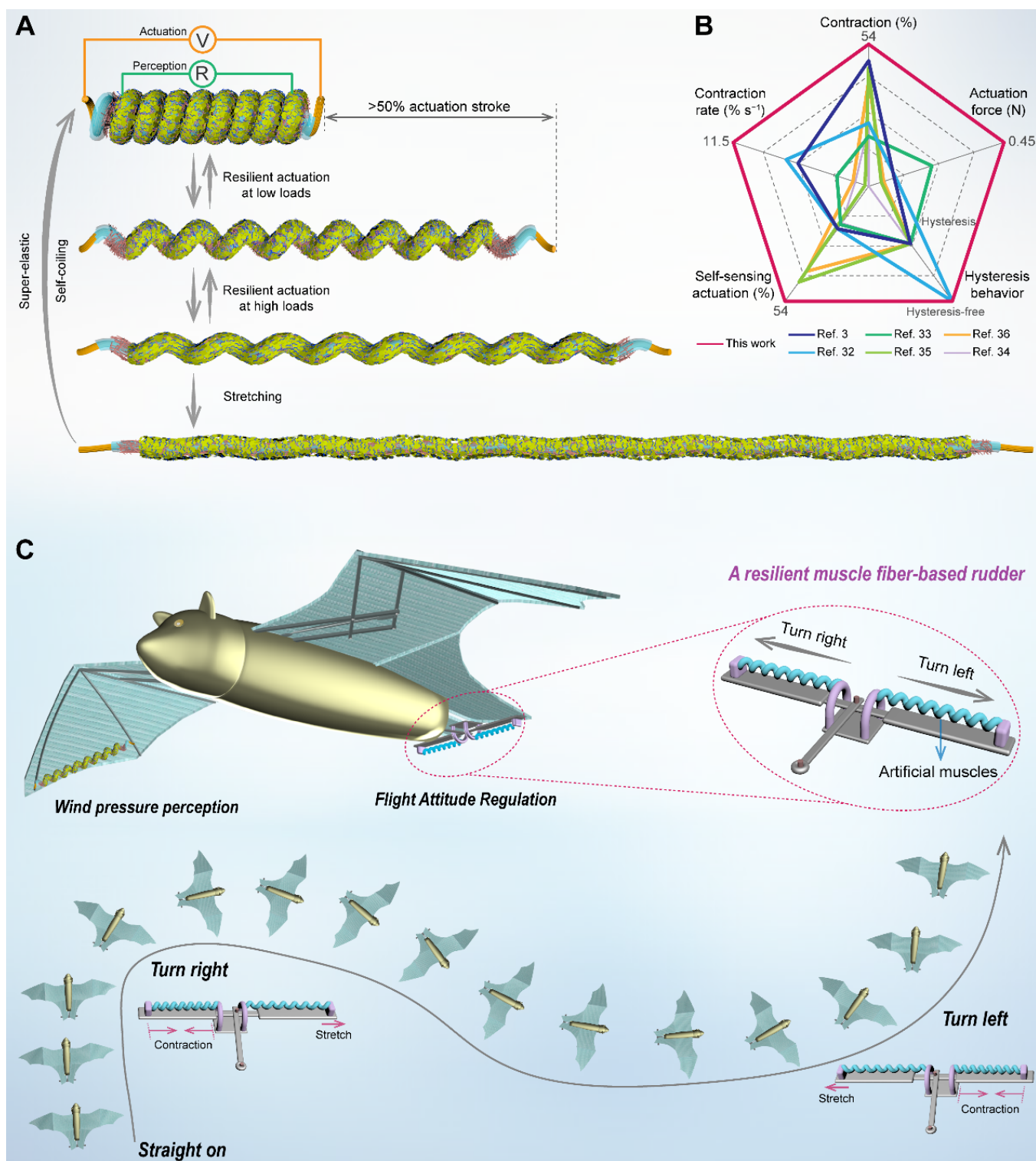
着人形机器人的快速发展，这类人工肌肉纤维有望在人形机器人、手术机器人、可穿戴辅助医疗等领域率先实现落地应用，目前我们团队也正在和相关企业一起合作，推动该类人工肌肉纤维的批量化制备和推广应用。

此外，在走向大规模商业化应用过程中，还需要建立完备的驱动数据库，系统记录弹性驱动的人工肌肉纤维在不同条件下的性能表现，为不同应用场景提供精确的控制参数，提升实际操作精准度。

然而，在邸江涛眼中，当前技术还存在诸多不足，电热驱动的人工肌肉纤维存在热效应，导致在某些使用场景中出现热损伤影响。他介绍称，电热驱动的人工肌肉纤维在工作时，由于材料的散热速度较慢，响应速度也相应降低，这也限制了人工肌肉纤维在部分高频环境中的应用。

结构与功能相适配是普遍规律。邸江涛告诉记者，从应用需求角度出发，开发适配性良好的人工肌肉纤维驱动器技术，成了团队下一步研究的重点。（来源：中国科学报 赵宇彤）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1016/j.matt.2025.102281>



?

感知-驱动一体化弹性人工肌肉纤维工作过程。受访者供图

作者：邸江涛等 来源：《物质》

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发