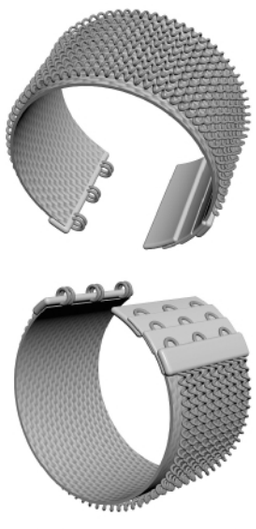
他们让人工肌肉也“弹性”十足

■本报记者 赵宇彤

“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）研究员邸江涛说，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，邸江涛团队设计了一种聚二甲基硅氧烷（PDMS）包裹的尼龙纱线弹性人工肌肉纤维，其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，为其市场化发展奠定良好基础。近日，相关研究发表于《物质》。审稿人认为，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的研究应用提供了重要参考。



应用研究成果制作的具有压力调节和反馈功能的预防下肢静脉疾病压力带。 受访者供图

有弹性的“外衣”

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，其体积小巧、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。

“人工肌肉纤维目前以碳纳米管、尼龙、液晶弹性体、镍钛合金丝等材料为主，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。”邸江涛告诉《中国科学报》，在现实工作场景中，人工肌肉内部应力的大小和方向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，就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。

邸江涛团队萌生了一个新想法：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，那么披上一层有弹性的“外衣”呢？

于是，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，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，由运用芯轴缠绕方法制备的聚二甲基硅氧烷包裹的尼龙纱线弹性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。在逐步增加相同的负载，再逐步减小相同负载的情况下，其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。

一次意外发现

这类新型弹性驱动的人工肌肉纤维的诞生，始于一次意外发现。

“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、在苏州纳米所从事博士后研究的董立忠告诉记者，“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领域做一些工作，于是开始在飞行器舵机上进行尝试。”

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，先对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就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。

从应用需求角度出发

“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，还开发了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 42℃的极限值。

“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，推动这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，提升实际操作的精准度。

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”。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，已成团队下一步研究的重点。

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

按图索技

一群机器人“小强”来袭

本报讯（记者温才妃）它被扔进草丛，或匍匐前进，或旋转跳跃；它被扔进水里，可快速调整姿态，化身为鱼；它从 108 米高的标志塔顶掉落，重重地摔在地上，却在片刻后再次起身蹦跶……它个头小小的，身长仅 2 厘米，体重仅 2 克，像极了生命力顽强，却令许多人皱眉的打不死的“小强”。

这群“小强”出自西湖大学工学院机械工程讲席教授姜汉卿实验室。它们名叫“昆虫尺度的软体机器人”，能在复杂的野外环境中自主爬行、跳跃、游泳——和“小强”一样矫健，比“小强”更坚强。

姜汉卿告诉记者，目前大部分自主机器人依赖刚性电机，这类系统需要齿轮、轴承等大量复杂的结构零件齿轮，根本塞不进“小强”的小身板里。受肌肉伸缩的启发，他从力学角度出发，想到利用弹性力和静磁吸力的平衡来实现机器人类似肌肉收缩的运动，设计了一个奇妙、精巧的驱动系统，并将其塞进了“小强”不到 2 厘米的小身板里。

驱动系统分为两部分，下方是嵌入软磁铁的线圈，上方是硬磁铁，硅胶外壳可以产生弹力。通电后，线圈产生的磁场可以进一步增强软磁铁和硬磁铁之间的静磁吸力，同时引入洛伦兹力，实现对吸力的动态调控。这一“磁吸 + 弹性”的巧妙结合，让“小强” 在低于 4 伏的电压下具备高达 210 牛 / 千克的输出力和 60%的变形率，远超传统技术水平。

这就是最近姜汉卿实验室提出的全新电磁弹性体驱动机制，这一机制让昆虫尺度的软体机器人能够在复杂户外环境中实现完全自主运动。

比如，蠕动式爬行机器人，从 30 米的高空甚至 108 米高空自由落体后还能毫发无损地继续匍匐前进。在地震等重大自然灾害发生后，它可以被无人机从空中投放，快速进入废墟深处，寻找被困人员位置并发出信号，成为生命搜救的“先锋兵”。自驱动游泳机器人，能在自然水体中自主游动超过一小时，可以用小巧灵活的它检测水下环境或监测污染。而自驱动跳跃机器人则可能是目前已知最小的完全自主跳跃软体机器人，有望实现在复杂地形上感知环境、自主移动、躲进缝隙等。

姜汉卿表示，未来希望“小强”实现两栖运动和 3D 跨障碍运动，成为人类执行一系列科学任务的得力助手。

形似“小强”的昆虫尺度的软体机器人。 课题组供图

叶生晅：用科技重塑零售业的未来

■本报记者 孟凌霄

“决策”，是叶生晅人生中的关键词。

这不仅是一个哲学命题，也是贯穿于心理学、认知科学与经济学的核心议题。在叶生晅的人生轨迹中，“决策”的重要性清晰可见——他总是在关键节点跳出路径依赖，作出那些看似“反直觉”的选择。而时间往往验证了这些选择的正确。

在学术生涯中，叶生晅曾师从美国神经科学与人工智能领域著名学者克里斯托夫·科赫教授，并在《自然－神经科学》发表论文。然而，他最终选择离开“象牙塔”，投身产业实践。2017 年，他又从被誉为“黄埔军校”的美国脸书公司（Facebook，现改名 Meta）离职，回国创办了自己的公司——帷幄科技。

如今，这家公司所专注的正是帮助企业作出更好的“决策”。

转向

求学之路上，叶生晅是一颗冉冉升起的学术新星。

2007 年高中毕业后，他赴美求学。在美国弗吉尼亚大学攻读本科期间，他主修计算机科学和经济学，辅修生物医学工程与商业学，跨越理工与商科的边界。

本科毕业后，他进入美国加州理工学院计算与神经系统专业攻读研究生，师从克里斯托夫·科赫，专注于决策机制与行为建模研究。如今的美国国家工程院院士、斯坦福大学首位红杉讲席教授李飞飞是他的直系师姐。

彼时，叶生晅并未意识到，这些跨学科的积累未来会以意想不到的方式交汇。

研究生毕业后，叶生晅前往美国哈佛大学商学院，担任研究助理，从事与线下消费者行为有关的科研工作。然而，他逐渐意识到，学术研究固然严谨，但其进展节奏与产业界相比相对缓慢，而来自实验室的数据与真实生活中的数据也存在差异。

“我希望自己所做的事能真正对社会产生影响，让人们的生活因此发生改变。”出于这种动机，他加入了 Facebook，成为最早一批投身营销创新实验室的成员之一。那时，他在美国硅谷的生活稳定、收入优渥，令人艳羡。

但他并未在舒适区停留太久。一次偶然的对话，成为他人生轨迹的重要转折点。

那是在美国纽约一家酒店的大厅里，叶生晅对面坐着一位天使投资人，两人就创业理念展开交流。这场不超过半小时的对话，促成了他创业的第一笔启动资金——100 万美元。

重塑

拿着启动资金，回到杭州后，叶生晅在 2017 年创办了帷幄科技。

“帷幄”一词的灵感，最初来自英文单词 whale（鲸）。他笑称：“杭州这边的公司很爱用动物来命名，我们一开始就想过，既然做的是大数据，不如就选个‘大’点的动物。”

“我们的第一家客户是宝洁公司，第二家客户是屈臣氏。这两家客户到今天仍是我们的客户。”叶生晅介绍，帷幄科技是典型的“客户驱动型”公司——先有客户，再做产品。公司通过客户数据平台收集并分析客户数据，为品牌企业提供精准的用户画像和行为洞察。

叶生晅团队成功申请的专利产品“多层距离传感器测试装置”和“抽拉式距离传感器测试装置”已部署于货架，实时捕捉顾客在商品前的停留时长、互动频率等微观行为数据。星巴克、屈臣氏和无印良品在其试点门店部署多层传感器后，通过分析顾客停留热力图，优化了某品类货架的陈列顺序和堆头位置。优化后，该品类区域周均销售额提升了 12%，顾客转化率（驻足后购买比例）提高了 8%。

“公司另外一款专利产品‘一种嵌入式摄像机’以其隐蔽、美观的特性，适用于高端或对空间美学要求严苛的环境，目前已应用于奢侈品店和高端美妆店。”叶生晅补充道。乔治·阿玛尼奢侈品店在橱窗和关键展柜上方嵌入该摄像机后，精准统计了不同时段、不同区域的客流密度和停留时长。基于此，它们优化了店内导购站位和服务流程，高价值展柜区域的顾客接待率提升了 20%。同时，隐蔽的监控有效震慑了盗窃行为，试点门店商品损耗率同比下降 25%。

叶生晅解释说，这一系列专利技术通过精准捕捉顾客行为、实时监控货架状态、智能感知空间环境，将零售门店的关键触点数字化、智能化。它们直接服务于品牌的核心诉求。“客户的实际数据验证了这些技术的有效性，展现了从数据采集到业务价值转化的清晰路径，为零售企业数字化转型和精细化运营提供了有力的技术支撑。”

成立以来，帷幄科技已为全球 600 多家企业提供技术支持，覆盖智能出行、餐饮轻食、咖啡茶饮、家居、母婴等行业，助力企业高效运营。

与此同时，叶生晅始终保持与学术界的紧密联系，积极推动产学研融合。

近年来，帷幄科技主导与浙江大学共建“商业数字化联合实验室”，与哈佛大学商学院、伊利诺伊大学香槟分校等世界一流高校开展多维合作。短短几年间，公司已在国内外知名学术期刊发表 6 篇论文，不仅持续推动理论研究，更通过真实数据与商业场景验证研究成果，促进技术在一线落地。

叶生晅

受访者供图

出海

创业 8 年，叶生晅的脚步愈发迅速。

他说，帷幄科技或许聚集了“最卷的一群人”，但他自己依然每天凌晨三四点才休息，工作时长常超过 12 小时。

在他的带领下，帷幄科技不断拓展版图。

今年 5 月，公司宣布连续完成 C1 轮和 C2 轮融资，总计募集资金逾 6000 万美元，为全球化布局迈出关键一步。近年来，叶生晅本人与公司的荣誉也接踵而至——叶生晅先后入选《财富》中国 40 位 40 岁以下商界精英、2024 福布斯中国新时代颠覆力创始人，公司先后跻身亿欧 WIM2021 全球双榜单、iDigital 年度优秀数字化零售服务商……

尽管光环耀眼，叶生晅却认为，最重要的荣誉并非奖项和资本“背书”，而是能真正推动行业进步、提升客户价值。

谈及理想中 5 年、10 年后的帷幄科技，他说，自己心中有一个“未来公司索引”，涵盖 IBM、微软等全球企业服务巨头。

“我相信，中国未来也会诞生这样的企业服务公司，并且随着中国品牌走向全球，它们也会实现全球化。这就是我们看到的机会，也是帷幄科技希望成为的样子。”叶生晅说。

集装箱

纳米高熵防护与节能增效涂层在千兆瓦调峰火电大规模应用

本报讯（记者叶满山）近日，在甘肃电投集团和下属企业常乐电厂支持下，中国科学院兰州化学物理研究所研究员高祥虎团队完成了关键技术材料在新建 1000 兆瓦调峰火电机组的大规模应用，标志着项目成果在工程化、商业化推广应用方面取得重要进展。

据了解，常乐电厂 6×1000 兆瓦机组是国内在建规模最大的百万机组，是祁韶特高压直流输电工程的唯一配套火电电源，同时也是我国西北地区最大的调峰机组。

近年来，高祥虎团队面向沙戈荒新能源基地建设，围绕新疆高碱、高氯煤，专注于大型电站锅炉辐射受热面防护与节能增效关键技术研究。团队联合常乐电厂研发的纳米高熵防护与节能增效陶瓷涂层，突破了陶瓷材料防结焦、耐高温腐蚀、红外增效、高导热率、热膨胀系数可调等关键技术。

测试结果表明，该技术的应用可使炉内有效吸热量平均提升 5.19%，减温水量整体降低 2.6 吨/ 时，排烟温度降低 4.5℃，灰渣物理热损失降低 0.21%，锅炉热效率提升 0.46%，供电煤耗降低 1.5 克 / 千瓦时，使 1000 兆瓦煤电机组每年节煤 1.5 万吨、减排二氧化碳 3.4 万吨。2021 年以来，该技术先后在常乐电厂 2 台 1000 兆瓦超超临界调峰机组应用并取得良好应用效果。

据悉，项目研究成果将辐射推广至甘肃、新疆、青海、内蒙古、宁夏等省份，为我国煤电向基础性、支撑性、调节性电源转型及新疆高碱煤清洁高效利用提供技术支撑。

第三届全国人工智能应用场景创新挑战赛专项赛举行

本报讯（记者沈春蕾）8 月 15 日至 16 日，2025 第三届全国人工智能应用场景创新挑战赛“人工智能 + 数据产业”专项赛在内蒙古呼和浩特市举行。该赛事由中国人工智能学会主办，全国人工智能应用场景创新挑战赛组委会、呼和浩特市科学技术局及大数据管理局联合承办。

专项赛吸引了来自全国 21 个省、自治区、直辖市的 115 支团队参赛。64 支团队入围专项晋级赛，4 支团队获特等奖，6 支团队获一等奖，9 支团队获二等奖，13 支团队获三等奖。

其中，特等奖项目分别是来自北京大学的“禾润云联：面向未来的智慧农业基础设施系统”、海南大学的“AI 赋能大模型智慧脑肿瘤诊断的数字放射科医生辅助平台”、清华大学孵化企业的“公共安全视频智能化大模型应用”、美的集团旗下企业的“智能冰箱多模态健康数据标注系统”。

接下来，获特等奖及一等奖的 10 支参赛队伍将晋级 2025 第三届全国人工智能应用场景创新挑战赛全国总决赛，竞逐更高奖项。

在本次赛事活动期间，《2025 中国“AI+ 数据”产业发展白皮书》发布，全国人工智能应用场景创新挑战赛西部赛区组委会秘书处授牌，全国人工智能应用场景（内蒙古）创新中心启动运行，11 个重点合作项目落地签约。

第九届中关村集成电路产业论坛召开

本报讯（记者田瑞颖）8 月 15 日，2025 中关村论坛系列活动——第九届“芯动北京”中关村集成电路产业论坛召开。论坛以“芯链协同 强基补链”为主题，探讨集成电路产业强基补链创新发展之路。

在开幕式上，中关村集成电路设计园建园十周年专题片《十载奋进 光启新程》正式发布。据介绍，中关村集成电路设计园共性技术服务中心新增高速信号完整性测试、功率循环及瞬态热测试实验室，可为企业提供高速信号、射频一致性、卫星通信以及瞬态热测试等系统化测试服务。

活动现场还举行了 2025 年全国大学生科学仪器创新大赛颁奖典礼。在随后的投融资论坛上，中关村 C20 半导体金种子企业成长营四期正式开营。成长营将继续为入营企业提供产能对接、供应链协同、管理培训等一系列赋能服务，陪伴并助力企业快速成长。目前，成长营已累计吸引 80 家“金种子”企业入营，促进企业间的互通、互融和共赢。成长营四期精选“皮米级超精密激光干涉仪”等 4 个科学仪器大赛项目进行专题路演，帮助项目精准对接顶级投资机构等创新服务资源，助力大赛项目加速落地转化。

“玄知”密码大模型发布

本报讯（见习记者李媛）近日，西安电子科技大学教授沈玉龙团队在西部网络安全大会上正式发布玄知大模型（CryptoLLM）。该模型的发布标志着密码学进入智能化发展新阶段，为密码算法分析、协议设计与工程实现提供了全流程的智能支持，开启密码学人工智能应用新纪元。

基于国产开源大模型构建，团队融合超百亿级密码学专业数据与分阶段精调略，在三大关键能力上实现突破——密码算法智能分析自动识别算法缺陷，辅助安全性验证与漏洞定位；密码协议智能设计支持协议设计与安全推理，提升协议生成效率与质量；密码工程高效实现，实现密码库集成、自动代码生成及部署优化。

为打造玄知大模型的核心竞争力，团队组建超百人规模的专项数据工程组历时 6 个月攻坚，建成规模达 50 字节 tokens（词元）的垂直领域知识池，全面覆盖密码学权威著作、学术论文、开源协议库、算法代码库及技术博客等多元高价值数据源。

会上，西安电子科技大学同步发布全球首个密码学专业测评基准 CryptoBench，填补领域空白。该基准覆盖密码算法、协议、工程三大板块 12 个核心方向 74 个细分领域，包含超 10000 道精编题目，实现能力边界精准探测，建立版本迭代流程，持续适配密码技术演进需求。

在权威测评基准 CryptoBench 的全面评估中，玄知大模型在密码算法分析、协议设计、工程实现三大核心维度处于国际领先地位。