



成果速览

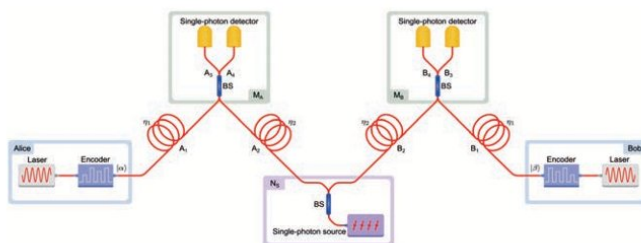
深耕科研沃土，执着攻关创新。近期，中国科大在多个前沿领域取得重要突破，展现了学校在量子信息、材料科学和智能装备等方向的创新实力。孙道远教授、毛竹教授团队联合国外学者，首次证实火星内部存在一个半径约600千米的固态内核，该成果发表在《自然》（详见1版）。另有研究团队分别在国际上首次突破此前量子网络限于单个中继节点的技术瓶颈，成功构建出包含多个量子中继节点的可扩展网络架构；实现形状可任意重构的微纳电流回路；在半导体量子点中实现保真度超99.9%的几何量子门操控，为构建大规模容错量子计算处理器提供了关键技术。同时，《中国科学报》对孔帅团队研制出的一款基于磁流变技术的手部外骨骼系统进行了深度报道，解读其功能特性和应用潜力。每一项成果的背后，都是科大人的坚守与执着，面向科学前沿，服务国家需求，科大人将不懈攀登，致力于“把红旗插上科学的高峰”。

中国科大实现基于单光子源的多中继量子网络架构

本报讯 中国科大潘建伟、陈腾云、陆朝阳等与清华大学马雄峰合作，基于团队自主研制的高品质单光子源，在国际上首次突破此前量子网络限于单个中继节点的技术瓶颈，成功构建出包含多个量子中继节点的可扩展网络架构。这一进展为量子网络从“单节点连接”向“多节点组网”的跨越奠定关键基础，使更复杂的多层量子网络架构成为可能。这也充分展现了模块化设计的灵活性与信号传输的高效性，为未来大规模量子网络的落地提供了坚实支撑。相关成果8月26日发表在《自然·物理》上。

如何将量子网络扩展至包含多个量子中继节点，同时兼顾扩展效率、安全性与可靠性，是推进量子网络发展的关键挑战之一。针对这一问题，研究团队提出并实验实现了全新的五节点量子网络架构：在传统三节点网络基础上，将团队此前研制的高性能量子点单光子源作为核心中继单元，与两侧的中继测量节点协同工作，共同构成三个量子中继节点。通过优化单光子源与相干光的强度配比及探测时间窗，团队将干涉可见度提升至90%，确保五节点网络架构能通过干涉测量稳定、高效地传递量子信息。

这一设计不仅提升了网络的安全性与灵活



五节点网络结构示意图。外侧Alice和Bob为用户节点， M_1 与 M_2 为测量节点， N_1 为单光子节点，各节点间以光纤链接，其中， M_1 、 M_2 与 N_1 为量子中继节点。

性，还具备模块化扩展潜力——可支持构建三层星型网络等复杂拓扑结构，同时能提高单链路信噪比。此外，基于半导体芯片的量子点中继节点作为不可信节点使用，大幅降低了网络部署成本，增强了实际应用中的适应性，为大规模量子网络的落地提供了可行方案。

为验证该网络结构的功能，研究团队采用相位匹配量子密钥分发协议，在总长300公里的长光纤链路中成功实现了密钥的安全分发。这一结果

不仅证实了该架构在长距离量子通信场景中的可行性，也体现了单光子源作为量子中继核心单元的应用潜力，为未来构建覆盖范围更广、安全性更高、灵活性更强的量子网络奠定了基础。

中国科大邵密、何玉明、黄温智、赵军一为论文共同第一作者。

（合肥微尺度物质科学国家研究中心 物理学院 中国科学院量子信息与量子科技创新研究院 科研部）

中国科大实现可任意重构的光控微纳电流回路

本报讯 中国科大郭光灿院士团队孙方稳课题组和国家同步辐射实验室核科学技术学院邵文课题组合作，通过对二氧化钒（VO₂）薄膜局部绝缘态—金属态相变的光学调控，实现形状可任意重构的微纳电流回路，并展示其在固态自旋量子操控中的应用。该成果8月29日发表在《美国国家科学院院刊》上。

孙方稳课题组和邵文课题组长期开展跨学科合作，在可重构量子器件研制和量子传感应用方面开展了研究。他们利用二氧化钒强关联氧化物材料制备金属神经元电路，并基于金刚石色心自旋传感实现对二氧化钒人工神经元器件的成像。

在本工作中，研究人员提出了一种“光热掺杂”技术（Photothermal doping），通过扫描聚焦激光，并利用其光热效应触发二氧化钒薄膜绝缘态（绝缘体—金属相变，形成局域“光热掺杂”微区）类似半导体离子注入掺杂，从而在微米尺度实现任意形状电流回路的可重构写

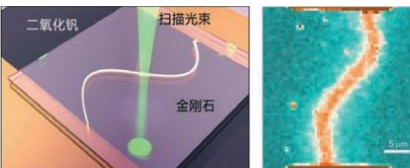
入。该方法将光场调控信息映射到电流回路的空间分布，显示出灵活的电流位置、方向、宽度等参数实时调控能力，实现如“S”形状的任意弯曲电流回路。研究人员将该可重构电路器件用于直流、微波信号的传输，通过电流产生局域电磁信号对金刚石色心自旋量子态的泵浦，实现拉比振荡、再塞纹等量子态相干操控。研究人员进一步通过对电流形状的任意调控，结合电流产生的磁场梯度，实现对不同空间位置固态自旋阵列的选择性操控，展示了空间寻址的能力。

基于光控电流的可重构电子器件极大提升了对微纳尺度电流控制的灵活性。后续，研究人员将进一步提升光场调控能力，提升可重构电流回路的操控可靠性和电流驱动能力，实现芯片尺度的可任意重构电路。利用光控电路的现场重复编程能力，实现多功能、高灵

活性、高效率的集成芯片，在人工智能、新一代信息技术等领域发挥重要作用，为实现可扩展的量子操控和探测器件提供支撑。

本文第一作者为量子网络安徽省重点实验室博士生刘志成，通讯作者为陈向东副研究员、邵文研究员和孙方稳教授。

（量子网络安徽省重点实验室 物理学院 中国科学院量子信息与量子科技创新研究院 科研部）



光控电流回路的写入示意图

戴上“黑科技”手套，秒变大力士

有这样一双“手套”，戴上它，让你秒变大力士，双手可以掀起200多公斤的石板，“吊单杠”时间翻倍，提重物行走疲劳感大大减轻……

这款“黑科技”机械手套由中国科学技术大学（以下简称中国科大）特任教授孙帅课题组与合作者联合研发，是一种基于磁流变技术的手部外骨骼系统，能够极大增强人手部抓握力与抓握耐力，有望用于地震救援、物流搬运、工业生产等场景。近期，相关研究成果发表于《IEEE机器人学汇刊》。

小功耗，大力量

灵活的双手在日常生活中起到至关重要的作用。然而，在救援、搬运等应用场景中，双手不仅要足够灵活，还需要足够有力，以支撑长时间、高负载的工作。

几十年来，随着机器人技术、材料科学等领域的不断发展，研究人员有望研发出像“钢铁侠”机甲一样的可穿戴外骨骼，利用机械结构和驱动器共同作用给人手助力，从而增强人手功能表现，大幅提升人力极限。其中，手部外骨骼是研究热点之一。

“实际上，目前学术界与企业界已出现多种手部外骨骼，主要用于辅助中风、偏瘫患者康复。它们往往基于电机、液压驱动，又或采用气动技术。”孙帅介绍，这些致动器普遍存在输出力小、体积和重量大等问题，难以解决大幅增强手部抓握力和抓握耐力的难题。

因此，面对大负载场景，手部外骨骼的关键是研发一种体积小、轻量便携，但输出力大、背驱能力好的致动器。

孙帅团队利用磁流变智能材料量可变的特性，创新设计了基于磁流变材料和滚珠丝杆结构的被动致动器，在仅需5瓦功耗条件下，实现了最高1046牛的大输出力，力-功率比相较于其他方案提升了一个数量级，在同样输出功率下节省了97.7%的能量消耗。

“也就是说，我们用很小的功耗得到了很

大的力。”孙帅解释道，这意味着磁流变手部外骨骼的续航时间相较于普通外骨骼系统得到大幅提升。

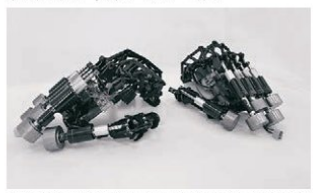
“软硬”可控

在中国科大机器人研究院实验室，记者见到了这款产品。别看它体积小，背后却暗含着一个系统工程。

论文第一作者、中国科大博士生姜贤龙介绍，“这款手部外骨骼系统主要分为外骨骼、磁流变致动器、指尖传感器和控制背包几个部分。它的工作原理是将外部的负载转移至外骨骼，通过调节磁流变致动器的输出力，在大负载时使外骨骼具有大承载能力，即变‘硬’，而在不需要助力时，手套会变‘软’，几乎不影响手指的灵活运动。同时，我们发现这种结构还可以通过飞轮储能，在不需要任何外部动力源的情况下，增强穿戴者的瞬时抓握力。”

这款手套“软硬”可控的奥秘，在于磁流变致动器中使用的磁流变智能材料。

“磁流变智能材料的性能在磁场作用下会发生显著变化。在没有磁场的情况下，这种材料像脂肪一样具有较好的流动性；加了磁场后，材料会变成半固体。”孙帅一边展示，一边向记者解释，他们基于这种特性，将其应用于手部外骨骼系统，实现了手套的“软硬”可控。



基于磁流变技术的手部外骨骼系统（学校供图）

疲劳减轻，握力增加

为了验证手套性能，研究团队首先进行了长时间提拉重物的实验。通过测量受试者戴与不戴手套的前臂肌电信号，团队发现，戴手套的表面肌电信号显著降低，表明肌肉收缩力减弱，疲劳感减轻。此外，团队还进行了“吊单杠”实验，测试结果显示，戴手套的受试者坚持时间增加了一倍。

在握力增强实验中，受试者分别用和不用手套进行快速抓握。结果显示，戴手套的平均握力增加85.8牛，不戴时高出41.8%。

此外，在地震救援中，由于现场环境复杂，很多设备难以进场，多依靠救援人员徒手清理障碍物，因此研究团队还进行了地震救援模拟应用实验。在营救被压人员和运送伤员的任务中，受试者指屈肌的肌电信号幅度均大幅减小，这意味着该控制手指抓握的肌肉活动度大幅降低。在运送伤员任务中，受试者呼吸率相较于不戴手套情况下平均降低了20%，最大运送距离提升了110%。

除了以上常见应用场景，孙帅还介绍了遥控操作的应用场景。“我们可以利用磁流变材料的阻尼特性，设计能够提供力反馈的手部外骨骼和手臂外骨骼，同时结合关节运动捕捉，实现远程机械臂、机械手的遥控操作，并提供真实的力反馈，以进行深空探测作业。”孙帅说。

孙帅表示，接下来，他们将进一步提升手部外骨骼系统功能。“比如，加入人体意图识别功能，更精准地根据穿戴者意图调整外骨骼的输出；改进外骨骼结构，利用复合材料和3D打印技术，在减轻重量的同时增加结构强度；改进人机交互设计，使外骨骼达到人手运动的大部分自由度，减少与人手的摩擦与不舒适感。”

（原载于《中国科学报》2025年9月8日 3版 记者 王敏）

中国科大在量子模拟实验中观测到“弦断裂”现象

本报讯 中国科大教授潘建伟、苑震生等首次使用超冷原子光晶格系统实现了跨格点规范理论中“弦断裂”现象的量子模拟，为理解强相互作用体系中的禁闭行为与相变机制提供了重要的实验依据。研究成果以“编辑推荐”形式发表于《物理评论快报》，并被美国物理学会《物理》杂志作为研究亮点专门报道。

近年来，研究团队开发了超冷原子量子模拟器，并对格点规范理论开展了系统的实验研究，取得了一系列突破性进展。在此基础上，该团队针对格点规范理论中的弦断裂机制进行了深入研究。在量子色动力学中，两个静止色荷之间的相互作用势随着距离的增加呈线性增长，这一特性使得单个夸克无法孤立存在。然而，当色荷间距超过某个临界值时，系统的能量足以生成一对夸克—反夸克对，进而导致弦的断裂。作为量子场论中的非微扰现象，弦态与双介子态之间的复杂相互作用使得对弦断裂过程的研究极具挑战性。一方面，传统数值计算方法难以精确求解这一过程；另一方面，粒子碰撞实验中难以对其进行直接观测。

基于前期对格点规范模型中禁闭动力学的研究，该团队搭建了可编程超冷原子光晶格量子模拟平台，将格点规范模型映射到光晶格超冷原子的玻色—哈伯德模型，通过精确控制原子之间的相互作用，实现了对系统初始态的可控制备和多参数演化。通过调节系统演化参数（“费米子质量”与“弦张力”），体系从“弦态”演化至双介子态并发生弦断裂的“断裂弦态”，从而完整演示了弦断裂物理过程。

更进一步，研究团队通过定量控制系统中费米子质量、弦张力和弦长度之间的关系，提取出了弦断裂发生时的能量共振条件，揭示了弦断裂现象的产生机制。

该工作展示了光晶格量子模拟器在揭示规范理论微观机制方面的潜力，为将实验研究拓展至更高维度和更高对称性的规范模型并深入探索真空衰变、非阿贝尔规范理论及拓朴量子相等关键物理问题奠定了基石。

（原载于科学网 2025年9月8日 记者 王敏）

本报讯 中国科大郭光灿院士团队在半导体量子比特操控方面取得重要进展。该团队郭国恩教授、李海欧教授与本源量子等合作，在硅基异质结构半导体量子点体系中实现了保真度超99.9%的几何量子门操控，为构建大规模容错量子计算处理器提供了关键技术。研究成果8月26日发表在《自然·通讯》上。

与传统量子门依赖动力学相位累积不同，几何量子门通过参数空间中演化路径的几何形状来确定几何相位，几何相位具有全局特征，对局部演化路径上的噪声扰动和环境诱导的退相干等特定类型噪声具有天然抵抗力。研究团队采用门集层析技术识别出比频率噪声和拉比频率噪声两类主要噪声源，并确定前者是影响量子门操作保真度的核心因素。基于此发现，团队采用针对这两类噪声的理论优化方案，实现了高保真度的几何量子门操控。

为了全面评估几何量子门的性能优势，研究团队对传统量子门和新型几何量子门进行了系统性对比测试。结果显示，传统量子门在拉比频率增大时操作保真度提升但逐渐饱和，此时单量子比特门（U1）的保真度仍与99%的高性能标准存在明显差距。相比之下，几何量子门在大工作范围内展现出稳定的抗噪能力。在较宽的拉比频率范围内，其操作保真度始终保持在99%的容错量子计算阈值之上。更为重要的是，U1、X/2门、Y/2门的最高保真度分别达到99.98%、99.80%和99.97%，均达到国际先进水平。这一出色表现充分证明了，几何量子门不仅在单一工作点表现优异，更在大的工作范围内保持稳定的高性能，这种“可复现”性对大规模量子计算处理器的实现具有重要意义。

在噪声鲁棒性验证实验中，研究团队通过人工添加不同程度的比特频率偏移噪声，系统模拟了实际量子比特可能遇到的噪声干扰。在实验研究的噪声范围内，几何量子门的操作保真度始终显著高于传统量子门。即使在±2.5 MHz（±1.2 MHz）的比特频率偏移噪声范围内，几何量子门X/2门和Y/2门的保真度仍能稳定保持在99%之上。这一噪声容忍范围与实验环境中的噪声水平吻合，充分表明几何量子门方案在真实应用场景中具备有效的噪声抵抗能力，可显著降低频繁校准的需求。

在大规模量子比特阵列中，频繁的比特校准不仅消耗大量的资源，还可能引入额外的误差。几何量子门的强噪声鲁棒性有望大幅减少与校准需求，为构建大规模量子处理器节约关键资源。

量子网络安徽省重点实验室博士生周雨晨为论文第一作者。李海欧教授、王桂磊研究员和郭国恩教授为论文的共同通讯作者。

（量子网络安徽省重点实验室 物理学院 中国科学院量子信息与量子科技创新研究院 科研部）