

中国科大实现光诱导卟位选择性氢氧交换新路线

本报讯 近日，中国科学技术大学仿生界面材料科学国家重点实验室/苏州高等研究院/纳米科学技术学院/化学与材料科学学院的戴露涛特聘研究员课题组提出了重水中芳烃卟位C(sp³)-H键发生氢氧交换的纳米光诱导路线。在室温常压、可见光照射和惰性气体条件下，通过构筑Pd纳米颗粒和C₆₀载体之间的氢物种异裂活化界面，驱动了54种卟位芳烃化学品的绿色合成，并实验证明其中关键催化机制。相关研究成果于9月24日发表在《德国应用化学》上。

氢作为氢的稳定同位素，在制药、光电器

件、医学诊断及生命科学领域具有重要应用。氘代化合物的合成可通过还原氘代、脱氘氘代、氢氧交换三种方法实现。相比之下，氢同位素交换(HIE)能够以更直接和高效的方式实现分子的一步氘代，且可使用相对廉价的同位素试剂重水D₂O作为唯一氘源。HIE反应虽然受到业界青睐，但在氘代位点选择性、氘代率、C-H键适配范围、合成条件温和性、重水用量、催化剂/产物分离和公斤级规模化等方面仍然面临极大的挑战，这也是氘代标记领域的“圣杯”。

该研究团队(同位素药物合成实验室；

Isotope Pharmaceutical Synthesis Laboratory)前期通过构建单原子Pd位点，成功驱动了氮芳烃C(sp²)-H在重水中的公斤级氘代规模。然而，当前芳烃卟位C-H键的HIE过程仍依赖昂贵氘源(D₂、氘代DMSO、氘代丙酮等)、难分离的金属络合物或高温/高压(≥120°C和10bar H₂)等。对此，研究团队设计了一种Pd颗粒纳米光催化剂(Pd/C₆₀)，在D₂O中于410nm光照、1bar氘气氛围、室温条件下驱动芳烃分子卟位C(sp³)-H键的氘代。该方法可对54种(杂)芳烃(含多吸电子或给电子取代基)进行后期卟位氘代，氘代率高达99%，底物范围涵盖高度官能团化的天然产物与药物分子。与此同时，含-CD₃药物分子的克级合成(2.17g，

10mmol)验证了该光诱导策略的可扩展性与可持续性。原位表征(原位红外/质谱)实验证明在Pd纳米颗粒与C₆₀载体界面处发生了异裂解离，产生了活性氘物种(Pd-D⁺与N-D⁺)，进而引发D₂O中卟位C(sp³)-H键的氘代反应。相比之下，均裂解离模式产生的氘物种则无法驱动卟位在重水中的氢氧交换反应。

中国科大化学与材料科学学院/苏州高等研究院2023级博士生徐杰和2024级硕士生曹瑞为论文共同第一作者，戴露涛特聘研究员为论文的通讯作者，中国科大为论文通讯单位。

(仿生界面材料科学国家重点实验室 苏州高等研究院 化学与材料科学学院 纳米科学技术学院 科研部)

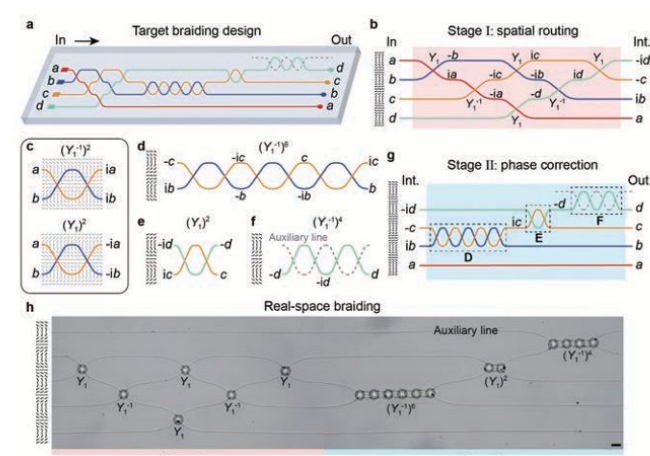
中国科大实现液晶向列比特的可重构非阿贝尔编织

本报讯 中国科学技术大学物理系彭晨晖教授、蒋景华研究员团队构建了一种基于向列液晶向列的室温软物质平台，实现了拓扑信息的可重构非阿贝尔编织。研究团队利用光场和胶体颗粒将液晶缺陷线编织成可编程交叉网络，并把缺陷线拓扑结构编码为“向列比特”(nematic bit, nbit)。实验表明，改变编织操作的先后顺序会得到不同的最终状态，胶体“编织门”还可原位重新排列。相关成果于9月22日发表在《自然·材料》上，并被期刊以“ weaving braids of defect lines ”为标题进行专题报道。

非阿贝尔编织的突出特征是操作次序不可交换：操作顺序改变，产生的结果不同。在拓扑量子计算设想中，这种顺序依赖性可用于操控非局域量子态。然而，如何在实际空间中连续观察、精确控制、实时重构并按目标编程编译多步编织，一直具有挑战。该研究将这一抽象的编织代数转化为可在显微镜下直接观察和重排的经典材料过程。

合作团队在光图案化基底上制备液晶取向场，使向列液晶中形成可控的向列网络，并引入直径约20微米、具有垂直表面锚定的胶体颗粒。旋转线偏振光可驱动顶部液晶取向同步改变，使相邻向列线逐渐靠近并经过胶体颗粒，形成稳定的左旋或右旋螺旋编织。结合偏光显微镜和三维液晶指向场模拟，团队确定了缺陷线之间的上下关联关系及其内部拓扑结构演化，并将这些连续结构映射为向列比特状态和相应的逻辑门。

在此基础上，团队构建了胶体辅助的两线基本编织门及其逆操作，并把多个编织门串接到三条向列线组成的网络中。实验和模拟均显示，交换两个编织门的顺序会改变各条缺陷线网络的相位和最终向列比特状态，直接体现了非阿贝尔操作的非交换性。研究团队还使用激光光镊移动胶体，使原有编织门退出线路，在新的位置重新耦合，从而在同样样品中原位改写编织模式。在统一性定义下，相关操作矩阵满足Yang-Baxter关系，说明这些物理交叉构成了编织群的一个实际表示。



非阿贝尔编织的逆向设计流程及其在液晶向列网络中的实现

团队进一步将模块化编织门扩展到四线和五线网络，并枚举不同序列所对应的输出状态。为了使平台从“观察编织结果”迈向“按目标设计编织”，研究人员建立了逆向设计(inverse design)方法：先根据目标输出规划各条缺陷线的空间路径，再计算路径中累积的相位，通过双重编织和辅助线逐层校正多余相位。以四路输入完全反转为例，团队从预设代数变换出发，编译出所需的空间定位和相位校正序列，随后在液晶中搭建相应的编织网络并验证了目标输出。这一过程相当于把抽象的编织编译成可执行的材料线路。

该成果把向列液晶的可视化、可重构特性

与编织代数结合起来，可以直接操控的物质结构复现非阿贝尔编织的核心运算逻辑，为研究非阿贝尔交换操作、编织线路编译和经典拓扑信息处理提供了室温实验平台，并为利用编织网络引导光流、离子流或微流体运输等后续研究提供设计基础。

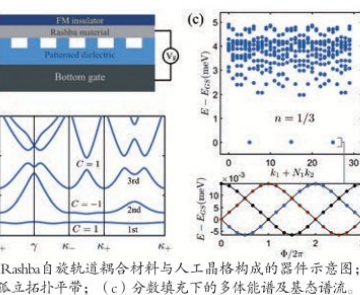
中国科大博士生于子豪、郑新达和张婧为共同第一作者，蒋景华研究员和彭晨晖教授为共同通讯作者。中国科大研究生田坤、本科生宋甘霖、陈子君和周雨、博士生孔若愚、阿斯丁和Fernando Vergara、香港科大博士生唐文滔和张敬教授为共同作者。

(物理学院 科研部)

中国科大提出实现拓扑平带和分数陈绝缘体的新平台

本报讯 近日，中国科学技术大学物理学院秦维教授与合肥微尺度物质科学国家研究中心国际功能材料量子设计中心(ICQD)及合肥国家实验室张振宇教授合作，在拓扑带人工设计与分数陈绝缘体研究方面取得重要进展。研究团队提出，通过将具有Rashba自旋轨道耦合的二维材料、塞曼耦合与人工超晶格相结合，可以构筑高度可控的孤立拓扑平带，并在其中实现稳定的分数陈绝缘体。相关成果于9月16日发表在《物理评论快报》上。

分数陈绝缘体可以看作分数量子霍尔态在晶格体系中的推广，其低能激发态具有分数量子特征，部分非阿贝尔分数量子态还被认为具有应用于拓扑量子计算的潜力。实现分数陈绝缘体通常要求体系同时具备非平庸的能带拓扑以及平坦、孤立的电子能带。因此，如何寻找和设计“拓扑平带”一直是该领域的重要问题。近年来，拓扑绝缘体相关现象在转角MoTe₂、菱方多层石墨等体系中得到了广泛研究。然而，这些体系通常依赖特定的莫尔结构和相互作用驱动的自然极化，并受到竞争量子



(a) Rashba自旋轨道耦合材料与人工超晶格构成的器件示意图；(b) 孤立拓扑平带；(c) 分数量子填充下的多体能谱及基态谱。

态、无序、应变和晶格弛豫等因素影响。针对这一问题，研究团队提出了一种不同的设计思路：不再依赖材料中天然存在的平带，而是利用外部可调手段主动“制造”拓扑平带(图a, b)。研究发现，塞曼耦合首先在Rashba能带底部形成近乎平坦的部分能带，随后

周期性人工晶格通过能带折叠和布拉格散射，将这一平坦区域与其他色散能带分离，最终形成孤立的拓扑平带(图b)。进一步的多体精确对角化计算表明，该平带在1/2和2/3分数量子填充时均可形成稳定的分数陈绝缘体(图c)，并在较宽的参数范围内及一定程度的扰动下保持稳定。论文还系统分析了实现该方案的候选材料与器件参数，为实验实现提供了具体参考。

与主要依赖特定材料结构的方案相比，该平台具有较强的人工设计和调控能力。同时，该平台可拓展至多种具有较强Rashba自旋轨道耦合的二维材料，并与现有的外延生长和微纳加工技术相结合。该工作为在莫尔材料之外探索拓扑平带、分数陈绝缘体以及更丰富的强关联拓扑量子态提供了新的材料平台和设计思路。

物理学院本科生梁博凯为论文第一作者，秦维教授为论文通讯作者。

(物理学院 合肥微尺度物质科学国家研究中心国际功能材料量子设计中心 中国科学院量子信息与量子科技创新研究院 科研部)

合肥先进光源直线加速器成功实现电子束出束

(上接1版) 直线加速器是HALF核心组成部分之一，承担着为储存环产生和加速高品质注入束流的重要任务，其束流品质、稳定性与可靠性直接影响后续储存环及终端光束束流性能。HALF直线加速器全长约192米，电子束在直线加速器中产生并加速至2.2GeV设计能量后，经输运线输运，最终注入储存环。

建设过程中，直线加速器的建设始终坚持核心技术自主可控的技术路线，在多项关键装备的工艺先进性方面取得一系列重要进展。固态调制器系统采用一体化集成架构与快速插拔模块化设计，实现国产化冗余配置和健康管理能力，功率密度较国内外同类设备提升一倍，体积和重量显著降低。数字低电平系统自主完成样机开发，幅相稳定度达0.03%以内、0.03%

(RMS)以内，达到国际先进水平。加速管耦合器优化方法与热阴极电子枪调谐技术获得国际同行评审认可，核心参数全面达标，为束流高品质稳定输出提供了坚实保障。

安装调试中，团队建立全流程闭环工程管理体系，通过样段先行试装、标准化全流程施工方案、核心设备全覆盖离线检测、BIM技术全流程赋能等科学举措，提前规避施工风险、排查设备隐患，实现所有核心设备“零故障”上岗，保障了安装调试工作高效精准推进。同时，面对工期紧张、施工复杂、精度要求严苛等诸多难题，团队采取分区并行施工策略，先后解决加速管快振荡、低电平控制精度、调制器模块损伤等关键技术问题，全程坚守质量和进度双底线。

自2023年6月HALF开工建设以来，直线加速器建设稳步推进，先后完成隧道封顶、注入器大功率测试平台安装、注入器样段安装现场验收、注入器安装方案专家评审、首套设备态调测器安装、注入器工艺设备安装等关键节点，最终于2026年9月20日成功实现电子束出束。

截至目前，HALF整体工程稳步推进。直线加速器注入器出束后，项目将全面进入电子束向储存环注入调试的关键攻坚阶段。后续工程团队将持续发力，稳步推进电子束向储存环注入、逐步实现装置全线贯通、稳定运行，全力保障合肥先进光源顺利出光。装置建成后，HALF将与我国现有光源形成优势互补，服务前沿科学研究，为我国提升原始创新能力、推动

产业技术升级提供世界级平台支撑。

本次直线加速器成功出束，恰逢中国科大建校68周年。六十八载弦歌不辍、薪火相传，中国科大植根“两弹一星”红色沃土，始终坚守科教报国、致力为国的初心使命。合肥先进光源重大科技基础设施的建设，正是一代代科大科研人传承弘扬科学家精神、矢志实现高水平科技自立自强的生动实践。全体建设者将再接再厉、协同攻坚，全力推动合肥先进光源早日建成投用，为服务国家重大战略需求持续贡献力量。

本次活动同时也是校团委理论学习中心组2026年度第十一次集中学习(扩大)会议现场教学的重要环节。(国家同步辐射实验室 党委宣传部)

中国科大首次在电弱统一能标下实现对玻色子间量子纠缠的测量