

中国科大揭示短尾噬藻体关键侵染元件的原位组装模式

本报讯 中国科大生命科学与医学部周从照教授课题组利用冷冻电镜单颗粒技术解析特异性侵染模式鱼腥藻的淡水短尾噬藻体A4的完整三维结构，揭示其衣壳的双层加固机制以及衣壳内部关键侵染元件前注射体的原位组装模式，首次阐明病毒基因组在前注射体上的包装模式。相关研究成果于3月31日发表在《美国国家科学院院刊》上。

研究者利用质谱分析鉴定出噬藻体A4的11种结构蛋白，随后通过冷冻电镜技术解析A4的完整三维结构，发现其衣壳由两类不同折叠类型的装饰蛋白共同加固。其中，主要装饰蛋白gp37以二聚体形式稳定衣壳，而辅助装饰蛋白gp25则以三聚体形式进一步协同加固，形成双层稳定结构（如图所示）。A4衣壳内部的前注射体由四种注射蛋白gp29-gp26通过类似“榫卯结构”的方式组装，由内到外形成三层同轴复合体，最终构

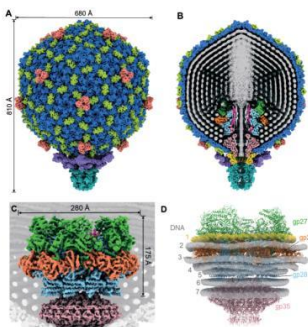


图 噬藻体A4的完整结构（A-B）及其衣壳内部的前注射体结构（C-D）

成五聚体的前注射体。结构分析首次清晰揭示病毒基因组在前注射体上的包装模式：前注射体外侧环绕着七圈双链DNA（dsDNA A），其中第一圈dsDNA紧密结合在前注射体最外层gp27-gp26的碱性沟槽中，揭示病毒基因组包装的起始锚定位点。基于前注射体的原位组装并结合前期研究，作者提出短尾噬藻体可能的基因组包装过程和注射机制。该研究首次阐明短尾噬藻体前注射体的精确组装模式，以及其与基因组包装的协同效应，为理解短尾噬藻体的侵染机制提供结构基础，有助于A4作为底噬菌体在合成生物学中的应用。

中国科大周从照教授、李强副教授和中国科学院水生所张希亚教授为该论文的共同通讯作者，中国科大博士研究生侯普和博士后周睿倩为该论文的共同第一作者。

（生命科学与医学部 科研部）

中国科大揭示潮汐力对断层破碎带内地震波速变化的显著影响

本报讯 近日，中国科大地球和空间科学学院姚华建教授团队，通过对青藏高原东南缘安宁河断裂带区域的地震波速的时间变化进行监测，发现潮汐力对断层破碎带的地震波速变化具有显著影响。相关研究成果发表在《国家科学评论》上。

地震学关注长期关注断裂带内的应力状态，因其直接关系到地震的孕育、发生与演化过程。通过监测断裂带的应力状态，科学家们希望揭示潜在的地震前兆，为防震减灾提供观测和理论依据。由于目前直接测量断裂带内的实际应力具有挑战性，地震波速变化作为一个重要的地震学参数，能够反映断裂带应力状态的变化，因此波速时变监测成为一种重要的介质变化监测手段。此外，潮汐力作为影响介质应力状态的重要因素，目前尚没有潮汐力如何影响断裂带内地震波速随时间变

化的高分辨率观测。

研究团队利用布设于青藏高原东南缘安宁河断裂带的密集地震台阵采集的连续噪声数据，并通过地震干涉技术计算了安宁河断裂带区域地下介质的地震波速度变化。结果显示，波速变化具有明显的日周期和半日周期特征，且在断层破碎带内这种周期性变化更为显著。此外，在去除环境因素后，断层破碎带内还呈现显著的月周期变化。研究人员将波速变化结果与理论潮汐应力变化进行比较，发现二者在日周期、半日周期和月周期成分上均表现出良好的相关性，这表明这种周期性变化主要受潮汐力影响。

通过远震体波波形数据标准谱比法的分析结果显示，由于放大效应，断层破碎带区域的振幅谱比值显著高于其他区域，表明该区域介质破碎程度更高。潮汐力通过引起地下介质

中微小裂隙的周期性张开与闭合，进而影响地震波速变化。通常情况下，当裂隙张开时波速降低，裂隙闭合时波速升高。由于断层破碎带内介质破碎程度更高，微小裂隙更为发育，因此该区域对潮汐力的响应更为敏感，导致观测到的波速变化更为显著。

本研究采用基于连续背景噪声的监测方法，成功捕捉到潮汐力对断层破碎带结构的显著影响，揭示了潮汐力在没有地震发生时对断裂带内部应力场的扰动作用，为构建活动断裂带时变地球物理综合观测系统提供了重要手段，对研究断裂带地震活动性变化和地震孕育发生机制具有重要的科学意义。

论文第一作者为中国科大地球和空间科学学院博士研究生孙晓峰，通讯作者为姚华建教授。

（地球和空间科学学院 科研部）

中国科大团队揭示MICU1调控线粒体钙稳态与动脉粥样硬化的作用及机制

本报讯 中国科大翁建平教授团队于4月2日在《临床研究杂志》上发表论文，阐明了MICU1通过调节线粒体钙稳态，减轻血管炎症以及动脉粥样硬化的新作用，为靶向线粒体功能防治ASCVD治疗策略的开发提供了科学依据。

动脉粥样硬化性心血管疾病（ASCVD）是导致全球人类死亡的主要疾病。血管炎症不仅是ASCVD病理进程的早期独立危险因素，更是贯穿斑块形成、破裂及血栓形成的主要驱动因素。靶向血管炎症可降低高危人群的心血管事件发生率，在传统降脂疗法的基础上进一步降低心血管疾病的风险。作为血管炎症的起始因素与核心调控者，内皮细胞在炎症介质激活下驱动循环系统中的炎性细胞向动脉壁浸润。因此，维持内皮细胞稳态有望成为干预血管炎症和ASCVD的有效策略。线粒体钙稳态是维持细胞能量代谢和生存的关键调节机制。精准调控线粒体钙稳态有望为多种疾病（包括心脑血管疾病）的干预提供新方向。MICU1是线粒体钙

单向转运体（MCU）复合物的关键调控亚基，通过感知胞质钙浓度动态调节线粒体钙摄取，维持钙稳态与能量代谢平衡。然而，MICU1是否通过调节线粒体钙稳态进而影响ASCVD尚未见报道。

本研究发现，内皮细胞沉默MICU1可以显著增加炎症反应，并且采用了MICU1内皮特异性敲除小鼠、内皮特异性过表达小鼠进行了验证。同时发现，MICU1内皮特异性敲除显著增加了小鼠动脉粥样硬化，MICU1内皮特异性过表达则具有保护作用。

机制上，MICU1通过调控线粒体摄取钙离子进而影响线粒体氧化应激水平，调控血管炎症反应。临床生物样本分析显示，在人类动脉粥样硬化斑块区域，MICU1的表达水平降低。尤为重要的是，基于大型人群遗传数据的孟德尔随机化分析揭示，MICU1表达量对于心血管疾病是一个保护因素，与较低的冠状动脉疾病风险，以及接受冠状动脉旁路移植术等手术重建治疗的风险。

综上，本研究揭示了MICU1通过调控线

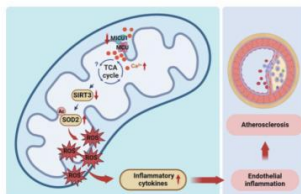


图 MICU1通过维持钙稳态缓解内皮细胞炎症与动脉粥样硬化的机制图解

粒体钙稳态进而抑制血管炎症反应和动脉粥样硬化，尤其，从大型人群遗传数据分析上明确了MICU1表达与ASCVD结局负相关，为防治动脉粥样硬化提供了潜在新策略。

中国科大翁建平教授与徐素文研究员为本论文的共同通讯作者，中国科大博士后孙璐、安徽医科大学公共卫生学院陈瑞雪副教授为论文共同第一作者。

（生命科学与医学部 科研部）

中国科大揭示锂金属电池中高压正极界面的动态演变机制

本报讯 近日，中国科大化学与材料科学学院曹瑞国团队在锂金属电池领域取得重要进展，系统地研究了高压正极金属氧化物正极界面层的形成和演化过程，并为合理设计高压锂金属电池电解液提供了新思路。相关成果发表在期刊《Joule》上。

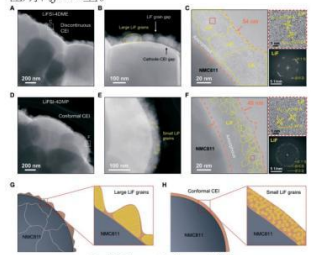


图 长循环后的CEI结构

研究基于双氟磺酰亚胺锂盐（LiFSI）和两种结构相似的醚溶剂（强溶剂的DME和弱溶剂的1,2-二甲氧基乙烷（DMP））组成的模型电解液体系（LiFSI-4DME和LiFSI-4DMP），来揭示高压LiNi_{0.8}Mn_{0.1}Co_{0.1}O₂（NMC811）正极上CEI的形成和动态演变过程。通过cryo-EM发现，在循环初期（20圈），LiFSI-4DME和LiFSI-4DMP电解液中的初始CEI呈现出马赛克结构，极少量的无机纳米晶体分散在非晶态基质中，组分以有机物和含氟无机物为主，因此称为溶剂化层。

接着对长循环后的CEI的组成和结构进行了表征，以探究CEI在循环过程中的演变过程。结果表明，经过200次循环后，由溶剂化层的CEI逐渐演变为非晶态的CEI，主要由FSI-分解生成的结晶性和非晶态的LiF构成。在此阶段，嵌入在CEI中的LiF纳米晶体的尺寸和形貌决定了CEI的组成和界面特征。在DME基电解液中，大的LiF晶体颗粒堆积导致

了孤立的、不连续的CEI结构的形成，无法对高压正极表面进行有效的钝化。而在DMP基电解液中，CEI中生长的LiF纳米晶体尺寸更小，且分布均匀，从而形成致密且共形的镶嵌结构CEI。这种共形CEI可以显著抑制低浓度醚电解液的氧化分解并提高其高压稳定性。

基于上述发现，研究团队通过更多的界面表征技术（X射线光电子能谱和同步辐射X射线吸收谱等）和理论计算，进一步分析了CEI中LiF的形成机制和界面结构对于高压正极性能的影响。这一研究为理解CEI的纳米结构演变和高压正极界面结构设计提供了新思路。

本文的通讯作者为中国科大化学与材料科学学院曹瑞国教授、焦淑红教授，共同通讯作者包括东方理工大学谷猛教授和苏州大学程海教授，第一作者为中国科大博士研究生陈亚豪、东方理工大学李梦浩博士、中国科大博士研究生揭林和苏州大学刘越博士。

（化学与材料科学学院 科研部）

中国科大郭光灿院士团队的李传锋、周宗权研究组基于团队原创的无噪声光子回路方案，将可集成量子存储器的存储时间从10微秒级提升至毫秒级，同时成功突破了传统光纤延迟线的效率。3月26日，该成果发表于《科学·进展》。

量子存储器作为克服信道损耗、构建大尺度量子网络的核心器件，其规模化应用需实现器件的集成化，从而达到小尺寸、低功耗的目标。自2011年以来，国际上已利用多种工艺在稀土掺杂晶体中制备了可集成量子存储器。然而，由于集成器件中噪声难以消除且存储效率受限，现有装置仅能实现在原子激发态的存储，存储时间仅达10微秒级，存储效率远低于光纤延迟线的传输效率，从根本上限制了其在远程量子通信中的实际应用。

为解决这一难题，李传锋、周宗权研究组利用飞秒激光微加工技术，在掺硅酸钇晶体中制备了圆对称的凹陷包层光波导，实现了基于偏振自由度的噪声滤除，并结合团队原创的无噪声光子回路量子存储方案大幅提升了存储效率，从而实现了在原子基态的自旋波可集成量子存储。

近期，团队在晶体上表面集成了共面电极，通过施加射频磁场实现了对光波导内掺杂离子核自旋态的动力学解耦控制，从而将自旋波量子存储寿命延长至毫秒级。当光子比特的存储时间达1.021毫秒时，其存储效率达到12.0±0.5%，这一效率远超对应时的光子延迟线的传输效率，充分证明了可集成量子存储器在功能上已不可能被光纤延迟线替代。

研究人员介绍，该工作把可集成量子存储器的寿命从10微秒级提升至毫秒级，首次实现了存储效率超越光纤延迟线的突破，为可集成量子存储在长程量子网络中的实际应用奠定了坚实基础。同时，该成果展现了无噪声光子回路方案在解决大寿命量子存储信噪比问题上的巨大潜力。

审稿人高度评价：“这是在对可集成量子存储领域非常重要的进步”“这项工作对集成和长寿命量子存储器的发展做出了重要贡献”。

（转自人民日报客户端 2025年4月2日）

中国科大在反铁磁量子反常霍尔效应研究中取得理论进展

本报讯 中国科大合肥微尺度物质科学国家研究中心国际量子功能材料设计中心与物理系牛谦教授和乔振华教授团队及合作者在反铁磁体中预言了量子反常霍尔效应，并可通过电场等方法调控体系的陈数。相关研究成果近日发表在《物理评论快报》上。

该研究团队基于磁性拓扑绝缘体模型计算证明，当偶数层磁性拓扑绝缘体采用破坏空间-时间反演联合对称性的磁结构时，比如（↑↑↓），布里渊区中费米能带的分布不再处于外缘。有趣的是，在MnBi₂Te₄材料的实际参数附近，系统呈现非平庸的陈数（±1），并具有可调性。通过调控垂直方向的栅极电压或者轨道在位能，可以连续驱动系统进入不同的拓扑相，陈数可以调为|C|=1, 2, 3, 以及陈金属相。对于陈金属相，在弱无磁的情况下，小的费米口袋可能会变得局域化，从而产生拓扑非平庸的安德森绝缘体。

该研究团队还采用第一性原理计算验证了模型的可行性。对于四层磁性拓扑绝缘体MnBi₂Te₄，当磁构型为（↑↑↑↓）时，能隙中存在量子化的反常霍尔电导平台。此外，当存在外部磁钉扎层时，构型↑↑↑↓的能量低于构型↑↑↑↓。因此，破坏空间-时间反演联合对称性的磁结构是稳定的，这与团队的模型预期一致。同时，该工作还通过模型研究了6层反铁磁结构，指出模型研究的结论可以推广到多层的偶数层反铁磁结构。进一步，通过第一性原理计算验证了6层和8层MnBi₂Te₄体系中，获得在不同磁构型下层分辨的陈数分布，指出在各种破坏空间-时间反演联合对称性的磁结构中，只有最外层MnBi₂Te₄的磁化方向一致时系统才能实现量子反常霍尔效应。在较小的压强下，随着层间相互作用的增强，拓扑非平庸能隙可以超过室温能标。

该系列工作获得的拓扑相图和实验实现方案为后续在反铁磁体中拓扑态和电子输运的研究提供了坚实物理基础。

中国科大物理系2024级博士研究生梁晓豪和合肥微尺度物质科学国家研究中心博士后李泽宇为本论文的共同第一作者。

（合肥微尺度物质科学国家研究中心 物理系 中国科学院强场量子材料重点实验室）