

中国科大发表噬藻体研究综述论文

本报讯 中国科大生命科学与医学部周从照教授课题组应邀在微生物学领域知名期刊《微生物学年评》上发表题为《噬藻体：与蓝藻数十亿年的协同演化》的综述文章，系统总结了噬藻体的基因组、三维结构及其与宿主相互作用的最新进展。该论文是第一篇对噬藻体基因组学和三维结构研究方面的重要发现进行全面总结的综述文章，将为理解噬藻体—蓝藻共进化机制提供重要见解，为开发针对蓝藻水华的定制化噬藻体提供理论基础。

噬藻体是一类特异性感染蓝藻的双链DNA病毒，广泛分布于海洋和淡水生态系统。在数十亿年的协同演化过程中，噬藻体与其宿主蓝藻对水生生态系统的生物地球化学循

环和遗传多样性做出巨大贡献。作为蓝藻的天敌，噬藻体有望成为控制有害蓝藻水华的环境友好型生物制剂。近年来，各种组学和冷冻电镜技术的突破性进展使科学家们能够深入解析噬藻体在基因组序列和尾部形态上的显著多样性。

在综述论文中，作者首先介绍了噬藻体的发现历史、生态贡献（图1）和基于形态的分类特征，随后从噬藻体的基因组、宏基因组和系统发育分析，复杂多样的三维结构（图2）和体内组装过程，以及噬藻体与宿主的相互作用三个方面梳理了噬藻体自1963年发现以来的研究进展。论文最后对未来利用人工智能技术发掘未培养噬藻体和鉴定宿主配对关系，以及噬藻

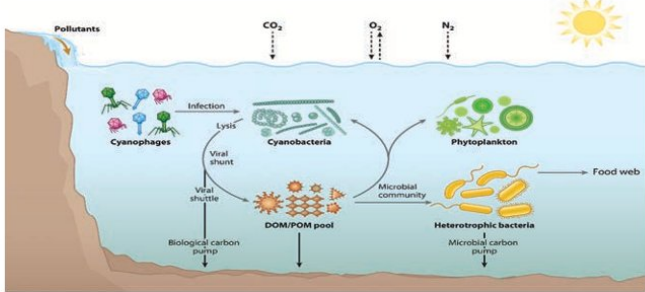


图1. 水生系统中蓝藻和噬藻体的生态作用

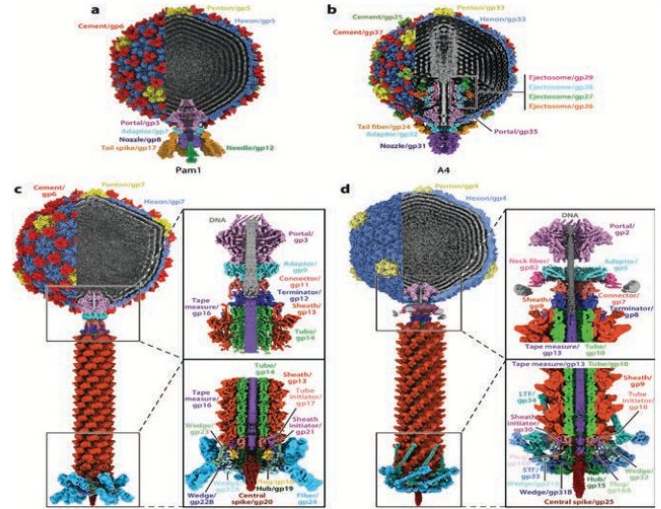


图2. 短尾噬藻体（a）Pam1和（b）A4以及肌尾噬藻体（c）Pam3和（d）A1的完整三维结构

体的合成生物学改造和潜在应用进行了展望。

近年来，周从照团队在噬藻体的三维结构和基因组领域取得了一系列成果。首次解析2株短尾噬藻体和2株肌尾噬藻体的近原子分辨率完整三维结构，阐明噬藻体的精确自组装模式，为宿主识别提供结构基础，并大大促进基因组

重注释；系统筛选和鉴定11株淡水噬藻体，丰富淡水噬藻体基因组数据库，建立高通量挖掘未培养噬藻体的组学策略。

李琼副教授和杨丰博士为论文共同第一作者，周从照为论文通讯作者。

（生命科学与医学部 科研部）

中国科大揭示细菌表面捕获稳定性的新机制

本报讯 中国科大物理学院、合肥微尺度物质科学国家研究中心袁军华和张裕京研究组在细菌与固体表面的相互作用机制研究中取得重要进展。研究团队发现鞭毛着生位置是决定推进型细菌表面捕获稳定性的关键因素，并揭示了鞭毛钩（连接鞭毛丝与细胞体的柔性接头）弯曲方向的差异如何影响细菌的表面锚固行为。相关研究成果10月27日发表在《美国国家科学院院刊》上。

细菌在自然环境中频繁遇到固体表面，如管道内壁、医疗植入物表面或土壤颗粒等。它们运动靠近这些表面时，往往会被“捕获”，在表面附近长时间地进行盘旋运动。这一“表面捕获”现象对细菌的生态适应，尤其是生物膜的形成至关重要。以往的研究大多以大肠杆菌为模型，认为这种现象主要由流体力学相互作用引起。然而，这些基于大肠杆菌建立的简化模型，虽然理论上适用于所有“推进式”（即由尾部鞭毛推动前进）的细菌，却无

法解释为何其他形态相似的极性单鞭毛菌（如铜绿假单胞菌、溶藻弧菌等）在表面停留的时间要比大肠杆菌短得多，这表明有物理模型中存在被忽略的关键因素。

为了探究这一谜题，研究组首先排除了潜在因素之一3/4鞭毛数量的影响。他们发现，即使只有一根鞭毛，大肠杆菌也能被表面稳定捕获。随后，研究组将焦点转向了不同菌株的另一显著差异：鞭毛的着生位置。他们通过基因编辑技术，构建了一种鞭毛着生位置不再局限于细胞极端的铜绿假单胞菌突变株。令人惊奇的是，当鞭毛生长在细胞侧面时，细菌在表面的停留时间比鞭毛在极端时显著延长了数十倍以上，其表面捕获行为变得与大肠杆菌非常相似。

为了探究这一现象背后的物理机制，研究组进一步通过高时空分辨的荧光成像技术，直接观测了细菌在表面附近的姿态角变化，提出了鞭毛钩弯曲力矩的关键作用。他们发现，当

细菌“头朝下”撞向表面时，鞭毛钩会因受力而弯曲。对于鞭毛在极端的细菌，弯曲的鞭毛钩产生的力矩会帮助细胞调整姿态，使其更容易通过热涨落（布朗运动）从表面逃逸。然而，对于鞭毛在侧面的细菌，鞭毛钩的弯曲方向与极端鞭毛相反，其产生的力矩反而会抑制细胞体的姿态调整，使其更稳定地被困在表面，难以逃逸。研究组的理论计算也定量地证实了这一机制。

该研究不仅解决了长期以来理论模型与实验观测之间的矛盾，也为深入理解微生物生态、生物膜形成的初始阶段以及细菌感染过程提供了关键见解。此外，该研究也为设计仿生微纳机器人和微生物介导的活性药物递送系统提供了新思路，例如，通过调控人造微型机器人的“推进器”位置，可以精确控制其在目标区域的停留与探索行为。

特任副研究员陶安泰为论文第一作者，（物理学院 科研部）

中国科大实现基于超导量子芯片的暗物质搜寻新架构

本报讯 中国科大自旋磁共振实验室周经纬、荣星等人基于超导量子比特体系，提出一种可扩展的暗物质搜寻架构，并成功在多位超导量子芯片上完成了原理性实验验证。相关研究成果10月29日发表在《物理评论快报》上。

现代天文学与宇宙学观测表明，暗物质约占宇宙总质量的25%。近年来，以轴子和暗光子为代表的超轻玻色子暗物质成为备受关注的暗物质候选者。理论预言超轻暗物质可能的质量范围约为1–100 μeV ，并且与普通物质之间仅存在极微弱的相互作用。国际上已开展一系列超轻暗物质搜寻的实验研究，但仍面临测量范围与探测灵敏度难以兼顾的技术挑战：共振式探测器灵敏度虽高但探测带宽有限，非共振式探测器虽覆盖范围广阔却灵敏度不足。

针对这一挑战，研究团队提出利用超导量子比特直接搜寻超轻暗物质的实验架构：利用微纳加工技术，在单个芯片上集成多个频率可调的超导量子比特，形成可扩展的暗物质搜寻架构。该架构可以实现对暗物质多能区同步开展高灵敏扫描探测，从而有望解决测量范围与灵敏度难以兼顾的问题。研究团队设计制作了三位超导量子芯片，可以同时对于15.632–15.638、15.838–15.845及16.463–16.468 μeV 三个能区的暗光子进行搜寻，并给出了相应区间内最严格的暗光子—光子耦合界限，实验结果相较此前基于天文观测的界限提升了1–2个数量级。这项工作展示了超导量子比特在粒子物理领域的应用前景，为未来实现更宽质量区间、更高精度的暗物质探测提供了基础。

博士研究生康润琪和硕士研究生胡庆沁为共同第一作者，周经纬高级工程师和荣星教授为共同通讯作者。（物理学院 科研部）

中国科大揭示层间拖拽耦合在远程莫尔调控中的应用

本报讯 中国科大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和物理系曾长益教授、李林副研究员研究团队在二维材料的莫尔调控方面取得重要进展。团队创新性地构筑了石墨烯与石墨烯莫尔超晶格的电双层结构，揭示层间拖拽耦合能够显著拓展莫尔势场的调控范围，从而实现动态远程莫尔调控。相关研究成果10月20日以Article形式发表在《自然·通讯》上。

团队基于此前在二维体系拖拽效应的研究基础，提出了一种通过层间拖拽效应来拓展莫尔势场作用范围的全新研究思路。这一动态过程由层间库伦散射这一长程相互作用主导，因此具备实现远程莫尔调控的潜力。

团队设计了一种新型电双层结构：一层为普通石墨烯，另一层是石墨烯与氮化硼层0°对齐堆垛形成周期约为14.7nm的莫尔超晶格。通过系统的低温输运测试，研究发现当莫尔超晶格层作为被动层时，层间拖拽行为受到莫尔势场的显著调制，表现为由于能量转移在主动层中产生点以及莫尔超晶格次级中性点附近产生的拖拽信号。更为重要的是，当对莫尔超晶格层通电流时，在普通石墨烯（被动层）上观测到的拖拽电压仍能清晰反映莫尔势场的调控作用，包括在零磁通下莫尔超晶格次级中性点附近自相似的四区图谱，以及在外加磁场下拖拽电呈现层的Hofstadter蝴蝶图谱。这些结果表明，利用层

间拖拽耦合的长程特性，莫尔调控的作用范围可以突破莫尔超晶格界面的物理限制，拓展到远距离的普通导体。这种莫尔拖拽效应的实现为远程莫尔工程建立了新范式，有望推广至众多二维导体体系，特别是那些难以形成合适莫尔超晶格的体系，揭示更为丰富的莫尔物理现象。此外，该动态调制机制还可用于探索提升其结构调制势场的作用范围，为发现更多新颖量子态提供了新途径。

朱丽君特任副研究员为论文第一作者，曾长益和李林为论文共同通讯作者。

（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）

中国科大揭示火星弓激波整体大幅振荡的原因

本报讯 中国科大汪毓明教授领衔的国际研究团队，利用我国首次火星探测任务“天问一号”环绕器的磁场和等离子体观测数据，结合美国MAVEN探测器的观测数据，在火星弓激波对太阳风扰动方面取得重要进展。相关研究成果10月31日发表在《自然·通讯》上。

火星弓激波是超磁声速太阳风在火星附近减速为亚磁声速并发生偏转的区域，其位置反映了太阳风与火星空间环境相互作用的强度。研究表明，火星弓激波位置受太阳极紫外辐射、太阳风动压、行星际磁场强度和方向等多种参数影响。研究团队曾对太阳风扰动下火星弓激波的振荡现象开展研究。然而，针对弱太阳风扰动这一特定情况，其物理过程尚不清楚。在前期工作基础上，利用“天问一号”环绕器对“火星大气与挥发物演化”（MAVEN）

探测器的联合观测数据，研究团队对弱太阳风扰动条件下火星弓激波的振荡行为展开深入分析。

在典型观测事件中，“天问一号”环绕器搭载的磁强计和离子分析仪在火星弓激波附近多次记录到物理参数的突变。通过对比分析弓激波附近的瞬态结构以及弓激波面的涟漪结构特征，研究团队确认观测到了火星弓激波的振荡现象。在此期间，位于火星弓激波上游太阳风中的MAVEN探测器并未探测到明显的太阳风扰动，从而证实该振荡发生于弱太阳风扰动背景之下。

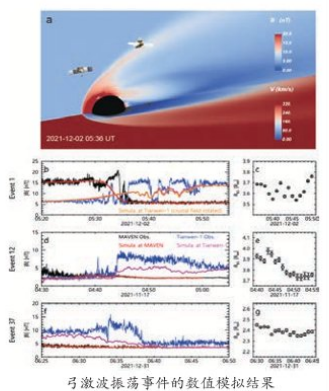
通过对火星岩壳磁场分布特征和太阳风数据的分析，研究团队发现，当太阳风马赫数较低时，火星弓激波强度较弱，即使受到轻微扰动也易引发振荡；而在马赫数较高时，即便扰

动更强，弓激波仍可能保持稳定。该现象通过数值模拟得到进一步验证（右图）。

该研究基于我国“天问一号”的自主探测数据，特别是中国科大负责研制的火星磁强计所提供的观测数据，揭示了火星空间环境对弱太阳风扰动的响应机制。该成果完善了对太阳风与火星空间环境相互作用机制的认识，深化了关于太阳风与非磁化行星相互作用过程的理解。“天问一号”火星磁强计由汪毓明教授领衔的中国科大空间载荷团队研制，2021年11月在环火轨道正式长期开机并持续工作至今，支撑了国内外多个研究团队的相关工作，至今已产出和待产出近30项原创性成果，标志着我国首次实现了火星空间磁场的高精度测量。

汪毓明教授为论文通讯作者，程龙博士为第一作者。

（地球和空间科学学院 深空探测全国重点实验室 科研部）



弓激波振荡事件的数值模拟结果