

5 亿年前化石刷新步带动物共同祖先演化认知

■本报记者 李媛 通讯员 李琛

如果把海星和柱头虫放在一起，很少有人会将它们视为“近亲”：一个长着五条腕，在海底缓慢爬行；一个身体细长，像一条栖息于泥沙中的蠕虫。尽管形态迥异，二者却同属“步带动物”这一演化支系。然而，该支系共同祖先究竟长什么样，长期以来始终缺乏关键化石证据。

近日，西北大学地质学系研究员韩健、博士何凯悦等联合国内外学者，从距今约5.18亿年的云南澄江生物群中发现步带动物新物种——胶膜玉净虫（*Yujingia glutenotunica*）。系统发育分析显示，它是目前已知最接近现生步带动物共同祖先的干群化石之一，为破解海星、海百合、柱头虫和头盘虫等动物的早期演化之谜提供了新的实物证据。9月16日，相关研究成果发表于《当代生物学》。

外形大相径庭的“近亲”

步带动物总门包括棘皮动物门和半索动物门两大类。棘皮动物是人们较为熟悉的一支，包括海星、海胆、海百合等。海星腹面分布着步带区和管足，管足兼具运动、取食和感知功能；海百合虽外形类似植物，实为动物，依靠舒展的腕和羽枝从海水中滤取食物颗粒。

半索动物的外形则截然不同，包括柱头虫和头盘虫等。柱头虫身体细长，分为吻、颈、躯干三部分，多在海底泥沙中穴居；头盘虫形体微小，常附着生活，利用带纤毛的腕摄取水中悬浮食物。

棘皮动物辐射对称，具钙化骨骼和管足；半索动物两侧对称，身体柔软并保留鳃裂。仅凭体外外形，很难想象二者源自同一祖先。

早在1881年，俄国动物学家梅契尼科夫便依据胚胎与幼虫发育的相似性，把棘皮动物和半索动物联系起来，并首次将它们命名为“步带类”。“步带”指棘皮动物腕腹面具有管足和用于运动摄食的步带沟。此后一个多世纪里，该分类观点饱受争议；研究者在半索动物吻部识别出口索结构，一度将其划入



玉净虫海洋生态艺术复原图。
西北大学供图

脊索动物门，视为脊椎动物的原始近亲。直至1998年，分子系统学研究从基因层面佐证了两类生物的近缘关系，步带动物支系才重新获得学界公认。

概念尘埃落定，新的核心科学难题随之浮现：步带动物的演化源头在哪里？它们的最后共同祖先究竟拥有怎样的身体结构？在超百年的古生物研究中，关键化石实物佐证相当匮乏，棘皮动物五辐射对称躯体与半索动物两侧对称蠕虫状身体的起源机制，始终是演化生物学悬而未决的谜题。

从实物层面刷新传统认知

长期以来，主流假说认为步带动物的共同祖先可能类似文昌鱼和柱头虫，是一种没有触手、主要依靠咽部滤食的蠕虫状动物。按照这一设想，棘皮动物和部分半索动物复杂的摄食附肢是在后续演化中逐渐出现的。而此次玉净虫化石的精细解剖与系统发育分析，从实物层面刷新了这一延续多年的传统认知。

“我们共发现4件保存精美的软躯体结构的胶膜玉净虫化石标本，全部产自5.18亿

年前云南昆明寒武纪第三期澄江化石库，标本总长为8.5至22毫米。”论文通讯作者韩健告诉《中国科学报》，化石完整保留圆柱形躯干、U形肠道和附肢，是全球罕见的没有矿化骨骼的早期步带动物。其身体顶部伸出两组形态不同的附肢：6条羽状附肢具有交替排列的羽枝和食物沟，用于收集和输送水中的食物颗粒；下方另有一组光滑的条状附肢，可能用于临时附着和稳定身体姿态，使玉净虫能够以半固着方式生活于海底。

由此推论，步带动物两个门类的共同祖先并非此前推测的无触手蠕虫状动物，实际上部分类群已经具有较为发达的滤食附肢。“胶膜玉净虫的发现一定意义上澄清了步带动物取食方式的起源。”韩健说，“触手摄食和咽部滤食代表了两种不同的取食方式，并在后续不同演化支系中分别得到发展。”

关于化石的命名，论文第一作者何凯悦介绍：“这种远古生物上部触手舒展、下部躯体圆润，外形与中华优秀传统文化中的玉净瓶相契合；所有标本均保存一层包裹内脏团的浅色原生薄膜，质地柔软如胶膜，是该物种最直观的识别特征，因此中文名为胶

膜玉净虫。”

小化石补上演化拼图

为确认胶膜玉净虫在生命演化中的位置，研究团队将100个古今动物类群的505个形态特征纳入系统发育分析。

结果显示，胶膜玉净虫位于步带动物干群中，是连接寒武纪步带动物干群歧须虫类与现代海星、头盘虫等步带动物的关键过渡类群。它保留了柔软、近圆柱形的蠕虫状躯体，同时具有可与现生步带动物摄食附肢相比的羽状附肢，是目前已知最接近现生步带动物冠群共同祖先的干群成员。

研究表明，步带动物的部分祖先类群可能早已演化出具有食物沟的复杂滤食附肢；海星的钙化骨骼、具管足的步带结构，以及柱头虫具口索的吻部结构等，都是在各自支系后续演化中独立形成的特征。

论文作者、中国科学院院士、西北大学地质学系教授舒德干表示：“步带动物的滤食触手与鳃裂可能存在此消彼长的替代关系；二者在功能上有所重叠，演化上可能存在权衡。步带动物中的柱头虫放弃触手、发展出7~700对鳃裂，并演化出吻部及口索以适应钻泥生活；其余步带动物则舍弃发达鳃裂，演化出多功能触手，分化出固着群居的笔石、杆壁虫，以及海星、海百合等独特的辐射对称生物。”

胶膜玉净虫所保存的羽状附肢和食物沟，为探讨触手摄食在步带动物早期演化中的作用提供了过去缺失的化石材料。

“胶膜玉净虫的发现，打通了从原始触手底栖动物到现代棘皮、半索动物的演化链条。这不仅为理解两侧对称动物向五辐射对称棘皮动物的极端身体构型转变提供了新的思路，更为探索整个后口动物亚界的起源和早期分化带来新的线索。”舒德干说。

相关信息：

<https://doi.org/10.1016/j.cub.2026.08.053>

发现·进展

中国科学院大气物理研究所等

我国下一代碳卫星将有能力区分碳汇和碳排放

本报讯（记者高雅丽）中国科学院大气物理研究所联合中国科学院微小卫星创新研究院、生态环境部环境卫星应用中心、英国爱丁堡大学等国内外单位，提出并研制了面向我国下一代碳卫星（TanSat-2）碳监测、核算的新方法、新系统。仿真观测显示，这一方法可成功区分自然碳汇和人为碳排放。近日，相关成果发表于《大气科学进展》。

过去，碳卫星能够看到大气中二氧化碳浓度的“余额”变化，却难以分清变化究竟来自化石燃料燃烧，还是来自植物生长和生态系统交换。TanSat-2的核心目标任务之一就是给碳卫星装上“放大镜”，把碳“账本”拆解得更清楚。论文第一作者、中国科学院大气物理研究所研究员杨东旭表示，这意味着未来碳卫星不再只回答“大气中有多少二氧化碳”，还要进一步回答“谁在排、谁在吸”。

这项研究把两类互补线索放进同一个反演框架：一类是大气二氧化碳浓度，反映地表碳交换在空气中留下的综合信号；另一类是日光诱导叶绿素荧光（SIF），它是植物进行光合作用时发出的微弱“荧光信号”，可以帮助识别陆地生态系统的生产力。两类观测相结合，就能更有效区分自然碳汇与人为化石燃料排放。

研究团队自主研发了碳卫星观测轨道模拟器，综合考虑大气条件、地表特征等多种影响因素，尽可能真实地模拟卫星在太空中的观测过程和观测数据，然后采用观测系统模拟实验。在已知答案的虚拟碳循环世界中模拟TanSat-2观测数据，再检验反演系统能否准确“找回”预设的碳排放和碳汇。结果显示，在理想的低偏差条件下，TanSat-2的协同观测能够显著提升反演能力。净初级生产力误差不确定度在西伯利亚和亚马孙等区域最多降低约95%；化石燃料排放误差不确定度在西伯利亚、北亚、美国 and 南非等区域也可降低80%。

研究开发的误差矩阵工具，也为TanSat-2及未来二氧化碳碳卫星任务设计提供了一个可量化的评估框架。

相关论文信息：

<https://doi.org/10.1007/s00376-026-6150-1>

哈尔滨工业大学(深圳)

提出一种适应性编织折叠结构设计方法

本报讯（记者刁雯萱）哈尔滨工业大学(深圳)教授李兵团队融合变胞原理与编织技术，提出一种适应性编织折叠结构设计方法，实现结构多重折叠性能协同与多尺度耦合变形，构建可编程变形结构单元库，并完成多场景功能应用验证。近日，相关研究成果发表于《科学进展》。

折纸结构凭借独特的几何变形能力，已广泛应用于柔性机器人、机械超材料和智能器件等领域。但传统折纸结构依托单层折纸拓扑设计，其结构的可折叠性、运动自由度与构型可重构能力间存在一定制约，难以同时实现丰富变形模式与高度可重构性。

研究团队从日常编织结构中获得启发，提出编织折叠设计方法。区别于传统折纸依赖单一片层上的折痕网络，该方法通过条带之间的相互穿插与约束关系构建新的空间拓扑，在保留结构灵活变形特性的基础上，极大拓展结构运动模式。

研究表明，这类结构能够同时满足可展性、平面可折叠性和刚性可折叠性，还支持伸缩、弯曲和扭转等多种变形模式，为实现具有高适应性和多功能性的智能结构设计提供了新途径。

这种结构中看似简单的“向左折还是向右折”，实际上能够转化为类似计算机二进制的“0”和“1”。研究团队成功将几何变形与二进制编码联系起来，为实现基于物理结构的信息存储、逻辑处理和机械加密提供了新思路。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1126/sciadv.aef6082>

华东理工大学

解耦“光谱串扰”为肿瘤诊疗提供新途径

本报讯（记者江庆龄）华东理工大学教授徐益升、郭志前团队提出“分子态-聚集态”解耦新策略，在单一组分纳米平台中实现了荧光成像与光热转换光谱信号的精准解耦，有效解决了“光谱串扰”的瓶颈难题，为肿瘤的高效、长效、个性化诊疗提供了新途径。相关研究成果近日发表于《科学进展》。

近红外二区荧光成像具有组织穿透深度大、自发荧光干扰低等优势，在肿瘤精准诊疗中展现出广阔前景。光热治疗也因其实时空控、微创、高效的特点，成为极具潜力的肿瘤治疗手段。然而，将二者完美结合并非易事，如何在单一组分纳米体系中精准调控分子态与聚集态，从根本上解耦荧光与光热的“光谱串扰”，一直是该领域亟待突破的核心科学难题。

研究团队提出了“一种分子、两种状态”的设计思路。具体而言，研究人员让同一近红外二区菁(DQP)染料的部分分子负责发光成像、聚集态负责光热转换，由此从化学本源上消除能量竞争。研究团队引入蛋白质作为聚集位点，将动力学驱动的瞬时纳米沉淀技术(FNP)与温度响应型胶束共聚物共组装相结合，在纳米颗粒内部精确调控DQP染料形成聚集态与分散态。

研究团队在此基础上制备出DQP纳米颗粒，实现了成像与治疗的“一箭双雕”：在808纳米激光激发下，以聚集态实现高效光热转换；在980纳米激光激发下，以分子态发射强近红外二区荧光，避开了传统体系中相互制约的光谱串扰问题。

在原位肝癌模型中，肿瘤部位的近红外二区荧光信号提升13.4倍，肿瘤抑制率提升6.7倍。聚集态强 $\pi-\pi$ 堆积驱动的高效光热转换，还可充当内源性的“热触发开关”，使纳米颗粒在肿瘤处的滞留时间延长6倍，在荷瘤小鼠模型中实现了高效、长效的肿瘤精准诊疗。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1126/sciadv.aeh4271>

朱光亚科普馆在武汉正式开馆

本报讯（记者李思辉 通讯员杨斌、唐瑞婕）9月18日，朱光亚科普馆开馆仪式在湖北武汉举行。该馆位于武汉南京路崇正里12号，为中国工程院首任院长、“两弹一星功勋奖章”获得者朱光亚的旧居。

据了解，朱光亚1927年随家人迁居武汉，在崇正里旧居度过少年时光。2025年12月，朱光亚旧居被列为第九批湖北省文物保护单位。在中国科技发展基金会捐资支持下，武汉江岸区对旧居进行修缮改造，建成朱光亚科普馆，建筑面积约197平方米。馆内设序厅及“原子的构造”“核能的释放”“核武强国”“核技术的和平应用”等5个展区，系统展现朱光亚的科研经历与我国核科技事业的发展历程。

亲临现场的朱光亚亲属代表告诉《中国科学报》，希望科普馆能够在青少年科学普及和爱国主义教育中发挥作用。对此，相关负责人表示，下一步将扎实做好朱光亚科普馆运维管理，不断丰富展陈资源，常态化开展爱国主义教育、科学家精神宣讲和科普实践活动，让“两弹一星”精神薪火相传。



9月17日至20日，由国家自然

科学基金委员会指导，大连市人民政府、鹏城实验室主办，大连理工大学等单位承办的2026年第十届全国水下机器人大赛在辽宁大连举办。

本次赛事设置多个赛道，覆盖基础研发、技术攻关、场景应用、创新创业全链条。来自国内高校、科研院所和相关领域企业的30支水下机器人队伍会师决赛，在真实近海环境下比拼水下机器人的水下感知探测、定位通信和智能作业能力。

图为参赛人员正在操控设备。

本报记者孙丹宁报道
大连理工大学供图

何林：扎根碳一催化，在漫长试错中追逐绿色合成之梦

■本报记者 叶满山

长期以来，剧毒原料依赖、高污染副产物产出、高风险生产工艺，制约着精细化工、医药材料等领域的高质量发展，绿色催化合成技术的突破成为破解这些行业痛点的关键。

中国科学院兰州化学物理研究所研究员何林在无数次试错迭代中探寻绿色合成的最优解法，秉持长期主义坚守科研本心，依托跨界协作攻克技术难关，以扎实的科研成果诠释着新时代科研工作者的责任与担当。

锚定碳一催化研究方向

本科毕业时，成绩优异的何林手握保研资格，却作出了一个不同寻常的选择：放弃保研，投身产业一线。“我很想走进企业看一看，真实的化学产品究竟是怎样被制造出来的。”她说。

在四川绵阳企业工作的两年，何林完整了解了化学技术落地转化为产品的全链条，也认清了自己内心的追求：投身科研和技术发明。工作期满后，何林重返校园，考入复旦大学攻读硕博学位。

博士阶段，何林将研究方向聚焦于碳一化学，重点关注非光气合成难题。光气是工业合成含氮羰基化合物的传统原料，毒性极强，开发替代光气的绿色工艺是行业亟待解决的难题。她围绕一氧化碳参与的反应开展研究，以期绕开光气实现一氧化碳直接插入底物完成合成。尽管当时实验屡屡碰壁，但非光气合成的研究想法深深扎根在她心中。

为继续深耕该方向，尚未博士毕业的何林立志师从国际羰基化领域领军人物、德国莱布尼茨催化研究所教授Matthias

Beller。一次Beller作报告结束后，何林辗转打听到其行程，在酒店外等候，终于争取到面对面交流的机会。短短半小时，她完整阐述自己的研究构想与非光气合成攻关目标，最终成功拿到对方课题组的博士上岗证。

海外博士后工作结束后，何林选择入职中国科学院兰州化学物理研究所。在她看来，这里的科研平台与她长久以来的研究理想高度契合。

跨团队协作啃下绿色合成“硬骨头”

非对称脛是医药、农药、功能材料领域的重要中间体，传统工业生产工艺高度依赖剧毒光气，不仅操作风险大，还会生成大量腐蚀性盐酸副产物。基于此前的技术积累，何林团队向氧化羰基化直接合成非对称脛的难题发起挑战。

攻关之路阻碍重重，其中最大瓶颈在于两种不同胺底物难以有效区分，反应极易生成大量对侧副产物，却很难得到高纯度目标产物。同时，一氧化碳与氧气混合存在爆炸隐患，不少科研团队望而却步。

何林团队尝试了多种研究思路与反应路径，大量设想被实验证伪，研究不断推翻、迭代、重来。项目推进两年多后，与武汉大学教授雷爱文团队的学术合作，成为重要的转折点。

雷爱文团队深耕自由基化学，在铜与胺相互作用方向积累深厚。何林团队则掌握钴与胺插羰的单品实验证据。两组科研人员整合各自的研究积累，碰撞出“同步识别”的创新思路：利用不同金属催化中心分别识别两种胺，在同一反应体系内实现两种胺定向反应，一步合成非对称脛。

新思路提出后，团队迅速开展实验验证。2023年，研究团队向《科学》发出预投稿咨询，不到两小时便收到副主编的回复，鼓励正式投稿。团队成员连夜修改论文完成投递，首轮评审结果却是一接收、一拒稿，最终编辑予以拒稿。不过，审稿人并未否定该工作的创新性，只是要求补充更多广谱实验，进一步验证反应机理与方法普适性。

此后九个月，团队开启高强度补充验证工作。彼时何林正处于孕期，科研、身体、家庭多重压力叠加，但项目关键节点不能中断。团队持续开展实验，整理上千次实验形成的完整证据链，以详尽材料逐条回应审稿人的质疑。编辑看完答复后，安排了新一轮评审。

2024年10月11日，论文正式被接收，而何林的预产期就在10月19日。“漫长的攻坚战尘埃落定，刚好迎接孩子到来。”何林笑着说。

让科研对接国家产业实际需求

回顾科研历程，何林总结出三个关键词：长期主义、协同共进、应用导向。

“长期主义不等于熬年头。”在她看来，长期主义的核心是选准有价值的研究课题，愿意为其投入十年甚至更长时间，坦然接受漫长试错周期，包容过程中的接连失败。做科研切忌盲目追逐各类热点，要学会有所为有所不为，结合平台优势与自身积累找准定位。

何林反复强调，合作研究团队把多年积累融合在一起才构建出完整的科学图景，每一部分都不可或缺。原创性研究往往面临周期漫长、试错成本高的困境，交叉合作、协同共进是突破困境的重要途径。