

## 复原“一大一小”两条鱼——

## 人和现生鱼类的共同祖先长这样

■本报记者 胡珉琦

3月5日，中国科学院古脊椎动物与古人类研究所(以下简称古脊椎所)朱敏院士团队“复原”的志留纪(距今4.43亿~4.19亿年)“水族馆”又多了两个重磅成员——一个是指甲盖大小的史上最早的硬骨鱼重庆始骨鱼，一个是志留纪最大的脊椎动物——长达1米的硬骨鱼钝齿宏颌鱼。

2022年，团队在《自然》同期发表4篇论文，使志留纪早期有颌类得以重现天日。这一次，《自然》又以封面文章形式同期发表了“一大一小”两篇论文，报道了硬骨鱼类起源的最新研究成果。

硬骨鱼类是脊椎动物演化的主干。这个庞大的家族包含两大分支，其中辐鳍鱼类演化出了如今人们所见到的绝大多数鱼类，而肉鳍鱼类中的一支登陆成功，演化出了包括人类在内的所有四足动物。

然而，由于化石证据的缺失，早期硬骨鱼类的演化研究长期处于空白。这项最新成果则首次揭示了人和现生鱼类的共同祖先到底长什么样。

## 复原“刺椒鱼头”

早在2010年，朱敏就在云南曲靖4.23亿年前的地层中发现了一块硕大的硬骨鱼下巴。当时团队便推测，在志留纪晚期，这条体型巨大的硬骨鱼已经成为海洋的顶级掠食者。可由于化石信息太少，研究人员无法准确复原它的样子。

直到2014年，一个三维保存近乎完整的硬骨鱼——钝齿宏颌鱼脑袋才重见天日。古脊椎所研究员卢静形象地将其比作“刺椒鱼头”。尽管化石保存完整，但修理、复原的过程却出人意料地艰难。

“化石很大，当时的常规CT根本无法穿透；改用平板CT，虽然扫描面积扩大，能成像了，但脑腔内部立体结构又无法三维呈现。”卢静解释说。

这是一场与技术的赛跑。团队尝试了无数设备和方法，直到2019年才首次成功扫描出完整内部结构。随后的三维重建更为艰难，由于脑腔壁太薄，团队耗时一年多才将每一个骨片在虚拟世界中精确“拼合”。

在朱敏看来，这项研究本身也是国内古生物成像技术、三维重建和复原技术发展的见证。

钝齿宏颌鱼样貌的完整呈现解开了一个困扰学界半个多世纪的谜团。此前，欧洲科学家在波罗的海志留纪地层的微体化石中，发现了一类零散、形状像“针垫”的奇怪牙齿，但无人知晓它们长在何处、如何“工作”。这条鱼的发现，终于为这些漂泊的“针垫”找到了归宿——它们正是早期硬骨鱼类内齿列的关键部件，揭示了一种前所未有的牙齿生长方式。

卢静介绍，宏颌鱼牙齿排列为内外两列，内齿列的“齿垫”与独特齿座关联，被证实为硬骨鱼类的原始齿列特征。

有趣的是，这条鱼还指向了一个更大的科学问题：地球大气含氧量是何时达到现代水平的？

“过去的主流假说认为，直到约3.9亿年

## 破解脑机电极易脱出难题——

## 他们让新型电极像“窗花”一般在脑中舒展

■本报记者 赵广立

侵入式脑机接口技术，被公认为高带宽人机交互的最佳方案。然而，柔性电极在大脑中易移位、易脱出等问题是该技术长期稳定应用的核心瓶颈。好消息是，中国团队的一项成果有望改变这一局面。

近日，北京脑科学与类脑研究所资深研究员方英团队研制出一款兼具高通量信号采集与生物力学顺应性的可拉伸柔性电极，为侵入式脑机接口技术的长期稳定性提供了解决方案。相关研究成果发表于《自然-电子学》。

## 侵入式脑机接口的共性难题

埃隆·马斯克创办的Neuralink公司是侵入式脑机接口领域的先驱。2024年初，Neuralink完成世界首例1024通道侵入式脑机接口的人体植入，引发轰动。然而，少有人关注到，在轰动的新闻之后，“Neuralink电极脱出事件”给这一“世界首创”蒙上了一层阴影。

据外媒报道，就在Neuralink完成上述侵入式脑机接口人体植入手术的几周后，高达85%的柔性电极丝从该患者的脑组织中脱出，这引发了业界对侵入式脑机接口技术长期稳定性的深度忧虑。据美国媒体报道，“该设备采集的数据量已出现下降”。

Neuralink植入的电极为何会大量脱出？方英告诉《中国科学报》，这其实是侵入式脑机接口的一个共性难题：传统柔性电极的线性结构设计，无法实现有效的力学拉伸形变。

“我们的大脑并非静止不动，它会随着呼吸与心跳节律性地搏动；而在身体运动的过程中，柔软的脑组织会在颅腔内发生位移和形



始骨鱼(小)和宏颌鱼三维复原图。古脊椎所拟石古生物可视化实验室/制

前的中泥盆世，地球含氧量才达到如今的水平。重要依据就是当时的地层中出现了大型鱼类化石，因为鱼类体形变化严重依赖氧气浓度的变化。”朱敏告诉《中国科学报》。

如今，体长1米的钝齿宏颌鱼将“大鱼”出现的时间提前了数千万年，为另一竞争模型提供了关键证据——该模型认为，大气含氧量在志留纪晚期就已达到现代水平。这条沉默的古鱼也成为验证古环境演变、回答“宜居地球”何时出现的一把钥匙。

## 肉眼“看清”3厘米小鱼

2022年，与这条“大鱼”埋藏地点相隔1000多公里的重庆秀山，朱敏团队在4.36亿年前的地层中发现了志留纪更早期的硬骨鱼化石——重庆始骨鱼。

2019年以来，重庆生物群发掘出大量质

皮鱼类和一种软骨鱼类化石。软骨鱼是硬骨鱼类的姊妹群，有软骨鱼的地方一定有硬骨鱼，但朱敏团队经过3年的持续发掘，才找到这件唯一的标本。

这份惊喜背后，同样是难以想象的研究困境。这件化石标本太过微小，3厘米的体形只有指甲盖大小，而且经历地质作用，其内部关键结构的清晰度受到黏土矿物粒度的限制。更棘手的是，化石与围岩密度无法区分。CT扫描、同步辐射、能谱CT、扫描电镜等高精尖技术在这块化石面前，全部失效。

如果说，早期发现的钝齿宏颌鱼是在等待揭秘它的新技术，那么重庆始骨鱼则回归了古生物研究最原始的方法——在显微镜下，依靠肉眼一毫一厘地观察，同时结合全光位成像，尽可能拍摄化石的清晰照片。尽管如此，审稿人却反复质疑“看不清”。

古脊椎所研究员朱幼安表示，这时候，古生物学者只能依靠科学、严谨的逻辑推理捍卫自己的“证据”。这是一个漫长的脑力过程。看到一个模糊结构，先提出一个假设——它可能是什么，然后反复审视、自我批判，在显微镜下和已有知识系统中寻找支持或否定这一假设的每一个细节。如果无法自我说服，那就将猜想搁置，留待未来。“当我们把所有不可能都排除在外，剩下的就无限接近真相。”

朱幼安说，这种小型古鱼兼具了原始与进步的特征：身体呈流线型，只有一个背鳍和尾部棘刺等特征接近早期辐鳍鱼类，但没有硬骨鱼特有的鳞鳍鳍条，且有仅见于软骨鱼和盾皮鱼的臀鳍棘刺。始骨鱼的发现证明，硬骨鱼类核心特征组合形成的时间远比此前认知的更早。

## AI时代，仍需找化石

时隔1000多万年，硬骨鱼的体形从3厘米飙升至1米长，这种巨大的差异显示了志留纪硬骨鱼类已有丰富的多样性。

系统发育分析进一步揭示，重庆始骨鱼

和钝齿宏颌鱼都位于硬骨鱼类演化的根部，代表了辐鳍鱼类与肉鳍鱼类这两大分支“分家”前，它们最近共同祖先的形态。

这些形态诉说着更复杂的故事。微小的重庆始骨鱼的身体更像辐鳍鱼，而庞大的钝齿宏颌鱼却带有一些接近肉鳍鱼的特征。朱敏告诉《中国科学报》，这完美诠释了镶嵌演化的特点。事实上，生命的演进并非一条从原始到进步的直线，而是原始与进步特征交织存在，后代支系各自“继承”了一些不同特征，进而走上独立演化的道路。

“研究这一大一小二两条鱼虽然带来了一些答案，但更多的是问题。”卢静坦言，研究呈现的这些新的形态特征，为未来更完整地定义什么是辐鳍鱼和肉鳍鱼，以及一些关键特征究竟是如何演化得到的，带来了更多的阐释空间。“这也是为何每当我们发现一块关键化石，在看似更接近核心答案的同时，也能更清晰地感受到演化本身的复杂性。”

古生物研究的链条很长：从野外地质调查、化石发掘、精细修理，到实验室内的成像复原、特征比对、系统分析……多数环节都极度依赖人力、经验与时间。近来，朱敏一直在思考如何将人工智能(AI)技术应用于这门古老的学科。

“化石还是太少了。”朱敏感慨，这也意味着，对AI而言，古生物基础数据仍然有限。

“化石是靠一脚一脚在野外踩出来、一锤子一锤子敲出来的。”他说，AI可以协助分析数据，但很难替代人类与自然的直接对话，也无法替代发现关键化石的那种直觉与喜悦。

“或许，技术的终极价值在于将人类从重复性劳动中解放出来，让我们有更多时间回归自然，去发现、发问。希望有更多人愿意俯身岩层间，寻找更多生命演化遗失的拼图。”

相关论文信息：

<https://doi.org/10.1038/s41586-025-10008-y>

<https://doi.org/10.1038/s41586-026-10125-2>



3月3日是第27个全国爱耳日。当天，中南大学湘雅二医院耳鼻喉科推出专为听障群体量身打造的爱耳日公益活动。

不同于常规普惠性义诊，本次活动全流程围绕听障群体的就医痛点定制，全方位适配他们的就诊需求。科室专门组建了由学科骨干组成的专业手语医护团队，所有成员均系统开展半年手语学习，掌握接诊问诊、检查告知、手术沟通及术后护理等专科手语，可实现从日常交流到专业诊疗的精准表达。

图为医疗人员与听障患者进行手语交流。

本报记者王昊昊摄影报道

## 发现·进展

厦门大学等

## 揭示中国海盐度时空分布特征

本报讯(记者廖洋 通讯员张建鑫)厦门大学戴民汉院士、王桂芝教授联合国内外团队，集成重建了中国海2000年至2020年海表盐度数据，在揭示边缘海盐度时空分布特征及其生态效应方面取得重要进展。近日，相关成果发表于《自然-气候变化》。

海表盐度是表征海洋环流、淡水收支与海洋生态系统的重要物理变量，在边缘海，盐度对气候变化的响应尤为敏感。中国海受季风降水、长江和珠江等大河输入、黑潮入侵等多重过程共同调控，其盐度变化具有显著的时空复杂性。厄尔尼诺-南方涛动是全球最重要的年际气候振荡之一，可通过调节降水分布、海洋环流和物质运输，影响区域海洋环境。

研究基于2000年至2020年的0.05度×0.05度高分辨率中国海海表盐度重建数据，识别出3种主导盐度变化的本征模态，分别对应蒸发与降水量的差值、河流径流量和黑潮入侵强度。这3种模态均与厄尔尼诺-南方涛动指数显著相关，表明厄尔尼诺-南方涛动是驱动中国海盐度年际变化的核心气候因子。厄尔尼诺事件期间，中国海盐度盐度升高、沿岸及河口区盐度降低，导致盐度空间不均性显著增强。

研究表明，受盐度变化影响，关键经济鱼类的栖息地整体呈现向南迁移趋势，最大迁移幅度可达2.5个纬度。在未来厄尔尼诺-南方涛动可能增强的气候变化背景下，中国海盐度不均一性及其相关生态效应可能进一步加剧。研究提出了“厄尔尼诺-南方涛动-盐度-渔业”的正反馈框架，强调应将盐度动态变化纳入面向气候变化的适应性渔业管理体系。

相关论文信息：

<https://doi.org/10.1038/s41558-026-02559-3>

中国科学院成都生物研究所

## 提出野生动物粪便标本标准化制备方法

本报讯(记者杨晨)中国科学院成都生物研究所研究员戴强团队提出了一套多步骤的野生动物粪便干制标本制备方法。该方法以分步浸润和低温干燥为核心，通过固定、防腐、防虫和结构增强等处理，使样本在约7天内完成制备。近日，相关成果发表于《生态学及进化》。

野生动物粪便是生态学和保护生物学中常用的非侵入式样本。然而，在实际应用中，粪便样本的利用仍以短期、一次性分析为主。现有保存方法如冷冻、酒精浸泡或硅胶干燥等，主要针对DNA提取需求，较少兼顾粪便外部形态和化学组成的长期稳定保存。此外，野外调查中粪便形态识别高度依赖经验判断，缺乏经过遗传信息验证、可长期保存的实物参照；同时，样本难以长期留存和重复检测，使跨年度、跨项目甚至回溯性的比较分析缺乏稳定的物质基础。

研究验证显示，经该方法处理的粪便标本在最长18个月保存期内结构完整，DNA提取和物种鉴定结果与保存前一致，化学成分如重金属亦可稳定检测。这一方法不仅保持了粪便样本整体稳定性，也保证了后续遗传和化学分析的可行性。在此基础上，研究人员提出基于标准化干制标本方法系统建设野生动物粪便标本库，实现样本长期保存、信息完整记录及可重复利用。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1002/ecc3.72931>

南方科技大学

## 穿戴式半人马机器人让负重行走更高效

本报讯(记者刁雯蕙)南方科技大学教授付成龙团队研制出一款穿戴式半人马负重助行机器人，通过独特的弹性耦合机构与人机协同控制策略，兼具高负载能力与高运动灵活性，实现了助力与平衡的动态解耦。该机器人可使人体行走代谢成本降低35%，为负重助行提供了全新的高效解决方案。近日，相关研究成果发表于《国际机器人研究杂志》。

负重行走是军事活动、应急救援、日常生活中的常见场景，高强度负重行走不仅会导致人体代谢急剧上升、作业效率下降，还易带来肌肉骨骼损伤等健康风险。现有的以外骨骼为主的穿戴式机器人，其助力方向与人体行走方向夹角大、助力效率低，与背包负重的方式相比，人体新陈代谢率仅能降低约10%。

研究团队提出一种全新的人机协作模式——机器人不与人腿刚性并联，而是作为独立的肢体，借助穿戴式弹性耦合接口与人背部连接。此构型构建了“人类智能领航+机器人力量负重”的人机混合四足系统，既保留了人类在复杂环境下的导航决策能力，又发挥了机器人分担重量并高效提供行进方向推力的作用。

他们还设计了基于菱形连杆与抗拉弹簧的“弹性耦合机构”，使机器人能够像独立个体一样稳定控制，同时通过接口精准输出助力。结合“行走-交互协同控制框架”，穿戴式半人马机器人能够实时感知人体运动意图，在无需人工指令的情况下实现高精度全向跟随运动，并在维持自身平衡的同时，为人体提供稳定的水平行进推力。

相关论文信息：

<https://doi.org/10.1177/02783649261418155>



半人马机器人在真实环境下行走。研究团队供图