

『科』·科幻里的科学

我们如何探寻地外生命

科幻影视作品里时常有地外生命的身影。地外生命是一个宏大的命题，关于生命起源与演化。探寻地外生命，既是世界重大科学前沿问题，从某种意义上说，也是“我们是谁”“我们从哪里来”“我们要到哪里去”的科学表达。

在科幻作品与科学著作中，碳基生命与硅基生命的概念频频出现。简单来说，碳基生命指以碳元素为基础的生命形式，属于我们已知的生命，如地球上的所有生物；硅基生命指以硅元素为基础的理论生命形式，是我们未知的生命。这两个概念并非对立，而是科学家拓展生命定义维度的尝试。

人类航天器已经造访过行星、矮行星、月球、彗星等太阳系里主要的天体，尚未发现地外文明的踪迹。其实，在太阳系外探寻地外生命，目的是发现存在或曾经存在的碳基生命迹象，而非科幻作品中拥有高科技的“地外文明”。

我们不妨从对外星人的想象，回到太阳系的现实探寻，看看“更接地气”的探寻路径。

上世纪70年代，美国学生火星着陆器“海盗一号”和“海盗二号”率先开始寻找地外生命迹象。目前，科学家仍在分析美国“毅力号”火星车、中国“祝融号”火星车传回的探测数据。未来，随着火星、金星采样返回任务的实施，我们有望更好地判断这些地球的“姊妹行星”是否孕育或存在过独立的生命。

此外，科学家还将目光投向了更遥远的冰封世界，比如木卫二、土卫六等卫星。深空科学探测已强烈暗示，这些冰卫星的坚硬冰壳之下，可能隐藏着比地球海洋还要辽阔的全球化液态水海洋，具备生命存在的三大要素：液态水、能量（潮汐加热）和碳、氢、氧等关键元素。

20世纪70年代以来，科学家在地球大洋深渊极端环境中，发现了围绕深海热液喷口繁荣生长的完整生态系统，它们不依赖光合作用，而是以化能合成为基础，形成独特的“化能生命走廊”。这一发现彻底改变了人类对生命生存极限的认知，也为地外生命探寻指明了新方向。

为了探索这些神秘的“外星海洋”，欧洲空间局2023年发射“果汁号”探测器，它将探测木卫三的冰下海洋；美国“欧罗巴快船”正在前往木卫二的途中。它将飞掠冰壳上方，用雷达“透视”冰下海洋。此外，向这些冰卫星的地下海洋派遣自主水下航行器的空间科学任务概念也开始了论证。

我国正加速向航天强国迈进，探寻地外生命亦提上日程。2024年10月发布的《国家空间科学中长期发展规划（2024—2050年）》，明确将地外生命探索列为“宜居行星”科学主题下的优先方向，未来有望探测木星、土星等巨行星及其冰卫星，重点关注木卫二、土卫二和海卫一等“海洋星球”的宜居性与生命信号。

随着科技飞速发展，或许在不远的将来，地外生命探寻就会取得重大突破。无论是发现地外生命遍布宇宙，抑或是证实生命在宇宙中极为罕见，每一种结果都具有颠覆性意义。这将堪比人类认识到地球并非宇宙中心，而是浩瀚宇宙中一颗普通行星的那一刻——再一次重塑我们对宇宙和自身的认知框架。

在地外生命探寻这一激动人心的科学征程上，期待中国航天未来能作出新的贡献。太空探索永无止境，我们一直在星辰大海中寻觅生命真谛。

（作者为中国科学院院士、中国科学院国家空间科学中心主任，本文改编自《外星海洋——开启地外生命探寻之旅》译后记）

我科学家领衔发布亚洲首个合成细胞技术路线图

本报深圳电（记者姜晓丹）由中国科学院深圳先进研究院刘陈立研究员领衔，来自中国、日本、韩国、新加坡、马来西亚、泰国等六国的科学家近日联合在国际学术期刊《自然·生物技术》上发表文章，发布亚洲首个合成细胞10年技术路线图。

文章聚焦“人工合成单细胞生命”这一科学前沿问题，规划了亚洲未来10年攻关合成细胞的发展方向，系统梳理了构建合成细胞面临的四大核心挑战，并提出分阶段目标。该技术路线图将推动合成细胞研究从模块化探索迈向系统化整合，促进定量合成生物学、人工智能与生物制造等领域的深度融合，为合成生物学与未来生物技术的发展开辟全新路径。

该技术路线图提出了一种以跨境协作、基础设施共享与开放标准为特征的新型研究范式，构建起以人工智能驱动的生物铸造厂为核心、采用“中央工厂+分布式工作站”跨国协作模式的研究架构。技术路线图进一步提出跨度为10年的“原始细胞到自主细胞”两阶段推进路径。

面向超大规模药物发现的人工智能虚拟筛选平台发布

本报天津电（记者新博）由国家超级计算天津中心和清华大学智能产业研究院领衔的人工智能生物医药团队，近日发布面向超大规模药物发现的人工智能虚拟筛选平台GalaxyVS。该平台依托新一代天河超级计算系统，面向近十亿级分子库，构建了覆盖分子表征、向量检索、多样性控制、亲和力和重排序和大规模任务调度的端到端技术体系，为创新药物研发提供了高效率、高精度、可扩展的新型基础平台。

该平台围绕近十亿级分子库，重构了一套“人工智能模型+超级计算+高性能检索+药物化学约束”的全流程平台。测试中，系统单次检索十亿分子库几十秒内即可完成，平均单个靶点口袋检索用时不到1秒，展现出强大的系统吞吐力和工程稳定性。该平台可有效破解传统药物研发中“活性分子稀少、可筛空间不足、候选分子同质化”的难题，为肿瘤、神经退行性疾病、新发传染病、罕见病和精准医学等领域提供更广阔的先导分子来源，大幅提升突发公共卫生事件中的药物研发响应速度，为我国生物医药产业高质量发展、原创药物发现提供支撑。

本版责编：肖 遥 陈圆圆 陈世涵 版式设计：沈亦伶

千百年来，人类一直在追问“我们从哪里来”。在物种演化的历史长河中，有诸多意想不到的奥秘藏在化石之中。我国科学家通过对约5.18亿年前昆明鱼类化石的研究，发现早期脊椎动物竟拥有4只具备成像功能的“相机型眼”，为理解视觉系统的演化及脊椎动物的起源提供了全新视角。

本期“院士讲科普”，我们邀请中国科学院院士徐星，讲述早期脊椎动物视觉系统的独特之处，感受生命演化的智慧。

院士讲科普

脊椎动物的祖先竟有四只『眼睛』

脊椎动物主要包括鱼类、两栖类、爬行类、鸟类和哺乳类。对于现生脊椎动物来说，它们的视觉主要依靠结构精细的一对“相机型眼”完成，这是辨识外界环境、协调行为、顺利开展觅食、繁衍等生命活动最重要的感知系统之一。自达尔文时代以来，脊椎动物眼睛的起源和演化就一直吸引着科学家的关注。

我国科学家以翔实的形态学与化石分子信号证据揭示：距今约5.18亿年的昆明鱼类，其松果体复合体（松果体和副松果体的统称）是额外的两只具备完整成像功能的“相机型眼”。该研究成果历时12年，于今年在国际学术期刊《自然》上在线发表。这为理解脊椎动物视觉系统的演化，以及寒武纪大爆发时期动物门类之间激烈的“军备竞赛”提供了新的视角。

脊椎动物的松果体复合体，可能源于“第三只眼”

现生脊椎动物的视觉，主要来源于头部两侧一对精密的“相机型眼”，由球形晶状体、视网膜、虹膜和一组眼外肌组成。所谓“相机型眼”，是指晶状体将光线聚焦到半球形视网膜上，产生视觉信号，并通过视神经传递至大脑，其成像原理与相机相同。

在人类等哺乳动物的大脑中，有一个内分泌器官叫作“松果体”，主要承担合成并分泌褪黑素、调整昼夜节律等功能。但是，在鱼类、两栖类、爬行类等非哺乳类脊椎动物中，松果体和副松果体也具有简单的感光功能，一些蜥蜴还拥有松果体复合体演化而来的顶眼。因此，科学界存在脊椎动物的“第三只眼”假说，即松果体复合体的“祖先”可能是具有视觉功能的眼睛。现有的胚胎学证据也表明，脊椎动物的侧眼与松果体复合体均发育自相同的胚胎组织间脑，预示二者可能具有相同起源。

但近百年来，眼睛与松果体复合体之间的转化过程一直缺少关键证据，成为演化生物学领域悬而未决的重要科学问题。此外，脊椎动物在演化初期究竟用怎样的“眼睛”观察世界，也是探索寒武纪大爆发时期脊椎动物行为学与生态适应的关键盲点。

为寻求答案，我们团队联合云南大学古生物研究院研究员丛培允团队，对澄江生物群中发现的目前已知最早的脊椎动物——距今约5.18亿年的昆明鱼类新标本展开了多技术手段分析。

约5.18亿年前的昆明鱼类，长着“相机型眼”

观察昆明鱼类化石标本，可以发现其侧眼中间存在一对较小的黑色圆形结构。但如何确定侧眼及这对圆形结构是“相机型眼”？我们找到了两部分关键证据。

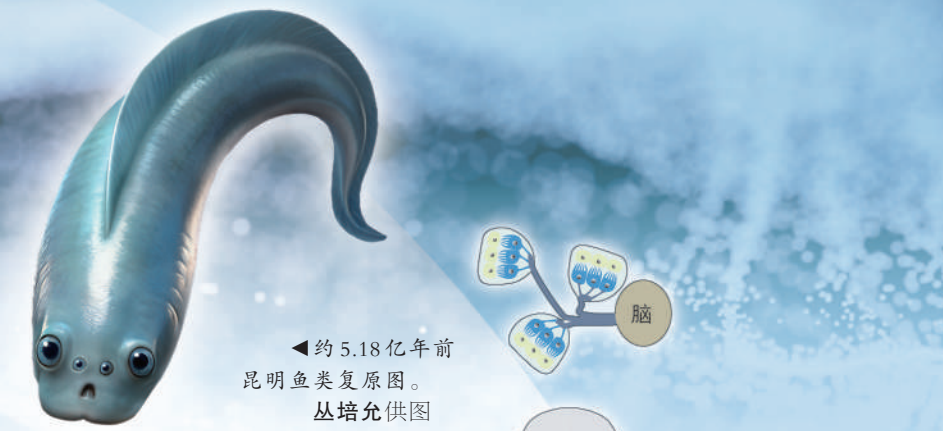
首先，团队通过能量色散X射线能谱、X射线光电子能谱和拉曼光谱等分析化石标本，确认昆明鱼类的这对黑色圆形结构以有机碳膜的形式保存。利用扫描电子显微镜等设备，将碳质区域放大10万倍，发现这些碳膜主要由大小为200纳米—1200纳米的椭圆形至长柱形微球体组成。

对比发现，这些微球体的形态、大小，与现生脊椎动物视网膜中的黑色素体特征完全一致。现生脊椎动物眼球的各层膜中，同时存在卵形和圆柱形两种黑色素体，正是脊椎动物典型视网膜色素上皮中黑色素体的组合特征。研究还用双束电镜与透射电镜联用技术对微球体的超显微结构进行成像，发现这些微球体与黑色素体具有类似的层状结构。



▲昆明鱼类标本照。 雷向通摄

具有类似的层状结构。从形态学的角度，我们找到了昆明鱼类侧眼可能存在视网膜的证据。但那些黑色素体，有



▲约5.18亿年前昆明鱼类复原图。丛培允供图

没有可能仅是细菌污染或其他有机质团块？为了证实这些微球体与“眼睛”有关，团队使用高灵敏度的飞行时间二次离子质谱仪对有机碳膜的成分进行了分析，结果显示昆明鱼类化石中微球体样品的分子指纹与现生蛙类眼睛中的黑色素信号非常类似，且昆明鱼类的化石样品与其他潜在污染源样品不重合。这从化石化学分子信号层面证实，昆明鱼类侧眼和中间体中的微球体为视网膜中富含黑色素的黑色素体。

另一个确认“相机型眼”的证据，是晶状体的发现。在昆明鱼类化石的侧眼及其中间的黑色圆形结构中，存在规则的、边缘清晰的圆形结构，该结构或保存为浮雕印痕，或表现为碳质差异富集区域。利用低角度光成像、扫描电镜、荧光显微镜等技术，研究者确认这一结构的形状、大小和相对位置，都与现生其他脊椎动物眼睛化石中保存的晶状体一致。

基于以上证据，我们判断，昆明鱼类侧眼之间的黑色结构为松果体眼，保存了富含黑色素的视网膜和晶状体，可能是具有成像功能的“相机型眼”。

研究脊椎动物的起源，让生命演化的拼图更完整

科学研究，总能发现“意外的惊喜”。在探索化石中如何保存神经组织的过程中，我们发现，脊椎动物的始祖原来有4只“眼睛”。这么多“眼睛”，有啥用？

想揭开这个谜底，我们需要关注寒武纪大爆发时期的地质背景。这一时代的重要特征是快速的环境变化和大量形态创新。其中，捕食关系的出现是推动动物感官系统演化的重要生态驱动力。

要知道，跟昆明鱼类同时代生活的大型捕食者，有体型超过1米的奇虾等动物，而昆明鱼类的长度通常只有2至3厘米，无论体型还是防御都处于劣势。4只“相机型眼”构成的复杂视觉系统，更利于应对生存压力。

而在后续演化中，尤其在向有颌类脊椎动物演化的过程中，早期脊椎动物松果体复合体的视觉功能逐渐退化，转变为调节昼夜节律的神经内分泌系统，即现代脊椎动物中的松果体。

这项研究对理解脊椎动物的起源具有重要意义。在5亿多年前，早期脊椎动物很可能已经存在现生脊椎动物类似的视觉生理结构。这也预示着，脊椎动物在澄江生物群出现之前，已经经历了复杂的演化过程，但目前这段演化历程仍处在未知状态。人类要回答“我们从哪里来”的问题，还需要开展更深入的研究。

我国脊椎动物化石资源非常丰富，从1929年北京周口店北京人头盖骨化石的发现，到近年来带羽毛恐龙化石的发现，经过几代人的坚持，我国学者为复原生命演化历史提供了大量重要数据，古生物学研究取得一个又一个重大突破。

随着技术的进步，CT、同步辐射等先进的成像手段，为获取更多化石内部信息提供了便利。未来，我们将通过学科交叉融合研究，努力把生命演化的拼图拼得更完整。

（作者为中国科学院院士、中国科学院古脊椎动物与古人类研究所所长、云南大学古生物研究院学术院长，本报记者张弛采访整理）

数智技术帮假体“长”进骨头里

本报记者 李君强

探一线

“这次手术没有想象的那么疼，恢复得也快。”不久前，患者马爱华接受了左膝关节全膝置换手术。医生在术前为她量身定制了3D打印的假体，手术借助导航与机器人辅助完成，术后还有数字化系统持续跟踪康复进程。

从依赖经验的“手工活”，到精准智能的数智科技，这一变化正在骨科诊疗领域加速显现。

3D打印假体的应用，给患者带来的变化最为明显。传统植入假体孔隙率低，与患者自体骨结合不稳固，而3D打印假体能模拟实现高密度多孔结构，相比传统假体，能更好地与原本骨头嵌合到一起。

“在我们医院，不少患者已经用上了3D打印的定制化假体，它能更好适应患者的骨头，有利于患者快速康复，降低了二次手术和感染的风险。”河南省洛阳正

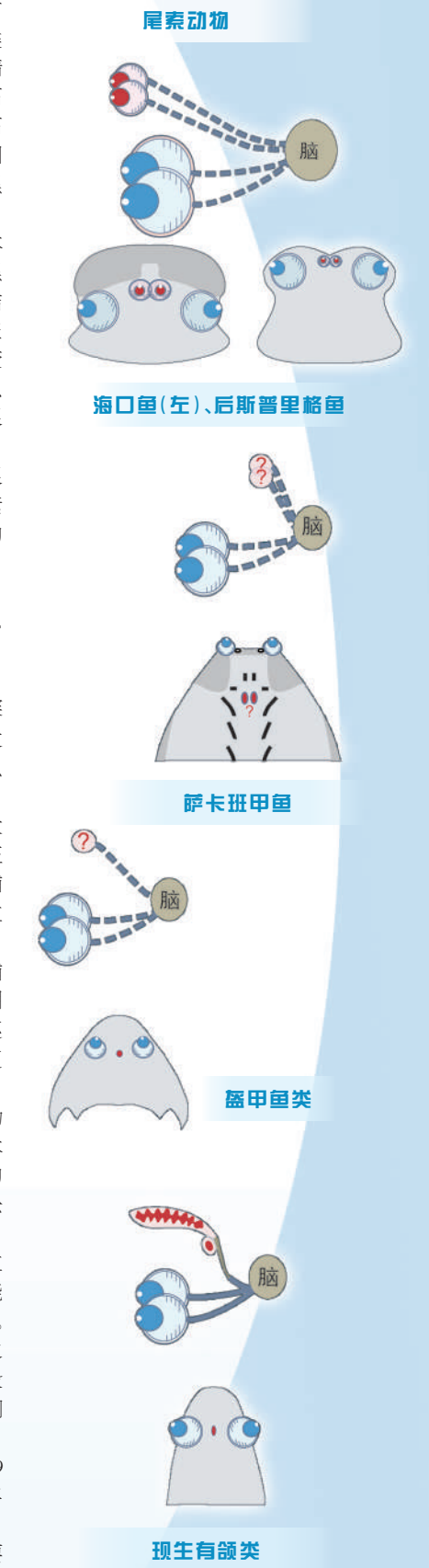
骨医院院长吴晓龙介绍，医院有大量手术运用数智骨科技术完成，“基础材料的突破与国产化替代进程加快，降低了3D打印假体的成本，使其能在临床上迅速推广。”

不仅与身体更贴合，3D打印假体正在变得越来越“聪明”，能随着身体变化进行调整，像是真正“长”进了骨头里。

过去，儿童患者植入人工假体后，只能通过定期手术让假体适应身体成长。针对这一难题，北京爱康宜诚医疗器械有限公司研发了磁控技术，通过体外磁场控制体内假体延长，将假体调整到与身体相适应。“要保证植入假体在极大的空间内实现内部零件的调整，还要保证植入假体的生物安全性。”爱康医疗研发中心总监李健介绍，“我们找了诸多惰性金属进行研究，并且将外部磁场对内部假体零件的精准控制进行反复验证。”

数智诊疗技术不只让患者受益。上海市第六人民医院党委副书记、院长马昕介绍，过去，医生必须在X线机下操作人工踝关节假体手术，医生和患者必须长时间暴露在射线线下。现在，运用三维成像技术的术前规划导板可提供毫米级的精准固定，手术速度明显加快，减少了七八成的射线伤害。“在机器人的辅助下，骨科手术的成功率和精准度大大提高，年轻医生也能更快学习成长。”马昕说。

以临床需求为导向，以医工结合为路径，人工智能技术的发展正不断拓展手术场景，把数智诊疗技术推向骨科临床前沿。“未来，越来越多人工智能技术将被运用到手术室里，帮助医生完成繁杂的重复性工作，让医生有更多精力投入临床创新。”马昕说，“我们正加强医工结合与院企合作，让医生的想法与工程师的办法快速结合，在临床上落地，造福更多患者。”



▲松果体眼在鱼形脊椎动物中的演化示意图。 张思航供图

西北大学从考古实物上检出乌头碱 证实明代外科麻醉已能『标准化』

本报西安电（记者张丹华）西北大学医学考古学团队近日在国际考古学期刊《古物》上发表有关明代中国外科麻醉的文章，指出通过对江苏江阴明代夏鼐墓出土的两件金属医疗器械（剪刀、镊子）的材质和表面的红色残留物进行综合分析，确认残留物中的化学信号与乌头碱匹配。这为古代中医麻醉技术提供了来自考古实物的物质证据，填补了从文献记载到实际操作之间的证据空白。

“手术麻醉的历史是医学考古学的关键议题之一。”西北大学教授赵从苍介绍，我国明代文献中屡见“草乌散”，其核心成分常见剧毒乌头属植物。通过考古残留物分析，首次科学证实明代医者将含乌头碱的植物用作手术麻醉剂，与古籍记载吻合。

研究发现，乌头碱残留物仅存在于器具功能部位（剪刀刃部、镊子内侧靠近手柄部位），表明当时可能已采用局部外用的方式，通过复方配伍和精准操作来控制毒性，在镇痛与安全间取得平衡。团队整理出19种古代麻醉复方后发现，明代外科麻醉已形成内服与外敷两套成熟体系，用量把控极为严格，体现“标准化方案”。内服麻醉药以散剂酒送服，外敷麻醉剂以生乌头为主，限定涂抹范围与敷药时长。明代外科手术以外用局部麻醉为主，可安全实现局部镇痛。