

视觉中国供图

# 海洋哺乳动物“重返摇篮” 还需经过“七十二变”

◎本报记者 王祝华

海洋是生命的摇篮。根据生物进化史，哺乳动物的出现经过了从地球生命起源到远古鱼类诞生，继而部分鱼类从海洋走向陆地，开始出现两栖乃至真正脱离水环境的羊膜动物，之后羊膜动物的一部分继续演化，哺乳动物诞生的漫长历程。其中从鱼类走上陆地到第一个哺乳动物的出现花了大约3亿年。

哺乳动物中有一类被称为“海兽”的特殊群

体——海洋哺乳动物。在上岸后，其不同支系又分别独立地由陆地重返海洋，依赖海洋资源生存或完全生活在海洋中，还有少数生活在淡水中。

好不容易从水里爬上陆地的这些哺乳动物为何要“二次入水”？其由陆地重返水中要如何演化适应？日前，中国科学院深海科学与工程研究所海洋哺乳动物研究团队联合西北工业大学、青岛华大基因研究院等科研机构在《美国科学院院刊》发文，揭示了海洋哺乳动物适应海洋环境及其趋同演化的重要遗传机制。

## 物种演化受气候和环境驱动

海洋哺乳动物是指适应水生环境的哺乳动物，现存物种129个。它们是海洋中胎生哺乳、肺呼吸、恒体温、流线型且前肢特化为鳍状的脊椎动物，包括鲸类、鳍足类、海牛类以及北极熊和海獭，还有小部分生活在淡水中，如栖息在我国长江中下游的白鲟豚。

海洋哺乳动物具有一些共同的、适应水生环境的特征，如身体呈流线型、四肢变鳍或退化、听觉发达、嗅觉和味觉退化、体脂增厚、低氧耐受、压力耐受和渗透压调节能力增强等。

根据达尔文的进化论，只有适者才能生存。地球上物种的演化过程是动物对环境适应性演化的具体体现，主要受气候及环境变化的驱动。

“海洋哺乳动物的演化史就是典型的适者生存案例。”该论文通讯作者对科技日报记者说。

关于海洋哺乳动物不同支系的神奇进化史，可以从白垩纪说起。

6500万年前的白垩纪末期，地球上发生了第5次生物大灭绝事件，大约75%—80%的物种灭绝了。一部分科研人员认为，是小行星对地

球的撞击改变了当时的地球环境，导致大量大型陆生动物，尤其是恐龙的灭绝。长鼻目的祖先为了躲避恶劣的陆地环境，一部分于6400万年前进入海洋，成为水陆两栖的哺乳动物，进而形成了现今的海牛。

鲸类则起源于约5550万年前的古新世—始新世极热事件。根据伯格曼法则，当时是地球板块运动的活跃时期，地壳中大量的碳释放到空气中导致大气温度快速升高，驱使地球上的哺乳动物往小体型方向演化，并四处扩散寻找新的栖息地。研究发现，鲸类的祖先体长大约仅0.5米，它们为了躲避高温，开始了由陆地到海洋的演化历程。

始新世的中后期是地球温度持续降低的一个时间段，全球气温持续下降的趋势在渐新世被打断。渐新世初期气温在40万年内急剧下降了8.2℃，齿鲸和须鲸就在这个气温骤降期分化了。之后，地球进入了一段从3250万年前至2550万年前长达700万年的气温平稳震荡期。鳍足类动物的祖先就起源于这一平稳震荡期。同时，这一时期也是大型肉食动物

和哺乳动物多样性演化的一个时期。研究发现，北极熊和海獭的演化历程较短，仅在大致50万至100万年前开始分化，是最年轻的海洋

## 双重调控实现体温恒定

科研团队的此次研究通过全基因组测序方式进行。为了最大限度地寻找海洋哺乳动物每一类群所包含的生物共同点，他们从动物自然分类法的科级出发，对17个海洋哺乳动物物种进行了全基因组测序及组装，重建了基于全基因组数据有史以来的最全面的海洋哺乳动物系统发生树。

不仅如此，为分析海洋哺乳动物从陆地重返海洋的分子适应机制，科研团队将海洋哺乳动物全基因组与其陆生一近缘物种的全基因组进行了大量比较，并进一步从基因组演化、基因演化、非编码保守元件等多方面对海洋哺乳动物的鲸类、鳍足类、海牛类这3个主要支系，从陆地重返海洋的分子适应机制进行了全面分析和探究。

“我们发现，尽管不同支系的海洋哺乳动物具有完全不同的祖先和不同的演化历程，但是这些动物在体温维持、体型、低氧耐受、回声定位、深潜及视力等相关的基因上都发生了一致性改变，呈现趋同演化的适应性演化机制。”该论文通讯作者说。

## 多个基因发生适应性进化

据进一步介绍，为了适应水生环境，海洋哺乳动物的骨骼形态也发生了不同程度的改变，比如前肢变成鳍状肢，身体呈流线型或者纺锤形。研究发现，与骨骼发育密切相关的蛋白聚糖的生物合成途径中，两个关键基因在海洋哺乳动物体内发生了特异性改变，这极有可能会影响到海洋哺乳动物骨骼形态的变化。

除此之外，研究还发现了与低氧耐受、回声定位、深潜及视力相关基因在海洋哺乳动物中发生了分子层面的适应性进化。

科研团队此次研究成果，建立了全面的海洋哺乳动物基因组数据库，并为海洋哺乳动物的水生适应相关性状及不同海洋哺乳动物支系间趋同演化提供了更多的遗传学证据，为科研人员后续

哺乳动物。它们虽然保留了许多陆生哺乳动物的特征，但是主要依赖海洋生存，因此也被归为海洋哺乳动物。

海水的高导热性导致动物身体热量更容易向水中散失，这是哺乳动物由陆地重返海洋面临的主要挑战之一。而海洋哺乳动物从陆地返回海洋，却在陆地上一样，依然保持令人吃惊的体温控制能力。它们是如何做到的呢？

关于这个问题，科研团队从分子层面找到了更明确的解释。“不同海洋哺乳动物支系都存在从产热和散热两个方面的改变进行体温调节的情况。”该论文通讯作者说，“既通过NFIA和UCPI两组基因来调控棕色脂肪细胞的合成和利用，从而控制产热的变化，又通过SMEA3E基因的改变，使得海洋哺乳动物的血管系统发生适应性改变以调节热量的散失。双重调控最终实现维持体温恒定。”

事实上，研究人员在海洋哺乳动物的基因组中发现的是这些基因编码指令的潜在用途，即NFIA基因上调或下调影响间质前体的细胞命运，UCPI基因的完整性影响棕色脂肪细胞正常功能，而海洋哺乳动物发达的血管系统有助于热传递以维持体温恒定。

更深入地开展海洋哺乳动物水生环境适应机制等研究提供了良好的数据支持。同时，此研究对揭示全球生物多样性的形成及维持机制，以及探讨环境适应性和物种演化的关系具有重要的意义。

然而，科研人员认为，虽然在基因层面找到了一些证据，但要进一步揭示海洋哺乳动物对水生环境的分子适应机制，还需获得更多物种高质量的全基因组数据，以及单细胞转录组数据、蛋白组和代谢组数据，开展大量更细致的比较分析及实验验证。

“此外，目前对于海洋哺乳动物高智商、高社会化以及长寿等特性的分子机制仍然知之甚少，进一步的研究有望在这些方面取得突破。”该论文通讯作者说。

一样，有一定的旋转，一些骨头之间连接的消失使颌部相对于头骨的活动性大于其它反鸟，和进步鸟类接近。

但同时，君昌豫鸟也不可能是现代鸟类的“祖先”。君昌豫鸟和现代鸟类分享的相似特征是趋同进化的结果，也就是说，这些相似的特征是在不同的进化体系里独立形成的。这一发现表明，原始鸟类的一些种类如反鸟，和现代鸟类沿着同一方向进化。



君昌豫鸟科学  
形象复原图  
受访者供图

# 与恐龙一起灭绝 这种“天生反骨”的古老鸟类长啥样

◎本报记者 乔地

几年前，一种在6600万年前与恐龙一起灭绝的原始鸟类——反鸟，在河南被发掘出一件保存完好的骨骼化石。这件反鸟骨骼化石，距今7000万年。

为纪念反鸟骨骼化石发现者之一、对河南古生物研究作出杰出贡献的中国地质科学院地质研究所研究员吕君昌，这一化石被命名为君昌豫鸟。

10月9日，在吕君昌逝世3周年纪念日，君昌豫鸟在河南自然博物馆正式对外展出。而在此前不久，河南自然博物馆和法国巴黎文理研究大学、美国菲尔德自然史博物馆合作的论文《河南上白垩统秋扒组一种保存完好的新种反鸟，以及反鸟与现代鸟类的趋同演化》，在国际知名地质学期刊《地质学杂志》(Geological Magazine)上发表。

## 君昌豫鸟化石代表新的 演化支系

这件君昌豫鸟骨骼化石发现地点在河南省

栾川县秋扒乡一带，时代属于晚白垩世。该地点还曾发现多种古脊椎动物，包括恐龙、蜥蜴、龟鳖类、哺乳动物等。

君昌豫鸟是迄今河南发现的中生代唯一的、最古老的鸟化石，其头骨是迄今为止发现的保存最好的反鸟头骨化石。

参与发现的河南自然博物馆古生物研究室主任贾松海介绍，君昌豫鸟化石标本代表了一个新的演化支系，为晚白垩世反鸟骨骼学提供了重要的新证据，并揭示了与现代鸟类趋同演化的有趣实例，特别是在头骨的形态方面，填补了现代鸟类与反鸟类在进化史晚期的一个尚未被认识的空白。

## 反鸟之名源于其特殊骨 架结构

作为一种已经灭绝的古老鸟类，反鸟在白垩纪经历了广泛的适应性辐射，然后在白垩纪末期消失。君昌豫鸟的发现证明在距今7000万年前，中原地区已经有鸟类的活动。反鸟类是中生代鸟类中最多样化的分支，占所有中生代鸟类多样性的二分之一，被认为是第一次鸟类适应性辐射的代表成员，它们的繁盛要早于新生代新鸟类的适

性辐射，反鸟类在地球历史上曾有超过6500万年的演化历程。

贾松海说，反鸟之所以被称为“反”鸟，是因为它们特殊的骨架结构。反鸟的肩胛骨和鸟喙骨的连接方式与今鸟正好相反。除此之外，反鸟和早期今鸟区别并不大。

鸽子大小的君昌豫鸟具有反鸟的特征，但是其头骨和现代鸟类接近。和大多数反鸟不同，君昌豫鸟的喙部不具牙齿，大脑似乎像进步的鸟类

## 新知

## 企鹅粪便沉积物

## 揭示大气环流变化秘密

科技日报讯(记者吴长锋)记者从中国科学技术大学获悉，该校谢周清教授研究小组创新性地采用企鹅粪土沉积物作为南大洋上升流的记录载体，明确了过去6000年罗斯海改性绕极深层水入侵及其对海冰和企鹅种群的影响，为探究过去大洋环流的变化及其与生态系统的联系提供了有力工具。该成果日前发表于《地球物理研究快报》。

风驱动的绕极深层水上涌，是影响气候、环境与生态系统的关键要素，它导致了目前西南极冰架的快速消融，驱动了大洋深层二氧化碳向大气的释放，其上涌位置决定了南大洋生物群落的空间分布。罗斯海是世界上纬度最高的海域，却拥有繁荣的生态系统，初级生产力占南大洋1/3，阿德利企鹅种群也占全球1/3，这很大程度上得益于绕极深层水带来的热量和营养物质。目前，历史时期绕极深层水上涌强度的变化，主要依赖海洋沉积柱中的温度、海冰指标，既无法直接地指示上升流变化，又无法了解大洋环流对生态系统造成的影响。

谢周清小组利用罗斯海企鹅粪土沉积物，通过放射性碳测年和化学元素分析，重建了过去6000年绕极深层水的上涌强度。研究显示，距今6000—2800年和距今1600—700年，是两个绕极深层水上涌较强的时期。当地的硅藻记录显示，此时近岸海冰较少、夏季海温偏高；罗斯海出土的企鹅残体数目显示，这两个时期同样是阿德利企鹅种群的繁盛期。相反，距今2800—1600年，则是海冰扩张和企鹅种群衰落的时期。

研究发现，绕极深层水对于罗斯海海冰和生态变化起到了关键性作用。绕极深层水上涌带来的热量减弱了近岸海冰的生成，输入的营养物质导致海洋生产力增加，磷虾和企鹅数量上升。同时上涌的辐元素沿食物链富集，并随企鹅粪土传输到南极大陆上，具备海洋和陆地双重属性的企鹅粪成为了将南大洋深层环流与生态系统变化相联系的理想材料。

## 地质流体演化新机制

## 或有助岩浆热液矿床形成

科技日报讯(记者吴长锋)记者从中国科学技术大学获悉，该校地球和空间科学学院倪怀玮教授课题组在超临界地质流体演化过程和机制研究方面取得重要进展。相关研究成果近日以封面文章形式发表于国际地球化学知名学术期刊《地球化学点论通信》。

地球内部流体就像固体地球内部的“血液”，对于物质和能量的传输发挥重要作用。岩石主要是硅酸盐成分，而常见的流体包括富水流体和以硅酸盐为主的岩浆熔体，通过火山喷发可到达地表，二者之间混溶程度通常很低。但在地球深处的高温高压条件下，硅酸盐和水可以完全混溶，形成成分比岩浆熔体“稀”、但比富水流体“稠”的超临界地质流体。超临界地质流体具有复杂的成分和结构、超常规的物理化学活性，可以促进地球深部物质循环，迁移元素富集成矿，甚至引发深部地震。但超临界流体实验研究难度很高，特别是目前对超临界流体的演化行为仍严重缺乏了解。

为了深入认识地球内部超临界流体的演化，倪怀玮教授课题组利用水热金刚石压腔，原位观测了硅酸盐—水体系超临界流体随着温度和压力降低而发生的相分离过程。实验结果显示，除了常规的成核—生长机制外，超临界流体还可以通过旋节分解机制发生相分离。而且，由于硅酸盐组分和水的动力学性质存在很大差别，弛豫较慢的硅酸盐组分可以支撑弹性应力，在流体中形成了硅酸盐熔体的网络结构。当温度进一步降低时，界面张力越来越大，导致熔体网络坍塌。

该研究首次发现超临界流体旋节分解和形成熔体网络，从而揭示了一种全新的超临界流体演化机制。这种熔体网络结构有利于矿物结晶同时捕获不同比例的硅酸盐熔体和富水流体，形成一系列成分有别的流体包裹体。同时，旋节分解这种整体分离机制可以极大地提高熔体和流体相分离的效率，这可能对岩浆热液矿床的形成具有重要意义。

## 往复扭转梯度塑性变形技术

## 可用于梯度结构材料构筑

科技日报讯(记者郝晓明)记者从中国科学院金属研究所(以下简称中科院金属所)获悉，沈阳材料科学国家研究中心卢磊研究员团队与国外合作者在高熵合金综合性能与独特变形机制研究方面取得重要进展，相关研究成果近日在《科学》上在线发布。

长期制约传统金属结构材料发展的“强度—塑性”倒置关系在高熵合金中普遍存在，原因是其塑性变形机制往往被认为与传统金属材料并无本质差别。因此，迫切需要借助新颖的微观结构构筑来揭示高熵合金是否具有独特变形机制，以丰富金属材料的有效强化策略。

中科院金属所研究人员通过一种简单、高效的小角度往复扭转梯度塑性变形技术，保持Al<sub>2</sub>CoCrFeNi高熵合金棒材样品中的初始晶粒大小，但在晶粒内部成功引入百纳米尺度位错胞稳定结构，并实现了位错胞结构从样品表面至芯部的梯度序构分布和可控制备。拉伸结果表明，梯度位错胞结构不仅显著提高材料屈服强度，同时还使其保持良好的塑性和稳定的加工硬化。梯度位错胞结构高熵合金的强塑性—屈服强度匹配明显优于文献报道中相同成分的均匀或梯度结构材料。同时，进一步揭示了高熵合金特有的层错强化变形机理，这种层错强化完全不同于传统结构材料的全位错强化，而与高熵合金中空间波动的低层错能、纳米尺度位错胞结构以及梯度序构效应引起的复杂应力场密不可分。

该研究表明简单、易行的往复扭转梯度塑性变形技术可广泛应用于梯度结构材料的构筑与制备，具有重要的基础研究和应用价值。