

古脊椎所等揭示人类中耳曾是鱼类用来呼吸的鳃

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/18610.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

近日，中国科学院古脊椎动物与古人类研究所研究员盖志琨联合中、英、瑞（瑞典）三国科学家，以第一作者身份在《生态和演化前沿》（Frontiers Ecology and Evolution

）上，发表了关于脊椎动物喷水孔起源的最新研究成果，首次揭示人类的中耳曾经是鱼类用来呼吸的鳃。人类中耳包鼓膜室、传导声音的三块听小骨和通向口腔的咽鼓管等，是人类拥有灵敏听觉的秘诀。鱼类的喷水孔位于眼睛之后，颌弓和舌弓之间一个只含有假鳃的不完整鳃裂，是鱼类的重要呼吸器官。软骨鱼类中，喷水孔主要用来吸入水流，是底栖软骨鱼类适应海底生活的生存秘诀；而原始的硬骨鱼类中，喷水孔主要用来呼吸空气，是探究早期肉鳍鱼类如何登上陆地呼吸空气、适应陆地生活的重要参照。目前，已有充分胚胎和化石证据证明人类的中耳是从鱼类的喷水孔演化而来，而鱼类的喷水孔从何而来，则是困扰学术界的难题。

1822年，法国解剖学家圣西兰发表了著作《解剖哲学》，先验性地提出了不同门类脊椎动物相似器官很可能演化自同一原型，如鳃弓是颌弓和舌弓的原型，鱼类的偶鳍是四足动物四肢的原型，前肢又是鸟类翅膀的原型。这或是科学史上对鱼类喷水孔起源的最早的科学猜想。1872年，德国解剖学家卡尔·根格包尔第一个从详细的解剖学（包括鳃弓、脑神经、肌肉等）角度，提出了脊椎动物头部的分节理论，认为脊椎动物的颌弓和舌弓跟后面普通的鳃弓一样，是系列同源构造，都是头部的分节之一。1937年，英国古生物学家沃特森进一步提出的“自由舌弓理论”（aphetohyoidean theory）认为，有颌类中支持颌弓的舌弓最初不与颌弓相关节，而是一个普通的鳃弓，因而在颌弓和舌弓之间应该具有一个完整的、尚未退化的鳃裂，而非喷水孔，从而代表了早期有颌类的一个原始状态。这一观点激发了20世纪古生物学家在早期有颌类的颌弓和舌弓之间寻找这样一个未退化鳃裂的热潮。然而，古生物学家仔细查验了现生无颌类和早期有颌类中所有盾皮鱼类、棘鱼类、软骨鱼类和硬骨鱼类的化石，未找到确切化石证据。

2002年起，研究团队在浙江长兴志留纪地层中开展野外工作，找到了一种最为原始的真盔甲鱼化石，后将其命名为曙鱼（Shuyu

）。这些曙鱼化石均是具有三维立体软骨脑颅保存的珍贵标本，且个头非常小——只有人类指甲盖那么大，适合应用大科学装置同步辐射X射线显微成像技术进行三维无损扫描。2006年，科研团队将曙鱼的脑颅标本带到瑞士苏黎世瑞士光源进行无损扫描。之后，科研人员应用三维重建软件对曙鱼的脑颅进行三维虚拟复原，历时5年完成了七件曙鱼脑颅化石的三维重建，在只有指甲大小的脑颅里，几乎重现了曙鱼所有脑区、感觉器官以及头部神经与血管的通道（图2）。

本研究中，科研团队对曙鱼脑颅三维虚拟模型的深入研究发现，盔甲鱼类所谓的鳃间脊实际上是鳃弓的背侧部分，这与瑞典古生物学家斯天秀对骨甲鱼类的推测（1927年）如出一辙，也就是说，盔甲鱼类的鳃弓与脑颅愈合成一个主要起防护作用的头甲，这又与龟鳖类的肋骨扩大愈合成龟

甲有异曲同工之妙。与骨甲鱼类相比，曙鱼的整个鳃弓保持了整个脊椎动物的原始状态，易从拓扑位置识别出颌弓和舌弓，它的颌弓正好位于眶孔之后，形成眶后壁，且盔甲鱼只有7对咽弓，分别对应颌类的颌弓、舌弓和5对鳃弓。同时，曙鱼脑神经也得到颇为精确的复原，颜面神经从后脑发出后，沿着内耳前半规管一直通向眼睛之后的第一鳃囊（图2）。鳃囊数目、拓扑学、形态学和神经支配等多方面证据均指向了盔甲鱼眼睛后面的一个鳃囊就是位于颌弓和舌弓之间的舌颌囊。从形态上判断，舌颌囊与后面的5个鳃囊并无二致，且开口于头甲腹面，不像喷水孔那样开口于头甲背面，因而基本判断盔甲鱼的舌颌囊是一个未退化的鳃囊。而要证明它是具有正常呼吸功能的鳃，尚缺少整个证据链条中的最后一环，即找到在该鳃囊中存在鳃丝的化石证据。

为此，研究团队在云南曲靖早泥盆世地层开展数年的野外发掘工作，在曲靖面店水库附近西山村组深灰色粉砂岩中首次采集到第一个在眼睛后第一鳃囊中完整保存鳃丝印痕的宽甲鱼的新材料（图3），进一步证明了盔甲鱼眼睛后的第一鳃囊是具有正常呼吸功能的鳃，而非退化的喷水孔，为脊椎动物喷水孔的起源提供了最确切的解剖证据和化石证据。

在此基础上，科研团队综述了喷水孔从无颌类到四足动物的演化历程，从而建立起喷水孔从无颌类的鳃到人类中耳的演化序列（图1）。该序列表明：随着盔甲鱼类成对鼻囊的分裂，头甲前发育了异常发达的中背孔（单鼻孔）来充当吸入水流的主要呼吸器官，因而颌弓和舌弓之间的舌颌囊首次发育成了一个完整的鳃囊，该鳃囊跟后面5个正常的鳃囊一样具有完整的前后半鳃，半鳃具有鳃丝，是气体交换的主要场所。随着颌和双鼻孔的起源，有颌类演化出双鼻孔，但双鼻孔不与口腔相通，没有呼吸功能，只有嗅觉功能。而鱼类的呼吸需求未减少，眼睛后的第一鳃囊（舌颌囊）被改造成了喷水孔，成为主要的呼吸器官，这在最原始的有颌类盾皮鱼类中就已发生，由于最原始的盾皮鱼类胴甲鱼类（图1，沟鳞鱼）和最进步的全颌盾皮鱼类（图1，麒麟鱼）均已具有喷水孔，喷水孔很可能在有颌类伴中随颌和双鼻孔的出现同时起源。

喷水孔在软骨鱼类中主要用来吸入水流，而在硬骨鱼类主要用来呼吸空气，如在现生的多鳍鱼会把头露出水面，通过头顶上被称为“喷水孔”的小孔来呼吸空气，并发出响亮的“吸气声”（图4）。这些证据表明，早期硬骨鱼类有能力从喷水孔中呼吸空气，作为一种新的呼吸方式，或是鱼类离开水域、登上陆地呼吸空气的一种预适应特征，从而为鱼类登上陆地呼吸空气提供了先决条件。随着内鼻孔在肉鳍鱼类的起源（如肯氏鱼），打通了鼻腔与口腔的通道，鼻孔成为主要的呼吸器官，从而为鱼类登上陆地用肺呼吸进一步奠定了基础。而登上陆地的四足动物，面临着全新的环境，不得不发展新的感官，以便在空气中更好地生存。这样已失去呼吸功能的喷水孔，经过修饰，逐渐演化成人类中耳腔——鼓膜室，而舌颌骨及与其关节的方骨和关节骨也逐渐退化变小，最终进入人类的中耳，演化为中耳的三块听小骨，并被重新命名为镫骨、锤骨和砧骨，负责将声音传递给大脑，使人类最终拥有了灵敏的听觉（图5）。

研究的共同作者包括中科院院士朱敏、英国皇家科学院院士Philip C.J. Donoghue和瑞典皇家科学院院士Per E. Ahlberg。研究工作得到中科院战略性科技先导专项、国家自然科学基金、中科院前沿科学重点研究计划等的支持。

[论文链接](#)

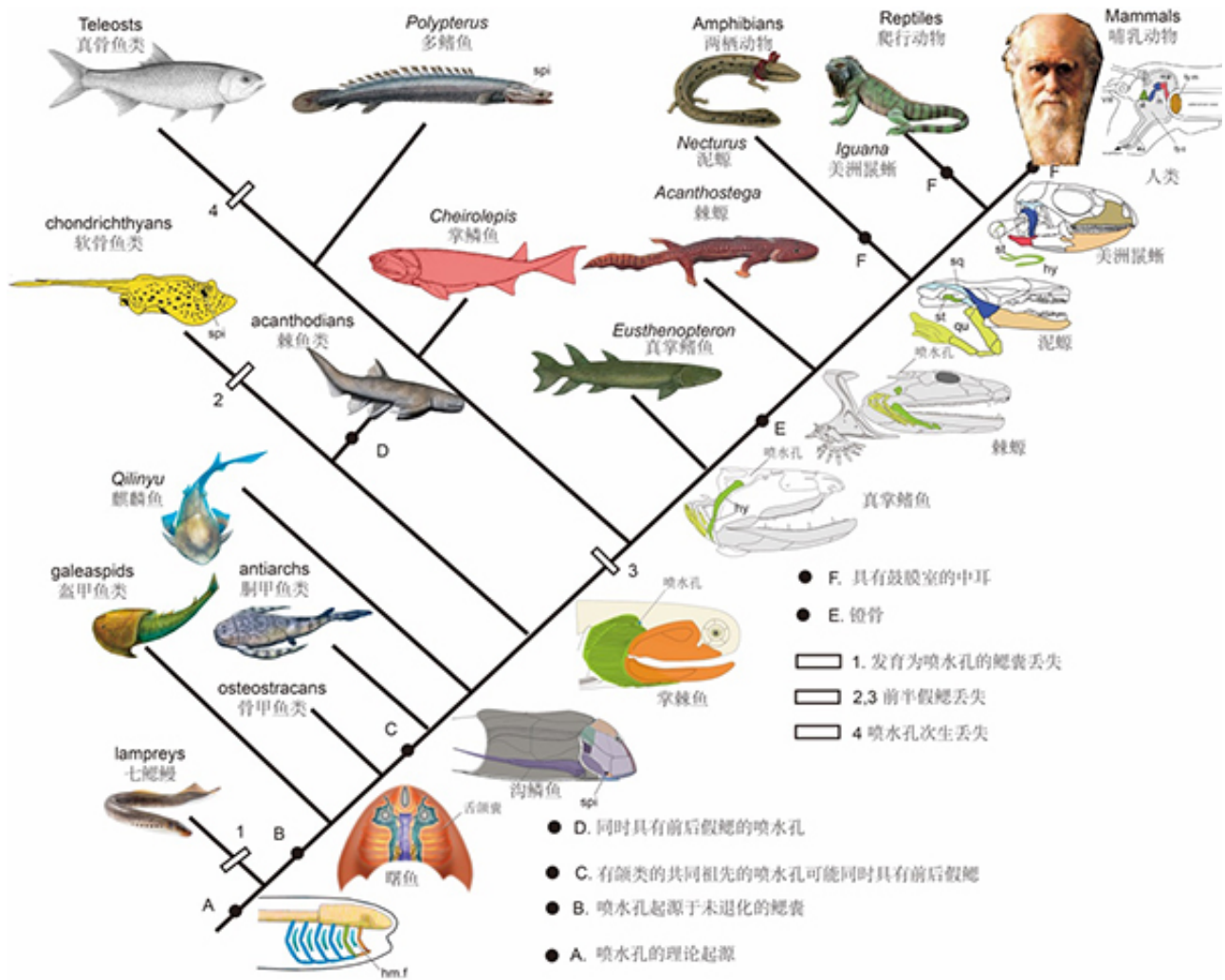


图1.喷水孔从无颌类的鳃到人类中耳的演化历程（盖志琨提供，史爱娟绘）

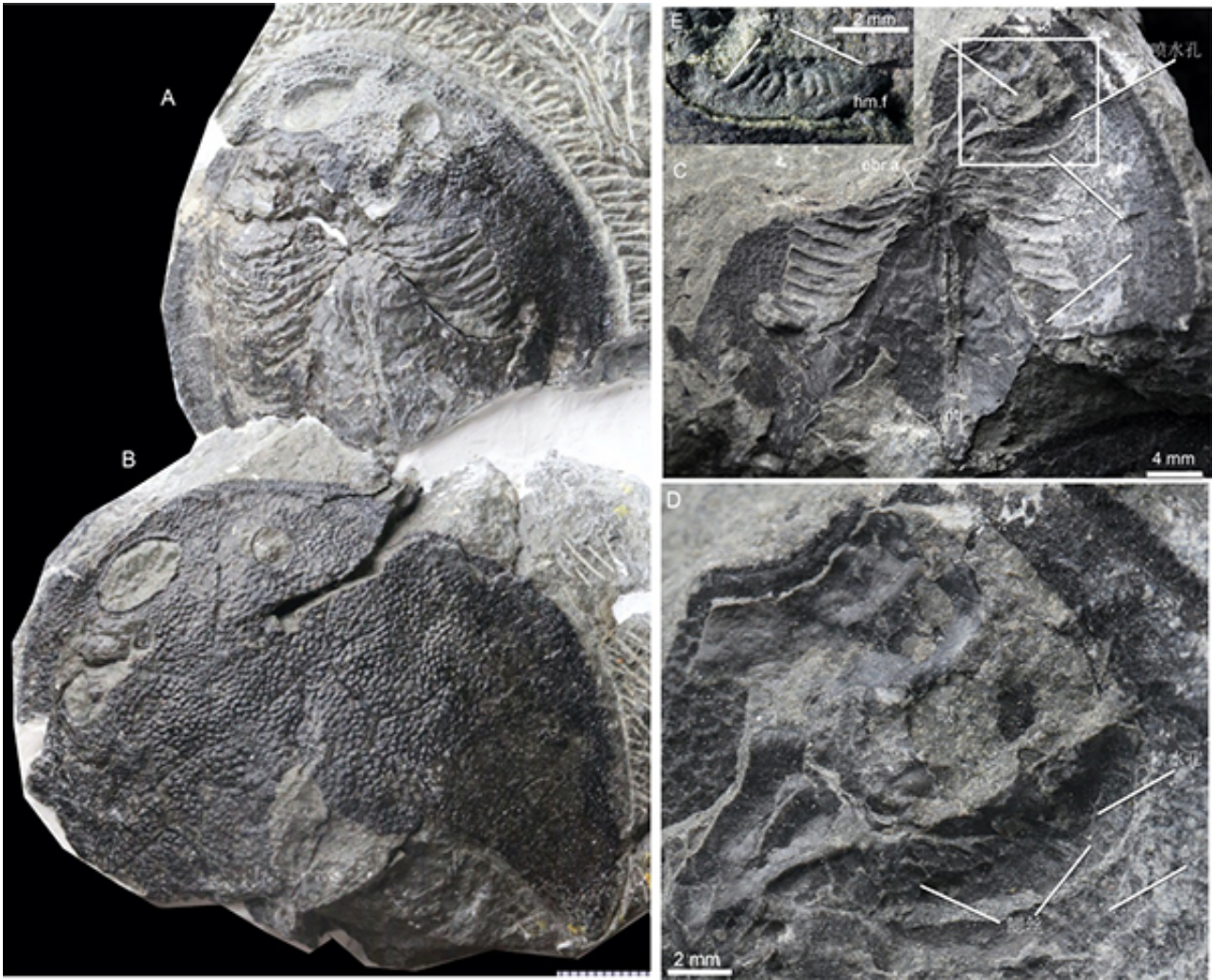


图3.在云南曲靖早泥盆世宽甲鱼化石中首次发现鳃丝印痕，揭示人类的中耳曾是鱼类用来呼吸的鳃（盖志琨摄）

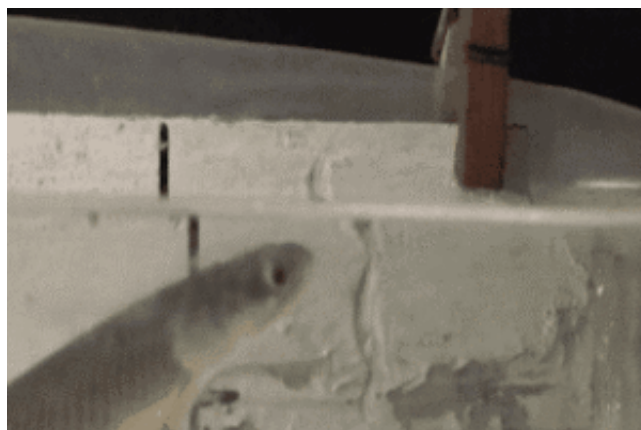




图4.原始辐鳍鱼类多鳍鱼浮出水面用喷水孔呼吸空气的瞬间（15%的播放速度）（潘照晖技术转换自Graham et al., 2014）

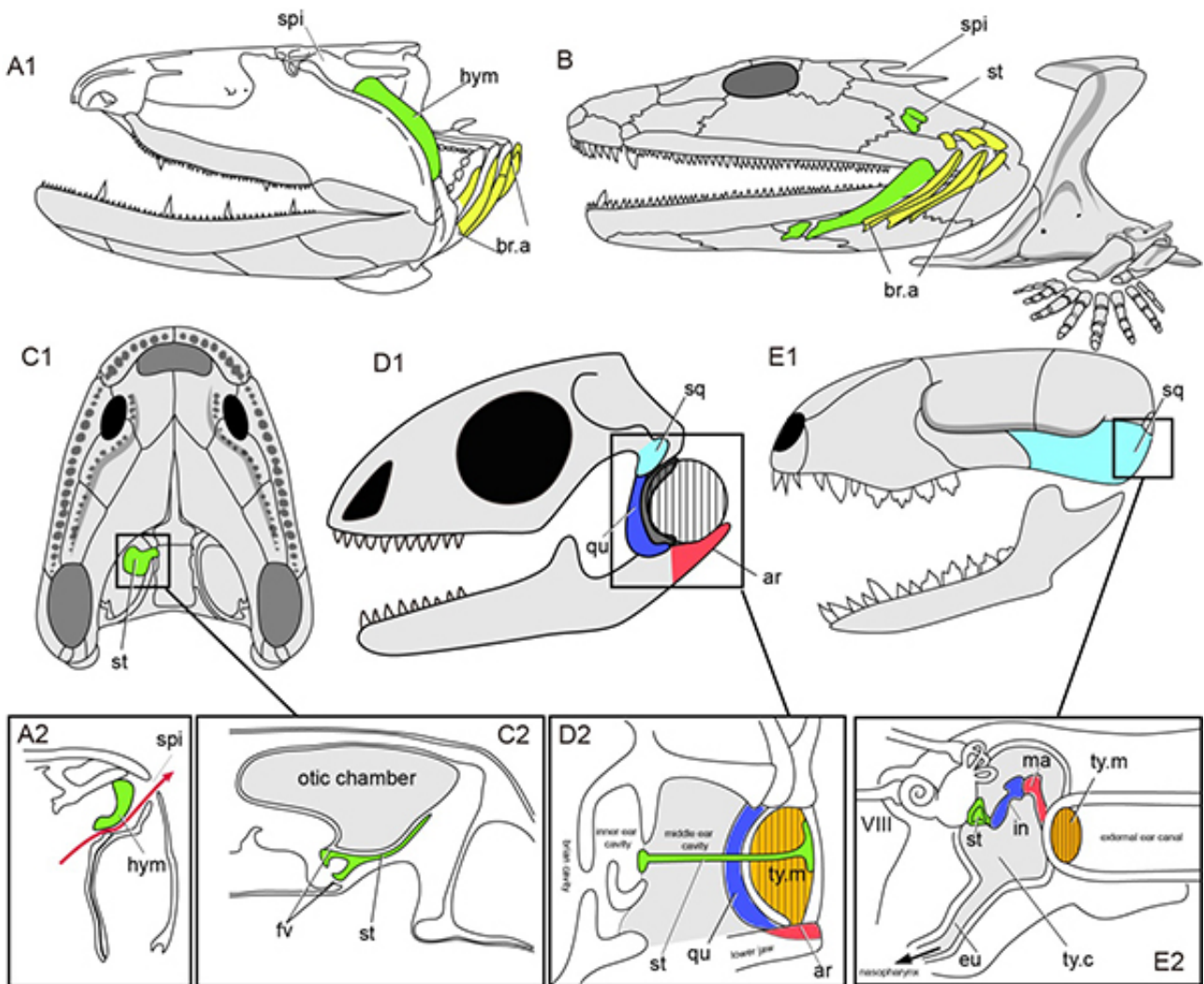


图5.鱼类喷水孔向人类中耳演化的四个阶段。A、真掌鳍鱼及其喷水孔切面；B、棘螈；C、鱼石螈及其中耳切面；D、爬行动物及其中耳切面；E.哺乳动物及其中耳切面（A-E，来自Gai et al. 2022，史爱娟绘）

研究团队单位：古脊椎动物与古人类研究所

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](http://www.iikx.com)转发