

超长脖子！这只幻龙的颈椎有 42 节

■本报见习记者 蒲雅杰

在恐龙大家族中，蛇颈龙类以惊人的长颈而闻名——它们的颈椎数量超过 30 节，并具有宽大的鳍状肢，能以水翼船般的姿态在水中“飞行”。

这种超长颈部有何作用？是否赋予了蛇颈龙类独特的生存优势？其与鳍状肢及远洋生活方式是否协同演化？多年来，这些疑问一直困扰着古生物学界。

如今，这些谜题迎来了新突破。中国科学院古脊椎动物与古人类研究所李淳团队联合地方博物馆，通过对幻龙类新属种“永胜丽江龙”的研究，改写了此前学界对鳍龙类关键演化特征的认知，为揭示蛇颈龙类的长颈之谜提供了佐证。近日，相关研究论文发表于《通讯生物学》。

42 节颈椎的幻龙“异类”

中生代的蔚蓝深海中，鳍龙类从三叠纪初期绵延至晚白垩世，统治海洋长达 1.8 亿年，堪称“爬行动物霸主”。而其中的蛇颈龙类，凭借超长脖颈与水中“飞行”的独特本领，成为鳍龙类中最“出圈”的代表。

长久以来，古生物学家普遍认为，超长颈部是蛇颈龙类及其纯信龙类祖先的共有衍征。更特别的是，蛇颈龙类是唯一逃过三叠纪末大灭绝的鳍龙类支系，而它的“亲戚”，如桶齿龙、肿肋龙、幻龙等，都仅存于三叠纪。

在此次研究中，团队报道的化石产自云南省丽江市永胜县。化石保存在一块巨大的



云南中三叠世幻龙类多样性的生态复原图。研究团队供图

石灰岩表面，经技术人员修理后，露出一具体长超过 2.5 米的鳍龙类骨架。

根据该骨架缺乏翼间窗、颌关节与枕髁平齐、咽腔管孔位等特征，以及肩带和肱骨的形态，团队认为其属于幻龙类。他们基于目前包含三叠纪鳍龙类最完善的形态矩阵，经过对化石的系统发育分析，得到的结果进一步确定了该判断。

然而，研究人员惊讶地发现，永胜丽江龙的颈椎数量达到 42 节，远超其他幻龙类常见的 20 多节，甚至比早期蛇颈龙还要多。这该如何解释？

“永胜丽江龙的出现表明，极度延长的脖子并非蛇颈龙家族独有。在它们崛起之前，这种特征已经在幻龙类远亲中独立演化出来。”李淳说。

长颈并非蛇颈龙类“专利”

云贵交界区域是三叠纪海生爬行动物的重要产地，拥有多个著名的化石生物群，其地理位置多处于康滇古陆东侧。此次研究的化石产自永胜县，古地理位置位于康滇古陆以西，李淳表示，“这里代表了一个全新的化石点和潜在的动物群”。

作为该新化石点的重要发现之一，永胜丽江龙尽管拥有夸张的长颈，其肢骨却修长粗壮、五趾分明，显示出典型的幻龙类特征，完全没有蛇颈龙类如船桨般的鳍状肢。

“这意味着永胜丽江龙还不具备远洋游泳能力，只适合在近岸浅水生活。也就是说，超长的颈部与鳍状肢并不存在协同演化——当鳍龙类演化出鳍状肢和远洋游泳能力前，其不少成员已具有极度加长的颈部。”李淳解释道。

那么，这个长长的脖子究竟有什么用处？研究人员认为，长颈可能帮助这些古老的爬行动物扩大取食范围，使它们能够在不移动身体的情况下，轻松伏击游过身边的猎物。这也间接佐证了蛇颈龙类长颈的“捕食假说”。



五官健康 C909 飞机医院。

复旦大学附属眼耳鼻喉科医院供图

独特的“椎间辅助关节”

除了惊人的长颈，永胜丽江龙还有一个易被忽视却十分有趣的特征——在其脊椎和前部尾椎上，演化出独特的椎间辅助关节。

在爬行动物的脊椎间，除了主要的关节前凸－关节后凸以外，部分类群还独立演化出额外的辅助关节以增强脊柱的稳定性。例如，“椎体下凸－椎体下凹”特征多见于一些主龙类，“椎弓凸－椎弓凹”特征则以蛇类最为典型，用于防止身体过度扭转。

而永胜丽江龙的“关节下凸－关节下凹”结构，却是罕见的类型，目前仅见于该物种和扁鼻龙。研究人员推测，永胜丽江龙演化出这种独特的结构类型，很可能与其长颈特征相关。

“蛇颈龙通过宽大的附肢带骨和密集的腹肌来加固躯干，以支撑长颈运动并减少身体波动。”李淳指出，由于永胜丽江龙缺乏这些结构，因此可能通过发展一种新型辅助关节来增强其躯干和尾部椎骨之间的连接，对抗扭转力，从而为控制长颈提供一个更稳定的基础。

“永胜丽江龙，连同近年来在云南发现的如祭羊山短尾龙、罗平幻龙等中三叠世幻龙类，极大丰富了学界对幻龙类形态和生态分异度的认知，深化了对三叠纪鳍龙类脊椎演化可塑性的理解。”李淳进一步补充道。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1038/s42003-025-08911-1>

“飞机医院”升级

本报讯(见习记者江庆龄)近日,“五官健康 C909 飞机医院”(以下简称“飞机医院”)继首飞后实现“升级”——成功完成我国首个 I 级洁净飞机手术舱的搭建。“飞机医院”搭载我国自主研发、达到国际先进水平的眼耳鼻喉科专科诊疗设备,目前已具备开展眼科、耳鼻喉科等相关专科手术的环境保障能力。

今年 9 月,“飞机医院”完成首飞。在此基础上,复旦大学附属眼耳鼻喉科医院与中国商用飞机有限责任公司等单位进一步协作,推进“飞机医院”I 级洁净手术舱的独特方案研发与工程实施。新版“飞机医院”搭载了移动诊室、综合检查、培训实操、手术准备、手术区等“多功能、快拆装”移动模块及全国产精密诊疗设备,实现机舱内手术环境洁净化、设备模块化、流程标准化、集成快速化、质控全程化。

养分专家智慧施肥大模型发布

一所一人一事

朱凯月：保持好奇心和热爱，更要学会坚持

■本报记者 孙丹宁

如今，从智能手机、新能源汽车到大规模储能系统，电池的身影无处不在。

目前市场上最常见的是锂离子电池，虽然其能量密度高、技术相对成熟，却仍面临安全性和资源限制等问题。而作为一种以水溶液为电解液的新型电化学储能体系，“水系”电池凭借高安全性、环境友好与低成本等优势，正成为储能领域的重要研究方向。

在中国科学院大连化学物理研究所(以下简称大连化物所)，“90 后”研究员朱凯月正是这一领域的探索者。她和团队成功构建出一种新型水凝胶电解质膜，在锂离子电池的正极与负极侧均取得重要突破，显著提升了电池的长期循环稳定性，为水系锌电池的实用化推进提供了新思路。

每一项创新成果的背后，往往伴随着无数次尝试与调整。朱凯月在科研道路上也曾屡屡挫折，但她在“摸爬滚打”中逐渐沉淀出一套“科研心法”。“保持好奇心和热爱，更要学会坚持。科研之路绝不会一帆风顺，99% 的时间可能面对失败和困惑。化学很有趣，好奇心会让你发现微观世界的魅力。而热爱与坚持，能让你在无数次失败后，依然有勇气和智慧去寻找那 1% 的成功曙光。”

“拆”出来的科研兴趣

朱凯月的科学启蒙来自生活中一件寻常物品——手电筒。“小时候，一按开关，手电筒亮起的那一瞬间，总觉得特别神奇。”朱凯月回忆，“我好奇地把手电一层层剥开，想看看里面到底是什么结构，怎么会产生这样的‘魔力’。”

朱凯月笑言，她小时候性格文静，习惯独自玩耍，无形中 also 锻炼了专注与耐心。“很多事情都想弄明白，总爱问个为什么。”

童年那节小小的电池就像一位无声的“引路人”，在她心中埋下科学的种子。她不曾预料，多年后，电池竟真的成为她为之奋斗的事业，而儿时那种探求本质的渴望也延

续为科研路上不竭的动力。

大学阶段，朱凯月进入郑州大学化学系学习。毕业之际，她经过慎重考虑，最终选择加入大连化物所。“大连化物所在催化、化学激光、储能等方向实力强劲。我大学期间就对能源化学非常感兴趣，而大连化物所在燃料电池等方面所做的开创性工作，深深吸引了我。”朱凯月说。

此外，大连化物所“锐意创新、协力攻坚”的学术氛围，以及完善的实验平台，也令朱凯月心生向往。“我相信，良好的科研环境能为年轻人提供理想的成长土壤。”

来自双面神 Janus 的灵感

进入大连化物所后，朱凯月开始专注研究水系锌基二次电池。

“当时锂离子电池研究非常热门，但它的安全性和资源限制也逐渐暴露出来。”朱凯月分析，“水系锌电池最吸引我的有几点：本质安全、锌资源丰富成本低、较高的理论容量。”她敏锐地意识到，在大规模储能这个对成本和安全极度敏感的领域，水系锌电池具有非常大的潜力，是一个充满机遇的“蓝海”。

然而，水系锌电池的研究面临诸多挑战，尤其是锌负极的枝晶生长和副反应问题，严重影响了电池的循环寿命。“我们一直在思考，能否设计一种新型结构，延长电池循环寿命。”

转机来自一次实验中的偶然发现。“我们实验室有一瓶有机电解质，在潮湿空气中放置了一个多月。后来用它组装电池时，容量竟比之前高出两倍多，稳定性也显著提升。”这个“意外”让朱凯月与团队意识到，电解液中微量的水就足以支撑正极的高容量需求，而正极与负极对水分含量的要求其实并不相同。

“这一现象让人联想到罗马神话中的双面神 Janus——两面各有功能，却又和谐统一。”朱凯月说，“我就想能不能制备一种膜，一面疏水，紧密贴合锌负极抑制枝晶；另一面亲水，为正极提供充足容量。与此同时，膜内部还可以设计梯度孔道，以此保障离子快速传输。”

在一次组会中，同组的科研人员正在为传统均质水凝胶无法兼顾抑制枝晶和快速传质的矛盾而苦恼。“一位同事提到了一种梯度聚合的技术，我突然想到，是否可以将这种‘梯度’概念与‘Janus’的不对称性结合起来？这给我们后续的实验提供了灵感。”朱凯月说。

然而，从构思到实现充满挑战。制备具有梯度孔道的水凝胶膜，关键在于如何在膜内实现从致密到疏松的连续结构变化。“初期制备的膜结构不均、重复性差。”她回忆说。团队不断调整单体浓度、交联剂比例、聚合温度与时间等参数，并借助扫描电镜、X 射线三维成像等手段，对每一批样品进行细致分析，持续优化工艺。

最终，一种两面亲疏水性不同、截面呈梯度孔道结构的 Janus 水凝胶电解质膜成功问世。这项突破不仅显著提升了锂离子电池的循环稳定性，更为电解液设计提供了新思路。

除了对电解质设计上取得突破，朱凯月与团队在锌负极研究方面也实现了重要进展。

团队创新性地利用阴离子表面活性剂调控电极界面，增强对锌离子的吸附作用，成功制备出具有高 Zn(002)晶面取向的无枝晶锌负极，并进一步提出以“静电吸附强度”作为快速筛选电解液添加剂的初步标准。

朱凯月说：“我们在实验中发现，在碱性电解液中，锌容易形成枝晶，而在近中性环境中，其沉积形貌则大为改善。分析发现，不同条件下锌离子的带电状态不同，导致其与电极表面的静电作用存在明显差异。因此，我们尝试用‘静电吸附强度’这一物理化学



朱凯月 受访者供图

参数量化界面相互作用，将其发展为一种快速、普适的筛选方法，从而摆脱传统‘试错法’的局限。”

对朱凯月来说，研究电池最关键的一步就是成果能够投入使用。“我们正积极推动与产业界的合作，希望尽快完成技术验证和落地。”她坦言，“目前最大的挑战是如何在放大生产后，仍能保持实验室级别的优异性能，确保其稳定性和一致性。这涉及工艺升级、成本控制和长期可靠性评估，是我们当前重点攻关的方向。”

面向未来，朱凯月和团队有更大目标：实现“本征安全、高能量密度的大容量软包电池长期稳定循环”。他们正在优化电池结构设计，推进器件级别的集成与示范，希望用于电动自行车动力电源和家庭储能电站等实际场景。

从儿时好奇拆解电池的小女孩成长为在水系锌电池领域深入探索的青年学者，朱凯月对科研之路有了更深的体会：既要低头拉车，勤奋实验，也要抬头看路，深入思考；甚至在某些时刻，要学会“保持怀疑”与“灵活绕行”。“这样才能在不断的探索中走出一条属于自己的创新路径。”她说。

发现·进展

华东理工大学

超分子化学回收助力绿色塑料循环利用

本报讯(见习记者江庆龄)中国科学院外籍院士、华东理工大学国际知名大师客座教授伯纳德·L·费林加与该校教授张琦、曲大辉团队合作,提出一种面向动态聚合物的“超分子化学回收”新思路——将聚合物定量、高效、低碳转化为晶态单体,所得单体再进一步重新聚合,生成与原始材料性能一致的高品质聚合物,为绿色塑料循环利用提供新路径。近日,相关研究成果发表于《自然-纳米技术》。

当前,可闭环化学回收高分子设计思路往往伴随较高的碳排放。开发低碳、无溶剂甚至无催化剂的从聚合物到单体的回收技术,仍面临挑战。

在前期研究基础上,研究团队筛选了 100 多种疏辛酸衍生物单体,偶然发现一种“不易聚合”的单体分子疏辛酰胺。研究人员进一步发现,以少量有机酸为溶剂,可将固态下不可聚合的疏辛酰胺高效转化为聚合物。据此,研究人员将甲酸作为超分子调节剂和催化剂,制备得到聚疏辛酰胺,再经真空处理获得干燥的聚疏辛酰胺薄膜。该薄膜在室温条件下十分稳定,并在偏光显微镜下观测到大量纳米结晶域,展现出类弹性体的力学性质。

研究发现,在 120℃ 下退火 2 小时后,纳米结晶域进一步组装与生长,形成高度有序的球晶状半结晶聚合物网络,并存在聚合物的半结晶氢键网络。在 120℃ 条件下退火 48 小时后,半结晶聚合物网络在热力学驱动力下继续发生共价重构,在无溶剂、无催化剂的条件下从聚合物自发转换为结晶单体。最终,聚合物能够以定量的收率回收得到纯度 90% 以上的单体晶体。

值得一提的是,该自发回收过程无需输入大量热量或溶剂。碳足迹评估结果显示,无溶剂的超分子化学回收工艺每回收 1 千克聚合物仅排放 0.36 千克二氧化碳,较传统的溶剂回收工艺减少了 99% 的碳排放。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1038/s41565-025-02041-9>

中国科学院西北生态环境资源研究院

针对不同地下水条件提出植被重建策略

本报讯(记者叶满山)近日,中国科学院西北生态环境资源研究院研究员张志山团队依托沙坡头沙漠研究试验站,通过量化分析不同沙漠生态系统的水量平衡组分及植物生长动态,揭示了地下水对沙漠水量平衡和植被生长的关键作用,为干旱沙区的生态修复提供了科学依据。相关成果发表于《水资源研究》。

研究团队利用“中国北方沙区水量平衡自动模拟监测系统——沙坡头蒸渗仪群”中的 12 个大型称重式蒸渗仪,系统量化了 2019 年至 2023 年间不同沙漠生态系统的水量平衡组分及植物生长动态。研究发现,地下水补给(−2.5 米地下水位)显著改变了土壤水储量,增加了实际蒸散发量和渗漏量。线性混合效应模型表明,地下水对水量平衡组分具有显著影响,并能促进植物生长。增强回归树模型进一步显示,地下水可缓解干旱和降水稀少对沙漠水量平衡的影响。

研究特别关注了不同植物配置的水分利用效率(WUE)。结果显示,在无地下水的沙漠生态系统中,油蒿半灌木—栽植的 WUE 最高,达 3.10 千克 / 立方米;而在有地下水的生态系统中,油蒿单一栽植、柠条锦鸡儿灌木单一栽植以及油蒿与柠条锦鸡儿混合栽植的 WUE 分别为 6.74、3.05 和 2.64 千克 / 立方米。这些数据表明,半灌木在有地下水的沙漠生态系统中均发挥重要作用。

基于上述发现,研究团队提出针对不同地下水条件的植被重建策略:对于无地下水的沙漠生态系统,推荐采用油蒿半灌木—栽植;对于有地下水的生态系统,推荐油蒿单一栽植、柠条锦鸡儿灌木单一栽植或两者混合栽植。这一策略不仅提高了植物的水分利用效率,还为生态修复的长期可持续性提供保障。

相关论文信息: <https://doi.org/10.1029/2025WR040545>

南方海洋科学与工程广东省实验室(广州)

推出全球首个深海多组学资源平台

本报讯(记者朱汉斌)南方海洋科学与工程广东省实验室(广州)副主任钱培元团队携手香港科技大學海洋科学系教授吴龙君团队,推出全球首个深海多组学资源平台——DOO 数据库。该数据库自正式上线以来,已吸引来自 28 个国家的 900 多次访问。相关成果近日发表于《核酸研究》。

据介绍,作为国际首个且规模最大的深海动物多组学数据库,DOO 数据库致力于构建一个集多组学数据整合、定制化分析工具提供、跨物种比较与进化研究支持于一体的一站式平台,推动深海生物学、极端环境适应机制及深海生物资源的研究与应用。

研究团队收集并整合了 68 个深海动物的丰富组学资源,包括 72 个基因组资源、950 个转录组、1112 个宏基因组及 15 个单细胞转录组。这些资源涵盖软体动物、环节动物、节肢动物、脊索动物、刺胞动物和棘皮动物等门类,覆盖了冷泉、热液喷口和火山等特殊深海生境类型。研究团队还整合了 1413 条古生物化石记录,为从演化生物学角度解析深海生物的环境适应策略提供支撑。

DOO 数据库集成了多个功能强大的模块。其中,基因与基因组模块涵盖了基因结构和功能注释、转录因子、泛素家族、转座子、基因家族等多个方面,为深入研究基因特征提供支持;功能基因组分析模块包含基因共表达网络、动态网络可视化、单细胞图谱可视化和宏基因组等功能,有助于揭示基因之间的相互作用和功能机制;进化与比较基因组模块则具备深海动物间微观和宏观共线性分析、祖先核型重建和进化树构建等功能,为探索深海生物的进化历程提供工具。

相关论文信息: <https://doi.org/10.1093/nar/gkaf1096>