

恐龙变飞鸟后，长尾巴去哪儿了

■本报见习记者 蒲雅杰

恐龙向鸟类演化的过程中，除了用以翱翔蓝天的羽翼外，身体最彻底的变化就是尾巴缩短——仅由4至9块尾椎和一块尾综骨构成，其中尾综骨由若干块尾椎愈合而成。

恐龙的长尾巴是如何变短的？尾综骨是何时出现的？是基因突变引起的“一步到位”，还是“慢工出细活”的逐步演变？由于化石证据缺失，在演化生物学界，这些问题一直困扰着科学家。

我国科学家报道了一件迄今已知体形最小、尾巴最短的长尾鸟类化石——不虞政和鸟。其独特尾部结构精准填补了鸟类尾部演化史上的空白，为鸟类尾部演化路径提供了最为关键的化石铁证。相关研究成果近日发表于《科学进展》。



不虞政和鸟正型标本。不虞政和鸟(左)和奇异福建龙(右)生态复原图。研究团队供图

得名于《国语·周语》的新鸟

“昔我先王之有天下也，规方千里，以为甸服……以待不庭、不虞之患。”在春秋时期典籍《国语·周语》里，“不虞”二字可解释为“出乎意料”。

2024年3月24日，论文通讯作者、中国科学院古脊椎动物与古人类研究所研究员王敏在福建政和动物群的岩层间收获了一天中的“不虞”之喜。他用锤子敲开了一件独特的鸟类化石。

“这是一件新的侏罗纪鸟类化石，具有此前不曾发现的特殊尾部结构，补上了非常重要的演化‘拼图’。”王敏告诉《中国科学报》，分支系统学研究显示，在鸟类的演化树上，这种鸟较同一时代的政和八闽鸟更加原始，是已知最原始的鸟类之一。

为了纪念这只带来意外惊喜的远古飞鸟，王敏以发现地“政和”为属名，并取《国语·周语》中“不虞”之意赋予其种名，即“不虞政和鸟”。

不虞政和鸟是目前世界上已知体形最小的长尾副鸟类。副鸟类是现存四足动物中多

样性最丰富的一个演化支，包含了鸟类、驰龙类和伤齿龙类等近亲类群。

研究团队根据化石测量估算，不虞政和鸟的体重仅74至163克，体长约20厘米，大小接近一只现代的玄凤鹦鹉。其股骨长度仅为此前已知最小恐龙“赵氏小盗龙”的63%，比近年报道的芝加哥始祖鸟标本还要小10%。

“体形小型化”是恐龙飞向蓝天的核心驱动力之一。王敏表示，不虞政和鸟小巧的身躯意味着部分鸟翼类在演化初期的体形缩小速度比人们想象的快得多，这无疑为它们对探索树栖、飞行等全新生态位的一次尝试。

铁证填补“假想空白”

长期以来，发育生物学领域倾向于一种假说：现代鸟类尾巴的缩短，可能仅源于少数几个基因位点的突变。这意味着演化可能是“一步到位”的，自然界不存在中间状态的过渡物种。

此前的化石证据似乎也支持这一假说。

最早具有尾综骨的政和八闽鸟在侏罗纪晚期突然出现，恰逢鸟类起源之初，此时的其他鸟类及其近亲都保留着长尾巴，尚无尾综骨结构。

而不虞政和鸟的出现，精准填补了这一演化史上的“假想空白”，对假说提出了质疑。

王敏介绍，不虞政和鸟尾部仅由15块尾椎组成，并且末端并没有愈合成为尾综骨。相比之下，始祖鸟等长尾鸟类的尾椎数目超过23块，多数兽脚类恐龙的尾椎甚至超过30块。

未愈合的尾椎骨是否可能是个体年龄尚小或是外力及病理原因导致的个体差异？“通过骨骼特征可以判断该化石是接近成年的个体，并且团队通过对15块尾椎形态的细致观察，基本确定它们并未因生病或畸形等出现结构改变。”王敏说。

“不虞政和鸟这种短尾且没有过度僵化的短尾巴，能够有效减轻体重，使身体重心和升力中心向前移动，较少的尾椎关节提升了

尾部的刚性，更利于飞行控制，而较短的力臂也使其能更轻松地操控尾羽。”王敏表示，正因如此，它获得了比始祖鸟等更好的飞行稳定性和机动性。

通过对不虞政和鸟及其他恐龙的系统发育分析，研究团队重建了恐龙向鸟类转变时尾巴的演化路径，发现不虞政和鸟是目前已知尾巴相对最短的长尾副鸟类。

“也就是说，在鸟类尾部的演化历史中，尾椎数量的减少和变短发生在尾椎愈合、形成尾综骨之前。”王敏表示，这种“分步走”的演化模式，是鸟类尾部演化“缺失的一块拼图”。

“百鸟争鸣”的侏罗纪末期

研究显示，不虞政和鸟的后肢没有明显显示出善于奔跑的特性，脚趾结构也显示其不完全是树栖动物。王敏认为，它很可能是广适应性的，介于陆栖和树栖之间。

不虞政和鸟是在政和动物群发现的第四种鸟翼类。这意味着，在同一时期、同一地区，同时生活着短尾小个体的不虞政和鸟、长尾长腿陆栖的奇异福建龙，以及拥有愈合尾综骨的政和八闽鸟。它们展现出截然不同的身体结构、体形和生态分异。

“这种高度的形态分异清晰地显示，在侏罗纪末期，鸟类就经历了一次快速的辐射演化，展现出了极为丰富的生态多样性。”王敏说。

对于这件新报道的不虞政和鸟化石，相关的科学探索才刚刚开始。

王敏坦言，此前的关键鸟类化石大多没能保存头骨，而头骨承载着食性、感觉系统和整体动物面貌等关键信息，是一个独立且重要的研究维度。“希望我们在后续的发掘工作中能有所突破，找到含有完整头骨的鸟类化石，从而全面复原这些早期鸟类的解剖学特征与演化全貌。”

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1126/sciadv.aeb5202>

发现·进展

中国科学院生态环境研究中心 黄土高原生态恢复研究 入选联合国可持续发展案例

本报讯(记者崔雪芹)国际科学理事会(ISC)与世界工程组织联合会(WFEO)联合发布了提交给2026年联合国可持续发展高级别政治论坛的立场文件报告《潜移默化的变革：迈向2030关键跨越中的科学与工程》(以下简称报告)。

报告以2026年初ISC和WFEO面向全球公开征集的案例研究为基础，围绕《2023年全球可持续发展报告》提出的六大关键转型切入点，筛选出不同国家和地区、不同领域和不同尺度的6个典型案例和11个实践报告。

由中国科学院生态环境研究中心傅伯杰院士团队完成的“黄土高原生态修复实现生态恢复与减贫协同”入选典型案例，展示了科学研究如何支撑大规模生态修复工程与协同减贫，实现生态环境保护与社会经济发展的双赢，为全球生态脆弱地区推进可持续发展提供了中国经验。

黄土高原生态修复实践表明，大规模生态恢复只有建立在长期科学研究和持续监测的基础上，统筹土地利用结构、生态系统过程和居民生计需求，才能实现生态保护与社会经济发展的协调统一。

该案例充分体现了科学研究在支撑国家重大生态工程中的关键作用，为实现多个可持续发展目标提供了重要参考。

国家卫星气象中心等

新方法补齐 空间天气预报技术短板

本报讯(记者高雅丽)国家卫星气象中心(国家空间天气监测预警中心)研究员王劲松联合南昌大学等单位的科研人员，利用人工智能方法，成功从电离层-热层的电子密度反推出电场、中性风、中性温度等多个难以直接观测的关键参数。该方法能够在0.01秒内快速重现18个电离层-热层关键参数，首次实现空间天气领域基于全物理方程约束的人工智能建模，进一步补齐了空间天气预报的技术短板。相关研究成果近日发表于《科学进展》。

“风宇”空间天气人工智能模型是中国气象局发布的国家级人工智能预报模型之一，构建了覆盖太阳风、磁层、电离层的全链条智能预报框架，形成了“煦风”“天磁”“电穹”等核心子模块，初步实现从太阳风扰动到近地空间环境响应的智能化刻画和快速预报。然而，现实观测通常只能获取少数宏观量，而许多真正控制系统动力学的重要变量却长期难以实现直接观测。

王劲松表示，电离层-热层系统是这一挑战的典型代表。该区域具有显著的强耦合、非线性、多尺度特征，电子密度、总电子含量、电场、中性风和其他层参数相互影响，但现有仪器对这些变量的观测能力并不均衡，成为制约电离层-热层过程进入地球系统模型、制约空间天气预报水平提升的核心瓶颈之一。

针对这一技术痛点，研究团队提出了一种面向电离层-热层系统的端到端逆问题求解框架。新方法不仅可应用于地面快速监测资料的深度挖掘，也具备向资源受限平台延伸的潜力，为后续链式耦合预报、天地协同应用和星载智能推理奠定了更坚实的物理状态基础。

“风宇”模型从算法迭代训练、模型智能推理到工程落地部署，全流程均依托国产技术平台完成，不仅意味着我国在空间天气科学研究、预报技术层面取得突破，也验证了国产人工智能底座支撑复杂科学模型、承接高端科研任务的硬核能力。”王劲松表示。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1126/sciadv.aea2406>

国际弦理论大会在沪召开

本报讯(见习记者江庆龄)7月6日，由上海数学与交叉学科研究院主办的第三十六届国际弦理论大会(Strings 2026)在上海开幕。大会为期4天，是继2006年、2016年之后，第三次在中国举办。来自世界各地的弦理论、量子引力、量子场论、数学物理及相关领域知名学者齐聚一堂，分享基础理论物理前沿研究成果。诺贝尔物理学奖得主、中国科学院外籍院士戴维·格罗斯、菲尔兹奖得主、美国普林斯顿高等研究院教授爱德华·威滕等多位国际知名学者出席并作学术报告。

大会主席、上海数学与交叉学科研究院理事长丘成桐在致辞中表示，基础研究周期长、见效慢，却能决定一个国家的科技发展的未来。

会议期间，与会学者围绕弦理论、量子引力、量子场论等前沿方向展开深入研讨。大会还将举办大会报告、综述报告、海报展示和公共讲座等系列学术活动。



近日，由中国科学院华南植物园与贵州省贵阳市生态环境局观山湖分局联合主办的珍稀濒危植物展在贵阳开幕。

此次展精选毛茛、虎颜花、降香黄檀等18种代表性珍稀物种，以“实物+展板”形式介绍其生态特征、生存现状及保护价值，让公众直观认识到生境破坏和人为采挖带来的威胁。

图为现场展出的兜兰双娇“金童玉女”。

本报记者朱汉斌 通讯员湛青青报道
中国科学院华南植物园供图

当沙漠开始下暴雨，干旱区基础设施如何应对新风险

■段伟利

沙漠不只有风沙，还可能迎来暴雨。

今年6月以来，新疆塔克拉玛干沙漠边缘接连遭遇洪水。据中国天气网报道，截至6月20日19时，和田24小时累计雨量达64.7毫米，其中12时至13时单小时雨量达34.3毫米；20日11时至14时，3小时降雨量达53.8毫米，超过当地常年全年降水量，相当于3小时下完了一整年的雨。强降雨引发山洪，导致多条道路受到影响，车辆被困，吐和高速一度中断。

这场暴雨不仅是一场极端天气事件，更释放出一个个值得高度关注的信号：暖湿化并没有改变干旱区“缺水”这一基本事实，却在改变降水发生的方式。未来，西北干旱区很可能长期处于“总体缺水、局地暴雨”并存的新气候格局，过去按照历史气候条件建设的基础设施，面临重新评估设计边界的现实需求。

沙漠不会变水乡，但极端降水正在改变风险

近年来，新疆平均气温持续升高，降水总体有所增加，但降水并非均匀分布，更多集中在少数强天气过程中。数据显示，近30年来新疆暴雨发生频次较1961—1990年增加约27%，降水日数变化却并不明显。

这一变化意味着，暖湿化并不是将沙漠变成湿润地区，而是导致水循环波动加剧。长期平均降水虽然增加，但更多表现为短历时、高强度降雨事件，降水时空分布更加不均匀。

与此同时，高山冰川消融、水汽输送增强及复杂地形共同作用，使昆仑山、天山等山前地区更易形成局地暴雨。暴雨与冰雪融水叠加，还可能形成复合型洪水过程，进一步放大山洪、泥石流等灾害风险。

因此，未来干旱区最大的变化不是“越来越

越湿”，而是极端天气发生概率持续增加，基础设施面临的风险由单一风沙灾害逐步转向风沙、高温、暴雨、洪水等多灾种耦合。

基建习惯了缺水，却未必扛得住极端降水

过去，干旱区基础设施主要围绕“干”的环境建设。道路要防风沙掩埋，建筑要抗晒、隔热、保温，农田要节水灌溉，水利工程要尽量把水留下来。但当极端降水增多，基础设施就不能只考虑缺水，还必须考虑短时多水。

首先是城市排水系统。许多干旱区城市过去降水少，雨水管网、排水口、泵站和低洼区排涝设施往往不是建设重点。但当一小时降水超过30毫米，雨水会迅速在硬化道路、地下通道、老旧小区和低洼街区汇集。如果排水管网能力不足，雨水口淤堵、应急排涝设施缺乏，就容易形成内涝。和田暴雨中，市政部门加紧排水，正说明“少雨城市”也需要补上排水防涝这一课。

其次是建筑和村镇设施。干旱区建筑过去更重视防晒、抗风沙和耐温差，但暴雨会带来屋面排水不畅、院落积水、墙体受潮、地下空间倒灌等问题。对于低洼地带的村镇房屋、学校、卫生院等建筑来说，地坪标高、屋面坡度、雨水口尺寸和地下空间防水都可能成为突发暴雨中的安全关键。

再次是道路和桥梁。沙漠公路、山前道路和穿越冲洪积扇的交通线，过去重点防的是积沙和高温损害。暴雨中真正危险的是洪水夹带泥沙、砾石冲刷路基，造成涵洞淤堵、边坡坍塌和路基掏空。许多沟平时无水，但强降雨时可能迅速变成行洪通道。一旦桥梁孔径不足、排洪通道不畅，就可能造成交通受阻和局部毁损。

最后是水利工程。干旱区水库、渠道、灌

区、机井和节水灌溉设施长期承担抗旱、供水和蓄水功能。但在暖湿化背景下，水利工程不能只考虑“怎样把水留下”，还要考虑“水突然多起来怎样排走”。暴雨叠加高山冰雪融水，可能增加山洪、沟道洪水和泥沙淤积风险。因此，渠道、排洪沟、水库排洪设施和灌区排水系统需要兼顾抗旱和防洪。

此外，农田和能源设施也会受影响。极端降水可能造成农田积水、作物根系缺氧、土壤冲刷和棚架基础松动；戈壁荒漠中的油气管线、输电线路、光伏电站和风电场也可能因地表冲刷出现管线裸露、杆塔基础受损、场区积水淤沙和检修道路中断。对于干旱区而言，基础设施的气候适应性不只是耐高温，也包括排水、防冲刷和灾后快速恢复。

基建不能只防风沙，也要应对气候新变化

干旱区过去偏重防旱、防沙、防晒是由气候背景、资料条件和建设成本共同决定的，长期少雨使供水、节水、防沙和抗高温成为紧迫的问题。极端降水样本少，很多沟渠几十年不行洪，工程设计容易依赖历史经验；提高桥梁标准、扩建管网、建设排洪渠和监测系统都需要持续投入。

但气候变化正在改变这种风险排序。公开资料显示，1991年至2020年，新疆地区平均年降水量较此前30年增加了19.4%，新疆西部山区增幅显著。然而，新疆年平均降水量目前仅为68.7毫米，低于全国平均水平(639.6毫米)和全球平均水平(1779毫米)。因此，未来干旱区基建不能简单照搬湿润地区模式，也不能继续只按“平均干旱气候”设计，而应转向“抗旱+防洪”的韧性基础设施。

在规划上，道路、村镇、园区和新能源电站应尽量避免山洪沟口、冲洪积扇活跃区、低洼汇水区 and 历史洪水痕迹明显区域。无法避让的工程要抬高桥梁、边沟、排洪渠、沉砂池和护坡的安全余量。

在结构和材料上，道路桥梁要从“防沙型”升级为“防沙防洪型”。穿越干沟的路段不能只按平时无水处理，应预留泄洪通道、防护护坡、过水路面和清淤空间。混凝土、沥青、防水层、金属构件和管线外防护层，要同时适应高温、强紫外线、盐渍土、短时浸水、泥沙冲刷和干湿循环。

在城市、乡村和农田，排水系统要从“有没有”转向“极端情况下够不够”。除了完善雨水管外，还应保留自然沟道和低洼滞蓄空间，建设应急集雨和地下空间防倒灌设施。农田和温室大棚则要完善田间排水沟、棚区排涝通道和灾后修复机制。

更重要的是让气象预警真正进入工程管理。新疆政府网信息显示，2025年新疆暴雨(雪)预警准确率由89%提升至94%。预警更应从天气预报里转化为具体行动：哪些道路提前封控，哪些涵洞提前清淤，哪些村组提前转移，哪些管线、光伏场区和泵站提前巡查，都应形成清单和责任机制。

沙漠不会因为几场暴雨变成水乡，但干旱区基础设施必须面对新的气候现实：缺水仍是常态，突发洪水也可能成为考验。未来的干旱区基建，既要节水抗旱，也要排洪防涝；既要防风固沙，也要抵御冲刷。只有为极端天气留足安全余量，沙漠边缘的城市、道路、农田和能源系统才能真正变得更安全、稳定、有韧性，进而为新时代西部大开发、国家重大工程建设和生态安全战略提供更加坚实的基础支撑。

(作者系中国科学院新疆生态与地理研究所副所长、研究员)