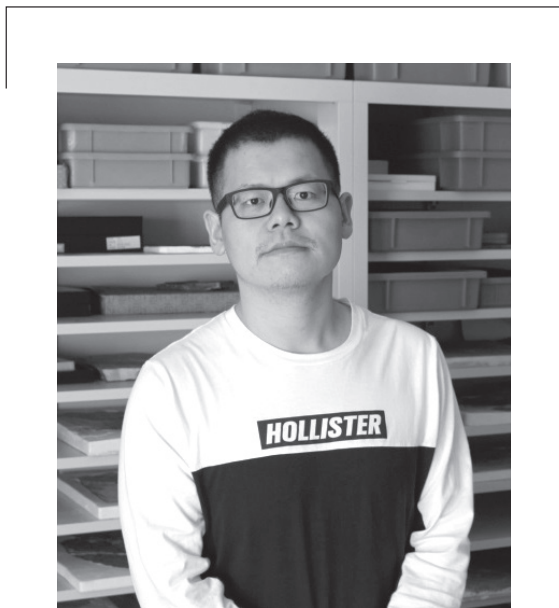


# 鸟类飞行演化中的另类飞行模式

2019年5月9日,《自然》以封面文章发表了中国科学院古脊椎动物与古人类研究所王敏研究员、邹晶梅研究员、徐星研究员、周忠和院士的研究成果:一种新的侏罗纪擅攀鸟龙类以及膜质翅膀在恐龙演化中的短暂出现。

王敏



王敏

中国科学院古脊椎动物与古人类研究所研究员

在脊椎动物漫长的演化史中,翼龙、鸟类和蝙蝠分别独立演化出了形态迥异的飞行结构。相较翼龙和蝙蝠不完整的化石记录,随着带羽毛恐龙和早期鸟类化石的不断发现,尤其得益于我国中-晚侏罗世的燕辽生物群和早白垩世的热河生物群,有关鸟类飞行起源这一重要科学问题取得了重要进展,而擅攀鸟龙类的发现则揭示了“一条匪夷所思的征服蓝天之旅”。

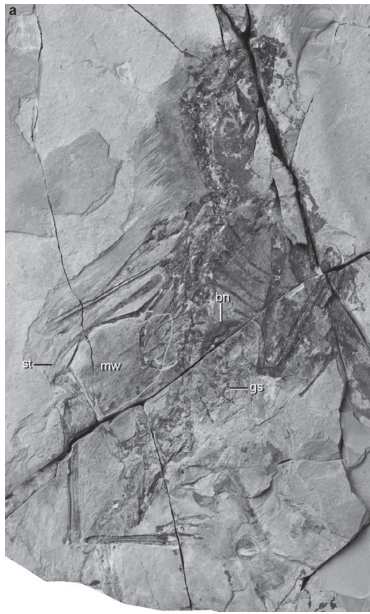
## 擅攀鸟龙类

擅攀鸟龙类(Scansoriopterygidae)是恐龙家族中最为怪异的类群,生活在中-晚侏罗世,迄今发现的仅有三个属种,均发现于我国的燕辽生物群:宁城树栖龙(*Epidendrosaurus ningchengensis*)、胡氏耀龙(*Epidexipteryx hui*)和奇翼龙(*Yiqi*)。擅攀鸟龙类具有非常独特的形态特征:头骨高耸、四肢纤细、第三手指(最外侧的手指)加长、古老的2-3-4手指指式、尾骨缩短等,俨然是恐龙和鸟类的“混合体”,而它一度被认为是和鸟类具有最近亲缘关系的兽脚类恐龙。但这些标本抑或完整,抑或属于幼年个体(如宁城树栖龙和胡氏耀龙),大量形态特征难以观察,造成它在演化树上的位置扑朔迷离。

2015年徐星等命名的奇翼龙更加为这一类群增添神秘色彩。奇翼龙的前肢附着翼膜,还具有一根棒状长骨,这样的长骨在其他恐龙(包括鸟类)中没有对应的同源结构。因此,奇翼龙被复原成类似翼龙那样,因具有膜质翅膀而能够滑翔。但奇翼龙的标本仅有一件,保存也不完整,因此对于棒状长骨和翼膜是否存在还富有争议。

## 发现擅攀鸟龙类新化石

2017年,由国家自然科学基金支持的基础科学中心团队在辽宁凌源地区晚侏罗世地层考察时获得了一件新化石。最初看到这件化石时,由于多数骨骼还被岩石覆盖,仅能看到部分肩带骨骼,且这些骨骼与早期鸟类较为相似,因此研究人员认为其有可能是一类晚侏罗世的鸟类;随后经过中国科学院古脊椎动物与古人类研究所研究团队长达一年的室内修理、实验和对比研究,特别是包括手指、腰带等部位骨骼的修复,显示出了典型的擅攀鸟龙类特征,最终确定该化石代表了该类群的一个新的成员,将其命名为长臂浑元龙(*Ambopteryx longibrachium*)(意指翼龙那样膜质翅膀和恐龙的混合体),浑元龙发现于燕辽生物群晚侏罗世早期的海房



长臂浑元龙正型标本（bn-骨质胃容物；gs-胃石；mw-膜质翼膜；st-棒状长骨）



《自然》第569卷杂志封面：中科院古脊椎动物与人类研究所发现侏罗纪具有膜质翅膀的恐龙

在内的恐爪龙类的前肢也有加长的趋势，但其前/后肢的比例远远小于擅攀鸟龙类和鸟类。即在飞行起源时，副鸟类中不同的类群就显示出了不同的前肢加长过程：擅攀鸟龙类前肢的加长主要源自肱骨和尺骨；在鸟类、驰龙类和伤齿龙类中，则是掌骨的加长。擅攀鸟龙类通过加长的肱骨和尺骨、第三手指与棒状长骨来附着膜质的翅膀，而鸟类、驰龙类和伤齿龙类则需要较长的掌骨来附着飞羽，显示出两种不同的飞行模式——“膜质翅膀和短掌骨”与“羽毛翅膀和长掌骨”——对前肢结构产生了巨大改变。

因此，长臂浑元龙代表了一种由棒状长骨和翼膜构成的飞行器官，这种飞行方式与我们此前所认为的带羽毛恐龙和鸟类需要借助于羽毛这样一种前肢进行飞行的方式完全不同，这是一种新的飞行方式。

沟组（距今约 1.63 亿年）。

浑元龙体长约 32 厘米，体重约 306 克，其正型标本是目前已知最完整的擅攀鸟龙类化石，提供了大量形态和生态学信息。浑元龙在肱骨近端关节面、手指和腰带形态方面明显不同于其他擅攀鸟龙类，并且具有原始鸟类那样的尾综骨（尾综骨是有若干枚尾椎愈合成的一块复合骨），如此缩短的尾骨能进一步将身体重心前移，有利于在飞行和滑翔时保持稳定。更为重要的是，该研究团队在浑元龙的前肢发现了和奇翼龙相似的棒状长骨和翼膜（翼膜中保存有色素体），这一新发现为棒状长骨和翼膜在擅攀鸟龙类中的出现提供了确切无疑的证据。浑元龙体内保存有胃石和疑似尚未完全消化的骨质胃容物，这是在擅攀鸟龙类中首次发现的与食性相关的证据。结合其牙齿的形态特征，推测浑元龙为杂食性。

## 膜质翅膀与羽毛翅膀

浑元龙的前肢异常加长，甚至超过了中生代多数鸟类。在对比恐龙前肢时，研究团队发现擅攀鸟龙类的前肢比例构成非常奇特，而这样的差异是否与翼膜的出现有关？为了证实这一猜测，团队研究人员采用基于系统发育关系的主成分分析法来研究中生代虚骨龙类（包括鸟类）四肢长度的演化，特别是在接近飞行起源时有哪些显著变化。系统发育主成分分析是在传统的主成分分析上剔除亲缘关系，最大限度地保证采样点的独立性，同时复原祖先节点的特征状态，从而展现不同类群的演化趋势。

研究发现，自副鸟类（Paraves，即包括所有鸟类，但不包括窃蛋龙类的最广义类群）开始，前肢就开始加长，但仅有擅攀鸟龙类的加长程度接近中生代鸟类，虽然包括小盗龙

## 飞行演化史上一次短暂而独特的尝试

2019 年 5 月 9 日，《自然》以封面文章发表了中国科学院古脊椎动物与古人类研究所的这项研究成果：一种新的侏罗纪擅攀鸟龙类以及膜质翅膀在恐龙演化中的短暂出现（A new Jurassic scansoriopterygid and the loss of membranous wings in theropod dinosaurs）。侏罗纪擅攀鸟龙类揭示了膜质翅膀在恐龙中的演化，展示了在恐龙-鸟类演化历程中出现的大量意想不到的适应飞行尝试，与之对应的是演化出了差异显著的骨骼——表皮衍生物组合。该研究得到了国家自然科学基金基础科学中心项目（克拉通破坏与陆地生物演化）、优秀青年科学基金项目、中国科学院青年创新促进会以及岩石圈演化国家重点实验室（华北克拉通破坏与燕辽-热河生物群演化）的支持。

由飞羽构成的翅膀自晚侏罗世带羽毛恐龙（如近鸟龙等，已经具有类似现代鸟类那样的大型飞羽）出现一直延续到白垩纪，经过漫长的演化最终形成了鸟类的羽翼，使鸟类成了多样性最丰富的现生四足动物。而已知的擅攀鸟龙类均生活在晚侏罗世，类似的膜质翅膀并没有在白垩纪的恐龙中出现，表明在擅攀鸟龙类中出现的这种独特的飞行结构代表了飞行演化史上的一次短暂尝试。

虽然擅攀鸟龙类的前肢较长，并附着翼膜，但是其缺乏与主动振翅飞行方式相关的形态特征（例如发达的骨质胸骨，肱骨近端宽大的三角肌脊等结构），表明擅攀鸟龙类能够进行滑翔（类似现代的鼯鼠），而并不能上下扇动翅膀进行飞行。长期以来，对恐龙-鸟类演化时飞行起源的认识都局限于由羽毛构成翅膀这一种类型，而奇翼龙和浑元龙的发现却表明羽质翅膀并不是唯一的路径，飞行的演化远比我们想象的更为复杂。