

辽宁西部早白垩世朝阳翼龙科 (*Chaoyangopteridae*) 化石一新种

姬书安¹⁾, 张立军²⁾, 路芳³⁾

- 1) 中国地质科学院地质研究所, 自然资源部地层与古生物重点实验室, 北京, 100037;
2) 海南热带海洋学院南海文化博物馆, 海南三亚, 572022;
3) 三亚飞天恐龙古生物化石博物馆, 海南三亚, 572029

内容提要:中国辽宁西部早白垩世翼龙类化石非常丰富, 其上部的九佛堂组翼龙类组合以含有丰富的无齿的古神翼龙科、朝阳翼龙科等进步类型而与下部的义县组翼龙类组合相区别。本文描述了辽宁西部建昌盆地九佛堂组一新的大型翼龙类化石, 其以上下颌无齿、吻端指数为 3.7、前颌骨背支细长且封闭鼻眶前孔背缘、很大的鼻眶前孔后端超过上下颌关节位置、轭骨的上领骨突基部宽大而应被归入朝阳翼龙科 (*Chaoyangopteridae*) 神州翼龙属 (*Shenzhoupterus*)。其以较大的体形(翼展 2.05 m)、平直的上下颌咬合面、轭骨的眶后骨突较泪骨突长且基部略宽、第 4~7 颈椎长度依次减小等特征, 区别于朝阳神州翼龙 (*Shenzhoupterus chaoyangensis*), 而被命名为三亚神州翼龙(新种) (*Shenzhoupterus sanyainus* sp. nov.)。这是辽宁西部早白垩世翼展最大且不具牙齿的翼龙类属种, 它的发现丰富了九佛堂组翼龙类组合内容, 对认识朝阳翼龙科的骨骼形态与生态习性亦具有积极意义。

关键词:翼手龙亚目; 朝阳翼龙科; 三亚神州翼龙(新种); 早白垩世; 九佛堂组; 辽宁西部

中国辽宁西部及其周边是世界上翼龙类化石最为重要的分布区之一, 其中早白垩世热河生物群的翼龙类依据其产出层位的不同可分为两个组合: 上部的九佛堂组翼龙类组合和下部的义县组翼龙类组合 (Wang Xiaolin and Zhou Zhonghe, 2006; 汪筱林等, 2014, 2020)。九佛堂组的翼龙类类群以较进步的翼手龙亚目成员为主, 该组合以含有较为丰富的古神翼龙科 (*Tapejaridae*)、朝阳翼龙科 (*Chaoyangopteridae*) 等无齿的翼龙类类群为其重要特点之一。

2008 年, 吕君昌等报道了辽宁朝阳九佛堂组的朝阳神州翼龙 (*Shenzhoupterus chaoyangensis*), 建立朝阳翼龙科 (*Chaoyangopteridae*), 代表一进步的无齿的神龙翼龙超科类群 (Lü Junchang et al., 2008), 并将该属种和张氏朝阳翼龙

(*Chaoyangopterus zhangi*) (Wang Xiaoling and Zhou Zhonghe, 2003)、无齿吉大翼龙 (*Jidapterus edentus*) (董枝明等, 2003)、李氏始无齿翼龙 (*Eopteranodon lii*) (吕君昌和张宝堃, 2005)、辽西始神龙翼龙 (*Eoazhdarcho liaoxiensis*) (Lü Junchang and Ji Qiang, 2005) 一并归入朝阳翼龙科。尽管有学者对后 3 个属种的有效性或分类位置有不同认识, 但最新的研究表明: 该 3 个属种均是有效的 (Wu Wenhao et al., 2017; Andres, 2021), 而李氏始无齿翼龙应归入古神翼龙科 (Wu Wenhao et al., 2017; Pêgas et al., 2023)。本文记述了一件新的较大的翼龙类化石, 为朝阳翼龙科一新种。该化石的发现不仅进一步丰富了朝阳翼龙科的化石类型, 而且对研究该科化石的骨骼特征也具有积极意义。

注: 本文为国家自然科学基金项目(编号 41872026)和海南热带海洋学院引进人才科研启动基金项目(编号 RHDRC202008)联合资助的成果。

收稿日期: 2023-05-05; 改回日期: 2023-05-12; 网络发表日期: 2023-05-22; 责任编委: 任东; 责任编辑: 李明。

作者简介: 姬书安, 男, 1964 年生。博士, 研究员, 古生物学与地层学专业, 主要从事中生代爬行类化石及地层学研究。E-mail:jishu_an@sina.com。

引用本文: 姬书安, 张立军, 路芳. 2023. 辽宁西部早白垩世朝阳翼龙科(*Chaoyangopteridae*)化石一新种. 地质学报, 97(6): 1723~1740, doi:10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2023322.

Ji Shu'an, Zhang Lijun, Lu Fang. 2023. A new species of chaoyangopterid pterosaur from the Early Cretaceous in western Liaoning, China. Acta Geologica Sinica, 97(6): 1723~1740.

本文记述的翼龙类化石产于辽宁建昌盆地喇嘛洞,化石产出层位为九佛堂组二段顶部的肖台子化石层(吴子杰等,2018)。前人曾报道了肖台子化石层若干重要四足类动物化石,如龟类的建昌辽龟(*Liaochelys jianchangensis*) (Zhou Changfu, 2010a),翼龙类的朱氏莫干翼龙(*Moganopterus zhuiana*) (Lü Junchang et al., 2012; Gao Diansong et al., 2022)、阿凡达伊卡兰翼龙(*Ikrandraco avatar*) (Wang Xiaoling et al., 2014),鸟类的师范孔子鸟(*Confuciusornis shifan*) (Wang Renfei et al., 2022)、郭氏渤海鸟(*Bohaiornis guoi*) (Hu Dongyu et al., 2011)、小齿建昌鸟(*Jianchangornis microdonta*) (Zhou Zhonghe et al., 2009)、李氏叉尾鸟(*Schizooura lii*) (Zhou Shuang et al., 2012),哺乳类的胡氏辽尖齿兽(*Liaoconodon hui*) (Meng Jin et al., 2011)等。该化石层的同位素绝对年龄为 118.9 ± 0.8/1.4 Ma (Yu Zhiqiang et al., 2021),地质时代为早白垩世晚期的阿普特期(Aptian)。

1 系统古生物学

翼龙目 Pterosauria Kaup, 1934

翼手龙亚目 Pterodactyloidea Plieninger, 1901

神龙翼龙超科 Azhdarchoidea Unwin, 1995

朝阳翼龙科 Chaoyangopteridae Lü, Unwin,

Xu and Zhang, 2008

神州翼龙属 *Shenzhoupterus* Lü, Unwin,

Xu and Zhang, 2008

三 亚 神 州 翼 龙 (新 种) *Shenzhoupterus*

sanyainus sp. nov.

词源 种名 sanya 意“三亚”,指新种正型标本收藏于三亚飞天恐龙古生物化石博物馆——中国最南端的恐龙博物馆。

正型标本 一件包括头骨和下颌在内的完整骨架(标本编号:DB0233)。

产地与层位 辽宁省建昌县喇嘛洞,下白垩统九佛堂组。

特征 新种以下列组合特征区别于属型种——朝阳神州翼龙(*Shenzhoupterus chaoyangensis*):体形较大、翼展达 2.05 m,显著大于朝阳神州翼龙翼展的 1.4 m;上下颌的咬合面平直,不同于朝阳神州翼龙略凹的上颌腹缘和略凸的下颌背缘;轭骨的眶后骨突较泪骨突长且基部略宽、两突起之间夹角相对较大(50°),不同于朝阳神州翼龙相对较宽大的轭

骨之泪骨突、以及相对较小的泪骨突与眶后骨突之间的夹角(30°);第 4~7 颈椎长度依次缩短、第 7 颈椎长仅为第 4 颈椎长的 65%,不同于朝阳神州翼龙第 4~7 颈椎长度大体相当的情形;肱骨相对较长,其与尺骨、股骨、胫骨的长度之比分别为 0.70、0.76、0.53,明显大于朝阳神州翼龙相应比例的 0.63、0.65、0.47。

2 化石描述

该翼龙保存为完整骨架且自然关联,头骨与下颌出露右侧面,而头后骨骼大多出露腹面(图 1)。绝大多数骨骼清晰,使我们能够准确测量其长度和高度(表 1)。

2.1 头骨与下颌(Skull and mandible)

头骨(skull)相对很大(图 2),腹缘平直,无齿。头骨基部(吻端至方骨腹方关节末端)长 280 mm;头骨全长(吻端至头顶末端在头骨腹缘水平线上的最大长度)为 415 mm,仅略短于所有颈椎和背椎的长度之和。头骨最高点位于鼻眶前孔后背角上方的头顶背缘处,其与头骨腹缘的垂直高度为 115 mm。鼻眶前孔(nasoantorbital fenestra)非常大,占据头骨侧面的大部分,该孔最大长、高分别为 160 mm、72 mm,其长度为头骨基部长的 57%。鼻眶前孔侧面观约为一圆滑的钝角三角形,其近于平直的腹缘分别由上颌骨和轭骨构成,背缘由细长的向背后方弯曲的前颌骨背支所限定,后缘向前腹方倾斜。鼻眶前孔后端位置位于上下颌关节之后。

鼻眶前孔之前的头骨吻端(rostrum)低长、无嵴、前端尖锐;吻端长 149 mm,最大高度位于鼻眶前孔前缘处,为 40 mm,吻端指数(rostral index)(吻端长度与吻端最大高度的比值)3.7,与朝阳神州翼龙吻端指数完全相同(Lü Junchang et al., 2008),而小于张氏朝阳翼龙正型标本的 4.7(吴肖春等,2017)、无齿吉大翼龙正型标本的 5.1 (Wu Wenhao et al., 2017)。前颌骨(premaxilla)与上颌骨(maxilla)之间的骨缝难于观察到,该两骨可能已经愈合。前颌骨背支自鼻眶前孔前缘背部开始向背后方延伸并逐渐过渡至近于水平状,在接近后端微微上翘,使该骨背支的背缘侧面观呈宽缓的拱形。前颌骨背支整体上较为纤细,其自前向后逐渐变得更细至尖灭,后端几乎达到头骨末端。上颌骨(maxilla)构成头骨腹缘的绝大部分,其腹缘很平直;上颌骨还构成鼻眶前孔腹缘前部约 1/3 的部分。

表 1 三亞神州翼龍(新種)正型標本(DB0233)骨骼測量

Table 1 Measurements of bones in the holotype (DB0233) of *Shenzhoupterus sanyainus* sp. nov.

骨骼部位(Bones)	长度或高度(Lengths or heights)(mm)	
头骨、下颌及中轴骨骼(Skull, mandible and axial bones)	280/415	
头骨基部长、全长(Basal and total lengths of skull)	115	
头骨最大高(Maximum height of skull)	149/40	
吻端长、最大高(Length and maximum height of rostrum)	160/72	
鼻眶前孔长、高(Length and height of nasoantorbital fenestra)	300/31	
下颌长、最大高(Length and maximum height of mandible)	153	
下颌联合部长(Length of mandibular symphysis)	33°/60/52/48/39/15/11	
第3~9 颈椎长(Lengths of cervical vertebrae 3~9)	170°	
背椎全长(Total length of dorsal vertebrae)		
附肢骨骼长度(Lengths of appendicular bones)	左侧(Left side)	右侧(Right side)
肩胛骨、鸟喙骨(Scapula and coracoid)	-/68	79/68
胸骨龙骨突、胸板(Cristospine and sternal plate)		19/74°
肱骨(Humerus)	114	117
尺骨、桡骨(Ulna and radius)	163/156	163/155
翅骨(Pteroid)	-	87
第I~III 掌骨(Metacarpals I~III)	198/66°/-	204/-/-
翼掌骨(Wing-metacarpal)	217	216
第I指第1~2 指节(Manual phalanges I-1 and I-2)	28/20°	28/21
第II指第1~3 指节(Manual phalanges II-1 to II-3)	19/22/18	19/21/17
第III指第1~4 指节(Manual phalanges III-1 to III-4)	30/7/19/16	28/7/20/16
第1~4 翼指骨(Wing-phalanges 1~4)	226/149/97/48	227/153°/97/47
肠骨(Ilium)	85°	84°
股骨(Femur)	150	153
胫骨、腓骨(Tibia and fibula)	215/-	217/143
第I~V 跗骨(Metatarsals I~V)	51/50/48/43/12	51/50/47/42/11
第I趾第1~2 趾节(Pedal phalanges I-1 and I-2)	18/10	18/10
第II趾第1~3 趾节(Pedal phalanges II-1 to II-3)	10/15/10	10/15/9
第III趾第1~4 趾节(Pedal phalanges III-1 to III-4)	15/1/14/9	14/1.5/14/8
第IV趾第1~5 趾节(Pedal phalanges IV-1 to IV-5)	18/2/1.5/11/8	18/2/1.5/11/8
第V趾第1 趾节(Pedal phalanx V-1)	4	3.5

注:°为估计值;—代表未完整保存或出露。

轭骨(jugal)是头骨侧面眶孔周边较大的骨骼,右侧轭骨几乎保存完整。轭骨的上颌骨突(maxillary process)近水平伸向前方,该突基部宽大,明显宽于泪骨突和眶后骨突的基部(图 2);该突直且较长,长 84 mm,其背缘逐渐向前腹方倾斜,前端尖锐。轭骨的泪骨突(lacrimal process)略向后方倾斜,该突直,基部略窄,末端逐渐变尖,其长度仅为轭骨的上颌骨突长的 33%。轭骨的眶后骨突(postorbital process)指向后背方,其基部略宽于泪骨突基部而显著窄于上颌骨突基部,该突略长于泪骨突而明显短于上颌骨突,其长为上颌骨突长的 43%。轭骨的眶后骨突后缘上部与眶后骨接触,两骨共同分隔眶孔与下颞孔。

眶后骨(postorbital)约呈三角形,其轭骨突相对最长,额骨突较尖,而鳞骨突较圆钝。在轭骨的眶后骨突后端的背方,可见一段不完整的直立状骨骼,其下端略宽且分叉,推测应为泪骨(lacrimal)的一部

分。在轭骨的眶后骨突中部上方,保存有 2 小片非常薄的不完整骨片,为残留的巩膜骨(scleral bone)。据此我们可以推断:该翼龙眶孔的位置应位于轭骨的泪骨突与眶后骨突之间,显著低于鼻眶前孔的高度之半略低的水平线上。

方骨(quadrate)侧面观呈长条形,长 50 mm,腹端圆钝且略膨胀,与下颌相关节。方骨长轴指向前腹方,其向前方倾斜的角度很大,长轴方向与头骨腹缘在前方的夹角为 155°。头骨后部的鳞骨、额骨、顶骨等骨骼因保存不清而未能观察到其形态特征,在眶后骨之后存在一个表面有较大凹坑的近圆形隆起,可能是脑颅(braincase)的一部分。在头骨后背部有一表面略褶皱的长三角形区域,至少在该区域的后部能够观察到很薄的骨片存在,显示该翼龙具有较为发达的额顶嵴(frontoparietal crest),该嵴侧面观呈三角形、后端较为尖锐且向后延伸较远。

下颌(mandible)亦无齿,下颌侧面几乎全部被



图 1 三亚神州翼龙(新种)正型标本(DB0233)

Fig. 1 Holotype of *Shenzhoupterus sanyainus* sp. nov. (DB0233)

cv—颈椎; lfl—左前肢; lhl—左后肢; man—下颌; pg—腰带; rfl—右前肢; rhl—右后肢; sg—肩带; sk—头骨; st—胸骨; 比例尺为 80 mm
cv—cervical vertebrae; lfl—left forelimb; lhl—left hind limb; man—mandible; pg—pelvic girdle; rfl—right forelimb; rhl—right hind limb;
sg—shoulder girdle; sk—skull; st—sternum; scale bar is 80 mm

齿骨所占据,仅后部上方可见出露的局部上隅骨(surangular)。齿骨(dentary)全长 300 mm,侧面未发育纵嵴或小窝等构造;背缘几乎平直,仅其后部很少一部分微微向下方倾斜。下颌联合部(mandibular symphysis)长度略超过下颌全长之半,其后端大致处于头骨的鼻眶前孔前缘下方;下颌高度在该点亦达到最大,为 31 mm,仅为下颌全长的 1/10。下颌腹缘在该点形成一明显夹角,将下颌腹缘分为前部和后部两部分。腹缘前半部分自后向前大体呈直线逐渐向前上方倾斜,在下颌前端与背缘形成很尖锐的角;腹缘后半部分自前向后逐渐向后上方倾斜,其上斜程度不断减弱而使腹缘后半部分略微内凹。下颌后端较为圆钝,其高度仅为下颌最大高度的 1/3。

2.2 中轴骨骼(Axial skeleton)

本文描述的翼龙各个部位的脊椎均有保存或出

露,其中以颈椎与后部背椎相对较好。颈椎(cervical vertebra)9 枚,包括保存较好的后部 7 枚和未能确切识别的寰椎和枢椎。颈椎总体长度推测应在 280 mm 左右,明显大于背椎+荐椎+尾椎的总长(在标本中其保存部分的长度为 216 mm)。在方骨和眶后骨下方有一轮廓不甚清晰的骨骼,可能为寰椎-枢椎组合(atlas-axis complex),特征不清楚。第 3 颈椎隐约可辨,保存长度 33 mm。第 4~7 颈椎保存近于完整,出露为侧腹面或腹面,其椎体中部收缩而两端较宽;第 5 颈椎椎体后面局部出露,该椎体后面略内凹。该 4 枚颈椎椎体拉长程度中等,长约为宽的 3~4 倍;椎体长度分别为 60 mm、52 mm、48 mm、39 mm,依次逐渐减小,与无齿吉大翼龙正型标本的相似(Wu Wenhao et al., 2017)。其第 7 颈椎长度仅为第 4 颈椎长度的 65%,这一占比在无齿吉大翼龙正型标本中为 75% (Wu Wenhao et



图2 三亞神州翼龍(新種)頭骨和下頷右側面觀及其線條圖

Fig. 2 Skull and mandible of *Shenzhoupterus sanyainus* sp. nov. in right lateral view and line drawing

br—脑颅; d—齿骨; fpc—额顶嵴; j—轭骨; la—泪骨; naf—鼻眶前孔; pm + mx—前颌骨 + 上颌骨; po—眶后骨; q—方骨; sa—上隅骨; scl—巩膜骨; 灰色表示骨骼; 比例尺为 50 mm

br—braincase; d—dentary; fpc—frontoparietal crest; j—jugal; la—lacrimal; naf—nasoantorbital fenestra; pm + mx—premaxilla + maxilla; po—postorbital; q—quadrate; sa—surangular; scl—scleral bone; bones in grey; scale bar is 50 mm

al., 2017)。这一特点明显不同于张氏朝阳翼龙,其第4~7颈椎几乎等长(Wang Xiaoling and Zhou Zhonghe, 2003);在朝阳神州翼龙中,其第4~7颈椎的长度变化亦很小(Lü Junchang et al., 2008)。本文描述翼龙的第4颈椎保留有部分神经棘(neural spine),该棘长且低平。第5~7颈椎保存有清晰的前、后关节突,所有关节突均位于椎体两侧且在接近端部时呈截面为圆形或椭圆形的棒状,椎体与关节突之间存在明显的纵沟(longitudinal sulcus);前关节突(prezygapophysis)向前超过本椎体前端,而后关节突(postzygapophysis)终止于本椎体后端之前(图3)。第8和第9颈椎显著缩短,其长分别为15 mm和11 mm,明显短于中部的颈椎,而与第1背椎长度相近。最后2枚颈椎明显变短的情形,亦存在于无齿吉大翼龙正型标本中(Wu Wenhao et al., 2017)。

第9颈椎之后的这枚脊椎被认定为第1背椎

(dorsal vertebra 1),依据是其与左侧第1背肋相关联(图4)。第1背椎出露腹面,其椎体前缘略凹而其后缘略凸;横突宽大,指向侧方。第2背椎、第3背椎前部也有一定程度出露,前3椎背椎没有愈合现象,表明该翼龙极有可能不存在联合背椎。中部背椎被胸骨完全覆盖,难以断定这部分背椎的数目和形态。在胸骨后端与左耻骨之间至少出露5枚中后部尾椎。其中间3枚的椎体长约为宽的1.5倍,椎体中部不收缩。

背肋(dorsal rib)保存较完全。前3对背肋略弯曲,近端明显膨大,远端圆钝。与后面的背肋相比,前3对背肋相对较短,但明显粗壮,尤其是第2对背肋显著宽于其他背肋(图4),这3对背肋推测应参与了胸腔(rib-cage)的构成。其后位于胸骨上方的4对或5对背肋明显细长,弯曲度亦有所减弱。胸骨之后的背肋变短变细,最后1枚背椎两侧的背肋非常短。

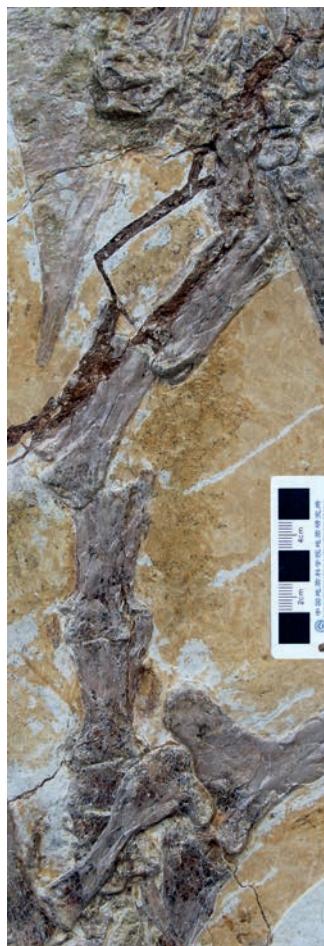


图 3 三亚神州翼龙(新种)颈椎及其线条图

Fig. 3 Cervical vertebrae of *Shenzhoupterus sanyainus*

sp. nov. and line drawing

at-ax—寰椎-枢椎组合; co—乌喙骨; cv3~cv9—第 3~9 颈椎; dv1—第 1 背椎; ls—纵沟; ns—神经棘; poz—后关节突; prz—前关节突; 灰色表示脊椎; 黄色表示左侧骨骼; 比例尺为 50 mm

at-ax—atlas-axis complex; co—coracoid; cv3~cv9—cervical vertebrae 3~9; dv1—dorsal vertebra 1; ls—longitudinal sulcus; ns—neural spine; poz—postzygapophysis; prz—prezygapophysis; vertebral column in grey; left bone in yellow; scale bar is 50 mm

荐椎(sacral vertebra)和尾椎(caudal vertebra)数目未能确定。左耻骨前方位置出露了第 1 荐椎前部很小一部分, 在左耻骨之后、两侧股骨头之间的部位出露有 2 枚不完整荐椎。其后的 3~4 枚为应是尾椎部分, 其神经棘较高。

2.3 附肢骨骼(Aappendicular skeleton)

肩带(shoulder girdle)保存完整, 肩胛骨(scapula)与乌喙骨(coracoid)未愈合(图 4)。两侧肩胛骨近端出露较好、均呈内侧面, 左肩胛骨远端完全被胸骨覆压, 右肩胛骨远端局部被胸骨覆压而其末端局部出露。肩胛骨长于乌喙骨, 前者骨干亦粗于后者骨干。肩胛骨近端宽大, 骨干较直, 其背缘和

腹缘未收缩变窄, 至远端圆钝。肩胛骨近端上部表面明显内凹, 构成肩臼窝(glenoid fossa)的一部分; 近端下部向前突出。乌喙骨保存非常完整, 亦呈内侧面, 近端约 1/3 的部分显著膨大且向后弯曲扩展; 乌喙骨中部收缩变窄, 向远端逐渐变宽且略向前弯曲; 远端与胸骨的关节面较宽且略内凹。在乌喙骨内侧表面、距近端约 1/3 处, 发育有小而明显的椭圆形突起(corracoidal tubercle); 在左乌喙骨紧邻该突起的下方有一小窝(fossa), 而右侧乌喙骨上未见类似的小窝。

胸骨(sternum)保存为腹面, 由前部的龙骨突(cristospine)和后部的胸板(sternal plate)构成。龙骨突很发育, 显著向前腹方突出, 其向前突出胸板前缘部分的保存长度约为胸板长度的 1/4。胸板腹面观几乎为正方形, 其前缘向侧方仅略向后倾斜; 侧缘以左侧的近于完整, 发育几个小凹缺; 后缘为不明显的波浪形。胸板前部中央部分向腹方略拱凸, 该部位骨壁较厚; 胸板向侧方和后方逐渐变得较平坦, 骨壁也逐渐变薄。

前肢(forelimb)全长(肱骨近端至翼指骨末端长度)为 1017 mm, 为后肢全长的 2.22 倍。该翼龙翼展可达 2.05 m, 明显大于朝阳神州翼龙的 1.4 m (Lü Junchang et al., 2008)。肱骨(humerus)短而粗壮, 其长略超过翼掌骨长度之半。肱骨头(humeral head)凸出, 该骨内侧突起略向后弯曲。三角肌嵴(deltapectoral crest)强烈向侧方凸出, 远端圆钝, 其侧向凸出部分长度约为该嵴前后向长度的 1.5 倍以上(图 4)。该嵴近端边缘略低于肱骨头所在的近端关节面, 三角肌嵴整体上较平, 没有向腹方弯曲。肱骨骨干较直, 骨骼宽度稳定, 远端略有扩展。在左侧肱骨远端与尺骨近端可观察到 2 块小的游离骨骼, 在右肱骨远端亦存在 1 包裹其远端的较宽游离骨骼, 未与肱骨(或尺骨)愈合, 应该是骨骺(epiphysis)的残留。

尺骨(ulna)、桡骨(radius)骨干直, 两者接触紧密且部分叠压(图 5)。前者略长于后者(表 1), 两端关节面不明显凸出。尺骨显著长于肱骨, 约为肱骨长度的 1.43 倍(左侧)。

腕部骨骼以左侧的保存完整。近端腕骨(proximal carpal)2 枚, 分别为尺腕骨(ulnare)和桡腕骨(radiale), 两者大小相近, 约为圆滑的长方形。远端腕骨(distal carpal)2 枚, 桡侧远端腕骨显著宽于尺侧远端腕骨。紧邻翼掌骨近端前侧边缘, 还保存有 1 枚椭圆形的前侧腕骨(preaxial carpal)。在

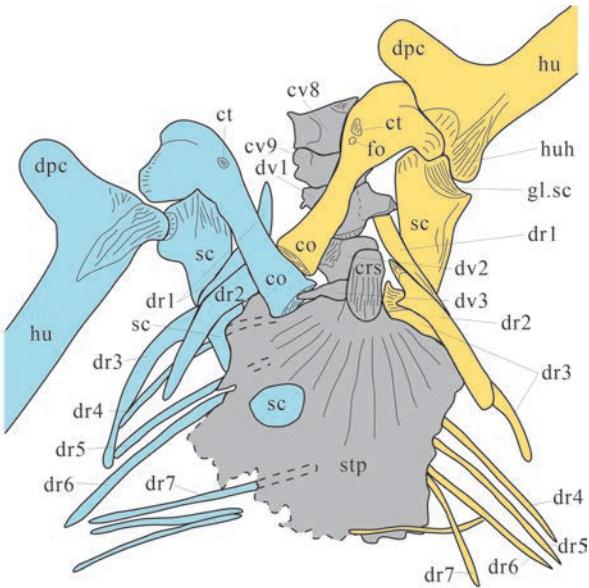


图 4 三亚神州翼龙(新种)肩带和胸骨腹面观及其线条图

Fig. 4 Shoulder girdles and sternum of *Shenzhoupterus sanyainus* sp. nov. in ventral view and line drawing

co—鸟喙骨;crs—龙骨突;ct—鸟喙骨突起;cv8~cv9—第8~9颈椎;dpc—肱骨三角肌嵴;dr1~dr7—第1~7背肋;dv1~dv3—第1~3背椎;fo—鸟喙骨小窝;gl. sc—肩胛骨的肩臼窝部分;hu—肱骨;huh—肱骨头;sc—肩胛骨;stp—胸板;灰色表示脊椎或胸骨;黄色表示左侧骨骼;蓝色表示右侧骨骼;比例尺为 50 mm

co—coracoid; crs—cristospine; ct—coracoidal tubercle; cv8~cv9—cervical vertebrae 8~9; dpc—deltpectoral crest of humerus; dr1~dr7—dorsal ribs 1~7; dv1~dv3—dorsal vertebrae 1~3; fo—fossa of coracoid; gl. sc—glenoid fossa of scapula; hu—humerus; huh—humeral head; sc—scapula; stp—sternal plate; vertebral column and sternum in grey; left bones in yellow; right bones in blue; scale bar is 50 mm

前侧腕骨近端和远端内侧分别保存有 2 枚非常小的豆状骨骼,为籽骨(sesamoid)(图 6)。左侧的腕部骨紧密接触但未愈合;右侧腕骨也有较好保存,但其近端腕骨、远端腕骨已分别趋于愈合。

翅骨(pteroid)为直且细长的棒状,右侧翅骨保存完整,长 87 mm,略超过尺骨长度之半;近端与桡腕骨相关节,远端变尖(图 5)。

第 I~III 掌骨(metacarpals I~III)纤细,远端膨大。第 I 掌骨近端达到腕部而与前侧腕骨的前缘相接触;第 II 和第 III 掌骨近端变尖且仅延伸至翼掌骨远端约 1/3 的位置。仅第 I 掌骨近端延伸至腕部的情况亦见于无齿吉大翼龙的正型标本(Wu Wenhao et al., 2017)。翼掌骨(wing-metacarpal)骨干直,近端较粗壮,骨干变细,其直径不到近端的 1/2(图 6)。翼掌骨长 217 mm,是前肢中仅次于第 1 翼指骨的第二长的骨骼。第 I~III 指指式 2-3-4,第 III 指最长、且相对最为粗壮。在前 3 指的所有指节中,指节 III-1 最长、最粗壮,且指节中部略向前弯曲;指节 I-1 长度与指节 III-1 相近或略短。指节 II-1 略短于 II-2,而指节 III-3 长度与 II-1 相当。指节

III-2 很短,是前 3 指中最短的指节。前 3 指指爪相对于后肢趾爪较为发达,且明显钩曲,其中第 I 指爪大于其他 2 枚指爪。

翼指骨(wing-phalanges)4 枚,整体长度 520 mm,约为前肢全长的 51%。每枚翼指骨骨干均很直,第 1 翼指骨是前肢最长的骨骼(226 mm),其长度占翼指骨全长的 43%;第 2 至第 4 翼指骨的长度依次显著缩短(图 7; 表 1)。伸肌腱突(extensor tendon process)侧面观约为三角形,未与第 1 翼指骨近端相愈合,显示该翼龙仍未达到完全成熟。第 1 翼指骨近端显著扩展,远端略有扩展且关节面略凸出,而骨干中部较窄,近端宽度约为骨干宽度的 3 倍。第 1 翼指骨近端前半部略膨大;后半部关节面较平,在其后不远处的腹面骨骼表面上发育着一椭圆形气窝(pneumatic fossa)。第 2、3 翼指骨均呈后面保存,其两端均略有扩展而骨干略窄,近端较远端膨大一些,近端关节面略凹而远端关节面略凸。该 2 枚翼指骨骨干的后侧表面上均发育了窄而深的纵沟(longitudinal groove),以供翼膜附着。第 4 翼指骨近端较膨大且关节面略凹,骨干逐渐变窄,至末端



图 5 三亚神州翼龙(新种)右侧(a)和左侧(b)肱骨、尺骨和桡骨腹面观

Fig. 5 Right (a) and left (b) humeri, ulnae and radii of *Shenzhoupterus sanyainus* sp. nov. in ventral view
 dpc—肱骨三角肌嵴; epi—骨骺; hu—肱骨; huh—肱骨头; pt—翅骨; ra—桡骨; ul—尺骨; 比例尺为 50 mm
 dpc—deltopectoral crest of humerus; epi—epiphysis; hu—humerus; huh—humeral head; pt—pteroid; ra—radius; ul—ulna; scale bars are 50 mm

较尖。第 4 翼指骨很短, 仅为第 3 翼指骨长度的 1/2, 尚不及第 2 翼指骨长度的 1/3。

腰带(pelvic girdle)各骨骼有较好保存。左、右两侧的肠骨(ilium)均出露内侧面, 其背缘自该骨前端至髋臼的部分形成一宽缓的内凹轮廓, 再向后过渡至近水平状直至背缘后端。两侧的肠骨前端均略有缺损, 髋臼前突明显长于髋臼后突, 前者的高度亦明显大于髋臼后突的高度, 肠骨后端圆钝。

左耻骨(pubis)几乎完整保存, 出露为侧面, 其轮廓大体为菱形且略向前腹方倾斜, 背腹向的高度略小于前后向的长度。该骨背缘和腹缘明显内凹, 后缘略拱凸; 前缘呈波浪状, 其上部拱曲, 下部内凹; 前缘下部与腹缘间形成一伸向前腹方的显著突起。耻骨上的髋臼窝(acetabular fossa)位于该骨后上方的侧面, 边缘呈圆弧形, 髋臼窝内壁光滑、未穿透耻

骨骨壁(图 8)。

前耻骨(prepubis)以右侧的保存较好, 仅其远端有缺失, 保存长度为 31 mm。该骨近端为较窄的短柄状, 近端关节面平直; 该骨向远端逐渐扩展, 其保存部分的最大宽度约为近端宽度的 3 倍。

腰带后部两侧的片状骨骼应为坐骨(ischium), 保存不完整, 其整体形态特征尚难于辨认。

后肢(hind limb)(自股骨头至第 III 跖爪末端)全长约 458 mm, 为前肢全长的 45%。股骨(femur)骨干明显向前拱曲, 股骨头(femoral head)非常凸出呈椭球状, 其与股骨骨干之间被较细长的股骨颈(femoral neck)所分隔。大转子(great trochanter)突出形成一圆角, 位于股骨近端下方附近(图 8)。股骨远端的关节髁外凸。

胫骨(tibia)直, 左胫骨长 215 mm, 其与股骨的

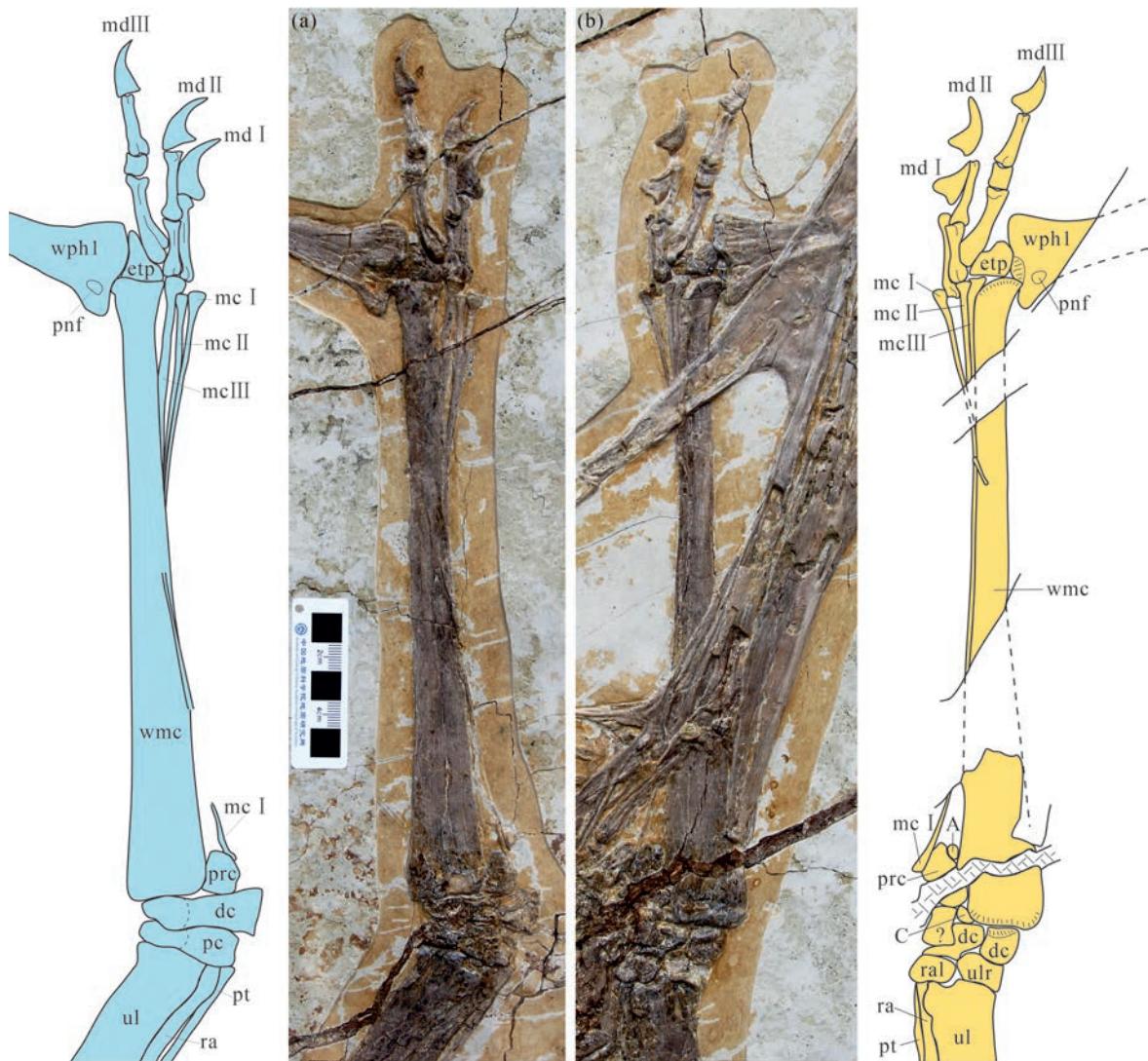


图6 三亚神州翼龙(新种)右侧(a)和左侧(b)翼掌骨和前肢相关骨骼腹面观及其线条图

Fig. 6 Right (a) and left (b) wing-metacarpals and connected bones of

Shenzhoupterus sanyainus sp. nov. in ventral view and line drawing

A—籽骨 A; C—籽骨 C; dc—远端腕骨; etp—伸肌腱突; mcI~III—第 I~III 掌骨; mdI~III—第 I~III 指; pc—近端腕骨; pnf—气窝; prc—前侧腕骨; pt—翅骨; ra—桡骨; ral—桡腕骨; ul—尺骨; ulr—尺腕骨; wmc—翼掌骨; wph1—第 1 翼指骨; 黄色表示左侧骨骼; 蓝色表示右侧骨骼; 比例尺为 50 mm

A—sesamoid A; C—sesamoid C; dc—distal carpal; etp—extensor tendon process; mcI~III—metacarpals I~III; mdI~III—manual digits I~III; pc—proximal carpal; pnf—pneumatic fossa; prc—preaxial carpal; pt—pteroid; ra—radius; ral—radiale; ul—ulna; ulr—ulnare; wmc—wing-metacarpal; wph1—wing-phalanx 1; left bones in yellow; right bones in blue; scale bar is 50 mm

长度之比值为 1.42,这一比值略大于朝阳神州翼龙的 1.36(Lü Junchang et al., 2008),显著小于张氏朝阳翼龙正型标本的 1.54 (Wang Xiaoling and Zhou Zhonghe, 2003),而与无齿吉大翼龙正型标本的 1.45~1.47 较为接近 (Wu Wenhao et al., 2017)。在本文描述的标本中,胫骨与翼掌骨几乎等长,这一情形与朝阳神州翼龙、无齿吉大翼龙相似,而在张氏朝阳翼龙正型标本中,胫骨是最长的肢骨。腓骨(fibula)以右侧的保存完整,其末端非常纤细,

未达跗部,该骨长度仅为胫骨长的 2/3(图 9)。

跗骨完整,近端跗骨(proximal tarsal)愈合为 1 枚大的骨骼,其近端略凹,完全覆盖胫骨远端;远端较平(左侧)或略凸出(右侧)。远端跗骨(distal tarsal)为 1 枚由内侧跗骨与中间跗骨相互愈合而成的较大跗骨,以及 1 枚较小的外侧跗骨(图 10)。

第 I~IV 跖骨(metatarsals I~IV)直且排列紧密,其近端大体在同一平面上;第 I~IV 跖骨的长度依次略微减少(表 1),第 I 跖骨长度仅为胫骨长的

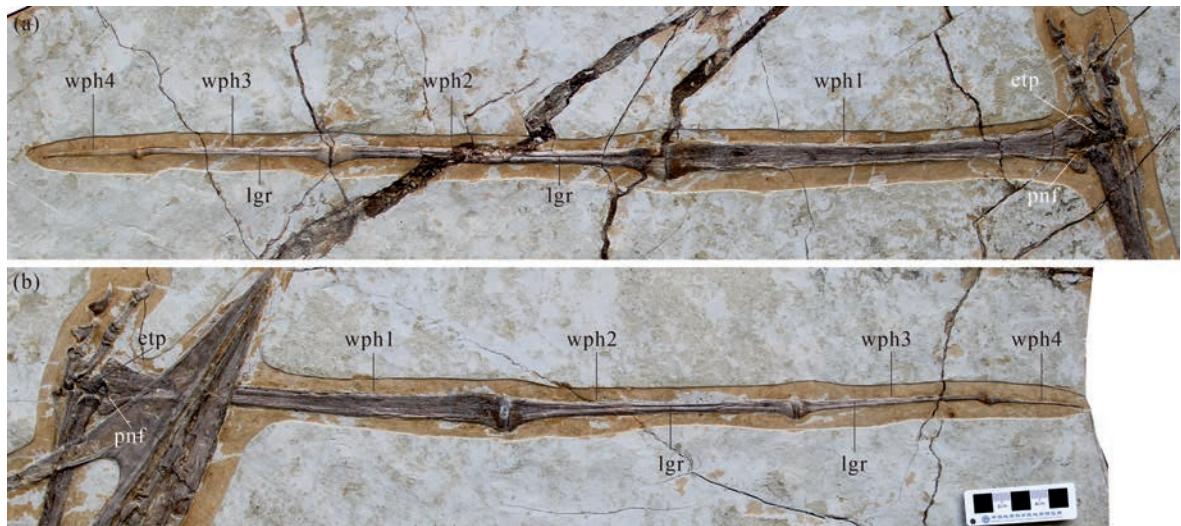


图 7 三亚神州翼龙(新种)上侧(a)和下侧(b)翼指骨

Fig. 7 Above (a) and below (b) wing-phalanges of *Shenzhoupterus sanyainus* sp. nov.

etp—伸肌腱突; lgr—纵沟; pnf—气窝; wph1~4—第1~4翼指骨; 比例尺为 50 mm

etp—extensor tendon process; lgr—longitudinal groove; pnf—pneumatic fossa; wph1~4—wing-phalanges 1~4; scale bar is 50 mm



图 8 三亚神州翼龙(新种)腰带及其线条图

Fig. 8 Pelvic girdle and line drawing of *Shenzhoupterus sanyainus* sp. nov.

ac. pu—耻骨的髋臼窝; cav—尾椎; dv—背椎; fe—股骨; feh—股骨头; fen—股骨颈; gtr—股骨大转子; il—肠骨; is—坐骨; pu—耻骨; ppu—前耻骨; sv—荐椎; 灰色表示脊椎; 黄色表示左侧骨骼; 蓝色表示右侧骨骼; 比例尺为 50 mm

ac. pu—acetabular fossa of pubis; cav—caudal vertebra; dv—dorsal vertebra; fe—femur; feh—femoral head; fen—femoral neck; gtr—great trochanter of femur; il—ilium; is—ischium; pu—pubis; ppu—prepubis; sv—sacral vertebra; vertebral column in grey; left bones in yellow; right bones in blue; scale bar is 50 mm



图 9 三亚神州翼龙(新种)后肢

Fig. 9 Hind limbs of *Shenzhoupterus sanyainus* sp. nov.
lfe—左股骨; lfi—左腓骨; lpes—左足部; lti—左胫骨; rfe—右股骨;
rfi—右腓骨; rpes—右足部; rti—右胫骨; 比例尺为 50 mm
lfe—left femur; lfi—left fibula; lpes—left pes; lti—left tibia; rfe—
right femur; rfi—right fibula; rpes—right pes; rti—right tibia;
scale bar is 50 mm

23%。第 IV 跗骨骨干直径明显宽于第 I~III 跗骨,而且该骨近端亦宽于其远端。第 V 跗骨(metatarsal V)短宽,形态约为圆滑的三角形,其近端与内侧远端跗骨相关联,远端变窄且略向内弯曲,该骨长度仅为第 IV 跗骨长的 1/4。

趾式为典型的翼手龙亚目类型,即 2-3-4-5-1。在第 I~IV 趾中,如果将蹠骨与对应趾骨的长度总体计算,第 III 趾末端延伸最长,第 II 和 IV 趾略短,而第 I 趾最短。所有趾节中(趾节 V-1 除外),趾节 I-1 和 IV-1 最长,均为 18 mm;趾节 III-2、IV-2 和 IV-3 骨化完全但非常短;趾节 II-1 明显短于趾节 II-2,趾节 II-1 与 III-1、III-3 三者长度近等(14~15 mm);第 IV 趾的次末端趾节(IV-4)短于其他趾的次末端趾节。指节 I-1 向侧方弯曲,趾节 II-2 和 II-3 略向后弯曲。所有趾爪较小,且略向后钩曲,第 I 趾爪仅略大于其他趾爪。第 V 趾仅残存 1 枚非常细短的趾节(V-1)。

3 比较与讨论

本文记述的翼龙标本具有神龙翼龙超科(Azhdarchoidea)的衍征,如:没有牙齿,眼眶低于鼻眶前孔背缘,相对较大的鼻眶前孔,远端腕骨不与第

II 和第 III 掌骨接触,前肢指节较后肢趾节强壮等(Unwin, 2003)。Lü Junchang(2008)年建立朝阳翼龙科(Chaoyangopteridae),该科主要特征是前颌骨背支极为纤细且封闭鼻眶前孔背缘、很大的鼻眶前孔后缘向后超过头骨与下颌的关节(Lü Junchang et al., 2008);并将朝阳神州翼龙(*Shenzhoupterus chao yangensis*)、张氏朝阳翼龙(*Chaoyangopterus zhangi*)、无齿吉大翼龙(*Jidapterus edentus*)、李氏始无齿翼龙(*Eopteranodon lii*)、辽西始神龙翼龙(*Eoazhdarcho liaoxiensis*)归入朝阳翼龙科(Lü Junchang et al., 2008; 吕君昌等, 2016)。无齿吉大翼龙、李氏始无齿翼龙、辽西始神龙翼龙曾被认为是张氏朝阳翼龙的晚出异名(Wang Xiaoling and Zhou Zhonghe, 2006; 汪筱林等, 2014)。或者,李氏始无齿翼龙被认为是董氏中国翼龙(*Sinopterus dongi*)的晚出异名,无齿吉大翼龙被作为张氏朝阳翼龙的晚出异名,而辽西始神龙翼龙一名成立并暂被归入古神翼龙科(Tapejaridae?) (吴肖春等, 2017)。还有研究观点认为:无齿吉大翼龙是朝阳翼龙科的有效属种(Wu Wenhao et al., 2017),李氏始无齿翼龙亦为有效属种而应被归入古神翼龙科(Wu Wenhao et al., 2017; Pêgas et al., 2023)。最新的分支系统学分析显示:朝阳翼龙科在我国的有效属种包括张氏朝阳翼龙、朝阳神州翼龙、无齿吉大翼龙、辽西始神龙翼龙 4 个属种,且朝阳翼龙科这一分支是存在的(Andres, 2021; Pêgas et al., 2023)。

本文描述的翼龙类没有牙齿,头骨相对很大,鼻眶前孔亦很大,前颌骨背支非常纤细且向后延伸至头骨后端、其限定了鼻眶前孔背缘,头骨腹缘和下颌背缘长且平直,吻端低矮而不发育嵴状构造,上、下颌吻端窄尖(图 2)。这些均显示了朝阳翼龙科(Chaoyangopteridae)的特征(Lü Junchang et al., 2008; 吴肖春等, 2017),因而该翼龙无疑应归入朝阳翼龙科。

在朝阳翼龙科的属种中,辽西始神龙翼龙(*Eoazhdarcho liaoxiensis*)未保存头骨部分,其下颌联合部的长度仅为下颌全长的 40% (Lü Junchang and Ji Qiang, 2005),明显小于本文描述标本以及其他属种的 50% 以上;其肱骨与股骨长度之比值为 0.96,显著大于本文描述标本的 0.76,以及其他属种的 0.65~0.78(表 2);其肩胛骨与乌喙骨愈合呈 U 形,而本文标本的肩胛骨与乌喙骨未愈合;其翼掌骨与尺骨的长度之比值为 1.11(即尺骨

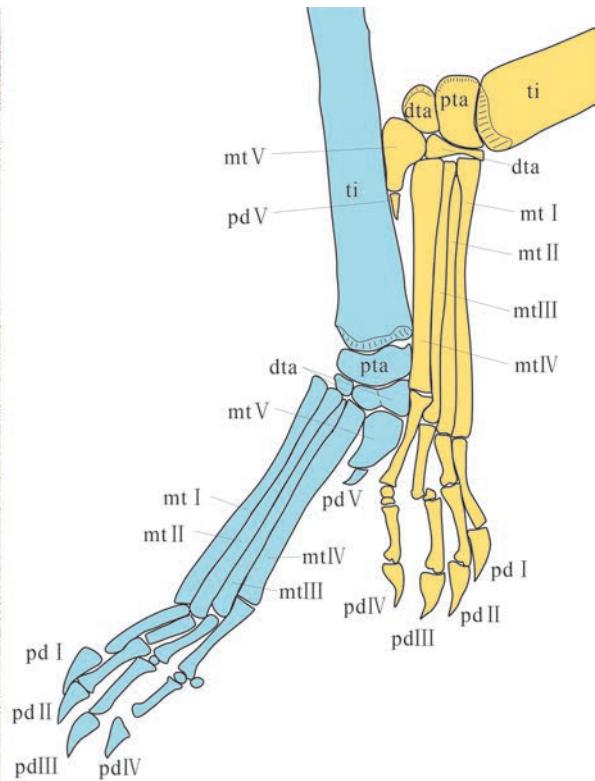


图 10 三亚神州翼龙(新种)足部及其线条图

Fig. 10 Pedes and line drawing of *Shenzhoupterus sanyainus* sp. nov.

dta—远端跗骨; mt I~V—第 I~V 跛骨; pd I~V—第 I~V 趾; pta—近端跗骨; ti—胫骨; 黄色表示左侧骨骼; 蓝色表示右侧骨骼; 比例尺为 50 mm

dta—distal tarsal; mt I~V—metatarsals I~V; pd I~V—pedal digits I~V; pta—proximal tarsal; ti—tibia; left bones in yellow; right bones in blue; scale bar is 50 mm

与翼掌骨的长度之比值为 0.90), 显著小于本文标本的 1.33、以及其他属种的 1.28~1.39(表 2)。因此本文描述标本与辽西始神龙翼龙的区别很明显, 显然两者代表不同的属种。

朝阳翼龙科的张氏朝阳翼龙 (*Chaoyangopterus zhangi*) (Wang Xiaolin and Zhou Zhonghe, 2003)、**无齿吉大翼龙** (*Jidapterus edentus*) (董枝明等, 2003; Wu Wenhao et al., 2017)、**朝阳神州翼龙** (*Shenzhoupterus chaoyangensis*) (Lü Junchang et al., 2008) 保存有完整程度不等的头骨, 它们的吻端保存完整, 但吻端指数有较大差异, 在张氏朝阳翼龙正型标本中为 4.7 (吴肖春等, 2017), 在无齿吉大翼龙正型标本中为 5.1 (Wu Wenhao et al., 2017), 而在朝阳神州翼龙中为 3.7 (Lü Junchang et al., 2008)。在 2017 年出版的《中国古脊椎动物志》涉及翼龙类的专著中, 吻端指数被作为区别张氏朝阳翼龙和朝阳神州翼龙的重要依据 (吴肖春等, 2017)。本文描述的标本,

其吻端指数为 3.7, 与朝阳神州翼龙的完全相同, 而明显小于张氏朝阳翼龙的 4.7 和无齿吉大翼龙的 5.1。

在已描述的朝阳翼龙科化石中, 仅朝阳神州翼龙的头骨整体轮廓保存较好, 其鼻眶前孔向后延伸超过了上下颌关节的位置 (Lü Junchang et al., 2008), 吕君昌等将这一特征作为朝阳翼龙科的主要特征之一 (Lü Junchang et al., 2008; 吕君昌等, 2016)。由于该科其他属种未保存完整的鼻眶前孔, 故也有学者指出这一特征有可能是朝阳神州翼龙的自有特征 (吴肖春等, 2017)。本文标本保存了完整的鼻眶前孔, 其后端也位于上下颌关节之后 (图 2), 显示了与朝阳神州翼龙相同的特点。

朝阳神州翼龙头眶孔周边的骨骼保存不清晰, 而左轭骨的主体部分却有较好保存, 尽管其上颌骨突、泪骨突和眶后骨突均不完整, 但这 3 个突起基部的粗壮程度、以及突起之间的角度相对很清楚。其轭骨的上颌骨突基部较宽大, 略宽于泪

骨突基部而显著宽于眶后骨突基部;上颌骨突与泪骨突之间呈很大的钝角,夹角约 140° ;而泪骨突与眶后骨突之间的夹角很小,仅约 30° (作者观察)。本文描述标本中,轭骨的上颌骨突基部宽度显著大于泪骨突和眶后骨突基部宽度,其上颌骨突与泪骨突、泪骨突与眶后骨突之间的夹角分别为 120° 和 50° ,与朝阳神州翼龙的较为接近(图 11a)。在张氏朝阳翼龙的 1 件归入标本(LPM-R00076)中,也保存有较好的轭骨,其泪骨突与眶后骨突的夹角约为 60° (Zhou Changfu, 2010b),与本文标本很接近。无齿吉大翼龙正型标本中轭骨的泪骨突与眶后骨突之间夹角约为直角(Wu Wenhao et al., 2017)。但张氏朝阳翼龙和无齿吉大翼龙轭骨的上颌骨突基部窄细,明显窄于轭骨的泪骨突和眶后骨突基部宽度。值得注意的是,张氏朝阳翼龙归入标本(LPM-R00076)和无齿吉大翼龙正型标本轭骨的上颌骨突背缘和腹缘近于平行;腹缘较为平直,其向后一直至该骨眶后骨突之下的腹缘处略向内凹。而在本文标本和朝阳神州翼龙中,其轭骨腹缘自前向后在该骨的泪骨突前部的位置就开始向后背方倾斜,与张氏朝阳翼龙和无齿吉大翼龙显示出不同的特点(图 11a)。

本文标本的中部颈椎呈中等程度的拉长,第 4~7 颈椎长度向后依次逐渐减小,第 7 颈椎长度仅为第 4 颈椎长度的 65%(图 3);与无齿吉大翼龙正型标本依次缩短的颈椎情形相似(Wu Wenhao et

al., 2017),但后者第 7 颈椎为第 4 颈椎长度的 75%。在张氏朝阳翼龙(Wang Xiaolin and Zhou Zhonghe, 2003)和朝阳神州翼龙(Lü Junchang et al., 2008)中,其第 4~7 颈椎长度非常接近。

吕君昌等 2008 年未能识别出朝阳神州翼龙的胸骨(Lü Junchang et al., 2008)。张氏朝阳翼龙正型标本的胸骨为较小的扇形,长大于宽,龙骨突低长(Wang Xiaoling and Zhou Zhonghe, 2003);这种形态亦有可能是其未完全保存所造成的。无齿吉大翼龙正型标本的胸骨近于完整,呈腹面出露,其龙骨突弱,向前突出不明显;胸板为宽明显大于长的近长方形,前缘和后缘略外拱而侧缘较平直(董枝明等,2003; Wu Wenhao et al., 2017)。本文描述标本的胸骨龙骨突明显向前腹方突出,胸板为长与宽近等的正方形,与张氏朝阳翼龙、无齿吉大翼龙的胸骨区别非常大(图 11b)。

无齿吉大翼龙的耻骨形态较为完整,其高度显著大于长度,耻骨骨板亚四边形、前后缘较直且近于平行、腹缘凸出(Wu Wenhao et al., 2017)。本文描述标本的耻骨亦有完整保存,其高度略小于长度,骨板背缘和腹缘明显内凹、前缘呈波浪状,骨板前腹角显著凸出,耻骨整体形态与无齿吉大翼龙的差异非常显著(图 11c)。

朝阳翼龙科各属种的部分肢骨长度比率(如肱骨/尺骨、第 1 翼指骨/第 2 翼指骨、肱骨/股骨等比率)也显示出一些差异(表 2)。

表 2 三亚神州翼龙(新种)与朝阳翼龙科其他属种正型标本部分骨骼长度比率比较

Table 2 Length ratios of some bones in the holotypes of *Shenzhoupterus sanyainus* sp. nov. and other chaoyangopterid taxa

主要骨骼长度比率 (Length ratios of main bones)	三亚神州翼龙 <i>Shenzhoupterus sanyainus</i> (DB0233)	朝阳神州翼龙① <i>Shenzhoupterus chaoyangensis</i> (41HIII-305A)	张氏朝阳翼龙② <i>Chaoyangopterus zhangi</i> (IVPP V13397)	无齿吉大翼龙③ <i>Jidapterus edentus</i> (RCPS-030366CY)
肱骨/尺骨 (Humerus/Ulna)	0.70(l)	0.63	0.70	0.69(l)
翼掌骨/尺骨 (Wing-metacarpal/Ulna)	1.33(l)	1.33	1.39	1.28(l)
翼掌骨/第 1 翼指骨 (Wing-metacarpal/Wing-phalanx 1)	0.96(l)	0.95	0.93	0.78(l)/0.88(r)
第 1 翼指骨/第 2 翼指骨 (Wing-phalanx 1/Wing-phalanx 2)	1.52(l)	1.47	1.66	1.52(l)
第 1 翼指骨/第 3 翼指骨 (Wing-phalanx 1/Wing-phalanx 3)	2.33(l)	2.16	2.55	2.49(l)/2.36(r)
肱骨/股骨 (Humerus/Femur)	0.76(l)	0.65	0.70	0.78(l)
胫骨/股骨 (Tibia/Femur)	1.43(l)	1.36	1.54	1.47(l)

注:(l)—左侧;(r)—右侧;①—据文献 Lü Junchang et al., 2008 的测量数据计算;②—据文献 Wang Xiaolin and Zhou Zhonghe, 2003 的测量数据计算;③—据文献 Wu Wenhao et al., 2017 的测量数据计算。

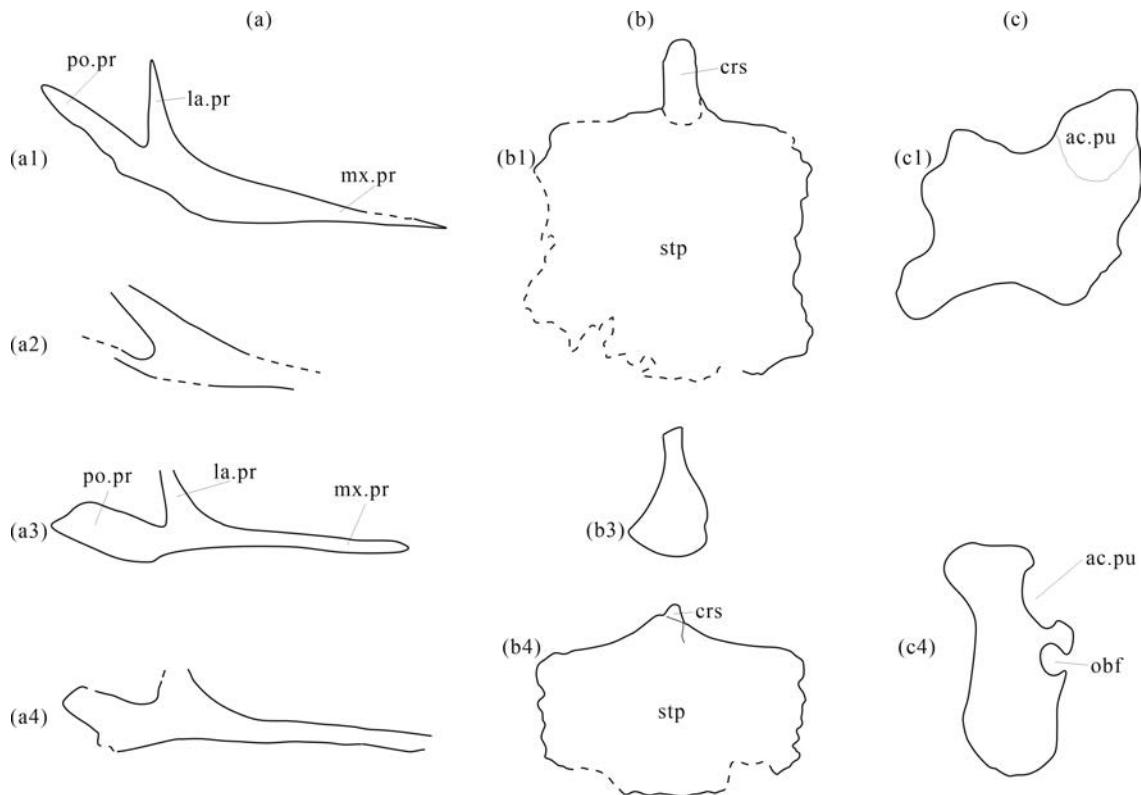


图 11 三亚神州翼龙(新种)与朝阳翼龙科其他属种的轭骨(a)、胸骨(b)、耻骨(c)形态比较

Fig. 11 Comparison of jugal (a), sternum (b), pubis (c) of *Shenzhoupterus sanyainus* sp. nov. and other chaoyangopterid taxa
 (a1, b1, c1)—三亚神州翼龙(新种); (a2)—朝阳神州翼龙; (a3, b3)—张氏朝阳翼龙; (a4, b4, c4)—无齿吉大翼龙(依文献 Wu Wenhao et al., 2017); (a2)—正型标本观察; (a3)—依文献 Zhou Changfu, 2010b; (b3)—依文献 Wang Xiaolin and Zhou Zhonghe, 2003; ac. pu—耻骨的髋臼窝; crs—龙骨突; la. pr—轭骨的泪骨突; mx. pr—轭骨的上颌骨突; obf—闭孔; po. pr—轭骨的眶后骨突; stp—胸板; 未按比例
 (a1, b1, c1)—*Shenzhoupterus sanyainus* sp. nov.; (a2)—*Shenzhoupterus chaoyangensis*; (a3, b3)—*Chaoyangopterus zhangi*; (a4, b4, c4)—*Jidapterus edentus* (modified from Wu Wenhao et al., 2017); (a2)—observed from the holotype; (a3)—modified from Zhou Changfu, 2010b; (b3)—modified from Wang Xiaolin and Zhou Zhonghe, 2003; ac. pu—acetabular fossa of pubis; crs—cristospine; la. pr—lacrimal process of jugal; mx. pr—maxillary process of jugal; obf—obturator foramen; po. pr—postorbital process of jugal; stp—sternal plate; not to scale

通过以上对比可以看出,本文描述标本头骨吻端指数为 3.7, 鼻眶前孔大且向后超过上下颌关节位置, 轶骨腹缘在该骨的泪骨突前部开始向后背方倾斜, 轶骨的上颌骨突基部宽大, 这些头骨上的重要特征均与朝阳神州翼龙的相同, 显示两者非常近的关系, 应被归入同一属——神州翼龙属。同时, 两者翼掌骨与尺骨长度之比值(1.33)、翼掌骨与第 1 翼指骨长度之比值(0.95~0.96)也相同。

张氏朝阳翼龙与本文标本的区别主要有: 张氏朝阳翼龙吻端指数 4.7, 明显大于本文标本的吻端指数。张氏朝阳翼龙的轭骨腹缘平直、轭骨的上颌骨突的背缘和腹缘近于平行且该突基部窄, 中部第 4~7 颈椎的长度相近, 胸骨小且呈扇形等, 均与本文标本不同。张氏朝阳翼龙第 1 翼指骨与第 2、第 3 翼指骨的长度比率分别为 1.66 和 2.55, 明显大于

本文标本的 1.52 和 2.33(表 2)。

无齿吉大翼龙与本文标本的区别主要有: 无齿吉大翼龙吻端指数 5.1, 明显大于本文标本的吻端指数。无齿吉大翼龙头骨吻端腹缘之上的侧面发育一明显纵嵴, 轶骨腹缘平直、轭骨的上颌骨突的背缘和腹缘近于平行且该突基部窄, 轶骨的泪骨突与眶后骨突的夹角约为直角, 第 7 颈椎长为第 4 颈椎长的 75%, 胸骨龙骨突弱、胸板宽显著大于其长, 耻骨骨板亚四边形且其前缘和后缘近于平行等, 均与本文标本明显区分。此外, 无齿吉大翼龙的翼掌骨与第 1 翼指骨的长度比率为 0.78~0.88, 明显小于本文标本的 0.96。

神州翼龙属(*Shenzhoupterus*)仅包含属型种: 朝阳神州翼龙(*S. chaoyangensis*)(Lü Junchang et al., 2008), 正型标本头骨基部长 0.225 m, 翼展约

1.4 m, 为一中等大小的翼龙。该标本的伸肌腱突尚未愈合至第 1 翼指骨近端, 预示了其未成年状态; 但其他一些骨骼如腕骨等似乎已愈合, 则显示其已趋于骨骼快速生长末期 (Lü Junchang et al., 2008)。本文翼龙化石标本的伸肌腱突亦没有完全与第 1 翼指骨近端愈合, 但其腕骨、跗骨显示一定程度的愈合, 第 III 趾和第 IV 趾的中间趾节(趾节 III-2、IV-2、IV-3)骨化完全, 显示了该翼龙已是成年个体。本文翼龙标本头骨基部长 0.28 m, 头骨全长 0.415 m, 翼展 2.05 m, 表明其是个体较大的翼龙。本文描述标本与朝阳神州翼龙也具有一些明显的区别: ①本文标本上下颌咬合面均很平直, 而朝阳神州翼龙的上颌腹缘略内凹、下颌背缘略上凸 (Lü Junchang et al., 2008); ②本文标本轭骨的眶后骨突比泪骨突长且基部略宽, 而朝阳神州翼龙轭骨的泪骨突明显比眶后骨突粗大; ③本文标本轭骨的泪骨突与眶后骨突之间夹角为 50°, 大于朝阳神州翼龙的 30°; ④本文标本第 4~7 颈椎依次缩短、第 7 颈椎长为第 4 颈椎长的 65%, 不同于朝阳神州翼龙第 4~7 颈椎长度相近的情形; ⑤本文标本肱骨相对较长, 其与尺骨、股骨、胫骨的长度之比值分别为 0.70、0.76、0.53, 明显大于朝阳神州翼龙相应比值的 0.63、0.65、0.47; ⑥本文标本代表一较大型翼龙, 其翼展 2.05 m, 大于朝阳神州翼龙翼展的 1.4 m。因此, 我们认为本文描述的翼龙化石应代表神州翼龙属的一个新种, 将其命名为三亚神州翼龙 (*Shenzhoupterus sanyainus* sp. nov.)。

朝阳神州翼龙虽保存较为完整, 但部分骨骼特征不清晰或未出露, 如胸骨、肠骨、耻骨、足部骨骼等 (Lü Junchang et al., 2008), 三亚神州翼龙(新种)在很大程度上补充了神州翼龙属在这些方面的特征。在已记述的朝阳翼龙科化石中, 本文描述的标本是已知保存最为完整且几乎呈完全自然关联的标本, 包括头部骨骼在内的许多骨骼特征清晰, 为我们研究该科翼龙的特征提供了重要依据。

辽宁西部热河生物群无齿的翼龙类主要包括 2 个科: 朝阳翼龙科和古神翼龙科 (吕君昌等, 2016; 吴肖春等, 2017)。朝阳翼龙科包含张氏朝阳翼龙 (Wang Xiaolin and Zhou Zhonghe, 2003; Zhou Changfu, 2010b)、无齿吉大翼龙 (董枝明等, 2003; Wu Wenhao et al., 2017)、朝阳神州翼龙 (Lü Junchang et al., 2008)、辽西始神龙翼龙 (Lü Junchang and Ji Qiang, 2005) 4 种, 而三亚神州翼龙(新种)的发现进一步丰富了该科翼龙的组成。张

氏朝阳翼龙正型标本翼展 1.85 m (Wang Xiaolin and Zhou Zhonghe, 2003), 有的学者计算出其翼展为 1.71 m (Zhou Changfu, 2010b; Wu Wenhao et al., 2017), 该种另 1 件归入标本 (LPM-R00076) 翼展 1.45 m (Zhou Changfu, 2010b); 无齿吉大翼龙正型标本的翼展 1.53 m (Wu Wenhao et al., 2017), 辽西始神龙翼龙的翼展约 1.6 m (Lü Junchang and Ji Qiang, 2005), 朝阳神州翼龙翼展 1.4 m (Lü et al., 2008), 辽西地区以上已知的朝阳翼龙科的属种, 均小于三亚神州翼龙。辽西地区古神翼龙科的属种, 其较大个体的翼展多在 1.5 m 左右 (吕君昌等, 2016; Zhang Xinjun et al., 2019; Pêgas et al., 2023), 仅 1 件董氏中国翼龙 (*Sinopterus dongi*) 头后骨骼标本 (D2525) 代表了一完全成年个体, 其翼展接近 2 m (Lü Junchang et al., 2006)。三亚神州翼龙翼展达到 2.05 m, 代表了辽宁西部早白垩世已知翼展最大的无齿的翼龙类属种。

早白垩世时期无齿的翼龙类化石在我国辽宁西部九佛堂组、巴西东北部桑塔纳组 (Santana 组) 较为典型。在辽宁西部, 古神翼龙科的董氏中国翼龙可能是食果的翼龙, 也可能是杂食的, 它们的食性变化可能是季节性的 (汪筱林和周忠和, 2002), 但湖中的鱼类也可能是它的食物来源 (汪筱林和周忠和, 2002; 吕君昌等, 2016)。朝阳翼龙科的张氏朝阳翼龙可能是食鱼类的翼龙, 其长且无齿的吻端适宜于捕捉鱼类、甚至是其他小型的水生爬行动物 (Wang Xiaolin and Zhou Zhonghe, 2003)。与张氏朝阳翼龙生态习性相似, 三亚神州翼龙体形较大, 其足部较弱, 趾爪钩曲度小, 显示其可能的陆地生活特点, 该翼龙亦适宜于生活在较为开阔的湖边或宽阔的河流旁边; 其具有低长且尖锐的吻端, 主要以鱼类或其他小型水生爬行类为食 (图 12)。

辽宁西部热河生物群中的翼龙类化石种类非常丰富, 包括“喙嘴龙亚目”和翼手龙亚目多个不同的科级单元。热河生物群的翼龙类可分为上部九佛堂组翼龙类组合和下部义县组翼龙类组合 (汪筱林和周忠和, 2002; 汪筱林等, 2014, 2020)。九佛堂组的翼龙类类群以较进步的翼手龙亚目成员为主, 包含无齿的古神翼龙科 (Tapejaridae)、朝阳翼龙科 (Chaoyangopteridae) 多个属种, 以及具有牙齿的梳颌翼龙科 (Ctenochasmatidae)、古魔翼龙科 (Anhangueridae)、帆翼龙科 (Istiodactylidae) 及科未定的类型 (吴肖春等, 2017; Gao Diansong et al., 2022)。而义县组翼龙类组合仅报道了 1 种无



图 12 三亞神州翼龍(新種)生態復原圖

Fig. 12 The living scene of *Shenzhoupterus sanyainus* sp. nov.

齿的翼龙类,即古神翼龙科的李氏始无齿翼龙(*Eopteranodon lii*)(吕君昌和张宝堃,2005; Pégas et al., 2023)。可见,分异度较大的无齿的翼龙类是九佛堂组翼龙类组合的显著特征之一。三亞神州翼龙是无齿的翼龙类化石在九佛堂组的最新发现,丰富了九佛堂组的翼龙类组成,进一步表明无齿的翼龙类在九佛堂组翼龙类组合中占有较为重要的地位。

4 结论

(1)本文记述的翼龙类化石代表了朝阳翼龙科(*Chaoyangopteridae*)一新种,被命名为三亞神州翼龙(*Shenzhoupterus sanyainus* sp. nov.)。该种以头骨吻端指数为3.7、很大的鼻眶前孔向后超过上下颌关节位置、轭骨腹缘在该骨的泪骨突前部开始向后背方倾斜、轭骨的上颌骨突基部宽大等特征而被归入神州翼龙属(*Shenzhoupterus*);其又以较大的体形(翼展2.05 m)、上颌腹缘和下颌背缘平直、

轭骨的眶后骨突比泪骨背突长且基部略宽、轭骨的泪骨突与眶后骨突之间夹角较大(50°)、第4~7颈椎依次逐渐缩短、相对较长的肱骨等区别于朝阳神州翼龙(*S. chaoyangensis*)。

(2)三亞神州翼龙是辽西热河生物群中迄今已知翼展最大的无齿的翼龙类属种,其适宜生活在较为宽阔的湖边或河流岸边,主要以鱼类或其他小型水生爬行类为食。

(3)三亞神州翼龙产于下白垩统九佛堂组,新种的发现丰富了九佛堂组翼龙类组合的内容,进一步表明较进步的无齿的翼龙类类群是九佛堂组翼龙类组合的特点之一。

致谢:感谢审稿人对论文提出的中肯修改意见。左笑然女士创作了三亞神州翼龙的生态复原图,中国地质博物馆谭锴先生绘制了化石标本线条图,河南自然博物馆徐莉馆长、贾松海先生、常华丽博士、张继明先生、张建华先生在本文第一作者赴郑州观察朝阳神州翼龙正型标本方面给予热情帮助,作者

在此致以诚挚感谢!

References

- Andres B. 2021. Phylogenetic systematics of *Quetzalcoatlus* Lawson 1975 (Pterodactyloidea: Azhdarchoidea). *Journal of Vertebrate Paleontology*, 41(sup 1): 203~217.
- Dong Zhiming, Sun Yuewu, Wu Shaoyuan. 2003. On a new pterosaur from the Lower Cretaceous of Chaoyang basin, western Liaoning, China. *Global Geology*, 22(1): 1~7 (in Chinese with English abstract).
- Gao Diansong, Jiang Shunxing, Xu Li, Cheng Xin, Yang Lili, Jia Songhai, Wang Xiaolin. 2022. Reappraisal of the largest ctenochasmatid *Moganopterus zhuiiana* Lü et al., 2012. *Vertebrata PalAsiatica*, 60(3): 197~211.
- Hu Dongyu, Li Li, Hou Lianhai, Xu Xing. 2011. A new enantiornithine bird from the Lower Cretaceous of western Liaoning, China. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 31(1): 154~161.
- Lü Junchang, Ji Qiang. 2005. New azhdarchid pterosaur from the Early Cretaceous of western Liaoning. *Acta Geologica Sinica* (English Edition), 79(3): 301~307.
- Lü Junchang, Zhang Baokun. 2005. New pterodactyloid pterosaur from the Yixian Formation of western Liaoning. *Geological Review*, 51(4): 458~462 (in Chinese with English abstract).
- Lü Junchang, Liu Jinyuan, Wang Xuri, Gao Chunling, Meng Qingjin, Ji Qiang. 2006. New material of pterosaur *Sinopterus* (Reptilia: Pterosauria) from the Early Cretaceous Jiufotang Formation, western Liaoning, China. *Acta Geologica Sinica* (English Edition), 80(6): 783~789.
- Lü Junchang, Unwin D M, Xu Li, Zhang Xingliao. 2008. A new azhdarchoid pterosaur from the Lower Cretaceous of China and its implications for pterosaur phylogeny and evolution. *Naturwissenschaften*, 95(9): 891~897.
- Lü Junchang, Pu Hanyong, Xu Li, Wu Yanhua, Wei Xuefang. 2012. Largest toothed pterosaur skull from the Early Cretaceous Yixian Formation of western Liaoning, China, with comments on the family Boreopteridae. *Acta Geologica Sinica* (English Edition), 86(2): 287~293.
- Lü Junchang, Teng Fangfang, Sun Deyu, Shen Caizhi, Li Guoqing, Gao Xia, Liu Hanfeng. 2016. The toothless pterosaurs from China. *Acta Geologica Sinica*, 90(9): 2513~2525 (in Chinese with English abstract).
- Meng Jin, Wang Yuanqing, Li Chuankui. 2011. Transitional mammalian middle ear from a new Cretaceous Jehol eutrichodontan. *Nature*, 472: 181~185.
- Pégas R V, Zhou Xuanyu, Jin Xingsheng, Wang Kai, Ma W. 2023. A taxonomic revision of the *Sinopterus* complex (Pterosauria, Tapejaridae) from the Early Cretaceous Jehol Biota, with the new genus *Huaxiadraco*. *PeerJ*, 11: e14829.
- Unwin D M. 2003. On the phylogeny and evolutionary history of pterosaurs. In: Buffetaut E, Mazin J M, eds. *Evolution and Palaeobiology of Pterosaurs*. Geological Society, London, Special Publications, 217: 139~190.
- Wang Renfei, Hu Dongyu, Zhang Meisheng, Wang Shiying, Zhao Qi, Sullivan C, Xu Xing. 2022. A new confuciusornithid bird with a secondary epiphyseal ossification reveals phylogenetic changes in confuciusornithid flight mode. *Communications Biology*, 5: 1398.
- Wang Xiaolin, Zhou Zhonghe. 2002. A new pterosaur (Pterodactyloidea, Tapejaridae) from the Early Cretaceous Jiufotang Formation of western Liaoning, China and its implications for biostratigraphy. *Chinese Science Bulletin*, 47(20): 1521~1527 (in Chinese).
- Wang Xiaolin, Zhou Zhonghe. 2003. Two new pterodactyloid pterosaurs from the Early Cretaceous Jiufotang Formation of western Liaoning, China. *Vertebrata PalAsiatica*, 41(1): 34~41.
- Wang Xiaolin, Zhou Zhonghe. 2006. Pterosaur assemblages of the Jehol Biota and their implication for the Early Cretaceous pterosaur radiation. *Geological Journal*, 41: 405~418.
- Wang Xiaolin, Cheng Xin, Jiang Shunxing, Wang Qiang, Meng Xi, Zhang Jialiang, Li Ning. 2014. Timing of Linglongta Pterosaur Fauna from western Liaoning and *Zhejiangopterus*: A summary of geochronology and stratigraphic sequence of pterosaur fossil-bearing beds in China. *Earth Science Frontiers*, 21(2): 157~184 (in Chinese with English abstract).
- Wang Xiaolin, Rodrigues T, Jiang Shunxing, Cheng Xin, Kellner A W A. 2014. An Early Cretaceous pterosaur with an unusual mandibular crest from China and a potential novel feeding strategy. *Scientific Reports*, 4: 6329.
- Wang Xiaolin, Li Yang, Qiu Rui, Jiang Shunxing, Zhang Xinjun, Chen He, Wang Junxia, Cheng Xin. 2020. Comparison of biodiversity of the Early Cretaceous pterosaur faunas of China. *Earth Science Frontiers*, 27(6): 347~364 (in Chinese with English abstract).
- Wu Wenhao, Zhou Changfu, Andres B. 2017. The toothless pterosaur *Jidapterus edentus* (Pterodactyloidea: Azhdarchoidea) from the Early Cretaceous Jehol Biota and its paleoecological implications. *PLoS ONE*, 12(9): e0185486.
- Wu Xiaochun, Li Jinling, Wang Xiaolin, Jiang Shunxing, Cheng Xin. 2017. *Palaeovertebra Sinica*, Volume II Amphibians, Reptilians, and Avians, Fascicle 4 Basal Archosauromorphs, Crocodylomorphs, and Pterosaurs. Beijing: Science Press (in Chinese).
- Wu Zijie, Gao Fuliang, Pan Yuqi, Wang Xuan. 2018. Division and correlation of the Jiufotang Formation and their rare fossil-bearing beds in western Liaoning, China. *Geoscience*, 32(4): 758~765 (in Chinese with English abstract).
- Yu Zhiqiang, Wang Min, Li Youjuan, Deng Chenglong, He Huaiyu. 2021. New geochronological constraints for the Lower Cretaceous Jiufotang Formation in Jianchang basin, NE China, and their implications for the late Jehol Biota. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 583: 10657.
- Zhang Xinjun, Jiang Shunxing, Cheng Xin, Wang Xiaolin. 2019. New material of *Sinopterus* (Pterosauria, Tapejaridae) from the Early Cretaceous Jehol Biota of China. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 91(Suppl. 2): e20180756.
- Zhou Changfu. 2010a. A new eucryptodiran turtle from the Early Cretaceous Jiufotang Formation of western Liaoning, China. *Zootaxa*, 2676: 45~56.
- Zhou Changfu. 2010b. New material of *Chaoyangopterus* (Pterosauria: Pterodactyloidea) from the Early Cretaceous Jiufotang Formation of western Liaoning, China. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*, 257: 341~350.
- Zhou Shuang, Zhou Zhonghe, O'Connor J K. 2012. A new basal beaked ornithurine bird from the Lower Cretaceous of western Liaoning, China. *Vertebrata PalAsiatica*, 50(1): 9~24.
- Zhou Zhonghe, Zhang Fucheng, Li Zhiheng. 2009. A new basal ornithurine bird (*Jianchangornis microdonta* gen. et sp. nov.) from the Lower Cretaceous of China. *Vertebrata PalAsiatica*, 47(4): 299~310.

参 考 文 献

- 董枝明, 孙跃武, 伍少远. 2003. 辽西朝阳盆地早白垩世一新的无齿翼龙化石. *世界地质*, 22(1): 1~7.
- 吕君昌, 张宝堃. 2005. 辽西义县组发现一新的翼手龙类化石. *地质论评*, 51(4): 458~462.
- 吕君昌, 滕芳芳, 孙德玉, 沈才智, 李国清, 高霞, 柳汉丰. 2016. 中国没有牙齿的翼龙化石. *地质学报*, 90(9): 2513~2525.
- 汪筱林, 周忠和. 2002. 辽西早白垩世九佛堂组一翼手龙类化石及其地层意义. *科学通报*, 47(20): 1521~1527.
- 汪筱林, 程心, 蒋顺兴, 王强, 孟溪, 张嘉良, 李宁. 2014. 辽西玲珑塔翼龙动物群和浙江翼龙的同位素年代: 兼论中国翼龙化石的地层序列和时代框架. *地学前缘*, 21(2): 157~184.
- 汪筱林, 李阳, 裴锐, 蒋顺兴, 张鑫俊, 陈鹤, 王俊霞, 程心. 2020.

中国早白垩世翼龙动物群及其多样性对比. 地学前缘, 27(6): 347~364.
吴肖春, 李锦玲, 汪筱林, 蒋顺兴, 程心. 2017. 中国古脊椎动物志, 第二卷 两栖类 爬行类 鸟类, 第四册 基干主龙型类 鳄型类

翼龙类. 北京: 科学出版社.
吴子杰, 高福亮, 潘玉啟, 王烜. 2018. 辽西地区九佛堂组及其珍稀化石层划分与对比. 现代地质, 32(4): 758~765.

A new species of chaoyangopterid pterosaur from the Early Cretaceous in western Liaoning, China

JI Shu'an¹⁾, ZHANG Lijun²⁾, LU Fang³⁾

1) Key Laboratory of Stratigraphy and Palaeontology, Ministry of Natural Resources;
Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

2) South China Sea Culture Museum, Hainan Tropical Ocean University, Sanya, Hainan 572022, China;

3) Sanya Dinosaur Fossil Museum, Sanya, Hainan 572029, China

* Corresponding author: jishu_an@sina.com

Abstract

The Early Cretaceous pterosaurs are abundant in the western Liaoning Province, China with two pterosaur assemblages. The upper one, pterosaur assemblage of the Jiufotang Formation is featured by some advanced pterodactyloid clades including toothless Tapejaridae and Chaoyangopteridae, which show differences from the lower one, pterosaur assemblage of the Yixian Formation. A new large-sized pterosaur skeleton is described here, which was found in the Jiufotang Formation of the Jianchang basin, western Liaoning. This specimen can be assigned to the genus *Shenzhoupterus* within the family Chaoyangopteridae as it possesses the following features: toothless jaws, rostral index being 3.7, long and slender premaxillary bar dorsally bounding the nasoantorbital fenestra, caudal extremity of the very large nasoantorbital fenestra posterior to the jaw joint, and broader base of premaxillary process of jugal. It is also distinguished from *Shenzhoupterus chaoyangensis* in having the characters such as: large size with the wing-span about 2.05 meters, straight occlusal margin of upper and lower jaws, longer postorbital process with slightly wider base than lacrimal process of jugal, and sequentially decreased fourth to seventh cervical vertebrae. Thus a new species, *Shenzhoupterus sanyainus* sp. nov., is established. This new taxon possesses the largest wing-span among the Early Cretaceous toothless pterosaurs from western Liaoning Province. The finding also enriches the elements of pterosaur assemblage of the Jiufotang Formation, and is of significance for understanding the anatomy and ecological habits of chaoyangopterids.

Key words: Pterodactyloidea; Chaoyangopteridae; *Shenzhoupterus sanyainus* sp. nov.; Early Cretaceous; Jiufotang Formation; western Liaoning