

辽西早白垩世九佛堂组一翼手龙类化石 及其地层意义

汪筱林 周忠和

(中国科学院古脊椎动物与古人类研究所, 北京 100044. E-mail: xlinwang@263.net)

摘要 描述辽宁西部热河群上部九佛堂组近两年来发现的大量翼手龙类化石中一件几乎完整的化石骨架——董氏中国翼龙(新属、新种)*Sinopterus dongi* gen. et sp. nov., 属于古神翼龙科(Tapejaridae)。此前古神翼龙科仅在南美大陆巴西有过报道, 中国翼龙是古神翼龙科保存最完整和层位最低的记录。详细描述了古神翼龙科的头后骨骼形态, 补充了一些重要的形态学特征。热河群存在两个不同的翼龙化石组合, 义县组的翼龙组合与德国晚侏罗世 Solnhofen 灰岩(Tithonian)的翼龙组合有些类似, 而九佛堂组的翼龙与巴西早白垩世 Santana 组(Aptian/Albian)的翼龙组合具有非常相似的面貌。同时也认为义县组的时代要晚于 Solnhofen 灰岩, 而九佛堂组的时代略早于 Santana 组。

关键词 翼手龙亚目 古神翼龙科 中国翼龙 九佛堂组 热河群 生物地层 辽宁朝阳

辽西早白垩世热河群(包括义县组和九佛堂组)不但发现大量保存完整精美的早期鸟类^[1-3]、带毛恐龙^[4,5]、哺乳动物^[6,7]和被子植物^[8,9]等化石, 同时, 和它们共生的也有大量保存完好的翼龙类化石, 已经描述的包括义县组的翼手龙类^[10,11]和喙嘴龙类^[12,13]的成员, 是热河生物群的重要组成部分。

近两年来, 在辽西九佛堂组湖相沉积页岩中, 相继发现大量的翼手龙类化石, 九佛堂组也因此成为继义县组之后热河群又一个重要的翼龙化石产出层位。本文记述了朝阳东大道乡发现的一件保存完整的化石骨架, 并将其归于翼手龙亚目(Pterodactyloidea)古神翼龙科。古神翼龙科^[14,15]的成员主要发现于巴西早白垩世 Santana 组(Aptian/Albian)中, 中国翼龙是古神翼龙科已知保存最完整的化石骨架。

热河生物群的翼龙化石显示下部义县组和上部九佛堂组的两个翼龙组合面貌, 可分别与德国晚侏罗世 Solnhofen 灰岩(Tithonian)和巴西 Santana 组的翼龙组合对比, 热河群翼龙的生存时代介于两者之间。

1 分类学描述

翼龙目 Pterosauria Kaup, 1834

翼手龙亚目 Pterodactyloidea Plieninger, 1901

古神翼龙科 Tapejaridae Kellner, 1989

中国翼龙属(新属)*Sinopterus* gen. nov.

(图 1; 图版 I; 表 1, 2)

特征 中小型的翼手龙类, 头骨长约 170 mm, 两翼展开长约 1.2 m。吻端尖长, 无齿, 具角质喙。头骨相对低长, 前上颌骨和齿骨弧形脊突低而小, 前上颌骨后延脊突与头骨分离, 与顶骨上延脊突近平行并向上弯曲。鼻眶前孔大而长(长约为高的 2.5 倍), 超过头骨长度的 1/3。肱骨、桡骨、翼掌骨和第 1 翼指骨依次加长, 后三者分别是肱骨长度的 1.5, 1.6 和 2 倍。腕骨粗大, 未愈合。肩胛骨强烈弯曲, 鸟喙骨关节肩胛骨一侧异常膨大, 呈扇形。胫骨长于股骨, 是其长度的 1.4 倍。第 I 趾骨最长, 第 II~IV 趾骨长度依次缩短, 第 III 趾骨长度约为翼掌骨的 22.1%, 第 V 趾骨长度不及第 I 趾骨的 1/5。

董氏中国翼龙(新种)*Sinopterus dongi* gen. et sp. nov.

正型标本 一件几乎完整的腹面保存的化石骨架(中国科学院古脊椎动物与古人类研究所标本编号: IVPP V13363)。

地点与层位 辽宁省朝阳市朝阳县东大道乡喇嘛沟。九佛堂组, 早白垩世(Aptian)。

词源 Sinae(拉丁文), 中国, 代表化石产自中国; pterus(希腊文), 翼, 常为翼龙后缀, 合意为中国翼龙; Dong 为中国姓氏“董”的汉语拼音, 种名谨献给我 国著名恐龙学家董枝明研究员。

种征 同属征。

头骨与下颌 右侧压保存, 上下颌紧闭, 无齿。

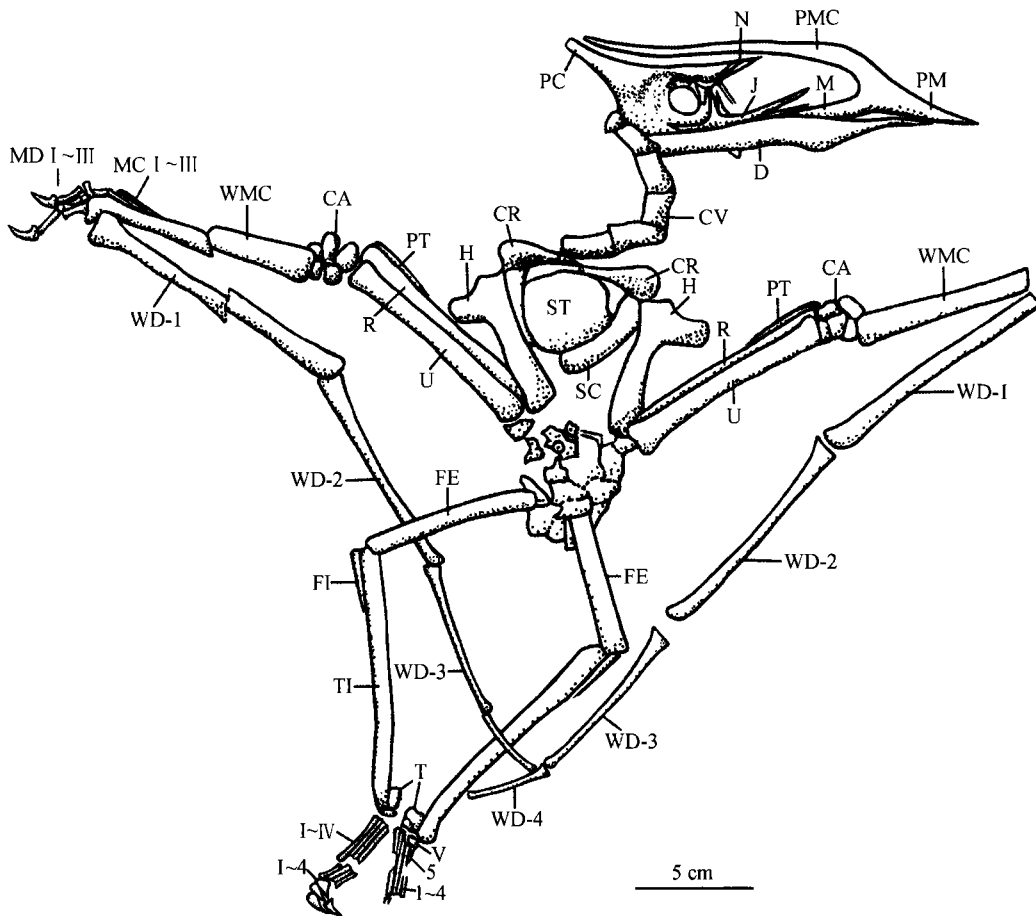


图1 董氏中国翼龙(新属、新种)*Sinopterus dongi* gen. et sp. nov.正型标本(IVPP V 13363)轮廓图

CA: 腕骨; CR: 乌喙骨; CV: 颈椎; D: 齿骨; FE: 股骨; FI: 腓骨; H: 肱骨; J: 颞骨; M: 上颌骨; MC I~III: 第1-3掌骨; MD I~III: 第1-3指骨; N: 鼻骨; PC: 顶骨冠状脊突; PM: 前上颌骨; PMC: 前上颌骨弧形脊突; PT: 翅骨; R: 桡骨; SC: 肩胛骨; ST: 胸骨; T: 跗骨; TI: 胫骨; U: 尺骨; WD 1~4: 第1-4翼指骨; WMC: 翼掌骨; I~V: 第I~V趾骨; 1~5: 第1-5趾骨

表1 董氏中国翼龙(IVPP V 13363)头骨长度测量(mm)

头骨(前上颌骨吻端至头后冠状脊突末端)	170
前上颌骨吻端至鳞骨	146
鼻眶前孔前缘至鳞骨	101
吻端至鼻眶前孔前缘	48
头骨高(方骨处)	30
头骨高(经前上颌骨弧形脊突最高点)	32
头骨后部顶骨冠状脊突长	35
鼻眶前孔长	61
鼻眶前孔高	25
眼眶直径	15 ^{a)}
角质喙	13 ^{a)}
齿骨	125
齿骨高(经齿骨弧形脊突最高点)	14

a) 近似或估计值

前上颌骨与上颌骨前部愈合。前上颌骨吻部尖而长, 具有像鸟喙一样的角质喙, 这也是翼龙具有角质喙的首次可靠化石记录。

沿头顶中线, 自前上颌骨吻端至顶骨后端有一脊状构造。脊状构造由前上颌骨前部的弧形脊突和前上颌骨与顶骨共同形成的头后冠状脊突组成。前上颌骨的前部弧形脊突低平, 其后延脊突近于平行头骨方向一直延伸到头骨后缘, 并与向上弯曲的顶骨上延脊突共同组成头骨后部的冠状脊突。前上颌骨后延脊突呈锥突状, 而顶骨上延脊突呈塔形, 两者分离, 没有连接。骨质的前上颌骨脊状构造在鼻眶前孔中部开始与头骨其他部分分离, 在靠近头骨的内缘骨质较厚, 而外缘逐渐变薄, 这些特征与 *Tapejara wellnhoferi* 的脊状构造非常相似^[14,16]。在脊状构造的外缘可以观察到起保护作用的骨质鞘及其印痕, 与前人的推测相吻合^[16]。上颌骨的下缘非常平直, 与尖长的前上颌骨下缘形成一宽缓的夹角, 这一特征也类似于 *T. wellnhoferi*^[14,16]和 *Thalassodromeus*^[15]。

表 2 董氏中国翼龙(V13363)主要头后骨骼长度测量(mm)

	左	右
肩胛骨	40	39 ^{a)}
乌喙骨	35	36
肱骨	59	58
尺骨	88	87.5
桡骨	84	85
翅骨	29 ^{b)}	38
翼掌骨	77 ^{b)}	95
第 I~III 掌骨	—	93 ^{a)}
第 I 指第 1 指节	—	12.5
第 I 指第 2 指节(爪)	—	8 ^{a)}
第 II 指第 1 指节	—	7.5
第 II 指第 2 指节	—	12.5
第 II 指第 3 指节(爪)	—	10
第 III 指第 1 指节	—	12.5
第 III 指第 2 指节	—	3
第 III 指第 3 指节	—	12
第 III 指第 4 指节(爪)	—	4 ^{b)}
第 1 翼指骨	105.5 ^{b)}	121
第 2 翼指骨	91	88
第 3 翼指骨	65.5	63
第 4 翼指骨	33	32
股骨	74 ^{a)}	74
胫骨	104	104
腓骨	20	20
第 I 趾骨	25	24.5
第 II 趾骨	23	23.3
第 III 趾骨	20.5	21 ^{a)}
第 IV 趾骨	19	19
第 V 趾骨	—	4.5
第 I 趾第 1 趾节	2 ^{b)}	10.5
第 I 趾第 2 趾节(爪)	—	6
第 II 趾第 1 趾节	—	—
第 II 趾第 2 趾节	—	6.5 ^{a)}
第 II 趾第 3 趾节(爪)	—	7.5
第 III 趾第 1 趾节	—	7 ^{a)}
第 III 趾第 2 趾节	—	—
第 III 趾第 3 趾节	—	10
第 III 趾第 4 趾节(爪)	—	7
第 IV 趾第 1 趾节	—	—
第 IV 趾第 2 趾节	—	—
第 IV 趾第 3 趾节	—	—
第 IV 趾第 4 趾节	—	—
第 IV 趾第 5 趾节(爪)	—	—
第 V 趾第 1 趾节	—	8 ^{b)}

a) 近似或估计值; b) 保存长度

鼻孔与眶前孔连在一起, 形成一个巨大的长椭圆形眶前孔。眶前孔长度大致为其高度的 2.5 倍, 而且长度超过头骨长度的 1/3。眼眶较小, 像该科的其他属种一样^[14-17], 位于眶前孔上缘水平线之下。

鼻骨没有与前上颌骨以及颧骨愈合。鼻骨最大的特征即在其后上缘近于垂直向下的针状细长突起:

鼻骨长, 其前部伸向前上颌骨, 延伸长度约占眶前孔长度的 1/3。但并未与前上颌骨后延部分接触, 使得前上颌骨脊状构造与头骨完全分离。

额骨和顶骨愈合, 但未与鼻骨愈合, 两者之间有一明显的骨缝。额骨侧视呈倒三角形, 与顶骨之间没有骨缝, 但顶骨前部比较隆起, 而后部向侧上延伸形成一塔形的脊突, 与前上颌骨的后延锥状脊突共同组成头后的冠状脊突。与 *T. wellnhoferi*^[14,16] 相比, 中国翼龙的顶骨脊突更发育, 而且向上弯曲明显。

颧骨的上突与鼻骨相联, 但未愈合。前突细长, 位于眶前孔下缘, 接近其长度的 2/3。

下颌保存完整, 无齿, 粗壮平直, 其下缘的弧形脊突前部疏缓而后部陡直, 吻端特别尖。各骨片基本愈合, 没有明显的骨缝, 隅骨和上隅骨平行紧贴齿骨。

与古神翼龙科的其他成员相比, 中国翼龙头骨低长, 眶前孔扁平, 头骨长度(前上颌骨吻端至头后冠状脊突末端)约 170 mm, 约为其高度(不包括齿骨高度)的 5 倍。眶前孔巨大, 超过整个头骨长度的 1/3, 占前上颌骨吻端至鳞骨长度的 42%。

脊柱 具 7 枚颈椎, 呈自然状态保存。第 3~7 枚颈椎长度依次为 15.5、19.5、20.5、21 和 19 mm, 椎体向后依次加长, 最后一枚略短, 背部神经脊非常低。颈部长度超过 100 mm, 估计大于最后一枚颈椎与第 1 枚尾椎之间的脊柱长度。与其身体大小相比, 颈椎长而粗壮。

背椎部分散落, 数目无法准确确定, 估计有 11~12 枚, 椎体往往与神经脊分离。前部的背椎似乎组成联合背椎。中后部 6 枚分散的背椎, 可能为第 6~11 枚背椎。椎体表面光滑, 椎体长度近等, 在 5~7 mm 之间, 椎体前凹后凸型。

荐椎分散保存, 数目不详, 但可以看到有 2 个荐椎愈合在一起, 长度 14 mm, 神经脊很高。尾部保存不全, 可以看到 4 枚非常弱小的尾椎。显示尾部很短。

肋骨和胸骨 背肋保存很少, 仅左侧肩胛骨叠压几段不完整肋骨。在靠近腰带附近保存有一些细长的腹膜肋, 其中有 3~4 对呈宽缓的“V”形。

胸骨近于半圆形, 宽大于长。胸骨脊短而龙骨突发达, 与乌喙骨紧密关联。胸骨板厚实, 左侧边缘可见一凹形缺口。

肩带与前肢 肩胛骨和乌喙骨基本愈合, 形成

“U”形的肩胛乌喙骨(scapulocoracoid)。肩胛骨非常弯曲, 两侧边缘近平行, 宽度约 9 mm。乌喙骨平直而粗壮, 与肩胛骨关节愈合的一侧异常膨大, 呈扇形。肩胛骨略长于乌喙骨, 这也是古神翼龙科的特征之一。

前肢粗壮。肱骨、尺骨、翼掌骨和第 1 翼指骨依次加长, 第 1~4 翼指骨依次缩短。其中尺骨、翼掌骨和第 1 翼指骨分别是肱骨长度的 1.5, 1.6 和 2 倍。第 2 翼指骨与尺骨长度近等。此外, 肱骨+尺骨+翼掌骨的长度约为股骨+胫骨+第 III 趾骨长度的 1.2 倍, 翼指骨长度分别为肱骨和翼掌骨长度的 5.2 倍和 3.2 倍。

肱骨粗壮平直, 三角嵴发育。尺骨和桡骨较直, 桡骨略短于尺骨, 两者长度明显超过肱骨。

腕骨非常大, 5 枚腕骨呈不规则状, 大小近等, 2 枚近侧腕骨和 3 枚远侧腕骨均没有愈合。翅骨细长, 约为桡骨长度的 45%, 而与乌喙骨长度近等。

掌骨长, 长度仅次于第 1 翼指骨。翼掌骨粗壮, 第 I~III 掌骨非常纤细, 略短于翼掌骨。第 I~III 指指节较长, 翼爪也较大, 尖而弯曲, 明显大于趾爪。

翼指骨与桡骨相比, 第 1 节较长, 第 2 节近等, 第 3~4 节更短。第 2~4 翼指骨分别是第 1 翼指骨长度的约 74%, 53.3% 和 26.9%。翼指骨近端膨大, 远端向内侧略为膨大。第 4 翼指骨向内侧弯曲, 远端膨大。

腰带与后肢 腰带各骨骼挤压在一起, 形态不清。

后肢细长。股骨和胫骨平直, 胫骨是股骨长度的 1.4 倍; 腓骨在胫骨的近端, 明显退化缩短, 长度不及胫骨的 1/5。第 I~IV 趾骨保存较好, 平直且相互平行。第 I 趾骨最长, 第 II~IV 趾骨长度依次缩短, 第 IV 趾骨约为第 I 趾骨长度的 3/4。其中第 III 趾骨长度分别约为翼掌骨、股骨和胫骨的 22.1%, 27.7% 和 19.7%。第 V 趾骨显著缩短且粗壮, 长度不及第 I 趾骨的 1/5。近侧跗骨和远侧跗骨似乎分别愈合。

趾式为“2-3-4-5-1”。第 V 趾非常短, 仅保留一远端变尖的趾节, 缺少爪, 长度约 8 mm。其他 4 趾有较弯曲的爪。从保存的趾节分析, 远端趾节比近端趾节长。这可能与树栖生活有关。

此外, 标本还零星保存细小的类似翼膜纤维的印痕。

2 对比与讨论

在翼手龙亚目中, 无齿翼龙科(Pteranodontidae)、夜翼龙科(Nyctosauridae)、神龙翼龙科(Azhdarchidae)

和古神翼龙科等 4 个科均不具齿, 全部都产自白垩纪^[18], 而且除古神翼龙科和极少数无齿翼龙科的成员来自早白垩世晚期外, 其他的都产于晚白垩世。在无齿的翼龙中, 绝大部分成员分布在美洲, 如古神翼龙科的成员仅发现于巴西, 夜翼龙科的成员也仅发现于巴西和美国。无齿翼龙科和神龙翼龙科极个别属种虽曾发现于欧洲和亚洲, 其他属种均分布于北美^[18]。

热河群中的中国翼龙属于无齿的翼龙, 与巨大的无齿翼龙科和神龙翼龙科的成员比较容易区别。无齿翼龙科的分子除了个体巨大之外, 还具有像剑一样细长的吻部, 由额骨加长形成头骨后部巨大的脊状构造以及弯曲的肱骨三角嵴; 神龙翼龙科的成员同样具有大型的个体, 还发育巨大的鼻眶前孔以及鼻骨和额骨脊状构造, 第 4 翼指骨非常短。中国翼龙根据其小的个体、鼻眶前孔极为膨大、眼眶位于鼻眶前孔背缘水平线之下、前上颌骨脊突始于其前部并加长向后延伸直达头骨的后部、无齿、肩胛骨大于乌喙骨等特征, 应归入古神翼龙科。这是该科成员除南美大陆之外的首次发现, 也是已知最低层位的化石记录。

古神翼龙科的成员仅发现于巴西的 Santana 组, 计 3 属 5 种, 包括 *Tapejara* 1 属 2 种^[14,17]、*Tupuxuara* 1 属 2 种^[19,20](也有学者将其归入神龙翼龙科^[21])以及 *Thalassodromeus* 1 属 1 种^[15]。中国翼龙因其头骨最为低长、吻部更尖、前上颌骨脊状构造小、鼻眶前孔扁平 and 个体较小等特征, 明显不同于该科的其他属种, 因此建立中国翼龙一新属(*Sinopterus* gen. nov.)。中国翼龙是古神翼龙科已知最完整的化石骨架。

中国翼龙的头骨特征与 *Tapejara wellnhoferi*^[14,16] 最为接近, 两者的前上颌骨脊状构造非常相似, 在鼻眶前孔上缘中部与头骨分离, 最大的区别在于中国翼龙的前上颌骨前部以及下颌腹面弧形脊突远没有 *T. wellnhoferi* 发育; *Tupuxuara* 的前上颌骨前部弧形脊突低而向后延伸的头骨后部冠状脊突发育; *Thalassodromeus* 的前上颌骨前部弧形脊突低而后延的冠状脊突最为发育, 冠状脊突的后缘呈“V”形^[15]。

中国翼龙的背椎椎体与神经脊分离, 肢骨两端关节面骨化程度弱, 可能为一亚成年个体。

中国翼龙与巴西的 *T. wellnhoferi*^[16] 一样, 可能是杂食性动物, 既能食鱼, 也能食果。食鱼的无齿的

翼龙一般具有长而尖的上、下颌, 中国翼龙头骨与食鱼的 *T. wellnhoferi*^[16] 头骨形态非常相似, 最近报道的属于古神翼龙科的 *Thalassodromeus*, 是一类像剪嘴鸥一样能够在飞行中捕鱼的翼龙^[15]. 辽西当时广布的淡水湖泊环境中繁盛的大量鱼类, 为翼龙提供了极为丰富的食物来源.

中国翼龙个体比较小, 与 *Tapejara* 差不多大小. 身体较小的 *Tapejara* 也被认为是食果的翼龙^[16]. 中国翼龙的完整骨架显示其吻部更尖, 具有像鸟类一样的角质喙, 粗壮结实的下颌和颈椎, 以及强壮有力的前肢和爪, 这些特征有助于采食植物种子. 食果翼龙(包括食果鸟类^[3])的发现也支持白垩纪翼龙与被子植物协同进化这一假说^[22].

3 热河群的翼龙化石组合及其地层时代讨论

热河群的翼龙化石可以明显地区分出上、下两个组合(表 3), 下部组合包括义县组不同层位的化石, 已经记述的有原始的喙嘴龙亚目(Rhamphorhynchoidea)蛙嘴翼龙科(Anurognathidae)的热河翼龙(*Jeholopterus*)^[13]、树翼龙(*Dendrorhynchoides*)^[12](最初被归于 Rhamphorhynchidae^[12], 后被归入蛙嘴翼龙科^[23]), 以及进步的翼手龙亚目翼手龙科(Pterodactyloidae)的郝氏翼龙^[11]和东方翼龙(*Eosipterus*)^[10](后者最初记述时科未定^[10], 后被认为属于翼手龙科^[24]; 也有研究者认为可能属于 Ctenochasmatidae^[23]). 虽然已记述的喙嘴龙类和翼手龙类各 2 属 2 种, 然而在义县组, 原始的喙嘴龙类仅发现几件标本, 而进步的翼手龙类已经发现了数十件标本, 进步翼龙类的个体数量远远超过了原始的翼龙类, 而且辽西发现的属于蛙嘴翼龙科的热河翼龙本身也具有许多相对进步的特征^[13]. 上部组合包括了九佛堂组已经发现的翼龙化石, 迄今为止, 所有发现的翼龙化石均为翼手龙亚目的成员, 本文仅记述了其中的一件标本.

义县组下部的翼龙组合与孔子鸟类群共生, 这一鸟类群的代表分子包括孔子鸟、辽宁鸟、始反鸟、辽西鸟、原羽鸟等; 与其共生的恐龙类有带毛的兽脚类恐龙中华龙鸟、北票龙、中国鸟龙、原始祖鸟、尾羽龙以及禽龙类的锦州龙^[25]和甲龙类的辽宁龙^[26]等, 化石主要产自义县组尖山沟层、大王杖子层和金刚山层^[27,28], 同位素年龄范围为 121 ~ 125 Ma^[29-32]. 义县组底部陆家屯层^[33]发现了一些重要的恐龙, 如中国

猎龙^[34]、切齿龙^[35]、辽宁角龙^[36]和热河龙等, 目前还没有发现翼龙化石, 但可能相当层位或较之更低层位的义县组道虎沟层^[27](道虎沟层是否属于义县组还存在争议^[37])发现了蛙嘴翼龙科的热河翼龙^[13,37](在文献[37]中, 图版 II ~ III 所示翼龙化石被原作者认为是翼手龙类, 我们认为应是同一地点属于喙嘴龙类的热河翼龙), 其时代要早于上覆玄武岩(⁴⁰Ar/³⁹Ar 同位素年龄为 128 Ma^[38]). 虽然该组合的开始时代尚不清楚, 但不会早于土城子组上部沉积(凝灰岩 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 同位素年龄为 139 Ma^[31]).

蛙嘴翼龙科的成员包括德国 Solnhofen 灰岩的 *Anurognathus* 和哈萨克斯坦 Karabastau 组(Oxfordian-Kimmeridgian^[39])的 *Batrachognathus*; 翼手龙科的成员主要分布在欧洲(Solnhofen 灰岩、法国和英格兰 Kimmeridgian 地层)和非洲坦桑尼亚晚侏罗世沉积中. 与这些化石地点和层位相比较, 义县组的翼龙组合与 Solnhofen 灰岩的翼龙组合具有一定的相似性, 如 Solnhofen 已经有两个科的成员在义县组被发现. 但是, 两个翼龙组合的差别也非常明显, 如 Solnhofen 的翼龙组合中, 原始的喙嘴龙类有 2 科 4 属 8 种, 而比较进步的翼手龙类有 4 科 5 属 13 种^[18]. 单从翼龙化石组合来看, Solnhofen 的翼龙组合更加原始, 时代要早于义县组的翼龙组合. 而 Karatau 的翼龙组合还包括喙嘴龙类的 *Sordes*^[40,41], 至今没有发现翼手龙类的成员, 其时代要早于义县组甚至 Solnhofen 灰岩. 我们也认为义县组的翼龙组合与 Santana 组的翼龙组合也很接近, 其时代介于 Solnhofen 和 Santana 组之间^[11], 这与包括鸟类和恐龙对比以及同位素年龄测定^[30-32]所得出的结论是一致的.

虽然目前对于发现热河翼龙的内蒙古宁城道虎沟化石地点的时代和层位还有争议^[13,27,37,42], 但是从这一地点的沉积特征、岩石地层层序、包括带毛恐龙树息龙(*Epidendrosaurus*)^[43]等在内的脊椎动物化石的发现, 以及热河翼龙与有准确同位素年龄的四合屯地区发现的同属一科的树翼龙的相似性^[13]等特征, 我们认为道虎沟层还是属于热河群最底部的沉积, 其化石组合可能代表了热河生物群最早的化石记录, 也代表了义县组翼龙组合的早期阶段, 其时代不会早于晚侏罗世, 而非一些学者认为的中侏罗世^[37]. 我们暂时认为义县组的翼龙组合生存时代为 Berriasian(?) - Barremian.

表 3 热河群(义县组与九佛堂组)翼龙组合及其对比

		欧洲	亚洲	南美洲
Early Cretaceous	Alb			Santana 组 Pterodactyloidea Tapejaridae Anhangueridae Ornithocheiridae Ceradactylidae
	Apt		九佛堂组 Pterodactyloidea Tapejaridae	
	Bar		义县组 Rhamphorhynchoidea Anurognathidae	
	Hau		Pterodactyloidea	
	Val		Pterodactylidae	
	Ber			
Late Jurassic	Tth	Solnhofen 灰岩 Rhamphorhynchoidea Rhamphorhynchidae Anurognathidae Pterodactyloidea Pterodactylidae Ctenochasmidae Gallodactylidae Germanodactylidae		
	Kim		Karabastau 组 Rhamphorhynchoidea	
	Oxf		Rhamphorhynchidae Anurognathidae	

热河群上部翼龙组合包括本文描述的翼手龙亚目古神翼龙科的中国翼龙以及其他翼手龙亚目的化石, 在已知的数十件标本中, 至今没有发现喙嘴龙亚目的成员. 翼龙组合与华夏鸟类群共生, 代表鸟类化石包括中国鸟、华夏鸟、波罗赤鸟、朝阳鸟、长翼鸟、义县鸟、燕鸟、会鸟和热河鸟等, 共生的恐龙有奔龙类的小盗龙等. 来自内蒙古九佛堂组顶部玄武岩的同位素年龄为 110 Ma^[44], 我们认为九佛堂组的时代范围大致在 110 ~ 120 Ma, 相当于 Aptian.

九佛堂组翼龙组合与巴西 Santana 组翼龙组合面貌非常相似, Santana 组翼龙组合中最重要的无齿的翼龙——古神翼龙科的分子已经在九佛堂组被发现, 相信会有更多类似 Santana 组的翼龙化石被发现. 单从翼龙化石分析, 九佛堂组的中国翼龙要比 Santana 组同科的 *Tapejara* 原始, 九佛堂组的时代(Aptian)要略早于 Santana 组的时代(Aptian/Albian).

热河群的上下两个翼龙组合, 代表了早白垩世两个重要的翼龙发展阶段, 同时也把欧洲晚侏罗世晚期的翼龙和南美早白垩世晚期的翼龙紧密地联系起来. 也就是说, 热河群下部义县组的翼龙类与德

国 Solnhofen 的翼龙存在演化上的联系, 而上部九佛堂组的翼龙类与遥远的巴西 Santana 组的翼龙也存在这种联系.

九佛堂组翼龙化石的发现, 为热河生物群的起源与辐射演化提供了新的证据, 同时也为研究翼手龙类的进化、古地理与地史分布, 以及脊椎动物生物地层对比提供了重要的化石资料.

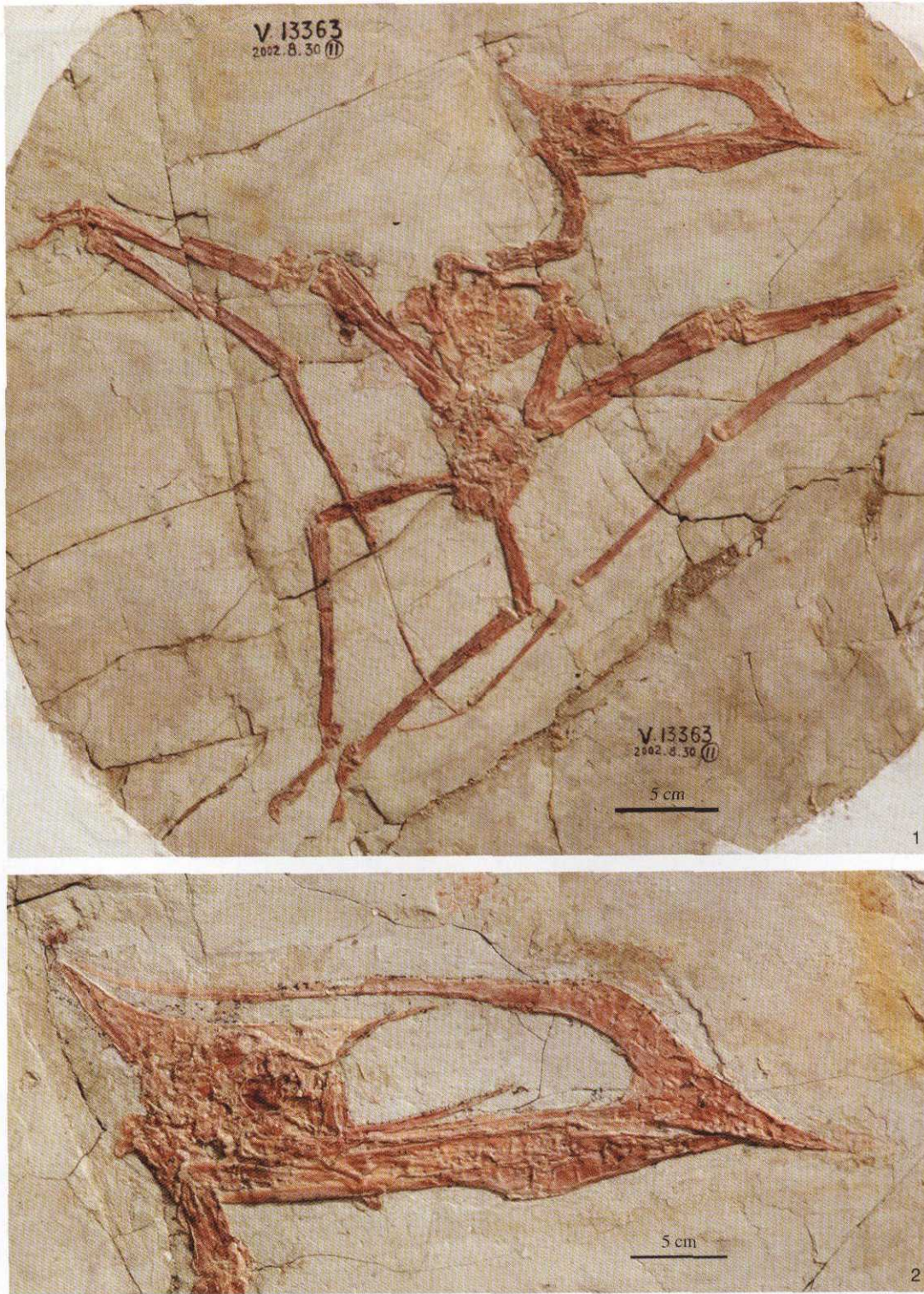
致谢 感谢中国科学院古脊椎动物与古人类研究所辽西队全体成员以及董枝明研究员的帮助. 张弥曼院士、李锦玲研究员审阅初稿并提出有益的修改意见, 李玉同修理化石, 高伟照相, 作者表示感谢. 本工作受国家重点基础研究发展规划项目(G2000077700)、国家自然科学基金创新研究群体基金、国家杰出青年基金(40025208)和国家自然科学基金人才培养基金(J9930095)资助.

参 考 文 献

- Hou L, Zhou Z, Martin L D, et al. A beaked bird from the Jurassic of China. *Nature*, 1995, 377: 616 ~ 618
- 周忠和, 张福成. 辽西早白垩世今鸟亚纲两新属与现生鸟类的起源. *科学通报*, 2001, 46(5): 371 ~ 377
- Zhou Z H, Zhang F C. A long-tailed, seed-eating bird from the Cretaceous of China. *Nature*, 2002, 418: 405 ~ 409
- Zhou Z H, Wang X L. A new species of *Caudipteryx* from the

- Yixian Formation of Liaoning, northeast China. *Vert Palasiat*, 2000, 38(2): 104 ~ 122
- 5 Xu X, Zhou Z H, Wang X L. The smallest known non-avian theropod dinosaur. *Nature*, 2000, 408: 705 ~ 708
 - 6 Ji Q, Luo Z X Yuan C X, et al. The earliest known eutherian mammal. *Nature*, 2002, 416: 816 ~ 822
 - 7 胡耀明, 王元青. 中国俊兽(*Sinobaatar* gen. nov.): 热河生物群中一多瘤齿兽类. *科学通报*, 2002, 47(5): 382 ~ 386
 - 8 Sun G, Dilcher D L, Zheng S L, et al. In search of the first flower—A Jurassic angiosperm, *Archaeofructus*, from northeast China. *Science*, 1998, 282: 1693 ~ 1695
 - 9 Sun G, Ji Q, Dilcher D L, et al. *Archaeofructaceae*, a new basal angiosperm Family. *Nature*, 2002, 296: 899 ~ 904
 - 10 姬书安, 季强. 辽宁西部翼龙类化石的首次发现. *地质学报*, 1997, 71(1): 1 ~ 6
 - 11 汪筱林, 吕君昌. 辽宁西部义县组翼手龙科化石的发现. *科学通报*, 2001, 46(3): 230 ~ 235
 - 12 姬书安, 季强. 记辽宁一新翼龙化石(喙嘴龙亚目). *江苏地质*, 1998, 22(4): 199 ~ 206
 - 13 汪筱林, 周忠和, 徐星, 等. 热河生物群发现带“毛”的翼龙化石. *科学通报*, 2002, 47(1): 54 ~ 58
 - 14 Kellner A W A. A new edentate pterosaur of the Lower Cretaceous from the Ararape Basin, Northeastern Brazil. *An Acad Bras Ciênc*, 1989, 1(4): 439 ~ 446
 - 15 Kellner A W A, Campos D A. The function of the cranial crest and jaws of a unique pterosaur from the Early Cretaceous of Brazil. *Science*, 2002, 297: 389 ~ 392
 - 16 Wellnhofer P, Kellner A W A. The Skull of *Tapejara Wellnhoferi* Kellner (Reptilia, Pterosauria) from the Lower Cretaceous Santana Formation of the Ararape Basin, Northeastern Brazil. *Mitt Bayer Staatsslg Palaont Hist Geol*, 1991, 31: 89 ~ 106
 - 17 Campos D A, Kellner A W A. Short note on the first occurrence of *Tapejaridae* in the Crato Member (Aptian), Santana Formation, Ararape Basin, Northeast Brazil. *An Acad Bras Ciênc*, 1997, 69(1): 83 ~ 87
 - 18 Wellnhofer P. *The Illustrated Encyclopedia of Pterosaurs*. New York: Crescent Books, 1991 1 ~ 191
 - 19 Kellner A W A, Campos D A. Sobre um Novo Pterossauro com Crista Sagital da Bacia do Ararape Cretáceo Inferior do Nordeste do Brasil. *An Acad Bras Ciênc*, 1988, 60(4): 459 ~ 469
 - 20 Kellner A W A, Campos D A. New Species of *Tupuxuara* (Pterosauria, Tapejaridae) from the Early Cretaceous of Brazil. *An Acad Bras Ciênc*, 1994, 66(4): 467 ~ 473
 - 21 Nesov L A. Gigantic pterosaurs of the *Azhdarhidae* family: I. Morphology and taxonomy. *Vestnik Leningrad Univ Geol-Geogr*, Ser 7, 1991, 2(14): 14 ~ 23
 - 22 Fleming T H, Lips K R. Angiosperm endozoochory: were pterosaurs Cretaceous seed dispersers? *Amer Naturalist*, 1991, 138(4): 1058 ~ 1065
 - 23 Unwin D M, Lü J C, Bakhurina N N. On the systematic and stratigraphic significance of pterosaurs from the Lower Cretaceous Yixian Formation (Jehol Group) of Liaoning, China. *Mitt Mus Naturkunde Berlin, Geowissenschaftlichen Reihe* 3, 2000, 181 ~ 206
 - 24 Ji S A, Ji Q, Padian K. Biostratigraphy of new pterosaurs from China. *Nature*, 1999, 398: 573 ~ 574
 - 25 汪筱林, 徐星. 辽西义县组禽龙类新属种: 杨氏锦州龙. *科学通报*, 2001, 46(5): 419 ~ 423
 - 26 Xu X, Wang X L, You H L. A juvenile ankylosaur from China. *Naturewissenschaften*, 2001, 88: 297 ~ 300
 - 27 汪筱林, 王元青, 张福成, 等. 辽宁凌源及内蒙古宁城地区下白垩统义县组脊椎动物生物地层. *古脊椎动物学报*, 2000, 38(2): 81 ~ 99
 - 28 Wang X L, Wang Y Q, Zhou Z H, et al. Vertebrate faunas and biostratigraphy of the Jehol Group in western Liaoning, China. *Vert Palasiat*, 2000, 38(supp): 40 ~ 63
 - 29 Smith P E, Evensen N M, York D, et al. Dates and rates in ancient lakes: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ evidence for an Early Cretaceous age for the Jehol Group, Northeast China. *Can J Earth Sci*, 1995, 32: 1426 ~ 1431
 - 30 Swisher III C C, Wang Y Q, Wang X L, et al. Cretaceous age for the feathered dinosaurs of Liaoning, China. *Nature*, 1999, 400: 58 ~ 61
 - 31 Swisher III C C, 汪筱林, 周忠和, 等. 义县组同位素年代新证据及土城子组 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄测定. *科学通报*, 2001, 46(23): 2009 ~ 2012
 - 32 王松山, 王元青, 胡华光, 等. 辽西四合屯脊椎动物生存时代: 锆石 U-Pb 年龄证据. *科学通报*, 2001, 46(4): 330 ~ 333
 - 33 汪筱林. 地层与时代. 见: 张弥曼, 陈丕基, 王元青, 等, 主编. 热河生物群. 上海: 上海科学技术出版社, 2001. 8 ~ 22
 - 34 Xu X, Norell M A, Wang X L, et al. A basal troodontid from the Early Cretaceous of China. *Nature*, 2002, 415: 780 ~ 784
 - 35 Xu X, Cheng Y N, Wang X L, et al. An unusual oviraptorosaurian dinosaur from China. *Nature*, 2002, 419: 291 ~ 293
 - 36 Xu X, Makovicky P J, Wang X L, et al. A ceratopsian dinosaur from China and the early evolution of Ceratopsia. *Nature*, 2002, 416: 314 ~ 317
 - 37 季强, 袁崇喜. 宁城中生代道虎沟生物群中两类具原始羽毛翼龙的发现及其地层学和生物学意义. *地质论评*, 2002, 48(2): 221 ~ 224
 - 38 王松山, 胡华光, 李佩贤, 等. 再论辽西四合屯脊椎动物生存时代: Ar-Ar 年龄证据. *岩石学报*, 2001, 17(4): 663 ~ 668
 - 39 Bakhurina N N, Unwin D M. A survey of pterosaurs from the Jurassic and Cretaceous of the former Soviet Union and Mongolia. *Hist Biology*, 1995, 10: 197 ~ 245
 - 40 Sharov A G. New flying reptiles from the Mesozoic of Kazakhstan and Kirghizia. *Trans Palaeont Ins*, 1971, 130: 104 ~ 113
 - 41 Unwin D M, Bakhurina N N. *Sordes pilosus* and the nature of the pterosaur flight apparatus. *Nature*, 1994, 371: 62 ~ 64
 - 42 张俊峰. 道虎沟生物群(前热河生物群)的发现及其地质时代. *地层学杂志*, 2002, 26(3): 173 ~ 177
 - 43 Zhang F C, Zhou Z H, Xu X, et al. A juvenile coelurosaurian theropod from China indicates arboreal habits. *Naturewissenschaften*, 2002, 89(9): 394 ~ 398
 - 44 Eberth D A, Russull D A, Braman D R, et al. The age of the dinosaur-bearing sediments at Tebch, Inner Mongolia, P. R. China. *Can J Earth Sci*, 1993, 30(10-11): 2101 ~ 2112

(2002-08-30 收稿, 2002-09-18 收修改稿)



董氏中国翼龙(新属、新种)*Sinopterus dongi* gen. et sp. nov. (IVPP V 13363) 正型标本
1 骨架; 2. 头骨