甘肃鸟的新材料及其解剖和行为习性的补充研究

李岩1 张玉光2,4 周忠和3,4 李志恒5 刘远3,4 汪筱林3,4
(1 甘肃省博物馆 兰州 730050)
(2 北京自然博物馆 北京 100050)
(3 中国科学院脊椎动物与古人类研究所 北京 100044)
(4 中国科学院脊椎动物进化系统学重点实验室 北京 100044)
(5 美国得克萨斯州立大学杰克逊地球科学学院 奥斯汀 TX 78712)

摘要:继 1984 年首次报道甘肃玉门昌马发现的早白垩世甘肃鸟及 2006 年记述多件甘肃鸟标本以来,再次发现于 2004 ~ 2006 年间的 9 件甘肃鸟标本进行形态的详细观察,补充描述甘肃鸟的骨骼特征,包括侧面保存的胸骨、有较完整的镰刀形龙骨突及胸骨背侧特征等;部分前肢骨质上有位于关节位置,呈短长方形的尺骨和桡骨骨;指式“2 - 3 - 1”, 小指骨的关节完全退化消失;尺骨各趾中第 I 趾节最长, 髋骨短小且弯曲度小;第 I 趾相对较短, 细弱, 与其他趾相对位;第 IV 趾长于第 III 趾。在肩胛骨和腕骨关节处保存有鳞片状的皮肤印痕,趾骨间有蹼的印痕。通过指示性骨骼测量的三元分析,得出甘肃鸟是一类善飞的潜水鸟,其习性接近于部分现生的鸭科成员, 与之前有关甘肃鸟生活习性推测较为接近。

关键词: 早白垩世, 甘肃鸟, 新材料, 习性

玉门甘肃鸟 (Gansus yumenensis Hou & Liu, 1984) 是中国境内发现的第一件中生代鸟类化石,正型标本 (IVPP V 68621) 产于甘肃玉门市昌马乡沈家湾村西北,仅保存一不完整左后肢骨。2006 年, 尤海鲁等又报道了在昌马发现的数件归入甘肃鸟的新化石 (You et al., 2006), 描述了 5 件不同保存状态的甘肃鸟标本 (CAGS-IG-04-CM-001 - 004, 008)。同年 11 月, 姬书安等又描述了一件具印痕的甘肃鸟不完整后肢 (CAGS-IG-04-CM-008) (Ji et al., 2006)。

目前工程已述述的甘肃鸟化石均产自甘肃昌马下白垩统下沟组,时代较辽西热河生物群最上层位九佛堂组述晚 (You et al., 2006)。已知的化石标本大致产自同一地点, 除正型标本保存在灰黑色泥岩外, 其余新近发现的甘肃鸟标本, 包括与其共生的两件反鸟标本 (CAGS-IG-04-CM-007, 023) 基本上都在黄褐色泥岩中产出 (Hou and Liu, 1984; You et

1) 北京市自然科学基金 (编号: 5092010)、北京市科学技术研究院“茅洋后续”人才培养计划 (编号: 2009 - 4)、中国科学院脊椎动物进化系统学重点实验室开放课题研究基金 (编号: 2010LE008) 以及 2010 年北京市新世纪百千万人才工程培养经费资助。收稿日期: 2010 - 12 - 02
al., 2005, 2006; Ji et al., 2006; Lamanna et al., 2006; Harris et al., 2006）。此外，目前该地点的甘肃鸟材料除了头骨、下颌骨及部分颈椎尚未发现外，其他部位的骨骼均有保存（You et al., 2006）。

本文描述的甘肃鸟标本是第一作者于 2002-2004 年间，先后数次前往昌马地区进行野外发掘所获得的，包括完整的前肢、胸骨、后肢骨骼以及保存较好的腰带部分，这些材料保存了一些新的骨骼特征。本文基于对这些标本的观察和分析，补充了甘肃鸟的骨骼特征，并且通过和现生鸟类的对比研究，对甘肃鸟生活习性的恢复等进行了探讨。

1 基于新材料的特征描述和比较

新采集的甘肃鸟标本均保存在中国科学院古脊椎动物与古人类研究所，编号为 IVPP V 15074 – 15077，V 15079 – 15081，V 15083，V 15084。测量数据见表 1。

<table>
<thead>
<tr>
<th>表 1 甘肃鸟标本的测量</th>
<th>Measurements of Gansus yumenensis</th>
<th>(mm)</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td><strong>IVPP V 15074</strong></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Tarsometatarsus</td>
<td>28.0</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Pedal digit I -1 length</td>
<td>9.8?</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Pedal digit II -1 length</td>
<td>12.1</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Pedal digit III -1 length</td>
<td>8.2</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Pedal digit III -2 length</td>
<td>9.5</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Pedal digit III -3 length</td>
<td>7.7</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Pedal digit III -3 length</td>
<td>7.0</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td><strong>IVPP V 15076</strong></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Sternum maximum width</td>
<td>15.0?</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Sternum length</td>
<td>39.1</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Keel height</td>
<td>7.7</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td><strong>IVPP V 15077</strong></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Tarsometatarsus</td>
<td>38.9</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Pedal digit I -1 length</td>
<td>7.4</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Pedal digit II -1 length</td>
<td>14.3</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Pedal digit II -2 length</td>
<td>13.3</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td><strong>IVPP V 15079</strong></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Ulna length</td>
<td>51.7</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Radius length</td>
<td>50.4</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Metacarpals I - length</td>
<td>24.3</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Metacarpals II - length</td>
<td>23.5</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Major manual digit I -1 length</td>
<td>8.3?</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Major manual digit II -1 length</td>
<td>10.3</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Major manual digit III -1 length</td>
<td>9.9</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Major manual digit III -1 length</td>
<td>6.1</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td><strong>IVPP V 15080</strong></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Femur</td>
<td>31.6</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Tibiotarsus</td>
<td>56.2</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Tarsometatarsus</td>
<td>30.1</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Metatarsal II width</td>
<td>2.6</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Metatarsal III width</td>
<td>2.1</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Metatarsal IV width</td>
<td>2.1</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Pedal digit I -1 length</td>
<td>13.8</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Pedal digit II -2 length</td>
<td>12.3</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Pedal digit III -2 length</td>
<td>11.1</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Pedal digit IV -2 length</td>
<td>7.9</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Pedal digit IV -3 length</td>
<td>6.9</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Pedal digit IV -4 length</td>
<td>7.1</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td><strong>IVPP V 15081</strong></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Pedal digit I -1 length</td>
<td>6.6</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Pedal digit II -1 length</td>
<td>11.5</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Pedal digit III -1 length</td>
<td>10.0</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Pedal digit III -2 length</td>
<td>8.0</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Pedal digit IV -1 length</td>
<td>12.2</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Pedal digit IV -2 length</td>
<td>6.2</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Pedal digit IV -3 length</td>
<td>10.2</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Pedal digit IV -4 length</td>
<td>7.9</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td><strong>IVPP V 15083</strong></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Pedal digit I -1 length</td>
<td>6.6</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Pedal digit II -1 length</td>
<td>11.5</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Pedal digit III -1 length</td>
<td>10.0</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Pedal digit IV -1 length</td>
<td>12.2</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Pedal digit IV -2 length</td>
<td>6.2</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Pedal digit IV -3 length</td>
<td>10.2</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Pedal digit IV -4 length</td>
<td>7.9</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td><strong>IVPP V 15084</strong></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Femur</td>
<td>31.6?</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Tibiotarsus</td>
<td>42.2</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Tarsometatarsus</td>
<td>36.7</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Metatarsal III - length</td>
<td>6.8</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Metatarsal IV - length</td>
<td>9.0</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Metatarsal IV - length</td>
<td>5.6</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Metatarsal IV - length</td>
<td>5.2</td>
<td></td>
</tr>
</tbody>
</table>

? indicates estimate measurement.
已发表的甘肃鸟胸骨（CAGS-IG-04-CM-003）仅为腹面保存，未作详细描述（You et al. 2006）。IVPP V 15076 保存了一个分离的胸骨，为右侧向保存，还保存了较完整的镰刀形龙骨突。龙骨突从胸骨前端伸展至后端，高度逐渐减小，最高点约有 8 mm 高。龙骨突近端前伸，超出了胸骨前缘。右侧的胸骨-乌喙骨关节面呈长槽状，左侧的胸骨-乌喙骨关节面未见，两者中间有明显的间隔。外侧的胸骨-乌喙突较为显著，呈三角状。胸骨侧面至少有 5 个小的肋窝，其侧面可见 6 根较为细弱的胸肋；胸骨后侧有一大而略呈椭圆形的闭孔，胸骨龙骨突超柄状突的前缘，后端未过胸骨中线。胸骨的前梁呈长条状，较直，远端没有扩大，略偏向外侧。

在已经描述的甘肃鸟标本中，叉骨保存较为完整。在 V 15076 标本（图 1）上，胸骨的上方也保存了一枚不完整的叉骨，叉骨支较细，截面呈不规则半圆形。叉骨支之间没有明显的愈痕，同时也缺少叉骨突起。这些特征和 CAGS-IG-04-CM-003 基本一致。

在已记述的甘肃鸟中，前肢骨骼有较好的保存，但缺少对一些关键解剖特征如尺腕骨和桡腕骨以及指爪的描述等。

本文的新材料中，有 3 件保存了部分前肢的骨骼（IVPP V 15075，V 15079，V 15081），其中以 V 15079（图 2A）保存最为完整（只缺失近端肱骨以及第 1 指爪），其他两件虽然关节不全，但腕骨、掌骨、指骨和指爪等特征保存较已知的标本更好，因此对甘肃的前肢解剖特征能够提供不少重要的补充。

V 15079（图 2A）为腹向保存的左侧前肢。其肱骨远端保存较好，尽管背侧和腹侧大小相近，但腹侧则更加突出，略呈球形，而背侧则呈椭球形，主要沿背腹延伸，在背侧的近端附近保存了一个明显的圆形背窝（brachial fossa），此外还可见一明显发育的背上腕突起（dorsal supracondylar process）。挠腕骨小，近方形。腕掌骨完全愈合，大小掌骨均较直，小掌骨细，近端侧向扁平，大掌骨的宽度约为小掌骨 2 倍之多，两掌骨远端伸展距离相当，未见其中之一有明显的加长，掌间空隙窄长。小翼掌骨较短，与大掌骨完全愈合，伸肌突不发育，远端伸展不及掌间隙近端的位置。大指骨保存完整，第 1 指节宽大，中部明显向后伸展，前侧略凹，第 2 指节较宽，明显较第 1 指节要细，且较短，这些特征和 You et al.
图 2 甘肃鸟的前肢对比
Fig. 2 Forelimbs of Gansus yumenensis

A. IVPP V 15079; B. V 15075

hu. humerus 胫骨; mc I-III. Metacarpals I-III 第 I-III 掌骨; md I-2. first, second phalanx of alular digit 第 I 指的第 1、2 指节; md II 1-3. first, second and third phalanx of major digit 第 II 指的第 1-3 指节; md III 1. first phalanx of minor digit 第 III 指的第 1 指节; r. radius 肱骨; rad. radiale 桡腕骨; u. ulna 尺骨; uln. ulnare 尺腕骨

(2006) 记述的一致。大指骨的第 3 指节为爪节, 长度不及第 2 指节的一半; V 15081（图 3）还显示, 该爪节略有弯曲。小指骨在 V 15079 和 V 15081 均仅保存一个指节, 十分细窄, 前侧略呈凹形, 和大指骨第 1 指节相接, 但长度仅为后者的一半。在 V 15079 上, 该指节近端后侧具有一个小的突起。根据其形态以及已有标本的保存状况, 推测小指骨的爪节已经完全退化消失。

图 3 甘肃鸟的前肢 (IVPP V 15081)
Fig. 3 Forelimbs of Gansus yumenensis (IVPP V 15081)

For abbreviations see Fig. 2
V 15075（图 2B）也为腹向保存的前肢，有完整的小翼指，包括两个指节，第 1 节细长，较直，第 2 节（趾节）很小，较小弯曲，长度不及第 1 节指节的 1/3。根据以上描述，甘肃鸟的指式应当为“2－3－1”。V 15075（图 2B）上还保存了处于关节位置的桡腕骨和尺腕骨，两者大小相当，均略呈短长方形，尺腕骨仅有一较小的掌骨切迹，桡腕骨远端有一深的凹陷和小的开孔。此外，尺骨远端可见一显著的桡凹陷（radial depression）。腕掌骨近端保存了一宽大的滑车凹陷（fossa infratrochlearis）。这一特征同样见于 V 15081 上（图 3），凹陷略呈圆柱形。

后肢骨骼在 You et al.（2006）记述的标本中有较完整的保存，但记述比较简单。

新采集的甘肃鸟中，后肢标本计有 5 件（IVPP V 15074，V 15077，V 15080，V 15083，V 15084）（图 4，5），由于不同的关节方式，能够提供更多细节的特征。

肢骨在 V 15080（图 4A）上保存完整，在 V 15077（图 4C）和 V 15084（图 5B）上也有保存，远端和胫跗骨呈相关节状态。肢骨略有弯曲，股骨头不太突出；远端滑车脊显著，远端内外踝骨均很发育，踝间窝较深，外踝上可见突出的胫跗骨和腓骨。

图 4 甘肃鸟的后肢骨骼和皮肤印痕
Fig. 4 Hindlimbs and skin impression of Gansus yumenensis
A. IVPP V 15080；B. V 15074；C. V 15077
cc. cnemial crest 脐骨；fe. femur 股骨；fi. fibula 腓骨；mt I-IV. Metatarsal I-IV 第 I-IV 跖骨；pd I-IV. pedal digit I-IV 第 I-IV 趾；pd I-2. 1-2 pedal phalanx of pedal digit I；pd II-1-3. 1-3 pedal phalanx of pedal digit II；pd III-1. 1 pedal phalanx of pedal digit III；pd IV-1-2. 1-2 pedal phalanx of pedal digit IV；si. skin impression 皮肤印痕；ti. tibiotarsus 腓跖骨；tmt. tarsometatarsus 跖跖骨

胫跗骨较细长，近端外侧的内侧胫骨和外侧胫骨愈合形成一个单个非常发育的，远端呈圆形的突起，显著向前和近端伸长（You et al., 2006），并具有明显收缩的颈部。在
V 15080（图 4A）（左侧后肢）上保存最为完整。胫腓骨外侧发育一细长的腓骨脊。腓骨十分细长，向远端延伸至远端约 1/5 处，从近端向远端逐渐尖细。

V 15084（图 5B）胫腓骨的远端保存较好，呈侧前向保存。未见骨质肢骨发育。外踝表面可见一深的圆形侧上踝凹陷（depressio epicondylaris latralis）。

跖趾骨在新采集的 5 件后肢标本上均有较好的保存，并多为内侧或外侧向保存。跖趾骨完全愈合，其长度与股骨相近。与 You et al. (2006) 描述的一致，近端未见下跗突发育，也没有保存凹槽。V 15080（图 4A）的跖趾骨主要为后向保存，近端保留有一小的外血管孔。第一跖骨远端还有一个远端血管孔。第三跖骨滑车位置最低，与第四跖骨滑车位置较靠近，第二跖骨滑车位置较高，并明显向后侧扭转。V 15084（图 5B）显示，第一跖骨附于跖骨内侧的第 I 跖骨窝中。所有趾节均较长，各趾中第 I 趾节最长；趾爪短小且弯曲度小，屈肌节关节尖突。第一趾骨与其他趾骨相对握，与相邻较短、细弱。第三趾骨最为粗壮，全长略短于第 IV 趾。

V 15083（图 5A）为完整关节的跖趾骨及趾骨，趾骨（包括趾节）间还保存了蹼的印痕。V 15077 在胫腓骨和跖趾骨关节处保存有鳞片状的清晰皮肤印痕（图 4C）。这也在甘肃鸟种的首次报道。

![图 5 甘肃鸟的脚部骨骼和蹼足印痕](image)

图 5 甘肃鸟的脚部骨骼和蹼足印痕

Fig. 5 Feet and web impression of *Gansus yumenensis*

A. IVPP V 15083; B. V 15084

For abbreviations see Fig. 4 plus w. web impression 趾足印痕

2 对比与分析

甘肃鸟作为中国最早发现的今鸟类，具有一些独特的鉴定特征，包括突出的圆形胫骨嵴，细长的趾节，尤其是第 IV 趾骨最长，而第 II 和 IV 趾骨均超过跗趾骨的长度，完全愈合的踝趾骨远端具向后扭转的 II 滑车，短小的趾爪以及屈肌节关节等。除了这些特征外，本文所涉及的新材料让我们对其前肢以及胸骨特征有了进一步的认识。

和辽西早白垩世的原始基于今鸟类相比，甘肃鸟在一些特征上显得更为接近现代鸟类。在胸骨特征上甘肃鸟和燕鸟也较为相似，如其胸骨后缘的一对椭圆形闭孔以及侧突；
而义县鸟的胸骨同样具有与鸟喙骨较短的关节面。在前肢方面，无论是甘肃鸟还是燕鸟和义县鸟，其胸骨的三角形均较发育，而义县鸟显著的球状胸骨则较为突出；第 I 掌骨与腕掌骨在燕鸟与义县鸟中都没有完全愈合，而甘肃鸟在这一特征上又进一步的加强，相对于腕掌骨的长度，甘肃鸟小翼指的长度也较为缩减。甘肃鸟的耻骨联合较燕鸟与义县鸟要短，其耻骨可能仅在末端有所接触，而义县鸟耻骨近端的外侧耻骨类似于甘肃鸟，后者更为突出，并和内耻骨联合为一个圆形的突起 (Zhou and Zhang, 2001)。

和辽西地区其他更加原始的今鸟类相比，甘肃鸟在整体特征上则显得更为进步，如红山鸟和古喙鸟，它们胸骨尚不前加长，而鸟喙骨的前突和顶突也不及甘肃鸟明显。在组成愈合荐椎的数量上，古喙鸟有 7 个，燕鸟有 9 个，甘肃鸟达到 10 个。相对于甘肃鸟，红山鸟与古喙鸟的跗跖骨均没有完全愈合 (Zhou and Zhang, 2005, 2006)。

另一方面，甘肃鸟的一些特征和现代鸟类仍然存在差异，如尺腕骨尚不具有显著的掌骨切迹，第 I 掌骨也没有发育明显的伸突，肱骨还很长，胫跗骨的远端未发育骨质关节面，跗跖骨近端的下跗突也不发育。这表明，甘肃鸟只是代表了原始的基干今鸟类，尚不能归入现代鸟类的新鸟类中。

在白垩纪晚期出现了两类主要的水鸟类，分别是与潜鸟习性相似的黄色鸟类以及和燕鸥大小相似的鱼鸟类。由于对水中或水面环境的适应，它们和甘肃鸟在特征演化上存在着一定的趋同性，作为以后肢为主要提供动力、潜水生活的黄昏鸟，前肢基本退化同时失去了飞行能力；而前肢短而有力的股骨和较长的胫跗骨比于甘肃鸟更为特化。胫骨作为后肢划水的肌肉附着点也同样比甘肃鸟大得多 (Chiappe and Dyke, 2002; Dyke et al., 2002; Galton and Martin, 2002)。两者脚孔后侧的股骨部分都较长，且第四趾骨均最长。白垩纪晚期鱼鸟类在北美分布很广，其许多特征要比甘肃鸟进步，如肢骨近端的股骨头和髋结节较甘肃鸟要突出，而远端的表面肉大小与定向有别于甘肃鸟而类似现代鸟类。

3 甘肃鸟行为习性及演化的探讨

Hou and Liu (1984)根据甘肃鸟跗跖骨前端形态以及趾骨长度的变化判断其具有水生鸟类的特点，接近于滨岸鸟类。You et al. (2006) 运用分支系统学方法，对包括甘肃鸟在内的 20 余种主要中生代鸟类的 200 余个体进行分析，结果发现甘肃鸟较我国早白垩世发现的所有其他鸟类以及北美晚白垩世的黄昏鸟 (Hesperornis) 进步，而较鱼鸟 (Ichthyornis) 和更进步的突胸鸟类原始。它们还通过对比发现，甘肃鸟的后肢特征显示了两栖的习性。如胫骨近端发骨的耻骨，第 II 至 IV 腓骨滑骨靠上的位置，加长的足趾 (III 和 IV 至均长于趾骨)，近端的趾骨长，突出不弯曲，但发育屈肌结节等。除了屈肌结节这一特征外，其他特征普遍发现于水生鸟类中。类似的屈肌结节见于一些现生的滨岸鸟类 (Charadriiformes)，苍鹭 (Ardea cinerea) 和潜鸭 (Aythya) 中。You et al. (2006) 还进一步根据脚蹼延伸至趾爪近端等特征，推测甘肃鸟的习性与用脚潜水的鸟类 (如鸥、潜鸟和潜鸭) 有些相似，只是不够特化。

通过甘肃鸟的前肢形态及羽毛特征分析，它具有很强的飞行能力，但根据保存的足蹼印痕，并结合其他后肢骨骼学特征的比较推断，甘肃鸟也应当非常适应水中生活，因此推
断甘肃鸟可以适应水陆两栖生活，并认为现生鸟类在白垩纪的共同祖先很可能具有水
栖生活的特点。Ji et al. (2006)依据甘肃鸟后肢远端足蹼的构造直接证实了甘肃鸟是古
老的适于水生生活的鸟类。上述有关甘肃鸟行为习性的分析，仅是根据骨骼和蹼的形态
特征所提供的信息进行推断的。

本文基于新发现的甘肃鸟材料，在对其形态特征补充记述的基础上，尝试对标本中具
有指示意义的一些骨骼进行统计分析，从而进一步探讨甘肃鸟的行为习性。

甘肃鸟标本 IVPP V 15076 的胸骨宽度 (胸骨两侧突之间的距离) 与深度 (两胸骨突连线
的中点到龙骨突最高点之间的距离) 比约为 1.95，符合游泳习性鸟类的指标范围 (1.56 ~
1.95) (Düzel et al., 2006)，表明甘肃鸟是适于游泳的鸟类；胸骨长度与龙骨突深度的比
值为 5.08，与一些现生的水栖鸟类相似，宽阔的胸骨以及较高的龙骨突为与飞行相关肌
肉的附着提供了充足的空间，显示其与现生鸟类相近的飞行能力 (Berger, 1952)。

V 15080 是一较完整的左后肢。我们将甘肃鸟股骨、胫腓骨和跗跖骨的长度与不
同的现生（标本为中科院古脊椎动物与古人类研究所收藏的鸟类骨骼，标本编号 IVPP*）
和化石水生鸟类后肢对应骨骼进行长度对比 (表 2)。用于对比的有山东中新世鸭科的硅
藻中华鸭 (Sinanas diatomas) (Yeh, 1980)、秧鸡科的秀丽杨氏鸟 (Youngornis gracilis)
(Yeh, 1981)，德国新世中新期鹅形目的 Pumiliornis tessellatus (Mayr, 1999)，美国怀俄明
州新世早期军舰鸟科的 Linnofregata azygosternon (Olson and Matsuoka, 2005)，以及现
生鸭科的红头潜鸭 (Aythya ferina)、斑嘴鸭 (Anas poecilorhyncha)、赤膀鸭 (A. strepera)、针
尾鸭 (A. acuta) 和绿头鸭 (A. platyrhynchos)，鹅科的丘鹅 (Scolopax raticola)，

<table>
<thead>
<tr>
<th>表 2 甘肃鸟与其他鸟类后肢比例的对比</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Table 2 Proportions of the hindlimb elements of Gansus yumenensis compared to some other birds (mm)</td>
</tr>
</tbody>
</table>

<table>
<thead>
<tr>
<th></th>
<th>n</th>
<th>Femur</th>
<th>Tibiotarsus</th>
<th>Tarsometatarsus</th>
<th>Proportion</th>
<th>Source</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Gansus yumenensis</td>
<td>1</td>
<td>31.6</td>
<td>56.2</td>
<td>30.1</td>
<td>1.00: 1.78: 0.95</td>
<td>IVPP V 15080</td>
</tr>
<tr>
<td>Anatidae Sinanas diatomas</td>
<td>1</td>
<td>50.0</td>
<td>88.0</td>
<td>40.0</td>
<td>1.00: 1.76: 0.80</td>
<td>Yeh, 1980</td>
</tr>
<tr>
<td>Guiformes</td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Pumiliornis tessellatus</td>
<td>1</td>
<td>10.8</td>
<td>18.7</td>
<td>9.9</td>
<td>1.00: 1.73: 0.92</td>
<td>Mayr, 1999</td>
</tr>
<tr>
<td>Fregatidae</td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Limnofregata azygosternon</td>
<td>1</td>
<td>55.0</td>
<td>67.0</td>
<td>26.7</td>
<td>1.00: 1.22: 0.49</td>
<td>Olson &amp; Matsuoka, 2005</td>
</tr>
<tr>
<td>Rallidae</td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Youngornis gracilis</td>
<td>1</td>
<td>35.0</td>
<td>47.5</td>
<td>27.0</td>
<td>1.00: 1.36: 0.77</td>
<td>Yeh, 1981</td>
</tr>
<tr>
<td>Anatidae</td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Aythya ferina</td>
<td>1</td>
<td>46.5</td>
<td>82.0</td>
<td>39.5</td>
<td>1.00: 1.76: 0.85</td>
<td>IVPP 86081</td>
</tr>
<tr>
<td>Anas poecilorhyncha</td>
<td>1</td>
<td>49.9</td>
<td>83.5</td>
<td>43.8</td>
<td>1.00: 1.67: 0.88</td>
<td>IVPP 86011</td>
</tr>
<tr>
<td>A. strepera</td>
<td>1</td>
<td>46.1</td>
<td>79.8</td>
<td>40.8</td>
<td>1.00: 1.73: 0.89</td>
<td>IVPP 86013</td>
</tr>
<tr>
<td>A. acuta</td>
<td>1</td>
<td>46.1</td>
<td>82.5</td>
<td>43.5</td>
<td>1.00: 1.79: 0.94</td>
<td>IVPP 86017</td>
</tr>
<tr>
<td>A. platyrhynchos</td>
<td>1</td>
<td>53.5</td>
<td>95.1</td>
<td>50.1</td>
<td>1.00: 1.78: 0.94</td>
<td>IVPP 86045</td>
</tr>
<tr>
<td>Scolopacidae</td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Scolopax raticola</td>
<td>1</td>
<td>43.9</td>
<td>62.8</td>
<td>38.3</td>
<td>1.00: 1.43: 0.87</td>
<td>IVPP 3A-3-9</td>
</tr>
<tr>
<td>Pelecanidae</td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Pelecanus philippensis</td>
<td>1</td>
<td>119.9</td>
<td>174.1</td>
<td>110.1</td>
<td>1.00: 1.45: 0.92</td>
<td>IVPP 1031</td>
</tr>
</tbody>
</table>
鹤鹳科的斑嘴鹳（*Pelecanus philippensis*）。表中所列这些不同时期的鸟类具有一个共同特点，即均为水生游禽和涉禽类，其中个别鸟类的飞行能力还很强。将鸟类后肢 3 块骨骼的长度数据利用 DeltaGraph 5 软件生成三元投影图（图 6）。从图中可以得出，甘肃鸟后肢的股骨、胫跗骨和踵趾骨长度百分比分别为 26.8%、47.7% 和 25.5%，其投影点与新生代和现生鸟类成员以及鹤形目成员的投影点比较集中，三元（股骨、胫跗骨和踵趾骨）百分比的变化范围分别为 26.8%~28.2%、47.1%~48.8% 和 22.5%~25.6%；秧鸡科、鹬科和鹤鹳科成员的对应三元百分投影点集中，另两个军舰鸟科成员比较一致。由此得出甘肃鸟后肢的比例特征接近水生的鸭科（Anatidae）成员。

图 6 甘肃鸟与新生代和现生鸟类后肢骨骼比例的三元投影

**Fig. 6** Proportions of hindlimb bones of *Gansus*, Cenozoic birds and living birds in ternary morphospace

此外，依据跗跖骨远端滑车的组合特征判断，甘肃鸟的跗跖骨远端滑车结构为“三角”模式（张玉光，2006），且雁形目掌科第 II 跗骨滑车显著缩短并后转的特征在甘肃鸟的跗跖骨远端均有表现（图 7），同时利用主成分分析提取的跗跖骨滑车宽度及第 II 跗骨滑车位置上线的变量散点图显示甘肃鸟（IVPP V 6862）位于地栖类今鸟的变化范围内（张玉光、田晓阳，2006）。此外，甘肃鸟第 I 跗骨相当延长，第 IV 跗骨长于第 III 跗骨，而且每个跗骨足趾的变化是越靠近远端长度越变短（表 1），类似与现生

图 7 甘肃鸟（A）、雁形目掌科成员（B）及鹤形目

**Fig. 7** Comparison of distal tarsometatarsus of *Gansus* (A), Anatidae (B) and Gruididae (C)
NEW MATERIAL OF GANSUS AND A DISCUSSION ON ITS HABIT

LI Yan¹ ZHANG Yu-Guang², ³, ⁴ ZHOU Zhong-He³, ⁴ LI Zhi-Heng⁵ LIU Di³, ⁴ WANG Xiao-Lin³, ⁴
(¹ Gansu Museum Lanzhou 730050)
(² Beijing Museum of Natural History Beijing 100050 towyu@sohu.com)
(³ Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology, Chinese Academy of Sciences Beijing 100044)
(⁴ Key Laboratory of Evolutionary Systematics of Vertebrates, Chinese Academy of Sciences Beijing 100044)
(⁵ Jackson School of Geosciences, University of Texas at Austin Austin, TX 78712 USA)

Abstract

Some newly discovered postcranial material of Gansus yumenensis are described, adding to our understanding of the skeletal anatomy of this basal ornithurine. Such anatomical features include a laterally exposed sternum with a sickle-shaped keel, the ulnare with small metacarpal incision, complete loss of ungual of the minor digit, and manual phalangeal formula of “2–3–1”, as well as some more detailed features of the leg bones. The new material not only provided additional evidence of interdigital web but also preserved some scale-like skin impressions near the joint between the tibiotarsus and tarsometatarsus. A statistic analysis of the measurements of the sternum and major elements of the leg of Gansus further supports the hypothesis that this bird was a volant.

致谢 感谢甘肃酒泉王化民先生在野外工作中给予的大量帮助。本文在标本观察对比过程中得到中国科学院古脊椎动物与古人类研究所标本馆姜玉山先生的帮助,高伟先生为化石标本进行拍照,谨此致谢。
and diving bird, similar to that of extant ducks.

**Key words** Early Cretaceous, *Gansus*, new material, habit

**References**


