

# 辽西早白垩世今鸟亚纲两新属与现生鸟类的起源

周忠和 张福成

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

**摘要** 报道发现于辽宁省的两种新的中生代今鸟亚纲的鸟类化石: 马氏燕鸟(*Yanornis martini* gen. et sp. nov.)和葛氏义县鸟(*Yixianornis grabaui* gen. et sp. nov.). 它们代表了今鸟亚纲在早白垩世已知最完整的化石记录. 在形态特征上, 这两种鸟类较今鸟亚纲的辽宁鸟进步, 与另外两种今鸟朝阳鸟和松岭鸟比较接近. 与早白垩世的其他鸟类, 如孔子鸟、辽西鸟和始反鸟等相比, 这两种新鸟具有显著进步的特点, 具备和现代鸟类相似的、很强的飞行能力. 与义县鸟和朝阳鸟相比, 燕鸟个体较大, 头骨显著伸长; 它还具有相对较长的前肢. 今鸟亚纲化石新的发现表明, 在早白垩世, 无论是与现代鸟类关系较远的反鸟亚纲, 还是包括现代鸟类共同祖先在内的今鸟亚纲的辐射和分异都已十分显著. 与始祖鸟、孔子鸟和反鸟亚纲不同, 燕鸟与义县鸟在飞行结构和现生鸟类已没有明显的区别; 尽管如此, 在其他一些结构上, 这两种鸟类仍然保留一些原始的特征, 如上、下颌骨具有牙齿, 较发育的指爪, 以及耻骨的远端联合等, 这表明现生鸟类的最近共同祖先可能还要在更晚的时期才开始出现.

**关键词** 今鸟亚纲 起源 辐射 九佛堂组 燕鸟 义县鸟

在中生代, 鸟类主要存在两大演化支系. 一类是在种类和数量上占有优势的反鸟亚纲, 在国内外早白垩世的地层中都具有广泛的分布, 但在晚白垩世末完全绝灭; 另一类是今鸟亚纲, 在早白垩世数量较少, 过去还未发现过完整的个体, 但却是和现代鸟类关系最密切的一支. 辽西早白垩世九佛堂组新发现的两种几乎完整保存的化石鸟类, 就属于今鸟亚纲. 对它们的研究不仅对于我们全面了解中生代鸟类辐射的面貌, 而且对于探讨现代鸟类的起源具有十分重要的意义.

## 1 系统描述

鸟纲 Aves Linnaeus, 1758

今鸟亚纲 Ornithurae Haeckel, 1866

燕鸟目 Yanornithiformes ord. nov.

燕鸟科 Yanornithidae fam. nov.

燕鸟属(新属) *Yanornis* gen. nov.

(图 1, 2)

**特征** 齿骨直, 约占头骨全长的 2/3, 含约 20 枚牙齿. 颈椎细长, 异凹型. 愈合荐椎包括 9 枚脊椎. 尾综骨短, 长度不及跗蹠骨的 1/3. 胸骨后缘具一对椭圆形窗孔, 侧突远端半圆形. 前肢约为后肢长的 1.1 倍. 手部较尺、桡骨短. 跗蹠骨完全愈合. 第 III 趾和跗蹠骨长的比率约为 1.1. 第 1 趾节较其他趾节长和粗壮.

马氏燕鸟(新种) *Yanornis martini* gen. et sp. nov.

**正型标本** 一完整的个体, 未保存羽毛(中国科

学院古脊椎动物与古人类研究所标本编号: V12558).

**其他材料** 一不完整的个体(中国科学院古脊椎动物与古人类研究所标本编号: V10996).

**地点与层位** 辽宁省朝阳市和义县; 九佛堂组, 早白垩世.

**词源** “Yan”为汉字“燕”的汉语拼音, 正型化石产地朝阳曾为燕朝古都; 种名谨献给对中生代鸟类研究作出重要贡献的美国著名古鸟类学家 Larry D. Martin(马丁)教授.

**目、科和种征** 同属征.

**头骨** 头骨吻端加长, 头长约为头高的 2.3 倍. 上颌骨和前颌骨较长, 前颌骨前端较尖, 鼻突扁平, 向后可能伸至泪骨; 前颌骨的上颌突细长, 向后达鼻骨的前端; 前颌骨具有 4~5 枚大小不等的牙齿, 牙齿粗壮, 锥形, 基部收缩. 鼻骨短, 略呈三角形. 上颌骨至少具有 9 枚牙齿, 牙齿短圆锥状. 齿骨较直, 具有约 20 枚密集排列的牙齿; 齿骨约占头骨全长的 2/3. 与前颌骨相比, 上颌骨和下颌骨的牙齿相对较小, 而且略向后钩曲. 鼻孔细长. 眼眶大, 眶前孔小. 颧骨为细长棒状, 背突退化. 额骨膨大, 顶骨方形. 鳞骨腹缘具有 3 个小的突起和凹陷. 方骨具有发达的眶后突. 眶后骨可能已经退化. 枕髁后位.

**脊柱** 至少具有 10 枚颈椎; 中部颈椎长约为宽的两倍; 颈椎椎体的关节为异凹型. 背椎具有细长并且较深的侧凹, 椎体的关节似乎也为异凹型. 愈合荐



图1 马氏燕鸟(新属、新种)*Yanornis martini* gen. et sp. nov. 正型标本(V12558)

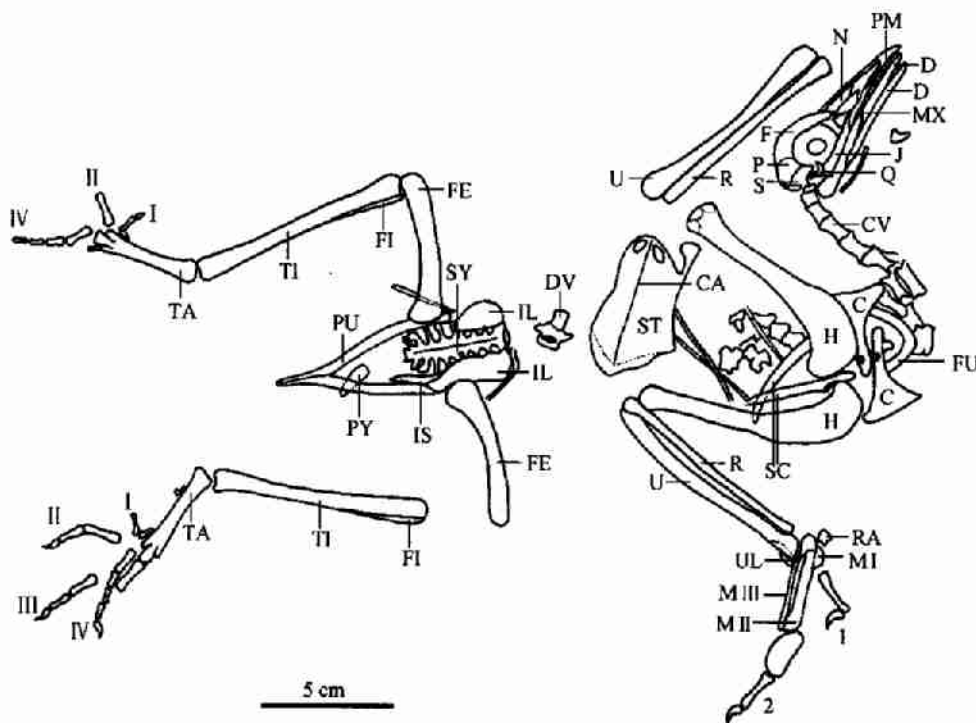


图2 马氏燕鸟(新属、新种)*Yanornis martini* gen. et sp. nov.(V12558)线条图

C, 鸟喙骨; CA, 胸骨的龙骨突; CV, 颈椎; D, 齿骨; DV, 背椎; M I-III, 第1-III掌骨; F, 额骨; FE, 股骨; FI, 腓骨; FU, 叉骨; H, 肱骨; IL, 髂骨; IS, 坐骨; J, 颞骨; MX, 上颌骨; N, 鼻骨; P, 顶骨; PM, 前颌骨; PU, 耻骨; PY, 尾综骨; Q, 方骨; R, 桡骨; RA, 桡腕骨; S, 鳞骨; SC, 肩胛骨; ST, 胸骨; SY, 愈合荐椎; TA, 跗跖骨; TI, 胫跖骨; U, 尺骨; UL, 尺腕骨; 1-2, 第1-2指骨; I-IV, 第I-IV趾骨

椎由 9 枚脊椎完全愈合组成; 第 7 枚荐椎的横突最长, 第 8~9 枚荐椎的横突在远端相接. 尾椎保存不全, 尾综骨短, 长度不及跗蹠骨的 1/3. 肋骨细长, 可能保留腹膜肋.

**肩带和胸骨** 胸骨、乌喙骨和肩胛骨的特征已和现代鸟类非常相似, 而不同于同期的反鸟类. 乌喙骨近端具有发达的前乌喙突和与肩胛骨关节的圆形关节窝, 远端具有长条带形的胸骨关节面和显著的侧突; 背腹视乌喙骨远端宽大, 长宽之比约为 1.4; 靠近远端的背面具有深的凹陷. 肩胛骨扁平, 弯曲; 具有乌喙骨关节突; 肩峰尖而长. 叉骨“U”字形, 前后扁平, 具有发育的前沟. 胸骨长, 背腹向保存; 前端的乌喙骨关节面发育; 具有长的龙骨突; 胸骨后缘具一对椭圆形窗孔, 并发育一对侧突, 远端扩大为半圆形.

**前肢** 前肢约为后肢长的 1.1 倍(表 1). 肱骨和尺骨相对较长, 而手部较短. 肱骨三角肌脊发育, 长度超过肱骨全长的 1/3; 肱二头肌脊球形; 肱骨远端腹髁和背髁皆很发育, 背、腹上髁也较突出. 尺骨远端发育典型的半月形背髁. 桡骨近端发育二头肌结节, 远端为勺状. 尺腕骨长条形, 桡腕骨方形. 腕掌骨近

端和远端皆愈合, 发育和现生鸟类相似的腕骨滑车. 第 II 和 III 掌骨约等长. 第 I 掌骨短, 尚不发育伸肌结节. 第 I 和 II 指保留指爪. 第 I 指的第 1 指节长约为腕掌骨的一半. 第 II 指的第 1 指节明显扩大, 第 2 指节细长, 并略短于第 1 指节. 第 III 指只保留 1 节, 并且短小.

**腰带** 髌骨向两侧加宽, 并可能和愈合荐椎愈合. 坐骨和耻骨都向后伸展. 坐骨短, 向后变尖. 耻骨细长, 耻骨联合约为耻骨全长的 30%.

**后肢** 股骨弯曲. 胫跗骨约为股骨长的 1.5 倍. 腓骨细弱, 长度不及胫跗骨的一半. 跗蹠骨完全愈合, 长约为胫跗骨的一半. 第 I 趾骨和第 II 趾骨的远端部关联. 第 III 趾骨滑车最宽, 位置最低; 第 II 趾骨滑车最高, 并向后侧偏转; 第 IV 趾骨滑车最细, 并和第 III 趾骨滑车平行紧贴. 第 III 脚趾比其他趾长, 长度超过跗蹠骨. 第 I 趾短; 第 II ~ IV 趾较长. 所有脚趾中, 第 1 趾节皆最长、最宽. 趾爪相对其他趾节较短.

朝阳鸟目 Chaoyangornithiformes Hou, 1997

科未定 Fam. indet.

义县鸟属(新属) *Yixianornis* gen. nov.

(图 3, 4)

表 1 马氏燕鸟(V12558)和葛氏义县鸟(V12631)主要骨骼测量(mm)<sup>a)</sup>

	V12558	V12631		V12558	V12631
头骨长	65	39 <sup>b)</sup>	趾骨长	67 <sup>b)</sup>	35 <sup>b)</sup>
头骨高	28		趾骨联合部长	20	7
肩胛骨长	55 <sup>b)</sup>	50	后肢全长	209	153
乌喙骨长	30	23	股骨长	52	41
前肢全长	235	153	胫跗骨长	78	52
肱骨长	79	48	腓骨长	32	15 <sup>b)</sup>
尺骨长	81	50	跗蹠骨长	38	26
桡骨长	76	46	第 I 趾骨长	6	4
手部全长	75	55	第 I 趾第 1 趾节长	8	7
腕掌骨长	35	25	第 I 趾第 2 趾节长	5	5
第 I 掌骨长	8	5	第 II 趾第 1 趾节长	13	11
第 I 掌骨宽	3	2	第 II 趾第 2 趾节长	10	9
第 II 掌骨长	31	21	第 II 趾第 3 趾节长	6	6
第 II 掌骨宽	4	2	第 III 趾第 1 趾节长	14	11
第 III 掌骨长	31	21	第 III 趾第 2 趾节长	11	9
第 III 掌骨宽	2	0.5	第 III 趾第 3 趾节长	10	8
第 I 指第 1 指节长	17	11	第 III 趾第 4 趾节长	6	6
第 I 指第 2 指节长	10	5	第 IV 趾第 1 趾节长	9	7
第 II 指第 1 指节长	17	12	第 IV 趾第 2 趾节长	6	5
第 II 指第 2 指节长	16	11	第 IV 趾第 3 趾节长	6	5
第 II 指第 3 指节长	7	4	第 IV 趾第 4 趾节长	6	6
第 III 指第 1(惟一)指节长		6	第 IV 趾第 5 趾节长	5	5
愈合荐椎长	38				

a) 左右侧若有区别, 则取平均值; 指(趾)爪长不包括爪鞘; b) 代表近似/估计值

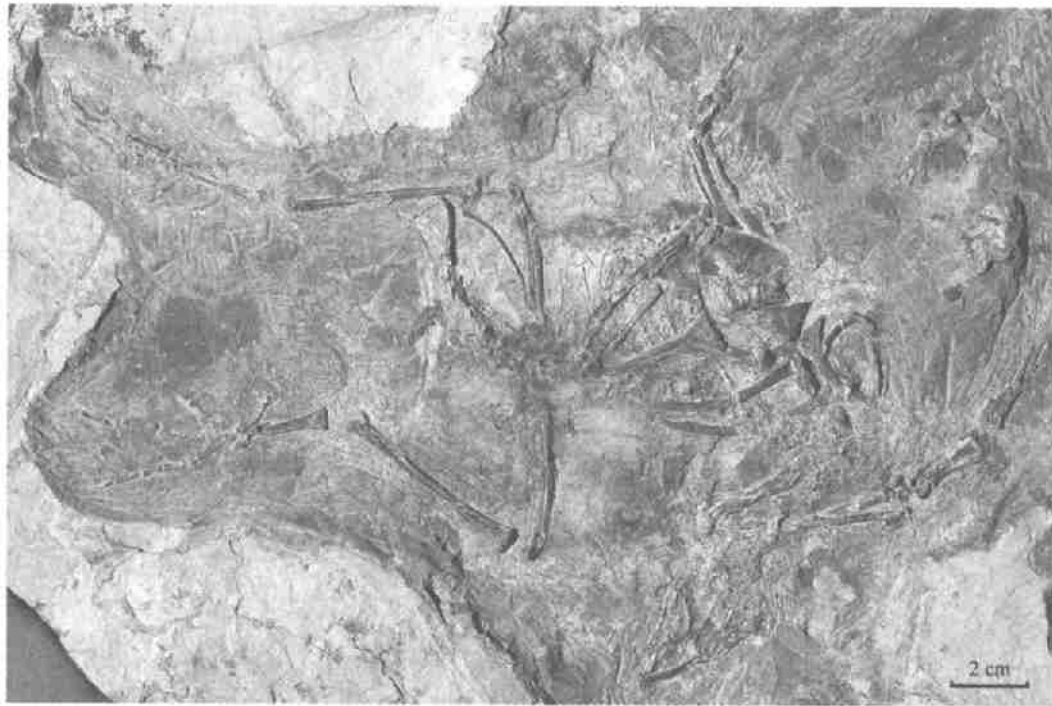


图3 葛氏义县鸟(新属、新种)*Yixianornis grabaui* gen. et sp. nov. 正型标本(V12631)

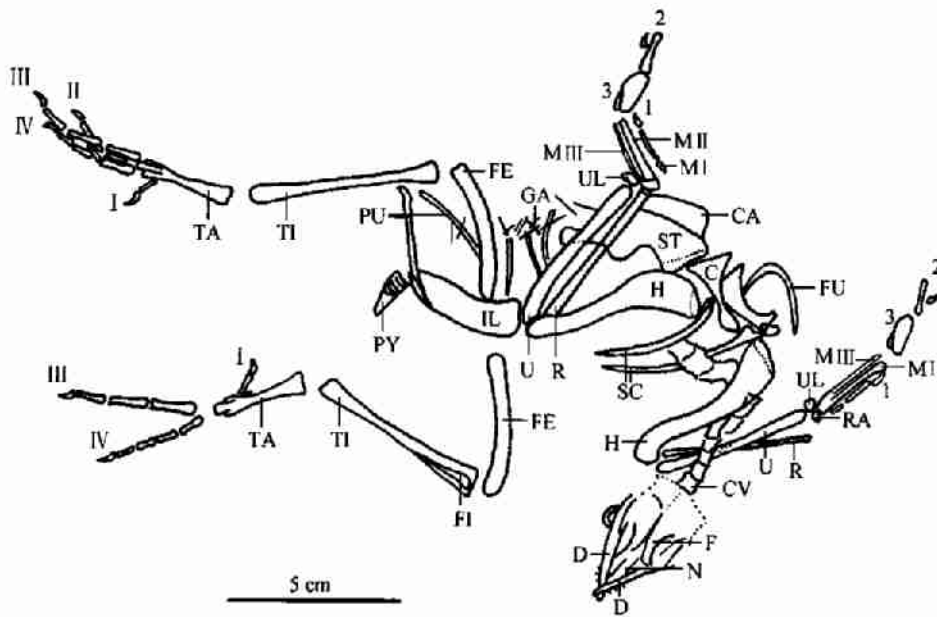


图4 葛氏义县鸟(新属、新种)*Yixianornis grabaui* gen. et sp. nov. (V12631)线条图

GA, 腹膜肋; 3, 第3指骨. 其他简字说明参见图2

**特征** 头长约为头宽的 1.5 倍. 头后骨骼的长骨细长. 肱骨头突出, 呈椭球形. 第Ⅲ掌骨宽不及第Ⅱ掌骨的 1/3. 趾骨远端联合约为趾骨全长的 20%. 股骨长约为跗蹠骨的 1.6 倍. 第Ⅲ趾长约为跗蹠骨的 1.3 倍.

葛氏义县鸟 *Yixianornis grabaui* gen. et sp. nov.

**正型标本** 一几乎完整个体(中国科学院古脊椎动物与古人类研究所标本编号: V12631).

**地点与层位** 辽宁省义县前杨; 九佛堂组, 早白垩世.

**词源** “Yixian”为化石产地义县的汉语拼音；种名纪念最早从事热河生物群研究的已故美国地质学家 Amadeus William Grabau(葛利普)先生。

**种征** 同属征。

**头骨** 头骨腹压保存。头长约为头宽的 1.5 倍。齿骨约为头长的一半。齿骨具齿。牙齿短小，数目不详。额骨膨大。眼眶大。

**脊柱** 颈椎数不少于 9 枚。颈椎椎体的关节为异凹型。背椎数可能不少于 11 枚。至少具有 5 枚短小不愈合的尾椎。尾综骨短小。肋骨细长，发育钩状突。腹膜肋短。

**肩带和胸骨** 鸟喙骨的近端具有柱状的前鸟喙突；胸端具有显著的胸骨关节面；鸟喙骨胸端宽大；长和宽的比例约为 1.4；靠近胸端的背面具有三角形的凹陷。肩胛骨细长，扁平弯曲，远端尖细；肩臼椭圆形，侧位。叉骨“U”字形，锁骨棒状，近端变细。胸骨长，侧向保存，可能发育一对侧突；龙骨突贯穿胸骨的前后端，高为 7 mm；胸骨背凹深。

**前肢** 前肢和后肢等长(表 1)。手部较尺骨略长。肱骨三角肌脊发育，长度超过肱骨全长的 1/3；肱骨头突出，呈椭圆形。尺骨宽约为桡骨的 1.5 倍。尺骨远端发育半月形背髁。尺腕骨发育显著的掌骨关节凹，桡腕骨半圆形，较尺腕骨略短。腕掌骨近端愈合，腕骨滑车大；第 I 掌骨短，不和腕掌骨愈合；第 II 和 III 掌骨直，约等长，可能只在近端愈合。第 III 掌骨特别细弱，宽度不及第 II 掌骨的 1/3。第 I 指细长，指爪较第 II 指爪略长。第 II 指的第 1 指节膨大，第 2 指节细长，指爪短小。第 III 指只保留退化的第 1 指节，贴附在第 II 指的第 1 指节的后缘。

**腰带** 髌骨的髌臼前部和后部高度接近。耻骨弯曲、细条形；远端联合较短，其长约为耻骨全长的 20%。

**后肢** 后肢骨骼细长。股骨约为跗蹠骨长的 1.6 倍，胫跗骨为跗蹠骨长的 2 倍；远端外髁较发育，髁间沟宽，未发育骨质腱桥。腓骨短，仅约为胫跗骨长的 1/3。跗蹠骨完全愈合，骨干中段收缩变窄。第 III 跗蹠骨滑车最宽，位置最低；第 IV 跗蹠骨滑车较细。脚趾细长，第 III 趾最长，约为跗蹠骨长的 1.3 倍。在所有脚趾中，第 1 趾节皆最长，趾爪相对较短。

**羽毛** 未见小翼羽保存。初级飞羽长，羽轴极细，羽枝细密。尾羽短。

## 2 比较与讨论

我国发现的中生代古鸟类化石，除孔子鸟外，都

可分别归入反鸟亚纲和今鸟亚纲。前者种类比较丰富，迄今已发现数十件个体，包括先后发现的中国鸟<sup>[1]</sup>、华夏鸟<sup>[2]</sup>、波罗赤鸟<sup>[3]</sup>、辽西鸟<sup>[4]</sup>、始反鸟<sup>[5]</sup>、原羽鸟<sup>[6]</sup>和长翼鸟<sup>[7]</sup>等。而属于今鸟亚纲的化石过去只有甘肃鸟<sup>[8]</sup>、朝阳鸟<sup>[9]</sup>、辽宁鸟<sup>[10]</sup>和松岭鸟<sup>[11]</sup> 4 种，目前仅仅包括 5 件不完整的个体，而且朝阳鸟和松岭鸟发现于同一化石地点，大小也比较接近，但由于缺少可比较的特征，是否属于同一种鸟类，目前还难以确定。

朝阳鸟和义县鸟大小相近，主要区别在于：朝阳鸟耻骨远端联合较长(约占耻骨全长的 30%，而在义县鸟中为 20%)，腓骨较长，而且骨骼相对比较粗壮。松岭鸟只保存了鸟喙骨、叉骨、胸骨、齿骨和前颌骨等少量骨骼；和义县鸟相比，叉骨基部较平，而义县鸟和燕鸟基部较弯曲。松岭鸟保存的前颌骨的特征显示，它的吻部和义县鸟比较相似，而不同于显著伸长的燕鸟。

辽宁鸟是迄今从义县组发现的惟一的一种今鸟化石。与燕鸟和义县鸟相比，它不仅个体小，而且胸骨后端较直，不发育侧突。甘肃鸟只保存了不完整的左后肢的骨骼，大小和燕鸟接近，与义县鸟和燕鸟一样，甘肃鸟的跗蹠骨也完全愈合，但脚趾长，趾爪短，并具有发达的伸肌结节。甘肃鸟的第 IV 趾比第 III 趾长；然而，在义县鸟和燕鸟中，第 III 趾都比第 IV 趾长，不发育伸肌结节。

在国外早白垩世的陆相地层中，已发现的鸟类化石也以反鸟类为主，分别见于西班牙、蒙古、澳大利亚等地<sup>[12]</sup>。而属于今鸟亚纲的化石，确切的只有出自蒙古的保存不全的 *Ambiortus* 一种<sup>[13]</sup>，大小和燕鸟相当。与义县鸟和燕鸟相比，*Ambiortus* 第 II 指的第 1 指节相对较细。它的叉骨也是“U”字形，比燕鸟细弱。此外，*Ambiortus* 的胸骨也呈侧面保存，龙骨突的高度和义县鸟相似。

燕鸟和义县鸟相比，最显著的区别是前者具有加长的吻部，这一特点，在早白垩世的已知鸟类化石中，只与长翼鸟<sup>[7]</sup>比较接近，其他鸟类都具有较短的吻部。加长的吻部，发达的牙齿，并同时具有相对发达的前肢，可能是为了适应捕获鱼类等水中食物。在这一方面，可以说燕鸟和长翼鸟存在适应趋同现象，但两者分属不同亚纲，区别十分明显。例如，长翼鸟的后肢相对较短，飞行能力总体要比燕鸟弱得多，但树栖能力较强。燕鸟的趾骨较长，而且近端趾节也相

对较长,趾爪较短,这些特征表明,它可能多数时间在土质松软的水边活动,只有少量时间在树上生活。

除头骨的特征外,燕鸟与义县鸟的其他区别还表现在它的颈椎相对较长,叉骨前后扁平(义县鸟较

侧扁),肢骨较粗壮,前肢相对较长,手指和脚趾都相对较短,耻骨远端的联合较长,约占耻骨全长的30%,而在义县鸟这一比例只有20%(表2)。此外,义县鸟的Ⅲ掌骨特别细弱。

表2 马氏燕鸟(V12558)和葛氏义县鸟(V12631)一些主要骨骼长度比例的比较

	前肢/后肢	手/尺骨	第Ⅱ指/尺骨	头骨/股骨	跗蹠骨/股骨	耻骨远端联合/耻骨	第Ⅲ趾/跗蹠骨
燕鸟	1.12	0.93	0.49	1.25	0.73	0.3	1.08
义县鸟	1.0	1.1	0.54	0.95	0.63	0.2	1.31

义县鸟虽然具有很强的飞行能力,但仍然保留腹膜肋这一原始的特征。这也是这一结构首次在今鸟亚纲中出现。通过对朝阳鸟的进一步观察,表明它可能也保留了腹膜肋。腹膜肋在现生鸟类中已完全退化,但始祖鸟、孔子鸟、中国鸟和原羽鸟等还保留这一结构。

目前,我们对于今鸟类的了解远远不如对反鸟类和最原始的鸟类始祖鸟和孔子鸟的了解。与其他中生代鸟类相比,今鸟类至少具有以下重要的共近裔特征:尾综骨短,长度不足跗蹠骨的1/3;异凹型颈椎;荐椎不少于9枚;肩胛骨显著弯曲;鸟喙骨具有发达的前鸟喙突和圆形的肩胛关节窝;胸骨前后长,发育侧前突,龙骨突高并从胸骨的前端开始向后伸展;尺骨远端发育半月形背髁;第Ⅱ指的第1指节特别宽大;跗蹠骨远端愈合等。

个体大小的变化在鸟类的起源和早期演化中都具有重要的意义。鸟类从处于基干位置的驰龙类祖先向鸟类过渡的过程中,由于爬树的需要,存在个体逐步变小的现象<sup>[14]</sup>。有趣的是,这一过程一直延续到鸟类的最初的演化阶段<sup>[15]</sup>。已知最原始的鸟类始祖鸟和孔子鸟都还具有较大的个体,而早白垩世的反鸟类个体则已明显减小,推测是为了更好地适应飞行的需要。在早白垩世的今鸟亚纲化石中,以产自义县组的辽宁鸟最为原始,同时个体也最小;而九佛堂组的义县鸟和朝阳鸟及松岭鸟个体相仿,燕鸟和甘肃鸟略大。除辽宁鸟外,它们都明显大于同期的反鸟类成员。这说明在早白垩世鸟类早期演化过程中,随着飞行能力的不断完善,一些进步鸟类开始向个体变大的方向发展。而特征相对原始的反鸟亚纲的成员,只有到了晚白垩世才出现了较大个体的鸟类。这从一个侧面反映了早期鸟类不同支系演化的不平衡性。

义县鸟和燕鸟的发现还表明,在早白垩世,无论是在中生代占据重要位置、与现代鸟类关系较远的反

鸟亚纲,还是代表现代鸟类最近祖先的今鸟亚纲成员的辐射和分异都已达到很高的程度,从而进一步显示鸟类的最早的祖先可能早于晚侏罗世。

通过对早白垩世不同鸟类化石的比较我们发现,与始祖鸟、孔子鸟和反鸟亚纲鸟类不同,今鸟亚纲的鸟类在飞行结构上,和现生鸟类已几乎没有明显的区别。尽管如此,和其他早白垩世的鸟类一样,这些进步的鸟类还保留一些原始的特征,如上、下颌骨都还保留牙齿,叉骨前后扁平并发育深沟,保留腹膜肋,第Ⅰ指较长,第Ⅰ和Ⅱ指具有较发育的指爪,第Ⅰ掌骨还不发育屈肌结节,耻骨远端联合,胫跗骨未发育骨质腱桥等,因此它们和现生鸟类还具有相当大的距离。由于在晚白垩世已知的鸟类中,也未发现任何一支确切的现代鸟类的祖先,这表明现生鸟类最近的共同祖先可能还要在更晚的时期才开始出现。

**致谢** 张弥漫和苗德岁等对文稿提供宝贵意见,徐星、王元青、汪筱林、侯连海、唐治路、寿华铨等对本研究提供许多帮助,李岩、李玉同修理化石标本。本工作为国家重点基础研究发展规划(G2000077700)、国家杰出青年科学基金(批准号:40025208)、中国科学院创新工程重大项目(KZCX3-J03)、国家自然科学基金重点(批准号:49832002)、国家自然科学基金青年基金(批准号:40002002)、人才培养基金(J9930095)和中国科学院“百人计划”资助项目。

## 参 考 文 献

- 1 Sereno P C, Rao C G. Early evolution of avian flight and perching: New evidence from the Lower Cretaceous of China. *Science*, 1992, 255: 845-848
- 2 周忠和,金帆,张江永. 辽宁中生代一早期鸟类的初步研究. *科学通报*, 1992, 37(11): 1365-1368
- 3 周忠和. 辽宁早白垩世一新的反鸟化石. *古脊椎动物学报*, 1995, 33(2): 209-214
- 4 侯连海,陈丕基. 最小的早期鸟类——娇小江西鸟. *科学通报*, 1999, 44(3): 311-314
- 5 侯连海, Martin L D, 周忠和, 等. 中国发现从始祖鸟到反鸟的重要缺失环节. *古脊椎动物学报*, 1999, 37(2): 88-95
- 6 Zhang F, Zhou Z. A primitive enantiornithine bird and the origin of feathers. *Science*, 2000, 290: 1955-1959

7 张福成, 周忠和, 侯连海, 等. 反鸟的新发现与早期鸟类的辐射. 科学通报, 2000, 45(24): 2650~2657

8 侯连海, 刘智成. 甘肃早白垩世鸟类化石兼论早期鸟类的进化. 中国科学, B 辑, 1984, (3): 250~256

9 侯连海, 张江水. 辽宁早白垩世早期一鸟化石. 古脊椎动物学报, 1993, 31(3): 217~224

10 Hou L, Martin L D, Zhou Z, et al. Early adaptation of birds—evidence from fossils from Northeastern China. Science, 1996, 27(5290): 1164~1167

11 侯连海. 中国中生代鸟类. 南投: 台湾凤凰谷鸟园, 1997. 1~228

12 Feduccia A. The Origin and Evolution of Birds. New Haven: Yale Univ Press, 1999. 1~466

13 Kurochkin E N. A true carinate bird from Lower Cretaceous deposits in Mongolia and other evidence of Early Cretaceous birds in Asia. Cretaceous Research, 1985, 6: 271~278

14 Xu X, Zhou Z, Wang X. The Smallest known non-avian theropod dinosaur. Nature, 2000, 408: 705~708

15 周忠和, 侯连海. 孔子鸟与鸟类的早期演化. 古脊椎动物学报, 1998, 36(2): 136~146

(2000-12-18 收稿, 2001-02-13 收修改稿)

# 土壤化作用对黄土剖面记录的松山-布容 极性转换的影响

郭斌<sup>①</sup> 朱日祥<sup>①</sup> F. Florindo<sup>②</sup> 潘永信<sup>①</sup> 岳乐平<sup>③</sup>

①中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100101; ②Istituto Nazionale di Geofisica, Rome 00143, Italy; ③西北大学地质系, 西安 710069. E-mail: guobin@mail.c-geos.ac.cn

**摘要** 对黄土高原南部边缘西安段家坡剖面黄土层 L8 进行了详细的岩石磁学和古地磁学研究, 结果表明: (1) 松山-布容(M-B)极性转换过程记录在黄土-古土壤序列 L8 的中下部, 整个极性转换过程是由 5 次快速倒转构成; (2) M-B 极性转换期间地球磁场方向变化的持续时间约为 4.8 ka; (3) 极性转换期间虚地磁极(VGP)的移动轨迹沿非洲大陆移动, 不同于邻近渭南黄土剖面记录的 M-B 极性转换期间 VGP 路径, 其原因可能是土壤化作用强弱的变化对原生剩磁产生不同程度的影响所致。

**关键词** M-B 极性转换 VGP 路径 土壤化作用 黄土

极性转换期间 VGP(虚地磁极)优选经度带的提出为研究地磁极性倒转与地球内部物理过程提供了有价值的实验和理论依据<sup>[1,2]</sup>。但由于这些记录缺乏东亚采样点, 长期以来一直受到古地磁学家的质疑<sup>[3]</sup>。渭南黄土-古土壤序列记录的 M-B 极性转换期间 VGP 移动路径为这一假设提供了东亚的证据<sup>[4]</sup>, 此后, 古地磁学家们对中国黄土-古土壤序列记录的各个地磁极性倒转和漂移进行了大量的研究<sup>[4~14]</sup>, 但迄今为止报道的不同极性转换期间 VGP 的移动路径非常复杂, 即使是研究程度较高的 M-B 极性转换, 已经报道的西峰和渭南两个黄土剖面记录的 3 个 M-B 极性转换期间 VGP 移动轨迹也并不完全相同<sup>[4,6,7]</sup>, 这些结果促使我们重新考虑黄土-古土壤序列记录快速地磁变化的能力。另一方面, 黄土沉积物复杂的剩磁获得过程也导致了人们对黄土-古土壤序列记录的 VGP 路径可靠性的质疑<sup>[15]</sup>。因此研究黄土沉积物在多大程度上记录了地球磁场的快速变化就显得尤为重要。本文报道陕西段家坡黄土剖面 L8 记录的 M-B 极性转换

期间地球磁场特征, 同时对引起 VGP 移动路径不同的原因进行初步探讨。

## 1 地层与采样

中国北方黄土高原的风成沉积物是连续性较好、蕴含信息较丰富的第四纪陆相沉积物, 它系统而完整地记录了第四纪以来东亚季风气候和生态环境变化的全过程以及主要的地磁极性事件<sup>[16]</sup>。这不仅为黄土-古土壤序列的区域气候变化研究和沉积年代确定提供了有价值的资料, 而且为地磁极性倒转及其演化过程的探索提供了材料。段家坡黄土剖面(34.2° N, 109.2° E)位于西安东 20 km, 靠近蓝田猿人遗址<sup>[17]</sup>。黄土-古土壤序列的总厚度约 133.5 m, 下伏第三纪风成红黏土厚约 61.5 m, 磁性地层研究结果表明 M-B 极性转换位于黄土-古土壤 L8 中下部<sup>[18]</sup>。据此, 在首先清除表面厚约 1 m 的风化浮土后, 对厚约 1.7 m 的 L8, 15 cm 的 S7 下部及 15 cm 的 S8 上部共约 2 m 的地层连续采集定向标本。在野外采集截面