

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¹⁾

汪筱林^{1,2} 王元青¹ 张福成¹ 张江永¹ 周忠和¹
金帆¹ 胡耀明¹ 顾昱³ 张海春⁴

(1 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所 北京 100044)

(2 中国地质大学地球科学与资源学院 北京 100083)

(3 辽宁省文物考古研究所 沈阳 120003)

(4 中国科学院南京地质古生物研究所 南京 210008)

摘要 辽宁凌源及相邻内蒙古南部宁城地区义县组发现多个重要脊椎动物化石地点,通过岩石地层、脊椎动物生物地层和同位素年代地层对比,建立了该地区义县组地层层序。凌源—宁城地区义县组有2个脊椎动物化石层位:下部道虎沟层含 *Lycoptera* Ichthyofauna, *Psittacosaurus* Fauna 和 *Confuciusornis* Avifauna 等3个动物群,可以与北票尖山沟层的四合屯脊椎动物化石群对比,层位相当于义县组一、三段;上部大王杖子(大新房子)层含 *Lycoptera* Ichthyofauna 和 *Liaoxiornis* Avifauna 等2个动物群,为义县组中部沉积,在四合屯地区缺失。冀北丰宁四岔口—森吉图地区义县组脊椎动物化石层对应于凌源大王杖子层;滦平大北沟组为义县组最下部沉积,其上覆的大店子组相当于宁城道虎沟层和北票四合屯义县组一、三段。热河群义县组和九佛堂组发现3个连续的鸟类群:义县组下部 *Confuciusornis* Avifauna, 义县组中部 *Liaoxiornis* Avifauna 和九佛堂组 *Cathayornis*-*Chaoyangia* Avifauna。义县组和九佛堂组 *Lycoptera* Ichthyofauna 的化石组合明显不同:义县组 *Lycoptera*-*Protosephurus* 组合,九佛堂组 *Jinanichthys*-*Longdeichthys* 组合。义县组 *Lycoptera* 可以建立3个化石带:下部尖山沟层 *Lycoptera sinensis* 带,中部大王杖子层 *Lycoptera davidi* 带和上部金剛山层 *Lycoptera muroii* 带。 *Lycoptera* Ichthyofauna, *Psittacosaurus* Fauna 和 *Confuciusornis* Avifauna, *Liaoxiornis* Avifauna, *Cathayornis*-*Chaoyangia* Avifauna 等3个鸟类群是下白垩统热河群(? Berriasian 或 Valanginian-Barremian)的代表化石。

关键词 辽宁凌源,内蒙古宁城,下白垩统,义县组,热河生物群,脊椎动物生物地层

中图法分类号 P534.53

辽西及相邻内蒙古南部地区热河群义县组和九佛堂组地层中,相继发现了多个重要脊椎动物化石地点和层位(图1)。本文根据野外区域地质调查、岩石地层对比及最新的同

1) 中国科学院资源与生态环境研究“九五”重大项目(编号:KZ951-B1-410)、中国科学院创新工程重大项目(编号:KZCX3-J-03)、国家自然科学基金重点项目(编号:49832002)和国家基础科学人才培养基金(编号:J9930095)资助。

收稿日期:1999-12-28

位素年代学数据,重点对辽宁凌源及内蒙古宁城地区义县组地层和脊椎动物化石进行总结,并与北票四合屯地区进行对比,同时,简单讨论冀北地区新发现的脊椎动物化石层位。

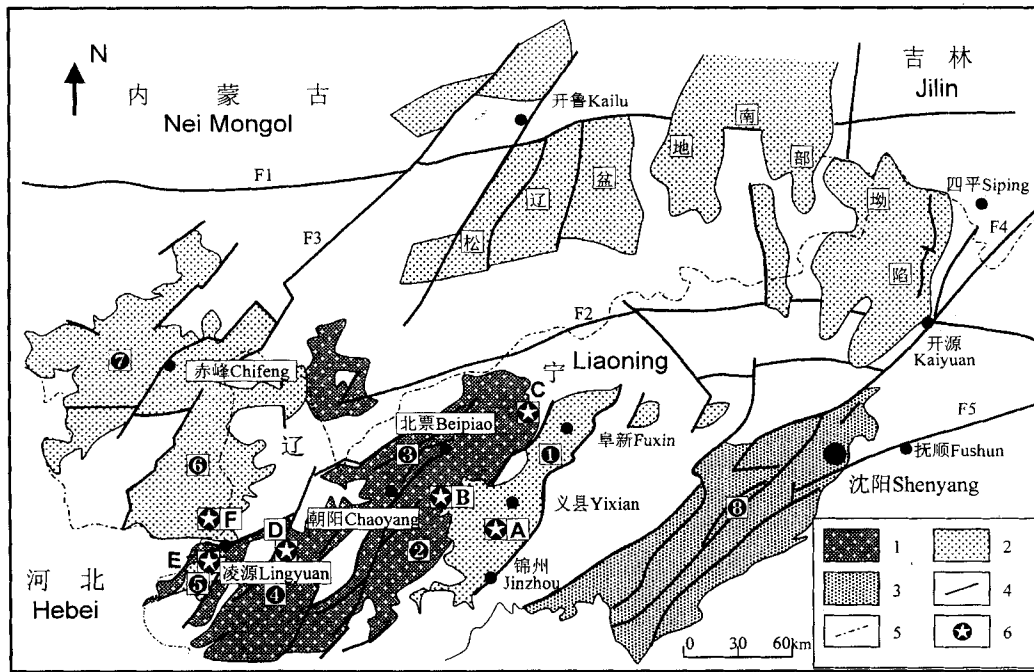


图1 辽西及相邻内蒙古南部地区中生代盆地热河群主要脊椎动物化石地点

1. 侏罗-白垩纪盆地; 2. 白垩纪盆地; 3. 第三纪盆地; 4. 断层; 5. 省界; 6. 脊椎动物化石地点;
 A. 义县金刚山; B. 北票四合屯; C. 阜新大五家子; D. 朝阳波罗赤; E. 凌源大王杖子; F. 宁城道虎沟
 ① 阜新-义县盆地; ② 金岭寺-羊山盆地; ③ 北票-朝阳盆地; ④ 建昌-喀左盆地; ⑤ 凌源-三十家子盆地;
 ⑥ 平庄-宁城盆地; ⑦ 赤峰-元宝山盆地; ⑧ 辽河盆地

F1 西拉木伦断裂; F2 赤峰-开原断裂; F3 红山-八里罕断裂; F4 依通-依兰断裂; F5 营口-抚顺断裂

Fig.1 Sketch map showing the Mesozoic basins and main vertebrate localities of the Jehol Group in western Liaoning and neighboring southern Nei Mongol, China

1. Jurassic-Cretaceous basins; 2. Cretaceous basins; 3. Paleogene basin; 4. fault; 5. boundary of provinces; 6. vertebrate localities (A. Jingangshan, Yixian; B. Sihetun, Beipiao; C. Dawujiazi, Fuxin; D. Boluochi, Chaoyang; E. Dawangzhangzi, Lingyuan; F. Daohugou, Ningcheng); ① Fuxin-Yixian Basin; ② Jinlingsi-Yangshan Basin; ③ Beipiao-Chaoyang Basin; ④ Jianchang-Kazuo Basin; ⑤ Lingyuan-Sanshijiazi Basin; ⑥ Pingzhuang-Ningcheng Basin; ⑦ Chifeng-Yuanbaoshan Basin; ⑧ Liaohe Basin; F1 Xilamulun Fault; F2 Chifeng-Kaiyuan Fault; F3 Hongshan-Balihan Fault; F4 Yitong-Yilan Fault; F5 Yingkou-Fushun Fault

1 凌源-宁城义县组地层与脊椎动物化石群

凌源是重要的热河生物群产地, 辽西的地层古生物研究最早始于凌源地区。葛利普首先把凌源地区的一套含化石沉积称为“热河系”(Grabau, 1923), 其中的化石组合为热河动物群(Grabau, 1928)。此后, 辽西中生代地层古生物研究为众多地质学家和古生物学家所关注(顾知微, 1962; 陈丕基等, 1980; 陈丕基, 1988; 郝诒纯等, 1982; 王五力等, 1989; 王思恩, 1990; 任东等, 1995; 金帆, 1996), 先后提出了许多地层划分对比方案(参见王五力等, 1989; 金帆, 1996)。近几年, 辽西地区鸟类和带“羽毛”的兽脚类恐龙等脊椎动物化石的重大发现, 又一次成为地层古生物学家研究的焦点。

凌源-三十家子盆地和内蒙古平庄-宁城盆地先后发现一些重要的脊椎动物化石地点, 其中有凌源宋杖子乡(原大王杖子乡)山嘴、范杖子、宁城山头乡道虎沟、西台子和石佛乡西三家等, 主要分布在义县组(1:20万地质图中的狭义义县组、金刚山组和吐呼噜组¹⁾)。

1.1 凌源宋杖子乡大王杖子山嘴义县组剖面

近两年, 在大王杖子范杖子、山嘴化石地点发现鸟类 *Liaoxiornis* (侯连海, 陈丕基, 1999) 和水生爬行类 *Hyphalosaurus* (Gao *et al.*, 1999)。义县组剖面从山嘴小学北沟开始, 穿过化石发掘地点至山顶。剖面下部火山质砾岩, 未见底, 但在剖面北侧约 2km 的北沟村, 可见到剖面下部的砾岩之下为中基性火山熔岩, 厚度约 20~30m; 剖面上部(山顶)为后期穿插的次火山岩, 并沿山脊延伸至山嘴采石场。这期次火山岩在凌源地区规模较大, 对化石层有明显的改造及烘烤作用。

实测剖面如下:

义县组: 厚度 150~200m(未见顶、底)

顶部后期次火山岩

4. 灰绿色、灰色凝灰质含砾粗砂岩-灰色、灰白色凝灰岩, 旋回性明显, 旋回厚度
2~4m, 正粒序 70~80m
大王杖子化石层
3. 第二旋回沉积(上部化石层): 火山碎屑岩-湖相含化石沉积 25~30m
(4) 灰色、灰黑色、灰白色页岩夹黄褐色、黄绿色凝灰岩; 大王杖子主要脊椎动物化石层。脊椎动物化石有鱼类 *Lycoptera davidi*, *Peipiaosteus pani*, *Protopsephurus liui*, *Yanosteus longidorsalis*; 爬行类 *Monjurosuchus splendens*, *Hyphalosaurus lingyuanensis*, *Yabeinosaurus tenuis*, *Pterodactyloidea* gen. et sp. nov., *Sauropoda* indet., *Theropoda* indet., *Psittacosaurus* sp. 和鸟类 *Liaoxiornis delicatus* 等 5~8m
(3) 下部灰绿色粗粒凝灰岩、凝灰质砂岩-细粒凝灰岩, 组成 3~4 个小旋回, 含有大

1) 1:20万凌源幅(1966)、建平幅(1968)地质图及其说明书。由于当时地质编图主要以岩石地层对比为主, 图中金刚山组和吐呼噜组的分布范围扩大。

- 量云母 12m
- (2)灰紫色、灰色凝灰岩,旋回明显。底部具正粒序,中上部发育变形层理和水平层理。可能为湖相斜坡环境沉积 2~3m
- (1)灰色砾岩,砾石以火山物质为主,次圆状,分选中等 3~4m
2. 第一旋回沉积(下部化石层):火山碎屑岩—湖相含化石沉积 50~70m
- (2)灰绿色粗粒凝灰岩—灰色、灰黑色粉砂岩、页岩夹灰白色、黄褐色凝灰岩,页岩中含 *Eosestheria*, *Ephemeropsis trisetalis* 及植物化石 16m
- (1)火山角砾岩—凝灰质砂砾岩—含砾凝灰质粗砂岩。砾石以火山物质为主,棱角、次棱角状,分选差;旋回性明显,正粒序,旋回厚度 2~4m,旋回顶部的凝灰质砂岩中可见到平行层理或斜层理 > 20m
1. 中基性火山熔岩 20m

凌源最早发现的化石地点为大新房子,已经有数十年的历史,以大量保存完整的 *Lycoptera davidi* 为其特色,大王杖子化石层与大新房子相同。

1.2 宁城山头乡道虎沟义县组剖面

宁城山头乡道虎沟化石地点是 1999 年 7~8 月新发现的,已经采集大量的有尾两栖类 *Jeholotriton* (Wang, 2000)、鱼类及昆虫和植物化石。化石地点及剖面位于道虎沟村旁,现将地层剖面简要报道如下:

义县组: 厚度 200~250m(未见顶)

2. 中基性火山熔岩 120~150m
- 道虎沟化石层
1. 下部灰白色、灰绿色凝灰质砂砾岩;中上部为灰色、灰白色页岩、泥岩夹凝灰岩,富含化石。已经发现的脊椎动物化石有鱼类 *Lycoptera* sp., *Peipiaosteus pani*, *Protopsephurus liui*, *Yanosteus longidorsalis*; 两栖类 *Jeholotriton paradoxus* 和爬行类 *Monjurosuchus splendens* 等 50~80m

~~~~~角度不整合~~~~~

下伏地层: 上侏罗统土城子组三段( $J_3^t$ )紫红色泥岩、砂岩

在相邻的凌源皮杖子,可见到义县组角度不整合在太古代(Ar)变质岩之上。

## 1.3 宁城山头乡土门村西台子北沟义县组剖面

北沟化石点也是 1999 年 8~9 月新发现并采集化石的,化石层位与道虎沟相同,属于义县组下部沉积。已经发现大量的原白鲟等鱼类和鸚鵡嘴龙、孔子鸟及昆虫和植物化石。地层剖面简要报道如下:

义县组: 厚度 150~200m(未见顶)

2. 中基性火山熔岩,旋回性明显,气孔、流动构造发育 100~150m
- 道虎沟化石层
1. 下部灰绿色砂砾岩、凝灰质砂砾岩,具有向上变细的正粒序旋回;向上为灰黑色、灰色页岩、泥岩夹黄色、黄褐色凝灰岩,并有数层砂岩。脊椎动物化石有鱼类

*Lycoptera* sp., *Peipiaosteus pani*, *Protopsephurus liui*, *Yanosteus longidorsalis*,  
*Y.* sp.; 蜥脚类 *Sauropoda* indet.; 角龙类 *Psittacosaurus* sp. 和鸟类 *Confuciusornis*  
 sp.

40~60m

~~~~~角度不整合~~~~~

下伏地层: 上侏罗统土城子组三段(J₃t³)紫红色泥岩、砂岩

1.4 凌源-宁城地区义县组地层层序

岩石地层对比表明,以宁城道虎沟为代表的脊椎动物化石层为这一地区义县组最下部沉积,凌源大王杖子脊椎动物化石层较高(图2)。因此,义县组有2个重要的化石层位:道虎沟层和大王杖子(大新房子)层,大王杖子层还可以分为下部和上部2个亚层,下部亚层至今未发现脊椎动物化石。

凌源-宁城地区义县组综合地层层序剖面:

义县组: 厚度 350~400m(未见顶)

后期次火山岩穿插

7. 灰绿色、灰色凝灰质砂岩-灰色、灰白色凝灰岩 70~80m
6. 湖相含化石沉积(第二旋回,上部亚层)。下部灰绿色凝灰质砂岩、凝灰岩-灰色页岩夹黄褐色凝灰岩。脊椎动物化石有 *Lycoptera davidi*, *Peipiaosteus pani*, *Protopsephurus liui*, *Monjurosuchus splendens*, *Hyphalosaurus lingyuanensis*, *Yabeinosaurus tenuis*, *Pterodactyloidea* gen. et sp. nov., *Sauropoda* indet., *Theropoda* indet., *Psittacosaurus* sp., *Liaoxiornis delicatus* 等 25~30m
5. 灰色砾岩-灰紫色、灰色凝灰岩 5~7m
4. 火山碎屑岩-湖相含化石沉积(第一旋回,下部亚层)。灰绿色凝灰岩-灰色页岩夹灰白色、黄褐色凝灰岩,含 *Eosestheria*, *Ephemeropsis trisetalis* 及植物,目前尚未发现脊椎动物化石 16m
3. 火山角砾岩-凝灰质砂砾岩-含砾凝灰质粗砂岩 40~60m
2. 中基性火山熔岩,具旋回性,气孔、流动构造发育 100~150m
1. 下部灰绿色砂砾岩、凝灰质砂砾岩,向上为灰色页岩、泥岩夹凝灰岩,富含脊椎动物化石,包括 *Lycoptera* sp., *Peipiaosteus pani*, *Protopsephurus liui*, *P.* sp., *Yanosteus longidorsalis*, *Y.* sp., *Jeholotriton paradoxus*, *Sauropoda* indet., *Psittacosaurus* sp., *Confuciusornis* sp. 50~80m

~~~~~角度不整合~~~~~

下伏地层: 土城子组三段(J<sub>3</sub>t<sup>3</sup>)紫红色泥岩、砂岩或太古代(Ar)片麻岩

#### 1.5 脊椎动物化石群

##### 1.5.1 道虎沟层脊椎动物群

已经发现的化石计有7属4种和几个未定种,属于3个动物群:

*Lycoptera* Ichthyofauna: *Lycoptera* sp., *Peipiaosteus pani*, *Protopsephurus liui*, *P.* sp., *Yanosteus longidorsalis*, *Y.* sp.;

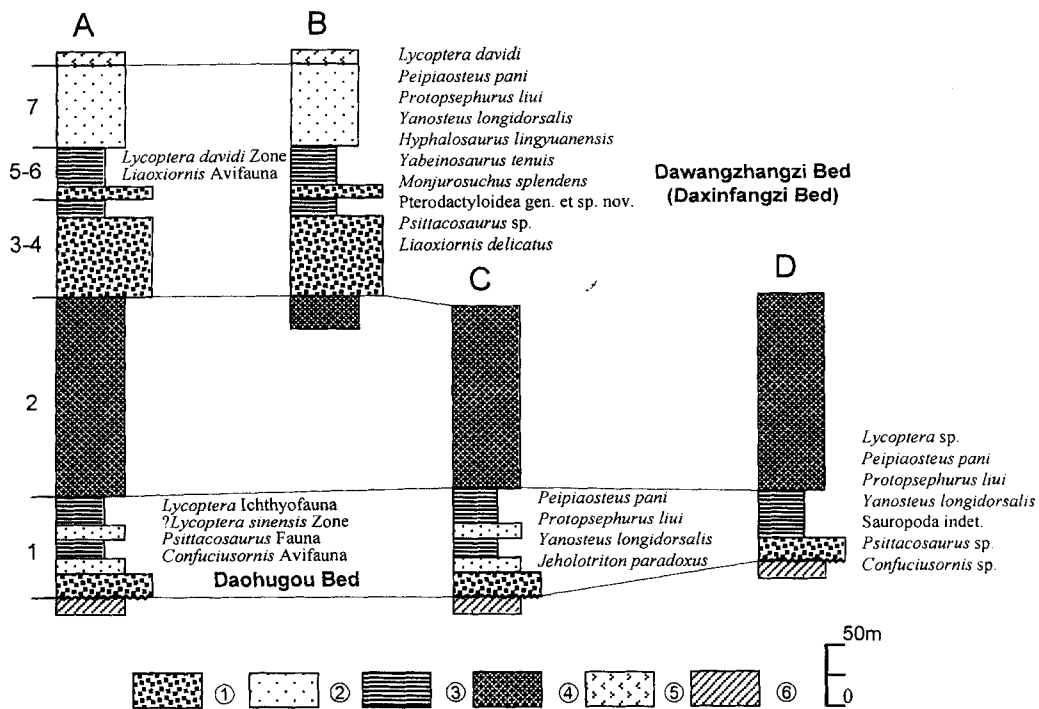


图 2 辽西凌源及相邻内蒙古南部宁城地区义县组岩石地层对比

A. 综合剖面; B. 凌源大王杖子山嘴剖面; C. 宁城山头道虎沟剖面; D. 山头土门北沟剖面

①火山质砾岩或复成份砾岩; ②凝灰质含砾砂岩、凝灰岩; ③湖相沉积页岩夹凝灰岩; ④中基性火山熔岩; ⑤次火山岩; ⑥土城子组砂岩、泥岩

Fig.2 Lithostratigraphic correlation of the Yixian Formation in Lingyuan, western Liaoning and Ningcheng, southern Nei Mongol, China

A. the composite stratigraphic section; B. Shanzui section of Dawangzhangzi, Lingyuan; C. Daohegou section and D. Beigou section of Shantou, Ningcheng

①conglomerate with volcanic breccia; ②tuffaceous sandstone and tuff; ③lacustrine sediments (shale and tuff); ④basalt and andesite; ⑤subvolcanic rock; ⑥red sandstone and sandy mud (J<sub>3</sub>t)

*Psittacosaurus* Fauna: *Psittacosaurus* sp., *Sauropoda* indet., *Jeholotriton paradoxus*; *Confuciusornis* Avifauna: *Confuciusornis* sp.

道虎沟层的鱼类包含了 *Lycoptera* Ichthyofauna 的大部分重要属种, 目前还没有发现 *Sinamia*, 其中 *Protosphephurus* 最为富集。 *Psittacosaurus* 和 *Confuciusornis* 化石的发现, 为辽西地区的义县组地层对比提供了重要证据。大量的有尾两栖类 *Jeholotriton* 是这一化石层的另一特征。

1.5.2 大王杖子层脊椎动物群

已经发现的化石约 8 属 7 种和几个正在研究的爬行类和鸟类新属种, 也属于 3 个动物群:

*Lycoptera* Ichthyofauna: *Lycoptera davidi*, *Peipiaosteus pani*, *Protosphephurus liui*;

*Psittacosaurus* Fauna: *Monjurosuchus splendens*, *Hyphalosaurus lingyuanensis*, *Yabeinosaurus tenuis*, *Pterodactyloidea* gen. et sp. nov., *Sauropoda* indet., *Theropoda* indet., *Psittacosaurus* sp.;

*Liaoxiornis* Avifauna: *Liaoxiornis delicatus*.

该层 *Lycoptera* Ichthyofauna 以富含 *Lycoptera davidi* 为特征。数量较多的 *Hyphalosaurus* 和 *Liaoxiornis* 为这一化石层所特有, 尤其 *Liaoxiornis* Avifauna 的发现, 对辽西地区早白垩世鸟类的起源、演化和各类群之间的演替提供了重要的化石证据。

## 2 凌源-宁城与北票四合屯地区义县组对比

### 2.1 岩石地层

北票四合屯地区义县组已经进行了比较详细的岩石地层研究, 基本层序由三段组成(汪筱林等, 1998; 汪筱林, 1999<sup>1)</sup>), 其中第三段为含四合屯脊椎动物化石群的湖相沉积(尖山沟化石层), 即尖山含化石沉积夹层(陈丕基等, 1980)。上园含化石沉积夹层与尖山含化石沉积夹层的层位完全相同。

岩石地层对比表明: 四合屯地区及其东部阜新-义县盆地发育义县组第二段火山熔岩, 而在西部的凌源-三十家子盆地、平庄-宁城盆地和冀北并不发育而缺失。凌源-宁城义县组下部道虎沟化石层相当于四合屯地区义县组一段和三段, 凌源大王杖子化石层高于尖山沟化石层(汪筱林等, 1999a), 道虎沟化石层之上的火山熔岩及包括大王杖子化石层在内的义县组中上部沉积在四合屯地区缺失(图 3), 而在阜新-义县盆地出露完整。

凌源地区穿插于义县组沉积层的次火山岩可能与北票四合屯地区的次火山岩为同一期火山活动的产物。

### 2.2 脊椎动物生物地层

四合屯脊椎动物化石群产于尖山沟化石层的四合屯下部层和黄半吉沟上部层(汪筱林等, 1998, 1999a)。四合屯下部层化石富集, 为主要发掘层位, 以富含 *Lycoptera sinensis*, *Confuciusornis* 和数量较多的鸚鵡嘴龙、带羽毛的小型兽脚类恐龙 *Caudipteryx* 和短尾翼手龙类(*Pterodactyloidea*)等为特征; 上部层富含 *Peipiaosteus pani*。

通过 1999 年野外发掘、地质调查和研究, 北票四合屯义县组又有一些新的化石发现和进展: 1) 义县组第一段凝灰质砂岩中发现数量较多的鸚鵡嘴龙; 2) 黄半吉沟(上部层)发现孔子鸟; 3) 尖山沟化石层的狼鳍鱼为 *Lycoptera sinensis*; 4) 原归属于喙嘴龙亚目的长尾翼龙 *Dendrorhynchoides* 的“长尾”是当地化石发现者拼接的(汪筱林等, 1999a), 目前, 还没有在四合屯地区发现长尾翼龙的可靠报道; 5) 四合屯化石层发现新的恐龙类如镰刀龙类的 *Beipiaosaurus inexpectus* (Xu et al., 1999a), 驰龙类的 *Sinornithosaurus milleni* (Xu et al., 1999b) 及 *Caudipteryx dongi* (Zhou and Wang, 2000), 鸟类如 *Confuciusornis*

1) 汪筱林, 1999. 辽西四合屯脊椎动物化石群: 地层、时代与古环境. 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所博士论文.

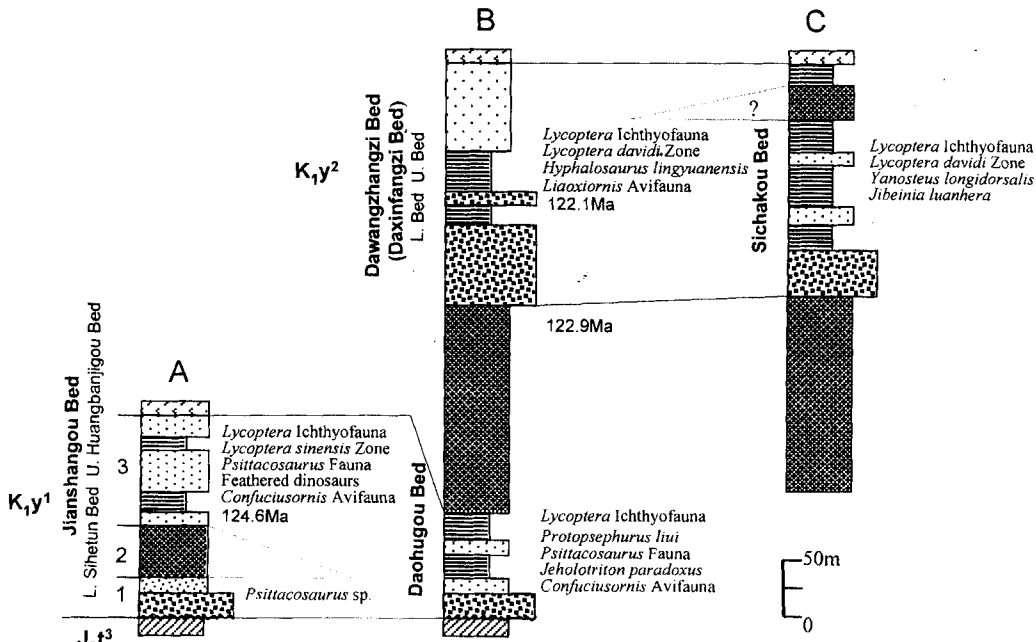


图3 凌源-宁城与北票四合屯地区义县组地层与脊椎动物对比

A. 北票四合屯综合剖面; B. 凌源-宁城综合剖面; C. 丰宁四岔口-森吉图综合剖面 (图例参见图 2)

Fig.3 Lithostratigraphic and vertebrate biostratigraphic correlation of the Yixian Formation in Beipiao and Lingyuan, western Liaoning, Ningcheng, southern Nei Mongol and Fengning, northern Hebei, China

A. the composite section of Sihetun, Beipiao; B. section of Lingyuan and Ningcheng; C. section of Sichakou and Senjitu, Fengning (Legends see Fig.2)

dui (Hou et al., 1999a)和反鸟类 Eoenantiornis buhleri (Hou et al., 1999b)等。

四合屯脊椎动物化石群门类齐全,数量巨大,已记述和正在研究的化石大约 25 属 30 种,属于 Lycoptera Ichthyofauna, Psittacosaurus Fauna, Confuciusornis Avifauna 等 3 个主要动物群(汪筱林等,1999b)。

凌源-宁城地区的道虎沟层脊椎动物化石群与尖山沟层四合屯脊椎动物化石群生物组合面貌相似,可以对比(表 1)。其中最重要的化石是 Confuciusornis, Psittacosaurus 和 Lycoptera sinensis,三者在尖山沟层大量出现,而 Confuciusornis, Psittacosaurus 在道虎沟层首次发现,道虎沟层的 Lycoptera 是否为 Lycoptera sinensis 需要进一步研究证实。

金岭寺-羊山盆地东北缘阜新大五家子、于寺和紫都台地区的野外地层对比和化石发掘证实,这一地区被认为是九佛堂组(王五力等,1989)的地层层序与北票四合屯地区义县组层序完全相同,在相当于第三段湖相沉积(尖山沟化石层)中,已经发现大量的 Lycoptera sinensis 及 Confuciusornis 等。

凌源大王杖子层的脊椎动物化石群在阜新-义县盆地发现,在义县头道河相当层位的湖相沉积中,最近已经发现大量的 Lycoptera davidi 和 Hyphalosaurus。

我们认为 Lycoptera sinensis-Psittacosaurus-Confuciusornis 组合是义县组下部相当于



表1 凌源-宁城地区与北票四合屯地区义县组脊椎动物化石对比

Table 1 Correlation of vertebrate faunas of the Yixian Formation in Sihetun, Lingyuan, western Liaoning and Ningcheng, southern Nei Mongol, China

| 北票四合屯<br>Sihetun of Beipiao                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 凌源-宁城<br>Lingyuan and Ningcheng                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 尖山沟化石层 (四合屯下部层和黄牛沟上部层)<br>Jianshangou Bed (Lower Sihetun Bed and Upper Huan gnanjigou Bed) |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 大王杖子化石层 (大新房子层)<br>Dawangzhangzi Bed (Daxinfangzi Bed) | <p><i>Lycoptera</i> Ichthyofauna</p> <p><i>Lycoptera davidi</i>(Sauvage), 1880</p> <p><i>Peipiaosteus pani</i> Liu et Zhou, 1965</p> <p><i>Protosephurus liui</i> Lu, 1994</p> <p><i>Yanosteus longidorsalis</i> Jin, Tian, Yang et Deng, 1995</p> <p><i>Psittacosaurus</i> Fauna</p> <p><i>Hyphalosaurus lingyuanensis</i> Gao, Tang et Wang, 1999</p> <p><i>Monjurosuchus splendens</i> Endo, 1940</p> <p><i>Yabeinosaurus tenuis</i> Endo et Shikama, 1942</p> <p>Pterodactyloidea gen. et sp. nov.</p> <p>Sauropoda indet.</p> <p>Theropoda indet.</p> <p><i>Psittacosaurus</i> sp.</p> <p><i>Liaoxiornis</i> Avifauna</p> <p><i>Liaoxiornis delicatus</i> Hou et Chen, 1999</p> |
|                                                                                            | <p><i>Lycoptera</i> Ichthyofauna</p> <p><i>Lycoptera sinensis</i> Woodward, 1901</p> <p><i>Peipiaosteus pani</i> Liu et Zhou, 1965</p> <p><i>Sinamia</i> sp.</p> <p><i>Psittacosaurus</i> Fauna</p> <p><i>Manchurochelys liaoxiensis</i> Ji, 1995</p> <p><i>Yabeinosaurus tenuis</i> Endo et Shikama, 1942</p> <p><i>Dalinghosaurus longidigitus</i> Ji, 1998</p> <p><i>Eosipterus yangi</i> Ji et Ji, 1997</p> <p><i>Dendrorhynchoides curvidentatus</i> Ji et Ji, 1998</p> <p>Pterodactyloidea gen. et sp. nov.</p> <p>Sauropoda indet.</p> <p><i>Sinosauropteryx prima</i> Ji et Ji, 1997</p> <p><i>Protarchaeopteryx robusta</i> Ji et Ji, 1998</p> <p><i>Caudipteryx zoui</i> Ji, Currie, Norell et Ji, 1998</p> <p><i>Caudipteryx dongi</i> Zhou et Wang, 2000</p> <p><i>Beipiaosaurus inexpectus</i> Xu, Tang et Wang, 1999</p> <p><i>Sinornithosaurus milleni</i> Xu, Wang et Wu, 1999</p> <p>Theropoda indet.</p> <p><i>Psittacosaurus</i> sp.</p> <p><i>Liaobatrachus grabaui</i> Ji et Ji, 1998</p> <p><i>Callobatrachus sanyanensis</i> Wang et Gao, 1999</p> <p><i>Zhangheotherium quinquecupidens</i> Hu, Wang, Luo et Li, 1997</p> <p><i>Jeholodens jenkinsi</i> Ji, Luo et Ji, 1999</p> <p><i>Confuciusornis</i> Avifauna</p> <p><i>Confuciusornis sanctus</i> Hou, Zhou, Gu et Zhang, 1995</p> <p><i>C. sunae</i> Hou, 1997</p> <p><i>C. chuanzhous</i> Hou, 1997</p> <p><i>C. dui</i> Hou, Martin, Zhou et Feduccia, 1999</p> <p><i>Changchengornis hengdaoziensis</i> Ji, Chiappe et Ji, 1999</p> <p><i>Liaoningornis longiditris</i> Hou, 1996</p> <p><i>Eoenantiornis buhleri</i> Hou, Martin, Zhou et Feduccia 1999</p> | 道虎沟化石层<br>Daohugou Bed                                 | <p><i>Lycoptera</i> Ichthyofauna</p> <p><i>Lycoptera</i> sp.</p> <p><i>Peipiaosteus pani</i> Liu et Zhou, 1965</p> <p><i>Protosephurus liui</i> Lu, 1994</p> <p><i>Yanosteus longidorsalis</i> Jin, Tian, Yang et Deng, 1995</p> <p><i>Psittacosaurus</i> Fauna</p> <p><i>Psittacosaurus</i> sp.</p> <p><i>Jeholotriton paradoxus</i> Wang, 2000</p> <p><i>Confuciusornis</i> Avifauna</p> <p><i>Confuciusornis</i> sp.</p>                                                                                                                                                                                                                                                          |

尖山沟层的代表化石及其组合; *Lycoptera davidi*-*Hyphalosaurus*-*Liaoxiornis*组合是义县组中部相当于大王杖子层的代表化石及其组合。大王杖子层和尖山沟层化石组合存在明显差异。

### 2.3 同位素年代地层

近年来新测试的义县组同位素年代数据显示,义县组年龄在 133~120Ma 之间 (Smith *et al.*, 1995; 陈义贤等, 1997; Swisher *et al.*, 1999)。

北票义县组四合屯化石层 2 个凝灰岩样品(来自四合屯发掘剖面 18 层和尖山沟剖面相同层)的透长石单晶(各为 35 和 34 个单晶)  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  年龄数据分别为  $124.6 \pm 0.3\text{Ma}$  和  $124.6 \pm 0.2\text{Ma}$  (Swisher *et al.*, 1999); 凌源二十里铺湖相沉积夹层(大王杖子层)的年龄  $122.2 \pm 0.2 \sim 122.5 \pm 0.3\text{Ma}$ , 大新房子安山岩全岩年龄  $122.9 \pm 0.3\text{Ma}$  (Smith *et al.*, 1995)。

同位素年龄与岩石地层和脊椎动物化石对比建立的义县组层序是吻合的:尖山沟层为义县组下部化石层,大王杖子层高于尖山沟层,为义县组中部化石层。义县组的另一重要化石层——金刚山层同位素年龄为  $121.4 \pm 1.1 \sim 121.6 \pm 0.4\text{Ma}$  (Smith *et al.*, 1995), 为义县组上部化石层。

此外,内蒙古太博齐九佛堂组之上的玄武岩  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  年龄为  $110 \pm 0.52\text{Ma}$  (Eberth *et al.*, 1993)。

根据 Remane 等 (1998) 国际地层表 ( $J/K = 136\text{Ma}$ ), 义县组时代为早白垩世 ?Berriasian-Hauterivian, 九佛堂组为 Barremian。

## 3 冀北含脊椎动物化石地层的初步对比研究

冀北热河群主要分布在丰宁、围场、滦平、平泉等地,相当于辽西义县组和九佛堂组的地层单位有大北沟组、大店子组、花吉营组、西瓜园组和南店组等。大北沟组一般被认为是义县组下伏地层,大店子组、花吉营组和西瓜园组相当于义县组,南店组相当于九佛堂组。

### 3.1 丰宁四岔口-森吉图地区义县组层序与脊椎动物

近几年丰宁四岔口、森吉图等义县组也发现一些新的脊椎动物化石地点和层位,其中在森吉图东土窑发现 *Jibeinia* (侯连海, 1997a), 在四岔口及周边地区,发现鱼类、爬行类、鸟类等多种脊椎动物化石。

冀北丰宁森吉图-四岔口地区义县组综合地层层序:

义县组(未见顶): 厚度 230~350m

4. 灰色、灰白色页岩夹黄色、黄褐色凝灰岩。脊椎动物化石有 *Lycoptera davidi*, *Peipiaosteus pani*。顶部被后期次火山岩穿插覆盖 30~40m
3. 火山角砾岩或中基性熔岩 10~20m  
四岔口化石层
2. 灰色、灰白色页岩夹黄色、黄褐色凝灰岩,下部砂砾岩含量较多。具下粗上细的

表2 冀北-辽西及内蒙古南部地区下白垩统热河群地层序与脊椎动物化石群  
 Table 2 Vertebrate faunas, assemblages and zones of the Lower Cretaceous Jehol Group (Yixian Fm. and Jiufotang Fm.) in northern Hebei, western Liaoning and southern Nei Mongol, China

| 阶<br>Stage<br>(J/K=136Ma*) | 组<br>Formations       | 冀北<br>Northern Hebei                            | 辽西及宁城<br>Western Liaoning and Ningcheng,<br>southern Nei Mongol | 同位素年龄<br>Ages(Ma)                                | 脊椎动物化石群、组合、带<br>Vertebrate faunas, assemblages and zones                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Barremian                  | 九佛堂组<br>Jiufotang Fm. | 南店组<br>Nandian Fm.                              | 九佛堂组<br>Jiufotang Fm.                                           | 110±0.52                                         | <i>Lycopera Ichthyofauna</i><br><i>Lycopera-Frotopsephrus Ass.</i><br><i>Jmanchihys-Longdeichihys Ass.</i><br><i>Lycopera sinensis Zone</i><br><i>Lycopera davidi Zone</i><br><i>Lycopera murroi Zone</i><br><i>Psitacosaurus Fauna</i><br><i>Confuciusornis Avifauna</i><br><i>Laoxiornis Avifauna</i><br><i>Cathayornis-Chayangia Avifauna</i> |
|                            |                       | 火山熔岩<br>Basalt and andesite                     | 火山熔岩、火山碎屑岩<br>Basalt, andesite and<br>volcanic breccia          | 121.4±1.1<br>121.6±0.4<br>121.3±2.3<br>121.4±0.7 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Hauterivian                |                       | ? 湖相沉积层<br>Lacustrine Bed                       | 金刚山层<br>Jingangshan Bed                                         |                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|                            |                       | 中基性熔岩<br>Basalt and andesite                    | 中基性火山熔岩<br>Basalt and andesite                                  |                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Valanginian                |                       | 四岔口层<br>Sichakou Bed                            | 大王杖子(大新房子)层<br>Dawangzhangzi(Daxinfangzi) Bed                   | 122.1±0.2<br>122.5±0.5<br>122.9±0.3<br>124.5±4.9 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|                            |                       | 中基性熔岩<br>Basalt and andesite                    | 中基性熔岩<br>Basalt and andesite                                    |                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| ?Berriasian                |                       | 大店子组<br>Dadianzi Fm.                            | 尖山沟层(三段)<br>Jianshangou(Sihetun) Bed<br>(3rd Member)            | 124.6±0.2<br>124.6±0.3                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|                            |                       |                                                 | 中基性火山熔岩(二段)<br>(2nd Member)<br>一段<br>1st Member                 | 129±0.3<br>133±5.0                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Tithonian                  |                       | 大北沟组<br>Dabeigou Fm.<br>张家口组<br>Zhangjiakou Fm. |                                                                 |                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Kimmeridgian               |                       | 后城组<br>Houcheng Fm.                             | 土城子组<br>Tuchengzi Fm.                                           |                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|                            |                       |                                                 |                                                                 |                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

\*界线年龄采用 Remane *et al.*, 1998; 同位素年龄来自 Eberth *et al.*, 1993; Smith *et al.*, 1995; 陈义贤、陈文奇等, 1997; Swisher *et al.*, 1999.

正旋回,与熔岩正常接触。脊椎动物化石有 *Lycoptera davidi*, *Peipiaosteus pani*,  
*Yanosteus longidorsalis*, *Jibeinia luanhera* 及其他鸟类和爬行类,无脊椎动物  
*Eosestheria*, *Ephemeropsis trisetalis* 等 80~120m

1. 中基性火山熔岩(未见底)。旋回性明显,即由致密块状的玄武岩-气孔、流动构造  
发育的安山玄武岩或玄武安山岩构成旋回 100~150m

四岔口地区仅出露下部地层(1~3层),含脊椎动物化石沉积层最大厚度达100~120m;森吉图及其北部滦河沿一带,可见到上部地层(3~4层),而且相当于综合剖面3层的火山角砾岩或中基性熔岩厚度较小,横向上可能尖灭,2、4层合并为同一化石层。

四岔口化石层以富含 *Lycoptera* Ichthyofauna 的主要成员 *Lycoptera davidi*, *Yanosteus*, *Peipiaosteus* 及 *Jibeinia* 为特征,目前还没有发现 *Psittacosaurus*。

### 3.2 滦平井上-大北沟义县组层序与脊椎动物

滦平井上-大北沟剖面是冀北-辽西地区义县组下部最完整、研究程度较高的地层剖面,从下至上层序为:下伏张家口组中酸性熔岩,大北沟组、大店子组和花吉营组。其中大北沟组含有热河生物群的主要分子 *Peipiaosteus*, *Ephemeropsis trisetalis* 和被认为是晚侏罗世的 *Nestoria* (参见王思恩,1990,1999),而 *Nestoria* 却大量出现在新疆准噶尔和吐哈盆地下白垩统吐谷鲁群下部的清水河组和俄罗斯外贝加尔下白垩统 Argun 组 (Shen and Mateer, 1992)。目前还没有发现热河生物群的另一重要成员 *Lycoptera*;大店子组出现了热河生物群的典型分子 *Lycoptera* 和 *Psittacosaurus* (“*Luanpingosaurus*”);花吉营组有 *Lycoptera davidi*。

从沉积特征分析,大北沟组与大店子组属于同一沉积-火山旋回的产物,沉积环境相似。我们认为,大北沟组和大店子组同为义县组下部沉积,其中大北沟组为义县组底部。

冀北地区义县组有2个化石层位:下部化石层相当于大北沟组和大店子组,含有 *Lycoptera* Ichthyofauna 和 *Psittacosaurus* Fauna 的主要成员;上部四岔口化石层相当于花吉营组的湖相沉积,脊椎动物化石归于 *Lycoptera* Ichthyofauna 和 *Liaoxiornis* Avifauna。

冀北大店子组大致相当于凌源-宁城义县组道虎沟层和北票四合屯地区义县组一、三段;四岔口层相当于凌源的大王杖子层(表2)。

## 4 陆相热河群中的脊椎动物群、生物组合和生物带

辽西及内蒙古南部地区热河群脊椎动物化石组合,与中国北方其他地区及相邻蒙古、俄罗斯外贝加尔地区相当层位的脊椎动物组合类似并可进行对比(参见 Jerzykiewicz and Russell, 1991;李佩贤等,1994;金帆,1996;汪筱林等,1999b)。辽西及周边地区义县组和九佛堂组大量脊椎动物化石的发现,对于建立东北亚乃至全球晚中生代陆相生物带、地层对比及确认非海相 J/K 界线都具有极为重要的意义。

### 4.1 狼鳍鱼群

产于热河群义县组和九佛堂组及相当的地层中,是陆相下白垩统的重要代表化石,主

要属种均在义县组底部爆发性出现。

已有的化石证明, 狼鳍鱼群在义县组和九佛堂组的化石组合有较大的差异:

1) *Lycoptera-Protosephurus* 组合主要分布于义县组, 可能在部分地区延伸至九佛堂组, 共生 *Peipiaosteus*, *Sinamia*。

*Lycoptera* 主要分布于义县组, 前人报道的九佛堂组 *Lycoptera* 或大部分为 *Jinanichthys* (张江永等, 1994) 或由于层位不清所致, 如朝阳波罗赤、梅勒营子等地的九佛堂组可能包括义县组地层。目前在义县组可以大致划分 3 个 *Lycoptera* 化石带:

a. *Lycoptera sinensis* 带, 分布于义县组下部尖山沟层, 伴生 *Peipiaosteus*, *Protosephurus*, *Yanosteus*, *Sinamia*。

b. *Lycoptera davidi* 带, 主要分布于义县组中部大王杖子层, 伴生 *Peipiaosteus*, *Protosephurus*, *Yanosteus*。在义县组下部层位的宁城道虎沟层和滦平大店子组, 也可能有少量的 *L. davidi*, 需进一步确认。

c. *Lycoptera muroii* 带, 分布于义县组上部金刚山层, 目前还没有发现其他共生鱼类。

*Protosephurus* 主要分布于义县组, 金帆等 (1995) 报道在朝阳米杖子、梅勒营子等地发现该化石的九佛堂组可能包含义县组, 需要进一步核实。

2) *Jinanichthys-Longdeichthys* 组合仅分布于九佛堂组, 共生 *Peipiaosteus*, *Sinamia*。

## 4.2 鸚鵡嘴龙动物群

该动物群包含爬行类的众多属种, 其中最重要的鸚鵡嘴龙化石主要分布在东北亚广大地区 (Serenó, 1990; Jerzykiewicz and Russell, 1991; Dong, 1993; Matsukawa and Obata, 1994), 与热河生物群的分布范围相当, 其时代主要为早白垩世 Aptian-Albian 期 (Serenó, 1990)。在辽西地区, 鸚鵡嘴龙发现于九佛堂组 (Serenó *et al.*, 1988), 在义县组下部四合屯脊椎动物化石群中大量出现 (汪筱林等, 1998, 1999a; 徐星, 汪筱林, 1998)。冀北相当于义县组的大店子组也发现鸚鵡嘴龙。

鸚鵡嘴龙是陆相下白垩统的代表 (标准) 化石。

## 4.3 鸟类群

热河群义县组和九佛堂组目前发现 3 个连续的鸟类群:

1) 孔子鸟类群 (*Confuciusornis* Avifauna): 代表化石有 *Confuciusornis sanctus*, *C. sunae*, *C. chuanzhous*, *C. dui*, *Liaoningornis longiditris*, *Eoenantiornis buhleri*, 以大量出现比较原始的 *Confuciusornis* 为特征, 也共生较进步的 *Liaoningornis* 及 *Eoenantiornis*。其中 *Confuciusornis* 明显进步于德国晚侏罗世的 *Archaeopteryx* (侯连海等, 1995; Martin *et al.*, 1998)。产于北票尖山沟层、宁城道虎沟层及阜新、义县等地区的义县组下部湖相沉积中。

2) 辽西鸟类群 (*Liaoxiornis* Avifauna): 目前发现的化石有 *Liaoxiornis delicatus*, *L. sp.*, *Jibeinia luanhera* 等, 产于义县组中部凌源大王杖子层和冀北四岔口层。

3) 华夏鸟-朝阳鸟类群 (*Cathayornis-Chaoyangia* Avifauna): 代表属种 *Sinornis santensis*, *Boluochia zhengi*, *Cathayornis yandica*, *Chaoyangia beishanensis* 等。鸟类极

度分化,主要产于波罗赤等地九佛堂组。

## 5 结论

1) 凌源及相邻内蒙古宁城地区主要出露义县组的中下部地层,有2个脊椎动物化石层:义县组下部道虎沟层和中部大王杖子层(相当于大新房子层)。

2) 道虎沟层发现 *Lycoptera* Ichthyofauna 的主要成员 *Peipiaosteus*, *Protopsephurus*, *Yanosteus*, *Lycoptera*; *Psittacosaurus* Fauna 的重要分子 *Psittacosaurus*; 以及 *Confuciusornis* Avifauna 的主要成员 *Confuciusornis*, 富含 *Protopsephurus* 和 *Jeholotriton*。

3) 大王杖子层发现大量 *Lycoptera* Ichthyofauna 的重要属种 *Lycoptera davidi*, *Peipiaosteus*, *Protopsephurus* 和 *Liaoxiornis* Avifauna 的主要成员 *Liaoxiornis delicatus*; 富含 *Lycoptera davidi*, *Hyphalosaurus*。

4) 宁城道虎沟化石层的脊椎动物群与北票尖山沟化石层的四合屯脊椎动物群相似,化石层位大致相当于义县组一、三段(二段熔岩尖灭缺失);凌源大王杖子化石层高于尖山沟化石层,在四合屯地区缺失。

5) 冀北滦平大北沟组属于义县组最下部沉积,其上覆的大店子组大致相当于宁城道虎沟层和北票四合屯义县组一、三段;丰宁四岔口化石层对应于凌源大王杖子化石层。

6) 热河群义县组和九佛堂组发现3个连续的鸟类群:义县组下部的 *Confuciusornis* Avifauna, 产于北票尖山沟化石层、宁城道虎沟层和阜新、义县等地相当层位;义县组中部的 *Liaoxiornis* Avifauna, 产于凌源大王杖子化石层、冀北丰宁四岔口化石层;九佛堂组的 *Cathayornis-Chaoyangia* Avifauna, 主要产于朝阳波罗赤等地。

7) *Lycoptera* Ichthyofauna 的 *Lycoptera-Protopsephurus* 组合是义县组的典型代表, *Jinanichthys-Longdeichthys* 组合是九佛堂组的典型代表; *Peipiaosteus*, *Sinamia* 在义县组和九佛堂组均有出现。

8) 义县组 *Lycoptera* 大致可以建立3个化石带:义县组下部 *Lycoptera sinensis* 带,以尖山沟层为代表;中部 *Lycoptera davidi* 带,以大王杖子层为代表和上部 *Lycoptera muroii* 带,以金刚山层为代表。

9) *Lycoptera* Ichthyofauna、*Psittacosaurus* Fauna 和3个鸟类群是下白垩统热河群义县组(?Berriasian 或 Valanginian-Hauterivian)、九佛堂组(Barremian)及相当层位的代表化石。

**致谢** 本项研究得到中国科学院资源与生态环境研究“九五”重大项目“辽西热河生物群综合研究”(KZ951-B1-410)、中国科学院创新工程重大项目“辽西热河生物群综合研究”(KZCX3-J-03)、国家自然科学基金重点项目“热河生物群的演化与环境演变研究”(49832002)和国家基础科学人才培养基金(J9930095)资助。中科院古脊椎所张弥曼院士、邱占祥、董枝明、李锦玲、侯连海、邱铸鼎、吴肖春研究员及辽西项目组唐治路、徐星、王原、吕君昌、尤海鲁、李淳等,中科院南京地质古生物研究所陈丕基研究员,中国地质大学郝

治纯院士, 东煤公司 107 队常征路高级工程师, 中国地质科学院程政武、李佩贤、王思恩研究员和石家庄经济学院庞其清教授等给予多方面指导和帮助, 并就许多问题进行了有益的讨论, 谨致诚挚谢意。

## VERTEBRATE BIOSTRATIGRAPHY OF THE LOWER CRETACEOUS YIXIAN FORMATION IN LINGYUAN, WESTERN LIAONING AND ITS NEIGHBORING SOUTHERN NEI MONGOL (INNER MONGOLIA), CHINA

WANG Xiao-Lin<sup>1,2</sup> WANG Yuan-Qing<sup>1</sup> ZHANG Fu-Cheng<sup>1</sup> ZHANG Jiang-Yong<sup>1</sup>  
ZHOU Zhong-He<sup>1</sup> JIN Fan<sup>1</sup> HU Yao-Ming<sup>1</sup> GU Gang<sup>3</sup> ZHANG Hai-Chun<sup>4</sup>

(1 Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology, Chinese Academy of Sciences Beijing 100044)

(2 College of Earth Science and Resources, China University of Geosciences Beijing 100083)

(3 Institute of Archaeology of Liaoning Province Shenyang 120003)

(4 Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences Nanjing 210008)

**Key words** Lingyuan, western Liaoning, Ningcheng, southern Nei Mongol, Lower Cretaceous, Yixian Formation, Jehol Biota, vertebrate biostratigraphy

### Summary

Several important vertebrate fossil localities have been discovered from the Early Cretaceous deposits in Lingyuan, western Liaoning Province and neighboring Ningcheng areas of southern Nei Mongol. In this paper, we discuss these deposits of the aforementioned areas, which are referable to the Yixian Formation, and correlate their stratigraphic sequence on the basis of lithostratigraphy, vertebrate biostratigraphy and radiometric dating. The Cretaceous deposits consist of two fossiliferous beds. The lower one, the Daohugou Bed, is characteristic of *Lycoptera* Ichthyofauna, *Psittacosaurus* Fauna and *Confuciusornis* Avifauna and comparable to the vertebrate fauna of the Jianshangou Bed in Sihetun area of Beipiao. Based on similar components, therefore, the Daohugou Bed is correlated with members 1 and 3 of the Yixian Formation of Sihetun area. Both represent the deposits of the lower Yixian Formation. The upper one, the Dawangzhangzi Bed (Daxinfangzi Bed), is characteristic of *Lycoptera* Ichthyofauna and *Liaoxiornis* Avifauna, representing the deposits of the middle Yixian Formation which is absent at Sihetun. The vertebrate fossils in Sichakou-Senjitu area of Fengning, northern Hebei Province are comparable to those from the Dawangzhangzi Bed in Lingyuan, Liaoning Province. The Dabeigou Formation in Luanping, Hebei Province represents the earliest deposits of the Yixian

Formation, and the overlying Dadianzi Formation is comparable to the Daohugou Bed in Ningcheng or members 1 and 3 of the Jianshangou Bed at Sihetun on the basis of the lithostratigraphic correlation and the presence of *Lycoptera* Ichthyofauna, and *Psittacosaurus* Fauna.

Three distinctive Avifaunas have been recognized from the two formations (the lower Yixian Formation and the upper Jiufotang Formation) of the Jehol Group; from bottom up, they are: *Confuciusornis* Avifauna of the lower Yixian Formation, *Liaoxiornis* Avifauna of the middle Yixian Formation and the *Cathayornis-Chaoyangia* Avifauna of the Jiufotang Formation.

The Ichthyofauna from the Yixian Formation characterized by *Lycoptera-Protosephurus* can be well distinguished from the *Jinanichthys-Longdeichthys* Ichthyofauna of the Jiufotang Formation. Three fossil zones can be recognized based on different species of the genus *Lycoptera*: the lower *Lycoptera sinensis* Zone of the Jianshangou Bed, the middle *Lycoptera davidi* Zone of the Dawangzhangzi Bed and the upper *Lycoptera muroii* Zone of the Jingangshan Bed. *Lycoptera* Ichthyofauna, the *Psittacosaurus* Fauna and three avifaunas (*Confuciusornis*, *Liaoxiornis* and *Cathayornis-Chaoyangia* Avifauna) are probably most indicative of the Early Cretaceous (?Berriasian or Valanginian-Barremian) Jehol Biota.

### References

- Chen P J (陈丕基), 1988. Distribution and migration of Jehol fauna with reference to nonmarine Jurassic-Cretaceous boundary in China. *Acta Palaeontol Sin* (古生物学报), 27(6): 659~683 (in Chinese with English abstract)
- Chen P J, Dong Z M, Zhen S N, 1997. An exceptionally well-preserved theropod dinosaur from the Yixian Formation of China. *Nature*, 391: 147~152
- Chen P J (陈丕基), Wen S X (文世宣), Zhou Z Y (周志炎) *et al.*, 1980. Studies on the late Mesozoic continental formations of western Liaoning. *Nanjing Inst Geol Paleont, Acad Sin Bull* (中国科学院南京地质古生物研究所丛刊), (1): 22~55 (in Chinese)
- Chen Y X (陈义贤), Chen W J (陈文寄) *et al.*, 1997. The Mesozoic Volcanic Rocks in Western Liaoning and Neighboring Areas: Geochronology, Geochemistry and Tectonic Setting. Beijing: Seismological Press. 1~279
- Dong Z M, 1993. Early Cretaceous dinosaur fauna in China: an introduction. *Can J Earth Sci*, 30: 2096~2100
- Eberth D A, Russell D A, Braman D R *et al.*, 1993. The age of the dinosaur-bearing sediments at Tebch, Inner Mongolia, P. R. China. *Can J Earth Sci*, 30: 2101~2112
- Endo R, 1940. A new genus of Thecodontia from the *Lycoptera* beds in Manchoukuo. *Bull Cent Nat Mus, Manchoukuo*, (2): 1~14
- Endo R, Shikama T, 1942. Mesozoic reptilian fauna in the Jehol mountainland, Manchoukuo. *Bull Cent Nat Mus, Manchoukuo*, (3): 1~20
- Gao K (高克勤), Tang Z L (唐治路), Wang X L (汪筱林), 1999. A long-necked diapsid reptile from the Upper Jurassic / Lower Cretaceous of Liaoning Province, northeastern China. *Vert Palasiat* (古脊椎动物学报), 37(1): 1~8
- Grabau A W, 1923. Cretaceous mollusca from north China. *Bull Geol Surv China*, 5(2): 183~197



- Grabau A W, 1928. Stratigraphy of China, part II: Mesozoic. Peking: Geol Surv China. 1~774
- Gu Z W (顾知微), 1962. The Jurassic and Cretaceous of China. Beijing: Science Press. 1~84 (in Chinese)
- Hao Y C (郝诒纯), Su D Y (苏德英), Li Y G (李友桂) *et al.*, 1982. Stratigraphic division of non-marine Cretaceous and the Jura-Cretaceous boundary in China. *Acta Geol Sin (地质学报)*, **56(3)**:187~199 (in Chinese with English abstract)
- Hou L H (侯连海), 1997a. Mesozoic Birds of China. Taipei: Phoenix Valley Park. 1~228(in Chinese with English abstract)
- Hou L H, 1997b. A carinate bird from the Upper Jurassic of western Liaoning, China. *Chinese Sci Bull*, **41(5)**: 413~417
- Hou L H(侯连海), Chen P J(陈丕基), 1999. *Liaoxiornis delicatus* gen. et sp. nov., the smallest Mesozoic bird. *Chinese Sci Bull(科学通报)*, **44(3)**:311~314(in Chinese)
- Hou L H (侯连海), Zhang J Y (张江永), 1993. A new fossil bird from Lower Cretaceous of Liaoning. *Vert PalAsiat (古脊椎动物学报)*, **31(3)**:217~224(in Chinese with English summary)
- Hou L H (侯连海), Zhou Z H (周忠和), 1995. Introduction to Mesozoic birds from Liaoning, China. *Vert PalAsiat (古脊椎动物学报)*, **33(4)**:261~271 (in Chinese with English summary)
- Hou L H, Martin L D, Zhou Z H *et al.*, 1999a. A diapsid skull in a new species of the primitive bird *Confuciusornis*. *Nature*, **399**:679~682
- Hou L H (侯连海), Martin L D, Zhou Z H (周忠和) *et al.*, 1999b. *Archaeopteryx* to opposite birds—missing link from the Mesozoic of China. *Vert PalAsiat(古脊椎动物学报)*, **37(2)**:88~95
- Hou L H, Zhou Z H, Gu Y C *et al.*, 1995. *Confuciusornis sanctus*, a new Jurassic sauriurine bird from China. *Chinese Sci Bull*, **40(18)**:1545~1551
- Hu Y M, Wang Y Q, Luo Z X *et al.*, 1997. A new symmetrodont mammal from China and its implications for mammalian evolution. *Nature*, **390**:137~142
- Jerzykiewicz T, Russell D A, 1991. Late Mesozoic stratigraphy and vertebrate of the Gobi Basin. *Cret Res*, **12**: 345~377
- Ji Q, Chiappe L M, Ji S A, 1999a. A new Mesozoic confuciusornithid bird from China. *J Vert Paleont*, **19(1)**: 1~7
- Ji Q, Luo Z X, Ji S A, 1999b. A Chinese triconodont mammal and mosaic evolution of the mammalian skeleton. *Nature*, **398**:326~330
- Ji Q, Currie P J, Norell M A *et al.*, 1998. Two feathered dinosaurs from northeastern China. *Nature*, **393**:753~761
- Ji S A (姬书安), Ji Q (季强), 1997. Discovery of a new pterosaur in western Liaoning, China. *Acta Geol Sin (地质学报)*, **71(1)**:1~6(in Chinese with English abstract)
- Ji S A (姬书安), Ji Q (季强), 1998. A new fossil pterosaur (Rhamphorhynchoidea) from Liaoning. *Jiangsu Geol (江苏地质)*, **22(4)**:199~206(in Chinese with English abstract)
- Jin F(金帆), 1996. New advances in the late Mesozoic stratigraphic research of western Liaoning, China. *Vert PalAsiat (古脊椎动物学报)*, **34(2)**:102~122(in Chinese with English abstract)
- Jin F (金帆), Tian Y P (田燕萍), Yang Y S (杨有世) *et al.*, 1995. An early fossil sturgeon (Acipensrifomes, Peipiaosteidae) from Fengning of Hebei, China. *Vert PalAsiat (古脊椎动物学报)*, **33(1)**:1~16(in Chinese with English summary)
- Jin F(金帆), Zhang J Y(张江永), Zhou Z H(周忠和), 1995. Late Mesozoic fish fauna from western Liaoning, China. *Vert PalAsiat(古脊椎动物学报)*, **33(3)**:169~193(in Chinese with English abstract)
- Li P X(李佩贤), Su D Y (苏德英), Li Y G (李友桂) *et al.*, 1994. The chronostratigraphic status of the *Lycoptera*-bearing bed. *Acta Geol Sin (地质学报)*, **68(1)**:87~100(in Chinese with English abstract)
- Liu H T (刘宪亭), Zhou J J (周家健), 1965. A new sturgeon from the Upper Jurassic of Liaoning, north

- China. *Vert PalAsiat*(古脊椎动物学报), **9**(3):237~247(in Chinese with English abstract)
- Lu L W(卢立伍), 1994. A new paddlefish from the Upper Jurassic of northeast China. *Vert PalAsiat*(古脊椎动物学报), **32**(2):134~142(in Chinese with English summary)
- Martin L D, Zhou Z H, Hou L H *et al.*, 1998. *Confuciusornis sanctus* compared to *Archaeopteryx lithographica*. *Naturwissenschaften*, **85**:286~289
- Matsukawa M, Obata I, 1994. Dinosaurs and sedimentary environment in the Japanese Cretaceous: a contribution to dinosaur facies in Asia based on molluscan palaeontology and stratigraphy. *Cret Res*, **15**:101~125
- Remane J, Sita M B, Dercourt J *et al.*, 1998. International Stratigraphic Chart. Episodes.
- Ren D(任东), Lu L W(卢立伍), Guo Z G(郭子光) *et al.*, 1995. Faunas and stratigraphy of Jurassic-Cretaceous in Beijing and adjacent areas. Beijing: Geological Publishing House. 1~222(in Chinese with English summary)
- Sereno P C, 1990. Psittacosauridae. In: Weishampel D, Dodson P, Osmolska H eds. *The Dinosauria*. Berkeley: Univ California Press. 579~592
- Sereno P C, Chao X J, Cheng Z W *et al.*, 1988 *Psittacosaurus meileyingensis* (Ornithischia: Ceratopsia), a new psittacosaur from the Lower Cretaceous of northeastern China. *J Vert Paleont*, **8**:366~377
- Shen Y B, Mather N J, 1992. An outline of the Cretaceous system in northern Xinjiang, western China. In: Mather N J, Chen P J eds. *Aspects of Nonmarine Cretaceous Geology*. Beijing: China Ocean Press. 49~77
- Smith P E, Evensen N M, York D *et al.*, 1995. 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*, **32**:1426~1431
- Swisher C C, Wang Y Q, Wang X L *et al.*, 1999. Cretaceous age for the feathered dinosaurs of Liaoning, China. *Nature*, **400**:58~61
- Wang S N(王思恩), 1990. Origin, evolution and mechanism of the Jehol Fauna. *Acta Geol Sin* (地质学报), **64**(4):350~360(in Chinese with English abstract)
- Wang S N(王思恩), 1999. Palaeoecology and palaeoenvironment of the Jehol Biota: A palaeoecological and palaeoenvironmental reconstruction of Conchostracan palaeocommunities in the north Hebei-western Liaoning area. *Acta Geol Sin*(地质学报), **73**(4):289~301(in Chinese with English abstract)
- Wang W L(王五力), Zheng S L(郑少林), Zhang L J(张立君) *et al.*, 1989. Mesozoic stratigraphy and palaeontology of western Liaoning, China, Beijing: Geological Publishing House. 1~168(in Chinese with English abstract)
- Wang X L(汪筱林), Wang Y Q(王元青), Wang Y(王原) *et al.*, 1998. Stratigraphic sequence and vertebrate-bearing beds of the lower part of the Yixian Formation in Sihetun and neighboring area, western Liaoning, China. *Vert PalAsiat*(古脊椎动物学报), **36**(2):81~101(in Chinese with English summary)
- Wang X L(汪筱林), Wang Y Q(王元青), Jin F(金帆) *et al.*, 1999a. The Sihetun fossil vertebrate assemblage and its geological setting in western Liaoning, China. *Palaeoworld*, (11):240~257(in Chinese with English summary)
- Wang X L(汪筱林), Wang Y Q(王元青), Jin F(金帆) *et al.*, 1999b. Vertebrate assemblages of the Jehol Biota in western Liaoning, China. In: Wang Y Q(王元青), Deng T(邓涛) eds. *Proceedings of Seventh Annual Meeting of the Chinese Society of Vertebrate Paleontology*. Beijing: China Ocean Press. 1~12(in Chinese with English summary)
- Wang Y(王原), 2000. A new salamander (Amphibia: Caudata) from the Early Cretaceous Jehol Biota. *Vert PalAsiat*(古脊椎动物学报), **38**(2):100~103
- Wang Y, Gao K, 1999. Earliest Asian discoglossid frog from western Liaoning. *Chinese Sci Bull*, **44**(7):636~642
- Xu X(徐星), Wang X L(汪筱林), 1998. New psittacosaur (Ornithischia, Ceratopsia) occurrence from the Yixian Formation of Liaoning, China and its stratigraphic significance. *Vert PalAsiat*(古脊椎动物学报), **36**(2):67~76(in Chinese with English summary)

- Xu X, Tang Z L, Wang X L, 1999a. A therizinosaurid dinosaur with integumentary structures from China. *Nature*, **399**:350~354
- Xu X, Wang X L, Wu X C, 1999b. A dromaeosaurid dinosaur with a filamentous integument from the Yixian Formation of China. *Nature*, **401**:262~266
- Zhang J Y(张江永), Jin F(金帆), Zhou Z H(周忠和), 1994. A review of Mesozoic Osteoglossomorph fish *Lycoptera longicephalus*. *Vert PalAsiat(古脊椎动物学报)*, **32**(1):41~59(in Chinese with English abstract)
- Zhou Z H(周忠和), 1995. Discovery of new enantiornithine bird from the Early Cretaceous of Liaoning, China. *Vert PalAsiat(古脊椎动物学报)*, **33**(2):99~113(in Chinese with English summary)
- Zhou Z H(周忠和), Wang X L(汪筱林), 2000. A new species of *Caudipteryx* from the Yixian Formation of Liaoning, northern China. *Vert PalAsiat(古脊椎动物学报)*, **38**(2):111~127
- Zhou Z H, Jin F, Zhang J Y, 1992. Preliminary report on a Mesozoic bird from Liaoning, China. *Chinese Sci Bull*, **37**:1365~1368