

辽西四合屯及周边地区义县组下部地层 层序与脊椎动物化石层位¹⁾

汪筱林 王元青 王 原 徐 星 唐治路 张福成 胡耀明

(中国科学院古脊椎动物与古人类研究所 北京 100044)

顾 罡 郝 兆 林

(辽宁省文物考古研究所 沈阳 110003) (辽宁省北票市地质矿产管理局 北票 122100)

摘要 辽西四合屯发掘和野外考察表明,四合屯及周边地区义县组下部地层由三段组成:第一段冲积相粗碎屑岩;第二段中基性火山熔岩;第三段滨—浅湖、半深湖—深湖相砂岩和页岩构成2个正旋回。其中第三段有上、下2个脊椎动物化石层位:尖山沟上部脊椎动物化石层和四合屯下部脊椎动物化石层。在四合屯厚度9m的发掘剖面上肯定了10个含鱼层、1个含蛙层、3个含龟层、5个含恐龙层和5个含鸟层。四合屯以鸟类和爬行类为代表的化石群埋藏于厚度166cm,富集于厚度84cm的湖相页岩中,记录了侏罗—白垩纪界线附近重大生物演化事件和脊椎动物集群死亡事件。孔子鸟和中华龙鸟不存在厚度14m的上下层位关系。湖相层凝灰岩和重力流事件沉积,反映盆地曾经为一水域宽阔、火山活动频繁的泛盆地。

关键词 辽宁西部四合屯,义县组下部,地层层序,脊椎动物化石层位

中图法分类号 P534.5

1 前言

中生代以来,中国东部受环太平洋构造域的控制。在此大地构造背景下,辽宁西部发育一系列北北东—北东向展布的中生代断陷盆地群,盆地基底为前中生代复杂岩石组合。盆地内中生代火山活动强烈。

辽西盆地沉积了较完整的侏罗纪—白垩纪陆相地层。地层连续,厚度较大,化石极其丰富。是以义县组、九佛堂组为代表的热河群和以 *Eosestheria*—*Ephemeropsis*—*Lycoptera* 为代表的热河动物群主要分布地区。近年来,在四合屯义县组下部页岩中发现大量形态特征接近德国索伦霍芬(Solnhofen)始祖鸟(*Archaeopteryx*)的圣贤孔子鸟(*Confuciusornis sanctus*) (侯连海等,1995; Hou *et al.*, 1995; Hou, 1995),这一发现打破了德国始祖鸟一百多年来一统天下的格局。在孔子鸟同层位发现的带“原始羽毛”的中华龙鸟

1) 中国科学院资源与生态环境研究重大项目(KZ951-B1-410)和国家自然科学基金(49672088)资助。

收稿日期:1997-12-08

(*Sinosauroptryx prima*) (季强, 姬书安, 1996), 代表一小型食肉类恐龙, 类似于索伦霍芬的美颌龙 (*Compsognathus*) (Chen *et al.*, 1998)。四合屯发现的大量保存完好的以孔子鸟为代表的中生代早期鸟类群和以中华龙鸟为代表的爬行动物组合, 轰动整个国际古生物界, 引起了国家有关部门的高度重视。在邻区尖山沟发现的第一件对齿兽类骨架——五尖张和兽 (*Zhangheotherium quinquecuspidens*) (Hu *et al.*, 1997) 和被子植物化石 (曹正尧等, 1997; 段淑英, 1997), 也引起了广泛的关注。这些重要的发现引发了关于鸟类起源与早期演化, 小型肉食类恐龙是热血还是冷血, 被子植物起源, 非海相侏罗—白垩系界线划分与对比, 义县组地层层序、时代归属和化石层位等问题的新一轮争论。同时也为解决这些重大问题提供了丰富的资料。

四合屯及其周边地区发现的重要脊椎动物化石, 是近几年当地群众首先发现和挖掘

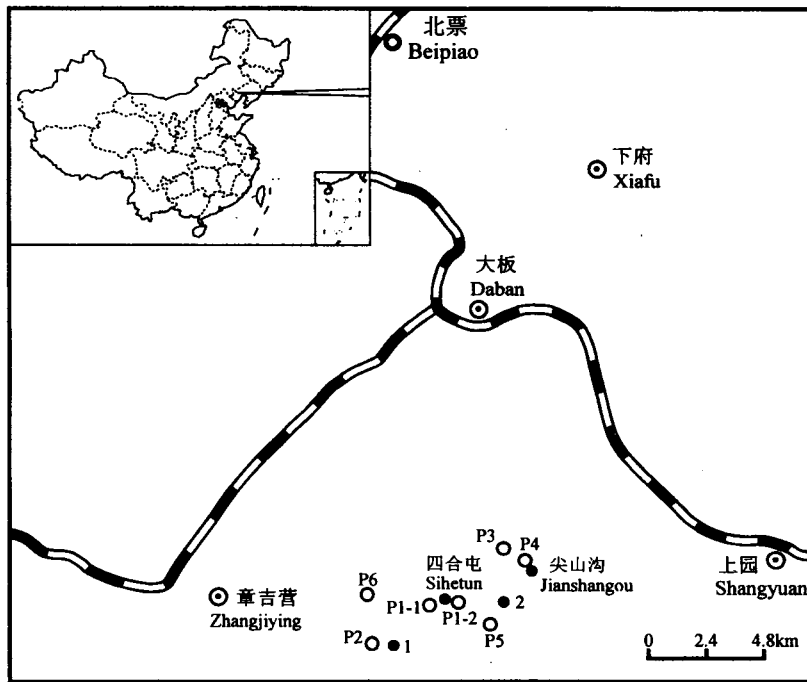


图 1 辽西四合屯及周边地区义县组下部地层剖面及化石点位置

1. 黑蹄子沟化石点 2. 团山沟化石点

P1-1. 四合屯剖面 P1-2. 四合屯沟口剖面 P2. 李八郎沟—黑蹄子沟剖面 P3. 黄半吉沟剖面

P4. 尖山沟剖面 P5. 伍代沟剖面 P6. 岔不干沟剖面

Fig.1 Sketch map showing the location of stratigraphic sections and fossil localities of the lower part of the Yixian Formation in Sihetun and neighboring area, western Liaoning

1. Heitizigou 2. Tuanshangou

P1-1. Sihetun section P1-2. Section at mouth of Sihetun valley

P2. Libalangou-Heitizigou section P3. Huangbanjigou section P4. Jianshangou section

P5. Wudaigou section P6. Chabugangou section

的,准确化石层位并不清楚。众所周知,没有准确层位的化石极易造成人为的混乱,严重影响研究结论的准确性与正确性。

1997年6—11月,中国科学院古脊椎动物与古人类研究所在中国科学院资源与生态环境研究重大项目和国家自然科学基金项目的支持下,组织研究人员先后赴辽西四合屯及其周边地区进行了为期3个月的野外地质和化石发掘工作。区域踏勘、重点观察和实测了7条义县组下部地层剖面和岩相剖面(图1),建立了义县组下部完整的地层层序,并在四合屯化石点进行了系统发掘和标本采集。发现了鱼类、两栖类、爬行类(龟鳖类、兽脚类、角龙类、翼龙类)、鸟类等脊椎动物化石和大量的无脊椎动物(叶肢介、双壳类、介形类、昆虫)及植物化石,其中两栖类是在四合屯地区首次发现。证明四合屯及周边地区义县组下部包含从鱼类到哺乳类所有脊椎动物各大类群的化石群,加上丰富的无脊椎动物与植物化石,完整地反映了侏罗—白垩纪界线附近重大生物演化事件,为恐龙演化、无尾两栖类、鸟类和兽类哺乳动物起源与早期演化研究提供了翔实和完整的古生物学资料。通过系统发掘和剖面测量,基本澄清了该地区富含以 *Confuciusornis*—*Sinosauroptryx*—*Zhangheotherium* 为代表的鸟类、爬行类和哺乳类化石层位及纵向序列。并且在当地有关人士的协助下,走访了十几位曾经挖掘采集过四合屯及周边地区脊椎动物化石的群众,实地考察了化石发现地点,基本肯定了这些化石的层位。在此基础上,采集了中基性火山熔岩、层凝灰岩和穿插于沉积层的中基性侵入体的同位素年龄样品,可望解决长期争论不休的义县组时代归属及脊椎动物群的年代问题。

2 地层层序与地层对比

由于断陷盆地构造性质、强烈的火山活动及多期构造作用的影响,使得辽西盆地群义县组岩石地层划分、对比及地层层序的建立存在较大困难。义县组岩石地层划分及名称使用一直比较混乱,有广义义县组(包括金刚山组、吐呼噜组等)和狭义义县组之分,历史上对义县组的划分就有许多不同方案(顾知微,1962;陈丕基等,1980,1988;郝诒纯等,1982,1986;王五力等,1989;辽宁省地质局,1989;金帆,1996;任东等,1997)。陈丕基等(1980)根据北票南岭车站至义县县城剖面及北票炒米甸子和义县枣茨山的辅助剖面,从义县组划分出尖山沟、上园、大康堡和金刚山四个沉积夹层,并指出化石层位主要集中在这四个沉积夹层中。金帆(1996)则建议统一以义县组代表冀北辽西地区包括大北沟组、“西瓜园组”、花吉营组、“金刚山组”、“建昌组”及狭义义县组与底部的沉积岩层在内的一套火山—沉积岩系。任东等(1997)将义县组划分为六段:一段为一套粗碎屑岩;二段为由2个旋回组成的碎屑岩;三、四段为火山岩,即狭义义县组;五段相当于金刚山层(组);六段相当于吐呼噜组(黄花山角砾岩)。并认为一、二段仅在四合屯发育,而其他地区缺失一段和二段下部地层。在四合屯及邻区李八郎沟、黑蹄子沟、岔不干沟、伍代沟、横道子、团山沟、尖山沟及黄半吉沟等地均可观察到出露较好的义县组下部地层。李八郎沟—四合屯剖面组成义县组下部较完整的地层层序,完全可以与黄半吉沟连续出露剖面直接对比(图2)。

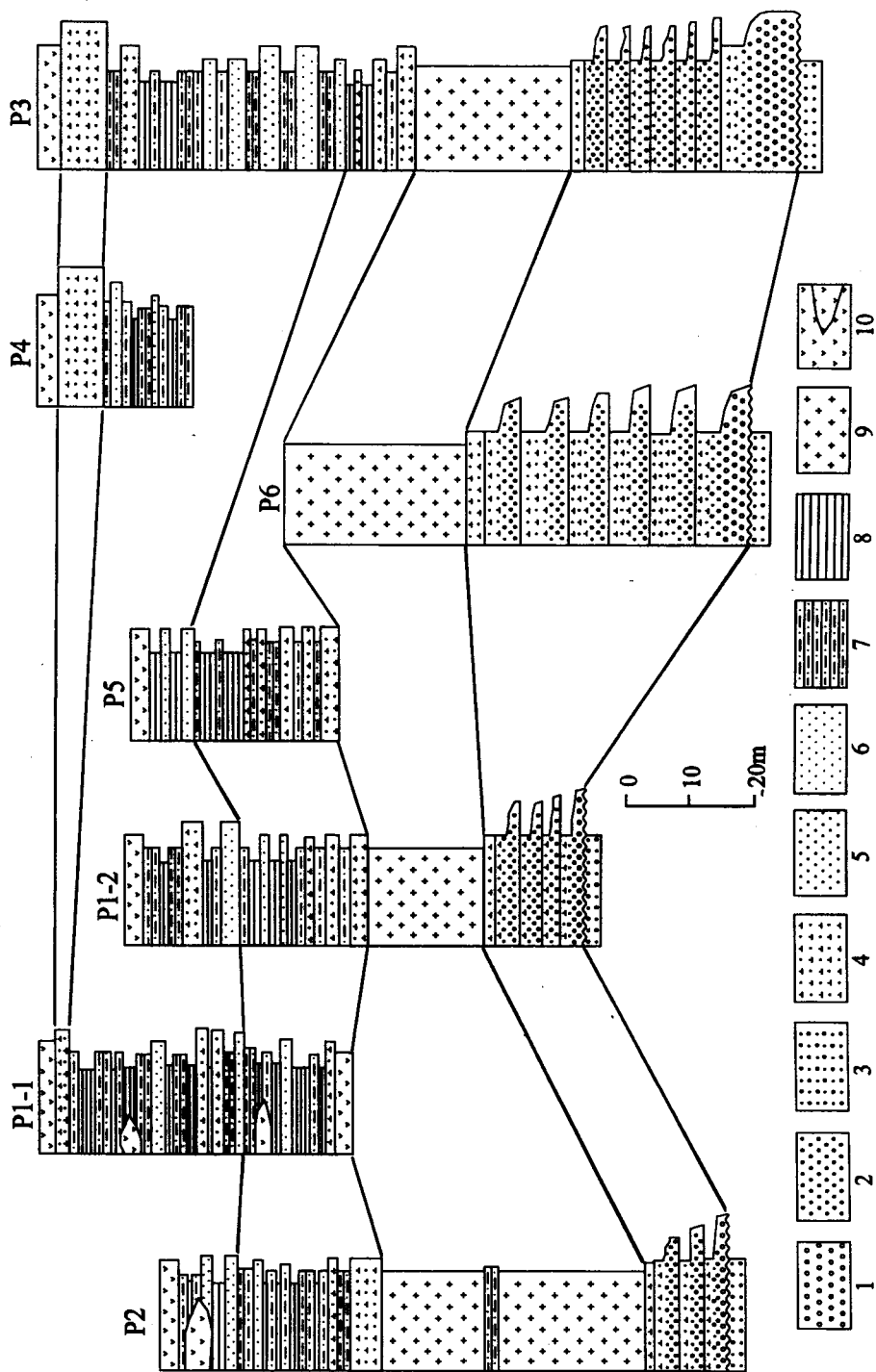


图2 四合屯及周边地区义县组下部地层对比

1. 粗砾岩 2. 中细砾岩 3. 砂砾岩 4. 凝灰质砂岩 5. 中粒砂岩 6. 细粒砂岩 7. 粉砂岩—粉砂质泥岩
8. 灰黑色页岩 9. 中基性火山熔岩 10. 中基性火山侵入岩

Fig.2 Lithostratigraphic correlation of the lower part of the Yixian Formation in Sihetun and neighboring area, western Liaoning

1. coarse conglomerate 2. medium-fine conglomerate 3. sandy conglomerate 4. tuffaceous sandstone 5. medium sandstone 6. fine sandstone 7. siltstone-silty mudstone 8. grayish-black shale 9. intermediate-basic volcanic lava 10. intermediate-basic subvolcanic rock

四合屯及其周边地区义县组下部综合地层剖面:

义县组: 厚 110—150m(未见顶)

第三段

9. 灰白色凝灰质含砾中粗粒砂岩, 未见顶。含 *Manchurochelys* sp.。其上为致密块状黑色中基性侵入岩体 7—10m
8. 上部灰绿色中细粒砂岩夹灰色、灰白色粉砂岩、粉砂质页岩, 含 *Manchurochelys* sp.; 中部灰色、灰黑色、灰白色页岩夹粉砂岩、粉砂质泥岩, 并夹多层灰白色、浅黄色层凝灰岩、凝灰质砂岩; 下部浅黄色粉砂质泥岩、泥岩, 变形层理发育。该层为上部尖山沟脊椎动物化石层。富含被子植物、似被子植物 *Liaoxia chenii*, *Eragrostites changii*, *Monocotyledon* Leaf; 叶肢介、三尾拟蜉游和其他昆虫类等; 鱼类 *Peipiaosteus pani*, *Lycoptera* sp.; 龟鳖类 *Manchurochelys liaoxiensis*, *M.* sp.; 翼龙类 *Eosipterus yangi*, *Pterodactyloidea* indet.; 哺乳类 *Zhangheotherium quinquecuspidens* 10—15m
7. 灰绿色、灰白色砂岩与粉砂岩、粉砂质页岩互层。在其上部, 可见黑色中基性侵入岩体穿插。中部夹数层灰白色含砾凝灰质中粗粒砂岩, 组成多个由粗到细的旋回 25—30m
6. 灰色、灰黑色、灰白色页岩夹浅黄色砂岩、粉砂岩、粉砂质泥岩, 并夹 10 余层浅黄色层凝灰岩、凝灰质砂岩及凝灰质泥岩。其中由 6 个小旋回组成的浅黄色凝灰质砂岩、凝灰岩在区域上较稳定, 为标志层。可见到黑色中基性侵入岩体穿插。该层为下部四合屯脊椎动物化石层。富含植物; 叶肢介、介形类、三尾拟蜉游和其他昆虫类等; 鱼类 *Peipiaosteus pani*, *Lycoptera* sp., *Sinamia* sp.; 无尾两栖类 *Anura* indet.; 龟鳖类 *Manchurochelys* sp., 兽脚类恐龙 *Sinosauropteryx prima*, *Theropoda* indet., 蜥脚类恐龙 *Sauropoda* indet., 角龙类 *Psittacosaurus* sp.; 鸟类 *Confuciusornis sanctus*, *C. sunae*, *C.* sp., *Liaoningornis longiditris*, *Protarchaeopteryx robusta* 8—12m
5. 灰白色、灰绿色凝灰质中粗—中细粒砂岩夹富含双壳类的灰绿色粉砂岩、粉砂质泥岩、页岩, 砂岩中也富含双壳类。底部含下伏气孔状安山玄武岩碎块。顶部有一层厚度大约 20cm 的含双壳类的砂岩, 区域上较稳定, 为标志层。含 *Peipiaosteus pani* 11—15m

第二段

4. 中基性火山熔岩。岩石为灰黑色、褐红色玄武岩、安山玄武岩、玄武安山岩, 局部风化后呈黄褐色。气孔、杏仁构造发育, 充填玛瑙及生长石英晶簇, 见流动构造 22m
3. 灰绿色、黄绿色凝灰质细砂岩、粉砂岩。含铁质结核。顶部见褐红色烘烤层。见植物化石碎片 2m
2. 中基性火山熔岩。岩石为灰黑色玄武岩、安山玄武岩、安山岩。向上岩石由基性变为中性, 颜色变浅, 气孔、杏仁构造逐渐发育而且定向, 流动构造明显。底部有 1—2m 厚的褐红色层, 流动构造极为发育 17m

第一段

1. 灰绿色凝灰质复成分粗砾岩、中细砾岩和砂岩等粗碎屑岩。粗粒砾石次圆状、圆状, 细

粒砾石棱角状、次棱角状,分选差。块状层或具正粒序层理。由多个正旋回组成,厚度变化较大。顶部见 1—2m 褐红色烘烤层。与下伏地层角度不整合接触 10—45m

~~~~~角度不整合~~~~~

下伏地层 土城子组三段杂色砂岩,含砾砂岩

未见底

| 岩性柱<br>Lithologic Column | 层<br>Beds | 主要脊椎动物化石<br>Fossil Vertebrates                                             | 沉积旋回<br>Sedimentary Cycles | 段<br>Members |
|--------------------------|-----------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------|--------------|
|                          | 9         | <i>Manchurochelys</i>                                                      | 3                          | 第三段          |
|                          | 8         | <i>Manchurochelys</i><br><i>Pterodactyloidea</i><br><i>Zhangheotherium</i> | 2                          |              |
|                          | 7         |                                                                            |                            |              |
|                          | 6         | <i>Sinosauropteryx</i><br><i>Psittacosaurus</i><br><i>Confuciusornis</i>   | 1                          |              |
|                          | 5         | <i>Peipiaosteus</i>                                                        |                            |              |
|                          | 4         |                                                                            | 2                          | 第二段          |
|                          | 3         |                                                                            | 1                          |              |
|                          | 2         |                                                                            |                            |              |
|                          | 1         |                                                                            | 1-7                        | 第一段          |
| 0                        |           |                                                                            |                            | 土城子组         |

图 3 四合屯及周边地区义县组下部综合地层剖面

Fig.3 The composite columnar section of the lower part of the Yixian Formation in Sihetun and neighboring area, western Liaoning

(图例参见图 2)(Legends see Fig.2)

义县组下部岩石地层层序由三段组成(图 3):

第一段(1层):冲积相粗碎屑岩。由灰绿色凝灰质复成分粗砾岩、中细砾岩和砂岩组成的粗碎屑岩,沉积旋回明显。底部与下伏土城子组呈明显角度不整合接触(图版 IV, 2)。厚度变化较大,在岔不干沟和黄半吉沟厚度最大,为 33—45m,李八郎沟和四合屯沟口厚度相对较小,为 10—16m。是盆地发育初期形成的冲积扇。第一段对应于任东等(1997)义县组下部第一段(四合屯村西剖面 1—2 层)。从四合屯向北至黄半吉沟—尖山沟一带,

厚度逐渐增大,并非逐渐尖灭。

第二段(2—4层):中基性火山熔岩。在李八郎沟剖面,可见到2个中基性火山熔岩—沉积岩的旋回。厚度在15—40m之间。该段大致相当于任东等(1997)四合屯村西剖面的3—5层。任东等(1997)认为该段火山岩与上部穿插于四合屯、尖山沟沉积层中的玄武岩为同一期火山岩的同一岩体。我们认为是两期火山活动的产物,理由如下:

1)第二段火山岩为中基性熔岩,气孔、杏仁构造极其发育,而且定向、流动构造明显。穿插于四合屯—尖山沟沉积层中的火山岩为中基性侵入岩,岩石黑色,致密块状。

2)第二段火山岩直接覆盖在第一段砂砾岩之上。下伏砂岩上部有1—2m厚的热接触带,呈红色、褐红色,与上覆凝灰质砂岩无任何热接触痕迹。穿插于四合屯—尖山沟沉积层中的中基性侵入岩与围岩有明显的黑色烘烤带。在四合屯发掘点剖面上2m厚的侵入体周围20—30cm的黑色烘烤带尤为明显(图版I,2)。

3)第二段火山岩旋回性明显,可划分出中基性火山熔岩—沉积岩2个火山旋回。穿插于四合屯—尖山沟沉积层中的中基性侵入体无旋回性。

4)第二段火山岩呈层状分布,总体上厚度变化不大,火山岩对上覆和下伏沉积层产状没有影响。穿插于四合屯—尖山沟沉积层中的中基性侵入体厚度变化很大,厚者可达百米以上,薄者仅1—2m。常呈岩床、岩墙形式产出,对围岩影响较大,穿插围岩并使围岩地层发生弯曲、褶皱、断裂和烘烤。

5)第二段火山岩上覆含双壳类的凝灰质砂岩底部沉积有该熔岩气孔状安山玄武岩碎块和砾石,反映了下伏火山熔岩形成在先,而正常砂岩沉积在后。

6)第二段火山岩在地层层序上位置固定。而穿插于四合屯—尖山沟沉积层中的中基性火山岩位置不固定,可侵入义县组下部地层的不同层位。在四合屯及其周边地区,该侵入体可穿插义县组4—5个不同层位,而且常常覆盖在沉积岩层的最顶部,在地貌上表现为正地形。并影响到第二段火山熔岩。

从已经掌握资料来看,四合屯及其周边地区义县组下部至少有两期中基性火山活动的证据。第一期形成于义县组沉积初期,为组成义县组下部第二段地层的中基性熔岩。第二期为后期穿插于四合屯—尖山沟及其周边地区义县组沉积层中的中基性侵入体,这期火山活动对义县组下部地层均产生不同程度的影响。

第三段(5—9层):滨—浅湖、半深湖—深湖相砂岩和页岩。主要为灰色、灰白色、灰绿色凝灰质砂岩、砂岩与灰色、灰黑色、灰白色页岩、粉砂质页岩、粉砂质泥岩互层。大致相当于陈丕基等(1980)所划分的义县组尖山沟沉积夹层,任东等(1997)义县组第二段(四合屯村西剖面6—8层)。该段由2个由粗到细的完整沉积旋回和1个不完整旋回组成。每一旋回上部细碎屑岩即为主要化石富集层位。第一旋回上部为四合屯下部脊椎动物化石层,第二旋回上部为尖山沟上部脊椎动物化石层。

第一旋回(5—6层):下部(5层)灰色、灰白色、灰绿色凝灰质砂岩夹灰绿色粉砂质页岩。底部凝灰质砂岩中含有下伏火山熔岩的砾石和碎块。砂岩中含有大量的双壳类化石,在粉砂质页岩夹层中,大量双壳类堆积。顶部有一层非常稳定的富含双壳类的砂岩,为明

显的标志层。该层厚度较小,在李八郎沟和四合屯沟口,厚度 12—15m,黄半吉沟厚度 5—8m。相当于任东等(1997)四合屯村西剖面的第 6 层。上部(6 层)灰色、灰黑色、灰白色页岩夹粉砂质页岩、粉砂质泥岩,并夹 10 余层浅黄色层凝灰岩、凝灰质砂岩、泥岩。在四合屯、李八郎沟厚度 10—12m,黄半吉沟厚度 8—10m 左右。相当于任东等(1997)四合屯村西剖面的第 7 层。该层化石丰富,含脊椎动物: *Peipiaosteus pani*、*Lycoptera* sp.、*Sinamia* sp.、*Anura* indet.、*Manchurochelys* sp.、*Sinosauropteryx prima*、*Theropoda* indet.、*Sauropoda* indet.、*Psittacosaurus* sp.、*Confuciusornis sanctus*、*C. sunae*、*C.* sp.、*Liaoningornis longiditris*、*Protarchaeopteryx robusta*; 无脊椎动物: 叶肢介、介形类、三尾拟蜉游及其他昆虫类等和植物。脊椎动物化石以 *Confuciusornis*—*Sinosauropteryx*—*Psittacosaurus* 为代表。

第二旋回(7—8 层): 下部(7 层)灰白色、灰绿色(含砾)凝灰质砂岩与灰绿色、灰黑色粉砂质页岩、页岩,旋回性明显。四合屯和黄半吉沟出露完整,黄半吉沟较四合屯厚度大,厚度在 20—30m 之间。大致相当于任东等(1997)四合屯村西剖面的第 8 层。上部(8 层)灰色、灰黑色、灰白色页岩夹粉砂岩、粉砂质泥岩,并夹 4—5 层灰白色、浅黄色层凝灰岩。在其下部发育一层厚度 3—5m 的浅黄色粉砂质泥岩、泥岩,可见同沉积变形构造。厚度 10—15m。该层含脊椎动物: *Peipiaosteus pani*、*Lycoptera* sp.、*Manchurochelys liaoxiensis*、*M.* sp.、*Eosipterus yangi*、*Pterodactyloidea* indet.、*Zhangheotherium quinquecuspidens*; 无脊椎动物: 叶肢介、三尾拟蜉游及其他昆虫等; 植物: *Liaoxia chenii*、*Eragrosites changii*、*Monocotyledon* Leaf。脊椎动物化石以 *Manchurochelys*—*Pterodactyloidea*—*Zhangheotherium* 为代表。

第三旋回(9 层): 灰白色含砾凝灰质砂岩。主要在黄半吉沟和尖山沟出露,约 7—10m。上部被中基性火山岩所覆盖,未见顶。富含 *Manchurochelys* sp.。

### 3 脊椎动物化石层位

迄今,在四合屯及周边地区发现了各大脊椎动物类群的化石(表 1)。然而,截至 1997 年中国科学院古脊椎动物与古人类研究所四合屯化石发掘为止,该地区近几年发现的大量脊椎动物化石几乎都是当地群众挖掘的,无法确定化石的准确层位和上下层位关系。在四合屯义县组先后发现和报道的圣贤孔子鸟、长趾辽宁鸟(*Liaoningornis longiditris*) (侯连海, 1996)和尚存争议的原始祖鸟(*Protarchaeopteryx robusta*) (季强, 姬书安, 1997)以及中华龙鸟等化石的准确层位及上下层位关系并不清楚。

前已述及,四合屯及周边地区义县组下部有 2 个明显的脊椎动物化石富集层位,即四合屯下部脊椎动物化石层和尖山沟上部脊椎动物化石层。这次野外发掘选择四合屯下部脊椎动物化石层(综合剖面第 6 层,图版 I, 1)。发掘工作从 10 月 12 日开始,11 月 3 日结束,历时 21 天,发掘面积约 35m<sup>2</sup>,发掘断面深度 9—10m(图版 I, 2)。通过发掘,发现、对比及考证肯定了 12 个含植物层,14 个含叶肢介层,15 个含昆虫层,10 个含鱼层,1 个含蛙层,3 个含龟层,5 个含恐龙层和 5 个含鸟层。共采集和获得各类脊椎动物化石近 60 件。



表1 辽西四合屯及周边地区义县组下部脊椎动物化石

Table 1 A summary of fossil vertebrates of the lower part of the Yixian Formation in Sihetun and neighboring area, western Liaoning

| 脊椎动物化石<br>Fossil Vertebrates                                    | 层位<br>Horizons | 化石地点<br>Localities | 备注<br>Note                |
|-----------------------------------------------------------------|----------------|--------------------|---------------------------|
| 鱼类 Pisces                                                       |                |                    |                           |
| <i>Lycoptera sinensis</i> Woodward, 1901                        | 尖山沟上部脊椎动物层     | 北票尖山沟              | 金帆等, 1995                 |
| <i>Lycoptera</i> sp.                                            | 四合屯下部脊椎动物层     | 北票四合屯              | 本次采集                      |
| <i>Peipiaosteus pani</i> Liu and Zhou, 1965                     | 尖山沟上部脊椎动物层     | 北票尖山沟              | 周忠和, 1992                 |
|                                                                 | 四合屯下部脊椎动物层     | 北票四合屯              | 本次采集                      |
| <i>Sinamia</i> sp.                                              | 四合屯下部脊椎动物层     | 北票四合屯              | 本次采集                      |
| 两栖类 Amphibia                                                    |                |                    |                           |
| <i>Anura</i> indet.                                             | 四合屯下部脊椎动物层     | 北票黑蹄子沟             |                           |
| 龟鳖类 Testudines                                                  |                |                    |                           |
| <i>Manchurochelys liaoxiensis</i> Ji, 1995                      | 尖山沟上部脊椎动物层     | 北票尖山沟              | 任东等, 1995                 |
| <i>Manchurochelys</i> sp.                                       | 尖山沟上部脊椎动物层     | 北票尖山沟              | 本次采集                      |
|                                                                 | 四合屯下部脊椎动物层     | 北票四合屯              | 本次采集                      |
| 蜥蜴类 Lacertilia                                                  |                |                    |                           |
| <i>Yabeinosaurus tenuis</i> Endo & Shikama, 1942                | 尖山沟上部脊椎动物层     | 北票尖山沟              | 任东等, 1995                 |
| 兽脚类 Theropoda                                                   |                |                    |                           |
| <i>Sinosauropteryx prima</i> Ji and Ji, 1996                    | 四合屯下部脊椎动物层     | 北票四合屯              | Chen <i>et al.</i> , 1998 |
| Theropoda indet.                                                | 四合屯下部脊椎动物层     | 北票四合屯              |                           |
| 蜥脚类 Sauropoda                                                   |                |                    |                           |
| Sauropoda indet.                                                | 四合屯下部脊椎动物层     | 北票四合屯              |                           |
| 角龙类 Ceratopsia                                                  |                |                    |                           |
| <i>Psittacosaurus</i> sp.                                       | 四合屯下部脊椎动物层     | 北票四合屯              | 徐星, 汪筱林, 1998; 本次采集       |
| 翼龙类 Pterosauria                                                 |                |                    |                           |
| <i>Eosipterus yangi</i> Ji and Ji, 1997                         | 尖山沟上部脊椎动物层     | 北票尖山沟              |                           |
| Pterodactyloidea indet.                                         | 尖山沟上部脊椎动物层     | 北票团山沟              |                           |
| 鸟类 Aves                                                         |                |                    |                           |
| <i>Confuciusornis sanctus</i> Hou <i>et al.</i> , 1995          | 四合屯下部脊椎动物层     | 北票四合屯              |                           |
| <i>C. sunae</i> Hou, 1997                                       | 四合屯下部脊椎动物层     | 北票四合屯              |                           |
| <i>C. chuonzhous</i> Hou, 1997                                  | 四合屯下部脊椎动物层     | 北票四合屯              |                           |
| <i>C.</i> sp.                                                   | 四合屯下部脊椎动物层     | 北票四合屯              | 本次采集                      |
| <i>Liaoningornis longiditris</i> Hou, 1996                      | 四合屯下部脊椎动物层     | 北票四合屯              |                           |
| <i>Protarchaeopteryx robusta</i> Ji and Ji, 1997                | 四合屯下部脊椎动物层     | 北票四合屯              |                           |
| 哺乳类 Mammalia                                                    |                |                    |                           |
| <i>Zhangheotherium quinquecuspidens</i> Hu <i>et al.</i> , 1997 | 尖山沟上部脊椎动物层     | 北票尖山沟              |                           |

在 9m 厚的发掘剖面上, 从上至下分为 29 层, 可以详细分辨出 78 个小旋回 (图版 II, III)。现将野外观察和确定的岩性特征、厚度和含化石层逐层报道如下:

1. 灰色粉砂质页岩, 含粉砂质页岩。含植物、东方叶肢介、三尾拟蜉游 33cm
2. 黄色、黄褐色泥岩、含粉砂质页岩 2cm
3. 灰色、灰黑色页岩、含粉砂质页岩。含植物、东方叶肢介 50cm
4. 黄色、黄褐色粉砂岩、泥质粉砂岩。第 1 标志层 8cm
5. 灰绿色粉砂质页岩夹泥岩, 含铁质斑点或结核 50cm
6. 灰色粉砂质页岩与泥岩互层, 上部见波状纹层 67cm
7. 灰色页岩。含植物、东方叶肢介、三尾拟蜉游及其他昆虫化石 60cm
8. 灰色、灰白色页岩夹薄层黄色凝灰质细砂岩, 组成 5 个由粗到细的小旋回。富含东方叶肢介、三尾拟蜉游。第 2 标志层 30cm
9. 灰白色页岩, 纸片状。具波状纹层。含植物、东方叶肢介 15cm
10. 灰黑色页岩。富含植物、东方叶肢介、三尾拟蜉游 13cm
11. 黄褐色泥岩。第 3 标志层 3cm
12. 灰色页岩夹黄色凝灰质中粗粒砂岩、细砂岩, 组成 3 个小旋回。见完整的鲍玛序列。含植物、东方叶肢介。第 4 标志层 22cm
13. 灰色纸片状页岩, 在发掘剖面上, 有黑色致密中基性火成岩侵入。含植物, 富含东方叶肢介、三尾拟蜉游及其他昆虫化石 36cm
14. 浅黄色、黄绿色粉砂质泥岩, 凝灰质成分高。第 5 标志层 3cm
15. 灰色页岩, 纸片状, 发育同沉积变形层理。富含东方叶肢介、三尾拟蜉游 11cm
16. 黄褐色粉砂岩。第 6 标志层 1cm
17. 灰黑色页岩。富含东方叶肢介、三尾拟蜉游 19cm
18. 灰色页岩夹黄色、浅黄色层凝灰岩、凝灰质砂岩、泥岩, 页岩中富含火山灰蚀变物质。组成 6 个下粗上细的正旋回, 含被子植物、东方叶肢介。该层区域上比较稳定, 为最明显的标志层——第 7 标志层 115cm
19. 灰黑色页岩夹薄层灰白、浅黄色砂岩、粉砂岩。分为 5 个小旋回。含植物、东方叶肢介 27cm
20. 灰色页岩夹灰白色粉砂岩。分为 11 个小旋回。含植物、东方叶肢介、三尾拟蜉游。其中第 6 旋回上部页岩中含 *Lycoptera* sp.、*Peipiaosteus pani* 55cm
21. 灰黑色页岩夹黄褐色中细粒砂岩。分为 2 层。第 1 层含 *Lycoptera* sp.、*Peipiaosteus pani*; 第 2 层下部 9cm 厚具平行层理的黄褐色中细粒砂岩。第 8 标志层 25cm
22. 灰色页岩夹浅黄色粉砂岩、粉砂质泥岩, 厚度在横向上变化较大, 最厚达 40cm。可分辨出 4—5 个小旋回。发育滑塌构造。含两层 *Peipiaosteus pani* 19cm
23. 灰黑色页岩夹薄层黄褐色中细粒砂岩、浅黄色粉砂岩、粉砂质泥岩。可分辨出 8 个小旋回, 第 8 旋回下部为厚 6cm 浅黄色粉砂质泥岩。未发现化石 39cm
24. 灰色页岩夹浅黄色粉砂岩、粉砂质泥岩。可分为 6 个小旋回。第 1 旋回上部页岩中含 *Peipiaosteus pani* 31cm
25. 灰色页岩夹浅黄色、黄褐色细砂岩、粉砂岩。可分为 3 个小旋回。第 1 旋回上部 10cm 厚灰色页岩中含 *Peipiaosteus pani*; 第 2 旋回上部 8cm 厚灰色页岩中含少量 *Peipiaosteus pani*、*Confuciusornis* sp.、*Psittacosaurus* sp. 28cm

26. 灰白色硅化泥岩、页岩, 致密坚硬。富含植物、东方叶肢介、三尾拟蜉游和其他昆虫类化石; 含 *Peipiaosteus pani*、*Manchurochelys* sp.、*Confuciusornis* sp. 24cm
27. 灰白色、灰色泥岩夹黄褐色泥岩, 发育水平层理和变形层理。细分为 3 个小旋回。富含植物、东方叶肢介、三尾拟蜉游及其他昆虫化石  
26—27 层在区域上比较稳定, 为明显的标志层——第 9 标志层 30cm
28. 灰黑色页岩夹浅黄色、黄褐色细砂岩、粉砂岩。主要的脊椎动物化石层。可分为 2 个小旋回: 31cm  
(1) 8cm。上部 4cm 厚灰黑色页岩, 含植物、东方叶肢介、介形类、三尾拟蜉游和其他昆虫化石; 含 *Sinosauropteryx prima*  
(2) 23cm。上部 10cm 厚致密坚硬的灰黑色页岩, 富含东方叶肢介、三尾拟蜉游及其他昆虫化石, 含 *Sinamia* sp.、*Psittacosaurus* sp.、*Confuciusornis* sp.、*Liaoningornis longiditris*; 中部 4cm 厚灰色泥页岩, 含 *Psittacosaurus* sp.、*Theropoda* indet., 为主要含鸚鵡嘴龙化石层, 也是恐龙化石富集层; 下部 9cm 厚水平层理发育的浅黄色、黄褐色细砂岩, 为明显的标志层——第 10 标志层
29. 灰黑色页岩夹薄层黄褐色粉砂质泥岩。主要的脊椎动物化石层。可分为 4 个小旋回: 53cm  
(1) 20cm。上部 8cm 厚灰黑色页岩夹 3 层灰白色粉砂岩, 含少量 *Psittacosaurus* sp.、*Sauropoda* indet.; 下部 2cm 厚黄褐色粉砂岩, 见对称波痕  
(2) 7cm。上部 3cm 厚灰黑色页岩。含东方叶肢介、三尾拟蜉游及其他昆虫化石; 下部 4cm 厚灰黑色页岩与黄褐色、灰白色粉砂质泥岩互层, 富含 *Confuciusornis sanctus*, 其中鸟化石层厚度 0.5cm, 为主要的孔子鸟化石层  
(3) 15cm。上部 9cm 厚灰黑色页岩, 含 *Sinosauropteryx prima*、*Psittacosaurus* sp., 为主要的中华龙鸟化石层; 下部 6cm 厚灰黑色页岩、灰白色粉砂岩与黄褐色泥岩呈韵律层  
(4) 11cm。上部 10cm 厚灰黑色页岩, 富含 *Lycoptera* sp.、*Confuciusornis* sp.。含植物、东方叶肢介、三尾拟蜉游及其他昆虫。鸟化石层厚 0.5cm, 为最主要的含孔子鸟化石层

发掘点剖面未见底。在整个四合屯化石发掘区, 当地群众仅仅挖掘至 29(4) 层最下一层含鸟化石层为止 (图版 III)。从发掘点向北 200m 左右, 可见到含化石页岩之下为厚 20cm 左右的一层含双壳类的凝灰质砂岩 (综合剖面第 5 层), 砂岩之下穿插中基性侵入体。对比李八郎沟剖面, 四合屯含鸟层之下大约 1—2m 即到下伏含双壳类的凝灰质砂岩层, 该层至今未发现除鱼之外的其他脊椎动物化石。

这次发掘发现 10 个含鱼层, 共计 40 余件。包括 *Peipiaosteus pani*、*Lycoptera* sp. 和 *Sinamia* sp.。野外踏勘时在综合剖面第 5 层上部 (李八郎沟) 发现一件 *Peipiaosteus pani*。

圣贤孔子鸟正型标本的层位经过考证及对标本赋存岩石的详细对比, 被确认为 29(2) 层; 长趾辽宁鸟对应到 28(2) 层; 孙氏孔子鸟 (*Confuciusornis sunae*) (侯连海, 1997) 为 29(4) 层, 这次发掘在该层共采集完整的鸟类化石 6 件, 也是迄今为止发现的义县组最下

部含鸟化石层。在李八郎沟大致相当于 28 层发现一件反鸟类祖先类型化石,其准确层位有待进一步确认。

关于中华龙鸟、原始祖鸟的层位,最近有报道强调中华龙鸟和孔子鸟之间存在 14m 的上下层位关系(季强,姬书安,1997;任东等,1997),认为中华龙鸟和原始祖鸟的层位为任东等(1997)四合屯西剖面第 6 层(第二段),相当于我们所建立地层综合剖面第 5 层(第三段第一旋回下部)。该层主要岩性为凝灰质中粗粒—中细粒砂岩夹薄层粉砂质泥岩、粉砂质页岩,富含双壳类。在李八郎沟和四合屯沟口厚度为 12—15m;在四合屯化石发掘点周围,仅仅见到大约 20cm 厚的一层含双壳类的砂岩,其下即为中基性侵入体。而且在四合屯及周边地区化石发掘现场,至今没有发掘到这一层位,该层除富含双壳类及在李八郎沟发现少量植物化石碎片和北票鲟外,没有发现其他脊椎动物化石。另外,所报道的中华龙鸟化石采坑(任东,姬书安,1997),经过我们多次野外详细对比,与所发掘的化石层(我们建立的剖面第 6 层)完全一致,而且挖掘深度仅仅到最下一层含鸟化石层为止。据当地群众介绍,中华龙鸟采集地点并非该采坑,并在发掘剖面上指认 2 件中华龙鸟标本分别采自 28(1)和 29(3)层。原始祖鸟具体发现地点目前尚不清楚,但从岩性组合分析判断,应与孔子鸟和中华龙鸟赋存层位为同一套沉积。原始祖鸟的层位暂时对应到 28—29 层,其准确层位有待进一步发掘证实。

在发掘剖面的第 28(2)层,发现了 1 件鸚鵡嘴龙化石,另外还收集到产于该层的 1 个体远大于已报道的中华龙鸟并保存有类似“毛”状结构的兽脚类恐龙。

黑蹄子沟发现的无尾两栖类化石大致对应到四合屯剖面的第 28 层。

除鱼之外,四合屯发现的其他脊椎动物化石都埋藏于厚度 166cm(剖面位置 734—900cm)的第 25—29 层,富集于厚度 84cm(剖面位置 816—900cm)的第 28—29 层湖相页岩中(图 4)。

根据第 9 和第 10 两层明显的标志层,可将四合屯下部脊椎动物化石层大致分为 3 部分(图版 III):

1) 第 9 标志层之上,剖面 25—26 层(厚度 82cm): 含 *Peipiaosteus pani*、*Manchurochelys* sp.、*Psittacosaurus* sp.、*Confuciusornis* sp.。化石较少。

2) 第 9—10 标志层之间,剖面 28 层(厚度 31cm): 含 *Sinamia* sp.、*Anura* indet.、*Manchurochelys* sp.、*Psittacosaurus* sp.、*Sinosauropteryx prima*、*Theropoda* indet. (“feathered”)、*Liaoningornis longiditris*。化石富集。

3) 第 10 标志层之下,剖面 29 层(厚度 53cm): 含 *Lycoptera* sp.、*Sauropoda* indet.、*Sinosauropteryx prima*、*Psittacosaurus* sp.、*Confuciusornis sanctus*、*C. sunae*、*C.* sp.。化石富集,最主要的孔子鸟和中华龙鸟化石层。

已报道的孔子鸟和中华龙鸟正型标本几乎为同一层,不存在厚度 14m 的上下层位关系。

尖山沟上部脊椎动物化石层(综合剖面第 8 层)在尖山沟村旁的陡崖断面上,可见到 4—5 个层凝灰岩沉积夹层,在第 2 层凝灰岩之下大约 20cm,为哺乳动物五尖张和兽正型标本埋藏层。该地点至少发现 3 层北票鲟,曾经发现过满洲龟。

在第 8 层底部浅黄色泥岩相当层位,团山沟发现翼龙类,黄半吉沟富集保存完好的潘

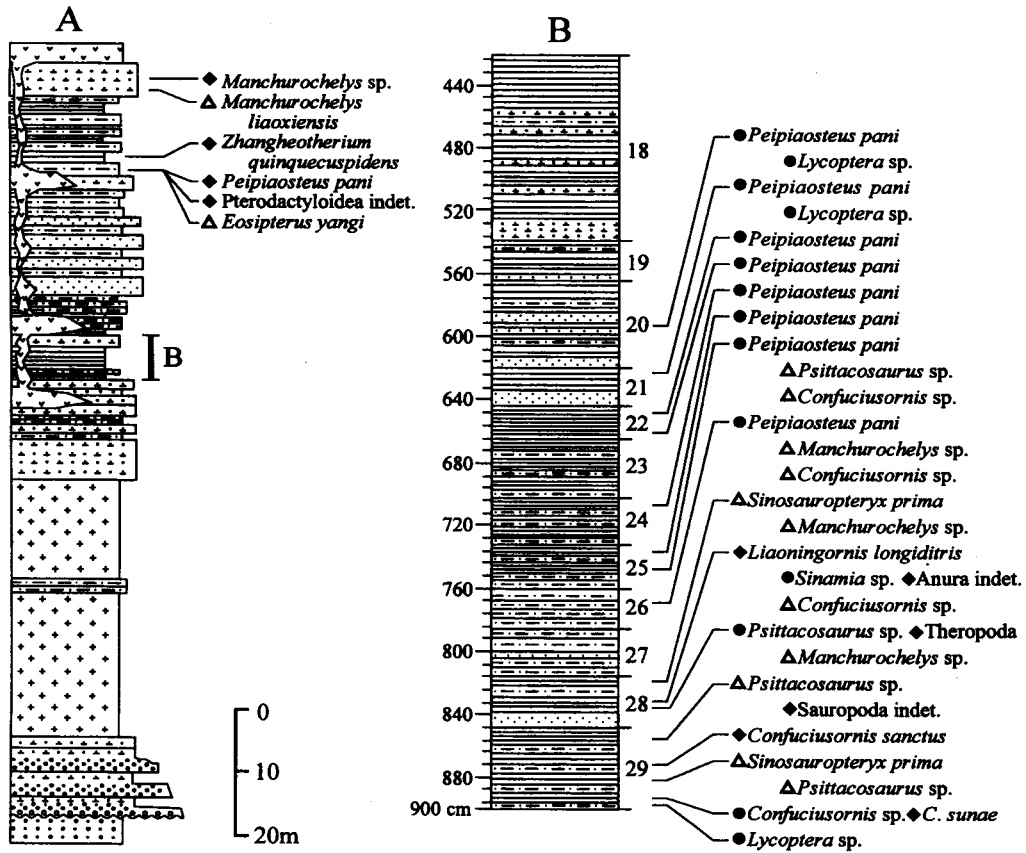


图 4 辽西四合屯及周边地区义县组下部脊椎动物化石及其层位

A 综合柱状剖面 B 发掘剖面

●本次发现的化石 ◆层位经核实的化石 △层位经调查核实的化石

Fig.3 The composite stratigraphic section (A) and the excavating profile (B) showing the fossil vertebrate-bearing beds of the lower part of the Yixian Formation in Sihetun and neighboring area, western Liaoning

(图例参见图 2) (Legends see Fig.2)

● Fossil vertebrates collected during this excavation ◆ Fossil vertebrates with confirmed horizons  
△ Fossil vertebrates with investigated horizons

氏北票鲟和植物化石。第 9 层灰白色凝灰质砂岩中, 产有大量的满洲龟。姬书安(见任东等, 1995) 记述的辽西满洲龟 (*Manchurochelys liaoxiensis*) 属于尖山沟上部脊椎动物化石层。

此外, 姬书安和季强 (1997) 描述的杨氏东方翼龙 (*Eosipterus yangi*) 可能产于尖山沟上部脊椎动物化石层, 而不是任东等 (1997) 四合屯西剖面第 7 层 (四合屯下部脊椎动物化石层) 或金刚山沉积夹层, 准确层位有待进一步确认。

## 4 义县组沉积相与沉积环境初步分析

四合屯及周边地区义县组下部代表陆相冲积扇、滨—浅湖和半深湖—深湖环境。

### 4.1 冲积相

义县组第一段粗碎屑岩为代表。主要岩性为灰绿色凝灰质中粗、中细砾岩和砂岩。砾石杂乱堆积,磨圆、分选极差,粗砾较细砾磨圆好,可能为二次搬运的产物。常呈块状层或正粒序层理。砾石成分主要为下伏土城子组砂砾岩,含有少量火山岩、石英岩和片麻岩之砾石。沉积旋回明显,一般表现为由粗到细的正旋回。物质成分、结构构造、厚度变化及野外产状等方面分析,反映盆地形成初期构造活跃,快速剥蚀,间歇性洪水导致的近距离快速搬运的泥石流堆积,形成山前冲积扇扇根沉积组合,不发育扇中和扇尾沉积。

### 4.2 湖泊相

义县组第三段沉积为典型的湖泊相沉积组合,除发育滨—浅湖正常沉积外,发现数十层半深湖—深湖相重力流事件沉积,主要为斜坡环境的滑动—滑塌沉积和浊流沉积等。

#### 4.2.1 滑动—滑塌沉积

多见于义县组第三段第一、二旋回上部页岩为主的岩性组合中。滑塌构造和变形层理极其发育。其特征为粉砂质泥岩、泥岩或粉砂质页岩,页岩发生强烈的弯曲变形。主要表现为2种形式:一是同层岩石发生变形,如黄半吉沟剖面(综合剖面)第8层下部厚1—2m的浅黄色泥岩发生强烈变形,在四合屯发掘剖面可见到多层具有变形层理的页岩;二是多层岩石组合发生变形,如四合屯发掘剖面第22层,4—5个由黄色粉砂岩—页岩组成的沉积旋回受到影响而发生强烈的褶皱变形,形成滑塌构造(图版IV,1)。代表发育斜坡的半深湖环境下形成的块体重力流沉积。

#### 4.2.2 浊流沉积

在义县组第三段第一、二旋回上部页岩中发现数十层,主要由火山凝灰岩和凝灰质砂岩、泥岩组成。发育正粒序层理,可见到完整的鲍玛序列(Bouma sequence),厚度在4—50cm之间,如在四合屯发掘剖面第18层有6个明显的浊积岩序列,反映半深湖—深湖相的浊流沉积。

形成于义县组第三段第一、二旋回上部重力流事件沉积,初步分析是由于同沉积断裂活动或突发事件(火山、地震等)诱导,在半深湖—深湖环境下形成的沉积组合。我们认为盆地曾经一度发展为水体相对较深、水域宽阔、水动力条件较弱,而且湖底高低不平的泛盆地。区域火山活动强烈、频繁,既为盆地提供了物源,又诱发湖底重力流沉积。现今的盆地格局是后期构造作用改造的结果。

义县组第三段沉积组合反映了盆地由滨—浅湖到半深湖—深湖环境的完整演化过程。以鸟类和爬行类为代表的脊椎动物组合埋藏于浅湖—半深湖环境中。

## 5 结语

1)四合屯及周边地区义县组下部地层层序由三段组成:第一段为冲积相粗碎屑岩;第

二段为中基性火山熔岩; 第三段由滨—浅湖、半深湖—深湖相砂岩和页岩组成 2 个正旋回。

2) 工作区内至少存在两次中基性火山事件。一次为组成义县组第二段的中基性火山熔岩, 另一次为后期穿插于义县组地层中的中基性火山侵入体。

3) 义县组第三段湖相沉积相当于尖山沟沉积夹层, 包括 2 个主要的脊椎动物化石层位, 即四合屯下部脊椎动物化石层和尖山沟上部脊椎动物化石层。

4) 在四合屯 9m 厚的发掘剖面上肯定了 10 个含鱼层, 1 个含蛙层, 3 个含龟层, 5 个含恐龙层和 5 个含鸟层。证实了四合屯及周边地区包含从鱼类、两栖类、爬行类、鸟类到哺乳类所有各大类群的脊椎动物群。化石埋藏丰富, 保存完美, 明显地反映了侏罗—白垩纪界线附近重大生物演化事件。

5) 四合屯下部脊椎动物化石层以 *Confuciusornis*—*Sinosauropteryx*—*Psittacosaurus* 为代表的鸟类和爬行类动物群赋存于义县组下部第三段第一旋回上部湖相页岩中(综合剖面第 6 层)。化石埋藏层厚度 166cm, 富集层厚度 84cm。真实地记录了侏罗—白垩纪界线附近重大脊椎动物集群死亡事件。孔子鸟和中华龙鸟几乎埋藏于同一层, 两者之间不存在厚度 14m 的上下层位关系。

6) 义县组第三段沉积反映了盆地由滨—浅湖到半深湖—深湖环境的较完整的演化过程。火山凝灰岩和重力流事件沉积表明盆地曾经一度发展为水体相对较深、水域宽阔、区域火山活动频繁的泛盆地。以鸟类和爬行类为代表的脊椎动物群埋藏于浅湖—半深湖环境中。

**致谢** 本研究得到中国科学院资源与生态环境研究重大项目“辽西热河生物群综合研究”(编号: KZ951-B1-410) 和国家自然科学基金项目“辽宁侏罗纪鸟类群及鸟类起源和飞行起源”(编号: 49672088) 的资助。参加野外发掘工作的还有董军社、王乡城、姜玉山、张杰、李岩、董守朋、鲍文清、刘毅弘、金迅; 叶捷研究员、金帆副研究员、王乡城工程师、周忠和博士、尤海鲁博士在野外期间就地层等问题进行了有益的讨论。中国科学院古脊椎动物与古人类研究所董枝明研究员、金帆副研究员和侯连海研究员认真审阅了本文初稿, 并提出许多有益的建议和修改意见。野外照片和图版由张杰先生精心制作; 金昌柱副研究员、张江永副研究员在计算机制图上给予帮助。野外工作中还得到辽宁省、朝阳市、北票市有关部门和领导的支持以及四合屯村群众的大力协助; 李海山先生协助核实有关化石产地及层位。谨对上述人员和部门表示衷心的感谢。

## 参 考 文 献

- 王五力, 郑少林, 张立君等, 1989. 辽西西部中生代地层古生物(1). 北京: 地质出版社. 1—168
- 辽宁省地质矿产局, 1989. 辽宁省区域地质志. 中华人民共和国地质矿产部地质专报, 区域地质, 第 14 号
- 任 东, 卢立伍, 郭子光等, 1995. 北京与邻区侏罗—白垩纪动物群及其地层. 北京: 地震出版社. 1—222
- 任 东, 姬书安, 1997. 一九九七年春季辽宁古鸟类化石中外联合考察活动简介. 中国地质, (7): 33—34. 25
- 任 东, 郭子光, 卢立伍等, 1997. 辽西西部上侏罗统义县组研究新进展. 地质论评, 43(5): 449—459
- 刘宪亨, 周家健, 1965. 辽宁北票晚侏罗世鲟类一新科. 古脊椎动物与古人类, 9(3): 237—247
- 陈丕基, 1988. 热河生物群的分布与迁移. 古生物学报, 27(6): 659—683

- 陈丕基, 文世宣, 周志炎等, 1980. 辽宁西部晚中生代陆相地层研究. 中国科学院南京地质古生物研究所丛刊, 第 1 号: 22—55
- 金 帆, 1996. 辽宁西部晚中生代地层研究之进展及存在问题. 古脊椎动物学报, 34(2): 102—122
- 金 帆, 张江永, 周忠和, 1995. 辽宁西部晚中生代鱼群. 古脊椎动物学报, 33(3): 169—193
- 周忠和, 1992. 潘氏北票鲟的新材料及鲟类的系统关系. 古脊椎动物学报, 30(2): 85—101
- 季 强, 姬书安, 1996. 中国最早鸟类化石的发现及鸟类的起源. 中国地质, (10): 30—33
- 季 强, 姬书安, 1997. 原始祖鸟 (*Protarchaeopteryx* gen. nov.)——中国的始祖鸟类化石. 中国地质, (3): 38—41
- 郝治纯, 苏德英, 李友桂等, 1982. 论中国非海相白垩系的划分及侏罗—白垩系分界. 地质学报, 56(3): 187—199
- 郝治纯, 苏德英, 余静贤等, 1986. 中国的白垩系. 北京: 地质出版社. 1—301
- 段淑英, 1997. 具三心皮结构被子植物生殖器官. 中国科学(B), 27(6): 519—524
- 侯连海, 1996. 中国发现侏罗纪龙骨突鸟类. 科学通报, 41(20): 1861—1864
- 侯连海, 1997. 中国中生代鸟类. 台北: 台湾省立凤凰谷鸟园. 1—143
- 侯连海, 周忠和, 顾玉才等, 1995. 侏罗纪鸟类化石在中国的首次发现. 科学通报, 40(8): 726—729
- 顾知微, 1962. 中国的侏罗系和白垩系. 北京: 科学出版社. 1—84
- 姬书安, 季强, 1997. 辽宁西部翼龙类化石的首次发现. 地质学报, 71(1): 1—5
- 徐星, 汪筱林, 1998. 辽西义县组鸚鵡嘴龙(鸟臀目, 角龙亚目)新材料及其地层学意义. 古脊椎动物学报, 36(2): 147—158
- 胡耀明, 王元青, 李传夔等, 1998. 张和兽 (*Zhangheotherium*) 齿列和前肢形态. 古脊椎动物学报, 36(2): 102—125
- 曹正尧, 吴舜卿, 张平安等, 1997. 辽西义县组单子叶植物化石的发现. 科学通报, 42(16): 1764—1766
- Chen P J, Dong Z M, Zhen S N, 1998. An exceptionally well-preserved theropod dinosaur from the Yixian Formation of China. *Nature*, 391: 147—152
- Hou L H, 1995. Morphological comparisons between *Confuciusornis* and *Archaeopteryx*. In: Sun A L, Wang Y Q eds. Sixth Symposium on Mesozoic Terrestrial Ecosystems and Biota, Short Papers. Beijing: China Ocean Press. 193—201
- Hou L H, Zhou Z H, Martin L D *et al.*, 1995. A beaked bird from the Jurassic of China. *Nature*, 377: 616
- 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

## STRATIGRAPHIC SEQUENCE AND VERTEBRATE-BEARING BEDS OF THE LOWER PART OF THE YIXIAN FORMATION IN SIHETUN AND NEIGHBORING AREA, WESTERN LIAONING, CHINA

WANG Xiaolin WANG Yuanqing WANG Yuan XU Xing TANG Zhilu  
ZHANG Fucheng HU Yaoming

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

GU Gang

(Institute of Archaeology of Liaoning Province Shenyang 110003)

HAO Zhaolin

(Geological and Mineral Resources Bureau of Beipiao Beipiao 122100)

**Key words** Sihetun, Western Liaoning, Yixian Formation, Stratigraphic



## Sequence, Vertebrate-bearing beds

## Summary

In the past four years, a large number of fossil vertebrate specimens, including birds and "feathered" dinosaur, were discovered from the lower part of the Yixian Formation in Sihetun and neighboring area of Beipiao City, western Liaoning, northeastern China. These findings have been attracting scientists of vertebrate paleontology and various related fields, because they provide some important evidence in understanding certain great evolutionary events and the interrelationship of vertebrate evolution and mass mortality to paleoenvironmental changes. Recent geological survey reveals that the lithostratigraphic sequence of the lower part of the Yixian Formation consists of three members: (1) the first and lowest member consists of the deposits of alluvial fan cycles with alluvial macroclastic rocks; (2) the second member is intermediate-basic lava; (3) the third member is composed of lacustrine sediments of two depositional cycles from shallow to deep lacustrine facies. Two vertebrate-bearing horizons of this member, the lower Sihetun horizon and the upper Jianshangou horizon, have been recognized in this region. They comprise the upper parts of the first and second depositional cycles of the third member, respectively.

The composite section of the lower part of the Yixian Formation in Sihetun and neighboring area can be summarized as follows in descending order (Fig. 2, 3):

Yixian Formation: > 110—150m (top beds not seen)

## Third Member

9. Grayish-white tuffaceous coarse-medium sandstone with fine gravels, covered by black intermediate-basic volcanic rock. Fossils from the bed include turtle: *Manchurochelys* sp. 7—10m thick.

8. Grayish-green medium-fine sandstone with gray and grayish-white siltstone, silty shale in the upper part; grey, grayish-black, grayish-white shale with siltstone, silty mudstone and grayish-white, light yellow tuffite, tuffaceous sandstone and mudstone in the middle part; light yellow silty mudstone, mudstone with convolute bedding in the lower part. This is the upper vertebrate-bearing horizon represented by the fossil localities at Jianshangou and Huangbanjigou. Fossil vertebrates from this horizon include *Lycoptera* sp., *Peipiaosteus pani*, *Manchurochelys liaoxiensis*, *M.* sp., *Eosipterus yangi*, Pterodactyloidea indet., and *Zhangheotherium quinquecupidens*. Other fossils include the recently reported angiosperm, *Liaoxia chenii*, *Eragrostes changii* and Monocotyledon leaf, and various invertebrates represented by *Eosestheria* sp., *Ephemeropsis trisetalis* and other insects. 10—15m thick.

7. Grayish-green, grayish-white interbedded sandstone and siltstone. The upper part has black intermediate-basic intrusive subvolcanic rock and the middle part contains some grayish-white tuffaceous sandstone with a few coarse tail cycles. 25—

30m thick.

6. Grey, grayish-black, grayish-white shale with light yellow sandstone, siltstone, silty mudstone and more than 10 layers of light yellow tuffite, tuffaceous sandstone and mudstone. It is the lower vertebrate-bearing horizon that is represented by the fossil localities at Sihetun, Libalangedonggou, and Heitizigou. Black intermediate-basic subvolcanic rock intruded into this bed (Pl. I, 2). In the middle part, exists one of the most important index beds consisting of six small cycles of light yellow tuffite, tuffaceous sandstone and mudstone. Fossils from this bed include vertebrates: *Lycoptera* sp., *Peipiaosteus pani*, Anura indet., *Manchurochelys* sp., *Sinosauropteryx prima*, Theropoda indet., Sauropoda indet., *Psittacosaurus* sp., *Confuciusornis sanctus*, *C. sunae*, *C.* sp., *Liaoningornis longiditris*, *Protarchaeopteryx robusta*, and a primitive enantiornithine, as well as plants, invertebrates such as *Eosestheria* sp., *Ephemeroptera trisetalis* and other insects. 8—12m thick.

5. Grayish-white, grayish-green medium-coarse and medium-fine tuffaceous sandstone with grayish-green siltstone, silty mudstone and shale rich in bivalves. There are some coarse gravels of intermediate-basic volcanic lava at the bottom of this bed. Fossils collected from this bed are plants, bivalves, and fish *Peipiaosteus pani*. 11—15m thick.

#### Second Member

4. Grayish-black, brown-red intermediate-basic volcanic lava (basalt, andesite) with amygdaloidal, fluiial structure and siliceous concretion. 22m thick.

3. Grayish-green, yellow-green tuffaceous fine sandstone and siltstone with pyrite concretion. There is red roasted sandstone in the upper part. Some plant fragments were found in the bed. 2m thick.

2. Grayish-black, brown-red intermediate-basic volcanic lava (basalt, andesite) with amygdaloidal, fluiial structure and siliceous concretion. 22m thick.

#### First Member

1. Grayish-green tuffaceous polymictic medium-coarse, medium-fine conglomerates and sandstone with coarse tail sequence and massive bedding or normal graded bedding. Cobbles are sub-rounded, while pebbles and granules are angular or sub-angular. Gravels are poorly sorted. It unconformably overlies on the underlying Late Jurassic Tuchengzi Formation (Pl. IV, 2). 10—45m thick.

Tuchengzi Formation: bottom is not seen in the section.

0. Sandstone and sandstone with gravels. 2—10m thick.

Fossil vertebrates discovered from the third member of the Yixian Formation include all the major vertebrate groups. From the lower vertebrate-bearing horizon are fish: *Lycoptera* sp., *Peipiaosteus pani*, *Sinamia* sp.; anurous amphibian; reptiles: *Manchurochelys* sp., *Psittacosaurus* sp., *Sinosauropteryx prima*, Theropoda indet., and

Sauropoda indet.; and birds: *Confuciusornis sanctus*, *C. sunae*, *C. sp.*, and *Liaoningornis longiditris*. The fossils from the upper vertebrate-bearing horizon include fish: *Lycoptera sp.*, *Peipiaosteus pani*; reptiles: *Manchurochelys liaoxiensis*, *M. sp.*, *Eosipterus yangi*, Pterodactyloidea indet., and mammal: *Zhangheotherium quinquecuspidens*.

In late autumn of 1997, a field team from the Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology, Chinese Academy of Sciences excavated the middle-lower part of the lower vertebrate-bearing horizon, and collected more than 60 vertebrate specimens including *Lycoptera sp.*, *Peipiaosteus pani*, "feathered" theropod, *Psittacosaurus sp.*, and *Confuciusornis sp.*, etc., as well as a number of invertebrates and plants. Specimens of Anura indet., Pterodactyloidea indet., and *Manchurochelys sp.* were also collected from this horizon at Heitzigou, Tuanshangou and Jianshangou, respectively.

Sihetun excavating profile is 9m in thickness and can be divided into 29 beds (Fig. 4). In the section, 10 fish-bearing layers, 3 turtle-bearing layers, 5 dinosaur-bearing layers and 5 bird-bearing layers were confirmed by excavation and interview with local peasants who dug out some fossils before. Of all the 29 beds, the 1—20th beds, 565cm in thickness, have not produced any fossil vertebrates, while the 21—24th beds, 169cm thick, have only yielded fishes, such as *Lycoptera sp.*, and *Peipiaosteus pani* (Fig. 4). The main vertebrate-bearing beds, the 25—29th ones, are described below in descending order:

25. It is 28cm thick and composed of three small cycles of light yellow, yellow-brown fine sandstone to gray shale: (1) Its thickness is 12cm. Its upper part is gray shale, 10cm in thickness, and contains *Peipiaosteus pani*, while the lower part is yellow-brown fine sandstone (2cm thick). (2) It is 13cm in thickness. The upper gray shale is 8cm in thickness and produces *Peipiaosteus pani*, *Confuciusornis sp.*, and *Psittacosaurus sp.*, while the lower yellow-brown fine sandstone is 2cm thick. (3) It is 3cm thick. No fossil vertebrates have been found here.

26. Grayish-white silicified mudstone-shale, 24cm thick. Fossils from this bed are vertebrates: *Peipiaosteus pani*, *Manchurochelys sp.* and *Confuciusornis sp.*; invertebrates: *Eosestheria sp.*, *Ephemeropsis trisetalis*, and other insects; and plants.

27. Grayish-white silicified mudstone-shale with yellow-brown mudstone, 30cm thick. Fossils include plants and invertebrates: *Eosestheria sp.*, *Ephemeropsis trisetalis* and other insects.

Combination of the 26—27th beds is the ninth index beds.

28. Grayish-black shale with light yellow, yellow-brown fine sandstone and siltstone. It is 31cm thick and the upper one of two main vertebrate-bearing beds. It can be further subdivided into two small cycles: (1) The first cycle consists of

deposits of 8cm thick with grayish-black shale (4cm thick) in the upper and light-yellow, yellow-brown fine sandstone and siltstone (4cm thick) in the lower part. Collected from the upper part are *Sinosauropteryx prima* (Ji and Ji, 1997b), a "feathered" theropod, plants and invertebrates including *Eosestheria* sp., *Ephemeropsis trisetalis* and other insects; (2) The deposits of the second cycle are 23cm in thickness. The upper part is grayish-black shale, 10cm thick, and has yielded vertebrates: *Sinamia* sp., Anura indet. (found at Heitizigou), *Psittacosaurus* sp., *Confuciusornis* sp., *Liaoningornis longiditris* (Hou, 1996) and a primitive enantiornithine (found at Libalangdonggou), as well as plants and invertebrates: *Eosestheria* sp., *Ephemeropsis trisetalis* and other insects. The middle gray shales, main dinosaur-bearing bed, of 4cm thick, contain *Psittacosaurus* sp. and Theropoda indet. The lower part is 9cm in thickness and consists of light-yellow, yellow-brown fine sandstone with parallel bedding, which is the tenth index bed.

29. Grayish-black shale with light yellow, yellow-brown fine sandstone and siltstone. It is 53cm thick and the other main vertebrate-bearing bed. It can be further subdivided into four small cycles: (1) The first cycle consists of the upper grayish-black shale, 18cm thick, and the lower yellow-brown siltstone with symmetrical ripple (2cm thick). The upper part has produced a few specimens of *Psittacosaurus* sp. and Sauropoda indet. (2) The second cycle also consists of two parts. The upper part is grayish-black shale, 3cm thick, and produces *Eosestheria* sp. and *Ephemeropsis trisetalis*. The lower part is composed of interbedded grayish-black shale and yellow-brown mudstone, 4cm thick, and has yielded the holotype of *Confuciusornis sanctus* (Hou et al., 1995). (3) The upper part of the third cycle is grayish-black shale, 9cm thick, and has yielded specimens of *Sinosauropteryx prima* (Ji and Ji, 1996) and *Psittacosaurus* sp., while the lower part is rhythmic beds of grayish-black shale, grayish-white siltstone and yellow-brown mudstone and 6cm in thickness. (4) The upper part of the fourth cycle is grayish-black shale (10cm thick). *Confuciusornis sunae*, C. sp. (Hou, 1997) and *Lycoptera* sp., as well as various plants and invertebrates, were collected from this bed. The lower part is light-yellow siltstone, 1cm thick, and the most important bird-bearing bed. Six *Confuciusornis* specimens were collected from this bed during the excavation.

The deposits bearing enriched fossil vertebrates can be subdivided by the ninth and tenth index beds into three parts: (1) The upper part consists of the 25—27th beds, 82cm in thickness, above the ninth index bed at the excavating profile (P1. II). Only a few fossil vertebrates have been collected herein: *Peipiaosteus pani*, *Manchurochelys* sp., *Psittacosaurus* sp., and *Confuciusornis* sp. (2) The middle part contains the 28th bed that is between the ninth and tenth index beds (P1. III). It is 31cm thick and rich in fossil vertebrates: *Sinamia* sp., Anura indet., *Manchurochelys*

sp., *Psittacosaurus* sp., *Sinosauropteryx prima*, Theropoda indet., *Confuciusornis* sp., and *Liaoningornis longiditris* (holotype). (3) The lower part, the 29th bed, is beneath the tenth index bed. It is 53cm in thickness and the most important vertebrate-bearing bed (Pl. III). Fossil vertebrates collected herefrom include: *Lycoptera* sp., Sauropoda indet., *Sinosauropteryx prima* (holotype), *Psittacosaurus* sp., *Confuciusornis sanctus* (holotype) and *C. sunae* (holotype), and *C.* sp. So far, all the vertebrate specimens found in the lower vertebrate-bearing horizon came from the lacustrine deposits of 166cm in thickness, of which the lower part (84cm thick) is most fossiliferous. The enrichment of fossil vertebrates recorded a great evolutionary event and mass mortality event of vertebrates near the Jurassic-Cretaceous boundary.

Lithostratigraphic sequence of the lower part of the Yixian Formation shows the development of the sedimentary basin from alluvial facies to coastal, shallow and deep lacustrine facies. Tuffite, tuffaceous sandstone and gravity flow event sediments exist above and under the vertebrate-bearing beds in lacustrine strata of the Yixian Formation. Both of them indicate that the lake was a pan-basin with wide and deep water in some periods, and volcanism had greatly affected the sedimentation in the basin.

### 图版说明(Explanations of plates)

#### 图版 I(Plate I)

1. 四合屯脊椎动物化石地点一角(A part of the fossil vertebrate locality at Sihetun)
2. 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所 1997 年 10—11 月四合屯化石发掘现场, 显示完整剖面及穿插于地层中的中基性侵入体(The site of excavation at Sihetun by the Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology, Chinese Academy of Sciences (IVPP) in October–November, 1997, showing the complete excavating profile and intrusive intermediate-basic subvolcanic dike)

#### 图版 II(Plate II)

四合屯化石发掘剖面, 显示剖面 18—27 层(摄于沈阳地矿所采坑) (Part of the excavating profile at Sihetun, showing the 18—27th beds, photographed at the quarry of Shenyang Institute of Geology and Mineralogy, which is next to IVPP quarry)

#### 图版 III(Plate III)

四合屯化石发掘剖面, 显示剖面 28—29 层——脊椎动物化石富集层(Part of the excavating profile at Sihetun, showing the 28—29th beds, which bear enriched fossil vertebrates)

#### 图版 IV(Plate IV)

1. 四合屯湖相泥岩—页岩中发育的变形层理, 剖面 22 层(Convolute bedding of lacustrine mudstoneshale, the 22nd bed in the excavating profile)
2. 四合屯村西义县组与下伏上侏罗统土城子组角度不整合(Unconformity between the Yixian Formation and the Upper Jurassic Tuchengzi Formation)



