

# 中国陆相上新统高庄阶<sup>①</sup>

邓 涛<sup>1)</sup> 侯素宽<sup>1) 2)</sup> 王大明<sup>3)</sup> 穆永清<sup>3)</sup>

1) 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所, 脊椎动物进化系统学重点实验室 北京 100044;

2) 中国科学院研究生院 北京 100039;

3) 山西榆社古生物化石博物馆 山西榆社 031804

摘 要: 1999 年第二届全国地层委员会正式提出将中国新近纪上新世分为早、晚两期, 分别命名为高庄期和麻则沟期, 年代地层单位高庄阶即对应于高庄期。“高庄”一名源自同名岩石地层单位高庄组, 典型剖面位于山西省榆社县云簇镇桃阳—高庄—赵庄。高庄阶对应于“国际地层表”中海相的 Zanclean 阶, 其共同的底界定义为古地磁 Chron C3r 的顶部, 年龄为距今 5.3 Ma, 这条界线在榆社桃阳剖面位于高庄组下部第 5 层的块状砂岩底部。高庄期与欧洲陆生哺乳动物分期的 Ruscinian 期相当, 包含 1 个哺乳动物群单位, 即 NMU 12, 可与欧洲的 MN 14—15 对比。在榆社盆地发现的高庄动物群相当于 NMU 12。在中国的新近纪哺乳动物群中, 甘肃临夏盆地的十里墩动物群、甘肃灵台的雷家河 III 带动物群、内蒙古化德的哈尔鄂博和比例克动物群也相当于 NMU 12。甘肃广河的十里墩剖面是高庄阶的潜在候选层型剖面。

关 键 词: 生物标志, 古地磁年龄, 年代地层单位, 高庄阶, 上新统, 中国

中图法分类号: P 534.62 文献标识码: A 文章编号: 0253-4959(2010)03-0225-16

## 一、历史沿革

高庄阶的命名地点位于山西榆社盆地, 这个地区的晚新生代沉积发育, 从上中新统一直延续到上更新统, 地层出露良好, 其中哺乳动物化石丰富, 并且有悠久的历史。

德日进和杨钟健 1933 年发表了有关榆社的第一个地质报告(Teilhard de Chardin & Young C. C., 1933), 将厚约 100—200 m 的晚新生代地层按岩性自下而上划分为 6 层。第 2 层的化石包括 *Alcicephalus* (= *Samotherium*), *Mastodon* (= *Mammut*?), *Gazella* 和 *Hipparion* 等(邱占祥等, 1987); 第 3 层有炭化木和淡水的介壳类化石(*Lymnea* 和 *Planorbis*); 第 4 层有龟类、鱼类和鸟类的化石; 第 6 层的化石有 *Hyaena* 和 *Siphneus* (= *Myospalax*)。他们根据化石的时代属性将第 1—2 层划归蓬蒂期沉积, 将第 3—6 层划归维拉方期。虽然他们的工作比较粗略, 有些化石的层位也有疑问, 但发现华北地区的三趾马化石除在红土中有丰富的赋存外, 也产于河湖相沉积中, 这是相当重要的突破。

随后桑志华和汤道平从 1934 年开始在榆社地

区采集哺乳动物化石、进行地质调查工作。他们将榆社的晚新生代沉积进一步区分为 3 个小盆地, 即云簇、榆社和张村盆地, 并根据岩性和哺乳动物化石将这层地层自下而上划分为 3 个带: 第一带, 蓬蒂期, 即早上新世的砾岩和暗红色砂岩; 第二带, 中上新世蓝绿色泥灰岩; 第三带, 晚上新世砂层夹两层白色泥灰岩(Licent & Trassaert, 1935)。不过, 他们的“带”的概念并没有明确的含义, 将生物地层和岩石地层混淆在一起。德日进研究了桑志华和汤道平在榆社盆地采集的大量哺乳动物化石, 由此也普及了榆社地区的这 3 个带。

榆社盆地晚新生代沉积的地层名称有着繁复的变化: 德日进、杨钟健(1933) 称其为“河湖系”或“紫色淡水系”(Teilhard de Chardin & Young C. C., 1933); 桑志华、汤道平(1935) 称其为“上新世湖相系”; 德日进(1941) 又改称其为“湖相层”或“白色层”(Teilhard de Chardin, 1941), 1942 年再改用“榆社系”一名(Teilhard de Chardin, 1942); 裴文中等(1963) 则叫做“榆社组”; 1974 年山西省区调队以榆社盆地张村小区为基础, 建立 3 个组, 自下而上为任

①全国地层委员会新近系地层建阶研究项目, 国家自然科学基金重点项目(No. 40730210), 科技部科技基础性工作专项(No. 2006FY120300) 和国家重点基础研究发展规划项目(2006CB806400) 资助。

文稿接受日期: 2010-01-12; 修改稿收到日期: 2010-03-18。

第一作者简介: 1963 年 6 月生, 男, 四川宜宾人, 博士, 研究员, 从事晚新生代哺乳动物、生物地层和环境演变研究, E-mail: dengtao@ivpp.

家塬组、张村组和楼则峪组,与桑志华和汤道平的 I、II、III 带分别对应,总称为榆社群(山西省地层表编写组,1979);贾航 1981 年在未发表的硕士论文中为榆社群增加命名了两个单位泥河组和海眼层。邱占祥等(1987)在研究榆社盆地的三趾马时,建议将榆社群划分为 4 个组,自下而上为马会组、高庄组、麻则沟组和海眼组,其时代分别为晚中新世、早上新世、晚上新世和早更新世。这是“高庄”一名首次作为地层单位出现,此后得到广泛采用。

德日进和杨钟健 1930 年在考察山西静乐地区时也在红色土中发现了哺乳动物化石,并将其沉积描述为红色土 A、B、C 三个层,提出了静乐红土的概念(Teilhard de Chardin & Young, 1930)。此后,杨钟健(1936)将静乐红土与红色土 A 层视为同期,并命名此期为静乐期,时代定为上新世中期。李传夔等(1984)认为发现于静乐的贺丰动物群所代表的确切时代并不清楚,可能相当于早上新世,更可能要晚一些,仅因为尊重传统习惯的原因,暂取静乐期代表中国的早上新世,而以游河期代表晚上新世。岳乐平、张云翔(1998)对静乐贺丰剖面所做的古地磁测年表明,静乐红土记录了 Gauss 正极性带,年龄为 3.00—2.50 Ma,时代应该为晚上新世。邱占祥等(1987)第一次提出了高庄期(阶)的概念,用以代表中国的早上新世(下上新统),即用高庄期替代静乐期,同时仍然保留游河期。不过,邱占祥又用第五哺乳动物单位(Mammal Unit V)来与上新世静乐期对应,以高庄地方动物群作为这个单位的代表(Qiu Z. X., 1990)。第五单位的定义是从动物群上看,含有从北美迁徙来的新分子(犬科和骆驼科)及大量直接由第四单位(晚中新世灞河期和保德期)进化而来的更进步种类。但邱占祥、邱铸鼎(1990)认为静乐动物群本身的性质尚不清楚,而榆社盆地的地层发育良好、化石丰富、特征明显,因此他们又将整个上新世改称为榆社期,分别以榆社盆地的高庄地方动物群和麻则沟地方动物群作为早、晚上新世的代表。邱占祥、邱铸鼎(Qiu Zhanxiang & Qiu Zhuding, 1995)和童永生等(1995)继续采用了榆社期这一名称。

1999 年第二届全国地层委员会正式建议建立中国上新统的年代地层单位高庄阶和麻则沟阶,其时限对应于中国陆生哺乳动物分期的高庄期和麻则沟期(全国地层委员会,2001),由此重新启用高庄期(阶)的名称,并新命名了麻则沟期(阶)。

李传夔等(1984)将当时认为属于早上新世的静乐期与欧洲陆生哺乳动物分期的 Ruscianian 期对

比,相当于 MN14—15,包含的哺乳动物化石地点或组合有山西静乐贺丰、榆社 II 带和甘肃灵台雷家河等。邱占祥、邱铸鼎(1990)提出榆社期的早上新世部分以高庄动物群为代表,对应于欧洲的 Ruscianian 期,同期的近似哺乳动物还有内蒙古化德的哈尔鄂博动物群,与高庄组底部层位的化石组合相当,而比例克动物群则相当于高庄动物群的晚期。童永生等(1995)确认了榆社期与欧洲 Ruscianian 期和 Villanyian 早期的对比,时代为整个上新世。邓涛(2006)则将高庄期和麻则沟期分别对比于 Ruscianian 期和 Villanyian 早期。

桑志华 20 世纪 30 年代在榆社采集的哺乳动物化石主要保存在天津的北疆博物院(天津自然博物馆的前身)。德日进研究了这批材料中的大量标本,还有其他人的一些研究也涉及到榆社的化石,具体到高庄期的材料,内容包括啮齿类(Teilhard de Chardin, 1942)、食肉类(Zdansky, 1927; Teilhard de Chardin & Leroy, 1945a, b; 张席褫、刘后一, 1964)、长鼻类(Young, 1935; Hopwood, 1935; Teilhard de Chardin & Trassaert, 1937; 周明镇、张玉萍, 1961; 张席褫, 1964)、偶蹄类(Teilhard de Chardin & Trassaert, 1937, 1938)。在文化大革命中断了相当长的一段时间后,这批材料得到进一步广泛和深入的研究,并在 1987 年开始进行的中美联合榆社考察中取得了更多的材料,尤其是筛洗方法的应用极大地增加了小哺乳动物化石标本的数量。新的研究涉及到高庄期的食虫类(Flynn & Wu W. Y., 1994)、啮齿类(Jacobs & Li C. K., 1982; Flynn *et al.*, 1991, 1997; 吴文裕、Flynn, 1992; Xu X. F., 1994; Daxner Höck *et al.*, 1996)、食肉类(Qiu, 1987; Tedford & Qiu Z. X., 1991, 1996)、长鼻类(Tobien *et al.*, 1986, 1988)、奇蹄类(邱占祥等, 1987)、偶蹄类(董为、叶捷, 1996; 陈冠芳, 1997)等。在榆社的这些化石中,产于早上新世的化石已被命名为高庄动物群,而晚上新世的化石为麻则沟动物群(邱占祥、邱铸鼎, 1990; Qiu Z. X. & Qiu Z. D., 1995)。目前已发现的高庄动物群化石包括 5 种食虫类、26 种啮齿类、4 种兔形类、13 种食肉类、3 种长鼻类、7 种奇蹄类、16 种偶蹄类。

## 二、高庄阶的层型剖面

在晋东南高原东北—南西向的沁水大向斜的核部有一连串相连或邻近的晚新生代沉积盆地,北起榆社的社城,南至沁县的新店,长达 80 km,宽约 35 km,由北向南依次为泥河、榆社、武乡和沁县 4 个盆

地,其中北边的两个盆地含有丰富的哺乳动物化石。榆社与泥河盆地由一窄条三叠纪基岩分开,而武乡盆地则可能有一窄的通道与榆社盆地连接。浊漳河自北向南流贯泥河和榆社盆地,沿河西侧的一条断层又把两个盆地各自分为东西两部。榆社盆地的西半部面积较大,一条东西向的基岩再将其分为南北两部。这样,榆社地区可以分为5个次级盆地,即更修、泥河(狭义)、郝北、云簇和张村。云簇次级盆地位于榆社县西南部(图1),在上述5个次级盆地中面积最大,层位也最全。云簇盆地的晚新生代沉积不整合于基岩之上,呈单斜倾向西或西北,但与三叠纪的地层在产状上比较接近。这表明,在晚新生代地层沉积时三叠纪地层本身并没有强烈褶皱,它形成的剥蚀面地形也比较平缓。晚新生代地层在东部倾角较大,达 $20^\circ$ 左右,越向西,倾角越小,至盆地西缘已大致接近水平了(邱占祥等,1987)。



图1 山西榆社盆地主要哺乳动物化石地点和剖面位置图

Fig. 1 Locations of the main mammalian fossil localities and sections in the Yushe Basin, Shanxi Province

基于地层分布的实际情况,在榆社盆地很难测制一条沿岩层倾向的贯穿剖面。邱占祥等(1987)大致沿倾向作了7个分段剖面,此后的中美联合考察队又作了更多的局部剖面(Tedford *et al.*, 1991)。高庄组的基本岩性为锈黄色疏松砂层和紫红色、灰绿色黏土互层,同时以黄沙为主的岩性和以黏土为主的岩性多次重复。邱占祥等(1987)认为高庄组为

高庄至赵庄剖面,厚度为200—250 m,但Tedford等将桃阳附近的地层划作高庄组下部,并将高庄组从下至上划分为桃阳段、南庄沟段和醋柳沟段,厚度增加到近400 m(Tedford *et al.*, 1991)。除云簇小区以外,高庄组在张村和泥河小区也相当发育,但更修小区仅发育高庄组底部的砂层,郝北小区则可能没有高庄组。

此次在云簇地区桃阳—高庄—赵庄所测高庄剖面总厚340 m,剖面在桃阳段中点的地理坐标为 $112^\circ 53' 00.6'' E$ 、 $37^\circ 01' 52.5'' N$ ,海拔高度为1041 m。由于第四系覆盖的原因,不能直接观察到高庄组与下伏的马会组和上覆的麻则沟组的接触关系,但在区域上高庄组与上、下两组间均为轻微的角度不整合。该剖面地层以 $3^\circ - 10^\circ$ 向西倾斜,岩石序列从顶到底如下所列:

上覆地层: 上新统麻则沟组

——不整合——

下上新统高庄组

醋柳沟段

10. 紫红色和褐红色含砾粗砂岩,含 *Soriculus praecursus*, *Desmana kowalskae*, *Chardionomys yusheensis*, *Huaxiamys downsi*, *Apodemus qiui* 等哺乳动物化石 41.5 m

南庄沟段

9. 锈黄色砂岩,具水平层理,含分选磨圆较差的底砾,含 *Scaptochirus sp.* 等哺乳动物化石 3.5 m

8. 杂色无层理黏土,具3层灰绿色泥灰岩,含 *Nyctereutes tingi*, *N. sinensis*, *Eucyon davisi*, *E. zhoui* 等哺乳动物化石 35 m

7. 黄色细砂夹薄层胶结坚硬的细砂岩,底部有紫色黏土层,含 *Scaptochirus sp.*, *Dipoides majori*, *Chardina truncatus*, *Chardionomys yusheensis*, *Alloccretus sp.*, *Huaxiamys downsi*, *Apodemus qiui*, *Eutamias ertemtensis*, *Karnimata hipparionum*, *Alilepus annectens*, *Micromys chalceus*, *M. tedfordi*, *Eucladoceros proboulei* 等哺乳动物化石 69 m

6. 黄色细砂与紫红色黏土或粉砂岩互层,含大量钙质结核,含 *Chasmaporthetes kani*, *Pachyrocata pyrenaica*, *Gazella niheensis* 等哺乳动物化石 31 m

桃阳段

5. 土黄色块状砂岩,形成陡崖地貌,上部夹有泥岩和砾石,有突出的薄层钙板,含 *Hipparion pater*, *H. platyodus*, *Gazella*

- |  |      |
|--|------|
| <i>gaozhuangensis</i> 等哺乳动物化石  | 48 m |
| 4. 锈黄色砂岩与紫红色泥岩互层   | 16 m |
| 3. 黄色砂岩, 胶结疏松, 含 <i>Ochotona lagrelli</i> 等哺乳动物化石  | 28 m |
| 2. 锈黄色中薄层砂岩与紫红色黏土层交互发育, 含 <i>Karnimata hipparionum</i> 等哺乳动物化石   | 19 m |
| 1. 土黄色块状砂岩, 胶结疏松, 具大型交错层理, 接近顶部夹有砾石, 含 <i>Huaxiamys primitivus</i> , <i>Gazella gaozhuangensis</i> 等哺乳动物化石 | 49 m |

———不 整 合———

下伏地层: 上中新统马会组

### 三、高庄期动物群的特点

#### 1 高庄哺乳动物群

产自榆社盆地的高庄动物群由邱占祥、邱铸鼎发表了一个详细的名单, 当时包含了从桃阳段到醋柳沟段的整个高庄组中的化石(Qiu Z. X. & Qiu Z. D., 1995)。此后, 又有一些新描述的种类以及进一步的修订。在将桃阳段下部属于晚中新世保德期的化石剔除之后, 属于高庄期的高庄动物群中已知包括食虫目鼯鼠科的肥鼯(Blarinini indet.), 先长尾鼯(*Soriculus praecursus*), 鼯鼠科的科氏水鼯(*Desmana kowalskae*), 原始小鼯鼠(*Yanshuella primaeva*), 麝鼯(*Scaptochirus* sp.); 啮齿目松鼠科的二登图花鼠(*Eutamias ertemtensis*), 松鼠(*Sciurus* sp.), 榆社松鼠(*S. yusheensis*), 中华花鼠(*Sinotamias* sp.), 皱纹上新鼯鼠(*Pliopetaurista rugosa*), 河狸科的安氏河狸(*Castor anderssoni*), 梅氏假河狸(*Dipoides majori*), 睡鼠科的鼠形睡鼠(*Myomimus* sp.), 仓鼠科的似仓鼠(*Cricetinus* sp.), 异仓鼠(*Allocrietus* sp.), 葛氏新古仓鼠(*Neocricetodon grangeri*), 蒙古微仓鼠(*Nanocricetus mongolicus*), 鼯鼠科的峭枕日进鼯鼠(*Charadina truncatus*), 艾氏原鼯鼠(*Prosiphneus eriksoni*), 前丁氏中鼯鼠(*Mesosiphneus praetingi*), 科的模鼠(*Mimomys* sp.), 日尔曼鼠(*Germanomys* sp.), 竹鼠科的山西竹鼠(*Rhizomys shansius*), 跳鼠科的伪三趾跳鼠(*Dipus fraudator*), 鼠科的邱氏姬鼠(*Apodemus qiui*), 祖巢鼠(*Micromys chalceus*), 戴氏巢鼠(*M. tedfordi*), 三趾马层仙鼠(*Karnimata hipparionum*), 榆社日进鼠(*Charadinomys yusheensis*), 唐氏华夏鼠(*Huaxiamys downsi*), 豪猪科的豪猪(*Hystrix* sp.); 兔形目兔科的联合翼兔(*Alilepus annectens*), 三裂齿兔(*Trischizolagus* sp.), 次兔(*Hypol-*

*agus* sp.), 鼠兔科的拉氏鼠兔(*Ochotona lagrelli*); 食肉目犬科的丁氏貉(*Nyctereutes tingi*), 中华貉(*N. sinensis*), 戴氏始犬(*Eucyondavisi*), 周氏始犬(*E. zhoui*), 真犬(*Canis* sp.), 熊科的郊熊(*Agriotherium* sp.), 真熊(*Ursus* sp.), 鼬科的短颌近狼獾(*Plesiogulo brachygnathus*), 貂(*Martes* sp.), 鬣狗科的滨鬣狗(*Thalassictis* sp.), 甘氏豹鬣狗(*Chasmaporthetes kani*), 比利牛斯硕鬣狗(*Pachycrocuta pyrenaica*), 猫科的后猫(*Metailurus* sp.); 长鼻目短颌象科的博氏短颌象(*Mammot borsoni*), 嵌齿象科的中间中华乳齿象(*Sinomastodon intermedius*), 真象科的师氏剑齿象(*Stegodon zdarskyi*); 奇蹄目马科的平齿三趾马(*Hipparion platyodus*), 贺丰三趾马(*H. houfenense*), 原始长鼻三趾马(*H. pater*), 意外三趾马(*H. insperatum*), 桑氏三趾马(*H. licenti*), 犀科的林氏额鼻角犀(*Dicerorhinus ringstroemi*), 林氏山西犀(*Shansirhinus ringstroemi*); 偶蹄目猪科的厄赖曼猪(*Sus erymanthius*), 骆驼科的副驼(*Paracamelus* sp.), 鹿科的麝(*Moschus* sp.), 基氏副鹿(*Paracervulus* cf. *killgusi*), 后鹿(*Metacervulus* sp.), 湖鹿(*Muntiacus* cf. *lacustris*), 秀眉轴鹿(*Axis speciosus*), 低枝祖鹿(*Cervavitus demissus*), 始布氏真枝角鹿(*Eucladoceros proboulei*), 原狍(*Procapreolus* sp.), 牛科的高庄羚羊(*Gazella gaozhuangensis*), 泥河羚羊(*G. nihensis*), 榆社羚羊(*G. yushensis*), 榆社原大羚(cf. *Protoryx yushensis*), 扁角羊角羚羊(cf. *Tragocerus laticornis*)等。

当邱占祥、邱铸鼎(1990)命名高庄期时, 他们分析了这个时期动物群的整体特征, 由此建议高庄期大致相当于欧洲的 Ruscian 期。在这个时期, 新出现的类型包括 *Nyctereutes*, *Pachycrocuta pyrenaica*, *Chasmaporthetes*, *Stegodon zdanskyi*, *Hipparion pater*, *H. houfenense*, *Paracamelus* 以及小哺乳动物 *Alilepus*, *Yanshuella primaeva*, *Prosiphneus eriksoni*, *P. praetingi* 和 *Micromys chalceus* 等, 而三趾马动物群中的有些类型不再出现, 如 *Cervavitus novorossae*, *Adcrocuta*, *Ictitherium*, *Chleuastochoerus*, 以及小哺乳动物 *Pseudomeryx abbreviatus*, *Lophocricetus* 等。在哺乳动物面貌上, 高庄期动物群与我国北方典型的晚中新世三趾马动物群明显不同。一些种类比保德和二登图中的相似成员更进步或更特化, 如 *Mammot borsoni*, *Stegodon zdanskyi*, *Chasmaporthetes kani*, *Pachycrocuta pyrenaica orientalis*, *Agriotherium* sp.,

*Ursus* sp., 更进步的 *Plesiogulo*, *Hipparion houfenense*, *H. pater*, 多样的 *Paracervulus* 等。*H. houfenense* 与欧洲的 *H. rocinantis* 十分接近, 在所有亚洲和欧洲的三趾马中, 这是惟一在形态上最接近的两个种, 说明这个时期的三趾马的时代毫无疑问与欧洲的 Ruscian 能直接对比(邱占祥等, 1987)。其他门类在高庄期和 Ruscian 之间也有许多共同的成分, 例如鬣狗的 *Chasmaporthetes* 和 *Pachycrocuta* 等(Qiu Z. X., 1987)。

童永生等(1995)进一步总结了高庄期动物群的特点, 指出它是保德期三趾马动物群的继续发展, 含有大量与保德期动物群相同的属, 但也出现了一些新的成员, 如 *Mimomys*, *Chardinomys*, *Germanomys*, *Hypolagus*, *Nyctereutes*, *Chasmaporthetes* 等; 而保德期中一些常见的属, 如 *Microscoptes*, *Microdon*, *Lophocricetus*, *Leptodontomys*, *Acrocuta*, *Ictitherium*, *Chleustochocerus* 等这时极少或几乎没有被发现。一些较古老的科, 如山河狸科(Aptodontidae)和始鼠科(Eomyidae)似乎已绝迹, 而出现了现生的科(Arvicolidae)、犬科(Canidae)和骆驼科(Camelidae)。至此, 我国现生哺乳动物的所有科均已出现, 但这一时期的属只有小部分延续至今。

高庄阶层型剖面(桃阳—高庄—赵庄)的化石以哺乳动物为特点, 包括大、小哺乳动物, 其中有许多早上新世的哺乳动物化石新种。晚中新世与早上新世之间的动物群转换在榆社盆地表现明显, 马会组中40%的属没有延续到高庄组的南庄沟段。由于不断有新类群的迁入, 因此高庄期的动物群仍然保持很高的分异度。榆社的小哺乳动物群以仓鼠类和鼠类占优势, 其主要的动物群转换也发生在中新世—上新世界线, 伴随着 *Pseudomeryx*, *Prosiphneus*, 仓鼠科和鼠科的成种, 失去了大约一半的马会组啮齿类种和约1/4的属(Tedford et al., 1991)。总的来说, 高庄动物群与产自马会组和高庄组桃阳段下部的类似经典保德动物群的化石组合明显不同, 后者中的种类在大哺乳动物方面与保德相似, 而在小哺乳动物方面与二登图动物群相似。

## 2 高庄组的其他化石

除丰富的哺乳动物化石以外, 高庄组中还含有鱼类、两栖类、龟鳖类、昆虫、腹足类、瓣鳃类、介形类、轮藻、孢粉和大型植物等化石。

鱼类化石有榆社鲟(*Xenocypris yushensis*), 鲤(*Cyprinus carpio*), 鲫(*Carassius auratus*), 蒙古鲃(*Culter cf. mongolicus*), 长头似鲦(*Hemiculterella longicephalus*), 张氏雅罗鱼(*Leuciscus tchangii*)。

白鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*), 张村麦穗鱼(*Pseudorasbora changtsunense*), 青鱼(*Mylopharyngodon piceus*), 鲢(*Ctenopharyngodon idellus*), 鳊(*Parasilurus asotus*), 武乡中国鳊(*Siniperca wusiangensis*), 鳢(*Ophicephalus argus*)等, 鱼类种属和个体数目均较丰富, 全部为现生属, 以鲟、鲤、鲫为主, 一般多栖息于流速缓慢的淡水河川湖泊中(刘宪亭、苏德造, 1962)。两栖类有榆社蛙(*Rana yushensis*)(刘玉海, 1961)。

介形类有土星介(*Ilyocypris cornae*, *I. mansensis*, *I. gibba*, *I. biplicata*, *I. salebrosa*, *I. dunschaniensis*, *I. qingxuensis*, *I. pulchra*, *I. errabundis*, *I. bradyi*), 金星介(*Cypris subglobosa*), 真星介(*Eucypris inflata*, *E. cf. concinna*), 美星介(*Cyprinus salinus*, *C. yusheensis*, *C. chiuhsinensis*, *C. formalis*, *C. reticulata*), 河星介(*Potamocypris* sp.), 斗星介(*Cypridopsis* sp.), 玻璃介(*Candona yaozitouensis*, *C. kirgizica*), 小玻璃介(*Candoniella albicans*, *C. suzini*, *C. mirabilis*), 白花介(*Leucocythere mirabilis*), 正星介(*Cyprideis littoralis*)等, 以池沼、河溪、湖相淡水属种为主, 也有少数湖相淡水至半咸水属种及半咸水湖相、潟湖及滨海相属种(黄宝玉等, 1991)。

腹足类有高锥辛辛那提螺(*Cincinnatia alticonula*), 光滑狭口螺(*Stenothyra glabra*), 牛氏螺(*Neumayria* sp.), 锥形豆螺(*Bithynia phrygica*), 榆社拟水螺(*Hydrobioides yusheensis*), 沼螺(*Parafossarulus?* sp.), 塔土蜗(*Galba turritella*), 长萝卜螺(*Radix pereger*), 钝螺(*Acella* sp.), 泡螺(*Bulinus* sp.), 白小旋螺(*Gyraulus albus*), 窄小旋螺(*G. compressus*), 西伯利亚小旋螺(*G. sibiricus*), 北方小旋螺(*G. borealis*), 琥珀多孔螺(*Polyplis succinea*), 角类扁卷螺(*Planorbium cornus*), 韦斯岛蛹螺(*Nesopupa wesleyana*), 丽氏旋螺(*Vertigo liljeborgi*), 小带节腹节螺(*Gastrocypa armigerella*), 少齿腹节螺(*G. paucidentata*), 双突蛹形螺(*Pupilla bituberculata*), 薄层瓦娄蜗牛(*Vallonia tenuilabris*), 亚洲瓦娄蜗牛(*V. asiaticae*), 长琥珀螺(*Succinea oblonga*), 高琥珀螺(*S. altaica*)(王惠基, 1992)。主要的属均为水生类型, 多生活于淡水浅水水域或岸边、池沼、小溪等, 陆生种类化石数量较少。瓣鳃类有河球蚬(*Sphaerium rivicolium*), 近坚固球蚬(*S. subsolidum*), 河豆蚬(*Pisidium amnicum*)等, 属种单调, 个体数量不多(黄宝玉等, 1991)。

孢粉有松属 (*Pinus*), 云杉 (*Picea*), 冷杉 (*Abies*), 落叶松 (*Larix*), 铁杉 (*Tsuga*), 桦属 (*Betula*), 栎属 (*Quercus*), 榛属 (*Corylus*), 椴属 (*Tilia*), 栗属 (*Castanea*), 鹅耳枥 (*Carpinus*), 榆属 (*Ulmus*), 麻黄 (*Ephedra*), 蒿属 (*Artemisia*), 藜科 (*Chenopodiaceae*), 菊科 (*Compositae*), 唇形科 (*Labiatae*), 禾本科 (*Poaceae*), 豆科 (*Leguminosae*), 蓼科 (*Polygonaceae*), 莎草科 (*Cyperaceae*), 香蒲 (*Typha*), 眼子菜 (*Potamogeton*), 中国蕨科 (*Sinopteridaceae*) 等。所含孢粉以木本植物居多, 又以裸子植物中的针叶树云杉、冷杉和松属花粉为主, 榆属花粉和少量落叶、阔叶乔木多次出现, 草本植物在个别层位上占有优势, 主要以半旱生、旱生的蒿属、藜科、麻黄为主 (李小强等, 2002)。

轮藻有渭南格氏轮藻 (*Grambastichara wainanensis*), 苏北灯枝藻 (*Lychnothamnus subeiensis*), 分离轮藻 (*Chara cf. sejuncta*) 和讷莫格特轮藻 (*Nemegtichara sp.*) 等, 属小水体或滨岸地段的组合类型, 水体中含钙量也较高 (黄宝玉等, 1991)。

大型植物化石有刺榆 (*Hemiptelea sp.*), 古栓皮栎 (*Quercus miovariabilis*), 榲 (*Q. cf. dentata*), 辽东栎 (*Q. cf. liaotungensis*), 蒙古栎 (*Q. cf. mongolica*), 密脉鹅耳枥 (*Carpinus cf. miofangiana*), 心叶千金榆 (*C. subcordata*), 阔裂槭 (*Acer florinii*), 彩叶槭 (*A. subpictum*), 葡叶槭 (*A. diabolicum*), 翁格榉 (*Zelkova ungeri*), 榔榆 (*Ulmus cf. parvifolia*), 胡桃 (*Juglans sp.*), 枫杨 (*Pterocarya sp.*), 柘 (*Cudrania sp.*), 构 (*Broussonetia sp.*), 阔叶杨 (*Populus latior*), 皂柳 (*Salix cf. wallichiana*), 合欢 (*Albizza sp.*), 绣线菊 (*Spiraea sp.*), 吴茱萸 (*Evodia sp.*), 全缘栎树 (*Koelreuteria cf. integrifolia*), 以及水生植物香蒲 (*Typha sp.*) 等。榆社上新世植物群除包括少数蕨类和裸子植物外, 多数是被子植物, 主要有山毛榉科、榆科、槭树科、桦木科等; 其次有杨柳科、桑科、胡桃科、芸香科、无患子科、蔷薇科、豆科等; 最多的是栎属、槭属、榉属和榆属。以暖温带的属种占优势, 少量北亚热带成分。上新世的榆社盆地湖沼广阔, 水生、湿生植物繁盛, 有眼子菜、香蒲、木贼等 (曹家欣、崔海亭, 1989)。

#### 四、高庄阶底界

根据全国地层委员会 (2001) 提出的定义, 中国陆相新近系下上新统高庄阶应与“国际地层表”中海相的 Zanclean 阶对比, 同时高庄期也应该与欧洲陆生哺乳动物分期的 Ruscinian 期对比。Zanclean 阶

的底界位于 Chron C3r 地磁极性年代带上部, Tlivera 正极性年代亚带 (C3n. 4n) 前约 0.1 Ma 处, 天文年代学年龄值为 5.332 Ma, 钙质超微化石接近 *Triquetrorhabdulus rugosus* 的灭绝面 (CN10b 之底) 和 *Ceratolithus acutus* 的最低分布层位。Zanclean 阶的 GSSP 位于意大利西西里岛 Eraclea Minoa 的 Trubi 组底部 (第 1 碳酸盐旋回之底), 2000 年被国际地科联批准 (Van Convinger *et al.*, 2000)。Ruscinian 的底界在古地磁的 Chron C3r 上部, 年龄为 5.3 Ma (Steininger *et al.*, 1996)。因此, 高庄阶的底界与 Zanclean 和 Ruscinian 一致, 位于 Chron C3r 上部, 年龄为 5.3 Ma。高庄阶的顶界即是上覆的麻则沟阶的底界, 位于古地磁 Chron C2An. 3n 之内, 年龄为 3.4 Ma (邓涛, 2006)。

#### 1 高庄阶底界的生物标志

高庄动物群代表了高庄阶最典型的动物群, 包括不少首次出现的化石属种, 由于这个动物群的分布时限为整个高庄期的 2.9 Myr, 因此其中较早的首现属种才对高庄阶的底界有更重要的指示意义 (图 2)。

在小哺乳动物中, *Soriculus praecursus* 是食虫类中 soriculine 型鼯类在亚洲出现最早的分子 (Flynn & Wu W. Y., 1994)。高庄的 *Desmana kowalskae* 和比例克的 *Desmana sp.* 共同代表了该属在中国的首次出现, 是早上新世的标志性分子 (Qiu Z. D. & Storch, 2000)。Scaptochirus 是华北地区一种现生的本土性鼯鼠, 高庄动物群中的化石记录了它在地史中的首次发现, 但关于它在更早动物群中的祖先类型至今尚不清楚。Dipoides majori 可靠的材料见于榆社的高庄组和麻则沟组, 也出现于高特格 (李强等, 2003)。中国最早的 *Dipoides* 可能是内蒙古二登图最晚中新世的 *D. anatolicus*, Fahbusch 等 (1983) 报道的同一地点的 *D. cf. majori* 可能也属于该种 (Xu X. F., 1994), 此外, 它还可能出现于榆社的马会组 (Xu X. F., 1994; Flynn *et al.*, 1997)。Chardina 属的最早代表是山西河曲巡检司晚中新世保德期的 *C. sinensis* (Teilhard de Chardin & Young, 1931), 与山西榆社盆地的 *C. truncatus* 构成进化序列 (郑绍华, 1997)。Chardinomys yusheensis 的材料产自榆社的高庄组 (Jacobs & Li C. K., 1982), 分布于南庄沟段至醋柳沟段, 其出现时间可能略晚于比例克的 *C. bilikeensis*。Allocricetus 属首次出现于榆社高庄和灵台雷家河 III 带, 此后也出现于巫山龙骨坡 (Qiu Z. D. & Li C. K., 2003)。Huaxiamys primitivus 从马会组顶部

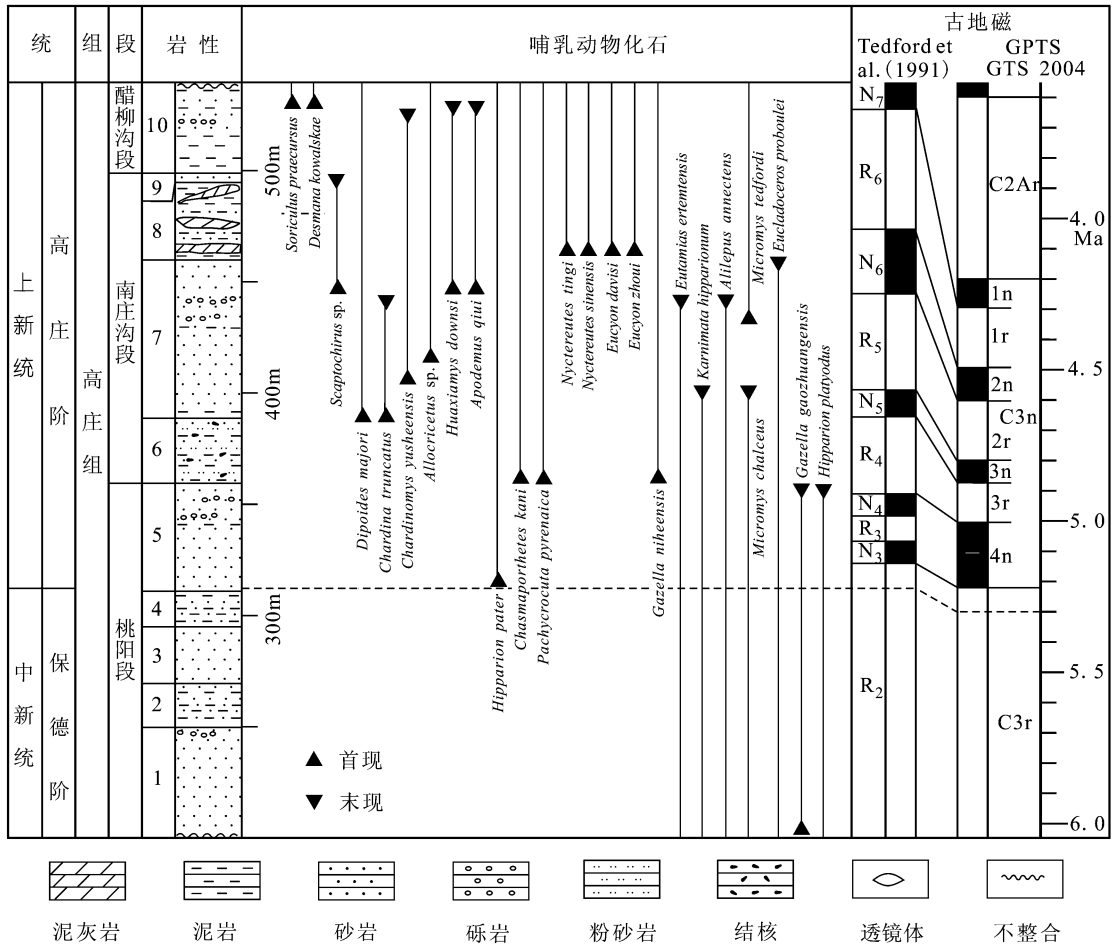


图 2 山西榆社盆地高庄阶层型综合剖面

Fig. 2 Comprehensive column of the stratotype section of the Gaozhuang Stage in the Yushe Basin, Shanxi Province

延续到高庄组底部, 位于高庄阶底界之下, 未延续到高庄期, 它与进步的 *H. downsi* 构成演化谱系, 彼此之间也易于区分, 因此后者可以作为高庄期的标志性化石, 但二者之间有约 1 Myr 的间断, 可能还存在这两个种之间的转化形式(吴文裕, Flynn, 1992)。 *Apodemus qiu* 出现于高庄组南庄沟段, 比麻则沟组中的 *A. zhangwagouensis* 更原始(吴文裕, Flynn, 1992)。

在大哺乳动物中, *Hipparion pater* 在榆社盆地高庄组有较为广泛的分布, 发现的地点包括白海、泥河、大马岚、高庄、银郊、桑家沟、沅泥凹等地。 *H. pater* 在尺寸上小于 *H. sinense*, 鼻骨不如后者退化, 齿冠更低, 齿窝褶皱较少, 前附尖和中附尖较窄, 下前臼齿外壁更圆隆等。除了榆社的材料, *H. pater* 还产自山西保德北第 5 地点和陕西游河, 时代都为上新世高庄期或麻则沟期(邱占祥等, 1987)。 *Chasmaporthetes* 首次出现于欧洲的晚中新世中期, 但在亚洲是从上新世才开始出现的。 *Chasma-*

*porthetes kani* 除分布于榆社高庄外, 也发现于乌克兰敖德萨上新世的 Catcombs(邱占祥等, 2004)。 *Pachycrocuta* 分布于欧亚大陆和非洲的早上新世至中更新世, *Pachycrocuta pyrenaica* 在榆社高庄的存在是这个种的首次出现, 它在欧洲分布于 MN 15(Qiu Z. X., 1987)。 *Nyctereutes tingi*, *N. sinensis*, *Eucyon davisii* 和 *E. zhoui* 从高庄组上部开始出现, 延续到麻则沟组内。 *E. davisii* 在早上新世高庄期从北美迁徙入东亚, 同时出现的还有 *E. zhoui*(Tedford & Qiu Z. X., 1991, 1996)。晚中新世的 *Gazella gaudryi* 可能是榆社盆地和邻近地区 *Gazella* 的共同祖先, 也与 *Gazella niheensis* 构成演化关系(陈冠芳, 1997)。

在上述首现种中, 它们在高庄阶底界之上出现的位置并不相同。实际上, 在有精确层位的小哺乳动物化石中, 恰好在 5.3 Ma 界线之上出现的种类还没有找到, 目前最接近这条界线的小哺乳动物化石有 *Dipoides majori*, *Chardina truncatus* 和

*Chardinomys yusheensis*, 这 3 个种都有对应的晚中新世最晚期的更原始的谱系种, 因此它们的首现可以作为高庄阶底界的参考标志。榆社盆地的大哺乳动物化石产出层位不如小哺乳动物化石精确, 相对而言, *Chasmaporthetes kani*, *Pachycrocuta pyrenaica*, *Hipparion pater* 和 *Gazella niheensis* 首现的位置最接近高庄阶底界, 因此也是重要的生物标志。

在高庄动物群的末次出现属种中, *Rhizomys shansius* 最早出现于高庄组下部的桃阳段, 并向上延续到高庄组的较高层位 (Teilhard de Chardin, 1942), 它是由马会组上部的更原始的 *R. shajius* 进化而来 (Flynn, 1993)。 *Eutamias ertemtensis* 的最低层位在晚中新世的马会和二登图, 延续到早上新世的高庄、比例克和高特格 (Qiu Z. D., 1991; Flynn et al., 1997; Qiu Z. D. & Storch, 2000; 李强等, 2003)。 *Karnimata hipparionum* 和 *Alilepus annectens* 也最早出现于二登图, 并延续到高庄和哈尔鄂博 (Storch, 1987; Qiu Z. D., 1987; Flynn et al., 1997)。 *Micromys chaldeus* 最初发现于二登图和哈尔鄂博动物群 (Storch, 1987), 在甘肃灵台剖面也有发现 (郑绍华、张兆群, 2001), 它在榆社剖面的高庄组中从桃阳段开始出现, 延续到南庄沟段, 与更进步的 *M. tedfordi* 构成进化谱系 (吴文裕、Flynn, 1992)。 *Eucladoceros proboulei* 是在榆社发现的一个新种, 它出现于高庄组的中下部, 对应于桃阳段和南庄沟段, 这样, 它在晚中新世最晚期出现, 延续到早上新世; 在形态和大小以及地层层位上, *E. proboulei* 介于 *Cervavitus novorossae* 和 *Eucladoceros boulei* 之间, 可能是后两个种之间在系统演化上的过渡类群 (董为、叶捷, 1996)。 *Gazella gaozhuangensis* 分布于高庄组的桃阳段, 即它主要属于晚中新世最晚期, 进入早上新世后很快就消失了, 它可能与麻则沟组开始出现的 *G. blacki* 构成演化序列, 但在南庄沟段和醋柳沟段的成员还没有找到 (陈冠芳, 1997)。 *Hipparion platyodus* 从晚中新世的保德期开始出现, 在山西武乡、甘肃武都有分布, 它在榆社盆地相当常见, 从马会组一直延续到高庄组。 *H. platyodus* 可能是 *H. houfenense* 的祖先类型 (邱占祥等, 1987)。

在未现的种类中, 我们可以选择接近高庄阶底界消失的种类作为参考的生物标志, 如 *Alilepus annectens*, *Eutamias ertemtensis*, *Micromys chaldeus*, *Gazella gaozhuangensis* 和 *Hipparion platyodus* 等。

如上所述, 高庄阶的底界标志相当丰富。然而,

实际上很难独立地确定一个种在地层中是首次出现还是末次出现。首现和末现种的共生是解决这一问题的良好途径 (Deng T. et al., 2007)。在这些化石中, 小哺乳动物首现的 *Dipoides majori*, *Chardina truncatus* 和 *Chardinomys yusheensis* 中任意种与末现的 *Alilepus annectens*, *Eutamias ertemtensis* 和 *Micromys chaldeus* 中任意种的共生就是高庄阶底界的最好标志。同样, 大哺乳动物中首现的 *Gazella niheensis*, *Hipparion pater*, *Chasmaporthetes kani* 和 *Pachycrocuta pyrenaica* 中任意种与末现的 *Gazella gaozhuangensis* 和 *Hipparion platyodus* 中任意种在同一层位的组合也是判断高庄阶底界的重要参考标志。当然, 小哺乳动物与大哺乳动物中任意首现种与末现种的共生也可以构成这样的关系。

## 2 高庄阶底界的古地磁标志

Tedford (1991) 发表了榆社盆地的古地磁剖面, Flynn 等对这个剖面的对比作了修订 (Flynn et al., 1995)。从马会组到海眼组的整个榆社剖面记录了 10 个正极性带和 10 个负极性带, 从下到上对应于 Chron C3An. 2n 至 C2r. 2r, 年龄为 6.5—2.3 Ma (Flynn et al., 1995)。相当长的第 2 个负极性带位于高庄组桃阳段, 很好地对应于标准极性柱的 Chron C3r, 而南庄沟段下部相当短的第 3、4 正极性带和第 3 负极性带合并对应于 Chron C3n. 4n。根据古地磁对比结果, 作为高庄阶底界标志的 Chron C3r 上部, 相当于 Chron C3n. 4n 之前约 0.1 Ma 处的精确位置在榆社桃阳剖面的高庄组桃阳段第 5 层的土黄色块状砂岩近底部, 年龄为 5.3 Ma (图 2)。

## 五、高庄期的其他哺乳动物群

高庄动物群具有典型的上新世特点, 存在许多更进步的类型。高庄动物群与甘肃临夏盆地的十里墩动物群和灵台地区的雷家河动物群非常相似, 拥有一些共同的成员, 在大哺乳动物方面, 高庄和十里墩动物群都有 *Chasmaporthetes kani*, *Hipparion pater*, *H. licenti* 等 (邓涛, 2009); 在小哺乳动物方面, 高庄和雷家河动物群都具有 *Ochotona lagrelli*, *Sminthoides*, *Cricetus mesolophidus*, *Allocrietus*, *Chardina truncatus*, *Chardinomys yusheensis*, *Apodemus qiui*, *Micromys tedfordi*, *Huaxiamys downsi* (郑绍华、张兆群, 2001)。十里墩和雷家河动物群都对应于中国的 NMU 12 或欧洲的 MN 14 (邓涛, 2006; 郑绍华、张兆群, 2001), 因此高庄动物群的 NMU 12 属性以及与欧洲 MN 14—15 的对比



(Qiu Z. D. & Li C. K., 2003) 是有更多旁证的。基于哺乳动物化石组成, 其他与高庄动物群相当的中国早上新世动物群还有内蒙古化德的比例克动物群(Qiu Z. D. & Storch, 2000) 和哈尔鄂博动物群(Fahlbusch *et al.*, 1983)、内蒙古阿巴嘎旗的高特格动物群(李强等, 2003)、安徽淮南的新洞动物群(金昌柱、张颖奇, 2005), 以及甘肃秦安董湾剖面的化石组合(Hao Q. Z. & Guo Z. T., 2004)。

十里墩动物群最早由邓涛等(2004)报道, 产自广河县城关乡十里墩, 最近在邻近的广河县庄禾集乡对康发现了更多的化石, 目前十里墩动物群的组成有啮齿目的 *Hystrix gansuensis*, 兔形目的 *Alilepus* sp., 食肉目的 *Parataxidea sinensis*, *Promephitis* sp., *Sinictis dolichognathus*, *Adcrocuta eximia*, *Chasmaporthetes kani*, *Hyacnicittherium wongii*, *Felis* sp., 奇蹄目的 *Hipparion hippidiodus*, *H. licenti*, *H. platyodus*, *H. pater*, *Shansirhinus ringstroemi*, *Chalicotherium* sp., *Ancylotherium* sp., 偶蹄目的 *Cervavitus novorossiae*, *Palaeotragus microdon*, *Samotherium* sp., *Capricornis* sp., *Gazella blacki*, *Sinotragus* sp. 等(邓涛, 2009)。

雷家河 III 带动物群由郑绍华、张兆群(2001)、陈冠芳(2002)、崔宁(2003)报道, 其组成包括食虫目的 *Erinaceus* sp., *Antesorex* sp., *Crociodura* sp., *Chodsigoa* sp., 兔形目的 *Ochotona* cf. *lagrelli*, *Trischizolagus dumitrescuae*, 啮齿目的 *Eutamias* sp., *Sciurotamias* sp., *Atlantoxerus* sp., *Prosiphneus* cf. *murinus*, *Pliosiphneus lyratus*, *Chardina sinensis*, *C. truncatus*, *Nannocricetus mongolicus*, *Sinocricetus z danskyi*, *Allocricetus bursae*, *Cricetinus mesolophidus*, *Kowalskia* cf. *similis*, *K. neimengensis*, *Pseudomeriones abbreviatus*, *Sicista* sp., *Sminthoides* sp., *Paralactaga anderssoni*, *Lophocricetus* sp., *Micromys* cf. *chalceus*, *M. tedfordi*, *Huaxiamys primitivus*, *Apodemus* cf. *orientalis*, *A. qiui*, *Chardinomys primitivus*, *C. lingtaiensis*, *C. yusheensis*, *Karnimata* cf. *hipparionum*, *Allorattus engesseri*, 食肉目的 *Nyctereutes* sp., *Martes* sp., *Felis* sp., 奇蹄目的 *Hipparion pater*, *H. houfenense*, *Acerorhinus* sp., 偶蹄目的 *Gazella niheensis*。这个动物群中存在有 *Chardinomys*, *Huaxiamys*, *Allorattus* 和 *Trischizolagus*, 更接近于比例克动物群(邱铸鼎等, 2006), 而不是先前认为二登图动物群(郑绍华、张兆群, 2001), 因为

二登图动物群中不存在这些种类。

比例克动物群包括食虫目的 *Desmana* sp., *Quyania* cf. *chowii*, *Yanshuella primaeva*, *Lunanosorex* cf. *lii*, *Paenelimnoecus obtusus*, *Parasoriculus tongi*, *Petenya katrinae*, *Sorex ertemteensis*, *S. minutoides*, *S. pseudoalpinus*, *Sulimskia zieglerei*, *Erinaceus mongolicus*, 翼手目的 *Murina* sp., *Myotis* cf. *annectanus*, *M. cf. horsfieldii*, *Vespertilio* cf. *sinensis*, 啮齿目的 *Atlantoxerus* sp., *Eutamias ertemteensis*, *Prospermophilus* cf. *orientalis*, *Sciurus* cf. *yusheensis*, *Castor anderssoni*, *Myomimus sinensis*, *Lophocricetus grabau*, *Paralophocricetus pusillus*, *Sicista wangi*, *Sinozapus volkeri*, *Anatolomys* cf. *teihardi*, *Brachyscirtetes* cf. *robustus*, *Dipus* cf. *fraudator*, *Kowalskia* cf. *similis*, *K. zhengi*, *Microtodon* cf. *atavus*, *Nannocricetus mongolicus*, *Paralactaga suni*, *Sinocricetus progressus*, *Pseudomeriones abbreviatus*, *Aratomys bilikeensis*, *Prosiphneus* cf. *eriksoni*, *Allorattus engesseri*, *Apodemus lii*, *Chardinomys bilikeensis*, *Huaxiamys* sp., *Micromys kozaniensis*, *Orientalomys sinensis*, 兔形目的 *Trischizolagus mirificus*, *Ochotona minor*。比例克动物群在时代上老于高庄组上部的化石组合, 对应于高庄期早期, 或欧洲 Ruscinian 早期的 MN 14(Qiu Z. D. & Storch, 2000)。这个动物群以 *Desmana*, *Petenya*, *Lunanosorex*, *Parasoriculus*, *Sulimskia*, *Tamiasciurus*, *Aratomys*, *Chardinomys*, *Allorattus* 和 *Trischizolagus* 的首现, 以及睡鼠科(Gliridae), *Parasoriculus*, *Lophocricetus*, *Kowalskia*, *Anatolomys* 和 *Orientalomy* 的未现为特点(邱铸鼎等, 2006)。

哈尔鄂博动物群最早由 Fahlbusch 等(1983)发表了初步的名单, 后来对大部分属、种进行了详细描述和修订, 目前该动物群中包括食虫目的 *Yanshuella primaevus*, *Quyania chowii*, *Paranousorex inexpectatus*, *Zelceina kormosi*, *Paenepetenya zhudingi*, *Sorex minutoides*, *S. ertemteensis*, *S. pseudoalpinus*, *Cokia kowalskae*, 啮齿目的 *Pseudaplodon asiaticus*, *Eutamias ertemteensis*, *Sciurus* sp., *Sinotamias gravis*, *Prospermophilus orientalis*, *Pliopetaurista rugosa*, *Petinomys auctor*, *Dipoides* cf. *majori*, *Myomimus sinensis*, *Lepodontomys gansus*, *Sicista* sp., *Eozapus similis*, *Lophocricetus grabau*, *Paralophocricetus pusillus*, *Paralactaga suni*, *Brachyscirtetes wimani*,

*Dipus fraudator*, *Sinocricetus zdanskyi*, *Nannocricetus mongolicus*, *Kowalskia similis*, *K. neimengensis*, *Microtodon atavus*, *Anatolomys teilhardi*, *Pseudomeriones abbreviatus*, *Prosiphneus eriksoni*, *Microscoptes praetermissus*, *Hansdebruijnina pusilla*, *Karnimata hipparionum*, *Apodemus orientalis*, *Micromys chalceus*, *Orientalomys cf. similis*, *Rhagapodemus sp.*, 兔形目的 *Alilepus annectens*, *Trischizolagus sp.*, *Ochotona lagreli*, *O. minor*。哈尔鄂博动物群中的 *Rhagapodemus* 和 *Trischizolagus* 在地史上出现较晚, 都出现于早上新世, *Ochotona* 个体的平均值比二登图的要大, 前臼齿的构造也较复杂, 说明哈尔鄂博动物群在时代上可能稍晚于二登图, 应与高庄期早期对比(邱占祥、邱铸鼎, 1990)。

高特格动物群中包括食虫目的 *Desmana sp.*, *Yanshuella primaeva*, *Lunanosorex cf. lii*, *Petenya katrinae*, *Sorex ertemteensis*, *S. pseudoalpinus*, *Sulimskia cf. ziegleri*, *Erinaceus sp.*, 啮齿目的 *Eutamias ertemteensis*, *Prospermophilus orientalis*, *Sciurotamias sp.*, *Castor anderssoni*, *C. zdanskyi*, *Depoides sp.*, *Eozapus similis*, *Sicista sp.*, *Sinozapus volkeri*, *Brachyscirtetes sp.*, *Dipus fraudator*, *Paralactaga suni*, *Microtodon? sp.*, *Nannocricetus mongolicus*, *Sinocricetus progressus*, *Pseudomeriones cf. abbreviatus*, *Aratomys cf. bilikeensis*, *Borsodia? sp.*, *Mimomys cf. orientalis*, *Chardina zhengi*, *Prosiphneus sp.*, *Allohuaxiamys gaodegeensis*, *Apodemus lii*, *Chardinomys sp.*, *Huaxiamys downsi*, *Micromys cf. kozaniensis*, *Pararhizomys sp.*, 兔形目的 *Ochotona sp.*, *Trischizolagus sp.*, 食肉目的 *Chasmaporthetes sp.?* *Eucyon sp.*, *Nyctereutes sp.*, *Lutra sp.*, *Mustela sp.*, *Pannonictis sp.*, 奇蹄目的 *Hipparion insperatum*, 以及偶蹄目的 *Gazella sp.*。高特格啮齿类与榆社盆地高庄动物群有相同的属种出现, 两者共有 12 个属(*Eutamias*, *Sinotamias*, *Castor*, *Dipoides*, *Dipus*, *Nannocricetus*, *Chardina*, *Mimomys*, *Apodemus*, *Micromys*, *Chardinomys* 和 *Huaxiamys*) 和 7 个种(*Eutamias ertemteensis*, *Castor anderssoni*, *Dipoides majori*, *Nannocricetus mongolicus*, *Apodemus qiu*, *Chardinomys yusheensis* 和 *Huaxiamys downsi*)。上述相同的种特别是鼠科的 3 个种都出自高庄组上部, 而高庄组下部发现的 *Micromys chalceus* 和 *Huaxiamys primitivus* 比

高特格相应的种 *Micromys cf. tedfordi* 和 *Huaxiamys downsi* 要原始。高特格动物群以 *Sciurotamias* 的首现以及睡鼠科、*Lophocricetus* 和 *Orientalomys* 的消失为特点, 其时代大致与榆社高庄组上部的化石组合相当, 对应于欧洲 Ruscian 晚期的 MN 15(李强等, 2003; 邱铸鼎等, 2006)。

淮南的新洞已进行多次发掘, 采集到大量脊椎动物化石, 经研究, 计有龟鳖类、鸟类、食虫类、攀鼯类、翼手类、啮齿类、食肉类、奇蹄类、偶蹄类等 12 目 20 科 38 属 40 多种脊椎动物。该动物群中的 *Pannonictis* 和 *Paramachairoodus* 只在欧亚大陆的上新世地层中发现过; 此外, 还有 *Nyctereutes cf. tingi*, *Martes cf. zdanskyi* 和 *Meles cf. taxipater* 等食肉类过去也只发现于我国的榆社上新世的高庄组和内蒙古早上新世的比例克动物群。所有这些种类与已知种相比, 个体普遍较小, 而在形态特征上则显得更原始些。这表明淮南新洞洞穴堆积的地质时代可能略早于内蒙古早上新世的比例克动物群(金昌柱、张颖奇, 2005), 相当于欧洲的 MN 14(邓涛, 2006)。

秦安董湾剖面 36—11 m 深度的古地磁年龄为 5.3—4.2 Ma, 所产的哺乳动物化石包括 *Ochotona sp.*, *Prosiphneus eriksoni* 和 *Pliosiphneus lyratus* (Hao Q. Z. & Guo Z. T., 2004), 显然也属于高庄期。

在欧洲 Ruscian 期 MN 14 和 MN 15 的典型地点分别是波兰的 Podlesice 和法国的 Perpignan (Mein, 1990), 它们与高庄动物群在属级水平上有许多相同的分子, MN 14 的首现属 *Sus*, *Paracervulus* 和 MN 15 的首现属 *Sciurus*, *Mimomys* 也存在于高庄期。在高庄期哺乳动物群中, 从属级水平看, 食虫类的 *Petenya*, *Sulimskia* 和啮齿类的 *Sinozapus* 和 *Aratomys* 首次出现于比例克, *Mimomys* 和 *Chardina* 首现于雷家河, *Pliosiphneus* 首现于董湾, *Mesosiphneus*, *Germanomys* 和 *Mimomys* 首现于高庄, *Promimomys* 首现于淮南; *Prosiphneus* 末次出现于雷家河, *Leptodontomys* 和 *Keramidomys* 未现于哈尔鄂博。在榆社高庄, 首次出现的属还包括兔形类的 *Hypolagus*, 食肉类的 *Nyctereutes*, *Eucyon*, *Ursus*, *Vulpes*, *Pachycrocuta* 和 *Chasmaporthetes*, 长鼻类的 *Sinomastodon* 等。

## 六、高庄阶地层的对比

虽然中国高庄期的哺乳动物群不算少, 但仅在山西榆社、甘肃广河和灵台有发育良好的穿越高庄阶底界的连续剖面。还有一些剖面从古地磁上看包

含了高庄阶底界上下的地层, 但缺乏哺乳动物化石标志, 如甘肃灵台任家沟和云南元谋雷老。

临夏盆地的十里墩剖面发育于甘肃省广河县城关乡, 出露的地层从下到上包括虎家梁组、柳树组、何王家组和积石组。虎家梁组的厚度超过 50 m, 岩性为灰色砂砾岩和含砾砂岩, 胶结较疏松, 常见大型交错层理, 含以铲齿象为代表的丰富哺乳动物化石(邓涛, 2004)。这个动物群属于中中新世早期, 对比于中国通古尔期的 NMU 6 或欧洲 Astaracian 的 MN 6。柳树组的厚度为 100 m, 岩性为褐黄色粉砂质泥岩, 即典型的红黏土沉积, 含大量 2—10 cm 的钙质结核层, 在该剖面柳树组中找到的哺乳动物化石并不多, 但在该地区柳树组中发现的三趾马动物群化石相当于灞河期的 NMU 8—9(相当于欧洲 Vallesian 期的 MN 9—10) 和保德期的 NMU 10(相当于欧洲 Turolian 期的 MN 11—12)。何王家组的厚度为 54 m, 岩性为褐黄色粉砂质泥岩(红黏土), 含大量钙结核, 底部有一层灰绿色砂砾岩, 十里墩动物群即发现于此。最近在邻近的对康地点的相同层位发现了更多的哺乳动物化石, 极大地丰富了十里墩动物群的组成。如前所述, 十里墩动物群对比于中国高庄期的 NMU 12, 相当于欧洲 Ruscian 期的 MN 14。积石组的可见厚度为 5 m, 岩性为钙质胶结粗砾岩, 层序对比和古地磁结果显示其时代为晚上新世。从这个剖面的地层层序和哺乳动物化石证据显示, 这里应该存在高庄阶的下界, 其位置应该在何王家组底部的红黏土连续沉积中。最近在十里墩和对康都进行了高分辨率的古地磁分析, 将可能更精确地决定高庄阶的底界位置, 因此这条剖面是高庄阶层型的有利候选地点之一。由于在临夏盆地尚未发现麻则沟期的化石, 因此麻则沟阶的底界, 即高庄阶的顶界尚难确定。根据此前的古地磁结果(Fang X. M. *et al.*, 2003), 作为麻则沟阶底界的 Chron C2An. 3n 中部应位于何王家组上部。

灵台剖面的新生代沉积覆盖于白垩系之上, 由三趾马红土、河湖相的雷家河组和午城黄土堆积组成。这个剖面厚约 78 m, 依据小哺乳动物化石组合, 自下而上可以划分为 6 个生物地层带。根据郑绍华、张兆群(2001)的对比, 雷家河 II 带相当于马会组及高庄组桃阳段动物组合, 其共有的成员有 *Ochotona lagrelli*, *Pseudomeriones abbreviatus*, *Prosiphneus murinus*, *Karnimata hipparionum* 等; 雷家河 III、IV 带相当于高庄组上部(南庄沟段 + 醋柳沟段) 动物组合, 共有的小哺乳动物化石种类有: *Ochotona lagrelli*, *Sminthoides*, *Cricetinus me-*

*solophidus*, *Allocricetus*, *Chardina truncatus*, *Chardinomys yusheensis*, *Apodemus qiui*, *Micromys tedfordi*, *Huaxiamys downsi*; 雷家河 V 带相当于麻则沟组的动物组合, 共有的小哺乳动物有 *Ochotona lagrelli*, *Ochotonoides complicidens*, *Sminthoides*, *Cricetinus mesolophidus*, *Allocricetus bursae*, *A. ehiki*, *Cricetulus*, *Mesosiphneus paratingi*, *Cromeromys*, *Chardinomys louisi*, *Micromys tedfordi* 等; 雷家河 VI 带通过间接对比与海眼组动物组合的层位大体相当。上述结果表明雷家河 II 带对比于晚中新世保德期的 NMU 11 或欧洲 Turolian 期的 MN 13, 雷家河 III、IV 带对比早上新世高庄期的 NMU 12 或欧洲 Ruscian 期的 MN 14—15, 雷家河 V 带对比于晚上新世麻则沟期的 NMU 13 或欧洲 Vallanyian 期的 MN 16, 雷家河 VI 带对比于早更新世泥河湾期或欧洲 Villanyian 期的 MN 17。根据哺乳动物化石对比, 高庄期的下限应在雷家河 III 带底部, 对应到地层剖面, 则高庄阶底界应在雷家河文王沟剖面第 14 层。对文王沟剖面所做古地磁的分析表明, 雷家河 III 带所处的第 15 层的底部在 Chron C3n. 3n, 年龄为 4.8 Ma, 而第 17 层的顶部在 Chron C3An. 1n, 年龄为 5.89 Ma(魏兰英等, 1993; 郑绍华、张兆群, 2001), 即该剖面的高庄阶底界(Chron C3r 上部)应位于第 16 层中, 但该层为钙结核砾岩层, 无法进行古地磁测量, 因此雷家河地区高庄阶的底界应在其他含化石且岩性理想的剖面上做更精细的古地磁工作来寻找。

在灵台任家坡发育一套包含黄土—红黏土的土状堆积, 厚度逾 300 m, 上部的黄土厚 170 m, 下部的静乐红土厚 68 m、保德红土厚 58 m。张云翔等(1999)在任家坡剖面中部发现了哺乳动物化石, 包括 *Chardinomys* sp., *Nyctereutes sinensis*, *Gomphotheriidae*, *Hipparion houfense*, *Rhinocerotidae*, *Paracamelus* sp., *Gazella* sp., *G. blacki*, *Antilospira licenti*, 这一化石组合属于麻则沟期的 NMU 13 或欧洲 Villanyian 期的 MN 16。丁仲礼等(Ding Z. L. *et al.*, 1999)对任家坡剖面进行的古地磁工作显示, 作为麻则沟阶底界的 Chron C2An. 2r 之底存在于静乐红土中部, 作为高庄阶底界的 Chron C3r 上部存在于保德红土顶部, 因此这条剖面包含了完整的高庄阶地层。不过, 由于未找到高庄期化石, 因此缺乏高庄阶底界的生物标志。

云南元谋雷老地点的新近纪地层主要由紫红色含砂砾的粉砂和粉砂质黏土组成, 夹有多层杂色砂砾层, 覆盖在前震旦纪的花岗岩或中生代的红层之

上,其上不整合地覆盖着“士林”地层。这套地层除最上面的耕作层外从上到下分为8层,在第4层的下部产有蝴蝶古猿(*Luf enp ithecus hudienensis*)化石,第5层产有大量的哺乳动物化石。与蝴蝶古猿共生的哺乳动物的时代相当于保德期的NMU 10或欧洲Turolian期的MN 12(祁国琴、倪喜军,2006)。雷老剖面的古地磁结果显示,作为高庄阶底界的Chron C3r上部位于第3层顶部(孙东怀,2006)。遗憾的是,在该剖面的高庄阶地层中尚未找到任何哺乳动物化石。

在其他的高庄期化石地点中,哈尔鄂博无剖面,化石挖掘自地面之下。比例克的含化石层为一套褐红色和灰黄色湖相粉砂质的黏土,剖面可见厚度十余米,未进行过古地磁工作。安徽淮南新洞为富含钙质的洞穴堆积,胶结坚硬,由角砾岩、泥岩和砂岩组成(金昌柱、张颖奇,2005)。高特格剖面的总厚度在70 m左右,古地磁结果显示,高特格剖面的磁性地层年代在Chron C2Ar—C3n. 2n之间,绝对年龄大约在4.1—4.5 Ma之间,化石产出层位大部分在Chron C3n. 1n—C3n. 1r,相对应的时间是4.18—4.48 Ma(徐彦龙等,2007)。因此,高特格剖面下部未达到高庄阶底界。

衷心感谢邱占祥院士、邱铸鼎研究员、Laurence Flynn博士在野外考察和室内研究中的大力支持与帮助。

## 参 考 文 献

- 曹家欣,崔海亭. 1989. 山西榆社盆地上新世植物群及其环境意义. 地质科学, (4): 369—375
- 陈冠芳. 1997. 榆社盆地新第三纪晚期的*Gazella* 羚羊. 古脊椎动物学报, 35(4): 233—249
- 陈冠芳. 2002. 甘肃灵台雷家河新第三纪晚期的大哺乳动物组合及其时代. 古脊椎动物学报, 40(1): 70—79
- 崔宁. 2003. 甘肃灵台雷家河剖面中的日进鼠(*Charadinomys*). 古脊椎动物学报, 41(4): 289—305
- 邓涛. 2004. 临夏盆地中新统虎家梁组的建立及其特征. 地层学杂志, 28(4): 307—312
- 邓涛. 2006. 中国新近纪哺乳动物生物年代学. 古脊椎动物学报, 44(2): 143—163
- 邓涛. 2009. 哺乳动物群落线指示的甘肃临夏盆地晚新生代环境演变. 古脊椎动物学报, 47(4): 282—298
- 邓涛, 王晓鸣, 倪喜军, 刘丽萍, 梁忠. 2004. 临夏盆地的新生代地层及其哺乳动物化石证据. 古脊椎动物学报, 42(1): 45—66
- 董为, 叶捷. 1996. 记山西榆社晚新生代鹿科化石两新种. 古脊椎动物学报, 34(2): 135—144
- Fahlbusch V., 邱铸鼎, Storch G. 1983. 内蒙古化德县二登图和哈尔鄂博新第三纪哺乳动物群. 中国科学, (1): 75—86
- 黄宝玉, 郭书元等. 1991. 山西中南部晚新生代地层和古生物群. 北京: 科学出版社. 1—218
- 金昌柱, 张颖奇. 2005. 东亚地区首次发现原模鼠(*Promimomys*, Arvicolidae). 科学通报, 50(2): 152—157
- 李传夔, 吴文裕, 邱铸鼎. 1984. 中国陆相新第三系的初步划分与对比. 古脊椎动物学报, 22(3): 163—178
- 李强, 王晓鸣, 邱铸鼎. 2003. 内蒙古高特格上新世哺乳动物群. 古脊椎动物学报, 41(2): 104—114
- 李小强, 李承森, 鹿化煜, 王宇飞. 2002. 山西榆社—太谷盆地上新世中晚期的植被与环境. 海洋地质与第四纪地质, 22(1): 103—108
- 刘宪亭, 苏德造. 1962. 山西榆社盆地上新世鱼类. 古脊椎动物学报, 6(1): 1—25
- 刘玉海. 1961. 山西榆社—蛙化石新种. 古脊椎动物学报, (4): 340—344
- 裴文中, 周明镇, 郑家坚. 1963. 中国的新生界. 北京: 科学出版社. 1—31
- 祁国琴, 倪喜军. 2006. 蝴蝶古猿的地质时代. 见: 祁国琴、董为主编. 蝴蝶古猿产地研究. 北京: 科学出版社. 229—239
- 邱占祥, 邓涛, 王伴月. 2004. 甘肃东乡龙担早更新世哺乳动物群. 中国古生物志, 新丙种, 27: 1—198
- 邱占祥, 黄为龙, 郭志慧. 1987. 中国的三趾马化石. 中国古生物志, 新丙种, 25: 1—250
- 邱占祥, 邱铸鼎. 1990. 中国晚第三纪地方哺乳动物的排序及其分期. 地层学杂志, 14(4): 241—260
- 邱铸鼎, 王晓鸣, 李强. 2006. 内蒙古中部新近纪动物群的演替与生物年代. 古脊椎动物学报, 44(2): 164—181
- 全国地层委员会. 2001. 中国地层指南及中国地层指南说明书(修订版). 北京: 地质出版社. 1—59
- 山西省地层表编写组. 1979. 华北地区区域地层表, 山西省分册(一). 北京: 地质出版社. 1—287
- 孙东怀. 2006. 雷老含古猿化石地层的古地磁测年. 见: 祁国琴、董为主编. 蝴蝶古猿产地研究. 北京: 科学出版社. 256—259
- 董永生, 郑绍华, 邱铸鼎. 1995. 中国新生代哺乳动物分期. 古脊椎动物学报, 33(4): 290—314
- 王惠基. 1992. 山西榆社楼则峪组和张村组的地质时代. 地层学杂志, 16(4): 290—291
- 魏兰英, 陈明扬, 赵惠敏, 孙继敏, 卢逊. 1993. 雷家河上新世一晚中新世湖相地层剖面磁性地层学研究. 见: 纪念袁复礼教授诞辰100周年学术讨论会组织委员会编. 纪念袁复礼教授诞辰100周年学术讨论会论文集. 北京: 地震出版社. 63—67
- 吴文裕, Flynn L. J. 1992. 记山西榆社晚新生代鼠科化石新属种. 古脊椎动物学报, 30(1): 17—38
- 徐彦龙, 仝亚博, 李强, 孙知明, 裴军令, 杨振宇. 2007. 内蒙古高特格含上新世哺乳动物化石层的磁性地层学年代学研究. 地质论评, 53(2): 250—261
- 杨钟健. 1936. 三门系之历史的检讨. 地质论评, 1(3): 323—330
- 岳乐平, 张云翔. 1998. 山西静乐贺丰三趾马动物群与磁性地层. 古脊椎动物学报, 36(1): 76—80
- 张席褫. 1964. 山西东南部榆社盆地乳齿象类化石的新材料. 古脊椎动物学报, 8(1): 33—41
- 张席褫, 刘后一. 1964. 记山西榆社峡口*Metailurus*化石. 古脊椎

- 动物学报, 8(2): 182—185
- 张云翔, 孙东怀, 安芷生, 薛祥熙. 1999. 甘肃灵台上新世晚期红粘土中的哺乳动物化石. 古脊椎动物学报, 37(3): 190—199
- 周明镇, 张玉萍. 1961. 华北乳齿象类的新材料. 古脊椎动物学报, 5(3): 245—255
- 郑绍华. 1997. 凹枕型鼯鼠 (*Mesosiphneinae*) 的进化历史及环境变迁. 见: 童永生, 张银运, 吴文裕, 李锦玲, 史立群编. 演化的实证——纪念杨钟健教授百年诞辰论文集. 北京: 海洋出版社. 137—150
- 郑绍华, 张兆群. 2001. 甘肃灵台晚中新世—早更新世生物地层划分及其意义. 古脊椎动物学报, 39(3): 215—228
- Cao Jir xin & Cui Hai tian. 1989. Research of Pliocene flora and paleoenvironment of Yushe Basin on Shanxi Plateau, China. *Scientia Geologica Sinica*, (4): 369—375
- Chen Guarf ang. 1997. The genus *Gazella* Blainville, 1816 (Bovidae, Artiodactyla) from the late Neogene of Yushe Basin, Shanxi Province, China. *Vertebrata Palasiatica*, 35(4): 233—249
- Chen Guarf ang. 2002. The late Neogene macromammalian assemblages from Lingtai, Gansu Province, China. *Vertebrata Palasiatica*, 40(1): 70—79
- Chinese Committee of Stratigraphy. 2001. Stratigraphic Guide of China and Its Explanation (Revised Edition). Beijing: Geological Publishing House. 1—59
- Compiling Group of the Stratigraphical Chart of Shanxi Province. 1979. Regional Stratigraphical Chart of North China, Fascicule of Shanxi Province (1). Beijing: Geological Publishing House. 1—287
- Cui Ning. 2003. Fossil *Chardinomys* (Muridae, Rodentia, Mammalia) from Leijiah e sections, Lingtai, Gansu. *Vertebrata Palasiatica*, 41(4): 289—305
- Daxner-Höck G, Fahlbusch V, Kordos L & Wu W Y. 1996. The late Neogene cricetid rodent genera *Neocricetodon* and *Kowalskia*. In: Bernor R L, Fahlbusch V & Mittmann H W eds. The evolution of Western Eurasian Neogene mammal faunas. New York: Columbia University Press. 220—226
- Deng T, Hou S K & Wang H J. 2007. The Tunggurian Stage of the continental Miocene in China. *Acta Geologica Sinica*, 81(5): 709—721
- Deng Tao, Wang Xiao-ming, Ni Xi-jun, Liu Li-ping & Liang Zhong. 2004. Cenozoic stratigraphic sequence of the Linxia Basin in Gansu, China and its evidence from mammal fossils. *Vertebrata Palasiatica*, 42(1): 45—66
- Deng Tao. 2004. Establishment of the Middle Miocene Hujialiang Formation in the Linxia Basin of Gansu and its features. *Journal of Stratigraphy*, 28(4): 307—312
- Deng Tao. 2006. Chinese Neogene mammal biochronology. *Vertebrata Palasiatica*, 44(2): 143—163
- Deng Tao. 2009. Late Cenozoic environmental change in the Linxia Basin (Gansu, China) as indicated by mammalian cenograms. *Vertebrata Palasiatica*, 47(4): 282—298
- Ding Z L, Xiong S F, Sun J M, Yang S L, Gu Z Y & Liu T S. 1999. Pedostratigraphy and paleomagnetism of a ~ 7.0 Ma old an loess red clay sequence at Lingtai, Loess Plateau, north central China and the implications for paleomonsoon evolution. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 152: 49—66
- Dong Wei & Ye Jie. 1996. Two new cervid species from the late Neogene of Yushe Basin, Shanxi Province, China. *Vertebrata Palasiatica*, 34(2): 135—144
- Fahlbusch V, Qiu Zhur ding & Storch G. 1983. The Neogene mammalian faunas of Ertemte and Harr Obo in Huade, Inner Mongolia. *Scientia Sinica*, (1): 75—86
- Fang X M, Garzzone C, Van der Voo R, Li J J & Fan M J. 2003. Flexural subsidence by 29 Ma on the NE edge of Tibet from the magnetostratigraphy of Linxia Basin, China. *Earth and Planetary Science Letters*, 210: 545—560
- Flynn L J. 1993. A new bamboo rat from the late Miocene of Yushe Basin. *Vertebrata Palasiatica*, 31(2): 95—101.
- Flynn L J, Qiu Z X, Opdyke N D & Tedford R H. 1995. Ages of key fossil assemblages in the late Neogene terrestrial record of northern China. *Geochronology Time Scales and Global Stratigraphic Correlation. SEPM Special Publication*, 54: 365—373
- Flynn L J, Tedford R H & Qiu Z X. 1991. Enrichment and stability in the Pliocene mammalian fauna of North China. *Paleobiology*, 17: 246—265
- Flynn L J & Wu W Y. 1994. Two new shrews from the Pliocene of Yushe Basin, Shanxi Province, China. *Vertebrata Palasiatica*, 32(2): 73—86
- Flynn L J, Wu W Y & Downs W R. 1997. Dating vertebrate microfaunas in the late Neogene record of northern China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 133: 227—242
- Hao Q Z & Guo Z T. 2004. Magnetostratigraphy of a late Miocene Pliocene loess soil sequence in the western Loess Plateau in China. *Geophysical Research Letters*, 31: 1—4
- Hopwood A T. 1935. Fossil Proboscidea from China. *Palaeontologia Sinica (Series C)*, 9(3): 1—108
- Huang Baoyu, Guo Shu yuan *et al.* 1991. Late Cenozoic stratigraphy and palaeontology from central southern region of Shanxi. Beijing: Science Press. 1—218.
- Jacobs L L & Li C K. 1982. A new genus (*Chardinomys*) of murid rodent (Mammalia, Rodentia) from the Neogene of China, and comments on its biography. *Geobios*, 15: 255—259
- Jin Chang-zhu & Zhang Ying-qi. 2005. First discovery of *Promimomys* (Arvicolidae) in East Asia. *Chinese Science Bulletin*, 50(4): 327—332
- Licent E & Trassaert M. 1935. The Pliocene lacustrine series in central Shansi. *Bulletin of the Geological Society of China*, 14: 211—219
- Li Chuankui, Wu Weryu & Qiu Zhurding. 1984. Chinese Neogene: subdivision and correlation. *Vertebrata Palasiatica*, 22(3): 152—157
- Li Qiang, Wang Xiao-ming & Qiu Zhurding. 2003. Pliocene mammalian fauna of Gaotege in Nei Mongol (Inner Mongolia), China. *Vertebrata Palasiatica*, 41(2): 104—114

- Li Xiaoliang, Li Chengsen, Lu Huiyu & Wang Yefei. 2002. Paleovegetation and paleoenvironment in Middle-Late Pliocene Yushe and Taigu basins, eastern Shanxi, China. *Marine Geology and Quaternary Geology*, **22**(1): 103-108
- Liu Xiarting & Su Dezao. 1962. Pliocene fishes from Yushe Basin, Shansi. *Vertebrata Palasiatica*, **6**(1): 1-25
- Liu Yurhai. 1961. A new species *Rana* from Shansi. *Vertebrata Palasiatica*, **5**(4): 340-344
- Mein P. 1990. Updating of MN zones. In: Lindsay E H, Fahlbusch V & Mein P eds. European Neogene mammal chronology. New York: Plenum Press. 73-80
- Pei Wenzhong, Zhou Mingzhen & Zheng Jiarjian. 1963. The Cenozoic Erathem of China. Beijing: Science Press. 1-31
- Qi Guoqin & Ni Xijun. 2006. Geological age of *Lufengpithecus hudianensis*. In: Qi Guoqin & Dong Wei eds. *Lufengpithecus hudianensis* Site. Beijing: Science Press. 229-239
- Qiu Z D. 1987. The Neogene mammalian faunas of Ertemte and Harr Obo in Inner Mongolia (Nei Mongol), China. **6**. Hares and pikas (Logomorpha: Leporidae and Ochotonidae). *Senckenbergiana Lethaea*, **67**: 325-399
- Qiu Z D. 1991. The Neogene mammalian faunas of Ertemte and Harr Obo in Inner Mongolia (Nei Mongol), China. **8** Sciuridae (Rodentia). *Senckenbergiana Lethaea*, **71**: 223-255
- Qiu Z D & Li C K. 2003. Rodents from the Chinese Neogene: biogeographic relationships with Europe and North America. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, **279**: 586-602
- Qiu Z D & Storch G. 2000. The early Pliocene micromammalian fauna of Bilike, Inner Mongolia, China (Mammalia: Lipotyphla, Chiroptera, Rodentia, Lagomorpha). *Senckenbergiana Lethaea*, **80**: 173-229
- Qiu Zhurding, Wang Xiaoming & Li Qiang. 2006. Faunal succession and biochronology of the Miocene through Pliocene in Nei Mongol (Inner Mongolia). *Vertebrata Palasiatica*, **44**(2): 164-181
- Qiu Z X. 1987. Die Hyaciden aus dem Ruscinium und Villafranchium Chinas. *Munchner Geowissenschaftliche Abhandlungen*, **9**: 1-109
- Qiu Z X. 1990. The Chinese Neogene mammalian biochronology: its correlation with the European Neogene mammalian zonation. In: Lindsay E H, Fahlbusch V & Mein P eds. European Neogene mammal chronology. New York: Plenum Press. 527-556
- Qiu Zhaixiang, Deng Tao & Wang Barryue. 2004. Early Pleistocene mammalian fauna from Longdan, Dongxiang, Gansu, China. *Palaeontologia Sinica* (New Series C), **27**: 1-198
- Qiu Zhaixiang, Huang Weilong & Guo Zhihui. 1987. The Chinese hipparionine fossils. *Palaeontologia Sinica* (New Series C), **25**: 1-250
- Qiu Zhaixiang & Qiu Zhurding. 1990. Neogene local mammalian faunas: succession and ages. *Journal of Stratigraphy*, **14**(4): 241-260
- Qiu Z X & Qiu Z D. 1995. Chronological sequence and subdivision of Chinese Neogene mammalian faunas. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **116**: 41-70
- Steininger F F, Berggren W A, Kent D V, Bernor R L, Sen S & Agusti J. 1996. Circum Mediterranean Neogene (Miocene and Pliocene) marine continental chronologic correlations of European mammal units. In: Bernor R L, Fahlbusch V & Mitmann H-W eds. The evolution of Western Eurasian Neogene mammal faunas. New York: Columbia University Press. 7-46
- Storch G. 1987. The Neogene mammalian faunas of Ertemte and Harr Obo in Inner Mongolia (Nei Mongol), China. **7**. Muridae (Rodentia). *Senckenbergiana Lethaea*, **67**: 407-409
- Sun Donghui. 2006. Paleomagnetic dating of *Lufengpithecus lufengensis* strata. In: Qi Guoqin & Dong Wei eds. *Lufengpithecus hudianensis* site. Beijing: Science Press. 256-259
- Tedford R H, Flynn L J, Qiu Z X, Opydyke N D & Downs W R. 1991. Yushe Basin, China: paleomagnetically calibrated mammalian biostratigraphic standard from the late Neogene of eastern Asia. *Journal of Vertebrate Paleontology*, **11**: 519-526
- Tedford R H & Qiu Z X. 1991. Pliocene *Nyctereutes* (Carnivora: Canidae) from Yushe, Shanxi, with comments on Chinese fossil racoon dogs. *Vertebrata Palasiatica*, **29**(3): 176-189
- Tedford R H & Qiu Z X. 1996. A new canid genus from the Pliocene of Yushe, Shanxi Province. *Vertebrata Palasiatica*, **34**(1): 27-40
- Teilhard de Chardin P. 1941. Early Man in China. *Institut de Géologie, Pékin*, **7**: 1-99
- Teilhard de Chardin P. 1942. New rodents of the Pliocene and Lower Pleistocene of North China. *Institut de Géologie, Pékin*, **9**: 1-101
- Teilhard de Chardin P & Leroy P. 1945a. Les Félinidés de Chine. *Institut de Géologie, Pékin*, **11**: 1-58
- Teilhard de Chardin P & Leroy P. 1945b. Les Mustélinidés de Chine. *Institut de Géologie, Pékin*, **12**: 1-56
- Teilhard de Chardin P & Trassaert M. 1937. The Proboscidiens of South eastern Shansi. *Palaeontologia Sinica* (Series C), **13**(1): 1-58
- Teilhard de Chardin P & Trassaert M. 1937. The Pliocene Camelidae, Giraffidae and Cervidae of south eastern Shansi. *Palaeontologia Sinica* (New Series C), **1**: 1-69
- Teilhard de Chardin P & Trassaert M. 1938. Cavicornia of south eastern Shansi. *Palaeontologia Sinica* (New Series C), **6**: 1-107
- Teilhard de Chardin P & Young C C. 1930. Preliminary observations on the pre Loessic and post Pontian formations in western Shansi and northern Shensi. *Memoir of the Geological Survey of China* (Series A), **8**: 1-54
- Teilhard de Chardin P & Young C C. 1931. Fossil mammals from the Late Cenozoic of northern China. *Palaeontologia Sinica* (Series C), **9**(1): 1-89
- Teilhard de Chardin P & Young C C. 1933. The Late Cenozoic formation of S. E. Shansi. *Bulletin of the Geological Society of China*, **12**: 207-248
- Tobien H, Chen G F & Li Y Q. 1986. Mastodonts (Proboscidea, Mammalia) from the Late Neogene and Early Pleistocene of the

- People's Republic of China. Part 1. *Mainzer Geowissenschaftliche Mitteilungen*, **15**: 119—181
- Tobien H, Chen G F & Li Y Q. 1988. Mastodonts (Proboscidea, Mammalia) from the Late Neogene and Early Pleistocene of the People's Republic of China. Part 2. *Mainzer Geowissenschaftliche Mitteilungen*, **17**: 95—220
- Tong Yong-sheng, Zheng Shaohua & Qiu Zhurding. 1995. Cenozoic mammal ages of China. *Vertebrata Palasiatica*, **33**(4): 290—314
- Van A, Couvering J A, Castradori D, Cita M B, Hilgen F J & Rio D. 2000. The base of the Zanclean Stage and of the Pliocene Series. *Episodes*, **23**: 179—187
- Wang Huiji. 1992. Geological ages of the Louzeyu and Zhangcun formations in Yushe, Shanxi. *Journal of Stratigraphy*, **16**(4): 290—291
- Wei Lar ying, Chen Ming-yong, Zhao Hui-min, Sun Ji-min & Lu Xun. 1993. Magnetostratigraphic study on the Late Miocene—Pliocene lacustrine sediments near Leijiahe. Monograph of the Meeting in Honor of Prof. Yuan Fuli on the Hundredth Anniversary of His Birth. Beijing: Seismological Publishing House. 63—67
- Wu Weir yu & Flynn L J. 1992. New murid rodents from the late Cenozoic of Yushe Basin, Shanxi. *Vertebrata Palasiatica*, **30**(1): 17—38
- Xu X F. 1994. Evolution of Chinese Castoridae. In: Tomida Y, Li C K & Setoguchi T eds. Rodent and lagomorph families of Asian origins and diversification. *National Science Museum Monographs*, **8**: 77—97
- Xu Yar-long, Tong Ya-bo, Li Qiang, Sun Zhi-ming, Pei Jur-ling & Yang Zher-yu. 2007. Magnetostratigraphic dating on the Pliocene mammalian fauna of the Gaotege section, central Inner Mongolia. *Geological Review*, **53**(2): 250—261
- Young C C. 1935. Miscellaneous mammalian fossils from Shansi and Honan. *Palaeontologia Sinica* (Series C), **9**(2): 1—57
- Yang Zhong-jion. 1936. Review for the history of the Sanmen Series. *Geological Review*, **1**(3): 323—330
- Yue Le-ping & Zhang Yur-xiang. 1998. Hipparion fauna and magnetostratigraphy in Hefeng, Jingle, Shanxi Province. *Vertebrata Palasiatica*, **36**(1): 76—80
- Zdansky O. 1927. Weitere Bemerkungen über fossile Carnivoren aus China. *Palaeontologia Sinica* (New Series C), **4**(4): 1—30
- Zhang Xi-ti & Liu Hou-yi. 1964. On specimens of *Metailurus* from Yushe, Shanxi. *Vertebrata Palasiatica*, **8**(2): 182—185
- Zhang Xi-ti. 1964. New materials of mastodonts from the Yushe Basin, Shanxi. *Vertebrata Palasiatica*, **8**(1): 33—41
- Zhang Yur-xiang, Sun Dong-huai, An Zhi-sheng & Xue Xiang-xu. 1999. Mammalian fossils from Late Pliocene (lower MN 16) of Lingtai, Gansu Province. *Vertebrata Palasiatica*, **37**(3): 190—199
- Zheng Shaohua & Zhang Zhaohun. 2001. Late Miocene Early Pleistocene biostratigraphy of the Leijiahe area, Lingtai, Gansu. *Vertebrata Palasiatica*, **39**(3): 215—228
- Zheng Shaohua. 1997. Evolution of the Mesosiphoninae (Siphonidae, Rodentia) and environmental change. In: Tong Yong-sheng, Zhang Yir-yun, Wu Weir-yu, Li Jir-ling & Shi Li-qun eds. Evidence for Evolution: Essays in Honor of Prof. Churghien Young on the Hundredth Anniversary of His Birth. Beijing: China Ocean Press. 137—150
- Zhou Ming-zhen & Zhang Yur-ping. 1961. New mastodonts from North China. *Vertebrata Palasiatica*, **5**(3): 245—255

## THE GAOZHUANGIAN STAGE OF THE CONTINENTAL PLIOCENE SERIES IN CHINA

DENG Tao<sup>1)</sup>, HOU Surkuan<sup>1) 2)</sup>, WANG Taoming<sup>3)</sup> and MU Yongqing<sup>3)</sup>

1) Key Laboratory of Evolutionary Systematics of Vertebrates, Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100044;

2) Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039;

3) Yushe Fossil Museum, Yushe 031804

**Abstract** In 1999, the Second National Commission on Stratigraphy of China formally suggested that the Chinese Pliocene Epoch be divided into the early and late parts, and named them as the Gaozhuangian and Mazegouan ages, respectively. The chronostratigraphic unit Gaozhuangian Stage corresponds to the Gaozhuangian Age. The name “Gaozhuang” is derived from the lithostratigraphic unit Gaozhuang Formation, whose type section is located at Taoyang-Gaozhuang-Zhaozhuang in Yuncu Town, Yushe County, Shanxi Province. The Gaozhuangian Stage is correlated with the marine Zanclean Stage in the International Stratigraphical Chart, and they share the same definition of the lower boundary at the top of the paleomagnetic Chron C3r, with an age of 5.3 Ma. At the Taoyang section in the Yushe Basin, this boundary is situated in the basal part of massive sandstones of Bed 5 of the Gaozhuang Formation. The Gaozhuangian Age

is correlated with the Ruscinian Age of the European land mammal ages, and it includes a Neogene mammal faunal unit, i. e. NMU 12, corresponding to the European MN 14—15. The Gaozhuang fauna from the Yushe Basin belongs to NMU 12. Among the Pliocene mammalian faunas in China, the Shilidun fauna from the Linxia Basin, Gansu, the Leijiahe fauna III from Lingtai, Gansu, and the Harr Obo and Bilike faunas from Huade, Inner Mongolia also belong to NMU 12. The Shilidun section of Guanghe, Gansu is a potential candidate stratotype of the Gaozhuangian Stage.

**Key words** stratotype, paleomagnetic age, biostratigraphic unit, Gaozhuangian, Pliocene, China

## 陕西省紫阳县中志留统底界层型剖面野外现场研讨会议纪要

中志留统底界界线层型剖面野外现场研讨会于2010年5月24日至27日在陕西省紫阳县召开,研讨会由中国地质调查局科技外事部和全国地层委员会共同举办,西安地质调查中心承办。会议目的是推动该剖面深入研究,争取能早日达到国际界线层型剖面的要求。中国地质调查局科技外事部刘凤山处长,全国地层委员会副主任兼秘书长王泽九,西安地调中心所长助理徐学义、副总工李荣社、基础处处长王永和、副处长校培喜以及中国地质科学院地质研究所项礼文、黄枝高,中国科学院南京古生物研究所张元动、王恽,中国地质调查局武汉地质调查中心汪啸风、成都地质调查中心金淳泰、沈阳地质调查中心苏养正、西安地质调查中心孟勇、王健、傅力浦等单位领导和专家二十余人出席了本次野外现场研讨会。现场研讨会还得到紫阳县政府大力支持与协助,王启仲副县长出席了25日欢迎晚宴,县政府助理调研员、原县委副书记梅紫青陪同考察了该层型剖面。

本次野外现场研讨会取得以下共识:

1. 紫阳县芭蕉口乡任河东岸剖面地层连续,笔石带清楚,是国内目前最好的中志留统底界界线剖面,对于争取建立国际志留系中志留统底界GSSP具有重要意义。会议充分肯定西安地质调查中心前期对该剖面的调查及研究工作,但认为要把该剖面建成为国际上该界线的“金钉子”,还需要投入大量、细致的研究工作。

2. 近期主要工作和今后研究需要注意的问题

1) 建议今年在该剖面周边开展大比例尺地质构造填图工作,查清该剖面沉积相变情况、地层层序的延伸情况、区域变质与构造变形情况以及化石带的延伸情况等;

2) 该剖面还需要进行生物化石更为密集的采集工作和详细剖面测量,分层描述应更为规范和细致;该剖面工作应向下和向上延伸,扩大研究范围,同时,还要开展多个辅助剖面的研究工作,通过综合对比,以验证层型剖面及其笔石分带在区域上的延展性;

3) 需要加强系统古生物学工作。一是加强弓笔石演化关系研究,明确各层化石的过渡关系;二是进一步详细采集各笔石带内的笔石,以查明各带笔石组合的真实面貌及其丰度和分异度;三是要重视采集各笔石带内其他重要门类的化石标本(如几丁虫、牙形石等);

4) 需要加强非生物地层,包括化学地层、磁性地层、年代地层、层序地层、事件地层等地层研究工作;

5) 鉴于目前国际上对文洛克统底界的定义尚未有定论,在今后的研究中,对下列3条线均应给予足够的重视,将其做深、做细:a. *C. purchisoni* 带的底界, b. *C. centrifugus* 带的底界, c. 弓笔石的首现位置(这是一次世界性的笔石体复杂化事件,应引起重视);

6) 要加强国内、国际有关方面专家合作研究,及时关注国内外研究动向,及时发表研究成果。

(全国地层委员会办公室 供稿)