

泥河湾早更新世早期人类遗物和环境*

蔡保全**

李 强

(厦门大学历史系, 厦门 361005) (中国科学院古脊椎动物与古人类研究所, 北京 100044)

摘要 在河北泥河湾盆地小长梁遗址东北约 600 m 处的马圈沟发现一新的哺乳动物化石和旧石器文化层, 共采获 500 多件哺乳动物化石和 5 件旧石器. 经研究有化石 21 种, 其中 *Allophaiomys deucalion*, *Borsodia chinensis* 和 *Yangia tingi* 等的存在为年代的确定提供了重要依据. 据哺乳动物化石对比分析, 旧石器的年代早于 1.8 Ma BP, 可能达 2.0 Ma BP, 这是华北最早人类活动证据, 当时人类生活于温带干旱稀树草原环境.

关键词 人类遗物 生存环境 早更新世 泥河湾

河北泥河湾盆地以盛产哺乳动物化石和旧石器闻名于世. 作为国家“九五”攀登专项的内容之一, 我们于 2001 年 7 月在泥河湾盆地马圈沟取土筛洗小哺乳动物化石时, 获得 5 件较为特殊的燧石, 经室内鉴定实为人工制品.

1 地层剖面

新发现的哺乳动物化石和旧石器文化层位于桑干河南岸著名小长梁遗址东北约 600 m 处的马圈沟沟底(40° 13' 31.2" N, 114° 39' 50.9" E, 图 1), 与 1992 年发现的“马圈沟遗址”处于同一个剖面但层位低 8 m(图 2). 因沟的两侧很陡, 我们顺沟往沟顶逐层所测的地层厚度 53.1 m,

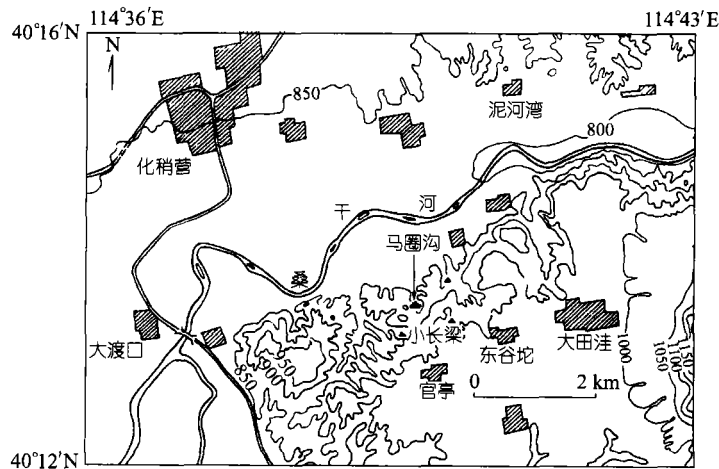


图 1 泥河湾马圈沟遗址位置图(据文献[1]略改)

2002-09-08 收稿

* 国家“九五”攀登专项资助项目(95-专-1)

** E-mail: caibq@163.com

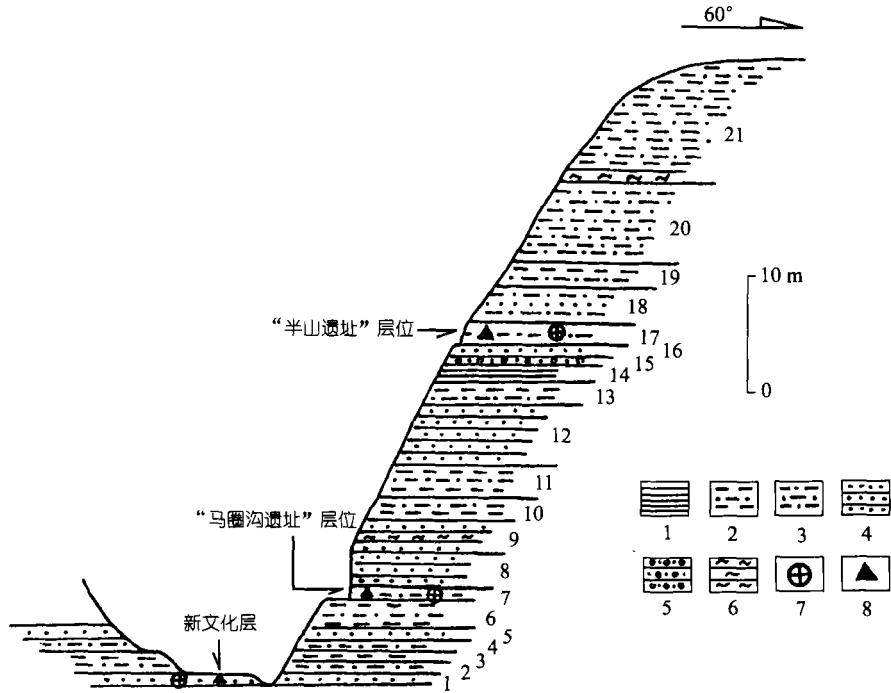


图 2 泥河湾马圈沟地质剖面图

1. 粘土; 2. 粉砂质粘土; 3. 粘土质粉砂; 4. 粉砂、细砂; 5. 砾石; 6. 钙板层(条带); 7. 哺乳动物化石; 8. 旧石器

从上往下实测剖面如下:

21	浅褐色与浅灰绿色粉砂质粘土组成 4 个旋回, 底部为 40 cm 厚的钙板层	9.5 m
20	浅褐色粘土质粉砂	7.0 m
19	浅黄绿、浅灰色粉砂质粘土, 钙质胶结, 坚硬	2.2 m
18	浅褐色粘土质粉砂, 中间夹一条浅黄绿色 15cm 厚的粉砂	3.0 m
17	灰色夹褐色粘土质粉砂, 上部波状层理发育(相当于“半山遗址”文化层 ^[1])	2.5 m
16	褐黄色细砂、粉砂	1.0 m
15	砾石层, 砾石主要由 0.5~15cm 不等的角砾组成, 砂质充填	0.1~0.6 m
14	黄绿色粘土, 约 30cm, 向上渐变为浅褐黄色粘土, 发育水平层理	1.8 m
13	浅褐色粉砂质粘土, 下部钙质含量较高	1.8 m
12	浅褐色粉砂, 水平层理发育	5.0 m
11	浅褐黄色与暗灰色粉砂质粘土互层	3.0 m
10	灰黄绿色粉砂质粘土, 水平层理发育	1.8 m
9	浅褐黄色粉砂夹含钙质较高的条带, 条带 30cm 厚, 水平层理发育	2.8 m
8	浅褐黄色粉砂, 水平层理发育	3.0 m
7	灰绿色粉砂质粘土, 含螺类、哺乳类化石和石器(“马圈沟遗址”文化层)	0.45 m
6	灰绿色粉砂质粘土	3.0 m
5	灰绿色粉砂夹黄色粉砂条带, 水平层理发育	0.8 m
4	灰绿色粉砂质粘土	1.5 m

3 灰绿色粉砂质粘土, 水平层理发育	2.0 m
2 暗灰色粘土	0.3~0.4 m
1 浅褐色黄色粉砂透镜体, 底部有角砾, 含螺类、哺乳动物化石和旧石器, 未见底	0.3~0.4 m

依地层对比, 产旧石器和哺乳动物化石的地层相当于“泥河湾层”下部。

2 哺乳动物化石

在化石层约取土 3500 kg 进行筛洗, 从中挑出小哺乳动物残破上下颌 22 件、单个牙齿 501 枚, 取土过程中还采获 6 件大哺乳动物化石。经鉴定小哺乳动物化石有鼯鼠科鼯鼠属 *Sorex* sp. (残破上颌 1 件、下颌 2 件、9 枚牙齿), 猬科刺猬属 *Erinaceus* sp. (1P₄), 鼠兔科小鼠兔 *Ochotona minor* (残破下颌 2 件、4 枚牙齿)、复齿拟鼠兔 *Ochotonoides complicidens* (7 枚牙齿), 跳鼠科五趾跳鼠属 *Allactaga* sp. (2M¹), 松鼠科黄鼠属 *Spermophilus* sp. (2P₄, 1M₁ 或 M₂), 仓鼠科仓鼠亚科毛足鼠属 *Phodopus* sp. (残破下颌 2 件、13 枚臼齿), 鼯鼠科丁氏杨氏鼯鼠 *Yangia tingi* (1M₁, 1M²) 和上鼯鼠属? *Episiphneus* sp.? (1M²), 鼯科甘肃克罗麦鼠 *Cromeromys gansunicus* (M₁, M₂, M¹ 和 M³ 各 1 枚)、异费鼠 *Allophaiomys deucalion* (残破下颌 1 件、242 枚臼齿)、中华模鼠 *Borsodia chinensis* (36 枚臼齿)、原兔尾鼠 *Prolagurus praepannonicus* (残破下颌 4 件、88 枚臼齿), 鼠科巢鼠属 *Micromys* sp. (17 枚臼齿)、泥河湾日进鼠 *Chardinomys nihowanicus* (残破上颌 2 件、下颌 8 件、72 枚臼齿); 大哺乳动物化石有犬科犬属 *Canis* sp. (股骨 1 件), 犬科(属种未定) *Canidae* gen. et sp. indet. (1 枚前臼齿), 真象科猛犸象属 *Mammuthus* sp. (1M³), 马科三趾马属 *Hipparion* sp. (1 枚下颊齿), 鹿科秀丽鹿 *Cervus* (R.) cf. *C. elegans* (1 件残破下颌), 犀类 *Rhinocerotidae* gen. et sp. indet. (1 件小多角骨)。

3 旧石器

旧石器是在筛洗小哺乳动物化石时发现的, 共 5 件。

(1) 石核 毛坯为灰黄色燧石石块, 器身保留约 40% 的天然面。沿三个面遗有 5 个不同形态的石片疤, 石片疤痕长/宽分别为 26 mm/12 mm, 15 mm/6 mm, 9 mm/11 mm, 11 mm/11 mm 和 13 mm/11 mm, 台面角 82°~85°。现外形三棱状, 通体很像未剥片的楔状石核。标本长 17 mm, 宽 36 mm, 厚 13 mm, 重 7.1 g (图 3(a))。

(2) 石核 毛坯为淡灰色燧石, 保留约 15% 的天然面。现外形多棱状, 打制台面, 台面角 57°, 在台面上有两长疤明显向后倾斜。台面周边打下 4 个石片, 两个三角形石片阴痕长/宽分别为 13 mm/13 mm 和 6 mm/9 mm, 两个似长方形石片阴痕长/宽分别为 16 mm/8 mm 和 10 mm/7 mm。标本长 13 mm, 宽 19 mm, 厚 13 mm, 重 2.8 g (图 3(b))。

(3) 石片 肉红色燧石。打击点和半锥体不清, 可见放射线, 石片左侧上端有一小疤, 石片的背面为棱状的自然面, 石片角 91°。标本长 19 mm, 宽 10 mm, 厚 6 mm, 重 1 g。

(4) 单凸刃刮削器 毛坯为肉红色燧石断片, 上部基本无修理痕迹, 左侧腹向加工制成凸刃, 下端有向背面修理痕迹, 单层修疤, 修疤短宽, 宽 3.3~6.7 mm, 长 2~6 mm。刃缘曲折, 刃缘长 23 mm, 刃角 50°~93°。器物长 18.5 mm, 宽 17.5 mm, 厚 7 mm, 重 2.5 g (图 3(c))。

(5) 单凸刃刮削器 由近方形燧石石片制成, 器身留有一半的天然面。主要向背面修理, 部分向腹面修理, 单层修疤, 刃长 17 mm, 刃角 69°。标本长 23 mm, 宽 20 mm, 厚 9 mm, 重 5 g。

虽只有5件石制品,然从这5件中可以看出它们均是燧石质、小型、石器加工简单、形状不规则,5件中有4件留有自然面,这些与邻近小长梁遗址的文化面貌基本吻合,应属同一文化传统^[2]。

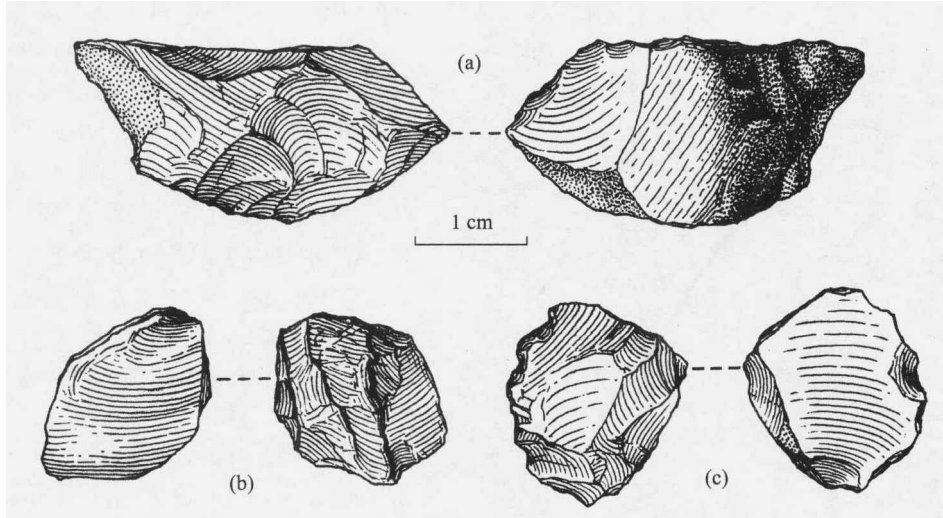


图3 泥河湾马圈沟新文化层中的石制品
(a), (b) 石核; (c) 单凸刃刮削器

4 时代

从化石组成结构上看,马圈沟新文化层中的哺乳动物化石和桑干河北岸泥河湾村一带所产的狭义的泥河湾动物群极为相似,同样存在刺猬 *Erinaceus* sp., 复齿拟鼠兔 *Ochotonoides complicidens*, 五趾跳鼠 *Allactaga* sp., 丁氏杨氏鼯鼠 *Yangia tingi*, 中华模鼠 *Borsodia chinensis*, 三趾马 *Hipparion* sp. 和秀丽鹿 *Cervus* (*R.*) cf. *C. elegans*; 中华模鼠 *Borsodia chinensis* 的典型地点即是北岸的下沙沟村^[3], 马圈沟所产 *Borsodia chinensis* (图4(a), (b))的 M_1 大小和冠面形态与典型地点一致,说明演化水平相当. 邱占祥^[4]将狭义泥河湾动物群与欧洲维拉方期动物群对比后认为时代约为 1.8 MaBP^[4], 这为新文化层年代的确定提供了重要的参考.

作为亚洲的土著,鼯鼠类进化速度快,具有重要的地层学意义. 马圈沟的鼯鼠类既有有根的 *Episiphneus*, 也包含无根的 *Yangia tingi*. 据研究, *Episiphneus* 的最晚代表可以延续到大柴期 (Dachaian, MN17), 而 *Yangia tingi* 一直被视为中国早更新世泥河湾期的标准化石, 判断其最早出现时间约在 1.8 MaBP^[5]. 有根和无根鼯鼠同时存在说明马圈沟新文化层的时代位于大柴期和泥河湾期的交界处, 约 1.8 MaBP.

鼯鼠类地理分布广, 其可辨别形态变化的进化速率要比已知的其他晚新生代哺乳动物类群快得多, 因而能为陆相沉积细分提供准确的年代. 最近 2 Ma 来北半球陆相沉积最准确的对比几乎全部依靠 *Allophaiomys* 和它的后裔各属种^[6]. 马圈沟新文化层中 *Allophaiomys* 的大量存在, 为年代的确定提供了不可多得的好材料.

Allophaiomys 不同种间的区别主要在于 M_1 和 M^3 的冠面形态, 其发展趋势是: M_1 下前边尖

组合变长变复杂, 齿质空间由开敞趋于封闭. 据此, Meulen^[7]设置 M_1 的测量参数和比率(A/L , B/W), 将 *Allophaiomys* 分为 *A. deucalion* 和 *A. pliocaenicus* 两个前后演化关系的种, 依马圈沟 43 枚 M_1 测量所得的参数并计算出比率 A/L 平均值 40.9 和 B/W 平均值 34.9, 它们均落在 *A.*

deucalion 的范围内(图 4(c), (d)).

我国青海贵南沙沟产 *A. deucalion*, 其时代被认为属于狭义的泥河湾期, 相当于欧洲 Biharian 早期^[8]. 甘肃灵台文王沟 93001 地点剖面中原定为 *A. pliocaenicus* 的标本, 经重新观察比较应是 *A. deucalion*, 该种出现于该剖面的 $WL_{5+} \sim WL_{2+}$ 层, 对应于古地磁极性柱的年代晚于 Reunion 正极性事件, 止于 Olduvai 正极性事件的顶部, 约为 2.0~1.8 Ma BP^[9].

在我国, *Allophaiomys* 还有另一个较 *A. deucalion* 原始的种 *Allophaiomys terrae-rubrae*, 产于北京周口店十八地点^[8]、山东淄博孙家山第一地点^[10]、甘肃灵台文王沟^[11]和北京黄坎龙牙洞^[12]. 文王沟的 *A. terrae-rubrae* 分布于 93001 地点剖面的 $WL_6 \sim WL_3$, 对应于古地磁极性柱的年代为从松山期初始至 Reunion 正极性事件止, 约 2.58~2.14 MaBP^[11].

Fejfar 等^[13]指出, *Allophaiomys* 在欧亚和北美扩散是一次重大的事件, 几乎

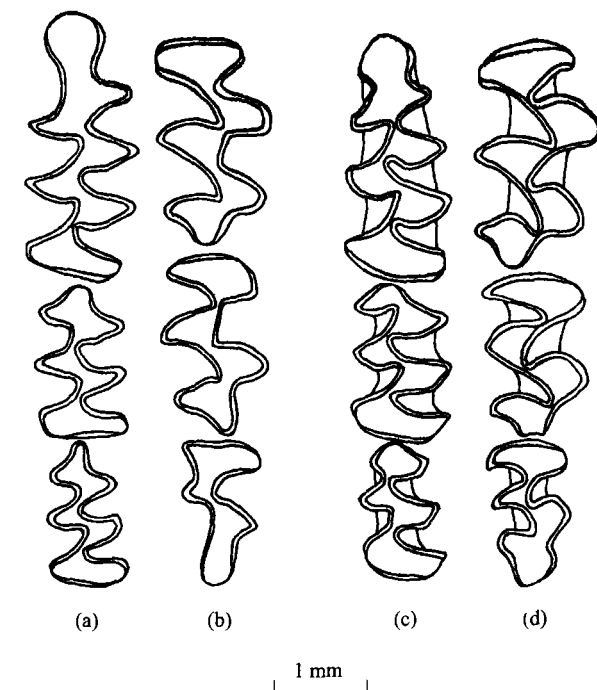


图 4 *Borsodia chinensis* 和 *Allophaiomys deucalion* 臼齿冠面视

(a), (b) *B. chinensis*: (a) 左下臼齿, (b) 右上臼齿; (c), (d) *A. deucalion*: (c) 左下臼齿, (d) 右上臼齿

是同时发生的, 故可以进行准确的年代对比. 在欧洲, *Allophaiomys* 的最早代表是 *A. deucalion*, 其典型地点是匈牙利南部的 Villany-5. 该地点所产化石除出现无根的 *A. deucalion* 外均呈现 Villanyian 期的面貌, 故 Meulen 将其放在 Villanyian 晚期^[7]. 也有人认为无根的 *A. deucalion* 在欧洲的首次出现应视为 Biharian 的开始^[6]. 而较进步的种类 *A. pliocaenicus* 无疑是欧洲 Biharian 期的典型分子. 罗马尼亚的 Betfia- II 作为欧洲产 *A. pliocaenicus* 的典型地点, 其时代被认为是 Biharian 早期, 而不是 Biharian 期最早的动物群. Betfia-IX 比 Betfia- II 早, 而且这个地点也产 *A. pliocaenicus*^[14]. 关于 Betfia- II 的时代, 有人估计相当于 Olduvai 正极性事件结束时期^[6], 也就是说 *A. pliocaenicus* 在欧洲出现的时间可能早于 Olduvai 正极性事件的结束. 最新测年数据显示, Olduvai 正极性事件结束时间为 1.796 MaBP^[15], 因而较为原始的 *Allophaiomys deucalion* 肯定早于 1.796Ma. 现已证明, *Allophaiomys deucalion* 在欧洲陆相沉积中可以追溯到 Olduvai 正极性事件的开始^[6], 而最新测定的 Olduvai 正极性事件开始时间约 1.95 MaBP^[15]. 上述比较分析均证明, 泥河湾盆地马圈沟新文化层的年代应早于 1.8 MaBP, 有可能达 2.0 MaBP.

1) 郑绍华先生告知, 文献[9]图 3 所示 *Allophaiomys* 的时代有误

5 早期人类生存环境

马圈沟新发现的产哺乳动物化石和旧石器的地层, 其岩性为浅褐色粉砂透镜体, 含淡水螺类化石, 底部有角砾(见图 2), 显示具有一定水动力条件的沉积环境. 从哺乳动物化石的保存状况来看, 我们采集到的秀丽鹿的残破下颌、三趾马的下臼齿、犬属的股骨远端、犀类的小多角骨等长度小于 6 cm 的大哺乳动物化石标本均没有搬运磨损痕迹, 更不用说大的猛犸象臼齿标本. 小哺乳动物化石中的 22 件残破上下颌也看不出磨损的痕迹. 化石中只有一件 8cm 长的长骨骨片, 其一端具有磨光面, 而另一端和两侧边则为断裂时的自然面, 不像是自然搬运磨损造成的, 有可能是人类所为. 覆盖在哺乳动物化石和旧石器层之上的为发育水平层理的暗灰色粘土和灰绿色粉砂质粘土. 这些说明研究区当时经历了局部冲刷、短距离搬运、水体上升并迅速埋藏的过程, 那时人类就生活于湖滨或河漫滩地带.

哺乳动物化石中存在鼠兔科、跳鼠科、鼯鼠科等古北界特有的科和主要分布于古北界的刺猬亚科、仓鼠亚科、鼯科, 未见东洋界特有或主要分布于旧大陆热带-亚热带的竹鼠科、豪猪科、灵猫科和猿类等^[16], 显示了古北界(或华北)温带动物组合特征.

小哺乳动物化石中有 7 个现生属、5 个现生属祖先和 3 个绝灭的属. 据研究, *Borsodia* 进化为 *Prolagurus*, *Prolagurus* 演变成现生的 *Lagurus*, *Cromeromys* 进化为 *Allophaiomys*, *Allophaiomys* 演变成现生的 *Microtus*, *Episiphneus* 的后裔为 *Myospalax*, 故可以应用现生属类比分析其生态环境. 现生的 *Ochotona*, *Allactaga*, *Phodopus*, *Myospalax*, *Lagurus* 和营地栖的 *Spermophilus* 都是生活于干旱草原、半荒漠环境的动物^[17]. 占标本数量高达 45.9% 的优势种 *Allophaiomys*, 更能反映当时的环境. 从其后裔 *Microtus* 的生态看, 绝大多数种类喜栖于沼泽地、荒地及荒漠化的草原, 善游泳和潜水^[18]. 有人认为, 现生的 *Microtus (Phaiomys) leucurus* 是 *Allophaiomys* 的直接后裔, 而 *Microtus (Phaiomys) leucurus* 现已退缩至青藏高原, 栖息于山间盆地、阶地、湖泊和河流沿岸的草原、草甸、沼泽草甸或盐生草甸等湿润地段^[19]. *Sorex*, *Erinaceus* 和 *Micromys* 则可生活于森林、草原、灌丛等不同的生境. 绝灭的 *Ochotonoides*, *Yangia* 和 *Chardinomys*, 从其分布范围和共生的化石组合来看, 也生活于草原环境. 大哺乳动物化石中的马为草原动物; 犬和鹿为广栖性动物; 早更新世象类和犀类属种多、分布广, 一般生活于有水源的林间开阔地带, 不像现生种那样, 退缩至热带并处于濒危状态. 可见, 泥河湾早于 1.8 MaBP 的人类生活于温带干旱稀树草原、局部有沼泽或河湖的环境中.

6 意义

学术界多数认为, 小长梁旧石器遗址的地质时代为早更新世, 距今 1.0 Ma 左右. 最近 Zhu 等^[20]利用古地磁测定推算出其年代为 1.36 MaBP. 1992 年发现的“马圈沟遗址”, 其层位较小长梁遗址低 12 m^[21], 而我们发现的新文化层则比“马圈沟遗址”还要低 8 m.

1999 年汤英俊等^[22]报道了同属“泥河湾层”的河北省蔚县东窑子头大南沟约 3.0 MaBP 的一件旧石器, 引起激烈的争论甚至否定. 重要的原因是有人质疑石器是孤件, 且是地表采集而不是地层中产出^[23]. 据我们野外考察, 假设石器是在地层中查获的话, 其层位应是“泥河湾层”底部, 属洪积相. 此外, 对东窑子头大南沟剖面未做古地磁测年, 将石器年代定为 3.0 MaBP 的推测, 即所谓“东窑子头组的上界应在 Matuyama/Gauss 的分界线上, 年代应为 2.48 MaBP, 而底界相当于 Kaena 亚时的底界, 约 3.01 MaBP”^[23]的依据不足. 我们在略低于“东窑子头组”上

界的层位中采集不少小哺乳动物化石,其时代和欧洲的 Biharian 期相当,年代晚于 1.8 MaBP^[24]。

因此,地层较“马圈沟遗址”低 8 m 及年代早于 1.8 Ma 的马圈沟新文化层,显然是泥河湾盆地乃至华北地区目前已知层位确切、年代最早并含有丰富哺乳动物化石的旧石器文化层。该文化层的发现对研究中国早期人类起源和文化发展具有重大的意义。同时,泥河湾如此之早的人类却生活于温带干旱稀树草原环境,而且与年代较晚的小长梁、东谷坨、许家窑等遗址中哺乳动物化石反映的生态环境也大体一致,而与非洲早期人类的生活环境有很大的不同,这就为今后对泥河湾盆地进行古人类旧石器及早期人类生存背景研究提出了难以回避的问题。

致谢 本工作得到首席科学家邱占祥教授的大力支持,郑绍华研究员提供化石对比标本并作有益讨论,张森水研究员审阅石器内容,沈文龙绘图,王新天参加部分野外工作,在此一并感谢。

参 考 文 献

- 1 卫 奇. 泥河湾盆地半山早更新世旧石器遗址初探. 人类学学报, 1994, 13(3): 223~238
- 2 李炎贤. 关于小长梁石制品的进步性. 人类学学报, 1999, 18(4): 241~254
- 3 郑绍华, 李传夔. 中国的模鼠(*Miomys*)化石. 古脊椎动物学报, 1986, 24(2): 81~109
- 4 邱占祥. 泥河湾哺乳动物群与中国第四系下限. 第四纪研究, 2000, 20(2): 142~154
- 5 郑绍华. 凹枕型鼯鼠(*Mesosiphneinae*)的进化历史及环境变迁. 演化的实证——纪念杨钟健教授百年诞辰论文集. 见: 董永生, 等编. 北京: 海洋出版社, 1997. 137~150
- 6 Repenning C A. *Allophaiomys* and the age of the Olyor Suite, Krestovka Sections, Yakutia, U S. Geological Survey Bulletin 2037, United States Government Printing Office, Washington, 1992. 1~98
- 7 Meulen A van der. On *Microtus (Allophaiomys) deucalion* (Kretzoi, 1969) (Arvicolidae, Rodentia) from the Upper Villányian (Lower Pleistocene) of Villány-5, S-Hungary. In: Proceedings Koninkl Nederl, Akademie Van Wetenschappen. 1974, 77(3): 259~266
- 8 Zheng Shaohua, Li Chuankui. Comments on fossil arvicolids of China. In: International Symposium Evolution, Phylogeny and Biostratigraphy of Arvicolids (Rodentia, Mammalia), Praha, 1990. 431~442
- 9 郑绍华, 张兆群. 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, 2001, 39(3): 215~228
- 10 郑绍华, 张兆群, 刘丽萍. 山东淄博第四纪裂隙动物群. 古脊椎动物学报, 1997, 35(3): 201~216
- 11 郑绍华, 张兆群. 甘肃灵台文王沟晚中新世-早更新世小哺乳动物. 古脊椎动物学报, 2000, 38(1): 58~71
- 12 黄万坡, 关 键. 京郊燕山一早更新世洞穴堆积与哺乳类化石. 古脊椎动物与古人类, 1983, 21 (1): 69~76
- 13 Fejfar O, Heinrich W D. Muroid rodent biochronology of the Neogene and Quaternary in Europe. In: Lindsay E H, et al, eds. European Neogene Mammal Chronology. New York: Plenum Press, 1990
- 14 Janos H, Marton V. The *Allophaiomys* populations of Betfia IX (Romania, Bihor County). *Paludicola*, 1998, 2 (1): 37~49
- 15 Berggren W A, Kent D V, Swisher C C, et al. A revised Cenozoic geochronology and chronostratigraphy. In: William A B, et al, eds. Geochronology, Time Scales and Global Stratigraphic Correlation. SEPM Special Publication. 54, 1995. 129~212
- 16 董永生, 郑绍华, 邱铸鼎. 中国新生代哺乳动物区系演变. 古脊椎动物学报, 1996, 34(3): 215~227
- 17 黄文几, 陈延熹, 温业新, 著. 中国啮齿类. 上海: 复旦大学出版社, 1995. 1~308
- 18 罗泽珣, 陈 卫, 高 武, 等编著. 中国动物志兽纲. 第六卷: 啮齿目(下册), 仓鼠科. 北京: 科学出版社, 2000. 1~82
- 19 中国科学院青藏高原综合科学考察队. 西藏哺乳类. 北京: 科学出版社, 1986. 1~423
- 20 Zhu R X, Hoffman K A, Potts R, et al. Earliest presence of humans in northeast Asia. *Nature*. 2001, 413(6854): 413~417
- 21 河北省文物研究所. 马圈沟旧石器时代早期遗址发掘报告. 见: 河北省考古文集. 北京: 东方出版社, 1998. 30~45
- 22 汤英俊, 陈万勇, 陈 淳. 河北蔚县上新世旧石器的发现. 科学通报, 1999, 44(19): 2106~2109
- 23 吕遵涛. 关于寻找人类祖先及其文化问题的几点认识. 中国文物报(学术版), 2000, 1: 26
- 24 郑绍华, 蔡保全. 河北蔚县东窑子头大南沟剖面中的小哺乳动物化石. 见: 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所编. 第十三届国际第四纪大会论文集. 北京: 北京科学技术出版社, 1991. 100~131