

文章编号: 1001-8166(2005)11-1191-08

元谋人时代研究评述 ——兼论我国早更新世古人类时代问题

姚海涛, 邓成龙, 朱日祥

(中国科学院地质与地球物理研究所古地磁与年代学实验室 北京 100029)

摘 要 我国早更新世古人类遗址时代的确定对于认识早期人类起源、扩散与演化具有重要意义。对元谋人化石的各种年龄测定结果和认识分歧进行了综合评述。综合分析认为,在翔实的岩石地层学和古生物地层学基础上,开展高分辨率磁性地层学研究是解决包括元谋人在内的这一时期哺乳动物时代科学问题的最有效的研究途径。

关 键 词 元谋人;早更新世;岩石地层学;磁性地层学;生物地层学

中图分类号: P53 文献标识码: A

0 引 言

元谋盆地处于云南省中北部,发育有巨厚层晚新生代河湖相沉积序列,保存着丰富的哺乳动物化石^[1-4],可与华北三门系、泥河湾组和榆社盆地沉积对比。1965年元谋人化石的发现^[5]表明元谋盆地对于研究中国乃至东亚早期人类起源和演化具有重要意义,吸引了众多地质学家、古人类学家、古生物学家和地球物理学家关注。

在中国已发现的约70处早期人类化石和文化遗迹中,元谋人被认为是最早的直立人,其年龄约170万年。但实际上,自元谋人化石发现以来,其时代问题一直存在多种认识:早更新世晚期^[5]、早更新世早期(~1.70 Ma BP)^[6-13]、中更新世(不早于73万年)^[14-17]和早更新世中期(~1.1 Ma BP)^[18,19]。特别是最近日本学者Urabe等^[20]和Hyodo等^[21]的岩石地层、磁性地层工作把元谋人化石层位置于布容正极性时早期(约为0.7 Ma BP),加剧了元谋人时代认识分歧。为进一步研究元谋人时代及盆地晚新生代沉积与古环境等问题,中国科学院地质与地球物理研究所古地磁与年代学实验室

于2002—2005年间在该地区进行多次野外工作。在此基础上,本文较系统地回顾了对元谋人时代的认识分歧,结合晚新生代以来中国古气候变化和哺乳动物群特征,探讨确定元谋人化石时代的有效研究途径。

1 元谋人时代研究历史回顾

1965年5月1日,钱方等在元谋盆地东缘上那蚌村西北褐色粘土层中发现元谋人牙齿化石(图1)。根据化石形态及与元谋人化石伴生的哺乳动物化石推测其时代为早更新世晚期^[5]。1973年,对该化石层的系统发掘^[9]和1986年人类胫骨的发现^[12]充分说明了元谋人化石的可靠性及其伴生动物群的古老性。在40年的研究历史中,含元谋人化石沉积物的岩石地层学、生物地层学和磁性地层学时代认识主要如下:

1.1 元谋人时代为中更新世

中国科学院古脊椎动物与古人类研究所西南小组^[22]在老鸦塘—红卫村—牛肩包剖面(图1)不同层位沉积物中发现6个化石点,16种哺乳动物化石。根据哺乳动物化石特征,6个化石点中马大海和小

* 收稿日期: 2004-10-18; 修回日期: 2005-06-27.

* 基金项目: 国家自然科学基金项目“元谋人磁性地层学年代研究”(编号: 40374022); 中国科学院优秀群体创新项目“地球磁场与地球外核动力学”(编号: 40221402)联合资助.

作者简介: 姚海涛(1976-),男,河南南阳人,在读博士生,主要从事磁性地层学和环境磁学研究. E-mail: yhtymg@mail.iggcas.ac.cn

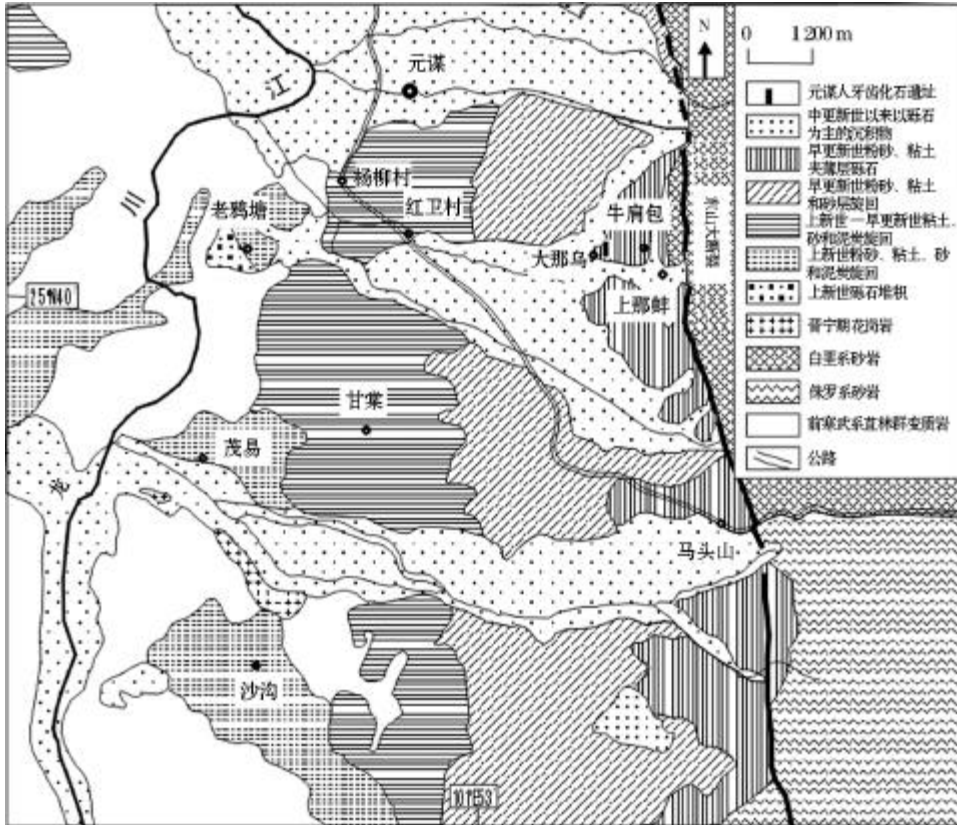


图 1 元谋盆地地质地理简图

Fig.1 Geological and geographical sketch map of Yuanmou Basin

那乌附近元谋人牙齿化石层位上下 5 个点的时代认为属早更新世,与元谋人化石层位相当的[67003]点时代未定。

随后工作中,尤玉柱等^[16]在牛肩包—上那蚌北沟发现 16 种化石,化石大多可与陕西蓝田公王岭动物群成分对比。根据云南马生存时代和东方剑齿象生物意义,结合该地区沉积相变化,把可能产有元谋人化石的这套砾石、砂、粘土的河流相沉积,从元谋组中划分出来,建立中更新统上那蚌组,认为元谋人时代为中更新世^[14,15]。

1.2 元谋人时代为早更新世(距今约 170 万年)

浦庆余等^[7]把老鸦塘—杨柳村—牛肩包剖面(图 1)河湖相地层统称为元谋组,自老到新分 4 段 28 层,厚 695.4 m。其中,第三段(第 18~23 层)厚 149.1 m,为棕灰色、棕黄色砂层和棕色、灰棕色、棕红色粉砂亚粘土层、亚粘土层、粘土层互层沉积,哺乳动物化石较少。第四段(第 24~28 层)主要在大

那乌—牛肩包—上那蚌一带出露,厚 122.2 m,是砂砾层、粉砂亚粘土层、亚粘土层和粘土层互层,含有丰富哺乳动物化石且主要分布在元谋人化石层位(第 25 层)上下。

李普等^[6]最先对元谋盆地进行磁性地层学研究,他们在老鸦塘—杨柳村—牛肩包—一线连续选择 5 条剖面,在厚约 700 m 的地层中布置 76 个采样点,以 20 mT 峰值交变磁场进行磁清洗,用国产无定向磁力仪进行剩磁测量,磁极性序列上识别出正负极性带各 11 条,与 Cox^[23]标准极性年表对比,认为元谋组古地磁年龄为 $3.1 \pm 0.1 \sim 1.50 \pm 0.1$ Ma BP,元谋人时代为 1.7 ± 0.1 Ma BP。

程国良等^[8]随后在该剖面的磁性地层工作中布置 155 个采样点,用峰值 15 mT 的交变磁场进行磁清洗,磁极性序列最上为负极性,最下为正极性,正负极性带各 6 条,元谋组大约形成于 3.12~1.53 Ma BP 间,元谋人时代为 1.64~1.63 Ma BP。

20 世纪 80 年代梁其中等选择沙沟、甘棠、红卫村—牛肩包、白泥湾 4 条剖面(图 1) 进行磁性地层工作,按 0.5 ~ 3 m 间隔布置 584 个采样点,选 300 温度点对全部样品进行热退磁,用捷克制 LAM-24 型无定向磁力仪进行剩磁测量,研究表明元谋人时代约 1.7 Ma BP^[11]。

90 年代,钱方等^[12]对老鸦塘—杨柳村—牛肩包剖面新的磁性地层学工作,以 2 ~ 5 m 间隔布置 178 个采样点,结果表明元谋组形成于 3.4 ~ 1.33 Ma BP,元谋人时代为 1.87 ~ 1.67 Ma BP。这一年代得到了第 4 段 25 层(元谋人化石层位)及 26 层下部鹿牙和猪牙化石的氨基酸测年^[12],电子自旋共振法测年结果^[12]支持。

后来,张宗祜等^[13]选择茂易—甘棠—马头山剖面(图 1) 进行的磁性地层工作中,厚 597.45 m 剖面中取古地磁定向样品 230 块,用美制 PSM-2 型数字旋转磁力仪进行剩磁测量,结果表明剖面的沉积时限为 3.90 ~ 0.80 Ma BP,元谋人化石层位于奥杜威极性亚时中,约 1.91 ~ 1.62 Ma BP。

1.3 元谋人年代约 70 万年新认识

最近,Urabe 等^[20]和 Hyodo^[21]对红卫村—大坡箐—牛肩包和茂易—甘棠剖面(图 1) 研究后,在厚约 1 300 m 剖面上布置 78 个采样点,但采样点集中在 2 个剖面对接的“黄砂”标志层附近,元谋人所在层位(大那乌—牛肩包—上那蚌地区) 仅有 6 个采点和数据。建立的磁极性序列上,识别出 4 个正极性带 N_1 、 N_4 、4 个负极性带 R_1 、 R_2 和 R_3 中的一个过渡转换带 T_1 以及由单个古地磁数据确定的 7 个可能的地磁极性漂移事件 S_{1-7} ,与 Cande 等^[24]校正过的标准地磁极性年表对比认为元谋人时代不早于 Brunhes/Matuyama 界限,约 700 ka BP^[20, 21]。

1.4 元谋人化石层位岩石地层和哺乳动物时代认识分歧

元谋组第三段地层中没有第三纪残留种类^[25],没有绝灭属,灭绝种占 62.5%,现生种占 37.5%,而第四段中有较多的第三纪残留种和绝灭属,灭绝种占 95%,现生种占 5%,绝灭种属中既有早更新世典型种类如桑氏鬣狗、山西轴鹿、粗面轴鹿等,也有早更新世到晚更新世中国犀牛和化石小灵猫。针对第三、第四段动物化石灭绝种比例存在明显不协调现象,刘东生等^[17]结合岩性变化及剖面位置,认为可能是新构造运动导致第四段发现的哺乳动物化石中混入有第一、第二或第三段地层中的化石,因此把第四段从元谋组中划分出来,另建中更新统上那蚌组。

他们认为“元谋人化石产出在上那蚌组,时代为中更新世,处在布容正向期底部,其时代应不超过 73 万年,可能距今 0.6 ~ 0.5 Ma BP。

针对刘东生等^[17]上述认识,钱方^[10]认为:从地层厚度和岩性变化来看,张玉萍等^[14]、黄万坡等^[15]和尤玉柱等^[16]的“上那蚌组”仅能和元谋组第四段上部的 26 ~ 28 层对比,而下部的 24、25 层(元谋人化石层位)不包含在“上那蚌组”中;上下岩性有变化但不存在不整合面;用云南马和东方剑齿象化石说明元谋组第四段时代为中更新世不可靠,元谋组第四段(24 ~ 28 层)高密度磁性地层研究表明为负极性。因此,钱方强调元谋人化石产于元谋组第四段 25 层中,地层产状清晰,不存在地层紊乱,元谋人化石层位于松山负极性时奥杜威极性亚时中,约 1.7 Ma BP。

程捷^[18, 19]对比分析李普等^[6]、程国良等^[8]、梁其中等^[11]、钱方等^[12]、张宗祜等^[13]磁性地层结果,推测元谋人时代不早于哈拉米洛亚时,元谋组第四段中突然大量出现的华北晚第三纪和早更新世鹿类化石,可能是在 1.10 Ma BP 左右因气候恶化从华北迁入的。

2 对元谋人时代分歧的探讨

2.1 岩石地层学和生物地层学

大那乌—牛肩包—上那蚌地区(元谋组第四段)靠近东山大断裂和东山,以河流相、洪冲积相为主,沉积韵律变化频繁,加上后期流水切割冲蚀,地貌崎岖不平,植被覆盖严重,地层对比特别是岩性变化认识上存在不同认识^[5-22]。浦庆余等^[7]、周国兴等^[9]、钱方等^[10, 12]观察到的元谋组第四段(24 ~ 28 层)为一连续沉积剖面,厚 122.2 m,其中 26 ~ 28 层含有明显的厚层砾石。而另一些研究者^[14-17]观察到上那蚌附近以冲洪积相砂砾石为主,厚 48.5 m,与下伏地层不整合接触,存在明显的岩性变化。他们所描述的 2 个剖面顶点都在牛肩包上,厚度差别很大。钱方^[10]认为“上那蚌组”仅可与元谋组第 26 ~ 28 段相当。这些分歧与该地区位于盆地东缘,离沉积物源近,盆地演化结束时沉积环境变化较大有关,需要全方位综合对比和观察。

1965 年元谋人化石发现之前,大那乌—牛肩包—上那蚌地区地层笼统归属于早更新世元谋组,化石采集和研究处于初级阶段。1973 年尤玉柱等^[22]认为可能与元谋人层位相当含有云南马、鹿、牛、羚羊及鬣狗粪等化石的[67003]点,时代不能确

定。随后根据与元谋人化石层位相当地层中发现的云南马和东方剑齿象(*Stegodon orientalis*)化石时代,结合岩相变化从元谋组中另建中更新世上新那蚌组,元谋人时代为中更新世^[14-16]。

因此,元谋人化石层位附近的象和云南马化石系统定名和时代认识成为早期研究者们争论的焦点。云南马被认为是早更新世初期出现,直到更新世中晚期才灭绝,演化历史与华北三门马相似^[9,14-17];另一些研究者认为在该处是早更新世典型动物^[9,10,12]。象化石最早被鉴定为中更新世东方剑齿象^[16],随后被修订为类象剑齿象^[6,7,9,12],后来又被认为是发育畸形^[26]。与早更新世标准化石相比,这些化石形态不一定完全吻合,易在种属和时代认识上造成分歧,直接影响元谋人时代确定。

大那乌—牛肩包—上那蚌地区(元谋组第四段)哺乳动物化石全面系统发掘后,生物地层学争论由元谋人层位附近几种关键化石形态和时代认识分歧^[9,10,12,14-17,26]转向第三第四段绝灭种属反常出现、绝灭比例上下不协调的异常现象上来^[9,10,12,17]。

我们知道,生物地层学和岩石地层学是最基本的地质划分手段,在认识地质事件宏观时代上起着极其重要的作用。但同一种哺乳动物化石可能存在雌雄个体、幼年青壮年、正常发育与病变等各种差异,而且物种的出现与最后灭绝时间可能很长,具有穿时性。一般来讲,相对稳定的演化环境中,古老动物群残留种比例高、特征种明显、新生种比例低,而年轻动物群往往残留种比例低、新生种比例高。用生物地层学和岩石地层学一般只能把第四纪划分为早更新世、中更新世、晚更新世和全新世⁴个阶段。因此,对于第四纪中特别重要的地质事件来讲,如果对哺乳动物化石和岩性变化没有系统的全面的综合考虑,生物地层学和岩石地层学认识容易产生分歧。

2.2 磁性地层

大多数磁性地层结果表明,牛肩包剖面以负极性为主^[6-13]。由于元谋盆地沉积演化复杂、后期流水切割、地表植被覆盖等原因,老鸦塘—红卫村剖面、牛肩包剖面与下部地层、马头山—甘棠剖面等天然出露不好,地层对比相对困难,因此地层连接、沉积相沉积环境的不同理解和划分势必影响磁性地层年代认识^[6-21]。另外,采样间距大、数据少,可能造成极性事件遗漏,退磁方法、步骤及仪器精度等存在不足容易造成实验数据的不可靠^[17,18]。

3 我国早更新世陆相沉积物、古人类及哺乳动物群时代

3.1 我国早更新世陆相沉积、典型哺乳动物群差异性及特点

我国分布众多早更新世风成沉积、洞穴沉积和河湖相沉积,保存着丰富的哺乳动物化石和早期人类活动遗迹。

分布广泛的黄土—古土壤层序记录了约 Gauss 正极性时结束以来古气候、古环境变化和地磁极性倒转等信息^[27-29],生物地层学、岩石地层学、气候地层学和磁性地层学研究程度非常高。与黄土—古土壤层序中哺乳动物群^[28,29]一样,周口店地区^[30]、安徽繁昌人字洞^[31]、广西柳城巨猿洞^[32]、重庆巫山人遗址^[33,34]等晚上新世—早更新世地层的哺乳动物化石大多同时有喜湿的东洋界和喜干冷的古北界分子,新近纪残留种、第四纪典型种和现生种都有出现,灭绝属灭绝种比例变化较大。

晚上新世以来,全球气候总体趋向干凉,周期性冷暖波动明显,非洲和西亚总体趋向干热,亚欧大陆中高纬度地区趋向干冷,印度洋季风和东亚季风加强^[28,35-39]。古气候古环境的变化可能导致包括古人类在内的哺乳动物灭绝、适应性变异或迁徙^[39-41]。我国大陆动物区系分属东洋界和古北界,与邻区动物群存在明显差异。在这种背景下,我国东部季风区易成为南北耐湿动物通道,西南地区由于青藏高原、秦岭等阻挡,易成为喜暖湿动物避难所。因此晚新生代我国东部季风区动物群多兼有南北动物群色彩^[42-44],而西南地区多含南亚动物分子^[4,9,11-16]。受气候、新构造运动或二者共同作用,陆相沉积物特别是河湖相沉积物岩性复杂多变^[45-49]。研究程度较高的泥河湾盆地、汾渭地堑以及西南诸多盆地沉积物时代序列和环境变化等还没有得到很好解决。这些沉积物厚度巨大含有丰富的包括古人类在内的哺乳动物化石遗迹,但长期以来由于生物地层学、岩石地层学和磁性地层学研究中存在的问题,导致地层划分与对比,包括古人类在内的哺乳动物时代认识分歧较大^[50]。

3.2 我国早更新世古人类年代学新进展

近些年来,岩石地层学、生物地层学与高分辨率磁性地层学综合研究在解决包括蓝田人和泥河湾旧石器时代问题上取得重要进展。

蓝田人化石发现后周明镇^[51]根据化石形态和伴生的哺乳动物化石认为公王岭和陈家窝蓝田人时

代老于北京人。Aigner 等^[52]从生物地层学角度推测陈家窝、公王岭蓝田人时代分别为 0.3 Ma BP 和 0.7 Ma BP。磁性地层研究先后认为陈家窝和公王岭蓝田人年代分别为 0.65 Ma BP 和 0.8 ~0.75 Ma BP^[53]、0.5 Ma BP 和 1 Ma BP^[54]。根据含人类化石黄土层位和深海沉积古气候旋回对比,公王岭、陈家窝蓝田人分别约 0.8 ~0.73 Ma BP、0.59 ~0.5 Ma BP^[55]。一直到安芷生等^[56]通过详细的岩石地层学和磁性地层学综合研究,得出公王岭和陈家窝蓝田人年代分别为 1.15 Ma BP 和 0.65 Ma BP,才获得较为广泛认可。

华北泥河湾盆地⁴⁰多处旧石器文化遗址中,小长梁和马圈沟遗址是最受关注的。小长梁旧石器遗址具有石器丰富、层位清晰及与丰富哺乳动物化石共生等特征^[47,48]。但由于哺乳动物化石为早更新世代表性种属^[57],而旧石器却以小型石器为特点,打制技术相当进步,石器时代长期存在争议。如 1983 年 尤玉柱^[58]将小长梁遗址时代定为 1 Ma BP 或稍大于 1 Ma。后来,汤英俊等^[57]根据古地磁结果,推测其接近奥杜威极性亚时上界,而两次古地磁研究都认为小长梁石器层位于奥杜威极性亚时中^[47,48]。

近年来,朱日祥等^[59,60]在泥河湾盆地野外考察发现小长梁剖面与它相距约 1 km 的洞沟剖面沉积层序基本上是连续的,野外观察和磁化率测量发现两者沉积序列有很好的对应关系。岩石地层学、岩石磁性地层学和极性性地层学综合研究表明,小长梁旧石器遗址的年龄约为 1.36 Ma,随后一系列工作确定了马圈沟四层旧石器遗址的时代分别为距今 1.32 Ma、1.55 Ma、1.64 Ma 和 1.66 Ma^[61]。

总之,中国北方几个早更新世古人类和旧石器遗址的年代工作已经取得长足进展,古人类化石和石器时代问题在岩石地层学、生物地层学和极性性地层学综合研究基础上成功解决^[56,59-61]。然而,我国西南的元谋、巫山这两个早期人类遗址的年代还未能获得广泛的认同^[5-21,33,34],安徽繁昌古人类遗址的时代问题也亟待解决^[31]。

早期人类时代的确定,大大推动了晚新生代沉积序列、生物演化与古环境之间时间关系的建立。如蓝田人时代的精确确定,加速了黄土—古土壤层序中哺乳动物高分辨率时代序列的建立,午城动物群、公王岭动物群、阳郭动物群、陈家窝动物群、柔远—靖边动物群年代分别被确定为 2.5 ~1.2 Ma、1.20 ~1.10 Ma、1.10 ~0.90 Ma、0.73 ~0.40 Ma 和

0.13 ~0.01 Ma^[29],为建立中国以气候变化为基础的地层、古生物和古人类等时代演化序列打下坚实基础^[62,63]。因此,岩石地层学、生物地层学和高分辨率磁性地层学综合研究是晚新生代河湖相沉积物形成与演化、解决哺乳动物和古人类遗迹时代问题的有效手段^[60]。

4 结 语

(1) 哺乳动物化石组成和沉积物岩性复杂,是元谋盆地河湖相沉积,乃至我国大多数晚新生代陆相沉积物的共同特点,是沉积物时代认识分歧的主要原因。

(2) 岩石地层学、生物地层学和高分辨率磁性地层学综合研究是解决包括元谋人在内的早期人类时代问题的有效途径,也是建立我国晚新生代陆相沉积物时代序列、探讨哺乳动物迁移演化规律的最佳研究手段。

参考文献(References):

- [1] Bien M N. Geology of the Yuanmou Basin, Yunnan [J]. Bulletin of the Geological Society of China, 1940, 20: 23-31.
- [2] Colbert E H. Pleistocene mammals from the Ma Kai Valley of northern Yunnan, China [J]. American Museum Novitates, 1940, (1099): 1-10.
- [3] Pei Wenzhong. Fossil mammals of early Pleistocene age from Yuanmou (Ma-kai) of Yunnan [J]. Vertebrata Palasiatica, 1961, 1: 16-31. [裴文中·云南元谋更新世早期的哺乳动物化石(附广西柳州“巨猿洞”马化石的研究) [J]. 古脊椎动物与古人类, 1961, 1: 16-31.]
- [4] Zhou Minghen. Occurrence of Enhydriodon at Yuanmou, Yunnan [J]. Vertebrata Palasiatica, 1961, 2: 164-167. [周明镇·元谋水獭化石的发现和滇东含晚第三纪哺乳类化石层的对比 [J]. 古脊椎动物与古人类, 1961, 2: 164-167.]
- [5] Hu Chengzhi. Ape-man teeth from Yuanmou, Yunnan [J]. Acta Geologica Sinica, 1973, 1: 65-71. [胡承志·云南元谋发现的猿人牙齿化石 [J]. 地质学报, 1973, 1: 65-71.]
- [6] Li Pu, Qian Fang, Ma Xinghua, et al. Preliminary study on the age of the Yuanmou Man by paleomagnetic technique [J]. Science in China, 1976, 6: 579-591. [李普, 钱方, 马醒华, 等·用古地磁方法对元谋人化石年代的初步研究 [J]. 中国科学, 1976, 6: 579-591.]
- [7] Pu Qingyu, Qian Fang. Study on the fossil human strata—the Yuanmou Formation [J]. Acta Geologica Sinica, 1977, 1: 89-99. [浦庆余, 钱方·元谋人化石层——元谋组的研究 [J]. 地质学报, 1977, 1: 89-99.]
- [8] Cheng Guoliang, Li Suling, Lin Jinnu. Discussion on the age of Homo erectus Yuanmouensis and the event of early Matuyama [J]. Scientia Geologica Sinica, 1977, 1: 34-43. [程国良, 李素玲, 林金录·“元谋人”的地质年代和松山早期事件的商榷

- [] · 地质科学, 1977, 1: 34-43.]
- [9] Zhou Guoxing, Zhang Xingyong. Yuanmou Man [M]. Kunming : Yunnan People's Press, 1984. [周国兴, 张兴永. 元谋人 [M]. 昆明: 云南人民出版社, 1984.]
- [10] Qian Fang. On the age of ' Yuanmou Man ' — A discussion with Liu Tungsheng et al. [J]. Acta Anthropologica Sinica, 1985, 4 (4): 324-332. [钱方. 关于元谋人的地质时代问题——与刘东生等同志商榷 [J]. 人类学学报, 1985, 4 (4): 324-332.]
- [11] Jiang Nengren, Sun Rong, Liang Qizhong, et al. The late Cenozoic stratigraphy and palaeontology in Yuanmou Basin, Yunnan, China [J]. Yunnan Geology, 1989, (suppl.): 1-107. [江能人, 孙荣, 梁其中. 云南元谋盆地晚新生代地层和古生物 [J]. 云南地质, 1989 (增刊): 1-107.]
- [12] Qian Fang, Zhou Guoxing. Quaternary Geology and Paleontology of Yuanmou Yunnan, China [M]. Beijing: Science Press, 1991. [钱方, 周国兴. 元谋第四纪地质与古人类 [M]. 北京: 科学出版社, 1991.]
- [13] Zhang Zonghu, Liu Pingui, Qian Fang, et al. New development in research of late Cenozoic stratigraphy in Yuanmou Basin [J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 1994, 14 (2): 1-17. [张宗祜, 刘平贵, 钱方, 等. 元谋盆地晚新生代地质研究的新进展 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 1994, 14 (2): 1-17.]
- [14] Zhang Yuping, You Yuzhu, Ji Hongxiang, et al. Cenozoic stratigraphy of Yunnan [A]. In: Editorial Committee of Professional Papers of Stratigraphy and Paleontology Chinese Academy of Geological Sciences, eds. Professional Papers of Stratigraphy and Paleontology () [C]. Beijing: Geological Publishing House, 1978. 1-21. [张玉萍, 尤玉柱, 计宏祥, 等. 云南地区新生代 [A]. 见: 中国地质科学院地层古生物论文集编委会. 地层古生物论文集 (第七辑) [C]. 北京: 地质出版社, 1978. 1-21.]
- [15] Huang Wanbo, Wang Jingwen, Qiu Zhuding, et al. Age and correlation of the Yuanmou, Longjie and Xigeda Formation [A]. In: Editorial Committee of Professional Papers of Stratigraphy and Paleontology Chinese Academy of Geological Sciences, eds. Professional Papers of Stratigraphy and Paleontology () [C]. Beijing: Geological Publishing House, 1978. 30-39. [黄万波, 王景文, 邱铸鼎, 等. 元谋组、龙街组及昔格达组的时代对比 [A]. 见: 中国地质科学院地层古生物论文集编委会. 地层古生物论文集 (第七辑) [C]. 北京: 地质出版社, 1978. 30-39.]
- [16] You Yuzhu, Liu Houyi, Pan Yuerong. Mio-Pleistocene deposits and mammalian faunas of Yuanmou Basin, Yunnan [A]. In: Editorial Committee of Professional Papers of Stratigraphy and Paleontology Chinese Academy of Geological Sciences, eds. Professional Papers of Stratigraphy and Paleontology () [C]. Beijing: Geological Publishing House, 1978. 40-67. [尤玉柱, 刘后一, 潘悦容. 云南元谋、班果盆地晚新生代地层与脊椎动物化石 [A]. 见: 中国地质科学院地层古生物论文集编委会. 地层古生物论文集 (第七辑) [C]. 北京: 地质出版社, 1978. 40-67.]
- [17] Liu Tungsheng, Ding Mengin. Discussion on the age of " Yuanmou Man " [J]. Acta Anthropologica Sinica, 1983, 2 (1): 40-48. [刘东生, 丁梦林. 关于元谋人化石地质时代的讨论 [J]. 人类学学报, 1983, 2 (1): 40-48.]
- [18] Cheng Jie. Discussion on the age of the " Yuanmou Man " (Homo erectus yuanmouensis) [J]. Geological Science and Technology Information, 2000, 19 (4): 40-44. [程捷. " 元谋人 " 时代刍议 [J]. 地质科技情报, 2000, 19 (4): 40-44.]
- [19] Cheng Jie, Liu Xueqing, Yue Jianwei, et al. A discussion on the " Yuanmou Formation " and " Yuanmou Fauna " from the Yuanmou Basin of north Yunnan [J]. Journal of Stratigraphy, 2002, 26 (2): 146-150. [程捷, 刘学清, 岳建伟, 等. " 元谋组 " 及 " 元谋动物群 " 含义的厘定 [J]. 地层学杂志, 2002, 26 (2): 146-150.]
- [20] Urabe A, Nakaya H, Mito T, et al. Lithostratigraphy and depositional history of the Late Cenozoic hominid-bearing successions in the Yuanmou Basin, southwest China [J]. Quaternary Science Reviews, 2001, 20: 1671-1681.
- [21] Hyodo M, Nakaya H, Urabe A, et al. Paleomagnetic dates of hominid remains from Yuanmou, China, and other Asian sites [J]. Journal of Human Evolution, 2002, 43: 27-41.
- [22] You Yuzhu, Qi Guoqin. Newly found mammal fossils of Pleistocene in Yuanmou, Yunnan [J]. Vertebrata Palasiatica, 1973, 11 (1): 66-85. [尤玉柱, 祁国琴. 云南元谋更新世哺乳动物化石新材料 [J]. 古脊椎动物与古人类, 1973, 11 (1): 66-85.]
- [23] Cox A. Geomagnetic reversals [J]. Science, 1969, 163: 237-245.
- [24] Cande S C, Kent D V. Revised calibration of the geomagnetic polarity timescale for the Late Cretaceous and Cenozoic [J]. Journal of Geophysical Research, 1995, 100: 6093-6095.
- [25] Li Yanxian. Subdivision and evolution of Quaternary mammalian faunas in south China [J]. Vertebrata Palasiatica, 1981, 19 (1): 67-76. [李炎贤. 我国南方第四纪哺乳动物群的划分和演变 [J]. 古脊椎动物与古人类, 1981, 19 (1): 67-76.]
- [26] Zong Guanfu. On new material of Stegodon with reflections of the classification of Stegodon in China [J]. Vertebrata Palasiatica, 1995, 33 (3): 216-230. [宗冠福. 中国的剑齿象化石新材料及剑齿象系统分类的回顾 [J]. 古脊椎动物学报, 1995, 33 (3): 216-230.]
- [27] Heller F, Liu T S. Magnetostratigraphical dating of loess in China [J]. Nature, 1982, 300: 431-433.
- [28] Liu Tungsheng, et al. Loess and the Environment [M]. Beijing: Science Press, 1985. [刘东生, 等. 黄土与环境 [M]. 北京: 科学出版社, 1985.]
- [29] Yue Leping, Xue Xiangxi. The mammalian faunas in north Chinese loess and the position in magnetostratigraphy [J]. Vertebrata Palasiatica, 1996, 34 (4): 305-311. [岳乐平, 薛祥熙. 中国北方黄土层中的哺乳动物群及在磁性地层中的位置 [J]. 古脊椎动物学报, 1996, 34 (4): 305-311.]
- [30] Cheng Jie. Research on the early Pleistocene climatic and biotic events in north China—Evidence from mammalian faunas [J].

- Geological Science and Technology Information, 2000, 19(1): 5-10. [程捷. 华北地区早更新世生物—气候事件——以哺乳动物化石为例 [J]. 地质科技情报, 2000, 19(1): 5-10.]
- [31] Jin Changzhu, Zheng Longting, Dong Wei, et al. The early Pleistocene deposits and mammalian fauna from Rizhidong, Fanchang, Anhui province, China [J]. Acta Anthropologica Sinica, 2000, 19(3): 184-198. [金昌柱, 郑龙亭, 董为, 等. 安徽繁昌早更新世人字洞古人类活动遗址及其哺乳动物群 [J]. 人类学学报, 2000, 19(3): 184-198.]
- [32] Ji Hongxiang. Some problems concerning the division of the Gigantopithecus Fauna [J]. Journal of Stratigraphy, 1990, 14(1): 57-62. [计宏祥. 华南巨猿动物群的划分问题 [J]. 地层学杂志, 1990, 14(1): 57-62.]
- [33] Huang Wanbo, Fang Qiren. Wushan Hominid Site [M]. Beijing: Ocean Press, 1991. [黄万波, 方其仁. 巫山猿人遗址 [M]. 北京: 海洋出版社, 1991.]
- [34] Huang W W, Clochon R, Gu Y, et al. Early Homo and associated artifacts from Asia [J]. Nature, 1995, 378: 275-278.
- [35] Mix A C, Pisias N G, Rugh W, et al. Benthic foraminifer stable isotope record from Site 849 (0-5 Ma): Local and global climate changes, Proceedings of the Ocean Drilling Program [R]. Scientific Results, 1995, 138: 371-412.
- [36] Clark P U, Alley R B, Pollard D. Northern hemisphere ice-sheet influences on global climate change [J]. Science, 1999, 286: 1104-1111.
- [37] Ding Z L, Derbyshires E, Yang S L, et al. Stacked 2.6 Ma grain size record from the Chinese loess based on five sections and correlation with the deep-sea ^{18}O record [J]. Paleoceanography, 2002, 17, doi: 10.1029/2001PA000725.
- [38] Ravelo A C, Andreasen D H, Lyle M, et al. Regional climate shifts caused by gradual global cooling in the Miocene epoch [J]. Nature, 2004, 429: 263-267.
- [39] Liu Tungsheng, Ding Zhongli. Comparison of Plio-Pleistocene climatic changes in different monsoonal regions and implications for human evolution [J]. Quaternary Science, 1999, (4): 289-298. [刘东生, 丁仲礼. 季风区古环境演化的相似性与人类演化 [J]. 第四纪研究, 1999, (4): 289-298.]
- [40] Potts R. Evolution and climate variability [J]. Science, 1996, 273: 922-923.
- [41] Bobe R, Behrensmeyer A K. The expansion of grassland ecosystems in Africa in relation to mammalian evolution and the origin of the genus Homo [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2004, 207: 399-420.
- [42] Ji Hongxiang. The transitional area between the South China and the north China provinces of zoogeographical division of Quaternary mammalian faunas [J]. Journal of Stratigraphy, 1994, 18(4): 248-254. [计宏祥. 第四纪期间中国南北两大动物区系之间的过渡地带动物群 [J]. 地层学杂志, 1994, 18(4): 248-254.]
- [43] Tong Yongsheng, Zheng Shaohua, Qiu Zhuding. Evolution of Cenozoic mammalian faunal regions of China [J]. Vertebrata Palasiatica, 1996, 34(3): 215-227. [董永生, 郑绍华, 邱铸鼎. 中国新生代哺乳动物区系演变 [J]. 古脊椎动物学报, 1996, 34(3): 215-227.]
- [44] Qiu Zhuding. History of Neogene micromammalian faunal regions of China [J]. Vertebrata Palasiatica, 1996, 34(4): 179-296. [邱铸鼎. 中国晚第三纪小哺乳动物区系史 [J]. 古脊椎动物学报, 1996, 34(4): 179-296.]
- [45] Sun Hongjie, Zheng Du. Formation, Evolution and Development of Qinghai-Xizang (Tibetan) Plateau [M]. Guangzhou: Guangdong Science & Technology Press, 1998. [孙鸿烈, 郑度. 青藏高原的形成与演化 [M]. 广州: 广东科技出版社, 1998.]
- [46] Wang Chengshan, Zhu Lidong, Liu Zhifei. Tectonic and sedimentary evolution of basins in the north of Qinghai-Tibet plateau and northward growing process of the Qinghai-Tibet plateau [J]. Advances in Earth Science, 2004, 19(3): 373-381. [王成善, 朱利东, 刘志飞. 青藏高原北盆地构造沉积演化与高原向北生长过程 [J]. 地球科学进展, 2004, 19(3): 373-381.]
- [47] Chen Maonan. Study on the Nihewan Beds [M]. Beijing: Ocean Press, 1988. [陈茅南. 泥河湾层的研究 [M]. 北京: 海洋出版社, 1988.]
- [48] Yuan Baoyin, Zhu Rixiang, Tian Wenlai, et al. Magnetostратigraphic dating on the Nihewan Formation [J]. Science in China (D), 1996, 26(1): 67-73. [袁宝印, 朱日祥, 田文来, 等. 泥河湾组的时代、地层划分和对比问题 [J]. 中国科学 D 辑, 1996, 26(1): 67-73.]
- [49] Wang Shubing, Jiang Fuchu, Wu Xihao, et al. The connotation and significance of Sammen Formation [J]. Quaternary Science, 2004, 24(1): 116-123. [王书兵, 蒋复初, 吴锡浩, 等. 三门组的内涵及意义 [J]. 第四纪研究, 2004, 24(1): 116-123.]
- [50] Wu Xinzhi. A brief review of the study on human origins and the prospect of the paleoanthropology in China [J]. Advances in Earth Science, 2001, 16(5): 629-633. [吴新智. 人类起源研究回顾与中国古人类学展望 [J]. 地球科学进展, 2001, 16(5): 629-633.]
- [51] Zhou Mingzhen. The age and characteristics of mammalian fauna with Lantian Man fossil remains [J]. Chinese Science Bulletin, 1965, 6: 482-487. [周明镇. 蓝田猿人动物群的性质和时代 [J]. 科学通报, 1965, 6: 482-487.]
- [52] Aigner J S, Laughlin W S. The dating of Lantian man and his significance for analyzing trends in human evolution [J]. American Journal of Physical Anthropology, 1978, 39(2): 97-110.
- [53] Ma Xinghua, Qian Fange, Li Pu, et al. Paleomagnetic dating of Lantian Man [J]. Vertebrata Palasiatica, 1978, 16: 238-243. [马醒华, 钱方, 李普, 等. “蓝田人”年代的古地磁学研究 [J]. 古脊椎动物与古人类, 1978, 16: 238-243.]
- [54] Cheng Guoliang, Li Suling, Lin Jinlu. A research on the ages of the strata of “Lantian Man” [A]. In: Collected Papers of Paleoanthropology [C]. Beijing: Science Press, 1978. 151-157. [程国良, 李素玲, 林金录. 蓝田人地层年代的探讨 [A]. 见: 古人类论文集 [C]. 北京: 科学出版社, 1978. 151-157.]
- [55] Liu Tungsheng, Ding Menglin. A tentative chronological correlation early human fossils horizons in China with the loess-deep sea records [J]. Acta Anthropologica Sinica, 1984, 3: 93-101. [刘

- 东生, 丁梦麟. 中国早期人类化石层位与黄土—深海沉积古气候旋回的对比 [J]. 人类学报, 1984, 3: 93-101.]
- [56] An Z S, Ho C K. New magnetostratigraphic dates of Lantian Homo erectus [J]. Quaternary Research, 1989, 32: 213-221.
- [57] Tang Yingjun, Li Yi, Chen W anyong. Mammalian fossil and the age of Xiaochangliang paleolith site of Yangyuan, Hebei [J]. Vertebrata Palasiatica, 1995, 33(1): 74-83. [汤英俊, 李毅, 陈万勇. 河北阳原小长梁遗址哺乳类化石及其时代 [J]. 古脊椎动物学报, 1995, 33(1): 74-83.]
- [58] You Yuzhu. New material from Xiaochangliang paleolith site and its age, Hebei [J]. Prehistory Archaeology, 1983, (1): 46-50. [尤玉柱. 河北小长梁旧石器遗址的新材料及其时代问题 [J]. 史前研究, 1983, (1): 46-50.]
- [59] Zhu R X, Hoffman K A, Potts R, et al. Earliest presence of humans in northeast Asia [J]. Nature, 2001, 413: 413-417.
- [60] Zhu R X, An Z S, Potts R, et al. Magnetostigraphic dating of early humans in China [J]. Earth Science Review, 2003, 61: 341-359.
- [61] Zhu R X, Potts R, Xie F, et al. New evidence on the earliest human presence at high northern latitudes in northeast Asia [J]. Nature, 2004, 431: 559-562.
- [62] Liu Tungsheng, Shi Yafeng, Wang Rujuan, et al. Table of Chinese quaternary stratigraphic correlation marked with climate change [J]. Quaternary Sciences, 2000, 20(2): 108-127. [刘东生, 施雅风, 王汝建, 等. 以气候变化为标志的中国第四纪地层对比表 [J]. 第四纪研究, 2000, 20(2): 108-127.]
- [63] Wu Wenxiang, Liu Tungsheng. Correlation of the stratigraphy between the New and Loess Plateau and their Paleolithic sequence [J]. Advances in Earth Science, 2002, 17(1): 33-38. [吴文祥, 刘东生. 泥河湾与黄土高原地层对比及其旧时代序列 [J]. 地球科学进展, 2002, 17(1): 33-38.]

GEOCHRONOLOGICAL RESEARCH INTO THE YUANMOU HOMO ERECTUS—With a Discussion of the Age of the Early Pleistocene Early Human in China

YAO Hai-tao, DENG Cheng-long, ZHU Ri-xiang

(Paleomagnetism and Geochronology Laboratory (SKL-LE), Institute of Geology and Geophysics,
Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: The exact age determination of the early Pleistocene hominid remains is important for understanding the origin, dispersal and evolution of early human in China. This paper reviews various age estimations of Yuanmou Man in detail, then discusses the causes of its age disputes among lithostratigraphic, biostratigraphic and magnetostratigraphic studies. Many disciplines researches of the terrestrial sediments bearing rich mammalian fossils including hominid remains indicate that new tectonic activity, geography pattern, global cooling and drying change and extensively mammalian exchange are possible causes of age controversies of early human. Hence, we suggest that it is necessary to combine biostratigraphy, lithostratigraphy and magnetostratigraphy in order to obtain reliable age determination of the Yuanmou H. erectus and other mammalian.

Key words: Yuanmou H. erectus; Early Pleistocene; Magnetostratigraphy; Lithostratigraphy; Biostratigraphy.