



# 黄土高原黄土地层古人类遗迹年代研究新进展

朱照宇<sup>1,2\*</sup>, 黄慰文<sup>3</sup>, 吴翼<sup>4</sup>, 邱世藩<sup>5</sup>, 饶志国<sup>6</sup>, 杨石霞<sup>3</sup>, 侯亚梅<sup>3</sup>, 谢久兵<sup>7</sup>, 韩江伟<sup>8</sup>, 付淑清<sup>9</sup>, 欧阳婷萍<sup>1,10</sup>, 周厚云<sup>1,10</sup>, 彭莎莎<sup>1</sup>, Robin Dennell<sup>11</sup>

1. 中国科学院广州地球化学研究所边缘海与大洋地质重点实验室, 广州 510640;
2. 中国科学院地球环境研究所, 黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710061;
3. 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所, 北京 100044;
4. 中国科学院南海海洋研究所边缘海与大洋地质重点实验室, 广州 510301;
5. 赣南师范大学地理与环境工程学院, 赣州 341000;
6. 湖南师范大学资源与环境科学学院, 长沙 410081;
7. 南宁市环境监察支队, 南宁 530021;
8. 河南省地质调查院, 郑州 450001;
9. 广州地理研究所, 广州 510070;
10. 华南师范大学地理科学学院, 广州 510631;
11. Department of Archaeology, University of Exeter, Exeter EX1-6, UK

\* 联系人, E-mail: zhuzy@gig.ac.cn

2019-05-12 收稿, 2019-08-11 修回, 2019-08-12 接受, 2019-08-29 网络版发表

国家重点基础研究发展计划(2010CB833400)、国家自然科学基金(41102115, 41662012)、中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-SW-133, KZCX3-SW-152)、中国科学院外国专家特聘研究员项目(2013TIZ0008)、中国科学院B类战略性先导科技专项(XDB26000000)、中国科学院黄土与第四纪地质国家重点实验室开放课题(SKLLQG1525, SKLLQG1502, SKLLQG1501, SKLLQG1122)和中国科学院广州地球化学研究所自主部署课题(Y834019001)资助

**摘要** 自1920年以来,在中国黄土高原及邻近地区的黄土及河湖相地层分布区发现了大量的古人类活动遗迹地点,其中包括著名的泥河湾、水洞沟、萨拉乌苏、丁村、大荔、涇河-西侯度、庄浪、庆阳、三门峡、东秦岭地区以及蓝田地区等。在陕西蓝田的最新研究进展是运用第四纪地质学与古人类学和旧石器考古学交叉学科的综合研究方法,以黄土-古土壤序列和高分辨率磁性地层年代框架为依据,发现了公王岭遗址黄土地层的强烈侵蚀和多组地层缺失,确定了直立人头盖骨与伴生的古动物化石所埋藏的地层不是前人原确定的粉砂质黄土L15中部(年代为1.15 Ma),而是位于一个大侵蚀面之下的S22~S23古土壤混合层(年代为1.63 Ma)。同时,在蓝田上陈一带发现了新的出露良好的连续黄土-古土壤剖面(L5~L28),并在早更新世S15~L28层段的17层黄土或古土壤层位中发现了原地埋藏的数量不等的旧石器,其年代为1.26~2.12 Ma。研究结果使蓝田地区成为迄今所知非洲以外最古老的人类活动地区之一,这不仅在人类起源和演化方面提出了新的科学思考,并拓展了“黄土石器工业”和“黄土地质考古带”的研究方向,提出了中国黄土高原高分辨率黄土-古土壤序列与多时期古人类活动序列关联研究的新设想。

**关键词** 黄土-古土壤序列, 古人类遗迹, 年代学, 黄土高原

全球变化的重点是研究地圈-生物圈的演化和相互关系问题,“过去全球变化”是第四纪科学研究的最重

要的内容。“第四纪”,过去称之为“人类纪”。人类,在第四纪时期,甚至从上新世以来,已经成为了生物圈的重

引用格式: 朱照宇, 黄慰文, 吴翼, 等. 黄土高原黄土地层古人类遗迹年代研究新进展. 科学通报, 2019, 64: 2641-2653

Zhu Z Y, Huang W W, Wu Y, et al. New progress in the geochronology of hominin relics in loess strata of the Chinese Loess Plateau (in Chinese). Chin Sci Bull, 2019, 64: 2641-2653, doi: 10.1360/TB-2019-0042

要分子以至于逐渐成为主角。因此,人类起源及其演化不仅是传统第四纪研究的关键内容之一,也理所应当是地圈-生物圈研究的重大科学问题。

早期古人类“非洲起源”是国际主流观点。非洲已经发现最早的古人类(人属)化石和旧石器大约在距今3.30~2.80 Ma;在非洲以外,亚洲西部格鲁吉亚共和国德马尼西(Dmanisi)遗址的古人类化石和旧石器年代为1.78~1.85 Ma,这是迄今为止国际上较为公认的非洲以外最早的人属化石和人工制品(石器)证据<sup>[1]</sup>。东南亚印度尼西亚爪哇Sangiran地区的直立人化石年代为1.50~1.60 Ma,我国北方河北省泥河湾盆地公认的旧石器年代约1.66~1.70 Ma;我国南方云南省元谋盆地的直立人门牙和少量石器的地层年代为1.70 Ma;而我国南方还有其他一些石灰岩地区的溶洞堆积物中含有早期人类活动的遗迹(人类化石牙或者旧石器),其鉴定的年龄多在距今2.0~2.5 Ma<sup>[2]</sup>。

实际上,在我国和其他大陆上,发现古人类活动遗迹的单个地点多数只包含有一个或者不超过5个文化层,这就限制了对古人类演化的古生态环境“连续性”的观察和重塑。如果能够找到一种包含众多的古人类活动信息的连续地层序列的话,就可能像以往基于古生物演化来研究地圈与生物圈环境演化<sup>[3]</sup>那样,取得新的科学进展。中国的黄土地层就是这样一种良好的地质载体。

中国风成黄土研究在20世纪80年代早-中期开始在国际学术舞台上崭露头角,而在20世纪90年代至21世纪初达到世界领先地位,并陆续取得了众多成果。以刘东生为代表的中外学者取得的这些成果表明,中国黄土高原核心部位(“黄土塬”)拥有大约2.6 Ma以来完整的第四纪黄土-古土壤序列,它具有全球冰期-间冰期多旋回古气候记录的完整性和年代序列的连续性<sup>[4-13]</sup>。随后,据此提出的“古土壤断代法”对黄土高原及邻区的地层、地貌、水系、新构造、古气候等地质事件的演化序列及其旋回年代进行了厘定<sup>[14-17]</sup>。尤其重要的是,刘东生<sup>[18]</sup>根据我国黄土地区旧石器研究现状并参考了Ranov<sup>[19]</sup>在塔吉克斯坦黄土与旧石器研究的经验,在20世纪末期提出了“黄土石器工业(Loess Lithic Industry)”和“黄土地质考古带(Loessic Geoarchaeological Belt)”的概念,并明确指出:“黄土在中国保存有这样古老而丰富的石器工业和人类遗迹。现在我们通过高分辨率的地层研究可以差不多和精确的现代科学方法一样能够推算出他们制作的年代和存在的时间。这在黄

土以外其他堆积像洞穴堆积和河湖相堆积中是很难做到的”。数十年来前人在黄土高原及其邻近地区的黄土-河湖相地层中已经发现了许多古人类遗迹和旧石器遗址地点。这就萌发了一种新的研究思路:运用独一无二的中国黄土连续序列的“地圈”优势,去寻找“生物圈”古人类活动的连续踪迹,研究古气候古环境演化对古人类生存环境的制约及其反馈等重大科学问题。

## 1 黄土高原及邻近地区前人研究基础

### 1.1 黄土高原研究基础

广义黄土高原包括宁夏、甘肃、陕西、山西及河南5个省区的部分地段(图1)。自1920年法国学者桑志华首次在甘肃省庆阳与华池之间的黄土地层中发现了原生层位的3件石器以来,学者们在黄土高原地区发现了大量的古人类活动遗迹地点。其中,比较重要的有宁夏的同心、彭阳,甘肃的临夏、庄浪、秦安、张家川、环县、华池、庆阳、平凉、泾川、镇原,陕西的长武、乾县、大荔、蓝田、宜川,山西的古交、吉县、襄汾、沁水、垣曲、芮城,河南的灵宝、陕县、三门峡、渑池、洛宁、洛阳等地<sup>[20-37]</sup>(图1)。

在黄土高原,发现旧石器的地点多分布于靠近东西两侧以及南部。在高原腹地和主体部分,多数地点位于第二级河流阶地之处,少数位于第三阶地上。而从地层层位来看,多数是位于中更新世晚期至晚更新世,可以分为4~5个阶段<sup>[22]</sup>。赋存人类化石和石器的地层主要是在河流阶地或河湖相地层中,也有相当一部分位于马兰黄土(L1)之中,而少量位于离石黄土上部S1~S3层位之中;其年代多在数万年至30万年之间,这对于现代人起源的研究非常有利。在陇东黄土塬区,只有少数几个地点被记录赋存于马兰黄土和二级阶地沉积物覆盖之下的“红色土”(离石黄土或午城黄土)之中,且被推测为属于旧石器早期的产物,例如甘肃镇原的姜家湾、寺沟子<sup>[20]</sup>、泾川的大岭上<sup>[22]</sup>等地。然而遗憾的是,对这些“红色土”中的含石器层位到底是属于标准黄土-古土壤地层层序的哪些层位,却未能准确地调查、鉴别和进行年代测定。

据目前所发表的资料来看,在高原主要河流(例如黄河、渭河、汾河、灞河、南洛河下游等)两岸的黄土与河流阶地剖面上,发现了中更新世至早更新世的古人类活动遗迹。汾河盆地的山西襄汾丁村遗址、洛河下游的陕西大荔遗址等被测定为中更新世中-晚期

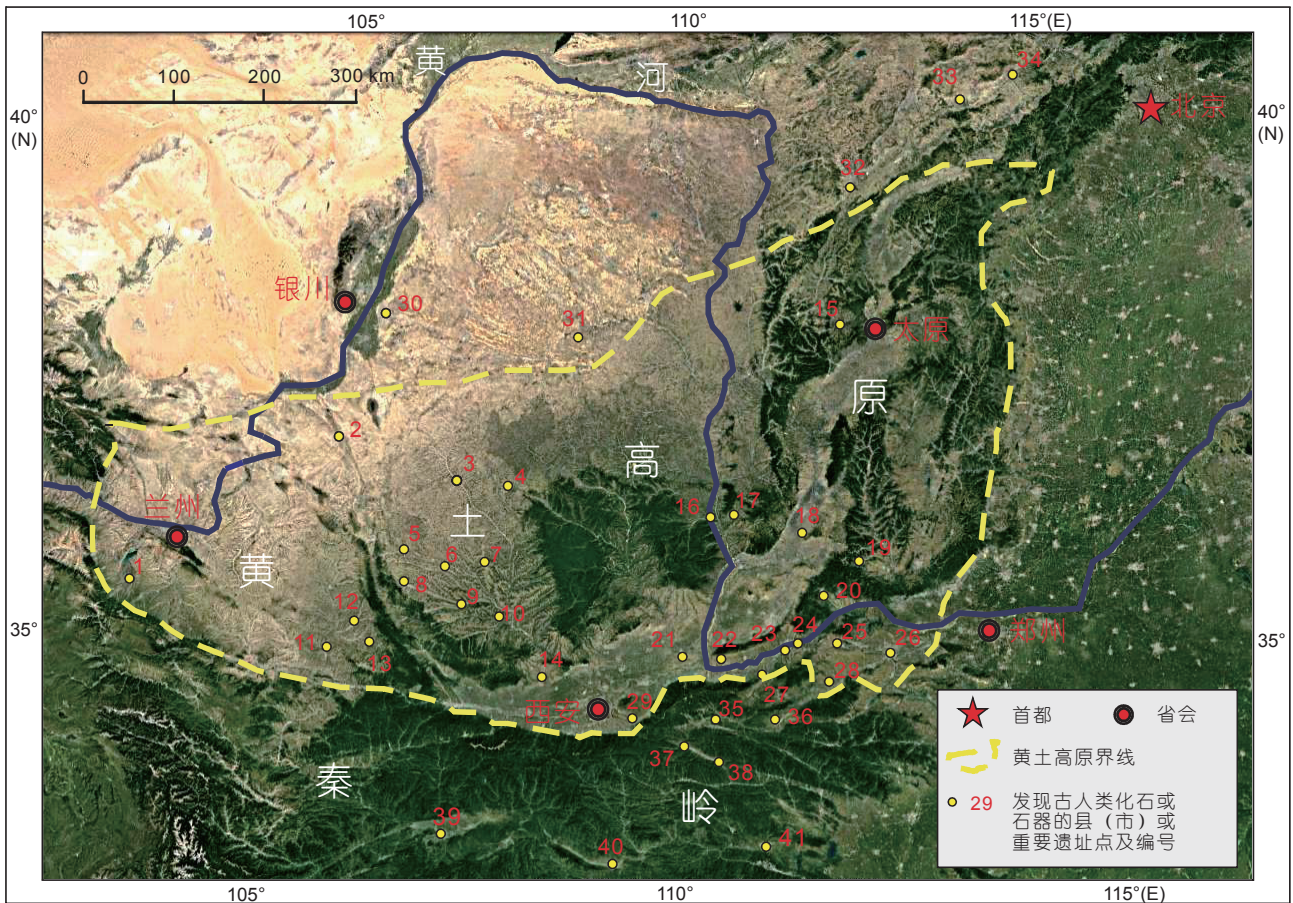


图1 黄土高原及邻近地区黄土-河湖相地层中古人活动遗迹分布地点示意图。发现古人类遗迹的主要县(市)和重要地点: 黄土高原地区—1, 临夏<sup>[21]</sup>; 2, 同心<sup>[25]</sup>; 3, 环县<sup>[20]</sup>; 4, 华池<sup>[19,22]</sup>; 5, 彭阳<sup>[25,37]</sup>; 6, 镇原<sup>[20]</sup>; 7, 庆阳<sup>[20]</sup>; 8, 平凉<sup>[22]</sup>; 9, 泾川<sup>[22]</sup>; 10, 长武<sup>[22,27]</sup>; 11, 秦安<sup>[24]</sup>; 12, 庄浪<sup>[21,23]</sup>; 13, 张家川<sup>[23]</sup>; 14, 乾县<sup>[27]</sup>; 15, 古交<sup>[33]</sup>; 16, 宜川(壶口)<sup>[33]</sup>; 17, 吉县<sup>[33]</sup>; 18, 襄汾(丁村)<sup>[29,33]</sup>; 19, 沁水<sup>[33]</sup>; 20, 垣曲<sup>[33]</sup>; 21, 大荔<sup>[26-28]</sup>; 22, 芮城(匠河、西侯度)<sup>[30-32]</sup>; 23, 陕县<sup>[34]</sup>; 24, 三门峡<sup>[36]</sup>; 25, 渑池<sup>[34]</sup>; 26, 洛阳<sup>[34]</sup>; 27, 灵宝<sup>[34]</sup>; 28, 洛宁<sup>[41,42]</sup>; 29, 蓝田(陈家窝、公王岭、上陈、甘裕等)<sup>[44-58]</sup>; 黄土高原邻近地区—30, 灵武(水洞沟)<sup>[37]</sup>; 31, 乌审旗(萨拉乌苏)<sup>[38]</sup>; 32, 朔州(峙峪)<sup>[33]</sup>; 33, 许家窑(侯家窑)<sup>[39]</sup>; 34, 泥河湾(东谷坨、小长梁、马圈沟)<sup>[39]</sup>; 35, 洛南<sup>[41,42]</sup>; 36, 卢氏<sup>[34,35,40]</sup>; 37, 商洛<sup>[41,42]</sup>; 38, 丹凤<sup>[41,42]</sup>; 39, 汉中<sup>[41,42]</sup>; 40, 安康<sup>[41,42]</sup>; 41, 郧县<sup>[43]</sup>

**Figure 1** The sketch distribution map of hominin relic places found in loess-lake-river strata in the Chinese Loess Plateau and its adjacent areas. Main places of city (county) or site in which the hominin relics had been found: in the Chinese Loess Plateau — 1, Linxia<sup>[21]</sup>; 2, Tongxin<sup>[25]</sup>; 3, Huanxian<sup>[20]</sup>; 4, Huachi<sup>[19,22]</sup>; 5, Pengyang<sup>[25,37]</sup>; 6, Zhenyuan<sup>[20]</sup>; 7, Qingyang<sup>[20]</sup>; 8, Pingliang<sup>[22]</sup>; 9, Jingchuan<sup>[22]</sup>; 10, Changwu<sup>[22,27]</sup>; 11, Qin'an<sup>[24]</sup>; 12, Zhuanglang<sup>[21,23]</sup>; 13, Zhangjiachuan<sup>[23]</sup>; 14, Qianxian<sup>[27]</sup>; 15, Gujiao<sup>[33]</sup>; 16, Yichuan (Hukou)<sup>[33]</sup>; 17, Jixian<sup>[33]</sup>; 18, Xiangfen (Dingcun)<sup>[29,33]</sup>; 19, Qinshui<sup>[33]</sup>; 20, Yuanqu<sup>[33]</sup>; 21, Dali<sup>[26-28]</sup>; 22, Ruicheng (Kehe, Xihoudu)<sup>[30-32]</sup>; 23, Shaanxian<sup>[34]</sup>; 24, Sanmenxia<sup>[36]</sup>; 25, Mianchi<sup>[34]</sup>; 26, Luoyang<sup>[34]</sup>; 27, Lingbao<sup>[34]</sup>; 28, Luoning<sup>[41,42]</sup>; 29, Lantian (Chenjiawo, Gongwangling, Shangchen, Ganyu, et al.)<sup>[44-58]</sup>; in the adjacent areas of the Chinese Loess Plateau — 30, Lingwu (Shuidonggou)<sup>[37]</sup>; 31, Wushenqi (Xarusgol)<sup>[38]</sup>; 32, Shuozhou (Zhiyu)<sup>[33]</sup>; 33, Xujiayao (Houjiayao)<sup>[39]</sup>; 34, Nihewan (Donggutuo, Xiaochangliang, Majuangou)<sup>[39]</sup>; 35, Luonan<sup>[41,42]</sup>; 36, Lushi<sup>[34,35,40]</sup>; 37, Shangluo<sup>[41,42]</sup>; 38, Danfeng<sup>[41,42]</sup>; 39, Hanzhong<sup>[41,42]</sup>; 40, Ankang<sup>[41,42]</sup>; 41, Yunxian<sup>[43]</sup>

遗址, 多数学者认为这些地点不老于0.4 Ma, 相当于离石黄土上部S4及其以上的层位<sup>[26-29]</sup>。但是, 在原来“大荔人”遗址河流阶地砂砾层侵蚀不整合面之下, 新发现了更早的河湖相沉积物中也埋藏有旧石器, 推测为旧石器早期的产物<sup>[26]</sup>, 这一发现值得进一步工作来确认这一古老层位的确切年代。在灞河北岸的陕西蓝田陈家窝遗址被测定为约0.65 Ma, 属于中更新世早期阶段

的离石黄土中部层位S6<sup>[53]</sup>。在黄河中下游北岸河南三门峡, 旧石器埋藏于黄土层下的河流相砂砾层上部, 其上覆的最底层黄土被界定为约0.8 Ma, 故石器层年代为0.9 Ma, 相当于中更新世与早更新世之交的离石黄土中下部层位<sup>[36]</sup>。黄河中下游北岸的山西芮城西侯度遗址的旧石器埋藏于黄土层之下的河流相砂砾层中, 最近古地磁测定为1.27 Ma<sup>[30]</sup>, <sup>26</sup>Al/<sup>10</sup>Be法测定为1.4±

0.2 Ma<sup>[31]</sup>, 属于早更新世晚期阶段的午城黄土上部层位, 但上覆黄土的标准层序未见详细描述. 陕西蓝田公王岭遗址和新发现的上陈地点的情况将后述.

## 1.2 黄土高原邻近地区研究基础

在黄土高原邻近地区, 与黄土-古土壤地层及相关河湖相地层有关的重要古人类和旧石器地点主要有如下一些地点.

黄土高原以北的黄土-沙漠边缘带的宁夏灵武水洞沟遗址, 内蒙古乌审旗萨拉乌苏遗址, 黄土高原东北面桑干河盆地的山西朔州峙峪遗址、山西-河北交界处的许家窑-侯家窑遗址等, 这些地点主要位于河流阶地沉积层以及河湖相地层中, 其年代多小于0.4 Ma<sup>[33,37~39]</sup>(图1).

位于黄土高原东北缘之外的桑干河流域著名的泥河湾盆地的旧石器基本上赋存于广义泥河湾组的河湖相地层中. 在泥河湾遗址群, 泥河湾组之上在多个剖面顶部可见覆盖有马兰黄土或者黄土状土, 最晚可达26000 a, 而在若干剖面见有“水下黄土”, 最多可达17层<sup>[39]</sup>. 盆地中有正式发表测年数据的早于1 Ma的旧石器早期地点的年代约为1.0~1.7 Ma, 如上沙嘴、马圈沟、小长梁、东谷坨、仙台、麻地沟、飞梁、半山、大长梁、霍家地、秦家湾等; 部分地点的年代推测为可能1.7~2.0 Ma, 如马圈沟沟底、黑土沟、大南沟等地<sup>[39]</sup>. 马圈沟地段拥有8层旧石器文化层, 其中1~4层(Ma~Md)年代约1.3~1.66 Ma, 而5~8层(Me~Mh)推测最老年代为1.77 Ma; 在黑土沟、大南沟等地推测可能达到2 Ma左右<sup>[39]</sup>.

在黄土高原以南的旧石器发现地点有秦岭山脉的山间盆地及河谷阶地中的陕西洛南、商洛、丹凤, 河南卢氏; 在秦岭山脉与大巴山-武当山之间河谷中的有陕西汉中、安康, 湖北郧县等<sup>[40~43]</sup>(图1). 据研究<sup>[41,42]</sup>, 该地区古人类活动主要有几个阶段: 1.2~0.6 Ma阶段, 主要以砾石砍砸器、石核、石片和简单修理的石片工具为主, 属旧大陆模式I石器工业范畴, 如洛南上白川和刘湾、卢氏乔家窑、汉中龙岗寺和窑厂湾、安康关庙(吴台村)以及郧县人等旷野旧石器遗址下部文化层; 0.4~0.25 Ma阶段, 主要以石核、石片和刮削器、尖状器、雕刻器等小型石片工具为主, 如洛南花石浪龙牙洞等; 250~50 ka阶段, 出现了大量模式II(阿舍利类型)石器工业遗存, 两面修理的手斧、手镐和薄刃斧等工具普遍可见, 如洛南张豁口、郭塬和槐树坪、汉中何

家梁等地; 晚更新世晚期与全新世初期阶段, 可能存在小石片石器工业类型. 这些石器主要赋存在第二~五级阶地河流阶地沉积物中, 上覆黄土从L1~L15, 年代大约1.20~0.05 Ma. 其中, 南洛河流域以及丹江上游盆地的阶地以黄土-河湖相沉积为主, 而汉水及其支流盆地阶地则存在黄土与红土以及河流沉积物的交替叠置. 在郧县一带, 这里主要发育了早-中更新世的亚热带红土<sup>[43]</sup>以及黄土与红土及河湖相沉积交替层, 含有“郧县人”化石和石器的层位主要是河流阶地沉积物以及河湖相地层, 其最主要的层位是在古地磁年表的Jaramillo亚极性时磁性层附近, 年代大约1 Ma.

## 1.3 陕西省蓝田地区研究基础

陕西蓝田地区位于黄土高原南缘, 秦岭北麓. 20世纪60年代, 由中国科学院古脊椎动物与古人类研究所主持有11个单位参加的蓝田地区新生代地层古生物综合考察取得了大量新成果<sup>[44~49]</sup>, 建立了晚新生代地层序列, 找到了大量古生物化石. 最重要的是在黄土地层中发现了两处古人类化石遗址: 陈家窝(下颌骨)和公王岭(头盖骨), 此外, 还发现了多处旧石器地点. 由于在当时, 黄土序列的详细分层和年代框架尚未建立, 且定年技术有限, 公王岭头盖骨的地质时代被定为中更新世早期或者早更新世晚期, 与印度尼西亚的爪哇人时代相近; 而陈家窝则与北京周口店猿人年代相当或者稍微早一点; 而对于旧石器地点的地质时代则只有归属于中更新世和晚更新世的阐述. 稍晚, 在蓝田锡水洞又发现了更新世早-中期洞穴堆积物中的石器<sup>[50]</sup>. 20世纪70年代后期, 马醒华等人<sup>[51]</sup>和程国良等人<sup>[52]</sup>首次使用古地磁方法对蓝田两处猿人遗址的黄土地层进行了定年, 第一次给出了大约距今0.5~1.0 Ma的具体年代数据. 20世纪80年代中后期, An和Ho等人<sup>[53]</sup>首次使用新的古地磁测年技术与黄土-古土壤标准剖面对比的方法, 确定了陈家窝遗址年代为距今0.65 Ma、公王岭遗址年代为1.15 Ma的新年龄, 并认为公王岭化石层位于第15层粉砂质黄土层(L15)的中部. 自那以后, 对蓝田古人类活动遗迹的实地调查和研究基本停滞了, 而许多国家级和部委级的有关古人类的重大科技计划项目也基本没有涉及蓝田地区. 自2009年以来, 王社江、鹿化煜等对蓝田灞河沿岸第一、第二和高阶地黄土-古土壤序列中的石器进行了调查研究, 在中更新世晚期(离石黄土上部)至晚更新世(马兰黄土)的S4~L1层位中发现了石器, 年龄为0.43~0.03 Ma<sup>[54,55]</sup>.

## 2 蓝田盆地新的调查和发现

### 2.1 基本调查和研究方法

一些研究者以往曾经对公王岭化石层的沉积特征、层位、动物群所代表的古气候特征以至于其年代产生过疑惑<sup>[14,16,56]</sup>。在新的研究思路指导下,自2001~2018年近18年间,中国科学院广州地球化学研究所联合中国科学院古脊椎动物与古人类研究所、中国科学院地球环境研究所以及国内外多家单位在蓝田地区进行了多学科交叉综合研究,其中主要是古人类遗迹所赋存的地层学和年代学工作。首要的工作是详细的野外调查,从秦岭山前到灞河两岸调查和测量了20多个黄土剖面,高分辨率(采样间距2~10 cm)采集了近万组各类地质样品。通过野外综合地层学、土壤地层学、地貌学和沉积学的调查、测量、对比和划分,尤其是黄土和古土壤标志层(其中包括L1, S2, S5, L9, L15和L24~L25等)的鉴别和顺层追踪,确定了蓝田黄土地层剖面序列与标准黄土剖面基本一致。运用化学成分分析、粒度分析和矿物分析,证明蓝田黄土同样属于典型风成黄土的成因类型。测试了各种岩石磁学参数,佐证了野外地层剖面划分的准确性,确认了蓝田黄土的磁性矿物种类和特征,证明了磁性方向的稳定性以及运用古地磁测年方法的可行性和适用性。以系统热退磁方法为主测量了样品的磁极性,确认古地磁测年数据的可靠性、精确性和准确性。由此,建立了蓝田黄土-古土壤的地层序列和古地磁年代序列。与此同时,在剖面调查、古地磁采样以及局部地质探槽挖掘等过程中,发现和寻找到数百件石器。对地表发现的石器,严格标记和记录为地表样品。对于剖面原生层位中原地理藏的石器,发现之后立即编号,对宏观地形地貌和地层层位进行观察和拍照,判定其所处的黄土或古土壤的层位,测量其经纬度和高度以及层位中的相对位置;继而逐步挖开土层揭露石器整体,并相应留住其所在的土柱;最后再统一将某个地段的石器全部取出并包装,同时在一些重要层位的石器发现和取出过程中予以录像。若干伴生的古动物化石的采样过程同上<sup>[57,58]</sup>。

### 2.2 秦岭山前黄土-古土壤序列侵蚀面的发现与公王岭遗址新定年

蓝田公王岭猿人遗址海拔约728 m,位于秦岭山脉北麓灞河南岸的黄土台地,高于现代河床80 m。以往确

定的公王岭直立人头盖骨赋存层位为L15中部(年代1.15 Ma)<sup>[53]</sup>,而2001~2014年新的研究将其重新确定为位于古土壤S22~S23层,年代1.63 Ma。主要依据是<sup>[57]</sup>。

(1) 确定了含化石层位并不是位于第15层粉砂质黄土(L15)的中部,而是一种原始暴露的被侵蚀的古地面。根据公王岭遗址的“新生代地层剖面保护厅”地层结构,沿相同层位水平追索,在围墙外约20 m发现同一层化石层。化石层呈近似圆锥形坑状,含有钙结核条带和钙结核块体、红色土壤条带和土壤团块以及断断续续的层理构造;在钙结核和古土壤中均找到了大型哺乳动物化石牙和骨头,化石都十分破碎、糟朽和酥松,风化程度很深,有时沿着不清楚的层理面散布;而在化石坑以外的层位中极少见到完整化石。这些特征与1964年原始发掘所描述的完全相同:“化石层无论是在平面上还是剖面上都是一窝一窝的,都是一些水平位置相近、但却互不连接的化石坑,厚度变化大,沉积物、钙结核与化石混杂,并有近源移动和流水作用的痕迹”<sup>[44,46]</sup>。这些现象表明:含化石的层位是一种在坑坑洼洼的古侵蚀地面上形成的受地表片流作用参与的快速和近距离的再次堆积,不是典型的风成或河流堆积。在黄土高原的众多剖面中,从来也没有人报道过在典型的L15粉砂质黄土层中含有这种夹层或者剥蚀面。再者,公王岭哺乳动物群所具有的“强烈的南方动物群色彩”<sup>[44]</sup>和拥有较多森林动物所代表的生态环境也与L15所代表的极端干冷的气候环境完全不相吻合。

(2) 秦岭山前存在黄土地层的侵蚀和地层缺失。从秦岭山边到灞河南岸的十几个实测地层剖面组成的纵剖面测量发现:粉砂质黄土L15(离石黄土底部)及其以上的层位是基本连续、完整的,不存在地层缺失;公王岭剖面底部的砂质黄土-砂砾层层位稳定,它们与上覆的午城黄土之间在沉积特征上是渐变过渡的,即两者间没有发现明显的侵蚀作用和地层缺失;L15与底部砂质黄土之间的黄土-古土壤组合数目从山前到河岸递增,其层数从0~2,再到3,最后到4层。按照构造地质学、地貌学和沉积学的基本原理,这种有规律变化的现象表明在L15之下确实存在一个显著的侵蚀面。侵蚀面的形成是与秦岭山前构造活动并叠加气候变化和斜坡水流作用所致<sup>[14,16]</sup>。

(3) 公王岭剖面存在地层缺失。在公王岭地点的古地磁采样分为两大剖面。1号地点剖面(GWL-1),恰好位于公王岭头盖骨发掘出土之处,即保护厅水泥墙外侧,再与化石坑剖面相接,两者间有相同层位的重叠。2号

地点剖面(GWL-2)位于遗址以东约450 m的万金沟,其与公王岭遗址同属于“公王岭”山梁被切割的不同沟谷,地层出露较好,包括标志层S2直至底部砾石层之上的层位,其L9以下与公王岭遗址完全一致.高分辨率古地磁采样和测量结果表明,上部地层中的B/M界线和Jaramillo亚极性时界线以及L15层位的位置与前人测量的结果<sup>[53]</sup>基本一致,但新发现了3个正极性磁性层:L15中的Cobb Mt.正极性漂移,化石层顶部的Gilsa正极性漂移,剖面近底部的Olduvai正极性亚时.根据标准黄土剖面的结构,L15之下至Olduvai极性层之间应当有10个黄土-古土壤组合层(S15~L25),然而在遗址剖面(GWL-1)却只有2~3个组合层.显然,这里缺失了7~8层黄土-古土壤组合.根据构造地质学及地貌学原理和上述第2点证据,L15之下存在侵蚀面,而记录了Olduvai极性层的黄土-古土壤组合(L25/S25)与其上覆的两层黄土-古土壤组合之间未见沉积间断,因此,L15底部侵蚀面之下的层位就应该从L25向上数两层组合,即S23~S22的混合层(由锥形化石坑层组成)(图2).

(4) 公王岭直立人化石层位于古地磁Gilsa正极性漂移之下.再一个证据是,在L15中检测到一个短暂的正极性漂移,应为Cobb Mt.,而化石层位于Olduvai极性层顶部(年代为1.78 Ma)之上约5 m,又恰恰位于Gilsa正极性漂移之下.不同的文献对Gilsa的年代有不同的界定,一般在1.68~1.57 Ma之间,若取平均值约为1.62 Ma.因此,公王岭化石层年代应当约为1.63 Ma比较合理,这也与S23的年代<sup>[10]</sup>相对应.

(5) 贾村剖面佐证了公王岭遗址的层位和年代.20世纪60年代的研究发现,中国北方黄土高原只有一个地点的早更新世动物群组合与公王岭遗址相似,含有显著的南方动物群色彩,这就是贾村地点<sup>[44]</sup>.贾村位于公王岭北面约9 km处的涝池河地带,经与原始发掘剖面<sup>[49]</sup>对比以及新的实地调查和古地磁定年证明,该剖面拥有完整的黄土-古土壤序列,其间没有任何地层缺失,磁性地层界线与典型黄土剖面相同,而其与公王岭相似的古动物化石层的层位正是S22~S23古土壤层,并且同样位于Gilsa磁性层之下和Olduvai磁性层之上.

因此,上述5方面证据说明公王岭直立人头盖骨及其伴生的动物群化石不是产于过去所认为的“下粉砂黄土层”(L15)之中,而是赋存于L15之下的一个起伏不平的大侵蚀面之下的混合古土壤层位,相当于S22~S23;其位于Gilsa磁性层(1.62 Ma)之下,年龄应当为1.63 Ma,而不是过去认为的1.15 Ma.这一重新定年

结果就与当年原始发掘的地层结构、古生物特征、古气候条件、头盖骨测量特征以及年代学的规律基本符合了.近两年其他学者发表的对公王岭遗址宇成核素定年以及公王岭头盖骨精细结构的测量也支持了这一新的定年结果<sup>[59,60]</sup>.

### 2.3 灞河北岸连续黄土-古土壤序列与上陈旧石器地点新发现

上陈剖面隶属蓝田县玉山镇上陈村委管辖,位于灞河北岸受侵蚀的黄土塬(横岭塬),距公王岭遗址4~4.5 km,剖面最高点海拔约890 m.2007年首次由科研人员独立发现了这一新的剖面,至2018年经十多年的研究,在20多个黄土或古土壤层位中发现了原地埋藏的旧石器,最古老石器层位为L28,年代约2.12 Ma<sup>[58]</sup>.

(1) 发现并建立了新的连续黄土-古土壤序列及其年代序列.上陈黄土剖面主要是由两大剖面组成:一是北沟主剖面,二是东侧主剖面.北沟剖面是一条连续的大冲沟剖面,从分水岭(剖面顶部,海拔约890 m)的沟头往下游的沟口(海拔约820 m)全部都是被冲刷裸露的黄土“基岩”露头,呈现了红黄相间的壮观景象.这种剖面实不多见.由于溯源侵蚀的原因,冲沟的沟底切割到不同的层位,因而,综合剖面是分为4段(次级剖面I~IV)来测量和采样的.次级剖面是根据标志层和古地磁测量的磁性界限来有效连接的.由于露头好、标志层(如S5, L9, L15和L24~L25等)出露非常清晰,任何调查者都可以轻易地不会犯错地追踪它们而将其相连接起来.剖面从L5~L28是完全连续的.顶部L5以上的层位被侵蚀了,底部被后期厚层的新沉积物或者农田耕地覆盖而未见底.东侧主剖面(KW剖面)在北沟主剖面的东偏北方向约600 m,是在与北沟剖面同一个黄土小山包的另一侧,其海拔约800~760 m,经标志层顺层追踪测量以及土壤地层鉴别,这里发育的地层为L25~L28.北沟主剖面古地磁界线与典型黄土剖面完全一致,其下部至底部(从S24~L28)检测到Olduvai磁性层(1.95~1.78 Ma)和Réunion磁性层(2.13~2.15 Ma).东侧主剖面同样检测到Olduvai磁性层和Réunion磁性层.因此,黄土剖面标志层以及地磁极性变化的证据证明这两个主剖面的对接也是完全正确和准确的.上陈剖面的年代地层序列是根据高分辨率磁性地层结果建立的.

(2) 新发现了20多层旧石器层.这是前人从来没有发现的.在文献[58]中仅详细报道了第四纪早更新世时期S15以下的午城黄土17个原生层位中的96件石器,地

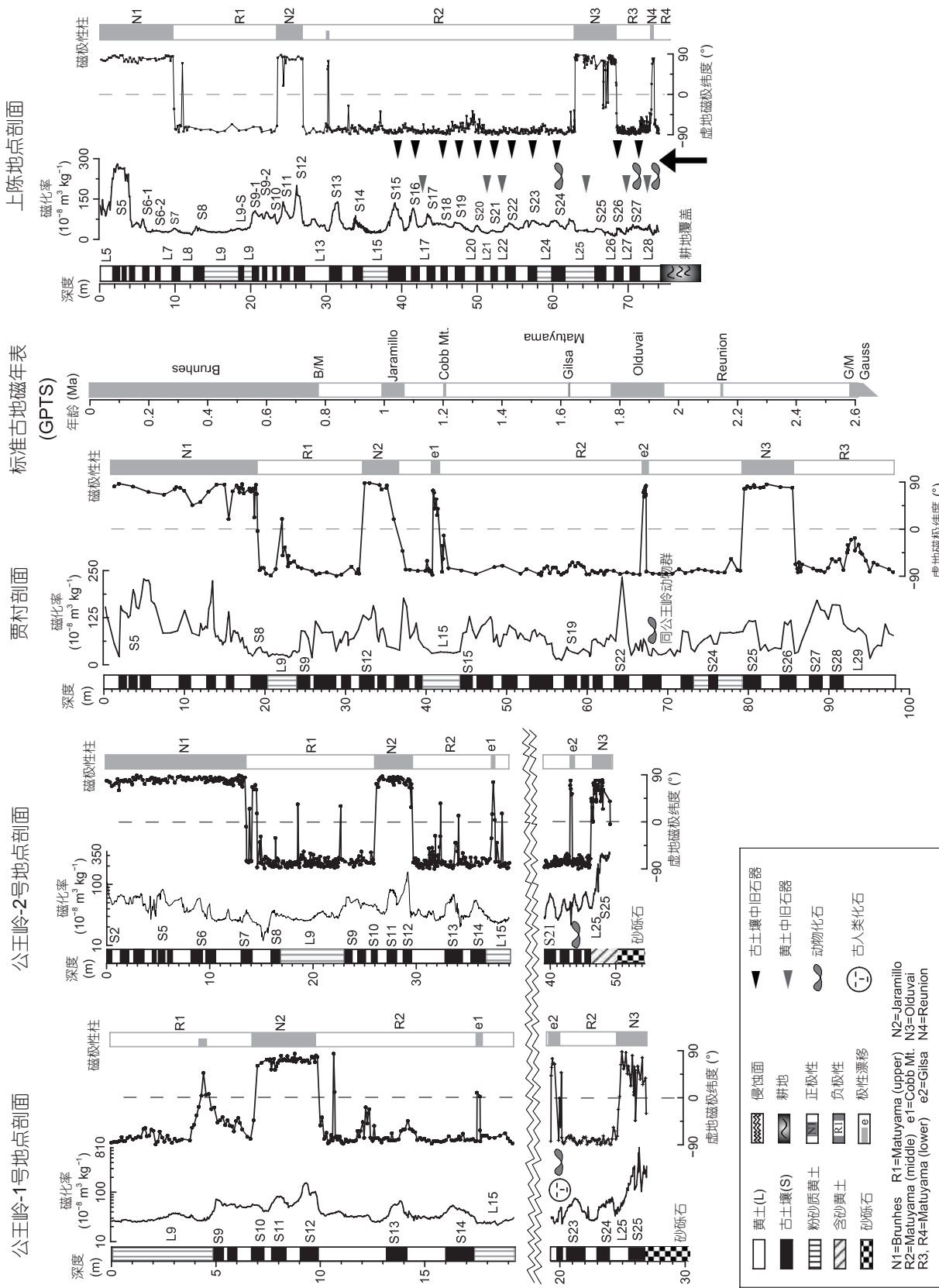


图 2 陕西省蓝田地区几个重要地点黄土地层与古人类遗迹研究新剖面

Figure 2 New sections of loess strata with hominin relics in the Lantian area, Shaanxi Province of North China

表发现的石器完全不在讨论之列。最老的石器位于古地磁Olduvai磁性层底部(1.95 Ma)以下3.95 m以及Réunion正极性漂移顶部(2.13 Ma)之上约0.69 m处, 因此其年代应当约为2.12 Ma, 与黄土L28层位年代<sup>[10]</sup>相当。其他含石器层的年代可以对照古地磁各个界线层以及“中国黄土粒度年代标尺”(Chiloparts)<sup>[10]</sup>来确定。上陈剖面所在的沟谷没有下切到基岩岩石, 剖面全部由粒度为几十微米的风成粉尘所组成; 附近没有冲积、洪积、湖积成因的砂砾石层夹层; 远处的河流及其各级阶地的海拔均低于上陈剖面; 周边山体(秦岭、华山、骊山)距离较远(5~20 km), 其间有千沟万壑; 因此, 各个时代的冲洪积相砂砾石和岩块状坡积物不可能混进黄土剖面中。层位中的石器分布极为分散, 多数相距较远, 而且还出现在这么多的层位里。因此, 上陈黄土和古土壤中的几厘米至几十厘米的石头不可能是那些自然作用带来的, 何况这些石头还拥有明显的各个方向的“缺口”, 其断面均比它们的原料(如卵石、石块)的原始表面更为新鲜, 边缘锋利未经磨损, 显示各种形态。这些石头都经过了多位研究团队内外古人类学家和旧石器考古学家的仔细观察和严格鉴定, 确定为人工制品无疑。上述17层原生层位中含有96件旧石器, 包括石核、石片、刮削器、钻孔器、尖状器、石锤等(图3), 在某些层位还伴随有哺乳动物化石残骸。

(3) 石器多数赋存于古土壤之中。新的调查总计发现了300多件石器, 但在上陈剖面原生层位中仅发现100多件。目前所发现并报道的96件石器尽管数量有限, 其发现的几率也是随机性的, 但看起来多数石器分布于代表温暖湿润古气候的古土壤层中(共80件石器发现于11层古土壤中, 包括: S15, S16, S18~S24, S26和S27), 而少量分布于代表寒冷干燥古气候的黄土层中(共16件石器发现于6个黄土层中, 包括L17, L21, L22, L25, L27和L28)。这是否说明了古气候环境对古人类生存的制约? 此外, 上陈地带古人类活动在早更新世的2.12~1.26 Ma约86万年间反复出现, 他们是否是连续的存在? 这些问题尚待更多材料的发现才能得出合理的结论。

(4) 建立一个黄土-古土壤-旧石器层序列框架。在一个相对狭小的地带发现有近20层的不同年代的旧石器, 这在世界上是罕见的。根据蓝田地区最新发现, 结合以往工作的结果, 可以建立起一个黄土-古土壤-旧石器层序列的框架, 这个序列具有明确的年代标定, 可以有明确的气候环境界定。

### 3 讨论与展望

#### 3.1 新的发现和进展的意义

(1) 以往在我国南方元谋发现的1.7 Ma的两颗门牙很难界定其古人类类型的归属; 在我国北方泥河湾发现的1.66~1.7 Ma的旧石器, 也未能指示是什么类型的古人类制造和使用了它们; 而原测年为1.15 Ma的公王岭头盖骨已经是我国乃至东亚最古老的古人类头盖骨了; 由此, 以至于国际上一些学者总是质疑直立人是否在1 Ma之前到达过中国乃至东亚。现在, 公王岭直立人头盖骨的年代从原来的1.15 Ma被重新定年推前至1.63 Ma, 使其成为迄今所知东亚年龄最古老、非洲以外年龄第二古老的早期古人类头盖骨化石, 仅次于格鲁吉亚的德马尼西1.78 Ma的直立人。这一新发现可以使泥河湾石器找到了潜在的主人, 佐证了元谋人的时代, 也说明了至少在1.6 Ma以前直立人已经出现在(或到达)中国和东亚大陆<sup>[2]</sup>。此外, 这一进展也间接解答了古人类学研究中的疑惑: 公王岭头盖骨特征的原始性与湖北郧县人头盖骨特征的进步性差异非常明显, 而原来认为两者年龄相近(公王岭人1.15 Ma, 郧县人约1.0 Ma), 这在古人类体质上的演化是难以解释的, 而现在问题则迎刃而解了。

(2) 新发现的上陈旧石器地点的年代为2.12 Ma, 比德马尼西1.85 Ma的旧石器还要老27万年, 成为非洲以外最古老的旧石器地点之一。由于上陈旧石器地点的石器以近20层的原生层位赋存于连续发育的黄土-古土壤地层中, 其年代可靠性高, 故而得到国际上广泛认可。这将成为我国乃至非洲以外早期古人类活动遗址的一个新的地标。然而, 上陈最古老的约2.0~2.1 Ma石器的年龄已经超过了传统认识的直立人年龄(约1.8~1.9 Ma)界限, 属于能人阶段或者南方古猿阶段。那么, 是什么类型的古人类制造和使用了它们? 到底是“能人也走出了非洲”? 还是直立人的年龄下限需要重新认识? 或是早期古人类“走出亚洲”? “多点起源”? 由于还没有找到相近年代的古人类化石, 这些问题尚且存疑。

(3) 这些研究成果将使科学家们重新考虑早期古人类起源、演化和迁徙、扩散等重大科学问题。同时, 在一个狭小的地段发现连续黄土剖面中含有20多层旧石器层是世界罕见的。这是在“黄土地质考古带”研究方面的新发现和新进展, 也为已经处于世界领先地位的中国黄土研究增添了新的篇章。



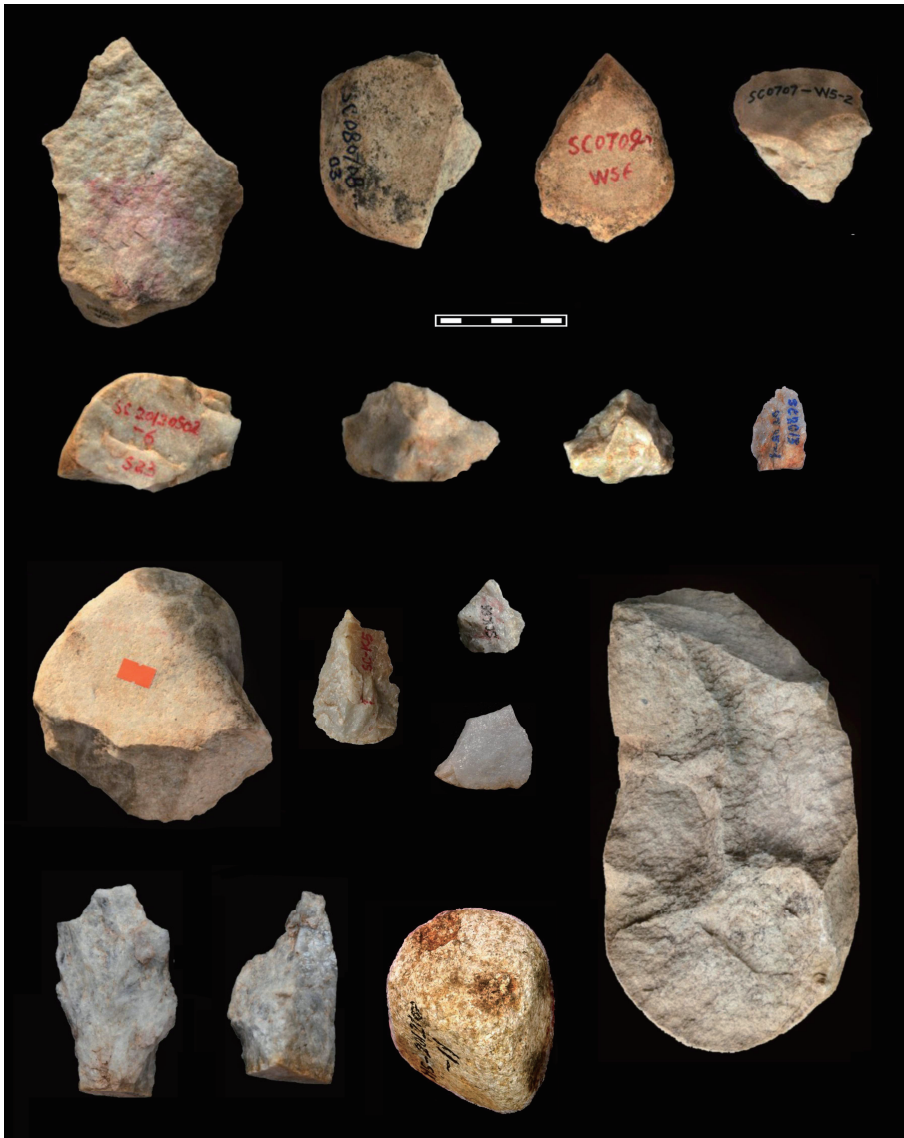


图3 陕西蓝田上陈地点黄土原生地层中发现的部分石器. 比例尺黑白间隔为1 cm

Figure 3 Selected a part of artifacts found in loess strats *in situ* at the Shangchen site, Lantian area, Shaanxi Province of North China. In the scale, each division represents 1 cm

### 3.2 展望和期待

(1) 中国黄土高原及邻近地区的黄土与古人类活动遗迹的研究数十年来获取了丰富的成果, 但真正在黄土高原地区发育良好的完整的黄土-古土壤剖面投入的调查和研究工作很少, 多数工作集中于已知的一些著名的遗址(群), 尤其是河湖相地层、河流阶地沉积以及洞穴堆积的地点, 以至于过去有重大发现的黄土地区(例如蓝田地区)反而成了“被遗忘的角落”. 21世纪以来新的发现和工作进展再一次证明了黄土高原的连

续黄土-古土壤序列对于古人类遗迹研究的重要性以及不可替代性. 因此, 盼望相关研究者们多多关注黄土高原地区, 例如, 蓝田及其邻近地区. 在这些地区, 期望寻找到更加古老的人类活动遗迹, 其中更重要的是, 期望寻找到相近年代的古人类化石遗骸.

(2) 在黄土高原腹地, 例如陕北、陇东、晋中等地, 过去也发现了众多古人类活动遗迹地点(图1及本文参考文献), 但多数是在中更新世晚期至晚更新世黄土与河湖相沉积物中发现的, 其年代多数不劣于0.5 Ma. 少数在“红色土”(实际上是中更新世至早更新世的离石黄

土或者午城黄土)中发现的,但其多数没有确切的黄土-古土壤序列地层单元界定以及实际的年代数据测定,因此,留下很大的研究空间.因为在这些地区,多数的黄土剖面可以发育到1.8~2.6 Ma,而后期的河湖相阶地可以切割不同的黄土层位,甚至切割到上新世红黏土.因此,对于那些被描述为“埋藏在红色土中”的人类活动遗迹材料(化石、旧石器)特别丰富或者有重要研究价值的地点,建议给予高度重视,需要对这些地点进行重点的黄土地层层序和年代学研究.

(3) 在黄土高原邻近地区,尤其是秦岭-大巴山-武当山山脉及其河谷盆地一带,这里在气候带上属于北亚热带,靠近秦岭南坡的黄土也比较发育,但向南至大巴山、向东至武当山一带,却是黄土与红土以及河流沉积相互交织发育的地带,与黄土高原相比较,这里的层状地貌和地层层序的确定以及年代的测定都较为复杂.根据这一地带已发现的大量旧石器地点,初步建立了秦岭地区旧石器演化序列与山地黄土-河流阶地演化序列的关系<sup>[41,42]</sup>.从目前所发表的资料来看,最早的有确切年代数据的旧石器赋存的地貌是第五级阶地,沉积物相当于黄土的S8~L15层位,年代约为0.8~1.2 Ma<sup>[41,42]</sup>.然而,这些地区还发育了第六级阶地

或更高的阶地,研究者也已经发现了一些旧石器的线索.因此,建议在这些地区加强高阶地黄土-古土壤层位的调查和年代测定,加强黄土、红土、河湖相沉积物相互关系及其年代的研究.鉴于邻近地区洞穴堆积物之中的早期古人类活动已有记录,建议同时加强洞穴堆积与洞外旷野堆积的相关关系及其年代学研究.因此,相信这一带能够寻找到早于1.2 Ma的古人类遗迹记录.

(4) 古人类研究与第四纪地质研究是密不可分的学科交叉研究,尤其是早期古人类和旧石器早期阶段的研究更加离不开第四纪地层乃至晚第三纪地层的研究.因此,加强第四纪研究者与古人类和旧石器考古研究者的密切联系,是大势所趋,其成效也是有目共睹的.

秦岭山脉地区和蓝田黄土高原地区新的发现对黄土-古土壤地层序列与古人类演化理论提供了新的证据.在此,一个“高分辨率黄土-古土壤-古人类活动序列”的新概念被初步提出来了,其目标是期望真正地开展和充分拓展“黄土石器工业”和“黄土地质考古带”这一研究方向,将中国黄土高原的黄土研究与古人类活动遗迹研究相结合,对古人类演化及其与生存环境关联这一重大科学问题做出应有的贡献.

**致谢** 感谢中国科学院地球环境研究所安芷生、强小科,中国科学院地质与地球物理研究所丁仲礼、郭正堂、朱日祥、邓成龙,中国科学院古脊椎动物与古人类研究所邱占祥、刘武、潘悦蓉、董为、同号文,南京大学鹿化煜,云南大学郑洪波,暨南大学匡耀求,中山大学杨小强,英国埃克塞特大学L. Hurcombe等对本文科学问题的指教;感谢蓝田县文化旅游局和公王岭博物馆的大力支持和帮助;感谢中国科学院广州地球化学研究所黄海云、高伟、徐兴新、于宋月、刘宇、刘承帅、迟宝泉、杨超、邹毅、卞勇、阮柱、邓瑞民、李明坤、李凤才、李宗杰和中国科学院南海海洋研究所韩玉林以及蓝田县玉山镇陈文辉、陈毅、郝友强、陈小锋等在野外采样和实验室测试分析过程中的辛勤工作.

## 参考文献

- 1 Kappelman J. An early hominin arrival in Asia. *Nature*, 2018, 559: 480–481
- 2 Wu X J. Recent research progress and popular issues on Chinese human evolution (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2018, 63: 2148–2155 [吴秀杰. 中国古人类演化研究进展及相关热点问题探讨. *科学通报*, 2018, 63: 2148–2155]
- 3 Ding Z L. *The Research Methods on the Solid Earth Science* (in Chinese). Beijing: Science Press, 2013. 37–286 [丁仲礼. *固体地球科学研究方法*. 北京: 科学出版社, 2013. 37–286]
- 4 Heller F, Liu T S. Magnetostratigraphical dating of loess deposits in China. *Nature*, 1982, 300: 431–433
- 5 Liu T S. *Loess and the Environment*. Beijing: China Ocean Press, 1985. 1–251
- 6 Ding Z L, Liu T S, Liu X M, et al. The 37 climatic cycles since the last 2.5 Ma (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 1989, 34: 1494–1496 [丁仲礼, 刘东生, 刘秀铭, 等. 250万年以来的37个气候旋回. *科学通报*, 1989, 34: 1494–1496]
- 7 Ding Z L, Sun J M, Zhu R X, et al. Eolian origin of the red clay deposits in the Loess Plateau and implications for Pliocene climatic changes (in Chinese). *Quat Sci*, 1997, 17: 147–157 [丁仲礼, 孙继敏, 朱日祥, 等. 黄土高原红黏土成因及上新世北方干旱化问题. *第四纪研究*, 1997, 17: 147–157]
- 8 Sun D H, Liu T S, Chen M Y, et al. Magnetostratigraphy and palaeoclimate of red clay sequences from Chinese Loess Plateau. *Sci China Ser D-Earth Sci*, 1997, 40: 337–343 [孙东怀, 刘东生, 陈明扬, 等. 中国黄土高原红黏土序列的磁性地层与气候变化. *中国科学D辑: 地球科学*, 1997, 27: 481–490]

- 9 An Z S, Wang S M, Wu X H, et al. Eolian evidence from the Chinese Loess Plateau: The onset of the Late Cenozoic Great Glaciation in the Northern Hemisphere and Qinghai-Xizang Plateau uplift forcing (in Chinese). *Sci China Ser D-Earth Sci*, 1999, 42: 258–271 [安芷生, 王苏民, 吴锡浩, 等. 中国黄土高原的风积证据: 晚新生代北半球大冰期开始及青藏高原的隆升驱动. *中国科学D辑: 地球科学*, 1998, 28: 481–490]
- 10 Ding Z L, Derbyshire 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  $\delta^{18}\text{O}$  record. *Paleoceanography*, 2002, 17: 5-1–5-21
- 11 Guo Z T, Ruddiman W F, Hao Q Z, et al. Onset of Asian desertification by 22 Myr ago inferred from loess deposits in China. *Nature*, 2002, 416: 159–163
- 12 Lu H Y, Hu T, Wang X Y. Cycles and forcing mechanism of wet-dry variations in North China during the past 11.0 million years revealed by wind-blown silt deposits (in Chinese). *Geol J China Univ*, 2009, 15: 149–158 [鹿化煜, 胡挺, 王先彦. 1100万年以来中国北方风尘堆积与古气候变化的周期及驱动因素分析. *高校地质学报*, 2009, 15: 149–158]
- 13 Qiang X K, An Z S, Song Y G, et al. New eolian red clay sequence on the western Chinese Loess Plateau linked to onset of Asian desertification about 25 Ma ago (in Chinese). *Sci China Earth Sci*, 2011, 54: 136–144 [强小科, 安芷生, 宋友桂, 等. 晚渐新世以来中国黄土高原风成红黏土序列的发现: 亚洲内陆干旱化起源的新记录. *中国科学: 地球科学*, 2010, 40: 1479–1488]
- 14 Zhu Z Y. The neotectonics evolution in the Loess Plateau and its adjacent regions (in Chinese). Doctor Dissertation. Beijing: Geological Institute of Chinese Academy of Sciences, 1988. 1–214 [朱照宇. 黄土高原及邻区新构造演化. 博士学位论文. 北京: 中国科学院地质研究所, 1988. 1–214]
- 15 Zhu Z Y. The paleosol dating method: A new correlation dating method (in Chinese). In: *The Collected Papers for the Prof. Yuan Fuli 100th Anniversary Celebration*. Beijing: Seismological Press, 1993. 21–24 [朱照宇. 古土壤断代法——一种新的对比年代学方法. 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, 1993. 21–24]
- 16 Zhu Z Y, Ding Z L. The Quaternary Paleo-Climates and Neotectonics Evolution in the Chinese Loess Plateau (in Chinese). Beijing: Geological Publishing House, 1994. 1–226 [朱照宇, 丁仲礼. 中国黄土高原第四纪古气候与新构造演化. 北京: 地质出版社, 1994. 1–226]
- 17 Zhu Z Y. A loess-paleosol dating method. *Geol J*, 1995, 36: 243–249
- 18 Liu T S. The loess lithic industry (in Chinese). In: Xu Q Q, Xie F, Wang J, eds. *New Progress of Prehistoric Archaeology*. Beijing: Science Press, 1999. 52–62 [刘东生. 黄土石器工业. 见: 徐钦琦, 谢飞, 王建, 编. 史前考古学新进展. 北京: 科学出版社, 1999. 52–62]
- 19 Ranov V. The “loessic palaeolithic” in South Tadjikistan, Central Asia: Its industries, chronology and correlation. *Quat Sci Rev*, 1995, 14: 731–745
- 20 Xie J Y, Zhang L Z. Paleolithics in Qingyang area, Gansu Province (in Chinese). *Vertebr Palasiat*, 1977, 15: 212–222 [谢骏义, 张鲁章. 甘肃庆阳地区的旧石器. *古脊椎动物与古人类*, 1977, 15: 212–222]
- 21 Xie J Y. New discoveries and prospects of the paleolithic archaeology in western and central Gansu Province (in Chinese). *Acta Anthrop Sin*, 1991, 10: 27–33 [谢骏义. 甘肃西部和中部旧石器考古的新发现及其展望. *人类学学报*, 1991, 10: 27–33]
- 22 Zhang H Y. A study on the age and period of the paleolithic relics in the upper reaches of the Jing River (in Chinese). *J NW Univ (Philos Soc Sci Ed)*, 2005, 35: 87–94 [张宏彦. 泾水上游旧石器时代遗存的年代与分期研究. *西北大学学报(哲学社会科学版)*, 2005, 35: 87–94]
- 23 Li F, Chen F Y, Gao X, et al. A report on the 2009 reconnaissance of paleolithic remains in the Shuiluo and Qingshui River Valley, Gansu Province (in Chinese). *Acta Anthrop Sin*, 2011, 30: 137–148 [李锋, 陈福友, 高星, 等. 甘肃省水洛河、清水河流域2009年旧石器考古调查. *人类学学报*, 2011, 30: 137–148]
- 24 Zhang D J, Chen F H, Bettinger R L, et al. Archaeological records of Dadiwan in the past 60 ka and the origin of millet agriculture (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2010, 55: 887–894 [张东菊, 陈发虎, Bettinger R L, 等. 甘肃大地湾遗址距今6万年来的考古记录与旱作农业起源. *科学通报*, 2010, 55: 887–894]
- 25 Ji D X, Chen F H, Bettinger R L, et al. Human response to the last glacial maximum: Evidence from North China (in Chinese). *Acta Anthrop Sin*, 2005, 24: 270–282 [吉笃学, 陈发虎, Bettinger R L, 等. 末次盛冰期环境恶化对中国北方旧石器文化的影响. *人类学学报*, 2005, 24: 270–282]
- 26 The Archaeology Institute of Shaanxi Province, the Cultural Relic Administration of Dali County. The paleolithic relics found in Dali County, Shaanxi Province (in Chinese). *Archaeol Cultur Relic*, 1994, (1): 1–20 [陕西省考古研究所, 大荔县文管会. 陕西大荔县发现的早期旧石器文化遗存. *考古与文物*, 1994, (1): 1–20]
- 27 Gao X. Palaeolithic locality at Yuhonghe of Dali County, Shaanxi Province (in Chinese). *Acta Archaeol Sin*, 1990, (2): 187–203 [高星. 陕西大荔育红河村旧石器地点. *考古学报*, 1990, (2): 187–203]
- 28 Wu W X, Liu T S. Study on Loss-paleosol succession of the Dali Man site (in Chinese). *Chin J Geol*, 2001, 36: 364–369 [吴文祥, 刘东生. 大荔人遗址黄土-古土壤序列. *地质科学*, 2001, 36: 364–369]
- 29 Wu W X, Liu T S. Study on the loess-paleosol sequence of the dingcun paleolithic sites (in Chinese). *Seismol Geol*, 2002, 24: 241–248 [吴文祥, 刘东生. 丁村旧石器遗址群的黄土地层研究. *地震地质*, 2002, 24: 241–248]
- 30 Zhu R, An Z, Potts R, et al. Magnetostratigraphic dating of early humans in China. *Earth-Sci Rev*, 2003, 61: 341–359
- 31 Kong P, Jia J, Zheng Y. Cosmogenic  $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$  burial dating of the Paleolithic at Xihoudu, North China. *J Human Evol*, 2013, 64: 466–470
- 32 Wu W X, Hu S F, Li H H. Analysis on the stratigraphic chronology of site 6056 in Kehe Paleolithic (in Chinese). *Marine Geol Quat Geol*, 2008, 28: 81–89 [吴文祥, 胡素芳, 李虎侯. 匠河旧石器遗址群6056地点的地层年代. *海洋地质与第四纪地质*, 2008, 28: 81–89]
- 33 Ren H Y. Paleolithic archaeology and research in Shanxi Province during this century. *Cultur Relics Age*, 2016, (4): 3–6 [任海云. 本世纪以来山西的旧石器考古与研究. *文物春秋*, 2016, (4): 3–6]
- 34 Li Z Y. Discoveries and problems of paleoanthropology and paleolithic relics in Henan Province (in Chinese). *Huaxia Archaeol*, 2012, (2): 14–24

- [李占扬. 河南境内古人类及旧石器遗存的发现及其问题. 华夏考古, 2012, (2): 14–24]
- 35 Du S S, Yang L R, Liu F L, et al. Re-examination of the age of Beiyao site, Luoyang city (in Chinese). *Quat Sci*, 2011, 31: 16–21 [杜水生, 杨丽蓉, 刘富良, 等. 洛阳北窑遗址年代再研究. 第四纪研究, 2011, 3: 16–21]
- 36 Li X W, Ao H, Dekkers M J, et al. Early Pleistocene occurrence of Acheulian technology in North China. *Quat Sci Rev*, 2017, 56: 12–22
- 37 Gao X, Pei S W, Wang H M, et al. A report on paleolithic reconnaissance in Ningxia, North China (in Chinese). *Acta Anthropol Sin*, 2004, 23: 307–325 [高星, 裴树文, 王惠民, 等. 宁夏旧石器考古调查报告. 人类学学报, 2004, 23: 307–325]
- 38 Dong G R, Li B S, Chen Y Z. The Comprehensive Study of the Late Quaternary Geology and Paleoanthropology in Xarusgol (Sjara-Osso-Gol) River Region (in Chinese). Beijing: Science Press, 2017. 1–349 [董光荣, 李保生, 陈永志. 萨拉乌苏河晚第四纪地质与古人类综合研究. 北京: 科学出版社, 2017. 1–349]
- 39 Yuan B Y, Xia Z K, Niu P S. Nihewan Rift and Early Man (in Chinese). Beijing: Geological Publishing House, 2011. 132–219 [袁宝印, 夏正楷, 牛平山. 泥河湾裂谷与古人类. 北京: 地质出版社, 2011. 132–219]
- 40 Du S S, Liu F L, Zhu S W, et al. Leossic paleoliths from Lushi County, Henan Province (in Chinese). *Quat Sci*, 2008, 28: 12–18 [杜水生, 刘富良, 朱世伟, 等. 河南卢氏发现黄土旧石器. 第四纪研究, 2008, 28: 12–18]
- 41 Wang S J, Lu H Y. Taphonomic and paleoenvironmental issues of the Pleistocene loessic Paleolithic sites in the Qinling Mountains, central China. *Sci China Earth Sci*, 2016, 59: 1519–1528 [王社江, 鹿化煜. 秦岭地区更新世黄土地层中的旧石器埋藏与环境. 中国科学: 地球科学, 2016, 46: 881–890]
- 42 Sun X, Lu H, Wang S, et al. Early human settlements in the southern Qinling Mountains, Central China. *Quat Sci Rev*, 2017, 164: 168–186
- 43 Li Y X, Ji H X, Li T Y, et al. Artefacts found from the Yuanxian Man site (in Chinese). *Acta Anthropol Sin*, 1998, 17: 10–15 [李炎贤, 计宏祥, 李天元, 等. 郧县人遗址发现的石制品. 人类学学报, 1998, 17: 10–15]
- 44 Jia L P. The discovery and stratigraphical context of Lantian *Homo erectus* skull (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 1965, 10: 477–481 [贾兰坡. 蓝田猿人头骨发现经过及地层概况. 科学通报, 1965, 10: 477–481]
- 45 Woo J K. The hominid skull of Lantian, Shensi (in Chinese). *Vertebr Palasiat*, 1966, 10: 1–16 [吴汝康. 陕西蓝田发现的猿人头骨化石. 古脊椎动物与古人类, 1966, 10: 1–16]
- 46 Wu X Z, Yuan Z X, Han D F, et al. Report of the excavation at Lantian man locality of Gongwangling in 1965 (in Chinese). *Vertebr Palasiat*, 1966, 10: 24–29 [吴新智, 袁振新, 韩德芬, 等. 陕西蓝田公王岭蓝田人地点1965年发掘报告. 古脊椎动物与古人类, 1966, 10: 24–29]
- 47 Dai E J. The paleoliths found at Lantian Man locality of Gongwangling and its vicinity (in Chinese). *Vertebr Palasiat*, 1966, 10: 30–32 [戴尔俭. 陕西蓝田公王岭及其附近的旧石器. 古脊椎动物与古人类, 1966, 10: 30–32]
- 48 Tai E C, Hsu C H. New finds of palaeoliths from Lantian (in Chinese). *Acta Archaeol Sin*, 1973, (2): 1–12 [戴尔俭, 许春华. 蓝田旧石器的新材料和蓝田猿人文化. 考古学报, 1973, (2): 1–12]
- 49 Zhang Y P, Huang W B, Tang Y J, et al. Cenozoic of Lantian Area, Shaanxi (in Chinese). Beijing: Science Press, 1978. 1–64 [张玉萍, 黄万波, 汤英俊, 等. 陕西蓝田地区新生界. 北京: 科学出版社, 1978. 1–64]
- 50 Huang C C. Discovery and its significance of cultural relics of the Paleolithic Period in Xishuidong in Lantian, Shaanxi Province (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 1983, 28: 241–244 [黄春长. 陕西蓝田锡水洞旧石器时代文化遗迹的发现及其意义. 科学通报, 1983, 28: 241–244]
- 51 Ma X H, Qian F, Li P, et al. Paleomagnetic dating of Lantian Man (in Chinese). *Vertebr Palasiat*, 1978, 16: 238–243 [马醒华, 钱方, 李普, 等. “蓝田人”年代的古地磁学研究. 古脊椎动物与古人类, 1978, 16: 238–243]
- 52 Cheng G L, Lin J L, Li S L. A research on the ages of the strata of “Lantian Man” (in Chinese). In: Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology, Chinese Academy of Sciences. *Collected Papers of Palaeoanthropology*. Beijing: Science Press, 1978. 151–157 [程国良, 林金录, 李素玲. 蓝田人地层年代的探讨. 见: 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所. 古人类论文集. 北京: 科学出版社, 1978. 151–157]
- 53 An Z S, Ho C K. New Magnetostratigraphic Dates of Lantian *Homo erectus*. *Quat Res*, 1989, 32: 213–221
- 54 Wang S, Lu H, Zhang H, et al. Newly discovered Palaeolithic artefacts from loess deposits and their ages in Lantian, central China. *Chin Sci Bull*, 2014, 59: 651–661
- 55 Zhuo H, Lu H, Wang S, et al. Chronology of newly-discovered Paleolithic artifact assemblages in Lantian (Shaanxi Province), central China. *Quat Res*, 2016, 86: 316–325
- 56 Liu T S, Shi Y F, Wang R J, et al. Table of chinese quaternary stratigraphic correlation remarked with climate change (in Chinese). *Quat Sci*, 2000, 20: 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. 第四纪研究, 2000, 20: 108–127]
- 57 Zhu Z Y, Dennell R, Huang W W, et al. New dating of the *Homo erectus* cranium from Lantian (Gongwangling), China. *J Human Evol*, 2015, 78: 144–157
- 58 Zhu Z, Dennell R, Huang W, et al. Hominin occupation of the Chinese Loess Plateau since about 2.1 million years ago. *Nature*, 2018, 559: 608–612
- 59 Wu X J, Zhang Y M. The temporal bony labyrinthine morphology of Lantian *Homo erectus* from Gongwangling, Shaanxi Province (in Chinese). *Acta Anthropol Sin*, 2016, 35: 14–23 [吴秀杰, 张亚盟. 陕西公王岭蓝田直立人内耳迷路的复原及形态特点. 人类学学报, 2016, 35: 14–23]
- 60 Tu H, Shen G, Granger D, et al. Isochron  $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$  burial dating of the Lantian hominin site at Gongwangling in Northwestern China. *Quat Geochronol*, 2017, 41: 174–179

Summary for “黄土高原黄土层古人类遗迹年代研究新进展”

## New progress in the geochronology of hominin relics in loess strata of the Chinese Loess Plateau

Zhaoyu Zhu<sup>1,2\*</sup>, Weiwen Huang<sup>3</sup>, Yi Wu<sup>4</sup>, Shifan Qiu<sup>5</sup>, Zhiguo Rao<sup>6</sup>, Shixia Yang<sup>3</sup>, Yamei Hou<sup>3</sup>, Jiubing Xie<sup>7</sup>, Jiangwei Han<sup>8</sup>, Shuqing Fu<sup>9</sup>, Tingping Ouyang<sup>1,10</sup>, Houyun Zhou<sup>1,10</sup>, Shasha Peng<sup>1</sup> & Robin Dennell<sup>11</sup>

<sup>1</sup> Key Laboratory of Ocean and Marginal Sea Geology, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China;

<sup>2</sup> State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710061, China;

<sup>3</sup> Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100044, China;

<sup>4</sup> Key Laboratory of Ocean and Marginal Sea Geology, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China;

<sup>5</sup> School of Geography and Environmental Engineering, Gannan Normal University, Ganzhou 341000, China;

<sup>6</sup> College of Resources and Environmental Sciences, Hunan Normal University, Changsha 410081, China;

<sup>7</sup> Environmental Supervision Detachment of Nanning, Nanning 530021, China;

<sup>8</sup> Henan Institute of Geological Survey, Zhengzhou 450001, China;

<sup>9</sup> Guangzhou Institute of Geography, Guangzhou 510070, China;

<sup>10</sup> School of Geography, South China Normal University, Guangzhou 510631, China;

<sup>11</sup> Department of Archaeology, University of Exeter, Exeter EX1-6, UK

\* Corresponding author, E-mail: zhuzy@gig.ac.cn

Many hominin sites have been found since 1920 in the Chinese Loess Plateau and its adjacent areas, such as Nihewan, Shuidonggou, Dingcun, Dali, Kehe, Xihoudu, east Qinling Mts. and Lantian. Recently two very important investigations of hominin occupation in the Chinese Loess Plateau have caused a huge impact in the world.

The *Homo erectus* cranium from Gongwangling, Lantian County, Shaanxi Province of China is the oldest fossil hominin specimen in North China. It was found in 1964 in a layer below the Jaramillo subchron and was initially attributed to loess L15 in the Chinese loess-paleosol sequence, with an estimated age of ca. 1.15 Ma (millions of years ago). Here, we demonstrate that there is a stratigraphical hiatus in the Gongwangling section immediately below loess L15, and the cranium in fact lies in paleosol (S) S22 or S23, the age of which is ca. 1.54–1.65 Ma. High-resolution paleomagnetic investigations at two sections at Gongwangling and one at Jiacun, 10 km to the north, indicate that the fossil layer at Gongwangling and a similar fossil horizon at Jiacun were deposited immediately before a short normal magnetozone above the Olduvai subchron, which is attributed to the Gilsa excursion and dated elsewhere to ca. 1.62 Ma. Our investigations thus demonstrate that the Gongwangling cranium is slightly older than ca. 1.62 Ma, probably ca. 1.63 Ma, and significantly older than previously supposed. This re-dating now makes Gongwangling the second oldest site outside Africa (after Dmanisi in Georgia) with cranial remains, and causes substantial re-adjustment in the early fossil hominin record in Eurasia.

At the same time, the earliest hominin evidence outside Africa came from our newly found 2.12-million-year old stone tools, which were found at Shangchen, a paleolithic locality, in Lantian County in the southern margin of the Chinese Loess Plateau. The loess-paleosol sequence and magnetostratigraphy were established by using different methods, including marker layers, sedimentology, mineralogy, geochemistry, paleomagnetism and rock magnetism. The stone artefacts (including cores, flakes, scrapers, points, borers, hammerstones and picks) from the Shangchen locality were found in a successive loess-paleosol section, and 17 stone artefact horizons of early Pleistocene strata (1.26–2.12 Ma) were used to establish the chronological framework of the loess-paleosol-paleolithic culture sequence during the early Pleistocene. The artefact-bearing layers were dated by linking the geomagnetic polarity variations changes in the earth's magnetic field. The oldest artefacts (2.12 Ma) found within L28 layer between the Olduvai subchron and the Réunion excursion are ca. 270 thousand years older than the 1.85-million-year old skeletal remains and stone tools from Dmanisi, Georgia, which were previously the earliest evidence of hominin outside Africa. Because no skeletal remains were found with the stone tools from Shangchen, we do not know who made them, but it is likely to be an early form of our own genus *Homo*.

Moreover, the length of our artefact sequence with 17 stone cultural horizons (probably with a high average occupation of ~ 50 ka) found in the same locality – is very rare world-wide, and indicates a repeated – but not necessarily continuous – hominin occupation of the Chinese Loess Plateau for almost a million years between 1.26 and 2.12 Ma. Most occupations occurred in the paleosol layers (11 layers of total 17 layers) which indicate a kind of warm-wet climate.

This breakthrough expands the “Loess lithic industry” and the “Loessic Geoarchaeological Belt” direction of research on the internationally-leading Chinese loess-paleosol sequence, and prompts reconsideration on the pattern of early human's origin, migration and dispersal.

**loess-paleosol sequence, hominin relics, geochronology, Chinese Loess Plateau**

doi: 10.1360/TB-2019-0042