

# 基于区域河湖地貌演化历史的大荔人化石层位年代分析

胡小猛, 蔡 顺, 陈美君

(上海师范大学旅游学院地理系, 上海 200234)

**摘要:** 目前对含大荔人化石的地层年代认识仍存很大争议。采用黄土—古土壤序列定年法广泛调查渭河盆地东北部区域和大荔人化石点附近洛河上下游河段过去的河湖环境演变历史; 在此基础上, 结合产出大荔人化石的地貌沉积体特征, 分析其形成时所处的区域演化阶段及其中含化石的沉积层位堆积年代。结果显示, 区域曾在  $S_{14}$ 、 $L_9$ 、 $L_6$ 、 $S_2$ 、 $L_2$  和  $L_{1ss}$  发育或堆积时期发生过数次古湖湖退或河流下切; 含大荔人化石的沉积层是在区域发生于  $L_6$  晚期的一次湖退后, 洛河于出露至气下的古湖湖底上堆积而成的, 其堆积时代与  $S_5$  古土壤发育时代相当, 平均年龄约 0.55 Ma BP。由该研究结果推论, 学界对北京猿人年龄估计的老的年龄框架可能偏年轻。

**关键词:** 大荔人; 洛河; 渭河盆地; 黄土—古土壤序列定年法

DOI: 10.11821/dlxb201605014

## 1 引言

大荔人头骨化石是 1978 年在渭河盆地东北部的大荔县段家寨乡解放村洛河左岸第三级阶地砾石层中被发现的<sup>[1]</sup>。吴新智<sup>[2]</sup>认为其可能是早期智人的一种古老型, 为古人阶段的一个新亚种, 其特征对阐明智人的起源问题有重大意义。因此, 自发现以来, 对其年龄的研究就一直吸引着许多学者的关注。但由于对上覆该套沉积层的黄土—古土壤序列存在不同看法, 对黄土—古土壤/河湖沉积层界面与下部含化石层位间逾 20 m 厚的沉积层堆积持续时间无法判断, 其实际年龄至今仍未有统一的认定。薛祥煦等<sup>[3]</sup>认为上覆的黄土—古土壤地层中最老的为  $S_3$ , 化石年龄要早于 330 ka BP; 尹功明等<sup>[4]</sup>、吴文祥等<sup>[5]</sup>认为最老的为  $S_2$ , 化石年龄应老于 0.25 Ma BP。他们的分歧在于对化石上限年龄的认识。徐钦琦等<sup>[6]</sup>推断含化石的砾石层堆积年代与深海氧同位素阶段 (MIS) 6-7 相当; 而 Xiao 等<sup>[7]</sup>认为与 8.5 相当, 年龄为 270 ka BP。不同物理测年方法所获得的年龄数据与上述结果也有差异。陈铁梅等<sup>[8]</sup>用 U 系法对化石层位中的一水牛牙齿和一鹿角的测年结果是 180-230 ka BP; 孙建中等<sup>[9]</sup>对层位上部 7 m 处的粉砂层 TL 测年结果为 ca.183 ka BP。现有研究对含化石的层位下限年龄判断也不一样, 甚至上下层位的年龄大小都出现矛盾。本文将从区域河湖地貌演化历史的角度对其年龄、特别是其下限年龄进行框定, 以判断出大荔人的生活年代。

## 2 渭河盆地地貌概况及化石产出点的地貌概况

渭河盆地为晚新生代的一断陷盆地, 盆地内长期为湖泊所占据, 沉积了逾数千米厚的

收稿日期: 2016-03-06; 修订日期: 2016-03-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(41371021) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41371021]

作者简介: 胡小猛(1965-), 男, 安徽宣城人, 博士, 教授, 主要从事地貌第四纪研究。E-mail: hxm@shnu.edu.cn

864-872 页

湖相地层。同时, 由于受构造和气候因素的影响, 特别是第四纪中晚期以来, 盆地中发生了多次阶段性的湖退—湖侵地貌循环过程, 形成了多级特征明显的湖积或冲积阶地地貌<sup>[10-11]</sup>。众多研究结果显示, 渭河盆地古湖是在 $L_2$ 黄土堆积晚期或 $S_1$ 古土壤发育早期, 下游三门峡被切穿而外泄消亡的, 时间约为0.15 Ma BP<sup>[12-14]</sup>。因此, 盆地中河流阶地一般较年轻, 年代为晚更新世; 两侧的多级湖积阶地年代要早。从盆地中心向南北两侧, 地貌上依次是渭河河床—河漫滩—河流阶地—湖积阶地—黄土台地—山麓冲积扇等类型更替。

大荔人化石产出点位于渭河盆地东北侧—较高湖积台地(合阳—韦庄湖积台地)与盆地中心冲积平原的交接地带, 处在洛河切穿该台地后流入盆地的入口部位(图1)。合阳—韦庄湖积台地的基底为湖相沉积地层, 由多级海拔高度不同的次级台地构成, 每级次级台地之上覆盖的黄土—古土壤厚度及序列都不相同。从该台地前缘至洛河河床仍存在着几级高度不同、上覆黄土—古土壤序列也不同的湖积台地或河流阶地, 反映着盆地曾为古湖占据, 且古湖过去经历过多次湖退过程。化石点所在的具体地貌位置为洛河 $T_3$ 阶地, 比其老的 $T_4$ 阶地及晚的 $T_2$ 、 $T_1$ 阶地在这一区域河谷两侧保存得都比较连续。

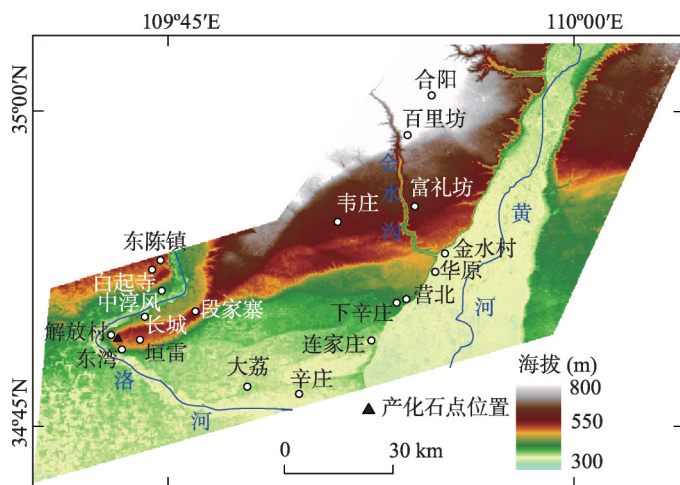


图1 大荔人化石点位置及区域地形

Fig. 1 The location of fossil Dali Man and the regional landform

### 3 研究思路及方法

#### 3.1 研究思路

为了生活的需要, 栖居在黄土高原地区的古人类一般都会选择临水(河或湖)而居, 地貌上为河岸或湖滨之地。这一方面便于取水, 另一方面可易于从河床(或湖滨)砾石层中获取制作石器的原材料。但在区域构造和古气候变动的影响下, 区域地貌环境会经常发生变化, 河岸或湖滨之地常会被淹没或又重新露出水面, 从而影响着古人类生活空间在地貌微区位上的变迁。在这一过程中由此会于河流沉积层或湖泊沉积层中遗留下他们生活的一些痕迹, 如人骨化石、石器、食剩的或自然死亡的动物骨骼等化石。如果我们能厘清区域性地貌沉积环境的演变历史脉络, 然后依据产出大荔人化石的地貌体和沉积体的特征来判断其堆积时所对应的历史阶段, 从而便能确定其年代。

因此, 在本文中, 首先调查渭河盆地东北部合阳—韦庄湖积台地及更低的湖积台地在第四纪尤其是第四纪中晚期的阶段性演化历史; 然后, 再调查大荔人化石点附近洛河河段地貌沉积阶段性演化历史, 并判别大荔人化石点地貌沉积体所处的阶段; 最后分析化石点剖面的河湖相沉积层的沉积特征。在这些调查数据的基础上, 分析含化石层位的沉积下限年龄。

#### 3.2 研究方法

对合阳—韦庄湖积台地及更低的湖积台地地貌沉积阶段性演化历史, 对大荔人化石点附近洛河河段地貌沉积阶段性演化历史等研究, 采用黄土—古土壤序列定年法来确定每级次级台地或阶地的形成年代。湖相沉积与黄土—古土壤沉积层在特征上差异明显,

野外直接用肉眼就可以分辨出。如湖相沉积层有明显的水平层理,黄土—古土壤没有;黄土—古土壤质地均一,有土壤发生层次,而湖相沉积层没有。对覆盖在湖相沉积层之上的黄土—古土壤序列判断,一方面利用像 $S_1$ 、 $S_5$ 、 $L_9$ 等标志层来框定<sup>[15]</sup>,另一方面利用磁化率、古地磁测量数据来锁定。野外一共采集古地磁样品183个(其中包括部分湖相沉积层样),间距一般为1 m,关键层位上间距为0.3 m;同时采集了7个剖面的磁化率样品,采样间距10 cm。磁化率的测试是在上海师范大学环境修复实验室内使用Bartington MS2型磁化率仪对每个样品进行3次质量磁化率测试,取其算术平均值。古地磁的测试是在南京大学环境磁学实验室完成,退磁方法为热退磁。用TD-48型热退磁炉按50℃间距在100℃~650℃温度段中进行12步系统退磁,用2G-Enterprises型超导磁力仪对剩磁强度和方向进行测定。样品经300℃、350℃退磁后基本上可消除稳定性差的次生组分,获得较可靠的原生剩磁。

对产出大荔人化石的剖面沉积特征研究,主要分析其粒度变化特征(粒度采样间距10 cm,样品301个);再结合前期其他学者发表的关于剖面所保存的孢粉及脊椎动物化石信息,分析这套沉积层沉积时的具体环境特征;在此基础上再去推断含化石的层位堆积年代。粒度分析时,砾石和砂样品用过筛法测量,粉砂及黏土样品用LS13320型激光粒度分析仪测量。

#### 4 第四纪中晚期合阳—韦庄湖积台地及更低的湖积台地地貌沉积特征

金水沟从中部自北而南切割了合阳—韦庄湖积台地,黄河从侧面也切割了合阳—韦庄台地及更低的湖积台地(图1)。这使得各次级台地的沉积结构、上覆黄土—古土壤序列等都被完全暴露(图2)。

最高的次级台地 $T_6$ 海拔720~680 m,百里坊村西侧沟谷剖面显示台地基底基岩已经出露;基岩之上覆盖的是灰色—灰绿色水平层理发育的湖相沉积层,其中夹少量薄层砂、粉砂层。湖相沉积层之上为50余m厚的黄土—古土壤层。依据 $S_5$ 、 $L_9$ 标志层及磁化率曲线,B/M界限(年龄为0.73 Ma BP)、Jaramillo正极性亚带(年龄为0.90~0.97 Ma BP)位置等判断,上覆的黄土—古土壤序列中最老的为 $S_{14}$ 。

次高的次级台地 $T_5$ 海拔580~520 m,富礼坊—金水村段的沟谷剖面显示,40余米厚的黄土—古土壤层之下为湖相沉积层。湖相沉积层上部约11 m的沉积中夹数条褐色黏土条带,在沟谷的上下游剖面中一直延续,是野外考察追踪的标志层;之下为两层红色古土壤层及之间的黄土层(其序列未知),厚约4.5 m;再下部为灰绿色—杂色、水平层理发育的粉砂黏土沉积,其中夹数层薄层细砂层。剖面的磁化率、古地磁数据表明,上覆的黄土古土壤层中有8条明显的古土壤层,其中,B/M界限位于剖面中的第8条黄土层中( $L_8$ );最底部的为特征显著的 $L_9$ “白腰带”层(因该层黄土粒度略粗,颜色浅白,野外易于识别,地方百姓这样称谓之)<sup>[15]</sup>。

$T_4$ 级次级台地海拔450~440 m,暴露台地沉积结构的典型剖面位于华原西侧的斜坡公路边坡上。沉积层由上而下的类型是: $L_1$ ~ $L_6$ 黄土—古土壤层(厚约34 m,其中 $L_6$ 厚约1 m),褐色黏土与杂色黏土层互层的湖相沉积层。其中,在上部的黄土—古土壤层中,于 $S_2$ 与 $L_3$ 间夹有一水平层理发育的褐色黏土层和灰绿色黏土粉砂层,厚度2.2 m;在下部的湖相沉积层中,夹有逾4 m厚的一层古土壤和黄土层(其与 $L_6$ 之间的湖相沉积层厚度约12 m)。古地磁测量数据显示B/M界限位于其中的黄土层中,表明这层黄土和古



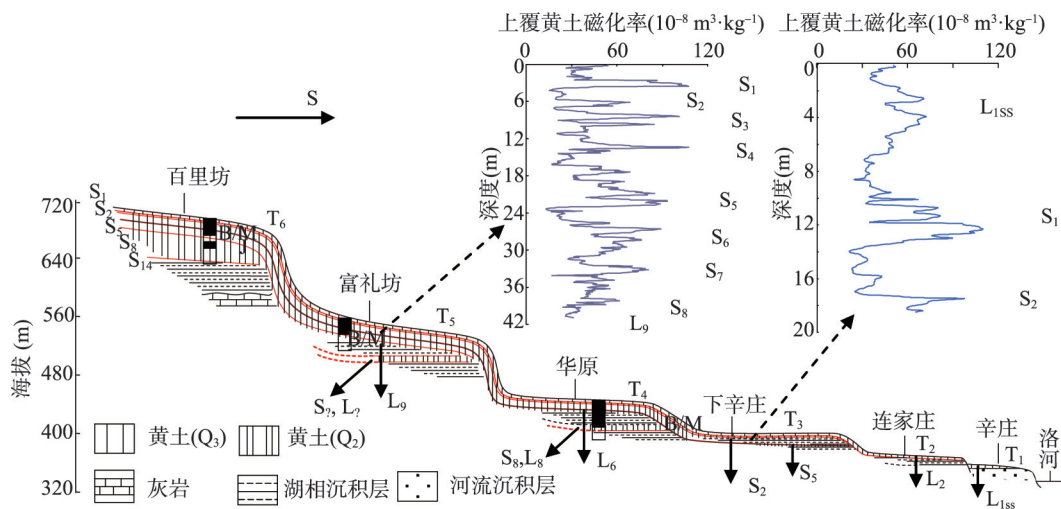


图2 合阳—韦庄台地及更低的湖积台地地貌沉积横剖面

Fig. 2 The cross profile showing the features of lacustrine terraces in Heyang-Weizhuang Platform and the lower one

土壤层分别是L<sub>8</sub>和S<sub>8</sub>。

T<sub>3</sub>级次级台地海拔410~390 m, 调查了下辛庄西侧、营北村西侧两个剖面。两剖面都显示在S<sub>2</sub>之下为水平层理发育的褐色黏土与杂色粉砂黏土层互层湖相沉积; 上覆湖相层的黄土—古土壤层厚度约19 m。在营北村西侧剖面中, S<sub>2</sub>之上的L<sub>2</sub>中还夹约2 m厚的水平层理发育的黏土粉砂湖相沉积层, 颜色为褐色—黄绿色。另一值得注意的现象是: 在两剖面下部的湖相沉积层中都出现了S<sub>3</sub>及L<sub>5</sub>黄土—古土壤堆积层。该堆积层的土壤发生层次明显, 与上、下湖相沉积层呈渐变过渡, 没有沉积中断。

T<sub>2</sub>级次级台地海拔370~360 m, 典型剖面位于连家庄东侧的斜坡处。在斜坡的坡脚处, 出露着约10 m厚的分选极好的湖相粉砂层, 之上覆盖着约15 m厚的L<sub>2</sub> (约0.6 m厚) 及其以来的黄土—古土壤层。

T<sub>1</sub>级次级台地为一级河流阶地, 海拔350~345 m。辛庄村南的陡崖剖面显示, 下部为斜层理发育的冲积砂层, 上部覆盖着弱发育古土壤L<sub>1ss</sub>及其以来的黄土层, 厚约5 m。

## 5 大荔人化石点附近洛河河段地貌沉积特征及大荔人化石剖面沉积特征

### 5.1 大荔人化石点附近洛河河段地貌沉积特征

本文调查了从蒲城东陈镇至大荔解放村、东湾村这一近50 km的河段, 结果发现该河段上发育了5级湖积阶地或河流阶地 (图1)。这些阶地在沉积结构、形成时间上与上述合阳—韦庄台地及更低台地上所发育的系列次级台地可对应 (图3)。

段家寨所在的湖积台地是合阳—韦庄台地的一部分, 对应于上覆最老黄土—古土壤为L<sub>9</sub>的一级次级台地 (T<sub>5</sub>)。垣雷村东侧的沟谷剖面显示, 沟底可见S<sub>6</sub>、L<sub>7</sub>黄土—古土壤, 但尚未见到湖相沉积层出露 (可能是沟谷的被切割深度不够)。T<sub>4</sub>级阶地海拔460~470 m, 洛河右岸白起寺村所在的台地是其典型地貌体。该阶地是由一套水平层理发育的湖相黏土及粉砂质黏土层构成, 显示其实际为一级湖积阶地。这套湖相沉积层在该河段河谷两岸谷坡上广泛出露, 并成为晚期T<sub>3</sub>、T<sub>2</sub>和T<sub>1</sub>级阶地的基座。野外也见到沉积层中夹一层厚约3.5 m的砂、砾石层和一层2.1 m厚的灰绿色黏土层; 这套砂、砾石层及其上

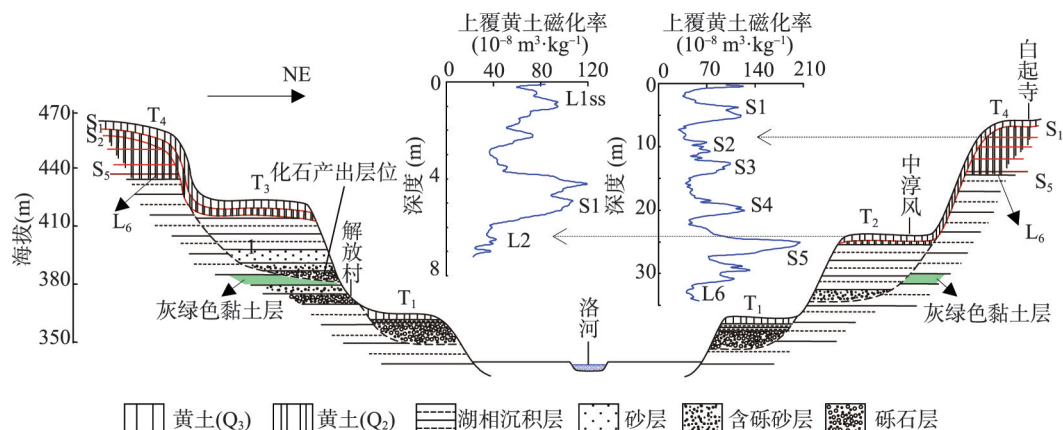


图3 大荔人化石点附近洛河河段地貌沉积横剖面

Fig. 3 The cross profile showing the geomorphic-sedimentary features of the Luohe River near the Dali Man site

部的灰绿色黏土层水平延续很好,可水平延续至解放村段的产化石沉积层的下部。该阶地的上部覆盖着约32 m厚的黄土—古土壤层,其中最底部、最老的为0.7 m厚的 $L_6$ 黄土层。 $T_3$ 级阶地的海拔420~415 m,其典型地貌沉积体分布在洛河左岸长城村—解放村—东湾村段。沉积体的下部与构成 $T_4$ 级阶地的沉积层呈侵蚀接触,上部被15 m左右厚的 $S_2$ 及其以来的黄土—古土壤层覆盖(阶地沉积体的具体特征见5.2节)。 $T_2$ 级阶地海拔400~390 m,为一湖积阶地,在该河段两岸的谷坡上广泛保存。中淳风村南剖面显示,阶地沉积物下半部是一层含砾粗砂层,与下部构成 $T_4$ 级阶地的湖相沉积层呈侵蚀接触;上半部是约18 m厚的褐色黏土层与杂色黏土层互层的湖相沉积层。之上覆盖着约7.5 m厚的 $L_2$ (仅0.5 m厚)及其以来的黄土古土壤层。 $T_1$ 级阶地为一河流阶地,顶面海拔370~360 m。阶地沉积物具典型河流相的二元结构,下部为砾石层(粒径3~6 cm),厚度2.5 m,与下部 $T_4$ 级阶地沉积层呈侵蚀接触;上部是杂色粉砂黏土层,厚约1 m。阶地之上覆盖着3.8 m厚的黄土层,其中见 $L_{1ss}$ 弱发育古土壤层与阶地沉积物直接接触。

## 5.2 产出大荔人化石的剖面沉积特征

由于工程建设需要,2015年5月大荔县国土资源局在解放村东侧斜坡上劈出了一个完整的 $T_3$ 阶地沉积剖面( $34^{\circ}52'11.6''N$ ,  $109^{\circ}43'46.9''E$ ),该剖面北距大荔人化石点不足70 m。剖面的描述如下:

① 黄土层,4 m; ②  $S_1$ 古土壤层(由3个古土壤条带构成),2.5 m; ③  $L_2$ 黄土层,3.2 m; ④  $S_2$ 古土壤层(由两个古土壤条带构成),2.6 m; ⑤ 褐色黏土层(由三层褐色黏土层条带构成,其间为薄层青灰色黏土层),2.5 m; ⑥ 土黄色粉砂质黏土层,1.2 m; ⑦ 细、中砂层,2.1 m; ⑧ 褐色黏土层与杂色黏土层互层(其中夹4层褐色黏土层),2.3 m; ⑨ 黏土层(上部为淡绿色,下部为3薄层褐色层与薄层杂色层互层),2.1 m; ⑩ 灰绿色黏土层(由底部至上部,灰绿色加深),2.2 m; ⑪ 黏土层(质地较硬,其中夹3层褐色层),2.2 m; ⑫ 黄色、锈黄色砂层,8 m。顶部砂层中水平层理、斜层理发育,中部波状层理发育,下部水平层理发育;有动物骨头化石(骨头非常疏松)。该层的底部有一薄层黏土质粉砂层(0.5 m厚,其中含一些黏土土块)和薄层砾石层(0.3 m厚,粒径1~2 cm,磨圆好); ⑬ 含砾粗砂层,4.5 m。顶部为一褐色黏土层透镜体;中部为粗砂层,砾石少;下部为粗砂层夹砾石透镜体,其中产石器。砂层中斜层理发育,夹黏土土块;所含砾石粒径1~2 cm,磨圆好,分选一般; ⑭ 粗砂砾石层,4.7 m。砾石层中夹数层粗砂和黏土层透镜体。粗砂层呈黄色,黏土层呈灰色;所含砾石粒径1~3 cm,最大达

5 cm; 磨圆好; 岩性为石英岩、灰岩、少量砂岩。其中发现有石器、动物骨头化石、碳粒。大荔人头骨化石产于此层; 该层中有地下水流出; ⑮ 灰绿色黏土层, 2.1 m; ⑯ 土黄色含砾中细砂层, 1.9 m; ⑰ 砂砾石层, 含动物化石, 1.6 m。

图4是剖面上部(1~4层)黄土—古土壤磁化率曲线和下部(5~14层)河湖相沉积层的粒度变化曲线。黄土古土壤磁化率曲线特征表明, 覆盖在河湖相沉积层之上的最老黄土古土壤层为 $S_2$ 。河湖相沉积层的层理构造及粒度特征显示, 剖面下半部12~14层为水动力较强条件下的河流沉积层, 上半部5~11层是在水动力较弱环境下的湖相沉积层(第7层可能是一个短暂的河流作用期沉积)。剖面最下部含大荔人化石的粗砂砾石层中有粗砂和黏土透镜体构造显示, 这层沉积层堆积时的水动力环境可能经历过河口区环境, 水流叉道很多。沉积层的下部与构成 $T_4$ 级阶地的灰绿色湖相沉积层呈侵蚀接触。

## 6 讨论与结论

### 6.1 区域河湖地貌沉积阶段性演化历史

合阳—韦庄湖积台地及更低的湖积台地之上黄土—古土壤覆盖湖相沉积层现象显示, 在对应于 $S_{14}$ 、 $L_9$ 、 $L_6$ 、 $S_2$ 和 $L_2$ 发育或堆积之时, 盆地中发生了5次湖退, 其中 $L_2$ 堆积晚期发生的这次湖退可能使区域大湖不复存在了; 在 $L_{1ss}$ 发育之时, 洛河发生了一次大幅下切。虽然 $T_5$ 级次级台地上夹于湖相沉积层中的黄土—古土壤序列未知, 但 $T_4$ 、 $T_3$ 级次级台地湖相沉积层中分别夹 $S_8$ 、 $L_8$ 和 $S_5$ 、 $L_5$ 黄土古土壤层则明确表明: 在 $L_9$ 堆积期和 $L_6$ 堆积晚期发生的两次湖退, 湖退幅度很大, 分别使得当时更低的 $T_4$ 和 $T_3$ 级次级台地所在区域也暴露在气下, 接受了黄土—古土壤的堆积。而多级次级台地上出现所夹黄土—古土壤层被后期湖相沉积层覆盖的现象则显示, 在每次湖退发生后, 盆地中随之又出现了湖侵过程; 这些湖侵甚至淹没了早已出露至气下的高台地, 于高台地上部黄土—古土壤层中沉积薄层湖相层。这种湖退—湖侵循环过程在临汾盆地、太原盆地、大同一阳原盆地中也广泛存在<sup>[16-17]</sup>。

大荔人化石点附近洛河河段地貌沉积特征所显示的区域沉积环境变化与合阳—韦庄及更低湖积台地所记录的变化基本是相同的, 差异只在于湖退发生后这里出现的是河流

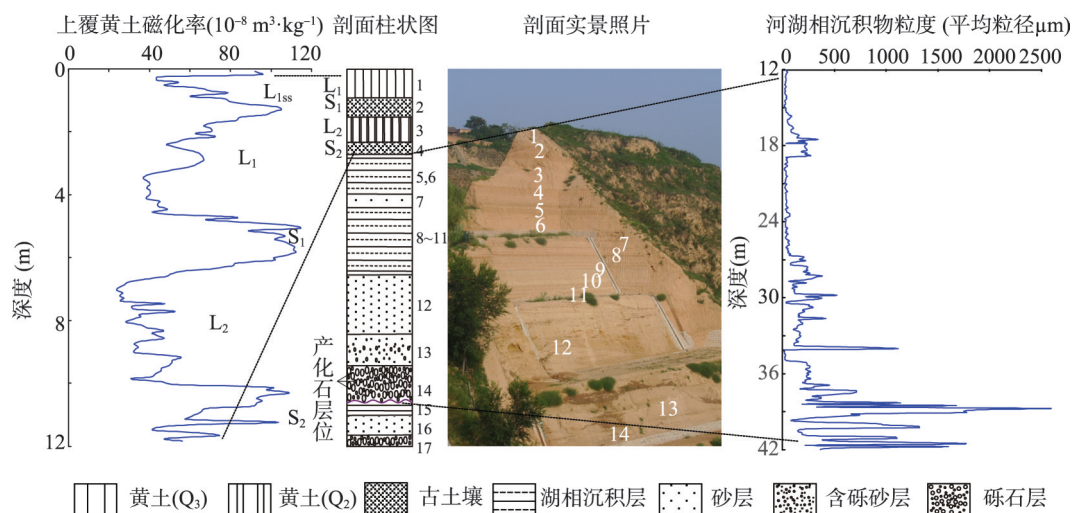


图4 产出大荔人化石剖面的沉积特征

Fig. 4 Characteristics of the sedimentary section containing fossil Dali Man



作用,而非黄土堆积。 $L_6$ 堆积以前,区段为湖泊环境。而在 $L_6$ 堆积晚期古湖大幅湖退背景下,区段形成 $T_4$ 湖积阶地的同时,发源于黄土高原的洛河也向下游延伸至已暴露于气下的古湖底部,使得大荔人化石点位置处在当时洛河入古湖的河谷段或河口地区。洛河一方面对湖底老的湖相沉积层进行侵蚀,另一方面产生河流相堆积,并出现河流相沉积层与老的湖相沉积层呈侵蚀接触现象,而不是像合阳-韦庄台地上的黄土—古土壤层覆盖在其之上的现象。含大荔人化石的砾石层就是这次湖退后的河流冲积产物。此外,产大荔人化石的剖面沉积特征也显示,该套河流砾石层堆积之后古湖又发生了湖侵,并在砾石层之上覆盖了厚达14.6 m的湖相沉积层;它们共同构成了区段 $T_3$ 阶地。 $S_2$ 发育时的一次湖退又使区段退出湖泊环境而为洛河所控制,堆积了 $T_2$ 阶地下部的含砾粗砂层;之后出现的湖侵则在含砾粗砂层之上沉积厚层湖相层。 $L_2$ 堆积晚期的湖退使区段彻底退出了湖泊环境,之后堆积的洛河砾石层在 $L_{1ss}$ 发育时,河流下切,形成了 $T_1$ 阶地。

## 6.2 大荔人化石产出层位年代的推定

从上述分析中可以判断,含大荔人化石的河流砾石层是在发生于 $L_6$ 晚期的这次湖退后堆积而成的,指示着其堆积年代要晚于 $L_6$ 晚期;而上覆河段 $T_3$ 阶地的最老黄土古土壤层为 $S_2$ ,指示着其堆积年代一定早于 $S_2$ 发育时期。孙建中等<sup>[9]</sup>对产出大荔人化石的沉积剖面孢粉研究显示,在含人类化石的层位中,阔叶树种增加,中生草本繁盛,反映其堆积时期的气候为湿润、半湿润环境;之上的直至 $S_2$ 底部的河湖相沉积层中则包含了数个阔叶树花粉和耐旱草本花粉组合变化带,反映着存在数个干冷-温湿的气候变化时段。王永焱等<sup>[1]</sup>、吴新智等<sup>[18]</sup>对层位中的古脊椎动物化石研究发现,与大荔人化石共存的还有古菱齿象(*Palaeoloxodon sp.*)、水牛(*Bubalus sp.*)、河狸(*Castoridae*)、犀属(*Rhinoceros sp.*)等动物,反映着当时区域有湖沼和湿地存在,气候条件也是温暖的。而地貌沉积剖面又显示区段 $T_3$ 阶地沉积层是区域古湖湖退—湖侵演化的结果。据此推断,含大荔人化石的砾石层堆积年代可能与指示温暖气候条件的 $S_3$ 发育年代相当。区域 $L_6$ 晚期的湖退发生后,区段退出湖泊环境,洛河在该区段的古湖底部出现,并在侵蚀老的湖相沉积层的基础上堆积了这套砾石层;之后缓慢的湖侵又再次让这个地带被湖泊淹没,砾石层也被后期的湖相沉积层覆盖。但由于区域古气候的冷暖干湿变化,在这套结束于 $S_2$ 发育之时的湖相沉积层中仍存在数次干冷—温湿变化的记录;这些记录可能与 $S_3$ 与 $S_2$ 之间的数层黄土—古土壤的古气候记录相当。

不同的测年方法对 $S_3$ 发育持续年代的判定是有差异的。 $S_3$ 发育时期与深海氧同位素13、14和15是对应的<sup>[15]</sup>,按 $\delta^{18}O$  SPECMAP曲线推算,其年代为0.620~0.478 Ma BP<sup>[19]</sup>。采用黄土粒度轨道调谐方法所获得的结果是0.600~0.468 Ma BP<sup>[20]</sup>。两种方法所判定的 $S_3$ 发育平均年龄约为0.55 Ma BP。值得注意的是:该年龄结果显著地比前人物理测年方法所得出的数值要大<sup>[8]</sup>。在本研究的野外考察阶段,也从含古人类化石层位中挖掘了部分古脊椎动物的骨骼化石。但由于该层位中地下水非常丰富,这些化石都毫无例外地在后期被强烈溶蚀、分解,骨质非常疏松且充满空隙,显示这些骨骼自埋藏后仍与外界发生频繁的物质交换。而该过程会导致骨骼中不断有新的放射性母体同位素的加入,使得放射性比值变小。这可能是前期该层位物理测年结果偏年轻的原因。

对大荔人头骨性状的生物研究表明,其进化特征要高于北京猿人,生活时代要晚于北京猿人<sup>[2]</sup>。目前,对于北京猿人的生活年代出现新的争议,老的年龄框架认为周口店第一地点产出猿人化石的第8~10层年龄为0.42~0.50 Ma BP<sup>[21]</sup>,新的年龄框架认为是0.77 Ma BP<sup>[22-23]</sup>。而本文得出的大荔人年代为0.55 Ma BP结论显示:老的年龄框架所确定的北京猿人年龄可能偏小,而新的年龄框架可信度更高一些。

致谢: 研究工作中的样品古地磁测试由南京大学地球科学与工程学院李永祥、胡旭芝两位老师帮助完成, 特表谢意! 同时也感谢两位审稿专家的精心指正!

## 参考文献(References)

- [1] Wang Yongyan, Xue Xiangxu, Yue Leping, et al. Discovery of the fossil Dali Man in Shaanxi Province and the preliminary study. *Chinese Science Bulletin*, 1979, 24(7): 303-306. [王永焱, 薛祥煦, 岳乐平, 等. 陕西大荔人化石的发现及其初步研究. *科学通报*, 1979, 24(7): 303-306.]
- [2] Wu Xinzhi. A well-preserved cranium of an archaic type of early *Homo Sapiens* from Dali, China. *Sciences in China*, 1981(2): 200-206. [吴新智. 陕西大荔县发现的早期智人古老类型的一个完好头骨. *中国科学*, 1981(2): 200-206.]
- [3] Xue Xiangxu, Yu Xuefen, Li Yongxiang. Restudy on the strata of the fossil Dali Man locality. *Journal of Stratigraphy*, 2000, 24(3): 210-214. [薛祥煦, 于学锋, 李永项. 大荔人头骨化石产地地层的再研究. *地层学杂志*, 2000, 24(3): 210-214.]
- [4] Yin Gongming, Zhao Hua, Lu Yanchui, et al. The geologic evidences indicating the upper limit of the age of the strata containing the fossil Dali Man. *Quaternary Sciences*, 1999, 19(1): 93. [尹功明, 赵华, 卢演涛, 等. 大荔人化石层位上限年龄的地质证据. *第四纪研究*, 1999, 19(1): 93.]
- [5] Wu Wenxiang, Liu Tungsheng. Study on loess-paleosol succession of the Dali Man site. *Chinese Journal of Geology*, 2001, 36(3): 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(3): 364-369.]
- [6] Xu Qinqi, You Yuzhu. Four post-Nihowanian Pleistocene mammalian faunas of north China: Correlation with deep-sea sediments. *Acta Anthropologica Sinica*, 1982, 1(2): 180-190. [徐钦琦, 尤玉柱. 华北四个古人类遗址的哺乳动物群及其与深海沉积物的对比. *人类学学报*, 1982, 1(2): 180-190.]
- [7] Xiao Jule, Jin Changzhu, Zhu Yizhi. Age of the fossil Dali Man in north-central China deduced from chronostratigraphy of the loess-paleosol sequence. *Quaternary Science Reviews*, 2002, 21: 2191-2198.
- [8] Chen Tiemei, Yuan Sixun, Gao Shijun. The study on uranium-series dating of fossil bones and an absolute age sequence for the main Paleolithic sites of north China. *Acta Anthropologica Sinica*, 1984, 3(3): 259-269. [陈铁梅, 原思训, 高世君. 铀子系法测定骨化石年龄的可靠性研究及华北地区主要旧石器地点的铀子系年代序列. *人类学学报*, 1984, 3(3): 259-269.]
- [9] Sun Jianzhong, Zhao Jinbo, et al. *Quaternary of the Loess Plateau in China*. Beijing: Science Press, 1991: 144-150. [孙建中, 赵景波, 等. *黄土高原第四纪*. 北京: 科学出版社, 1991: 144-150.]
- [10] Sun Jimin. Long-term fluvial archives in the Fen-Wei Graben, central China, and their bearing on the tectonic history of the India-Asia collision system during the Quaternary. *Quaternary Science Reviews*, 2005, 24(10/11): 1279-1286.
- [11] Hu Xiaomeng, Chen Meijun, Wang Dutao, et al. The sequence difference in the times in the geomorphic-sedimentary evolution in the Fenwei graben basins during the middle-late Quaternary and its tectonic significance. *Quaternary Sciences*, 2012, 32(5): 849-858. [胡小猛, 陈美君, 王杜涛, 等. 汾渭地堑系列湖盆第四纪中晚期地貌与沉积阶段性演化的时间序次差异及其构造指示意义. *第四纪研究*, 2012, 32(5): 849-858.]
- [12] Wang Sumin, Wu Xihao, Zhang Zhenke. The lacustrine records of Sanmen paleolake about the environmental changes and the evolution of Yellow River. *Science in China (Series D)*, 2001, 31(9): 760-768. [王苏民, 吴锡浩, 张振克. 三门古湖沉积记录的环境变迁与黄河贯通东流研究. *中国科学(D辑)*, 2001, 31(9): 760-768.]
- [13] Hu Xiaomeng, Fu Jianli, Li Youli. Response of landform development to the tectonic movement and the climate changes in Fenhe drainage basin. *Acta Geographica Sinica*, 2002, 57(3): 317-324. [胡小猛, 傅建利, 李有利. 汾河流域河湖地貌发育对构造运动和气候变化的响应. *地理学报*, 2002, 57(3): 317-324.]
- [14] Pan Baotian, Wang Junping, Gao Hongshan, et al. The study on the beginning time eastward-flowing of Yellow River based on the alluvial terraces in Sanmen Gorge. *Progress in Natural Science*, 2005, 15(6): 700-705. [潘保田, 王均平, 高红山, 等. 从三门峡黄河阶地的年代看黄河何时东流入海. *自然科学进展*, 2005, 15(6): 700-705.]
- [15] Liu Tungsheng. *Loess and Environment*. Beijing: Science Press, 1985: 44-80, 344-351. [刘东生. *黄土与环境*. 北京: 科学出版社, 1985: 44-80, 344-351.]
- [16] Yang Xiaoqiang. The comprehensive study on the sequence stratigraphy and magnetostratigraphy on the Nihewan Formation [D]. Guangzhou: Institute of Guangzhou Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, 2000. [杨晓强. 泥河湾盆地层序地层学与磁性地层学综合研究[D]. 广州: 中国科学院广州地球化学研究所, 2000.]
- [17] Hu Xiaomeng, Guo Jiaxiu, Hu Xiangyang. The study on the development of morpho-sediment of middle-late Quaternary in Fen River graben basins and the relations of neotectonic with the lake transgression-regression cycles in the basins. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(1): 73-81. [胡小猛, 郭家秀, 胡向阳. 汾河地堑湖盆第四纪地貌—沉积



- 特征的构造控制. 地理学报, 2010, 65(1): 73-81.]
- [18] Wu Xinzhi, You Yuzhu. A preliminary observation of Dali Man site. *Verbebrata Palasiatica*, 1979, 17(4): 294-303. [吴新智, 尤玉柱. 大荔人遗址的初步观察. 古脊椎动物与古人类, 1979, 17(4): 294-303.]
- [19] Imbrie J, Hays J D, Martinson D G, et al. The orbital theory of Pleistocene climate: Support from a revised chronology of the marine  $^{18}\text{O}$  record//Berger J, Imbrie J, Hays G. *Milankovitch and Climate (Part I)*. Dordrecht: Reidel, 1984: 269-305.
- [20] Ding Z L, Yu Z W, Butter N W, et al. Towards an orbital timescale for Chinese loess deposits. *Quaternary Science Reviews*, 1994, 13: 39-70.
- [21] Chen Tiemei, Zhou Liping. Dating of the Peking Man site: A comparison between existing chronology and the  $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$  burial ages. *Acta Anthropological Sinica*, 2009, 28(3): 285-291. [陈铁梅, 周力平. 周口店北京猿人遗址的年代综述兼评该遗址的铝铍埋藏年龄. 人类学学报, 2009, 28(3): 285-291.]
- [22] Shen G J, Ku T L, Cheng H, et al. High-precision U-series dating of locality I at Zhoukoudian, China. *Journal of Human Evolution*, 2001, 41: 679-688.
- [23] Shen G J, Gao X, Gao B, et al. Age of Zhoukoudian *Homo erectus* determined with  $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$  buried dating. *Nature*, 2009, 458: 198-200.

## The deduction of the age of the fossil Dali Man from the history of the regional geomorphic-sedimentary evolution

HU Xiaomeng, CAI Shun, CHEN Meijun

(Geography Department, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China)

**Abstract:** Dali Man, an archaic type of early *Homo sapiens*, is of great significance to the origin of *Homo sapiens*. However, there still exists a debate about the age of the fossil. There were a series of lacustrine or alluvial terraces in the northeast part of the Weihe Basin and in the Luohe River near the Dali Man site, and the paper adapted loess-paleosol sequence dating method to determine their ages and make clear the history of the regional paleolake regression-transgression evolution. In combination with the characteristics of the geomorphic-sedimentary body which contains the fossil Dali Man, the paper analyzed the regional paleolake regression-transgression stage during which the body formed. In the light of the particle size evidence and pollen one of the geomorphic-sedimentary body, the paper further analyzed the age of the alluvial sediment in which the fossil human skull was discovered. The result shows that there occurred several paleolake regressions and river down-cutting when  $S_{14}$ ,  $L_9$ ,  $L_6$ ,  $S_2$ ,  $L_2$  and  $L_{1SS}$  developed or accumulated respectively, and that the sandy-gravel sediment with the fossil was deposited after the paleolake regression at the late stage of the deposition of  $L_6$ . This lake regression made some of the paleolake bottom emerge subaerially and Luohe River flowed on it to erode the former lacustrine sediment and deposit the alluvial one. Therefore, the deposition of the alluvial sediment is probably synchronous with the formation of  $S_5$ , with an average age of 0.55 Ma BP. Because of more development of the Dali Man than the *Homo erectus pekinensis*, the result indicates that the age of the *Homo erectus pekinensis* is probably more than 0.55 Ma BP.

**Keywords:** Dali Man; Luohe River; Weihe Basin; loess-paleosol sequence dating method