

文章编号:1000-0550(2020)06-1239-10

DOI: 10.14027/j.issn.1000-0550.2020.009

黄河上游官亭盆地古洪积扇前沿全新世地层序列研究

刘璐¹, 庞奖励¹, 黄春长¹, 周亚利¹, 周强², 胡迎¹, 张玉柱³, 郭永强⁴, 陈莹璐⁵,
戎晓庆¹, 尚瑞清¹

1. 陕西师范大学地理科学与旅游学院, 西安 710062

2. 青海师范大学生命与地理科学学院, 西宁 810008

3. 西北大学城市与环境学院, 西安 710127

4. 中国科学院·水利部成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041

5. 华东师范大学河口海岸国家重点实验室, 上海 200062

摘要 青海官亭盆地喇家遗址史前巨大灾难事件,是我国史前环境变化与文明演变研究领域的热点之一。通过对官亭盆地喇家遗址北侧大红山前古洪积扇前沿地带的野外考察,进行土壤沉积物地层划分、结合理化指标测试分析,发现该地带土壤与沉积物的基本层序,自下而上依次为晚更新世马兰黄土(L_1)—全新世早期过渡性风成黄土(L_1)—全新世中期古土壤(S_0)—全新世晚期风成黄土(L_0)—现代耕作土壤(MS)。这个层序特点与黄河北岸第二级阶地喇家遗址区域相同,也与黄土高原地区全新世土壤沉积物的层序相同。在全新世中期黑垆土古土壤(S_0)中夹有三层红色泥流沉积层(RC_1 、 RC_2 、 RC_3),是全新世中期后段气候恶化条件之下,暴雨山洪泥流溢出沟槽在地面扩散沉积形成。该地带以 RC_1 为代表第一期山洪泥流事件早于喇家遗址毁灭的年代。以 RC_2 为代表的第二期山洪泥流层卷入密集の木炭屑和杂物,表明在山洪泥流发生的时候有火灾发生,这对应着3 850 a B.P.毁灭喇家遗址的大地震和山洪泥流群发生灾难事件。以 RC_3 为代表的第三期山洪泥流事件,与喇家遗址区域相同发生在3 600 a B.P.。其后在古洪积扇前沿到黄河第二级阶地的范围,再没有发生山洪泥流溢出沟槽扩散覆盖土地并且毁灭聚落成灾的现象。在喇家遗址北侧古洪积扇区域建立了全新世土壤地层序列,分析了该地带山洪泥流与喇家遗址灾难事件的联系。这对于研究揭示史前时期以来官亭盆地人地关系演变具有科学意义。

关键词 官亭盆地;史前灾难;山洪泥流;古洪积扇;全新世

第一作者简介 刘璐,女,1994年出生,硕士研究生,资源开发与环境演变,E-mail: luliu_yx@163.com

通信作者 庞奖励,男,教授,E-mail: jlpang@snnu.edu.cn

黄春长,男,教授,E-mail: cchuang@snnu.edu.cn

中图分类号 X43 **P534.632** **文献标志码** A

0 引言

黄河上游甘青地区史前环境变化和灾害及其对于人类文明发展演变的影响,受到了国内外学术界的高度关注^[1-3]。青海官亭盆地处于青藏高原东北角向黄土高原过渡地区,盆地中部黄河北岸喇家遗址是一处大型的齐家文化聚落遗址^[4-6]。喇家遗址内外的土壤和松散沉积物地层,较好的保存了全新世以来环境变化、灾难事件、地表过程、以及不同阶段人类开发利用土地资源的重要信息。对于喇家遗址所

在区域的古洪积扇和河流阶地土壤沉积物地层序列的深入研究,对于揭示喇家遗址灾难事件的真相及深入理解甘青地区史前人地关系演变具有重要的科学意义。

有关喇家遗址史前灾难成因问题,目前仍然存在激烈的学术争议^[7-10]。各方面学者将目光主要集中在齐家文化层及其覆盖层,针对毁灭齐家文化聚落的灾难事件就事论事,并没有能够建立起完整的土壤沉积物地层层序和年代框架。最近几年来,随着各方面学者的持续不断地努力,这方面的研究成果

收稿日期:2019-09-25; 收修改稿日期:2020-03-11

基金项目:国家自然科学基金项目(41771110,41801060)[**Foundation:** National Natural Science Foundation of China, No. 41771110, 41801060]

不断涌现。例如,黄春长等^[11],张玉柱等^[12]通过全面的土壤沉积学调查,在喇家遗址区域建立了晚更新世晚期—全新世沉积物与土壤地层序列和基本的年代框架;炊郁达等^[13]在喇家遗址北部上喇家村建立了连续的晚更新世末期以来土壤沉积物地层序列和OSL年代框架;陈莹璐等^[14]在岗沟东侧的二方村遗址区域建立了完整的全新世土壤沉积物地层序列及OSL年代框架。这些研究结果,有助于准确界定史前时期各个文化层及其相关灾难性事件发生的地层层位,为深入研究不同时期的地表过程和灾难性事件、及其对于史前文化的影响奠定了重要基础。然而,喇家遗址和喇嘛峰—二方村遗址都处于黄河北岸第二级阶地区域,其更北侧是一个巨大的山前古洪积扇倾斜平原,由吕家沟、岗沟和马家沟的山洪泥石流过程将拉脊山东坡和第三系红层丘陵沟壑区的风化碎屑搬运沉积形成。这些沟谷流出洪积扇前沿,穿过古文化遗址所在的黄河阶地汇入黄河。黄河北岸从马家窑文化—齐家文化—辛店文化时期聚落的发展演变,都毫无例外的受到了这些沟谷的山洪泥石流过程的影响。客观地说,喇家遗址区域土壤沉积物地层层序的形成,与其北侧古洪积扇的发展演变及其山洪和泥石流过程是密切联系着的。

探索喇家遗址史前灾难的成因机制,绝不能够忽略这些沟谷体系及其古洪积扇区域地表过程的发展演变。为了深入地揭示喇家遗址发展演变及其毁灭问题与这些沟谷和古洪积扇发展演变的联系,就

有必要在喇家遗址北侧的古洪积扇前沿地带建立完整的全新世土壤沉积物地层序列。本文依据我们在官亭盆地北部古洪积扇区域的全面调查所获得的资料,结合在岗沟岸剖面进行高分辨率采样、测试分析的结果,主要论述以该剖面为代表的古洪积扇前沿与黄河第二级阶地过渡地带全新世土壤沉积物地层序列,鉴别其中所夹的山洪泥石流沉积层,分析这些灾难性地表过程与喇家遗址地层剖面所夹山洪泥石流沉积层之间的联系。

1 研究区域地理背景

青海官亭盆地处于青藏高原东北边缘拉脊山—积石山的脚下。黄河出积石峡就进入了官亭盆地。这个相对封闭的山间小盆地,平面上呈现为一个东西向长约14 km,南北最宽约7 km的三角形。黄河自西向东流过盆地,其内部海拔约1 750~1 850 m,西北和西南侧为海拔超过4 000 m拉脊山和积石山古老基岩山地。南北两侧为薄层风成黄土覆盖的第三系红层丘陵沟壑,海拔2 200~2 300 m,水土流失十分严重^[15-16]。盆地位于青藏高原东北麓的拉脊山大断裂带,晚新生代以来的新构造运动强烈^[15],地震频繁发生(图1a)^[17]。由于地处温带干旱半干旱气候区,第三系红层丘陵沟壑区地表风化松散物质大量积累,并且受高原边缘强对流天气影响,夏季多暴雨天气,常常会诱发山洪和泥石流灾害。

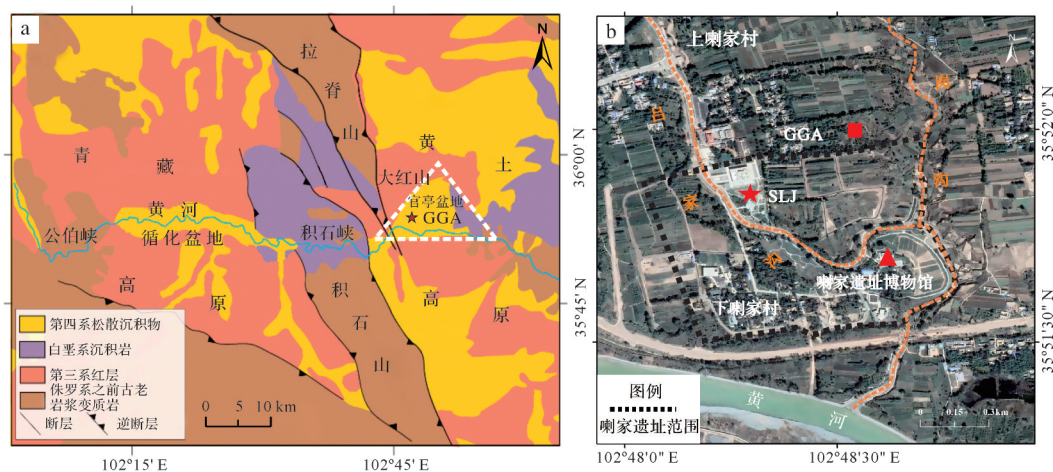


图1 (a)黄河上游官亭盆地及其周边地质简图^[17]; (b)岗沟岸剖面(GGA)与喇家遗址和上喇家剖面(SLJ)的位置关系图

Fig.1 (a) Simplified geological map of the Guanting Basin; (b) location of the GGA profile and its relationship to the Lajia Ruins and the SLJ profile

官亭盆地北部发源于拉脊山东坡的鲍家沟、吕家沟、马家沟等季节性支流沟谷侵蚀切割,使得第三系红层丘陵沟壑区地形十分破碎,水土流失异常严重。这些沟谷从北侧进入盆地,其山洪和泥石流过程挟带大量泥沙砂砾在沟口外形成多级古洪积扇,并且继续切割阶地进入黄河。由于古洪积扇区域堆积旺盛且常常会堵塞沟道,迫使沟谷不断改道迁移摆动,在古洪积扇前沿和黄河阶地遗留下来诸多的废弃古沟槽。例如,本应自北向南直流入黄河的吕家沟,就改道向东经过喇家遗址而借岗沟下游沟槽汇入黄河(图1b)。马家沟本应向南直流入黄河,后来则改道向东南流才进入黄河。而流经喇家遗址东侧的岗沟,是一个典型的泥流泥石流沟,发育形成在吕家沟和马家沟古洪积扇之间的洼地,向北溯源侵蚀,在由第三系红层构成的大红山南坡强烈侵蚀形成了一个规模巨大的勺子状沟头(图2a)。目前在夏季暴雨季节,常常会有山洪泥流与泥石流过程发生。

黄河在官亭盆地内部发育了至少三级阶地,其中第三级阶地(T_3)高出黄河水位80~100 m,有较厚的风成砂质黄土覆盖,流水侵蚀切割为梁状丘陵。第二级阶地(T_2)为基座阶地,后部向北过渡到古洪积扇,高出黄河水位30~35 m,发育最为良好,阶地面平坦开阔,有马兰黄土覆盖,适宜农业种植业的发展^[8,11]。在第二级阶地面和三级阶地前沿地带,有多

阶段文化遗址分布密集,包括马家窑文化(5 300~4 000 a B.P.),齐家文化(4 200~3 600 a B.P.),辛店/卡约文化(3 600~2 600 a B.P.),说明人类在官亭盆地繁衍生息和对于土地资源的开发利用已经有5 000多年的历史^[11-6]。调查发现,全新世时期沟谷山洪泥流泥石流过程主要影响了古洪积扇前沿和黄河第二级阶地的土地和史前文化遗址,所以在喇家遗址和喇嘛峰—二方村遗址及其外围的全新世土壤与沉积物地层序列当中,就有多期山洪沙土或者黑红色泥流沉积夹层出现。本次野外调查主要集中在喇家遗址北侧洪积扇前沿地带,这里的山洪泥流泥石流沉积夹层更为丰富(图2b)。

2 土壤沉积物地层剖面特征

在官亭盆地北沿大红山前的吕家沟—岗沟—马家沟古洪积扇前沿地带,沿着这些沟槽边缘自然暴露剖面的深入调查研究,发现全新世中期的山洪和红色泥流沉积层与黑垆土或者灰黑色沼泽土交互出现(图2c)。在喇家遗址考古探方剖面,常常会看见红色泥流沉积层夹杂着全新世中期黑垆土的团块(图2d)。这些都表明史前泥流过程的发生与全新世中期古土壤构成的古地面有密切联系。最终在上喇家村东的岗沟西岸陡坎,发现全新世风成黄土与古土壤发育良好,层次完整清晰,没有受到明显的人为

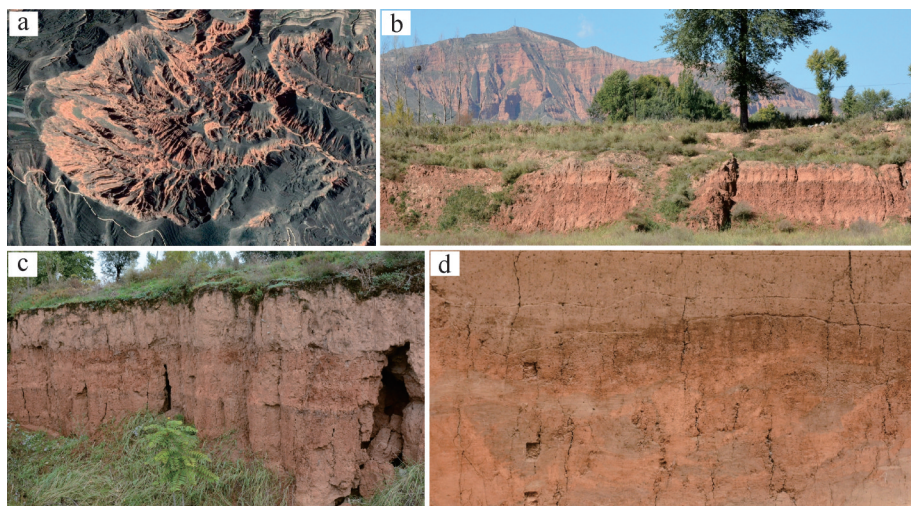


图2 (a)官亭盆地北沿大红山南坡岗沟源头山洪泥流泥石流发源地强烈水土流失现象;(b)大红山及其山麓古洪积扇前沿全新世地层当中红色泥流夹层;(c)黄河第二级阶地全新世地层当中的红色泥流夹层;(d)喇家遗址探方剖面红色泥流夹杂的黑垆土团块

Fig.2 (a) Mudflow source at the gully head of the Ganggou where it passes through the Lajia Ruins; (b) the Great Red Hill and the red mudflow deposit in the pluvial fan at the piedmont; (c) red mudflow in the Holocene strata on the river terrace; (d) aggregates of soil encased in the red mudflow deposit within the Lajia Ruins

扰动的剖面。尤其是在黑垆土古土壤之间夹有三段红色泥流沉积层,有利于正确判别大规模山洪泥石流事件的期次及其与气候变化的关系。将该剖面命名为岗沟岸剖面(GGA),进行了开挖,清理掉风化层和浮土覆盖层。在对该剖面进行详细的观察测量的基础上,进行了土壤沉积物地层划分和宏观调整分析描述(图3、表1)。

根据土壤沉积物地层划分和描述结果,发现GAA剖面与其西南侧400 m处的喇家遗址范围内的上喇家剖面(SLJ)在土壤沉积物地层层序相同,其土壤沉积物性质和地层结构具有可比性^[13]。因此,我们以GAA剖面的全新世中期黑垆土层段($S_{0下}$ — $S_{0中下}$ — $S_{0中上}$ — $S_{0上}$)为基本标志层,与上喇家剖面(SLJ)的古土壤层(8 500~3 100 a B.P.)进行对比;同时以GAA剖面第二层红色泥流中下部夹杂木炭屑和杂物的灾难沉积层为标志,与上喇家剖面(SLJ)第一层红色泥

流层底部齐家文化古地面木炭屑与杂物层进行对比,确认了毁灭齐家文化聚落的灾难(3 850 a B.P.)发生的层位^[11]。因此,通过土壤沉积物性质和地层对比,获得了GAA剖面土壤沉积物地层序列基本的年代框架(图3)。

3 研究材料与研究方法

在对于GGA剖面开挖清理规整、进行深入观察分析、描述记录的基础上,自上而下以每5 cm连续采样,共采集沉积物样品120个。在实验室内将样品自然风干后,进行了磁化率、粒度成分、地球化学元素的测试分析。首先是用英国Bartington公司生产的MS-2B型磁化率仪测量磁化率。称取10 g自然风干研磨粉碎的样品,置于无磁性塑料盒中,分别测量高频(4 700 Hz)和低频(470 Hz)各3次,取其平

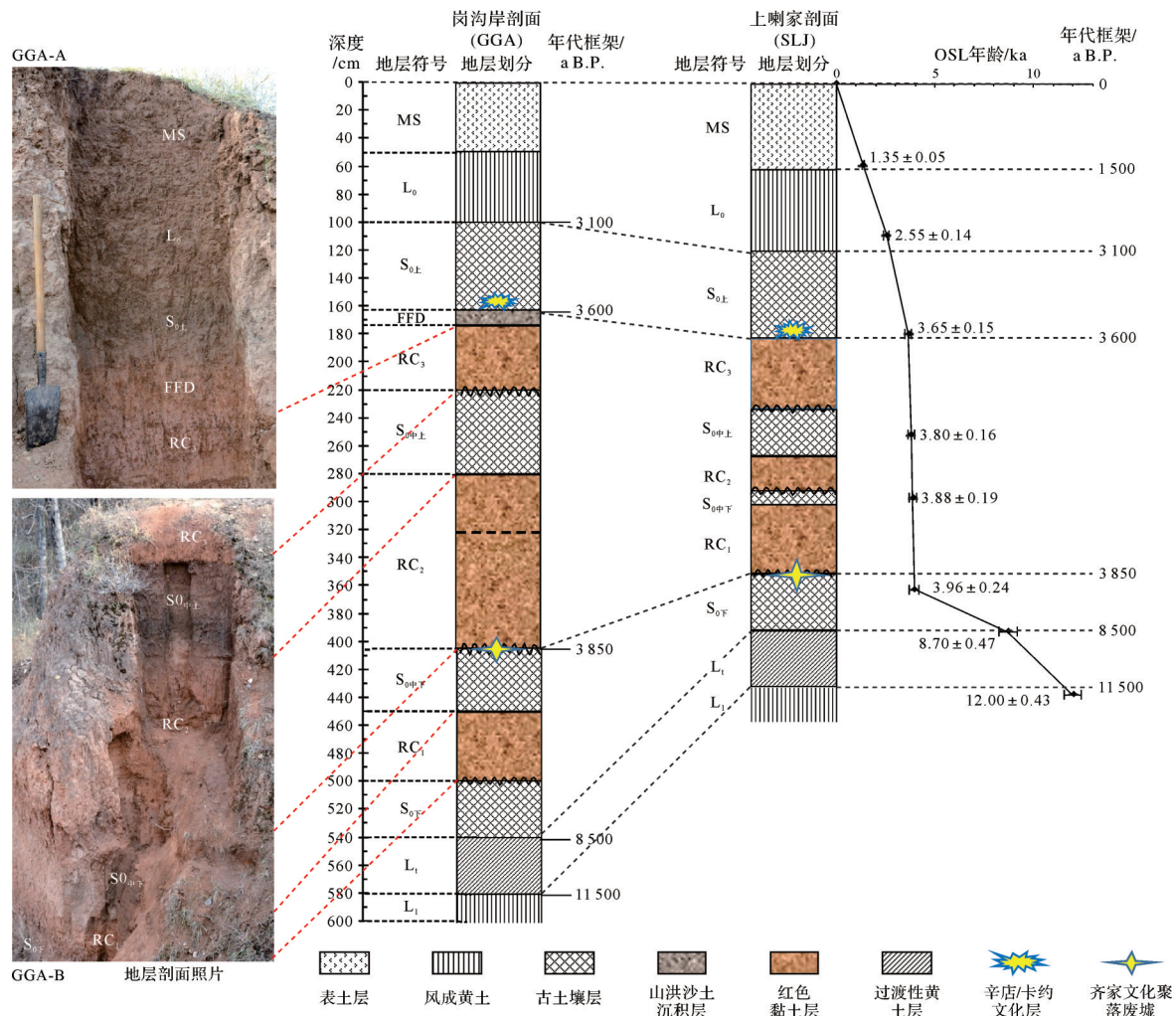


图3 官亭盆地岗沟岸剖面(GGA)土壤地层层序及其与上喇家剖面(SLJ)年代框架对比图

Fig.3 Pedostratigraphic subdivisions in the GGA profile and its correlation with the SLJ profile, Guanting Basin

表1 官亭盆地岗沟岸剖面(GGA)全新世土壤沉积物地层划分与描述

Table 1 Pedastratigraphic subdivisions and descriptions of the GGA profile, Guanting Basin

深度/cm	土壤地层层位	土壤沉积物宏观描述
0~50	现代耕作土壤(MS)	棕色(7.5YR4/6),粉砂质地,团粒构造,可见个别小石子,多蚯蚓孔和粪团,多植物根系。
50~100	全新世晚期风成黄土(L ₀)	浊橙色(7.5YR6/4),粉砂质地,团块—块状构造,比较疏松,含有少量蚯蚓孔和粪团。
100~165	全新世中期古土壤层上段(S _{0上})	上部浊红棕色(5YR5/3),粉砂质地,团粒构造,比较疏松,多蚯蚓孔和粪团,发育粉霜状碳酸盐,为较好的黑垆土。 下部细沙质粉砂质地,灰棕色(5YR3/1)。
165~175	山洪沙土沉积层(FFD)	橙色(2.5YR6/6),下部粉砂质黏土质地,块状构造,比较疏松,上部多沙,松散,出现山洪砂与砂砾质透镜体夹层。
175~220	红色黏土层(RC ₃)	上部砂质黏土质地,橙色(2.5YR6/6),下部粉砂质黏土质地,亮红棕(2.5YR5/8),团块状构造,比较坚硬。
220~280	全新世中期古土壤层中上段(S _{0中上})	灰棕色(5YR6/2),粉砂质地,团粒—团块状构造,比较疏松,属于黑垆土。
280~405	红色黏土层(RC ₂)	橙色(2.5YR6/6),上半部砂质黏土质地,比较疏松;下半部粉砂质黏土质地,比较坚硬;团块—块状构造。在360~370 cm,含有雨水侵蚀沉积的粉砂与黏土次生纹层,受到泥流运动影响而错综杂乱,且其中夹有密集の木炭屑。
405~450	全新世中期古土壤层中下段(S _{0中下})	浊红棕色(5YR5/4),粉砂质地,团粒—团块状构造,属于黑垆土。
450~500	红色黏土层(RC ₁)	橙色(2.5YR6/6),粉砂质黏土质地,团块状构造,比较坚硬,含有木炭屑。
500~540	全新世中期古土壤层下段(S _{0下})	浊红棕色(5YR5/3),粉砂质地,团粒—团块状构造,比较坚硬,裂隙和结构面含有白色可溶盐类粉霜,属于黑垆土。
540~580	全新世早期过渡性风成黄土(L ₁)	浊橙色(7.5YR6/4),粗粉砂质地,块状构造,疏松,受到较弱的成壤改造,常见夹有山洪砂质透镜体薄层。
580~?	晚更新世风成黄土(L ₁)	浊黄橙色(10YR7/4),粗粉砂质地,均质块状结构,多见蜗牛壳、灰白色可溶盐类结晶,并夹有山洪砂土质透镜体薄层。

均值。粒度分析采用美国 Beckman 公司生产的 LS13320 型激光粒度仪。取自然风干粉碎的样品 0.5 g,依次加入 10% 的 H₂O₂ 除去有机质,10% 的 HCl 去除次生碳酸盐,反应完成后加入蒸馏水清洗,静置 72 h,在上机测试之前加入 5 mL 的 0.5 mol L⁻¹ 的 (NaPO₃)₆ 分散剂。

4 实验结果与分析

4.1 磁化率结果分析

土壤沉积物堆积形成后因为不同程度的次生风化作用,其理化性质会发生显著地变化,因此其磁化率也会发生变化,而变化的幅度与风化程度密切相关。因此磁化率常常被作为研究环境变化的替代指标,同时也可以作为识别土壤沉积物性质类型的重要指标^[18]。实验结果显示,官亭盆地 GGA 剖面中不同地层层位的磁化率存在显著差别(图 4)。其中马兰黄土(L₁)磁化率介于(18~30)×10⁻⁸ m³kg⁻¹之间,全新世早期黄土(L₁)磁化率为(24~34)×10⁻⁸ m³kg⁻¹,全新世晚期黄土(L₀)磁化率为(43~54)×10⁻⁸ m³kg⁻¹。全新世中期古土壤磁化率为(32~74)×10⁻⁸ m³kg⁻¹。而由山洪泥流过程堆积的红色黏土(RC₃、RC₂、RC₁)的磁化率仅仅为(15~17)×10⁻⁸ m³kg⁻¹,明显低于黄土和

古土壤层。山洪沙土沉积层(FFD)磁化率数值的变化范围较大,介于(14~50)×10⁻⁸ m³kg⁻¹。该剖面磁化率的变化与粒度成分等其他沉积学指标变化相对应,且与喇家遗址北部上喇家剖面(SLJ)具有相同的变化规律^[13]。

4.2 沉积物粒度分析

粒度成分指标既能够反映土壤沉积物的性质,也可以指示其成因和沉积环境^[19-20]。官亭盆地 GGA 剖面不同层位样品的粒度组成差异较大(图 4)。其中马兰黄土(L₁)和过渡性黄土(L₁)粒度成分以粗粉砂(16~63 μm)为主,分别达到 49% 和 44.6%,平均粒径分别为 31.99 μm 和 26.93 μm,黏土/粉砂比值低达 0.14,粒度自然分布频率曲线为右偏态,峰值出现在 50 μm 左右,属于砂质黄土(图 5)。全新世中期古土壤各段(S_{0上},S_{0中上},S_{0中下},S_{0下})粒度成分均以细粉砂(2~16 μm)为主,可达到 34.8%~45.5%,平均粒径在 16.09~26.34 μm,属于粉砂质地,其黏土/粉砂比率在 0.18~0.21,明显地高于黄土层位,粒度自然频率分布曲线出现明显的双峰形,主峰在 40 μm 左右,次峰在 10 μm 附近,反映出次生风化成壤作用的影响。全新世晚期风成黄土(L₀)和现代表土(MS)细粉砂含量较高,分别为 42.2% 和 43%,平均粒径分别为 18.98 μm

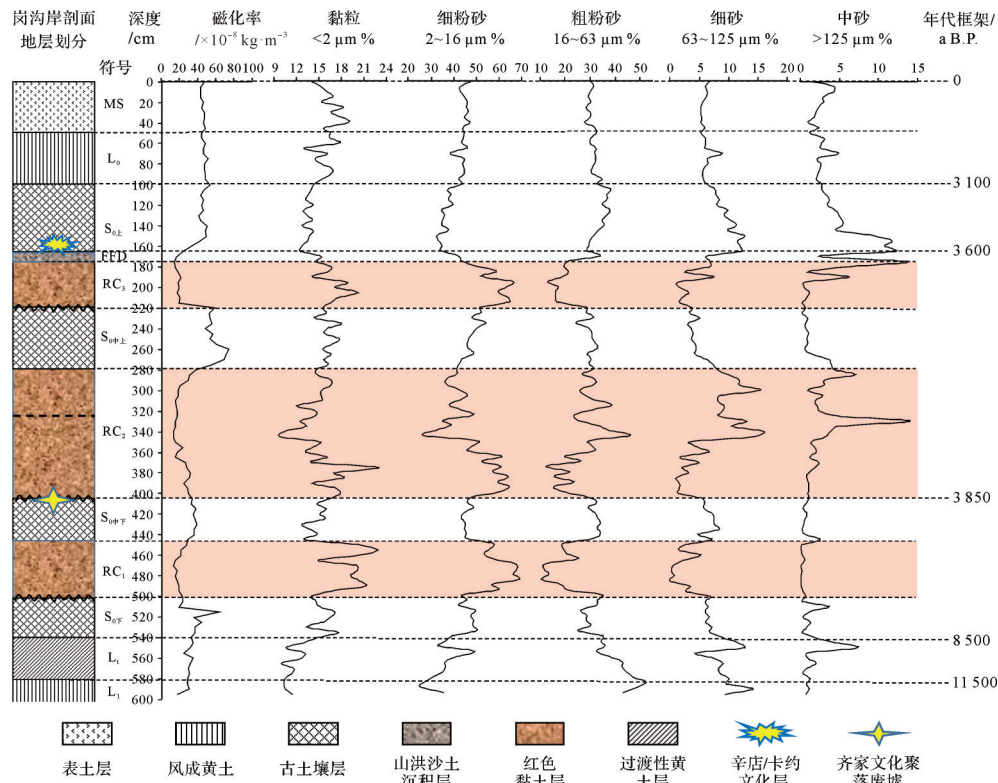


图4 官亭盆地岗沟岸剖面(GGA)全新世土壤沉积物地层序列及其磁化率和粒度成分曲线
Fig.4 Magnetic susceptibility vs. grain-size distribution in the GGA profile, Guanting Basin

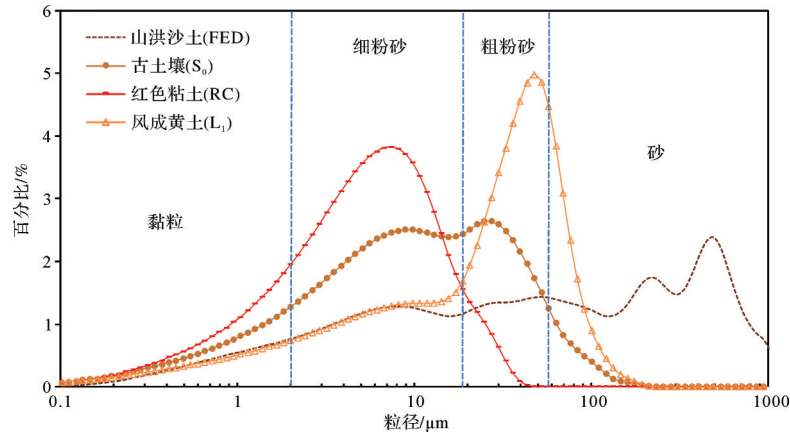


图5 官亭盆地岗沟岸剖面(GGA)土壤沉积物粒度自然分布频率曲线图
Fig.5 Grain-size distribution of soil and sediments in the GGA profile, Guanting Basin

和 $19.90\text{ }\mu\text{m}$, 黏土/粉砂比值分别为 0.21 和 0.20, 属于粉砂质地。

全新世古土壤中所夹三组红色泥流层(RC_1 、 RC_2 、 RC_3), 细粉砂含量高达 61.3%~68.8%, 平均粒径仅 $6.75\sim 10.04\text{ }\mu\text{m}$, 与风成黄土和古土壤形成鲜明对比。其自然频率分布曲线呈现单峰, 峰值在 $10\text{ }\mu\text{m}$ 左右, 左偏态, 属于黏土或粉砂质黏土。位于 RC_3 之上的山洪沙土沉积层(FFD)粒度成分以中砂为主, 含量为 45.90%, 砂粒含量为整个剖面最高值, 平均粒径为

$153.73\text{ }\mu\text{m}$, 自然频率分布曲线整体正偏, 多峰且峰态宽平, 显示出分选极差, 大小颗粒混杂, 岩屑成分复杂, 明显区别于风成黄土古土壤和红色泥流沉积层。

5 讨论

官亭盆地处于青藏高原东北边缘的拉脊山—积石山脚下, 其南北侧均被风成黄土覆盖的第三系丘陵沟壑所包围。由于地形高差巨大, 深深下凹

的官亭盆地,具有山间盆地的特点。其气候相对温暖,水热条件比较好。在第四纪冰期干旱寒冷气候条件之下,会有风成黄土堆积,而冰后期相对温暖湿润气候条件之下,也会有土壤发育形成。因此,官亭盆地内部的河流阶地地面都有风成黄土的覆盖。尤其是黄河北岸古洪积扇前沿的第二级阶地,其形态及其河床相与河漫滩相二元结构沉积物比较完整清晰。该级阶地地面覆盖着的马兰黄土和全新世黄土与古土壤层,厚度可达6~8 m。据研究其风成黄土底部的OSL年龄为 $31\,940 \pm 1\,990$ a,表明黄河第二级阶地发育形成在距今大约35 000年前^[21]。阶地面风成黄土和古土壤与现代土壤的形成发育,为史前时期以来人类农业土地开发利用奠定了资源环境基础。

本文研究的岗沟岸剖面(GGA)位于官亭盆地北部大红山山前古洪积扇前沿地带。根据野外观察和土壤沉积物地层划分与描述,以及高分辨率理化指标的变化趋势,能够识别出风成黄土、古土壤和现代土壤,以及夹在全新世中期古土壤之中的山洪泥流沉积物夹层。整体来看,剖面底部晚更新世马兰黄土(L_1)和全新世早期过渡性风成黄土(L_4)为砂质粉砂地,含有较多细沙成分,磁化率很低,表明其堆积形成过程当中气候干旱,风力强劲,沙尘暴活动盛行。而全新世中期的古土壤层 S_0 形成在全球性全新世大暖期(8 500~3 100 a B.P.),其成分以粉砂为主,含有较多的细粉砂和黏粒,磁化率值也比较高,具有团粒团块构造,生物风化强烈,大小空隙发育。就其宏观调整和理化指标来看,为在相对温暖湿润条件下发育良好的黑垆土(S_0)类土壤。其上覆盖着全新世晚期风成黄土(L_0)和现代耕作土壤(MS),与黑垆土相比,其粒度成分变粗,磁化率较低,表明了最近3000多年来的气候条件比之中全新世有所恶化。当然主要可能是因为降水量减少,导致土壤生物风化减弱的结果。官亭盆地GAA剖面黄土土壤性质变化及其所反映出的气候变化规律,与整个黄土高原地区完全一致。虽然官亭盆地地处青藏高原脚下,但毕竟还是属于黄土高原区。所以,该剖面土壤与沉积物的层序自下而上依次划分为晚更新世马兰黄土(L_1)—全新世早期过渡性风成黄土(L_4)—全新世中期古土壤(S_0)—全新世晚期风成黄土(L_0)—现代耕作土壤(MS)。这个层序特点与黄土高原地区全新世土壤沉积物的层序相同^[22-23]。

由于GAA剖面处于大红山山前古洪积扇前沿,

源自于拉脊山东坡流经第三系红层丘陵沟壑区的支流沟谷的山洪泥流泥石流过程,也必然会影响到其土壤沉积物剖面的形成发育。针对官亭盆地北部整个沟谷体系和古洪积扇发育演变过程的调查发现,中小规模山洪泥流和泥石流过程,从出山口向下游经过古洪积扇再经过黄河第二级阶地,直到进入黄河,都是在沟槽内流动。当大规模山洪泥流泥石流过程发生,且其泥沙石块或者泥流堵塞沟槽的时候,山洪泥流泥石流在古洪积扇前沿地带就会溢出沟槽,扩散到台地表面沉积下来,覆盖在土地表面,甚至会掩埋摧毁村落房屋。该剖面最显著的特点是全新世中期古土壤层(S_0)被三层红色黏土质泥流层(RC_1 、 RC_2 、 RC_3)分割为四段。这三层红色黏土黏粒含量极高,质地细腻粘重,主要由黏粒和细粉砂构成,干燥时致密坚硬,遇雨水则易于二次液化流动,磁化率明显低于黄土和古土壤层。它们是来自于官亭盆地北侧沟谷中上游的大规模暴雨山洪泥流事件的可靠记录。而山洪泥流泥石流沉积层被古土壤层段分隔,表明其发生是间歇性的,每一期泥流事件之间有一定的时间间隔。

而喇家遗址齐家文化时期的古村落,正是建立在古洪积扇前沿到黄河阶地面有若干条沟谷汇聚的低洼地带。喇家遗址北部SLJ剖面和其他剖面全新世中期古土壤也夹有二到三层红色泥流沉积层。众多考古发掘探坑剖面,显示出齐家文化时期的房屋及其地面的人类骨骸与生活设施和器物(4 150~3 850 a B.P.),皆被山洪沙土和红色泥土覆盖包裹^[24-25]。而代表着巨大灾难事件的山洪沙土和泥流黏土层,与SLJ剖面 and GAA剖面全新世古土壤之中所夹的山洪沙土和红色泥流泥土性质完全相同^[11,13-14]。通过各个地点地层剖面对比发现,GAA剖面第一期红色泥流(RC_1)层位低于齐家文化层,表明在喇家遗址被毁灭之前,官亭盆地北部沟谷就有山洪泥流泥石流过程发生。

在GAA剖面第二期红色黏土质泥流层(RC_2)的中下部,夹杂着密集の木炭屑(图6a)。而在喇家遗址探方剖面和东部朱家村剖面红色泥流(RC_1)沉积层之下的齐家文化灾难堆积层,也多见灰炆和木炭屑(图4b)。喇家遗址灰坑和火塘及文化层中的灰炆与木炭屑,表明当时人类生活用火燃烧草木。而喇家遗址之外GAA剖面卷入到泥流层内部的密集木炭屑,则表明在3 850 a B.P.毁灭齐家文化古村落的大

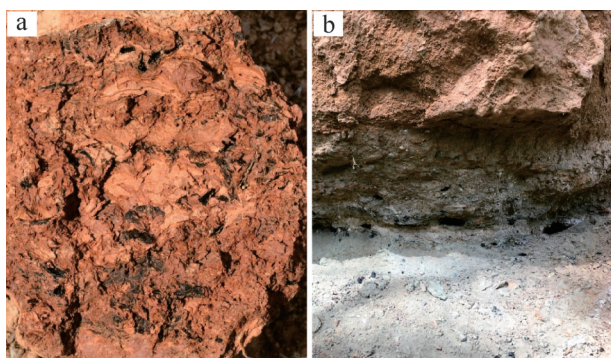


图6 (a)古洪积扇前沿岗沟岸剖面(GGA)红色泥流 RC_2 中下部的木炭屑;(b)黄河第二级阶地朱家村地点红色泥流覆盖齐家文化灰烬木炭屑层

Fig.6 (a) Charcoal in mudflow RC_2 at the GAA profile in the front part of the pluvial fan; (b) ash and charcoal layer of the Qijia Culture covered by flashflood and mudflow deposit at the Zhujiacun site on the second terrace of the Yellow River

地震和大规模山洪泥石流灾害发生之时,曾经同时也发生了严重的火灾。有研究表明大于 $100\ \mu\text{m}$ 的木炭屑,通常不会被传输到距火源点很远的地方,可以用来指示当地火灾事件^[26]。因此可以推断喇家遗址的齐家文化聚落,确实是被突发性、群发性灾难毁灭。结合考古发掘揭露出的场景,可知大地震首先造成聚落房屋建筑物坍塌、火塘引燃塌下来的茅草屋顶,引起了火灾,而大规模山洪泥石流泥石流随之而来,彻底毁灭了这个聚落,造成了严重的人员伤亡。

在上喇家剖面(SLJ)与岗沟岸剖面(GAA),其顶层红色泥流(RC_3)皆被黑垆土古土壤的上段($S_{0上}$)所覆盖埋藏。在喇家遗址范围各个剖面通过多种断代手段,结合第二场大地震的发生,确定其层界为 $3\ 600\ \text{a B.P.}$ ^[11]。也就是说在整个古洪积扇前沿和黄河第二级阶地面,在 $3\ 600\ \text{a B.P.}$ 之后,再没有发生山洪泥石流溢出沟槽在台地面扩散沉积的现象。处于喇家遗址之外古洪积扇前沿GAA剖面的层序特点也就更进一步证明了这种判断(图4)。各个研究剖面层序特点说明在 ^{14}C 年龄 $3\ 850\sim 3\ 600\ \text{a B.P.}$ 之间,或者OSL年龄 $3\ 960\sim 3\ 650\ \text{a}$ 之间喇家遗址及其外围地区发生了两场大地震,也发生了两期大规模山洪泥石流溢出沟槽覆盖阶地面土地和村落的灾害性事件。同时还伴随着火灾的发生,构成了群发性灾难。在喇家遗址内外所发现的辛店/卡约文化层,都赋存在该层段古土壤($S_{0上}$)的中下部。这就证明在大地震和大规模山洪泥石流事件结束之后,大约在 $3\ 600\ \text{a B.P.}$ 史前时期新的人群占据了古洪积扇前沿和黄河第二级阶地的土地。

6 结论

官亭盆地北部大红山前,由吕家沟、岗沟和马家沟等季节性沟谷旺盛堆积形成的古洪积扇倾斜平原,地势平坦且面积宽广,其前沿与黄河第二级阶地平缓过渡。该地区被晚更新世以来的风成黄土与古土壤堆积覆盖,土壤肥沃,水热条件良好,人类土地资源开发利用,已经有超过五千年的历史。齐家文化时期的喇家遗址,就处于古洪积扇前沿与黄河第二级阶地面古今沟谷体系汇聚的低洼地带。

我们在喇家遗址北侧古洪积扇前沿地带的深入调查研究,揭示该区域地层剖面的土壤与沉积物的层序,自下而上依次为晚更新世马兰黄土(L_1)—全新世早期过渡性风成黄土(L_1)—全新世中期古土壤(S_0)—全新世晚期风成黄土(L_0)—现代耕作土壤(MS)。这个层序构成特点与处于黄河第二级阶地的喇家遗址范围内各个地点完全相同,也与黄土高原地区全新世土壤沉积物的层序相同。

在岗沟岸地点的地层剖面全新世中期黑垆土古土壤层(S_0)被三组红色黏土质泥流沉积层(RC_1 、 RC_2 、 RC_3)分隔,表明在古洪积扇前沿地带曾经有三期大规模山洪泥石流过程溢出沟槽,扩散到古洪积扇前沿和黄河第二级阶地面,覆盖掩埋了大面积平坦土地。其中该剖面以 RC_2 为代表的第二期山洪泥石流事件,与毁灭喇家遗址齐家文化聚落的群发性灾害事件相对应,发生在 $3\ 850\ \text{a B.P.}$ 。而该剖面以 RC_1 为代表的第一期山洪泥石流事件,早于喇家遗址北毁灭的时代,其规模略小,并没有扩散到黄河第二级阶地面。因此这个山洪泥石流沉积层在上喇家剖面 and 二方村剖面没有出现。从土壤沉积物地层层序特点可知,该剖面以 RC_3 为代表的是最后一期大规模泥流事件,与喇家遗址范围内各个剖面相同,都是发生在在 $3\ 600\ \text{a B.P.}$ 。此后官亭盆地北部古洪积扇前沿与黄河第二级阶地区域,再也没有发生大规模山洪泥石流溢出沟槽扩散成灾的情况。从红色泥流 RC_2 中下部卷入了大量密集木炭屑的事实来看,在 $3\ 850\ \text{a B.P.}$ 毁灭喇家遗址齐家文化聚落的大地震和山洪泥石流过程发生之时,同时发生了严重火灾,更加剧了灾害的严重程度。这个研究结果对于我们深入理解官亭盆地史前时期环境变化与灾害性地表过程的成因机制,提供了新的材料,具有重要的科学意义。

参考文献(References)

- [1] Chen F H, Dong G H, Zhang D J, et al. Agriculture facilitated permanent human occupation of the Tibetan Plateau after 3600 B. P. [J]. *Science*, 2015, 347(6219): 248-250.
- [2] 侯光良,刘峰贵. 青海东部史前文化对气候变化的响应[J]. *地理学报*, 2004, 59(6): 841-846. [Hou Guangliang, Liu Fenggui. Pre-history and climate change of eastern Qinghai[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(6): 841-846.]
- [3] 侯光良,魏海成,鄂崇毅,等. 青藏高原东北缘全新世人类活动与环境变化:以青海湖江西沟2号遗迹为例[J]. *地理学报*, 2013, 68(3): 380-388. [Hou Guangliang, Wei Haicheng, E Chongyi, et al. Human activities and environmental change in Holocene in the northeastern margin of Qinghai-Tibet Plateau: A case study of JXG2 relic site in Qinghai Lake[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(3): 380-388.]
- [4] 叶茂林. 青海民和喇家史前遗址的发掘[J]. *考古*, 2002(7): 3-5. [Ye Maolin. Excavation of the prehistoric Lajia site in Minhe, Qinghai[J]. *Archaeology*, 2002(7): 3-5.]
- [5] 叶茂林. 不可思议的考古发现[J]. *成都文物*, 2008(1): 1-10. [Ye Maolin. Incredible archaeological discovery [J]. *Chengdu Cultural Relics*, 2008(1): 1-10.]
- [6] 于孟洲,王倩倩,杜战伟. 喇家遗址齐家文化聚落的考古发现与思考[J]. *青海社会科学*, 2017(3): 199-204. [Yu Mengzhou, Wang Qianqian, Du Zhanwei. Archaeological discovery and reflection on Qijia cultural settlement in Lajia ruins[J]. *Qinghai Social Sciences*, 2017(3): 199-204.]
- [7] Huang Chunchang, Zhou Yali, Zhang Yuzhu, et al. Comment on "Outburst flood at 1920 BCE supports historicity of China's Great Flood and the Xia dynasty". *Science*, 2017, 355(6332): 1382-1382. .
- [8] 张信宝. 2017. 青海民和喇家遗址的古地震与古溃决洪水质疑. *山地学报*, 35(3): 255 ~ 256.
- [9] Wu W X, Dai J H, Zhou Y, et al. Comment on "Outburst flood at 1920 BCE supports historicity of China's Great Flood and the Xia dynasty"[J]. *Science*, 2017, 355(6332): 1382.
- [10] Han J C. Comment on "Outburst flood at 1920 BCE supports historicity of China's Great Flood and the Xia dynasty"[J]. *Science*, 2017, 355(6332): 1382.
- [11] 黄春长,郭永强,张玉柱,等. 青海官亭盆地喇家遗址全新世地层序列与史前灾难研究[J]. *中国科学(D辑):地球科学*, 2019, 49(2): 434-455. [Huang Chunchang, Guo Yongqiang, Zhang Yuzhu, et al. Holocene stratigraphic sequence and prehistoric disaster in the Lajia Ruins in the Guanting Basin[J]. *Science China (Seri. D): Earth Sciences*, 2019, 49(2): 434-455.]
- [12] 张玉柱,黄春长,庞奖励,等. 黄河上游官亭盆地喇家遗址地层光释光测年研究[J]. *地理学报*, 2013, 68(5): 626-639. [Zhang Yuzhu, Huang Chunchang, Pang Jiangli, et al. OSL dating of the sediment stratigraphy of the Lajia Ruins in the Guanting basin in the Upper Yellow River basin[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(5): 626-639.]
- [13] 炊郁达,黄春长,庞奖励,等. 青海喇家遗址土壤序列及史前山洪泥石流灾难释光测年研究[J]. *地理学报*, 2019, 74(11): 2371-2384. [Chui Yuda, Huang Chunchang, Pang Jiangli, et al. OSL dating of the pedo-stratigraphic sequence and the prehistoric flash floods and mudflows over the Lajia Ruins of Qinghai province[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(11): 2371-2384.]
- [14] 陈莹璐,黄春长,周亚利,等. 青海官亭盆地二方村遗址全新世土壤沉积物地层序列与OSL测年研究[J]. *地质学报*, 2019, 93(11): 2960-2974. [Chen Yinglu, Huang Chunchang, Zhou Yali, et al. Holocene pedo-stratigraphic sequence and OSL chronology of the Erfangcun ruins in the Guanting basin of Qinghai province [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2019, 93(11): 2960-2974.]
- [15] 袁道阳,张培震,雷中生,等. 青海拉脊山断裂带新活动特征的初步研究[J]. *中国地震*, 2005, 21(1): 93-102. [Yuan Daoyang, Zhang Peizhen, Lei Zhongsheng, et al. A preliminary study on the new activity features of the Lajishan mountain fault zone in Qinghai province [J]. *Earthquake Research in China*, 2005, 21(1): 93-102.]
- [16] 殷志强. 黄河上游滑坡泥石流时空演化及触发机制[M]. 北京:科学出版社, 2016: 177-189. [Yin Zhiqiang. Landslide and debris flow in the upper Yellow river: Evolution and triggering mechanism[M]. Beijing: Science Press, 2016: 177-189.]
- [17] Zhang, Yuzhu, Huang Chunchang, Shulmeister James, et al. Formation and evolution of the Holocene massive landslide-dammed lakes in the Jishixia Gorges along the upper Yellow River: No relation to China's Great Flood and the Xia Dynasty. . *Quaternary Science Reviews* 218(2019):267-280.
- [18] 刘秀铭,刘东生,Shaw J. 中国黄土磁性矿物特征及其古气候意义[J]. *第四纪研究*, 1993(3): 281-287. [Liu Xiuming, Liu Tungsheng, Shaw J. Magnetic mineral characteristics of Chinese loess and its palaeoclimatic significance [J]. *Quaternary Sciences*, 1993(3): 281-287.]
- [19] 鹿化煜,安芷生. 黄土高原黄土粒度组成的古气候意义[J]. *中国科学(D辑):地球科学*, 1998, 28(3): 278-283. [Lu Huayu, An Zhisheng. Paleoclimatic significance of grain size of loess-palaeosol deposit in Chinese Loess Plateau [J]. *Science China (Seri. D): Earth Sciences*, 1998, 28(3): 278-283.]
- [20] 鹿化煜,安芷生. 洛川黄土粒度组成的古气候意义[J]. *科学通报*, 1997, 42(1): 67-69. [Lu Huayu, An Zhisheng. Grain size distribution of Luochuan loess and its paleoclimate implication [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1997, 42(1): 67-69.]
- [21] Zhang Y Z, Huang C C, Pang J L, et al. A luminescence dating study of the sediment stratigraphy of the Lajia Ruins in the upper Yellow River valley, China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2014, 87: 157-164.
- [22] Huang C C, Pang J L, Zhao J B. Chinese loess and the evolu-

- tion of the east Asian monsoon[J]. *Progress in Physical Geography*, 2000, 24(1): 75-96.
- [23] Huang C C, Pang J L, Su H X, et al. The Ustic Isohumisol (Chernozem) distributed over the Chinese Loess Plateau: Modern soil or palaeosol? [J]. *Geoderma*, 2009, 150 (3/4): 344-358.
- [24] 夏正楷, 杨晓燕, 叶茂林. 青海喇家遗址史前灾难事件[J]. *科学通报*, 2003, 48(11): 1200-1204. [Xia Zhengkai, Yang Xiaoyan, Ye Maolin. Prehistoric disasters at Lajia site, Qinghai, China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48(11): 1200-1204.]
- [25] 任小燕, 王国道, 蔡林海, 等. 青海民和县喇家遗址2000年发掘简报[J]. *考古*, 2002(12): 12-25. [Ren Xiaoyan, Wang Guodao, Cai Linhai, et al. Excavation on the Lajia Site in Minhe county, Qinghai, in 2000 [J]. *Archaeology*, 2002 (12): 12-25.]
- [26] Patterson III W A, Edwards K J, Maguire D J. Microscopic charcoal as a fossil indicator of fire[J]. *Quaternary Science Reviews*, 1987, 6(1): 3-23.

Sediment Stratigraphy of the Paleo-pluvial Fans in the Guanting Basin along the Upper Yellow River

LIU Lu¹, PANG JiangLi¹, HUANG ChunChang¹, ZHOU YaLi¹, ZHOU Qiang², HU Ying¹, ZHANG YuZhu³, GUO YongQiang⁴, CHEN YingLu⁵, RONG XiaoQing¹, SHANG RuiQing¹

1. School of Geography and Tourism, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China

2. School of Life and Geographic Science, Qinghai Normal University, Xining 810008, China

3. College of Urban and Environmental Science, Northwest University, Xi'an 710127, China

4. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China

5. State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China

Abstract: One of the main focuses of research in the field of prehistoric environmental change and civilization evolution in China is the prehistoric calamities that occurred in the area of the Lajia Ruins in the Guanting Basin along the Upper Yellow River, between the Qinghai-Tibet Plateau and the Loess Plateau. Sediment deposition relationships were studied across the Guanting Basin by detailed field observations and sedimentological and stratigraphic analysis. It was established that the sequence of Holocene aeolian loess paleosols is basically the same in the central and eastern parts of the Loess Plateau. A complete and continuous stratigraphic section was discovered on the western bank of the Ganggou Gully, at the northeastern corner of the Lajia Ruins. Three layers of red clay mudflow sediment ($RC_1/RC_2/RC_3$) within the paleosol (S_0) were formed over the Guanting Basin and surrounding areas, mainly due to disastrous climatic decline in the middle and late Holocene. Multiple flash floods and mudflows transported a large amount of loose material from the Tertiary gully to the Guanting Basin. Large-scale flash flooding and mudflows frequently overflowed into the shallow region of the gully at the front of an ancient alluvial fan and were spread and deposited over the Yellow River terrace, destroying the prehistoric settlement of the Qijia people (the Lajia Ruins) located in the low-lying area. Moreover, dense particles of charcoal in the middle and lower parts of the red clay mudflow (RC_2) indicate a significant fire at 3 850 a.B.P. in the Guanting Basin, at which time a great earthquake and flash flooding and mudflows occurred. This study established a pedostratigraphic sequence at the periphery of the Guanting Basin and analyzed the causes of the events. It is of scientific importance, and reveals the evolution of human-land interconnection in the region in prehistoric times.

Key words: Guanting Basin; prehistoric disaster; flash flood and mudflow; pluvial fan; Holocene