中国科学: 地球科学 2019 年 第 49 卷 第 2 期: 434 ~ 455
SCIENTIA SINICA Terrae earthcn.scichina.com
《中国科学》杂志社 SCIENCE CHINA PRESS
论 文

青海官亭盆地喇家遗址全新世地层序列与史前灾难研究

黄春长[1*], 郭永强[1,2], 张玉柱[1,3,5], 周亚利[1], 赵辉[1,5], 郑紫星[1], 周强[4], 庞奖励[1], 王海燕[1], 炊郁达[1], 查小春[1], 胡贵明[6], 刘涛[7]

1. 陕西师范大学地理科学与旅游学院, 西安 710062;
2. 中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041;
3. 西北大学城市与环境学院, 西安 710127;
4. 青海师范大学生命与地理科学学院, 西宁 810008;
5. 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;
6. 香港大学地球科学系, 香港 999077;
7. Department of Hydrology and Atmospheric Sciences, University of Arizona, Tucson, AZ 85721-0011, USA
* E-mail: cchuang@snnu.edu.cn

收稿日期: 2017-11-13; 收修改稿日期: 2018-06-06; 接受日期: 2018-06-21; 网络版发表日期: 2018-09-11
国家自然科学基金项目(批准号: 41771110)和中国科学院黄土与第四纪地质国家重点实验室开放基金项目(编号: SKLLQG725)资助

摘要 黄河上游官亭盆地喇家遗址的考古发掘, 揭示出史前多重灾难毁灭齐家文化聚落和人群的骇人事件, 成为史前环境变化与文明演变研究领域的热点之一, 也引起了学术界和各类媒体的关注. 但是, 围绕喇家遗址史前灾难问题产生了激烈的学术争议. 究其原因, 关键是对于遗址区域地表过程、沉积物性质和来源、地层序列和层位关系认知不够. 文章对喇家遗址所在的黄河第二级阶地和整个官亭盆地, 进行地貌学、土壤学、沉积学和地层学观察分析的基础上, 系统采样, 进行沉积学测试分析和年代测定, 建立了晚更新世晚期-全新世地层序列和年代框架. 发现其基本层序与黄土高原中东部地区相同, 从下向上仍然是晚更新世马兰黄土($L_{1\text{-}1}$)-全新世早期黄土质过渡层(L_t)-全新世中期黑垆土(S_0)-全新世晚期黄土(L_0)-现代土壤(MS). 其中, 在喇家遗址齐家文化聚落废墟东部, 全新世中期黑垆土层(S_0)被两组红色黏土质泥流沉积层(RC_1/RC_2)穿插, 分裂成为3个亚层, 即古土壤层上段($S_{0上}$)、中段($S_{0中}$)和下段($S_{0下}$). 通过地层对比与OSL测年和^{14}C测年数据的综合分析, 表明在中全新世晚期, 即3850~3600a BP, 受到青藏高原边缘地带强对流天气影响, 官亭盆地北部晚第三系红层丘陵沟壑地区, 频繁发生高强度暴雨山洪和泥流灾害. 它们沿着沟道流经古洪积扇前沿和黄河第二级阶地进入黄河河道. 其中有两期多次大规模的山洪泥流过程, 溢出沟槽扩散到黄河第二级阶地表面喇家遗址区域. 其间还有两场多次大地震及其相关地质灾害与之相伴生, 形成群发性巨大灾难事件, 共同摧毁了喇家遗址的齐家文化聚落, 造成居室内人群的死亡. 文章建立了喇家遗址区域晚更新世晚期-全新世沉积物与土壤地层序列, 分析论证了史前灾难的成因, 对于深入探索黄河上游官亭盆地史前环境变化与灾害, 以及人类活动影响问题具有科学意义.

中文引用格式: 黄春长, 郭永强, 张玉柱, 周亚利, 赵辉, 郑紫星, 周强, 庞奖励, 王海燕, 炊郁达, 查小春, 胡贵明, 刘涛. 2019. 青海官亭盆地喇家遗址全新世地层序列与史前灾难研究. 中国科学: 地球科学, 49: 434–455, doi: 10.1360/N072017-00378
英文引用格式: Huang C C, Guo Y Q, Zhang Y Z, Zhou Y L, Zhao H, Zheng Z X, Zhou Q, Pang J L, Wang H Y, Cuan Y D, Zha X C, Hu G M, Liu T. 2019. Holocene sedimentary stratigraphy and pre-historical catastrophes over the Lajia Ruins within the Guanting Basin in Qinghai Province of China (in Chinese). Scientia Sinica Terrae, 49: 434–455

© 2018 《中国科学》杂志社

关键词　喇家遗址, 齐家文化, 地震, 泥石流, 全新世, 官亭盆地

1　研究背景

黄河上游官亭盆地喇家遗址齐家文化聚落受灾毁灭问题, 受到学术界和各类媒体的关注. 随着考古勘探发掘进展, 有关喇家遗址齐家文化时期聚落布局、居室形制、设施器具、食物种类和生产生活方式等方面的研究成果不断涌现(任晓燕等, 2002; 叶茂林, 2002; 王明辉, 2002; 叶茂林等, 2004; Lü等, 2005; Gao等, 2007; 吕厚远等, 2015; 于孟洲等, 2017; 任瑞波, 2017). 关于造成喇家遗址人群死亡和聚落毁灭废弃的灾难问题, 成为学术界热烈争议的焦点之一. 早期的研究者认为在距今4000年前后, 齐家文化(4200~3600a BP)时期, 官亭盆地发生大地震, 造成聚落地基断裂和严重变形, 使居室发生坍塌, 将屋内的人群掩埋致死. 其后黄河上游流域发生暴雨洪水, 黄河干流水位大涨, 淹没了被地震毁坏的聚落废墟, 人类遗骸、器物、食物面条和居室的白灰膏泥地面和火塘等, 皆被黄河洪水沉积下来的红色黏土覆盖(夏正楷和杨晓燕, 2003; 杨晓燕等, 2004, 2005; 欧阳杰等, 2008; 李智敏等, 2014). 随后, 有地质学者认为发生在1920BC(3870a BP)的大地震, 导致积石峡山体滑坡崩塌, 堵塞黄河形成了巨大的堰塞湖, 在数个月之后堰塞湖坝体溃决, 造成异常大洪水. 官亭盆地喇家遗址先期被大地震毁坏的齐家文化聚落, 再次遭受灭顶之灾, 从而彻底废弃(吴庆龙等, 2009; Wu等, 2016). 该文还将中原地区大禹治水的传说和夏代的建立等, 与积石峡古堰塞湖所谓"溃决大洪水"相联系. 然而, 地貌第四纪和古水文学者的深入调查, 表明在3950年前, 与官亭盆地大地震相伴随, 在喇家遗址聚落北部第三系红层丘陵沟壑区, 高强度暴雨诱发大规模山洪泥流, 沿着吕家沟、岗沟和大马家沟汹涌而来. 这双重的灾难袭击了喇家遗址齐家文化聚落, 对建筑物造成了严重破坏, 导致居室内人群集体死亡(Huang等, 2013a, 2017; 殷志强等, 2013; Zhang等, 2014, 2018; 张玉柱等, 2013, 2015, 2017; 周强和张玉柱, 2015; Zhao等, 2017, 2018).

目前对于喇家遗址史前灾难成因的认识存在争议, 主要受限于以下方面: (1) 缺乏系统的全新世地层序列和年代框架, 导致不同层位、不同时代的地表过程和突发性事件被混淆; (2) 各种类型土壤和沉积物性质、来源和形成机制不够明晰, 导致不同成因的沉积物被混淆; (3) 史前各个阶段气候变化、人类对官亭盆地土地资源的开发利用, 及其在地貌水文、土壤植被等方面所造成的影响, 以及不同类型的地表过程成灾机制等, 尚未被深入地揭示出来. 不同领域的学者就其所见及理解, 众说纷纭.

本文是在黄河中上游进行全新世土壤地层、环境考古、古地震、古洪水和泥流等研究基础上(Huang等, 2004, 2009a, 2009b, 2013, 2017; 黄春长等, 2011, 2012; Liu 等, 2014; Fan等, 2015; Hu等, 2016; Guo等, 2016), 依据我们在官亭盆地长期考察研究所获得的资料数据, 围绕上述问题, 试图在喇家村齐家文化遗址和二方村-喇嘛坟辛店/卡约文化遗址所在区域, 即大红山脚下洪积扇前部黄河第二级阶地范围(图1a和b), 建立比较完善的晚更新世-全新世黄土土壤地层基本序列和年代框架. 从而正确判定齐家文化聚落废墟及其覆盖物的地层层位, 深入剖析造成聚落毁灭的群发性灾难的成因机制. 试图为解决喇家遗址学术争议问题, 建立地貌学、土壤学、沉积学和地层学基础.

2　区域地理环境

官亭盆地西起黄河积石峡出口, 东至黄河寺沟峡入口, 长度约14km, 南北最大宽度约7km, 面积约53km^2, 平面形态近似三角形(图1a). 官亭盆地内部海拔高程介于1750~1850m, 年平均气温8~9℃, 年平均降水量250~300mm, 年平均蒸发量2000~2100mm, 气候比较温和. 该段黄河年平均流量690m^3 s^{-1}, 实测最大洪峰流量4410m^3 s^{-1}, 发生在1981年9月. 在2012年7月发生洪峰流量3860m^3 s^{-1}的较大洪水. 风成黄土覆盖的平坦阶地面, 水热资源丰沛, 土壤疏松肥沃, 适宜温带粮食作物、蔬菜水果种植, 自然条件相对较好. 盆地西侧积石山, 主峰海拔高度4218m, 属于拉脊山脉, 也就是青藏高原的东北部边界, 在3600m以上基岩裸露, 以下有针阔叶混交林、针叶林和高山灌丛草甸植被覆

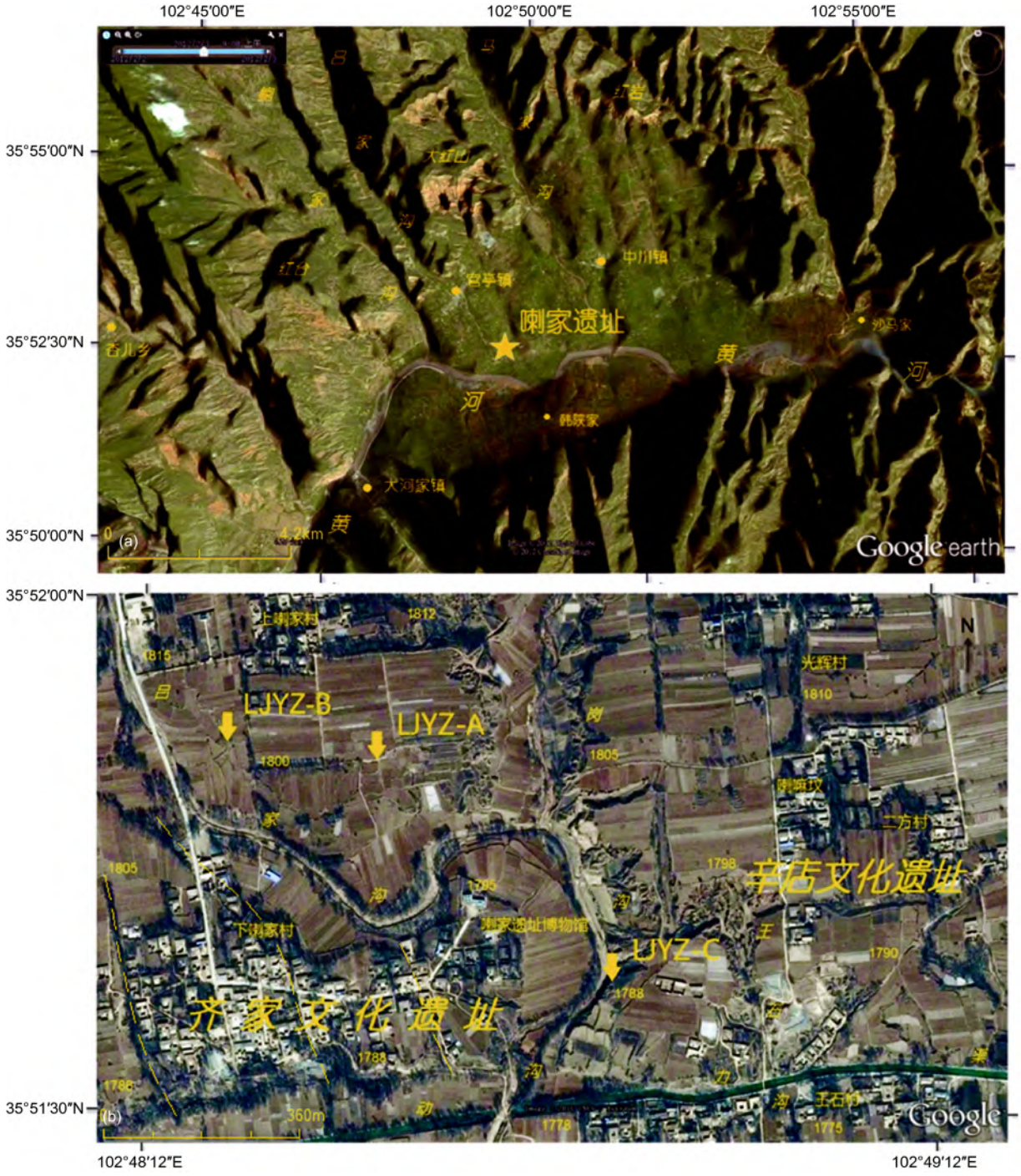


图 1　黄河上游官亭盆地自然景观卫星影像图

(a) 官亭盆地地貌及喇家遗址位置图; (b) 喇家遗址及采样研究地层剖面位置图(其中的数字表示海拔高程, 黄色虚线表示吕家沟古洪积扇表面集流槽)

盖, 山谷缓坡草地适宜放牧. 黄河切穿积石山形成深邃的曲流峡谷, 水流湍急, 名为积石峡. 峡谷两岸出露白垩系河口群(K_1)浊红棕色泥岩砂岩和杂色砾岩层, 崖壁高耸, 地形崎岖, 气候干旱, 植被贫乏, 新构造运动

活跃(袁道阳等, 2005), 常见巨型滑坡崩塌分布. 在积石山主峰地区, 局部有寒武系绿灰-蓝灰色片岩和奥陶系石英闪长岩出露. 官亭盆地南北两侧风成黄土覆盖的由第三系弱胶结的红橙色黏土质、粉砂质、砂质和杂色砂砾层系构成的塬梁丘陵沟壑, 海拔2200~2500m, 气候比较干旱, 为农牧混合区域, 地形破碎, 巨型滑坡和崩塌比比皆是, 水土流失十分严重, 普遍形成类似丹霞地貌的劣地(图2a和b). 官亭盆地与其周边地形高差巨大, 夏季频繁发生强对流天气, 造成局部性、短时段、高强度暴雨(王田寿和李生辰, 2007). 这常常会诱发山洪、泥流和泥石流, 沿着支流沟谷系统将大量的红色黏土和成分混杂的岩屑砂、砂土和砂砾输送到盆地沉积下来, 在沟口外的山麓地带形成多级洪积扇, 联合形成洪积倾斜平原. 近年来青藏高原东北边缘强对流天气发生更加频繁, 如2012年5月20~21日强对流引发强降水, 暴雨中心官亭盆地日降水量达42.8mm(王志远, 2013). 7月29~30日强对流天气再次引发强降水, 暴雨中心仍然在官亭盆地, 日降水量高达88.4mm. 这诱发诸多支流沟谷的山洪和泥流涌上公路并涌入居民院落成灾(马晓萍和路世贵, 2013). 其后调查发现源自于大红山的岗沟洪痕高出沟床1.5~2.0m. 在2013年8月23~24日青海东部强对流引发强降水天气, 暴雨中心也在官亭盆地, 日降水量达41.9mm(金泉才和王军, 2013). 这导致岗沟再度发生山洪与泥流, 在吕家沟与岗沟交汇处的平坦沟床, 形成了水平产状的红色黏土质沉积层(图2c). 尤其是



图 2　官亭盆地喇家遗址及其周边自然景观图

(a) 黄河第二级阶地全新世红色黏土质泥流沉积层及其北侧大红山岗沟源第三系红层丘陵沟壑; (b) 岗沟源区第三系红层被强烈侵蚀流失状况; (c) 岗沟下游现代山洪泥流过程在沟床沉积的水平产状红色黏土层; (d) 岗沟下游边坡地震裂隙切割和红色黏土质泥流沉积层重新液化流失引起地面塌陷形成的连片劣地

2018年8月2~3日, 官亭盆地及其周边地区暴雨降水量达80mm, 普遍地造成第三系红层沟壑丘陵坡面风化层和土壤饱水液化而下泄, 带走草皮和农作物, 形成“山剥皮”现象, 并诱发强烈的山洪、泥流和泥石流灾害.

黄河现代河床在官亭盆地段切入晚第三系红色黏土地层(N_2), 现代河漫滩在沿河两岸断续分布, 沉积物皆为高磨圆度的较大卵石, 一般直径15~20cm, 以灰色花岗岩质卵石为主. 调查发现这种灰色花岗岩体, 分布在黄河上游的龙羊峡段. 高河漫滩卵石层之上有厚约1.0~1.5m土状物覆盖. 黄河两岸发育多级阶地, 由河床相高磨圆度卵石层与河漫滩相灰黄色或浊黄橙色(10YR6/3)砂层构成的二元结构冲积层, 覆盖在晚第三系红色(10R5/6)黏土构成的基座上. 各级阶地表面皆有不同厚度的风成黄土覆盖. 其中第一级阶地面高出河水位约15~18m, 沿河道两侧局部分布, 剖面可见顶部被厚度2.0~3.0m、含有黑垆土的全新世黄土层覆盖.

黄河第二级阶地面高出河水位约30~40m, 顶部被厚度7~8m的风成黄土沉积层覆盖, 其中包括马兰黄土上段和全新世黑垆土(图3). 第二级阶地被众多支沟分割, 但基本保持了平坦地面. 由于密集的古地震裂隙分割黄土质覆盖层, 沿沟道两侧塌陷和崩塌普遍发生. 第三级阶地面高出河水位90~100m, 黄土覆盖层较厚, 被大小沟谷蚕食分割, 地形比较破碎. 黄河出积石峡在官亭盆地西端形成多级冲积扇台地, 沉积物以磨圆分选较好的灰色花岗岩卵石为主. 其中祁公滩就是宽广的冲积扇台地, 表面被来自其北侧上马家沟的红色黏土质泥流沉积层和岩性成分复杂、大小混杂的山洪砂砾沉积物覆盖. 其他各个支流沟谷出山口皆有古洪积扇分布, 其中源自于拉脊山东麓断裂带的鲍家沟, 其沟口古洪积扇顶面高出黄河水位60~70m, 剖面可见分选较差的巨厚的灰红-红灰色卵石层, 顶部被厚达10~12m的土状沉积物覆盖, 其中也夹有红色黏土质泥流沉积层和灰黑色类沼泽化黏土层. 吕家沟古洪积扇出现在喇家村西半部, 地面有多条由北向南放射状走向的暴雨集流槽, 勾绘出古洪积扇的形态. 可以看出, 源自于拉脊山东坡基岩区、流经第三系红层丘陵区的吕家沟, 其中上游流域在全新世时期侵蚀强烈, 暴雨山洪携带来大量岩屑砂和砂砾, 沉积堵塞其汇入黄河的顺直流路, 迫使山洪水流改道向东借岗沟下游沟槽汇入黄河. 这导致岗沟口自全新世晚期以来大量灰红-红灰的山洪砂砾沉积, 形成了现代洪积扇, 迫使黄河向右岸侧移, 从而在右岸形成了面积巨大、以灰色花岗岩为主、磨圆度极好的卵石质河漫滩. 而形成在岗沟与大马家沟古洪积扇前沿低洼地带的王石沟流域, 曾经是全新世山洪与泥流沉积的中心地带. 频繁的泥流沉积及其后遇雨饱水液化再沉积, 形成了一套具有假层理的红色黏土层, 夹在全新世中期黑垆土层之中.

在黄河第二、三级阶地前沿地带, 分布着众多史

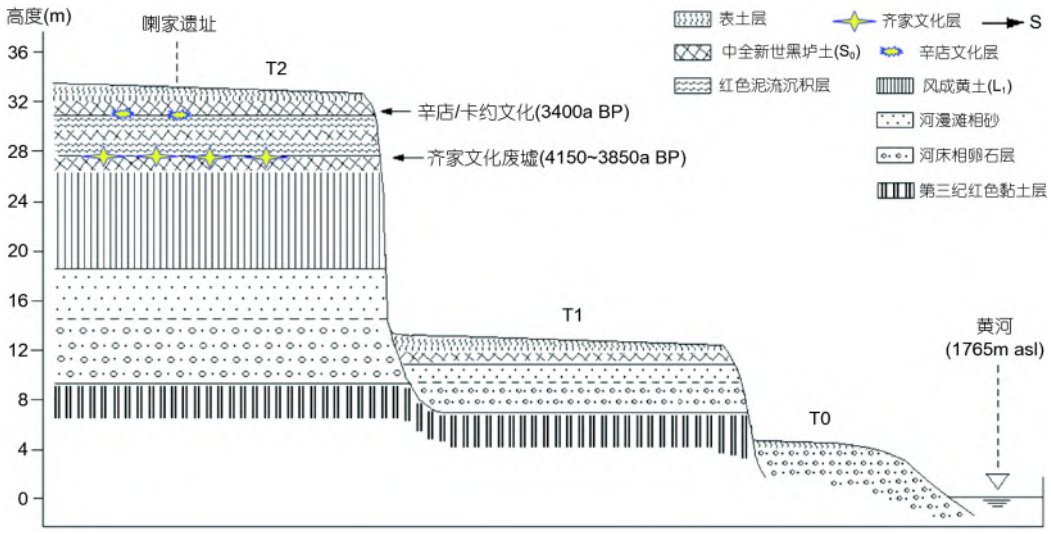


图 3　官亭盆地喇家遗址黄河第二级阶地及其地层结构断面图

前文化遗址, 包括马家窑文化(5300~4000a BP)、齐家文化(4200~3600a BP)、辛店文化(3400~2700a BP)及与之同时代的卡约文化类型(杨晓燕等, 2004; Hou等, 2012; 张雪莲等, 2014; 叶茂林等, 2015; 崔一付等, 2018). 可知人类对于官亭盆地土地资源的开发利用, 已经有超过5000年的历史. 本文研究的重点是黄河北岸吕家沟-岗沟-王石沟-大马家沟之间, 上喇家村-朱家城村以南古洪积扇前部的黄河第二级阶地, 海拔1785~1815m, 具有全新世红色黏土质泥流沉积层分布的地带. 该区域包含以齐家文化为主的喇家遗址和以辛店/卡约文化为主的二方村-喇嘛坟遗址.

3　研究材料与方法

在循化盆地-积石峡-官亭盆地系统的野外考察当中, 对喇家遗址所在黄河北岸第二级阶地进行了重点调查研究. 在被吕家沟、岗沟、王石沟和大马家沟及其支沟切割暴露出的原生地层剖面, 以及考古探方剖面进行了系统的、深入细致的观察分析. 探索各类原生沉积物和土壤层及其相互关系, 分析喇家遗址晚更新世晚期-全新世地层基本层序规律. 结合考古发掘资料和野外剖面所见文化层与文化遗物, 追索喇家遗址齐家文化聚落废墟和辛店/卡约文化遗址人类活动古地面所在层位. 综合各种构造形迹, 判定史前大地震发生时期的古地面及其影响到的地层, 并对地震裂隙填充物质的来源进行追索.

在此基础上, 选择未受到人为干扰的典型完整的代表性沉积剖面, 清理铲除掉其表层, 暴露出新鲜沉积物地层, 从上向下按照每4cm厚度取一个样品, 连续采取高分辨率沉积学样品. 其中0~220cm在LJYZ-A剖面采取, 220~320cm在LJYZ-B剖面采取, 320~480cm在LJYZ-C剖面采取(图1b). 总共采得沉积学序列样品110个, 用于各种理化指标测试分析. 并且在关键性地层界限位置, 尽量避开红色黏土质泥流沉积物和山洪砂土与砂砾沉积物, 针对原生风成黄土和古土壤采取释光测年样品. 具体方法是将直径5cm、长度20cm不锈钢管水平打入目标层位, 采用避光材料严密包裹, 运回释光测年实验室, 在暗室红光之下进行前处理. 其中将钢管两端曝光部分取出用于环境剂量测定分析, 内部未曝光样品进行前处理分散, 分别选出粗、中、细三种颗粒进行等效剂量测定分析(张玉柱等, 2013).

对于沉积学样品, 打开包装放置一个月待风干之后, 在陕西师范大学土壤与沉积分析实验室内, 进行各种标准化前处理的基础上, 然后进行其理化性质指标的仪器分析测试. 采用英国Bartington MS-2B型磁化率仪, 分别测量高频和低频磁化率, 并且求出其频率磁化率. 采用英国Backman Coulter LS系列激光粒度仪, 测量样品的粒度分布值, 并且求出各级粒度特征值、各种粒度参数值. 采用荷兰Panalytical PW-2403 X荧光元素分析仪, 测量样品的主要化学元素的含量值. 采用荷兰Eijkelkamp Calcimeter测量样品$CaCO_3$含量值. 并且对于原状土样品磨片, 进行了微形态和微结构测量分析. 释光年代测定在陕西师范大学OSL断代实验室进行, 其中样品的U、Th和K含量是由中国科学院高能物理研究所采用中子活化法进行测定, 样品的等效剂量使用Risø TL/OSL DA-20型自动化释光断代仪, 按照标准的SAR方法测定获得(Murray和Wintle, 2000; 张玉柱等, 2013). 通过与黄土高原各个区域全新世土壤地层序列的对比, 结合OSL测年数据、考古文化层^{14}C年代数据和考古学断代, 以便综合建立官亭盆地黄河北岸第二级阶地喇家遗址区域晚更新世-全新世地层序列及其基本年代框架.

4　沉积物与地层序列宏观特征

黄河北岸第二级阶地被复杂的支流沟谷体系分割, 沿着沟道由泥流过程沉积的红色黏土层, 以及山洪沉积的岩性成分混杂、分选很差的砂、砂土和砂砾层及其透镜体, 楔入阶地河漫滩相灰黄色或黄橙色砂层以及风成黄土与土壤覆盖层, 沉积物性质和层位关系都很混乱. 史前多次大地震形成纵横交错的深大裂隙分割, 红色黏土质泥流的灌入填充, 地震造成地下砂层液化上涌填充和楔入, 使得黄土土壤覆盖层被竖向分割为破碎的地块. 沿沟道两侧崩塌和塌陷连续发生, 地下陷穴暗洞密集, 崎岖破碎的劣地连片分布(图2d). 五千多年来人类聚落建设和农业生产活动, 造成强烈的土壤侵蚀和再沉积, 其间又有不同时期文化层的叠加穿插, 导致不同时期、各种类型的地表过程及其沉积物相互交织, 关系错综复杂. 因此, 在同一个地点的地层剖面, 往往很难看到晚更新世晚期-全新世连续完整的黄土土壤地层序列. 在深刻理解这些复杂过程及其相互关系的基础上, 在上喇家村南侧农田陡坎

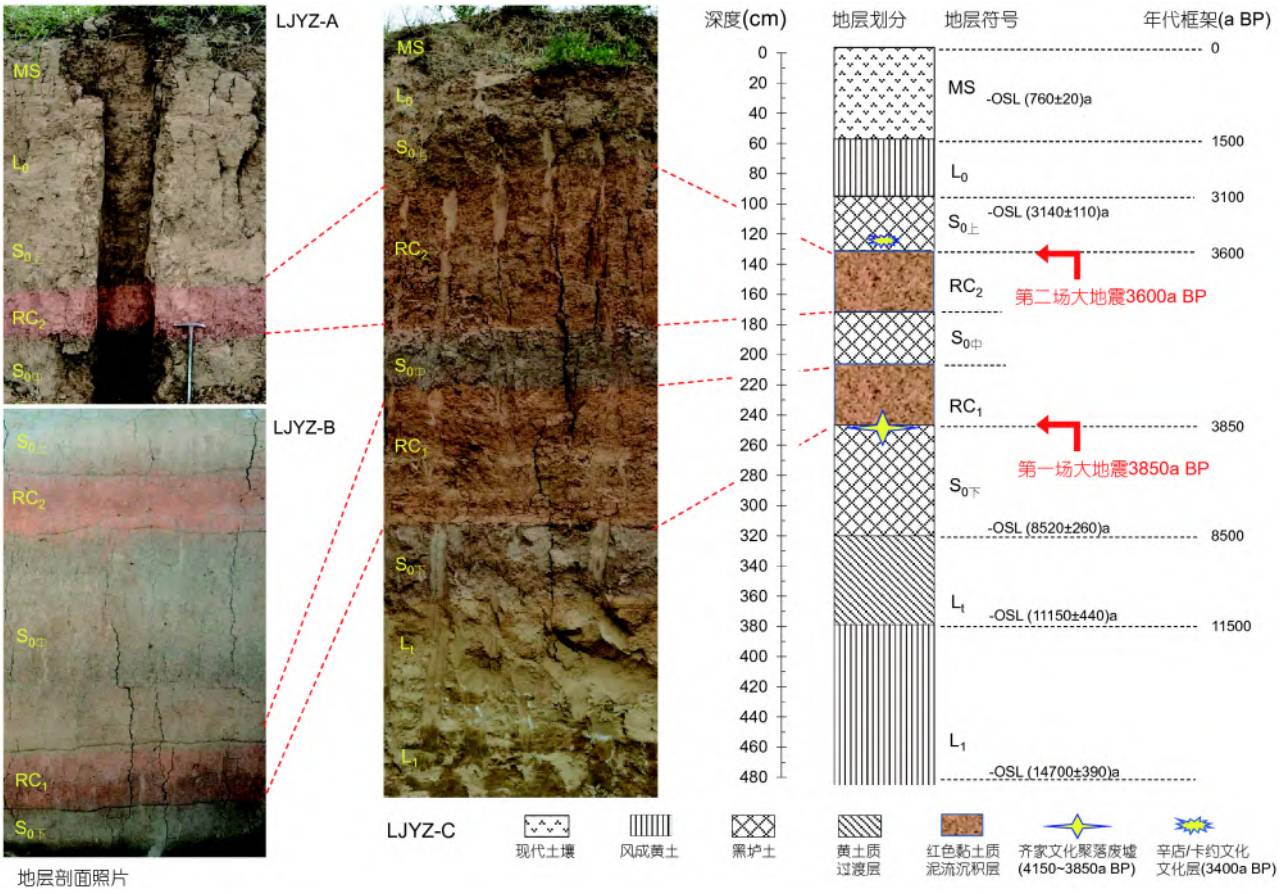


图 4　喇家遗址区域原生地层剖面及地层层序和年代框架图

全新世中期黑垆土(S_0)被两组红色黏土质泥流层(RC_1和RC_2)穿插, 分裂成为三个亚层($S_{0上}$、$S_{0中}$和$S_{0下}$)

(LJYZ-A)、沟槽壁(LJYZ-B)和下喇家岗沟东岸坍塌崖壁(LJYZ-C), 鉴别出晚更新世晚期到全新世三万多年来各个时期的原生沉积物及其层位关系, 建立了官亭盆地黄河北岸第二级阶地基本的土壤地层层序(图3和4).

(1) 0~60cm, 现代耕作土壤(MS), 浊橙色(7.5YR6/4), 粗粉砂质地, 团粒构造, 疏松多孔, 多蚯蚓孔和粪团, 多植物残体和植物根系, 受到土壤侵蚀与再沉积和人工平整土地的影响, 其厚度变化在30~100cm.

(2) 60~100cm, 全新世晚期风成黄土(L_0), 橙色(7.5YR6/6), 粗粉砂质地, 团块-块状构造, 疏松多孔, 含有少量的蚯蚓孔和粪团, 少量的植物根系, 受到一定程度的成壤改造, 厚度变化在30~50cm.

(3) 100~135cm, 全新世中期古土壤层上段($S_{0上}$), 灰棕色(5YR6/2), 粉砂质地, 团粒构造, 比较疏松, 多蚯蚓孔和粪团, 结构面有白色的可溶盐类粉霜沉淀, 为发育成熟度很高的黑垆土, 厚度在30~80cm. 在吕家沟口北侧XI区考古探方及其东侧二方村-喇嘛坟区域地层剖面, 可见含有辛店/卡约文化(3400a BP)陶片的文化层, 呈现黑棕色(5YR3/1)薄层, 出现在该层段黑垆土的下部, 局部可见厚度10~20cm的透镜状灰烬层或者含有木炭屑和烧土块等的古地面垃圾杂物沉积层, 偶见破碎陶片, 呈现棕灰色(5YR6/1), 被古土壤层上段($S_{0上}$)直接覆盖(张雪莲等, 2014; 何克洲等, 2015). 在上喇家村南和下喇家村西两处考古大探方剖面, 显示喇家遗址有几组被液化喷砂填充的古地震裂隙的顶端开口, 被古土壤层上段($S_{0上}$)直接覆盖埋藏. 根据最新的^{14}C测年结果, 地震喷砂体中夹带的动物骨骼年龄介于1880~1660BC(董广辉等, 2018). 也就是说这场大地震发生年龄晚于1660BC, 即3610a BP. 因此, 可以将喇

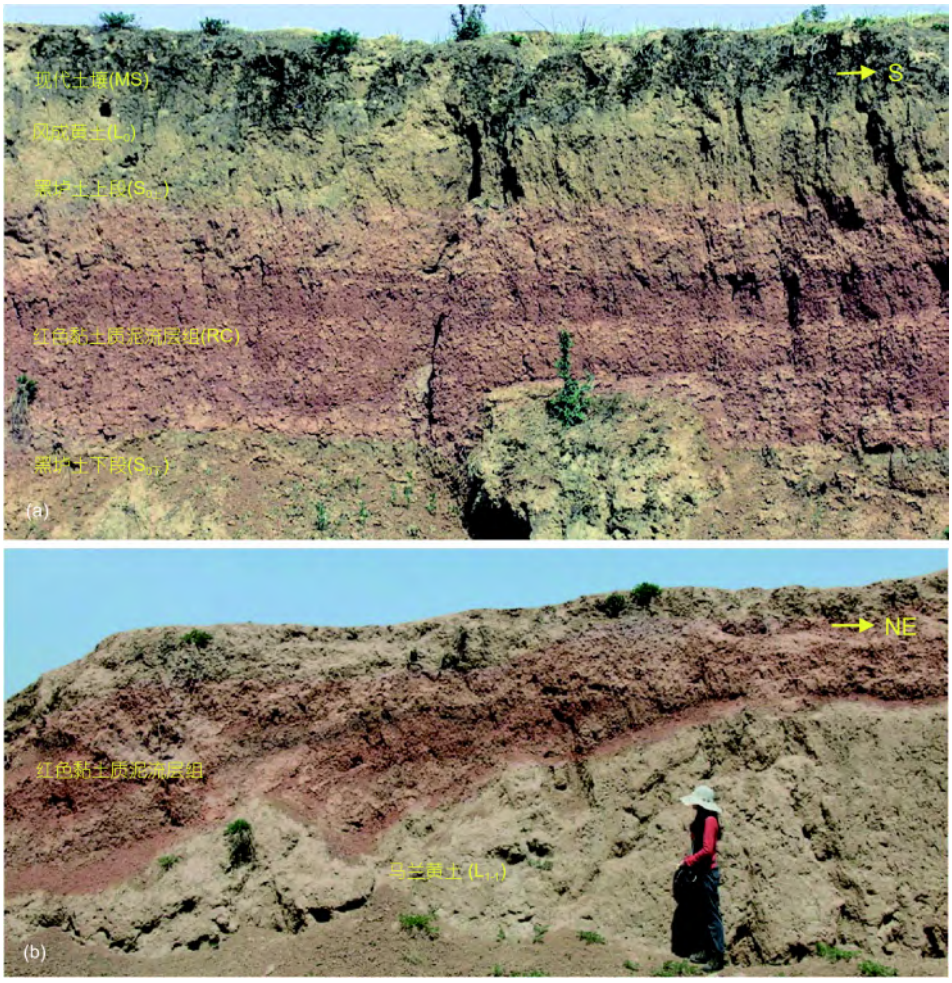


图 5　喇家遗址区域沿沟道洼地红色黏土质泥流沉积层

(a) 岗沟东岸夹在全新世中期上段黑垆土($S_{0上}$)与下段黑垆土($S_{0下}$)之间具有假层理的红色黏土条带; (b) 岗沟西岸吕家沟北坡倾斜状的红色黏土条带, 显示泥流来自于岗沟

家遗址全新世地层序列当中($S_{0上}$)/(RC_2)之间的界面年龄确定为3600a BP.

(4) 135~175cm, 沟谷山洪泥流过程沉积的红色黏土层组(RC_2), 橙色(2.5YR7/8), 黏土质细粉砂质地, 团块状构造, 其中混杂有砂团、石子和黄土团块等, 并且显示出黏稠状态流动的内部构造, 随基底地形不同而呈现水平、波状或倾斜产状(图5), 厚度变化在40~200cm, 从中可以识别出两个泥流沉积层. 接近沟道则层数增多, 厚度增大, 并出现与之同期异相的砂、砂土和砂砾沉积层或者透镜体. 在吕家沟口北侧XI区考古探方剖面, 可见这种成分复杂的山洪沉积物, 呈现出灰红(10R6/2)-红灰(7.5R6/1)色调(被称为"黑砂"), 含有密集的黄土团块和红色黏土质泥屑泥团.

(5) 175~210cm, 全新世中期古土壤层中段($S_{0中}$), 灰棕色(5YR6/2), 粉砂质地, 团块状构造, 比较疏松, 多蚯蚓孔和粪团, 结构面有白色的可溶盐粉霜沉淀, 为发育成熟度很高的黑垆土, 厚度在30~50cm. 在近沟道洼地红色黏土质泥流沉积层数较多的地段, 该层表现为夹在厚层红色黏土当中的灰黑色条带(图4中的LJYZ-C), 其性质也转变为浅洼地类沼泽化透镜状薄层. 有些地段受到土壤侵蚀或者人类活动影响, 该层次($S_{0中}$)会缺失, 导致红色黏土层组(RC_2)与(RC_1)上下叠置(图5a), 形成一套厚达2~4m的多层红色黏土夹在上段黑垆土($S_{0上}$)与下段黑垆土($S_{0下}$)之间(Huang等, 2013; Zhang等, 2014; 张玉柱等, 2013, 2015).

(6) 210~250cm, 沟谷山洪泥流过程沉积的红色黏

土层组(RC_1), 亮红棕色(2.5YR5/8), 黏土质细粉砂质地, 团块状构造, 其中混杂有砂团、石子和黄土团块, 以及陶片、木炭屑、灰烬和烧土块等人类文化遗物, 并且显示出黏稠状态流动的内部构造, 随基底地形不同而呈现水平、波状或倾斜产状(图5), 厚度变化在40~250cm, 可以识别出3个泥流沉积层. 对喇家遗址东部的考古发掘, 揭示受灾的居室地面和火塘、不同姿态和关系的人体遗骸、各种器物和盛有面条的陶碗, 以及古地震裂隙和地面变形构造等, 皆被这套红色黏土质泥流沉积物或成分混杂的岩屑砂、砂土和砂砾沉积物所包裹. 在沿沟道两侧崩塌的新鲜黄土崖壁, 可见张性地震裂隙被从该层流动坠落下去的黏稠的红色黏土质泥流团块支架式充填, 有些地震裂隙当中填充的红色黏土质泥流团块, 则受到余震影响而被挤压成为板状体(Huang等, 2013, 2017). 另外, 沿沟道和集流槽也常会出现与之同期异相的山洪砂、砂土和砂砾沉积层或者透镜体, 覆盖掩埋了齐家文化的废墟和地震裂隙及地面变形构造等. 尤其是在喇家遗址西部和西南部, 也就是吕家沟古洪积扇的范围, 这种山洪砂、砂土和砂砾呈现出灰红(10R6/2)-红灰(7.5R6/1)色调(被称为"黑砂"). 其层次混乱, 厚度较大, 多含有大小不等的黄土团块和红色黏土质泥屑泥团, 内部斜层理显示其被山洪由北向南搬运沉积, 直接覆盖了齐家文化时期的废墟.

(7) 250~320cm, 全新世中期古土壤下段($S_{0下}$), 灰棕色(5YR6/2), 粉砂质地, 团粒状构造, 疏松多孔, 多蚯蚓孔和粪团, 为发育程度很高的黑垆土, 下部结构面和孔隙皆有白色的可溶盐类物质沉淀, 厚度在70~90cm. 在喇家遗址史前聚落发掘暴露区域, 以及沿吕家沟古洪积扇集流槽壁剖面, 皆可见该层土壤的顶面就是齐家文化时期人类活动的古老地面, 局部被黑棕色(5YR3/1)文化层或者棕灰色(5YR6/1)灰烬层、以及含有木炭屑、陶片、骨屑和烧土块等垃圾杂物的厚层坡积物所取代. 而众多居室则由该层面向下挖掘伸入到马兰黄土之中, 若干居室地面和墙壁被多个方向的地震裂隙分割破坏. 由于黄土地基下伏山洪砂和细砂砾层在强烈地震当中液化流失, 导致地面塌陷, 造成居室建筑物坍塌损毁(叶茂林, 2002; 夏正楷和杨晓燕, 2003; 于孟洲等, 2017). 在局部地段发现齐家文化废墟之下也有马家窑文化的遗存. 所以来自于不同研究团队的^{14}C测年数据校正值, 出现在2450~1900BC的范围, 也就是4400~3850a BP(张雪莲等, 2014; Wu等, 2016). 考古学界认为喇家遗址内齐家文化聚落存续约300年, 即2200~1900BC, 因遭遇多重突发性灾难而毁灭, 其毁灭年代为1900BC, 即3850a BP(张雪莲等, 2014; 于孟洲等, 2017). 因此, 可以将喇家遗址地层序列中($RC_1/S_{0下}$)之间的界面年龄确定为3850a BP.

(8) 320~380cm, 全新世早期过渡性风成黄土(L_t), 浊橙色(7.5YR7/3), 粗粉砂质地, 块状构造, 比较疏松, 含有植物根孔和少量蚯蚓孔和粪团. 受到较弱的成壤改造, 根孔内皆有白色可溶盐类沉淀, 偶见蜗牛壳, 厚度在60~90cm. 接近沟道则常夹有山洪沉积的岩屑砂、砂土和砂砾层或者透镜体.

(9) 380~1000cm, 晚更新世晚期风成黄土, 典型的马兰黄土的上段(L_{1-1}), 浊黄橙色(10YR7/4), 细沙质粉砂质地, 均质块状构造, 致密而疏松, 含有蜗牛壳, 多细小孔隙, 其中有灰白色的可溶盐类沉淀, 尤其是在其顶部最为显著, 总厚度在600~1000cm, 底部OSL年龄为(31940±1990)a. 在喇家遗址发掘区域和岗沟西岸崖壁, 清晰可见齐家文化居室等建筑物墙壁和地面皆开凿在马兰黄土之中. 另外, 沿沟道两侧剖面可见有沟谷山洪过程沉积的岩性成分混杂、分选很差的岩屑砂、砂土和砂砾层或者透镜体穿插其中. 尤其是在马兰黄土底部, 与黄河第二级阶地二元结构沉积层之间, 也常夹有这种灰红(10R6/2)-红灰(7.5R6/1)色调、岩性成分混杂、层次混乱的山洪沉积物(被称为"黑砂"). 这也正是史前大地震液化喷砂的主要物质来源.

(10) 1000~2100cm, 黄河第二级阶地由砂层与砂卵石层构成的二元结构冲积层(T2-al), 上部为灰黄色或浊黄橙色(10YR6/3)的河漫滩相细砂和粗粉砂, 分选良好, 具有水平、波状或透镜状层理, 松散易流失, 厚度400~500cm, 沿沟道两侧有支沟山洪过程沉积的岩性复杂、分选很差的岩屑砂、砂土和砂砾层、和红色黏土质泥流沉积层楔入. 下部为河床相灰色卵石层, 岩性以灰色花岗岩为主, 松散无胶结, 卵石粒径在20~30cm, 大者可达50cm, 磨圆度很高, 厚度500~600m, 直接覆盖着晚第三系红色黏土地层(N_2)构成的基座. 在下喇家村南侧和王石村北侧的黄河第二级阶地前沿陡崖剖面, 这些地层层次及其物质成分和结构构造特点都清晰可见. 由于第三系红色黏土(N_2)基座成为地下水隔水层, 所以沿着T2阶地前沿卵石层下部常见有泉水溢出.

表 1　官亭盆地喇家遗址(LJYZ)地层剖面样品OSL测年结果

样品	深度 (cm)	采样地层位置	铀U(ppm)	钍Th(ppm)	钾K(%)	剂量率 Dy (Gy ka^{-1})	等效剂量 De(Gy)	OSL年龄 (a)
1	35	现代土壤(MS)底部	2.08±0.09	10.00±0.28	1.90±0.06	2.82±0.06	2.14±0.07	760±20
2	105	古土壤层(S_0)顶部	2.74±0.10	11.70±0.33	1.70±0.05	3.12±0.07	9.89± 0.32	3140±110
3	315	古土壤层(S_0)底部	3.80±0.12	12.40±0.33	2.05±0.06	3.87±0.08	32.94±0.69	8520±260
4	375	黄土质过渡层(L_t)底部	3.16±0.11	11.10±0.31	2.00±0.07	3.33±0.06	37.11±1.25	11150±440
5	470	马兰黄土层($L_{1\text{-}1}$)上部	2.68± 0.10	9.35±0.28	1.74±0.06	2.94±0.06	43.25±0.69	14700±390
6	770	马兰黄土层($L_{1\text{-}1}$)下部	3.06±0.11	10.80±0.30	1.84±0.06	2.94±0.06	70.43±3.57	24000±1310
7	945	马兰黄土层($L_{1\text{-}1}$)底部	2.89±0.11	11.10±0.31	1.94±0.06	2.97±0.06	94.84±5.60	31940±1990

在这个地层序列当中，典型的马兰黄土($L_{1\text{-}1}$)覆盖着黄河第二级阶地具有二元结构的河漫滩相砂层和河床相卵石层，其底界OSL年龄为(31940±1990)a(表1). 由此可知，官亭盆地黄河第二级阶地形成在晚更新世的晚期. 剖面深度320cm处OSL年龄为(11150±440)a, 表明其上为全新世风成黄土土壤地层. 由下向上，其基本层序为过渡性黄土(L_t)-黑垆土(S_0)-近代黄土(L_0)-现代土壤(MS). 这与黄土高原中东部地区全新世风成黄土土壤地层序列完全相同(Huang等，2004，2009a, 2009b). 显然, 这是由整个黄土地区全新世气候变化、沙尘暴沉积和成壤过程演变过程的同步性所决定的.

当然, 这个地层序列当中, 也有其与黄土高原中东部地区不同的特点, 尤其是在阶地面内部平坦区域, 全新世中期黑垆土层(S_0)被两组红色黏土质泥流层(RC_1和RC_2)穿插，从而分裂成为古土壤层上段($S_{0上}$)、中段($S_{0中}$)和下段($S_{0下}$)等三个亚层(图4). 在沿沟道地势低洼地带, 山洪泥流过程频繁发生, 红色黏土质泥流层厚度增大, 层数增多. 其中还有透镜状灰黑色类沼泽化沉积薄层，与古土壤中段($S_{0中}$)对应，成为同期异相沉积层. 这种情况在岗沟东岸到王石沟之间阶面浅洼地表现最为突出. 泥流过程本身的黏稠度变化、以及阶地表面微地貌形态决定着泥流沉积层的产状，在浅洼地剖面, 夹在古土壤层上段($S_{0上}$)与下段($S_{0下}$)之间的红色黏土层组表现为水平条带(图5a)，而在地面倾斜或起伏变化的缓坡地，红色黏土及其所夹类沼泽化土壤沉积层呈现出倾斜的或者波状的条带(图5b). 岗沟东岸这类红色黏土泥流沉积层组剖面，以及喇家遗址内部的红色黏土质泥流沉积层，都曾经被当作为黄河全新世古洪水沉积层进行了研究报道(夏正楷和杨晓燕，2003; 杨晓燕等, 2005; Ma等, 2014).

5　分析结果与讨论

黄河上游官亭盆地是一个形成在第三纪红色黏土、粉砂和杂色砂砾层系之中的典型的红色盆地. 它处于青藏高原东北边缘拉脊山脉积石山脚下、黄土高原的西南末端. 青藏高原的隆升会导致拉脊山麓大断裂发生大地震，来自于西北的沙尘暴会在这里堆积黄土层，贯穿盆地的黄河形成了多级阶地，皆被诸多支流沟谷系统切割. 这些支流在山麓地带常常形成多级洪积扇，联合构成洪积倾斜平原. 来自于支流沟谷上游与洪积扇区域不同时期的山洪砂砾层与红色黏土质泥流沉积层，常常会穿插河流阶地及其覆盖地层. 同时，五千多年来各个时期人类对于盆地内部及其周边山地丘陵土地的开发利用，以及多次发生的大地震和频繁发生的强对流天气导致暴雨山洪和泥流等灾害过程, 都形成了不可磨灭的影响. 这些影响掺杂在各个时期的土壤、沉积物和地层之中. 如此诸多因素和过程在这样一个狭小的山间盆地交织，各种沉积物错综复杂，自然现象扑朔迷离，使得研究揭示史前环境变化、地表过程、人类活动影响、以及灾难性质和类型问题变得异常困难.

5.1　原生地层层序及红色黏土质夹层成因

野外调查发现，位于官亭盆地黄河第二级阶地的喇家遗址，其基本的黄土土壤地层层序与黄土高原中东部地区完全相同. 在剖面从下向上，仍然是晚更新世马兰黄土($L_{1\text{-}1}$)-全新世早期黄土质过渡层(L_t)-全新

世中期黑垆土(S_0)-全新世晚期黄土(L_0)-现代土壤(MS). 这充分说明处于青藏高原脚下的官亭盆地确实是黄土高原的一部分, 其晚更新世以来的环境变化、沙尘暴堆积和成壤改造特点, 完全符合整个黄土高原地区的基本规律. 自从晚更新世以来, 沙尘暴堆积在黄河第二级阶地面形成黄土, 其中末次盛冰期形成的马兰黄土(L_{1-1})极为典型, 全新世中期相对暖湿气候条件之下, 形成典型的黑垆土(S_0), 成壤强度也与黄土高原中东部地区相当.

黄河第二级阶地风成黄土古土壤地层剖面(LJYZ)系列性连续样品理化测试分析数据, 有效的验证了在野外依据沉积学宏观特征作出的地层划分方案(图6和7). 剖面下部马兰黄土磁化率25×10^{-8}~30×10^{-8}kg m^{-3}, 全新世黄土和现代土壤30×10^{-8}~50×10^{-8}kg m^{-3}, 全新世中期黑垆土60×10^{-8}~90×10^{-8}kg m^{-3}. 该剖面风成沉积与成壤层磁化率数值的变化范围, 符合黄土高原西部区域的同层次的基本变化规律. 黑垆土剖面所夹两组红色黏土质泥流层, 磁化率值低达15×10^{-8}~30×10^{-8}kg m^{-3}, 与其上下的黑垆土形成了鲜明的对照.

粒度分析结果也验证确认野外对于该地层序列当中各个层次沉积学性质的判断. 马兰黄土和黄土质过渡层的平均粒径在28~36μm, 其中粗粉砂和细砂含量60~70%, 属于细砂质黄土, 全新世黄土和黑垆土在16~28μm, 其中粗粉砂和细砂含量35~60%, 属于典型黄土或细砂质黄土, 与黄土高原西部沙尘暴沉积物的基本特征相符合(Huang等, 2004). 全新世中期黑垆土剖面所夹两组红色黏土质泥流沉积层(RC_1和RC_2), 平均粒径仅9~13μm, 其中黏粒和细粉砂含量高达60~80%, 与黑垆土形成鲜明对比, 属于黏土或粉砂质黏土.

地层剖面元素化学指标曲线与磁化率和粒度分布

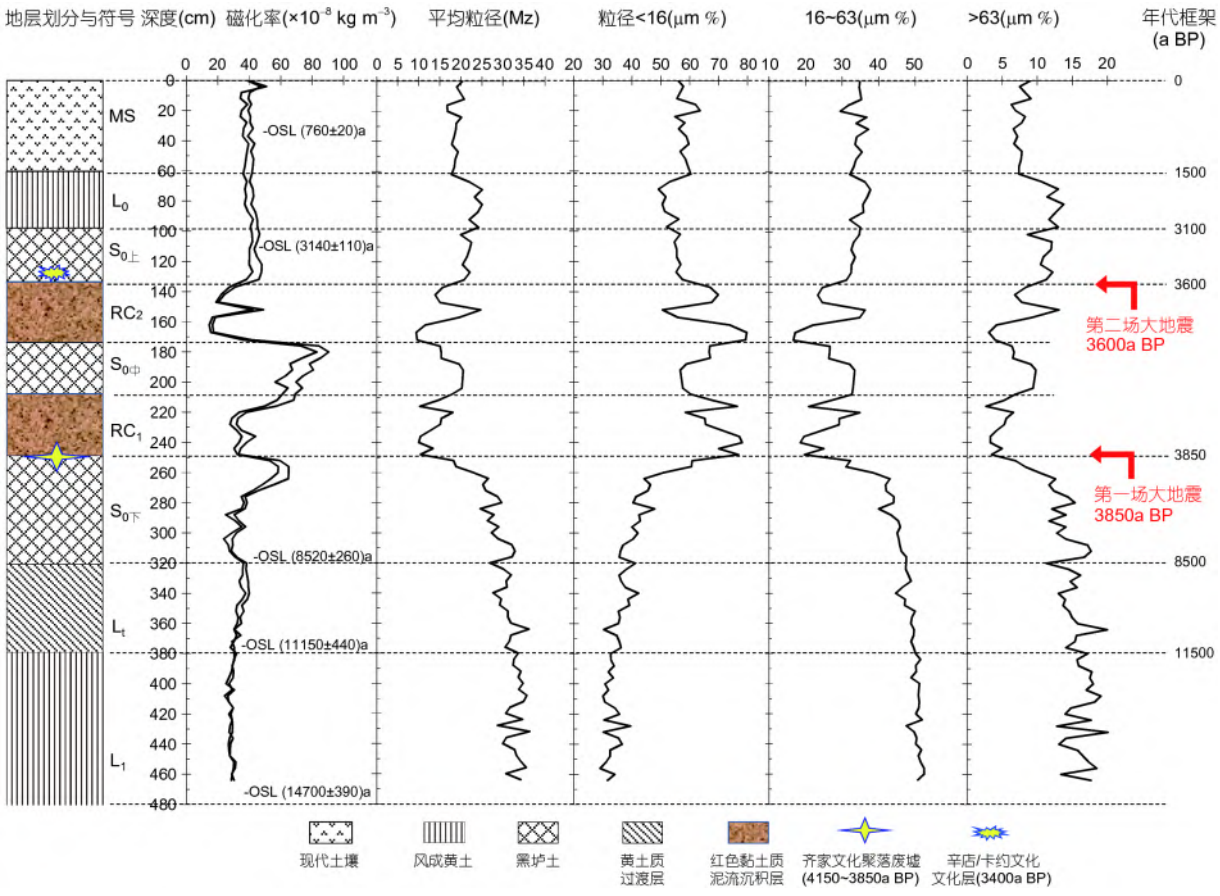


图 6　喇家遗址区域全新世地层序列及其磁化率和粒度成分曲线图

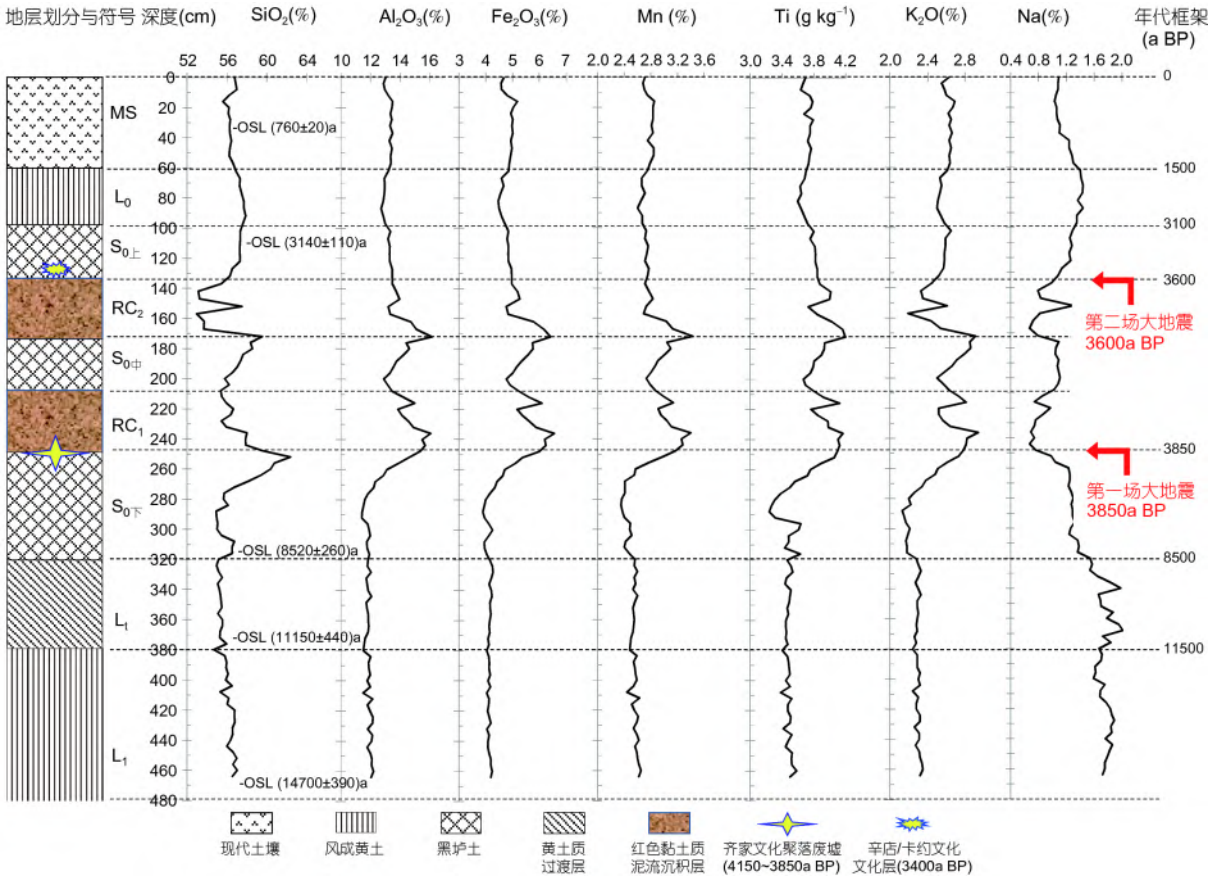


图 7　**喇家遗址区域全新世地层序列及其主要化学元素含量曲线图**

曲线对应良好, 其中稳定元素成分如SiO_2、Al_2O_3、Fe_2O_3、Mn、Ti和被黏粒吸附成分K_2O, 以及重金属元素Cu、Zn、Ni、Pb、V等, 都在马兰黄土和黄土质过渡层当中出现稳定的低值, 而在全新世黄土和黑垆土层出现较高值. 不稳定元素成分如CaO和Na的高值则出现在马兰黄土和过渡性黄土层之中, 低值出现在全新世黄土和黑垆土之中. 全新世中期黑垆土剖面所夹两组红色黏土质泥流沉积层(RC_1和RC_2), 其最显著的特征是Al_2O_3、Fe_2O_3、Mn、Ti和重金属元素Cu、Zn、Ni、Pb、V等含量为整个剖面最高, 可溶盐类成分如CaO和Na最低、其中SiO_2含量仅有53~55%, 远低于风成黄土古土壤55~60%的水平. 这显然与黄土高原西部区域晚更新世以来环境条件之下的风化成壤规律不相符合. 这也充分说明它是官亭盆地北侧第三系红层丘陵沟壑区强烈土壤侵蚀与再沉积过程的产物.

从喇家遗址剖面(LJYZ)地层序列理化分析结果, 也可以看出全新世中期下段黑垆土($S_{0下}$)理化指标出现一定程度的异常, 这是受到沟谷山洪砂砾沉积物掺杂的影响. 而两组红色黏土质泥流沉积层(RC_1和RC_2)曲线上出现的异常尖锐值, 则准确地指示了其所夹灰黑色类似沼泽化粉砂质土壤层所出现的具体层位(图6和7).

喇家遗址区域的晚更新世马兰黄土(L_{1-1})和全新世中期黑垆土(S_0), 其宏观特征与黄土高原中部相当, 唯粒度成分较粗, 属于沙质黄土和古土壤(图8a和b). 而夹在黑垆土层之中的红色黏土质泥流沉积层, 其宏观特征与黄河积石峡-循化盆地古堰塞湖当中的古洪水滞流沉积层(SWD)有着根本的区别, 其微结构特征也显著不同. 黄河古洪水SWD是悬移质单颗粒泥沙在高水位滞流情况之下的缓慢分选沉积的产物, 宏观特征是呈现黄橙色(10YR8/3)或浊橙色(7.5YR4/7)色调, 致密均匀, 由于层内表现出分选沉积的作用, 从而出现下粗上细的韵律, 层理分明, 层界截然分隔, 沿着层面常可剥离成为厚度均匀的板状体; 微结构特征是分选

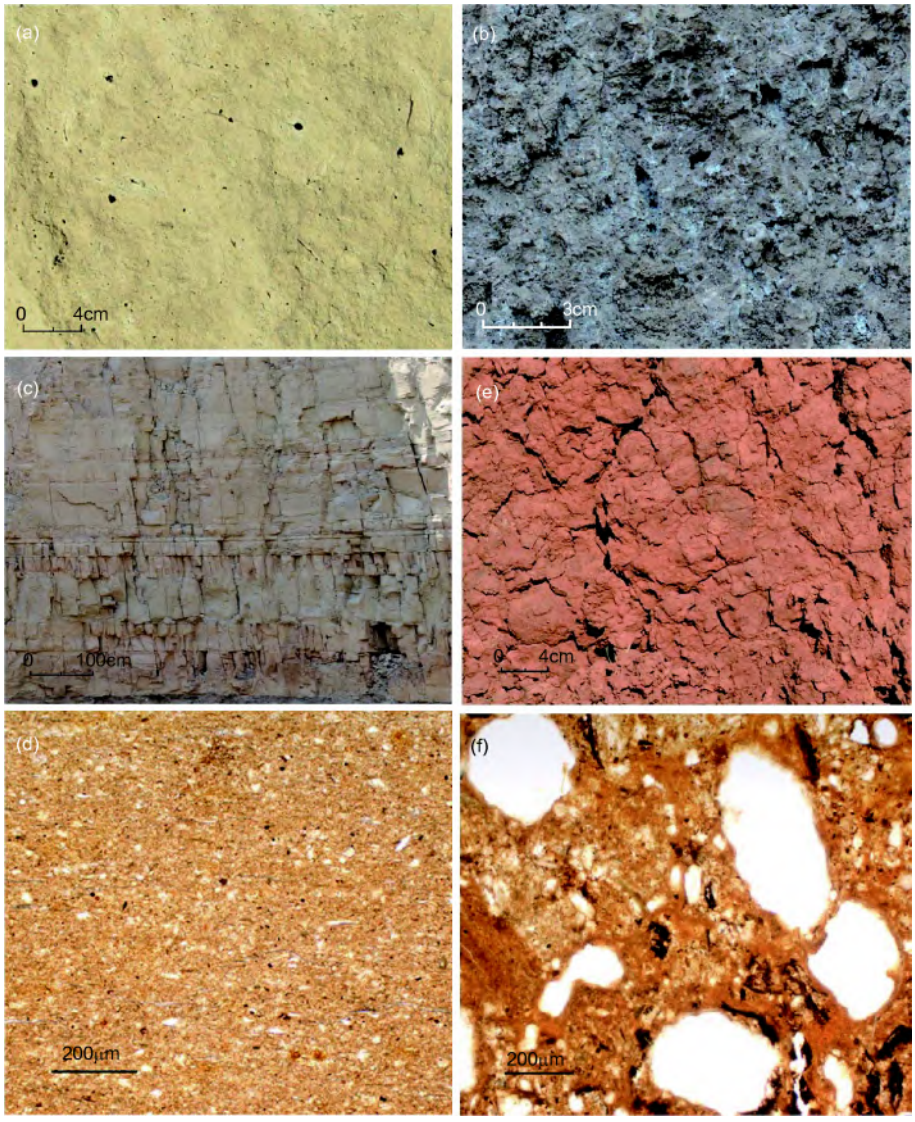


图 8　喇家遗址及相关沉积物宏观特征和微结构特征对比图

(a), (b) 喇家遗址晚更新世马兰黄土($L_{1\text{-}1}$)与全新世中期黑垆土(S_0); (c), (d) 积石峡黄河古堰塞湖古洪水滞流沉积层(SWD); (e), (f) 喇家遗址红色黏土质泥流沉积层

良好, 颗粒均匀, 排列致密, 无大孔隙(图8c和d). 而红色泥流沉积物宏观特征是亮红棕色(2.5YR5/8)或橙色(2.5YR7/8)色调, 团块状构造, 具有假层理, 有着饱水的碎屑物质固体流黏滞流动沉积的特点, 破碎块体常四分五裂成为锐角棱块状, 且常会含有快速流动过程当中从古地面卷入的黄土块、沙团、石子和史前聚落地面的垃圾杂物成分; 微结构特征是颗粒成分混杂, 质地不均匀, 含有大量圆形和椭圆形孔洞, 这是黏滞性泥流在快速运动过程中卷入空气形成的气泡结构的典型特征(图8e和f).

喇家遗址东部考古探方, 揭示出齐家文化废墟的墙壁、居室地面、火塘、生活器物和人类骨骸, 皆被这种红色黏土质泥流沉积物覆盖包裹. 尤其是在喇家遗址博物馆东侧岗沟岸边, 沿着南-北走向地震裂隙坍塌形成的黄土崖壁, 暴露出一座齐家文化居室废墟的纵断面, 从中可以看出居室内的古地面, 是被由北向南流过来的红色黏土质泥流沉积物直接填充掩埋而废弃(图9a). 在喇家遗址范围, 当地表覆盖层被侵蚀或者



图 9　喇家遗址红色黏土质泥流沉积物动态特征图

(a) 岗沟崖壁暴露出齐家文化居室废墟, 显示其被北方流过来的红色黏土质泥流直接掩埋废弃; (b) 岗沟边坡红色黏土质泥流沉积层遇暴雨而饱水重新液化流动堆积形成披盖层; (c) 地震裂隙当中红色黏土质泥流填充物遇暴雨而饱水重新液化流出形成小型泥流堆积锥体

被人为铲除的情况下, 这种红色黏土质泥流沉积物会受到夏秋季雨水浸泡而饱水, 也往往会重新液化转变为黏稠的泥流, 顺着黄土沟谷斜坡流动形成红色的披盖层(图9b).

5.2　齐家文化聚落废墟层位与灾难性质类型

在大红山脚下吕家沟-岗沟-王石沟-大马家沟古洪积扇前部的黄河第二级阶地, 黄土质覆盖层被纵横交错的地震裂隙分割, 大大小小的沟槽多顺其走向发育, 地面塌陷和崩塌普遍发生, 陷穴暗洞密布. 深入观测分析这些地震裂隙的产状、被分割的地层与古地面、以及后期覆盖层的层位关系, 可将其分为两期. 也就是说这些地震裂隙是由两场多次大地震所产生. 其中第一场大地震产生的一套地震裂隙, 主要分布在喇家遗址东部和南部, 走向包括355°~5°(南-北)、40°~50°(北东-南西)、85°~95°(东-西)、135°~145°(北西-南东)等四个方向, 其中以南-北向和东西向两组最为发育, 裂隙面多为直立. 在岗沟东岸黄土崖壁见到沿北东-南西走向的一组地震裂隙具有75°~85°的倾角, 倾向为310°~320°. 这一套裂隙上端开口出现在全新世中期下段黑垆土($S_{0下}$)的顶面, 也就是齐家文化人类活动的古地面及其聚落废墟地面. 这些都被红色黏土质泥流层组(RC_1)直接覆盖并填充. 从考古发掘揭露出的古地面可以看出, 沿着其走向弯弯曲曲伸展的地震裂隙, 宽度可达30~60cm, 属于张性裂隙. 顺直延伸的地震裂隙, 宽度1~20cm, 属于压剪性裂隙, 裂隙面很平直. 在地层剖面可以看出, 被这一套地震裂隙分割的地层, 由下向上包括马兰黄土($L_{1\text{-}1}$)-过渡性黄土(L_t)-下段黑垆土($S_{0下}$). 因此可以确定, 地层序列当中红色黏土质泥流层组(RC_1)与下段黑垆土($S_{0下}$)之间的界面, 正是第一场大地震发生时的古地面. 分布在这个古地面上的齐家文化废墟, 无疑是在这场大地震当中受灾而损毁. 所以, 喇家遗址齐家文化聚落被毁灭废弃的年代, 也就是这场大地震发生的年代. 考古学界根据喇家遗址废墟当中人类骨骸和木炭碎屑的^{14}C测年数据校正值, 认为喇家遗址齐家文化聚落存续300年, 在1900BC, 即3850a BP

遭遇多重突发性灾难而毁灭废弃(张雪莲等, 2014). 有地质学者也是根据喇家遗址废墟当中人类骨骸和木炭碎屑的^{14}C测年数据校正值, 认为喇家遗址齐家文化聚落在1920BC, 即3870a BP受灾毁灭(Wu等, 2016). 这两个方面的测年结果, 其实并没有多大差异. 因此, 可以将毁灭喇家遗址齐家文化聚落的第一场大地震的发生年代确定为3850a BP.

喇家遗址东部覆盖着齐家文化废墟的红色黏土层, 由源自于北部第三系红层丘陵沟壑区的山洪泥流过程沉积形成. 在红色黏土(RC_1)代表的第一期山洪泥流掩埋齐家文化古地面、摧毁喇家聚落并且致死人群的同时, 上端向着古地面开口的这套地震裂隙, 也被坠落下来这种红色黏土质泥流团块填充. 其中张性裂隙宽度可达30~60cm. 沿岗沟和王石沟两岸黄土坍塌暴露出裂隙填充物的内部构造, 可见在裂隙侧壁泥流悬坠成为断续的条带状、串珠状, 裂隙内黏稠的红色黏土泥团相互支架, 呈现出不完全填充的构造(图10). 近年来由于各类施工开挖, 导致地震裂隙中的红色黏土质充填物暴露, 夏秋暴雨使其饱水液化, 重新转变为泥流, 流出地震裂隙形成小型泥流堆积锥体(图9c). 这也更进一步说明这种红色黏土是黏滞性泥流过程的堆积物, 并非黄河洪水水流中单颗粒推移质泥沙或者悬移质泥沙在滞流状态分选沉积的产物. 同时, 在有些裂隙中填充的红色黏土质泥团, 被挤压成为厚度1~20cm的竖向板状体(图11). 这充分说明高强度暴雨山洪泥流过程与大地震同时发生, 地震裂隙迅速地被坠落下来的泥流团块填充. 随后有较大等级余震产生强大地应力作用, 使得许多地震裂隙当中的红色泥流团块被挤压成为极为坚硬且平整的板状体. 在喇家遗址西部和西南部, 源自于北部丘陵沟壑区的山洪沉积物, 在掩埋毁灭聚落的同时, 也坠落充填了这套地震裂隙. 因此, 在吕家沟古洪积扇表面的集流槽剖面, 以及若干考古探方剖面, 显示出有一套混乱的岩屑砂、砂土和砂砾层, 直接覆盖齐家文化废墟和文化层. 其下的地震裂隙也被这套沉积物填充. 这种岩性成分复杂、大小混杂、分选很差的沉积层, 呈现出灰红(10R6/2)-红灰(7.5R6/1)色调(被称为“黑砂”), 含有许多黄土团块与红色黏土质泥屑泥团, 以及灰烬、木炭屑、陶片和骨屑. 其中的斜层理明显地由北向南倾斜, 这也有力地证明这场山洪及其携带的大量泥沙均来自于聚落北侧的丘陵沟壑区. 也就是说, 沿着吕家沟汹涌而来的巨大山洪溢出沟槽, 猛烈袭击了齐家文化聚落西部和西南部区域, 并将其地面上分布的垃圾杂物和泥土块统统卷入洪流之中, 在某些低洼地带与砂和砂砾石混杂沉积下来.

由第二场大地震产生的另一套地震裂隙, 主要分布在喇家遗址西部和北部, 走向也主要包括355°~5°(南-北)、40°~50°(北东-南西)、85°~95°(东-西)、135°~145°(北西-南东)等四个方向, 裂隙面多为直立, 偶见东-西走向的一组地震裂隙具有55°~65°的倾角. 有些裂隙向上延伸到中段黑垆土($S_{0中}$)层之中逐渐地尖灭(图12a), 而大部分裂隙上端口出现在红色黏土质泥流沉积层(RC_2)的顶面(图12c和d). 地层剖面显示被这一套地震裂隙分割的地层, 从下向上包括马兰黄土(L_{1-1})-过渡性黄土(L_t)-下段黑垆土($S_{0下}$)-第一组红色黏土质泥流层(RC_1)-中段黑垆土($S_{0中}$)-第二组红色黏土质泥

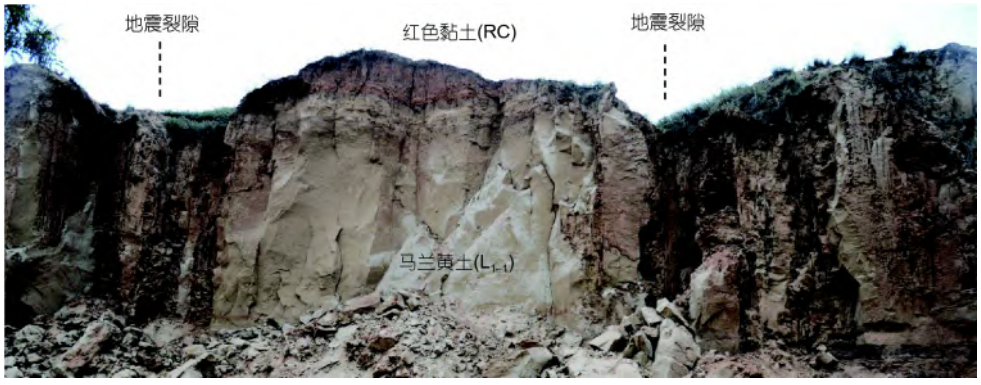


图 10　喇家遗址东部岗沟岸黄土坍塌崖壁景观

显示第一场大地震(3850a BP)形成的张性裂隙, 其内部被坠落下来的黏稠的红色黏土质泥流团块支架式填充



图 11　喇家遗址东部黄土地层当中由第一场大地震(3850a BP)形成的地震裂隙图

显示坠入地震裂隙当中的红色黏土质泥流团块被余震地应力挤压成为板状体

流层(RC_2). 在辛店/卡约文化遗址范围内, 红色黏土质泥流层组(RC_2)顶面和这一套地震裂隙上端口均被透镜状的辛店/卡约文化层所覆盖. 在辛店/卡约文化遗址外围, 则直接被上段黑垆土($S_{0上}$)所覆盖. 这清晰地表明, 这场大地震发生的时间与上段黑垆土($S_{0上}$)和第二组红色黏土质泥流层组(RC_2)之间的界面相对应. 也可以说第二场大地震发生在该区域大规模山洪泥流事件结束之后、辛店/卡约文化聚落形成之前. 根据对这场大地震喷砂体中夹带的动物骨骼^{14}C测年结果(董广辉等, 2018), 可以确定这场大地震发生在3600a BP.

在上喇家村南和下喇家村西两处考古大探方区的地层剖面(张玉柱等, 2017; 董广辉等, 2018), 可以清晰地看到, 由第二场大地震产生的这一套地震裂隙, 分割了古地面. 况且, 其裂隙宽度多小于15cm, 且普遍地被由地下喷涌上来的液化的山洪岩屑砂、砂土和砂砾填充, 被称为"砂脉"(图12). 这种"砂脉"同样呈现出灰红(10R6/2)-红灰(7.5R6/1)色调(也被称为"黑砂"). 在有些地段甚至可以看到, 由第一场大地震形成的裂隙, 最初是被红色黏土质泥流团块下坠充填, 当第二次大地震发生时, 又被地下喷涌上来的液化的山洪砂和细砂砾

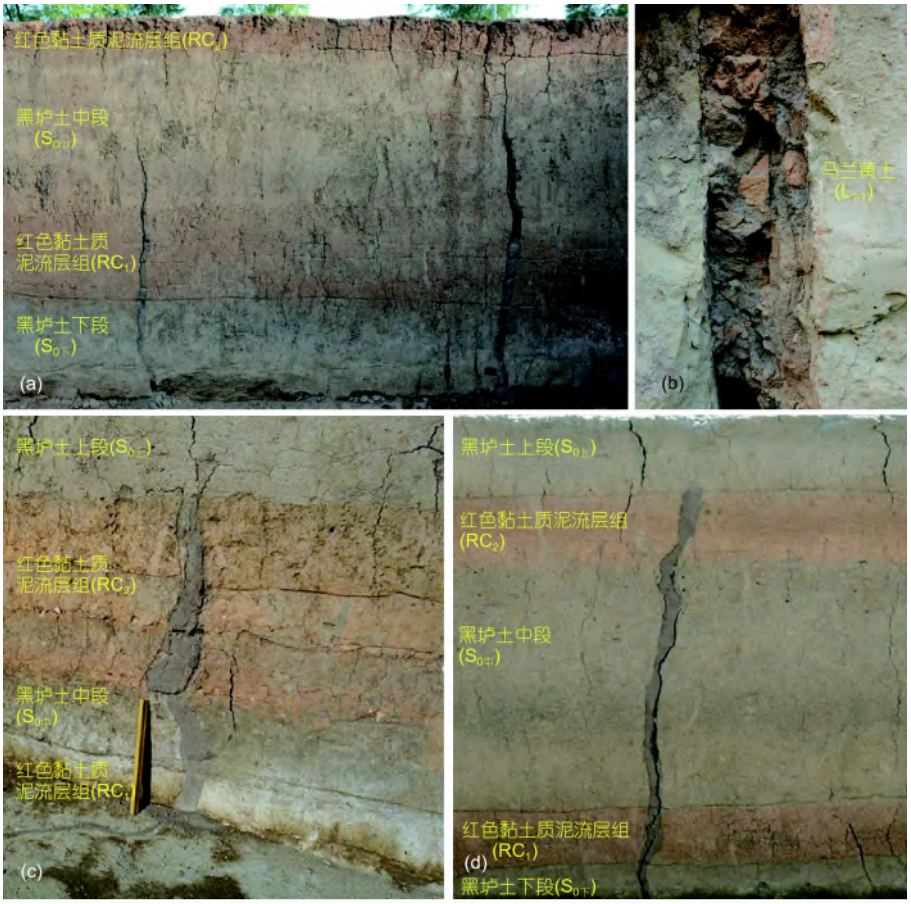


图 12　喇家遗址第二场大地震(3600a BP)在全新世地层当中形成的地震裂隙及液化喷砂充填图

(a) 地震裂隙及砂脉在中段黑垆土($S_{0中}$)尖灭; (b) 第一场大地震当中被红色泥流坠落充填的地震裂隙, 在第二场大地震中又被液化喷砂上涌充填; (c) 下喇家村西大探方剖面砂脉上端口被上段黑垆土($S_{0上}$)覆盖埋藏(董广辉等, 2018); (d) 上喇家村南大探方剖面砂脉上端口被上段黑垆土($S_{0上}$)覆盖埋藏

二次充填(图12b). 由于这场大地震发生之时没有发生暴雨山洪泥流, 所以这套地震裂隙当中的填充物, 主要是从地下喷涌上来的液化喷砂或细砂砾, 并没有出现红色黏土质泥流团块填充的现象. 当然, 喇家遗址区域的黄河第二级阶地表面, 在这场大地震之后, 再也没有出现类似(RC_1)和(RC_2)的红色黏土质沉积物. 这也就是说, 在最近3600年来, 源自于官亭盆地北侧第三系红层丘陵区的吕家沟、岗沟和大马家沟的暴雨山洪泥流过程, 其规模显著地减小了, 再也没有出现大规模山洪与泥流过程溢出沟道, 扩展到阶地表面大范围沉积成灾的现象.

综上所述, 在3850~3600a BP期间, 官亭盆地先后发生两场多次大地震, 导致其当时古地面以下黄土土壤层开裂变形, 且由于地下砂与细砂砾层液化流失, 造成地面塌陷, 聚落建筑物垮塌损毁. 同时, 也发生了两期高强度暴雨山洪泥流溢出沟道、扩散到阶地表面沉积的过程. 第一期山洪泥流过程与大地震同时发生, 摧毁了喇家遗址的齐家文化聚落建筑物, 造成了人群集体死亡的惨剧. 在喇家遗址东区考古发掘过程, 揭露出的人类遗骸、器物, 居室墙壁、地面和火塘等, 大都被厚层红色黏土质泥流包裹. 多种指标沉积学分析表明, 这种红色黏土来自于喇家聚落北侧大红山等第三系红层丘陵沟壑区域. 由于气候变化、地震和人类活动影响, 堆积在缓坡和沟道的大量松散的坡积物、滑坡、崩塌、山洪、泥流过程的堆积物, 正是喇家遗址红色黏土沉积层的直接来源(Huang等, 2013).

野外考察可见, 官亭盆地北部大红山脚下古洪积扇前沿与黄河第二级阶地过渡地带, 红色黏土质泥流

层与岩性成分复杂、分选很差的、由山洪沉积的岩屑砂、砂土和砂砾层及其透镜体相伴而生. 这也说明喇家遗址全新世地层当中所夹的红色黏土层组, 确实是来源于盆地北侧第三系红层丘陵沟壑区, 它们是高强度暴雨所诱发的山洪与泥流过程的沉积物. 沿着沟道低洼地带, 黑垆土层往往缺失, 红色泥流质黏土层沉积层层数多、厚度增大, 且其局部夹有灰黑色粉沙质淤积土透镜状薄层. 这是由于黏结不透水的红色黏土质泥流层, 顶面浅洼地短暂积水形成的类沼泽化过程的产物. 这套红色黏土风化剖面色彩变化会出现假层理, 但是内部的色彩、结构和构造在垂直方向为连续的渐变过渡, 并未形成清晰明确的分层界面. 可知沿沟谷的山洪泥流沉积过程, 间歇式反复地发生在较短时间内, 多次叠加沉积. 其间还可能被雨水浸泡饱水, 反复地液化流动扩散再沉积, 所以黏土层组内没有很明确的沉积间断. 因而喇家遗址当中的红色黏土层, 并非黄河大洪水的悬移质单颗粒沉积物. 尤其是覆盖包裹着喇家遗址齐家文化废墟和人类骨骸的, 是极易于饱水重新液化流动的红色黏土, 它与黄河洪水悬移质泥沙沉积物有着根本的区别. 曾经有历史与考古学者发问: 既然说是黄河洪水淹没毁灭喇家遗址, 为什么聚落南部近黄河低地的居室(1788~1790m)没有被淹没, 而是北部远离黄河的高地居室(1790~1795m)被淹没损毁, 并且造成人们相互拥抱而成群遇难的场景(钱耀鹏, 2007; 郭昕, 2014). 这里, 跟据沉积物成因与地表过程分析, 可以明确地回答: 黄河的洪水并没有淹没过喇家遗址的齐家文化聚落. 考古发掘揭露出的人体姿态, 也没有表现出尸体被大洪水飘荡分散的情况. 这些遇难者的遗骸姿态所体现的, 是与大地震同时发生的特大暴雨山洪泥流, 溢出沟道扩散到阶地表面齐家文化聚落, 从北向南顺门道灌入居室, 并且迅速扩散填充, 不同个体或者群体, 各自本能反应方式和姿态, 被汹涌而来的黏滞泥流瞬间定格的结果.

源自于官亭盆地北部第三系红层丘陵沟壑区的第二期特大暴雨山洪泥流过程, 发生在第二场大地震(3600a BP)之前, 它们沿着沟道汹涌奔流, 溢出沟槽扩散到黄河第二级阶地表面沉积, 覆盖了中段黑垆土($S_{0中}$). 目前, 尚未发现其成灾损毁人类聚落的证据. 在这期泥流和大地震之后, 有辛店/卡约文化早期(3400a BP)人群, 移居到黄河第二级阶地前部的二方村-喇嘛坟区域营生. 此时, 也正是地层序列当中上段黑垆土($S_{0上}$)开始恢复发育形成的时期. 而这些人群立足的土地, 则还是由黏重坚硬的红色黏土构成, 并不适合于耕作种植和修建聚落. 由于其文化层薄且分散, 文化遗物零碎, 故可以判断其人群规模较小, 居住分散, 以放牧为主, 存续时间较短, 并未形成功能齐全的完整村落. 这也就是说, 该区域土地利用从齐家文化时期以耕作种植业为主, 向着辛店/卡约文化放牧兼种植业混合型的转变, 主要还是在中全新世晚期气候波动恶化背景之下, 由群发性自然灾害过程造成土壤土地资源退化所引起的.

5.3　喇家遗址“黑砂”层位与成因问题

在官亭盆地北侧丘陵沟壑区, 鲍家沟、吕家沟、岗沟和大马家沟等, 深切入第三系红色黏土、粉砂和砂砾层系. 自从晚更新世以来, 青藏高原边缘地带新构造运动活跃, 频发的地震诱发大规模滑坡和崩塌等地质灾害. 加之物理风化和暴雨径流强烈侵蚀, 水土流失十分严重, 第三系红层大面积裸露成为劣地, 表现为类似于丹霞地貌的景观(图2b). 青藏高原边缘地带经常发生的强对流天气, 导致高强度暴雨山洪与泥流过程频繁发生, 将大量的红色黏土及成分混杂的岩屑砂、砂土和砂砾搬运到官亭盆地沉积. 在山麓地带堆积形成洪积扇并且联合构成洪积倾斜平原的同时, 也沿着大大小小的沟道继续向位置较低的第二级阶地区域输送. 喇家遗址恰好处于这些沟道下游洪积扇前沿、黄河第二级阶地面较低的洼地. 在该级阶地剖面中上部晚更新世马兰黄土和全新世黄土古土壤覆盖层当中, 这种混杂的砂、砂土和砂砾及其透镜体的穿插, 是很常见的现象. 它们主要由灰色、黑色与橙色、棕色岩石矿物碎屑和红色黏土碎屑组成, 在不同湿度和光照情况下, 其灰红-红灰色调会有所变化, 故被笼统地称之为“黑砂”. 作为暴雨山洪突发性、间歇性过程短距离搬运、快速沉积的产物, 其岩性成分复杂, 成棱角状, 分选极差, 成熟度很低. 这种混杂的沉积物层序混乱, 相互穿插, 含有大小不等的黄土团块与红色黏土泥屑泥团, 其中的斜层理显示出它们是被山洪搬运从北向南运动沉积. 当沿着这些沟道向北上行追索, 则可以发现它们与洪积扇区的沉积物成分和结构构造完全相同, 都是来自于官亭盆地北侧黄土覆盖的第三系红层丘陵沟壑区. 这是在夏季青藏高原边缘地带频繁发生的强对流天气条件之下, 短时段高强度暴雨山



图 13　喇家遗址东南部黄河第二级阶地沉积物相互关系图

(a) 马兰黄土($L_{1\text{-}1}$)覆盖层底部所夹的由山洪沉积的灰红-红灰岩屑砂、砂土和砂砾层(即所谓“黑砂”), 是史前大地震液化喷砂的物源; (b) 黄河河漫滩相细砂与河床相卵石层形成二元结构沉积层(T2-al)覆盖着晚第三系红色黏土(N_2)基座(顶面与渠水位平齐)

洪过程直接沉积而成(图13a). 在该级阶地剖面底部由灰色花岗岩质河床相卵石层、灰黄色或浊黄橙色河漫滩相细砂与粗粉砂层构成的二元结构层, 分选较好, 成熟度很高, 是黄河水流长距离搬运磨圆、分选沉积的结果. 沿着沟道两侧的剖面, 在阶地二元结构沉积层内, 也常常会见到有岩性成分复杂山洪砂砾和红色黏土质泥流沉积层及其透镜体楔入其中(图13b).

在喇家遗址区域, 穿插于全新世中期黑垆土之中、包裹掩埋了齐家文化聚落废墟和人类遗骸的红色黏土质泥流层、成分混杂的山洪沉积岩屑砂、砂土和砂砾夹层或者透镜体, 也正是这些特大暴雨山洪与泥流溢出沟道、在阶地表面大范围扩散沉积的产物. 在

喇家遗址东部区域, 从考古发掘暴露出的居室受灾情景, 以及坍塌崖壁暴露出的新鲜剖面, 都清晰可见齐家文化聚落的居室, 是被由北向南运动的红色泥流沉积物直接充填覆盖. 所以说喇家遗址东部区域齐家文化聚落是被地震和泥流毁灭废弃(图9a). 在喇家遗址西部吕家沟古洪积扇表面的山洪集流槽, 以及新开挖的考古探方剖面, 则可见含有大量黄土团块和红色黏土泥屑泥团、成分混杂的山洪沉积岩屑砂、砂土和砂砾(即所谓“黑砂”)直接覆盖着齐家文化废墟和文化层. 可知喇家遗址西部区域的齐家文化聚落是被地震和来自于吕家沟的猛烈山洪毁灭废弃. 所以, 从流水地貌学、沉积学和地层学角度, 结合有关溃决性超级大洪水的沉积物成分和结构构造特点(Herget, 2005; Kataoka等, 2008; Carling, 2013), 深入调查研究的结果表明, 在喇家遗址区域内与齐家文化聚落废墟相关的层位, 既没有发现黄河上游干流“河流大洪水”的沉积证据, 也没有发现所谓积石峡堰塞湖“溃决大洪水”的沉积证据.

6　结论

针对史前古遗址的环境考古研究, 首先应当系统地建立起符合沉积学、土壤学和地层学原理的地层序列和年代框架. 在此基础上, 界定史前聚落废墟与文化层, 及其所代表的古地面在地层序列与年代框架中的位置. 这样才能够进一步深入分析史前人类土地开发利用所涉及的具体土壤地层, 及其农业耕作和聚落建设对于地表过程产生的影响. 位于青藏高原东北边缘积石山脚下的官亭盆地, 喇家遗址的齐家文化聚落曾经遭受群发性重大灾难袭击而毁灭. 深刻理解这些灾难的成因和形成机制, 需要从沉积物成因、地层层序、年代框架和构造形迹分析入手, 深入分析地表过程特点及其在原生地层序列当中的层位和埋藏关系. 深刻理解其沉积物质成分、结构构造、物质来源、搬运沉积动力和形成机制. 从而得出对于灾害事件性质、影响及其发生年代的判断. 基于这样的研究方法和技术路线, 我们在喇家遗址区域全面的调查研究, 首次建立了完整的原生黄土土壤地层层序和年代框架, 从中发现其全新世中期黑垆土层(S_0)被两组红色黏土质泥流沉积层(RC_1和RC_2)穿插分隔成为三个层段($S_{0上}$、$S_{0中}$和$S_{0下}$). 这表明该区域在中全新世(8500~3100a BP)的晚期, 曾经发生过两期山洪与红色黏土质泥流溢出沟道、在阶地表面大范围扩散沉积成灾的过程. 对于大量地震裂隙等构造形迹的观测分析, 发现该区域在中全新世晚期曾经发生过两场多次大地震. 其中第一场大地震发生在3850a BP, 与之相伴随发生的高强度暴雨山洪泥流突发性事件, 共同摧毁了喇家遗址的齐家文化聚落, 造成居室内人群的集体死亡. 第二场大地震发生在第二期高强度暴雨山洪泥流过程结束之际, 大约3600a BP. 在此之后, 沙尘暴堆积与黑垆土土壤层恢复发育过程当中, 又有辛店/卡约文化早期(3400a BP)零散人群移居该区域, 从事以放牧和耕作种植混合型农业生产活动.

通过本文的研究, 在青藏高原东北部边缘官亭盆地黄河第二级阶地喇家遗址区域, 建立起了基本的土壤学、沉积学、地层学和年代学框架, 揭示出齐家文化和辛店/卡约文化时期人群活动的土地面及其土壤或沉积物性质, 鉴别出中全新世晚期两场大地震与两期高强度暴雨山洪泥流溢出沟道、在洪积扇前沿黄河第二级阶地表面大范围扩散沉积成灾的突发性事件. 今后就黄河上游循化盆地、积石峡与官亭盆地的环境变化、地表过程、自然灾害和人地关系演变及其影响问题, 还将开展更加广泛深入的研究.

参考文献

崔一付, 刘雨嘉, 马敏敏. 2018. 青藏高原东北部官亭盆地新石器-青铜时代聚落时空演变及其影响因素. 中国科学: 地球科学, 48: 152–164

董广辉, 张帆宇, 刘峰文, 张东菊, 周爱锋, 杨谊时, Wang G H. 2018. 喇家遗址史前灾害与黄河大洪水无关. 中国科学: 地球科学, 48: 467–475

郭昕. 2014. 青海民和喇家遗址史前灾难成因辨析. 黑龙江史志, 1: 291–292

何克洲. 2015. 青海民和县喇家遗址的辛店文化墓葬. 考古, 3: 115–120

黄春长, 李晓刚, 庞奖励, 查小春, 周亚利. 2012. 黄河永和关段全新世古洪水研究. 地理学报, 67: 1493–1504

黄春长, 庞奖励, 查小春, 周亚利. 2011. 黄河流域关中盆地史前大洪水研究——以漆水河为例. 中国科学: 地球科学, 41: 1658–1669

金泉才, 王军. 2013. 8月23日至24日青海省大部出现降水过程. 青海日报, 8月26日

李智敏, 李延京, 田勤俭, 夏玉胜, 张加庆, 姚生海, 黄伟. 2014. 拉脊山断裂古地震与喇家遗址灾变事件关系研究. 地震研究, S1:

109–115
吕厚远, 李玉梅, 张健平, 杨晓燕, 叶茂林, 李泉, 王灿, 吴乃琴. 2015. 青海喇家遗址出土4000年前面条的成分分析与复制. 科学通报, 8: 744–756
马晓萍, 路世贵. 2013. 2012年7月29~30日青海省海东地区强降水过程分析. 农业气象, 2: 1–3
欧阳杰, 朱诚, 叶茂林, 任晓燕, 钟建, 蔡林海, 何克洲, 朱青. 2008. 青海喇家遗址古地震喷砂磁化率异常现象与机制的初步研究. 国际地震动态, 11: 128
钱耀鹏. 2007. 关于喇家聚落的灾难遗迹与广场建筑. 考古, 5: 57–68
任瑞波. 2017. 论喇家遗址“辛店文化”墓葬的文化归属. 考古, 5: 114–120
任晓燕, 王国道, 蔡林海, 何克洲, 叶茂林. 2002. 青海民和喇家遗址2000年发掘简报. 考古, 12: 12–25
王明辉. 2002. 青海民和县喇家遗址人骨及其相关问题. 考古, 12: 25–28
王田寿, 李生辰. 2007. 青海省短时强降水(强暴雨)特征分析. 青海科技, 4: 17–20
王志远. 2013. 青藏高原东北部一次强对流引发暴雨天气成因分析. 青海气象, 2: 2–7
吴庆龙, 张培震, 张会平, 叶茂林, 张竹琪. 2009. 黄河上游积石峡古地震堰塞溃决事件与喇家遗址异常古洪水灾害. 中国科学: 地球科学, 39: 1148–1159
夏正楷, 杨晓燕. 2003. 青海喇家遗址史前灾难事件. 科学通报, 48: 1200–1204
杨晓燕, 夏正楷, 崔之久, 叶茂林. 2004. 青海官亭盆地考古遗存堆积形态的环境背景. 地理学报, 3: 454–461
杨晓燕, 夏正楷, 崔之久. 2005. 黄河上游全新世特大洪水及其沉积特征. 第四纪研究, 25: 80–85
叶茂林, 任晓燕, 王国道, 蔡林海, 张小虎, 何克洲. 2004. 青海民和喇家遗址发现齐家文化祭坛和干栏式建筑. 考古, 6: 3–6
叶茂林. 2002. 青海民和喇家史前遗址的发掘. 考古, 7: 3–6
殷志强, 秦小光, 赵无忌, 魏刚. 2013. 黄河上游官亭盆地红黏土层成因机制再探讨. 第四纪研究, 33: 995–1004
于孟洲, 王倩倩, 杜战伟. 2017. 喇家遗址齐家文化聚落的考古发现与思考. 青海社会科学, 3: 199–204
袁道阳, 张培震, 雷中生, 刘百篪, 刘小龙. 2005. 青海拉脊山断裂带新活动特征的初步研究. 中国地震, 21: 93–102
张雪莲, 叶茂林, 仇士华, 钟建. 2014. 民和喇家遗址碳十四测年及初步分析. 考古, 11: 91–104
张玉柱, 黄春长, 庞奖励, 周亚利, 查小春, 王龙升, 周亮. 2013. 黄河上游官亭盆地喇家遗址地层光释光测年研究. 地理学报, 68: 626–639
张玉柱, 黄春长, 庞奖励, 周亚利, 周强, 郭永强, 尚瑞清. 2015. 青海民和官亭盆地喇家遗址古耕作土壤层微形态研究. 土壤学报, 52: 71–82
张玉柱, 黄春长, 周亚利, 庞奖励, 查小春, 周强, 郭永强, 陈莹璐, 郑紫星, 胡迎, 胡贵明, 刘涛. 2017. 黄河上游积石峡史前滑坡堰塞湖形成年代与发展演变研究. 中国科学: 地球科学, 47: 1357–1370
周强, 张玉柱. 2015. 青海喇家遗址史前灾难成因的探索与辨析. 地理学报, 70: 1774–1787
Carling P A. 2013. Freshwater megaflood sedimentation: What can we learn about generic processes? Earth-Sci Rev, 125: 87–113
Fan L J, Huang C C, Pang J L, Zha X C, Zhou Y L, Li X G, Liu T. 2015. Sedimentary records of palaeofloods in the Wubu Reach along the Jin-Shaan gorges of the middle Yellow River, China. Quat Int, 380-381: 368–376
Gao S Z, Yang Y D, Xu Y, Zhang Q C, Zhu H, Zhou H. 2007. Tracing the genetic history of the Chinese people: Mitochondrial DNA analysis of aneolithic population from the Lajia site. Am J Phys Anthropol, 133: 1128–1136
Guo Y Q, Huang C C, Pang J L, Zha X C, Zhou Y L, Zhou Q, Hu G M. 2016. Palaeo-earthquake and palaeo-mudflow events at the Machangyuan Ruins in the Huangshui River valley, northeastern margin of the Tibetan Plateau. Holocene, 26: 1208–1224
Herget J. 2005. Reconstruction of Pleistocene ice-dammed lake outburst floods in the Altai Moutains, Siberia. Geol Soc Am Spec Pap, 386: 1–118
Hu G M, Huang C C, Zhou Y L, Pang J L, Zha X C, Guo Y Q, Zhang Y Z, Zhao X R. 2016. Extreme paleoflood events 3200–3000 a BP in the Jingyuan–Jingtai reaches of the upper Yellow River, China. Holocene, 26: 790–800
Huang C C, Pang J L, Su H X, Li S L, Ge B W, He Z, Li X Y, Yang Y M, Zhu Y Z. 2009b. Holocene environmental change inferred from the loess-palaeosol sequences adjacent to the floodplain of the Yellow River, China. Quat Sci Rev, 28: 2633–2646
Huang C C, Pang J L, Su H X, Mao L J, Wang L J. 2009a. The Ustic Isohumisol (Chernozem) distributed over the Chinese Loess Plateau: Modern soil or palaeosol? Geoderma, 150: 344–358
Huang C C, Pang J, Zhou Q, Chen S. 2004. Holocene pedogenic change and the emergence and decline of rain-fed cereal agriculture on the Chinese Loess Plateau. Quat Sci Rev, 23: 2525–2535
Huang C C, Pang J L, Zhou Y L, Su H, Zhang Y, Wang L. 2013. Palaeoenvironmental implications of the prehistorical catastrophes in relation to the Lajia Ruins within the Guanting Basin along the upper Yellow River, China. Holocene, 23: 1584–1595
Huang C C, Zhou, Y L, Zhang Y Z, Guo Y Q, Pang J L, Zhou Q, Liu T, Zha X C. 2017. Comments on “Outburst flood at 1920 BCE supports historicity of China’s Great Flood and the Xia dynasty”. Science, 355: 1382(1–4)
Kataoka K S, Urabe A, Manville V, Kajiyama A. 2008. Breakout flood

from an ignimbrite-dammed valley after the 5 ka Numazawako eruption, northeast Japan. Geol Soc Am Bull, 120: 1233–1247

Liu T, Huang C C, Pang J, Zhou Y, Zhang Y, Ji L, Shang R. 2014. Extraordinary hydro-climatic events during 1800–1600 yr BP in the Jin-Shaan Gorges along the middle Yellow River, China. Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol, 410: 143–152

Lü H Y, Yang X Y, Ye M L, Liu K B, Xia Z K, Ren X Y, Cai L H, Wu N Q, Liu T S. 2005. Millet noodles in late Neolithic China: A remarkable find allows the reconstruction of the earliest recorded preparation of noodles. Nature, 437: 967–968

Ma M M, Dong G H, Chen F H, Meng X M, Wang Z L, Elston R, Li G Q. 2014. Process of paleofloods in Guanting basin, Qinghai Province, China and possible relation to monsoon strength during the mid-Holocene. Quat Int, 321: 88–96

Murray A S, Wintle A G. 2000. Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol. Radiat Measurements, 32: 57–73

Wu Q L, Zhao Z J, Liu L, Granger D E, Wang H, Cohen D J, Wu X, Ye M, Bar-Yosef O, Lu B, Zhang J, Zhang P, Yuan D, Qi W, Cai L, Bai S. 2016. Outburst flood at 1920 BCE supports historicity of China's Great Flood and the Xia dynasty. Science, 353: 579–582

Zhang Y Z, Huang C C, Pang J L, Guo Y Q, Zhou Q. 2018. Identification of the prehistoric catastrophes at the Lajia Ruins using micromorphological analysis within the Guanting Basin, Minhe County, Qinghai Province. Archaeol Anthropol Sci, 10: 711–723

Zhang Y Z, Huang C C, Pang J L, Zhou Y L, Zha X C, Wang L S, Zhou L, Guo Y Q, Wang L B. 2014. A luminescence dating study of the sediment stratigraphy of the Lajia Ruins in the upper Yellow River valley, China. J Asian Earth Sci, 87: 157–164

Zhao H, Huang C C, Wang H, Liu W, Qiang X, Xu X, Zheng Z, Hu Y, Zhou Q, Zhang Y, Guo Y. 2018. Mid-late Holocene temperature and precipitation variations in the Guanting Basin, upper reaches of the Yellow River. Quat Int, 490: 74–81

Zhao H, Huang C C, Zheng Z, Hu Y, Zhang Y, Guo Y, Zhou Q. 2017. New evidence for the catastrophic demise of a prehistoric settlement (the Lajia Ruins) in the Guanting Basin, upper Yellow River, NW China. J Asian Earth Sci, 146: 134–141

(责任编委: 陈发虎)