

青海喇家遗址史前灾难成因的探索与辨析

周强¹, 张玉柱²

(1. 青海师范大学生命与地理科学学院, 西宁 810008; 2. 西北大学城市与环境学院, 西安 710127)

摘要: 在黄河上游官亭盆地的考古发掘中喇家史前灾难遗址的发现让人震惊, 其灾难的成因是近年来人们争论的焦点。本文从地球科学的视角入手, 在详细野外考察的基础上, 利用第四纪地质地貌学、沉积学、古洪水水文学等多学科交叉的研究方法, 对当前关于喇家遗址史前聚落毁灭原因的各种观点进行科学辨析, 尤其是对剖面中红色粘土层与喇家遗址北部大红山脚下的岗沟源区沉积物及其上游积石峡黄河古洪水滞流沉积层的对比研究, 结果显示: 在距今3950年前, 伴随着强烈地震发生了暴雨山洪, 源自于北侧谷坡大红山地区的大规模泥石流, 沿着岗沟、吕家沟倾泻而下, 彻底的掩埋毁灭了这个重要的古村落, 造就了喇家史前灾难遗址。

关键词: 官亭盆地; 喇家遗址; 史前灾难; 地震; 泥石流

DOI: 10.11821/dlxb201511007

1 引言

在距今4000年前左右, 中华大地经历了一个极其罕见的非常时期, 古籍中充满了此时“四极废, 九州裂, 天不兼复, 地不周载”, “当尧之时, 水逆行, 氾滥于中国”, “夏冰, 地坼及泉, 五谷变化, 民乃大振”, “冬, 陨雪, 不杀草木”等一类惊心动魄的记载, 持续严寒、长期干旱、洪水滔天、地震崩塌、陨石撞击等, 表现出各种自然灾害十分严重、频繁、群发、持久, 被史学家称为“夏禹灾害群发期(宇宙期)”^[1]。这些突发性灾害事件对古人类活动造成了重大影响, 可能促使经济形态的衰落和转型^[2], 使史前自然灾害对人类文明进程的影响成为史学界、地学界的研究热点。尤其是尘封4000年之久的青海喇家遗址类似“庞贝”的灾难遗迹重见天日, 是有关中国史前灾难最重要的发现, 引起了国内外众多专家学者和公众的广泛关注。

喇家遗址位于青海省民和县官亭盆地的下喇家村(图1), 是一处跨越新石器时代末期到青铜器时代早期, 以齐家文化为主, 兼有马家窑文化、辛店文化内涵的大型史前聚落遗址。黄河自西向东流经盆地南缘, 沿河发育三级阶地, 遗址位于黄河北岸二级阶地前缘, 高于黄河河面30 m, 距黄河水平距离约1000 m。喇家遗址早在1982年文物普查时被发现, 1986年被青海省人民政府公布为第四批省级文物保护单位。1999年由中国社会科学院考古研究所与青海省文物考古研究所组成的联合考古队开始勘探、发掘。近10余年来, 考古学家王仁湘、叶茂林等带领其研究团队, 逐步揭露并唤醒了这个沉睡了4000年的史前遗址^[3]。经过多年的考古发掘, 一个个惊人的发现陆续面世, 中国第一大

收稿日期: 2015-04-30; 修订日期: 2015-08-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(41261010, 41271123) [Foundation: National Nature Science Foundation of China, No.41261010, No.41271123]

作者简介: 周强(1971-), 男, 陕西临潼人, 教授, 中国地理学会会员(S110003394M), 主要从事土地资源与环境变化研究。
E-mail: zhouqiang729@163.com

1774-1787 页

磬—黄河磬王、中国第一玉刀的相继发现，反映出喇家遗址可能是齐家文化时期的权力中心，其地位可以与当时中国大地上的任一古文化相媲美。考古学家从五处房址中清理出25具人骨遗骸。这些遗骸姿态不同、神态各异，他们相互救助，以身佑子，慑人心魄，演绎出一副大爱无疆的悲情画卷，无声诉说着已尘封4000年的惨烈景象。因此，喇家遗址在2001年被国务院公布为第五批全国重点文物保护单位，荣获“2001年度全国十大考古新发现”，认为该遗址是中国史前灾难遗址的代表，被称为“东方庞贝”。2005年，被国家文物局确定为“十一五”期间100处重点保护的大遗址之一，2013年继续入选“十二五”期间重要大遗址保护名录，2013年12月，喇家国家考古遗址公园建设获准立项，成为中国唯一一处以大型史前灾难为特色的考古遗址公园。

然而，究竟是什么原因给喇家先民带来了灭顶之灾？这一问题一直被人们所关注，也是学术界研究和争论的焦点。随着考古勘探和发掘的进展，关于喇家遗址的研究成果不断涌现，在研究过程中，学者们对于引起喇家遗址齐家文化人们非正常死亡、聚落彻底毁灭和废弃的原因，提出了不同的观点和见解。

第一种观点认为古地震及其造成的地面断裂和变形使喇家遗址齐家文化时期的房屋发生严重倒塌，而直接包裹人体骨骸的红色粘土层是黄河在3650年前特大洪水的滞流沉积物，所以得出结论，地震造成喇家遗址的严重破坏，之后的黄河大洪水摧毁了整个遗址。从距今3650-2750年这数百年内，黄河进入了一个多洪水期，整个官亭盆地一直处于洪水威胁之下^[4-5]。

第二种观点也认为红色粘土层是黄河洪水沉积物，但对洪水来源有不同的认识。他们认为古地震引发官亭盆地上游25 km处的积石峡山体滑坡崩塌，在黄河上形成了巨大的堰塞湖，公元前1730年前后在地震的作用下，堰塞湖发生部分溃决，造成35000 m³/s的异常大洪水，将喇家遗址毁灭；并利用循化水文站实测的洪水数据，计算出黄河上游万年一遇的特大洪水不可能淹没处在二级阶地的喇家遗址^[6]。

第三种观点主要是陕西师范大学黄春长教授研究团队提出的，他们利用沉积学、年代学、古洪水水文学交叉学科的方法途径，认为覆盖在喇家遗址齐家文化层之上的红色粘土层不具有古洪水沉积物的一般特征，而属于典型的泥石流沉积物，即造成喇家遗址毁灭的直接原因是突发暴雨泥石流造成的^[7-10]。在官亭盆地并未发现与喇家遗址同时代古洪水

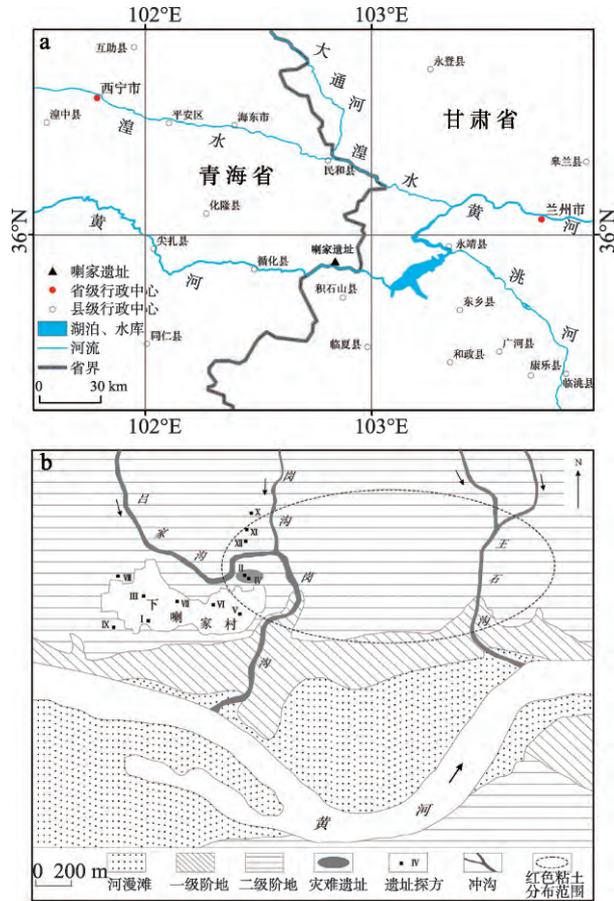


图1 喇家遗址地理位置与概况图
Fig. 1 Location of the Lajia Ruins

沉积的相关证据,而上游积石峡古堰塞湖也不存在溃坝洪水的发生过程^[11]。

喇家遗址齐家文化时期史前灾难现场的发现及其揭示出的史前灾难事件已成为黄河上游史前考古的新亮点,也为研究者提供了一个环境考古和多学科结合的绝佳平台^[12]。本文从地球科学的视角入手,在详细野外考察的基础上,利用第四纪地质地貌学、沉积学、年代学、环境考古学等多学科交叉的研究方法和严谨的实验技术,对造成喇家遗址史前聚落毁灭的原因进行科学辨析,还原灾难发生的真正原因,为进一步探讨黄河上游史前人地关系提供理论基础和实证案例。

2 古地震与喇家遗址

官亭盆地处于青藏高原东北缘,是青藏高原与黄土高原之间地貌梯级带的过渡区,晚新生代—现代构造变形十分强烈。拉脊山断裂带直接穿越官亭盆地和积石峡,主要包括拉脊山南缘断裂和拉脊山北缘断裂,是一条区域性的活动断裂,高分辨率遥感资料和探槽剖面分析显示,该断裂带在晚更新世和全新世时期活动仍然十分活跃,滑动速率 0.51 mm/a ,逆冲活动在大河家和官亭盆地黄河阶地上形成多处断层陡坎和阶地变形痕迹,全新世中晚期的古地震特征明显^[13]。遗址周边自西汉二年(公元前193年)始有地震记载,其中青海境内发生过20余次5级左右中等破坏性地震^[14],再加上甘肃临洮、永登、和政等地的记录^[15],喇家遗址周边地区历史上发生过5级左右中等破坏性地震达35次之多。喇家遗址考古发掘显示,在遗址内及遗址周边发现了多处地震遗迹,包括地裂缝、塌陷、折皱起伏以及砂土液化造成的沙管等现象^[3],地裂缝两侧的古地面发生明显的断裂、错落和翘起^[4]。也有学者利用磁化率、锆石微形态、粒度频率曲线的异常,证明了喇家遗址区存在古地震喷砂现象^[16]。在野外调查中发现喇家遗址地层中齐家文化时期古地面被数组地震裂隙分割,有一层团块状的、鲜艳的红色粘土覆盖了遗址的古地面,并且填充了地震裂隙^[7]。据此,可以推断出该地存在古地震和红色粘土冲击两种灾害的地质记录。地震时被毁坏的房址目前在遗址中发现了15~20座,其中3、4、7、10、23号房址中均发现了人骨遗骸^[17],从如此众多的住房垮塌、居民被压埋致死来看,喇家遗址的地震烈度约为Ⅷ度左右。如果震中就在喇家遗址附近,震级则可达6级左右;如果震中是在别处,喇家遗址只是其中的一个重灾点,震级则可达7级左右^[15]。现已发掘的房址中,10号房址发现2具人骨遗骸,其遗址地层结构自上而下是:红色粘土层—坍塌黄土层—人骨遗骸—齐家文化古地面,这种地层关系表明,大地震致使窑洞彻底坍塌,造成洞毁人亡,之后才被红色粘土层所覆盖。从这个角度来看,造成喇家史前灾难的原因来自地震。但更多的灾难遗址,如3号、4号、7号等这些房址的居室中填充了红色粘土层,大量的人类骨骼完整的被红色粘土直接包裹,这说明造成喇家遗址毁灭的原因应为复合灾害的结果,古地震造成了遗址的严重破坏、部分窑洞的坍塌和人员的非正常死亡,给遗址带来灾难性打击,更为重要的是红色粘土的突然涌入,给遗址以毁灭性冲击。对地震裂隙的调查发现,地震裂隙分为两组,一组为张性裂隙,宽度宽可达60 cm,红色粘土呈团块状、支架式填充,与新鲜完整断裂面和底部直接接触,之间并无风化物分隔(图2a、2b)。可见地震之后随即发生红色粘土的涌入,两种灾难之间并无时间间隔。第二组为压性裂隙,宽度5~15 cm,填充其内的红色粘土,受到强烈的侧向挤压,而成为致密板状(图2c),可见红色粘土填充之时,地震并未停息下来,地层还在运动。这就更进一步说明强烈地震与大规模红色粘土的冲击几乎同时发生,毁灭了喇家聚落。目前,对于喇家遗址先遭受古地震破坏的结论并无争议,而包裹人类骨骼的红色粘土层的性质和来

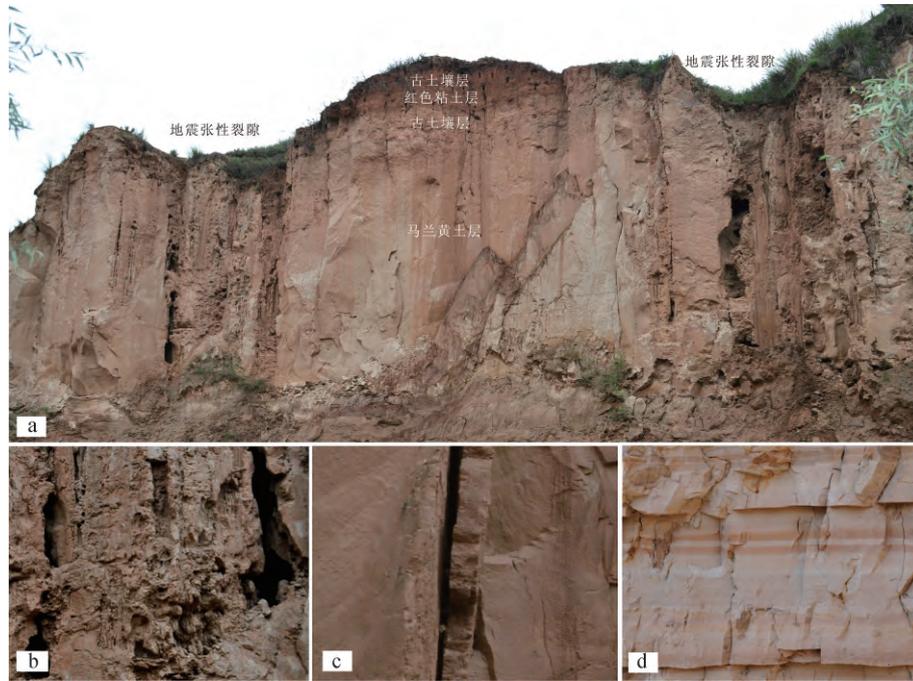


图2 a. 含有红色粘土层和被地震张性裂隙切割的喇家遗址黄土—古土壤剖面; b. 以团块状支架式填充于地震张性裂隙中的红色粘土; c. 马兰黄土被地震压性裂隙切割, 红色泥流填充物被挤压为板状; d. 黄河积石峡段韵律状块状结构滞流沉积层

Fig. 2 a. Diagram showing the typical aeolian loess-soil profile containing earthquake expansionary fissure and the red clay in the Lajia Ruins; b. Close shot showing the conglomerated red clay with scaffold structure blanking in the earthquake expansionary fissure; c. Close shot showing the Malan loess were cut by compressed fissure of earthquake. The red mudflow filler were squeezed into clintheriform; d. Close shot showing the slack water deposit with rhythm and block structure in the Jishixia Gorge on the upper Yellow River

源便成为解释喇家遗址灾难成因的关键。

3 黄河“特大洪水”与喇家遗址

国内外大量研究表明, 距今4000年前后是黄河流域史前洪水频发的时期, 这次史前洪水事件的性质、规模、起因以及它对人类文化演进的影响一直是地理学、地质学、考古学、和历史学工作者关心的问题^[18-21]。但喇家遗址是否毁灭于黄河特大洪水, 还需要从多角度进行详细的分析。

首先, 黄河上游洪水是由大尺度天气系统所造成的面积大、历时长、强度小的连续降雨所致, 属中长历时暴雨型洪水, 加之湖、沼草地调蓄作用, 洪水过程涨落平缓, 历时长, 峰型短胖, 一次洪水过程约40天左右^[22], 洪水水位通常是逐步上涨的。喇家遗址位于黄河北岸二级阶地前缘, 高于河面30 m, 距黄河1000 m, 在这样的河流高阶地的平缓地带, 洪水要淹没遗址所在阶地面, 往往需要一段较长的时间, 不可能在短时间内造成房倒屋塌。目前发现的灾难房址皆背对黄河、门均北开, 黄河洪水也不可能迅速封堵逃生通道, 人们应该有足够的时间冲出房屋逃离危险, 不至于陈尸废墟之下。从生活常识分析, 如果发生大洪水而使人们发生洪水溺亡, 则往往会造成遗体的漂浮现象, 洪水

沉积物应该出现于遗体下部,而不是直接包裹遗骸。从遗址区地貌形态分析,下喇家村的地势北高南低,如果黄河发生特大洪水,首当其冲危害的是距离黄河较近位置较低的遗址南区,况且位于第V发掘区的房址均坐东朝西,直接面对黄河来向,更应该容易受到黄河洪水的直接冲击。而目前发现的被红色粘土覆盖的灾难遗址皆出现在北部地势较高的II、IV区(图1),如果红色粘土层代表了黄河洪水沉积物,那它也不应该绕过南区而直接冲进北区的房屋。这种现象用黄河洪水来解释似乎有些牵强。

其次,黄河特大洪水是否是喇家遗址灾难事件的罪魁祸首,还需要分析当时洪水能否淹没喇家遗址所在的位置。假设遗址区出现的红色粘土层是黄河古洪水沉积物,我们就可以恢复古洪水水位和流量。目前大多数文献均直接以红色粘土层的高程来推测当时古洪水的洪峰水位,显然这种思路完全忽略了古洪水沉积物的沉积水深,所以推算出的洪峰流量和水位严重偏小。本文根据古洪水沉积物与含沙量关系法^[23]来估算沉积水深,这种方法首先是准确测量古洪水滞流沉积物的厚度(t),然后统计分析该河流现代大洪水含沙量数据,结合古洪水发生时期的流域环境状况,估算出古洪水悬移质的体积含沙量(ρ)百分数,求出古洪水沉积物的沉积水深 $d=t/\rho$ 。根据喇家上游35 km处循化水文站1946-2010年的观测数据^[24],实测多年平均含沙量为 1.28 kg/m^3 ,最大含沙量为 401 kg/m^3 。根据公式:

$$\rho = s/r_s \quad (1)$$

式中: ρ 为体积含沙量(%); s 为含沙量(kg/m^3);泥沙容重 r_s 为 2650 kg/m^3 ,计算可知黄河循化—喇家段体积含沙量平均为0.048%,最大为15.13%。在野外考察当中,获得了覆盖喇家遗址红色粘土层的厚度,为1~4 m不等,平均2.5 m。考虑到洪峰流量越大,悬移质泥沙含量越高,将研究河段古洪水体积含沙量确定为15%,相当于现代洪水含沙量的最大值。由此推定如果这层红色粘土层为黄河洪水沉积物,那么当时的沉积水深达到了16.5 m,即当时的洪水水位要高于喇家遗址齐家文化古地面16.5 m,再加上喇家遗址古人类生活地面比当时黄河河床高出的21 m^[6],也就是如果喇家遗址毁于黄河特大洪水的话,当时的洪水水位要比河床高出37.5 m。根据黄河喇家段的流量水位关系^[6],即 $Q = 50.53H^{2.14}$ 求算,当时的洪水流量要达到 $118025.6 \text{ m}^3/\text{s}$,这个流量是黄河官亭段万年一遇洪水流量($11172 \text{ m}^3/\text{s}$)的10倍,也远远大于假设中的积石峡堰塞古湖溃决洪水的最大流量($34892 \text{ m}^3/\text{s}$),即使在集水面积更大的黄河晋陕峡谷区也难以达到如此之巨的洪水流量^[23]。可见,喇家遗址毁于黄河特大洪水的结论难以成立。

再次,为了确认红色粘土层是否为古洪水沉积物,将遗址区的红色粘土层和积石峡黄河洪水沉积物进行了详细的沉积物形态特征对比。发现红色粘土层覆盖了喇家遗址齐家文化古地面,穿插于全新世古土壤之中,颜色呈亮红棕色,团块结构,混杂有沙团、石子团、黄土等包裹体,内部显示出粘稠的流动状结构,流动过程中卷入了当时地表的齐家文化时期的陶片、木炭屑、烧土块等人类文化遗物。虽然在垂直方向上出现色彩差异,但此为长时间风化造成的结果,并没有发育真正的洪水沉积层理。在积石峡发现的黄河古洪水沉积层呈现淡黄橙色、浊橙色,与喇家遗址红色粘土层颜色差异十分明显,均质块状结构,碎块断口为贝壳状,垂直方向上存在明显的水平层理,具有典型的黄河古洪水沉积特征^[25]。所以,喇家遗址的红色粘土层和积石峡黄河洪水沉积物两者在宏观形态特征上差异明显。经过深入的野外实地调查,在下喇家村东岗沟口附近发现了典型的风成黄土—古土壤剖面(图2a),其地层结构显示出红色粘土层之下的古地面和地层皆被数组20~60 cm宽的地震张性裂隙所分割,期间坠入大量的红色粘土团块,呈不完全充

填状态, 表现为团块状支架结构(图2b), 而在古洪水等形成的滞流环境下悬移质泥沙沉积物是不可能出现这种沉积特征的(图2d)。

4 积石峡堰塞湖“溃决洪水”与喇家遗址

既然气候变化产生的万年一遇的黄河特大洪水难以形成毁灭喇家遗址的红色粘土层, 人们就把视角转向黄河上游积石峡大拐弯处, 在史前这里发生的戈龙布滑坡造成黄河堰塞事件, 已被众多学者的研究所证实^[6, 26-30], 但喇家遗址史前灾难是否与这次黄河堰塞事件有关存有很大的分歧和争议。解决争议的关键在于堰塞湖形成后是否发生垮坝溃决, 以及堰塞湖形成、消失时间与喇家遗址灾难时间是否一致。

一般认为, 受到滑坡坝体积与高度、堰塞湖库容及流域面积等因素的共同影响, 滑坡坝不会保持长时间稳定。但必须指出的是, 在青藏高原边缘地带的复杂山区, 河道蜿蜒曲折, 由于强烈构造抬升和河流下切侵蚀等原因, 河流岸坡失稳及滑坡堵江频发^[31], 滑坡堵江事件具有空间上的普遍性和时间上的连续性, 许多滑坡坝可以稳定存在数百年、数千年, 甚至数万年^[32]。为了探究积石峡的这次滑坡堰塞事件的发生过程, 我们在野外详细考察了马儿坡滑坡体和戈龙布滑坡形成的古堰塞湖沉积物的沉积学特征, 在积石峡西段的乙巳日发现了一套典型的古堰塞湖沉积剖面, 该剖面由于受到人类活动影响较小, 保存完整, 全面记录了古堰塞湖的寿命和生命过程。

为了还原当时的沉积环境, 对剖面的沉积样品进行了磁化率、粒度、沉积结构、地球化学分析。磁化率是表征沉积物和土壤中铁磁性矿物含量的指标, 其在一定程度上反映了该沉积物的物质来源、搬运营力和成土过程^[33]。粒度成分能够反映沉积物的性质、成因和沉积环境^[34]。沉积结构能够记录不同的沉积环境和沉积作用^[35]。分析结果如表1所示, 表明积石峡西段乙巳日剖面底部和顶部具有不同的水动力条件和物质来源, 表现为: 剖面底部和顶部的磁化率较低(分别为 $12 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ 和 $17.1 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$), 这说明它们是新鲜的河流沉积物, 沉积之后很少受到风化成壤作用的影响, 顶部沉积学样品的磁化率略高于底部, 这是由顶部和底部不同的沉积环境所造成的。底部沉积物, 呈现灰绿色, 粒度成分以细粉沙为主, 粘土或粘土质细粉沙质地, 反映出高山冰水沉积物的沉积特征, 主要是黄河上游冰雪融水携带的纯净悬移质泥沙物质在古堰塞湖内滞流环境下沉积形成的。质地极其坚硬, 沉积韵律层清晰可见, 单层沉积物厚度介于0.5~1 cm之间, 表现出下部沉积层经历了长期的巨大重力挤压作用。剖面底部沉积物没有发现水生植物残体, 说明当时堰塞湖盆形成后, 河水很快蓄满湖盆, 底部形成一个深水缺氧的环境, 水生植物没有条件生长繁殖。而与剖面底部相反, 乙巳日剖面顶部沉积物为淡黄橙色、浊橙色, 粒度成分以粗粉沙为主, 细粉沙或粉沙质地, 反映出与黄河古洪水沉积物相似的沉积学特征, 是黄河上游暴雨洪水从流域地表土壤侵蚀携带来的悬移质泥沙物质在古

表1 黄河上游积石峡乙巳日古堰塞湖沉积剖面底部和顶部沉积特征对比

Tab. 1 Sedimentary characteristics of the bottom part of the dammed lake deposits in comparison with that of the top part of the dammed lake deposits at the Yisiri site in the Jishixia Gorge on the upper Yellow River

| 样品位置 | 磁化率 $\times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ | 质地 | 主要粒度成分 | 颜色 | 硬度 | 沉积韵律层 | 单层沉积物厚度 | 植物残体 | 坡积石渣土层 |
|------|---|--------------|--------|-------------|----|-------|----------|------|--------|
| 剖面顶部 | 17.1 | 细粉沙 粉沙 | 粗粉沙 | 淡黄橙色 浊橙色 | 疏松 | 不明显 | 5~20 cm | 有 | 若干层 |
| 剖面底部 | 12 | 粘土 粘土质细粉沙 | 细粉沙 | 灰绿色 | 坚硬 | 清晰 | 0.5~1 cm | 无 | 无 |

堰塞湖内高水位滞流环境下沉积形成的。质地疏松,层次清晰但韵律特征不明显,单层沉积物厚度介于5~20 cm之间,不再具备长期的巨大重力挤压的特征,顶层沉积物中大量的锈斑和水生植物残体说明当时的沉积环境已变为浅水有氧环境,顶层沉积层中夹杂有若干坡积石渣土层,反映出堰塞湖水位是逐渐降低变浅,水面也是逐渐收缩变小,不具备堰塞湖垮坝溃决的沉积特征。

沉积物中的化学元素组合忠实的记录了物源区的信息,是判断沉积物来源的最有效手段^[36],在黄土^[37]、湖泊^[38]、河流^[39]、考古遗址地层^[40]的沉积物性质、成因、物质来源、沉积环境恢复等信息的提取中应用广泛。利用X-Ray荧光光谱仪测定了乙巳日剖面底部和顶部的元素含量(表2),结果显示剖面底部沉积层中Fe₂O₃、Al₂O₃、MgO、K₂O、TiO和MnO的含量均明显高于表层,但磁化率却很低,也反映出当时的沉积环境应该属于深水缺氧的环境,而形成了大量的弱磁性矿物。剖面顶部沉积层中Na₂O、Cl、Br和S的含量却数倍于剖面底部,这与干旱、半干旱区湖泊演化规律相同,堰塞湖体发育后期逐渐萎缩、变浅,存在明显的盐碱化过程,使得顶层沉积物中富含氯化物、硫化物和溴化物。如果堰塞湖发生垮坝溃决,是不会出现这样的沉积物地球化学特性的。

表2 黄河积石峡乙巳日古堰塞湖沉积剖面底部和顶部沉积物地球化学元素含量对比

Tab. 4 Geochemical elements of the bottom part of the dammed lake deposits in comparison with that of the top part of the dammed lake deposits at the Yisiri site in the Jishixia Gorge on the upper Yellow River

| 样品位置 | Fe ₂ O ₃ (%) | Al ₂ O ₃ (%) | MgO(%) | K ₂ O(%) | TiO(%) | MnO(%) | Na ₂ O(%) | Cl(ppm) | Br(ppm) | S(ppm) |
|------|------------------------------------|------------------------------------|--------|---------------------|--------|--------|----------------------|----------|---------|--------|
| 剖面顶部 | 6.61 | 5.60 | 1.19 | 1.31 | 0.34 | 0.07 | 59.35 | 49261.40 | 10.90 | 412.00 |
| 剖面底部 | 7.37 | 14.06 | 2.82 | 2.72 | 0.62 | 0.15 | 0.94 | 4024.40 | 7.20 | 254.90 |

利用此剖面系统采集的光释光测年样品,在丹麦Risø TL/OSL DA-20型自动化释光断代系统支持下,采用改进单片再生剂量技术,最终确定了这次黄河史前滑坡堰塞湖的消亡时间^[11]。结合沉积学和地球化学的分析,我们认为在距今8250年前,由于地震、暴雨等原因,积石峡大拐弯处的马儿坡、戈龙布段先后发生巨型滑坡,其滑坡体沿着黄河两岸分布长约1.5 km,高于黄河平水位达80~85 m,该巨型滑坡坝体堵塞黄河,从而在黄河上游形成了一个延伸达33 km的巨大的古堰塞湖。这使滑坡坝附近的侵蚀基准面骤然抬升,其上游数十千米范围内的河床侵蚀过程停止,同时开始接受堰塞湖沉积,由于坝前堆积的超长、巨厚的滑坡坝体敦实稳定,水体蓄满后并没有发生垮坝溃决,更没有发生所谓的垮坝溃决洪水。黄河通过长达2600年的时间缓慢侵蚀着巨厚的滑坡体大坝和堰塞湖沉积层,堰塞湖经历了逐步萎缩、变浅、消亡的生命过程,终于在距今5650年前消失殆尽,黄河重新回归到原来的基岩河床。

根据考古工作者在发掘喇家遗址的过程当中,在齐家文化层采集的一系列木炭样品的¹⁴C年代测定^[41-43]和人骨样品的¹⁴C测定^[17],结合光释光测年技术,可以推测喇家遗址齐家文化时期的人类在4200年前开始在此地生存。而根据覆盖在喇家遗址古地面上的红色粘土层的沉积年代^[9],就可以准确地界定将喇家遗址齐家文化村落开除“地球籍”的史前灾难发生于距今3950年。这说明,积石峡史前滑坡堰塞湖不存在垮坝溃决洪水,其消亡的年代也要早于喇家遗址毁灭废弃的年代达1700年,即喇家遗址的毁灭与积石峡堰塞湖没有因果关系。

5 山洪泥石流与喇家遗址

从遗址所处的地理位置来看,源自官亭北部山地的季节性冲沟环绕于遗址的东面和

北面, 东面的岗沟自北向南汇入黄河, 吕家沟本应自西北向东南流入黄河, 但由于洪积扇堆积发育堵塞下泄通道导致沟口摆动迁移, 在遗址北部东折汇入岗沟(图1)。由于官亭盆地是在晚新生代随青藏高原隆升过程中形成的红色沉积盆地^[44], 其周边山地白垩纪的紫红色、红色砂岩和第三纪泥岩出露广泛, 古崩塌、滑坡极其发育, 山前堆积了大量的红色疏松堆积物。在降雨集中的季节, 往往会产生流量大, 异常迅猛的山洪, 2012年的山洪水深可达1.7 m^[45]。这样, 既有丰富松散的物源, 又有突发性山洪, 极易诱发泥石流灾害, 沿岗沟、吕家沟这样的季节性泄洪沟冲泄而下, 在支沟汇流后, 流量大增, 极易冲出沟岸, 形成灾害。而喇家遗址区恰恰位于岗沟、吕家沟汇流后的泥石流通道之上, 尤其是吕家沟在遗址北侧突然东折, 泥流下泄不畅, 极易冲入沟岸台地边缘的Ⅱ、Ⅳ发掘区。从目前喇家遗址的发掘情况来看, 这两个区的房址门皆向北, 直接面对泥石流来向, 同时, 北高南低的居室结构, 外宽内窄、向南倾斜的门道, 北宽南窄、向北开放、向南形成10°~20°斜坡的门前场地^[46], 为北来泥石流迅速集聚、冲入房屋、封堵人们逃生通道创造了条件。野外调查结果也显示出, 覆盖在遗址区的红色粘土层厚度达100~400 cm, 说明当时冲出沟谷、涌入房屋的泥流灾害规模比较大, 完全具备毁灭喇家遗址的能力, 在考古挖掘中也发现遗址区多处房址存在水力侵蚀的痕迹^[46]。另外, 史前灾难遗址及红色粘土主要出现在地貌位置较高的遗址Ⅱ、Ⅳ区, 而靠近黄河的遗址区则不明显也能说明这个问题。

为了准确的鉴别、追溯红色粘土层的真正物源, 需要将红色粘土层、黄河古洪水沉积层和遗址北侧沟谷源地的沉积物进行多学科的对比分析。通过深入细致的野外考察, 在官亭盆地喇家遗址范围内的下喇家村采集到备受学术界争议的红色粘土沉积学样品(XLJ)。同时, 沿岗沟沟谷溯源而上, 在喇家遗址北部大红山脚下的岗沟源区采集了沉积学样品(GGY)。在官亭盆地黄河上游积石峡段采集到了黄河古洪水沉积样品(JSX)。通过粒度、地球化学测试技术, 对所采集的样品进行实验分析, 为准确鉴别喇家遗址灾难事件提供科学依据。

自然界不同沉积环境下形成的沉积物都具有各自的粒度特征, 这对探讨沉积物的物质来源、搬运过程、沉积环境等具有重要的意义。可以用粒度分级、中值粒径、平均粒径、偏态、峰态、分选系数等粒度参数来判断三者之间的异同关系^[34]。表3显示的是喇家遗址红色粘土层、岗沟源区沉积物和积石峡黄河古洪水滞流沉积物粒度分析结果, 发现三者的粒度成分均以细粉沙为主, 但细粉沙、粗粉沙含量JSX明显高于XLJ和GGY, 粘粒含量略低。按照沉积物质地命名规则, XLJ、GGY沉积物质地为粘土质细粉沙, 而JSX沉积物质地为细粉沙。同时, 对比中值粒径、平均粒径、偏态、峰态和分选系数等粒度参数, 发现喇家遗址红色粘土层和岗沟源沉积物极为相似, 而与黄河古洪水滞流沉积物差异明显。

为了更直观地反映沉积物的物质来源及沉积物的粒度特征, 绘制了沉积物粒度自然分布频率曲线(图3)。图中清晰反映出三者自然分布频率曲线的异同。三条曲线虽然均

表3 喇家遗址红色粘土层(XLJ)、岗沟源沉积物(GGY)与黄河古洪水沉积层(JSX)粒度分析

Tab. 3 Grain-size distribution in the sediment samples from the conglomerated red clay in the Lajia Ruins, the gully deposit at the Ganggou gully emerges, and the palaeoflood deposit in the Jishixia Gorge on the upper Yellow River

| 样品名称 | 粘粒(μm, %) | 细粉沙(μm, %) | 粗粉沙(μm, %) | 沙粒(μm, %) | 中值(μm) | 平均(μm) | 偏态 | 峰态 | 分选系数 |
|------|-----------|------------|------------|-----------|--------|--------|------|------|------|
| XLJ | 28.46 | 56.64 | 14.89 | 0.01 | 4.70 | 6.97 | 0.15 | 0.95 | 1.33 |
| GGY | 28.07 | 57.39 | 14.54 | 0.00 | 4.87 | 7.00 | 0.16 | 0.92 | 1.33 |
| JSX | 12.50 | 71.30 | 16.20 | 0.00 | 7.06 | 6.35 | 0.08 | 1.06 | 0.90 |

为单峰型，峰值均在细粉沙段，但红色粘土层峰态宽平，分选性较差，其粒度自然分布频率曲线与岗沟源区沉积物极为相似，却明显区别于黄河古洪水沉积层的峰态尖窄、分选性较好的特征，表现出岗沟源区沉积物、喇家遗址红色粘土层两者与黄河古洪水沉积层具有不同的搬运方式和沉积环境。

将喇家遗址红色粘土层、岗沟源沉积物与黄河古洪水沉积层地球化学元素实验结果与上地壳元素平均值（UCC）相比，得到地球化学元素与上地壳元素比率曲线图（图4），图中可明显反映出喇家遗址红色粘土层、岗沟源沉积物与黄河古洪水沉积层之间的亲疏关系，即喇家遗址红色粘土层与岗沟源区沉积物的各元素含量极为相近，但与积石峡黄河古洪水沉积层差异显著。

根据磁化率、粒度和地球化学实验结果来看，喇家遗址红色粘土的物源与黄河古洪水关系不大，而与岗沟源区沉积物同源。为了进一步揭示喇家遗址红色粘土层的性质，引入土壤微形态学的研究方法。土壤微形态研究主要从微观—超微观尺度来观察和提取土壤形态特征，在土壤学的各个领域广泛应用，因其能够揭示自然或人为因素对土壤形成过程的影响，因而也成为第四纪地质、沉积学、环境考古学的一种重要研究手段^[47]。将喇家遗址红色粘土层、积石峡黄河古洪水沉积层和岗沟源区沉积物样品制作成薄片，在Leica-DMRX偏光显微镜下观察，发现岗沟源区沉积物与喇家遗址红色粘土层相比，两者皆含有较高的粘土含量，且均以亚胶膜状和浓聚物状淀积粘土为主，区别在于岗沟源区沉积物颗粒粗细均匀，而喇家遗址红色粘土层粗细颗粒混杂，无定向排列，呈现出不规则的波状流动构造，微观形态十分混乱，有大量的空隙和气泡，形态多为近圆形、椭圆形、云朵形，呈不规则无规律状零乱分布^[10]，具有典型的泥石流沉积物微形态特征^[48]，这主要是因为以红色粘土为主体的泥石流在流动过程中破坏了物源区（喇家遗址北部山地

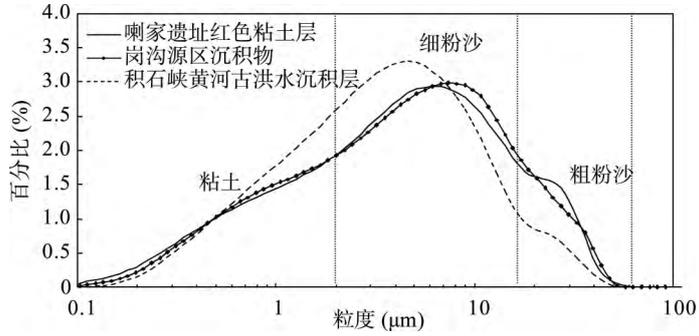


图3 喇家遗址红色粘土层、岗沟源区沉积物与黄河古洪水沉积层粒度自然分布频率曲线

Fig. 3 Particle-size distribution frequency curves of the samples from the conglomerated red clay in the Lajia Ruins, the gully deposit at the Ganggou gully emerges, and the palaeoflood deposit in the Jishixia Gorge on the upper Yellow River

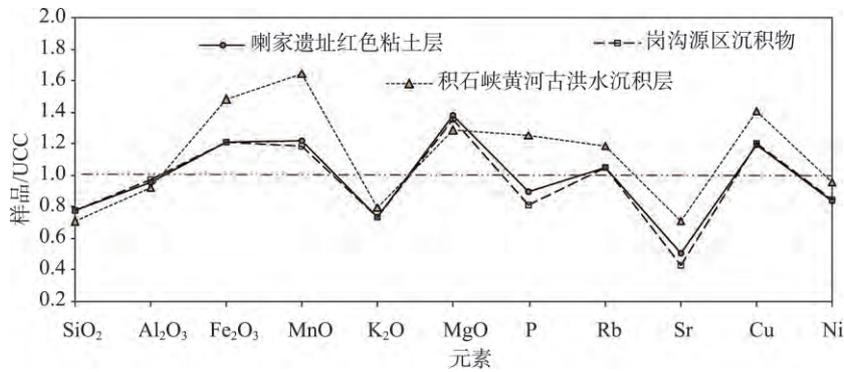


图4 喇家遗址红色粘土层、岗沟源区沉积物与黄河古洪水沉积层地球化学元素与UCC比率曲线图
Fig. 4 Element ratio of the sample/UCC of the samples from the conglomerated red clay in the Lajia Ruins, the gully deposit at the Ganggou gully emerges, and the palaeoflood deposit in the Jishixia Gorge on the upper Yellow River

坡脚)沉积物原有的颗粒分布特征,泥石流龙头强烈扰动、翻卷、腾越卷入了大量空气后,在泥浆体的粘滞效应下使其成为一个个封闭的气孔,而造就了喇家遗址红色粘土层的这种微观特征。而积石峡黄河古洪水沉积物微观形态韵律状水平层理构造明显,其颗粒紧实致密,无空隙和气孔,同一韵律层中,上层多为极细小的粘土颗粒,下层为稍大些的粉沙颗粒,层间常因干燥脱水而容易开裂,与喇家遗址红色粘土层的泥流状微结构特征迥异。同时,根据粒度实验结果,红色粘土层质地为粘土质粉沙,粘土、粉砂含量达到99.99%(表3),属于泥石流中的泥流类型^[49]。

因此,综合第四纪地质地貌学、沉积学、年代学、古洪水水文学、土壤微形态学等多学科分析的结果,可以确定造成喇家遗址彻底毁灭和废弃的这层红色粘土层并非黄河洪水沉积物,而是典型的泥流沉积物,其物源是堆积在喇家遗址北部大红山坡脚的第三纪红粘土的风化堆积物。

6 结论与反思

通过对造成喇家遗址史前聚落毁灭灾难地质记录的野外考察、沉积学分析、地球化学分析、光释光测年,尤其是对喇家遗址红色粘土层与官亭盆地北部大红山脚下的岗沟源区沉积物及其黄河上游积石峡古洪水沉积层的多学科对比研究,发现导致喇家遗址毁灭的红色粘土与黄河古洪水沉积物有明显差异,而与喇家遗址北部山脚下的沟谷沉积物同源。这说明这层红色粘土并非来源于黄河大洪水,而是来源于北侧大红山地区的大规模山洪泥流。

本文的研究成果,清晰的展示了喇家遗址彻底毁灭的原因。在青海省民和县南部官亭盆地仅50 km²的土地上,考古学家却发现了五十余处考古遗址,这表明史前时期该地区古文明光彩夺目,古文化异常繁荣,是一人文荟萃、底蕴厚重之地^[50]。最古老的文化遗存是马家窑文化马家窑类型(距今5300-4800年),最主要的有齐家文化(距今4200-3950年)和后来的辛店文化(距今3400-2700年)^[51]。据此推断大约从距今5300年前开始,人类迁移至官亭盆地这块富庶之地,选择由黄土覆盖的黄河阶地建造聚落,大量种植粟、黍等农作物^[52],过着宁静祥和的田园生活。但官亭盆地毕竟处于干旱半干旱区,自然环境比较脆弱,极易受到气候变化和人类活动的干扰和影响。在长达1000余年的刀耕火种和滥垦樵采及大规模烧制陶器过程中,势必对地表植被产生破坏,直接会导致乔木覆盖度下降,造成了严重的土壤侵蚀和水土流失,尤其在全新世距今4200-4000年前的气候恶化期,人地关系矛盾进一步恶化。距今4000年前后青藏高原东北缘发生的大规模乔木植被减少事件被学者所证实,如青海湖乔木孢粉急剧下降,几近消失^[53];共和盆地周围山地针叶林大幅度萎缩,松林逐渐退缩,荒漠草原面积扩大^[54];柳湾遗址史前文化木棺在马家窑文化期的比例高达83.6%,齐家文化期也有78.7%,而在辛店文化期却难以寻觅木质葬具的痕迹^[55],民和核桃庄墓地中辛店文化木棺也仅占墓葬总数的27.8%^[56],贵德山坪台遗址中卡约墓葬中的木棺也只有35.5%^[57],早期极为流行的独木棺,在距今4000年后已不复存在,这些证据均表明在这一气候恶化期,森林植被严重萎缩,可能在黄河谷地中只能生长一些灌木植被^[58]。这样,在气候恶化的环境背景下,不断增强的人类活动和土地资源的过度开发,降低了齐家文化聚落的人类对于恶劣环境和自然灾害的适应能力,灾害风险凸显。在距今3950年的一天,灾难的恶魔突然降临。突发的大地震使人们惊恐不定,伴随地震发生的暴雨山洪,诱发了源自于官亭盆地北侧大红山地区的大规模泥流,沿着岗沟、吕家沟、王石沟倾泻而下,在支沟汇流处,泥流迅速冲出沟岸,瞬间

涌入沟边的房屋,地动山摇,泥石流纵横,灾祸将人们吞没在无边的黑暗之中……,“东方庞贝”也在这一刻被历史所定格。

这一历史意味着造成毁灭喇家遗址灾难性泥石流发生的原因在一定程度上可以归咎于齐家文化时期的人类自己。官亭盆地地处青藏高原东北部,新构造运动活跃^[4],地震发生危险度较高。同时,由于构造抬升和河流切割等原因,滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害异常发育,孕灾环境复杂,致灾因子多样,灾害风险较高。再加上气候变化激发了人地关系的矛盾,人类长期对资源的过度利用,以及将聚落选址于泥石流沟口和路径区,造成该区域致灾危险性、人类对灾害的暴露性和敏感性凸显,最终酿成喇家遗址齐家文化人类的悲剧。2008年5月12日四川汶川大地震给北川县城带来了毁灭性的灾难,地震及其诱发的滑坡、泥石流等灾害在几个月内相继发生,蹂躏着已是千疮百孔的老北川县城。作为汶川地震的重灾区之一,甘肃舟曲周边山体松动、岩层破碎,再加上长期的植被破坏和坡地开垦,造成地质环境恶化,在坡陡谷窄的地貌条件下,遇到突发强降水,造成了2010年8月7日建国以来最严重的特大泥石流灾害^[59],将建于泥石流通道上的村庄和城区瞬间夷为平地。这些灾难的形成与喇家遗址的悲剧几乎同出一辙,值得我们深思与反省。

参考文献(References)

- [1] Song Zhenghai, Gao Jianguo, Sun Guanlong, et al. The group occurrence period of natural disasters and abnormalities in ancient China. Hefei: Anhui Education Press, 2002. [宋正海, 高建国, 孙关龙, 等. 中国古代自然灾害群发期. 合肥: 安徽教育出版社, 2002.]
- [2] Wang Wei, Zhao Hui. The main harvest of the Chinese civilization origin project. Guangming Daily, 2010-02-23. [王巍, 赵辉. 中华文明探源工程的主要收获. 光明日报, 2010-02-23.]
- [3] Ye Maolin. The excavation of the prehistorical Lajia Ruins in Minhe County, Qinghai Province. Archaeology, 2002(7): 3-6. [叶茂林. 青海民和喇家史前遗址的发掘. 考古, 2002(7): 3-6.]
- [4] Xia Zhengkai, Yang Xiaoyan. Prehistoric disasters at Lajia Site, Qinghai Province, China. Chinese Science Bulletin, 2003, 48(11): 1200-1204. [夏正楷, 杨晓燕, 叶茂林. 青海喇家遗址史前灾难事件. 科学通报, 2003, 48(11): 1200-1204.]
- [5] Yang Xiaoyan, Xia Zhenkai, Cui Zhijiu. Holocene extreme floods and its sedimentary characteristic in the upper reaches of the Yellow River. Quaternary Sciences, 2005, 25(1): 80-85. [杨晓燕, 夏正楷, 崔之久. 黄河上游全新世特大洪水及其沉积特征. 第四纪研究, 2005, 25(1): 80-85.]
- [6] Wu Qinglong, Zhang Peizhen. A palaeo- earthquake induced damming and bursting of the Yellow River and the abnormal flood that destroyed Liajia Relics. Science in China: Series D, 2009, 39(8): 1148-1159. [吴庆龙, 张培震. 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: D辑, 2009, 39(8): 1148-1159.]
- [7] Huang Chunchang, Pang Jiangli, Zhou Yali, et al. Palaeoenvironmental Implications of the Prehistorical Catastrophes in Relation to the Lajia Ruins within the Guanting Basin along the Upper Yellow River, China. The Holocene, 2013, 23(11): 1584-1595.
- [8] Zhang Yuzhu, Huang Chun Chang, Pang Jiangli, et al. A luminescence dating study of the sediment stratigraphy of the Lajia Ruins in the upper Yellow River valley, China. Journal of Asian Earth Sciences, 2014, 87: 157-164.
- [9] 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. Acta Geographica Sinica, 2013, 68(5): 626-639. [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. 地理学报, 2013, 68(5): 626-639.]
- [10] Zhang Yuzhu, Huang Chunchang, Pang Jiangli, et al. Micromorphology of ancient plow layer of paleosol in the Lajia Ruins in the Guanting Basin, Minhe County, Qinghai Province. Acta Pedologica Sinica. doi: 10.11766/trxb201409110458. [张玉柱, 黄春长, 庞奖励, 等. 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, DOI: 10. 11766/trxb201409110458.]
- [11] Zhang Yuzhu, Huang Chunchang, Pang Jiangli, et al. OSL dating of the massive landslide-damming event in the Jishixia Gorge, on the upper Yellow River, NE Tibetan Plateau. The Holocene, 2015, 25(5): 745-757.
- [12] Ye Maolin. The integration of multidisciplinary research for archaeological research on man-land relationship. Chinese Cultural Relic Newspaper, 2004-07-16. [叶茂林. 把多学科研究整合为人地关系的考古学研究. 中国文物报, 2004-07-16.]

- [13] Li Zhimin, Li Yanjing, Tian Qinjian, et al. Study on the relationship between paleoseismic on Laji Mountain Fault and catastrophic event on Lajishan Site. *Journal of Seismological Research*, 2014, 37(Z): 109-115. [李智敏, 李延京, 田勤俭, 等. 拉脊山古地震与喇家遗址灾变事件关系研究. *地震研究*, 2014, 37(Z): 109-115.]
- [14] 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. *Earthquake Research in China*, 2005, 21(1): 93-102. [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. *中国地震*, 2005, 21(1): 93-102.]
- [15] Gao Jizong. Prehistorical catastrophe: Concealing for 4000 years. *City and Disaster Reduction*, 2012, (1): 37-38. [高继宗. 史前大灾难 封存四千年. *城市与减灾*, 2012, (1): 37-38.]
- [16] Ouyang Jie, Zhu Cheng, Ye Maolin, et al. A preliminary study of the magnetic susceptibility anomalies phenomenon and mechanism of paleoseismic sandblasting of Lajia site in Qinhai. *World Seismology*, 2008, (11): 128. [欧阳杰, 朱诚, 叶茂林, 等. 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*, 2008, (11): 128.]
- [17] Zhang Xuelian, Ye Maolin, Qiu Shihua, et al. A preliminary study and The 14 C dating of the Lajia Ruins. *Archaeology*, 2014, (11): 91-104. [张雪莲, 叶茂林, 仇士华, 等. 民和喇家遗址碳十四测年及初步研究. *考古*, 2014, (11): 91-104.]
- [18] Huang Chunchang, Pang Jiangli, Zha Xiaochun, et al. Holocene palaeoflood events recorded by slackwater deposits along the Lower Jinghe River Valley, Middle Yellow River Basin, China. *Journal of Quaternary Science*, 2012, 27(5): 485-493.
- [19] Zhang Junna, Xia Zhengkai. Deposition evidences of the 4 ka BP flood events in Central China Plains. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(5): 685-697. [张俊娜, 夏正楷. 中原地区4 ka BP前后异常洪水事件的沉积证据. *地理学报*, 2011, 66(5): 685-697.]
- [20] Wang Wei. A study of the causes of cultural changes in a vast territory of China around 2000BC. *Archaeology*, 2004(1): 65-77. [王巍. 公元前2000年前后我国大范围文化变化的原因探讨. *考古*, 2004(1): 65-77.]
- [21] Liu Junnan. The source of paleoflood and conformation on Dayu's taming water. *Agricultural Archaeology*, 2001(1): 190-193. [刘俊男. 上古洪水来源及禹治洪水考. *农业考古*, 2001(1): 190-193.]
- [22] Liu Yulin, Liang Guisheng. Characteristics of flood in the upper yellow river and its Prevention. *Gansu Water Resources and Hydropower Technology*, 2002, 38(2): 99-101. [刘玉林, 梁贵生. 黄河上游洪水特性及其防治. *甘肃水利水电技术*, 2002, 38(2): 99-101.]
- [23] Huang Chunchang, Li Xiaogang, Pang Jiangli, et al. Palaeoflood sedimentological and hydrological studies in the Yongheguan reach in the middle reaches of the Yellow River. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(11): 1494-1504. [黄春长, 李晓刚, 庞奖励, 等. 黄河永和关段全新世古洪水研究. *地理学报*, 2012, 67(11): 1494-1504.]
- [24] Du Deyan, Wu Guoying. Water and sediment variations and characteristics of scouring-deposition in the GuiGe and XunHua of the Yellow River. *Gansu Water Resources and Hydropower Technology*, 2013, 49(9): 93-95, 10. [杜得彦, 吴国英. 黄河干流贵德、循化站水沙及冲淤变化特性分析. *甘肃水利水电技术*, 2013, 49(9): 93-95, 10.]
- [25] Huang Chunchang, Pang Jiangli, Zha Xiaochun, et al. Prehistorical floods in the Guanzhong Basin in the Yellow River drainage area. *Science in China: Series D*, 2011, 41(11): 1658-1669. [黄春长, 庞奖励, 查小春, 等. 黄河流域关中盆地史前大洪水研究: 以周原漆水河谷地为例. *中国科学: D辑*, 2011, 41(11): 1658-1669.]
- [26] Zhou Hongfu, Wei Yuting, Nie Dexin. Formation mechanism of high-speed Gelongbu landslide and associated blockage of upper reach Yellow River. *Journal of Engineering Geology*, 2009, 17(4): 484-488. [周洪福, 韦玉婷, 聂德新. 黄河上游戈龙布滑坡高速下滑成因机制及堵江分析. *工程地质学报*, 2009, 17(4): 484-488.]
- [27] Dong G H, Zhang F Y, Ma M M, et al. Ancient landslide-dam events in the Jishi Gorge, upper Yellow River valley, China. *Quaternary Research*, 2013, 81: 445-451.
- [28] Yin Zhiqiang, Zhao Wuji, Li Xiaolin, et al. The event of river block by Gelongbu landslide and Dammed Lake Deposit. *Acta Geologica Sinica*, 2013, 87(Z1): 310-313. [殷志强, 赵无忌, 李小林, 等. 黄河上游戈龙布滑坡堵河事件及堰塞湖沉积物研究. *地质学报*, 2013, 87(Z1): 310-313.]
- [29] Zhang Zhigang, Bai Shibiao, Wang Jian, et al. The event of Jishixia of river block by severe landslide occurred at in the upper reaches of the Yellow River during the early Holocene. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2013, 27(7): 102-107. [张志刚, 白世彪, 王建, 等. 全新世早期黄河上游积石峡大型滑坡堵江事件研究. *干旱区资源与环境*, 2013, 27(7): 102-107.]
- [30] Zhou Bao, Peng Jianbing, Lai Zhongping, et al. Research on geochronology of super large landslide in the upper Yellow River. *Quaternary Sciences*, 2014, 34(2): 346-353. [周保, 彭建兵, 赖忠平, 等. 黄河上游特大型滑坡群发特性的年代学研究. *第四纪研究*, 2014, 34(2): 346-353.]
- [31] Huang Runqiu. Mechanism of large scale landslides in western china. *Quaternary Sciences*, 2003, 23(6): 640-647. [黄润秋. 中国西部地区典型岩质滑坡机理研究. *第四纪研究*, 2003, 23(6): 640-647.]
- [32] Xu Zemin, Liu Wenlian, Huang Runqiu. Geomorphological effects of landslide damming. *Quaternary Sciences*, 2013, 33

- (3): 490-500. [徐则民, 刘文连, 黄润秋. 滑坡堵江的地貌效应. 第四纪研究, 2013, 33(3): 490-500.]
- [33] Shi Wei, Zhu Cheng, Xu Weifeng, et al. Relationship between abnormal phenomena of magnetic susceptibility curves of profiles and human activities at Zhongba Site in Chongqing. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(3): 257-267. [史威, 朱诚, 徐伟峰, 等. 重庆中坝遗址剖面磁化率异常与人类活动的关系. 地理学报, 2007, 62(3): 257-267.]
- [34] Tian Mingzhong, Cheng Jie. *Quaternary Geology and Geomorphology*. Beijing: Geological Publishing House, 2009. [田明中, 程捷. 第四纪地质学与地貌学. 北京: 地质出版社, 2009.]
- [35] Wang Liangchen, Zhang Jinliang. *Sedimentary Environment and Sedimentary Facies*. Beijing: Petroleum Industry Press, 1996. [王良忱, 张金亮. 沉积环境和沉积相. 北京: 石油工业出版社, 1996.]
- [36] Liu Dongsheng. *Loess and Environment*. Beijing: Science Press, 1985. [刘东生. 黄土与环境. 北京: 科学出版社, 1985.]
- [37] Zhang H Y, Lu H Y, Jiang S Y, et al. Provenance of loess deposits in the Eastern Qinling Mountains (central China) and their implications for the paleoenvironment. *Quaternary Science Reviews*, 2012, 43: 94-102.
- [38] Wunnemann B, Demske D, Tarasov P, et al. Hydrological evolution during the last 15 kyr in the Tso Kar lake basin (Ladakh, India), derived from geomorphological, sedimentological and palynological records. *Quaternary Science Reviews*, 2010, 29: 1138-1155.
- [39] Huang Chunchang, Pang Jiangli, Zha Xiaochun, et al. Holocene palaeoflood events recorded by slackwater deposits along the lower Jinghe River valley, middle Yellow River basin, China. *Journal of Quaternary Science*, 2012, 27(5): 485-493.
- [40] Migliavacca M, Pizzeghello D, Busana M S, et al. Soil chemical analysis supports the identification of ancient breeding structures: The case-study of Ca Tron (Venice, Italy). *Quaternary International*, 2012, 275: 128-136.
- [41] Zhang Xuelian, Qiu Shihua, Cai Lianzhen, et al. The ^{14}C Laboratory Reports of Archaeological Institute of Chinese Academy of Social Sciences (29). *Archaeology*, 2003(7): 64-68. [张雪莲, 仇士华, 蔡莲珍, 等. 放射性碳素测定年代报告(29). 考古, 2003(7): 64-68.]
- [42] Zhang Xuelian, Qiu Shihua, Cai Lianzhen, et al. The ^{14}C Laboratory Reports of Archaeological Institute of Chinese Academy of Social Sciences (31). *Archaeology*, 2005(7): 57-61. [张雪莲, 仇士华, 蔡莲珍, 等. 放射性碳素测定年代报告(31). 考古, 2005(7): 57-61.]
- [43] Zhang Xuelian, Qiu Shihua, Cai Lianzhen et al. The ^{14}C Laboratory Reports of Archaeological Institute of Chinese Academy of Social Sciences (35). *Archaeology*, 2009, (7): 64-67. [张雪莲, 仇士华, 蔡莲珍, 等. 放射性碳素测定年代报告(35). 考古, 2009(7): 64-67.]
- [44] Zhang Peizhen, Zheng Dewen, Yin Gongming, et al. Discussion on late cenozoic growth and rise of northeastern margin of the Tibetan Plateau. 2006, 26(1): 5-13. [张培震, 郑德文, 尹功明, 等. 有关青藏高原东北缘晚新生代扩展与隆升的讨论. 第四纪研究, 2006, 26(1): 5-13.]
- [45] Yin Zhiqiang, Qin Xiaoguang, Zhao Wuji, et al. Reexploration on the formation mechanism of the red clay layer in the guanting basin of the upper reaches of Yellow River. *Quaternary Research*, 2013, 33(5): 995-1004. [殷志强, 秦小光, 赵无忌, 等. 黄河上游官亭盆地红粘土层成因机制再探讨. 第四纪研究, 2013, 33(5): 995-1004.]
- [46] Ren Xiaoyan, Wang Guodao, Cai Linhai, et al. Excavation on Lajia site in Minhe county, Qinghai province, in 2000. *Archaeology*, 2002(12): 12-25. [任晓燕, 王国道, 蔡林海, 等. 青海民和县喇家遗址2000年发掘简报. 考古, 2002(12): 12-25.]
- [47] Qu Tongli. Study on the significance and application of the soil micromorphology in archaeology. *Chinese Cultural Relic Newspaper*, 2011-12-23. [曲彤丽. 土壤微形态分析在史前考古中的应用与意义. 中国文物报, 2011-12-23.]
- [48] Fang Xiaomin, Shen Mingzhi, Mou Shangzhi. Micro-features and formation studies on debris flow in Wudu County. *Science in China: Series B*, 1991(2): 206-215. [方小敏, 沈明智, 牟响智, 等. 武都泥石流显微构造及其形成机制初探. 中国科学: B辑, 1991(2): 206-215.]
- [49] Tang Bangxing, Zhou Bifan, Wu Jishan, et al. *Debris Flow in China*. Beijing: The Commercial Press, 2000. [唐邦兴, 周必凡, 吴积善, 等. 中国泥石流. 北京: 商务印书馆, 2000.]
- [50] Yang Xiaoyan, Xia Zhenkai, Cui Zhijiu, et al. Environmental settings and depositional processes and distribution of the archeological sites in the Guanting Basin. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(3): 454-461. [杨晓燕, 夏正楷, 崔之久, 等. 青海官亭盆地考古遗存堆积形态的环境背景. 地理学报, 2004, 59(3): 454-461.]
- [51] Dong Guanghui, Jia, Xin, Elston R, et al. Spatial and temporal variety of prehistoric human settlement and its influencing factors in the upper Yellow River valley, Qinghai Province, China. *Journal of Archaeological Science*, 2012, 40: 2538-2546.
- [52] Lv Houyuan, Li Yumei, Zhang Jianping, et al. Component and simulation of the 4000-year-old noodles excavated from the archaeological site of Lajia in Qinghai, China. *Chinese Science Bulletin*, 2015, 60(8): 744-756. [吕厚远, 李玉梅, 张

- 健平, 等. 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, 2015, 60(8): 744-756.]
- [53] Liu Xingqi, Sheng Ji, Wang Sumin, et al. A 16 000- year pollen record of Qinghai Lake and its paleoclimatic and paleoenvironmental evolution. Chinese Science Bulletin, 2002, 47(17): 1351-1355. [刘兴起, 沈吉, 王苏民, 等. 青海湖 16kaB. P. 以来花粉记录及其古气候古环境演化. 科学通报, 2002, 47(17): 1351-1355.]
- [54] Cheng Bo, Chen Fahu, Zhang Jiawu. Palaeovegetational and palaeoenvironmental changes in Gonghe Basin since Last Deglaciation. Acta Geographica Sinica, 2010, 65(11): 1336-1344. [程波, 陈发虎, 张家武. 共和盆地末次冰消期以来的植被和环境演变. 地理学报, 2010, 65(11): 1336-1344.]
- [55] Archaeological Team of Qinghai Provincial, Institute of Archaeology of Chinese Academy of Social Sciences. The pre-historical graveyard of Qinghai Province Liawan Village. Beijing: Cultural Relics Press, 1984. [青海省文物管理处考古队, 中国社会科学院考古研究所. 青海柳湾. 北京: 文物出版社, 1984.]
- [56] Institute of Archaeology of Qinghai. Hetaozhuang in Minhe. Beijing: Science Press, 2004. [青海省文物考古研究所. 民和核桃庄. 北京: 科学出版社, 2004.]
- [57] Institute of Archaeology of Qinghai. The kayao culture graveyard at shanpingtai in Guide county, Qinghai province. Archaeologia Sinica, 1987(2): 255-274. [青海省文物考古队. 青海贵德山坪台卡约文化墓地. 考古学报, 1987(2): 255-274.]
- [58] Hou Guangliang, Wei Haicheng, E Chongyi, et al. Prehistoric population and cultivated land change in the eastern Qinghai Province and its environmental effects. Scientia geographica sinica, 2013, 33(3): 299-306. [侯光良, 魏海成, 鄂崇毅, 等. 青海东部史前人口-耕地变化及其对植被演变的影响. 地理科学, 2013, 33(3): 299-306.]
- [59] Yang Xianbi. The pain of debris flow in Zhouqu. Environment, 2010, (9): 20-22. [杨先碧. 舟曲: 泥石流之痛. 环境, 2010(9): 20-22.]

Exploration and analysis of the reasons for pre-historical catastrophes in the Lajia Ruins, Qinghai Province

ZHOU Qiang¹, ZHANG Yuzhu²

(1. School of Life and Geographic Science, Qinghai Normal University, Xining 810008, China;

2. College of Urban and Environmental Sciences, Northwest University, Xi'an 710127, China)

Abstract: Archaeological excavations have exposed a shocking picture of the prehistorical calamities in the Lajia Ruins in the Guanting Basin along the Yellow River. The destruction reasons has been a hot and focus issue in recent years. Geological records of the major disasters in relation to the devastation of this prehistorical settlement were investigated by detailed field observations, sedimentological analysis and optically stimulated luminescence (OSL) and ¹⁴C dating. More importantly, we made a comparative study of the conglomerated red clay, the gully deposit at the foot of the Great Red Hills where the Ganggou gullies emerge onto the Guanting Basin, and the palaeoflood deposit of the Yellow River in the barrier lake in the Jishixia. The results show that at ca. 3950 a BP, immediately followed by a major earthquake, the settlement was overtaken by immense mudflows coming along the tributary gullies from the hillsides behind. The enormous mudflows suddenly buried and destroyed the dwellings, which led to the prehistorical calamities in the Lajia Ruins. These results are of important implications in understanding the prehistorical environmental change in the environmentally sensitive zones over the world. It has very important reference value for the further studying of man-land relationship.

Keywords: Guanting Basin; Lajia Ruins; prehistorical catastrophes; earthquake; mudflow