

拉脊山断裂古地震与喇家遗址灾变事件关系研究*

李智敏¹, 李延京², 田勤俭³, 夏玉胜¹, 张加庆¹, 姚生海¹, 黄 伟¹

(1. 青海省地震局, 青海 西宁 810001; 2. 青海省海东地区地震局 乐都地震台, 青海 海东 814000;
3. 中国地震局地震预测研究所, 北京 100036)

摘要: 利用高分辨率的遥感资料, 获得了拉脊山断裂带的几何学特征, 通过野外调查和开挖探槽, 对拉脊山断裂带上古地震进行了研究。认为拉脊山断裂在大河家地区逆冲活动造成黄河阶地上形成断层陡坎, 在陡坎位置开挖探槽, 揭露出了 3 700 a. BP 以来至少发生过 2 次中强以上古地震事件, 并造成了黄河阶地变形, 最晚一次古地震事件发生在 $(3\ 136 \pm 51)$ a. BP 左右, 估算断层全新世中晚期以来的滑动速率为 0.51 mm/a。形成于 3 650 ~ 2 750 a. BP 前后的喇家遗址位于该探槽剖面 6.4 km 处, 因此得出拉脊山断裂带上强烈的古地震事件与喇家文化的毁灭存在密切的联系。该研究对认识拉脊山断裂带的地震危险性和确定形成喇家遗址的古地震证据具有重要的科学价值。

关键词: 拉脊山断裂; 古地震; 喇家遗址; 灾变关系

中图分类号: P316.04

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2014)增刊-00109-07

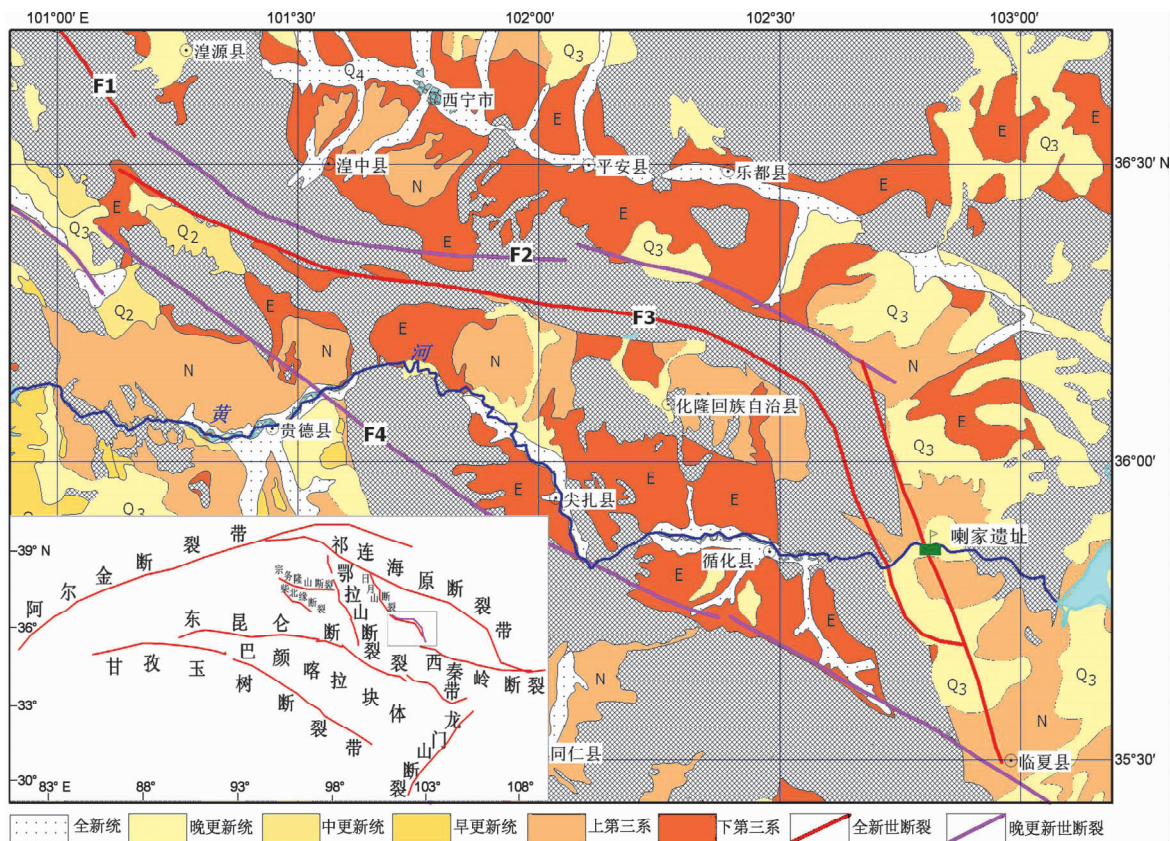
0 引言

青藏高原东北缘地区是由北东东向左旋走滑的阿尔金断裂带、北北西向的祁连山—海原断裂带和近东西向左旋走滑的东昆仑断裂带三条巨型左旋走滑断裂所围限的一个相对独立的块体, 称为柴达木—祁连活动地块 (李智敏等, 2013), 与其南邻的是由东昆仑断裂带、龙门山断裂带和甘孜—玉树断裂带所围限的巴颜喀拉块体 (图 1)。由于高原整体不断隆升和向东北侧向挤压, 在柴达木—祁连活动地块内部形成了一些性质不同、规模不等的晚第四纪活动断裂带 (袁道阳等, 2004a), 如大柴旦—宗务隆山断裂带、柴北缘断裂带、鄂拉山断裂带、日月山断裂带和拉脊山断裂带等。对柴北缘断裂带、鄂拉山断裂带 (袁道阳等, 2004b)、拉脊山断裂带 (张波等, 2012; 袁道阳等, 2005) 的活动性已有大量研究, 但对以上断裂尤其是拉脊山断裂古地震事件的研究很少。

近几年来, 史前自然灾害对人类文明进程的影响, 引起各国科学家的普遍关注, 并正在成为当前国际地学界和史学界共同关心的热点问题之一 (朱诚等, 1996; 夏正楷等, 2003)。众所周

知, 中强以上地震的发生对人类活动有着严重的威胁。位于青海民和县官亭盆地的喇家遗址, 是一处齐家文化中晚期的大型聚落遗址。前人研究认为, 强烈地震在积石峡所形成的堰塞湖溃决在黄河上游甘青交界处官亭盆地形成了喇家遗址, 这一堰塞及溃决事件发生在大约 1730 B. C. (吴庆龙等, 2009)。但前人对本次地震的发震构造及其发震能力一直没有找到直接的证据。距离该遗址 4.5 km 处的拉脊山断裂带位于祁连山褶皱带内, 走向从西向东由 NWW 向变为近 EW、NNW 向, 以逆冲活动为主, 西段左旋走滑活动的迹象也很清晰 (张波等, 2012), 构成了晚新生代西宁—民和盆地和循化—化隆盆地的边界, 是一条形成于加里东期的古老断裂带, 后期经历了多期强烈的构造变动, 形成一个多阶段构造抬升的构造窗 (王二七等, 2000); 该断裂也是调节 NNW 向的热水—日月山右旋走滑断裂带与 NWW 向的西秦岭北缘左旋走滑断裂带之间应力应变关系的构造转换带 (袁道阳等, 2003); 地质地貌调查发现拉脊山断裂以晚更新世活动为主, 断错了多条冲沟的阶地, 仅局部活动时代可能为全新世早期, 造成断裂两侧有历史记载以来 20 多次 5 级左右中等地震的发生 (袁道阳等, 2005)。

* 收稿日期: 2014-08-30.



F₁: 热水—日月山断裂; F₂: 拉脊山北缘断裂; F₃: 拉脊山南缘断裂; F₄: 青海南山断裂

图1 拉脊山断裂地震构造与喇家遗址位置图

Fig. 1 Seismotectonics of Lajishan Fault and location of Lajia site

拉脊山断裂带有历史记载以来虽然没有记录到强烈地震的发生,但该断裂带为一条活动性很强的区域性断裂,前人没有在该断裂带上取得古地震事件资料,笔者将通过遥感影像资料的解译来展现拉脊山断裂的几何形态特征,并试图通过探槽开挖揭露其古地震事件,确定拉脊山断裂带上古地震与青海喇家遗址形成年代之间的对应关系。

1 拉脊山断裂带遥感特征解译

在遥感图像上拉脊山山体阴影明显,主要表现为深色调,纹理显得比较复杂,这是由于受地表流水侵蚀作用的影响,导致拉脊山山体沟谷发育。山脊线清楚、地形起伏大,与北侧的西宁盆地形成明显的对比。其南北两侧分别为拉脊山北缘断裂和拉脊山南缘断裂所围限,组成了一组弧形逆冲构造带—拉脊山断裂带,平均宽度仅

10 km。遥感影像上断裂脊线明显,由多段不连续的断裂带组成(图2)。

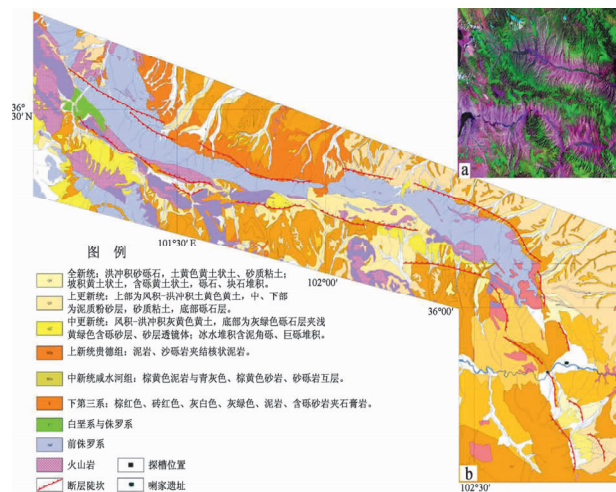


图2 拉脊山断裂遥感影像(a)和解译图(b)

Fig. 2 The remote sensing (a) and interpretation images (b) of Lajishan Fault

1.1 拉脊山北缘断裂带

遥感解译认为该断裂带由数条不连续的断裂组成，西起日月山垭口的山根村一带，向东沿西宁盆地南缘延伸，断裂有明显的分段性（图2）。在拉脊山北缘的北门沟处断裂分叉，两支分别止于石咀村和青石坡；在上新庄断裂稍具南凸弧状向东止于石壁沿；断裂向北平移在沙沟村南断裂 NWW 向止于上帐房；在营坡村南断裂向北稍具凸弧状经中坝、塘二塬终止于红崖子一带。全长约 230 km，自西向东走向由 NW60° 渐变为近 EW、NWW 向。该断裂南侧是高昂的拉脊山脉，北侧是西宁盆地，成为盆山分界的重要边界断裂，两侧地貌高差显著。

断裂在上新庄以南贵德峡附近脊线尤为明显。以上新庄为界，断裂可分成运动性质不同的两段。断裂东段（上新庄以东）以垂直升降运动为主，多呈舒缓的波状，反映了强烈的挤压逆冲；断裂西段（上新庄以西）线性特征明显，以逆走滑活动为主，多形成水系同步拐弯和山脊断错现象，最大断距达 1 100 m（涂德龙等，1998），野外调查表明该断裂段断层陡坎明显（图3）。

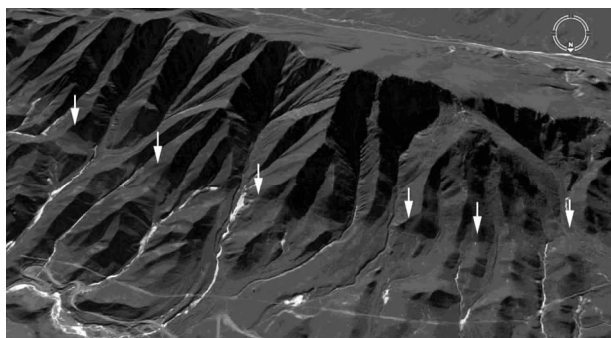


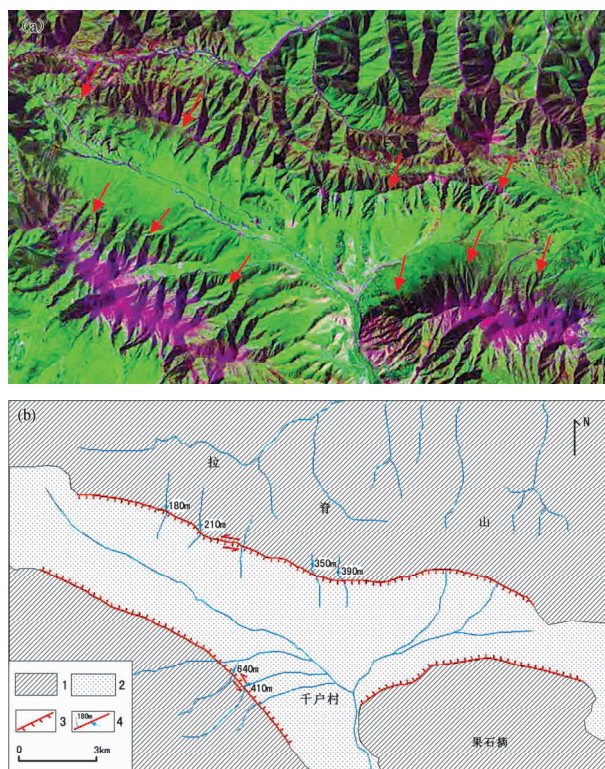
图3 上新庄以西拉脊山北缘断层陡坎
Fig. 3 Scarps of the Northern Margin Fault of Lajishan to the west of Shangxinzhuan

2 拉脊山南缘断裂

遥感图像上拉脊山南缘断裂影象特征清晰，由不连续的数段组成（图2）。断裂西起日月山垭口的克素尔村，向东呈舒缓波状经日月山山隘止于青阳山；在千户村断裂南断裂拉张形成千户盆地；在黑峡断裂又以不连续的舒缓波状经茶铺、药水泉、扎浪滩止于马场；在马场南的卧力杂断

裂稍具北凸弧状经九道湾终止于总洞附近，长大约 220 km。整体走向由近 NWW 向逐渐转为近 EW 向。

以千户村为界，断裂可分成活动不同的两段。断裂西段（千户村以西）多构成槽状负地形，控制着第四系松散堆积；断裂东段（千户村以东）则表现为直线状陡壁断崖。整个断裂带断裂活动以挤压为主，局部兼有左旋走滑，如在拉脊山顶红山咀（海拔 3 800 m）拉脊山南缘断裂及其分支断裂的左旋活动形成了拉张性的山间盆地—千户盆地，该盆地东西长 20 km，南北宽仅 2 ~ 4 km，呈 NWW 向长条状展布。水系在断层经过处突然变宽，左旋断错水系，断错量从 180 ~ 640 m 不等（图4、表1），可以认为该断裂第四纪以来活动比较强烈。野外调查发现，在盆地两侧形成了 I ~ IV 级洪积台地，断裂新活动造成台地断错，形成高的断层崖或一系列断层垭口等地貌（袁道阳等，2003）。



1. 基岩区；2. 千户盆地；3. 断层陡坎；4. 断错值

图4 千户村以北拉脊山南缘断裂遥感解译图
Fig. 4 The remote sensing interpretation of the Southern Margin fault of Lajishan Fault to the north of Qianhu Village

表 1 千户盆地拉脊山南缘断裂水平位移一览表
(A 卫星片测量值)

Tab. 1 Horizontal displacement along Southern Margin
Fault of Lajishan at Qianhu Basin measured
values of accuracy A of satellite tablets)

编号	1	2	3	4	5	6
断错地貌	水系	水系	水系	水系	水系	水系
断距/m	180	210	350	390	640	410
精度	A	A	A	A	A	A

3 拉脊山断裂带古地震事件

黄河在循化的大河家和官亭形成了两个河谷盆地。河谷宽百米近数千米不等，丘陵起伏、黄土深厚，黄河发育有多级阶地，其中循化黄河谷地海拔 1 880 ~ 1 900 m 之间，大河家—官亭谷地在 1 700 ~ 1 800 m 之间（图 5）。盆地内可划分出 4 级黄河阶地，由低到高分别海拔 3 m，15 ~ 20 m，70 ~ 90 m 和 120 m 左右（图 6）。除 I 级阶地为堆积阶地外，其它 3 级阶地为基座阶地，且上覆厚度不等的黄土（潘保田等，1996）。其中 I 级阶地形成于 3.7 ka，II 级阶地形成于 15 ~ 20 ka（国家地震局地壳应力研究所，1991），III 级阶地形成于 7 万年左右（王萍等，2007），IV 级阶地形成于 56 ~ 80 万年（潘保田，1994）。

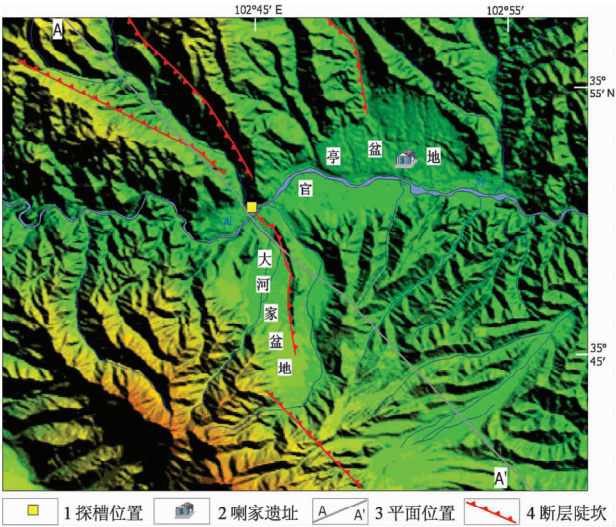


图 5 黄河大河家—官亭盆地地貌图
Fig. 5 Geomorphologic map of
Dajiahe-Guanting Basin

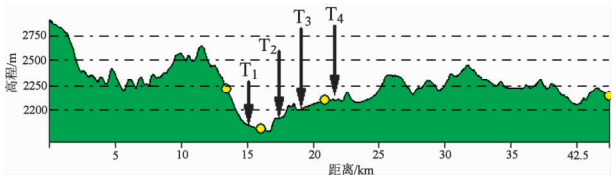


图 6 AA' 剖面地形图
Fig. 6 Topographic map of AA' profile

在官亭盆地，拉脊山断裂的逆冲活动在黄河 I、II 级阶地上分别形成 1.6 m（图 7）和 5 m 的陡坎，阶地砾石层砾石层在靠近断层处有拖曳变形现象。对黄河 II 级阶地陡坎上形成一鼓梁，该鼓梁高 2 m，长 15 m（图 7 中 a 所示），对该陡坎进行开挖，陡坎中粉细砂层明显西倾，可能与断层活动有关。野外在黄河 I 级阶地陡坎位置开挖探槽，由于靠近黄河很近，探槽深度在 4 m 处渗水，为了探明断层深部特征，在该陡坎位置布设了一条人工浅层地震测线，测线结果表明在陡坎的处上覆第四系沉积物与下伏第三系泥岩存在一陡坎面（图 8）。

陡坎处开挖探槽揭露（图 9），断层 F₂ 逆冲活动，造成阶地砾石层斜向变形，并在 I 级阶地上形成陡坎，在坎前形成一构造楔，并沉积了洪积层⑤，之后断层 F₁ 活动，造成层⑤变形，后期稳定沉积了灰白色粘土层④、灰白色粉细砂层③、灰褐色黄土层②和根土层①，说明在层④沉积以来，断层再未活动。在层⑥、层⑤中取了释光样品 DHJ-01、DHJ-02，在层④中取了碳样 CDHJ-04，在层③取了碳样 CDHJ-05，在层②中取

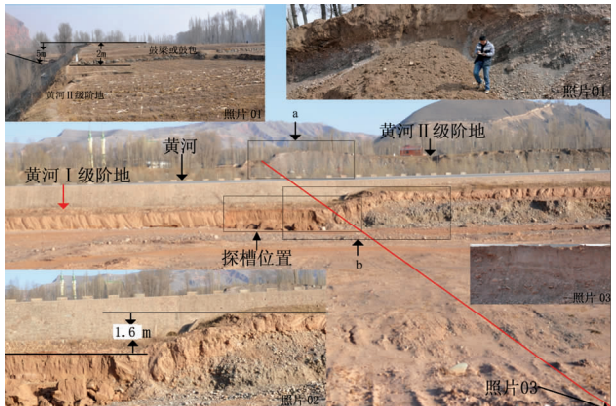


图 7 断层断错黄河 I、II 级阶地地貌图
Fig. 7 Geomorphologic map of terraces I and
II of Yellow River dislocated by fault

了释光样品 DHJ-06、DHJ-07 和碳样 CDHJ-03。释光样品送至山东省工程地震研究院测试。碳样送至中国科学院广东地化所测试，碳样 CDHJ-03 的测年结果为 (816 ± 42) a. BP，碳样 CDHJ-04 的测年结果为 $(3\ 136 \pm 51)$ a. BP，碳样 CDHJ-

05 的测年结果为 (3035 ± 69) a. BP，由于释光测年结果还没出来，因此可估计拉脊山断裂上最晚一次古地震事件发生在 $(3\ 136 \pm 51)$ a. BP 左右。在该处断层逆冲活动造成 1.6 m 的陡坎，估算断层全新世中晚期以来的滑动速率为 0.51 mm/a。

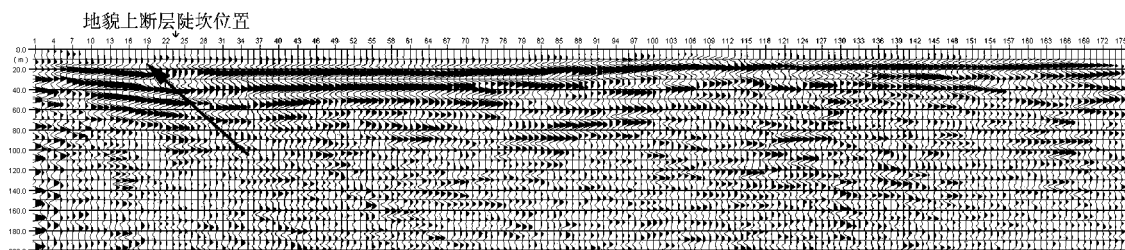


图 8 人工浅层地震剖面

Fig. 8 The section of artificial earthquake in shallow layer

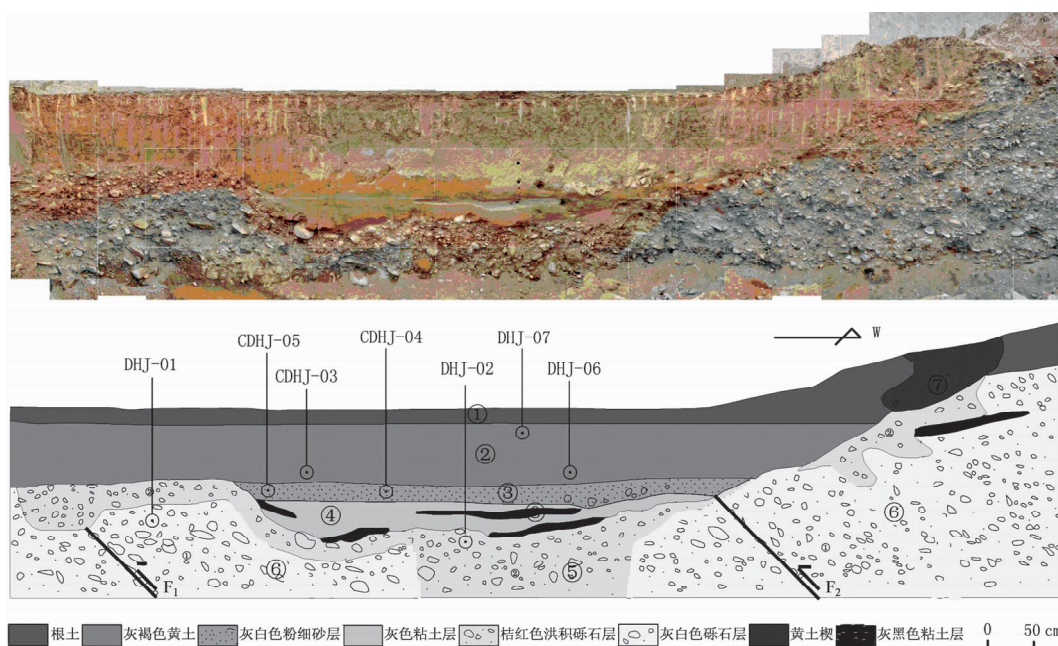


图 9 探槽剖面图

Fig. 9 The section of trial trench

4 喇家遗址

位于青海民和县官亭盆地的喇家遗址，是一处齐家文化中晚期的大型聚落遗址。在 2000~2001 年的考古发掘中，发现了这次十分罕见的史前灾难堰塞事件现场（夏正楷等，2003）（图 10）。

喇家遗址地处甘肃与青海交界的官亭盆地 $(35.86118^{\circ}\text{N}, 102.81222^{\circ}\text{E})$ ，黄河自西向东从盆地南缘流过（图 5），沿河发育有三级黄河阶地，

遗址位于黄河北岸 II 级阶地的前缘，高于河面约 25 m，距黄河水平距离约 1 km。在喇家遗址及其周围地区，地裂缝、砂土液化造成的砂管现象很普遍。在喇家遗址区还可以看到古山洪的堆积物，黄河上游积石峡（距离喇家遗址 10 km）史前时期发生了一次严重的堰塞事件，形成了水体达 $11.71 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的古堰塞湖；山体崩塌是黄河发生堰塞的直接原因，而地震则很可能是触发山体崩塌的关键因素，堰塞湖在形成后不久即发生了部分溃决，造成了洪峰近 $35\ 000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 的异常洪水

(吴庆龙等, 2009)。

因此推断, 喇家遗址形成于 3 650 ~ 2 750 a. BP 前后的齐家文化晚期至辛店文化早期, 曾经先发生地震, 造成了喇家地面的破坏和房屋的倒塌, 洪水发生在地震之后, 将喇家整个摧毁(夏正楷等, 2003)。



图 10 喇家遗址堰塞事件现场

Fig. 10 Sense of dammed event in Lajia site

5 拉脊山断裂古地震与喇家遗址灾变事件关系

拉脊山断裂带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, 虽然有历史记载以来仅发生过 20 多次 5 级左右中等地震, 但通过野外调查表明该断裂在晚更新世至全新世以来都有过活动, 探槽揭露断层在 3 700 a. BP 以来至少发生过 2 次中强以上古地震事件, 并造成了黄河阶地变形, 最晚一次古地震事件发生在 (3136 ± 51) a. BP 左右。该探槽剖面距喇家遗址约 6.4 km (图 5) 处, 探槽剖面中层⑤明显为一次洪积沉积物。喇家遗址形成于 $(3650 \sim 2750)$ a. BP 前后的齐家文化晚期至辛店文化早期, 根据该遗址在很短的时间内先后毁灭于地震和洪水, 可以推测 (3136 ± 51) a. BP 前后拉脊山断裂带上强烈的古地震事件及其造成黄河上游堰塞湖的形成和决堤洪水与喇家文化的毁灭存在密切的联系。

6 结论与讨论

对拉脊山断裂带遥感解译认为, 拉脊山断裂

带由拉脊山北缘断裂和拉脊山南缘断裂两条向 NE 凸出的弧形挤压逆冲断裂带构成, 成为北侧的西宁—民和盆地、南侧的循化—化隆盆地和东侧的临夏盆地等多个晚新生代断陷盆地的边界, 由数段弧状不连续的断裂组成。拉脊山由数段不连续宽缓波状断裂组成, 其左旋活动形成了拉张型的山间盆地—千户盆地, 左旋水平位移 180 ~ 640 m 不等。

拉脊山断裂在黄河 I、II 级阶地上分别形成的陡坎, 通过在黄河 I 级阶地上拉脊山断裂通过处探槽开挖结果表明, 拉脊山断裂在 3 700 a. BP 以来至少发生过 2 次强烈得古地震事件, 最晚一次古地震事件发生在 (3136 ± 51) a. BP 左右, 估算断层全新世中晚期以来的滑动速率为 0.51 mm/a。喇家遗址距离该探槽剖面约 6.4 km, 形成于 $(3650 \sim 2750)$ a. BP 前后的齐家文化晚期至辛店文化早期, 可以推测 (3136 ± 51) a. BP 前后拉脊山断裂带上强烈的古地震事件及其造成黄河上游堰塞湖的形成和决堤洪水与喇家文化的毁灭存在密切的联系。

由于释光年龄样品还未测出结果, 暂时无法准确判定古地震事件的复发间隔, 待年龄样品有结果后再进一步的完善该结论。

感谢甘肃省地震局袁道阳研究员对本文的帮助与启发。样品 ^{14}C 数据由中国科学院广州地球化学研究所 AMS- ^{14}C 制样实验室和北京大学核物理与核技术国家重点实验室联合完成, 在此一并表示感谢。

参考文献:

- 国家地震局地壳应力研究所. 1991. 地壳构造与地壳应力文集[M]. 北京:地震出版社.
- 李智敏, 李文巧, 田勤俭, 等. 2013. 青藏高原东北缘热水—日月山断裂带热水段古地震初步研究[J]. 地球物理学进展, 28(4): 1766-1771.
- 潘保田, 李吉均, 曹继秀, 等. 1996. 化隆盆地地貌演化与黄河发育研究[J]. 山地研究, 14(3): 153-158.
- 潘保田. 1994. 贵德盆地地貌演化与黄河上游发育研究[J]. 干旱区地理, 17(3): 43-50.
- 涂德龙, 张启胜, 李正阳. 1998. 共和 7.0 级地震的大地构造与活动构造环境[J]. 高原地震, 10(4): 9-15.
- 王二七, 张旗, Clark B. B. 2000. 青海拉鸡山: 一个多阶段抬升的构造窗[J]. 地质科学, 35(4): 493-500.
- 王萍, 袁道阳, 刘兴旺, 等. 2007. 兰州盆地黄河三级阶地的光释光年

- 龄[J]. 核技术, 30(11): 924-930.
- 吴庆龙, 张培震, 张会平, 等. 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[J]. 中国科学(D辑), 39(8): 1148-1159.
- 夏正楷, 王赞红, 赵青春. 2003. 我国中原地区 3500 a. BP 前后的异常洪水事件及其气候背景[J]. 中国科学(D辑), 33(9): 881-888.
- 袁道阳, 刘小龙, 刘百箴, 等. 2003. 青海热水一日月山断裂带古地震的初步研究[J]. 西北地震学报, 25(2): 136-142.
- 袁道阳, 张培震, 雷中生, 等. 2005. 青海拉脊山断裂带新活动特征的初步研究[J]. 中国地震, 21(1): 93-102.
- 袁道阳, 张培震, 刘百箴, 等. 2004a. 青藏高原东北缘晚第四纪活动构造的几何图像与构造转换[J]. 地质学报, 78(2): 270-278.
- 袁道阳, 张培震, 刘小龙, 等. 2004b. 青海鄂拉山断裂带晚第四纪构造活动及其所反映的青藏高原东北缘的变形机制[J]. 地学前缘, 11(4): 393-402.
- 张波, 何文贵, 袁道阳. 2012. 西秦岭北缘断裂带西端晚第四纪活动特征及其西延问题[J]. 地震, 32(1): 136-143.
- 朱诚, 史威, 于世永, 等. 1996. 上海马桥地区 6000 年来环境演变的沉积学研究[J]. 应用基础与工程科学学报, 4(1): 5-11.

Study on the Relationship between Paleoseismic on Laji Mountain Fault and Catastrophic Event on Lajiashan Site

LI Zhi-min¹, LI Yan-jing², TIAN Qin-jian³, XIA Yu-sheng¹,
ZHANG Jia-qing¹, YAO Sheng-hai¹, HUANG Wei¹

(1. Earthquake Administration of Qinghai Province, Xining 810001, Qinghai, China)

(2. Ledu Seismic Station, Earthquake Administration of Haidong Area in Qinghai Province, Haidong 814000, Qinghai, China)

(3. Institute of Earthquake Science, CEA, Beijing 100036, China)

Abstract

The geometric features of the Lajishan Fault Zone are got by remote sensing data in high resolution. According to the field investigation and excavation trenches, we do the research of paleoseismics on Laji Mountain Fault. The result obtained as follow: The fault scarps were formed in stage terrace of Yellow River, because of the thrusting activity of Lajishan Fault in the Dajiahe Region. Through the excavation trenches on the location of scarps, there were at least two medium-strong paleoseismic in the study region, which made the stage terrace of Yellow River formed. The last paleoseismic occurred on about $(3\,136 \pm 51)$ a. BP, the slip rate along Lajishan Fault Zone is estimated to be about 0.51 mm/a since late Holocene. The Lajia site which formed in about 3650 ~ 2750 aBP is 6.4 km far from the trench profiles, so the strong paleoseismic on Lajishan Mountain Fault Zone is closely related to the destroy of Lajia culture. The research has the important scientific value to recognize the seismic risk of Lajishan Mountain Fault Zone and determine the paleoseismic evidence of forming the Lajia site.

Key words: Lajishan Fault; paleoseismic; Lajia site; catastrophic relation