

礼县—罗家堡断裂带宕昌—黄咀段 全新世活动的地貌证据

苏永奇, 刘洪春, 王多杰

(中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘要:普遍认为礼县—罗家堡断裂带是一条晚第四纪活动断裂, 是 1654 年天水南 8 级大地震的发震构造。但该断裂带西段宕昌—黄咀段的活动证据一直以来不是很明确。笔者在进行某项目近场地质调查中, 发现一些该断裂段的最新地貌活动证据, 认为该断裂段在全新世有过明显活动。

关键词: 礼县—罗家堡断裂带; 地表破裂; 地貌证据

中图分类号: P315.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-0844(2013)增刊-0116-06

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2013.增刊.0116

The Geomorphologic Evidences of Activity in Tanchang—Huangzui Segment of Lixian—Luojiabao Fault Zone since the Holocene

SU Yong-qi, LIU Hong-chun, WANG Duo-jie

(Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou Gansu 730000, China)

Abstract: It is generally considered that Lixian—Luo Jiabao fault zone is an active fault in late quaternary period, and it is also the seismogenic structure of Tianshui $M_s 8.0$ earthquake in 1654. But the activity evidences of Tanchang—Huangzui segment located at the western of that fault zone are not very indeterminate all the time. In the near-field geological investigation of some project, we found some latest geomorphological activity evidences of that fault segment, so we believed that at the fault segment there were obvious activities in the Holocene.

Key words: Lixian—Luojiabao fault zone; surface deformation; geomorphologic evidence

0 引言

礼县—罗家堡断裂带是青藏高原东缘中段的一条重要的发震断裂带, 位于青藏高原与华北、华南等地块相互交接的三角地带^[1], 断裂西起宕昌县城以北, 向东经黄咀、礼县、祁山, 过罗家堡至街子口一带, 长 155 km, 总体走向 NEE, 倾向 SE, 为一高角度左旋走滑断裂。根据国家地震局兰州地震研究所成果^[2], 结构断裂分段特征可将该断裂分为以下三段(图 1): ①宕昌—礼县段: 该段又可分为宕昌—黄咀段和洮坪—礼县段, 长约 80 km, 晚更新世有活动; ②礼县—罗家堡段, 长约 40 km, 全新世有活动; ③天水镇—街子口段, 长约 35 km, 全新世有活动。

韩竹军等^[1]调查认为礼县—罗家堡段活动性最强, 见断裂直接断错全新世地层, 地貌上阶坎、左旋特征明显, 沿断裂带广泛分布地震滑坡、砂土液化现象, 认为该断裂段可能是 1654 年天水南 8 级大地震的发震断裂。而上个世纪发生在我国西部地区的五次 8 级大地震(包括一次 7.9 级)(表 1)的地表地震断层长度在 28~237 km^[3-4], 其中 1927 年古浪 8.0 级大地震构造成因复杂, 形成不同规模、不同方向、不同力学成因的呈多点式面状分布的复杂地震破裂带^[4-5], 故最长只有 28 km 的地表破裂带, 除去此次地震之外, 左旋走滑性质的地表破裂长度在 120~

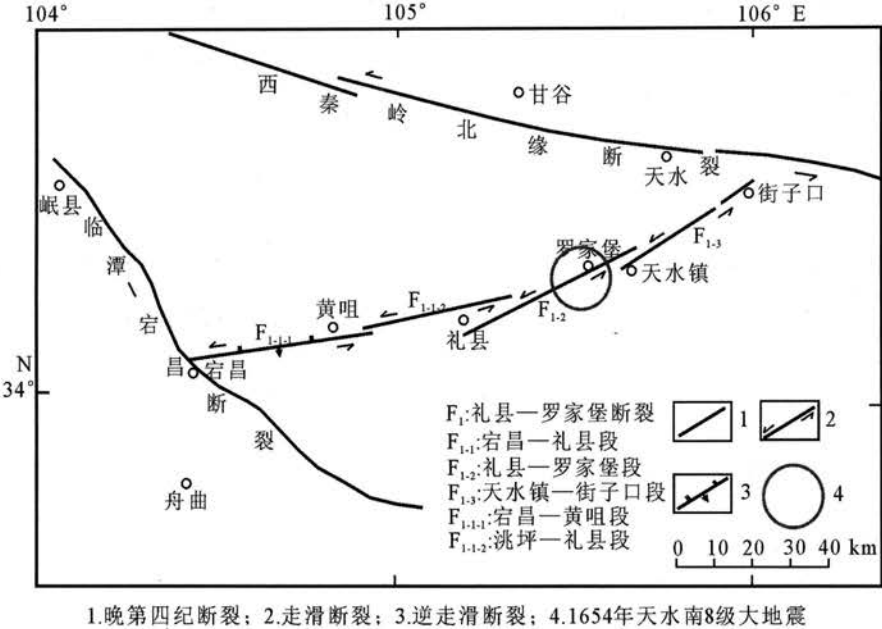
收稿日期: 2013-05-18

基金项目: 中国地震局兰州地震研究所地震科技发展青年基金(2011Q07)

作者简介: 苏永奇(1984—), 男, 助理研究员, 主要从事活动构造、岩土地震工程研究。E-mail: zakar@qq.com

237 km;2001 年 11 月 14 日青新交界 8.1 级地震的地表主破裂带长度可达 350 km^[6];2008 年 5 月 21 日汶川 8.0 级地震的地表破裂主破裂(北川—映秀地表破裂带)长度可达 240 km^[7]。Coppersmith 和 Youngs^[8]建立的走滑断层最大破裂长度与最大震级的关系表中,7.2~7.5 级地震对应的最大破裂长度为 30~100 km,根据该关系表推算出走滑断层上 8 级地震的最大地震断层长度在 200~250 km。由此可见,一次发生在左旋走滑断裂上的 8 级地震的地震断层长度一般大于 100 km,对于礼县—罗家堡

断裂带上发生的 8 级大地震而言,40 km 长的断裂段不符合已有大地震产生的地震断层长度的认识,也难以蓄积一次 8 级大地震所需的能量。结合礼县—罗家堡断裂的总体规模,有理由相信 1654 年天水南 8 级大地震的地震断层至少包括两个断裂段,而且考虑到礼县—罗家堡段与天水镇—街子口段的累计长度只有 70 km,可以推断宕昌—礼县断裂段也应该参与了此次地震。只是时隔三百多年,当时的地表地震断层痕迹经自然和人类活动改造,大多已遭受破坏。



1.晚第四纪断裂; 2.走滑断裂; 3.逆走滑断裂; 4.1654年天水南8级大地震

图 1 礼县—罗家堡断裂简明示意图

Fig.1 Schematic diagram of the Lixian-Luojiabao fault zone

表 1 1900 年以来中国西部地震断层^[3-7]

序号	地震参数			地震断层			相关断层名称
	时间	地点	震级	走向	性质	长度/km	
1	1920-12-16	宁夏海原	8.5	NWW	逆,左旋	237	海原断裂
2	1927-05-23	甘肃古浪	8	NWW	逆,左旋	28	皇城—双塔断裂
3	1931-08-11	新疆富蕴	8	NNW	正,右旋	180	可可托海—二台断裂
4	1951-11-18	西藏当雄	8	340°	正,右旋	81	崩错断裂
5	1997-11-08	西藏玛尼	7.9	NWW	逆,左旋	120	玛尔盖茶卡断裂
6	2001-11-14	青海库赛湖	8.1	280°	逆,左旋	350	昆仑山南缘断裂
7	2008-05-12	四川汶川	8.0	50°	逆,右旋	240	龙门山断裂带中段

作者在宕昌地区进行活动断层调查工作时,对宕昌—礼县断裂段的宕昌—黄咀段进行了调查,发现了一些该断裂段全新世活动的地貌证据,在下文中予以描述和论述。

1 宕昌—黄咀断裂段全新世活动的地貌证据

礼县—罗家堡断裂西段的宕昌—黄咀段西起将台乡东南侧,向东经高家山、古城、黄咀、至雪坪沟,

近场全长约 45 km,走向北 77°~85°东,倾向 SE,倾角 70°~80°。断裂切割泥盆系、古近系地层,显示左旋走滑兼逆倾滑特征。作者在进行某高速公路工程项目和汶川地震灾后重建宕昌县城地震小区划项目近场区活动断层调查工作时,对宕昌—黄咀断裂段进行了调查,发现一些该断裂段晚更新世—全新世活动的地貌证据,如断裂断错山脊、河流、冲沟,断裂沿线发育断裂小槽地、断尾沟、断层谷地及谷地内滑

坡及滚落巨石等地貌特征(图 2)。调查点详述如下:

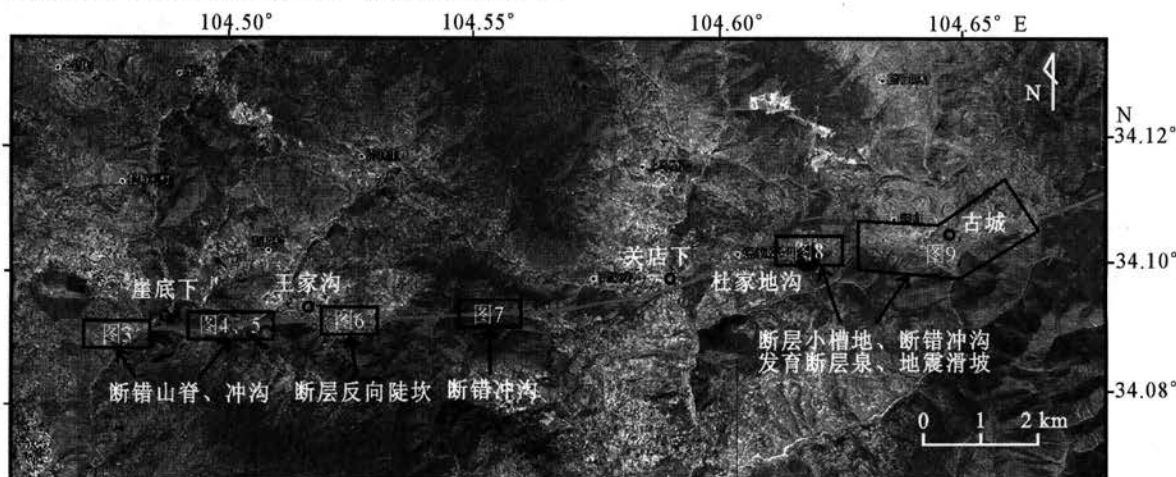


图 2 宕昌—黄咀段断裂地貌特征及图片分布图

Fig. 2 Fault landform of the Tanchang—Huangzui segment and the distribution of following pictures

2.1 崖底下—咀子台—王家沟调查点

在崖底下以南车拉河以西断裂穿过处,在野外调查中见断裂断错了三个连续山脊(图 3),位错十分明显。在卫星图片上,该处断裂造成的地表位错也很明显,线性特征显著,显示出左旋走滑特征,该

处一条冲沟被同步左旋断错,最大位错量 40.7 m,最新一次位错 9.8 m。穿过断层的村间沙土路及山缘也显示出左旋断错的痕迹。断裂向东穿过车拉河后在山体上形成断层沟。



(a) 野外照片(镜向220°), 断错3个连续山脊

(b) 卫星图片

图 3 崖底下断错山脊地貌景观

Fig. 3 The geomorphologic landscape of offset ridges in Yadixia

在崖底下以东约 1.2 km,咀台子上以西约 0.5 km 的一条小冲沟内见断层剖面出露,断层面陡立(图 4),断裂发育在泥盆系灰岩地层中,在剖面图中右侧最新活动面上见厚约 1~3 cm 的黑色断层泥,柔软、具粘性、呈可塑状,在断层泥面上可见近水平擦痕,显示了断裂的走滑特征,断层面上覆坡积层为全新世较松散坡积物,较混杂,不易判断是否被断裂活动所错动。图 5 为断裂穿过冲沟的卫星图片,冲沟及东侧山脊左旋断错明显,冲沟位错量为 9 m。断裂向西延伸形成断层槽地及垭口地貌,向东延伸见断层崖发育。

断裂继续向东延伸在王家沟村东侧见断层反向

陡坎发育(图 6),呈线性展布,长度约 500 m。在王家沟以东约 3 km 处的卫星图片上(图 7),见断裂沿一条大冲沟南侧山坡上通过,发育断层陡坎,且见发育在山坡上的数个纹沟左旋断错,并出现断头沟,解译出其中一条纹沟的位错量约为 9 m。

2.2 关店下—杜家地沟—古城调查点

在关店下以东,见断裂形成宽达百余米的断裂浅 U 型槽地地貌,线性特征较明显,断裂最新活动位于槽地南侧。该线性特征向东延伸至古城村以东,长数公里。在杜家地沟至古城村一线长约 4 km 的断裂线上,断裂最新活动的地貌特征十分显著。在杜家地沟两侧的卫星照片上,可以清楚的见到断

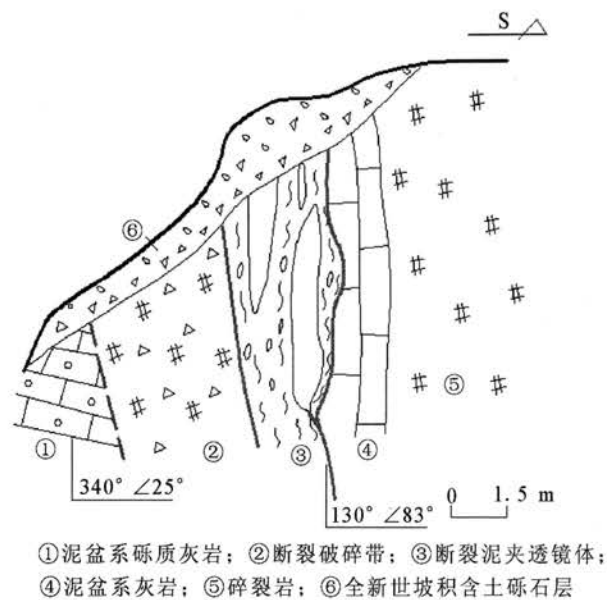


图 4 咀台子上断裂剖面图

Fig. 4 Fault section in Zuitaizishang

裂活动的痕迹(图 8)——地表断层陡坎及小槽地发育,但该处因道路冲毁交通不便未进行实地调查。

在古城村东西两侧可见十分显著的断裂全新世活动地貌特征(图 9)。该处断裂发育在山腰上,两侧地势南高北低,在宏观地貌上表现为山体高陡坡与缓坡的地貌分界线,线性特征十分明显。断裂

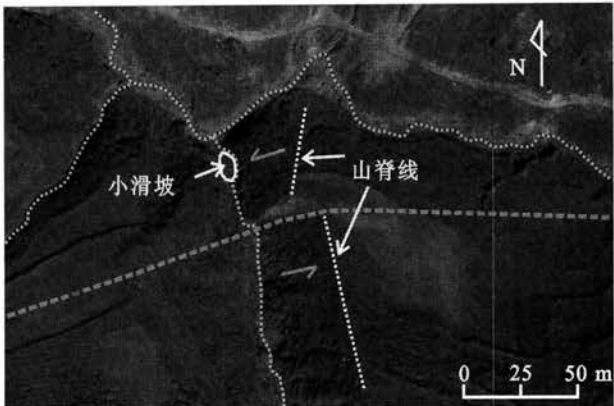


图 5 咀台子上断层卫星图片

Fig. 5 The satellite picture of the fault in Zuitaizishang

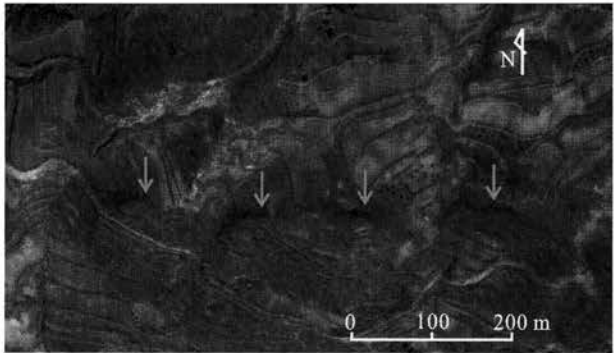


图 6 王家沟断层陡坎卫星照片

Fig. 6 The satellite picture of the fault scarp in Wangjiagou



图 7 王家沟以东 3 km 处断层卫星照片

Fig. 7 The satellite picture of the fault located at 3 km east of Wangjiagou

在山坡上局部分为两条地表破裂带,而后又汇合成一条(图 9(a))。在该调查点,断裂沿线发育了丰富多彩、保存完整的全新世活动微地貌遗迹,详述如下:

(1) 断层小槽地:断裂沿线断层小槽地连续且显著(图 9(a)、(c)),从古城东侧河沟右岸起,向东一直延伸到杜家地沟以西,延伸长度达 3 km 左右。

(2) 断错纹沟:在图 9(a)中,连续四条纹沟被左

旋断错,位错量 2~3 m,其中还发育一条断尾沟(图 9(c)),为典型的断层全新世活动微地貌特征;断裂向东延伸见由北向南的大河沟及山缘被同步左旋断错,位错量 5 m,大河沟高漫滩及 I 级阶地未被断错,该河沟 1 级阶地可能是断层最新一次活动后形成的。

(3) 断层泉:在山坡上一纹沟内断裂通过处见到断层泉水出露(图 6(b)),纹沟也左旋断错。



图 8 杜家地沟断层卫星照片
Fig. 8 The satellite picture of the fault in Dujiadigou

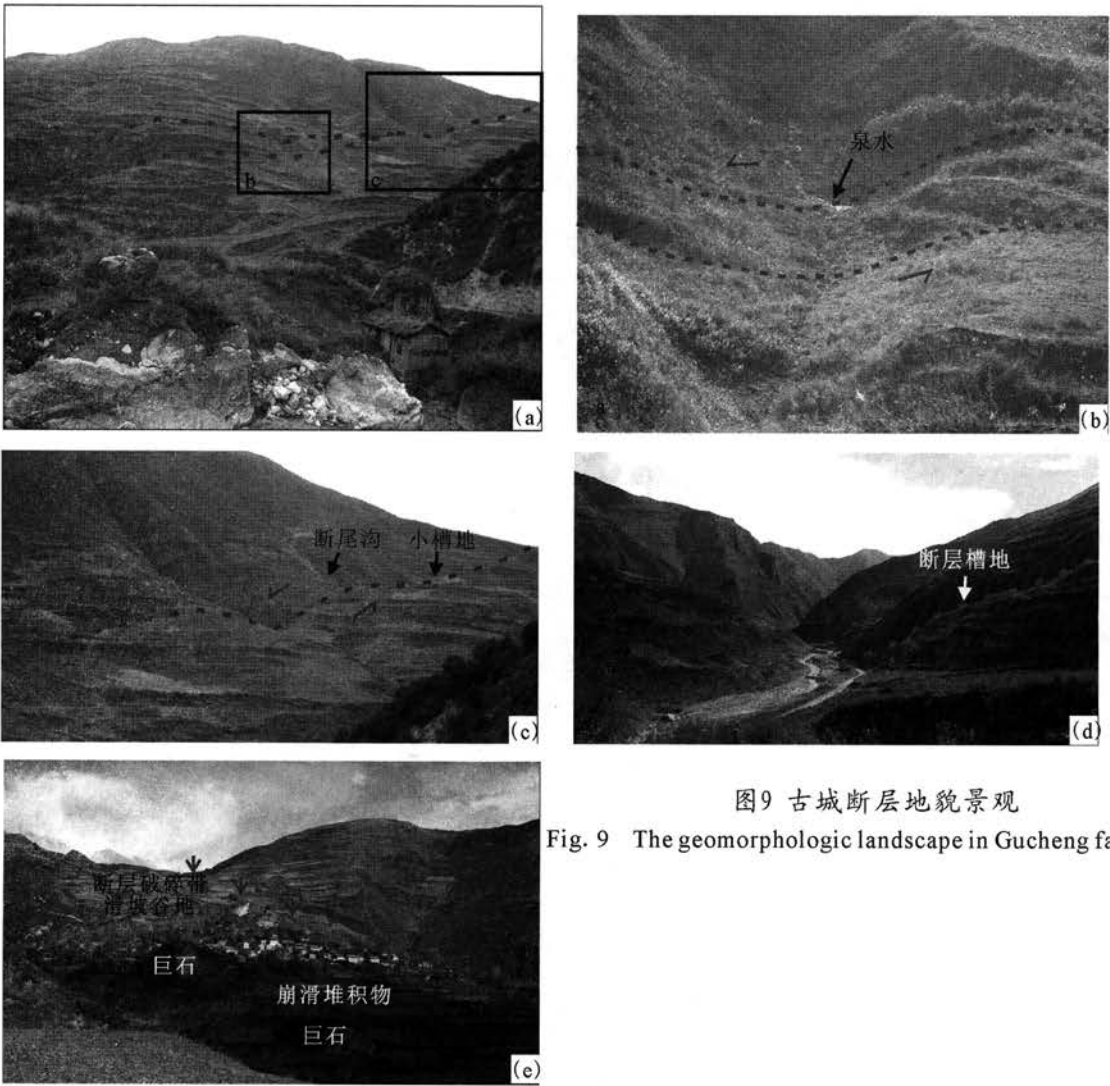


图9 古城断层地貌景观
Fig. 9 The geomorphologic landscape in Gucheng fault

(4) 地震滑坡及崩落巨石:在古城村,沿断裂破碎段形成滑坡,滑坡后缘形成宽约 500 m 的浅 U 型滑坡宽谷地貌(图 9(e)),宽谷前为崩滑堆积物,在滑坡体上可见很多直径可达 20 m 的崩落巨石,这些巨石可能是大地震时伴随滑坡体崩塌掉落在滑坡

谷地之上的,反映出该断裂或附近区域在历史上曾发生过大地震。
图 9(a)为古城西侧,断裂线构成山体上高陡坡与缓坡的线性分界线,微地貌上可见断层槽地,断尾沟、断裂泉及纹沟左旋位错,断裂线性地表破裂痕迹

清晰可见。镜向 240° 。

图 9(b)为断裂造成纹沟左旋位错,位错量 $2\sim 3$ m,此处有泉水出露。镜像 200° 。

图 9(c)为断裂活动在地貌上形成断尾沟、断裂槽地及纹沟左旋位错。镜向 250° 。

图 9(d)为古城西侧河流及山缘同步左旋位错,水平断距约 5 m,河流高漫滩及 I 级阶地未被断错,该河流 1 级阶地可能是断层最新一次活动后形成的。镜向 150° 。

图 9(e)为古城东侧沿断层破碎带形成的宽约 500 m 的浅 U 型滑坡宽谷及宽谷前崩滑堆积物,在滑坡体上见很多直径可达 20 m 的崩塌巨石。其中断层最新活动处位于谷地南侧,断层通过处表现为小沟槽,崩滑堆积物上断层活动的地表痕迹不明显。镜向 90° 。

结合古城以西断层活动造成的纹沟左旋、断尾沟、断层小槽地等连续的线性微地貌特征,与其他青藏高原东北缘大型晚第四纪左旋走滑活动断裂地貌特征(如西秦岭北缘断裂黄香沟段,该断裂在黄香沟段亦可见明显的断裂沟槽、小冲沟左旋等地貌特征^[9];以及海原断裂地表地震断层痕迹等)相比较,发现其最新地貌活动特征具有相似性,调查组认为该段十分显著的断裂微地貌可能为历史地震造成的地表破裂遗迹,并推断该断裂段在全新世有强烈活动。历史上 1654 年天水南 8 级地震宏观震中为: 105.5°E , 34.3°N ,震中精度为 2,即震中误差范围为 25 km ^[8],由此计算该次地震震中距该调查点的震中距可能在 $60\sim 120\text{ km}$ 间,理论上可以造成如此巨大的巨石滚落和地表破裂,而且根据目前的调查,宕昌—黄咀段很有可能参与了此次 8 级大地震,造成地表破裂及地震地质灾害。但缺乏年代证据加以验证,应进一步研究。

2 结语

(1) 总结近一个世纪发生在我国西部地区的历史 8 级大地震所产生的地震断层(地表破裂带),得出中国西部地区(不包括云南)发生在左旋走滑断裂带上的一次 8 级大地震所产生的地震层长度一般大于 100 km 。据此认为 1654 年天水南 8 级大地震的发震断裂不应该只包括长度仅为 40 km 的礼县—罗家堡断裂段,宕昌—礼县段和天水镇—街子口段也可能是该次地震的发震断裂段。

(2) 通过野外调查、卫星图片解译,认为礼县—罗家堡断裂带宕昌—黄咀段在全新世有明显活动,

在崖底下—王家沟—关店—古城—一线断裂线性微地貌特征明显,可见断层三角面、反向陡坎、断裂小槽地、断裂泉、断尾沟、断错小冲沟或纹沟、河沟及山缘同步左旋、地震滑坡及崩落巨石等微地貌。其中小冲沟左旋位错量 $2\sim 3\text{ m}$,河流及山缘同步左旋位错量 5 m。这些断裂活动的地表痕迹,应该为古地震地表破裂遗迹。据此推断宕昌—黄咀段很可能是 1654 年天水南 8 级地震的发震断裂段之一,地表破裂遗迹也可能为该地震的同震破裂遗迹。

(3) 本文论据多为地貌证据,而巨石滚落年代、断裂槽地及被断裂所断错的冲沟形成年代等尚未查明。另外由于该地区交通十分不便,加之野外调查时多处道路被洪水冲毁,未能找到开挖机械来开挖探槽,因此也缺乏断裂最新活动的地质证据等,这些都有待于进一步的调查研究,以验证该断裂段所发育的地表破裂遗迹是否为 1654 年天水南 8 级大地震所产生的同震破裂遗迹。

刘洪春副研究员在该断裂的野外调查及本论文写作中的给予了很多指导,在此表示诚挚感谢!

参考文献

- [1] 韩竹军,向宏发,冉勇康.青藏高原东缘礼县—罗家堡断裂带晚更新世以来的活动性分析[J].地震地质,2001,23(1):43-48.
- [2] 国家地震局兰州地震研究所.甘肃省地震危险区划研究[M].兰州:兰州大学出版社,1993.
- [3] 李祥根,著.中国地震构造运动[M].北京:地震出版社,2010.
- [4] 刘洪春,贾云鸿,陈永明,等.1927 年古浪 8 级地震地表破裂带研究[M]//活动断裂研究(4).北京:地震出版社,1995:79-91.
- [5] 侯康明.1927 年古浪 8 级大地震地表破裂特征及形成机制[J].地震地质,1998,20(1):19-26.
- [6] 陈文彬,徐锡伟,张志坚,等.2001 年 11 月 14 日青新交界 $M_s 8.1$ 地震地表破裂带的初步调查[J].西北地震学报,2001,23(4):313-317.
- [7] 徐锡伟,闻学泽,叶建青,等.汶川 $M_s 8.0$ 地震地表破裂带及其发震构造[J].地震地质,2008,30(3):597-629.
- [8] Coppersmith K J, R R Youngs. Capturing Uncertainty in Probabilistic Seismic Hazard Assessment within Intraplate Tectonic Environments, Proceedings Third U. S. National Conference on Earthquake Engineering[J]. Earthquake Engineering Research Institute,1986,1:301-312.
- [9] 李传友,张培震,袁道阳.西秦岭北缘断裂带黄香沟段晚第四纪水平位移特征及其微地貌响应[J].地震地质,2001,28(3):391-404.
- [10] 国家地震局震害防御司编.中国历史强震目录(公元前 23 世纪—公元 1911 年)[M].北京:地震出版社,1995.