

# 临潭-宕昌断裂新活动特征与岷县漳县 $M_s6.6$ 地震关系研究

何文贵<sup>1,2</sup>, 郑文俊<sup>3</sup>, 王爱国<sup>1,2</sup>, 刘兴旺<sup>1,2</sup>, 张波<sup>1,2</sup>, 刘方斌<sup>1,2</sup>, 庞炜<sup>1,2</sup>

(1.中国地震局兰州地震研究所,甘肃兰州 730000; 2.中国地震局地震预测研究所,兰州科技创新基地,甘肃兰州 730000;

3.中国地震局地质研究所,北京 10029)

**摘要:**2013年7月22日7时45分,在甘肃省定西市岷县和漳县交界( $34.5^{\circ}\text{N}, 104.2^{\circ}\text{E}$ )发生了一次 $M_s6.6$ 地震,震源深度20 km。截至7月29日8时,甘肃岷县、漳县 $M_s6.6$ 地震共记录到余震1 034次,其中3.0级以上余震9次,包括5.0~5.9级1次,4.0~4.9级1次,3.0~3.9级7次。其中最大余震为发生在7月22日9时12分的 $M_s5.6$ 地震。地震造成95人死亡,1 366人受伤。震区地处青藏高原与西秦岭陇南山地接壤区,黄土覆盖较厚,地形起伏较大,山坡陡峭,沟壑纵横,地震引发了黄土滑坡、崩塌和塌陷等次生灾害。另外,震区经济发展较为落后,房屋结构差,土木结构房屋所占比例较高,抗震性能差,是这破坏较重的主要原因。受灾范围涉及定西市、白银市、天水市、陇南市、甘南藏族自治州和临夏回族自治州等6个市(州)13个县,面积约1万多km<sup>2</sup>。甘肃天水、兰州、陇南、白银,陕西的宝鸡、汉中、咸阳、西安及四川成都、绵阳等地都有震感。地震发生后,中国地震局迅速组织地震现场考察队赶赴灾区,进行震情监测、烈度评定、震害损失评估和科学考察等工作,并于7月24日14时发布了甘肃岷县漳县6.6级地震烈度图。本次地震宏观震中位于岷县梅川镇永光、永星村和禾驮乡的拉路村一带,极震区烈度为VIII度。烈度长轴走向为北西向,与区域构造线相一致。

本文归纳总结了岷县、漳县 $M_s6.6$ 地震的基本参数、烈度分布、震害特征和发震构造背景等基本特征。本次地震发生在青藏高原东缘的甘东南地区,该区是南北地震带与昆仑山—秦岭断裂带等活动构造交汇部分部位,也是北西西向的东昆仑断裂与西秦岭北缘断裂之间的构造转换区。地震发生在靠近临潭—宕昌断裂一侧。通过野外地质调查,发现通过极震区有一条断层,即禾驮乡断层为活动断层,为晚更新世活动断层。包括滑坡、地裂缝、地震陷坑和喷沙冒水等地表破坏现象沿断层成带状分布。在震源机制解方面,且震源机制解也与该断层相吻合。中国地震局地球物理研究所给出节面Ⅱ走向为 $320^{\circ}$ ,与禾驮乡断层相一致。中国地震局地质研究所给出的是 $301.3^{\circ}$ ,也基本与其吻合。两个单位所给出的滑动面倾向为 $51^{\circ}$ 和 $57.3^{\circ}$ ,皆为向北东倾,与禾驮乡断层倾向也相一致。另外发现安家山滑坡长约310 m,宽约30~35 m,沿断层谷地呈长舌形向北西做水平滑动,滑动面上擦痕侧倾角为 $120^{\circ} \sim 23^{\circ}$ ,主滑动面走向与断层走向相一致。说明禾驮乡断层为此次地震的发震断层,该断层属于区域上临潭—宕昌断裂的次级断层,该断裂历史上在本区内曾发生过3次6级以上强震,近期又发生过2003年11月13日岷县5.2级地震和2004年9月7日岷县—卓尼5.0级地震。此次地震是临潭—宕昌断裂进一步活动的结果。

**关键词:**岷县漳县 $M_s6.6$ 级地震; 临潭—宕昌断裂; 发震断层; 禾驮乡断裂

**中图分类号:**P315   **文献标识码:**A   **文章编号:**1000-0844(2013)04-751-10

**DOI:**10.3969/j.issn.1000-0844.2013.04.751

收稿日期:2013-09-20

基金项目:中国地震局地震预测研究所基本科研业务专项——“柴达木—祁连山地块活动断裂基础数据库建设”;中国地震局地震预测研究所基本科研业务费项目(2013IESLZ07);甘肃省灾后重建项目

作者简介:何文贵(1963-),男,正研级高工,主要从事活动构造及其应用研究. E-mail:hewengui321@163.com

## New Activities of Lintan–Dangchang Fault and its Relations to Minxian–Zhangxian $M_s6.6$ Earthquake

HE Wen-gui<sup>1,2</sup>, ZHENG Wen-jun<sup>1,2</sup>, WANG Ai-guo<sup>1,2</sup>, LIU Xing-wang<sup>1,2</sup>, ZHANG Bo<sup>1,2</sup>,  
LIU Fang-bin<sup>1,2</sup>, PANG Wei<sup>1,2</sup>

*(1. Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou Gansu 730000, China;*

*2. Lanzhou Base of Institute of Earthquake Prediction, CEA, Lanzhou Gansu 730000, China;*

*3. Institute of Geology, CEA, Beijing 100029, China)*

**Abstract:** The Minxian – Zhangxian  $M_6.6$  earthquake, with a focal depth of 20 km, occurred at the boundary of Minxian and Zhangxian counties ( $34.5^\circ\text{N}$ ,  $104.2^\circ\text{E}$ ), Dingxi city, Gansu Province, at 7:45 CST on July 22, 2013. By 8:00 on July 29, 1034 aftershocks occurred. Among them, nine above  $M3.0$  include one  $M5.0\sim5.9$ , one  $M4.0\sim4.9$ , and seven  $M3.0\sim3.9$  earthquakes. The strongest aftershock, which occurred at 9:12 on the date of the mainshock, attained  $M_5.6$ . Catastrophic damages caused by this earthquake are mainly attributed to poor residential structures erected by the government during a weak economy. The affected area was more than  $10\,000\text{ km}^2$  and involved in 6 cities and 13 counties including Dingxi, Baiyin, Tianshui, Longnan, and Gannan Zang and Linxia Hui autonomous prefectures. Residents in Baoji, Hanzhong, Xianyang, Xi'an, Chengdu, and Mianyang felt this earthquake. The earthquake occurred at southeastern region of Gansu province, which is covered by very thick loess layer and exhibits complex topography such as steep, highly sloped mountains and crisscrossed ravines. It killed 95 people and injured 1 366. Secondary disasters caused by this earthquake include loess landslides, collapses, and pitfalls. Immediately following the earthquake, the China Earthquake Administration quickly organized field survey teams for seismicity monitoring, intensity studies, earthquake damage assessment, and scientific research, through which the first intensity distribution map of the Minxian – Zhangxian  $M_6.6$  earthquake was developed for conditions at 14:00 on July 24. The macroscopic epicenter of this earthquake, with an intensity of VIII degrees, was located at Yongguang and Yongxing villages of Meichuan and Lalu Village of Hetuo. The long axes of intensity circled with an NW strike, in accordance with regional structures. This study discusses the basic parameters of this earthquake such as basic intensity distribution, damage features and seismogenic structure. This earthquake occurred at the eastern margin of the Qinghai – Tibetan Plateau at the intersection of the N – S seismic zone and the Kunlun – Qinling fault zone, which is the tectonic transformation zone between the NWW east-striking Kunlun fault and the northern margin of the western Qinling fault zone. We determined that the Hetuo fault, active since the late Pleistocene, passes through the extreme seismic area. Surface rupture phenomena such as landslides, ground fissures, earthquake pitfalls, sandblasting, and water oozing all exhibited zonal distribution along the Hetuo fault. The focal mechanism of this earthquake is consistent with the Hetuo fault. The strike of the nodal plane II is  $320^\circ$  and  $301.3^\circ$ , as reported respectively by the Institute of Geophysics and the Institute of Geology, China Earthquake Administration, which also corresponds to the strike of the Hetuo fault. Moreover, the NE-dipping slip plane reported by the two agencies,  $51^\circ$  and  $57.3^\circ$ , respectively, corresponds with the dipping direction of the Hetuo fault. Further, we determined that the Anjia Shan landslide slips laterally along a fault valley striking NW that resembles a long tongue with length and width of 310 m and 30~35 m, respectively. The plunge angel of fault striations on the slip plane is  $12^\circ\sim23^\circ$ , and the main slip plane corresponds with the fault strike. Therefore, the Hetuo fault is seismogenic fault of the Minxian – Zhangxian  $M_6.6$  earthquake, which is a secondary fault, belongs to the Lintan – Tanchang fault zone. Three strong earth-

quakes above  $M6.0$  have occurred near the epicenter of the Minxian – Zhangxian  $M6.6$  earthquake on the Lintan fault, and two moderate earthquakes have occurred at this site in recent years, which include the Minxian  $M5.2$  on November 13, 2003, and the Minxian – Zhuoni  $M5.0$  on September 7, 2004. This earthquake represents the most recent activities of the Lintan – Tanchang fault zone.

**Key words:** Minxian–Zhangxian  $M_6.6$  earthquake; Lintan–Tanchang fault; seismogenic fault; Hetuo fault

## 0 引言

2013年7月22日7时45分,在甘肃省定西市的岷县和漳县交界地区( $34.5^{\circ}\text{N}, 104.2^{\circ}\text{E}$ )发生了一次  $M_{\text{s}}6.6$  地震,震源深度20 km。地震造成95人死亡,1 366人受伤。震区地处青藏高原与西秦岭陇南山地接壤区,黄土覆盖较厚,地形起伏较大,山坡陡峭,沟壑纵横,地震引发了黄土滑坡、崩塌和塌陷等多种次生灾害。另外,当日9时12分在原地又发生了一次  $M_{\text{s}}5.6$  强余震,使得震害叠加使破坏进一步加重。地震发生后,中国地震局迅速组织地震现场考察队赶赴灾区,进行震情监测、烈度评定、震害损失评估和科学考察等工作,并于7月24日14时发布了甘肃岷县漳县6.6级地震烈度图。认为本次地震宏观震中位于岷县梅川镇永光、永星村和禾驮乡的拉路村一带。极震区烈度为Ⅷ度,发震构造为临潭–宕昌断裂北侧分支断裂。王兰民等<sup>[1]</sup>归纳总结了本次地震的震害特征,郑文俊等<sup>[2]</sup>简要分析了本次地震的区域地震构造背景及震害特征,从区域动力学方面探讨了其发震构造特征。本文是在地震应急科考和灾后重建选址过程中,通过对极震区主干断裂最新活动性的追踪考察和对比分析,进而归纳总结临潭–宕昌断裂的新活动特征,讨论本次地震的发震断层。

## 1 震区地震构造背景特征

本次地震发生在青藏高原东缘的甘东南地区,是南北地震带与昆仑山–秦岭断裂带等活动构造交汇部分部位,也是NWW向的东昆仑断裂与西秦岭北缘断裂之间的构造转换区<sup>[3]</sup>。该区地质构造复杂,发育有多条规模较大的活动断裂带,历史上曾发生过多次破坏性地震甚至大地震。图1是为本次地震灾后重建项目所编制的震区活断层分布图,由图上可以看到,震区大致有5条区域性大断裂,下面简单介绍前4条断裂。

(1) 西秦岭北缘断裂( $F_1$ ):断裂带东端与秦岭北缘断裂相连,往西经天水、武山、漳县到临夏以西,走向大致为NNW向,长达470 km。前人研究<sup>[4–6]</sup>表明,该断裂早期为

一条压性断裂,大约自中更新世以来转变为以左旋走滑为主兼具正断层分量,为一条全新世活动断裂。主要由6条次级断裂段左阶斜列组成,从东往西分别为宝鸡段、天水段、武山段、漳县段、黄香沟段和锅麻滩段,各段之间有部分重叠。黄香沟段晚更新世晚期以来的平均水平滑动速率为 $2.3 \pm 0.2 \text{ mm/a}$ ,全新世平均垂直滑动速率为 $0.28 \pm 0.08 \text{ mm/a}$ <sup>[7]</sup>。断裂带上有多次古地震发生,平均复发间隔为 $(2.463 \pm 37) \text{ a}$ 。断裂带历史上曾发生过多次大地震,如公元143年甘谷西7级地震、734年天水7级地震等,最近的一次地震为1936年康乐6  $\frac{3}{4}$  级地震<sup>[8–9]</sup>。(2) 临潭–宕昌断裂带( $F_2$ ):断裂由数条规模不等,相互平行或斜列的断裂组合而成,长度大于250 km。地震活动水平较高,历史上本区内曾发生过3次强震<sup>[10]</sup>,分别是842年岷县6~7级、1573年岷县6级和1873年临洮–岷县6级地震<sup>[11]</sup>。近期又发生过2003年11月13日岷县5.2级地震<sup>[12]</sup>和2004年9月7日岷县–卓尼5.0级地震<sup>[13]</sup>。该断裂是本次岷县–漳县6.6级地震的发震构造,其特征将在下节中详细讨论。

(3) 光盖山–迭山断裂( $F_3$ ):断裂西起光盖山,向东沿迭山南北缘展布,总体走向S70°W,主要由南北缘两条断裂组成。其中,光盖山–迭山北缘断裂带西起光盖山,向东沿迭山北缘大致S70°W方向延伸,长达250 km。在宕昌北的秦峪乡仇家山村见到断裂错晚更新世至全新世地层,热释光(TL)样品年代为 $(9.6 \pm 1.0) \text{ ka}$ ,表明断裂全新世有过活动。南缘断裂长约250 km。断裂晚第四纪有一定的新活动表现,部分段落全新世有过活动。断裂带曾于1987年1月8日在迭部北发生过一次5.8级地震<sup>[14]</sup>。

(4) 迭部–白龙江断裂( $F_4$ ):迭部–白龙江断裂由近于平行的南、北两条断裂组成,长约250 km。断裂总体走向N70°W,倾向SW或NE,倾角40°~70°,断层性质为逆断或正断,并微具左旋。航卫片解译及野外沿断裂的追踪考察发现,在舟曲县三角坪乡虎家湾村南一带地貌表现最为清晰,发育有笔直的断崖、断层三角面、断层槽地、

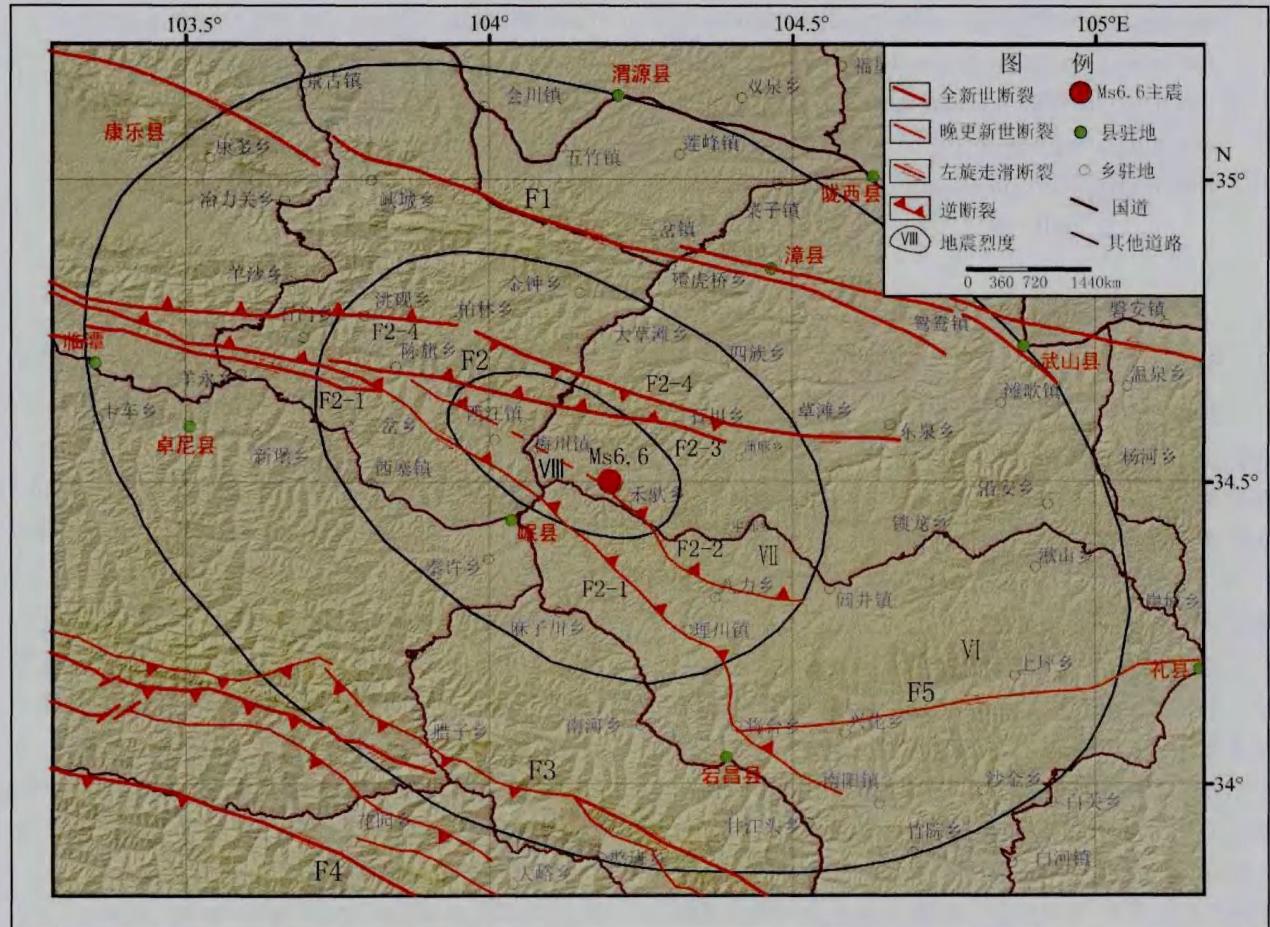


图1 岷县漳县Ms6.6级地震烈度分布图及地震构造图

F<sub>1</sub>:西秦岭北缘断裂; F<sub>2</sub>:临潭—宕昌断裂(F<sub>2-1</sub>:临潭—宕昌主干断裂; F<sub>2-2</sub>:禾驮乡断裂; F<sub>2-3</sub>:木寨岭断裂; F<sub>2-4</sub>:柏木口断裂);

F<sub>3</sub>:光盖山—迭山断裂; F<sub>4</sub>:迭部—白龙江断裂; F<sub>5</sub>:礼县—罗家堡断裂

Fig.1 Earthquake intensity distribution map and seismogenic structure of Minxian-Zhangxian Ms6.6 earthquake

断层丫口及反向陡坎等。而且至今还断续保留有长约2 km的古地震形变带遗迹,应为公元前186年武都7~7 1/4级地震造成的,其发震构造应为迭部—白龙江断裂带的中东段<sup>[15]</sup>。

## 2 临潭—宕昌断裂活动特征

临潭—宕昌断裂带从西端的合作以西开始,向东经过临潭、岷县至宕昌东南与礼县—罗家堡断裂交汇,构成一个向北突出的弧形构造,由数条规模不等、相互平行或斜列的断裂组合而成,断裂全长大于250 km。合作—岷县间,该断裂分为南、北两支,影响范围约5~10 km,在岷县东南一带,又归并为一体,延至宕昌以南。总体呈NWW-NW向展布,倾向NE,倾角50°~70°。通过对以前的多年工作资料和地震应急科考及灾后重建选址工作总结,在震区内笔者基本梳理出临潭—宕昌断裂的力学特征和运动学特征,掌握了该断裂的最新活动时代。由图1可见,震区内临潭—宕昌断裂主要由数条次级断裂所组

成,分别为临潭—宕昌断裂主干断裂(F<sub>2-1</sub>)、禾驮乡断裂(F<sub>2-2</sub>)、木寨岭断裂(F<sub>2-3</sub>)和柏林口断裂(F<sub>2-4</sub>)。以下对这些断裂的主要活动特征进行论述。

(1) 临潭—宕昌主干断裂(F<sub>2-1</sub>):断裂由西起合作以西,向东经过临潭、岷县至宕昌东南,长约250 km。断裂西段由南北两条近于平行的断裂所组成,走向近EW向,倾向NE,以挤压逆压逆冲为主,兼具有左旋走滑特征。断裂西段南支断裂晚更新世到全新世以来的活动明显,沿断裂普遍可见到断错地貌现象。在西段阿子滩,可见非常醒目的断裂鞍状地貌及断裂陡坎;果洛北也可见延伸长达2~3 km的断层陡坎(图2(a));在新城镇断腰沟可見到活动造成的断坎及一系列冲沟左旋错动现象,在贡恰一带形成反向坎(图2(b))、鼓包、断错山脊等断层地貌。

⑯ 灰褐色地表腐植根土层,厚约0.1~0.4 m;

⑮ 紫红色粉土、泥等,无明显的成层性,厚约0.3~0.4 m;



(a) 果洛北

(b) 贡恰

图2 临潭—宕昌主干断裂断错地貌

Fig.2 Offset geomorphologies of main strand of Lintan-Dangchang fault

在贡恰反向陡坎上开挖一大探槽(图3),探槽西壁揭露的地层如下:

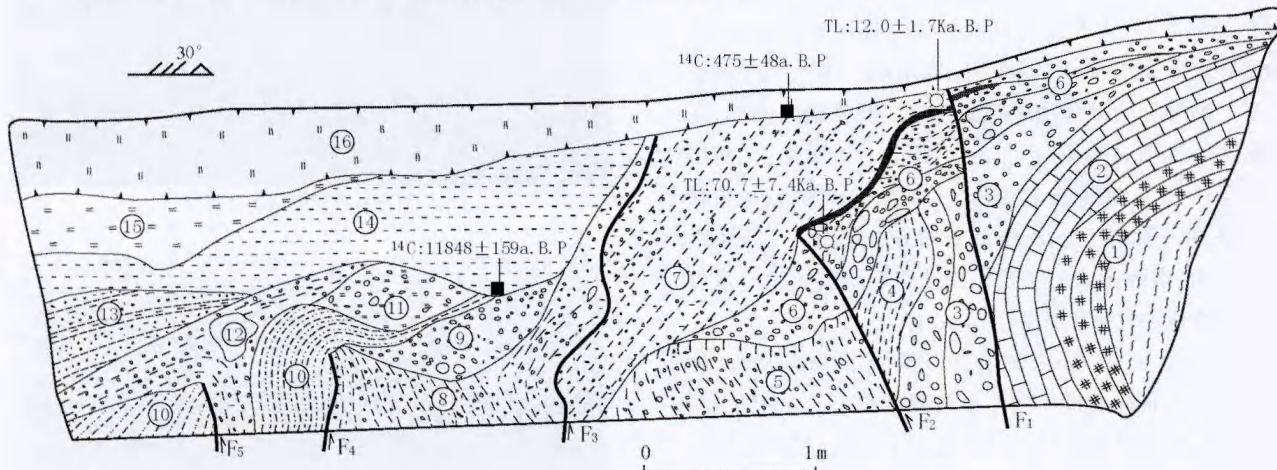


图3 贡恰探槽剖面图  
Fig.3 Trench profile in Gongqia village

⑭土灰色-灰黑色泥层, 相当断层前缘的塘积区, 层理较发育, 0.1~0.8 m;

⑬土灰色-褐灰色强风化泥岩、砂质泥岩等, 相互交错成层;

⑫土灰色-褐灰色-灰黑色强风化泥岩、砂质泥岩, 粉土、粉砂等;

⑪土灰色-灰黑色砂砾石, 较混乱, 夹有部分泥质团块;

⑩土灰色-灰黑色砂砾石, 较混乱, 夹有部分泥质团块;

⑨土灰色-灰黑色砂砾石, 有一定的粉土, 较混乱, 成层性能差;

⑧灰黑色碎石、粉土、粉砂等;

⑦土黄色粉土、粉砂等混合物, 夹少量碎石;

⑥黄褐色、土灰色、灰黑色等坡积砾石、粉砂、粉土等, 构成了断层前缘的崩积楔体, 其上部有一层紫红色砂泥层;

⑤灰黑色-土灰色挤压破碎的砾石、粉土、砂等;

④灰褐色粉土、粉砂、泥、碎石等的混合堆积物, 略成层, 泥质成份较多;

③土灰色坡积砾石、粉土、砂砾等混合物, 为断层构造楔体;

②灰白色灰岩碎块;

①黑色-土灰色泥岩、灰岩、泥灰岩挤压破碎带。

探槽共揭露出了5条断层, 性质以逆冲为主, 在断层的前缘凹地还形成断塞塘沉积, 即层⑭。

根据断层所错断的不同沉积地层单元,结合测年结果,综合判定该探槽剖面晚更新世以来应存在多期构造事件。事件Ⅰ:在探槽西壁上F<sub>2</sub>、F<sub>4</sub>、F<sub>5</sub>主要发育在断层破碎带中,时代较老,代表早期的构造活动,根据F<sub>2</sub>断错层⑥顶部的TL测年结果为(74.7±7.4)ka.B.P,应代表晚更新世中期的构造活动;事件Ⅱ:F<sub>1</sub>和F<sub>3</sub>的构造活动明显断错了层⑥、⑦的一套砂砾石层及其以下的地层,剖面上断距可达0.1~0.3m。其中,F<sub>1</sub>位错显著,而F<sub>3</sub>在其前部形成断塞塘淤泥质堆积。根据F<sub>1</sub>断错层⑦底部的TL测年结果为(12.0±1.7)ka.B.P,而F<sub>3</sub>在其前部形成的断塞塘底部的<sup>14</sup>C测年结果为(11 848±159)ka.B.P,它们大致时间上接近,很可能代表断裂全新世早期的一次构造活动。

(2) 禾驮乡断裂(F<sub>2-2</sub>):该断裂是通过此次地震现场考察和灾后重建活断层调查而确定的活断层。断裂西起岷县陈旗乡以东,向东经西江镇北、梅川乡永星村西北,向南东经禾驮乡、古儿拉村到闾井镇新庄沟村南东,长约70km。总体走向320°,倾向NE,倾角60°~80°,具逆断层性质。断层在大部分地区都断错在二叠系地层内部,在朱麻滩可见到二叠系由北向南逆冲到古近系之上,断层倾角可达67°。在地貌上线构造较明显,永光村、永星村和拉路村一带,表现为断层北东侧为古近系与二叠系组成的高山,南西侧为黄土梁。在拉路村至安家山一带可見到较整齐的线状断层崖(图4(a)、4(b))。

在永星村西一条大沟内,见到断层剖面(图4(c)),地貌上相当于Ⅲ级阶地。剖面出露高度约15m,主要由两套地层所构成,顶部为表土层,为黄土状土,厚度约1m,估计时代为全新世;其下为冲洪积砾石层与砂层及黄土层呈互层状,估计时代为中晚更新世。断层断错在表土层之下,为逆断层,走向285°,倾向NE,倾角65°。由剖面上断层地层来看,断层在第四纪中晚期应有过活动。

在拉路村东山坡上也见到断层剖面(4(d)),地貌位置相当于Ⅲ级阶地。剖面高度约为20m,出露紫红色残积砾石,砾石呈次棱角-棱角状,一般粒径为3~5cm,未胶结,层理不明显,由地貌位置判断,该套地层的时代应为中晚更新世。剖面上出露的2条断层断错在该地层内部,沿断层面有砾石定向排列,呈带状,宽约10cm,其上部匀被全新世坡积砂砾石层覆盖。2条断层走向为310°,匀倾向NE,倾角分别为60°和78°。由剖面上断层地层来看,断层在第四纪中晚期应有过活动。

由以上2个剖面来看,禾驮乡断裂全新世以来已停止了活动,其最新活动时代应为第四纪中晚期,因此定为晚更新世活动断裂。

(3) 木寨岭断裂(F<sub>2-3</sub>):断裂西起临潭县王旗乡西北,

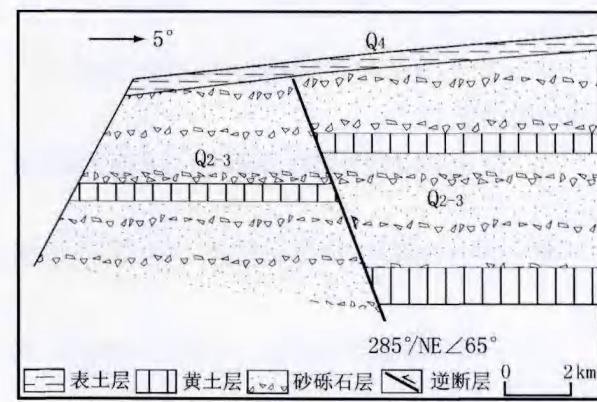
向东经过洮河后经木寨岭南侧延伸到漳县石川乡,长约60km。总体走向285°,倾向NE,倾角50°~80°,具逆断层性质。在地貌上线构造明显,有较清楚的断层沟槽、断层崖、断层陡坎及断层三角面等。在木寨岭一带可见到反向断层陡坎(图5(a)),在木寨岭南侧探槽剖面(图5(b))上,断层带上发育有10m厚的断层泥,断层泥的热释光(TL)测年结果为距今(65.6±7.3)ka,断层顶部被晚第四纪坡积物所覆盖,热释光测年结果为距今(38.6±4.7)ka,说明该断层晚更新世以来有过活动。



(a) 拉路东段层崖地貌(镜向西)



(b) 安家山西断层崖地貌(镜向东)



(c) 永星西断层剖面图

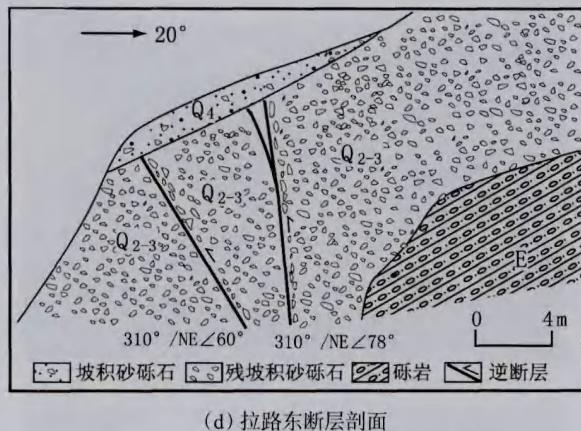


图4 禾驮乡断裂断错地貌及断层剖面  
Fig.4 Offset geomorphologies and fault profiles of Hetuo fault



(a) 木寨岭西断层沟槽及反向陡坎(镜向北);

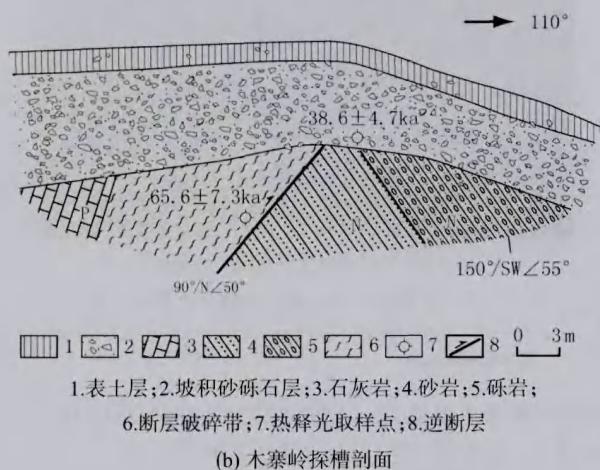


图5 木寨岭断裂断错地貌及断层剖面  
Fig.5 Offset geomorphologies and fault profiles of Muzhailing fault

(4) 柏林口断裂( $F_{2-4}$ ): 断层西起卓尼县恰盖乡的斜藏大山, 向东经凉帽山、长岭坡、青岗岭, 过羊沙河、洮河, 延至漳县石川乡以东, 长约130 km。总体走向 $270^{\circ} \sim 290^{\circ}$ , 西段倾向NE, 东段倾向SW, 倾角 $50^{\circ} \sim 70^{\circ}$ , 为一逆断层。震区处于断层东段。断裂在地貌上线性构造较清晰, 有断层沟谷及断层丫口地貌。在青岩岭可见较整齐的5~6 km长的断崖, 断裂断错了晚更新世黄土。在洮砚

乡北断层断错洮河Ⅲ级阶地。在石川以东的恶霸山, 可以见1~2 m高的正向断层陡坎和反向断层及断层沟槽。在大坪北公路边剖面上, 可见到多条断层, 主断层面上发育紫红色断层泥, 热释光测年结果为 $(81.9 \pm 8.8)$  ka, 说明该断裂为一条晚更新世活动断裂。

### 3 发震断层讨论

由震中位置来看, 由于地震震中位于临潭—宕昌断裂带上, 因此, 可以初步确定临潭—宕昌断裂是本次地震的发震构造。但具体哪条断层是发震断层, 目前尚不清楚。本文就以下几点来确定发震断层。

(1) 等震线特征特征: 等震线长轴的走向与禾驮乡断层走向相一致(图1)。宏观震中位于永光村、永星村和拉路村一带, 这几个村庄都位于禾驮乡断裂上, 且仪器震中也位于禾驮乡断层附近。通过地震现场考察和灾后重建活断层调查发现该断裂晚第四纪有活动(图4), 为晚更新世活动断裂, 可以初步认为该断层是本次地震的发震断层。

(2) 地表破坏特征: 沿禾驮乡断裂, 除房屋破坏较严重外, 地表破坏也很严重, 造成了许多滑坡、地裂缝、地震陷坑和喷沙冒水现象沿断层成带状分布等。滑坡密集区分布在“茶固滩—马家沟—文斗—车路—永光—永星—拉路”一线, 为一个条带状区域, 最大宽度约为8 km, 长度为30 km, 该区域与禾驮乡断裂展布相一致。其中最大的滑坡是永光村大滑坡(图6(a)), 该滑坡土方量约为40万立方米, 掩埋了8户农居, 造成了12人遇难<sup>[11,16]</sup>。另外笔者在调查中还发现安家山滑坡, 长约310 m, 宽约30~35 m(图6(b)), 沿断层谷地呈长舌形向NW做水平滑动, 滑动面上擦痕侧倾角为 $12^{\circ} \sim 23^{\circ}$ (图6(c)), 主滑动面走向与断层走向相一致。在永光村南见到2条地震陷坑, 一处有1个独立的陷坑, 呈圆形, 直径约3 m; 另一处有2个陷坑, 规模与前者相当。在永光村西, 除有地裂缝以外, 还出现了喷沙冒水现象(图6(d))。所有这些地表破坏都沿禾驮乡断裂分布, 由此可以说禾驮乡断裂为本次地震的发震断层。

(3) 震源机制解特征: 表1收集了中国地震局地球所、中国地震局地球物理研究所和多个研究者<sup>[17,19]</sup>的资料, 得出多个震源机制解。可以看出, 节面Ⅱ走向为 $301.3^{\circ} \sim 320^{\circ}$ , 与禾驮乡断裂走向相一致。滑动面倾向为 $51^{\circ} \sim 65^{\circ}$ , 皆为向NE倾, 与禾驮乡断裂倾向也相一致。进一步说明禾驮乡断裂为本次地震的发震断层。

(4) 余震分布特征: 截至7月29日8时, 甘肃岷县、漳县M<sub>6.6</sub>地震共记录到余震1 034次, 其中3.0级以上余震9次, 包括5.0~5.9级1次, 4.0~4.9级1次, 3.0~3.9级7

表1 不同研究机构给出的岷县、漳县  $M_{s6.6}$  地震震源机制解

Table1 Focal mechanism of Minxian-Zhangxian  $M_{s6.6}$  earthquake provided by some research institutions and researchers

资料来源	节面 I			节面 II			震源深度/km	矩震级 $M_w$
	走向 $/(^{\circ})$	倾向 $/(^{\circ})$	滑动角 $/(^{\circ})$	走向 $/(^{\circ})$	倾向 $/(^{\circ})$	滑动角 $/(^{\circ})$		
IGPCEA <sup>①</sup>	180	47	120	320	51	62	20	6.1
IGCEA <sup>②</sup>	188.4	58.8	142	301.3	57.3	38.8	6	6.4
陈继峰 <sup>[17]</sup>	195	54	149	305	65	40		6.0
刘旭雷 <sup>[18]</sup>	181	41	139	304	64	56		
李晓峰 <sup>[19]</sup>	189	53	142	304	64	44		

①中国地震局地球物理研究所(IGPCEA, [http://www.cea\\_igp.ac.cn/tpxw/267408.shtml](http://www.cea_igp.ac.cn/tpxw/267408.shtml));

②中国地震局地质研究所(IGCEA, [http://www.eq\\_igl.ac.cn/admin/upload/files/20130722,Dingxi.Pdf](http://www.eq_igl.ac.cn/admin/upload/files/20130722,Dingxi.Pdf))等。

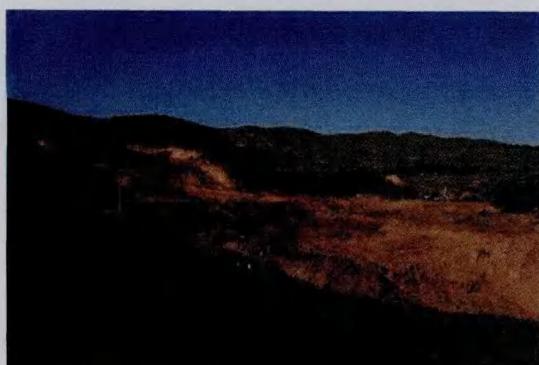
次。其中最大余震为发生在7月22日9时12分的  $M_{5.6}$  地震。余震分布集中在禾驮乡断裂附近。冯红武等<sup>[20]</sup>利用三维网格搜索和双差定位法对该地震后三天的余震序列进行了精确定位,结果显示:余震呈NW或NWW方向分布,与临潭—宕昌断裂走向基本吻合。因此可以确定余震分布方向与禾驮乡断裂走向相吻合。

由以上几点可以判定,此次岷县漳县  $M_{s6.6}$  地震的发震断层是禾驮乡断裂。

#### 4 结论

根据岷县、漳县  $M_{s6.6}$  地震震中位置判断,其发震构造应为临潭—宕昌断裂。通过现场调查和资料分析,确认禾驮乡断裂是本次地震的发震断层。禾驮乡断裂属于区域上临潭—宕昌断裂的一个次级断裂。

临潭—宕昌断裂由数条规模不等,相互平行或斜列的断裂组合而成,长度大于250 km。构造位置上处于西秦岭北缘断裂和东昆仑断裂之间的构造转换区。该区无论深部、浅部还是地表,表现出来的地球物理特性和地质特性都非常复杂。临潭—宕昌断裂全新世活动强烈,地震活动水平较高,历史上在本区内曾发生过3次6级以上强震,分别是842年岷县6~7级、1573年岷县6级和1873年



(a) 岷县梅川镇永光村黄土滑坡



(b) 安家山村沿断裂出现水平向滑坡全貌



(c) 安家山滑坡后壁上出现的水平擦痕



(d) 永光村西喷沙冒水及地表裂缝

Fig.6 Destruction of houses and surface ruptures in Minxian-Zhangxian  $M_{s6.6}$  earthquake

临洮—岷县6级地震。近期又发生过2003年11月13日岷县5.2级地震和2004年9月7日岷县—卓尼5.0级地震。此次地震是该断裂进一步活动的结果。

#### 参考文献(References)

- 王兰民,吴志坚.岷县漳县6.6级地震震害特征及其启示[J].地震工程学报,2013,35(3):401~412.  
WANG Lan-min, WU Zhi-jian. Earthquake Damage Characteristics of the Minxian-Zhangxian  $M_{s6.6}$  Earthquake and Its Lessons[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2013, 35 (3):401~412.(in Chinese)
- 郑文俊,闵伟,何文贵,等.甘东南地区构造活动与2013年

- 甘肃岷县漳县Ms6.6地震孕震机制[J]. 地球物理学报, 2013,(待刊).
- ZHENG Wen-jun, MING Wei, HE Wen-gui, et al. The Related Disaster Characteristics and Causative Tectonic of the Minxian-Zhanxian Ms6.6 earthquake on July 22, 2013, Gansu [J]. China J Geophys, 2013, (to be published). (in Chinese)
- [3] 袁道阳, 张培震, 刘百箎, 等. 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, 2004, 78(2): 270-278.
- YUAN Dao-yang, ZHANG Pei-zhen, LIU Bai-chi, et al. Geometrical Imagery and Tectonic Transformation of Late Quaternary Active Tectonics in Northeastern Margin of Qinghai-Xizang Plateau[J]. Acta Geologica Sinica, 2004, 78(2): 270-278. (in Chinese)
- [4] 袁道阳, 杨明. 西秦岭北缘断裂带的位移累积滑动亏损特征及其破裂分段性研究[J]. 地震研究, 1999, 22(4): 382-289.
- YUAN Dao-yang, YANG Ming. Research on the Features of Displacement Cumulative Slip Deficits and Segmentation in the Northern Margin Fault Zone of the Western Qinling[J]. Journal of Seismological Research, 1999, 22(4): 382-289. (in Chinese)
- [5] 曹娟娟, 刘百箎, 闻学泽. 西秦岭北缘断裂带特征地震平均复发间隔的确定和地震危险性评价[J]. 地震研究, 2003, 26(3): 372-381.
- CAO Juan-juan, LIU Bai-chi, WEN Xue-ze. Determination of the Average Recurrence Intervals of Characteristic Earthquakes and Estimate of Earthquake Risk on Northern Xiqinling Faults[J]. Journal of Seismological Research, 2003, 26(3): 372-381. (in Chinese)
- [6] 邵延秀, 袁道阳, 王爱国, 等. 西秦岭北缘断裂破裂分段与地震危险性评估[J]. 地震地质, 2011, 33(1): 79-90.
- SHAO Yan-xiu, YUAN Dao-yang, WANG Ai-guo et al. The Segmentation of Rupture and Estimate of Earthquake Risk Along the North Margin of Western Qinling Fault Zone[J]. Seismology and Geology, 2011, 33(1): 79-90. (in Chinese)
- [7] 李传友, 张培震, 张剑玺, 等. 西秦岭北缘断裂带黄香沟段晚第四纪活动表现与滑动速率[J]. 第四纪研究, 2007, 27(1): 54-63.
- LI Chuan-you, ZHANG Pei-zhen, ZHANG Jian-xi, et al. Late-Quaternary Activity and Slip Rate of the Western Qinling Fault Zone at Huangxianggou[J]. Quaternary Sciences, 2007, 27(1): 54-63. (in Chinese)
- [8] 雷中生, 袁道阳, 葛伟鹏, 等. 734年天水7级地震考证与发震构造分析[J]. 地震地质, 2007, 29(1): 51-62.
- LEI Zhong-sheng, YUAN Dao-yang, GE Wei-peng, et al. Textual Research on the Tianshui M7 Earthquake in 734 AD and Analysis of its Causative Structure[J]. Seismology and Geology, 2007, 29(1): 51-62. (in Chinese)
- [9] 袁道阳, 雷中生, 葛伟鹏, 等. 对143年甘谷西7级地震史料的新见解[J]. 西北地震学报, 2007, 29(1): 56-63.
- YUAN Dao-yang, LEI Zhong-sheng, GE Wei-peng, et al. A New Opinion about the West of Gangu M7.0 Earthquake in 143 A.D. in Gansu Province[J]. Northwestern Seismological Journal, 2007, 29(1): 56-63. (in Chinese)
- [10] 顾功叙. 中国地震目录[M]. 北京: 科学出版社, 1983.
- GU Gong-xu. Catalogue of Chinese Earthquake[M]. Beijing: Science Press, 1983. (in Chinese)
- [11] 郑文俊, 雷中生, 袁道阳, 等. 1837年甘肃岷县北6级地震考证与发震构造分析[J]. 地震, 2007, 27(1): 120-130.
- ZHENG Wen-jun, LEI Zhong-sheng, YUAN Dao-yang, et al. Structural Research on the 1837 Northern Minxian M6 Earthquake in Gansu Province and its Causative Structure[J]. Earthquake, 2007, 27(1): 120-130. (in Chinese)
- [12] 郑文俊, 刘小凤, 赵广堃, 等. 2003年11月13日甘肃岷县Ms5.2地震基本特征[J]. 西北地震学报, 2005, 27(1): 61-65.
- ZHENG Wen-jun, LIU Xiao-feng, ZHAO Guang-kun, et al. Principal Features of Minxian Ms5.2 Earthquake in Gansu Province, on Nov. 13, 2003[J]. Northwestern Seismological Journal, 2005, 27(1): 61-65. (in Chinese)
- [13] 何文贵, 周志宇, 马尔曼, 等. 岷县—卓尼5.0级地震的基本特征和地质背景研究[J]. 地震研究, 2006, 29(4): 373-378.
- HE Wen-gui, ZHOU Zhi-yu, MA Er-man, et al. Basic Features and Geological Background of the Minxian-Zhuoni M5.0 Earthquake on Sep. 7, 2004[J]. Journal of Seismological Research, 2006, 29(4): 373-378. (in Chinese)
- [14] 罗国富, 屠泓为, 马禾青, 等. 甘东南至陕甘宁交界中强震危险区地震活动能量场时空特征[J]. 西北地震学报, 2012, 34(2): 133-137.
- LUO Guo-fu, TU Hong-wei, MA He-qing, et al. Space-time Distribution Characteristics of Energy Field of Seismic Activity for the Southeastern Part of Gansu Province to Shanxi-Gansu-Ningxia Boundary Region Moderate-strong Earthquake Kazard Area[J]. Northwestern Seismological Journal, 2012, 34(2): 133-137. (in Chinese)
- [15] 袁道阳, 雷中生, 何文贵, 等. 公元前186年甘肃武都地震考证与发震构造探讨[J]. 地震学报, 2007, 29(6): 654-663.
- YUAN Dao-yang, LEI Zhong-sheng, HE Wen-gui, et al. Textual Research of Wudu Earthquake in 186 B.C. in Gansu Province, China and Discussion on its Causative Structure[J]. Acta Seismologica Sinica, 2007, 29(6): 654-663. (in Chinese)
- [16] 徐舜华, 吴志坚, 孙军杰, 等. 岷县漳县6.6级地震典型滑坡特征及其诱发机制[J]. 地震工程学报, 2013, 35(3): 471-476.
- XU Shun-hua, WU Zhi-jian, SUN Jun-jie, et al. Study of the

- Characteristics and Inducing Mechanism of Typical Earthquake Landslides of the Minxian–Zhangxian  $M_{\text{S}}6.6$  Earthquake[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2013, 35(3):471–476.(in Chinese)
- [17] 陈继峰,林向东,何新社. 2013年甘肃岷县  $M_{\text{S}}6.6$  地震矩张量反演及发震构造初探[J]. 地震工程学报, 2013, 35(3): 425–431.
- CHEN Ji-feng, LIN Xiang-dong, HE Xin-she. Moment Tensor Inversion and Seismogenic Tectonics of the 2013 Minxian  $M_{\text{S}}6.6$  Earthquake in Gansu[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2013, 35(3):425–431.(in Chinese)
- [18] 刘旭宙,张元生,秦满忠. 岷县  $M_{\text{S}}6.6$  地震震源机制及构造应力研究[J]. 地震工程学报, 2013, 35(3):432–437.
- LIU Xu-zhou, ZHANG Yuan-sheng, QIN Man-zhong. Analysis of the Focal Mechanism and Tectonic Stress of Minxian  $M_{\text{S}}6.6$  Earthquake[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2013, 35(3):432–437.(in Chinese)
- [19] 李晓峰,裴惠娟,徐辉,等. 2013年7月22日岷县漳县6.6级地震震源机制解[J]. 地震工程学报, 2013, 35(3):459–462.
- LI Xiao-feng, PEI Hui-juan, XU Hui, et al. Focal Mechanism of the Minxian–Zhangxian  $M_{\text{S}}6.6$  Earthquake[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2013, 35(3): 459–462.(in Chinese)
- [20] 冯红武,张元生,刘旭宙,等. 2013年甘肃岷县  $M_{\text{S}}6.6$  地震及其余震序列重定位[J]. 地震工程学报, 2013, 35(3):443–447.
- FENG Hong-wu, ZHANG Yuan-sheng, LIU Xu-zhou, et al. Relocation of Mainshock and Aftershocks of the 2013 Minxian–Zhangxian  $M_{\text{S}}6.6$  Earthquake in Gansu[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2013, 35(3):443–447.(in Chinese)