

袁道阳, 雷中生, 王爱国. 1654 年甘肃天水南 8 级地震补充考证[J]. 地震工程学报, 2017, 39(3): 0509-0520. doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2017.03.0509

YUAN Dao-yang, LEI Zhong-sheng, WANG Ai-guo. Additional Textual Criticism of Southern Tianshui M8 Earthquake in Gansu Province in 1654[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2017, 39(3): 0509-0520. doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2017.03.0509

1654 年甘肃天水南 8 级地震补充考证^①

袁道阳^{1,2}, 雷中生¹, 王爱国^{1,2}

(1. 中国地震局兰州地震研究所, 黄土地震工程重点实验室, 甘肃 兰州 730000;

2. 兰州地球物理国家野外科学观测研究站, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 简要回顾了 1654 年天水南 8 级地震的研究历史, 结合原有史料和新补充调查所获得的资料, 核定了各破坏点的地震烈度, 进而改绘了地震等震线图, 其长轴方向为 NE 向。此次地震除造成大范围的城垣毁坏、房屋倒塌和人员伤亡之外, 滑坡、山崩和堰塞湖等地震地质灾害也非常严重。其极震区位于礼县以东的西汉水河谷永兴镇—罗家堡—天水镇一带。该区发育了全新世活动的礼县—罗家堡断裂, 其性质为左旋走滑兼正断。根据最新调查结果, 该断裂沿礼县—盐关—罗家堡一带保存了地震陡坎、纹沟左旋和地震沟槽等地震地表破裂带形迹, 其地理位置与历史资料考证所确定的极震区范围一致, 印证了二者结论的可靠性和合理性。

关键词: 1654 年天水南 8 级地震; 地震灾害; 发震构造; 礼县—罗家堡断裂

中图分类号: P315

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2017)03-0509-12

DOI: 10.3969/j.issn.1013-0019.2017.03.0509

Additional Textual Criticism of Southern Tianshui M8 Earthquake in Gansu Province in 1654

YUAN Dao-yang^{1,2}, LEI Zhong-sheng¹, WANG Ai-guo^{1,2}

(1. Key Laboratory of Loess Earthquake Engineering, Lanzhou Institute of Seismology, China Earthquake Administration, Lanzhou 730000, Gansu, China; 2. Lanzhou National Observatory of Geophysics, Lanzhou 730000, Gansu, China)

Abstract: A large earthquake occurred at Luojiabu town, between the two cities of Tianshui and Lixian in the south of Gansu Province on July 21, 1654, that is, June 8—the eleventh year of Shunzhi in the Qing Dynasty. It is called the Southern Tianshui earthquake with magnitude about 8. This paper simply reviews the research history of the Southern Tianshui M8 earthquake in 1654. Then, according to the original historical earthquake data and new data by additional investigation in recent years, we check the intensities of the destroyed sites, and then modify the seismic isoseismal line again, where the long axis is about the NE direction. This earthquake caused a large area of the town wall to collapse, civilian houses were ruined, and a large number of people died or were injured. It also caused serious seismic-geological disasters, such as landslips, rock collapses, and sag lakes. The epicenter area was located in the area from Yongxing, Luojiabu to Tianshui town along the valley of the western Hanshui River, west of Lixian county city. This

① 收稿日期: 2016-10-14

基金项目: 地震行业科研专项(201408023); 中国科学院战略性先导科技专项课题(XDB03020201)

作者简介: 袁道阳(1965—), 男, 博士, 研究员, 研究方向为活动构造与历史地震。E-mail: daoyang@163.com。

area developed an active fault in Holocene, the Lixian—Luojiabu fault, which is characterized by left-lateral strike-slip faulting by normal components. According to recent field investigations, there are some earthquake rupture traces, such as seismic fault scarps, small valley left-lateral offsets, and seismic fault grooves along the Lixian—Yanguan—Luojiabu segment of the fault. The location of the earthquake rupture is consistent with the heavily-damaged area affirmed by historical textual criticism data, and confirmed both of them the reliability and rationality of the results.

Key words: southern Tianshui M8 earthquake in 1654; seismic disasters; causative structure; Lixian—Luojiabu fault

0 引言

甘肃东南部地区位于青藏活动块体东缘、南北强震构造带的中北段。区内发育了多条规模较大的晚第四纪活动断裂带,其构造组合复杂,新活动性强,历史上曾发生多次中强以上破坏性地震甚至大地震^[1-7]。多年来,对这些历史地震的基本参数、震害特征和发震构造等的研究尚欠深入,存在较大的不确定性^[4-8]。如公元1654年7月21日(清顺治十一年六月初八日亥时)发生在水南的大地震就是其中之一。多年来,许多专家曾对该次地震进行过考察、考证,取得了许多研究成果。其中1960年李善邦在编著《中国地震目录》^①时,较详细地收集了此次地震的历史资料,并据此确定了该地震的基本参数(震级为8级,震中烈度Ⅺ度)。1966年中国科学院兰州地球物理研究所在承担天水地区地震烈度复核工作时^②,对此次地震进行了较大范围的实地考察。当时考虑到天水市区有不少明代建筑在此次地震中未遭受破坏,所以认为此次地震震中烈度为Ⅹ度,并将其震级降为7½级。此结论被上世纪70年代编制全国地震烈度区划图和《中国地震目录》时所采用^[9]。震级同时被降为7½级的还有1879年武都南地震^[7,9]。上世纪80年代,雷中生等在编辑《陕甘宁青四省(区)强地震目录》时,根据对地震历史资料的补充收集、整理和影响场的分析计算,认为1654年天水南地震和1879年武都南地震的震级均达到了8级,震中烈度可定为Ⅺ度。这一修改结果被以后各版本的地震目录所采用^[10-12]。

另一方面,地震地质专家在水南—礼县地区开展活动断裂调查过程中,根据野外断错地貌现象和地质剖面中年代测试结果,确认礼县—罗家堡断裂带上至今尚保存的部分地震形变遗迹为公元1654年天水南地震所致,其震级可达8级^[13-14]。上述研究结论给1654年天水南8级地震的构造归属提供了可靠证据。

近几年,我们又进一步对1654年天水南地震进行了较系统的史料收集、现场考察和访问,新补充了较多震灾资料,为综合分析本次地震的震害特征、修订地震等震线和探讨发震构造等奠定了良好基础。根据上述历史资料考证结果确定的极震区范围、烈度和震级与地震地质考察结果是否吻合,有何特征?本文试图给予回答。

1 原史料整理和新史料补充

1.1 原有史料的整理

清顺治十一年六月丙寅初八夜半亥时(1654年7月21日21—23时),在甘肃南部的天水至礼县之间的罗家堡一带发生了一次大地震。本次地震的原有史料主要参见《陕甘宁青四省(区)强地震目录》^[10]、《中国地震历史资料汇编》第三卷上册^[15]和《甘肃省地震资料汇编》等^[16]。现将其主要史料归类整理如表1。

1.2 新收集补充史料

在系统整理和总结前人已有研究成果的基础上,我们又通过进一步的史料考证、现场考察和访问,重点是查阅相关市(州)、县(区)地方志,新补充了包括地震碑文在内的大量新资料(表2)。

2 地震参数的核定

2.1 极震区的确定

综合原有地震史料记载和本文新收集的资料,本次地震的震害主要有:大面积的房屋倒塌、城垣破坏和约3万余人死亡,并引发了大量滑坡、崩塌和堰塞湖等地震形变现象。其中房屋倒塌和人员伤亡分布范围很广,并因各地建筑物类型和结构的不同,其破坏程度和人员伤亡也存在差异。而记载地表形

① 李善邦,中国地震目录.1960.

② 中国科学院兰州地球物理研究所.天水地区地震调查报告.1966.

表 1 1654 年天水南地震原有史料
Table 1 Original data about the southern Tianshui earthquake in 1654

资料点	主要震害	参考文献
静宁	房屋倾颓,城牒悉毁,人畜多压。	
庄浪(南湖)	秦陇以上至此,山崩水溢,多伤人。	
通渭	房屋倾塌,人畜被伤,月余不止。	[15-16]
宁远(武山)	村堡皆平,压死居民无数,一年不止。	
伏羌(甘谷)	山崩地裂,压死士民三千有奇,期年方止。同书收录《伏羌地震述异诗》一首。	
西和	木门里平川沉没,塌死千余人,震半截至。地震崩裂,屋舍倾颓,居民有压毙者。	[15-16]
会宁	文庙各坛倾圮。	[15]
庆阳	房屋倾圮,人多压死。	
合水	城垣房屋俱圮,四十余日不息。	
环县	坍塌城垣房屋,四十余日不息。	
真宁(正宁)	四十余日乃止。	
宁州(宁县)	墙屋悉倾,复穴多压死者,数日始定。	[15-16]
崇信	崩坏城堡窑庄,伤人甚众。	
灵台	堡寨窑洞崩塌,人民死伤甚众。城池敌楼、窝铺俱坍塌无数。	
两当	地裂出黑水,窑崩房倒,压死人民牲口无数。地震半月,人民惊惧。	
文县	摇颓墙垣,挫伤者三人。	
徽州(徽县)	坏房屋城垣,塌死男女、牲畜无数。	
安定(定西)	地震数月,倾倒庐舍,压死人口。	[15]
阶州(武都)	城垣尽圮,民舍多坏。	
成县	村庄复于土者千家。	
秦州(天水)	城垣、官舍、民屋崩圮殆尽,摇倒房屋三千六百七十二间,震塌窑寨不可胜计。城北寺开裂丈余。压死七千六百七十四人(一说万余口)。罗家堡七十峪两山拽成一处,壅河成潭。南郭寺二配殿及塔震坏。吕家坡苑珠寺震圮。分巡陇右道宋琬检踏灾情。宋琬在《丁酉季春赴任北平留别秦州守姜继海》诗写到:“余以甲午春,谬领陇头节,维时值天灾,厚地忽而裂,可怜半秦民,骨肉毙陶穴,板陔尽丘墟,坚城无遗堞,余也对残黎,呼天眼流血”	
礼县	木门一带山崩水壅,压埋村落近十里。	
平凉	坏房舍,人民多压毙。	
定西	倾倒庐舍,压死人口。	
华亭	唐塔复合。	
兰州	坏民舍,压死人民。	
临洮	坏民舍,压死人民。	
陇西	坏民舍,压死人民。	
凤县(凤州)	城颓数十丈。	
宝鸡	坏屋压人。	
勉县	屋瓦飞落,墙垣倾倒。	
略阳	摇塌南门敌楼及西南城垣四十一丈。	
西乡	城垣倒塌。	
洋县	地震二日,多倾塌。	
汉中	屋瓦飞落,墙垣倾倒,次日复震,累月不息。	[10],[15-16]
城固	屋瓦飞落,墙垣倾倒,次日复震,累月不息。	
南郑镇巴	屋瓦飞落,墙垣倾倒,次日复震,累月不息。	
宁羌(宁强)	屋瓦飞落,墙垣倾倒,次日复震,累月不息。	
郿县	房屋倾倒甚多,居民安恙。	
扶风	景福宫圮,垣宇倾颓,压死人畜。	
麟游	屋瓦皆响,窑宇崩坏,压死人畜。	
凤翔	翻房屋。	
西安	坏庐舍,压人无数。	
三水(旬邑)	泰塔经火焚东歇,万历年修葺,震后端正如初。	
彬州(彬县)	有损失和伤亡。	
同官(铜川)	有损失和伤亡。	
周至	有损失和伤亡。	
长武	有损失和伤亡。	
乾州(乾县)	有损失和伤亡。	
淳化	有损失和伤亡。	
三水(旬邑)	有损失和伤亡。	
延安	有损失和伤亡。	

有感记载 记到本次地震的还有:陕西临潼、高陵、渭南、耀县、朝邑、潼关、紫阳、三原、石泉、汉阴、黄陵、白河、洵阳、安康、郧阳、武功、永寿、岐山、宁陕、咸宁、泾阳、礼泉;甘肃清水、镇原;山西介休、翼城、蒲州(永济西南);河南陕州、阌乡(灵宝文乡,水库淹没);山东东明;四川通江;宁夏隆德;河北大名、永年。

表 2 1654 年天水南地震的新补充资料

Table 2 New data about southern Tianshui earthquake in 1654

调查点	资料主要内容	参考文献
扶风	(顺治)十一年六月初八日地地震,将佛像跌落。万历三十五年七月造,顺治十二年四月初七日重造,仍送上顶。	扶风法门寺塔顶佛龕内铜牌铭文
	木牌坊。初建于明代嘉靖二十三年。原为石质,现木质建筑系清初顺治十一年地震毁坏后在原址上建成。	扶风博物馆立于木牌坊侧墙上的简介
	法门寺真身宝塔向西南倾斜,塔体裂缝。	[17]
	法门寺真身宝塔塔体裂缝,塔内部分佛像震落。	[18]
	有声如雷,鸡犬皆惊。至日午,县北门外景福宫及其他院墙倾塌,压死人畜。	
长武	十一年六月初八夜亥刻动摇有声,堡寨窑洞崩塌。余震一月时间。官府免当年额赋。	[19]
淳化	坏室庐,压人畜。	[20]
咸阳	本境各州县均遭破坏,房屋倒塌,人民死伤甚多,免各州县当年额赋。	[21]
泾川	房屋倒塌,有人死伤。	[22]
陕西	顺治十二年覆核,陕西地震全家被灾者尽豁免欠钱粮草束余,免本年地粮丁徭。	[23]
武功	城乡均有人畜伤亡。	[24]
安康	房屋倒塌,压死人畜。	[25]
镇原	顺治十一年七月免陕西镇原等县被灾额赋(清通志)。	[26]
隆德	造成人员伤亡,屋舍倒塌,河沟壅塞,潜水或湖。	③
平凉	城垣、楼堞、庐舍、堤坝均有损伤,人畜有伤亡。	
临洮	坏屋舍,压死人民。	[27]
	顺治十一年,(五城)皆重修。	[23]
	华岐烂泥沟滑坡,沟道堵塞,聚水为湖。	
	卦台山伏羲庙宇全毁,次年重修或重建。计有牌坊 2 座,午门、朝院 6 间,先天殿等(本文按:现立有郭镇都顺治十二年重建伏羲庙碑,可惜残毁严重,面目全非,可读者只三分之一,且散乱不成句)。	[28];现场访问
	(西关)伏羲庙于顺治十年对所损建筑逐一补修。工程“正月二十四日起工,未及半载,工已告成。”次年于姚离任当年,秦州地震,无疑会影响到伏羲庙,……当时毁坏及以后重修情况不详。	
	宋琬在《杜诗石刻题后》中写到:“地经屡震,陵谷变迁”,在《重建城隍庙碑》中记有“顺治甲午夏,阳骄阴奋,丘夷崩裂,屹屹坚壘,坏为平壤,风日不赦。”	本文新收集的碑文
	“太岁驱怒龙,掀腾变高低。平原出峻岭,绝巘入深溪。齿发五万人,同时如油泥”。	④
秦州	“山无头,水倒流”,“水淹麦衣川,免粮八百担”。	[29]
	“岱嶽庙全部坍塌。原高山庙寺院从三个方向塌垮陷落,周边山川地形巨变,东北方向从何家山的麻子沟侵覆塌陷;西面从李家沟的三湾湾坍塌,尤其南面的庙底下塌垮更为严重。大半个寺院同山体塌垮至山下。山下的石家庄,住着数十户姓石的村民,全部被压掩,村民、房屋及家禽无一幸免。这个村庄从此消失了。至今在被压埋的村庄处,时不时挖出破坛烂罐……”。	⑤
	1654 年滑坡分布面积达 1 000 km ² ,大于 500 m 的滑坡 59 处,主要分布在极震区内。极震区面积 158 km ² ,滑坡面积 40 km ² ,占极震区面积的四分之一。罗家堡滑坡体达 4.5 km,宽 2 km。地震时,东山向西滑动,堵塞稠泥河,形成堰塞湖。	⑥
	关家店滑坡群造成稠泥河上游的袭夺,滑坡群的总分布情况与通渭地震相似,也具双层结构。长轴方向北北西,长 40 km,宽 30 km。	[30]
通渭	康熙二年请免回变新荒及地震冲塌若干石。	[31]
康县	地微震。	[32]

变现象(如滑坡、崩塌等)最密集的地方为天水以南至礼县之间的西汉水河谷地区。

我们通过航卫片解译和现场访问进行了部分核实,发现在西汉水上游礼县至天水镇一段发育了规模不等的滑坡体约 180 个,最大者宽达 4 km 左右。其中西汉水北侧较南侧滑坡数量多、规模大,并以永兴—盐关—罗家堡—天水镇一线最为密集。根据史料记载和现场访问,规模较大者主要由 1654 年的地震形成(图 1)。

史料记载^[10,15-16],1654 年地震时,位于稠泥河中段の木门里(又名木门道、木门堡,现木门村所在地)一带山崩,土陷数百尺,水壅数十丈,压村落近十里,覆于土者千家;“礼县木门地方山崩水壅,压漂居民村落,水聚为海,名曰海子,近复变为桑田。”木门

③ 平凉市档案局.平凉市(县)自然灾害记录,2000.

④ (清)张晋.四灾异词·纪震.

⑤ 冯学才.我国地震滑坡.1985.

⑥ 何治民.秦州道教胜寺·云雾山岱嶽庙,2010:1-3,34-35.

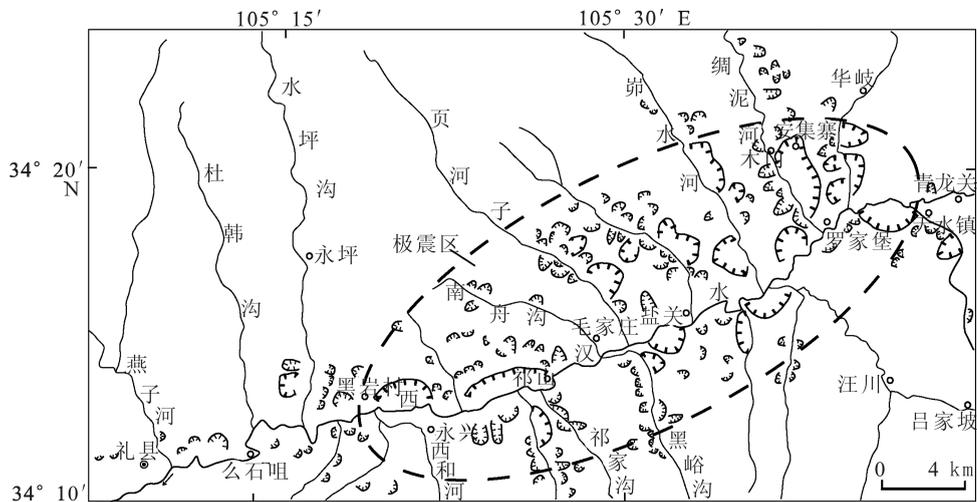


图 1 西汉水河滑坡分布图

Fig.1 Distribution of landslides along the western Hanshui River

里位于天水市西南 40 km 余的秦州区牡丹镇木门村附近。木门里东侧为王家梁山和张家坪,西侧为旋帽梁。峡谷中稠泥河自北向南缓缓流入西汉水。峡谷长约 500 m,最窄处仅 50 m 左右,崖壁陡立,高约百米,状若门户,为三国古战场遗迹点(公元 231 年春,蜀相诸葛亮在这里运筹帷幄,指挥蜀军作战,在马谡痛失街亭之后于撤退途中大败魏兵,射杀魏国名将张郃于木门道。前几年,当地农民耕种时还不断有古代兵器被翻出泥土,最多的是箭镞和矛头,间或也有其它兵器)。

另据史料记载^[10,15-16],地震中,七十峪(今华岐乡附近)两山合并壅河成潭,形成了大、小两个海池(海子,即堰塞湖)。当时的安集寨和对面山上的斜坡村被两山壅并,把安集寨山上的古城堡从中间塌垮一半连同山体壅至斜坡村的村边,另半个城堡还留在了安集寨的半山腰上,中间地带就是所谓海池的“海”。这里至今还留存两城堡隔海相望的遗迹。上世纪六十年代中期,雷中生等参加中国科学院兰州地球物理研究所组织的现场考察时,发现木门村、华岐一带还有残留的“海子”和稠泥河口规模宏大的罗家堡大滑坡。现海子已消失,但遗迹尚存。

根据本次地震所能收集到的史料综合分析,并结合西汉水河谷两岸滑坡、崩塌等地质灾害点的航卫片解译,推断本次地震的极震区最有可能就位于罗家堡、木门里所在的永兴—盐关—天水镇一带。

2.2 地震烈度的核定

以下我们选择重点破坏点对其震害情况和烈度进行核对或评定。

2.2.1 秦州的烈度评定

秦州(天水)是中华民族的发祥地之一,伏羲故里,历史悠久。传说中的伏羲、女娲、轩辕都出生或活动于秦州一带。大地湾原始社会遗址证明,早在 7 000 年前我们的祖先即在这里生息繁衍。早在秦武公十年(公元前 688 年)秦伐邽、冀戎,在今天水市区(秦州区)设邽县,在甘谷东南设冀县,这是我国见于史载最早的 2 个县级行政设置,至今已近 2 700 年。天水一名的来历,据《秦州地记》,“郡前湖水冬夏无增减,因以名焉”。另一说源于“天河注水的传说”。《水经注·渭水》:“(上邽)五城相连,北城中有湖,水有白龙出,风雨随之,故汉武帝元鼎三年改为天水郡”。二千多年来,秦州(天水)一直是陇原大地上一座重要城镇。到明清时期,秦州已形成东西五城形制,州城内外,寺庙道观林立,民房商肆云布,街道规整,酒旗迎风。所以 1654 年地震发生后,秦州的史料记载最丰富。尤其当时秦州知州宋琬(字玉叔,山东莱阳人,顺治四年进士)在《安雅堂文集》中收录了他写的《重修秦州城垣记》、《祭秦州山川社稷文》、《为秦州地震压死士民仟佛文》、《祭秦州地震压死士民文》等,为我们再现了 1654 年地震的场景。地震后,他又组织民众抗震救灾。所以地震当年,州人在水月寺(今秦城区人民公园)东建造了他的生祠。

根据史料收集和考证结果,参考《中国地震烈度表》(GB/T17742-1999)^[33]和《历史地震烈度、震级简表》^[12],其烈度评定如下:

(1) 城垣

秦州城垣由东城、州城、中城、西城和伏羲城五城相连,规模宏大坚固。1654 年地震后,“城崩楼

倾”，“坚城无遗堞”，“城垣崩塌殆尽”，“五城皆修”，可知县垣的破坏相当严重，正如宋琬说的“屹屹坚墉，坏为平壤”，“崇墉摧堕如废墟”，估计烈度达Ⅹ度。

(2) 古庙宇的烈度评定

南郭寺：位于秦州区籍河南岸山边，根据《建南山寺二配殿卧石纪事碑》，南郭寺“地震而复坏”。

邽台山伏羲庙：位于天水市麦积区渭南乡西端，相传为伏羲氏画八卦的地方故名。卦台为一孤峰，高约200余米，呈台状。嘉靖十年(1531年)建伏羲庙。原有山门、戏楼、午门、钟楼、西殿和伏羲大殿3间。地震后第二年，郭镇都对伏羲庙进行了大规模重建或重修。计有牌坊2座、午门、朝院6间、先天殿等，几乎邽台山伏羲庙的庙宇都进行过重建或重修。可惜郭镇都震后第二年(1655年)立的重建伏羲庙碑，残损严重，面目全非，可读者不足三分之一，且又散乱不成句，所以只能推断邽台山伏羲庙因地震倒塌后，第二年又进行重修和重建。

其他庙宇：令人疑惑的是，秦州作为一巨州，庙宇很多，却很少见到因地震重修庙宇的碑文。仅在南郭寺原有一通碑和新补充的《重建城隍庙碑》和南郭寺新补刻的宋琬的三通碑。这也是上世纪60年代有专家认为秦州烈度不应定很高的理由。如天水文庙、西关伏羲庙和玉泉观古建筑群等。值得一提的是，西关伏羲庙在地震前一年，即顺治十年(1653年)曾对其所损建筑逐一修补。工程“正月二十四日开工，未及半载，工已告成”^[28]。次年于姚等人离任，发生了本次地震。所以当时毁坏及重修情况因无记载而不详。也许刚修过的伏羲庙抗住了本次地震的袭击，也许破坏不重，所以震后修修补补也没有记载的必要。在我们新增加的史料中，南郭寺的西塔、卦台山、玉泉观、泰山庙等在这次地震中均遭破坏。

从以上分析，我们认为仅从庙宇破坏来评定烈度，可定为Ⅸ~Ⅹ度。其中邽台山伏羲庙由于地势偏高，震害较重，烈度应稍偏高。

(3) 官府民舍

康熙二十六年《秦州志》^[16]记载，这次地震“官舍崩圮殆尽”、“摇倒房屋三千六百七十二间，震塌窑寨不可胜计”。天水地区在明清时期“山多树木，民以板为室屋”，所以民舍以瓦房为主。该类房以木头做屋架，土筑墙，墙包柱。该类木架结构房屋坚固耐用，多沿用一二百年，甚至三四百年不塌不倒。如全国重点文物保护单位北宅子和南宅子很有代表性。

南宅子坐南朝北，四合院形式，按南北轴线对称布置，为三进院落，为土木结构，五檩抬梁，单檐悬山顶；北宅子呈正方形，由6个大小不等的三合院、四合院组成。经历多次地震均未毁坏。清代时也曾多次补修。

根据秦州的房屋结构和破坏记载，烈度可定为Ⅸ~Ⅹ度。

(4) 人员伤亡

地震前秦州的人口无具体记载，据《天水市志》^[28]记载，明嘉靖年间(1522—1566年)秦州有居民3688户12555人，到1820年时为666790人，也就是说从1566年到1820年的254年中，秦州人口增加了654235人，平均每年增加2576人，1654年地震距1566年为88年，前期的人口增长肯定低于后期的人口增长。按平均每年增长2000人计算，共增加17.6万人，加上1566年时的秦州人口，估计地震时，秦州有人口约18.85万人。

据史料记载，地震时秦州压死男妇7464人(一说万余口)。按7464人计算，推测秦州人口死亡率为4%；按1.1万人计，死亡率为5.8%。这次地震由于发生在夜半，所以伤亡比率应该比较高，估计烈度达到Ⅹ度。

综合上述各项评价结果，秦州烈度评定为Ⅹ度。

2.2.2 伏羌(今甘谷)的烈度评定

伏羌(今甘谷)的震害史料记载相对较少，而且记述也简单笼统，现可查的仅有康熙《伏羌县志》^[16]和乾隆十四年《伏羌县志》^[16]。前者记有，地震时伏羌“山崩地裂，压死士民三千有奇。自此常震，期年方止”。后者除死者为“三百有奇”外，另外还有县令王一经写的《伏羌地震述异诗》^[16]。诗中写到：“大地忽掀翻，谷裂倾庐舍。千里无完楹，死者相枕籍。陶穴自有邵，悬崖户牖开。崩劣夷为谷，亿人罹大灾。……”。从诗中可以看出，伏羌县灾害很重，不仅房倒，而且人员死伤惨重，同时还造成山崩地裂。《伏羌地震述异诗》因以文学作品形式记述，用词上难免有夸大之处，但仅从“大地忽掀翻，谷裂倾庐舍。千里无完楹，死者相枕籍”看，烈度应在Ⅸ~Ⅹ度。关于死亡人数，我们一般采用成本年代最早的版本，由于“三千有奇”出自康熙志，而“三百有奇”出自乾隆志，所以死亡人数应为三千人。乾隆志的“三百有奇”应是“三千有奇”之误。嘉靖年间，甘谷有1657户，18996人，人口略高于秦州。同样按每年增加2000人计算，地震时甘谷约有19.5万人，死亡率为1.54%，可按Ⅸ度考虑。

由于伏羌是秦州的一个重要县,历史也很悠久,县境内寺庙很多,但目前尚未发现有单独庙宇被破坏的记载。关于城池也无破坏重修的史料。所以综合评定伏羌为Ⅸ度。

2.2.3 极震区烈度的评定

因极震区所在的西汉水河谷为农业区,村镇(如天水镇、盐关、祁山、永兴等)零散而且规模相对较小,建筑物类型相对秦州、伏羌等大城镇也简单得多。加之地震中,有许多村镇因滑坡而直接被压埋,因此对建筑物破坏和灾后重建的记述并不详细,反而是对滑坡、崩塌等的记载较具体,如木门里一带“地震崩裂,屋舍倾颓”,“平川沉没,汇为巨浸,汪洋若海”。

区内建筑物的破坏史料记载仅有吕家坡(位置见图1)的苑珠寺,仅凭地震倒塌的碑文评定烈度有一定困难。但从我们这次新补充的资料中不难看出,这次地震的极震区震害相当严重,滑坡规模大,人员死亡率高,因而按照《中国地震烈度表》(GB/T17742-1999)^[33]和《历史地震烈度、震级简表》^[12],估计其烈度在Ⅹ度或Ⅺ度以上。

由于秦州烈度评定为Ⅹ度,且秦州不在极震区内,同时考虑地震后顺治降诏大赦天下。这在清代地震中是少有的,同时又免延、庆、平、巩、汉等府丁徭。故推断极震区(永兴镇至天水镇一带)烈度可高达Ⅺ度。

2.2.4 其他关键点烈度的核定

(1) 静宁

据康熙六年《陕西通志》^[16]、康熙、乾隆年间《静宁州志》^[16]记载,这次地震中静宁的震害主要有:周七里八十六步的城池圯坏,城堞悉毁;庄屋倾颓;人畜多压。估计烈度为Ⅷ度。

(2) 宁远(今武山)

康熙《宁远县志》^[16]笼统记到“村堡皆平,压死居民无数”,烈度评定为Ⅷ度。

(3) 西和

由于木门里时属西和,所以康熙、乾隆年间的县志主要记述了木门里的灾害,对于西和县城一带的破坏,只有乾隆《西和县志》^[16]的一段简单记述:“地震崩裂,屋舍倾毁,居民有压毙者”。“文庙各坛,旧在城北,地震倾塌。知县杨胤昌改建城南。”烈度评定为Ⅷ度。

(4) 礼县(含礼店)

康熙《礼县新志》^[16]描写的全是山崩水壅及宋琬“捡踏伤者”的情况,没有县城的一条记载,考虑礼

县距震中区不远,而且位于礼县东的礼店所报有震灾及人员伤亡,所以烈度按Ⅷ度考虑。

(5) 两当

据康熙二十六年《两当县志》^[16]，“地震半月，人民惊惧，地震出黑水，至窑崩房倒，压死人民牲口无数”，烈度评定为Ⅷ度。

(6) 灵台

顺治十五年《灵台县志》^[16]主要记载了两条震害。一是“地大震，堡寨窑洞崩塌，人民死伤甚重。是月以及七八月，地常动无常。”二是“城池建东西二门，西北二敌楼，设三十六窝铺……顺治十年（十一年之误）地震，敌楼，窝铺俱坍倒无数，知县黄居中重修”。烈度评定为Ⅶ~Ⅷ度。灵台可看成一重异常点。

(7) 庆阳，合水，环县

各县乾隆年间的府志，县志^[16]分别记为“城垣房屋俱圯”，“坍塌城垣房屋甚多”，“崩塌城垣房屋”，烈度定为Ⅶ度。

(8) 宁州(今宁县)

康熙二十六年《宁州志》^[16]记到：“子时地大震，鸣自东北，声如雷，俯仰动摇，墙屋悉倾，复穴多压死者。白是不时动摇，数月始定”，烈度评定为Ⅶ度。

(9) 阶州(今陇南武都区)

据康熙二十六年《阶州志》^[16]记载“地震月余，城垣尽圯，民舍多坏。”阶州是陇南一大都市，其城池在明崇祯十四年（1641年）州守李万化重修，“俨若金汤之固”，阶州城垣从重修到地震发生时，仅有13年时间，刚修好的城垣就遭到破坏，烈度不低于Ⅶ度。“民舍多坏”，据《历史地震裂度、震级简表》^[11]，可综合评定为Ⅶ度。

(10) 凤县，略阳

据顺治《汉中府志》^[16]，这次地震时，“凤县城颓数十丈，知县张石麟重修完固。”略阳“摇塌南门敌楼及南门以西城垣”。（按：雍正九年县志说：“撼南门楼，西南城垣塌四十一丈。……梁如琦补修”），两县烈度可定为Ⅶ度。

(11) 扶风

顺治《扶风县志》^[16,18]记：“地震自西北来，有声如雷，鸡犬皆惊，至日午。垣宇倾颓，压毙人畜。”近年在工作中又新增二条资料。一是法门寺地震后第二年重造铜碑上记有：“十一年六月初九日地大震，将佛像跌落”；另外县博物馆（原城隍庙）嘉靖二十三年（1544年）建有石质牌坊，这次地震时震毁，后在原址重建木质牌坊。另外雍正《扶风县志》^[16,18]还记到：“景福宫，在县北门外。……顺治十一年地震

圯”。综合上述资料,烈度可定为Ⅶ度。

因篇幅所限,本次地震中周边其他各县、州等的

烈度评定不再详细叙述。现将核定过的各破坏点的

烈度评定结果归纳如表 3。

表 3 1654 年地震各烈度点汇总

Table 3 Summary the intensities in different sites during the earthquake in 1654

烈度	地名
XI	罗家堡、木门里一带
X	秦州(天水)
IX	伏羌(甘谷)
Ⅷ	通渭、静宁、宁远(武山)、西和、庄浪(今南湖)(Ⅶ~Ⅷ)、两当、成县、礼县、徽县
Ⅶ	会宁、庆阳、合水、环县、宁州(今宁县)、崇信、阶州(今武都)、宝鸡(Ⅵ~Ⅶ)、扶风、郿县、麟游、凤县、略阳、平凉、巩昌(今陇西)、长武、安定(Ⅵ~Ⅶ,今定西)、华亭、镇原、隆德、灵台(Ⅶ~Ⅷ)、邠州(今彬县)、邠州(今彬县)、凤翔(Ⅶ~Ⅷ)、渭源(Ⅵ~Ⅶ)。
Ⅵ	文县、南郑(今汉中)、勉县、城固、洋县、西乡、宁羌州(今宁强)、西安、商州(今商洛市)、三水(今旬邑)、淳化、同官(今铜川)、咸阳、周至、乾州(今乾县)、延安、临洮、兰州、武功(今武功镇)。
有感点	甘肃省:真宁(今正宁县西南罗川);陕西省:临潼、高陵、宁陕、渭南、耀县、朝邑、潼关、三原、石泉、汉阴、黄陵、白河、洵阳、兴安州(今安康市)、合阳、永寿、岐山、宁陕、咸宁、礼泉、紫阳、户县、泾阳、安塞、吴堡;山西省:介休、翼城、蒲州(今永济西南);河南省:陕州、阌乡(今灵宝西北文乡,已陷入水库中)、长垣、开州(今濮阳)内黄、扶沟;山东省:东明;四川省:通江;河北省:大名、永年(今永年东南旧永年)、南和、高邑。

2.3 等震线的改绘

根据原有地震史料和补充考证新获得的史料,参考各个破坏点的地震烈度核定结果及其地理位置等因素,我们在前人等震线^[12]的基础上,修改细化了本次地震的等震线(图 2)。从图 1、图 2 及上述各个烈度点的震灾情况分析,本次地震的烈度分布有以下特点:

(1) 本次地震的等震线呈椭圆形,长短轴方向的烈度衰减符合中国西部大部分地震等震线的衰减规律。其中,极震区(即 XI 区)长轴方向为 NE 向,直径约 23 km,短轴直径约 11 km,长、短轴之比为 2.1 : 1; X 度区长轴直径约 54 km,短轴直径约 26 km,长、短轴之比仍为 2.1 : 1。IX 度区为不对称的胖椭圆形,长轴方向仍为北东向,直径约 97 km,短轴直径约 60 km,长、短轴之比为 1.6 : 1。Ⅷ度区为胖椭圆形,长轴直径约 214 km,短轴直径约 170 km,长、短轴之比为 1.2 : 1。Ⅷ~XI 度长轴方向均与极震区滑坡分布的优势方向和该区活动断裂和地震地表破裂带的走向相一致^[14]。

(2) 等震线长轴 SW—NE 方向的烈度衰减明显不对称,突出表现为沿北东向或东部方向衰减很慢,而沿南西方向衰减很快,表明地震破裂很可能呈由南西向北东方向发展的特点,这与 1879 年武都南 8 级地震^[7]和 2008 年汶川 8 级地震的烈度分布特征极为相似^[34],反映了西秦岭—陇南山地—龙门山区北东向活动断裂地震活动破裂习性的共性特征。

同时也可能与南北两侧的场地条件、地形地貌差异较大有一定关系。地震区的北东面多为黄土覆盖区,烈度衰减慢,场地放大效应明显,而南西面为陇南基岩山地,烈度衰减快。

2.4 震级的估算

由于本次地震极震区和外围史料较少,在烈度和震级评定上存在一定困难,所以与 1879 年武都南 8 级地震一样,震中烈度和震级曾出现过反复。

(1) 震中烈度(I_0)与震级(M)的关系式^[12]:

$$M_S = 0.605 I_0 + 1.376, \text{ 计算得出: } M = 8.03$$

(2) 从《历史地震烈度、震级简表》^[12]评定。

① 烈度评定

简表指出:“大范围内山崩,塞道阻水成湖,山峰震塌十之八九,山移谷裂”,烈度评定大于 X 度,震级大于 7 $\frac{3}{4}$ 级。

② 从波及范围来评定

简表指出,大于 7 $\frac{3}{4}$ 的地震,破坏最远记载为超过 300 km,有感记载超过 1 000 km。1654 年地震破坏最远的记载点为陕西延安,距震中直线约 520 km,所以震级大于 7 $\frac{3}{4}$ 级,可定为 8 级。

(3) 根据震害评定结果,本次地震Ⅷ度区等震线长轴直径达 214 km 左右。若将Ⅷ度区作为孕震断裂段长度来考虑的话,利用郭增建等^[35]建立的我国大陆地震震级(M)与发震断裂长度(L)的统计关系式:

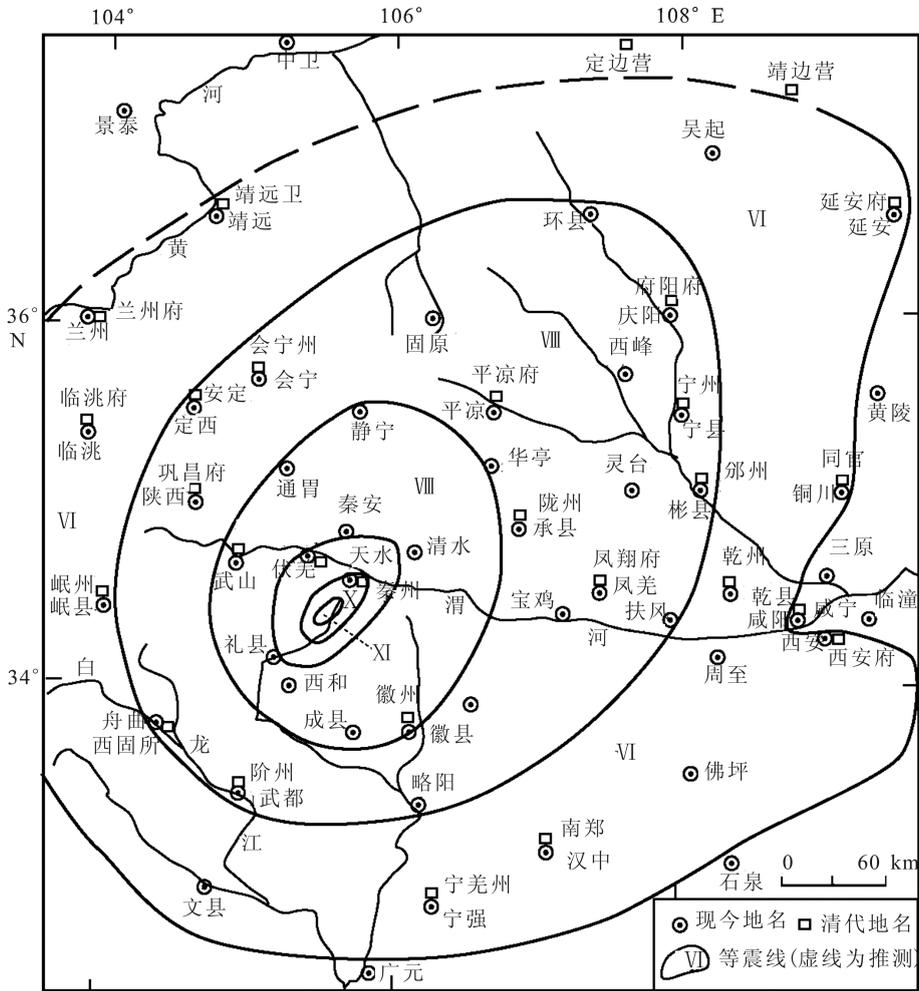


图 2 1654 年天水南 8 级地震等震线图

Fig.2 The isoseismal line of southern Tianshui M8 earthquake in 1654.

$M=2.1lgL+3.3$, 计算其震级为 8.19 级。

(4) 蒋梅等^[36]曾收集了 1950—1995 年发生在甘宁青地区 $M \geq 4.7$ 地震经过现场考察并绘制的等震线图, 根据 33 次中强地震, 采用最小二乘法进行统计处理得出的公式:

$M=0.60I_0+1.41, S=0.32$ 。计算 1654 年地震震级为 8.0 级。

综合评定: 1654 年天水南地震震级 8 级, 震中烈度 XI 度。

3 发震构造分析

经遥感影像解译和野外地质调查, 在 1654 年天水南 8 级地震的极震区内仅有一条活动断裂, 即礼县—罗家堡断裂。礼县—罗家堡断裂平面上主要由 3 条斜列的次级断裂段组成, 总长约 150 km, 走向 60°。西段从宕昌东到礼县东, 长约 90 km。中段从礼县南到罗家堡东北, 长约 40 km。东段从天水镇西到平南镇东, 长约 20 km。3 条次级断裂段之间

呈右阶斜列, 性质为左旋走滑兼正断(图 3)。

韩竹军等^[13]曾对该断裂进行过初步研究, 发现其新活动的一些地质地貌现象, 但是有些现象受滑坡等的影响存在一定的不确定性。最近杨晓平等^[14]通过高分辨率卫星影像的解译和实地调查, 发现了断裂最新构造活动和地震地表破裂带的可靠证据。沿礼县—盐关—罗家堡一线多处黄土中的断层直通地表, 或冲沟同步左旋位错和高度不等的断层陡坎等。其最新构造活动错断了含有仰韶文化红色陶瓷片的一级阶地堆积物, 阶地面上断层陡坎高约 1.5 m(图 4)。沿断裂带还保存了地震陡坎、纹沟左旋、地震沟槽和滑坡密集成带等地震破裂现象, 为 1654 年天水南 8 级地震的地震断裂, 本次地震产生了 7~10 m 左旋水平位移和 3~4 m 左右垂直位移的同震位错等。

上述地震地表破裂带位置与我们通过史料分析确定的 1654 年天水南 8 级地震极震区位置一致(图 3), 相互印证了其研究结果的可靠性和合理性。

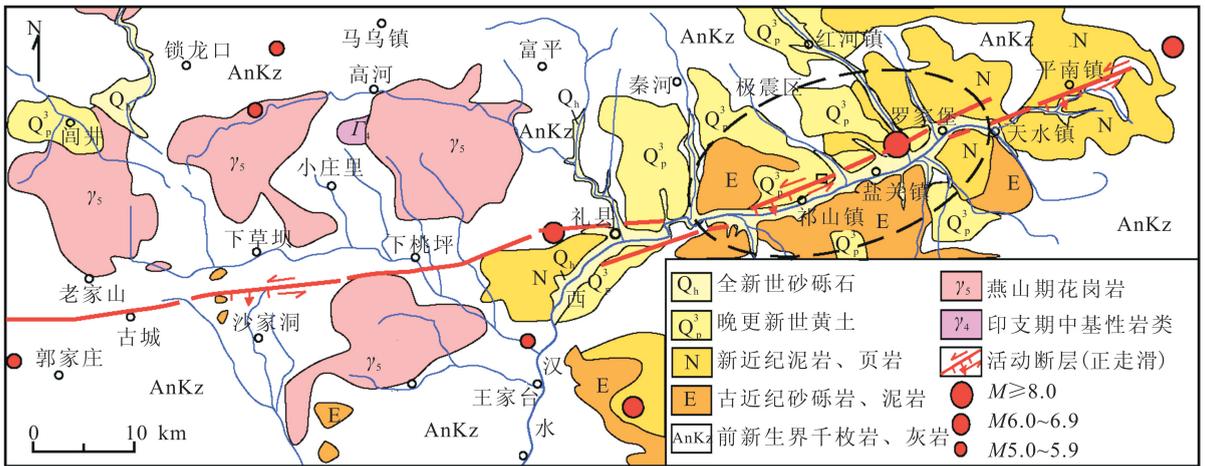


图3 礼县—罗家堡断裂分布图(据文献[14]改绘)

Fig.3 Distribution of the Lixian—Luojiabu fault (modified according to the reference 14)

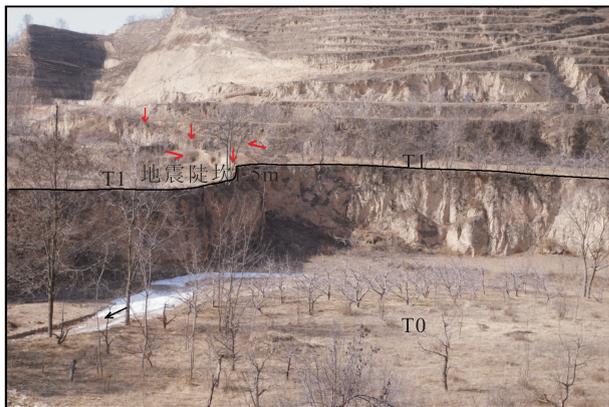


图4 礼县—罗家堡断裂毛家庄附近阶地断错图

Fig.4 Terrace offsetted nearby Maojiashuang village along Lixian—Luojiabu fault.

4 主要结论

本文综合原有地震史料和新补充调查所获得的资料,评定了1654年天水南地震中各个破坏点的地震烈度,进而估算了其震级,修改细化了地震等震线图。结合该区活动断裂最新调查结果,探讨了其发震构造特征。取得的主要认识如下。

(1) 1654年天水南8级地震震级高,人员伤亡大,破坏区范围广,震灾非常严重。是南北地震带中北段一次破坏性极强的大地震,与属于同一构造系的1879年武都南8级地震^[7]和2008年汶川8地震^[37-38]构成了我国8级大震的多发带。

(2) 1654年天水南8级地震区位于西秦岭山区与黄土高原区的交界地带,地震除了造成大量城垣毁坏、房倒屋塌和人员伤亡之外,滑坡、山崩和堰塞

湖等地震地质灾害也非常严重。本次地震等震线长轴方向为NE向,但沿SW—NE方向烈度衰减明显不对称,突出表现为沿北东向或东部地区衰减很慢,而沿南西方向衰减很快,表明地震破裂很可能呈由南西向北东方向发展的特点。

(3) 1654年天水南8级地震区发育了全新世活动的礼县—罗家堡断裂,其性质为左旋走滑兼正断。根据最新调查结果,发现在礼县—盐关—罗家堡一线存在地震陡坎、地震沟槽和冲沟左旋等地震地表破裂带的证据,其地理位置与历史资料考证确定的极震区范围一致,印证了其结果的可靠性和合理性。

参考文献(References)

- [1] 袁道阳,张培震,刘百箴,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 transformation of late Quaternary active tectonics in northeastern margin of Qinghai—Xizang plateau [J]. Acta Geologica Sinica, 2004, 78(2): 270-278. (in Chinese)
- [2] 郑文俊,袁道阳,何文贵,等.甘肃东南地区构造活动与2013年岷县—漳县 $M_s6.6$ 级地震孕震机制[J].地球物理学报,2013,56(12):4058-4071. doi:10.6038/cjg20131211. ZHENG Wen-jun, YUAN Dao-yang, HE Wen-gui, et al. Geometric Pattern and Active Tectonics in Southeastern Gansu Province: Discussion on Seismogenic Mechanism of the Minxian—Zhangxian $M_s6.6$ Earthquake on July 22, 2013 [J]. Chinese Journal Geophysics, 2013, 56(12): 4058-4071. doi:10.6038/cjg20131211. (in Chinese)
- [3] 郑文俊,闵伟,何文贵,等.2013年甘肃岷县漳县6.6级地震震害分布特征及发震构造分析[J].地震地质,2013,35(3):604-615. doi:10.3969/j.issn.0253-4967.2013.03.014. ZHENG Wen-jun, MIN Wei, HE Wen-gui, et al. Distribution of

- the Related Disaster and the Causative Tectonic of the Minxian—Zhangxian $M_{s6.6}$ Earthquake on July 22, 2013, Gansu, China[J]. *Seismology and Geology*, 2013, 35(3): 604-615. doi: 10.3969/j.issn.0253-4967.2013.03.014. (in Chinese)
- [4] 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): 58-63.
YUAN Dao-yang, LEI Zhong-sheng, GE Wei-peng, et al. A New Opinion About the 143 West of Gangu $M7.0$ Earthquake in Gansu Province [J]. *Northwestern Seismological Journal*, 2007, 29(1): 58-63. (in Chinese)
- [5] 袁道阳, 雷中生, 何文贵, 等. 公元前 186 年武都地震考证与发震构造分析[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)
- [6] 袁道阳, 雷中生, 刘兴旺, 等. 公元 842 年甘肃碌曲地震考证与发震构造探讨[J]. *地震地质*, 2014, 36(3): 509-624. doi: 10.3969/j.issn.0253-4967.2014.03.
YUAN Dao-yang, LEI Zhong-sheng, LIU Xing-wang, et al. Textural research of Luqu Earthquake in 842 AD in Gansu Province and Analysis of its Causative Structure [J]. *Seismology and Geology*, 2014, 36(3): 509-624. doi: 10.3969/j.issn.0253-4967.2014.03. (in Chinese)
- [7] 袁道阳, 雷中生, 杨青云, 等. 1879 年甘肃武都南 8 级地震的震灾特征[J]. *兰州大学学报: 自然科学版*, 2014, 50(5): 611-621.
YUAN Dao-yang, LEI Zhong-sheng, YANG Qing-yun, et al. Seismic Disaster Features of the 1879 Southern Wudu $M8$ Earthquake in Gansu Province [J]. *Journal of Lanzhou University: Natural Sciences*, 2014, 50(5): 611-621. (in Chinese)
- [8] 袁道阳, 杨青云, 雷中生, 等. 四川北部地区三次中强历史地震补充考证[J]. *地震工程学报*, 2016, 38(2): 226-235.
YUAN Dao-yang, YANG Qing-yun, LEI Zhong-sheng, et al. Additional Textural Criticism of Three Moderate-strong Historical Earthquake in the Northern Region of Sichuan Province [J]. *China Earthquake Engineering Journal*, 2016, 38(2): 226-235. (in Chinese)
- [9] 中央地震工作小组办公室. 中国地震目录(第一、二册合订本) [M]. 北京: 科学出版社, 1971.
China Central Earthquake Working Group Office. Catalogue of Chinese Earthquakes (The First and Second Volumes of Bound Edition) [M]. Beijing: Science Press, 1971. (in Chinese)
- [10] 国家地震局兰州地震研究所. 陕甘宁青四省(区)强震目录 [M]. 西安: 陕西科技出版社, 1985.
Lanzhou Institute of Seismology, SSB. Catalogue of Shanxi, Gansu, Ningxia and Qinghai four provinces or Municipality Strong Earthquakes [M]. Xi'an: Shaanxi Scientific and Technological Press, 1985. (in Chinese).
- [11] 顾功叙. 中国地震目录 [M]. 北京: 科学出版社, 1983.
GU Gong-xu. Catalogue of Chinese Earthquakes [M]. Beijing: Science Press, 1983. (in Chinese)
- [12] 国家地震局震害防御司. 中国历史强地震目录 [M]. 北京: 地震出版社, 1995.
Earthquake Disaster Recovery Department, SSB. Catalogue of Chinese Strong Historical Earthquakes [M]. Beijing: Seismological Press, 1995. (in Chinese)
- [13] 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.
HAN Zhu-jun, XIANG Hong-fa, RAN Yong-kang. Activity Analysis of Lixian—Luojiabu Fault Zone in the East Boundary of Tibetan Plateau since the Late Pleistocene [J]. *Seismology and Geology*, 2001, 23(1): 43-48. (in Chinese)
- [14] 杨晓平, 冯希杰, 黄雄南, 等. 礼县—罗家堡断裂晚第四纪活动特征: 兼论 1654 年礼县 8 级地震孕震机制 [J]. *地球物理学报*, 2015, 58(2): 504-519. doi: 10.6038/cjg20150214.
YANG Xiao-ping, FENG Xi-jie, HUANG Xiong-nan, et al. The late Quaternary Activity Characteristics of the Lixian—Luojiabu Fault: A Discussion on the Seismogenic Mechanism of the Lixian $M8$ Earthquake in 1654 [J]. *Chinese J Geophys.* 2015, 59(7): 2528-2538. doi: 10.6038/cjg20160718. (in Chinese)
- [15] 谢毓寿, 蔡美彪. 中国地震历史资料汇编 [M]. 第三卷上册. 北京: 科学出版社, 1987.
XIE Yu-shou, CAI Mei-biao. Summary of the Chinese Historical Earthquake Records [M]. (the First Volume of No.3). Beijing: Science Press, 1987. (in Chinese)
- [16] 国家地震局兰州地震研究所. 甘肃省地震资料汇编 [M]. 北京: 地震出版社, 1989.
Lanzhou Institute of Seismology, SSB. Summary of the Gansu Historical Earthquake Records [M]. Beijing: Seismological Press, 1989. (in Chinese)
- [17] 程平. 陕西古塔 [M]. 西安: 陕西科技出版社, 1994.
CHENG Ping. Ancient Towers in Shaanxi Province [M]. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 1994. (in Chinese)
- [18] 扶风县志编纂委员会. 扶风县志 [M]. 西安: 陕西人民出版社, 1993.
Compiling Committee of Annals of Fufeng County. Annals of Fufeng County [M]. Xi'an: Shaanxi People's Publishing House, 1993. (in Chinese)
- [19] 长武县志编纂委员会. 长武县志 [M]. 西安: 陕西人民出版社, 2000.
Compiling Committee of Annals of Changwu County. Annals of Changwu County [M]. Xi'an: Shaanxi People's Publishing House, 2000. (in Chinese)
- [20] 张如锦. 淳化县志 [M]. 康熙四十年刊本.
ZHANG Ru-jin. Annals of Zhunhua County [M]. The Annal of Empiror Kangxi Forty Year in Qing Dynasty. (in Chinese)
- [21] 咸阳市地方志编纂委员会. 咸阳市志 [M]. 西安: 陕西人民出版社, 1996.
Compiling Committee of Annals of Xianyang City. Annals of Xianyang City [M]. Xi'an: Shaanxi People's Publishing House, 1996. (in Chinese)
- [22] 泾川县志编纂委员会. 泾川县志 [M]. 兰州: 甘肃人民出版社,

1996.
Compiling Committee of Annals of Jingchuan County. Annals of Jingchuan County[M]. Lanzhou: Gansu People's Publishing House, 1996. (in Chinese)
- [23] (清)许容, 李迪. 甘肃通志[M].
XU Rong, LI Di (Qing Dynasty). General Annals of Gansu Province[M]. (in Chinese)
- [24] 武功县志编纂委员会. 武功县志[M]. 西安: 陕西人民出版社, 2001.
Compiling Committee of Annals of Wugong County. Annals of Wugong County[M]. Xi'an: Shaanxi People's Publishing House, 2001. (in Chinese)
- [25] 安康地区志编纂委员会. 安康地区志[M]. 西安: 陕西人民出版社, 2004.
Compiling Committee of Annals of Ankang Region. Annals of Ankang Region[M]. Xi'an: Shaanxi People's Publishing House, 2004. (in Chinese)
- [26] 甘肃省地方志编纂委员会, 甘肃省民政志编委会. 甘肃省志. 民政志[M]. 兰州: 甘肃人民出版社, 1994.
Local Chronicles Compilation Committee of Gansu Province, Compiling Committee of Civil Administration of Gansu Province. Annals of Civil Administration of Gansu Province[M]. Lanzhou: Gansu People's Publishing House, 1994. (in Chinese)
- [27] 临洮县志编纂委员会. 临洮县志[M]. 兰州: 甘肃人民出版社, 1990.
Compiling Committee of Annals of Lintao County. Annals of Lintao County[M]. Lanzhou: Gansu People's Publishing House, 1990. (in Chinese)
- [28] 天水市地方志编纂委员会. 天水市志[M]. 北京: 方志出版社, 2004.
Local Chronicles Compilation Committee of Tianshui. Annals of Tianshui[M]. Beijing: Local Press, 2004. (in Chinese)
- [29] 闫虎林, 安培玉. 木门道[M]. 北京: 中国文史出版社, 2014.
YAN Hu-lin, AN Pei-yu. Mumen Dao[M]. Beijing: Chinese Literature Press, 2014. (in Chinese)
- [30] 刘百箴, 周俊喜, 李秦梅, 等. 1718 年通渭地震和 1654 年天水地震地区航空照片判读[J]. 地震科学研究, 1984(1): 3-4.
LIU Bai-zhi, ZHOU Jun-xi, LI Qin-mei, et al. Air-photos Interpretation of the Tongwei Earthquake in 1718 and Tianshui Earthquake in 1654[J]. Research on Earthquake Science, 1984(1): 3-4. (in Chinese)
- [31] 乾隆通渭县志书[M]. 卷 4.
Annals of Tongwei in Emperor Qianlong in Qing Dynasty[M]. No.4. (in Chinese)
- [32] 康县志志编纂委员会. 康县志[M]. 兰州: 甘肃人民出版社, 1989.
Compiling Committee of Annals of Kang County. Annals of Kang County[M]. Lanzhou: Gansu People's Publishing House, 1989. (in Chinese)
- [33] 国家质量技术监督局. GB/T17742-1999, 中国地震烈度表[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
China State Bureau of Quality and Technical Supervision. (GB/T17742-1999), China Earthquake Intensity Table[S]. Beijing: China Standard Press, 1999. (in Chinese)
- [34] 李志强, 袁一凡, 李晓丽, 等. 汶川 $M_s8.0$ 级特大地震破坏特征初步研究[J]. 地震地质, 2008, 30(4): 855-876.
LI Zhi-qiang, YUAN Yi-fang, LI Xiao-li, et al. Preliminary Research on the Characteristics of the $M_s8.0$ Wenchuan Earthquake Hazard[J]. Seismology and Geology, 2008, 30(4): 855-876. (in Chinese)
- [35] 郭增建, 秦保燕, 徐文耀, 等. 震源孕育模式的初步讨论[J]. 地球物理学报, 1973, 16(1): 43-48.
GUO Zhen-jian, QIN Bao-yan, XU Wen-yao, et al. Preliminary Study on a Model for the Development of the Focus of an Earthquake[J]. Acta Geophysica Sinica, 1973, 16(1): 43-48. (in Chinese)
- [36] 蒋梅, 董治平, 侯远文. 甘宁青地区地震震级与烈度和有感距离的关系[J]. 西北地震学报, 1997, 19(增刊): 133-137.
JIANG Mei, DONG Zhi-ping, HOU Yuan-wen. The Relationship of Earthquake Magnitude, Intensity and Felling Distance in Gansu, Ningxia and Qinghai Regions[J]. Northwestern Seismological Journal, 1997, 19(Supp): 133-137. (in Chinese)
- [37] 徐锡伟, 闻学泽, 叶建青, 等. 汶川 $M_s8.0$ 地震地表破裂带及其发震构造[J]. 地震地质, 2008, 30(3): 597-629.
XU Xi-wei, WEN Xue-ze, YE Jian-qing, et al. The $M_s8.0$ Wenchuan Earthquake Surface Ruptures and Its Seismogenic Structure[J]. Seismology and Geology, 2008, 30(3): 597-629. (in Chinese)
- [38] 张培震, 闻学泽, 徐锡伟, 等. 2008 年汶川 8.0 级特大地震孕震和发生的多单元组合模式[J]. 科学通报, 2009, 54(7): 944-953.
ZHANG Pei-zhen, WEN Xue-ze, XU Xi-wei, et al. Tectonic Model of the Great Wenchuan Earthquake of May 12, 2008, Sichuan, China[J]. Chinese Science Bulletin, 2009, 54(7): 944-953. (in Chinese)