

10 余年来甘肃省中强地震的发震构造特征

袁道阳^{1,2}, 何文贵², 刘小凤³, 郑文俊², 葛伟鹏², 刘兴旺²

(1. 中国地震局地球物理研究所, 北京 100081; 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. 甘肃省地震局, 甘肃 兰州 730000)

摘要:归纳总结了 1995 年以来甘肃省所发生的 9 次 $M_s 5.0$ 以上破坏性地震的发震构造特征, 综合分析了其共性和个性特点。结果表明: 所发生的中强破坏性地震大多位于活动性较弱的次级活动断裂带上或主干活动断裂带边缘, 其分布具有时间上的分段性、空间上的分区性和迁移性特点, 并具有从山前向盆地内部扩展的发展趋势。

关键词: 中强地震; 发震构造; 甘肃

中图分类号: P315.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2006)03-0235-07

The Characteristics of Seismogenic Structure of Middle-strong Earthquakes in Recent 10 Years, Gansu Province

YUAN Dao-yang^{1,2}, HE Wen-gui², LIU Xiao-feng³, ZHENG Wen-jun²,
GE Wei-peng², LIU Xing-wang²

(1. Institute of Geophysics, CEA, Beijing 100081, China; 2. Lanzhou Base of Institute of Earthquake Prediction, CEA, Lanzhou 730000, China; 3. Earthquake Administration of Gansu Province, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The characteristics of seismogenic structure and tectonic backgrounds of 9 $M_s \geq 5.0$ earthquakes occurred in Gansu Province since 1995 are summarized, the generalities and distinctive features of the structures are analyzed. The results indicate that: most of the middle-strong earthquakes in recent 10 years in Gansu main occurred on the secondary active fault zones, where activity is weak, or on the edge of main fault zones. The earthquake are results of regional stress field adjustment, and their characteristics are occurring by stages in time, distributing in divisional zones in space and migrating from the front of Mountain to the interior of thrust basins.

Key words: Middle-strong earthquake; Seismogenic structure; Gansu

0 引言

近年来, 甘肃省的中强地震活动非常频繁, 自 1995 年以来共发生了 9 次 $M_s 5.0$ 以上破坏性地震。包括: 1995 年 7 月 22 日永登 $M_s 5.8$ 地震、1996 年 6 月 1 日天祝—古浪 $M_s 5.4$ 地震、2000 年 6 月 6 日景泰 $M_s 5.9$ 地震、2001 年 7 月 11 日肃南祁青 $M_s 5.3$ 地震、2002 年 12 月 14 日玉门 $M_s 5.9$ 级地震、2003 年 8 月 20 日民乐—山丹 $M_s 6.1$ 地震和 5.8 地震、

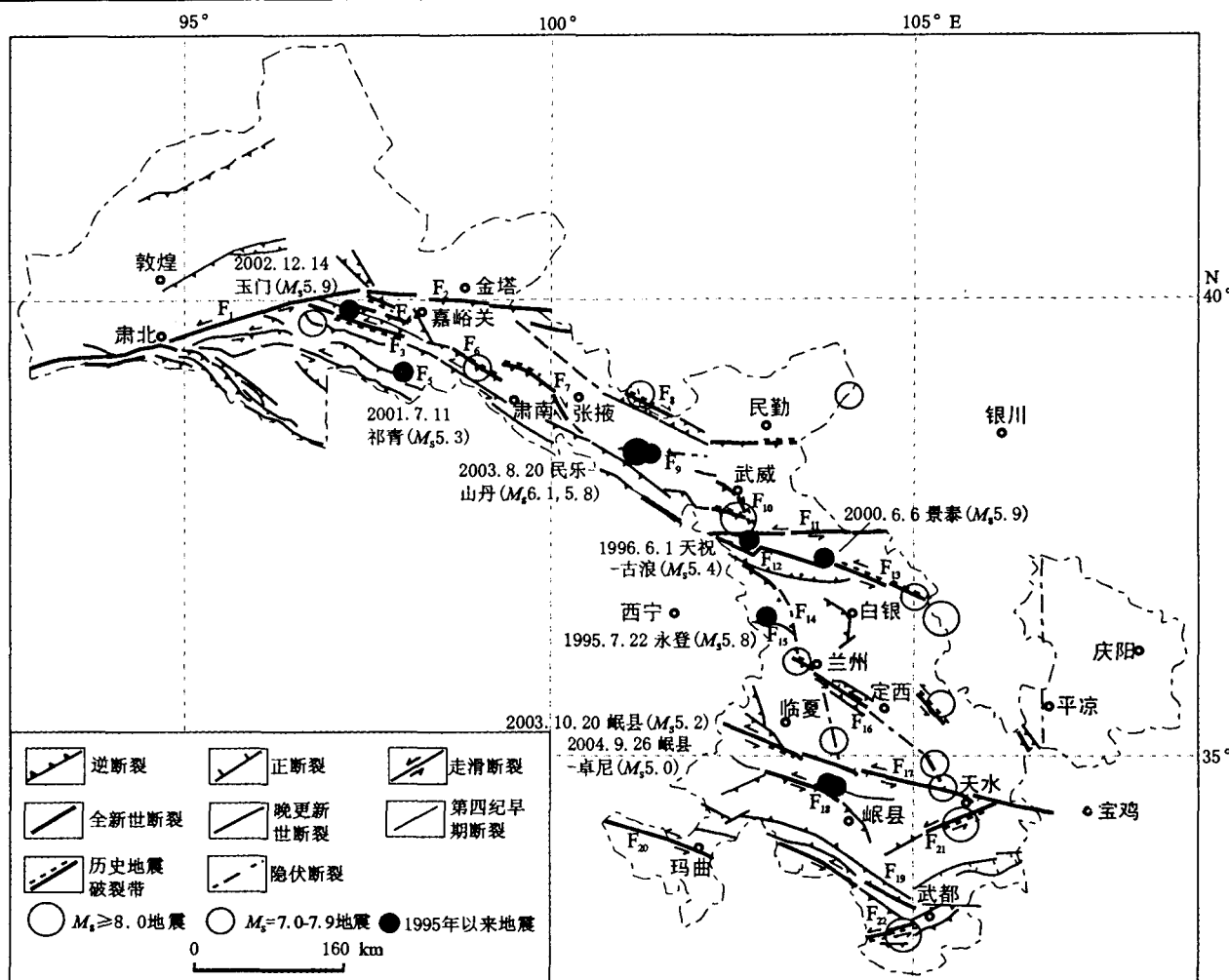
2003 年 11 月 13 日岷县 $M_s 5.2$ 地震和 2004 年 9 月 26 日岷县—卓尼 $M_s 5.0$ 地震(图 1、表 1)。其中, 除岷县 $M_s 5.2$ 地震和岷县—卓尼 $M_s 5.0$ 地震发生在西秦岭构造带以南地区之外, 其它 7 次地震均发生在祁连山—河西走廊构造带内。本文归纳总结了上述中强破坏性地震的发震构造特征及构造背景, 综合分析了其共性和个性特点, 期望能为本区未来的地震趋势判定提供参考依据。

收稿日期: 2006-05-30

基金项目: 国家自然科学基金(40372086); 甘肃省科技攻关项目(2GS054-A44-015)和中国地震局“南北地震带中强地震短临跟踪”

项目资助; 中国地震局兰州地震研究所论著号: LC20060017

作者简介: 袁道阳(1965—), 男(汉族), 四川广安人, 博士, 研究员, 主要从事新构造及活动构造研究。



F₁, 阿尔金断裂; F₂, 金塔南山断裂; F₃, 昌马断裂; F₄, 玉门断裂; F₅, 托勒山北缘断裂; F₆, 佛洞庙-红崖子断裂; F₇, 榆木山断裂; F₈, 龙首山北缘断裂; F₉, 民乐-永昌隐伏断裂; F₁₀, 武威-天祝隐伏断裂; F₁₁, 古浪断裂; F₁₂, 毛毛山-老虎山断裂; F₁₃, 海原断裂; F₁₄, 庄浪河断裂; F₁₅, 疙瘩沟断裂; F₁₆, 马街山北缘断裂; F₁₇, 西秦岭北缘断裂; F₁₈, 临潭-宕昌断裂带; F₁₉, 迭部-白龙江断裂; F₂₀, 东昆仑断裂; F₂₁, 礼县-罗家堡断裂; F₂₂, 哈南-青山湾-稻畦子断裂。

图 1 甘肃省活动构造及近 10 年来中强破坏性地震震中分布图

Fig. 1 The active tectonics in Gansu province and the epicenters of middle-strong earthquakes in recent 10 years.

表 1 1995 年以来甘肃省 $M_s \geq 5$ 地震一览表

发震时间	震级/ M_s	地点	震中位置	震中烈度	发震构造
1995-07-22	5.8	永登七山	N36.5°, E103.0°	Ⅷ	庄浪河西侧疙瘩沟逆断裂一褶皱带
1996-06-01	5.4	天祝-古浪	N37.3°, E102.75°	Ⅵ	古浪断裂与武威-天祝断裂的次级断裂
2000-06-06	5.9	景泰	N37.016°, E104.0°	Ⅷ	老虎山断裂东段
2001-07-11	5.3	肃南祁青	N39.2°, E98.0°	Ⅵ	托勒山北缘断裂
2002-12-14	5.9	玉门	N39.8°, E97.3°	Ⅶ	玉门断裂
2003-08-20	6.1, 5.8	民乐-山丹	N38.4°, E101.2°	Ⅷ	童子坝河隐伏断裂及民乐-永昌隐伏断裂
2003-10-20	5.2	岷县	N34.7°, E103.9°	Ⅷ	临潭-宕昌断裂的次级断裂
2004-09-26	5.0	岷县-卓尼	N34.7°, E103.9°	Ⅶ	临潭-宕昌断裂的次级断裂

1 各次地震的发震构造

1.1 1995 年 7 月 22 日永登 $M_s 5.8$ 地震

极震区位于庄浪河西侧永登县七山乡的疙瘩沟、马家山城一带。极震区烈度为Ⅷ度,等震线呈北

西西向的长条状(图 2)。

对本次地震的发震构造和发震机制在认识上存在一定分歧。邢成起等^[1]认为其发震构造应为该区深部近东西向的周家台隐伏断裂;而同时参加现场考察的周俊喜等^[2]认为其发震断裂可能为庄浪河西

侧地表有零星露头的疙瘩沟次级断裂。疙瘩沟断裂为一条晚更新世早期活动断裂(图1中 F_{15})。袁道阳等^[3]根据庄浪河地区的阶地变形特征,综合分析认为本次地震的发生可能与庄浪河西侧的弧形逆断裂—褶皱带的新活动有关,属于断裂扩展褶皱作用导致的地震,地震震中位于庄浪河西侧弧形逆断裂—褶皱带的北西翼。其震源机制解P轴方向为 345° ^[1],正好垂直于弧形褶皱带北西翼的轴向。地震等震线也表现为南侧(上盘)衰减慢,向北(下盘)却衰减快,属断裂扩展褶皱作用的形态。实际上,疙瘩沟断裂就是庄浪河西侧逆断裂—褶皱带北西翼断坡部位在地表的露头;而深部周家台隐伏断裂可能正是该逆断裂—褶皱带下部的滑脱带,二者是同一构造在深浅部位的不同表现形式^[3]。

同参与了1927年古浪8级地震的构造活动^[4]。本次 $M_s5.4$ 地震即为上述两条断裂带内部的次级断层段共同作用的结果^[5]。

1.3 2000年6月6日景泰 $M_s5.9$ 地震

宏观震中位于景泰县寺滩乡大庄村所在的崔家墩、上西沟和曾家庄一带。地震除造成部分房屋破坏、倒塌之外,还形成了一些地裂缝。经野外实地考察确定,本次地震的极震区烈度为Ⅷ度,形态呈长椭圆形,其长轴方向为 $NW80^{\circ}$ 。地震震害沿等震线长轴方向破坏重且延伸远,而垂直该方向震害衰减非常快^[6]。宏观震中就位于北祁连山活动断裂带东段的老虎山断裂(图1中 F_{12})上。其发震构造即为老虎山断裂带东段的次级断层段。地震具有自西向东破裂扩展的特点,并诱发海原断裂带(图1中 F_{13})西端参与了本次地震的活动,使位于海原断裂带西端的兴泉堡村震害严重(为Ⅷ度异常点)。老虎山断裂为全新世晚期活动的左旋走滑断裂,历史上曾发生过1888年景泰6.8~7级地震^[7],而海原断裂是1920年海原8.6级地震的发震断裂^[8]。

1.4 2001年7月11日肃南祁青 $M_s5.3$ 地震

宏观震中位于肃南县祁青乡的朱龙关村附近,极震区烈度为Ⅵ度,呈近椭圆形,长轴走向 $NW60^{\circ}$ 。地震发生在祁连山西段的托勒山区,属人口稀少的少数民族牧区,没有造成人员伤亡,但造成了部分民房和工矿企业房屋破损,及部分岩土崩塌和雪崩等。从宏观调查圈定的等震线来看,极震区(Ⅵ区)位于托勒山北缘断裂带(图1中 F_5)附近,其长轴方向与托勒山北缘断裂走向一致,据此判定本次地震的发震构造为托勒山北缘断裂新活动的结果。托勒山北缘断裂为一条晚更新世活动的逆左旋走滑断裂^[9]。

1.5 2002年12月14日玉门 $M_s5.9$ 地震

地震造成部分房屋开裂和破坏,部分供电、供水等基础设施受损等震害。根据现场考察结果,这次地震的极震区位于玉门市早峡煤矿和妖魔山一带,震中烈度为Ⅶ度,极震区呈长椭圆形,长轴走向 $NW65^{\circ}$ (图3)。何文贵等^[10]认为其发震断裂为祁连山北缘断裂带的早峡一大黄沟断裂,该断裂为一条第四纪早期活动的逆冲断裂带^[11]。

但根据地震精确定位的研究结果^[12],本次地震应是玉门盆地南缘的早峡一大黄沟断裂和盆地内的玉门断裂(图1中 F_4)共同作用的结果,玉门断裂为一条全新世活动的盲逆断裂—褶皱带^[13],其最新活动表现为逐渐向盆地内部挤压扩展的逆冲作用(图4),本次地震应为该断裂向盆地内部扩展活动的结

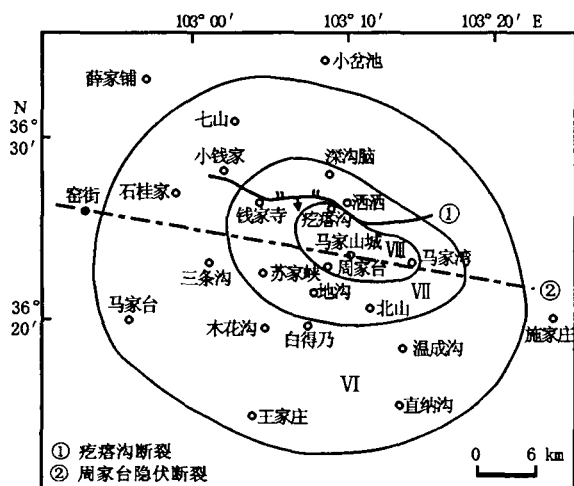


图2 1995年7月22日永登 $M_s5.8$ 地震
烈度分布图(据文献^[1]改绘)

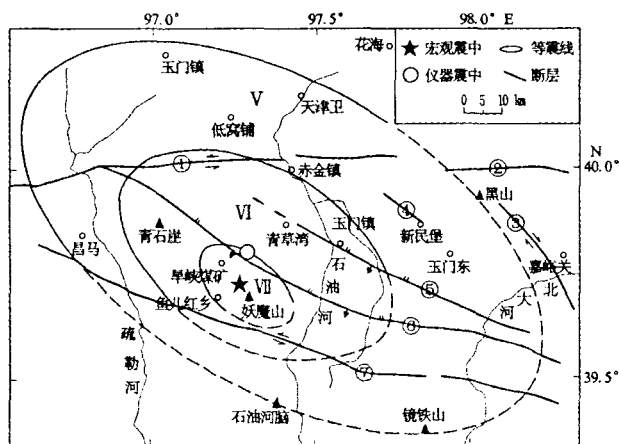
Fig. 2 Intensity map of Yongdeng $M_s5.8$
earthquake on July 22, 1995.

1.2 1996年6月1日天祝—古浪 $M_s5.4$ 地震

发生在天祝、古浪交界地区,极震区位于天祝县安远镇黑河滩村及古浪县黑松驿乡官庄子村一带,烈度为Ⅵ度(有一Ⅶ度异常点),其形态为较胖的椭圆形,长轴方向为 $NW20^{\circ}$ 。地震造成部分房屋倒塌、山体崩塌滑坡和地裂缝等,但没有形成地表破裂。

根据地震现场考察结果,本次地震的极震区大致位于 NWW 向的古浪活动断裂带(也称天桥沟—黄羊川断裂带,图1中 F_{11} 与 NNW 向的武威—天祝隐伏断裂带(图1中 F_{10})的交汇部位,该部位是应力易于集中和释放的有利场所。古浪断裂为一条全新世活动的左旋走滑断裂,与武威—天祝隐伏断裂共

果。



①阿尔金断裂;②金塔南山断裂;③嘉峪关断裂;④新民堡断裂;
⑤玉门断裂;⑥早峡一大黄沟断裂;⑦昌马断裂。

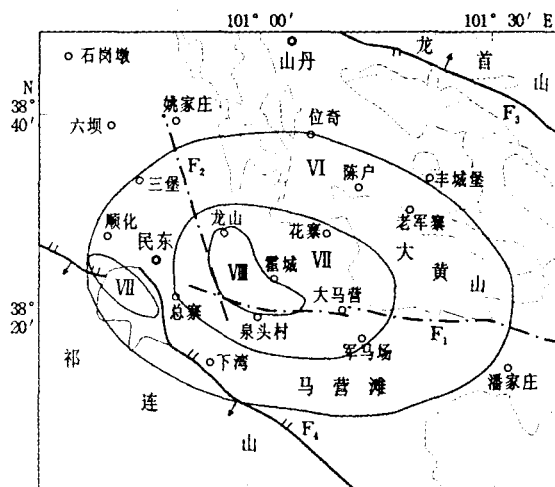
图3 2002年12月14日玉门 $M_s5.9$ 地震等震线图(据文献[10])

Fig.3 Isoseismic map of Yumen $M_s5.9$ earthquake on December 14, 2002

1.6 2003年10月25日民乐—山丹 $M_s6.1$ 和5.8地震

发生在民乐县和山丹县之间,宏观震中位于山丹县霍城镇王庄和生地洼附近。地震除造成部分房屋倒塌和破坏之外,还形成了地裂缝和地震陷坑等,但没有形成地表破裂带。根据宏观震害调查结果^[14],极震区烈度为Ⅷ度,形态为一“肾”型,其西端明显向北发生变向,东端为近东西向,为一北北西向的椭圆与一近东西向椭圆的叠加,二者走向正好与

该区发育的两条隐伏断裂:童子坝河隐伏断裂及民乐—永昌隐伏断裂的走向相一致(图5)。表明两条断裂可能都参与了本次地震活动。根据前人研究结果,民乐—永昌隐伏断裂与童子坝河隐伏断裂是北祁连山前的张掖—民乐盆地内部大黄山隆起区前缘的两条晚更新世活动的隐伏逆冲断裂带^[11],其新 $M_s6.1$ 和5.8级地震等震线图(据文献[14])。

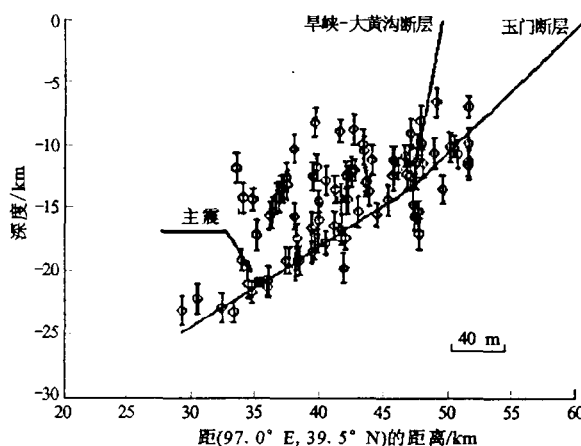
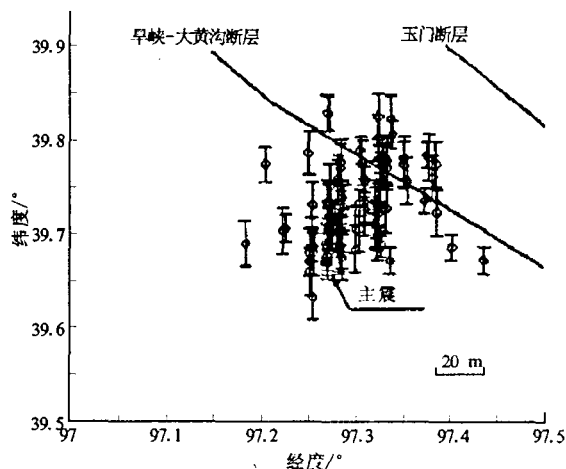


第四系 第三系 基岩 逆断裂
隐伏断裂 等震线及烈度值 0 10 20 km

F1. 民乐—永昌隐伏断裂;F2. 童子坝河隐伏断裂;
F3. 龙首山南缘断裂;F4. 祁连山北缘断裂。

图5 2003年8月20日民乐—山丹 $M_s6.1$ 和5.8地震等震线图(据文献[4])

Fig.5 Isoseismic map of Minle-Shandan $M_s6.1$ and 5.8 earthquakes on August 20, 2003.



左图为小震定位后震中分布图;右图为小震定位后深度剖面图

图4 玉门 $M_s5.9$ 地震余震震中分布图(据文献[12])

Fig.4 The aftershock epicenters of Yumen $M_s5.9$ earthquake.

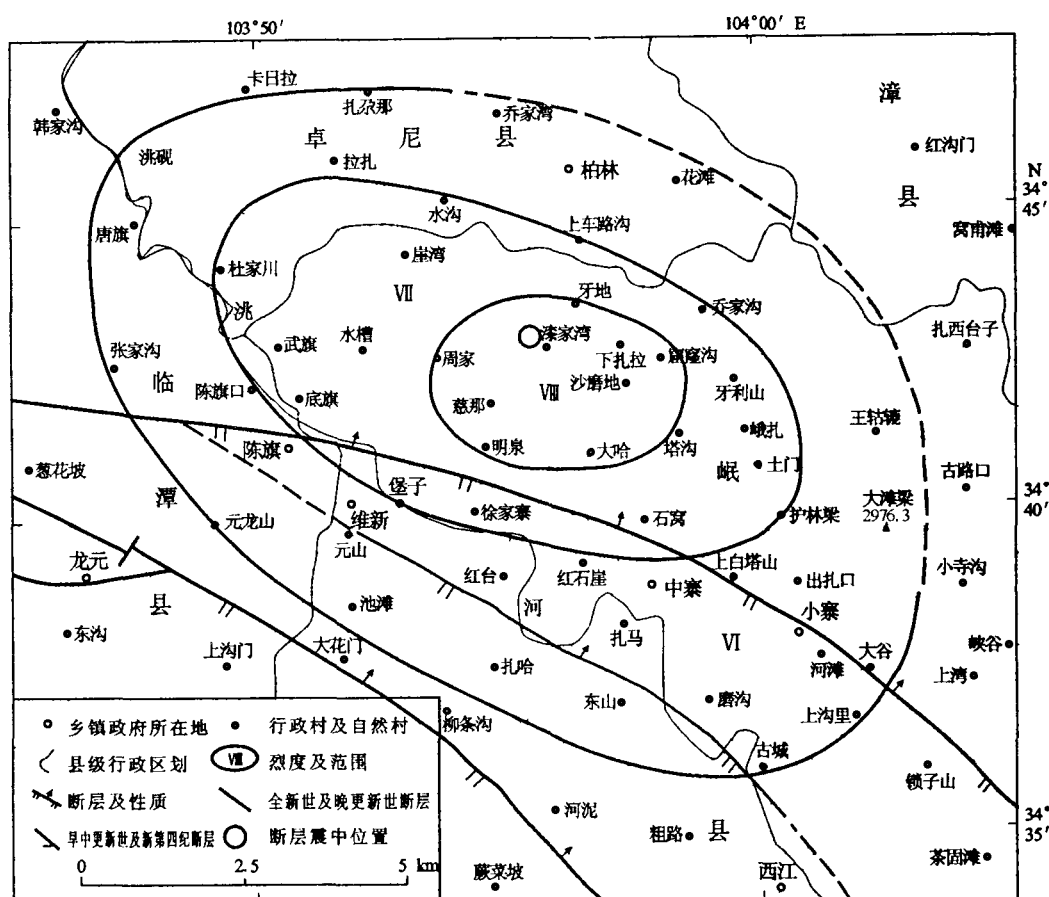


图6 2003年11月13日岷县5.2级地震等震线图(据文献[15])

Fig. 6 Isoseismic map of Minxian $M_s 5.2$ earthquake on November 13, 2003.

1.7 2003年11月13日岷县 $M_s 5.2$ 地震

在岷县、临潭、卓尼三县交界地带,宏观震中位于岷县堡子乡兹那村和中寨乡扎那村的交汇部位。地震造成房屋破损、地裂缝、崩塌和滑坡等。由于震区地形陡峭等特殊的地质地貌条件,使极震区烈度达到了Ⅷ度,明显高于同震级的地震,其等震线形态呈近椭圆形,长轴走向为 275° 。根据野外现场考察结果,本次地震的发震构造为 NWW 向的临潭—宕昌断裂中段北支前缘的次级断裂^[15]。临潭—宕昌断裂为一条晚更新世—全新世活动断裂(图1中 F_{18}),历史上曾发生过842年碌曲6~7级地震和1573年岷县6 $\frac{1}{4}$ 级地震等^①。

1.8 2004年9月7日岷县—卓尼 $M_s 5.0$ 地震

在岷县、临潭、卓尼三县交界地带的又一次地震。根据现场考察结果,宏观震中位于卓尼县洮砚乡峡地村一带,极震区烈度达Ⅷ度。地震除造成房屋破坏之外,还形成了一些地裂缝^[16]。其发震构造为临潭—宕昌断裂带的次级断裂斜藏大山—柏林口断层。该断裂西起斜藏大山,向东经凉帽山、长岭

坡、青岗岭至柏林口,长76 km。走向 $275^\circ \sim 285^\circ$, 倾向 NE, 倾角 $50^\circ \sim 70^\circ$, 为一逆断裂。断裂在地貌上线性构造较清晰,发育断裂沟谷及断层丫口等。在大草滩南见到断裂断错 I 级冲洪积阶地基座;在青岗岭见 5~6 km 长较整齐的断崖,断裂断错了晚更新世黄土;在洮砚乡北见断层断错洮河 III 级阶地。这表明该断裂至少为晚更新世活动断裂^①。

2 甘肃省活动断裂基本特征

甘肃省位于青藏活动块体东北部边缘,地处祁连山地震构造带和南北地震构造带的交汇部位。区内活动断裂非常发育,新活动显著,历史及现今曾发生过多次中强以上破坏性地震,其中著名大地震有1654年天水南8级地震、1879年武都8级地震、1920年海原8.6级地震、1927年古浪8.0级地震、1932年昌马7.6级地震和1954年山丹7 $\frac{1}{4}$ 级地震等(图1)。

① 中国地震局地质研究所等,甘川青地震重点危险区活动构造格架与地震危险性趋势判定,2006。

总体上甘肃省的活动断裂分布大致可分为两个主体构造区:(1)位于西北部夹持在阿尔金断裂(F_1)和海原断裂(F_{13})之间的祁连山—河西走廊活动构造区。区内断裂主要以北西西向为主,构成本区的主干活动断裂,同时还发育了一些北北西向和近东西向断裂。其中,北西西向断裂和近东西向断裂以左旋走滑或逆断为主,而北北西向断裂多为具右旋分量的逆冲断裂。(2)位于西秦岭北缘断裂带(F_{17})以南和东昆仑断裂东段(F_{20})以北的甘东南活动构造区。该区主要发育了北西西向和北东东向的弧形断裂带,构成本区的主干活动断裂,其性质为逆左旋走滑。上述地区除发生过多次历史强震之外,还曾发生过数次8级以上大地震。

介于上述二个主体活动构造区之间具过渡性质的陇中盆地区则发育了一些中等规模的走滑或逆断裂带。由于黄土覆盖严重,地表出露不好,但历史上也曾有多次强震发生,如1125年兰州7级地震,1352年会宁7.0级地震等。

根据断裂规模、活动性及其对大震的控制作用,甘肃省的活动断裂大致可以划分为三级:一级为区域性的主干活动断裂,如阿尔金断裂(F_1)、金塔南山断裂(F_2)、昌马断裂(F_3)、北祁连山前断裂(F_6)、龙首山北缘断裂(F_8)、古浪断裂(F_{11})、毛毛山—老虎山断裂(F_{12})、海原断裂(F_{13})、西秦岭北缘断裂(F_{17})、迭部—白龙江断裂(F_{19})、东昆仑断裂(F_{20})、礼县—罗家堡断裂(F_{21})和哈南—青山湾—稻畦子断裂(F_{22})等,这类断裂具备孕育和发生7级以上强震及大震的构造条件,历史及现今地震活动显著;二级为块体内部中等规模的断裂,多介于主干活动断裂之间或内部,其断裂活动性弱或滑动速率低,这类断裂具有发生6~7级强地震的构造条件,如马衔山北缘断裂(F_{16})、临潭—宕昌断裂(F_{18})等;三级为活动性较弱的次级断裂,多位于主干活动断裂端部、弱构造活动区边缘或内部,仅具有发生6级左右中等破坏性地震的构造条件,如嘉峪关断裂、民乐—永昌隐伏断裂(F_9)和庄浪河断裂(F_{14})等。

3 甘肃省中强地震的发震构造特征

3.1 地震活动具有时间上的分段性、空间上的分区性和迁移性特点

10余年来甘肃省所发生的9次 $M_s5.0$ 以上中强破坏性地震在时间上可划分为2个时间段。2003年以前基本上仅发生在祁连山—河西走廊活动构造区内,持续时间约9年(若将1990年天祝—景泰6.

2级地震计算在内的话,则持续时间达14年,先前很长一段时间甘肃省无中强以上地震发生);而2003年以后中强地震主要发生在甘东南活动构造区内,目前已持续约4年时间,除前述的2次岷县附近发生的5级以上破坏性地震外,还发生过2004年8月26日礼县4.5级地震以及2005年玛曲震群等地震活动。假如参照祁连山—河西走廊地区构造活动持续时间9~14年来估算的话,则未来5~10年左右中强地震的主体活动区应以甘东南地区为主。

在空间分布上,10余年来所发生的9次中强破坏性地震中,有6次发生在祁连山—河西走廊活动构造区内,2次发生在甘东南活动构造区,仅1次发生在陇中盆地过渡区,即1995年永登5.8级地震。其地震活动具有明显的分区性:早期(2003年以前)以祁连山—河西走廊活动构造区为主,而后期(2003年以来)甘东南地区目前缺震。因此未来几年甘肃省的中强地震发生在甘东南地区的可能性较其它地区大一些。

另外,地震活动大致具有从东向西迁移回返的特点。1995—2003年期间发生在祁连山—河西走廊活动构造区内的地震,首先发生在祁连山东中段地区,如先后发生的1995年永登5.8级地震、1996年天祝—古浪5.4级地震和2000年景泰5.9级地震等;随后向西迁移直接跳跃到祁连山西段,发生了2001年肃南5.3级地震和2002年玉门5.9级地震;后来回返迁移到祁连山中段发生了2003年民乐—山丹6.1级和5.8级地震,然后结束本构造区的地震活动,迁移到甘东南活动构造区。上述地震活动迁移回返的特点与祁连山—河西走廊活动构造区20世纪的历史大震活动迁移规律非常相似。如1920年在祁连山东段发生了海原8.6级地震后,相隔7年向西迁移在中东段发生了1927年古浪8.0级地震,随后直接跃迁到祁连山西段发生了1932年昌马7.6级地震,后来又回返迁移到祁连山—河西走廊中段,发生了1954年山丹7.4级地震(甚至还包括1954年民勤7.0级地震),才结束该旋回的构造活动。

3.2 地震多发生在活动性较弱的次级断裂带上或主干活动断裂带边缘

总体上看,10余年来甘肃省所发生的9次 $M_s5.0$ 以上中强破坏性地震中,仅1996年天祝—古浪5.4级地震和2000年景泰5.9级地震发生在一级活动断裂带,即古浪活动断裂带(F_{11})和老虎山断裂带(F_{12})上,其余7次地震多发生在二级甚至三级

活动断裂带上。

其中,在祁连山—河西走廊活动构造区所发生的6次中强地震中,除1996年天祝—古浪5.4级地震和2000年景泰5.9级地震之外,其余4次地震主要发生在规模较小、活动性较弱的晚更新世活动断裂带上,其发震构造位置多处于走滑活动断裂带端部、多组断裂的交汇部位或断裂拐弯部位等。其实上述地震活动主要是围绕海原—毛毛山—祁连大型走滑活动断裂带附近或其两侧发生,尤其是在该断裂带东南和西北两侧的挤压构造部位。这一方面说明该区当前地震活动水平确实较低,地震活动在遵循构造分区性的框架下,呈现出区域大范围的活动,具有一定弥散性分布的特点;但另一方面也有可能是主走滑断裂在发生大震错动之前的应力调整过程。

发生在构造活动过渡区的1995年永登5.8级地震也并不是发生在NNW向的庄浪河隐伏活动断裂带上,而是发生在该断裂西侧的疙瘩沟次级弧形逆断裂—褶皱带上。

发生在甘东南活动构造区的2次地震同样也仅发生在地貌特征差、构造活动相对较弱的临潭—宕昌断裂带北侧的次级断裂带上,而本区的主干活动断裂目前地震活动水平却较低,值得人们关注。

3.3 地震活动有向盆地内部扩展的趋势

在祁连山—河西走廊活动构造区所发生的2002年玉门5.9级地震和2003年民乐—山丹6.1级和5.8级地震中,其地震活动发生在以往人们关注较少的盆地内部的隐伏活动断裂带上,为祁连山前断裂向河西走廊压陷性盆地内部逐渐挤压扩展的结果。这与整个青藏块体向北东方向挤压逆冲,构造变形从山前向盆地内部逐渐扩展的演化趋势是一致的,体现出断裂最新活动的扩展性。

4 结论

通过对10余年来甘肃省所发生的9次 $M_s5.0$ 以上破坏性地震的发震构造特点和构造背景的综合分析,可以得到以下初步认识:

(1) 中强破坏性地震大多发生在活动性较弱的次级活动断裂带上或主干活动断裂带的端部或边缘,其分布具有时间上的分段性、空间上的分区性和迁移性特点;

(2) 地震活动还表现出从山前向压陷性盆地内部扩展的发展趋势,是山前断裂向盆地内部最新挤

压扩展的结果;

(3) 未来中强地震危险区除应关注主干活动断裂带,尤其是甘东南构造活动区的主干活动断裂外,压陷性盆地内部的隐伏活动断裂,如河西走廊盆地中西部的次级隆起隐伏断裂等也是值得关注的新动向;而发震构造位置重点是断裂拐弯、交汇及分叉等部位。

[参考文献]

- [1] 邢成起,荣代路,姚同福,等.1995年7月22日永登5.8级地震发震构造和发震机制分析[J].西北地震学报,1996,18(3):1-9.
- [2] 周俊喜.1995年7月22日永登5.8级地震发震构造初步分析[J].西北地震学报,1997,19(增刊):139-141.
- [3] 袁道阳,刘百簋,张培震,等.兰州庄浪河断裂带的新构造变形与地震活动[J].地震学报,2002,24(4):441-444.
- [4] 侯康明.1927年古浪8级大震的发震构造条件形成机制及区域动力学环境研究[D].北京:国家地震局地质研究所,1997.
- [5] 袁道阳,林学文,侯康明,等.1996年6月1日天祝—古浪5.4级地震发震构造探讨[J].西北地震学报,1997,19(4):40-46.
- [6] 袁道阳,赵广坤,张新基,等.2000年6月6日甘肃景泰5.9级地震的震害与发震构造研究[A].见:中国八级大震研究及防震减灾学术会议文集[C].北京:地震出版社,2001.209-215.
- [7] 袁道阳,刘百簋,吕太乙,等.老虎山活动断裂地震破裂带研究[A].见:活动断裂研究(3)[C].北京:地震出版社,1994.151-159.
- [8] 国家地震局地质研究所,宁夏回族自治区地震局.海原活动断裂带[M].北京:地震出版社,1990.
- [9] 袁道阳,刘小龙,马尔曼,等.2001年7月11日甘肃省肃南县祁青5.3级地震的基本特征[J].西北地震学报,2003,25(1):89-92.
- [10] 何文贵,赵广堃,马尔曼,等.2002年甘肃玉门5.9级地震的地质背景研究[J].地震研究,2004,27(4):363-368.
- [11] 国家地震局地质研究所,国家地震局兰州地震研究所.祁连山—河西走廊活动断裂系[M].北京:地震出版社,1993.
- [12] Rong Dailu, Li Yarong. Study on the generating fault and mechanism of the M5.9 Yumen earthquake on Dec. 14, 2002, according to the accurate locating of the seismic sequences using the double-difference earthquake location algorithm [J]. 西北地震学报, 2004, 26(3): 223-227.
- [13] 陈杰.祁连山西段第四纪构造运动的阶段、性质及其年代研究[D].北京:国家地震局地质研究所,1995.
- [14] 何文贵,郑文俊,赵广堃,等.2003年10月25日民乐—山丹6.1、5.8级地震烈度和发震构造特征[J].西北地震学报,2004,26(3):240-245.
- [15] 郑文俊,刘小凤,赵广坤,等.2003年甘肃岷县 $M_s5.2$ 地震基本特征[J].西北地震学报,2004,27(1):61-65.
- [16] 何文贵,马尔曼,等.2004年9月7日岷县—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,(待刊).