

1995 年 7 月 22 日永登 5.8 级地震 发震构造和发震机制分析

邢成起 荣代潞 姚同福 梁恕信 张立光

(国家地震局兰州地震研究所, 兰州 730000)

摘要 在分析地质构造背景和深部地球物理特征的基础上,通过对震区断裂构造、震源机制解、震源深度、极震区展布方向、余震空间分布、地震裂缝和地面运动方向的综合研究,确定了 1995 年 7 月 22 日永登 5.8 级地震的发震构造,探讨了形成该次地震的构造力学机制问题,认为该次地震是在局部构造应力直接作用下导致窑街—周家台隐伏断裂重新活动的结果。

主题词: 甘肃 地震断裂 发震条件 发震机制 永登地震

1 前言

1995 年 7 月 22 日在甘肃省永登县发生了一次 5.8 级地震。地震发生后国家地震局兰州地震研究所科研人员对该次地震进行了详细考察和研究。现场考察表明,地震时地面上没有出现明显的地表断层破裂,同时其发生地也没有发现有大型显著的活动断层存在,这就为判断该次地震的发震构造带来一定的困难。另外,由该次地震震源机制解求得发震断层的错动和发震应力场与该地区大范围的区域构造应力场相矛盾。因此,如何对该次地震的震源机制作出合理的解释是摆在人们面前的一个现实问题,它对判断该地区及附近地区的未来地震危险性和研究青藏高原东北缘断层运动的动力学等问题都有十分重要的意义。

本文在论述地震发生区及其邻区地质构造背景和深部地球物理特征的基础上,重点讨论和分析了导致该次地震的发震构造及其力学机制问题。

2 地质构造背景和深部地球物理特征

永登 5.8 级地震发生在北西西向祁连山构造带与北北西向武威—永登—武都构造隆起带交汇复合区内的燕山—喜山期民和盆地中央隆起带与永登拗陷带两个盆地二级构造单元的接合部位(图 1)。民和盆地座落在中祁连隆起带上,其南、北两侧分别为北祁连优地槽褶皱带和西秦岭地槽褶皱带。盆地的基底主要由前寒武纪中深变质的各种片岩和混合花岗岩组成,盆地盖层自下而上分别为侏罗系、白垩系、第三和第四系。盖层厚度因地而异,盆地中央隆起带厚约 2—3 km,南北两侧拗陷区厚约为 4—6 km¹⁾。基底及其以上的各套地层之间多为明显的角度不整合接触关系,反映了该地区长期而强烈的构造变动历史。民和盆地在喜山运动晚期

本文 1996 年 4 月 12 日收到

第一作者简介:邢成起,男,36 岁,副研究员,主要从事地震地质研究工作。

1)王西文,等.民和盆地重磁力及综合物探构造研究成果报告,1991.

结束了下陷而后整体抬升。中更新世以来一直处于强烈的隆升状态

地震区深部地球物理特征十分显著。在极震区下面为明显的北西西向重力梯级带和磁力梯级带,并存在长约 50 余公里的窑街—周家台北西西向基底隐伏断裂¹⁾。重磁资料还表明,该区基底呈明显的上隆状态。另据深部人工地震测深资料¹⁾,永登地区在 33—43 km 深处的下地壳内存在速度为 6.5 km/s 的低速层。该低速层从门源开始,经永登、兰州至靖远尖灭。地壳厚度从门源至兰州由厚变薄,特别是在永登附近,莫霍面起伏剧烈,地壳厚度从永登西的 58 km 骤减至永登东的 52 km,变化幅度达 6 km 左右,推测该地区深部可能存在着超壳的深大断裂。在由大地电磁测深资料作出的地壳电性结构剖面上,祁连、永登、永靖和景泰 4 个测点在中上部地壳有很大差异,但中下部地壳的电性结构都有一个共同的特征,即在地下深处 27—43 km 范围存在电阻率为 $9-20 \Omega \cdot m$ 的低阻层。该层的厚度介于 1—19 km 之间,这与永登地震区下地壳内存在地震波低速层的特征相吻合。在永登地区地下 8—11 km 还存在 $10 \Omega \cdot m$ 的上部地壳低阻层。上述 4 个测点上地幔第一低阻层的顶面埋深逐渐变浅,变化幅度最大的地方在永登附近。大地热流研究结果表明,在永登地震区西北附近,红古地区大地热流在 $77.4-83.7 \text{ mW/m}^2$ 范围内,属较高热流值;永登通远大地热流为 $61.6-65.9 \text{ mW/m}^2$,属中等热流值;向东南方向通过地震区至永靖三条岷,大地热流变为 49.6 mW/m^2 的低值,由此可见,永登地震区位于高热流背景下的热流梯级带上。

永登地震震中及其附近地区的深部地球物理特征表明,该地区地壳介质在地震波速度、电性结构、重磁场、大地热流场和地壳厚度方面都表现出较强的横向或纵向非均匀性。这种非均匀性,尤其是各种变异带或突变带是中强以上地震发生的重要的深部构造背景。其中,该地区存在的地壳厚度变异带和上部地壳异常低阻层以及地震震中区下面北西西向展布的重磁异常带可能是永登 5.8 级地震发生的最重要、最直接的深部构造背景。

永登地震震中及其附近地区的深部地球物理特征表明,该地区地壳介质在地震波速度、电性结构、重磁场、大地热流场和地壳厚度方面都表现出较强的横向或纵向非均匀性。这种非均匀性,尤其是各种变异带或突变带是中强以上地震发生的重要的深部构造背景。其中,该地区存在的地壳厚度变异带和上部地壳异常低阻层以及地震震中区下面北西西向展布的重磁异常带可能是永登 5.8 级地震发生的最重要、最直接的深部构造背景。

3 永登 5.8 级地震的发震构造

3.1 构造分析

永登 5.8 级地震的宏观震中位于窑街—周家台基底隐伏断裂之上。在宏观震中北侧附近,

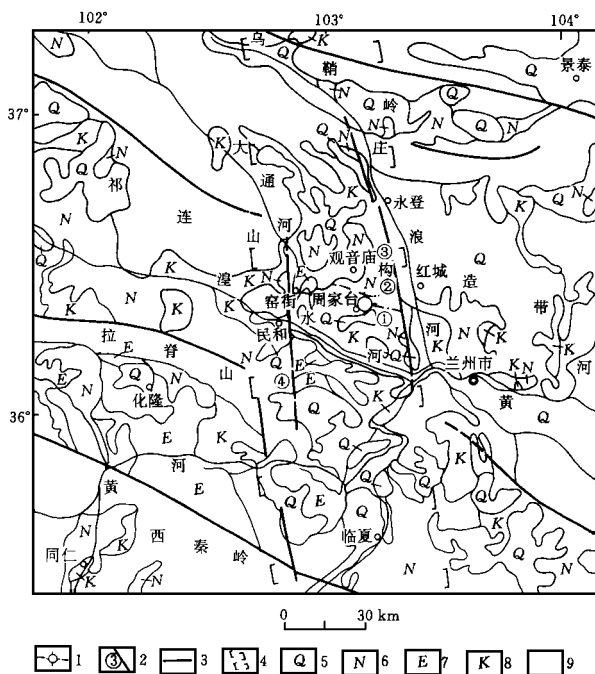


图 1 永登 5.8 级地震区域地质构造图

Fig. 1 The regional geological structures of the Yongdeng $M_{5.8}$ earthquake.

- 1 宏观震中及基底隐伏断裂; 2 永登地震区活动断层与编号;
- 3 其它活动断层; 4 北北西向构造隆起带; 5 第四系;
- 6 上第三系; 7 下第三系; 8 白垩系; 9 前白垩系
- ① 窑街—周家台基底隐伏断裂; ② 小钱家—洒洒断层;
- ③ 庄浪河断层; ④ 大通河断层

平行窑街—周家台断裂分布有出露地表的小钱家—洒洒断层(图 1和图 2)。

窑街—周家台断裂西起窑街附近,向南东东经过极震区的中心——周家台北侧和马家山城至苦霸沟北侧附近,全长约 53 km,总体走向约 N80°W。由于断裂隐伏,局部走向变化不清,该断裂的东、西两端分别止于北北西向展布的庄浪河断层和大通河断层,其延伸受到后两条断层的切割和控制。

窑街—周家台断裂历经多次构造运动,是一条长期活动的断裂带,并在本地区地质构造演化历史中起着重要的作用。该断裂是燕山—喜山期民和盆地中两个二级构造单元——周家台低隆起带和永登坳陷带的分界断裂,控制着该盆地同期地层的沉积。自喜山运动晚期以来,随着北北西向构造带的迭加,民和盆地整体强烈抬升,同时北北西向断层切割、改造了北西西向断裂,形成多组断裂在此交汇,从而为构造应力的积累和地震的孕育创造了有利条件。

小钱家—洒洒断层位于窑街—周家台断裂北侧约 3 km 处,断层沿极震区北部边缘通过。据甘肃省煤田地质勘探公司 149队的资料²⁾和甘肃省地矿局区域地质调查资料³⁾,该断层西起小钱家南,向南东东经钱家寺、圪塔沟北侧至青大板南附近,其长度在 30 km 以上,总体走向 N80°W,局部走向变化于 N60°W 至 N70°E 之间。断层面向南,倾角 60°,切割晚第三纪红层,构成上第三系与白垩系的分界,为本区沉积盖层断裂。实际上,根据小钱家—洒洒断层与窑街—周家台断裂平行展布,前者位于后者北侧,二者相距仅 3 km,以及小钱家—洒洒断层向南倾 60°和本区沉积盖层厚度为 2—3 km 的事实,我们有理由推测这两条断裂在深部有某种联系,即小钱家—洒洒断层很可能是窑街—周家台基底隐伏断裂在地面上的部分反映或出露。

小钱家—洒洒断层在地貌上反映不明显,大比例尺卫片上也无明显显示,表明其新活动较弱。

据物探资料推测,永登地震发生区的中—新生代沉积盖层厚度为 2—3 km,而该次地震的震源深度为 10 km。这表明地震发生在深部的基底岩层中,而不是沉积盖层内,同时地震的宏观震中也相应地位于窑街—周家台基底断裂之上。因此,我们认为永登 5. 8级地震的发生是该基底隐伏断裂(在其中段部位)重新活动的结果,其发震构造应为窑街—周家台隐伏断裂。

3. 2 极震区展布方向

大量震例表明,强震极震区和高烈度区的展布形态主要受控于发震断裂。永登 5. 8级地震的极震区(Ⅷ度区)和高烈度区(Ⅵ度以上)分别呈芒果形和椭圆形,其长轴方向均为 N70°W,与窑街—周家台断裂的总体走向基本一致(图 2)。需指出的是,该次地震并非是整个窑街—周家台断裂错动造成的,而是其中某一段落发生错动所致。由于断裂呈隐伏状,发生错动的断层段的具体长度和精确走向(即该断裂的局部走向变化情况)是不清楚的。这可能也是该次地震极震区与发震断裂走向存在微小偏差的原因之一。

3. 3 永登 5. 8级地震震源机制解

表 1 1995年 7月 22日永登 5. 8级地震震源机制解

节面 A			节面 B			P轴		T轴		B轴	
走向	倾向	倾角	走向	倾向	倾角	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角
23°	NW	46°	111°	SW	87°	345°	27°	238°	32°	109°	56°

2) 周文昭,等. 甘肃省兰州市窑街矿区海石湾井田煤碳勘探报告, 1988.
3) 甘肃省地质局区域地质测量队. 1: 20万区域地质调查报告,兰州幅. 1965.

在该次地震的震源机制解中(表 1),B节面的走向与窑街—周家台断裂的展布方基本吻合,其 P轴方向为 NNW— SSE向,仰角为 27° ,这表明窑街—周家台断裂是在 NNW— SSE向挤压应力作用下,产生右旋走滑错动而导致该次地震的发生。由于大量资料表明青藏高原东北部区域构造应力场的主压应力轴方向为 NE— SW 至 NEE— SWW 向(李玉龙, 1979),该次地震的震源应力场与大范围的区域构造应力场不相吻合,显然是局部构造应力作用下的结果

3.4 余震的空间分布

永登 5.8 级地震发生后,余震活动比较频繁,但震级不大。截止到 8 月 21 日,共记录到 $M_s \geq 0.5$ 余震 101 次,其中最大震级为 3.1 级,可确定震中位置的有 30 次,震级在 1.0 级以上。这些余震以主震为中心相对集中(图 3)。尽管从整体上看其方向性不太明显,但其中震源深度在 10 km 以上的余震却具有十分明显的线性特征,它们与主震一起沿北西西方向展布,并与窑街—周家台断裂走向基本一致。

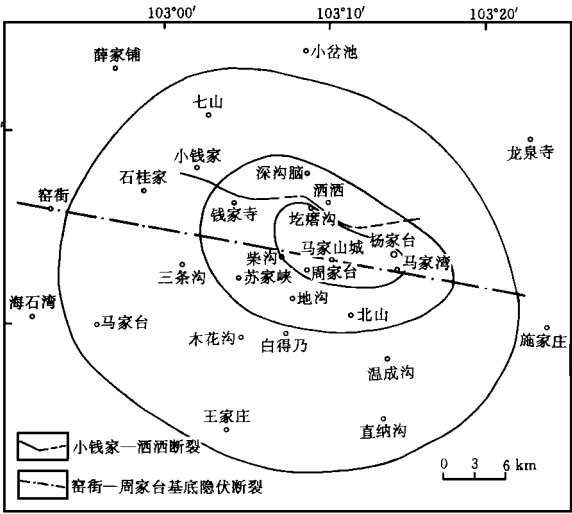


图 2 永登 5.8 级地震烈度分布图

Fig. 2 Intensity distribution of the Yongdeng M_s 5.8 earthquake.

从余震时间分布图上看(图 4),主震后余震向东西两侧(先向西后向东)扩展,仍然显示了与该断裂带的较密切关系。另外,一个有趣的现象是,所有可定位余震(包括主震)的震源深度呈“V”形分布,“V”形的尖底线由主震和深度为 10 km 的余震构成。这一现象除进一步证明了该次地震震源体的深度和长度外,还可以说明发震断层的产状很陡,近于直立。这与震源机制解中 B 节面倾角为 87° 的结果相吻合。

在平行和垂直窑街—周家台断裂所作的余震深度分布剖面上(图 5, 6),余震也比较密集地集中在该断裂带上及其附近,这同样显示了二者的密切关系。

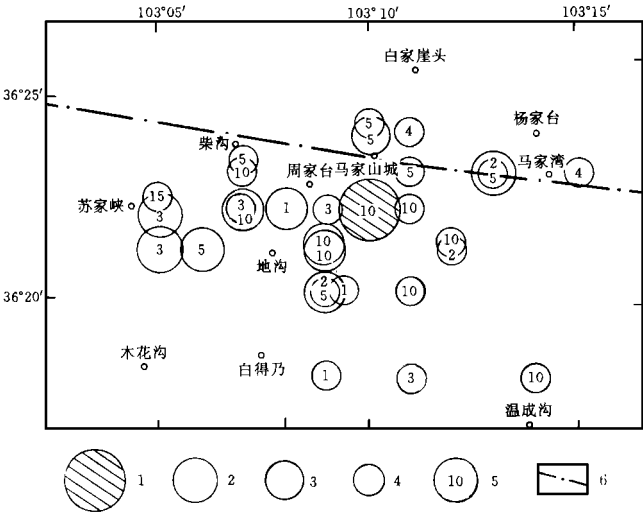


图 3 永登 5.8 级地震后余震分布图

Fig. 3 Aftershock distribution of the Yongdeng M_s 5.8 earthquake.
1 M_s 5.8 级主震; 2 $M_s = 3-3.9$; 3 $M_s = 2-2.9$; 4 $M_s = 1-1.9$;
5 震源深度; 6 窑街—周家台隐伏断裂

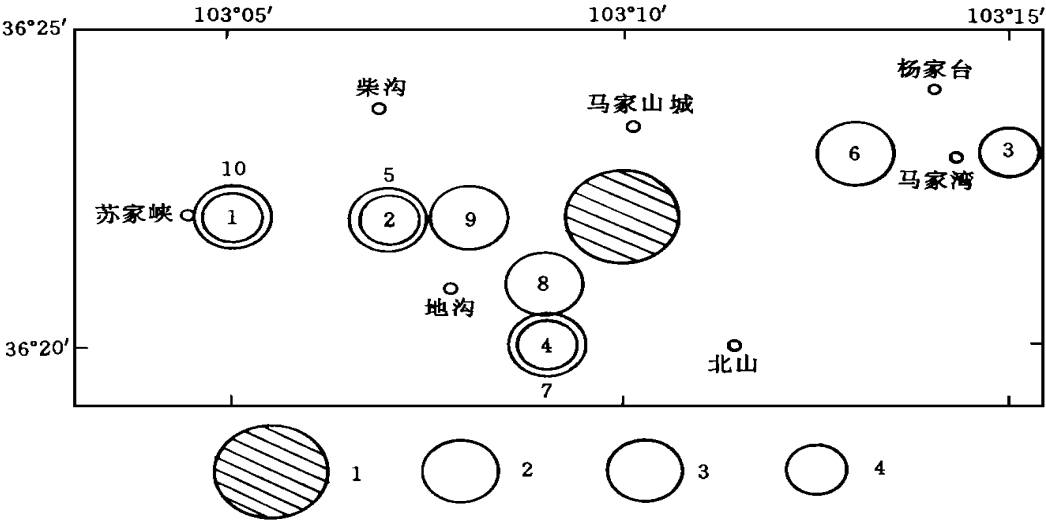


图 4 永登 5.8 级主震后 6 小时余震扩展分布图

Fig. 1 Distribution of aftershock extending after the Yongdeng M_S 5.8 mainshock.

1 主震; 2 $3 \leq M_S < 4$; 3 $2 \leq M_S < 3$; 4 $1 \leq M_S < 2$

3.5 地震裂缝和地面运动方向

该次地震造成的地面裂缝十分普遍,尤其在极震区,地震裂缝几乎遍布大大小小的黄土山丘之上。但这些裂缝多受地形及重力影响,无一定方向性及特定的组合型态,仅极少数裂缝可能显示构造性质。下面举两例予以说明:

(1)在圪塔沟村口约 200 m 处见呈“X”形共轭关系的两组裂缝发育在公路和打麦场上。其中,一组走向 $N 10^{\circ} E$,斜交公路展布,延长约 30 余米,主要由 3 条裂缝组成。有的单条裂缝又由更次一级的小裂缝呈左阶排列而成。单条裂缝宽约 1 cm,具明显张裂性质;另一组走向 $N 80^{\circ} W$,为单条裂缝,宽仅数毫米,延长约 15 m,裂面平直光滑,似具剪切性质。显然,这两组裂缝反映了近南北方向的挤压应力作用,与震源机制解给出的结果基本一致

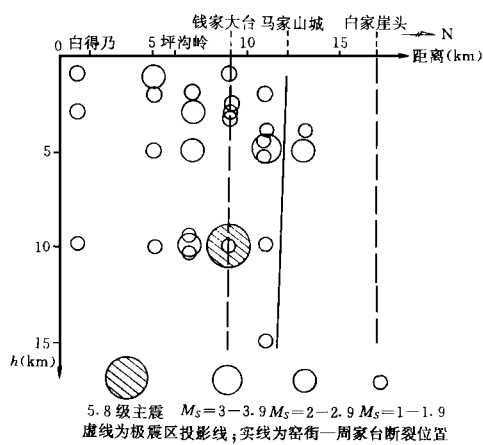


图 5 永登 5.8 级地震及其余震震源深度横剖面图

Fig. 5 Focal depth cross profile of the Yongdeng M_S 5.8 mainshock and its aftershocks.

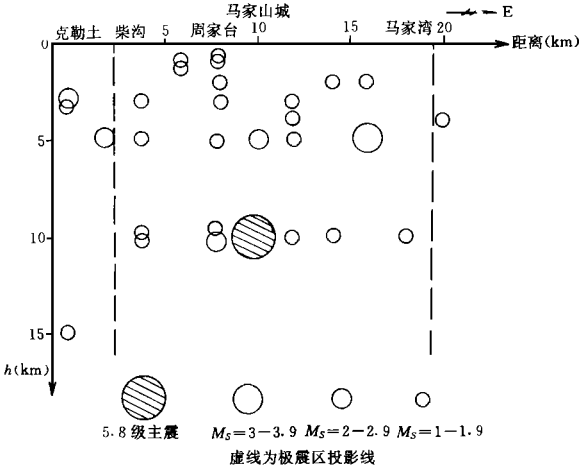


图 6 永登 5.8 级地震及其余震震源深度纵剖面图

Fig. 6 Focal depth lengthwise section of the Yongdeng M_S 5.8 mainshock and its aftershocks.

(2)在圪塔沟西南约 3 km 处,见一裂缝带垂直黄土山脊展布,该裂缝带走向 $N10^{\circ}W$,延长约 40 m 左右,主要由 4 条次级裂缝呈右阶斜列组成,裂面粗糙不规则,为明显的张裂性质。这可能反映了 NNW 向的挤压应力作用方向

在该次地震的震源机制解中,挤压应力 P 轴的仰角为 27° ,拉张力 T 轴的仰角为 32° ,二者都较小,说明该次地震破裂是以水平运动为主的。对此,在地面建筑物的破坏中也有明显的反映。在一些村庄中,见砖墙、屋前木柱等物体在垂直方向上有明显的水平错移,尽管幅度不大,但却明确显示了地面运动的方向。例如,在窑街—周家台断裂南侧的柴沟村,见两座门楼的砖墙中部被错移,其中上部墙体向东位移约 2—4 cm;在地沟、北山村(河咀乡)等地,见房前木柱与其基座之间发生错移,错移幅度数毫米至 1 cm 不等,木柱总体向近东方向位移。另外,在地沟等处还见近南北向的夯土墙或土坯墙多向东倾倒。上述现象表明,这些村庄的地面(即窑街—周家台断裂的南盘)是向西运动的,并反映了该断裂带的南北两盘在地震时作相对的右旋走滑错动。

综合以上几个方面的分析,我们可以明确地认定,窑街—周家台断裂是这次永登 5.8 级地震的孕震和发震构造。地震震中位于该断裂的中部,此处恰是周家台基底隆起最高的部位。这种部位有利于应力的积累,并且可能是迭加构造应力的复合作用部位。

由于小钱家—洒洒断裂与窑街—周家台断裂的位置关系和深部的联系,窑街—周家台断裂错动时其地面破坏可能部分地受到小钱家—洒洒断裂的控制和影响,表现为极震区的展布形态与该断层的走向变化存在着一定的联系。

4 永登 5.8 级地震形成的构造力学机制

由以上论述可以看出,永登 5.8 级地震的震源应力场与区域构造应力场不一致。大量资料表明,在青藏高原东北部,区域构造应力场主压应力为北东—南西向至北东东—南西西向。在此构造应力场作用下,呈北西西向展布的众多大型活动断裂带均表现为强烈的左旋走滑运动。而永登地震的震源应力场却为北北西—南南东向($N15^{\circ}W$)。地震时,在这一挤压应力作用下,同为北西西向展布的窑街—周家台断裂作右旋走滑错动,发生地震。导致这种特殊性的原因可能与该次地震所处的构造部位和局部应力环境密切相关。

由图 7 可见,永登地震发生在 NWW 向祁连山条状块体的内部,并位于 NNW 向展布的两条断层——庄浪河断层和大通河断层之间。这两条断层与窑街—周家台发震断裂组成构造复合区。在空间展布范围上,后者明显受到前者的切割和控制。

祁连山条状块体的南、北边界断裂分别是现今仍在强烈活动的区域性深大断裂带——秦岭北缘断裂带和北祁连断裂带(冷龙岭—海原断裂带)。这两条断裂带在北东东—南西西向区域主压应力作用下,自晚第四纪以来作显著的左旋走滑运动(刘百箴等, 1985—1986; 邓起东等, 1987; 国家地震局地质研究所等, 1990; 贾运鸿等, 1992)。这种运动可以在其所夹持的条状块体内部产生一对平行边界断裂带的顺扭力偶,并作用于由庄浪河断层、大通河断层和窑街—周家台断裂组成的构造复合区,产生应力积累。在这种力偶的持续作用下,构造复合区内的各条断层中以近于平行该力偶展布的窑街—周家台断裂面上最容易积累剪切应力而发生破裂,并且在破裂时作右旋走滑错动。

在构造复合区内,庄浪河断层沿该河西侧展布,总体走向 $N20^{\circ}W$,全长约 100 余公里。该断层地貌上显示清晰,晚第四纪以来活动强烈,并具有明显的分段活动特征,其南段活动强于北段(国家地震局兰州地震研究所等, 1993),断层活动方式为挤压右旋走滑型。大通河断层与庄

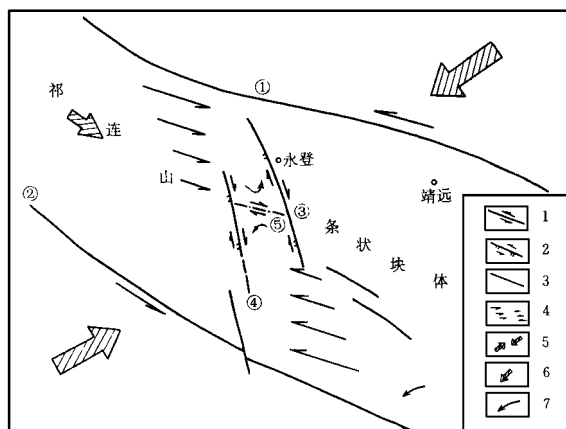


图 7 永登 5.8 级地震形成的力学机制模式图

Fig. 7 Model of the seismogenic mechanism producing the Yongdeng Ms 5.8 earthquake.

- 1 走滑断裂; 2 挤压走滑断裂; 3 其它断裂;
- 4 右旋力偶; 5 区域构造应力场主压应力方向;
- 6 地壳物质或条状块体的运移方向; 7 块体旋转方向

① 北祁连断裂带 (冷龙岭—海原断裂带); ② 西秦岭北缘断裂带;
③ 庄浪河断层; ④ 大通河断层; ⑤ 窑街—周家台隐状断裂

窑街—周家台断裂上的应力积累。

从更大的构造区域而言,青藏高原在印度板块由南向近北方向的强烈推挤作用下,以及在位于高原区西北部 and 北部的塔里木、阿拉善等刚性块体的阻挡作用下,晚第四纪以来整个青藏高原地区地壳被高度压缩而派生出侧向应力并造成地壳物质向东运移 (马杏垣, 1987)。该运动主要表现为北东东向阿尔金断裂带与高原区内部一系列北西西向大型断裂带强烈的左旋型走滑错动 (图 8)。

由于本区区域构造应力场动力来源以印度板块推挤的力量占主要,并且高原区地壳物质总体上是向东或东南方向运移的,由此可以推知,在高原区内,尤其是其北部地区内的一系列北西西向大型左旋型断裂带中,每条断裂的南盘应该是主动盘,它们平行各自断裂走向向近东方向的位移应大于其北盘。这样,在各条北西西向大型断裂带所夹持的条状块体内部,地壳物质向东运移的速率 (即侧向应力的分布) 实

浪河断层近平行展布,二者同属北北西向构造隆起带在本地区内的重要组成部分。该断层在卫片上反映较清楚,但研究程度差。根据祁连山—河西走廊地区内北北西向断层在 NE—SW 向区域主压应力作用下均作挤压右旋走滑运动的事实 (李玉龙等, 1985; 邢成起, 1987), 推测该断层的活动方式也当如此。实际上,由于北北西向构造隆起带对北西西向断裂带的迭加、复合是区域性规模的,因此其变形和活动必定反映区域动力作用的特点。这样,在该次地震发生处的构造复合区内,3 条断裂的组合关系是: 庄浪河断层和大通河断层作挤压右旋错动,该错动可导致位于其间的横向断层 (窑街—周家台断裂) 也发生右旋运动。这种运动还表现为以窑街—周家台断裂为界,其南北两侧块体作逆时针旋转运动。由于地壳物质的不均匀性,尤其是构成发震断裂东西边界的两条北北西向断层自身活动的不均匀性或分段性,都可导致在

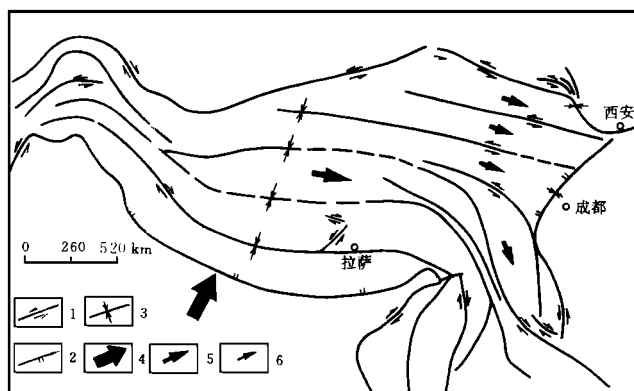


图 8 青藏高原地壳动力学简图 (据邓起东, 1984, 见文献 [6])

Fig. 8 Sketch of the crustal dynamics of the Qinghai-Xizang Plateau.

- 1 走滑断裂; 2 逆断裂; 3 挤压作用方向; 4 印度板块运动方向;
- 5 青藏块体的滑动方向; 6 次级条状块体的滑动方向

上是不均匀的。这种不均匀性同样也可导致位于两条大型断裂带之间的某些同方向的小型北西西向断裂面发生右旋走滑错动。

综合以上分析,永登 5.8 级地震是在北东—南西向区域构造应力场作用的大背景下,由祁连山条状块体内部派生出来的局部构造应力的直接作用下,导致窑街—周家台断裂发生右旋走滑错动的结果。这种局部构造应力共包括 3 个方面:即存在于条状块体内部的一对右旋剪切力偶、庄浪河断层和大通河断层右旋活动导致窑街—周家台断裂也发生顺扭错动的挤压剪切应力以及青藏高原区内部促使地壳物质向东运移的侧向应力。这 3 种力均反映出局部构造应力场的挤压应力方向大致为北北西—南南东向,与该次地震震源机制解的结果相吻合。另外,在该次地震的孕育和发生过程中,上述 3 种力以前两种应力的作用更为直接,可能起了主导作用。

5 结语

综合以上论述可见,永登 5.8 级地震虽然仅为一次中等强度的地震,地震时地面上没有出现明显的地表断层破裂,同时其发生地点也没有大型的新活动显著的活动断层存在。但是,这次地震的发生也并非是随机的偶然现象,它仍具有特定的地质构造背景和明显的控震、孕震和发震构造条件。首先,该次地震发生在北西西向祁连山构造带与北北西向武威—永登—武都构造隆起带的交汇复合部位。这种多组构造复合部位有利于应力的积累和地震的孕育,在祁连山—河西走廊地区具有明显的控震特点,历史和现今的许多中强以上地震都发生在这两组构造的交汇复合区内(李玉龙等,1986)。其次,该次地震发生区的深部构造背景十分显著。其中最重要、最直接的深部构造背景是该地区存在的地壳厚度变异带和上部地壳异常低阻层以及地震震中区下面北西西向展布的重磁异常带。最后,该次地震的宏观震中与窑街—周家台基底隐伏断裂和出露地表的小钱家—洒洒断层存在着密切的空间联系,各方面的资料分析均表明该地震是窑街—周家台隐伏断裂重新活动的结果。除此而外,该次地震的发生还由于同时存在以下原因:①地震是在上述构造部位由局部构造应力场作用下发生的;②发震断裂最新活动强度较弱,并且属于局部地段错动而发震;③该次地震发生在青藏高原东北部北西西向活动深大断裂带所夹持的条状块体内部次一级的小型断裂上,应力积累是属于局部范围内的,从而又决定了其规模(震级)不会是很大。由此可以看出,本次永登 5.8 级中强地震的发生有其一定的必然性。对这类地震的深入研究,尤其是对其发震构造标志如何进行正确识别方面的深入研究是有重要实用意义的。

本文在写作过程中,曾得到吕德徽、刘百麓和向光中同志的热情指导和帮助,在此谨致谢意。

参考文献

- 1 李玉龙,等. 中国西北陕甘宁青地震区划. 兰州: 甘肃人民出版社, 1986.
- 2 李玉龙. 陕、甘、宁、青 4省(区)新构造与现代构造应力场及其动力来源的初步分析. 西北地震学报, 1979, 1(4): 1- 10.
- 3 刘百旂,等. 海原活断层上的史前大地震. 地震地质, 1985, 7(4): 11- 22.
- 4 刘百旂,等. 海原活断层研究. 西北地震学报, 1986, 8(3): 79- 89.
- 5 邓起东,等. 海原断裂带和 1920年海原地震断层的基本特征及其形成机制. 现代地壳运动研究(3). 北京: 地震出版社, 1987.
- 6 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. 北京: 地震出版社, 1990.
- 7 贾云鸿,等. 西秦岭北缘断裂带构造应力场的研究. 活动断裂研究. 北京: 地震出版社, 1992.
- 8 国家地震局兰州地震研究所,等. 甘肃省地震危险区划研究. 兰州: 兰州大学出版社, 1993.
- 9 李玉龙,等. 河西走廊地质构造基本特征及榆木山北麓和东麓活动断裂研究. 中国地震年鉴, 1985.
- 10 邢成起. 上龙王活断层及其史前大地震的初步研究. 西北地震学报, 1987, 9(增刊): 113- 117.
- 11 马杏垣,等. 中国的活动块体运动与构造变形. 现代地壳运动研究. 北京: 地震出版社, 1987.

RESEARCH ON THE CAUSATIVE STRUCTURE AND SEISMOGENIC MECHANISM OF THE YONGDENG M_s 5.8 EARTHQUAKE, GANSU, ON JULY 22 1995

Xing Chengqi Rong Dailu Yao Tongfu Liang Shuxin Zhang Liguang
(*Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, Lanzhou 730000*)

Abstract

Based on the analysis of the geological tectonics setting and deep-seated geophysical characteristics, the causative structure of the Yongdeng M_s 5.8 earthquake on July 22, 1995 has been determined by the synthetical study of the faults in the earthquake area, focal mechanism solution, focal depths, meizoseismal region direction, post-earthquake distribution, earthquake fissures and ground motion direction. The tectonodynamic mechanism forming this earthquake has also been approached. It is considered that the earthquake results from the reactivation of the Yaojie—Zhoujia tai buried fault under the direct action of local tectonic stress.

Key words Gansu, Triggering seismic fault, Seismogenic condition, Seismogenic mechanism, Yongdeng earthquake