

天祝—古浪 5.4 级地震震源机制和发震断层以及海原西断裂大震危险性讨论^{*}

李亚荣¹, 朱新运²

(1. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000;

2. 浙江省地震局, 浙江 杭州 310007)

摘要: 研究了发生在海原西断裂天祝拉分盆地 1996 年 6 月 1 日 5.4 级地震的震源机制, 利用位于天祝—古浪地区的数字式微震监测台网纪录的余震的精确定位确定了本次地震的发震断层. 研究表明这次地震是天祝拉分盆地中垂直于主断裂的近南北向断裂所形成. 根据破裂模型和海原西断裂的应力积累状况, 讨论了海原西断裂近期的大震危险性.

关键词: 天祝—古浪 5.4 级地震; 震源机制; 发震断层; 地震危险性

中图分类号: P315.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2002)03-0236-05

0 引言

众所周知, 构造地震的成因是与断层相联系的, 断层构造、区域应力场是地震发生的物质条件和力源条件. 断层带及附近区域的中小地震在研究断层的运动图像方面具有特别重要的意义.

本文利用天祝—古浪地区微震监测台网对 1996 年 6 月 1 日天祝—古浪 5.4 级地震及其余震的数字记录资料研究了该次地震震源机制和发震断层, 结合该区区域应力场, 讨论海原西断裂发生大震的危险性.

1 天祝—古浪 5.4 级地震的破裂面

由一次地震的 P 波初动解或记录波形的矩张量反演得出的震源机制解反映了地震的初始破裂情况. 一般由震源机制解得出的两个节面都可能是地震的初始破裂面, 具体哪个节面代表实际的发震断裂还需要结合其它资料论证.

分别由 P 波初动和矩张量反演方法得出的本次地震的震源机制解见表 1、表 2.

表 1 P 波初动法震源机制解^①:

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	倾角	方位	倾角	方位	倾角
288°	NE	88°	15°	NW	35°	230°	34°	344°	37°	109°	38°

收稿日期: 2002-05-09

^{*} 中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC2002039

作者简介: 李亚荣(1954—), 女(汉族), 甘肃天水人, 实验师, 主要从事地震资料处理分析和模拟实验研究.

① 甘肃省地震局. 甘肃天祝—古浪 5.4 级地震考察报告.

表 2 矩张量反演法震源机制解^[1]

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	倾角	方位	倾角	方位	倾角
280°	NE	82°	14°	NW	62°	233°	25°	330°	14°	86°	61°

可以看出, 两种方法得出的结果大致相同. 第一个节面(走向 280°, 倾角 82°)与海原西断层总体走向一致, 但震中位置在天祝拉分盆地以西约 10 km, 海原西断裂以北约 4 km. 宏观调查得出的烈度分布图有大致东北向的优势取向(图 1). 因此我们认为, 本次地震不是海原断裂主断裂的走滑活动造成的, 发震断层可能是第二个节面(走向 14°, 倾角 62°)所代表的破裂面.

由于中等地震一般没有可见的地表破裂, 比较可靠的发震断层判定证据是地震后余震的分布, 而前提是所用的微震的震中位置要有一定的定位精度. 好的定位精度取决于记录台网的分布、记录质量和合理的地壳速度结构. 在天祝—古浪 5.4 级地震的震区布设有中法合作的微震监测台网, 有较好的数字化记录, 为精确定位打下了良好的基础.

微震定位所用台站的记录越多, 定位精度越高, 至少需要 3 个以上台站的记录. 根据台网的实际情况, 为了提高定位精度我们选择至少有 4 个台站记录的地震. 所使用的程序是 HY-PO71, 这是目前国际地震学界使用最多的行之有效的程序.

定位中使用的该地区地壳速度模型见表 3^[2].

表 3 天祝—古浪地区地壳速度结构

层号	埋深/km	层厚/km	$V_p/[km \cdot s^{-1}]$	$V_s/[km \cdot s^{-1}]$
1	0	1.1±0.6	5.08±0.17	2.90±0.11
2	1.1	5.8±1.6	5.9±0.04	3.50±0.05
3	6.9	14.1±1.8	6.06±0.01	3.57±0.01
4	21.0	30.9±0.6	6.51±0.04	3.77±0.03
5	51.9	/	8.17	4.62

定位后得出的天祝—古浪 5.4 级地震的余震震中分布见图 2. 可以看出, 天祝—古浪 5.4 级地震的余震分布有东北向的优势取向. 在地质上应当是天祝盆地以西与冷龙岭断层相交的一条断层的走滑错动破裂, 如图中直线 AB 所示.

由余震分布看出, 破裂的北端终止于毛毛山断裂向西延伸部分上. 根据中法合作进行的野外地质调查, 毛毛山断裂向西延伸部分是存在的.

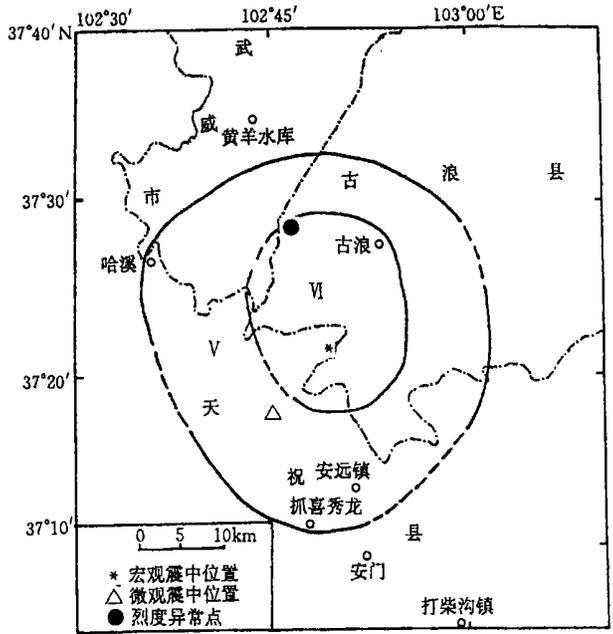


图 1 天祝—古浪 5.4 级地震烈度分布^①
 Fig. 1 The intensity distribution of Tianzhu—Gulang M_s 5.4 earthquake.

2 天祝—古浪 5.4 级地震的破裂模型

如上所述,天祝—古浪 5.4 级地震是 $N14^{\circ}E$ 的断层走滑错动的结果,这是由该地区断层的特殊空间分布和区域应力场所决定的.根据 Gaudemer 等的现场考察和研究³⁾,海原西断裂在震中附近地区的断层构造如图 3 所示.

由图看出,海原西断裂在该处发生拐弯,西边为金强河断裂,东边为毛毛山断裂,两断裂之间的阶区在左旋走滑活动中形成天祝拉分盆地,并通过天祝盆地西缘正断层连接这两

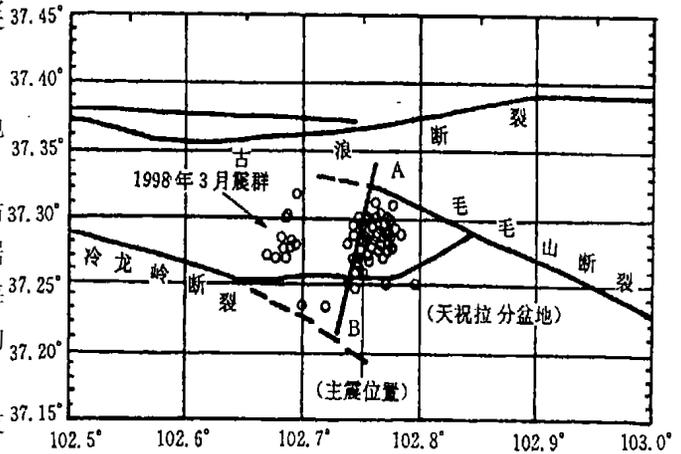


图 2 天祝—古浪 5.4 级地震的余震震中分布
Fig. 2 Distribution of the aftershocks of Tianzhu—Gulang $M_S5.4$ earthquake.

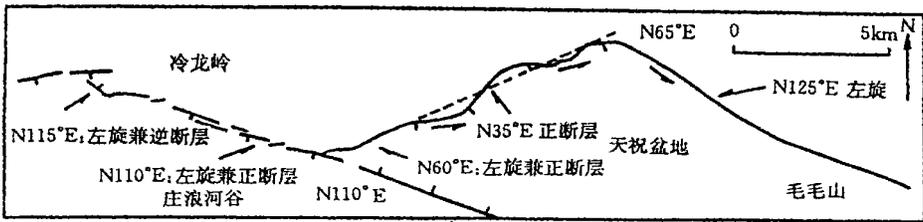


图 3 海原西断裂在震中附近地区的断层分布

Fig. 3 Distribution of western Haiyuan fault around the epicenter of Tianzhu—Gulang earthquake.

条断裂.毛毛山断裂穿过天祝盆地北面后向西延伸约 10 ~ 15 km.金强河断裂走向 $N110^{\circ}E$,为左旋走滑兼正断层,倾角 $80^{\circ} \sim 85^{\circ}$,倾向南西;毛毛山断裂走向 $N125^{\circ}E$,为左旋走滑兼逆断裂⁴⁾.天祝盆地西缘断层总体走向 $N65^{\circ}E$,为正断层,倾向南东,倾角不大于 45° .

根据上述断裂的空间几何形式我们可以建造它的构造模型和受力情况(图 4).由图 4 看出,这三条断层之间形成的地质块体中,其南面倾角较陡,能够承受和传递西南方向的挤压应力;其东面为倾角不大于 45° 的正断层的下盘,因而受到其上盘的压力,阻碍其向东运动;其北面为逆断层的上盘,在南面挤压应力的作用下相对而言比较容易向北运动.因此,在东北—南西向区域挤压应力作用下,在这个块体中相对较薄的部分(例如存在的东北向的隐伏断裂)发生右旋走滑错动是有可能的.由上面的分析我们可以看出,本次地震的破裂错动断层的左边块体为错动的主动盘,由于它的错动在其右边的块体中引起变形.因而这次主震后的余震大多分布在错动断层右边的块体中.

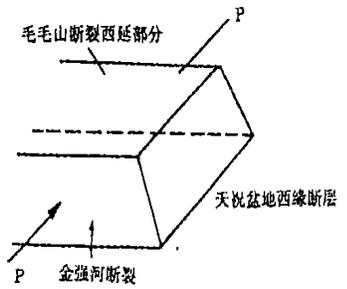


图 4 天祝—古浪 5.4 级地震发震断层的构造模型和受力情况
Fig. 4 The structural model and mechanical condition of seismogenic fault of Tianzhu—Gulang earthquake.

3 天祝—古浪 5.4 级地震和海原西断裂的应力集中

海原西断裂在地质上由三条主要断裂组成,即从西向东的冷龙岭断裂(其东段即为金强河断裂)、毛毛山断裂和老虎山断裂.在北东向的挤压应力作用下,这三部分断裂之间形成了三个较大的拉分盆地,即冷龙岭断裂与毛毛山断裂阶区处形成天祝拉分盆地;毛毛山断裂与老虎山断裂之间形成松山盆地;老虎山断裂向东与海原断裂的西端阶区形成景泰拉分盆地.这三个阶区是易于形成应力集中和破裂的地点.根据组合模式,这三个搭接处形成了整个海原西断裂的调整单元.这些调整单元上发生的中小地震可以看作整个海原西断裂的调整运动.天祝—古浪 5.4 级地震即是这样的一次调整.根据前面所讨论的 5.4 级地震的震源机制,本次地震是锁住的冷龙岭断裂和毛毛山断裂整体运动的结果.值得注意的是,本次地震的走滑错动造成了冷龙岭断裂东端(金强河断裂)和毛毛山断裂西端(通过天祝拉分盆地的延伸部分)原来锁住的断裂上部分发生松动.在北东向的区域应力作用下,这种松动使这两条断裂之间形成相对拉张区.我们从由 5.4 级地震的部分余震的矩张量解得出的发震应力场可以看出,这些余震是在拉张应力作用下发生的(图 5).

这种中小地震的发生,一方面释放部分能量,另一方面将区域应力向锁住的主断裂上转移,使其应力集中加强,使主断裂上发生大震的危险性增加.在天祝—古浪 5.4 级地震后,这种应力调整仍在继续.

1998 年 3 月,在天祝—古浪 5.4 级地震主震的西边又发生了一次小震震群活动,其空间分布仍大致垂直于冷龙岭断层(参看图 2),它们的震源机制多为拉张的正断层(图 6).表明这一地方应力调整在继续,冷龙岭断裂东段有相对错动的趋势.

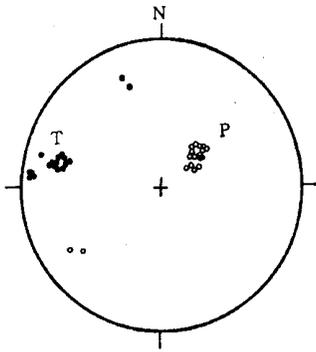


图 5 部分余震的矩张量解得出的发震应力场

Fig. 5 The seismicogenic stress field from the moment tensor solutions of part of aftershocks.

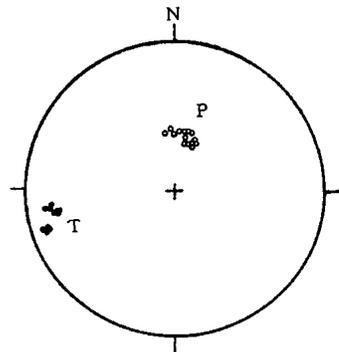


图 6 1998 年 3 月震群的发震应力轴

Fig. 6 The axes of seismicogenic stress of the seismic swarm in March, 1998.

大致同样的情况在海原西断裂中段和东段也有发生.1990 年天祝—景泰 6.2 级地震发生在毛毛山断裂和老虎山断裂形成的松山盆地附近;特别是 2000 年 6 月 6 日在老虎山断裂西端景泰拉分盆地发生了 5.9 级地震.对它的破裂过程研究表明,海原断层西端与老虎山断裂东端通过景泰拉分盆地有贯通的趋势^[3].

考虑到1986年发生在冷龙岭断裂西端的门源6.4级地震,我们可以认为,从1986年开始,整个海原西断裂已进入一个新的活动时期.1996年和2000年相继发生的中强地震表明这种活动在逐步加剧,在不太长的时间发生中强地震的可能性是存在的.

[参考文献]

- [1] 荣代潞,李亚荣,金铭,等.利用单台数字地震记录反演天祝—古浪5.4级地震矩张量[J].高原地震,2000,12(2):32—36.
- [2] 王周元.甘肃地区地壳分层结构[J].西北地震学报,1984,6(3):84—91.
- [3] Gaudemer Y, et al. Partitioning of crustal slip between linked active faults in the eastern Qilian Shan and evidence for a major seismic gap: the 'Tianzhu Gap' on the western Haiyuan fault, Gansu (China)[J]. Geophy. J. Int., 1995, 120: 599—645.
- [4] 侯康明,袁道阳,等.1990年景泰6.2级地震的烈度分布及发震断裂[J].中国地震,1992,8(1):60—67.
- [5] 荣代潞,李亚荣,刘旭宙.2000年6月6日景泰5.9级地震的两次破裂研究[J].地震地磁观测与研究,2001,22(3):1—6.

DISCUSSION ON THE FOCAL MECHANISM, SEISMOGENIC FAULT OF TIANZHU—GULANG EARTHQUAKE ($M_S5.4$) AND THE SEISMIC RISK OF WESTERN HAIYUAN FAULT

Li Ya-rong¹, Zhu Xin-yun²

(1. Lanzhou Institute of Seismology, CSB, Lanzhou 730000, China;
2. Seismological Bureau of Zhejiang Province, Hangzhou 310007, China)

Abstract: The focal mechanism of $M_S5.4$ earthquake on June 1, 1996, in the Tianzhu pull-apart basin of western Haiyuan fault is studied. The seismogenic fault of the event is determined by using the precisely locating aftershocks, which recorded by the local digital seismic network. The result shows that the earthquake caused by the fracture of a nearly SN direction small fault, which perpendicular to western Haiyuan main fault, in the Tianzhu basin. The seismic risk along western Haiyuan fault is discussed on the basis of the fracture model and the condition of stress concentration in the area.

Key words: Tianzhu—Gulang $M_S5.4$ earthquake; Focal mechanism; Seismogenic fault; Seismic risk