

1996 年 6 月 1 日甘肃省天祝-古浪 5.4 级地震的发震构造探讨

袁道阳 林学文 候康明 张新基 姚同福

(国家地震局兰州地震研究所, 兰州 730000)

摘要 根据震区深浅地质构造特征及现场考察结果, 1996 年 6 月 1 日天祝-古浪 5.4 级地震极震区位于古浪断裂与武威-天祝断裂的交汇部位, 该部位是应力积累和释放的有利场所, 本次地震即为两条断裂内次级断裂共同作用的结果。

主题词 甘肃 发震断裂 天祝-古浪 M_S 5.4 地震

1 前言

1996 年 6 月 1 日在甘肃省天祝藏族自治县和古浪县交界地区发生了一次 5.4 级地震, 极震区烈度为 VI 度(有一个 VII 度异常点)。这次地震使 20 人受伤, 13 812 人无家可归, 毁坏房屋 10 387 m^2 , 严重破坏房屋 56 730 m^2 , 直接经济损失约 3 000 万元。

地震发生后, 地震部门按事先制定的《应急方案》采取了一系列应急措施。武威地委、行署领导以及地区地震局、天祝县政府和古浪县政府的领导立即赶往震区了解灾情, 省地震局也迅速组成考察队连夜奔赴震区进行现场震情监视、宏观考察及震害评估等工作。

这次地震宏观震中位于天祝县安远镇黑河滩和古浪县黑松驿乡官庄子一带。地震造成房屋倒塌和山体崩塌滑坡, 但没有形成明显的地表破裂带, 仅在极震区形成一些地裂缝, 因此分析其发震构造具有一定的困难。下面我们将在分析震中及其附近地区深浅地质构造特征的基础上, 结合本次地震的宏观考察结果, 探讨其发震构造和发震机制。

2 深部构造特征^[1]

地震是深部过程的产物。本区深部构造的许多特殊条件是浅层构造活动的制约因素。活动性强的深大断裂往往伴有深部构造异常。

重力资料分析表明, 从祁连山北缘到本区为一明显的北西西向重力梯级带。梯级带北部地区, 异常值较高, 向南逐渐降低, 在武威-古浪一带急剧转为北北西向, 并显示出复杂的局部次级异常。同时, 本区莫霍面深度也存在一个变异带, 其莫霍面等深线由北部的 51 km 向南剧增到 61 km, 且在古浪一带莫霍面等深线发生急剧的弯曲, 为一明显的地壳厚度变异带, 这显然是青藏高原东北部边缘在深部构造上的反映。

据电测深资料, 无论是南北向剖面, 还是东西向剖面, 上地幔第一低阻层的顶面在本区

都是处于急剧下降地段. 南北向剖面(民勤-武威-哈溪)从民勤附近的 70 km 左右下降到武威、哈溪附近的深度近 140 km, 下降梯度达 0.5 km/km; 在东西向剖面上, 上地幔软流圈顶面也由俄博附近逐渐下降到本区附近, 其深度由原来的 90 km 左右, 下降至 140 km.

大量研究表明, 地震的孕育和发生是一个极其复杂的过程, 与诸多因素有关, 其中与深部构造环境有着非常密切的关系. 从重力场上看, 地震多发生在重力场梯度带、局部异常交界处及重力梯级带与不同方向次级异常相交部位. 从地壳厚度变化来看, 地震多发生于莫霍面变异带及莫霍面等深线突然转折的部位, 即地壳内各构造层面起伏变化较大的部位. 同时这些部位亦是活动深大断裂展布的场所, 是应力积累和释放的有利场所. 本区的地表断裂与深部构造变异带具一致性, 具有发生地震的深部构造背景.

3 震中及附近地区的地质构造特征

1996 年 6 月 1 日发生的天祝-古浪 5.4 级地震的震中区位于北祁连山东段雷公山与北侧武威盆地交界地带, 处于大黄山-冷龙岭北北西向隆起带和北西西向的祁连山褶皱系的中祁连隆起带东段复合部位上, 属于青藏高原北部地震区的祁连山地震带. 区内断裂形成历史久远, 构造形迹较复杂, 主要以北西西、北东东和北北西向为主, 晚第四纪以来有明显活动, 断裂交汇部位构成了明显的应力集中和释放区. 这在祁连山-河西走廊地区具有明显的控震特点, 历史和现今的许多强震就发生在断裂的交汇复合部位. 现就本区主要活断裂特征分述如下(图 1).

3.1 金强河-毛毛山-老虎山断裂(F₁)^①

金强河-毛毛山-老虎山断裂西起天祝西的两头翘, 经雷公山南缘、安远、毛毛山北缘、老虎山北缘, 东端止于景泰东南的兴泉堡东, 全长约 176 km, 总体走向 N70°W. 该断裂形成于加里东期, 为一条古老的深大断裂, 中更新世以前, 以挤压逆冲为主, 大约自中更新世以来, 断裂性质转化为以左旋走滑为主的压扭性. 沿断裂形成了一系列断错微地貌, 并见有多期古地震活动证据, 为一条全新世活断裂. 根据断裂几何学及运动学特征的差异可分为金强河断裂、毛毛山断裂和老虎山断裂 3 段.

3.2 皇城-双塔断裂(F₃)^②

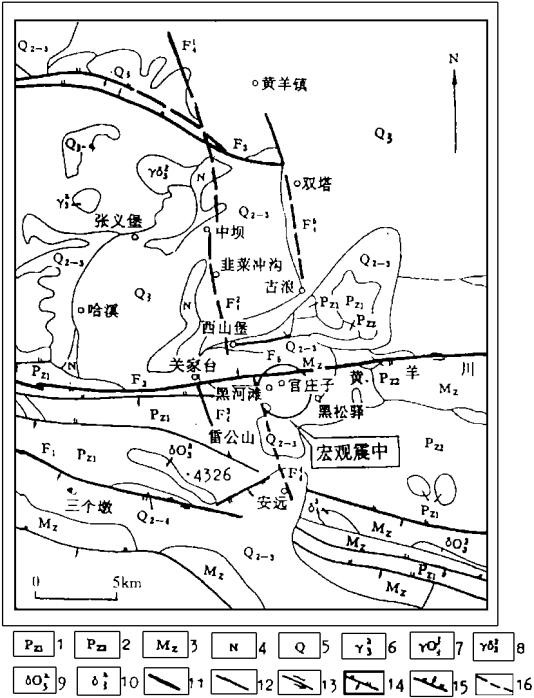


图 1 天祝-古浪 5.4 级地震区附近地质构造

Fig. 1 The geological structures near the epicentral region of the Tianzhu-Gulang M_s 5.4 earthquake.

- 1 下古生界; 2 上古生界; 3 中生界; 4 新第三系;
- 5 第四系; 6 花岗岩; 7 斜长花岗岩; 8 花岗闪长岩;
- 9 石英闪长岩; 10 闪长岩; 11 Q₄ 断裂; 12 前 Q₄ 断裂;
- 13 走滑断裂; 14 逆断裂; 15 正断裂; 16 隐伏断裂

① 国家地震局兰州地震研究所. 北祁连山东段活动断裂带 F5 万地质填图和特征地震研究. 1995.
② 国家地震局兰州地震研究所. 古浪活动断裂带 F5 万地质图及说明书. 1995.

皇城-双塔断裂西起皇城,东至双塔,全长约 140 km,总体呈北西西延伸,倾向南西,倾角 $43^{\circ} \sim 70^{\circ}$. 该断裂自加里东期形成以来,经历了多次强烈构造运动,主要表现为继承性的逆倾滑性质,挤压破碎带宽数十米. 该断裂可分为 3 段:自西向东依次为皇城断裂段、上寺断裂段和冬青顶断裂段. 其中,冬青顶断裂段晚更新世以来活动非常强烈,特别是 1927 年古浪地震时,沿该断裂的大部分地段形成强烈而清晰的地表破裂带.

3.3 古浪断裂(也称天桥沟-黄羊川断裂)(F_2)^①

该断裂西起冷龙岭,经天桥沟、黄羊川,终止于大靖之南的秦家大山丘陵之中,全长约 145 km,总体走向北东东向. 该断裂晚第四纪以左旋走滑运动为主,兼有逆冲运动分量. 地貌上表现为山脊、冲沟左旋断错几米至几十米不等,并形成明显的断坎线状延伸. 根据其几何展布和活动性状的差异,可将该断裂自西向东依次分为天桥沟段、黄羊川段和大靖段.

3.4 西山堡-十八里堡断裂(F_3)^②

该断裂展布在西山堡南侧的黄土丘陵区,西起咀子湾,东止于古浪河西侧的跌落崖,全长约 9 km,走向 $N85^{\circ}E$,主要表现为沿断裂走向一系列的山脊、冲沟发生明显的左旋水平位错和 1927 年古浪地震沿断裂形成了线状展布的黄土滑坡带.

3.5 武威-天祝断裂(F_4)^{①②}

该断裂北自武威向南经磨嘴子、水峡口、中坝等地至天祝,长约 100 km. 由水峡口-武威隐伏断裂(F_4^1)、中坝断裂(F_4^2)、柳条河断裂(F_4^3)、天祝断裂(F_4^4)和古浪-双塔断裂(F_4^5)组成,总体走向 $N20^{\circ}W$,各次级断裂皆倾向南西,倾角 $45^{\circ} \sim 80^{\circ}$,大体呈右阶雁列式排列,具挤压逆冲兼右旋扭动特性. 该断裂主要为隐伏断裂,大部分地段在地表显示不清楚,仅在局部地段可见其构造形迹,如中坝、柳条河、达家庄等地. 据物探资料,断裂东盘晚第三纪地层埋深在 800 m 以下,而断裂西侧晚第三纪地层已出露地表,两侧高差悬殊,反映断裂在新构造时期活动强烈,性质为逆走滑断裂. 在小坡口见断层断错第三系砂岩,使上覆的黄土层(Q_4)在断层处不连续,形成明显的断坎地貌. 在 1927 年古浪地震时,断裂有新活动表现,沿磨嘴子至中坝形成一条长 33 km 的地震形变带,主要为地震陡坎、地震鼓包和地裂缝等.

4 天祝-古浪 5.4 级地震的发震构造

本次地震为一中等强度地震,没有形成地表破裂带. 前已述及,本区存在有北东东向的古浪活动断裂和北北西向的武威-天祝隐伏断裂,均为全新世活断裂,极震区(Ⅵ度区)正好处在两条断裂的交汇部位,可见本次地震应为两条断裂共同作用的结果. 具体证据表现在以下几方面.

4.1 等震线展布特征

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. 本次地震的极震区(Ⅵ度区)为椭圆形,其长轴方向为 $N20^{\circ}W$ 左右,这与本区武威-天祝断裂的中坝次级断裂的展布方向相吻合,而且宏观震中就位于该断裂与古浪断裂内的黄羊川次级断裂交汇部位的黑河滩、官庄子一带(图 2). 同时,考察中发现,本次地震沿北东东和北北西方向的震害明显加重,且延伸远,而在上述两个主方向之间地区其震害明显减轻,且衰减极快,也就是说本次地震的震害分布具有明显的方向性且与本区活动断裂的展布是相吻合的. 这表明本次地震应为北北西向的武威-天祝断裂和北东东向的古浪断裂共同作用的结果.

① 同 41 页②

② 震源机制解资料由董积平提供.

4.2 震源机制解^①

1996年6月1日发生了天祝-古浪5.4级地震之后,余震活动仍较频繁,但震级均不大,至6月23日止,共记录到 $M_s \geq 0.4$ 余震101个,其中最大震级2.7级,可确定震中位置的有21个,其震级在1.4以上.这些余震分布比较集中(图3、图4),其方向性不太明显,似为北东向,但由于受余震分布几乎全部在断裂的西南侧,且限制的主动盘,这与古浪断裂和武威-天祝断裂的震源深度纵横剖面可以明显看出 88° 的结果相吻合.

图 2 天祝-古浪 5.4 级地震等震线图

表 1 天祝-古浪 5.4 级地震震源机制解

4.4 现场考察结果

① 42 页②

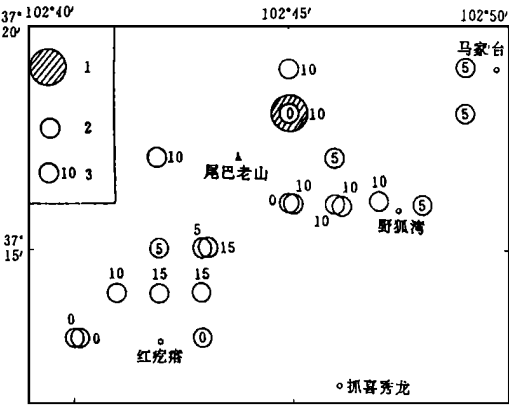


图 3 天祝-古浪 5.4 级地震余震分布
Fig. 3 Aftershock distribution of the Tianzhu-Gulang M_s 5.4 earthquake.

1 5.4 级主震; 2 $2 \leq M_s \leq 3$; 3 (km)

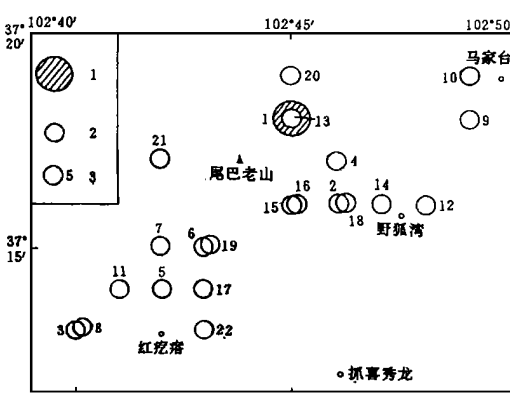


图 4 天祝-古浪 5.4 级地震的余震扩展分布
Fig. 4 Extension distribution of aftershocks of the Tianzhu-Gulang M_s 5.4 earthquake.

1 5.4 级主震; 2 $2 \leq M_s \leq 3$; 3

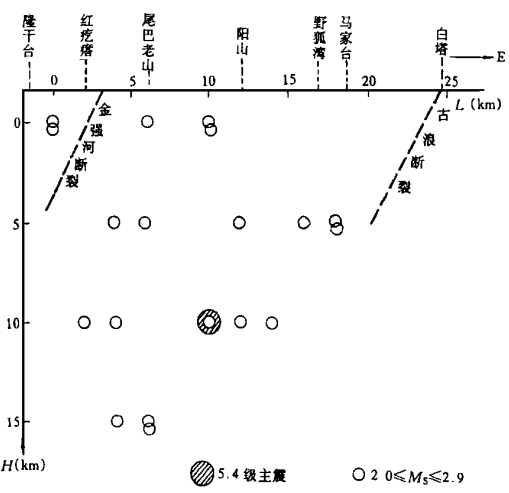


图 5 天祝-古浪 5.4 级地震及其余震震源深度横剖面

Fig. 5 Focal depth cross profile of the Tianzhu-Gulang M_s 5.4 earthquake and its aftershocks.

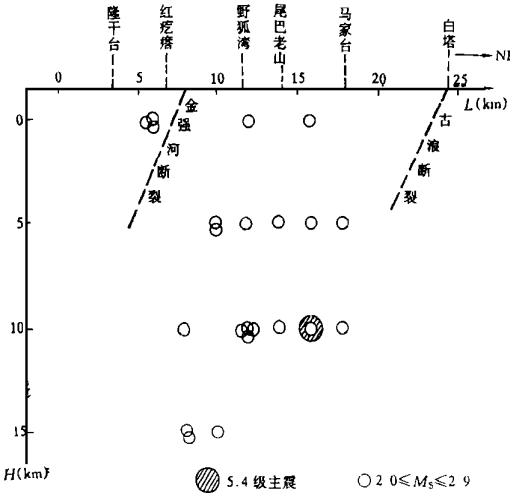


图 6 天祝-古浪 5.4 级地震及其余震震源深度纵剖面

Fig. 6 Focal depth lengthwise section of the Tianzhu-Gulang M_s 5.4 earthquake and its aftershocks

，
。
I
，
，
10 cm。
，
（
-
，
，
，
-
。

5 5.4 级地震的发震机制

天祝 5.4 级地震所在的天祝、

，
，
-
，
，
，
，
，
，
40° ~ 70°。
-
，
，
（
-
-
），
10 ~ 25 km 的中上地壳范围内，
，
[2]①（ 7）。
，
15 ~ 25 km 的深度处归并到一个低角度的逆掩断层面上。
，
，
。1996 年天祝- 5.4 级地震就是在北东-

① . 1927 年古浪 8 级大震的发震构造条件、 , 1996.

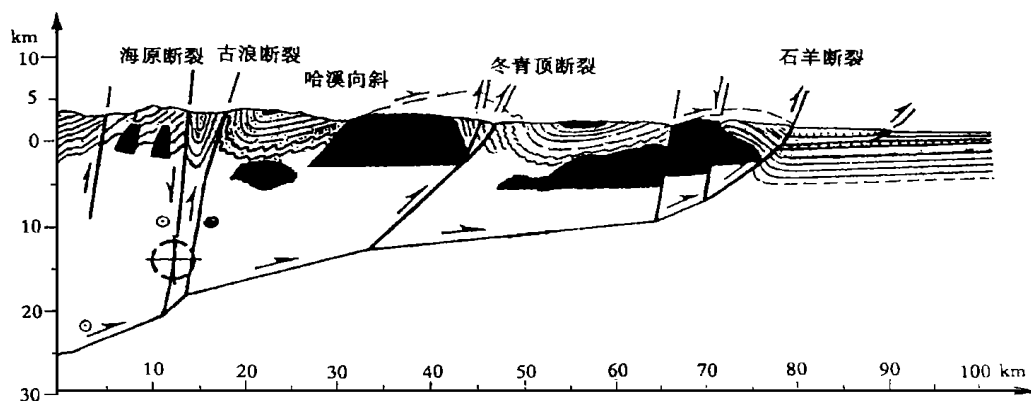


图 7 天祝-古浪地区地质构造模型(据 Y. Gaudemer 等, 1995)

Fig. 7 The model of geological structures in Tianzhu-Gulang region.

本文得到刘百麓研究员和戴华光副研究员的指导和帮助, 在此深表谢意!

- 1 , 1993.
- 2 Gaudemer Y, Tapponnier B, et al. Partitioning of crustal slip between linked, active faults in the eastern Qilianshan, and evidence for a major seismic gap the 'Tianzhu Gap', on the western Haiyuan fault, Gansu (China). *Geophys. J. int.*, 1995, 120: 599 ~ 645.

STUDY ON THE CAUSATIVE STRUCTURE OF THE TIANZHU-GULANG M_{5.4} EARTHQUAKE IN GANSU ON JUNE 1, 1996

YUAN Daoyang LIN Xuewen HOU Kangming ZHANG Xinji YAO Tongfu
(*Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, Lanzhou 730000*)

Abstract

According to characters of the deep and shallow tectonics in seismic area and the results of field investigation, the meizoseismal region of the Tianzhu-Gulang $M_{5.4}$ earthquake on June 1, 1996 is located at the intersection of Gulang fault and Wuwei-Tianzhu fault, the intersection is easy to accumulate and release stress. This earthquake results from the joint action of the active faults.

Key words Gansu, Triggering seismic fault, Tianzhu-Gulang $M_{5.4}$ earthquake