

利用数字化地震资料研究 1995 年 永登 5.8 级地震的震源过程

闵祥仪 王庭选 刘凤祥 杜承焕

(国家地震局兰州地震研究所, 兰州 730000)

摘要 利用兰州遥测地震台网数字化记录资料对 1995 年 7 月 22 日永登 M_s 5.8 地震的 10 次较强余震进行了精确定位,并由余震震源的空间分布图象讨论了该次地震的震源过程.余震震源明显分布在深度不同的呈立体交叉的两个断层面上,而且发生的时间段也具有明显的分组特征.主震震中位于断层立交部位.提出了在北东方向的区域应力场作用下,上地壳内不同层位的介质中可能有相互立体交叉的断层发育,而其立体相交部位附近的异层介质间快速滑动可能是中国西部地区中强地震成因的新观点.

主题词: 甘肃 数字地震图 震源过程 层间滑动

1 前言

1995 年 7 月 22 日 6 时 44 分 4.2 秒甘肃省永登县发生 M_s 5.8 地震,震源深度 10 km,其后 1 个月左右发生了一系列余震.兰州遥测地震台网记录到了 10 次较强的余震,我们使用该台网数据处理系统提供的近震定位程序对 10 次强余震重新进行了精确定位,并据此研究了永登主震的震源几何参数,推断了震后应力场可能的变化趋势.

2 资料及处理结果

选用兰州遥测地震台网 19 个地震台垂直向短周期地震记录,其数字化采样率为 100 点/秒,时间服务由数据中心石英钟站统一提供.该台网数据处理系统提供波形显示及人机结合定位程序.因此,在震相识别正确的前提下,可以大大提高定位精度.限于地壳模型研究的程度,现在尚无法使用各向不均匀介质模型用于定位.尽管如此,考虑到对永登余震的定位所使用台站位置相对于余震区而言,各台站的方位基本稳定,作为震源区的几何参数讨论,定位误差以系统偏差为主,不致引起本质上的变化.永登地震的 10 个余震的定位结果列于表 1.

3 永登余震的空间分布图象

将余震震中坐标转换为以度为单位,绘出其平面分布图,见图 1,图中的号码表示余震的序号,括号内的数字表示震源深度(km).

本文 1995 年 11 月 6 日收到

第一作者简介: 闵祥仪,男,49 岁,副研究员,主要从事震源物理和数字化地震资料的分析研究工作.

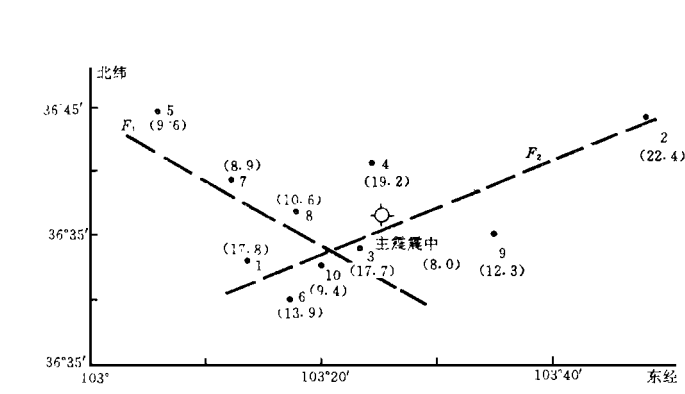


图 1 永登 5.8 级地震余震震中分布示意图

Fig. 1 The aftershocks distribution of the Yongdeng M_S 5.8 earthquake.

都是在主震后 1 个半小时以内相继发生的。一般认为,余震是沿断层分布的,因此,我们称震源较浅的一组余震所处断层为 F_1 ,震源较深的一组余震所处断层为 F_2 。根据永登主震的震源所处空间位置推测其主震的力学机制,永登主震可能发生在北北西走向和北东东走向的两条断裂带的交汇区附近。 F_1 与地质结果比较吻合, F_2 可能为较深地层的断裂,在地表无显示。但主震却不在 F_1 上,而是在 F_1 的底部与 F_2 交接部位附近,位于 10 km 深的上、中地壳分界处,据地球物理资料(图 3),永登主震当属于层间粘滑型的面震源活动。根据定位结果绘制了余震的三维分布情况(图 2)。余震分布范围局限在 $40\text{ km}\times 20\text{ km}$ 范围以内,假设断裂面在余震区范围内是平面,取埋深 13 km 处的水平面为基准参考面,取 F_1 断层面上的 5 7 8 9 号余震震源点,用三维最小二乘法,可拟合 F_1 断层所在平面 Q ,算出该平面与水平基准面交角 $\alpha=60^\circ$,倾向 NNE;用 1 2 3 4 6 号余震震源拟合 F_2 断层面 M , M 面近于直立。其中第 4 号余震震源深度的离散较大,有可能是定位误差所致。

由图 1 可见,以 13 km 为界按震源深度可将余震分为 2 组。包括主震在内的震源较浅的一组为 5 7 8 9 10 号余震,本组余震震中平面分布总体特征为沿 NNW 向呈弧形排列,向北弯曲,长度约 25 km,且余震的发生时间较晚,与主震相隔 3 小时以上,甚至还包括 1 个月以后发生的后期余震。另一组的震源较深,包括序号为 1 2 3 4 6 的余震,它们在平面上总体分布以 NEE 向为主,长度约 30 km,而且除 6 号余震外

表 1 永登地震余震序列定位

序号	时间	发震时刻	震级 (M_S)	纬度	经度	震源深度 (km)	均方差	定位台站数
1	1995- 07- 22	07 h 10 min 49. 22 s	2. 3	$36^{\circ}19. 89'$	$103^{\circ}8. 1'$	17. 81	2. 09	8
2	1995- 07- 22	07 h 52 min 58. 42 s	1. 5	$36^{\circ}26. 6'$	$103^{\circ}28. 7'$	22. 43	1. 19	4
3	1995- 07- 22	07 h 54 min 9. 43 s	2. 5	$36^{\circ}20. 5'$	$103^{\circ}13. 89'$	17. 7	1. 69	7
4	1995- 07- 22	08 h 06 min 8. 24 s	3. 1	$36^{\circ}24. 5'$	$103^{\circ}14. 6'$	19. 19	1. 14	7
5	1995- 07- 22	09 h 59 min 52. 29 s	1. 0	$36^{\circ}27'$	$103^{\circ}3. 5'$	9. 65	1. 56	4
6	1995- 07- 22	13 h 08 min 44. 5 s	1. 5	$36^{\circ}18. 1'$	$103^{\circ}10. 3'$	13. 96	2. 05	4
7	1994- 07- 22	22 h 25 min 15. 15 s	2. 6	$36^{\circ}23. 7'$	$103^{\circ}7. 4'$	8. 96	1. 92	8
8	1995- 08- 09	07 h 48 min 39. 08 s	2. 6	$36^{\circ}22. 29'$	$103^{\circ}10. 6'$	10. 58	2. 98	7
9	1995- 08- 09	23 h 55 min 54. 9 s	2. 6	$36^{\circ}21'$	$103^{\circ}20. 89'$	12. 34	2. 13	5
10	1995- 08- 26	15 h 52 min 56. 16 s	2. 6	$36^{\circ}19. 7'$	$103^{\circ}11. 89'$	9. 44	2. 43	8

4 永登地震区的地球物理背景及其主震过程讨论

张少泉等的人工地震研究表明^[1], 在永登附近地下约 10 km 深处与 28 km 深处各存在一个速度间断面, 10 km 处为中、上地壳分界面; 28 km 处为中、下地壳分界面, 在中地壳内埋深为 22 km 处还存在一个具有花岗岩侵入体性质的低速薄层(图 3)。该层介质的强度较高, 地表出露的较浅断层大多终止于花岗岩层。

永登位于青藏高原北缘的祁连山褶皱带内, 由于印度板块向北推挤, 其主压应力场方向为北东向^[2]。这次永登 M_s

5.8 地震发生于 F_1 、 F_2 断层的交汇部位, 其中 F_1 断层走向 NW, 倾向 NE, 它与祁连山褶皱带断裂系的总体倾向一致。NE 走向的 F_2 断层的存在对该区地震活动起十分重要的作用(图 2,

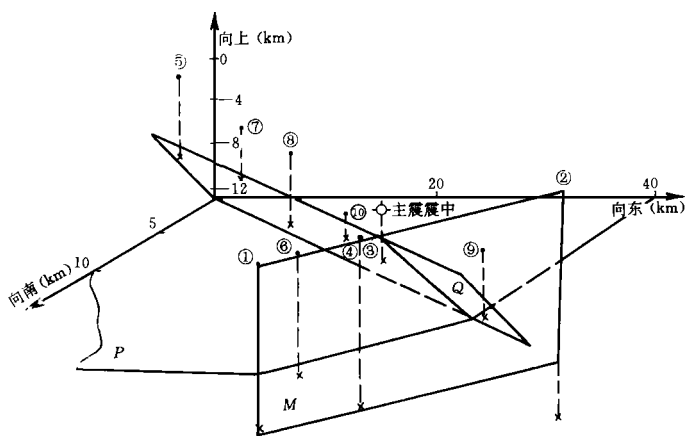


图 2 永登 5.8 级地震余震震中三维分布

Fig. 2 3-D aftershocks distribution of the Yongdeng M_s 5.8 earthquake.

图 4) 处于地壳内不同层位的介质, 下层介质处于花岗岩侵入体之上, 围压较高, 积累了较大的弹性应变能。上层介质顶部为自由面, 且位于此层的 F_1 断层在区域应力场作用下, 属逆断层性质, 不利于发震^[3]。 F_2 断层贯穿深度较大, 走向又与应力场方向平行, 当积累的应变能足够高, 而达到临震状态时, 则易于发生震前剪切走滑, 应力场调整的结果造成与 F_1 立体交汇部位的应力集中(图 4 所示上下层介质之间的黑点区域)。此时在 F_2 断层的西盘, 以应力集中区为界, 其南部压应力接近破裂极限, 应力值稍一增加或外界因素的触发作用(固体潮形变、气压、降水等), 即可发生地震。

这种分析的理由是: ① 主震震中恰处于 F_1 、 F_2 交汇部, 震源深度 10 km, 基本为两组余震深度分界线上(13 km) ② 余震的地震序列呈两个时间段发生, 主震后 1.5 小时之内地震大体上都在 F_2 断层面上, 另一群较晚地震则在 F_1 上。③ 余震群的震源深度也显示为两组沿 F_1 较浅, 沿 F_2 较深 ④ 上、下层介质差异及分层深度(10 km)符合永登地区的地球物理研究结果。

主震发生后, 沿主破裂位移矢量(NE)方向在下层介质的顶部相对于上层介质产生宏观形变, 下层介质中的

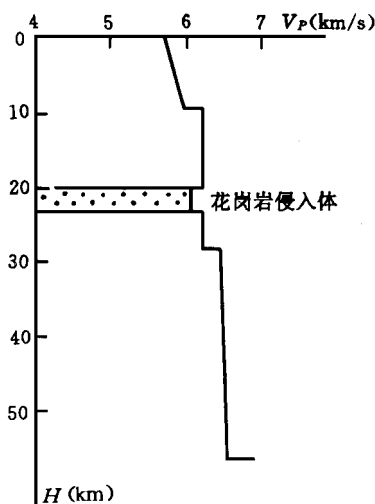


图 3 永登地区地壳结构
(据张少泉, 1985)

Fig. 3 The crustal structure of Yongdeng area (by Zhang Shaoquan, 1985).

F_2 断层面两盘的相对位移随深度增加逐渐减小,位移场分布大体如 V 形,终止于埋深 22 km 的花岗岩侵入层。主震发生时,由于 F_2 断层活动属剪切性质,层间介质的粘滑使震前积累在图 4 所示层间黑点区的应变能释放, F_2 的西盘压应力向北东转移,所以沿 F_2 断层的应力调整就进行得快,以致在主震后 1.5 小时内发生一系列余震,此后为第二时段的余震过程。区域应力场方向决定了图 4 所示下层介质在震后沿断层面产生应力形变调整的同时,还要在图中曲线区产生扭性形变,必然会拖动上层介质沿 F_1 断层发生正断层性质的平推运动(图 4 中箭头所示),这就是沿 F_1 断层的余震发生较晚的一种可能解释。此处应该指出:上层介质的平推运动方向,与区域应力场不符的原因就在于它不是主要承力结构,而受制于围压较高的下层介质构造活动,其中发生的 F_1 断层活动可能显示拉张性。这种地质现象,在大陆地壳多层介质中,底部存在强度较大的另一种介质的情况下,其上的两层介质中有贯穿深度不同的交汇构造时,并不是罕见的,尤其是在青藏高原北缘这种形变速率较高的褶皱带。事实上,祁连山区拉张盆地的存在就是证明。

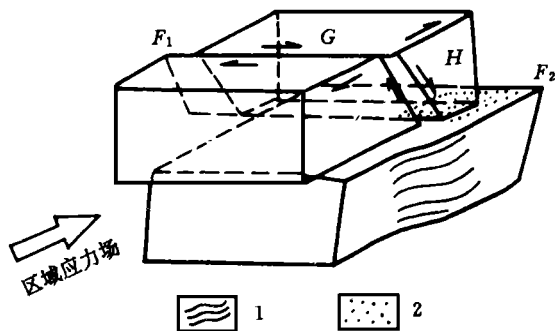


图 4 永登 5.8 级地震震源过程示意图

Fig. 4 The source mechanism of the Yongdeng M_S 5.8 shock.

1 剪切形变带; 2 层间粘滑面

在利用兰州台网数字化资料对永登 5.8 级地震余震进行精确定位的实际工作后,作者提出了关于西北地区浅源中强地震成因的新观点,认为在这一特定地区,地壳内存在不同层位的介质,由于其承力构造和力学参数不同,上下层介质内发育有不同走向的立体交叉的断层时,相交部位是应力集中区,并用这一震源机制试图解释永登 5.8 级地震主震的发生过程。关于地壳内异层构造的相互作用引起的中强地震造成地壳烈度异常及其震后应力场变化分析以及地震趋势的快速判断等有关问题,尚需做进一步深入的研究。

作者衷心感谢姚同福提供余震目录,周民都提供永登地壳结构资料以及兰州遥测地震台网数据组给予的支持。

参考文献

- 1 张少泉,等.中国西部地区门源—平凉—渭南人工地震资料的分析解释.地球物理学报,1985,28(5): 460—461.
- 2 曾融生,等.青藏高原及其东部邻区的三维地震波速度结构与大陆碰撞模型.地震学报,1992,14(增刊): 530—531.
- 3 郭增建,秦保燕.地震成因与地震预报.北京:地震出版社,1991. 39—44.

A STUDY OF HYPOCENTRAL PROCESS OF THE YONGDENG M_s 5.8 EARTHQUAKE ON 22 JULY, 1995 USING NUMERICAL SEISMIC DATA OF THE AFTERSHOCKS

Min Xiangyi Wang Tingxuan Liu Fengxiang Du Chenghuan
(*Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, Lanzhou 730000*)

Abstract

Using the Lanzhou telemetered seismic net digital data, studies the geometric parameters of the sources of Yongdeng aftershocks in Gansu Province and discusses the source mechanism and the 3-D distribution pattern of aftershocks sources. The aftershocks of the Yongdeng earthquake are distributed on two crossed fault surfaces and their origin time has obvious group characters. The epicenter of main shock is just at the point where the two faults cross. The depths of two faults are also different. It is convinced that the source process of the Yongdeng M_s 5.8 earthquake belongs to the interlayer-gliding type.

Key words Gansu, Numerical seismogram, Source process, Interlayer-gliding