1978年海城6.0级地震

的破裂过程和某些参数的估计

赵 振

(辽宁省地震局)

摘

在1975年2月4日海城7.3级地震的震源区内,又于1978年5月18日发生 了一次6.0级地震。本文对这次地震的性质做了分析,认为这次地震是7.3级地 震断层面的一次新破裂,根据6.0级地震后余震的发展,粗略估计了这次地震 的破裂面积。依照断裂力学的某些公式,估算了这次地震的总能量为6.1×10²¹ 尔格,地震矩为2.8×10²⁶达因厘米;应力降为113巴。同时对预报这类地震提 出了一些看法。此外,根据7.3级地震后余震的分布和地震产生的水平应变量 的空间变化,对7.3级大震的发震情况做了推测。

一、6.0级地震的破裂性质

在7.3级地震(以下简称大震)发生至6.0级地震发生的这段时间内,位于东经122°30′ ~122°40′之间出现了一个Ms≥4.0级余震相对平静的"空区",可称为"缺震段"。在 6.0级地震发生后,这一现象为许多人所注意。对大震和6.0级地震震源机制的结果和余震空 间展布的分析^[1,2,3,]认为,两次地震的发震断层走向完全一致,约为N70°W。这说明,6.0 级地震是发生在大震断裂面上的一次地震。

按上述事实,"缺震段"的存在只有两种可能,一是大震发震后,该段断层两盘产生了 足够大的错距,充分释放了震前积累起来的应力,以至于大震后该段的余震小而且少;二 是该段在大震前积累的应力基本上没有被释放。6.0级地震前,M_s≥4.0的余震在"缺震段" 垂直剖面东侧的条带分布(图1)*,以及6.0级地震的位置和余震的发展否定了第一种可 能,它和条带东侧的缺震现象具有不同性质。

顾浩鼎等人给出了海城大震引起的地面水平形变量[1]。而这次6.0级地震恰巧发生在他

^{*}图件1,3.5是辽宁省地震局曹天育同志提供的。



图 1 1978年海城6.0级地震前的余震空间分布

山附近。这说明,连山屯至他 山一段在大震时断层两盘基本。 上没有发生错动,造成大震震 中附近负值形变量(缩短)过 大,连山屯附近正值形变量 (伸长)又迅速增大。

根据某些同志的工作, 1978年3月12日前,大震的余 震是随机分布在余震区的;而 3月12日至5月18日期间发生 的 $M_s \ge 2.0$ 级地震却集中分布 在6.0级地震附近或以东地区。

即在6.0级地震前两个多月,小震已集中在未来地震的震源附近,这与Brace等人(4)对均匀 岩石所做的破裂实验结果是一致的。他们认为,在粘滑破坏前是看不到这种现象的。并且在 脆性破坏前,反映地震频度——震级关系的b值有明显下降。海城震区小震b值,在6.0级地 震前,由1.4降至0.9(辽宁省地震局分析室于军同志提供)。

所以, 6.0级地震是7.3级大震断层面上未破裂部分的一次新破裂, 而不是老断层面上的 粘滑。

二、 余震分布特点和断裂面

1.余震概况 1978年5月18日
 6.0级地震及6月30日前所有Ms
 ≥2.0的余震震中位置绘于图
 2,图中还包括3月12日至5月
 18日所有Ms≥2.0的7.3级大震的余震。由图2可见,6.0级地震的余震和大震的余震展布浑成一体,占满了大震后由Ms≥4.0
 余震形成的"缺震段"。6.0级地震位于它的余震区的东南端。

沿纬度线的垂直剖面作为断 层面,将M_s≥2.0的地震震源投 影到该面上,地震以时间顺序编 号(主震后短时间内的余震有遗 漏),图3和下表则给出了各时 段余震的发展情况。





地震序号	距主震的时间	累积破裂区面积 (公里 ²)	代	号	备	注
0	00时00分秒/1)				主	殿
1 — 9	12-57-07.62 >	72	I			
10-13	18-41-31.6	104	I			
14—17	28-00-43.6	130]			
18-34	41-28-12.6	160	N			
35-77	57-08-10.6	174	V			

1) 设主震的发展时间为00时00分00秒

2)为9号地段距主程的时间,其他栏内的时间系指"地程序号"中第一个地段距主程的时间。

2.主破裂面 由上表和图3可以看到,6.0级主震发生后13个小时之内有9个可以测定 深度的Ms≥2.0地震,只在图3中的I区内活动。主震在区域的东南下部,深度为13公里, 前震和它在同一位置,主震发生后,余震分别向西和向上移动,并在I区西北上部边界附近 发生一次4.2级余震。除6号余震位于靠近主震的东侧之外,其余8个余震全部在主震西侧。 按照栗田⁽⁵⁾关于判断主震形成的主破裂面的方法和原则,可初步推测,I区就是6.0级地震 发生时形成的主破裂面,其长为8公里,宽为9公里,面积为72平方公里。而4.2级 地震就 是主破裂传播的终止部位,主震的破裂是由东南向西北单向传播的。这9个发生在主震破裂 面上的地震是主震发震后,剩余应力继续释放的一种形式。

3.余震区的扩大 9 号地震发生后相继发生的 Ⅱ、 Ⅲ、 Ⅳ、 Ⅴ 组余震使破裂面积不断扩 大,至6月底,余震活动基本结束,形成的总破裂面积为174平方公里。

综观余震的发展,不难看出,主震发生后短时间内的一组余震(1-9号)都发生在固定的空间内,而从10号地震开始的各组余震间断地使余震空间范围迅速扩大,余震发生的这种时空差异标志着余震性质的不同。前者是对主震发生时断层两盘错动在断层面上分布不均所做的"内部调整",后者是主震发生后,在其邻近地区引起局部应力集中形成的,因此是一种"外部调整"作用。

由图 3 可知,从12号地震开始,破裂面再也没有向东南方向扩展,余震的空间展布对主

震的位置不对称。这种情况的发生,除了与主震的破裂扩展方向有关之外,7.3级大震时断 层两盘的快速错动及其大量余震已经把6.0级地震震源区东侧断层面上的应力彻底释放,也 是造成这种情况的重要原因。

4.7.3级地震发震情况的推测 根据第一节的分析,"缺震段"东侧边缘的高频度和高强度的地震活动,应是"缺震段"没有破裂造成沿边缘的应力高度集中的结果。由于这块未破裂岩体的存在,会使大震发震时形成的源附近断层两盘的较大错距难以维持而回错,出现主震附近的错动过头现象^[1]。

根据震源机制的结果⁽¹⁾,大震断层面的倾向为北东,倾角为81°。由图4可见,大震的 绝大多数余震分布在过主震震中的 N70°W 线的东北一侧,并且由于大震震源位置在沿 线的垂直剖面的下部。因此,可以认为,绝大多数M_s≥4的余震都发生在向西北运动 的主震断层的上盘即北东盘上,并且余震在北东方向上延伸很远。这使我们有理由推测, 在大震发震时,断层两盘的错动不是均匀的而是以北东盘向西北错动为主,错距主要是断层 北东盘完成的。即在两盘相对运动时,北东盘是主动盘。由于运动的不均匀性,大震后,该 盘局部地区的应力调整,因而引起余震的发生就是必然的了。断层北东盘相对于南西盘应变 量普遍偏高,以及大震和6.0级地震的极震区偏向北东盘也进一步证明了这个问题(•)⁽⁶⁾



图 4 【海城7.3级地震余震震中分布(图例见图1)

三、主震能量和应力降的估计

根据上述分析,我们可以把6.0级地震断层面的破裂作为断裂力学中Ⅱ型裂缝单向失稳 扩展所致,来求得地震的能量。

7.3级地震发震时的破裂传播速度为1.3公里/秒^[2],震源时间函数T取0.4秒,断层两 盘相对错动停止后,又重新被静力摩擦锁住,则初始裂纹长度可取为 2 a = 1.3公 里/秒 × 0.4秒 = 0.52公里,若裂纹尖端塑性化使裂纹扩展的长度可忽略不计。则裂纹半长度a = 0.26公里,它对于断层总长度可忽略不计,

考虑到失稳扩展时与稳态扩展时能量释放率差别不大,故采用断裂力学中 I 型裂纹稳态 扩展的能量释放率来做近似计算。

(•)丛传喜等,海城一营口六级地震烈度特征

$$G_{II} = \frac{1 - v}{2\mu} \qquad K_{II} = \sqrt{\pi \alpha} \sigma_{o}$$

其中, 泊松比v取0.25, 切变模量µ取3.3×10¹¹达因/厘米², K_I为应力强度。因子a 为裂纹
半长度。区域应力场σ。取110巴=1.1×10⁸达因。则地震时释放的总能量可表示为

$$E = \int_{0}^{L} G_{II} d(2a) \cdot W = \frac{1 - v}{2\mu} \pi \sigma_{0}^{2} \cdot \frac{1}{4} L^{2} W$$

断层长度取L=8公里, 宽度W=9公里, 则得总能量为E=6.1×10²¹尔格。若取地震波幅
射效率η=0.05, 则上述地震能量相当于一个M_s=5.8的地震。
根据地震矩的公式, 可算得
 $M_{0} = \mu u S = \mu u \cdot LW = 2.8 \times 10^{25} 达因. 厘米$

其中平均错距u = 120厘米[2]。

采用圆盘型位错的应力降公式

$$\Delta \sigma = \frac{7}{16} \cdot \frac{\pi \mu}{R} \overline{u}$$

取 R = $\sqrt{\frac{L \cdot W}{\pi}} \approx 4.8$ 公里 估计这次地震的应力降得 $\Delta \sigma = 113$ 巴。

若取 I da[7]的应力降公式

$$\Delta \sigma = \frac{\mu D_{o}}{\pi C T} (1 - C^{2} / \beta^{2})^{1/2}$$

来近似估计应力降,其中D₀ = $\frac{u}{2}$, C为破裂速度,取1.3公里/秒。横波速度β取3.5公里/ 秒,则得 $\Delta \sigma$ = 113巴。

两种方法得到的应力降值完全一致,也许是偶然的,但并非是对有关量取值的有意拼 凑。即便如此,如果注意到 I da公式中, Δσ是指地震时全部释放的构造应力场的值,那 么,用上述两种方法所得的应力降(113巴)和假定的构造应力场值的相当一致,可能意味 着这次地震发生后,地震断层面上只剩摩擦应力。考虑到7.3级地震发生后,长时间的余震 活动,这个结果与事实並不矛盾。

四、6.0级地震的预告

海城6.0级地震发生在大震之后三年多时间,我们姑且称之为"晚期强余震",就距大震的时间来说无可非议。但是由于晚期强余震与断层面的新破裂在性质上的差别,不能认为是 完全一样的。

6.0级地震区存在的测震学中的前驱现象值得重视。大震余震 空间分布存在 空段 或 称 "缺震段",可能由大震前积累的应力(应变)通过大震的发生彻底释放和没有或基本上没有 被释放两种原因造成。由图1可见海城余震区有两个地域可做为这类"空段",一是主震震 源至6.0级地震震源之间的部位,另一个是6.0级地震震源至西部的Ms≥4.0级余震丛集区之 间。由于大震震源附近的余震有错动"过头"现象,因此前一个"缺震段"应标志着该地段 大震前应力的彻底释放,可排除发生更大余震的可能性。而另一个"缺震段"最显著的特点 是靠近大震震中一侧有较大余震的条带分布。大震后该处仍具有较高的应力没有被释放,大 震断层两盘位移量不足,这已被震后在震区进行的水平形变测量所证实。在 6.0 级地震发生前的短时间内,大震的余震活动在这个"缺震段"靠近大震震中一侧集中,可能是这种强余 震即将来临的预兆。总之,大震后余震空间和时间的分布,对于预告强余震的发生是有价值 的。

(本文1980年9月6日收到)

Hai'cheng,

参考文献

〔1〕顾浩鼎等,海城地震震源机制,地球物理学报,№4.1964.

〔2〕林邦慧等,不对称双侧破裂过程的研究及其在海城地震的应用,地震学报,№.1,1979.

〔3〕向宏发等,1978年海城6.0级地震的构造条件分析,地震地质,№.2,1980.

〔4〕Brace·W·F,当前地震预报的实验室研究,国外地震,№.2,1970.

[5]T·栗田,加利福尼亚中部圣安德烈斯断裂带地震序列的震源过程,国外地震,№.1, 1978.

〔6〕吴开统等,海城地震序列特征,地球物理学报,№.2,1976.

[7]Ida·Y and K·AkiSeismic Source Time Function of Propagating Longitudinal —Shear Cracks, J·Geophy·Res, Vol.77, №.11,1972。

FRACTURE PROCESS OF THE EARTHQUAKE ($M_s = 6.0$) in HAICHENG LIAONING PROVINCE ON MAY 18,1978 AND ESTIMATE Of SOME SOURCE PARAMETER

Zhao Zhen

(The Seismological Bureau of Liaoning Province)

Abstract

In the present-paper, an analysis of the data of the $M_s = 6.0$ earthquake Haicheng, Liaoning Province on May 18, 1978. has shown that the shock is a new fracture than stick—slip on the seis-mic@M_s = 7.30 fault surface plan.

On the basis of after-shocks data and some formulas of fracture mechanics, we estimated that the total energy of the earthquake is $E = 6.1 \times 10^{21}$ ergs, seismic moment magnitude is $M_0 = 2.8 \times 10^{25}$ dyne.cm and stress decreased to $\Delta_0 = 113$ bars. Besides, the occurence of the strong earthquake $(M_s = 7.3)$ has been conjectured in accordance with the aftershock division of the level correlative of earthquake $(M_s = 7.3)$ and the space variation of the level correlative $(M_s = 7.3)$ and the space variation of the level correlative $(M_s = 7.3)$ and the space variation of the level correlative $(M_s = 7.3)$ and the space variation of the level $(M_s = 7.3)$ and $(M_s = 7.3)$ and the space variation of the level $(M_s = 7.3)$ and $(M_s = 7.3)$ and the space variation of the level $(M_s = 7.3)$ and $(M_s = 7.3)$ and the space variation of the level $(M_s = 7.3)$ and $(M_s$