

地震危险性分析中如何考虑 交汇断层的影响*

李兴才

(中国北京 100081 国家地震局地球物理研究所)

断层的交汇或交而不汇对地震的发生及其沿断裂带分布的影响,已经引起人们的普遍注意.然而,在实际的交汇断层中,断层的尺度及它们之间的交汇角可能是各种各样的,其中哪种或哪几种情况下地震的危险性较大,是我们比较关心的问题.有必要作一些讨论.

一、模型的选取

对于一个比较大的区域,断层的格局一般是比较复杂的,然而如果所研究的区域比较小,例如华北地区,情况要相对简单些.该地区断层的优势取向为 NNE 向,而且近于直立;另一方面,区域主压应力轴 σ_1^0 的取向为 NEE 方向,且近于水平,这样可以把问题简化为平面应力问题.另外,对活断层和近期地震的现场勘察均表明,与地震序列有关的断层大都不是一条单一的断层,而是具有拐折,或者说是一个断层系,例如 1976 年的唐山地震等;另外,当断层间的距离比较小时,断层间的相互作用是不能忽略的,但只有相邻的断层这种相互作用才比较强,为此,这里只考虑两条二维断层 (a_1 和 a_2) 交而不汇的情况,并假定它们的交汇角 β 有一定的变化范围.具体的取值是:固定 a_1 的走向为 N30°E,且取 $a_1 \equiv 1.0$; a_2 的取向是变化的,且 β 的取值范围在 $-90^\circ - +90^\circ$ 之间,起算线取为 a_1 的方位,反时针为正; a_2 的取值为 $0.25 - 1.0$; σ_1^0 的方位取为由震源机制得到的压力轴的方位 (N70°E),且令 $\sigma_1^0 = 5, \sigma_2^0 = 5\sigma_1^0$. 图 1 是上述模型的示意图,图中画出了 a_2 的 19 种可能的方位;图中 a_1 和 a_2 的两个端点分别以 1 和 2 及 3 和 4 表示,并且由于 a_2 的尺度是变化的,故端点 4 的位置是可变的,在诸端点中 2 和 3 是相邻的端点,它们之间的区域称之为阶区或影响区.

二、主要结果

图 1 所示的模型属于复合型裂纹系问题.对于这种复合型裂纹,裂纹的扩展方向往往不是沿其自身方向扩展,而是拐折扩展,这种观点已为实验所证实(王仁等,1986;张之立等,1988),张之立还指出,对于复合型裂纹系,裂纹扩展分支的断裂角与单裂纹的类同,即 $\theta = 80^\circ$ 左右.裂纹沿自身扩展时,能量释放率

* 地震科学联合基金会资助课题,国家地震局地球物理研究所论著 92A0098.
1991 年 3 月 1 日收到本文初稿,1991 年 9 月 12 日决定采用.

G 的表达式为

$$G(K_1^2 + K_2^2)/E' \tag{1}$$

$$E' = \begin{cases} E & \text{(平面应力)} \\ E/(1 - \nu^2) & \text{(平面应变)} \end{cases}$$

式中, K_1, K_2 分别为 I 型和 II 型应力强度因子, 并当 $G_{max} = G_c$ 时开始扩展. 尹祥础(1985)在评述试图用 G 来研究复合型裂纹扩展问题的作法时指出, 认为复合型裂纹沿 G 最大($G = G_{max}$)的方向扩展, 并当 $G_{max} = G_c$ 时开始扩展的思路在物理上无疑是正确的, 而且当只关心裂纹的起始扩展时, G 的计算工作相对简单些, 不过, 此时(1)式中的 K_1 和 K_2 应理解为与扩展分支有关的量, 且与 θ 有关. 考虑到本文的目的是要比较两条断层在不同的交汇情况下, 断层扩展可能性的大小, 所以沿什么方向扩展及在什么时候扩展并不特别重要.

我们采用的数值计算方法(边界元)能比较容易地得到 K_1 和 K_2 , 而且计算中考虑了断层间的相互作用* (Segal *et al.*, 1980), 并且认为, 使 G 取较大值的交汇角 β 的范围, 就是地震危险性较大的断层交汇方位.

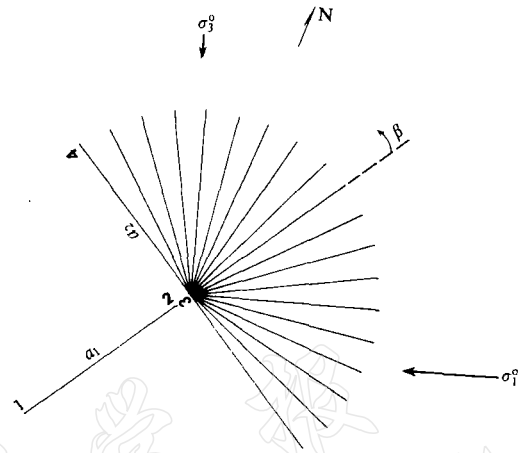


图1 计算模型示意图

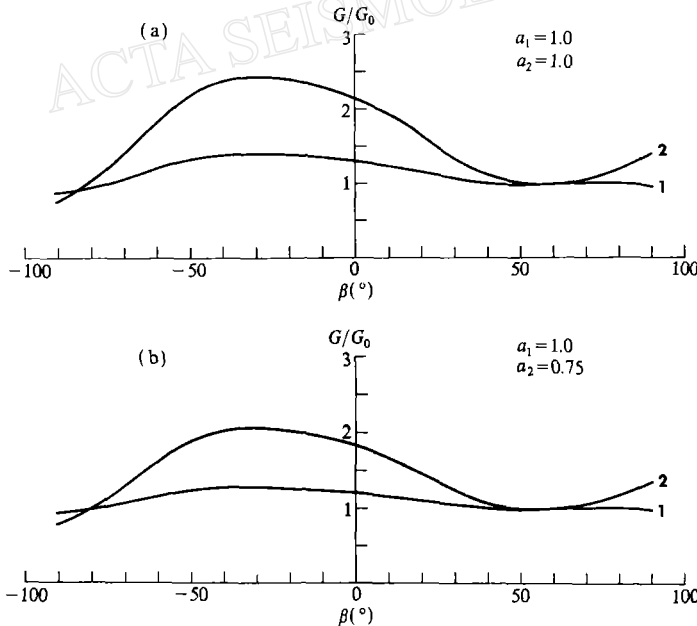


图2 归一化能量释放率 G/G_0 随交汇角 β 的变化. (a) $a_2 = 0.25$; (b) $a_2 = 0.50$.

* 朱建刚, 1987. 略论断层间的相互作用. 国家地震局地球物理研究所硕士论文.

图 2a-d 分别表示 $a_2=0.25, 0.50, 0.75, 1.0$ 时 a_1 的两个端点的 G/G_0 随 β 的变化, 这里 G_0 为归一化因子, 是只含 a_1 时的 G 值, 因此其基值为 1.0, 故 $G/G_0 > 1.0$ 表示 a_2 的存在或引入使 a_1 扩展的可能性增大, 反之减小. 图中每条曲线端部的数字表示该曲线所对应的裂纹端点的编号.

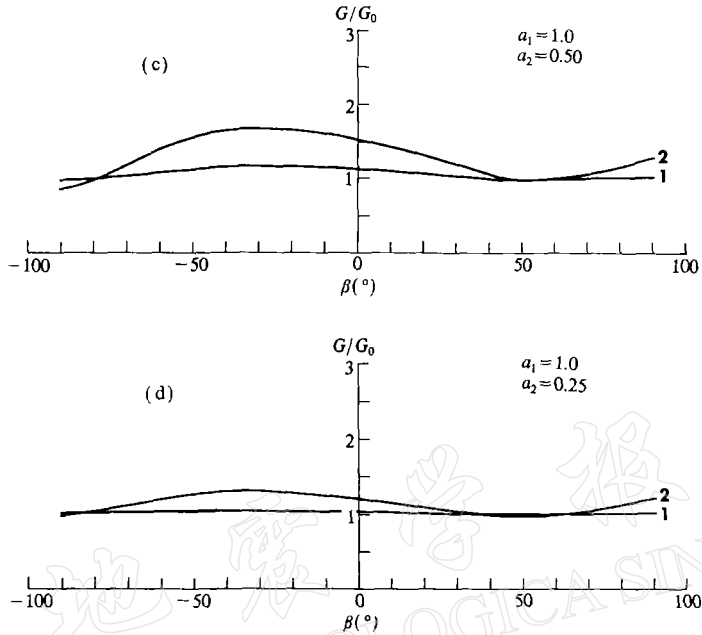


图 2 归一化能量释放率 G/G_0 随交汇角 β 的变化. (c) $a_2=0.75$; (d) $a_2=1.0$

1. G/G_0 值的比较 由图 2 可以看出, 对于 a_1 来说, 端点 1 的 G/G_0 值的变化比较平缓, 而端点 2 的 G/G_0 值变化是比较明显的, 表明断层交汇对能量释放率 G , 进而对断层扩展可能性的影响主要集中在与 a_2 邻近的端点上.

2. G/G_0 随 a_2 的变化 比较图 2a-d 不难看出, 归一化能量释放率 G/G_0 的量级与 a_2 的尺度有关, a_2 大时 G/G_0 相应的大, 反之亦然. 这说明在已有一条断层存在的情况下, 另一条与之交汇的断层的存在或引入, 对原断层的扩展可能性的影响随引入断层的尺度而变化;

3. G/G_0 随交汇角 β 的变化 图 2 还表明, 各个端点的 G/G_0 值都随断层的交汇角 β 变化, 而且是关于 $\beta=0$ 线不对称的. 总体上看, $\beta < 0$ 时的 G/G_0 值比 $\beta > 0$ 时的大, $(G/G_0)_{\max}$ 出现在 $\beta = -40^\circ$ 左右, 即对于本文所取的远场应力和 a_1 的方位的情况下, 当 a_2 位于以 a_1 为准的顺时针方向上约 40° 时, G/G_0 的值最大, 该方位与 σ_1^0 的方位基本一致. 当 $a_2=1.0$ 时, 使端点 2 的 G/G_0 值超出基值 (1.0) 的 50%, β 角的取值范围是 $\beta = -10^\circ \sim -70^\circ$;

三、讨 论

从上面的结果可以得出以下的认识:

(1) 前面的讨论主要是针对 a_1 作出的, 同样的方法适用于 a_2 . 断层交汇对地震危险性的影响主要表现在相邻的断层端点上, 至于其中哪条断层先扩展, 可能视它们的交汇情况以及它们与 σ_1^0 的相对方位的不同而异 (马瑾等, 1983). 对于本文的情形, 重点考虑的是 a_1 , 与马瑾等 (1983) 从实验得出的张楔型破裂有点类似.

(2) 两条断层交汇时(本文的情况是交而不汇),另一条断层的存在并不都是使原有断层或另一断层的扩展可能性增大,对于本文采用的模型所对应的情况,扩展可能性较大的交汇角范围为 $-70^{\circ}\sim-10^{\circ}$,极大值出现在 $\beta=-40^{\circ}$ 附近,而且扩展可能性的增大主要表现在相互邻近的端点上,并邻近断层或引入断层的尺度增大,对相互远离的端点影响不大;另外,在 $\beta=50^{\circ}$ 左右时,影响最小.从这些结果以及前面述及的结果可以推断,在把断层的交汇或交而不汇作为一种因素来考虑去评定地震危险性时,似乎应该考虑到交汇角的取值和交汇断层的尺度,不能一概而论;注意到使 a_1 的扩展可能性最大的 a_2 的方位接近 σ_1 的方位,此时远场应力对 a_2 的静影响是拉张,根据实验结果交汇区应承担较大的张应力,因而强度的弱化比较厉害(张之立等,1988),故有利于 a_1 的扩展.

(3) 在使能量释放率增加比较多的交汇角范围内,如果一条断层(例如 a_1)一旦开始扩展以后,两条交汇的断层可能会通过扩展分支或次生破裂连接起来,以后的行为可能就如同一条较大的断层,因而,余震的分布可能会出现转折.1976年的唐山地震($M_s=7.8$)可能就属于这种情况,因为该地震的早期较大余震的分布表明,地震断层由两段组成,西南段走向为 $N30^{\circ}E$,东北段走向为 $N50^{\circ}E$,震源即初始破裂点位于西南段上靠近东北段的端部(图3).

对尹祥础教授的支持和指导表示感谢.

参 考 文 献

- 马瑾、张渤涛、许秀琴、王宝生,1983.断层交汇区附近的变形特点与声发射特点的实验研究.地震学报,5,195—206.
 王仁、赵豫生、陈颢、阎红,1986.大理岩试件中裂缝的逆向共剪破裂.地震学报,8,191—196.
 尹祥础著,1985.固体力学,468—471.地震出版社,北京.
 张之立、方兴,1988.研究地震破裂过程的一种新的方法及其应用.地震学报,10,1—10.
 李兴才,1992.断层的震前蠕动对唐山地震发生的影响.地震学报,14,304—308.
 Segal, P. and Polard, D. D., 1980. Mechanics of discontinuous faults. *J. Geophys. Res.*, 85, 4337—4350.

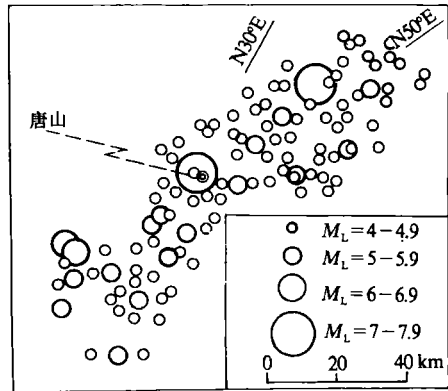


图3 1976年唐山地震部分余震的分布
($M_L > 4.0$, 1976.7.28—7.30)