

关于发震断层与静止断层相遇的讨论*

耿大玉

(国家地震局兰州地震研究所)

摘 要

发震断层在其传播过程中与静止断层的相遇是地震时带有普遍性的现象, 本文把相遇问题分为四种基本类型; 建立各自相应的力学模型; 通过物理力学分析和数学模拟, 并结合地震实例讨论了各类相遇可能产生的后果:

1. 发震断层终止于相遇处。
 2. 发震断层被静止断层所截, 而后, 相遇区域发生强余震。
 3. 发震断层穿越静止断层向前传播, 而后, 可能发生共轭地震。
- 这些讨论可能对预测未来大震的震级及强余震的发生有一定的意义。

前 言

地壳内分布着大量的不同尺度不同粘结程度的断层, 对此, 有的学者称其为“镶嵌的地壳”(张伯声), 有的学者称其为“网络状的地壳”(丁国瑜、李永善)。地壳在运动中, 其中某些部位能积累起弹性应变能并发生地震。地震时所形成的断裂有的是在完整岩体内部产生的, 有的则是沿已有的断裂带扩展而成的。不管是哪一种情况, 其震源断层的长度都被一定的构造条件和介质条件所限制。如果能在地震前预测孕震断层将来传播的长度, 就能用一定的公式算出未来地震的震级。为此, 就有必要研究断层扩展到什么地方终止的问题, 由于断层的规模、相遇的形式及断层面的粘结程度是不同的, 所以相遇发生后, 什么情况下可以止裂, 什么情况下不能止裂就成为必须讨论的课题了。

早在1965年郭增建和秦保燕在提供嘉峪关的地震烈度时^[1], 就提出用地震地质标志的极限长度分段来估计未来地震的最大震级, 并认为“在地震地质标志上有明显复杂化的地段就是分段的地点。”当时所定义的极限长度分段是“同时释放能量的最大长度”。1977年刘正荣和王绍晋从地震活动性方面提出了判断孕震断层长度的方法, 即把早期前震作为主震断裂的终止点^[2], 而把临震时的前震作为主震断裂的始破裂点。这种由判断孕震断层的长度来估计地震强度的方法是简便而实用的。

* 本文是作者1984年研究生硕士学位论文的缩写稿

文献〔1〕、〔2〕的研究尚未涉及断层交遇而止裂的问题。关于断层交遇而止裂的问题,在国外,首先是日本学者竹内筠等于1972年进行了讨论,但他们的讨论是很简略的。在国内,秦保燕于1979年首先提出了关于研究断裂传播终止的课题。同年郭增建和秦保燕提出断层交汇处为岩石破碎区,因而,是断裂终止的地方。1983年他们从理论上进一步讨论了传播的走滑断层与静止断层交遇的类型与止裂机制〔8〕。同年,汤泉等根据模拟实验结果,论证了传播的张裂纹遇到横交裂纹而终止的问题〔4〕。虽然他们研究的是张裂纹,但对地壳中断层传播的止裂问题仍有一定的参考意义。

本文在前人工作的基础上做了以下工作:(1)增补了贯通交遇的类型(简称X型);(2)讨论了倾滑断层传播中的交遇问题;(三)从数值关系上对止裂问题进行了定量的讨论;(4)讨论了由于交遇的类型不同以及横交断层的物性与几何条件不同而引起的余震的差异;(5)结合国内一些大震的实例进行了讨论。

这些讨论的结果,可能对预测大震的震级及强余震有所裨益。

一、断层交遇的四种基本类型

1. T_1 型 如图1.a所示,表示完整介质中传播的一条新断层与其前方的静止老断层交遇。通常这两条断层是近乎正交的,其组合型式像字母“T”,因此而命名,唐山地震时的断层交遇属于这种类型。发震的唐山断裂向两侧扩展,分别与两端的滦县乐亭断裂及蓟运河断层形成 T_1 型交遇,如图1.b所示。

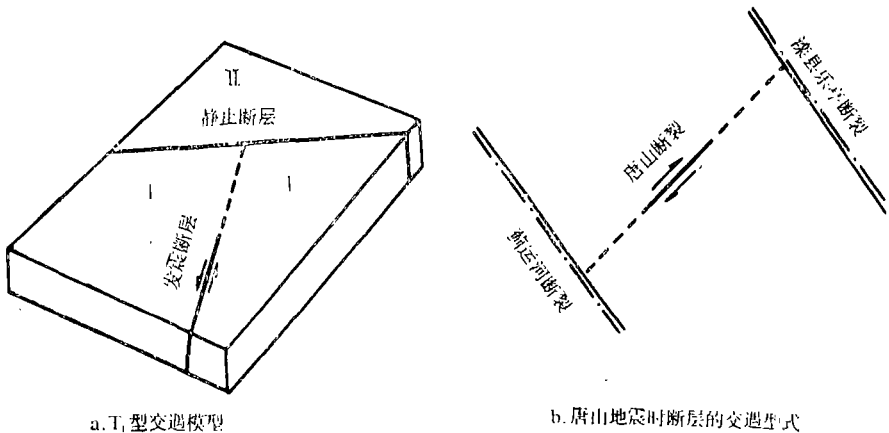


图1 T_1 型交遇模型及震例

Fig.1 T_1 model meeting and a instance

2. T_2 型 如图2.a所示,表示沿着老断层传播的发震断层与静止断层的交遇。通海地震时断层的交遇属于这种类型,如图2.b所示。

3. X型 如图3.a所示,表示发震断层沿着一条原来就与静止断层相贯通的老断层传播,盐源——宁蒗地震属于此种类型,如图3.b所示,断层组合型式像字母“X”。

4. Y型 如图4.a所示,表示发震断层与静止断层交遇的组合型式像字母“Y”。富蕴地震属于这种类型。

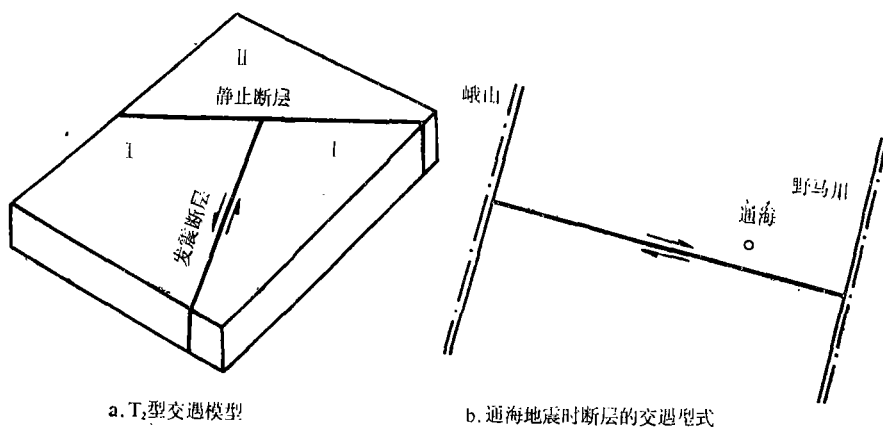


图 2 T₂型相遇模型及震例

Fig.2 T₂ model of meeting and a instance

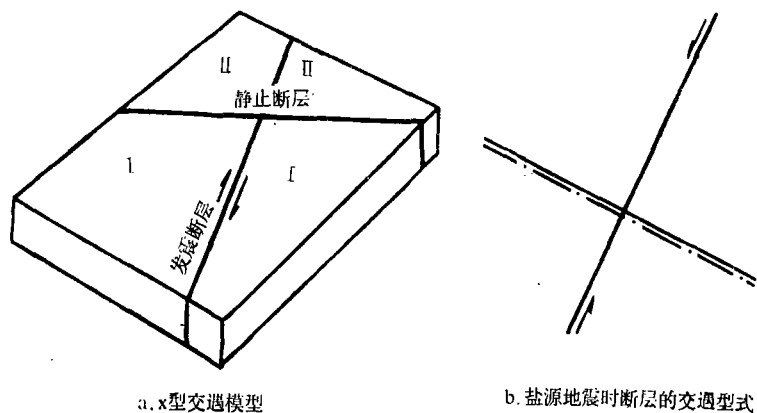


图 3 X型相遇模型及震例

Fig.3 X model of meeting and a instance

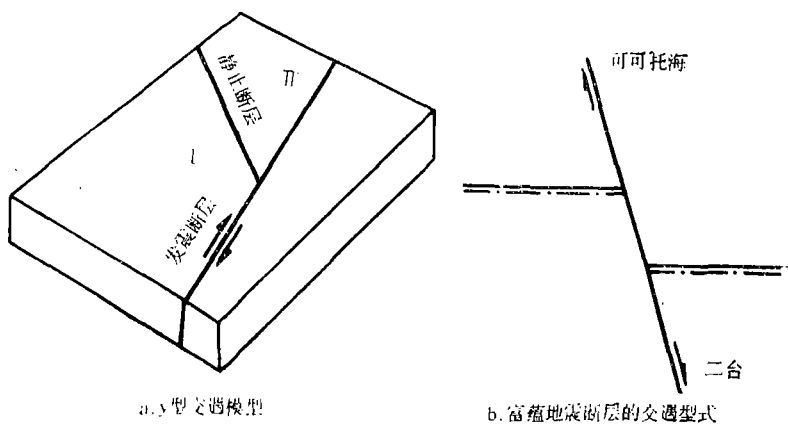


图 4 Y型相遇模型及震例

Fig.4 Y model of meeting and a instance

二、断层相遇的物理力学分析

走滑断层相遇及倾滑断层相遇的模型分别如图5和图6所示。

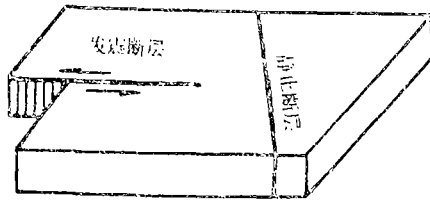


图5 走滑断层相遇模型

Fig.5 Model of strike slip
faults meeting

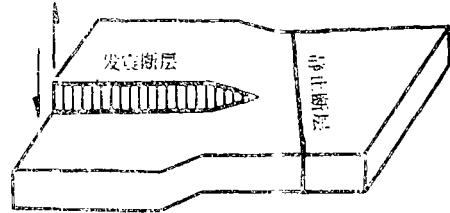


图6 倾滑断层相遇模型

Fig.6 Model of vertical
faults meeting

地壳介质是很复杂的,为了做定量的分析,对这两个模型给出以下假定:(1)将发震的地质体视为单位厚度的均匀平板,代表距地面15公里到20公里深处的花岗岩层;(2)发震断层已具备沿自身平面扩展的条件;(3)不讨论失稳扩展的开始阶段;(4)断层面是铅直面;(5)破裂能 γ 不随破裂传播速度变化;(6)摩擦力不随深度变化;(7)静止断层粘结不牢,抗拉强度小,且有软弱夹层。下面具体分析断层传播到相遇区域时,相应的传播动力、阻力的变化对发震断层传播的影响。

1. 应力强度因子 K

对于静态裂纹的扩展, Irwins (1949) 提出临界应力强度因子判据:

$$K_i = k_i \quad (1)$$

公式(1)亦可推广到动态扩展中去,动态应力强度因子 $K(t)$ 可表为:

$$K(t) = K \cdot k(\dot{L}) \quad (2)$$

(2)式中 K 是静态的应力强度因子, $k(\dot{L})$ 是断裂传播速度 $\dot{L}$ 的函数(L 是断裂的长度),是个无量纲的量($1 \geq k(\dot{L}) > 0$),可近似地表示为:

$$k_2(\dot{L}) = 1 - \dot{L}/v_r \quad (3)$$

这里 v_r 是瑞利波的传播速度。由(2)、(3)可以看出,动态应力强度因子 $K(t)$ 随着裂纹扩展的速度 $\dot{L}$ 的增大而减小,当 $\dot{L}$ 趋近于瑞利波速度 v_r 时 $K_2(t)$ 将趋近于零。下面就从 K 的角度对各类相遇式中断层的传播问题进行分析。

(1) T_1 型 以静止断层为界,可以将模型划分为两个区域,如图1.a所示,含有发震断层的一侧为区域I,而另一侧区域II则代表完整的半无限介质。由于静止断层面间有软弱夹层,可以设想:扩展入II区域的断裂不再是I区域发震断层的简单延伸,而是在II区域中的一条新生断裂,故必满足(1)式。这时(1)式中的 K_i 可表为:

$$K_i = \sigma \sqrt{\pi \cdot a} \quad (4)$$

式中 σ 为有效剪应力, a 是断裂的初始长度,这里 a 代表在相遇处II区域介质中可能存在的较低序次的断裂的长度(这里已把模型考虑为实际的地质体)。由于 $a \ll L$,故 $ka \ll kL$,且由(2)式有: $K_{动} < K_{静}$,由此可知,能够满足动态断裂扩展的 σ 值将达不到使其穿越静止断层而进入II区域的要求。这表明,以正常速度传播的发震断层在 T_1 型相遇中将终止于交

遇处。无论是走滑断层（Ⅱ型剪破裂）或是倾滑断层（Ⅲ型剪破裂）都是如此。

（2） T_2 型 在这样交遇中动态断裂的扩展是沿着老断层进行的，这与断裂力学所研究的裂纹有所不同，但仍可沿用应力强度因子进行分析。在这种情况下，Ⅰ、Ⅱ区域的 K_{IC} 值不同： $K_{IC} < K_{IIIC}$ 。由上面 T_1 型交遇的讨论不难看出，在 T_2 型交遇中，发震断层将更难穿越静止断层。

（3）X型 在这种断层交遇的型式中，Ⅰ、Ⅱ区域具有大致相同的物性条件和几何条件。所以，动态断裂的扩展可以看成为一条贯通的裂纹从Ⅰ区域连续地扩展入Ⅱ区域，只有当静止断层具有相当宽的破碎带时，发震断层才可终止。

（4）Y型 如图4.a所示，其中静止断层的阻隔作用将比X型更弱，即发震断层具有更好的贯通性。这时发震断层将比X型更容易穿越静止断层。

2. 破裂能 γ

破裂能 γ 是在动态断裂过程中为创生单位新表面所需要的能量，它是裂纹传播的阻力。M·L·Husseimi等据此提出了“能垒”止裂的观点〔6〕。图7表示沿 y 轴扩展的断裂遇到了 γ 值突变区域的情况。显然，在表面能为 γ_0 的区域中传播的断裂就必须越过 $\Delta\gamma$ 的“能垒”才能进入表面能为 γ 的区域。值得注意的是该“能垒”的相对高度 $\eta = \frac{\Delta\gamma}{\gamma_0}$ 是直接影响止裂的量。当 $\eta > 10$ 时，断裂将终止〔6〕。文献〔6〕通过对大量地震所进行的统计计算得出：在完整岩体中产生新破裂的 γ 值为 $10^9 - 10^{10}$ （ $\text{erg} \cdot \text{cm}^{-2}$ ）；老断层向未裂开的岩体扩展时 γ 值为 $10^7 - 10^8$ （ $\text{erg} \cdot \text{cm}^{-2}$ ）；当断裂沿着老断层扩展时 γ 值为 $10^5 - 10^8$ （ $\text{erg} \cdot \text{cm}^{-2}$ ）。下面，依据这些数值分别对各种交遇类型进行讨论。

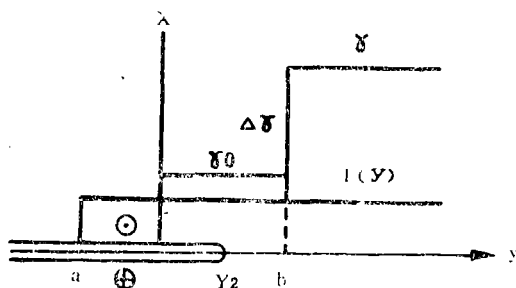


图7 Ⅲ型剪裂纹扩展中遇到“能垒”

Fig.7 A uniplane shear crack meets a “energy barrier” .

（1） T_1 型 图8a、b分别表示 T_1 型交遇中静止断层含有软弱夹层和不含软弱夹层的 γ 曲线。图中 $x=0$ 平面代表静止断层， $y < 0$ 的区域为区域Ⅰ， $y > 0$ 的区域为区域Ⅱ。图8.a中的 w 表软弱夹层的厚度，该层中的 γ 值比 γ_1 小得多。显然，发震断层在交遇处遇到了能垒。当不考虑 w 层时，由前述的 γ 值得出：

$$\eta_0 = \frac{\gamma_{II} - \gamma_I}{\gamma_I} = 10^1 - 10^2 \quad \text{因此断裂应终止。当考虑了W层时，则}\eta_w > 10^2,$$

断裂更易终止。所以， T_1 型交遇型式，静止断层是不易被穿越的。

（2） T_2 型 图8亦可用来表示 T_2 型交遇区域的 γ 曲线，图中的 γ_1 值应更小，以至于 $\eta \geq 10^4$ 。因而，发震断层必终止于交遇处。

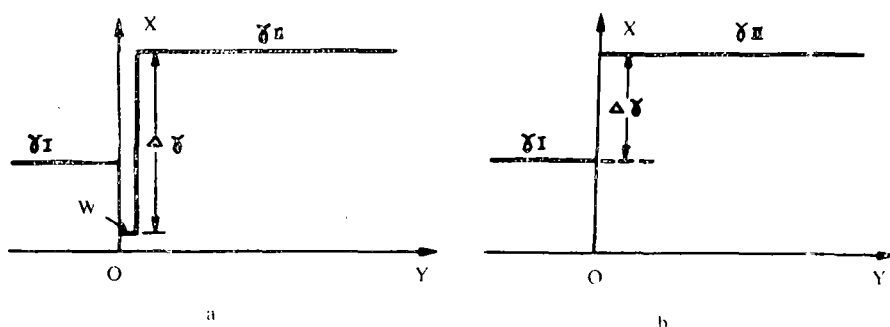


图8a 静止断层有软弱夹层

图8b 静止断层无软弱夹层

Fig.8a T₁ model of meeting, a soft layer within the static fault.Fig.8b T₁ model of meeting without soft layer.

(3) X型 在这种情况下, 静止断层两侧具有相同的 γ 值, 因此 $\eta = 0$ 即不存在“能垒”。所以, 在交遇处并不发生止裂。只有当 W 相当宽, 即其影响足够大时, 断裂才终止。

(4) Y型 对其相应的分析和结论与X型相同。

3. 应变能释放率 G

G 是断裂扩展的动力, 可用下式计算:

$$G = \frac{\pi \sigma^2 a}{E} \quad (7)$$

当 $G \leq G_d$ 时 (G_d 为临界值), 断裂的动态扩展将被制动而终止^[8]。如果交遇处静止断层具有较宽的破碎带、软厚的断层泥或交遇区域发生过“早期前震”^[2], 则会由于该处 G 值的骤降而使断裂终止。

4. 断层盘的动能 E_K

快速错动的断层两盘所具有的动能必然会有助于发震断层冲破静止断层的阻挡, 这是分析交遇问题所不容忽略的。为进一步作定量的分析, 这里引入物理量 e_K , 称为最大动能面密度 (或叫动能的能流密度), 它代表与发震断层正交的静止断层面上单位面积所能接受到的动能的最大值。

$$e_K = \frac{1}{2} \rho \cdot v^2 \cdot \dot{L} \cdot t \quad (5)$$

式中 ρ 为介质密度, V 为断层面上质点运动的速度, $\dot{L}$ 为断层传播的速度, t 为升起时间。这相当于一个单位截面积柱体的动能, 其速度为 V , 柱体的高为 $\dot{L} \cdot t$ 。由文献^[9-11]有:

$$V = \frac{\Delta \sigma \cdot \beta}{\mu} \quad (6)$$

取震源时间函数为简单的矩形, 则有:

$$t = \frac{D_0}{V} \quad (7)$$

(6)、(7)式中, $\Delta \sigma$ 为应力降, β 为横波波速, μ 为介质密度, D_0 为错动幅度。

又 $\rho/\mu = \beta^{-2}$, $D = 2 D_0$, $\dot{L} = 0.7 \beta$ ^[10]

将(6)、(7)式代入(5)式, 整理可得:

$$e_K = 0.18 D \cdot \Delta \sigma \quad (8)$$

式中 D 为相对错动幅度，大地震时其数量级为 10^2 (cm)。 $\Delta\sigma$ 的数量级为 10^7 (dyne·cm $^{-2}$)。由(8)式可知， e_K 的数量级为 $10^9 - 10^{10}$ (erg·cm $^{-2}$)。

(1) T_1 型 在发震断层为走滑断层的情况下，假设动态断裂能够凭借其动能穿越静止断层，则必有能量平衡关系：

$$E_{K1} = E_{K1'} + E_K + E_\gamma + E_p + E_s + E_t + E_e \quad (9)$$

式中 E_{K1} 是I区域原来的总动能， $E_{K1'}$ 是断层交遇后在I区域剩余的动能，其量值应能使破裂速度维持在临界速度 V_c 以上，以免断层的传播受到制动而停止〔8〕， E_K 是在II区域中新扩展的断层的动能， E_γ 是破裂能； E_p 是塑性功； E_s 是软弱夹层吸收掉的能量； E_e 是转化为弹性应变能的部份； E_t 是断裂面之间的摩擦功。由于 γ 为 $10^8 - 10^{10}$ (erg·cm $^{-2}$)，与 e_K 相当，这说明即使 E_{K1} 全部转化为 E_γ ，也只能使II区域产生一段很有限的断裂面。所以，发震的走滑断层应终止。

在发震断层为倾滑断层的情况下，(9)式仍成立，但应当指出，断层盘本身的运动方向与断裂扩展方向是垂直的，如图6所示。由动能定理 $\vec{F} = -\frac{dE_K}{dl} \cdot \vec{l}$

可知，发震断层两盘只能通过静止断层向II区域施以切向力。显然其动能所起的作用要比走滑断层 T_1 型交遇中要弱得多，故倾滑断层更易终止。以上分析和结论对 T_2 型交遇下断层的传播也适合。其区别在于， T_2 型交遇下由于 $\Delta\sigma$ 较小而 D 较大，会使断层盘的动能分布在裂锋后面更远的区域中，从而削弱了动能的冲击作用，使断裂终止于交遇处。

(2) X型 此时发震断层是沿老断层传播的，其 γ 的数量级仅为 $10^5 - 10^6$ (erg·cm $^{-2}$)，故有 $e_K \gg \gamma$ ，这说明发震断层能够凭借断层本身的动能扩展到II区域中去。对于Y型交遇，也是一样的。

5. 临界应力 τ_c

只要在裂端前方的临界长度 d 上的应力值达到临界应力值 τ_c ，则动态裂纹就会继续向前扩展〔5〕。如图9所示。在震源处的高温高压环境下，断裂端部的应力集中将会导致介质的屈服软化，即产生一小塑性区。所以，选取 $\tau_c = \tau_y$ 是合理的。 τ_y 为屈服强度。临界长度 d 即为塑性区的长度。

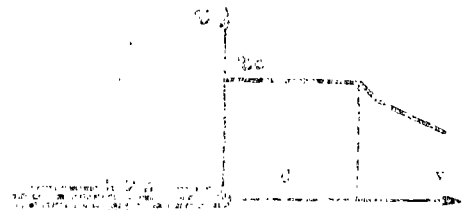


图9 剪切破裂端部的应力分布
Fig.9 The stress distribution at the tip of shear crack.

(1) T_1 型 在发震断层为走滑断层的情况下，由于静止断层的存在，会使断裂扩展到交遇区域后，其端部前方的附加应力场发生畸变。软弱夹层不仅会使传到II区域的附加压应力场变弱，而且会使附加张应力场很难传播到II区域中来〔8〕。其结果是交遇处II区域中的介质上的应力将低于屈服强度，因而使断裂终止。

而当倾滑发震断层扩展到交遇处时，I、II两区域介质的作用是靠软弱夹层的抗剪强度或静止断层面间的摩擦强度来传递的，其上限也达不到完整介质的屈服强度，因此，断裂的传播也将终止。

值得注意的是，当软弱夹层达到一定厚度时，则可能有“超前破裂”发生。如图10所示。交遇处的“超前破裂”点与动态裂端之间有 d 的距离。可以设想，当一条宏观断裂是通过一些“超前破裂”点贯通起来时，则其破裂传播速度(视速度)必然加快，以至可以超过 v_r 。

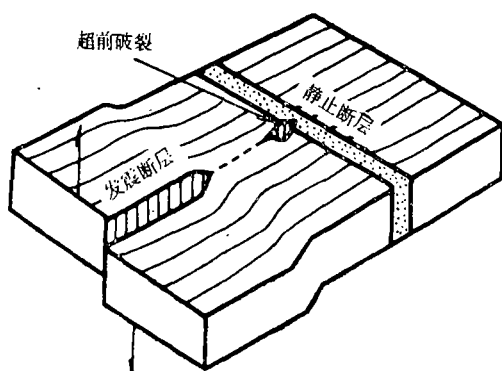
图10 T_1 型倾滑交遇有“超前破裂”

Fig.10 The “lead fracture” in T_1 model of vertical faults meeting.

(2) T_2 型 对 T_1 型断层交遇的分析也适合 T_2 型,并且由于 $\tau_{cI} < \tau_{cI}$,即老断层的临界应力必然小于完整岩体的临界应力,因此断裂传播将终止。

(3) X型 由于在I、II两区域有:

$$\tau_{cI} = \tau_{cI} \text{ 及 } d_I = d_I$$

这表明只要裂端前方的附加应力场能传播到II区域,则断裂就会越过静止断层继续传播。对于走滑断层的传播,关键要看其附加张应力均是否能把静止断层拉开。通过计算可知,其最大张应力值尚达不到震源处的围压值,即在交遇发生后静止断层仍保持密合状态,故不易发生止裂。对于倾滑断层,如发震断层和静止断层具有相近的粘结,摩擦强度,则交遇后,断裂仍会继续传播。这些分析和结论同样适合于Y型交遇。

通过以上对影响交遇问题的诸物理量的分析可以得到以下简要的结论: T_1 、 T_2 型交遇将导致止裂,因而其交遇处可以认为是未来地震断裂的终止点。这有助于预测孕震体线性长度L,并由 $M = 3.3 + 2.1 \log L^{(11)}$ (10)

来预测未来大地震的震级。但由(9)式可知,该式右端只剩下Ee一项,即加剧了交遇区域的弹性应变能的积累,故该区域将酝酿强余震。而X、Y型交遇是不能止裂的。

三、断层交遇问题的非线性有限单元法分析

1. 计算方案

根据动态断裂传播的临界应力判据,在震源处的高温、高压环境下,裂端前方必有一塑性区。该塑性区内应力已达屈服强度,介质进入屈服状态。对于 T_1 型交遇,新生裂面是在完整岩体中传播的,其相应的临界应力就是岩石的屈服强度。而对于沿老断裂传播的各类交遇,尽管断层最终是由摩擦滑动的形式失稳传播,但仍可认为首先是其夹层内强度较低的介质屈服软化,而导致失稳破裂的。这样,就能够统一地用裂端前方的介质进入屈服状态做为动态断裂扩展的判据,采用非线性有限单元法分析^[12]是行之有效的。

在建立计算模型时,把断层带以外的岩体选为线弹性材料,把断裂带(以及预断裂带)以内的介质选为非线性材料,分别用Mises塑性材料模型及Drucker—Prager塑性材料模型去模拟。其相应的屈服准则分别为Mises准则和Drucker—Prager准则。

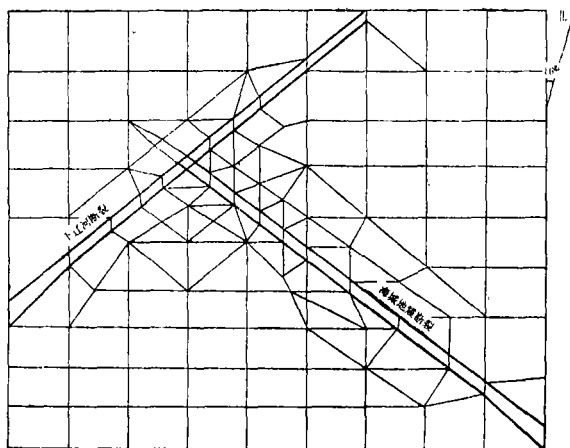


图11 海城地震断层交汇模型计算网格图

Fig.11 NFAP model of the Haicheng earthquake.

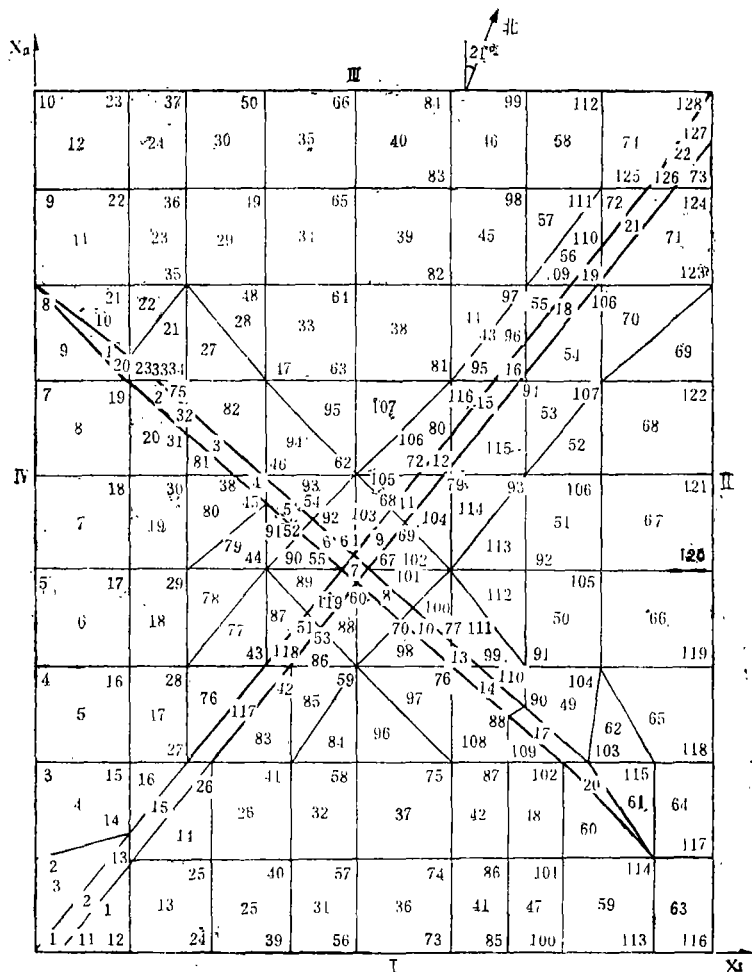


图12 盐源—宁蒗地震断层交汇模型计算网格图

Fig.12 NFAP model of the Yanyan—Ninglang earthquake.

本文分别用1975年2月4日海城地震和1976年11月7日盐源—宁蒗地震的诸参数为基础,设计了各类交遇的模型,并进行了非线性有限单元法计算,基本的计算网格骨架分别如图11和12所示。图中断层带的宽度取2公里左右。图11是海城地震的交遇模型网格图,主压应力的方向为北东 74° 。做为静止断层的下辽河断裂带走向北东 35° ,发震断层走向北西 70° 〔9〕,两断层间的夹角为 75° ,主压应力的方向恰好接近两断层夹角的平分线位置。模型的四周均承受压力。图12是盐源—宁蒗地震的交遇模型网格图。主压应力方向为北西 21° 。发震断层走向北东 18° ,静止断层走向北西 70° ,两断层接近正交〔14〕。通过改变单元材料模型的方法,上述骨架能够用来对 T_1 、 T_2 、X、Y各类交遇问题进行模拟而不局限于上述两个具体的震例。计算采用了NFAP程序,是在Siemens7760计算机上完成的。

2. 计算结果

计算所得断层扩展过程仍按交遇的不同类型分别列出

(1) T_1 型 图13表示由计算结果所得出的断层屈服顺序即扩展过程。很明显,发

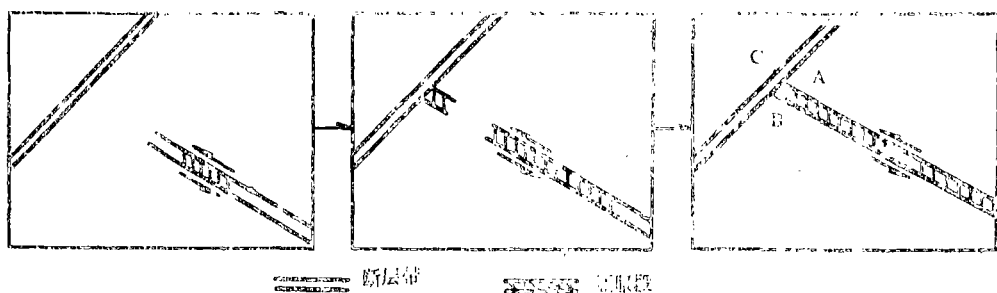


图13 T_1 型交遇中发震断层的屈服过程

Fig.13 The yield process of propagating fault in T_1 model of faults meeting.

震断层是向双侧扩展的(如图中的阴影线所示)。且交遇处有超前屈服的现象。静止断层能够阻挡屈服段的扩展。比较A、B、C三处的平均应力值 $\frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}$ 可以发现A处最高,有挤压破裂区;B处最低,有时甚至为负值即为相对拉张区;C处居中,而且在较大的范围内趋于均匀。可以由此推知,B区域为余震活动的有利区域,这时断层的摩擦闭锁削弱了。

(2) T_2 型 由计算结果得出,屈服段逐步向交遇处扩展,但终未越过静止断层如图14所示,亦未出现超前破裂的现象。比较A、B、C三处的应力值可以发现,与 T_1 型交遇

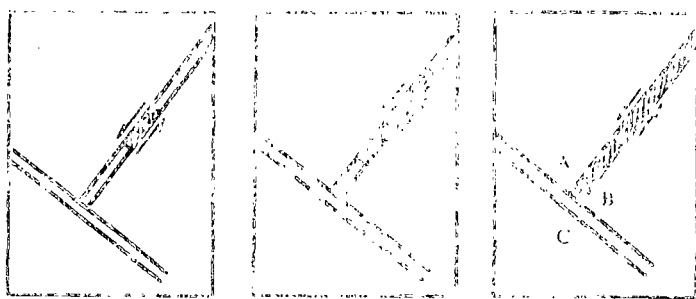


图14 T_2 型交遇中发震断层的屈服过程

Fig.14 the yield process of propagating fault in T_2 model of faults meeting.

有基本相同的应力分布特点。

(3) X型 按图12给出的盐源—宁蒗地震的X型交遇模型。由数值计算给出的屈服状态与 T_1 、 T_2 型不同，屈服段向双侧扩展，并穿越了静止断层，最后使整个老断层全部屈服。这表明X型交遇是不能止裂的。Y型交遇的数值计算结果所得到的断层屈服过程与X型基本相同。

总之，数值计算的结果与前面的物理力学分析基本吻合。值得注意的是，静止断层与发震断层并非“静者恒静”，“动者恒动”。在一定条件下，它们可以相互转化，即发生共轭地震或共轭余震，在天然地震中有大量的震例^[14]。当为首的地震并未使震源区的高应力状态缓解时，后一个便会接踵而来，盐源—宁蒗地震便是一例。数值计算也模拟出了这一过程。

四、某些典型震例

1. T_1 型

由文献〔16-18〕可知，1976年7月28日唐山7.8级地震发生在40公里长的唐山断裂上，发震后该断裂向双侧扩展直到与两端的静止断层形成 T_1 型交遇后而终止，沿其走向量取两交遇终止点间的距离为110公里，震级与断裂长度的关系与(10)式基本符合。主震后，在交遇处的张应力区有滦县7.3级地震及宁河6.9级地震发生。

2. T_2 型

1920年海原8.5级地震的发震构造是乌鞘岭—六盘山弧形构造带的主干断裂。此断裂的东端与固原一带近南北向的构造复合，而其西端与北北西向的庄浪河构造带交汇，所以，可看成两端都有 T_2 型交遇发生的条件(图15)。且在交遇处的张应力区中有较多的强余震。沿断裂量取二交遇终止点之间的距离为300公里，这与用(10)式计算的8.5级地震的断层长度相等。

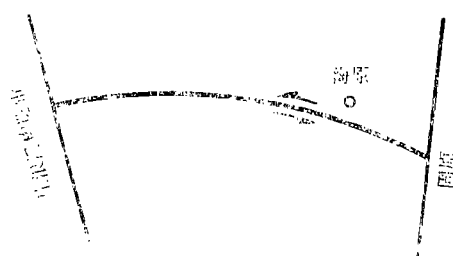


图15 海原地震断裂的终止

Fig.15 The stopping of the Haiyuan earthquake.

3. X型

1976年盐源—宁蒗地震时先发生的11月7日的6.7级地震的破裂面走向为北北东向^[14]，穿越了后来发生12月13日6.4级地震的北西向断层，前者以左旋错动为主，后者以右旋错动为主，二者相互贯穿且与主压应力轴所成角度几乎相等，形成一组共轭地震。

4. Y型

1931年8月11日新疆富蕴8.0级地震^[19](如图4、6所示)发震断层走向为北北西向，

北起可可托海南到二台并冲出老断层之外而逐渐尖灭。从主震及其强余震的破裂传播来看,虽然发生了多次Y型交遇但并未隔断破裂的传播。

结束语

本文着重探讨了发震断层与静止断层交遇时可能使传播着的剪破裂终止或继续扩展的物理机制。在地震预报的探索中,不仅要探讨物理机制方面的问题,还必须从现实的地壳构造背景中寻找具体的指标做为进行分析、判断的依据。前已述及,发震断层是否被与其横交的静止断层止裂以及交遇处是否会有强余震发生,主要看交遇区域静止断层带的物性、软弱夹层厚度及破碎带的宽度等,所以,务必要在现场尽可能收集到能够反映上述物性及几何特性方面的资料。具体地讲以下指标是值得注意的:

- (1) 静止断层带的破碎程度及宽度;
- (2) 静止断层带上温泉分布情况及其热流值;
- (3) 静止断层带的介质的地震波速度;
- (4) 交遇区域地壳内是否有低阻层;
- (5) 采用地震地质的方法确定出断裂的不同级次、发震构造及控震构造。

当然,本文讨论的前提是基于对构造应力场的认识,故获取这方面的可靠资料并能予以正确的分析无疑是十分重要的。

总之,断层交遇问题是复杂的,但由于它在地震预报探索方面有直接的意义,所以有必要进行研究。本文的讨论还是初步的,尚有待于做更进一步的工作。

(本文1985年11月15日收到)

参 考 文 献

- [1] 郭增建、秦保燕,酒钢地震烈度报告,1965.
- [2] 刘正荣、王绍晋,早期前震与终止破裂点,地震战线, No. 6, 1977.
- [3] 郭增建、秦保燕, Meeting of a propagating shear fracture with a static fault, 西北地震学报, Vol. 5, No. 3, 1983
- [4] 汤泉等, 破裂终止的实验研究及地震断裂终止的讨论, 西北地震学报, Vol. 5, No. 3, 1983.
- [5] L.B.Freund, The mechanics of dynamic shear crack propagation, J.G.R, Vol. 84, N.B. 5, 2199-2208, 1979.
- [6] Moujahed.I.Husseini et al, The fracture energy of earthquakes, G.J. R.A.S., Vol. 43, 367~385, 1975.
- [7] 范天佑, 断裂力学基础, 江苏科技出版社, 1978.
- [8] Б.Б.Космоб, 构造地震震源力学, 莫斯科, 1975.
- [9] 郭增建、秦保燕, 震源物理, 地震出版社, 1979.
- [10] 陆远忠等, 地震破裂过程的研究, 地球物理学报, Vol. 23, No. 2, 1980.
- [11] 阿部胜旺, 地震断层运动, 国外地震, No. 3, 1976
- [12] 殷有泉等, NFAP非线性有限元分析程序介绍, 兵器部计算站, 1982.

- [13] 朱凤鸣等, 1975年海城地震, 地震出版社, 1982.
- [14] 刘赛君, 盐源—宁蒗地震余震序列, 地震研究, Vol.1, No. 2, 1978.
- [15] 张四昌, 大地震与共轭性构造活动, 地震地质, Vol.1, No. 3, 1979.
- [16] 魏顺民等, 唐山地震的区域构造背景和发震模式的讨论, 地质科学, No. 4, 1977.
- [17] 李志义等, 从地震构造看宁河6.9级余震与唐山主震的关系, 地震地质, Vol. 1, No. 3, 1979.
- [18] 张之立等, 唐山地震破裂过程及其力学分析, 地震学报, Vol. 2, No. 2, 1980.
- [19] 新疆地震局综合队, 1931年8月11日新疆富蕴大地震, 西北地震学报, Vol.2, No.2, 1980.

附 录

1. 关于地震破裂能 γ (略)。
2. 相遇问题的非线性有限单元法数值解 (略)。

DISCUSSION ON THE MEETING OF EARTHQUAKE COMMENCEMENT FAULTS AND STATIC FAULTS

Geng Dayu

(*Seismological Institute, of Lanzhou, State Seismological
Bureau, China*)

Abstract

It is very common for a dynamic earthquake commencement fault to meet a static fault when earthquake happens. This paper divides such a meeting into four types and gives the mechanical models of their own respectively. By mechanical analysis and mathematical analogy, the consequence resulted possibly from every kind of type of the fault meeting is discussed with the earthquake events in this paper.

1. The earthquake commencement fault is arrested by static fault;
2. Strong aftershock happens in the meeting area where commencement fault has been arrested;
3. Breaking through static fault, commencement fault runs on, and on until a conjugate earthquake maybe arises.

The above discussion may be useful to the prediction of magnitude and strong aftershock.