

震源区的断层构造与震源应力 积累过程关系的实验研究

荣代潞 贺玉亭 金 铭 蒋续媛 高中强

(国家地震局兰州地震研究所)

摘 要

本实验研究了地壳内对压组合构造和对张组合构造中垂断层蠕滑、破裂错动时对主震断层(底断层)应力积累过程的影响,并结合实际地震活动中的一些现象进行了讨论。所得结论如下:

1.当垂断层蠕滑时,对压组合构造中垂直于底断层的压应力增大,它可以延迟主震发生但增大发震的能量;对张组合构造中垂直于底断层的压应力减小,剪应力略有增大,因而可以促使主震发生。

2.如果垂断层某一部分为原来锁住的愈合断层或为完整介质,当其突然破裂错动时,可以使对张组合构造中的底断层的剪应力突然增大,同时压应力减小,因此前震序列中这类垂断层上的较大前震可看作底断层上主震即将来临的信号。

3.由垂断层破裂前后单轴压力不变和位移不变的实验结果说明了地壳中主震断层应力集中的过程。

4.底断层的主震破裂可以使处于引张状态的垂断层上余震发育甚至发生强余震。

本文还应用实验结果对前震活动的条带现象进行了解释,这将有助于判定对压组合构造中主震的断层面。

一、引 言

众所周知,绝大多数构造地震与断层活动有关。因此不少学者从地壳中断层构造的角度来讨论地震的孕育和发生过程^[1]。郭增建、秦保燕等提出的组合模式实际上是考虑了震源区附近的构造(其中包括蠕滑断层)对发震断层应力积累和释放的影响。近年来,他们又从断层不同组合型式出发研究大震的减震和加震问题^[2]。马瑾等人实验研究了相交断层的错动

* 本课题为1986年度地震学联合科学基金资助项目的一部分。

及声发射特点^[3]。总之，地壳中断裂的不同组合型式及其活动的相互影响越来越成为人们关心的问题。对于这个问题，在理论上的研究是把地壳中的断层看成是介质中的裂缝，在此基础上用断裂力学或弹性位错理论来研究它们之间的相互影响^[4]，但这在数学上和实际计算中遇到很大困难。所以，迄今为止，对于裂缝之间的相互影响，大多是用实验的方法去研究的。本文的工作是在郭增建、秦保燕提出的两种断层组合型式¹⁾的基础上，用模拟实验研究当其中某一断层发生蠕滑和连结松动时对发震断层应力积累的影响，并结合几个震例讨论它与地震发生，前兆及余震的关系，以期对某一地区地震危险性的判定有所裨益。

二、实验及结果

用环氧树脂制作如图1所示的两组断层组合型式的试样。

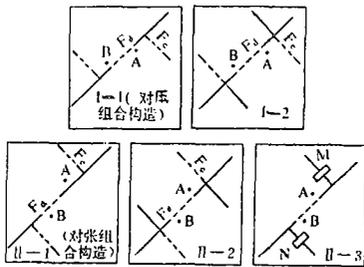


图1 试件几何构型
(尺寸170×140×10mm)

Fig.1 Geometry of the samples
(170×140×10mm)

图中虚线表示未刻透段，实线表示刻透段，它们分别对应于实际构造中的断层锁住段和蠕滑断层。I—3号试件中M、N为嵌进去的销钉，它限制了此蠕滑断层的相对位移，取掉销钉断层即可以发生相对位移。

为叙述方便，文中称垂断层为 F_c ，底断层为 F_d 。

在光弹仪所用加载装置上对试件进行单轴加压，用应变片和静态电阻应变仪测量垂断层的一段蠕滑或破裂前后底断层端部的应变变化(包括剪应变和压应变)。加载和测

量方法分两种，一是破裂前后保持单轴压力不变分别测量应变；二是破裂前后保持压机两压板间的距离不变，即试件加压过程中破裂前后位移保持不变时分别进行测量。用标准测力计和高精度数字位移计分别监测单轴压力和位移。试件端面平行度误差为±0.01毫米，位移计精度为±0.001毫米。

根据实验结果给出底断层端部的压应变(包括垂直于断层 ϵ_1 和平行于断层 ϵ_{11} 两种)和剪应变 ν 的变化。横轴分别为单轴压力和位移，并分别用测力计和位移计的示数来表示，如图2所示。图中A、B两点位置是对称的，因此只画出A点的变化情况。

从图中可以看出：

- 1.在单轴压力不变的条件下，I型试件中垂断层破裂前后，底断层上垂直于断层的压应力 σ_{\perp} 增加，平行于断层的压应力 σ_{11} 和断层上的剪应力 τ 基本上保持不变(因应力与应变成正比，故 σ_{\perp} 、 σ_{11} 和 τ 与 ϵ_1 、 ϵ_{11} 和 ν 变化规律一样)。
- 2.对于II—1型试件，垂断层破裂前后底断层上 σ_{\perp} 减小， σ_{11} 增加， τ 也增加。
- 3.对比II—1和II—3两个试件，垂断层破裂前后或销钉取掉前后II—1型的底断层上剪应力的增加比II—3型的大得多，压应力 σ_{\perp} 的变化大致一样。
- 4.对于I—2和II—2试件的裂缝组合型式，它们的 σ_{\perp} 、 σ_{11} 和 τ 的变化趋势分别和I—

1) 郭增建、秦保燕，断层组合与地震烈度区划，1986。

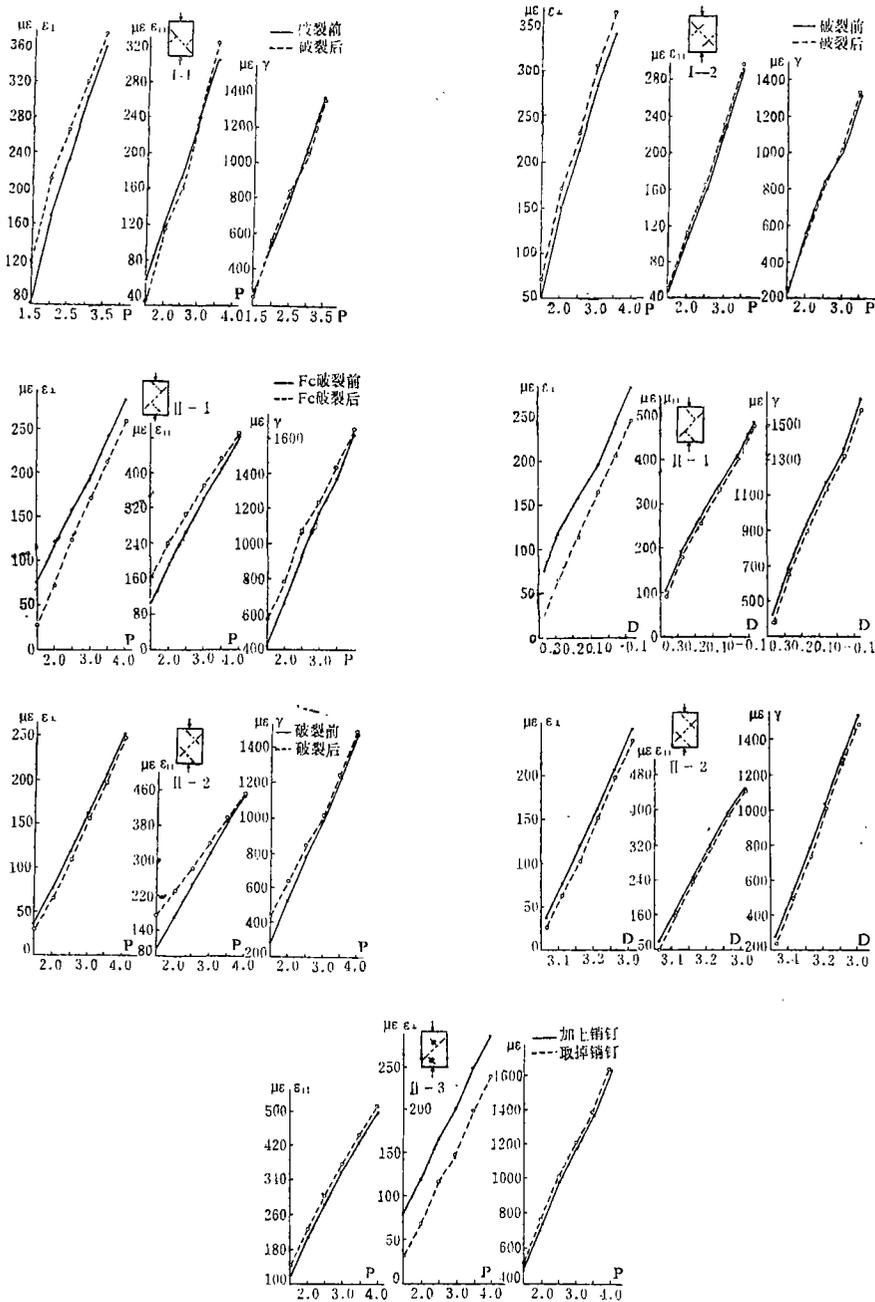


图 2 几种样品的 A 点的应变变化

Fig. 2 The strain variations at A of the samples

—: before fracture of the vertical fault

.....: after the fracture

1, II-1 一样, 但 σ_{\perp} 的变化量较小。

5. 在垂断层破裂前后且位移保持不变的条件下, 底断层上的应力 (σ_{\perp} , σ_{11} 和 τ) 在破裂后都不同程度地有所减小。

三、讨 论

在区域构造应力作用下, 决定一条原来锁住的断层是否错动的应力条件是断层上的剪应力和正应力。前者是直接使断层错动的应力, 后者与断层上的摩擦力有关, 决定了断层错动的难易程度及一旦错动所释放的能量的大小。一条孕震断层上的应力(能量)的积累与释放不但取决于较大范围内的区域构造应力, 而且与其周围的断层构造的几何构型和活动、粘接程度有关。对于本实验中的 I 型和 II 型断层构造组合, 郭增建称为对压组合构造和对张组合构造, 指出由于对压组合构造中两个垂断层的蠕滑给锁住的底断层施加压力, 所以该锁住段可发生大震; 由于对张组合构造中蠕滑断层给底断层施加的是张力, 故发生的地震不强。下面结合实验结果进行一些讨论。

1. 对压组合构造 (I-1 型试件) 的试验结果表明, 垂断层的破裂可以延迟底断层的发震, 但可增大发震时所释放的能量(震级加大)。对于对张组合构造 (II-1 型), 垂断层的破裂可以加快底断层上的剪应力集中过程, 但可降低发震强度, 但若上述两种组合构造中垂断层的蠕滑段延长穿过底断层 (I-2、II-2) 则由于这一段的调整作用, 底断层上的压应力 σ_1 的变化量减小。

2. 应着重指出的是, 对比 II-1、II-3 两个试件的实验结果可以看出, 垂断层的某一部分原来是蠕滑断层和原来是粘住的愈合断层或未破裂段这两种情形是不一样的, 对于前者, 垂断层的蠕滑只是使底断层上压应力减小而对剪应力的变化无太大影响, 但对于后者, 即垂断层某一部分原来是愈合的和未破裂的, 则它的破裂松动不但减小了底断层上的压应力, 而且使其剪应力大大增加, 因而可以使底断层突然发震。典型的震例是 1975 年 2 月 4 日辽宁海城地震, 这次地震震源区及其附近的主要断层构造, 区域构造应力方向以及临震前震, 主震分布如图 3 所示^[1, 5]。从图 3 中可以看出, 其区域构造组合型式基本上属于对张构造, 1974 年 12 月 22 日在垂断层辽阳断裂上的参窝水库发生了 4.8 级地震, 不久于 1975 年 2 月 4 日的主震就发生了。这次较大的前震可看成是垂断层的破裂松动, 它使主震断层上的剪应力突然增大。由此可见, 这类构造上的较大前震可看作是主震即将发生的信号。

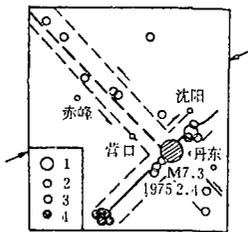


图 3 海城地震临震前震及主要断层构造

1. $M_L = 5.0-5.9$ 2. $M_L = 3.0-3.9$
3. 1974.1-1974.7 4. 1974.8-1975.1

Fig. 3 The foreshocks just before the Haicheng earthquake (Feb. 4, 1975) and the main structure of faults

3. 值得注意的是, 垂断层破裂前后单轴压力不变和位移不变这两种条件下得出了不同的结果。这可能反映了地壳中应力积累的一种过程, 当区域构造应力积累到一定程度时, 这种小规模的结构活动要释放一部分应变能, 所以在短时间内整个震源区的应力有所减小。相当于实验中破裂前后位移不变的情况。从图 2-4、2-6 中可以看出, 断层上的压应力和剪应力都有所减小, 紧接着震源区及邻近断层构造在区域构造应力作用下进行调整, 局部区域构造应力恢复到原来的值, 这相当于实验中垂断层破裂前后单轴压力不变的情况, 这时底断层上的应力增大

(压应力或剪应力)。

4.文献〔5〕指出，在一些大震发生前，周围都程度不同地有小震活动。在初期，这种小震活动是分散的，零乱的。但在大震发生前小震活动主要集中在一个或两个共轭断裂带附近，形成所谓地震条带。而这种条带活动是构造断裂带活动的反映，它们分别与大震破裂时的主破裂面和次破裂面大致相符。在大震发生前，震源区域的应力主要集中在呈共轭相交的几条断裂上，这时各断裂上的活动都是互相关联的。有时某一断裂上小震活动频度很高，而另一条断裂上反而平静了，不久主震却发生在相对平静的断裂上，其机理大概与前面所说的对压组合构造有关。例如1969年7月18日渤海地震。其震前地震条带分布和M—t图如图4所示〔5〕。

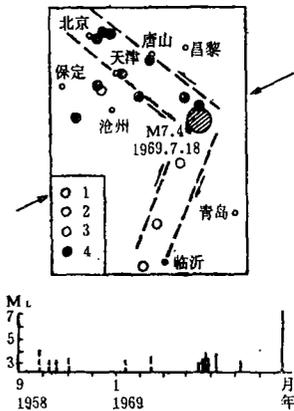


图4 1969年7月18日渤海地震前地震活动条带和M—t图

- 1. $M_L=3.0-3.9$ 2. 1968.9—1968.12
- 3. 1969.1—1969.3 4. 1969.4—1969.7

Fig.4 The foreshocks belt before the Bohai earthquake (July 18, 1969) and the M—t chart

1969年4月—1969年5月小震主要沿北西向的条带发生，5月以后突然趋于平静，而在7月18日突然在北东向条带上发生了7.4级主震。这可能是由于北西向条带上的小震活动加大了北东向断裂上的压应力，因而延迟了地震的发生。而海城地震构造属对张类型，震前北东向的辽阳断裂上小震频繁发生，紧接着在北西向断层上发生了2月4日的主震，其间并无平静时间，其M—t图如图5所示〔5〕。

反之，发震断层的错动也影响到与之共轭相交的次一级断层的活动。对于对压组合构造，底断层的错动增大了垂断层上的压应力，使之不易活动，则垂断层上的余震可能不发育。而对于对张组合构造，底断层的错动使垂断层上正压应力减小，相对于震前处于受引张的状态，因此易于发生破裂错动，形成余震甚至强余震区。例如1976年唐山大震，其余震分布如图6所示〔5〕，可以看出，在主震断裂两端处于引张状态的断层上都发生了大于6级的强余震。

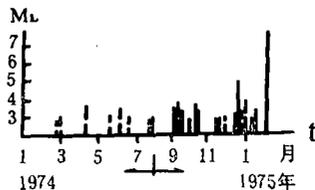


图5 海城地震M—t图

Fig.5 The M—t chart of the Haicheng earthquake

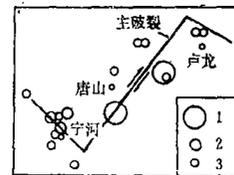


图6 唐山大震强余震分布

- 1. $M_L > 7.0$ 2. $6.5 < M_L < 7.5$ 3. $6.0 < M_L < 6.5$

Fig.6 The great aftershocks distribution of the Tangshan earthquake (July 28, 1976)

5.在一次大震发生后,确定主震断层面是一件很重要的工作,目前常用的有几种方法〔6〕,但有时仍不能得到确定的结果。利用本文讨论的对压构造和所形成的相应前震的条带分布可以对判断某些地震的主震断层面的方向有所帮助。如前所述,震前震源区域的小震活动所形成的条带与大震破裂时的主破裂面和次破裂面大致相符,对于对压组合构造,主震通常发生在震前相对平静的断层上,前面提到的1969年7月18日渤海地震即是一例,当然还要结合其他方法才能得出确定的断层面解。

四、结 语

本实验用环氧树脂而不是用岩石作为样品,实际上如果这两种材料样品的几何形状一样,则其应力分布规律是相似的。本文在一些理论和定性说明的基础上用模拟实验方法研究了几种构型的断层组合,并企图对一些地震活动现象加以说明,希望本文的工作对断层上的地震趋势的估计以及利用相交断层的小震活动来判断某一断层的地震危险性和大震的短临预报及强余震预报有一定的作用。但实际地壳中的断层分布要复杂得多,而且还有各种软弱区及高强度区等,需要结合具体情形进行深入的研究。

本文的选题和研究得到郭增建、秦保燕的指导,李亚荣帮助绘制了全部图件,竹卫平参加了样品的制作工作,在此一并致谢。

(本文1987年3月5日收到)

参 考 文 献

- 〔1〕马宗晋等,中国近年九次强震的构造分类,西北地震学报, Vol. 2, No. 1, 1981.
- 〔2〕郭增建、秦保燕,大震重复性与减震作用,西北地震学报, Vol. 6, No. 4, 1984.
- 〔3〕马瑾等,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, Vol. 5, No. 2, 1983.
- 〔4〕杜异军,裂纹相互作用问题的研究,地震地质译丛, Vol. 6, No. 3, 1984.
- 〔5〕陆远忠等,地震预报的地震学方法,地震出版社,1985.
- 〔6〕傅淑芳等,地震学教程,地震出版社,1980.

EXPERIMENTAL STUDY ON THE RELATION BETWEEN THE
STRUCTURAL FORM OF FAULTS IN EARTHQUAKE SOURCE
AND ITS STRESS ACCUMULATION PROCESS

Rong Dailu, Huo Yuting, Jin Min

Jiang Xuyuan and Gao Zhongqiang

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

Abstract

There are two combinatory structural forms of faults in the crust. The main faults of them (called the bottom faults) are respectively borne press stress and tension stress when the faults perpendicular to the main faults (called the vertical faults) creep or fracture. The former is called the Model P structure for short, the later the Model T structure. This paper has studied experimentally the effects when the vertical faults creep or fracture on the process of stress accumulation at the main faults and discussed the results with some phenomena in the seismic activity.

1. When the vertical fault in the Model P structure creeps, the press stress perpendicular to the bottom fault increases, it can delay the occurrence of the main earthquake and increase the energy of this earthquake; In the Model T structure the press stress decreases and the shear stress on the bottom fault increases a little, it can urge the occurrence of the main earthquake.

2. If a part of the vertical fault is a locked and healed fault or intact medium and when it fractures, it can suddenly increase the shear stress and decrease the press stress on the bottom fault in the Model P structure. So the larger foreshocks on this type of vertical fault can be considered a sign that the main earthquake on the bottom fault is coming.

3. The experimental results under the condition that the uniaxial pressure or the displacement is constant indicate the stress accumulation process on the main earthquake fault.

4. The fracture of main earthquake on the bottom fault can develop the aftershocks on the vertical fault and even causes great aftershocks.

5. The phenomenon that the foreshocks of some earthquakes scatter on a belt has interpreted. It is helpful for deciding the fault plan of the main earthquake in the Model P structure.