

断层滑动对邻近场的影响*

苏刚 麻水歧 王莉

(陕西省地震局)

摘 要

对含一组裂纹的平板模型的有限元计算表明,在断层滑动后,其附近应力场发生了较大变化,有的应力场方向几乎偏转了 90° 。这可能是震前P轴偏转的一种力学机制。当把裂纹间的关系类比为—组断层时,计算结果表明,断层的滑动将影响附近断层,使有的断层滑动的可能性增大,而有的断层滑动的可能性减小,即对有的断层起了“加震”作用,而对有的起了“减震”作用。由此看出,成组发生的地震间表现出“自序性”。依此自序特点对华北第三、四活动期中地震幕作了划分,结果与其它研究所划分的一致。因此,本研究也是对地震幕物理涵义的一种探讨。

郭增建、秦保燕在文献〔1〕中指出,发震断层在临近地震时有预滑现象。陈运泰等用大地测量资料反演得到,1976年唐山7.8级地震前断层也有滑动〔2〕。另外,在唐山市及附近也发现了一些震前蠕滑现象,如地震观测井并壁歪斜、水泥管错位、井孔钢管变形、废油井多次自喷以及震中东北方向一系列人感地动等〔3〕。一些地震前不但发现蠕动而且还观察到加速蠕动现象,如在圣安德烈斯断层区的霍利斯特,在1961年4月9日5.6、5.5级地震前约800天中,断层蠕动速度从10毫米/年增加到20毫米/年,且临近地震时还有急剧加速现象。1966年帕克菲尔德5.3级地震前两周,曾发现该处东南1.5公里的地面出现了高速蠕动〔4〕。另有一些研究用断层预滑来解释前驱波、地下水变化等短临前兆现象。本文从讨论强震前局部地区P轴转向入手,对断层滑动引起的局部应力场变化作了计算。

一、强震前中小地震的P轴旋转及断层错动对附近应力场的影响

沙道夫斯基等〔5〕通过在加尔姆地区的长期观测研究,由小震断层面解确定了强震前“压应力轴发生转向”这一现象。

1976年松潘7.2级地震前,约从1974年11月开始松潘地震台附近地区应力场发生了近 90°

* 本项研究属国家地震局招标项目。

的偏转。与此同时，位于震中北东向与松潘台相距约50公里的文县台附近，1974年8月至震前小震平均P轴方位为 $N80^{\circ}E$ ，与主震相近〔6〕。可以看出，震前近两年中发震断层附近的应力场是很不均匀的。

对龙陵地区1970—1980年约2518个小震P波初动符号的研究发现，约从1974年1月到1976年5月4日地震发生前，P轴方位相对区域应力场（ $N25^{\circ}E$ ）偏转了约 45° 〔7〕。

1975年海域7.3级地震的前震和绝大多数余震的主压应力轴方向与主震有较好的一致性（ $N60^{\circ}E$ ）。但主震前两个月发生的参窝4.8级震群的P轴方向为 $S1^{\circ}E$ ，相对主震有大于 90° 的偏转。1979年溧阳6.0级地震前二年，在其附近发生的溧水4.1级地震最大主压应力轴方位为 $S2^{\circ}E$ ，相对主震主压应力轴（ $N88^{\circ}E$ ）发生了 90° 的偏转。此外，还有1979年固镇5.0级、五原6.0级及1980年博克图5.6级等地震前几个月到1年，地震P轴或震群、小震平均P轴相对区域应力场都有偏转的现象〔8〕。

1976年4月6日和林格勒6.3级地震前，1975年6月在西北约40公里处发生4.4级地震，P轴方位为 $S60^{\circ}E$ ，与6.3级地震P轴方位（ $N73^{\circ}E$ ）相差 47° 。这是北北东向断层发生右旋走滑错动的结果，产生偏转地方位于断层西盘沿北北东向的挤压部位。

地质和大量地震的事实说明，区域应力场方向在几月、几年甚至更长时段中不会发生几十度偏转。但上述震例说明，地震前在震中附近的确实存在有局部应力场的变化。看来这不是区域应力场改变，可能是迭加于区域应力场上的局部构造运动造成的，很可能与震前发震断层的预滑有关。因此，研究震前中、小地震P轴偏转的原因可归结为研究一断层错动对邻近应力场的影响问题。

根据对我国和邻近地区大量地震的统计，文献〔9〕提出了震级M与地面的最大错动幅度D的关系式：

$$D = 10^{0.52M - 1.25}$$

据此，一个7级地震约有250厘米的错动量。在围岩中的地震断层产生这样量值的变化除引起附近介质结构发生改变外，通过应力场变化也将影响邻近断层，使有关断层应力状态改变，导致其错动的可能性增大或缩小。究竟发生怎样的变化，与邻近介质的几何、物理性质有什么关系，虽然这是地震发生带来的问题，但它仍可归结到研究一断层错动对邻近介质应力场的影响问题。

二、力学模型和计算结果

本文拟通过建立力学模型并进行应力场计算，来讨论上述地震过程中所出现的现象的力学机制。为简便起见，用一分布有I、II、III三条裂纹的等厚力学板模拟局部地块，其中II、III裂纹一端相交。设每条裂纹内介质的弹性模量比非裂纹处（ $E = 7 \times 10^9$ 巴）低一个数量级，即假设其为软介质（如断层泥等）填充。此处用裂纹模拟断层，以下称断层。采用有限元法划为137个三角单元进行应力计算（图1）。除1—6单元边界点沿x方向加载外，其它边界以“0”位移处理。以在断层内边界上加位移条件模拟断层滑动。

为对比断层滑动与未滑动时应力场的变化，保持边界加载不变。计算分两步：首先计算上述模型和边界条件下断层未产生滑动时的应力场。此时除因断层内外物性差异和边界影响造

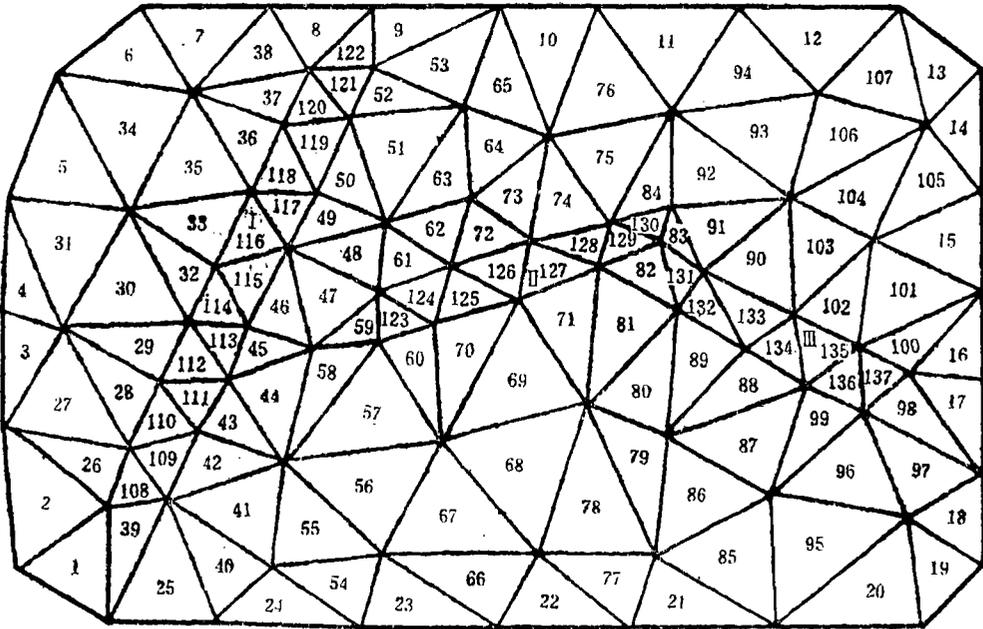


图1 单元划分图
Fig. 1 Dividing elements

成最大主压应力有一定差别外，无其它明显特异现象（图2 a）。然后给断层 I 几种左旋位移计算（相当于取其滑动动态过程几个片断进行考察），并将其结果进行比较。为了使受力变形保持连续性，将断层上所给位移与未滑时受力产生的位移作矢量迭加后做为滑动位移。不同位移量计算结果除应力数值不同外，其应力场图象基本一致（图2 b）*。

图2 b表明，I号断层发生左旋滑动时，应力场发生了较大变化。断层 I 右上角（受挤

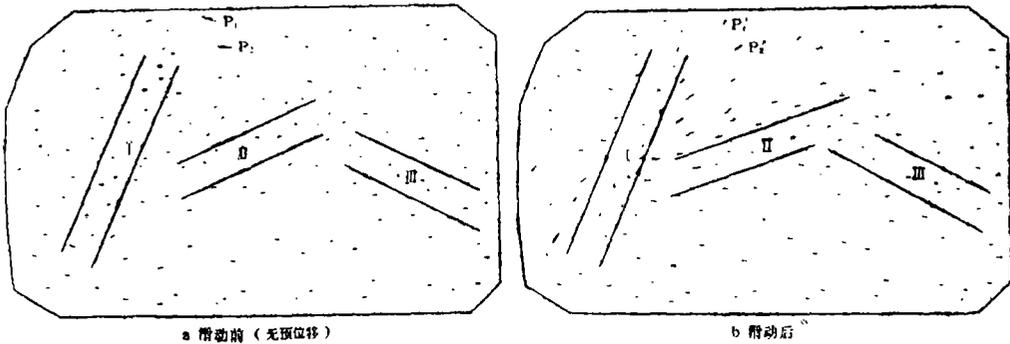


图2 断层 I 滑动前后的应力分布
Fig. 2 Stress distribution before and after the slip of the fault I

* 此图是在无量纲位移 8×10^{-6} 时，计算应力场后放大100倍的结果。无量纲位移表示为 $\Delta L/L$ ，其中 L 为滑动断层的最大长度， ΔL 为位移量。

压处)的应力值急剧增高,且较大地偏离未滑动前最大主压应力方向,如未滑动前 P_1 点的P轴方向为 $S70^\circ E$, P_2 点的P轴方向为 $N90^\circ E$;滑动后 P_1' 点的P轴方向为 $N12^\circ E$, P_2' 为 $N40^\circ E$ 。二者相比,滑动前后 P_1 点P轴方向偏转了 98° , P_2 点偏转了 50° 。如把断层滑动视为震前断层预滑,则与前述各次地震前P轴发生偏转的情况一致。其它方向也有变化,并似有象限分布特征。对断层较远处也有一定影响,但远不如断层附近变化剧烈。

一个伴生结果是,当断层I以不同位移滑动时,随着其位移量的增大,断层II上的最大正应力上升较快,而最大剪切应力却增加很小(图3)。按断层滑动应克服的剪应力 $\tau = \tau_0 + \mu\sigma_n$ (τ_0 为初始剪应力, μ 为摩擦系数, σ_n 为正应力)计算,断层II的滑动将变得更为困难。联系实际地震过程(快速滑动事件),则断层I的滑动,将减少II发展的危险,起了“减震”作用¹⁾。断层II则相反,随着I的位移量增大,最大正应力增加缓慢,剪应力急剧上升,即应克服的剪应力增加很小,促使断层滑动的最大剪应力却急剧增加,明显地增加了断层II滑动的可能。在实际地震过程中则是增加了发震的危险,起了“加震”作用。这反映了断层间的动力制约关系,即一强震发生使有的地方变得安全,有的地方地震过程加速。这样,成组成串地震间不仅相关,而且自然地显示出某种顺序来,称为“有序性”^[10]。

以华北为例,采用类似文献[10]的作法,将所有6级以上地震,按发震先后作出lgN-t图,N为分组编号。以其是否呈线性关系为准,对华北第三地震活动期(1484~1739)和第四地震活动期(1815至今)的活动幕进行划分(图4,表1)。第三期共划出8个活跃幕及8个平静幕,第四期共划出7个活跃幕及7个平静幕,与文献[11]用其它方法所划分的相近。因此,本文的讨论也给出了幕内地震的可能的力学机制。

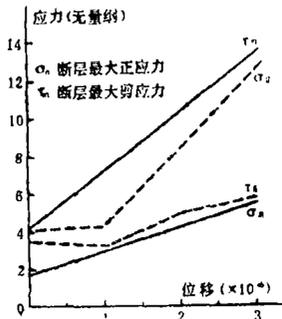


图3 在断层I滑动过程中断层II、III的正应力和剪应力的变化

Fig. 3 Change of normal stress and shear stress for the fault I and II in the process of slip of the fault I

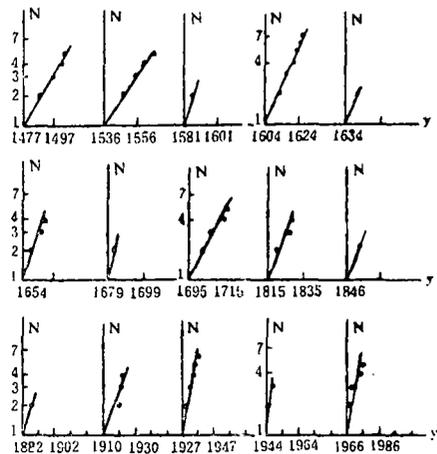


图4 按自序性划分的华北第三、四地震活动期的分幕图

Fig. 4 Map of dividing "seismic curtain" for the third seismic active period and the fourth period in north China

1) 郭增建、秦保燕, 地震烈度区划原则的讨论, 中国地震学会第三次学术讨论会论文摘要汇编, 中国地震学会, 1986.

表1

地震活动期	幕的序号	活跃幕	平静幕	时段(年)
I	1	1477~1502		25
	1*		1503~1535	32
	2	1536~1568		32
	2*		1569~1580	11
	3	1581~1587		6
	3*		1588~1603	15
	4	1604~1627		23
	4*		1628~1633	5
	5	1634~1642		8
	5*		1643~1653	10
	6	1654~1668		14
	6*		1669~1678	9
	7	1679~1683		4
	7*		1684~1694	10
	8	1695~1720		25
	8*		1721~1738	17
II	1	1815~1830		15
	1*		1831~1845	14
	2	1846~1853		7
	2*		1854~1881	27
	3	1882~1888		6
	3*		1889~1909	20
	4	1910~1922		12
	4*		1923~1926	3
	5	1927~1937		10
	5*		1938~1943	5
	6	1944~1948		4
	6*		1949~1965	16
	7	1966~1976		10
	7*		1977~1987	10

三、几点讨论

本文对简单的断层滑动模型进行了计算讨论, 结果表明:

1. 区域应力场在一较长时段中是稳定的。然而在区域应力场不变的情况下, 计算表明, 发震断层的预滑会使局部应力场方向发生偏转, 说明强震前观测到的中小地震P轴偏转现象, 是有力学基础的。人们可以通过中小地震反映的P轴方向偏转来推断邻近地区的发震断层。统计表明, 地震震级M愈大, 断层长度愈长, 那么震前预滑的可能也愈大〔8〕。没有这个准备过程, 地震断层要在几十以至几百公里的空间尺度上瞬间产生整体错动, 几乎是不可能的。因此, 应注意断层预滑引起的前兆现象。

当然, 由于断层滑动是多成因的, 应力积累超过摩擦应力、断层弱化及断层泥失效等都可引起滑动, 这就增加了实际识别的困难。此外, 从长时段考虑, 区域应力场的作用是主要的, 震后应力场的调整、局部地区应力场的复原, 都在其控制下进行。因此, 很多震前出现的P轴偏转现象, 震后都得到了恢复。

2. 就一小构造单元而言, 可以看成是一个系统, 构造单元内部一个较大断层的滑动(或错动)会影响相邻的其它断层, 由于几何、物理等因素不同, 它使有的断层增加了滑动的可能, 使有的减少了滑动可能, 即分别起了“加震”或“减震”作用。这对于判断未来发生中强震的区段, 特别是对潜在震源划分, 是有意义的。地震区划中的构造类比原则, 只是从地质构造和构造运动方面较单一地作了定性分析, 现在以构造、介质物性为基础对一组断层进行的动力分析, 较深入地揭示了断层间的动力联系, 可以说是对此原则定量化的一种尝试和推动。

3. 在区域应力场不变的情况下, 一构造单元的相邻断层间由于其构造运动差异而出现的地震及自身调整现象, 反映了局部地区一组地震间的自相关关系, 并表现有“自序”特点。文献〔10〕和本文的工作说明, 一组地震间反映的“自序性”, 是划分地震幕的依据。

(本文1988年1月6日收到)

参 考 文 献

- 〔1〕郭增建、秦保燕等, 震源孕育模式的初步讨论, 地球物理学报, Vol.16, 1973.
- 〔2〕陈运泰、黄立人等, 用大地测量资料反演的1973年唐山地震的位错模式, 地球物理学报, Vol.22, No.3, 1979.
- 〔3〕苏刚, 地震孕育过程的破裂特征和破裂蠕动的拉伸作用, 西北地震学报, 增刊, 1985.
- 〔4〕力武常次, 地震预报, 冯锐译, 地震出版社, 1973.
- 〔5〕M.A.Sadovsky et al., The processes preceding strong earthquakes in some regions of Middle Asia, Tectonophysics, Vol.15, No.3, 1972.
- 〔6〕成尔林等, 1976年四川松潘—平武7.2级地震前后主压应力轴的方向特征, 地震学报, Vol.4, No.2, 1962.
- 〔7〕刘祖荫, 龙陵地震的孕育、发生和衰减过程的探讨, 西北地震学报, 增刊, 1985.
- 〔8〕孙加林等, P轴转向是“前兆震”的一个可能判据, 地震科学研究, No.1, 1983.
- 〔9〕郭增建、秦保燕, 震源物理, 地震出版社, 1979.
- 〔10〕李海华, 南北地震带北段地震活动的有序性和层次性, 地球物理学报, Vol.30, No.6, 1987.
- 〔11〕蒋铭、马宗晋, 华北第三、四地震活跃期的对比, 地震, No.6, 1985.

INFLUENCE OF FAULT SLIP ON STRESS FIELD AROUND IT

Su Gang, Ma Shuiqi, Wang Li
(*Seismological Bureau of Shaanxi Province*)

The finite element computation for the plant model of containing a group of cracks shows that stress field is homogeneous before the fault slip, but the stress field near the fault changes much large after the fault slip. The direction of the stress field in local area has rotated nearly 90° . It is a possible mechanical mechanism of rotation of P axis in the preearthquake. When the relation of a group of faults in the geology is simulated by the relation of the cracks, the calculation results show that the possibility of slip of some faults is increased, and the possibility of slip of other faults is decreased, because the slip from one of the group of faults. It means that the possibility to occur earthquake is increased for some faults and the one is decreased for other. So, the earthquakes in groups exist the relation under control of the dynamics called the "self-control". Using this result we have divided the "Seismic Curtain" in north China from 1484 to now.