

象力在震源过程和地震短临 预报中的作用

秦保燕 荣代潞*

(兰州地震研究所)

摘 要

在固体物理学中,象力是指自由面吸引裂缝的力量,本文把这一概念用于不均匀地壳中,则象力可定义为地壳中任何易于变形,让位界面对裂缝的吸引力。按照这一观点,我们讨论了象力在组合模式和短临预报中的作用并得到如下结论。

1. 组合模式中的应力调整单元,如蠕滑断层,塑性区,裂丛区等可以近似为自由面。因而它对于积累单元预位移的传播或裂缝的传播具有吸引力。

2. 象力出现的标志是当传播的预位移和裂缝端部产生的动态应力场达及调整单元时,此时调整单元发生形变并产生前兆。当裂缝由深处向浅处传播,其端部的动态应力场达及自由面时,此时自由面用形变来满足自由面条件从而引起前兆。

本文的讨论表明,震源两端的调整单元的同时性表明大震的发生为期不远了。因此调整单元对于预位移和裂缝的传播具有监视作用。本文以海城地震前兆特征为例讨论了这个问题。并由此认为组合模式中调整单元的象力作用比单向蠕裂断层面向震源区的传播更符合实际情况。

地震预报是当前地震工作者所面临的最难课题之一,其中短临预报难度更高。然而这个问题关系到人民生命财产的安全,所以很多地震工作者都在化费很大精力从事这项研究工作,并从多方面去探索地震预报的途径。本文拟从象力的角度来讨论这个问题,如能在短临预报中起到部分作用,已是作者的侈望了。关于把象力引入震源过程和探讨地震预报的问题首先是由郭增建和本文第一个作者提出的**。但当时讨论比较简略。本文在此基础上作了充实和进一步的讨论。

*荣代潞 兰州地震研究所研究生

**郭增建、秦保燕 象力在地震短临预报中的作用,全国地震学会议论文,1980。

象力的含意 在固体物理学中,象力是指自由面吸引裂缝的力量^[1]。具体的物理实质是在介质内部有一位错存在时,这一位错将在周围引起应力场。当此应力场遇到自由界面时,由于界面可以自由变形,这就如同界面上作用了一个相应力系一样,此力系再在介质内引起应力场,当此应力场达及位错所在处时,位错就要受到力的作用,从而影响位错的动态。这个力就是象力,也可把它视为位错引起的应力场对自身的反馈。在数学处理中,人们常用镜像法来计算这个问题。例如对于向自由面传播的刃型位错,即以地面作为对称面,在地面的上方与地下位错离地面的等距离处设想有一个位错,使它们两者互为镜相,如图1所示。在此情况地下的位错A和地面上的位错A'在00平面上(地面)形成的剪切应力是可以互相抵消的。但这仅满足了自由面的部分条件。至于位错A, A'在镜面上产生的正应力不仅不能抵消,而且还相加了,因此镜面还不能算为自由面。为了把镜面上的正应力消掉,我们可在镜面上施加与上述正应力性质相反,大小相等的正应力以抵消它,如图1中界面上的力系所示(图1仅是一种示意,实际所施加的正应力分布要通过计算确定)。此时镜面即地面,就成为自由面了。当镜面上加上相抵消的正应力后,它在介质内部要产生应力,这就成为解分布力作用下的布西涅茨克问题,从而求出作用在位错面上的力。由图1可知,施加的抵消力系是与地下A位错的错动方向一致的,因而该力将加速A位错向自由面传播。按照文献^[1]的研究,自由面吸引位错的力为:

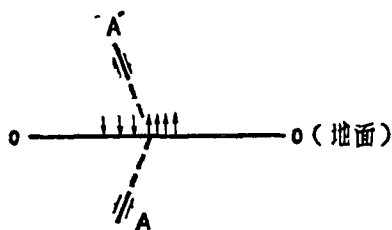


图 1

$$f = \frac{\mu D^2}{4\pi(1-\nu)r} \quad (1)$$

式中 μ 为切变系数, D 为位错的错动幅度, ν 为泊松比, r 为位错距地面的距离。由此推知,地下裂缝愈接近地表,其所受的吸力愈大。位错幅度越大,则自由面对裂缝的吸引力愈大。当 f 值足够大时,裂缝将向自由面传播。如果我们设 $\mu = 10^{12}$ 达因/厘米², $\nu = 0.25$, $D = 5$ 厘米, $r = 10$ 公里,则我们算得 f 值约为 3×10^6 达因/厘米。单位平方厘米面积上的象力 f 为 3×10^6 达因/厘米²。它是作用在位错前进端部的力。很显然这一数量级的力是不能忽略的。

以上是对自由面来说的,实际上象力这一概念还可以用到地壳内部存在的任何弱介质面的情况。下面就象力在短临预报中的作用作具体讨论。

一、震源孕育模式和象力

1963年付承义先生指出:“地震是不均匀地壳在地球应力场中发生断裂的结果”^[2]。1973年我们把这个观点加以具体化,提出了震源是由应力积累单元和其两端的应力调整单元共同组合而成的模式(称组合模式)^[3]。其中应力积累单元是断层面上摩擦力较大或岩石耐剪强度较高的地段,调整单元是断层面上摩擦力较小或岩石耐剪强度较低的地段。如图2和图3所示。图2是平推断层的情况(或称走向滑动),图3是倾滑断层的情况。图中箭头所示的地段为蠕滑断层段,亦即为调整单元。以上两种情况相结合就是更一般的即有走滑又

有倾滑的情况。事实上调整单元的形式还很多,例如岩石破碎区、高温塑性区、富含流体区以及裂丛区等。

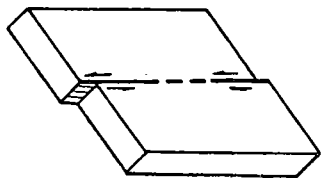


图 2



图 3

对于以上的组合模式可分两种情况来讨论象力问题。

1. 积累单元是老断层粘住的情况 对于这种情况,临震前的加速预滑(称震前蠕滑或预位移)和预滑段的传播是短临预报的指标。关于震前预滑的可能性,我们在1971年讨论陕西关中大震前7~8小时在震中区出现的缓慢长周期运动时指出^[4]:它“可能是大震前最大剪切面上某一部分(面积不能太小)开始软化,从而断层盘体出现一种缓慢运动所引起。待整个最大剪切面上软化后,大断层就错动了,于是发生了大震”。这里所说的最大剪切面就是断层面。以上观点只是一种假设。1975年美国学者拜尔里等在实验中指出^[5],预滑是断层泥的流变学行为(软化所引起)。1976年美国学者迪泰里奇在作粘滑实验时发现^[6],预滑有两个相,一个相是预滑先由一点开始,然后向两块体接触面的其他部分传播,待传播到整个接触面上时第二相开始,其特征是预滑加速并急剧传播,当第二相结束时大的粘滑错动就接踵发生了,即大震发生。根据以上所述,当预滑由一处开始传播后,它就引起了一个动态应力场向前推移,当这个应力场的峰面达及另一个调整单元时,由于该单元易于变形和让位,于是就有象力产生。根据(1)式当预位移幅度 D 愈大,裂缝端部与自由面距离愈近,则象力也就愈大。当象力足够大时,预滑就有串通整个积累单元断层之势,因之大震就可能快要发生了。

2. 积累单元是完整脆性介质的情况 对于这种情况来说,调整单元的断层在大震前会向积累单元蠕裂并有所加速。关于这个问题牛志仁等同志讨论过^[7]。对于象力问题来说,当一端的调整单元断层向积累单元蠕裂达到一定距离时,另一调整单元即感到由此蠕裂引起的应力场,从而相应产生变形,此时表明象力开始起作用,由于它有吸引断裂前进的力量,这意味着大震即将来临了。

二、象力出现的几种情况

象力出现的具体情况是与组合模式的具体情况有关的。可分三种情况来讨论。

1. 震源底部蠕滑引起的象力 对于浅源大地震来说,地表空气是震源顶部的调整单元,地下的高温蠕裂区,蠕滑断层等是震源底部的调整单元,如图3和图4所示。在图4中当底部蠕裂向上传播达到一定距离时,则由蠕裂引起的应力就达到地表了。由于地表易于变形和让位,所以就有象力存在,它吸引裂缝向地表传播,因之大震的发生就不远了。关于图4中

AB段的长度剩下多少时地表就有较显著的象力发生呢？根据粗略估计，AB段长度约等于三倍的蠕滑裂缝长度L时地面即有象力产生。因此其近似的表达式可写为

$$H_0 \approx 3L \quad (2)$$

式中H为AB段长度，即震源断层面锁住段在地震前插入地下断层面的深度。对于浅源大震来说，震源断层在地下的深度一般在10~20公里。在此情况，震源底部的蠕裂只要其纵深长度达5公里，地表就可出现象力。因之这种情况是常遇到的，特别是在临近大震发生前，震源区的剪切应力已接近岩石的破裂强度，此时如在震源底部出现蠕裂的传播，则地表的象力将对蠕裂传播的促进作用更为显著，它将吸引深处的裂缝向着自由面传播，同时某些前兆也可由它直接引起。

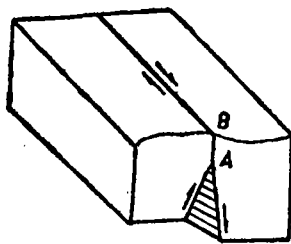


图 4

例如1960年智利大地震前，震源底部发生了规模巨大的逆断层式预滑，结果过了15分钟8.3级的智利大地震就发生了〔8〕。又例如1975年我国海城7.3级大震前两日，即2月3日到4日在震中区下方震源深部发生了频繁的前震活动（主要深度为12公里，前震深度为12—14.5公里〔9〕）。4日01时至11时，前震活动很快达到高峰值，在此期间07时和10时发生了4级多的地震。随后平静了6小时，19时即发生了大震。按照海城地震工作队的资料，震中区动物的反应峰值是在2月4日大震前当天，震中区地下水变化的41个异常点都是集中在2月3日—4日出现的。另外震中西边盘锦连续水气记录在2月4日13时—15时出现突跳，震前2月3日和4日在震中附近的冶金102队土地电发生连续强烈脉冲等。我们认为上述前震是主震震源底部蠕裂的伴生物。由（2）式可知，这一蠕裂长度只要有4公里，地壳表面就可感到其应力而相应产生形变，並引起上述临震前兆（当然有部份前兆可能为松动直接引起）。由此可认为，地表临震前兆与深部前震发生时间的配合标志着震源顶部自由面的象力已开始出现，因之大震就可能要发生。至于海城大震前稍早时期震中区附近出现的某些前兆将在下面第3节讨论。

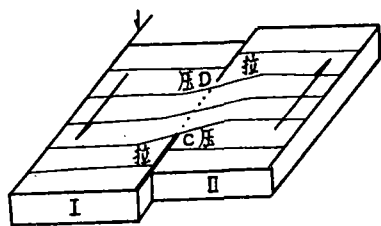


图 5

以上是积累单元为完整脆性介质的情况。对于粘住的老断层来说，预滑也可能由底部上行。其情况也大致可用（2）式来讨论。

2. 调整单元和积累单元在一条线的情况 这种情况如图2和图5所示。我们从积累单元预滑的传播或调整单元断层蠕裂的传播来讨论。在图5中，积累单元的两端有压缩区和膨胀区。如果蠕裂和预滑由图5中C端向D端传播，则C端应力有一定降落，此时会引起某些前兆，同时当D

端受到上述蠕裂或预滑引起的动态应力场时，也会产生前兆（此时象力已开始作用），所以大震就可能要发生了。应当指出的是无论C端或D端此时的前兆都要与以前的变化趋势发生反向变化。因为它们都是去载的形式。还应指出C端预滑或蠕裂引起的形变，是与它们的传播引起D端的形变时间接近的，因之它们分别所引起的前兆也大致有同时性。事实上我国近年来一些大震快临震时，震中区一端的前兆和另一端的前兆出现的时间是接近的。

3. 两个调整单元不在一条线上的情况 这种情况如图6所示。其中断裂带A和断裂带B是调整单元，其间的虚线段CD是应力积累单元。地质所的同志称此为汇而不交。在此情况，由于断裂带B具有尖锐端部，所以蠕裂和预滑先由C端开始向D端传播，当传到一定距离时，D端会感到形变，并相应出现前兆变化。此时表明象力已存在了，因之大震的发生就可能为时不远了。1975年辽南大震前的情况是与图6相类似的。断裂带A相当于下辽河断裂带，断裂带B相当于极震区东端的断裂。在这两个地带震前都相应出现前兆，且时间比较同步。

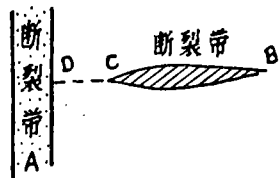


图 6



图 7 A

图 7 B

4. 断层与一个软弱区组合 这种情况如图7A所示。图中的箭头错动段相当于一个前进的裂缝（或者是一个预滑扩展段）。弱区可以是高温塑性区，也可以是裂丛区，也可以是富含流体区（如水、气、浆之类）。在这种情况下，由于弱区易于变形和让位，所以当前进裂缝引起的应力场达到弱区时，它在形变和让位的同时就产生了象力而吸引裂缝前进。在图7B中，如果弱区位于裂缝前进方向的偏侧，由于象力的存在，裂缝的前进将沿曲线而拐入弱区。

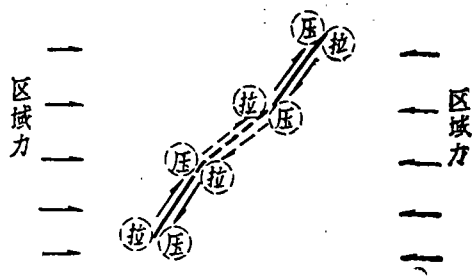


图 8

5. 平行的裂缝组合 这种情况如图8所示。在图中I和II都是蠕滑断层，在它们周围要产生压力和张力的象限性分布（由于地球内部有静压力，另外由于区域力是压力，所以蠕滑断层周围的压力区和张力区大小不是相同的，而是压力区大，张力区小）。由图8可以看出，当裂缝I前进时，由于裂缝II有一个张力区给裂缝I的一个压力区让位，所以压力区介质就要向张力区显著运动，这样裂缝I的前进就要拐弯。这就是说张力区也可产生类似象力的作用，即有吸引裂缝的作用。

根据组合模式的观点，图8中两个蠕滑裂缝相当于两个调整单元，其间的虚线段为积累单元。

由以上所述，可知象力实际上就是易让位产生的。这种易让位性可归纳为：

(1) 软介质为硬介质的运动让位，因之软介质对硬介质中的裂缝前进有吸引力，即象力。

(2) 张力区为压力区介质让位，因之在某种几何配置的情况下，张力区有吸引裂缝的作用，也可称为象力。

(3) 密度小的介质为密度大的介质让位，因为密度小的介质往往易于压缩，当附近密度大的介质受压力而无处容纳时，它就要向密度小的地方运动。例如扩容区，富含液体且有

泄路的地区其密度小,因之易于变形和让位,所以也具有吸引裂缝的作用。

还应指出,能吸引裂缝的单元,正好也是使裂缝传播停止的单元。

根据以上论述,凡易于变形和让位的介质所在区大都是地震前兆较灵敏的地区。而这个地区又反回去对传播的断裂(或预滑段)有象力作用,因之有利于发震。由此推论地壳中大大小小的弱区和蠕滑断层都成了监视地壳中断裂传播和预滑段传播的窗口。

三、讨 论

1.象力是组合模式的必然现象,它既包括了蠕裂和预滑的传播,而且还包含了另一个调整单元的相应变化,因之它比单裂缝传播的观点全面一些。

2.象力观点比单裂缝传播观点更符合于实际的前兆分布,因为单裂缝传播只有震源一端的前兆,事实上,震前震中区两端往往都有前兆。

3.象力观点是与层间解缚模式不矛盾的,因为层间解缚后有利于震源底部的蠕裂。

4.象力观点进一步说明,在积累单元两端必须有调整单元存在。即使这两个调整单元不在一条线上,象力也要使积累单元发震时的快速断裂传播拐向侧边上的调整单元,并终止在那里。

5.由震源机制求得地震时断裂传播的速度是很大的,一般为3公里/秒。因之可认为断裂传播的介质接近脆性。在此情况,有同志借用断裂力学上断裂分叉机制来使发震断裂停止,我们认为这在地震上是不合适的。按照分叉机制5级地震传播约十公里(即震源断裂长度)就分叉停止,8级地震传播约150—200公里才分叉停止。这种控制不同长度而分叉的机制是很难找的。因此我们认为前面所说的调整单元是裂缝停止传播的止裂条件。如果这里介质破碎或属裂丛区,则大震时快速传播的断层传至这种区域就可止裂(其中包括分叉止裂,但这种分叉是有上述介质破碎和裂丛的先决条件的)。这也就是说5级地震两个调整单元之间的间隔较小,8级地震其间隔较大。这个间隔可用文献〔3〕中的公式来估计:

$$M_s = 3.3 + 2.1 \log L \quad (3)$$

式中 M_s 为震级, L 为两个调整单元之间的间隔,以公里为单位。

6.若有两个调整单元在区域力的作用下,其蠕滑方向是相向的,如图9中的AC, BD所示(其中CD为积累单元)。当某一调整单元如AC发生蠕裂时,由于C端压缩区的物质向D端张力区运动,其裂缝要偏向另一调整单元如图中虚线所示。这对BD上剪应力的积累有抑制作用,因此不利于整个CD段发震。

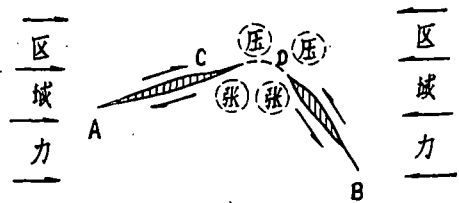


图 9

7.如果两个积累单元在一条线上且它们的长度很长,此时如果其间的调整单元范围较小,则一个积累单元沿全长发生快速断层错动后,其端部的应力集中范围较大,它有部分应力可绕过调整单元而迫使另一快成熟的积累单元接踵发震。如果隔时稍长,则为两次大震,如果隔时甚短,则近似成为一次大震。

本文讨论的象力在震源过程和短临地震预报中的作用,仅仅是一种初步尝试。我们並

不认为一切前兆均可以用象力来解释,但它可能是组合模式,层间解缚模式以及短临调制模式的一个重要补充。

(本文1980年12月23日收到)

参 考 文 献

- [1] A·H 科垂耳,晶体中的位错和范性流变,科学出版社,第60—61页 1960。
- [2] 付承义,地震预告的几个问题,科学通报,1963。
- [3] 郭增建、秦保燕、徐文耀、汤泉,震源孕育模式的初步讨论,地球物理学报,1973。
- [4] 兰州地震大队,关于震源问题的讨论,地震战线,8期,1971。
- [5] J. D. Byerlee and R. Summers stable sliding preceding stick-slip fault surface in granite at high pressure, Pure and Applied Geophysics, №1—2, 1975.
- [6] J. H. Dieterich, Geological survey research, P. 227, 1976.
- [7] 牛志仁、苏刚,震源孕育的追赶模式,地球物理学报,3期,1976。
- [8] 金森博雄,1960年5月22日智利大地震的震源过程,地球和行星内部物理学,2期,1974。
- [9] 吴开统等,海城地震序列的特征,地球物理学报,2期,1976。

APPLICATION OF THE IMAGE FORCE TO EARTHQUAKE SOURCE PROCESS AND TO SHORT-TERM AND IMMEDIATE PREDICTION OF EARTHQUAKE

Qin Bao—yan Rung Dai—lu

(The Seismological Institute of Lanzhou)

Abstract

In solid physics, the image force is a force with which the free surface attracts the crack to wards itself. ^{of} In reality, the earth surface is a typical free surface. Besides, ^{which} we regard the adjustmentary elements in combination model of source preparation, such as creep fault, plastic region, cracks region and the like, as free surfaces to some extent. According to the above-mentioned view point, we discuss some questions as follows:

1. When the creep slip just before earthquake in stress accumulation element is propagating and near to the free surface, and the free surface will attract the creep slipping towards itself.

2. When one of adjustmentary elements located at the end of earthquake source begins to extend, other adjustmentary elements will attract it promote its propagation.

3. When the appearance of some short-term and immediate precursors on the earth surface or in adjustmentary elements is synchronized with the image force, it means that the image force has already influenced the source and the earthquake will soon occur possibly.