

## 短文

## 临界慢化与地震预报

1986年我们建议把统计物理学中相态突变前刻发生的现象(即临界现象)用于地震预报(国际地震动态,1986年8期)。该文讨论了涨落加剧和长程关联在地震预报中的应用。1988年我们进一步引入临界慢化等临界指标并在灾害预测研究中加以应用(灾害学,1988年2期)。本文试图就临界慢化在地震预报中的应用作进一步讨论。

## 1. 统计物理学中的临界慢化

统计物理学中的临界慢化是指旧态向新态总体转化前刻旧态中诸局部涨落(向新态转化的一种前奏现象)延续的时间拉长。越靠近整体转化(即临界)时刻,上述局部涨落的延续时间越长。或者说临界慢化是向新态转化的涨落被拉回到旧态的恢复能力变小,越靠近整体转化(即临界),这种恢复力越小。在统计物理学中,临界慢化时间,即涨落延续时间 $\tau$ 可用下式表示(引自《相变与临界现象》,于渌、郝柏林著,1984):

$$\tau \propto |t|^{-\Delta} \quad (1)$$

式中 $\Delta$ 为临界慢化指数,根据平均场论, $\Delta = 1$ , $t$ 是某一温度与临界温度之差

$$\Delta = 1$$

对于大地震来说,可认为高应力保持态是一种相态,应力大释放是一种相态,前者向后者转化就是大震的发生。因之可把临界慢化的概念用于大震预报。在此情况(1)式可改写为

$$\tau \propto |\sigma_0 - \sigma|^{-\Delta} \quad (2)$$

式中 $\tau$ 是慢化时间, $\sigma_0$ 为震源系统所在的地壳介质的临界应力值, $\sigma$ 是孕震区某时刻实际达到的应力, $\Delta$ 为震源系统在大震发生前一些涨落(例如发生小震、小震群、蠕滑幕,以及小震和蠕滑的混合过程幕等)的慢化指标。它与震源系统中应力分布的均匀度以及小裂缝互相制约的程度有关。当应力比较均匀,小裂缝很小时, $\Delta$ 接近于1,否则就显著地偏离1。

## 2. 大震前临界慢化的具体分析

按照组合模式,震源是由应力积累单元(具有锁住条件的断层或具有一定强度的完整介质区)和其两端的应力调整单元(粘锁不好的蠕滑断层,低强度和富含流体等地区)组合而成。由于应力积累单元介质强度高,调整单元介质强度低,所以在震发生前,调整单元先出现涨落(包括中小地震发生和蠕滑发生),这种涨落表现为地震前兆产生了,然后又消失了,又产生了,又消失了。其地震前兆出现的延续时间将随着临近大震发生而变长。在临近大震发生前积累单元也将发生涨落,它表现为局部预滑的发生和企图向大范围展布以及小震的发生等。

根据以上所述,大震前的临界慢化可分为以下三种情况:

(1) 单一小裂缝或单一蠕滑裂缝出现,它们未达到临界扩展的长度,因之放能时间短,即 $\tau$ 值小。当小裂缝或蠕滑裂缝相继克服一些小障碍而接踵串通较大范围时,其放能时间就拉长, $\tau$ 值变大。这就是临界慢化,它易于导致大震发生。

(2) 在复杂介质中小裂缝和蠕滑断层的串通发展会形成规模大一些的较复杂的串通系。

列，它伴有中小地震群和蠕滑幕，同时延续时间也拉长了，即慢化。

(3) 当积累单元是粘住的断层时预滑先由小的局部发生，然后停歇，后再扩大并传播，这种扩大了预滑其延续时间相对长，这就是慢化。它将导致大震的发生。当积累单元是完整介质时，首先会在介质强度相对低的地方发生小震，随后若相继克服一些小障碍而接踵发生小震系列，这个系列可视为一个涨落。它的时间如随着时间进程拉长，则这就是一种慢化。当另一涨落再起时有可能导致不可停止的裂缝传播而发生大震。

### 3. 地震预报中的具体应用

在大地震预报中临界慢化可表现为以下几点：

(1) 测震学指标 刘正荣提出的 $h$ 值变小就是临界慢化指标之一。它表明小震系列衰减慢，因之这是临近大震的指标。当然 $h$ 值在时间上可能有起伏， $h$ 值变小的幅度愈大，越可能接近大震发生。

(2) 单一前兆指标 这是由单一前兆手段来判断慢化，最初某种手段出现的前兆持续时间短，随着时间的进程前兆持续时间变长，这可能是临近大震的指标。

(3) 综合临震前兆 与单项前兆一样，最初出现某种前兆，持续时间短，这种类似情况可能出现多次，每出现一次手段的类别可能还会发生变化，但持续时间短是其总特征。随后各前兆手段接踵出现前兆，形成综合前兆群，这是综合前兆的慢化现象，它意味着大震即将发生。值得指出的是上述单种类短持时前兆，有时符合外因调制时间，但到临近大震前，因慢化占优势，调制特征可能就不典型了，这也是大震发生的慢化指标，这种慢化可称为调制慢化。

对于大震的临震预报来说，其时间要求是一天或一天左右。为了达到此目的，我们还应在慢化中寻找更进一步的层次指标。

(国家地震局兰州地震研究所 郭增建 秦保燕)

## “CRITICAL SLOWING DOWN” AND EARTHQUAKE PREDICTION

Guo Zengjian, Qin Baoyan

(The Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB)