

耗散理论在地震预报中的应用

郭增建 秦保燕

(国家地震局兰州地震研究所)

摘 要

本文在文献[1]、[2]的基础上,进一步应用耗散理论中的多重选择和岔区外敏概念来讨论地震预报问题。指出,在断层平面组合中,由于始裂点的位置不同,会导致后果的重大差异。在立交模式中,深部剪切蠕滑线在哪里发生有一定的随机性,即上部岩石圈中某一发震断层在某一时间内是否有深部剪切蠕滑线与其相交,具有随机选择的性质。关于岔区外敏问题,耗散理论认为,分岔点上外界因素对系统变成新态的途径选择具有很大影响。外界因素的作用会有利于某种途径的选择,特别在分岔点处这种选择的作用要显著放大。对于一个地震,在震源区处于不稳定状态时,外因对震源地方的调制和触发作用是很大的。如果外因的时间规律、空间规律和方向规律是已知的,则可对多重选择进行实际选择,使其可能性范围缩小,进而进行相对确定的地震预报。

近十年来,在物理化学领域内出现了著名的耗散理论。这一理论是统计物理学的新进展,它把原来的确定性物理学推进到进化论物理学,因之人们称其为物理学中的一场革命。1986年我们曾引用耗散理论中相态突变前出现的特征现象来讨论地震预报问题^[1]。由于目前对地震形成的全部过程及其分类还了解不够,所以在文献[1]中把大震的发生比作耗散理论中相态的突变,而并不区分这种突变是分岔式突变还是混沌式突变。如果是混沌式突变,则在突变的开始应出现奇异吸引子,如果是分岔式突变,则在临分岔时出现涨落加剧和长程关联。这些都是耗散理论中的重要概念,它对不同事物是共性的,因之可能在地震预报中也会有所体现。在上述研究基础上,1986年秦保燕从统计物理学角度推广了震源孕育的组合模式^[2],并把大震的孕育过程视作为耗散理论中逐渐偏离平衡态(即均匀态)的过程。在偏离较小的时候,也就是组合模式中调整单元或调整场运动幅度较小的时候,震源区及其附近地区的小震能量释放随时间的变化是线性的;在偏离平衡态较大的时间,也就是调整场的运动总幅度(统计意义上的幅度)进一步加大以及积累单元应力进一步集中的时候,震源区及其附近小震能量的释放或其他指标(如b值)随时间的变化是非线性的,在非线性阶段之后大震就发生了。这是一个相态的突变。这个非线性阶段的时间长度大约占整个震源孕育时间的五分之一,占线性时间长度的四分之一。当已知线性时间段和已知非线性时间段的开始点后,就可按上述时间比例去推求未来大震发生的时间。有趣的是这两个时段的比值对不同震

级的地震是大致相同的, 而线性时间段的总长度是与未来的地震的震级有关的。

本文进一步应用耗散理论中的多重选择和岔区外敏等概念来讨论地震预报问题。耗散理论可以概括为: 事物的发展演化是比较复杂的, 在确定性系统中存在着内在的随机性, 这两者是统一过程中在不同演化时间的表现。我们在地震预报的研究中, 也应遵循这种观点。

一、断层平面组合中的多重选择

在耗散理论中, 所谓多重选择是指当一个系统的相态以确定性规律发展到发生突变时(分岔), 可能采取多种途径变为新态, 每个途径是不同的, 其后果也不同, 且事先无法预料突变时间及变成新态的途径, 因之, 带有随机性。在地震学中, 如果某一地区应力积累很高, 要发生突变了(即发生大震), 但始破裂点在何处事先不知道。这是因为, 在即将发生突变的时刻, 各处涨落因素加强, 而涨落是一种随机现象, 所以不好判断高应力区域中哪一点是始破裂点; 另外即使按介质强度和应力值可以确定始破裂点, 但没有判断指标, 因之不知道它的具体位置, 也就是说在高应力区中任何点都可能是始破裂点, 因此这等于也是随机的。由于上述两个原因, 即使震源结构是确定性的, 但始破裂点的随机性会导致后果的重大差异。这就是在突变(相空间中的分岔)发生时选择途径的多重性。下面举一些例子来说明这个问题。

1. 单侧交汇断层

在图1中 f_1 、 f_2 、 f_3 和 f_4 均为断层段, f_3 和 f_4 为粘滑断层段, 假设其上已积累了很高的应力; f_1 和 f_2 则粘结不紧, 未积累很高压力。在这种情况下, 震源结构是确定性的。但在临发震前, 由于始破裂点的随机性, 因之可形成不同的地震后果。如始破裂点为I, 则按文献〔8〕的理论, 地震为单发式, 震级较大, 其震级为:

$$M = 3.3 + 2.1 \log(f_3 + f_4) \quad (1)$$

如果始破裂点为I', 则地震分两次发生, 其震级分别为:

$$M_1 = 3.3 + 2.1 \log f_3 \quad (2)$$

$$M_2 = 3.3 + 2.1 \log f_4 \quad (3)$$

以上是始破裂点的空间位置不同所导致的地震后果也不同。它既适用于短临预报, 也适用于中长期预报。对于后者来说, 我们要考虑上述几种情况下的地震烈度问题。

2. 平面垂直交汇断层

这种断层交汇情况如图2所示。如果垂断层 f_1 和底断层 f_3 都能发震, 且都达到应力很高

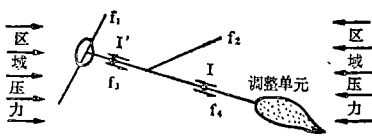


图1 单侧交汇断层
Fig. 1 The single side meeting faults

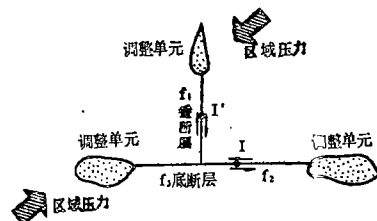


图2 平面垂直交汇断层
Fig. 2 The horizontal perpendicular meeting faults

的程度，但是由于始破裂点的位置不同其后果也大不一样，如果 I 为始破裂点，则底断层发生一次大震。同时由于“底震垂减”的原因， f_1 就不发震了。如果始破裂点在 I'，则垂断层发震后，底断层又要相继发震（即垂震底继）。这说明构造交汇地区地震类型不一定是多发型，这与多重选择有关。

3. 平行断层

图 3 中 f_1 和 f_2 为两个相互平行的断层，但 f_1 比 f_2 的规模小，因之发震时震级也相应较小。如果这两个平行断层都积累了很大能量即将发震，则始破裂点在 f_1 上时，其发震后要使 f_2 断层的中段减震，因之 f_2 断层被分为三段，其余两段分别发震，则地震就大大减小之。如果始破裂点在 f_2 ， f_1 被减震，不再发生地震了。前一种发震方式可作为今后人工控制地震的一种方案，因为它不触发 f_2 上的大震。

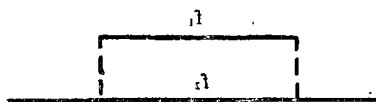


图 3 平行断层

Fig. 3 The parallel fault

二、立交模式中的多重选择

所谓立交模式，就是在统一的应力场作用下，上部岩石圈中的孕震断层与下部岩石圈中的剪切蠕滑线互相耦合的模式（具体耦合的力学道理作者在1983年以来已作过讨论）。这个模式在地震预报上的应用有以下两种情况：

1. 孕震作用：当上部岩石圈中的断层发生大震后因断层面磨平、产生高温和断层泥而不利于再锁住时，若有下部岩石圈中的剪切蠕滑线通过底部，则可使上部断层扭曲而锁住，从而可再度孕震。深部剪切蠕滑线何时出现可由短期的、长距离的、跨越不同构造单元的和直线式的震中迁移线来揭示。这种地震迁移线与发震构造的交汇区即为立交投影区，这就是孕震区。从立交形成的时间开始（即震中迁移线出现的时间开始）作为孕震的起算时间，並可用我们以前的公式来求未来地震的震级。

$$M = 1.55 \log t + 4.6^{(4)} \quad (4)$$

$$\log D = 0.52M - 1.25^{(5)} \quad (5)$$

$$t = \frac{D}{V} \quad (6)$$

式中 t 以年为单位， V 为断层的平均滑动速率。以上诸式相配合，即可求出不同孕震时间和所相应的震级。

2. 触发作用：当上部岩石圈中的孕震断层积累的应力快要达到释放的程度时，如果有下部岩石圈中的剪切蠕滑线从底下通过（以震中迁移线作推断）则可触发此震。这是短期地震预报中的问题。但是否触发还要看立交投影区和其附近是否有其他前兆出现，因为快成熟的地震才可谈及触发。

以上关于立交模式的讨论是确定性的。然而深部剪切蠕滑线在哪里发生，往往有一定的随机性。因为下部岩石圈是比较均匀的，且那里一旦产生断层，不久就愈合无痕了（除非断

层产生时有高温物质填入)。这就是说下部岩石圈中大量的剪应力较大的线,虽由区域应力场决定,但在某一指定时间内,哪个地方先开始传播剪切蠕滑线仍是随机的。因之上部岩石圈中某一发震断层在某一时间内是否有深部剪切蠕滑线与其相交,事先不能够确定,它有随机选择的性质。对于触发上部岩石圈中快要成熟的地震来说,其道理相似。只有剪切蠕滑线出现后才能讨论立交触发问题。

三、岔区外敏

对于立交模式的多重选择来说,我们主要强调了选择有多个方案,但实际上选择哪个方案带有随机性。例如,始破裂点在失稳区域中哪一点开始就是随机的。这样一来,又如何进行地震预报呢?能否在随机性中找出相对确定的结果呢?对此可应用耗散理论中岔区外敏的概念来讨论。

在耗散理论中,分岔点上外界因素对系统变成新态的途径选择具有很大的影响。例如,无外因时,相态突变后可沿两种途径变为新态,事先并不知道系统会选择哪种途径变为新态。但当有外界因素作用时,它会有利于某种途径的选择,特别是在分岔点处,这种选择的作用要显著放大。对于一个地震来说,如果外因引起震源地方的剪切力 ΔS 与震源地方岩石强度 S 的比为某一很小的分数($\frac{\Delta S}{S}$),则在平时,虽然这个外因也经常在作用,但其选择作用(用 B 来表示)不大,它正比于这个分数,

$$\text{即 } B \approx \frac{\Delta S}{S}$$

但在分岔点附近,即所讨论地区应力达到很高快要失稳的情况,这种外因影响作用要巨额放大,它与这个分数的立方根成正比,

$$\text{即 } B \approx \left(\frac{\Delta S}{S} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (8)$$

由此可知,在分岔点附近,外因对选择的作用放大了几个数量级。这说明在震源区处于不稳定状态时外因对震源地方的调制和触发作用是很大的。如果外因的时间规律、空间规律和方向规律是已知的,则可对上述两节中所说的多重选择进行实际选择,使其可能性的范围缩小,以便进行相对确定的地震预报。

四、某些其他问题的讨论

混沌态中有许多突变,但其出现是随机的,具体发生时间不好掌握。如果大地震的发生是处于地壳内的混沌态中,这会使确定性地震预报产生困难。但是只要能预测混沌何时发生,也可预测地震可能就在混沌时段之内,因为混沌态中有较大的突变,它相应着大震的发生。由于这类预报的时间误差可以较大,因此对于地震的长期预报也许是不妨碍的。

对于临震预报来说,岔区外敏的现象应当重视。另外是否在混沌区段内外因也可起调制作用,这是需要研究的。如果外因是周期性的,这就是一个随机过程和一个周期过程的耦合问题。它有可能使随机性事件带有一定的时间规律。对于长期预报来说,长期的可以预测的

外因条件,也可对随机过程进行一些选择。另外,在多重选择问题中,带有共性的黄金分割比也是值得考虑的。例如1975年2月4日海城大震的始破裂点就在震源体全长的黄金分割处。有趣的是该震时大量烟囱的破坏部位也位于全长的黄金分割处。这也支持了地震发生问题中黄金分割选择性的价值。

总之,在地震预报中,根据耗散理论的观点,在确定性系统中存在着内在随机性。这和已往直接把地震的发生认为是随机性的观点具有原则的区别,另外还要补充指出一点,我们不能在随机性面前完全按随机性考虑,要在随机性当中寻找起选择作用的外因条件,追求相对的确定性,以便进行各种时间尺度的地震预报。

参 考 文 献

- [1]郭增建、秦保燕,用现代统计物理学观点讨论地震预报,国际地震动态, No.8, 1986.
- [2]秦保燕,大震前复杂震源系统的非线性阶段和大震预报),西北地震学报, Vol.8, No.4, 1986.
- [3]郭增建、秦保燕,传播的剪切破裂与另一静态断层的交遇,西北地震学报, Vol.5, No.3, 1983.
- [4]兰州地震大队,用地震资料讨论近期地震危险性,地震战线, No.8, 1971.
- [5]郭增建等,震源孕育模式的初步讨论,地球物理学报, 1973.

APPLICATION OF DISSIPATIVE THEORY IN EARTHQUAKE PREDICTION

Guo Zengjian Qin Baoyan

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

Abstract

This paper uses the multiple selection and the external sensitivity of bifurcation in the dissipative theory to discuss some problems of earthquake prediction.

For the combined faults, multiple selection is caused by the stochasticity of the beginning point of fracture. Besides, sometimes the earthquake process possibly become into chaotic. It means, there are some difficulties for earthquake prediction. In order to comparatively definite predict earthquakes, we must study the interaction between the external factors and the earthquake source system.