

从现代统计物理学的观点探讨大震预报

秦 保 燕

(兰州地震研究所)

现代统计物理学所研究的复杂系统突变前的共性现象对研究大地震预报有重要启示。1986年郭增建和作者曾就系统突变前三种共性现象,即奇异吸引子、涨落加剧和远程关联在地震预报中的应用作了简要讨论^[1]。本文则进一步用现代统计物理中远离平衡态的非线性现象^[2,3],以及分数维等观点^[4]探讨了不同时间尺度的大震预报。

一、震源系统简述

地壳是很复杂的,其中有断层的切割,有流体和软物质的充填,有温度和应力以及岩石化学成份的不均匀分布等。震源就处于这种复杂的地体环境中,因此震源不是孤立体,而是与周围介质耦合在一起的复杂系统。这个复杂系统可以把板块和上地幔运动对地壳的作用力逐步地传递到震源地地方去。同时当系统内某一部分出现非线性态时,即出现比平时更为剧烈的蠕滑,流体运移和地震能量释放时,又会对系统的其它部分甚至系统外的介质产生影响,如应力集中或造成让位条件使其易于运动。这就是说系统内各子系统之间以及系统与环境介质之间有能量交换和物质交换,因之该系统属于耗散结构。在我们对实际震源进行研究时,我们规定系统内只包含一个大震震源。因此狭义的震源系统范围仅包括震源的应力积累区,震源附近的应力调整区,另外也包括震源的顶部和底部。按照组合模式的观点^[5],震源附近的应力调整区最远范围可由下式求得^[6]

$$\log R_{\text{公里}} = 0.5M - 1.4, \quad (1)$$

式中 R 为以震源中心点起算的距离。至于大于上述距离的更外围地区可视为震源系统的环境区域,它可以为许多震源所共有(这一空间范围是相当大的)。环境区域与震源系统的能量交换与物质交换,主要通过震源系统进入非线性态来实现。很显然对于预测这种复杂系统内突然事件的发生应属于现代统计物理学研究对象。

二、孕震过程的相似性及大震发生的临界指标讨论

现代统计物理学从原则上阐明了不同系统突变前的共性特征,如表现为与非线性过程有关的涨落加剧(大大偏离平时的平均状态)。根据岩石的破裂实验^[7]以及大震前测震学前兆资料^[8],我们发现岩石在大破裂前和大地震发生前均有大大偏离平均状态的异常现象发生,这实际上就是震源系统由线性态进入非线性态时所表现的现象。详细研究大震前的孕震过程还发现,不同震级的地震其线性态持续时段和非线性态持续时段的比例十分相近。据此当由测震学指标(也可扩大到前兆指标)已知一个大震前的线性态时段和非线性态出现的时间后,即可应用这种比例推求大地震发生时间。下面作具体讨论。

1. 大震前震源系统非线性阶段的确定 非线性阶段是较明显的地震前兆形成的原因。

本文 1986 年 12 月 10 日收到。

因此非线性阶段的确定是进行地震预报的一个关键性步骤。在岩石破裂实验中声发射事件的急剧的非平稳增长与岩石的非弹性应变阶段有关。在天然地震中,地震的频次、能量以及大小地震的比值关系相当于声发射的相应值,因之可用地震资料确定震源系统进入非线性态的拐点。具体来说,就是由大地震发生前一定区域内较小地震能量释放量(常用其平方根值表示)随时间的加速、地震频次随时间的加速增长以及 b 值曲线随时间向低值弯曲的转折点来确定。当系统进入非线性阶段后,将出现非平稳态加剧。此时会表现出地震活动在时空上的有序现象,如地震频次的密集-平静,前兆的大起大落,地震在某些地方的密集分布以及地震条带的出现等^[9]。因此非线性阶段的出现是大地震预报的基础。然而仅知道一个地震的非线性阶段仍不能对大地震进行确定性预报,还必须进一步研究大震预报的确定性指标。

2. 地震发生的临界指数 c 和中、长期预报讨论 对我国 12 次 7 级以上地震前震源区及其附近的地震活动性资料进行初步研究后发现,大震前的线性时段 T_1 和非线性时段 T_2 之比大体稳定在 4 左右^[9],即

$$C_1 = \frac{T_1}{T_2} \approx 4, \quad (2)$$

整个孕震时间 T 与 T_2 之比稳定在 5 左右^[9],即

$$C_2 = \frac{T}{T_2} \approx 5, \quad T = T_1 + T_2. \quad (3)$$

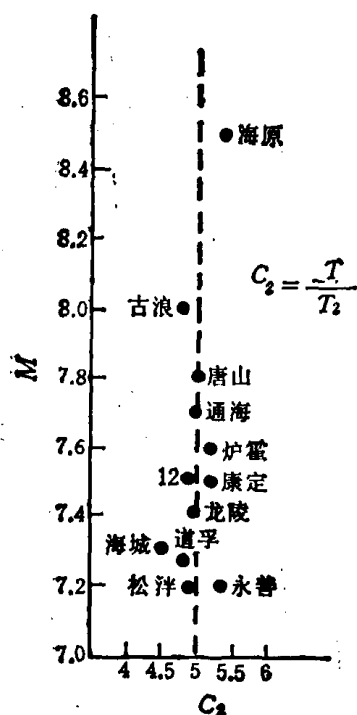


图 1 临界指数 C_2 与 M 的关系图

图 1 表示了 C_2 与不同震级 M 的关系图。它表明,不同地区不同震级大地震前的特征性时间之比 C_2 值存在着自相似特性。这可能反映介质破坏的固有特性,即系统的线性态时段愈长,其非线性态时段亦长,反之两者都短。因此 C_1 和 C_2 是反映震源系统共性特征的比值,可以作为大震发生的普适临界指数。但为了提高预报精度,仍应在各个地区由统计方法分别求得每一个地区的最佳比值,然后根据已知的线性阶段和非线性阶段开始时间去求得未来大震发生时间。

以上讨论的是中期或中长期地震预报,即必须在非线性阶段开始显示后才能对大震发生时间作出预报。因为在线性阶段并不包含大震发生的信息。对于 7 级以上大震来说,其中期和中长期的时间预报尺度大致在 3 年至 30 年范围内 ($M = 7.2 \sim 8.5$)。对于长期预报来说,要在非线性态出现前就作出预报是困难的。为了进行粗略的长期预报,我们建立了孕震时间 T 与震级 M 之间的统计式^[9]

$$M = 5.8 + 1.2 \log T, \quad (4)$$

$$M = 4.2 + 1.5 \log T, \quad (5)$$

(4) 式和 (5) 式分别用于构造运动速度较高的地区和一般性地区,式中 T 以年为单位。在某一地区最大强度确定后,可根据空区开始时间由 (4) 或 (5) 式初略估算未来大震时间。

三、非线性阶段的多层次性及中短临预报

在现代统计物理学中,“分数维”是一种不稳定的或准稳定的态,其基本特征是事物间具有多层次,自相似,无限镶嵌的特性。因此分数维是描述非线性多层次的一种数学工具。震源系

统存在非线性阶段,因此也应当存在分数维特性。下面按这种观点对大震前非线性过程的多层次性和大震的中短临预报作具体讨论。

由于复杂震源系统中各组成部分岩石的完整性和强度有很大差异,因之在外力作用下它们各自进入非线性态的时间是不同的。这样,在上述总的非线性时段 T_2 内会出现次级层次的非线性态,如震源端部及其附近的调整单元区是整个震源系统中完整性差和最易调整应力的地区^[9],因而是最早进入非线性阶段的地区。当该区进入非线性态后,由于承受应力的能力下降而把应力转移到岩石强度较高的积累单元区和更外围的环境介质中。由于外围介质也不是均匀的,因此应力将在外围的某些地区加强,随后使这些地区进入非线性态。此后应力又转移到岩石强度或断层面摩擦强度较高的震源区(积累单元),最后应力传递到震源顶部,并使它们分别进入非线性阶段。此时整个系统进入非平稳态,外围让位条件具备,最后大震发生。根据以上所述,在震源系统和相邻的环境介质中,低层次的线性态和非线性态是由高层次的非线性阶段控制的,如此形成自相似多层次镶嵌结构(图2)。其低层次的非线性时段由下式表示:

$$T_2^{(n)} = \frac{T_2^{(1)}}{C_2^n}, n = 1, 2, 3, 4, \quad (6)$$

式中 $T_2^{(1)}$ 为高层次的非线性时段 (T_2), (n) 为层次数, n 为方次。由上面的论述可知,各非线性层次不仅引起前兆的空间图像不同,而且前兆时间也显示了明显的阶段性。就总的情况来说,在前兆时空图像上将出现由震源向外围扩展,然后又从外围向震源区集中,最后大范围出现前兆异常的特征。由于层次间具有自相似,多层次镶嵌的特征,因此由第一个非线性时段就可以推出以下的非线性时段,从而预测前兆时空分布特点并进行大震的中、短、临预报。

根据上述观点,我们对唐山和海城大震前的非线性多层次进行计算,所预测的时空特征与实际前兆时空特征基本相符^[10,11]。这说明大震前非线性各层次的镶嵌是成立的。本文的研究表明,利用复杂系统的非线性阶段以及线性态与非线性态时段之间的比值关系有可能进行大地震的中期预报和粗略的长期预报。另外,利用非线性时段内次级层次的时间特征进行中短期和短临地震预报。对于临震预报来说,应考虑外因对不稳定系统所产生的强调制作用和触发作用,并对非线性层次的预测时间作适当修正。

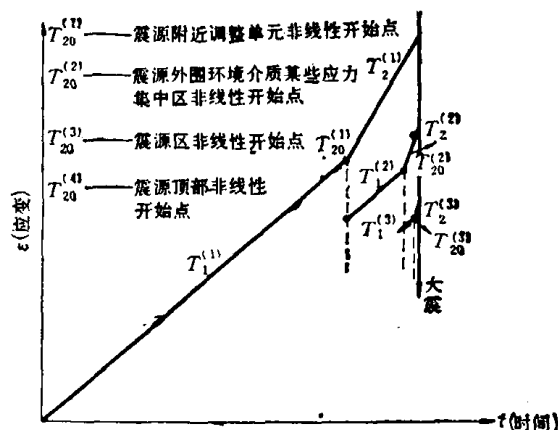


图2 震源系统非线性阶段的多层次结构

参 考 文 献

- [1] 郭增建、秦保燕,国际地震动态,1986,8:13—14.
- [2] 李如生,非平衡态热力学和耗散结构,清华大学出版社,1986.
- [3] 于渌、郝柏林,相变和临界现象,科学出版社,1984.
- [4] 彭志忠,地球科学,1986,4:159—174.
- [5] 郭增建、秦保燕、徐文耀、汤泉,地球物理学报,1973.
- [6] 郭增建,西北地震学报,1985,4:101.
- [7] B. N. 米亚奇金、W. F. 布雷斯,地震理论与实验,地震出版社,1979.
- [8] 国家地震局分析预报中心第一研究室,中国地震前兆资料图集(1962—1980),地震出版社,1984.
- [9] 秦保燕,西北地震学报,1986,4:1—8.
- [10] 梅世蓉等,1976年唐山大地震,地震出版社,1982.
- [11] 蒋凡,海城地震,地震出版社,1978.