

复杂震源系统非线性阶段的多层次性及 大震的中、短、临预报(二)

秦 保 燕

(国家地震局 兰州地震研究所)

摘 要

本文是《复杂震源系统的非线性阶段和大地震预报》〔1〕一文的续文。主要应用现代统计物理学中分数维的观点〔2、3〕论述复杂震源系统非线性阶段的多层次性以及不同层次间的自相似无限镶嵌特征。根据这一特征利用测震学指标中有明确显示的蠕变曲线突然加速的拐点得到的第一个非线性层次可逐级推算其以下的各非线性层次,其推算公式为:

$$T_n^{(n)} = \frac{T_2^{(1)}}{C^n} \quad n = 1, 2, 3 \dots$$

式中C为某一地区孕震时间T与第一层次非线性时段 $T_2^{(1)}$ 之比,这是一个统计值,是根据不同地区的大震统计得到的,C值基本上稳定在5左右。根据上面的公式求得的各非线性层次以及所伴随的前兆异常可进行比较确定的中期和短临地震预报。

在《复杂震源系统的非线性阶段和大地震预报》一文中,作者主要论述了一个复杂震源系统在大震发生前震源和震源附近最早出现的非线性阶段,并根据孕震时间T和非线性时段 T_2 之比讨论了中长期预报问题。在这篇论文的基础上,本文将进一步讨论非线性阶段内镶嵌的更小的非线性层次,并利用这种多层次非线性阶段引起的前兆时空特征进行中期和短临预报的探讨。

一、震源系统简述

地壳是很复杂的,其中有断层的切割,流体和软物质的填充,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部地传递到震源地方去。同时当系统内某一部分出现非线性态时,它会对系统的其它部分产生影响,从而形成与外界有能量交换的封闭系统或耗散结构(不仅有能量交换而且还有物质

交换)。但我们对震源问题进行具体讨论时,为了使震源系统尽可能只包含一个震源,而把其它震源(指大地震)排除在系统之外,因此震源系统不宜把范围取得过份的大。它只应包括震源区和震源附近地区(包括震源的顶部和底部)。按照组合模式的观点,其震源系统的范围可由下式求得〔4〕

$$\log R = 0.5M - 1.4 \quad (1)$$

式中 R 为由震源中心点起算的距离,单位以公里计。对于7级和7级以上的大地震来说震源系统的总尺度约为震源体尺度的4倍以上。至于震源更外围的地区可以作为震源系统的环境来对待。这种环境条件可以为许多震源系统所共有,因此其空间范围是相当大的,它相当于震源系统外围的刚度。板块边界力就是通过这一环境介质向震源区附近输送能量的。当震源系统某一子系统介质进入非线性态后震源系统不仅与环境介质有能量交换,而且还存在物质交换,例如大震前环境介质中流体与震源系统介质中流体的相互运行等。

二、大震前复杂震源系统非线性阶段的多层次性和大震的中、短、临预报

大震前,当复杂震源系统通过环境介质受到构造力源作用后,由于这个复杂系统各组成部分岩石的完整程度和介质强度有很大差异,它们各自进入非线性阶段的时间是不同的。这样在总的非线性阶段中会出现多层次的非线性阶段。分析震源区应力集中过程可以初步划分出以下几个层次。第一个层次是震源端部及其附近。它属于震源区的应力调整单元,是整个震源系统中岩石总体强度低,完整性最差的地区。因此在外力作用下,应力首先在这样地区内的较坚硬小段上集中,并使这里的介质首先达到岩石强度或摩擦强度,发生蠕滑运动和弹性能量的释放,由线性态进入非线性态。其测震学的主要指标为震源端部及其附近发生中强地震,蠕变曲线出现明显加速。当震源端部及其附近调整单元地区进入非线性态后,承受应力的能力下降,从而把应力转移到震源地区和应力调整单元的外围地区。由于震源区介质完整性好,强度高,而外围(环境介质)某些地区相对比震源区的完整性差,因此应力转移到外围区,使外围某些地区产生相对的应力集中,引起蠕滑运动和弹性能量的释放并进入非线性态。这是第二个层次。当外围某些地区进入非线性阶段后应力又向震源区及其附近转移,并使震源区加速积累应力随后进入非线性阶段,这为第三个层次。最后应力转移到震源

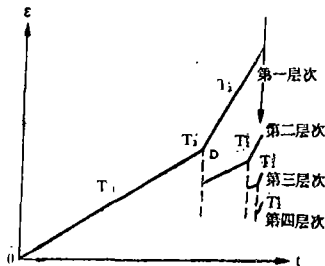


图1 非线性的多层次镶嵌

Fig.1 The non-linear and multiple layer inlay

顶部,并使该区也进入非线性阶段。此时整个震源系统进入非平稳态并走向最后失稳阶段,这为第四个层次。根据以上所述,低层次的线性阶段和非线性阶段是上一层次的非线性阶段所控制的。也就是说上一层次非线性阶段的开始点是下一个层次的线性阶段的开始点。依此类推,形成自相似无限镶嵌的层次性,这种自相似的多层次性可以由图1表示。根据图1,其第 n 层次的非线性时段可由下式表示:

$$T_2^{(n)} = \frac{T_2^{(1)}}{C^n} \quad n = 1, 2, \dots \quad (2)$$

式中 $T_2^{(1)}$ 为第一层次的非线性时段, 即为文献[1]中的 T_2 。 $T_2^{(n)}$ 为第 n 层次的非线性时段; C 为大震孕育时间 T 与非线性时段 T_2 之比。根据文献[1]讨论, C 与介质强度和构造运动速度差异(指不同地区)无关, 它稳定在5左右, 这样当不知道某一地区的比值时, 可用 $C=5$ 代入(1)式这样(1)式也可写为

$$T_2^{(n)} = \frac{T_2^{(1)}}{5^n} \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (3)$$

一般情况下 n 取4就可以了。式中 $T_2^{(1)}$ 为震源端部附近的非线性时段; $T_2^{(2)}$ 为震源外围(主要指环境介质)的非线性时段; $T_2^{(3)}$ 为震源区的非线性时段; $T_2^{(4)}$ 为震源顶部的非线性时段。由以上的层次性可以看出, 非线性阶段出现的地区和时间是不同的。此外, 由于线性阶段内非平稳态现象不突出, 而在非线性阶段内的非平稳态现象(大大偏离平均状态的前兆现象)相当突出, 因此前兆的时间特征将明显地出现阶段性, 即异常的不明显阶段和异常的明显阶段。在空间上将出现前兆异常由震源附近向外围扩展, 然后又从外围向震中区集中, 最后积累单元可能发生予滑, 并影响调整单元和环境介质有一相应运动, 于是在临震前出现大范围异常。上述这种时空特征是由复杂震源系统内不同层次的非线性阶段所控制的。由于层次间具有自相似无限镶嵌的特征, 因此只需知道第一个层次的非线性时段, 就可以对以后的各层次的非线性时段以及非线性出现的时间作出预测, 对照实际前兆时空图像进行比较确定性的中期和短、临地震预报。下面以唐山、海城大震为例进行讨论。

二、唐山、海城大震预报讨论

1. 1976年7月28日唐山大地震的非线性层次及中、短临地震预报

唐山大震发生前, 在震中区及其附近的地震活动所反映的蠕变曲线如图2所示(6)虽然蠕变曲线并不完整, 但根据在1945年唐山附近滦县发生6 $\frac{1}{4}$ 级地震后, 该区很少发生4.7

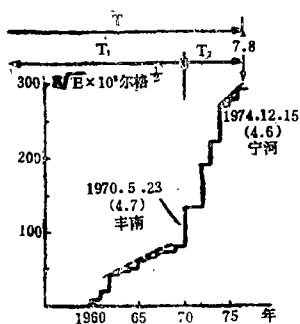


图2 唐山大震前的蠕变曲线

Fig. 2 The creep curve before Tangshan earthquake

级以上的较强地震的事实, 可以推测从1945年到1970年5月25日丰南4.7级地震前蠕变曲线为线性阶段, 它反映复杂震源系统处于线性态。1970年5月25日丰南地震标志着蠕变曲线明显加速, 它反映系统进入非线性阶段。从图2蠕变曲线可以看出, 非线性阶段的起始点即为1970年5月25日丰南地震; 线性态的起始点为1945年9月23日滦县地震。图2中 T 为唐山大震的孕震时间 T 、 T_1 为线性时段, T_2 为非线性时段。将上述几个发震时间代入公式可得

$$C = \frac{T}{T_2^{(1)}} = \frac{1976\text{年}7\text{月}28\text{日} - 1945\text{年}9\text{月}23\text{日}}{1976\text{年}7\text{月}28\text{日} - 1970\text{年}5\text{月}25\text{日}} = 5.000675$$

所得结果与文献〔1〕统计结果一致。这样我们在估计各非线性层次时均用 $C=5$ 来计算, 得到各非线性层次如表1所示。为了清楚起见, 把这几个层次示于图3中。由图可见, 各非线性层次是间断的, 因而层次是相当清晰的。在第一层次, 地震主要在震源区附近活动, 这在蠕变曲线上已有反映; 第二层次最突出的是震源外围的区域地震活动加剧, 震群活动频繁以及其它区域前兆异常的出现; 第三层次主要前兆集中在前述的震源系统范围内, 第四层次和第五层次将在大范围出现异常。上述计算的各非线性层次出现的时间和相应的前兆种类以及前兆出现的时间由表2列出。

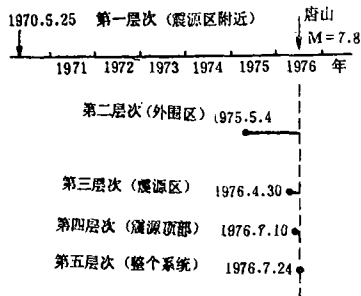


图3 唐山大震前非线性的多层次
Fig.3 The multiple levels of the non-linear stage before Tangshan earthquake

表1 唐山大震前的各非线性层次

非线性层次	$T_2^{(n)} = T_2^{(1)} / 5^n$	非线性阶段出现时间
1	6年2月3日	1970年5月25日
2	1年2月24日	1975年5月4日
3	2月29日	1976年4月30日
4	18日	1976年7月10日
5	4日	1976年7月24日

表2 唐山大震前非线性层次与前兆对比表

非线性层次	时段	非线性开始时间	前兆出现时间	前兆类别	前兆出现地区
1	6年2月3天	1970.5.25	1970.5.25	蠕变曲线加速, 中强地震发生	震中区附近
2	1年2月24天	1975.5.4	1975.5.5	震群, 香河台短水准, 牛口峪水准, 电感地应力	外围区
3	2月29天	1976.4.30	1976年4月30~5月初	长清站地应力, 胜利钻, 滨278, 85油气水和含水百分比, 乐亭新开口, 柏各庄井水位, 地震活动	外围区 震源区
4	18天	1976.7.10	1976年7月初	区域氦值突跳异常, 油井动态临震异常, 天津咸水井水位, 唐山地区电阻率	大范围
5	4天	1976.7.24	1976.7.24	柏各庄地下水, 氢气临震突跳, 张道口短水准, 唐山十中井坍, 地温, 胜利油田油产量, 简易地电	震中区 大范围

由于本文的篇幅有限, 前兆异常图不列举, 请参考唐山大地震这本书〔6〕。

根据表2的对比, 唐山大震前绝大多数的前兆是与计算所预计的非线性层次一致的。这一事实说明震源系统非线性阶段的多层次性之间具有相似性。

2.1975年2月4日海城大震前非线性层次及海城大震预报

海城大震前震中区及其附近蠕变曲线如图4所示。由图可见, 蠕变曲线在1967年6月8

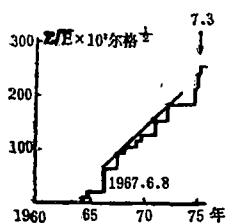


图4 海城地震前震源区及其附近地区的蠕变曲线
Fig.4 The creep curve in focus and its adjacent before Haicheng earthquake

日长山群岛东发生 $4\frac{3}{4}$ 级地震时加速（此震离海城大震区较近）。此外由历史地震记载可知，海城孕震区内的熊岳曾在1940年8月5日发生过 $5\frac{3}{4}$ 级地震，此震后孕震区内没有再发生较强地震，因此，分别把上述两次地震的日期作为非线性时段的起始点和弹性应变积累的起始点，代入（1）式得

$$C = \frac{T}{T_2} = \frac{1975年2月4日 - 1940年8月5日}{1975年2月4日 - 1967年6月8日} = \frac{34年6月}{7年7月26日} = 4.52$$

这一值可能是海城地区的特征值，为此按 $C = 4.52$ 来计算次一级的非线性层次。为节省篇幅，将结果列于表2，同时还列出前兆异常的时间种类，以便对比。

由表3可以看出，由第一个非线性层次所推出的其它次一级的非线性层次与实际的前兆出现的阶段性相当吻合。

表3 海城大震前的非线性层次及相应前兆

层次	非线性开始时间	T_2 (年)	前兆出现时间	前兆类别	地区
1	1967年6月8日	7年7月26日	1967年6月8日	中强地震活动	震源区附近
2	1973年5月25日	1年8月9日	1973年6月	金县水准，北京深井水位，大灰厂地形变，沈阳台地应力	震源外围区
3	1974年9月19日	4月15日	1974年9月	辽宁盘锦氨，金县水准达第二个峰值	震源外围区
4	1975年1月5日	30日	1975年1月8日	地气	震中区
5	1975年1月28日	7日	1975年1月底	地下水	震中区
6	1975年2月3日	1.5日	1975年2月3日	前震活动，地气，动物异常，地下水	震中区
7	1975年2月4日	震后	1975年2~3月	唐山地区（天津气体总量）	源外区

*表中前兆资料取自文献〔4〕、〔5〕、〔6〕。

根据以上两个震例初步认为，自相似无限镶嵌的非线性层次可以作为中期、短期和临震预报的指标。这里必须指出的一点是，对某一个特定地区可以用中等地震寻求比较确定的 C 值，利用所求得的 C 值进行实际预报将可以提高预报时间的精度。

此外，在临近地震前，整个复杂震源系统已进入非线性阶段。在此阶段外因对震源地方的作用将由弱调制转化为强调制。因此参考外因的时间进行短临预报是十分必要的。例如海城地震前震中区的地气异常在元月8日十分显著，而元月7日有 $K = 7$ 的磁爆发生，地震当天又有明显的地气异常和其它宏观异常，而此日气压特别低。在1976年唐山大震前的7月24日有很多前兆异常发生，而此日恰好气压变化大以及唐山大震发生在朔日等。因此在非线性阶段，特别是临近大震前的非线性阶段外因对复杂震源系统的作用是不可忽视的。

三、唐山大震和海城大震前某些前兆异常归属的讨论

一般在分析地震的前兆异常时往往习惯于把A区的异常对应于A区的大震、然而对于复杂震源系统来说,当其中的某个子系统达到非线性阶段后,子系统的能量将与外围的能量进行交换,有时距离相当远。这样就出现了B区或C区的异常对应A区大震的问题。在某一地区仅有一次大震时分析起来比较简单,但对于两次距离不太远的大地震来说,两个复杂震源系统的某些非线性阶段会出现B区的异常由A区大震所引起,而A区的异常由B区的大震所引起。唐山大震和海城大震前的前兆异常特征就属于这种情况。一般来说,这种复杂的异常叠加不好区分。然而根据非线性的多层次性,这两次大地震前非线性出现的时段不同,这样区分前兆异常是不困难的。下面分别对海城、唐山这两次大地震的前兆异常的混淆部分加以论述。

1. 海城大地震

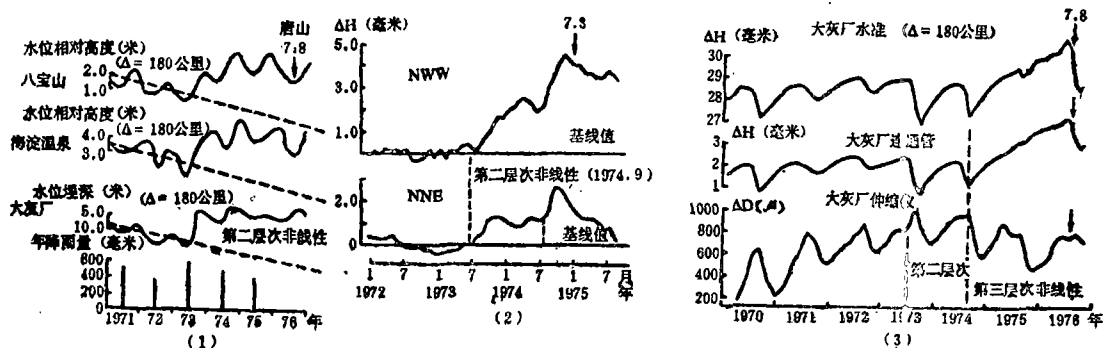
根据对海城大地震各非线性阶段的预测,其第二个非线性层次将在海城震源外围区出现异常,时间应在1973年6月左右。而金县水准形变异常、沈阳台地应力异常、北京地区井水位、大灰厂水准、连通管等出现异常(图5(1)-(4))的起始日期相当清晰并符合这第二层次非线性阶段出现的时间和空间。因此,这一批异常应当属于海城大震。而文献〔5〕基本上把北京地区的一批前兆异常归属于唐山大地震。此外,在1975年元月海城大震震中区和外围区均有许多前兆异常产生,如海城震中区的地气、其外围唐山陡河地应力、天津地区二氧化碳等异常(图5(5)-(6))的时空分布特征与海城大震前第四层次的非线性阶段的异常分布完全符合。文献〔5〕把这些前兆归属于唐山大震,然而上述在北京、天津、唐山大震区出现的异常时间与唐山大震前的非线性层次并不符合,如图5所示。很显然,它们应当属于海城大震前的异常。

2. 唐山大震

在唐山大震前有一个在震源外围引起的非线性层次发生在1974年12月15日左右(宁河地震)。在此时期出现沈阳地倾斜矢量在1974年12月明显转折180°、辽宁盘锦水氡日均值曲线在12月10日左右突然上升等异常。文献〔5〕、〔7〕把这一批异常归属于海城大地震。按照唐山大震的非线性层次,这一批异常应归属于唐山大地震。

3. 海城大震后应力场的转移

在海城大震后,还发现在唐山大震区的天津地区的气体总量(图6)和大连地应力有明



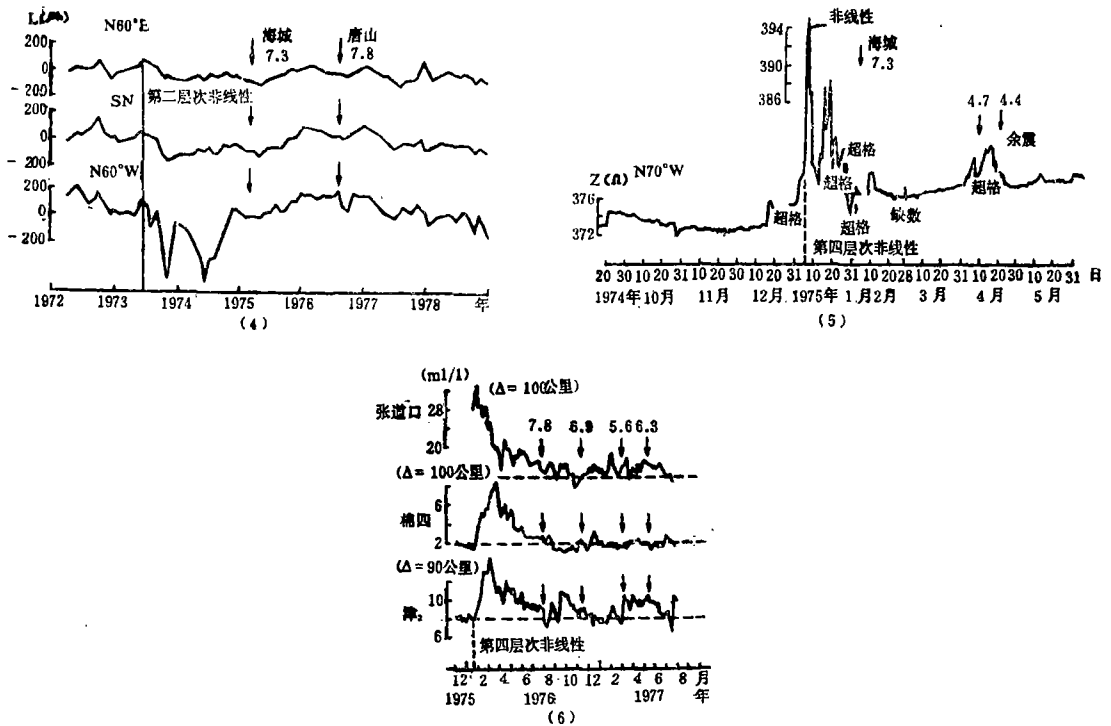


图5 海城大震前震源外围区前兆异常

(1) 北京地区基岩深井水位变化曲线 (2) 金县短水准测线高差月均值曲线 (3) 大灰厂短水准、连通管观测曲线 (4) 沈阳台电感地应力消除年变的月均值曲线 ($\Delta=150$ 公里) (5) 唐山陡河台地应力 (阻抗) 日均值曲线 ($\Delta=390$ 公里) (6) 天津地区二氧化碳 (色谱法) 五日均值图

Fig. 5 The Precursory abnormalities of the area far from the source before Haicheng earthquake

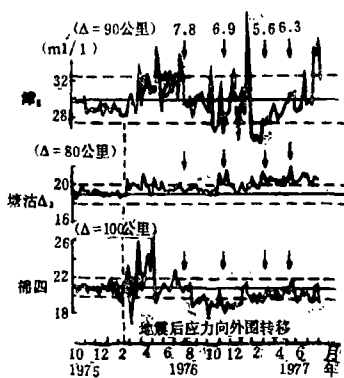


图6 天津地区气体总量五日均值图

Fig. 6 The five-day mean value of gas amount in Tianjin region

显异常。作者认为这是海城复杂震源系统发生地震后由于应力向外转移必然出现的情况。

四、讨 论

本文在研究复杂震源系统的非线性阶段的多层次性时，实际上引入了《分数维》概念。《分数维态》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》是描述非线性阶段多层次的一种有效的数学工具。根据唐山大震和海城大震前震源及其外围所出现的实际前兆时空图像,前兆异常的非连续性,层次性以及层次间的相似性,证实了用《分数维》观点于复杂震源系统是可行的。这将为人们认识前兆异常的阶段性,前兆的时空转移,进行地震的长期、中期和短、临预报奠定物理基础。根据文献[1]中震级M与孕震时间T之间得到的统计式

$$M = 5.8 + 1.2 \log T_{\text{年}} \quad (4)$$

用C = 5来进行分维,可得到不同震级的长期、中期、短期和临震时段的初略划分。划分结果如表4所示。

表4 不同震级的长期、中期和短临时段划分

M	总孕震时间 T(年)	中长期 $T_2^{(1)}$ (年)	中短期 $T_2^{(2)}$	短期 $T_2^{(3)}$	临震 $T_2^{(4)}$
8.5	178	35.5年	7年	1年5月	8月13天
8.0	68	13.6年	2.7年	6月	1月9天
7.5	26	5.2年	1年	2月15天	15天
7.0	10	2.0年	4.8月	29天	6天
6.5	3.5	9月	1.8月	11天	2天
6.0	1.5	3.6月	22天	4.4天	1天

由于公式(3)是统计平均曲线,因此上述的预报时段划分是粗略的。但从表4可以看到不同的震级其长期、中期和短临时段相差较大。如8.5级地震在震前3个多月就已处于临震阶段了,在此阶段就应注意外因对震源区以及外围非平稳态的调制作用。因此在此阶段如外因很强则大震有可能会提前发生。

本文是现代统计物理学与震源问题研究的初步结合。可以估计到存在的困难问题还很多。例如线性态的开始点和非线性态开始点的确定相当重要,一旦确定得不正确则由此推论的非线性层次将会出现错误。又例如当震源系统进入非线性态后,如构造力源有明显转移时,则耗散结构(震源系统)将面临解体。因此在进行非线性预测时要特别的谨慎和小心。在实际预报中应当不断地将预测的非线性层次与前兆时空图像进行对比研究。只有两者相符时才可进行地震预报。

值得指出的是本文讨论的线性态和非线性态是由蠕变曲线显示出来的,可以视其为震源孕育过程中起主导作用的主层次。是否还存在其它的非主导作用的层次或引起某些前兆异常的其它物理机制(如某些示b值震群发生的物理机制[8]),本文没有作深入讨论。很显然,随着研究的深入,遇到的困难问题会很多,但作者坚信这些问题将在地震预报的实践中得到不断的解答,最终人们将实现地震预报。

参 考 文 献

- [1]秦保燕,大震前复杂震源系统非线性阶段以及大地震预报(一),西北地震学报,Vol.8, No.4, 1986.
- [2]彭志忠,准晶体分数维结构的发现及其在自然观方面的意义,地球, No.4, 1986.
- [3]李如生,非平衡态热力学和耗散结构,清华大学出版社,1986.
- [4]郭增建,震中迁移和前兆穴位,西北地震学报,Vol.6, No.1, 1985.
- [5]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,地震出版社,1984.
- [6]梅世蓉等,1976年唐山大地震,地震出版社,1982.
- [7]蒋凡,海城地震,地震出版社,1978.
- [8]秦保燕等,大震前震源外围区高b值震群产生的一种物理机制,地震, No.6, 1983.

THE MULTIPLE LEVELS OF NON-LINEAR STAGE FOR THE
COMPLEX FOCUS SYSTEM AND THE MODERATE-SHORT
TERM PREDICTION OF LARGE EARTHQUAKES

Qin Baoyan

(Lanzhou Seismological Institute, State Seismological Bureau, China)

Abstract

This Paper continues to «The Non-Linear Stage for the complex Focus System and the Prediction of Large Earthquakes»[1]. By means of the fractal in contemporary statistics physics, [2][3] the paper deals with the Similar unlimited mosaic properties of the different stratification planes and the multiple levels of non-linear stage for the complex focus system. From this, according to the acceleration of the obvious creep in seismometry, the first non-linear layer is obtained, and every layer can be calculated. The certain non-linear time interval is:

$$T_2^{(n)} = \frac{T_2^{(1)}}{C^n} \quad n = 1, 2, \dots$$

where C is the ratio between T , the time of earthquake preparation in some area and $T_2^{(1)}$, the non-linear time interval of the first layer. This is a statistical quantity. The statistics of the document [1] shows that as to the large earthquakes in different areas, C value is fixed at about 5. The ratio of every non-linear layer and the accompanied precursory abnormalities of instability obtained according to the above formula, can give a definite prediction of earthquake for moderate and short terms.