

# 几种测震学指标的短临前兆异常的初步探讨

顾瑾平 杨彩霞 黄耘 李强

(江苏省地震局)

## 摘 要

本文在国家地震局组织的实用化攻关研究的基础上,按日常预报实践中积累的经验,分析研究了江苏及邻近地区几次地震前缺震曲线、波速比变化、b值时间扫描、累计无震单元数、尾波参数特征和地震活动性时间分维6个指标的短临异常信息,得到以下初步结论:(1)一些测震学指标在中强震发生之前三个月左右出现前兆变化;(2)短临前兆异常的幅度与震级大小的关系不明显;(3)在预测检验过程中,对于多数指标R约为0.5—0.6左右。

**关键词:**实用化攻关 短临预报 测震学方法

与其他前兆手段相比,提取一些测震学指标的短临前兆信息较为困难,主要的困难有:(1)在时间与空间尺度上,所使用的资料的离散度比较大;(2)利用弱震资料获取前兆信息要通过某个参数作间接的定量处理;(3)弱震资料观测的干扰因素虽小,但是否发生小地震却并不一定;(4)各参数的非线性特征在某种程度上比前兆手段更明显。为此,本文分析了江苏省及邻区几次地震的资料,讨论了从测震学资料中提取短临前兆信息的可能性。文中所指的短临前兆信息指中强震发生前三个月左右时间内可能出现的一些参数的变化。

## 一、缺震曲线

众所周知,地震频度与震级的关系通常遵循指数分布 $N=10^{-M}$ ,由宇津的工作可知,一个区域内相应时间段中平均震级与b值变化呈反比关系。文献〔1〕讨论了上述参数的中期前兆意义。作者认为其短临前兆意义也是值得讨论的。

本文对1984年以来江苏及邻区的地震资料作了正演追踪(图1)。在计算的过程中主要考虑两个因素:给定时空区域和确定震级阈值。研究结果表明各次中强震之前,平均震级均有上升趋势。如1984年1月至4月缺震曲线呈上升趋势,5月21日发生黄海6.3级地震。又如1989年10月平均震级为2.1,11月略有上升,12月为2.3,1990年1月为2.5,2月10日即发生常熟5.1级地震。1987年射阳5.1级地震前3个月内,平均震级急剧上升到2.8,这一短期变化十分明显。1991年11月5日建湖4.7级地震与1992年1月23日黄海5.3级地震之前也是如北。但是,1990年11月到1991年2月,平均震级由

2.1 上升到 2.6, 却只发生了黄海 4.0 与上海青浦 3.3 级地震, 未达到中强水平。

通过上述分析可以认为, 平均震级的短临预报指标为, 时序曲线连续 3 个月左右呈上升趋势, 在峰值后 1 个月左右发震。就江苏地区而言, 曲线峰值往往超过 2.4。在峰值之前有一段低值期, 属于中期背景异常。峰值的大小似乎与未来中强震的震级大小无关。按许绍燮提出的预报评判方法对 1984 年到 1990 年的预报效益进行统计, R 约为 0.5—0.6。

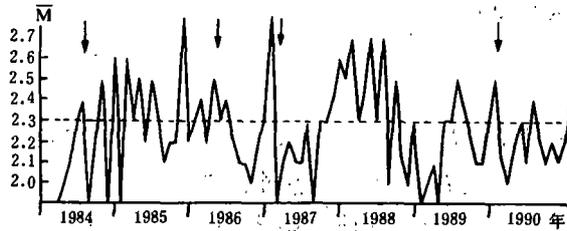


图 1 缺震曲线时间流程图

Fig. 1 Change of the shock event lack curve with time

### 二、波速比变化

波速比变化的短临前兆指标主要指中强震之前波速比出现高值。通过对江苏及邻近地区的一些震例的研究发现, 能否观测到波速比高值区和中强震震中的相对位置有关<sup>(2)</sup>。如 1987 年 2 月 17 日的射阳 5.1 级地震之前, 当观测区范围取 33.0°—34.5°N, 119.7°—121.5°E 时, 波速比一

一直处于低值, 最大异常幅度超过 8%, 临震前无明显高值。而当把观测区取震中偏南方向, 31.5°—33.0°N, 119.0°—122.0°E 范围时, 波速比在 1985 年以后一直无明显负异常, 而于 1986 年底开始上升, 1987 年 1 月达 2.08, 2 月 17 日在 33°35'N, 120°32'E 处发生 5.1 级地震(见图 2)。

在常熟地震之前, 当观测区取 32.0°—33.0°N, 120.5°—122.5°E 范围时, 从 1988 年到 1990 年波速比最低值为 1.60, 但震前未见高值出现(图 3a)。而当观测区范围取 32.0°—33.0°N, 119.0°—121.0°E 时, 波速比值呈起伏式上升, 1990 年 1 月达到最高值, 为 2.00(图 3)。

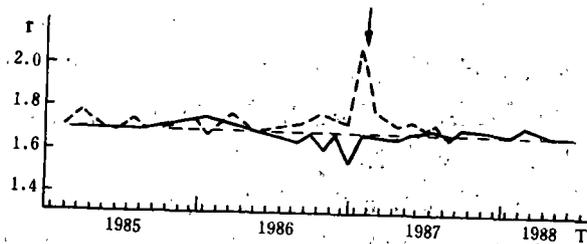


图 2 射阳地震前波速比的正(虚线)负异常(实线)变化

Fig. 2 Negative and positive anomalies of seismic wave velocity ratio before the Sheyang earthquake

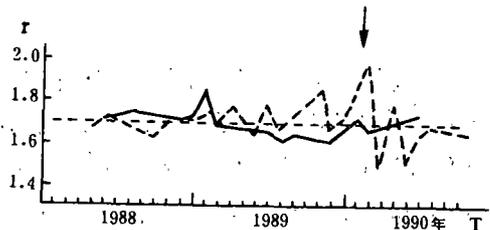


图 3 常熟地震前波速比的正(虚线)负异常(实线)变化

Fig. 3 Negative and positive anomalies of seismic wave velocity ratio before the Changshu earthquake

以上两个震例表明, 只要选取合适的观测区就能够观测到波速比的短临前兆异常。

其观测范围一般为距震中 50—100km 以远。高值的大小与未来中强震震级的关系不十分明显,其出现的时间往往在震前 1 个月左右。如 2 月 10 日常熟地震前的波速比高值在 1 月 8 日观测到。

由于波速比高值的出现与观测区有关,建议监测时采用扫描方法,不要固定窗口。对江苏地区自 1985 年以来的预报效果的评判结果表明, $R$  在 0.5 左右。

### 三、 $b$ 值异常

为了从  $b$  值随时间的变化中提取短临前兆信息,必须提高其对时间的灵敏度,而时间窗取得太短又会使地震数目太少, $b$  值无法求出,为此本文取较短的时间窗,再应用滑动方式求取  $b$  值。

对江苏及邻近海域以 10 天为时间窗进行  $b$  值滑动扫描,结果见图 4。由图 4 可以看出,该区域内发生的  $M_s \geq 3.0$  地震前  $b$  下降,一般低于 0.2,以后又回返到正常。地震常常发生在  $b$  值最低点或回升到高值之后。 $b$  值上升的幅度与低值持续时间均与未来中强震的大小无关。由图 4 可见,从 1986 年至 1990 年底, $b$  值低于 0.2 的次数与这几年每年所发生的 3 级以上地震的频次相当。而几次  $M_s \geq 4.0$  地震都发生在  $b$  值降至最低点或回升以后。

对于  $b$  值的预报指标可以定量地描述为,当 10 天滑动  $b$  值降到 0.2 以下时则在 10—20 天内将发生较显著震级的地震。但这种方法不能估计未来地震震级的大小。对震级的预报要依赖其它指标的中期异常来判断。

对 5 年的资料作预报效能评估,按对应  $M_s \geq 3.0$  地震的情况, $R$  应不低于 0.5,但假如把预报震级提高,则  $R$  将大大降低。

由于对  $b$  值作 10 天滑动之后有时地震仍然很少,故由最大拟然法求  $b$  值,图 4 表明,计算的  $b$  值还是比较稳定的。由于这种方法的效能和参与计算的地震个数有关,计算出的  $b$  值变化幅度偏低可能与地震数少,地震在震级轴上展布的范围小有关。

### 四、累积无震

#### 单元数逐月差值

对江苏地区规定地震下限阈值为 1.5( $M_L$ ),取时间窗长为 1 年,滑动步长为 1 个月,取空间窗为  $2^\circ \times 2^\circ$ ,滑动步长为  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ ,作空间频次扫描。把扫描求得的累积无震单元数求逐月差分,并求得与时间的关系(图 5),然后分析其前兆信息。

由图 5 可以看出,自 1981 年以来中强震前 1—2 月的无震单元数逐月差分往往大于 2。如 1982 年 4 月琼港  $M_L = 5.0$  地震之前,2 月的逐月差分值为 3,1984 年黄海 6.3 级地

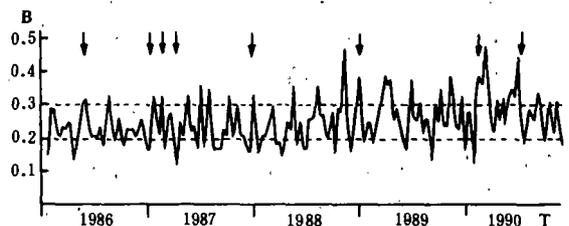


图 4  $b$  值 10 天滑动时序曲线

Fig. 4 Curve of 10-day mean  $b$  value with time

震之前的逐月差分为4。但1986年黄海5.0级余震之前未见高值,1989年1月4.5级地震之前差分值却比较高,并且在1981年初、1982年底等时段也出现了高值(图5)。预报检验R仍可达0.5—0.6。

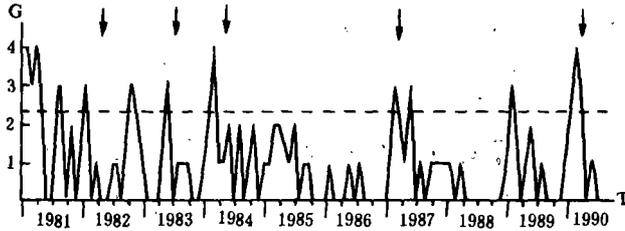


图5 累积无震单元数逐月差时序图

Fig. 5 - Difference curve of the accumulated no-seismic unit numbers month by month with time

## 五、尾波参数的短临前兆

本文着重于尾波参数的短临前兆的探讨。由于这一工作处于起步阶段,以下主要介绍震例。

### 1. 尾波持续时间 $\tau$

关于尾波持续时间的前兆变化,文献[3]进行了讨论。可以认为,当孕震介质的性质发生变化时,对水平向与垂直向的尾波都会有影响。此外介质性质的变化对S波辐射

的影响主要是改变其速度,对尾波的影响是改变其能流密度。因而讨论尾波参数的变化以S波作为参照比较合适。定义持续时间 $\tau$ 为自S波最大振幅至具有其 $\frac{1}{3}$ 振幅时所需的时间,且只取垂直向。截止点不以干扰背景的幅度为参照,是避免干扰背景强弱不稳,造成误差增大。

中强地震发生前,由于地壳内微裂隙增多,使地震波散射增强,从而导致 $\tau$ 增大。本文研究了1982年4月22日江苏琼港M<sub>L</sub>5.0地震前 $\tau$ 的变化特征,发现在该次地震前1—3月所记到的弱震尾波持续时间与1981年相比,异常幅度明显增高20%—30%, $\tau$ 的增大是明显的。

求取 $\tau$ 时,可以多台,也可以单台求取。

### 2. 尾波起始段的最大振幅与S波最大振幅之比

按Aki等人的定义,尾波的起始点的走时取为S波走时1倍半的地方。设尾波窗长为5秒,取其中的最大振幅与S波的最大振幅之比为参数 $r_c$ 。假定正常状态下,被散射部份的能量在S波的总辐射中占的比例大致不变。

本文利用多台资料研究了1982年江苏琼港M<sub>L</sub>5.0地震前的振幅比变化特征。结果显示,震前振幅比值明显升高(图6b),在正常情况下,振幅比值为0.2左右。为了验证单台计算振幅比值的结论,本文给出了利用合作地震台和肃南地震台的记录分别求得的1990年景泰地震前的振幅比变化情况。结果表明,在地震前约半年之前,合作地震台振幅比值有一个下降过程,肃南地震台振幅比值出现上升过程(图7a)。利用多台求得该次地震前振幅比的均方差变化也显示出了明显的异常(图7b)。

## 六、地震频次结构时间分维

本文根据文献[4]的研究结果,对江苏地区近10年的地震资料进行了计算,研究了中强震前地震频次结构的时间分维特征。发现1990年2月10日常熟地震之前出现了降

维过程。由图8可以看出,临震前分维数降至最低值,然后回升。地震发生在曲线回升过程中。

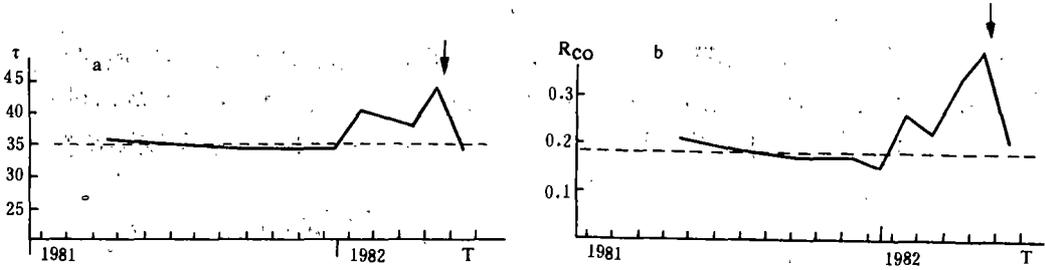


图6 江苏琼港  $M_L 5.0$  地震前尾波延续时间及尾波振幅比的变化

a. 尾波延续时间 b. 尾波振幅比

Fig. 6 Change of lasting time and amplitude ratio of coda wave before the Jianggang earthquake ( $M_L = 5.0$ ), Jiangsu Province

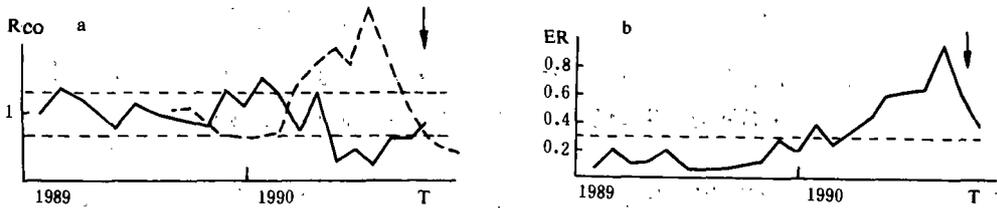


图7 甘肃景泰地震前单台尾波振幅比变化和多台尾波振幅比均方差变化

a. 合作地震台和肃南地震台(点虚线) b. 多台

Fig. 7 Amplitude ratio change of coda wave of Hezuo Seismic Station and Sunan Seismic Station and even square difference change of coda wave amplitude ratio of many seismic stations before the Jingtai earthquake, Gansu Province

图8中显示,1991年5月以后地震活动频次结构又出现了降维过程。该过程与常熟地震前出现的非常相似。据此作者等曾于1991年9月13日在江苏省地震局召开的地震趋势会商会上提出正式的预测意见,对应了1991年11月5日的江苏建湖地震,预报的地震三要素与实际较为吻合。

一般研究认为,地震活动频次结构的时间分维特征可能反映了地壳运动的变化,因为降维过程除对

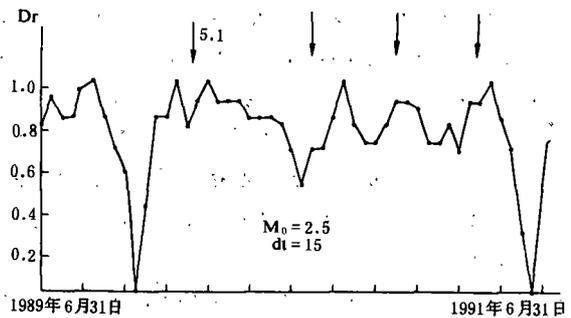


图8 1990年常熟地震及1991年建湖地震前地震活动的降维现象

Fig. 8 Temporal dimension decrease of earthquake activity before the Changshu earthquake, 1990 and the Jianhu earthquake, 1991

应中强震外,也与较大的震群活动相对应。

## 结束语

本文仅研究了江苏及邻近地区一些中强地震前6种测震学指标的短临前兆变化。结果表明,这些指标有希望作为地震的短临预报的依据,其异常过程相对较短,对于地震的短临预报是有利的。它们的变化也符合一些物理解释。对其中的有些问题还需要进一步研究。

(本文1991年12月14日收到)

## 参考文献

- [1] 王碧泉等,海城地震前震序列的研究,地震学报, Vol. 5, No. 2, 1983.
- [2] 顾瑾平等,地震波速比异常与预报应用,地震预报方法实用化研究文集地震学专辑,学术书刊出版社, 1989.
- [3] 黄德瑜等,唐山地震前地震尾波振动持续时间比  $t_H/t_V$  的变化,地震科学研究, No. 2, 1981.
- [4] 陈颀,探索地震前兆的复杂性,“分形与浑沌在地球科学中的应用”,学术期刊出版社, P85—112, 1990.

## THE PRIMARY RESEARCH FOR SHORT-TEMPORARY ANOMALIES USING SEISMOLOGICAL METHODS

Gu Jinping, Yang Caixia, Huang Yun, Li Qiang

(Seismological Bureau of Jiangsu Province, Nanjing, China)

### Abstract

Based on the practical research to tackle key problems, which were organized by the SSB, and according to the prediction experiences that are accumulated over a long-period, the short-temporary anomalies are discussed in this paper. There are six indices used: the shock event lack curve, the wave velocity ratio variation, the b value time sweeping, the accumulated no-seismic unit numbers, the parameters of coda and the time fractal dimension of seismic frequency hierarchy.

The simple conclusions are:

- (1) The anomalies for the most indices appear about 3 months before main shock.
- (2) It is not interrelated between the size of anomaly and the magnitude of the coming strong earthquake.
- (3) For the most indices the Xu's mark is about 0.5—0.6 in the prediction check.