

专题报告

破坏性地震是可以预测的 ——孕震物理模型及临震信号

孙 威

(北京普精信科技有限公司 100098)

[摘要] 讨论地震前兆有它自己的孕震物理模型,地震孕育全过程分为加载、相持、卸载、短临和临震5个阶段;多次震例证明,破坏性地震的孕震物理模型是会重复和再现的;提出了追踪地震前兆信息,循序渐进预报地震的分析方法,对地震预报的阶段进行了实用性的划分,有望实现对破坏性地震的预报。

[关键词] 破坏性地震;孕震物理模型;临震信号;地震前兆

[中图分类号] P315.2 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2007)07-0007-11

人们普遍认为地震是自然界的突发事件,地震预报是全球的科学难题,而且有的地震学家断言地震不能预报,认为“处于自组织临界状态的大地,任何一次小地震都有可能灾变为一次大地震”,而“小地震发展成为大地震将决定于不仅仅是其断层附近,而且是其整个(震源体)空间的物理状态的无数细微结构”,而人们根本无法掌握深部无数细微结构的临界状态,因之地震根本不能预报^[1]。

近半个世纪以来,曾有大量各种各样关于地震前出现异常现象的报道,如地电、地磁、地声、重力、应力(应变)、水位、倾斜、惰性气体散发、气象、高空离子浓度、太阳活动、大范围动物异常等等,有些现象不是专一的,有些现象是在震后报道的,每次地震异常的形态相差很大,有的仅在某一地区,并非整个震中区域都能观察到^[1]。由于这些各具特点的、孤立的、离散的、间断的异常现象均不具备确定性,只能视为前兆现象,不能称其为地震前兆。那么地震究竟有没有前兆?有!笔者将地震前兆用孕震物理模型表示。

1 孕震物理模型

通过采用自行研制的SW系列地震前兆监测仪,在长期的观测中发现,5级以上的中、强地震

从孕育到发生是一个完整的、具有阶段性的连续过程,每一阶段都有其固有的特征信息,地震是这个过程的结果。只要这个过程连续、完整,各阶段的特征信息充分、明确,就构成具有确定性的地震前兆。地震前兆不是前兆现象,但前兆现象可能是地震前兆某个阶段的特征信息。

1.1 单一震源作用下的孕震物理模型

图1是通过对长期观测中得到的多个震例(图

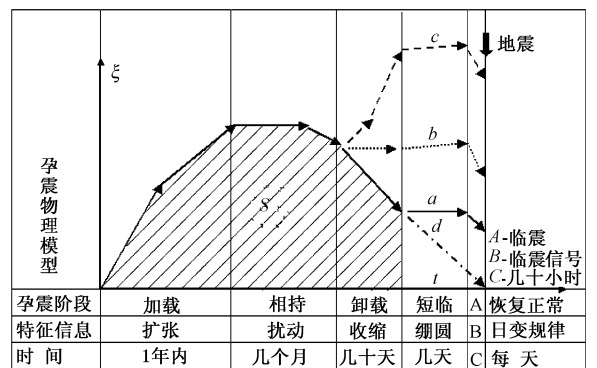


图1 单一震源作用下的孕震物理模型

Fig.1 The physical model of earthquake gestation under single quack

2) 进行分析总结,得到了单一震源作用下的孕震物理模型。其中 ξ 为用 mV 记录的微应变, t 为以

[收稿日期] 2006-10-29

[作者简介] 孙威(1936-),男,吉林延吉县人,北京普精信科技有限公司高级工程师,中国科学院物理研究所客座研究员

天为单位的时间，异常面积 $S = \xi \times t$ ，孕震过程的异常面积 S 与该地震发生时，波及监测站的地震烈度 I 相关，即与震级 M 和震中距相关。孕震物理模型分为加载、相持、卸载、短临和临震五个阶段。加载和相持阶段的持续时间较长，一般在 1 个月到数月之间，趋势也比较一致；卸载和短临阶段的持续时间较短，一般在数天到数十天，且短临阶段的趋势各异 (a, b, c, d)。导致短临阶段趋势各异的因素很多，如监测台站与震中的相对位

置、震中距及地质条件等，然而，无论这些因素多么复杂，相同阶段的特征信息基本相同。室内岩石破坏试验的结果与实际观测总结得到的模型类似^[2]，岩石破坏试验的结果反映的正是弹性物体在力的作用下，首先发生弹性变形，继而发生弹塑性变形，然后产生失稳，最终发生断裂即岩体破裂发生地震的力学机制。也是图 1 所示的孕震模型的物理基础。图 2 所示的在监测实践中记录到的典型孕震过程就是很好的见证。

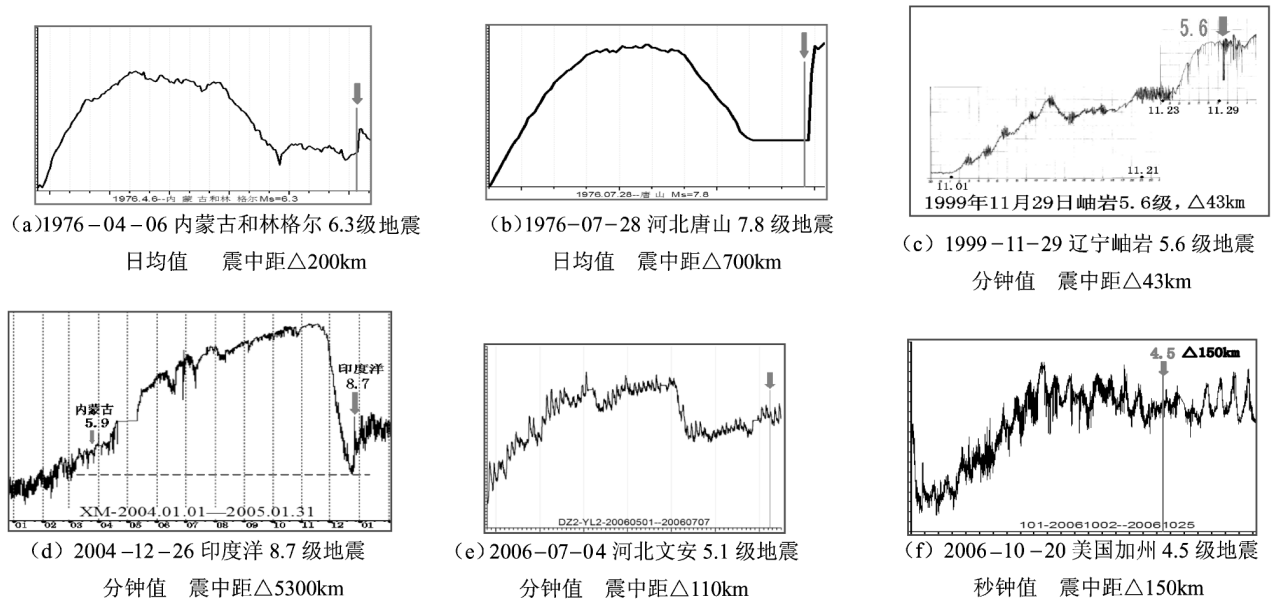


图 2 实测的孕震过程

Fig.2 The recorded earthquake gestation processes

所以，地震前兆是一个完整的、具有阶段性的连续过程，每一阶段都有其固有的特征信息。只要孕震物理模型的阶段性连续和完整，各阶段的特征信息充分和明确，就构成具有确定性的地震前兆。

1.2 多震源作用下孕震物理模型

由于发震构造宏伟，地震孕育过程可能有多处地应力集中，同时或先后发生地震；或者在不同发震构造上，也可能同时或先后发生地震，单一震源作用下的孕震物理模型在自然界中比较少见，所见到的是许多单一震源作用下的孕震物理模型的叠置，即多震源作用下孕震物理模型。任何一台仪器在同一时间里记录到的是在不同地区、不同地质条件下、孕育着不同发展阶段的多个大小不同地震前兆信息的总合 (图 3 和图 4)。

从图 3 和图 4 中每分解出 1 个单一震源作用下的孕震物理模型就对应 1 个中、强地震，分解的原

则是力学平衡和能量守恒 (分解方法见另文)。

图 3 包括内蒙古和林格尔 (6.3)、云南龙陵 (7.5+7.6)、河北唐山 (7.8)、四川松潘 (7.2)、宁夏巴音木仁 (6.2)、内蒙古阿巴嘎 (5.3)、四川盐源 (6.9) 以及天津宁河 (6.9) 等地震的孕育信息，此外还有许多其他影响较小的远震或小震的孕育信息。

图 4 包括：2003 年 9 月和 11 月的 2 个 4 级小震群，2003 年 12 月 23 日 6.5 级地震和 2004 年强震加载阶段的信息。

比较图 3 和图 4，尽管形状不完全相同，但形态却极为相似。图 3 是在中国大陆块内记录到的，图 4 是在美国西海岸圣安德烈斯 (San Andreas) 大断裂带附近记录到的，两地相隔万余公里，地理地质条件差异很大，时隔 27 年，用笔者研发的仪器能够重复和再现；两处的地震类型不同，分别为块

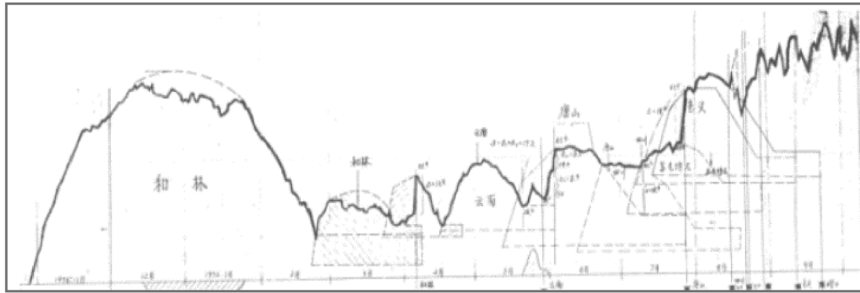


图 3 1975—1976 年包头市记录的多震源作用下孕震物理模型
 Fig.3 The physical model of earthquake gestation under multiple quakes, recorded during 1975—1976, Baotou, China

内破裂型地震和断裂粘滑型地震，也能够重复和再现。足以说明地震前兆在不同时间和不同地理地质条件下，对于不同类型的地震都能够重复和再现。

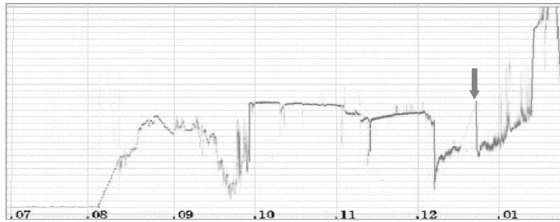


图 4 2003 年美国旧金山台记录的多震源作用下孕震物理模型
 Fig.4 The physical model of earthquakn gestation under multiple quakes, recorded in 2003, San Francisco, USA

用孕震物理模型表示的地震前兆，一切都是相对的，由于地壳处于自组织临界状态及其对力作用

的线性和非线性响应，使得绝对尺度失去意义。

孕震物理模型（地震前兆）的连续性和阶段性及其各阶段的特征信息，是地震前兆具有确定性的判据。

2 地震前兆的五个阶段及其特征信息

2.1 正常日变规律

识别地震前兆的首要问题在于要知道什么是正常和什么是异常。地震前兆各阶段的特征信息是在正常日变规律背景参照和比较下识别的。

用 24 h 为周期的极坐标圆图显示日变规律，始点 0 为当地时间每天的 0 点，时间用角度表示，每 15° 为 1 h，从 0 开始逆时针计时 360° 为 1 d；用 mV 记录应力应变的变化幅度用半径表示。没有地震孕育时，正常的日变规律是一个基本闭合的、体现地壳脉动的、显现固体潮的偏心圆，偏心长轴与监测台站所处地理经度相关（图 5）。

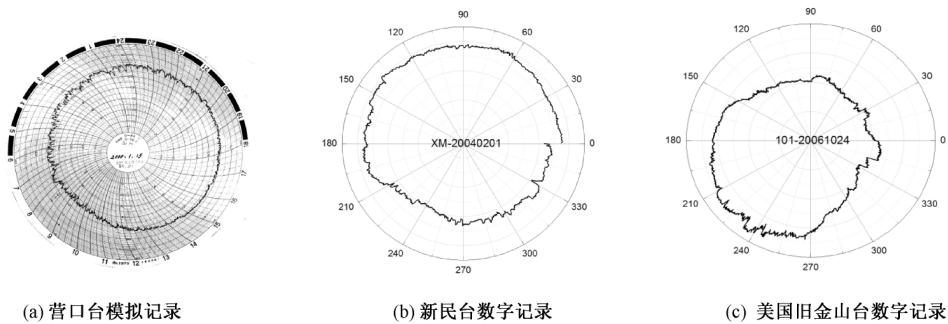


图 5 正常日变规律
 Fig.5 The normal daily variation

2.2 地震前兆的各个阶段及其特征信息的识别
 通过对图 6 中 3 个震例的分析，来说明识别地

震前兆各个阶段及其特征信息的方法。
 2.2.1 加载阶段 加载阶段的特征是应变量随着

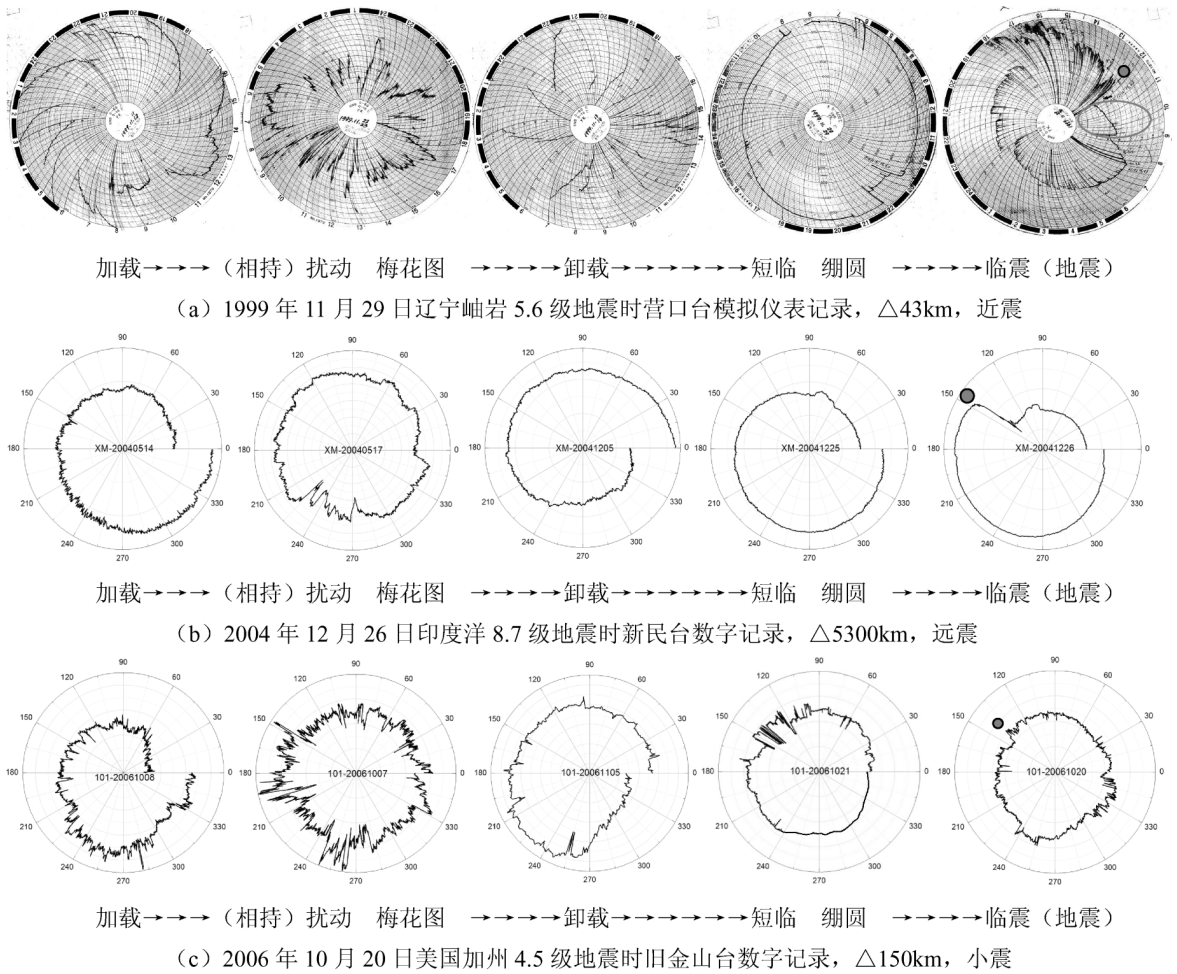


图 6 地震前兆各阶段的特征信息

Fig.6 The characteristics of earthquake precursor at each stage

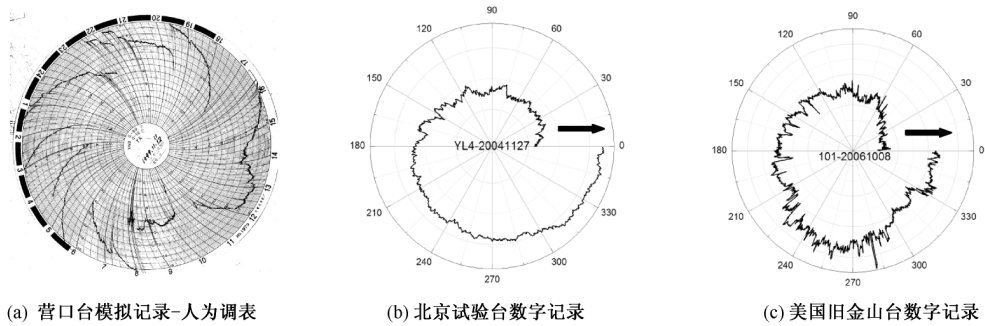


图 7 加载阶段的特征信息-扩张

Fig.7 The characteristics of the loading stage-expanding

时间的增长而增长, 即使发生小震也不影响总的增长趋势。日变圆图开口向外扩张, 半径逐渐增大显示应力应变在逐渐增加 (图 7), 在此阶段, 连续数天乃至数月的长图可以更好地表现加载

趋势。

2.2.2 相持阶段 相持阶段的典型特征是出现大幅度的应变扰动, 在日变圆图上表现为梅花图状 (图 8), 它是可能发生波及到监测台站有感地震的

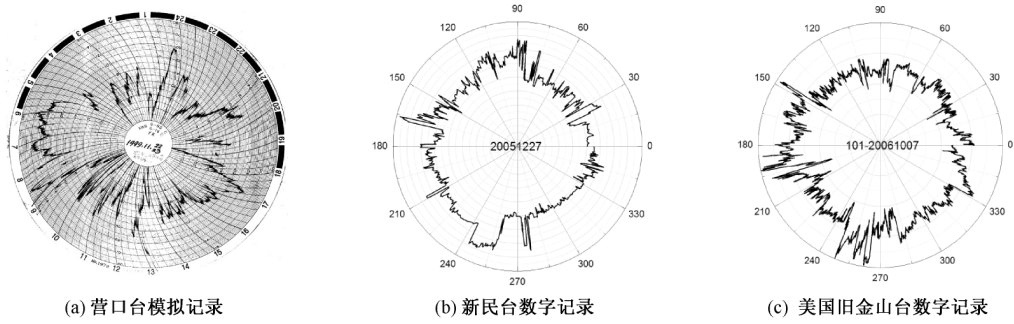


图 8 相持阶段的特征信息-扰动“梅花图”

Fig.8 The characteristics of the stalemate stage-perturbating
(The daily variation at this stage looks like plum blossom)

重要信息。这种梅花图扰动有时也会发生在加载阶段和卸载阶段。

已经发现的异常扰动有 4 种形式：

1) 超低频扰动。即扰动梅花图，是有感地震孕育的重要特征，不见扰动梅花图就不会发生波及观测台站的有感地震。

2) 断层滑移。断层滑移信息的特征是成组的、周期性的、幅度变化不大的、呈张或压应力锯齿波形，是扰动梅花图的一种特例。在 2004 年 3 月 24 日内蒙古 5.9 级地震前；2005 年 1 月 19 日日本 7.0 级地震前；2005 年 3 月 20 日日本 7.0 级地震前；2005 年 3 月 29 日印度洋 8.5 级大震前，2005 年 3

月 31 日印尼 7.0 级地震前，都曾记录到断层滑移信息，显示断裂粘滑型地震的特征。

3) 小震群。即“小震闹”，小震群也是应变变量扰动的一种形式。

4) 地动（也称“慢地震”）。地震仪记录不到，人能感觉到，时而出现在长周期地震仪的记录图上，频率很低，这种超低频波动在震前断断续续，规律性尚待探索。

一般来说，扰动幅度的大小与震级和震中距相关。震级越大，距离越近，扰动幅度亦越大（见表 1）。如果在台网的支持下同步观察，判断震中位置和震级并不困难。

表 1 梅花图扰动程度与震级、震中距和波及观测台站的烈度关系
Table 1 The relationship between the size of perturbation and magnitude, epicenter distance, and earthquake intensity at the site of observation

地区	辽宁	内蒙古	宁夏	河北	四川	云南
地点	岫岩	和林格尔	巴音木仁	唐山	松潘	龙陵
震级	5.6	6.3	6.2	7.8	7.2	7.5+7.6
震中距/km	43	200	270	700	1 050	2 100
出现时间/年-月-日	1999-11-20	1976-03-15	1976-08-31	1976-06-26	1976-07-11	1976-05-05
结束时间/年-月-日	1999-11-23	1976-03-20	1976-09-03	1976-07-11	1976-07-30	1976-05-15
地震发生时间/年-月-日	1999-11-29	1976-04-06	1976-09-23	1976-07-28	1976-08-16	1976-05-29
时间提前量/d	9~6	21~16	24~20	32~17	36~18	24~14
持续时间/d	4	5	4	15	18	10
扰动梅花图						
波及台站烈度	6.0	5.0	4.6	4.3	3.5	3.0

2.2.3 卸载阶段 卸载阶段的特征是应变变量随着时间的增长而降低，恰与加载特征相反，日变圆图开口向内收缩，即半径逐渐减小显示应力应变变量在

逐渐减小（图 9），该阶段用趋势性长图可以得到更明确的表示。持续出现卸载信息，表示将要进入短临阶段。

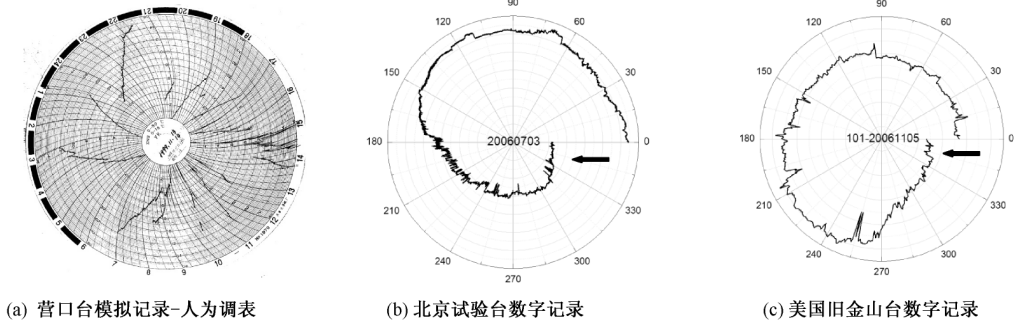


图 9 卸载阶段的特征信息收缩

Fig.9 The characteristics of unloading stage-shrinking

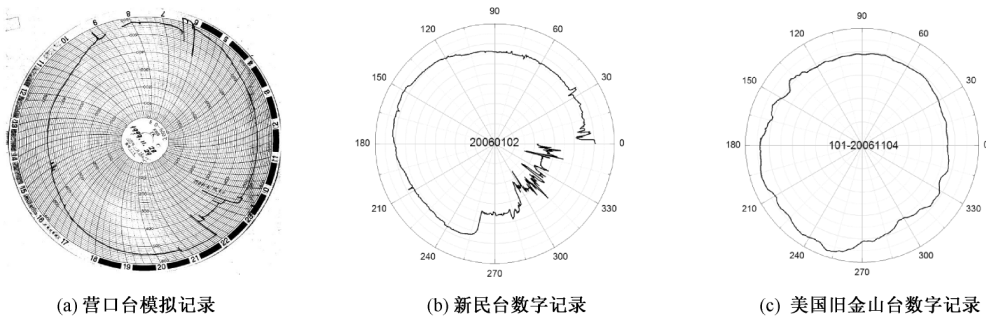
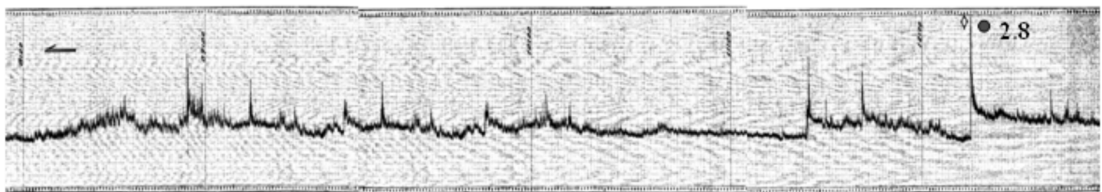


图 10 短临阶段的特征信息绷紧

Fig.10 The characteristics of short-term and impending stage-circle tightening



(a) 1976-11-25北京双桥2.8级震（北京有感）的临震过程，模拟记录(Δ20km)



(b) 1976-11-28河北丰南5.3+5.3级地震的临震过程,模拟记录(Δ150 km)



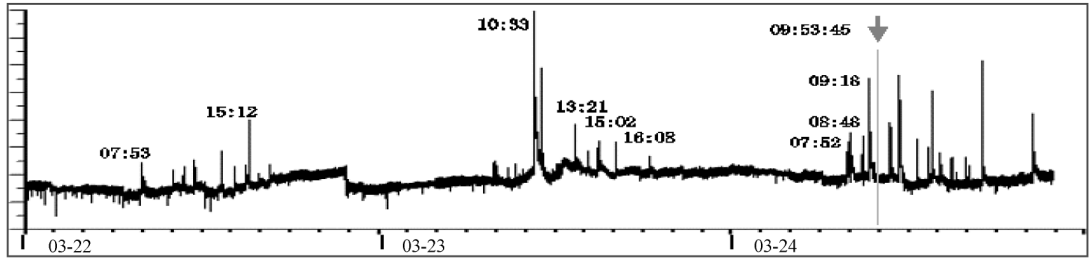
(c) 1976-12-02日河北宝坻5.5级震的临震过程，模拟记录(Δ80 km)

图 11 1976 年在北京用模拟仪表记录的临震信号

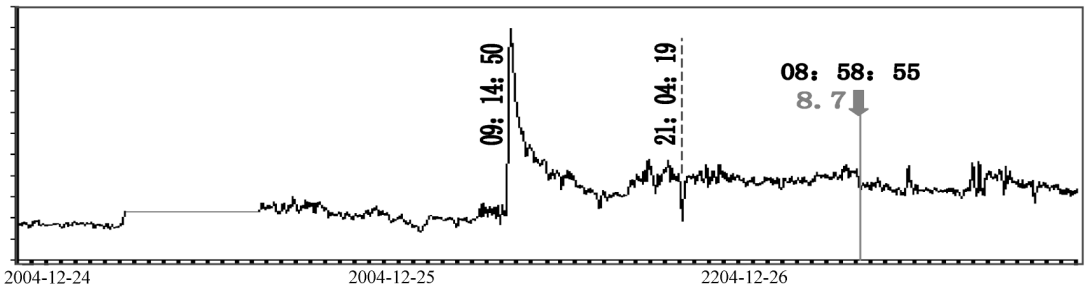
Fig.11 The Signal of Impending Quake Recorded with Analog Instrument in 1976, Beijing, China

2.2.4 短临阶段 从卸载阶段到短临阶段的过渡是连续的，这时看不清地壳脉动，固体潮发生变异，日变圆图呈紧绷状态，是“震前平静”的一种表现，故称短临“紧绷”（图 10），这种现象是有感地震即将发生的重要标志，在此阶段，正常日变规律中的地壳脉动及周围环境的干扰已基本不可见。短临紧绷持续时间不等，长则几天或十几天，短则只有几个小时。

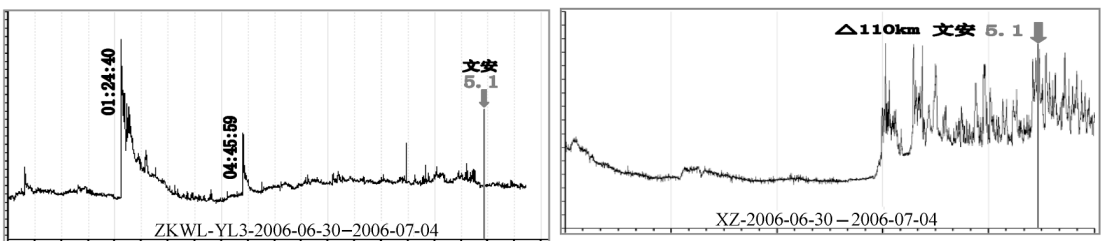
2.2.5 临震阶段 临震阶段的典型特征是出现几个（或几组）大于脉动幅度 3 倍的脉冲，称为临震信号。它出现的时间很短，转瞬即逝，及时排除干扰，才能准确无误地识别和判断。地震多发生在临震信号出现后的 72 h 之内。临震信号是不可或缺的、确定性的，在所述各阶段连续完整、特征信息明确的情况下，临震信号是地震前兆确定性的充分和必要条件（图 11 和图 12）。



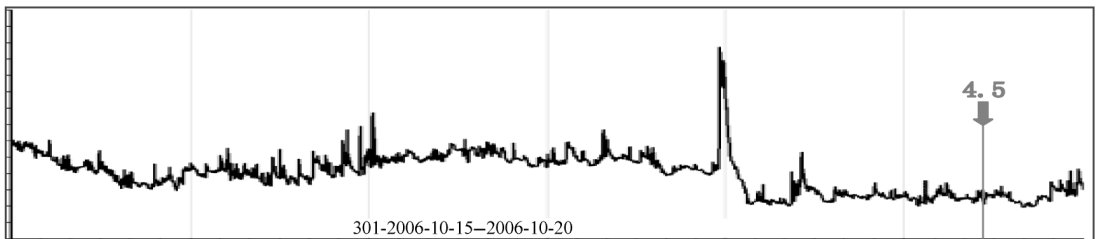
(a) 2004-03-24 内蒙古 5.9 级地震的临震信号($\Delta 640\text{ km}$)



(b) 2004-12-26 印度洋 8.7 级大震的临震信号($\Delta 5300\text{ km}$)



(c) 2006-07-04 河北文安 5.1 级地震的临震信号($\Delta 140\text{ km}$)



(d) 2006-10-20 美国加州 4.5 级地震的临震信号(传感器在断层上— $\Delta 950\text{ km}$)

图 12 用数字式仪器记录的临震信号

Fig.12 The signal of impending quake recorded with digital instrument

2.3 临震信号的识别

临震信号发生在扰动梅花图和短临紧绷之后；

地震仪记录不到的超低频脉冲，幅值大于 3 倍脉动幅度，要排除小震和人为干扰；

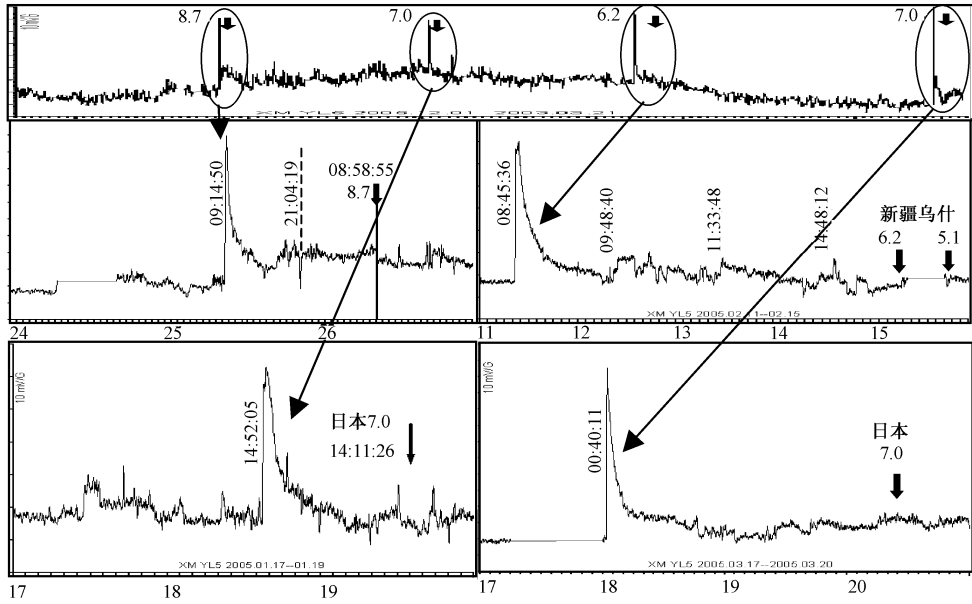


图 13 4 个临震信号所对应的 4 次强震 (2004.12.01—2005.03.23 由新民台记录)

Fig.13 The four signals of impending quake corresponding four strong earthquakes (Recorded at Xinming from Dec. 1, 2004 to Mar. 23, 2005)

临震信号多为 2 个以上，值得注意的是第 2 个临震信号具有确定性。

图 13 为临震信号的重复和再现。

图 14 是一个完整的实际震例 (详见另文)，时

间顺序为自上而下由左至右，特征信息明确，易于识别，只要熟悉特征信息，及时看图分析，预报地震并不困难。

综上所述，这种按地震孕育阶段追踪特征信息

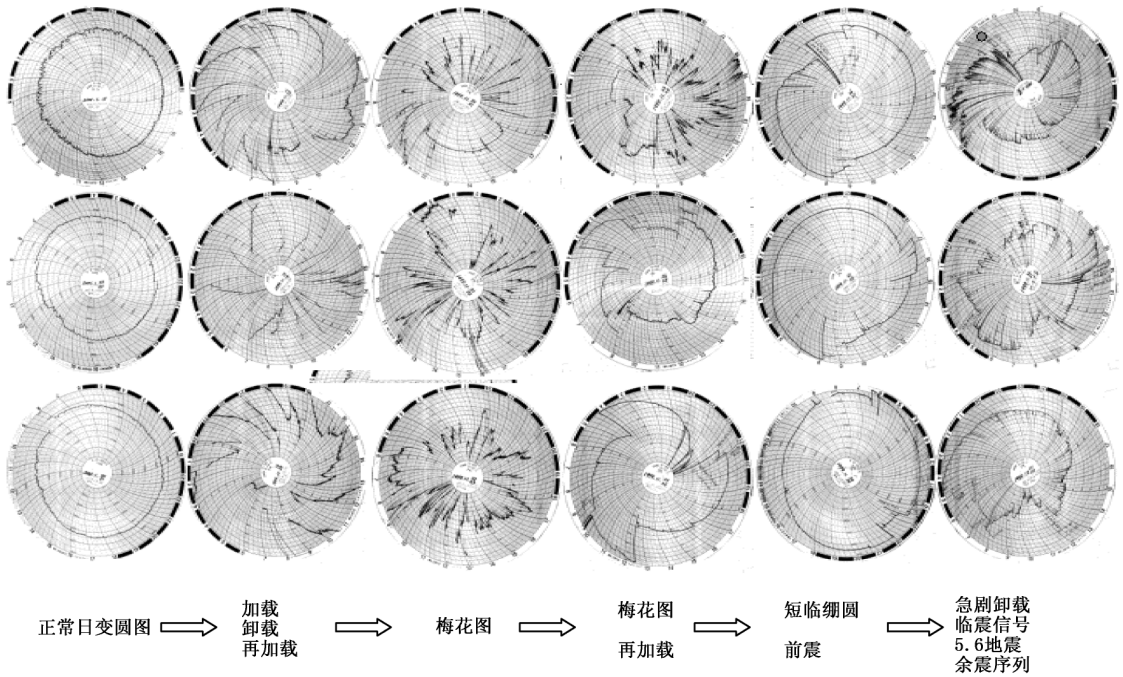


图 14 1999 年 11 月 29 日辽宁岫岩 5.6 级地震，营口台模拟仪表记录， $\Delta 43 \text{ km}$ ，台站烈度 6 度

Fig.14 The earthquake of Ms 5.6, Xiuyan, Liaoning, Nov. 11, 1999 (recorded at Yingkou, epicenter distance is 43 km, the earthquake intensity at the site is degree of 6)

的方法，就是在实践中总结出来的“追踪地震前兆信息，循序渐进预报地震”的分析方法。形象思维，看图识字，一目了然。

3 监测仪器及有效监测范围

监测地震前兆的 SW 系列仪器都是自行研制的，包括应力仪、谐振仪、倾斜仪、地磁仪和大地电位仪。以应力仪为主，其他仪器辅助记录各种物理前兆现象，补充和印证特征信息。

应力传感器（图 15）应用了笔者研制的高灵敏度微位移传感元件，其特殊性能是：

具有对外力微小作用的敏感性—灵敏度高；

具有自组织能力—能自主适应地震发生前后的地壳活动特性；

对力的作用具有线性和非线性响应—与地壳的固有特性一致；

具有能与地壳和地震过程相耦合的可能性（慎重选择台址和使传感器与土层密切耦合）。



图 15 应力传感器

Fig.15 The stress sensor

仪器的有效监测范围是 $5 \leq M_s \leq 9$ 。即 5 级为 100 km，6 级为 200 km，7 级为 500 km，8 级为 1 000 km，9 级为 3 500 km。

在有效监测范围内，科学配置仪器，合理分布台网，慎重选择台址，能给出地震三要素：时间（几天）、震级（ ± 1.0 级）和震中位置（ $\pm 2/3$ 台距）。

超出有效监测范围记录到的前兆不够完整，只能视为前兆现象，没有确定性。小于 5 级的地震，尤其是 4 级以下的地震，很难观测到完整的地震前兆。

以监测 6 级地震为主的台网，平均台距为 200 km，5 级地震可能会丢失；若台距 100 km 就不会丢失 5 级地震；地震重点监视区台网的台距以 70 ~ 80 km 为宜。

4 结语与讨论

笔者用 SW 系列地震前兆监测专用仪器对地震前兆进行了 30 年的观测，发现了地震孕育的全过程。震级和震中位置的判断是根据仪器有效监测范围、孕震物理模型异常面积和地震前兆扰动程度确定的，科学配置的台网有助于确定震中位置和震

级。地震预报研究有可能从经验性预测、统计性预测提高到以物理机制为基础的确定性预测。地震前兆在不同时间、不同地区、不同地质条件下能够重复和再现，破坏性地震是可以预测的。

临震信号是不可或缺的、确定性的，是地壳失稳的标志，还是地震已经发生了，目前还不能确定，有待深入研究。

是什么机制能使仪器接收到数千公里之外的地震孕育过程？如果地震孕育过程的信息是从震源区发出的，是怎么传递到数千公里之外的？

不能因为这些现象目前还得不到确切的解释而放弃扩大试验和实施地震预测，深入研究有助于探索地震成因。

致谢：包头钢铁设计院对地震观测点的支持和投入，国家地震局领导的支持和鼓励，辽宁省地震局的合作试验，中科院物理研究所和北京电业中学的支持与合作，特别是美国科学家为在圣安德烈斯断层附近的试验提供了难得的条件和支持，是本报告获得成果的根本保证。笔者借此机会向有关方面致以敬意。特别要感谢李 院士和许绍燮院士为本文进行了严肃认真的指导，在此一并致谢。

参考文献

- [1] R J Geller, Y Y Kagan. Earthquake cannot be predicted [J]. Science 1997, 275: 1616~1617
- [2] 国家地震局地震预测预报司. 地壳形变分析预报方法[M]. 北京: 地震出版社, 1998

Destructive Earthquakes Are Predictable

——The Physical Model of Earthquake Gestation and the Signal of Impending Quake

Sun Wei

(Beijing Precision Technology Co. Ltd, Beijing 100098)

[Abstract] What is discussed here is that the earthquake precursor have their own physical model, which is divided into the load stage, the stage of stalemate, the unload stage, the short stage before occurrence and the quake stage. Up till now, numerous earthquakes that occurred worldwide have proved that the quake-breeding physical model of destructive earthquakes may repeat and reappear. An analytic method is brought forward for tracing the information on the warning signs of an earthquake and predicting earthquakes step by step. Also, earthquake prediction is preactically divided into stages, making it possible to realize the predicting of destructive earthquakes.

[Key words] destructive earthquake; quake-breeding physical model; signals before an earthquake; earthquake precursor

人类的福音

——“破坏性地震是可以预测的”编后记

破坏性地震是严重威胁人类安全的、恐怖的自然灾害。两年前印度尼西亚地震引发的海啸造成 38 万人死亡, 31 年前的唐山地震死亡 24 万人, 整个唐山市瞬间成为一片废墟, 80 多年前的海源地震死亡 20 万人, 以及东京大地震、旧金山大地震、墨西哥大地震, 等等, 都是造成数十万人伤亡的、震惊世界的天灾。

地震灾害惹不起, 是否可以躲得起, 预知袭来预防之。从两千年前张衡的《地震对策》到今日日本的《地震对策方案》, 均反映了人们对地震灾害的严重关切及所能采取的防震减灾措施; 但对其预测预报, 仍是不得其门而入, 特别是震前预报更是世界级的难题, 考验着人类的智慧和良知。

孙威先生自 1975 年以来, 潜心地震预测预报的探索和研究, 顶着各种困难和压力, 孜孜以求, 积数十年的心血, 终于研制成功能够监测到地震前兆的高灵敏度仪器, 提出了“颗粒介质地震学”理论, 发现了能用来指导地震预测的“孕震物理模型”, 总结出实用的、准确的分析预报方法。他依据自己的研究成果, 自 1999 年至 2006 年先后就辽宁岫岩 5.6 级地震、内蒙古 5.9 级地震、印度洋 8.7 级地震、河北文安 5.1 级地震、美国加州 5.0 级地震等进行了地震前兆的重复和再现性试验, 实际预报准确率达 75% 以上。假如获得官方支持能建立所需要的监测台网, 有更多经过严格培训的专业监测人员, 即在正常情况下, 地震预报成功率可能会有进一步的明显提高; 须知, 目前 75% 的预报成功率只是在个别宽容、友好单位如辽宁省地震局、中科院物理所、北京电业中学等单位和美国加州有关地震专家的热心支持, 以及少而又少的业余检测人员的鼎力相助下取得的。

2007年3月23日,孙威以特快专递致函北京市有关主管部门,指出“地铁10号线顶部存在空洞,建议及早勘察、充填和加固,否则将可能酿成很大的事故”。令人非常遗憾的是,孙威先生的预报被不幸而言中了——3月28日凌晨3时许北京地铁10号线即发生塌陷,致6人死亡。呜呼,这次塌陷及人员伤亡原本是可以预防和避免的呀!

“心绪万端书两纸,预封重读意迟迟”。迟迟者,顾虑也,言犹未尽也。

“没有亘古不变的教条,长存的是永无止境的探索与创新”。诚哉,宋健院士的金玉良言!前人亦或今日的有关权威称“地震不能预报”,似乎过于悲观和武断。编者的浅见以为,宇宙是有其客观存在的自身规律,这种规律是可以被认识的,早晚而已。实际上,宇宙的许多规律已逐渐为人类所认知。地震乃是宇宙中的一种自然现象,地震的发生必有其发生的自身机制,也应该是可以被认识的,从而有可能被预测和预报的。

“1976年7月28日那个悲痛的凌晨,当我在地震仪前看到那一片限幅的S波,便泪如雨注……,从此我没有再退缩一步。”就是这样,孙威心怀“为唐山的悲剧不再重演”的凌云壮志,远离名利,倾其个人所有,克服重重困难,义无反顾地踏上了探索地震预测预报的崎岖之路。“君子务本,本立而道生”。正是基于“为唐山的悲剧不再重演”之本,孙威31年如一日地、独辟蹊径地探索,终于拨开了“地震不可预报”的重重迷雾,开启了地震是可以预测预报的一线曙光。

1995年阪神大地震后,日本政府制定一个以大城市为减灾对象的《地震对策方案》,该方案主要有三个方面的内容,其中之一就是通过各种手段在东京都附近开展大规模探测活动并绘制地震数据图表。当然,惜乎日本目前尚未出现孙威这样的地震预报学者。

就我国而言,如果有关部门能给孙威一点儿实际支持,给一点关爱与温柔,使其研发的监测仪能大量生产,在地震多发的城市和地区建立监测台网,培训监测专业人员,地震预报准确率必将有更大的提高。这不啻是人类的福音,更是吾国吾民之幸。须知,若31年前的唐山悲剧再现,覆巢之下焉有完卵?

不为主流学派所认同的文章在《中国工程科学》上发表意欲何为?无他,因为这是一篇值得公诸于众的,有水平、有深度、有学术价值的论文,应该予以发表;即便文中有不完善、不妥甚或谬误之处,有关学者、专家尚可就此开展争鸣和深入讨论,正如中国工程院院长、本刊主任编委徐匡迪院士言:“如《中国工程科学》可成一争鸣的论坛亦非坏事。”有道是海纳百川,有容乃大。地震可预测预报的一家之言,不会引发“海啸”,它只是百川中的一股涓涓清流,善加疏导入海则善莫大焉。

凡此种种,就是本刊发表孙威先生学术论文的初衷。

(编者 丁朝模)