

# 地震前兆统计检验的地震学问题

## ——对目前地震预测问题争论的评述(之二)

吴忠良

(中国北京 100081 中国地震局地球物理研究所)

**摘要** 在目前关于地震预测的争论中,地震前兆的统计检验是一个重要的问题。我们指出,这个问题不是一个纯粹的统计学问题,而首先是一个地震学问题。通过引入地震前兆的“分辨率”的概念和讨论地震前兆的统计检验,我们澄清了地震前兆检验中的“边缘问题”,即落在预测区边缘附近的地震究竟是否应当算作预测成功的问题。我们将目前普遍接受的地震前兆检验的“规则”表述为四个层次的“三要素”,提出了地震前兆的“分层次检验”方案。我们指出地震前兆的统计检验作为一个地震学问题,还存在一些有待深入研究的方面。地震分布模型问题和地震分类问题目前还没有得到解决,从而造成了地震前兆统计检验的一些结构性缺陷。因此,依据现有的统计检验结果得出否定地震预测研究的结论,现在看来还为时过早。

**关键词:** 地震预测 地震前兆 统计检验

### 引言

在目前围绕地震预测的争论(例如 Geller, 1997; Geller et al., 1997; Wyss, 1997)中,有两个值得注意的理论问题。一个是自组织临界性(SOC)模型在地震预测研究中的应用(吴忠良, 1998),另一个是地震前兆统计检验的地震学问题。

地震预测定义为以一定的观测资料为基础,指定未来地震的时间范围、空间范围、震级范围和发生概率(例如 Knopoff, 1996)。地震前兆是在地震发生之前能够在噪声水平之上观测到的、用来给出如上所述的地震预测的物理现象。地震前兆的检验所要回答的基本问题,是怎样才能确认观测到的现象确实是地震前兆。统计检验的基本思路,是证明所观测到的现象对于地震的预测能力高于随机预测的能力(例如 Stark, 1996; 1997)。统计检验本身无法对观测现象是否确实是地震前兆给出肯定或否定的结论;但是观测现象能够被作为值得认真对待的地震前兆,必须首先通过统计检验。目前对于地震和地震前兆的动力学我们了解得并不多。因此,首先通过统计检验来发现一些有参考价值的前兆,就成为地震预测研究中一个重要的方法。

初看起来,地震前兆的统计检验问题是一个标准的统计学问题。围绕这一问题目前已开展了大量研究工作(例如 Stark, 1996; 1997; Kagna, 1996; 1997a)。但是仔细分析一下就会发现,这个问题首先是一个地震学问题。在地震前兆的统计检验的地震学问题在理论上得到完整的回答之前,地震前兆的统计检验作为一个纯粹的统计学问题将不会给出任何有价

1998年6月17日收到本文初稿,同年10月收到修改稿。本研究得到国家杰出青年科学基金资助(49725410)。

值的结论。也正是在这个意义上说,从统计的角度出发得到否定地震前兆研究的结论(例如 Geller, 1997; Geller et al., 1997),看来为时尚早。

但另一方面,在目前关于地震预测的讨论中对于统计检验问题的研究和争论,却从一个侧面提醒我们注意地震前兆的统计检验问题,或者说地震前兆研究的“规则”问题(吴忠良等,1998)。而重要的是这场争论提醒我们,有必要对进行统计检验的“规则”本身进行检验。这是这场争论的一个具有建设性的贡献。

应该指出,尽管地震预测问题至今还没有解决,从科学的角度来对现有的预测方法进行评价,却至少在一定程度上是可以做到的。这里的很多问题,我们也是有条件说得清楚的。这种评价之所以非常重要,是因为它直接决定了我们在地震预测研究中要发展哪些前兆手段,放弃哪些前兆手段。换句话说,它直接决定了地震预测研究进一步发展的方向。

## 1 地震前兆的统计检验问题

在地震预测中给出时间范围、空间范围、震级范围,我们形象地称之为“画圈圈”。长期以来,围绕“画圈圈”的问题,有两个疑问。一是对于一个地震前兆,“圈圈”究竟应该画多大。二是对于一条由此做出的预测,怎样才能算做成功。Geller(1996)写道:“……什么是成功的预测,这是很难定义的。说一个预测在空间上差 99.9km 是成功的,而差 100.1km 就不成功,这显然是非常任意的……”。更严重的问题在于,我们在地震学中看到的震源并不是一个几何点。这样,如何定义地震与预测地区的相对位置,问题就更复杂。我们权将这个问题称为“边缘问题”。传统的回答是,“圈圈”究竟应该画多大,是由经验确定的。落在边缘上的地震算不算成功,则不同的作者有不同的回答。

对于第一个问题,我们的回答是,“圈圈”的大小是由前兆的不确定度决定的;前兆的不确定度,以前兆本身的分辨率为下限。对于第二个问题,我们的回答是,落在边缘上的地震算不算成功,单纯从地震学角度,的确是不容易回答的。但是引用统计检验的概念之后,对这个问题的回答变得非常不重要。

### 1.1 地震前兆的分辨率

任何地震前兆都有它自身的分辨率。在分辨率的估计中,首先要考虑对物理场的“观测”的“采样率”。这个“采样率”并不是在“观测”中人为地确定的,而是在自然过程中“天然地”确定的。例如,在用 3 级以上地震所反映的应力场的变化进行大地震的预测时,假定 3 级以上地震的平均频度是每月 2 次,那么“时间步长”则为 15 天;再如,在考虑某种物理场对天文潮汐的加载—卸载性质时,其时间步长的下限便是所考虑的潮汐的周期。空间步长取决于“观测”点的分布,或者所记录到的“事件”的分布。例如在使用地震活动所反映的应力场的变化进行地震预测的工作中,小地震的空间间隔便构成了“采样”的空间步长。

时间步长和空间步长以及所用“数据”长度或“记录”点数决定了由此而进行的地震预测的分辨率。根据采样定理,如果时间或空间步长为  $L$ ,而总长度为  $L$ ,那么由此而能够反映的最短的时/空周期为

$$P = 2L \quad (1)$$

周期的分辨率为

$$P = (2L)^2 / L \quad (2)$$

就是说,我们所能观测到的物理场,将无法分辨孕震过程中时/空周期小于  $P$  的变化,而且无法分辨不同周期之间比  $P$  更小的差别。由这种物理场的变化来进行的预测的分辨率,经验地应不小于  $P + P$ 。这个数值因不同的预测方法而异。

事实上,这里给出的分辨率的估计方法本身并不重要,重要的是,地震预测的分辨率是由预测方法决定的。分辨率与不确定度在概念上是有区别的,不确定度既与物理现象本身有关,也与观测过程有关,但分辨率却是属于物理现象本身的。此外,勿庸赘述,每种地震前兆也都有它适用的地震的能量范围。

传统上,一直是将地震前兆的预测范围与地震本身联系在一起。比如 IASPEI 地震预测委员会将可接受的地震预测的时间、空间、地震大小的不确定度分别界定为——时间:  $\pm 20\%$  复发周期;位置:  $\pm 1/2$  破裂长度;大小:  $\pm 1/2$  破裂长度。这样定义的一个问题是,我们并不知道是否一定能够做出这样的预测。换句话说,没有根据去要求一个地震前兆的分辨率一定小于或等于上面给出的范围。

### 1.2 “边缘问题”

无可否认的是,在“画圈圈”的时候,往往有“经验”的因素甚至“直觉”的因素,这些主观因素有时甚至具有决定性作用。由此而产生的两个问题是:第一,“圈圈”的确定,是不是有相当的任意性;第二,落在“边缘”上的地震,究竟算不算成功。引入统计检验之后,这两个问题都变得不重要。统计检验可以约束这种任意性。

统计检验,简单地、但决不是严格地说,就是随机地“乱报”。如果一个地震前兆的成绩在这种随机的“乱报”的成绩之下,那么这个方法就“没有通过检验”(例如 Stark, 1996; 1997)。因此,一个基本原则是,不确定度可以有一定的任意性;落在边缘上的地震“算不算”成功,也可以任意地确定;但重要的是,这样“任意地”确定的规则,在统计检验时必须保持一致。就是说,在预测时边缘上的地震“算作”成功,在随机预测检验时也必须把边缘上的地震“算作”成功。这样,尽管预测的成功率因为把边缘上的地震也“算作”成功而出现了表观的增加,但是随机预测的成功率也随之而增加。地震前兆改进的目标并不是单纯增加成功率,而是要让成功率高于随机“预测”的成功率。也正是在这个意义上,我们可以把时/空/强坐标、时/空/强的不确定度(或范围)、以及预测历史/统计检验称为“广义的三要素”。按照 IASPEI 地震预测委员会的定义,统计检验的结果给出了预测的地震的“概率”

预测“概率” = 预测正确次数 / (预测正确次数 + 预测失误次数)

这里将“概率”打上引号,是说明如何由过去的历史来进行预测,在统计学中是一个有待讨论的问题。在样本数比较大的情况下,不同理论得到的结果趋近于同一个极限;但在样本数比较小的情况下,不同理论得到的结果分歧比较大。即使在“成功”可以明确地定义的时候,上述问题也是存在的。在“成功”的定义本身也是可以讨论的时候,这样的“概率”就更是一个值得讨论的问题了。对此,这里不拟进行详细的评述。

### 1.3 真正的预测的检验

单纯用回溯性办法得到的“广义三要素”,对于地震前兆的检验来说仍是非常不够的。真正的预测,对于地震预测方法的检验是关键性的一步。近年来的一些研究表明,当我们对已经发生的事情进行回溯性的研究的时候,很容易产生一些主观的错误(例如 Mulargia, 1997)。在统计学上,目前还没有特别有效的方法可以完全避免这类错误。而这就需要进行

真正的预测,来看一看预测方法是不是有效。

### 1.4 四个层次的“三要素”

我们可以借用“三要素”的说法来阐述地震前兆的统计检验问题。地震前兆的检验可以分为四个层次的“三要素”,其中每一个层次的“三要素”都是更基础的层次上的“要素”之一(图 1)。

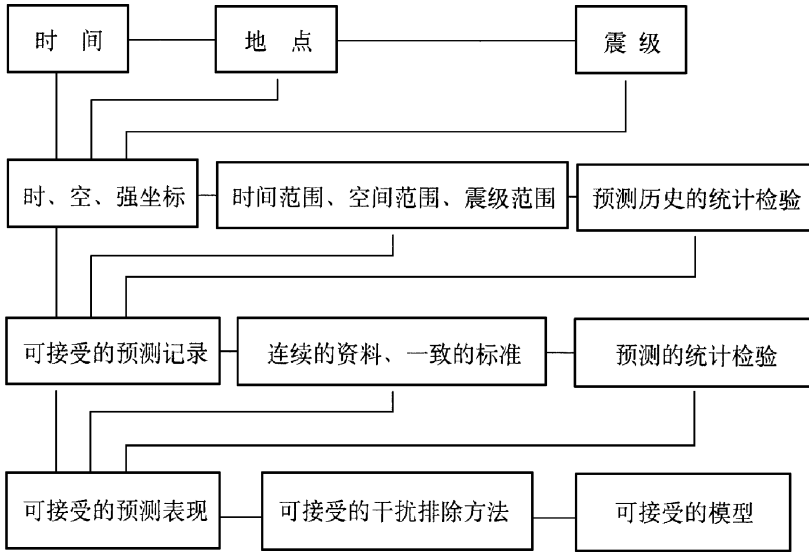


图 1 地震前兆的“三要素”

Fig. 1 Hierarchy schemes for testing earthquake precursors

从实际内容上讲,图 1 中的“规则”并没有引入任何新的知识,这些“规则”已成为地震学家的共识。但与以往的讨论(例如 Wyss,1991;Wyss and Dmowska,1997)略有不同的是,我们把这些“规则”组合成若干层次。在较为表面的层次上被拒绝的地震预测方法,就没有必要在更基础的层次上继续进行检验。

## 2 地震前兆统计检验中有待解决的地震学问题

目前关于地震预测效能评价的研究进行得不少,用来进行效能检验的指标也提出了很多,这使人觉得地震预测的统计检验问题的研究似乎已经可以“告一段落”,但事实上,这个问题可能远比我们想象的复杂。

### 2.1 小样本情况下的地震分布问题

在地震前兆的统计检验中,通常需要假定地震的发生满足某种特定的分布。原来我们习惯于采用随机的地震分布模型,比如泊松模型。从目前的资料来看,采用一个随机的地震分布模型,显然有过于简单化的问题。而如果地震分布的模型与实际相差较远,那么由统计检验得到的结果也将是有问题的,甚至是完全不合理的。

这个问题对较大的地震来说更为突出。典型地,我们只能有最多几十个地震来进行研究。而这时不可避免地将出现两个问题,一个问题是,在这种情况下,我们很容易被一些表

面现象所迷惑,如同在其他领域中做出的“很坏的观察”(参见 Beveridge, 1961)。在地震预测研究中经常能见到很多“规律”,但并不是所有的“规律”都是真正的规律,这时进行统计检验就显得非常重要。但是另一方面,由于样本数很少,我们又无法确切地给出地震的发生究竟满足什么样的分布模型,而这就给统计检验带来相当大的困难。

在小样本情况下为表面现象所迷惑,这一点连一些著名的地震学家也不能幸免。一个众所周知的实例是针对美国加州帕克菲尔德地震试验场提出的“特征地震”模型(Bakun and McEvelly, 1979; 1984; Bakun and Lindh, 1985)。Savage (1993)证明,具有22年复发周期的“特征地震”模型,在统计上是不成立的。Kagan (1997b)则指出,在一个随机的地震分布中“看到”类似于“特征地震”的分布的概率,从理论上说是不可忽略的。另一个著名的实例是Romanowicz (1993)发现在全球地震活动性中,不同类型的地震似乎是交替出现的。这一现象如果确实存在,则在地球动力学中将具有非常重要的意义。但是Johnson和Sheridan (1997)指出,在一个随机分布中“看到”这种图象的概率接近20%。统计检验当然不能否定这一现象的存在,但是要论证它存在,就必须首先否定它随机出现的可能性,即否定“零假设”。

但是在处理这个问题的时候,我们目前却面临着双重的困难,现在看来,国际上的很多专家对这种困难显然估计不足。一方面,在小样本情况下要想不被表面现象所迷惑,就必须进行统计检验;但另一方面,在小样本情况下我们不能确切地知道地震的分布模型,因而统计检验的结果可能是靠不住的。因此对于统计检验,我们也有一种矛盾的看法。一方面,统计检验是需要的,没有统计检验的“规律”可以说没有任何意义。但另一方面,我们又不能特别相信统计检验的结果,因为统计检验所用的基本假定——地震分布模型,有可能是不对的。

关于地震分布模型以及由此而导致的问题,我们实际的了解可能比我们认为自己已经了解的要少得多。一个实例是一个即使在地震学家中也流行了很多年的说法:“离上一次大地震越远,离下一次大地震越近”。最近的研究结果指出(Sornette and Knopoff, 1997),这个说法是不是正确,要取决于地震的时间分布。如果地震是周期性的,那么这一说法是正确的;但如果地震呈现出其他类型的分布,那么结果有可能恰恰相反。另一个实例是利用Gutenberg-Richter定律,用小地震的频度来外推大地震的发生概率。这是地震危险性分析中经常采用的做法。最近的结果指出(Scholz, 1997),如果我们考虑一个单一的地震断层,那么由此而做出的预测会低估了大地震的危险;而如果我们考虑一个由很多断层组成的区域,那么由此而做出的预测又会大大地夸大了大地震的危险性。

## 2.2 地震分类问题

从地震学的角度讲,目前并没有一个完善的地震分类方法。有些地震学家根据地震震源机制的结果,把地震分成正断层型、逆冲型、走滑型;有些地震学家根据地震的频谱成分,将地震分成“红”地震和“蓝”地震。在这方面还有很多工作有待开展。但一个近乎常识的问题是,把所有地震都不加区别地同等对待是不合理的,要求一个地震前兆适用于所有的地震更是没有根据的。比如潮汐的触发作用对于地震的类型就有极强的“选择性”:只有正断层型的地震才有显著的潮汐触发现象,而逆冲型和走滑型地震没有这种现象(参见,例如, Tsuruoka et al., 1995)。此外,实验室实验也表明,很多的(如果不是全部的)岩石破裂(或粘

滑)的前兆现象,都仅适用于特定的岩石破裂(或粘滑)方式。

对于另一类“地震”,即地震滑动不为零,但因为滑动速度很慢,所以地震波辐射能量很小的“慢地震”(例如 Kanamori and Hauksson, 1992; Kanamori and Kikuchi, 1993),我们还没有足够的认识。但是一些很强的证据表明,一些前兆确实是与“慢地震”相联系的(例如 Panza, 1997),而慢地震在地震活动性的动力学中确实具有重要的意义(例如 Dragoni and Tallarico, 1992)。

因此一个值得注意的问题是,当我们把所有地震都放在一起不加区别地考虑时,我们用来进行统计检验的规则,就很可能是一条过于严厉的规则,它有可能使我们漏掉一些重要的信息。

这种矛盾在目前关于地震预测的争论中表现得尤为突出。一个极端的例子是, Kagan (1996)曾给出一个“自动预报”方案,认为所有的地震都是一个更大的地震的前震。他的“统计检验”表明,这一“方案”比迄今所有的预测方法的“成绩”都好。Geller (1997)则主张凡是成绩低于这一“方案”的方法都不值得认真对待。Geller 等 (1997)进一步主张,在前兆检验中应采用“贝叶斯方法”,即任何一次失败都大大地降低方法本身的先验概率。按照他的结论,迄今所有的预测方法尚无一可取。如果地震是没有区别的,那么这种建议或许是正确的。但问题是,地震是不同的,人们毕竟不能要求一种检测手段同时适用于所有疾病的诊断。

从地震分类的角度说,虚报和漏报具有不同的物理意义。有些研究者为了追求“成功率”而发布过多的没有意义的虚报,实际上与地震预测方法的“搜索方向”完全背道而驰。

值得指出的是,地震分类的想法在地震预测研究中可能意味着一个观念上的转变:在此之前,研究地震预测的地震学问题和研究地震过程的地震学问题虽然不被认为是没有关系的,但至少这种关系不被视为十分紧密。时至今日,甚至有些地震学家也在问,研究地震发生“零时”之后的过程,对于地震预测研究到底有何直接的意义?而现在我们看到,这两方面的研究是紧密地结合在一起的。

### 3 总结和讨论

地震前兆的统计检验所要回答的主要问题是,怎样才能认定一个观测现象确实是地震前兆;或者说,怎样才能确认观测到的“前兆”与地震之间的联系不是一种偶然的巧合。为此,一方面需要针对地震前兆的预测历史进行回溯性的检验,另一方面也需要进行真正的预测的检验,以避免在进行回溯性检验时的主观错误。

我们将地震前兆研究中普遍接受的“规则”组合成四个层次的“三要素”,这种组合本身并没有引入任何新的内容。但是我们强调,在较为表面的层次上被拒绝的“前兆”,就没有必要在更深的层次上继续进行检验,这一点对于判定一些地震“前兆”的性质是有实际意义的。一些作者(例如 Geller, 1996)抱怨说,对一些没有意义的“前兆”的检验花费了太多的时间。这种抱怨并非没有道理。但是另一方面,我们毕竟不能因此而拒绝所有的地震前兆的检验。在对地震的机理不十分清楚的情况下,靠经验性的前兆统计来进行地震预测的探索,仍是地震预测研究的主要方法。本文提出的“分层次检验”的方案,可以作为目前在地震预测问题的争论中提出的关于前兆检验的观点的一个修正。这种修正有效地避免了对地震前兆研究

的简单化甚至极端化的做法。

通过引入地震前兆的“分辨率”的概念和讨论地震前兆的统计检验,我们澄清了地震前兆检验中的“边缘问题”。对这一问题的解答,并不需要引入任何新的知识。“边缘问题”的答案实际上已经存在于地震前兆研究的反对者们提出的统计检验方法之中。耐人寻味的是,地震前兆研究的反对者却一直用“边缘问题”作为反对地震前兆研究的论据之一(例如 Geller, 1996)。看来,在一个发展之中、尤其是争论之中的研究领域,有很多基本概念是需要不断加以明确的。

我们通过地震前兆统计检验的地震学问题的讨论,指出目前的地震前兆检验方法存在某些结构上的缺陷。这种缺陷不是统计学的,而是地震学的。这种缺陷主要来自两个方面:一是对地震分布模型的认识,二是对地震分类的认识,包括对慢地震的认识。从这个意义上说,我们对地震前兆的统计检验的态度是有些矛盾的:一方面,地震前兆必须通过统计检验,在小样本的情况下尤其如此;但另一方面,我们又不可过于相信统计检验。对统计检验的“规则”本身,也需要进行检验。以往关于前兆统计检验的讨论,主要是针对“规则”的统计学部分进行的,这是非常不够的。我们从地震前兆统计检验的地震学问题出发,针对目前围绕地震预测问题的争论,得出两个重要结论。第一,尽管迄今为止,用业已发现的地震前兆所进行的地震预测,其效果都非常有限,但这并不等于说目前发现的地震前兆都是不值得认真对待的。事实上,我们关于“成功”的定义本身存在着更大的缺陷。而单单由“业已发现的所有前兆,其预测效能都很低”这一点来否定地震预测研究,这个结论不仅显得过于仓促和简单化,而且对于进一步的研究是不利的。第二,在地震学中,对于地震发生之前的过程的研究(地震预测研究)和对于地震发生之后的过程的研究(地震震源过程的研究)是紧密地联系在一起的。目前在地震预测研究领域的困难和混乱,在相当程度上正是由于对这种联系重视不够。

在自然科学中人们普遍相信,以合适的方式提出一个科学问题,实际上相当于解决了这一科学问题的大部。地震前兆的统计检验问题是地震预测研究中一个重要的科学问题,但是目前我们所看到的前兆检验问题(例如 Geller et al., 1997),并不是一个被合适地提出的科学问题。地震前兆的统计检验问题不应当被作为一个纯粹的统计学问题,它首先是一个地震学问题。而在地震学问题得到解决之前,单纯的统计学的推演其意义是有限的,有时甚至会产生误导。

作者感谢陈运泰教授、陈颢教授和朱传镇教授的指导。

## 参考文献

- 吴忠良, 1998, 自组织临界性与地震预测:关于目前地震预测问题争论的评述(之一), 中国地震, 14(4): 1~10。
- 吴忠良、陈运泰、张天中、朱传镇, 1998, 关于地震预测研究的“规则”, 科学, 50(5): 30~34。
- Celler, R.J., 1996. Earthquake prediction: science, politics, and publicity. Proceedings of the Symposium on Evaluation of Earthquake Prediction Scheme, London. (中译本:吴忠良译,陈运泰、朱传镇校,1998, 地震预报:科学、政治和社会宣传问题,地震地磁观测与研究, 19(1A): 107~125)。
- Bakun, W. H. and McEvilly, T. V., 1979. Earthquakes near Parkfield, California: Comparing the 1934 and 1966 sequences. Science, 205: 1375~1377.

- Bakun, W. H. and McEvilly, T. V. , 1984. Recurrence models and Parkfield , California , earthquakes. *J. Geophys. Res.* , 89 : 3051 ~ 3058.
- Bakun, W. H. and Lindh, A. G. , 1985. The Parkfield , California , earthquake prediction experiment. *Science* , 229 :619 ~ 624.
- Beveridge, W. I. B. , 1961. *The Art of Scientific Investigation*. London :William Heinemann.
- Dragoni, M. and Tallarico. A. , 1992. Interaction between seismic and aseismic slip along a transcurrent plate boundary : a model for seismic sequences. *Phys. Earth Planet. Interiors* , 72 :49 ~ 57.
- Geller, R.J. , 1997. Earthquake prediction :a critical review. *Geophys.J. Int.* , 131 :425 ~ 450.
- Geller ,R.J. , Jackson, D. D. , Kagan, Y. Y. and Mulargia, F. , 1997. Earthquakes cannot be predicted. *Science* , 275 :1616 ~ 1617.
- Johnson, S. M. and Sheridan, J. M. , 1997. Distinguishing between random and nonrandom patterns in the energy release of great earthquakes. *J. Geophys. Res.* 102 :2853 ~ 2855.
- Kagan, Y. Y. , 1996. VAN earthquake predictions—an attempt at statistical evaluation. *Geophys. Res. Lett.* , 23 :1315 ~ 1318.
- Kagan, Y. Y. , 1997a. Are earthquakes predictable ? *Geophys.J. Int.* , 131 :505 ~ 525.
- Kagan, Y. Y. , 1997b. Statistical aspects of Parkfield earthquake sequence and Parkfield prediction experiment. *Tectonophysics* , 270 :207 ~ 219.
- Kanamori, H. and Kikuchi, M. , 1993. The 1992 Nicaragua earthquake : a slow tsunami earthquake associated with subducted sediments. *Nature* , 361 :714 ~ 716.
- Kanamori, H. and Hauksson, E. , 1992. A slow earthquake in the Santa Maria Basin , California. *Bull. Seism. Soc. Amer.* , 85 :2087 ~ 2096.
- Knopoff, L. , 1996. Earthquake prediction—the scientific challenge. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* , 93 :3719 ~ 2720.
- Mulargia, F. , 1997. Retrospective validation of the time association of precursors. *Geophys. J. Int.* 131 :500 ~ 504.
- Panza, G. F. , 1997. Lecture Notes , ICTP Fourth Workshop on Nonlinear Dynamics and Earthquake Prediction , Trieste , Italy.
- Romanowicz, B. , 1993. Spatiotemporal patterns in the energy release of great earthquakes. *Science* , 260 :1923 ~ 1926.
- Savage, J. C. , 1993. The Parkfield prediction fallacy. *Bull. Seism. Soc. Amer.* , 83 :1 ~ 6.
- Scholz, C. H. , 1997. Size distributions for large and small earthquakes. *Bull. Seism. Soc. Amer.* , 87 :1074 ~ 1077.
- Sornette, D. and Knopoff, L. , 1997. The paradox of the expected time until the next earthquake. *Bull. Seism. Soc. Amer.* , 87 :789 ~ 798.
- Stark, P. B. , 1996. A few statistical considerations for ascribing statistical significance to earthquake predictions. *Geophys. Res. Lett.* , 23 :1399 ~ 1402.
- Stark, P. B. , 1997. Earthquake prediction : the null hypothesis. *Geophys J. Int.* , 131 :495 ~ 499.
- Tsuruoka, H. , Ohtake, M. and Sato, H. , 1995. Statistical test of the tidal triggering of earthquakes : contribution of the ocean tide loading effect. *Geophys. J. Int.* , 122 :183 ~ 194.
- Wyss, M. (ed.) , 1991. *Evaluation of Proposed Earthquake Precursors*. Washington, D. C. : American Geophysical Union.
- Wyss, M. , 1997. Cannot earthquakes be predicted ? *Science* 278 :487 ~ 488.
- Wyss M. and Dmowska, R. (ed.) , 1997 , *Earthquake Prediction , State-of-the-Art. Special Issue , Pure appl. Geophys.* , 149 :1 ~ 264.

## Seismological Problems of the Statistical Test of Earthquake Precursors ——A Review on the Current Discussions about Earthquake Prediction( )

Wu Zhongliang

(Institute of Geophysics, China Seismological Bureau, Beijing 100081, China)

**Abstract** The statistical test of earthquake precursors is one of the most important problems in the current controversy about earthquake prediction study. It is pointed out that this problem is not a pure statistical one but firstly a seismological problem. By introducing the concept of the resolution of earthquake precursors and discussing on the statistical test, the “edge problem”, i. e., whether or not the earthquake occurred near to the edge of the prediction area should be regarded as a successfully predicted one, is clarified. The game rules of earthquake prediction is represented by a hierarchy test scheme for the practical usage. It is pointed out that there are still some unsolved problems associated with the statistical test of earthquake precursors, among which the model of earthquake distribution and the classification of earthquakes are two main problems to be solved, which leads to some fatal problems in the current schemes of the statistical test of earthquake precursors. Therefore, it is too early to conclude that earthquake cannot be predicted based on the statistical test of earthquake precursors.

**Key words:** Earthquake prediction Earthquake precursor Statistical test

**作者简介:** 吴忠良,男,1963年出生于辽宁铁岭,1988年在北京大学地球物理系获硕士学位,1991年在北京大学地质系获博士学位,现为中国地震局地球物理研究所研究员。主要从事地震学方面的研究。