

辽宁省海城地震 预报十周年学术讨论会

(论文、论文摘要)

《东北地震研究》编辑部

C112

一九八五年十二月

编辑出版：《东北地震研究》编辑部
沈阳市黄河大街七段四号

印刷装订：中色辽地勘矿产地质研究
所制版印刷

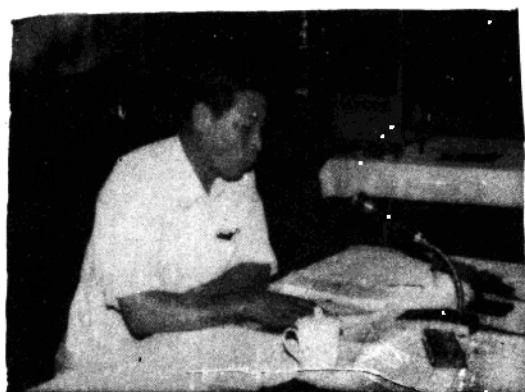
印数：2000册 辽宁省内部图书准印证(85)第2号

周年学术讨论会剪影

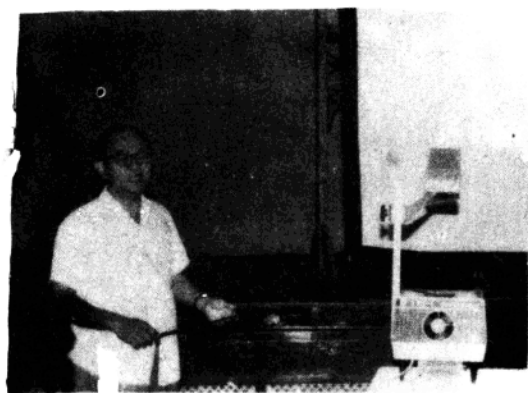
辽宁省海城地震预报十



大会会场



学术讨论



学术讨论

摄影 唐复友

辽宁省海城地震预报十周年学术讨论会

(论文、论文摘要)

目 录

地震学及震源机理

- 海城地震前震序列与震群活动的研究.....朱传镇 (1)
- 利用爆破源探测海城地震前后地震波特性的异常变化.....冯德益等 (12)
- 海城地震远台波形和频谱分析的初步结果和讨论.....肖蔚文等 (24)
- 海城7.3级地震与河北北部地区强震中强震前S值的变化.....李文英等 (31)
- 断层组合形式与地震前兆类型.....杜异军等 (39)

地震前兆

- 海城7.3级地震的地磁异常.....蒋邦本等 (48)
- 金县短水准干扰因素和海城7.3级地震前异常的可靠性研究.....卢良玉等 (55)
- 海城地震前后吉林省境内地震异常的讨论.....张良怀等 (63)
- 评盘锦水氦的干扰分析及监测效能.....董方楚等 (77)

地震地质、地壳测深

- 爆破地震研究辽南地区地壳与上地幔结构的初步结果.....卢造勋等 (82)
- 海城7.3级地震孕育发震断层问题.....赵文峰 (100)
- 海城7.3级和6.0级地震烈度特征的研究.....从传喜 (111)

- 海城地震预报十周年学术讨论会论文摘要..... (121)

海城地震前震序列与震群活动的研究

朱传镇

(国家地震局地球物理研究所)

海城地震预报的成功,是在多种前兆观测基础上综合分析和正确判断的结果,不同性质的前兆在预报的不同阶段上都起过相应的重要作用,如辽宁地区小震活动明显增强,大范围的震群活动和金县地壳垂直形变异常是中期预报的主要依据;地倾斜、地下水水位及水氧的变化,金县短水准变化幅度增大和动物习性异常,以及蓁窝水库震群的发生是短期预报的重要标志;而多种前兆(包括地电等)的突跳变化,和前震序列的出现又是临震预报的关键。需要指出的是在整个预报过程中,地震活动的异常贯彻始终,在一定程度上起了主导作用,其中又以前震序列和大范围震群活动更为突出,给人们留下了深刻的印象。实际上,海城地震以后,前震和震群活动特征的研究再次引起国内外地震学者的广泛关注。人们试图从海城地震所提供的丰富的前震序列中寻找地震预报可能的突破口。海城地震已过去十年了,回顾和总结十年来海城地震研究取得的进展,无疑对加深地震发生过程的规律性认识,把地震预报工作推向前进,都有重要意义。本文旨在就十年来在海城前震序列和震群活动研究方面取得的一些认识和存在的主要问题作一概述,并对进一步的工作提出了有关建议。

也许大家还记忆犹新,在海城地震预报成功后不久,一时在社会上曾形成过这样一种看法,似乎今后地震预报就靠前震了,大有前震包打天下之势,后来唐山地震未能报出,又使人产生测震方法对预报无能为力的错觉,当然这些都是一种极端的看法,是不符合实际的。的确,海城前震序列在临震预报中起了直接作用,但应当承认当时对这些地震序列的性质是缺乏认识的,在相当程度上是推测它们可能是前震活动,显然如果我们能科学地

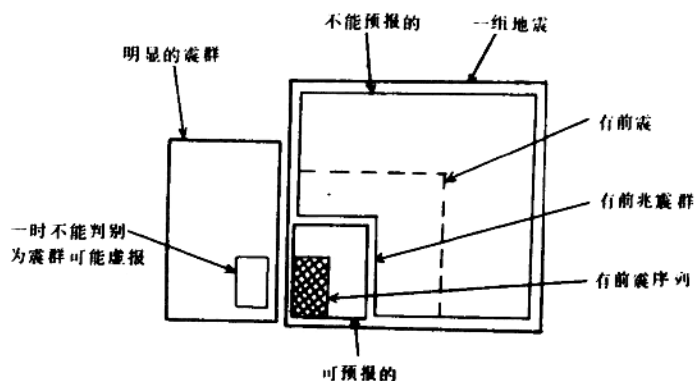


图1 用前震序列方法进行地震预报能力示意图

在事前识别出前震,无疑是一个肯定的成就,它将大大有助于地震预报,不过对利用前震序列方法进行预报的能力也应有一个客观的估计,以避免在预报研究认识上可能出现的片面性。关于前震序列预报能力的分析示于图1。

虽据统计大陆浅源大地震约50%均有前震,但值得注意的是具有可识别前震序列的强震,仅占所考察大量地震的一小部份。图1中阴影区代表被认为是由识别前震序列特征可以做出预报的地震。左边的方块代表震群型地震。其内的小方块代表一时尚难以与前震序列相区别的震群,这就有可能使我们做出虚报。

一、海城前震序列特征

前震序列特征的研究,基本上按两条途径展开,一是从分析序列本身频度、强度的时间进程和空间分布,提取序列群体的统计特性;另一途径是从序列单个或若干个地震记录中,借助于现代震源和地震波传播理论,直接取得前震震源和相应介质参数的信息。此外,近年来还逐步展开了解前震发生机理的岩石破裂实验和序列数值模拟的理论研究。尽管第一条途径唯象成份较多,但易于取得足够的资料,且较直观,只要思路明确、统计方法合适,并有一定物理背景,有时同样可以得到不少有用的结果;第二条途径物理基础明确,对资料质量要求较高,分析方法相对较复杂,所得结果直接有助于对前震发生物理过程的认识。不过目前无论在资料获取和计算方法上都还有待于进一步改善,以提高参数测定的精度。

不少作者从不同角度对海城前震序列的统计特征做过多方面的探索,较多地集中于(1)频次变化,(2)b值差异以及(3)缺震特征。

以地震序列中主要地震为中心,分别统计震前、震后海城前震序列,砣矶震群和陆川震群频度的变化,如图2所示。

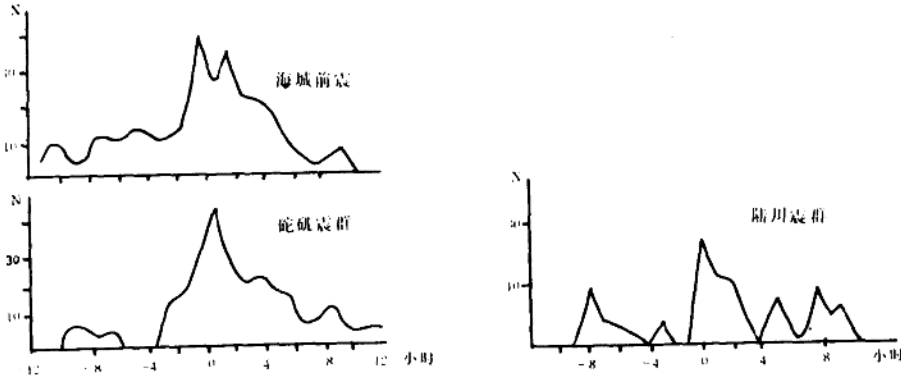


图2 主要地震发前后地震频度(每小时)对比

由图可以看到,在序列中主要地震发生前,前震与震群频次变化颇为相似,总体上是临近主要地震,频次快速增长;主要地震发生后,海城前震序列衰减似较陆川震群缓慢,但与砣矶震群相比又无明显差异;因此在频次分布上未见有可以分辨出前震序列的肯定判据。

关于序列的 b 值,有些研究结果表明⁽¹⁾,前震 b 值低于余震,而震群的 b 值与余震较接近,一般为 $0.9 \sim 1.0$;但更多的研究发现不少反例,其中最醒目的是1930年日本北伊豆7.0级地震前震 b 值高达1.0,比余震还高。为对比起见,表1给出了海城前震序列和国内部份震群的 b 值。

表1 b 值 对 比

海城地震		智利地震		震 群								
前震	余震	前震	余震	琼城	阿荣旗	包头	敖汉	陆川	永安	喀喇沁旗	黑山	乌加河
0.56	0.86	0.55	1.13	0.51	0.35	0.64	0.80	0.82	0.56	0.89	0.62	0.91

由表1可见,震群的 b 值可低至0.35,尽管有些震群具有较高的 b 值。看来 b 值差异亦难以作为确认前震序列的数据。

缺震特征。据许绍壁等⁽²⁾的分析,认为地震序列的平均震级有保持稳定的趋势,因此若在某一时间段内,序列的平均震级偏低,则在下一时间段内应后继一些大地震来补足。他们分析对比了海城前震与四次震群的震级序列发现海城前震序列中两次主要地震发生前都出现中等地震的明显短缺,对震群序列亦有类似现象,但值得注意的是在主要地震发生后,震群就不再出现缺震,而海城前震则仍然表现出缺震,直至发生7.3级地震,据此似有可能对地震序列高潮是否已过去作出某种判断,有助于改善大震发生的概率性估计。然而这种缺震特征也并非前震序列所独有,某些余震序列亦同样显示缺震现象⁽²⁾。因此,利用缺震估计后继是否有更大地震仍然是不确定的。

前震序列震源特性的研究,当前主要包括三方面的工作:(1)震源机制的稳定性,(2)震源谱特征和震源参数,(3)震源区介质品质因数 Q 值的分析。

海城前震序列震源特征中最早引起人们注意的是震源机制的一致性,金严⁽³⁾等提出与一般震群相比,海城前震序列 $\bar{P}$ 、 $\bar{S}$ 波垂直向最大振幅比相对较稳定,对震源集中的一群地震而言,这种稳定性可看成是震源错动方式一致性的反映。以后顾浩鼎⁽⁴⁾等从 S 波偏振性质讨论了海城前震序列震源机制的稳定性,得到了与文献⁽³⁾相吻合的结果。但与更多震群相应特征对比,情况就比较复杂,如表2和图3所示。

表2 $A_{\bar{P}} / A_{\bar{S}}$ 稳 定 性 对 比

	海城前震	震 群						
		高 邑	霍山	和顺	本溪	黑山	砣矶	平遥
均方差 σ	0.19	0.26	0.34	0.41	0.35	0.60	0.30	0.35
F 检 验		无显著性 差 异	均与海城前震有显著性差异 (取置信水平95%)					

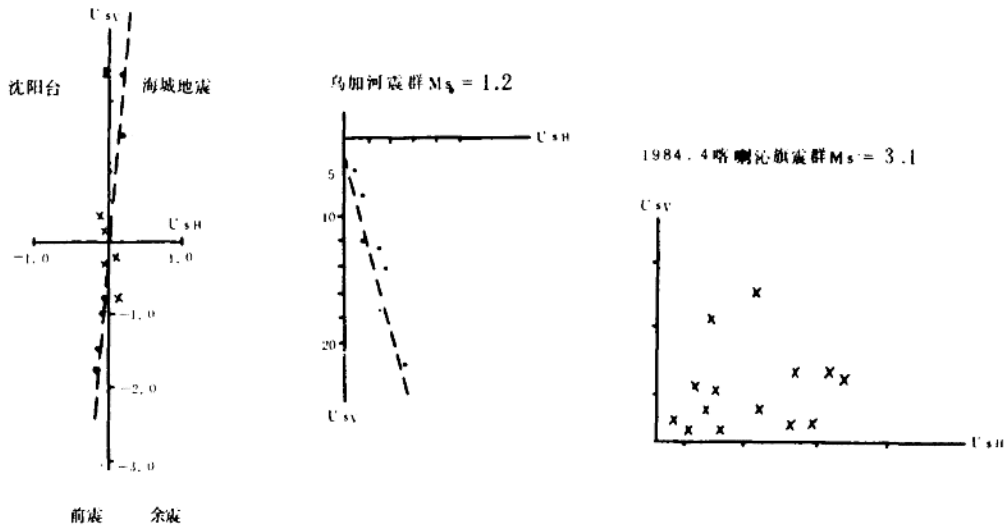


图3 S波偏振图例

日本辻浦贤^[5]根据日本的观测结果,提出震群与前震波形的差异正表现在震群序列的波形十分相似而前震序列的波形较复杂;金森博雄等人据在加州的观测事实亦有类似看法。以上对前震序列震源机制是否稳定存在两种相反的认识,很可能说明震源错动方式一致与否,并不是前震序列力学过程的本质特征,实际上,仔细分析的结果表明^[6]海城前震序列有两组不同的波形,其中一组(震级较大) A_p/A_s 比较稳定,而另一组稳定性就较差。从空间上来看它们则分布在不同的构造部位上,由此看来,序列机制是否一致,在相当大的程度上受控于震源区构造格架的几何形态,也难以确认为前震序列的肯定判据。不过据目前的研究,在我国大陆地区,利用序列机制是否稳定有可能在序列活动的后期分辨出一部分震群。

可以合理的设想,发生前震序列的介质应力状态与一般地震序列应有所不同,这种差异也许比较细微,但通过地震辐射波谱或震源参数的变化有可能反映出来,为此国内外地震学者十分注意对前震波谱的研究。金森博雄观测到1952年克恩群7.7级地震前震S波频率明显增高,1971年望费尔南多6.5级地震前亦出现类似现象。海城地震前震序列的波谱高频成份相对较发育^[7,8],但也有前震频率相对较低的例子^[5]。最近茂木报导了在1980年6月29日伊豆近海6.7级地震震源直上方记录到许多50—300 Hz的高频振动,如图3所示,我国郭孔贤在1985年4月18日云南禄劝—寻甸6.3级地震震中区近断层处,也记到一系列高频(大于40 Hz)振动(见图4),这类高频事件意味着震源处发生的什么物理过程?它们是否具有前兆意义?值得深究。前震波谱为什么会出现多种复杂情况,其根本原因在于前震发生机制的多样性和地震波传播过程的复杂性所致,应力增强可以导致地震,介质强度降低,甚至在应力减小的条件下*(实验室结果)也可以发生地震,显然,不同物理条件下发生的地震,其辐射波谱不一样是完全可以理解的。因此,若不结合前震发生的具体应力状态和

* 据耿乃光的结果

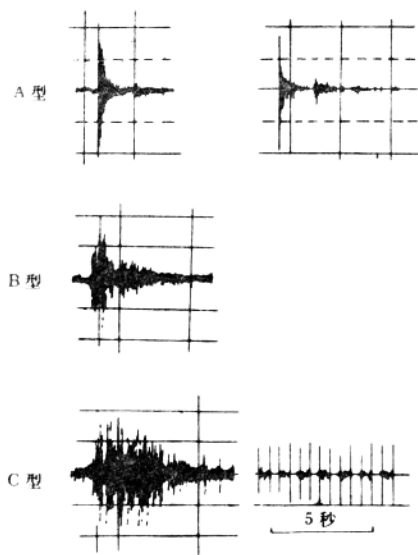


图4 用水听器在震源上方记录到的高频事件 (据茂木)

应力降与外加载荷成正比, 且当临近大破裂时, 微裂的应力降确有增大的趋势。(参见图5)。

传播介质、构造条件的分析, 仅从单一的波谱变化中寻求识别前震的判据, 恐怕是难以奏效的。有关前震序列的震源参数, 讨论较多的是应力降, 对海城地震序列, 频率域测定的结果是前震应力降高于余震应力降^[7、8], 但时间域测定的结果, 前余震未见有明显变化^[9]。另一方面不同作者测得的应力降差别甚大, 有时可达两个数量级, 采用震源模型不同是可能的原因之一, 但即使同一模型测得的结果, 差别仍可达一个量级, 其原因尚待深入探讨, 这样就大大限制了对应力降变化做进一步的定量讨论; 至于应力降变化是否能反映构造应力的变化, 目前理论上尚无明确答案, 某些单轴压缩下岩石破裂实验展示出破裂时的

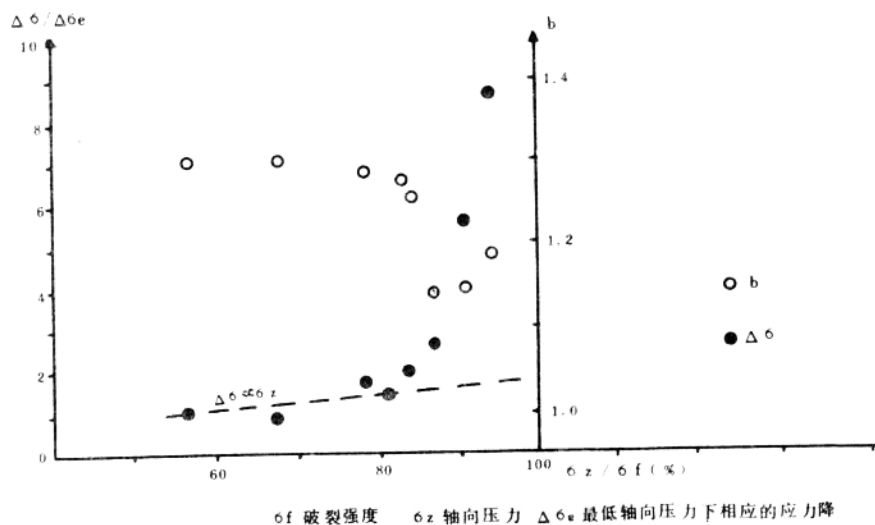


图5 应力降 $\Delta\sigma$ 与外加载的关系 (据楠瀬勤一郎)

从介质性质的角度研究前震序列发生的条件,近年来亦引起了人们的注意,但这方面的工作内容还比较窄,就海城地震而言,主要是测定和对比大震前后震源及其周围地区的介质品质因子 Q 值的变化。表3给出了不同作者测定的 Q 值

表3 海城地震前后介质 Q 值

	P 波				尾 波 ^[13]
	朱 ^[7]	卓 ^[10]	李 ^[11]	金 ^[12]	
震 前	500	420			小范围 (30—50 KM) ≤ 100 大范围 (200 KM) $252 \pm 8\%$
震 后	西南向方 减小至180	160	500	250	小范围变化不明显 大范围 $506 \pm 10\%$

由表3可看到,震前震源区 $Q_p = 400 - 500$,震后在一定范围内 Q_p 减小;而 $Q_{尾}$ 情况有所不同,震前震后在震源区范围内 $Q_{尾}$ 值变化不明显,且较低,但在较大范围内震前 $Q_{尾}$ 明显低于震后。由于尾波 Q 值反映的是一定区域内介质统计平均的衰减效应,而 Q_p 仅表征震源到台站路径上的衰减,因此两者测定的结果不同是可以理解的,问题是如何认识两者在震前震后的变化特点,一种可能的解释是临近大地震时,大范围微裂发育,导致尾波散射损失增加, $Q_{尾}$ 减小;震后由于震源区卸载,大范围内微裂闭合数增多,导致 $Q_{尾}$ 增大;至于小范围内 $Q_{尾}$ 变化不大,可能说明在此小域内震前震后裂隙总体分布基本不变,当然这与 Q_p 在某些方向上可能发生变化并不矛盾。如果着眼于震前震后大范围介质衰减特性的研究,并试图从中提取大震的可能前兆信息,利用尾波测定 Q 值似更为可取。另据文献^[1,14]的研究,一般震群地区, Q_p 值均较低,约为100,因而不易积累较大弹性应变能,但亦有例外,如1975年11月的滦县震群 $Q_p = 480$,它可能与唐山地震的孕育过程有关。

微震有的是经常性的,有的是突然发生,也有的是作为大地震的前震或余震的形式出现,其原因是多种多样的。例如,当余震是发生在一个断层面上,那很可能是由于断层面上分布有障碍体(Barrier)导致发生应力集中,这种集中常以静疲劳的机制逐步释放,又如地震群或火山地区发生的微震,很可能是由于地下的水气、岩浆等压力增加而产生裂隙,或由于沿已有断裂摩擦减小而易于滑动,从而促使应力释放,再有,由于地壳介质力学性质的不均匀,有些地方也会经常发生应力集中,出现小地震等。因此,要使前震的识别工作有所前进,需要对各类微震的性质做大量的基础研究,弄清不同性质微震发生的具体构造和地球物理环境,发展震源理论和地震波在实际介质中的传播理论,不断完善测定震源参数和介质参数的方法,从观测上来说,配置大动态宽频带数字地震仪,已势在必行。除以上所述,在断层区(或地震带)寻找可能的障碍体也与识别前震有关,通常障碍体除

了由介质力学性质的不均匀性形成以外,还可能由断层走向的折屈、弯曲或断层阶梯状排列等几何因素所造成,在这些地方发生应力集中,容易发展成大地震震源。从经验上来看,前震序列发生在主震震源附近、这样,如果事先能大致预计障碍体的位置,即可能出现前震的地方,一旦那里发生微震,再同时配合其他观测手段如地形变、地下水等,有可能提高判别前震的能力,因此,在地震活动区内地壳细结构的研究,对前震识别也有重要意义,值得深入去做。

二、震群活动及其前兆意义

前面已经提到,大震前出现像海城地震那样的前震序列的震例是不多的,但震前较长

一段时间,如1—2年,在未来震中的周围地区地震活动的增强似乎是比较普遍的现象,至少对近10几年来我国大陆的浅源地震是这样,这种增强又常以小震群的形式出现,海城地震表现得相当明显,如图6所示。虽然这类大范围出现的震群活动未必与后续的大地震震源孕育过程有直接的因果关系,可能只是大区域应力场变化的一种反映,但从概率预报的角度考虑,寻求它们之间的关系,仍具有预报意义。不可否认,震前一年围绕海城地震震中($\Delta < 300 \text{ km}$)震群活动的明显增多是中期异常的突出标志之一,类似的异常震群活动图象,在国内的唐山地震、龙陵地震、盐源—宁蒗地震以及国外的科林加地震

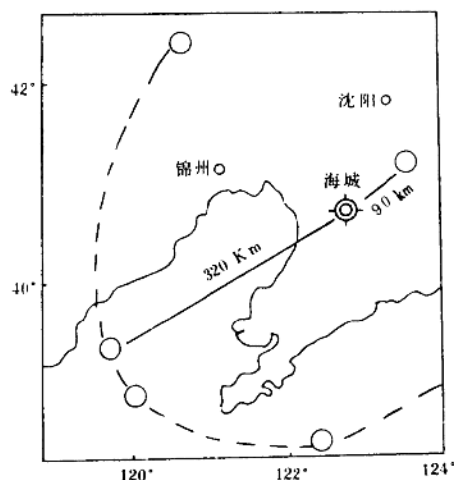


图6 海城地震前震群分布
1974.3—1975.2

(美国)、日本海中部地震等地震前都出现过。最近,陆远忠等^[15]对华北地区小震群的频度与中强震的关系做了详细的统计,结果示于图7,由图可见,若不把1976年地震活动统计在内,华北地区小震群平均频度为2.6次/年,在高潮期(1976年)前的1974、1975年小震群频次开始持续增加,1976年增到正常年的三倍,同期中强地震($M_L \geq 5.0$)比常年增加10.8倍,可见当小震群频度增加后1—2年内,将会出现中强地震活动高潮,表明大范围震群活动的增高可做为估计地震活动总趋势的因子之一。进一步研究还发现在众多震群中有一类特征震群,它们常发生在距未来强震不太远处,一般 $\Delta < 100 \text{ km}$,如海城地震前侵窝震群,唐山震前的滦县震群,巴音木仁地震前的磴口震群以及五原震前的乌加河震群等,它们似有短期前兆的性质。通常我们将与强震发生有关的震群统称为前兆震群,这里同样提出了一个如何从一般震群中识别前兆震群的问题,近年来不少人对此做了多方面的尝试,试图找到某种特征量来定量描述前兆震群,并探讨它们与未来地震三要素的关

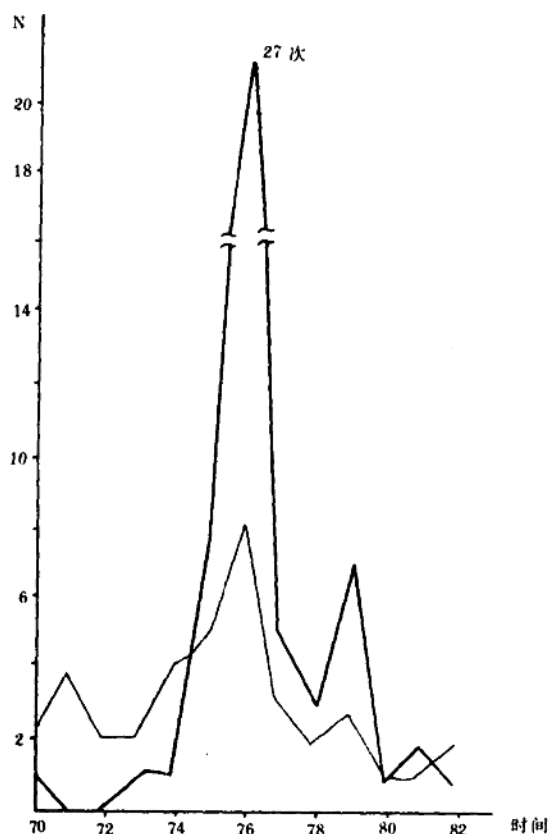


图7 华北地区中强震、小震群年频次随时间的变化

验的结果也是满意的,在内蒙地区相对要差一些。据笔者^[17]对华北震群计算的结果来看, h 值判据对判别余震序列把握更大一些,对震群或前震的判别受地震次数和频度起伏分布的影响较大,以致有些序列甚至难以求得可靠的 h 值;其次 $h < 1$ 一般仍给不出后继强震的地点、强度和发震时间的信息。也许把 h 值的变化与特定地区应力状态,介质和构造条件综合加以考虑,可能会取得进一步的结果。

据岩石样品变形过程中声发射频度变化的研究^[18],声发射率变化不完全反映应力水平,更确切地说它只是一种过程参数而不是状态参数,这启示我们应从更广阔的角度来寻找它特征量。1984年陆远忠等从序列能量释放过程提出用 U 值来判别前兆震群, U 值的定义是在一个震群序列中释放90%的弹性波能量所需要的最短时间 $T_{0.9}$ 与全序列持续时间 T 之比,即

$$U = \frac{T_{0.9} \sum \sqrt{E}}{T}$$

系。应当说在这方面的工
作已有一些初步进展。值得
提出的特征量包括序列
频度衰减系数 h 值,描述震
群序列中地震能量释放均
匀度的 U 值归一化熵 K 值。

刘正荣^[16]认为地
震序列频度衰减系数 h 值
小于1时,相应序列为
前兆性序列(前震序列或
前兆震群),即后继有更
大地震; $h = 1$ 属余震序
列; $h \approx 1$ 时可能为双主震
型序列或难以确定。根据
他对国内外108次地震序
列的分析结果,效果是不
错的,有震的34次, h
1 占24次,百分比为70%。
无震74次,而 $h = 1$ 的只
占3次,自然概率为4%,
按统计评分 $R = 0.66$,表
明在回答有无较强地震发
生, h 值具有相当高的预
报能力。这种方法在四川、
广东、江苏和新疆等地区检

他们对1970—1979年华北的35个震群进行了计算, 结果发现高U值 (>0.5) 的震群后往往有中强地震($M_L \geq 5.0$) 发生, 且震级愈高, 震前高U值震群数也愈多, 而低U值震群后不易发生中强地震。(见图8)。

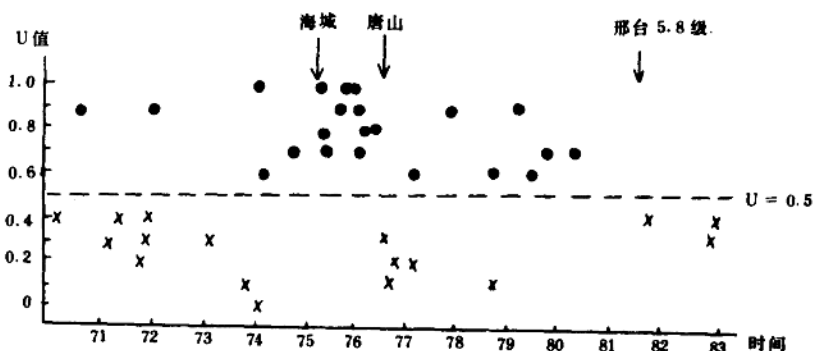


图8 震群U值随时间分布 (据陆远忠等)

利用震群U值的差异, 判断2年时间内, $\Delta = 500 \text{ Km}$ 范围是否有 $M_L \geq 5.0$ 地震发生, 其统计评分 $R = 0.67$, 即具有与h值大致相同的预测能力, 按U值判据, 1974年3月敖汉旗震群, 1974年4月辽中震群和同年11月的蓟窝震群均属海城地震的前兆震群。

基于类似思想, 笔者提出用归一化熵值K来表征震群中能量分布的均匀度, K值定义为:

$$K = - \sum_{i=1}^N P_i \log_2 P_i / \log_2 N$$

$$P_i = E_i / \sum_{i=1}^N E_i$$

其中N为震群中地震按震级大小排列所得总的地震个数, E_i 为第i个地震的能量。从分析实际资料认识到, 当 $N = 4$ 时, K值已基本稳定, 因此只要知道震群中几个大的地震就可求得K值, 与U值不同, 这里可以不计及震群的持续时间。所得结果与U值的情况相类似, 即当出现高K值 (≥ 0.8) 震群后, 华北地区发生 $M_L \geq 5.5$ 的地震概率增加。可以设想若联合使用K值和h值, 可能会改进对前兆震群的识别, 如图9所示。由图可见, 当同时满足条件 $h < 1.0$, $K > 0.8$, 前兆震群的识别能力得到加强。

应当指出, 目前把前兆震群用于实际预报, 仍较困难, 因预测的时、空范围仍较大, 如图10所示。当然在估计一定地区地震趋势上仍是有用的。

考虑到问题的复杂性, 有必要继续探索表明前兆震群性质的物理量, 从统计上对各个因子的预测能力给出概率估计, 在此基础上确定多因子综合的概率增益⁽¹⁹⁾, 使前兆震群作为预报因子之一, 逐步向定量化和实用化阶段过渡。此外, 从总体上研究震群空间分布图

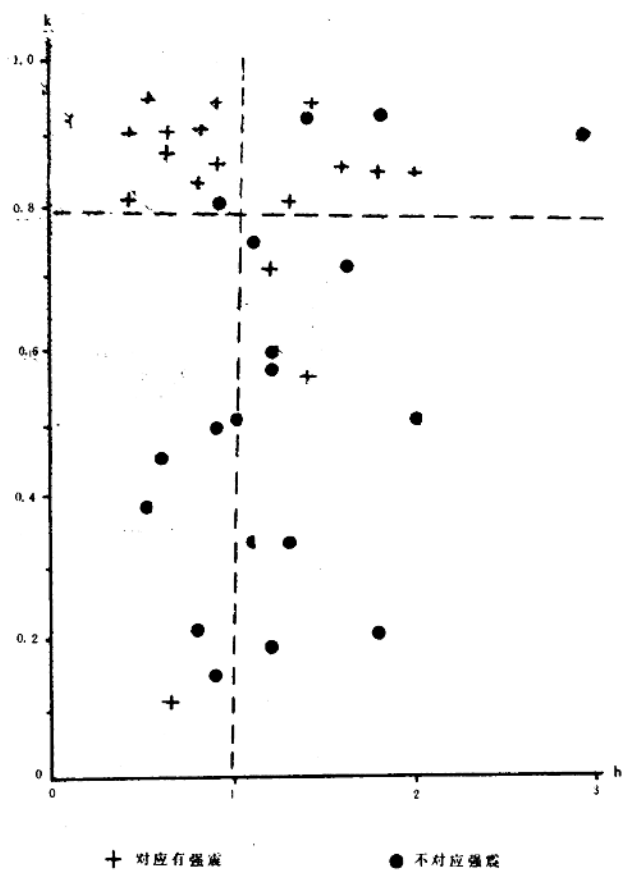


图9 K—h 图

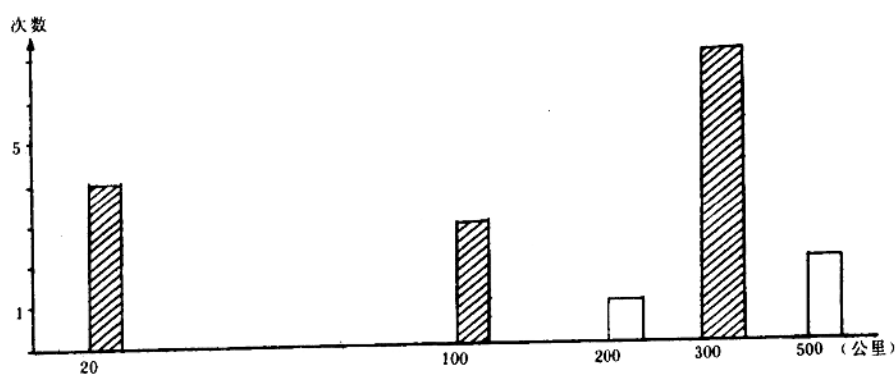


图10 前兆震群个数随强震震中距离的分布

象的变化也是值得注意的。王培德^[20] 等认为除了震群经常活跃区与大震后的余震区以外,小震低活动区中出现的震群也具有一定程度的前兆意义,据他的统计,自1970年以来华北地区15次中强震前,在震中附近($\Delta < 100 \text{ km}$)均发生过这类震群,不过,也有6次震群后并无中强震发生。

综上所述,十年来在海城地震预报的鼓舞、启示和推动下,前震序列特征和震群活动的研究,无论在广度和深度上都比以前有明显进展,主要表现在:(1)认识到大范围震群活动不是孤立事件,它们与未来强震至少在几率上是有联系的,因而具有一定前兆意义。

(2)初步找出了定量表明前兆震群的特征量(如 h 、 U 和 K 值),并用于预测实际,收到不同程度的效果,从而为以震报震方法增添了一个新的预测因子。(3)从统计和物理两方面对前震序列特征开展了较系统的探索,虽目前尚未得到肯定的结果,但通过研究对问题的复杂性及困难所在有了具体的认识,同时也提出了一些值得进一步思考的问题,如不同方法测定应力降差异悬殊的原因何在?震源机制稳定性的物理实质是什么?介质 Q 值变化是否可作为一种前兆?它们与大震孕育有什么关系?以及震群能量分布均匀度与介质受力、破裂扩展方式和障碍物几何尺度及强度分布的关系等,这些问题的深入研究必将有助于加深对前震或前兆震群发生物理过程的认识,反过来可用以指导我们去探索新的识别判据。最后,还需指出,有必要大力加强直接导致理解前震序列和前兆震群过程的岩石破裂实验研究,并与野地观测和理论研究密切结合,只有这样才能把前震和前兆震群的研究全面引向深入。

参 考 资 料

- [1] 宋广重、关谷博(1973) 前震和地震预报国外地震 No 3, 19—22
- [2] 许绍堃等(1981) 海城地震前震系列与震群, 地震学报 3 卷 1 期 1—10
- [3] 金严等(1976) 辽宁海城地震前震震源错动方式的一个特点, 地球物理学报, Vol 19 No 3 156—164
- [4] 顾浩鼎、曹天青(1980) 前兆震群和S波偏振 地震学报 2 卷 4 期 343—355
- [5] Tsu-ura (1983) Waveform and spectral features of earthquake swarms and foreshocks B E R T, 58, 65—174
- [6] 朱传镇等(1977) 海城地震前后微震震源参数和介质品质因子 地球物理学报 20 卷 3 期 222—231
- [7] 郑治真等(1977) 海城地震前震波谱变化地球物理学报 20 卷 2 期 125—130
- [8] 顾浩鼎(1981) 海城地震的地震学研究, 地震学报 4 卷 2 期 208—214
- [9] 章光月等(1983) 1975年2月4日海城地震($M=7.3$)的前震系列 地震学报 5 卷 1 期 1—14
- [10] 卓玉如等(1985) 不同类型地震发生区域的 Q 值特征 地震 2 期 41—48
- [11] 李兴才等(1980) 海城地区地震波的衰减特征 地震学报 2 卷 4 期 368—377
- [12] 金严、陈培芳等(1982) 海城地震前后震源处剪切应力值和介质品质因数的测定 地震研究 No 1 51—67
- [13] 金安蜀、武建建(1984) 海城地震前后尾波 Q 值的变化(待发表)
- [14] 魏光兴等(1980) 1976年春季山东庙岛群岛两次小震群 地震学报 2 卷 3 期 258—267
- [15] 陆远忠等(1984) 一个判断震情的指标—震群 U 值 地震学报 6 卷 增刊 495—509
- [16] 刘正荣等(1979) 前震的一个标志—地震频度的衰减 地震研究 2 卷 4 期 1—9
- [17] 朱传镇等(1984) 前兆性震群特征的研究 1984年地震活动前兆物理总结论文集(待出版)
- [18] 鞠颢等(1984) 岩石样品变形时的声发射 地球物理学报 27 卷 4 期 392—401
- [19] 宏艺敬一(1982) 前兆现象的概率综合 世界地震译丛 No 6 22—28
- [20] 王培德等(1984) 前兆震群和地震概率预报 地震学报 6 卷 增刊 609—618

利用爆破源探测海城地震前后 地震波特性的异常变化

冯德益¹⁾ 蒋秀琴²⁾ 顾瑾平³⁾ 郭瑞芝¹⁾ 李清河³⁾

摘 要

利用丹东台(震中距约155公里)锦州台(震中距约130公里)及营口台(震中距约10公里)记录到的鞍镁矿爆破地震波资料,对一九七五年海城7.3级大震及一九七八年6.0级余震前地震波运动学特性与动力学特性的异常变化进行了较为详尽的探讨。在地震波运动学特性中,除虚波速度的前兆异常变化较为明显外,多台平均波速比,单台波速比, $\bar{P}$ 波速度, $\bar{S} - \bar{P}$ 残差,单台P和S波的相对变化及P波走时残差等都有一定的前兆异常反应。在地震波动力学特性中,着重研究了直达波 $\bar{S}$ 、 $\bar{P}$ 与反射波 S_{11} 、 P_{11} 间的振幅比 $A\bar{S}/A\bar{P}$ 、 $AS_{11}/A\bar{S}$ 、 $AP_{11}/A\bar{P}$ 、尾波衰减系数以及P波初动半周期的变化,所得结果初步证实了这些地震波动力学特性在震前均可能出现一定的异常,因而可以与波速一起作为震前的地震波前兆指标。本文的工作表明,用爆破源或其它人工震源来研究大地震前后地震波特性的变化,比天然地震有更多的优越性。

一、前 言

大地震前地震波速度可能出现不同程度的异常,这在国内已经有不少实际震例^[1]。海城地震前的波速比异常就较为明显^[2]。此外,十年前就研究过的地震波振幅比异常^[3],在其它一些地震前亦有所反映,其中也包括海城地震^[4]。

不过,用天然地震作为波动源,其震源位置不易准确测定,时间服务精度往往也不够,台站相对于波动源的方位角和波动源自身的震源机制都可能影响到地震波速度异常及振幅异常等的测定精度。而用人工震源,包括爆破源及可控震源,就可避免出现这一类问题。此项工作,苏联学者称之为“震源区的地震透视”,在堪察加地区已取得了一些初步结果^[5]。利用爆破源探索地震波特性前兆异常变化的工作,在我国也已取得了一些有益的结果。其中资料较系统,可信度较大的结果,是用马鞍山爆破研究溧阳6.0级地震所得的相应结果^[6、7]。

下面,我们将给出并分析利用爆破源探索地震波特性前兆异常变化的又一个重要震例——海城大震。

1) 天津市地震局 2) 辽宁省地震局 3) 兰州地震研究所

二、资料概况

爆破源为鞍山钢铁公司青山怀采区的工程爆破，该采区正好位于海城地震极震区内。在主震震中北西方向15公里，即 $N40^{\circ}40'21''$ ， $E122^{\circ}39'46''$ 的地方。采区长约2公里，南北宽约0.5公里，呈长方形，有三层采掘面，每层间高差10米。爆破方式有齐发爆破和分段爆破两种。药量以孔数计算，每孔耗药100公斤；最大药量可达180孔，即18吨左右；一般以50—100孔，即5—10吨居多。

主要观测点为丹东地震台。该台于1972年正式工作，1975年12月变换一次台址。使用573型三分向烟记录短周期地震仪，放大倍数约15万倍左右；1973年2月中旬之前转速90mm/min，之后转速120mm/min。丹东台距爆破源约150公里左右。

其次，使用了距震中约130公里的锦州台的一部分记录清楚的资料；该台使用同类型短周期地震仪，放大倍数约5万倍左右。此外，在探讨波的运动学特性变化时，使用了距震中仅10公里的营口台的一部分资料。

爆破点、台站和两次海城地震的震中位置如图1所示。

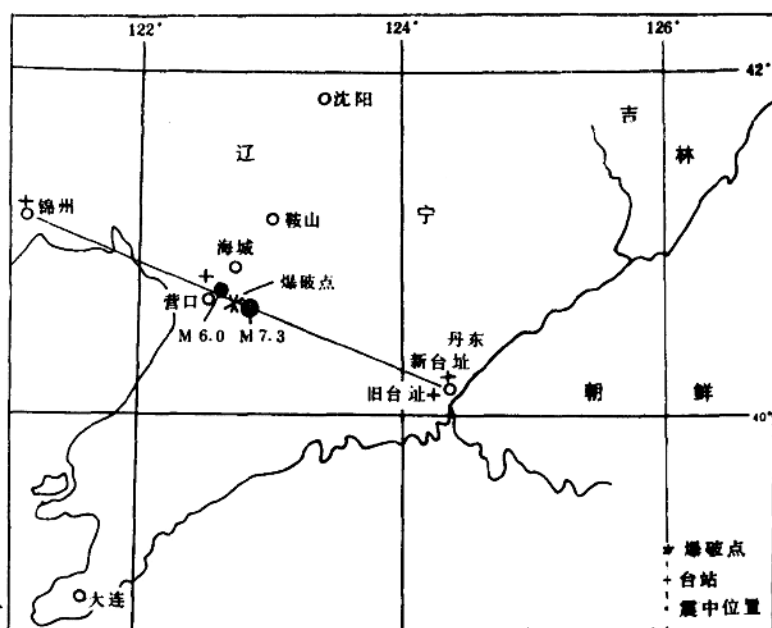


图1 爆破点、台站与海城地震震中位置图

矿区给出的每一次爆破点的位置是由矿区测量队测出的，使用其独立坐标系。为了测定台站到爆炸点的距离，需要把台站坐标也换算到矿区坐标系中，本项工作已完成这一换