

震源系统不稳定性指标 和强震短临预报

秦保燕 王裕仓 温增平 李亚荣

(国家地震局兰州地震研究所, 兰州 730000)

摘要 在探讨震源系统不稳定产生的物理基础前提下,应用调制模式提出了利用小震日频次起伏加剧与外因的相关性进行强震的短临时间预报的设想,具体提出了调制小震频次起伏加剧的两个判别震源系统不稳定性度的指标 λ_1 和 λ_2 。前者为单因子调制指标,后者为多因子调制或多因子调制强化指标。关于大震的地点预报,应用立交模式短临阶段出现调制小震通过未来大震的共轭小震活动条带进行预报。

关键词: 震源系统 不稳定性指标 起伏加剧 外因调制 强震预报

大震进入短临阶段震源系统的不稳定程度增大,如何定量考察震源系统的不稳定程度是实现大震短临预报的关键。本文着重研究不稳定性度指标,并以我国三次大震为例进行论证。

1 震源系统不稳定产生的原理

1.1 震源系统定义和系统各单元的功能

根据组合模式和立交模式^{[1][2]}。震源可能有以下的单元组成,震源区—最后失稳发生大震的地区,调整单元—围绕震源区和其端部的调整单元,致锁单元—位于震源底部并与发震构造呈垂直立交的剪切蠕滑断层,解锁单元—位于震源底部与发震构造立接的深部剪切蠕滑断层,顶部调整层—位于震源区上部的沉积层。

其模式简图如图1所示。此外,还有与震源周围调整区发生关联作用的更外围的构造和弱介质区。因此震源系统是一个由很多单元组成的复杂系统。在外力作用下各单元相互作用形成孕震过程前兆的时空演化。

1.2 震源系统不稳定产生的物理基础

在震源孕育过程中震源系统各单元的运动存在三种情况:

(1) 子系统的独立行为:在孕震过程中,特别是孕震的早期,震源系统内各子系统的应力水平都很低。此时可把震源系统作为一个定常系统,即震源系统整体是稳定的,但局部地区可以失稳,并引起前兆。由于子系统之间在应力水平、区域大小、介质调整应力应变能力方面的差异,因此各子系统的异常行为具有独立性,即它们之间不存在相互作用。其前兆的表现行为往往以单区异常或单地震条带活动为主。如震源端部或场区的局部调整运动造成的调制比异常以单区异常为主,而且这种单区异常和地震条带活动不一定与主震位置有关,因

此,它属于无序态,其统计规律应符合泊松过程。深部蠕滑断层导致的浅层(孕震层)小震活动以单带活动为主,很显然这是震源系统处于稳定状态的指标。

(2) 相互作用形成负反馈:这也是震源系统处于稳定状态的指标,但比上一阶段震源系统的应力水平有很大提高,虽然异常仍以单区异常或单条带活动为主,但它们的活动与震源区有着密切的联系。例如图1中的F2断层运动对F3断层起致锁作用,它使震源断面上的摩擦力提高,从而增加了震源系统的稳定度。因此,当F2活动时,F3不活动;当F1运动时虽然它对F3断层起解锁作用,但如果震源系统此时还是稳定的,则F1断层的活动将导致

F2不活动。这样就造成了深浅断层之间的相互作用,其后果是负反馈。这种相互作用将导致由F2和F1深部剪切断层引起的孕震层小震条带活动的非同时性,即当甲地震条带活动时,乙条带不活动;而乙条带活动时,甲条带不活动。这种单条带活动,或条带的交替活动都意味着震源系统处于稳定阶段。这种负反馈过程在孕震过程中将维持相当长的时间。

(3) 相互作用形成正反馈:这是震源系统处于不稳定态的物理基础。在此阶段,震源区两端的调整单元应力水平已相当高,调整单元端部的应力集中形成的场已互相沟通。当一个端部发生调整运动时,通过应力场快速传到另一端并促使该调整单元也发生运动,然后再反馈回去,如此反复进行形成正反馈过程,这时调制比 r_m 的双区异常是相互作用正反馈的后果。与此同时,未来发震断层面上凹凸区附近剪应力水平也已相当高,从而有可能出现沿发震断层面和与之共轭的通过凹凸区的剪切带同时发生小震条带活动,条带的交汇区即为未来大震区。这种相互作用的正反馈实质上是以震源断层面上凹凸区的解锁为前提的。当凹凸区发生弱化时,沿震源断层面的小震活动就可以得到加强,它的活动使凹凸区更加弱化,使与之共轭的剪切带也相继活动形成小震条带,两者重复作用形成正反馈,最后在凹凸区首先发生破裂传播形成大震释放。此外调整单元与震源区之间也存在相互作用正反馈,但由于震源区为最后失稳区,前兆信息始终比较少,因此这种正反馈后果表现不很明显。例如上述的小震活动双条带正反馈现象一般在震源区外围更清楚可能就是这个原因。

应当指出的是,双区异常或共轭地震条带异常有时也出现在震前较早时期。根据我们的研究,早期出现的双区异常一般发生在其它地区中强震和强震发生的前后。产生这种现象可能与中、强震前后大范围构造调整运动加强有关。它相当于给未来大震区供给了应变能,使震源区附近调整单元调整运动加剧,并形成双区异常等。很显然,这种双区异常或双条带活动不是震源系统子系统之间相互作用引起的正反馈后果。应当指出由上述外区中强地震活动导致大范围内的构造运动所形成的调制比双区异常是一种暂态行为,调整运动减弱,双区异常随即消失。因此它不能作为短临指标。怎样的双区异常可作为短临指标,我们在下一节中详细论述。

2 震源系统不稳定指标讨论

如前所述相互作用形成正反馈是震源系统不稳定产生的物理机制,也是进行短临预报的物理基础。问题是如何来定量或半定量的找到一些判据。在这里我们引入调制模式和现代统计物理学中的临界指标—系统起伏加剧进行震源系统不稳定判断。

2.1 调制模式与震源系统不稳定指标

调制模式是1980年提出的^[1],该模式的物理实质是震源系统已处于不稳定状态,平时不起作用的微弱外因此时能调制震源过程,由震源过程再引起前兆。因此震源过程、前兆、外因三者同步即可对震源系统的不稳定作出鉴定。在实际中震源过程很难直接看到,因此只要发现外因与前兆出现的时间同步或准同步就可认为震源已处于不稳定阶段了。在这里我们提出两个指标,即 λ_1 和 λ_2 ,下面分别讨论。

(1) λ_1 指标——单因子调制指标:我们定义 λ_1 为下式

$$\lambda_1 = \frac{m_1}{n_1} \quad (1)$$

式中 n_1 为某一统计时段地震高频次出现的总数, m_1 为相同统计时段内某一统计区高频次小震被外因调制的总数。 λ_1 为单因子调制指标。 λ_1 愈大,说明震源系统愈加不稳定。选择这一指标有两个原因,一是在某些地区存在优势外因;二是已处于不稳定的震源系统由于不断地受到外因调制,最后震源过程会出现与外因出现时间完全相合的整步现象。一旦整步现象出现,则可利用此外因出现的下一个日期预报大震发生时间。根据调制模式预报大震时间必然是多时间点预报。此时可配合宏观前兆作出选择。对于单因子调制来说,其正常的理论值可以由考虑外因调制的时段来确定,如朔望各取4天,则正常的理论值为 $[r_m]=0.27$,据统计,偏差在0.04左右;上、下弦如各取3天或5天则 $[r_m]$ 为0.2和0.33,节气和太阳潮如每月取6天或3天则 $[r_m]$ 分别为0.2和0.1。对于短临指标,我们得到不同外因调制比正常值后,可对正常偏差进行统计,当实际得到的 $r_m > [r_m]$ 时,则可认为震源已接近失稳。

(2) λ_2 指标——多因子调制指标:有些震例表明在临近大震前不同种类的外因都对震源系统有调制作用,故 λ_2 可表示为:

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{n_2} \quad (2)$$

式中 n_2 为高频次地震日出现次数, m_2 为相同统计时段在某一统计区被外因调制的高频次日出现的次数。参与调制的外因愈多,表明震源区愈不稳定。

对于多因子调制, $[r_m]$ 的正常值为

$$[r_m] = \frac{j_1 + j_2 + j_3 + \dots}{30} \quad (3)$$

式中分母为30天, j_1 表示朔望,以8天计, j_2 表示上、下弦,以6天计, j_3 为节气,以6天计,太阳潮以3天计等,如考虑上述三种外因, $[r_m]$ 的正常值为:

$$[r_m] = \frac{8+6+6+3}{30} = 0.77$$

值得指出的是,节气有时与固体潮日期相重合,此时上式中要减去一种外因进行 $[r_m]$ 计算。由于这种情况,理论值 $[r_m]$ 不是一个稳定值,所以也可按统计得到一个统计平均值作判别指标。

此外,还可用参与调制的外因种类的数目和在同一时期出现的外因种类总数来考察震源区的不稳定程度。如外因的总数有朔望、上下弦、节气、太阳潮共4种,如均出现,表明震源

系统存在多因强化调制。因为一般情况下最多有两种外因起作用,因此, $r_m > 0.5$, 则就应该认为是异常。其大震发生的时间可以出现异常后最近的一个外因作外推预测。

(3) 在系统起伏加剧时段中小震活动出现有序分布:起伏加剧是震源系统出现宏观有序结构之源,是震源系统趋向于更加不稳定最后发生大震的临界行为。其实质是震源系统中各单元之间相互作用加强并产生合作行动,因此其有序性将表现为围绕震源的地震异常的单区演变为双区或多区异常,以及单带活动演变为共轭地震条带或多地震条带活动。如果震源系统的非线性反馈是围绕震源进行的,那么,双区或多区异常(同时性)和地震共轭条带等的连接区或交汇区将是未来大震的地点。

3 强震前短临预报实例讨论

在这里我们举海城、唐山和松潘地震为例进行短临预报指标的讨论。

图2分别表示这3次大震前1年左右的小震日频次图。根据很多地震的震例总结在 $10^{\circ} \times 10^{\circ}$ 范围内地震日频次 $N \geq 7$ 作为异常。

3.1 由 λ_1 和 λ_2 预测发震时间

如前所述,时间预报首先应确定 λ_1 和 λ_2 是否异常,为此我们将 λ_1 和 λ_2 的计算值列于表1。

3.1.1 1975年2月4日海城地震

由图1及表1可见,海城大震前小震日频次 $N \geq 7$ 的异常月份是1974年6月、11月、12月及1975年1月和2月。其中单因子调制 λ_1 以1974年6月和1975年1月为最大,达0.67;

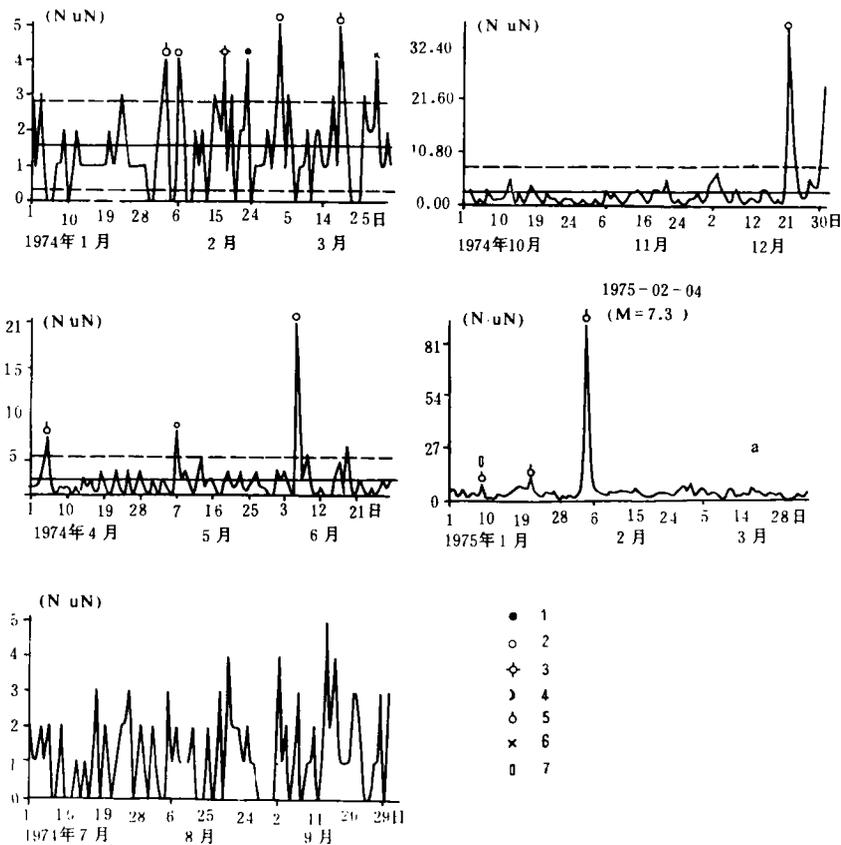


图2a 1975年海城大震前N-t曲线

1.朔; 2.望; 3.太阳潮; 4.上、下弦; 5.节气; 6.无外因; 7.磁暴。

Fig. 2a The daily frequency curve of small earthquakes within one year before the Haicheng earthquake.

多因子调制以1974年6月份及临震前为最大,但临震前异常呈现起伏加剧.故以起伏加剧时段作为短临阶段.单因子调制的优势外因为节气,可以预测海城大震的发震日期为2月3

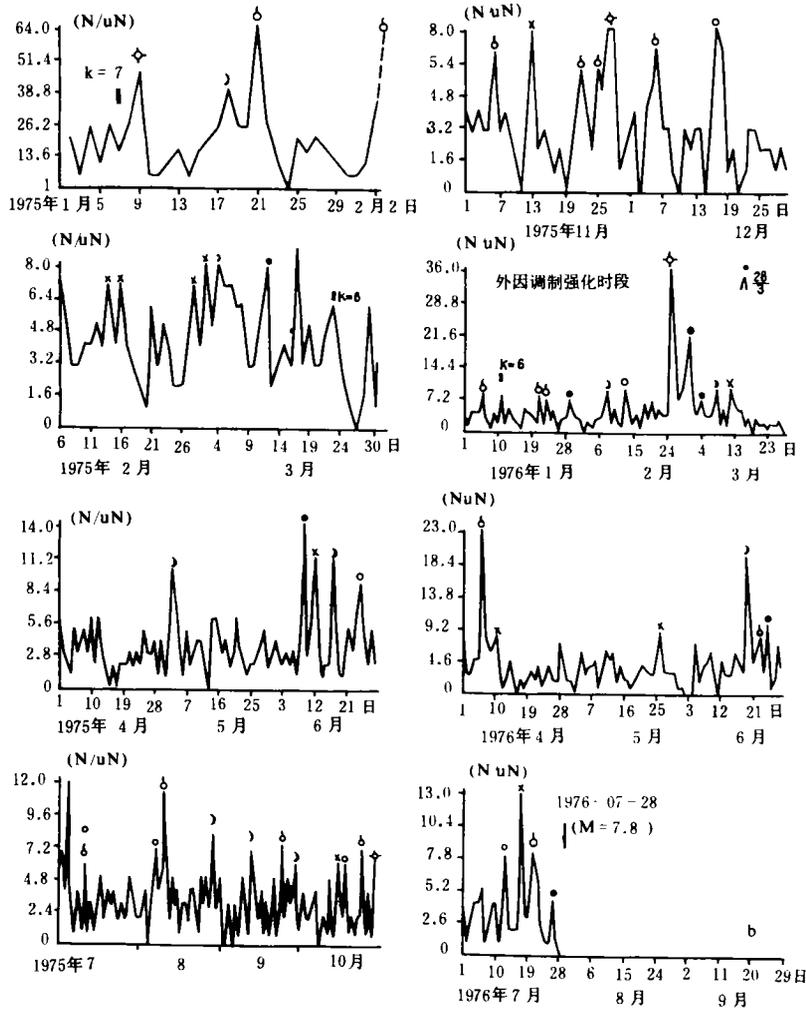


图2b 1976年唐山大震前N-t图

1.朔; 2.望; 3.太阳潮; 4.上、下弦; 5.节气; 6.无外因; 7.磁暴.

Fig. 2b The daily frequency curve of small earthquakes within one year before the Tangshan earthquake.

日至5日,按照多因子调制 λ_2 的外因为节气、朔望、上下弦,可预测2月4日、10日、及18日等为震可能发生日期。

3.1.2 1976年7月28日唐山大震

由图2和表1可见,唐山大震前小震频次最高月份为1976年2月份,但 λ_1 比较小,而 λ_2 以1975年6—10月以及1976年4—7月为最大,其中7月份的小震频次异常呈现起伏加剧,在此期间,占优势的外因主要是固体潮,因此,由7月的日频次与固体潮外因的相关性可推得最可能的发震日期为7月27日和8月12日。

3.1.3 1976年8月16日松潘7.2级大震

由图 3 和表 1 可见,外因调制在临近大震前以朔望、上下弦、节气为主要调制外因,并在 1976 年 1 月至 4 月和 6 月至 8 月 15 日出现强调制,前一个时段可能与龙陵地震有一定关系。根据 8 月份的调制情况,由优势外因推测,松潘大震的发震日期可能为:8 月 10 日、8 月 25 日(朔望),8 月 3 日、8 月 18 日(上、下弦),以及 8 月 7 日和 8 月 23 日(节气)。

3.2 起伏加剧

3.2.1 地震频次的起伏加剧

由图 2 可以看到海城大震的起伏加剧是在 1975 年 1 月至 2 月 3 日这一时段,其地震频

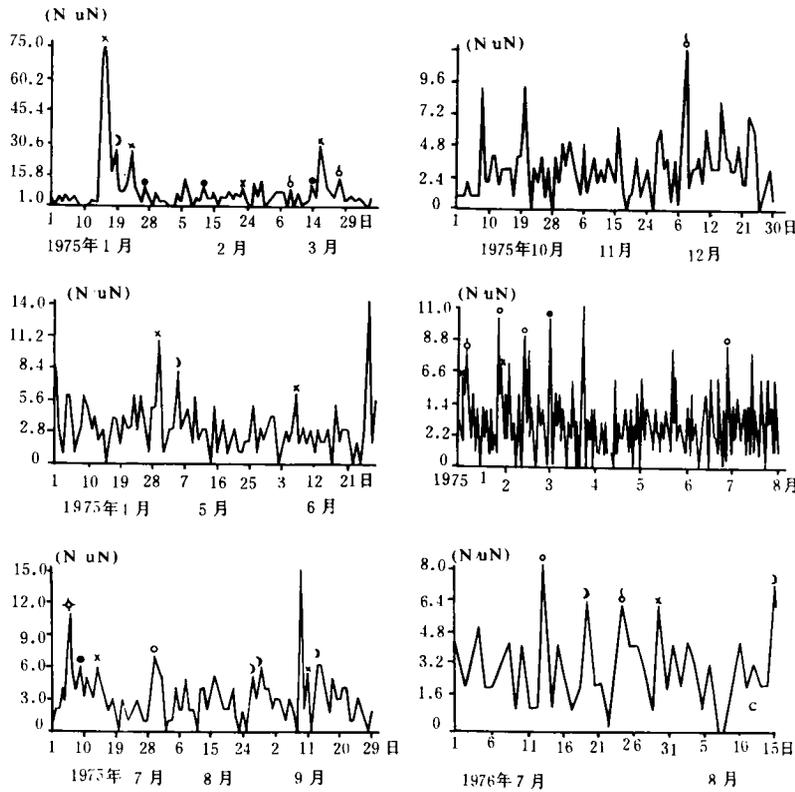


图 2c 松潘震前 N-t 图

1.朔; 2.望; 3.太阳潮; 4.上、下弦; 5.节气; 6.无外因; 7.磁暴.

Fig. 2c The daily frequency curve of small earthquakes within one year before the Songpan earthquake.

次增长情况为:1975 年 1 月 9 日 7 次,1 月 17 日 7 次,1 月 21 日 10 次,2 月 3 日 38 次,2 月 4 日海城主震前近 300 次。唐山大震的起伏加剧时段明显地出现在 76 年 7 月,按先后次序地震频次为 5、8、13 约 10 天后发生唐山地震。由此可见,如果出现地震频次的起伏加剧,则可能预示着一个较大地震的发生。

3.2.2 短临阶段起伏加剧与小震活动的有序分布

在短临阶段震源区和其它外围地区的调整运动基本结束,因此其地震有序性主要以小震来衡量。本文主要以调制小震的空间有序分布来确定中、强地震的震中、位置。图 3 列出了 3 次 7 级以上强震前小震的有序分布。

由图可见,海城、唐山、松潘这几次地震都发生在调制小震带的交汇区。

表1 三次大震的 λ_1 和 λ_2 指标

地区	时 段	日频次 ≥ 7 的 次数	λ_1				λ_2
			朔望	上下弦	节气	太阳潮	
海城地区	1974-01-01-1974-03-01	0					
	1974-04-01-1974-06-30	3	0.67		0.33		1.0
	1974-07-01-1974-09-30	0					
	1974-10-01-1974-12-31	2			0.5		0.5
	1974-12-01-1975-02-04	6		0.125	0.67		0.80
唐山地区	1975-01-01-1975-02-03	4		0.25	0.5	0.25	1.0
	1975-02-06-1975-03-31	8		0.125	0.125	0.125	0.375
	1975-04-01-1975-06-30	5	0.4	0.4			0.8
	1975-07-01-1975-10-30	8	0.125	0.25	0.375	0.25	1.0
	1975-11-01-1975-12-31						
	1976-01-01-1976-03-27	10	0.2	0.2	0.3	0.10	0.8
	1976-04-01-1976-07-27	6		0.17	0.17	0.17	0.51
	1976-07-01-1976-07-27	3	0.33	0.33			0.67
松潘地区	1975-01-01-1975-03-31	13	0.23	0.077	0.077		0.38
	1975-04-01-1975-06-30	4		0.25			0.25
	1975-07-01-1975-09-30	3		0.33	0.33	0.33	1.0
	1975-10-01-1975-12-31	5	0.2	0.2	0.2		0.6
	1976-01-01-1976-07-30	11	0.45	0.18	0.45		0.9
	1976-07-01-1976-08-15	2	0.5		0.5		1.0

4 结语

综上所述,我们可以取单因子调制指标 λ_1 和多因子调制指标 λ_2 作为震源系统不稳定性度的定量指标,地震发生的时间可以此作为参考。另外,对于一些地震,地震频次的起伏加剧也可以作为描述震源系统不稳定性度的指标。其地点的确定则可以通过调制小震的空间有序性来确定,地震一般发生在调制小震带的交汇区,或者调制比异常双区或多区之交汇区、联结区。

在短临阶段,震源区的形变已传到顶层——沉积层,顶层是水、气比较丰富的地层,当它变形时就会造成震中区和它外围大量宏观异常发生,它们往往与本文论述的小震活动的时空有序分布相一致。因此,被外因调制的超出正常活动水平的高频次地震活动日有可能是突跳性水、气前兆产生的基础,或者说它们之间存在着内在联系^[3]。这样结合宏观前兆,有可能减少大震的时间预报点。

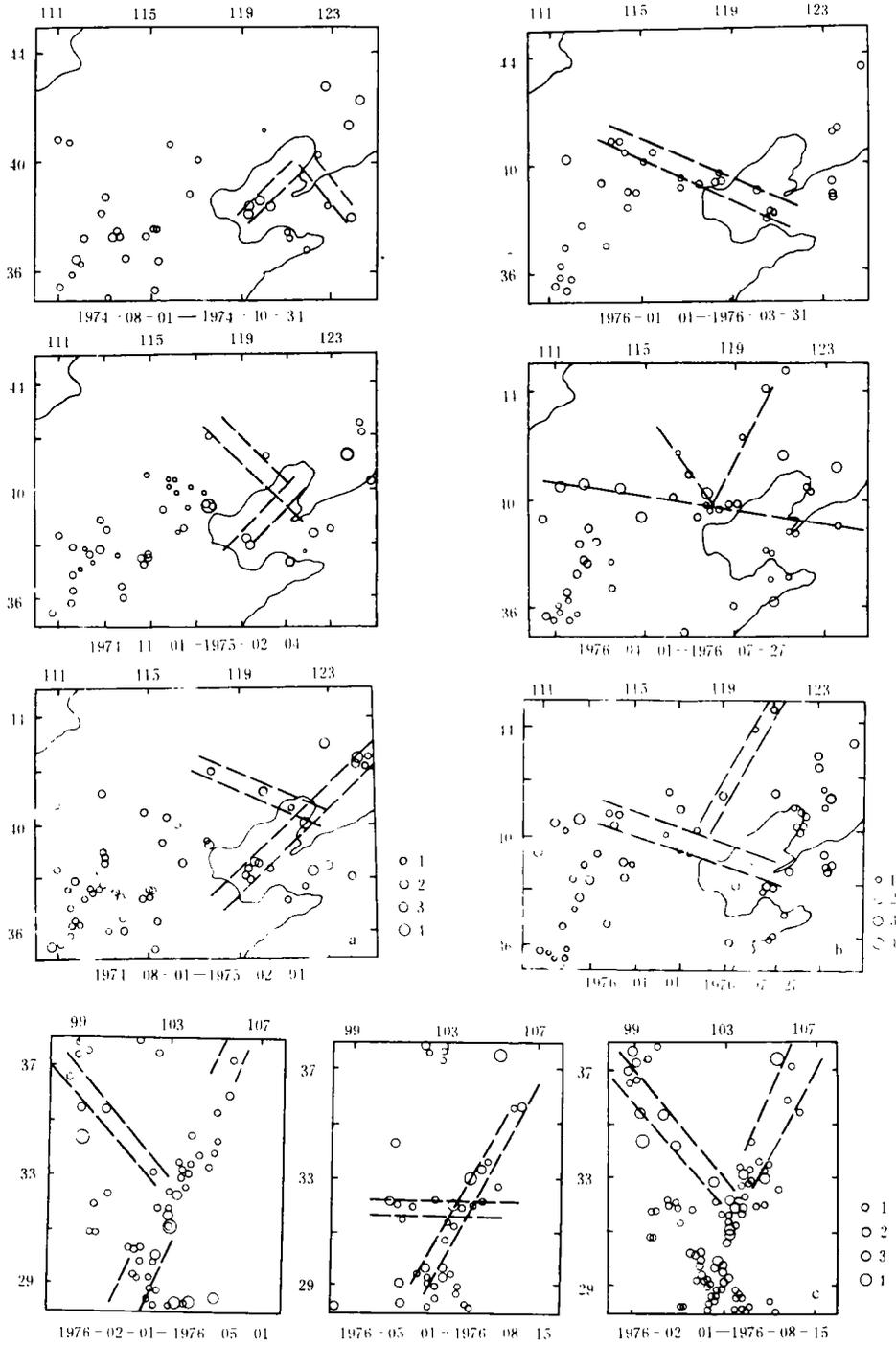


图3 3次大震前调制小震的空间有序分布图

a. 海城地震; b. 唐山地震; c. 松潘地震

1. $M \leq 1.9$; 2. $M \leq 2.9$; 3. $M \leq 3.9$; 4. $M \leq 4.9$; 5. $M \leq 5.9$; 6. $M \leq 6.9$; 7. $M \leq 7.9$; 8. $M \leq 8.9$

Fig. 3 The ordered spatial distribution of small modulation earthquakes before three strong quakes.

关于临近大震前的调制小震活动的有序分布在1990年景泰6.2级地震以及1986年门源地震中均有明显表现,由于篇幅有限不再例举。

参考文献

- 1 郭增建、秦保燕:论短临预报的调制模式,《西北地震学报》,2(1)1980
- 2 郭增建:立交模式及其在地震预报中的应用,《西北地震学报》,7(1)1985
- 3 秦保燕、白建华:前兆起伏加剧与短临地震预报,《西北地震学报》,11(4)1989

UNSTABILITY INDEX OF SOURCE SYSTEM AND SHORT TERM PREDICTION OF THE STRONG EARTHQUAKES

Qin Baoyan, Wang Yucang, Wen Zhengping & Li Yarong

(*Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB*)

Abstract

On the premise of studying the physics basis produced by instability of source system, and according to the modulation model, we put forward the suggestion to make short term prediction using correlation between external agencies and frequency fluctuation intensification of small modulation earthquakes, we also suggest two indexes λ_1, λ_2 to discriminate the instability of source system, the former is the unique factor modulation index, and the latter is multi-factor modulation index, or multi-factor modulation intensification index. The site prediction of strong earthquake should be decided according to the conjugate belt of small earthquake activity in the stereoscopic model which appears immediately before earthquake and goes cross the future epicenter.

Key words: Source system, Unstability index, Fluctuation intensification, External modulation, Prediction of strong earthquake