

西海固地区小震调制特征

1. 固体潮对小震调制的原理

小震是地壳中经常发生的事件。在通常情况下,某一地区的小震分布带有一定的随机性,可以发生在应力调整区,也可以发生在应力积累区,地震的空间分布比较分散,难以找到规律。这样,在一般情况下很难用小震来划分应力调整单元和应力积累单元。但是,如果我们把固体潮这一动力因子与小震活动性联系起来研究,就会发现受固体潮调制的小震在时间和地点的分布上是有其明显特征的。这对于研究某一地区的地震危险区和危险性很有意义。根据组合模式的观点^[2],一个大地震的震源区是由应力积累单元和其两端的调整单元组合而成的。应力调整单元由于具有岩石强度较低,介质比较脆弱,易于变形等特点,容易积累和释放能量。研究表明⁽³⁾,对于地壳介质强度较低的地区,如断裂带、破碎带或岩石密度较小的地区,固体潮的作用会更加显著。因此当固体潮作用到应力调整单元时,就容易触发小震,并在发震时间上呈现与固体潮同步的特征。在应力积累单元,由于岩石强度较高,均匀程度较好,小震的发生主要取决于该区域的应力水平、岩石局部的不均匀性和小震能量的释放条件。一般说来,在应力积累阶段,积累单元的应力水平与其岩石强度相比还有一定差距,此外,应力积累单元释放能量的条件也比应力调整单元差得多,在这种情况下,固体潮对小震的触发就比较困难,小震发生时往往与固体潮不同步。这样,在固体潮作用下应力调整单元和应力积累单元在小震活动上就会显示出差别来。研究这种差别对于确定地震危险区是有用的。此外,在临近地震之前,由于震源区附近介质已达到临界状态,固体潮对小震的调制作用更为显著,受调制的小震数目越来越多。利用震前受调制小震的数量变化可以探索地震的时间预报。

根据上述观点,我们研究了西海固地区两次中强地震(1970年12月3日西吉5.5级地震和1982年4月14日海原5.5级地震)前后的小震调制特征,提出了调制小震方法在地震预报中应用的可能性。

2. 地震发生前受调制小震的分布特征

(1) 统计区和固体潮作用时段的选取

我们说的西海固地区是指1920年海原8.5级大震的极震区范围,即东起固原、隆德,西到景泰,北到同心,南到会宁附近。该区自1920年海原大地震发生以来,共发生了9次中强地震。本文所讨论的两次地震发生在这一区域内,如图1所示。这9次中强震分布在整个极震区范围内且震级相近,都在5级左右。说明在海原大地震之后,该区介质比较破碎,因而发生中、小地震的条件大体类似。这样,中强地震前小震调制情况的变化可以类比。

对于固体潮作用的时间段的选取,考虑到固体潮起潮力比较平缓,故在朔望日取的时段不宜过短。一般也不宜取得过长,否则就不能突出固体潮的作用。在本文中我们取朔日和望日前后共四天。即农历廿九、卅、初一、初二和十四、十五、十六、十七。凡是发生在这两个时段的小震,我们就称它为受调制的小震,此外为非调制小震。

(2) 西吉5.5级地震和海原5.5级地震前小震调制特征

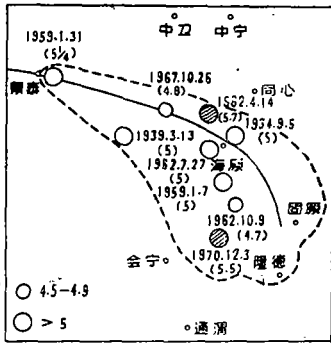


图1 1920年海原大震区范围内的中强地震活动

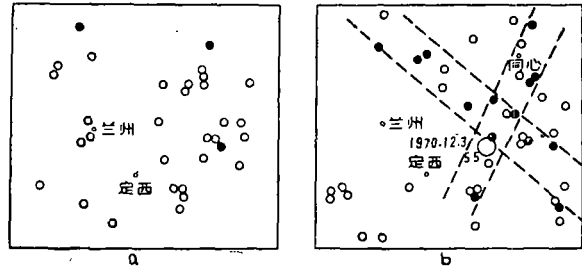


图 2

a. 1969年西海固地区小震分布
b. 1970年西吉地震前的小震分布
实心圆代表受调制小震 空心圆代表非调制小震

自1969年以来，西海固地区陆续建立了不少台站，因此这一地区的小震资料比较完整，这为我们的研究提供了方便。自1970年以来，这一地区发生了1970年西吉5.5级和1982年海原5.5级两次中强震。我们以这两次地震为例，研究中强地震前固体潮调制小震的时空特征。图2给出了1970年西吉5.5级地震前的小震分布和受调制小震分布。由图2a可以看到，1969年小震分布很零乱，几乎遍布全区，而受固体潮调制的小震仅有三次。到了1970年，小震分布有一定的集中，特别是调制小震数目增多了，并且受调制的小震按北东向和北西向成条带分布，在空间分布上呈现一定的规律性(见图2b)，西吉地震就发生在这两个条带交汇部位的附近。从震中迁移看，1970年西吉地震前一年，4级左右地震沿陇西系构造线发生规则迁移，后来沿北北东方向又有4级左右地震迁移，在地震迁移交汇的地方发生了西吉5.5级地震^[4](图3)。这两个震中迁移带与小震调制带的位置是基本相符的。这也证明了震中迁移带和小震调制带在成因上有共同性，即它们都是大震前震源外围调整场应力调整加速的反映。目前已有不少震例总结发现，在强震前出现小震条带或中强震条带(这些条带并没有考虑固体潮外因)，这是值得注意的中期前兆指标。

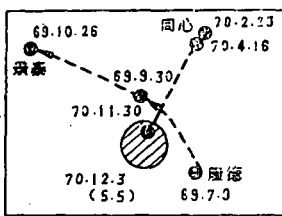


图3 1970年12月3日西吉地震前4级(M_L)左右地震迁移图

图4给出了1982年4月14日海原5.5级地震之前的小震分布和受固体潮调制的小震分布。由图4a可以看到，在1981年1月—6月西海固地区小震分布较分散，其中受调制的小震数目也不多，且没有明显的规律。从1981年下半年到震前，受调制的小震明显增多，并且呈现北东和北西方向条带状分布。海原5.5级地震就发生在这两条小震调制带的交汇部位附近(图4b)。

对比以上两次地震前的小震调制情况，我们可以看到这样两个特征：一是在中强震发生之前的一段时间内，受调制的小震数目比平常显著增多；二是在地震前的一段时间内，受调制的小震空间分布有一定的规律性，它们往往形成条带状分布，并且中强震就发生在两个条带的交汇部位附近。

根据前面谈到的固体潮调制小震的原理，我们认为，上述两个特征反映了临近地震发生前震源区及其附近的应力状况。为了进一步说明这一点，我们在图5中给出了西吉5.5级地震

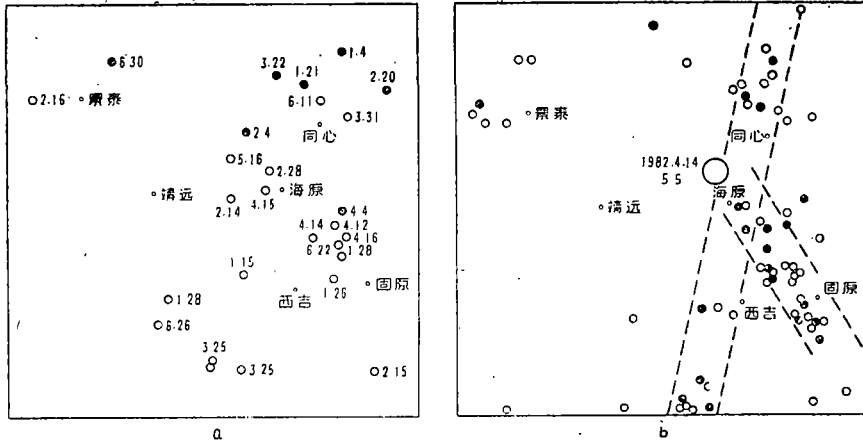


图4 1982年海原5.5级地震前的小震分布

a. 1981年1—6月 b. 1981年7月—1982年4月

实心圆为调制小震 空心圆为非调制小震

前后西海固地区b值变化。我们知道，一个区域的b值变化可以代表该区域岩石强度及其完整程度的变化，可以反映该区应力场的变化。由图5可以看到，1969年b值比较低*，说明这一时期，西海固地区已经在积累应力且已达到一定的应力水平，然而震源区还未达到不稳定状态，这时期小震虽然较多但与固体潮关系不密切。到了1970年，b值开始回升，说明该地区已处于较高的应力水平，震源区附近地壳介质已处于不稳定状态，这时固体潮这一外力作用就会显示出来，被调制的小震数目大大增加，并呈现出规律性的条带状分布。这种条带状分布的方向可能与区域应力场的作用以及局部构造等因素有关。在两条带的交汇部位是应力调整最活跃的地区，而在其附近的空区和空段则是容易积累能量的地区，因而中、强地震往往发生在这些部位（见图2b，图4b）。

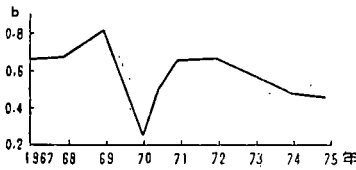


图5 西海固地区b值变化

表1 1982年4月14日
海原5.5级地震震源机制

P波节面	走向	倾向	P		T		N		X		Y	
			方位	倾角	方位	倾角	方位	倾角	方位	倾角	方位	倾角
I	352	W	84	219	20	123	13	4	63	169	25	262
II	79	S	64									5

上述讨论得到一个非常有用的结果，即由地震前受调制小震的分布和变化特征可以用来探讨震源区附近应力场的变化特征，可以用于对地震危险区的预报。

值得指出的是，小震调制带的方向与由震源机制解得到的断层面方向并不一定一致。在海原5.5级地震前形成的两条小震调制带的方向分别为北东10°和北西30°左右。根据海原地震后我们求得的震源机制解（表1），两条节线的方向分别为北东79°和北西8°，主压应力轴方向为北东39°这种不一致性，可能与中强震前区域应力场的微动态变化及局部地区的构造等因素有关。

3. 小震调制比以及在地震预报中的应用

如前所述，固体潮是作用于地壳的外部动力因子，但由于它的作用力比较小，所以在一般情况下，它对小震的触发作用不显著，因而受调制的小震发生的较少。但随着震源区应力

* 图5中的b值为年均值。

不断积累，震源区周围介质变得越来越不稳定，这时只要外部一扰动，就会在这些不稳定地区触发小震，固体潮在这时就会呈现明显的作用。随着震源区越来越不稳定，受调制小震的数目就越来越多，直到地震的发生。因而，研究受调制小震的数目变化对于地震预报具有一定意义。为了衡量受调制小震数量上的这种变化，我们给出一个调制比的概念。所谓调制比就是对于研究的某一区域，在所取的时间段内，受调制小震的数目与总的小震数目之比，记为

$$r_M = \frac{N_{\text{调}}}{N_{\text{总}}}$$

下面我们对西海固地区作出了西吉5.5级地震和海原5.5级地震前后的调制比变化。计算结果列入表2。调制比随时间的变化绘于图6和图7中。

表2 西海固地区调制比

	1969	1970	1971	1972	1978	1979	1980	1981	1982
1-6月	0.10	0.10	0.33	0.14	0.19	0.28	0.22	0.24	0.33*
7-12月	0.25	0.59*	0.33	0.24	0.06	0.41	0.26	0.32	0.10

* 统计到地震发生时为止。

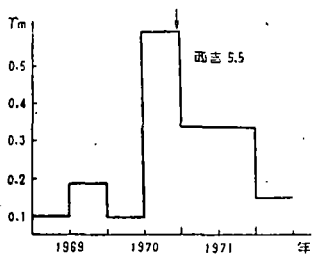


图6 1970年12月3日西吉5.5级地震调制比变化

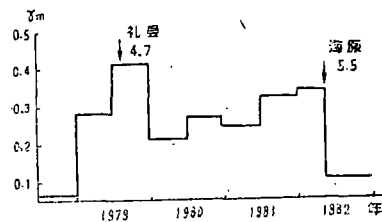


图7 1982年4月14日海原5.5级地震调制比

由图6可见，在1970年之前，西海固地区调制比是比较低的，但从1970年起，调制比迅速上升，直到西吉5.5级地震的发生。地震之后调制比下降到原来水平。由图7可以看到，从1979年起，西海固地区调制比开始上升，1979年7月25日在其外围地区的礼县发生4.7级地震之后调制比开始下降，在1980和1981年上半年调制比均保持较低的数值。从1981下半年起调制比又开始上升，到1982年4月14日海原5.5级地震之后调制比迅速下降，恢复到低水平。

由以上两个震例可以看到，将调制比随时间的变化作为地震发生的前兆信息是有意义的。如果对于某一区域历次地震前的调制比作一研究，就不难发现，只要调制比目前达某一高值，就应该引起警惕。因为调制比的增高，意味着有地震的危险性，而调制比的降低，则可以作为安全的信息。但由于用调制比方法需要有较多的小震资料和较长的统计时间，因而用它作短临预报尚有困难。此外，在统计区和统计时段的选择上也需要改进，以求其更符合实际。

4. 结束语

关于固体潮对大震触发的作用人们讨论得比较多，到目前为止还没有统一的认识。本文从固体潮对小震的调制作用这一观点出发去研究震源问题是一种新的尝试。这个方法由于使用人们所熟知的固体潮外因以及易于取得的小震资料，从而对研究地震危险区和监视其危险动态提供了有利条件。本文所得的结果也说明这个方法在预报地震地点和地震时间(中短期)上有一定的意义。同时，它可作为具体划分应力调整单元和应力积累单元的一种手段。

本文是1982年海原5.5级地震专题文章之一，因此文章仅列举西海固地区的震例，其它地区的震例和研究结果将在另文发表。

(兰州地震研究所 秦保燕 姚立珣 徐纪人 李亚荣)

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，Vo1.2，No.1，1981.
- [2] 郭增建、秦保燕，震源孕育模式的初步讨论，地球物理学报，1973.
- [3] L.A Latynina and S. D. Rizaeva, on tidal—strain variations before earthquakes, Tectonophysics, N1/2, 31, 1976.
- [4] 兰州地震大队，用地震资料推断近期地震危险区，地震战线，No. 8，1971.