第 17 卷　第 1 期　　地　震　学　报　　Vol. 17, No. 1
1995 年 2 月　(41－45)　　ACTA SEISMOLOGICA SINICA　　Feb., 1995

小震调制窗口及其在中期预报中的应用*

苏鸾声

(中国济南 250021 山东省地震局)

摘　　要

根据多年观测研究得出：在某些特殊的构造部位存在“小震调制窗口”，它对区域应力场的变化和中强以上地震的群体活动反应较灵敏，震前能提供一定的前兆信息，两个以上“小震调制窗口”对群体活动中的首发地震尚能提供一个大致的方位. 相对以频度为基础的“震情窗口”更独具特色，对时间尺度为 2，3 年的中期地震预报，无疑具有一定的现实意义.

主题词　固体潮；应力场；小震活动；震情窗口；中期预报

引　　言

地震活动水平的涨落，既无其它信杂干扰，又能提供大震前一定的震兆信息. 王泽皋、姜秀娥等根据这一点，从 70 年代以来就多次发表过以小震活动频度为基础资料的“震情窗”、“震情带”的论述，对我国地震预报工作发挥了重要作用. 但是，过去的研究多偏重于简单的“一一对应”关系. 另外，因为频度受大震后余震衰减和突发性震群的影响较大，对于判断异常的标准较难确定. 80 年代以来，我们通过对固体潮对地震活动调制作用的研究，发现有的地区在中强地震发生前或大区域(如华北)6 级以上地震成组活动前，该区小震活动频度没有出现显著异常. 而其小震调制比却出现“双峰异常段”，即小震调制比对大震前区域应力场强化过程的反应较为敏感，大震前有一个增高的反应，类似于以小震频度为基础资料的“震情窗口”，可以观察到一组中强以上地震将要到来的信息，我们称它为“小震调制窗口”. 这种窗口受大震后余震衰减和突发性震群影响较小，容易提供一个判断异常的标准，可以在时间上为震情趋势分析判断提供一个可靠的依据.

1 资料及分析方法

根据全国地震目录和山东省地震台网目录，选取了 1968 年 1 月至 1993 年 7 月山东省境内 3 个小震密集区域的地震资料，进行了分析研究. 这 3 个区是：鲁西南地区(35°

* 1993 年 12 月 18 日收到初稿，1994 年 5 月 31 日收到修改稿并决定采用.

http://www.dizhenxb.org.cn

－36°N，115°－117°E)，$M_L \geqslant 1.0$ 地震 597 次；莱州湾地区(36.5°－38.5°N，119°－121°E)，$M_L \geqslant 2.0$ 地震 1048 次；临沂地区(35°－36°N，118°－119.5°E)，$M_L \geqslant 1.0$ 地震 452 次.

由于固体潮对地球有一种周期性作用，农历初一、十五起潮力最大，但固体潮高时段变化比较平缓，在一间隔时段内对地球有一持续的作用力，故查出上述地震发生的农历时间后，规定农历上月末最后一天至本月初三和十四至十七日发生的地震，为受朔望引起的固体潮调制的地震. 以 6 个月累计逐月滑动的方法计算滑动调制比 R.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{6} m}{\sum_{i=1}^{6} N} \qquad i = 1, 2, 3, \cdots, 6$$

式中，m 为每月调制小震数，N 为每月地震总数. 求多年 R 的平均值 $\bar{R}$ 和样本标准差 σ_{n-1}，作为判断异常的标准，以高出平均值 1.5 σ_{n-1} 的滑动调制比值为异常.

2 分析结果

由上述方法求出鲁西南、莱州湾和临沂等地区 6 个月累计逐月滑动的小震调制比值，计算出它们的平均值 $\bar{R}$、样本标准差 σ_{n-1} 和判断异常的上限：$\bar{R}+1.5\sigma_{n-1}$. 绘出 3 个地区滑动调制比值 R 随时间变化曲线.

2.1 鲁西南地区

该区滑动调制比均值为 0.269，样本标准差 σ_{n-1} 为 0.2008，判断异常上限为 0.57. 1968 年以来，该区小震调制比曲线 8 次高出上限形成异常(图 1 b)，按时间先后编为 1 至 8 号. 1 和 2、3 和 4、5 和 6、7 和 8 号异常间隔时间为 10－42 个月；2 和 3、4 和 5、6 和 7 的间隔时间为 44－73 个月，前者比后者间隔时间短得多，其总累计时间约为 111

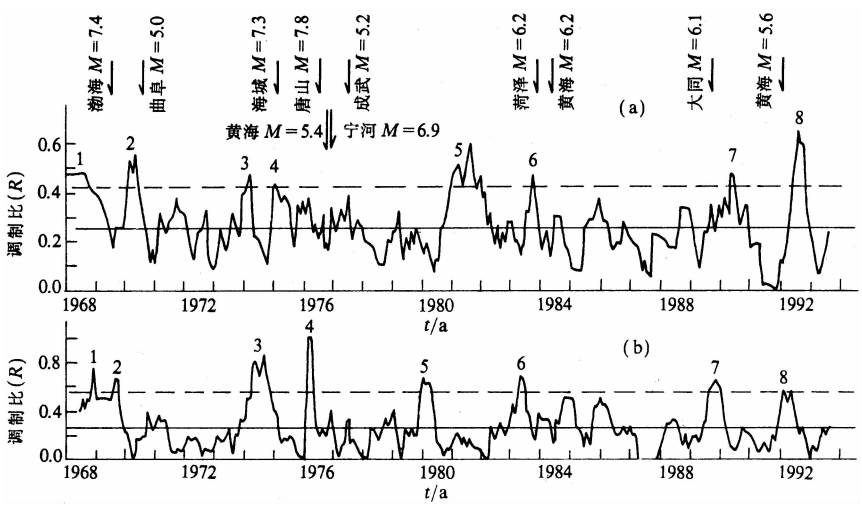

图 1 莱州湾(a)和鲁西南(b)小震调制比曲线

个月，占总研究时间(308 个月)的 36%，即可以将 1 和 2、3 和 4、5 和 6、7 和 8 看为四组异常，每组异常是由成对的两个峰值组成. 可以看作，自 1968 年以来，形成了 1968 年 11 月至 1969 年 9 月、1974 年 3 月至 1976 年 3 月、1979 年 11 月至 1983 年 5 月、1989 年 8 月至 1992 年 5 月的 4 个异常时段.

2.2　莱州湾地区

该区滑动调制比均值为 0.255，样本标准差 0.111，判断异常上限为 0.42. 1968 年以来，该区调制比曲线也有 8 次高出上限形成异常(图 1a). 按时间先后亦编为 1 至 8 号. 1 和 2、3 和 4、5 和 6、7 和 8 号异常间隔时间为 13－30 个月，2 和 3、4 和 5、6 和 7 之间为 43－79 个月，前者比后者亦短得多，前者累计时间 106 个月，占总研究时间(308 个月)的 34%. 同鲁西南地区一样，也可把 1 和 2、3 和 4、5 和 6、7 和 8 号看作 4 组异常. 每组异常由成对的 2 个峰值构成，即形成 1968 年 1 月至 1970 年 5 月、1974 年 1 月至 1975 年 1 月、1980 年 12 月至 1983 年 9 月、1990 年 5 月至 1992 年 10 月 4 个异常时段.

2.3　临沂地区

该区滑动调制比均值为 0.2518，样本标准差 0.1712，判断异常的上限为 0.5085. 小震调制比曲线高出上限的异常，主要集中在 3 个时段，即 1969－1970、1981－1986 和 1992 年(图 2).

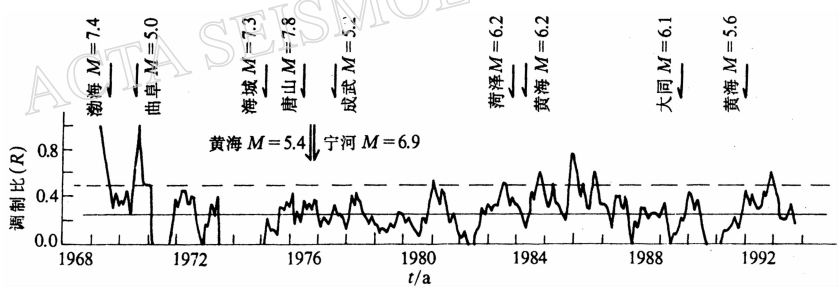

图 2　临沂地区小震调制比曲线

3 异常分布与中强以上地震活动的关系及其应用

如上所述，鲁西南和莱州湾两区出现的异常在时间上大体同步，主要集中在 4 个时段：1968－1970、1974－1976、1979－1983、1989－1992 年. 临沂地区出现的异常主要集中在 1969－1970、1981－1986 和 1992 年.

1968 至 1993 年，华北及黄海海域共发生 6 级以上地震 8 次，分别是：1969 年 7 月 18 日渤海 7.4 级、1975 年 2 月 4 日海城 7.3 级、1976 年 4 月 6 日和林格尔 6.3 级、1976 年 7 月 28 日唐山 7.8 级和 11 月 15 日宁河 6.9 级、1977 年 5 月 12 日宁河 6.3 级、1984 年 5 月 21 日南黄海 6.2 级、1989 年 10 月 18 日大同 6.1 级. 山东及附近海域发生 5 次 5 级以上地震，即 1970 年 8 月 10 日曲阜 5.0 级、1976 年 10 月 6 日黄海 5.4 级、1977 年 7 月 9 日成武 5.2 级、1983 年 11 月 7 日菏泽 6.2 级、1992 年 1 月 23 日黄海 5.6 级(M_L)地震. 这些中强以上地震主要集中在 4 个时段：1969－1970、1975－1977、1983－1984、

1989－1992 年.

华北和黄海 6 级以上地震集中活动时间，和莱州湾、鲁西南地区小震调制比异常出现时间大体同步，自 1968 年以来都出现了 4 个集中时段，即在两区小震调制比异常时段附近表现出地震集中和丛集现象，只是地震活动相对滞后 1，2 年. 可以说，莱州湾、鲁西南地区小震调制比对华北、黄海和山东中强以上地震群体活动有较好的前兆反应，起到一个灵敏窗口的作用. 而临沂地区，尽管小震活动也较频繁，但对华北、黄海和山东中强以上地震群体活动反应不好，起不到窗口作用，说明并非各处小震调制比对区域性中强以上地震的群体活动都有反应，亦存在灵敏不灵敏的问题.

早在 1988 年以前，我们就开始了对小震调制比的研究(苏鸾声，1990)，发现莱州湾和鲁西南两区小震调制比，对华北、黄海 6 级以上地震和山东 5 级以上地震的群体活动有一定的反应，并统计出：在异常期间(二峰值间)发震概率为 50%，异常结束后 1 年内发震概率达 100%，异常结束后 1－2 年内发震概率为 33%，异常结束后 2－3 年内发震概率为 17%. 并发现这两个地区异常出现的早晚，与未来中强以上地震群体活动的首发地震的方位有关. 若东边莱州湾先出现异常，首发地震就在东部先发生，若西边鲁西南先出现异常，首发地震就在西部先发生. 如 1968 年 1 月东部莱州湾小震调制比先出现异常(西部鲁西南 1968 年 11 月出现异常)，结果 1969 年 7 月 18 日东部渤海先发生 7.4 级地震；1974 年 1 月东部莱州湾又先出现异常(西部鲁西南 1974 年 3 月出现异常)，1975 年 2 月 4 日东部海城先发生 7.3 级地震；相反，1979 年 11 月西部鲁西南先出现异常(东部莱州湾 1980 年 12 月出现异常)，结果 1983 年 11 月 7 日西部菏泽先发生 6.2 级地震.

1989 年 8 月，西部鲁西南地区小震调制比再次首先出现异常(莱州湾在 1990 年 10 月出现异常)，当时估计一个新的地震活跃时段就要开始了，第一个中强以上地震可能在西部发生，事实是 1989 年 10 月 18 日西部大同首先发生 6.1 级地震，揭开了华北地区这个新的地震活跃时段的序幕，接着 1991 年华北北部大同、忻县、唐山发生三次 5 级以上地震，1992 年黄海发生 5.6 级地震，展现了一个中强地震的活跃时段. 再次验证了莱州湾、鲁西南地区小震调制比的前兆意义和“窗口”作用.

4 讨 论

(1) 上述莱州湾、鲁西南“小震调制窗口”地区，是一些小震较为频繁的地区，该区近代曾发生过 7 级以上大地震，即 1937 年菏泽 7.0 级大震、1969 年渤海 7.4 级大地震，说明其地壳为破碎带，同时这里也是近代较活动的聊考断裂带南端点和燕山－渤海带与沂沭断裂带的交汇部位.

(2) 张国民和孙士 (1985)从应力场角度出发研究了“应力窗口”的机制，指出：用余震序列的应变释放、余震频度和其它活动性指标的异常，作为反应区域应力场变化的灵敏窗口，是有一定的物理基础和理论依据的. 小震调制窗口是以区域应力场强化为背景，以固体潮调制作用为动力的结果.

(3) 莱州湾和鲁西南地区 2 个小震调制窗口，可以同时反应本省和华北各个中强以上地震活跃时段的事实，可能是以“多点应力场”为理论依据的(马宗晋，1980)，地壳介质是非均匀、不连续的，地壳是一些若断若续的断块拼合起来的多层弹性大块体. 在大

区域应力场强化过程中，诸块体本身的应变及其间的相对扭动就在一些断裂带的端部及交汇部位形成应力集中，构成一幅多应力集中点的不均匀演变图象．其中，有些点因强度和构造条件的限制，不具备积累到巨大应变的能力，在区域应力场强化过程中，受外力固体潮的调制作用，往往以小规模失稳破裂而导致调制地震增多，形成小震调制比异常，称之“小震调制窗口”．另外，有的点发展成为震源，而以较大规模的失稳错动方式导致一些中强以上地震的发生，形成一个中强以上地震的活跃时段．由此而展现了小震调制窗口对中强以上地震群体活动的前兆作用．

（4）在每次华北中强以上地震活跃时段，是什么原因使得莱州湾、鲁西南地区在大致相同时间出现双峰值的小震调制比异常时段？尚待今后深入研究．

参　考　文　献

马宗晋，1980．华北地壳的多(应力集中)点应力场与地震．地震地质，2，1，39－47．

苏鸾声，1990．渤海菏泽震区调制地震与邻区地震活动的关系．地震学刊，3：87－90．

张国民、孙士　，1985．华北几次大震余震应变释放特征及“应力窗口”的机制讨论．地震，1：1－6．

地震学报 ACTA SEISMOLOGICA SINICA