第7卷 第2期 西北地震学报 Vol.7,No.2
1985年6月 NORTHWESTERN SEISMOLOGICAL JOURNAL June.,1985

参窝地震对海城大震的预报意义

赵 振 蒋秀琴
（辽宁省地震局）

摘 要

1974年12月22日辽宁参窝水库区发生5.2级（M_L）地震，本文通过分析5.2级地震在海城7.3级地震前区域地震活动中的地位、测定地震序列在各台的P、S波振幅比以及P波初动半周期等地震学参量，认为该地震序列中最大地震发生前后，参窝地区构造应力作用形式及应力集中程度基本上没有变化，只在海城大震后才发生显著改变。作者认为，在监视大范围地震活动时空变化的同时，如果一次中等地震序列中的最大地震发生前后，某些诸如振幅比（反映构造应力作用形式）和P波初动半周期（反映地震应力降及应力集中程度）等地震学参量没有发生显著变化，则可能表明，不久将在附近地区发生更大地震。

一、5.2级地震序列简况

5.2级主震发生在1974年12月22日12时46分。06时59分发生3.6级最大前震，累积前震（$M_L \geqslant 1.7$）23次，b值为0.8。主震后有大量余震，月频度衰减系数为1.03，b值为0.90。序列总能量为1.03×10^{12}焦耳，主震占97%，属主震型序列。余震面积为30平方公里，70%的余震深度在4—8公里（图1）。5.2级主震的主压应力轴为84°，$M_L \geqslant 3.5$级地震的平均主压应力方向为北东（南西）70°。

文献[1]对这次地震做了仔细的分析，并通过与典型水库地震的比较，认为这次发生在水库区的地震与蓄水无关，它与水库诱发地震有明显不同，而与天然构造地震具有相同的特征。

二、海城地震前区域地震活动背景

图2[2]是根据辽宁及邻近地区地震资料求得的一些地震活动性参数随时间的变化，图3[3]是海城大震发生前，小地震的时空分布。综合分析这些图件，可以看到，（1）从1972年开始，地震活动逐年增强，即平均震级$\overline{M}$的升高，地震频次$\overline{n}$的增大以及b值的降低，尤其在震前短时间内这种趋势特别显著。（2）小震活动随时间沿北东向构造带由西南向东

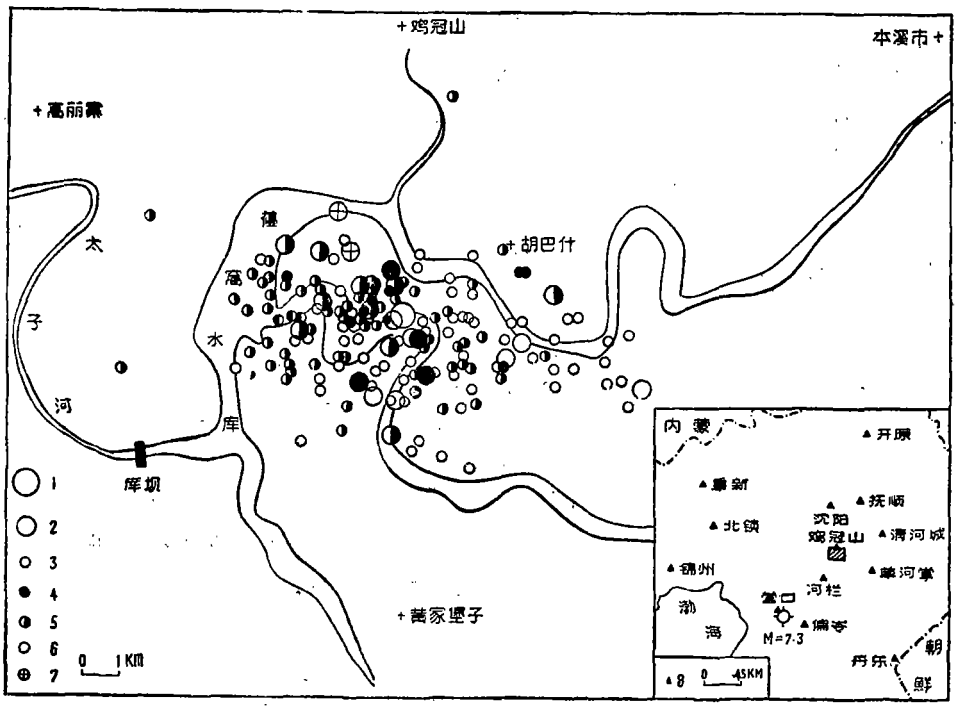

图 1　参窝地震震中分布及台站位置

1. $M_L=5.2$　2. $M_L=3.0—3.9$　3. $M_L=2.0—2.9$　4. 前震　5. 海城地震前的余震　6. 海城地震后的余震　7. 最大余震　8. 台站

Fig. 1　Distributions of epicentres and stations

北扩展，1974年 3 月以后，小震扩展到包括参窝地区在内的北部地区，参窝5.2级地震是这一系列地震活动的最大地震。（ 3 ）地震活动参数随时间的变化和实验岩石样品声发射信号的振幅和频度在大破坏前的变化是一致的，这为大震前小震活动的特点提供了实验依据。（ 4 ）5.2级地震正是发生在大震前小震增强活动的晚期，是大震前地震活动的最高潮。此外，由第一节可知，由地震机制求出的应力方向正是控制本地区构造活动的主压应力轴方向[4][5]，这说明，5.2级地震是在区域应力场作用下，构造活动加剧的结果而不是一次孤立的事件。

三、P波和S波振幅比

为了得到振幅比的结果，我们测量了参窝周围九个微震仪记录台站所记该地震序列的垂直向P和S波最大振幅。为了有利于问题的讨论，我们按时间顺序分成三个时段。时段Ⅰ：5.2级地震的前震阶段；时段Ⅱ：5.2级地震至7.3级地震发生之间的时段；时段Ⅲ：海城地震发生至1975年底。与这三个时段相对应，各台平均振幅比、方差及归一化方差分别用 $\overline{\beta}_i$、δ_i及δ_i^*表示，其中i = Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ。表Ⅰ是参窝周围各测震台站的振幅比及其对均值和方差的统计检验结果，表中$T_{0.05}$栏表示取显著性水平为0.05时对均值进行的t检验结果；$F_{0,05}$栏表示取显著性水平为0.05时对归一化方差进行的F检验结果。

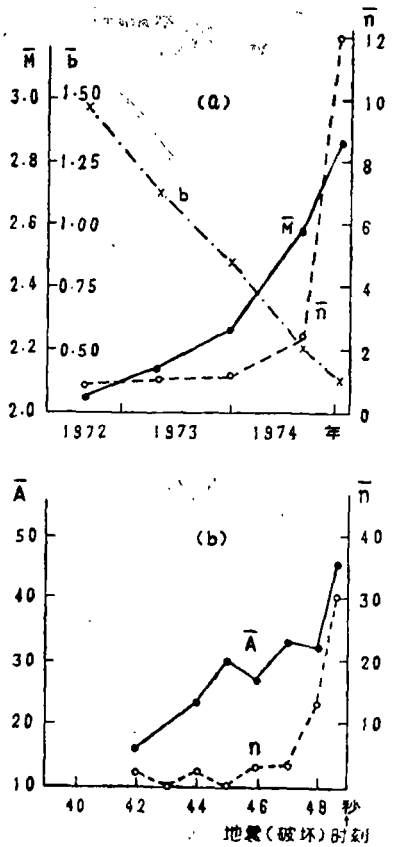

图 2

(a)海城大震前平均震级$\overline{M}$、地震月频度$\overline{n}$和b值随时间变化

(b)试验岩石样品声发射信号平均振幅F和信号数目$\overline{n}$随时间变化(横轴为自加力算起的时间)

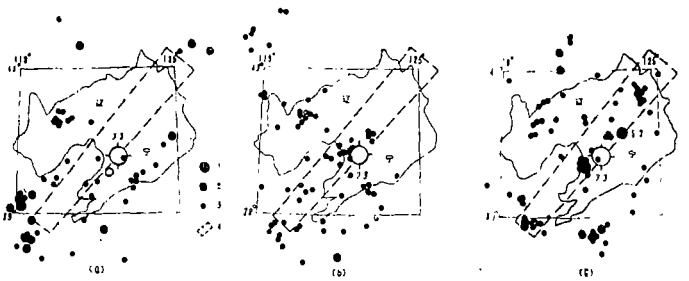

图 3 海城地震前小震时空分布

(a)1972.1—1972.10.13 (b)1972.10.14—1974.2

(c)1974.3—1975.1

1.M=4.0—4.9 2.M=3.0—3.9 3.M<3.0

4.空区(1972.1—1972.10.13)

Fig. 3 Temporal and spatial distribution of small events before the Haicheng earthquake.

由表1可以看出以下的基本结果：对方差，除沈阳台第三时段偏大和丹东台第一时段偏大以外，统计检验表明，各台三个时段的归一化方差是相同的，即三个时段振幅比的离散程度没有差别。对振幅比，除铁岭台的$\overline{\beta}_{\text{I}}$偏小外，其他各台的$\overline{\beta}_{\text{I}}$和$\overline{\beta}_{\text{II}}$无差别，但二者与$\overline{\beta}_{\text{III}}$之间却有显著差别。不过，关于振幅比的结论不适用于河栏台和草河掌台，它们是距震中最近的两个台，其中最远的草河掌台距震中不超过47公里。

由于震源变化的范围只有几公里，因此，对于较远台站来说，振幅比的变化反映了小震震源机制的变化。这样，前述结果使我们有理由认为，5.2级地震的前震和它在海城大震前的余震机制之间没有可觉察的改变，海城大震后，余震的震源机制才发生了系统变化，进而表明，5.2级地震的发生没有改变区域应力场在参窝地区的作用形式，只是在海城大震后，这种形式才显著改变。至于两个近台的情况，则可能与只能利用较小地震的振幅比数据以及震中区范围相对台站的张角较大有关，较大地震记录常常限幅，而较小地震又易受局部应力场和地壳结构的控制，震中距较小则又不能简单地把震中区看做一个点。

四、P波初动半周期、震源参数和介质参数

我们测定了沈阳台记录的参窝$M_L=1.9$—2.7级地震的P波初动半周期Γ_{2p}。该台的平均震中距为65公里，P波初动清楚。表2给出前述三个时段的T_{2P}平均值、误差及t检验结果。统计检验表明，第Ⅰ、Ⅱ时段的T_{2P}没有差别，但二者均与第三时段的值有差别，即海城大震后的初动半周期变大。

振幅比、方差及统计检验　　表 1

	时段	$\overline{\sigma i}$	σi	t0.05	σi°	F0.05	Ni
沈阳台	Ⅰ	2.36	1.03	$=\overline{\beta}$ Ⅱ	0.38	$=\sigma^{\circ}$ Ⅱ	15
	Ⅱ	2.70	1.51	$\neq\overline{\beta}$ Ⅱ	0.56	$\neq\sigma^{\circ}$ Ⅱ	65
	Ⅲ	1.90	1.73	$\neq\overline{\beta}$ Ⅰ	0.91	$\neq\sigma^{\circ}$ Ⅰ	47
丹东台	Ⅰ	2.20	0.32	$=\overline{\beta}$ Ⅱ	0.14	$\neq\sigma^{\circ}$ Ⅱ	8
	Ⅱ	2.15	0.59	$\neq\overline{\beta}$ Ⅱ	0.27	$=\sigma^{\circ}$ Ⅱ	80
	Ⅲ	3.26	0.98	$\neq\overline{\beta}$ Ⅰ	0.30	$\neq\sigma^{\circ}$ Ⅰ	23
营口台	Ⅰ	3.78	1.48	$=\overline{\beta}$ Ⅱ	0.39	$=\sigma^{\circ}$ Ⅱ	9
	Ⅱ	3.77	1.38		0.37	=	81
抚顺台	Ⅰ	3.14	0.94	$=\overline{\beta}$ Ⅱ	0.30	$=\sigma^{\circ}$ Ⅱ	4
	Ⅱ	3.31	1.30	$\neq\overline{\beta}$ Ⅱ	0.39	$=\sigma^{\circ}$ Ⅱ	49
	Ⅲ	2.73	0.78	$=\overline{\beta}$ Ⅰ	0.29	$=\sigma^{\circ}$ Ⅰ	28
铁岭台	Ⅰ	0.82	0.32	$\neq\overline{\beta}$ Ⅱ	0.39	$=\sigma^{\circ}$ Ⅱ	12
	Ⅱ	1.06	0.37	$=\overline{\beta}$ Ⅱ	0.35	$=\sigma^{\circ}$ Ⅱ	52
	Ⅲ	1.05	0.46	$=\overline{\beta}$ Ⅰ	0.44	$=\sigma^{\circ}$ Ⅰ	25
阜新台	Ⅰ	2.53	0.78	$=\overline{\beta}$ Ⅱ	0.31	$=\sigma^{\circ}$ Ⅱ	6
	Ⅱ	2.50	0.80	$\neq\overline{\beta}$ Ⅱ	0.32	$=\sigma^{\circ}$ Ⅱ	52
	Ⅲ	2.04	0.69	$\neq\overline{\beta}$ Ⅰ	0.34	$=\sigma^{\circ}$ Ⅰ	18
锦州台	Ⅰ	2.82	0.64	$=\overline{\beta}$ Ⅱ	0.23	$=\sigma^{\circ}$ Ⅱ	4
	Ⅱ	2.80	0.79		0.28		27
河栏台	Ⅱ	5.23	1.95	$=\overline{\beta}$ Ⅱ	0.37	$=\sigma^{\circ}$ Ⅱ	67
	Ⅲ	5.68	2.22		0.39		45
草河掌台	Ⅱ	3.14	1.65	$=\overline{\beta}$ Ⅱ	0.52	$=\sigma^{\circ}$ Ⅱ	51
	Ⅲ	3.22	1.20		0.37		14

根据一些人的研究，在台站的地质条件相同的情况下，T_{2P}的变化与路径介质的非弹性性质有关，非弹性效应越显著，即介质品质因子Q值越低，地震波高频成份吸收得越励害，初动半周期越大。为此，我们采用Aki[6]提出的尾波理论和R. B. Herrmann[7]的有关方法，利用海城较大前、余震在沈阳台记录的尾波测定了海城震区至沈阳台路径上的平均Q值，其结果为：前震Q = 510，余震Q = 520。这和一些人的结果[8][9]是一致的。这说明海城大震的发生并没有改变包括参窝地区的震区北部介质的非弹性性质，因此，沈阳台T_{2P}在大震后的变大难以用Q值的减小来解释。

事实上，T_{2P}不仅和Q值有关，而且和地震应力降$\Delta\sigma$、震源尺度L、破坏模型以及破裂方式有关。定性地说，大的$\Delta\sigma$和小的L值与小的T_{2P}相对应，反之与大的T_{2P}相对应。而对于小震来说，破裂方式和破坏模型是不重要的。朱传镇等人[8]基于等效弹性球模型，通过

沈阳台p波初动半周期、方差和统计检验结果 表2

时段	$\overline{T}_{2pi}$	σi	$t_{0.05}$	ni
Ⅰ	0.086	0.007	$=\overline{T}$ Ⅱ	10
Ⅱ	0.096	0.021	$\neq\overline{T}$ Ⅲ	59
Ⅲ	0.105	0.022	$\neq\overline{T}$ Ⅰ	50

表3

时段	$\overline{\Delta\sigma}$（巴）	$\overline{a}$（米）
Ⅰ	49	39
Ⅱ	60.3	38
Ⅲ	11.2	86

分析P波波谱的斜率和低频成份，使用营口台的记录，测定了海城地震前后发生在参窝地区的小震震源参数。我们把他们的测定结果按前述的时段划分方式列成表3。表中的$\overline{\Delta\sigma}$为小震应力降，$\overline{a}$为震源球半径，即震源尺度。可见，海城大震后（第Ⅲ时段），参窝地区小震震源尺度明显增大，而应力降明显减小。第Ⅰ、Ⅱ时段的值相差不大，即都是高值应力降和小的震源尺度。因此，有理由认为，沈阳台T_{2P}在三个时段的变化是由小震震源尺度或应力降的变化引起的。根据Scholz的岩石破裂实验，剪切应力的增加将导致应力降的增加[10]。因此，沈阳台初动半周期和参窝小震震源参数的结果可能说明，5.2级地震的发生没有改变参窝地区的高应力集中程度，只是在海城大震后，大范围内（包括参窝地区）的应力才得以基本释放。

五、小　　结

根据上述资料及其分析，得到下述初步结论：

1.对一个特定地区，在小震活动的空间分布上呈现某种规律性变化，时间上逐步增强的背景下，一次中强地震的发生可能标志着该地区构造运动的激化。

2.序列的前、余震振幅比的一致性，可能表明控制本区构造运动的应力作用形式没有变化。

3.序列的前、余震初动半周期的一致，则可能意味着，即便在序列的主要地震发生后，该地的应力集中程度也没有明显降低。

这样，出现在上述时空位置上的中强地震序列，如果体现构造应力作用形式和集中程度的某些地震学参量没有变化，则应警惕附近地区不久可能发生更大地震，从这个角度来说，参窝地震对海城地震具有前兆意义。

（本文1984年7月12日收到）

参　考　文　献

〔1〕赵振等，参窝地震的性质，西北地震学报，（待发表）.

〔2〕赵振，大震前震级—频度关系中参数η的减小，地震科学研究，№1，1983.

〔3〕马宗晋等，1966—1976年中国九大地震，地震出版社，1982.

〔4〕邓起东等，中国构造应力场特征及其与板块运动的关系，地震地质，Vol.1，№1，1979.

〔5〕张裕明等，华北东部新生代构造应力场变化之探讨，地震地质，Vol.1，№1，1979.

〔6〕Aki.K,Analysis of the seismic coda of local earthquakes as scattered waves, J.Geophys.Res., Vol.74, 1969.

〔7〕R·B·Herrmann, Q estimates using the coda of local earthquakes, B·S·S·A., Vol.70, №2, 1980.

〔8〕朱传镇等，海城地震前后微震震源参数与介质品质因子，地球物理学报，Vol.20, №3, 1977.

〔9〕李兴才等，海城地区地震波的衰减特征，地震学报，Vol. 2 №. 4, 1980.

〔10〕M.Wyss, Towards a physical understanding of the earthquake freguency distridution, Geophys.Jour., Vol.31, №4,1973.

PREDICTIVE IMPORTANCE OF THE SHENWO EARTHQUAKE TO THE HAICHENE GREAT EARTHQUAKE

Zhao Zhen　Jiang Xiuqin

(*Seismological Bureau of Liaoning Province*)

Abstract

The earthquake (m = 5.2) occurred in Shenwo reservoir region in Liaoning Province on Dec.22, 1974.In this paper by analysing its status of the event in the regional seismicity before and after the Haicheng earthpuake (m = 7.3), measuring amplitude ratio of P, S waves and half of the period of first p arrivals, it has shown that the action form of tectonic stress and its concentrative level in Shenwo region were unchanged before and after the largest earthpuakes among this seismic sequence and it was after the Haicheng earthquake that great change took place to them.

The authors believe while monitoring the temporal spatial variation of seismicity in the extensive area, we should notice that a larger earthquake could occur in the vicinity if the seismological parameters such as amplitude ratio (the action form of tectonic stress) and half of the period of first p arrivals (seismic stress drop and concentrative level of tectonic stress) were unchanged before and after the largest earthquake in a moderate seismic sequence.