

西安及周围地区小地震的震源参数

丁韞玉, 王洪体, 田小平

(陕西省地震局, 陕西 西安 710068)

摘要: 利用中日合作微震观测台网1988年3月至1991年3月间的地震记录计算了西安及周围地区小地震的波谱和震源参数, 并探讨了震源参数与震级 M_L 之间的关系.

主题词: 小震; 震源参数; 西安

中图分类号: P315.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(1999)02-0123-07

0 引言

1988年3月西安市地震局和日本京都大学防灾研究所在西安正式签定了有关西安及周围地区微震研究的合作协议书. 在中日合作研究期间, 增设了一组由西安(XAN)、周至(ZZ)、临潼(LT)、铜川(TC)、乾陵(QL)、蒲城(PC)6个地震台组成的中日合作微震观测台网(简称合作台网). 该台网使用的仪器是日方提供的OM系列短周期微震仪, 是触发式磁带记录.

在1988年3月至1991年3月期间, 合作台网获得了一批可数字化的磁带地震记录, 我们利用这些地震资料, 首次研究了西安及其周围地区小地震的波谱特征和震源动力学参数, 从而为该地区的地震监测与研究提供了基础资料.

1 地震波谱和震源参数的测定方法

波谱计算采用圆盘位错模式, 远场位移振幅谱的公式为

$$U^{P,S}(\omega) = \frac{M_0}{4\pi\rho V_{P,S}^3 R} \cdot S^{P,S}(\omega) \cdot B_{P,S} \cdot e^{-\frac{\omega R}{2QV_{P,S}}} \cdot P \cdot g \cdot H(\omega)$$

式中, ρ 为介质密度, R 为震源距, $V_{P,S}$ 为P波或S波的波速, M_0 为地震矩, $B_{P,S}$ 为P波或S波的辐射图形因子(计算中取其在震源球上的平均值0.6), Q 为介质品质因子, $H(\omega)$ 为仪器频率响应, P 为入射波振幅在水平方向和垂直方向上的分配比例系数, g 为自由表面的影响系数, $S_{P,S}(\omega)$ 为波谱的形状函数. 为简化, 取 $P = \frac{1}{\sqrt{2}}$, $g = 2$.

计算时, 采用矩形窗, 采样率取100次/s, 传播路径衰减校正中的 Q 值采用了中国华北地区由尾波方法研究得到的数据.

对地震数字化记录的P、S波的波谱, 经仪器频率响应及传播路径衰减校正后, 再测定地震波谱三要素: 低频幅值 Ω_0 , 拐角频率 f_0 和高频衰减率 r . 图1给出了计算地震波谱的实例.

收稿日期: 1998-08-21

第一作者简介: 丁韞玉, 女, 1938年5月生, 研究员, 从事地壳深部结构、地震监测预报及工程地震等方面的研究.

计算震源参数所用公式如下:

$$\text{震源半径: } a = K_c V_c / 2\pi f_{0c}$$

$$\text{地震矩: } M_0 = 4\pi\rho V_c^3 R \Omega_{0c} / 0.85$$

$$\text{应力降: } \Delta\sigma = \frac{7}{16} \cdot \frac{M_0}{a^3}$$

$$\text{平均位错: } \bar{u} = \frac{M_0}{\pi\mu a^2}$$

式中角标 C 表示 P 波或 S 波, K_c 为一常数, $K_s = 2.34$,

$$K_p = K_s \frac{V_s}{V_p} \cdot \frac{f_{op}}{f_{os}}, \mu \text{ 为刚性模量.}$$

2 波谱要素及震源参数的测定结果

对合作台网 1988 年 3 月至 1991 年 3 月期间记录到的西安周围地区的地震, 挑选出波形清晰、背景噪声小的 32 次近震记录进行了波谱分析和震源力学参数计算. 地震的震级范围为 $1.4 \leq M_L \leq 3.8$. 台站位置及震中分布如图 2 所示.

表 1 和表 2 分别列出了 P 波和 S 波的波谱要素及其震源参数的测定结果. 表中的震中位置及震级取自中国《陕西测震台网观测报告》. 表中最右列标注了波谱分析所用记录的台站.

西安及周围地区地震波谱的总体特征是:

(1) P 波谱的高频衰减率一般在 1.0 至 3.1 之间, 其平均值为 2.0; 而 S 波谱的高频衰减率一般在 1.2 至 2.7 范围内, 其平均值为 1.8. 从总体上看, 实测结果比较符合 ω^{-2} 震源模式.

(2) P 波谱的拐角频率在 2.4 至 12.5 之间, 其平均值为 7.4; S 波谱的拐角频率在 2.4 至 12 的范围内, 平均值为 7.0.

(3) P 波拐角频率与 S 波拐角频率之比 f_{op}/f_{os} , 主要落在 0.5 ~ 1.5 范围内, f_{op}/f_{os} 值理论上随地震波发射方向与震源断层面法线之间的夹角 θ 而变化, 所以实测比值可随台站位置及震源机制的改变而变化. P 波拐角频率与 S 波拐角频率的关系如图 3 所示.

(4) 在 $1.4 \leq M_L \leq 3.8$ 的震级范围内, 实测波谱的高频衰减率及拐角频率均不随震级变化, 但各台站的观测值有差异, 除了台站方位和震源机制的因素之外, 可能台址的场地地质构造条件也有较大的影响, 例如铜川台比其它台有较高的高频衰减率和较高的拐角频率. 铜川台处于陕北鄂尔多斯台地, 而其它各台位于

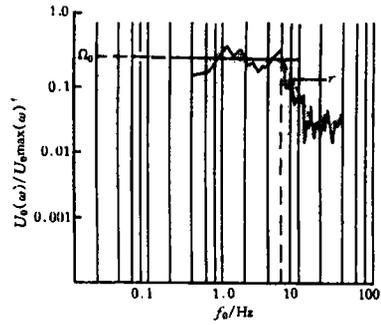


图 1 地震 P 波位移谱实例

Fig. 1 Example of P-wave displacement spectrum.

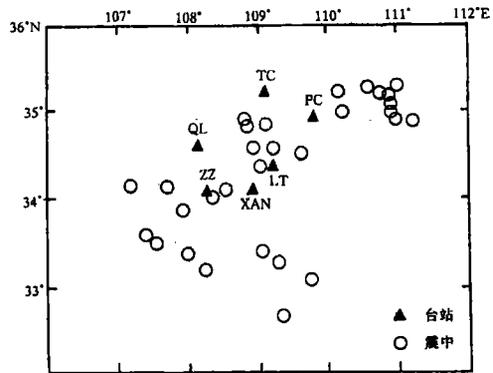


图 2 观测台站及地震震中分布 (1988-03-19~1991-02-06)

Fig. 2 Distribution of earthquake epicenters and observation stations.

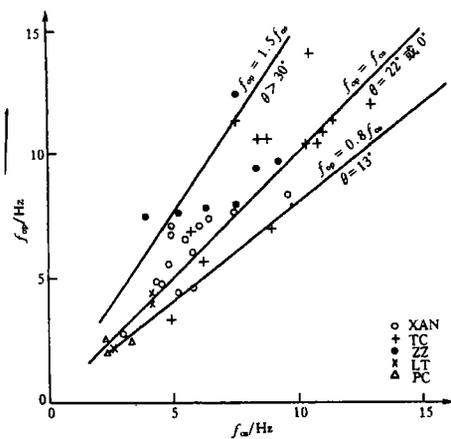


图 3 P 波拐角频率与 S 波拐角频率的关系

Fig. 3 P-wave corner frequency f_{op} versus S-wave corner frequency f_{os} .

表1 用P波波谱计算的结果

编号	发震时间	震中位置			震级 (M_L)	f_0 /Hz	M_0 / 10^{12} N·m	震源半径 a /m	$\Delta\sigma$ / 10^5 Pa	\bar{z} /cm	记录台名
		φ_N	λ_E	地点							
1	1988-03-19-18:46	33°22'	108°00'	宁陕	3.2	4.3	50.9	321	6.7	0.50	XAN,ZZ
2	1989-01-08-04:02	34°50'	109°09'	富平	2.4	2.5	21.4	548	0.6	0.07	LT
3	1989-01-12-19:59	35°16'	111°02'	运城	3.6	10.4	25.5	134	46.5	1.40	TC
4	1989-02-05-13:20	36°12'	111°17'	临汾	3.3	11.3	18.7	123	43.7	1.20	TC
5	1989-02-08-23:59	34°52'	111°17'	平陆	3.2	10.3	14.0	135	24.7	0.70	TC
6	1989-04-20-18:09	33°05'	109°47'	旬阳	3.2	4.8	10.9	247	2.0	0.10	XAN,LT
7	1989-06-07-17:21	34°58'	110°15'	大荔	2.8	9.6	3.6	145	5.2	0.20	TC
8	1989-08-23-12:33	34°34'	108°58'	泾阳	2.2	11.3	2.9	122	6.8	0.20	TC
9	1989-09-19-06:04	35°15'	110°36'	万荣	2.3	10.9	4.2	127	9.0	0.30	TC
10	1989-10-11-17:24	34°53'	108°49'	耀县	1.8	10.6	1.5	130	2.9	0.08	TC
11	1989-12-12-04:08	33°29'	107°34'	佛坪	1.9	7.7	2.9	182	2.2	0.09	XAN
12	1980-12-13-14:00	34°21'	109°02'	西安草滩	2.1	6.1	1.0	227	0.4	0.02	XAN
13	1989-12-22-00:24	34°07'	107°14'	太白	3.0	7.0	30.1	199	16.7	0.70	TC,XAN
14	1990-01-05-05:15	32°40'	109°23'	旬阳	2.4	6.6	5.1	210	2.4	0.10	XAN
15	1990-01-25-12:59	34°55'	110°57'	运城	3.4	3.1	56.4	446	2.8	0.30	XAN,PC
16	1990-01-25-20:10	34°56'	110°59'	运城	2.9	2.5	19.6	555	0.5	0.06	PC
17	1990-03-04-21:45	34°34'	109°14'	临潼	2.6	4.4	28.1	316	3.9	0.30	LT
18	1990-03-14-20:03	34°05'	108°34'	户县	1.4	12.4	1.3	112	3.9	0.10	ZZ
19	1990-03-22-22:45	34°55'	110°56'	平陆	3.0	2.4	17.2	576	0.4	0.05	PC
20	1990-03-22-22:48	34°52'	111°00'	平陆	3.8	7.4	29.5	188	19.3	0.80	ZZ,XAN,TC
21	1990-03-22-23:41	34°53'	111°00'	平陆	3.8	4.9	39.5	283	7.6	0.50	PC,XAN,TC,ZZ
22	1990-03-24-21:59	34°30'	109°04'	高陵	2.1	12.5	3.0	111	9.5	0.20	TC
23	1990-04-08-22:43	33°34'	107°26'	洋县	3.0	10.5	9.8	132	18.0	0.50	ZZ,XAN
24	1990-04-17-10:11	34°08'	107°12'	太白	2.4	10.4	8.3	133	15.3	0.50	TC,ZZ
25	1990-05-31-18:42	35°10'	110°47'	临猗	2.7	10.7	5.8	130	11.5	0.30	TC
26	1990-07-18-18:07	34°00'	108°22'	周至	1.6	4.9	1.3	284	0.3	0.02	XAN,ZZ
27	1990-07-22-14:00	35°09'	110°55'	临猗	2.9	6.8	42.8	205	21.6	1.00	TC
28	1990-09-30-18:01	34°07'	107°44'	眉县	2.0	4.6	0.9	299	0.2	0.01	XAN
29	1990-10-30-12:07	33°10'	108°15'	石泉	2.4	5.6	3.0	250	0.8	0.05	XAN
30	1990-11-10-20:34	33°52'	107°58'	周至	2.4	7.8	4.5	178	3.5	0.10	XAN
31	1990-12-25-11:46	33°24'	109°05'	镇安	3.5	3.3	29.1	420	1.7	0.20	TC,ZZ,XAN
32	1991-02-06-00:24	33°16'	109°19'	镇安	2.9	8.0	30.3	173	25.5	1.00	ZZ,TC

渭河断陷盆地内。

西安及周围地区地震的震源参数与日本松代地区^[3]和中国华北北部地区地震震源参数的对比见表3。

从表中实测数据对比可知,在相近的震级范围内,西安及周围地区小震的地震矩和震源等效半径与日本松代地区小震的实测量级比较接近,但其应力降则高于松代地区,而与中国华北北部地区比较接近,平均位错值也比较一致,这可能反映西安及周围地区与中国华北受同一区域应力场的作用,应力条件及地震机制相对比较接近。

用P波和S波分别测定的震源半径有差异,但绝大部分落在比值 1.0 ± 0.25 的范围内,实测结果对比于图4。

3 震源参数、震级之间的统计关系

由于地震机制、传播路径、台站场地效应的影响和记录背景噪声、数字采样技术及参数测

表2 用S波波谱计算的结果

编号	发震时间	震中位置			震级 (M_L)	f_0 /Hz	M_0 / 10^{12} N·m	震源半径 a/m	$\Delta\sigma$ / 10^5 Pa	\bar{u} /cm	记录台名
		φ_N	λ_E	地点							
1	1988-03-19-18:46	33°22'	108°00'	宁陕	3.2	5.3	13.6	247	3.9	0.20	XAN,ZZ
2	1989-01-08-04:02	34°50'	109°09'	富平	2.4	3.4	4.9	383	0.4	0.03	LT,TC
3	1989-01-12-19:59	35°16'	111°02'	运城	3.6	10.9	46.8	119	122.7	3.20	TC
4	1989-02-05-13:20	36°12'	111°17'	临汾	3.3	7.6	53.0	173	45.1	1.70	TC
5	1989-02-08-23:59	34°52'	111°17'	平陆	3.2	3.4	14.8	387	1.1	0.10	TC
6	1989-04-20-18:09	33°05'	109°47'	旬阳	3.2	2.6	26.0	508	0.9	0.10	LT,XAN
7	1989-06-07-17:21	34°58'	110°15'	大荔	2.8	8.9	10.7	146	14.9	0.50	TC
8	1989-08-23-12:33	34°34'	108°58'	泾阳	2.2	11.5	1.6	113	4.9	0.10	TC
9	1989-09-19-06:04	35°15'	110°36'	万荣	2.3	11.1	4.9	118	13.4	0.40	TC
10	1989-10-11-17:24	34°53'	108°49'	耀县	1.8	8.5	1.0	163	1.0	0.03	TC
11	1989-12-12-04:08	33°29'	107°34'	佛坪	1.9	7.5	2.4	174	2.0	0.08	XAN
12	1980-12-13-14:00	34°21'	109°02'	西安	2.1	5.9	0.3	223	0.1	0.01	XAN
13	1989-12-22-00:24	34°07'	107°14'	太白	3.0	9.0	27.0	145	39.1	1.20	TC,XAN
14	1990-01-05-05:15	32°40'	109°23'	旬阳	2.4	7.3	8.9	178	6.9	0.30	XAN
15	1990-01-25-12:59	34°55'	110°57'	运城	3.4	2.7	40.1	486	1.5	0.20	XAN,PC
16	1990-01-25-20:10	34°56'	110°59'	运城	2.9	2.4	5.0	541	0.2	0.02	PC
17	1990-03-04-21:45	34°34'	109°14'	临潼	2.6	4.2	1.6	313	0.2	0.02	LT
18	1990-03-14-20:03	34°05'	108°34'	卢县	1.4	7.6	0.3	172	0.2	0.01	ZZ,XAN
19	1990-03-22-22:45	34°55'	110°56'	平陆	3.0	6.7	20.1	196	11.8	0.50	TC,PC
20	1990-03-22-22:48	34°52'	111°00'	平陆	3.8	5.9	112.0	222	44.8	2.20	TC,ZZ
21	1990-03-22-23:41	34°53'	111°00'	平陆	3.8	4.0	65.4	328	8.1	0.60	ZZ,TC,XAN
22	1990-04-08-22:43	33°34'	107°26'	洋县	3.0	7.1	15.0	182	11.0	0.40	XAN,ZZ
23	1990-04-17-10:11	34°08'	107°12'	太白	2.4	8.4	4.0	155	4.8	0.20	ZZ,TC
24	1990-05-31-18:42	35°10'	100°47'	临猗	2.7	11.3	4.9	115	13.9	0.40	TC
25	1990-07-18-18:07	34°00'	108°22'	周至	1.6	4.4	0.7	294	0.12	0.01	XAN,ZZ
26	1990-07-22-14:00	35°09'	110°55'	临猗	2.9	10.9	12.8	120	32.5	0.90	TC
27	1990-09-30-18:01	34°07'	107°44'	眉县	2.0	5.9	0.6	219	0.3	0.01	XAN
28	1990-10-30-12:07	33°10'	108°15'	石泉	2.4	6.6	2.2	198	1.2	0.05	XAN
29	1990-12-25-11:46	33°24'	109°05'	镇安	3.5	5.0	38.1	262	9.3	0.50	TC,ZZ
30	1990-12-31-20:31	35°12'	110°11'	合阳	2.3	12.0	3.8	105	14.2	0.30	TC
31	1991-01-01-12:05	33°24'	107°40'	洋县	2.6	9.7	5.2	133	9.5	0.30	XAN
32	1991-02-06-00:24	33°16'	109°19'	镇安	2.9	7.6	21.7	171	19.2	0.70	ZZ,TC

表3 不同地区震源参数对比

地区	震级范围 M_L	地震矩 $M_0/N\cdot m$	震源等效半径 a/m	应力降 $\Delta\sigma/kPa$	平均位错 \bar{u}/cm
西安及周围地区	1.4~3.8	$3 \times 10^9 \sim 1 \times 10^{14}$	100~600	10~5 000	0.01~3.20
日本松代地区	1.6~3.9	$4 \times 10^{11} \sim 8 \times 10^{14}$	300~700	3~1 600	
中国华北北部地区	1.7~3.8	$2 \times 10^{11} \sim 2 \times 10^{14}$	20~330	1~8 000	0.01~4.50

定中的综合因素都给单个震源参数测定带来较大误差, 但一个地区用多个台站对许多地震测定的统计结果仍可以反映该地区的地震波谱及震源参数的总体特征. 以下, 进一步研究西安及周围地区地震的标度关系及震源参数之间的统计关系, 在统计公式中, 地震矩 M_0 和应力降 $\Delta\sigma$ 的单位分别是 $10^{-7}N\cdot m$ 和 10^5Pa .

3.1 地震矩与震级 M_L 的关系

地震矩随震级增大而增大, $\log M_0$ 与震级有较好的线性关系, 其统计关系式为

$$\log M_{OP} = M_L + 17.2$$

$$\log M_{OS} = M_L + 17.1$$

用P波和S波求得的地震矩与震级的统计关系式比较接近.统计曲线与其它地区的统计曲线对比见图5.就地震矩相同的地震而言,本研究地区测定的 M_L 比美国加州测定的 M_L 大0.3~0.4,比中国华北测定的 M_L 大得更多,这主要反映了地区的差异.除观测场地的介质条件之外,各区域台网使用不同的观测仪器,对地震参数测定也会产生一定的偏差.看来,不同地区应根据实际观测资料,建立本地区的标度关系.

3.2 平均位错与震级 M_L 的关系

在本研究测定的震级范围内,平均位错随震级的增大而增大,其统计关系为

$$\log \bar{u}_P = 0.57M_L - 2.24$$

$$\log \bar{u}_S = 0.85M_L - 3.06$$

实测资料及统计曲线见图6.

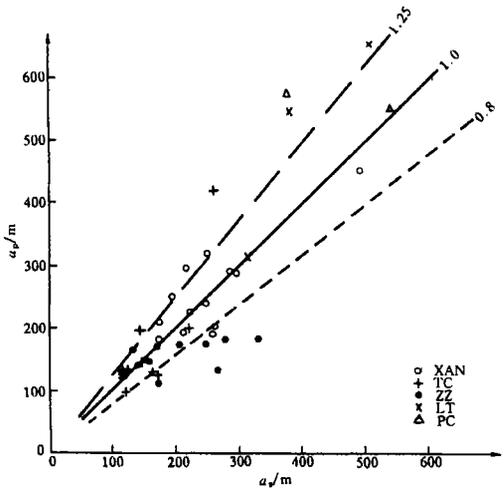


图4 由P波测定的震源半径与S波测定的震源半径对比

Fig. 4 Source radius from P-waves versus source radius from S-waves.

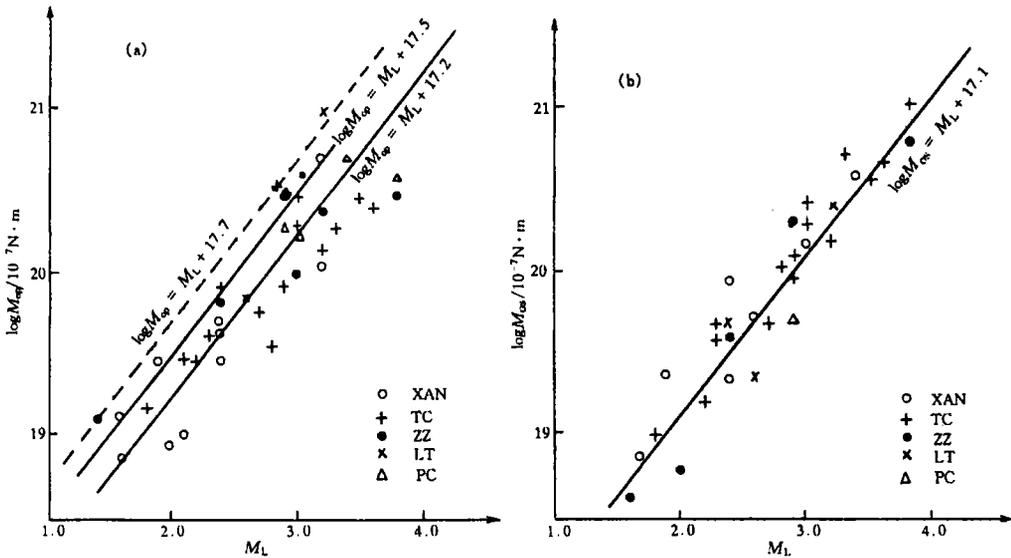


图5 地震矩 M_0 与震级 M_L 的关系

Fig. 5 Seismic moment M_0 versus magnitude M_L .

(a) 用P波求得的结果; (b) 用S波求得的结果;
① 中国华北地区; ② 美国加州地区; ③ 本文研究地区

3.3 应力降 $\Delta\sigma$ 与地震矩的关系

用S波测定的应力降 $\Delta\sigma_S$ 与地震矩 M_{OS} 有一定统计关系,公式为

$$\log \Delta\sigma_S = 0.90 \log M_{OS} - 0.20$$

实测数据及关系曲线如图7所示.用P波测定的数据点比较离散,未能建立统计关系.

3.4 震源等效半径与地震矩的关系

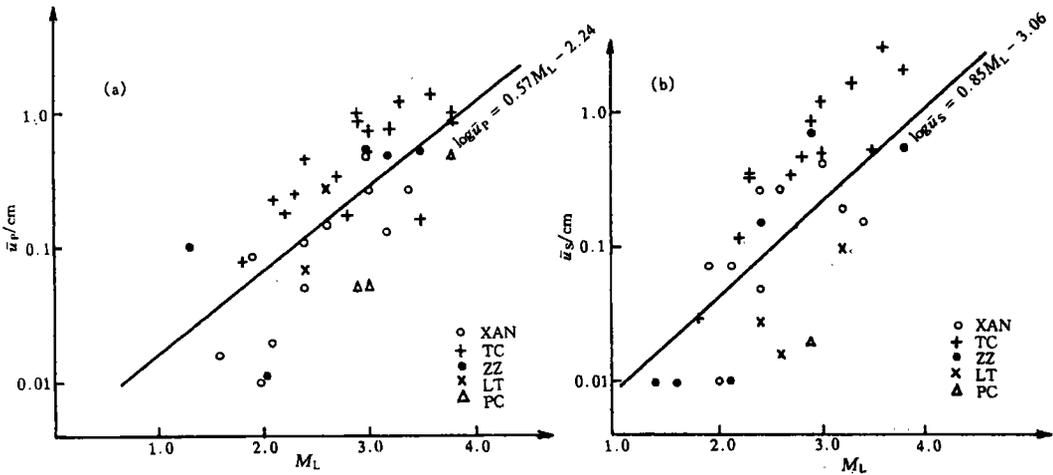


图6 平均位错 \bar{u} 与震级 M_L 的关系

Fig. 6 Average dislocation \bar{u} versus magnitude M_L .

(a) 用P波测定的结果; (b) 用S波测定的结果

图8表示用P波波谱计算的震源等效半径与地震矩的关系. 从图中可以看出;当地震矩大于 $2 \times 10^{13} \text{ N}\cdot\text{m}$ 之后,震源半径随地震矩的增加而增加,在地震矩小于 $2 \times 10^{13} \text{ N}\cdot\text{m}$ 时,等效半径没有随地震矩增加而变化,这种统计特征与日本松代地区小震研究的结果比较类似,但地震矩的数值有差异.此外,本研究用S波波谱计算的震源等效半径则基本上不随地震矩变化.这可能由于本研究所用的地震震级较小,加之S波为续至波,干扰背景较强,计算结果较离散,所以统计特征不明显.

4 结语

本研究利用中日合作西安微震观测台网的资料,通过波谱分析,首次得到西安及周围地区小震的波谱特征及震源动力学参数,为本地区微震活动及地震机制研究提供了宝贵的实测资料,但由于观测资料还比较少,观测期间该地区也未发生过4级以上的较强地震,所以小震波谱特征和震源参数与中强地震的关系还有待进一步研究.

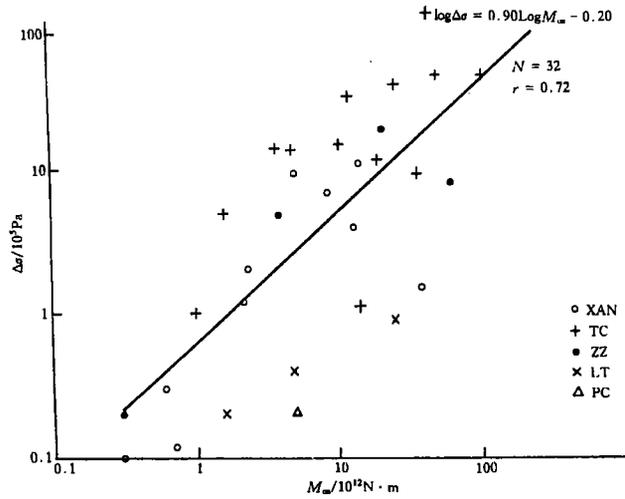


图7 应力降 $\Delta\sigma_S$ 与地震矩的关系

Fig. 7 Stress drop $\Delta\sigma_S$ versus seismic moment.

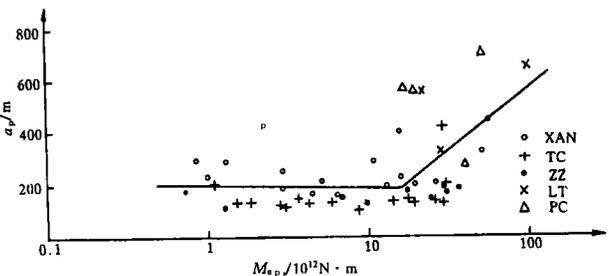


图8 震源半径 a_p 与地震矩的关系

Fig. 8 Source radius versus seismic moment.

参考文献

- [1] 林邦慧. 地震频谱和震源参数[J]. 地震, 1982, (6): 37~39.
- [2] 韦士忠, 陈培善, 等. 用中小地震波谱研究华北北部地区的应力场和地震危险性[J]. 地震, 1987, (2): 1~9.
- [3] Dysart P S, Sneke J A, Sacks I S. Source parameters and scaling relation for small earthquake in the Matsushiro region, South-west Honshu, Japan[J]. Bull. Seism. Soc. Am., 1988, 78(2): 571~589.

**SOURCE PARAMETERS OF SMALL EARTHQUAKES IN XI'AN AND
ITS SURROUNDING REGION**

DING Yun-yu, WANG Hong-ti, TIAN Xiao-ping

(*Seismological Bureau of Shaanxi Province, Xi'an 710068, China*)

Abstract

Using the small earthquake records from March 1988 to March 1991 from seismic network that was established jointly by China and Japan, source spectra and source parameters of small local earthquakes in Xi'an and its surrounding region are calculated and the relations between the source parameters and magnitude M_L are analysed.

Key words: Minor earthquake; Source parameter; Xi'an

第 15 届 HKT 会议将于 2000 年 4 月在成都召开

由于青藏高原特殊的地理、地质条件以及对全球资源和环境产生的重大影响,所以自 1985 年国际上召开首届喜马拉雅-喀喇崑仑-西藏学术讨论会(Himalaya-Karakoram-Tibet Workshop, 简称 HKT 会议)以来,迄今已经在英国、法国、瑞士、意大利、奥地利、尼泊尔、美国、巴基斯坦、德国等国家连续召开了 14 届。经我国科学家积极争取,第 14 届 HKT 会议组委会于 1999 年 3 月 27 日讨论决定,第 15 届 HKT 会议定于 2000 年 4 月 21~24 日在中国成都举行。

青藏高原绝大部分位于我国境内,是我国地学界的一块瑰宝,也是我国地球科学研究中最有希望占领“一席之地”的领域。HKT 会议学术内容涵盖地质、地球化学、地球物理等诸多领域,并朝着建立地球系统科学新理论的方向发展。第 14 届 HKT 会议,将会为展示我国在这一领域取得的丰硕科学研究成果提供重要契机,并将进一步推动我国对青藏高原的科学研究工作。

这次会议将由国家科技部和国土资源部联合主办。支持单位有:中国国家自然科学基金委员会,中国科学院,中国地震局,中国地质学会,中国青藏高原研究会,国际地科联岩石圈委员会,四川省科学技术委员会,油气藏地质与开发工程国家重点实验室,成都理工学院、中国地质大学、中国地质科学院具体负责这次会议的承办工作。会议筹备秘书处办公室设在成都理工学院科技与外事处。

这次会议的第 1 号通知(国内),将于今年 6 月下旬发出。

会议联系人:邓斌 杨桂和 杨慧东

联系地址:成都市二仙桥东三路 1 号,成都理工学院科技与外事处

邮编:610059

电话:028-4077063 4078924 4079488

E-mail:15hkt @ cdit. edu. cn

http://www. cdit. edu. cn/15hkt

(第 15 届 HKT 会议筹备秘书处办公室)