

上海台阵标定方法的对比研究

赵书礼^{1,2}, 朱元清², 于海英², 宋治平²

(1. 中国地震局地球物理研究所, 北京 100081; 2. 上海市地震局, 上海 200062)

摘要:本文介绍了基于台阵标定理论建立的上海台阵标定数据库;提出了最近标定和平均标定的方法。通过典型的地震事件对新方法进行了校验,结果表明最近标定和平均标定法的标定效果都比较好,有效的提高了地震定位精度。

关键词:上海地震台阵; 定位; 标定; 方法

中图分类号: P315.61 文献标识码: A 文章编号: 1000-0844(2006)02-0118-05

Comparison Study on the Calibration Methods of Seismic Array of Shanghai

ZHAO Shu-li^{1,2}, ZHU Yuan-qing², YU Hai-ying², SONG Zhi-ping²

(1. Institute of Geophysics, CEA, Beijing 100081, China; 2. Earthquake Administration of Shanghai Municipality, Shanghai 200062, China)

Abstract: The establishment of the calibration database in Seismic Array of Shanghai which based on the calibration theory is introduced. Two new calibration methods, the nearest calibration and the average calibration, are presented, and the methods are tested by chosen typical earthquake events. The result shows that both methods are more available and have good calibrate result. By using new methods the location precision of earthquake for the array is improved.

Key words: Seismic Array of Shanghai; Location; Calibration; Method

0 台阵标定的提出

利用台阵资料进行震中定位其结果和实际震中存在一定的偏差,这些误差主要是由沿着波传播路径的速度的横向变化所引起的。如利用 F-K 分析确定的视慢度和方位角结果会有一定的偏差,这样就极大地影响分析结果^[1-2],尤其是利用台阵定位偏差会更大。为了减少台阵定位的震中误差,必须对该台阵进行标定,在确定震中位置时加上修正值,才能提高地震定位精度。

因此对于任何一个台阵来说标定是至关重要的,只有确定了准确的震源位置才能更好作有关方面的研究,如台阵下方的不均体和地下结构等。而进行台阵的标定首先必须建立准确可靠的标定数据库以及根据数据库的特性形成相关的标定方法;同时必须对相关的方法要利用地震事件进行检验其有效性;进而利用台阵标定的数据库及方法来校正慢度和方位角,从而进一步校正震源位置。国际上任

何一个台阵都根据该地震台阵观测到的资料建立自己的标定数据库与方法。上海台阵自 2001 年建成后也开展了台阵标定的工作。本文主要介绍上海台阵标定数据库的建立,提出了最近标定法和平均标定法,并对两种方法的结果进行了比较和校验。

1 上海台阵标定数据库的建立

本文根据台阵标定理论^[3-6]建立相应的数据库,选择自上海台阵运行四年来(2001年6月-2005年6月)共 109 个远震事件的数据。这些远震事件的震中距从 15°到 90°,震级大于 6.0 级(部分地震的震级小于 6.0)(图 1)。为提供可靠的数据集,我们对这些高信噪比、宽频带初动和横贯台阵好的相干性为特征的事件进行系统的重新定位,采用的是 F-K 分析或平面波方法计算地震 P 波的视慢度和方位角,同时根据国际 NEIC(或 IRIS)的定位结果计算出上海台阵中心台(图 2 中 S09 台)的视

收稿日期:2005-08-20

基金项目:上海市财政专项(030203);“十五”科技攻关项目(2001BA601B01-04-02)

作者简介:赵书礼(1980—),男(汉族),安徽萧县人,在读硕士研究生,主要从事地震数据处理、地震定位等研究。

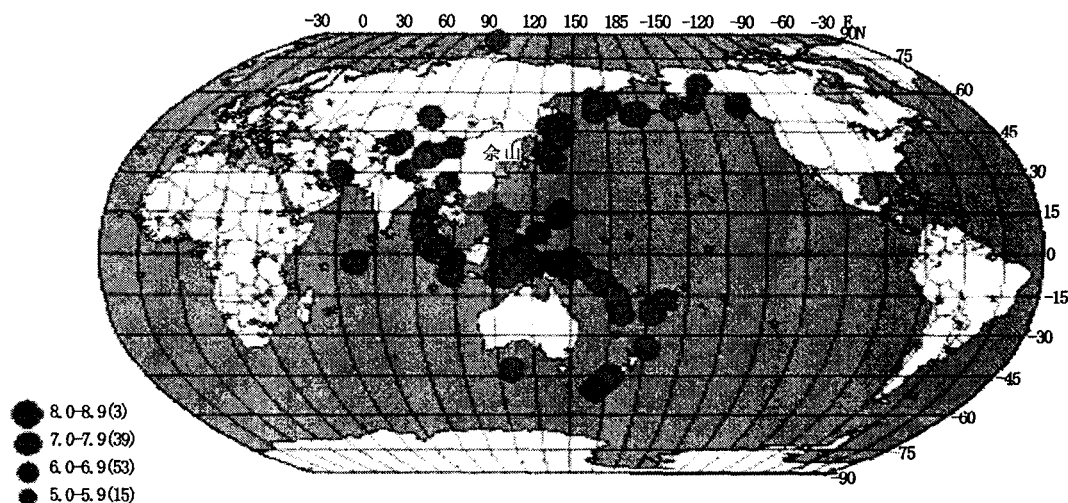


图 1 上海台阵数据集中所用事件震中分布图

Fig. 1 Distribution of chosen earthquakes recorded by Seismic Array of Shanghai.

慢度和方位角,在慢度域中用观测到的视慢度和方位角指向国际上的视慢度和方位角来表示“误定位矢量”。在每天对上海台阵数据进行分析时,可以对所确定的震中坐标加上修正值,以此来增加定位结果的精确性。

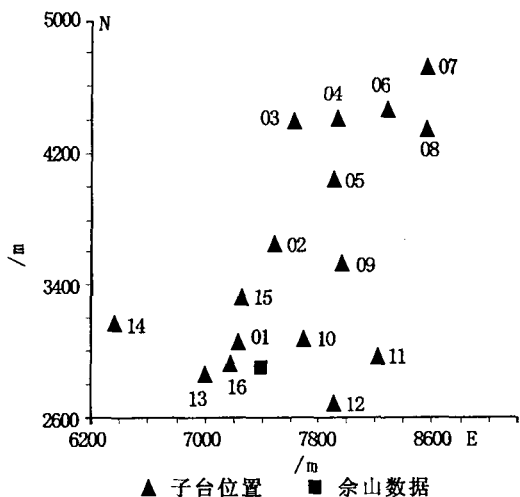


图 2 上海地震台阵平面图

Fig. 2 Sketch of the Seismic Array of Shanghai.

从标定数据库的误定位矢量图(图 3)中可以看出所建立的标定数据库在一些区域的覆盖效果不是很好,主要有以下几个特点:在台阵主方向(图 1 可以看出)的方位角 $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 、 $180^{\circ} \sim 270^{\circ}$ 范围内,地震集中误差小;而在非主方向的方位角 $90^{\circ} \sim 180^{\circ}$ 范围内,地震集中但误差大;在方位角 $270^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 范围内地震分散而误差大。在台阵标定的过程中将根据地震分布的情况选择不同的标定方法(下文有说明)。

2 台阵标定的理论及方法

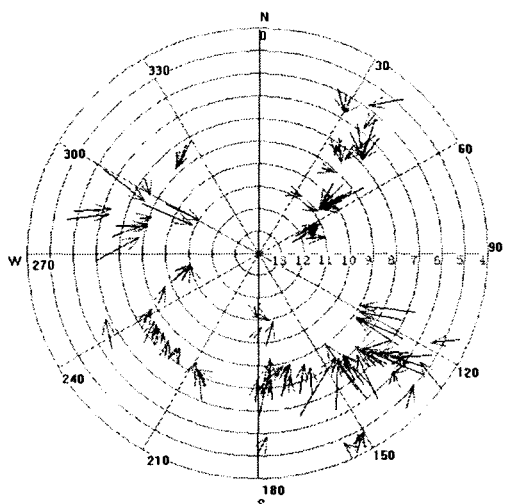


图 3 上海台阵标定图(图中箭头从上海台阵观测值指向 NEIC 参考值)

Fig. 3 Sketch of the calibration of Shanghai Array.

2.1 台阵标定的最近标定法

该方法是在标定数据库中选择距离待标定的矢量的最近点的误差矢量作为其校正值。建立 XOY 平面坐标系,以北向为 Y 轴方向,东向为 X 轴方向。把方位角和慢度转化到该坐标系下,其公式为

$$\begin{cases} X = \sin(BAZ) \cdot p \\ Y = \cos(BAZ) \cdot p \end{cases} \quad (1)$$

地震台阵确定出地震的慢度 p_c 和方位角 BAZ_c 后,由式(1)转化为该地震的位置 (X_c, Y_c) 。在查询标定数据库寻找距离此点的最近点 (X_0, Y_0) ,即 $d = \sqrt{(X_c - X_0)^2 + (Y_c - Y_0)^2}$ 最小的点;然后取最近点相关的慢度和方位角的误差校正值作为待求点的误差校正值 $(\Delta p$ 和 $\Delta BAZ)$;则可根据 p_c (标定) $= p_c + \Delta p$

与 BAZ_c (标定) = $BAZ_c + \Delta BAZ$ 求出观测地震标定后的震中的位置。

2.2 台阵标定的平均标定法

该方法是在距离待标定的方位角和慢度的范围内取其误差矢量的平均值作为校正值。在得到待标定的地震慢度和方位角初值(p_c 和 BAZ_c)后,查询标定数据库寻找在此点附件一定区域内的点,如慢度相差1度或2度区域内的点(Δp_i 和 $\Delta BAZ_i, i = 1, \dots, N$),求出这些点的慢度和方位角的误差校正值的平均值作为待求点的误差校正值,即 $\Delta p = \sum_{i=1}^N \Delta p_i / N$ 和 $\Delta BAZ = \sum_{i=1}^N \Delta BAZ_i / N$ 。最后利用 p_c (标定) = $p_c + \Delta p$

与 BAZ_c (标定) = $BAZ_c + \Delta BAZ$ 确定出震中的位置。

3 典型事件的标定

在对发生地震采用 F-K 分析或平面波方法计算地震 P 波的视慢度和方位角后,可以启动台阵标定系统,然后选取系统中的“标定”菜单,在“标定”项中选择所需的标定方法进行标定。

对于上海台阵来说,视慢度和方位角的偏差在不同方向其结果不同。下面选取发生在不同方向的5个典型地震(图4)进行标定分析。表1为5个地震的国际定位(IRIS)、上海台阵定位、标定结果以及各方法的误差。

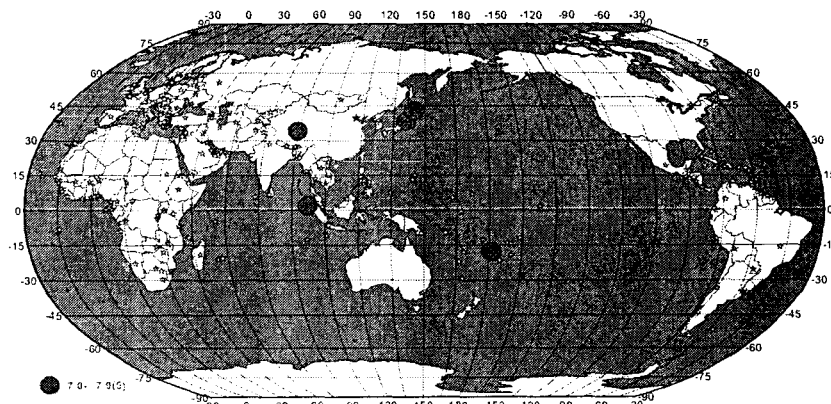


图4 典型地震的分布图

Fig.4 Distribution of the typical earthquakes epicenters.

表1 典型地震的台阵定位、标定结果及其误差

日期	时间	IRIS 国际定位结果/°		台阵定位/°		最近标定结果/°		平均标定结果/°		台阵误差 /°	最近标定 误差/°	平均标定 误差/°
		纬度	经度	纬度	经度	纬度	经度	纬度	经度			
2003-07-26	06:13:29.17	38.4	141	36.8	138	37.4	140.3	38.5	142.4	1.5	1.0	0.1
2004-03-28	02:47:31.80	34	89.2	30.4	79.4	33.5	92.6	34.1	92.0	3.8	0.5	0.1
2004-04-12	02:32:11.60	42.9	144.8	44	151.1	43.2	144.7	42.8	145.9	1.1	0.3	0.1
2004-07-15	12:27:14.70	-17.7	-178.8	-22.2	-166.2	-17.6	-179.8	-17.5	177.6	4.5	1.0	3.3
2005-07-05	09:52:04.60	1.9	97.2	-5.5	95.7	1.9	98.4	1.7	98.9	7.4	1.0	0.8

图5为2003年7月26日日本本州地区地震波形及标定结果。

图6为2005年7月5日印度尼西亚苏门答腊地震波形及标定结果。

从上面5个典型地震事件可以看出,上海台阵标定后的结果明显好于台阵的定位结果,与国际上的定位结果接近,基本上达到了标定的效果,定位的精度也大大提高。上海台阵的主方向为0°~90°和180°~270°,台阵在主方向上监测能力较强,地震记录效果比较好,使得在主方向的标定结果也比较好,特别是此方向上平均标定法要优于最近标定法;但是在另外的两个方向上,特别是90°~180°的方

向上,最近标定方法的效果较好。台阵定位结果误差较大不仅与台阵下方的速度结构各向异性有关,也与台阵的位置分布等因素有较大的关系,上述结果表明通过文中的标定方法可以消除或减弱这种定位误差。

4 结果讨论

本文针对地震的区域性分布提出了平均标定和最近标定两种方法,并利用地震事件对两种方法进行了校验,结果是这两种方法都很好的对台阵的定位矢量进行了校正,达到了预期的效果。

(1) 从本文给出的5个典型事例可以看出平均

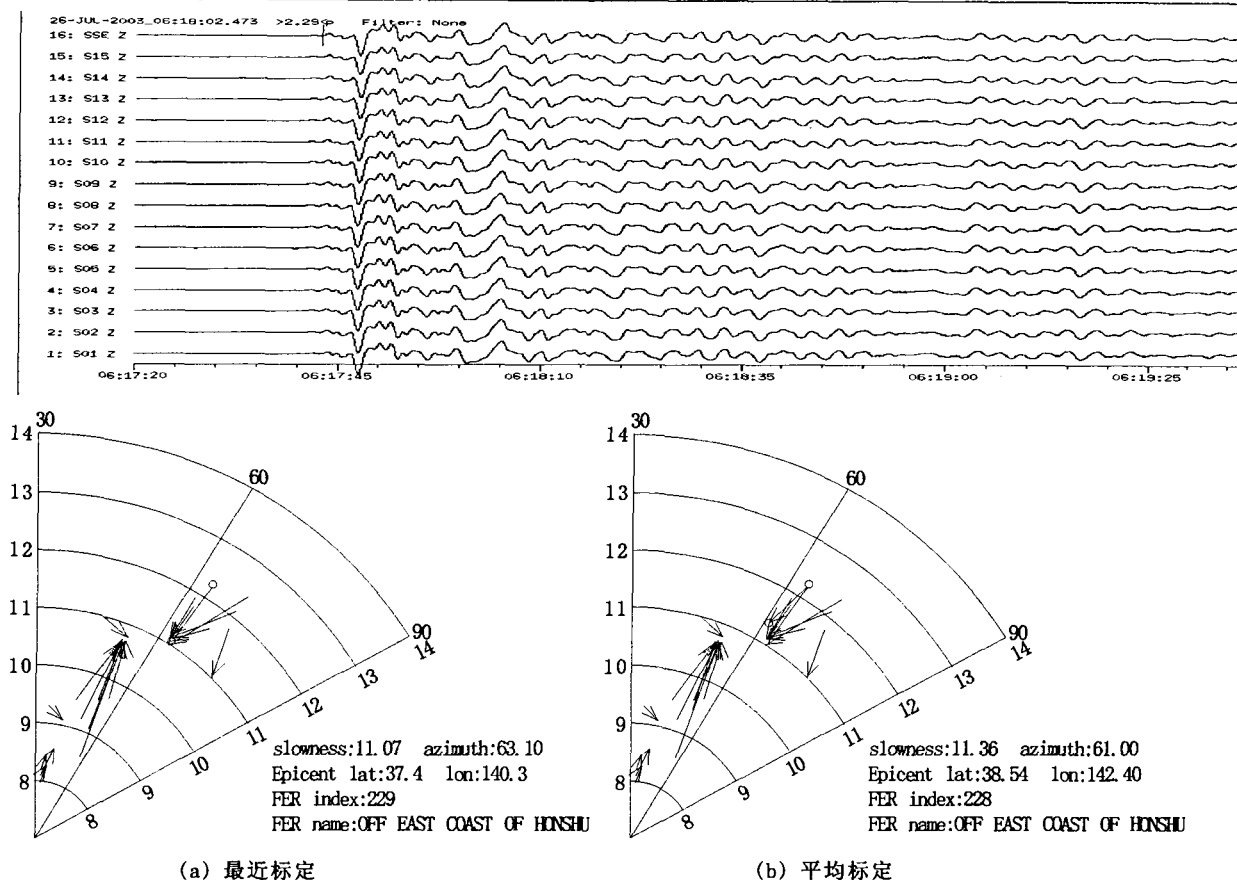


图5 2003年7月26日日本本州地区地震波形及标定结果
(左图为最近标定,右图为平均标定。箭头从标定前的位置指向标定后的位置)

Fig.5 Seismic waveform and calibrated results of Honshu earthquake, Japan, on 2003-7-26.

标定方法相对优于最近标定方法;

(2) 在台阵的主方向 $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 和 $180^{\circ} \sim 270^{\circ}$ 方向,地震监测的能力较强,并且标定后的结果效果好,在此方向上利用平均标定方法的效果更好;

(3) 在地震分布集中误差大的区域利用最近标定法效果较好,而地震分布集中误差小的区域利用平均标定法效果较好。但在另外两个方向上的标定相对来说差些,特别是 $90^{\circ} \sim 180^{\circ}$ 方向,这与台阵对该区域的监测能力弱、误差大有关。

(4) 从图1可看出,对上海台阵来说,正北和正东方位地震较少,没有被很好地覆盖,这也给台阵的标定带来了一定的缺陷。相信随着台阵相关技术的日趋成熟,以及相关的标定地震数据库的丰富,上海台阵的标定效果会越来越越好,台阵对于地震的定位监测精度将会有很大的提高。而本文提出的最近标定法和平均标定法在以后的工作应用与研究中将会更加的成熟完善。这样地震定位结果的提高对台阵下方的不均体和地下结构等方面的研究将具有重要意义。最后需要指出的是,本文的标定法依赖台阵原始

数据库的数据精确度,因此要严格选取标定数据库的地震数据。

[参考文献]

[1] Goldstein P. Deterministic frequency - wavenumber methods and direct measurements of rupture propagation during earthquakes using a dense array: Theory and methods[J]. J. Geophys. Res., 1991, **96** (B4):6173-6185.
 [2] Bame D A, Walck M C, Hiebert Dodd K L. Azimuth estimation capabilities of the NORESS Regional Seismic Array, Bulletin of the Seismological Society of America, 1990, **80** (6):19-2015.
 [3] 任隽,朱元清,秦浩文. 上海台阵的标定及结果分析[J]. 西北地震学报, 2002, **24** (4):325-329.
 [4] 任隽,朱元清,潘纪顺,等. 上海地震台阵与台网的定位及视慢度的研究[J]. 地震研究, 2002, **25** (4):335-340.
 [5] 佟玉霞,秦浩文,任隽. 上海台阵的标定方法. 地震地磁观测与研究[J]. 2002, **23** (2):76-79.
 [6] 于海英. 地震台阵的应用及最新应用[J]. 地震地磁观测与研究, 1999, **20** (6):45-51.
 [7] 安艺敬一,理查兹 P G. 定量地震学(第二卷)[M]. 北京:地震出版社, 1986. 59-77.

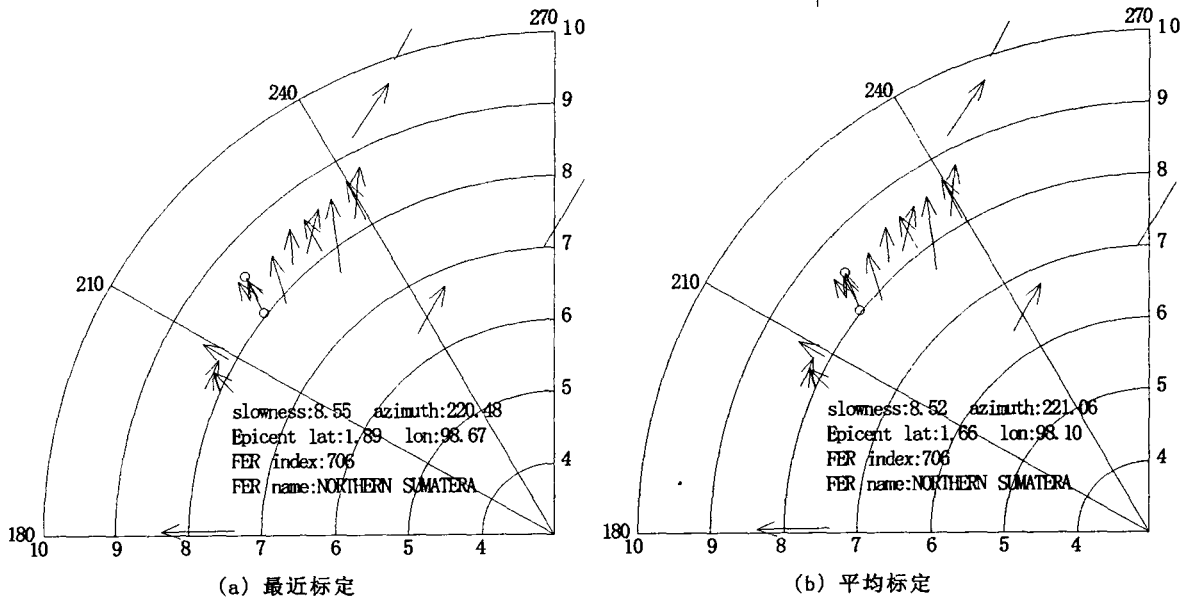
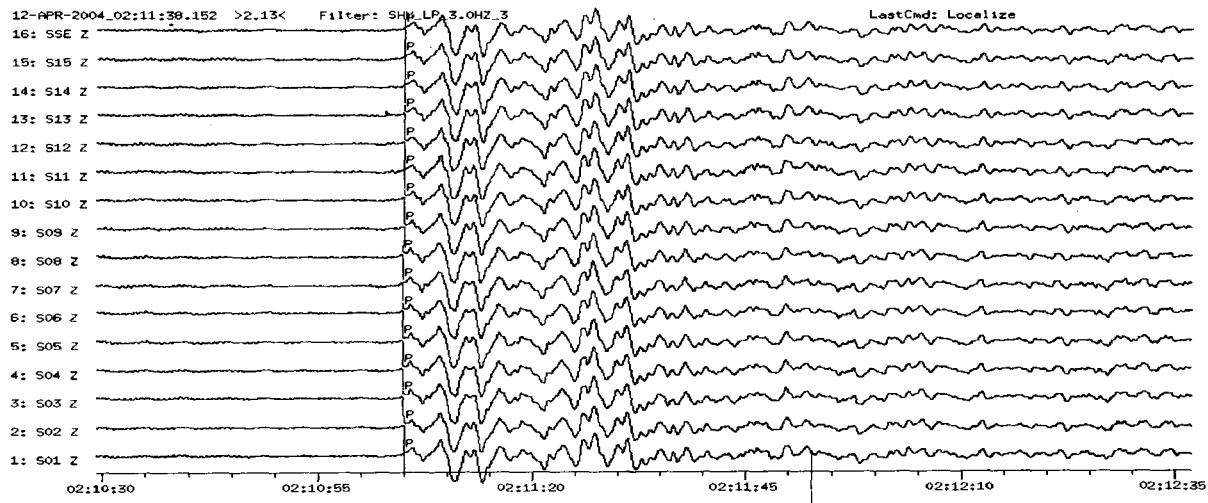


图6 2005年7月5日印度尼西亚苏门答腊地震波形及标定结果
(左图为最近标定,右图为平均标定)

Fig. 6 Seismic waveform and calibrated results of Sumatra earthquake, Indonesi, on 2005-7-5.

[8] 国家地震局科技监测司. 地震观测技术[M]. 北京:地震出版社,1995.

[9] 国家地震局地球物理研究所. 震相走时速查表[M]. 北京:地震出版社,1989.

[10] Fabers. Array Calibration [A]. In: Ten Years of the Grafenberg Array [C]. Germany: Geologisches Jahrbuch Reihe E, 1986, E35: 56-59.

[11] Cheng HongLin, S W Roecker. P-Wave backazimuth anomalies observed by a small-aperture seismic array at Pinyon Flat, Southern California: implications for structure and source location [J]. Bull. Seism. Soc. Am., 1996, 86(2): 470-476.

[12] Fdgaard E, et al. . 台阵和三分量台站的地表地形影响[J]. 世界地震译丛, 2000, (3): 46-54.

[13] Gupta I N, C S Lynnes, R A Wagner. Broad band F-K analysis of array data to identify sources of local scattering[J]. Geophys. Res. Lett., 1990, 17(2): 183-186.

[14] Chrisoffersson A, Husebye E S, Ingate S F. Wave field decomposition using ML probabilities in modeling single site 3-component records[J]. Geophys. J., 1988, 93: 197-213.

[15] 修济刚, 李友博, 王铁城, 等译. 宽频带数字地震学观测与研究[M]. 北京: 海洋出版社, 1988.

[16] George shepherd, David Kruglinski. visual c++ .NET 技术内幕[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.