

福建台网接入台湾台站对定位台湾 中深源地震精度影响分析^①

段 刚

(福建省地震局, 福建 福州 350003)

摘要:福建台网负责监测中国台湾地区地震。对于中深源地震使用何种定位方法能获得较好的地震参数,这直接影响到地震定位精度。利用 JOPENS 系统中交互分析软件 MSDP 提供的定位方法,对同一地震进行两次定位,即不使用和使用接入的台湾台站,将福建台网得出的两次结果与中国台湾公布的地震参数进行对比,分析定位精度,进而找出适用于台湾地区中深源地震的定位方法,以便进一步判断在地震速报中使用这些台站进行辅助定位的可行性,并给出相关的操作方法及建议。

关键词:中国台湾地区;中深源地震;定位精度;台湾台站;地震速报

中图分类号: P315.6

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2016)03-0466-05

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2016.03.466

Influence of Using Taiwanese Stations in the Fujian Network on the Location Accuracy of Intermediate and Deep Focus Earthquakes

DUAN Gang

(Earthquake Administration of Fujian Province, Fuzhou 350003, Fujian, China)

Abstract: Focal depth is an important parameter in seismic studies, seismotectonics, seismic risk assessment, and seismic event identification. Its accuracy has an effect on the understanding of focal processes, fault tectonics, and stress fields. Depth from the epicenter to the source of an earthquake is defined as its focal depth and is divided into three categories, i.e., less than 70 km, between 70 km and 300 km, and greater than 300 km called shallow, intermediate, and deep earthquakes, respectively. Because tectonic plates push into each other, the activities of intermediate and deep earthquakes reflect the driving forces of these plates. Northeastern offshore Taiwan is an active earthquake region because of its location where the Eurasian and Pacific plates meet. Some intermediate and deep earthquakes have seismic phases that are different from shallow earthquakes. Therefore, finding a fast and accurate method for locating intermediate and deep earthquakes is of great importance for rapid earthquake reporting. The Fujian network monitors earthquakes in the Taiwan region. Better seismic parameters in the location methods used for intermediate and deep focus earthquakes would directly affect rapid earthquake reporting. The Fujian network has access to 16 Taiwanese stations. This paper uses the method in MSDP—an interaction analysis software in JOPENS, to locate the same earthquake twice (using the Taiwan stations or not). The results are compared with data on Taiwan's official website to identify

① 收稿日期: 2015-10-26

基金项目: 福建省地震局科技基金专项(SF201416)

作者简介: 段刚(1979—),男,工程师,主要从事地震监测、地震速报及地震编目工作。E-mail: duanwolf@126.com。

appropriate methods for locating intermediate and deep focus earthquakes in the Taiwan region. Finally, we analyze the feasibility of using the Taiwan stations to produce rapid earthquake reports and provide operating methods and recommendations.

Key words: Taiwan of China; intermediate and deep focus earthquakes; location accuracy; Taiwan stations; earthquake rapid report

0 引言

地震震源到地表震中位置的距离称为震源深度, 按此划分地震, 深度 < 70 km 为浅源地震, > 300 km 为深源地震, $70 \sim 300$ km 为中深源地震。对于地震学研究、地震构造研究、地震危险性评估和地震事件识别来说, 震源深度是一个重要参数, 它的准确测定关系到对震源过程、断层构造和应力场作用等一系列问题的正确认识^[1]。由于中深源地震处于板块推挤、碰撞的前沿, 因此它的活动状况能反映出板块作用的剧烈程度^[2]。中国台湾东北部近海地区处于亚欧板块和太平洋板块交汇处, 地震活动频繁, 其中有一部分为中深源地震, 其震相与浅源地震差异较大。如何快速准确地定位中深源地震, 在地震速报中具有重大意义。

1 中深源地震震相特征

与浅源地震记录相比, 中深源地震突出的特征是 P 波和 S 波初动尖锐并且振幅大, 在垂直向记录中可能出现 P 波振幅大于 S 波的情况, 两波之间过渡震相较少, 衰减较快, 且无面波记录^[3]。而浅源地震记录的波形则表现为 P 波平缓, 振幅的幅度小于 S 波列, 在适当震中距上出现明显的面波。由于震源深, 地震波从地幔折射而出, 在标注震相时应使用 P 与 S 的震相代号, 而不能使用 Pn 和 Sn。

2 福建接入的台湾台站

随着海峡两岸各方面交流的不断深入, 从 2013 年中期 8 个台湾地震观测台站成功接入福建地震观测台网开始, 到 2014 年初已达 16 个。台站及代码分别为: 新北万里大坪(YD07)、新竹十八尖山(SB-CB)、澎湖(PHUB)、台东(TWGB)、桃园爷亨(YH-NB)、南投双龙(SSLB)、花莲玉里(YULB)、嘉义大浦(TPUB)、花莲宁南桥(NACB)、屏东垦丁(TWKB)、屏东马仕(MASB)、彰化二林(RLNB)、福山(FSNB)、台东兰屿(LYUB)、金门(KMNB)、马祖(MATB)。

3 资料选取

中国台湾地震部门对其陆地及近海区域的地震会即时产生地震报告, 并在“中央气象局全球资讯网”上公布其定位参数, 最先、最快公布的参数为速报参数, 一个多月后再公布其编目参数, 两种参数基本一致, 但有时会有存在小的偏差。这些参数具有较高的权威性, 在进行研究时主要以编目参数为准。据此, 从 2013 年 8 月至 2014 年中期的中国台湾地震目录中挑选震源深度大于 70 km 的地震作为研究对象。考虑到震源深度的误差问题, 挑选的 11 个地震事件中有个别深度值略低于 70 km。

4 地震定位及对比

利用 JOPENS 系统中的 MSDP 进行地震分析定位, 对同一地震进行两次定位, 即不使用和使用台湾台站。由于单纯型定位程序不适用于有一定深度的地震, 所以利用 LocSAT 和 HypoSAT 两种定位法进行定位处理。两个外挂程序都以盖革法为基础, 采用线性化观测方程组和奇异值分解最小二乘法。震中之间的误差采用以下公式计算:

$$\Delta S = 111.199 \times [(\varphi_1 - \varphi_2)^2 + (\lambda_1 - \lambda_2)^2 \cdot \cos^2(\frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2})^{\frac{1}{2}}]$$

式中: ΔS 为两点间的震中误差, 单位为 km; (φ_1, λ_1) 为福建台网测定的震中纬度和经度, (φ_2, λ_2) 为台湾测定的震中纬度和经度。

4.1 未使用台湾台站定位

4.1.1 LocSAT 定位

采用 LocSAT 方法定位, 分析震相时不使用台湾台站, 将结果参数与中国台湾的定位结果做对比(表 1)。

4.1.2 HypoSAT 定位

采用 HypoSAT 方法定位, 分析震相时不使用台湾台站, 将结果参数与中国台湾的定位结果做对比(表 2)。

表 1 LocSAT 和中国台湾定位结果对比 (不使用台湾台站)

Table 1 Comparison between location results using LocSAT and in Chinese Taiwan (Not using the Taiwan stations)							
日期	数据来源	发震时刻	纬度/(°)	经度/(°)	震源深度/km	震源深度差值	震中相差距离/km
2013-10-11	台湾	12:45:59.4	25.04	121.69	143.8	19.5	14
	福建	12:45:57.9	24.98	121.81	124.3		
2013-11-12	台湾	21:55:42.8	24.81	121.97	74.7	74.7	11
	福建	21:55:40.7	24.77	122.07	0.0		
2013-11-21	台湾	15:36:2.4	24.87	121.93	89.5	19.7	9
	福建	15:36:1.2	24.90	122.01	69.8		
2013-12-25	台湾	04:29:15.7	22.64	121.21	64.4	46.2	13
	福建	04:29:15.0	22.74	121.15	18.2		
2013-12-26	台湾	22:52:52.7	24.64	121.85	72.4	71.4	6
	福建	22:52:49.6	24.66	121.80	1.0		
2014-01-07	台湾	02:49:40.5	25.38	122.95	226.6	16	16
	福建	02:49:40.6	25.41	122.79	242.6		
2014-05-06	台湾	08:02:16.2	22.14	121.65	120.6	50.6	16
	福建	08:02:18.2	22.28	121.62	70.0		
2014-06-18	台湾	03:49:13.1	24.50	121.97	61.8	5	16
	福建	03:49:14.5	24.55	121.82	56.8		
2014-06-22	台湾	20:26:14.6	24.71	122.61	97.4	26.6	5
	福建	20:26:13.9	24.70	122.66	70.8		
2014-08-06	台湾	11:46:7.5	22.23	121.46	85.6	13.4	14
	福建	11:46:8.7	22.31	121.36	72.2		
2014-07-26	台湾	00:44:0.3	24.92	122.11	97.0	24.8	14
	福建	00:44:0.9	24.87	121.98	72.2		

表 2 HypoSAT 和中国台湾定位结果对比 (不使用台湾台站)

Table 2 Comparison between location results using HypoSAT and in Chinese Taiwan (Not using the Taiwan statons)							
日期	数据来源	发震时刻	纬度/(°)	经度/(°)	震源深度/km	震源深度差值	震中相差距离/km
2013-10-11	台湾	12:45:59.4	25.04	121.69	143.8	19.1	12
	福建	12:45:58.0	24.98	121.79	124.7		
2013-11-12	台湾	21:55:42.8	24.81	121.97	74.7	64.7	14
	福建	21:55:39.3	24.75	122.09	10.0		
2013-11-21	台湾	15:36:2.4	24.87	121.93	89.5	13.8	5
	福建	15:36:2.8	24.91	121.92	75.7		
2013-12-25	台湾	04:29:15.7	22.64	121.21	64.4	2.3	15
	福建	04:29:17.0	22.75	121.13	62.1		
2013-12-26	台湾	22:52:52.7	24.64	121.85	72.4	59.4	4
	福建	22:52:51.5	24.65	121.81	13.0		
2014-01-07	台湾	02:49:40.5	25.38	122.95	226.6	4.5	19
	福建	02:49:41.4	25.41	122.76	231.1		
2014-05-06	台湾	08:02:16.2	22.14	121.65	120.6	111.9	15
	福建	08:02:15.6	22.08	121.78	8.7		
2014-06-18	台湾	03:49:13.1	24.50	121.97	61.8	3	6
	福建	03:49:13.7	24.52	121.91	64.8		
2014-06-22	台湾	20:26:14.6	24.71	122.61	97.4	16.8	2
	福建	20:26:14.5	24.72	122.60	80.6		
2014-08-06	台湾	11:46:7.5	22.23	121.46	85.6	13.6	18
	福建	11:46:8.9	22.33	121.32	99.2		
2014-07-26	台湾	00:44:0.3	24.92	122.11	97.0	24.8	10
	福建	00:43:58.8	24.84	122.06	72.2		

4.2 使用台湾台站后定位

4.2.1 LocSAT 定位

分析震相时增加使用台湾台站,采用 LocSAT 方法定位,将结果参数与中国台湾的定位结果做对

比(表 3)。

表 3 LocSAT 和中国台湾定位结果对比(使用台湾台站)

Table 3 Comparison between location results using LocSAT and in Chinese Taiwan (Using the Taiwan station)							
日期	数据来源	发震时刻	纬度/(°)	经度/(°)	震源深度/km	震源深度差值	震中相差距离/km
2013-10-11	台湾	12:45:59.4	25.04	121.69	143.8	1.3	4
	福建	12:45:58.8	25.01	121.71	142.5		
2013-11-12	台湾	21:55:42.8	24.81	121.97	74.7	10.6	10
	福建	21:55:41.4	24.82	122.07	85.3		
2013-11-21	台湾	15:36:2.4	24.87	121.93	89.5	7.2	2
	福建	15:36:2.5	24.89	121.93	96.7		
2013-12-25	台湾	04:29:15.7	22.64	121.21	64.4	14.4	6
	福建	04:29:14.3	22.60	121.25	78.8		
2013-12-26	台湾	22:52:52.7	24.64	121.85	72.4	5.5	11
	福建	22:52:53.7	24.70	121.76	66.9		
2014-01-07	台湾	02:49:40.5	25.38	122.95	226.6	14.7	4
	福建	02:49:38.7	25.36	122.98	241.3		
2014-05-06	台湾	08:02:16.2	22.14	121.65	120.6	0	17
	福建	08:02:17.8	22.24	121.53	120.6		
2014-06-18	台湾	03:49:13.1	24.50	121.97	61.8	15.6	6
	福建	03:49:11.7	24.48	122.03	77.4		
2014-06-22	台湾	20:26:14.6	24.71	122.61	97.4	4.8	4
	福建	20:26:13.7	24.71	122.65	102.2		
2014-08-06	台湾	11:46:7.5	22.23	121.46	85.6	4.1	8
	福建	11:46:6.2	22.16	121.48	89.7		
2014-07-26	台湾	00:44:0.3	24.92	122.11	97.0	2.2	10
	福建	00:44:0.2	24.93	122.01	99.2		

4.2.2 HypoSAT 定位

分析震相时增加使用台湾台站,采用 Hypo-

SAT 方法定位,将结果参数与中国台湾的定位结果做对比(表 4)。

表 4 HypoSAT 和中国台湾定位结果对比(使用台湾台站)

Table 4 Comparison between location results using HypoSAT and in Chinese Taiwan (Using the Taiwan stations)							
日期	数据来源	发震时刻	纬度/(°)	经度/(°)	震源深度/km	震源深度差值	震中相差距离/km
2013-10-11	台湾	12:45:59.4	25.04	121.69	143.8	0.6	4
	福建	12:45:58.8	25.07	121.71	143.2		
2013-11-12	台湾	21:55:42.8	24.81	121.97	74.7	60.4	12
	福建	21:55:42.8	24.88	121.88	14.3		
2013-11-21	台湾	15:36:2.4	24.87	121.93	89.5	1.9	4
	福建	15:36:2.3	24.91	121.93	87.6		
2013-12-25	台湾	04:29:15.7	22.64	121.21	64.4	16.4	20
	福建	04:29:17.3	22.78	121.08	80.8		
2013-12-26	台湾	22:52:52.7	24.64	121.85	72.4	4.2	17
	福建	22:52:54.3	24.72	121.71	76.6		
2014-01-07	台湾	02:49:40.5	25.38	122.95	226.6	1.5	8
	福建	02:49:40.3	25.37	122.87	228.1		
2014-05-06	台湾	08:02:16.2	22.14	121.65	120.6	9	2
	福建	08:02:15.6	22.15	121.67	129.6		
2014-06-18	台湾	03:49:13.1	24.50	121.97	61.8	11.9	5
	福建	03:49:12.2	24.47	122.01	73.7		
2014-06-22	台湾	20:26:14.6	24.71	122.61	97.4	15.9	13
	福建	20:26:12.4	24.69	122.74	113.3		
2014-08-06	台湾	11:46:7.5	22.23	121.46	85.6	0.9	9
	福建	11:46:6.3	22.15	121.44	86.5		
2014-07-26	台湾	00:44:0.3	24.92	122.11	97.0	3.3	19
	福建	00:44:1.3	24.94	121.92	93.7		

5 震中和震源深度的偏差分析

在分析平均偏差时,采用:

$$\bar{C} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i$$

式中: $\bar{C}$ 为平均偏差; n 为地震个数; C_i 为上面各表中的震源深度差值和震中差值。

分析标准偏差时采用:

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (C_i - \bar{C})^2}{n - 1}}$$

式中: δ 为标准偏差。具体分析结果见表 5。

表 5 不同方法的震中及震源深度偏差分析
Table 5 The deviation analysis of epicenters and focal depths obtained by different methods

定位方法	震中偏差分析				震源深度偏差分析			
	未使用台湾台站		已使用台湾台站		未使用台湾台站		已使用台湾台站	
	平均偏差	标准偏差	平均偏差	标准偏差	平均偏差	标准偏差	平均偏差	标准偏差
LocSAT	12.18	3.95	7.45	4.32	33.45	23.71	7.31	5.66
HypoSAT	10.91	5.89	10.27	6.39	30.35	34.31	11.45	17.28

6 结果分析

(1) 对于同一地震事件而言,增加使用台湾台站前后,两种定位方法在确定发震时刻方面差别不大,均能满足精度要求。

(2) 在确定震中经纬度方面,在增加使用台湾台站以前,两种定位方法得出的结果也能满足精度要求,但使用台湾台站后,两种定位方法的结果均要优于使用台湾台站之前,精度更高、偏差更小。

(3) 在确定震源深度方面,在增加使用台湾台站以前,定位结果时好时坏,稳定性差,标注震相时已经尽可能使用福建台网南部和北部的台站,以控制水平方向上的误差,但是即便如此,深度上的误差并没有大的改善,这也说明地震深度是地震定位中最复杂的问题^[4]。但使用台湾台站后,定位结果与中国台湾给出的结果更为接近,特别是 LocSAT 很稳定,没有出现大的波动。

(4) 在地震分析中,P 波震相较为清晰,S 波记录有时不清晰或发育不好,所以如果 S 波不清晰,只使用 P 波到时定位并且使用较多的台站,可获得较高的可靠性^[5]。如果 S 波清晰,需要加入 S 波震相。在此过程中发现,使用 LocSAT 方法定位速度较快,而使用 HypoSAT 方法定位则速度较慢,所以应优先使用 LocSAT 方法定位,当出现震源深度不理想时,换用 HypoSAT 方法定位。

(5) 文章并未在震级方面作分析,由于中深源地震面波不发育,无法使用面波来测定震级^[6];中国台湾地区中深源地震多发生于台北、宜兰海域,距福建台网震中距约为 3°~6°,在这一距离上无法使用体波震级;福建和台湾两个台网使用的观测仪

器不同,频带宽度差别大,这会使震级测定产生差异^[7],需要对震级测定作另外的研究。

(6) 在实际地震速报中,先标注台湾台站,再挑选福建沿海的几个近台,使台站尽可能包围震中,优先采用 LocSAT 定位,特别对于中深源地震可以有效测定其震源深度。采用这种方法,与以前未接入台湾台站相比,速报速度和定位精度有了较大提高。

参考文献(References)

[1] 魏娅玲,蔡一川,苏金蓉.采用 sPn 震相确定甘肃岷县 $M>4.0$ 地震震源深度[J].地震工程学报,2013,35(3):438-442.
WEI Ya-lin, CAI Yi-chuan, SU Jin-rong. Calculation of the Focal Depth of $M>4.0$ Earthquakes in Minxian, Gansu, Based on sPn Seismic Phases [J]. China Earthquake Engineering Journal, 2013, 35(3): 438-442. (in Chinese)

[2] 王周元,何少林,李勇,等.中国中深源地震分布特征及其意义[J].西北地震学报,2000,22(3):288-295.
WANG Zhou-yuan, HE Shao-lin, LI Yong, et al. Distribution Feature of Intermediate and Deep-focus Earthquakes in China and Its Significance [J]. Northwestern Seismological Journal, 2000, 22(3): 288-295. (in Chinese)

[3] 韩京,周仕勇,黄建英,等.新疆地震目录中的中源地震定位问题研究[J].内陆地震,2004,18(2):113-121.
HAN Jing, ZHOU Shi-yong, HUANG Jian-ying, et al. Location Study of Earthquakes with Mid-deep Source in Xinjiang Seismic Catalogue [J]. Inland Earthquake, 2004, 18(2): 113-121. (in Chinese)

[4] 冯建刚,蒋长胜,韩立波,等.1970 年以来甘肃台网地震观测报告收集整理及其重新定位研究[J].西北地震学报,2012,34(3):289-293.

台站遥控电源开关的应用[J].地震地磁观测与研究,2008,29(1):91-92.

ZHANG Mao-jun, ZHANG Jin-chuan, YUAN Yan-ni, et al. Application of Remote Control Switcher Based on the TC35T Module to the Seismic Station[J].Seismological and Geomagnetic Observation and Research,2008,29(1):91-92.(in Chinese)

[5] 张念,苏印文.台站仪器温湿度控制器[J].地震地磁观测与研究,2008,29(1):95-98.

ZHANG Nian, SU Yin-wen. A Temperature and Humidity Controller in Seismic Station[J].Seismological and Geomagnetic Observation and Research,2008,29(1):95-98.(in Chinese)

[6] 芦永,杨军,田韬,等.串行通讯技术在地震电磁波监测仪中的应用[J].地震地磁观测与研究,2007,28(3):74-78.

LU Yong, YANG Jun, TIAN Tao, et al. The Application of Serial Communication Techonology in the Earthquake Electromagnetic Wave Monitoring Device[J].Seismological and Geomagnetic Observation and Research,2007,28(3):74-78.(in Chinese)

[7] 王冬胜,胡德军,洪刚杨,等.手机短信在无人值守地震监测点防盗报警中的应用[J].四川地震,2009(3):26-27.

WANG Dong-sheng, HU De-jun, HONG Gang-yang, et al. Applying Short Messages to the Alarming Device in an Unmanned Seismic Station[J].Sichuan Earthquake,2009(3):26-27.(in Chinese)

[8] 夏忠,冯志生,稽才建,等.FHD-1 型质子磁力仪的改进与完善[J].地震学刊,2002,22(2):28-31.

XIA Zhong, FENG Zhi-sheng, JI Cai-jian, et al. The Improvements of the FHD-1 Type Proton Magnetometer[J].Journal of Seismology,2002,22(2):28-31.(in Chinese)

(上接 470 页)

FENG Jian-gang, JIANG Chang-sheng, HAN Li-bo, et al. Collection and Reestablish Work for the Earthquake Observation Reports of the Gansu Seismographic Network Since 1970 and Earthquake Relocation [J]. Northwestern Seismological Journal,2012,34(3):289-293.(in Chinese)

[5] 陈贵美,刘锦,刘军,等.数字地震台网对不同区域地震事件的震中定位研究[J].华北地震科学,2010,28(1):59-64.

CHEN Gui-mei, LIU Jin, LIU Jun, et al. Analysis on Precision of Deferent Earthquake Location Methods in Guangdong Digital Seismic Network [J]. North China Earthquake Sciences, 2010,28(1):59-64.(in Chinese)

[6] 李莹甄,殷娜,李小哈.不同震级标度转换关系研究概述[J].地震工程学报,2014,36(1):80-87.

LI Ying-zhen, YIN Na, LI Xiao-han. Review of the Conversional Relationship for Different Magnitude Scales[J].China Earthquake Engineering Journal,2014,36(1):80-87.(in Chinese)

[7] 蔡杏辉,曹轶,许振栋.福建与台湾地震台网测定震级偏差浅析[J].防灾科技学院学报,2013,15(3):72-77.

CAI Xing-hui, CAO Yi, XU Zhen-dong. Deviation Analysis of Earthquake Magnitude Determination by Fujian and Taiwan Seismic Network [J]. Journal of Institute of Disaster Prevention,2013,15(3):72-77.(in Chinese)