

霍祝青,瞿旻,卢永,等.不同定位方法对江苏高邮 M4.9 地震震源深度的测定[J].地震工程学报,2018,40(增刊):129-133.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2018.Supp.129

HUO Zhuqing, QU Min, LU Yong, et al. Focal Depth Determination of the Gaoyou M4.9 Earthquake by Different Positioning Methods[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2018, 40(Supp): 129-133. doi: 10.3969/j.issn.1000-0844.2018.Supp.129

# 不同定位方法对江苏高邮 M4.9 地震震源深度的测定

霍祝青, 瞿旻, 卢永, 孙业君

(江苏省地震局, 江苏南京 210014)

**摘要:** 2012年7月20日20时11分江苏高邮与宝应交界处发生M4.9地震,该地震是近年来江苏陆地发生的震级最大、影响最大的地震。通过对sPn与Pn地震波走时差方程推导,计算出此次地震的震源深度为15 km,双差定位计算深度结果为17 km,江苏台网编目结果为17 km,不同定位方法得出的结果均比较接近,分析认为此次主震震源深度在15~17 km较为可信。

**关键词:** 高邮地震; 走时差; 震源深度; 定位结果

中图分类号: P315.33

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2018)增刊-0129-05

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2018.Supp.129

## Focal Depth Determination of the Gaoyou M4.9 Earthquake by Different Positioning Methods

HUO Zhuqing, QU Min, LU Yong, SUN Yejun

(Earthquake Agency of Jiangsu Province, Nanjing 210014, Jiangsu, China)

**Abstract:** The M4.9 earthquake which occurred at 20:11 in July 20, 2012, at the junction of Gaoyou and Baoying in Jiangsu Province is the largest and the most influential earthquake in Jiangsu in recent years. Based on the travel time difference equation of sPn and Pn waves, we calculate the focal depth of the M4.9 earthquake as 15 km, and the calculated depth by both double-difference location and Jiangsu network catalog is 17 km. The different location results are very close; thus, we believe that the focal depth of main shock is about 15—17 km.

**Keywords:** Gaoyou earthquake; travel time difference; focal depth; positioning result

### 0 引言

震源深度是地球物理学研究的重要参数之一,可靠的震源深度有助于更好地约束地震事件的震源位置以及发震时刻<sup>[1]</sup>。现今测定震源深度的方法多种多样,但其精度的给定仍是个棘手问题,在现代地

震目录中,它几乎成为最不准确的参数之一<sup>[2]</sup>。震源深度的精确测定对研究地震活动有着重大意义,其也是地震灾害评估的重要参数,是地震成灾的关键指标<sup>[3]</sup>。在地震定位过程中,如何精确确定震源深度一直是地震学者面临的一个最大难题。在常规

收稿日期:2018-01-19

基金项目:中国地震局星火资助(XH17013)

第一作者简介:霍祝青(1979-),男,工程师,现从事地震监测工作。E-mail: hzqbook@126.com.cn.



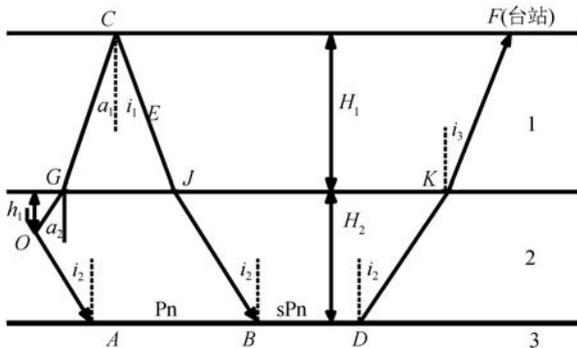


图 3 双层地壳模型(震源在下地壳)中 sPn 传播路径

根据江苏地区地壳速度模型结构,参考江苏台网地震定位时使用的华南走时表速度模型,已知上地壳厚  $H_1 = 15 \text{ km}$ ,下地壳厚  $H_2 = 18 \text{ km}$ ,  $v_{s1} = 3.52 \text{ km/s}$ ,  $v_1 = 6.01 \text{ km/s}$ ,  $v_{s2} = 3.80 \text{ km/s}$ ,  $v_2 = 6.51 \text{ km/s}$ ,  $v_3 = 8.01 \text{ km/s}$ 。

由于江苏数字地震台网地震定位软件中使用的是双层地壳模型,所以本文只对双层地壳结构模型中 sPn 震相传播路径进行讨论。将速度模型各数值分别带入式(2)、(3),可得震源在上地壳的深度为:

$$h = 2.78\Delta t \quad (4)$$

震源在下地壳的深度为:

$$h = 3.12\Delta t - 0.97 \quad (5)$$

由于上地壳的已知厚度为  $15 \text{ km}$ ,所以得出下地壳的深度范围为:

$$15 \leq 3.12\Delta t - 0.97 \leq 33 \quad (6)$$

由式(6)可得当震源发生在下地壳时,震源深度分布在  $5.12 \text{ s} \leq \Delta t \leq 10.89 \text{ s}$

根据多年的经验,江苏地区震源深度主要分布在  $5 \sim 30 \text{ km}$  范围内。其中苏中、苏南地区由于覆盖层较厚,震源深度相对较深,多发生在  $15 \sim 30 \text{ km}$ ,其他地区震源深度多分布在  $5 \sim 15 \text{ km}$  范围内,极少分布在  $5 \text{ km}$  以内<sup>[8]</sup>。因此对于发生震源深度超过  $33 \text{ km}$  的地震本文不做研究。

## 2 sPn 在江苏高邮震群中的应用

2012年7月20日20时11分在江苏高邮与宝应交界处发生  $M_s 4.9$  地震,震中为  $33.1^\circ \text{ N}$ ,  $119.6^\circ \text{ E}$ 。此次地震造成江苏大范围内均有震感,江苏台网大部分台站都能清晰地记录其波形。图4是江苏省连云港、高淳、溧阳、前三岛四个台站记录到的清晰 sPn 波形。所选台站震中距离都在  $200 \text{ km}$  以内,通过计算得到 sPn 与 Pn 平均到时差为  $5.3 \text{ s}$ ,

根据式(5)可以计算得到此次地震震源深度为  $15.41 \text{ km}$ 。

## 3 高邮震群双差定位结果

此次地震除主震外,共记录到余震 53 次。通过对此次地震序列进行双差定位,共获得精定位结果 46 次,震中平均误差为:南北向  $0.28 \text{ km}$ ,东西向  $0.37 \text{ km}$ ,垂直向  $0.40 \text{ km}$ 。图5为此次精定位的震中分布图,从图中可以看出精定位后较多的地震呈丛集状出现。图6为精定位后震群沿垂直向剖面深度分布图,从图中可以看出震源深度也有明显收敛,大多集中在  $5 \sim 20 \text{ km}$ ,均位于地壳的中上部。通过双差定位显示此次主震震源深度在  $17 \text{ km}$ 。

## 4 台网定位结果

图7为此次高邮地震江苏数字地震台网用 MS-DP 定位软件进行的定位。采用 HypSAT 定位方法得出编目结果残差为  $0.79$ ,垂直误差为  $0.63$ ,水平误差  $0.86$ ,震源深度  $17 \text{ km}$ ,共 61 个台参加定位(省内台站 48,外省台站 13 个),定位精度 I 类,震中位置  $33.1^\circ \text{ N}$ ,  $119.6^\circ \text{ E}$ 。国家台网中心编目结果为震中位置  $33.0^\circ \text{ N}$ ,  $119.6^\circ \text{ E}$ ,震源深度  $10 \text{ km}$ ,震级  $M_s 5.0$ 。两者定位结果高度一致,定位效率较高,但震源深度方面相比有一定出入,其原因可能有多个方面,如定位方法不同、震相标识不准确、初动不清晰、走时表不适宜等。

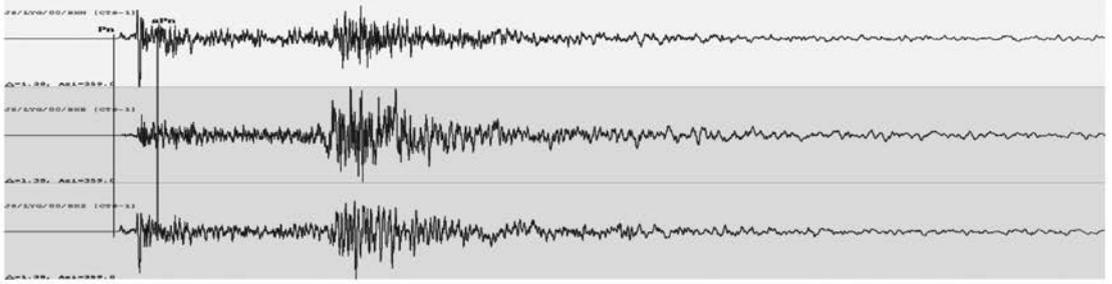
## 5 结果与讨论

(1) 通过对 sPn 与 Pn 地震波走时差方程的推导,计算出此次地震的震源深度为  $15 \text{ km}$ ,双差定位结果及江苏台编目结果均为  $17 \text{ km}$ ,三种定位方法结果比较接近,所以此次高邮地震震源深度在  $15 \sim 17 \text{ km}$ ,计算结果较为可信。

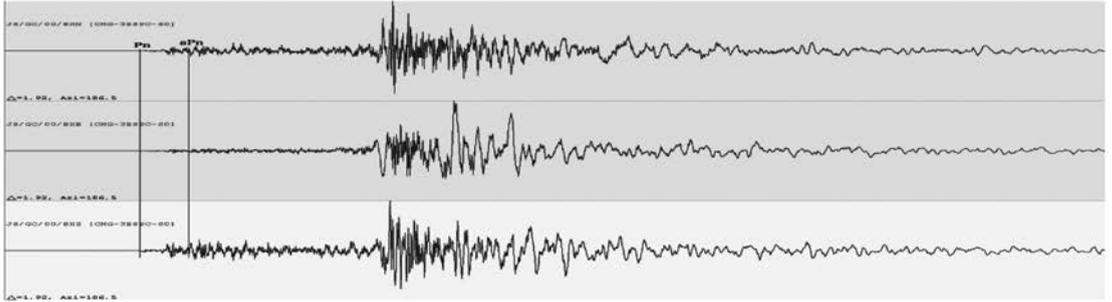
(2) 江苏数字地震台网编目结果和中国地震局台网中心定位结果有一定出入,原因可能有多个方面,如定位方法不同、震相标识不准确、初动不清晰、走时表不适宜等。

(3) 江苏苏中、苏南地区覆盖层较厚,记录到的地震多在地壳中、下层,此次地震不同计算方法显示震源深度均在  $15 \text{ km}$  左右,符合一般特征。

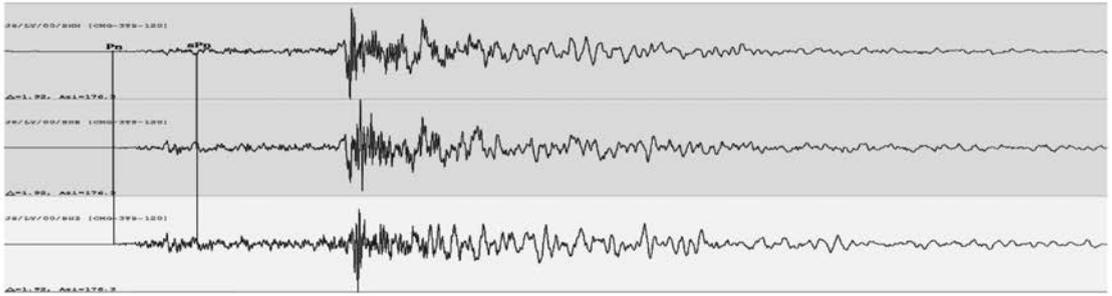
总之,对于此次地震通过多种不同的方法得出的震源深度比较一致,也符合苏中、苏南记录到的地震经常发生在地中、下层的特征,分析认为其结果较为可信。



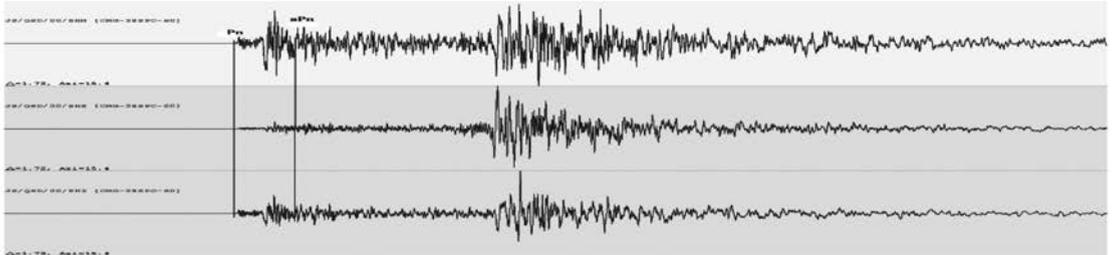
(a) 连云港台



(b) 高淳台



(c) 溧阳台



(d) 前三岛台

图4 不同台站记录到的高邮 M4.9 地震 sPn 波形

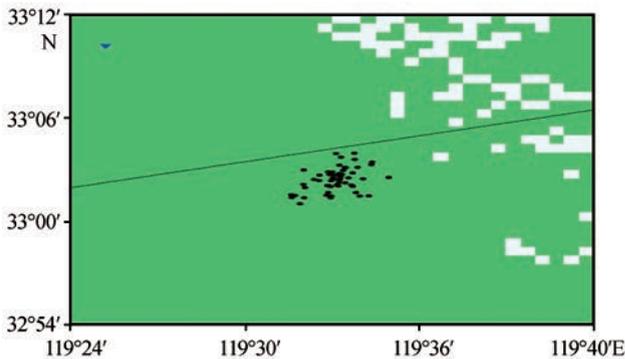


图5 高邮 M4.9 震群震中分布

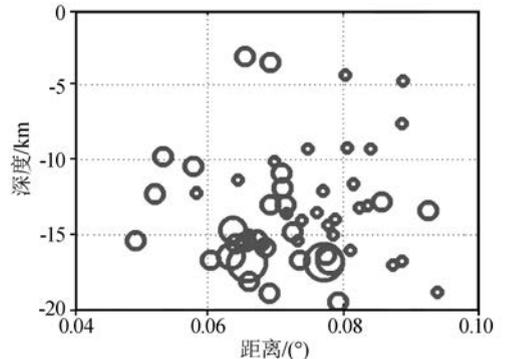


图6 高邮 M4.9 震群精定位后沿垂直向剖面深度分布

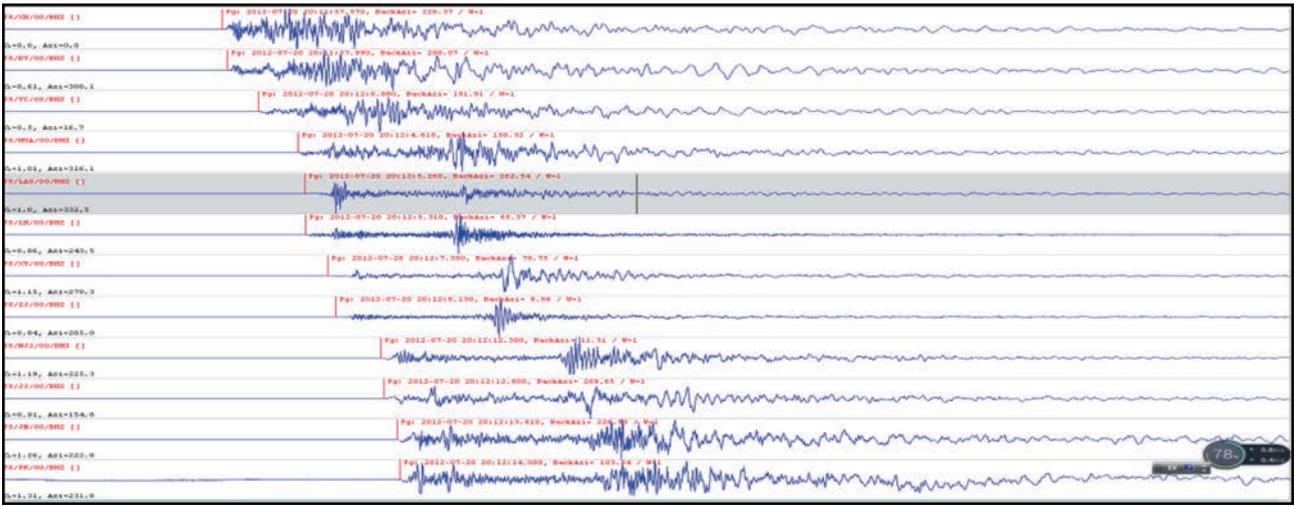


图 7 江苏数字地震台网记录的高邮 M<sub>s</sub>4.9 地震波形

参考文献

[1] SAIKIA C K, WOODS B B, THIO H K. Calibration of the Regional Crustal Waveguide and the Retrieval of Source Parameters Using Waveform Modeling[J]. Pure and Appl Geophys, 2001, 158(7): 1301-1338.

[2] 高原, 周蕙兰, 郑斯华, 等. 测定震源深度的意义的初步讨论[J]. 中国地震, 1997, 13(4): 321-329.

[3] ZHANG Tianzhong, WU Bate, HUANG Yuan, et al. Effect of the Data Recorded at Nearby Stations on Earthquake Relative Location[J]. Chinese J Geophys, 2007, 50(4): 1126-1130.

[4] 李志伟, 胥颐, 郝天珧, 等. 利用 DE 算法反演地壳速度模型和地震定位[J]. 地球物理学进展, 2006, 21(2): 370-378.

[5] 房明山, 杜安陆, 董孝平, 等. 用 sPn 震相测定近震震源深度[J]. 地震地磁观测与研究, 1995, 16(5): 13-18.

[6] 高立新, 郑斯华, 丁风和. 内蒙古中西部地区震源参数和场地响应反演[J]. 西北地震学报, 2005, 27(2): 109-114.

[7] 高立新, 刘芳, 赵蒙生, 等. 用 sPn 震相计算震源深度的初步分析与应用[J]. 西北地震学报, 2007, 29(3): 213-217.

[8] 霍祝青, 王俊, 朱凤梅, 等. 双差法在江苏及邻域地震事件重新定位中的应用[J]. 地震地磁观测与研究, 2014, 35(2): 75-78.