

孙佩雯, 彭利媚, 李冬雅, 等. 海南三亚 4.2 级、3.2 级地震的波形特征和震源新参数 [J]. 华南地震, 2020, 40 (4): 93-100. [SUN Peiwen, PENG Limei, LI Dongya, . Waveform Characteristics and New Source Parameters of the $M_{4.2}$, $M_{3.2}$ Earthquakes in Sanya, Hainan [J]. South China journal of seismology, 2020, 40 (4): 93-100]

海南三亚 4.2 级、3.2 级地震的波形特征和震源新参数

孙佩雯, 彭利媚, 李冬雅, 王 芃, 麻福洋

(海南省地震局, 海口 570203)

摘要: 对海南三亚市 2019 年 8 月 20 日 $M_{4.2}$ 和 $M_{3.2}$ 两次地震的波形特征和震源参数进行对比分析。利用 sPL 震相与 P 震相到时差, 计算三亚两个地震的震源深度在 11 km 左右。采用 CAP 方法进行地震波反演计算, 最佳震源深度分别为 9.5 km、10.9 km, 两次地震的震源机制基本一致, 均是正断层兼走滑型地震, 说明两次地震的震中构造环境及应力场作用方式相同。

关键词: 震源机制解; 震源新参数; 震源深度

中图分类号: P315.3

文献标志码: A

文章编号: 1001-8662 (2020) 04-0093-08

DOI: 10.13512/j.hndz.2020.04.013

Waveform Characteristics and New Source Parameters of the $M_{4.2}$, $M_{3.2}$ Earthquakes in Sanya, Hainan

SUN Peiwen, PENG Limei, LI Dongya, WANG Chong, MA Fuyang

(Hainan Earthquake Agency, Haikou 570203, China)

Abstract: This paper compares the waveform characteristics and source parameters of the $M_{4.2}$ and $M_{3.2}$ earthquakes in Sanya, Hainan on August 20th, 2019. The focal depth of the two earthquakes in Sanya is calculated to be about 11 km by using the time difference between the sPL phase and the P phase. The CAP method was used for seismic wave inversion calculation. The optimal focal depths were 9.5 km and 10.9 km respectively. The focal mechanisms of the two earthquakes were basically the same, both of which are normal faults and strike-slip earthquakes, indicating that the epicentral structure environment and stress field of the two earthquakes are the same.

Keywords: Focal mechanism solution; New source parameters; Focal depth.

收稿日期: 2020-05-10

作者简介: 孙佩雯 (1975-), 女, 工程师, 从事地震监测工作, 主要研究地震波形震相分析研究。

E-mail: 470849144@qq.com

通信作者: 彭利媚 (1978-), 女, 高级工程师, 从事地震监测、地震波分析, 地壳反演等方面研究。

E-mail: 623294290@qq.com

0 前言

2019年8月20日10时48分在海南三亚市天涯区(北纬18.51°, 东经109.41°)发生3.2级地震,震源深度9 km。19时17分在同一震中再次发生4.2级地震,震源深度12 km。震中位于三亚市天涯区育才生态区,距离三亚市区约35 km。震中区震感明显,周边陵水、保亭、五指山、乐东、万宁、儋州、昌江等市县也有震感。

此次地震位于海南岛陆南部的九所—陵水断裂,是区域地震活动正常起伏的表现(如图1)。1970年以来,震中20 km范围内发生 $M \geq 3.0$ 级地震1次,即1982年1月25日4.0级地震,震源深度约3.9 km;1970年以来,震中50 km范围内未有 $M \geq 5.0$ 级地震记录。

正确的震相识别与地震参数是地震震源研究的基础。不同的震相在不同震中距出现不仅

反映震源深度,还反映区域地壳结构。通过科学合理地确定地震震源的深度,不仅有助于实现对于地震灾害情况的精准预估,同时也可以实现对于余震发展趋势以及危险情况的预判。总体而言,目前国际和国内在地震深度定位方法大体上可分为两类,一类是走时定位法,一类是波形反演法。走时定位法,震相到时简单、易于拾取,对于近震台站分布密集的区域,精度可以满足需要,这类方法适用于地震台间距较小的情况。波形反演法,地震波形包含丰富的信息,如果波形记录质量高、震相清晰,利用地震波形来确定震源深度的方法可以得到更高精度的震源深度结果。本报告分析总结了两次地震的波形特征,用CAP方法反演其震源机制并计算了震源新参数,希望可以为未来地震定深以及地震震源性质的研究提供一些参考资料。

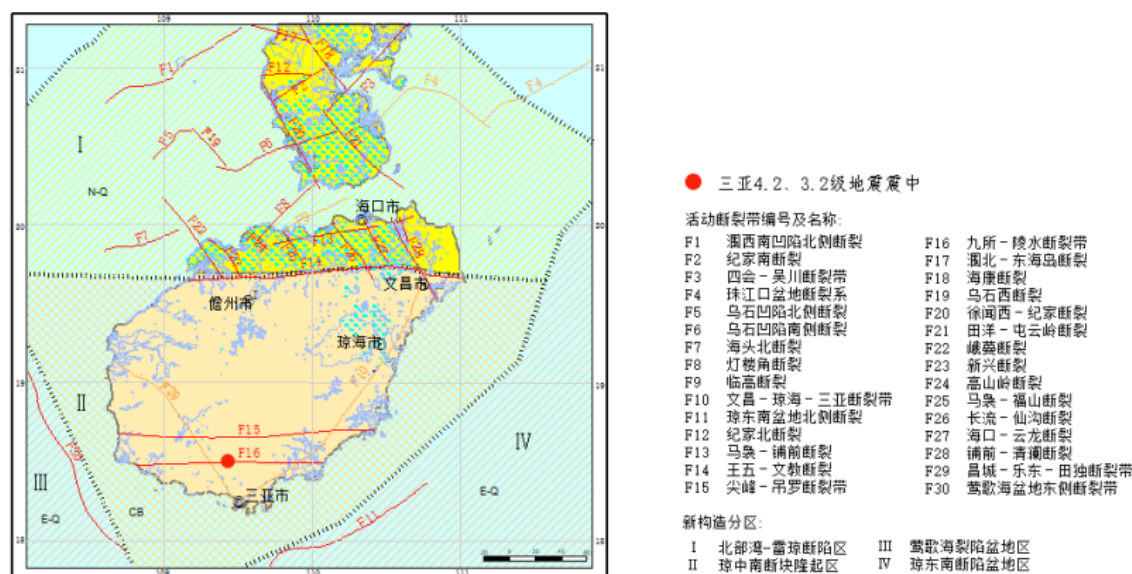


图1 三亚4.2、3.2级地震震中图

Fig.1 The epicenter map of the Sanya M4.2 and M3.2 earthquakes

1 波形特征

1.1 SmS 震相

一般来说,地震震感强烈可能由3个原因引起:一是地震本身震级较大;二是震源深度较浅;三是S波在莫霍界面的超临界反射形成SmS震相,在一定距离上振幅较大、引起明显

震感^[1]。SmS震相是指震源发出的下行S波在莫霍界面上的反射波(如图2)。当震中距小于全反射临界距离时,由于莫霍界面两侧声阻抗反差不是很大,SmS幅度不大,当震中距大于临界距离、形成全反射时,SmS能量很强。此次三亚两次地震都在震中距48~136 km记录到SmS震相(如图3、图4),且随着震中距增大,该震相与直达波Sg震相的走时差越来越小,最后

两者重叠在一起。震中距在 67 km 时达到临界距离, SmS 震相振幅开始增大, 在 73 km 达到超临界反射距离后, 振幅远超直达波 Sg 振幅, 能量达到最强, 这些是 SmS 震相的典型特征^[2]。

三亚 4.2 级地震正式编目 M 震级只有 3.7 级, 但是震中及周边大范围地区都有震感, 可能是 SmS 震相发育引起的。

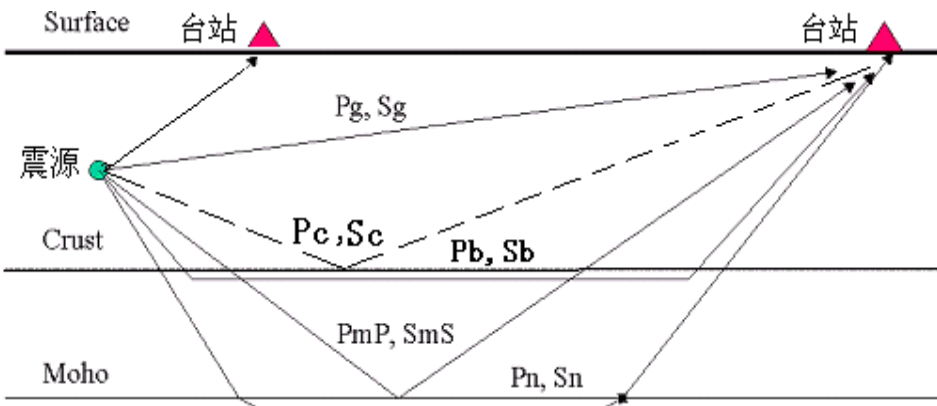


图 2 SmS 震相传播路径
Fig.2 SmS phase propagation path

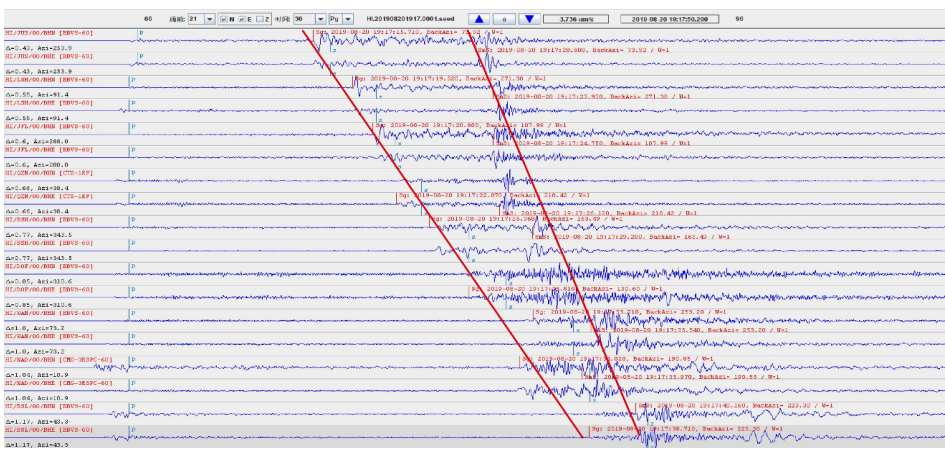


图 3 三亚 4.2 级地震 SmS 震相
Fig.3 SmS phase of Sanya M4.2 earthquake

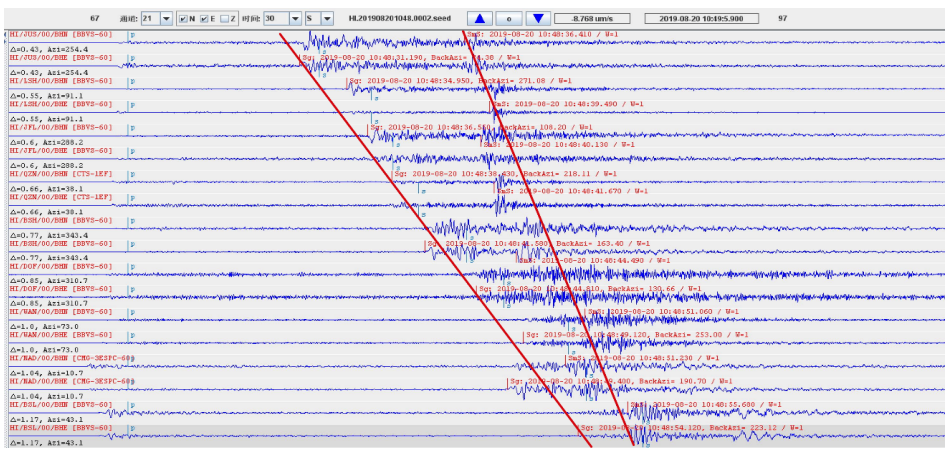


图 4 三亚 3.2 级地震 SmS 震相
Fig.4 SmS phase of Sanya M3.2 earthquake

1.2 sPL 震相

sPL 震相是从震源出发的 SV 波入射到自由表面下方时将有一部分能量转换为 P 波, 当临界入射时转换 P 波将沿着地表传播或者在浅层(如盖层)的一系列多次反射或转换震相^[3]。sPL 震相在原始波形上看不到, 要将地震波形数据预处理: 数据 SEED 格式转换成 SAC 格式并去倾斜、去均值、和扣除仪器响应处理, 对震中距 60 km 内的台站的水平分向旋转 to 径向和切向, 然后对数据采用 1 Hz 以下的低通滤波, 并积分至地表位移。震相基本特征是: 其能量主要集中在径向分量, 垂向分量的振幅相对径向要小, 切向分量上的振幅很弱, 几乎为零, 波形具有低频的特性, 所含高频成分相对较少, 没有 P 波尖锐。传播路径(如图 5)所示。根据均匀半空间模型 sPL 震相产生的原理^[3], 可以推算出海南地区地震震源深度 $h=4.33^*$ (sPL —

P)。sPL 震相通常在震中距 50 km 范围内, 在地壳结构相对简单地区可以明显观测到^[4-7]。三亚 4.2 级地震有 JUS、SAY、WZS 三个台记录到 sPL 震相(如图 6), 而三亚 3.2 级地震只有 JUS、WZS 台记录到, SAY 没有记录到(如图 7)。利用 sPL 震相与 P 震相到时差, 计算三亚两个地震的震源深度在 11 km 左右。

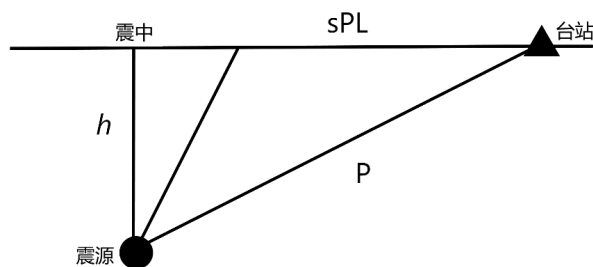
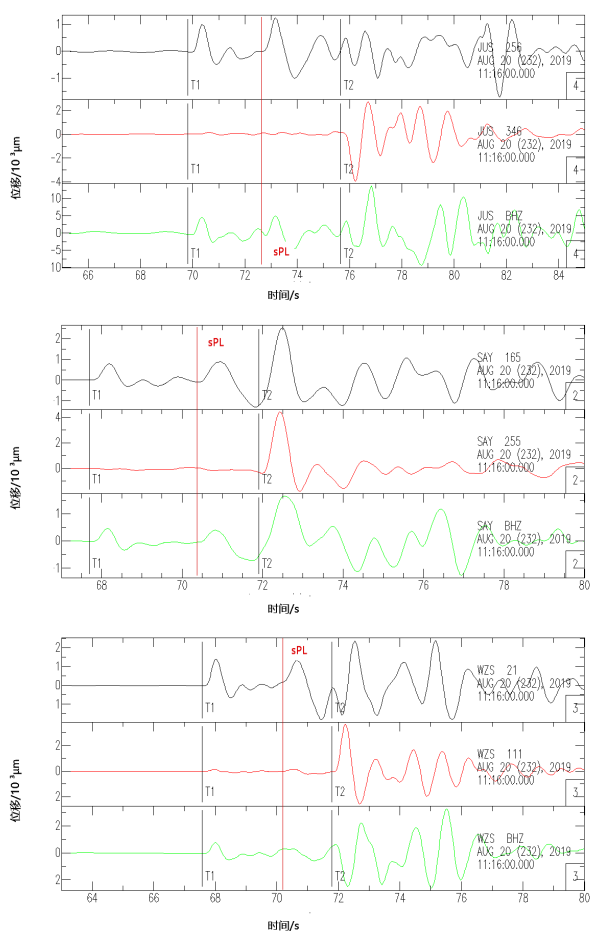


图 5 均匀半空间下 sPL 和直达 P 波的传播路径

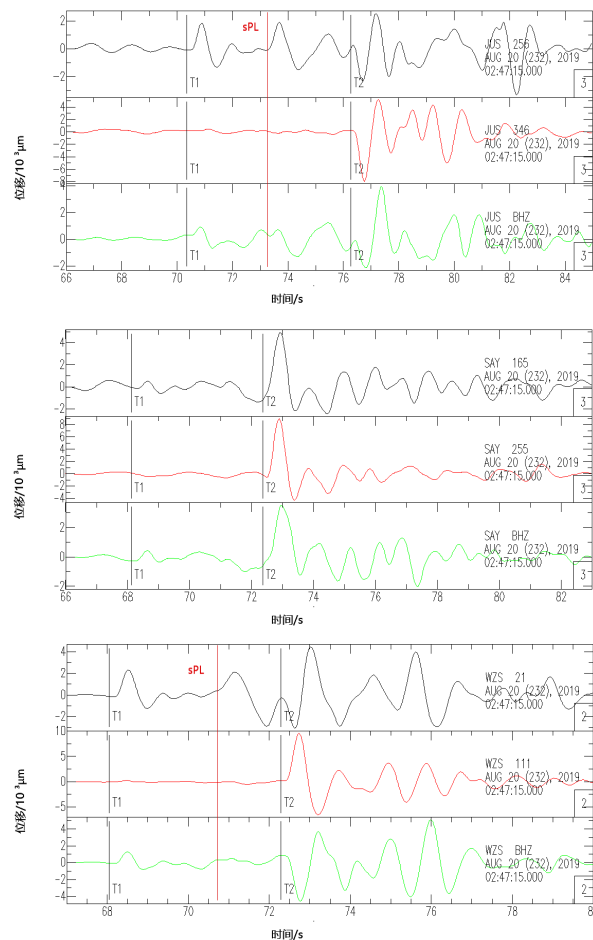
Fig.5 Propagation paths of sPL and direct P waves in uniform half-space



(黑色曲线代表径向分量(R), 红色代表切向分量(T), 绿色代表垂向分量(Z))

图 6 三亚 4.2 级地震记录的 sPL 震相

Fig.6 The sPL phase of the Sanya M4.2 earthquake



(黑色曲线代表径向分量(R), 红色代表切向分量(T), 绿色代表垂向分量(Z))

图 7 三亚 3.2 级地震记录的 sPL 震相

Fig.7 The sPL phase of Sanya M3.2 earthquake2 震源新参数

2 震源参数计算分析

2.1 震源机制解

震源机制解可以形象地描述震源的性质和受力情况，对地震后续趋势的判定具有一定的参考作用^[8]。采用 CAP 方法进行地震波反演计算，获得了三亚两个地震震源机制解和最佳震源深度。从（如图 8）可以看出，三亚 4.2 级地震节面 I 的解：走向为 301°，倾角为 59°，滑动角为 -109°，节面 II 的解：走向为 154.8°，倾角为 35.9°，滑动角为 -61.5°，矩震级为 $M_W=4.0$ ；三亚 3.2 级地震节面 I 的解：走向为 300°，倾角为 58°，滑动角为 -124°，节面 II 的解：走向为

171.8°，倾角为 45.3°，滑动角为 -48.2°，矩震级为 $M_W=3.7$ 。三亚 4.2 级地震震源深度在 9.5 km 处获得最小深度拟合误差；三亚 3.2 级地震震源深度在 10.9 km 处获得最小深度拟合误差（如图 9）。最佳震源深度计算出的理论波形均能较好地与实际记录波形匹配^[9]（图中红线表示理论波形，黑线表示实际记录波形），台站的波形拟合互相关系数大于 60% 达到 85%，波形拟合效果比较理想，且结果也比较稳定、可靠（如图 10）。震源机制解显示两次地震均是正断层兼走滑型地震。从反演结果看，两次地震的震源机制基本一致，说明两次地震的震中构造环境及应力场作用方式相同^[10]。

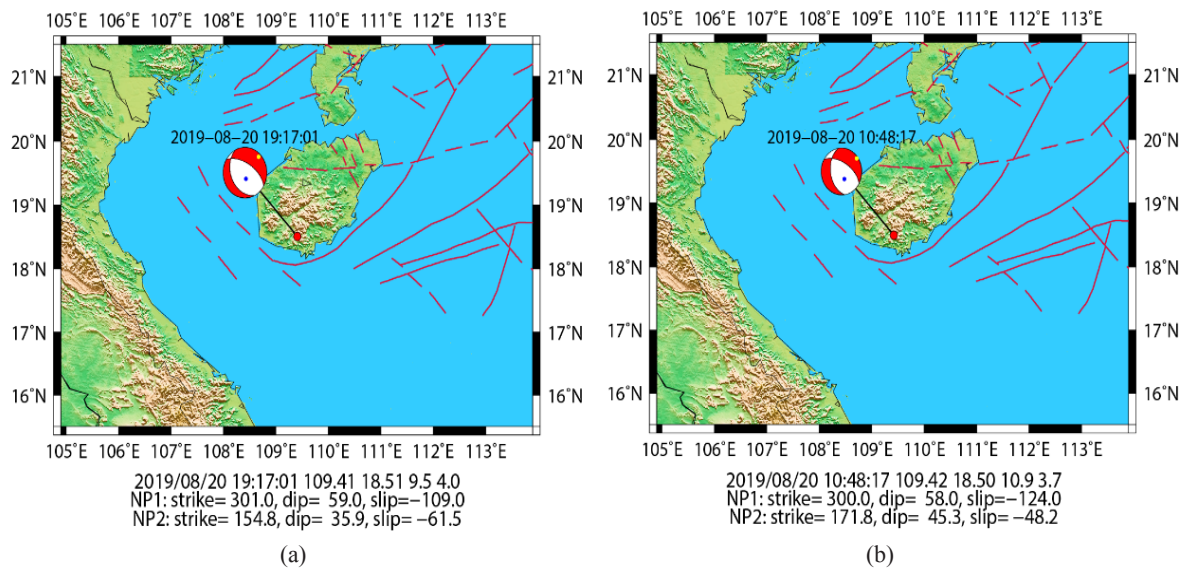


图 8 三亚 4.2 级 (a)、3.2 级 (b) 地震震源机制解
Fig.8 Focal mechanism solutions of Sanya M4.2, M3.2 earthquakes

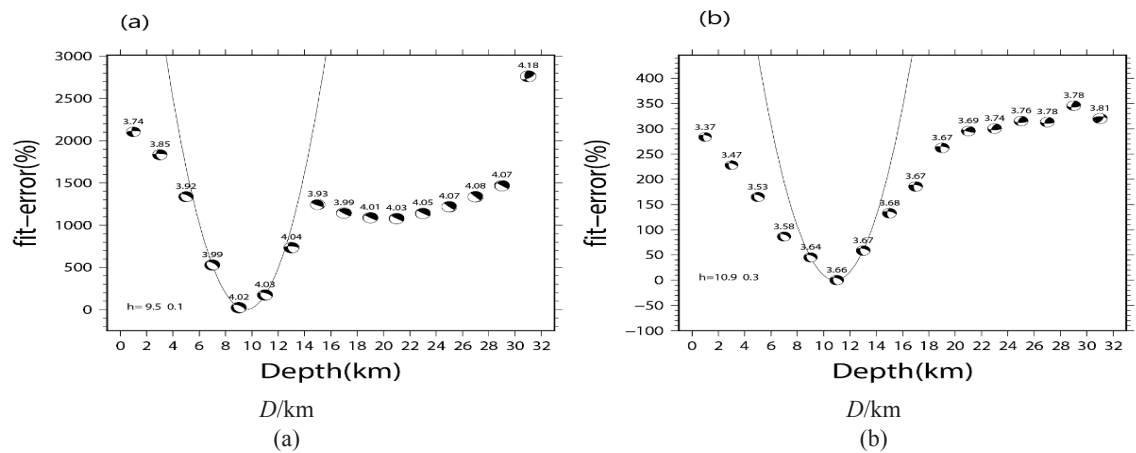


图 9 三亚 4.2 级 (a)、3.2 级 (b) 地震震源深度拟合误差
Fig.9 Fitting error of focal depth of Sanya M4.2, M3.2 earthquakes

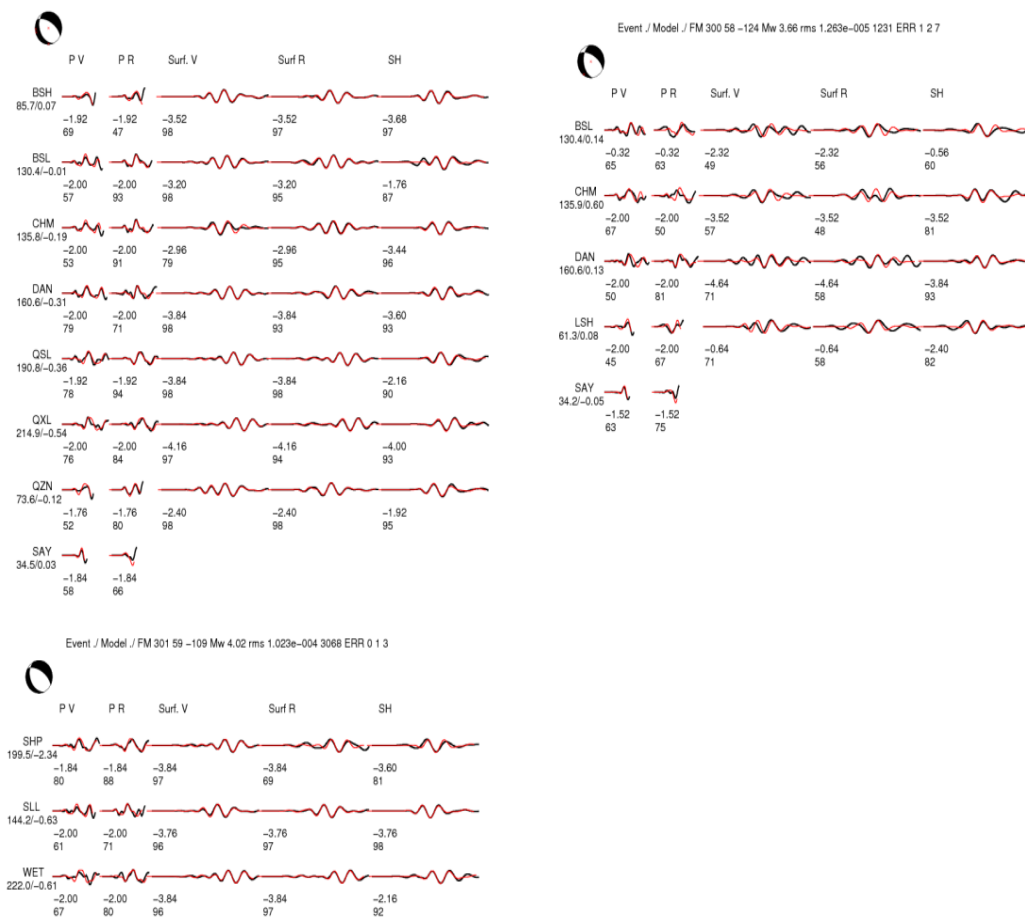


图 10 三亚 4.2 级、3.2 级地震波形拟合图

Fig.10 Waveform fitting diagram of Sanya $M4.2$, $M3.2$ earthquakes

2.2 震源新参数

产出震源新参数之前, 必须产出震源谱参数零频极限 Ω_0 和拐角频率 f_c 。地震越大, 零频极限 Ω_0 越大, 拐角频率 f_c 越小, 高频成份越少^[11]。图 11 是三亚 4.2 级、3.2 级地震震源

谱, 红色的是理论震源谱, 绿色的是实际拟合的震源谱, 从图上可以看出三亚 4.2 级的零频极限 Ω_0 比三亚 3.2 级的大, 但是拐角频率 f_c 则比三亚 3.2 级的小。震源谱拟合误差均小于 0.6, 结果还是比较理想 (如表 1)。

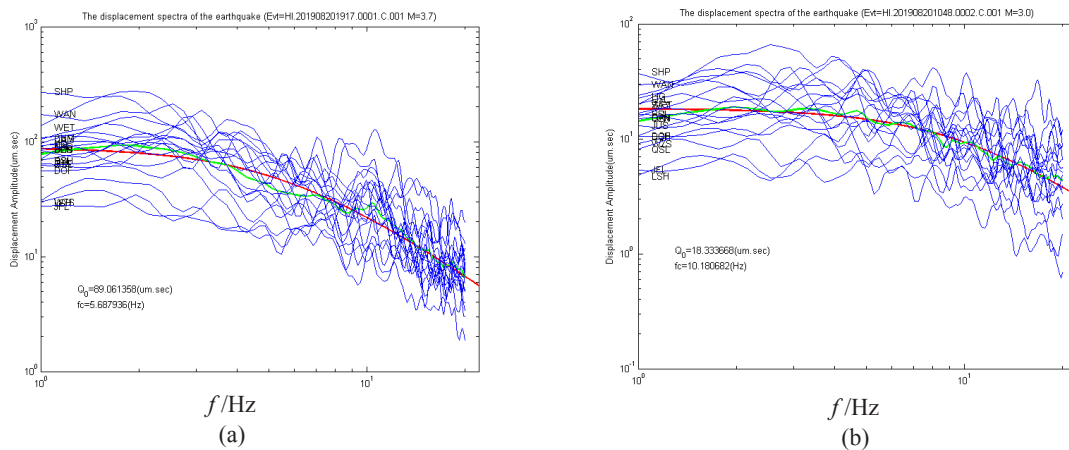


图 11 三亚 4.2 级 (a)、3.2 级 (b) 地震震源谱图

Fig.11 Source spectrum of the Sanya $M4.2$, $M3.2$ earthquakes

根据台站分布优化台站选择，经计算调整，得出两次地震的震源新参数（如表 1）。由计算结果可知（如图 12 和图 13），满足两次地震的台站分别为 18 和 17 个台站，地震台站间的最大张角分别为 163.2° 和 88.28°。两次地震计算的综合 ΔU 稍微超出要求 0.5，可能是由于地震震中在海南岛陆南端，台站分布不太均匀所致。两次地震，震级越大，地震矩、矩震级、震源尺度则越大。

表 1 三亚 4.2 级、3.2 级地震震源新参数
Table 1 New focal parameters of the Sanya M4.2, M3.2 earthquakes

发震时刻 / 年-月-日 时:分	纬度 /(°)	经度 /(°)	震级 /m	深度 /km	Omeg (um*s)	f_c (Hz)	地震矩 / (N.m)	矩震级	应力降 / (Mpa)	震源尺 度 / (m)	所使用的 台站数	台站最 大张角	ΔU	震源谱 拟合误差
2019-8-20 19:17	18.51	109.41	3.7	14.9	89.061	5.688	3.16E+14	3.6	11.487	229.166	18	163.2	0.62	0.565
2019-8-20 10:48	18.5	109.42	3	13.3	18.334	10.181	6.50E+13	3.1	13.559	128.035	17	88.28	0.54	0.354

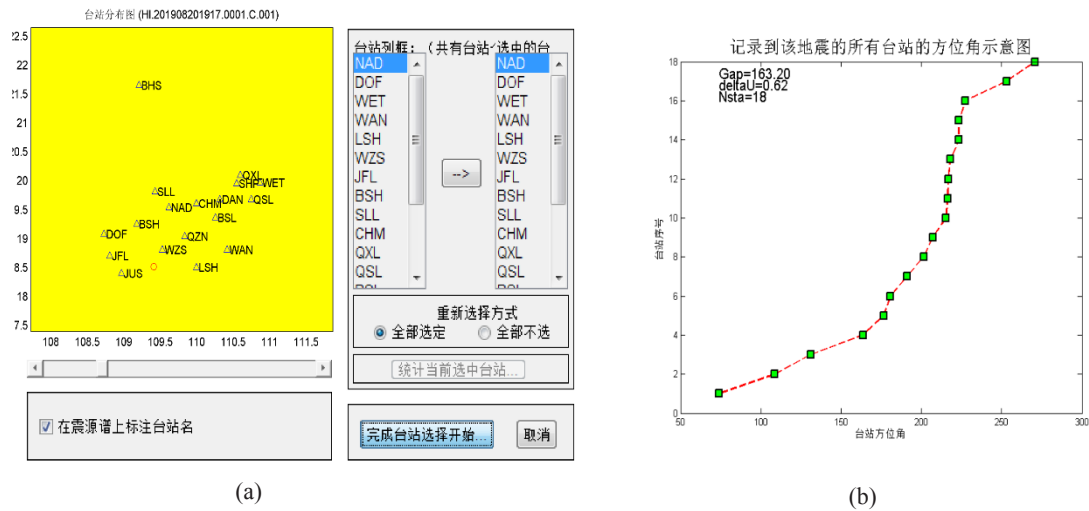


图 12 参与计算三亚 4.2 级地震震源新参数台站分布 (a) 和方位角 (b)

Fig.12 Distribution (a) and azimuth (b) of stations participating in calculation of new source parameters of Sanya M4.2 earthquake

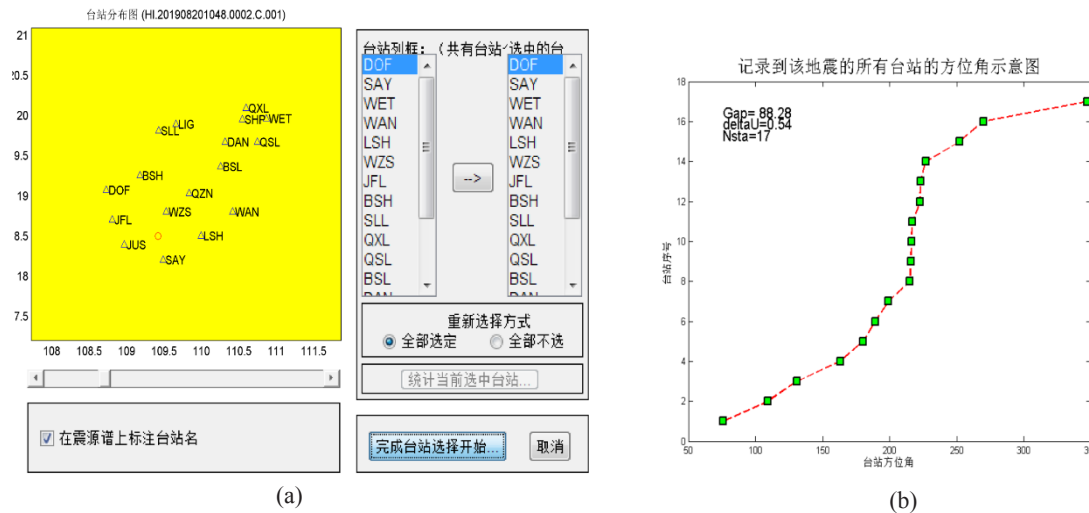


图 13 参与计算三亚 3.2 级地震震源新参数台站分布 (a) 和方位角 (b)

Fig.13 Distribution (a) and azimuth (b) of stations participating in calculation of new source parameters of Sanya M3.2 earthquake

3 总结与存在的问题

通过对三亚 4.2 级、3.2 级地震记录的波形特征进行分析总结,记录的数据进行处理、反演,得出如下几点:

(1) 利用 sPL 震相与 P 震相到时差,计算三亚两个地震的震源深度在 11 km 左右。

(2) 用 CAP 反演得到三亚 4.2 和 3.2 级地震最佳震源深度分别为 9.5 km、10.9 km,两次地震的震源机制基本一致,均是正断层兼走滑型地震,说明两次地震的震中构造环境及应力场作用方式相同。

(3) 两次地震的震源新参数表明,震级越大,地震矩、矩震级、震源尺度越大。

(4) 三亚 4.2 级地震震中及周边大范围地区都有震感,可能是 SmS 震相发育和震源深度浅引起的。

(5) 由于收集的样本少,结论还得进一步跟踪,产出的结果仅供参考。

致谢: 感谢海南省地震局张慧高级工程师提供的区域构造背景图。

参考文献

[1] Paul Somerville, Joanne Yoshimura. The influence of critical Moho Reflections on strong ground motions recorded in San Francisco and Oakland during the 1989 Loma Prieta Earthquake[J]. Geophysical Research letters, 1990, 17(8): 1203-1206

[2] Jim Mori, Don Helmberger. Large-amplitude Moho reflections (SmS) from Landers aftershocks, Southern California[J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 1996, 86(6): 1845-1852

[3] 崇加军, 倪四道, 曾祥方. sPL, 一个近距离确定震源深度的震相[J]. 地球物理学报, 2010, 53(11): 2620-2630.

[4] 周少辉, 蒋海昆, 曲均浩, 等. 应力降研究进展综述[J]. 中国地震, 2018, 34(04): 591-605.

[5] 刘瑞丰, 陈翔, 沈道康, 等. 宽频带数字地震记录震相分析[M]. 北京: 地震出版社, 2014: 60-70.

[6] 梁永烨, 王霞. 山西运城 Ms4.3、3.4 两次地震波形特征和震源新参数对比分析[J]. 山西地震, 2018(01): 7-9+31.

[7] 李丽, 宋美琴, 刘素珍, 等. 山西地区震源机制一致性参数时空特征分析[J]. 地震, 2015, 35(02): 43-50.

[8] 李艳永, 王成虎. 2017 年 8 月 9 日精河 Ms6.6 地震序列震源机制解及震源处应力场特征[J]. 地震工程学报, 2019, 41(05): 1280-1289.

[9] 宋晓燕, 郝美仙, 张晖, 等. 内蒙古数字化记录近震震相特征[J]. 地震地磁观测与研究, 2018, 39(01): 73-77.

[10] 段刚. 利用 sPL 震相测定福建顺昌地区地震震源深度[J]. 地震工程学报, 2019, 41(03): 745-749+787.

[11] 崇加军, 曾祥方, 倪四道. 近距离确定震源深度的震相 sPL[C]// 中国地震学会第十三次学术大会论文集. 中国地球物理学会 (Chinese Geophysical Society)、中国地震学会: 中国地震学会, 2010: 345.