

徐晓枫, 王惠琳, 胡久常, 等. 铺前-清澜断裂带附近地震的重定位及其构造意义的初步分析[J]. 华南地震, 2017, 37 (2): 10-16. [XU Xiaofeng, WANG Huilin, HU Jiuchang, et al. Relocation of Earthquakes near the Puqian-Qinglan Fault and Preliminary Analysis of Tectonic Significance[J]. South china journal of seismology, 2017, 37(2): 10-16.]

铺前-清澜断裂带附近地震的重定位 及其构造意义的初步分析

徐晓枫, 王惠琳, 胡久常, 孙佩雯
(海南省地震局, 海口 570203)

摘要: 铺前-清澜断裂是海南岛最活跃的发震构造之一, 该断裂构成了 1605 年 $7\frac{1}{2}$ 级地震的发震构造。海南省数字化地震台网运行至今, 记录到该断裂附近小震活动较为活跃, 小震分布呈南北向排列并且与断裂带南部对应的不一致。基于海南省数字化地震台网 2000 年 1 月至 2014 年 12 月数据, 使用双差定位方法对该断裂带附近的 128 个地震进行重新定位, 最终得到 118 个地震的震源时空参数。对新的定位结果进行数据拟合, 得出地震分布走向是 $NW2^\circ$ 。地震分布走向和铺前-清澜断裂在南端对应仍不是很好, 可能是由于铺前-清澜断裂北段活动时代为全新世, 而南段的活动时代为早中更新世, 南段活动性已经向西部空间迁移, 推断和地下岩浆囊的变化有关。

关键词: 双差精定位; 铺前-清澜断裂带; 地震构造; 地震活动; 震源深度

中图分类号: P315.3

文献标志码: A

文章编号: 1001-8662 (2017) 02-0010-07

DOI: 10.13512/j.hndz.2017.02.002

Relocation of Earthquakes near the Puqian-Qinglan Fault and Preliminary Analysis of Tectonic Significance

XU Xiaofeng, WANG Huilin, HU Jiuchang, SUN Peiwen
(Hainan Earthquake Agency, Haikou 570203, China)

Abstract: Puqian-Qinglan fault is one of the most active seismotectonic faults of Hainan island. The fault constituted the seismotectonic fault of $M 7\frac{1}{2}$ earthquake in 1605. Small earthquakes near the Puqian-Qinglan fault are still more active, and earthquakes are basically arranged in north-south direction, which doesn't correspond completely consistent with the southern part of Puqian-Qinglan fault. Based on the data recorded by digital seismic network of Hainan province during January 2000 and December 2014, the paper relocated the

收稿日期: 2016-02-20

基金项目: 海南省地震局青年基金项目(201401)资助

作者简介: 徐晓枫 (1983-), 男, 硕士, 助理研究员。主要从事工程地震、地震活动性等研究。

E-mail: xxf1010@qq.com.

128 small earthquakes by using the double-difference earthquake location method, and got 118 new parameters of the earthquake source. and the results show that the trend of earthquake distribution is NW2. The corresponding is not particularly well between fitting fault and Puqian-Qinglan fault, which maybe due to the fact that the active age of the northern section of Puqian-Qinglan fault is Holocene, the active age of the southern section of Puqian-Qinglan fault is early middle Pleistocene, southern earthquake activity moving toward west, inferring that the change related to the magma capsule.

Keywords: Double difference location method; Puqian-Qinglan fault; Seismic structure; Seismic activity; Focal depth

0 引言

铺前-清澜断裂带位于海南岛东北部地区,北起东寨港,南至清澜,长约 60 km,构成琼北地区第四纪玄武岩东侧边界。该断裂具有较长的发展历史,至少在中生代已存在,控制了新生代地震和火山活动的分布。新生代以来大规模基性岩浆喷溢活动基本上仅局限于该断裂带以西的地区。1605 年琼山 7 $\frac{1}{2}$ 级地震的烈度线分布形态显示,铺前-清澜断裂是该次大地震的发震构造之一^[1]。胡久常等^[2]对 1605 年琼山 7 $\frac{1}{2}$ 级大震震中区及邻近地区进行了大地电磁探测研究,发现震中区地壳深部存在一低阻体,推测为正在上升的地幔柱,认为地幔柱的存在及其热物质的上涌,是造成铺前-清澜断裂带产生 7 $\frac{1}{2}$ 级大地震的重要原因。姜文亮等^[3]利用遥感影像发现铺前、清澜港方向存在一条清晰的线性影像特征,总体走向近 NW,长约 60 km,北部延伸至琼州海峡。

海南省数字化地震台网从 2000 年开始运行,该断裂附近小震活动较为活跃,且小震分布基本上呈南北向排列,显示出该断裂地区仍处于地震活动状态,但令人疑惑的是小震分布并没有和断裂走向对应的完全一致,在断裂带南部区域出现较大偏差。本文研究区域(19.3°~20.2°N,110.4°~111.0°E)位于海南岛的东北部,即铺前-清澜断裂带附近。为了研究地震分布特征,首先采用双差定位法对海南省地震台网自有数字地震资料以来(2000~2014 年)研究区域记录地震进行重新定位,其次用精定位的结果给出地震分布走向,并与真实断裂走向进行比较分析,初步判断其成因,探索小震分布和断裂带的对应关系。许多国内学者利用双差精定位技术做了很多工作,杨智娴等^[4]对

我国中西部地区 8 年间的 10 057 次地震进行了双差精定位研究,得到新的 6 496 个精确地震震源参数。宋美琴等^[5]采用绝对定位方法和双差相对地震定位方法对山西及其周边地区中小地震进行了双差精定位研究。

1 数据资料

本文对 2000~2014 年共计 128 个地震进行重新定位研究。中国地震局地球物理勘探中心郑州基础工程勘察研究院对海南岛东北地区进行了高质量的地壳波速勘探^[6],结果经整理之后见表 1。P 波和 S 波波速比为 1.73, Moho 界面平均深度约为 25 km。断裂构造及台站分布见图 1。

表 1 地壳 P 波波速分层模型表

Table1 Crustal P wave velocity model table

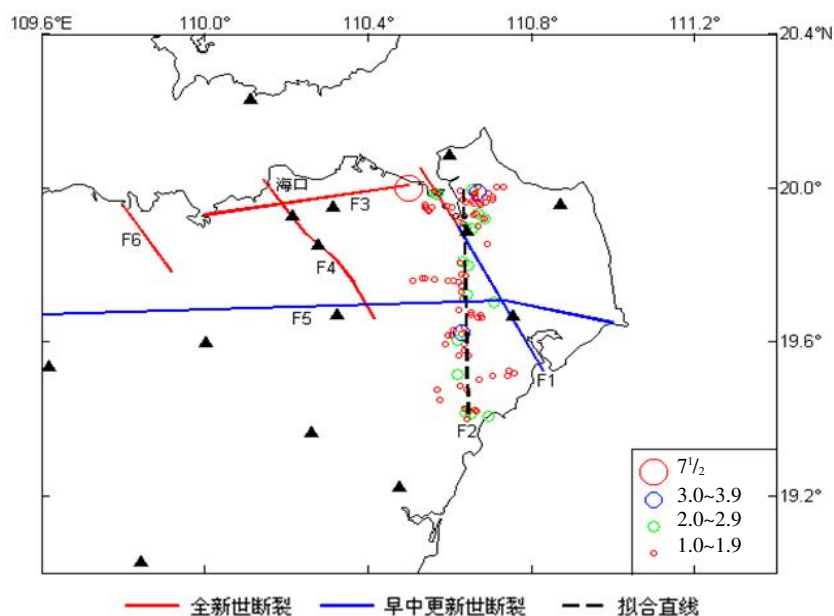
下界面深度/km	P 波波速/(km·s ⁻¹)
2	4.0
4	5.8
6	6.0
8	6.1
10	6.2
15	6.3
20	6.4
25	6.5
33	8.0

2 震源重新定位

本研究采用目前较为流行的双重残差定位法进行重新定位。该方法是由 Waldhauser 和 Ellsworth^[6-7]提出的。由于这种方法能够有效地提高震中定位的精度,因而被国内外广泛使用。

① 中国地震局地球物理勘探中心. 海口市活断层探测与地震危险性评价高分辨地震折射和宽角折射探测, 2006.

② 中国地震局地球物理勘探中心. 海南 84 工程深地震测深资料处理解释报告, 2005.



F1: 铺前-清澜断裂; F2: 拟合直线; F3: 马袅-铺前断裂; F4: 长流-仙沟断裂; F5: 王五-文教断裂; F6: 马袅-福山断裂。

图 1 拟合直线(F2)和铺前-清澜断裂(F1)的对比(黑色三角为台站)

Fig.1 The contrast between the fitting line and Qinglan-Puqian fracture (The black triangle is station)

图 2、图 3 和图 4 分别给出了初始的震源位置和重定位后的震源位置。由图 3 和图 4 可知, 重定位前海南地区的震源深度多分布在 10 km 上下, 但经重新定位后, 震源深度分布发生了很大变化, 绝大部分由地表到 18 km 左右分布, 并可以明显

看出地震震源沿着一条带状分布。通过比较初始震源参数与重新定位后的震源位置可知, 尽管在深度方向上做了较大的调整, 但在水平方向上的变化不大(图 2), 说明由海南省台网确定的经度、纬度具有很大的实用性和参考价值。

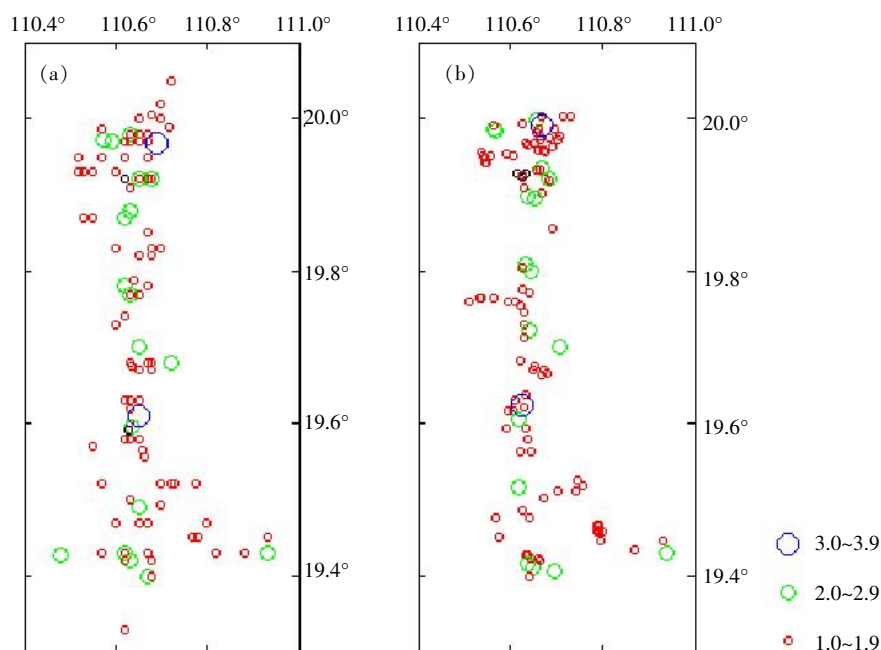


图 2 重定位前(a)、重定位后(b)地表震中分布

Fig.2 Focal depth distribution before (a) and after (b) relocation (Longitude direction)

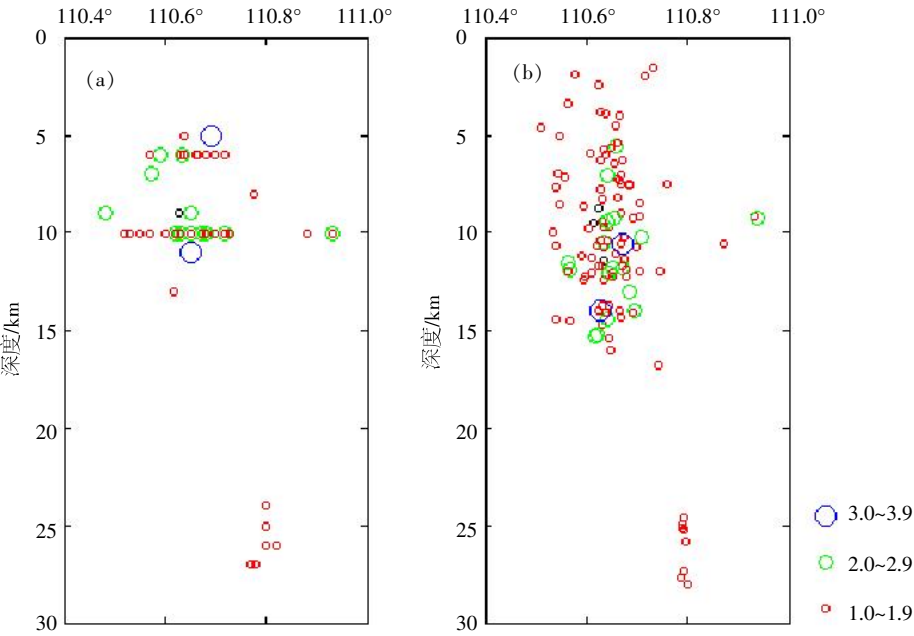


图 3 重定位前(a)、重定位后(b)震源深度分布(经度方向)

Fig.3 Focal depth distribution before (a) and after (b) relocation (Longitude direction)

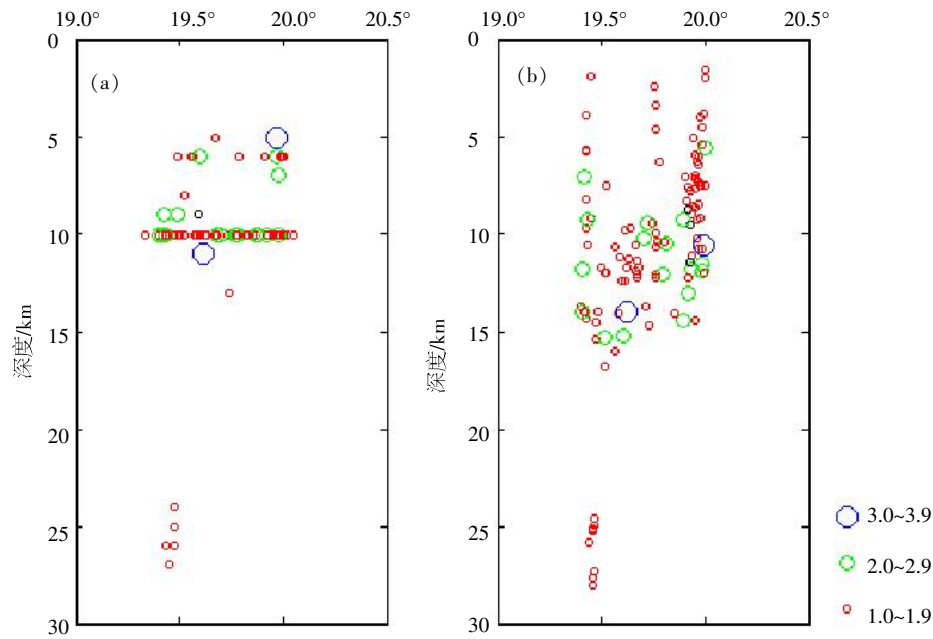


图 4 重定位前(a)、重定位后(b)震源深度分布(纬度方向)

Fig.4 Focal depth distribution before (a) and after (b) relocation (Latitude direction)

在程序运行参数设置时，多个参数控制着事件对的建立。其中给定事件对和台站之间的最大距离为 600 km，给定事件对之间的最大距离为 10 km，每一个事件的邻居的数目不能超过 128 个，定义一个邻居所需要的最小震相对的数目为 4，事件对使用的最小震相对的数目为 4，事件对使用的最大震相对的数目为 35。由于部分地震构建不了成对的地震事件，故从 128 个地震中得出 118 个具有精确定

位结果的震源参数，占原始数据比例的 92%。精定位结果分为三组地震丛，第一组 106 个地震，震源位置测定误差(2 倍标准偏差)在 EW 方向为 0.004 km，在 NS 方向为 0.004 km，在竖直方向为 0.005 km，平均均方根残差为 0.008 s，统计图见图 5；第二组 9 个地震，震源位置测定误差(2 倍标准偏差)在 EW 方向为 0.16 km，在 NS 方向为 0.15 km，在竖直方向为 0.20 km，均方根残差 9 个数的范围是

0.062~0.077 s, 平均值为 0.07 s。第三组 3 个地震, 震源位置测定误差(2 倍标准偏差)在 EW 方向为 5.00 km, 在 NS 方向为 4.05 km, 在竖直方向为 6.96 km, 均方根残差 3 个数的范围是 0.398~0.434 s,

平均值为 0.41 s。可见第一组地震丛误差最小, 第二组次之, 第三组误差最大。三组精度不同是由于地震密集程度和数量决定的, 地震越密集数量大, 定位结果越精确, 所以第三组地震精度低。

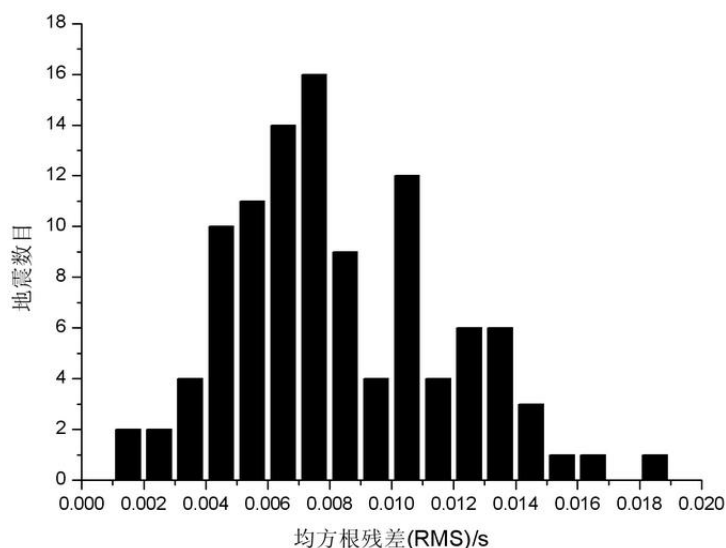


图5 第一组地震丛均方根残差统计图

Fig.5 RMS residual statistical of the first earthquake group

3 数据拟合与对比

3.1 重定位后震群选取

从图 6 中可发现有 12 个小震偏离了主要震群, 其中包括第二组地震丛的 9 个地震和第三组地震丛的 3 个地震, 第二组地震位于东经 110.8°的 9 个地震, 第三组是图中最东边的三个地震。为了更好的得到数据拟合结果, 只选取第一组地震丛地震, 以便对主要震群进行线性拟合更加合理。图 6 中线框内是第一组地震丛地震, 对这 106 个地震进行拟合分析。

3.2 数据拟合

假设这些小震是由断裂带的破裂引起, 那么对这些小震震中进行拟合便可以近似得到断裂带的位置, 本研究也是基于这种假设进行的。拟合出的直线并不是真正实际存在的断裂带, 这还需要实地考察才可确认。在给出的拟合线上去找断裂也许会提供一些帮助, 节省一些时间。

本文对求取断裂的走向编写了程序, 如已知断裂带上的两点坐标, 便可求得断裂带两个方向的走向。通过计算并综合断裂特征, 本文给出的拟合直线走向是 NW2°。

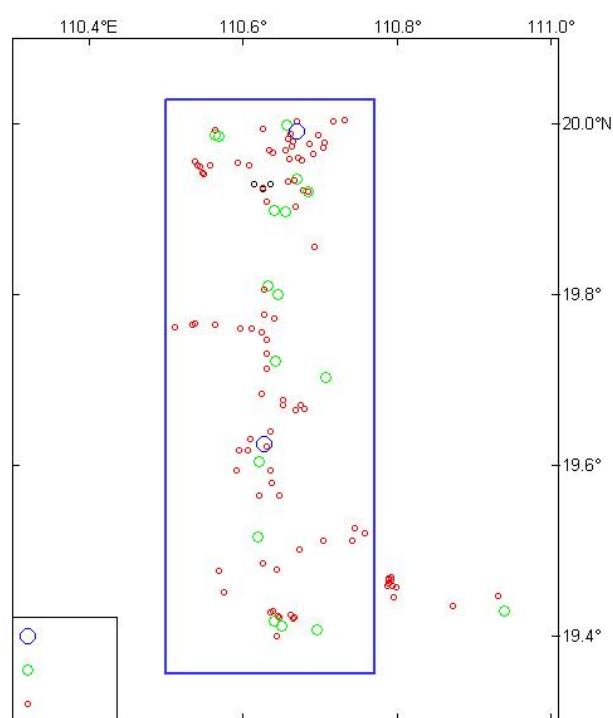


图6 精定位后地震选取

Fig.6 Epicenter selection after the earthquake relocating

3.3 断层对比、讨论

图 7 中标示出了 1605 年琼山 7½ 级大震位置。铺前-清澜断裂(F1)南段和王五-文教断裂(F5)的

活动时代是早中更新世, 铺前-清澜断裂(F1)北段、马袅-铺前断裂(F3)、长流-仙沟断裂(F4)、马袅-福山断裂(F6)的活动时代是全新世。从图中可见拟合出来的直线(F2)和铺前-清澜断裂(F1)对应不是很好, 南端的偏差比较大, 其形成原因可能是铺前-清澜断裂(F1)北段的活动时代为全新世, 而南段的断裂活动时代却是早中更新世年代, 南段的活动性现今已经减弱, 小震位置也已经发生了空间迁移, 这可能与地下岩浆囊有关。多位学者对此区域进行过多项研究, 如胡久常等^[2,8]对琼北地下深部进行了大地电磁探测, 发现琼山 7½ 级地震区深部约 15 km 以下, 有一低阻体, 推测其为正在上升的岩浆热源, 即岩浆囊。由于该岩浆囊缓慢上涌, 造成马袅-铺前断裂(F3)和铺前-清澜断裂(F1)强烈活动, 产生了 1605 年的琼山大地震, 其给出的岩浆囊位置位于铺前-清澜断裂(F1)和长流-仙沟断裂(F4)之间。李志雄等^[9-10]利用 1605 年琼山地震区已有的浅部、物探和钻井资料, 采用空间域三维重力正反演计算, 得到莫霍界面深度及起伏形态, 推断琼山 7½ 级地震的地壳深部构造是以上地幔物质上涌形成的垂直差异运动为主, 控制着该地震区的地面运动, 并确定了海南岛及邻区地壳三维 P 波速度结构, 结果表明海南岛的波速结构与地质构造有一定的相关性, 琼东北的铺前-清澜断裂在深至 5 km 左右的深度范围呈现出明显的低波速异常, 从浅部向下延伸经过琼州海峡下方, 并穿过莫霍面达到地幔深度。刘辉等^[11]应用有限元方法模拟计算, 认为琼山大地震中区所处的琼东北地区可能存在岩墙侵入或张性断裂膨胀, 说明铺前-清澜断裂(F1)周边地震活动与深部岩浆活动有关, 预示该地区可能成为未来火山喷发活动的中心。由此我们推断, 铺前-清澜断裂(F1)南段的地震活动已经向西部地区空间迁移, 这可能与地下岩浆囊的变化有关, 是否已经形成了一条新的活动断裂, 未来还有待进行更具体、细致的工作进行考证。

4 结论

(1) 采用双差定位方法对铺前-清澜断裂附近(2000—2014 年) 128 个地震进行了重新定位, 最终得到 118 个新的地震震源参数, 占原始数据比例的 92%。重定位后地震变得更加密集, 提高了震源精确度。

(2) 重定位后对主要震群进行了选取, 去掉

偏离主震群的小震, 以便更好的获得数据拟合结果, 给出地震分布走向。对求取断裂的走向编写了程序, 如已知断裂带上的两点坐标, 便可求得断裂带两个方向的走向。通过计算并综合断裂特征, 本文给出的拟合直线走向是 NW2°。

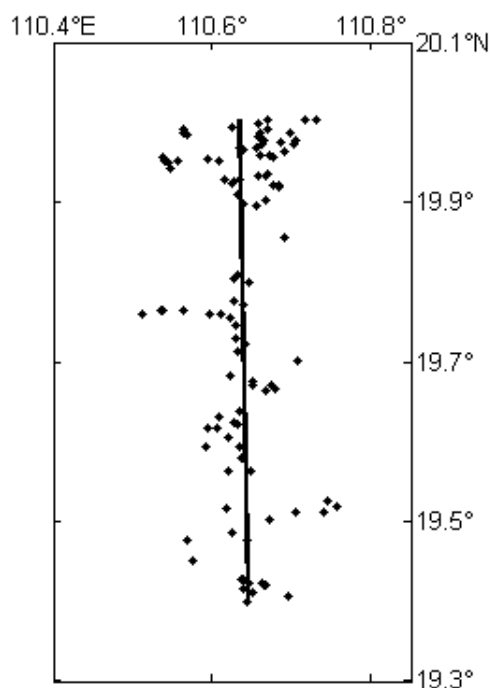


图7 震中数据拟合

Fig.7 Epicenter data fitting

(3) 假设研究的这些小震是由于断裂破裂引起, 对小震位置的拟合也许会得到接近断裂的位置。但拟合出来的直线走向和铺前-清澜断裂(F1)在南端对应不是很好, 可能是由于 F1 断裂北段活动时代为全新世, 而南段的活动时代为早中更新世, 南段的地震活动已经向西部空间迁移, 推断和地下岩浆囊的变化有关, 是否已产生新的活动断裂带, 未来还需要更多考证。铺前-清澜断裂北段在 1605 年发生过 7½ 级大震, 其周边的断裂分布固然很重要, 如果未来大震再次发生, 余震分布是否会按照拟合出的直线进行破裂值得思考。

参考文献:

- [1] 李 珏, 杨美娥, 刘行松, 等. 琼北地区活动性断裂的研究[C]/丁原章编. 海南岛北部地震研究文集. 北京: 地震出版社, 1988.
- [2] 胡久常, 白登海, 王薇华, 等. 琼州 7.5 级地震区深部电性异常及地震活动性研究[J]. 地震学报, 2007, 29

- (3): 258–264.
- [3] 姜文亮, 张景发, 龚丽霞, 等. 海南岛北部地区活动断裂的遥感解译研究[J]. 地震地质, 2007, 29 (4): 796–804.
- [4] 杨智娴, 陈运泰, 郑月军, 等. 双差地震定位法在我国中西部地区地震精确定位中的应用[J]. 中国科学(地球科学), 2003, 33 (S1): 129–134.
- [5] 宋美琴, 郑 勇, 葛 粲, 等. 山西地震带中小震精确定位及其显示的山西地震构造特征[J]. 地球物理学报, 2012, 55 (2): 513–525.
- [6] Waldhauser F, Ellsworth W L. A double –difference earthquake location algorithm : method and application to the Northern Hayward Fault. California [J]. BSSA, 2000, 90 (6): 1 353–1 368.
- [7] Waldhauser F, Ellsworth W L. Fault structure and mechanics of the Hayward Fault, California, from double –difference earthquake locations [J]. J Geophys Res, 2002, doi: 10.1029/2000JB000084.
- [8] 胡久常, 白登海, 王薇华, 等. 雷琼火山区地下深部大地电磁探测与电性结构分析[J]. 华南地震, 2007, 27 (1): 1–7.
- [9] 李志雄, 赵文俊, 刘光夏, 等. 1605 年琼山大地震深部构造和应力状态研究[J]. 华南地震, 2006, 26 (1): 28–36.
- [10] 李志雄, 雷建设, 赵大鹏, 等. 海南岛及邻区地壳三维 P 波速度结构[J]. 地震学报, 2008, 30 (5): 441–448.
- [11] 刘辉, 洪汉净, 冉洪流, 等. 琼北火山群形成的动力学机制及地震现象的新认识[J]. 地球物理学报, 2008, 51 (6): 1 804–1 809.