

占惠,梁全强,李光明,等.长乐—诏安断裂带闭锁程度和块体运动研究[J].地震工程学报,2018,40(增刊):40-44.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2018.Supp.040

ZHAN Hui, LIANG Quanqiang, LI Guangming, et al. Fault Locking and Block Movement of Changle—Zhaoan Fault[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2018, 40(Supp): 40-44. doi: 10.3969/j.issn.1000-0844.2018.Supp.040

长乐—诏安断裂带闭锁程度和块体运动研究

占 惠, 梁全强, 李光明, 林志彬, 林淑冰, 林鸿杰

(厦门地震勘测研究中心, 福建 厦门 361021)

摘要: 利用 2011—2016 年长乐—诏安断裂带周边 30 个 GPS 基准站水平速度场数据, 采用负位错模型, 反演长乐—诏安断裂带滑动速率和闭锁程度; 通过对比近年的地震分布, 验证反演结果的合理性。反演结果表明, 闽东南块体相对于闽东块体呈现左旋运动。长乐—诏安断裂带南段和北段同一深度的闭锁程度整体较中段高。长乐—诏安断裂带南段地表以下 5 km 闭锁程度较高(闭锁比例 0.99), 北段地表以下 10 km 闭锁程度较高, 在 25~30 km 处整条断裂均逐步由闭锁转变为完全蠕滑。上述反演结果与长乐—诏安断裂带周边的历史地震分布范围相符。

关键词: 长乐—诏安断裂带; GPS; 负位错反演; 断层闭锁

中图分类号: P553

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2018)增刊-0040-05

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2018.Supp.040

Fault Locking and Block Movement of Changle—Zhaoan Fault

ZHAN Hui, LIANG Quanqiang, LI Guangming, LIN Zhibin, LIN Shubing, LIN Hongjie

(Xiamen Seismic Survey Research Center, Xiamen 361021, Fujian, China)

Abstract: In this paper, we use the horizontal velocity field data from 30 GPS seismic monitoring stations around Changle—Zhaoan fault from 2011 to 2016 and a negative dislocation model to invert for the slip rate and fault locking of Changle—Zhaoan fault. In addition, the rationality of the result is tested by comparisons with the earthquake distribution in recent years. The inversion results show that the southeast Fujian block shows left-lateral movement relative to the east Fujian block. The locking fraction of the southern and northern segments of the Changle—Zhaoan fault is higher than that of the middle segment at the same depth. The southern segment is tightly locked from surface to a depth of 5 km (locking fraction is 0.99), and the northern segment is tightly locked from surface to a depth of 10 km, and the fault gradually turns from locking to creeping between 25 km and 30 km. The inversion results are consistent with the distribution of historical earthquakes around the fault.

Keywords: Changle—Zhaoan fault; GPS; inversion for negative dislocation; fault locking

收稿日期: 2017-08-20

基金项目: 福建省地震局青年科技基金(Y201501)

第一作者简介: 占 惠(1984—), 女, 硕士, 高级工程师, 主要从事 GPS 大地测量与地震预测研究。E-mail: hzhan07@126.com。

0 引言

根据弹性回跳理论研究地壳形变可以作为研究地震的一个重要手段,而研究两者之间的关系,不仅应该研究地壳表面的变形特征,更要研究地壳内部特别是断层内部的闭锁程度。McCaffrey^[1-2]给出了Defnode负位错反演程序,该程序假定块体内部点的运动为块体旋转与块体边界由于断层闭锁产生的滑动亏损而引起的地表弹性变形之和。该程序可以综合利用GPS数据、地质数据等结果,基于Okada^[3]模型,采用网格搜索和模拟退火方法求出块体旋转运动的欧拉极、块体边界断层的闭锁程度。

福建地处欧亚板块、菲律宾海板块与太平洋板块交汇处,是我国沿海地震活动相对活跃的地区。近年来随着各种监测手段的发展,研究者对福建地区的地壳形变做了大量的研究,却鲜有反演地壳形变的研究。福建地块上有3条NE向大断裂、5条NW向断裂,其中以NE向的长乐—诏安断裂带较为深大且历史上活动性比较高。

长乐—诏安断裂带长350 km以上,宽40~60 km,倾向多为SE,倾角55°~75°,走向NE20°~65°^[4]。2011年至今福建省有41个稳定运行的GPS基准站,其中长乐—诏安断裂带周边有30个GPS基准站观测数据。本文利用2011—2016年GPS水平速度场结果和Defnode负位错模型,研究近年长乐—诏安断裂带闭锁程度和块体运动。

1 Defnode反演方法

图1中,以 $M(L, W, d, \delta, \alpha, U_1, U_2, U_3, E, N)$ 表征断裂模型的参数,其中 L 为断裂长度, W 为断裂宽度, d 为断裂深度, δ 为断裂倾角, α 为断裂走向, U_1, U_2, U_3 为3个方向的位错量, E, N 为东、北位置, V 为地表形变,根据位错理论:

$$V = f(M) \quad (1)$$

地表观测到的位移(速度) V_{GPS} 由两部分组成:一部分是块体运动速度 V_{block} ,另一部分是 n 个断裂位错的同震亏损造成的地表形变 $\sum_{i=1}^n V^i$,即

$$V_{\text{GPS}} = V_{\text{block}} - \sum_{i=1}^n V^i \quad (2)$$

地表以下断层结构及节点位置如图2。为了约束块体旋转和断层闭锁程度,利用GPS两个方向的水平速度场数据^[5]进行反演:

$$V_i(X) = \sum_{b=1}^B H(X \in \Delta_b) [R\Omega_b \times X] \cdot \vec{i} - \sum_{k=1}^F \sum_{n=1}^{N_k} \sum_{j=1}^2 \phi_{nk} G_{ij}(X, X_{nk}) \times [R\Omega_f \times X_{nk}] \cdot \vec{j} \quad (3)$$

其中公式右端前半部分代表块体旋转,后半部分代表断层闭锁产生的影响。

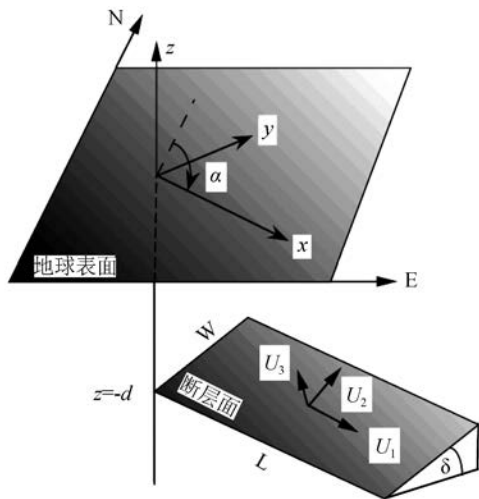


图1 断裂位错图

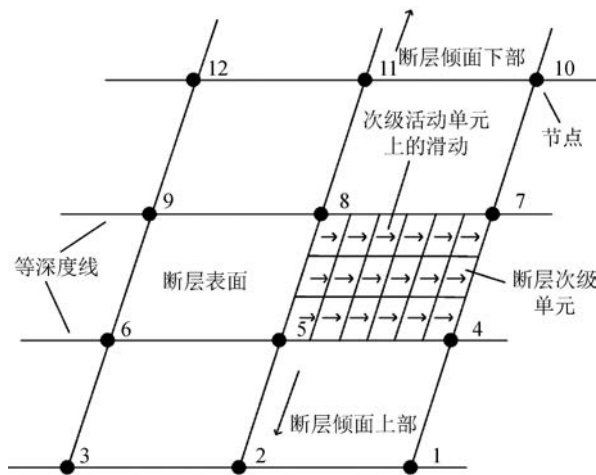


图2 断层节点

2 反演过程

块体划分的整体原则,是将活动断裂作为边缘,参考已有的地质、地球物理、大地测量资料等;块体划分需要合理、谨慎、完整。综合以上考虑,将福建块体划分如图3^[6]。

图4是近年福建地壳水平运动的大地测量结果。以长乐—诏安断裂带为界将福建沿海划分为两个地块——闽东南地块(上盘)和闽东地块(下盘)。在反演时,使用2011—2016年长乐—诏安断裂带周边30个GPS基准站水平速度场数据,其中闽东地

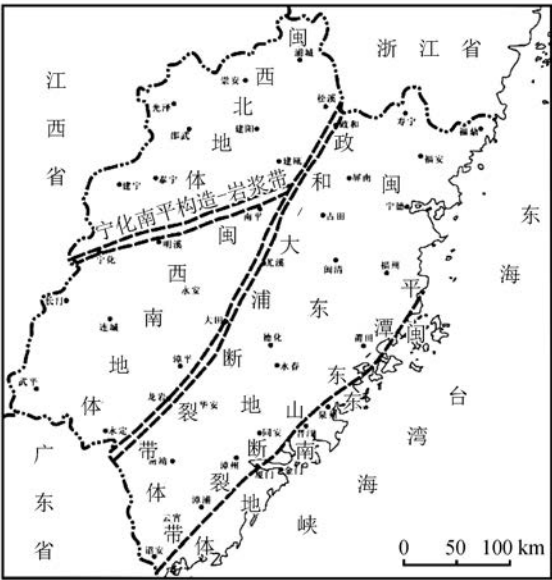


图 3 福建块体划分简图

块 18 个 GPS 站、闽东南地块 12 个 GPS 站。测站位置及块体划分如图 5。

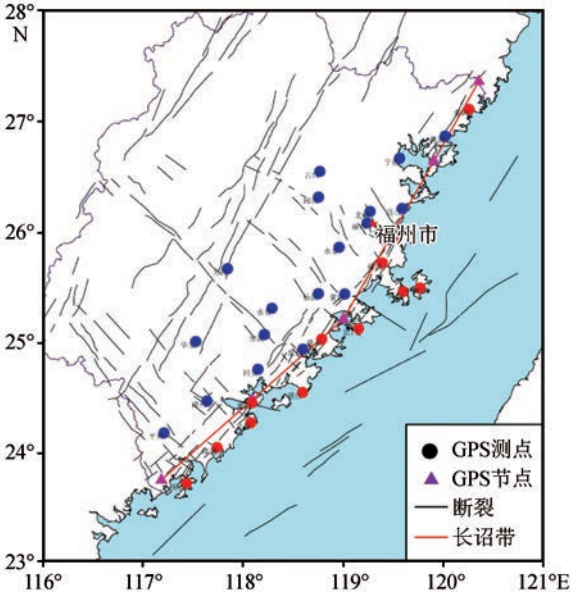


图 5 测站位置及断层面

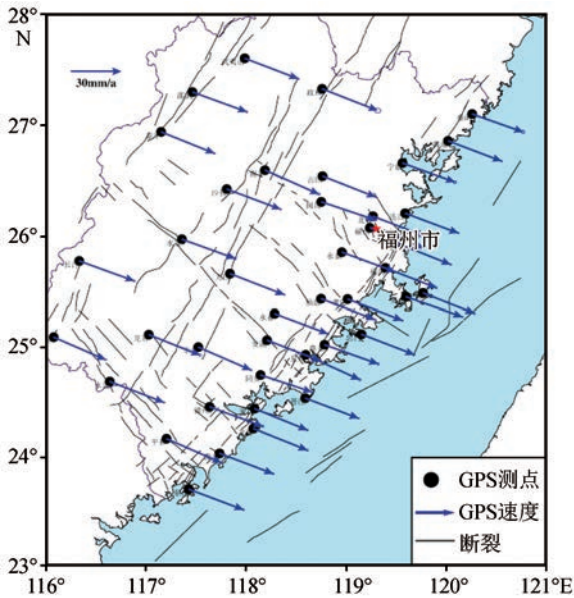


图 4 福建地壳水平运动速度场

反演过程中,沿长乐—诏安断裂带走向方向节点之间的距离为 60~80 km,每条等深线上有 6 个节点;节点深度方向从地表起依次为 0.1 km、5 km、10 km、20 km 及 30 km,断层倾角设为 65°,断裂总长度设为 350 km,断层面总宽度约为 70 km(30 km/cos65°)。对断层节点 ϕ 值所加约束如下: ϕ 值从地表沿垂直等深线向下单调递减(0.1 km 处的 ϕ 值为 1),在 30 km 处整条断裂的 ϕ 值均为 0(完全蠕滑),0.1~30 km 之间的 ϕ 值通过反演确定最优值。利用 Def-node 程序计算得到每个节点处断层闭锁程度,进而通过双线性插值方法计算相邻节点之间断层网格(沿走向方向长 15 km,深度方向宽 5 km)区域的闭锁程度(由于 GPS 点位较少,所以格网没有设置太多)。30 个 GPS 站上的水平速度分量如表 1 所列。

表 1 2011—2016 年各 GPS 站在 ITRF2008 坐标参考框架下的水平速率

点名	$V_E/(mm \cdot a^{-1})$	$V_N/(mm \cdot a^{-1})$	点名	$V_E/(mm \cdot a^{-1})$	$V_N/(mm \cdot a^{-1})$
FJQY	30.56	-10.83	FJMQ	32.67	-10.92
FJXP	32.06	-12.18	FJXY	32.45	-12.34
FJPT	30.82	-12.11	QUZH	32.50	-14.96
FJGS	33.73	-11.86	FJJJ	31.93	-12.13
FJLJ	31.87	-11.91	YONC	31.99	-12.04
FJND	31.45	-11.52	FJAX	32.13	-12.54
FJCL	31.54	-12.54	FJTA	30.84	-10.18
FJFQ	30.52	-11.92	XIAM	31.75	-12.90
FJBF	31.89	-12.24	FJLH	32.37	-12.99
FUZH	32.38	-12.21	FJDT	32.51	-12.62
FJZM	31.71	-12.20	FJZP	32.20	-12.25
PUTI	32.83	-12.60	FJZZ	31.86	-11.71
FJYT	32.01	-11.82	FJHU	31.66	-13.78
FJHA	32.18	-11.54	DOSH	32.75	-12.32
FJGT	31.94	-12.55	FJPH	32.79	-14.42

3 反演结果

通过试算,我们得到了最优模型。输入速度的残差分布可以反映模型拟合程度的好坏。图 6 给出了 GPS 速度残差分布。结果显示,参与反演的 30 个 GPS 基准站中只有 6 个站的速度残差值稍大,其他站的残差值基本处在误差范围内,表明模型拟合较好。

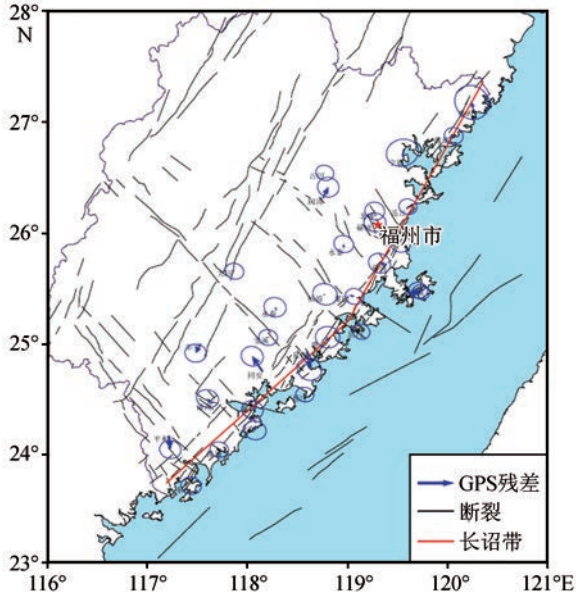


图 6 模型速度残差

通过前面的最优模型结果,我们得到了长乐—诏安断裂带的滑动速率和闭锁程度(图 7 和 8)。结果表明,长乐—诏安断裂带从北到南滑动速率逐渐减小,闽东南块体相对于闽东块体呈现左旋运动。

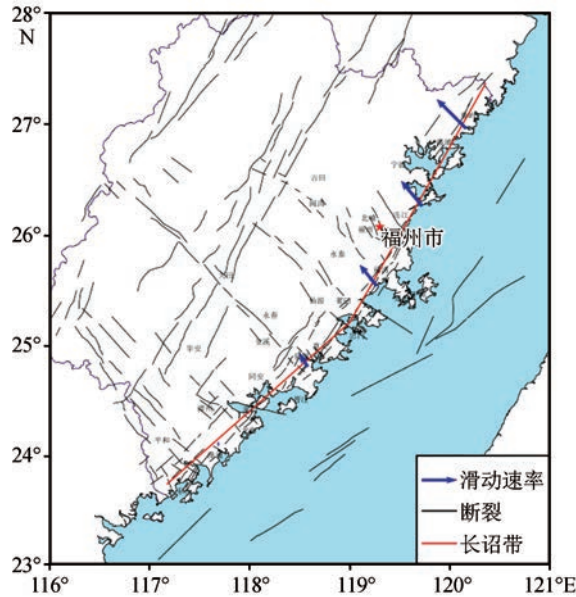


图 7 长乐—诏安断裂带滑动速率

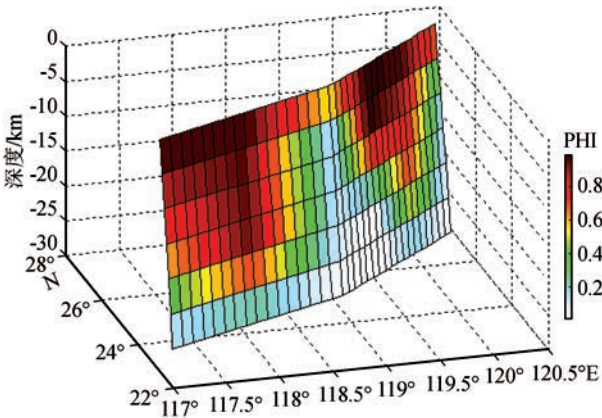


图 8 长乐—诏安断裂带闭锁程度

长乐—诏安断裂带南段和北段同一深度的闭锁程度整体较中段高。长乐—诏安断裂带南段地表以下 5 km 闭锁程度较高(闭锁比例 0.99),在 5~20 km 处闭锁比例约为 0.88,在 20~25 km 处约为 0.68。长乐—诏安断裂带北段地表以下 10 km 闭锁程度较高(闭锁比例 0.99),在 10~20 km 处闭锁比例约为 0.78,在 20~25 km 处约为 0.50,较南段同一深度的闭锁程度稍低。长乐—诏安断裂带中段地表以下 5 km 闭锁比例约为 0.60,在 5~20 km 处约为 0.15。在 25~30 km 处整条断裂均逐步由闭锁转变为完全蠕滑。

图 9 给出了 2011—2016 年福建 $M_L>3.0$ 地震分布。从图中可以看出 2011—2016 年福建 $M_L3.0$ 以上地震主要分布在长乐—诏安断裂带南段及滨海断裂带靠近长乐—诏安南段断裂带的地区、长乐—诏安北段断裂带靠近福清周边地区(图中绿色圈圈

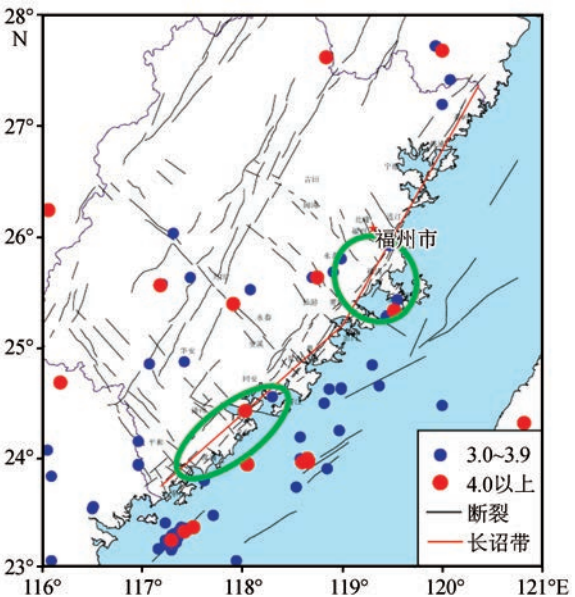


图 9 2011—2016 年福建 $M_L>3.0$ 地震分布图

所围区域),与长乐—诏安断裂带闭锁程度最大的地区具有一致性,证明了长乐—诏安断裂带周边的历史地震分布范围与反演得到的闭锁特征相符,本文的结果是合理的。

4 讨论与结论

长乐—诏安断裂带是福建沿海较为深大且历史上活动性比较高的断裂带。利用近年 GPS 基准站观测资料和 Defnode 负位错反演程序,反演得到长乐—诏安断裂带从北到南滑动速率逐渐减小,闽东南块体相对于闽东块体呈现左旋运动,长乐—诏安断裂带南段和北段同一深度的闭锁程度整体较中段高。长乐—诏安断裂带南段地表以下 5 km 闭锁程度较高(闭锁比例 0.99),在 5~20 km 处闭锁比例约为 0.88,在 20~25 km 处约为 0.68。长乐—诏安断裂带北段地表以下 10 km 闭锁程度较高(闭锁比例 0.99),在 10~20 km 处闭锁比例约为 0.78,在 20~25 km 处约为 0.50,较南段同一深度的闭锁程度稍低。长乐—诏安断裂带中段地表以下 5 km 闭锁比例约为 0.60,在 5~20 km 处约为 0.15。在 25~30 km 处整条断裂均逐步由闭锁转变为完全蠕滑。长乐—诏安断裂带周边的历史地震分布范围与

反演得到闭锁特征相符,本文结果合理。

由于使用的观测资料测站数量有限,反演得到的断层闭锁程度的空间分辨率不高。后续工作可以加进福建省“十二五”新建的 20 个 GPS 基准站观测数据及长乐—诏安跨断裂阵列的 GPS 观测资料做反演,以提高反演结果的空间分辨率和可信度。

参考文献

- [1] MCCAFFREY R. Crustal Block Rotations and Plate Coupling [J]. *Geodynamics Series*, 2002, 30: 101-122.
- [2] MCCAFFREY R, QAMAR A I, KING R W, et al. Fault Locking, Block Rotation and Crustal Deformation in the Pacific Northwest [J]. *Geophys J Int*, 2007, 169(3): 1315-1340.
- [3] OKADA Y. Surface Deformation Due to Shear and Tensile Faults in a Half-space [J]. *Bull Seismol Soc Amer*, 1985, 75(4): 1135-1154.
- [4] 林锦华. 长乐—诏安断裂带活动特征与继承性活动 [J]. *华南地震*, 1999, 19(2): 57-61.
- [5] 赵静, 江在森, 武艳强, 等. 汶川地震前龙门山断裂带闭锁程度和滑动亏损分布研究 [J]. *地球物理学报*, 2012, 55(9): 2963-2972.
- [6] 张庆龙, 林奕源, 徐士银, 等. 福建省地体构造划分及构造演化 [J]. *资源调查与环境*, 2008, (3): 168-176.