

张勇, 许力生, 陈运泰. 2009. 2009 年 3 月 19 日汤加地震破裂过程快速反演. 地震学报, 31(2): 226-229  
Zhang Yong, Xu Lisheng, Chen Yun-tai. 2009. Quick inversion of the rupture process of the 2009 March 19 Tonga earthquake. *Acta Seismologica Sinica*, 31(2): 226-229.

## 2009 年 3 月 19 日汤加地震 破裂过程快速反演<sup>\*</sup>

张 勇<sup>1,2)</sup> 许力生<sup>1),\*</sup> 陈运泰<sup>1,2)</sup>

1) 中国北京 100081 中国地震局地球物理研究所

2) 中国北京 100871 北京大学地球与空间科学学院

**摘要** 2009 年 3 月 19 日汤加  $M_s 7.9$  地震发生后, 我们迅速利用地震破裂过程快速反演技术反演了全球地震台网(GSN)的宽频带波形资料, 获得了这次地震的破裂过程. 随后, 收集了更多的资料重新进行了反演, 反演结果的主要特征与快速反演结果基本一致. 这次地震的震级为  $M_w 7.8$ , 破裂持续时间约为 70 s, 断层面上主要有 3 个滑动量较大的区域.

**关键词** 地震破裂过程 快速反演 地震应急响应

文章编号: 0253-3782(2009)02-0226-04

中图分类号: P315.3

文献标识码: A

### Quick inversion of the rupture process of the 2009 March 19 Tonga earthquake

Zhang Yong<sup>1,2)</sup> Xu Lisheng<sup>1),\*</sup> Chen Yun-tai<sup>1,2)</sup>

1) *Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100081, China*

2) *School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China*

**Abstract:** We inverted the broadband seismic data of the Global Seismographic Network (GSN) and obtained the rupture process of the 2009 March 19 Tonga earthquake using the quick technique of the earthquake rupture process inversion soon after the earthquake occurred. Subsequently, more data were collected and the inversion was performed again. The main feature of the inverted result was in good agreement with that of the quick result. The moment magnitude is  $M_w 7.8$ , the rupture duration time is about 70 s, and there are 3 slip-concentrated patches on the fault plane.

**Key words:** earthquake rupture process; quick inversion; earthquake emergency response

据我国国家地震台网中心测定, 协调世界时 2009 年 3 月 19 日 18 点 17 分 37 秒(北京时间 2009 年 3 月 20 日 2 点 17 分 37 秒), 位于太平洋海域的汤加群岛发生了  $M_s 7.9$  地震,

\* 基金项目 中国地震局地震行业科研专项(200808068, 200708031)资助. 中国地震局地球物理研究所论著 09AC1009.

收稿日期 2009-03-26 收到初稿, 2009-03-29 决定采用修改稿.

† 通讯作者 e-mail: xuls@cea-igp.ac.cn

震中位置 $23.0^{\circ}\text{S}$ ,  $174.7^{\circ}\text{W}$ , 震源深度 10 km. 地震发生后, 作者运用近 10 年来发展的地震破裂过程快速反演方法(Chen, Xu, 2000; Xu *et al*, 2002; 张勇, 2008; 张勇等, 2008), 反演了这次地震的破裂过程.

反演中采用由 IRIS 数据中心下载的全球地震台网(GSN)远震宽频带垂直向 P 波波形数据, 运用反射率方法(Kennett, 1983)和经过展平变换的 IASPEI91 速度结构模型(Kennett, Engdahl, 1991)计算格林函数. 根据汤加地区的海底构造背景, 确定北西倾向的断层为发震断层.

1 快速测定结果

图 1a 是震后 6 小时内下载得到的 39 个地震台的位置分布图. 由图可见, 地震台站的方位覆盖情况较差, 几乎所有台站都位于震中西北方向, 在震中东南方向没有可利用的台站. 参考美国地质调查局(USGS)发布的震源机制测定结果, 我们采用的发震断层面参数

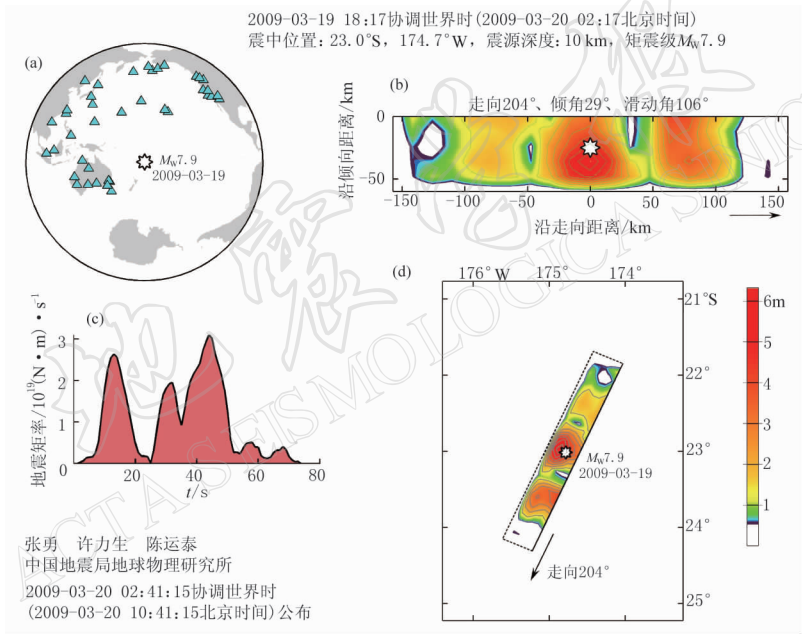


图 1 2009 年 3 月 19 日汤加地震破裂过程快速反演结果

(a) 震中和地震台位置分布; (b) 静态滑动量分布; (c) 震源时间函数; (d) 断层面和滑动量分布在地面的投影. 图(a)、(d)中八角星表示震中位置; 图(b)中八角星表示断层面上震源位置; 图(d)中的实线表示断层线, 即断层面与地面的交线, 虚线表示断层面的边界在地面的投影

Fig. 1 Fast inversion results of 2009 March 19 Tonga earthquake

(a) Distribution of locations of earthquake epicenter and seismic stations; (b) static slip distribution; (c) source time function; (d) projection of rectangular fault plane and static slip distribution on the ground surface. Aniseed stars denote the location of epicenter in (a) and (d), and the position of hypocenter on fault in (b). Full line in (d) is the fault trace, *i. e.*, the intersection of fault plane and ground surface. Dot lines in (d) are the projection of the edges of the rectangular fault plane on the ground surface

为: 走向  $204^{\circ}$ 、倾角  $29^{\circ}$ 、滑动角  $106^{\circ}$ . 由上述 39 个地震台资料反演得到的断层面的静态最终位移分布(图 1b)可见, 地震破裂主要发生在走向  $204^{\circ}$ 、倾向 NNW、长约 270 km、宽约 60 km 的断层面上. 断层面上最大滑动量约为 6.3 m, 有 3 个滑动量较大(滑动量

$\geq 1.0\text{ m}$ )的区域(图 1b 和图 1d 中黄-橙-红色的区域). 从震源时间函数(图 1c)看, 这次地震包括两个主要的子事件, 其峰值分别出现在震后 13 s 和震后 44 s; 地震破裂持续时间约 74 s, 但大部分地震矩在震后 52 s 内集中释放, 整个地震的地震矩  $M_0 = 7.8 \times 10^{20} \text{ N}\cdot\text{m}$ , 相当于矩震级  $M_w 7.9$ . 静态最终位移分布在地面的投影表明(图 1d), 图 1b 所示的 3 个滑动量较大的区域分别位于震中西南、震中所在处和震中东北, 表明这次地震是一次双侧破裂事件.

2 复测结果

随着时间的推移, 我们获取了更多的、分布更为广泛的全球范围内的地震资料, 经过仔细挑选, 最后得到了方位覆盖较好的 55 个地震台站的资料(图 2a), 以这些观测资料对这次地震的破裂过程重复进行反演. 在这次反演过程中, 我们根据哈佛大学的全球矩心矩张量 (GCMT) 解, 选取参数为走向  $206^\circ$ 、倾角  $46^\circ$ 、滑动角  $97^\circ$  的发震断层面. 并于地震后约

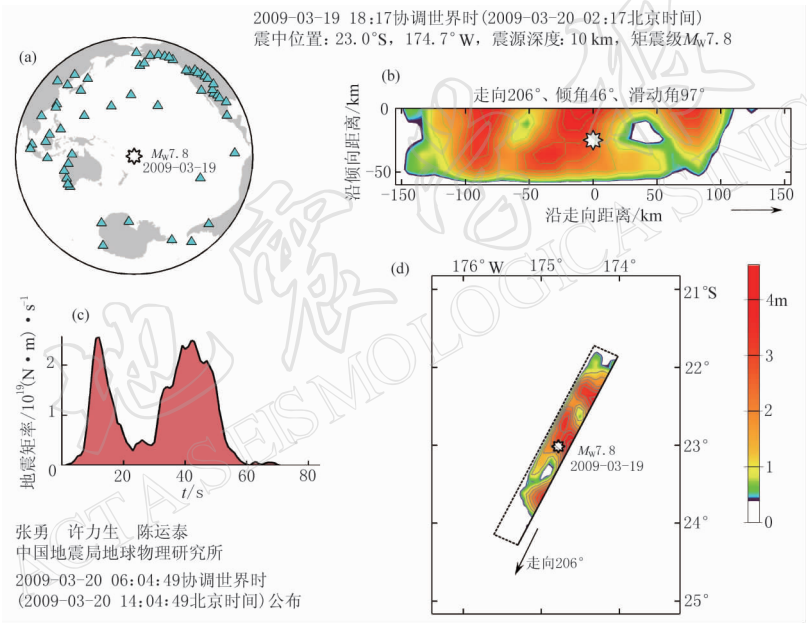


图 2 2009 年 3 月 19 日汤加地震破裂过程重复反演结果 (其它说明同图 1)

Fig. 2 Repeated inversion results of 2009 March 19 Tonga earthquake. Refer to Fig. 1

12 小时, 即 3 月 20 日下午 14 点(北京时间)左右完成此次反演. 由反演结果可以看出, 静态滑动量的分布与快速反演结果类似, 地震破裂面仍然由 3 个滑动量较大的区域组成, 但最大滑动量约为 4.6 m(图 2b). 所得的震源时间函数表明, 震源时间函数的形态总体上与快速测定结果相近, 但更为简单, 破裂过程包括两次子事件的特征仍然非常明显(图 2c), 其峰值分别出现在震后 12 s 和震后 43 s; 地震破裂持续时间约为 70 s, 但破裂过程主要发生于震后约 58 s. 释放的地震矩  $M_0 = 6.8 \times 10^{20} \text{ N}\cdot\text{m}$ , 相当于矩震级  $M_w 7.8$ , 与快速反演结果差别不大, 仅略小于快速反演结果. 从静态滑动量分布在地面的投影看(图 2d), 在震中东北方向和西南方向上都存在着一定大小的滑动量分布, 但在东北方向的滑动更占优势一些, 仍表明这次地震的破裂过程是以双侧破裂为主, 但东北方向的破裂传播略占优势.

### 3 讨论

对比两次反演可以看出, 尽管所采用的震源机制解和台站数、台站的方位覆盖上存在一定的差异, 但两次反演得到的结果仍然具有主要的相似特征, 说明本研究采用的方法(张勇等, 2008)在反演大地震破裂过程方面具有较好的稳定性。

综合两次反演结果, 我们对 2009 年 3 月 19 日汤加地震的震源性质可以得到如下几点基本认识: ① 矩震级约为  $M_w 7.8$ ; ② 地震破裂持续时间约为 70 s; ③ 整个地震的破裂由 3 个滑动量较大的区域组成, 分别位于震中西南、震中附近和震中东北; ④ 这次地震是一次双侧破裂事件, 但朝东北方向的破裂略占优势。

汤加地区是全球大地震和火山高发地区之一, 历史地震活动频繁, 自 1902 年以来共发生了约 20 次大地震和特大地震, 幸未造成重大灾情, 也没激发重大海啸。这次地震震级与我国去年发生的汶川大地震相当, 但由于震中位于近海的海沟, 未造成重大伤亡和财产损失。

### 参 考 文 献

- 张勇. 2008. 震源破裂过程反演方法研究[D]: 北京大学地球与空间科学学院: 1-158.
- 张勇, 冯万鹏, 许力生, 周成虎, 陈运泰. 2008. 2008 年汶川大地震的时空破裂过程[J]. 中国科学(D 辑), **38**(10): 1186-1194.
- Chen Y T, Xu L S. 2000. A time-domain inversion technique for the tempo-spatial distribution of slip on a finite fault plane with applications to recent large earthquakes in the Tibetan Plateau[J]. *Geophys J Int*, **143**: 407-416.
- Kennett B L N. 1983. *Seismic Wave Propagation in Stratified Media*[M]. Cambridge: Cambridge University Press: 1-339.
- Kennett B L N, Engdahl E R. 1991. Travel times for global earthquake location and phase identification[J]. *Geophys J Int*, **105**: 429-465.
- Xu L S, Chen Y T, Teng T L, Patau G. 2002. Temporal and spatial rupture process of the 1999 Chi-Chi earthquake from IRIS and GEOSCOPE long period waveform data using aftershocks as empirical Greens functions[J]. *Bull Seism Soc Amer*, **92**: 3210-3228.