

### 2025年1月7日西藏定日6.8级地震的快速产出参数

陈 鲲, 杨 婷, 王永哲, 郭祥云, 张 旭, 张 旭, 刘瑞丰

### Quick output parameters related to the 7 January 2025 $M_{6.8}$ earthquake in Dingri County, Xizang

Chen Kun, Yang Ting, Wang Yongzhe, Guo Xiangyun, Zhang Zhe, Zhang Xu, and Liu Ruifeng

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.19987/j.dzqxjz.2025-004>

### 您可能感兴趣的其他文章

#### Articles you may be interested in

#### 2023年12月18日甘肃积石山6.2级地震震源参数和破裂特征

Source parameters and rupture characteristics of the  $M_{6.2}$  Jishishan earthquake in Gansu Province on December 18, 2023  
地震科学进展. 2024, 54(1): 75–85

#### 2024年1月23日新疆阿克苏地区乌什7.1级地震的快速产出参数

Quick output parameters related to the 23 January 2024  $M_{7.1}$  Wushi earthquake in the Aksu region of Xinjiang  
地震科学进展. 2024, 54(3): 221–228

#### 2023年12月2日菲律宾棉兰老岛附近海域7.6级地震的快速产出参数

Quick output parameters related to the 2 December 2023  $M_{7.6}$  Mindanao, Philippines earthquake  
地震科学进展. 2024, 54(2): 168–174

#### 2024年4月3日台湾省花莲县海域7.3级地震的快速产出参数

Quick output parameters related to the 3 April 2024  $M_{7.3}$  earthquake in the sea area of Hualien County, Taiwan Province  
地震科学进展. 2024, 54(4): 286–291

#### 基于地震孕育过程追踪的地震预测方法

Earthquake prediction method based on seismogenic process tracking  
地震科学进展. 2025, 55(2): 63–76

#### 2021年6月17日承德 $M_L$ 3.6地震重新定位及震源机制解研究

Analysis on relocation and focal mechanism of the Chengde  $M_L$  3.6 earthquake on June 17, 2021  
地震科学进展. 2024, 54(6): 373–382



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

陈鲲, 杨婷, 王永哲, 等. 2025 年 1 月 7 日西藏定日 6.8 级地震的快速产出参数 [J]. 地震科学进展, 2025, 55(3): 164-171. doi:10.19987/j.dzqxjz.2025-004

Chen K, Yang T, Wang Y Z, et al. Quick output parameters related to the 7 January 2025  $M6.8$  earthquake in Dingri County, Xizang[J]. Progress in Earthquake Sciences, 2025, 55(3): 164-171. doi:10.19987/j.dzqxjz.2025-004

强震科技报告

## 2025 年 1 月 7 日西藏定日 6.8 级地震的快速产出参数

陈 鲲<sup>\*</sup> 杨 婷 王永哲 郭祥云 张 喆 张 旭 刘瑞丰

(中国地震局地球物理研究所, 北京 100081)

**摘要** 2025 年 1 月 7 日 9 时 5 分(北京时间)西藏定日发生 6.8 级地震。中国地震局地球物理研究所在震后启动快速地震应急响应, 组织相关领域研究人员对此次地震的震源参数、震源机制、破裂过程和地震辐射能量等进行了估计, 余震序列进行了重定位, 基于震源破裂过程进行了地震动强度图模拟、InSAR 同震形变场模拟。结果表明, 此次地震发生在申扎—定结断裂系的登么错断裂西侧, 以正断机制为主, 主要持续时间约 20 s, 并呈现非对称双侧破裂特征, 破裂主要朝北拓展, 极有可能破裂到了地表; 余震主要呈近南北向分布, 震源深度集中在 5~23 km; 极震区震动烈度可能达 IX 度以上, 可能的受灾范围超过 30000 km<sup>2</sup>; 此次地震引起了显著的地表同震位移, 最大水平向位移达到 0.29 m, 垂直向位移达到 -0.75 m。

**关键词** 震源参数; 破裂过程; 余震重定位; 地震动强度图预测; 地震辐射能量; 同震形变场

中图分类号: P315 文献标识码: A 文章编号: 2096-7780(2025)03-0164-08

doi: 10.19987/j.dzqxjz.2025-004

## Quick output parameters related to the 7 January 2025 $M6.8$ earthquake in Dingri County, Xizang

Chen Kun, Yang Ting, Wang Yongzhe, Guo Xiangyun, Zhang Zhe, Zhang Xu, Liu Ruifeng

(Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100081, China)

**Abstract** At 09:05 on January 7, 2025 (Beijing time), a magnitude 6.8 earthquake occurred in Dingri, Xizang Autonomous Region. The Institute of Geophysics, China Earthquake Administration launched a rapid earthquake emergency response after the earthquake, and organized researchers in relevant fields to estimate the source parameters, source mechanism, rupture process, and seismic radiation energy of the earthquake. The aftershock sequence was repositioned, and seismic intensity maps and InSAR coseismic deformation field simulations were conducted based on the source rupture process. The results indicate that the earthquake occurred on the west side of the Dengmocuo fault in the Shenzha-Dingjie fault system, with a main normal fault mechanism and a duration of about 20 seconds. It also exhibited asymmetric bilateral rupture characteristics, with the rupture mainly extending northward and most likely reaching the

收稿日期: 2025-01-15; 采用日期: 2025-02-10。

基金项目: 国家重点研发计划(2022YFC3003505)资助。

<sup>\*</sup> 通信作者: 陈鲲(1976-), 男, 研究员, 主要从事工程地震学研究。E-mail: chenkun-6620@163.com。



surface. Aftershocks are mainly distributed in a nearly north-south direction, with focal depths concentrated between 5~23 km. The seismic intensity in the extreme earthquake zone may reach seismic intensity IX or above, and the possible affected area may exceed 30000 km<sup>2</sup>. This earthquake caused significant surface coseismic displacement, with a maximum horizontal displacement of 0.29 m and a vertical displacement of -0.75 m.

**Keywords** source parameters; rupture process; earthquake relocation; Shakemap prediction; earthquake radiation energy; coseismic deformation

## 0 引言

中国地震台网正式测定,北京时间2025年1月7日9时5分在西藏日喀则市定日县发生6.8级地震,震中位置(28.50°N, 87.45°E),震源深度10 km。地震位于喜马拉雅地震构造区,该构造区主要由于印度板块向北碰撞、俯冲,而形成了区内大型边界活动构造带(图1)。北边的喜马拉雅活动构造带历史上强震活动频繁。震中东侧为申扎—定结断裂系的登么错断裂。地震辐射能量估计、反演震源机制解、震源破裂过程、持续的余震序列的精定位、快速地震动强度图预测以及InSAR同震变形场模拟对震源特征和震害的认识具有重要的意义。

2024年起,本刊配合中国地震局地球物理研究所的震后快速应急响应出版了积石山、棉兰老岛等多次地震的相关内容<sup>[1-4]</sup>。

## 1 震源破裂过程

采用的远震体波波形数据来自于IRIS数据中心

震中距在30°~90°范围内GSN台网和FDSN台网的宽频带地震仪。根据波形数据的信噪比水平和台站空间分布的均匀性,选取了其中29个台站的垂直向记录。并采用ak135全球一维速度模型<sup>[5]</sup>和正交归一化方法<sup>[6]</sup>来计算理论格林函数。此外,本文采用了Zhang等<sup>[7]</sup>发展的滑动角可变的时间域反演方法来反演震源破裂过程。该反演方法不需要预先给定子断层震源时间函数形状,而是通过共轭梯度法<sup>[8]</sup>迭代反演子断层震源时间函数,从而避免了先验假定给反演结果带来的影响,同时该反演方法允许子断层的滑动方向在给定的滑动角附近( $\pm 45^\circ$ )发生变化。

另外,为了稳定反演结果以使其具有可接受的物理意义,本文还引入了时间域和空间域光滑约束<sup>[7, 9]</sup>以及标量地震矩最小约束<sup>[7, 10-11]</sup>。时间域光滑约束用于抑制子断层震源时间函数相邻时刻的不连续性,空间域光滑约束用于消除相邻子断层间交错的不连续性,而标量地震矩最小约束则用于压制较弱的过低频滑动。

初步反演结果(图2)表明,此次地震以正断机制

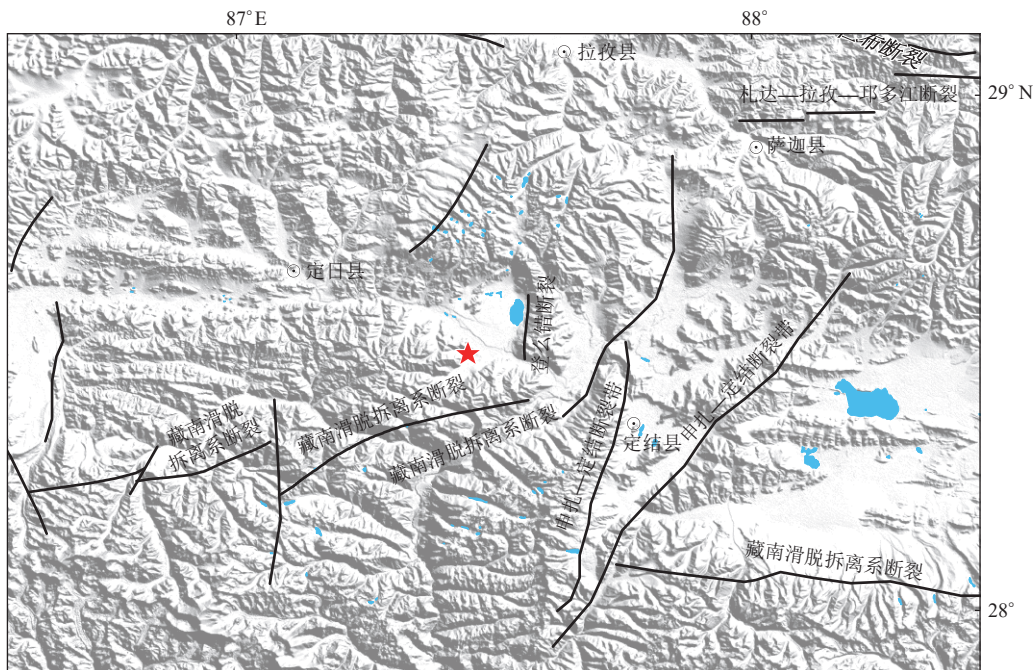
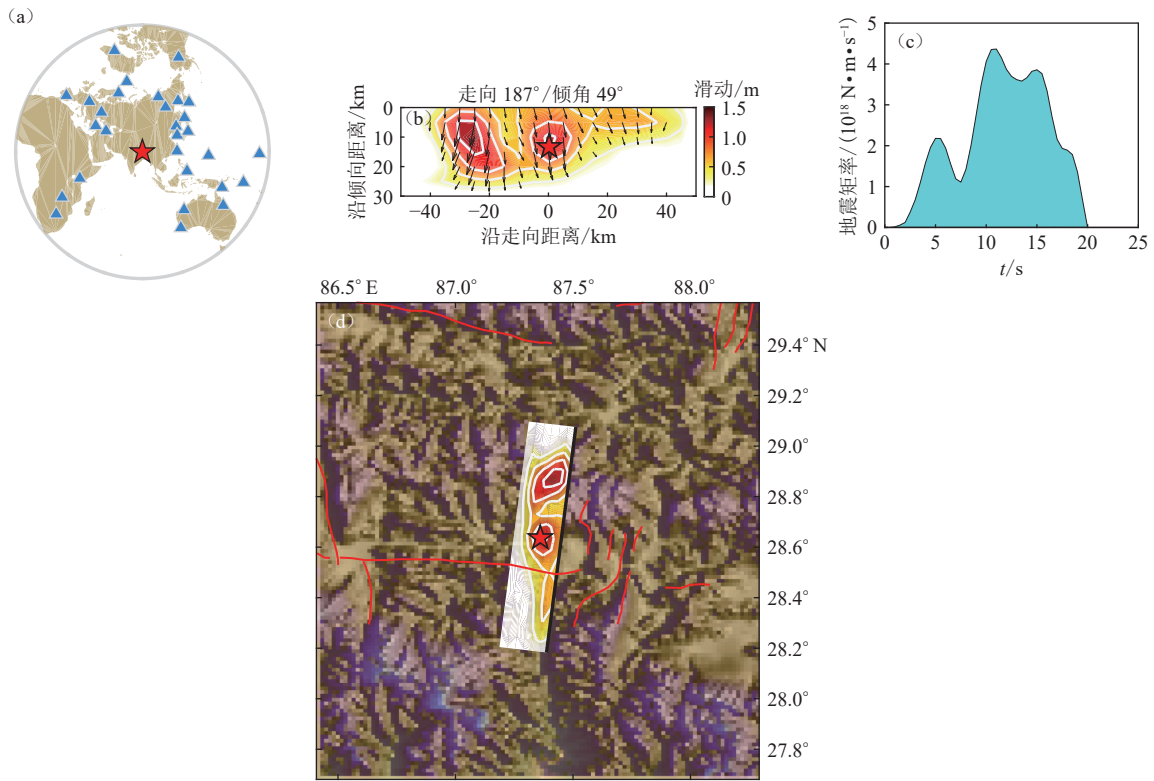


图1 定日地震震中附近的活断层分布

Fig. 1 Distribution of active faults near the epicenter of the Dingri earthquake



(a) 远震台站分布; (b) 同震滑动分布; (c) 震源时间函数; (d) 投影到地表的滑动分布

图2 破裂过程初步反演结果

Fig. 2 Preliminary rupture process inversion result

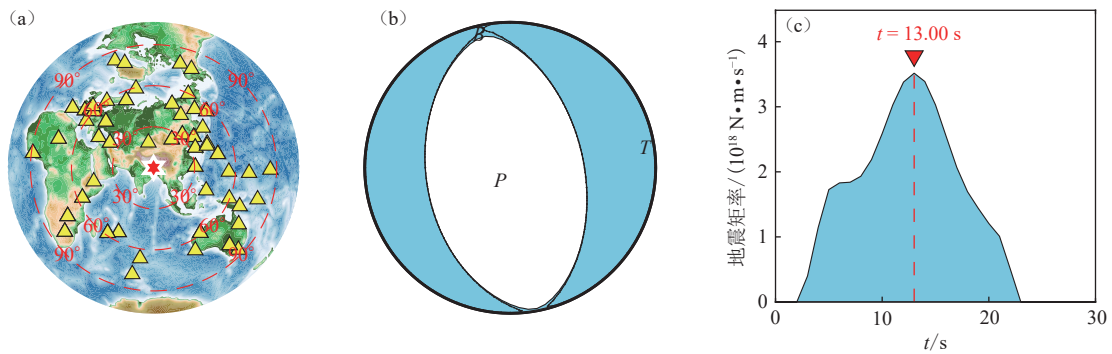
为主, 主要持续时间约 20 s, 并呈现非对称双侧破裂特征, 破裂主要朝北拓展。此外, 反演结果表明此次地震极有可能破裂到了地表。

### 2 震源参数

#### 2.1 矩心矩张量反演

选择矩心矩张量+同步源反演, 采用震中距在 18.80°~88.84°之间的 84 道宽频带多分量体波数据作

为观测资料, 滤波频带为 0.005~0.05 Hz。矩张量与震源时间函数的最优模型结果表明, 此次地震的标量地震矩为  $4.0469 \times 10^{19} \text{ N}\cdot\text{m}$ 、矩震级为  $M_w 7.0$ , 矩率函数的峰值时刻为 13.0 s, 矩心坐标为 (28.49°N, 87.47°E), 矩心深度 10.0 km。断层面解为节面 I: 走向 346°、倾角 49°、滑动角 -95°; 节面 II: 走向 174°、倾角 42°、滑动角 -85°。双力偶成分占比 98%, 观测数据与合成数据整体相关度为 0.94(图 3 和图 4)。



(a) 三角形表示台站, 六角星表示震中; (b) 沙滩球包括矩张量解、主轴与最佳双力偶解; (c) 源函数

图3 矩心矩张量解

Fig. 3 Moment tensor solution

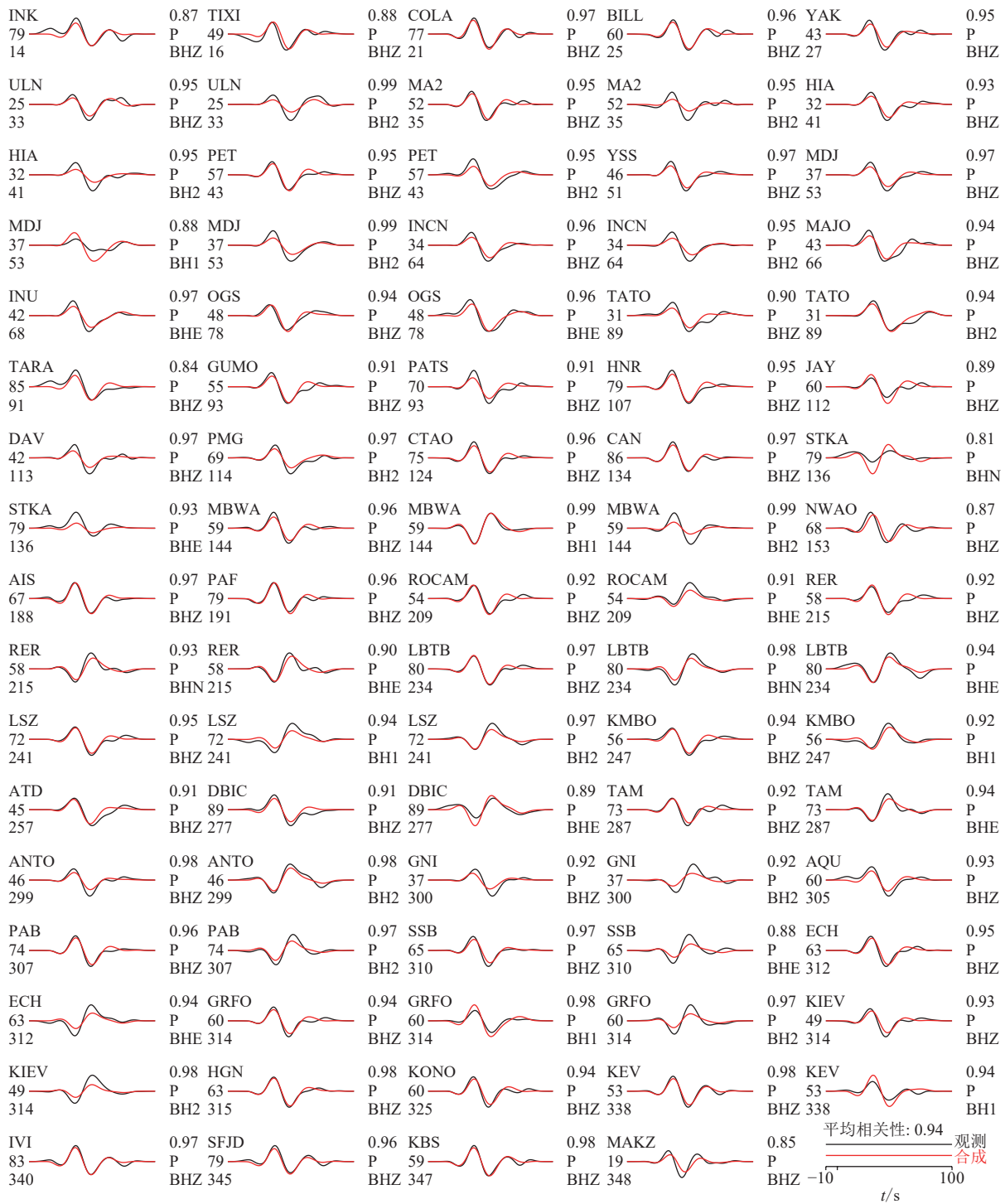


图 4 每一道记录观测数据与合成数据对比

Fig. 4 Comparison between observed data and synthesized data for each record

### 2.2 贝叶斯自助优化算法反演

选取震中距 350~500 km 范围内的固定台站宽频带地震记录的高信噪比波形, 采用贝叶斯自助优化 BABO (Bayesian Bootstrap Optimisation) 算法<sup>[12]</sup>反演了西藏定日 M6.8 地震的矩心矩张量解, 在实际反演过程中, 理论波形计算时采用的格林函数是依据

西藏定日地区 Crust 2.0 的一维速度模型从格林函数库中直接调用的, 波形数据的处理则采用由  $f_1/factor$ 、 $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_2 \times factor$  定义的余弦侧窗进行非因果带通滤波,  $f_1 \sim f_2$  为频率带通的平坦部分。采用频率为 0.01~0.08 Hz 的带通滤波,  $factor=1.5$ , 通过贝叶斯概率引导获取了最优震源参数, 如表 1 和图 5。

表1 定日地震震源参数  
Table 1 Source parameters of the Dingri earthquake

节面 I			节面 II			矩震级 ( $M_w$ )	矩心深度/km
走向/ $^{\circ}$	倾角/ $^{\circ}$	滑动角/ $^{\circ}$	走向/ $^{\circ}$	倾角/ $^{\circ}$	滑动角/ $^{\circ}$		
331	59	-110	186	36	-60	7.1	15.9

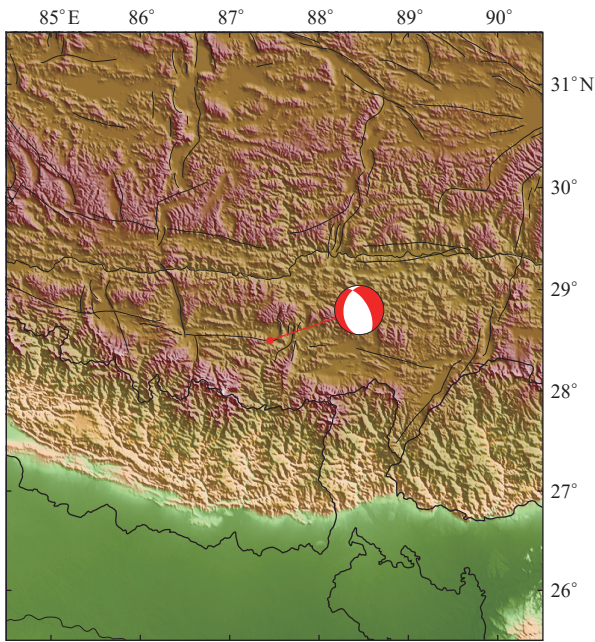
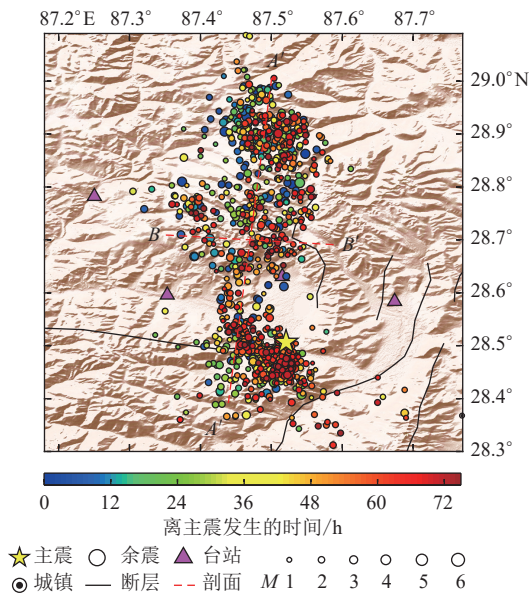


图5 西藏定日6.8级地震震源机制  
Fig. 5 Focal mechanism of Dingri M6.8 earthquake

### 3 余震序列精定位

截止 2025 年 1 月 10 日 12 时 00 分 (北京时间),



采用地震序列精定位自动处理系统<sup>[13]</sup>, 得到了 978 次余震的位置(图 6)。重定位结果表明, 余震主要呈近南北向分布, 震源深度集中在 5~23 km。

### 4 地震动强度预测图

利用快速生成考虑场地效应的震动图方法<sup>[14]</sup>, 考虑震中的局部地质构造环境、震源机制解和震源的破裂过程, 计算了研究区范围内均匀网格点 (30"×30") 上的基岩峰值加速度值; 进一步考虑地震动参数的局部场地效应, 将基岩峰值加速度值转换到地表土层上, 获得了地表土层上的峰值加速度估计值, 最后利用反距离权重法进行空间插值, 获得峰值加速度在地表上的空间分布(图 7)。

在计算过程中考虑了地震动的局部场地效应, 其宏观场地分类的  $V_{S30}$  数据是利用中国实测钻孔数据约束并结合地形坡度的协同克里金模型方法获得的<sup>[15]</sup>。基岩地震动参数转换至地表土层, 使用了由近地表剪切波速  $V_{S30}$  量化的依赖于地震动幅值和频率的场地放大系数<sup>[16]</sup>。强震观测数据来自于地震台网中心, 震源破裂过程参考了图 2 的结果。地震动衰减关系选用的是第四代区划图中中国西部长短轴峰值

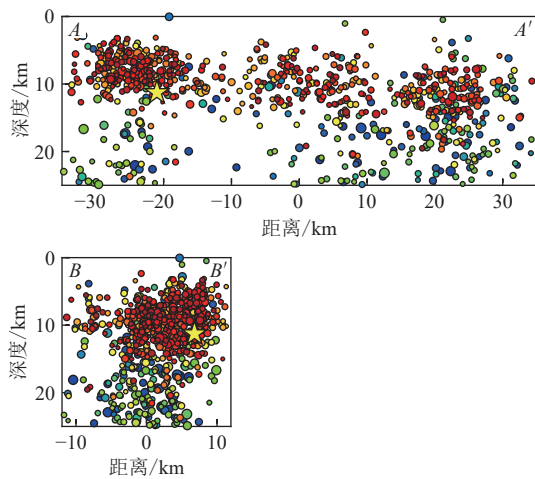


图6 西藏定日6.8级地震余震分布图

Fig. 6 Aftershock distribution map of the Xizang Dingri M6.8 earthquake

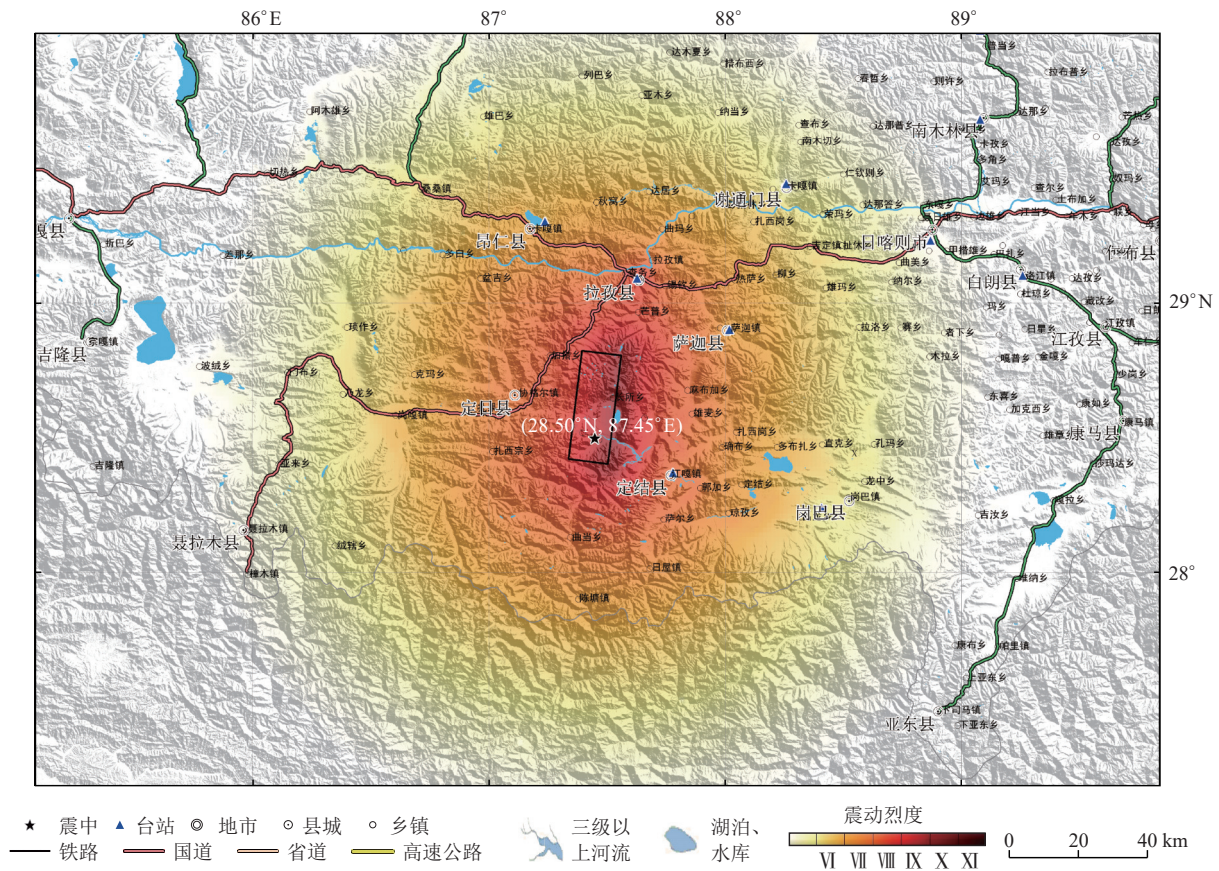


图 7 地震动强度预测图

Fig. 7 Prediction of the ground motion intensity

加速度衰减关系的几何平均值<sup>[17]</sup>。

根据对这次地震预测的震动图分布特征, 预计极震区震动烈度可能达IX度以上, 可能的受灾范围超过了 30000 km<sup>2</sup>。

### 5 地震辐射能量估计

利用全球台网提供的宽频带记录, 基于震源谱拟合和能流密度法<sup>[18]</sup>开展了此次地震的震源参数测定工作(图 8), 结果显示此次地震的辐射能量为  $1.1 \times 10^{15}$  J, 折合能量震级  $M_c$  为 7.1, 结合 2.1 节给出的矩震级结果  $M_w$  7.0, 可知该地震能量震级略大于矩震级, 与同样大小地震相比, 在近场会感受到震感比较强烈, 震中附近会造成地面建筑破坏。由于震源深度较浅, 地震能量主要在浅层释放, 远离震中 200 km 的区域不会造成严重的地面建筑破坏和人员伤亡。

### 6 三维及 InSAR 同震形变场模拟

基于均匀弹性半空间位错模型<sup>[19]</sup>和震源机制解, 模拟了此次地震的三维同震形变场, 并利用 Sentinel-1 卫星的 SAR 成像几何参数分别计算了升、

降轨 InSAR 地表形变干涉图(图 9)。模拟中所用的 SAR 成像几何参数包括卫星的飞行方位角和雷达入射角, 升轨成像的参数分别为  $-12.9^\circ$  和  $39.7^\circ$ , 降轨成像的参数分别为  $-167.0^\circ$  和  $39.7^\circ$ 。模拟结果显示,

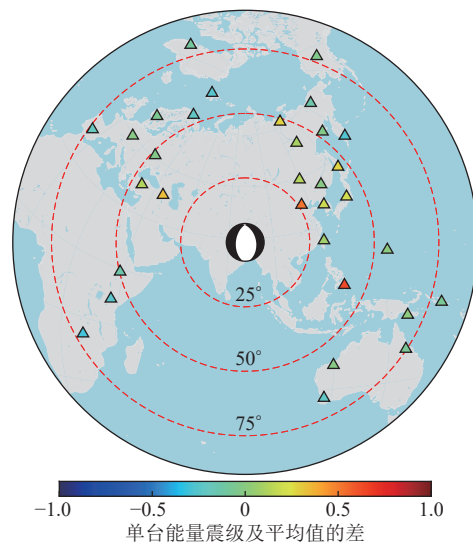


图 8 地震辐射能量

Fig. 8 Earthquake radiation energy

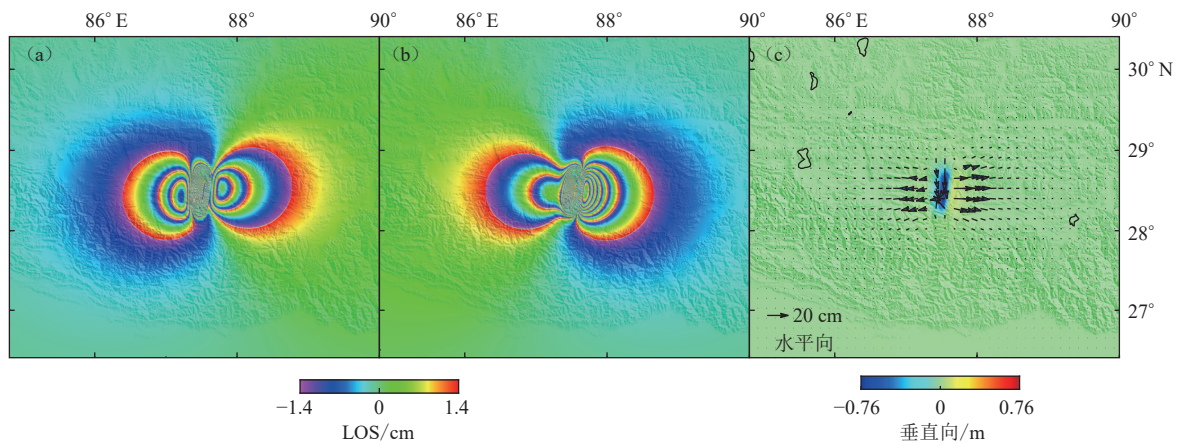
此次地震引起了显著的地表同震位移,最大水平向位移达到 0.29 m、垂直向位移达到-0.75 m。该结果对于震害的评估以及是否可利用 InSAR 观测到显著的地表形变具有参考意义。

## 7 结论

2025年1月7日9时5分(北京时间)西藏定日发生6.8级地震。中国地震局地球物理研究所在震后启动快速地震应急响应,组织相关领域研究人员对此次地震的震源参数、震源机制、破裂过程和地震辐射能量等进行了估计,余震序列进行了重定位,基于

震源破裂过程进行了地震动强度图模拟、InSAR同震形变场模拟。

此次地震的震源参数、震源机制解、破裂过程模型、地震辐射能量等结果表明,此次地震以正断机制为主,主要持续时间约20 s,并呈现非对称双侧破裂特征,破裂主要朝北拓展,极有可能破裂到了地表;余震主要呈近南北向分布,震源深度集中在5~23 km;极震区震动烈度可能达IX度以上,可能的受灾范围超过30000 km<sup>2</sup>;此次地震引起了显著的地表同震位移,最大水平向位移达到0.29 m、垂直向位移达到-0.75 m。



模拟的升(a)、降(b)轨干涉图,每个条纹对应沿雷达视线方向2.8 cm的地表位移;

(c)三维形变场,箭头矢量代表水平位移

图9 三维及InSAR同震形变场模拟结果

Fig. 9 Simulation results of three-dimensional and InSAR coseismic deformation fields

## 参考文献

- [1] 郭祥云, 韩立波, 张旭, 等. 2023年12月18日甘肃积石山6.2级地震震源参数和破裂特征[J]. 地震科学进展, 2024, 54(1): 75-85  
Guo X Y, Han L B, Zhang X, et al. Source parameters and rupture characteristics of the  $M_{6.2}$  Jishishan earthquake in Gansu Province on December 18, 2023[J]. *Progress in Earthquake Sciences*, 2024, 54(1): 75-85
- [2] 王永哲, 张旭, 张喆, 等. 2023年12月2日菲律宾棉兰老岛附近海域7.6级地震的快速产出参数[J]. 地震科学进展, 2024, 54(2): 168-174  
Wang Y Z, Zhang X, Zhang Z, et al. Quick output parameters related to the 2 December 2023  $M_{7.6}$  Mindanao, Philippines earthquake[J]. *Progress in Earthquake Sciences*, 2024, 54(2): 168-174
- [3] 张喆, 房立华, 陈鲲, 等. 2024年1月23日新疆阿克苏地区乌什7.1级地震的快速产出参数[J]. 地震科学进展, 2024, 54(3): 221-228  
Zhang Z, Fang L H, Chen K, et al. Quick output parameters related to the 23 January 2024  $M_{7.1}$  Wushi earthquake in the Aksu region of Xinjiang[J]. *Progress in Earthquake Sciences*, 2024, 54(3): 221-228
- [4] 王钦莹, 陈鲲, 王永哲, 等. 2024年4月3日台湾省花莲县海域7.3级地震的快速产出参数[J]. 地震科学进展, 2024, 54(4): 286-291  
Wang Q Y, Chen K, Wang Y Z, et al. Quick output parameters related to the 3 April 2024  $M_{7.3}$  earthquake in the sea area of Hualien County, Taiwan Province[J]. *Progress in Earthquake Sciences*, 2024, 54(4): 286-291

- [5] Kennett B L N, Engdahl E R, Buland R. Constraints on seismic velocities in the Earth from traveltimes[J]. *Geophysical Journal International*, 1995, 122(1): 108-124
- [6] Wang R J. A simple orthonormalization method for stable and efficient computation of Green's functions[J]. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 1999, 89(3): 733-741
- [7] Zhang Y, Feng W P, Chen Y T, et al. The 2009 L'Aquila  $M_w$ 6.3 earthquake: A new technique to locate the hypocentre in the joint inversion of earthquake rupture process[J]. *Geophysical Journal International*, 2012, 191(3): 1417-1426
- [8] Ward S N, Barrientos S E. An inversion for slip distribution and fault shape from geodetic observations of the 1983, Borah Peak, Idaho, earthquake[J]. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 1986, 91(B5): 4909-4919
- [9] Yagi Y, Mikumo T, Pacheco J, et al. Source rupture process of the Tecomán, Colima, Mexico earthquake of 22 January 2003, determined by joint inversion of teleseismic body-wave and near-source data[J]. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 2004, 94(5): 1795-1807
- [10] Hartzell S H, Heaton T H. Inversion of strong ground motion and teleseismic waveform data for the fault rupture history of the 1979 Imperial Valley, California, earthquake[J]. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 1983, 73(6A): 1553-1583
- [11] Antolik M, Dreger D S. Rupture process of the 26 January 2001  $M_w$ 7.6 Bhuj, India, earthquake from teleseismic broadband data[J]. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 2003, 93(3): 1235-1248
- [12] Heimann S, Isken M, Kühn D, et al. Grond: A probabilistic earthquake source inversion framework.V.1.0. GFZ data services [EB/OL]. [2025-01-07]. <https://doi.org/10.5880/GFZ.2.1.2018.003>
- [13] Fang L H, Wu J P, Wang W L, et al. Aftershock observation and analysis of the 2013  $M_s$ 7.0 Lushan earthquake[J]. *Seismological Research Letters*, 2015, 86(4): 1135-1142
- [14] 陈颀, 俞言祥, 高孟潭. 考虑场地效应的 ShakeMap 系统研究 [J]. *中国地震*, 2010, 26(1): 92-102  
Chen K, Yu Y X, Gao M T. Research on ShakeMap system in terms of the site effect[J]. *Earthquake Research in China*, 2010, 26(1): 92-102
- [15] Zhou J, Li L, Li X J, et al. A 30 arcsec resolution  $V_{S30}$  map for mainland China using refined topographic slope-based cokriging (SCK) model[J]. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 2024, 115: 332-348
- [16] Borcherdt R D. Estimates of site-dependent response spectra for design (methodology and justification)[J]. *Earthquake Spectra*, 1994, 10(4): 617-653
- [17] 汪素云, 俞言祥, 高阿甲, 等. 中国分区地震动衰减关系的确定 [J]. *中国地震*, 2000, 16(2): 99-106  
Wang S Y, Yu Y X, Gao A J, et al. Development of attenuation relations for ground motion in China[J]. *Earthquake Research in China*, 2000, 16(2): 99-106
- [18] Newman A V, Okal E A. Teleseismic estimates of radiated seismic energy: The  $E/M_0$  discriminant for tsunami earthquakes[J]. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 1998, 103(B11): 26885-26898
- [19] Okada Y. Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space[J]. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 1985, 75(4): 1135-1154