DOI:10.14075/j.jgg.2025.05.176

文章编号:1671-5942(2025)12-1266-06

2025 年定日 M_S6.8 地震同震形变与断层滑动分布

李承涛[1,2,3]　李　琦[1,2,3]　李　雪[1,2,3]　谭　凯[1,2,3]　鲁小飞[1,2,3]

1　中国地震局地震研究所,武汉市洪山侧路 40 号,430071

2　中国地震局地震大地测量重点实验室,武汉市洪山侧路 40 号,430071

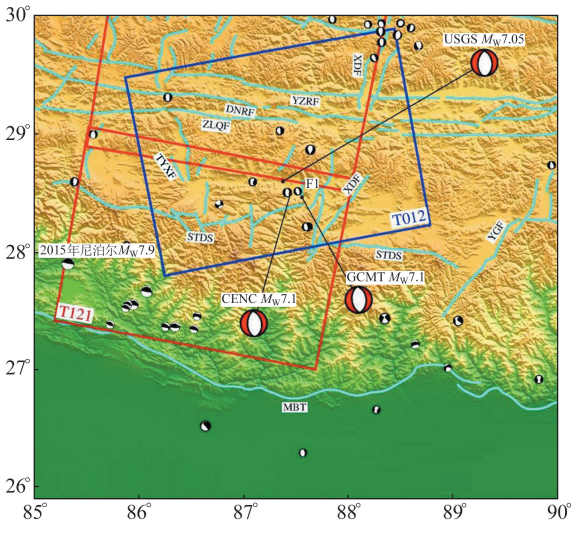
3　湖北省地震局,武汉市洪山侧路 48 号,430071

摘　要:利用 Sentinel-1A 数据,使用 D-InSAR 技术获取 2025-01-07 西藏定日M_S6.8地震视线向(LOS)同震形变场,通过贝叶斯方法获得发震断层几何参数,利用 SDM 反演断层滑动分布,并计算同震库仑应力变化。反演结果显示,发震断层走向 187.34°,倾角 56.40°,震中位置为 87.50°E、28.64°N,对应深度为 6.81 km。同震滑动分布最大滑动量为 4.24 m,平均滑动角为 −58.82°,表明本次地震以正断为主,兼具少量左旋走滑性质,反演得到的矩震级为 M_W7.0,初步认为发震断层为登么错断裂。另外,札达-拉孜-邛多江断裂、达吉岭-昂仁-仁布断裂、藏南拆离系断裂所在的部分区域及申扎-定结断裂和登么错断裂的南端区域,库仑应力增加量都超过 0.1 bar,未来地震危险性值得更多的关注。

关键词:定日地震;同震形变场;断层滑动分布;D-InSAR;库仑应力变化

中图分类号:P237;P315　　**文献标识码**:A

据中国地震台网中心(CENC)测定,北京时间 2025-01-07 09:05 西藏日喀则市定日县(87.45°E,28.50°N)发生 M_S6.8 地震。地震震中位于青藏高原南部,属喜马拉雅构造带北缘,受印度-欧亚板块碰撞影响,地壳缩短增厚,形成拉萨地块与周边断裂带的复杂构造格局。震中附近发育有多条近 SN 向地堑盆地带,以正断性质为主,地震发生在申扎-定结断裂西侧附近[1-2],该断裂在 2015 年尼泊尔 M_W7.9 地震之后一直较为活跃,有研究认为 2020 年定日 M_W5.7 地震的发生与之有关[3]。1979 年以来,研究区共发生 42 次 $M_W \geqslant 5.0$ 地震(GCMT),以正断特征为主。近年来,除 2015 年尼泊尔 M_W7.9 地震,该区域发生的最大地震就是本次 M_S6.8 地震(图 1)。地质考察结果显示,本次地震同震地表破裂主要位于登么错盆地以北的山区,不连续同震地表破裂带和形变带超过 20 km[4-5]。



红色矩形表示 T121 降轨,蓝色矩形表示 T012 升轨,青色线条表示断层。STDS:藏南拆离系断裂;XDF:申扎-定结断裂;YGF:亚东-谷露断裂;YZRF:雅鲁藏布江断裂;TYXF:当惹雍错-许如错断裂;MBT:喜马拉雅主边界断裂;ZLQF:札达-拉孜-邛多江断裂;DNRF:达吉岭-昂仁-仁布断裂;F1:登么错断裂

图 1　2025 年定日地震构造背景

Fig. 1　Tectonic setting of the 2025 Dingri earthquake

地震发生后,众多科研人员利用大地测量手段进行了快速响应,为分析此次地震提供了重要参考。李雨森等[6]利用 D-InSAR 技术获取地震同震形变场,滑动分布反演显示,发震断层以正断性质为主,兼有少量走滑性质。王楠等[7]利用卫星数据反演得出断层位错量达 6 m,矩震级达到

收稿日期:2025-05-22

项目来源:中国地震局地震研究所和应急管理部国家自然灾害防治研究院基本科研业务费(IS202436359);湖北省自然科学基金(2025AFB703)。

第一作者简介:李承涛,助理研究员,主要从事 InSAR 与 GPS 数据处理及地壳形变研究,E-mail:lict@cgps.ac.cn。

通讯作者:李雪,副研究员,主要从事大地测量与地球动力学研究,E-mail:leexue1211@126.com。

M_W7.1,基于反演断层滑动模型模拟地震烈度,结果显示,此次地震最大烈度可达Ⅸ度。张旭等[8]利用 Sentinel-1A 数据进行反演,结果表明,发震断层走向近 NS,断层倾角约 60°,平均滑动角约−76.81°,是一次以正断破裂为主,兼少量左旋走滑性质的事件,反演矩震级为 M_W7.0。

本文通过 D-InSAR 技术处理 Sentinel-1A 数据,获取 2025 年定日 M_S6.8 地震 LOS 向同震形变场,利用贝叶斯方法反演获得发震断层参数,并以此为基础反演同震滑动分布,计算同震库仑应力变化,为了解定日 M_S6.8 地震发震构造提供参考,研究结果有利于评估该区域地震危险性。

1　InSAR 数据处理

本文采用欧空局(ESA)提供的 Sentinel-1A 干涉宽幅数据,具体信息见表 1,利用 ISCE 软件进行 D-InSAR 处理[9]。具体技术处理环节中,距离向和方位向的多视比为 5∶1;基于精密轨道文件和 SRTM 数字高程模型[10],分别对轨道误差和地形影响进行校正;为提高信噪比,采用 Goldstein 方法[11]进行滤波,采用 SNAPHU 软件[12]进行相位解缠;经过地理编码,对失相干和相干性较低的区域进行掩膜处理,最终获取 2025 年定日地震 LOS 向同震形变场。图 2 显示形变场整体呈 NS 向,T012 升轨 LOS 向形变量在−0.75～0.32 m 之间,T121 降轨 LOS 向形变量在−0.76～0.80 m 之间。

表 1　本文采用的 Sentinel-1A 数据

Tab. 1　Sentinel-1A data used in this paper

卫星类型	轨道号	主影像	辅影像	时间基线/d	极化方向	轨道方向
Sentinel-1A	T012	2025-01-01	2025-01-13	12	VV	升轨
Sentinel-1A	T121	2025-01-05	2025-01-17	12	VV	降轨

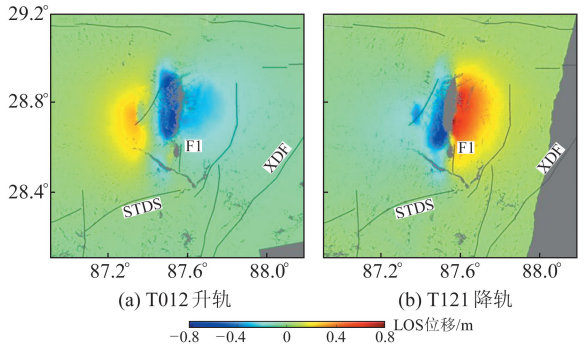


图 2　定日地震 LOS 向同震形变场

Fig. 2　Coseismic deformation field in the LOS direction of Dingri earthquake

2　均匀滑动模型和滑动分布反演

2.1　均匀滑动模型反演

为反演得到发震断层相关的 9 个参数,采用贝叶斯方法(BM)进行反演[3,13-14],获得的模型称为均匀滑动模型。该方法在不同阶段通过重采样,可将大量的样本重新聚焦到高可能性区域,有助于避免算法陷入局部极小值,且大幅提高反演运行效率。通过四叉树算法来实现 LOS 同震形变场的降采样操作[15],其中 T012 轨道保留 451 个数据点,T121 轨道保留 440 个数据点。为进一步提高反演效率,同时基于 5 个 CPU 并行处理,共迭代 1.0×10^6 次。基于断层几何参数 1D 和 2D 的后验概率密度函数(PDF),可表征断层参数的离散水平(图 3)。最大后验解(MAP)即为最佳断层参数,断层长度、宽度分别为 32.35 km 和 16.41 km;参考 GCMT 提供的震中位置(87.47°E,28.56°N),断层上边界中心点的东偏移量、北偏移量分别为 8.79 km 和 20.70 km,转化为 WGS 坐标系下为 87.56° E、28.75° N,对应深度为0.15 km;断层走向、倾角、滑动角分别为 187.34°、56.40°、−59.86°,走向、倾角的反演结果与张旭等[8]和杨建文等[16]的结果相近,反演得到的平均滑动量为 1.90 m。

基于均匀滑动模型得到的 LOS 向形变残差分布见图 4,红色五角星为 CENC 确定的震中位置。整体来看,升、降轨的 LOS 向形变残差大部分介于−0.2～0.2 m 之间,T012 升轨数据的 LOS 向形变残差的 RMS 为 0.11 m,T121 降轨数据的为 0.12 m。较小的反演残差表明,断层几何参数具备较高的合理性。

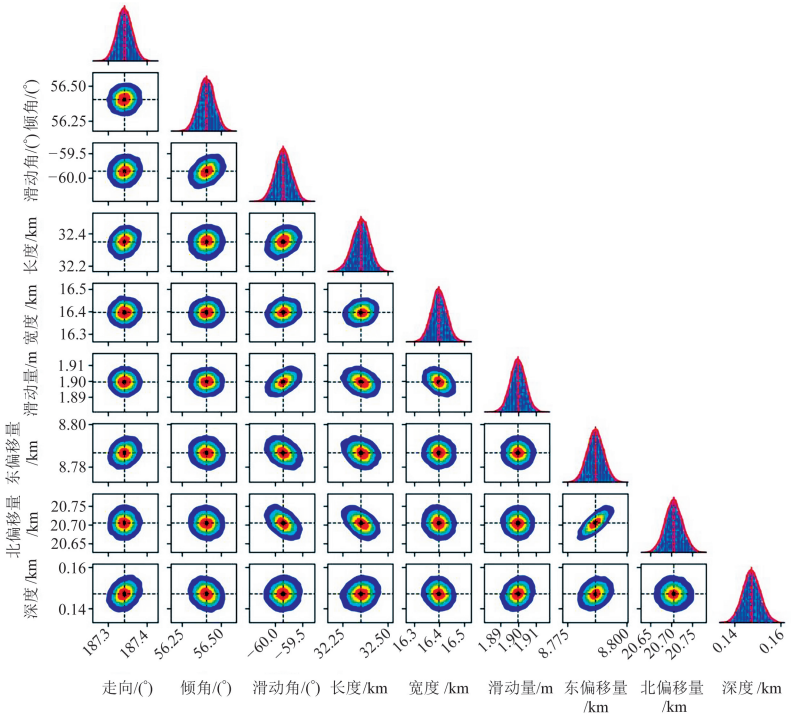
2.2　断层滑动分布反演

在已反演断层模型的前提下,将该断层分解为若干个子断层,求解每个子断层所对应的滑动状况分布。采用 Crust1.0 分层地壳模型计算格林函数,并借助最速下降法(SDM)来寻找观测值拟合度和同震滑动分布粗糙度之间的最佳平衡解[17]:

$$\min(\|(G\boldsymbol{s}-\boldsymbol{d})\|^2+\alpha^2\|L\boldsymbol{s}\|^2) \tag{1}$$

式中,G 为格林函数;$\boldsymbol{d}$ 为观测值;α 为平滑因子;L 为二阶拉普拉斯平滑算子;$\boldsymbol{s}$ 为子断层对应的滑动量。

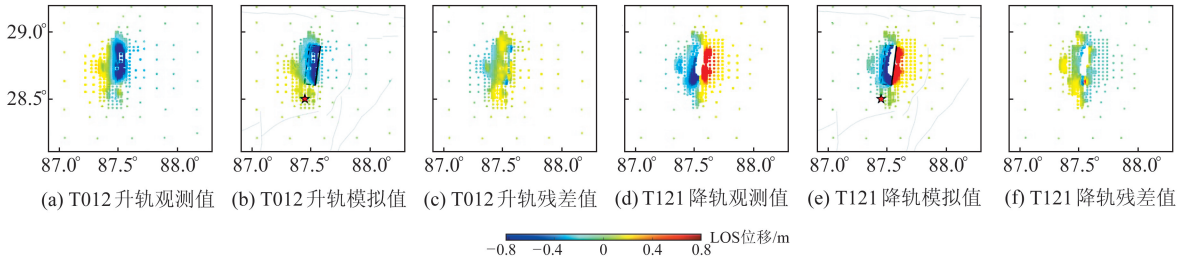
在反演断层滑动分布之前,参考均匀滑动模型得到的结果,对断层参数进行定义:走向设为 187.34°,倾角设为 56.40°,对断层的长宽进行延展,设置长度为 66 km,宽度为 20 km,各子断层大小为 1 km×1 km[18]。反演定日地震滑动分布所采用的数据与§2.1 一致。平滑因子通过折中曲线获取,搜索范围为 0～0.45,设置步长0.05,迭代 10 次获取最优平滑因子。



直方图中红色虚线和 2D 相关图中的红色区域中心点表示最佳参数

图 3 定日地震均匀滑动模型的 1D 和 2D 后验概率密度函数分布

Fig. 3 1D and 2D PDF of the uniform slip model for Dingri earthquake

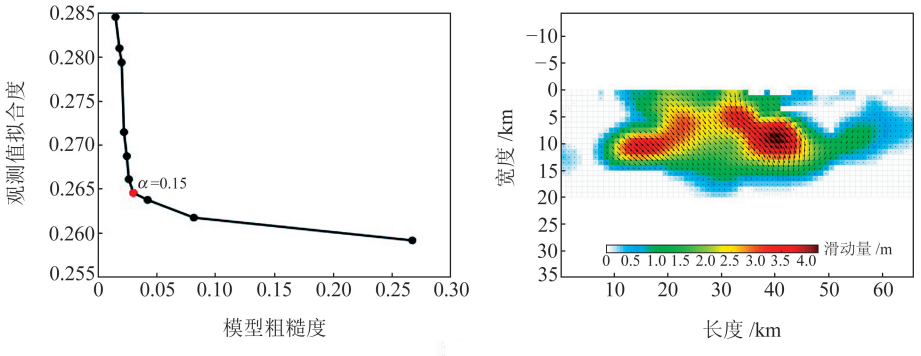


黑色矩形表示断层面,黑色实线表示断层上边界

图 4 定日地震均匀滑动模型 LOS 向形变残差

Fig. 4 The LOS deformation residuals of uniform slip model for Dingri earthquake

图 5 为定日地震同震滑动分布,通过迭代计算,最优平滑因子取 0.15。反演结果显示,存在 2 个主要破裂区,最大破裂区位于沿断层走向的右侧,最大滑动量约为 4.24 m,主要破裂区集中在 5.15～9.31 km 深度处。反演出的震中位置为 87.50°E、28.64°N,对应深度为 6.81 km。本文反演的震中位置与 Yu 等[18]的结果相近,平均滑动角为－58.82°,显示同震破裂在整体上以正断特



(a) 最优平滑因子 (b) 同震滑动分布

图 5 定日地震同震滑动分布

Fig. 5 Coseismic slip distribution of Dringri earthquake

征为主,同时还伴随着少量左旋走滑特性。地震破裂至地表,破裂长度超过 20 km。假定地壳的剪切模量取值为 30 GPa,则本次地震释放的地震矩约为 3.94×10^{19} Nm,矩震级为 M_W7.0,与张旭等[8]的结果一致,略小于 GCMT 和 USGS 的结果。不同机构提供的震源参数见表 2。

图 6 为同震滑动分布模型残差分布,矩形为断层的位置,红色五角星为反演得到的震中。整体来看,升、降轨残差较小,升、降轨残差 RMS 分别为 0.07 m 和 0.08 m,说明滑动分布较为可靠。

表 2　2025 年定日地震震源参数

Tab. 2　Source parameters of the 2025 Dingri earthquake

来源	震中位置/(°)		走向/(°)	倾角/(°)	滑动角/(°)	深度/km	震级 M_W
	经度	纬度					
CENC	87.45	28.50	181	51	−81	10	7.1
GCMT	87.47	28.56	173	48	−92	12	7.1
USGS	87.378	28.604	187	49	−78	11.5	7.05
文献[6]	87.49	28.76	189.33	52.8	−95.75	7.9	7.17
文献[8]	—	—	185.03	60	−76.81	—	7.0
文献[16]	—	—	184	55	−67.75	—	7.06
文献[18]	87.48	28.62	189.2	40.6	−82.81	5.0	7.1
本文	87.50	28.64	187.34	56.40	−58.82	6.81	7.0

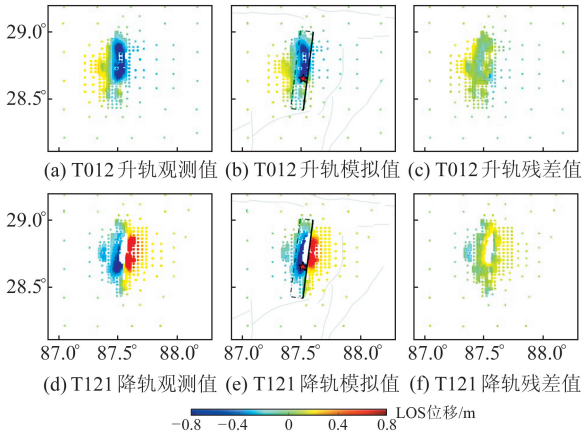


图 6　断层滑动分布模型的 LOS 向形变残差

Fig. 6　The LOS deformation residuals of fault slip distribution model

3　讨　论

3.1　地表破裂带与同震滑动分布的对应关系

2025 年定日 M_S6.8 地震震中邻近申扎-定结裂谷断裂,该区域近年来地震活动频繁,先后发生 2015 年定日 5.9 级、2016 年定结 5.3 级和 2020 年定日 5.9 级等多次中强地震事件[3]。地质考察显示,此次地震发生在申扎-定结裂谷系南段,其发震断裂为登么错断裂,并形成约 26 km 的地震地表破裂带和形变带[5]。登么错断裂 28 ka 以来的垂直滑动速率为 0.7±0.1 mm/a,全新世以来的垂直滑动速率为 0.6±0.1 mm/a[19]。地震发生前,该断裂已积累了最大为 3.0～3.5 m 的同震位移,相关参数与此次地震基本一致。

石峰等[4]通过野外调查得出,同震地表破裂带具有明显的分段特征,自南向北可分为 3 段,依次为古荣-强嘎段、尼辖错段和羊姆丁错段。结合图 7 同震滑动分布,从空间位置来看,同震地表破裂带(蓝线)与发震断层地表迹线(黑线)有着良好的对应关系。从地表位错量级来看,古荣-强嘎段的地表破裂全长约为 5 km,中间约 2 km 未发现地表破裂,整体位移量不大,最大位移量为 0.5～0.7 m,破裂向南减弱,同震滑动分布在该区域的最大滑动量约为 0.8 m,且滑动量沿着断层走向递减。地表破裂带位错量最大的区域发生在尼辖错段,全长约为 6 km,最大垂直位移达 2.5～3.0 m,同震滑动分布在该区域的最大滑动量约为 2.6 m,两者在量级上具有较好的一致性。羊姆丁错段的地表破裂长度约为 3 km,位移量为 0.5～0.8 m,同震滑动分布在该区域的滑动量约为 1.0～1.5 m。整体来看,2025 年定日地震地表破裂带与同震滑动分布之间有着良好的对应关系,同时也说明本文反演的发震断层参数和同震滑动分布具有较高的可信度。

3.2　同震库仑应力变化

GPS 计算的面应变率场显示该区域一直受到拉张膨胀作用[20]。为评估本次地震给定日地区造成的影响,并探讨未来可能存在的地震风险,设摩擦系数为 0.4[21],接收断层采用本文反演结果(走向 187.34°、倾角 56.40°、滑动角 −58.82°)。依据 SDM 反演得到的同震滑动分布模型,并结合 Crust1.0 分层的弹性半空间模型,运用 PSGRN/PSCMP 软件分别对深度 5 km、10 km、15 km、20 km 处的库仑破裂应力变化(ΔCFS)进行计算[22],结果见图 8。可以看出,NS 向库仑应力明显增强(>0.1 bar),EW 向两侧的库仑应力明显降低,图中黑点表示余震精定位数据[23],与 15 km 和 20 km 的同震库仑应力增加区域有着较好的对应。

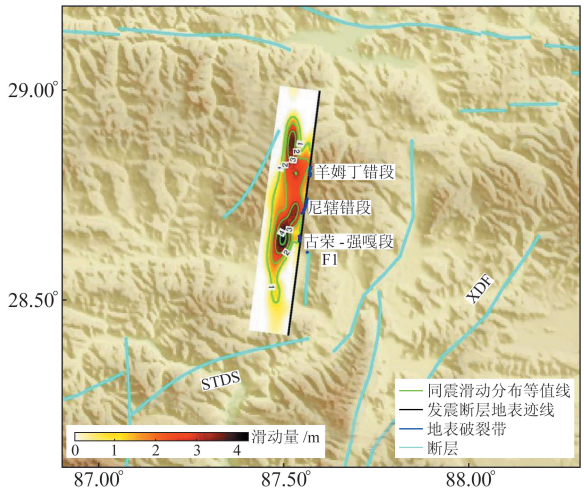
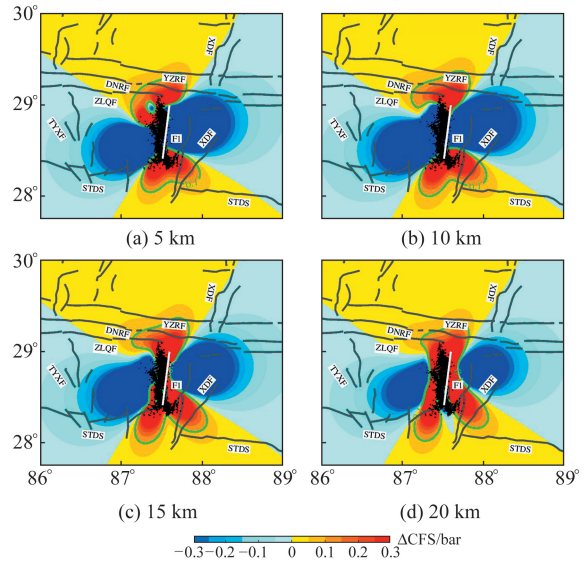


图 7 2025 年定日地震地表破裂带与同震滑动分布

Fig. 7 The surface rupture zone and the coseismic slip distribution of the 2025 Dingri earthquake



白线表示发震断层地表迹线，绿线表示 0.1 bar 等值线，灰线表示断层，黑点表示余震

图 8 2025 年定日地震同震库仑破裂应力变化

Fig. 8 The coseismic Coulomb failure stress changes of the 2025 Dingri earthquake

具体来看，在深度 5 km、10 km、15 km、20 km 处，札达-拉孜-邛多江断裂（ZLQF）、达吉岭-昂仁-仁布断裂（DNRF）及藏南拆离系断裂（STDS）的部分区域库仑应力增加量都大于 0.1 bar。假设这 3 个断层进入应力高度聚集的状态，且应力值接近临界阈值，那么这些区域在未来发生地震的风险将会显著上升。申扎-定结断裂（XDF）和登么错断裂（F1）的南端区域库仑应力增加量也大于 0.1 bar；在深度 10 km 和 15 km 处，雅鲁藏布江断裂（YZRF）的部分区域库仑应力增加量大于 0.1 bar，这些断层的潜在地震危险性值得关注；当惹雍错-许如错断裂（TYXF）所在区域库仑应力减少，潜在地震危险性相对较低。

4 结 语

1）定日地震 T012 升轨、T121 降轨的 LOS 形变场整体呈 NS 走向，T012 升轨 LOS 向形变量在−0.75～0.32 m 之间，T121 降轨 LOS 向形变量在−0.76～0.80 m 之间。

2）利用 BM 反演得到的发震断层走向为 187.34°，倾角为 56.40°。利用 SDM 反演得到的断层滑动分布显示，平均滑动角为−58.82°，这意味着同震破裂主要表现为正断特征，并伴有少量左旋走滑特性。通过反演得到的震中位置为 87.50°E、28.64°N，对应的深度为 6.81 km，最大滑动量约为 4.24 m。假设地壳的剪切模量为 30 GPa，计算得出的矩震级为 M_W7.0。本文同震滑动分布模型与地震考察结果具有较好的一致性，证明反演确定的发震断层参数和同震滑动分布具有较高的可靠性。

3）札达-拉孜-邛多江断裂、达吉岭-昂仁-仁布断裂、藏南拆离系断裂的部分区域及申扎-定结断裂和登么错断裂的南端区域，库仑应力增加量都大于 0.1 bar，潜在地震危险性值得关注。

参考文献

[1] 魏本勇，张钰曼，石峰，等. 基于现场调查的 2025 西藏定日 M_S6.8 地震房屋震害与人员伤亡分析[J]. 地震地质，2025，47(1)：64-79(Wei Benyong，Zhang Yuman，Shi Feng，et al. Analysis of Building Damage and Casualties of the 2025 Dingri M_S6.8 Earthquake in Xizang Based on Field Investigation[J]. Seismology and Geology，2025，47(1)：64-79)

[2] 盛书中，王倩茹，李振月，等. 基于构造应力场研究 2025 年西藏定日 6.8 级地震的发震构造[J]. 地震地质，2025，47(1)：49-63(Sheng Shuzhong，Wang Qianru，Li Zhenyue，et al. Investigation of the Seismogenic Structure of the 2025 Dingri M_S6.8 Earthquake in Xizang Based on the Tectonic Stress Field Perspective[J]. Seismology and Geology，2025，47(1)：49-63)

[3] 李琦，李承涛，赵斌，等. 2020 年西藏定日 M_W5.6 地震震源参数估计和应力触发研究[J]. 地球物理学报，2024，67(1)：172-188(Li Qi，Li Chengtao，Zhao Bin，et al. Estimated Seismic Source Parameters for 2020 Dingri M_W5.6 Earthquake in Xizang and Study on the Stress Triggering[J]. Chinese Journal of Geophysics，2024，67(1)：172-188)

[4] 石峰，梁明剑，罗全星，等. 2025 年 1 月 7 日西藏定日 6.8 级地震发震构造与同震地表破裂特征[J]. 地震地质，2025，47(1)：1-15(Shi Feng，Liang Mingjian，Luo Quanxing，et al. Seismogenic Fault and Coseismic Surface Deformation of the Dingri M_S6.8 Earthquake in Xizang，China[J]. Seismology and Geology，2025，47(1)：1-15)

[5] 梁明剑，董芸希，左洪，等. 2025 年西藏定日 6.8 级地震登么错段地表变形特征及其成因[J]. 地震地质，2025，47(1)：80-89(Liang Mingjian，Dong Yunxi，Zuo Hong，et al.

Surface Deformation Characteristics and Causes of the Dengmecuo Segment in the Xizang Dingri M_S6.8 Earthquake[J]. Seismology and Geology, 2025, 47(1): 80-89)

[6] 李雨森, 李为乐, 许强, 等. 2025 年 1 月 7 日西藏定日 M_S6.8级地震 InSAR 同震形变探测与断层滑动分布反演[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2025, 52(2): 199-211(Li Yusen, Li Weile, Xu Qiang, et al. InSAR Coseismic Deformation Detection and Fault Slip Distribution Inversion of the M_S6.8 Earthquake in Dingri, Tibet on January 7, 2025[J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science and Technology Edition, 2025, 52(2): 199-211)

[7] 王楠, 李永生, 申文豪, 等. 2025 年 1 月 7 日西藏定日 M_S6.8 地震震源机制 InSAR 反演及强地面运动快速模拟[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2025, 50(2): 404-411(Wang Nan, Li Yongsheng, Shen Wenhao, et al. Source Parameters and Rapid Simulation of Strong Ground Motion of the M_S6.8 Earthquake on January 7, 2025 in Dingri(Xizang, China) Derived from InSAR Observation[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2025, 50(2): 404-411)

[8] 张旭, 洪顺英, 董彦芳, 等. 2025 年 1 月 7 日定日M_W7.1 地震同震形变与断层滑动分布[J]. 地球科学, 2025, 50(5): 1709-1720(Zhang Xu, Hong Shunying, Dong Yanfang, et al. Coseismic Deformation and Fault Slip Distribution of the January 7, 2025, Dingri M_W7.1 Earthquake[J]. Earth Science, 2025, 50(5): 1709-1720)

[9] Rosen P A, Gurrola E, Sacco G F, et al. The InSAR Scientific Computing Environment[C]. EUSAR 2012: 9th European Conference on Synthetic Aperture Radar, Nuremberg, Nuremberg, 2012

[10] Farr T G, Rosen P A, Caro E, et al. The Shuttle Radar Topography Mission[J]. Reviews of Geophysics, 2007, 45(2)

[11] Goldstein R M, Werner C L. Radar Interferogram Filtering for Geophysical Applications[J]. Geophysical Research Letters, 1998, 25(21): 4035-4038

[12] Chen C W, Zebker H A. Phase Unwrapping for Large SAR Interferograms: Statistical Segmentation and Generalized Network Models[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2002, 40(8): 1709-1719

[13] Li Q, Wan Y G, Li C T, et al. Source Process Featuring Asymmetric Rupture Velocities of the 2021 M_W7.4 Maduo, China, Earthquake from Teleseismic and Geodetic Data[J]. Seismological Research Letters, 2022, 93(3): 1429-1439

[14] Heimann S, Vasyura-Bathke H, Sudhaus H, et al. A Python Framework for Efficient Use of Pre-Computed Green's Functions in Seismological and Other Physical Forward and Inverse Source Problems[J]. Solid Earth, 2019, 10(6): 1921-1935

[15] Jonsson S. Fault Slip Distribution of the 1999 M_W7.1 Hector Mine, California, Earthquake, Estimated from Satellite Radar and GPS Measurements[J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 2002, 92(4): 1377-1389

[16] 杨建文, 金明培, 叶泵, 等. 2025 年 1 月 7 日西藏定日 6.8 级地震震源破裂机理及邻区应力变化[J]. 地震地质, 2025, 47(1): 36-48(Yang Jianwen, Jin Mingpei, Ye Beng, et al. Source Rupture Mechanism and Stress Changes to the Adjacent Area of January 7, 2025, M_S6.8 Dingri Earthquake, Xizang, China[J]. Seismology and Geology, 2025, 47(1): 36-48)

[17] Wang Q, Qiao X J, Lan Q G, et al. Rupture of Deep Faults in the 2008 Wenchuan Earthquake and Uplift of the Longmen Shan[J]. Nature Geoscience, 2011, 4(9): 634-640

[18] Yu S Y, Zhang S B, Luo J J, et al. The Tectonic Significance of the M_W7.1 Earthquake Source Model in Tibet in 2025 Constrained by InSAR Data[J]. Remote Sensing, 2025, 17(5)

[19] 高扬,吴中海,韩帅,等. 2025 年定日 M_S6.8 地震发震断层(登么错断裂)晚第四纪垂直滑动速率[J]. 地震地质, 2025, 47(3):689-706(Gao Yang, Wu Zhonghai, Han Shuai, et al. Late Quaternary Throw Rate of the Seismogenic Fault (Dengmecuo Fault) of the 2025 M_S6.8 Dingri Earthquake in Shigatse[J]. Seismology and Geology, 2025, 47(3): 689-706)

[20] Wang M, Shen Z K. Present-Day Crustal Deformation of Continental China Derived from GPS and Its Tectonic Implications[J]. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 2020, 125(2)

[21] King G, Stein R, Lin J. Static Stress Changes and the Triggering of Earthquakes[J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 1994, 84(3): 935-953

[22] Wang R J, Lorenzo-Martín F, Roth F. PSGRN/PSCMP—A New Code for Calculating Co- and Post-Seismic Deformation, Geoid and Gravity Changes Based on the Viscoelastic-Gravitational Dislocation Theory[J]. Computers and Geosciences, 2006, 32(4): 527-541

[23] 杨婷, 王世广, 房立华, 等. 2025 年 1 月 7 日西藏定日 M_S6.8地震余震序列特征与发震构造[J]. 地球科学, 2025, 50(5): 1721-1732(Yang Ting, Wang Shiguang, Fang Lihua, et al. Analysis of Earthquake Sequence and Seismogenic Structure of the 2025 M_S6.8 Dingri Earthquake in Tibetan Plateau[J]. Earth Science, 2025, 50(5): 1721-1732)

Coseismic Deformation and Fault Slip Distribution of the 2025 Dingri M_S6.8 Earthquake

LI Chengtao[1,2,3]　*LI Qi*[1,2,3]　*LI Xue*[1,2,3]　*TAN Kai*[1,2,3]　*LU Xiaofei*[1,2,3]

1　Institute of Seismology, CEA, 40 Hongshance Road, Wuhan 430071, China

2　Key Laboratory of Earthquake Geodesy, CEA, 40 Hongshance Road, Wuhan 430071, China

3　Hubei Earthquake Agency, 48 Hongshance Road, Wuhan 430071, China

Abstract: Using Sentinel-1A data, this study employed D-InSAR technology to obtain the line-of-sight

(下转第 1303 页)

areas and block margins when using the traditional least squares collocation (TLSC) algorithm for high-precision fitting of crustal motion velocity fields in large-scale regions, a K-means clustering-based least squares collocation method (KLSC) is developed by integrating the K-means clustering algorithm with the TLSC algorithm. The effectiveness of this method is validated using the GNSS-measured crustal motion velocity field on the Qinghai-Xizang plateau. The results show that: 1) Compared to the TLSC algorithm, the KLSC algorithm leverages the advantages of the K-means algorithm in unsupervised classification to first divide the study area into multiple sub-regions with similar velocities based on the inherent characteristics of the GNSS velocity field, and then applies TLSC for velocity field fitting within each sub-region, thereby avoiding the impact of local complex geological environments on the accuracy of regional velocity field fitting; 2) The KLSC algorithm selects fitting parameters based on the proximity of each grid point to the cluster centers, resolving the issue of poor fitting results in data-sparse areas; 3) By utilizing secondary nearest-neighbor fitting combined with convolution filtering, the KLSC algorithm effectively addresses the non-smooth fitting results at block margins; 4) The RMSE accuracy and correlation of the velocity fields fitted by the KLSC algorithm are superior to those of the TLSC algorithm, with improvements in RMSE accuracy of 37% to 48.2% and 52.1% to 67.2%, and increases in correlation of 24.1% to 24.7% and 4.7% to 5.2% for the eastward and northward fitted velocity fields, respectively.

Key words: GNSS velocity field; least squares collocation method; K-means algorithm; Qinghai-Xizang plateau; smoothed crustal velocity field

Foundation support: National Natural Science Foundation of China, No. 42174006; Science Fund for Distinguished Young Scholars of Shaanxi Province, No. 2022JC-18; Fundamental Research Funds for the Central Universities, CHD, No. 300102263201.

About the first author: WANG Cheng, postgraduate, majors in geodetic inversion of crustal deformation, E-mail: 2022126014@chd.edu.cn.

Corresponding author: QU Wei, PhD, professor, PhD supervisor, majors in geodetic inversion of crustal deformation, geological disaster high-precision geodetic monitoring and disaster mechanism, E-mail: maikerqq@163.com.

(上接第 1271 页)

(LOS) coseismic deformation field of the M_S6.8 earthquake in Dingri, Xizang, on January 7, 2025. The geometric parameters of the seismogenic fault were derived through a Bayesian approach. Fault slip distribution was inverted using the SDM, and coseismic Coulomb stress changes were calculated. The inversion results indicate that the seismogenic fault has a strike of 187.34°, a dip angle of 56.40°, with an epicenter located at 87.50°E and 28.64°N, at a depth of 6.81 km. The maximum slip in the coseismic slip distribution is 4.24 m, with an average rake angle of −58.82°, suggesting that the earthquake was predominantly a normal faulting event with a minor component of left-lateral strike-slip. The inverted moment magnitude is M_W7.0, and the seismogenic fault is preliminarily identified as the Dengmo Co fault. Additionally, regions along the Zanda-Lhazê-Qiongduojiang fault, Darjeeling-Ngamring-Rinbung fault, and parts of the south Xizang detachment system fault, as well as the southern sections of the Xainza-Dingjie fault and Dengmo Co fault, exhibit Coulomb stress increases exceeding 0.1 bar, indicating that these areas warrant greater attention for future seismic hazards.

Key words: Dingri earthquake; coseismic deformation field; fault slip distribution; D-InSAR; Coulomb stress changes

Foundation support: Scientific Research Fund of Institute of Seismology, CEA and National Institute of Natural Hazards, MEM, No. IS202436359; Natural Science Foundation of Hubei Province, No. 2025AFB703.

About the first author: LI Chengtao, assistant researcher, majors in InSAR and GPS data processing and crustal deformation, E-mail: lict@cgps.ac.cn.

Corresponding author: LI Xue, associate researcher, majors in geodesy and geodynamics, E-mail: leexue1211@126.com.