引用格式：张晨晨，万永革，关兆萱，等，2026. 2025 年西藏定日 6.8 级地震对周围区域的应力影响[J]. 地质力学学报，32（2）：383−396. DOI：10.12090/j.issn.1006-6616.2025072

Citation: ZHANG C C，WAN Y G，GUAN Z X，et al.，2026. The stress changes of the 2025 Dingri *M* 6.8 earthquake on the surrounding areas[J]. Journal of Geomechanics，32（2）：383−396. DOI：10.12090/j.issn.1006-6616.2025072

2025 年西藏定日 6.8 级地震对周围区域的应力影响

张晨晨[1]， 万永革[1,2]， 关兆萱[3]， 赵杰斌[1]， 王润妍[1]， 周明月[1]

ZHANG Chenchen[1]，WAN Yongge[1,2]，GUAN Zhaoxuan[3]，ZHAO Jiebin[1]，WANG Runyan[1]，ZHOU Mingyue[1]

1. 防灾科技学院，河北 三河 065201；
2. 河北省地震动力学重点实验室，河北 三河 065201；
3. 中国科学技术大学地球和空间科学学院， 安徽 合肥 230026

1. *School of Geosciences*, *Institute of Disaster Prevention*, *Sanhe* 065201, *Hebei*, *China*;
2. *Hebei Key Laboratory of Earthquake Dynamics*, *Sanhe* 065201, *Hebei*, *China*;
3. *School of Earth and Space Sciences*, *University of Science and Technology of China*, *Hefei* 230026, *Anhui*, *China*

The stress changes of the 2025 Dingri *M* 6.8 earthquake on the surrounding areas

Abstract: ［**Objective**］The Dingri area in Xizang is located within the Lhasa Block of the Qinghai–Xizang Plateau. It belongs to the core region of the Southern Tibetan Rift System and is a key zone with high seismic activity and earthquake potential. The *M* 6.8 earthquake that struck Dingri, Xizang (28.50°N, 87.45°E) on January 7, 2025, was the largest ever recorded in this area. Although previous studies have clarified the seismogenic structure and rupture distribution of this earthquake, few studies have addressed its impact on the surrounding areas. Therefore, this study calculates the co-seismic displacement and horizontal strain fields generated by the earthquake and the changes in Coulomb failure stress induced on surrounding faults. The study identifies high-risk fault segments and provides a scientific basis for regional seismic hazard assessment, monitoring, and early warning. ［**Methods**］The local stress field was projected onto two potential nodal planes of the earthquake determined by the central focal mechanism solution; Nodal Plane I (strike 184.37°, dip 47.67°, rake –78.10°) was found to be more prone to rupture. This plane was identified as the seismogenic fault plane when combined with the strike of the local fault. Then, based on the seismic rupture model and the homogeneous elastic half-space model, the co-seismic surface displacement field and the horizontal strain field were calculated. Furthermore, according to the data on the geometry and slip properties of faults near the epicenter, the study systematically quantified the impact of the earthquake on the Coulomb stress of major surrounding faults. ［**Results**］In terms of horizontal displacement, the materials on the east and west sides of the epicenter moved outward, while materials in some northern areas converged toward the epicenter, with a maximum horizontal displacement of 76.65 cm. In terms of vertical displacement, subsidence occurred on the north side of the epicenter (with a maximum of 83.97 cm) and uplift occurred on the northeast side (with a maximum of 33.25 cm), showing an obvious normal fault mechanism near the seismogenic fault. Volumetric strain and areal strain exhibited consistent distribution patterns; both exhibited tension on the north and south sides of the epicenter (with maxima of 1.768×10^{-6} and 1.737×10^{-6}, respectively) and compression around the epicenter as well as on the east and west sides

基金项目：国家自然科学基金项目（42174074，42364005，41674055）；中央高校科研业务费研究生科技创新基金项目 (ZY20260307)

This research was financially supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 42174074, 42364005, and 41674055) and Science and Technology Innovation Program for Postgraduate students in IDP subsidized by Fundamental Research Funds for the Central Universities (Grant No. ZY20260307).

第一作者：张晨晨（2000—），男，在读硕士，主要从事地壳应力场和地震活动性分析工作。Email：18850031203@163.com

通信作者：万永革（1967—），男，博士，研究员，主要从事构造应力场、地震应力触发等方面研究工作。Email：wanyg217217@vip.sina.com

收稿日期：2025−06−19；**修回日期**：2025−09−28；**录用日期**：2025−09−30；**网络出版日期**：2025−12−18；**责任编辑**：吴芳

Received：2025−06−19；Revised：2025−09−28；Accepted：2025−09−30；Available Online：2025−12−18；Handling Editor：WU Fang

(with maxima of 1.874×10^{-6} and 1.987×10^{-6}, respectively). Coulomb failure stress induced by this earthquake on the major surrounding faults at a depth of 10 km showed that the Dengmecuo Fault experienced significant stress unloading. This was the most intense stress release among all faults, effectively releasing regional tectonic stress and confirming that the Dengmecuo Fault is the seismogenic fault. The maximum Coulomb stress increment of the southern segment of the Shenza–Dingjie Fault was 0.0349 MPa, and that of the eastern segment of the Lazi–Qiongdoujiang Fault was 0.0191 MPa. Both exceeded the triggering threshold of 0.01 MPa, indicating high seismic hazard. [**Conclusions**] The study shows that this earthquake was a normal-faulting earthquake under the regional tectonic stress field and the Dengmecuo Fault was the seismogenic structure. Significant changes occurred in the co-seismic displacement field and the horizontal strain field around the epicenter. The Coulomb stress increments of the southern segment of the Shenza–Dingjie Fault and the eastern segment of the Lazi–Qiongdoujiang Fault exceeded the triggering threshold, indicating that moderate to strong earthquakes are possible in these segments in the future, which requires high attention. [**Significance**] By analyzing the impact of the January 7, 2025, *M* 6.8 Dingri earthquake in Xizang on the Coulomb stress of major faults in southern Xizang, this study identified the high-risk fault segments that need focused attention, providing a valuable reference for subsequent seismic monitoring and early warning.

Keywords: Dingri *M* 6.8 Earthquake in Xizang; central focal mechanism solution; stress field; Dengmecuo Fault; Coulomb failure stress

摘　要：文章通过定量计算地震产生的同震位移场、水平应变场及其在周围断层上产生的库伦破裂应力变化来探究2025年西藏定日6.8级地震对周围区域的影响。首先，将当地应力场投影到震源机制中心解确定该地震可能发生的2个节面上，发现节面Ⅰ（走向为184.37°、倾角为47.67°、滑动角为−78.10°）更容易破裂，结合断层走向判定其为发震断层面，登么错断裂为发震构造。然后基于地震破裂模型与均匀弹性半空间模型，计算得到地表同震位移场及水平应变场特征：水平位移自震中东西两侧向外移动、北侧部分区域向震中汇聚，水平位移量最大为76.65 cm；垂直位移为震中北侧沉降（最大量为83.97 cm）、东北侧隆升（最大量为33.25 cm），发震断层附近显示正断机制；体应变与面应变分布规律一致，均在震中南北两侧拉张（体应变量最大为1.768×10^{-6}，面应变量最大为1.737×10^{-6}）、震中周边及东西两侧压缩（体应变量最大为1.874×10^{-6}，面应变量最大为1.987×10^{-6}）。库伦破裂应力计算显示，申扎−定结断裂南段、拉孜−邛多江断裂东段库伦应力增加量超过触发阈值（0.01 MPa），需关注其地震活动性；登么错断裂应力卸载量最大，进一步印证其为发震构造。研究结果可为区域地震危险性评估提供重要参考。

关键词：西藏定日6.8级地震；震源机制中心解；应力场；登么错断裂；库伦破裂应力

中图分类号：P315　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1006−6616(2026)02−0383−14

DOI：10.12090/j.issn.1006-6616.2025072

0　引言

据中国地震台网中心测定，2025年1月7日，西藏定日地区（28.50°N，87.45°E）发生6.8级地震。中国地震局地质研究所（https://eq-igl.ac.cn/zhxw/info/2025/38560.html.）对该地震的发震断层进行分析，认为此次地震的发震断层为登么错断裂，这与盛书中等（2025）根据应力场和断层的关系得到的结果一致。该发震断层的走向大致为近南北方向（～180°），断层面向西倾斜，倾角约为55°。此外，震后发生了多次余震，属于主震−余震型地震，截至2025年1月14日，共记录余震3614次，其中7次地震震级≥4.0，最大余震为5.0级，距主震震中约9 km。

自1900年以来，定日地区50 km范围内3.0级及以上地震共发生40次，其中6.0～6.9级地震2次，5.0～5.9级地震7次，4.0～4.9级6次，3.0～3.9级地震25次。2020年3月20日在西藏日喀则市定日地区发生的5.9级地震距离此次震中仅11 km（张小涛等，2020），此次6.8级地震是该区域有历史记录以来的最大地震。定日地区地处特殊的板块构造位置，位于青藏高原的拉萨地块内部，而这一区域又受到印度板块与欧亚板块持续碰撞的强烈影响；这一过程自新生代以来一直持续进行（李廷栋，1995），不仅造就了青藏高原，还形成了喜马拉雅山南侧巨大的逆断层带，使得高原北、东边界出现走滑断层或逆走滑断层，而高原内部发育出南北向正断层和近东西向走滑断层。此次地震震中同时受到南北

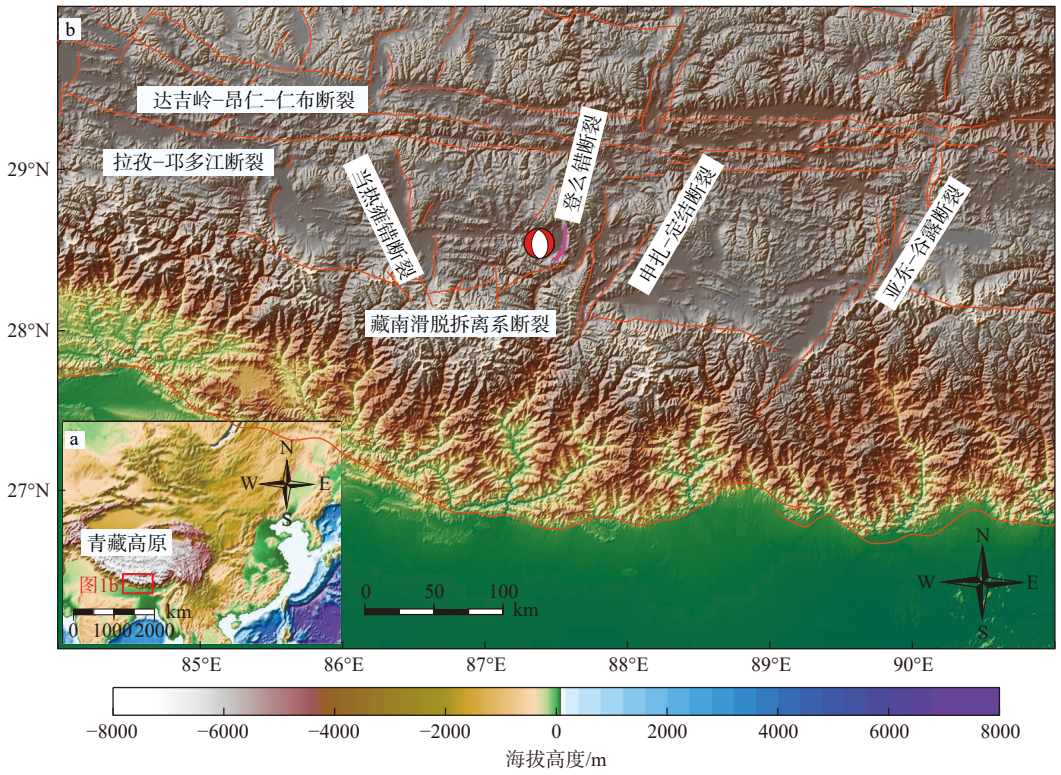
向挤压和东西向拉张应力作用(靳志同等, 2025)，周围断裂有拉孜−邛多江断裂、达吉岭−昂仁−仁布断裂、藏南滑脱拆离系断裂等近东西走向的断裂(郑文俊等, 2025)，以及申扎−定结断裂、亚东−谷露断裂、当热雍错断裂等近南北走向的断裂(余鹏飞等, 2017; 张佳伟等, 2020; 倪乙鹏, 2021)。定日地区属于藏南裂谷系的重要组成部分，裂谷系内部的正断层活动并非孤立存在，而是与区域尺度的伸展作用密切相关——印度板块的持续向北推挤导致青藏高原物质向东、向南挤出，在藏南地区形成东西向拉张应力场，促使南北向正断层反复活动并积累能量(胡贵明等, 2025)。此外，藏南裂谷系以南北向延伸的地堑−半地堑构造为特征，距离震中最近的登么错断裂(又称丁木错断裂)，即发育于申扎−定结断裂带南段的丁木错地堑东缘(徐志双等, 2025)，与震中相距 11 km 左右。登么错断裂近南北走向，南起措果乡，向北延伸约 60 km, 第四纪晚期以来断裂(徐志双等, 2025)活动强烈，沿线曾发生多次地震活动并在地表留下断裂陡坎和破裂迹象(吴佳杰等, 2025; 杨婷等, 2025)。

已有研究表明，分析地震对周边断层产生的库伦破裂应力变化是研究地震发震构造及评估周边区域地震危险性的重要基础。如万永革等(2009)基于 2008 年汶川地震，分析了周边断层的应力变化并对区域潜在地震风险作出预测。后续发生的芦山地震恰处于其计算的库伦破裂应力显著升高区，印证了该预测的可靠性。周明月等(2024)分析了 2023 年甘肃积石山 6.2 级地震对周围断层的应力影响，发现青海南山−循化南山断裂东段的库仑破裂应力增加远超出应力触发阈值，表现出较高地震危险性。王润妍等(2025)对 2023 年摩洛哥 6.9 级地震进行静态应力触发研究，发现震中附近多条断裂库伦应力高值区超过触发阈值，地震危险性提高。

此次定日 6.8 级地震的发生并非孤立的地质事件，而是与藏南裂谷系长期以来的构造活动及孕震环境密切相关。此前已有多项研究针对该区域的地震潜在风险与地质背景展开探讨，为理解此次地震的成因及后续影响提供了重要基础。胡贵明等(2025)的研究表明，藏南裂谷系内各正断层的孕震上限介于 M_{W} 6.5～7.5，这些正断层普遍具有较强的孕震能力。吴云龙等(2025)采用三维地壳密度结构反演等方法得到定日地震震源区及周边地区布格重力异常呈现显著负异常状态，表明拉张的南北走向断裂处于不均衡状态，处于地震活动强烈地区。在全球地震活动格局中，此次定日 6.8 级地震属于青藏高原内部正断型地震的典型案例，其发生机制与板块碰撞引发的区域拉张应力密切相关，为理解大陆内部变形过程、正断层孕震机理及应力传递规律提供了重要的天然实验场。但此次定日地震，尚未有研究系统整合多源震源机制解数据、量化区域应力场与发震断层的动力学关联，也未深入分析其引发的位移场、应变场特征及对周边主要断裂的应力影响。基于此，文章以西藏定日地震震源区及周边区域为研究区，采用多个震源机制中心化算法，整合国内外权威机构的震源机制解数据，确定更可靠的震源机制中心解，减少了单一数据源的不确定性。结合区域构造应力场数据，进一步计算了应力在断层面上的相对剪应力与正应力，揭示此次地震与区域应力场的动力学关联，明确发震断层面及发震构造。最后基于杨建文等(2025)构建的定日 6.8 级地震的破裂模型，通过 Okada(1992)弹性半空间位错理论，估计分析了此次地震在青藏高原南部诱发的地表同震位移场和水平应力场的空间分布特征，并结合已有的震中附近断层几何和滑动特性资料，系统量化了地震对周边 7 条主要断裂的库伦应力影响，明确了需重点关注的高风险断裂段，为后续地震监测与预警提供了针对性的参考依据。

1　震源机制中心解的确定

震源机制解的反演结果会因数据源与反演方法的差异存在离散性(关兆萱等, 2024; 宋泽尧等, 2024)，因此需要在多个震源机制解中确定一个合适的结果用于后续分析。此次对于西藏定日 6.8 级地震的研究，根据其发震位置(图 1)及机制，广泛搜集了多个机构和作者针对此次地震所发布的震源机制解数据(表 1)，基于万永革(2019)提出的多解中心化算法，先通过推导最小空间旋转角(考虑 P、T、B 轴方向二义性取最小值)表示两震源机制解的差异，再以中心解与所有测量解的最小空间旋转角平方和为目标函数，经泰勒展开线性化后用 Levenberg-Marquardt 方法(Levenberg, 1944; Marquardt, 1963)迭代求解，最后将各测量解作为初始解反演，选择标准差最小的解作为最终中心解。在求震源机制中心解的初始解选择中，将德国地球科学研究中心的震源机制解作为初始解时，发现其震源机制解与其



红色线条代表断裂；紫红色线条代表此次发震断层；红色沙滩球是西藏定日 6.8 级地震位置

a—地理位置示意图；b—断裂分布图

图 1 定日地区地质构造简图

Fig. 1 Simplified tectonic map of the Dingri area

(a) Geographic location map; (b) Fracture distribution map

The red lines represent fractures; the magenta line represents the seismogenic fault of this earthquake; the red beach ball marks the location of the Dingri *M* 6.8 earthquake in Xizang.

他震源机制解差异较大，针对这一问题首先要明确求震源机制中心解是一个非线性问题，研究通过在初始解邻域进行泰勒展开并迭代求解，逐步修正偏差。即便德国地球科学研究中心的自身参数与其他参数差异大，但迭代过程会不断吸收多源数据信息，最终结果由全局数据约束，而非受初始解局部特征主导。此外，针对这一问题，万永革（2019）通过将所有观测解作为初始解并比较标准差，选择最小者为最优解。德国地球科学研究中心的震源机制解作为初始解时标准差最小（尽管各标准差差异仅 10^{-3} 量级），符合“最小化全局离散度”的数学逻辑，且避免了局部极值问题。因此，选择德国地球科学研究中心的震源机制解为初始解是算法对多源数据全局拟合的结果，其自身参数差异不影响最终中心解的可靠性。

以德国地球科学研究中心的震源机制解为初始解（其标准差最小，表 1 第 4 列），获得定日 6.8 级地震震源机制中心解为节面 I 走向为 184.37°，倾角为 47.67°，滑动角为–78.10°；节面 II 走向为 346.99°，倾角为 43.66°，滑动角为–102.76°。得到的中心解与各机构结果的最小空间旋转角见表 1 第 5 列（分布区间：2.89°～37.91°），以及震源机制中心解及其不确定性（图 2）。空间旋转角集中分布的特征表明震源机制解一致性较高。结合震源机制参数特征，判定此次地震为正断型（万永革，2024）。

2 应力场与西藏定日 6.8 级地震的关系

为探究定日 6.8 级地震成因与区域构造应力场的关系，采用万永革（2020）提出的应力体系模拟方法，结合应力场反演结果，计算出震源机制中心解节面上的相对剪应力与相对正应力大小。需要说明的是，为便于不同节面的对比分析，计算过程中以最大剪应力为基准，对节面上的正应力和剪应力进行归一化处理（黄少华等，2023），最终得到相对正应力和相对剪应力。相对正应力可在一定程度

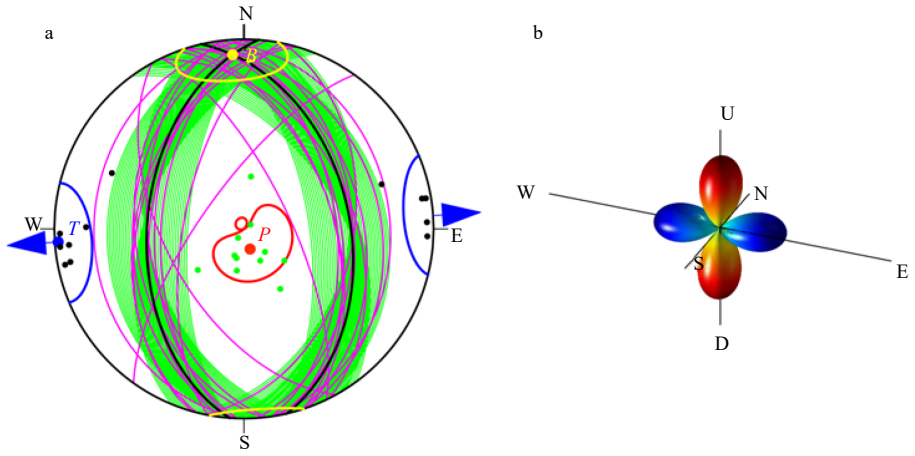
表 1　不同机构震源机制中心解的计算结果对比

Table 1　Calculated central focal mechanism solutions from different agencies

机构和作者	震源机制解走向/倾角/滑动角/(°)	作为初始解得到的中心震源机制走向/倾角/滑动角/(°)	作为初始解得到的标准差 S/(°)	以德国地球科学研究中心的结果作为初始解的中心震源机制与其他震源机制的最小空间旋转角/(°)
中国地震台网中心（https://news.ceic.ac.cn/）	182/22/–64	184.35/47.67/–78.11	18.940905	30.26
中国地震局地球物理研究所郭祥云 (https://www.cea-igp.ac.cn/)	182/51/–71	184.37 /47.67/–78.10	18.940896	9.43
中国地震局地震预测所罗钧、赵翠萍 (https:www.ief.ac.cn/)	215.6/72.1/–73.7	184.27/47.68/–78.20	18.941090	37.91
中科院青藏高原研究所王卫民（https://itpcas.cas.cn/）	194.4/42.6/–72.8	184.37/47.67/–78.12	18.940901	8.91
中国地震局地球物理研究所张喆 (https://mp.weixin.qq.com/s/YPMIVXcDLaIoS_UaJnZnIA)	174/42/–85	184.38/47.67/–78.10	18.940895	9.25
中科院地质地球所赵旭 (https://igg.cas.cn/)	183/41/–72	184.38/47.67/–78.10	18.940895	9.77
全球矩心矩张量（https://www.globalcmt.org/）	173/48/–92	184.36/47.67/–78.11	18.940900	10.49
欧洲–地中海地震中心 (https://www.emsc-csem.org/Earthquake_information/)	191/64/–76	184.37/ 47.67/–78.13	18.940912	17.29
法属波利尼西亚探测与地球物理实验室（https://www.cppt.org/）	184/54/–77	184.29/47.67/–78.18	18.941026	6.47
巴黎地球物理研究所（https://www.ipgp.fr/）	196/44/–64	184.36/47.67/–78.12	18.940906	10.89
德国地球科学研究中心（https://www.gfz.de/）	151/56/–116	184.37/47.67/–78.10	18.940894	32.02
美国地质调查局国家地震信息中心 (https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards)	187/49/–78	184.36/47.67/–78.12	18.940901	2.89

上反映节面间摩擦力的强弱，取值范围为–1～1（拉张为正，挤压为负），其方向（拉张或挤压）是判定正断型地震发震断层面的关键依据，正断型地震的发生依赖于断层面的拉张环境，当上盘沿断层向下滑动需克服摩擦力，拉张正应力可降低摩擦阻力。而相对剪应力则能体现节面剪切作用的剧烈程度，取值范围为 0～1，值越高，说明该断层面在当前应力场作用下越容易积累滑动能量，具备发生破裂的潜在条件。研究区应力场采用 Wan（2010）反演的中国现代构造应力场数据，该地区主应力轴的空间展布特征表现为：主压应力轴走向为 188°、倾伏角为 34°，主张应力轴走向为 90°、倾伏角为 12°，中间轴走向为 342°，倾伏角为 53°，相对应力大小 R=0.4，区域构造应力场呈现南北向挤压、东西向拉张的特点。应力场在该地震断层面产生的相对应力计算结果（图 3）显示：节面Ⅰ的相对剪应力（0.708）和相对正应力（0.665）均位于红色背景区，剪应力滑动角为−64.9°，与观测滑动角相差 13.2°；节面Ⅱ的相对剪应力（0.782）位于红色背景区，而相对正应力（–0.121）位于蓝色背景区，剪应力滑动角为–130.9°，与观测滑动角相差 28.14°。结果表明，发震断层面相对剪应力值较高（最大值为 1），剪应力滑动角与对应节面的观测滑动角相差不大，区域应力场在滑动方向产生了显著的剪应力积累。综上所述，此次定日 6.8 级地震是在区域构造应力场的推动下发生的一次天然地震。

此外，按照库伦应力为相对剪切应力与相对正应力和摩擦系数的乘积之和来考虑，根据已有的经验摩擦系数取值为 0.4（King et al., 1994; Harris, 1998），第 1 个节面库伦应力：$0.708+0.4\times0.665=0.974$，第 2 个节面的库伦应力：$0.782+0.4\times(-0.121)=0.7336$。从应力作用于 2 个节面的情况分析，第 1 个节面库伦应力更大，更容易破裂。再结合震中周围的区域构造背景分析，节面Ⅰ与登么错断裂的几何形态及滑动特性均较为接近，据此可推断中心震源机制的节面Ⅰ为发震断层面，距离震中最近的登么错断裂



a—震源机制中心解(N、S、W、E表示地理方位北南西东;蓝色箭头代表张轴方向;紫红色弧线为各研究机构给出的震源机制解节面;震源机制中心解的2个节面用黑色弧线表示,其不确定性范围用绿色区域表示;红点、黄点、蓝点分别代表*P*轴、*B*轴、*T*轴,其外围红色闭合曲线、黄色弧线、蓝色弧线分别代表其不确定范围;绿点、黑点分别表示各震源机制解在*P*轴、*T*轴的投影);b—三维辐射花样(U、D表示上、下;红色、蓝色分别表示膨胀区域和压缩区域)

图2 震源机制中心解的空间表示

Fig. 2 Spatial representation of the central focal mechanism solution

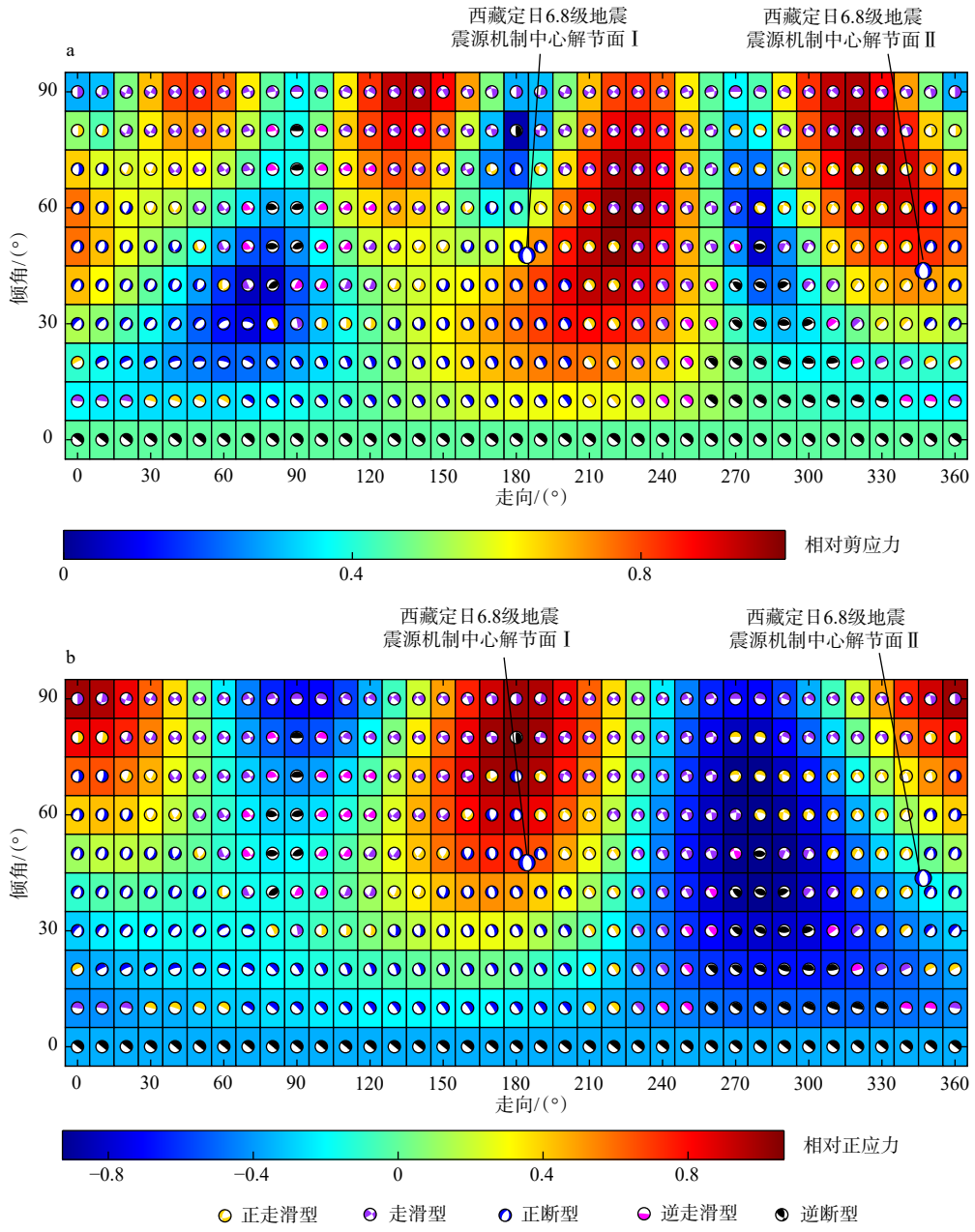
(a) Central focal mechanism solution (N, S, W, E denote north, south, west and east, respectively; blue arrows indicate the tensional direction; magenta arcs represent nodal planes of focal mechanism solutions provided by various research institutions; the two nodal planes of the central focal mechanism solution and their uncertainties are indicated by black arcs and green areas, respectively; red, yellow, and blue dots denote the *P*-axis, *B*-axis, and *T*-axis respectively, with the surrounding red closed contour, yellow arcs, and blue arcs indicating their uncertainty ranges; green dots and black dots indicate the projections of each focal mechanism solution on the *P*-axis and *T*-axis.); (b) 3D radiation pattern (U, D denote up and down; red and blue represent dilation and compression areas, respectively.)

可能是此次地震的发震断层。

需要注意的是,应力场并非静止不变,大震的发生会对区域应力场造成影响,其变化可能影响后续地震的发生。收集了此次定日6.8级地震发生后的16个余震震源机制(杨志高等,2025),通过联合迭代反演方法(Vavryčuk, 2014)对震后区域构造应力场进行反演,探讨应力场的动态演变过程。计算得到震后研究区(27°—29°N, 86°—88°E)主压应力轴走向为172°、倾伏角为58°,主张应力轴走向为73°、倾伏角为6°,中间轴走向为−21°,倾伏角为31°,相对应力大小*R*=0.57。结果显示,主压应力轴与主张应力轴同步顺时针旋转16°~17°,这与登么错断裂西倾(倾角为55°)的正断滑动密切相关,正断滑动使区域应力场沿断裂走向发生顺时针偏转,以平衡地壳变形产生的附加应力。相对应力大小*R*由0.4增至0.57,表明主张应力与主压应力的差距缩小,应力场的各向异性减弱。这是由于主震释放了断裂积累的剪应力,使原本“集中加载”的应力状态向“均衡分布”转变,符合正断型地震后应力松弛的典型特征。主压应力轴倾伏角从34°增至58°,说明垂向挤压分量占比上升,可能与震源区地壳弹性回跳引发的深部物质运动有关;中间轴倾伏角减小22°,则反映水平向应力在次级构造中的重新分配,为该地震的大量余震活动提供了动力。

3 地震对周围产生的位移场与应变场

杨建文等(2025)将走向为184°、倾角为55°、长90 km、宽24 km的断层面分为240个子断层,采用升、降轨同震形变降采样数据进行反演得到定日6.8级地震的破裂模型,该模型破裂区长约55 km,滑动分布集中在地下0~15 km处,最大滑动量4.25 m,地震破裂过程呈现出从初始破裂点开始,沿断层面向北拓展的单侧破裂特征;该模型与万永革等(2025)根据地震矩张量分析得到的破裂分布和震源特性以及高扬等(2025)和刘富财等(2025)的野外地质调查结果基本一致。为了评估西藏定日6.8级地震对周围区域的影响,此次研究基于弹性半空间模型(Okada, 1992; 万永革等, 2009)以及杨建文等(2025)得到的破裂模型,计算了该地震在周边区域引发的地表同震位移场,以及面应变、体应变、北向应变、东向应变和北东向应变(图4,图5)。



沙滩球为在相应应力场背景下的地震发生机制

a—节面上的相对剪应力；b—节面上的相对正应力

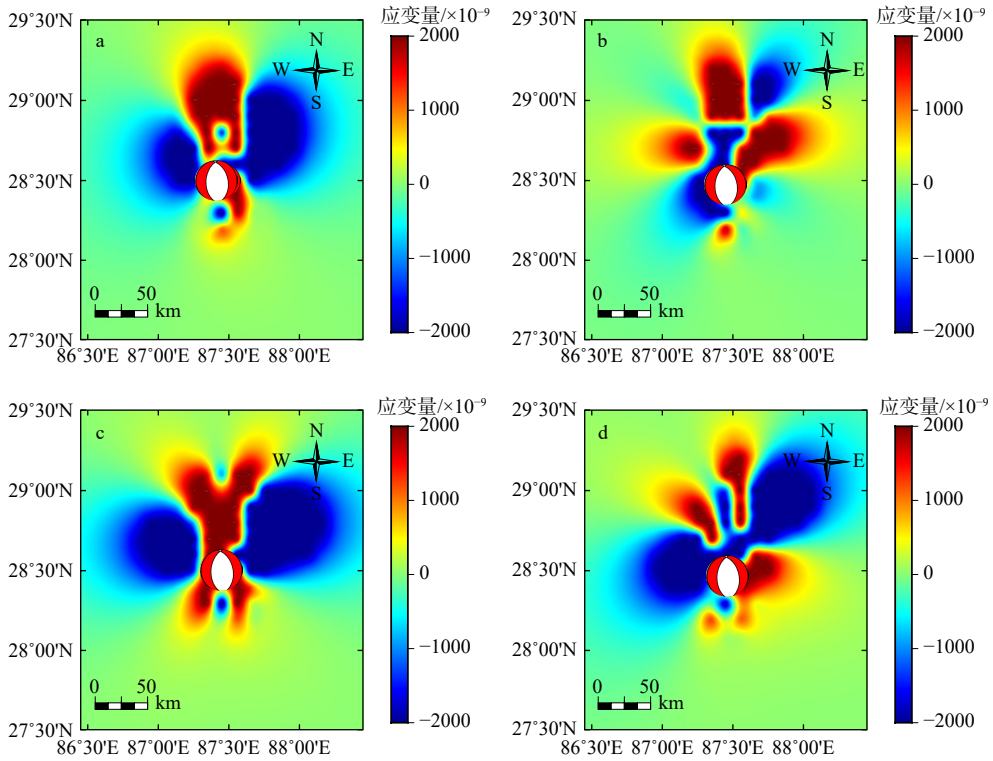
图 3　研究区应力场在各种节面上的相对应力

Fig. 3　Relative stress on each plane in the study area

(a) Relative shear stress on the nodal planes; (b) Relative normal stress on the nodal planes

Beach balls represent the focal mechanisms under the corresponding stress field.

此次地震引发的地表体应变在震中的南北两侧区域呈拉张状态，最大量为 1.768×10^{-6}；而在震中周围及东西两侧呈压缩状态，最大量为 1.874×10^{-6}（图 4）。体应变与垂直位移（图 5a）的隆升−沉降区高度吻合——东北侧隆升区对应拉张应变，北侧沉降区及东西两侧对应压缩应变；表明地壳体积变化与垂直运动的力学关联性（隆升伴随体积膨胀，沉降伴随体积收缩）。北向应变在震中在东北侧、远端北侧及远端西北侧区域表现为拉张状态，最大量为 1.963×10^{-6}；而在震中西南侧、北侧与远端东北侧表现为压缩状态，最大量为 1.929×10^{-6}。东向应变在震中周围呈明显的拉张状态，最大量为 1.859×10^{-6}；且分别向南北两向扩展，而在震中东西两侧区域呈压缩状态，最大量为 1.957×10^{-6}。北东向应变



图中底色代表应变大小，拉张为正，单位为 10^{-9}；红色沙滩球处为震中位置

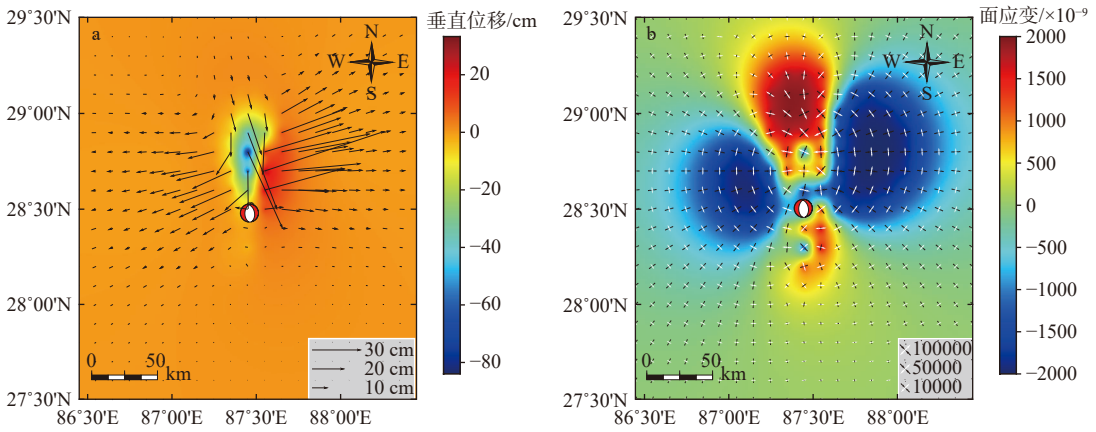
a—体应变；b—北向应变；c—东向应变；d—北东向应变

图 4 西藏定日 6.8 级地震产生的各分量应变

Fig. 4 The strain components generated by the Dingri *M* 6.8 earthquake in Xizang

(a) Volumetric strain; (b) Northward strain; (c) Eastward strain; (d) Northeastward strain

The background color represents the strain magnitude, with positive values for tension (unit: 10^{-9}); the epicenter is marked by the red beach ball.



a—同震位移场（底色代表垂直位移，上升为正；黑色箭头代表水平位移，单位为 cm）；b—水平主应变和面应变场（底色表示水平面应力，拉张为正，黑色箭头为水平主压应变，白色箭头为水平主张应变，单位均为 10^{-9}；红色沙滩球处为震中位置）

图 5 西藏定日 6.8 级地震的地表响应

Fig. 5 The surface response of the Dingri *M* 6.8 earthquake in Xizang

(a) Co-seismic displacement field (The background color represents vertical displacement, positive for uplift; black arrows denote horizontal displacement, unit: cm); (b) Horizontal principal strain and areal strain field (The background color indicates horizontal areal stress, positive for tension; black arrows stand for horizontal principal compressive strain, white arrows for horizontal principal tensile strain, both units: 10^{-9}; the epicenter is marked by the red beach ball.)

在震中周围及东北、西南侧呈压缩状态，最大量为 1.855×10^{-6}；在远端南北两侧区域以及东侧呈拉张状态，最大量为 1.910×10^{-6}。

投影到地表上的近场位移具有以下特征（图 5a）：垂直位移在震中北侧最大沉降量为 83.97 cm，东北侧隆升量最大为 33.25 cm，沉降量约为隆升量的 2.5 倍；在震中北侧（28°30′—29°00′N）整体沉降；东北侧（28°30′—29°00′N，87°30′—88°00′E）少量隆升，与正断型断层上盘沉降、下盘隆升的力学特征一致。水平位移在震中东西两侧向外，北侧小范围向内，并在震中北侧造成的最大水平位移量为 76.65 cm，水平位移以震中为中心呈“双向辐射”——东侧物质向 88°00′E 以东扩散，西侧向 87°00′E 以西扩散，符合正断层拉张作用下地壳横向伸展的规律；北侧（29°N 附近）出现局部内向位移，形成“东西张、南北挤”的局部应力场。面应变则在震中南北两侧拉张，最大量为 1.737×10^{-6}；震中周边及东西两侧压缩，最大量为 1.987×10^{-6}；分布特征与体应变相似（图 5b）。面应变拉张区的主张应力以震中为中心呈辐射状，在压缩区近似表现为以震中为中心的近似同心圆；主压应力在面应变拉张区近似同心圆，在压缩区呈辐射状，且主应力自震中向外逐渐衰减。

4　对周围主要断裂的影响

4.1　计算方法

当库仑破裂应力超过岩石破裂强度时，可能引发断层破裂并导致地震。库仑破裂应力变化是驱动断层破裂的关键参数，其表达式为

$$\Delta CFS = \Delta\tau + \mu'\Delta\sigma_n \tag{1}$$

式中，ΔCFS—库伦破裂应力变化；$\Delta\tau$—断层面滑动方向上的剪切应力变化；$\Delta\sigma_n$—断层面上的正应力变化（以拉张为正）；μ'—视摩擦系数。考虑到孔隙流体和介质特性，μ'通常取值在 0.2～0.8 之间。此次研究参考已有研究（King et al, 1994; Harris, 1998），取μ'= 0.4。当$\Delta CFS > 0$且超过 0.01 MPa 的阈值时，会对断层的破裂起到触发作用，意味着断层更有可能发生破裂活动。当$\Delta CFS < 0$时，则会抑制断层的破裂，使断层相对更稳定，不易发生破裂。

4.2　主要断裂上的库伦应力变化

通过计算地震周围区域断层上库伦应力变化量来探究 2025 年 1 月 7 日西藏定日 6.8 级地震对周围主要断层的影响。在计算库仑应力变化时，需要获取断层的几何形状和滑动性质的数据，此次研究综合了张进江等（2002）、张小涛等（2020）、侯丽燕等（2020）通过野外断层陡坎测量与 InSAR 形变反演验证对断层的研究，给出周边断层的长度、走向、倾角、滑动角等特征（表 2），并对延伸较长的断裂按构造特征分为 3～8 段，每段独立计算应力变化，以体现应力分布的空间异质性。

基于 Okada（1992）弹性位错理论，将杨建文等（2025）破裂模型中的 240 个子断层视为独立位错源，分别计算每个子断层在各断裂节点处产生的剪应力和正应力，对所有子断层的应力贡献进行矢量叠加，得到每个断裂节点的总剪应力和总正应力，再根据 4.1 节的方法，计算了此次地震在 10 km 深度（该地区地震发生的典型深度）处对周围主要断裂

表 2　地质断裂参数及投影其上的库仑破裂应力变化

Table 2　Geological fault parameters and Coulomb failure stress changes projected onto the faults

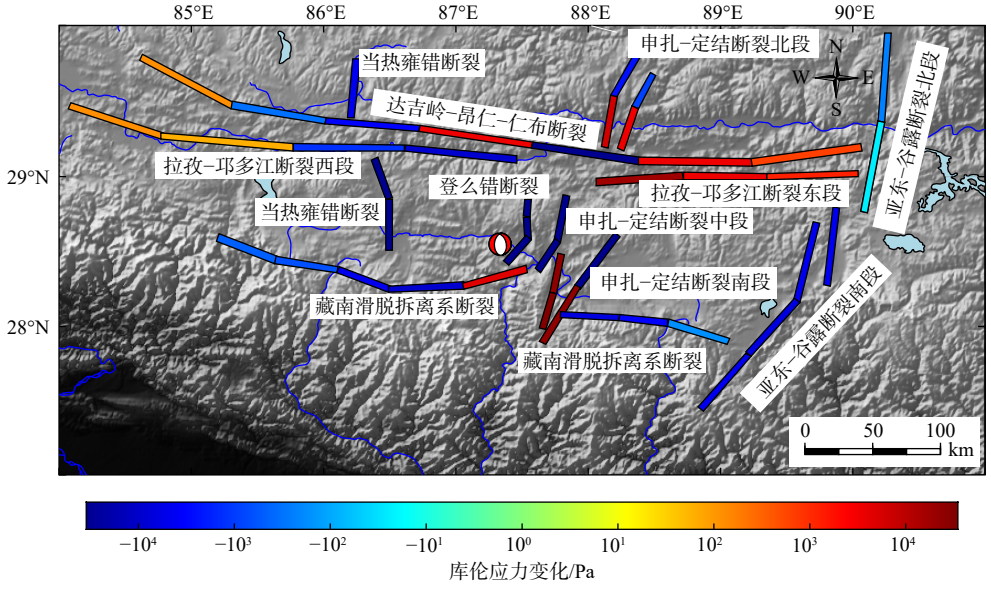
断裂名称	分段数	性质	长度/km	倾角/(°)	倾向	滑动角/(°)	库伦应力变化区间/MPa
申扎–定结断裂北段	4	正断	139	45	SEE	–110	–0.0017～0.0071
申扎–定结断裂中段	2	正断	61	42.5	NWW	–105	–0.3855～–0.1310
申扎–定结断裂南段	4	正断	143	45	SEE	–110	–0.0715～0.0349
登么错断裂	3	正断	56	55	W	–78	–9.896～–0.1564
藏南滑脱拆离系断裂	8	正断	411	10	N	–90	–0.0055～0.0062
亚东–谷露断裂南段	4	正断	203	52	W	–115	–0.0026～–0.0036
亚东–谷露断裂北段	2	正断	132	40	W	–115	–0.0001～–0.0008
拉孜–邛多江断裂东段	3	逆冲	218	75	N	30	0.0013～0.0191
拉孜–邛多江断裂西段	4	走滑	378	75	N	70	–0.0066～0.0001
达吉岭–昂仁–仁布断裂	7	走滑	608	75	N	70	–0.0207～0.0037
当热雍错断裂	3	正断	110	45	W	–90	–0.0366～–0.0027

产生的库伦破裂应力(图 6, 表 2)。可以看到, 此次地震致使周围多条断裂出现不同程度的库伦应力变化。其中, 登么错断裂的库伦应力表现为显著卸载, 是所有断裂中应力释放最为剧烈的, 有效释放了区域构造应力, 导致震中周边应力水平下降, 这一特征进一步印证了其作为发震断层的性质。申扎−定结断裂不同段落的应力变化存在差异: 中段以卸载为主, 最大卸载量为 0.3855 MPa; 南段呈现“加载−卸载”交替特征, 最大增加量为 0.0349 MPa, 超过 0.01 MPa 的触发阈值, 而最大卸载量为 0.0715 MPa; 北段的应力波动幅度较小, 最大增加量 0.0071 MPa, 未达到触发阈值, 最大卸载量仅 0.0017 MPa。拉孜−邛多江断裂的东西段应力响应存在分化: 东段的最大库伦应力增加量为 0.0191 MPa, 超过触发阈值; 西段则以卸载为主, 最大增加量未达到阈值。此外, 亚东−谷露断裂、藏南滑脱拆离系断裂、达吉岭−昂仁−仁布断裂及当热雍错断裂的库伦应力变化均以卸载为主要特征, 且各断裂的最大增加量均未超过 0.01 MPa 的触发阈值, 表明此次地震对这些断裂的应力扰动相对较弱。

5 讨论

已有的研究结果为登么错断裂作为发震构造提供了直接证据。高扬等(2025)通过野外实地调查发现, 登么错断裂第四纪晚期以来活动显著, 其平均垂直滑动速率约为 0.5～0.7 mm/a, 具备发生 M_w 6.9～7.0 地震的潜力。定日地震发生后, 刘富财等(2025)在登么错断裂沿线识别出长约 35 km 的同震地表破裂带, 走向为北北东—南南西向(约 180°～190°), 与此次研究确定的节面 I 走向(184.37°)高度一致。此外, InSAR 形变场反演结果显示, 同震形变中心位于登么错断裂北段, 形变场在断裂西侧沉降、东侧隆升(张旭等, 2025), 符合正断机制。余震序列精定位结果也显示, 余震沿登么错断裂呈线性分布(杨婷等, 2025)。综上, 登么错断裂的地表破裂特征、滑动性质、形变场分布与震源机制解高度一致, 结合此次研究得到的地震区域构造应力场特征以及库伦破裂应力变化情况, 充分表明该断裂为 2025 年定日 6.8 级地震的发震构造。

计算此次地震对周围断层的影响时破裂模型的选择是个棘手的问题, 文章分别收集了 USGS(https://earthquake.usgs.gov/earthquakes)、张勇(https://pku-geophysics-source.group/htmls/20250107010516Dingri.html)、杨建文等(2025)以及张旭等(2025)提供的破裂模型, 从破裂分布和总体特征来看, 几者相差不大, 分别计算后发现结果差别也不大, 从发震构造



断裂填充的颜色代表库伦破裂应力变化, 红色表示增加, 蓝色表示减少; 蓝色细线条表示河流; 红色沙滩球是西藏定日 6.8 级地震

图 6 西藏定日 6.8 级地震 10 km 深度处对周围主要断裂产生的库伦破裂应力

Fig. 6 Coulomb failure stress induced by the Dingri M 6.8 earthquake in Xizang on the surrounding major faults at a depth of 10 km

Colors of the fractures represent Coulomb failure stress changes: Red indicates an increase and blue a decrease; blue thin lines represent rivers; red beach ball locates the Dingri M 6.8 earthquake in Xizang.

以及模型的精细程度来考虑，最终选择了杨建文等（2025）提供的破裂模型。此外，根据这些破裂模型计算后发现的共同特征，此次地震对申扎−定结断裂南段的库伦应力影响较大，应力增量远超触发阈值，申扎−定结断裂南段截至 2025 年 1 月已累计记录 10 次 5.0 级以上地震活动。特别值得注意的是，2015 年尼泊尔发生 M_W 7.8 主震后，藏南申扎−定结断裂的拉张断层南端靠近西藏定日地区发生了数次正断层地震：2015 年 4 月 25 日 M_W 5.7 地震、2016 年 5 月 22 日 M_W 5.3 地震和 2020 年 3 月 20 日 M_W 5.7 地震（方金玲等，2022），并且该断裂处于历史强震空区（张小涛等，2020）。胡贵明等（2025）的研究指出，藏南裂谷系内的正断层（如申扎−定结断裂）具备孕育 M_W 7.0～7.5 地震的构造潜力。此次定日地震在申扎−定结断裂南段造成的应力加载（最大增量 0.0349 MPa）可能加速了该断裂段的地震孕育进程，其未来存在发生中强地震（$M_W \geqslant 6.0$）甚至更大规模破裂的可能。应力触发不仅是一个瞬时过程，更可能具有长期的累积效应。其持续累积效应仍可能对断层稳定性构成影响，最终诱发地震。此次地震在拉孜−邛多江断裂东段产生的应力变化（最大增量 0.0191 MPa）虽略超阈值，但若与此区域历史上其他地震（如 2015年尼泊尔地震序列）产生的应力场叠加，其累积效应可能进一步加剧该断裂的失稳风险（方金玲等，2022）。研究揭示的应力加载趋势需引起关注。此外，申扎−定结断裂中段、申扎−定结断裂北段、亚东−谷露断裂、拉孜−邛多江断裂西段、藏南滑脱拆离系断裂、达吉岭−昂仁−仁布断裂及当热雍错断裂的库伦应力均未达到触发阈值，表明此次地震对这些断裂带的影响较弱。需注意的是，该阈值为基于经验设定的临界值，Ziv and Rubin（2000）研究表明，即使库伦应力变化量级低于 0.01 MPa，其累积效应仍可影响区域地震活动性。

为验证其他深度下申扎−定结断裂南段以及拉孜−邛多江断裂的库伦破裂应力变化是否也超过了应力触发阈值，增加了敏感性测试，计算出了该区域主要断裂在 8～12 km 深度处的库伦破裂应力变化情况。结果显示，在 8 km 深度下申扎−定结断裂南端的库伦应力最大增加量达 0.037 MPa、拉孜−邛多江断裂东段的库伦应力最大增加量达 0.018 MPa；在 12 km 深度下申扎−定结断裂南端的库伦应力最大增加量达 0.032 MPa、拉孜−邛多江断裂东段的库伦应力最大增加量达 0.019 MPa。申扎−定结断裂南端和拉孜−邛多江断裂东段的库伦破裂应力增加量均超过了应力触发阈值（0.01 MPa），这表明该断裂处于潜在的应力积累高值区域，进一步验证了此次研究结果的合理性。

研究采用的弹性半空间模型假设地壳为均匀弹性介质，未考虑实际地质体的非均质性（如藏南裂谷系的分层结构）和黏弹性特征。藏南滑脱拆离系的低角度断层可能对黏弹性松弛更为敏感（侯丽燕等，2020），而静态库伦应力计算未纳入时间依赖性应力调整过程，可能低估长期应力演化对后续地震的触发作用。余震序列的时空分布尚未与应力变化进行逐点关联分析，难以揭示微观尺度的应力触发规律。未来将结合三维黏弹性有限元模型，引入地壳分层密度结构和孔隙流体压力变化，模拟震后数月至数年的应力松弛过程，评估藏南滑脱拆离系等低角度断层的长期地震危险性。整合主震的动态应力场（基于波形反演）与静态库伦应力变化，解释余震时空分布的复杂性。

6　结论

（1）定日 6.8 级地震的震源机制中心解：节面Ⅰ走向为 184.37°、倾角为 47.67°、滑动角为−78.10°；节面Ⅱ走向为 346.99°、倾角为 43.66°、滑动角为−102.76°，综合判定为正断型地震。

（2）此次地震是在区域构造应力场作用下的正常能量释放，中心震源机制节面Ⅰ为发震断层，结合节面Ⅰ在应力场中的相对剪应力、正应力特征，其倾向、倾角与近南北走向的登么错断裂较为接近，登么错断裂或为发震断层。

（3）此次地震近场位移场正断机制特征显著，结合震源机制解判定此次地震为正断型。面应变分布形态与体应变基本一致。

（4）计算此次地震周边断裂的库伦应力变化表明，登么错断裂的库伦应力最大卸载量显著高于周围断裂。申扎−定结断裂南段以及拉孜−邛多江断裂东段的库伦应力增加量超过了触发阈值，具备发生中强余震或独立破裂事件的潜在条件，其潜在地震危险性需高度关注。

致谢： 杨建文、洪顺英、张勇、USGS 提供了此次地震的破裂模型据，在此一并表示感谢。

作者贡献声明： 张晨晨、万永革负责论文构思、

数据分析、研究方法和论文写作；张晨晨、关兆萱、赵杰斌、王润妍参与数据分析和技术手段的实践应用和绘图；张晨晨、周明月参与数据分析、研究方法和修改。所有作者均阅读并同意稿件的提交和发表。

Author's Contributions: ZHANG Chenchen and WAN Yongge conceived the study, performed data analysis, designed the research methodology, and drafted the manuscript; ZHANG Chenchen, GUAN Zhaoxuan, ZHAO Jiebin and WANG Runyan participated in data analysis, practical application of technical approaches, and figure generation; ZHANG Chenchen and ZHOU Mingyue were involved in data analysis, refinement of the research methodology, and manuscript revision. All authors have read and approved the submission and publication of the manuscript.

利益冲突声明：本文所有作者声明本研究无任何利益冲突。

Conflict of Interests: All authors declare no conflict of interests.

References

FANG J L, ZHAO B, YU J S, 2022. Research on the seismic source model and static stress triggering of the 2015 Dingri M_W5.7 earthquake[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 42(9): 964-970. (in Chinese with English abstract)

GAO Y, WU Z H, HAN S, et al., 2025. Late Quaternary throw rate of the seismogenic fault (Dengmecuo Fault) of the 2025 M_S6.8 Dingri earthquake in Shigatse[J]. Seismology and Geology, 47(3): 689-706. (in Chinese with English abstract)

GUAN Z X, WAN Y G, HUANG S H, 2024. The stress effect of the *M*5.5 earthquake on the surrounding area in Shandong Pingyuan in 2023[J]. Earthquake Research in China, 40(2): 378-388. (in Chinese with English abstract)

HARRIS R A, 1998. Introduction to special section: stress triggers, stress shadows, and implications for seismic hazard[J]. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 103(B10): 24347-24358.

HOU L Y, SHAN X J, GONG W Y, et al., 2020. Characterizing seismogenic fault of 2016 Dingjie earthquake based on multitemporal DInSAR[J]. Chinese Journal of Geophysics, 63(4): 1357-1369. (in Chinese with English abstract)

HU G M, XU Y R, LIU H, et al., 2025. Estimation of the maximum magnitude of normal faults and seismic risk in the southern Tibetan rift zones[J]. Earth Science, 50(5): 1794-1812. (in Chinese with English abstract)

HUANG S H, WAN Y G, FENG G, et al., 2023. Trigger mechanism and dynamic causes of the Taiwan earthquake sequence on September 17, 2022[J]. Journal of Geomechanics, 29(5): 674-684. (in Chinese with English abstract)

JIN Z T, ZHOU M Y, HUANG J C, et al. , 2025. The Stress Triggering of the 2025 Dingri, Xizang, China M_W 6.8 Earthquake by the 2015 Nepal M_W 7.8 and M_W 7.2 Earthquakes. Earth Science, 50(5): 1782-1793. (in Chinese with English abstract)

KING G C P, STEIN R S, LIN J, 1994. Static stress changes and the triggering of earthquakes[J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 84(3): 935-953.

LEVENBERG K, 1944. A method for the solution of certain non-linear problems in least squares[J]. Quarterly of Applied Mathematics, 2(2): 164-168.

LI T D, 1995. The uplifting process and mechanism of the Qinhai-Tibet Plateau[J]. Acta Geoscientia Sinica, 16(1): 1-9. (in Chinese with English abstract)

LIU F C, PAN J W, LI H B, et al., 2025. Co-seismic surface rupture of the 2025 M_W7.1 Tingri earthquake and potential seismic risk in southern Tibetan Plateau[J]. Acta Geologica Sinica, 99(3): 685-703. (in Chinese with English abstract)

MARQUARDT D W, 1963. An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters[J]. Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics, 11(2): 431-441.

NI Y P, 2021. Study on the present-day tectonic activity of Jiagang-Dinggye rift in southern Tibet by using GPS & InSAR[D]. Wuhan: Institute of Seismology, China Earthquake Administration. (in Chinese with English abstract)

OKADA Y, 1992. Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space[J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 82(2): 1018-1040.

SHENG S Z, WANG Q R, LI Z Y, et al., 2025. 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, 47(1): 49-63. (in Chinese with English abstract)

SONG Z Y, WAN Y G, GUAN Z X, et al., 2024. Stress changes on surrounding faults and triggering of aftershocks induced by the M_S7.1 earthquake in Wushi County, Aksu Prefecture, Xinjiang, on January 23, 2024[J]. China Earthquake Engineering Journal, 46(4): 982-991. (in Chinese with English abstract)

VAVRYČUK V, 2014. Iterative joint inversion for stress and fault orientations from focal mechanisms[J]. Geophysical Journal International, 199(1): 69-77.

WAN Y G, SHEN Z K, SHENG S Z, et al., 2009. The influence of 2008 Wenchuan earthquake on surrounding faults[J]. Acta Seismologica Sinica, 31(2): 128-139. (in Chinese with English abstract)

WAN Y G, 2010. Contemporary tectonic stress field in China[J]. Earthquake Science, 23(4): 377-386.

WAN Y G, 2019. Determination of center of several focal mechanisms of the same earthquake[J]. Chinese Journal of Geophysics, 62(12): 4718-4728. (in Chinese with English abstract)

WAN Y G, 2020. Simulation on relationship between stress regimes and focal mechanisms of earthquakes[J]. Chinese Journal of Geophysics, 63(6): 2281-2296. (in Chinese with English abstract)

WAN Y G, 2024. Focal mechanism classification based on areal strain of horizontal strain rosette of focal mechanism and characteristic analysis of overall focal mechanism of earthquake sequence[J]. Earth Science, 49(7): 2675-2684. (in Chinese with English abstract)

WAN Y G, WANG R Y, JIN Z T, et al., 2025. Source characteristics of the 2025 Dingri earthquake and its implications for the activity of the Shenzha-Dingjie rift zone[J]. Seismology and Geology, 47(3): 806-819. (in Chinese with English abstract)

WANG R Y, WAN Y K, GUAN Z X, et al., 2025. Static stress triggering of Morocco *M*6.9 earthquake on 9 September 2023[J]. Journal of Geomechanics, 31(2): 223-234. (in Chinese with English abstract)

WU J J, CHEN W K, JIA Y J, et al., 2025. Rapid seismic intensity and disaster assessment based on dense seismic array: a case of the 2025 Rikaze M_S6.8 earthquake in Xizang[J]. Earth Science, 50(5): 1770-1781. (in Chinese with English abstract)

WU Y L, LI H, ZHANG F, et al., 2025. Analysis of deep tectonic characteristics and seismogenic environment of the Ms6.8 earthquake in Dingri, Xizang, China[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 50(11): 2163-2175. (in Chinese with English abstract)

XU Z S, WEN X T, XI N, et al., 2025. Aftershock relocation and intensity distribution of the Dingri M_S6.8 earthquake in 2025[J]. Earth Science, 50(5): 1759-1769. (in Chinese with English abstract)

YANG J W, JIN M P, YE B, et al., 2025. 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, 47(1): 36-48. (in Chinese with English abstract)

YANG T, WANG S G, FANG L H, et al., 2025. Analysis of earthquake sequence and seismogenic structure of the 2025 M_S6.8 Dingri earthquake in Tibetan Plateau[J]. Earth Science, 50(5): 1721-1732. (in Chinese with English abstract)

YANG Z G, XU T R, LIANG J H, et al. , 2025. Towards fast focal mechanism inversion of shallow crustal earthquakes in the Chinese mainland[EB/OL]. [2025-08-06]. https://data.earthquake.cn/datashare/report.shtml?PAGEID=earthquake_dzzyjz. (in Chinese)

YU P F, JIA Z G, XIONG W, et al., 2017. Study on the deformation characters of Yadong-Gulu rift by InSAR[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 37(6): 594-598. (in Chinese with English abstract)

ZHANG J J, GUO L, DING L, 2002. Structural characteristics of middle and southern Xainza-Dinggye normal fault system and its relationship to southern Tibetan detachment system[J]. Chinese Science Bulletin, 47(13): 1063-1069.

ZHANG J W, Li H A, ZHANG H P, et al. , 2020. Research progress in Cenozoic N-S striking rifts in Tibetan Plateau. Advances in Earth Science, 35(8): 848-862. (in Chinese with English abstract)

ZHANG X, HONG S Y, DONG Y F, et al., 2025. Coseismic deformation and fault Slip distribution of the January 7, 2025, Dingri M_W7.1 earthquake[J]. Earth Science, 50(5): 1709-1720. (in Chinese with English abstract)

ZHANG X T, JIANG X H, XUE Y, et al., 2020. Summary of the Dingri M_S5.9 earthquake in Tibet on March 20, 2020[J]. Seismological and Geomagnetic Observation and Research, 41(4): 193-203. (in Chinese with English abstract)

ZHENG W J, SUN X, YUAN D Y, et al. , 2025. Active faults, seismic activity, and seismotectonic environments in the Tibetan Plateau and its adjacent regions[J]. Journal of Geomechanics, 31(5): 1006−1029. (in Chinese with English abstract)

ZHOU M Y, WAN Y G, GUAN Z X, et al. , 2024. Stress change on surrounding faults and triggering of aftershocks by the 2023 Jishishan M_S6.2 earthquake in Gansu, China[J]. China Earthquake Engineering Journal, 46(4): 942-948, 964. (in Chinese with English abstract)

ZIV A, RUBIN A M, 2000. Static stress transfer and earthquake triggering: no lower threshold in sight?[J]. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 105(B6): 13631-13642.

附中文参考文献

方金玲，赵斌，余建胜，等，2022. 2015 年西藏定日 M_W5.7 地震震源参数估计和静态应力触发研究[J]. 大地测量与地球动力学，42(9)：964-970.

高扬，吴中海，韩帅，等，2025. 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，47(3)：689-706.

关兆萱，万永革，黄少华，2024. 2023 年山东平原 *M*5.5 地震对周围区域的应力影响[J]. 中国地震，40(2)：378-388.

侯丽燕，单新建，龚文瑜，等，2020. 基于多期 DInSAR 数据的 2016 年定结地震序列发震断层特征研究[J]. 地球物理学报，63(4)：1357-1369.

胡贵明，徐岳仁，刘晗，等，2025. 藏南裂谷系正断层带孕震潜力和地震危险性讨论[J]. 地球科学，50(5)：1794-1812.

黄少华，万永革，冯淦，等，2023. 2022 年 9 月 17 日中国台湾地震序列的触发机制及其动力学成因[J]. 地质力学学报，29(5)：674-684.

靳志同，周明月，黄骥超，等，2025. 2015 年尼泊尔 7.8 级和 7.2 级地震对 2025 年中国西藏定日 6.8 级地震的应力触发[J]. 地球科学，50(5)：1782-1793.

李廷栋，1995. 青藏高原隆升的过程和机制[J]. 地球学报，16(1)：1-9.

刘富财，潘家伟，李海兵，等，2025. 2025 年 M_W7.1 西藏定日地震地表破裂与同震位移分布特征[J]. 地质学报，99(3)：685-703.

倪乙鹏，2021. 利用 GPS&InSAR 研究藏南甲岗—定结裂谷现今构造活动特征[D]. 武汉：中国地震局地震研究所.

盛书中，王倩茹，李振月，等，2025. 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，47(1)：49-63.

宋泽尧，万永革，关兆萱，等，2024. 2024 年 1 月 23 日新疆阿克苏地区乌什县 M_S7.1 地震对周围断层的应力影响及对余震的触发作用[J]. 地震工程学报，46(4)：982-991.

万永革，沈正康，盛书中，等，2009. 2008 年汶川大地震对周围断层的影响[J]. 地震学报，31(2)：128-139.

万永革，2019. 同一地震多个震源机制中心解的确定[J]. 地球物理学报，62(12)：4718-4728.

万永革，2020. 震源机制与应力体系关系模拟研究[J]. 地球物理学报，63(6)：2281-2296.

万永革，2024. 震源机制水平应变花面应变的地震震源机制分类方法及序列震源机制总体特征分析[J]. 地球科学，49(7)：2675-

2684.

万永革, 王润妍, 靳志同, 等, 2025. 2025年1月7日定日地震震源特性及对申扎-定结裂谷活动的启示[J]. 地震地质, 47(3): 806-819.

王润妍, 万永魁, 关兆萱, 等, 2025. 2023年9月9日摩洛哥*M*6.9地震静态应力触发研究[J]. 地质力学学报, 31(2): 223-234.

吴佳杰, 陈文凯, 贾艺娇, 等, 2025. 基于密集台阵的地震烈度及灾情快速评估: 以2025年西藏日喀则M_S6.8地震为例[J]. 地球科学, 50(5): 1770-1781.

吴云龙, 李好, 张帆, 等, 2025. 西藏定日县M_S6.8地震深部构造特征与孕震环境分析[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 50(11): 2163-2175.

徐志双, 文鑫涛, 席楠, 等, 2025. 2025年西藏定日M_S6.8级地震余震序列精定位与地震烈度[J]. 地球科学, 50(5): 1759-1769.

杨建文, 金明培, 叶泵, 等, 2025. 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, 47(1): 36-48.

杨婷, 王世广, 房立华, 等, 2025. 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, 50(5): 1721-1732.

杨志高, 徐泰然, 梁建宏, 等, 2025. 中国地震台网中心大震震源机制CMT产品[EB/OL]. [2025-08-06]. https://data.earthquake.cn/data-share/report.shtml?PAGEID=earthquake_dzzyjz.

余鹏飞, 贾治革, 熊维, 等, 2017. 西藏亚东-谷露裂谷带运动特征的InSAR研究[J]. 大地测量与地球动力学, 37(6): 594-598.

张进江, 郭磊, 丁林, 2002. 申扎—定结正断层体系中、南段构造特征及其与藏南拆离系的关系[J]. 科学通报, 47(10): 738-743.

张佳伟, 李汉敖, 张会平, 等, 2020. 青藏高原新生代南北走向裂谷研究进展[J]. 地球科学进展, 35(8): 848-862.

张小涛, 姜祥华, 薛艳, 等, 2020. 2020年3月20日西藏定日M_S5.9地震总结[J]. 地震地磁观测与研究, 41(4): 193-203.

张旭, 洪顺英, 董彦芳, 等, 2025. 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, 50(5): 1709-1720.

郑文俊, 孙鑫, 袁道阳, 等, 2025. 青藏高原及邻区活动断裂、地震活动及地震构造环境[J]. 地质力学学报, 31(5): 1006-1029.

周明月, 万永革, 关兆萱, 等, 2024. 2023年甘肃积石山M_S6.2地震对周围断层的应力影响及对余震的触发作用[J]. 地震工程学报, 46(4): 942-948, 964.