

基于国产高分影像解译的2025年缅甸 M_w 7.7地震地表破裂空间展布与位错量分布特征

梁朋^{1,2}, 徐岳仁^{1,2*}, 胡朝忠^{1,2,3*}, 田勤俭⁴, 房立华^{1,2}, 窦爱霞^{1,2}, 熊仁伟^{1,2}, 吴伟伟^{1,2}, 徐超⁵, 耿飞⁵

1. 地震预测与风险评估应急管理部重点实验室, 中国地震局地震预测研究所, 北京 100036

2. 中国地震局地震预测重点实验室(地震预测研究所), 北京 100036

3. 中国石油大学(北京)地球科学学院, 北京 102249

4. 中国地震灾害防御中心, 北京 100029

5. 中国地震局地球物理研究所, 北京 100081

* 联系人, E-mail: xuyr@ief.ac.cn; huchaozhong2005@126.com

2025-05-14 收稿, 2025-07-30 修回, 2025-09-17 接受, 2025-10-09 网络版发表

中国地震局地震预测研究所基本科研业务专项(CEAIEF20240402, CEAIEF20240302, CEAIEF20250101)、科技基础资源调查专项(2021FY10010405)和国家自然科学基金(42072248, 42330311)资助

摘要 2025年3月28日在缅甸实皆断裂带发生 M_w 7.7地震, 造成重大人员伤亡与基础设施破坏. 地震造成的地表破裂是分析震源破裂过程与评估地震危险性的重要依据, 本文利用震后获取的多源国产亚米级高分辨率卫星影像, 系统开展了此次强震产生的同震地表破裂的遥感解译与位错测量, 并对典型场点开展了现场考察验证. 结果显示: (1) 国产高分辨率遥感卫星具备优异的成像时效性与空间分辨率, 有助于完整刻画国际强震地表破裂的空间展布与位错量分布特征; (2) 缅甸 M_w 7.7地震是一次级联破裂, 解译的地表破裂主要沿实皆断裂带迹线展布, 地表破裂总长度超过405 km, 造成了实皆断裂带中部密铁拉段、内比都段2个断层段发生贯通式破裂, 实皆段、彪关段2个断层段发生局部破裂; (3) 获得379处右旋错断的田埂、道路等线性标志物, 位错值域范围为 $1\pm 0.1\sim 5.5\pm 0.55$ m, 与前人基于像素偏移追踪获取的结果整体一致, 但其空间分布与现有断层分段的空间对应关系存在一定偏差. 结合本次同震地表破裂特征、历史地震等资料, 认为未来需要重点关注实皆断裂带南、北两端“地震空段”的未来强震危险性.

关键词 缅甸 M_w 7.7地震, 同震地表破裂, 高分辨率卫星影像, 实皆断裂带, 级联破裂

强震地表破裂是活动断层滑动的直接证据, 可揭示断裂深部的几何结构、破裂模式和位错分布等关键信息^[1~12]. 同时, 地表破裂的空间展布与位错分布可为矩震级-地表破裂参数经验关系刻画、复发周期估算与断层滑移速率反演等提供基础数据支持^[13,14]. 因此, 强震地表破裂制图不仅有助于深入认识地震破裂过程等机制, 更为区域地震危险性评估提供了关键依据^[3,12,15,16].

据中国地震台网中心(China Earthquake Networks Center, CENC)测定, 2025年3月28日14时20分缅甸中部发生 M_s 7.9地震, 震源深度30 km, 震中位于 21.85°N , 95.95°E (<https://www.cenc.ac.cn/2025>); 美国地质调查局(United States Geological Survey, USGS)测定的矩震级为 M_w 7.7, 震中位置为 22.001°N , 95.925°E , 震源深度为10 km (<https://www.earthquake.usgs.gov>, 2025). 本次地震距离缅甸第二大城市曼德勒仅十余千米, 是近年

引用格式: 梁朋, 徐岳仁, 胡朝忠, 等. 基于国产高分影像解译的2025年缅甸 M_w 7.7地震地表破裂空间展布与位错量分布特征. 科学通报, 2025, 70: 5551–5565

Liang P, Xu Y, Hu C, et al. Surface rupture pattern and coseismic displacement distribution of the 2025 M_w 7.7 Myanmar earthquake revealed by Chinese high-resolution satellite imagery (in Chinese). Chin Sci Bull, 2025, 70: 5551–5565, doi: [10.1360/CSB-2025-0672](https://doi.org/10.1360/CSB-2025-0672)

来东南亚地区最具破坏性的强震事件之一,不仅造成了实皆断裂带沿线曼德勒、内比都、实皆等缅甸城市的严重破坏,也波及泰国曼谷、中国瑞丽等城市.在这次地震中,缅甸大量高层住宅、桥梁等建筑倒塌,约3600人死亡、5017人受伤(https://news.cnr.cn/sq/20250407/t20250407_527126250.shtml).

实皆断裂带是2025年缅甸 M_w 7.7地震的发震断层,该断裂带自1900年以来已经相继发生了1908年 M_w 7.2、1930年 M_w 7.3和 M_w 7.5、1946年 M_w 7.1和 M_w 7.6、1931年 M_w 7.6、1991年 M_w 7.0等数次7级及以上地震^[17].同时,在实皆断裂带上仍存在多个“地震空段”^[18~21](图1).目前,关于这些地震地表破裂的研究很少,大部分历史地震破裂范围主要是基于震级-断层破裂长度经验公式、断层地貌等推断的^[18~20].2025年缅甸 M_w 7.7地震表现出典型的级联破裂特征,其破裂尺度与位错量分布对于深入认识实皆断裂带中南段的构造活动特征具有重要意义,也为厘清现有分段划分的合理性及历史地震破裂之间的空间关系提供了关键基础资料.本次地震过后,区域未来潜在强震的危险性也成为公众与科学界关注的焦点.因此,开展地表破裂调查,快速获取国际强震地表破裂的空间展布与位错分布数据对理解缅甸 M_w 7.7地震涉及的这些科学问题至关重要.

高分辨率卫星影像凭借其优越的空间覆盖能力、时效性、解译精度高等特征,在震后地表破裂识别中发挥着越来越重要的作用^[1,24,25].本文借助国产高分辨率卫星影像,详细解译和测量了2025年缅甸 M_w 7.7地震的地表破裂及其位错量,并在典型场点开展了现场考察验证.文章主要定量揭示地表破裂的空间展布特征、位错分布规律、同震地表破裂样式,进而初步分析了本次同震地表破裂与实皆断裂带现有断层段划分方案、滑动速率、历史强震、“地震空段”的关系.

1 区域构造背景

实皆断裂带是一条右旋走滑断裂,总体呈北北东-南南西走向,长度超过1400 km,是缅甸与巽他板块之间相互滑动时形成的边界^[20,21,26].实皆断裂带从北部的喜马拉雅东构造结开始发育,一直延伸至南部的安达曼海扩张中心^[27].实皆断裂带的地震活动性、全球导航卫星系统(Global Navigation Satellite System, GNSS)速度场、断层形态等存在明显分段特征^[20,28,29].在实皆断裂带中南段,从北到南可以划分为实皆段、密铁拉

段、内比都段、彪关段以及勃固段;断层北部分段较为复杂,多个不同的断层段组成马尾状排列,可以划分成皎丹段、班茂段、沙都渣段等七个断层段^[20].

前人GNSS观测数据显示,实皆断裂带滑动速率在16~24 mm/a之间,并表现出明显的空间差异^[28,30,31].其中以中部的实皆段、密铁拉段的滑动速率最高,达到24 mm/a,历史上曾发生1839年 M 8地震和1946年 M 7地震;南部的勃固段、彪关段的滑动速率普遍在16 mm/a以上,曾在1930年先后发生 $M_w > 7$ 地震.实皆断裂带北部各段的滑动速率在16 mm/a左右,在1908、1931年和1946年分别发生过 M 7地震^[19,20,28].实皆断裂带北部震源深度可达到27 km,但是在中南部普遍都不会超过20 km^[17].可能由于实皆断裂带较大的滑动速率和连续不断的历史强震,中南部各段之间没有明显的大型断层阶区^[20].2025年缅甸 M_w 7.7地震主要发生在实皆断裂带中南部,主要涉及实皆断裂带中南部的实皆段、密铁拉段、内比都段、彪关段等几个断层段(图1).

2 数据和方法

2.1 数据收集与处理

本研究中主要收集了震后北京三号卫星(BJ-3; 空间分辨率: 0.3~0.5 m)、高分一号B/C/D卫星(GF-1B/C/D; 空间分辨率为2 m)、高分二号卫星(GF-2; 空间分辨率为1 m)、高分六号卫星(GF-6; 空间分辨率为2 m)、高分七号卫星(GF-7; 空间分辨率为0.65 m)、吉林一号卫星(JL-1; 空间分辨率0.75~1 m)、资源一号02E卫星(ZY-1E; 空间分辨率为2.5 m)等拍摄的应急成像数据,其空间分布如图1(c)所示.上述高分辨率卫星影像的拍摄时间为2025年3月28日~4月24日,充分体现了国产遥感数据在重大地震事件中的快速响应与成像能力,有效记录了地表破裂形态与构造形变痕迹,具备极高的时效性与解译价值.

为确保同震地表破裂的准确识别和测量,本研究同样收集了震前6个月内拍摄的亚米级高分辨率卫星影像作为对比,包括GF-2和GF-7卫星数据.这些震前影像完整覆盖了本次地震的地表破裂区域,且其获取时间接近发震时间,地表地物变化较小.作为震后解译的对照基准,这些影像在排除非构造性线性标志、识别新发育的同震破裂以及位错标志等方面发挥了重要作用.在解译地表破裂之前,震前震后所有高分辨率卫星影像均经过几何校正、影像配准和融合等处理.

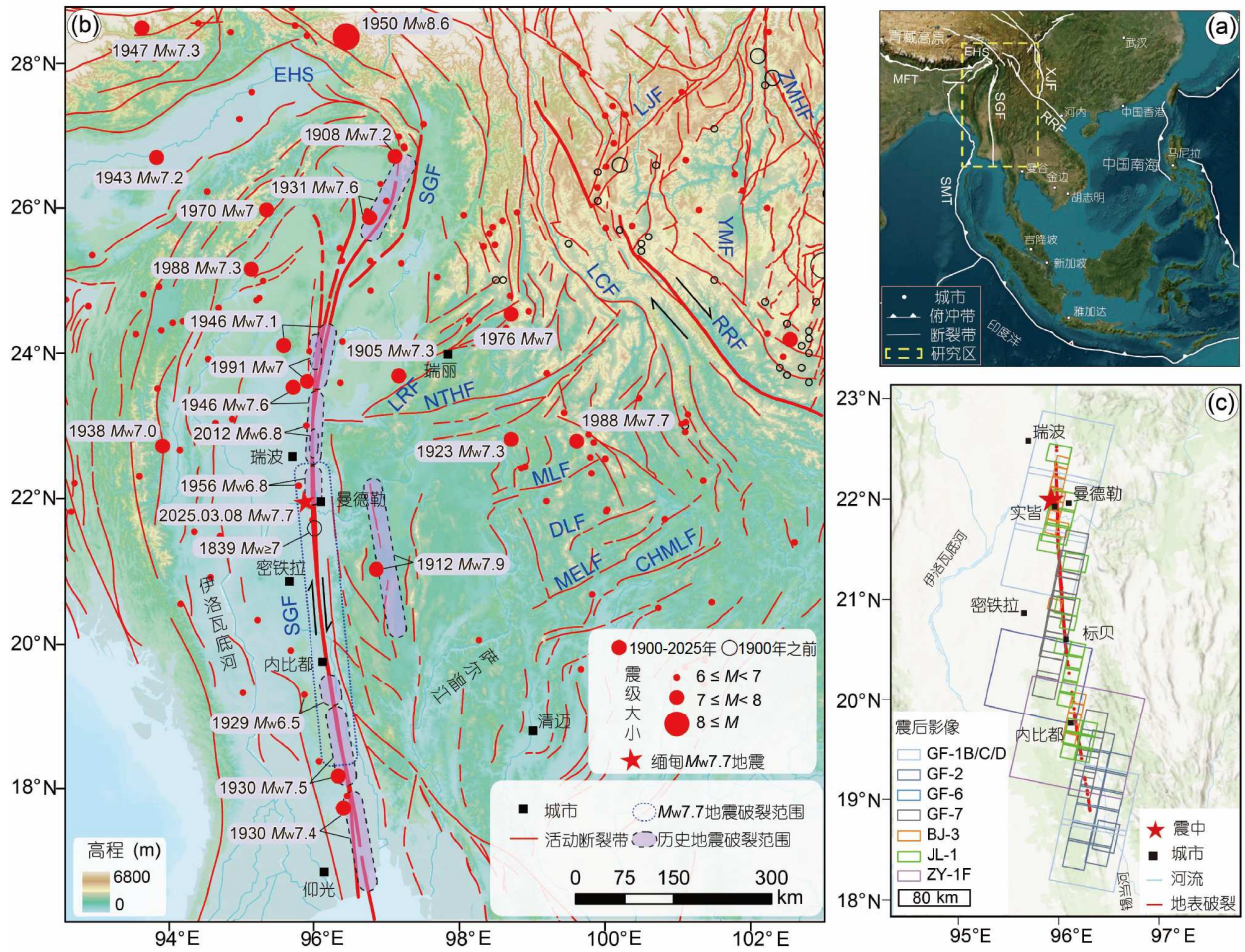


图 1 2025年缅甸 $M_w7.7$ 地震区域构造图。(a) 区域板块构造与主要活动断层；(b) 区域断层展布、历史地震与破裂范围；(c) 本研究收集的高分辨率卫星影像索引图。SGF, 实皆断裂带；SMT, 巽他俯冲带；MFT, 主前锋逆冲断层；EHS, 喜马拉雅东构造节；RRF, 红河断裂；XJF, 小江断裂；LRF, 龙陵-瑞丽断裂；NTHF, 南汀河断裂；MLF, 孟连断裂；DLF, 打洛断裂；MELF, 勐龙断裂；CHMLF, 岔河-勐腊断裂；LJF, 丽江断裂；YMF, 元谋断裂；LCF, 澜沧江断裂；ZMHF, 则木河断裂。历史地震破裂范围引自文献[20]，区域历史地震来自USGS (<https://www.earthquake.usgs.gov>, 2025) 和国家地震科学数据中心[22]，活动断裂带数据来自文献[23]

Figure 1 Regional tectonic map of the 2025 Myanmar $M_w7.7$ earthquake. (a) Regional plate boundaries and major active faults; (b) distribution of regional faults, historical earthquakes, and surface rupture extents; (c) index map of high-resolution remote sensing imagery collected in this study. SGF, Sagaing Fault; SMT, Sunda Megathrust; MFT, Main Frontal Thrust; EHS, Eastern Himalayan Syntaxis; RRF, Red River Fault; XJF, Xiaojiang Fault; LRF, Longling-Ruili Fault; NTHF, NanTinghe Fault; MLF, Menglian Fault; DLF, Daluo Fault; MELF, Menglong Fault; CHMLF, Chahe-Mengla Fault; LJF, Lijiang Fault; YMF, Yuanmou Fault; LCF, Lancangjiang Fault; ZMHF, Zemuhe Fault. The rupture extents of historical earthquakes are cited from the Ref. [20]; the regional historical earthquake catalog is based on data from the USGS (<https://www.earthquake.usgs.gov>, 2025), and the National Earthquake Science Data Center of China[22], the active fault data from the Ref. [23]

2.2 地表破裂解译与测量方法

本研究主要结合震前震后影像对比，通过目视解译的方法获取地表破裂的空间展布。鉴于收集了多源高分辨率卫星影像，解译过程中如果存在数据有重叠的情况，优先选择空间分辨率高的卫星数据。在测量右旋位错时，只使用BJ-3、GF-2/7、JL-1等亚米级影像，从而确保测量结果的可靠性和准确性。

地表破裂空间展布的解译主要沿实皆断裂带沿线开展解译，选取具有一定连续性且沿构造主控方向展布的线性、雁列式斜列等形态的地表破裂。利用延伸追踪的方法向两侧解译地表破裂，直到在较长范围内追踪不到地表破裂。同时，注意和震前影像的纹理进行对比，保证地表破裂解译的可靠性。在解译过程中注意区分河流两侧河漫滩等位置产生的地裂缝，这些地裂

缝通常与构造主控方向不一致。

在同震地表破裂沿线寻找右旋错断的道路、田埂等规则线性标志物；在结合这些线性标志几何特征的基础上，矢量化这些线性标志物，并将其延伸到地表破裂迹线上，从而获取同震地表破裂两侧线性标志物的右旋位错量^[24,32]。在寻找错断的线性标志物时，优先选择锐化程度高、没有植被遮挡的标志物，并在震前影像中验证线性标志物的形态，避免线性标志物既有形态特征对右旋位错测量的影响。受限于高分辨率卫星影像的空间分辨率，本研究无法解译错断量小于该位置影像空间分辨率的右旋错断线性标志。基于遥感解释结果，选择典型场点开展现场考察核对，对比分析解译结果的可靠性。

3 结果

3.1 同震地表破裂的空间展布

此次缅甸 M_w 7.7地震同震破裂沿实皆断裂带向南

北两侧传播，高分辨率卫星影像解译获取的地表破裂长度超过405 km。同震地表破裂空间展布总体近N-S向，在中国地震台网测定的震中以北，同震地表破裂延伸长度~75 km，且地表破裂连续性较高。在中国地震台网测定的震中以南，地表破裂长度超过330 km。值得注意的是，植被遮挡是影响解译缅甸 M_w 7.7地震地表破裂的重要因素，在地表破裂沿线存在两处范围较大的林带：(1) 在内比都与标贝之间，地表破裂穿过山前林区，林区范围约~60 km，该处解译获取的地表破裂连续性较差；(2) 彪关北侧~43 km范围内，仅在两个地点发现疑似地表破裂迹象，若将这两个疑似破裂位置计入统计，缅甸 M_w 7.7地震地表破裂长度达~448 km(图2)。总体而言，缅甸 M_w 7.7地震地表破裂与前人解译的实皆断裂带断层迹线空间展布较为一致^[20]。

基于高分辨率卫星影像解译的结果显示2025年缅甸 M_w 7.7地震至少导致实皆断裂带中部实皆段、密铁拉段、内比都段、彪关段四个断层段发生同震破裂(图2)。其中，实皆段的地表破裂总长度~75 km，走向近

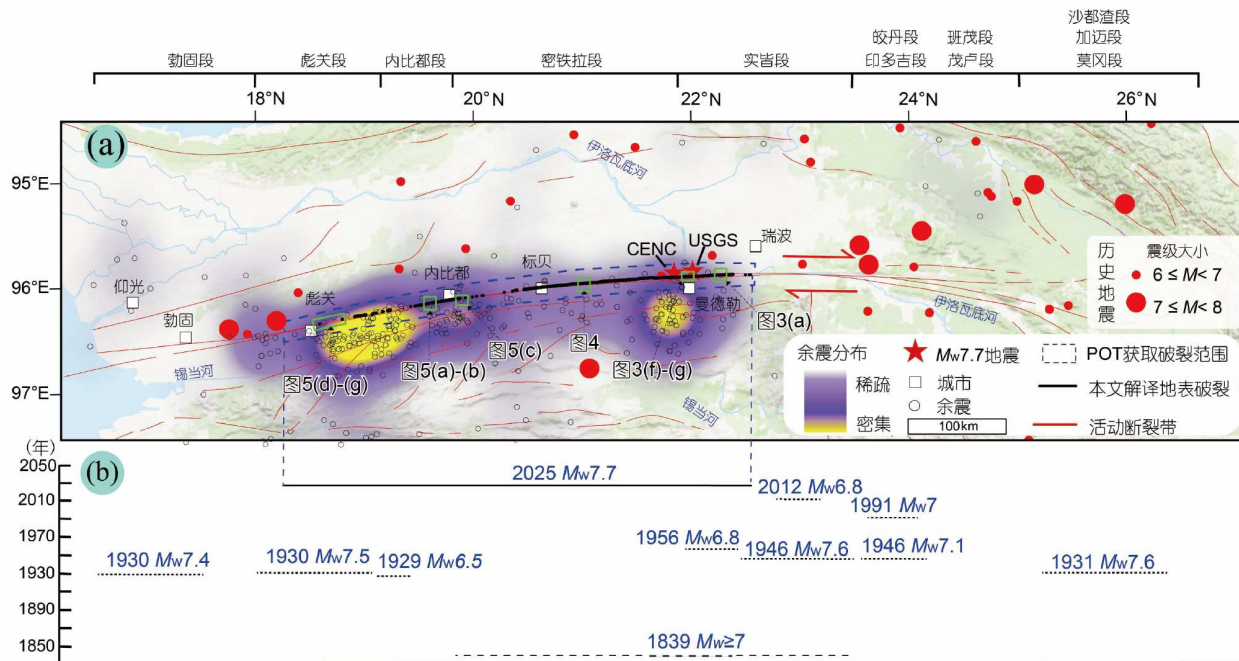


图2 缅甸 M_w 7.7地震地表破裂空间展布及实皆断裂带历史强震破裂范围。(a) 基于高分辨率卫星影像解译的地表破裂空间分布；(b) 实皆断裂带上历史强震时间及其破裂范围。断层分段以及历史地震破裂范围、震级改自文献^[20]，活动断裂带数据来自文献^[23]，像素偏移追踪破裂范围来自数据集^[33]，余震目录来自数据集(<http://61.19.55.91/inside.html>)，区域历史地震来自USGS (<https://www.earthquake.usgs.gov>, 2025)

Figure 2 Spatial distribution of surface rupture from the 2025 Myanmar M_w 7.7 earthquake and historical strong earthquakes. (a) Surface rupture distribution interpreted from high-resolution satellite imagery; (b) historical major earthquake timings and rupture extents along the Sagaing Fault. Fault segmentation, historical rupture extents, and magnitudes are adapted from Ref. [20], the active fault data from the Ref. [23], the rupture extent from pixel offset Tracking (POT) is based on dataset^[33], the aftershock catalog is based on dataset (<http://61.19.55.91/inside.html>), and the regional historical earthquake catalog is based on data from the USGS (<https://www.earthquake.usgs.gov>, 2025)

N-S向, 整体沿断裂带迹线展布。图3(a)和(b)展示了该段震前震后影像的对比结果, 显示地表破裂的分布清晰可辨。考虑到实皆断层段~180 km的长度, 这次地震地表破裂只有~75 km, 表明该段只是局部发生破裂。在图2(a)中可见, 实皆段的地表破裂主要沿伊洛瓦底河西侧展布, 向北穿过伊洛瓦底河后逐渐消失, 其空间展布

与前人像素偏移追踪(pixel offset tracking, POT)的结果高度一致^[33]。如图3(a)和(c)~(e)所示, 在该地区地表破裂错断了一系列的道路、田埂等线性标志物, 其右旋位错范围为 $1.2\pm 0.12\sim 5.5\pm 0.55$ m。图3(d)和(f)展示了地表破裂的样式, 地表破裂带沿断层走向呈小尺度的雁列式斜裂, 阶区之间由短裂缝或弯曲结构连接, 形成微

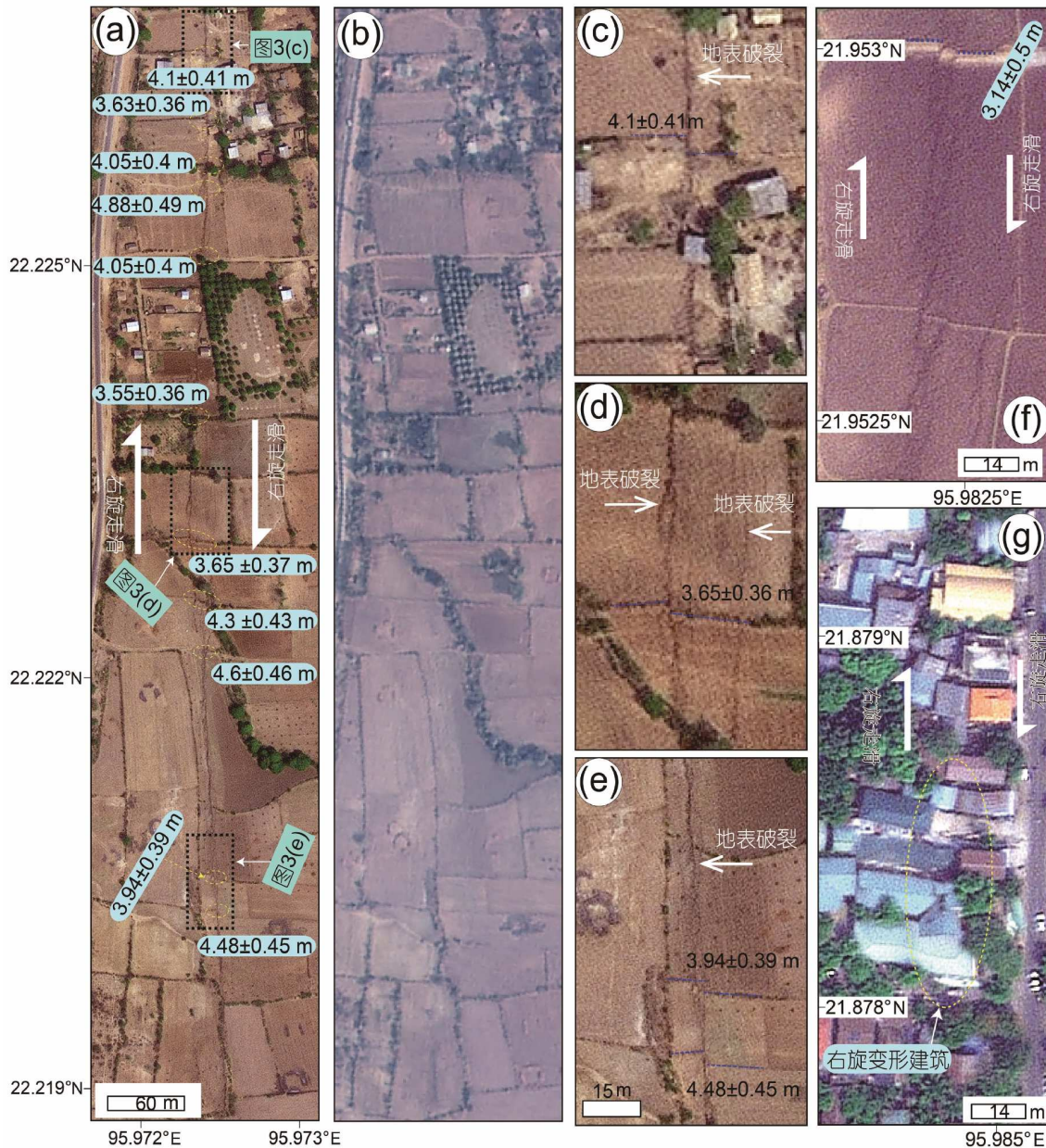


图3 实皆段典型地表破裂解译。(a)震后BJ-3号卫星影像;(b)震前GF-2号卫星影像;(c)~(e)地表破裂位错测量细节图;(f)小尺度地表破裂斜裂细节图;(g)破裂沿线建筑右旋变形

Figure 3 Interpretation of typical surface ruptures along the Sagaing segment. (a) Post-earthquake BJ-3 satellite imagery; (b) pre-earthquake GF-2 satellite imagery; (c)~(e) detailed measurements of surface rupture displacements; (f) close-up view of surface ruptures at a small scale; (g) right-lateral deformation of buildings along the rupture trace

型拉分盆地, 反映出破裂受控于右旋剪切应力场下的水平剪切应变作用, 部分地区断层破裂宽度可以到达百米以上, 表现为平行地表破裂展布。在实皆市区, 由于房屋遮挡, 地表破裂的解译较为困难, 但是可以看到如图3(g)所示的建筑沿破裂方向发生变形甚至倒塌的现象。在地表破裂两侧, 尤其是在伊洛瓦底河沿岸及江心洲内发育大量地裂缝。

在密铁拉段, 本文解译的地表破裂从曼德勒附近伊洛瓦底河南岸一路向南延伸至内比都以北, 同震地表破裂总长度达到~220 km, 贯通了整个密铁拉断层段(图2)。在该段, 同震地表破裂在标贝以北走向近N5°W, 标贝以南近N8°E。在标贝以南, 由于同震地表破裂主要穿过植被覆盖区, 基于高分辨率卫星影像解译得到的地表破裂并不连续。与伊洛瓦底河北岸的实皆段相比, 南岸的密铁拉段地表破裂位错量相对较小, 在距离河

岸25 km范围内普遍都在3 m以下。类似于北侧的实皆段, 密铁拉段地表破裂亦沿主断层走向呈现出小尺度的雁列式斜裂结构, 同时, 在部分地区存在多条平行裂缝带面状展布(图4)。

在内比都段, 同震地表破裂主要沿锡当河河谷西侧展布, 整体走向近N8°E, 总长度为~70 km, 覆盖整个内比都断层段, 且地表破裂连续性较高。同震地表破裂贯穿内比都城区以及附近村庄, 沿线房屋普遍出现右旋变形, 部分建筑甚至倒塌。同时, 从图5(a)和(b)中可以看到, 在该段空旷区域, 沿地表破裂可清晰识别出右旋错断的道路、田埂等线性地物, 同震地表破裂由剪切破裂和挤压鼓包相间分布组合而成, 右旋位错量普遍都在2~4 m之间。在该段中部, 同样存在林带遮盖地表破裂的情况, 受影响范围为~20 km。

在彪关段, 通过对比震后震前影像, 发现相对明确

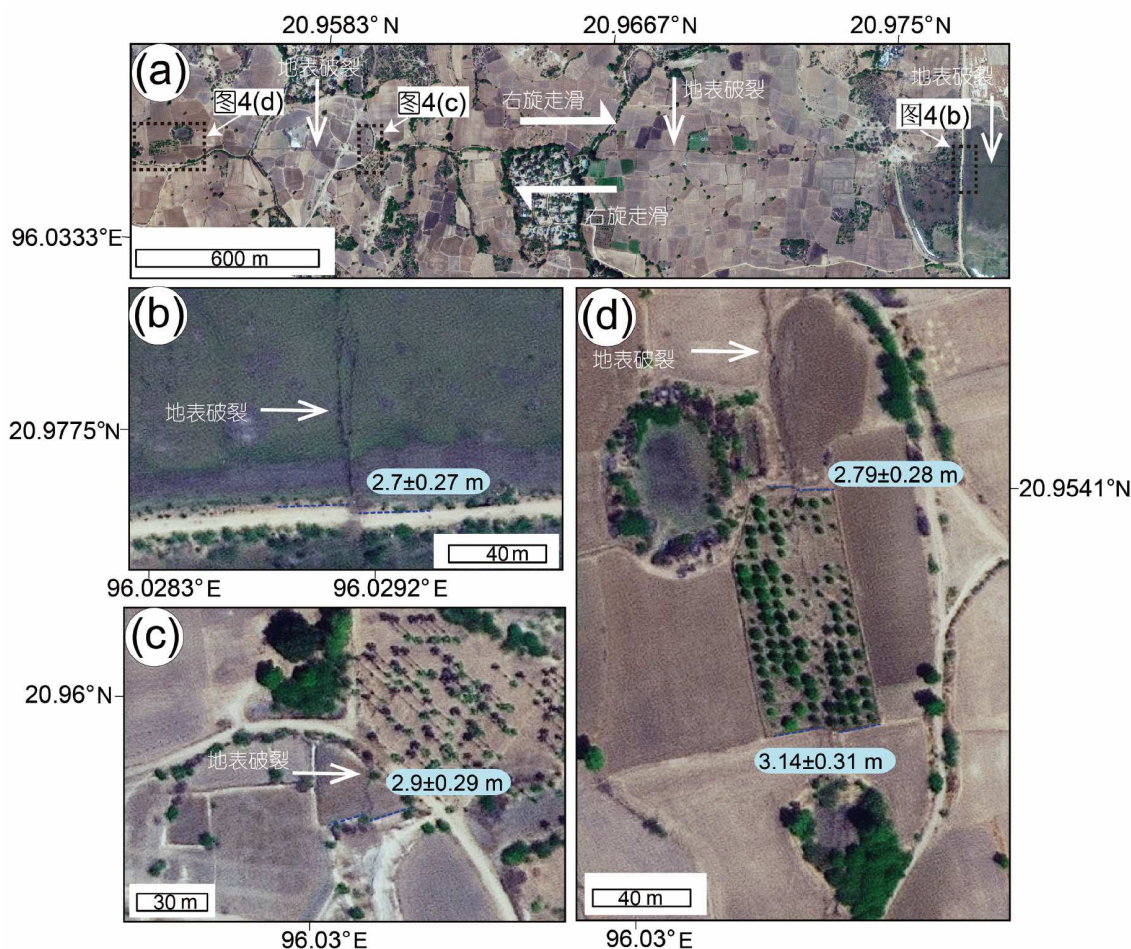


图4 密铁拉以东典型地表破裂解译与测量。(a)典型位置地表破裂展布;(b)~(d)地表破裂细节图以及线性标志物位错量测量

Figure 4 Interpretation and measurement of typical surface ruptures east of Meiktila. (a) Surface rupture distribution at a representative location; (b)~(d) close-up views of surface ruptures and displacement measurements of linear features

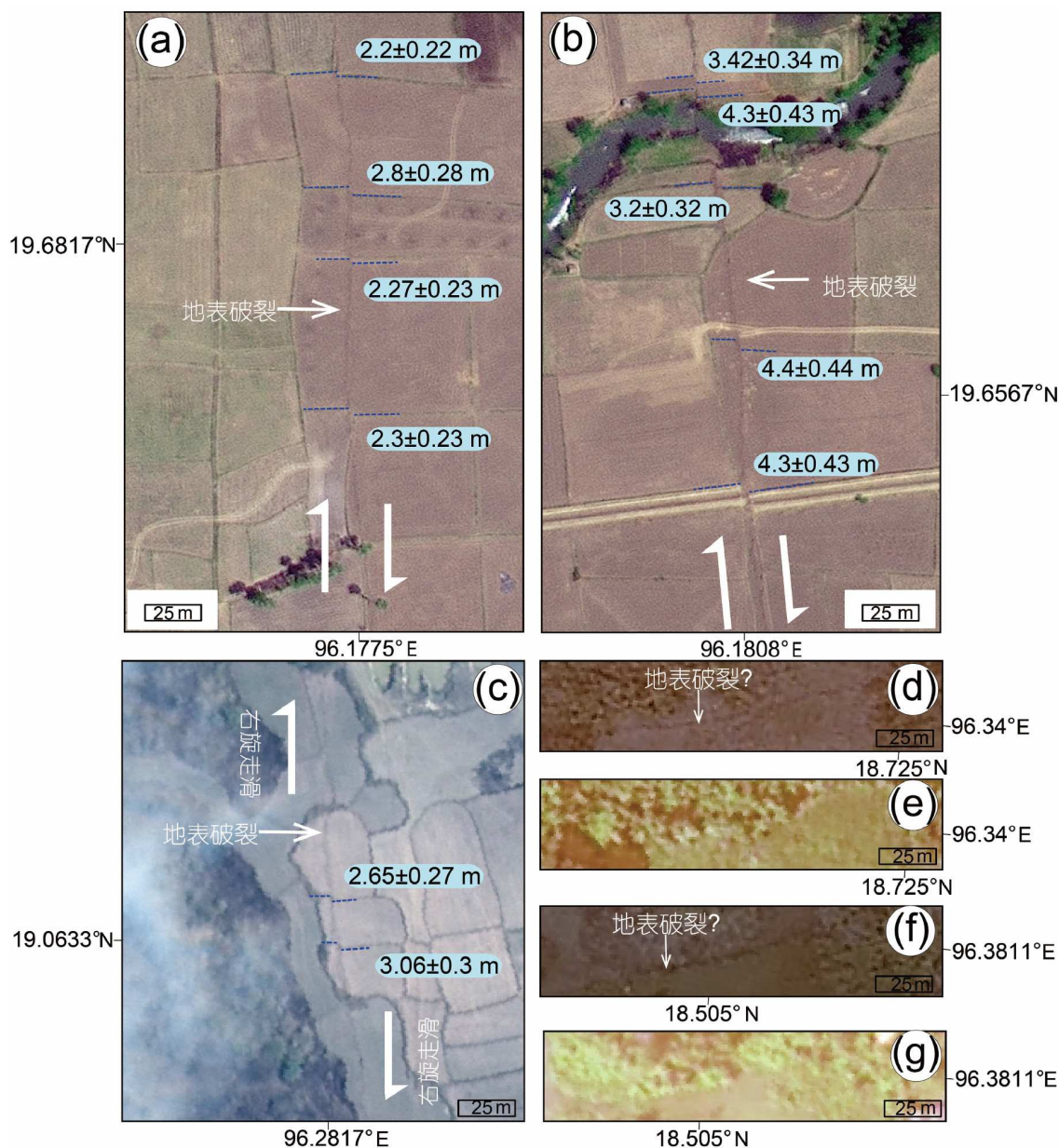


图 5 内比都段与彪关段典型地表破裂解译与测量. (a) 内比都段地表破裂与错断田埂位错测量; (b) 内比都段地表破裂与错断道路、水渠、田埂等测量; (c) 彪关段地表破裂与断错田埂测量; (d)和(f) 内比都段震后疑似地表破裂; (e)和(g)分别为(d)和(f)两个地区震前卫星影像
Figure 5 Interpretation and measurement of typical surface ruptures along the Nay Pyi Taw and Pyu segments. (a) Surface rupture and offset measurements of displaced field ridges along the Nay Pyi Taw segment; (b) surface rupture with displacement of roads, irrigation channels, and field ridges along the Nay Pyi Taw segment; (c) surface rupture and displaced field ridges along the Pyu segment; (d) and (f) post-earthquake imagery showing suspected surface ruptures in the Nay Pyi Taw segment; (e) and (g) pre-earthquake imagery corresponding to the areas shown in (d) and (f), respectively

的南端破裂点位于彪关市以北~43 km处($96^{\circ}18'26''\text{E}$, $18^{\circ}53'13''\text{N}$). 在该点至彪关之间~43 km的范围内, 图5(d)~(g)中的震前震后影像对比显示存在两处疑似地表破裂, 长度分别为~80和~40 m. 但是在这两处破裂周边广泛被植被覆盖, 未发现其他连续的破裂迹象,

亦缺乏明显的右旋位错特征, 因此归类为疑似地表破裂. 在彪关段北部, 如图5(c)所示, 地表破裂呈雁列式展布, 阶区之间由短裂缝、挤压鼓包、弯曲结构连接, 错断一系列的道路、田埂等线性标志物. 相对于前人POT计算获得的彪关段地表破裂^[33], 基于高分辨率卫

星影像解译的地表破裂较短, 主要是受限于植被覆盖以及卫星影像空间分辨率两个原因。但是两者的结果均指示彪关段在2025年缅甸 $M_w7.7$ 地震中只是局部破裂。

3.2 同震地表破裂位错量分布特征

在地表破裂沿线共计识别和测量了379个位错点, 主要分布于空旷地区, 所错断的对象多为田埂、道路等线性标志物, 总体值域范围为 $1\pm0.1\sim5.5\pm0.55$ m, 解

译获取的最大右旋位错位于实皆段(图6)。在城市地区、植被覆盖区、山区等位置, 获取的位错点很稀少, 主要是这些地区的线性标志物经常被高大建筑物、植被遮挡, 连续性标志物难以识别, 导致位错测量点分布稀疏, 这些因素可能导致解译的位错分布、最大位错值及其位置与实际同震地表破裂存在差异。

在实皆段, 本文共计识别和测量了108个位错点, 右旋位错量的值域范围为 $1.2\pm0.1\sim5.5\pm0.55$ m。最大位错位置位于USGS定位震中东北6 km处的一处被错断

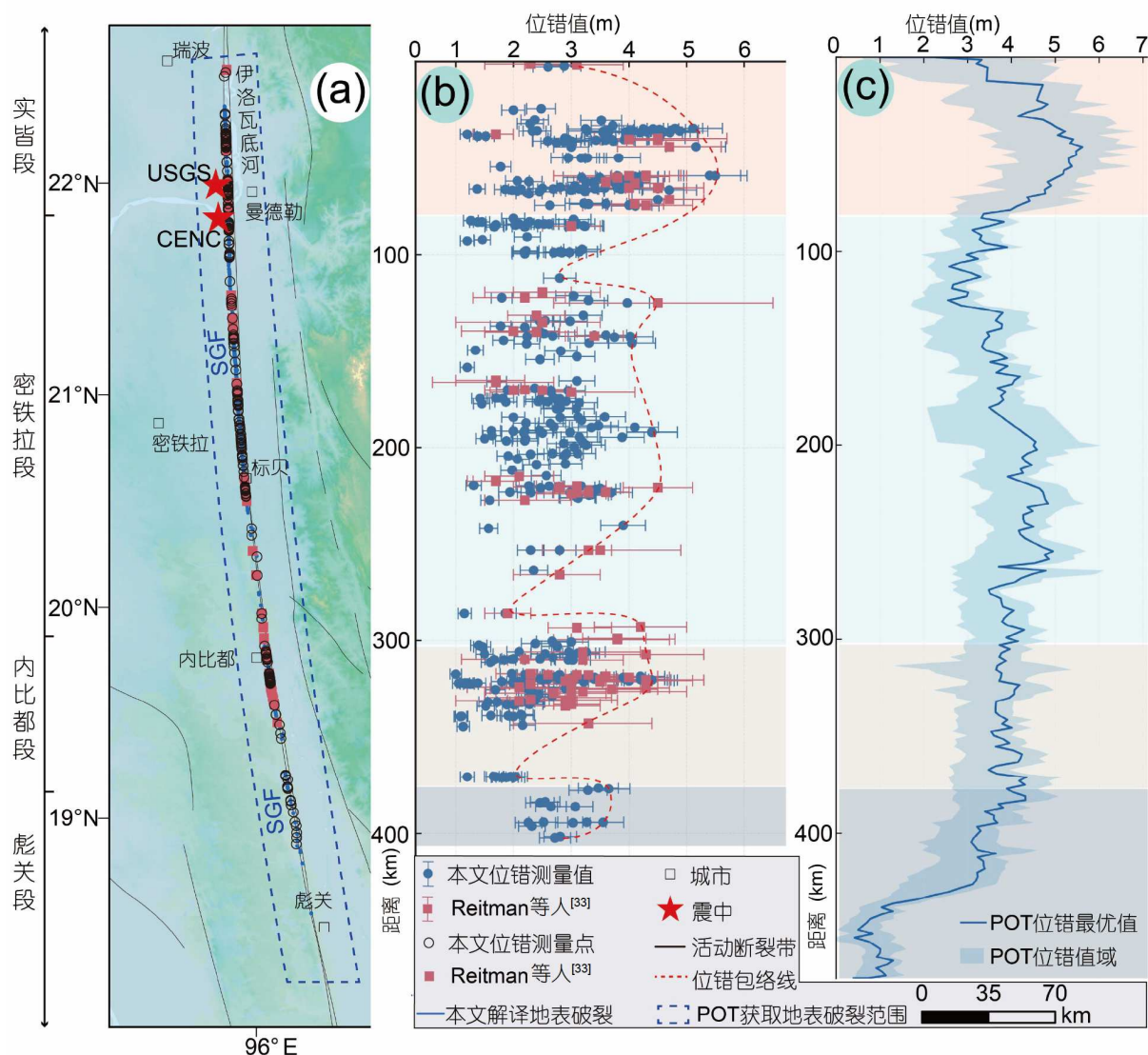


图6 2025年缅甸 $M_w7.7$ 地震地表破裂位错测量。(a) 地表位错测量点空间分布; (b) 位错量沿地表破裂的值域分布; (c) 基于像素偏移追踪(POT)获得的地表破裂位错值, 引自数据集^[33]。活动断裂带数据来自文献^[23]

Figure 6 Surface rupture displacement measurements from the 2025 Myanmar $M_w7.7$ earthquake. (a) Spatial distribution of surface displacement measurement points; (b) range of displacement values along the surface rupture trace; (c) surface displacement values derived from POT, adapted from dataset^[33]. The active fault data from the Ref. [23]

田埂。该段位错量分布呈现单峰模式,位错量从峰值位置向南北两侧逐渐衰减。在该段最北端,地表破裂穿过伊洛瓦底河及其江心洲,可识别的断错线性标志较少;南端右旋位错量普遍下降到2~4 m左右。在该段南部,基于高分辨率卫星影像解译的位错谷值与基于POT的位错谷值位置十分接近,位于实皆端与密铁拉段交界以南30~40 km处(图6)。

在密铁拉段,共计获取了150个位错点,右旋位错量的值域范围为 $1.15 \pm 0.12 \sim 4.4 \pm 0.44$ m。在密铁拉段最北端伊洛瓦底河南岸,仅观察到大量地裂缝,未见明确同震地表破裂迹线和右旋位错量。在其南端,地表破裂穿过山前植被覆盖区,受植被遮挡影响,位错量测量点较为稀疏。在这些因素影响的情况下,该段获取的最大位错位于密铁拉段北部的一处错断田埂。该段右旋位错量峰值区域较宽,峰值与周围位错点的值在很大范围内接近,大约都在4.4 m左右(图6)。在该段南侧,基于高分辨率卫星影像解译的位错量有明显的下降,但是在POT结果上只有轻微的衰减,两者下降区间均位于密铁拉与内比都段交界处以北20~30 km区域。

在内比都段,共计获取了96个位错点,右旋位错量值域范围为 $1 \pm 0.1 \sim 4.4 \pm 0.44$ m。该段最大位错位于一处被右旋错断的田埂。在该段右旋位错量空间分布呈现单峰模式,从最大位错量4.4 m处向南北两个方向开始衰减,在最南端衰减到2 m左右(图6)。但在POT结果中,该段位错量在内比都段与彪关段交界以南20 km处先有轻微下降,随后在彪关市附近快速衰减。

根据前人对断层段的划分,彪关段也存在明显的右旋位错迹线。在该段获取了25个位错点,均分布在彪关段北端区域,右旋位错量的值域为 $1.2 \pm 0.12 \sim 3.65 \pm 0.37$ m,最大位错值测量于该段与内比都段交界以南~6 km处的一条被错断公路上。受限于植被、云雾遮挡等因素,基于高分辨率卫星影像解译仅在长20~30 km的区间内获得了有效的同震位错数据。该区间内位错值的空间分布特征与POT结果基本一致。然而,在该段南端,POT结果显示同震位错量出现明显的衰减,最小位错量小于1 m。

综上所述,实皆段南部为本次地震中滑移量最大的区域,这一结果与POT计算结果相一致。尽管整体位错分布趋势与POT结果高度吻合,但与现有断层分段划分的空间对应关系上仍存在一定偏差,反映出有断层段划分方案在实际破裂过程中的适用性仍有待进一步验证与优化。

4 讨论

4.1 遥感解译结果典型场点现场考察对比分析

为了验证遥感解释的结果的准确性,本文选择内比都地区的典型场点开展了现场考察核对。在内比都地区,针对高分辨率卫星影像解译的地表破裂,现场考察在对应位置均发现地表破裂,表明遥感解译地表破裂位置的准确性。如图7(a)和(c)所示,在该段地表破裂带由剪切破裂和挤压鼓包相间分布组合而成。同时,在现场针对典型错断线性标志物进行了测量,图7(b)中引水渠两侧的线性沟肩被右旋断错4.4 m左右,与图5(b)中基于高分辨率卫星影像测量结果十分接近;图7(d)中公路水泥地的侧边被明显右旋断错,同时发育4条次级破裂,总计被右旋断错~2.9 m,与遥感影像解译的断错结果较为一致。这些现场验证的结果表明基于高分辨率卫星影像解译的地表破裂带空间展布和断错量的结果是可信的。

4.2 2025年缅甸 $M_w 7.7$ 地震与区域历史地震、断层分段的关系

地震级联破裂是指在同一次地震中,地震初始破裂发生后,相邻断层段也发生连续破裂,从而形成跨越多个断层段的联合破裂过程^[34,35]。根据实皆断裂带断层段的划分^[20],本次地震从北到南依次破裂了实皆段、密铁拉段、内比都段、彪关段,其中实皆段与彪关段发生了局部破裂,密铁拉和内比都段发生贯通式破裂(图2)。这些证据表明,2025年缅甸 $M_w 7.7$ 地震是一次典型的级联破裂。尽管基于POT解译的地表破裂(~475 km)比基于高分辨率卫星影像解译的地表破裂(~405 km)长度更长,尤其是在破裂南端,但两者识别的破裂断层段是一致的^[33]。

在这本次破裂的4个断层段上,均存在历史地震活动记录,其中实皆段发生过1946年 $M_w 7.6$ 、1956年 $M_w 6.8$ 、2012年 $M_w 6.8$ 三次地震;内比都段发生过1929年 $M_w 6.5$ 地震;彪关段发生过1930年 $M_w 7.5$ 地震;密铁拉段疑似发生过1839年发生过强震,但是其震级和震中位置仍存在较大争议(图2)。密铁拉段是本次地震地表破裂长度最大的一段,自1839年以来并未有强震记录,在前人研究中一直认为是危险性较高的“地震空段”^[18]。2025年缅甸 $M_w 7.7$ 地震破裂了这个“地震空段”,但其破裂范围可能与1839年强震的破裂范围存在差异。实皆断裂带中南部各个断层段之间没有大型阶区和复



图 7 内比都段典型地表破裂现场调查与测量. (a) 田地中地表破裂细节; (b) 引水渠断错测量; (c) 公路旁边地表破裂特征; (d) 公路断错测量
 Figure 7 Field investigation and measurement of typical surface ruptures observed in cultivated land; (b) measurement of right-lateral offset along an irrigation channel; (c) surface rupture characteristics adjacent to a road; (d) measurement of right-lateral offset across a road

杂结构^[20,36], 此次破裂的密铁拉段在近100年内未有强震记录, 处于不断积累应力过程中, 这些构造和应力背景特征可能是促成本次缅甸 M_w 7.7地震级联破裂的重要因素.

基于前人研究结果, 实皆段自1946年以来已发生四次 $M7$ 左右的地震^[18]. 值得注意的是, 这四次地震显示实皆段在北部发生强震后, 常常伴随着其南部在随后一定时间内发生破裂, 例如北部在1946年发生 M_w 7.6地震后, 其南部在1956年发生 M_w 6.8地震; 2012年在北部再次发生 M_w 6.8地震, 该段南部在本次缅甸 M_w 7.7地震率先发生破裂, 也是位错量最大的一段(图2). 其中, 前人对2012年 M_w 6.8地震地表破裂开展了实地调查, 认为其发生在实皆段北部, 长度在45~55 km左右, 右旋位错量普遍在1 m以下^[37]. 同时, 该次地震余震也主要发生实皆段北部(图8). 目前, 1946年 M_w 7.6和1956年 M_w 6.8

地震并没有地表破裂调查资料, 其地震破裂范围主要是基于震中位置和震级经验公式获取的, 这导致这两次地震的破裂位置和范围存在不确定性^[18,20]. 结合GNSS滑动速率、地震序列的时空分布以及结合震级-地表破裂经验公式、地震复发周期等规则, 1956年 M_w 6.8和2012年 M_w 6.8地震可能是断层应力调整中一次局部破裂事件; 也存在实皆段是由多个独立的破裂单元组成的可能, 每次强震事件可能仅涉及其中一个次级破裂段.

在实皆断裂带中部, 各断层段的GNSS滑动速率基本一致^[28,30,31]. 然而, 在缅甸 M_w 7.7地震中密铁拉段破裂长度超200 km, 且缺少强震记录的情况下, 前人POT与本文解译的结果均显示其最大地表位错量小于破裂长度仅为75 km的实皆段. 这一现象显著偏离了传统断层破裂长度与最大位错量呈正相关的经验关系, 提示

断层破裂过程存在一定复杂性。造成这种结果可能的原因: (1) 现有断层段划分方案在实际破裂过程中的适用性可能存在局限性, 结合本文解译结果与POT滑移分布特征, 密铁拉段的实际构造运动区间并未有目前断层段划分方案中所示的规模, 其有效破裂长度也小于200 km, 从而导致其最大右旋位错量偏低^[2]; (2) 密铁拉段部分地区受到植被等覆盖, 影响遥感解译的准确性, 导致该段最大滑移量未能完整获取, 存在低估的可能^[12]。

4.3 实皆断裂带未来强震危险性

前人基于历史地震记录、震级-地表破裂长度关系、遥感解译的地表破裂以及库伦应力变化等多种方法, 认为在实皆断裂带存在2~3个显著的“地震空段”: 内比都-曼德勒一带、勃固与彪关之间、勃固以南^[18,28,38]。2025年缅甸 M_w 7.7地震的破裂范围覆盖了前者, 即内比都-曼德勒段的“地震空段”。结合该事件引发的库伦应力变化, 勃固与彪关之间、勃固以南的两个“地震空段”存在发生强震的危险性^[38]。

本次地震地表破裂及其位错量的空间分布表明, 现有断层段划分仍存在一定的不确定性。受限于缺失的历史地震事件的地表破裂范围、同震位错量记录以及断层深部结构的认识不足等因素, 当前构建的断层段划分在区域地震危险性评估中的适用性可能存在局限性。例如, 本次2025年 M_w 7.7地震的实际破裂范围跨越多个传统断层段, 呈现出级联破裂的特征, 不同断层段位错量空间分布特征也存在明显差异。根据震级-地表破裂长度经验关系^[13,39], 勃固以南约200 km的断

层段具备发生 M_w 7.8强震的潜力, 彪关-勃固之间约60 km的断层段具备 M_w 7.0强震的可能性。然而, 由于历史强震破裂范围存在不确定性, 诸如两次1930年地震的具体破裂范围尚缺乏直接地表证据支撑, 两个区域未来的地震危险性还需通过古地震、深部结构等研究进一步约束。值得关注的是, 上述两个“地震空段”距离缅甸最大城市仰光较近, 该地区存在广泛分布的松散沉积层, 需要考虑砂土液化等地震次生灾害对城市的影响。

密铁拉段最近的历史强震是发生在1839年的 $M_w \geq 7$ 地震, 与2025年缅甸 M_w 7.7地震间隔186年。前人基于地表位错量估算的勃固段的地震复发周期大于160年^[40]。对于彪关段, 结合断层段长度、GNSS滑动速率以及位错-震级经验公式, 其地震复发周期也超过160年。考虑缅甸 M_w 7.7地震对两侧断层段库伦应力的改变, 类似于实皆段的地震破裂规律, 在彪关段、勃固段也存在发生 M_w 6地震的可能性。

在实皆断裂带北部400 km长度内, 断层迹线呈现“马尾状”向外分叉, 分成100 km宽的多支断层段。在该地区, 自1900年以来中小震频发, 在这部分地区也发生过1908年 M_w 7.2地震、1931年 M_w 7.6地震、1946年 M_w 7.1地震、1991年 M_w 7.0地震, 具备发生强震的潜力(图8)。前人基于断层地貌、地震空间分布等数据, 将1931年地震对应到加迈段, 1946年地震对应到印多吉段, 1991年地震对应到皎丹段^[20]。基于震级-地表破裂长度等经验公式, 该地区内的班茂段、茂卢段、沙都渣段、莫冈段等断层段具备发生 $M_w \geq 7$ 地震的可能, 但是尚未有明确的历史强震记录。考虑到该地区断层分

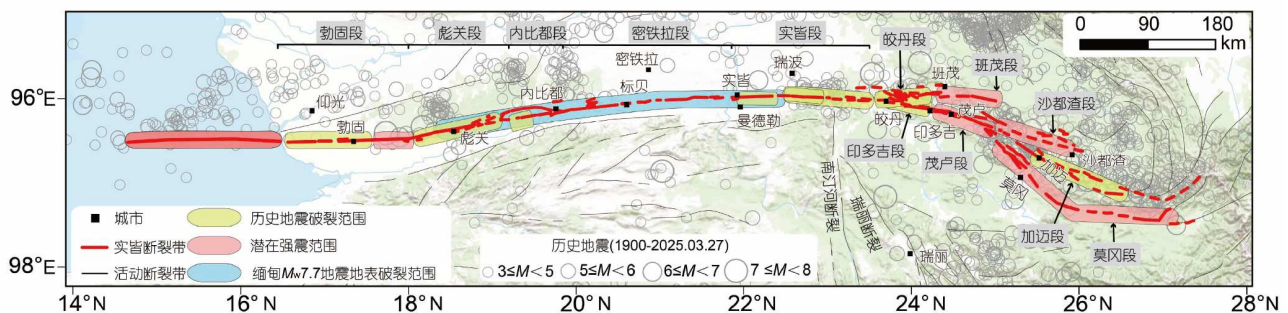


图8 实皆断裂带历史地震分布、强震破裂范围以及未来潜在强震区。实皆断裂带空间展布来自Wang等人^[20], 历史强震破裂范围改自Hurukawa和Maung^[18]以及Wang等人^[20], 活动断裂带数据来自文献^[23], 区域历史地震来自USGS (<https://www.earthquake.usgs.gov>, 2025)

Figure 8 Historical earthquake distribution, major rupture zones, and potential future strong earthquake segments along the Sagaing Fault. The spatial trace of the Sagaing Fault is from Wang et al.^[20]; the rupture extents of historical major earthquakes are adapted from Hurukawa and Maung^[18], and Wang et al.^[20]; the active fault data from the Ref. ^[23], the regional historical earthquake catalog is based on data from the USGS (<https://www.earthquake.usgs.gov>, 2025)

布较为复杂, 以及历史地震位置的不确定性(例如, 1908 年 M_w 7.2 地震)^[41,42]、地震地表破裂调查数据的缺失等, 历史地震的发震断层存在不确定性^[20]. 因此, 后期在关注班茂段等尚未有强震记录断层段的潜在地震危险性的同时, 需要对该地区强震地表破裂、古地震等开展研究.

历史地震地表破裂范围、断层分段划分的准确性, 以及古地震调查数据的可靠性, 是评估区域强震危险性的重要依据. 实皆断裂带在这些方面的研究仍相对薄弱, 基于现有资料本研究建议未来应着重关注勃固以南的“地震空段”、勃固与彪关之间的“地震空段”以及实皆断裂带北部未发生过强震的断层段(图8).

5 初步认识

基于高分辨率卫星影像解译的结果, 2025 年缅甸 M_w 7.7 地震是一次级联破裂, 同震地表破裂整体沿实皆断裂带迹线展布. 其地表破裂长度达超过 405 km, 总体走向近 N-S 向. 2025 年缅甸 M_w 7.7 地震至少造成了实皆断裂带中部实皆、密铁拉、内比都、彪关段四个断层段发生破裂, 其中实皆段与彪关段是局部破裂, 密铁拉和内比都段是贯通式破裂. 在地表破裂沿线共计测量

了 379 个位错点, 这些位错点主要集中在空旷地区被右旋错断的田埂、道路等线性地物, 总体值域范围为 $1.0 \pm 0.1 \sim 5.5 \pm 0.55$ m, 最大右旋位错量位于最北边的实皆段. 在大部分破裂段, 位错量呈现单峰模式. 其中, 实皆段右旋位错量的值域范围为 $1.2 \pm 0.12 \sim 5.5 \pm 0.55$ m; 密铁拉段右旋位错量的值域范围为 $1.15 \pm 0.12 \sim 4.4 \pm 0.44$ m; 内比都段右旋位错量值域范围为 $1.0 \pm 0.1 \sim 4.4 \pm 0.44$ m; 彪关段右旋位错量值域为 $1.2 \pm 0.12 \sim 3.65 \pm 0.37$ m.

鉴于 1839 年强震的破裂范围尚不明确、级联破裂的破裂范围受控于当时各断层段的应力状态与破裂机制等原因, 2025 年缅甸 M_w 7.7 地震的破裂范围与其可能存在差异. 本次地震中密铁拉段破裂长度较大 (200 km), 而其最大地表位错量小于与破裂长度仅 75 km 的实皆段, 其可能是由现有断层分段方案、部分地表破裂受植被遮挡等因素导致.

结合震后地表破裂、历史地震复发周期、GNSS 速率、震级-地表破裂长度关系等, 建议未来应着重关注实皆断裂带中南段的勃固以南的“地震空段”及勃固与彪关之间的“地震空段”, 以及实皆断裂带北段未发生过强震的其他断层段.

致谢 本文使用的国产高分辨率卫星影像由国家国防科技工业局高分观测专项办公室、21 世纪空间技术应用股份有限公司、中国资源卫星应用中心、高分遥感地震行业中心提供, 震后余震目录由泰国气象局提供, 在此表示感谢.

参考文献

- 1 Klinger Y. High-resolution satellite imagery mapping of the surface rupture and slip distribution of the M_w 7.8, 14 November 2001 Kokoxili Earthquake, Kunlun Fault, Northern Xizang, China. *Bull Seismol Soc Am*, 2005, 95: 1970–1987
- 2 Xu X, Yu G, Klinger Y, et al. Reevaluation of surface rupture parameters and faulting segmentation of the 2001 Kunlunshan earthquake (M_w 7.8), northern Tibetan Plateau, China. *J Geophys Res*, 2006, 111: 2004JB003488
- 3 Wesnousky S G. Predicting the endpoints of earthquake ruptures. *Nature*, 2006, 444: 358–360
- 4 Wesnousky S G. Displacement and geometrical characteristics of earthquake surface ruptures: issues and implications for seismic-hazard analysis and the process of earthquake rupture. *Bull Seismol Soc Am*, 2008, 98: 1609–1632
- 5 Liu-Zeng J, Zhang Z, Wen L, et al. Co-seismic ruptures of the 12 May 2008, M_s 8.0 Wenchuan earthquake, Sichuan: east–west crustal shortening on oblique, parallel thrusts along the eastern edge of Tibet. *Earth Planet Sci Lett*, 2009, 286: 355–370
- 6 Liu-Zeng J, Wen L, Sun J, et al. Surficial slip and rupture geometry on the Beichuan Fault near Hongkou during the M_w 7.9 Wenchuan Earthquake, China. *Bull Seismol Soc Am*, 2010, 100: 2615–2650
- 7 Liu-Zeng J, Sun J, Wang P, et al. Surface ruptures on the transverse Xiaoyudong fault: a significant segment boundary breached during the 2008 Wenchuan earthquake, China. *Tectonophysics*, 2012, 580: 218–241
- 8 Oskin M E, Arrowsmith J R, Corona A H, et al. Near-field deformation from the El Mayor–Cucapah earthquake revealed by differential LIDAR. *Science*, 2012, 335: 702–705
- 9 Rockwell T K, Klinger Y. Surface rupture and slip distribution of the 1940 Imperial Valley Earthquake, Imperial Fault, Southern California: implications for rupture segmentation and dynamics. *Bull Seismol Soc Am*, 2013, 103: 629–640

- 10 Antoine S L, Klinger Y, Delorme A, et al. Off-fault deformation in regions of complex fault geometries: the 2013, M_w 7.7, Baluchistan Rupture (Pakistan). *JGR Solid Earth*, 2022, 127: e2022JB024480
- 11 Chen G H, Li Z W, Xu X W, et al. Co-seismic surface deformation and late Quaternary accumulated displacement along the seismogenic fault of the 2021 Madoi M 7.4 earthquake and their implications for regional tectonics (in Chinese). *Chin J Geophys*, 2022, 65: 2984–3005 [陈桂华, 李忠武, 徐锡伟, 等. 2021年青海玛多 M 7.4地震发震断裂的典型同震地表变形与晚第四纪断错累积及其区域构造意义. *地球物理学报*, 2022, 65: 2984–3005]
- 12 Liu-Zeng J, Liu Z, Liu X, et al. Fault orientation trumps fault maturity in controlling coseismic rupture characteristics of the 2021 Maduo Earthquake. *AGU Adv*, 2024, 5: e2023AV001134
- 13 Wells D L, Coppersmith K J. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. *Bull Seismol Soc Am*, 1994, 84: 974–1002
- 14 Pan J, Li H, Chevalier M L, et al. Co-seismic rupture of the 2021, M 7.4 Maduo earthquake (northern Xizang): short-cutting of the Kunlun fault big bend. *Earth Planet Sci Lett*, 2022, 594: 117703
- 15 Yu J X, Ren Z K, Zhang H P, et al. Surface rupture of the February 6, 2023 M_w 7.5 Elbistan Earthquake in Turkey (in Chinese). *Seismol Geol*, 2024, 46: 1263–1279 [俞晶星, 任治坤, 张会平, 等. 土耳其2023年2月6日 M_w 7.5 Elbistan地震地表破裂带分布特征. *地震地质*, 2024, 46: 1263–1279]
- 16 Liu J, Ji C, Zhang J Y, et al. Tectonic setting and general features of coseismic rupture of the 25 April, 2015 M_w 7.8 Gorkha, Nepal earthquake (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2015, 60: 2640–2655 [刘静, 纪晨, 张金玉, 等. 2015年4月25日尼泊尔 M_w 7.8级地震的孕震构造背景和特征. *科学通报*, 2015, 60: 2640–2655]
- 17 Fadil W, Wei S, Bradley K, et al. Active faults revealed and new constraints on their seismogenic depth from a high-resolution regional focal mechanism catalog in Myanmar (2016–2021). *Bull Seismol Soc Am*, 2023, 113: 613–635
- 18 Hurukawa N, Maung Maung P. Two seismic gaps on the Sagaing Fault, Myanmar, derived from relocation of historical earthquakes since 1918. *Geophys Res Lett*, 2011, 38: L01310
- 19 Wang Y, Sieh K, Aung T, et al. Earthquakes and slip rate of the southern Sagaing fault: insights from an offset ancient fort wall, lower Burma (Myanmar). *Geophys J Int*, 2011, 185: 49–64
- 20 Wang Y, Sieh K, Tun S T, et al. Active tectonics and earthquake potential of the Myanmar region. *JGR Solid Earth*, 2014, 119: 3767–3822
- 21 Curray J R. Tectonics and history of the Andaman Sea region. *J Asian Earth Sci*, 2005, 25: 187–232
- 22 Gu X G. Chinese Historical Earthquake Catalog (in Chinese). Beijing: Science Press, 1983 [顾功叙. 中国历史地震目录. 北京: 科学出版社, 1983]
- 23 Xu X W, Han Z J, Yang X P, et al. Seismotectonic Map in China and its Adjacent Regions (in Chinese). Beijing: Seismol Press, 2016 [徐锡伟, 韩竹军, 杨晓平, 等. 中国及邻近地区地震构造图. 北京: 地震出版社, 2016]
- 24 Liang P, Xu Y, Zhou X, et al. Coseismic surface ruptures of M_w 7.8 and M_w 7.5 earthquakes occurred on February 6, 2023, and seismic hazard assessment of the East Anatolian Fault Zone, Southeastern Türkiye. *Sci China Earth Sci*, 2025, 68: 611–625
- 25 Wang J Q, Zhang G H, Shan X J, et al. Three-dimensional deformation of the 2008 Gaize earthquakes resolved from InSAR measurements by multiple view angles and its tectonic implications (in Chinese). *Seismol Geol*, 2016, 38: 978–986 [王家庆, 张国宏, 单新建, 等. 2008年西藏改则地震多视角InSAR成果的三维形变解算及初步分析. *地震地质*, 2016, 38: 978–986]
- 26 Rangin C, Maurin T, Masson F. Combined effects of Eurasia/Sunda oblique convergence and East-Tibetan crustal flow on the active tectonics of Burma. *J Asian Earth Sci*, 2013, 76: 185–194
- 27 Hall R. Late Jurassic–Cenozoic reconstructions of the Indonesian region and the Indian Ocean. *Tectonophysics*, 2012, 570–571: 1–41
- 28 Tha Zin Htet Tin, Nishimura T, Hashimoto M, et al. Present-day crustal deformation and slip rate along the southern Sagaing fault in Myanmar by GNSS observation. *J Asian Earth Sci*, 2022, 228: 105125
- 29 Mon C T, Yang S, Ren C, et al. New insight into the subducted Indian plate beneath central Myanmar based on seismic activity and focal mechanisms analysis. *Seismol Res Lett*, 2023, 94: 2337–2347
- 30 Socquet A, Vigny C, Chamot-Rooke N, et al. India and Sunda plates motion and deformation along their boundary in Myanmar determined by GPS. *J Geophys Res*, 2006, 111: 2005JB003877
- 31 Maurin T, Masson F, Rangin C, et al. First global positioning system results in northern Myanmar: constant and localized slip rate along the Sagaing fault. *Geology*, 2010, 38: 591–594
- 32 Gold R D, Reitman N G, Briggs R W, et al. On-and off-fault deformation associated with the September 2013 M_w 7.7 Balochistan earthquake: implications for geologic slip rate measurements. *Tectonophysics*, 2015, 660: 65–78
- 33 Reitman N G, Wang Y, Kuo Y T, et al. Remote Surface Rupture Observations for the M 7.7 2025 Mandalay, Burma (Myanmar) Earthquake. United States Geological Survey data release, 2025, <https://doi.org/10.5066/p1rymwck>
- 34 Ide S. Frequent observations of identical onsets of large and small earthquakes. *Nature*, 2019, 573: 112–116
- 35 Lu W, Ide S, Yue H. Feature of cascading rupture frequently observed in Northern California. *Commun Earth Environ*, 2025, 6: 167

- 36 Yeats R S, Sieh K E, Allen C R. The Geology of Earthquake. Oxford: Oxford University Press, 1997
- 37 Chang Z F, Zhang J G, Shen C Y, et al. The 2012 Thabeikkjin (Myanmar) $M7.0$ earthquake and its surface rupture characteristics (in Chinese). *J Geomech*, 2022, 28: 169–181 [常祖峰, 张建国, 申重阳, 等. 2012年缅甸德贝金 $M7.0$ 地震及其地表破裂特征. *地质力学学报*, 2022, 28: 169–181]
- 38 Xiong X, Shan B, Zhou Y M, et al. Coulomb stress transfer and accumulation on the Sagaing Fault, Myanmar, over the past 110 years and its implications for seismic hazard. *Geophys Res Lett*, 2017, 44: 4781–4789
- 39 Leonard M. Earthquake fault scaling: self-consistent relating of rupture length, width, average displacement, and moment release. *Bull Seismol Soc Am*, 2010, 100: 1971–1988
- 40 Tsutsumi H, Sato T. Tectonic geomorphology of the southernmost Sagaing fault and surface rupture associated with the May 1930 Pegu (Bago) Earthquake, Myanmar. *Bull Seismological Soc Am*, 2009, 99: 2155–2168
- 41 Storchak D A, Di Giacomo D, Engdahl E R, et al. The ISC-GEM global instrumental earthquake catalogue (1900–2009): introduction. *Phys Earth Planet Inter*, 2015, 239: 48–63
- 42 Di Giacomo D, Dewey J W. The (Mythical) $M 8.2$ off coast of Peru Earthquake of 12 December 1908. *Seismol Res Lett*, 2020, 91: 488–498

Summary for “基于国产高分影像解译的2025年缅甸 M_w 7.7地震地表破裂空间展布与位错量分布特征”

Surface rupture pattern and coseismic displacement distribution of the 2025 M_w 7.7 Myanmar earthquake revealed by Chinese high-resolution satellite imagery

Peng Liang^{1,2}, Yueren Xu^{1,2*}, Chaozhong Hu^{1,2,3*}, Qinjian Tian⁴, Lihua Fang^{1,2}, Aixia Dou^{1,2}, Renwei Xiong^{1,2}, Weiwei Wu^{1,2}, Chao Xu⁵ & Fei Geng⁵

¹ Key Laboratory of Earthquake Forecasting and Risk Assessment, Ministry of Emergency Management, Institute of Earthquake Forecasting, China Earthquake Administration, Beijing 100036, China

² Key Laboratory of Earthquake Prediction (Institute of Earthquake Forecasting), China Earthquake Administration, Beijing 100036, China

³ College of Geoscience, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China

⁴ China Earthquake Disaster Prevention Center, Beijing 100029, China

⁵ Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100081, China

* Corresponding authors, E-mail: xuyr@ief.ac.cn; huchaozhong2005@126.com

On March 28, 2025, a M_w 7.7 earthquake struck the central-southern segments of Myanmar's Sagaing Fault, which led to several thousand casualties and widespread damage to infrastructure. The resulting surface rupture provides critical information to assist in understanding the coseismic rupture process and to assess seismic hazard. We first leveraged pre- and post-earthquake high-resolution satellite imagery from multiple Chinese platforms (including BJ-3, GF-1, GF-2, GF-6, GF-7, JL-1, and ZY-1) with spatial resolutions ranging from 0.3 to 2.5 m, to extract surface ruptures and measure displacements in order to systematically investigate the spatial distribution and displacement characteristics of the surface rupture. Then, the spatial distribution of the surface ruptures was identified by visually comparing pre- and post-earthquake imagery, and right-lateral displacements of linear features across the coseismic surface rupture were measured. The main findings are as follows: (1) Chinese high-resolution remote sensing satellites demonstrated excellent temporal and spatial resolution, enabling rapid post-earthquake response and accurate mapping of the surface rupture trace and displacement distribution. (2) The 2025 Myanmar M_w 7.7 earthquake was a cascading rupture event. The coseismic rupture propagated along the pre-existing trace of the Sagaing Fault for over 405 km in an approximately north-south orientation. The event produced complete rupture of the Meiktila (~220 km rupture length) and Nay Pyi Taw (~70 km rupture length) segments, and partial rupture of the Sagaing (~75 km rupture length) and Pyu (~40 km rupture length) segments. (3) A total of 379 right-lateral offsets were identified along linear cultural features such as paddy-field ridges and roads, with displacement values ranging from 1 ± 0.1 m to 5.5 ± 0.55 m. Specifically, the Sagaing segment exhibits right-lateral displacements ranging from 1.2 ± 0.12 to 5.5 ± 0.55 m; the Meiktila segment shows displacements of 1.15 ± 0.12 to 4.4 ± 0.44 m; the Nay Pyi Taw segment records values between 1.0 ± 0.1 and 4.4 ± 0.44 m; and the Pyu segment displays offsets of 1.2 ± 0.12 to 3.65 ± 0.37 m. Notably, the maximum displacement occurred on the northernmost Sagaing segment (rupture length ~75 km), rather than on the Meiktila segment (rupture length ~200 km). The slip distribution patterns vary among different fault segments. The Sagaing segment exhibits a clear single-peaked distribution, with the maximum displacement concentrated in the central portion of the segment. In contrast, the Meiktila segment displays a broad, gentle profile, with no sharp peak in displacement values. Both the results from this study and previous pixel offset tracking (POT) results reveal a pronounced slip peak-trough structure located 30–40 km south of the Sagaing–Meiktila segment boundary. The spatial distribution of the surface rupture and offsets derived from high-resolution imagery are broadly consistent with previous POT results, and they were confirmed by field investigations. This deviation from the conventional empirical scaling relationship between rupture length and maximum displacement may reflect the limitations of current fault segmentations or the effects of vegetation cover in some areas. By integrating the surface rupture characteristics with the historical seismic record and regional Global Navigation Satellite System (GNSS) velocities, we suggest that future strong-earthquake hazards associated with the unruptured seismic-gap segments at both the southern and northern ends of the Sagaing Fault should be prioritized in future monitoring and mitigation efforts.

Myanmar M_w 7.7 earthquake, coseismic surface rupture, high-resolution satellite data, Sagaing Fault, cascading rupture

doi: [10.1360/CSB-2025-0672](https://doi.org/10.1360/CSB-2025-0672)