

李冰溯, 李细光, 潘黎黎. 2018. 1936 年广西灵山 $M6\frac{3}{4}$ 地震参数讨论. 地震学报, 40(2): 132–142. doi: 10.11939/jass.20170127.
Li B S, Li X G, Pan L L. 2018. Discussion on source parameters of the $M6\frac{3}{4}$ Lingshan, Guangxi, earthquake occurred in 1936. *Acta Seismologica Sinica*, 40(2): 132–142. doi: 10.11939/jass.20170127.

1936 年广西灵山 $M6\frac{3}{4}$ 地震参数讨论*

李冰溯 李细光[†] 潘黎黎

(中国南宁 530022 广西壮族自治区地震局)

摘要 1936 年广西灵山 $M6\frac{3}{4}$ 地震是华南沿海地震带内陆地区有地震记载以来发生的最大地震, 由于当时仪器记录缺乏、时代相隔较长且未进行详细的现场调查, 对该地震的基本参数尚存争议. 本文在概述该地震地表破裂带基本特征的基础上, 利用地震地表破裂带长度和最大同震位移等数据重新讨论了该地震的基本参数和发震构造. 研究结果表明 1936 年灵山 $M6\frac{3}{4}$ 地震的宏观震中位于灵山断裂北段与友僚—蕉根坪断裂交会处一带, 震级为 $M6.8$ 左右, 震中烈度达 IX 度强, 罗阳山西北麓的灵山断裂为该地震的发震构造.

关键词 1936 年灵山 $M6\frac{3}{4}$ 地震 地震地表破裂带 地震参数 灵山断裂
doi: 10.11939/jass.20170127 中图分类号: P315.2 文献标识码: A

Discussion on source parameters of the $M6\frac{3}{4}$ Lingshan, Guangxi, earthquake occurred in 1936

Li Bingsu Li Xiguang[†] Pan Lili

(Earthquake Agency of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530022, China)

Abstract: The $M6\frac{3}{4}$ Lingshan earthquake occurred on the north section of Fangcheng-Lingshan fault on April 1, 1936, and it was also the largest earthquake occurred on the continental part of South China seismic belt ever since the historical earthquake records began. The source parameters of this earthquake still remain controversial for the lack of modern seismographic record and detailed field investigation on the surface rupture zone. Furthermore, the long-time interval and human activities between earthquake and the later field investigation also cause uncertainty on the inferred source parameters. In recent years, there are some reports about determination of source parameters such as epicenter, magnitude, intensity and seismogenic structure through investigation of earthquake surface rupture zone caused by historical earthquake without modern seismographic records. Most of these researches were carried out in arid area in western China where the climate is suitable for the reservation of earthquake traces, although it is difficult to identify earthquake traces such as earthquake surface rupture zone caused by historical earthquake in the South China moderate-strong seismic tectonic zone due to the specific seismic structure, humid weather and human activities. On the other hand, it

* 基金项目 广西科学研究与技术开发计划项目(桂科攻 14251008)和广西壮族自治区地震局科研合同制项目(GXJ2012010)联合资助.

收稿日期 2017-06-02 收到初稿, 2017-07-31 决定采用修改稿.

[†] 通信作者 e-mail: hnouyang@163.com



is uncertain to some extent to estimate source parameters of historical moderate-strong earthquake without modern seismographic records in South China, because such source parameters were often indirectly calculated from intensity zoning map acquired by investigation of damaged buildings or surface ruptures in the quake-hit area. To reduce this uncertainty, in this paper we introduce the newly discovered earthquake surface rupture zone caused by the $M6\frac{3}{4}$ Lingshan earthquake. Our newly investigation shows that earthquake surface rupture zone marked by earthquake fissures, earthquake scarp, earthquake fault, earthquake-induced landslide and gully displacement developed along the north section of Lingshan fault at the north-west foothill of Luoyang mountain with total length about 12.5 km. The surface rupture zone strikes from NE to ENE, its west branch stretches from Gaotang to Liumeng and the east branch stretches from Jiaogenping to Hekou. The co-seismic motion along this earthquake surface rupture zone is normal dextral slip. Furthermore, by utilization of parameters of the newly discovered earthquake surface rupture zone, we discuss the source parameters of this earthquake. Our research result shows that: ① The magnitude of the Lingshan earthquake occurred on 1 April 1936 is about $M6.8$; ② The intensity in the meizoseismal area reaches IX degree plus; ③ The macro-epicenter is located near the intersection of northern segment of Lingshan fault with Youliao-Jiaogenping fault; ④ The Lingshan fault located at the northwest foothill of Luoyang mountain is the seismogenic fault of the Lingshan earthquake, meanwhile Youliao-Jiaogenping fault, Sizhou fault and other NW-NNW-trending small faults located at the south foothill of Luoyang mountain are the earthquake-controlling faults of the Lingshan earthquake. The main shock caused triggered motion along these small NW-NNW-trending faults, resulting in local intensity augmentation along these small faults accordingly.

Key words: Lingshan $M6\frac{3}{4}$ earthquake; earthquake surface rupture zone; earthquake parameters; Lingshan fault

引言

地震地表破裂带指震源断层错动在地表产生的破裂和变形的总称, 由地震断层、地震鼓包、地震裂缝、地震沟槽等组成(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会, 2012), 中强地震产生的地震地表破裂带的分布范围、运动特征、位移分布、古地震特征等方面的研究对于中强地震特别是缺乏仪器测定地震参数的历史地震震中、震级及发震构造等的确定具有重要意义(聂宗笙等, 2010; 李文巧等, 2011; 李西等, 2018)。

我国活动构造研究始于 20 世纪二三十年代(邓起东, 闻学泽, 2008), 其中包括对广西灵山地震的考察与研究。关于 1936 年灵山 $M6\frac{3}{4}$ 地震的研究始于陈国达院士, 他通过对震区地表破坏、房屋破坏、极震区房屋破坏及同震运动方向等的调查, 认为极震区及发震断层呈 NE 向展布于罗阳山西北坡及山麓的高塘、鸦山岭、六鹅、夏塘和山鸡麓一带(陈国达, 1939)。70 年代以后, 相关单位按照自身的任务对该地震再度进行调查和研究。陈恩民和黄咏茵(1984), 李伟琦(1992)以及任镇寰等(1996)重新修正了极震区的烈度分布, 增加了 NNW 方向的极震区长轴; 潘建雄和黄日恒(1995), 黄河生等(1990), 周本刚等(2008), 张沛全和李冰溯(2012)以及何军等(2012)对震区的断裂系统及断裂活动性进行了研究, 其结果表明震区 NE-ENE 向的灵山断裂、NW 向的友僚—蕉根坪断裂、NNW 向的泗州断裂具有较强的活动性。

总体上看,前人对于灵山地震的研究主要集中于烈度分布和断裂活动性这两方面,而对于地震地表破裂带的研究多集中于地裂缝、崩塌、陷落等地表破坏现象调查(陈国达, 1939; 任镇寰等, 1996). 关于灵山地震的地震参数及发震构造,前人也多从极震区烈度分布或断裂活动性来探讨,而从地震地表破裂带的空间展布及位移数据出发探讨此次地震的参数和发震构造则较少涉及. 目前对于该地震的微观震中、宏观震中、震级等地震参数及发震构造均存在不确定性甚至是不同的认识(国家地震局全国地震烈度区划编图组, 1979; 陈恩民, 黄咏茵, 1984; 黄河生等, 1990; 李伟琦, 1992; 潘建雄, 黄日恒, 1995; 任镇寰等, 1996; 周本刚等, 2008; 张沛全, 李冰溯, 2012). 通过研究古地震地表破裂带讨论无仪器地震记录的历史地震的震中、震级、烈度等地震参数和发震构造已经在我国西部历史地震遗迹保留较好的地区有较多报道(聂宗笙等, 2010; 李文巧等, 2011),但在华南中强地震构造区的陆域部分,由于地震和构造活动强度较弱、气候湿热以及地表人工改造较多等原因难以保留历史地震所产生的地震地表破裂带等遗迹,所以对于该地区缺乏仪器地震记录的历史中强地震的地震参数,多通过调查震区建筑物或地表破坏程度等所圈定的等震线图间接地获取,自然存在一定的不确定性.

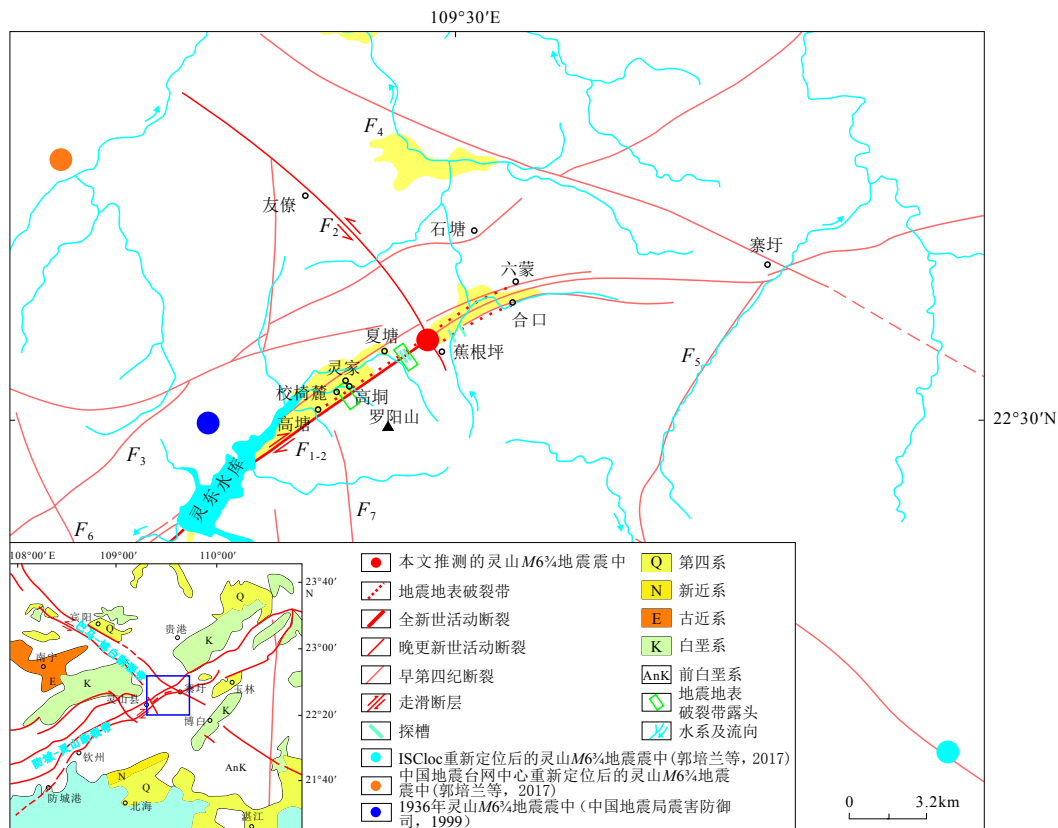
鉴于此,本文拟在详细总结前人研究成果的基础上,从研究 1936 年灵山 $M6\frac{3}{4}$ 地震极震区的地表破裂特征入手,综合分析该地表破裂带的分布特征、运动性质、同震位移量等参数,并进一步讨论灵山地震的宏观震中、微观震中、震级、地震烈度,以期确定该地震的地震参数和发震构造.

1 地震概况及区域地震构造背景

1936 年 4 月 1 日 9 时 31 分,灵山县(震时属广东省)平山圩东罗阳山发生一次 $M6\frac{3}{4}$ 强烈地震,震中位于灵山县东北约 20 km 的罗阳山西北麓一带,震中烈度达 IX 度或 IX 度强. 该地震造成 101 人死亡,263 人受伤,8 000 余间房屋倒塌破坏,是华南沿海地震带内陆地区自有地震记载以来发生的最大地震(国家地震局全国地震烈度区划编图组, 1979; 陈恩民, 黄咏茵, 1984; 李伟琦, 1992; 任镇寰等, 1996).

灵地震震区的大地构造位于扬子板块与华夏板块的结合部位,此次地震发生在区域性 NW 向巴马—博白断裂带与 NE 向防城—灵山断裂带的交会部位,罗阳山前的灵山断裂为震区断裂活动性最强的段落(黄河生等, 1990; 任镇寰等, 1996; 周本刚等, 2008; 何军等, 2012) (图 1). 灵山断裂沿罗阳山北西坡山麓展布,断裂南东侧罗阳山山地主要由印支期花岗岩组成,断裂北西侧钦江谷地主要由古生代、中生代沉积岩组成.

震区新构造位置处于广西新构造运动和地震活动均较强的桂东南断块区(李伟琦, 1989). 新构造运动主要为间隙性抬升运动及断块差异运动. 由于 NE 向防城—灵山断裂带的活动形成了 NE 向的断块隆起和断陷,造就了“两隆夹一陷”的新构造格局,断裂带南北两侧分别为罗阳山断块隆起和东山断块隆起,中间为钦江断陷谷地. 由于间歇性抬升运动,在钦江谷地形成三至四级河流阶地,在罗阳山山前形成三至六级台地. 在罗阳山前至少发育了五级台地或洪积残留台地(任镇寰, 1983),灵山断裂切割了第二级洪积台地,在其上形成断层槽地或陡坎并右旋错移山前水系,周本刚等(2008)的研究表明其在晚更新世以来有明显活动,李细光等(2017a)的最新调查表明沿该断裂在高塘—夏塘—六蒙、蕉根坪—合口一带断续出露了 1936 年灵山地震地表破裂带(图 1).

图 1 1936 年灵山 $M6\frac{3}{4}$ 地震震区的地震构造图

左下角为区域构造简图, $F_{1,2}$: 灵山断裂; F_2 : 蕉根坪—友僚断裂; F_3 : 石塘断裂;

F_4 : 六银—寨圩断裂; F_5 : 寨圩—浦北断裂; F_6 : 佛子圩断裂; F_7 : 泗州断裂

Fig. 1 Local seismic structure of the $M_{6\frac{3}{4}}$ Lingshan earthquake in 1936

The inset in the bottom-left corner shows the regional geological structure. F_{1-2} : Lingshan fault; F_2 : Jiaogenping-Youliao fault; F_3 : Shitang fault; F_4 : Liuyin-Zhaixu fault; F_5 : Zhaixu-Pubei fault; F_6 : Fozhi fault; F_7 : Sizhou fault

2 地表破裂带与地震参数讨论

根据我们的最新调查与核实, 1936 年 4 月 1 日灵山 M_6 地震的地表破裂带分布在罗阳山西北麓, 沿着灵山断裂的高塘—六蒙、蕉根坪—合口一带形成了断续的地震裂缝、地震陡坎、断层槽地(图 2a)、地震滑坡、冲沟错移等同震地表破裂现象, 全长约 12.5 km (图 1), 总体走为 NE-ENE, 同震右旋位移介于 36—290 cm 之间, 同震垂直位移介于 15—102 cm 之间, 同震最大右旋水平、垂直位移分别可达 2.9 m 和 1.02 m (李细光等, 2017b).

整个地震地表破裂带的分布并不连续,有的段落上地震陡坎、地裂缝不发育,仅发育地震滑坡或断层槽地等,随着观察尺度的缩小,每一个地震陡坎均是由更次一级的阶梯状断层陡坎、地震裂缝等组成,总体运动形式表现为正-右旋走滑性质(图 2b).

2.1 震中位置

地震震中分为宏观震中和微观震中,其中宏观震中一般指极震区的几何中心(鄢家全等,2010),随着震级增大宏观震中与微观震中的差距可能愈加明显.特别是近年来发生的一系列大震如汶川地震改变了传统的宏观震中是一个点的认识,例如李志强等(2008)认为汶

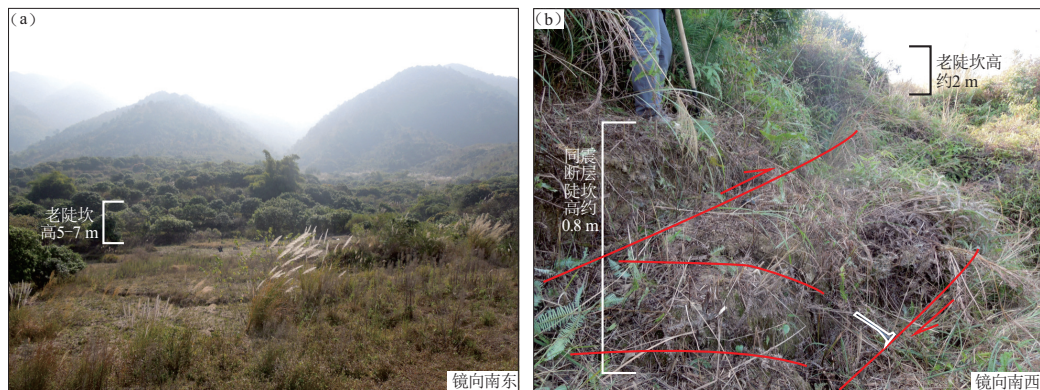


图2 高垌南东断层槽地和老陡坎(a)以及校椅麓南东的地震陡坎、地震裂缝和同震运动方向(b)

Fig. 2 Fault trough and old fault scarp in southeastern Gaodong (a) as well as earthquake scarp, fissures, old fault scarp and co-seismic motion direction in southeastern Xiaoyilu (b)

川地震的宏观震中是一条狭长的中间断开的线或窄带。

根据陈国达(1939)的考察结果,1936年灵山地震烈度最高、面积最小、同震地表破裂现象最明显的范围集中在罗阳山西北坡及山麓的高塘、鸦山岭、六鹅、夏塘、山鸡麓一带,并据此推断宏观震中位于罗阳山西北麓高塘—夏塘一线,呈一狭窄带状。陈恩民和黄咏茵(1984)以及李伟琦(1992)通过调查震区房屋破坏情况修正了极震区等震线的形状(图3c),陈恩民和黄咏茵(1984)认为本次地震的震中位于校椅麓附近。任镇寰等(1996)认为存在平山—蕉根坪和龙湾—高架岭这两个长轴走向分别为ENE和NNW的极震区,而宏观震中位于NNW向极震区长轴延长线与ENE向极震区长轴交点的高塘附近。已有研究显示地震地表破裂带与极震区分布范围具有很强的一致性(李志强等,2008;徐锡伟等,2008;马寅生等,2010),根据位错理论,断层每一段落所释放的能量与其错距平方成正比,地震断层上的最大位错点为初始破裂点,即宏观震中位置(张四昌,1989)。本研究调查显示,友僚—蕉根坪断裂以西的最大位移带位于夏塘水库东北至鸭子塘—蕉根坪一线附近,友僚—蕉根坪断裂以东发育两条地震地表破裂带(图3c),因此可以认为同震位错量为这两条地震地表破裂带位移量之和,即最大位移带位于蕉根坪至镇安一带,以此最大同震位移带为中心向NE和SW两个方向位移量呈递减的趋势。为此,我们在此最大位移带开挖了一系列探槽,其结果也揭示了地震断层、地震陡坎及地震崩积楔等丰富的地震地表破裂现象,据此推断本次地震的宏观震中极有可能位于灵山断裂北段与友僚—蕉根坪断裂交会处附近。

此前由于观测资料的缺失,本次地震没有可靠的微观仪器震中数据。据郭培兰等(2017)的最新研究成果,微观震中测定结果如图1所示,两种不同方法测定的震中位置分别位于灵家南东侧约30 km和灵家北西侧约15 km。由于灵山地震发生的时间较早,台站记录缺乏,且在灵山主震前不足5分钟发生了印度尼西亚亚拉克隆岛 $M_w 7.7$ 地震,其记录强烈影响或覆盖了灵山地震的记录(郭培兰等,2017),依据微观震中位置在误差范围内与宏观震中位置基本保持一致,结合发震断层倾向SE,本文推断微观震中位置应在灵山断裂南东罗阳山一侧。

2.2 震级

由于灵山地震长期以来缺乏仪器记录,目前多数文献中均根据震中烈度IX度推算出灵山地震震级为 $M 6\frac{3}{4}$ (李善邦,1960;顾功叙,1983;莫敬业,1990;中国地震局震害防御司,

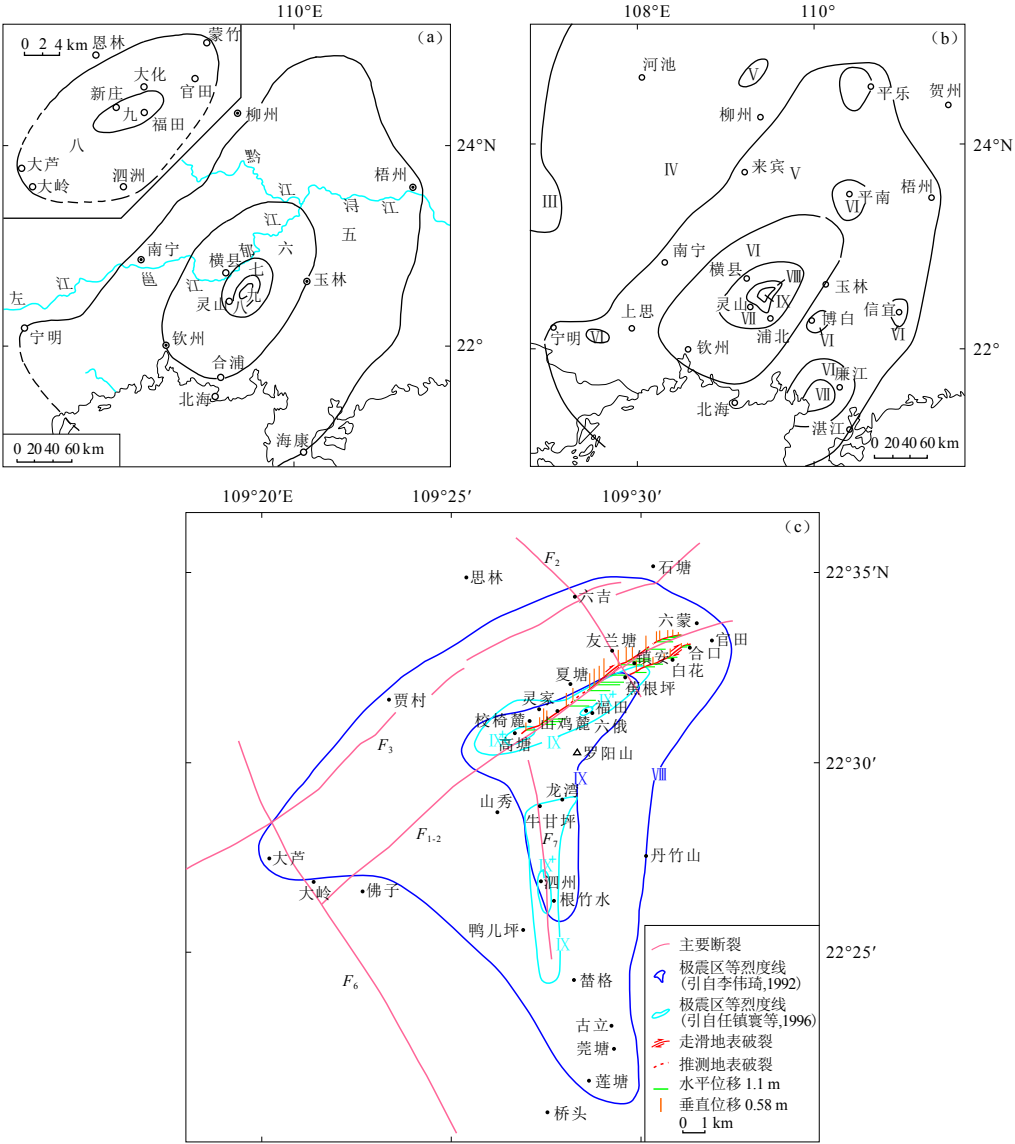


图 3 1936 年灵山 $M6\frac{3}{4}$ 地震等烈度线图(a, b)以及极震区等烈度线与地震构造叠合图(c)

图(a)引自国家地震局全国地震烈度区划编图组(1979), 图(b)引自陈恩民和黄咏茵(1984);
图(c)中断裂编号与图 1 相同, 极震区烈度图分别引自李伟琦(1992)和任镇寰等(1996)

Fig. 3 Isoseismal contours of the 1936 Lingshan $M6\frac{3}{4}$ earthquake (a, b) and its superposition with seismic structure (c)

Fig. (a) is from Mapping Group of Seismic Intensity Zoning in China, State Seismological Bureau (1979), Fig. (b) is from Chen and Huang (1984). In Fig. (c), the isoseismal contours are from Li (1992) and Ren *et al* (1996), and fault number is the same as Fig. 1

1999), 郭培兰等(2017)根据仅有的上海徐家汇台记录图纸测定该地震的震级为 $M_S7.0$ 。但由于当时监测手段落后且记录单一, 所测地震震级无法达到现代多台仪器所测定的地震震级精度。

鉴于上述原因, 本文利用我们最新获得的地震地表破裂带参数, 对比前人研究成果来推

算 1936 年灵山地震震级, 各种方法计算出的地震震级列于表 1.

表 1 根据多种经验关系式推算的 1936 年灵山地震震级

Table 1 Magnitude of 1936 Lingshan earthquake estimated according to several empirical relationships between earthquake parameters and magnitude of historical earthquakes

计算方法	公式	地震地表破裂 长度 L/km	最大同震地表 位移 D/m	震中烈度 I_{e}	推算震级 M
邓起东等(1992)	$M=6.25+0.8\lg L$	12.5			7.1
Wells 和 Coppersmith (1994)	$M=5.16+1.12\lg L$	12.5			6.4
陈达生(1984)	$M=6.6362+0.5651\lg L$	12.5			7.3
Wells 和 Coppersmith (1994)	$M=6.81+0.78\lg D$		2.9		7.2
李善邦(1960)	$M=0.58I_{\text{e}}+1.5$			9.5	7.0
刘昌森(1989)	$M=0.67I_{\text{e}}+0.66$			9.5	7.0
许卫晓等(2016)	$M=0.549I_{\text{e}}+1.859$			9.5	7.1

根据陈恩民和黄咏茵(1984)、任镇寰等(1996)及李细光等(2017a)可知, 极震区发育了长约 12.5 km 断续分布的地震地表破裂带以及丰富的滑坡、崩塌、砂土液化、地陷、地裂缝等同震地表破裂现象, 所以我们认为震中烈度为 IX 度强并将其用于相关计算中. 对比表 1 中结果可知, 通过地表破裂带长度推算出的震级与通过震中烈度推算出的震级有较好的一致性, 大部分均为 $M7$ 左右, Wells 和 Coppersmith (1994) 的计算结果较小, 可能与我国采用的面波震级普遍大于国际上采用的矩震级且二者差值平均为 0.3 有关(戴志阳等, 2008).

由于 1936 年灵山 $M6\frac{3}{4}$ 地震的 IX 度强区域面积非常狭小, 不到 1 平方千米(图 3c), 且灵山地区湿热多雨的环境和较为频繁的人类活动可能导致同震位移测量值偏大, 因此, 结合华南沿海地震带内陆地区的历史地震特征, 我们推测 1936 年灵山地震的震级应在 $M6.8$ 左右, 这一结果与地表破裂带参数及极震区地表破坏现象吻合得较好. 但值得注意的是, 灵山 $M6\frac{3}{4}$ 地震的烈度衰减速度远大于其它地区发生的类似震级地震(陈国达, 1939), 所以通过烈度区的长轴半径来计算震级会出现计算结果偏小的现象.

2.3 震中烈度

前人对于灵山地震的烈度分布特别是震中(极震区)的烈度分布已作过很多研究(陈国达, 1939; 李伟琦, 1992; 任镇寰等, 1996), 由于评定烈度的标准不同, 掌握的资料有异, 所给出的地震烈度图和极震区形态也不尽相同(图 3). 陈国达(1939)根据梅卡里(Mercalli)烈度表评定标准, 将灵山地震震中的烈度评定为 X 级; 国家地震局全国地震烈度区划编图组(1979)汇编的《中国地震等烈度线图集》中灵山地震的震中烈度为 IX 度(图 3a), 《中国地震目录》(顾功叙, 1983)和《中国近代地震目录》(中国地震局震害防御司, 1999)均采用了此图. 此后陈恩民和黄咏茵(1984)、李伟琦(1992)以及任镇寰等(1996)均对震中区烈度进行了重新评定, 震中烈度达 IX 度强, 分别如图 3b 和图 3c 所示.

野外调查显示 1936 年灵山地震地表破裂带延伸至蕉根坪以东约 3.5 km 的合口和六蒙一带, 与上述前人所绘制的极震区烈度图对比可见, 地震地表破裂带分布范围与 NE 向 IX 度区的长轴方向基本一致, 据此我们将灵山地震震中 IX 度区范围向东延伸至蕉根坪以东约 4 km, 沿地表破裂带两侧约 1—2 km 范围分布.

2.4 发震构造

对于灵山地震的发震构造, 前人的认识不尽相同. 陈国达(1939)认为, 灵山地震震中为

一长短轴比约 5:1 的狭长形椭圆，从“罗阳山脉西北麓一带水源断绝及水井干涸之原因推测，此次地震之发生，似即为该处原有断层继续活动之结果”，再结合烈度向东南衰减相对慢的特点推断此次地震的发震断层为罗阳山西北麓山前的 SE 倾向的 NE 向断裂。陈恩民和黄咏茵(1984)根据极震区的长轴方向认为，本次灵山地震的震源断裂面以 ENE 走向为主，NNW 走向为辅；李伟琦(1992)根据极震区的等震线形状和低烈度区的长轴方向推测灵山地震可能是 ENE 向断裂与 NNW 向断裂共轭破裂的结果，其中 ENE 向构造是控震构造；潘建雄(1994)认为，在现代 WNW-ESE 向区域构造应力场作用下，NE 向的防城—灵山断裂带和 NW 向的巴马—博白断裂带拟合为活动性较高的共轭构造，1936 年灵山地震可能是这组共轭构造同时活动的结果，主破裂面以 ENE 向断裂为主；任镇寰等(1996)认为“ENE 向、NNW 向断裂均参与了本次地震的孕育过程，ENE 向是主破裂”。

罗阳山西北麓的高塘—合口、六蒙一带沿灵山断裂发育了长约 12.5 km 的地震地表破裂带，并且该断裂在地貌上表现为断层槽地、断层陡坎等；而 NW 向的蕉根坪断裂未有错断地表表现(图 4)，不是此次地震的发震构造。罗阳山南麓的泗州、根竹水、龙湾等地也有地裂缝，房屋破坏较为严重(陈恩民，黄咏茵，1984；李伟琦，1992；任震寰等，1996)。本研究调查发现罗阳山南麓的破坏以小规模滑坡为主，地裂缝等其它地表破坏的规模较罗阳山西北麓偏小，发育程度较其偏低，所以罗阳山南麓的地表破坏应为沿泗州断裂等 NNW 向小断裂的同震感应震动造成。综上所述，1936 年灵山地震的发震构造为罗阳山西北麓 NE-ENE 走向的灵山断裂，南麓的 NNW 向、NW 向断裂在主断层破裂影响下发生了感应震动，造成了局部烈度增强。

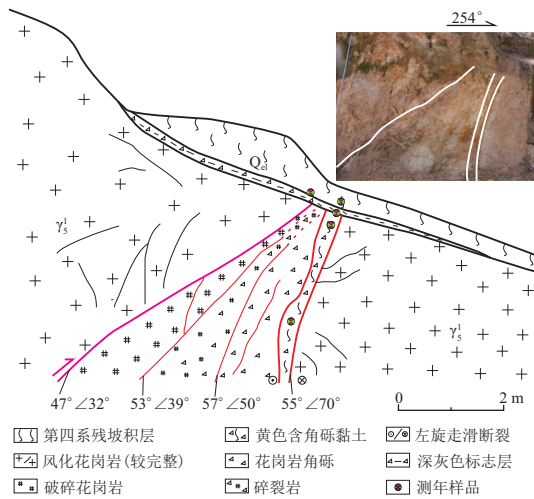


图 4 蕉根坪—友僚断裂野外照片及构造剖面图

Fig. 4 Outcrop and structural section of Jiaogeping-Youliao fault

3 讨论与结论

基于最新发现的 1936 年灵山地震地表破裂带的特征，本文分析探讨了此次地震的参数及发震构造，主要结论如下：

1) 在罗阳山西北麓，沿着灵山断裂的高塘—六蒙、蕉根坪—合口一带发育断续的以地震裂缝、地震陡坎、地震滑坡、冲沟错移等为标志的地震地表破裂带，全长约 12.5 km，总体走向为 NE-ENE，沿此地震地表破裂带同震右旋位移介于 36—290 cm 之间，同震垂直位移介于 15—102 cm 之间，最大同震水平、垂直位移分别为 2.9 m 和 1.02 m，运动性质为正-右旋走滑。

2) 根据地震地表破裂带分布特征及极震区烈度分布判断灵山地震的宏观震中位于灵山断裂北段与友僚—蕉根坪断裂交会处附近，结合发震断层倾向 SE，微观震中位置应在灵山断裂南东罗阳山一侧；综合多种方法认为 1936 年灵山地震震级为 $M_6.8$ 左右，目前仅有的单一仪器记录所测震级为 $M_5.7.0$ ；前人调查结果显示震中烈度达 IX 度强，根据地震地表破裂带展

布, 将IX度区范围向东延伸至蕉根坪以东约 4 km, 沿地表破裂带两侧约 1—2 km 范围分布; 罗阳山前灵山断裂构造地貌特征及受其控制的地表破裂带的发育说明灵山地震的发震构造为晚更新世以来活动的灵山断裂北段。

本文获得的同震位移量略大于其它地区相似震级地震所产生的地表位移(如 1936 年甘肃康乐 $M6\frac{3}{4}$ 地震), 这一方面与历史地震参数的不确定性有关, 另一方面 1936 年灵山地震的地表破裂带多发育在山麓地带, 垂直位移可能受后期重力作用的影响偏大, 而南方湿热多雨的环境可能会导致水平位移测量值偏大(如流水侵蚀作用较强)。此外, 1936 年灵山地震烈度的衰减速度远大于其它地区发生的类似震级的地震(陈国达, 1939), 这可能是导致地震地表破裂长度偏小的原因之一。

在本研究实施过程中, 中国地震局地震研究所徐锡伟、冉永康、杨晓平、汪一鹏、宋方敏、田勤俭、何正勤、李伟琦等研究员在探槽选址、探槽编录解译、年龄样品采集等方面给予了悉心指导和帮助, 桂林理工大学的陈磊、蒙南忠、李金峰参与了野外调查, 审稿专家提出了重要的修改意见, 作者在此一并表示衷心的感谢!

参 考 文 献

- 陈达生. 1984. 地震引起的地表破裂长度与震级之间的经验关系[J]. 华北地震科学, 2(2): 26–32.
- Chen D S. 1984. Empirical relationship between surface rupture length and magnitude of earthquake[J]. *North China Earthquake Sciences*, 2(2): 26–32 (in Chinese).
- 陈恩民, 黄咏茵. 1984. 华南十九次强震暨南海北部陆缘地震带概述[J]. 华南地震, 4(1): 11–32.
- Chen E M, Huang Y Y. 1984. Nineteen earthquakes in South China and overview of seismic belt in the margin zone of the northern South China Sea[J]. *South China Journal of Seismology*, 4(1): 11–32 (in Chinese).
- 陈国达. 1939. 广东灵山地震志[M]. 澄江: 两广地质调查所: 1–100.
- Chen G D. 1939. *The Lingshan Earthquake on April 1, 1936*[M]. Chengjiang: The Geological Survey of Kwangtung and Kwangsi: 1–100 (in Chinese).
- 戴志阳, 刘斌, 查显杰, 吕彦, 郑先进, 张虎, 杨凤琴. 2008. 震级标度的不一致与震源的复杂性[J]. 地球物理学进展, 23(3): 705–709.
- Dai Z Y, Liu B, Zha X J, Lü Y, Zheng X J, Zhang H, Yang F Q. 2008. Earthquake scaling disagreement and complexity of seismic source[J]. *Progress in Geophysics*, 23(3): 705–709 (in Chinese).
- 邓起东, 闻学泽. 2008. 活动构造研究: 历史、进展与建议[J]. 地震地质, 30(1): 1–30.
- Deng Q D, Wen X Z. 2008. A review on the research of active tectonics: History, progress and suggestions[J]. *Seismology and Geology*, 30(1): 1–30 (in Chinese).
- 邓起东, 于贵华, 叶文华. 1992. 地震地表破裂参数与震级关系的研究[G]//活动断裂研究(2). 北京: 地震出版社: 247–264.
- Deng Q D, Yu G H, Ye W H. 1992. Relationship between earthquake magnitude and parameters of surface ruptures associated with historical earthquakes[G]//*Research of Active Fault* (2). Beijing: Seismological Press: 247–264 (in Chinese).
- 顾功叙. 1983. 中国地震目录: 公元前 1831—公元 1969 年[M]. 北京: 科学出版社: 296–298.
- Gu G X. 1983. *Catalogue of Chinese Earthquakes: 1831 BC–1969 AD*[M]. Beijing: Science Press: 296–298 (in Chinese).
- 郭培兰, 李保昆, 周斌, 冯向东, 万永革, 邹立晔, 杜广宝. 2017. 1936 年 4 月 1 日广西灵山县东北 $M6\frac{3}{4}$ 地震震源参数测定[J]. 地震学报, 39(6): 870–879.
- Guo P L, Li B K, Zhou B, Feng X D, Wan Y G, Zou L Y, Du G B. 2017. Determination of the source parameters of the north-east Lingshan, Guangxi, $M6\frac{3}{4}$ earthquake on April 1, 1936[J]. *Acta Seismologica Sinica*, 39(6): 870–879 (in Chinese).
- 国家地震局全国地震烈度区划编图组. 1979. 中国地震等烈度线图集[M]. 北京: 地震出版社: 34.
- Mapping Group of Seismic Intensity Zoning in China, State Seismological Bureau. 1979. *Atlas of Seismic Intensity Contours of China*[M]. Beijing: Seismological Press: 34 (in Chinese).

- 何军, 刘怀庆, 黎清华, 朱章显. 2012. 广西防城—灵山断裂带北东支灵山区活动性初探[J]. 华南地质与矿产, **28**(5): 71–78.
- He J, Liu H Q, Li Q H, Zhu Z X. 2012. Activity of the northeastern branch of Fangcheng–Lingshan fault zone in Lingshan, Guangxi, China[J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, **28**(5): 71–78 (in Chinese).
- 黄河生, 任镇寰, 杨廉法. 1990. 广西灵山区断裂活动性与土壤中汞气含量变化[J]. 华南地震, **10**(1): 42–49.
- Huang H S, Ren Z H, Yang L F. 1990. The activity of the faults and the concentration of gas Hg variation among soil in Lingshan area[J]. *South China Journal of Seismology*, **10**(1): 42–49 (in Chinese).
- 李善邦. 1960. 中国地震目录[M]. 北京: 科学出版社: 253–254.
- Li S B. 1960. *China Earthquake Catalog*[M]. Beijing: Science Press: 253–254 (in Chinese).
- 李伟琦. 1989. 广西新构造分区特征及其与地震的关系[J]. 华南地震, **9**(4): 22–26.
- Li W Q. 1989. The relationship between the characteristics of neotectonic regionalization and earthquakes in Guangxi[J]. *South China Seismological Journal*, **9**(4): 22–26 (in Chinese).
- 李伟琦. 1992. 1936 年灵山 $6\frac{1}{4}$ 级地震极震区烈度分布及发震构造[J]. 华南地震, **12**(3): 46–51.
- Li W Q. 1992. Intensity distribution of Lingshan $M_6\frac{1}{4}$ earthquake in meizoseismic area and its seismogenic structure[J]. *South China Journal of Seismology*, **12**(3): 46–51 (in Chinese).
- 李文巧, 陈杰, 袁兆德, 黄明达, 李涛, 余松, 杨晓东. 2011. 帕米尔高原 1895 年塔什库尔干地震地表多段同震破裂与发震构造[J]. 地震地质, **33**(2): 260–276.
- Li W Q, Chen J, Yuan Z D, Huang M D, Li T, Yu S, Yang X D. 2011. Coseismic surface ruptures of multi segments and seismogenic fault of the Tashkorgan earthquake in Pamir, 1895[J]. *Seismology and Geology*, **33**(2): 260–276 (in Chinese).
- 李西, 徐锡伟, 张建国, 谢英情, 于江, 张彦琪. 2018. 鲁甸 $M_5.6$ 地震发震断层地表破裂特征、相关古地震的发现和年代测定[J]. 地学前缘, **25**(1): 227–239.
- Li X, Xu X W, Zhang J G, Xie Y Q, Yu J, Zhang Y Q. 2018. Surface rupture characteristics of the seismogenic structure of the Ludian $M_5.6$ earthquake and identification and dating of related paleoearthquakes[J]. *Earth Science Frontiers*, **25**(1): 227–239 (in Chinese).
- 李细光, 李冰溯, 潘黎黎, 聂冠军, 吴教兵, 陆俊宏, 严小敏, 李志勇. 2017a. 广西灵山 1936 年 $6\frac{1}{4}$ 级地震地表破裂带新发现[J]. 地震地质, **39**(4): 689–698.
- Li X G, Li B S, Pan L L, Nie G J, Wu J B, Lu J H, Yan X M, Li Z Y. 2017a. A new finding of surface rupture zones associated with the 1936 Lingshan $M_6\frac{1}{4}$ earthquake, Guangxi, China[J]. *Seismology and Geology*, **39**(4): 689–698 (in Chinese).
- 李细光, 潘黎黎, 李冰溯, 聂冠军, 吴教兵, 陆俊宏, 严小敏. 2017b. 广西灵山 1936 年 $6\frac{1}{4}$ 级地震地表破裂类型与位错特征[J]. 地震地质, **39**(5): 904–916.
- Li X G, Pan L L, Li B S, Nie G J, Wu J B, Lu J H, Yan X M. 2017b. Type and displacement characteristics of Lingshan $M_6\frac{1}{4}$ earthquake surface rupture zone in 1936, Guangxi[J]. *Seismology and Geology*, **39**(5): 904–916 (in Chinese).
- 李志强, 袁一凡, 李晓丽, 何萍. 2008. 对汶川地震宏观震中和极震区的认识[J]. 地震地质, **30**(3): 768–777.
- Li Z Q, Yuan Y F, Li X L, He P. 2008. Some insights into the macro-epicenter and meizoseismal region of Wenchuan earthquake[J]. *Seismology and Geology*, **30**(3): 768–777 (in Chinese).
- 刘昌森. 1989. 对某些历史地震参数的修订意见[G]//中国历史地震研究文集. 北京: 地震出版社: 127–130.
- Liu C S. 1989. Revision of advice on the parameters of some historical earthquakes[G]//A Collection of Chinese Historical Earthquake Studies. Beijing: Seismological Press: 127–130 (in Chinese).
- 马寅生, 张永双, 胡道功, 杨农, 龙长兴, 侯春堂, 闫鹏, 吴中海, 杨振宇, 雷伟志, 谭成轩. 2010. 玉树地震地表破裂与宏观震中[J]. 地质力学学报, **16**(2): 115–128.
- Ma Y S, Zhang Y S, Hu D G, Yang N, Long C X, Hou C T, Yan P, Wu Z H, Yang Z Y, Lei W Z, Tan C X. 2010. The surface ruptures and the macroscopical epicenter of Yushu $M_7.1$ earthquake[J]. *Journal of Geomechanics*, **16**(2): 115–128 (in Chinese).
- 莫敬业. 1990. 广西通志·地震志[M]. 南宁: 广西人民出版社: 60–62.
- Mo J Y. 1990. *Earthquakes History of Guangxi*[M]. Nanning: Guangxi People's Publishing House: 60–62 (in Chinese).
- 聂宗策, 吴卫民, 马保起. 2010. 公元 849 年内蒙古包头东地震地表破裂带及地震参数讨论[J]. 地震学报, **32**(1): 94–107.
- Nie Z S, Wu W M, Ma B Q. 2010. Surface rupture of the A.D. 849 earthquake occurred to the east of Baotou city, China, and

- discussion on its parameters[J]. *Acta Seismologica Sinica*, **32**(1): 94–107 (in Chinese).
- 潘建雄. 1994. 关于罗浮山—灵山近东西向断裂系活动性的初步研究[G]//中国活动断层研究. 北京: 地震出版社: 196–204.
- Pan J X. 1994. A preliminary study on the activity of sub-latitudinal Luofushan-Lingshan fault[G]//*Chinese Active Faults*. Beijing: Seismological Press: 196–204 (in Chinese).
- 潘建雄, 黄日恒. 1995. 广西灵山地区的窗棂脊构造[J]. 华南地震, **15**(4): 61–65.
- Pan J X, Huang R H. 1995. Discussion of shutter ridge structure at Lingshan area, Guangxi[J]. *South China Journal of Seismology*, **15**(4): 61–65 (in Chinese).
- 任镇寰. 1983. 第四纪地质学[M]. 北京: 地震出版社: 50.
- Ren Z H. 1983. *Quaternary Geology*[M]. Beijing: Seismological Press: 50 (in Chinese).
- 任镇寰, 杨廉法, 邓业权. 1996. 1936年广西灵山 $M_6\frac{4}{10}$ 级地震极震区震害和地震影响场的研究[J]. 中国地震, **12**(1): 83–92.
- Ren Z H, Yang L F, Deng Y Q. 1996. Investigation on the earthquake damages of meizoseismal region and the influence field of the 1936 Lingshan earthquake with $M_6\frac{4}{10}$ in Guangxi[J]. *Earthquake Research in China*, **12**(1): 83–92 (in Chinese).
- 许卫晓, 杨伟松, 孙景江, 张纪刚, 于德湖. 2016. 震中烈度与震级和震源深度经验关系的统计回归分析[J]. 自然灾害学报, **25**(2): 139–145.
- Xu W X, Yang W S, Sun J J, Zhang J G, Yu D H. 2016. Statistical regression analysis of empirical relationships of epicentral intensity, magnitude and focal depth[J]. *Journal of Natural Disasters*, **25**(2): 139–145 (in Chinese).
- 徐锡伟, 闻学泽, 叶建青, 马保起, 陈杰, 周荣军, 何宏林, 田勤俭, 何玉林, 王志才, 孙昭民, 冯希杰, 于贵华, 陈立春, 陈桂华, 于慎鄂, 冉勇康, 李细光, 李陈侠, 安艳芬. 2008. 汶川 $M_8.0$ 地震地表破裂带及其发震构造[J]. 地震地质, **30**(3): 597–629.
- Xu X W, Wen X Z, Ye J Q, Ma B Q, Chen J, Zhou R J, He H L, Tian Q J, He Y L, Wang Z C, Sun Z M, Feng X J, Yu G H, Chen L C, Chen G H, Yu S E, Ran Y K, Li X G, Li C X, An Y F. 2008. The $M_8.0$ Wenchuan earthquake surface ruptures and its seismogenic structure[J]. *Seismology and Geology*, **30**(3): 597–629 (in Chinese).
- 鄢家全, 李金臣, 俞言祥, 潘华, 郝玉芹. 2010. 论宏观震中及其快速估定方法[J]. 震灾防御技术, **5**(4): 407–417.
- Yan J Q, Li J C, Yu Y X, Pan H, Hao Y Q. 2010. Discussion of the macro-epicenter and the method of rapid estimation[J]. *Technology for Earthquake Disaster Prevention*, **5**(4): 407–417 (in Chinese).
- 张沛全, 李冰溯. 2012. 最大有效力矩准则约束下的广西罗阳山地震、地质与地貌效应[J]. 地质力学学报, **18**(1): 79–90.
- Zhang P Q, Li B S. 2012. Geomorphological features in Luoyangshan area, Guangxi Zhuang Autonomous Region and its relations with the maximum effective moment criterion[J]. *Journal of Geomechanics*, **18**(1): 79–90 (in Chinese).
- 张四昌. 1989. 宏观震中及其定位精度的探讨[G]//中国历史地震研究文集. 北京: 地震出版社: 127–130.
- Zhang S C. 1989. Discussion on macro epicenter and its location accuracy[G]//*A Collection of Chinese Historical Earthquake Studies*. Beijing: Seismological Press: 127–130 (in Chinese).
- 中国地震局震害防御司. 1999. 中国近代地震目录(公元1912年—1990年, $M_s \geq 4.7$) [M]. 北京: 中国科学技术出版社: 56–57.
- Department of Disaster Prevention, China Earthquake Administration. 1999. *Catalog of Chinese Earthquakes (1912–1990, $M_s \geq 4.7$)* [M]. Beijing: China Science and Technology Press: 56–57 (in Chinese).
- 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 2012. GB/T 18208.3—2011地震现场工作第3部分: 调查规范[S]. 北京: 中国标准出版社: 2.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. 2012. *GB/T 18208.3—2011 Post-Earthquake Field Works, Part 3: Code for Field Survey* [S]. Beijing: Standards Press of China: 2 (in Chinese).
- 周本刚, 杨晓平, 杜龙. 2008. 广西防城—灵山断裂带活动性分段与潜在震源区划分研究[J]. 震灾防御技术, **3**(1): 8–19.
- Zhou B G, Yang X P, Du L. 2008. Discussion on the segmentation of Fangcheng—Lingshan fault, Guangxi Province and determination of related potential seismic sources[J]. *Technology for Earthquake Disaster Prevention*, **3**(1): 8–19 (in Chinese).
- Wells D L, Coppersmith K J. 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement[J]. *Bull Seismol Soc Am*, **84**(4): 974–1002.