

澄江地震的后续丘北5.5级地震研究

徐彦

(云南省地震局, 云南 昆明 650041)

摘要: 1999年11月25日澄江发生5.2级地震, 2个月后的2000年1月27日在相邻的丘北—弥勒地区发生了5.5级地震. 分析了丘北—弥勒5.5级地震的区域地震活动背景、地震孕育过程和地震活动性异常特征, 为探讨在一次中强地震后如何预报后续地震提供了一个震例.

关键词: 丘北—弥勒地震; 孕震区; 澄江地震

中图分类号: P315.75 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2002)01-0092-05

0 前言

在地震高潮期, 中强地震有时具有连发的特征. 一个中强地震发生后, 存在着在同一构造带的其他部位或邻近构造带上接着发生相近强度或更大地震的可能性. 1999年11月12日云南澄江发生了5.2级地震, 紧接着2000年1月27日又在相邻的丘北—弥勒地区发生了5.5级地震. 因而正确判断中强地震后相邻构造带的地震危险性是很重要的.

本文基于这一思想, 对2次在时间上、空间上、地质构造上都很相近的地震进行了研究, 分析了2000年1月27日丘北—弥勒5.5级地震的区域地震活动背景, 地震活动性异常在澄江5.2级地震后的发展变化情况. 探讨在一次中强地震后, 如何预报后续地震提供了一个震例.

1 地震参数及背景

1.1 丘北—弥勒地震主要地震参数

发震时刻: 2000年1月27日04时55分19秒

微观震中: 北纬 $24^{\circ}09'$, 东经 $103^{\circ}38'$

震级: $M_S 5.5$

震源深度: 10 km

震中烈度Ⅷ度, 走向近EW. Ⅵ度区长轴走向 $N56^{\circ}E$. 灾区总面积约2260 km².

1.2 地震序列概况

本次丘北—弥勒5.5级地震前无直接前震. 根据云南省地震台网目录, 从1月27日04时至7月31日丘北—弥勒地震区共记录到 $M_S \geq 1.0$ 余震5次, 其中1~1.9级2次, 2.0级以上3次, 最大余震震级为2.6级. 5.5级地震后的第一余震发生在主震后3天且震级仅为2.1级; 此后17天内只发生了3次余震. 自2月22日后至7月25日长达5个月的时间内, 震区未发

生一次 1.0 级以上地震. 主震后的余震次数偏少、震级偏小, 地震序列衰减较快, 主震能量释放占了整个序列能量释放的 99% 以上, 因而判定本次地震属于孤立型地震. 震中分布见图 1.

1.3 地质构造背景

震区位于小江断裂以东的 NE 向牛首山隆起带南侧, 以发育一系列密集分布的 NE 向或 NEE 向褶皱和断裂构造为特征. 该地区强烈的新构造抬升和河流深切作用造就了现今强烈起伏的复杂地貌形态.

澄江地震发生在小江断裂上, 丘北—弥勒地震的震中紧邻小江断裂带与红河断裂的交汇点(川滇菱块的顶端). 小江断裂和红河断裂是云南省内两条主要的深大断裂, 小江断裂是川滇菱块的东部边界, 长期以来限制着其东西两侧不同构造单元的发育特征, 菱块深部物质向东南滑移, 却遇到了较为坚固稳定的华南断块, 阻挡了深部物质的滑移, 从而形成本地地块孕震的主要力源.

在 2 次地震所在的滇东地区为地壳厚度渐变带^[2], 地壳厚度等值线由东北向变为西北向, 呈向南东突出的弧形分布, 为应力易于集中的地段.

云南地震震源深度多数在 10~20 km, 基本发生在高速扰动区或高低速过渡带内^[3]. 在滇东地区主要是东川—昆明—玉溪一带的上地壳(0~20 km)相对高速区, 是地震危险性较高的地区, 而丘北—弥勒地震正发生在这一高速区内.

2 地震活动性异常及孕震过程分析

1990 年以后滇东地区包括历史上异常活跃的小江断裂上无 $M \geq 5.0$ 地震发生, 地震活动表现为平静异常. 而进入 1998 年后地震活动出现了新的动态. 1999~2000 年中国西部出现了一个巨型的 $M \geq 5.0$ 地震北西条带, 滇东地区就处于这一北西条带内. 1998 年 12 月 1 日宣威发生 5.0 级地震; 1999 年 11 月 25 日小江断裂上发生了澄江 5.2 级地震. 整个滇东地区 2 级以上地震活动频次从 1998 年后显著增高. 这些表明滇东地区已进入了地震的活跃新阶段.

2.1 丘北—弥勒地震区 5 级以上地震活动分析

历史上该地区共发生 9 次 $M \geq 5.0$ 地震, 最大震级为 1919 年 12 月 09 日的 5.8 级地震, 没有 $M \geq 6.0$ 地震发生. 只是小江断裂东支紧邻弥勒县境内的西洱 1909 年 5 月 11 日发生过 $M_L 6.5$ 地震. 虽然该区活动强度较弱, 但仍具备发生中强地震的条件. 值得指出的是 1909 年西洱 6.5 级地震正是 1913~1925 年云南地震活动高潮的揭幕性地震.

从 1870 年以来的震区周围 $1^\circ \times 1^\circ$ 范围(不包含历史上地震比较频繁的小江断裂带)内的 $M-t$ 图(图 2)中可以发现 $M \geq 5.0$ 地震复发周期最长为 27 年. 而根据地震复发周期公式^[4]:

$$R = D/S$$

(1)

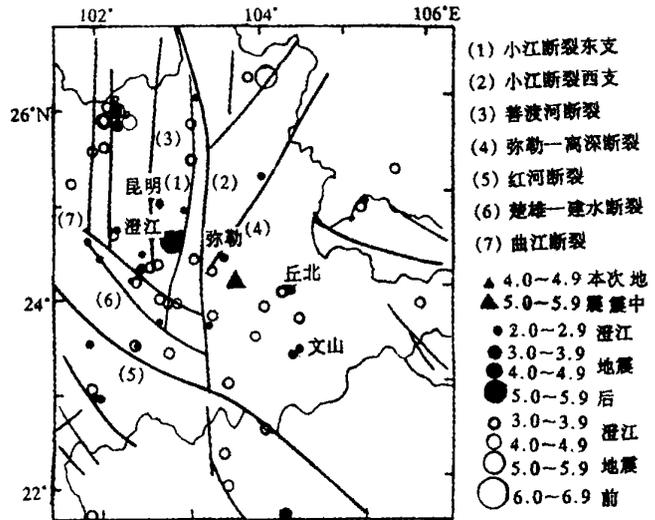


图 1 丘北—弥勒地震震中分布图

Fig. 1 Epicenter distribution of Qibei-Mile area.

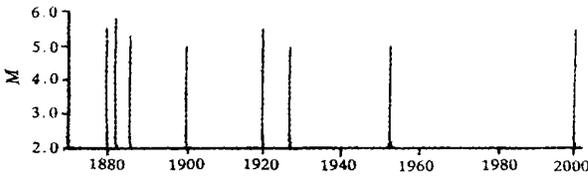


图2 丘北—弥勒地震区 1870 年以来的 $M-t$ 图

Fig. 2 The $M-t$ diagram from 1870 in Qiubei—Mile area.

式中: R 为地震复发周期, D 为平均位错, S 为断层的平均滑动速率.

将郭增建、秦保燕得出的错动幅度与震级间的关系式^[5]:

$$\log D = 0.5M - 1.25$$

代入(1)式,得:

$$\log R = 0.5M - (\log S + 1.25) \quad (2)$$

以这一地区历史最大震级 5.8 级, 滑

动速率为 2.4 mm/y 进行计算, 该区最大地震复发周期为 18.6 年. 然而自 1953 年的 5.0 级地震后, 该区已 47 年无 $M \geq 5.0$ 地震发生. 我们可以推测该区已积累了相当多的应变能, 其发生 5.0 级以上地震的概率显著增加.

2.2 澄江地震加大了丘北—弥勒地区的地震危险

滇东地区自 1998 年宣威 5.0 级地震打破长达 8 年的 $M \geq 5.0$ 地震的平静后, 于 1999 年 11 月又发生了澄江 5.2 级地震, 这都是中国西部巨型 $M \geq 5.0$ 地震北西条带的组成部分. 表明滇东地区的危险性在增高. 因此正确分清澄江地震的震后效应和后续地震的前兆是至关重要的.

2.2.1 区域地震活动异常

川滇菱块顶端 ($23^\circ \sim 25^\circ \text{N}$, $102^\circ \sim 105^\circ \text{E}$) 这一 $3^\circ \times 2^\circ$ 范围内从 1990 年以来的 1.0 级以上地震活动基本保持在每月 45 次这一水平上. 而从 1999 年开始, 这一地区的地震活动明显增多. 从 1998 年底 15 次/月的较低活动水平上升到 127 次/月, 超过了一倍均方差 (丘北地震后这一地区地震频度快速由高值恢复到正常值范围). 小震活动的增多表明了区域应力场的增强及这一区域内介质的不稳定性.

对这一地区 1990 年以来 1.0 级以上地震计算 b 值截距, 看出 1.0~4.0 级地震比较丰富但缺乏 4.5 级以上地震. 排除已发生的澄江 5.2 地震, 这一地区仍存在有 5.5 级地震的危险性.

澄江地震前在川滇菱块的顶端就出现了一个 $M \geq 3.0$ 地震的围空, 范围包括了澄江地震及丘北—弥勒地震震区. 一般情况下, 一次大震后调整型地震空间上处于随机状态, 震中零乱分布. 然而澄江地震后 2~3 级地震 (图中为实心圈) 在澄江东南方形成一围空, 是对澄江地震前 3 级地震围空 (空心圈形成的孕震区) 的加强, (图 1). 这表明澄江地震及丘北—弥勒地震的孕震区是同一个. 而丘北地震后这一围空逐渐消失.

2.2.2 澄江地震序列异常

就澄江 5.2 级地震序列来看, 也说明了川滇菱块的顶端的地震活动性异常. 首先是云南台网记录到的澄江地震余震次数仅是澄江单台记录到的余震次数的 1/3. 截止到 2000 年 1 月 12 日 08 时云南台网共记录到余震 104 次, 其中 1~1.9 级 76 次, 2~2.9 级 22 次, 3~3.9 级 5 次, 4~4.9 级 1 次. 而澄江单台截止到 2000 年 1 月 12 日 08 时共记录到余震 309 次, 其中 0~0.9 级 10 次, 1~1.9 级 194 次, 2~2.9 级 95 次, 3~3.9 级 9 次, 4~4.9 级 1 次. 其次是以云南台网记录到的余震做出澄江地震序列的 $N-t$ 图 (图 3), 可以看出澄江地震序列衰减得并不正常, 在 1999 年 12 月后序列有较为明显的起伏. 第三, 对澄江 5.2 级地震序列进行 h 值计算, 从 1999 年 11 月 25 日到 2000 年 1 月 21 日止, 取门限震级 1.7 级, 得 $b = 0.79$, $h = 0.8$. h 值小于 1.0 并有明显的上扬趋势 (图 4).

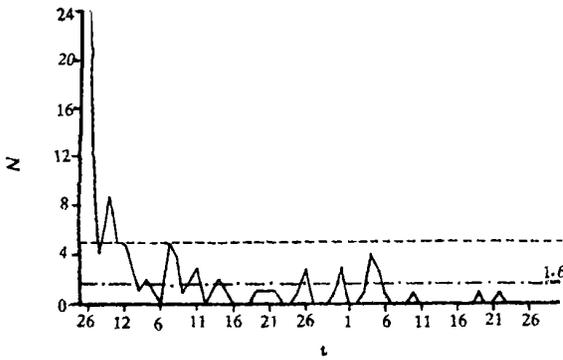


图3 澄江地震序列的 $N-t$ 图
Fig. 3 The $N-t$ diagram of the Chengjiang earthquake sequence.

一次地震后, 相邻构造上的地震危险性具有“平行减震, 垂直加震”的现象^[4], 在 1999 年处于南北向的小江带西支上发生了澄江地震后, 与其发震构造近于垂直的 NE 向构造——牛首山断裂的地震危险性显著增加. 自 1998 年后滇东进入地震活跃时期, 1 级以上地震月频度明显增多超过了正常值的一倍均方差. 在澄江、丘北、弥勒一带形成的 3 级围空在澄江地震后并没有消失, 而是继续发展. 澄江地震序列的不正常及玉溪小震群的异常活动, 这些都表明丘北—弥勒地区应变能自 1999 年后一直处于积累状态. 澄江 5.2 级地震并没有将该地区应变能完全释放, 因而存在与澄江地震发震构造—小江断裂相斜交的牛首山断裂的地震危险性.

3 结论

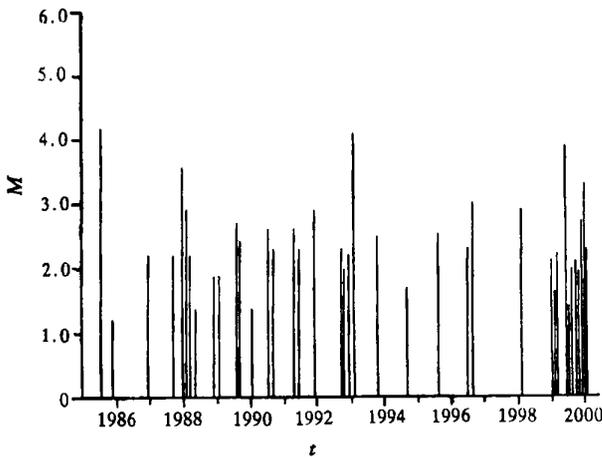


图5 玉溪地区地震 $M-t$ 图
Fig. 5 The earthquake $M-t$ diagram in Yuxi area.

2.2.3 玉溪异常小震群活动

澄江地震后, 在川滇菱块顶端的玉溪出现了一系列的小震活动. 从 1999 年 12 月 5 日到 2000 年 1 月 16 日共发生 1 级以上地震 9 次, 其中最大为 1999 年 12 月 31 日的 3.3 级. 而从 1985 年以来玉溪地区 1.0 级以上地震 $M-t$ 图(图 5)中可看到, 这一地区地震活动相对稳定, 1997 年后地震出现平静现象, 而进入 1999 年这一地区 1.0 级以上地震明显增多, 且在澄江地震后这一地区的小震活动更为频繁.

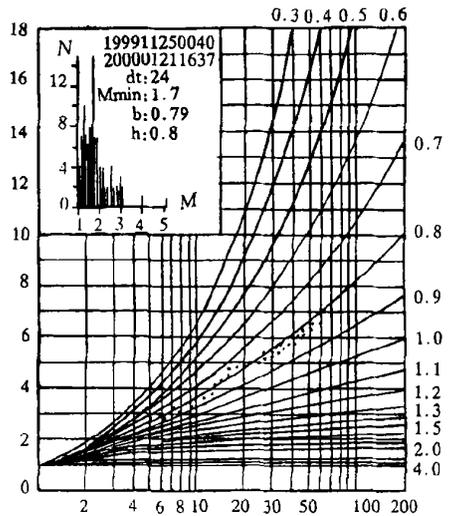


图4 澄江地震序列 h 值
Fig. 4 The h diagram of the Chengjiang earthquake sequence.

丘北—弥勒地震之前二个月相邻的小江断裂上刚刚发生了澄江 5.2 级地震. 这 2 次地震的孕震区相互重叠.

- (1) ,
- (2) — 47 年
- 无 $M \geq 5.0$ 地震,
- (3) $M \geq 3.0$ 地

(4) ， h 值小于 1 表明其后还存在相近震级的地震。

(5) 1 级以上地震频度的增高及玉溪小震群在澄江地震后的继续活动表明了区域介质的不稳定性。

(6) ， “ ， ”

[]

[1] . — 5.5 级地震灾害损失评估报告[R] . 2000.

[2] , . [A] . : [C] . : , 1989, 267—268.

[3] , , . [J] . , 1999, 21(3).

[4] , , . [M] . : , 1993.

[5] , , . [J] . , 1984, 6(4): 95—96.

STUDY ON QIUBEI Ms5.5 EARTHQUAKE AS THE SUCCEED EVENT AFTER THE CHENGJIANG

XU Yang

(*Seismological Bureau of Yunnan Province, Kunming 650041, China*)

Abstract: Two monthes after the M_S 5.2 earthquake in Chengjiang on Nov. 25, 1999, M_S 5.5 earthquake occured between Qiubei and Mile, where is nearby the Chengjiang, on Jan. 27, 2000. The regional seismicity background, the seismogenic progress of the earthquake and the anomaly characteristics of seismic activity are analyzed. A case for how to predict the follow-up earthquake after a medium-strong earthquake is provided.

Key words: Qiubei—Mile earthquake; Seismogenic area; Chengjiang earthquake