

2012年云南宁蒗—盐源5.7级地震及震前异常分析\*

钱晓东, 苏有锦, 李 琼  
(云南省地震局, 云南 昆明 650224)

**摘要:** 2012年6月24日, 云南省宁蒗县发生5.7级地震, 宏观震中位于宁蒗县永宁乡永宁村一带, 极震区烈度Ⅶ度, 为NW向椭圆形状, 地震造成3人死亡、25人重伤, 直接经济损失50 730万元。此次地震序列为主震—余震型, 最大余震3.9级发生在6月26日, 余震分布在主震北侧, 呈近似NW向分布, 与极震区烈度分布相一致, 节面Ⅱ为主破裂面, 主压应力P轴方位SE向, 发震断裂为NW向的永宁断层。震前共出现8个异常项目12条异常, 地震活动性异常4项, 定点前兆异常5项, 宏观异常3项, 均为短临异常。

**关键词:** 宁蒗—盐源5.7级地震; 震源机制; 前兆异常

**中图分类号:** P315.72      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-0666(2012)04-0455-09

0 前言

宁蒗县位于云南西北部, 辖属丽江市, 西部与四川省凉山彝族自治州盐源县接壤。丽江市与周边的迪庆藏族自治州、怒江傈僳族自治州、大理白族自治州及楚雄彝族自治州西北部统称为滇西北地区。宁蒗县地处滇西北高原横断山脉中段, 俗称“小凉山”, 地势西北高而东南低, 境内山峰林立, 沟壑交错, 98.9%是山地, 总人口26.4万, 少数民族人口占82%, 属于典型的少数民族贫困地区。宁蒗—盐源地区是5、6级中强地震高发地区, 1950年以来发生5级以上地震多达18次, 最大地震为1976年11月、12月盐源6.7、6.4级双震, 这些地震主要集中发生于沿北东方向横穿宁蒗—盐源地区的丽江—小金河断裂周围30 km内的较小区域, 而2012年宁蒗—盐源5.7级地震则发生于宁蒗—盐源地区西北部泸沽湖以西地震相对较少地区, 其发震机制、余震分布与震害展布等

也与这一地区大多数地震存在明显不同。对于这样一次显著地震事件, 有必要从地震的发震机理、地震地质构造、地震序列特征等方面进行研究。另外, 从地震预测预报的角度来看, 该次地震前, 地震活动性、前兆观测手段是否出现异常变化, 哪些异常对该次地震的发生具有指示作用, 如何把握这些异常现象而做出正确决断, 对这些异常进行总结和研究, 对地震预测预报, 具有较大的现实意义。

1 宁蒗—盐源5.7级地震基本特征分析

1.1 地震基本参数和地震地质背景

本次地震的基本参数如表1所示, 从表中可看到, 不同机构测定的地震参数基本相同。根据云南地震台网资料, 本次地震前, 震中周围200 km范围内有12个数字测震台, 其中100 km范围内有2个, 101~200 km内有10个, 如图1a中空心三

表1 地震基本参数  
Tab. 1 Basic parameters of earthquakes

编号	发震日期/ 年-月-日	发震时刻/ 时:分:秒	震中位置		震级	震源深度 /km	震中 地名	结果来源
			$\varphi_N/(^{\circ})$	$\lambda_E/(^{\circ})$				
1	2012-06-24	15:59:32	27.73	100.67	$M_S5.7$	10	宁蒗	云南地震台网
2	2012-06-24	15:59:36	27.70	100.70	$M_S5.7$	10	宁蒗	中国地震局
3	2012-06-24	15:59:35	27.77	100.77	$M_W5.5$	9	宁蒗	美国哈佛大学

\* 收稿日期: 2012-08-09.  
基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划(2012BAK19B01)课题资助。

角形所示, 这些地震台集中分布于主震西南, 主震以北台站较少。地震发生后, 云南省地震局又在震区增加了拉伯台和永宁台 2 个数字地震流动观测台, 使得云南省地震台网在这一地区观测台站达到了 14 个, 能基本监测该区  $M_L1.5$  以上地震。

震区地处扬子准地台的丽江台缘褶皱带、永宁—永胜台褶束与松潘—甘孜褶皱系的中甸褶皱带、三坝褶皱束的交界地区 (云南省地质矿产局区域地质调查队, 1990)。由图 1b 可以看到,

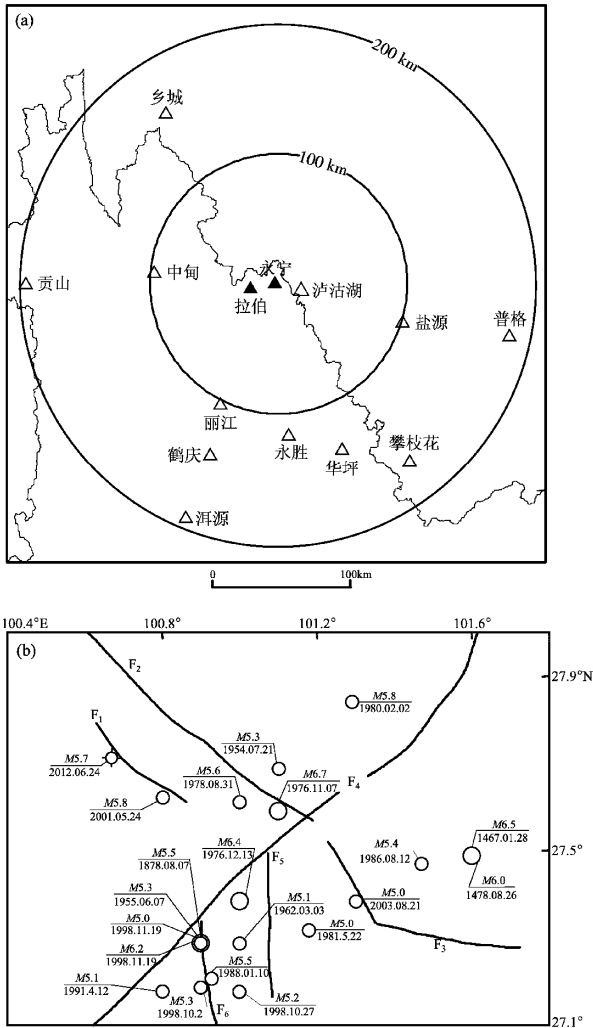


图 1 宁蒗—盐源地震附近台站和地质构造、历史地震分布图

Fig. 1 Distribution of stations, geological structure and historical earthquakes near the epicenter of Ninglang-Eryuan  $M5.8$  earthquake

此次地震发生在川滇菱形块体内部, 地质构造复杂, 震中区域由多组北东、西北向断裂构造控制。本次地震震中附近的永宁断裂走向  $290^{\circ} \sim 340^{\circ}$ 、倾向北东、倾角  $72^{\circ} \sim 85^{\circ}$ , 属晚更新世—全新世右旋走滑活动断裂 (云南省地质局区域地质调查队, 1982), 永宁断裂西南缘为永宁第四纪盆地, 盆地边缘明显受永宁断裂控制, 主要发育第四纪冲积、湖积砾石、砂砾及粘土。

宁蒗—盐源地区是云南破坏性地震发生频度较高的地区之一, 有史以来发生 5 级以上地震 21 次, 其中 6.0~6.9 级地震 5 次, 最大地震为 1976 年 11、12 月盐源 6.7、6.4 级双震。地震主要发生于北东向的丽江—小金河断裂周边 30 km 范围, 据云南省地震目录资料, 历史上永宁断裂附近仅发生过 2001 年 5 月 24 日宁蒗 5.8 级地震 (图 1b)。

1.2 地震序列基本特征

截至 2012 年 7 月 24 日, 宁蒗—盐源 5.7 级地震震区共发生地震 383 次, 其中 1.0~1.9 级地震 302 次, 2.0~2.9 级地震 68 次, 3.0~3.9 级地震 12 次, 5.0~5.9 级地震 1 次。地震序列能量释放较慢, 无 4 级余震, 震后第 1 天发生 3 级以上地震 4 次, 第 2 天又发生 3 级地震 3 次, 最大余震 3.9 级发生在 6 月 26 日, 之后至 7 月 11 日陆续发生多次 3 级地震, 由于第 1 天地震能量释放不够充分, 之后仍有较多余震有待发生, 地震序列能量衰减较慢 (图 2a)。

云南地震台网记录到的宁蒗—盐源 5.7 级地震序列最小控制震级为 1.5 级, 取 1.5 级以上地震计算序列参数 (G-R 关系见图 2c)。序列释放的总能量为  $3.36 \times 10^{13}$  J, 其中主震能量为  $2.24 \times 10^{13}$  J, 约占包含主震在内的整个序列总能量的 99.2%, 序列的  $b$  值为 0.78, 与该区主余型地震序列  $b$  值相似,  $h$  值为 1.0,  $P$  值为 0.96, 显示了该序列具有主震—余震型特征。

从图 2b 给出的地震序列空间分布可以看到, 序列呈长约 25 km、宽约 15 km 近 NNW 走向的带状分布, 余震发生在永宁断裂一侧 (即主震的 NE 方向), 主震最北端的一次 3.8 级地震发生在 7 月 3 日, 与主震相距约 21 km。主震震源深度为 10 km, 90% 的余震深度在 6~12 km, 震后 3 天内发生过几次震源深度大于 12 km 的余震, 之后逐渐恢复到 12 km 以内。

1.3 发震机制分析

据云南省地震局灾评组地震烈度分布图<sup>①</sup>, 此次地震宏观震中位于永宁乡永宁村委会陈家湾—海玉角—拉鲁瓦一带, 极震区烈度Ⅶ度, 等震线

形状呈椭圆形, 长轴走向为北西向。地震造成3人死亡, 25人重伤, 369人轻伤, 直接经济总损失50 730万元(云南灾区)(图3)。

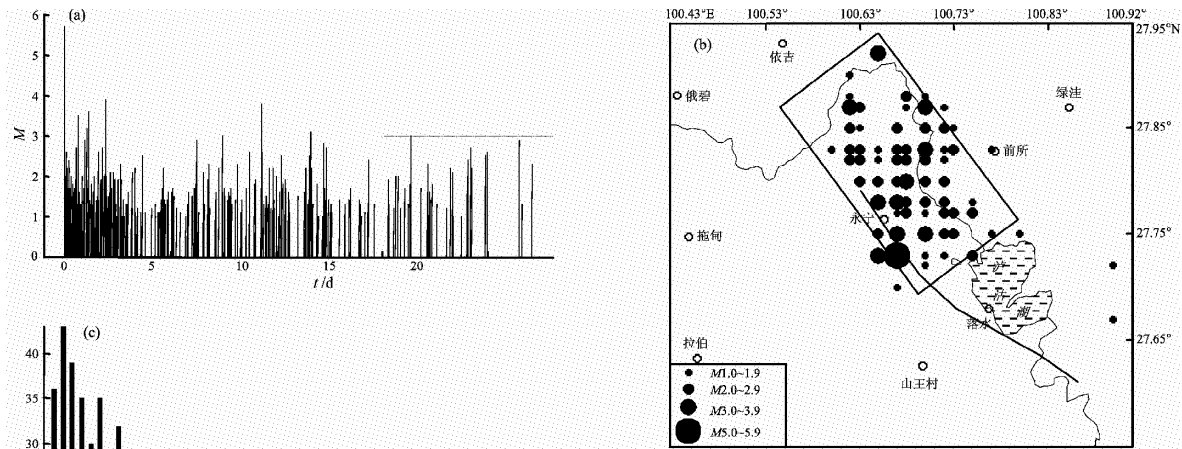


图2 地震序列时空分布图  
(a)  $M-t$ 图 ( $M \geq 1.5$ , 时间从主震发生时计算, 单位为天); (b) 震中分布; (c)  $G-R$ 关系

Fig.2 Temporal and spatial distribution of Ninglang-Eryuan  $M5.8$  earthquake sequence  
(a)  $M-t$  diagram ( $M \geq 1.5$ , the time is calculated from the main shock occurred, unit: day); (b) epicenter distribution; (c)  $G-R$  relation

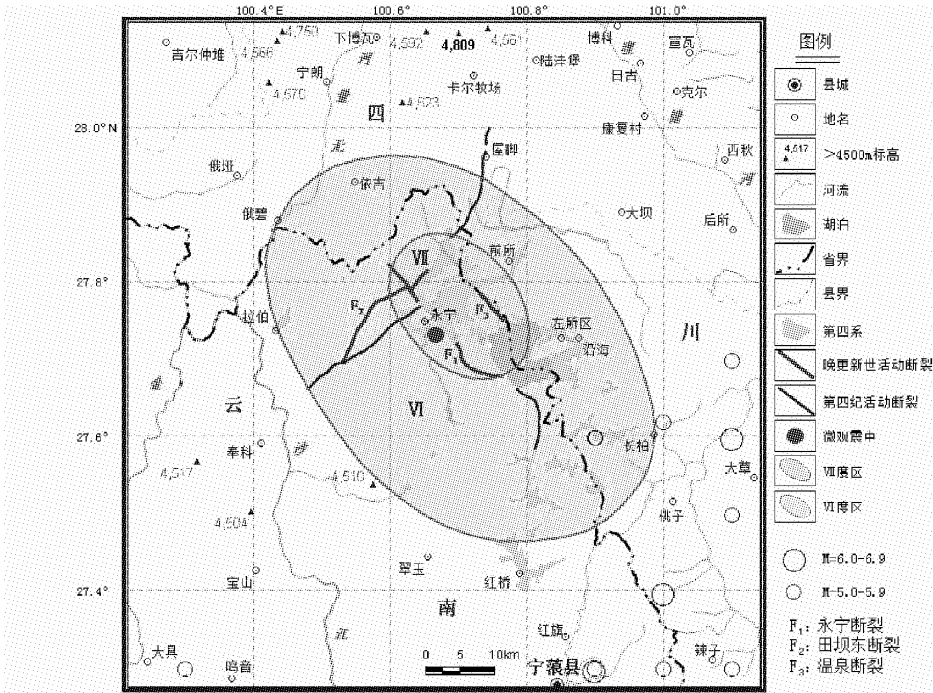


图3 地震烈度等震线图

Fig.3 The isoseismal of seismic intensity

① 云南省地震局. 2012. 2012年6月24日宁蒗—盐源5.7级地震灾害直接经济损失评估报告(云南灾区)。

表 2 震源机制解 (单位: (°))  
Tab. 2 Focal mechanism solution (unit: (°))

震级	节面 I			节面 II			P 轴		T 轴		N 轴		结果来源
	走向	倾角	滑动角	走向	倾角	滑动角	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角	
$M_s5.7$	173	67	-68	308	32	-131	117	62	247	19	344	20	本文
$M_s5.7$	172	49	61	312	49	-119	152	69	62	0	332	21	中国地震局
$M_w5.5$	164	48	-79	328	44	-101	142	82	246	2	337	8	美国哈佛大学

地震发生后,中国地震局地球物理研究所(中国地震台网中心,2012)、美国哈佛大学(HRV,2012)第一时间在各自网站上发布了相关信息和研究成果,我们也利用云南地震台网记录,通过 Snoke 等(1984)的 P 波初动加振幅比联合搜索震源机制解方法求得宁蒗—盐源 5.7 级地震的震源机制解(表 2)。从表 2 中看到,本文结果与中国地震局和美国哈佛大学结果较为一致。这次地震的等震线长轴方向为近 NW 向,与节面 II 走向一致。断层倾角 32°,角度较小,滑动角为 -131°,上盘位于断层面的 NE 方向。从地震序列震中分布也可看到近 NW 向带状分布,与节面 II 走向一致。距离此次 5.7 级地震最近的永宁断裂走向为 NW 向,因此永宁断裂是本次地震的发震断裂可能性较大。此次地震是永宁断裂在大角度 SE 向压应力作用下,破裂面产生右旋错动的结果,断裂性质为正断层,上盘相对于下盘有一个向下、向 SE 方向的下降。

笔者利用秦嘉政等(2005)根据地震标定律给出的快速测定震源参数关系,计算了此次地震的震源参数,地震矩  $M_0=1.41\times10^{17}\text{ N}\cdot\text{m}$ 、矩震级  $M_w=5.4$ 、断层破裂面积  $S=19\text{ km}^2$ 、断层错距  $D=28\text{ cm}$ 、断层破裂长度  $L=7.4\text{ km}$ ,美国哈佛大学给出  $M_0$  和  $M_w$  分别为  $2.64\times10^{17}\text{ N}\cdot\text{m}$  和 5.5。

从上述分析可以得知,本次地震微观震中距离宁蒗县城 50 km,距泸沽湖风景区不足 10 km,震源较浅,震源破裂沿断层向北西方向单侧扩展(图 2b),瞬间错动约 28 cm,使得断层破裂达 7 km 左右,处于断裂北部的上盘相对于南部的下盘有一个向下、向 SE 方向的错动,宁蒗县城和泸沽湖风景区又处于震中的 SE 方向,因此遭受了较大的破坏。

1.4 区域应力场分析

笔者利用美国地质调查局(USGS,2012)给出的全球震源机制资料,获得 1977 年以来宁蒗及

其周边地区(25.0°~28.2°N,99.5°~102.0°E)  $M_w\geq4.0$  地震的震源机制解 25 次,其中  $M_w6.0\sim6.9$  地震 1 次,最大地震为 1996 年 2 月 3 日丽江  $M_w6.6$ (云南地震台网  $M_s7.0$ )。图 4 显示,宁蒗地区主要受到来自于川滇菱形地块 SE 向应力作用。印度板块与欧亚板块碰撞,使西藏地块东移,受阻于四川地块和华南地块,从而向西南作用,使川滇菱形地块向 SSE 方向楔入,终止于红河断裂南部(钱晓东等,2011)。从图中可以看到,宁蒗地区主压应力方向与云南的丽江、姚安及四川的盐源等地区较为接近,SSE 优势方向较为明显,但地震类型则表现相对复杂。宁蒗地区受控于 NE 向的经丽江、宁蒗至四川境内的丽江—小金河断裂,该断裂东南方向的大姚、姚安一带以走滑型地震为主;四川盐源附近丽江—小金河断裂东南侧,走滑型地震较多,又有少量正断层型地震;云南的丽江、宁蒗附近丽江—小金河断裂西北侧,地震类型以正断层型地震为主,本次宁蒗—盐源 5.7 级地震为正断层型,发生于丽江—小金河断裂西北侧,与这一地区历史地震类型相符。

滇西北的丽江附近正断层型地震较多,即在垂直的主应力作用下产生错动的地震偏多。滇西北地区地质构造复杂,尤其是丽江一带活动断裂彼此交错,是布格重力异常区(苏有锦,张俊伟,1998),其布格重力异常变化在云南地区属于最为剧烈的地区,表明该区深部构造及介质密度变化较为激烈。丽江一带也是磁场变化剧烈,正负交替变化迅速的磁异常区,反映了该区地壳介质结构高度横向不均匀性。胡鸿翔和高世玉(1993)对该区地壳浅部基底速度研究认为,丽江附近地区,基底层等速度分布线比较稀疏,速度梯度偏小,等速线呈背斜状,下部有高速物质呈穹状隆起,推测是岩浆岩沿深大断裂的缝隙上涌,在基底层形成较大范围的侵入岩带,侵入岩可能仍在继续上拱,这种向上的垂直应力作用,可能是造

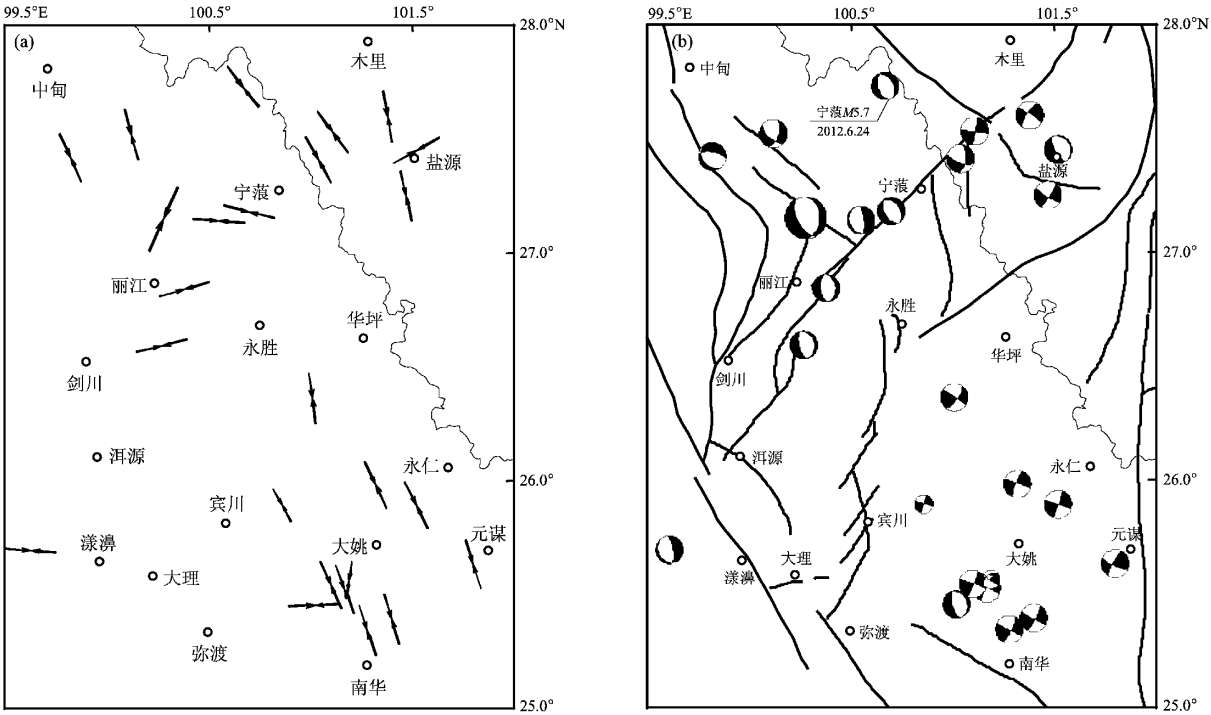


图 4 滇西北地区震源机制解

(a) 压应力 (P 轴); (b) 震源机制解

Tab. 4 Focal mechanism solution in Northwest Yunnan

(a) compressive stress (P-axis); (b) focal mechanism solution

成该区以垂直主应力作用产生断层错动的地震偏多的原因。此外, 宁蒗附近地区还是滇西北强烈隆起区, 新构造运动以强烈隆起为特征, 是云南地区隆起幅度最强烈的地区 (毛玉平, 韩新民, 2003)。

2 宁蒗—盐源 5.7 级地震前异常分析

2.1 地震活动性异常

2.1.1 宁蒗—盐源地震带历史地震分析

宁蒗—盐源地区 (26.8°~28.5°N, 100.5°~101.7°E) 历史上是 5、6 级地震频发地区, 1976 年以来该区共发生中强地震 15 次, 该区中强地震丛集, 平静交替现象较为明显, 当地震处于活跃期时, 5、6 级地震频繁发生, 持续 5 a 左右, 发生地震 3~6 次; 平静期时无 5、6 级地震, 持续时间 5.2~7.5 a, 最长平静时间为 1991 年 4 月 12 日~1998 年 10 月 2 日经历的 7.5 a 平静, 本次 5.7 级地震前自 2003 年 8 月 21 日盐源 5.0 级地震后该区无 5 级以上地震, 平静时间长达 8.8 a, 宁蒗—盐源 5.7 级地震标志该区又开始进入一个中强地震活

跃期 (图 5a)。

2.1.2 云南地区 5 级地震长时间平静

宁蒗—盐源 5.7 级地震前, 云南省内 5 级以上地震时间间隔已达 320 d (图 5b), 超过 300 d 异常指标。1925 年来云南省内发生 5.0 级以上地震 223 次 (去除余震), 时间间隔大于 300 d 仅 37 次, 占总数的 17%, 也就是说, 有近 83% 的地震是在平静时间小于 300 d 的时间内发生的, 可见云南省内出现 5 级平静时间大于 300 d 后发生强震是一个大概率事件。平静时间 300 d 以后优势发震时间如何分布? 统计时间间隔大于 300 d 的地震所占的百分比 (图 5c), 按 30 d 进行统计。若进行 90 d 预测 (那时平静时间将达 390 d), 在大于 300 d 的地震中, 有高达 60% 的地震是在 390 d 内发生, 发震比率较高。此外, 较容易发震时间段还有 420~450 d 时间段。

2.1.3 滇西低 b 值异常

取滇西地区 (23.8°~28°N, 97°~101.5°E) 2.5~4.9 级地震, 去除余震, 用最大似然法, 以窗长 6 个月, 步长为 1 个月来计算 b 值, 从图 5d 可以看到, b 值低于 0.86 后, 低值过程中或在快

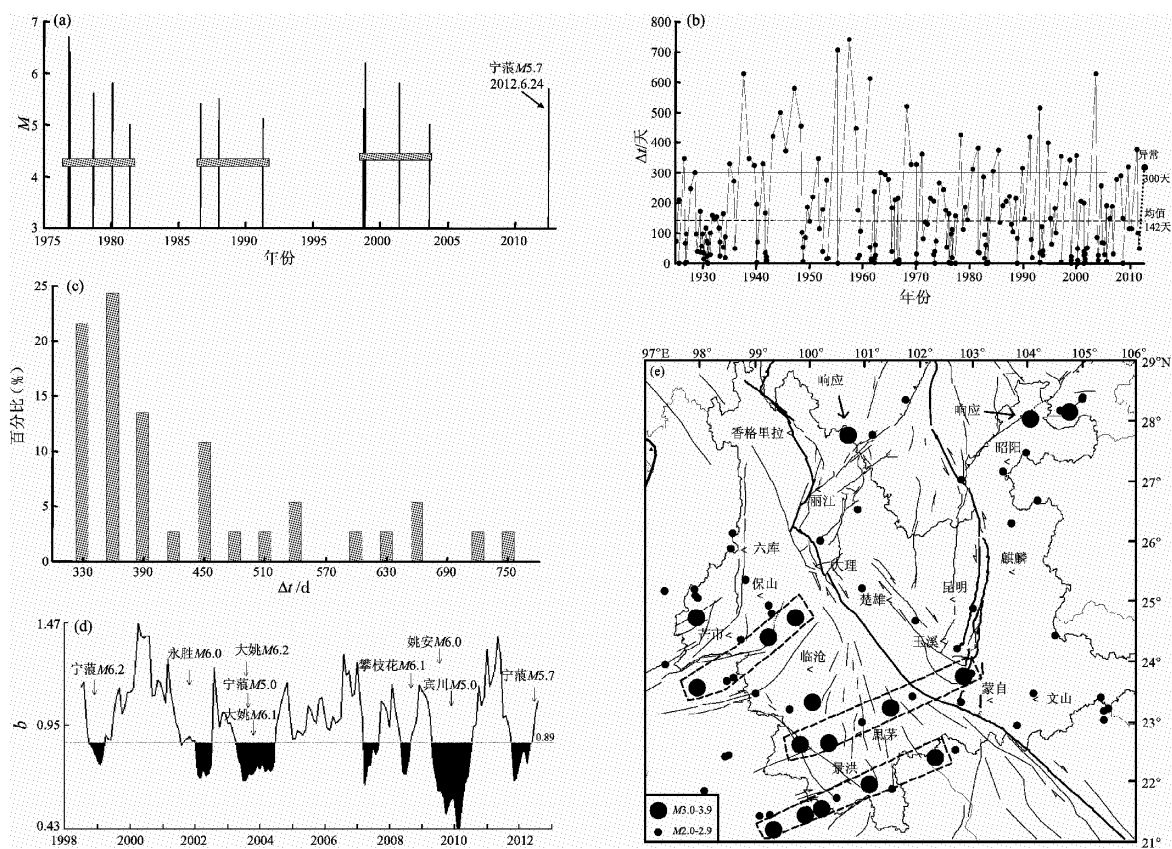


图5 宁蒗—盐源5.7级地震前地震活动性异常

(a) 宁蒗—盐源地震  $M-t$  图; (b) 云南省内  $M \geq 5$  地震时间间隔  $\Delta t$ ; (c)  $\Delta t \geq 300$  d 占的比例; (d) 滇西  $b$  值 ( $M2.5 \sim 4.9$ ); (e) 震中分布 ( $M \geq 2.0$ , 2012-05-01 ~ 06-10)

Fig. 5 Seismic activity anomaly before Ninglang-Eryuan  $M5.7$  earthquake

(a)  $M-t$  diagram of Ninglang-Eryuan  $M5.8$  earthquake; (b) time interval between  $M \geq 5$  earthquakes in Yunnan; (c) the proportion of  $\Delta t \geq 300$  days; (d)  $b$ -value in Western Yunnan ( $M2.5 \sim 4.9$ ); (e) epicentre distribution ( $M \geq 2.0$ , 2012-05-01 ~ 06-10)

速回升中,在滇西地区发生5级以上地震的可能较大,宁蒗—盐源地震前低  $b$  值异常明显。

2.1.4 临震阶段中小地震有序分布

寻找中强地震前中小地震形成条带、空区等有序分布图像,是一种常用的地震空间图像方法,由于条带、空区形成的时间较长,这种方法对临震指示意义较弱,即不能确定发震时间。本次地震前出现了一种新的地震活动有序分布图像,其特点是形成时间短,地震发生快。2012年4月11日印尼苏门答腊发生8.6、8.2级2次巨大地震前后,云南地区中小地震空间分布随机性较大,之后在一个多月内2、3级地震快速形成3条北东向带状分布图像(图5e),至红河断裂终止,以致滇西至滇东较为平静,同时,滇东北的盐津和滇西北的宁蒗却出现二个敏感点,当2、3级地震在3条北东向条带有序发生时,这两个敏感点也同时

发生相应的苏门答腊巨震的响应地震,本次5.7级地震发生于宁蒗敏感点上。

2.2 微观前兆异常

在本次地震震中300 km范围内,分布有云南地震台网前兆观测台站14个,观测手段62项,其中100 km以内无观测台站,101~200 km范围有4个台站、23项观测手段,201~300 km范围有10个台站、39项观测手段(图6a)。5.7级地震前出现微观异常5项、宏观异常3项(图6b)。

2.2.1 弥渡气汞

图7a给出弥渡地震台观测井气汞整点值,弥渡气汞手段位于弥渡水化站石咀观测点,震中距260 km,弥渡气汞背景值较低,平常观测较为稳定,当出现大幅度高值波动变化后,短期在滇西地区易发生5级以上地震。2012年3月以后,弥渡气汞又出现连续高值变化,5.7级地震发生后变

化幅度逐渐减小。

2.2.3 大姚地温

图 7b 给出了大姚地温日均值。大姚地温手段位于大姚县西街口 320 深井内，震中距 230 km，大姚地温观测资料较为稳定，当出现大幅度升降变化后，滇西短期发生 5 级以上地震可能性较大，2007 年以后，大姚地温出现过 4 次明显大幅度升降变化，当变化趋于结束时很有可能会发生 5 级以上地震。2012 年 2 月，大姚地温开始出现下降异

常，至 5 月份左右达到最低，5.7 级地震发生在异常快速回升过程中。

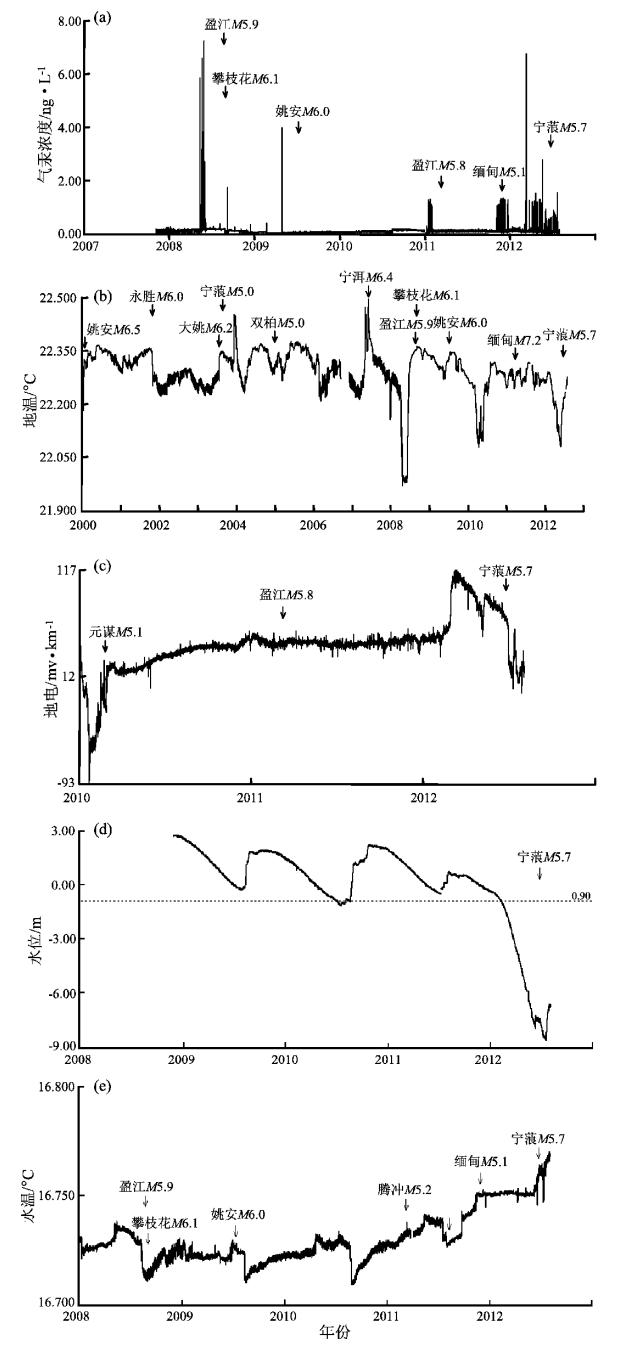


图 7 宁蒗—盐源 5.7 级地震前兆异常  
(a) 弥渡气汞；(b) 大姚地温；(c) 洱源地电场长极距 EW 向；(d) 丽江水位；(e) 丽江水温  
Fig. 7 Precursory anomaly before Ninglang-Eryuan M5.7 earthquake  
(a) gas mercury in Midu Station; (b) ground temperature in Dayao Station; (c) EW long polar distance of geoelectric field in Eryuan Station; (d) water level in Lijiang Station; (e) ground temperature in Lijiang Station

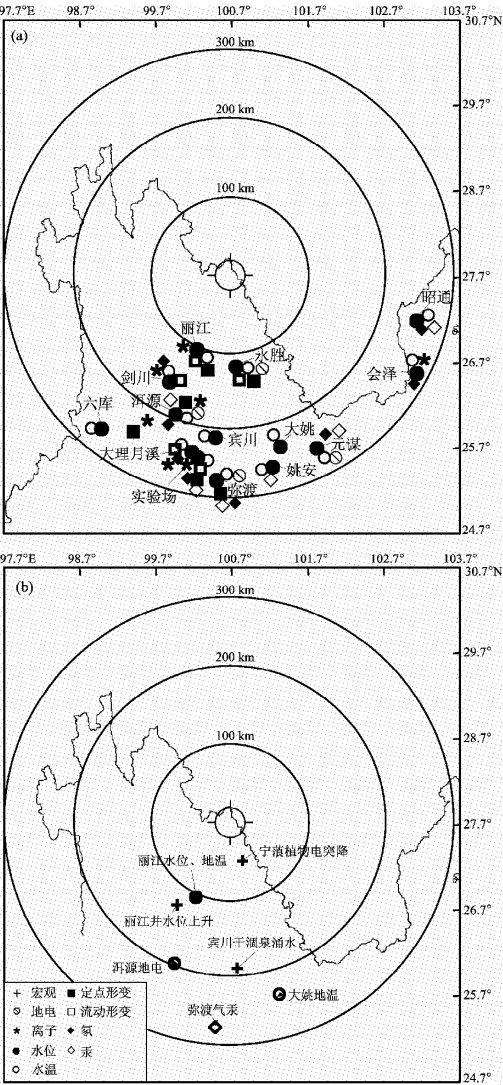


图 6 宁蒗—盐源地震前兆观测台站  
和前兆异常分布图  
(a) 全部观测手段；(b) 前兆异常  
Fig. 6 Distribution of precursor observation stations and precursory anomaly before Ninglang-Eryuan M5.7 earthquake  
(a) all the precursor observation methods; (b) precursory anomaly

#### 2.2.4 洱源地电场

图 7c 给出洱源地电场长极距 NW 向分钟值, 该场地位于洱源县边缘, 震中距 160 km, NE 向鹤庆—洱源断裂经过该地电场, 鹤庆—洱源断裂与 NE 向丽江—小金河断裂相连, 该监测手段对丽江—小金河断裂周边强震孕育发展具有构造意义。2012 年 3 月, 该地电场在长时间平稳、变化幅度较小背景下, 突然出现大幅度异常变化, 宁蒗—盐源 5.7 级地震就发生在地电场下降过程中。

#### 2.2.5 丽江水位

图 7d 给出了丽江水位分钟值, 该水位观测井位于丽江市大研镇象山, 震中距 104 km, 处于 NE 向丽江—小金河断裂边缘。从图中可看到, 丽江水位年变清晰, 虽然从 2009 年以来云南出现连续 3 年干旱, 但水位从未下降至  $-0.9$  m 异常线以下(动水位), 2012 年 2 月, 水位大幅度下降, 破年变异常明显, 宁蒗—盐源 5.7 级地震发生在水位转折过程中。

#### 2.2.6 丽江水温

图 7e 给出丽江水温分钟值, 丽江水温与丽江水位观测手段处于同一口井。当水温出现大幅度变化或持续上升变化后, 滇西及附近地区短期发生 5 级以上地震可能性较大。2011 年 11 月 28 日缅甸 5.1 级地震后, 丽江水温在高位平缓变化达半年时间, 从 2012 年 6 月 7 日至宁蒗—盐源 5.7 级地震前短短半个月时间, 水温迅速上升, 幅度达  $0.008\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 异常较为显著。

### 2.3 宏观前兆异常

#### 2.3.1 丽江井水发浑、水位上升

丽江玉龙县九河乡西海邑村出现井水发浑、水位上升现象。从 2012 年 2 月 10 日开始, 西海邑村一村民家中水井井水发浑呈红色, 至 17 日逐渐变为淡黄色, 有杂质, 该井井深约 6 m。同时, 在另一村民家一口山泉井水出现上升, 幅度约 20 cm。宏观异常点震中距 130 km, 位于龙蟠—乔后断裂。

#### 2.3.2 宾川泉涌水

2012 年 3 月 19 日, 宾川县安石桥万寿泉在干涸一年多后涌出大量泉水。该泉在 2011 年 12 月曾经涌出浑浊泉水, 3 天后干涸。宏观异常点距离震中 190 km, 处于北南向程海断裂边缘, 程海断裂向北延伸经宁蒗断裂到达宁蒗。

#### 2.3.3 宁蒗植物电异常

2012 年 3 月 21 日, 宁蒗植物电观测值突然下

降到  $40\text{ }\mu\text{A}$ 。植物电观测值平时为  $180\sim 200\text{ }\mu\text{A}$ , 21、22 日连续 2 天为  $40\text{ }\mu\text{A}$ , 下降幅度较大。宏观异常点震中距 50 km, 位于宁蒗县城北部。

## 3 讨论和结论

从地震监测能力来看, 宁蒗一带地处川滇交界, 震中附近固定数字化地震台站仅有泸沽湖台, 最近的中甸台和丽江台震中距也达到约 100 km, 台站绝大多数分布在震中的南部, 北部几乎无地震监测台站, 使得这一地区地震监测能力仅为 2.0~2.5 级。为了弥补地震发生后地震监测能力的不足, 震后往往需要架设流动台站进行加密观测, 加密观测数据一般在震后 1 天以后才可获得, 而震后当天所发生的地震对序列判定尤为重要, 因此, 增强省界(及国界)附近地区地震监测能力十分必要。从前兆监测能力来看, 震中附近没有稳定可靠的前兆观测资料, 最近的前兆观测台站也在震中以南 100 km 的丽江台, 可见在边界附近, 尤其是在震区增强前兆观测台站的覆盖力度也是十分重要的。

在地震监测能力较低的情况下, 对一个地区地震危险性判定要以地震活动性为基础, 短期重视宏观异常。例如, 对宁蒗—盐源地震区而言, 从地震活动看, 该区 5、6 级地震平静—活跃周期活动较为明显, 自 1965 年有较完整地震记录资料以来, 该区经历了 4 次活跃期、3 次平静期, 活跃期平均持续时间 4.7 a, 发生 5~6 级地震 4 次; 3 次平静期中前 2 次持续时间分别为 5.2、7.5 a, 第 3 次平静期从 2003 年 8 月 21 日宁蒗 5.0 级至本次 2012 年 6 月 24 日宁蒗—盐源 5.7 级地震平静长达 8.8 a, 远远超过了前 2 次平静时间, 宁蒗—盐源地区地震背景强烈, 但不能确定究竟何时发震。从前兆观测资料来看, 由于当地前兆观测能力较差, 一些显著的前兆异常集中在丽江及其以南地区, 这种情况下宏观异常就显得较为重要, 2012 年以来滇西北地区出现了一些比往年显著的宏观异常, 在云南处于连续 3 年严重干旱, 2012 年 2、3 月份干旱仍然持续未有缓解的情况下, 却出现了一些地区水位上升、流量增大的反常现象, 这些异常点与滇西北重要构造丽江—小金河断裂相关联, 再加上较少出现宏观异常的宁蒗地区出现了少见的植物电异常, 这些显著宏观异常的出现对强震进入短临阶段具有重要指示意义。



笔者系统收集了宁蒗—盐源5.7级地震前地震学、前兆基础资料, 通过对此地震震地质、震源机制、烈度分布、发震构造、区域应力场、震源参数、地震灾害及地震序列时空分布进行详细分析, 尤其对地震前地震学、前兆和宏观出现的异常进行了讨论, 结果表明:

(1) 宁蒗—盐区5.7级地震序列余震呈NW向分布, 烈度等震线为NW向椭圆, 与震源机制一个NW走向节面相同。地震为正断型, 发生在丽江—小金河断裂西侧正断型地震易发地区, 发震断裂为NW向的永宁断裂, 破裂沿主震向NW向单侧扩展, 地震是在大角度SE向压应力作用下, 永宁断裂内部应力积累到一定程度引发破裂使断层产生右旋错动的结果。根据地震定标律估算的主震断层破裂参数为: 地震矩  $M_0 = 1.41 \times 10^{17} \text{ N} \cdot \text{m}$ , 矩震级  $M_w = 5.4$ , 断层破裂面积  $S = 19 \text{ km}^2$ , 断层错距  $D = 28 \text{ cm}$ , 断层破裂长度  $L = 7.4 \text{ km}$ 。

(2) 余震序列主震能量占包含主震在内的整个序列总能量的99.2%, 日频度衰减系数  $P$  为0.96,  $b$  值为0.78,  $h$  值为1.0。

(3) 震前发现地震活动性、前兆、宏观异常8个观测项目12项异常, 其中地震活动性异常4项、前兆异常5项、宏观异常3项, 均为短临异常。

## 参考文献:

- 胡鸿翔, 高世玉. 1993. 滇西地区地壳浅部基底速度细结构的研究 [J]. 中国地震, 9(4): 354–363.
- 毛玉平, 韩新民. 2003. 云南地区强震 ( $M \geq 6$ ) 研究 [M]. 昆明: 云南科技出版社, 10–15.
- 钱晓东, 秦嘉政, 刘丽芳. 2011. 云南地区现代构造应力场研究 [J]. 地震地质, 33(1): 91–106.
- 秦嘉政, 皇甫岗, 钱晓东. 2005. 云南强震活动与预测方法研究 [M]. 昆明: 云南科技出版社, 303–307.
- 苏有锦, 张俊伟. 1998. 震区深部构造 [M] // 晏凤桐, 刘祖荫. 一九九六年丽江地震. 北京: 地震出版社, 57–64.
- 云南省地质局区域地质调查队. 1982. 中华人民共和国地质图. 永宁幅. 中国地质图制印厂印刷.
- 云南省地质矿产局区域地质调查队. 1990. 中华人民共和国云南省地质构造图. 构造单元划分. 地质出版社.
- 中国地震台网中心. 云南省丽江市宁蒗彝族自治县、四川省凉山彝族自治州盐源县交界5.7级地震 [EB/OL]. (2012–06–24). [2012–08–01]. <http://www.ceic.ac.cn/eq.jsp?id=110147>.
- Harvard University. C201206240759A YUNNAN, CHINA. [EB/OL]. (2012–06–24) [2012–08–01]. [http://www.cnsdm.ac.cn/newweb/data/hrv\\_qcmt.jsp](http://www.cnsdm.ac.cn/newweb/data/hrv_qcmt.jsp).
- USGS. Global CMT Project Moment Tensor Solution. [EB/OL]. (2012–07–10) [2012–08–01]. <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/2012/usc0001wnu/>.
- Snoke J A, Munsey J W, Teague A G, et al. 1984. A program for focal mechanism determination by combined use of polarity and SV–P amplitude ratio data [J]. J Earthquake Notes, 55(3): 15.

# Analysis for Basic Characteristic of Ninglang-Yanyuan $M_s 5.7$ Earthquake and its Precursory Anomaly in Yunnan in 2012

QIAN Xiao-dong, SU You-jin, LI Qiong

(Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650224, Yunnan, China)

## Abstract

An  $M_s 5.7$  earthquake occurred in Ninglang Country, Yunnan on Jun. 24, 2012, and its macroscopic epicenter was located at Yongning Village of Yongning Township in Ninglang Country. The intensity in the meizoseismal area was VII and the distribution of isoseismic line is in elliptic with a long axis trending in nearly NW direction. The earthquake caused 3 deaths, 25 severe wounded and the direct economic loss of 507.3 million Yuan. The Ninglang  $M_s 5.7$  earthquake sequence was main shock-aftershock type and the largest  $M_L 3.9$  aftershock occurred on Jun. 26. The aftershock distributed in the north side of the main shock in nearly NW direction and was consistent with the intensity distribution in the meizoseismal area. The main rupture surface was the nodal plane II, the direction of principal compressive stress P axis was in SE direction and the triggering seismic fault was the Yongning Fault in nearly NW direction. There were 12 precursory anomalies in 8 anomaly items, including 4 anomalies in seismometry, 5 fixed-point precursor anomalies and 3 macroscopic anomalies, which were short-term anomalies before Ninglang  $M_s 5.7$  earthquake.

**Key words:** Ninglang-Yanyuan  $M_s 5.7$  earthquake; focal mechanism; precursory anomaly