

# 1998年11月19日云南省宁蒗6.2级地震

云南省地震局

刘翔 唐采 马殿军 陈燕

## 摘要

1998年11月19日云南省宁蒗县发生6.2级地震,宏观震中位于宁蒗县烂泥箐乡大二地村一带,极震区烈度为Ⅷ度,震中大部分房屋受损,其中毁坏约14337m<sup>2</sup>,严重破坏约355443m<sup>2</sup>,死亡5人,包括四川盐源重伤和轻伤分别为228人、1372人,经济损失达50314万元人民币(其中四川为5000万元)。

6.2级地震序列为前震-主震-余震型,震前3个多月震中区发生了2426次1级以上地震,最大震级为M<sub>S</sub>5.3级。主震后最大余震为M<sub>S</sub>5.0级,余震衰减正常,余震区长轴为北西向。震源机制解中节面I走向北西向,P轴方向北北西,推测本次地震是在北北西向主压应力作用下,北北西断层发生右旋错动的结果,发震构造为北北西向泸沽湖-跑马坪断裂。

震中附近地区观测台站较多,300km内共有地震台44个,其中开展测震观测台32个,定点前兆观测台37个。地震前异常项目数10项,各类异常共出现26项次,其中地震活动性异常6项次,定点前兆观测异常20项次。震前7个半月震中附近定点前兆观测异常数量明显增多,至震前3个半月定点前兆观测异常数量再次增多,新增加的异常主要为水位和地倾斜大幅度加速上升或下降,与此同时,震中周围小震活动逐渐增强,并且多处出现小震群活动,其中,孕震区震群最引人注目,具有明显的直接前兆震群特征。

6.2级地震前,云南省地震局、宁蒗县地震局提出了较准确的预测意见,受到当地政府的高度重视,当地政府领导采取一系列地震应急防范措施,取得了较显著的社会和经济效益。

## 前言

1998年11月19日云南省宁蒗县发生6.2级地震,微观震中为27°14'N、100°59'E,震源深度为10km,宏观震中(27°16'N、100°57'E)位于宁蒗县烂泥箐乡大二地村一带,极震区烈度为Ⅷ度。

由于震前10月2日、27日宁蒗曾发生两次M<sub>S</sub>5.3、5.2级地震,所以6.2级地震前后,云南省地震局3次向地震现场派出地震灾害评估组及震情监视组。

6.2级地震造成震区及相邻的四川省盐源县部分乡镇房屋倒塌、墙体开裂、掉瓦,出现公路路基下沉、边坡塌方、桥梁破坏及通讯、水利、电力等设施受损,造成部分村镇交通、通讯及县城自来水供水中断。地震灾害波及云南省宁蒗县11个乡镇及云南省华坪、永胜、



表1 地震基本参数

Table 1 Basic parameters of the earthquake

编号	发震日期			发震时刻			震中位置		震级		震源深度/km	震中地名	结果来源
	年	月	日	时	分	秒	$\varphi_N$	$\lambda_E$	$M_S$	$m_b$			
1	1998	11	19	19	38	11	27° 14'	100° 59'	6.2		10	宁蒗	6)
2	1998	11	19	19	38	13	27.27°	101.03°	6.1	5.3			BJI
3	1998	11	19	19	38	14	27.26°	100.96°	5.6	5.0			ISC

## 二、地震地质背景

宁蒗位于三江褶皱系与扬子准地台的过渡带,大地构造上称盐源-丽江台褶带。震区属于宁蒗第三纪红色盆地东部边缘地带,在地壳结构上处于地幔斜坡带,地壳厚度为52km左右,垂直形变速率为6~7mm/a。以丽江-楚雄一线为界,以西剩余布格异常值主要为正异常值,以东剩余布格异常值主要为负异常值,宁蒗剩余布格异常值为每公里(-5~-10)×10<sup>-5</sup>m/s<sup>2</sup>。以永胜-宾川一线为界,以西地区磁场主要为正异常值,并伴随正负交替变化杂乱的磁异常区,以东地区磁场主要为负异常值<sup>[2]</sup>。

震区断裂十分发育,以北东向和北北西向断裂为主。近南北向的程海-宾川断裂带从震区西侧通过,北东向的金河-箐河断裂系中的南边两支丽江-剑川断裂和箐河断裂分别从震区北、南侧斜穿震区。极震区有4条北北西向断裂,即拉都河断裂、清泉-战河断裂、碳山坪-柏杨村断裂、白枝树-大拉坝断裂,它们与北部一系列北东向断裂交切,呈左旋走滑,后3条断裂向南延伸被北东向的新营盘断裂向东错移。宁蒗6.2级地震与这组近南北向断裂活动有关。

据历史地震资料统计,公元1511~1997年,宁蒗及附近地区(26°40'~27°38'N, 100°30'~101°10'E)共发生10次5级以上地震,其中5.0~5.9级地震7次,6.0~6.9级地震2次,7.0~7.9级地震1次,最大震级为1511年6月永胜7½级。由图2可见,震区附近历史上多次发生中强地震,最大地震为1976年11月7日宁蒗-盐源边界6.7级,烈度为Ⅷ,外围相邻地区地震强度较高,其中1511年6月27日永胜发生7½级地震,1996年2月3日丽江发生7.0级地震。本次地震震中与1988年1月10日5.5级、1991年4月12日5.0级两次地震震中大致相同。1976年以来,该地区5级以上地震活跃-平静交替活动特征显著,经历了三个活动期、二个平静期,活跃期与平静期周期较短,大致为5年左右,第三活动段从1998年11月19日宁蒗6.2级地震开始,至2002年已持续了4年,此活动段可能持续到2003年上半年。此外,该地区地震类型比较复杂,有主震-余震型、双震型、震群型。典型的震例为1976年11月7日、12月13日盐源-宁蒗6.7、6.4级双震与1998年11月19日宁蒗6.2级震群。这两次震例有两个共同的特征:①前震发育,如:1976年11月7日、12月13日盐源-宁蒗6.7、6.4级双震前,震中附近40~80km范围内小震活动逐渐增强,震前年频次达100次<sup>[3]</sup>;1998年11月19日宁蒗6.2级震群前,即1998年7月1日至10月1日,震中30km范围内共发生1级以上地震为800多次;②余震丰富、活动持续时间长:这两震例不仅余震频次高(余震均为几百次以上),且余震活动持续时间长,分别为5年和3年,其中,1976年11月7日、12月13日盐源-宁蒗6.7、6.4级双震后余震活动持续到1981年,1998年11月19日宁蒗6.2级地震后,其余震一直持续活动至2001年5月24日盐源-宁蒗5.8级地震。

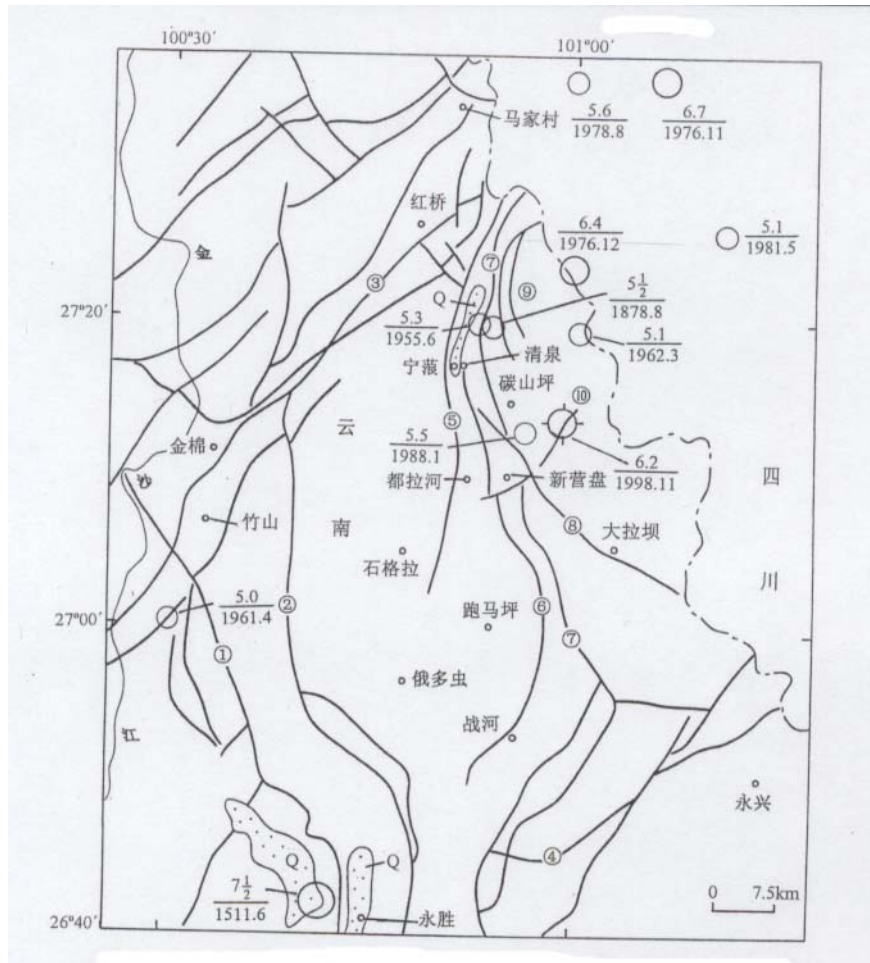


图2 宁蒗 6.2 级地震震中附近地质构造及历史地震震中分布图

断裂名称: ①程海-宾川断裂带; ②大厂-平川街断裂; ③丽江-剑川断裂; ④箐河断裂; ⑤拉都河断裂; ⑥清泉-战河断裂; ⑦碳山坪-柏杨村断裂; ⑧白枝树-大拉坝断裂; ⑨辣子弧形构造; ⑩新营盘断裂

Fig. 2 Map of geological structure and distribution of historical earthquakes around the  $M_s6.2$  Ninglang earthquake

### 三、烈度分布及震害

据云南省地震局灾害评估组考查结果, 宁蒗 6.2 级地震宏观震中位于烂泥箐北大二地村一带( $27^{\circ} 16' N$ ,  $100^{\circ} 57' E$ ), 极震区烈度为 VIII 度。

宁蒗 6.2 级地震等震线形状呈椭圆形, 长轴走向为北西  $20^{\circ}$ , 与极震区北北西向断裂走向基本一致。VIII 度区北起三岔河, 南到烂泥箐, 东自阿说莫, 西到大二地, 面积约为  $69\text{km}^2$ 。VII 度区北起硝水坪, 南至柏杨村, 东入四川盐源县辣子沟一带, 西到黄板坪, 面积约  $685\text{km}^2$ 。VI 度区北起毛家湾子, 南达战河, 西起长坪, 东进入四川省境内, 面积约  $2428\text{km}^2$  (图 3)。

震前该地区由于受到 1996 年丽江 7.0 级地震灾害波及, 以及 1998 年 10 月 2 日和 27 日 5.3、5.2 级两次前震的破坏, 震害叠加, 使灾情加重。6.2 级地震震害造成灾区房屋毁坏、破坏, 各类生命线工程受到不同程度的破坏。主要震害特征为:

(1) 建筑破坏: VIII区内各类房基本受到不同程度的破坏, 其中毁坏面积为  $1478 \text{ m}^2$  (主要为土木结构房屋), 严重破坏房屋为  $24023 \text{ m}^2$  (主要为土木结构、砖木结构、多层砌体)。VIII区将近  $70\% \sim 80\%$  房屋受到破坏, 其中毁坏面积为  $12859 \text{ m}^2$  (主要为土木结构), 严重破坏面积为  $331410 \text{ m}^2$  (主要为土木结构、砖木结构、多层砌体)。VI度严重破坏房屋面积为  $18155 \text{ m}^2$ , 大半部分房屋基本完好。

(2) 生命线工程损坏:

①交通: 部分公路路基开裂、下沉, 挡土墙开裂、边坡塌方, 造成部分乡镇交通中断。

②通信: 全县约  $700 \text{ km}$  杆线遭到不同程度破坏, 部分乡镇通信中断。

③水利电站: 震区 7 座电站、13 座小型设施遭到不同程度受损, 水库-县城水厂引水管道破裂、县城自来水厂沉淀池开裂漏水。

本次地震有感范围东至大姚、永仁, 西至永平、剑川, 南至洱源、下关, 北至盐源、西昌。地震造成宁蒗、华坪、永胜、丽江等部分乡镇死亡 5 人, 重伤 208 人, 轻伤 1279 人, 经济损失 45314 万元。此外, 四川盐源重伤 20 人, 轻伤 93 人, 经济损失 5000 万元<sup>1)</sup>。

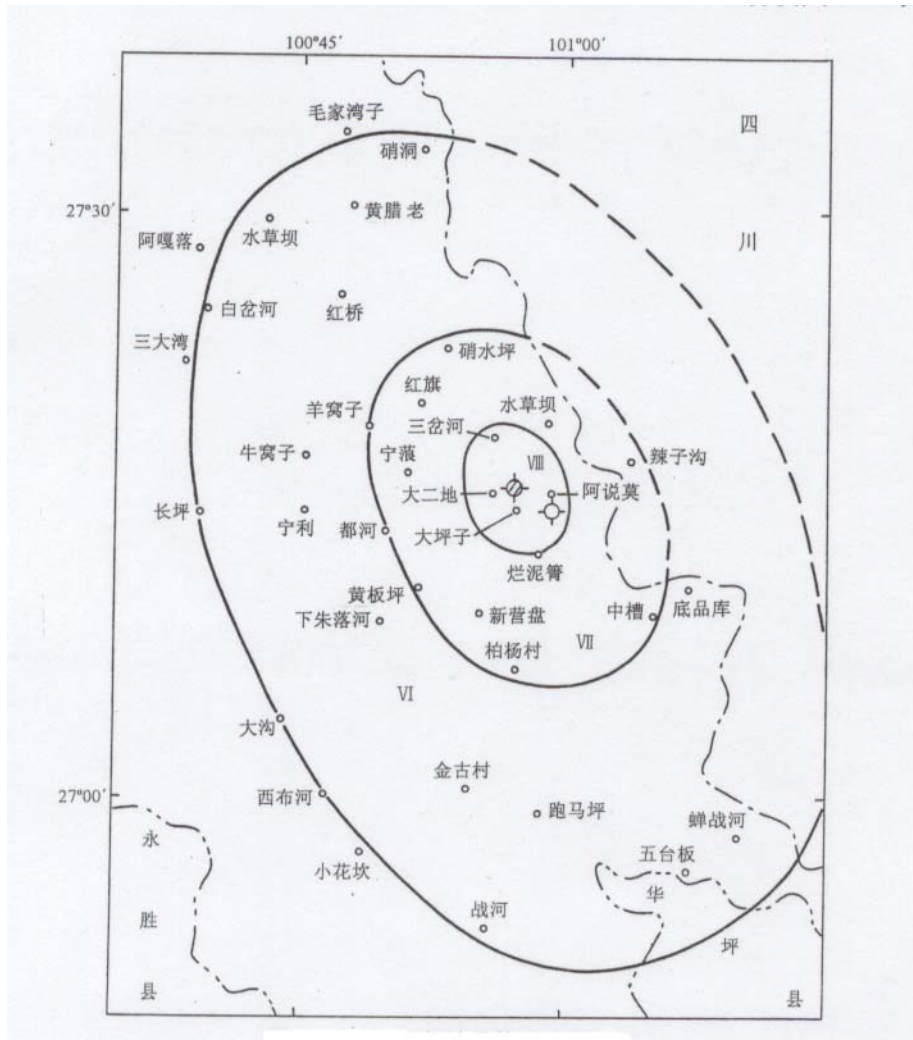


图3 宁蒗6.2级地震等震线图

Fig. 3 Isoseismal map of the  $M_s6.2$  Ninglang earthquake

### 四、地震序列

据云南省地震台网测定, 1998年7月1日至1998年11月19日宁蒗6.2级地震前, 共记录到  $M_L \geq 1.0$  前震 2426 次, 其中 1.0~1.9 级 1682 次, 2.0~2.9 级 706 次, 3.0~3.9 级 32 次, 4.0~4.9 级 3 次, 5.0~5.9 级 3 次, 最大地震为  $M_S 5.3$  级; 6.2 级地震后至 1999 年 1 月 31 日, 共记录到  $M_L \geq 1.0$  余震 1532 次, 其中 1.0~1.9 级 808 次, 2.0~2.9 级 683 次, 3.0~3.9 级 40 次, 4.0~4.9 级 0 次, 5.0~5.9 级 1 次, 最大  $M_S 5.0$  级余震发生在 6.2 级地震后第 55 天, 序列  $M-t$  图见图 4, 表 3 为  $M_L \geq 3.5$  地震序列目录。

表 2 宁蒗 6.2 级地震序列目录 ( $M_L \geq 3.5$ )

Table 2 Catalogue of the  $M_S 6.2$  Ninglang earthquake sequence ( $M_L \geq 3.5$ )

编号	发震日期			发震时刻			震中位置		震级		震源深度/km	震中地名	资料来源
	年	月	日	时	分	秒	$\varphi_N$	$\lambda_E$	$M_L$	$M_S$			
1	1998	08	26	15	04	12	27° 12'	100° 59'	4.1			宁蒗	7)
2	1998	09	13	20	34	04	27° 12'	100° 58'	3.6			宁蒗	7)
3	1998	09	13	20	47	21	27° 13'	101° 01'	4.1			宁蒗	7)
4	1998	10	02	20	49	29	27° 18'	101° 06'		5.3	13	宁蒗	7)
5	1998	10	03	14	11	06	27° 15'	101° 01'	3.8			宁蒗	7)
6	1998	10	23	14	24	56	27° 13'	101° 03'	4.7			宁蒗	7)
7	1998	10	23	14	32	59	27° 12'	100° 51'	3.8			宁蒗	7)
8	1998	10	27	04	01	39	27° 14'	101° 01'		5.2	10	宁蒗	7)
9	1998	11	15	09	21	31	27° 20'	101° 01'	3.5			宁蒗	7)
9	1998	11	19	19	31	12	27° 18'	101° 01'		5.0		宁蒗	6)
10	1998	11	19	19	38	11	27° 14'	100° 59'		6.2	10	宁蒗	6)
11	1998	11	20	08	59	17	27° 22'	101° 03'	3.6			宁蒗	6)
12	1998	11	20	17	26	38	27° 24'	101° 07'	3.6			宁蒗	6)
13	1998	11	21	11	32	21	27° 19'	101° 05'	3.5			宁蒗	6)
14	1998	12	06	21	41	11	27° 21'	101° 02'	3.5			宁蒗	6)
15	1999	01	03	01	55	04	27° 12'	101° 03'		5.0		宁蒗	6)

6.2 级地震能量占全序列总能量的 89%、占其余震序列总能量的 98%, 6.2 级地震与前震最大地震震级差为 0.9, 与最大余震震级差为 1.2。由此表明, 该序列为前震-主震-余震型。

由序列  $M-t$ 、 $N-t$ 、能量蠕变图 4 至图 6 可见, 6.2 级地震前地震强度、频度、能量出现逐渐增大、增高、加速等变化, 6.2 级地震后余震频次迅速衰减, 但强度和能量累积速率均比较平稳。6.2 级地震前后序列参数  $b$  值分别为 0.94、0.99 (图 7)。分时段计算序列参数  $h$  值得出: 1998 年 7 月 28 日至 10 月 2 日  $h$  值小于 1.0, 为 0.7~0.3; 10 月 2 日 5.3 级、10 月 27 日 5.2 级两次地震后  $h$  值均出现明显上翘的动态异常变化过程; 11 月 19 日 6.2 级地震后,  $h$  值 (1.2) 偏小, 但动态变化比较稳定 (图 8), 余震衰减基本正常。



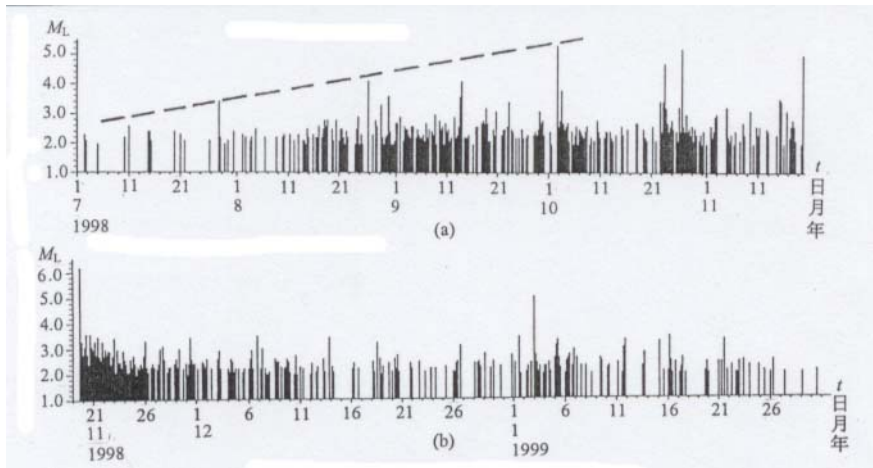


图4 宁蒗6.2级地震序列  $M-t$  图

(a) 前震序列; (b) 主震-余震序列

Fig. 4  $M-t$  diagram of the  $M_S6.2$  Ninglang earthquake sequence

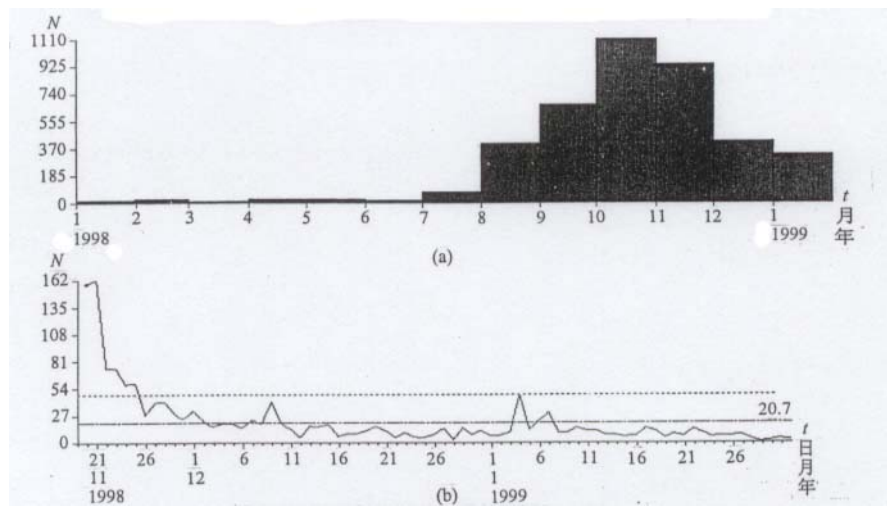


图5 宁蒗6.2级地震序列  $N-t$  图

(a) 月频度; (b) 日频度

Fig. 5  $N-t$  diagram of the  $M_S6.2$  Ninglang earthquake sequence

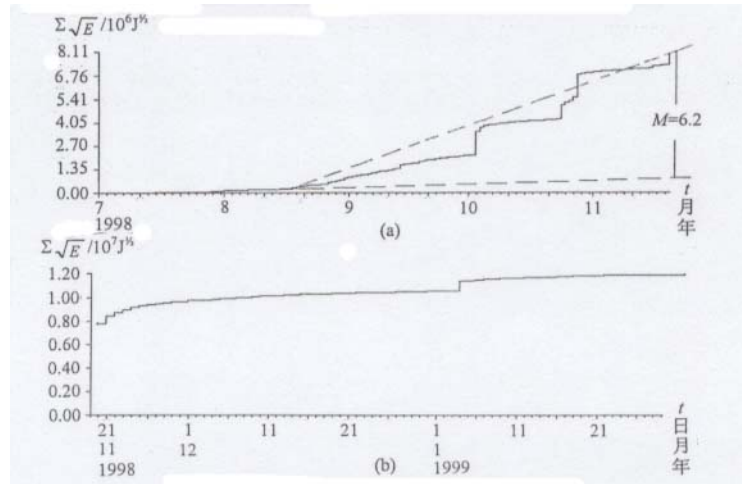


图6 宁蒭 6.2 级地震序列蠕变曲线

(a) 前震序列; (b) 主震-余震序列

Fig. 6 Strain release of the  $M_s6.2$  Ninglang earthquake sequence

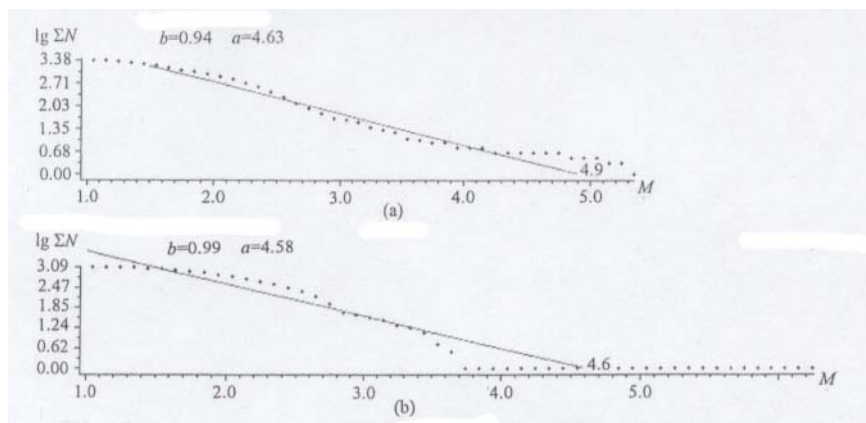


图7 宁蒭 6.2 级地震序列  $b$  值图

(a) 前震序列; (b) 主震-余震序列

Fig. 7  $b$ -value diagram of the  $M_s6.2$  Ninglang earthquake sequence



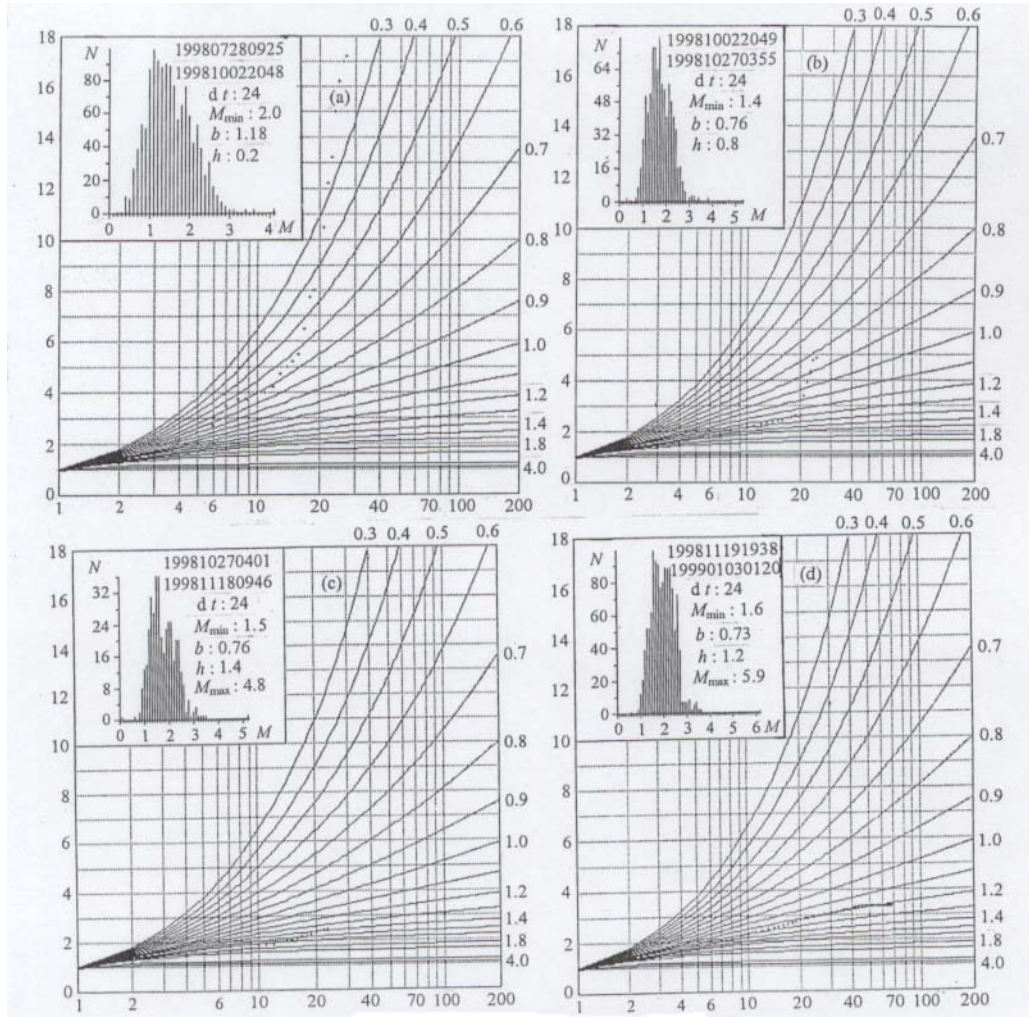


图8 宁蒗6.2级地震序列  $h$  值图

(a) 1998.7.28.<sup>9</sup><sup>h</sup>25<sup>m</sup>~10.2.20.<sup>4</sup><sup>h</sup>48<sup>m</sup>; (b) 1998.10.2.20.<sup>4</sup><sup>h</sup>49<sup>m</sup>~10.27.03.<sup>5</sup><sup>h</sup>55<sup>m</sup>

(c) 1998.10.27.04.<sup>1</sup><sup>h</sup>01<sup>m</sup>~11.18.9.<sup>4</sup><sup>h</sup>46<sup>m</sup>; (d) 1998.11.19.<sup>1</sup><sup>h</sup>38<sup>m</sup>~1999.1.3.<sup>1</sup><sup>h</sup>20<sup>m</sup>

Fig. 8  $h$ -value diagram of the  $M_s$ 6.2 Ninglang earthquake sequence

由地震序列震中分布图(图9)可见,6.2级地震前震与余震活动主要集中分布在震中北部,余震空间分布与前震空间分布基本重叠,大致呈北西向条带,余震区长约26km,宽约15km,面积约390km<sup>2</sup>(图9)。

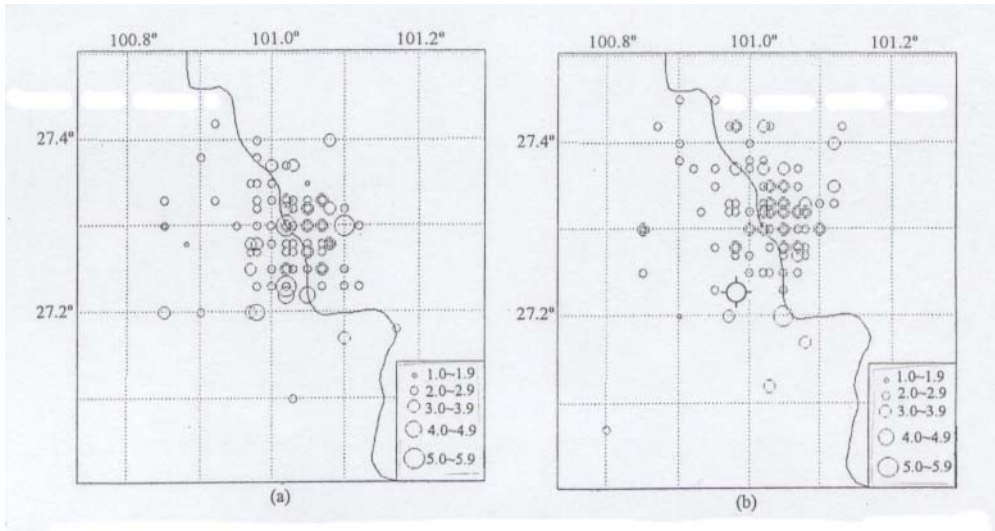


图9 宁蒗6.2级地震序列震中分布图

(a) 1998.7.1~11.19; (b) 1998.11.19~1999.1.31

Fig.9 Epicentral distribution of the Ms6.2 Ninglang earthquake sequence

### 五、震源机制解及地震主破裂面

收集昆明数字化台网和全国基准地震台网P波初动符号35个,运用P波初动符号图解断层面法,求得震源机制解见表3和图10(矛盾符号比为0.20)。由表3可见,节面I走向为115°,右旋,主压应力P轴方位为342°,为近北南向,仰角为8°。由上文已知震区断裂走向为北北西,右旋走滑,地震等震线长轴方向为NW20°,余震呈北西向条带分布。节面I走向与极震区构造、等震线长轴、余震破裂长轴等方向一致。因此,认为节面I为宁蒗6.2级地震主破裂面,本次地震是在近北南向水平主压应力作用下,北北西向清泉-战河、碳山坪-柏杨村、白枝树-大拉坝等断裂右旋错动的结果,地震灾害评估组地质考察初步认为清泉-战河(又称泸沽湖-跑马坪断裂)断裂为本次地震发震构造。

表3 宁蒗6.2级地震震源机制解

Table 3 Focal mechanism solution of the Ms6.2 Ninglang earthquake

编号	节面 I			节面 II			P 轴		T 轴		B 轴		X 轴		Y 轴		结果来源
	走向	倾向	倾角	走向	倾向	倾角	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角	
1	115	SW	85	207	NW	75	342	8	249	15	95	73	296	15	204	5	王绍晋

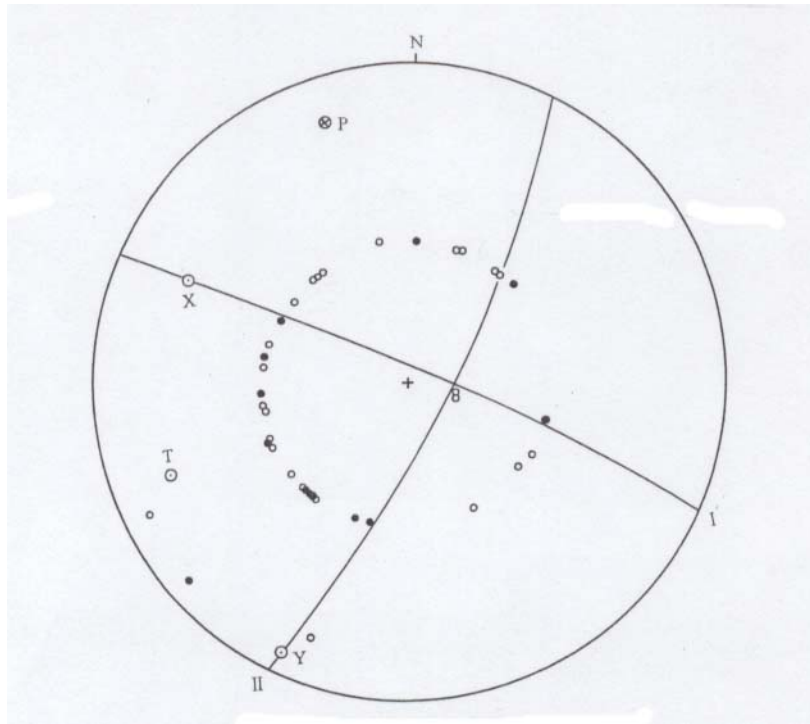


图 10 宁蒗 6.2 级地震震源机制解

Fig. 10 Focal mechanism solution of the  $M_s$ 6.2 Ninglang earthquake

## 六、观测台网及前兆异常

图 1 和图 11 分别为距宁蒗 6.2 级地震震中 300km 范围内,测震台网和定点前兆观测台站分布图。

距宁蒗 6.2 级地震震中 300km 范围内,共有地震台 44 个,其中开展测震观测台 32 个(图 1),开展定点前兆观测台 37 个,有水位、流量、高精度水温、水氡、水质、地磁、地电、重力、应力、地倾斜、短水准、短基线等 21 个前兆观测项目 109 个台项(图 11),这些前兆观测台项多数有 5 年以上连续可靠的观测资料。在 0~100km、101~200km、201~300km 范围内,分别有测震台 5、11、16 个,定点前兆观测台 4、16、17 个。由图 1 和图 11 可见,地震台主要分布在六库-剑川-丽江-盐源-西昌-雷波为界东南部地区,西北部地区观测台站比较稀疏。

6.2 级地震前共有 10 个项目出现 26 个项次异常,其中,地震活动性异常项目有地震频度、 $D$  值等共 6 项次,定点前兆观测异常项目有水位、高精度水温、水氡、水质、地电、地磁、地倾斜共 20 项次。定点前兆观测异常主要分布在震中以南地区(图 12)。各类异常的具体情况详见表 4 和图 13~41。

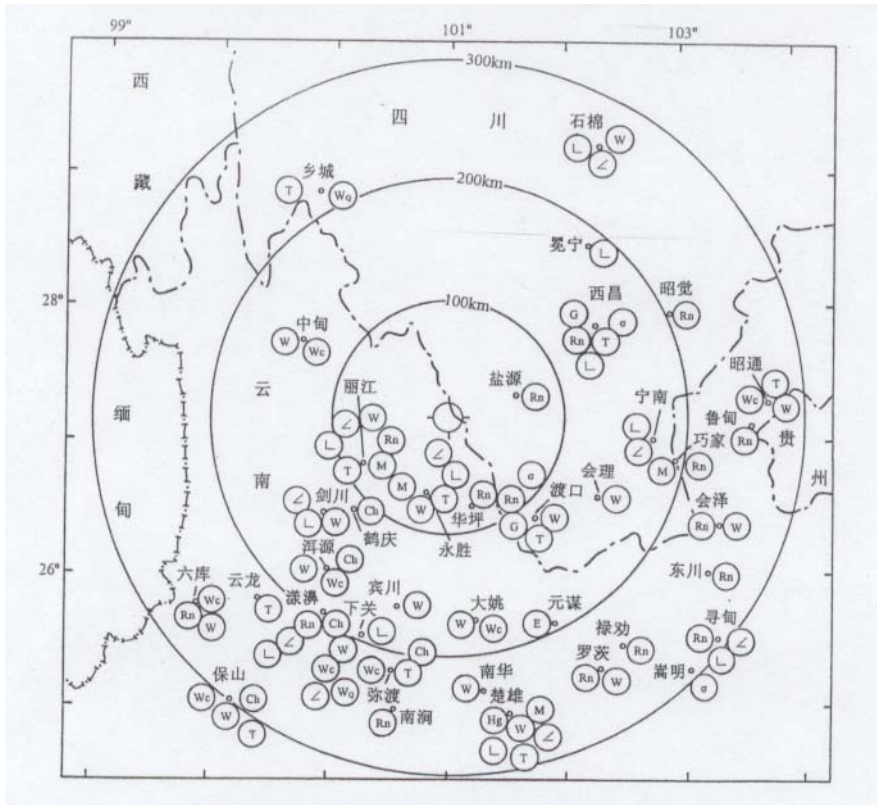


图 11 宁蒗 6.2 级地震前定点前兆观测台站分布图

Fig. 11 Distribution of precursory monitoring stations before the  $M_s6.2$  Ninglang earthquake

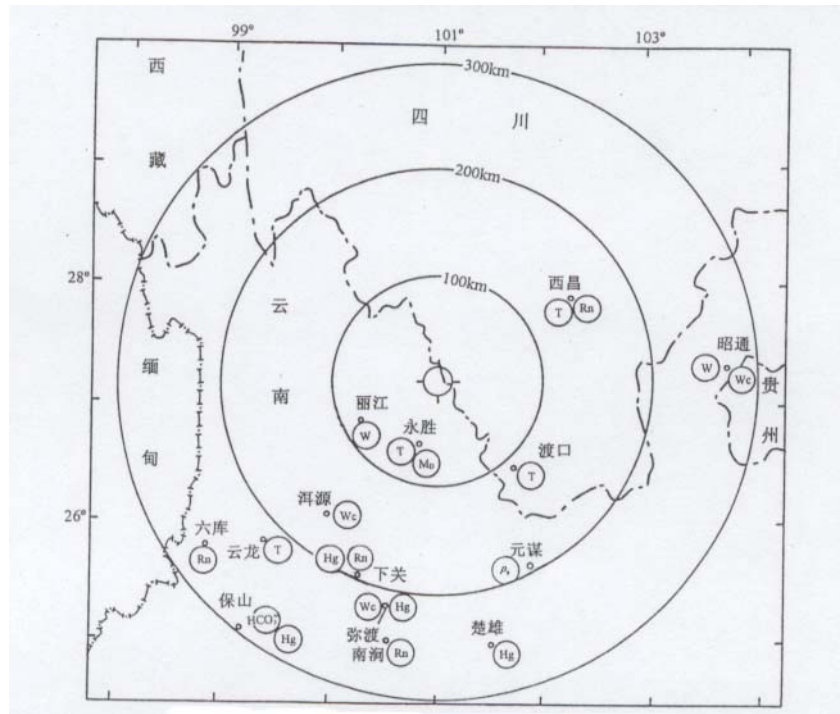


图 12 6.2 级地震前定点前兆观测异常分布图

Fig. 12 Distribution of precursory anomalies at the fixed observation points before the  $M_s6.2$  Ninglang earthquake

表4 异常情况登记表

Table 4 Summary table of precursory anomalies

序号	异常项目	台站或观测区	分析方法	异常判据及观测误差	震前异常起止时间	震后变化	最大幅度	震中距/km	异常类别	图号	异常特点及备注
1	地震频度	以震中为圆心半径300km范围内	$M_L$ 3.0~4.9月频次	$\geq 12$	1998.7~10	1998.12异常	28		B <sub>I</sub>	13	震前显示增频异常变化
2	地震频度	27° ~ 29° N, 100° ~ 102° E	$M_L$ 3.0~4.9频次, 3个月窗长, 1个月滑动	$\geq 10$	1998.7~9	正常	41		B <sub>I</sub>	14	高值后发震
3	D值	以震中为圆心半径300km范围内	$M_L$ 3.0~4.9, 3个月窗长, 1个月滑动	$\geq 0.12$	1998.8~10	1998.12~1999.2异常	0.2		B <sub>I</sub>	15	震前D值显示高值异常变化
4	地震窗	丽江	$M_L$ 1.0~4.9月频次	$\geq 60$	1998.9~10	正常	156	84	B <sub>I</sub>	16	高值后发震
5	地震窗	云龙	$M_L$ 1.0~4.9月频次	$\geq 25$	1998.7	正常	72	221	B <sub>I</sub>	17	高值后发震
6	地震窗	永平	$M_L$ 1.0~4.9月频次	$\geq 15$	1998.7	正常	28	236	B <sub>I</sub>	18	高值后发震
7	水位	丽江	月均值	破年变	1998.7~9	正常	为正常年变幅的2倍	84	B <sub>I</sub>	19	上升速率比往年大
8	水位	昭通	月均值	>1.33m	1998.7~9	正常	2.49	268	B <sub>I</sub>	20	大幅度上升
9	高精度水温	洱源	日均值	$\Delta > 0.005$ °C	1998.4.27~9.24	正常	0.0134 °C	164	B <sub>I</sub>	21	增温
10	高精度水温	弥渡	日均值	破年变	1998.4.13~12.20	异常	0.2469 °C	217	A <sub>I</sub>	22	反向大幅度下降
11	高精度水温	昭通	日均值	破年变	1998.3.21~8.15	正常	0.033 °C	268	B <sub>I</sub>	23	反向下降(缓升为正常变化)
12	水氡	西昌	旬均值	<105 Bq/L	1998.1.10~9.10	正常	86 Bq/L	144	A <sub>I</sub>	24	大幅度下降
13	水氡	下关	5日均值	>8.0 Bq/L	1998.8.10~9.30	正常	8.1 Bq/L	196	B <sub>II</sub>	25	高值突跳
14	水氡	南涧	旬均值	<46 Bq/L	1998.6.20~9.30	正常	42.9 Bq/L	249	B <sub>I</sub>	26	
15	水氡	六库	日均值	>40 Bq/L	1998.8.4~9.14	正常	41.8 Bq/L	264	B <sub>II</sub>	27	高值突跳

续表

序号	异常项目	台站或观测区	分析方法	异常判据及观测误差	震前异常起止时间	震后变化	最大幅度	震中距/km	异常类别	图号	异常特点及备注
16	水汞	下关	旬均值	>200ng/L	1998.8.31	正常	303ng/L	196	B <sub>1</sub>	28	高值异常
17	水汞	弥渡	月均值	>100ng/L	1997.1~1998.11	正常	219 ng/L	217	A <sub>1</sub>	29	高值异常
18	水汞	楚雄	旬均值	>20ng/L	1998.10.10~10.31	正常	31.2 ng/L	253	C <sub>1</sub>	30	高值异常
19	水汞	保山	旬均值	>100ng/L	1998.3.10~9.10	正常	183 ng/L	299	A <sub>1</sub>	31	高值异常
20	碳酸氢根	保山	旬均值	<637mg/L	1998.4.20~2000.8.10	异常	613.8 mg/L	299	B <sub>1</sub>	32	大幅度下降
21	地电阻率	元谋	日均值	破年变	1998.4.5~7.24	正常	0.48 Ω · m	193	B <sub>1</sub>	33	大幅度加速下降
22	地磁偏角	永胜	5日均值	ΔD<0.3分	1998.9.5~11.20	正常	0.78分	65	B <sub>1</sub>	34	大幅上升
23	地倾斜	永胜(6-2)	日均值	破年变	1998.8.8~11.20	正常	为正常年变幅4倍	65	B <sub>1</sub>	35	大幅度加速下降
		永胜(7-3)	旬均值	<-85 × 10 <sup>-8</sup>	1998.7.10~9.10	正常	-185 × 10 <sup>-8</sup>	65		36	下降速率较大
24	地倾斜	渡口(7-3)	日均值	>-221 × 10 <sup>-8</sup>	1998.8.9~8.31	正常	9873 × 10 <sup>-8</sup>	110	B <sub>1</sub>	37	上升速率大
		渡口(6-2)	日均值	破年变	1998.8.3~9.24	正常	为正常年变幅的2.7倍	110	B <sub>1</sub>	38	大幅度加速上升
		渡口(8-2)	日均值	破年变	1998.7.10~9.6	正常	为正常年变幅的4.8倍	110	B <sub>1</sub>	39	大幅度加速起伏变化
25	地倾斜	西昌(8-2)	日均值	>13400角秒	1998.7.20~10.3	正常	42728角秒	144	B <sub>1</sub>	40	上升速率大
26	地倾斜	云龙(6-2)	旬均值	破年变	1998.4.30~11.10	正常	为正常年变幅的3.3倍	221	A <sub>1</sub>	41	大幅度加速下降

表4所列出的26条异常,其信度及预测效能简述如下:

(1) 地震活动性异常项目:资料信度高,异常清晰,对应率较高,对地震发生的时间、强度、地点三要素预测效能好(异常结束后3个月内大多对应滇西北5级以上地震)。

(2) 定点前兆观测异常项目:除丽江水位、楚雄水汞、昭通水位和水温4条异常等台项资料未达5年外,其他16条异常台项均有5年以上连续可靠的资料。这些异常显著,幅



度大，多数对6级以上地震预测效能好。

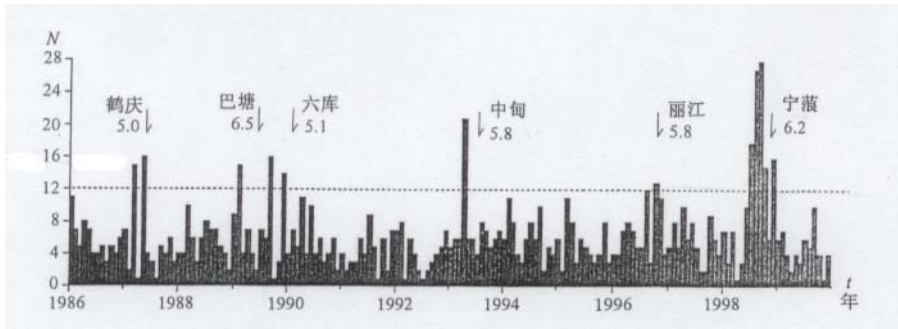


图 13 震中 300km 范围 3 级以上地震月频度图

Fig. 13 Diagram of monthly frequency of  $M_L \geq 3.0$  earthquakes within 300km from the epicenter

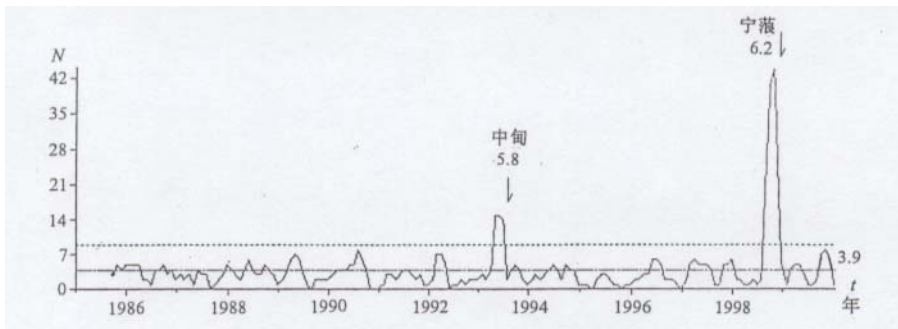


图 14 震中附近 3 级以上地震频度曲线

Fig. 14 Curve of frequency of  $M_L \geq 3.0$  earthquakes around the epicenter area

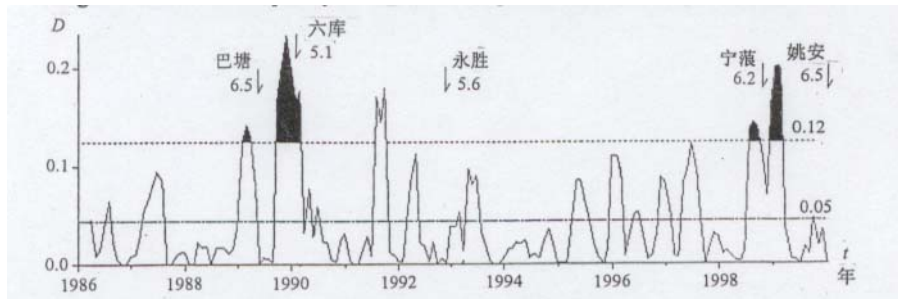


图 15 震中 300km 范围 D 值曲线

Fig. 15 D-value curve within 300km from the epicenter

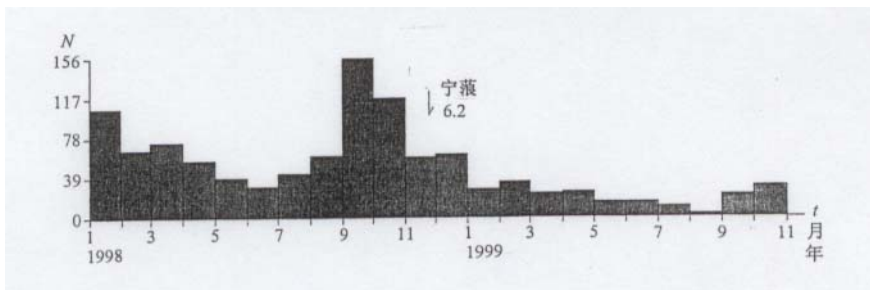


图 16 丽江小震月频次图

Fig. 16 Diagram of monthly frequency of small earthquakes in Lijiang earthquake region



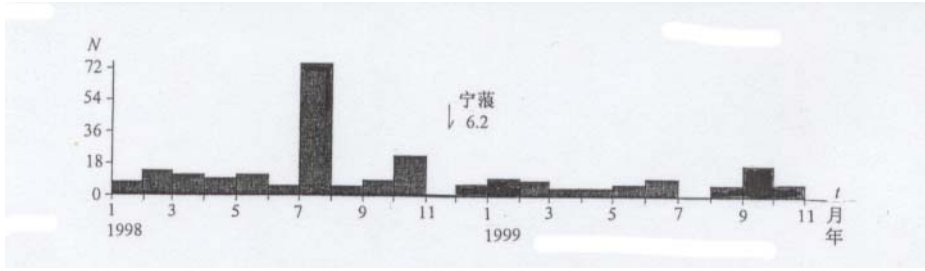


图 17 云龙小震月频次图

Fig. 17 Diagram of monthly frequency of small earthquakes in Yunlong earthquake region

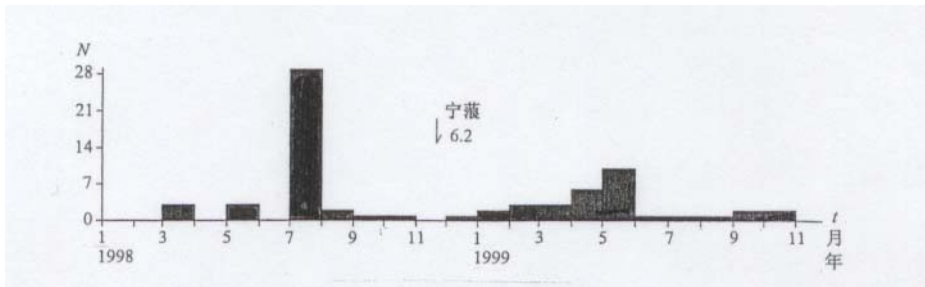


图 18 永平小震月频次图

Fig. 18 Diagram of monthly frequency of small earthquakes in Yongping earthquake region

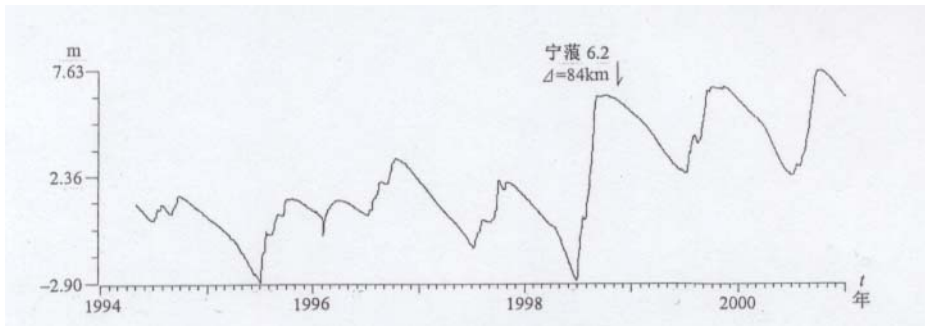


图 19 丽江水位月均值曲线

Fig. 19 Curve of monthly mean value of water level at Lijiang station

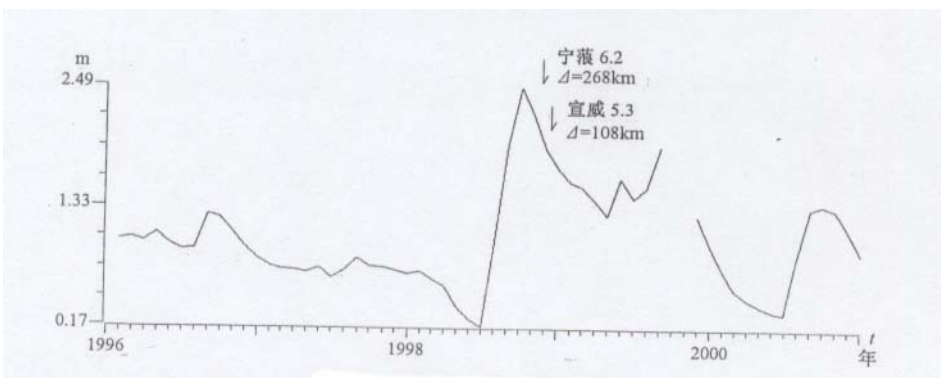


图 20 昭通水位月均值曲线

Fig. 20 Curve of monthly mean value of water level at Zhaotong station

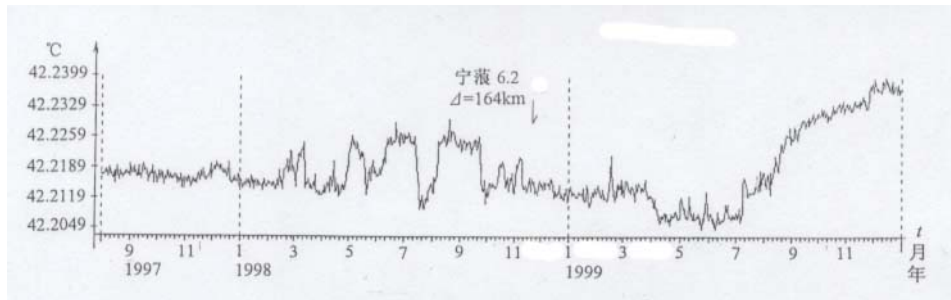


图 21 洱源高精度水温日均值曲线

Fig. 21 Curve of daily mean value of water temperature at Eryuan station

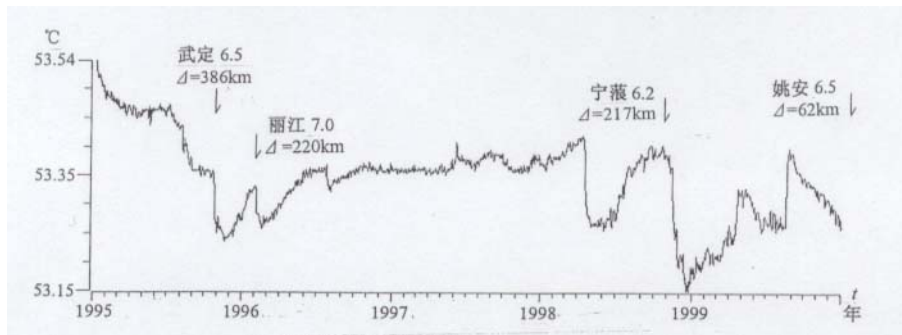


图 22 弥渡高精度水温日均值曲线

Fig. 22 Curve of daily mean value of water temperature at Midu station

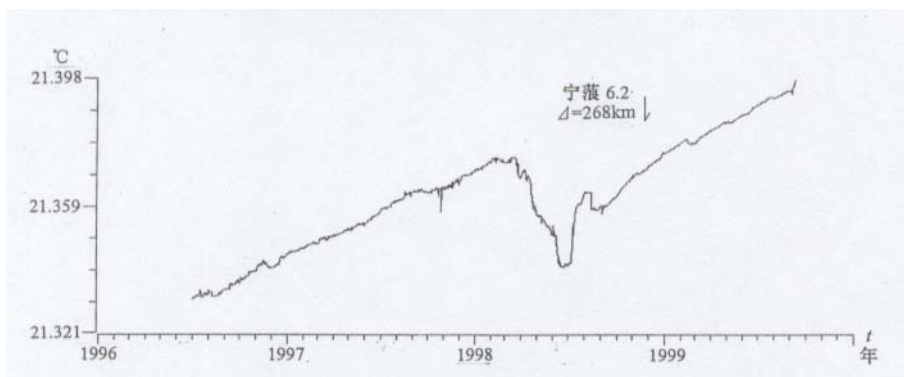


图 23 昭通高精度水温日均值曲线

Fig. 23 Curve of daily mean value of water temperature at Zhaotong station

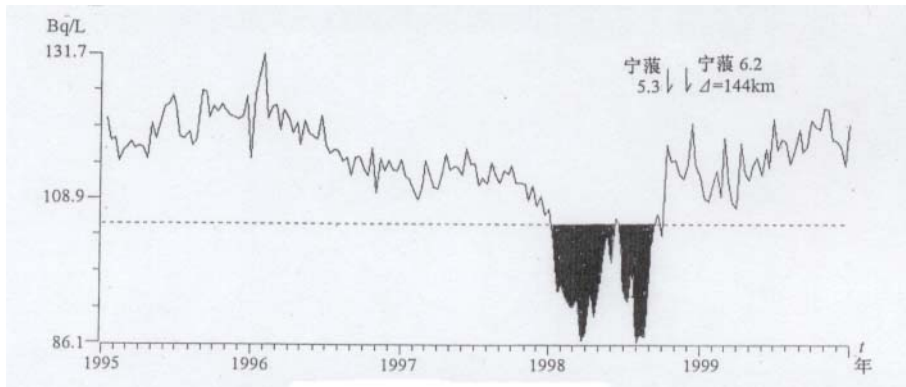


图 24 西昌水氡旬均值曲线

Fig. 24 Curve of 10-day mean value of radon content in groundwater at Xichang station

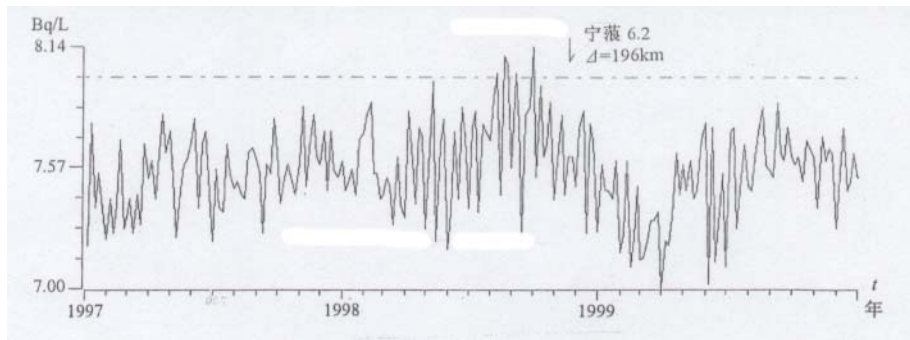


图 25 下关水氡 5 日均值曲线

Fig. 25 Curve of 5-day mean value of radon content in groundwater at Xiaguan station

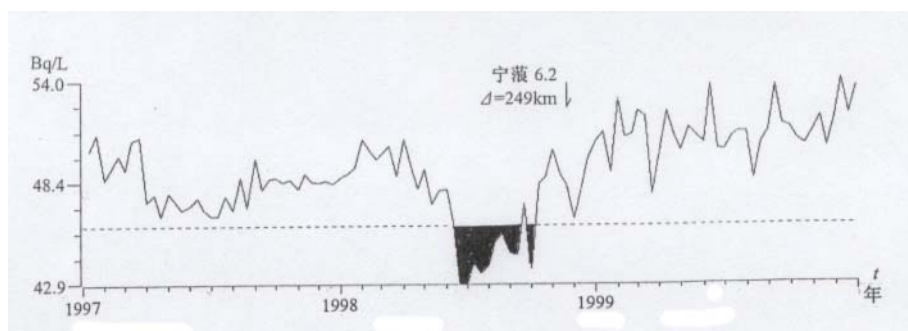


图 26 南涧水氡旬均值曲线

Fig. 26 Curve of 10-day mean value of radon content in groundwater at Nanjian station

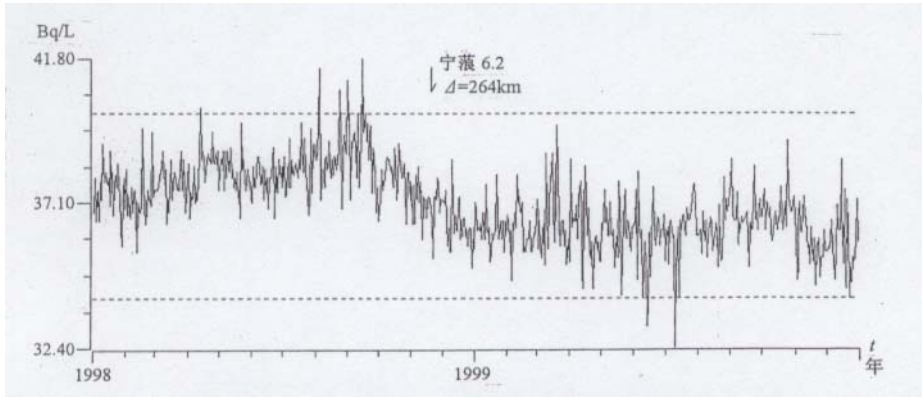


图 27 六库水氡日均值曲线

Fig. 27 Curve of daily mean value of radon content in groundwater at Liuku station

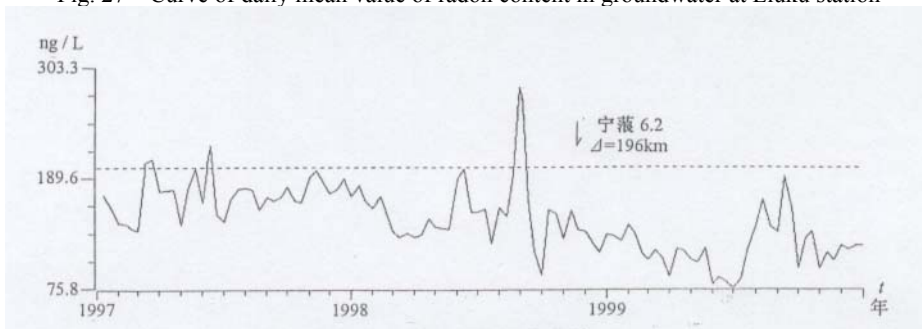


图 28 下关水汞旬均值曲线

Fig. 28 Curve of 10-day mean value of mercury content in groundwater at Xiaguan station

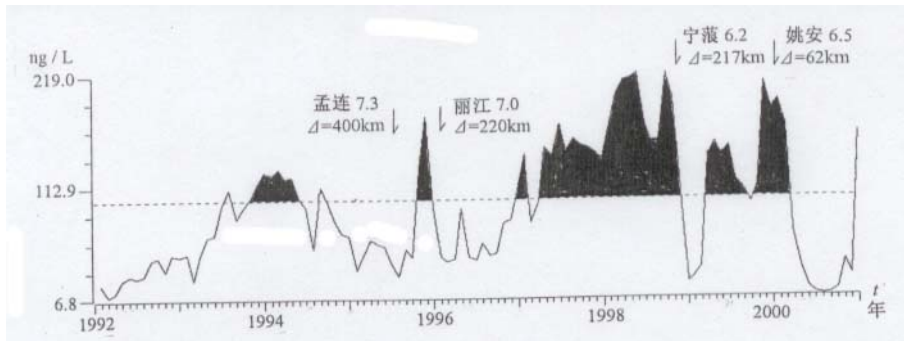


图 29 弥渡水汞月均值曲线

Fig. 29 Curve of monthly mean value of mercury content in groundwater at Midu station

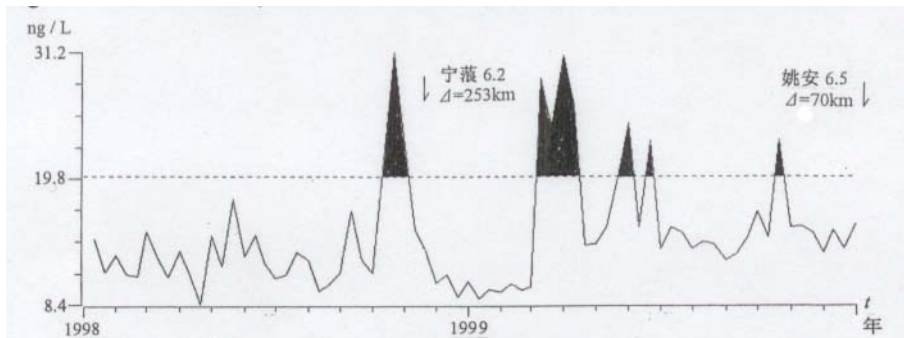


图 30 楚雄水汞旬均值曲线

Fig. 30 Curve of 10-day mean value of mercury content in groundwater at Chuxiong station

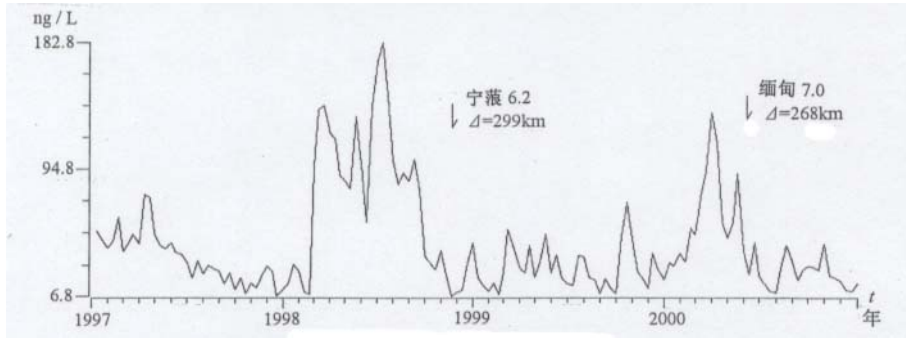


图 31 保山水汞旬均值曲线

Fig. 31 Curve of 10-day mean value of mercury content in groundwater at Baoshan station



图 32 保山碳酸氢根离子旬均值曲线

Fig. 32 Curve of 10-day mean value of  $\text{HCO}_3^-$  in groundwater at Baoshan station

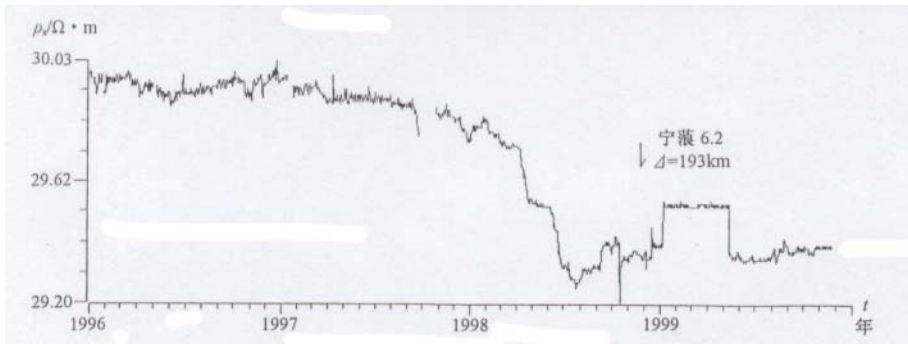


图 33 元谋地电阻率日均值曲线

Fig. 33 Curve of daily mean value of apparent resistivity at Yuanmou station

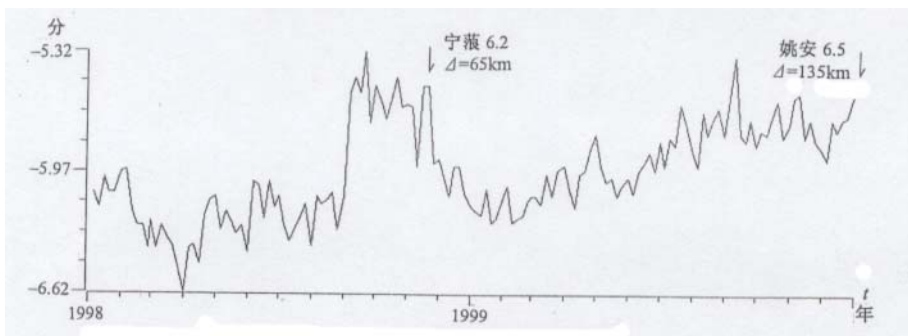


图 34 永胜磁偏角 5 日均值曲线

Fig. 34 Curve of 5-day mean value of magnetic declination at Yongsheng station

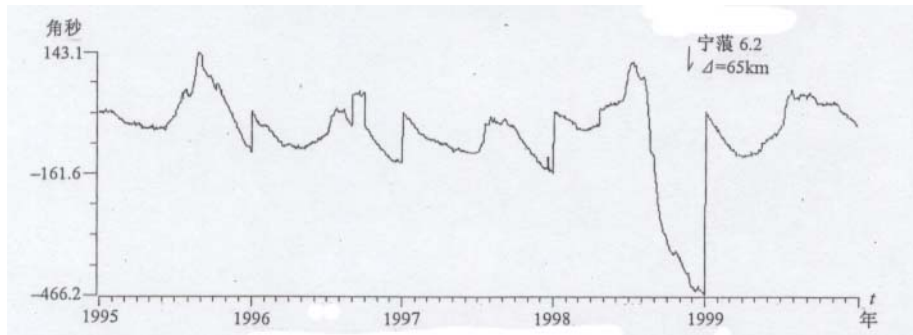


图 35 永胜水管倾斜仪日均值曲线

Fig. 35 Curve of daily mean value by watertube tiltmeter at Yongsheng station

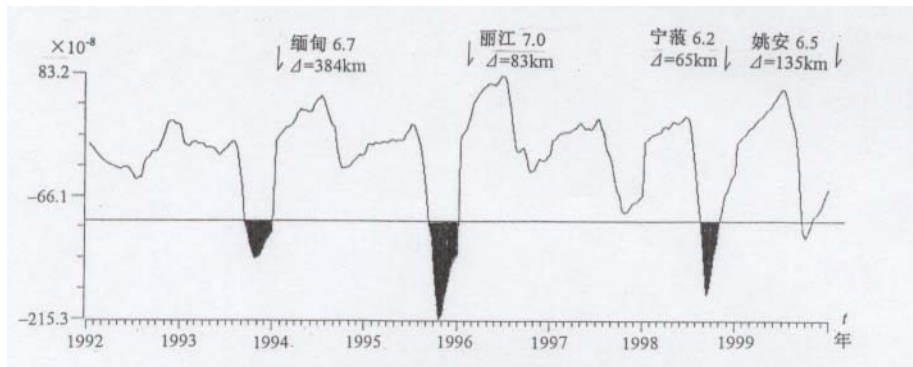


图 36 永胜石英伸缩仪旬均值曲线

Fig. 36 Curve of 10-day mean value by quartz extensometer at Yongsheng station

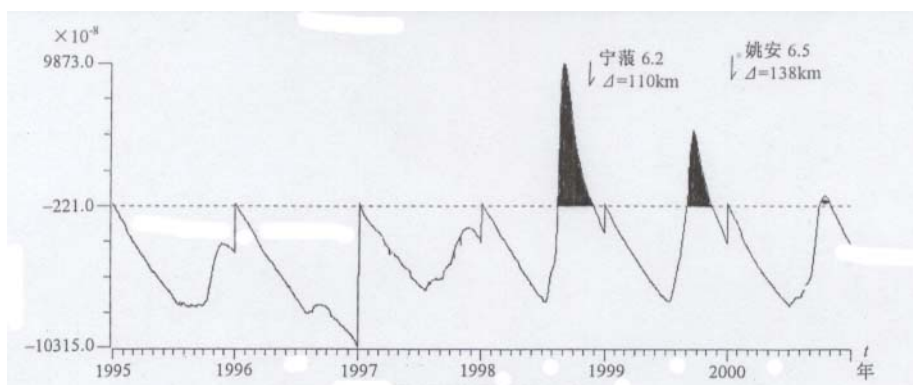


图 37 渡口石英伸缩仪日均值曲线

Fig. 37 Curve of daily mean value by quartz extensometer at Dukou station



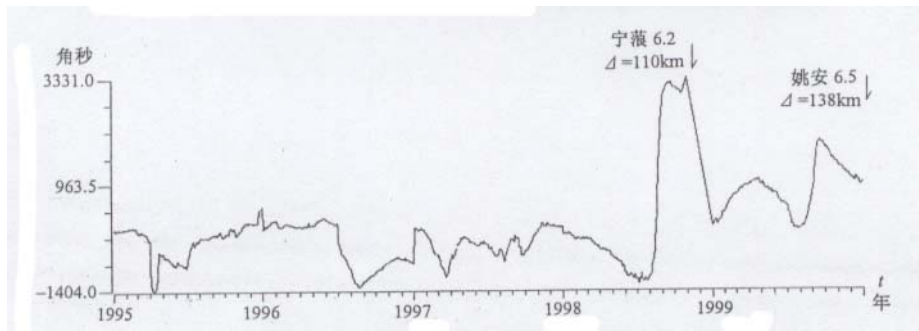


图 38 渡口水管倾斜仪日均值曲线

Fig. 38 Curve of daily mean value by watertube tiltmeter at Dukou station

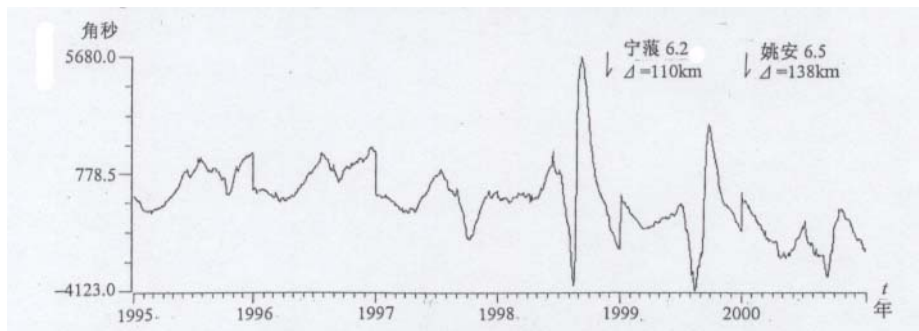


图 39 渡口石英摆倾斜仪日均值曲线

Fig. 39 Curve of daily mean value by quartz pendulum tiltmeter at Dukou station

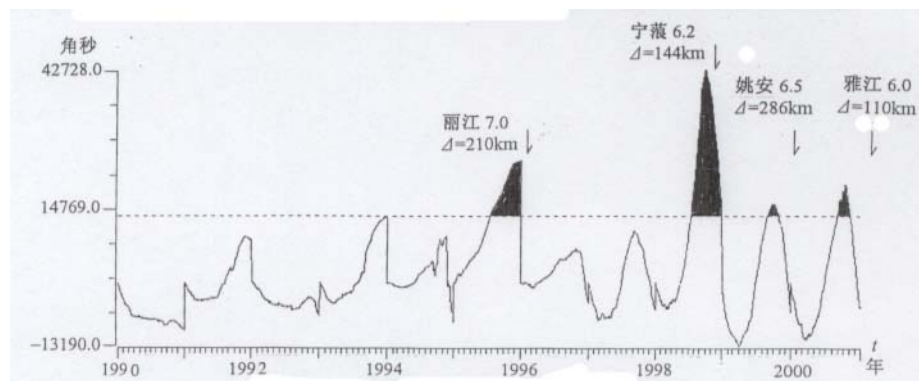


图 40 西昌石英摆倾斜仪日均值曲线

Fig. 40 Curve of daily mean value by quartz pendulum tiltmeter at Xichang station



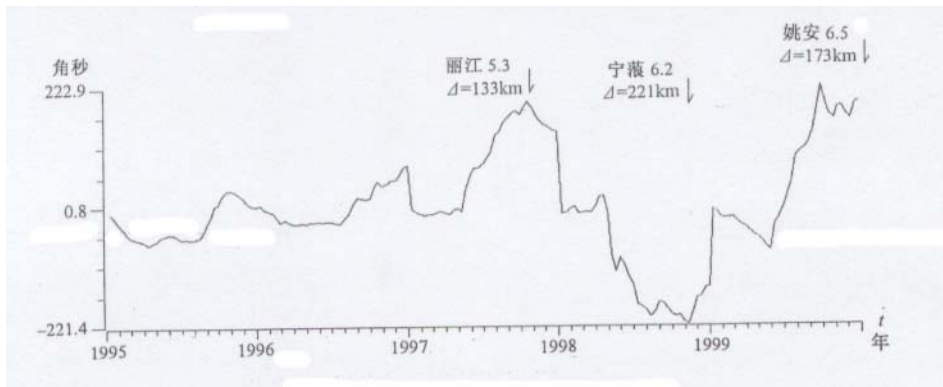


图 41 云龙水管倾斜仪旬均值曲线

Fig. 41 Curve of 10-day mean value by watertube tiltmeter at Yunlong station

## 七、前兆异常特征

综上所述，宁蒗 6.2 级地震前出现多项明显的异常变化，其主要特征如下：

### 1. 异常数量多

宁蒗 6.2 级地震前，地震活动性、定点前兆观测项目出现 26 项异常。地震活动性异常主要表现为震前震中周围小震活动显著增多，并出现多处小震群活跃等异常，特别是 6.2 级地震孕震区，震前出现近千次 1 级以上地震群活动，地震群参数显示出前震群特征。定点前兆观测有 37.8% 的台站、8 个观测项目出现 20 条异常，这数量对于 6 级地震而言，较引人注目。

### 2. 异常幅度大

6.2 级地震前多数定点前兆观测异常幅度较大，其异常幅度多为自观测以来最大或次大幅度。如丽江水位，永胜、云龙、渡口和西昌地倾斜等台项，在震前 3 个半月出现大幅度加速上升或下降，其变化幅度为正常变化幅度的 2~5 倍。

### 3. 异常持续时间长

宁蒗 6.2 级地震前，距震中 300km 范围内，定点前兆观测台站出现 A 类异常 5 条，B 类异常 14 条，C 类异常 1 条，其动态发展变化过程见图 42。由图可见，本次地震前定点前兆观测异常持续时间较长，大多为中短期异常，这些异常多从 1998 年 4 月（震前 7~6 个月）开始，9 月底或 10 月初结束，此期间，自 1998 年 4~9 月异常数量逐渐增多，至震前 1 个半月（1998 年 10 月）起异常台项数大幅度下降（图 43），临震突变性短临异常不明显。

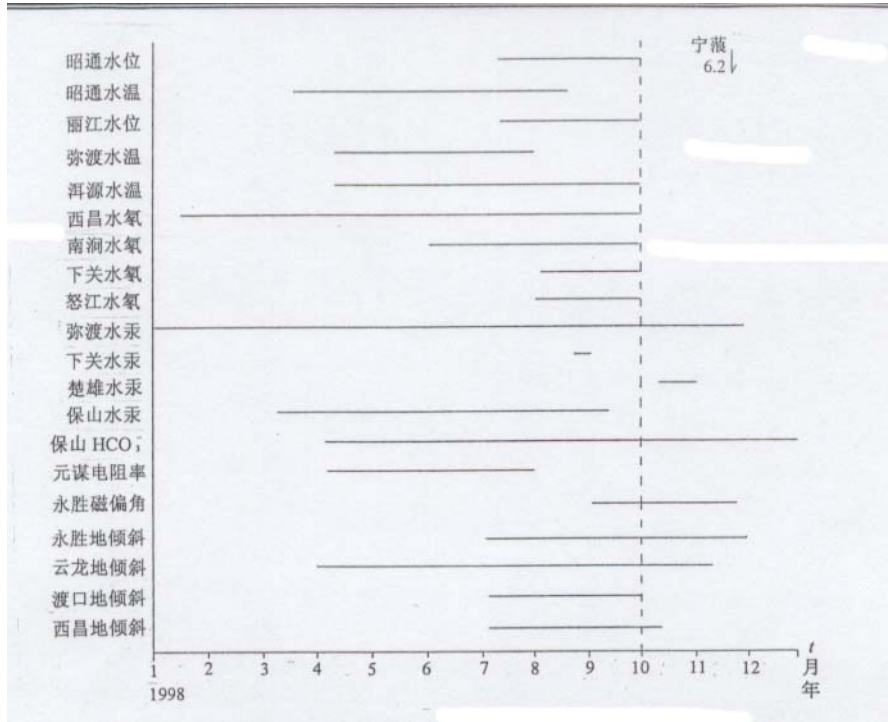


图 42 宁蒭 6.2 级地震定点前兆观测异常时间进程示意图

Fig. 42 Temporal sketch of precursory anomalies at the fixed observation points for the  $M_s6.2$  Ninglang earthquake

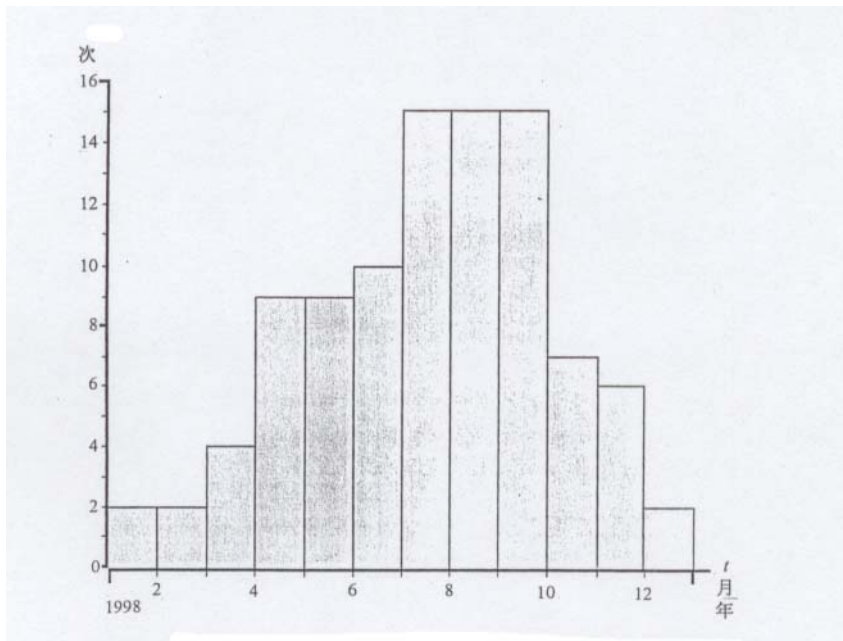


图 43 宁蒭 6.2 级地震定点前兆观测异常月频次时间进程图

Fig. 43 Temporal process of monthly frequency of precursory anomalies at the fixed observation points for the  $M_s6.2$  Ninglang earthquake

## 八、应急响应和抗震设防工作

1998年10月2日、27日、11月19日宁蒗相继发生5.3、5.2、5.0、6.2级地震,震后,云南省地震局立即向省委、省政府、省人大及民政厅等上级部门领导作了汇报,及时召开紧急会议和地震会商会,部署防震抗震工作及地震类型判断、震后震情动态发展监视等工作,三次派出工作组赴地震现场开展震害评估、震情监视工作。震前的1998年9月2日,云南省地震预报中心根据全省特别是宁蒗、盐源、巧家、会东等川滇交界一带小震活动发展情况会商认为:未来2个月宁蒗、盐源、巧家、会东等川滇交界一带注意5级以上地震危险<sup>2)</sup>,结果在10月2日发生宁蒗5.2级地震。10月27日宁蒗再次发生5.2级地震,云南省地震局预报中心于当日凌晨召开紧急会商会,会商认为:近期滇西北、滇东北川滇交界仍存在发生5级左右地震的危险,云南省地震局以“震情反映(9807)”<sup>3)</sup>形式把此预测意见上报省委、省政府,传送丽江行署、宁蒗县政府及地震部门,并受到宁蒗县领导的高度重视,县政府于10月29日召开县直属各部门负责人参加的抗震救灾工作会议,进一步部署防震减灾工作<sup>4)</sup>。此外,宁蒗县地震局于11月3日向中国地震局提出,1998年11月3日至11月18日宁蒗100km范围内,发生5.5~5.9级地震的二级预测意见<sup>5)</sup>。云南省地震局、宁蒗县地震局提出的预测意见,受到了当地政府的高度重视,当地政府采取了相应的地震应急防范措施,取得了较显著的社会效益,为减轻地震灾害作出了贡献,受到了地方政府和中国地震局的好评与表彰。

## 九、总结与讨论

1998年11月19日宁蒗6.2级地震是该地区自1976年11月盐源-宁蒗6.7级地震后,间隔近22年又一次发生的6级地震,也是云南省地震部门继1995年7月12日孟连西7.3级地震成功预测后,第二次较成功预测的地震。通过本震例研究,我们得出下述重要认识:

(1) 历史上宁蒗及附近地区地震类型比较复杂,有主震-余震型(如1988年1月10日宁蒗5.5级地震<sup>[4]</sup>)、双震型(1976年11月7日、12月13日盐源-宁蒗6.7、6.4级地震),其中,双震型地震约为30%。本次地震类型为前震-主震-余震型,其前震是滇西地区继1993年7月17日中午5.8级地震前震群活动后最丰富的一次前震群。6.2级地震前序列参数均显示出直接前震特征,震后余震衰减基本正常,但衰减慢、起伏特征显著,其次,作为主震-余震型,6.2级地震能量与全序列能量比(0.89)偏低、序列参数 $h$ 值(1.2)偏小。因此,6.2级余震序列显示较长时段在震源区附近多发生5级地震,结果,2001年5月24日盐源-宁蒗再次发生5.8级地震。

(2) 震前定点前兆观测异常数量多、幅度大是本次地震异常的最显著特征,这些异常幅度、异常发展时间变化、空间展布对地震的强度、发震时间、危险地点的预测提供了重要的信息。

(3) 本次地震短临阶段,除了大部分异常出现转折或结束,显示出地震发展进入短临阶段外,突变性异常形态不明显,这是否是有较丰富前震震群活动的强震共同的前兆特征,有待于进一步深入研究和探索。

### 参 考 文 献

- [1] 刘翔, 宁蒗 6.2 级地震异常动态图像与序列主要特征, 高原地震, 12 (3), 15~22, 2000。
- [2] 国家地震局地质所、云南省地震局, 滇西北活动断裂, 中国活断层研究专辑, 北京: 地震出版社, 1990。
- [3] 程式, 1976 年 11 月 7 日四川省盐源 6.7 级地震, 见张肇诚主编: 中国震例 (1976~1980), 北京: 地震出版社, 1990。
- [4] 付虹, 1988 年 1 月 10 日云南省宁蒗 5.5 级地震, 见张肇诚主编: 中国震例 (1986~1988), 北京: 地震出版社, 1999。

### 参 考 资 料

- 1) 云南省地震局, 宁蒗 6.2 级地震灾害损失评估报告, 1998.11.27。
- 2) 云南省地震局, 会商报告 (34 期), 1998。
- 3) 云南省地震局, 震情反映 (9807), 1998。
- 4) 云南省宁蒗县地震局预报卡, 1998.11.2。
- 5) 宁蒗县抗震救灾指挥部, 抗震救灾快报 (24 期), 1998.10.29。
- 6) 云南省地震监测中心, 1998 年 11 月 19 日宁蒗 6.2 级地震序列目录 (打印件)。
- 7) 云南省地震监测中心, 1998 年云南地震月报。

## Ninglang Earthquake of $M_S6.2$ on Nov. 19, 1998 in Yunnan Province

*Liu Xiang, Tang Cai, Ma Dianjun and Chen Yan*

Seismological Bureau of Yunnan Province

### Abstract

An earthquake of  $M_S6.2$  took place on Nov. 19, 1998 in Ninglang county, Yunnan province. The macroseismic epicenter was located around the area of Daerdi village, Lanniqing township, Ninglang county. The intensity was VIII in the meizoseismal area. Most houses in the epicentral area were damaged, houses of  $14337\text{m}^2$  were destroyed and houses of  $355443\text{m}^2$  were severely damaged. 5 people were killed, 228 people were severely injured and 1372 people were slightly wounded in the earthquake-stricken area that included Yanyuan county in Sichuan. The economic loss was 503.14 million Yuan, including the loss of 50 million Yuan in Sichuan province.

The earthquake sequence was of foreshock-mainshock-aftershock type. 2426 earthquakes of  $M_L \geq 1.0$  occurred in the epicentral area within 3 months before the mainshock and the largest one was of  $M_S5.3$ . The aftershocks decayed normally. The largest aftershock was of  $M_S5.0$  and the area of aftershocks extended in NW direction. The focal mechanism solution showed that the nodal plane I was in NW direction, and P was in NNW direction. It is suggested that the earthquake was caused by the right lateral displacement of the active fault in NNW direction under the action of the principle compressive stress in NNW direction. The Luguhu - Paomaping fault in NNW direction was the seismogenic structure of the earthquake.

There were many seismic stations near the epicenter area. Within 300km of the epicenter there were 44 seismic stations, 32 of them with seismometric observation and 37 of them with precursory observations. There were 26 anomalies of 10 items before the mainshock. Among them there were 6 anomalies in seismic activity and there were 20 anomalies in other precursory observations detected at the observation stations. The precursory anomalies at the observation stations increased obviously in the area surrounding the epicenter within seven and half months before the mainshock. The number of precursory anomalies increased again three and half months before the mainshock what caused mainly by anomalies of rise and fall of the groundwater level and tilt. At the same time activities of small shocks increased gradually around the epicenter and

some swarms of small shocks occurred. Among them, a swarm in the earthquake preparation area was significant and showed characteristics of direct precursory swarm.

The correct earthquake forecasting were made by the Seismological Bureau of Yunnan Province and the Ninglan Seismological Bureau before the earthquake. Leaders from the local government paid much attention to the prediction and took many emergency measures to mitigate the earthquake disaster. Those measurements had gained significant economic and social benefit.