

云南地区强震前的应变扰动异常

钱晓东, 刘祖荫

(云南省地震局, 云南 昆明 650041)

摘要: 计算和分析了云南地区5次 $M_L \geq 6.5$ 强震前的应变扰动 ϵ_i 值. 结果表明, 地震前5~8年, 归一化为4级的地震的 ϵ_i 出现明显的高值异常; 未来震中区域 ϵ_i 值变小, 周围地区增大, 形成空区; ϵ_i 值有由零星分布逐渐向震中区收缩、集中并增强的趋势.

主题词: 云南; 异常特征; 趋势异常; 地震空区; 应变扰动

中图分类号: P315.72⁺7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2000)01-0047-06

0 前言

强震前在震中区及其附近, 中小地震活动往往出现集中、增强或空区、条带等空间分布图像. 中小地震的这种分布是人们预报未来强震发生地点的参考依据. 而空区(或空段)则是应用较广的根据地震的空间分布图像的演变来预测地震发生地点的方法. 由于空区图像难以量化, 空区的确定存在很大的随机性, 因此, 到目前为止, 对于某些强震前一些地区是否存在空区以及其大小、形状等都存在分歧. 本文提出的计算地震应变扰动(ϵ_i)的方法, 较适合于描述地震活动空间分布特征, 特别是对强震前某时段存在的低 ϵ_i 值区域(空区)有较好的显示. 本文试图通过对云南地区几次强震前应变扰动演化规律的研究, 探讨将该方法应用于地震预报实践的途径.

1 应变扰动的计算方法

1.1 应变扰动 ϵ_i 的引入

当一次地震发生时, 其震源区及其附近会产生一定的应变扰动, 若还有另一次地震在其附近发生, 则在空间上这2次地震产生的应变扰动范围会发生一定程度的重叠. 当多次地震发生时, 这些地震引起的应变扰动范围则会在更大的区域内相互叠加. 本文用破裂半径 a 为边长的正方形的面积来表示应变扰动的范围, 即

$$\epsilon_i = a_i^2$$

一次地震产生的应变能量以震源为中心向外衰减可有多种形式, 为简便起见, 视它的衰减遵循下式:

$$\epsilon_i = \epsilon_0 e^{-ar}$$

式中: ϵ_0 为某次地震震源处的应变扰动; r 为衰减距离, 单位为 km; ϵ_i 为衰减距离 r 处的应变扰动; α 为衰减系数. 对云南永胜 $M_s 5.4$ 和 5.1 地震前后地震波衰减特征的研究结果表明^[1], 在前震、主震和余震 3 个不同阶段的衰减系数 $\alpha = 0.01 \sim 0.03$.

1.2 ϵ_i 的计算

1.2.1 破裂半径 a 的计算

假设地壳内发生一次震级为 M_L 的地震. 这次地震的应力扰动范围可以用 Brune (1970)^[2] 模式来描述, 即

$$\Delta\sigma = \frac{7}{16} M_0 / a^3$$

式中: $\Delta\sigma$ 为应力降; M_0 为地震矩; a 为震源半径. 据对云南地区地震的应力降的研究^[3], 对于滇西地区 $\Delta\sigma$ 取 30×10^5 Pa, 对于滇西南地区 $\Delta\sigma$ 取 80×10^5 Pa. 另外, 根据滇西实验场数字化地震台网测定^①:

$$\lg M_0 = 17.0 + 1.2 M_L$$

这样就可以计算出破裂半径 a .

1.2.2 计算各单元累积应变变量 ϵ_i

(1) 确定研究区域, 选取时间窗长度和震级下限.

(2) 确定归一化震级 $M_{\max}$ (本文取 4.0 级), 据此可求出破裂半径 $a_{\max}$, 从而将研究区划分为边长为 $a_{\max}$ 的无数个正方形. 再将 $M_{\max}$ 以上地震形成的应变扰动归一化为 1.

(3) 取震级为 M_L 的某个地震, 当 $M_L \geq M_{\max}$ 时, 则震源处小方格内的应变扰动 $\epsilon_0 = 1$. 另外, ϵ_0 还要向四周衰减, 计算 ϵ_0 衰减到各方格后累积应变扰动 ϵ_i .

当 $M_L < M_{\max}$ 时, 则震源处小方格内的应变扰动

$$\epsilon_0 = \frac{a_L \times a_L}{a_{\max} \times a_{\max}} < 1$$

式中: a_L 为震级为 M_L 的地震产生的破裂半径. 再计算 ϵ_0 衰减到各方格以后累积应变扰动 ϵ_i .

(4) 重复步骤 (3) 直到所有地震计算完毕为止. 最终各小方格内的累加应变扰动 ϵ_i 就可以求出.

不难看出, 由于小网格内的 ϵ_i 值是一个累加量, 故地震越多时间越长, 其值越大. 另外, 以往用单一的震中分布图来勾划某次震级大于 M 的地震形成的地震空区, 则是先将小于 M 级的地震删除再来看其空间分布. 通过以上的分析可以看出, 在计算 ϵ_i 的过程中, 因各次地震之间存在相互关联和影响, 故只要台网能控制的地震都要予以考虑, 这样才能真实地反映客观实际.

2 震例分析

2.1 资料

所用资料选自《云南省地震目录》. 本文着重分析了自 1965 年以来发生在云南地区的 5 次强震. 各次地震参数如表 1 所示.

2.2 几次强震前应变扰动 ϵ_i 的变化

应用上述方法, 研究了上述 5 次强震前归一化为 4 级地震的应变扰动变化结果.

① 刘祖荫, 等. 滇西实验场区短临新方法实验研究. 1996.

2.2.1 1996 年丽江 $M_s7.0$ 地震

图 1a 为丽江地震前 8 年 ϵ_i 空间分布等值线图. 从图中可以看到, 大理 — 洱源地区、宁蒗地区和中甸地区为高应变扰动区. 丽江附近为应变扰动空区, 并且被 3 个高应变扰动区包围. 同时还可以看到, 尽管姚安地区曾发生过 2 次 5.0 级以上地震, 但这一地区的 ϵ_i 值并不高. 这可能是由于该区 4.0 级以下地震活动较弱所造成的, 说明归一化应变扰动方法能“过滤”掉对计算 ϵ_i 值贡献较小的地震信息.

表 1 5 次地震的参数

地点	震级 (M_s)	发震时间	震中位置	震级下限	研究区范围	研究时段
丽江	7.0	1996-02-03	27.30°N 100.17°E	2.5	25.0°~28.5°N 99.0°~102.0°E	1988~1996-01
武定	6.5	1995-10-24	25.83°N 102.32°E	2.5	24.5°~27.0°N 101.0°~103.5°E	1990~1995-08
孟连	7.3	1995-07-12	21.98°N 99.06°E	2.5	21.0°~24.0°N 98.0°~102.0°E	1990~1995-05
澜沧	7.6	1988-11-06	22.83°N, 99.71°E	2.5	21.5°~24.5°N 98.0°~102.0°E	1978~1988-10
耿马	7.2		23.38°N, 99.6°E			
龙陵	7.3	1976-05-29	24.36°N, 98.63°E	2.5	23.5°~26.0°N 97.0°~100.0°E	1965~1976-04
	7.4		24.55°N, 98.75°E			

鉴别地震空区的重要标志是围空地震随时间呈现出非线性加速变化. 1990-01 ~ 1991-12 该区地震活动缓慢增强, 1992-01 ~ 1993-03, 地震活动快速增强, 之后又恢复平静. 图 3a 为丽江地震前地震活动呈缓慢增长和快速增长阶段所对应的 ϵ_i 空间分布图. 从图中可以看到, 在地震活动缓慢增强的 2 年时间内, 仅在大理和宁蒗产生了 2 个小范围的应变扰动区. 而在地震活动快速增强的 1 年零 3 个月的时间, 这 2 个应变扰

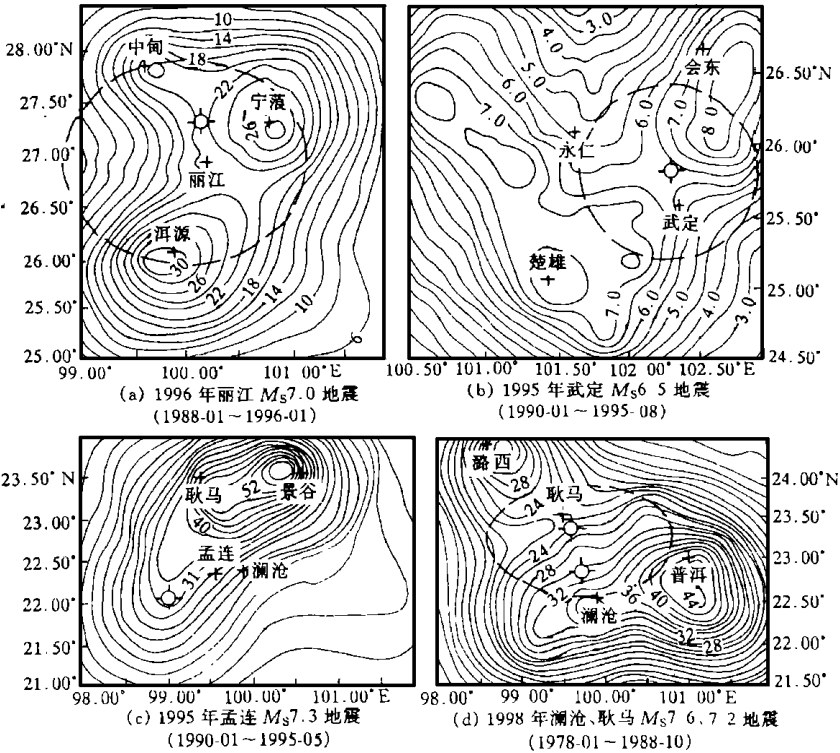


图 1 云南地区 4 次强震前应变扰动 ϵ_i 值空间分布
Fig. 1 Spatial distribution of strain disturbance ϵ_i values before 4 strong earthquakes in Yunnan region.

动区在短时间内显著增强,而丽江地区应变扰动则相对较弱.之后恢复平静直到主震发生.

2.2.2 1995 年武定 $M_s6.5$ 地震

武定地震发生于 1995 年 10 月.图 1b 为震前 5 年 ϵ_i 等值线分布图.从图中可以看到,高 ϵ_i 值区域主要位于东川以西连接会东、巧家的川滇交界区域、楚雄地区和永仁以西地区.武定地震正好发生于这 3 个高 ϵ_i 值区所围成的空区内.

武定地震前,1991-01 ~ 1992-12,该区地震活动缓慢增强,1993 年,地震活动快速增强.图 3b 显示,1991 ~ 1992-12,在 2 年时间内,仅在川滇交界地区形成了一个小范围的应变扰动区,随后在短短的 1 年时间内,迅速形成 2 个高 ϵ_i 值区域,即楚雄地区和永仁以西地区,并且这种状态一直维持了 1 年时间(地震活动非线性快速增长后的平静时段).主震发生于这 3 个高 ϵ_i 值区所围成的空区内.

2.2.3 1995 年孟连 $M_s7.3$ 地震

孟连以西主震发生于 1995 年 7 月.图 1c 为 1990-01 ~ 1995-05 应变扰动空间分布图.从图中可以看到,高 ϵ_i 值

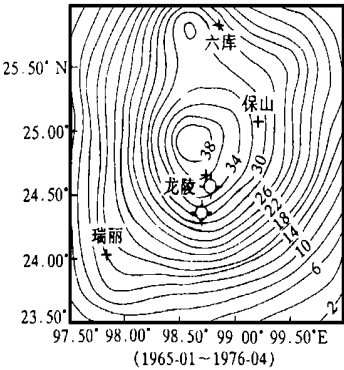


图 2 1976 年龙陵 $M_s7.3$ 、 7.4 地震前 ϵ_i 值空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of strain disturbance ϵ_i values before the Longling $M_s7.3$ and 7.4 earthquakes, 1976.

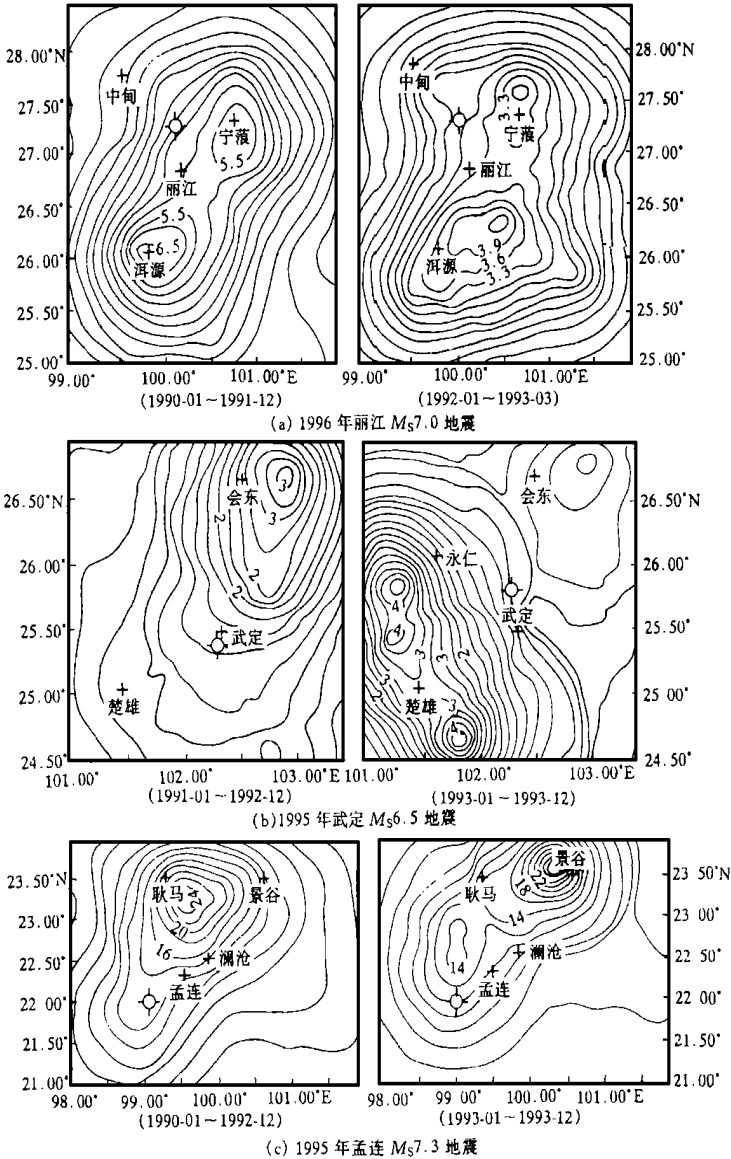


图 3 云南丽江等 3 次强震前 ϵ_i 值空间分布的非线性动态变化

Fig. 3 Nonlinear dynamic change of spatial distribution of strain disturbance ϵ_i values before the Lijiang earthquake etc. in Yunnan region.

区主要分布在耿马、景谷一带。孟连地区的 ϵ_i 值较低。从图 3c 的 ϵ_i 值空间动态分布图可以看到, 1990-01 ~ 1992-12, 在 2 年时间内, 仅在耿马地区形成一个应变扰动区。1993-01 ~ 12, 在短短的 1 年时间内, 耿马地区的 ϵ_i 值增大并且向东移到景谷一带, 同时在孟连西部的缅甸境内形成一个新的高 ϵ_i 值区域。高 ϵ_i 值区有向主震区集中的特征。

2.2.4 1988 年澜沧、耿马 $M_s7.6, 7.2$ 地震

澜沧、耿马地震前滇西南地区高 ϵ_i 值区主要集中在普洱、思茅地区和路西、镇康一带, 澜沧、耿马主震区的 ϵ_i 值则相对较低(图 1d)。主震发生于高值区围成的空区之内。此外, 1980-01 ~ 1982-12, 在 3 年时间内, ϵ_i 值的空间分布显得很平缓、随机, 1983-01 ~ 1984-06, 在一年半的时间内, 澜沧、耿马地区 ϵ_i 值显著减小, 外围地区 ϵ_i 值明显增大(图 4a)。

2.2.5 1976 年龙陵

$M_s7.3, 7.4$

地震

1965-01 ~ 1968-12,

在 4 年时间内, 高 ϵ_i 值区只是随机地分布在龙陵地区的东北和西南。到 1974-12, 累计高 ϵ_i 值区逐渐向震中区收缩和集中。至震前 2 个月, 高 ϵ_i 值区全部集中于主震区范围内, 其它地区 ϵ_i 值相当低。见图 2 和图 4b。

3 结论和讨论

综上所述, 可以得出以下结论:

(1) 云南地区强震前 5 ~ 8 年, 在未来震中区附近存在低 ϵ_i 值区域, 周边地区的 ϵ_i 值较高。这可能是大震前的一种背景异常现象, 其结果对判别未来大震的危险区是有参考价值的。

(2) 如果低 ϵ_i 值区四周都出现高 ϵ_i 值, 则表示低 ϵ_i 值区地震活动相对减弱, 外部地震活动相对增强, 形成了围空区; 如果只是在低 ϵ_i 值区二端形成高 ϵ_i 值区, 则表明形成地震活动空段。空区和空段对预报地震发生地点有一定的意义。

(3) 刘蒲雄等^[3]通过对多次强震震例的研究发现, 大震前地震活动图像具有空段-背景空区-增强活动-平静的演变形式。这与本文从不同时段 ϵ_i 值空间分布动态演变图像得出的结论相一致。 ϵ_i 值形成空区或空段的过程是不均匀的。最初 ϵ_i 值的空间分布表现得较为零星和随机, 相应的地震活动频度也较低, 这一时段较长。从某一时间开始在相对较短的时间内, ϵ_i 值空间分布从随机向有序、丛集演变, 由均匀向极不均匀转化, 在未来震中附近形成低 ϵ_i 值区,

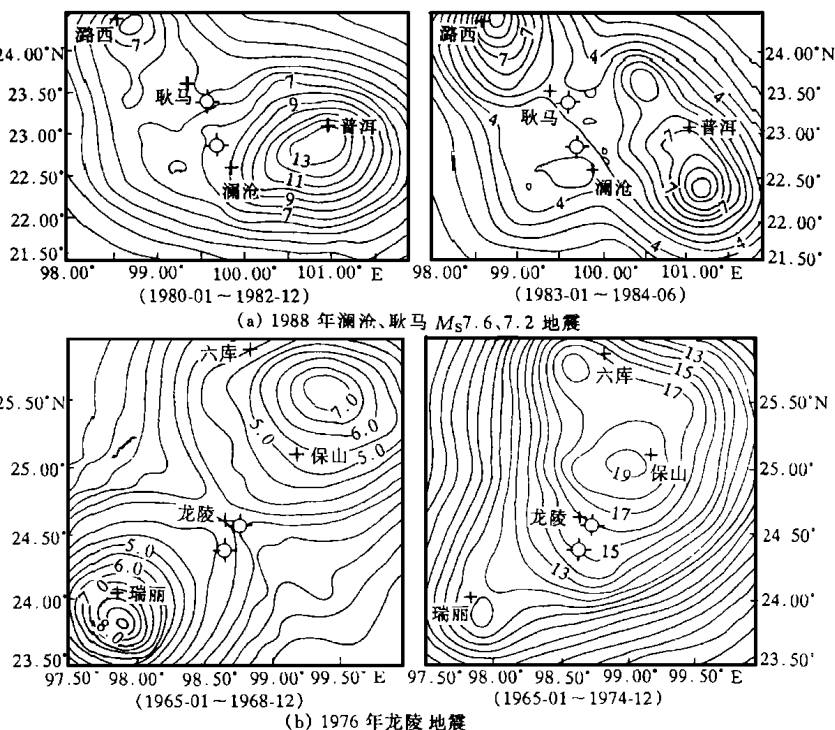


图4 云南2次强震前 ϵ_i 值空间分布的非线性动态变化

Fig. 4 Nonlinear dynamic change of spatial distribution of strain disturbance

ϵ_i values before two strong earthquakes in Yunnan region.

