

云南强震前地震活动因子 A 值异常动态演变特征^{*}

刘翔, 苏有锦, 付虹, 邬成栋

(云南省地震局, 云南昆明 650224)

摘要: 运用地震活动因子 A 值参数全面、深入地研究了云南强震前尤其是强震活跃期首发强震前地震活动在时间、空间的动态演变过程, 研究结果显示: (1) 强震前 1~2 年, 在未来震中周围 A 值出现显著高值变化, 异常阈值为 $A \geq 0.6$; (2) 强震前 3~4 年, $A \geq 0.6$ 的高值异常区主要分布在云南省外围或边界附近, 省内 A 值异常较少。随着强震的临近, A 值异常面积逐渐增大, 并且向省内、未来震中迁移, 震前 1 年或 1~2 年云南地区 A 值异常单位面积和省内外异常单位面积的比值出现明显转折回升。

关键词: 云南强震; 地震活动因子; 时空动态演变

中图分类号: P315.7

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2012)02-0163-08

0 前言

刘翔等(2002, 2005, 2010)研究表明, 云南地区强震中期阶段, 不同级别地震活动表现出不同尺度的显著平静和空间的丛集特征, 而在强震短期, 中小地震往往出现显著的活跃等层次性特征, 如: 强震首发前, 6 级地震出现超出 3 年平静异常, 而在此期间, 4~5 级地震活动有可能形成条带、密集区、围空等有序分布; 在强震发生前 0.5~1 a, 4 级以上地震往往出现大于 90 d 平静异常, 且 3 级地震活跃并且多形成条带、密集区、围空的有序分布。笔者对 1965 年以来云南地区地震资料进行了地震活动因子 A 值的空间扫描计算, 以定量提取云南强震活跃期首发强震前云南地区及首发强震震中周围地震活动在时、空、强 3 方面表现的异常信息。

1 研究方法

王炜等(1987, 1989, 1994)对地震活动时、空、强分布统计规律进行了深入研究, 提出了地震空间集中度 C 值、地震危险度 D 值及地震强度因子 M_f 值等参数, 这些参数在华北地区的地震预报中取得了较好的效果。地震空间集中度 C 值反应了地震在空间上的集中程度, 地震危险度 D 值

反应了地震在时间上的丛集程度, 地震强度因子 M_f 值反应了地震活动增强的程度, 这 3 个参数分别反应了地震时、空、强 3 方面的震兆。通常在中强震发生前, 震中周围地区的中小地震活动在上述 3 方面都可能表现出异常变化, 但是对不同地震而言, 这 3 方面特征所表现的程度是不一样的: 有些中强震前地震活动在时间或空间方面的丛集特征表现得十分明显; 而有些中、强震前地震活动增强方面的特征表现得十分突出。为了综合考虑中强震前地震活动在时、空、强 3 方面的活动异常, 王炜等(1999)引入了地震活动因子 A 值来表征地震在时、空、强 3 方面的综合特征, 提高了地震活动的震兆信息的显示度。定义地震活动因子 A 值为 C 、 D 、 M_f 值的线性组合, 即:

$$A = W1\mu(C) + W2\mu(D) + W3\mu(M_f). \quad (1)$$

式中, $\mu(C)$ 表示 C 值为异常模糊集合的隶属度, $\mu(D)$ 表示 D 值为异常模糊集合的隶属度, $\mu(M_f)$ 表示 M_f 值为异常模糊集合的隶属度, 它们用如下函数表示:

$$\mu(X_i) = \begin{cases} 1.0, & (X_i \geq X_0) \\ \exp[-\alpha(X_i - X_0)^2], & (X_i < X_0) \end{cases} \quad (2)$$

这里 $\alpha = 400$ 。参照华北地区 C 、 D 、 M_f 值异常阈值的选取 (C 、 D 值为 0.2, M_f 值为 0.25), 当 X_i

* 收稿日期: 2011-02-14.

基金项目: 云南省人民政府十项措施监测预报项目(JCYB-20080601-5)资助.

为 C 或 D 值时, 取 $X_0=0.2$; 当 X_i 为 M_f 值时, 取 $X_0=0.25$ 。函数表示当 X_i 大于阈值时, 隶属函数为 1; 当 X_i 小于阈值时, 隶属函数为正态分布形态。根据 C 、 D 、 M_f 值的中期预报准确率, 确定它们相应的权值 W_i 分别为 0.3、0.3、0.4。

2 资料选取

本文选取 1965 年以来云南地区 ($20^{\circ} \sim 29.5^{\circ} \text{N}$, $97^{\circ} \sim 107^{\circ} \text{E}$) $M_L \geq 2.5$ 的地震资料, 为避免余

震序列对计算结果产生影响, 计算时对中强以上地震序列的余震或 4.5 级以上地震震群进行了剔除。根据地震序列的发展, 余震扣除规则一般为: 7 级以上地震扣除其发生后 1 年内的余震, 6 级地震扣除其发生后 6 个月内的余震, 5 级地震扣除其发生后 3 个月内的余震, 空间上主要以余震活动展布范围而定。扫描参数 $M_0=2.5$, 扫描单元为 2° , 在经度和纬度方向上的扫描滑动步长为 0.3° , 时间窗为 12 个月, 滑动步长为 12 个月, 经过全时空反复扫描, 异常阈值取 0.60, 即地震活动因子异

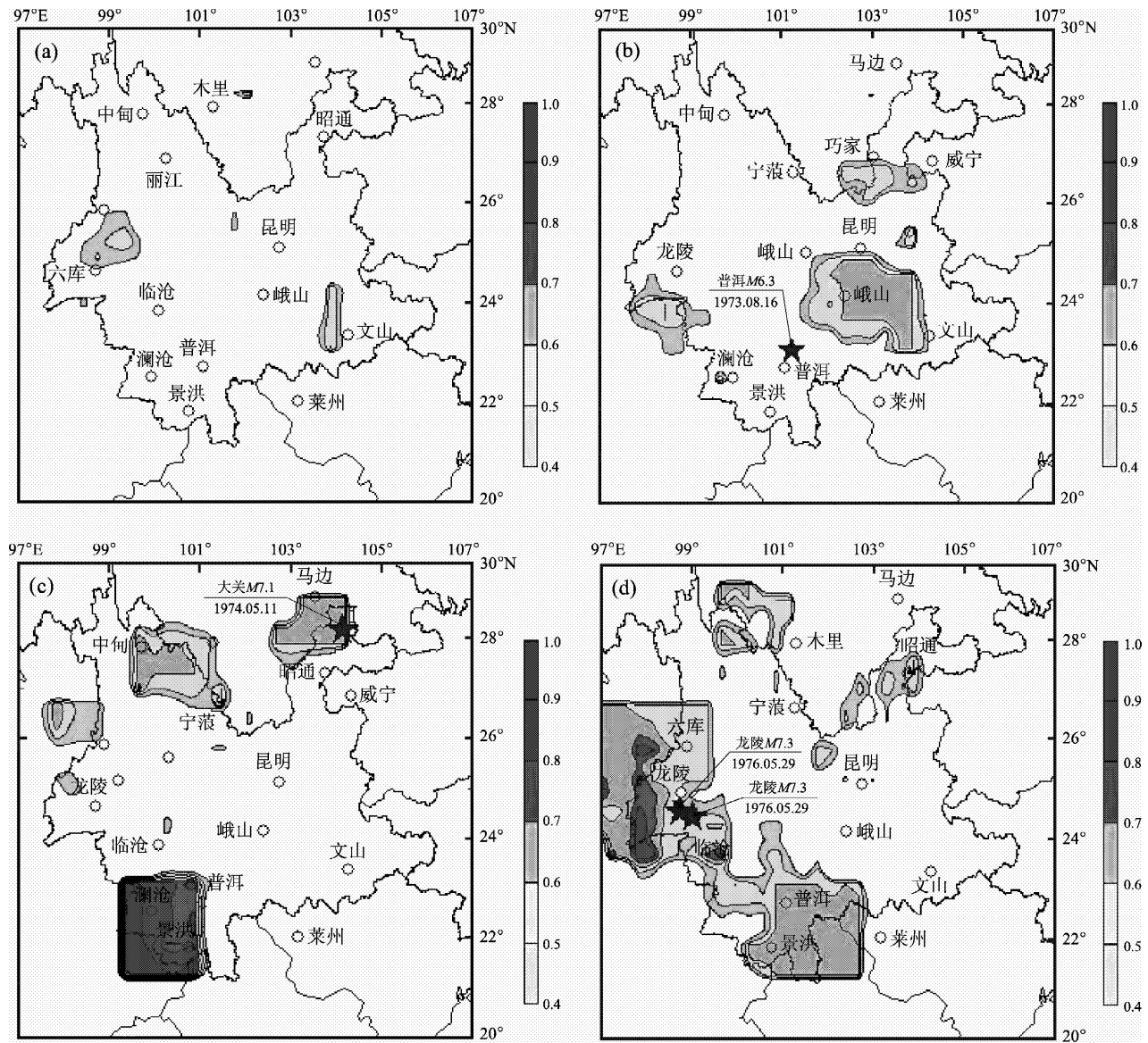


图 1 1974 年 5 月 11 日大关 7.1 级地震前地震活动因子 A 值异常空间动态演变图
(a) 1971 年; (b) 1972 年; (c) 1973 年; (d) 1974 年

Fig. 1 Spatial dynamic evolution of seismicity factor A -value abnormality before Daguan $M7.1$ earthquake on May. 11, 1974

常值为 $A \geq 0.60$ 。该异常阈值虽然比华北地区异常值高，但也反映出了云南地区地震活动水平背景高（强震活跃期，云南地区3级以上地震活动频次月均值为20次，强震平静期，云南地区3级以上地震活动频次月均值为15次），另一方面，A值异常阈值取高能有效提高强震对应率，还能使异常区突出、醒目。为了描述地震活动因子A值空间异常动态演变特征，本文引入A值异常单位面积数（ $N_{\text{内}} + N_{\text{外}}$ ）及省内外A值异常单位面积数的比值（以 $1^\circ \times 1^\circ$ 为单元统计地震活动因子A值异常面积数，为了避免除数为零，笔者取 $(N_{\text{内}} + 1)/(N_{\text{外}} + 1)$ 的比值）来定量研究强震前A值异常空间的动态变化特征。

3 强震前A值异常特征

3.1 1974年大关7.1级地震和1976年龙陵7.3、7.4级双震研究

图1为1974年5月11日大关7.1级地震前地震活动因子A值异常空间分布图。由图可见，1971年几乎看不到A值异常，整个云南地区 $A \geq 0.60$ 的异常总面积不超过0.5平方度。1972年开始，地震活动因子A值异常面积及异常值逐渐增大，由图2还看出A值异常面积增大是比较显著的。1971~1972年在大关7.1级地震震中附近地震活动因子A值异常不明显，1973年即大关7.1级地震前1年，震中附近A值出现明显的异常，最高值为0.70；1974年大关7.1级地震当年，震中附近A值显著减弱。大关7.1级地震后3级以上地震迅速转移到云南西南地区，A值充分体现了此地震活动过程，由图1d可见，在滇西的龙陵—滇西南普洱一带出现大面积的A值异常区，大关7.1级地震后两年，发生1976年龙陵7.3、7.4级双震。

1976年龙陵7级双震和1979年普洱6.8级强震前，云南地震活动因子A值空间异常面积及云南省内外A值异常面积比值均处于较高水平状态，但在震前一年A值空间异常面积略有减小，而省内外A值异常面积比值稍有增大（图2）。

3.2 1988年澜沧7.6、7.2级双震研究

图3为1988年11月6日澜沧—耿马7.6、7.2级双震前地震活动因子A值异常空间分布图。由图可见，震前2~3年即1985~1986年云南地震活动因子A值异常主要分布在滇西南—滇南及边界

一带，特别是1986年，A值异常主要分布在中—缅—越边界的境外一带，随着强震的逼近，省内A值异常面积逐渐增大，尤其在震前1年，A值异常面积不仅显著增大，而且主要集中在未来强震震中周围较大区域。

A值空间异常动态变化过程也可从图5上明显地反映出来。由图可见，1986年A值异常单元面积数从较高值突然下降至较低值，同时，省内外A值异常单元面积数比值也下降到0.5低值水平处，之后，A值异常单元面积数与省内外A值异常单元面积数比值同步回升，尤其A值异常单元面积数回升的幅度较大。

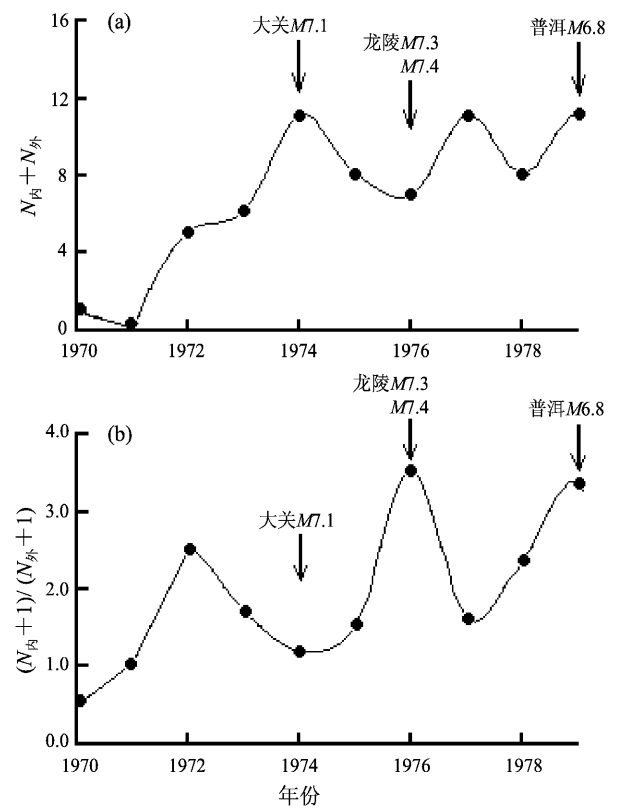


图2 1974年大关7.1级、1976年龙陵7.3、7.4级地震前地震活动因子A值异常单元面积数动态图
(a) A值异常单元面积数；(b) 省内外A值异常单元面积数比值

Fig. 2 Dynamic evolution of the area number of seismicity factor A-value abnormality unit before Daguang M7.1 earthquake in 1974 and Longling M7.3, M7.4 earthquakes in 1976
(a) Area number of seismicity factor A-value abnormality unit;
(b) Ratio of A-value abnormal unit area number between inside and outside Yunnan

3.3 1995 ~ 1996 年孟连 7.3 级、丽江 7 级地震研究

1995 年 7 月 12 日孟连 7.3 级地震和 1996 年 2 月 3 日丽江 7.0 级地震是 1988 年澜沧—耿马 7.6、7.2 级双震起强震活跃期末期的强震，由图 4 和图 5 可看出，在两次强震前，1991 ~ 1992 年云南地区地震活动因子 A 值异常面积从高值快速下降，其下降幅度比 1988 年澜沧—耿马 7.6、7.2 双震前的大，1993 年开始快速回升到高位上。同其它 7 级强震类似，随着强震的临近， A 值异常由外围向未来震中集中，1994 年云南地区 A 值异常集中分布在滇西南

的孟连附近及滇西北的丽江周围区域内，同时云南省内外地震活动因子 A 值异常单元面积数比值从 0.5 的低值快速上升至 2.5 的高值。

4 讨论

4.1 强震平静期 6 级地震前 A 值异常特征

通过对 1979 ~ 1987 年与 1997 年至今两个强震平静期 A 值异常时空变化的研究发现，6 级地震前强震平静期震中附近地震活动因子 A 值也出现

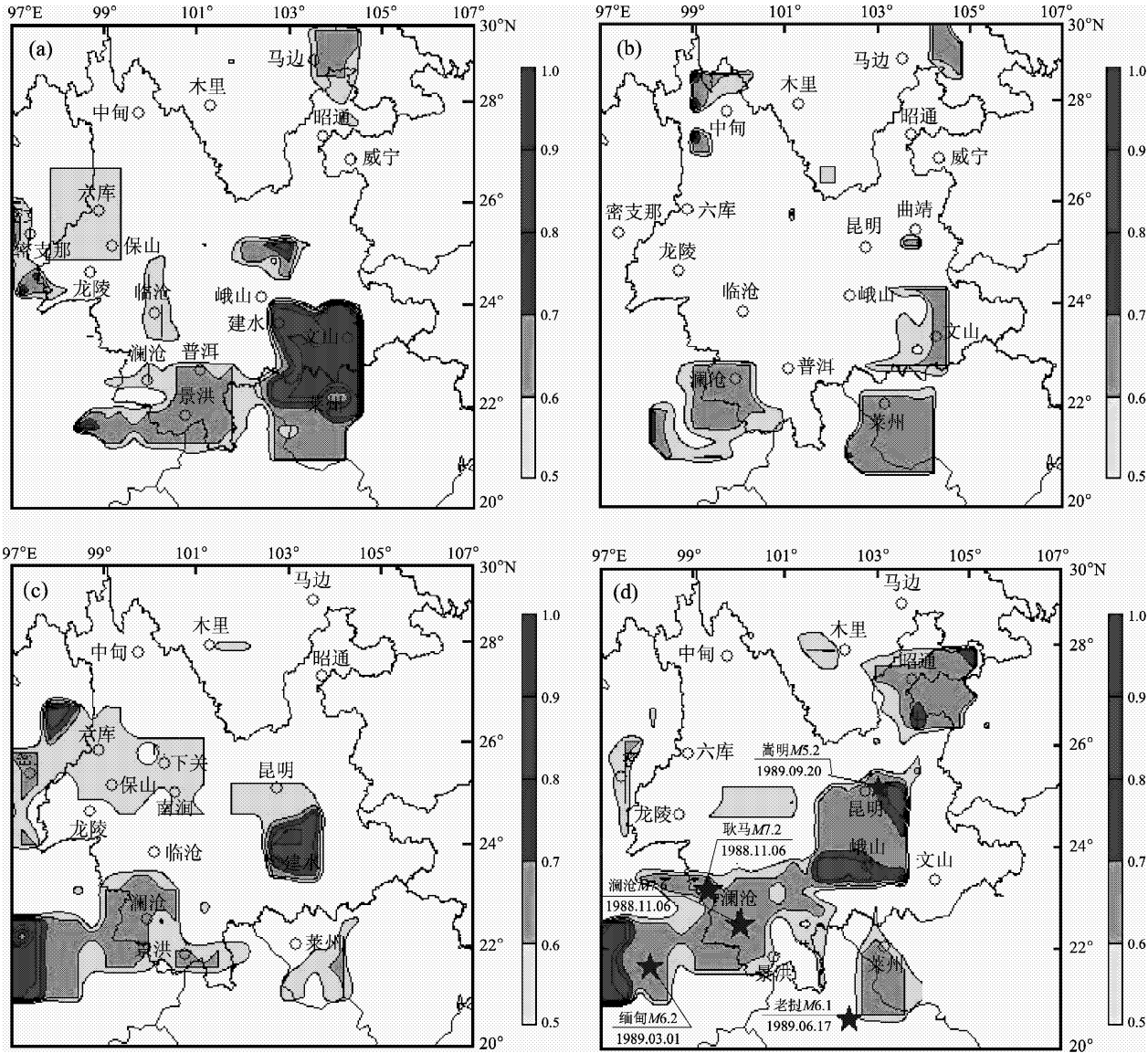


图 3 1988 年 11 月 6 日澜沧—耿马 7.6、7.2 级双震前地震活动因子 A 值异常空间动态演变
(a) 1985 年; (b) 1986 年; (c) 1987 年; (d) 1987 年 11 月 ~ 1988 年 10 月
Fig. 3 Spatial dynamic evolution of abnormal seismicity factor A -value before
Lancang-Gengma $M7.6$, $M7.2$ earthquakes on Nov. 6, 1988

明显的异常，震前 A 值异常面积会出现显著减少的异常现象，但无 7 级地震前 A 值异常从外向内迁移的空间演变过程。如图 6 所示，2000 年 1 月 15 日姚安 6.5 级、2003 年 7 月 21 日和 10 月 16 日的姚 6.2 级和 6.1 级双震、2007 年宁洱 6.4 级 3 次地震前一年均出现云南地区 A 值异常单元面积数由高值快速下降的异常过程，但这 3 次 6 级地震前云南省内外 A 值异常单元面积数比值均没出现大幅度起伏异常变化，基本稳定在 0.5 水平之上。

2008 年 5 月 12 日汶川 8.0 级地震对云南地区

地震活动水平有一定的影响，2008 ~ 2009 年云南地区 A 值异常单元面积数与省内外 A 值异常单元面积数比值均保持在较高值的水平状态，实际上，这两年云南地区及边界连续发生了 6 级地震。

4.2 强震前 A 值、4 级地震活动频度、b 值的异常变化对比分析研究

图 7 分别为云南地区 A 值异常总面积数 ($N_{内} + N_{外}$)、4 级地震年频度、3 级以上地震活动参数 b 值动态变化图。由图可见，强震前 A 值异常总面积数出现由高值突降再转折回升，4 级地震频度出

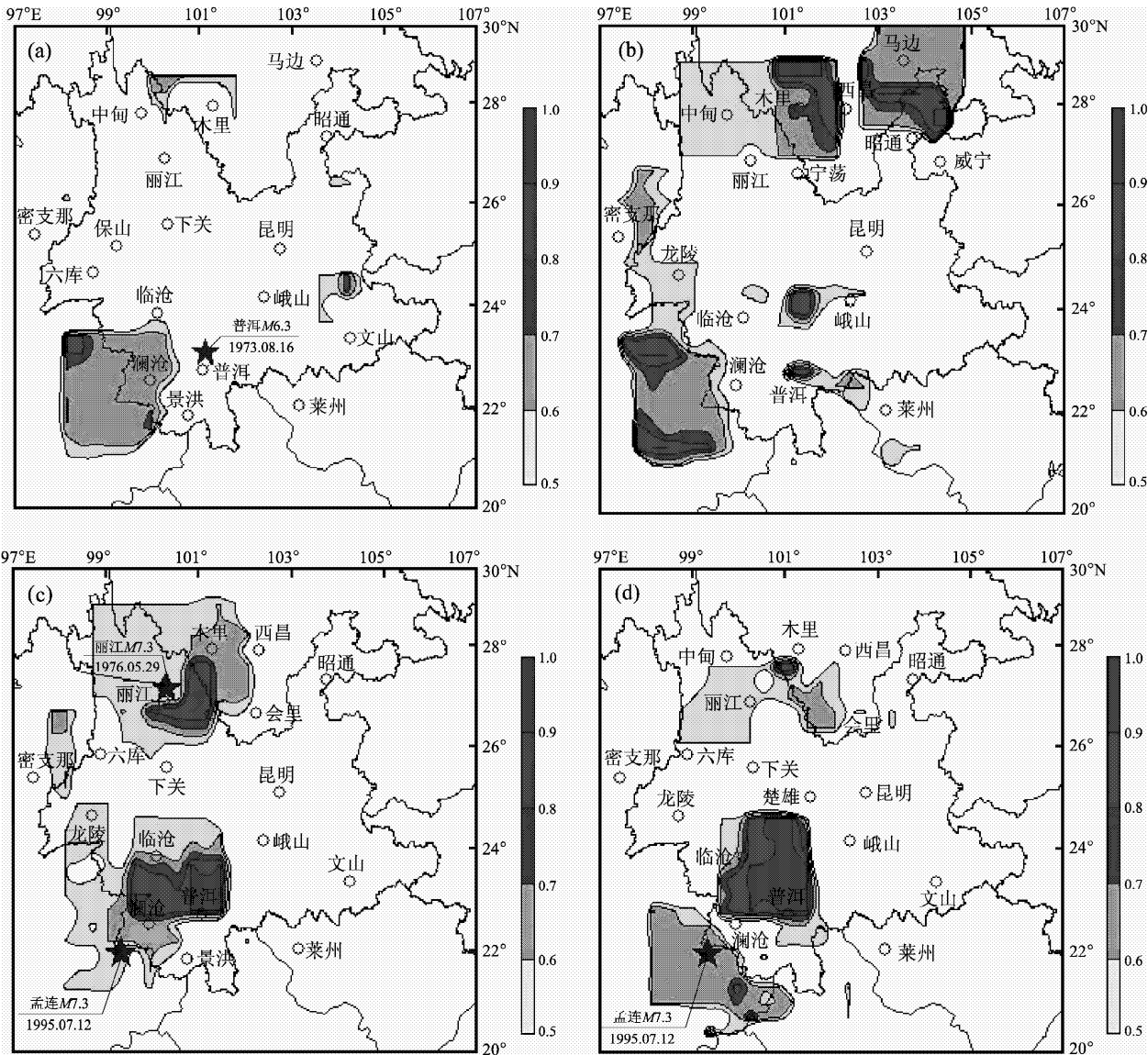


图 4 1995 ~ 1996 年孟连 7.3 级、丽江 7 级地震前地震活动因子 A 值异常空间动态演变图
(a) 1992 年 1 ~ 12 月；(b) 1993 年 1 ~ 12 月；(c) 1994 年 1 ~ 12 月；(d) 1994 年 7 月 ~ 1995 年 6 月
Fig. 4 Spatial dynamic evolution of abnormal seismicity factor A-value before Menglian M7.3 and Lijiang M7.0 earthquakes from 1995 to 1996

现上升,而3级以上地震 b 值出现低值异常。但总体而言, A 值异常变化可缩短强震危险预测时间,这对强震预警工作十分有利。例如:1985年起云南地区4级地震逐渐活跃,1986年达高值,之后转折回落;云南地区3级以上地震活动参数 b 值于1985年底由高值迅速下降,至1986年达低值; A 值异常总面积数在1986年突降为低值,1987年回升到高值。4级地震的地震频度达高值及3级以上地震活动参数 b 达低值后,与1988年11月澜沧—耿马7.6、7.2级双震之间最短间隔时间为2年;

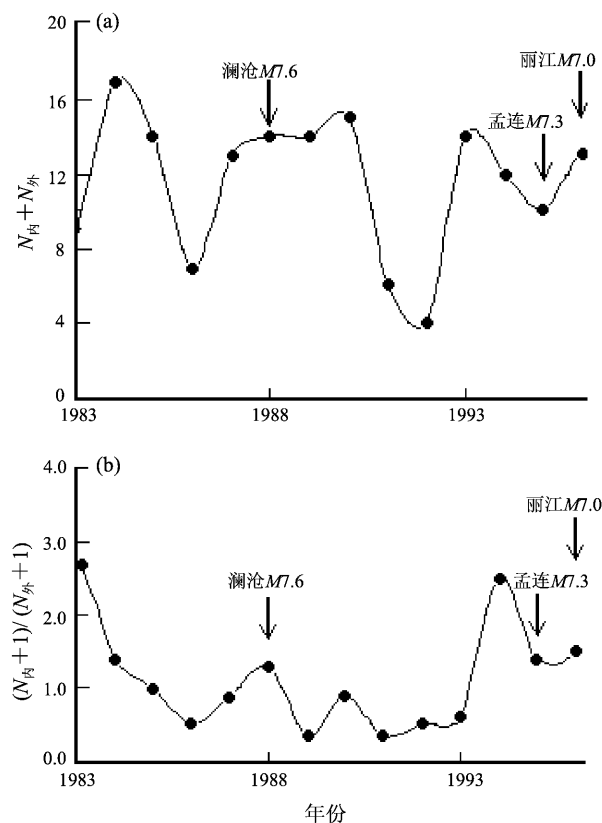


图5 1988年澜沧7.6级、1995年孟连7.3级、1996年丽江7级地震前地震活动因子 A 值异常单元面积数动态图

(a) A 值异常单元面积数; (b) 省内外 A 值异常单元面积数比值

Fig. 5 Dynamic evolution of the area number of seismicity factor A -value abnormal unit before Lancang $M7.6$ earthquake in 1988, Menglian $M7.3$ earthquake in 1995 and Lijiang $M7.0$ earthquake in 1996

(a) Area number of seismicity factor A -value abnormality unit;
(b) Ratio of A -value abnormal unit area number between inside and outside Yunnan

A 值异常总面积数在1987年由低值回升到高值后,与澜沧—耿马7.6、7.2级双震之间最短间隔时间为1年,比地震频度和 b 值两参数异常至发震的时间缩短了1年。再如:1995年7月12日孟连7.3级地震与1996年2月3日丽江7.0级地震连发前,4级地震频度有明显上升,但上升幅度不显著;3级以上地震活动参数 b 值自1990年以来一直处于低值异常中,难以对强震发生时间作出准确判断;但 A 值异常总面积数异常却十分显著,1993年从低值快速上升到高值,尤其1994年省内 A 值异常面积数与省外 A 值异常面积数比值上升十分显著(图5)。由以上分析认为,在对强震中期预测工作中, A 值比地震频度、 b 值两参数更有优势。

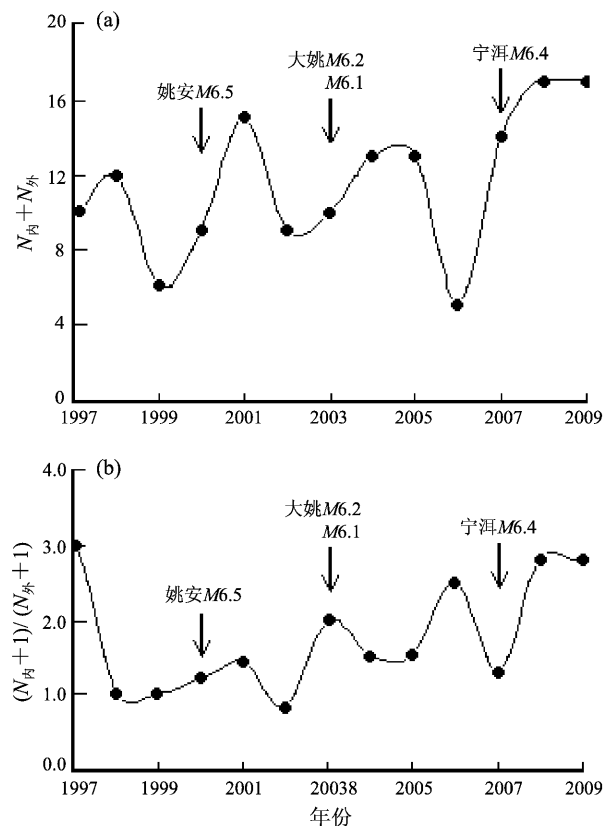


图6 1997~2009年强震平静期地震活动因子 A 值异常单元面积数动态图

(a) A 值异常单元面积数; (b) 省内外 A 值异常单元面积数比值

Fig. 6 Dynamic evolution of the number of seismicity factor A -value abnormal unit area in the quiet stage of strong earthquake from 1997 to 2009

(a) Area number of seismicity factor A -value abnormality unit;
(b) Ratio of A -value abnormal unit area number between inside and outside Yunnan

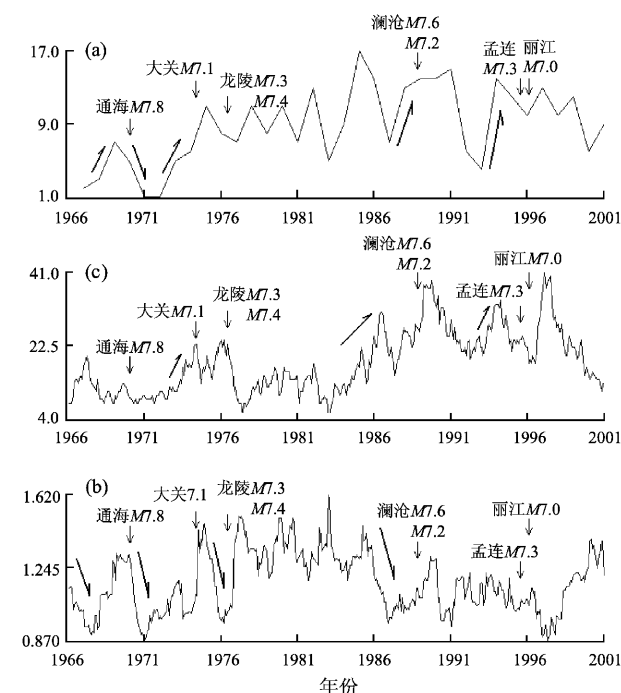


图7 云南地区A值异常总面积数(a)、4级地震频度(b)和b值动态变化图(c)

Fig. 7 Total area numbers of abnormal A-value (a), frequency of M4 earthquakes (b) and dynamic change of A-value in Yunnan (c)

5 结论

笔者经过大量反复的深入研究，归纳出云南强震活跃期首发强震前或强震活跃期内强震前地震活动因子A值主要表现为以下特征：

(1) 强震前1~2 a，在未来震中周围A值出现显著高值变化，异常阈值为 $A \geq 0.6$ 。

(2) 强震前3~4 a， $A \geq 0.6$ 的高值异常区主要分布在云南省外围或边界附近，省内A值异常较少。以 $1^\circ \times 1^\circ$ 为1个单元，统计得出：云南地区A值异常单元面积数不仅少，而且省内外异常单位面积数比值 $[(N_{\text{内}} + 1)/(N_{\text{外}} + 1)]$ 小，随着强震的逼近，A值异常面积逐渐增大，并且向省内、未来震中迁移，震前1 a或1~2 a云南地区A值异常单位面积数和省内外异常单位面积数比值明显出现转折回升。

(3) 云南强震活跃期首发强震前，强震活跃期内强震（除了连发的强震外，如1976年龙陵7.3、7.4级地震与1979年普洱6.8级地震）前和强震平静期间6级地震前，云南地区地震活动因子A值异常单位面积数多出现显著减小的异常变化过程，但7级强震前A值异常单位面积数减小异常出现的时间较早，大约在强震发生前2~3 a，之后又快速回升，然后强震发生；而强震平静期间云南地区6级地震前A值异常单位面积数减小异常出现的时间比较晚，在6级地震发生前1 a，且震前无回升的过程。

本文提出的A值异常指标主要反映强震或平静期6级地震。强震后几年内，如果在震中区周围A值反复出现高值异常，则表明该区域仍处于不稳定状态，其后发生6级以上地震或强震的概率较高。例如：1970~1971年普洱连续发生6.2、6.7级地震，图1c显示1973年普洱附近出现A值高值异常，同年的8月16日普洱发生6.3级地震，次年普洱周围再次出现A值高值异常（图1d），且至1978年普洱周围一直处于A值高值异常，结果，1979年3月15日普洱发生6.8级地震（本文暂不给示意图，对类似现象将单独进行研究讨论）。

参考文献：

- 付虹,王炜,王世芹,等. 2002. 地震活动因子A值在川滇地区 $M_s \geq 6$ 地震中短期预报中的应用[J]. 内陆地震,16(3):205-212.
- 刘翔,秦嘉政,苏有锦,等. 2002. 云南地区中强地震活动韵律特征[J]. 地震研究,25(增刊):33-39.
- 刘翔,苏有锦,和宏伟,等. 2005. 川滇强震震前短期阶段地震活动空间异常特征[J]. 地震研究,28(4):313-319.
- 刘翔,吴国华,付虹,等. 2010. 滇西北强震活动特征及短期震兆研究[J]. 地震研究,33(1):7-13.
- 王炜,戴维乐,黄冰树. 1994. 地震震级的统计分布及其地震强度因子Mf值在华北中强以上地震前的异常变化[J]. 中国地震,10(增刊):95-109.
- 王炜,刘震华. 1987. 地震时间间隔的统计分布及其地震危险度D值在华北大地震前的异常变化[J]. 地震学报,9(2):113-127.
- 王炜,潘坚云,黄冰树. 1989. 地震空间集中度C值及其在地震预报中的应用[C]//国家地震局科技监测司. 地震预报实用化研究文集(地震学专辑). 北京:学术书刊出版社.
- 王炜,宋先月,刘峥,等. 1999. 地震活动因子A值及其在华北地震中期预报中的应用[J]. 中国地震,15(1):35-45.

Dynamic Evolution Characteristics of Seismicity Factor A -value Abnormity before Strong Earthquakes in Yunnan

LIU Xiang, SU You-jin, FU Hong, WU Cheng-dong

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

Abstract

We studied the temporal and spatial dynamic evolution of seismicity factor A -value before strong earthquakes, especially before the first shock in the active period of strong earthquakes in Yunnan. The results show as follows: (1) A -value would appear evident high value near future epicenters during 1 ~ 2 years before strong earthquakes, abnormal value is $A \geq 0.6$. (2) The high value anomalous areas of $A \geq 0.6$ mainly distributed in the surrounding areas or the boundary areas of Yunnan Province, but rarely distributed in the inner of Yunnan Province during 3 ~ 4 years before strong earthquakes. With the approach of the strong earthquakes occurred, the areas in which A -value was abnormal expanded gradually and moved toward the future epicenters or the inner of Yunnan Province. During one year or 1 ~ 2 years before strong earthquakes, the unit area in which A -value was abnormal in Yunnan and the ratio of the unit area in which A -value was abnormal between inside and outside of Yunnan significantly turned and picked up.

Key words: strong earthquakes in Yunnan; seismicity factor A -value; temporal and spatial dynamic evolution