

# 滇西北跨断层短基线群体异常与成组强震\*

石绍先, 王永安, 刘 强

(云南省地震局, 云南 昆明 650041)

摘 要: 对 1984~2002 年滇西北丽江、永胜、下关、剑川 4 点计 8 条跨断层短基线测边群体异常基本特征、群体异常信息提取方法、计算结果的预报意义进行了研究。结果表明跨断层短基线群体异常是物理力学意义清楚, 对应概率比较高的本区成组强震短期预报指标。

关键词: 跨断层短基线; 群体异常; 成组强震; 短期预报

中图分类号: P315.72<sup>+5</sup> 文献标识码: A 文章编号: 1000-0844(2004)02-0149-05

## 0 前言

利用高精度的监测方法进行跨断层短基线变化的测量, 直接跟踪断层的运动方式和运动速率是把握地块活动状态, 判别是否存在地震孕育的有效方法。前人多次分别研究了 1988 年澜沧 7.6 级、耿马 7.2 级大震、1996 年丽江 7.0 级等强震前的这些跨断层单个测边变化特点及各测边异常的具体预报指标, 这些研究对于利用短基线异常变化用于地震预报作了许多有益的探索。周硕愚(1991)研究指出:“用多道前兆信息, 其可靠性大大提高, 降低了偶然性增加了确定性, 有助于对未来地震发展趋势作出更加合理的推测;”薄万举(1997)曾论述了“信息流合成方法在震情分析中的应用”<sup>[2]</sup>, 然而至今无人探索过这些跨断层短基线群体异常变化特征及其预报意义。

跨断层短基线的观测直接揭示所在地块的运动状态, 可以通过断层运动速度减少或加速推测到该断层是处于阻锁-能量积累状态, 或是处于预滑加速的短临阶段。一般地说中小地震只是单个断层的活动行为, 只有强震、大震才可能同时涉及多个地块, 使得多个构造活动出现异常。一旦在测点附近孕育着强震、大震时, 有可能造成多个甚至全部测点均出现变化。因此, 跨断层短基线群体变化基本特征及异常信息提取有利于从总体上把握区域构造活动状态, 有利于判别是否存在强震、大震、成组地震的孕育及地震活跃期的存在。

本文将在前人研究基础上, 选择云南跨断层短基线监测相对集中成网的滇西北地区各测点, 研究这些测点群体变化基本特征、群体异常提取方法, 并对群体异常计算结果的成组强震预报意义进行了双概率检验。

## 1 跨断层短基线的监测网概况

20 世纪 80 年代初, 云南开始了跨断层短基线的监测预报尝试, 在滇中先后建立了监测点, 90 年代初对上述测点进行了筛选、改建、扩建, 同时建了部分新点, 使滇西北具有丽江、永胜、剑川、下关共 4 个测点计 8 条短基线测边, 在滇西北红河断裂、丽江-剑川断裂及程海断裂这 3 个断裂围限的地块内, 初步形成一个跨断层短基线的监测网(图 1)。测点均使用苏、德产的 24 m 铟钢线尺采用 2 往 2 返丈量办法, 定期进行观测, 经过 20 余年的经验总结, 认为短基线观测的突出特点是测线短, 累积误差小, 观测精度高, 相对中误差为  $10^{-6}$  左右。而上述场地构造年水平运动速率一般均在 2.0~8.0 mm/a 范围, 在观测误差的 10~

\* 收稿日期 2003-05-14

基金项目: “十五”国家科技攻关项目 2001BA601B01-02-04

作者简介: 石绍先(1945-), 男(汉族), 江苏泗洪人, 研究员, 主要从事地震综合预报研究。

30倍以上。

监测区断层的现今构造活动、断层的现今构造活动方式见表1

表1 滇西北活动断层的现今构造活动方式

测点	所跨断层	断层走向	活动方式	扭动速率[ mm · a <sup>-1</sup> ]		相对垂直位移[ mm · a <sup>-1</sup> ]	
				测值	历均值	测值	历均值
下关	红河断裂	北西向	张性顺扭	0.51	0.46	0.38	0.10
剑川	龙蟠 - 剑川断裂	北北东向	张性反扭	0.48	0.02	1.02	0.05
丽江	丽江断裂	北北西向	压性左旋走滑	0.59	0.16	0.37	0.09
永胜	程海断裂	近南北向	压性反扭	2.76	0.26	0.17	0.12

## 2 跨断层短基线变化特征与群体异常信息提取方法

### 2.1 跨断层短基线变化基本特征

滇西北各短基线测点各测边的最显著的周期变化是年变,如图2所示。年变化基本都是与天文、尤其是与气象因素相关,在时间、幅度、相位方面变化规律十分稳定,因此不难识别和处理。一般情况下单个测线间变化高度随机,主要决定于测点周围的气象等局部因素影响。在趋势变化、年变周期的时间、幅度等方面变化各异。即使测点周围发生中小地震,也只在少数点上有反映。同时我们还注意各基线测边年变绝对值有较大悬殊(图3)。

### 2.2 基线群体异常信息提取方法

前已指出,正常情况下各基线测边变化绝对值悬殊较大;最显著的变化为年周期变化,各点间变化在时间、形态发展趋势方面相对独立,高度随机。如果某几个测点范围附近存在强震孕育过程,特别是存在大震或成组强震孕育和发生时,可能有多个地块及相关活动构造的运动方式、运动速度受到影响,使相关各基线测边在时间变化方面从正常情况下高度随机变为有序。

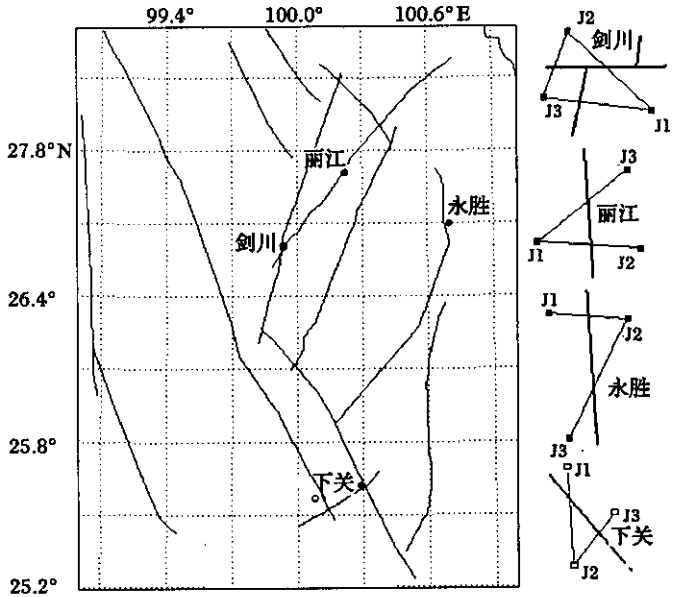


图1 滇西北跨断层短基线测点位置及场地布设图

Fig. 1 Location of survey points and sites plans for cross-fault short baseline measurement in northwest Yunnan.

特别是存在大震或成组强震孕育和发生时,可能有多个地块及相关活动构造的运动方式、运动速度受到影响,使相关各基线测边在时间变化方面从正常情况下高度随机变为有序。

基线群体异常信息提取包括下列数学过程:

(1)消除或压低年周期变化:采取高通滤波数学模型,采用大时窗,小步长滑动的办法进行计算,排除或极大限度地压低各自的年变周期变化。一般采用365天时窗,1天为滑动步长,即可较好地滤去年周期变化。

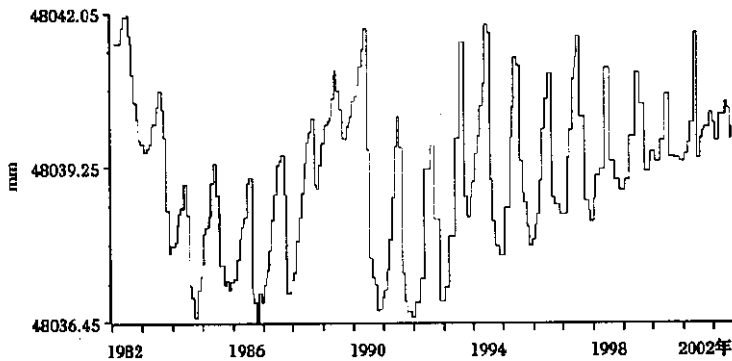


图2 楚雄短基线1-2边年周期变化

Fig. 2 Annual variation of 1-2 side short baseline in Chuxiong point.

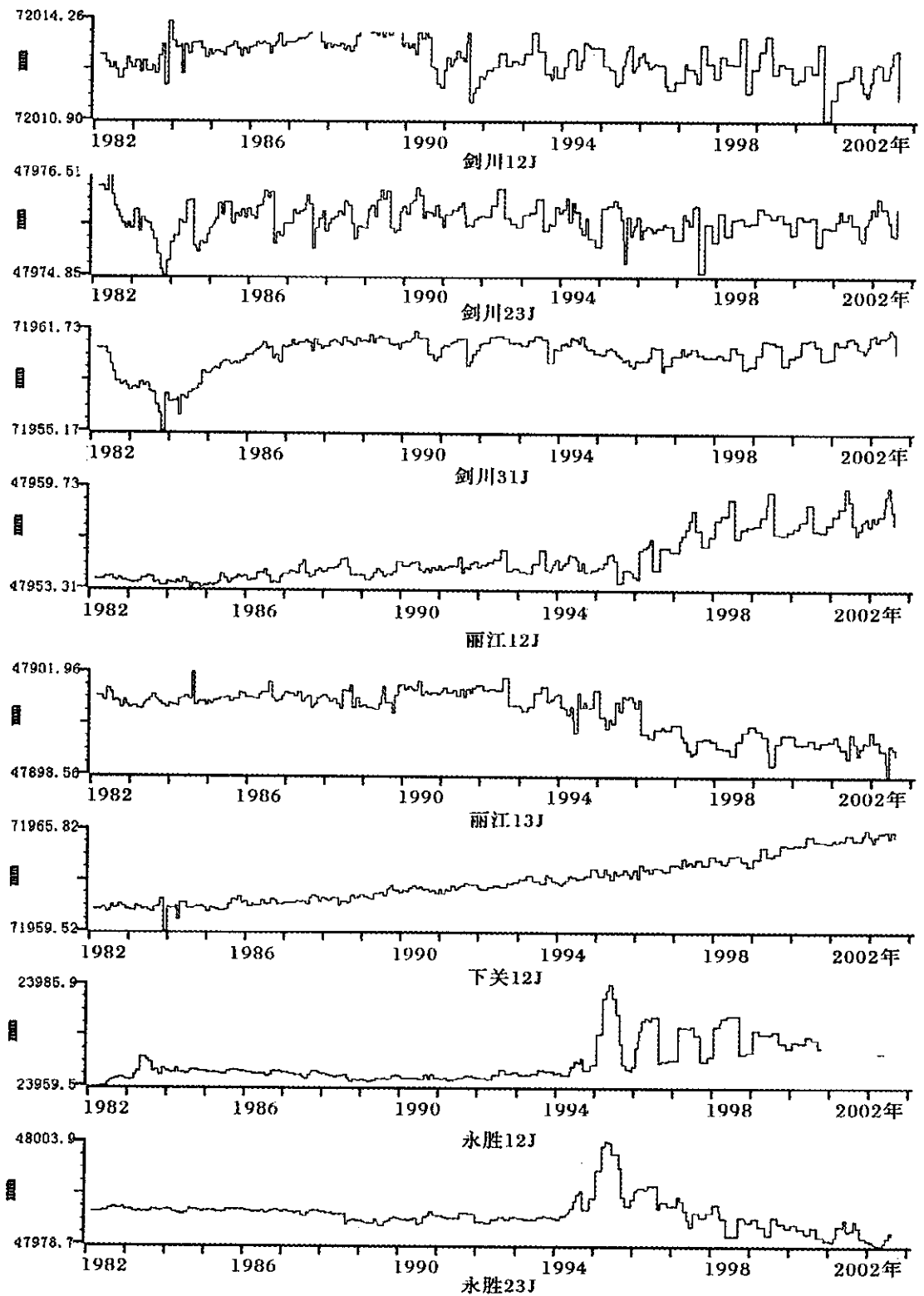


图3 滇西北剑川、丽江、永胜、下关短基线变化曲线

Fig.3 Curves of short baseline at Jianchuan, Lijiang, Yongsheng and Xiaguan points in northwest Yunnan.

(2) 等权标准化处理: 采用极差标准化的办法对各点进行标准化处理, 以克服各测点的测值绝对变化

悬殊问题,使各测边处于“等权”水平参加群体异常信息提取计算,即

$$x'_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (1)$$

$x_i$  是计算序列中任一观测值,当  $x_i = x_{\max}$  时  $x'_i = 1$ ; 当  $x_i = x_{\min}$  时  $x'_i = 0$ , 计算后的新序列既保持了原序列的变化形态,又使序列中最大值为 1,最小值为 0,从而保证各个参与计算的序列均处于“等权”状态。

(3) 分别对各测点变化进行过程积累,以提取近源孕震过程异常信息:

$$y'_{ij} = \sum_{j=1}^{n-t} \sum_{j=1}^{t+j} x_i/t \quad (2)$$

其中  $i$  是某一测边观测序列的序号  $j$  是过程积累计算起始点测值序号  $t$  是提取过程异常的时间段。一般情况由经验确定  $i=1, 2, \dots, n-t$   $j=1, 2, \dots, n-t$   $t=5, 10, 15, 20$  等。

(4) 经过上述处理后,可以得到基线群体的新数学矩阵

$$Y_{ij} = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{p1} & y_{p2} & \dots & y_{pn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

该矩阵每个基线的序列中最大  $Y_{ij(\max)} = 1$ ;  $Y_{ij(\min)} = 0$ 。由于矩阵中  $i$  表示某一条测边不同时间基线的变化序列  $j$  表示不同测边  $p$  是被计算测边的个数。很容易通过纵向求和合成,即

$$S_j = \sum_{i=1}^p Y_{ij} \quad (4)$$

其中  $i=1, 2, \dots, p$   $j=1, 2, \dots, n$ 。

### 3 滇西北跨断层短基线群体异常信息综合计算

#### 3.1 滇西北跨断层短基线群体异常

按照上述研究思路,群体异常信息综合数学模型及相关计算软件,取滇西北所有目前正在监测的丽江、永胜、剑川及下关 4 个测点 8 条测边的 1984 年 1 月 1 日~2002 年 12 月 31 日 18 年的观测数据,经计算得到图 4 曲线。

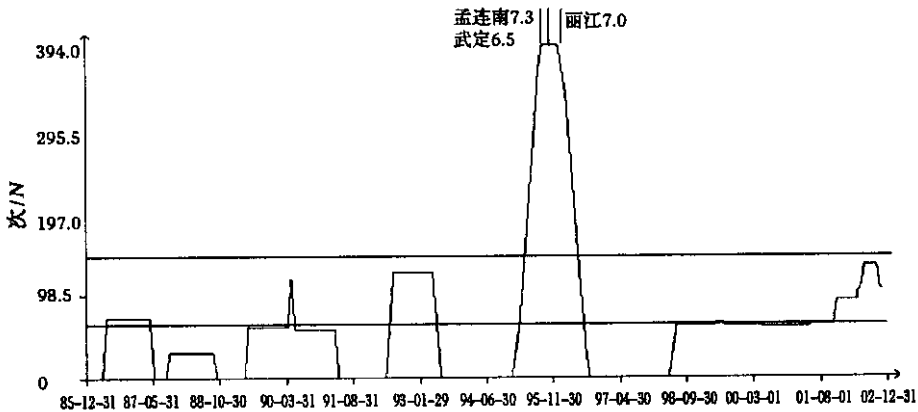


图 4 滇西北 4 测点 8 条基线综合异常信息变化曲线

Fig. 4 Synthesis abnormal information curve form eight short baselines in northwest Yunnan.

该曲线正常情况下(如 1985~1994)群体年异常次数约为 74 次左右,均方差约为 35 次左右,其变化十分稳定。取均值加 2 倍均方差 ( $74 + 2 \times 35 = 144$ )为异常阈值,则从 1985~2002 年计 18 年中,仅出现一次异常过程:1995 年 4 月 26 日达到异常指标 144;1995 年 9 月 12 日达到最大值 394;1996 年 1 月 15 日开

始下降 ;1996 年 7 月 21 日恢复正常。其最大异常幅度超过均值的 9.1 倍均方差 ,异常持续时间共 314 天 ,占整个研究时间的 4.8% ,显然这是极小概率事件。异常开始后 76 天发生 1995 年 7 月 12 日孟连 7.3 级大震 ;大震后异常持续过程中发生了 1995 年 10 月 24 日武定 6.5 级强震、1996 年 2 月 3 日丽江 7.0 级大震 ;直到孟连—丽江大震过程恢复 ,该异常过程相继结束。

### 3.2 短基线群体异常的预报效能检验

若将上述整个研究时段以异常的 314 天为单位进行分段 ,则可分为约 21 时间单位 ,可得到跨断层短基线群体异常与成组强震的双概率检验统计表(表 2)。

从表 2 得到 :异常对应地震率  $S = 1$  ,地震对应异常率  $R = 1$  ;异常与地震相互对应概率  $P = \frac{R+S}{2} = 1$ 。

表 2 滇西北短基线群体异常与成组强震双概率检验统计表

	异常	无异常	$\Sigma$
地震	1	0	1
无震	0	20	20
$\Sigma$	1	20	

异常出现后 76 天发生了首次强震 ,异常提前量基本上能满足短期 1~3 个月的时间要求。显然滇西北跨断层短基线群体综合异常是对应概率较高的短期预报指标 ,对研究范围内的成组强震具有重要的短临预报意义。文献 [1] 曾对川滇地区成组强震与该区地震活

跃期关系作了系统研究并指出 94% 的成组强震均发生在地震活跃期内 ,因此它也是地震活跃期存在的重要判别指标。

## 4 结论

(1) 滇西北跨断层短基线群体正常情况下各测边变化处于高度随机状态 ,而在成组强震孕育时呈现准同步变化状态 ;

(2) 采用极差标准化、过程积累、同时间异常信息合成等数学方法是提取短基线群体异常的有效方法 ;

(3) 计算结果表明 :滇西北跨断层短基线群体异常是本区成组强震对应概率较高的短期预报指标和地震活跃期存在的重要判别指标。

### [ 参考文献 ]

- [1] 石绍先 曹刻,等.川滇地区成组强震活动基本特征研究[J].地震研究,2002,25(3):220-226.  
[2] 薄万举.信息流合成方法在震情分析中的应用[J].西北地震学报,1997,19(2):41-47.

## GROUP ANOMALY OF CROSS-FAULT SHORT BASELINE MEASUREMENT AND GROUPED STRONG EARTHQUAKES IN NORTHWEST YUNNAN

SHI Shao-xian , WANG Yong-an , LIU Qiang

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

**Abstract :** The basic features , extracting method of anomaly information and prediction significance for the group anomaly from the measurement data of 8 cross-fault short baseline at Lijiang , Yongsheng , Xiaguan and Jianchuan survey points in northwest Yunnan Province , from 1984 to 2002 , are studied. The results show that the group anomaly is a short-term prediction index for grouped strong earthquakes in the region with clear physical sense and high corresponding probability.

**Key words :** Fault-crossed short baseline ; Group anomaly ; Grouped strong earthquakes ; Short-term prediction.