

李瑞莎、张希、贾晓东等, 2013, 断层活动协调比计算方法的改进及震例分析, 中国地震, 29(1), 75 ~ 80。

断层活动协调比计算方法的改进及震例分析

李瑞莎¹⁾ 张希¹⁾ 贾晓东²⁾ 唐红涛¹⁾

1) 中国地震局第二监测中心, 西安市西影路 316 号 710054

2) 辽宁省地震局, 沈阳 110031

摘要 根据断层活动协调比的概念, 讨论了起算点对协调比计算结果的影响, 提出了移动窗计算断层活动协调比的方法以及离散度评定指标。震例分析结果表明, 丽江 7.0 级地震前丽江场地断层活动协调比数值变化范围较大, 分布较离散; 震后数值相对稳定, 离散度较低。反映了在孕震阶段断层的应变积累以及由其引起的 3 分量运动相互协调性较差; 震后断层处于自由活动状态, 积累的应变能得到释放, 3 分量运动相互协调一致。目前丽江场地断层活动协调比数值离散度处于低值, 断层应变积累处于较低水平。

关键词: 丽江地震 断层活动协调比 跨断层测量 离散度

[文章编号] 1001-4683 (2013) 01-0075-06 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

跨断层流动形变观测能直接反映观测场地所在断层的活动情况, 张超等 (1981、1987) 采用断层刚体模型推导了利用跨断层基线、水准测量数据计算断层的水平扭动和垂直位移的公式, 并指出计算结果对监测断层现今活动非常有利。之后, 利用跨断层流动观测资料分析跨断层位移变化特征、研究断层构造运动及其与地震活动关系等方面的研究取得很大进展 (周硕愚, 1994; 薄万举等, 1997; 焦青等, 1998、2005、2007; 李瑞莎等, 2009; 李杰等, 2010a、2010b)。薄万举等 (1997) 利用信息合成方法提取了断层中期趋势变化及短期快速变化信息; 焦青等 (1998、2005、2007)、李瑞莎等 (2009) 和李鹏等 (2012) 分别利用跨断层等资料分析了华北和川滇地区的断裂活动变化特征及其与地震的关系; 李杰等 (2010a、2010b) 对比分析了跨断层形变不同观测方法的变化特点、干扰特征并由全国断层形变资料分析得到了断裂活动特征。此外, 利用跨断层资料模拟断层活动、反演地壳应力场特征、提取断层形变异常进行地震预测等方面的研究也取得了较大进展 (张晁军等, 2008; 张红艳等, 2007; 施顺英等, 2007)。张晶等 (2011) 对利用跨断层基线和水准测量资料推算断层活动参数的公式进行了改进, 采用断层三维立体模型计算了断层三维运动参数, 并进而提出了断层活动协调比的概念。

本文根据断层活动协调比的概念, 对协调比计算的起始点影响、定量评定指标、离散度

[收稿日期] 2012-09-14; [修定日期] 2012-10-18

[项目类别] 中国地震局 2012 年度青年震情跟踪课题 (2012020203)、2011 年度青年震情跟踪课题 (2011020207)、“十二五”国家科技支撑计划项目 (2012BAK19B01-06) 共同资助

[作者简介] 李瑞莎, 女, 1982 年生, 硕士, 工程师, 主要从事地壳形变研究与地震预测工作。

E-mail: rsl92@163.com

分析等进行了讨论。结果表明采用固定窗长为间隔进行协调比计算、采用离散度作为评价指标的协调比分析方法较传统的计算方法更能反映断层运动是否协调的特征。最后,以丽江7.0级地震为例进行了分析,结果表明地震前后丽江断裂的活动协调比数值变化范围和分布具有较大的差异,协调比离散度数值在震前处于高值,震后降低。反映了在孕震阶段和震后调整阶段断层三维运动相互协调程度及应变积累状态的不同。

1 断层活动协调比方法简介

张晶等(2011)提出了断层活动协调比参数的概念。首先,建立断层三维直角坐标系,以断层走向为 x 轴,垂直于 x 轴的水平方向设为 y 轴,垂直向上的方向设为 z 轴,以 a 、 b 、 Δh 等3个变量描述断层在3个方向上的变化量,定义2个变量之比为断层活动协调比参数,即

$$\begin{cases} f_1 = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{b}{a} \\ f_2 = \frac{\Delta z}{\Delta x} = \frac{\Delta h}{a} \\ f_3 = \frac{\Delta z}{\Delta y} = \frac{\Delta h}{b} \end{cases} \quad (1)$$

f_1 、 f_2 、 f_3 为断层活动协调比,是描述断层活动的特征参数。

通过跨断层观测的基线和水准经推导可得到断层活动协调比参数。首先,由2条基线、水准同测数据可求得断层水平面上的滑动活动参数 a 和张压活动参数 b

$$a = \frac{(\Delta l_1 - H_1 \cdot \Delta H_1 / l_1) \sin \alpha_2 - (\Delta l_2 - H_2 \cdot \Delta H_2 / l_2) \sin \alpha_1}{\sin \alpha_1 \cos \alpha_2 - \sin \alpha_2 \cos \alpha_1} \quad (2)$$

$$b = \frac{\Delta l_1 - H_1 \cdot \Delta H_1 / l_1 + a \cdot \cos \alpha_1}{\sin \alpha_1} \quad (3)$$

其中 l_1 和 l_2 分别为2条基线测值, H_1 和 H_2 分别为2条水准测值, Δl_1 、 Δl_2 、 ΔH_1 、 ΔH_2 分别为基线和水准的改变量, α_1 、 α_2 分别为2条基线与断层走向的夹角。

而断层上盘相对于下盘的垂直升降量 Δh 则由2条测线的水准高差测量得到

$$\Delta h = (\Delta H_1 + \Delta H_2) / 2 \quad (4)$$

将计算得到的 a 、 b 、 Δh 代入式(1)就可得到断层活动协调比3个参数。

断层自由蠕动情况下,断层活动基本处于准匀速状态,等时段上的运动参数 a 、 b 、 Δh 应为稳定值,协调比应为常数。当地壳应力状态发生改变,断层有显著应变积累或断层闭锁时,断层运动参数 a 、 b 、 Δh 发生改变,偏离稳定值,协调比参数将会偏离常数,此时断层活动的协调性较差。因此通过断层活动协调比参数可以推断断层应变积累状态。

2 断层活动协调比初始状态确定及离散度计算

2.1 初始状态的确定

式(2)中基线和水准的改变量分别为 $\Delta l_i = l_i - l_0$ 、 $\Delta H_i = H_i - H_0$,而式(1)中的 a 、 b 、 Δh 的计算结果均与 Δl_i 和 ΔH_i 有关。由此可见初始状态 l_0 和 H_0 可能会对协调比计算结果产生影响。下面以丽江场地的跨断层观测数据为例(原始观测曲线见图1),对初始值的影响进行分析。图2给出了第1、2、3期测量数据及其平均值分别被选为初始状态时断层活动协

调比计算结果。选择某一期的测量结果为初始状态,计算得到的协调比数值在物理意义上为从该期到观测日期时段的“平均协调比”。由图 2 可见,随着选择的初始状态不同,得到的协调比计算结果的变化形态和幅度存在很大区别。观测数据的平均值为初始值时所得协调比参数 f_1 和 f_2 在震前没有明显变化,而 3 个协调比参数在同震及震后一段时间内变化相对较大,不利于提取震前异常。但是如果选择固定初始状态,所得断层活动协调比结果不稳定,受初始状态影响较大。所以认为初始状态选为某一期观测数据或平均值都是不合适的。

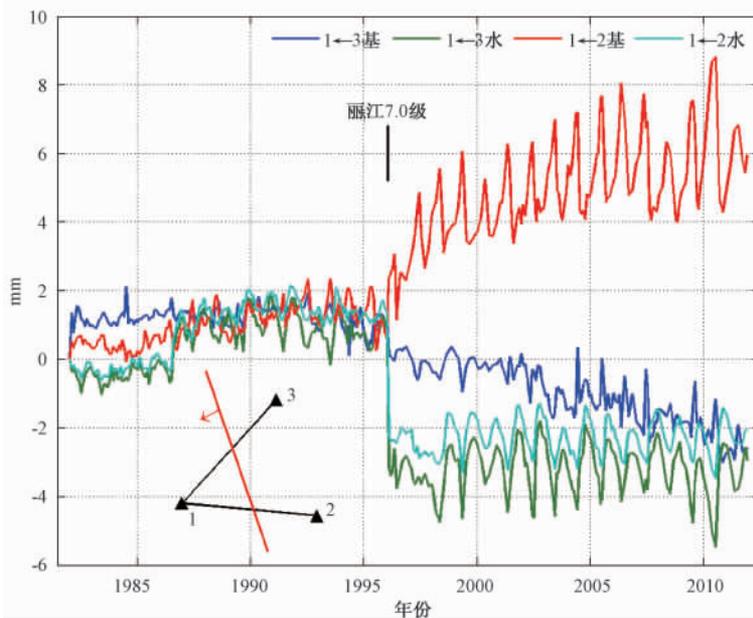


图 1 丽江场地跨断层原始观测曲线

为了消除固定初始状态对断层活动协调比计算结果的影响,我们采用 $\Delta l_i' = l_i - l_{i-1}$ 和 $\Delta H_i' = H_i - H_{i-1}$ 来计算基线和水准的改变量。这样计算的任一期协调比结果为从上期观测到本期观测时段的断层活动协调比,该协调比可认为是断层活动的“瞬时协调比”。图 3 为用该方法得到的丽江场地断层活动协调比计算结果,可以看到协调比参数在稳定值附近波动。稳定值表征了断层活动协调性的背景状态,波动强弱反映断层活动偏离断层背景活动的强弱。虽然相邻 2 期数据计算得到的协调比(图 3)相比固定初始状态的计算结果(图 2)更加离散,突显了一些瞬态的变化。但相邻 2 期数据计算的结果具有唯一性,不受以往观测数据的影响,物理意义更明确,更真实地反映了断层活动协调性随时间的变化。

2.2 断层活动协调比离散度的计算

云南跨断层流动观测周期为 1~2 个月,基线和水准测值的改变量一般较小,再加上断层周期性运动、随机误差和非构造影响等因素的影响,计算所得协调比参数数值分布比较离散,有些结果会偏离稳定值较远。参考误差理论中剔除坏值标准的 3σ 法则,我们认为超过 3 倍标准偏差的协调比数值不具有参考价值,为可疑值。

首先将协调比计算结果进行预处理,将超出 3 倍标准差的可疑值进行剔除。经多次剔除后,剩余数据均在 3 倍标准差之内,认为可以代表断层活动协调性。其次计算协调比参数

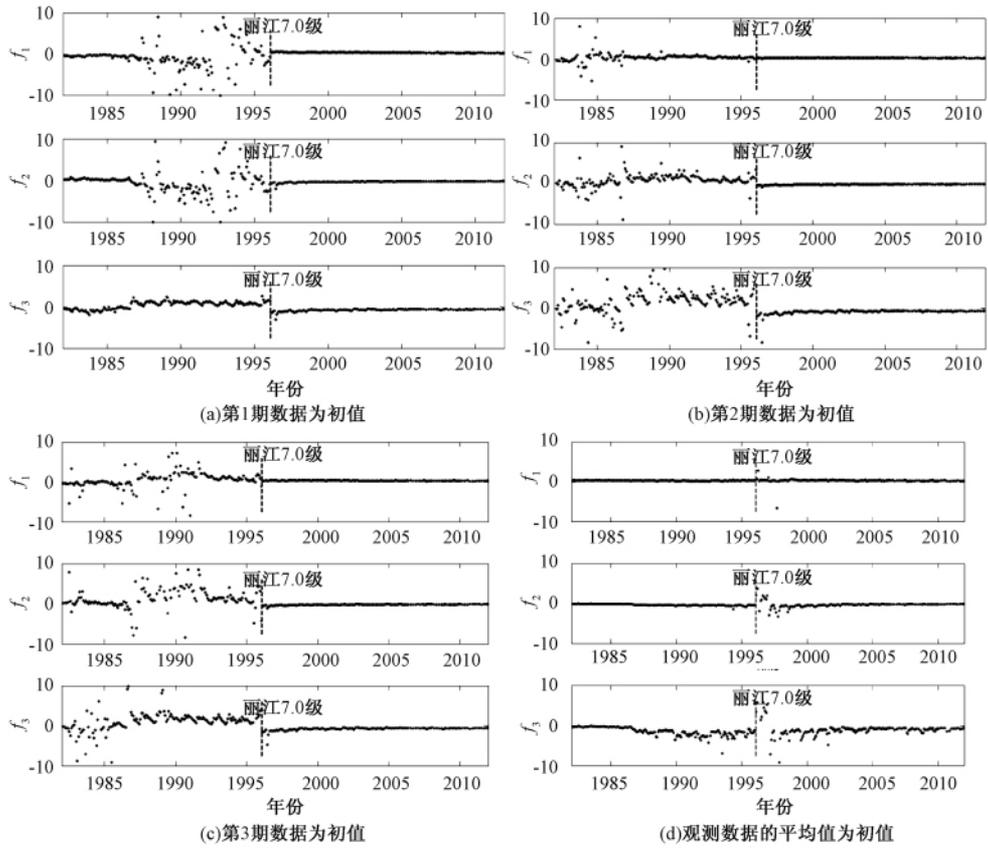


图2 不同初始状态时计算所得丽江场地断层活动协调比

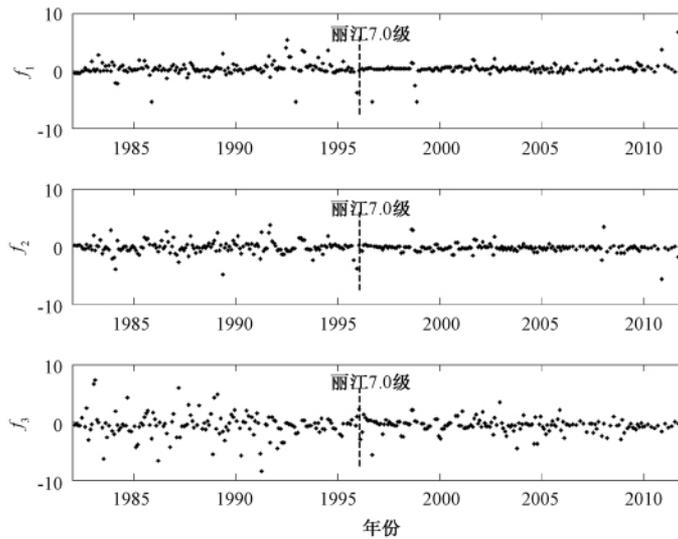


图3 相邻2期观测数据计算得到的丽江断层活动协调比

的离散度,以固定时段为窗长,逐期向后移动计算断层活动协调比的方差来表征断层活动协调比参数的稳定性。图 4 给出了不同窗长的计算结果,可以看出丽江场地断层活动协调比离散度变化形态一致。协调比离散度数值的相对高低表征了断层活动偏离稳定状态的强弱,也反映了断层应变积累的状态。

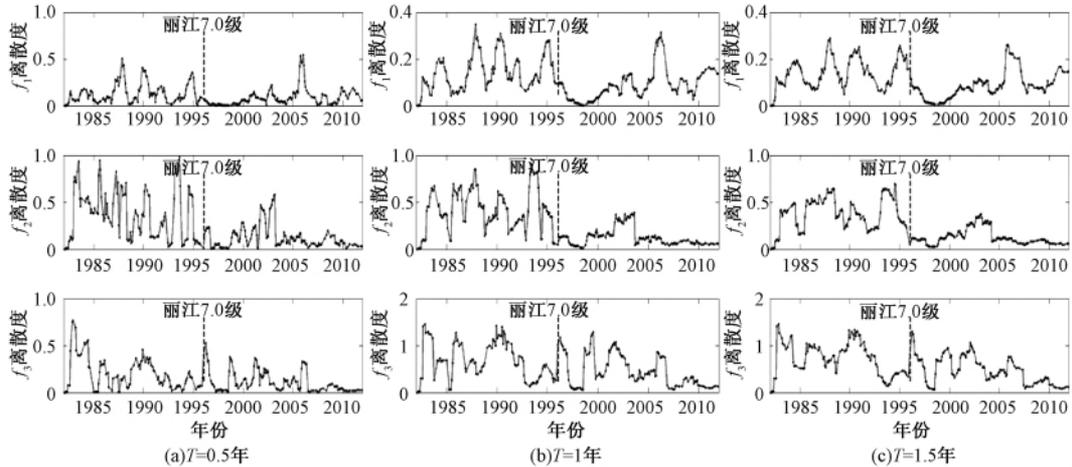


图 4 不同窗长计算得到的丽江断层活动协调比离散度

2.3 丽江 7.0 级地震断层活动分析

1996 年 2 月丽江 7.0 级地震前后,丽江场地的跨断层观测曲线有明显的差别,丽江断裂的活动协调比参数离散程度也具有很大的差异。地震前(1982~1996 年)断层活动速率比较低,活动幅度较小;地震后(1996 年以来)断层活动速率增大,活动幅度也增大,并且出现年周期变化形态特征(图 1)。震前丽江场地断层活动协调比变化范围较大,分布离散,协调比离散度相对较高;震后断层活动协调比相对稳定,离散度数值较低(图 3、4)。反映出地震前在孕震阶段断层活动协调性较差,有显著的应变积累;震后断层处于自由活动状态,积累的应变能得到释放,3 分量运动相互协调性较好,与张晶等(2011)所得结果较为一致。震后 2~3 年断层活动协调比离散度处于较稳定的低值,这是丽江 7.0 级地震发生后断层处于相对松弛状态,断层上的摩擦力减小,断层自由活动的结果。

可见,丽江 7.0 级地震前至少 10 多年断层处于闭锁状态,有显著应变积累,断层活动协调性较差。震后 2~3 年断层处于自由状态,应变能得到释放,断层活动协调性较好。近几年丽江场地断层活动协调比离散度处于相对低值,断层应变积累处于较低水平。

3 结论

本文根据断层活动协调比的概念,提出了利用相邻 2 期资料计算协调比的方法和离散度评定指标,并以丽江断层观测数据为例进行具体分析,得出以下结论:

(1) 采用相邻 2 期跨断层观测数据计算断层活动协调比所得的图像真实地反映了断层活动协调性随时间的变化情况,协调比的离散程度反映了断层活动协调性的强弱。

(2) 断层活动协调比离散度时序曲线较好地量化了协调比的离散程度,直观地反映断层三维运动的协调性,在判定断层所处的应变积累状态方面具有重要意义。

(3) 丽江 7.0 级地震前后丽江断裂的活动协调比数值离散度有较大的差异。震前协调比数值分布较离散;震后协调比相对稳定,离散度较低。反映了断层在震前的应变积累及断层活动协调性较差;震后应变能得到释放,断层活动协调性较好。

致谢:中国地震局地震预测研究所黎凯武研究员对本项工作给予了热心指导,在此表示感谢。

参考文献

- 薄万举、谢觉民、楼关寿,1997,非稳态断层形变及其信息合成,地震学报,19(2),181~191。
 贾鹏、张希、张晓亮等,2012,汶川地震前后川滇及其邻区 GPS 水平运动演化特征,西北地震学报,34(3),264~267。
 焦青、范国胜,2007,河北文安地震前后首都圈跨断层位移的变化特征,大地测量与地球动力学,27(6),17~21。
 焦青、邱泽华、范国胜,2005,北京地区八宝山-黄庄-高丽营断裂的活动与地震,大地测量与地球动力学,25(4),50~54。
 焦青、周俊萍,1998,跨断层位移速率的动态演化特征与强震的关系,地震,18(3),265~273。
 李杰、冯志军、王强等,2010a,跨断层形变不同观测方法的对比分析,大地测量与地球动力学,30(增刊 II),45~49。
 李杰、刘文义、楼关寿等,2010b,跨断层形变观测显示的断裂活动特征分析研究,中国地震,26(1),46~59。
 李瑞莎、张希、王双绪等,2009,川滇地区断层活动与地震关系研究,大地测量与地球动力学,29(增刊),20~24。
 施顺英、张燕、吴云等,2007,基于跨断层形变异常预测云南地震的实验,大地测量与地球动力学,27(5),82~87。
 张超,1981,跨断层位移测量与局部断层活动,地震,1(5),24~25。
 张超、过家元、谢新生等,1987,应用短水准短基线测量监测断层现今活动的原理和方法,见:中国地震局地壳应力研究所,地壳构造与地壳应力文集(1),54~69,北京:地震出版社。
 张晁军、石耀霖、马丽等,2008,鲜水河断裂带跨断层变形分析和数值模拟,地震,28(3),23~32。
 张红艳、谢富仁、焦青等,2007,首都圈地区跨断层形变观测与地壳应力场,地震地质,29(4),706~715。
 张晶、黎凯武、武艳强等,2011,断层活动协调比在地震预测中的应用,地震,31(3),19~26。
 周硕愚,1994,断层形变测量与地震预报,地壳形变与地震,14(4),90~97。

Improvement and seismicity analysis of fault motion coordination ration

Li Ruisha¹⁾ Zhang Xi¹⁾ Jia Xiaodong²⁾ Tang Hongtao¹⁾

1) Second Crust Monitoring and Application Center, CEA, Xi'an 710054, China

2) Earthquake Administration of Liaoning Province, Shenyang 110031, China

Abstract Based on the concept of fault motion coordination ration (FCR), the paper discussed the effect of the starting point on the result of FCR calculation and proposed a calculation method of FCR using sliding windows and an evaluating index of dispersion. The case study of the Lijiang site indicates that the FCR of Lijiang site distributed more widely and discretely before the *M*7.0 Lijiang earthquake than after it, which reflected strain accumulation and caused poor movement coordination during the seismogenic period. After the earthquake the fault is in a free activity state, and the accumulated strain energy is released, and 3-component movements are consistent to each other. At present, FCR dispersion of Lijiang is low and fault strain accumulation is also at a low level.

Key words: Lijiang earthquake Fault motion coordination ration (FCR) Cross-fault measurement Dispersion