

则木河断裂带断层活动特征与中强震关系浅析*

苏 琴, 杨永林, 向和平, 李菲菲

(四川省地震局 测绘工程院, 四川 成都 625000)

摘要:通过对则木河断裂带上4个跨断层形变测点资料的分析,认为则木河断裂带断层活动分为4个不同的活动时段,其不同活动时段断层张压结合;在川滇交界区域发生中强地震前则木河断裂带跨断层形变资料中能捕捉到一定的前兆信息,地震大多发生在形变异常结束后50 d内。

关键词:断层活动;则木河断裂带;跨断层形变;中强震

中图分类号: P315.7

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2012)01-0018-06

0 引言

川滇菱形块体位于青藏高原东南侧,处于印度板块向中国大陆NE向挤压作用的前沿地带。则木河断裂是鲜水河—小江断裂带内一条NW走向的左旋走滑断裂带。该断裂带从李金堡向南东经西昌、普格、松新、宁南延入巧家盆地,连接近南北向的安宁河断裂带与小江断裂带,成为控制川滇菱形块体的东北侧边界带,是中国大陆强震集中、频度较高的地区之一(任治坤,2007;张崇立,任金卫,1995;徐锡伟等,2005)。自1974年以来,四川省地震局先后在该断裂带主断层及次级断层上埋设了4个跨断层形变测量点,并于2006年建成了用于研究川滇交界区域地壳形变特性的GPS观测网络。

2008年5月12日汶川8.0级地震发生后,震区外围区域第一个6.0级以上地震就发生在则木河断裂带附近的攀枝花—会理,由此笔者以跨断层形变测量为基础,结合近年来GPS观测资料,讨论汶川地震前后则木河断裂带断层活动特性及其与川滇块体内发生的中强以上地震的关系。

1 跨断层测量场地及GPS资料概况

1.1 跨断层测量资料概况

则木河断裂带跨断层形变测量场地始建于1974年,目前在该断裂带上已建立了4处跨断层垂直形

变测量场地和1处跨断层水平形变场地。积累了大量高精度跨断层形变监测资料(图1、表1)。

图1、表1展现了则木河断裂带上4个跨断层测点的地理位置、所跨断层及观测形变资料起始时间等概况。这里需要说明的是:

(1) 尔乌跨断层测点所跨断层为则木河次级断层,汤家坪测点所跨断层为则木河第三级断层,断层出露处离场地较远^①。

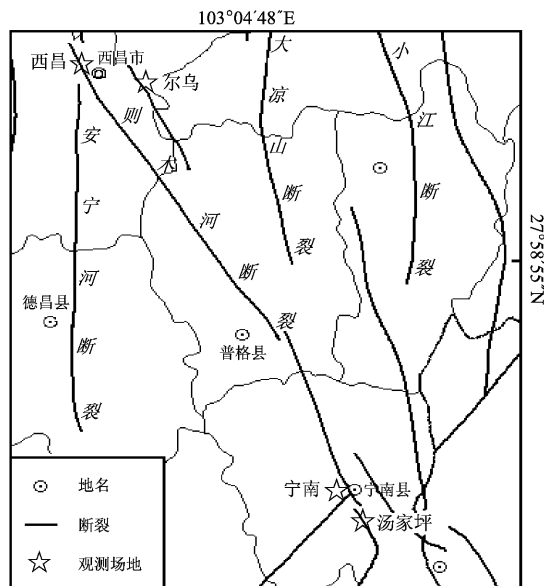


图1 则木河断裂带跨断层形变场地
布设图(邓启东等,2003)

Fig. 1 Distribution of the deformation site across
the Zemuhe Fault (Dengqidong et al, 2003)

* 收稿日期: 2011-03-03.

基金项目: 中国地震局监测预报司三结合课题“则木河断裂形变异常地震跟踪研究”(201212-02)资助.

① 闻学泽, 朱航, 杨永林. 2003. 四川汤家坪跨断层地形变观测场地的稳定性及形变异常的再调查报告.

表 1 则木河断裂带各测点概况统计表

Tab. 1 Survey statistical table of each observational points across the Zemuhe Fault

观测 场地	场地位置			始建 时间/年-月	开测日期/ 年-月-日	水准路 线长/m	所跨断层	断层倾向 走向 / (°)	点位 岩性
	行政区划	$\varphi_N/(^{\circ})$	$\lambda_E/(^{\circ})$						
尔乌	四川省西昌县川兴公社尔乌村	27.89	102.36	1980-05	1981-09-08	1 050	尔乌	NW15, NE23	基岩
宁南	四川省宁南县城北黄土坡	27.04	102.72	1971-08	1972-06-22	600	马口街	NW30~35, NE60	基岩
汤家坪	四川省宁南县汤家坪	27.01	102.77	1980-12	1981-09-16	530	则木河西支	NW70	基岩
西昌	四川省西昌市小庙乡李金堡	27.92	102.23	1974-06	1974-06-23	1 220	李金堡	NW70, SW60	土中

(2) 西昌短水准测点于 1974 年进行第一期观测后, 1974~1987 年共进行了 17 期重复观测, 但受当时条件限制, 1976 年、1979~1985 年未进行观测, 资料连续性不好, 之后由于经费等因素, 1988~2003 年再次停测。2004 年开始至今每年进行 6 期加密观测。

(3) 所有测点埋设均按国家地震局《跨断层测量》规范要求(范九善等, 1991), 汤家坪、尔乌、宁南为基岩点, 西昌为土中点。

1.2 GPS 资料概况

多年来, 经过国家项目的支持和多学科合作, 在川滇块体内建立了多个 GPS 剖面, 2006 年在则木河断裂带上建立了宁南 GPS 监测剖面, 但由于各种因素影响仅有一期基础观测资料, 至今尚未进行重复测量。目前我们掌握的跨则木河断裂带的 GPS 连续监测资料局限性很大, 本次研究仅收集到了跨过则木河断裂带上的 1 条 GPS 基线即西昌—美姑基线的资料, 该基线长约 100 km, 跨越则木河、大凉山主断裂带。

2 则木河断裂带断层活动性

2.1 各测点断层活动速率

求出每一测点高差年均值, 滤除一年中偶然误差的影响, 再对其年均值进行一阶差分(薄万举等, 2001), 体现了断层活动速率的变化。图 2 分别是跨则木河主断层和次级断层各点的年速度变化情况。

(1) 位于则木河主断裂带的西昌测点受施测周期限制, 在 2004 年前无法判定该处断层活动特征, 在恢复正常观测后的 2005~2009 年无明显的活动, 断层维持在一定量级上蠕滑活动, 2010 年断层活动异常活跃, 以张性活动为主(图 2a)。

(2) 处于则木河次级断层上的尔乌测点自观

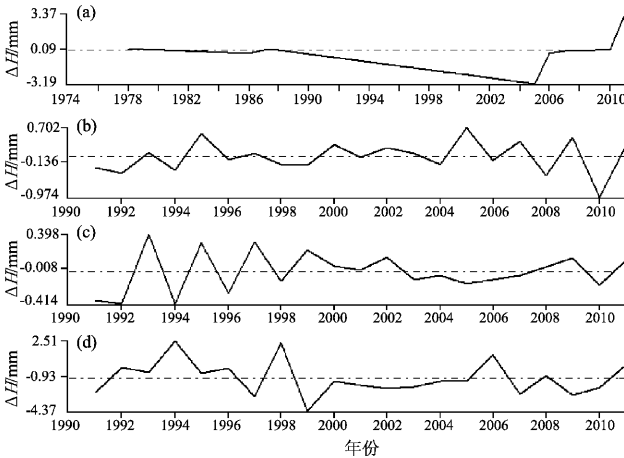


图 2 则木河断裂带各跨断层垂直形变测点速率
随时间变化曲线图

(a) 西昌; (b) 尔乌; (c) 宁南; (d) 汤家坪

Fig. 2 Rates of the vertical deformation points
across the Zemuhe Fault changes with time

(a) Xichang; (b) Erwu; (c) Ningnan; (d) Tangjiaping

测开始至 1994 年, 断层活动略显张性, 1995 年显压性。1996~2003 年断层活动微弱, 呈蠕滑活动状态, 2004 年断层开始新一轮活动, 但量级不大, 2009~2010 年速率相对较大, 表明该断层在 2009 年开始进入活跃阶段(图 2b)。

(3) 跨越则木河主断裂面的宁南测点 1999~2007 年断层活动微弱, 1992~1998 年、2008~2010 年两时段断层活动相对活跃(图 2c)。

(4) 处于则木河断裂带尾端分支断层的汤家坪测点, 1999~2009 年断层处于压性活动状态, 2010 年则显现出張性活动趋势(图 2d)。

2.2 西昌—美姑基线 GPS 监测

图 3 显示的是利用 GPS 监测所获取的西昌—美姑基线变化曲线, 该基线跨越则木河主断裂和大凉山断裂带。由图可知, 2008 年至 2009 年 7 月, 基线变化曲线在 5mm 范围内波动, 表明该时

间段内断层活动不十分显著, 速率为 3.4 mm/a; 2009 年 8 月至 2010 年 4 月, 基线变化曲线持续上升, 半年间基线变化 10 mm 左右, 表明自 2009 年下半年以来, 则木河断裂带拉张活动明显增强, 速率约为 8.2 mm/a, 显示出断层的左旋活动十分活跃。

通过对则木河断裂带断层垂直、水平向速率分析发现, 则木河断裂带断层活动分为 4 个时段, 各时段活动特性各不相同: 第 1 时段即 1998 年前, 断层小幅滑动; 第 2 时段即 1999 ~ 2003 年 (宁南测点为 2007 年), 断层维持在一定速率内低速滑动, 各点滑动方向不一样, 反映出该时段内断层局部的粘滑活动, 其间大多数测点处断层以压性活动为主; 第 3 时段即 2005 ~ 2008 年, 各场地断层活动差异较大, 跨越则木河断裂带主活动面的西昌、宁南测点处断层继续蠕滑活动, 而跨越则木河次级断层的尔乌、汤家坪测点处断层活动相对活跃; 第 4 时段即 2009 年下半年至 2010 年 7 月, 该时段内各测点处断层活动相对活跃, 特别是则木河断裂带北段的西昌等测点处断层快速粘滑, 且表现为张性活动。

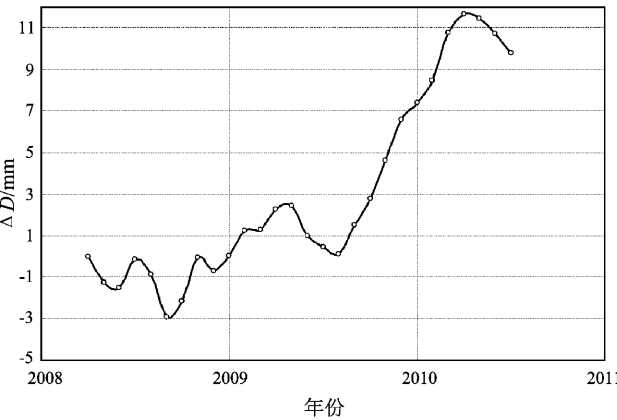


图 3 西昌—美姑基线变化曲线图
Fig. 3 Variation curve of the Xichang-Meigu base-line

3 则木河断裂带跨断层形变资料与川滇交界中强震的关系

为研究则木河断裂带跨断层垂直形变资料与川滇交界处中强震的关系, 依据《四川省震情预

测预警方法和指标的应用研究总结》^① 中的指标进行取舍, 筛选出震中距为 150 km 范围内的 5.0 ~ 5.4 级地震, 震中距为 200 km 范围内的 5.5 ~ 5.9 级地震, 震中距为 250 km 范围内的 6.0 ~ 6.4 级地震, 震中距为 350 km 范围内 6.5 ~ 7.0 级地震。并对其进行详细的分析后作出图 4 ~ 5 和表 2 ~ 5。

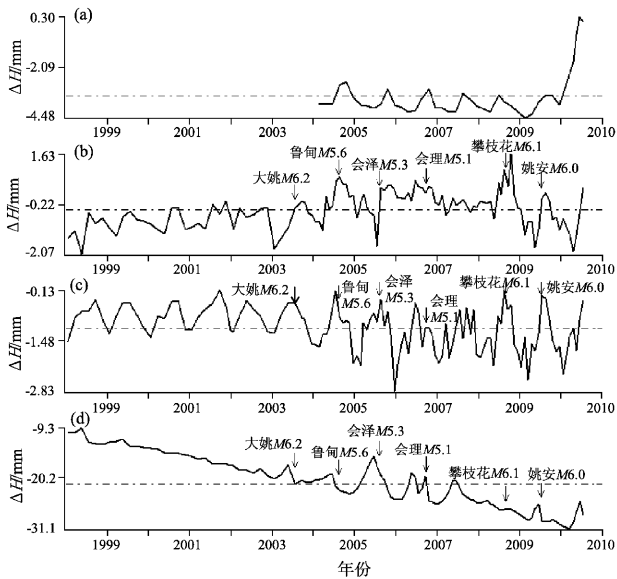


图 4 则木河断裂带跨断层垂直形变观测曲线图
(a) 西昌水准; (b) 尔乌水准; (c) 宁南水准;
(d) 汤家坪水准

Fig. 4 Observation curve of the vertical deformation cross the Zemuhe Fault
(a) Xichang; (b) Erwu; (c) Ningnan; (d) Tangjiaping

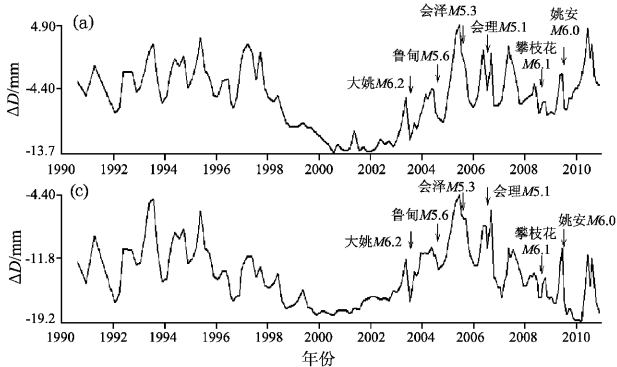


图 5 汤家坪短基线 AB (a) 和
基线 AC (b) 观测曲线图
Fig. 5 Observation curve of the short base-line AB (a)
and base-line AC (b) at Tangjiaping site

① 程万正, 杜芳, 张永久, 等. 2007. 四川省震情预测预警方法和指标的应用研究总结.

表 2 汤家坪跨断层短水准 AB、AC 测线异常资料与对应地震统计表
Tab. 2 Statistical table of the anomaly data of the short leveling lines AB and AC across
the fault at Tangjiaping site and its corresponding earthquake

序号	异常开始时间 /年-月-日	异常峰值时间 /年-月-日	持续 时间/d	异常形态	异常幅度 /mm	异常转折时间 /年-月-日	发生地震	异常结束至 发震时间/d	震中距 /km
1	2003-01-18	2003-05-16	120	趋势下降的 背景下上升	3.74 2.11	2003-07-16	2003-07-21 大姚 6.2 级	35	179
2	2003-11-15	2004-06-13	210	下降~上升蠕动	3.43 -0.04	2004-07-15	2004-08-10 鲁甸 5.6 级	57	80
3	2004-11-13	2005-06-15	180	趋势下降的 背景下上升	9.69 6.45	2004-07-15	2005-08-05 会泽会理 5.3	51	51
4	2006-07-15	2006-09-14	60	正常年变下突 然转折上升	4.28 2.93	2006-10-16	2006-09-25 盐津 5.1	11	167
5	2008-01-15	2008-10-15	270	蠕动、下降	-1.99 -1.99	2008-08-14	2008-08-30 攀枝花 6.1	16	107
6	2009-03-14	2009-06-17	90	趋势下降的 背景下上升	4.28 2.72	2009-07-14	2009-07-09 姚安 6.0 级	23	214

表 3 汤家坪跨断层短基线 AB、AC 测边异常资料与对应地震统计表
Tab. 3 Statistical table of the anomaly data of the short base-lines AB and AC across
the fault at Tangjiaping site and its corresponding earthquakes

序号	异常开始时间 /年-月-日	异常峰值时间 /年-月-日	持续 时间/d	异常形态	异常幅度 /mm	异常转折时间 /年-月-日	发生地震	异常结束至 发震时间/d	震中距 /km
1	2002-01-17	2003-07-15	180	年变消失 蠕动上升	6.44 4.83	2003-07-15	2003-07-21 大姚 6.2 级	35	179
2	2004-01-13	2004-06-15	150	年变消失蠕动	5.40	2004-07-15	2004-08-10 鲁甸 5.6 级	57	80
3	2004-10-15	2005-06-14	240	破年变大幅度上升	14.34 8.31	2004-07-15	2005-08-05 会泽会理 5.3	51	51
4	2006-07-15	2006-09-13	60	破年变大幅度上升	5.51 4.58	2006-10-16	2006-09-25 盐津 5.1	11	167
5	2008-05-14	2008-08-17	90	破年变波动下降	-3.72 -2.92	2008-08-17	2008-08-30 攀枝花 6.1	13	107
6	2009-02-16	2009-06-17	120	趋势下降的 背景下上升	5.95 6.44	2009-07-14	2009-07-09 姚安 6.0 级	23	214

表 4 尔乌短水准 31 测线异常资料与对应地震统计表
Tab. 4 Statistical table of the anomaly data of the short leveling line 31
at Erwu site and its corresponding earthquakes

序号	异常开始时间 /年-月-日	异常峰值时间 /年-月-日	持续 时间/d	异常形态	异常幅度 /mm	异常转折时间 /年-月-日	发生地震	异常结束至 发震时间/d	震中距 /km
1	2003-01-17	2003-09-16	240	破年变大幅度上升	1.77	2003-10-16	2003-07-21 大姚 6.2 级	-77	212
2	2004-03-16	2004-08-17	150	破年变大幅度上升	1.98	2004-09-17	2004-08-10 鲁甸 5.6 级	-6	146
3	2005-03-17	2005-07-17	120	破年变大幅度下降	1.94	2004-08-19	2005-08-05 会泽会理 5.3	32	142
4	2008-05-14	2008-10-15	150	破年变大幅度上升	2.37	2008-09-16	2008.08.30 攀枝花 6.1	-45	159
5	2009-01-13	2009-05-16	120	破年变大幅度下降	1.43	2009-06-18	2009.07.09 姚安 6.0 级	32	254

表 5 宁南短水准 31 测线异常资料与对应地震统计表
Tab. 5 Statistical table of the anomaly data of the short leveling line 31
at Ningnan site and its corresponding earthquakes

序号	异常开始时间 /年-月-日	异常峰值时间 /年-月-日	持续 时间/d	异常形态	异常幅度 /mm	异常转折时间 /年-月-日	发生地震	异常结束至 发震时间/d	震中距 /km
1	2004-02-17	2004-07-15	150	破年变大幅度上升	1.50	2004-08-15	2004-08-10 鲁甸 5.6 级	20	85
2	2005-02-21	2004-06-15	114	破年变大幅度上升	1.06	2005-07-16	2005-08-05 会泽—会理 5.3	40	58
3	2005-12-27	2006-06-19	177	破年变大幅度上升	2.39	2006-07-15	2006-08-29 盐津 5.1	70	167
4	2008-05-12	2008-08-14	92	破年变大幅度上升	2.02	2008-09-16	2008-08-30 攀枝花 6.1	16	108
5	2009-03-14	2009-07-14	120	破年变大幅度上升	2.25	2009-08-14	2009-07-09 姚安 6.0 级	-5	215

这些图、表较好地展示了则木河断裂带各形变测点在川滇地区发生中强以上地震前的异常变化情况。由此可知：

(1) 近年（特别是 2000 年）来在川滇交界区域发生中强地震前，则木河断裂带跨断层垂直形变测点除西昌外均不同程度地出现异常，异常幅度与震级大小没有明显的对应关系。

(2) 异常出现的时间先后不同。通常情况下，位于则木河断裂带尾端的汤家坪测点出现异常时间较早，尔乌测点出现异常时间最晚。通常情况下，当尔乌测点出现异常后，短期内（10~50 d）发震的概率较大。

(3) 垂直形变测点观测曲线图（图 4）中出现异常的形态相似性较好。一般遵循“大幅度下降—转折—大幅度上升”的变化规律，但发震时间却各不相同。多数情况下在曲线大幅度上升转折（即异常结束）后发震，也有在上升过程中发震的情况，这种情况下很难判定异常是否结束。因跨断层测量周期大多为 1 个月（含加密），如果地震发生在异常最高值出现后的 30 d 内，很难进行短期预测。

(4) 异常幅度大都在 1.5 倍标准差范围内，使识别异常产生了难度。

(5) 汤家坪跨断层形变测点在 1995 年前处于蠕滑过程，期间年变化明显，断层活动微弱，年平均速率仅为 0.07 mm/a，而 1996 年后断层活动则相对活跃，平均年活动速率在 1.6 mm/a 左右，

且呈持续的压性活动。在所选定的几次地震样本中，其预测概率相对较高，但该场地处于则木河断裂带尾端，跨越则木河断裂的第三级断层，其跨断层情况不太理想^①，这样的持续变化是否为构造活动目前还存在异议。目前来看尽管形变异常对川滇交界的映震能力较好，但由于其特殊的构造及地质背景使其可信度有所降低，还需对该场地进行观察研究。

4 结论与讨论

4.1 结论

综合对则木河断裂带跨断层形变资料的分析认为：

(1) 近 30 年来，则木河断裂带断层活动大致分为 4 个时段：第 1 时段（1999 年前）断层小幅旷动（陆明勇等，2003）；第 2 时段（1999~2003 年）断层维持在一定速率内低速滑动，反映出该时段内断层局部的粘滑特性，其间大多数测点处断层以压性活动为主；第 3 时段（2004~2008 年）断层活动在空间上具有分段性，跨越则木河断裂带主活动面断层继续蠕滑，而跨越则木河次级断层活动相对活跃；第 4 时段（2009 至 2010 年 7 月）断层活动活跃，特别是则木河断裂带北段的西昌等测点处断层速率明显加快，且表现为张性活动。

(2) 则木河断裂带跨断层形变资料异常与川

① 闻学泽，朱航，杨永林. 2003. 四川汤家坪跨断层地形变观测场地的稳定性及形变异常的再调查报告.

滇交界区域发生的5.0级以上中强地震能较好的对应。中期异常一般都出现在震前3个月到半年内,而短期异常大多出现在震前3个月内。大多数地震都发生在异常结束后10~50 d内,对川滇交界中强震的预测有着一定的参考价值。

4.2 讨论

(1) 则木河断裂带上目前仅有的4个跨断层形变和GPS资料,反映出近几年来则木河断裂带断层活动异常活跃,期间在四川境内发生了汶川8.0级地震,究竟该断裂带断层活动异常是否与汶川地震有关还有待于进一步观察讨论。而2008年汶川8.0级地震后,则木河断裂带断层活动持续活跃,并未因这次地震的发生而有所改变。

(2) 近20年则木河断裂带观测资料异常与川滇交界区域发生的5.0级以上中强地震能较好地对应,笔者认为川滇交界区域存在发生强震的背景,但通过前面对资料的分析,发现其中有些问题很难解释。如:映震能力较好的尔乌和汤家坪短水准、短基线场地均未跨越则木河断裂带主活动面^①(闻学泽,2000),仅跨越则木河次级断层和第三级小断层;特别是汤家坪场地位于公路转弯处,地质构造复杂,观测条件相对较差,但观测精度

较高,不影响资料的使用。多年的观察分析显示在川滇交界发生5.0级地震前均出现明显异常,表明该场地对川滇交界中强震的发生具有一定的指示意义,可能是反映构造活动的窗口。但其异常幅度、形态、持续时间各不相同,与震级也没有明确的关系。

参考文献:

- 薄万举,杨国华,郭良迁.2001.地壳形变与地震预测研究[M].北京:地震出版社.
- 邓启东,张培震,冉永康,等.2003.中国活动构造与地震活动[J].地学前缘,10(S1):66-73.
- 范九善,游丽兰,朱清声,等.1991.跨断层测量规范[M].北京:地震出版社.
- 陆明勇,牛安福,周峥嵘.2003.强震中短期阶段断层活动时空演化特征的讨论[J].地震,23(4):2-9.
- 任治坤.2007.则木河断裂带古地震研究[D].北京:中国地震局地震预测研究所.
- 闻学泽.2000.四川西部鲜水河—安宁河—则木河断裂带的地震破裂分段特征[J].地震地质,22(3):239-249.
- 徐锡伟,张培震,闻学泽,等.2005.川西及其邻近地区活动构造特征与强震复发模型[J].地震地质,27(3):446-455.
- 张崇立,任金卫.1995.则木河断裂的现今活动方式及其地形变鉴别标志探讨[J].地震地质,17(4):427-431.

Brief Relation Analysis between Activity Feature of Zemuhe Fault and Medium-strong Earthquakes

SU Qin, YANG Yong-lin, XIANG He-ping, Li Fei-fei

(Surveying and Mapping Engineering Institute of Sichuan Seismological Bureau, Chengdu 625000, Sichuan, China)

Abstract

Analyzing the data of the four deformation observational points which are across the Zemuhe Fault, we consider that the activity periods of the Zemuhe Fault is divided into four, during which, the upper side wall and the lower side wall of the fault stretches and presses each other. Based on the data of cross Zemuhe Fault deformation, we can catch some earthquake precursor before the medium-strong earthquakes occur in the juncture region between Sichuan province and Yunnan province. The earthquake almost occurs in 50 days after the deformation anomaly.

Key words: fault activity; Zemuhe Fault; cross-fault deformation; medium-strong earthquake

^① 周如品,李昌芝,王雅杰.1986.川西大地形变测量网点布设图集.