

昆仑山口西 8.1 级地震对鲜水河 断裂带断层活动的影响*

苏 琴, 杨永林, 张永久, 罗海元, 郑 兵

(四川省地震局, 成都 610041)

摘要: 利用 1981 年以来鲜水河断裂带跨断层短水准、短基线观测资料, 计算多年来断层的水平扭错、水平张压以及垂直升降变化量, 以此分析各测点断层随时间推移的活动习性。认为: 昆仑山口西 8.1 级地震后, 鲜水河断裂带中南段断层的走滑和张压活动分量有所改变, 垂直升降活动变化则不明显。中段的沟普测点扭错活动量在逐渐减小, 类似道孚 6.9 级地震后扭错活动逐步衰减的趋势, 该测点 1997 年后结束了的压性活动, 在 2002 ~ 2005 年间快速逼近“闭锁”, 直至 2006 ~ 2007 年间改变了多年的活动习性, 出现张性活动趋势。同样, 以左旋扭错为主的老乾宁测点在该时间段内也改变了多年的断层活动习性, 出现右旋运动趋势。

关键词: 鲜水河断裂带; 跨断层形变; 断层活动; 昆仑山口西 8.1 级地震

中图分类号: P315.2

文献标志码: A

文章编号: 1000-0666(2009)02-0169-06

0 引言

鲜水河断裂是我国的一条主要活动断裂, 晚近时期以来多次发生强烈地震, 是中外专家关注的活动断层 (吕弋培等, 2001)。受 1981 年四川道孚 6.9 级地震影响, 自 1982 年以来, 该断裂带断层的左旋走滑运动不断衰减 (杨永林等, 2007), 表明其运动处于震后的调整阶段。在调整过程中的 2002 ~ 2005 年间断层曾出现明显的蠕动, 有的地方甚至出现右旋运动, 当时这一现象曾被作为强震的前兆变化重点关注, 但随着时间的推移和观测资料的不断积累, 发现断层的这种蠕动和反向运动维持 4 年后于 2006 年基本消失, 断层又恢复到正常的衰减运动水平, 但 2002 ~ 2005 年间鲜水河断裂带及其附近区域都没有发生 6.0 级以上强震。张希等 (2004) 分析 2000 年以来我国的强震活动形势, 发现 2001 年底在昆仑山口西曾发生过一次 8.1 级强震, 那么, 这次明显的跨断层形变异常是否是该次地震影响所致? 笔者以鲜水河断裂带跨断层形变资料为基础, 通过定量分析断层的活动特征来讨论该问题。

1 资料及处理方法

1.1 资料

文中涉及的资料包括自 1981 年道孚 6.9 级地震以来一直在复测的鲜水河断裂带的 7 个跨断层短水准、短基线综合场地观测资料。这些资料连续性较好, 观测精度高, 场地分布较为均匀, 且大多跨越鲜水河主干断裂, 曾不同程度地为鲜水河断裂带及其附近地区发生的中强震预报提供了明显的中短期前兆依据, 较好地描述了强震的孕育—发生—发展过程 (表 1)。

1.2 资料处理方法

沿断裂带布设的各测点的测线长度大多在 200 m 范围内。将断层两盘在局部范围内的相对运动近似看成两块刚体间的运动并将其分解成水平扭动、水平相向 (或背向) 运动及垂直方向上的相对运动, 定量计算各分量的参数 (薄万举等, 1998), 能较好地反映各测点处断层的活动状况, 通过统一的标准来分析断层的变化特征, 有效地描述断裂在各个时期的活动特征。

表 1 鲜水河跨断层形变资料情况
Tab. 1 Deformation material of Xianshuihe cross fault

| 测点名称 | 手段 | 资料取用时间 | | 倾角/(°) | 测线与断层的夹角 | | 基线长度/m |
|------|----|---------|---------|--------|----------|--------|--------|
| | | 起始时间 | 结束时间 | | 测线名称 | 交角/(°) | |
| 侏倭 | 水准 | 1982-06 | 2006-12 | 78 | AB | 125 | 168 |
| | 基线 | 1980-06 | 2006-12 | | AC | 39 | 288 |
| 格菱 | 水准 | 1980-05 | 2006-12 | 80 | AB | 135 | 72 |
| | 基线 | 1982-08 | 2006-12 | | AC | 90 | 96 |
| 虚墟 | 水准 | 1980-05 | 2006-12 | 80 | BA | 149 | 216 |
| | 基线 | 1980-06 | 2006-12 | | CA | 63 | 240 |
| 虾拉沱 | 水准 | 1982-06 | 2006-12 | 70 | AB | 145 | 216 |
| | 基线 | 1978-06 | 2006-12 | | CA | 90 | 144 |
| 沟普 | 水准 | 1983-05 | 2006-12 | 70 | BA | 90 | 96 |
| | 基线 | 1983-05 | 2006-12 | | CA | 40 | 120 |
| 龙灯坝 | 水准 | 1985-07 | 2006-12 | 70 | BA | 146 | 72 |
| | 基线 | 1985-05 | 2006-12 | | DA | 48 | 72 |
| 老乾宁 | 水准 | 1980-05 | 2006-12 | 75 | 13 | 90 | 168 |
| | 基线 | 1979-09 | 2006-12 | | 53 | 54 | 192 |

设测线与断层的夹角为 θ （定义为测线顺时针转动到与断层线重合时所转过的角度），测线伸长量为 ΔL （缩短量符号为负），上盘逆时针相对下盘的扭错量为 l ，水平拉张量为 d ，垂直上升量为 h ，水准变化量为 Δh （由上盘到下盘为往测方向），则在两条 θ 不同的测线上，同时施测水准基线，可唯一确定断层各分量参数。计算过程如下：

（1）资料预处理。由于观测之初受各种条件限制，跨断层短水准、短基线测量在 1984 年前年观测周期差异较大，故对所选用的不等间隔观测资料采用 3 次样条插值算法（晓羲，1994）进行内插，将其补插为等间隔观测资料。

（2）提取形变趋势。首先剔除测量数据受场地变化、同震阶跃等的干扰，然后采用多项式拟合形变趋势，对缺少测量资料的数据进行外推，最后得到统一每年 12 个周期的形变趋势数据。

（3）计算年变化量。经多项式拟合后的数据在较短时间内线性较差，因此，分别取每一年的数据进行线性回归，通过回归方程得到各场地每年的变化量。

（4）加权处理。考虑到各场的跨距不一致，为了对比的客观性，以边长为参考确定权系数，统一归算到以 200 m 为标准边长的变化，即以 $200/D$ 作为权系数， D 为基线边测线长度。定权处理后，小于 200 m 的测边信号得到放大，大于 200 m 的测边信号将缩小。

（5）计算各分量参数。利用统一加权处理后的年变化量计算断层各分量的活动参数（薄万举等，1998）。水平扭错、水平张压及垂直升降量分

别由下式计算：

$$l = \frac{\Delta L_1 \sin \theta_2 - \Delta L_2 \sin \theta_1}{\sin \alpha_1 \cos \alpha_2 - \cos \alpha_1 \sin \alpha_2}, \tag{1}$$

$$d = \frac{\Delta L_1 + l \cos \theta_1}{\sin \theta_1}, \tag{2}$$

$$h = \frac{1}{2}(\Delta h_1 + \Delta h_2). \tag{3}$$

在（1）~（3）式中，下标 1、2 分别代表测线序号。 $l > 0$ 表示左旋， $d > 0$ 表示张性， $h > 0$ 表示逆断层，符号相反分别表示断层活动性质相反。

根据上述模型和定义，分别对鲜水河断裂带 7 个跨断层测点资料进行计算并作时间序列值曲线图（图 1、2、3）。

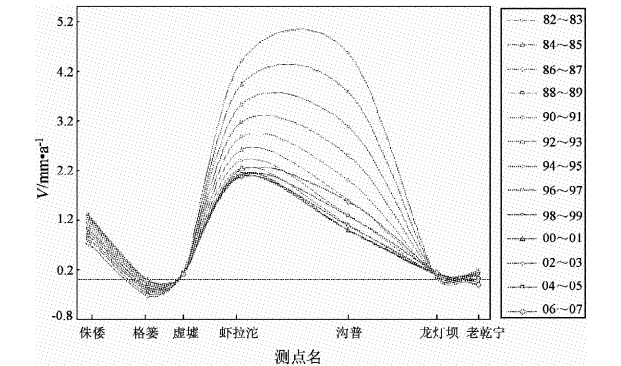


图 1 鲜水河断裂跨断层测点水平扭错
活动年平均序列值曲线图

Fig. 1 Annual mean successive value diagram
of curves on torsion deformation

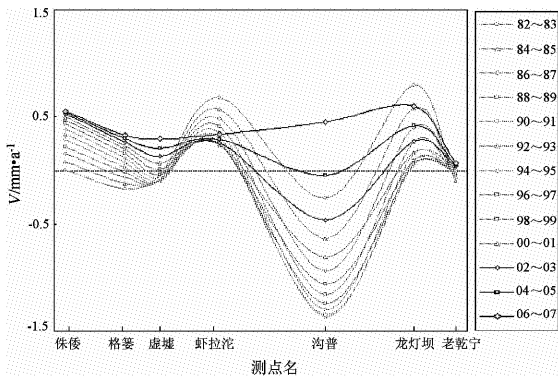


图2 鲜水河断裂跨断层测点水平张压活动年平均序列值曲线图

Fig. 2 Annual mean successive value diagram of curves on tension deformation

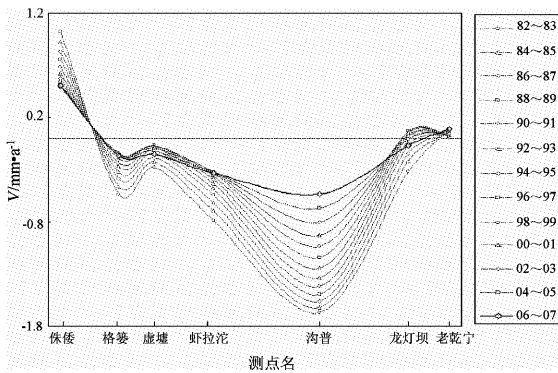


图3 鲜水河断裂跨断层测点垂直升降活动年平均序列值曲线图

Fig. 3 Annual mean successive value diagram of curves on vertical deformation

2 处理结果分析

2.1 左旋扭错活动

图1是1982~2007年间鲜水河断裂跨断层形变测点水平扭错活动两年均值曲线图。图中各测点的变化大体展示出了1981年道孚6.9级地震以来鲜水河断裂带各处断层的左旋运动特征。从总体来看,侏倭、虾拉沱和沟普三测点左旋扭错运动较为显著,侏倭量级为1.1 mm/a,虾拉沱为2.8 mm/a,沟普为2.0 mm/a,格婆—虚墟、龙灯坝—老乾宁段活动水平较低,年平均运动量均在1 mm以内。从该图时序变化特征看,鲜水河断裂北段的侏倭测点左旋扭错活动衰减至1997年基本结束,1998~2001年间维持在1.0 mm/a作匀速的

左旋运动,2002年后又从1.0 mm/a开始作持续的衰减运动,2007年左旋运动量仅为0.7 mm。4年时间内扭错量级持续减小,表明左旋运动水平有所减弱,断层在保持了多年的匀速运动后再次衰减似乎有受到区内外强震影响的痕迹。虾拉沱、沟普测点受1981年道孚6.9级地震影响,震后衰减变化量级非常明显,虾拉沱在道孚地震后的第一个8年时间内断层左旋扭错衰减活动明显,从1982年的4.5 mm/a衰减至1989年的3.1 mm/a,第二个8年则作明显的调整运动,虽仍有衰减活动趋势,但变化量级相对较小。随后这种持续的衰减活动结束,1997年后则稳定在2.0~2.2 mm/a间作匀速的左旋扭错运动。沟普测点受道孚6.9级地震影响也分为两个“8年”的变化阶段,一是震后的第一个8年阶段,左旋扭错量不断衰减,从最初的4.8 mm/a衰减至1989年的2.4 mm/a,第二个阶段仍然是调整阶段,该时间段内左旋扭错速率相对减小,断层活动水平相对减弱。1998年开始以1.0 mm的活动量级匀速运动,表明道孚地震后的调整运动在1997年结束。从2002年开始,断层的左旋活动水平有所加速,由2002年的1.1 mm/a增至2007年的1.7 mm/a,这表明自2002年以来,该测点可能受到了外力的影响。由于老乾宁测点处于惠远寺拉分区内(闻学泽,2000),受其地质条件和地理位置影响,长期以来断层活动均不明显。道孚地震后该处断层仍以0.1 mm/a的量级左旋运动,2002~2004年间,这种长期的断层左旋运动消失,2005年至今呈现出明显的右旋运动趋势,虽然量级不大,但改变了断层的活动特性,似乎是受到了外力影响。

2.2 水平张压活动

图2是1982年以来鲜水河断裂各测点水平张压活动序列两年均值曲线图。总体来看,该图清晰地反映出自道孚6.9级地震后至2007年的26年间,鲜水河断裂带的张压活动水平一直较低,平均活动量小于1 mm。北段的侏倭—格婆—虚墟和南段的龙灯坝均表现出张性活动,中段的沟普则有压性向张性逐步转变的趋势。从时间序列上看,鲜水河断裂带的张性运动分三种形态,一是张性活动趋势逐渐加大的侏倭、格婆、虚墟、龙灯坝和老乾宁测点,这些测点自1982年以来,张性活动水平随时间的推移而加大,但量级各不相同。

二是张性活动水平逐渐减小的虾拉沱、龙灯坝测点,这两个测点在 1982 ~ 2001 年间张性活动量逐渐减小,且量级差异不大,2002 年后则同步地逐渐加大,断层的张压活动特征有渐趋活跃的趋势。三是压性活动较强的沟普场地,该处断层在震后的 1982 ~ 1996 年间表现出较强的压性活动趋势,当量级达到 1.4 mm 后,于 1997 年开始这种压性运动逐渐稳步减小,2002 ~ 2005 年间快速逼近“闭锁”,2006 年后断层表现出明显的张性活动状态,活动水平为 0.5 mm。

2.3 垂直升降活动

图 3 是 1982 年以来鲜水河断裂各测点垂直升降活动序列两年均值曲线图。总体来看,该图反映出了道孚 6.9 级地震以来鲜水河断裂带构造特性的差异,即南北两段为正断层,中段的格婆—虚墟—虾拉沱—沟普为逆断层,且平均活动量级较小,这与该断裂带属于走滑活动性质的断裂有关。从时间序列分析可看出,垂直升降活动序列曲线随时间变化表现出较好的规律性,正断层活动量随时间的推移由大到小,逆断层活动量则由小变大,这种活动规律一直持续至 2005 年。2006 年以来,虚墟和龙灯坝测点逆断层活动量级有所增强,其余测点无明显的变化。

2.4 小结

从以上分析可知,鲜水河断裂带大多数形变测点受道孚 6.9 级强震影响,震后断层左旋扭错运动逐步减弱,至 1998 年前后结束,稳定在一定量级上作蠕滑运动。但 2001 年底昆仑山口西 8.1 级地震发生后,中段的沟普测点扭错活动量逐渐减小,同时于 1997 年后结束了的压性活动,在 2002 ~ 2005 年间也快速逼近“闭锁”,直至 2006 年才改变多年的活动习性,呈张性活动趋势;同样以左旋扭错为主的老乾宁在该时间段内也改变了多年的断层活动习性,呈右旋运动趋势,但垂直升降活动分量在该时间段内则没有明显的变化。以上这些均表明,昆仑山口西 8.1 级地震对鲜水河断裂带断层活动造成了一定的影响,致使该断裂中南段断层在水平扭错分量和水平张压分量上发生了较明显的变化,有的甚至改变了断层多年的活动特性,而对于垂直分量则没有明显的影响,说明昆仑山口西 8.1 级地震对于鲜水河断裂带产生的水平向挤压作用显著。

3 昆仑山口西 8.1 级强震后鲜水河断裂形变观测值分析

为讨论昆仑山口西 8.1 级强震对鲜水河断裂带的影响,我们选择了自 2000 年来有明显形变的测点,进行综合分析(图 4)。

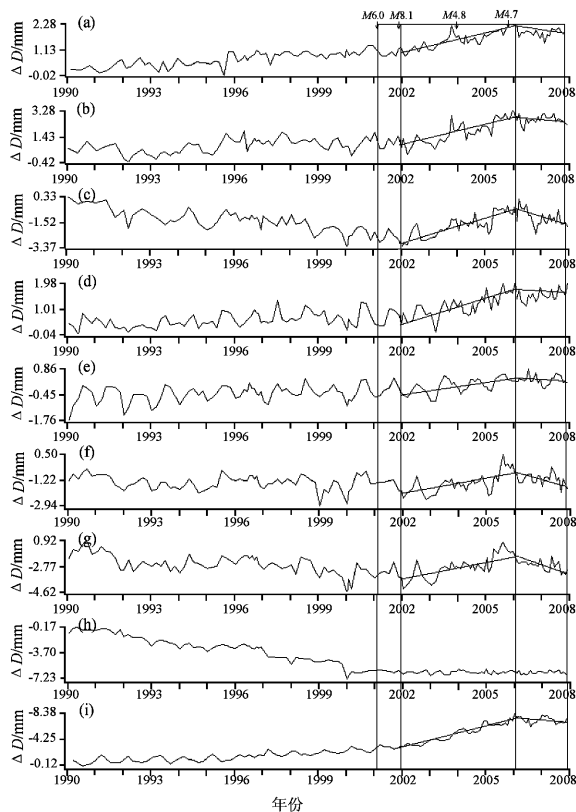


图 4 鲜水河断裂带跨断层短基线、短水准部分测点变化曲线图

Fig. 4 Curve diagram of short base line and short leveling at some observing stations in Xianshuihe cross fault

- (a) 格婆基线 AC; (b) 虚墟基线 AB; (c) 虚墟基线 AC;
(d) 龙灯坝基线 AB; (e) 龙灯坝基线 AC; (f) 老乾宁基线 31; (g) 老乾宁基线 35; (h) 沟普基线 AB;
(i) 道孚水准 SN

分析图 4 可知,鲜水河断裂带及其附近地区发生 5.5 级以上强震前,该断裂带大多数水平形变测点将在震前 1 ~ 2 年时间内出现明显变化。而自 2002 年初开始到 2005 年底的 4 年时间内,几乎所有测点均表现出明显的曲线上变化,表明该时间段内鲜水河断裂带断层活动呈拉张态势,有的

测点甚至改变了多年断层蠕动的特点,有了新的活动迹象。如南段的龙灯坝和老乾宁测点,改变了断层多年左旋活动的特性,呈右旋活动态势,其间断裂带及其附近无 5.5 级以上地震发生。虽然在川藏交界的妥坝曾发生过一次 5.6 级地震,但该地震震中位置与鲜水河断裂带无明显的构造联系,且震中距为 240 km,超过了预测指标范围,这表明 2002 ~ 2005 年间出现的明显异常并不是该地震的前兆。那么,如此长时间的明显变化究竟是什么原因呢? 是否为 2001 年雅江 6.0 级地震的震后效应呢?

自 2001 年来,鲜水河断裂带及其附近区域只发生过一次雅江 6.0 级地震,而雅江 6.0 级地震发生在 2001 年初,由图 4 长方形部分可看出,雅江 6.0 级地震后至 2001 年底近一年时间内,鲜水河断裂带断层活动没有明显的变化,这说明该变化不是雅江地震影响所致。而自 2001 年 11 月底昆仑山口西 8.1 级强震发生后,断层的拉张运动开始逐渐启动,维持了 4 年之久,于 2005 年底结束,且在趋势上升的背景下出现了两次明显的变化,分别在 2003 年 12 月和 2005 年 10 月底发生了道孚 4.7 和 4.8 级地震。这说明,2002 年初至 2005 年底的断层拉张活动与昆仑山口西 8.1 级地震有一定的关系,其间的两次 4.7 级左右地震是该强震震后调整过程引发的地震。

4 结论与讨论

由前文对鲜水河断裂各测点断层的水平扭错、水平张压、垂直升降活动以及各观测曲线的分析可知,昆仑山口西 8.1 级地震后,鲜水河断裂中南段断层的走滑和张压活动分量有所改变,垂直升降活动变化则不明显。中段的沟普测点扭错活动量逐渐减小,有恢复衰减的痕迹。同时于 1997 年后结束了的压性活动在 2002 ~ 2005 年间也快速逼近“闭锁”,直至 2006 ~ 2007 年间改变多年的活动习性,出现张性活动趋势。同样,以左旋扭错为主的老乾宁在该时间段内也改变了多年的断层活动习性,出现右旋运动趋势。

由上面的结论可知,昆仑山口西 8.1 级地震对

鲜水河断裂带中南段断层活动影响不是太明显,表现在水平扭错和水平张压活动分量上的活动有可能是断层内部应力场演化的结果,也有可能是外部的影响所致。且 2003 ~ 2005 年间在鲜水河断裂中南段的道孚有 2 次 4.5 ~ 4.8 级地震发生,因而认为鲜水河断裂带各测点处断层的活动有可能是这 2 次地震的影响造成的。

参考文献:

- 薄万举,谢觉民,郭良迁.1998. 八宝山断裂带形变分析与探讨 [J]. 地震, 18 (1): 63 - 68.
- 皇甫岗,李忠华,秦嘉政,等.2007. 川滇菱形块体强震活动关联分析 [J]. 地震研究, 30 (3): 205 - 209.
- 李杰,赵金花.2001. 苍山 5.2 级地震前后沂沭断裂带地壳垂直形变时空动态演化特征 [J]. 地震研究, 24 (4): 307 - 314.
- 陆明勇,牛安福,白长清,等.2006. 地壳形变短临异常与地下水位短临异常识别方法的初步研究 [J]. 地震研究, 29 (1): 13 - 20.
- 吕弋培,李铁明,廖华.1997. 鲜水河断裂带跨断层形变测量及其地震学意义 [J]. 地震地质, 19 (4): 333 - 340.
- 吕弋培,廖华.2001. 鲜水河断裂形变场、重力场、磁场动态演化特征与地震 [J]. 四川地震, (3): 11 - 16.
- 苏琴.2005. 川滇菱形块体垂直形变速率 [J]. 四川地震, (1): 43 - 46.
- 王永安,刘强,王世芹.2004. 丽江 7.0 级地震前断层形变累积率的变化特征 [J]. 地震研究, 27 (1): 61 - 65.
- 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.
- 晓羲.1994. 功能最强的科学图形工具用户指南 GRAFTOOL [M]. 北京: 学苑出版社.
- 燕乃玲,潘纪顺,郭玉莲,等.2001. 沂沭带形变、重磁场时空变化特征与地震活动 [J]. 地震研究, 24 (2): 126 - 130.
- 杨永林,苏琴.2007. 鲜水河断裂带现今活动研究 [J]. 大地测量与地球动力学, 27 (6): 24 - 27.
- 张希,江在森,王双绪,等.2005. 川滇地区现今块体水平运动变形的弹性块体边界负位错模型与强震地点预测 [J]. 地震研究, 28 (1): 119 - 124.
- 张希,张四新,王双绪.2004. 昆仑山口西 8.1 级地震前后地壳身残志坚运动的负位错模型 [J]. 地震研究, 27 (2): 153 - 157.
- 张晓亮,江在森,王双绪,等.2005. 川滇地区现今块体水平运动变形特征分析 [J]. 地震研究, 28 (3): 262 - 267.
- 张永久,乔慧珍,程万正,等.2007. 四川盆地区域介质衰减特征研究 [J]. 地震研究, 30 (1): 43 - 48.

Influence of the Kunlun Mountain $M_s8.1$ Earthquake to the Xianshuihe Fault Activity

SU Qin, YANG Yong-Lin, ZHANG Yong-Jiu, LUO Hai-Yuan, ZHENG Bing

(*Earthquake Administration of Sichuan Province, Chengdu 610041, Sichuan, China*)

Abstract

In this paper, we calculate the torsion, tension and vertical deformation of the Xianshuihe fault over the years and discuss the fault activity behavior on the basis of deformation of the measuring point along the fault based on the observational data of short leveling and baseline along the Xianshuihe fault since 1981. The results show that the torsion and tension deformation has changed a little, but vertical deformation is not obvious along the the middle-south segment of Xianshuihe fault after the Kunlun Mountain $M_s8.1$ Earthquake. The decreased torsion deformation at the Goupu measuring point in the middle segment is similar to that of the Daofu $M_s6.9$ earthquake. Compressive activity of the fault had consummated after 1997, drawn on to the fault locking status with a high-speed from 2002 to 2005. Till 2006 to 2007, its activity behavior of years changed and tensional activity trend showed up. Also, the left-lateral distortion deformation in the Laoqianning measuring point also changed and the right-lateral distortion deformation trend has come into being.

Key words: Xianshuihe fault; cross-fault deformation; fault activity; the Kunlun Mountain $M_s8.1$ Earthquake