

# 昆仑山口西 8.1 级地震引起的 地下流体远场响应研究<sup>\*</sup>

杜 方, 吴 江

(四川省地震局, 成都 610041)

**摘要:** 通过对 2001 年 11 月 14 日中国西部昆仑山口西 8.1 级地震引起的川滇块体内四川地区地下流体远场响应的分析研究, 得到了地下流体在四川地区表现出的远震响应的分区特征。探讨了四川地区地下流体远场响应与区域构造、活动断裂以及断裂带间相互作用和昆仑山口西 8.1 级地震远场构造的相互联系, 分析了四川地区地下流体远场响应表现出的对远震的孕震、震时和震后响应的阶段性特征, 认为地下流体远场响应所包含的远震“孕震响应”、“震时响应”和“震后响应”, 正是昆仑山口西 8.1 级地震在孕育—发展—发生的全过程中在震源外的远场反映。

**关键词:** 昆仑山口西 8.1 级地震; 地下流体; 远场响应; 四川地区

**中图分类号:** P315.72<sup>+</sup>3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-0666(2008)03-0197-06

## 0 前言

随着地震监测资料的较多积累, 地下流体的远场效应异常引起了广泛关注。1990~1999 年新疆天山及相邻地区发生的 3 次  $M_s 7.0$  以上地震和 1 次  $M_s 6.9$  强震群 (包括 11 次 6 级以上地震) 每次大震前距震中数百甚至上千千米的天山地区多个地下流体观测点不同程度地出现多项明显前兆异常 (高小其等, 2000); 1997 年 11 月 8 日西藏玛尼 7.5 级地震在乌鲁木齐等地区引起水位异常效应 (王道等, 1999); 2001 年 11 月 14 日昆仑山口西 8.1 级地震前后, 新疆北天山地区多个流体监测点的测项出现了明显的异常变化 (高小其等, 2002)。许多学者对新疆和华北地区地下流体异常的变化类型、时间演化、区域分布以及异常成因等进行研究, 获得了对区域地下流体异常变化反映的构造牵动、深部介质以及地壳浅层应力场等变化的深入认识 (高小其等, 2006; 杜建国等, 2000; 丁国瑜等, 1991), 这将有助于区域地下流体远场效应的异常识别。

2001 年 11 月 14 日, 青藏高原 EW 向的东昆仑断裂中东段发生昆仑山口西 8.1 级地震。这是

1951 年 11 月 18 日西藏当雄 8 级地震后, 50 年来在青藏块体发生的又一次巨大地震, 也是我国具备一定测震、前兆等监测手段且全面开展地震监测预报后, 我国大陆发生的首次巨大地震。由于此次地震发生在人迹罕至的青藏高原, 即使是距离震中最近的格尔木地震台震中距也达 330 km, 因此, 此次地震缺乏近场的前兆监测资料。但在与青藏构造相关联区域的前兆监测台, 在地震前后都监测到了比较丰富的远场信息。例如: 四川地区监测台网虽然远离这次地震震中上千千米, 但在地震前还是监测到了明显的远场信息。总结研究昆仑山口西 8.1 级地震的远场信息, 不论对未来远场地震还是近场地震前兆异常的监测研究, 都有十分重要的意义。

## 1 昆仑山口西 8.1 级地震与四川地区地质构造的联系

### 1.1 昆仑山口西 8.1 级地震与四川地质构造的联系

青藏高原构造区内分布着雅鲁藏布江、喀喇昆仑—嘉黎、东昆仑、金沙江—红河以及鲜水河—安宁河—小江等重要的活动断裂带。位于青藏

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2008-01-03.

基金项目: 国家科技支撑计划子专题“地下流体动态响应特征和强地震预测方法研究”项目 (2006BAC01B02-03-03) 资助。

高原北缘的阿尔金—祁连—海原走滑断裂带和南缘的喀喇昆仑—嘉黎走滑断裂带是青藏高原规模最大的走滑断裂，前者为左旋性质，后者为右旋性质（丁国瑜等，1991），总体上造成其间的青藏高原主体区域向东挤压。而川滇地块是高原侧向挤出最突出的块体（汪一鹏，2003），这也使得区域内的次级构造带活跃，其中对四川地区影响较大的有金沙江—红河、鲜水河—安宁河—小江等断裂带，前者为川滇菱形块体的西南边界，后者构成了川滇菱形块体的东界（丁国瑜，1991）。东昆仑断裂带是青藏高原一条规模较大的分割次级的巴颜喀拉块体与柴达木块体的边界断裂带，该断裂从以SN向挤压为主转化为以左旋走滑活动为主（汪一鹏等，1991）。地震地质研究表明，2001年发生的位于东昆仑左旋走滑活动构造带的8.1级地震（中国地震局监测预报司，2002）是由于青藏高原东北部块体向东逃逸造成断裂左旋扭动的结果，地震破裂表现为自西向东单向扩展的特点（沈军等，2002）。震后野外考察表明，地震地表破裂带沿 $N70^{\circ}\sim 90^{\circ}W$ 走向呈线状展布，高分辨率卫星影像清晰反映了地震地表破裂带形迹，破裂带全长约350 km（徐锡伟等，2002；单新建等，2005），与川滇菱形块体中四川地区的构造联系十分密切。

1.2 远场地震对川滇块体四川区域的影响

图1<sup>a</sup>是青藏高原历史上7.5级以上强震活动分布图。地震沿活动块体的主体边界展布，例如1997年11月8日西藏玛尼7.5级地震、1937年1月7日青海阿兰湖东7 $\frac{1}{4}$ 级地震、1947年3月17日青海达日南7 $\frac{3}{4}$ 级地震以及沿鲜水河—安宁河断裂展布的一系列7.5级以上地震，表明青藏高原历史强震活动与区域活动构造分区密切相关。

由图1<sup>b</sup>可见，1997年11月8日西藏玛尼7.8级大地震之后，从西藏玛尼、川藏交界到川滇交界形成了明显的NW—SE向5级以上地震主体活动弧形带。例如：1998年11月20日云南宁蒗6.2级、2000年1月15日云南姚安6.5级、2000年6月8日缅甸克钦邦7.0级、2000年9月12日青海杂多6.6级、2001年3月5日西藏玛尼6.4级、2001年2月23日四川雅江6.0级以及2001年10月27日云南永胜6.0级等地震就发生在这一弧形带上或附近，显示出远场地震发生前对川滇块体产生的重大影响。

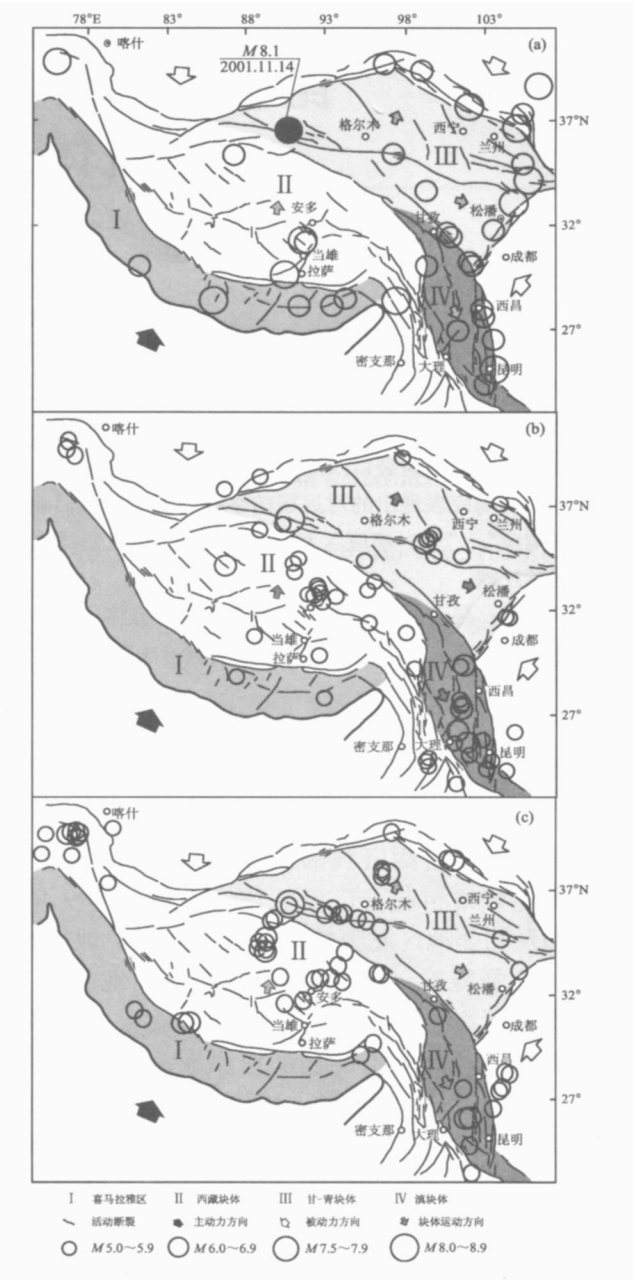


图1 青藏高原区域地震分布图  
(a) 公元前780年~公元2001年7.5级以上强震;  
(b) 1998年11月1日~2001年11月14日5级以上地震;  
(c) 2001年11月14日~2006年12月31日5级以上地震  
注: 图中粗黑线为印度与欧亚板块碰撞边界, 不同的阴影代表不同的构造块体。

昆仑山口西8.1级地震后，通过对地震现场的地质与震害考察发现，地表破裂沿东昆仑山断裂从西向东展布，其余震主要集中分布在距离主震震中以东180 km外的 $93^{\circ}\sim 95^{\circ}E$ 之间（中国地震局监测预报司，2002）。由图1<sup>c</sup>可见，在青藏高原东缘相关地区，与这次巨震同步，中等地震也相

对活跃。例如: 四川新龙 2002 年 8 月 8 日 5.3 级, 云南大姚 2003 年 7 月 21 日 6.2 级、10 月 16 日 6.1 级等地震。从余震活动和之后的中强地震活动看, 远场地震的发生对川滇块体产生了明显影响。

2 昆仑山口西 8.1 级地震远场响应的区域特征

2.1 川滇块体西北部温泉水温响应

四川西部地区温泉群在构造上位于川滇菱形块体的西北边界地带。理塘毛垭 (29°59'N 100°13'E)、乡城热乌 (28°43'N 99°54'E) 和巴塘 (30°16'N 99°26'E) 等温泉在昆仑山口西 8.1 级地震前均同步出现较大幅度的水温变化, 显示了四川西部地区处于受挤压时的应力变化状态。

(1) 理塘毛垭川—51 温泉位于发生 1948 年理塘 7¼ 级地震的理塘—德巫断层上。1995 年 8 月至 1997 年 2 月该泉泉水曾经干涸, 1997 年 3 月 1 日开始出水, 1997 年 11 月玛尼 7.8 级地震后, 水温从十几度逐步上升, 1998 年 10 月至 2001 年 9 月间达到 46℃ 左右。在 8.1 级地震前短期内水温下降到 41℃ 左右, 震后继续缓慢下降至 38℃。

(2) 2001 年 11 月 2~4 日, 巴塘川—58 温泉水温从 56℃ 下降到 48℃, 降幅达 8℃, 震后继续缓慢下降至 50℃ (图 2 a)。

(3) 2001 年 11 月 6~10 日, 乡城川—52 温泉水温从 55℃ 突降到 51℃, 降幅达 4℃ (图 2 b)。

由此可见, 四川西北部的温泉干涸、水温上升及下降等变化反映了 8.1 级地震在孕震过程中的远场中期挤压性响应变化。地震前后水温突降或缓慢下降, 随后又准同步出现恢复性变化, 表明了川滇菱形块体西边界从挤压到拉张的差异活动过程。

2.2 川滇块体中部深井水位响应

四川中部地区的深井在构造上位于川滇菱形块体的东北与东南边界的交汇地带, 如石棉川—02 井 (29°26'N 102°13'E) 位于鲜水河断裂、安宁河断裂的交汇部位。昆仑山口西 8.1 级地震前, 该井同步出现较大幅度水位变化 (图 3), 显示出四川中部地区受挤时的应力变化状态。

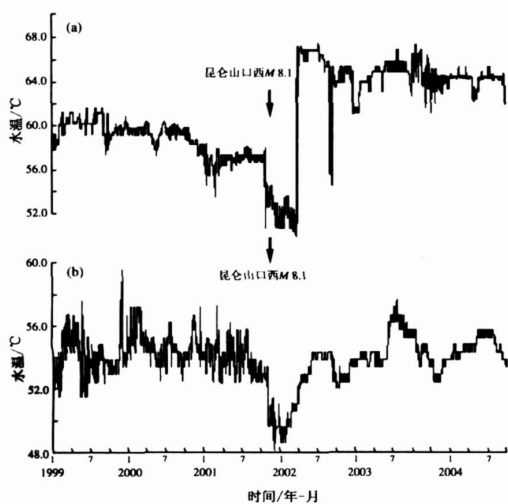


图 2 川滇块体西部温泉水温日均值曲线 (a) 巴塘川—58 温泉; (b) 乡城川—52 温泉

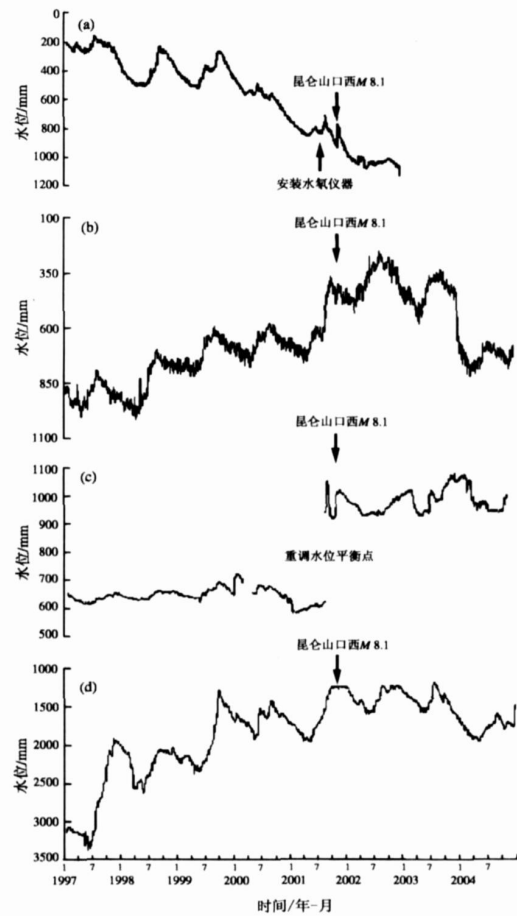


图 3 川滇块体中部和南部井水位日均值曲线 (a) 石棉川—02 井; (b) 西昌川—03 井; (c) 攀枝花川—05 井; (d) 会理川—18 井

由图 3 a 可见, 在昆仑山口西 8.1 级地震前, 石棉川—02 井水位持续下降, 地震发生时又产生较大幅度的同震阶变和震后水位大幅度上升, 累计上升幅度达 170 mm, 显示了川滇块体边界转折

特殊部位的受力状态变化。同时显示出昆仑山口西 8.1 级地震发生前块体差异活动传递致使川滇块体向南挤压加剧,而鲜水河、安宁河断裂的交汇部位正好是川滇块体东部的 NW 走向边界向 SN 走向边界转折的部位,该部位受到不同走向断裂活动的影响,造成应力—应变容易积累和释放,就可能在转折部位出现拉张和挤压交替的情况。

### 2.3 川滇块体南部深井水位响应

四川南部地区的深井在构造上位于川滇菱形块体的东南边界地带,例如,西昌川—03、攀枝花川—05、会理川—18 井等。在 1997 年 11 月 8 日西藏玛尼 7.8 级地震前,井水位年变比较规律,但震后,无论从趋势拟合还是按每年的最低和最高水位分析,都出现持续长达 4 年之久的同步趋势性上升变化。显示了川滇菱形块体的东南边界地带受挤压状态时的应力变化。

(1) 西昌川—03 静水位观测井,处于安宁河断裂与则木河断裂交汇的复合部西侧。西藏玛尼 7.8 级地震后,该井水位明显持续上升,显示突出的高水位异常(图 3b)。

(2) 攀枝花川—05 动水位观测井位于安宁河断裂西侧。西藏玛尼 7.8 级地震后,与西昌川—03 井同步出现趋势性上升,2001 年 9 月 11 日至 10 月 16 日出现突升、突降的巨变异常也是该井自 1982 年投入观测以来从未出现过的。2001 年 10 月 27 日,距该井 126 km 的云南永胜发生 6.0 级地震,震后该井仍处于高水位。昆仑山口 8.1 级地震震时及震后水位再次出现总幅度达 104 mm 的大幅度上升(图 3c)。

(3) 会理川—18 静水位观测井位于安宁河断裂与则木河断裂之间。西藏玛尼 7.8 级地震后,该井也出现趋势性水位上升,1999 年 9 月底至 10 月初首次出现高水位,持续数日潮汐大潮水溢出井口。2001 年 9 月水位再创新高,井水溢出持续时间长,进入冬季水位仍不回落,明显打破正常年变,2001 年 10 月 27 日,距该井 180 km 的云南永胜发生 6.0 级地震,震后,井水继续溢出井口。遗憾的是由于该井保持高水位,日潮汐大潮水溢出井口,致使昆仑山口西 8.1 级地震时水位全貌无法反映,井水在 8.1 级地震后持续 2 个多月高水位,于 2002 年 1 月 25 日才开始回落(图 3d)。

从构造部位看,西昌川—03 井、攀枝花川—05 井和会理川—18 井都位于川滇菱形块体东南主

干边界断裂带西南侧,井水位同步出现持续 4 年的趋势性上升,反映出川滇块体持续向南挤压活动的增强状态。

## 3 昆仑山口西 8.1 级地震远场响应的 时间进程

四川地区的地下流体监测点可观察到来自远震震源外围地区的孕震、同震和震后信息,而且具有明显的阶段性特征。

### 3.1 中长期远场响应

在中长期阶段,川滇菱形块体西北部边界地带温泉水温呈现总体性趋势下降,川滇菱形块体东南区域的井水位持续上升,两者同步显示川滇块体向东南挤压加剧。

在昆仑山口西 8.1 级地震的中长期孕震阶段,四川西部温泉出现水温升降、井喷、干涸等明显变化。1996~2001 年间理塘毛垭温泉出现了干涸、低温现象,干涸前的平均水温在 55℃ 左右;1996 年 6 月初开始温泉水温骤降,40 天内从 60℃ 左右直降至 20℃;到 8 月 13 日观测泉点完全干涸,无法维持观测,故观测暂停;1997 年该泉重新出水,但水温一直偏低,保持在 40℃ 左右。巴塘、乡城温泉水温这一期间也出现下降变化(图 2)。这种水温的变化充分表明了这一地区块体处于受挤压状态。

长期监测显示,川滇菱形块体东侧边界一带区域的井水位观测都呈现比较稳定而有规律的年变形态。西藏玛尼 7.8 级地震之后,西昌川—03 井、会理川—18 井以及攀枝花川—05 井水位均出现长达 4 年的同步趋势性上升(图 4)。

从构造部位看,西昌川—03 井和会理川—18 井以及攀枝花川—05 井都位于川滇菱形块体东南主干边界断裂带区域,井水位同步出现持续 4 年的趋势上升,比较同步地反映出川滇块体持续向南挤压活动的增强态势,属于昆仑山口西 8.1 级地震震源外围地区反映出的远震孕震的中长期响应信息。也就是说在昆仑山口西 8.1 级地震的中长期孕震过程中,在震源外围地区,与地震地质构造有关的远震孕震信息已经开始显现,昆仑山断裂带地震发生前边界两侧块体的差异活动加剧,而且这种差异活动已经影响到川滇块体,促使其形成向南挤压明显加剧。

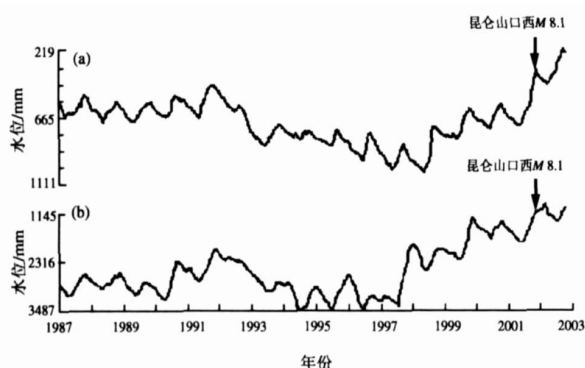


图 4 四川静水位井观测日均值曲线  
(a) 西昌川—03井; (b) 会理川—18井

### 3.2 中短期和震后远场响应

在昆仑山口西 8.1 级远震孕震中短期至临震阶段, 四川西部温泉监测到了此次地震在孕震中短期至临震的远场信息 (图 2)。例如 2000 年底巴塘川—58 温泉水温出现下降, 年变低值远低于前几年; 2001 年 11 月 2 日水温开始大幅下降, 4 日水温均值降至  $50^{\circ}\text{C}$  低值 (从单测值的  $56^{\circ}\text{C}$  下降到  $48^{\circ}\text{C}$ ), 下降了  $8^{\circ}\text{C}$ ; 乡城热乌川—52 温泉水温也出现类似变化。在震前数月温泉水温趋势下降的背景下, 震前 10 天左右同步出现温泉水温大幅度下降, 表明川滇块体向南挤压加剧过程中造成川滇菱形块体西边界挤压—拉张的差异活动加剧。在此次地震临震时远场地下流体出现大幅度变化, 震后出现恢复性变化, 例如: 巴塘川—58 温泉水温低值持续到 2002 年 3 月, 之后开始恢复。在昆仑山口西 8.1 级地震之后, 川滇菱形块体东南侧边界一带区域的西昌川—03 会理川—18 以及攀枝花川—05 等井均在 2002 年同步达到历年最高水位, 2003 年后呈现趋势性恢复下降, 2004 年开始同步趋势性恢复, 直至接近 1997 年开始上升时的水位。

由此可见, 川滇菱形块体西侧的温泉水温变化和东南侧的井水位恢复均反映出昆仑山口西 8.1 级地震所产生的震时和震后远场响应, 均同步显示随着此次大震的发生, 巨大能量的释放, 使得川滇块体向南挤压加剧过程减缓并逐步恢复到川滇菱形块体西边界和东边界常年稳定的挤压状态。

## 4 讨论与小结

四川地区地下流体对昆仑山口西 8.1 级地震远场响应具有明显的区域特征: 西部温泉水温下降, 中部井水位下降, 南部井水位持续上升, 各区域地

下流体同步响应信息表明了川滇块体向南挤压加剧过程中造成西边界在震前受压趋于拉张的变化, 以及东北与东南边界构造转折部位受压趋于拉张的变化, 并显示出川滇块体持续向东南挤压的活动加强状态。四川地区地下流体响应的分区特征, 整体反映了昆仑山口西 8.1 级地震的远场响应, 表明了川滇菱形块体出现加速向东南挤压的特征。

四川地区地下流体监测到了昆仑山口西 8.1 级地震震源外围地区远震孕震、同震和震后的明显阶段性特征。在孕震中长期阶段, 川滇菱形块体西北边界温泉水温总体性趋势下降, 中部区域井水位下降, 南部区域井水位持续上升, 显示川滇块体向东南挤压加剧。在孕震中短至临震阶段, 西部温泉加速突降和南部井水位加速上升反映了昆仑山口西 8.1 级地震孕震中短期至临震的远场突变信息; 在震时所产生的大幅度阶变和震后恢复性远场响应, 则显示随着此次地震的发生, 巨大能量的释放, 使得川滇块体向南挤压加剧过程减缓并逐步恢复到川滇菱形块体西边界和东边界的常年稳定状态。

四川区域地下流体的远场响应反映出这次巨大地震孕震、同震和震后阶段在震源外围地区远场应力—应变状态的变化过程。在大区域构造上, 川滇块体的四川地区和昆仑山口地震区同属于青藏高原区域。四川地区在构造上正是位于印度板块—欧亚板块碰撞带东端前沿, 印度板块从北北东向亚欧大陆板块楔入, 造成青藏高原的强烈隆起, 并向东产生强烈挤压作用于四川地区。昆仑山口西 8.1 级地震在地震地质构造上与青藏块体东南部位的四川地区有明显的联系, 因此不难解释在地震前后, 四川地区监测到的地下流体异常反映出了震源外围地区远场应力—应变状态的变化。

四川地区地下流体的远场响应, 是昆仑山口西 8.1 级地震震源外围地区与地震有关的间接信息。从这次地震的发震构造分析, 其发震断裂东昆仑断裂带是青藏高原一条规模较大、分割次级的巴颜喀拉块体与柴达木—祁连山块体的断裂带 (中国地震局监测预报司, 2002), 在地震地质构造上与位于青藏块体东南部的川滇菱形块体有明显的联系。四川地区的前兆监测点距离此次地震震中上千千米, 反映的并不是 8.1 级地震震源区的信息, 而是来自震源外围地区的信息。从传统意义上讲, 这些信息不是来自 8.1 级地震震源区的直接前兆反映, 而是与

这次地震孕育构造有关的远场响应。

四川地区地下流体的突出异常信息，显然不是来自四川本区域地震震源区孕育—发生—发展过程的直接前兆反映。虽然期间有 1998 年 11 月 20 日云南宁蒗 6.2 级、2000 年 1 月 15 日云南姚安 6.5 级、2001 年 2 月 23 日四川雅江 6.0 级以及 2001 年 10 月 27 日云南永胜 6.0 级等一系列地震发生，但前述地下流体异常显示的区域和时间进程特征是不能用这些地震来解释的，这些在震源外围地区监测到的与地震地质构造有关的信息，与此次 8.1 级地震的孕育—发生—发展全过程相呼应，是震源的一种远场异常响应，而且异常响应清晰地显示出“孕震响应”、“震时响应”、“震后响应”的特征。

显然，对四川地区地下流体监测到的远场异常，仅仅依据震级的大小与前兆异常距离的远近来认识是不够的。依据《中国震例》（张肇诚等，1988），以 200 km、300 km、500 km 为半径，分别作为 5 级、6 级、7 级地震的前兆异常统计范围，那么 8 级地震按 7 级地震反映范围增加一倍也只有 1 000 km，而昆仑山口西 8.1 级地震与四川地区最远的会理川—18 井相距 1 450 km，远远突破了人们对地震的“狭义”前兆异常分布范围的传统认识。因此，仅仅依据传统震级与前兆异常距离的远近来认识前兆异常是不够的，越来越多的观测事实已经向传统认识提出了挑战，值得深思。

参考文献：

丁国瑜主编. 1991. 中国岩石圈地球动力学概论 [M]. 北京：地震出版社.

杜建国 康春丽. 2000. 强地震前兆异常特征与深部流体作用探讨 [J]. 地震, 20 (3): 96—102.

高小其 崔勇 张学敏, 等. 2000. 天山地区地下流体大震（强震群）远场前兆异常的研究 [J]. 高原地震, 12 (4): 25—32.

高小其 许秋龙 王道. 2002. 昆仑山口西 8.1 级地震前后地下流体远场效应的研究 [J]. 高原地震, 14 (3): 12—20.

高小其 陈华静 高国英. 2006. 新疆地下流体源兆、场兆、大震远兆特征的统计与分析 [J]. 地震, 26 (2): 14—22.

单新建 李建华 马超. 2005. 昆仑山口西  $M_s8.1$  级地震地表破裂带高分辨率卫星影像特征研究 [J]. 地球物理学报, 48 (2): 321—326.

沈军 尹光华 赵瑞斌. 2002. 2001 年 11 月 14 日新疆青海交界东昆仑山 8.1 级地震构造背景初探 [J]. 内陆地震, 16 (1): 1—7.

汪一鹏主编. 1991. 活动断裂研究理论与应用 [M]. 北京：地震出版社.

汪一鹏 沈军 王琪, 等. 2003. 川滇块体的侧向挤出问题 [J]. 地质前缘, 10 (408): 189—192.

王道 卢静芳 陈玲. 1999. 西藏 7.5 级地震在乌鲁木齐地区地下水中的远场效应 [J]. 内陆地震, 13 (1): 93—95.

徐锡伟 陈文彬 于贵华, 等. 2002. 2001 年 11 月 14 日昆仑山库赛湖地震 ( $M_s8.1$ ) 地表破裂带的基本特征 [J]. 地震地质, 24 (1): 1—13.

张肇诚 罗兰格 李海华, 等. 1988. 中国震例 (1966—1975) [M]. 北京：地震出版社.

中国地震局监测预报司. 2002. 2001 年昆仑山口西 8.1 级大地震 [M]. 北京：地震出版社.

Far-field Response of Ground Water to West Kunlun  
M<sub>s</sub>8.1 Earthquake

DU Fang WU Jang

(Earthquake Administration of Sichuan Province Chengdu 610041 Sichuan China)

Abstract

The ground water level and temperature in the Sichuan area of Sichuan-Yunnan Block showed far field response to the West Kunlun M<sub>s</sub>8.1 earthquake on Nov. 14, 2001. We discuss the correlation between the regional tectonics in the Sichuan area and the seismogenic tectonic of the distant earthquake and analyze the characteristics of the far field response by zone and by stage. We think that the stages of seismogenic coseismic and postseismic responses in the Sichuan area are just a far field reflection of the whole process of the West Kunlun M<sub>s</sub>8.1 earthquake from preparation to development and to occurrence.

Key words: West Kunlun M<sub>s</sub>8.1 earthquake; underground fluid; far field response; Sichuan area



**温瑞智** 中国地震局工程力学研究所信息技术与工程材料室主任、研究员,中国地震局新世纪百人计划人选。1994年毕业于大连理工大学工程力学系,获硕士学位。1999年毕业于中国地震局工程力学研究所,获博士学位,随即入哈尔滨工业大学力学博士后流动站和北京工业大学土木工程博士后流动站工作。中国地震学会会员、中国地理信息系统协会会员、加拿大土木工程协会会员、加拿大地震工程协会会员。主要从事强震动观测、断层对地震动影响、信息技术在防灾减灾领域中的应用等研究。



**潘纪顺** 中国地震局地球物理勘探中心高级工程师。2002年毕业于中国科学技术大学地球与空间科学学院固体地球物理学专业,获理学硕士学位。2007年毕业于中国地震局地球物理研究所固体地球物理学专业,获理学博士学位。主要从事浅层地震勘探、地震宽角折射、反射勘探、高分辨率折射地震勘探、火山监测、桩基检测等工作,主要研究方向是地震数据处理、地震成像与反演。



**杜方** 四川省地震局研究员。1992年毕业于武汉测绘科技大学,获硕士学位。主要从事现今地壳运动及动力学、前兆机理与地震预测方法等研究。



**刘勇健** 广东工业大学副教授。1993年毕业于成都理工学院油气地质与勘探专业,获工学硕士学位。现在中国科学院广州地球化学研究所地质构造专业攻读博士学位。主要从事岩土工程的教学与研究工作。



**刘琼仙** 云南省地震局高级工程师。1988年毕业于江苏工学院计算机及应用专业,获工学学士学位。主要从事强震动观测网络及信息的研究工作。



**耿杰** 山东省地震局副局长。1985年毕业于山东科技大学地质系。主要从事地震分析预报与研究工作。



**胡先明** 四川省地震局高级工程师。1981年毕业于国家地震局天水地震学校地球物理专业,1988年毕业于中国科学技术大学地球物理专业。主要从事水库诱发地震研究和地下水观测等工作。



**王爱国** 中国地震局地震预测研究所兰州基地副研究员。1994年毕业于兰州大学地质系,2002年获中国地震局兰州地震研究所硕士学位。主要从事地震地质、工程地震及数值模拟等方面的研究工作。