

# 青海玉树地震的 InSAR 数据同震形变场 模拟与参数反演分析

周慧芳<sup>1,2</sup>, 张景发<sup>2\*</sup>, 胡乐银<sup>3</sup>, 罗毅<sup>2</sup>

(1. 中国地震局地壳应力研究所, 北京 100085; 2. 山东科技大学地质学院, 青岛 266510;  
3. 北京市地震局, 北京 100080)

**摘要:** 2010年4月我国青海省玉树藏族自治州的玉树县发生了 Ms7.1 级地震, 这次地震(震中 33.2°N 96.6°E, Ms=7.1)是由甘孜-玉树断层的强烈活动引起。甘孜-玉树断裂带大部分分布于青海-西藏高原, 北西走向。该断裂带和鲜水河断裂带共同组成了巴颜喀拉地块的南边界, 二者在甘孜附近成左阶错列分布。在区域构造背景分析和卫星图像、航片解译的基础上, 本文给出了玉树地震地表破裂带的空间展布特征。利用 D-InSAR(合成孔径雷达差分干涉测量)技术获得了玉树地震的同震形变场, 继而得到了地震引起的 LOS 向的地表位移和发震断层的大致位置。通过对玉树地震同震形变场的分析得到本次地震的动力学特征为明显的左旋走滑。另以同震形变场和发震断层的初始模型, 模拟了本次地震的同震形变场, 同时通过边界元反演方法得到了断层的特征参数。反演得出的结论和野外调查的结果基本一致。

**关键词:** 玉树地震; 同震形变; 合成孔径雷达差分干涉测量; 断层参数

**DOI:** 10.3724/SP.J.1047.2011.00418

## 1 引言

2010年4月14日青海玉树发生了 Ms7.1 级地震, 其中震级最大的一次发生于7时49分, 震中(33.2°E, 96.6°N)位于我国青海省玉树藏族自治州的玉树县境内。甘孜-玉树断裂带是中国大陆西南地区规模宏大、地震活动最活跃的断层之一, 是现今构造活动特别强烈的活断裂。该断裂带大部分分布于青海-西藏高原, 其总体走向北西西-北西, 为一大型走滑断裂。它与鲜水河断裂带共同构成了巴颜喀拉地块的南边界<sup>[1]</sup>, 并在甘孜附近两者呈现左阶错列。巴颜喀拉地块的北、东边界分别为昆仑山断裂带和龙门山断裂带。2008年的汶川地震就发生于龙门山断裂带上。同时该断裂带还与鲜水河断裂带、安宁河断裂带、小江断裂带共同组

成康滇菱形块体的北边界。周荣军及彭华等分别于1996年和2006年研究了甘孜玉树断裂的晚第四纪活动特征和第四纪活动特征。陈运泰等根据波形资料反演的这次地震的标量地震矩大约为  $4.4 \times 10^{19}$  Nm, 对应的矩阵级 7.0, 表明震源机制的两个界面分别为: 走向 119°, 倾角 83°, 滑动角 -2° 和走向 209°, 倾角 88°, 滑动角 -173°, 继而根据玉树地区的断层构造背景, 最终确定青海玉树的地震的发震断层为走向 119°, 倾角 83° 的左旋走滑断层。王卫民等利用 P 波初动资料进行点源模型的波形反演, 依据此反演结果加上远场 P 波波形和 SH 波波形资料反演震源过程, 计算得到的地震矩为  $2.4 \times 10^{19}$  Nm, Mw=6.9, 最大滑动 240cm。本文以 InSAR 合成孔径雷达差分干涉测量技术, 通过遥感解译和野外调查资料, 对玉树地震的发震构造和断

**收稿日期:** 2010-10-10; **修回日期:** 2011-03-30.

**基金项目:** 国家科技支撑项目“基于空间对地观测的地震监测技术、预测方法与应用示范-专题 InSAR 误差分析与校正方法研究”(2008BAC35B04-1); 国家自然科学基金项目“永久散射干涉雷达测量当雄断裂活动性的关键技术研究”(40774023)。

**作者简介:** 周慧芳(1986-), 女, 山东滕州人, 硕士生, 研究方向为应用地球物理。E-mail: zhou-huifang@live.cn

\* **通讯作者:** 张景发(1962-), 男, 江苏扬中人, 博士, 研究员, 研究方向为遥感及干涉雷达技术应用。

E-mail: zhangjingfa@hotmaili.com

层破裂参数进行了研究。

## 2 玉树地震的区域构造背景

早在上个世纪,就有学者先后对甘孜-玉树断裂带的构造特征开展了研究。四川省地矿局于 80 年代初,对本区进行了 1:20 万区域地质填图工作<sup>[2]</sup>。随后闻学泽等对该断裂带的新构造特征进行了初步的野外考察,并指出该断裂带是自中生代以来形成和发展起来的大型活动断裂,在第四纪以来以水平左旋走滑运动为主<sup>[3]</sup>。1991-1992 年,南水北调西线工程野外考察队对该断裂带的重点地段进行了较系统的研究,并对断裂带进行了初步的分段<sup>[4]</sup>。彭华等人的研究结果表明,大致以错阿和俄支为界,根据其断裂带几何特征、结构特征和活动性的差异将该断裂带分为 3 段:东南段由一组斜列的左旋断裂组成,由来马乡的绒坝岔进入甘孜盆地,向东经生康、嘎拉,消失于石门坎。断裂活动形成甘孜-左阶拉分盆地,岩桥区地震活动强烈;中段以强烈走滑活动为主,由错阿向西北进入马尼干戈盆地,跨越海子山,经竹庆盆地进入俄支盆地

并在断裂北侧形成一系列断陷盆地,存有古地震遗迹;北西段由俄支向西北进入俄支盆地,自邓柯向北转折,由主干断裂及一系列羽状断裂斜截复合,且以左旋走滑为主,与断裂有关的断陷盆地都发育在断层的西侧,地震活动分散,且活动性较弱<sup>[4]</sup>。

本区有正式文字记载的历史强震如下:1738 年青海玉树西北发生过一次地震,震中位置 33.3°N, 96.6°E,周荣军,闻学泽等将其震级定位 7.5 级<sup>[5]</sup>。活断层的野外实地调查情况表明:甘孜玉树断裂玉树段晚第四纪以来没有明显的活动性,地貌上表现为宽大的断层谷地,也没有发现该次地震造成的地震地表破裂带,而当江段断错地貌特征清晰,冲沟、洪积扇的位错表明了断裂左旋走滑活动为主的特征<sup>[6]</sup>。四川石渠县洛须区(即原邓柯县)于 1896 年在发生过一次地震(32.5°N,98°E),周荣军、闻学泽等将其震级定位 7.5 级<sup>[5]</sup>。该地震地表破裂带是基岩断裂的左旋错动在地表新地层中形成的脆性剪切破裂带,反映了 1896 年地震时近 EW 向水平主压应力方向<sup>[6]</sup>。据相关文献记载青海玉树南东方向在 1979 年发生了 6.2 级地震。这三次地震均发生于断裂带的 NW 段,而此次的玉树地震也发生于甘孜-玉树断裂带的 NW 段上,再一次证明了该断裂带的强烈活动性。据《四川及其邻区强震简目》(黄圣陆等,1984)描述,1854 年在甘孜附近发生了一次地震,震中位置 31.6°N,99.8°E,甘孜-玉树断裂甘孜段地表形迹清楚,最新一次地震断错主要由断层陡坎组成<sup>[5]</sup>。据中国地震台网中心记载,玉树地震主震发生之后,截至到 2010 年 7 月 23 日 15 时 00 分共记录到余震总数为 2885 个,3.0 级以上余震 36 个,其中 6.0-6.9 级地震 1 个,5.0-5.9 级地震 2 个,4.0-4.9 级地震 9 个,3.0-3.9 级地震 24 个。据中国地震局应急现场工作队野外调查资料显示,此次地震的地面破裂带的各主破裂由一系列支破裂雁列排列组成,呈现一系列的挤压鼓包和拉张裂隙相间排列,反映出纯剪切破裂的特征和左旋走滑的动力学特征。如图 2 所示,图 2(a)、(b)是航片上反映的隆洪达地区的地表破裂带。图 2(c)、(d)是野外采集的图片。从航片资料以及野外调查资料中可以看出,同震地表破裂带均反映出明显的剪切左旋特征。

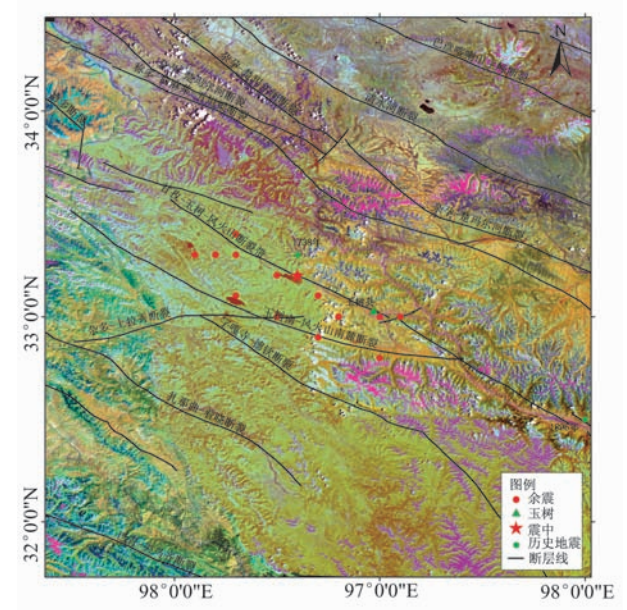


图 1 研究区的构造背景及主震、余震分布图(余震数据时间为 2010 年 4 月 14 到 2010 年 7 月 23 日,震级在 3 级以上;底图为 ETM 影像;叠加的断层为邓启东的全国断层分布图,比例尺 1:4 000 000)

Fig. 1 Structural setting and mainshock and aftershock distribution of the research area

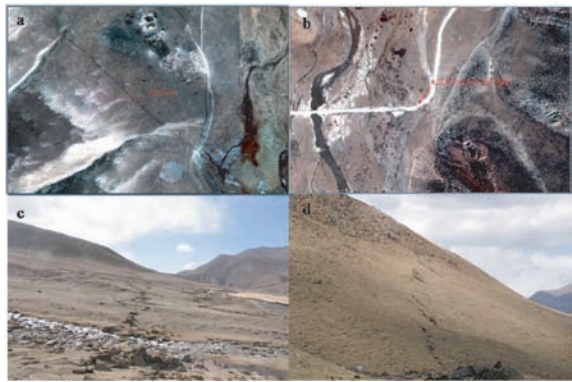


图2 同震地表破裂带反映的动力学特征  
(a)隆洪达地区同震地表破裂带;(b)隆洪达地区同震地表破裂带错段道路;(c)同震地表破裂(N33°04′22.5″,E96°49′31.9″),镜向NW;(d)同震地表破裂(N33°01′42.3″,E96°53′55.0″),镜向NW。(图(a)、(b)航片数据来源于中科院对地观测与数字地球科学中心;图(c)、(d)来源于中国地震局官方网站 <http://www.ccea.gov.cn/manage/html>)  
Fig. 2 The kinematics properties of co-seismic ground rupture. (a) The co-seismic ground rupture in Longhongda area observed by aerial survey; (b) The road was cut by the ground rupture; (c) Co-seismic ground rupture, view to NW; and (d) Co-seismic dislocation, left lateral, view to NW

### 3 实验区 InSAR 数据同震形变场模拟与参数反演分析

#### 3.1 InSAR 数据处理

本文采用 ALOS PALSAR 的雷达数据,分别对震前和震后的两景升轨数据进行了差分干涉处理,对原始雷达数据的处理采用的是 JPL 开发的 ROI\_PAC 3.0 软件,并使用了 SRTM(The Shuttle Radar Topography Mission)数字高程模型去掉地形信息,剩下的相位值就是测量到的沿着卫星视线向的地表形变。使用的 SRTM 模型的空间分辨率为 3s,水平和垂直方向的分辨率分别为 20m 和 16m<sup>[7]</sup>。表 1 给出了本次试验中用到的雷达数据的相关信息。图 3 是经过差分干涉处理后得到的同震形变图,图 3a 给出的是重新缠绕的干涉图,图 3b 是干涉图的解缠结果。

图 3(a)中一个颜色周期代表卫星视线向 1 个波长(23.6cm)的形变量。同震形变场大约 75km 长,55km 宽,同时可以看到沿甘孜-玉树-风火山断层的破裂带有大致 2 个地表破裂中心,一个在震中附近,另一个在 33.1N/96.9E 至玉树县城附

近。从图 3(b)可以看到,由于数据对在时间上仅相隔 3 个月且垂直基线较小,仅为 34m,震区干涉相干性较高,大部分区域可以解缠,但是沿甘孜-玉树-风火山断层的破裂带地表形变较大的区域,图像相干性降低,显示为无法解缠的空白区域。图像左上角及右侧边缘还存在未完全消除的地形、大气等等误差影响,如图 3 中所标椭圆地区。由于用作干涉处理的数据对是升轨,右视的数据,断层的北盘沿着卫星视线向朝着雷达卫星运动,也就是向 NW 向运动,与此相反,断层的南盘就背离雷达方向运动,即 SE 向运动。断层运动呈现明显的左旋特征<sup>[8-11]</sup>。

表 1 本次研究中使用的 ALOS PALSAR 数据及其参数

Tab. 1 Information about ALOS PALSAR datasets this research used						
Data	Pass	Orbit	Frame	Date	B <sub>⊥</sub>	B <sub>∥</sub>
ALOS PALSAR	D	487	650	2010. 01. 15	—	—
ALOS PALSAR	D	487	650	2010. 04. 17	34	840

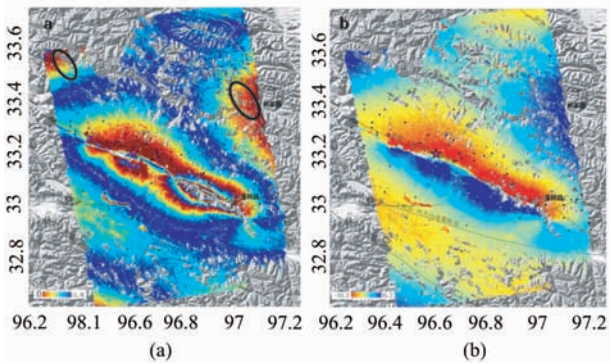


图3 玉树地震差分干涉图  
(a)重新缠绕的 ALOS PALSAR 干涉图,底图是 SRTM DEM,标五角星的是震中。(b)差分干涉图解缠结果

Fig. 3 Interferogram of Yushu Earthquake  
(a) The rewrapped ALOS PALSAR interferogram superimposed on a hill-shade SRTM DEM. The epicenter is donated with a star; (b) The unwrapping result of the interferogram

#### 3.2 玉树震区断层参数反演与分析

断层面位错单元的滑移量  $m$  与地表某点  $p$  的位移  $d$  之间的关系可用如下线性方程表示(Maerten,2005):

$$d = G \cdot m + E$$

其中, $E$  为观测误差; $G$  为影响系数(格林函数),描述滑移量对地表位移的影响程度。利用此

方程,当断层几何,以及滑移量分布已知时可正演出地表位移场;当地面位移已知时可反演断层几何以及位错单元的滑移量<sup>[12-13]</sup>。表 2 为不同研究机构给出的震源机制解,从中可以看出,不论是节面走向还是倾角、滑动角都有一定的差别,说明矩张量解具有不确定性,但是断层面方向均是 SSW 和 NWW 向,震源断层显示出走滑特征。本文以上述干涉同震形变场,反演了断层几何特征参数。本研究采用了两种断层模型,旨在获得玉树地震最好的发震断层模型,得到更加合理的发震断层参数,首先参考哈佛大学等研究机构的 CMT 解,来确定初始迭代参数,如表 3,表 4 中所示。

表 2 玉树地震的震源机制解

Tab. 2 The focal mechanism solutions of Yushu Earthquake

编号	节面 1			节面 2			P 轴		T 轴	
	走向 (°)	倾角 (°)	滑动角 (°)	走向 (°)	倾角 (°)	滑动角 (°)	方位 (°)	仰角 (°)	方位 (°)	仰角 (°)
1	209	58	175	301	86	32	70	19	169	25
2	200	77	-180	290	90	13	64.26	9.15	155.74	9.15

注:编号 1 是 USGS 的震源机制解,编号 2 是中国地震局预测研究所的震源机制解结果)

表 3 单段模式发震断层初始参数及断层性质

Tab. 3 The initial parameters and properties of the “a single model” of the seismogenic fault

发震断层	走向 (°)	倾角 (°)	长度 (km)	宽度 (km)	深度 (km)	断层 性质
一段模式	119	80	75	20	10	左旋走滑

表 4 两段模式发震断层初始参数及断层性质

Tab. 4 The initial parameters and properties of the “two segments model” of the seismogenic fault

发震断层	走向 (°)	倾角 (°)	长度 (km)	宽度 (km)	深度 (km)	断层 性质
两段模式	119	80	25	20	10	左旋走滑
	125	80	50	20	10	左旋走滑

由于干涉图数据量过大,直接用于计算显然是不合理的。因为形变数据在空间上是高度相关的,因此,可缩减数据量,并且不丢失重要信息。图 4 (a)就是经过数据重采样得到的结果,总共有 1371 个点,用于模拟计算,可提高计算效率,节省时间。通过分析图 4(a)和图 4(b)可得,该断层破裂带的 NW 向和 SE 向有两个形变较大的区域,宏观震中

应该位于这两个位置。在断层的北盘位移为负值,即北盘整体向 NW 向运动,南盘的位移为正值,即整体向 SE 向运动,断层两盘的位移分布呈现典型的左旋特征,正说明玉树地震的发震断层具有左旋走滑的动力学特征。从图 4(c)残差分布可以看到,残差分布很好的接近断层迹象线。但是在破裂带的右下侧残差比较大,这是由于解缠结果不是很理想造成的。

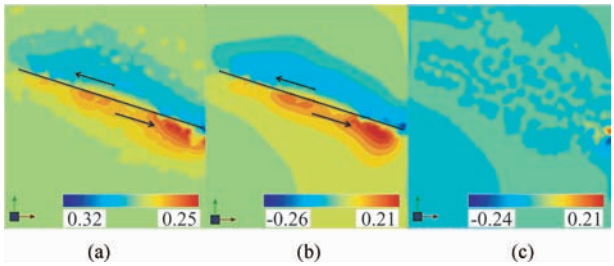


图 4 数值模拟结果  
(a) 根据干涉图的解缠结果重采样得到的同震位移场  
(b) InSAR 模型正演的地表位移场  
(c) 二者之间的残差  
(在这个坐标系中,红色箭头代表正东向,绿色代表正北向,蓝色代表正上垂直方向。)整体拟合残差 0.0075m,均方根误差 0.017m。

Fig. 4 Simulation results  
(a) The resample result of co-seismic deformation field;  
(b) InSAR model prediction; (c) Residual between them.  
(The red arrow shows the east direction; the green, north; and the blue one shows up direction)

经过迭代计算,得到了一段模式发震断层最优参数组合解,长 62km,宽 14km,倾角 75°,走向 119°。计算地震矩为  $2.86 \times 10^{19}$  Nm,根据 Kanamori 经验公式<sup>[14]</sup>矩震级为 6.9。USGS 的地震矩张量是  $2.5 \times 10^{19}$  Nm,本文得到的地震矩比 USGS 给出的稍微偏大,但是数量级是一致的。与张永、陈运泰等人利用波形资料反演得到的走向 119°,倾角 83°,地震矩为  $2.7 \times 10^{19}$  Nm,矩震级为 Mw6.9 等相一致<sup>[15]</sup>。与王卫民等利用 P 波初动资料进行点源模型的波形反演,以及远场 P 波波形和 SH 波波形资料反演震源过程,计算得到的地震矩基本一致。

### 3.3 结果分析

根据上述结果,为了使断层迹象线更好地与观察到的破裂带相贴合,结合地表破裂带的空间展布,以及干涉图上断层线痕迹建立分段断层发震模

式。根据一段发震模式的结果将断层分为两段,每一段都约定了断层的位置、长度,以及走向,倾角,从而更好地描述了发震断层<sup>[16-17]</sup>。

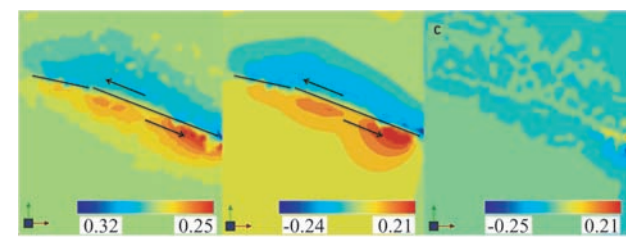


图 5 数值模拟结果

(a)根据干涉图的解缠结果重采样得到的同震位移场;  
(b)InSAR 模型正演的地表位移场;(c)二者之间的残差。  
(在这个坐标系中,红色箭头代表正东向,绿色代表正北向,蓝色代表正上垂直方向。)整体拟合残差 0.0111m,均方根误差 0.021m。

Fig. 5 Simulation results

(a) The resample result of co-seismic deformation field;  
(b) InSAR model prediction; (c) Residual between them. (The red arrow shows the east direction; the green, north; and the blue one shows up direction)

在两段发震断层模式中,为提高效率,仍然使用重采样后的形变数据。通过对图 5(a)、(b)的分析可得,和一段模式发震断层基本一致,两段模式正演的地表位移场断层破裂带的 NW 向和 SE 向有两个形变较大的区域。在断层的北盘位移为负值,即整体向 NW 向运动,南盘的位移为正值,即整体向 SE 向运动,断层两盘的位移分布呈现典型的左旋特征。经过迭代计算,得到分段模式发震断层最优参数组合解,第一段长 25km,宽 14km,倾角 75°,走向 119°;第二段长 37km,宽 14km,倾角 75°,走向 124°。地震矩为  $2.86 \times 10^{19}$ ,矩震级为 6.9。由于采用了分段断层模型,从图 5(c)残差分布可以看到,和单段模式相比,残差分布更加贴近断层迹象线,因而我们认为分段模型要优于单一断层模型。虽然分段断层模型的残差整体略大于一段模式的残差,但从残差所体现的断层迹象、地表破裂带的空间展布特征(包括宏观震中情况)等来分析,本文选择分段模型。

## 4 结论

青海玉树地震发生于巴颜喀拉地块的南边界甘孜-玉树断裂带上,该区构造环境比较复杂,本

次地震以及历史地震均发生在断裂带的北西段上,这反映了甘孜-玉树断裂带具有强烈的活动性。本文基于 D-InSAR 技术,得到了震区同震形变场的分布特征,并测量出了同震位错量,了解了发震断层的性质。通过本文的研究,我们确定了发震断层位于甘孜玉树断裂带的西北段,走向大约为 N61°W,断层上盘沿雷达视线向上升约 32cm,下盘沿雷达视线向下降约 25cm,两盘的相对位错达 57cm。经计算此次地震的地震矩为  $2.86 \times 10^{19}$  Nm,相应的矩震级为 6.9。虽然单一断层模型的残差略小于分段断层模型,但后者的残差分布更贴近断层迹象线,结合地表破裂带的空间展布以及干涉图上断层破裂带痕迹等分析,分段断层模型要优于单一断层模型。

## 参考文献:

- [1] 冉勇康,等. 甘孜-玉树断裂及历史大地震活动情况简况 [D]. 中国地震局地质研究所, <http://www.eq-igl.ac.cn>.
- [2] 周荣军,马声浩,等. 甘孜-玉树断裂带的晚第四纪活动特征[J]. 中国地震, 1996, 12(3): 250-260.
- [3] 闻学泽,黄圣睦,江在雄. 甘孜-玉树断裂带的新构造特征与地震危险性估计[J]. 地震地质, 1985, 7(3): 23-32.
- [4] 李闽峰,刑成起,蔡长星,等. 玉树断裂活动性研究[J]. 地震地质, 1995, 17(3): 218-224.
- [5] 周荣军,闻学泽,等. 甘孜-玉树断裂带的近代地震与未来地震趋势估计[J]. 地震地质, 1997, 19(2): 115-124.
- [6] 彭华,马秀敏,白嘉启,等. 甘孜玉树断裂带第四纪活动特征[J]. 地质力学学报, 2006, 12(3): 295-304.
- [7] Farr T, et al. The Shuttle Radar Topography Mission [J]. Reviews of Geophysics, 2007, 45(2): 1-33.
- [8] Jonsson S, et al. Fault Slip Distribution of the 1999 Mw 7.1 Hector Mine, California, Earthquake, Estimated from Satellite Radar and GPS Measurements[J]. BSSA, 2002, 92(4): 1377-1389.
- [9] 乔学军,等. 当雄 Ms6.6 地震的 InSAR 观测及断层位错反演[J]. 大地测量与地球动力学, 2009, 29(6).
- [10] 孙建宝,等. 升降轨道 ASAR 雷达干涉揭示的巴姆地震 (Mw6.5) 3D 同震形变场[J]. 遥感学报, 2006, 10(4).
- [11] 张桂芳,单新建,等. 利用 D-InSAR 技术研究西藏改则地震同震形变场[J]. 地震地质, 2009, 31(2).
- [12] Maerten F, et al. Inverting for Slip on Three-Dimensional Fault Surfaces Using Angular Dislocations[J]. BSSA, 2005, 95(5): 1654-1665.

- [13] Thomas A L. Poly3D: A Three-Dimensional, Polygonal Element, Displacement Discontinuity Boundary Element Computer Program with Applications to Fractures, Faults, and Cavities in the Earth's Crust[D]. Stanford University, 1993.
- [14] Kanamori H. The Energy Release in Great Earthquakes[J]. *Reviews of Geophysics*, 1997, 35(2): 2981–2987.
- [15] Zhang Yong, Xu Lisheng, Chen Yuntai. Source Process of the 2010 Yushu, Qinghai, Earthquake[J]. *Science China Earth Sciences*, 2010.
- [16] Zhang L, Wu J C, *et al.* Determining Fault Slip Distribution of the Chi-Chi Taiwan Earthquake with GPS and InSAR Data Using Triangular Dislocation Elements[J]. *Journal of Geodynamics*, 2008, 45: 163–168.
- [17] 张景发, 郭庆十, 龚利霞, 等. 应用 InSAR 技术测量矿山沉降与变化分析——以河北武安矿区为例[J]. *地球信息科学*, 2008, 10(5): 651–657.

## Co-seismic Deformation Field and Parameters Inversion of the Yushu Earthquake from InSAR

ZHOU Huifang<sup>1,2</sup>, ZHANG Jingfa<sup>1</sup>, HU Leyin<sup>3</sup>, LUO Yi<sup>1</sup>

(1. *Institute of Crustal and Dynamics, China Earthquake Administration, Beijing 100085, China;*

2. *Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510, China;*

3. *Earthquake Administration of Beijing Municipality, Beijing 100080, China*)

**Abstract:** An earthquake (33.2°N, 96.6°E,  $M_s=7.1$ ) struck Yushu Zang Autonomous Prefecture, Qinghai Province of China on 14 April 2010, which was triggered by the strong activity of Ganzi-Yushu Fault. And the Ganzi-Yushu Fault which distributes mostly in Qinghai-Tibet Plateau orientates NW direction. Also it is the south boundary of Bayanhar Belt together with Xianshuihe Fault, and they are left step nearby Ganzi area. From regional geological results and aero-photos in combination with detailed field study, the ground ruptures show a series of compressional bumps and tension fissures, therefore we can draw a conclusion that all these characteristics reflect the kinematics properties of left-lateral and strike-slip fault. Then D-InSAR (Differential Synthetic Aperture Radar Interferometry) technique is used to acquire the co-seismic deformation field, it gives the spatial distribution of the ground rupture zone of the earthquake in the one hand, and in the other hand the surface displacement in LOS direction was derived and the location of the source fault was determined. According to the analysis of the co-seismic deformation field, it also shows typical characteristics of left-lateral and strike-slip fault. Geodetic inversions are a useful tool for estimating source parameters of earthquakes. Thereby based on the dislocation of co-seismic and the fault plane model, we got the simulation co-seismic deformation field, and simultaneously the fault's attitude is obtained by the boundary element inversion method. There is evident surface rupture along the main shock's causative in the interferogram, and the co-seismic deformation field is about 75km in length and 55km in width. The seismogenic fault of the main shock strikes about N61°W, dips NE, and inverted fault dipping direction and dip-slip are consistent with field investigation. During the process of simulation, we adopted the different fault models respectively. Through the comparison and analysis of different simulation results, we prefer the segmentation fault model. The maximum dislocation in LOS of the earth surface is 0.57m, the seismic moment is about  $2.86 \times 10^{19}$  Nm, which equals to a  $M_w=6.9$  earthquake.

**Key words:** Yushu Earthquake; co-seismic deformation; D-InSAR; fault parameters