

## 岷县漳县 6.6 级地震前地震活动能量场分析<sup>①</sup>

罗国富, 曾宪伟, 马禾青, 杨明芝

(宁夏回族自治区地震局, 宁夏 银川 750001)

**摘要:**运用随机函数理论将地震释放能量作为地震活动场的基本要素,采用自然正交函数展开方法系统研究了 2013 年岷县漳县 6.6 级地震前震中区域地震活动能量场的时空特征。结果表明:地震前能量场的前 4 个主要特征值对应的典型能量场时间因子出现明显上升变化,可能是中短期时间异常特征;而主要典型场的空间等值线形成局部能量高值异常危险区,可能是中短期空间异常特征。最后分析不同时间段研究区域均值能量场空间变化图像,显示出岷县漳县 6.6 级地震前震中确实存在长期的能量场高值危险区背景,短期的能量场均值异常显著变化;宁夏南部及邻区也存在长期的能量场高值危险区背景,只是短期的能量场均值异常不明显,未来几年或稍长时间也存在发生强震的可能。

**关键词:**岷县漳县 6.6 级地震;地震活动;能量场;随机函数;时间因子;高值异常

**中图分类号:** P315.53

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-0844(2014)02-0314-06

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2014.02.0314

## Analysis of Energy Field of Seismic Activity before the Minxian—Zhangxian $M_s6.6$ Earthquake

LUO Guo-fu, ZENG Xian-wei, MA He-qing, YANG Ming-zhi

(Earthquake Administration of Ningxia Hui Autonomous Region, Yinchuan, Ningxia 750001, China)

**Abstract:** The Minxian—Zhangxian  $M_s6.6$  earthquake that occurred on Jul. 22, 2013 is of great interest to the earthquake research community. In this paper, we describe the data we obtained for energy released by earthquakes and use the data to represent the basic elements of the seismic energy field. Then, we discuss the spatiotemporal features of the regional seismic activity by the random function theory and the method of natural perpendicular function before 2013. The time weight factors of the typical energy field indicate that the energy field was increasing in this region. The factors corresponded to the four key eigenvalues of the energy field before the Minxian—Zhangxian  $M_s6.6$  earthquake. The spatial image of the key typical fields showed a danger zone having an abnormally high value relative to local energy, which may be the medium-short-time abnormal. After analyzing the mean spatial image of the energy field in recent years, indications are that the Minxian—Zhangxian  $M_s6.6$  earthquake occurred in a high release zone of energy field, which may be the medium-short-space abnormal. Finally, after analyzing the mean energy field of the image of different time periods and different study areas, we found that high values of the long-time energy field existed before the earthquake. Several conclusions can be drawn including that the zone of high values may be the danger zone, mean value of short-time energy field is significantly abnormal, and, furthermore, there is a long-time high value danger region of seismic en-

① 收稿日期:2013-09-18

基金项目:地震科技星火计划项目(XH13024Y)

作者简介:罗国富(1978—),男(汉族),山西沁源人,高级工程师,主要从事地震预测与预报工作。E-mail: luoguofu\_05@163.com

ergy field in the south of the Ningxia area. Although the mean abnormal of short-time seismic energy field is non-notable, our analysis suggests that there may be a strong earthquake in the region the next few years. Additionally, we analyzed the seismic energy field in the epicenter region of the Minxian—Zhangxian  $M_s6.6$  earthquake. Our analysis indicates that there were different distinct changes of four time factors of typical seismic energy fields from Sep. to Nov. 2011, Aug. to Nov. 2012, and Apr. to July 2013. In other words, a medium-short abnormal characteristic of the seismic energy field existed two years before the earthquake on July 22, 2013. Secondly, by analyzing the spatial contours of the two main seismic energy fields of the July 22, 2013 earthquake our research indicates that a danger area of high value abnormal of seismic energy field existed near the Minxian and Zhangxian in the preceding five years. The danger area may have coincided with the spatial anomaly of the July 22, 2013 earthquake. Thirdly, by analyzing distribution characteristics of spatial contours of the seismic energy field over different time periods, we concluded that there were spatial medium-short high value abnormal regions of earthquake energy at different times and for different epicenter areas before the July 22, 2013 earthquake. Furthermore, strong earthquake danger may exist near several faults including the Lixian—Luojiapu fault and Diebu—Bailongjiang fault in the region of south—east of Gansu province, Xiangshan—Tianjingshan fault, Haiyuan fault, and Liupan mountain fault in the south of Ningxia. Fourthly, we can analyze time-space information for abnormal earthquake activity using the method of natural orthogonal function. This type of analysis may help to forecast a strong earthquake or medium strong earthquake, in a strong earthquake danger area.

**Key words:** Minxian—Zhangxian  $M_s6.6$  earthquake; seismic activity; energy field; random function; time factor; high value anomaly

## 0 引言

1936年2月7日甘肃康乐 $6\frac{3}{4}$ 级地震和1936年8月1日甘肃天水6.0级地震后,甘东南地区出现了长达77年的6级以上地震平静,远远超过历史上平静的最长时间。2013年7月22日甘肃岷县与漳县交界发生6.6级地震,打破了这种平静现象。2008年四川汶川8.0级大震后,其余震沿断裂NW向分布,一直延伸至甘东南的文县境内,此后一些地震学者认为汶川地震可能有利于甘东南地区发生中强地震<sup>[1-2]</sup>。因此2009—2013年甘东南至陕甘宁交界一直是全国强震危险区之一,受到许多地震研究人员关注,在该地区开展了许多研究和探讨。笔者<sup>[3]</sup>在研究甘东南至陕甘宁交界地震活动能量场时空特征中指出,甘东南地区存在中强震背景,但时间上没有作出判断。本文在以往工作的基础上,应用自然正交函数展开方法,试图研究甘东南地区地震能量场的变化,寻求岷县漳县交界6.6级地震前的震前兆信息,为强震预测提供中短临异常依据和震例经验。

杨明芝和赵卫明<sup>[4]</sup>提出地震能量场,应用自然

正交函数展开方法研究了宁夏及邻区中强以上地震与能量场的关系;罗国富和杨明芝<sup>[5]</sup>采用同样方法研究了云南地震区地震活动能量场的时空特征分布特征。近年来在原方法基础上,引入能量场空间等值线高值异常的映震特征和平均能量场分布特征,取得了一些初步结果。如杨明芝<sup>[6-7]</sup>、罗国富<sup>[8]</sup>研究汶川8.0级地震前能量场变化;罗国富<sup>[3,9]</sup>研究甘东南、滇西北至滇南强震危险区内能量场变化;马禾青<sup>[10]</sup>研究青海玉树7.1级地震前能量场变化等。笔者引入地震构造,主要针对2013年4月20日四川雅安7.0级地震开展能量场研究,取得一些新结果可对甘东南地区强震危险性有重点监测和预测。

## 1 研究方法和资料

地震释放能量是地震活动的基本要素,一方面反映了一个区域地震活动的强弱,另一方面也反映了地震释放包含强震孕育过程的信息。因此研究地震活动能量场的时空变化特征,是研究地震活动规律以及探索地震预报的途径。

自然正交函数展开方法是将区域地震释放能量按等间隔 $\Delta S$ 和等时间间隔 $\Delta t$ 进行离散化,作为随机场各个不同空间点和不同时间的观测能量,研究

不同时空的能量特征。具体的计算公式可参考文献[3]、[5]等相关文章,考虑到篇幅这里暂不详细说明。

选择研究区域( $103^{\circ}\sim 107.5^{\circ}\text{E}$ 、 $33^{\circ}\sim 37.5^{\circ}\text{N}$ ),原则是区域范围应当包括西秦岭北缘活动断裂和祁连山—六盘山断裂和临潭—宕昌断裂等其它主要活动断裂,并能反映其相关断裂的地震活动,以及这些活动断裂是否具备发生强震条件,因此分析研究区域地震释放能量,可能发现强震前活动构造断裂周围能量的变化特征。

地震资料使用中国地震台网中心提供的弱震目录,时段取 2008 年 1 月 1 日至 2013 年 7 月 21 日。对此期间地震资料进行  $b$  值检验。该区  $M_L \geq 2.8$  地震记录完整,因此震级下限取  $M_L 2.8$ ;考虑到强震发生率很小,其能量对背景场的影响很大,且这些地震已经不属于区域正常活动状态,故震级上限取  $M_L 5.4$ (换算成  $M$  震级为 5.0),并用 K-K 法删除 5.0 级以上地震的余震。

## 2 能量场时间因子变化

进行能量场时间因子变化分析的具体计算步骤为:区域按  $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$  的网格划分,时间间隔取  $\Delta t = 1/3$  年,计算出  $n$  个网格( $n=81$ )的  $m$  个时间段( $m=17$ )观测到的地震能量、能量距平场和平均值(背景场)的值。当  $t=4$  时,前 4 个典型能量场已超过全部能量场的 95%,如表 1。

表 1 2013 年岷县漳县 6.6 级地震能量场特征值及拟合精度

Table 1 Eigenvalues and fitting accuracy of the energy field of the Minxian—Zhangxian  $M_S$  6.6 earthquake in 2013

| 序号 $i$ | 特征值 $\lambda_i$           | 前 $i$ 个特征值占所有特征值总和的百分比 $\eta$ (拟合精度) |
|--------|---------------------------|--------------------------------------|
| 1      | $8.959\ 8 \times 10^{10}$ | 70.06%                               |
| 2      | $1.878\ 2 \times 10^{10}$ | 84.75%                               |
| 3      | $1.079\ 2 \times 10^{10}$ | 93.19%                               |
| 4      | $0.674\ 4 \times 10^{10}$ | 98.46%                               |

表 1 给出地震能量典型场展开的前 4 个特征向量的特征值,展开拟合精度  $\eta_4$  为 98.46%。其中第一个典型场的特征值为  $\lambda_1 = 8.959\ 8 \times 10^{10}$ ,占总场的 70.06%,是场的主要部分;而取前 4 个典型场占总场 98.46%,就足以相当精确地描述能量场的时空特征。图 1 是 2013 年 7 月 22 甘肃岷县漳县 6.6 级地震前研究区域内前 4 个典型场时间因子变化曲线,可以看出,第一个典型能量场时间因子  $T_1$  长期

维持在基值—166.36 J 附近变化,然而 2011 年 9—12 月研究区能量场出现大幅度上升变化,显示出明显的能量场中短期异常特征。分析异常产生的原因,可以发现 2011 年 11 月 2 日甘肃岷县发生  $M_L 4.9$  地震,打破了甘东南近年形成的 4 级以上地震空区的平静<sup>①</sup>。另外在海原断裂带周围还发生 4 次  $M_L 3.0$  左右地震,这些地震释放能量也可能是出现高值异常的原因。第二个典型场时间因子  $T_2$  在 2008 年 5—8 月出现能量场高值异常,分析原因为受汶川 8.0 级地震的影响,甘东南地区周围发生一系列扩散性地震,导致该时间段内发生高值异常。另外 2013 年 4—7 月也出现地震能量上升趋势的短期异常特征。第三个典型能量场时间因子  $T_3$  在 2008 年 1—12 月出现上升、下降的起伏异常,可能与汶川 8.0 级地震有关。第四个典型能量场时间因子  $T_4$  在 2008 年汶川 8.0 级地震前后同样出现大幅度的下降、上升变化,这种变化可能与汶川 8.0 级地震有关。另外,2012 年 8—12 月能量场时间因子出现上升变化,可能与甘肃岷县漳县周围出现 7 次  $M_L 3.0$  以上地震有关,这些地震释放能量可能是 2013 年 7 月 22 日岷县漳县 6.6 级地震的短临异常。

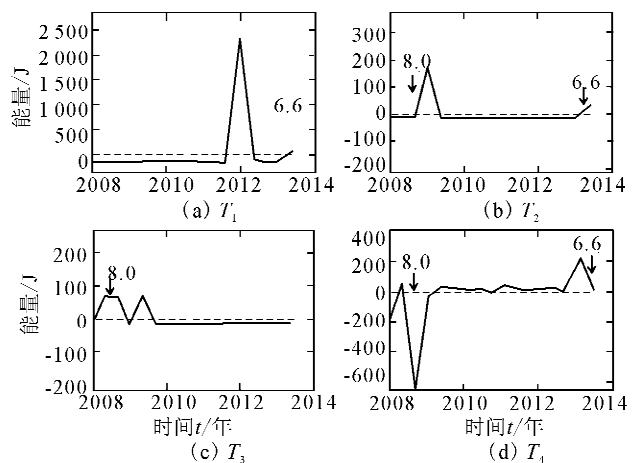


图 1 2013 年 7 月 22 日甘肃岷县漳县 6.6 级地震前 4 个典型能量场时间因子变化曲线

Fig. 1 The time “weight” coefficient curves of the front four main energy fields before the Minxian—Zhangxian  $M_S$  6.6 earthquake in 2013

纵观图 1 曲线相对基值呈现较大幅度上升,表

① 甘肃省地震局. 甘肃省 2012 年度地震趋势研究报告. 2011.

明2013年7月22日甘肃岷县漳县6.6级地震前,区域前4个主要典型能量场时间因子发生显著的中短期异常变化,其特点表现为震前2年时间研究区域内地震活动由平静的背景上出现明显短期弱震增强或者发生显著中等地震。

### 3 能量场空间变化

根据文献[3]、[5]所述方法,用前4个特征向量 $X$ 绘出相应地震能量空间等值线分布图(图2)。前2个主要能量场的等值线分布图在岷县漳县6.6级地震前出现明显高值异常区,分析等值线的较大异常变化值可判断研究区域强震的危险区域。等值线越密集,其绝对值(释放为负)越大,等值线所围区域内所积累的地震能量就越多,等值线的值(或者绝对

值)大于 $0.5 \times 10^5$  J的区域就可定义为危险区,其周围可能是强震可能发生的区域。从前2个主要能量场在空间上的分布可以看出,过去5年多时间内高值能量场主要集中在岷县与漳县附近,这些地震高值能量区可能是2013年7月22日甘肃岷县漳县6.6级地震前的空间异常危险区,由于前2个主要能量场的能量占总能量的84.75%(表1),且这两个高值危险区的空间分布大致相同,也进一步说明主要能量场空间异常信度较高。但后2个能量场的空间异常不明显,因此本文没有给出图件。分析主要原因,一方面是后2个能量场占总能量场的比重低(13.71%),另一方面说明能量高值空间异常不是在每个等值线都出现。

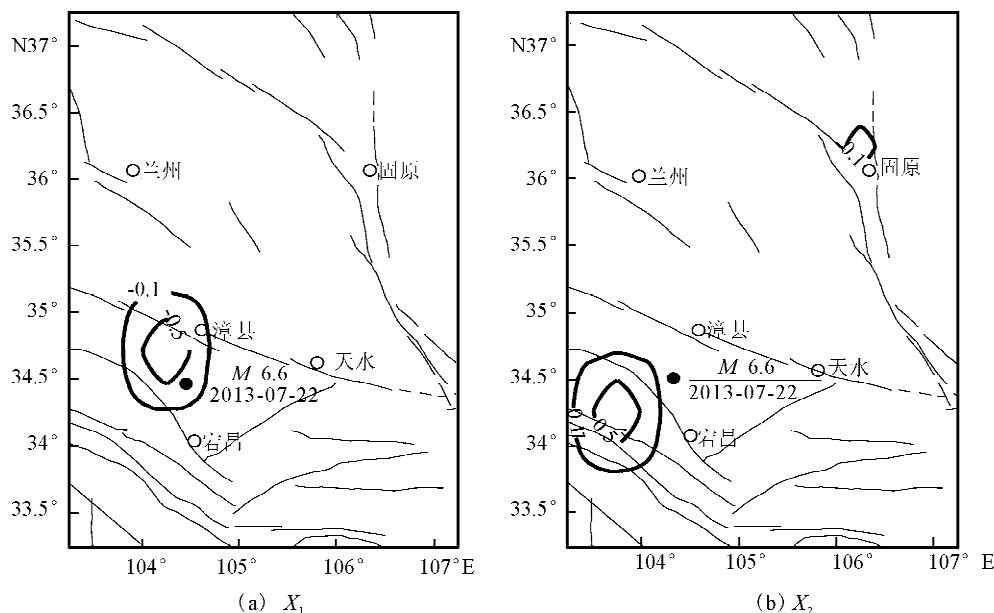


图2 前2个主要能量场的等值线图(单位: $10^5$  J)

Fig. 2 The isogram charts of the first 2 main energy fields (unit:  $\times 10^5$  J)

图2(a)中,在西秦岭北缘断裂和临潭—宕昌断裂之间的( $34.8^\circ\text{N}$ ,  $104.3^\circ\text{E}$ )区域为一个危险区,形成一个相对能量高区,最大能量释放达 $0.5 \times 10^5$  J,2013年7月22日甘肃岷县漳县6.6级地震就发生在这一高能量区,因此这个高值能量区可能是岷县漳县6.6级地震前的短临空间异常。图2(b)中,在临潭—宕昌断裂、光盖山—迭山北麓断裂、光盖山—迭山南麓断裂和迭部—白龙江断裂之间的( $34.2^\circ\text{N}$ ,  $103.8^\circ\text{E}$ )区域为另一个危险区,也是另一个高能量积累区,该危险区可能与2013年7月22日甘肃岷县漳县6.6级地震有关。此外,六盘山断裂附近也积累了一个高值能量区,该区域范围较小,短期内

发生中强地震的危险性相对较低,但未来几年甚至几十年是强震发生的危险区,需引起注意。

### 4 结论和讨论

图3是研究区域内不同时段能量场平均等值线分布图。分析不同时间段地震能量场均值空间变化,可以进一步判断高能量释放(或者积累)危险区的危险程度,以及强震(或者中强地震)前后能量场的显著异常变化特征。

图3(a)是1970—2007年研究区域内地震能量场均值分布图。可以看出,经过长期的应力、应变积累,研究区内出现三个强震危险区。第一个区域是

甘东南地区,即岷县、宕昌和文县一带,包括临潭—宕昌断裂、光盖山—迭山断裂、礼县—罗家堡断裂和迭部—白龙江断裂。2013 年 7 月 22 日岷县漳县 6.6 级地震就发生在临潭—宕昌断裂上。因此,未来一段时间要关注礼县—罗家堡断裂和迭部—白龙江断裂上是否具备发生强震的危险。第二个区域是宁夏中卫至海原一带,包括烟筒山断裂、香山—天景山断裂和海原断裂。考虑到 1920 年海原 8.5 级地震的减震作用,未来几年需特别关注香山—天景山断裂周围发生强震的可能。最后一个区域是宁夏固原至陕西宝鸡一带,包括祁连山—六盘山断裂带。该区域是 2008 年后地震学者研究较多的地区之一,该断裂带上具备发生强震,甚至大震的构造条件。

图 3(b)是 2008 年汶川 8.0 级地震后至 2013 年岷县漳县 6.6 级地震前研究区域内地震能量场均

值分布图。与图 3(a)比较可以看出,汶川 8.0 级地震前甘东南地区地震能量局部高值危险区在岷县、礼县和武都一带,但汶川 8.0 级地震后,局部高能量释放区发生在临潭和迭部附近,也可能是 2013 年 7 月 22 日岷县漳县 6.6 级地震前的空间中短期异常区演变。特别近 2 年来研究区的能量均值变化可以看出岷县漳县 6.6 级地震前震中周围确实形成显著的高能量释放区(图 3(c)),进一步说明岷县漳县 6.6 级地震前存在空间上的能量高值震兆异常信息。比较图 3(a)、(b)、(c)发现,岷县漳县 6.6 级地震发生在高能量释放区内,考虑到甘东南地区能量场高值异常范围大,地震释放能量不足,因此甘东南高能量危险区周围未来或稍长时间内仍存在发生中强地震的背景。

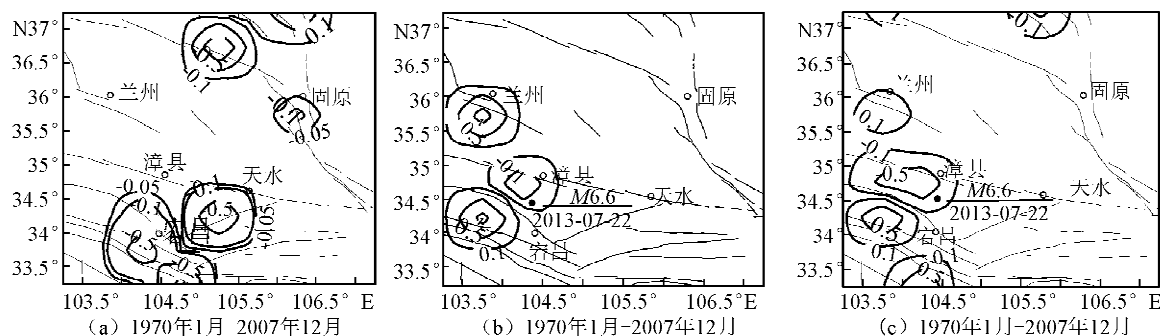


图 3 不同时段研究区能量场均值等值线图(单位: $10^5$  J)

Fig. 3 The isogram charts of the energy background field in different periods (unit:  $\times 10^5$  J)

总之,通过研究 2013 年 7 月 22 日岷县漳县 6.6 级地震前震中区域的地震活动能量场时空特征,得出如下结论:

(1) 研究岷县漳县 6.6 级地震震中区地震活动能量场发现,汶川 8.0 级地震后除该地震短期内对研究区域有影响外,在 2011 年 9—12 月、2012 年 8—12 月和 2013 年 4—7 月,前 4 个主要典型能量场时间因子分别呈现不同幅度的突升变化,表现出岷县漳县 6.6 级地震前 2 年内能量场时间上的中短期异常特征。

(2) 分析岷县漳县 6.6 级前 2 个主要能量场的空间等值线分布图(占总能量的 84.75%),过去 5 年多的时间内在岷县与漳县附近形成一个地震能量高值异常危险区(绝对值大于  $0.5 \times 10^5$  J),该危险区可能是岷县漳县 6.6 级地震的空间异常区。

(3) 分析研究区域能量场空间等值线均值分布,发现岷县漳县 6.6 级前震中区确实存在地震能

量高值空间的中短期异常区,另外未来几年甚至几十年研究区内甘东南地区的礼县—罗家堡断裂和迭部—白龙江断裂周围、宁夏南部的香山—天景山断裂和海原断裂周围、六盘山断裂断裂都存在发生强震的可能。

(4) 从地震预测方面考虑,笔者认为应用自然正交函数展开方法对强震危险区进行能量场时空研究,可提取强震或者中强震前地震活动异常的时空信息

## 参考文献(References)

- [1] 严武建,朱朝霞,李晓峰,等.汶川 8.0 级地震前后陇南地区地震宏观异常调查及分析[J].西北地震学报,2011,33(1): 67-71.  
YAN WU-jian, ZHU Zhao-xia, LI Xiao-feng, et al. Investigation and Analysis on Anomalies of Earthquake before and after Wenchuan  $M_s 8.0$  Earthquake in Longnan Area of Gansu Province[J]. Northwestern Seismological Journal, 2011, 33(1): 67-71. (in Chinese)

- [2] 刘小风,梅秀萍,冯建刚,等. 青藏高原北部地震基本活动状态定量评价[J]. 西北地震学报,2011,33(2):130-136.  
LIU Xiao-feng, MEI Xiu-ping, FENG Jian-gang, et al. Quantitative Estimating Basic State of Seismicity in Northern region of Qinghai — Xizang Plateau[J]. Northwestern Seismological Journal, 2011, 33(2): 130-136. (in Chinese)
- [3] 罗国富,屠泓为,马禾青,等. 甘东南至陕甘宁中强震危险区地震活动能量场时空特征[J]. 西北地震学报, 2012, 34(2): 132-137.  
LUO Guo-fu, TU Hong-wei, MA He-qing, et al. Space-time Distributed Characteristics on Energy field of Seismic Activity in Moderate Earthquake Hazard Area from the South East Part of Gansu Province to Shanxi — Gansu — Ningxia Region[J]. Northwestern Seismological Journal, 2012, 34(2): 132-137. (in Chinese)
- [4] 杨明芝,赵卫明. 宁夏及邻近地区地震活动能量场的统计分析[J]. 地震学报, 2004, 26(5): 516-522.  
YANG Ming-zhi, ZHIAO Wei-ming. Statistical Analysis on Energy Field of Seismicity in Ningxia and Its Neighborhood Region[J]. Acta Seismologica Sinica, 2004, 26(5): 516-522. (in Chinese)
- [5] 罗国富,杨明芝. 云南地区地震活动能量场的时空分布特征[J]. 中国地震, 2005, 21(3): 332-340.  
LUO Guo-fu, YANG Ming-zhi. Space-time Distributed Characteristics on Energy Field of Earthquake in the Yunnan Region[J]. Earthquake Research in China, 2005, 21(3): 332-340. (in Chinese)
- [6] 杨明芝,马禾青. 汶川8.0级地震前龙门山断裂带能量场变化[J]. 中国地震, 2011, 27(3): 260-267.  
YANG Ming-zhi, MA He-qing. Variation of Energy Field of Longmenshan Fault Zone before the Wenchuan  $M_s 8.0$  Earthquake[J]. Earthquake Research in China, 2011, 27(3): 260-267. (in Chinese)
- [7] 杨明芝,马禾青. 汶川8.0级地震区域地震能量场分析[J]. 地球物理学报, 2012, 27(3): 872-877.  
YANG Ming-zhi, MA He-qing. Analysis of Regional Seismic Energy Field before Wenchuan  $M_s 8.0$  Earthquake[J]. Progress in Geophys, 2012, 27(3): 872-877. (in Chinese)
- [8] 罗国富,杨明芝,马禾青,等. 汶川8.0级地震前地震活动能量场中短期异常[J]. 地震, 2011, 31(3): 135-142.  
LUO Guo-fu, YANG Ming-zhi, MA He-qing, et al. Intermediate and Short-term Anomalies of Seismic Activity Energy Field before the Wenchuan  $M 8.0$  Earthquake[J]. Earthquake, 2011, 31(3): 135-142. (in Chinese)
- [9] 罗国富,屠泓为,马禾青,等. 滇西北至滇西南强震危险区地震活动能量场分析[J]. 地震研究, 2011, 34(4): 435-441.  
LUO Guo-fu, TU Hong-wei, MA He-qing, et al. Analysis on Energy Field of the Seismic Activity in Earthquake Hazard Area from the Northwest to the South of Yunnan[J]. Journal of Seismological Research, 2011, 34(4): 435-441. (in Chinese)
- [10] 马禾青,杨明芝. 2010年青海玉树7.1级地震能量场研究[J]. 地震研究, 2012, 35(4): 485-490.  
MA He-qing, YANG Ming-zhi. Research on the Energy Field about Yushu  $M 7.1$  Earthquake in Qinghai in 2010[J]. Journal of Seismological Research, 2012, 35(4): 485-490. (in Chinese)