

张晓清, 袁伏全, 胡乐银, 等. 2021年玛多7.4级地震宽频带低频信前兆异常特征分析[J]. 华南地震, 2024, 44(S1): 36-38. [ZHANG Xiaoqing, YUAN Fuquan, HU Leying, et al. A Preliminary Study on the Precursor Anomaly Characteristics of Broadband Low-Frequency Signal of Maduo  $M_s$ 7.4 Earthquake in 2021[J]. South China journal of seismology, 2024, 44(S1): 36-38]

# 2021年玛多7.4级地震宽频带低频信前兆异常特征分析

张晓清<sup>1</sup>, 袁伏全<sup>1</sup>, 胡乐银<sup>2</sup>, 余娜<sup>1</sup>

(1. 青海省地震局, 西宁 810001; 2. 北京市地震局, 北京 100080)

## A Preliminary Study on the Precursor Anomaly Characteristics of Broadband Low-Frequency Signal of Maduo $M_s$ 7.4 Earthquake in 2021

ZHANG Xiaoqing<sup>1</sup>, YUAN Fuquan<sup>1</sup>, HU Leying<sup>2</sup>, YU Na<sup>1</sup>

(1. Qinghai Earthquake Agency, Xining 810001, China; 2. Beijing Earthquake Agency, Beijing 100080, China)

**关键词:** 玛多7.4级地震; 宽频带低频信号应变场; 前兆异常; 时空特征

**Keywords:** Mado  $M_s$ 7.4 earthquake; Broadband low-frequency signal strain field; Precursor anomaly; Spatiotemporal characteristics

中图分类号: P315

文献标识码: A

文章编号: 1001-8662(2024)S1-0036-03

DOI: 10.13512/j.hndz.2024.S1.14

### 0 研究背景

2021年5月22日2时4分, 青海玛多县发生7.4级地震, 震源深度17 km, 震中位于北纬34.59°, 东经98.34°, 玛多地震的发震断层昆仑山口—江错断层<sup>[8]</sup>, 此次地震是青海境内玉树7.1级地震后的一次显著地震事件, 从震情跟踪提高震情研判角度出发, 分析总结地震台网宽频带低频信号观测资料应变场异常与玛多7.4级地震时空强三要素的关系, 对今后中强震预报有着积极的促进作用。发震断层科考结果和震源机制研究成果表明, 地震的发生与

地壳的应力应变状态存在着密切关联。陈颀等在岩石受压变形与地震孕育的关联基础在地震预报研究领域, 开展了岩石压力实验, 模拟地壳岩石在构造应力作用下的力学行为, 对地震孕育的物理过程进行探索<sup>[1]</sup>。马瑾等通过数学模拟结合岩石样品承压实验研究<sup>[2]</sup>以及GPS资料开展中强震地壳形变和应变研究<sup>[3-6]</sup>, 地震专家给出丰富研究成果。青海高原地震监测网经过改造扩建, 规模和空间分布密度得到极大地提高, 积累了大量宽频带数字化观测资料(宽频带低频信号观测资料), 利用宽频带低频信号计算地壳应变场, 研究地震震前宽频带低频信号应变场随时间、空间变化特征。运用青海及周边

收稿日期: 2024-10-10

基金项目: 青海省重点研发与转化计划(2021-SF-151)

作者简介: 张晓清(1965-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事地震综合预报研究工作。

E-mail: 497989731@qq.com

84个宽频带数字地震台网记录的宽频带低频信号低频信号资料，开展区域内的中强震时空强预测研究。

## 1 研究内容、理论基础和研究方法

利用玛多7.4级地震前50天，(空间范围为北纬 $28.5^{\circ}\sim 40.5^{\circ}$ ；东经 $85.5^{\circ}\sim 105.5^{\circ}$ )，青海区域宽频带数字地震台网地震台网宽频带低频(0.025 Hz)观测资料提取区域水平应变率生成图像方法<sup>[3]</sup>，通过计算得到震研究区域内网格化( $0.3^{\circ}\times 0.3^{\circ}$ )地震台网宽频带低频信号水平应变场。水平应变场按5日均值做1张应变场空间分布，给出玛多7.4级地震前水平应变场青海及周边区域应变场时间、空间和强度的演化过程。通过对该次地震前的区域水平应变场强度在时间进程和空间分布前兆异常特征进行了观察分析，初步获得一些青海及周边区域中短期地强震跟踪研判时空强的异常特征及预测。

### 1.1 确定观测资料衰减系数

本文根据研究区域测点空间分布确定衰减系数<sup>[7]k</sup>

$$k = \min \{ e^{-k^2 d^2} \leq 10^{-3} \}$$

$d$ 为任意两地震观测站点间距离，则

$$d_{\min} = \min_i \left\{ \min_j d_{ij} \right\}; \quad \bar{d} = \frac{1}{m_0} \sum_{i=1}^{m_0} \left\{ \min_j d_{ij} \right\};$$

$$d_{\max} = \max_i \left\{ \min_j d_{ij} \right\}; \quad D_{\max} = \max_i \left\{ \max_j d_{ij} \right\}$$

分别为最小相邻点距，平均相邻点距，最大相邻点距，最大点距。取舍规则如下：

$$d \in \left( \max \{ 1.2d_{\max}, 4\bar{d}, 0.2D_{\max} \}, \max \{ 1.5d_{\max}, 4\bar{d}, 0.25D_{\max} \} \right) \text{ 且 } d \leq 0.5D_{\max}.$$

### 1.2 应变场计算方法

本文使用数字地震台网地震台网宽频带低频信号资料计算区域应变场，所使用的计算方法<sup>[7]</sup>。地震台站水平测向所在经纬线方位(EW和NS)与投影平面直角位置 $X$ 、 $Y$ 轴向的偏移角 $\theta_i$

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \sum_{i=1}^{m_0} \left\{ -2k^2(x-x_i)f_{xx}(0)e^{-k^2d_i^2}\cos\theta_i - 2k^2 \right\}$$

$$\frac{\partial v}{\partial y} = \sum_{i=1}^{m_0} \left\{ -2k^2(y-y_i)f_{yy}(0)e^{-k^2d_i^2}\sin\theta_i - 2k^2 \right\}$$

其中 $f_{xx}(0)$ 和 $f_{yy}(0)$ 分别表示平面坐标系

中距离观测站点为0 km的 $X$ 、 $Y$ 方向的地震台网宽频带低频信号观测值。

### 1.3 应变值计算公式

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} \text{ (EW 应变)}, \quad \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y} \text{ (NS 应变)}, \quad \Delta =$$

$\varepsilon_x + \varepsilon_y$  (水平应变)

$u$  测震仪东西测向移动(速度)， $v$  测震仪南北向移动(速度)。

## 2 研究结果

### 2.1 应变场空间分布随时间演化特征

玛多7.4级地震前1个半月，宽频带低频信号应变场空间分布和应变场强度变化过程，从时间进程可分为平静(背景值)、高值异常出现、异常恢复(背景值)和地震发生四个时段，在平静和异常恢复时段，应变场在空间分布上展示的总的特征压缩和拉张高值区域距玛多7.4级地震震中较远，主要分布玛多7.4级地震震中外围；高值异常出现时段为2021年4月21—25日，在玛多7.4级地震震中附近宽频带低频信号应变场在空间上存在应变强度为0的两个相交的条带，地震震中位于交汇区域附近(图1)，应强度高值异常出现在玛多地震震前27天。异常恢复时段，高值异常出现后的一周之内，逐步恢复到背景值，20天后于5月22日发生玛多地震，震中附近相交的0值应变场条带解体<sup>[8]</sup>。

### 2.2 玛多地震区域应变场强度在时间进程上特征

选择2021年4月1日—2021年5月21日期间地震台网宽频带低频信号应变场5日均值空间分布图中，应变强度首先达到最大值且出现张压相间4象限分布的空间区域为孕震区域，取包含4象限分布4个张性(红色)和压性(蓝色)极值点围成区域(图1)，在此域内搜索每日张性(或压性)应变最大值形成一个日值的时间序列(图2)。玛多地震孕震区应变场强度随时间变化主要特征，玛多7.4级地震前27天，于4月22日应变场强度达到最大值，而且相对变化幅度达到背景值500%，4月26日—5月21日应变场强度逐步降低至震前水平(图2)。

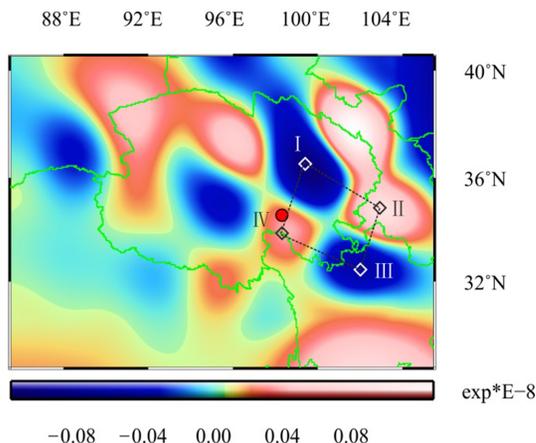


图1 玛多7.4级地震前应变场高值异常空间分布(2021年4月21—25日平均水平应变场)

Fig.1 Spatial distribution of high value anomaly of strain field before the Mado  $M_s$  7.4 earthquake (average horizontal strain field from April 21 to 25, 2021)

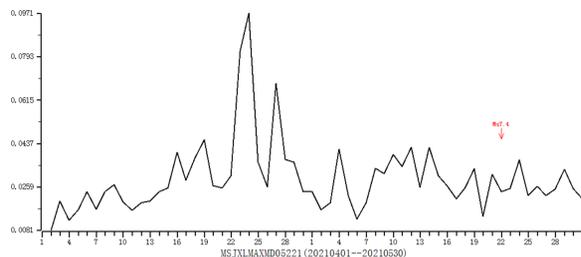


图2 孕震区内地震台网宽频带低频信号应变强度时间序列

Fig.2 Time series of pulsating strain intensity in earthquake seismogenic zone

### 3 结束语

通过对玛多7.4级地震地震台网宽频带低频信号应变场和应变强度随时间变化特征分析总结可以初步得到以下几点结论:

(1)应变场空间分布特征, 玛多7.4级地震前27天, 在震中附近出现应变强度为0的交汇条带, 条带交汇部位附近为未来发震地点, 其中北西向0值条带与此次地震发震断层走向一致。

(2)孕震区域内应变强度随时间变化特征, 在玛多7.4级地震于4月24日, 震前27天, 应变场强度出现持续5天的高值异常, 高值异常恢复后20天发生玛多地震, 应变高值异常出现的时间可以为未来地震发震时间预测提供依据。本文通过区域宽频带低频信号应变场, 对该地震的发震地点和发震时间的中短期时空预测方法及前兆异常特征进行了初步探索研究。

(3)发震震级从对日常震情跟踪工作的地震台网宽频带低频应变强度计算结果分析认为, 地震震级应与震前地震台网宽频带低频应变强增加幅度成正比, 由于目前受中强震计算分析数量限制, 无法给出相对明确的数量关系, 这方面的工作在今后的研究分析有待完善。

### 参考文献

- [1] 陈颢, 郑捷, 郭继光, 等. 脉冲激光全息干涉术在岩石力学研究中的应用[J]. 科学通报, 1984, 29(10): 609-609.
- [2] 马瑾, 张渤涛, 袁淑荣. 断层闭锁区附近应变场演化的初步探讨[J]. 地震地质, 1979, 1(3): 47-54.
- [3] 江在森, 杨国华, 王敏, 等. 中国大陆地壳运动与强震关系研究[J]. 大地测量与地球动力学, 2006, 26(3): 1-9.
- [4] 江在森, 张希, 陈兵, 等. 华北地区近期地壳水平运动与应力应变场特征[J]. 地球物理学报, 2000, 43(5): 657-665.
- [5] 江在森, 张希, 崔笃信, 等. 青藏块体东北缘近期水平运动与变形[J]. 地球物理学报, 2001, 44(5): 636-644.
- [6] 江在森, 张希, 祝意青, 等. 仓山口西  $M_s$  8.1 地震前区域构造变形背景[J]. 中国科学(D辑: 地球科学), 2003, 33(S1): 163-172.
- [7] 江在森, 杨国华, 丁平, 等. 区域形变时空特征及其与强震关系研究[M]//薄万举. 流动形变监测系统(下册). 北京: 地震出版社, 2008
- [8] 张晓清, 袁伏全, 余娜, 等. 2016年门源6.4级地震地脉动应变前兆异常特征初步研究[J]. 地震研究, 2016, 39(S1): 35-41.