

# 松原M5.7级地震前视应力特征分析

陈卓, 张璇, 张帆, 韩迪

吉林省地震局, 吉林 长春

收稿日期: 2023年11月27日; 录用日期: 2024年1月9日; 发布日期: 2024年1月22日

## 摘要

文章使用吉林省数字地震台网记录的地震波形资料, 通过计算得到2017年7月18日至2018年6月12日松原宁江区 $M_L \geq 2.5$ 的地震视应力等震源动力学参数。研究视应力变化特征, 结果显示, 在松原5.7级地震前, 滑动平均视应力出现增高趋势, 较小震级区间( $M_L$  2.5~3.0)滑动平均视应力存在显著上升-转折-下降的变化形态, 即较大地震前, 中小地震视应力存在上升变化, 分析认为, 松原地区视应力升高异常对该地区地震趋势判定有一定的指示意义。

## 关键词

松原M5.7地震, 视应力, 变化特征

# Characteristic Analysis of Apparent Stress before Songyuan M5.7 Earthquake

Zhuo Chen, Xuan Zhang, Fan Zhang, Di Han

Jilin Earthquake Agency, Changchun Jilin

Received: Nov. 27<sup>th</sup>, 2023; accepted: Jan. 9<sup>th</sup>, 2024; published: Jan. 22<sup>nd</sup>, 2024

## Abstract

In this paper, the apparent stress and other focal source parameters of  $M_L \geq 2.5$  earthquakes in Ningjiang District, Songyuan from July 18, 2017 to June 12, 2018 were calculated by using the seismic waveform data recorded by Jilin digital seismic network. The characteristics of apparent stress changes are studied. The result shows that before the Songwon M5.7 earthquake, the average apparent stress increases, while in the smaller magnitude range ( $M_L$  2.5~3.0), there is an obvious rising-peak-decline change pattern in slip average apparent stress, that is, before the larger earthquake, the apparent stress of the medium and small earthquakes increases. The analysis shows that the abnormal rise of apparent stress in Songyuan area has certain indicative significance to the judgment of earthquake trend in this area.

## Keywords

### Songyuan M5.7 Earthquake, Apparent Stress, Change Characteristics

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

视应力是一个动力学参数，它与震源动力学过程相关，能够在一定程度上反映出某一地区应力场的强弱，近年来在地壳应力研究和震情趋势分析中得到较多的应用[1]。陈学忠、李艳娥、王生文等对视应力在震后趋势判定中的应用做了深入研究，发现通过对不同地震序列进行视应力的研究可为震后快速判定地震趋势提供可能[2] [3] [4] [5] [6]。2013年前郭5.8级震群之后，康建红等对松原震区地震视应力进行计算，经分析证实了在前郭5.8级地震前，松原震区视应力存在上升现象[7]。松原5.7级地震是继2013年前郭5.8级震群之后松原震区发生的又一次较大地震，鉴于视应力在松原前郭地区与震例对应较好，进而对松原宁江地区视应力进行相关研究，本文将对2017年7月18日至2018年6月12日松原宁江区 $M_L \geq 2.5$ 的地震视应力进行计算，分析5.7级地震前视应力随时间变化的特征。

## 2. 地震视应力的计算方法

尽管震源区地下介质应力无法通过地震资料直接得到，然而可以采用多种手段，比如假设和拟合等，并结合视应力对应力大小来估算视应力值。参考常用的视应力计算方法[7]，本文首先利用台站记录到的波形反演获得震源谱特征，然后通过拟合震源谱参数拐角频率 $f_c$ 和零频极限值，估计地震波辐射能量 $E_s$ 和地震矩 $M_0$ 震源参数值，最后代入公式(1)得到视应力值。

$$\sigma_{app} = \mu \frac{E_s}{M_0} \quad (1)$$

在处理数据中，本文去除了噪声，校正仪器响应和几何衰减以及非弹性衰减，并且扣除场地响应等会影响结果的多种因素。尽管采用单台就能获得视应力值，然而为了使结果更为可靠准确，本文先计算多个地震监测台站波形数据的视应力值，然后计算它们平均值来减少单台视应力值过大或者过小产生的大的偏差。具体计算流程如图1所示。

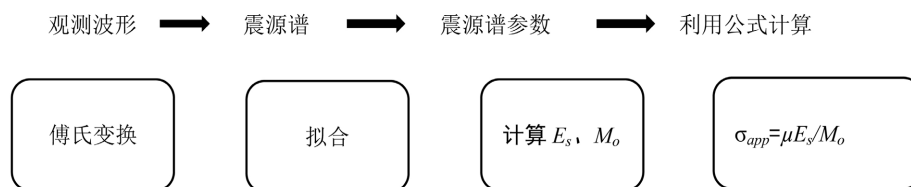


Figure 1. Schematic diagram of calculation process

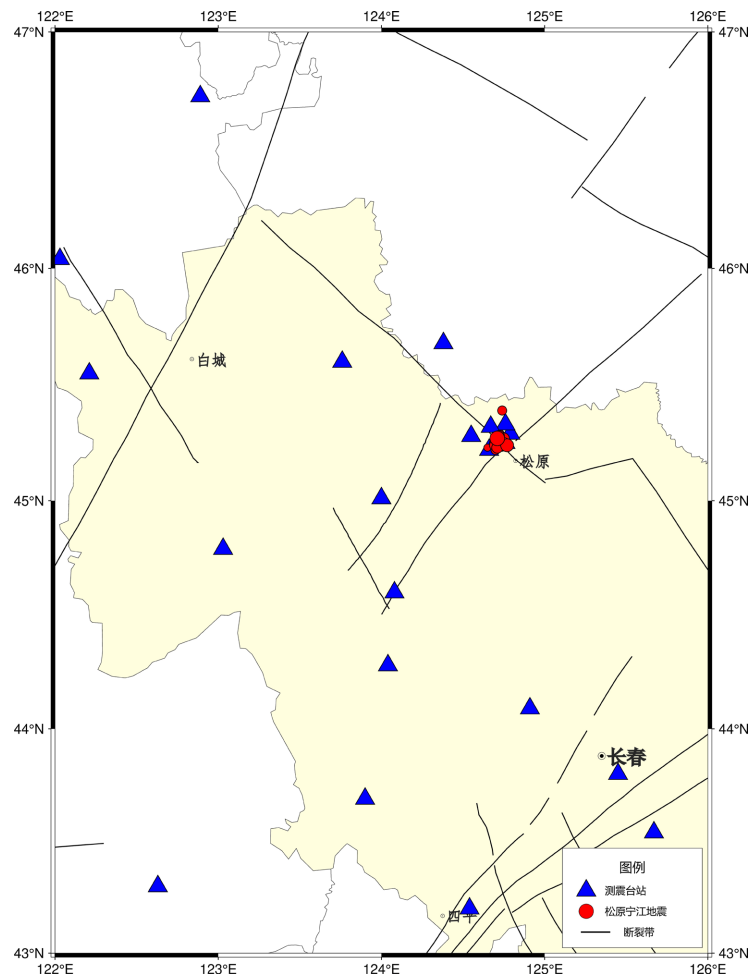
图1. 计算流程示意图

## 3. 资料选取

自1972年吉林省有地震观测台网记录以来，所发生的破坏性地震都发生在松原地区，包括2006年

前郭 5.0 级地震、2013 年前郭 5.8 级震群、2017 年松原宁江 4.9 级地震、2018 年 5.7、5.1 级地震等，松原地区上述所发生的地震均造成一定程度的破坏和经济损失。同年，吉林省共记录到 2 级以上地震 37 次，整体地震活动频次和强度高于以往，空间分布较为集中，主要分布在松原(扶余) - 肇东断裂带及其附近、浑江断裂北东端，其中仅松原宁江地区记录到地震次数达到 31 次，占到 80% 以上，本次研究地震发生在松原(扶余) - 肇东断裂与第二松花江断裂交汇部位。

早期的视应力计算依赖于震级经验公式，宽频带数字地震仪的推广和应用使得视应力的计算结果具有一定的理论基础。本文使用了吉林测震台网记录的松原宁江区 2017 年 7 月 18 日至 2018 年 6 月 12 日松原宁江区  $M_L \geq 2.5$  的地震数字化波形资料，充分利用震中距在 200 公里范围内的所有台站，这些地震台在研究时段内可监控到  $M_L \geq 1.8$  地震，局部区域的地震监控能力较强，可监控到  $M_L 1.0$  以下，100 km 内有乾安、松原等 4 个测震台站；100~200 km 分别有净月、榆树、长岭、通榆等 9 个测震台；严格筛选信噪比较高且记录清晰的台站波形资料，使用地球物理研究所陈学忠、李艳娥等提供的计算程序，在计算过程中进行矫正处理，如去除仪器响应等，截取地震波的 S 波段进行震源谱计算。图 2 为本次参与计算的地震震中分布及附近台站分布。



**Figure 2.** Distribution of epicenter and station of the  $M_L \geq 2.5$  earthquake in Ningjiang District, Songyuan in study area form July 18, 2017 to June 12, 2018

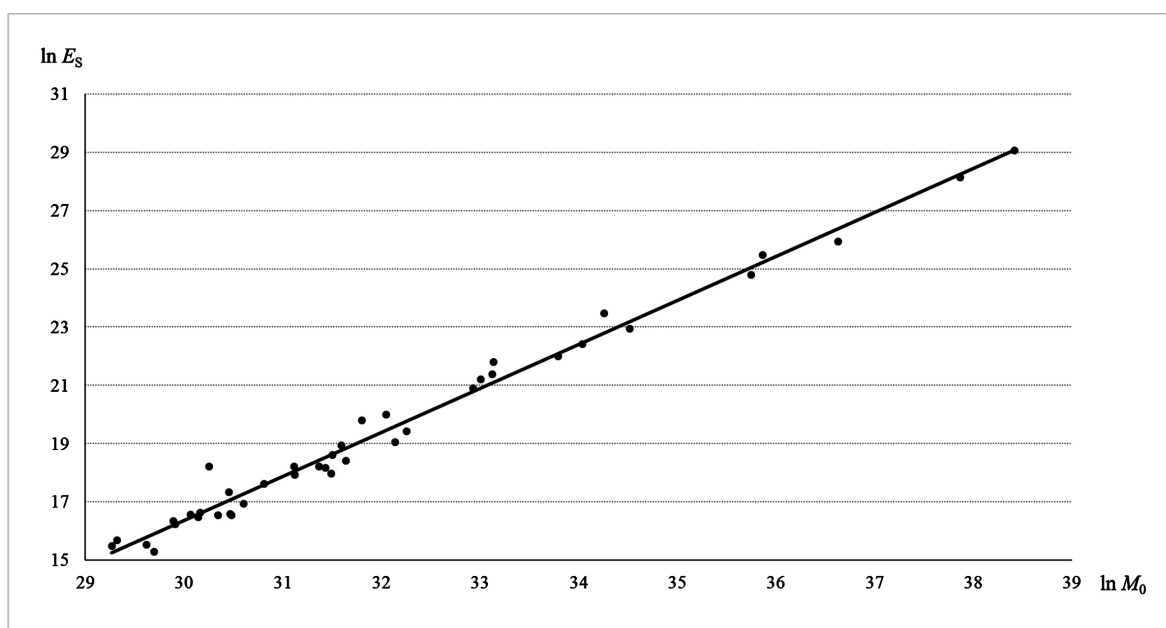
**图 2.** 研究区域 2017 年 7 月 18 日至 2018 年 6 月 12 日松原宁江区  $M_L \geq 2.5$  地震震中及台站分布

## 4. 计算结果

利用吉林台网地震波形资料,计算松原宁江区 2017 年 7 月 18 日至 2018 年 6 月 12 日共 41 个  $M_L$  2.5 以上地震的震源谱参数,其中可参与计算的  $M_L$  2.5~3.0 地震有 22 个,  $M_L$  3.0~3.9 地震较  $M_L$  2.5~3.0 震级档地震个数少仅有 14 个,  $M_L$  4.0~4.9 震级档地震 6 个,  $M_L \geq 5.0$  以上地震 2 个,通过计算可求得地震辐射能量、地震矩、视应力、拐角频率等震源动力学参数。

### 4.1. 震源参数间标度

松原宁江地区视应力变化特征需要首先分析地震波能量与地震矩特征。本文计算了 41 个  $M_L$  2.5 以上地震震源参数并分析了地震矩与震源关系,以及地震辐射能量  $E_s$  与地震矩  $M_0$  的关系(图 3)。结果表明,地震辐射能量与地震矩整体上呈正比特征。本文研究的松原宁江中小地震辐射能量与地震矩正相关的特征可用如下关系式表示:  $\ln E_s = 1.5076M_0 - 28.856$ 。

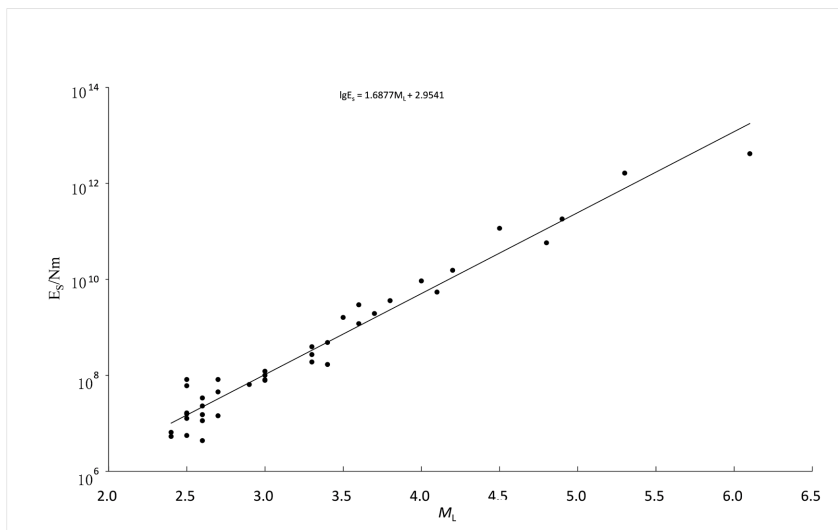
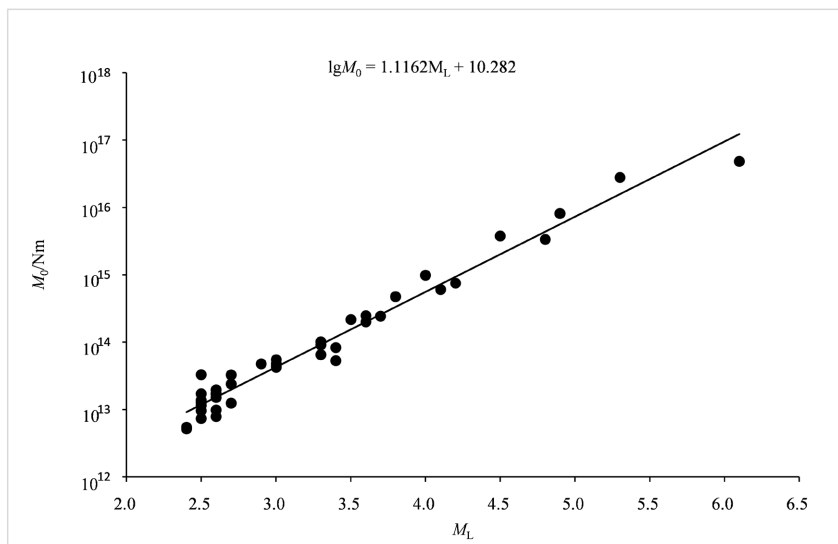
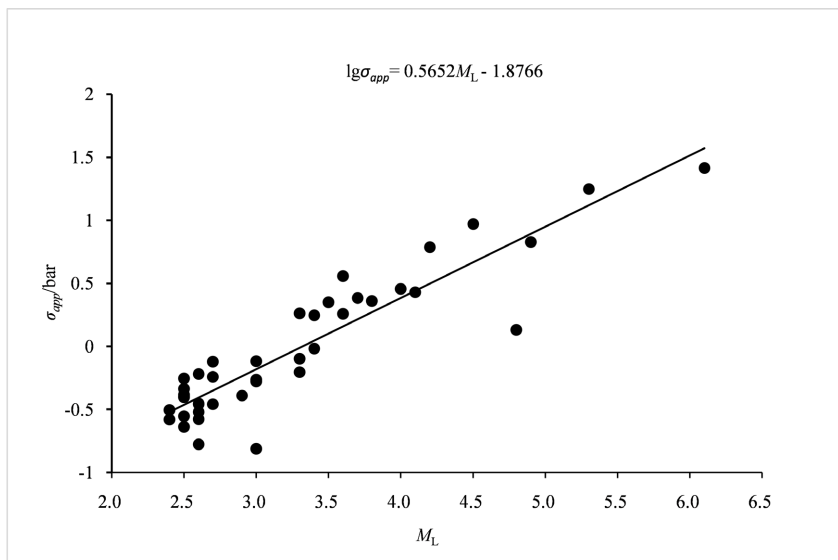


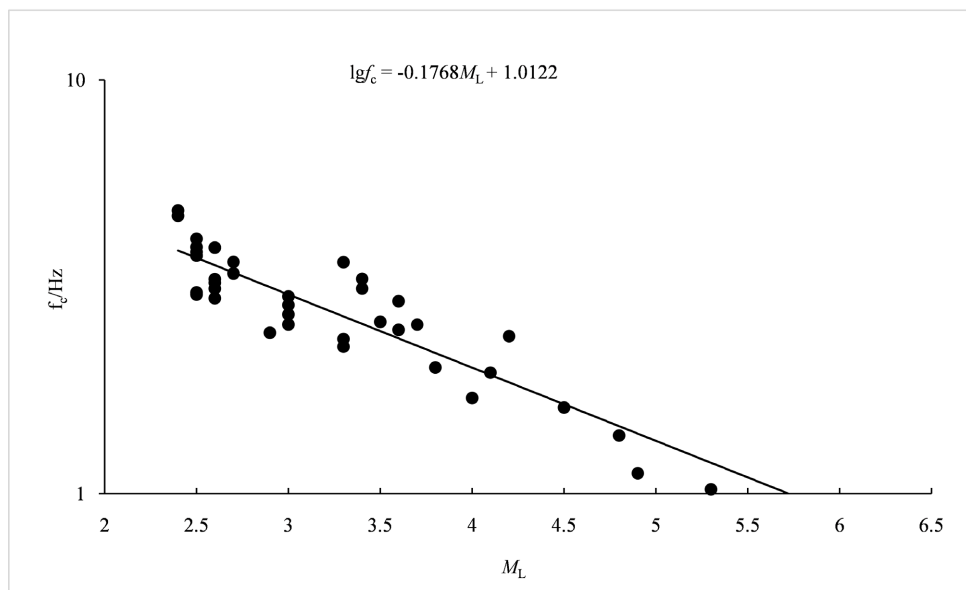
**Figure 3.** Fitting relationship between seismic radiation energy  $E_s$  and seismic moment  $M_0$  in Songyuan Ningjiang area  
**图 3.** 松原宁江地区地震辐射能量  $E_s$  与地震矩  $M_0$  的拟合关系

图 4 展示了 41 个  $M_L$  2.5 以上地震的震源参数与震级的相关特征,结果表明,震源参数与震级具有高度的拟合变化趋势,地震辐射能量  $E_s$ 、地震矩  $M_0$  的相关性要强于拐角频率与震级的相关性。研究区  $M_L$  2.5~6.1 地震的拐角频率在 0.9702~4.8401 Hz 范围内变化,并且拐角频率随震级的增大而减小,视应力随着震级的增大而逐渐变大,地震辐射能、地震矩和震级均呈现出正相关特征。上述结果支持计算程序及研究结果的相对可靠性。

### 4.2. 松原宁江视应力随时间变化特征

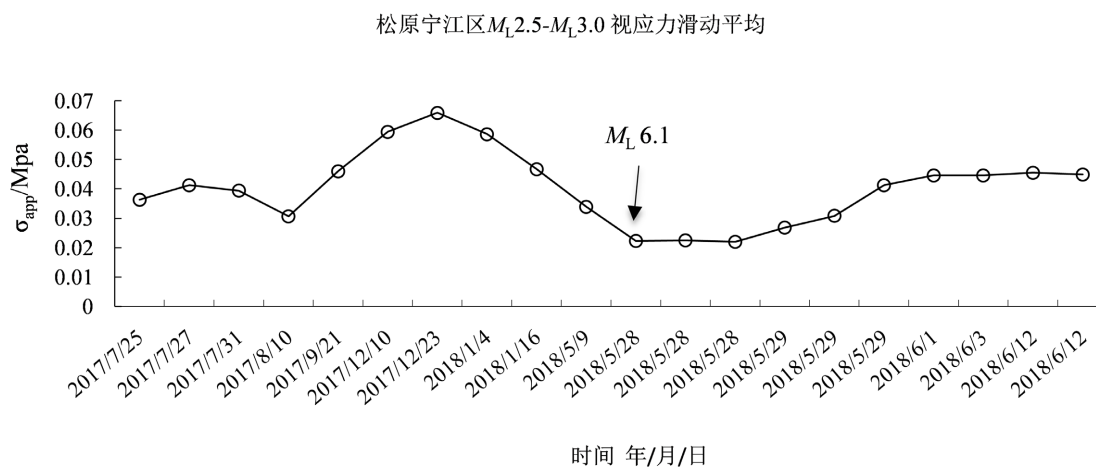
通过上述研究可知,视应力与震级呈正相关,为去除震级对视应力分析的影响,采取多震级档绘制时序曲线,本文通过  $M_L$  2.5~3.0、 $M_L$  3.0~3.9、 $M_L$  4.0~4.9 三个震级档的视应力时序曲线变化特征分析视应力,避免因震级不同而出现高值异常,同时缩小误差使得数据更具有可读性,采取滑动平均法处理数据,3 个地震求平均,滑动步长为 1,需注意以下视应力分析值均为滑动平均值而非实际视应力值。





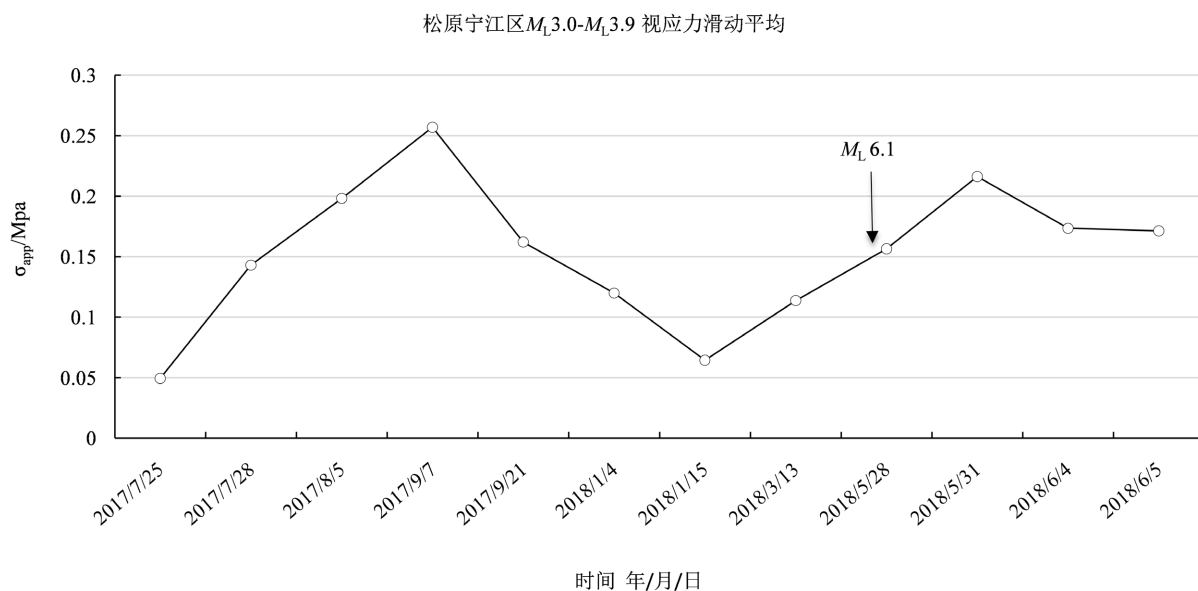
**Figure 4.** Scaling relationship between source parameters and magnitude  
**图 4.** 震源参数与震级之间的标度关系

由图 5 可知, 自 2018 年 7 月 10 日开始,  $M_L$  2.5~3.0 震级视应力值明显逐渐升高, 震源区介质应力逐渐升高, 较低值为 0.0307 MPa, 12 月 23 日即四个月后达到峰值 0.0659 MPa, 而后开始转折下降, 约在 5 个月后松原宁江发生  $M_L$  5.7 级地震, 视应力下降至 0.0223 MPa。此震级档地震视应力出现上升 - 转折 - 下降的变化形态, 在下降过程中发震。

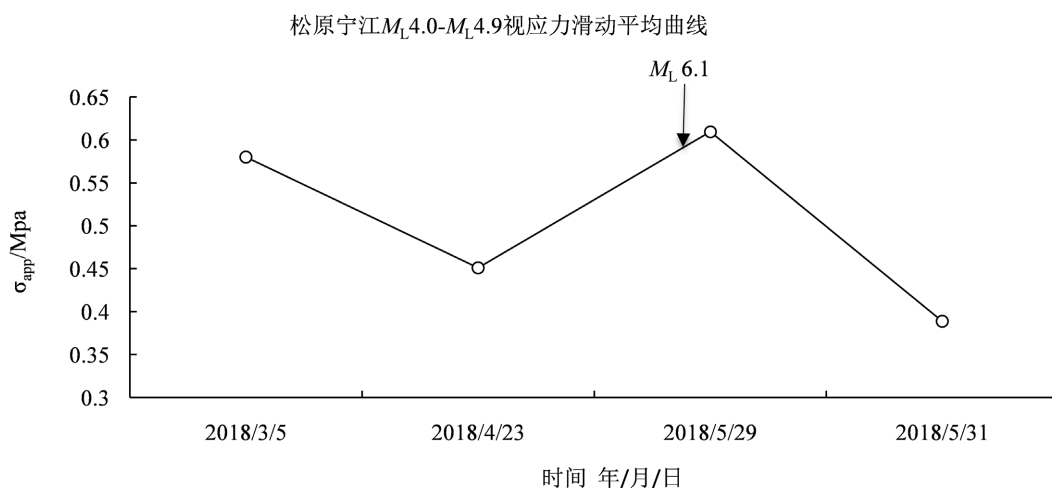


**Figure 5.** Slip average curve of  $M_L$  2.5~3.0 apparent stress in the original Ningjiang District  
**图 5.** 原宁江区  $M_L$  2.5~3.0 视应力滑动平均曲线

松宁江区三个震级档地震个数明显随震级档的增大而减少, 符合松原小震频发的特点。由图 6 可以看出, 2017 年 7 月 25 日视应力低值为 0.049 MPa, 而后上升趋势明显, 在 1 个月后达到最高值 0.2569 MPa, 上升幅值超过 0.2 MPa, 开始转折下降, 下降过程中没有发震, 达到较低值后开始上升, 在上升过程中发震。由图 7 可以看出,  $M_L$  4.0~4.9 震级档数据较少, 且指示性不强, 没有明显的应震规律。



**Figure 6.** Slip average curve of  $M_L$ 3.0~3.9 apparent stress in Songningjiang District  
**图 6.** 松宁江区  $M_L$ 3.0~3.9 视应力滑动平均曲线



**Figure 7.** Slip average curve of  $M_L$ 4.0~4.9 apparent stress in Songningjiang District  
**图 7.** 松宁江区  $M_L$ 4.0~4.9 视应力滑动平均曲线

## 5. 结论

2018年5月28日,松原宁江 $M5.7$ 地震发生在扶余-肇东断裂与松花江第二断裂交汇部位,经研究表明,此次地震为走滑型地震[8]。本文计算了2017年7月18日至2018年6月12日松原宁江区 $M_L \geq 2.5$ 的地震视应力等震源动力学参数,比较分析了不同震源参数间的相互关系,分析了 $M_L$ 2.5~3.0、 $M_L$ 3.0~3.9、 $M_L$ 4.0~4.9三个震级档视应力随时间变化的特征,可以得出以下结论:

1) 比较分析不同震源参数之间的相互关系,地震辐射能量与地震矩呈正比,地震辐射能量、地震矩与震级存在正相关性;松原宁江区视应力、地震辐射能量与震级存在较好的正相关性,视应力随震级的增大而增大,地震辐射能量随震级的增大而增大,拐角频率与震级存在负相关,拐角频率随震级的增大而减小,通过计算得到适用于松原宁江地区的定量统计关系。

2) 松原 5.7 级地震前, 滑动平均视应力出现增高趋势, 较小震级区间( $M_L$  2.5~3.0)滑动平均视应力存在显著上升 - 转折 - 下降的变化形态, 与前人的研究结果一致, 即较大地震前, 中小地震视应力存在上升变化。松原宁江区小震频发, 从本文看, 较小震级档因数据多、连贯性好, 其视应力值较相对大的震级档具有更强的研究价值。

3) 近年来, 松原地区地震活动仍然较比省内其他地区活跃, 通过历史地震可以看出该地区地震强度大、频率高、分布集中、地震类型复杂, 松原宁江地区视应力升高异常对该地区地震趋势判定有一定的指示意义, 应力计算结果分析显示该地区地应力仍在积累过程中, 未来地震危险性不容忽视。

## 致 谢

中国地震局地球物理研究所陈学忠研究员、李艳娥副研究员提供的计算程序, 在此表示诚挚感谢。

## 基金项目

吉林省地震局青年科技发展课题(JZQ-202305)。

## 参考文献

- [1] 刘文邦, 李启雷, 张朋涛, 等. 青海北部中小地震视应力特征研究[J]. 地震工程学报, 2022, 44(1): 236-243. <https://doi.org/10.20000/j.1000-0844.20200901001>
- [2] 陈学忠, 王小平, 王林瑛, 等. 地震视应力用于震后趋势快速判定的可能性[J]. 国际地震动态, 2003(7): 1-4.
- [3] 陈学忠, 李艳娥, 宫悦, 等. 2019 年四川长宁  $M_S$  6.0 地震前破裂区内视应力和  $b$  值的变化[J]. 地震科学进展, 2021, 51(2): 49-58.
- [4] 李艳娥, 陈学忠, 陈丽娟, 等. 利用视应力研究强震前亚失稳阶段应力变化特征——以 2021 年 5 月 21 日漾濞  $M_S$  6.4 地震为例[J]. 地震地磁观测与研究, 2022, 43(z1): 156-159.
- [5] 王生文, 叶庆东, 王宁, 等. 视应力在震后趋势判定中的应用——以前郭地震为例[J]. 华北地震科学, 2017, 35(3): 49-55.
- [6] 陈丽娟, 陈学忠, 龚丽文, 等. 2021 年泸县  $M_S$  6.0 地震前视应力和  $b$  值以及中小地震与地球自转相关性分析[J]. 大地测量与地球动力学, 2022, 42(11): 1133-1137. <https://doi.org/10.14075/j.jgg.2022.11.007>
- [7] 康建红, 张洪艳, 张宇, 等. 2013 年吉林前郭强震群序列地震视应力变化特征[J]. 地震地磁观测与研究, 2016, 37(1): 1-7.
- [8] 杨文, 薛艳, 张小涛, 等. 2017 年松原 4.9 级地震与 2018 年松原 5.7 级地震序列特征研究[J]. 国际地震动态, 2018(8): 77-78.