

申重阳, 金雯, 谈洪波, 等. 基于重力数据与闭锁剪力模式的地震数值预测研究的一些进展[J]. 华南地震, 2024, 44(S1): 70-71. [SHEN Chongyang, JIN Wen, TAN Hongbo, et al. Some Advances in Seismic Numerical Prediction Based on Gravity Data and Lock in Shearing Force Model[J]. South China journal of seismology, 2024, 44(S1): 70-71]

## 基于重力数据与闭锁剪力模式的地震数值 预测研究的一些进展

申重阳<sup>1</sup>, 金雯<sup>1,2</sup>, 谈洪波<sup>1</sup>, 王嘉沛<sup>1</sup>, 杨光亮<sup>1</sup>, 谭青青<sup>1</sup>, 张明辉<sup>1</sup>

(1. 中国地震局地震研究所(湖北省地震局), 武汉 430071; 2. 湖南省地震局, 长沙 410004)

## Some Advances in Seismic Numerical Prediction Based on Gravity Data and Lock in Shearing Force Model

SHEN Chongyang<sup>1</sup>, JIN Wen<sup>1,2</sup>, TAN Hongbo<sup>1</sup>, WANG Jiawei<sup>1</sup>,  
YANG Guangliang<sup>1</sup>, TAN Qingqing<sup>1</sup>, ZHANG Minghui<sup>1</sup>

(1. Institute of Seismology, CEA, (Hubei Earthquake Agency), Wuhan 430071, China;  
2. Hunan Earthquake Agency, Changsha 410004, China)

关键词: 地震数值预测; 重力; 闭锁剪力模式

Keywords: Numerical prediction of earthquakes; Gravity; Lock in shearing force model

中图分类号: P315

文献标识码: A

文章编号: 1001-8662(2024)S1-0070-02

DOI: 10.13512/j.hndz.2024.S1.26

### 0 研究背景

地震预测一直是国际科技的一大难题, 尚处于初期探索阶段<sup>[1]</sup>, 其最大难点在于: 一是如何从震前诸多信号中识别出有效地震前兆<sup>[2]</sup>; 二是如何根据震兆信息确定孕震源的状态和预测指标。地震数值预测一直是地震预测发展的主攻方向<sup>[3-4]</sup>, 其主要依据地表观测的“前兆异常”信号和合理的、与地震孕育演化有关的数学物理模型(亦即孕震模式或孕震源模型)开展数值模拟与反演, 进而给出未来地震时、空、强三要素有关的预测意见。

观测与预测实践表明<sup>[5]</sup>, 重力数据在中期地震预测中取得了一系列成功实例, 其判定依据主要

为重力梯度带和四象限的图像标志。值得关注的是, 2009年7月9日姚安6.0地震位于我们在震前南北地震带跟踪会议上提出的重点危险区, 震后总结发现震前的重力动态变化四象限图像与震后震源机制解之效应具有一致性, 为此提出了描述孕震源的闭锁剪力模式<sup>[6]</sup>。该模式为解释震前的重力变化预测标志, 以及开展重力数值预测提供了新的线索和依据。

### 1 理论方法

根据定量地震学<sup>[7]</sup>, 引起地震破裂的剪力与同震位错具有等效性, 即已知同震位错则可计算破裂剪力。地震位错理论已比较完善<sup>[8-9]</sup>, 利用地表

收稿日期: 2024-10-10

基金项目: 国家自然科学基金面上基金(42374105)

作者简介: 申重阳(1963-), 男, 研究员, 主要从事重力观测研究和地震预测工作。

E-mail: scy907@163.com

观测到的同震物理信号(如重力、形变),则可推估震源破裂的位错参数。将这一思想推广到震前孕震源,即震源孕育过程中,孕震源的闭锁剪力与“位错变形”具等效性,这也符合弹性动力学原理。这样,只要识别出地表观测到的与“闭锁剪力”作用相关的地震“前兆”现象,如“重力四象限”、“重力梯度带”图像,则可推算孕震源的闭锁剪力相对应的“等效位错”,进而评估“闭锁剪力”、实现地震数值预测的目标。

## 2 研究结果

根据上述理论方法和震前典型的重力变化图像(四象限、梯度带),根据孕震源的类型(面源、体源)不同,开展了数值预测方法的实现与应用研究。

### 2.1 基于闭锁剪力面源模式的数值预测

研究了基于矩形剪力面源模式的强震数值预测方法:根据地表观测的重力图像,构建了面源模型和稳健-贝叶斯反演算法,最优获取了面源模型的几何参数和力学参数(等效位错),进而计算其最大矩震级<sup>[10]</sup>。理论上研究了闭锁剪力面源模型7个几何参数与地表重力变化图像之间的关系。姚安6.0和汶川8.0地震的数值预报实验<sup>[11]</sup>表明,该方法可对重力“梯度带”和“四象限”典型特征进行一定解释,预测结果与实际结果吻合较好。

### 2.2 基于闭锁剪力体源模式的数值预测

最近进一步研究提出了闭锁剪力体源(均匀、规则的棱柱型体)模型理论:利用剖分思想将体源剖分成多个小体源单元,每个小体源单元等效为一个面源,这样利用闭锁剪力面源的积分叠加,给出了闭锁剪力体源引起的重力变化公式和计算方法。通过模拟计算给出了闭锁剪力体源的9个几何参数对重力变化的影响的规律。进而构建并实现了基于震前观测的典型重力变化图像和闭锁剪力体源模式的数值预测方法。以泸定 $M_s6.8$ 和姚安 $M_s6.0$ 地震为例,进行了回溯性研究。结果表明,两次地震面源模式及体源模式下的预测的最大矩震级结果,与实际测定结果USGS CMT接近,但体源的反演结果与震前地表重力变化更为一致。

## 3 结语

利用识别的与地震孕育发展有关的典型重力变化图像,基于闭锁剪力模型可在一定程度上实现地震的数值预测,该方法可实现对地震强度(孕震能量或孕震矩)、地震危险区或孕震体范围,以及孕震源力学类型(走滑型或倾滑型)的定量预测。通过进一步完善和应用,可为地震年度会商、中短期重点危险区预测提供有效方法。该研究为重力变化机理的理解和“以场求源”的地震科学预测思想提供了支持。

### 参考文献

- [1] 陈运泰. 地震预测:回顾与展望[J]. 中国科学(D辑:地球科学), 2009, 39(12): 1633-1658
- [2] 刘杰, 张国民. “是否存在有助于预报的地震前兆”的讨论[J]. 科学通报, 2016, 61(18): 1988-1994.
- [3] 石耀霖, 张贝, 张斯奇, 等. 地震数值预报[J]. 物理, 2013, 42(04): 237-255.
- [4] 黄辅琼, 张晓东, 曹则贤, 等. 关于推进数值地震预测的思考[J]. 国际地震动态, 1997, (4): 4-10.
- [5] 申重阳, 祝意青, 胡敏章, 等. 中国大陆重力场时变监测与强震预测[J]. 中国地震, 2020, 36(04): 729-743.
- [6] 申重阳, 谈洪波, 郝洪涛, 等. 2009年姚安 $M_s6.0$ 地震重力场前兆变化机理[J]. 大地测量与地球动力学, 2011, (02): 17-22.
- [7] Aki K, Richards P G. Quantitative seismology[M]. New York: W H Freeman and Company, 1980.
- [8] Okubo S. Gravity and potential changes due to shear and tensile faults in a half-space [J]. Journal of Geophysical Research, 1992, 97(B5): 7137-7144.
- [9] Okada Y. Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space: Okada[J]. Bull Seismol Soc Am, 1985, 75(4), 1135-1154.
- [10] 黄浩哲, 申重阳, 谈洪波, 等. 姚安 $M_s6.0$ 地震典型重力前兆孕震模型量化研究[J]. 大地测量与地球动力学, 2019, 39(04): 351-355.
- [11] 谈洪波, 申重阳, 黄浩哲, 等. 强震前典型重力场变化与数值预测实验[J]. 大地测量与地球动力学, 2021, 41(11): 1133-1140.