

王润妍, 万永革. 2023年9月9日摩洛哥M6.9地震静态应力触发研究[J]. 华南地震, 2024, 44(S1): 164–166. [WANG Runyan, WAN Yongge. Static stress Triggering of Morocco M6.9 Earthquake on September 9, 2023[J]. South China journal of seismology, 2024, 44(S1): 164–166]

2023年9月9日摩洛哥M6.9地震静态应力触发研究

王润妍¹, 万永革^{1,2,3}

(1. 防灾科技学院, 河北 三河 065201; 2. 河北省地震动力学重点实验室, 河北 三河 065201; 3. 河北红山巨厚沉积与地震灾害国家野外科学观测研究站, 河北 隆尧 055350)

Static Stress Triggering of Morocco M6.9 Earthquake on September 9, 2023

WANG Runyan¹, WAN Yongge^{1,2,3}

(1. Institute of Disaster Prevention, Sanhe 065201, China; 2. Hebei Key Laboratory of Earthquake Dynamics, Sanhe 065201, China; 3. Hebei Hongshan Thick Sediment and Earthquake Disaster National Field of Scientific Observation and Research Station, Longyao 055350, China)

关键词: 摩洛哥M6.9地震; 应力触发; 库仑应力; 地震预报

Keywords: Morocco M6.9 earthquake; Stress triggering; Coulomb stress; Earthquake forecasting

中图分类号: P315

文献标识码: A

文章编号: 1001-8662(2024)S1-0164-03

DOI: 10.13512/j.hndz.2024.S1.60

0 研究背景

中国地震台网中心测定,北京时间2023年9月9日6时10分58秒,摩洛哥发生了M6.9地震,据摩洛哥内政部9月11日(北京时间)发布数据,地震已造成至少5674人受伤,2960人死亡,受到全社会的关注。摩洛哥位于非洲板块与欧亚板块强烈作用的交界地区,该地区地震活跃。此次地震发生摩洛哥高阿特拉斯山脉地区,是自1920年以来发生在摩洛哥的最大地震。

前人研究表明,通过对地震引起的库仑破裂应

力变化进行定量分析,可以更好的理解地震活动机制,评估地震危险性,以及提前预测可能的地震发生位置。Nalbant等^[1]估计了土耳其西北地区和北爱琴海地区的29个 $M_s \geq 6$ 的地震处的库仑破裂应力变化,发现16个地震在前期地震产生的库仑破裂应力变化触发下发生,并判定伊兹米特为未来可能发生地震的地点,结果大地震果然于1999年在该地区发生。万永革等^[2]评估了汶川大地震对周边断层引起的库仑应力变化,估计了该区域后续的潜在地震危险性,后续的2014年芦山地震和2017年九寨沟地震均发生在所评估的地震危险区。本文通过研究

收稿日期: 2024-10-10

基金项目: 国家自然科学基金(42174074, 41674055, 42364005)

作者简介: 王润妍(2000-),女,在读硕士,主要从事构造应力场、地震应力触发方面的研究工作。

E-mail: yan8959853@163.com

通信作者: 万永革(1967-),男,博士,研究员,主要从事地震构造与地震预测方面的研究工作。

E-mail: wanyg17217@vip.sina.com

摩洛哥M6.9地震的库仑破裂应力变化,探究此地震对周围地区的影响,后续潜在危险及其触发作用。

1 地震产生的位移场及变形场

本研究结合不同国内外机构给出的摩洛哥M6.9地震的震源机制数据,采用万永革^[3]提出的“求解一个地震的震源机制中心解”算法确定出此次地震可能发生的两个节面,节面I走向253.44°,倾角45.43°,滑动角81.05°;节面II走向86.10°,倾角45.27°,滑动角98.98°。并将当地的应力场投影到这两个节面上,发现节面I剪滑角为66.7°,与实际观测到的滑动角存在14.35°的偏差,节面II剪滑角为118.7°,与观测到的滑动角相差19.72°。且库仑应力是判断破裂难易程度的标准,库仑应力定义为断层面上的剪应力与摩擦系数和正应力乘积之和,选择摩擦系数为0.4,节面I上的库仑应力为 $0.882 + 0.4 \times 0.275 = 0.9920$,节面II上的库仑应力为 $0.908 - 0.4 \times 0.404 = 0.7464$,可以看出节面I库仑应力大,且节面I上的剪滑角与观测滑动角的差值比节面II两者的差值小($14.35 < 19.72$),故选择相对库仑应力较大的节面(走向253.44°,倾角45.43°,滑动角81.05°)为此次地震的发震断层面。

基于统计公式得到发震断层面的滑动性质(长度为33.4 km,宽度为15.1 km,滑动量为117.6 cm),获得主震震源参数。计算了在均匀弹性半空间模型下摩洛哥M6.9地震产生的同震位移场与地表应变场,由图1可知,此次地震的地表水平位移场,离震中有一定距离的南北两侧物质向内涌入,表现了

该震源的南北挤压导致的地震破裂的发生,震中附近物质向外涌出,表现了震中附近物质隆升后与外界平衡的结果。和水平位移场相呼应,垂直位移场在震中表现为较大隆升分量,南北两侧表现少许沉降,与逆冲型震源机制表现的位移场的模式相一致。面应变的分布在震中发震断层周围呈现拉张,表现为断层破裂后隆升物质向外扩张的趋势,离震中较远的周围呈现压缩,并随着远离断层面而逐渐减小,表现为与无穷远处应变为零的平衡。震中的两个主压应变均为拉张,表现为震中物质隆升后向外扩展;震中周围的面应变为负的区域挤压应变呈现较大的值,表现了明显的逆冲机制。随着逐渐远离震中,拉张应变和挤压应变基本平衡,呈现面应变基本为零的状态,但南北两侧由于在位移场表现的物质涌入而表现为拉张。

2 主震对余震及周围断层的影响

假定接收断层的余震震源机制与主震一致,计算主震对余震的触发作用。结果看出此次地震断层面处于应力卸载位置,震源处的应力需要较长时间的构造应力积累才可能再次发生地震。而大部分余震处于触发区内,且处于库仑应力变化的高值区,这是由于较深的地震震源破裂向南、向上逆冲致使大部分南部、浅部受到挤压而产生破裂的缘故。余震集中处的库仑应力均超过0.01 MPa阈值,最大值达0.207 1 Mpa。表明主震产生的静态库仑应力促进了浅层余震的发生,触发的余震比例很高,影响了该地区的地震活动性。

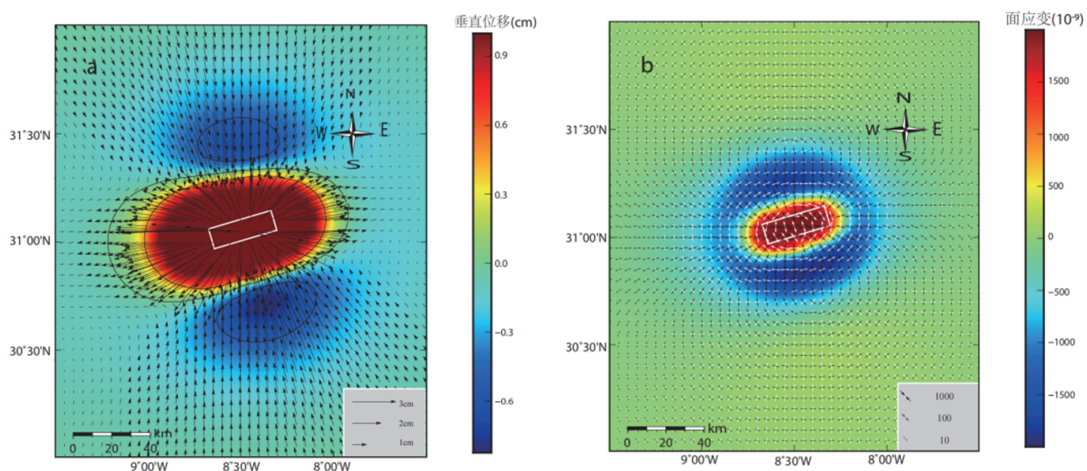


图1 摩洛哥M6.9地震产生的同震位移场及地表水平主应变和面应变场

Fig.1 The coseismic displacement field, horizontal principal strain and surface strain field of the surface caused by the Morocco M6.9 earthquake

最后计算主震在周围断层上产生的库仑破裂应力变化,此次地震产生的库仑应力对周围断裂有不同程度的影响,NAF断裂北段的库仑应力变化并不明显;NAF断裂南段有不同程度的应力卸载;离震源处较近的SAF断裂西段、SSF断裂西段均有不同程度的应力增加,且库仑破裂应力均到达触发的阈值(0.01 MPa)。由此可见本次地震对周围主要断裂带的影响较大,增加了该区域的地震危险性,尤为注意SAF断裂西段、SSF断裂西段库仑应力高值区域的地震活动性。

本文使用一级近似方法估算摩洛哥M6.9地震对周围地区、后续地震和附近断层的影响,对评估该地区的地震危险性具有一定的参考价值,对于研究地震发生对震源周围建筑物等基础设施的影响较为重要。

致谢:感谢中国地震台网中心,中国地震局地球物理研究所张喆学者提供了摩洛哥地震的震源机制数据,感谢香港中文大学地震学实验室提供了摩洛哥地震周围活动断层的几何形态,本文图形采用MATLAB软件和GMT软件绘制。

参考文献

- [1] Nalbant S S, Hubert A, King G C P. Stress coupling between earthquakes in northwest Turkey and the north Aegean Sea [J]. Journal of Geophysical Research Solid Earth, 1998, 103 (B10):24469–24486.
- [2] 万永革,沈正康,盛书中,等.2008年汶川大地震对周围断层的影响[J].地震学报,2009,31(2):128–139.
- [3] 万永革.同一地震多个震源机制中心解的确定[J].地球物理学报,2019,62(12):4718–4728.