

何应文, 王建芳, 杨晓琳, 等. 景谷 M_s 6.6 地震前地震矩加速释放时空扫描特征研究[J]. 华南地震, 2019, 39(1): 20–24. [HE Yingwen, WANG Jianfang, YANGXiaolin, et al. Study on Spatio-temporal Scanning Characteristics of Accelerating Moment Release Before Jinggu M_s 6.6 Earthquake [J]. South China journal of seismology, 2019, 39(1): 20–24]

景谷 M_s 6.6 地震前地震矩加速释放时空扫描特征研究

何应文¹, 王建芳², 杨晓琳³, 杨建文⁴

(1. 云南省地震局云县地震台, 云南 云县 675803; 2. 云南省临沧市地震局, 云南 临沧 677000;
3. 临沧市临翔区地震局, 云南 临沧 677000; 4. 云南省地震局形变测量中心, 昆明 650041)

摘要: 为考察 2014 年 10 月 7 日景谷 M_s 6.6 地震前的可能的中长期地震前兆现象以及相关的孕震物理过程, 采用加速矩释放(AMR)现象对此次地震进行了分析, 首先用 $T=15$ a, $R=100$ km 的时空窗对 CBS 释放曲线的均方根残差 RMS 在 $m-t_f$ 二维空间中的分布以及最小 RMS 对应的 m 值随时间的变化分析, 然后用震前 15 个月地震资料以逐 3 个月的扫描方式, 对 $T-M_c$ 二维空间中矩释放指数 m 值的分布进行分析。结果表明: 景谷 M_s 6.6 地震前在震中附近 100 km 范围内, m 值随着时间逐渐逼近实际发震时刻而逐渐减小, 时间上有逐渐趋近于临界状态的趋势, 空间上震前似存在 AMR 逐渐向震中附近“迁移”的现象。

关键词: 景谷地震; 加速矩释放(AMR)现象; 矩释放指数 m 值; 时空扫描; 迁移

中图分类号: P315.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8662(2019)01-0020-05

DOI: 10.13512/j.hndz.2019.01.004

Study on Spatio-temporal Scanning Characteristics of Accelerating Moment Release Before Jinggu M_s 6.6 Earthquake

HE Yingwen¹, WANG Jianfang², YANGXiaolin³, YANG Jianwen⁴

(1. Yunxian Seismic Station, Yunxian 675803, China; 2. Lincang City Seismological Bureau of Yunnan province, Lincang 665000, China; 3. Linxiang District Seismological Bureau of Yunnan province, Lincang 665000, China; 4. Yunnan Earthquake Agency, Kunming 650041, China)

Abstract: The paper analyzes the accelerating moment release (AMR) phenomenon before the Jinggu M_s 6.6 earthquake on October 7th, 2014. First, the paper analyzes the distribution of the root mean square residual RMS of the CBS release curve in the two-dimensional $m-t_f$ space by using the time window of $T=15$ a and $R=100$ km, and the change of m value corresponding to the minimum RMS over time is also analyzed. Then, the

收稿日期: 2017-12-20

项目来源: 中国地震局地震监测、预测、科研三结合课题(CEA-JC/3JH-172510); 云南省地震局青年地震科学基金(2017k09)联合资助

作者简介: 何应文, 男, 工程师, 主要研究地震活动性、地形变观测与前兆异常等。

E-mail: hyw2004@126.com.

paper analyzes the distribution of the m -value of the moment release index in the T - M_c two-dimensional space by using the 15 months seismic data scanning every three months. The results show that in the range of 100 km near the epicenter before Jinggu M_s 6.6 earthquake, the m value gradually decreases as the time approximated to the actual shock time; there is a tendency to gradually approach the critical state in time, and there seems to be the phenomenon of "migration" of AMR to the epicenter before the earthquake.

Keywords: Jinggu earthquake; Seismic accelerating moment release; The value of M ; Space-time scanning; Migrate

0 引言

一些研究和观测表明,作为临界性的一个表现,部分大地震之前往往存在矩加速释放(AMR)现象,被认为可以作为地震的一种中期前兆,这种现象已被越来越多的地震学家所关注^[1]。迄今国内外学者已将 AMR 分析方法应用于诸多震例研究中, Bowman 等^[2]研究发现,几次大震前震源区地震能量会出现明显幂率加速释放过程,符合临界理论的标度率,进而使用震前累积应变释放曲线的幂率拟合和线性拟合的均方根残差比最小来定量描述 AMR 的“临界”时、空尺度。Sykes 和 Jaume^[3]研究表明美国旧金山几次强震前都有 5.0 级左右中等地震活动的矩释放加速过程; Ellsworth 等^[4]指出,强震前中等地震的累积应变能呈指数增长。杨文政和马丽^[5]用矩释放指数 m 值对中国震例进行系统研究,发现中强地震前存在地震矩释放加速现象的比例达到 65%以上;蒋长胜和吴忠良^[6]对中国大陆震例研究指出,五分之三的 $M_s \geq 6.0$ 地震前存在稳定的地震矩释放加速现象;蒋长胜^[7]分析了 2010 年玉树 $M_s 7.1$ 地震前的矩加速释放过程,得到在时间尺度 10~20 年和空间尺度 50~120 km 范围内存在稳定的矩加速释放现象;李宇彤^[8]等通过研究东北地区第五活跃期以来的几次 5 级以上地震显示其中 4 例在未来的震中附近出现稳定和集中分布的地震矩释放加速区。更有研究表明,主震前临界区范围内地震活动呈现加速释放,而在较小的孕震区范围则出现地震活动的减弱态势^[9]。

本文利用地震统计物理预测方法—地震矩释放程度时—空扫描,对 2014 年 10 月 7 日景谷 M_s 6.6 地震前 1 年内的 AMR 现象进行研究,分析该地震前能量释放的变化特征,这对今后地震前兆的研究、构建区域防震减灾能力和短临跟踪工作具有重要的现实意义。

1 地震矩加速释放现象的矩释放程度 m 值计算方法

Varnes^[10]将重整化群的思想应用到 AMR 研究中,提出“破裂时间分析”(time-to-failure analysis)方法,通过 AMR 来预测强震的发生时间和震级。国内外学者也将破裂时间分析方法应用于诸多震例,对主震震级和发震时间的预测效果较好。通过 AMR 现象来预测中强震的发生时间和判断地震危险程度成为过去 10 年中的研究热点之一。量化分析方法也为进一步的震例研究、区域地震预测模型的构建等提供了可能。地震“破裂时间分析”方程的一般表达式为(Bufe, Varnes, 1993):

$$\sum \Omega = A + B(tf - t)m \quad (1)$$

其中 Ω 是地震活动性的量度,例如地震矩(或地震波能量)、地震数目或 Benioff 应变(cumulative Benioff strain, 简称为 CBS),本文利用 Benioff 应变, A 、 B 为常数,幂指数 m 称为标度常数, m 值有时也称为“地震矩释放程度”, t_f 是预期目标地震发生的时间。由(1)式可知,标度常数 m 的大小表示了地震矩释放曲线类型:当 $m=1$ 时, CBS 释放曲线呈线性行为; $m>1$ 时为减速行为,相应的 m 越大,减速特征越显著; $m<1$ 时, CBS 释放曲线为加速行为, m 越小,加速特征越显著。

在计算震前的累积 Benioff 应变之前,先采用下面的经验关系, Kananmori 计算出地震矩:

$$\lg M_0 = 1.5 M_L + 9.05 \quad (2)$$

其中 M_0 为地震矩,单位是 $N \cdot m$ 。根据经验关系由地震矩计算出地震波能量:

$$E = 5.0 \times 10^{-5} M_0 \quad (3)$$

Benioff 应变定义为地震波能量的平方根,拟合(1)式可计算出常数 A 、 B 、标度常数 m 以及目标地震的发震时刻 t_f 。

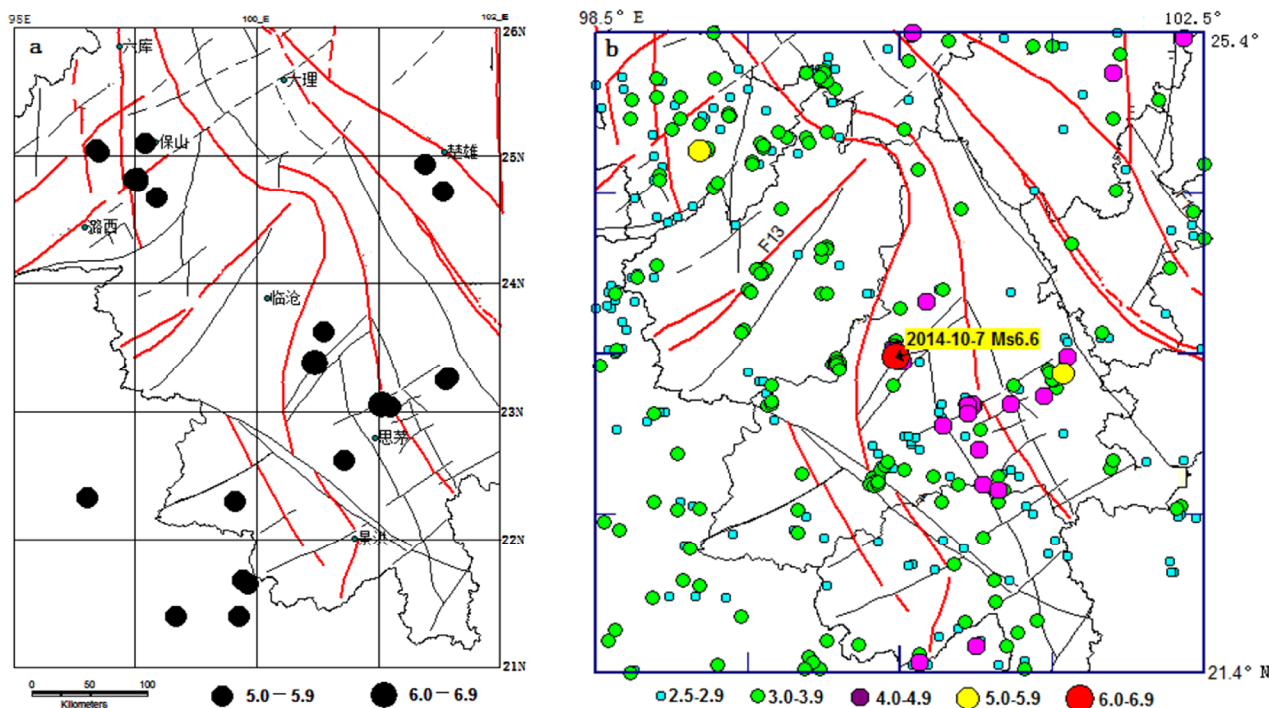


图 1 滇西南地区地震空间分布

Fig.1 The distribution of earthquake in Southwestern Yunnan

2 研究区选取和资料使用情况

2014 年 10 月 7 日云南景谷 M_s 6.6 地震是该县境内有历史地震记载以来的最大地震, 选取此次地震震中为中心 $4^\circ \times 4^\circ$ ($21.4^\circ\text{N} \sim 25.4^\circ\text{N}$, $98.5^\circ\text{E} \sim 102.5^\circ\text{E}$) 的范围作为研究区域。使用中国地震台网中心提供的 1990 以来的中国地震目录, 震级统一为 M_L 。这里采用 1999 年 1 月 1 日至 2014 年 10 月 7 日地震前的地震目录(全国统一编目网, <http://10.5.202.22/bianmu/index.jsp>, 查询时间 2017/10/07), 刘丽芳^[1]认为云南地区 1999 年之后的最小完整性震级能够达到 M_L 2.5 以下, 所以本文选择的震级下限为 $M_c=2.5$, 最大震级为 M_L 5.5, 去除 M_L 5.5 以上干扰地震, 对震前 15 年以来的地震资料进行矩释放程度 m 值随时间的变化分析, 对震前 15 个月进行 m 值随空间的变化分析。

3 景谷 M_s 6.6 震前的 AMR 现象

为考察景谷 M_s 6.6 地震前的 AMR 现象, 当实际震中已知, 发震时刻未知的情况。以实际震中为圆形研究区的圆心, 对固定时一空窗组合, 其中 $T=15$ a, $R=100$ km, 震前在时间轴上向实际震中滑动逼近, 考察 CBS 释放曲线的均方根残差

RMS 在 $m-t_f$ 二维空间中的分布以及最小 RMS 对应的 m 值随时间的变化情况。图 2 为景谷地震前由 (1) 式拟合的 CBS 释放曲线的均方根残差 RMS 在 $m-t_f$ 二维空间中的分布, 其中 t_f 是可能的地震破裂时间, 即时间窗的末端时刻, 图中白线为滑动变化 t_f 时最小 RMS 对应的 m 值变化曲线。由图 2 可见景谷 M_s 6.6 地震前, 描述矩释放程度的 m 值随着地震发生时刻的临近逐渐变小, 即主震震中附近的 AMR 现象越来越显著, 由此可见 m 值反映了本次地震孕育过程中趋近临界状态的程度。

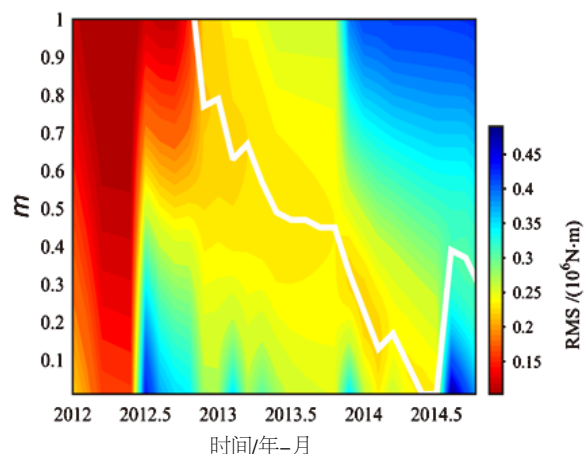
(图中白线为各给定破裂时间 t_f 处最小 RMS 位置的连线)

图 2 幂律拟合均方差残根 RMS 在 $m-t_f$ 二维空间中的分布
Fig.2 Distribution of the power law fitting mean RMS in $m-t_f$ two-dimensional space

当考虑实际震中与发震时刻均未知的情况。将研究区域网格化,采用 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ 大小的空间网格,各网格节点作为未来可能的震中,地震可能的“破裂时间” t_f 自实际发震时刻之前 15 个月(即 2013 年 7 月 7 日)至实际发震时刻 2014 年 10 月 7 日以 3 个月为步长滑动计算矩释放程度 m 值,并绘制 m 值时空扫描演化图像,考察 AMR 现象与实际震中和发震时刻的关联。图 3 给出了景谷地震前固定时-空窗对应的地震矩“释放程度” m 值

时空扫描演化图像,由图发现震前出现明显的 AMR 现象,且空间分布与震中似有很好的对应,在震中附近与构造的对应也相吻合,图 3(a、b) AMR 现象出现在耿马—澜沧断裂上,距离震中还有 80 多公里,图 3(c、d)逐渐往东北方向迁移到澜沧江断裂,图 3(e、f)继续向震源—德化断裂移动,而且 AMR 现象的区域面积明显增大,完全覆盖到景谷震中。

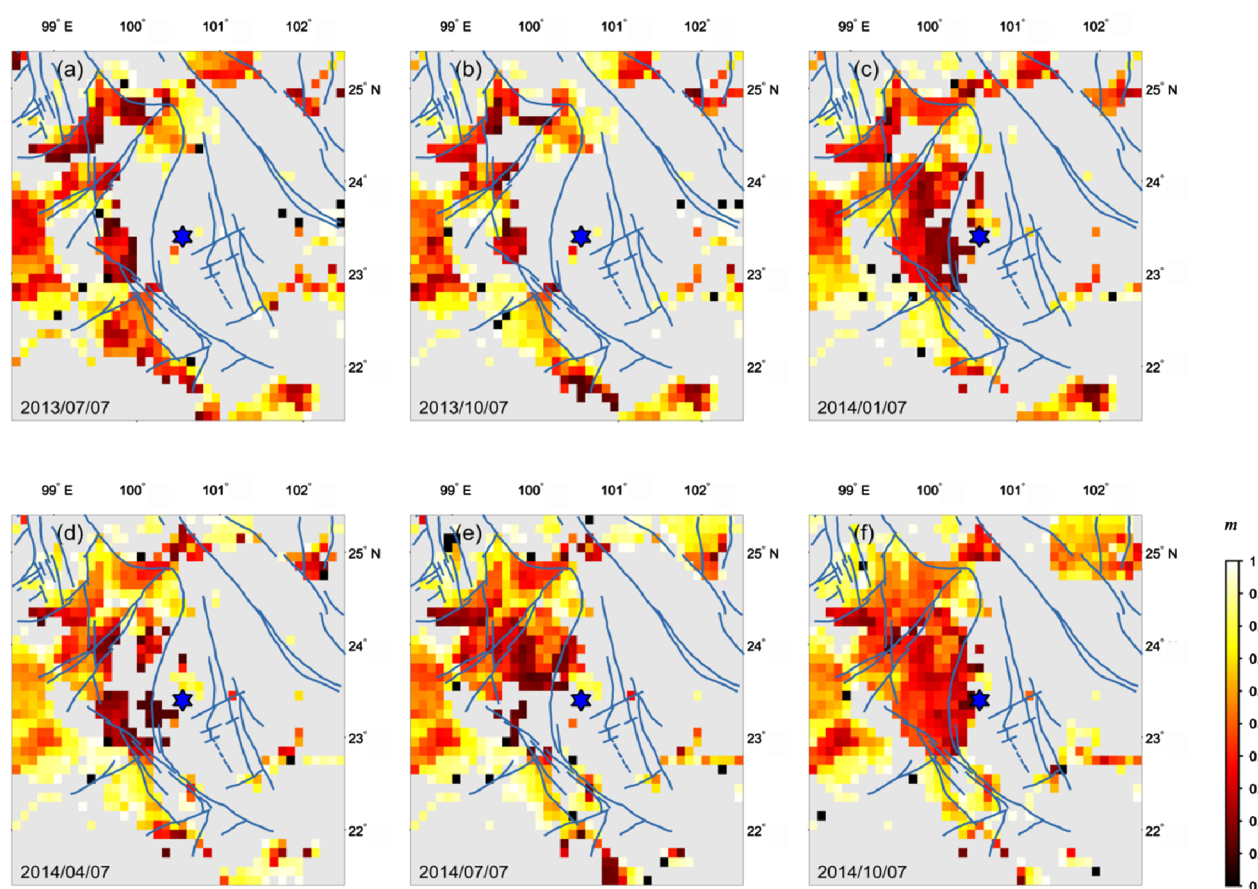


图 3 景谷 M_s 6.6 地震前地震矩“释放程度”扫描结果

Fig.3 Seismic moment release scanning result before the Jinggu M_s 6.6 earthquake

4 结语

本文利用地震矩释放程度 m 值对景谷 M_s 6.6 地震前 AMR 现象进行了回顾性

震例检验,得到景谷 M_s 6.6 地震之前 AMR 现象的存在是客观的。

(1)通过对 CBS 释放曲线的均方根残差 RMS 在 $m-t_f$ 二维空间中的分布以及最小 RMS 对应的 m 值随时间的变化情况分析,发现在震中附近, m

值随着时间逐渐逼近实际发震时刻而逐渐减小,即矩加速特征逐渐明显,时间上有逐渐趋近于临界状态的趋势。

(2)对震前 15 个月至震时,依次递减 3 个月在空间范围进行扫描。扫描图像演化显示,景谷地震前在震中区周围出现显著的矩加速释放区域, m 值随着实际发震时刻的临近而逐渐减小,并且向震中位置逐渐迁移, AMR 现象出现的空间区域与实际震中也有较好的对应关系。

当然,由于本文仅是一个震例的研究,AMR现象能否是滇西南地区中强震前一种普遍的地震前兆现象,是否具有统计性的结论,还需结合更多的震例做进一步的分析研究。

参考文献:

- [1] 蒋长胜,吴忠良. 强震前的“加速矩释放”(AMR)现象: 对一个有争议的地震前兆的回溯性震例研究[J]. 地球物理学报, 2009, 52(3): 691–702.
- [2] Bowman D D, King G C P. 2001. Accelerating seismicity and stress accumulation before large earthquakes[J]. *Geophysical Research Letters*, 28(21): 4039–4042.
- [3] Brehm D J, Braille L W. Intermediate-term earthquake prediction using precursory events in the New Madrid seismic zone[J]. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 1998, 88(2): 564–580.
- [4] 李霞, 蒋长胜, 闫德桥, 张志慧, 尹相好, 陈传华, 王铮. 1989年以来华北地区中强震前地震矩加速释放空间扫描特征的研究[J]. 地震研究, 2015, 38(03): 359–369.
- [5] 杨文政, D Vere-Jones, 马丽等. 一个关于临界地震的临界区域判别的方法[J]. 地震, 2000, 20(4): 28–37.
- [6] 蒋长胜, 吴忠良. 关于中强震前的应变加速释放现象(英文)[J]. 中国科学院研究生院学报, 2005 (03): 286–291.
- [7] 蒋长胜, 吴忠良. 2010年玉树 $M_s 7.1$ 地震前的中长期加速矩释放 (AMR) 问题 [J]. 地球物理学报. 2011, 54(6): 1501–1510.
- [8] 李宇彤, 蒋长胜. 东北第五活跃期中强震前的矩释放空间扫描特征研究[J]. 地震学报, 2010, 32(6): 680–695.
- [9] 苗青壮, 蒋海昆. 地震临界现象及相关尺度增长定量检测方法研究综述[J]. 地震, 2008(02): 79–86.
- [10] 蒋长胜, 吴忠良, 史勇军. 中强震前地震活动矩释放加速现象 (AMR) 的普遍性问题[J]. 中国地震, 2004, 20(2): 119–125.
- [11] 刘丽芳, 李志海, 蒋长胜. 云南地区地震目录最小完整性震级研究[J]. 地震研究, 2012, 35(2): 492–499.