

文章编号: 1008 - 2786 - (2013) 4 - 489 - 06

芦山地震后初期余震时间序列的分形演化特征

覃发超¹ 史凯^{2*} 张斌¹ 刘春琼² 邓青春¹ 罗明良¹ 王磊¹

(1. 西华师范大学国土资源学院, 四川 南充 637009; 2. 吉首大学生物资源与环境科学学院, 湖南 吉首 416000)

摘 要: 2013 - 04 - 20 四川芦山 Ms7.0 级强烈地震造成了极大的破坏, 主震后发生了密集的余震, 对其初期余震时间变化规律的认识有助于科学指导灾后重建和防灾减灾工作。根据国家地震科学数据共享中心的中国地震台网 2013 - 04 - 20—05 - 06 期间的余震时间序列数据, 运用分形计盒维数的方法, 研究不同震级阈值下余震序列的分形演化特征。结果表明, 不同震级的芦山余震序列均表现出标度不变性和自相似特征, 意味着对某震级阈值以上的余震来说, 较小时间尺度内的数量与较高时间尺度内的余震数量具有相同的幂律分布规律, 可以直接根据分形盒维数推算出未来某一时间尺度内高于某一震级阈值的余震的数量, 这在高震级余震预测预报中有着重要的实际意义。芦山早期余震过程的分形盒维数随时间演化表现出快速衰减的趋势, 这一特征与汶川余震序列有显著差异, 反映出芦山地震能量释放非常快速, 高震级余震在时间轴上的分布迅速地由密集变得非常稀疏; 由于芦山地震能量释放很快, 破坏了自组织临界条件, 因此在余震后期不易累积诱发高震级的余震。但是由于主震及早期密集余震造成山体结构不稳、地表土质和岩石疏松, 在本区复杂的地质构造、山地地形及独特的天气气候条件下, 次生地质灾害的风险将被极大的放大, 尤其要关注 7—8 月降雨密集期降水诱发地质灾害的风险。

关键词: 芦山地震; 余震序列; 分形; 防灾减灾

中图分类号: P64

文献标志码: A

2013 - 04 - 20 T8: 02 在四川省芦山县发生 Ms7.0 级强烈地震(30°3'N, 103°0'E), 震源深度 13 km, 地震造成的断层破裂长度约为 35 ~ 40 km, 震源破裂持续时间为 30 s 左右, 断层面上的最大滑动量达到 1.6 m^[1]。在芦山 Ms7.0 级地震后, 又发生一系列余震, 震源深度集中分布在 15 ~ 25 km 间^[1]。此次地震的最大烈度为 IX 度, 造成了严重的生命财产损失及生态环境破坏。

地震活动及其相关地球物理现象表现出高度非线性、离散性和复杂性。为了对地震演化的复杂特征进行准确刻画, 近年来分形理论和方法已经被广泛用于研究地震动力学。大量的研究表明, 地震过程的时间演化和空间分布呈现出标度不变和自相似

性等分形特征^[2-4]。针对余震活动过程, 人们已经发现余震的发生并非随机的^[5]。主震之后的余震演化服从分形幂律统计规律, 其中包括著名的 Gutenberg - Richter 定律和 Omori 定律。前者说明区域所发生地震的能量(震级) 遵循幂律分布, 其数学表达式为 $\log N(M) = a - bM$, 其中 $N(M)$ 是震级高于 M 的地震的累计数量, a, b 为正的常数; 而后者则阐明了余震过程中, 地震发生率随时间的衰减遵循幂律规律。其数学表达式为 $n(t) = K(c + t)^{-p}$, 其中 t 是距离主震的时间, K, c, p 均为常数。不同余震序列的幂律指数 p 是不同的, p 为 0.9 ~ 1.5 间并通常接近于 1.0 的常数, 衰减常数 p 又与先存活动断层的分形维数有关^[6]。这些分形幂律规律仅仅表征

收稿日期(Received date): 2013 - 04 - 29; 改回日期(Accepted): 2013 - 06 - 05。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金项目(41172321, 41105118)、湖南省自然科学基金青年人才培养联合基金项目(13JJB012)。

[Supported by the Natural Science Foundation of China(Grant No. 41172321 and 41105118), Joint Fund Projects of the Young Talents on the Natural Science Foundation of Hunan Province (Grant No. 13JJB012).]

作者简介(Biography): 覃发超(1979 -), 男, 湖北恩施人, 讲师, 博士生, 现从事数量地理研究。[Qin Fachao (1979 -), male, born in Hubei, lecture, doctoral candidate, major research in Quantitative Geomorphology.] E-mail: 32847828@qq.com

* 通信作者(Corresponding author): 史凯(1980 -), 男, 博士, 副教授。[Shi Kai (1980 -), male, Ph D, assistant professor.] E-mail: einboplure@163.com

了余震活动的宏观统计特征,在特定环境中余震过程的分形表现特征也有所变化。例如,强余震在时间上具有频度衰减与准周期性的特征^[7]。新的非线性分析方法的应用有助于加深余震过程复杂性的理解。例如,基于小波理论的分形分析有助于理解余震的多尺度行为特征^[8],利用小波对余震序列进行多尺度分析,结果显示只有在特定尺度上余震才具有分形行为^[8]。余震等待时间序列所表现出的混沌特征,表明余震发生的时间是没有精确解的,因而要对余震的发震时间进行精确预报是极其困难的,但是对于其发展趋势则可以做出科学的、准确的判断^[9]。应用分形方法分析汶川高震级余震的丛集特征,发现高震级的余震在时间上具有统计意义上的丛集性,服从幂律关系而不是 Poisson 分布^[10],可阐明高震级的余震丛群分布的时间演变规律,成为自组织临界过程的实例^[11],可以成功模拟汶川余震发生的统计规律。因此,探讨特定余震过程的分形演化规律,可为提供高震级余震的前兆信息和高震级余震发生机理等提供了一种途径^[12]。理解遵从尺度规律的物理机制成为地震学研究的热门方向,其成果可应用到地震灾害分析^[13]。本文利用分形方法研究芦山主震后初期余震时间序列,以期识别其早期余震演化特征与形成的物理机制,并为震后防灾减灾及灾后恢复重建提供科学指导。

1 地质构造背景

“4·20”芦山主震及其大部分余震都发生在龙门山构造带南段、宝兴复背斜东南翼的大川—双石冲断裂带上(图1)。该断裂是灌县—安县断裂带的南延部分,是整个龙门山构造带东南侧的边界性断裂,总体走向呈北40°~45°东,局部呈北10°~20°东的弯折;断面倾向北西,倾角45°~70°不等,个别达80°。大川—双石断裂为双石推覆体(前山推覆体前带)的滑动面,属脆性断裂,由一系列规模不大的叠瓦状断裂组成,主要由三叠系须家河组(T_3xj)煤系地层组成,呈宽缓—倒转的等厚褶皱,已被冲断成断片状^[14]。断裂带在天全至芦山一带出露长度在50 km以上,宽度达1~1.5 km,大致分为三段:西南段从天全县西南的白果树经沙坪向东北延至芦山县大溪乡;中段从天全沙坪青石桥起向东北延伸,经芦山大溪乡朱沙溪、磨刀沟、双石乡一直延伸到围塔西北地区;东北段由双石乡南岩底下经围塔西南

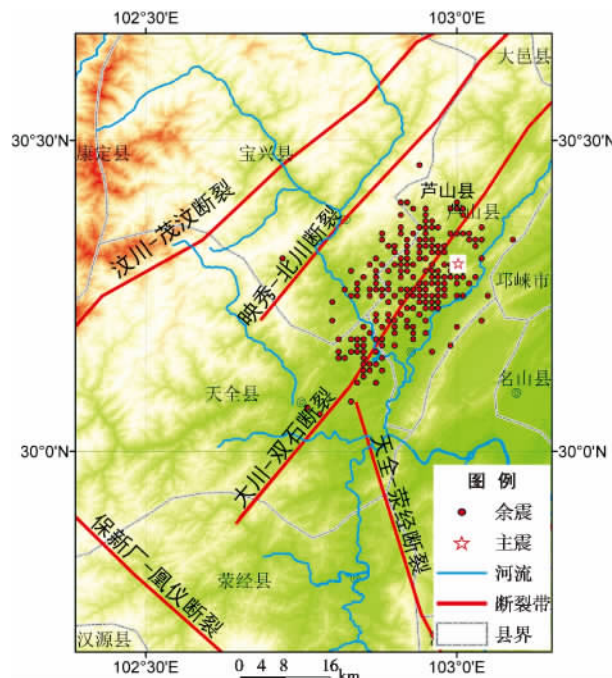


图1 余震主要发生位置及区域地质构造略图

资料来源: 国家地震局(经修改)

Fig. 1 Geological Map of the study area

Data source: from China Earthquake Administration (modified)

向东北方向延伸。在平面上无论在西南段还是东北段均成叠瓦状组合,但又以大溪为中心分别向两端撒开、中段收敛,形成束状^[15]。该断裂带切割了部分古生代地层和三叠系、侏罗系煤系地层及白垩系砂砾岩层,在双石附近渐失了侏罗系;向北在两河口—快乐一带由于断层在走向上的转弯($N40^{\circ}E \rightarrow N20^{\circ}E \rightarrow N45^{\circ}E$)斜切三叠系地层逐渐与快乐飞来峰东边界断层重接^[16]。

2 数据与方法

2.1 数据来源

早期余震时间序列来源于国家地震科学数据共享中心(<http://data.earthquake.cn/data/>)提供的中国地震台网统一地震目录,起止时间为2013-04-20 T8:02—05-06 T20:06,震级在1.0级及以上的主震与余震共2 883次,其中2.0级及以上共859次。在Microsoft Excel中以每分钟作为时间单位,建立时间—震级数据对。

2.2 研究方法

分形盒维数是应用性最广的维数之一,其主要思想:将所研究的分形对象用一个均匀分割的特定

大小网格进行覆盖,统计覆盖该分形对象所需要的最少格子数目。通过对网格大小进行逐步精化,分析所需覆盖的最少格子数目的变化,从而计算出分形维数。假设当格子的边长是 L 时,统计出覆盖整个分形对象所需要的最少格子数目为 N ,那么分形盒维数即为

$$D = -\frac{\log_{10} N(L)}{\log_{10}(L)} \quad (1)$$

本文利用(1)式定义的分形盒维数法来研究各震级阈值下余震发生的时间序列的标度性质,其具体方法为:首先,用不同的阈值(T_h)将原始余震序列转变为时间轴分布的点集 $T_h(t)$ (方法见图2),如阈值为 $M_s 2$ (即仅考虑2级以上的余震),则表示余震发生的时间序列中,每个数值大于2级的数据才能被认为是一个点;然后,用一系列的特征时间长度(L)将整个原始序列空间划分成不重复的许多个小段(即盒子);随后统计出覆盖整个数据集所需要的最少盒子个数(N),即所有包含有点的盒子个数;最后,将这一系列的 $N(L)$ 、 s 数据做 $\log_{10}(L) \sim \log_{10} N(L)$ 图,如能得到一条直线,就说明 $N(L)$ 与 L 具有如下关系

$$N(L) = L^{-D} \quad (2)$$

直线斜率的负值 D 是分形体的盒维数。此时得到的 D 是在一定的阈值下原数据列子集合的分形盒维数。如果 $\log_{10}(L) \sim \log_{10} N(L)$ 图上只有一部分呈直线时,则此图形的自相似性只存在直线部分的测度范围内。 D 值在 0 和 1 之间, D 越大,数据列结构越密集; D 越小,数据列结构越稀疏。因此,这种方法直接刻画了各震级的余震在时间上的自相似分配特征,说明这些余震在统计上是如何在时间轴上发

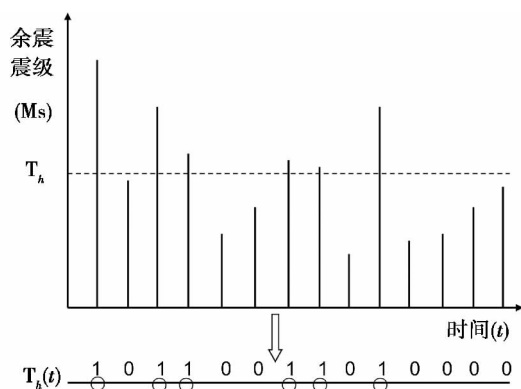


图2 余震序列在各阈值 T_h 下转变为点集的过程

Fig. 2 Method of transformation of aftershock sequence into a set of points in different threshold of T_h

生的。

3 结果与分析

3.1 芦山主震后早期余震的总体分形分布

对于4月20日—5月5日芦山主震后早期余震序列,首先基于不同的震级阈值 T_h (T_h 分别为 2.0、2.5、3.0、3.5),获得各余震子集的时间分布点集。分别应用分形盒维数方法计算各震级阈值下余震时间分布的尺度特征。计算结果如图3所示。结果表明,对于不同的震级 T_h , $\log_{10}(L) \sim \log_{10} N(L)$ 在该时间尺度内均可拟合出两段明显的线性关系,这两段直线交点的横坐标 L 记为临界时间尺度。

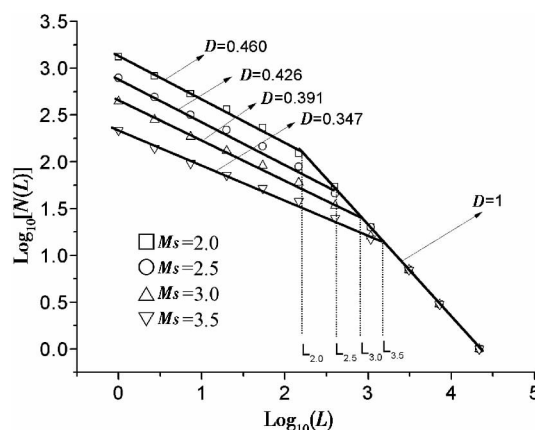


图3 不同的震级阈值下芦山余震的分形盒维数

Fig. 3 Fractal box dimension of Lushan aftershocks in different magnitude thresholds

当时间尺度较小时,高于 T_h 以上的余震在时间轴上的出现并非随机分布或均匀分布,而是在某一特定的时间尺度(L)范围内,存在标度不变结构和自相似性。这种标度不变性质能用分形盒维数 D 进行描述。为了求取 D 值,通过对 $\log_{10}(L) \sim \log_{10} N(L)$ 图的数据点进行最小二乘法拟合,得到线性区间的斜率,其负值即为分形盒维数 D 。结果表明,当震级阈值 T_h 分别为 2.0、2.5、3.0、3.5 时,高于 T_h 以上的余震在时间轴上分布的分形盒维数分别为 0.460、0.426、0.391、0.347,存在下降趋势。这说明,震级越高的余震,其在时间轴上的分布越不连续、越稀疏。分形盒维数的特征直接度量了高余震的时间分布特征,说明这些余震在统计上是如何填充在整个时间轴的。分形盒维数所揭示的标度不变特性意味着,在统计意义上,对高于某一震级阈值

T_h 以上的余震来说,较小时间尺度内的数量与较高时间尺度内的数量具有相同的幂律分布规律。换言之,我们可以直接根据分形盒维数推算出某一时间尺度内高于某一震级阈值 T_h 的余震的数量,这在余震预测预报中有着重要的实际意义。而当时间尺度较大时,由于分形盒维数方法中使用的盒子尺度较大,因此覆盖整个数据集所需要最少盒子个数与盒子尺度之间出现正比关系,此时 $D=1$,即相当于线性关系。

图 3 中,两段直线交点的横坐标,即临界时间尺度,具有特殊的意义。临界时间尺度总体上说明了要出现特定震级以上的余震,需要多长的时间尺度。因此临界时间尺度为特定震级余震的发生提出了可预测的时间范围。对于震级阈值 T_h 分别为 2.0, 2.5, 3.0, 3.5 时,其临界时间尺度分别为 $L_{2.0}=145$ min, $L_{2.5}=399$ min, $L_{3.0}=795$ min, $L_{3.50}=1485$ min。 T_h 愈高,临界时间尺度越大。

3.2 芦山主震后早期余震分形演化特征

为了进一步分析芦山主震后余震时间演化的特征,我们利用分形盒维数方法对芦山主震后每日发生的余震序列单独进行计算,并分析其分形盒维数的变化规律。由于数据量的限制,我们仅以震级为 2.0 以上的余震为研究对象。计算结果如图 4 所示。我们发现,芦山主震后第一天内,震级为 2.0 以上的余震时间分布的分形盒维数为 0.684,但第二天就急速降为 0.328,在随后 10 d 的变化中,分形盒维数几乎维持在 0.3~0.2 中波动。为了进一步剖析芦山主震后第一天内震级为 2.0 以上的余震时间分布规律的变化,我们以每 3 h 作为一个统计时间段,应用分形盒维数方法分析该时间段内 2.0 级以上的余震的时间尺度特征,计算芦山主震后 2 d 内 2.0 级以上的余震分布的分形盒维数变化规律。计算结果如图 5 所示。3 h 时间段的分形盒维数计算结果表明,对于芦山余震来说,震级为 2.0 以上的余震在芦山主震之后 2 d 内,其分形盒维数迅速下降至 0.3~0.2 范围内。

作为对比,在图 4 中,以汶川主震后震级为 2.0 以上的余震为研究对象,计算了主震后逐日的余震分布的分形盒维数。同时,在图 5 中,同样以每 3 h 作为一个统计时间段,分析了汶川主震后 2.0 级以上的余震分布的分形盒维数变化。根据计算结果,汶川余震分形盒维数的逐日演化规律和 3 h 演化规律,均与芦山余震有显著差异。对于汶川余震来说,

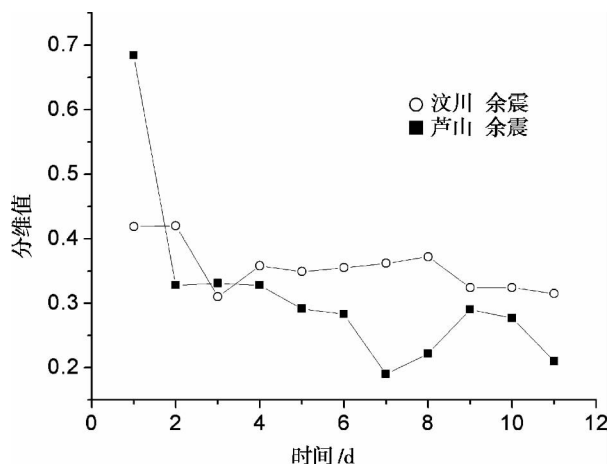


图 4 2 级以上余震的逐日分形盒维数变化趋势

Fig. 4 Trends of daily fractal box dimension of aftershocks with magnitude above Ms2.0

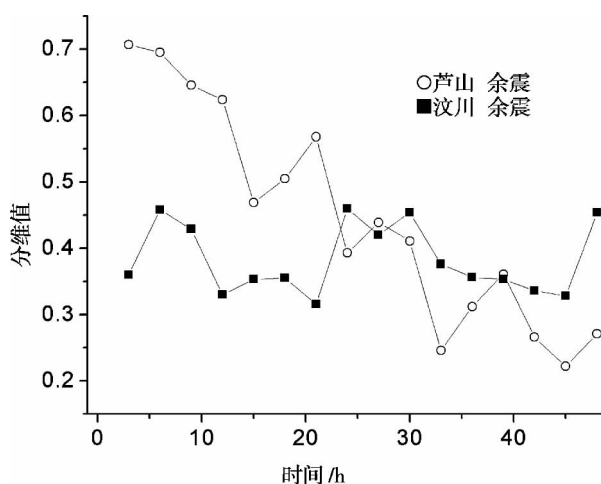


图 5 2 级以上余震每 3 h 段分形盒维数变化趋势

Fig. 5 Trends of fractal box dimension every three hours of aftershocks with magnitude above Ms2.0

主震后第一天内,2.0 级以上的余震时间分布的分形盒维数为 0.419,在随后 10 d 的变化中,分形盒维数略有下降,但下降趋势非常缓慢。主震后 2 d 内每 3 h 时间段的分形盒维数,虽然具有一定的波动,但没有明显的下降趋势。

因此,芦山主震后 2.0 级以上余震时间分布的分形盒维数迅速下降,是芦山余震不同于汶川余震的非常显著的一个特征。

4 结论与讨论

在余震初期,汶川 2 级以上余震时间分布模式几乎变化不大,而芦山却变化很大,分形盒维数有一

个快速衰减的趋势,反映出能量释放非常快速,高震级余震在时间轴上的分布迅速地由密集变得非常稀疏。而汶川余震能量释放缓慢,导致后续过程中由于自组织累积机制,可能累积诱发高震级的余震。汶川地震后期高震级余震集群发生的分形幂律规律及其演化特征已在笔者前期工作中进行了剖析和预测^[10-11],并已得到了充分的证实。考虑到芦山能量释放很快,破坏了自组织临界条件,不易累积诱发高震级的余震,类比汶川余震的规律,笔者认为本次的芦山余震后期发生高震级余震集群的概率不高。

灾区震后地质灾害风险是主震、余震、气象与地质地形条件等因素耦合作用的结果。虽然芦山地震主震震级低于汶川地震,但仍然面临相当严峻的次生山地地质灾害——滑坡、泥石流、堰塞湖等。本次震中芦山县及主要余震区雅安市,地质构造复杂,因主震及早期密集余震,造成山体结构失稳,地表疏松,为山地地质灾害的发生提供了物质条件。本区西为二郎山,东北为邛崃山,西北为夹金山,东南为小相岭北段,中为大相岭,整个地势北、西和南部高,东部和中部低,整体上新构造抬升运动显著,河流深切,峡谷发育;最高海拔 5 793 m,最低点 627 m。正是复杂地形与大气环流的相互作用,造成了雅安独特的天气—气候特征,素有“天漏”之称^[17],无论年雨量、年雨日,或是 ≥ 25 mm/d 大雨、 ≥ 50 mm/d 暴雨、 ≥ 100 mm/d 大暴雨频数,或是日最大降水量,雅安—天全一带都是青藏高原东缘的一个极值区,雨日最高达 235.70 d,大雨和暴雨最大频数年均为 17.12 和 6.7 d,大暴雨频数年均为 1.6 d;雅安暴雨和整个川西暴雨同步的只占三分之一左右,有三分之二属地方性暴雨^[18]。芦山地震的损害程度不像汶川地震那么强,但是由于主震及早期密集余震的影响,加之山地—峡谷为主的地形条件及多雨的局地气象气候特征,使得降雨诱发浅层滑坡和坡面泥石流的可能性仍被极大的放大了。尤其是降雨密集的 7—8 月,要严防降水诱发的山地地质灾害。因此,主震及渐少的余震造成了相对并不显著的山地地质灾害——“摇而未掉、松而未滑、崩而未溃”,次生地质灾害的隐蔽性极易造成防灾心理的麻痹,因而必须引起高度的警惕。

参考文献(References)

[1] China Earthquake Administration. The special topic on the strong earthquake of Ms7.0 in April 20, 2013 in Lushan, Sichuan Province [EB/OL]. <http://www.cea.gov.cn/>. 2013. [国家地震局. 2013

年 4 月 20 日四川省芦山 7.0 级强地震专题 [EB/OL]. <http://www.cea.gov.cn/>. 2013.]

[2] Legrand D, Cisternas A, Dorbath L. Multifractal analysis of the 1992 Erzincan aftershock sequence [J]. *Geophysical Research Letters*, 1996, 23(9): 933–936

[3] Lee C K, Yu C C, Wang C C, et al. Scaling characteristics in aftershock sequence of earthquake [J]. *Physica a – Statistical Mechanics and Its Applications*, 2006, 371(2): 692–702

[4] Hirata T. Omori's power law for aftershocks and fractal geometry of multiscale fault system [J]. *Zisin Journal of the Seismological Society of Japan*, 1986, 39(3): 478–481

[5] Prakash M R, Dimri V P. Distribution of the aftershock sequence of the Latur earthquake in time and space by fractal approach [J]. *Journal of the Geological Society of India*, 2000, 55(2): 167–174

[6] Nanjo K, Nagahama H, Satomura M. Rates of aftershock decay and the fractal structure of active fault systems [J]. *Tectonophysics*, 1998, 287(1–4): 173–186

[7] Wang Biquan, Wang Chunzhen. Temporal and spatial features of aftershock sequences [J]. *Acta Seismologica Sinica*, 1983, (4): 383–396 [王碧泉, 王春珍. 余震序列的时空特征 [J]. *地震学报*, 1983, (4): 383–396]

[8] Dimri V P, Vedanti N, Chattopadhyay S. Fractal analysis of aftershock sequence of the Bhuj earthquake: A wavelet-based approach [J]. *Current Science*, 2005, 88(10): 1617–1620

[9] Liu Zuhan, Zhang Bin, Wang Lili, et al. Waiting time sequence of aftershocks of Wenchuan earthquake: a research based on chaos theory [J]. *Journal of Natural Disasters*, 2011, 20(5): 181–187 [刘祖涵, 张斌, 王莉莉, 等. 汶川大地震余震等待时间序列——基于混沌理论的研究 [J]. *自然灾害学报*, 2011, 20(5): 181–187]

[10] Zhang B, Shi K, Liu C, et al. Scaling behavior of magnitude clusters in aftershock sequence: An example of the Wenchuan Earthquake, China [J]. *Science China – Earth Sciences*, 2012, 55(3): 507–512

[11] Shi K, Di B, Liu C, et al. Wenchuan aftershocks as an example of self-organized criticality [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2012, 50: 61–65

[12] Qin Jiazhen, Qian Xiaodong. The time variations of aftershock sequence fractal dimension in Lijiang Earthquake [J]. *Earthquake Research in China*, 1997, (3): 103–106 [秦嘉政, 钱晓东. 丽江地震余震序列分维的时间活动图象 [J]. *中国地震*, 1997, (3): 103–106]

[13] Jain R, Rastogi B K, Dimri V P. Fractal dimension of the 1999 Chamoli earthquake from aftershock studies in Garhwal Himalaya [J]. *Pure and Applied Geophysics*, 2003, 160(12): 2329–2341

[14] Lin Maobing. Discussion on the tectonic pattern of the Baoxin – Lushan region in the southern segment of longmen mountains. [J]. *Journal of Chengdu College of Geology*, 1992, 19(3): 33–40 [林茂炳. 对龙门山南段宝兴 – 芦山地区构造格局的探讨 [J]. *成都地质学院学报*, 1992, 19(3): 33–40]

[15] Lin Maobing. The characteristic and geological significance of the shuangshi fault at the southern section of longmen mountains [J].

- Journal of Chengdu Institute of Technology, 1996, 23(2): 64–68
[林茂炳, 陈运则. 龙门山南段双石断裂的特征及地质意义 [J]. 成都理工学院学报, 1996, 23(2): 64–68]
- [16] Han Shikang. The investigation on the earthquake of Ms 4.5 grade in Lushan [J]. Earthquake Research in Sichuan, 1988, (3): 55–57 [韩世康. 芦山 4.5 级地震考察 [J]. 四川地震, 1988, (3): 55–57]
- [17] Li Yueqing, Zhang Xiaochun. Main advances in the research of “Yaan sky leakage” [J]. Torrential Rain and Disasters, 2011, 30(4): 289–295 [李跃清, 张晓春. “雅安天漏”研究进展 [J]. 暴雨灾害, 2011, 30(4): 289–295]
- [18] Peng Guikang, Li Zhiyou, Chai Fuxin. The relationship between topography and precipitation in yaan district [J]. Plateau Meteorology, 1985, 4(3): 230–240 [彭贵康, 李志友, 柴复新. 雅安地形与降水的气候特征 [J]. 高原气象, 1985, 4(3): 230–240]

Fractal Evolution of the Early Aftershock Sequence of Lushan Earthquake

QIN Fachao¹, SHI Kai², ZHANG Bin¹, LIU Chunqiong², DENG Qingchun¹,
LUO Mingliang¹, WANG Lei¹

(1. School of Land and Resources, China West Normal University, Nanchong 637009, China;

2. School of Life and Environment, Jishou University, Jishou 416000, China)

Abstract: The strong earthquake of Ms7.0 grade in April 20, 2013 in Lushan, Sichuan Province, which caused great destruction, after the main shock occurred some dense aftershocks, understanding the time variation of early aftershock contributes to the scientific guidance for post-disaster reconstruction and disaster prevention and mitigation. This paper checked the time series data of aftershocks from April 20 to May 6th, 2013, according to the China Seismic Network unified earthquake catalog of National Earthquake Scientific Data Sharing Center, using the fractal box dimension method to study the fractal evolution characteristics of aftershock sequences in the different magnitude threshold. The results show that, Lushan aftershock sequence of different magnitudes have shown a characteristic of scale invariance and self-similarity, which means that, for aftershocks above the certain magnitude threshold, the number of aftershocks within the smaller time scale and the higher time scale has the same power-law distribution. According to fractal dimension, the number of aftershocks above a certain magnitude threshold within a future time scale can be calculated directly, which has an important practical significance in the prediction of high magnitude aftershock. The fractal box dimension of early aftershocks in Lushan with time evolution showed rapid attenuation trend, this characteristic has a significant difference from the Wenchuan aftershock sequence, which reflects the rapid energy release of Lushan earthquake, and the distribution of high-magnitude aftershocks on the time axis quickly become very sparse from the dense; since the Lushan earthquake energy release soon, undermining the self-organized critical condition, therefore, it's not easy to accumulate aftershocks which induce high-magnitude aftershocks in the late aftershocks. However, due to the main shock and early intensive aftershocks caused instability of the mountain structure and loose the surface soil and rock, in this area of complex geological structure, mountainous terrain and the unique weather and climate conditions, the risk of secondary geological disasters will be greatly amplified, particular attention should be paid to the rainfall-induced geological disasters risk of intensive rainfall during July and August.

Key words: Lushan Earthquake; time series of aftershocks; fractal dimension; disaster prevention and reduction