

三次8级以上大地震的余震活动特征分析*

史海霞, 孟令媛, 刘杰, 李智超

(中国地震台网中心, 北京 100045)

摘要: 统计研究了2004年12月26日印尼苏门答腊 M_w 9.0、2008年5月12日中国汶川 M_s 8.0和2010年2月27日智利 M_w 8.8三次大震后一个月内(特别关注24 h, 15 d, 30 d 3个时段)余震序列的时空强演化特征。结果显示, 大震序列的时间和强度具有显著的分时段起伏特征, 而余震频次呈现阶梯式衰减。大震后第1~2天内和第13~17天余震强度最大, 有可能发生最大余震, 最大余震位于余震区端部的可能性较大, 且利用震后3 h的余震可估计余震区范围。最后, 讨论了强余震起伏时段以及最大强余震可能与固体潮调制具有相关性。

关键词: 余震序列特征; 最大余震; 强余震迁移; 平静时间间隔; 固体潮调制

中图分类号: P315.72

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2015)04-0549-09

0 引言

近年来全球发生多次8级以上巨大地震, 造成了严重的人员伤亡和巨大的财产损失。研究显示, 大震后短期内余震密集活动, 极易引起重大次生灾害, 其中由强余震造成的人员伤亡和经济损失所占比重较大, 有时甚至超过主震。以1990年青海共和7.0级地震为例, 主震造成的直接经济损失为2.7亿多元, 而震后7次强余震造成的经济损失就接近3.5亿元(张启胜等, 1999)。因此, 大地震后的趋势判定及强余震预测对震后救援部署至关重要。

余震序列的活动特征主要包括余震序列的时间演化、空间展布和强度起伏3个方面(蒋海昆等, 2007)。在余震频次方面, 1894年日本地震学家大森提出表征余震序列衰减快慢的大森公式, Utsu (1961)引入衰减系数 P , 将大森公式修改为: $n(t) = K(t+c)^{-p}$, 该式此后成为对余震序列频次随时间衰减规律的最好描述。有关余震空间分布特征, 最早由Mogi (1968)发现了余震区范围随时间扩展的现象, Das和Aki (1977)提出“障碍体模式”来解释余震区端部通常余震丛集, 傅征祥(1981)指出余震通常集中在断层的端部, 且最大余震通常发生于此, Das和Henry (2003)指出主震导

致断层端部应力增长, 形成高应力区。在余震序列强度方面, 谷继成等(1979)对主余型地震序列提出了强余震的“等待时间”与主震发生时间遵从双对数线性关系; 王碧泉等(1979)提出在 $M - \lg t$ 图上余震活动呈现交替的高潮期和低潮期, 称为“准周期性”。但上述研究成果大多以6级中强地震序列的统计特征为基础, 针对8级以上巨大地震震例的研究成果较少。随着全球台网监测能力的不断提高, 近年来发生的几次巨大地震的余震记录相对比较完整, 为研究其地震序列特征提供了可能。

本文以2004年12月26日印尼苏门答腊 M_w 9.0、2008年5月12日中国汶川 M_s 8.0和2010年2月27日智利 M_w 8.8大震为震例, 研究震后一个月内余震序列的时、空、强演化特征, 并着重分析强余震的活跃时段和发震地点。其中国外两次大震的余震序列目录采用USGS提供的全球地震目录, 2008年汶川地震的余震序列目录采用中国地震台网中心提供的目录, 3次地震序列均采用北京时间。

1 三次大地震相关背景及序列概况

2004年12月26日8时58分53秒, 印尼苏门答腊发生 M_w 9.0地震 (-3.3°N , 95.98°W)。苏门答腊地震地处于3个板块交汇部位, 构造活动剧

* 收稿日期: 2015-05-04.

基金项目: 地震局地震行业专项(20150810)、国家自然科学基金项目(41404045)、地震局震情跟踪项目(2015010121)及台网中心青年基金(QNJJSQ-YBB-1404)联合资助.

烈,其中印度洋板块以 60 ~ 70 mm 的速率向 NNE 向俯冲,澳大利亚板块以 (67 ± 7) mm/a 的速率向 NE 向移动(马宗晋,叶洪,2005)。依据全球矩张量震源机制解^①,苏门答腊地震震源机制为逆冲型,断层面走向 329°,倾角 8°,滑移角 110°,为低角度逆断层型地震。苏门答腊地震为单侧破裂,破裂由南向北传播,余震区长约 1 300 km(薛艳等,2005)。震后一个月内记录到 $M \geq 5$ 余震 357 次,其中 6 级以上余震 21 次,最大余震为震后第 3 小时发生的 $M_w 7.2$ 地震。

2010 年 2 月 27 日 14 时 34 分 16 秒,智利(35.8°S, 72.7°E)发生 $M_w 8.8$ 地震。智利地震位于纳斯卡板块和南美板块交汇处的消减带上,纳斯卡板块相对南美板块的挤压速率约 80 mm/a^②。依据 USGS 的矩张量震源机制解,智利地震震源机制为逆冲型,断层面走向为 16°,倾角 14°,滑动角 104°,破裂面较为平缓(任俊杰,周娜,2010)。智利地震为双侧破裂,余震区长度超过 650 km。智利地震震后一个月内记录到 5 级以上余震 222 次,其中 6 级余震 18 次,最大余震为震后第 2 小时发生的 $M_w 6.9$ 地震和第 13 天发生的 $M_w 6.9$ 地震。

2008 年 5 月 12 日 14 时 28 分 4 秒,中国汶川

(31°N, 103.4°E)发生 $M_s 8.0$ 地震。汶川地震位于青藏块体东缘龙门山断裂上,青藏块体受印度板块挤压,以 50 mm/a 的速度向东运动,汶川地震正是青藏块体东缘龙门山逆冲推覆体向东南方向推挤作用的结果(田勤俭等,2009)。汶川地震震源机制是逆冲兼右旋走滑型,北段强余震震源机制基本以右旋走滑为主(张勇等,2008),依据郑勇等(2009)的研究结果:主震断层面走向 231°,倾角 35°,滑动角 138°。汶川地震为单侧破裂,余震区长约 330 km,震后 1 个月内记录到 4 级以上余震 175 次,其中 5 级地震 28 次,6 级地震 5 次,最大余震为震后第 14 天发生的青川 $M_s 6.4$ 地震(薛艳等,2009)。

3 次大地震的相关震源参数见表 1。图 1 为 3 次地震一个月内的余震震中分布和 $G-R$ 关系图,图中主震用红色圆圈表示,余震用黄色圆圈表示,白色箭头线表示下文中强余震迁移 $D-t$ 图计算采用的投影线,方形为坐标原点,箭头表示迁移方向。图 1a-2、b-2、c-2 利用 $G-R$ 关系给出 3 次余震序列完整性目录的最低震级下限,其中苏门答腊地震、智利地震、汶川地震的余震序列完整性目录最低震级下限分别为 $M_w 4.5$, $M_w 5.0$, $M_s 2.0$ 。

表 1 3 次大地震的震源参数列表

Tab. 1 List of source parameters of three specific earthquakes

序号	发震时间 年-月-日	地点	震中位置		震级	破裂类型	破裂尺度 /km	震源机制
			纬度	经度				
1	2004-12-26	苏门答腊	-3.30°N	95.7°E	$M_w 9.0$	单侧	1 300	逆冲型
2	2010-02-27	智利	35.9°S	72.7°W	$M_w 8.8$	双侧	650	逆冲型
3	2008-05-12	汶川	31.0°N	103.3°E	$M_s 8.0$	单侧	330	逆冲兼走滑

2 3 次大地震的余震序列特征分析

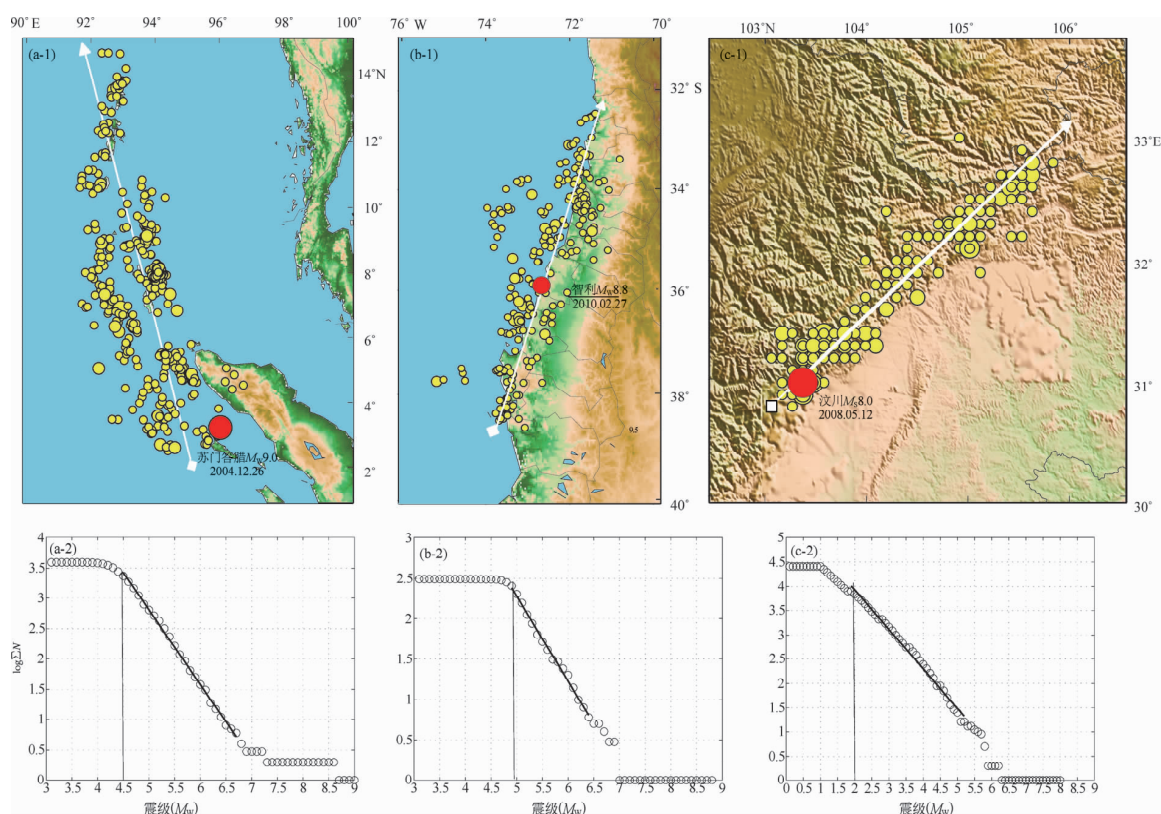
研究强余震活动特征,需对强余震的震级下限进行约定。考虑到研究对象为巨大地震的特殊性,参考余震序列完整性目录的最低震级下限,苏门答腊 $M_w 9.0$ 、智利 $M_w 8.8$ 、汶川 $M_s 8.0$ 地震的余震统计起始震级分别为 $M_w 5.0$, $M_w 5.0$, $M_s 4.0$;序列中强余震震级下限主要结合前人经验给出,傅征祥(1982)在研究 6、7 级地震序列时,定义与主震震级差小于 1.7 的地震为强余震;

周翠英等(1997)在对 7 级以上强震序列研究时,则定义强余震的震级下限为 $M_L 5.0$,因此苏门答腊、智利和汶川 3 次大地震强余震序列的震级下限分别定义为 $M_w 6.0$, $M_w 6.0$, $M_s 5.0$ 。需要说明的是余震“密集活动”、“平静时段”等是一个相对于某一时间段的概念表达,如震后 24 h 相对平静时段的余震强度和频次也远高于震后 15 d 密集活跃时段的强度和频次。

研究目的是为震后趋势判定提供依据,通过对苏门答腊、智利、汶川 3 次大地震余震序列特征按照震后 24 h、15 d、30 d 三个时段强余震活动

① <http://www.globalcmt.org>

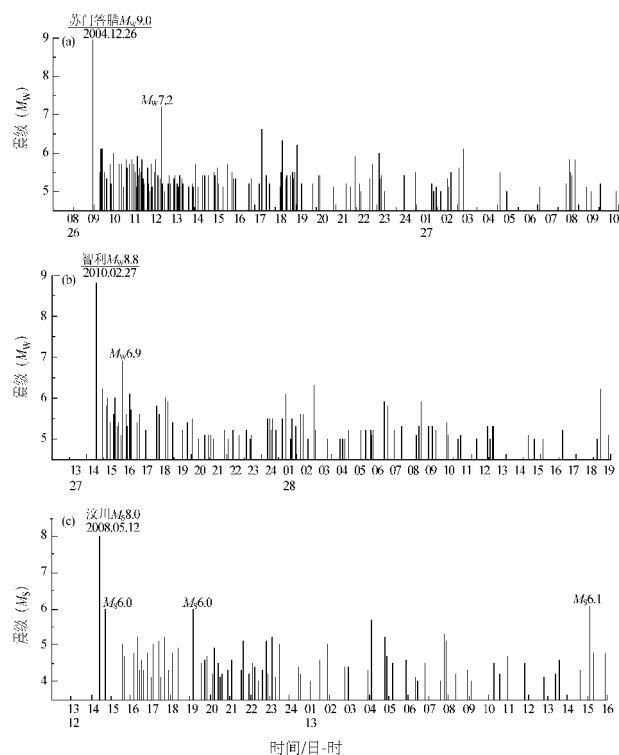
② <http://www.ceic.ac.cn>

图1 3次大地震后一个月余震震中分布图及其对应的 $G-R$ 图Fig. 1 Epicenter distribution and the corresponding $G-R$ diagram of aftershock in a month after three earthquakes

的统计特征进行分析, 寻找一些共性特征。如强余震起伏往往伴随着余震活动的相对密集—平静现象, 郭大庆等 (1998) 提出序列前期的余震活动密集—平静特征可以作为强余震预报较好的依据。由于地震所处的地质构造环境不同, 能量积累方式存在差异, 其强余震的起伏也具有“个性”特点。

2.1 震后 24 h 内强余震起伏特征

图2给出震后前 24 h 内表征余震强度起伏序列 $M-t$ 图, 由图可以看出, 3次巨大地震后强余震活动均存在多丛起伏活跃现象, 其中震后 10 h 余震频次最为密集, 有多次强余震发生, 特别是第 1~4 小时, 甚至有发生最大余震的可能; 震后第 9~12 小时可能出现第二丛强余震起伏 (一般持续 2 h 左右); 余震水平与前 8 h 相比相当或有所降低, 没有更大地震发生; 第 13~22 小时出现几丛起伏活跃, 余震强度明显下降, 降幅度约为 0.5 级。在第 24 小时左右, 一般会出现一丛强余震起伏。此外, 从余震频次衰减的程度分析, 震后第 11~24 小时的余震频次迅速衰减, 频次相当于第 1~10 小时频次的 1/2~1/3 (图 5a)。

图2 3次大震后 24 h 内余震序列 $M-t$ 图Fig. 2 $M-t$ diagram of aftershock sequence within 24 hours after three earthquakes

除上述共性特征外, 3 次大地震后 24 h 内余震活动也存在差异, 如苏门答腊地震余震密集活动集中在震后第 1~7 小时, 第 3 小时发生 $M_w 7.2$ 强余震, 为 1 个月内最大余震; 第 23 小时的一丛起伏活动强度相对较低, 甚至略低于“强余震”震级下限; 苏门答腊地震后 24 小时内余震频次衰减快 (图 5a-1)。智利地震余震密集活动集中在震后第 1~7 小时, 其中第 2~3 小时较为突出, 第 1.5 小时发生 $M_w 6.9$ 最大强余震, 24 h 内智利余震频次衰减相对较缓 (图 5b-1)。汶川地震余震密集活动持续近 10 h, 第 1~5 小时发生 2 次 $M_s 6.0$, 余震频次衰减缓慢 (图 5c-1); 最为显著的是接近第 25 h 出现一丛显著活跃, 余震强度甚至与震后 10 小时的水平相当。

2.2 震后 30 d 内的余震衰减及强余震活动特征

图 3 分别给出了 3 次大震后 15 d 和 30 d 内余震序列的 $M-t$ 图, 结合表 2 可以看出, 震后一个月内强余震起伏活动存在 4 个时段, 分别是: 第 1~4 天, 第 5~8 天、第 13~17 天, 第 26~30 天。各时段特征显著, 第 1~4 天余震活动强度大、余震密集, 且第 1~2 天强余震活动最强烈; 第 3~4

天强余震频次略有衰减, 强度相对降低。第 5~8 天出现一丛较强的余震活跃, 强度略低于震后前 2 天或与之相当; 第 9~12 天为相对平静时段, 发生强余震可能性较小。第 13~17 天起伏强度较前一丛起伏有所增强, 且有一个月内发生最大余震的可能, 而第 26~30 天再次出现一丛强余震。具体来说, 苏门答腊地震震后第 1 天发生 $M_w 7.2$ 地震 (最大余震), 第 6~11 天才出现显著余震起伏, 其强度与第 1~4 天相当 (震级强度最高达 6.7 级)。智利地震后第 1 天和第 13 天发生 2 次 $M_w 6.9$ 地震 (最大余震), 其中第 5~6 天出现显著余震起伏。而汶川震后第 1~2 天和第 4~8 天余震起伏略低于“强余震”的震级, 最大余震出现在震后第 14 天。

从平静时间间隔分析 (对比图 3, 图 4), 每一丛强余震起伏前均有显著平静, 且平静时间会逐渐延长。震后第 5~8 天的强余震起伏之前平静现象较为突出, 平静时间接近或超过之前相对平静时间的 2 倍, 甚至更多。从图 4 分析, 苏门答腊、智利、汶川地震震后第 13~17 天起伏活跃前强余震平静时间间隔分别为 3 d、6 d、5 d, 而第 25~30 天起伏

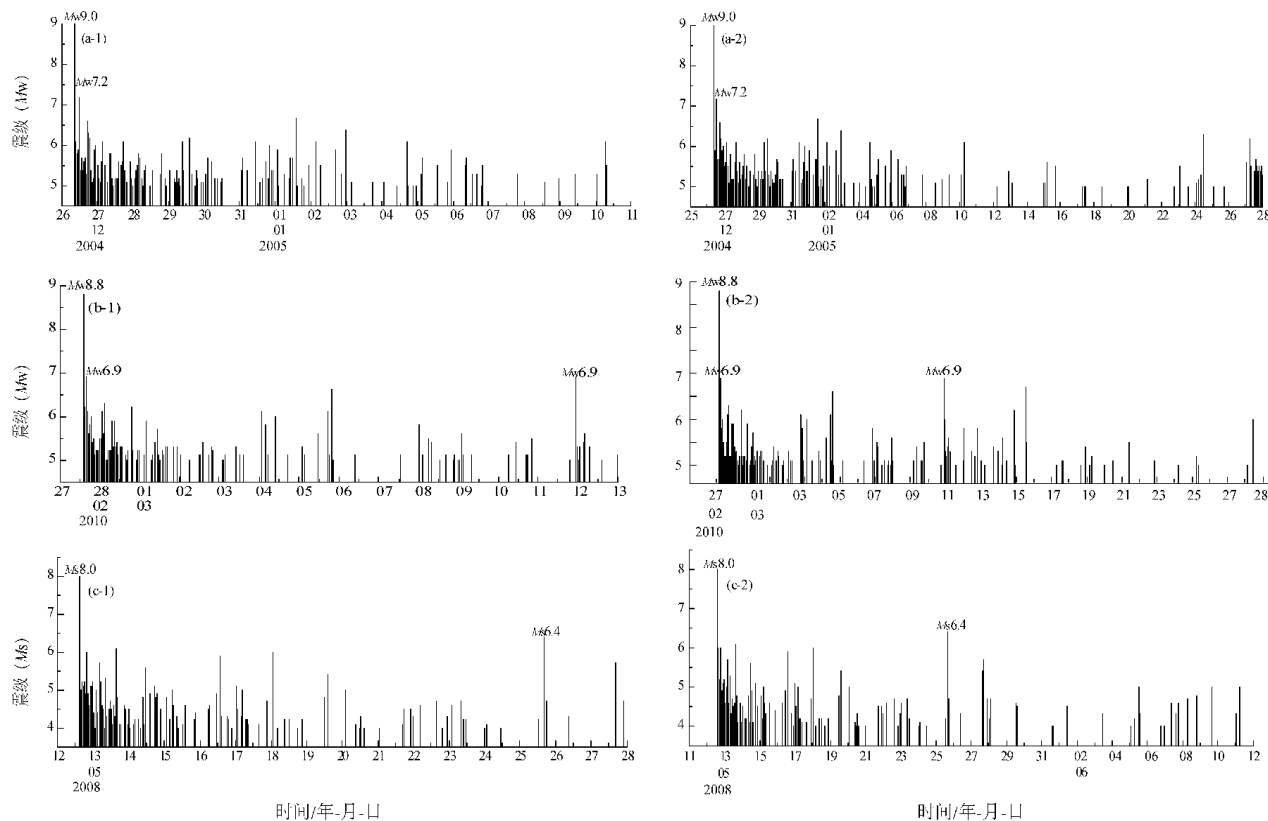


图 3 3 次大震后 15 d 和 30 d 内余震序列 $M-t$ 图

Fig. 3 $M-t$ diagram of aftershock sequences within 15 days and 30 days after three earthquakes

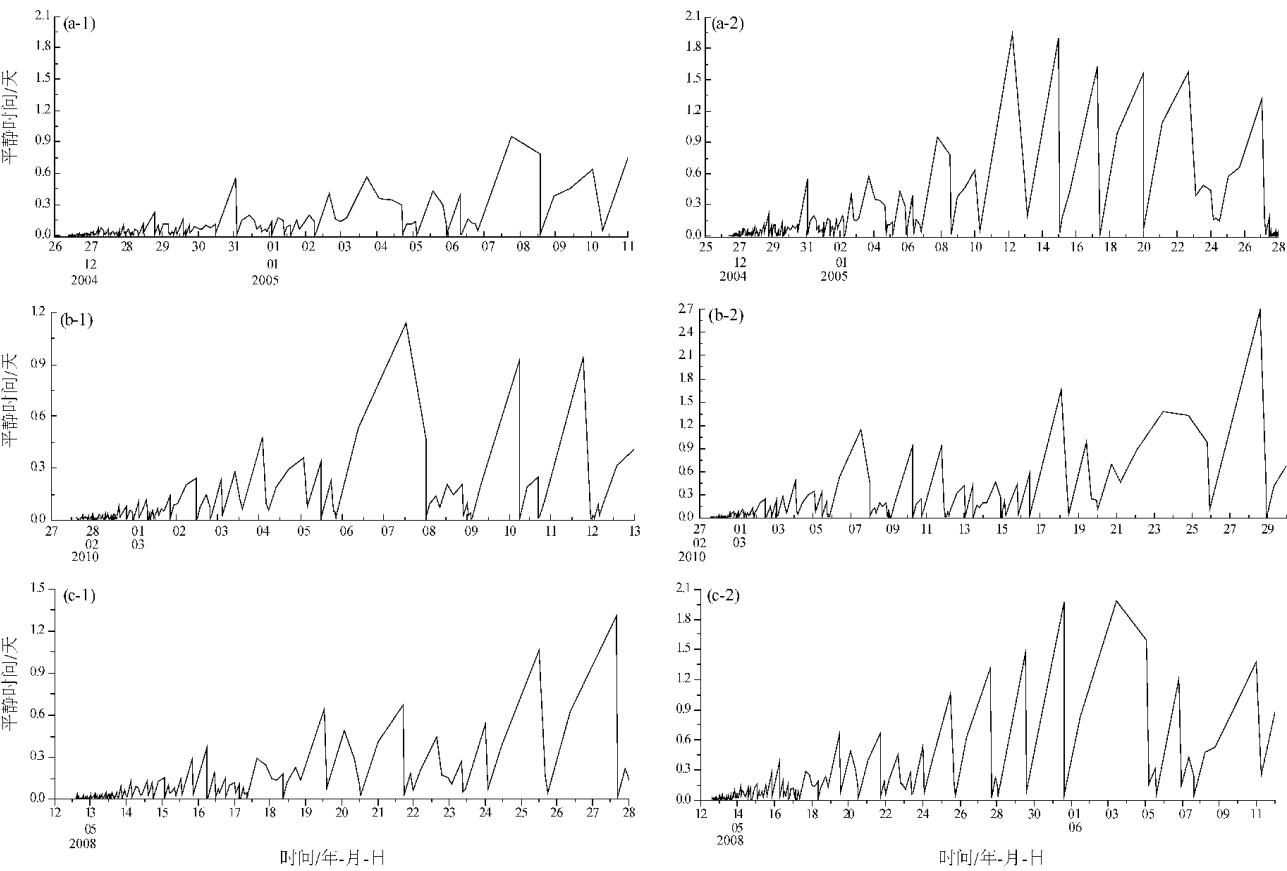


图 4 3 次大震后 15 d 和 30 d 内余震序列时间间隔 $dT-t$ 图

Fig. 4 $dT-t$ diagram of time interval of aftershock sequence within 15 days and 30 days after three earthquakes

表 2 3 次大震后一个月余震序列起伏特征统计

Tab. 2 Statistical characteristics of aftershock sequence fluctuation within one month after three earthquakes

日均频度/次	2004-12-26 印尼 M_w 9.0			2010-02-27 智利 M_w 8.8			2008-05-12 汶川 M_s 8.0		
	余震	强余震	最大余震*	余震	强余震	最大余震*	余震	强余震	最大余震*
第 1~2 天	50	5.0	M_w 7.2	45	4.5	M_w 6.9	48	9.5	M_s 6.1
第 3~4 天	26	1.0	M_w 6.2	10	0		14	1.5	M_s 5.9
第 5~8 天	9.2	1.25	M_w 6.7	5.2	1.0	M_w 6.6	8	1.25	M_s 6.0
第 9~12 天	5.5	0.25	M_w 6.0	6.0	0		4	0	
第 13~17 天	1.4	0.2	M_w 6.1	5.0	0.4	M_w 6.9	2	0.6	M_s 6.4
第 18~25 天	1.2	0		1.5	0		1	0.1	M_s 5.0
第 26~30 天	4.5	0.2	M_w 6.3	1.5	0.2	M_w 6.9	2	0.5	M_s 5.0

注：强余震为研究时段内发生的最大余震，最大余震*一列中空白格为该时段最大余震小于研究定义的强余震震级。

前，平静时间分别为 14 d、12 d 和 10 d，这可能与主震破裂过程以及余震衰减速度有关。分析认为，30 d 内出现的显著平静异常可作为新一丛强余震预测的依据，当强余震活动出现一次或多次接近之前最大平静时间 2 倍时，需注意新一丛强余震活跃的起伏。

余震频次作为余震时间演化和强度衰减的重

要指标在大森公式中有明确的表达。图 5 给出了 3 次地震震后 24 h 内的余震时均频次和震后 30 d 内的余震日均频次。结果显示，震后 30 d 内余震频次呈明显的阶梯式衰减特征，分别是：震后 24 h 以第 1~8 小时余震频次最为密集，第 9~24 小时内余震频次迅速衰减，减少为前 8 h 的 1/3 左右；震后 30 d 内余震频次以第 1~2 日最为密集，第 3

~4 天余震频次减半, 第 5~8 天的余震频次再次减半; 而第 9~17 天伴随着一丛强余震活动, 频次衰减缓慢, 甚至有明显增加; 第 18~25 天相对平静时段余震日频次处于 10 次以下; 第 26~30 天的一丛起伏中余震频次存在再次回升现象。

3 次震例的余震频次衰减速率差异表现在: 苏门答腊地震后余震频次衰减初期较快, 第 9~17 天起伏活动较弱, 余震频次偏低, 而第 26~30 天余震频次明显回升; 而智利地震后第 9~14 天余震起伏显著, 频次回升明显, 而第 26~30 天余震频次明显回升, 由此可见余震频次与活跃起伏中强度有着密切的联系。

2.3 震后 30 d 内强余震空间分布特征

图 6 给出 3 次大震后 24 h 和 30 d 内余震迁移

分布 $D-t$ 图, 图中用黑色实心圆标注了震后 24 h、30 d 内发生的最大余震为强余震, 从时间尺度分析余震迁移有 3 个特征: (1) 震后第 1~3 小时内余震基本分布至整个余震区, 利用震后 3 h 左右的余震分布特征, 可大致估计主震破裂方式和余震区范围; 苏门答腊和智利地震后仅仅在 2 h 内 5 级余震已展布至整个余震区, 汶川地震 3 h 内后余震区范围没有再扩展; (2) 最大余震位于余震区“端部”的可能性较大; (3) 震后 30 d 内的强余震震中迁移存在趋势特征, 主要表现在第 1~4 天强余震活动分布至整个余震区; 在第 5~17 天的余震起伏中, 主震附近相对平静, 强余震发生在余震区“端部”可能性大; 第 20~30 天强余震迁回主震附近活动。

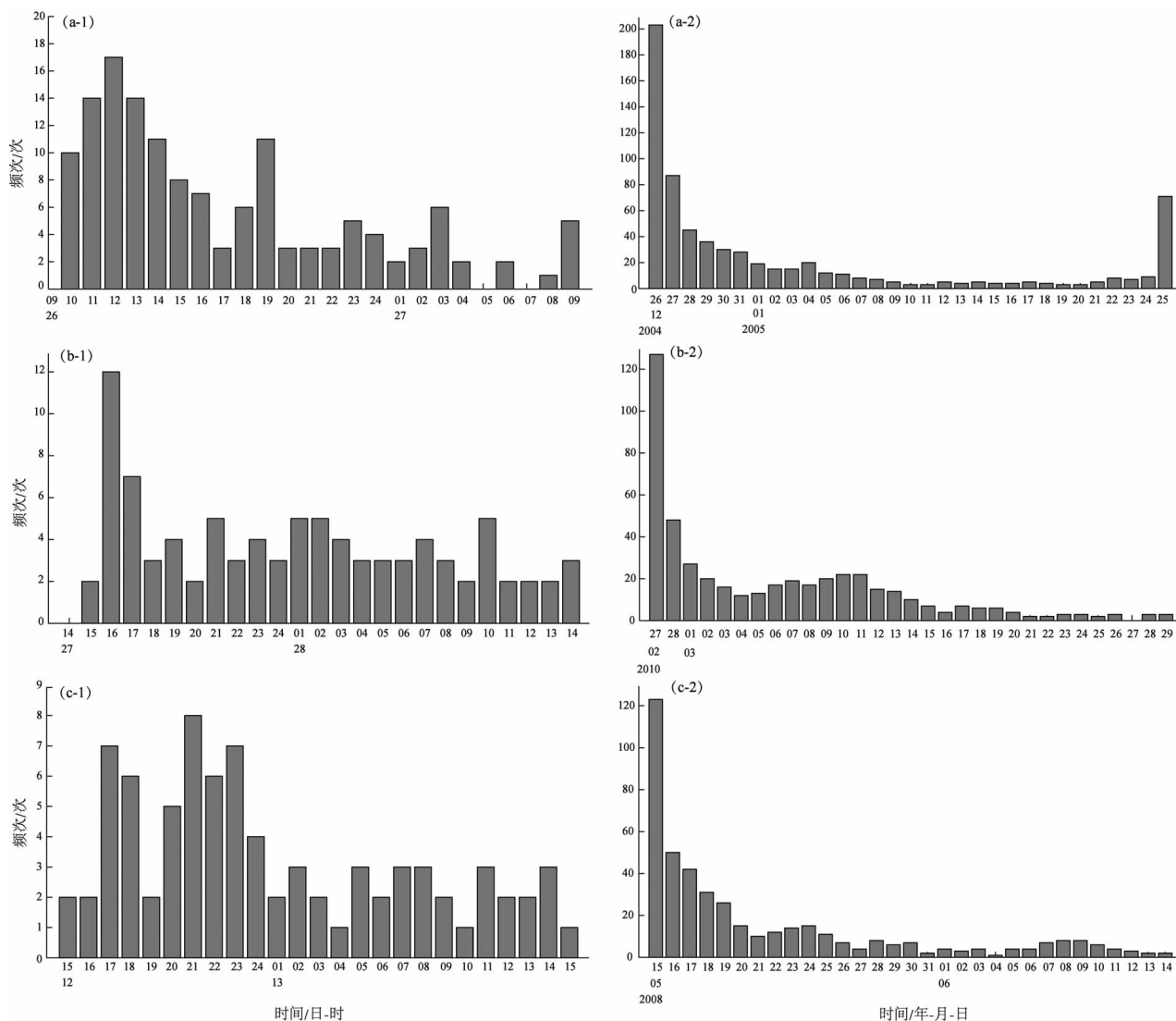
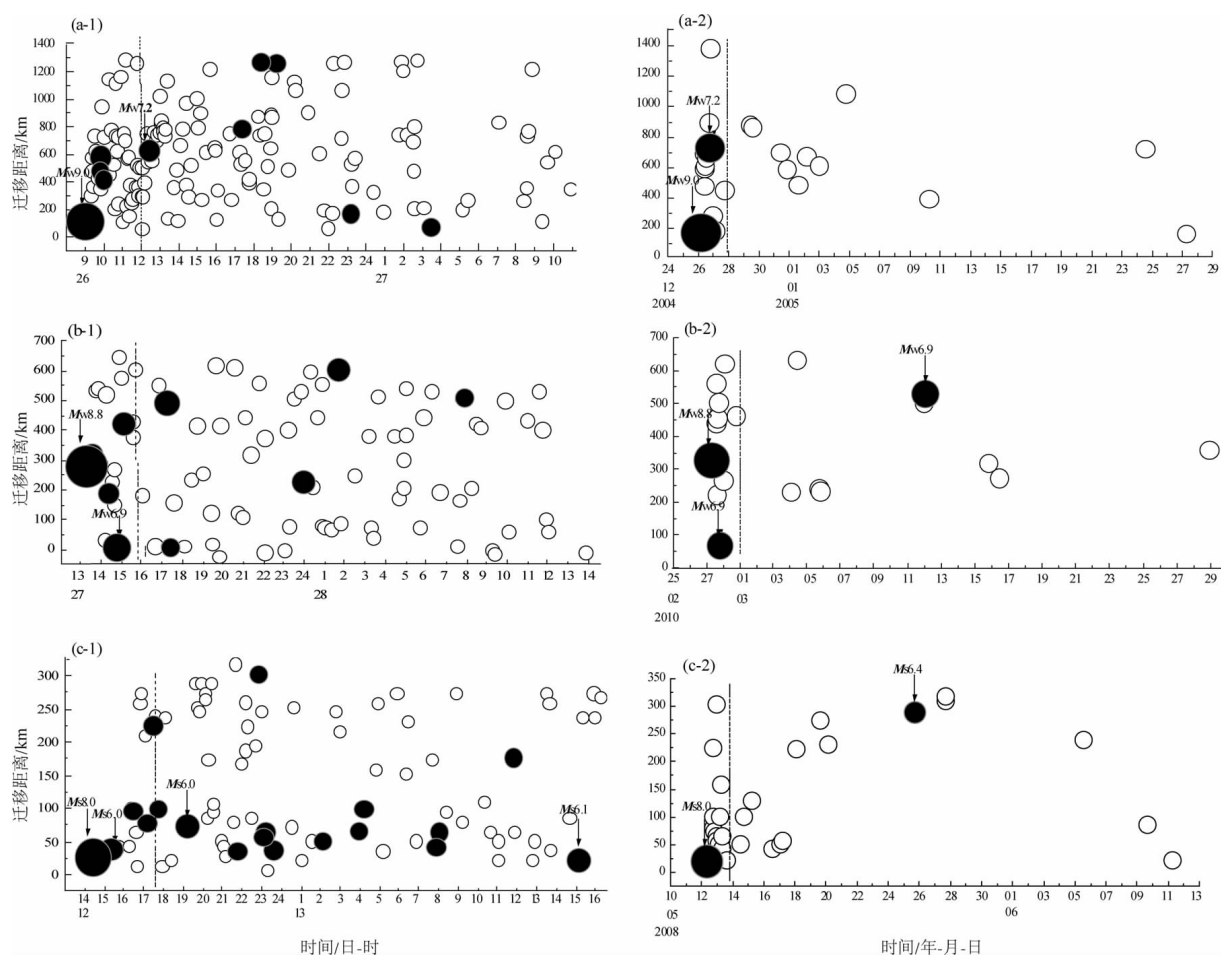


图 5 3 次大震后 24 h 和 30 d 内余震序列频次 $N-t$ 图

Fig. 5 $N-t$ diagram of aftershock sequence frequency within 24 hours and 30 days after three earthquakes

图6 三次大震后24 h和30 d内余震迁移分布 $D-t$ 图Fig. 6 $D-t$ diagram of aftershock sequence migration distribution within 24 hours and 30 days after three earthquakes

需要指出的是最大余震的迁移特征是一个相对概念,可作为趋势特征进行分析。如苏门答腊地震后最大余震震中位置自主震震中向北迁出约600 km,并没有完全达到余震区北端,因此该特征“个性差异”较大,需对更多震例进行统计并深入研究。

3 主震与最大强余震的调制特征

有关余震序列特征的物理解释是一直备受关注的问题,强余震的起伏活跃与固体潮的周期特征是否有一定联系呢?本文利用固体潮对主震震后一个月内强余震起伏,特别是最大余震发生时段进行尝试分析。固体潮有15 d固有周期,图7给出了3次大震后一个月内地震所在区域的面应变固体潮理论值曲线。图7中苏门答腊地震主震和最大余震(第1天发生7.2级)均发生在本地固体

潮高峰值,智利主震和2次最大余震发生固体潮的相对高峰值,分别是震后24 h和第13 d,间隔一个固体潮周期。汶川主震接近本地固体潮的低值区,最大余震发生在主震后第14天,并和主震发生时间间隔一个固体潮周期,同样位于相应低峰值区。综合分析认为,巨大地震及其最大强余震发生的固体潮时段可能与地震的动力环境和破裂方式有关,大震后余震区处于极不稳定状态,易受固体潮调制,而固体潮中15 d的周期可以较好解释大震后第13~17天强余震活动水平较高,且可能发生最大余震的特征,第26~30天的强余震起伏则看作受第三个固体潮周期的影响。

依据上述结论推测在2015年4月25日尼泊尔 $M_s 8.1$ 地震后,最大余震可能发生在震后第1~2天或第13~17天。依据中国地震台网中心提供的余震序列目录震后30 d发生3次7级以上余震,分别是4月25日 $M_s 7.0$ 、4月26日 $M_s 7.1$ 和5月

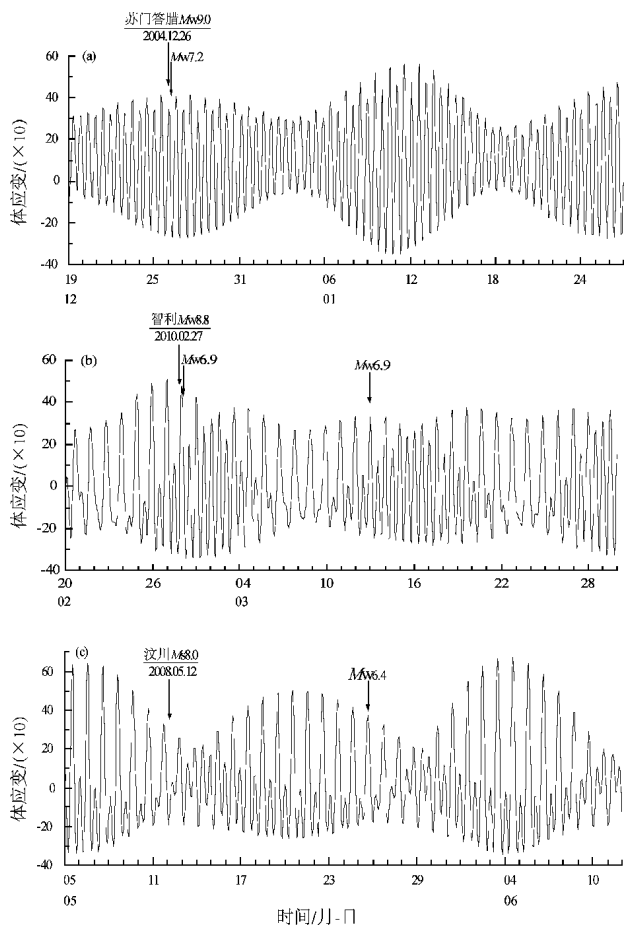


图7 3次大地震发生前后面应变的
固体潮理论值曲线

Fig. 7 Tidal theory curve of surface strain curve
before and after three earthquakes

12日 $M_s7.5$ 地震（最大强余震，距离主震17 d）。这说明尼泊尔地区固体潮引力在该时段的调制作用显著。

4 结论

通过对2004年12月26日印尼苏门答腊 $M_w9.0$ 、2008年5月12日中国汶川 $M_s8.0$ 和2010年2月27日智利 $M_w8.8$ 三次大震研究，初步总结大地震后一个月内余震序列时空强演化特征特征，具体如下：

(1) 从时间和强度分析，需特别关注的强余震起伏时段为：震后前10 h，第1~2天，第5~8天，第13~17天，第26~30天。其中第1~2天和第13~17天余震强度最大，有可能发生最大余震。强余震起伏，特别是最大强余震与面应变的固体潮在时间上存在调制相关性，解释为大震后

余震区处于极不稳定状态，易受固体潮调制。同时固体潮的周期为15 d可以较好解释大震后第13~17天强余震活动水平较高，且可能发生最大余震的特征，而第26~30天的强余震起伏可看作受新一轮固体潮周期的影响。

(2) 从余震频次衰减分析，震后24 h内前8 h余震频次最为密集，第9~24小时余震迅速衰减，减少为前8 h的1/3左右。震后30 d内余震频次随余震起伏活跃呈现阶梯式衰减，每一丛活跃的日均频次为上一丛活跃的1/2~1/3。从平静时间间隔分析认为每一丛强余震活跃前均出现相对平静，平静持续时间与后续活跃的强度和持续时间有一定的正相关性。当出现一次或多次接近之前2倍最大平静时间，需注意新一丛强余震活跃出现。

(3) 从余震迁移特征分析，认为震后第1~3小时内余震基本分布至整个余震区，利用震后3 h内的余震可估计余震区范围；最大余震位于余震区端部的可能性较大；强余震震中迁移存在一定的趋势特征，主要表现为第5~10天强余震迁移至余震区端部，第20~30天强余震趋于迁回主震震中附近。

需要指出的是，本文样本量有限，且3次大地震均是逆冲型，其他破裂类型的地震序列是否满足上述活动特征有待于进一步研究，但其结果对巨大地震震后趋势分析可提供一定的参考依据。

参考文献：

- 傅征祥. 1981. 1978年5月18日海城6级地震前地震活动的某些特征[J]. 地震学报, 3(2): 118-125.
- 傅征祥. 1982. 强余震活动的持续时间[J]. 地震学报, 4(4): 389-394.
- 谷继成, 谢小碧, 赵莉. 1979. 强余震的时间分布规律及其理论解释[J]. 地球物理学报, 22(1): 32-46.
- 郭大庆, 刘蒲雄, 袁一凡, 等. 1998. 地震现场工作大纲和技术指南[M]. 北京: 地震出版社: 32-41.
- 蒋海昆, 傅征祥, 刘杰, 等. 2007. 中国大陆地震序列研究[M]. 北京: 地震出版社: 97-112.
- 马宗晋, 叶洪. 2005. 2004年12月26日苏门答腊—安达曼大地震构造特征及地震海啸灾害[J]. 地学前缘, 12(1): 1-13.
- 任俊杰, 周娜. 2010. 2010年智利大地震及历史地震活动与地质构造背景[J]. 国际地震动态, 375(3): 1-7.
- 田勤俭, 刁桂琴, 郝平, 等. 2009. 地震及余震破裂的地质构造特征[J]. 地震, 29(1): 141-148.
- 王碧泉, 杨锦英, 王春珍. 1979. 强余震的准周期性[J]. 地震学报, 1(2): 154-165.
- 薛艳, 刘杰, 梅世蓉, 等. 2009. 2008年汶川 $M_s8.0$ 地震前地震活动异常特征[J]. 地震学报, 31(6): 606-619.

- 薛艳, 刘杰, 宋治平. 2005. 印尼苏门答腊两次巨大地震序列特征对比分析[J]. 国际地震动态, (10): 1-8.
- 张启胜, 张敏, 李东梅. 1999. 青海省共和7.0级大震及其强余震震害研究[J]. 西北地震学报, 21(2): 56-63.
- 张勇, 冯万鹏, 许力生, 等. 2008. 2008年汶川大地震的时空破裂过程[J]. 中国科学(D辑), 38(10): 1186-1194.
- 郑勇, 马宏生, 吕坚, 等. 2009. 汶川地震强余震($M_s > 5.6$)的震源机制解及其与发震构造的关系[J]. 中国科学(D辑), 39(4): 413-426.
- 周翠英, 王红卫, 王梅. 1997. 强余震持续时间的早期估计[J]. 中国地震, 13(2): 162-171.
- Das. S., Aki K. . 1977. Fault plane with barriers: A versatile earthquake model[J]. J. Geophys. Res., 82: 5658-5670.
- Das. S., Henry C. . 2003. Spatial relation between main earthquake slip and its aftershock distribution [J]. Reviews of Geophysics, 41(3): 1-23.
- Mogi K. 1968. Development of aftershock area of great earthquake [J]. Bull. Earthq. Res. Ins. Univ. of Tokyo, 46: 175-203.
- Utsu T. 1961. A statistical study on the occurrence of aftershocks [J]. Geophys. Mag, 30: 521-605.

Analysis on Characteristic of Aftershock Activity of the Three $M \geq 8.0$ Huge Earthquakes

SHI Hai-xia, MENG Ling-yuan, LIU Jie, LI Zhi-chao
(China Earthquake Networks Centre, Beijing 100045, China)

Abstract

In order to explore seismic activity features after the huge earthquake shortly, we statisticed the evolution characteristics of the spatial, temporal and intensity distribution in one month (focus on 24 hours, 15 days and one month respectively) after three huge earthquakes. The three huge earthquakes are Sumatra $M_w 9.0$ earthquake in Indonesia on Dec. 26, 2004, Wenchuan $M_s 8.0$ earthquake in China on May. 12, 2008 and Chile $M_w 8.8$ earthquake on Feb. 27, 2010. The results show that the characteristics of time and intensity distribution of the earthquake sequence had obvious ups and downs during the different time periods, and the frequency of aftershocks showed the stepped attenuation. Furthermore the aftershock activity was the strongest in the 1 ~ 2 days and 13 ~ 17 days after the huge earthquake. The maximum aftershock was probably to occur in the end of aftershock zone, and we could use the aftershocks in 3 hours after main shock to estimate the scale of aftershock zone. In addition, we also discussed that the period of the ups and downs characteristic of strong aftershock activity, and their relationship with the tidal modulation period.

Key words: aftershock sequence characteristic; the strongest aftershock; strong aftershock migration; interval of quiet time; tidal modulation