

2011年日本本州东海岸附近9.0级地震活动特征

薛艳^{①②}, 刘杰^②, 余怀忠^②, 刘双庆^③

① 中国地震局地球物理研究所, 北京 100081;

② 中国地震台网中心, 北京 100045;

③ 天津市地震局, 天津 300201

E-mail: xueyan5619@seis.ac.cn

2011-08-17 收稿, 2011-11-07 接受

国家重点基础研究发展计划(2008CB425704)和国家科技支撑计划(2008BAC35B05)资助

摘要 分析了2011年3月11日日本本州东海岸附近9.0级地震序列的时空演化特征及该次地震前日本海沟附近地震活动特点: ① 本次特大地震为前震-主震-余震型, 前震序列具有空间分布集中、低 b 值、震源机制一致的特点; ② 主震后0.5 h先后发生最大余震7.9级和次大余震7.7级, 其后强度迅速衰减, 主震后半个月和1个月左右余震出现起伏增强活动. 本次地震为双侧破裂, 主震后5 h, 余震区展布在长500 km、宽300 km范围内; 3月12日后余震区长轴略有扩展, 约600 km; ③ 9.0级地震震前9 a, 震源区附近出现了中强以上地震的显著增强活动, 增强区范围大体与余震区相当.

关键词

前震序列
余震活动
地震加速矩释放
模型(AMR)

据中国地震台网中心测定, 北京时间2011年3月11日13时46分, 日本本州东海岸附近海域发生9.0级特大地震(142.6°E, 38.1°N, 震源深度20 km)(www.ceic.ac.cn), 该地震引发强烈海啸, 至4月12日遇难失踪人数已达27475人(www.sina.com.cn).

美国国家地震信息中心提供的全球地震目录显示(http://earthquake.usgs.gov/), 日本本州东海岸附近(near east coast of Honshu, Japan)9.0级地震前2 d(3月9日)在震中附近曾发生1次7.3级和22次5级以上地震, 这些地震均位于9.0级地震的余震区内部, 7.3级地震与9.0级主震的震中距仅46 km, 是真正意义上的前震. 9.0级主震后余震非常丰富, 震后1个月发生3次7级余震, 即该次地震序列表现为前震-主震-余震型.

在所有的地震短临前兆中, 前震是学术界公认的预报强震最有效的指标之一^[1]. 在我国具有明显减灾实效的地震短临预报中, 直接前震的贡献是显而易见的, 如1975年海城7.3级和1999年岫岩5.6级地震, 但前震的有效识别是困难的. 1966年邢台地震后, 我国学者开始了对地震序列的研究^[2,3]. 陈颀^[4,5]

发现前震在空间上集中、震源机制解也比较类似, 而余震在空间上发散、机制解差异大. 据此提出利用震源参数的一致性可以判别一个序列是前震序列还是正常的主震-余震序列. 倪四道等人^[6]研究了2010年4月14日青海玉树7.1级地震前2 h左右在距离主震震中仅2 km处发生的4.7级地震序列时空分布及波形特征, 认为该4.7级序列符合陈颀^[4]的理论, 是典型的前震序列. 此外, 基于 b 值等统计方法, 也被用于前震序列的识别^[7]. 近年来, 一些关于前震的研究是在对地震序列高精度定位的基础上, 系统分析前震序列与主震及余震序列的时空演化特征, 为前震与主震关系的机理研究提供了范例^[8]. 以往前震的研究成果以6级中强地震序列的统计特征居多^[9], 由于8级震例少, 使得针对8级以上地震序列的研究成果较少, 特别是对有7级前震的特大地震序列的研究更是少之又少.

特大地震前的区域地震活动研究已经取得了一些有意义的成果^[10-12]. 日本学者Mogi^[11]指出, 巨大地震前10~20 a, 在大震震源区周围常出现地震活动

增强的环形分布。梅世蓉等人^[12]系统分析了我国大陆及邻区 16 次巨大地震前的地震活动特征,认为在巨大地震孕育的长期阶段,震源区及附近中等以上地震的增强活动具有一定的普适性。

由于美国国家地震信息中心 (NEIC; <http://earthquake.usgs.gov/>)测定的全球地震目录获取便捷,且具有一定的权威性,所以本文主要使用该目录分析日本本州东海岸附近 9.0 级特大地震序列的时空演化特征及该地震前日本海沟附近中强以上地震活动特点。美国 NEIC 目录始于 1973 年,本文通过 G-R 关系分析,认为该目录在日本海沟附近 5 级以上地震基本完备。考虑到不同机构地震定位存在一定的偏差,本文还使用日本气象厅 (JMA; <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>)目录与美国 NEIC 目录对比分析了该特大地震的前震序列和地震序列 b 值特点。

另外,本文在讨论部分还使用了 1900 年以来全球 $M_w \geq 7.0$ 地震目录(其中 1900~1999 年的资料来源于 Engdahl 等人^[13]修订的全球目录,2000 年以后采用的是 Harvard 大学提供的全球目录(<http://www.seismology.harvard.edu/>)),该目录 7 级以上地震是完整的^[13]。

1 日本本州东海岸附近 9.0 级地震序列演化特征

1.1 前震及主震后 3 d 余震序列时空演化

世界时 3 月 9 日 2 时 45 分首先发生 7.3 级前震,至 3 月 11 日 5 时 46 分主震前共发生 23 次 5 级以上前震,其中 6 级地震 2 次,震级均为 6.0 级。从时间过程看(图 1(a)),前震序列可以分为 3 个活跃时段,分别为 3 月 9 日 2~11 时(图 1(c)中空心圆)、3 月 9 日 18~23 时(图 1(c)中实心圆)及 3 月 10 日 8~16 时(图 1(c)中的三角形),第 1 个时段共发生 15 次 5 级以上地震,全部发生在 7.3 级地震的东北侧,其中包括 1 次 6.0 级;第 2 个时段共发生 4 次 5 级以上地震,其中 2 次发生 7.3 级地震的东北部,同时 7.3 级地震的西南侧也开始活动,相继发生了 6.0 级和 5.2 级地震,9.0 级主震震中就发生在该 6.0 级地震震中西侧,主震震源深度比该 6.0 级地震深 10 km;第 3 个时段发生的 4 次 5 级地震均位于 7.3 级地震的东北侧(图 1(c)中的三角形)。主震发生前前震序列平静了 13 h,为整个前震序列中最为突出的平静现象。值得注意的是,以前的一些前震研究表明,离主震时间越近,地震越频繁,

但是在主震之前会有短暂的平静现象^[2,14,15]。与之相比,本次前震序列在主震前的平静现象突出,但没有显示出地震的频繁现象。是否受震级下限的影响有待后续研究。

前震序列空间分布集中,震中集中在半径约 40~50 km 范围内(图 1(b), (e), (f))。从深度上看,初始破裂点(7.3 级地震震源深度为 32 km)位于 30 km 深处,随后地震向浅处发展,前震序列主要分布在 10~40 km 范围内(图 1(i))。

主震发生后余震迅速向其南北两侧扩展,为双侧破裂,但南边余震分布范围较大。主震后 28 min 在距主震约 260 km 的南部发生 7.9 级最大余震(6 时 15 分),其后 10 min 在距主震约 200 km 的海沟东侧发生 7.7 级次大余震(6 时 25 分)。5 h 后,余震区呈 NNE 向展布,长约 500 km,宽 300 km。主震后 18 h (即至 11 日 24 时),共发生 5 级以上余震 120 次,其中 6 级地震 21 次,7 级地震 2 次。与主震后 5 h 相比,余震区规模没有变化。3 月 12 日以后,余震区长轴略有扩展,约 600 km,宽度不变(图 1(e), (f))。

从震源深度剖面图可以看出,沿海沟走向,余震深度分布变化不大,主要集中在 0~40 km 范围内(图 1(g))。余震区主体位于海沟西侧,海沟东侧也相继发生了一些余震,包括 7.7 级次大余震和 4 次 6 级地震,这 5 次 6 级以上地震均发生在主震后 2.5 h 内。此外,与海沟西侧相比,海沟东侧余震震源深度分布较浅,集中在 0~40 km 范围内,40 km 以下没有地震(图 1(h))。

主震发生后至 3 月 12 日 15 时,余震活动集中在 0~50 km 深度范围内,50~70 km 范围内还有些余震活动。其后,40 km 深度以下的余震明显减少,余震主要集中在 0~40 km 范围内(图 1(i))。

鉴于地震定位中存在一定的系统偏差,本文对比分析了 NEIC 目录和 JMA 目录,结果表明,JMA 目录测定的震级整体偏高,且震中位置整体向东略有偏移,但使用 JMA 目录并不影响本文使用 NEIC 目录得到的分析结果。图 1(d)是使用 2 套目录绘制的前震序列和主震的震中分布图,由该图可见,JMA 目录较 NEIC 目录整体向东偏移,2 个主震震中相距约 50 km。JMA 提供的前震序列空间分布更为集中,且主震均位于前震序列的西南端。

1.2 主震后 1 个月地震序列时空演化特征

余震活动具有明显的起伏特征,6 级以上余震可

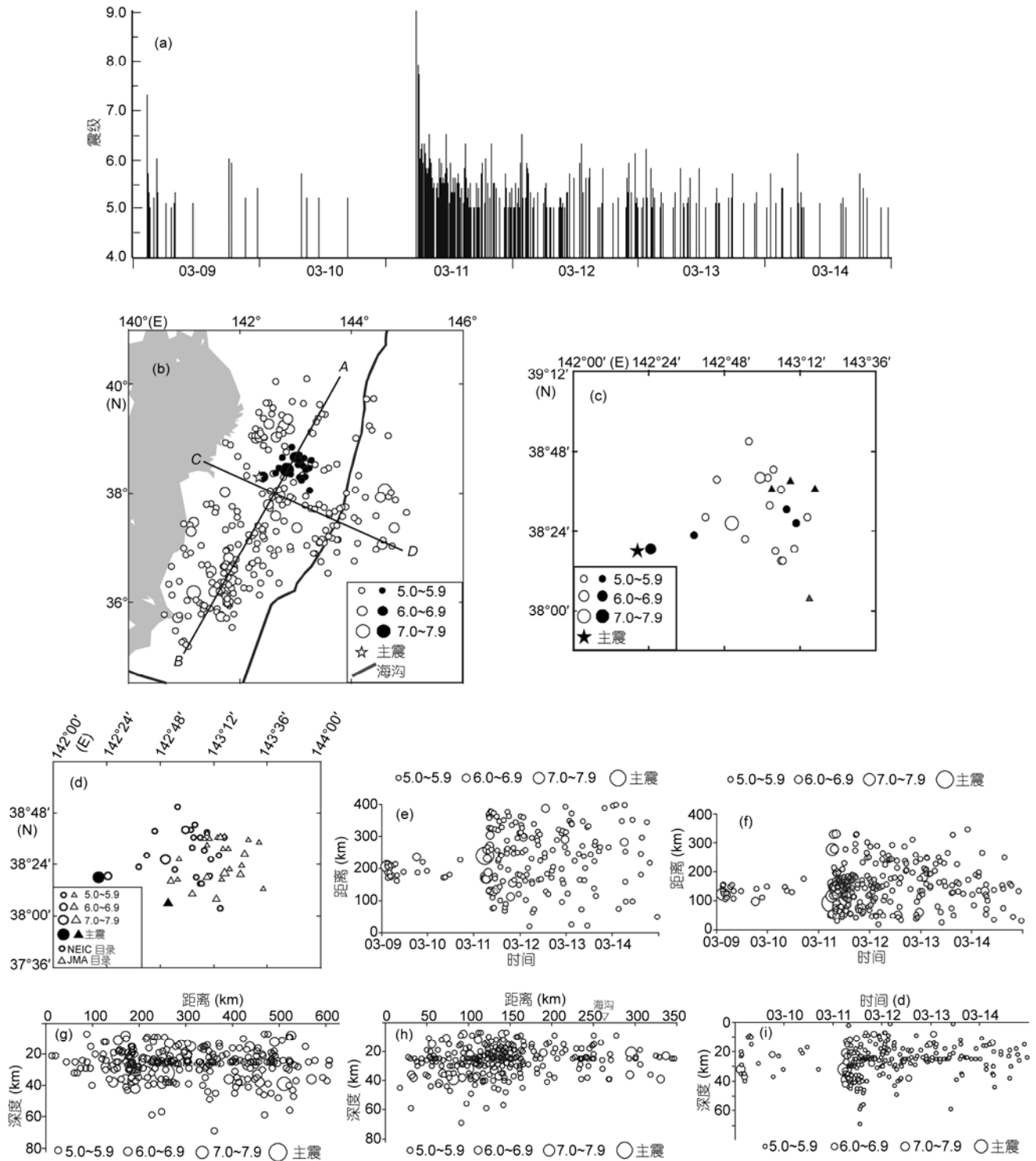


图1 地震序列活动图($M>5.0$, 2011-03-09~2011-03-14)

(a) $M-t$ 图; (b) 震中分布. 实心圆为前震, 空心圆为余震, 五角星为主震; (c) 前震分布图. 空心圆、实心圆及三角形分别表示3月9日2~11时、18~23时与3月10日8~16时发生的地震, 五角星表示主震; (d) NEIC目录与JMA目录给出的前震序列震中分布图. 圆表示NEIC目录, 三角形为JMA目录, 空心圆和三角形表示前震序列, 实心圆和三角形表示主震; (e) AB方向震中迁移图. 即将地震震中投影到AB直线上, 做地震投影点距离A点的距离随时间的变化; (f) CD方向震中迁移图. 即将地震震中投影到CD直线上, 做地震投影点距离C点的距离随时间的变化; (g) AB剖面震源深度分布; (h) CD剖面震源深度分布; (i) 震源深度随时间的变化

以分为 3 个活动时段, 分别为 3 月 11~17 日、3 月 22 日~4 月 1 日及 4 月 7~12 日(图 2(a)). 第 1 个阶段的前 3 d (3 月 11 日~13 日)共发生 6 级以上余震 27 次, 其中 7 级地震 2 次, 地震沿整个余震区均有活动. 3 月 14~17 日发生 6 级以上余震 4 次, 最大震级 6.1, 空间上表现出从余震区中部向北部迁移的迹象. 6 级地震平静 4 d 后开始了第 2 个阶段的活动, 共发生 8 次 6 级以上余震, 最大震级 6.4, 集中分布在余震区的东南部, 距离主震较近. 其后 6 级地震又平静了 6 d, 4 月 7 日 14 时在距主震约 60 km 的西侧发生了 7.1 级强余震, 开始了第 3 个阶段的活动, 至 4 月 12 日共发生 6 级以上余震 4 次, 且向南部迁移. 4 月 7 日发生的 7.1 级地震是 3 月 12 日以来发生的最强余震, 与前 2 次 7 级余震相比, 距离主震最近(图 2(b)).

1.3 地震序列参数计算

Gutenberg 和 Richter^[16]提出的 G-R 关系 $\lg N(M)=a-bM$ 是关于地震强度与频度分布特征的统计描述, 式中 N 是震级为 M 的地震次数, a 和 b 是统计系数, 分别反映地震活动水平和强度分布特征. 对中国大陆地区地震序列研究结果表明^[9], 对一个前震-主震-余震型地震序列, 余震和前震的 b 值存在明显的差异. 图 3 是使用 NEIC 目录作的本次 9.0 级地震前震序列、

主震后 3 d(3 月 11~13 日, 下同)和主震后 1 个月(3 月 11 日~4 月 12 日, 下同)地震序列的 G-R 关系图. 由此可见, 前震序列 b 值为 0.825, 主震后 3 d 余震序列 b 值为 1.111, 主震后 1 个月的 b 值为 1.115. 显然, 前震序列的 b 值明显低于余震序列. 这与前人的研究结果是一致的^[9,17].

笔者还使用 JMA 目录作了相同的计算, 结果示于图 4. 其中前震序列 b 值为 0.616, 主震后 3 d 余震序列 b 值为 0.886, 主震后 1 个月的 b 值为 0.907. 与图 3 对比发现, JMA 目录计算的 b 值整体低于 NEIC 目录. 这是由于除了主震震级和最大前震震级 2 套目录相同外, 其余地震 JMA 测定的震级整体略高于 NEIC 目录, 是震级测定的系统偏差造成的. 尽管如此, 图 4 仍清晰地显示出, 前震序列的 b 值明显低于余震序列.

在大森余震衰减规律^[18,19]的基础上, 刘正荣^[20]在研究有前震的地震的预报问题时, 给出计算地震频度衰减系数 h 值并据此进行序列类型判定的方法. 当 $h < 1.0$, 所发生的地震序列为前震序列; 当 $h > 1$ 时, 地震序列一般为余震序列, 后续发生更大地震的可能性不大. 计算本次特大地震的前震序列、主震后 3 d 及主震后 1 个月地震序列的 h 值, 结果显示, 前震序列 h 值为 1.9, 主震后 3 d 余震序列 h 值为 1.41, 主震后 1 个月余震序列 h 值为 1.27. 由此可见, 根据 h 值

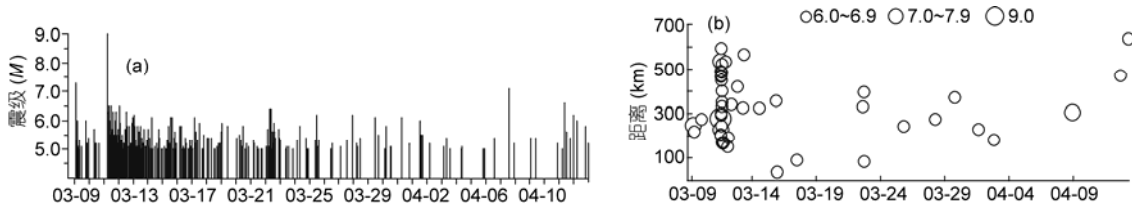


图 2 地震序列 $M-t$ 图(a)与沿 AB 剖面 6 级以上地震 $D-t$ 图(b)

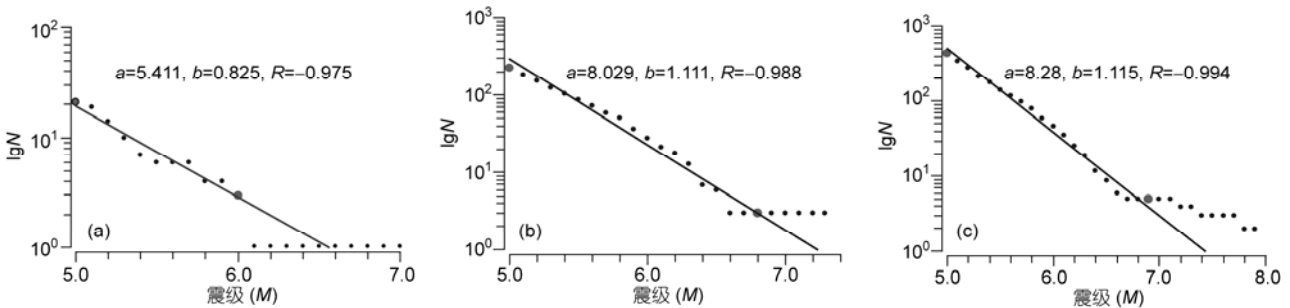


图 3 地震序列 G-R 关系图

NEIC 目录. (a) 前震序列; (b) 主震后 3 d; (c) 主震后 1 个月. R 为相关系数

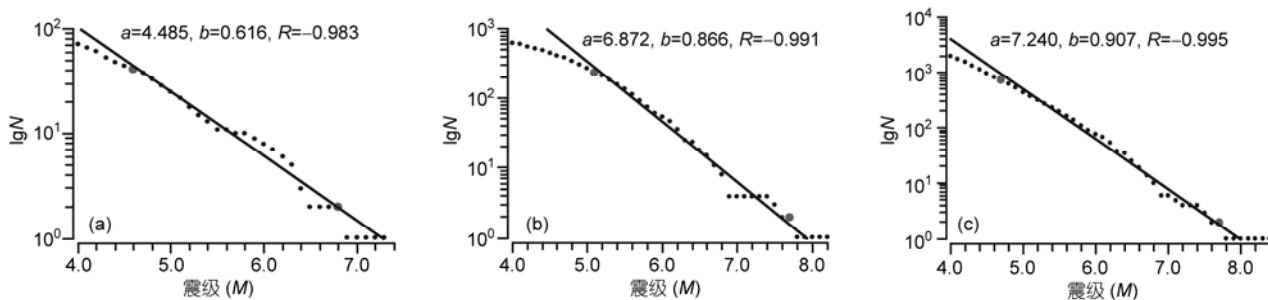


图4 地震序列 G-R 关系图
JMA 目录. (a) 前震序列; (b) 主震后 3 d; (c) 主震后 1 个月. R 为相关系数

无法给出该序列为前震序列的判断.

美国哈佛大学 (<http://www.seismology.harvard.edu>) 给出的前震序列及主震后 3 d (3 月 11~13 日) 的震源机制解显示, 前震序列震源机制解及与主震震源机制解显示的断层错动类型、2 个节面的走向、倾角都非常一致. 主震后 3 d, 余震震源机制解比较乱, 既有逆冲型破裂, 又有正断层破裂, 节面走向、倾角都有很大差异(图 5), 这符合震源参数一致性可以作为地震序列趋势变化指标的理论^[4].

2 9.0 级地震前中强地震增强活动

本次 9.0 级地震发生在日本海沟, 为太平洋板块、欧亚、北美板块和菲律宾板块的交汇部位. 在震中附近, 太平洋板块在日本海沟向西俯冲到欧亚板块之下, 太平洋板块相对于北美板块向西的运动速率为 83 mm/a (<http://earthquake.usgs.gov/>). 日本海沟地区(图 6(a)中虚线围成的四边形区域)历史地震活动强烈, 1900 年以来共发生 7 级以上地震 69 次, 其中 8 级以上 3 次, 本次 9.0 级地震为有记载以来最强的地震. 从时间过程看, 1900~1939 年和 1959~2011 年为活跃时段, 7 级以上地震的年均值分别为 1.1 次与 0.40 次. 1940~1958 年为相对平静时段, 仅发生 1 次 7 级地震. 本次 9 级地震前 16 a (1995~2010 年) 该区地震活动水平比较低, 仅发生 4 次 7 级地震, 年均 0.25 次, 明显低于活跃时段的活动水平(图 6(b)).

图 6(a)显示, 1988~2001 年 11 月本次地震震中区附近(图 6(a)中圆形区域)地震活动较弱, 仅发生 8 次 6 级地震(图 6(a)圆形区域内的空心圆), 年均 0.6 次, 最大震级 6.7 级. 而 2001 年 12 月开始该区出现显著的增强活动, 共发生 6 级以上地震 32 次, 年均 3.2 次, 其中 7 级地震 4 次, 最大震级 7.2 级(图 6(a)圆形区域

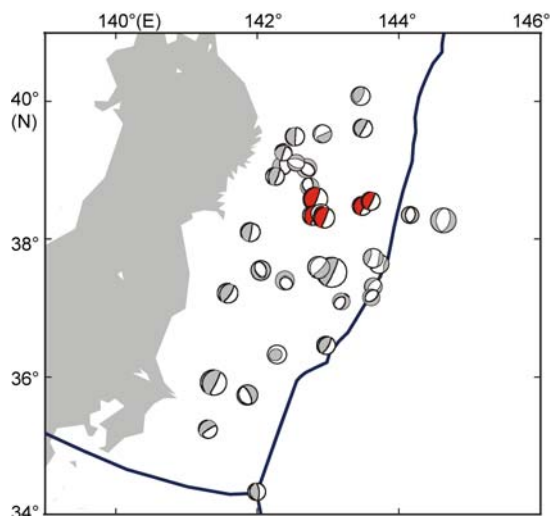


图 5 地震序列(3 月 9~13 日)震源机制解示意图
红色为前震和主震; 灰色为主震后 3 d 发生的余震

内的实心圆). 2011 年 3 月 11 日 9.0 级地震就发生在此增强背景上(图 6(c)).

在一些大震前中强地震会出现增强活动, 对这种现象, 可采用地震的加速矩释放模型(AMR)描述^[21,22], 具体方程为 $\Sigma\Omega = A + B(t_f - t)^m$, 其中 Ω 是地震活动性的量度, 这里使用 Benioff 应变. A 和 B 为常数, 幂指数 m 称为标度常数, t_f 是大地震发生的时间. 当 $m < 1$ 时, 释放曲线为加速行为; $m > 1$ 时为减速; 而当 $m = 1$ 时为线性行为^[23].

取出本次地震震中附近区域(图 6(a)中圆形区域) 1988 年 1 月 1 日~2011 年 3 月 8 日发生的 6 级以上地震, 利用 Gutenberg 与 Richter^[24] 提出的地震震级与能量公式计算地震能量, 再将能量开平方即得到地震的应变释放. 拟合曲线为 $\Sigma\sqrt{E} = 6.71 \times 10^8 + 6.84 \times 10^8 (t_f - t)^{0.24}$ (图 6(d)). 可见, $m = 0.24$, 即在日本地

震前 9 a 震源区附近出现了矩释放加速现象. 根据拟合曲线, 预测时间为 2011.11 年左右(即 2011 年 2 月 12 日前后), 预测震级为 8.7 级左右.

3 讨论

破坏性地震之前的中小地震活动一直受到全球

地震学家的关注, 前震在地震预测中的意义及可能在地震预测中发挥的作用也是长久以来地震学界热议的话题. 过去的 50 a, 在我国发生过有明确前震现象的 1975 年海城 7.3 级和 1999 年岫岩 5.6 级地震等一系列地震, 但目前发现的有前震现象的中强地震与总统计样本量的比例不足 10%^[4,25]. 国际上有前震

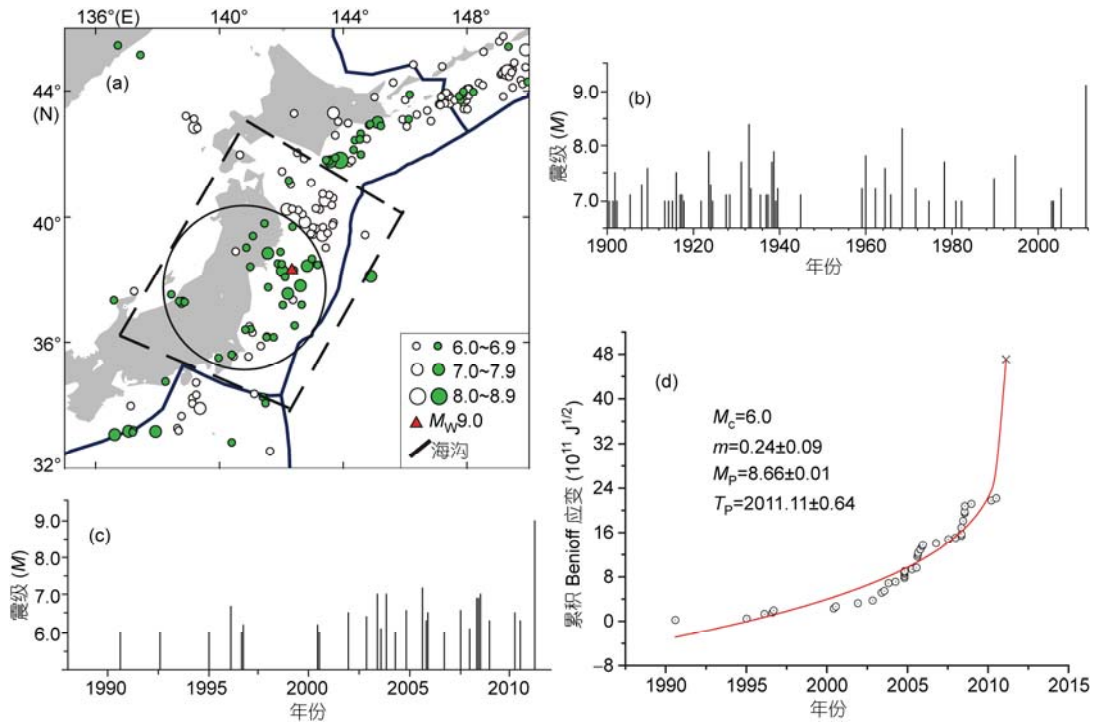


图 6 日本海沟及邻区地震活动

(a) 震中分布. 空心圆与实心圆分别表示 1988-01-01~2001-11-30 与 2001-12-01~2011-03-08 期间发生的地震, 三角形为本次 9.0 级地震; (b) 日本海沟地区(图 6(a)中的虚线四边形区域)7 级以上地震 $M-t$ 图; (c) 9.0 级地震震中附近(图 6(a)中的圆形区域)地震活动 $M-t$ 图; (d) 累积 Benioff 应变拟和曲线(计算区为图 6(a)中的圆形区域, 其中 M_c 为计算起始震级, M_p 为预测震级, T_p 为预测的发震时间)

表 1 1900 年以来全球 $M_w > 8.5$ 地震及其 7 级前震统计

主震事件				前震事件				前震与主震	
发震时间	震中位置 (纬度, 经度)	震级 (M_w)	震源深度 (km)	发震时间	震中位置 (纬度, 经度)	震级 (M_w)	震源深度 (km)	间隔时间 (h)	震中距 (km)
2-11-11 04:32	-28.55°, -70.75°; 智利	8.7	35	1922-11-07 23:00	-28.44°, -72.19°	7.1	25	77	145
1923-02-03 16:01	53.85°, 160.76°; 堪察加东海岸	8.5	35	1923-02-02 05:07	54.02°, 161.52°	7.1	35	34	53
1960-05-22 19:11	-38.29°, -73.05°; 智利	9.6	35	1960-05-21 10:02	-37.83°, -73.38°	8.2	12	33	60
				1960-05-22 18:56	-38.15°, -72.98°	7.9	35	0.25	20
1963-10-13 05:17	44.76°, 149.80°; 千岛群岛	8.6	26	1963-10-12 11:27	44.43°, 149.27°	7.1	48	18	55
2011-03-11 05:47	37.52°, 143.05°; 日本本州近海	9.1	20	2001-03-09 02:45	38.58°, 142.83°	7.5	15	51	120

记载的强震也很有限,其中最引人注目的是1960年5月22日智利9.6级地震前曾记录到显著的前震活动^[18].

据统计,1900年以来全球共发生17次 $M_w \geq 8.5$ 地震,其中存在7级前震的有5次,占总数的29.4%,明显高于中强地震的前震比例.表1给出了这5次地震及其前震的基本参数.这几次特大地震前发生的7级以上前震,与主震的间隔时间为数小时至4天,震中距离20~145 km.如果能在主震前得到前震的判定意

见,对主震预测是非常有价值的.

本次日本本州东海岸近海地震的前震序列具有空间分布集中、低 b 值、震源机制解一致的特点.但传统上的 h 值方法不能有效地识别本次前震.如果能够对该序列进行精确定位,并在此基础上系统地分析地震序列的时空演化特征将更加有意义^[8].

本次特大地震前9 a,震源区附近中强以上地震活动显著增强.震前区域地震活动特征研究对识别未来的大震是有价值的.

致谢 本文使用了USGS提供的全球地震目录、日本气象厅测定的本次特大地震的序列目录和GMT绘图软件,在此表示感谢.

参考文献

- 1 Jones L M, Molnar P. Some characteristics of foreshocks and their possible relationship to earthquake prediction and premonitory slip on fault. *J Geophys Res*, 1979, 84: 3596–3608
- 2 吴开统. 地震序列的基本类型及其在地震预报中的应用. *地震战线*, 1971, 7: 45–51
- 3 吴开统, 岳明生, 武宦英, 等. 海城地震序列的特征. *地球物理学报*, 1976, 19: 95–109
- 4 陈颢. 用震源机制一致性作为描述地震活动性的新参数. *地球物理学报*, 1978, 21: 140–159
- 5 Chen Y, Liu J, Ge H K. Pattern characteristics of foreshock sequences. *Pure Appl Geophys*, 1999, 155: 395–408
- 6 倪四道, 王伟涛, 李丽. 2010年4月14日玉树地震: 一个有前震的破坏性地震. *中国科学: 地球科学*, 2010, 40: 535–537
- 7 Suyehiro S, Asada T, Ohtake M. Foreshocks and aftershocks accompanying a perceptible earthquake in central Japan—On a peculiar nature of foreshocks. *Pap Meteorol Geophys*, 1964, 15: 71–88
- 8 Umino N, Okada T, Hasegawa A. Foreshock and aftershock sequence of the 1998 $M5.0$ Sendai, northeastern Japan, earthquake and its implications for earthquake nucleation. *Bull Seism Soc Amer*, 2002, 92: 2465–2477
- 9 蒋海昆, 傅征祥, 刘杰, 等. 中国大陆地震序列. 北京: 地震出版社, 2007. 1–175
- 10 Fedobov A V. Regularities of the distribution of strong earthquakes in Kanchatka, the Kuri Island and northeast Japan(in Russian). *Tr Inst Fiz Zemli, Acad Nauk SSSR*, 1965, 36: 66–93
- 11 Mogi K. Two kinds of seismic gaps. *Pure Appl Geophys*, 1979, 117: 1172–1186
- 12 梅世蓉, 宋志平, 薛艳. 中国巨大地震前地震活动环形分布图像与规律. *地震学报*, 1996, 18: 413–419
- 13 Engdahl E R, Villaseor A. Global seismicity: 1900–1999. In: Lee W H K, Kanamori H, Jennings P C, et al, eds. *International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology*. San Diego: Academic Press, 2002. 665–690
- 14 Scholz C H. *Mechanics of Earthquakes and Faulting*. Cambridge: Cambridge University Press, 2002
- 15 Scholz C H. Mechanisms of seismic quiescences. *Pure Appl Geophys*, 1988, 126: 701–718
- 16 Gutenberg B, Richter C F. Frequency of earthquakes in California. *Bull Seism Soc Amer*, 1944, 34: 185–188
- 17 Suyehiro S. Difference between aftershocks and foreshocks in the relationship of magnitude to frequency of occurrence for the great Chilean earthquake of 1960. *Bull Seism Soc Amer*, 1966, 56: 185–200
- 18 Omori F. On after-shocks(in Japanese). *Rep Imp Earthq Inv Com*, 1894, 2: 103–138
- 19 Omori F. On after-shocks of earthquakes. *J Coll Sci Imp Univ Tokyo*, 1894, 7: 111–200
- 20 刘正荣. 根据地震频度率减预报地震的工作细则. *地震*, 1984, 1: 32–37
- 21 Main I G. Earthquakes as critical phenomena: Implications for probabilistic seismic hazard analysis. *Bull Seism Soc Amer*, 1995, 85: 1299–1308
- 22 Sornette D, Sammis C G. Critical exponents from renormalization group theory of earthquakes: Implications for earthquake prediction. *J Phys I*, 1995, 5: 607–619
- 23 Bufe C G, Varnes D J. Predictive modeling of the seismic cycle of the Greater San Francisco bay Region. *J Geophys Res*, 1993, 98: 9872–9883
- 24 Gutenberg B, Richter C F. Earthquake magnitude, intensity, energy and acceleration. *Bull Seism Soc Am*, 1956, 46: 105–145
- 25 Chen Y, Li L, Li J, et al. Wenchuan earthquake: Way of thinking is changed. *Episodes*, 2008, 31: 374–377