

“311” 东北日本 $M9.0$ 大地震可预测性特征探索

赵树贤¹, 许绍燮², 马莉¹, 吴平静¹, 张永庆¹

1. 中国地震局地壳应力研究所, 北京 100085
2. 中国地震局地球物理研究所, 北京 100081

摘要 大地震不是任何地方都能发生的, 大地震也不是任何时间都能发生的, 大地震有其特定的时空结构。前期工作表明, 条环交会、差异活动以及深震与“天外来客”事件等是制约地震时空窗口的主要因素。2011年3月11日发生在日本海沟俯冲带的 $M9.0$ 大地震, 其震前地震活动全面、清晰地展现出了其可预测性特征: (1) 1925年开始出现的板间地震长期平静区; (2) 2003年开始出现的位于平静区中部, 起始于深震的海沟垂向地震活动条带; (3) 2009年3月(海沟垂向地震活动条带形成后)开始出现的广义前震发震地方时的非随机显著聚集特征; (4) 2011年3月9日(主震前2天)发生在平静区内的前震。主震发生在平静区边缘, 海沟垂向地震活动条带与日本海沟板间地震带的交会处的地震活动差异性较大的地方, 其断层面与海沟垂向地震活动条带内另外两个板间地震(2005-08-16地震和前震)的断层面共面。主震发生于广义前震发震地方时非随机聚集时段的中位时辰。日本大地震的可预测性特征逐一印证了我们的前期研究。

关键词 日本大地震; 地震预测; 地震活动性; 平静区; 地震活动条带; 前震

中图分类号 P315.7

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2012.04.002

Predictability Pattern of the Tohoku Earthquake of $M9.0$ in 2011

ZHAO Shuxian¹, XU Shaoxie², MA Li¹, WU Pingjing¹, ZHANG Yongqing¹

1. Institute of Crustal Dynamics, China Earthquake Administration, Beijing 100085, China
2. Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100081, China

Abstract It is not anywhere and anytime that large earthquakes can occur. Large earthquakes occur in their special temporal and spatial windows. The intersection between earthquake strip and earthquake circularity, the difference in seismic activities, the earthquakes in great depth and the events outside the Earth are the main factors that control the temporal and spatial windows of large earthquake occurrences. An earthquake of magnitude of 9.0 occurred on 11 March 2011, off the Pacific Coast of the northeastern part of the Japanese main land (Tohoku Region). Before the earthquake of $M9.0$, in Japan Trench subduction zone, the seismic activities showed some characteristic predictability signs: (1) quiescence area of the interplate earthquake of $M_j \geq 7.0$, since 1925, (2) the strip of earthquake of $M_j \geq 7.0$ perpendicular to Japan Trench since 2003 which begins with a deep earthquake and locates in the middle of the quiescence area, (3) generalized foreshocks of $M_j \geq 5.6$ occur in a limited local time period, not random in nature, since March 2009, and (4) foreshock (2011-03-09 $M_j 7.3$) occurs in the quiescence area. The main shock occurred at the place where in the margin of the quiescence area, at the intersection of an earthquake strip perpendicular to Japan Trench and the arc-shaped interplate earthquake zone in Japan Trench subduction zone, in the area with a distinct spatial variability in seismic activities. The fault surface of the main shock looks to match coplanarly with the fault surfaces of another two interplate earthquakes of $M_j \geq 7.0$ in the earthquake strip perpendicular to Japan Trench. The main shock occurs in the middle of the local time period in which generalized foreshocks occur frequently. Predictability patterns of the Tohoku earthquake of $M9.0$ in 2011 are very similar as our previously discovered ones.

Keywords Tohoku earthquake in 2011; earthquake prediction; seismicity; quiescence area; earthquake strip; foreshock

收稿日期: 2012-01-17; 修回日期: 2012-02-01

基金项目: “十一五”国家科技支撑项目(2008BAC35B0)

作者简介: 赵树贤, 副研究员, 研究方向为时空序列数据分析和地震预测, 电子邮箱: shuxianzhao@yahoo.com.cn; 许绍燮(通信作者, 中国科协所属全国学会个人会员登记号: S171100222S), 中国工程院院士, 研究方向为地震事件监测分析和地震预测, 电子邮箱: xushx@cae.cn

0 引言

一位权威地震学家曾在高层次专业国际会议上表示,现在用 VAN 前兆方法预报地震,哪些是前兆,只能由 VAN 确定,因此 VAN 是“皇帝”,与会者纷争不断。业内学者们认为,仅用内符合需要非常小心。虽然使用更客观的、不局限于某一方法的计算机,但可调参数很多,仅有几个大地震很容易拟合妥帖。即使是留半检验,那余下的一半原作者也早已心中有数了……。

本文的信息(论证)是一种新的检验机遇。2011年3月11日 M9.0 东北日本大震发生在有良好监测分析系统的日本,大震前后有一整套与我们前期工作完全不同的数据。我们前期的工作与研究成果已发表于地震出版社出版的《地震应可预测》^[1]一书及论文^[2-4]中,所用数据主要来自美国国家地震调查局(NEIC)和中国的资料。此次日本大震的数据应该更优于前者,因其具有更密集的台网,更低的可控震级下限,较可靠的震源深度以及更精确的震中定位,特别是主震震级 9

级远超过我们已有数据中的上限。用这些数据检验已有认识,我们认为应该是高标准的了,犹如将产品直接送至计量标准局检验。

值得高兴的是,在我们前期的工作中所见到的“条环交会”、“差异活动”、“深震与天外来客事件”等制约地震发震时空窗口的现象也都在 311 日本大震中逐一得到了印证^[2]。

1 日本海沟俯冲带简介

在日本海沟俯冲带,太平洋板块沿着日本海沟下插到鄂霍次克海板块之下,如图 1 所示。日本海沟俯冲带地震分为板间地震和板内地震。板间地震是发生在这两个板块之间的俯冲型地震,呈圆环带分布,图 1(a)中示出了分布范围,图中黑色实线(日本海沟)为其浅部边界,黑色虚线为其深部边界^[5],紫色虚线为其西南端边界^[6]。板内地震是发生在这两个板块内的地震,可分为三类:深部太平洋板块内地震、海沟外侧太平洋板块内地震和鄂霍次克海板块内地震。深部太平洋板块

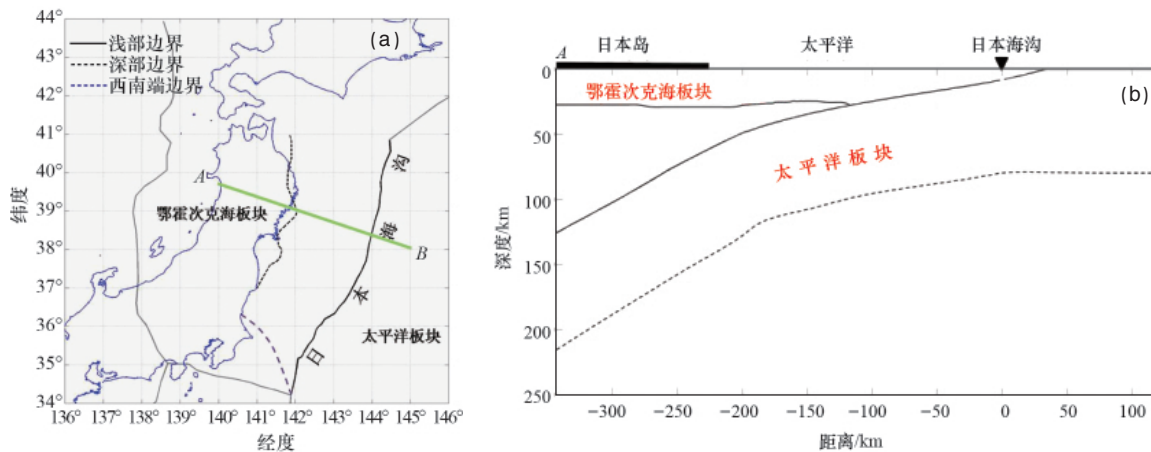


图 1 日本海沟俯冲带
Fig. 1 Japan Trench subduction zone

内地震呈双震带分布。

2 主震的可预测性特征

2.1 1925—2002 年板间 $M_j \geq 7.0$ 地震平静区

图 2 中,圆点展示了 1925—2002 年间发生在日本海沟俯冲带及其周边的地震(采用日本气象厅(JMA)地震目录(1925—), M_j 表示 JMA 震级)。其中,红点表示 $M_j \geq 7.0$ 地震,黑点表示 $6.5 \leq M_j < 7.0$ 地震,灰色小点表示 $3.5 \leq M_j < 6.5$ 地震。审视板间俯冲地震带中的 $M_j \geq 7.0$ 地震分布可以发现,在其中部存在甚为明显的地震活动异常平静区,其中只发生了 1 个 $M_j 7.0$ 地震。同时还可以看出,在此区域, $6.5 \leq M_j < 7.0$ 和 $3.5 \leq M_j < 6.5$ 地震活动也是异常平静的。基于这 3 个震级挡的地震勾画出板间 $M_j \geq 7.0$ 地震平静区的边界,如图 2 红色线所示,其与日本海沟线所围成的区域为板间 $M_j \geq 7.0$ 地震平静区。

1925—2002 年间,日本海沟俯冲带发生了 8 个板内 $M_j \geq 7.0$ 地震,其中,7 个地震发生在鄂霍次克海板块内,1 个发生

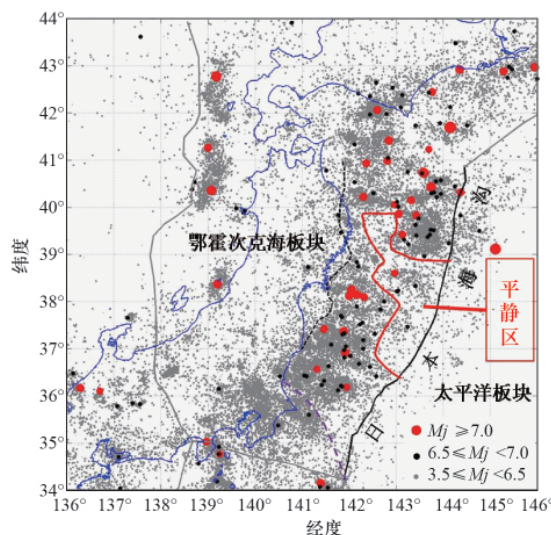


图 2 1925—2002 年板间 $M_j \geq 7.0$ 地震平静区
Fig. 2 Quiescence area of interplate earthquake of $M_j \geq 7.0$ during the period from 1925 to 2002

在海沟外侧的太平洋板块内。8个板内地震散列在海沟方向上,在海沟垂向上没有形成地震活动条带。

2.2 2003—2010年海沟垂向 $M_j \geq 7.0$ 地震活动条带

图3展示了2003—2010年海沟垂向 $M_j \geq 7.0$ 地震活动条带。图3(a)中,圆点展示发生在日本海沟俯冲带及其周边的地震,其中,红点表示 $M_j \geq 7.0$ 地震,黑点表示 $5.5 \leq M_j < 7.0$ 地震。2003—2010年间,日本海沟俯冲带发生了2个板间 $M_j \geq 7.0$ 地震(2005-08-16 $M_j 7.2$, 2008-05-07 $M_j 7.0$)和3个板内 $M_j \geq 7.0$ 地震。3个板内地震中,1个(2003-05-26 $M_j 7.1$)发生在深部太平洋板块内,1个(2005-11-14 $M_j 7.2$)发生在海沟外侧的太平洋板块内,1个(2008-06-13 $M_j 7.2$)发生在鄂霍次克海板块内。5个地震中的4个(包括全部板内地震)聚集在平静区中部垂直于海沟的一个条带内,形成了海沟垂向 $M_j \geq 7.0$ 地震活动条带,图3(a)绿色框所示。值得注意的是,条带内4个地震的活动从太平洋板块深震开始,沿着太平洋板块连续发生,再折返通过板间接触区进入到鄂霍次克海板块,看似起始于深震的多米诺骨牌效应。特别是,全部3个板内地震聚集在一条球面大圆线上,如图3(a)黑色实线I所示。

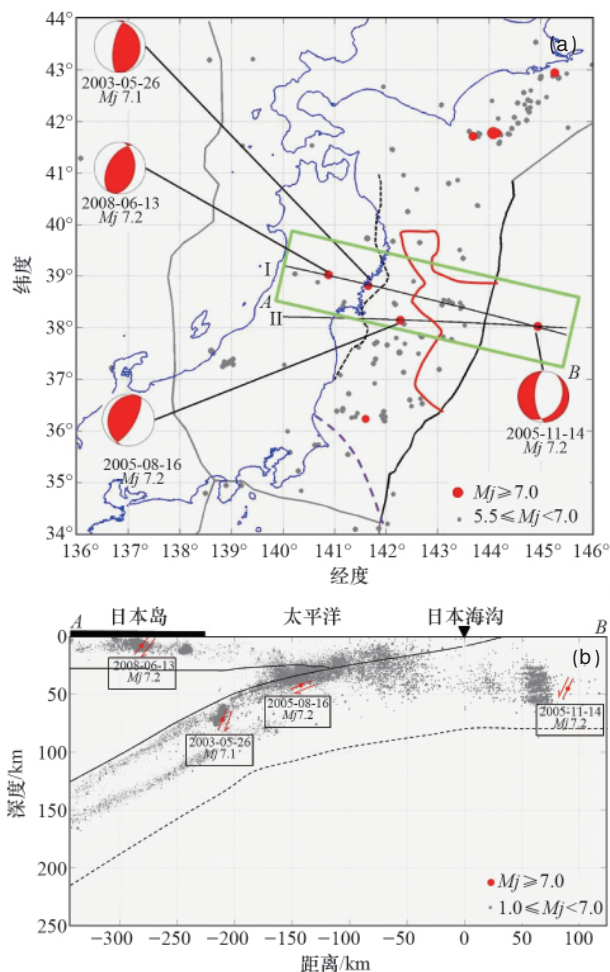


图3 2003—2010年海沟垂向 $M_j \geq 7.0$ 地震活动条带
Fig. 3 Strip of interplate earthquake of $M_j \geq 7.0$ perpendicular to Japan Trench during the period from 2003 to 2010

图3(a)中,沿着球面大圆线I还发生了7个板间 $5.5 \leq M_j < 7.0$ 地震;2005年8月发生了3个地震,震级分别为 $M_j 5.9, M_j 6.3, M_j 6.3$;2008年12月发生了4个地震,震级分别为 $M_j 6.1, M_j 5.5, M_j 5.5, M_j 5.5$ 。相对于其他地区,更显出其活跃的独特性。

2.3 2011年3月9日 $M_j 7.3$ 前震

2011年3月9日,即主震前两天,平静区内发生了板间 $M_j 7.3$ 前震,位于海沟垂向 $M_j \geq 7.0$ 地震活动条带和日本海沟俯冲带板间地震圆环带的交会处,震中位于球面大圆线I,II(过2005-08-16地震和2005-11-14地震)之间,靠近I线,如图4(a)红色圆点所示。由图4(b)可以明显看出,前震的断层面与2005-08-16板间地震的断层面共面,参看紫色虚线。

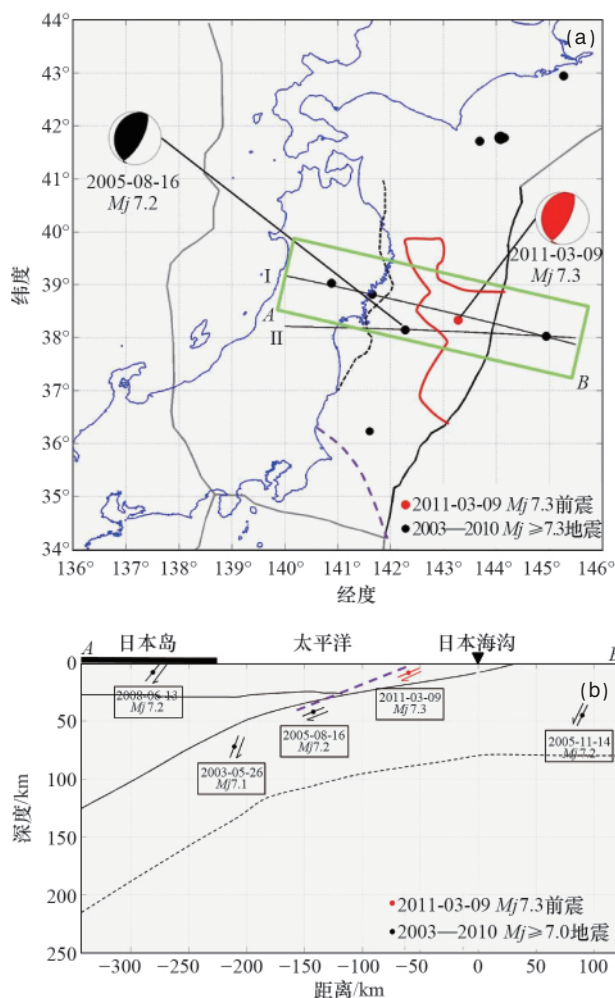


图4 2011年3月9日 $M_j 7.3$ 前震
Fig. 4 Foreshock of $M_j 7.3$ on 9 March 2011

2.4 $M_j \geq 5.6$ 广义前震震中地方时特征

海沟垂向 $M_j \geq 7.0$ 地震活动条带形成后(截止震发生于2008年6月13日),从2009年3月至2011年3月9日前震,日本海沟俯冲带共发生10个 $M_j \geq 5.6$ 地震,其中的9个发生在12:00—18:00 LT之间,开始呈现出甚为明显的非随机聚集特征,图5所示。

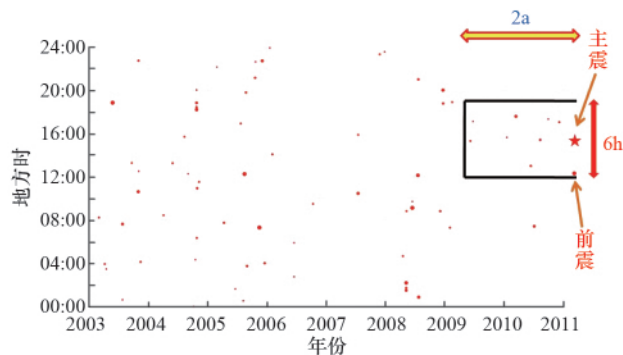


图5 $M_j \geq 5.6$ 广义前震震中地方时特征

Fig. 5 Generalized foreshocks of $M_j \geq 5.6$ occur in a limited local time period mainly

2.5 2011年3月11日 $M9.0$ 主震

2011年3月11日, 平静区边缘发生了板间 $M9.0$ 主震, 位于海沟垂向 $M_j \geq 7.0$ 地震活动条带和日本海沟俯冲带板间地震圆环带的交会处, 震中位于球面大圆 II 上, 图 6(a) 红色五角星所示。2005-08-16 $M_j 7.2$ 地震的震中附近, 之前曾经发生过两期地震, 一期是 1933 年 6 月 18 日的 $M_j 7.1$ 地震、1936 年 11 月 2 日的 $M_j 7.4$ 地震和 1937 年 7 月 26 日的 $M_j 7.1$ 地震,

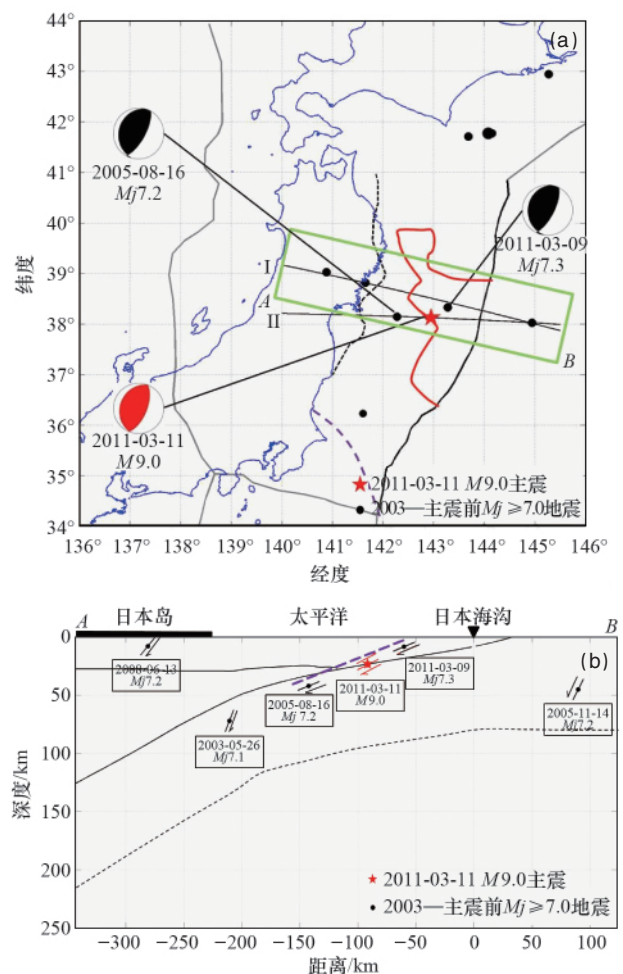


图6 2011年3月11日 $M9.0$ 主震

Fig. 6 Mainshock of $M9.0$ on 11 March 2011

震, 另一期是 1978 年 6 月 12 日的 $M_j 7.4$ 地震, 说明该位置是地震高活动区, 主震恰恰位于它与平静区之间的差异性较大的地区。从图 6(b) 可以明显看出, 主震位于太平洋板块的上表面, 震源深度介于前震与 2005-08-16 板间地震之间, 其断层面与前震的断层面和 2005-08-16 板间地震的断层面共面, 参见紫色虚线。

主震发生于 $M_j \geq 5.6$ 广义前震震中地方时 6h 非随机聚集时段的中位时辰。

3 强余震的可预测性特征

3.1 海沟垂向 $M_j \geq 7.0$ 地震条带的余震活动

截止到 2011 年 11 月 9 日, 共发生了 6 个 $M_j \geq 7.0$ 余震, 其中 3 个发生在海沟垂向 $M_j \geq 7.0$ 地震活动条带内。依次是主震后 1h 内发生在海沟外侧太平洋板块内的 $M_j 7.5$ 地震, 2011 年 4 月 7 日发生在深部太平洋板块内的 $M_j 7.1$ 地震, 2011 年 7 月 10 日发生在板间地震带内的 $M_j 7.3$ 地震。这 3 个地震基本位于过主震和 2005-08-16 地震的球面大圆线 III 上, 如图 7(a) 所示。由图 7(b) 可以明显看出, 与主震和主震前的地震相比, 这 3 个地震的震源深度较大。

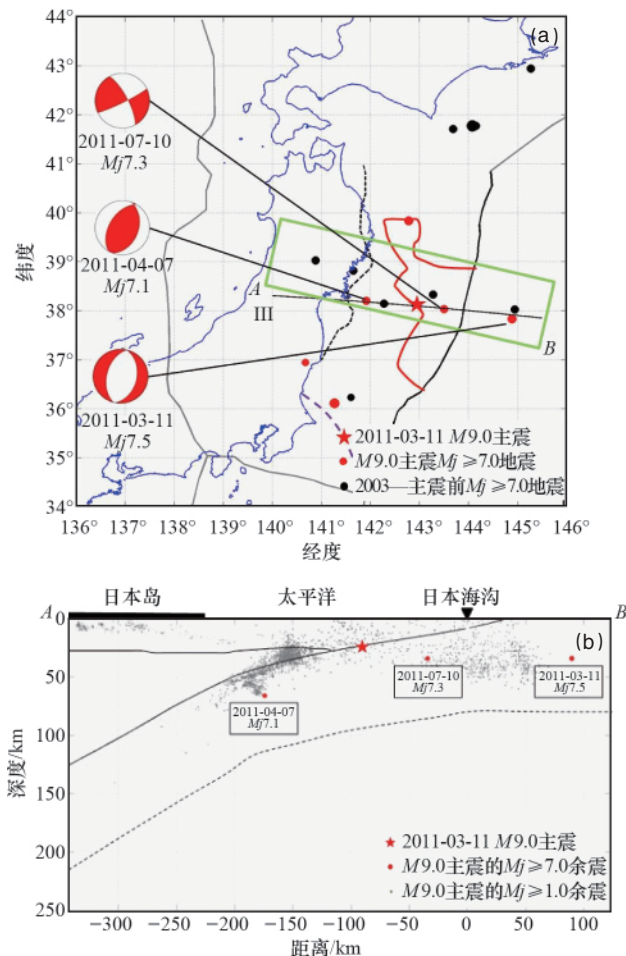


图7 海沟垂向 $M_j \geq 7.0$ 地震条带的余震活动

Fig. 7 Aftershock activity in the strip of earthquake of $M_j \geq 7.0$, perpendicular to Japan Trench

3.2 $M \geq 5.8$ 余震发震地方时特征

主震后第3天起至2011年4月7日发生的 $M_j 7.1$ 深震止,共发生了28个 $M \geq 5.8$ 余震(数据采用NEIC地震目录),其中的27个发生在10:20—01:40 LT之间,呈现出明显的非随机聚集特征,如图8(a)所示。 $M_j 7.1$ 深震发生后, $M \geq 5.8$ 余震分布特征发生明显变化,如图8(b)所示。

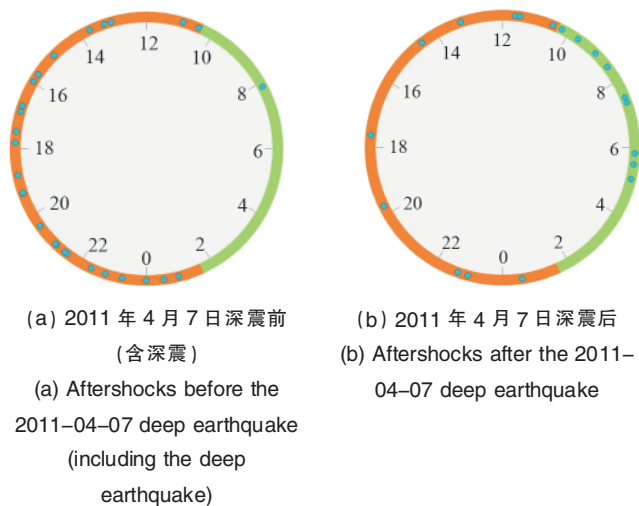


图8 $M \geq 5.8$ 余震发震地方时特征

Fig. 8 Concentrated distribution of aftershocks with
 $M \geq 5.8$ in local time

4 结语

综上所述,日本大地震及其强余震呈现出全面、清晰的可预测性特征。这些可预测性特征逐一印证了我们的前期发现^[1-4]。

主震的可预测性特征包括:(1)1925年开始出现的板间地震长期平静区;(2)2003年开始出现的位于平静区中部的海沟垂向地震活动条带;(3)2009年3月(海沟垂向地震活动条带形成后)开始出现的广义前震发震地方时的显著非随机聚集特征;(4)2011年3月9日(主震前两天)发生在平静区内的前震。

主震发生在平静区的边缘,海沟垂向地震活动条带与日本海沟板间地震带的交会处的地震活动差异性较大的地方,其断层面与海沟垂向地震活动条带内另外两个板间地震(2005-08-16地震和前震)的断层面共面。主震发生于广义前震发震地方时非随机聚集时段的中位时辰。

强余震的可预测性特征包括:(1)海沟垂向地震条带依然活动,其中发生的强余震基本位于过主震和2005-08-16板间地震的球面大圆线上;(2)2011年4月7日深震前,强余震发震地方时呈现显著非随机聚集特征。

通过对日本大地震及其强余震的可预测特征研究,得出的认识如下:

(1)断层面共面有可能是前震的重要识别特征。位于活动区一侧的2005-08-16板间地震可能为主震提供了深部滑动条件,位于平静区一侧的前震的断层面与2005-08-16地震的断层面共面,且后来发生的主震又与这两个地震的断层面共面,因此,可认为2005-08-16地震和前震为主震发震创造了条件。

(2)中深震的作用特别值得强调。1925年以来,日本海沟俯冲带只发生了2个 $M_j \geq 7.0$ 深震,构成了日本大地震孕育和发生过程的两个重要时间节点,一个启动了海沟垂向地震条带的活动,另一个改变了强余震在地方时上的分布特征。

(3)探索地震预报尚需关注“天外来客”。广义前震和强余震发震地方时具有的非随机聚集特征,可认为其应属于与日地有关联的“天外来客”事件。

参考文献 (References)

- [1] 许绍燮. 地震应可预测[M]. 北京:地震出版社,2011.
Xu Shaoxie. Earthquake should be predicted [M]. Beijing: Seismological Press, 2011.
- [2] 许绍燮. 大地震时空窗口初探[J]. 科技导报,2012,30(4):18-25.
Xu Shaoxie. Science & Technology Review, 2012, 30(4): 18-25.
- [3] 许绍燮. 地震发震大尺度结构[J]. 科技导报,2010,28(23):26-33.
Xu Shaoxie. Science & Technology Review, 2010, 28(23): 26-33.
- [4] 赵树贤,许绍燮,吴平静,等. 地震发生与日月运行之关联[J]. 科技导报,2011,29(13):18-23.
Zhao Shuxian, Xu Shaoxie, Wu Pingjing, et al. Science & Technology Review, 2011, 29(13): 18-23.
- [5] Igarashi T, Matsuzawa T, Umino N, et al. Spatial distribution of focal mechanisms for interplate and intraplate earthquakes associated with the subducting Pacific plate beneath the northeastern Japan arc: A triple-planed deep seismic zone[J]. Journal of Geophysical Research, 2001, 106 (B2): 2177-2191.
- [6] Uchida N, Matsuzawa T, Nakajima J, et al. Subduction of a wedge-shaped Philippine Sea plate beneath Kanto, central Japan, estimated from converted waves and small repeating earthquakes [J]. Journal of Geophysical Research, 2010, 115: B07309, doi: 10.1029/2009JB006962.

(责任编辑 朱宇)

《科技导报》“卷首语”栏目征稿

“卷首语”栏目每期邀请一位中国科学院院士和中国工程院院士就重大科技现象、事件,以及学科发展趋势、科学研究热点和前沿问题等,撰文发表个人的见解、意见和评论。本栏目欢迎院士投稿,每篇文章约2000字,同时请提供作者学术简历、工作照和签名电子文档。投稿邮箱:kjdbjb@cast.org.cn。