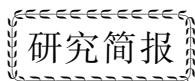


泽仁志玛, 刁桂苓, 李志雄, 王晓山, 冯向东. 2009. 千岛岛弧2006年 M_w 8.3地震前震源机制解的一致性变化. 地震学报, 31(4): 467-470.

Zerenzhima, Diao Guiling, Li Zhixiong, Wang Xiaoshan, Feng Xiangdong. 2009. Variation of focal mechanism consistency before 2006 Kuril Islands arc M_w 8.3 earthquake. *Acta Seismologica Sinica*, 31(4): 467-470.



千岛岛弧2006年 M_w 8.3地震前震源 机制解的一致性变化^{*}

泽仁志玛^{1)*} 刁桂苓²⁾ 李志雄¹⁾

王晓山²⁾ 冯向东²⁾

1) 中国北京 100036 中国地震局地震预测研究所

2) 中国石家庄 050021 河北省地震局

关键词 千岛岛弧 震源机制 一致性变化

文章编号: 0253-3782(2009)04-0467-04

中图分类号: P315.3⁺³

文献标识码: A

Variation of focal mechanism consistency before 2006 Kuril Islands arc M_w 8.3 earthquake

Zerenzhima^{1)*} Diao Guiling²⁾ Li Zhixiong¹⁾ Wang Xiaoshan²⁾ Feng Xiangdong²⁾

1) Institute of Earthquake Science, China Earthquake Administration, Beijing 100036, China

2) Earthquake Administration of Hebei Province, Shijiazhuang 050021, China

Key words: Kuril Islands arc; focal mechanism; consistency variation

地震是地下介质受到应力作用产生破裂的自然现象, 分析强震震源区应力状态空间分布及其随时间的变化, 对于了解和预测地震的形成过程具有重要意义。研究表明, 强震受到构造应力场的制约, 一般情况下震源机制与应力场的方向吻合(李钦祖等, 1982)。陈颙(1980)研究一些强震震例发现, 强震前震源机制解趋于一致的现象也时有发生, 提出可用前震震源机制的一致性来描述地震活动性, 还给出了判定地震危险性的实例。

震源机制与构造应力场一致性参数的研究, 不仅有理论意义, 更有短临震情分析的实用价值。王俊国和刁桂苓(2005)利用哈佛大学提供的1977—2002年的CMT资料研究了千岛岛弧的震源机制, 发现在发生 $M_w \geq 7.5$ 地震之前, 都有震源机制与构造区域应力场的一致性参数降低的现象。2006年11月15日在千岛群岛东部的千岛海沟附近($46.71^{\circ}\text{N}, 154.33^{\circ}\text{E}$)发生了 M_w 8.3地震, 本文通过哈佛大学提供的矩心矩张量(CMT)解研究这次大地震前震源机制解的一致性变化特征, 探讨该特征在地震预报上的意义, 同时检验王俊国和刁桂苓(2005)提出结论的正确性。

1 资料数据和方法

本文利用哈佛大学提供的1977—2007年的 M_w 5.2以上(震源深度为70 km以内)地震的矩心矩张量

* 基金项目 中国地震局地震预测研究所中央级公益性科研院所基本科研业务(0207690205)资助。

收稿日期 2008-07-07 收到初稿, 2008-12-16 决定采用修改稿。

† 通讯作者 e-mail: zrzm@seis.ac.cn

(CMT)解资料, 分析在 2006 年 11 月 15 日千岛东侧的千岛海沟附近发生的 $M_w 8.3$ 地震之前, 震源机制一致性参数的变化情况。采用 $M_w 5.2$ 以上的地震是因为考虑到 $M_w \leq 5.2$ 地震次数有所缺失, 舍弃 $M_w \leq 5.2$ 的地震资料后, 可以保证数据的完整性; 只考虑震源深度为 70 km 以内的浅源地震, 是因为愈来愈多的证据表明太平洋板块在千岛岛弧俯冲深度大, 有可能存在由于弯曲后伸直而造成的双地震层(Fujita, Kanamori, 1981; 吴忠良, 藏绍先, 1989; Sykes, 1966; Veith, 1977; Kao, Ran, 1999)。Veith(1977)发现千岛岛弧存在双层地震带分布, 其上、下层分别为 DDC 和 DDT 类型地震。Kao 和 Ran (1999)给出了千岛岛弧—勘察加地区上层地震带大约为地壳下 70 km 左右。

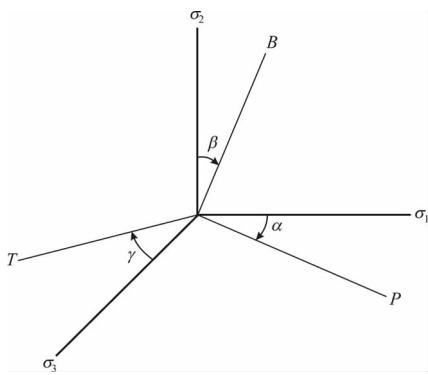


图 1 构造区域应力场 3 个主轴和震源机制 3 个应力轴夹角

Fig. 1 Angle between principal stress axis and corresponding focal mechanism axis

构造区域应力场力轴的重合性越好, 反之则远离背景构造应力场。中强地震前孕震区内多次中小地震的震源机制一致性参数 α , 反映了孕震区内地震震源应力场与构造区域应力场的关系。

2 千岛岛弧 2006 年 $M_w 8.3$ 地震震例研究

根据本文对震源机制解与构造区域应力场一致性参数的定义, 在研究区域(45°N — 47.10°N , 153°E — 155°E)内选择了哈佛大学提供的 $M_w 5.2$ 以上地震的 CMT 解, 共 53 个。在研究区域内从 1977 年以来 7 级以上大震只发生了 1 次, 即 2006 年 11 月 15 日 $M_w 8.3$ 大地震。本次地震的震源体积很大, 相当于孕育地震的区域尺度, 能够反应构造区域应力场对地震的控制作用。本文就用这个巨震最佳双力偶解的应力轴作为构造区域应力场应力主轴取向的近似, 所以构造区域应力场的 3 个力轴取值为 $\sigma_{1az} = 125^{\circ}$ 、 $\sigma_{1ih} = 30^{\circ}$ 、 $\sigma_{2az} = 35^{\circ}$, $\sigma_{2ih} = 0^{\circ}$ 、 $\sigma_{3az} = 305^{\circ}$, $\sigma_{3ih} = 60^{\circ}$, 然后利用程序在三维空间计算各个震源机制和构造区域应力场的一致性参数 α , 一共得到 53 个震源机制一致性参数 α 。图 2 为求解得到的震源机制一致性参数 α 在时间序列上的变化情况。

如图 2 所示, 自 2006 年 9 月 26 日的 $M_w 5.3$ 地震以后, 震源机制的一致性参数 α 开始降低, 随后到 2006 年 11 月 15 日的 $M_w 8.3$ 主震发生之前 51 天内连续发生了 $M_w 5.2$ 以上地震 9 次, 其中 $M_w 6$ 地震 4 次。这 9 次地震的震源机制一致性参数一直维持在低值状态, 也就是说主震发生前的一系列前震的震源机制解趋于一致。图 3 是利用图 2 的数据绘制的 2006 年 11 月 15 日 $M_w 8.3$ 地震(三角处)前震源机制一致性参数的平面插值图, 图中的星号为 2006 年 $M_w 8.3$ 地震。横坐标 x 轴为经度, 纵坐标 y 轴为纬度, 震源机制一致性参数 α 的大小用等值线形式表示。由于震源机制一致性参数是离散的、非均匀的数据, 笔者采用了克里金(Kriging)插值方法。此方法在插值点与取样点重合时, 插值点的值就是样本点的值。数据网格化时 x 轴方向采用 100 行, 在 y 轴为 62 行。网格密度要适中, 网格过密虽能增加线条的平滑度, 但会导致绘图失真; 网格过稀则会导致漏掉一些高低值中心, 线条相对粗糙。图 3 勾画出的存在地震危险性

一个区域的应力场可分为构造区域应力场和地震震源应力场。构造区域应力场主要反映整个区域内的应力状态, 对构造区域应力场主要研究是否存在一个较为稳定的空间取向, 认为这个稳定的空间取向对中强震起着控制作用; 地震震源应力场反映的是区域内小范围短时间的变化、扰动, 通过研究地震震源应力场取向的变化, 发现构造运动的情况, 发现强震的前兆信息。如果背景构造应力场的空间方向由 3 个相互正交的应力主轴表示, 即 σ_1 、 σ_2 和 σ_3 , 震源机制解的取向由 3 个相互正交的应力轴 P 、 B 和 T 表示, 那么定义震源机制和构造区域应力场的一致性参数 α 则定义为: $\alpha = \alpha + \beta + \gamma$ 。其中, $\alpha = \angle \sigma_1 P$, $\beta = \angle \sigma_2 B$, $\gamma = \angle \sigma_3 T$, 如图 1 所示。震源机制与构造区域应力场的一致性参数 α 的最大值为 270° , 最小值为 0° 。震源机制与构造区域应力场的一致性参数 α 反映了单个震源机制解的力轴与平均应力张量的差异程度, α 越小表明其与构造区域应力场力轴的重合性越好, 反之则远离背景构造应力场。中强地震前孕震区内多次中小地震的震源机制一致性参数 α , 反映了孕震区内地震震源应力场与构造区域应力场的关系。

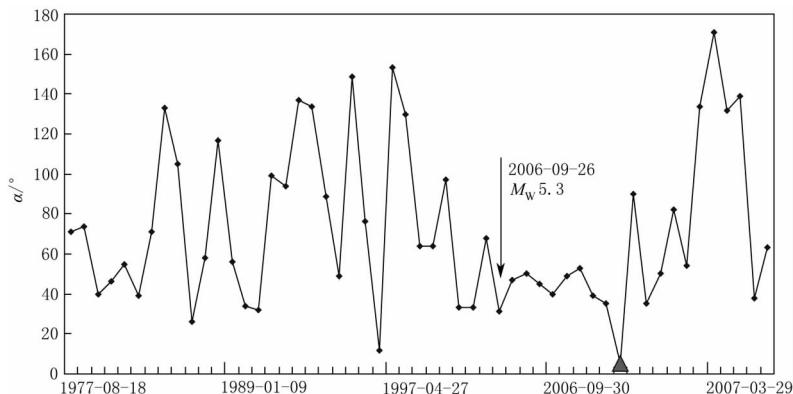


图 2 2006 年 11 月 15 日 $M_w 8.3$ 地震(三角处)前震源机制一致性参数 (α) 随时间变化图

Fig. 2 Temporal variation of focal mechanism consistency index before the $M_w 8.3$ earthquake of Nov. 15, 2006. Triangle denotes the earthquake

的 α 低值区域相当集中。结合图 2 和图 3, 笔者认为在 $M_w 8.3$ 地震之前震源区附近一致性参数 α 比较低, 说明在主震震源区附近发生的一系列中小地震的震源机制解趋于一致。这种现象说明了在震源区附近的构造应力场控制作用增强, 意味着将有强震发生的可能性。2006 年 11 月 15 日 $M_w 8.3$ 强震发生之后, 震源机制一致性参数开始升高, 说明后续发生的地震的震源机制散乱, 构造区域应力场的控制作用开始减弱。通过本次震例验证了王俊国和刁桂苓(2005)提出的结论的正确性。

3 讨论与结论

大地震孕育过程中, 特别是在临近发生的时候, 近场波形、震源机制解等都有同步的反应, 具有地震波初动趋于一致, 震源机制解 P 轴发生偏转的特征。表明震源区应力场在迅速调整, 地震形势趋于危险。在强震震例少, 或者在强震相对平静的时段, 利用大量中小地震的震源机制解可以弥补研究资料样本的不足, 李钦祖等通过大量区域小震震源机制解研究动态应力场变化(李钦祖, 靳雅敏, 1982; 刁桂苓, 赵英萍, 2004; 程万正等, 2006)。

国内外大量学者认为中强地震发生前的前震活动是有希望预测大地震的前期前兆之一。陈颙(1980)根据对多次强震震例的研究, 提出了如下的假说: 一群地震震源机制的一致性是判断地震危险性的一个有用的判据, 任何一个地震序列都有发生、发展、衰退的过程, 前震或在震群中最大地震发生之前, 小震机制的相对一致性往往是地震活动性增强的标志, 而机制的相对紊乱往往伴随着余震或地震群活动的减弱, 因而从机制的一致性或紊乱可以判断震群中最大地震是否已经过去。如果这个假说在物理上成立的话, 那么利用震源机制一致性参数研究大地震发生之前一系列前震的震源机制的变化情况, 探索孕震区内背景构造应力场的动力学过程, 进而可以确定在这个区域内未来地震的危险性。

千岛岛弧 $M_w 8.3$ 地震在主震前 52 天出现了震源机制解一致性参数持续低值状态, 说明了在震源区

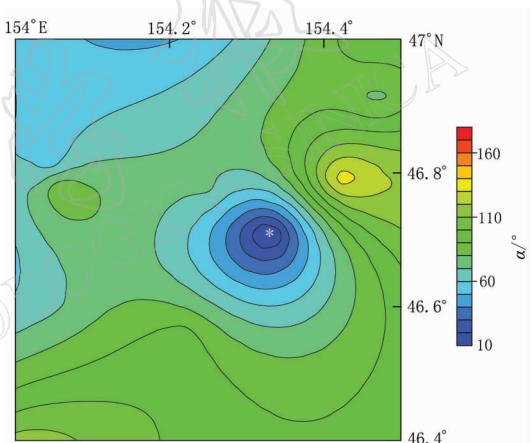


图 3 2006 年 11 月 15 日 $M_w 8.3$ 地震前震源机制解一致性参数平面插值图(星号表示 $M_w 8.3$ 地震震中)

Fig. 3 Isolines of focal mechanism consistency index (in degree). Star: epicenter of the $M_w 8.3$ earthquake

附近的构造应力场控制作用增强，意味着将有强震发生的可能性。2006年11月15日 M_w 8.3强震发生之后，震源机制一致性参数开始升高，说明后续发生地震的震源机制散乱。 M_w 8.3巨震释放了绝大部分的能量，构造区域应力场的控制作用开始减弱。震源机制和构造区域应力场的一致，显示了构造应力场控制作用增强，而应力场的统一运作，则可能意味着将有强震发生；反之，震源机制与应力场不一致，表明构造应力场控制作用减弱，地震将以离散发生的中小地震为主。

刁桂苓和赵英萍(2004)分析了山西大同700余个震源机制与应力场的一致性参数，发现在1991年和1999年强余震前出现低值异常；赵英萍和刁桂苓(2004)研究了1998年河北张北序列的一致性参数，发现在1999年强余震前出现低值异常。周荣茂等(1999)利用近场流动地震台网记录的1992年6—8月海南省东方县附近发生的地震震群中的12次地震的波形资料，反演了这些地震的震源机制。结果表明，其震源机制具有方向性的一致性。由此可见，震源机制一致性参数的研究，不仅具有理论意义，更具有短临震情分析的实用价值。当然，主震发生前一系列前震的震源机制解与构造区域应力场的一致性关系还需要更多地区、更多震例的研究，以及更长时间的检验。

参 考 文 献

- 陈颙. 1980. 用震源机制一致性作为描述地震活动性的新参数[J]. 地球物理学报, **2**(3): 39—47.
- 程万正, 阮祥, 张永久. 2006. 川滇次级地块震源机制解类型与一致性参数[J]. 地震学报, **28**(6): 561—573.
- 刁桂苓, 赵英萍. 2004. 大同晚期强余震前震源机制解的一致性特征[J]. 内陆地震, **18**(3): 202—206.
- 李钦祖, 斯雅敏, 于新昌. 1982. 华北地区的震源机制与地壳应力场[J]. 地震学报, **4**(1): 55—61.
- 王俊国, 刁桂苓. 2005. 千岛岛弧地震前哈佛大学矩心矩张量(CMT)解一致性的预测意义[J]. 地震学报, **27**(2): 178—183.
- 吴忠良, 藏绍先. 1989. 千岛—鄂霍次克海地区的地震分布、震源机制及应力状态[J]. 地震地质, **11**(2): 85—95.
- 赵英萍, 刁桂苓. 2004. 张北强余震前震源机制解的一致性特征[J]. 华北地震科学, **22**(1): 1—4.
- 周荣茂, 陈运泰, 吴忠良. 1999. 由矩张量反演得到的海南东方震群的震源机制[J]. 地震学报, **21**(4): 337—343.
- Fujita K, Kanamori H. 1981. Double seismic zones and stresses of intermediate depth earthquakes[J]. *Geophys J R astr Soc*, **66**(1): 131—156.
- Kao H, Rau R J. 1999. Detailed structures of the subduction Philippine Sea plate beneath northeast Taiwan: A new type of double seismic zone[J]. *J Geophys Res*, **104**(B1): 1015—1033.
- Sykes L R. 1966. Seismicity and deep structure of island arcs[J]. *Geophysics Res*, **71**: 2981—3006.
- Weith K F. 1977. The nature of the dual zone of seismicity in the Kurils arc[J]. *Eos Trans AGU*, **58**: 12—32.