
研究简报

1989年10月大同地震的震源机制

赵里* 李志坚** 郑斯华

(中国北京100036国家地震局分析预报中心)

1989年10月18日夜间到19日凌晨的4个小时里,在山西大同附近接连发生三次5级以上的中强地震,其中最大的地震发生在19日1时1分,震中位于北纬 $39^{\circ}57'$,东经 $113^{\circ}51'$,震源深度14km,面波震级 $M_s = 6.1$.这次地震靠近北京,有感范围大,是华北地区自1976年唐山大地震以来影响最大的一次地震.尽快准确地测定其震源参数将有助于进一步认识大同地震的区域应力环境及其发展过程.本文通过对长周期 P_{n1} 波波形的拟合,求得了大同地震序列中最大地震的震源参数.

一、方法

应用地震波的广义射线理论与Cagniard-de Hoop方法,计算出 P_{n1} 波理论地震图(Helmburger, 1983),通过与观测记录的直接比较可以确定震源参数,这种方法对于研究中强地震的震源机制是非常有效的.

在圆柱坐标系中,地表($z=0$)上任一点($r, \theta, 0$)在 t 时刻的位移可以表示为

$$W(r, \theta, 0, t) = \frac{M_0}{4\pi\rho_0} \frac{d}{dt} [\dot{D}(t) * \sum_{j=1}^3 A_j(\theta_0, \delta, \lambda) W_j(r, t)] \quad (1)$$

其中, M_0 为地震矩, ρ_0 为震源附近介质的密度, $\dot{D}(t)$ 为远场震源时间函数, $A_j(\theta_0, \delta, \lambda)$ 为震源取向函数,由断层走向 θ_0 倾角 δ 以及滑动角 λ 确定,符号*表示对时间的卷积.

(1)式中的 $W_j(r, t)$ 为地球模型的格林函数.对于长周期地震记录,当震中距小于 14° 时, P_{n1} 波主要由地壳波导中的多次反射波叠加而成,因而地球模型可以选择为一均匀介质(地壳)覆盖在均匀半空间(地幔)上,而当震中大于 14° 时, P_{n1} 波则主要受到上地幔不均匀性的影响,所以地球模型取为若干层均匀介质(地壳和上地幔)覆盖在均匀半空间(下地幔)上.

1990年4月13日收到本文初稿,1990年12月10日决定采用.

* 现在地址:美国普林斯顿大学地质学和地球物理学系.

** 现在地址:美国阿拉斯加大学地球物理系.

二、波型拟合

本文使用中国数字化地震台网(CDSN)的长周期记录,选择了5个初动比较清晰的垂直向记录和2个径向记录进行波型拟合。表1中列出了所使用资料的台站参数。图1给出了震中位置及台站分布。

表1 台站参数

序号	台站名	台站代号	分量	纬度(°N)	经度(°E)	震中距(“)	方位角(“)	地震矩(10^{19} N·m)	地壳厚度*(km)
1	牡丹江	MDJ	垂直	44.62	129.59	12.6	63.04	2.19	35
2	牡丹江	MDJ	径向	44.62	129.59	12.6	63.04	2.01	35
3	余山	SSE	垂直	31.01	121.19	10.7	143.65	3.63	35
4	余山	SSE	径向	31.01	129.59	10.7	143.65	1.89	35
5	恩施	ENH	垂直	30.28	109.50	10.3	201.57	1.30	40
6	昆明	KMI	垂直	25.12	102.74	17.5	215.56	1.19	40
7	乌鲁木齐	WMQ	垂直	43.82	87.70	19.8	289.82	2.77	50

* 指在计算格林函数中所使用的地壳厚度。



图1 以大同地震震中为中心的等距投影图

考虑到中国大陆下地壳厚度的变化特征,本文在计算格林函数时,根据地震波传播的路径分别采用了三种不同的地球模型。在这三种地球模型中,地壳与上地幔的速度和密度均相同(见表2),不同的仅是地壳的厚度。对于各传播路径所采用的地壳厚度列于表1的最后一列。在计算中取震源深度为10km,远场震源时间函数为(0.5s,0.5s,0.5s)梯形函数。

为了定量地评价理论地震图与观测记录的差异,我们采用了一个误差函数(Mellman, 1980)。

$$d_i = 1 - \frac{\max(f_i \star s_i)}{[(f_i \star f_i)(0)]^{1/2} [(s_i \star s_i)(0)]^{1/2}} \quad (2)$$

其中, f_i 为第 i 个长周期地震记录, s_i 为相应的理论地震图, 符号 \star 表示求互相关

$$(f \star s)(t) = \int f(\tau) s(t+\tau) d\tau \quad (3)$$

表 2 地壳与上地幔模型参数

层号	P 波速度 (km/s)	s 波速度 (km/s)	密 度 (g/cm ³)	厚 度 (km)
1	5.70	3.40	2.60	见 图 1
2	8.10	4.70	3.20	30
3	7.80	4.50	3.15	157
4	8.40	4.70	3.25	150
5	9.60	5.15	3.45	260
6	10.80	5.90	3.90	∞

当由误差函数的平方和所定义的目标函数

$$d = \sum_i d_i^2 \quad (4)$$

取极小值时, 就可以确定为最佳拟合解. 最后, 通过对比理论地震图与观测记录的最大振幅, 求出地震矩. 由每个记录求得的地震矩也列于表 1.

三、结 果

图 2 给出了大同地震序列中震级最大的地震的长周期 P_{n1} 波观测记录及相对应的理论地震图. 通过使由(4)式所定义的目标函数取极小值, 可以求得最佳拟合的震源机制解. 其两组节面及其它参数为:

节面 1	走向 186°	倾角 89°	滑动角 158°
节面 2	走向 276.4°	倾角 68°	滑动角 1.1°
P 轴	方位 233.3°	倾角 14.6°	
T 轴	方位 139.0°	倾角 16.1°	
B 轴	方位 3.5°	倾角 68.0°	
平均地震矩		$M_0 = 2.14 \times 10^{17} \text{ N} \cdot \text{m}$	

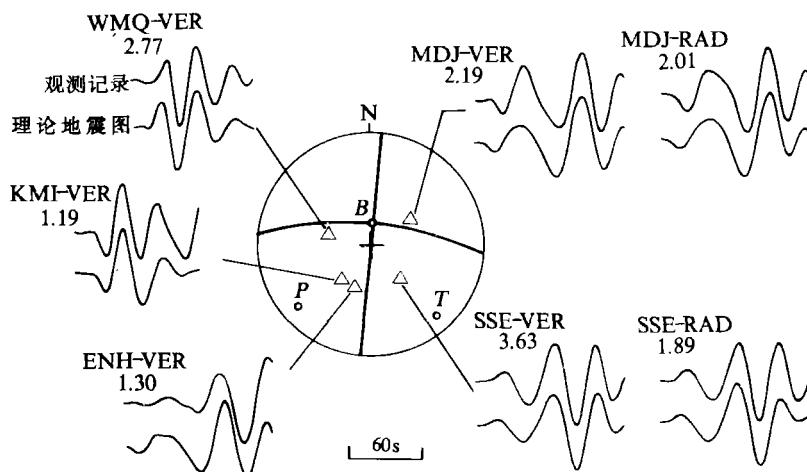


图 2 大同地震的震源机制解(下半球投影)及长周期观测记录(上)与理论地震图的比较.

地震记录左侧的数字为地震矩, 单位为 $10^{17} \text{ N} \cdot \text{m}$

本研究使用了D. V. Helmberger 教授提供的计算 P_{n1} 波理论地震图的程序和中国数字化地震台网提供的大同地震的数字地震记录, 在此一并致谢.

参 考 文 献

- Helmberger, D. V., 1983. Theory and application of synthetic seismograms. In: Kanamori, H. and Boschi, E. (eds.) *Earthquakes: Observation, Theory and Interpretation*. Elsevier North-Holland, Inc., 177–222.
- Mellman, G. R., 1980. A method of body-wave waveform for the determination of earth structure. *Geophys. J.*, **62**, 481–504.