

昌马地震震源参数及其讨论

王华林

(国家地震局兰州地震研究所)

1932年昌马地震的地震断层为一高角度左旋走滑逆断层,呈北西西向展布,断裂面向南倾,地震等震线的长轴方向为北西西向,与地震断裂走向一致,震中烈度10度强。

根据野外考察资料、前人研究结果和作者提出的公式,本文系统地确定了昌马地震震源参数及其它有关参数。

一、昌马地震震源参数及其它参数的确定

1. 野外考察获¹⁾得的震源参数(表1)

表1

震源参数	L (km)	α (度)	U _{Dmax} (m)	U _D (m)	U _{smax} (m)	U _s (m)	U (m)
震源参数值	120	60	4	2.04	6.6	2.46	3.2

表中L为断层长度,α为断层倾角,U_{Dmax}为最大垂直位移,U_D为平均垂直位移,U_{smax}为最大水平位移,U_s为平均水平位移,U为平均总位移。

2. 用公式计算获得的震源参数及其它参数(表2)

表2

昌马地震震源参数及其它参数

参数符号	公 式	计算值	平均值	单位	公式来源
h	$M_s = 0.67I_0 + 1.7lgh - 1.4$	22.5	23	公里	Karnik(1961)
	$I_0 - I_1 = 6 \lg[(\frac{\Delta i}{h})^2 + 1]^{1/2}$	18.8			文献[1]
	$lgh = \lg \Delta i - \frac{1}{2} \lg[10^{(I_0 - I_1)/s} - 1]$	27.8			文献[3]
H	$H = 2h$	46		公里	
W	$W = H/\sin \alpha$	52.8		公里	
d	$d = H \tan(90^\circ - \alpha)$	26.6		公里	
s	$S = LW$	6.3×10^{13}		[厘米] ²	
r	$r = (LW/4)^{1/2}$	40		公里	
v	$V = dLH$	1.47×10^{20}		[厘米] ³	

1) 侯珍清、郭敬信、康来迅等参加了野外考察

续表 2

参数符号	公 式	计算值	平均值	单位	公式来源
M_0	$M_0 = \mu US$	6×10^{27}	3.89×10^{27}	达因·厘米	文献〔4〕
	$\lg M_0 = 16.0 + 1.5 M_s$	1.78×10^{27}			文献〔5〕
m_0	$m_0 = M_0/L$	5×10^{20}		达因	
$\eta \bar{\sigma}$	$\eta \bar{\sigma} = \mu E_s / M_0$	5.6		巴	文献〔4〕
$\Delta \sigma$	$\Delta \sigma = \frac{7}{16} \cdot \frac{M_0}{r^3}$	41	54.2	巴	文献〔6〕〔7〕
	$\Delta \sigma = \Delta \sigma_D + \Delta \sigma_s$				
	$\Delta \sigma_P = \mu \frac{\lambda + \mu}{\lambda + 2\mu} \cdot \frac{2 U_{Dmax}}{W}$	67.3			文献〔8〕〔9〕
	$\Delta \sigma_s = \mu U_{smax} / W$				
$\Delta \varepsilon$	$\Delta \sigma = 2 \mu \Delta \varepsilon$	9.03×10^{-5}			
E_s	$\lg E_s = 11.8 + 1.5 M_s$	1.12×10^{28}		尔格	文献〔2〕
E_t	$E_T = E_s + E_D$				
	$E_s = \frac{4}{\pi} \mu L U_s^2$	5.32×10^{28}		尔格	文献〔15〕
	$E_D = \frac{8}{\pi} \mu \frac{\lambda + \mu}{\lambda + 2\mu} L U_D^2$				
η	$\eta = \frac{E_s}{E_T}$	21%			
$\bar{\sigma}$	$\bar{\sigma} = E_T / ULW$	20	23.3	巴	
	$\eta \bar{\sigma} = E_s / M_0$	26.6			文献〔4〕
F	$E_T = PU + FU + E_s$	1.24×10^{21}		达因	本文
$\sigma_f(\sigma_1)$	$\sigma_f = F/S$	19.7		巴	
σ_0	$\sigma_0 = \Delta \sigma + \sigma_1$	73.9		巴	
β	$E_s = \frac{1}{\pi} \rho \beta^2 U_s^2 L \frac{\sigma_0 + \sigma_1}{\sigma_0 - \sigma_1}$	2.4		公里/秒	文献〔10〕
V_b	$V_b = 0.775 \beta$	1.86		公里/秒	文献〔11〕
t_0	$r = 2.348 / 2 \pi f_0$	0.0224	0.0232		文献〔12〕
	$f_0 = 1.2 \beta / L$	0.024			文献〔13〕

表中 h 为震源深度， H 为断层深度， W 为断层面宽度， d 为断层宽度， s 为断层面面积， r 为震源半径， v 为震源体积， M_0 为地震矩， $\Delta \sigma$ 为应力降， $\Delta \varepsilon$ 为应变降， $\eta \bar{\sigma}$ 为视应力， E_s 为地震波释放能量， E_T 为地震释放总能量， η 为地震辐射率， $\bar{\sigma}$ 为平均应力， F 为断面上的摩擦力， σ_f 摩擦应力， β 为切变速度， V_b 破裂速度， σ_0 始应力， f_0 拐角频率， σ_1 为终应力。

上述引用的前人公式中的参数符号有些与原公式不同，这是为了使在本文中使用的参数符号在各公式中具有统一的含意，这里特作说明。

3. 求断面上的摩擦应力的方法

根据能量和功的关系，地震释放的总能量（ E_T ）等于断层位移带动断层上盘岩体的重量

所做的功 (Pu) 和位移克服断层面的摩擦阻力所做的功 (Fu) 以及地震波释放能量 (E_s) 的总和, 即: $E_T = Pu + Fu + E_s$ (1)

式中 $P = \frac{1}{2} \alpha L E \rho$ (ρ 是密度, 取 $\rho = 2.9$ 克/厘米³)。

由公式 $E_T = E_s + E_D$ 求得地震释放的总能量, 由公式 $E_s = 10^{11.8+1.5M_s}$ 求得地震波释放的能量, 获得了 P 、 u 就可求出断面上的总摩擦力 F 。

定义断面上的摩擦应力为单位面积上的摩擦力。即: $\delta f = F/S$ (2)
据此公式可求得断面上的摩擦应力 δf 。

二、几个问题的讨论

1. 昌马地震断层的破裂性质

野外实测获得昌马地震引起的最大水平位移为 6.6 米, 68 个水平位移数据的平均值为 2.46 米; 最大垂直位移 4 米, 38 个垂直位移数据的平均值为 2.04 米。 $U_{smax}/U_{Dmax} = 1.65$, $U_s/U_D = 1.2$ 。因此, 我们认为昌马地震断层属于倾滑兼走滑型地震断层。与其他地震相比, 昌马地震断层的破裂速度偏大。破裂速度与介质条件有关, 因此我们认为昌马地震发生在刚性强度较大的脆性介质中。

2. 对公式 $E_T = Pu + Fu + E_s$ 的讨论

经比较分析, 作者认为利用这一公式求断层的摩擦应力, 并将其作为断面上的终应力是大致可行的。

这一公式还合理地解释了不同性质的断层与地震震级大小的关系。

对公式 $E_T = PU + FU + E_s$ 作一变换得到: $E_T - E_s = PU + FU$, 对同一震级的地震而言, E_s 是相同的, 并且 $E_T \gg E_s$, 因此将公式记作: $E_T = PU + FU$ 。下面由这一公式讨论不同性质的断层引起的地震震级的大小。

逆断层形成于挤压条件。挤压应力具有增大介质强度的作用, 这意味着断层破裂面上的摩擦力增大。同时逆断层在破裂过程中需要能量克服断层上盘的重力。在这种情况下, 公式中的 P 为正值, F 值增大。因而这决定了挤压条件下逆断层破裂需要大量的能量, 即 E_T 大。 E_s 与 E_T 是成正比的, 所以逆断层型地震的震级应该是大的。

正断层是在引张条件下形成的, 张应力具有降低介质强度的作用, 这意味着断面上的摩擦力减少, 同时, 正断层在破裂过程中, 通常是从重力中获得能量。在此情况下, 公式中的 P 应为负, F 值减小。这决定了引张条件下, 正断层破裂需要较小的能量, 即 E_T 小, 所以正断层型地震的震级应该是小的。

走滑断层是在挤压力下, 产生剪切力偶作用的结果。在纯剪切破裂过程中, 不需要克服断裂上盘的重力, 破裂面上的摩擦力小于逆断层, 大于正断层。因此走滑断层型地震的震级介于逆断层和正断层型地震的震级之间。即: $M_{s张} < M_{s剪} < M_{s压}$ 。这一结果与全球地震发生的事实相一致。

3. 参数 $\sigma_0 - \sigma_f$ 、 $\frac{\sigma_f}{\sigma_0}$ 和 C 的意义

$\sigma_0 - \sigma_f$ 实际上是地震的应力降, $\frac{\sigma_f}{\sigma_0}$ 表示终应力在始应力中占的比例, 其值 $0 < \frac{\sigma_f}{\sigma_0} < 1$ 。

定义 $C = (\sigma_0 - \sigma_f) / \sigma_0$ 为地震断层的破裂彻底度, 其值 $0 < C < 1$ 。它表示应力降在始应力中占的比例, 标志着地震释放应力的彻底程度。

主震

C这几个

C越

由公式(

破裂

再次发

运动产

尚未达

C

 $\frac{\sigma_1}{\sigma_0}$ 较 σ_0

破

因此,

震发生

次级

发生

震中

都大

震发

掘近

地面

 $\sigma_1/$

对

与

从

的

认

主震发生后,是否发生强余震以及余震发生的强度、位置和迁移途径可通过 $\sigma_0 - \sigma_1$ 、 $\frac{\sigma_1}{\sigma_0}$ 和C这几个参数来确定。

C越大说明地震释放应力越完全,标志着断层破裂越彻底。即 $\sigma_1 - \sigma_0$ 较大, $\frac{\sigma_1}{\sigma_0}$ 较小。由公式(1)得知地震断层规模大、位移量大。

破裂彻底的地震断层,主震已将沿主断层积累的绝大部分能量释放掉。因此,沿主断层再次发生强余震的概率相对是小的。因主断层破裂彻底,就必然导致较大的位移,在主断层运动产生的引张区内附加较大的张应力。张应力具有降低破裂强度的作用,使引张区内原来尚未达到破裂的断层发生较强的余震,引张区内的地震震级一般不会很大。

C越小,说明地震释放应力越不完全,标志着断层破裂越不彻底。即: $\sigma_1 - \sigma_0$ 较小, $\frac{\sigma_1}{\sigma_0}$ 较大,野外表现为地震断层规模小,位移不大。

破裂不彻底的地震断层,主震发生后,并没有将沿主断层积累的绝大部分能量释放掉。因此,强余震将沿断层走向,在断层倾向一侧发生。若能弄清地震断层的破裂方式,对强余震发生的位置可作出较准确的预测。强余震沿主震断层破裂方向一侧发生。尤其是主断层与次级断层的交汇部位应作为主震发生后的重点监测区。当然主断层运动产生的引张区,也有发生强余震的可能性,但相对沿断层走向发生的强余震是属于第二位的。在时间上,强余震震中由主断层向主断裂破裂生产的引张区迁移。

总而言之,主震发生后,破裂不彻底的地震断层再次发生强震的震级大小和空间范围都大于破裂彻底的地震断层。因此,主震发生后迅速把握发震断层破裂的彻底度,可对强余震发生的地点和强度作出预报。这为主震发生后地震防御和架设地震台网进行地震监测,捕捉近场强震记录,获取地面加速度提供了依据和可能性。近场强震记录和地面加速度是近场地面运动衰减规律研究以及震源物理特点研究和地震工程设防的基础。因此,参数 $\sigma_0 - \sigma_1$ 、 σ_1/σ_0 和C的提出有其重要的实际意义和理论意义。

根据 σ_1/σ_0 和C值的大小,笔者将地震断层破裂彻底度分为五级(表3)。利用此方法对昌马、唐山、海原、托素湖地震的地震断层破裂彻底度和强余震的强度作了反演,其结果与实际情况基本一致(表4)。从而证明,利用 $\sigma_0 - \sigma_1$ 、 σ_1/σ_0 和C判定断层破裂彻底度,从而对主震发生后余震强度、震中位置以及迁移途径作出预测是可行的。

4. 昌马地震的特点

作者综合分析了昌马、唐山、海城、邢台和昭通地震的震源参数,结果表明,昌马地震的位移量、断裂规模、地震距、压力降和地震释放的总能量都较大。与唐山地震比较,作者认为昌马地震是一个地震断层破裂彻底的地震,而唐山地震是一个地震断层破裂不彻底的地

地震断层破裂彻底度分级表

表 3

参 数 值 参 数	级 别	极不彻底	不彻底	中等	彻底	极彻底
$\delta f/\delta_0$		1~0.75	0.75~0.5	0.5	0.5~0.25	0.25~0
C		0~0.25	0.25~0.5	0.5	0.5~0.75	0.75~1

表4

地震	主震	强余震	ΔM_s	σ_t/σ_e (巴)	σ_t/σ_e	C	结论
昌马	7.5	$5\frac{3}{4}$	$1\frac{3}{4}$	54.2	0.27	0.73	彻底
唐山	7.8	7.1	0.7	12			不彻底
海原	8.5	7	1.5	115.05	0.24	0.76	彻底
托素湖	8	$5\frac{3}{4}$	$2\frac{1}{4}$	103.8	0.16	0.84	极彻底

震。

顾瑾萍老师审阅了论文初稿，並提出了宝贵的修改意见，作者在此表示衷心的感谢。

参考文献(略)

泾阳震群与地裂活动

王 振 武

(陕西省地震局)

泾阳震群和地裂活动区位于渭河断陷盆地北缘的嵯峨山一带，即北纬 $34^{\circ}14' \sim 47'$ ，东经 $108^{\circ}42' \sim 58'$ 。1983年4月~1985年6月共发生小震376次，最大震级 $M_L=2.9$ ，最小震级 $M_L=0.1$ 。小震集中分布在嵯峨山东麓，震区群众普遍有感。泾阳震群有以下特点：

(1) 震级较小，大部分地震无法定出震中。

(2) 具有周期性，平静密集现象交替发生，间隔时间为180天左右，且每次都是以大的、密集的地震开始，然后缓慢衰减。

(3) 垂直向初动符号优势分布不明显。

震区发育着北东和北西向两组共轭剪切断层，小震群就发生在这两条断层的交汇部位。震区东侧的冯村水库(库容数百分米³)可能对震群有触发作用。

1979年以来，在震区南侧的龙泉、蒙家沟、口镇等地相继发生地裂，伴随震群的发生，地裂活动达到高潮，它们沿嵯峨山南侧断层分布，线性延伸，不受地形影响，大多数显张性，少数左旋扭动。

渭河断陷盆地内断层测量资料显示，北东~北北东向断裂作右旋扭动，北西~北西西向断裂作左旋扭动，它表明盆地内构造应力场的主压应力方向为北东东向，这与由小震群震源机制解求得的主压应力方向相吻合。泾阳地裂缝的展布方向和空间排列形式符合上述应力场特征。

作者认为泾阳震群和地裂缝的发生与该区构造有着密切的关系。