从震源物理观点讨论 鄂尔多斯地台的地震稳定性

郭增建 秦保燕 刘江峰

(国家地震局兰州地震研究所)

前 言

鄂尔多斯地台是一个比较完整而坚硬的地区。从力学角度来说,当一块受边侧作用的力后其内比较坚硬的部分是能储存巨大应力的。由此可知,当中国地壳受太平洋板块和印度板块挤压后,象鄂尔多斯这种地区其内是会积累很大应力的。但有史以来这里的地震却很弱。这究竟是什么原因呢?本文想从震源物理中的让位条件,垂直力与水平力叠加和防拐条件来讨论这个问题,并对鄂尔多斯块体周围地区地震较活动的原因进行了探讨。本文同时也讨论了把大地震模拟为一个裂缝的简单扩展的不充足性。

一、让位条件

让位条件是我们1973年提出的概念^[1]。即当一个平推型应力积累单元两端有应力调整单元时,则在积累单元两端或其附近会形成引张区和压缩区。当地震发生时,这个引张区和压缩区对断层盘的错动“起着推挽的作用,并给它的错动让开了位置。”这个让位问题我们在后来的研究中还进一步作了阐述^{[2][3]},即不仅张力区预先为错动来的岩体“提供了让位,使错动来的岩体有调整容纳之外,”而且当调整单元是一个岩石强度较低的不规则区域(如岩石破碎区、高温塑性区和多液区等)时,调整单元本身就是让位区。另外调整单元往往富含流体,因之密度小。这样以来,在组合模式中关于让位问题可归纳为:张力区为压力区让位,软介质区为硬介质让位,密度小的地区为密度大的岩体让位。

让位条件与震源的错动幅度有关,而错动幅度D与震级M有关。即:

$$D = 10^{0.52M - 1.35} \quad (1) [1]$$

式中M是Ms, D以厘米为单位。另一方面,应力降 $\Delta\sigma$ 也与错动幅度有关,即:

$$\Delta S = \frac{\bar{\mu} D}{f(A)} \quad (2)$$

式中 $\bar{\mu}$ 是平均错动幅度, A是震源断层面的维度。由(2)式可知,在其他条件相同的条件下,错动幅度大时,应力降亦大。也就是说震源端部的让位条件充分时,断层错动得彻底,因之应力降大,地震亦大。

对于鄂尔多斯块体来说，其内介质比较均匀坚硬，无巨大的调整单元，因之提供不了让位条件，即使其内应力很高，也难以释放，形成大震。这就是说我们不能把储存应力的地段都称为孕震地段和孕震断层。而只能把既有很高应力又有释放条件的地段称为孕震地段。对于鄂尔多斯周围地区来说，在那里有不少应力调整区，如吴忠、灵武地区其地下介质破碎，常有中小地震发生，震源机制参数的一致性较差。又如固原地区，那里是南北向大断裂和北西向海原大断裂交会地区，地下介质不完整，且附近有一温泉。这个温泉温度虽不高，但它是大面积内仅有的一个，因之反映地下有热通道。像上述这样的地区在鄂尔多斯地台边缘则较多，因之具有发震条件。

二、垂直力诱导的水平应力

1977年作者曾指出，在平推型震源断层盘前进的方向上或附近，如有垂直力造成的隆起和下拗时，则这个隆起和下拗诱导产生的水平拉应力是有助于平推型震源的错动而发震的^[4]。从应力状态的角度来说，水平断层面上的剪应力 S 取决于最大主应力与最小主应力之差，即：

$$S = \frac{1}{2}[\sigma_1 - \sigma_3] \quad (3)$$

式中 σ_1 为最大主应力，规定以压应力为正， σ_3 为最小主应力。当平推断层盘前进的方向上或附近有垂直力引起的隆起或下拗时，它将在最小主应力 σ_3 的方向上诱导出一个水平张力 $\Delta\sigma_3$ ，于是(3)式变为：

$$S = \frac{1}{2}[\sigma_1 - (\sigma_3 - \Delta\sigma_3)] \quad (4)$$

由(4)式可知，在断层盘前进方向上诱导出的水平张应力实际上增加了断层面上的差应力，即增大了剪切应力，这样就有利于大地震的发生。反之，当地壳隆起和拗陷位于平推断层盘前进的相反方向上时，其效果则是相反的。在〔3〕中曾指出，隆起和拗陷必须作用的时间短，此时介质才显弹性变形，从而在隆起或拗陷附近才能诱导出張应力。

对于鄂尔多斯块体来说，由于整体性较好，块内缺乏垂直力所引起的局部的隆起和拗陷，因而在这些地区也就少了这一个发震条件。但在鄂尔多斯周围，不少资料说明有的地方隆起，有的地方下降，这样就有利于发震。还应指出，这个隆起和拗陷诱导出的水平张应力对平推错动的断层盘本身也有让位作用，它是把垂直方向的运动转化为水平方向的让位。

三、防拐条件

1982年我们指出^[5]，对于8级和8级以上地震来说，光知道可能同时释放能量的地段长度（即积累单元的长度）还是不够的，还必须考虑地震时断裂传播拐弯而停止的可能。如果停止了，就构不成8级大震的断裂长度，因之也释放不了8级大震的能量。所以还得有“防拐条件。”根据断裂力学的研究，一个剪切断裂快速传播时，在断裂端部和其旁边有剪切应力集中区、张应力集中区和压应力集中区。其中沿断裂延伸方向上的剪切应力集中 S_1 促使断裂直线传播，然而张应力集中 T 却使断裂拐弯而趋于停止。其原因如下。对于脆性介质来说，介质的耐张强度 σ 小于耐剪强度 τ ，因之当剪应力还未达到耐剪强度时，张应力已达到耐张强度了。

$$\text{即：} \quad \frac{T}{\sigma} > 1 > \frac{S_1}{\tau} \quad (5)$$

这样，断裂必然要拐弯而趋于停止。对于我国的大地震来说，它多发生于准脆性的花岗岩层，因之断裂传播是要拐弯的。这样8级以上大震就形成不了。为了防止拐弯，还得有防拐条件。这个条件首先是：如果地震是沿老断层发生的，则由于老断层上静摩擦极限或耐剪强度低，所以可满足以下条件而防拐：

$$\frac{S_1}{\tau} > 1 > \frac{T}{\sigma} \quad (6)$$

文献〔5〕还提出了另外两个防拐条件，一个是在上地壳中的孕震断层与下地壳中的蠕滑断层面共面延伸的情况，当下部蠕滑时给上部孕震断层底部加上剪应力集中 S_2 ，此剪切应力叠加到(5)式中的 S_1 上使其成为：

$$\frac{S_1 + S_2}{\tau} > 1 > \frac{T}{\sigma} \quad (7)$$

这就保证了上部花岗岩层中剪切错动可以不拐弯的向前传播，以达到调整单元时停止。

第三个防拐条件是，如沿平推型断层有垂直差异运动叠加时也可防拐。因为垂直错动传播时不出现拐弯的情况，这样也可控制平推分量的错动传播不拐弯。在此情况满足以下的不等式：

$$\frac{\sqrt{S_1^2 + V^2}}{\tau} > 1 > \frac{T}{\sigma} \quad (8)$$

式中 V 为断面上的垂直剪切应力。

在鄂尔多斯地台区域没有很大的断层带，因之缺乏第一个防拐条件。另外在鄂尔多斯地台下方没有低阻层和低速层，因之说明该地台地壳下部温度低，无蠕滑断层作为第二防拐条件。再者，在鄂尔多斯地台区域缺乏垂直差异运动，因之没有垂直错动分量这个防拐条件。这样一来在鄂尔多斯地台内部一发生断层错动，就很快拐弯停止了，因之形不成大震。当然还有其他方面的原因，有待进一步探讨，不过由上述分析可知，大地震的形成是有许多制约条件的，绝非讨论一个简单的裂缝传播所能济事的。

参 考 文 献

- 〔1〕 郭增建 秦保燕 徐文耀 汤泉震源孕育模式的初步讨论 地球物理学报 1973
- 〔2〕 郭增建 秦保燕 徐文耀 唐山大地震成因初探 自然科学争鸣 1977年5期
- 〔3〕 郭增建 秦保燕 震源物理 地震出版社 1979
- 〔4〕 郭增建等，从水平力和垂直力的相互作用讨论我国境内地震的孕育和发生 地球物理学报 1977年3期
- 〔5〕 郭增建 秦保燕 八级以上大震的震源体讨论 中国八级大震学术讨论会论文摘要汇编 1982. 89—91页