

海原5.5级地震前波速比的异常

宁夏的西吉—海原—固原地区自1970年以来先后发生了两次中强地震，即：1970年12月3日西吉5.5级地震和1982年4月14日海原5.5级地震。这两次中强震前波速比 V_p/V_s 的异常都比较明显。由于从1972年开始我们在地震预报实践中坚持了对波速比异常的观测和研究，所以在总结1970年西吉5.5级地震的基础上，1980年底、1981年初就提出了把西海固地区作为波速异常的重点监视区。1981年底，根据该区波速比有回返趋势，又分别在西北地震协作区召开的地震趋势会商会和甘肃省地震趋势会商会上两次提出了中期地震趋势估计。预测的发震地区和震级都与实际基本相符，只是在时间上没有把握住。本文着重探讨这次海原5.5级地震前波速比的异常特征，并简要总结了波速比方法在海原5.5级地震预报实践中的初步检验结果。

1. 震前的波速比异常特征

(1) 其异常形态与1970年西吉地震大体相似

图1给出了1970年西吉地震前后西海固地区波速比随时间的变化曲线。从图中可见，波速比 γ 在同年2月出现异常，3~6月份异常幅度最大，接近-0.1，7月份开始恢复，到12月3日地震时接近完全恢复，波速比总异常时间达10.5个月。地震后约一年时间里， γ 仍保持较小的负异常，直到1972年2月以后才振荡式地逐渐恢复原值。图2给出了1982年海原5.5级地震前后西海固地区波速比随时间的变化曲线。该区的波速比在1978、1979年就偏低，但幅度不大，到1980年上半年又处于正常状态，同年下半年出现异常（当时因资料少，我们采用其它方法^[1]进一步确定了波速比异常在该区的存在），1980年底到1981年初因邻区同心3.9级地震的影响而回升，同心地震后继续异常，1981年6~10月的异常幅度最大，达-0.10~-0.15，1981年底呈现回返趋势，其值趋于正常，1982年4月14日发震。其总异常时间长达21个月。震后数月 γ 处于上下跳动的震后异常阶段，出现了较小的负异常。

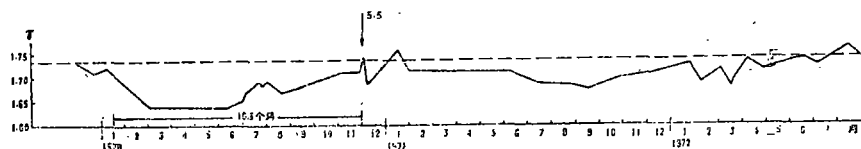


图1 1970年西吉5.5级地震前后西海固地区波速比变化曲线

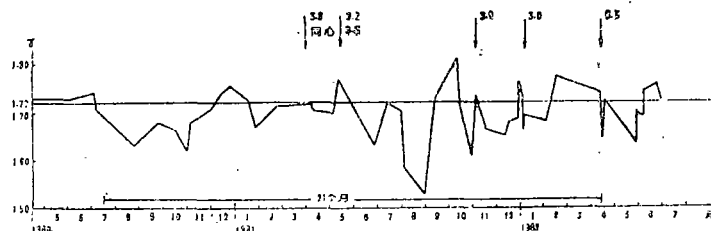


图2 1982年海原5.5级地震前后西海固地区波速比变化曲线

从异常形态上看,这两次中强震前后 γ 都经历以下几个变化阶段:大幅度的负异常 $\rightarrow$ 趋于回返 $\rightarrow$ 恢复正常值并发震 $\rightarrow$ 震后较小的负异常 $\rightarrow$ 逐渐恢复原值。其特点是震前的回升值不高,致使回升阶段不够明显。

(2) 主震往往发生在视波速比异常区的边缘甚至边缘外侧

根据波速比出现异常的震中分布范围来划定的区域即为视波速比异常区。图3、图4分别给出了西吉5.5级地震和海原5.5级地震前的视波速比明显异常区。从图中可见,两次主震都发生在视波速比异常区的边缘外侧。这一点用组合模式^[2]可以得到解释:所谓的视波速比异常区,总是经常发生小震的地段,而这些小震又出现了波速比异常,因而该地段已是断层面上摩擦阻力较小的岩石破碎区,该处无法积累巨大的剪切应力,可以视为孕震区的调整单元。所以未来主震一般不会发生在作为调整单元的视波速比异常区中,而往往是发生在作为积累单元的视波速比异常区的一端或外侧。

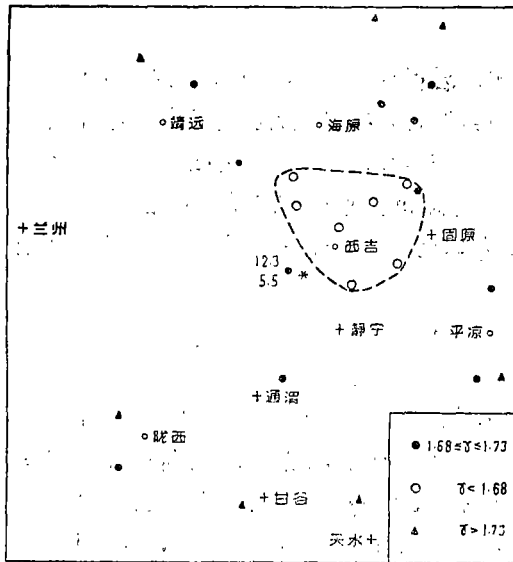


图3 1970西吉地震前的视波速比异常区

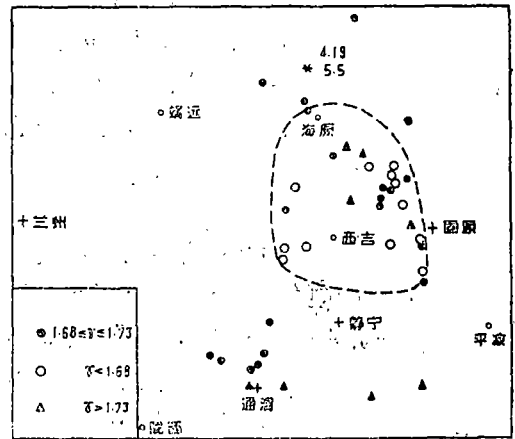


图4 1982年海原5.5级地震前的视波速比异常区

(3) 波速比总异常时间 ΔT 具有地区性特征

在预报中,我们根据公式^[8]: $M_s = 4.25 + 1.45 \lg \Delta T (\text{月}) \pm 0.7$

利用异常时间来估计未来地震的震级,发现波速比总异常时间 ΔT 与震级 M 的关系可能具有地区性特征。换言之,对于同震级的地震来说,震前波速比总异常时间 ΔT 的长短往往会因地区而异。1970年以来的中强震实例显示了:西海固地区和四川地区符合公式较好,利用 ΔT 估计震级的偏差都在公式的 ± 0.7 的误差范围内,只是四川的 M_s 可能会偏小些,西海固的 M_s 会偏大些*。而甘肃地区利用 ΔT 估算的 M_s 则较西海固地区更偏大些。所以在根据公式估算震级时要适当地予以修正。根据这两次中强震的 ΔT ,可考虑西海固地区的震级修正范围约为 $-0.2 \sim -0.7$ 级;而甘肃地区的修正范围可达 -1.0 级左右。

(4) 中强地震发生前一般都出现波速比的大幅度异常

根据对波速比异常的观测, $M_s > 4$ 级地震发生前的波速比异常阶段一般都会出现几个

*顾瑾平等,甘肃省及其邻近地区一些中强震前的波速比特性,1982年。

很低的波速比值,其值低于正常值0.10~0.15,甚至0.25。这次海原地震前的波速比异常阶段波速比值曾低达1.63、1.61,甚至低于1.60,后来发生了5.5级地震。而在1978年1~9月西海固地区也曾出现过一些波速比低值,这些值低于1.68,一般也看作异常值,但异常幅度小,结果后面只发生3.8级地震。又如:甘肃的九条岭—武威地区在1980年2~6月份也曾出现过几个1.65左右的低值,因异常幅度不大,异常时间又短,我们认为不会有大地震,后来只发生2.5级地震。

含裂纹的固体岩石中的波速可用下面公式^[8]来表示:

$$V_P = V_{1P} (1 + K_0 e^{-AP_1})^{-1}$$

上式中, K_0 为描述破碎化程度的一个因子, A 为压缩因子, P_1 是围压。对于一个孕震区来说,其岩石中所含裂纹越多, K_0 值就越大,波速也就越低,随之波速比就下降越大。所以,当波速比出现大幅度异常时,我们就可认为孕震区岩石已被碎得相当厉害了,这个地区就有孕育着较大地震的可能。

(5) 震前波速比可能有几次回升

在主震前的数天以至数月,波速比一般都会出现回返现象。这种波速比的回升可用组合模式中积累单元的震前预滑来解释。波速比除主震前回升外,在波速比异常阶段往往也会出现几次回升*。造成这种波速比局部回升的因素有两个:一是邻区发生了中强地震,另一个是本区发生了 $M_s > 3$ 的较大地震。由图2可见,西海固地区的波速比在1981年初曾因邻区同心3月31日的3.9级地震的影响而一度回升。以后又因本区发生几个 $M_s > 3$ 的地震而有几次回升。

2. 波速比方法在1982年海原5.5级地震预报实践中的检验

(1) 异常区的确定及发震地点的预报

由于波速异常区具有不对称性和方向性效应,波速异常有一定的观测范围和一定的优势显示方向,局限于主震震中附近的单方向观测是不易发现波速异常的,必须在较大的震中距范围内作多方向的观测。所以我们一直利用甘肃台网和宁夏台网多台多方向的地震资料作西海固地区的波速比,并随时点出波速比值的平面分布图。自1980年下半年开始,该区出现了低值,1980年底到1981年初我们提出该区为波速比的重点监视区,后来继续异常,我们根据波速比异常值的平面分布确定西海固地区为视波速比异常区。1981年10月波速比在固原西出现了明显的回升,1982年1月、2月波速比又在西吉、海原一带出现回升。当时把固原西的那次回升看作是离未来主震震中较远处的刚开始的回升,而1、2月份的西吉、海原一带的回升则是离主震较近地区的回升,因而预报了未来中强震将发生在西吉到海原一带。

(2) 震级的预报

我们主要是依据波速异常的持续时间 ΔT 用相应的经验公式来估算未来主震震级的。以往工作使我们认识到,根据公式 $M_s = 4.25 + 1.45 \lg \Delta T (\text{月}) \pm 0.7$ 估算宁夏地震的震级时,修正值取 -0.5级较合适。所以在1981年底曾预报可能发生5.5级左右的地震。

(3) 发震时间的预报

1981年底,根据波速比有回返趋势,我们作了中期预报,预报的发震时间是1982年。1982年1月6日和2月18日波速比曾出现过1.77和1.78两次高值,但与异常期的两次回升值(1.77和1.82)相比,差异不大,所以一时未看作震前回升。自2月18日后又一直没有可

*顾瑾平等,甘肃省及其邻近地区一些中强震前的波速比特性,1982年。

用来计算波速比的地震资料，以致未能作出短临预报。

从这次对海原地震的预报中可见，目前由于天然地震资料在数量上和精度上都严重不足，致使波速异常用于地震预报还有一定的困难。其困难最突出的在于发震时间上难于作出短临预报。在以往工作中也出现过类似情况：自1978年以来，我们还曾先后发现过甘肃礼县地区和包括木里在内的甘青交界地区是两个波速异常区，并提出了中期预报意见。后来在这两个地区都相继发生了中强地震，但对这两次地震也均未作出短临预报。若采用人工震源资料来研究与监视波速异常，效果就很可能改善。当然，这也需经过相当时间的探索与检验。

（兰州地震研究所 虞雪君）

参 考 文 献

- 〔1〕顾瑾平等，多台求波速比异常的一种新试探，西北地震学报，1983（待发表）。
- 〔2〕郭增建、秦保燕，震源物理，地震出版社，1979。
- 〔3〕冯德益，地震波速异常，地震出版社，1981。