

陕西地区几次4级地震的特殊现象和启示

苏 刚 姜家兰 张显汉

(陕西省地震局)

摘 要

本文总结了陕西地区几次4级地震的一些情况。从中看出,震中距100公里内的台站所定震级较大地偏低于区域台网震级;有感区沿某些方向伸展很远;这些无前震、又(基本)无余震地震的发生,并未反映出区域地震活动的增强。

在华县大震后的近440年中,陕西地区地震活动水平一直较低。近十几年来,在区域台网日趋完善的情况下,除个别年份(象76年)外,小震活动($M_s \geq 1.5$)的也不过20次/年左右,一般震级约为2~8级。其间也发生了象78年2月11日的石泉长水4.2级($32^\circ 48'N, 108^\circ 8'E$)、80年6月24日陇县4.3级($34^\circ 58'N, 106^\circ 57'E$)、82年8月11日山阳4.5($33^\circ 10'N, 110^\circ 28'E$)等三次大于4级的地震。对少震的陕西这些就成为重要地震了。对多震区而言,4级多无足轻重,可能因为这类原因,4级这种‘不大不小’地震所反映的某些特点,也就常被忽略了。

一、三次地震的简况及特异性

1、石泉长水4.2级地震。这是1967年南郑5.0级地震后,第一个大于4级的地震。陕西区域台网

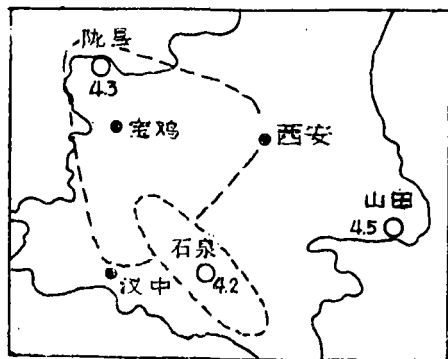


图 1

定为4.2级,但震中距约100公里的单家坝台只定为3.2级。震中烈度5度,震源深度 $h=27$ 公里,有感区沿北西延伸到留坝、凤县一带达180多公里(图1)。

2、陇县4.3级(又定为4.4)地震。距震中79公里的宝鸡台定为3.2级(与4.3相差1.1),震中烈度5度强,震源深度 $h=23$ 公里。此震发生约6分钟后,在相距约10公里的东北向又发生一次由区域台网定为3.8级的地震($h=10$ 公里),相距74公里的宝鸡台只定为2.8级。

如图1所示4.3级地震有感区呈贝壳形,西北向距震中30公里的华亭无任何人感,但东到西安达210公里,南到勉县、汉中一带约240公里。

3、山阳4.5级地震。无100公里内台站记录,震中烈度6度强,面积约2.5平方公里,山体崩塌约27万米³,有感区长轴28公里, $h=8\sim 10$ 公里。震时伴有地声,震后人感地动较多。

从这些震级、烈度都不大的地震可看出,在陇县、长水地震中,距震中100公里内的台站所定震级较大地偏离区域台网震级,差值达1级以上;有感区在某些方向展布特大,与通常震级和有感区

匹配差别较大，如视陇县地震为双震型，那么，此三次地震既无前震，又（基本）无余震*，而且也不是某些大地震的前震。

二、有关特异性的讨论

以陇县地震为例做一些讨论。如前所述，宝鸡台定为3.2，区域台网定为4.3。相差很大，根据

$$\lg E = 1.5M + 11.8 \quad (1)$$

换算为地震波能量时（4.3级的 $E_1 = 1.78 \times 10^{16}$ 尔格，3.2级的为 $E_2 = 3.98 \times 10^{15}$ 尔格），则能量差

$$\Delta E = 1.74 \times 10^{16} \text{ (尔格)}。$$

就是说，经过79公里岩层后损失掉的弹性波能和地震过程总释放弹性波能是同一个数量级。

众所周知，测震台站是以所在处的记录换算为最大地动位移，并和震级起算函数等一起来计算震源处释放弹性波能大小的。因此是在剔除自身条件下去度量地震本身的，故对同一地震在波传播介质（岩层）一致的情况下，不同台站所定震级应是相同的。现在的不同可能是波在传播中能量的衰减不同所致。设想，从宝鸡台到震源之间有两套不同的传播介质 m_1 、 m_2 ，它使同一地震在宝鸡台观测到两种震级一为4.3，一为3.2。由于是同一地震，其源辐射波的频率特性相同，因此可视每周波损耗能（仅因波频特性传播时损失量）一样，根据岩石介质的品质因子 Q 定义^[1]，于是得介质 m_1 的岩石介质的品质因子 Q_1 与 m_2 的 Q_2 之比为

$$\frac{\text{系统中贮存能量}}{\text{每周波损耗能量}} = \frac{E}{dE} = \frac{Q}{2\pi} \quad (2)$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{Q_1}{Q_2} = 45 \text{ (倍)}。 \quad (3)$$

当取整个地壳平均 Q 值（=500~600^[2]）为 Q_1 时，则 $Q_2 = 11 \sim 13.3$ 。参考近震P波振幅谱^[2] $A(\omega) = \frac{A_0(\omega)I(\omega)}{r} \cdot e^{-\frac{\omega}{Q}}$ （ $A_0(\omega)$ 为源振幅谱； $I(\omega)$ 为地震仪频率特性； r 为震源距； Q 为源至台介

品质因子）可看出，震波通过介质 m_2 时，由‘内摩擦’造成的能量耗散很大，它导致了宝鸡台实际记录震级偏低很多。

观测点震源距较小时，其记录主要震相将为 $\bar{P}$ 、 $\bar{S}$ ， P_{11} 、 S_{11} 等。这些直达波，反射波传播路径主要在地壳上部岩层，上述 Q_2 小说明地壳上部岩层复杂、破碎。这和地质钻探和研究所得结论一致，具有普遍性。依此推论，长水地震中反映牟家坝台至长水间27公里以上近地表岩层也是较复杂、破碎的。1981年11月9日河北宁晋由大区台网定为6级的地震，与震中附近台网所定震级相差很大（有的定为5.1，有的定为5.8）也似属此因。故总结地震波反映的这类特点，可对震中周围近地表岩层加深认识，这是一种天然的‘地震勘探’。

2、有感区的各向差异和主波导系数 G 。陇县4.3级地震固然由于震源较深（约23公里），波及范围会大一些，问题在于不同方位其大小差别很大。震中西北方向最大有感距离 L_1 比东南向的几乎小一个数量级。西北向估计因1920年海原8.5级特大地震造成大范围岩层破碎，快速衰减了震波；东南向可能岩体完整性好，传播较远，从历史地震看，这些地区是未发生过大于5级地震的少震区。这种差异可能反映了地壳介质在面上的不均匀性。有感，象别种测量一样，是震波能传播通过人这个‘仪器’的一种显示，具有度量意义。为消除震级影响，引入与单位断层长度相应的有感区长 G 。利用

$$M = \frac{4}{3} \lg L + 5.0, M \geq 7, M = 4 \lg L + 1, M \leq 7$$

* 陇县震后，仅在2月28日记到—0.8级一次、山阳震后，在距震中6公里处的20多天观测中仅记到微震4次，最大0.7级；石泉震后，未记一次。

计算地震断层长度, 以此除有感区最大长度 L_p , 即 $G = \frac{L_p}{L}$ 。试算一些地震结果见下表:

地震	震级	断层长度 L (公里)	有感区最大 距离 L_p (公里)	G	烈度 I
唐山	7.8	126	1175	9.3	11
松潘	7.2	45	500	11.1	9
山阳	4.5	7.5	14	1.9	6*
宁晋	6.0	17.8	375	26.7	6
陇县	4.3	6.7	240	35.8	5*
长水	4.2	6.3	180	28.6	5

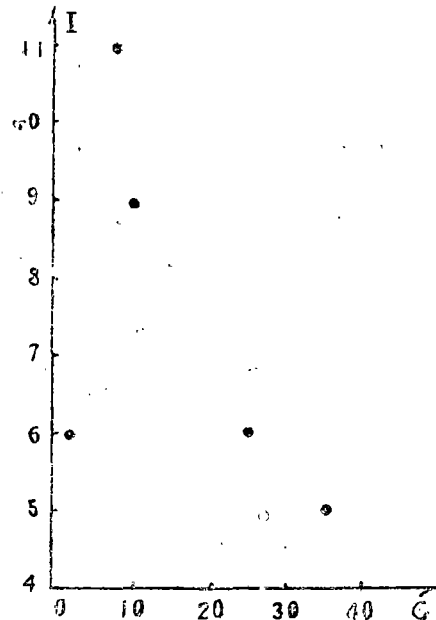


图 2

称 G 为主波导系数。联系 G 值与震中最大烈度似能看出, 主波导系数 G 较小的震中烈度较高, G 较大的震中烈度较低 (图2)。从物理机制讲, G 大可能表明了地震的主释放能量波的传播波阻小**,较畅通, 因此耗散弹性波能的范围大, 造成局部的破坏就小; 反之亦然。因之, G 表示了一次地震中主释放能波在岩层中的传播能力, 它是反映地震本身波频特性 (周期偏大或偏小) 和岩层品质的综合因子。

明确 G 有其实用意义, 一次破坏性地震突然发生后, 对震中烈度需迅速作出估计, 如知道震级和最大有感距离 (这在现代通讯中易获得), 就可根据 G 的大小做出烈度的概略估计。这对大陆强震的抗震救灾是有意义的。由于所用资料较少, 还得进一步验证。

3、三次4级地震的发生未表明区域地震活动的迅速增强。从已过去的事实看, 它们不是某些大地震的前震。按震源孕育的组合模式分析, 此类地震可能的机制是, 一个较小的积累单元镶嵌在一个较大的调整单元之中, 由于调整单元中介质较软弱且范围大, 使应力积累仅限于小范围, 相对的均匀性, 使其无前震; 震后由于有充分的让位容纳条件, 所以无余震。因此这类孤立型4级地震, 并不是较大区域构造运动加剧活动的结果, 不能依此作为一种将发生强震的信号。在遇有类似情况作判断时, 此特点可作为参考。

三、几点初步的认识

记录震相主要为 $\bar{P}$ 、 $\bar{S}$; P_{11} 、 S_{11} 的近震中台站, 可能主要受地壳上部复杂岩层影响, 使所定震级较大地偏离区域台网震级; 一次地震中对有感区的了解是必要的, 一般地说, 有感区大即 G 值大, 相应的震中烈度较低。 G 值取决于主释放弹性能波的频率大小、震源深度和岩石品质因子, 它可能有

** 不仅如此, 也和主释放能波的低频有关。

实用意义，无前震和无余震的4级地震，属孤立型地震，它的发生未反映出区域构造运动的迅速增强。

参 考 文 献

- [1]、卓钰如，Q值简介，地震，1982，3期。
- [2]、朱传镇等，海城地震前后微震震源参数与介质品质因子，地球物理学报，20，3，1977。