

从海原大震看我国特大地震 的震害特点及应从中吸取的对策经验

孙崇绍

(国家地震局兰州地震研究所)

摘 要

本文中,作者简要简述了海原大震的震害分布特点,指出了场地条件对震害分布的巨大影响。结合国内外其他大震,分析了大震时烈度的远场效应以及产生这种效应的机制。根据海原等 8 级以上大震的特点,从预报、区划和场地选择、规划工程以及抗震救灾等方面提出了特大地震的防震减灾对策。

海原大震,这个给当地人民带来巨大灾难的事件,已经过去七十年了。在七十年的时间里,很多科学工作者,从不同的角度全面地研究了这次大震。对这次地震的构造背景、震源特征、发震原因、大震前后的地震活动性以及震害分布等都进行了详细的研究,有了越来越深入的认识。为迎接国际减灾十年,笔者试图从震害分布的特点和机制,地面运动的特征等方面,以这次大震为例,分析特大地震的震害特征,为制定今后特大地震的减灾对策提供有益的经验。

一、特大地震的震害特点

1. 极震区的规模及其破坏状况

海原大震发生在本世纪初,当时世界上已建成了一些地震台站。根据仪器记录,其震级定为 8.5 或 8.6 级,实是世界上罕见的大震,在大陆内部,这样大的地震更属罕见。震后的调查表明,这次大震的发震构造是南西华山断层,发震时西起泰县的三塘东至固原县的确口形成一条长 210 公里的构造变形带,围绕这一构造变形带,形成 $X-XI$ 度的极震区, X 度区以内面积约 1.5 万平方公里。

规模如此巨大的极震区内,震害明显有以下三个特点:(1)建筑荡然无存或基本上荡然无存,即使是当时抗震性能最好的宫殿式穿斗木构架建筑物,也几乎毁于这次地震;(2)沿发震构造在地面形成一条巨大的、断续发育的构造裂缝带,裂缝带两侧有显著的地面变形,严重之处,山河易位、景观改变;(3)震感极其强烈,具有明显的上下颠动感及抛掷感觉。

截止目前为止,尚未获得到 X 度以上地震区的强震记录,因而对于这种特大地震的地震动的物理量尚无确切的数据可寻。 X 度以上的高烈度区的判定指标都是以地面的改观为依据,且各种指标也比较模糊。因此海原大震极震区究竟如何划分 XI 和 XI 度区域,难以确切判定。从地震对策的要求来看,这种划分的必要性也不大。纵观我国有史以来记到的 17 次 8 级以上的

大震^[1],震中所在的地点多是Ⅹ度或Ⅹ度以上。海原大震的规模与过去所记载的地震相比,是最大者之一,因此,我们认为,极震区的烈度为Ⅺ—ⅩⅠ度,震中一线达到了ⅩⅠ度。

从1303年我国第一个确认的8级大震——洪洞地震到现在680余年间,由8级大震形成的Ⅹ度及Ⅹ度以上地区的面积总计约12.8万平方公里,Ⅹ度及Ⅹ度区以上的地区总面积计30万平方公里,分别占我国国土总面积的1.33%和3.04%。平均每百年之内约有1.9万平方公里的地区遭受Ⅹ度及Ⅹ度以上的地震袭击,4.5万平方公里的地区遭到Ⅹ度及Ⅹ度以上地震的袭击。这种地区一旦发生在人口稠密、工业发达的地方(如唐山市),将是一场惨重的灾难。从经济建设的总体布局来看,主要的对策应从避绕特大地震发震地点出发,综合各种手段,尽可能准确地划出这种特大地震的危险区。

2. 极震区以外高烈度的分布特点

高烈度区指Ⅶ度以上的地区,8级以上的特大地震和较小一些的中强地震所造成的Ⅶ、Ⅷ度区在规模、破坏特点上有一定的差别。傅承义先生指出:“由小震过渡到大地震并不完全是量变过程,有些大震的特征是中、小地震所不具有的。”^[1]。

特大地震极震区外围高烈度区的分布具有以上所述的特殊性。

1)面积大。8级以上大震Ⅶ度以上的地区有时可占据很大的面积。

以海原大震为例,图1是笔者在1972年经过较详细的调查之后,在前人的基础上绘制的等震线。^[2]由此图看出,Ⅷ度区的范围从震中向南延伸达200公里之远,直抵西秦岭北麓。面积达5万平方公里之多。如此大范围的高烈度区与一般的烈度衰减规律颇有差异,是中强度的地震所不能比拟的。

2)受地貌及区域性场地条件约束明显。由图1,海原大震的Ⅷ度区为六盘山及西秦岭所环绕,占据了整个的陇西盆地。一进入基岩出露的山区,烈度迅速衰减。

高烈度区受地貌控制的现象在其他特大地震中也曾发生:如1556年陕西华县大震的等震线图(图2)表明,Ⅷ度区占据了整个汾渭盆地的西段,严格受秦岭和北山的控制;1739年宁夏平罗地震时,Ⅷ度区严格受银川平原展布范围的控制(图3)等等。

地貌的控制实际上是场地条件的控制。场地条件对震害的影响本是局部烈度异常的原因,但在特大地震时,区域性的场地条件差异对烈度的分布起到了显著的作用。单纯用统计方法得到的烈度衰减规律性有时难以充分预测大震发生后的实际情况。

3)烈度异常区发育。除了等震线形状的不规则而外,海原大震震区外围有明显的烈度异常区,其中最引人注意的是通渭Ⅹ度高烈度异常区和极震区内袁家窝窝Ⅶ度低烈度异常区。

8级以上特大地震的烈度异常现象非常普遍,从我国历史上发生在大陆上的14次特大地震中,可以圈出几十处烈度异常区,其发育情况为:(1)高烈度异常区往往出现在山间盆地内,特别是黄土或软土层发育的山间盆地内。(2)易液化土对大震反应敏感,与震级关系密切,如海滨、地下水位高的平原地区,即使距震中在几百公里之外,也容易出现砂土液化现象从而加重震害。(3)低烈度异常出现在基岩出露、覆盖土层较薄、或土层底部下伏地层较硬的地段,这种异常地段在以后的大震时还可能在原地重复。

4)地面变形和场地震害严重,海原大震表现最严重的地面变形是地面开裂和山体滑移,其中特别是山体滑移造成的经济损失和人员伤亡很大。图1中指出了这次大震时滑坡发育密集的地区。这些地区都在Ⅷ度和Ⅷ度以上的地段,但值得注意的是,滑坡集中的地段并不在震中或极震区内,滑坡的发育和当地的地质条件有密切的关系。

其他次特大地震高烈度区内,也都有不同类型、不同程度的地面变形和场地地震害。由于所处的地区不同,地面变形的类型也不一样。但这样大规模的地面变形和场地地震害是较小能量的地震不能引起的,是特大地震地震害的突出特点。

二、对特大地震远场效应机制的探讨

特大地震的远场效应是决定其震害特征的主要原因之一。特大地震发生时,由于从震源发出震动强度大、持时长且长周期分量,故当传播远处时,上述特性引起一系列与之有关的震害现象。

1. 远场效应与大面积的地面变形有关。

特大地震由于持时长、往复振动次数多,容易引起软土的沉陷和饱和砂土的液化,从而导致地基失效与震害的加重。

滑坡的发育也和大震的振动特性有关。从滑坡区的分布看来,海原大震时滑坡的发育和当地的地质条件及地震动强度有关,因为滑坡大都集中在Ⅷ度,特别是Ⅸ度以上的地区,由于地质条件的不同,震中区内的滑坡并不是连片分布,其规模也没有相邻的黄土地区大。1718年通渭地震($M7\frac{1}{2}$)也有类似的情况;滑坡并不集中在震中一带,而是集中发育在距震中西南约40公里处的常家河一带^[2]。由于特大地震的强度大,足以在相邻的较远的地区引起大面积的崩塌、滑坡、砂土液化等地形变现象。

2. 特大地震的振动特性易引起远场效应。在长距离的传播过程中,由于高频成份的衰减较快,因而在远处长周期分量所占比例更大。由于我们在海原震区尚未拥有足够的强震记录,下面采用理论分析的方法说明这一问题。

众所周知,大震时黄土地区局部地形对震害或烈度的分布有重要的影响:高处的震害显然高于低处。实际上这一现象与特大地震的远场效应有关。

图3是天水附近三阳川盆地的底部和周边黄土塬上分别用两种不同的输入波计算得到的地面加速度反应谱。两种输入在峰值振幅上都相当于Ⅷ度地震,但其中一个是震级较大的远震,另一个是震级较小的近震,输入波的频谱成分不同。计算结果表明,不同场地上振动特征的差别很大。黄土层的增厚等效于土层变软,自振周期加长。远震时,塬上在0.6秒左右有相当大的动力放大系数,而盆地底部动力放大系数的峰值在0.15秒左右;相反,近震时,盆地底部的状况与远震时相比,相差不大,然而黄土塬上的动力放大系数只对应0.2秒的周期,振动特征与远震相比差别很大。可见,震级较小的近震时由于地震波自身的低频成分较少,不易激发场地自身的低频振动。对盆地内部来说,小震与大震所引起的地震动相差不大;而对盆地周围的黄土塬来说,二者的差别却不容忽视,土层的增厚等效于土质变软,由于黄土的非线性性质,黄土塬的放大作用在大震时特别显著。这反映了大震的远场效应,其震害分布特征不是小震震害的线性放大。

最突出的远震影响在1985年9月19日墨西哥西海岸 Michoacan 地震($M_s=8.1$)时在墨西哥城出现,并且可从当时取得的强震记录得到证明。^[3]。位于该城湖区软弱场地和周围的坚硬基岩场地相比,远处的特大地震作用下,湖区场地在超低频(0.2—0.5赫芝)范围内很强的放大作用;相反,在弱振动时(城市噪音),同样在湖区,其最强的放大作用在0.8—1赫芝范围内。可见,较弱的震动不足以激发低频共振。M. Celebi等在研究墨西哥 Michoacan 地震时,把这一现象称之为远场效应(long—distance effect)。其性质和海原大震时的效应完全相同。可见,远场效

应是海原这样的特大地震的特点,在大震的震害分布中起着重要的作用。

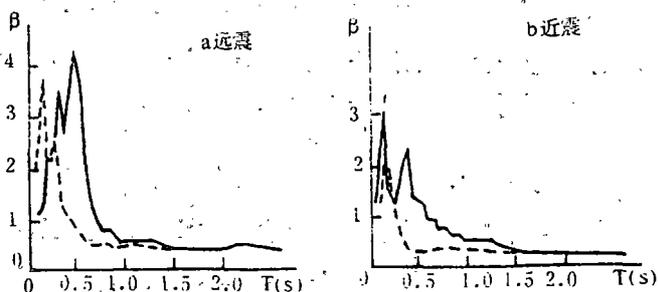


图 天水附近三阳川盆地内部与周围山坡强震地面反应的比较

三、大震对策中的若干问题

8级以上的大震发生次数稀少、受灾面积大、灾情严重。一旦发生,就会造成极大的灾害和损失,要做好诸如海原这种特大地震的防震减灾工作,需要采取综合性的对策。

1. 预报对策,特别是长期预报对策。特大地震在一个地震区、带内的重现周期很长,在同一地点重现的机率更小,平均都在千年以上。目前一般的地震活动性分析很难具体指出未来可能发生8级特大地震的地段。需要采取综合的方法从地震地质、地球物理、地震活动性特点等多种途径划出未来可能发生特大地震的部位,配合中、短期地震预报,尽量设法指出发生这种大震的危险区。

2. 区划和场地选择对策。区划对策是减轻8级大震震害要的重要手段,其中需特别注意以下几个问题:

1)大震极震区几乎都和全新世以来的强烈活动的区域性断裂有关,发震时沿断裂在地面产生永久性的地形变,产生永久性位移。极震区的长轴沿此断裂分布,但向断层两侧延伸不远。极震区往往发育在一个狭窄的地带之内。因此,在进行地震烈度或场地区划时,特别注意划出全新世区域性活动断裂的展布范围。

2)注意不稳定的场地。与一般中强震对策相比,需要在相当大的范围内注意不稳定场地,其中最突出的问题是不稳定的山坡和大面积的液化区。

从海原地震的震害分布来看,特大地震时山坡的失稳有其特殊的规律性,有必要对其进行专门的研究。

3)西北黄土分布地区历来是特大地震作用下大面积的高烈度区,除山坡的稳定性而外,应注意地形的影响。在计算黄土地区强震地面运动参数时,应充分考虑大震和远震的作用。

4)注意高烈度异常区。松软土层发育的大河谷地、盆地、山前细土平原软土发育区常是特大地震发生时的高烈度异常区。烈度增高时的破坏机制也很复杂,除应注意地基失效所引起的震害加剧而外,还应注意这些地段强震地面运动规律的特殊性。

3. 规划和工程对策

首先,应重视建筑物类型的选择以及与所在场地之间自振特性的匹配问题。特大地震时,

长周期分量增大,特别是在软弱场地上,长周期分量振动决不能低估,在城市规划及选择建筑物类型时,事先就要考虑到这点。

经验表明,特大地震时,地面运动的长周期分量可能比实际计算的还要大。因此,在有关建筑法规允许的前提下,应加强对地基的处理,并采取有效的工程、建筑等方面的措施增强建筑物的抗震稳定性。

4. 救灾对策

海原大震的经验表明,8级大震重灾区面积大、重灾区之内的各城镇和居民点同时遭灾,且生命线工程的破坏往往很重(如能源输送中断、交通、通讯中断等),从而使大面积的灾区失去自救和互救能力,为震后的救灾工作增加了很大的困难。在编制抗震防灾规划时应充分考虑到这一点并注意生命线工程维护加固和震后的检修工作。

海原大震七十周年恰逢国际减灾十年。我们应进一步研究这次大震所提供的有关信息,从中吸取经验教训,用于今后的防震减灾工作中去。

结 论

1. 海原大震是一次罕见的破坏性特大地震,其震中烈度达 XI—XII 度,受灾面积达数万平方公里。烈度分布和地震影响场十分复杂。场地本身震害严重,场地因素在震害分布中起着相当重要的作用。

2. 海原大震表现了明显的远场效应。这次大震的长周期分量引起黄土塬(特别是塬边)和远处较厚软土层充填的山间盆地的共振,造成突出的地形影响和远场软土分布的烈度异常。

3. 海原大震的经验表明,对特大地震须采取综合性的对策,包括预报、区划、工程、救灾等各个方面。其中场地选择是不可忽视的环节,尤其要避开发震构造和不稳定的山坡。这样,在特大地震影响地区,也能做到减轻灾害的目的。

参考文献

1. 郭增建、马宗普主编:《中国特大地震研究》(一)地震出版社,1988,北京。
2. 《一九二〇年海原大地震》,地震出版社,1980,北京。
3. 刘百箴、周俊喜等:1718年通渭地震和1654年天水地震区航空照片判读,地震科学研究,1984年第1期。
4. M. Celebi, C. Dietel, Site Amplification in Mexico City, Ground Motion and Engineering Seismology, 1987.