

# 特大地震的震害特征

孙崇绍

(国家地震局兰州地震研究所)

## 摘 要

本文根据我国发生的17次8级以上的大震资料,着重讨论了特大地震的震害特点、破坏类型及若干对策问题,强调指出了区域性的场地条件,特别是黄土和软土分布区对震害的影响,因此,在选择建筑场地时,除应避开发震断层外,更主要地应避开易产生各种场地震害的地段,同时要注意等震线的不对称性和长周期震动对远处的影响。

**关键词:**特大地震;震害;地震对策

特大地震通常指8级及8级以上的大震。这种地震很少发生,一旦发生则造成极大的破坏和伤亡。我国是世界上8级大震最集中的地区之一。自有历史记录以来,较为公认的8级以上大震已有17次。因此,本文拟研究特大地震的震害特征,为预测未来可能发生8级地震的区域的震害分布、影响程度、地形变的发育等提供依据,及为大震对策、抗震防灾规划的制定以及场地选择、工程抗震措施等提供必要的依据。本文的研究主要以我国发生的17次特大地震的资料为基础,同时也引用了近年来发生的一些7级以上强震的资料,以补充说明。

## 一、特大地震震害分布

### 1. 极震区的烈度

按照我国的烈度表<sup>[1,2]</sup>,各次大震的烈度至少在X度以上。根据文献[4]给出的经验公式 $M=0.58 I_0 + 1.5$ 计算,8级地震的震中烈度为XI,8.5级地震的震中烈度为XII。但是,实际上很难在X度区内再明确划出XI度或XII度区的具体范围。这是由于地面变形既与地震动的特征有关,也与当地的场地条件有关。如同样是发生在鄂尔多斯周边张扭带上的两次8级地震——1556年华县地震和1739年平罗地震,由于前者发生在黄土地区,地裂缝极为发育;后者发生在黄河冲积平原之内,地表以亚粘土、砂层为主,因此地震时最突出的现象是喷水冒砂。又如山区可能发生大规模的崩滑,而平原区则不会发生等等。

另外,强烈的地形变不一定都发生在极震区内。如1920年海原大震时,滑坡最严重的地区是极震区以南的黄土丘陵地区。何况由于特大地震的震源体很大,巨大的能量是在相当大(至少在100公里以上)的极震区范围内释放出来的,这样使得极震区内某一具体地点所吸收的能量有一定的限制。

因此,仅根据地形变的种类及严重程度难以准确判定XI和XII度区的界线。

笔者认为,8级地震极震区烈度定为X—XI,8.5级地震极震区烈度定为XI—XII是较为适宜的。

## 2. 等震线形状

各次大震高烈度区等震线参数见表1。由表1可见:

表1 我国大陆14次特大地震的等震线形状

地震年代	震中位置	震级(M)	震中烈度	等震线的形状(长轴(公里)长轴:短轴) 短轴(公里)			
				X度(包括X度以上)	IX度	VIII度	VII度
1303	山西洪洞	8	XI	$\frac{44}{18}2.44$	$\frac{198}{56}3.54$	$\frac{340}{106}3.21$	$\frac{500}{165}3.03$
1556	陕西华县	8	XI	$\frac{165}{45}3.67$	$\frac{270}{80}3.38$	$\frac{420}{110}3.82$	—
1668	山东郟城	$8\frac{1}{2}$	XII	$\frac{234}{104}2.25$	$\frac{318}{198}1.61$	$\frac{510}{324}1.57$	$\frac{702}{672}1.04$
1679	河北三河	8	XI	—	$\frac{80}{36}2.22$	$\frac{160}{88}1.82$	$\frac{272}{160}1.70$
1695	山西临汾	8	X	$\frac{31}{22}1.41$	$\frac{80}{58}1.38$	$\frac{130}{90}1.44$	$\frac{316}{200}1.58$
1739	宁夏平罗	8	X+	$\frac{63}{20}3.15$	$\frac{95}{40}2.38$	$\frac{160}{60}2.67$	—
1833	云南嵩明	8	XI	$\frac{83}{18}4.61$	$\frac{130}{30}4.33$	$\frac{190}{71}2.68$	$\frac{417}{184}2.27$
1902	新疆阿图什	$8\frac{1}{4}$	XII	$\frac{159}{48}3.31$	$\frac{275}{116}2.37$	$\frac{449}{239}1.88$	$\frac{712}{452}1.58$
1906	新疆玛纳斯	8	X	$\frac{40}{20}$	—	$\frac{113}{60}1.88$	$\frac{223}{118}1.89$
1920	宁夏海原	8.5	XII	$\frac{240}{79}3.04$	$\frac{260}{130}2.00$	$\frac{357}{2.00}1.79$	—
1927	甘肃古浪	8.0	XI	$\frac{114}{42}2.71$	$\frac{170}{54}3.15$	$\frac{252}{90}2.80$	$\frac{414}{162}2.56$
1931	新疆富蕴	8.0	XI	$\frac{140}{17}8.24$	$\frac{203}{64}3.17$	$\frac{328}{133}2.46$	—
1950	西藏墨脱	8.6	XI	$\frac{420}{240}1.75$	$\frac{580}{320}1.81$	$\frac{708}{414}1.71$	$\frac{8.80}{534}1.65$
1951	西藏当雄	8.0	XI	$\frac{100}{25}4.00$	$\frac{190}{80}2.38$	$\frac{290}{135}2.15$	$\frac{370}{200}1.85$

(1)各次地震的等震线的规模相差很大,这可能是由于年代久远的大震的等震线勾画得不一定准确所致。根据本世纪我国发生的几次8级地震的情况,特大地震的X度区的长轴应在100—150km左右。

(2)根据郭增建提出的震级—断层破裂长度之间的关系式计算<sup>[6]</sup>,8级大震的破裂长度大都与各次地震的IX度区长轴相当。

(3)等震线呈椭圆形,其长短轴之比变化很大,以X度区的等震线为例,其比值从1:8

到1:14不等,大多数的比值在2—4之间。Ⅷ—Ⅵ度等震线长短轴之比一般在1.5—2左右。

(4)极震区附近等震线的形状和震源机制或断裂活动的方式有关。震中的两侧的等震线较多呈现不对称。一般情况下,断层上盘所遭受的震害比下盘重。如1920年海原大震,位于断层上盘的等震线显然比下盘处的稀疏。另外,等震线明显地在坚硬的场地一侧密集,在松散场地一侧稀疏。如1556年华县大震和1920年海原大震都发生在黄土地区的山前地带。其Ⅷ度区等震线短轴在震中两侧的长度相差1.5到1.8倍,Ⅵ度区相差更多。

(5)极震区外围等震线的位置明显受地貌控制,这在Ⅶ—Ⅷ度区最为常见。如1303年洪洞地震Ⅷ度区在西南端以运城盆地的边缘为界;1556年华县地震的Ⅸ度区范围受渭河、黄河和涑水河谷的约束,Ⅷ度区的实际界线是渭河盆地周围的基岩山区边界(图1);1920年海原大震的Ⅷ度区包括了整个的陇西黄土高原,以西秦岭和六盘山的基岩山区为界等等。

我国近年来发生的邢台、通海、海城、唐山等强震以及国外的较大地震的等震线的形状也明显受地貌界线的控制<sup>(6)</sup>。因此,特大地震震中周围100—200km范围内的基岩山区的边界往往是某一中、高烈度等震线通过的地带。

### 3. 烈度异常区

烈度异常区系指在某烈度区内孤立出现的高出或低于当地及周围烈度的区域。

据不完全统计,有8次特大地震伴随有烈度异常区。可以明确勾画出的烈度异常区大约35处,其中高烈度异常区21处,低烈度异常区14处。

(1)高烈度异常区往往都出现在山间盆地内,如1679年三河地震时山西的徐沟—太谷异常区,1668年郟城地震时江西的吉安—金溪、彭泽—都昌,湖北的汉川—沔阳,浙江的桐庐—淳安,1556年华县地震时甘肃的平凉—灵台异常区等。有的距震中相当远,如吉安—金溪异常区距震中700—800km,徐沟—太谷异常区距震中420km,平凉—灵台异常区距震中250km等等。

在大震对策和抗震设防方面,需要考虑特大地震的远场效应。这是由于远处的震动表现为长周期分量的大幅度增大,个别情况下具有特定自振周期的建筑物可能遭到严重的破坏。如1976年唐山地震时,地处Ⅶ度区的天津市的烟囱和高大的工业厂房破坏严重,震害可达Ⅷ度<sup>(2)</sup>。

(2)由场地因素引起的异常区在以后的地震中可能重复出现。如1679年三河地震时的Ⅶ度区中的玉田低烈度异常区(Ⅵ),在1976年唐山地震时重复出现<sup>(10)</sup>;1303年洪洞地震时Ⅷ度等震线向南延伸,绕过了运城盆地西北隅的万荣县,1556年华县地震时,万荣县再次呈现为低烈度异常区;1604年泉州地震时浙江的建德为高烈度异常区,1668年郟城地震时再次重现(淳安—庐桐高烈度异常区);1556年华县地震时江汉平原的高烈度异常区在1668年郟城地震时重现等等。

## 二、特大地震的破坏特征

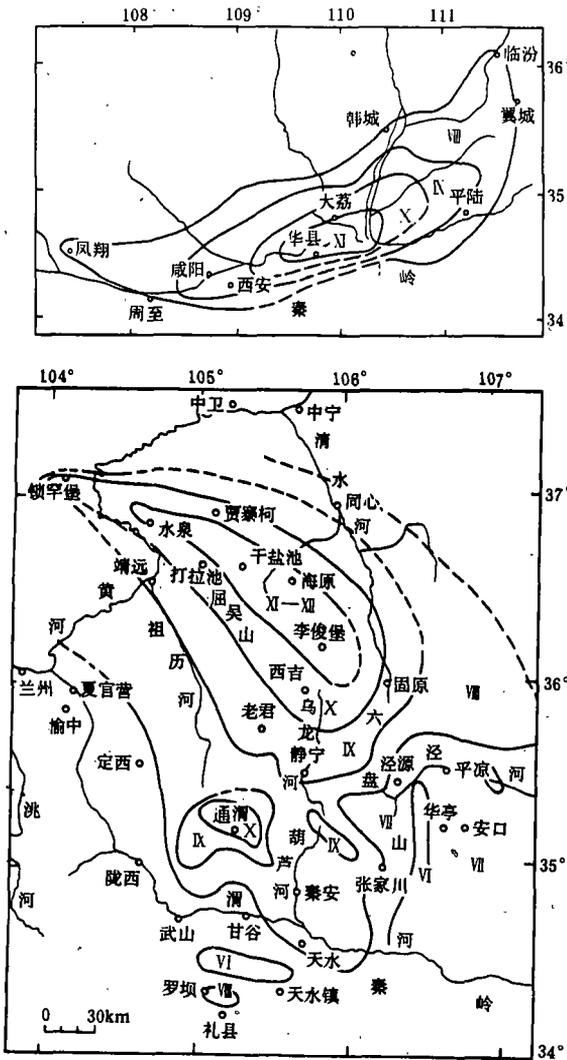


图 1 1556 年华县大震<sup>[6]</sup>(上)和 1920 年海原大震<sup>[7]</sup>(下)等震线

Fig. 1 Isoseismic contours of the 1556 Huaxian earthquake (upper) and the 1920 Haiyuan earthquake (lower)

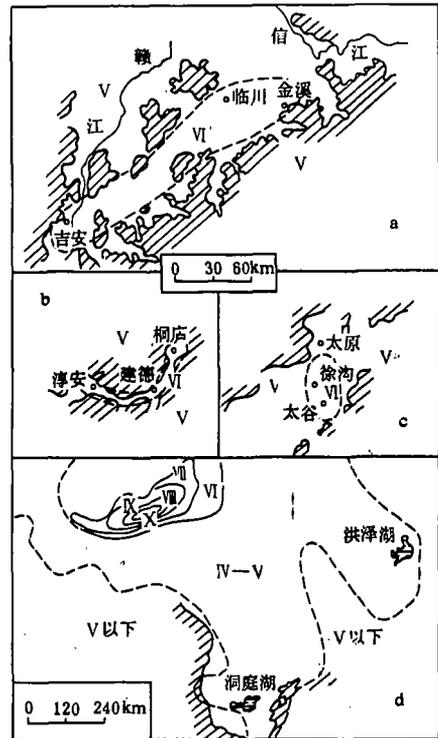


图 2 几次特大地震远离震中的烈度异常区(图中阴影部分表示山区)

- a. 1668 年郟城地震的江西吉安—金溪高烈度异常区
- b. 1604 年泉州地震, 1668 年郟城地震的浙江建德高烈度异常区
- c. 1679 年三河地震时山西太谷高烈度异常区
- d. 1556 年华县地震时, IV—V 度等震线

Fig. 2 Distribution of intensity anomaly during some violent earthquakes

地震时建筑物的破坏可以直接由地震动引起,也可以间接地由地基失效而引起。因此,在分析历史特大地震震害时,要注意:

(1)两种因素所引起的破坏程度都由震中向外衰减,但衰减的速度不一定相同。

(2)各种地形变最严重的地带都在高烈度区,但发育最严重的地区不一定是震中区。

(3)各种地基失效现象不一定发生在同一烈度区内,同是很严重的地基失效现象其所在地的烈度未必相同。

分别考虑震害的两种机制对于大震对策、判定历史特大地震震中位置等是很重要的。例如1920年海原大震时,大规模的滑坡并不在震中区,而是在震中以外几十公里处的高烈度区<sup>(7)</sup>。如果仅根据滑坡的规模判定震中,则会出现误判。

表2定性列出了我国若干次特大地震时出现的地表震害现象,在此表内,根据分布范围和造成的后果,粗略地将震害划分为几个档次。

表2 我国大陆若干次特大地震地面变形

年代	震中位置	地面变形(一无或漏记,+轻微,++中等,+++严重,++++极重)						
		构造裂缝	非构造裂缝	山石滚落	崩塌	滑坡	喷砂冒水	塌陷
1303	山西洪洞	不详	+	+	+	+++	++	+
1556	陕西华县	++++	++++	+	+	+++	+++	++
1668	山东郟城	++++	++++	+++	++	+	+	++
1679	河北三河	++	+++	+	+	+	++	+
1695	山西临汾	-	+	+	-	+	+	-
1739	宁夏平罗	+	++	-	-	-	++++	++
1833	云南嵩明	++	++	++	++	+	++	-
1902	新疆阿图什	+++	++	+++	+++	++	+	+
1906	新疆玛纳斯	++	++	+	-	+	+	+
1920	宁夏海原	++++	++	+	+	++++	+	+
1927	甘肃古浪	+++	++	++	++	-	++	-
1931	新疆富蕴	+++	+	+++	++	-	+	+
1950	西藏墨脱	++	+	+++	++++	++	++	-
1951	西藏高雄	+++	+	++	-	-	+	+

场地震害主要有地裂、崩滑、喷砂冒水和地面陷落等几种类型,其分布和发育有如下几个特点:

(1)特大地震都伴有明显的构造裂缝,构造裂缝集中分布在震中部位,其展布的总体方向和发震构造方向一致,长度随震级而异。

非构造裂缝发育在极震区及附近的高烈度区域内,属重力裂缝,大多分布在陡崖、河岸或砂土液化地区。

构造裂缝的规模很大,实际深度可达10米以上<sup>(8)</sup>,往往是断层两侧张扭带出现的开裂,但不一定就是断层本身。由于其分布的局限性,直接造成的伤亡和破坏不多。

(2)崩滑现象发生在山区或丘陵地带。几乎每次特大地震时都有有关崩塌、滑坡、山石滚落和泥石流现象的记载,它们的类型和规模与当地的自然条件有关。1902年的阿图什地震和1950年西藏墨脱地震时,崩塌的规模很大,但由于高山地区人烟稀少,实际上因崩塌而造成的伤亡和破坏不多。

(3)直接造成伤亡和破坏最多的是滑坡。在我国的特大地震中,滑坡发育最严重的是1303年洪洞地震、1556年华县地震和1920年海原地震。这三次地震都发生在黄土地区。地震时滑坡连片发生,受灾面积很大。

(4)喷砂冒水灾害发育在地势平坦、地下水埋深浅、地表以下有饱水的可液化土(粉、细砂、轻亚粘土等)的地区。历史上的特大地震中,以1739年平罗地震时砂土液化现象最为严重。因为这里地处银川黄河冲积平原,具备发生饱和砂土受震液化的条件。

喷砂冒水直接造成的伤亡一般不多,但往往使大范围内震害加剧。加重大面积的建筑物破坏以及交通、灌溉设施的破坏,毁坏农田,造成的经济损失很大,给震后恢复带来相当大的困难。

以上各种场地震害之中,构造裂缝发育在Ⅹ度以上的极震区范围之内;大规模、大面积的崩塌、滑坡大多发生在Ⅸ度及Ⅹ度以上的地区,Ⅷ度地区也可能发生,但规模较小且不连片分布,Ⅷ度区内除个别不稳定的山坡、崖边而外,一般不发生滑塌现象;砂土液化现象完全可能在Ⅷ度区内甚至烈度更低的地带发生,而且可能延伸至距震中很远的地方。

### 三、与场地选择有关的特大地震对策

地震对策包括的范围很广,涉及到预报、工程抗震、救灾以及其他方面。特大地震对策有其特殊之处。首先,对于8级大震的预报经验少,难度大。要切实预报特大地震发生的时间和地点是相当困难的。其次,8级大震的影响范围很大,极震区长度就可能达到100km以上,在距震中相当远的地方也有可能遭到很大的破坏。由于8级大震地震波中的长周期分量丰富,在距震中数百公里以外的松软场地上引起长周期效应,有可能对有些建筑物造成严重灾害。在这样大的范围内,考虑对策问题,当然是相当困难的。

本文从对8级大震震害特征的研究出发,就有关场地选择方面的工程对策提出如下建议:

1. 由于8级大震的发生都与区域性的活动断裂有关,因此,选择工程场地应避开区域性的活动断裂。

2. 注意研究场地的抗震性能。特大地震尽管破坏面积大,但也有相对破坏较轻的地段。多数实例表明,选择对抗震有利的场地可以达到减轻震害的目的。

8级大震的影响范围大,不可能在如此大的范围内进行小区场地的选择,因此,重要的是掌握场地的稳定性,有针对性采取相应的工程措施。

3. 注意等震线衰减的不对称性。特大地震等震线明显在山区一侧密集,在松软地层一侧稀疏。区域性、大面积的松软土层包括黄土、各种软土、滨海、滨湖淤泥质土等。在进行地震危险性分析时应充分考虑这一因素。

4. 注意远处长周期效应的影响。特大地震发生时,在距震中较远处松软的场地上,如软土厚度大的小盆地中长周期效应容易被放大,对建筑物很不利。对于这种场地,在进行地震危险性分析的同时应结合对场地效应的分析充分估计远处大震作用下场地的震动特性。

5. 注意各种人为因素的影响。对地震区内兴建的各种工程设施,要考虑其对震害的影响,特别要注意改变边坡形状和改变土层含水条件的工程设施的影响。

总之,特大地震虽然是极其严重的自然灾害,但只要认真研究其震害分布特性,采取相应的对策,就可防患于未然,将损失减小到一定的程度。

(本文1992年6月29日收到)

### 参考文献

- [1] 谢毓寿,新的中国烈度表,地球物理学报,Vol. 6, No. 1, 1957.
- [2] 胡聿贤,地震工程学,地震出版社,1988.
- [3] 李永善等,华县大震震害与古地震遗迹探讨,史前地震与第四纪地质文集,陕西科学技术出版社,1982.
- [4] 顾功叙,《中国地震目录》编辑说明,中国地震目录,科学出版社,1983.
- [5] 马宗晋、郭增建,中国特大地震研究(一),地震出版社,1988.
- [6] 刘庆民,震级与震源长度关系的讨论,西北地震学报,Vol. 1, No. 1, 1979.
- [7] 国家地震局兰州地震研究所、宁夏回族自治区地震局,一九二〇年海原大地震,地震出版社,1979.
- [8] 郭增建、陈鑫连,地震对策,地震出版社,1986.
- [9] 郭增建,1556年1月23日关中大地震,地球物理学报,Vol. 6, No. 1, 1957.
- [10] 刘恢先,唐山地震震害(一),地震出版社,1987.
- [11] 许国昌,强震区人工岩质路堑边坡的破坏及稳定性评价,西北地震学报,Vol. 3, No. 3, 1981.

## THE CHARACTERISTICS OF VIOLENT EARTHQUAKE DISASTER

Sun Chongshao

(*Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, China*)

### Abstract

Based on the data of 17 earthquakes ( $M \geq 8$ ) in China, the author studies the disaster characteristics, destruction types and some countermeasures. The effects of regional site condition, especially the loess and soft soil on disaster are emphasized. It is indicated that for site selection in seismic regions with high intensity, besides the causative faults, it is important to avoid disadvantageous region where the site damages are easily caused; it is necessary to pay attention to asymmetric character of isoseismic contours and the effects of long period vibration on distant site during great earthquakes.

Key Words: Violent Earthquake; Disaster; Countermeasure