

# 陕甘宁晋地区黄土地震滑坡 致灾距的初步研究\*

才树华 王兰民 袁中夏

(中国地震局兰州地震研究所, 兰州 730000)

**摘要** 通过对陕甘宁晋地区黄土滑坡震害资料的分析, 提出了地震滑坡最大致灾距的确定方法. 依据区内80个地震的滑坡震害资料的非线性拟合, 初步建立了地震震级( $5.5 \leq M_s \leq 8.0$ )与地震滑坡最大致灾距的定量关系. 为了更精确地分区研究这种关系, 还进一步讨论了地震滑坡灾害的主要影响因素.

**主题词** 陕西—甘肃—宁夏—山西地区 黄土 地震滑坡致灾距

**中国图书分类号** P315; P642.22

## 0 引言

众所周知, 地质灾害有内力和外力两种成因类型. 滑坡、崩塌同样可划分为构造和非构造两种类型. 本文探讨的是黄土分布区与地震活动同时发生的黄土滑坡和崩塌(不包括地震造成的基岩崩、滑)的致灾距.

在我国黄土的分布很广, 东起黄海之滨, 西至新疆地区均有分布. 其中, 在 $34 \sim 41^\circ\text{N}$ ,  $102 \sim 114^\circ\text{E}$ , 即在贺兰山—乌鞘岭—日月山以东, 太行山以西, 大青山以南, 秦岭以北地区黄土的分布尤为集中. 在行政区划上包括了甘肃省的中部和东部、陕西省的中部和北部、宁夏回族自治区、山西省、以及青海省、内蒙古自治区、河南省、河北省和北京市的部分地区. 区内地震活动频繁, 是我国强震的主体活动地区之一, 也是我国历史地震记录最早, 史料最为集中的地区. 国内外对黄土地震灾害的现场调查与研究报道表明<sup>[1,2]</sup>, 地震滑坡、液化和震陷是黄土地区的主要岩土地震灾害. 这些灾害具有易于触发、规模大、破坏性强、难以防治和导致其它次生地质灾害等特点, 并给震害影响区造成巨大的人员伤亡和财产损失.

地震滑坡是黄土分布区的主要震害类型之一. 它的空间分布和危害程度与地震带的展布、地震活动强度、岩土动力学特性及地形地貌特征等因素有关, 其中与地震活动强度的关系尤为密切. 本文以区内具有较详细史料记载和现场考察资料的80个历史和现今地震作为样本并进行了统计, 初步建立了地震震级( $5.5 \leq M_s \leq 8.0$ )与地震滑坡最大致灾距的定量关系. 这是黄土地区I级地震区划的重要依据之一, 并为更加详细的地震区划奠定了基础<sup>[3]</sup>.

## 1 黄土地震滑坡最大致灾距的确定方法

收稿日期: 1998-04-07

\* 地震科学联合基金资助项目(批准号: 196133)

第一作者简介: 才树华, 男, 1940年6月生, 副研究员, 从事地震地质研究工作.

黄土地震灾害区划是根据历史地震灾害史料、现场调查资料和有关试验研究成果对未来的地震灾害分布所作的一种预测<sup>[4]</sup>。而任何一项这种具体的预测都以一个确定的潜在震源区为前提,目前国内外一般是按照发震断层来勾划潜在震源区的<sup>[5]</sup>,常用点源、线源或面源来表示。因此,我们分别定义了两种黄土地震滑坡致灾距,即最大致灾震中距( $D_e$ )和最大致灾断层距( $D_f$ ),以便在区划时用于不同情况。

大量资料表明,几乎所有发生在黄土地区的5.5级以上地震均可引发程度不等的滑坡,且滑坡的分布密度随 $D_e$ 或 $D_f$ 的增大而减小<sup>[6,7]</sup>。为此,我们将一次地震引起的滑坡相对密集的地区定义为地震滑坡的集中区,在集中区,滑坡往往成群连片分布,滑坡个数占该次地震滑坡总数的80%~90%;而把滑坡零星分布的地区称为散布区,在散布区,滑坡(包括崩塌)多为单体分布,滑坡个数约占滑坡总数的10%~20%。从滑坡集中区(或散布区)外包线到地震震中的最远距离被称为地震滑坡的最大致灾震中距,而从外包线到发震断层的最大垂直距离被称为地震滑坡的最大致灾断层距。

由于在以往对历史地震的现场考察工作中,没有对所有地震引起的滑坡分布进行过调查,因此要想完全按照统计的方法确定黄土地震滑坡的最大致灾距是不可能的。我们根据1303年山西洪洞8级地震、1556年陕西华县8 $\frac{1}{4}$ 级地震、1654年甘肃天水南8级地震<sup>[8]</sup>、1695年山西临汾7 $\frac{3}{4}$ 级地震、1718年甘肃通渭南7 $\frac{1}{2}$ 级地震<sup>[8]</sup>、1920年宁夏海原8.5级地震、1927年甘肃古浪8级地震、1990年甘肃天祝、景秦6.2级地震<sup>[9]</sup>和1995年甘肃永登5.8级地震<sup>①</sup>引起的黄土滑坡的现场调查资料发现,滑坡集中区均在地震烈度IX度以上地区,而散布区多在VIII~VII度区。因此,我们把IX度区等震线到震中(或发震断层)的最远距离(或最大垂直距离)确定为地震滑坡集中区的最大致灾震中距(或断层距),而把VII度区等震线相应的距离定义为地震滑坡散布区的最大致灾震中距(或断层距)。

历史地震的震中是以史料记载烈度最大的州、府、县治,或极震区的几何中心来确定的。现今地震的宏观震中为烈度最高、地表形变破坏最重的地点(区),或为极震区的几何中心。历史地震发震断层的确定原则是,凡有现场考察资料的以资料确定的为准,无考察资料的暂以极震区的长轴替代。现今地震的发震断层也大致如此确定。对由隐伏断层或多组构造控制的地震,其断层距主要依据地震烈度的分布特征分析确定。

按照上述原则和方法,我们对发生在陕甘宁晋黄土地区有地震烈度图的80个 $M_s \geq 5.5$ (个别为 $5.0 \leq M_s \leq 5.4$ )或震中烈度大于VIII度的地震作了滑坡致灾距的统计(图1),并建立了表1所示的震级 $M_s$ 与最大致灾距的经验公式。

## 2 区内黄土地震滑坡最大致灾距

按上述地震滑坡最大致灾距的确定方法和相应经验公式,分别计算了区内不同震级下黄土地震滑坡的最大致灾距(表2)。由于区内只记载一次8.5级地震(1920年海原地震),所以表2只给出 $5.5 \leq M_s \leq 8.0$ 地震相应的最大致灾距。经对比,表2中算得的 $M_s 8.0$ 地震的最大致灾距多数大于实际数值,这可能与该级别地震的个数较少有关,在应用时一定要慎重。

## 3 东、西部地区黄土地震滑坡最大致灾距对比

陕甘宁晋及边邻的黄土地震区处在地质构造演化和现代构造运动具明显差异的华北块体

① 国家地震局兰州地震研究所. 1995年7月22日永登5.8级地震现场考察、震后对策和发展机制. 1995.

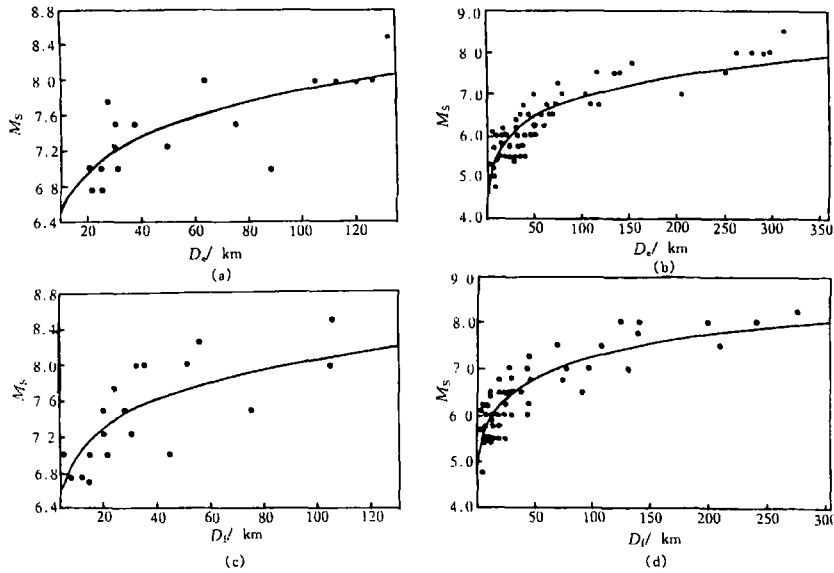


图1 震级与黄土地震滑坡致灾距关系曲线

Fig. 1 The relationship between earthquake magnitude and seismic landslide distance in loess area.

(a) 集中区的  $D_c$ ; (b) 散布区的  $D_c$ ; (c) 集中区的  $D_f$ ; (d) 散布区的  $D_f$

表1 黄土地震滑坡最大致灾距经验公式

滑坡分区	震级与最大致灾震中距关系式	相关系数 $r$	震级与最大致灾断层距关系式	相关系数 $r$
集中区	$M_S = 5.5161 \cdot D_c^{0.078}$	0.83	$M_S = 6.0626 \cdot D_f^{0.062}$	0.80
散布区	$M_S = 4.3604 \cdot D_c^{0.101}$	0.91	$M_S = 4.6632 \cdot D_f^{0.095}$	0.89

西部和青藏块体东北部. 现以这两大块体交界的六盘山为界, 以东西两区各 40 个地震为据分别统计其滑坡致灾距(图 2 和图 3), 并建立了相应的震级与最大致灾距的经验公式(表 3 和表 4). 依照上述黄土地震滑坡最大致灾距的确定方法和相应的经验公式, 分别计算了东、西部地区不同震级下黄土地震滑坡的最大致灾距(表 5 和表 6).

表2 用经验公式算得的黄土地震滑坡的最大致灾距

震级 ( $M_S$ )	最大致灾震中距(km)		最大致灾断层距(km)	
	集中区	散布区	集中区	散布区
5.5		10		5
6.0		23		14
6.5	8	52	3	33
7.0	21	108	10	71
7.5	51	214	31	148
8.0	117	406	87	293

表 5 和表 6 说明,  $7.0 \leq M_S \leq 7.5$  是东、西部地区地震滑坡集中区最大致灾震中距和断层距的分界震级. 当  $M_S \geq 7.5$  时, 西部区的两种最大致灾距均大于东部区; 当  $M_S \leq 7.0$  时, 东部区的反而均大于西部区.  $M_S = 6.5$  是东、西部地区地震滑坡散布区最大致灾震中距的分界震级. 即当  $M_S = 6.5$  时, 两区的地震滑坡散布区最大致灾震中距相等; 当  $M_S \leq 6.0$  时, 西部区的为大; 当  $M_S \geq 7.0$  时, 东部区的为大. 各震级下的地震滑坡散布区的最大致灾断层距, 均为西部区略大.

上述现象似乎说明六盘山以东和以西地区高震级致灾距差别不显著, 差异主要表现在低震级下, 即东部区明显大于西部区. 造成这种差异的原因是复杂的, 但其中显见的因素有两种. 首先, 六盘山以东是我国历史上经济发达、人口集中、城镇密集地区. 该区地震记录较详细, 因此地震破坏程度和范围的划分相对准确, 而六盘山以西地区历史地震记录欠详, 破坏程度和范

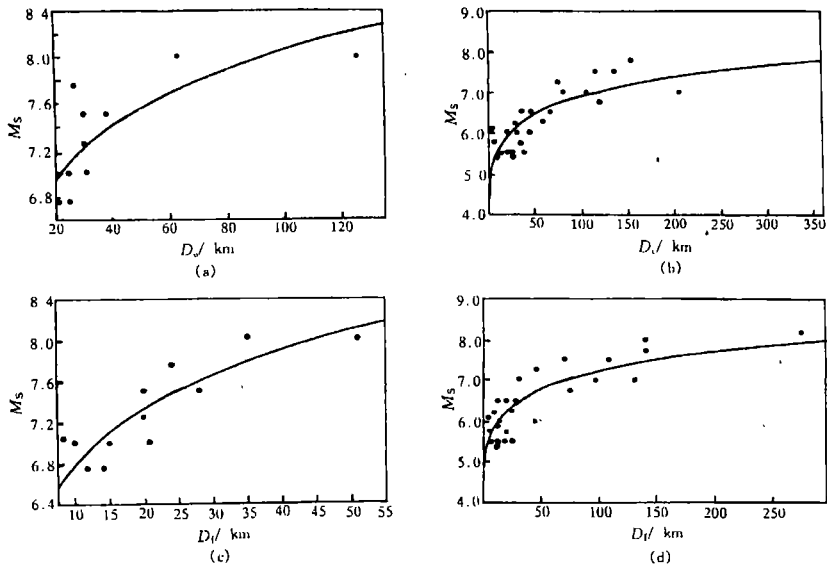


图2 东部区震级与黄土地震滑坡致灾距关系曲线

Fig.2 The relationship between earthquake magnitude and the seismic landslide distance in the area to the east of Liupan mountain.

(a) 集中区的  $D_e$ ; (b) 散布区的  $D_e$ ; (c) 集中区的  $D_i$ ; (d) 散布区的  $D_i$

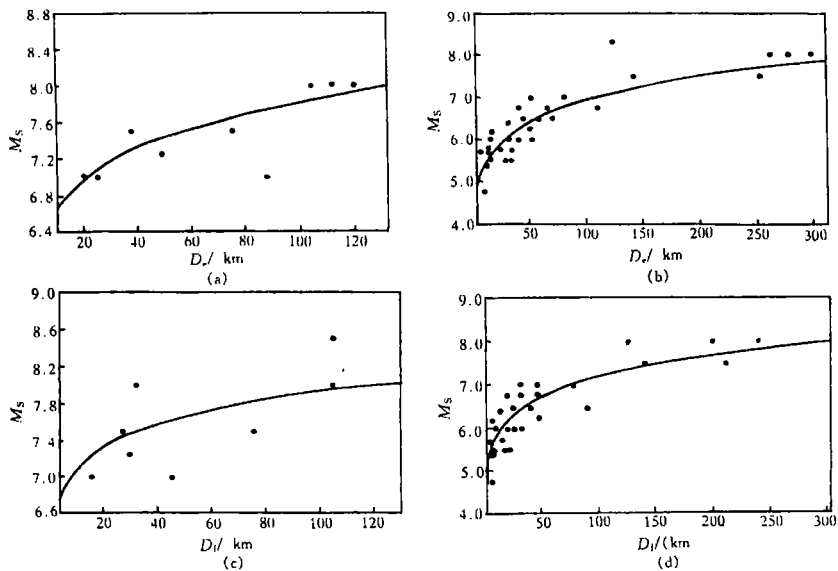


图3 西部区震级与黄土地震滑坡致灾距关系曲线

Fig.3 The relationship between earthquake magnitude and the seismic landslide distance in the area to the west of Liupan mountain.

(a) 集中区的  $D_e$ ; (b) 散布区的  $D_e$ ; (c) 集中区的  $D_i$ ; (d) 散布区的  $D_i$

围划分精度较低.其二,地壳厚度和震源深度的不同是造成上述差异的主要地质和地球物理因素.大量资料显示,六盘山以东地区地壳厚度为35~40 km,以西地区为45~55 km,平均较东部区厚10~15 km.研究区地震深度分布成层性明显,孕震层主要分布在中地壳,且强震集中在主孕震层的中偏下部位.如西安-怀来地震带地震集中分布在10~20 km的深度上,强震集中在地下15 km左右.青藏高原东北缘地震集中分布在10~30 km深度上,强震集中在地下15~25 km深度范围以内.显然,六盘山以东地区强震分布深度小于以西地区,两者至少相差

5 km. 在不考虑地震波衰减等因素的情况下,若震级相同,那么震源较浅的地震的破坏距离通常应大于震源较深的地震,这就是造成东部区低震级致灾距为大的重要原因.高震级的浅源地震,因地震释放地震波的能量巨大,其破坏距离主要决定于地震波的衰减速率,而这种衰减又取决于地下介质的物理参数,相比之下震源的深浅则影响甚微.

表 3 东部区黄土地震滑坡最大致灾距经验公式

滑坡分区	震级与最大致灾震中距关系式	相关系数 $r$	震级与最大致灾断层距关系式	相关系数 $r$
集中区	$M_S = 5.2297 \cdot D_c^{0.094}$	0.84	$M_S = 5.2785 \cdot D_f^{0.109}$	0.92
散布区	$M_S = 4.4815 \cdot D_c^{0.094}$	0.89	$M_S = 4.6927 \cdot D_f^{0.094}$	0.88

表 4 西部区黄土地震滑坡最大致灾距经验公式

滑坡分区	震级与最大致灾震中距关系式	相关系数 $r$	震级与最大致灾断层距关系式	相关系数 $r$
集中区	$M_S = 5.6425 \cdot D_c^{0.071}$	0.82	$M_S = 6.2961 \cdot D_f^{0.05}$	0.79
散布区	$M_S = 4.2109 \cdot D_c^{0.11}$	0.93	$M_S = 4.6412 \cdot D_f^{0.069}$	0.90

表 5 东部区黄土地震滑坡的最大计算致灾距

震级 ( $M_S$ )	最大致灾震中距(km)		最大致灾断层距(km)	
	集中区	散布区	集中区	散布区
5.5		9		5
6.0		22		13
6.5	10	52	7	32
7.0	22	115	13	70
7.5	46	239	25	146
8.0	92	475	45	291

表 6 西部区黄土地震滑坡的最大计算致灾距

震级 ( $M_S$ )	最大致灾震中距(km)		最大致灾断层距(km)	
	集中区	散布区	集中区	散布区
5.5		11		6
6.0		25		14
6.5	7	52	2	33
7.0	21	101	8	72
7.5	55	190	33	148
8.0	136	341	120	290

## 4 黄土地震滑坡灾害的主要影响因素

在研究中我们发现,不同区域的黄土地震灾害最大致灾距与震级的关系存在明显的差异,要更精确地建立这种定量关系,就必须分区研究,分区原则应考虑如下影响因素.

### 4.1 地震带的展布

资料显示,地震滑坡的空间分布和危害程度与地震烈度密切相关.地震烈度及其分布特征主要受地震断层控制,即位于同一个地震带的断层一般具有相同和相近的活动特点.在某种意义上讲,处在同一地震带的相同和相近强度的破坏性地震的震害类型、分布和危害程度一般具有相似的特点.

研究区分属不同的地震区(带).六盘山以东的黄土区主要位于华北地震区西安-怀来地震带.该带西起西安以西,经渭河、运城、临汾、太原、忻定、大同、延怀等盆地,止于北京以西,呈北东向 S 形展布.带内破坏性地震主要受北东-北北东向构造控制,部分受北西向构造控制或受北东、北西两组方向构造共同控制.极震区的展布与孕育发生地震的构造带走向一致.如 1303 年洪洞 8 级和 1695 年临汾 7 $\frac{3}{4}$  级地震的极震区展布,前者为北北东向,后者为北北东与北西向交叉状,与控制地震活动的构造带的走向一致<sup>[7]</sup>.而六盘山以西的黄土区位于青藏高原北部地震区的银川、西海固、天水和河西走廊-祁连山地震带.银川地震带呈北北东向展布,地震受北东向构造控制,其它地震带均呈北西向展布,地震受北西-北西西-北东东向构造控制.显然,六盘山以东和以西地震带的展布和活动特点是造成东、西部地区地震滑坡致灾距差异的重要原因.

## 4.2 地震活动强度

地震烈度的分布是地震活动造成地面破坏程度的重要指标,也是现今区域构造活动强度的显示.地震时地面发生水平摆动和垂直振动,造成地面斜坡失稳诱发滑坡.大量资料表明,当烈度达到Ⅶ度时可以诱发地震滑坡.地震烈度越高,发生滑坡的概率越大.因此根据地震烈度的分布,大体可以分析出地震滑坡的分布特点.如1920年海原8.5级地震,震中烈度达Ⅷ度.在烈度Ⅸ度以上黄土地区,多处出现地震滑坡集中现象<sup>[10]</sup>.1927年古浪8级地震的Ⅸ度以上烈度区内,地震滑坡成带连片分布<sup>[11]</sup>.

历史地震因无仪器测定,其震级主要按照以下程序来确定:先依据历史记载评定震中烈度,再按震级—烈度关系换算出近似震级.我国地域辽阔,地震的区域特点明显,大陆东、西部的震级与烈度具有如下关系<sup>[6]</sup>:

$$\text{东部地区 } M_S = 0.579I_0 + 1.403, \quad \text{西部地区 } M_S = 0.605I_0 + 1.376$$

研究区横跨我国东、西部地区.当区内历史地震震中烈度为Ⅶ度和Ⅸ度时,其相应的平均震级为  $M_S = 5.53$  和  $M_S = 6.71$ .即当区内发生  $M_S = 5.5$  地震时,震中区便可出现地震滑坡;当震级  $M_S = 6.7$  时,震中区就可能出现地震滑坡集中分布现象.当  $M_S \geq 5.5$  地震发生时,其地震滑坡的分布密度和规模将随震级的增大而增大,随致灾震中距(或断层距)的增大而减小.

## 4.3 黄土动力学特征

地震时地面的水平和垂向振动造成地面斜坡失稳和破坏.部分震区资料表明,有的地震滑坡原始地面坡度很小,但也出现滑坡.1920年海原8.5级大震区回回川滑坡群的形成就与当地的岩土动力学特征有关.回回川位于会宁县城西南,距地震震中约70 km,当地烈度为Ⅸ度,无地下水作用.对该滑坡的原状黄土的土质参数进行了测试,结果见表7.同时还进行了动强度试验,测定了  $C$ 、 $\Phi$  值,反演得到的安全系数为3.3,说明是一处相当稳定的斜坡.原始地形坡角仅为  $5 \sim 15^\circ$ ,滑坡剖面坡角为  $10^\circ$ .在地震力的作用下,用临界地震系数法进行分析的结果表明,当  $0.30 \leq K_h \leq 0.32$  时,即当烈度为Ⅷ度强或Ⅸ度时即可发生滑动,而实际烈度为Ⅸ度,远大于临界地震系数,所以黄土层呈粉碎性破坏,且滑移距离大,滑床面裸露<sup>[12]</sup>.由此可见,黄土动力学特性对滑坡的形成和滑坡的形态特征具有明显的控制作用.

表7 回回川滑坡原状黄土土质参数

取土深度 (m)	含水量 (%)	容重 (kN/m <sup>3</sup> )	孔隙比	塑性指数	静强度	
					$C/kPa$	$\Phi/^\circ$
5.0	15.5	15.4	1.038	9.7	44.1	17.2

黄土动力学特性与黄土土质参数有关.不同地域的黄土,其粒度、物质组成、结构构造等方面具有一定差异.这种差异决定了各地的黄土土质参数的不同.研究区黄土性质总的分布规律是,由北往南和由西向东,黄土粒度由粗变细,结构由疏松变致密,含盐量降低,含水量增加,土壤化程度提高.六盘山是研究区黄土土质参数的重要分界带,这是造成东、西部地区地震滑坡分布和致灾程度出现差异的重要原因.

## 4.4 区域构造和区域地貌特征

六盘山以西黄土地区发育一系列呈北西西—北西—北北西向展布的弧形断裂带,北北西—南北向构造隆起带(或拗陷带)与之复合,强破坏性地震往往发生在构造复合区<sup>[13,14]</sup>.北西—北西西向断裂为左旋逆走滑性质,控震性强,地震滑坡多与其活动有关.由于断层和地震活动的差异,造成了各个地震的滑坡分布特征出现较大差异.1927年古浪8级地震受古浪活断

层控制,该断层为上陡下缓的铲形左旋逆走滑断层.地震滑坡沿断层上盘的一系列近于平行的次级断层展布,形成长约 60 km 和宽约 40 km 的椭圆形滑坡集中区.滑坡集中区的东西边界受北北西向构造控制<sup>[11,13]</sup>.极震区以外的零散滑坡多沿古浪断裂带分布.处在同一个构造带上的 1920 年海原 8.5 级地震受海原活断层控制,该断层为左旋剪切性质,断层倾向多变,但主要向南倾斜.地震滑坡主要沿断裂带和断层上盘分布.面积最大的滑坡集中区位于西华山以南,祖厉河以东,六盘山以西,会宁、静宁以北地区.此外,滑坡在通渭南部的碧玉、马家店、常河一带也较为集中<sup>[10]</sup>.地震滑坡集中区往南分布较远,除上述的土质条件外,可能与区内深部存在的南北向构造有关<sup>[14]</sup>.

呈 S 形展布的西安-怀来地震带,发育一系列北东东-北北东-北东东走向的盆地.北东向断裂控制盆地的形成演化和地震的孕育发生,为右旋正走滑性质.北西向断裂为分割盆地和使其进一步分化的横向构造,为左旋拉张性质.区内地震多与北东向断裂的活动有关,如 1303 年洪洞 8 级、1556 年华县 8 $\frac{1}{4}$  级地震.部分地震显示由北东、北西向构造共同控制,如 1695 年临汾 7 $\frac{3}{4}$  级地震可能为共轭断裂控制的地震<sup>[7]</sup>.区内大震的极震区多分布有规模巨大的构造滑坡,而零星分布的滑坡多与构造带的关系不明显.

六盘山以西地区黄土下伏地层多为第三系红色砂泥岩,以东地区黄土下伏地层为早第四纪泥质粉砂岩和第三系红层,形成所谓的“双层”结构.岩性界面以上往往富含地下水,界面部位遇水易于软化为塑性层,因此当地形条件适宜时或在地震力作用下容易沿地层界面滑动形成滑坡.

区域地形地貌特征表明,六盘山以西黄土堆积地表高程为 2 000~1 300 m,以黄土梁、塬地形为主,沟壑纵横.新黄土(Q<sub>3</sub>)堆积厚度 30~70 m,最厚可达 80 m,地震容易引起滑坡.六盘山以东黄土堆积地表高程为 1 700~600 m,以黄土梁、塬地形为主.老黄土(Q<sub>2</sub>)厚度大,新黄土堆积厚度 10~20 m.极震区滑坡的规模大,且多分布在受构造控制和切割的黄土塬边和老洪积扇顶部.如 1303 年洪洞大震区的郇堡滑坡位于霍山西南麓,滑坡范围长约 1 600 m,宽约 1 400 m,北北东向霍山断裂和北西向赵城-广胜寺断裂从附近通过<sup>[7]</sup>.1556 年华县大地震使黄土塬边发生规模巨大的构造滑坡.史料记载张岑滑坡造成“塬移路凸”.地震使旧潼关一带“道壅,河逆流,清三日”.滑坡曾经堵塞黄河,形成堰塞湖使河水逆流,可见滑坡体的规模之大.规模较小的黄土崩塌广泛分布在Ⅶ~Ⅷ度烈度区的河谷地带<sup>[15]</sup>.

除上述因素外,影响地震滑坡致灾的因素可能还有震区地壳厚度、地下介质条件、震源深度、构造应力场主应力作用方向、地震波特性等.总之,地震滑坡致灾程度受多种因素共同控制,具体地区的具体地震是有差别的.

## 5 结论

(1) 根据对陕甘宁晋黄土区典型震害的现场调查和历史、现今地震烈度等震线的分析,提出了确定黄土地震滑坡最大致灾震中距和最大致灾断层距的原则和方法.这一研究思路符合我国地震资料的实际情况和目前的研究状况.

(2) 由研究区 80 个具代表性的地震统计得出的黄土滑坡集中区和散布区的地震震级与最大致灾震中距和最大致灾断层距的经验公式和数据代表了区内不同震级下地震滑坡最大致灾距的实际情况.这一结果基本适用我国黄土地震灾害 I 级区划的要求.

(3) 对六盘山以东和以西地区各 40 个地震资料进行的统计表明,不同震级下两区的黄土地震滑坡集中区和散布区的最大致灾震中距(或断层距),既具统一性,又具有一定的差异,形成

这种差异是多种因素共同作用的结果.

(4) 造成黄土地震滑坡灾害的因素较多,其中最主要的是地震强度和黄土动力学特性.

(5) 本文统计得出的黄土地震滑坡最大致灾距的经验公式和数据仅为初步研究结果,尚需进一步补充有关资料使之更加完善.

### 参考文献

- 1 王兰民.黄土地区的地震灾害预测.见:中国青年科技优秀论文精选.中国科技出版社,1994.553~559.
- 2 Zhang Zhenzhong, Wang Lanmin. Geological disasters during the Haiyuan  $M8.5$  Earthquake in 1920, China. *Geojournal* (Germany), 1995, 36(2): 269~274.
- 3 Technical Committee for Earthquake Geotechnical Engineering, ISSMFE. Manual for zonation on seismic geotechnical hazards. The Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1993.
- 4 王兰民,才树华,石晓骝,等.黄土地震灾害最大致灾距的初步研究.见:第五届土动力学学术会议论文集.大连:大连理工大学出版社,1998.
- 5 蒋溥,戴丽思.工程地震学概论.北京:地震出版社,1993.
- 6 国家地震局震害防御司.中国历史强震目录.北京:地震出版社,1995.
- 7 武烈,贾宝卿,赵学普.山西地震.北京:地震出版社,1993.
- 8 刘百箴,周俊喜,李秦梅,等.1718年通渭地震和1654年天水地震地区航空照片判读.地震科学研究,1984,(1):1~9.
- 9 才树华.震害与烈度分布.见:汤泉等编.1990年天祝—景泰6.2级地震.北京:地震出版社,1993.12~20.
- 10 刘百箴,周俊喜,冯学才,等.1920年海原8.5级地震.见:中国特大地震研究(一).北京:地震出版社,1988.187~207.
- 11 邹谨敞,邵顺妹.古浪地震滑坡及真与断裂带的关系.西北地震学报,1994,16(3):60~64.
- 12 张振中,郑恒利,王兰民.黄土随机振动强度参数在地震滑坡分析中的应用.西北地震学报,1991,13(3):45~55.
- 13 才树华.河西构造系及其与青藏高原东北部地震活动的关系.西北地震学报,1989,11(3):53~62.
- 14 才树华,滕瑞增.初析天水地区南北向活动构造带及其与地震的关系.西北地震学报,1981,3(4):37~42.
- 15 李永善,贺明静,韩恒悦,等.1556年陕西华县8级地震.见:中国特大地震研究(一).北京:地震出版社,1988.36~51.

## A PRELIMINARY STUDY ON THE SEISMIC LANDSLIDE DISTANCE IN THE SHAANXI-GANSU-NINGXIA-SHANXI LOESS REGION

Cai Shuhua Wang Lanmin Yuan Zhongxia

(Lanzhou Institute of Seismology, CSB, Lanzhou 730000)

### Abstract

A method of determining the maximum epicentral distance of seismic landslide and the maximum fault distance of seismic landslide is proposed through analysis on data of seismic landslide disasters in Shaanxi-Gansu-Ningxia-Shanxi loess region. Some nonlinear fitting calculations were carried out and a preliminary mathematical relationship between the magnitude  $5.5 \leq M_S \leq 8.0$  of earthquakes and both the maximum distances is developed. Furthermore, the main factors of affecting the seismic landslide disasters are discussed in order to study accurately this relationship for different areas.

**Key words** Shaanxi-Gansu-Ningxia-Shanxi region, Loess, Seismic landslide distance