

汶川大地震陇东黄土高原崩塌滑坡的调查分析

姚文波¹, 刘文兆^{2,*}, 侯甬坚¹

(1. 陕西师范大学西北历史环境与经济社会发展研究中心暨中国历史地理研究所, 陕西西安 710062;

2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西杨陵 712100)

摘要:通过对甘肃省庆阳市、平凉市 5.12 汶川大地震地质灾害实地调查,发现此次地震造成的崩塌和滑坡,以小型为主,数量众多,主要分布在现代侵蚀沟边缘部位的断崖和陡坡上。地震在塬面、缓坡丘陵和川台地上所造成的崩塌,与窑洞住宅和采矿业分布基本一致。此次地震虽未造成大中型崩塌和滑坡,但对该地环境的影响不能忽视——可改变微地貌、使未来几年内的土壤流失量有所增加等。认为在黄土高原地区,地震烈度到达Ⅳ度以上,就会引起较为严重的重力侵蚀。对于我国地震高发区之一的黄土高原而言,探讨水土流失的成因时,须要关注地震的影响。

关键词:5.12 汶川大地震; 陇东黄土高原; 土壤侵蚀; 环境效应

文章编号:1000-0933(2008)12-5917-10 中图分类号:Q143 文献标识码:A

Investigation and analysis of collapses and landslides on the Loess Plateau of East Gansu Province after the 5.12 Wenchuan Earthquake

YAO Wen-Bo¹, LIU Wen-Zhao^{2,*}, HOU Yong-Jian¹

1 Center for Historical Environment and Socio-Economic Development in Northwest China and Chinese Historical Geography Research Institute, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China

2 Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, Shaanxi Province, China
Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(12): 5917 ~ 5926.

Abstract: This paper is based on the field investigation of the geological disaster that caused by the 5.12 Wenchuan Earthquake in Qingyang City and Pingliang City, Gansu Province. It is found that the earthquake-induced collapses and landslides are characterized by small type and large number and are mainly distributed at the edges of modern erosion ditch; The earthquake-induced landslides distributed in the tableland surface, gentle slope hills and tableland of the valley, is consistent with the cave dwelling and the engineering construction. Although this earthquake has not caused large or medium-sized landslip, we cannot neglect the influence of its natural environment, which may change the micro physiognomy and increase the soil erosion etc. in the next few years. It indicates that it will cause more serious gravity erosion once the earthquake intensity over degree Ⅳ in the Loess Plateau area, which slightly has the difference from the former general recognition. For the Loess Plateau that is one of the frequent earthquake areas in China, effects of the

基金项目:国家“十一五”科技支撑计划课题资助项目(2006BAD09B09)

收稿日期:2008-09-20; **修订日期:**2008-11-21

作者简介:姚文波(1963~),男,甘肃镇原人,博士生,主要从事黄土高原历史环境变迁研究. E-mail: yaowenbo1963@yahoo.com.cn

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wzliu@ms.iswc.ac.cn

致谢:调查工作得到庆阳市国土资源局刘自立、张新民,平凉市国土资源局路畅,崇信县国土资源局晏局长、王站长、李全洲,镇原县国土资源局姚文瑞的大力协助,特此致谢。

Foundation item: The project was financially supported by National Key Technology R&D Program of 11th Five-year (No. 2006BAD09B09)

Received date: 2008-09-20; **Accepted date:** 2008-11-21

Biography: YAO Wen-Bo, Ph. D. candidate, mainly engaged in historical environmental changes on the Loess Plateau. E-mail: yaowenbo1963@yahoo.com.cn

earthquakes need to be considered when the genesis of soil erosion discussed.

Key Words: 5.12 Wenchuan Earthquake; the Loess Plateau of East Gansu Province; soil erosion; environmental effect

2008年5月12日14:28,四川省发生的以汶川为震中的里氏8.0级强烈地震,破坏力大,波及范围广。陇东黄土高原也深受影响,产生了新的滑坡、崩塌等次生地质灾害。根据甘肃庆阳市、平凉市5.12汶川大地震地质灾害的实地调查资料,对此次地震所造成的影响作简要分析,进一步探讨地震与黄土高原土壤侵蚀之间的关系。

1 研究区概况及地震调查结果

陇东黄土高原处中国黄土高原中部,其主体范围是当代甘肃省陇东地区。另外还包括陕西省和宁夏回族自治区的部分县区。对震后主体区域——甘肃省平凉市、庆阳市发生的崩塌和滑坡情况进行了实地调查,并以此为例分析5.12汶川大地震对陇东黄土高原的影响。

两市的经纬度位置介于 $N34^{\circ}54' \sim 37^{\circ}19'$ 、 $E106^{\circ}45' \sim 108^{\circ}42'$ 之间,总面积3.8万 km^2 ,海拔885~2857m。境内大部分地区属于泾河水系,六盘山以西的静宁县、庄浪县属于渭河一级支流葫芦河流域。大致以 $N36^{\circ}$ 线,即环县合道川一线为界,以北为丘陵沟壑区,以南为高塬沟壑区^[1]。该地直线距震中汶川县($N30^{\circ}45' \sim 31^{\circ}43'$, $E102^{\circ}51' \sim 103^{\circ}44'$)400km以上,汶川大地震对其地貌乃至水土流失的影响仍很明显。根据庆阳市、平凉市国土资源局统计资料,汶川大地震以后,两市共形成比较严重的地质灾害181处,其中新增地质灾害隐患点123处,在原有灾害的基础上又有所活动的隐患点58处,以滑坡、地裂缝和崩塌为主。除正宁、华亭县外,其余11县2区都有分布(表1)。

实际灾害数量远大于此。以崇信县统计量为例,表1中所列比较严重的地质灾害38处,但崇信县国土资源局调查报告中统计数为392处。笔者等通过对崇信县锦屏镇梁坡村牛咥嘴社、黄寨乡白新庄村戚家庄社、新窑镇周寨村周寨社、镇原县新城乡潘阳涧、西峰区彭原乡李家寺行政村庙头嘴组等地的实地考察,其结果更甚于此。

因为数量太多,分布又广,无法做到尽数统计。据当地群众反映,地震日,泾河一级支流潘阳涧河东岸的许多沟谷内,“土烟”滚滚,一片狼藉。崇信县城南北塬上、西峰区彭原庙头嘴组附近的沟谷、庆城县东河(柔远河)东岸的山谷内也是这种情况。实际上,类似情况不仅仅发生在考察点,庆阳、平凉的许多沟谷都存在。当地国土资源局统计资料,对于那些分布在远离居住区和主干道、相对偏远的山沟里的小型崩塌和滑坡,特别是未对当地人民生命财产安全构成威胁的灾害,没有进行统计,也没有引起足够的重视。时间一久,就连当地人也不能分辨其发生原因究竟是什么。这会对后来的研究工作造成困难。

2 5.12地震崩塌和滑坡的特点

此次地震造成的地质灾害有如下特点:

(1)规模小 滑坡、崩塌均以小型为主,规模介于十几至数万 m^3 不等。以现有的统计和实地调查数据为依据,对此次地震地质灾害数量作了频率分析,发现5.12地震以后,平凉、庆阳市规模小于100m的地裂缝占总量61%,小于10万 m^3 的滑坡占总量的63%,小于1万 m^3 的崩塌占总量73%(图1)。规模较大的地质灾害相对较少。实际上,正如后文将要提到的,更大数量的小规模灾害未被统计,否则,小规模灾害的比例还要高。而一些大型的如镇原县殷家城乡桑树洼行政村桑树洼自然村($N36^{\circ}9'32.3''$, $E106^{\circ}58'31''$)的滑坡体积达2022万 m^3 ,但灾害尚未形成,属潜在滑坡。因此,此次地震在陇东地区所造成的崩塌和滑坡以小型为主。

(2)数量多 实地考察结果显示,5.12汶川大地震所造成的崩塌和滑坡数量众多,远远超过了当地国土资源局的统计量(表1)。

新城乡新城行政村西庄自然村、郿肖公路东侧的贺石沟,沟长约750m,但规模在十数万 m^3 以上的崩塌、滑坡,就达20多处,郿肖公路西侧的涝池沟的数量更多。两沟合计54处以上(表2),但国土资源局只统计了1

表 1 汶川大地震后平凉市、庆阳市新增及受到影响的原有地质灾害隐患点统计

Table 1 Table of the newly added and affected original hidden danger points of geological hazard after Wenchuan Earthquake in Pingliang City and Qingyang City

地区 Areas	崩塌 collapse			滑坡 Landslide			不稳定斜坡 Unstable slope		
	数量 Number (个)	最大 Max ($\times 10^4\text{ m}^3$)	最小 Min ($\times 10^4\text{ m}^3$)	数量 Number (个)	最大 Max ($\times 10^4\text{ m}^3$)	最小 Min ($\times 10^4\text{ m}^3$)	数量 Number (个)	最大 Max ($\times 10^4\text{ m}^3$)	最小 Min ($\times 10^4\text{ m}^3$)
镇原	1			5	2022	120	6	280	60
西峰	4	300	3						
庆城				4	100	1.8			
宁县	2	45	26	4	110	42	1	58	
华池				21	5	0.6			
合水	1	50		1	30				
环县	1	225		13	150	1.			
崆峒	17			4		0.1			
泾川				5	3.5	0.8			
静宁				5	760	202.5	3		
庄浪				3	20	10			
崇信	3	0.2	0.005	9	10	0.02			
灵台				4	4.3	0.08			
合计 Total	29	300	0.005	78	2022	0.02	10	280	60

地区 Areas	地面塌陷 Land collapse			泥石流 Debris			滑塌 Slump			地裂缝 Ground Fissure		
	数量 Number (个)	最大 Max ($\times 10^4\text{ m}^3$)	最小 Min ($\times 10^4\text{ m}^3$)	数量 Number (个)	最大 Max ($\times 10^4\text{ m}^3$)	最小 Min ($\times 10^4\text{ m}^3$)	数量 Number (个)	最大 Max ($\times 10^4\text{ m}^3$)	最小 Min ($\times 10^4\text{ m}^3$)	数量 Number (个)	最大 Max ($\times 10^4\text{ m}^3$)	最小 Min ($\times 10^4\text{ m}^3$)
镇原				1	2.76					7	2000	60
西峰	1	0.5								2	1000	1000
庆城												
宁县										4		
华池										1	270	
合水												
环县												
崆峒							1	0.3		19		
泾川												
静宁												
庄浪										1		
崇信				4						22	600	47
灵台										1	215	
合计	1	0.5		5			1	0.3		57	2000	47

* 此表依据平凉市和庆阳市各县区国土资源局统计资料整理,根据实地调查,对个别数据作了修改 The data were collected from the field investigation in Pingliang City and Qingyang City and provided by the Department of Land Resources of the two cities. Some of the data were slightly changed according to our survey

表 2 汶川大地震后平凉市、庆阳市实地调查情况统计

Table 2 Table of the Wenchuan Earthquake field investigations in Pingliang City and Qingyang City

地点 Place	崩塌 Collapse		滑坡 Landslide		滑塌 Slump		地裂缝 Ground fissure	
	数量 Number (个)	规模 Volume ($\times 10^4\text{ m}^3$)	数量 Number (个)	规模 Volume ($\times 10^4\text{ m}^3$)	数量 Number (个)	规模 Volume ($\times 10^4\text{ m}^3$)	数量 Number (个)	规模 Volume ($\times 10^4\text{ m}^3$)
庆阳市镇原县新城乡新城村西庄 贺石沟	>20	0.024~0.0001	1	0.03	1	0.04		
庆阳市镇原县新城乡新城村西庄 涝池沟	>30	0.03~0.0001	2	0.03~0.04	2	0.06~0.01		
庆阳市西峰彭原乡李家寺村庙头 嘴组四周的沟谷	>30	3.4~0.0001	1	0.05			1	100
平凉市崇信县黄寨乡白新村村威 家庄社硷洼沟	>20	0.05~0.0001					1	500

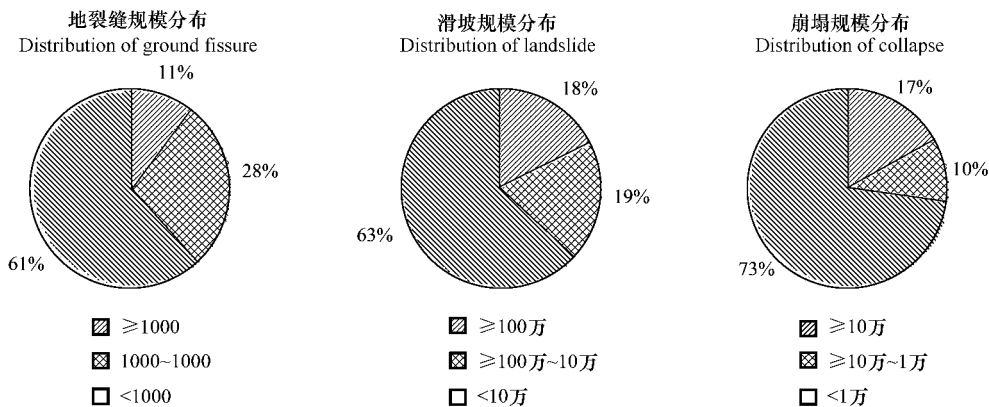


图1 平凉市、庆阳市地震地质灾害规模频率分布

Fig. 1 Scale frequency distribution table of geological hazard of the Wenchuan Earthquakes in Pingliang City and Qingyang City

处不稳定斜坡和1处潜在滑坡,实际数量是统计量的27倍以上。

位于董志塬东部边缘的西峰彭原乡李家寺村庙头嘴组四周的沟谷,同等规模的崩塌和滑坡也多达数十处(表2)。国土资源局只统计了1处滑坡,实际数量是统计量的32倍以上。

崇信县黄寨乡白新庄村戚家庄社的硷洼沟,大约在1000m长的一段沟内就发生了20多起滑塌、崩塌(表2),其中的1处崩塌造成了1名饮牛人死亡,1处崩塌造成了1名学生死亡。这道沟一直通往崆峒区的白水乡,所发生的各种类型的重力侵蚀难计其数。崇信县国土资源局也只统计了1处地裂缝,实际数量是统计量的21倍以上。

以上四道沟谷的面积之和不超过16km²,约占平凉、庆阳市总面积的0.04%,而实际发生的地震地质灾害数量是统计量的26倍多,按此比例,两市实际发生的地质灾害应该有24.7万多处。但因实地调查的样本数量太少,不能排除样本的特殊性,这种比较还缺乏足够的证据支持。这里旨在说明一种趋势——5.12汶川大地震在平凉、庆阳市造成的崩塌、滑坡等地质灾害数量众多,远超过了当地国土资源部门的统计量。

3 汶川大地震崩塌和地震滑坡的分布规律及原因

表1统计资料及表2实地调查均表明,平凉市、庆阳市地震地质灾害,多分布于现代侵蚀沟边缘(图2)及底部(图3)^①,也有一些小崩塌是发生在老滑坡壁上。

黄土高原的现代侵蚀沟沟坡陡峻,多为40~45°甚至更大,局部还形成了陡崖。长期的风化、侵蚀作用导致陡崖中上部土体破碎、疏松,经常发生的流水侵蚀则容易造成陡崖下部土体悬空,使其接近崩塌和滑坡的临界点。现代侵蚀沟底部沟坡的坡度虽然较小,但在潜水渗流排泄口附近和沟道流水积聚处,土壤含水量较高,土体经常处于超重状态,加之活跃的沟道侵蚀,可能造成其基部镂空,容易接近滑塌或滑坡的临界点。一遇到地震波的影响,这类地点就会发生崩塌和滑坡。图3所示的崩塌,原来是一道宽2~4m的土梁,两侧呈直角的悬崖,已具备了发生崩塌条件。图3滑塌体基部已被流水浸泡和侵蚀,也具备滑塌的基础。就是典型例证。

塬面、川台地与梁峁部位的崩塌现象,与窑洞住宅和采矿业的分布基本一致。这与采矿业的地下作业区和当地的窑洞民居附近地面支撑力较小有关,废弃窑洞则更容易发生地震崩塌。历史时期死亡人数最多的华山地震、海原地震,就是因为当地的窑洞住宅较多的缘故。

① 将地质时期已经形成的沟谷称为古代侵蚀沟,在古代侵蚀沟基础上特别是全新世以来进一步发育而成的沟谷称为现代侵蚀沟;这两者的区别是:1)前者坡度平缓,多为15~20°;后者坡度陡峻,多为40~45°,或者更大;2)除了塬面,黄土高原大部分现代侵蚀沟是在古代侵蚀沟的基础上发育的;从横剖面上看,前者与后者的坡线上有明显的转折点,古代侵蚀沟横剖面呈“V”型,现代侵蚀沟的横剖面多表现为V字型,两者叠加后的沟谷呈“~”型;3)古代侵蚀沟谷坡上覆盖的马尔黄土或全新世黄土层,倾斜度与谷坡倾角接近,或表现为两者的倾角变化趋势一致之特征;但在现代侵蚀沟的谷坡上,马尔黄土或全新世黄土超覆于下伏黄土层之上,其倾角不随地形起伏而变化



图2 形成在现代侵蚀沟边缘上的滑坡及堰塞湖景观(甘肃省平凉市崇信县锦屏镇梁坡村牛哱嘴社)

Fig.2 Landscape of landslide at the edge of modern erosion ditch and barrier lakes(Niuduozui, Liangpo Village, Jinping Town, Chongxin County, Pingliang City, Gansu Province)

* 此处原为一个凸出的山嘴(左图),上部为黄土,厚约70m;下部为第三纪质地疏松的红色页岩,厚约80m;滑坡主要发生在黄土层,但滑坡体也造成了下部凸出的页岩岩嘴发生崩塌;滑坡体厚约40m、宽约80m,后壁高7~20m,体积约 10^4 m^3 ;滑坡体下方沟底形成了两个小堰塞湖,两座坝体均高约5m,其中较大的一个已蓄水,水体面积约 30 m^2 (右图) It was originally a bulged mouth of the hill (left) and the top is covered with approximately 70 m Loess. Underlying rock is the loose red shale of the tertiary period, 80m in depth. The landslide occurred mostly in the loess, yet collapses in the shale caused by the landslide were presented; The landslide was about 40 m in depth and 80 m wide, its slip cliff was 7~20 m high, and its volume was approximately 10^4 m^3 ; 2 small-sized barrier lakes were formed in the ditch at the bottom of the landslide; Both dykes were about 5 m high and the larger one had a water area of 30 m^2 (right)



图3 贺石沟崩塌和滑塌景观(甘肃省庆阳市镇原县新城乡新城行政村西庄自然村)

Fig.3 Landscape of collapses and slumps in Heshigou (Xizhuang, Xincheng Village, Xincheng Town, Zhenyuan County, Qingyang City, Gansu Province)

* 左图箭头所指豁口原来为一连接的土梁,地震造成此处崩塌;其豁口宽5~10m、厚2~4m、高12m左右,体积约 240 m^3 ;右图小型滑塌也是此次地震造成,滑塌壁大约宽20m、高15m,滑塌体厚1~2m左右,体积约 $300 \sim 400 \text{ m}^3$ The breach referred to by the arrow in the left was the collapse caused by the earthquake; It was originally a consistent ridge; The breach was 5~10 m wide, 2~4 m deep, and about 12 m high, and its volume was 240 m^3 ; The small-sized slump in the right was also resulted from the earthquake; Its slip cliff was about 20 m wide and 15 m high; The slump was 1~2 m deep and its volume was about $300 \sim 400 \text{ m}^3$

根据国家地震局基于实地调查编绘的“汶川 8.0 级地震烈度分布图”(图 4)^[2],平凉市及庆阳市西南部 5.12 汶川大地震的烈度为 VI 度。但该图缺乏 VI 度以下区域的资料,参考美国地质测量局提供的分析估计图形^[3],该地烈度大致介于 IV ~ VI 度之间。

一般情况下,地震滑坡和崩塌发生的机率和规模与地震烈度正相关。但根据当地国土资源局统计资料,5.12 汶川大地震崩塌和滑坡在地域分布上,与国家地震局公布的烈度图并不完全一致。

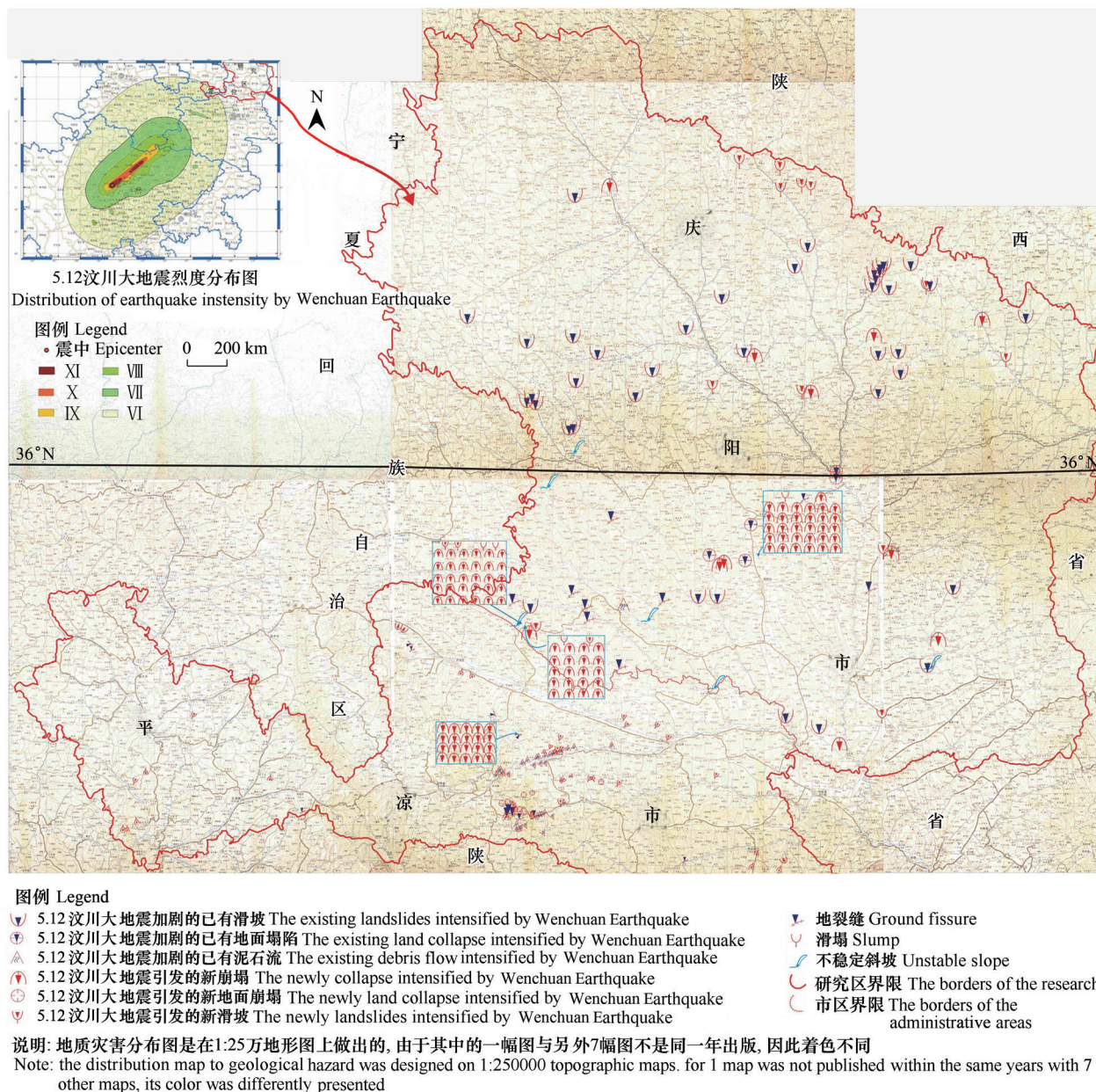


图4 庆阳、平凉市 5.12 汶川大地震地质灾害分布图

Fig. 4 Distribution map of geological hazard after 5.12 Wenchuan Earthquake in Qingyang City, Pingliang City

* 各灾害点虽有精确的坐标位置,但为了能便于辨认,符号均比较大,只能反映其大概位置;符号的大小代表灾害的严重程度,不表示量值;实地调查点的灾害类型和数量统一表示在方框中;平凉市崆峒区共计 22 处灾害点,图上只表示出了有具体位置记录的 7 处。Though each of the hazards was marked on the map, it could only show the approximate place with a large symbol for recognition; The size of the symbol represented the degree of hazard only and did not show the volume; The type of hazard and its number were put in the square; There were 22 places of hazards in Kongtong District of Pingliang City, 7 of which were marked on the map

5.12 汶川大地震以后,平凉市及庆阳市的镇原县、西峰区、宁县和正宁县四县(区)的地震烈度达到了 V ~ VI 度,华池县、环县、庆城县和合水县四县的地震烈度则介于 IV ~ V 度之间。但从崩塌、滑坡数量及其影响程度来看,受其影响最大的是崇信县、崆峒区、华池县、环县、镇原县,华亭、正宁县的影响最小(表 1)。从坍塌的窑洞数量看,以环县最为严重,崇信、华池次之,未见到其他各县的统计资料。

如图 3 所示,本区地震烈度最小的地区是环县和华池县,其北部一带的地震烈度虽只有 IV 度左右,但灾情却比较严重。以华池县为例,灾情最严重的是其北部——地震烈度最小的地区。

烈度最大的地区是静宁、庄浪、华亭、崇信和灵台,除了崇信县灾情严重之外,其他各县在本区 15 个县区中,属中等水平。其中,静宁、庄浪、华亭和灵台各县地震灾害频次是 4 至 5 次。如果以国土资源部门的统计资料为准,则分别占总量 2.2% 和 2.76%。如果计入实地调查资料,则分别占总量的 1.4% 和 1.76%。普遍没有其它各县区灾害严重(除正宁、合水县外)。

正宁县地震烈度介于 V ~ VI 度之间,其西南角甚至大于 VI 度。华亭县全境在 VI 度以上,其南部烈度接近 VI 度半。但这两个县都没有形成新的地质灾害,两县国土资源局也没有关于窑洞住宅毁坏的报告和统计数据。

避开各县统计资料口径不一的问题,出现上述现象的原因,可能与黄土性质、现代侵蚀沟发育状况和当地经济状况有关。

据研究,N36°线(环县合道川)是黄土高原上一条自然分界线,以北为沙黄土,以南为黄土,黄土性质从北向南逐渐由沙黄土向黄土过渡^[1]。我们知道,黄土质地致密,同样条件下其抗震性能较强,而沙黄土的抗震性能较弱。因此,尽管北部地区地震烈度较小,但地震灾情仍较为严重。

陇东黄土高原的北部地区,处于泾河各支流源头附近,现代侵蚀沟的年龄较小,沟床比降大,流水的下切侵蚀活跃,形成了很多陡坡和悬崖,加之黄土质地更疏松,就很容易发生地震崩塌和滑坡。当地人民的生活水平也普遍较低。环县是有名的国家级贫困县,除环江河谷地带经济状况较好外,广大山区人民生活水平较低,仍以窑洞民居为主,因此房屋损坏就比较严重。其他各县则相对要好一些。

4 环境效应分析

4.1 在黄土高原地区,引发崩塌和滑坡的地震烈度为 IV 度

据研究,在黄土高原诱发崩塌和滑坡的地震震级和烈度一般较低,其展布受地震烈度控制也较为明显。陈永明等认为,“当地震烈度达到 VI 度时,就开始出现黄土崩塌和滑坡;在地震烈度达到 IX 度时,就可能开始出现大规模的黄土滑坡和黄土滑坡密集展布区”^[4]。姚清林则认为,“中国西北黄土地区产生地震崩落、滑移、滑陷、流滑的最低震级分别为 4、5、7.5、8 级;产生崩滑的最小地震烈度为 V 度或稍低。小地震产生的滑坡全是浅层小滑坡,数量也很少”^[5]。

但是,庆阳市北部地区较为严重的地震灾情,已经将产生崩塌和滑坡的最小地震烈度限定为 IV 度,与以上研究结果略有不同。

如图 4 所示,N36°以北的庆阳市北部地区地震烈度大约在 IV ~ V 度之间,地质灾害数量达 46 处,占庆阳市总量(国土资源局统计值)的 57.5%,其中滑坡就有 40 处。这还不包含大量的未列入统计的未对人民生命财产造成威胁的小型崩塌和滑塌。

以统计结果为准,结合表 3 和图 4,庆阳市 N36°27'以北地区,地震烈度大约为 IV 度,地震引发的崩塌和滑坡达 20 处,约占整个庆阳市地质灾害总量 1/4,占平凉、庆阳市地质灾害总量 1/9。

就华池县而言,N36°27'以北的 IV 度区面积大约为全县面积 1/3,而地震共造成 25 处灾害点中,分布在其北部地区的却有 17 处,占总量的 68%。

由此可见,地震与黄土高原重力侵蚀之间的相关程度更为密切。即地震烈度达 IV 度以上时,在地形陡峭、黄土疏松破碎、垂直节理发育之处即可产生大量崩塌和滑坡。事实上,地震作为黄土侵蚀特别是重力侵蚀的重要原因,已经得到了相关研究的证实^[4,6~9],而当地震与其他因素特别是人类活动相叠加时,其影响力还会

进一步增加。

黄土高原是我国地震频发地区之一,据研究,历史时期发生在这里的有记录的地震,都造成了不同程度的重力侵蚀。例如 1556 年陕西华县的 8.0 级地震、1654 年甘肃天水南 8.0 地震、1718 年甘肃通渭 7.5 级地震、1920 年宁夏海原 8.5 级地震、1927 年甘肃古浪 8.0 级地震等,都曾造成密集的崩滑展布区^[3~5]。如果将未载入史册的小地震考虑在内,其影响力可能更为突出。

表 3 5.12 汶川大地震后华池县、环县北部新增及受影响较大的原有地质灾害隐患点

Table 3 The newly added and affected original hidden danger points of geological hazard after 5.12 Wenchuan Earthquake in the northern region of Huachi County and Huanxian County

序号 No.	隐患点名称 Name	详细位置 Place		规模 Volume(10 ⁴ m ³)
		乡、村、组 Township, village, group	坐标 Coordinator	
1	元城林沟滑坡	华池县元城镇吕沟咀村	4074876, 18752504	2
2	刘坪山里畔山体滑坡	华池县紫坊乡刘坪村	4046182, 19243264	1
3	李岷岷阳洼公路滑坡	华池县乔川乡李岷岷村	4071844, 18746510	2
4	艾蒿掌王沟公路滑坡	华池县乔川乡王掌子村	4073884, 18728196	1.2
5	章渠子至艾蒿掌公路滑坡	华池县乔川乡章渠子村	4075208, 18733141	0.7
6	县城东山山体滑坡	华池县柔远镇城关村	4040656, 18767867	5
7	紫坊乡政府背山山体滑坡	华池县紫坊乡刘坪村	4048725, 19247631	1.4
8	丰阳渠通村道路滑坡	华池县怀安乡丰阳渠村	4053082, 18756443	1.1
9	五白公路 9 公里处山体滑坡	华池县白马乡杜寨子村	4049723, 18747311	2
10	乔川北街山体滑坡	华池县乔川乡徐背台村	4073931, 18737266	5
11	齐庄子小学背山山体滑坡	华池县乔河乡齐庄子村	4042851, 19235176	2.1
12	齐沟门通村道路山体滑坡	华池县乔河乡齐庄子村	4042616, 19236943	1.5
13	李沟门背山山体滑坡	华池县乔河乡火石沟门村	4045915, 19232977	2
14	庆打公路 10 公里处滑坡	华池县乔河乡火石沟门村	4049045, 19235104	4
15	通张庄道路 2.2 公里处滑坡	华池县乔河乡火石沟门村	4046376, 19234575	1.4
16	余拐沟山体滑坡	华池县乔河乡火石沟门村	4045617, 19231446	1.7
17	乔紫公路 7 公里处山体滑坡	华池县乔河乡虎洼村	4049733, 19237941	2
18	周家沟滑坡	环县洪德乡新集子村周家沟	4065980, 18687475	40
19	驢马台滑坡	环县八珠乡冯家湾村驢马台	4039105, 18726147	15
20	杏儿铺崩塌	环县洪德乡河连湾村杏儿铺	4069681, 18695227	225

* 此表依据华池县、环县国土资源局统计资料整理;1~8 为新增滑坡,9~19 是受到较大影响的原有滑坡,20 为原有滑坡壁上发生的崩塌

The data were provided by the Department of Land Resources of Huachi County and Huanxian County; 1~8 are the newly added landslides, 9~19 are the landslides seriously affected, and 20 is the collapse on the existing cliffside

4.2 可改变重力侵蚀发生的时间

水体浸泡或流水侵蚀陡坡断崖基部等是触发不稳定斜坡土体位移,引发崩塌、滑塌、滑坡等的重要因素。但特大暴雨和洪水引发崩塌和滑坡是有条件的:当表土被水浸透,导致上部土体重量增加;或者基部被流水冲刷,造成土体悬空,使其失去平衡而发生崩滑。前者与暴雨发生机率有关,后者则与沟(河)道侵蚀情况有关,即侵蚀量积累到一定程度才有可能发生。

然而地震却会导致崩滑等重力侵蚀提前发生。与图 2、图 3 所示一样,本文所列举的崩塌和滑坡体,如果不遇此次大地震,会保持数十甚至数百年不变。正是因为地震的发生,才导致其提前若干年发生了。

表 4 所列各类重力侵蚀,或者是汶川大地震直接引发的,造成了灾害发生点重力侵蚀的提前发生,或者是地震对原来已有灾害的加剧,却改变了灾害点重力侵蚀的发展进程。

一般情况下,窑洞住宅区和采矿区是不会在同一时间发生崩塌的。汶川大地震以后,庆阳市同时崩塌的住房和窑洞多达 6525 间(孔),崇信县倒塌窑洞 233 孔,加上未曾统计的不明数量的废弃窑洞,数量会更大。可见,是地震造成了该地重力侵蚀时间的改变。

地震会造成现代侵蚀沟边缘部位的陡崖土体结构发生变化,使原来基本完好的悬崖变得更加松散和易崩滑,提高重力侵蚀的发生机率。

表 4 平凉市、庆阳市 5.12 汶川大地震引发的重力侵蚀统计

Table 4 Table of gravity erosion by 5.12 Wenchuan Earthquake in Pingliang City and Qingyang City

资料来源 Source	崩塌(处)Collapse No.	滑坡(处)Landslide No.	滑塌(处)Slump No.	地面塌陷(处)Land collapse No.
基于统计和实地调查 Statistic and field investigation	> 129	> 82	> 4	> 1

汶川大地震以后,平凉和庆阳市共计形成多于 57 处的地裂缝、10 处不稳定斜坡,其中的一些就是潜在滑坡。例如,平凉市崇信县黄寨乡白新庄村戚家庄社(35°21.35',106°53.61')的地裂缝,呈弧形,长 500m,已具备滑坡形态,如果再遇到外力——或者地震、或者其下部沟道进一步遭受侵蚀,就会发生滑坡。

这与对窑洞住宅的影响一样。汶川大地震后,庆阳市出现裂缝等不同程度损坏的达 17356 间(孔),崇信县裂缝窑洞 1643 孔,导致一些本来无忧的窑洞住宅,受到了重力侵蚀——崩塌的威胁,这就增加了相关地点以后发生崩塌的机率。

4.3 能对黄土微地貌产生影响

主要表现在三方面:

(1)负地貌进一步扩展,正地貌有所缩小

发生在现代侵蚀沟边缘部位的崩塌、滑塌、滑坡,会导致相关沟谷局部的宽度增加及塬、梁、峁等正地貌的进一步缩小。这不仅指古代侵蚀沟底部现代侵蚀沟的土体陷落、位移,也包括塬、梁、峁部位的现代侵蚀沟谷进一步发展。例如,崇信县锦屏镇梁坡村牛噪嘴社的滑坡体厚达 40m,黄寨乡水泉洼村刘天沟社的滑坡体厚约 10m,使相关地点沟谷宽度分别增大了 40m 和 10m。

就现有资料看,汶川大地震后平凉市、庆阳市新增灾害点多于 231 处,其中滑坡多于 43 处,崩塌多于 119 处,滑塌多于 3 处,且绝大部分发生在现代侵蚀沟的边缘和底部。影响较大的原有灾害点 58 处中,除了一部分崩塌是发生在老滑坡后壁上以外,被激活的老滑坡也是分布在现代侵蚀沟边缘。这类灾害均可造成负地貌的扩展和正地貌的缩小。

(2)人类活动的叠加,使地震对地貌的影响力度和范围都有所增大

黄土高原地区传统民居以窑洞为主,且多分布在地形条件相对较好的平坦地面。除了砖(石)箍窑洞,大部分窑洞依山而挖,或者在地面挖出一个四方形坑,再在其四周崖壁上修建窑洞,这样就导致黄土下部悬空,具备了崩塌的条件。地震后,两市共崩塌住房和窑洞多达 6758 间(孔),出现裂缝等不同程度损坏的达 18999 间(孔),正是基于这种情况发生的。地震造成的窑洞住宅以及未曾统计的不明数量的废弃窑洞崩塌,使其影响扩展至缓坡和平坦地面。

采矿作业区的情况也一样。西峰区彭原乡杨坳村姚咀组的地面塌陷,就是因为汶川大地震与采砂活动镂空其下部相互叠加所致。这种情况在崇信县采煤区的表现更为明显(表 5)。

表 5 汶川大地震后崇信县新窑煤矿的地质灾害点

Table 5 The danger points of geological hazard after 5.12 Wenchuan Earthquake in the coal mining area of Xinyao of Congxin County

部位	类型 Type	规模 Volume
地面 Ground	新窑镇寨子村寨子社塌陷裂缝	600m
	Ground fissure and land collapse in Zhaizi Group, Zhaizi Village, Xinyao Town	
	新窑镇寨子村牌坊岭社塌陷裂缝	
	Ground fissure and land collapse in Paifangling Group, Zhaizi Village, Xinyao Town	
井下 Underground	新窑镇周寨村周寨社地裂缝	变形共计 396m,裂缝共计 649m Deformation: 396 m, Ground fissure: 649 m
	Ground fissure in Zhouzhai Group, Zhouzhai Village, Xinyao Town	
	7 家煤炭公司的井下共出现了 17 处裂缝和变形	
	ground fissures and deformation in 7 coal companies	

(3)影响地貌的演变进程

由于黄土具有良好的直立性,若无外部因素影响,黄土区许多陡坡、断崖、黄土柱,会屹立多年而不变。类似

图2、图3所示的黄土梁和沟坡地,因为5.12汶川大地震,提前发生崩塌和滑塌,改变了该地微地貌的演变进程。

4.4 可导致局部地区水土流失进一步加剧

崩滑落至山坡的土体,土质疏松,在未生长植被之前,抗蚀能力弱,易受外力特别是雨水和流水侵蚀。崩滑堆积至沟道的土体,则形成大小不等的“淤”(堰塞湖)。为数不多、规模较大的“淤”可以存留若干年,但大部分“淤”的规模有限,一遇暴雨就被冲毁,这无疑会增加相关地点的水土流失量。

据调查,汶川大地震形成的为数众多的崩滑体,已经加剧了庆阳市的土壤侵蚀。就现象看,平凉市、庆阳市境内因地震形成的一些微型堰塞湖(图2),其中的一些已经被洪水冲毁,使其土壤侵蚀量明显有所增大,这种情况有可能还要持续一段时间。可惜目前尚无水文和水保部门的实测资料进行量化分析。但地震是造成水土流失的诸多因素中较为重要的间接因素,却是无容置疑的。

针对地震与黄土高原水土流失的研究,过去因资料有限,只能研究一些有记载的大案例,客观上忽略了中小地震的影响。据汶川大地震的调查情况看,烈度较小的地震对黄土高原水土流失造成的影响,应该受到更多的关注。

实际上,即使针对大地震的影响力,也未形成一个较为准确的结论。如前所述,地震烈度达到Ⅳ度以上时,会造成为数众多的崩滑,对当地的水土流失具有明显加剧作用。那么,当震级和烈度更大时,只限于会造成更大规模的崩滑吗?显然不是,还会包括更大数量的、无法确定其成因的中小规模崩塌和滑坡。

我国地处世界两大地震带,地中海-喜马拉雅地震带和环太平洋地震带交汇处,地震频繁。因此,地震尽管属于偶发事件,但对黄土高原水土流失的影响却不可轻忽。探讨黄土高原水土流失的成因时,不仅要考虑大地震,也要关注小地震的影响。不仅要考虑发生于黄土高原的地震,也要关注震中位于其他地区而波及黄土高原,如汶川大地震,所造成的水土流失。

5 结论

5.12汶川大地震震中虽然距离甘肃平凉市、庆阳市较远,但却造成了大量的小型崩滑、滑坡、不稳定斜坡和地裂缝,对当地环境产生了一定程度的影响,特别在减小正地貌、加剧水土流失方面,影响更明显。

地震烈度达到Ⅳ度时,会造成黄土崩滑。这与之之前最小烈度为Ⅴ度或稍低时,才能引起崩塌和滑坡的认识略有不同。说明黄土高原特殊的环境特征,对地震的敏感度很高。探讨黄土高原水土流失原因时,地震是必不可少的因素。

References:

- [1] Liu D S, *et al.* Loess and Environment. Beijing: Science Press, 1985, 30.
- [2] http://www.cea.gov.cn/manage/html/8a8587881632fa5c0116674a018300cf/_content/08_08/29/1219979564089.html
- [3] <http://earthquake.usgs.gov/eqcenter/shakemap/global/shake/2008ryan/>
- [4] Chen Y M, Shi Y C, Liu H M, *et al.* Distribution Characteristics and Influencing Factors Analysis of Seismic Loess Landslides. Earthquake Research in China, 2005, 21(2):235-243.
- [5] Yao Q L. Distribution Characteristics and Macroscopic Influencing Factors of Seismic Loess Landslides in Northwest China. Meteorology and Disaster Reduction Research, 2007, 30(1):41-47.
- [6] Chen Y Z, Jing K, Cai Q G. Contemporary Soil Erosion and Management of Loess Plateau. Beijing: Science Press, 1988, 95-96.
- [7] Zhang Z Z. Seismic Loessal Disaster Prediction. Beijing: Earthquake Publishing House, 1999. 24-26, 79-95.
- [8] Zou J C, Shao S M, Jiang R F. Distribution and Tectonic Implications on the Gulang Seismic Landslide. Earthquake Research in China, 2005, 21(2):168-174.
- [9] Wang J D, Zhang Z Y. A Study on the Mechanism of High-Speed Loess Landslide Induced by Earthquake. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1999(6):670-674.

参考文献:

- [1] 刘东生,等著.黄土与环境.北京:科学出版社,1985.30.
- [4] 陈永明,石玉成,刘红玫,等.黄土地区地震滑坡的分布特征及其影响因素分析.中国地震,2005,21(2),235~243.
- [5] 姚清林.中国西北黄土地区地震崩滑的分布与宏观影响因素.气象与减灾研究,2007,30(1),41~47.
- [6] 陈永宗,景可,蔡强国.黄土高原现代侵蚀与治理.北京:科学出版社,1988.95~96.
- [7] 张振中.黄土地震灾害预测.北京:地震出版社,1999.24~26,79~95.
- [8] 邹谨敞,邵顺妹,蒋荣发.古浪地震滑坡与断裂带的关系.中国地震,1994,10(2),168~174.
- [9] 王家鼎,张倬元.地震诱发高速黄土滑坡的机理研究.岩土工程学报,1999,21(6),670~674.