

# 1556年华县大地震的次生灾害

李昭淑<sup>1</sup>, 崔鹏<sup>2,3</sup>

(1 西北大学城市与资源学系, 陕西 西安 710069; 2 中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室, 四川 成都 610041;

3 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041)

**摘要:** 陕西华县于 1556-01-23(明嘉靖三十四年十二月十二日)深夜, 发生里氏  $8\frac{1}{4}$  级地震, 死亡 83 万人, 成为世界罕见的特大灾难。地震期间和地震以后, 由于震动荷载作用, 地震区岩石破碎, 发生了大范围崩塌灾害, 为水石流发育提供了丰富的固体物质。震后 450 a(1556~2006 年)以来, 这些碎屑物质在暴雨激发下, 多次暴发水石流, 在山前洪积扇和平原地区, 造成了严重灾害和巨大损失; 同时, 也形成了地形上的淤积, 改变了局部地形条件, 使得该区容易遭受洪水灾害。1960 年三门峡大坝建成蓄水之后, 渭河下游淤积了大量泥沙, 河床抬升, 成为地上河, 与从秦岭北坡沿溪流出口向下发育的洪积扇共同作用, 形成了地形相对下凹的“二华夹槽”, 这里常受洪水侵袭, 损失巨大, 严重危害人民生命财产安全, 影响经济发展。

**关键词:** 陕西省; 华县; 地震; 崩塌; 水石流; 洪水; 灾害

**中图分类号:** P642.2.X43

**文献标识码:** A

地震次生灾害指在地震中由于地震作用导致的地质、地貌动力过程及其灾害效应, 包括地震中直接导致的次生灾害和地震以后相当一段时期内发生的次生灾害, 主要有岩崩、崩塌、地面形变(隆起、错动、旋扭、地裂缝、沉陷等)、喷沙冒水、沙土液化、泥石流(含水石流)、洪水等。本文以 1556 年陕西省华县发生的大地震及其次生灾害效应为例, 探讨地震次生灾害的发生特征。

## 1 大地震概况

1556 年陕西省华县发生里氏  $8\frac{1}{4}$  级大地震, 震中位于  $34^{\circ}5'N$ ,  $109^{\circ}8'E$ , 即华县县城一带, 发震时间为 1556-01-23(明嘉靖三十四年十二月十二日)22 时。主震释放的能量约为  $6.3 \times 10^{23}$  尔格, 地震波及半个中国, 死亡 83 万人, 造成了人类历史上

最大的地震灾害<sup>[1]</sup>。

我国明代许多历史资料都对这次地震有珍贵的记载。如隆庆《华洲志》卷四记述: 嘉靖乙卯冬, 山、陕遭地震之变, 吾华为惨不可言, 山川移易, 道路改观, 屹然而起者成阜, 坎然而下者成壑, 倏然而涌者成泉, 忽焉而裂者成涧, 民庐官廨, 神宇城池, 一瞬而倾圯矣, 民之死于变者不可胜记, 间有生者, 亦病不能兴, 地方残破, 盗贼发生, 莫此为甚<sup>[2]</sup>。从以上资料可知, 1556 年的华县地震伴生着多种地质地貌过程, 地形变化强烈, 影响范围广泛, 灾害损失严重。

## 2 不同类型地貌对地震的响应及其灾害效应

地震区地貌类型有中高山、山前洪积扇裙、黄土台塬和冲积平原 4 种类型(图 1)。不同类型地貌,

收稿日期(Received date): 2006-12-01; 改回日期(Accepted): 2007-05-20.

作者简介(Biography): 李昭淑(1928-)男, 教授, 主要从事地貌及第四纪地质学与山地灾害研究。[Li Zhao-shu (1928-), male, Professor specialized on geomorphology, quaternary geology and mountain hazards.]

通讯作者: 崔鹏, 男, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要从事泥石流等山地灾害研究, E-mail: pengcu@imde.ac.cn. [Cui Peng (1957-), male, Professor specialized on debris flow and geo-hazards.]

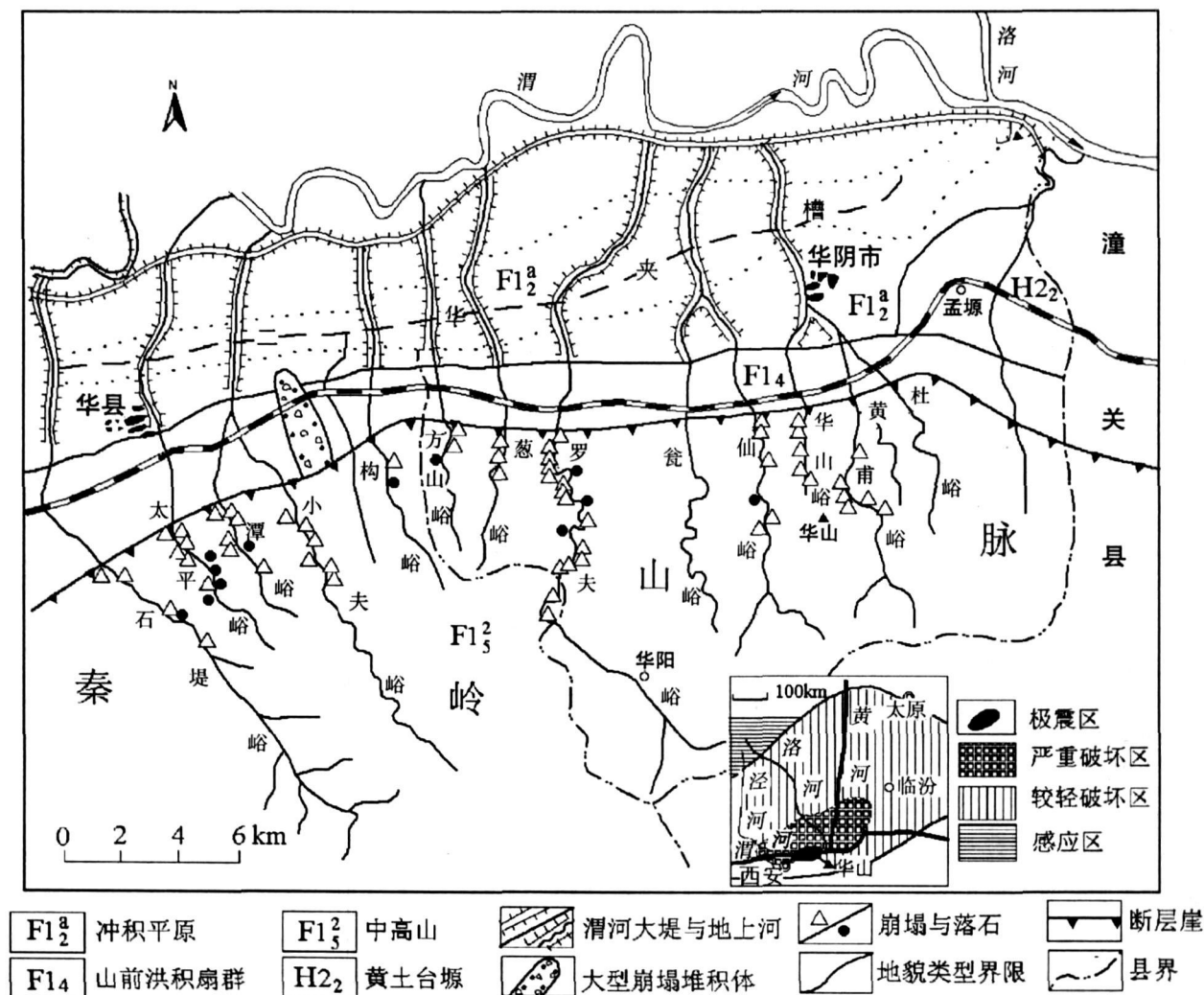


图 1 极震区地貌类型、地上河和崩塌分布图

Fig 1 Distribution of collapses, landslides, physiognomy and overground river channels in strong shaken area during Huaxian Earthquake in 1556

对地震作用的响应不同,在地震过程中产生了不同的地质过程和地貌现象,形成了地震次生灾害,也为震后相当长一段时期的灾害活动准备了条件。

**中高山地貌** 以山前大断裂为界,山地受强烈隆升构造运动影响,海拔多在 1 000 m 以上,最高峰草链岭海拔 2 646 m。组成山地的岩石,主要有太古代和元古代的深变质岩,中生代燕山期二长花岗岩,以后者出露面积最广泛。花岗岩山体高耸,峰峦叠嶂,流水侵蚀强烈,在海拔 1 000 m 以下的河谷,均为第四纪深切峡谷,河谷窄深,谷坡陡峻。高陡的山体和坚硬的岩石,在地震作用下往往产生崩解,发生岩崩和崩塌。因而,中高山是 1556 年地震岩崩和崩塌的主要分布范围(见图 1)。

**山前洪积扇裙** 位于山地北麓与冲击平原、黄

土台塬相交处。山前洪积扇发源于山地北坡,位于各条河流的洪积堆积地带,在山前堆积形成扇状地形。洪积物多由沙卵石和沙质粘土组成,在地震中发生裂隙、喷沙、冒水等现象,导致建筑物破坏。

**黄土台塬** 位于孟塬一带的断层崖北部,称为瓜坡塬与孟塬。塬的底部是早更新世河湖相沉积物,上覆风成黄土堆积物。由于黄土具有直立性和易蚀性,下切侵蚀强烈,塬边陡峻。受地震影响,塬边易产生滑坡,极震区沿塬边发育许多黄土滑坡。

**冲击平原** 是由渭河及其支流形成的冲积平原。主要由河床、河漫滩和第一二级阶地组成,沉积物具有明显的二元结构。以第一二级阶地最为发育,阶地面宽阔,华县和华阴市均建在河流阶地之上。在地震作用下,地面形变强烈,出现隆起、错动、

旋扭、沉陷和地裂缝等现象; 地下含水层因受到强烈的挤压, 使孔隙结构急剧变化, 地下水局部承压, 发生地下水喷涌等现象; 震动荷载又导致松散沉积物冒沙与沙土液化。这些地震中的地质动力作用, 破坏了建筑物的地基, 造成建筑物大量倒塌<sup>[3]</sup>。

1556 年华县地震区的各种地貌类型, 由于其形态和结构等的差异, 地面发生了不同形式的变形, 形成相应的灾害。在地震中, 山区发育崩塌, 黄土台塬出现滑坡, 山前洪积扇和平原则发生地面变形、地裂隙、喷砂、冒水, 各类建筑物几乎全部倒塌、破坏, 人员伤亡过半。地震以后至今的 450 a 期间, 又在不同地貌类型区形成各有特色的次生灾害, 如暴雨洪水、水石流、滑坡、崩塌等, 造成严重危害。这些由地震引起的地质地貌动力过程, 在造成灾害的同时, 也对地貌形态进行了改造, 而这些地貌上的改变又在一定程度上影响到后续灾害的形成。

### 3 次生灾害——崩塌(含岩崩)

把地震破坏最为强烈的区域称为极震区。由图 1 可见, 1556 年华县地震的极震区位于华山山脉北坡的石堤河至杜峪之间, 地震导致的崩塌和岩崩主要分布于极震区的中高山地。

位于断层崖南侧的极震区中高山, 山体强烈隆升, 河流急剧下切, 形成“V”字形峡谷, 高差较大(200~500 m), 谷坡陡峻, 稳定性差; 受构造运动影响, 节理裂隙发育, 岩体破碎。当结构面和坡面倾向一致时, 在流水侧蚀与下切作用下, 形成临空面, 岩体处于临界破坏状态。地震期间, 震动荷载作用于不稳定岩体, 使岩体在重力作用下, 沿着结构面发生变形位移, 形成崩塌和岩崩。地震崩塌的类型有: 倾倒式崩塌、滑移式崩塌、错断式崩塌和各种形式的落石(直落式、直落跳跃式、滑落式和滚落式等)<sup>[4]</sup>。大量的崩积物堆积在崩塌壁前的河谷底部, 为后期水石流的发生提供了物质条件。华山风景名胜区的华山峪(见图 1), 流域面积仅 18 km<sup>2</sup>, 震后 450 a 间, 山洪和水石流暴发频繁, 已经搬运了大量崩积物, 而目前沟内的崩积物仍 > 600 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>。

虽然地震已经过去 450 a, 但地震导致的崩塌堆积物仍然保存较好。通过考察, 基本确定了极震区较大崩塌体的分布, 发现各峪(峡谷)都有地震崩塌现象, 其中以罗敷峪崩积物分布最为密集, 图 1 标出考察所得 80 余处较大崩塌体及落石的位置和分布。

由于 1556 年地震的震级大, 震动强烈, 持续时间长, 极震区崩塌的特点表现为: 分布广泛, 崩积物粒径粗大, 崩塌堵河较多, 但是少有堰塞湖。如太平峪卡门子、构峪、石堤河、罗敷峪、华山峪等, 都有大量崩积物堵塞河(沟)道, 但由于花岗岩或变质岩崩积物粒径粗大, 孔隙大, 没有形成堰塞湖。

### 4 次生灾害——水石流

水石流多发育在坚硬岩石(花岗岩、石灰岩等)山区, 堆积物以沙、砾石和漂石(粒径 > 1 m)为主, 占固体物质总量的 85% 以上。华县地震极震区的沟谷内堆积着大量以粗颗粒为主的岩体崩积物。这里河(沟)床比降大(多介于 5% 至 6% 之间), 降水较多且多暴雨。在暴雨期间, 容易形成山洪, 洪峰流量大, 流速快, 侵蚀搬运能力强, 能够携带大量崩积物, 形成水石流。华山水石流暴发突然, 历时短暂, 来势凶猛, 破坏力强, 易于酿成灾害。如从莲花寺至孟塬间, 沿铁路长约 30 km, 就有 40 多条泥(水)石流沟, 平均每公里有 1.3 条, 1982 年南山区多条溪沟发生水石流, 河堤多处决口溢流, 断阻道路, 毁坏桥涵, 造成巨大损失<sup>[5]</sup>。

1556 年地震以后, 华山峪曾多次暴发较大水石流, 如明隆庆四年(1570 年), 清康熙十六年(1677 年), 光绪十年(1884 年)、建国后的 1965 年、1982 年和 1988 年暴发了大规模水石流, 使华山峪和玉泉院遭受严重灾害, 在玉泉院加积扇上堆积了大量巨大漂砾。据地方志记载: 光绪十年(1884 年), 暴发特大水石流灾害, “淹死香客男女无数”, 搬运崩塌巨大漂石(鱼石), 长 23.7 m, 宽 18.6 m, 厚 9.1 m, 体积 4 011.6 m<sup>3</sup>。会稽人周元祉在鱼石上题写<sup>[4]</sup>: “光绪十六年六月六日, 山内蛟起, 冲裂巨石至此, 中见鱼形首尾, 皆具其半, 不知所至, 因异而记”, 记录了当时的水石流灾害。该石现已成为华山风景名胜区的旅游景观。

当水石流流出峡谷之后, 山前地形豁然开阔, 水流迅速展宽, 流速减缓, 大量搬运的物质堆积于山前。被水石流搬运的崩积物粒径粗大, 在原来洪积扇上堆积, 形成新的加积扇。水石流停积了粗大粒径砾石以后, 继续向前流动, 受地形和侵蚀基准面的影响, 在阶地前缘和河口堆积, 形成了串珠式洪积扇。这种串珠式洪积扇在华山峪山前发育最典型(图 2)。

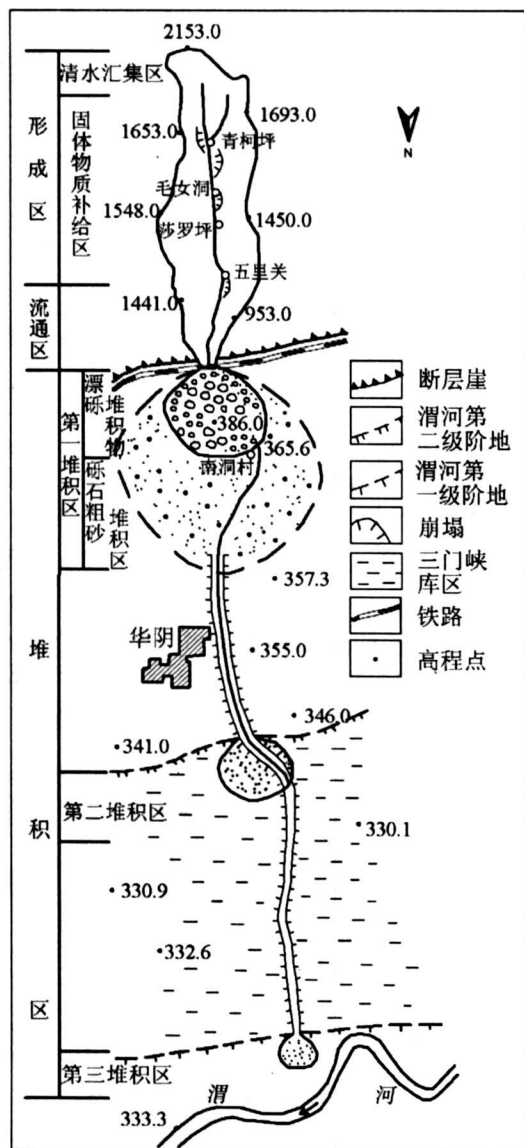


图 2 华县华山峪发育的水石流串珠状洪积扇

Fig 2 A alluvium fan of water-stone flow of Huashan valley in Huaxian County

## 5 次生灾害——洪水

1556华县地震以后,发源于南山的各条溪流泥沙增多,形成洪积扇。由于渭河为多沙河流,下游淤积严重,人们为了防治洪水灾害,不断加高堤防。从而,在华县和华阴的山前洪积扇和渭河河堤之间形成凹地,称之为“二华夹槽”,成为最易遭受洪水侵袭的地方。1556年地震以后,华县和华阴市平原地区洪水泛滥频繁,洪水多蓄积在“二华夹槽”内,灾情十分严重。根据该区洪涝灾害记载,自1556~1987年,431 a间,渭河共泛滥,114次,山洪、水石流

发生97次。当地人们为了防治南山水石流和洪水灾害,不得不采取河道挖泥、补险、旧堤加厚培土、裁弯取直、砌石护堤等措施,长期进行堤防加固工程。从明清以来几百年间,大部分劳动力都困扰在整修堤防工程上,然而洪水灾害并未减轻。

自1960年三门峡水库建成以来,南山支流的平原河段,因受渭河淤积、倒灌、顶托的影响,悬河进一步发展,高出地面0.1~2.5 m,最大达4 m。这些河道排泄不畅,导致洪水灾害频繁发生<sup>[6]</sup>。据统计,1960~1990年的30 a间,华县与华阴市的11条河流,决口32次。1982年多条溪沟群发性水石流和洪水,使得多处河堤决口,“二华夹槽”成为汪洋水域,淹没农田 $2.23 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ,倒塌房屋3183间,死亡16人,直接经济损失1044万元。

## 6 地震区未来灾害趋势分析

华县与华阴市位于汾渭地震带,地质构造复杂,有多条活动断裂交汇,应力集中,具有形成地震的构造背景。历史时期地震频繁,强度大,频度高,多次发生强地震。据有关资料统计,从北宋熙宁五年(1072年)至1976年,波及华县的地震19次文献,其中11次地震的震中在华县境内。根据1978年国家地震局出版的《中国地震危险区划分图》,预计华县华阴地区未来百年内,可能发生6.5级以上地震。该区也是陕西省预估未来百年内发生大地震的主要地区。因此,本区存在未来发生强震的可能。

据《1556年陕西省华县地震遗迹》记载:“……华山诸峪北渚沃野,渭河涨壅数日……。”该记载说明1556年华县地震时,发生了洪水灾害。而当时正值干季(1月),应为河流的枯水季节,如果未来在汛期发生地震,将可能半生洪水灾害。

我国约有15个水库诱发过地震,全世界约有100多个水库发生过地震。如1962-03-19广东新丰江水库发生过6.4级地震<sup>[7]</sup>。三峡水库于2003-06-01~16蓄水至135 m通航发电,2003年共发生地震541次,地震频次较1996~2002年增加近3~13倍;2004年共发生地震1062次,地震频次比2003年增加近一倍,强度也有所增加,这与2003-06后水库蓄水及运行有关。目前大多为2级以下微震。说明三峡水库蓄水运行后,地震频次与强度虽有所增加,但地震活动仍保持在三峡地区原有弱地震活动本底状态<sup>[8]</sup>。三门峡水库也存在诱发

地震的可能。

华县及华阴市位于黄河、渭河和洛河的汇流区。自 1960 年三门峡大坝建成蓄水以后, 水位升高, 侵蚀基准面抬高, 渭河受其影响, 发生严重淤积。黄河中游地区是我国著名的土壤侵蚀区, 水土流失极为严重, 大量泥沙汇入河流, 三门峡水库泥沙淤积非常严重。依据三门峡库区管理局资料, 从 1960~2000 年的 40 a 间, 库区淤积泥沙  $67.3 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 渭河下游淤积泥沙  $16.23 \times 10^8 \text{ m}^3$  (其中渭河  $13.32 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 洛河  $2.91 \times 10^8 \text{ m}^3$ ), 已成为高出地面 3~4 m 的悬河。渭河因泥沙淤积, 河势不稳, 摆动频繁, 塌岸严重, 险情不断, 地下水排泄不畅, 洪水威胁突出; 目前, 淤积末端已越过咸阳铁路桥, 对咸阳市和西安市亦构成威胁。在 2003 年汛期, 渭河多次发生洪水, 虽然流量不大, 当流经华县和华阴市河段时, 支流堤防溃决 11 处, 洪水泛滥, 受灾人口 56.25 万人, 受灾面积  $9.2 \times 10^4 \text{ hm}^2$ , 倒塌房屋 18.2 万间, 直接经济损失共 60 亿元。今后华县华阴地区仍然是洪水的高风险区。另外, 渭河下游的泥沙淤积, 可能会成为有利于地震发生的因素而增大灾害风险。

为了减轻三门峡水库造成的洪、涝、碱灾害, 国家曾投入大量资金修建堤防和治理工程, 这些工程的修建, 在减缓洪涝灾害、保障农业生产方面发挥了重要作用。但是, 随着河道泥沙淤积和大堤的不断加高, 险情相继增大, 对平原极震区今后灾害的发展可能会出现以下几种情形:

1. 如果黄河与渭河洪水相遇, 会在渭河河口形成拦门沙, 部分堵塞渭河河道, 减弱渭河行洪能力, 或黄河洪水倒灌顶托渭河水流, 引发洪水。

2. 渭河和南山支流下游, 均已成为地上河。目前, 渭河洪水倒灌南山支流已经超过几公里, 灾害不断发生。如果渭河与南山支流水石流相遇, 就会酿成严重洪水灾害。

3. 黄河、渭河和南山水石流洪水同时相遇, 则会出现更为危险的洪水泛滥灾害。

以上三种情况, 都可能使渭河泥沙大量淤积, 更易产生洪水害。

## 7 结束语

1556 年华县发生里氏  $8\frac{1}{4}$  级大地震, 渭河下游平原区遭受了巨大灾难; 中高山的极震区发生了大量崩塌, 为震后形成水石流蓄存了丰富的固体物质。

地震以后 450 a 中, 次生灾害 (水石流、洪水) 不断危害山前洪积扇和平原地区。华县、华阴地处汾渭断陷盆地的地震活动带, 具有发生大地震的构造条件。受三门峡水库影响, 河流侵蚀基面抬高, 渭河泥沙淤积较为迅速, 淤积末端已达距潼关 263 km 的咸阳铁路桥, 洪水威胁愈加严重。在华阴和华县地区, 渭河和来自南山各支流的下游均已经成为地上河, 其间的凹地“二华夹槽”常常受到洪水侵害。这一地区泥沙淤积不断增多, 可能会影响华县、华阴地区活动断层的应力特征, 起到利于诱发地震的作用。因此, 该区的防灾减灾应以减少泥沙淤积为重心, 积极采取措施, 进行水土保持、水石流治理和三门峡水库的合理调度, 减少泥沙来源, 降低侵蚀基准, 控制新的泥沙淤积, 冲泻库区与河道泥沙, 逐步恢复天然河道, 防止河堤溃决与河水泛滥, 从根本上防治该区的洪水危害。

## 参考文献 (References)

- [1] Song Lisheng, Wu Fuchun, Wang Feng *et al*. Earthquakes Record [M]. Beijing: Seismological Press, 1989 [宋立胜, 吴富春, 王峰, 等. 地震志 [M]. 北京: 地震出版社, 1989]
- [2] Compilation Committee of Huang County. Annals of Huang County [M]. Xi'an: Shanxi people's Press, 1992 [华县地方志编纂委员会. 华县志 [M]. 西安: 陕西人民出版社, 1992]
- [3] Li Yongshan, Han Hengyue, Zhang Mingzhe, *et al*. The damage of great Huaxian earthquake and palaeoseismic traces [A]. In Prehistorical Earthquake and Quaternary Geology [C]. Xi'an: Shanxi Science and Technology Press, 1982: 30~42 [李永善, 韩恒悦, 张名哲, 等. 华县大地震震害与古地震遗迹探讨 [A]. 见: 史前地震与第四纪文集 [C]. 西安: 陕西科技出版社, 1982: 30~42]
- [4] Hu Houtian. Collapse and Rockfall [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 1989 [胡厚田. 崩塌与落石 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 1989]
- [5] Li Zhaoshu. The contributing factors and protections of water debris flows on Huashan mountains [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1989, 9(2): 57~65 [李昭淑. 华山水石流的成因与防治 [J]. 水土保持通报, 1989, 9(2): 57~65]
- [6] Zeng Qinghua, Zhou Wenhai, Yang Xiaoping *et al*. The relation between sedimentation development of Weihe river and downdraft of Yellow river flood in Tongguan [J]. *Journal of Sediment Research*, 1987, (1): 15~19 [曾庆华, 周文浩, 杨小庆, 等. 渭河的淤积发展及其与潼关卡口黄河洪水倒灌的关系 [J]. 泥沙研究, 1987, (1): 15~19]
- [7] State Investigation Group for Magnitude Natural Disaster 600 Magnitude Natural Disasters and Disaster Reduction [M]. Beijing: Seismological Press, 1990. [全国重大自然灾害调研组, 600 自然灾害与减灾 [M]. 地震出版社, 1990]
- [8] Wang Rushu. A summary of three gorges reservoir induced earth-

quake study [J]. *Journal of China Three Gorges University (Nature Science)*. 2006 28(2): 97~ 104[王儒述. 三峡水库诱发地震研

究综述. 三峡大学学报(自然科学版) [J], 2006 28(2): 97~ 104]

## The Secondary Disasters of Great Huaxian Earthquake in 1556

LI Zhaoshu<sup>1</sup>, CUI Peng<sup>2,3</sup>

(1 Department of Urban and Resource Science, Northwest University, Xi'an 710069, China;

2 Key Laboratory of Mountain Hazards and Earth Surface Processes, CAS, Chengdu 610041, China;

3 Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu 610041, China)

**Abstract** On the night of January 23, 1556, an earthquake of 8.25 Richter magnitude hit Huaxian, Shanxi Province, with 830 thousands people died. In addition, the earthquake induced widespread rockfalls and landslides, providing tremendous quantity of materials for debris flows. In the last 450 years after the earthquake, these fragments of materials often turn into debris flows at the triggering of rainstorms, which have caused serious disasters and large losses in the alluvial fans and plains in the mountain front. Moreover, debris-flow depositions have changed the local landform which is favoring flood. Since the construction of the Sanmenxia dam in 1960, a great deal of sediment has deposited in the lower Weihe River, causing the silt up of riverbed. And combining the fluvial fan developing in the outlets of valleys on the north slope of Qingling mountain, there formed a depression which is often attacked by calamities of flood.

**Key words** Shanxi Province; Huaxian earthquake; collapse; water-stone flow (debris flow); flash flood; disasters

### 《山地学报》致作者

为不断改进本刊质量,提高编辑水平,也为便于本刊对您的宣传和为您评选优秀论文提供材料,请您随时留意论文发表后的社会反响,将其被引用、转载、收录等信息,以及因此而被授奖(包括由获奖成果、总结撰写的论文和因论文发表而导致的成果获奖情况),应邀讲学或参加学术活动,开展合作研究等情况尽量收集并及时反馈给我们。

编者