

# 汶川 $M_s8.0$ 地震对甘肃陇东地区的破坏影响与特征分析

王爱国<sup>1,2</sup>, 杨晓鹏<sup>3</sup>, 李明永<sup>1</sup>, 柳煜<sup>1</sup>, 石航<sup>1</sup>, 史继平<sup>3</sup>

(1. 中国地震局地震预测研究所兰州基地, 甘肃兰州 730000;

2. 甘肃省地震局, 甘肃兰州 730000; 3. 甘肃省地震局平凉中心地震台, 甘肃平凉 744000)

**摘要:**在汶川  $M_s8.0$  地震后甘肃陇东地区的详细灾害调查基础上, 对该区地震破坏进行了分类研究, 给出了各种建筑物及工程结构的破坏程度及破坏特征。结合该区独特的地质地理环境对产生地震破坏的原因进行了分析。认为该区地震破坏相对严重的原因除与建筑物本身质量及结构有关外, 还与远震和地形影响的长周期效应及持时较长有关。

**关键词:** 汶川  $M_s8.0$  地震; 陇东地区; 地震破坏; 长周期效应

**中图分类号:** P315.915 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2009)01-0080-06

## The Influence and Characteristics of Seismic Damage in Longdong Area of Gansu Province in Wenchuan $M_s8.0$ Earthquake

WANG Ai-guo<sup>1,2</sup>, YANG Xiao-peng<sup>3</sup>, LI Ming-yong<sup>1</sup>, LIU Yu<sup>1</sup>, SHI Hang<sup>1</sup>, SHI Ji-ping<sup>3</sup>

(1. Lanzhou Base of Institute of Earthquake Prediction, CEA, Lanzhou 730000, China;

2. Earthquake Administration of Gansu Province, Lanzhou 730000, China;

3. Pingliang Seismic Center Station, Earthquake Administration of Gansu Province, Gansu Pingliang 744000, China)

**Abstract:** Based on the detailed disaster investigation in eastern Gansu province after Wenchuan  $M_s8.0$  earthquake, the earthquake damage in the area is classified and researched, the seismic damage intensities and destruction features for different kinds of building and engineering structure are presented. According to the unique geological conditions, the reasons for earthquake damage being more severe than expected in this area are analyzed. It is considered that the reasons for the relatively severe damage is not only relevant to the quality and structure of the building itself, but also to the long period effect caused by the teleseism, the geography influence and the long duration time of seismic wave.

**Key words:** Wenchuan  $M_s8.0$  earthquake; Eastern Gansu province; Seismic damage; Long period effect

## 0 引言

2008年5月12日14时28分,四川省汶川县境内发生  $M_s8.0$  特大地震。此次地震破坏强度大,破坏影响范围广,甘肃的南部、中部及陇东地区都遭受了较严重的地震破坏,其中在位于甘肃陇东的平凉地区和庆阳地区造成14人死亡,120人受伤,直

接经济损失逾5亿元。

陇东地区距离汶川  $M_s8.0$  地震震中最近距离540 km(图1),很难想象此次地震中该区会发生如此严重的灾害。笔者通过对该区地震灾害进行的详细调查,对各类建筑物与工程结构的破坏程度与特征进行了归纳,并对该区地震破坏原因进行了分析,

收稿日期:2008-06-08

基金项目:中国地震局地震预测研究所基本科研业务专项基金(2007690);中国地震局兰州地震研究所论著编号:LC2009021

作者简介:王爱国(1972-),男(汉族),湖北洪湖人,副研究员,主要从事地震地质、工程地震及数值模拟方向的研究。

以期对该区的建筑抗震设防及灾后重建规划提供一定参考。

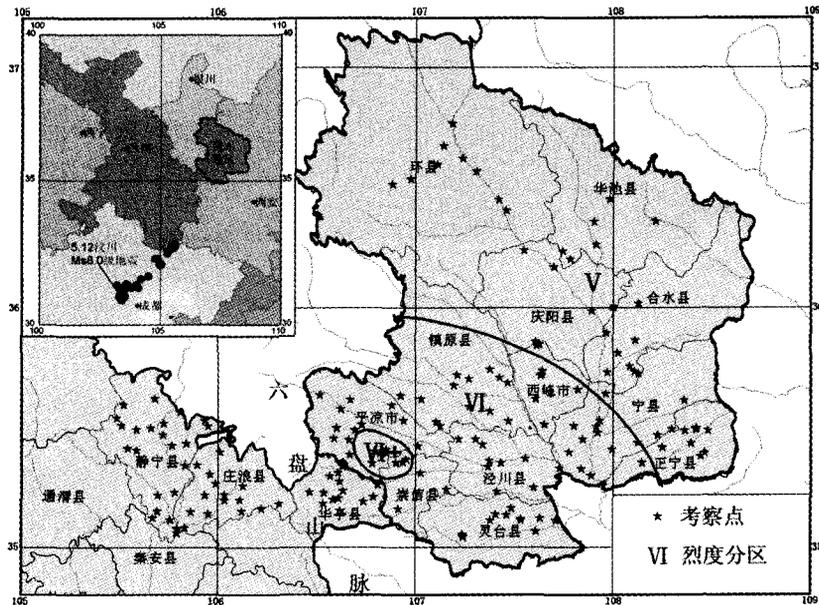


图 1 汶川地震在陇东地区的烈度分区和考察点分布

Fig. 1 The seismic intensities of Wenchuan  $M_s 8.0$  earthquake in Eastern Gansu province and distribution of investigation points.

## 1 陇东地区地质地理环境

陇东地区指甘肃省六盘山山脉陇山以东地区<sup>[1]</sup>,包括甘肃省庆阳地区及平凉地区的泾川县、灵台县、崆峒区、崇信县和华亭县(图 1)。该区位于鄂尔多斯盆地西南部,大地构造属于华北地台鄂尔多斯中坳带南段和鄂尔多斯西缘褶皱带<sup>[2]</sup>。地貌上主要以黄土梁、塬及沟壑河谷地貌为主,部分地区形成梁峁地貌。黄土塬与河流比差一般达 250 m 左右。区内河流主要为泾河及其支流马莲河、蒲河、汭河、黑河、达西河等。

受地质演化控制,陇东地区普遍发育厚 155~203 m 的下更新统石质黄土及厚度可达 100 m 的中更新统离石黄土,广泛分布于黄土塬、梁、峁;表层的则为厚约 10 m 上更新统淡黄色疏松马兰黄土。全新统地层不发育,多为冲沟、河流或边坡堆积<sup>[3]</sup>。

陇东地区块体内活断层不发育,虽有稀少中小地震发生,但无中强地震记录,6 级以上强震主要发生于鄂尔多斯盆地周缘第四纪强烈沉降的断陷带内及西南压缩边界走滑活动断层上<sup>[4-5]</sup>。

## 2 陇东地区建筑特征及分类

受气候及环境影响,该区建筑早期以窑洞及土结构房屋为主,近期新建建筑则以砖结构为主,区内木结构房屋极少。根据建筑材料及结构,该区主要

建筑形式可以分为以下几类:

(1) 早期的黄土窑洞:包括崖窑、地坑园两种形式。崖窑主要分布于梁、塬边缘地带,由于边坡较陡,黄土卸荷裂缝较多,出现黄土崩塌的危险性较大(图 2(a))。地坑园则是窑洞的另一种形式,由人工在塬面上开挖基坑到一定深度,然后在基坑边壁往黄土层内掏挖成窑洞(图 2(b))。

(2) 土箍窑:为黄土高原地区特色的建筑形式,完全由黄土夯筑而成(图 2(c))。因造价低廉、建筑取材方便,在当地占有很大比例。由于黄土夯土没有粘结力,结构无支架,土箍窑抗震能力非常弱。新近有些居民为了美观,同时保持土箍窑冬暖夏凉的优点,在土箍窑的外侧砌了一层砖墙面,由于没有结构的搭接,实为单板墙,反而增加了土箍窑的抗震危险性。

(3) 土坯房:多为八十年代以前房屋,偏远村镇较多,部分继续住人,多数改为偏房或牲口棚。有一些条件稍好的在土坯房各转角或底层或门面用了一些砖,形成砖土房屋或砖柱土坯房。

(4) 砖房及砖混房屋:一般较新,多为九十年代以后房屋,各地均有分布,新农村和城镇以该类房屋居多。

(5) 框架结构房屋:主要为城镇及乡镇等单位集体建筑、新建学校、医院等,一般较新。各地均有

分布。



(a) 崖窑 (b) 地坑园 (c) 土箍窑

图 2 陇东地区主要破坏建筑结构形式

Fig. 2 The main damaged styles of building structure in Longdong area.

### 3 陇东地区地震破坏影响及特征

#### 3.1 地震烈度分区特征

通过对陇东及六盘山两侧 160 多个调查点的现场考察和抽样调查,陇东地区相对于六盘山山区及西侧震害有明显的放大加剧,震害遍及整个陇东地区。依照《中国地震烈度表(GB/T17742—1999)》<sup>[6]</sup>并根据区内地形地貌条件、地震时房屋和人饮工程破坏特点、地面和山坡破坏情况及人的感觉强弱等震害特征,确定此次地震陇东地区破坏强度以崆峒区大寨乡—崇信县黄寨乡一带最为严重,烈度为 VI 度强;往 NE 方向震害逐渐相对减弱,大致以西峰区和庆阳县分界线为界,西南侧地震烈度均达到 VI 度,北东侧地震烈度为 V 度(图 1)。各烈度区震害特征简要描述如下。

(1) VI 十度区:主要为黄土长梁地貌。人的震感强烈,站立不稳,多数人惊逃户外。少数陈旧土坯房严重破坏或毁坏,多数土坯房中等破坏;个别老砖房中等破坏,少数砖房轻微破坏,出现轻微裂缝。仅存的窑洞多数严重破坏,砖围墙普遍倒塌,大门多数倒塌破坏,水塔普遍严重裂缝变形,个别倒塌。

(2) VI 度区:面积范围较大,包括黄土梁、塬及沟谷地貌。普遍震感强烈,多数人站立不稳,少数人

惊逃户外。个别土坯房倒塌,少数中等破坏,多数轻微破坏;砖房多数基本完好,少数轻微裂缝,以老校舍砖结构居多;窑洞多数轻微破坏,少数严重破坏甚至倒塌;水塔和高烟囱普遍裂缝明显,少数错裂移位,严重破损。

(3) V 度区:也主要为黄土梁、塬及沟谷地貌。普遍震感明显。震害主要为窑洞和水塔的破坏,窑洞少数轻微破坏,以裂缝为主,个别出现洞顶塌落;水塔多轻微裂缝,个别裂缝明显。

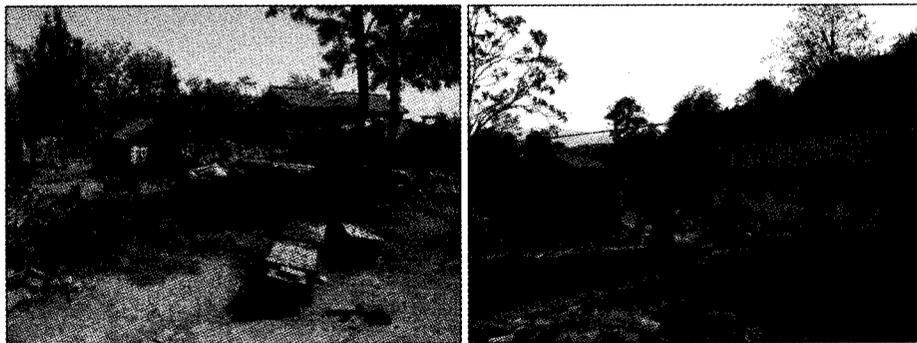
概括起来地震对陇东地区产生的破坏主要为民居,其次为学校、医院及人饮工程,另外还有黄土崩塌及部分公共设施的损坏等。

#### 3.2 地震破坏特征

根据震害调查资料,陇东地区地震破坏表现出如下几个特征:

##### (1) 地形特征:

总体看该区以黄土梁上的破坏程度最重,如崆峒区大寨乡赵原村、西峰区殡仪馆等均位于突出的条形山嘴梁上,建筑物和构筑物严重破坏;其次为黄土塬,破坏相对较重且普遍;河谷区内及基岩山区地震破坏相对较轻,各种结构建筑物包括土坯房基本完好,部分表现为轻微裂缝和变形(图 3)。



(a) 黄土塬区土坯房破坏较严重

(b) 基岩山区各类建筑完好无损

图 3 黄土塬区与基岩山区的破坏对比

Fig. 3 The damage contrast between loess plateau and bedrock area.

(2) 结构特征:

平凉地区除崆峒区大寨乡、崇信县黄寨乡一带土坯房、砖土结构房屋倒塌破坏比较严重外,其他地区整体破坏显示结构的选择性。

①窑洞:主要在庆阳地区,表现为洞顶坍塌、裂缝(图 4),洞门的局部裂缝破坏及洞体裂缝失稳。受本次地震影响,原本就不很安全的窑洞多数严重破坏或毁坏。

②土箍窑:少数倒塌,多数严重破坏,表现为窑体外侧夯土墙及砌墙的倒塌、窑体的裂缝及扭曲变形失稳(图 5)。

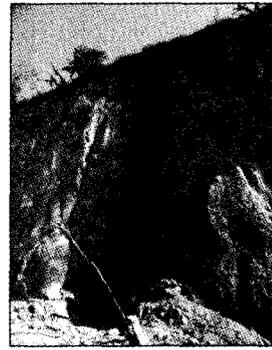
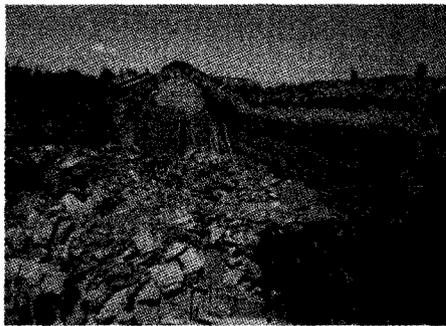
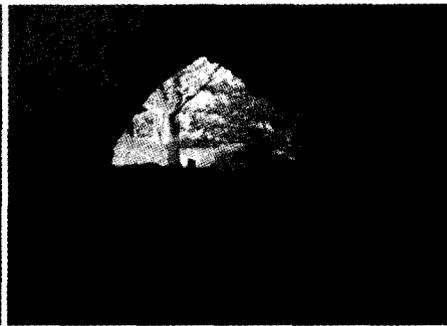


图 4 窑洞及洞口的坍塌

Fig. 4 The collapse of cave-house portal.



(a) 东西向土箍窑的倒塌



(b) 南北向土箍窑侧墙的倒塌及主墙变形

图 5 土箍窑的坍塌与破坏

Fig. 5 The collapse and damage of soil hoop kiln.

③土坯房:少数年久失修的危房倒塌,普遍出现裂缝加剧或扩张。

④砖房:极少数出现裂缝,老砖房个别扭曲变形成危房。

⑤砖混、框架结构:基本完好,少数见墙体轻微裂缝。

⑥长围墙:倒塌比较普遍,长度较大、中间没有连接柱的围墙尤甚。墙体多为单边倒塌,东西向围墙为主,南北走向围墙相对稳定。倒塌围墙多为砖墙,厚度较大的土坯墙体则相对稳定(图 6)。



图 6 东西向长围墙倒塌与土坯墙完好并存

Fig. 6 The long enclosing wall with EW direction collapsed and soil wall kept well in some place.

⑦水塔和烟囱:梁塬上的水塔及高耸烟囱在整个陇东地区破坏均比较严重。水塔一般高 20 m,顶部为水塔,下部为砖砌桶墙;烟囱多为砖结构。破坏多表现为下部出现贯穿裂缝并移位(图 7),个别倒塌。

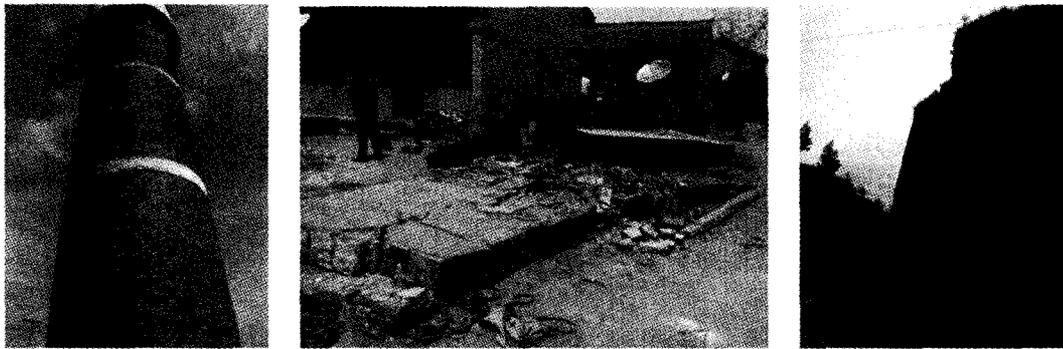
⑧大门:大门破坏在陇东南部较普遍(图 7),表现为倒塌、裂缝、扭曲变形、表层贴砖剥落、门柱角震落等。

⑨校舍:破坏的多为早期修建的中等跨度的土坯房或砖土房,由于裂缝或房体变形加剧,现多成为危房。

⑩大跨度框架:如庆阳市财政局和建设局新盖办公大楼、宁县职校新盖实验楼,及平凉地区人民医院等,一般为 13 层左右,由于使用了大框架,楼内填充墙裂缝变形严重,填充墙与框架之间明显开裂。另外,象加油站、清真寺等裂缝变形相对较重。

(3) 方向特征:

陇东地区建筑物与构筑物的破坏也体现了明显的方向特征。如倒塌围墙多为东西走向围墙,倒塌方向南北向(图 6)。南北走向围墙相对完好。南北走向土箍窑相对较好,多表现为墙体扭曲变形或裂



(a) 水塔的贯穿裂缝与错位

(b) 大门及土坯房倒塌

(c) 公路边黄土崩塌(已清理)

图7 构筑物及其他破坏

Fig. 7 The damage of structures as water tower, gateway and others.

缝,个别侧墙倒塌;而东西走向土箍窑多出现主墙倒塌或整体坍塌(图5)。

#### 4 破坏原因分析

根据建筑物所处环境、破坏特征和建筑物本身的特征研究,陇东地区在该次地震中表现出的灾害严重效应主要来源于以下几个方面:建筑物本身原因:

(1) 建筑物古老陈旧,年久失修(如窑洞、土坯房、旧校舍等),地震触发使这些建筑物严重破坏或毁坏。

(2) 建筑修筑质量问题。砌浆凝固强度弱,与砖之间无粘结力,本身无抗震能力,导致其破坏严重,如砖围墙倒塌比土坯围墙还要严重。又如土箍窑本身无侧向强度,新建筑水泥标号低、用筋量少等。

(3) 建筑物结构设计问题,如新建大框架小高层、学校、医院、清真寺等属于大跨度结构,不利于抵抗远震的作用。再如平凉地区的大门,建房受传统观念的影响,门顶较重而门柱单薄,在晃动作用下极易倒塌。

地震影响原因:

(4) 陇东地区梁塬普遍由厚层黄土层组成,而梁塬地形及疏松黄土对地震波有明显放大作用,因此震害表现为谷地轻,塬上重。

(5) 此次地震在陇东地区振动持续时间较长,普遍大于2分钟,如此长时间的晃动,对于建筑物和构筑物的破坏加剧起了积极作用。

(6) 陇东地区距离震中大于500 km,地震作用为中远地震,长周期成分明显增多,加之黄土梁塬地形的长周期放大效应,地震破坏对结构具有选择性,主要使长周期结构如水塔、烟囱、大跨度结构破坏相

对加重。

(7) 陇东地区位于主震破裂长轴方向,是该区震害相对较重的原因之一。另外在六盘山与黄土高原的结合部附近出现了烈度异常,也是该区震害加重的原因之一。

其他原因:

地震的破坏还涉及局部效应,如地下采空、黄土地基失稳等。比较典型的是华亭县麻池乡,地下为采空区,本来已有地基沉陷变形的麻池小学教学楼由于地震影响,整体倾斜破坏明显加剧,学校操场出现鼓包、洼陷和裂缝。

#### 5 启示

陇东地区地处鄂尔多斯台西南缘,本身所处环境地震活动较弱,其所受地震影响主要为外围强震的远场影响。在本次汶川 $M_S8.0$ 地震中,地震远场影响更是明显。由于该区梁塬地貌及黄土层厚度较大,远场及地形影响造成地震长周期效应加强,对长周期结构的破坏明显加剧。另外由于地震持续时间较长,造成该区窑洞、土箍窑、土坯房等抗震能力较低的建筑物破坏加剧。因此,地震长周期效应和长持时是造成陇东地区破坏严重的主要外因。虽然该区构造运动相对稳定,总体地震活动水平较弱,但在建筑设计和灾后重建中,必须注意建筑物的修筑质量、结构整体完整性及长周期效应的影响。

#### [参考文献]

- [1] 甘肃省地方志编撰委员会. 甘肃省地方志[M]. 兰州:兰州大学出版社,2007.
- [2] 李清河、郭守年、吕德徽. 鄂尔多斯盆地西缘与西南缘深部结构与构造[M]. 北京:地震出版社,1999.
- [3] 甘肃省地质局. 1972. I-48-X II 泾川幅 1:20万地质图及说明书[Z].

- [4] 曹井泉. 鄂尔多斯块体周缘强震活动时空特征及地震危险性分析[J]. 西北地震学报, 2002, 24(3): 230-235.
- [5] 刘仲温, 王贵华, 张文国, 等. 构造力学性质与地震强度的关系[J]. 西北地震学报, 1989, 11(2): 70-78.
- [6] GB / T17742-1999, 中国地震烈度表[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.

\*\*\*\*\*

(上接 34 页)

- [6] 杨进, 谭捍东, 傅良魁. 被动源激发极化法的野外试验结果[J]. 现代地质, 1998, 12(3): 436-441.
- [7] Gasperikova E, Morrison H F. Mapping of Induced Polarization Using Natural Fields. *Geophysics*, 2001, 66(1): 137-147.
- [8] Gasperikova E, Cuevas N H, Morrison H F. Natural field induced polarization for mapping of deep mineral deposits: A field example from Arizona[J]. *Geophysics*, 2005, 70(6): B61-B66.
- [9] 罗延钟, 张胜业, 熊彬. 天然场源激电法的可行性[J]. 地球物理学报, 2003, 46(1): 125-130.
- [10] 李金铭, 陈清礼, 杨冠鼎, 等. 极化水平层上天然场源激电测深的理论研究[J]. 物探与化探, 2003, 27(4): 280-283.
- [11] 曹中林, 何展翔, 昌彦君. MT 激电效应的模拟研究及在油气检测中的应用[J]. 地球物理学进展, 2006, 21(4): 1252-1257.
- [12] 翁爱华, 王雪秋. 利用数值积分提高一维模型电偶源电磁测深响应计算精度[J]. 西北地震学报, 2003, 25(3): 193-197.
- [13] 徐凯军, 李桐林, 张辉, 等. 利用积分方程法的大地电磁三维正演[J]. 西北地震学报, 2006, 28(2): 104-107.
- [14] Pelton W H, Ward S H, Hallof P G. Mineral discrimination and removal of inductive coupling with multifrequency IP[J]. *Geophysics*, 1978, 43(3): 588-609.