

2017年云南鲁甸 M_s 4.9 地震 房屋震害特征与烈度评定*

明小娜, 周 洋, 钟玉盛, 杨健强, 闫 瀚

(云南省地震局, 云南 昆明 650224)

摘要: 2017年2月8日, 云南鲁甸发生 M_s 4.9 地震, 本次地震灾区位于2014年“8·03”鲁甸 M_s 6.5 地震的高烈度区, 属于地震恢复重建全覆盖区域, 灾区房屋结构以砖混结构为主, 针对于该类房屋抗震性能较好的情况, 依据烈度评定相关规范, 以现场入户调查为基础, 重点关注房屋薄弱和结构不合理部位震害现象, 结合新老房屋震害特征综合评定烈度。

关键词: 鲁甸 M_s 4.9 地震; 震害特征; 烈度分布

中图分类号: P316.01

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2017)02-0295-08

0 引言

2017年2月8日19时11分, 云南省鲁甸县(27.07°N, 103.36°E)发生 M_s 4.9 地震。本次地震灾区涉及鲁甸县龙头山镇、火德红镇和巧家县包谷垭乡、老店镇4个乡镇的部分行政村, 造成灾区的各类房屋建筑和工程结构不同程度的破坏及5人受伤。

2014年8月3日, 云南省鲁甸县发生 M_s 6.5 地震, 当时的现场调查与震后科考成果显示, 烈度圈长轴方向为北西向^①, 发震构造为同向的包谷垭一小河断裂, 形成了8 km长的地表破裂带(皇甫岗等, 2015; 徐锡伟等, 2014; Li *et al.*, 2015)。2017年鲁甸 M_s 4.9 地震震中位于“8·03”鲁甸地震震中的南东方向, 二者相距约4 km。2次鲁甸地震震中在空间分布上的相近性可能预示着成因上的一致性, 或者本次地震可能为“8·03”鲁甸地震余震。同时, 本次地震灾区位于“8·03”鲁甸 M_s 6.5 地震灾区的高烈度区, 属于地震恢复重建全覆盖区域。根据鲁甸县住房和城乡建设局上报资料, 目前鲁甸县民房框架、砖混结构房屋占比为80%, 简易房屋占比仅20%; 医疗、卫生等公房框架、砖混结构房屋占比100%; 而龙头山镇

恢复重建区砖混及框架结构房屋占比高达95%, 剩下的5%为生产性用房或搬迁后未拆除的土木结构的老旧房屋。因此, 灾区新建房屋抗震性能较好, 加之本次地震震级较小、震害现象偏轻、烈度评定较为困难。为此, 云南省地震局开展地震现场灾害调查, 以期探索解决上述问题, 为后期地震趋势预判提供依据, 也为灾后恢复重建区的烈度评定积累经验。

本文从震区地貌及构造背景、地震序列以及烈度速报3方面探讨震区背景资料, 根据现场震害调查情况介绍了灾区建(构)筑物典型震害特征, 在此基础上, 依据烈度评定相关规范, 针对于震后恢复重建区房屋抗震性能较好的情况, 探讨地震烈度评定的方法。

1 震区背景

1.1 地貌及构造背景

鲁甸县位于云南省东北部, 地势东西两侧高, 中间低平(帅向华等, 2014), 受牛栏江及其支流强烈侵蚀作用, 多属高山、中山区, 山高谷深、地形陡峻、切割剧烈(周庆, 吴果, 2015)。震区发育北西、北东向2组活动断裂。北西向断裂的典型代表为全新世活动的包谷垭一小河断裂, 该断裂由数条雁列展布的分支断层组成, 总长约40

* 收稿日期: 2017-03-15.

基金项目: 大中城市地震灾害情景构建重点专项资助项目(2016QJGJ04)。

① 云南省地震局. 2014. 云南鲁甸 6.5 级地震灾害直接经济损失评估报告(云南灾区)。

km, 走向 330° 。2014 年鲁甸 $M_s 6.5$ 地震产生了自龙头山镇以南向谢家营盘—光明村—王家坡一段长约 8 km 北西向断续展布的地表破裂带, 破裂带总体呈左行右阶排列, 伴有 30 ~ 35 cm 左行走滑分量。地表破裂追踪的活断层倾向北东, 倾角 $60^{\circ} \sim 62^{\circ}$ (Li *et al.*, 2015)。北东向构造的典型代表为昭通—鲁甸断裂, 由 3 条右阶雁列展布的次级断裂组成, 全长约 160 km; 总体走向 $40^{\circ} \sim 50^{\circ}$, 倾向北西及南东, 倾角 $60^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 。目前的证据表明该断

裂至少在晚更新世以来有过活动, 活动性质为右旋走滑。本次地震的空间位置更接近于昭通—鲁甸断裂的西支断裂 (图 1)。

1.2 地震序列

据昭通数字地震台网测定, 截至 2017 年 2 月 10 日 11 时, 本次地震序列共发生可确定位置的地震 29 次, 其中 1.0 ~ 1.9 级 23 次, 2.0 ~ 2.9 级 5 次, 3.0 ~ 3.9 级 1 次。余震序列的空间分布具有沿北东方向分布的趋势 (图 2)。

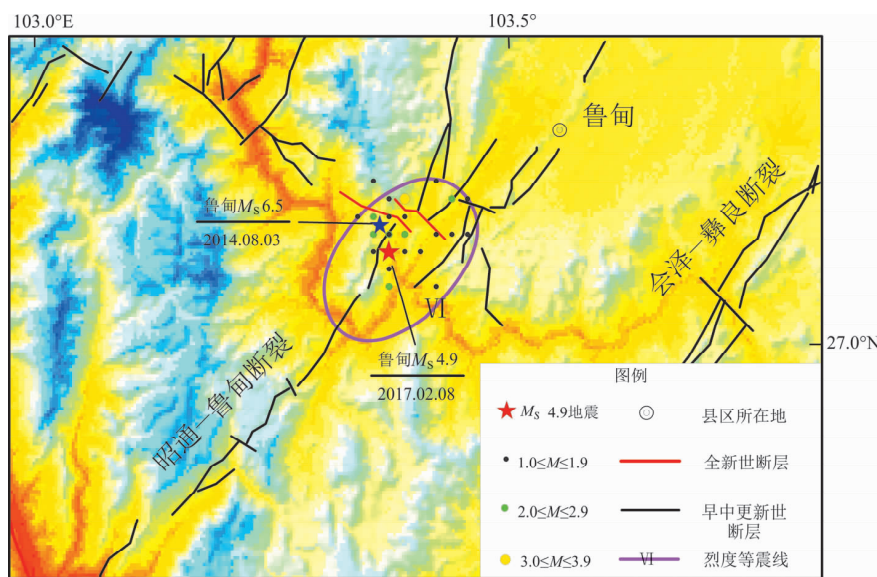


图 1 鲁甸 $M_s 4.9$ 地震构造简图 (修改自 Li *et al.*, 2015)

Fig. 1 Regional seismotectonic map of the Ludian $M_s 4.9$ earthquake (modified from Li *et al.*, 2005)

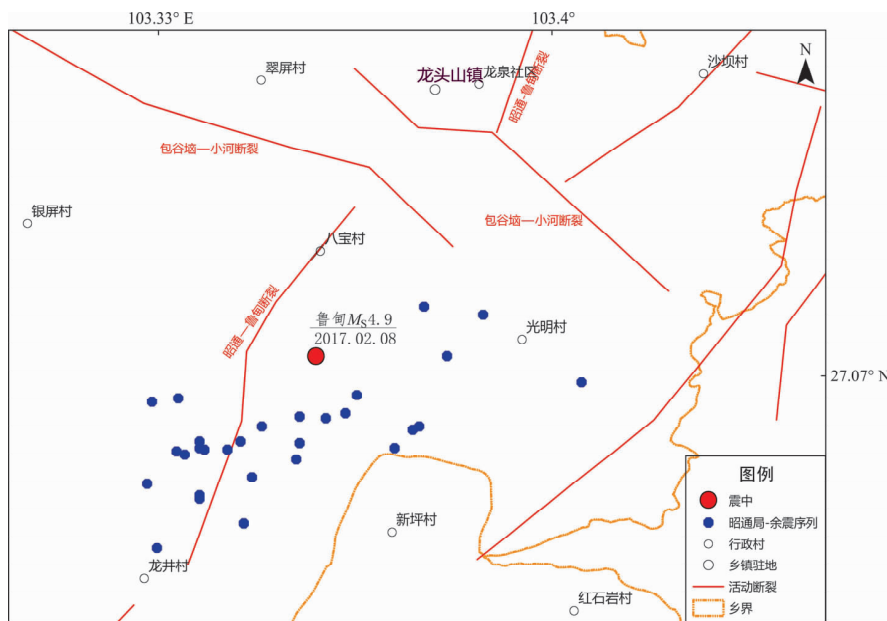


图 2 鲁甸 $M_s 4.9$ 地震余震序列分布图

Fig. 2 Distribution of the Ludian $M_s 4.9$ aftershock sequence

1.3 烈度速报结果

为加快推进地震预警体系建设，云南省地震局在川滇交界建设了滇东北简易烈度计台网，该观测系统由 120 个烈度计观测台站及 3 个测震台站构成。鲁甸 $M_s4.9$ 地震中，该台网共 70 个台站获取到记录，其中 VI 度区内有铁厂、乐红、新店、龙头山 4 个烈度台获取到记录，按照《仪器地震烈度计算暂行规程》（中国地震局，1998）对记录进行基线校正和滤波处理，生成仪器烈度图（图 3）。从图 3 可以看出，VI 度区等震线的优势方向显示为北西向。

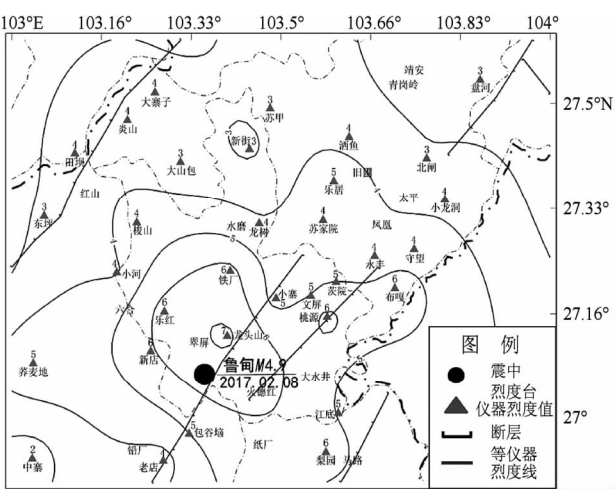


图 3 滇东北简易烈度计台网生成的鲁甸地震烈度速报图

Fig. 3 Earthquake intensity rapid report map of Ludian $M_s4.9$ earthquake by simple earthquake intensity meter network in Northeast Yunnan

2 建（构）筑物震害特征

2.1 房屋分类

按照《地震现场工作大纲和技术指南》（中国地震局，1998），结合灾区实际情况，其房屋建筑按结构类型可分为土木结构、砖混结构、框架结构和钢架结构 4 大类。（1）土木结构：为当地传统民房，夯土墙承重，多为二层，墙抬木梁，人字形瓦屋顶（非明伦等，2006）；（2）砖混结构：砖砌墙体承重，设置钢筋混凝土圈梁、构造柱和现浇楼（屋）盖的混合结构，主要为恢复重建自建民房（和嘉吉等，2015）；（3）框架结构：主要为经过正规设计的由钢筋混凝土梁柱组成的框架体系承重，现浇楼板（屋）盖；（4）钢架结构：

以钢材制作为主的钢构架承重体系，其强度高、自重轻、整体刚性好、变形能力强，抗震性能好（谢云飞，李琪，2009）。龙头山镇恢复重建的学校、医院、政府办公楼等公共建筑以及部分民房均为钢架结构。

2.2 房屋震害特征

（1）土木结构房屋

震区土木结构房屋主要表现为老裂缝加宽加长、局部墙面抹灰层脱落，少数出现轻微裂缝及梭掉瓦，偶见局部墙体倒塌加重（图 4）。



(a) 龙头山镇沿河村土木结构梭掉瓦



(b) 龙头山镇沿河村土木结构老裂缝加宽、木架部分折断

图 4 土木结构房屋震害特征

Fig. 4 Earthquake damage characteristics of civil structure building

（2）砖混结构房屋

震区砖混结构房屋整体结构完好，少数老旧砖混房屋老裂缝加宽加长、局部墙面抹灰层脱落；恢复重建房少数房屋窗角、门头、楼梯间等震害薄弱部位以及结构不合理的外挑墙体出现轻微裂缝；少数房屋因地基不均匀沉降造成楼板及墙体

出现轻微裂缝及老裂加重 (图 5)。

(3) 框架结构房屋

震区框架结构房屋整体结构完好, 个别房屋梁、柱和墙体连接出现轻微裂缝、掉灰皮 (图 6)。

(4) 钢架结构房屋

震区钢架结构房屋整体结构完好; 大型公共

建筑 (如学校、医院) 多以 3~5 层为主, 其中少数房屋梁、柱和墙体连接处轻微裂缝, 窗角、门头墙体明显开裂; 个别墙体出现贯穿性明显裂缝, 掉灰皮、灰块; 个别房屋天花板局部脱落。民房多以两层为主, 个别房屋墙、梁结合部位出现细微裂缝, 掉灰皮 (图 7)。



(a) 龙头山镇祭龙山社砖混结构外挑窗角剪切破坏



(b) 龙头山镇沿河村砖混结构墙体斜裂



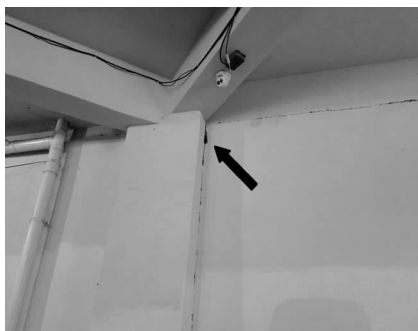
(c) 龙头山镇沙坝村砖混结构墙体老裂缝加宽



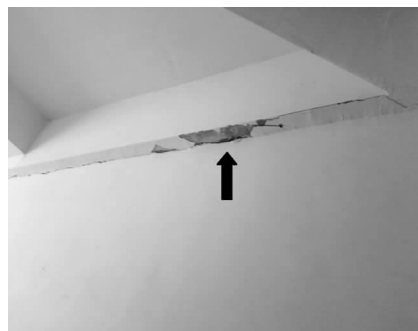
(d) 火德红镇烂泥箐村砖混结构窗角轻微裂缝、楼梯间墙皮局部掉灰块

图 5 砖混结构房屋震害特征

Fig. 5 Earthquake damage characteristics of brick - concrete structure building



(a) 梁柱结合部轻微裂缝



(b) 墙梁结合部局部抹灰层脱落



(c) 外墙梁柱结合部轻微裂缝

图 6 龙头山镇某框架结构房屋震害特征

Fig. 6 Earthquake damage characteristics of a frame structure building at Longtoushan Town



图 7 钢架结构房屋震害特征

Fig. 7 Earthquake damage characteristics of steel frame structure building

3 地震烈度分布

3.1 现场调查方法

地震发生后，云南省地震局派出由 11 名专家组成的灾害损失调查工作小组，于 2017 年 2 月 9 ~ 10 日对鲁甸县、巧家县部分乡（镇）进行灾害

调查。根据地震科技支撑资料和现场实际情况，采取北西、北东路线穿线调查和以乡镇为单位的区块调查相结合的方法，共调查 47 个居民点和 4 个访问点，如图 8 所示。

震区为“8·03”恢复重建区域，民房房屋结构以砖混结构为主，框架、钢架结构为辅；震区房屋整体抗震性能较好、震害普遍较低、震害现

象不明显。为了科学地评定烈度，现场工作组在采用常规房屋震害调查方法的同时，重点关注了这类房屋结构薄弱及不合理部位的震害情况，并且结合现场少量土木房屋叠加和新出现的震害现象综合评定烈度。

3.2 烈度评定依据

地震震害和烈度考察以《地震现场工作 第3部分：调查规范》(GB/T 18208.3—2011)和《地

震现场工作大纲和技术指南》(中国地震局, 1998)为主要技术指导,以《中国地震烈度表》(GB/T 17742—2008)为烈度评定依据开展工作。

从47个实地调查点中,选取具有代表性的15个点作为抽样点,计算震害指数(卢永坤等, 2014),结果如表1所示。评定本次地震烈度,同时参考鲁甸地区活动断裂以及昭通市防震减灾局提供的余震序列,圈出烈度分布图(图8)。

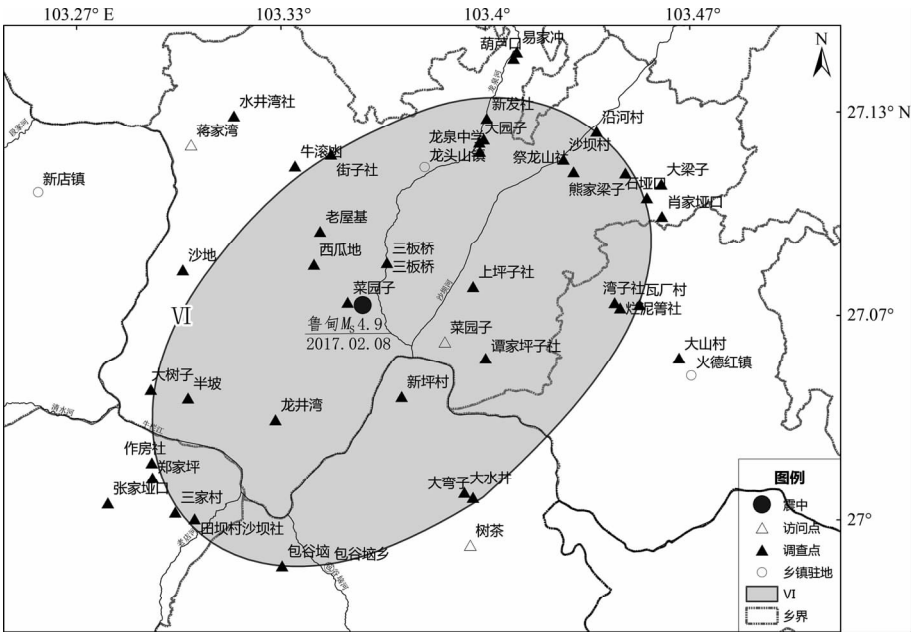


图8 云南鲁甸 $M_s4.9$ 地震调查点及烈度分布图

Fig. 8 Distribution of survey points and intensity of Ludian $M_s4.9$ earthquake in Yunnan

表1 砖混结构房屋建筑抽样点破坏面积 (m^2) 与震害指数汇总表

Tab. 1 Destroy area of brick - concrete structure building (m^2) and seismic damage index

序号	抽样点	毁坏	严重破坏	中等破坏	轻微破坏	基本完好	合计	震害指数
1	沿河村小组 1				350	1 550	1 900	0. 037
2	沿河村小组 2			220	780	2 770	3 770	0. 065
3	沙坝村小组 1			300	960	2 880	4 140	0. 075
4	祭龙山社			270	230	1 050	1 550	0. 099
5	谭家坪子				240	2 500	2 740	0. 018
6	熊家梁子				700	4 000	4 700	0. 03
7	瓦厂村				400	800	1 200	0. 067
8	大弯子				600	2 800	3 400	0. 035
9	大水井			100	330	1 650	2 080	0. 051
10	包谷埡村				200	900	1 100	0. 036
11	三家村				320	1 220	1 540	0. 042
12	田坝村			100	210	1 650	1 960	0. 042
13	大树子				180	900	1 080	0. 033
14	街子社				150	830	980	0. 031
15	新发社			100	120	1 200	1 420	0. 045

3.3 烈度分布

本次鲁甸地震灾区最高烈度为Ⅵ度。等震线形状呈椭圆形,长轴走向为北东,灾区总面积约为 190 km^2 。Ⅵ度区东起鲁甸县龙头山镇石垭口、肖家垭口一带;西至龙头山镇西屏村大树子、老店镇团林堡村郑家垭一带;南起巧家县包谷埡乡;北到鲁甸县龙头山镇营盘村大园子—新发社一带。地震造成鲁甸县龙头山镇、火德红镇,巧家县包谷埡乡、老店镇4个乡镇部分行政村房屋建筑和工程结构不同程度的破坏。

4 结论及讨论

云南鲁甸 $M_s4.9$ 地震震中位于“8·03”鲁甸 $M_s6.5$ 地震的高烈度区,受灾区域属于“8·03”鲁甸 $M_s6.5$ 地震恢复重建全覆盖区域,本文通过震区的背景资料分析以及地震现场灾害损失入户调查得到以下结论:

(1) 鲁甸 4.9 级地震烈度为Ⅵ度。地震现场烈度调查以房屋破坏为主要依据,等震线长轴为北东向;滇东北简易烈度计台网速报烈度以地震动强度分布为依据,受仪器布设密度及场地影响,仪器烈度方向为北西向。因此两种方法得到的烈度圈展布方向存在差异。

(2) 本次地震灾区处于 2014 年“8·03”鲁甸地震高烈度区,属于恢复重建全覆盖区域,重建民房均以砖混结构及框架结构为主,房屋抗震性能较好,房屋震害偏轻。

(3) 恢复重建区房屋结构以砖混及框架结构为主,抗震性能较好,地震时震害现象偏轻,给烈度评定带来了一定的难度,这是多震区目前和今后一段时间普遍存在并需要持续探索的问题。本次地震房屋震害调查时,根据《中国地震烈度表》(GB/T 17742—2008)相关规定,以房屋震害

为主,并重点关注房屋薄弱和结构不合理部位的震害现象,采用新老房屋震害特征相结合的方法综合评定烈度。

(4) 震区公房及少量民房采用钢架结构,这是云南地震恢复重建中首次出现的现象。该类房屋建设周期短、抗震性能好,较为适合于震后恢复重建工程。但本次地震震级不大,部分房屋填充墙体出现明显震害,可能和该类结构梁、柱与填充墙材料性能差异大、填充墙体材质(泡沫砖)强度低、个别房屋砂浆标号不够等因素有关,建议相关部门和单位对这类建筑的震害进行详细的调查和研究,改进和完善其抗震性能。

参考文献:

- 非明伦,余庆坤,谢英情,等. 2006. 鲁甸 5.6 级地震震害分析[J]. 地震研究,29(1):87-91.
- 和嘉吉,卢永坤,代博洋,等. 2015. 鲁甸 $M_s6.5$ 与景谷 $M_s6.6$ 地震灾区房屋抗震能力差异分析[J]. 地震研究,38(1):137-142.
- 皇甫岗,陈勤,王彬,等. 2015. 2014 年云南鲁甸 6.5 级地震[M]. 昆明:云南科技出版社.
- 卢永坤,张建国,宋立军,等. 2014. 2014 年云南鲁甸 4.9 级地震烈度分布与房屋震害特征[J]. 地震研究,37(4):549-557.
- 帅向华,姜立新,侯建盛,等. 2014. 云南鲁甸 6.5 级地震灾害特点浅析[J]. 震灾防御技术,9(3):340-358.
- 谢云飞,李琪. 2009. 钢结构建筑的震害及其成因探析[J]. 特种结构,26(2):6-8.
- 徐锡伟,江国焰,于贵华,等. 2014. 鲁甸 6.5 级地震发震断层判定及其构造属性讨论[J]. 地球物理学报,57(9):3060-3068.
- 中国地震局. 1998. 地震现场工作大纲和技术指南[M]. 北京:地震出版社.
- 周庆,吴果. 2015. 鲁甸 6.5 级地震崩滑地质灾害分布与成因探讨[J]. 地震地质,37(1):269-278.
- LI X, XU X W, RAN Y K, et al. 2015. Compound fault rupture in the 2014 $M_s6.5$ Ludian, China Earthquake, and significance to Disaster Mitigation[J]. Seismological Research Letters, 86(3):764-774.
- GB/T 17742—2008, 中国地震烈度表[S].
- GB/T 18208.3—2011, 地震现场工作第三部分:调查规范[S].

Building Damage Characteristics and Earthquake Intensity Evaluation of the Ludian $M_s4.9$ Earthquake in 2017

MING Xiaona, ZHOU Yang, ZHONG Yusheng, YANG Jianqiang, YAN Han
(*Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650224, Yunnan, China*)

Abstract

On February 8, 2017, a $M_s4.9$ earthquake occurred in Ludian, and the earthquake disaster area was located in the high intensity area of the “8 · 03” Ludian $M_s6.5$ earthquake, which belonged to the area of earthquake restoration and reconstruction, and the main structure of this area was brick – concrete structure. For this kind of good seismic performance of buildings, the earthquake damage characteristics was not obvious. In order to evaluate the earthquake intensity and accumulate experience for this situation, we used the comprehensive evaluation method, which based on the severity of the relevant norms and on – site household survey, focused on housing weakness and structural unreasonable parts of the earthquake damage phenomenon, and also combined with the characteristics of new and old buildings.

Keywords: Ludian $M_s4.9$ earthquake; earthquake damage characteristics; earthquake intensity