

孙路,刘金龙. 2022年泸定6.8级地震房屋震害及其统计分析[J]. 地震研究, 48(1): 123–131, doi:10.20015/j.cnki.ISSN1000-0666.2025.0013.

Sun L, Liu J L. 2025. Seismic damage to buildings in the Luding $M_s 6.8$ earthquake-hit area, Sichuan Province[J]. *Journal of Seismological Research*, 48(1): 123–131, doi:10.20015/j.cnki.ISSN1000-0666.2025.0013.

2022年泸定6.8级地震房屋震害及其统计分析*

孙路^{1,2}, 刘金龙^{3*}

(1. 湖州职业技术学院 建筑工程学院, 浙江 湖州 313000; 2. 湖州市绿色建筑技术重点实验室, 浙江 湖州 313000;
3. 中国地震局工程力学研究所, 中国地震局地震工程与工程振动重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘要: 2022年四川省甘孜州泸定县发生6.8级地震。依据现场调查资料,介绍了震区房屋的主要结构类型及其建造特点,总结了各类房屋结构的典型震害现象,探讨了各类房屋典型震害特征的产生机理。通过震害数据的统计分析,建立了本次地震中各类结构房屋的震害矩阵,并与其他学者的研究成果进行了对比,研究了不同房屋类型各地震破坏等级分布规律,给出了砖混结构房屋的地震易损性曲线。根据本次地震的震害特点,给出了提升房屋抗震能力的建议。

关键词: 泸定6.8级地震; 房屋; 震害; 抗震能力

中图分类号: P315.94

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2025)01-0123-09

doi:10.20015/j.cnki.ISSN1000-0666.2025.0013

0 引言

2022年9月5日12时52分,四川省甘孜州泸定县发生6.8级地震,震源深度16 km,截至2022年9月11日17时,地震造成93人遇难,其中甘孜州55人、雅安市38人;另有25人失联,其中泸定县9人、石棉县16人。

此次地震震中位于鲜水河断裂带南东段磨西断裂附近,历史上鲜水河断裂带曾多次发生7级以上地震。地震微观震中位于泸定县境内的海螺沟冰川公园景区内,震中周边5 km内的村庄有坪上、杉树坪、半边街、青石板、马鞍腰、倒中桥,20 km内的乡镇有磨西镇、得妥镇、燕子沟镇。泸定县隶属于四川省甘孜藏族自治州,地处青藏高原向四川盆地过渡地带,是进藏出川的必经之地,

被誉为甘孜州“东大门”。根据2022年9月11日应急管理部正式发布的泸定6.8级地震烈度图,四川泸定地震最高烈度为IX度,等震线长轴呈NW走向,长轴195 km、短轴112 km,VI度区及以上面积19 089 km²,共涉及四川省3个市(州)12个县(市、区)、82个乡镇(街道)。IX度区面积280 km²,VIII度区面积505 km²,VII度区面积3 608 km²,VI度区面积14 696 km²^①。

此次地震造成了严重的地震灾害,特别是地震引发的地质灾害多且极其严重,大量房屋建筑破坏,道路、通信、供水供电等生命线多处中断,大量人员伤亡、房屋建筑和基础设施受损。

中国地震局工程力学研究所在震后地震现场科学考察中,对泸定县磨西镇、燕子沟镇、得妥镇、德威镇以及石棉县的新民乡、王岗坪乡等的房屋震害进行了调查。根据调查资料,

* 收稿日期: 2024-02-06.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFC1504401-03);湖州职业技术学院“登峰人才”项目.

第一作者简介: 孙路(1979-),副教授,主要从事生命线工程抗震研究与土木建筑教学工作.

E-mail: 86340998@qq.com.

♣通信作者简介: 刘金龙(1978-),副研究员,主要从事结构抗震研究. E-mail: liujinlong@iem.ac.cn.

① 中华人民共和国应急管理部. 应急管理部发布四川泸定6.8级地震烈度图. https://www.mem.gov.cn/xw/yjglbg-zdt/202209/t20220911_422190.shtml.

本文对泸定 6.8 级地震灾区主要房屋类型及其震害特点进行了分析,统计了几种典型房屋的震害矩阵,并与前人研究成果进行了对比分析,给出了砖混结构房屋的易损性模型。

1 房屋震害及原因分析

泸定县磨西镇是本次地震受灾最为严重的地区,所以本文以磨西镇为主,辅以少量燕子沟镇的震害实例,对整个灾区的房屋破坏及原因进行分析。根据现场调查结果,泸定县地震灾区房屋类型主要有钢筋混凝土框架结构、砖混结构、木结构和砖(石)木结构 4 种主要结构类型。这些类型房屋在此次地震中都发生了不同程度的破坏甚至毁坏。

1.1 钢筋混凝土框架结构

1.1.1 房屋建造特点及震害现象

在此次地震破坏较为严重的地区,钢筋混凝土框架结构房屋的占比较少,约为 20%。虽然该地区是Ⅷ度设防,但仍然有一些房屋发生严重破坏。根据现场调查情况,钢筋混凝土框架结构房屋主要破坏现象有框架倾斜、柱顶钢筋屈曲、混

凝土压溃、柱脚破坏、框架底层破坏和填充墙破坏等,典型破坏照片如图 1 所示。

1.1.2 震害特点及原因分析

通常,钢筋混凝土框架结构的抗震性能良好,但在磨西镇发现少数框架结构房屋破坏比较严重。总体看底层破坏比较重,填充墙破坏较多,分析其原因主要有:

(1) 框架柱的纵筋较强,但箍筋较弱,配箍率偏低,导致箍筋对纵筋的约束不足。从图 1c 可以看出,柱底箍筋已被拉断,失去横向约束的纵筋向外鼓胀屈曲,混凝土压碎;从图 1d 也可以看出,个别框架柱被剪断,这也是箍筋不足的表现之一。

(2) 梁柱刚度比例严重失调,《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010) 规范要求的强柱弱梁并未实现。由图 1b 可以看出,框架柱的柱顶形成塑性铰,或发生了剪断,但框架梁几乎未发生明显破坏,说明梁的刚度可能大大超过柱子的刚度,导致发生了强梁弱柱的破坏形式。

(3) 场地效应显著,部分房屋距离磨西台地边缘较近,场地局部突出地形对地震动参数的放大作用非常明显,可能导致地震作用超过预期。



图 1 框架结构典型震害现象

Fig. 1 Typical seismic failure of RC frame structures

1.2 砖混结构

1.2.1 房屋建造特点及震害现象

泸定地震灾区房屋以砖混结构房屋为主, 占比约为 50%, 建造时间大概从 20 世纪 80 年代至今。墙体采用实心砖砌筑, 墙厚多为 240 mm 和 180 mm; 多采用水泥砂浆砌筑, 黏结强度较高; 楼面板和屋面板多为现浇板。由于地处高设防烈度区, 当地抗震意识较强, 大部分砖混房屋都设置了圈梁和构造柱。多数砖混房屋采用底层框架结构, 但大多不是标准的底部框架结构, 比如底层柱浇筑后, 砌墙并浇筑楼板的柱和墙联合承重模式, 还有底层前部为框架承重后墙和柱联合承重模式, 甚至还有前部框架承重, 而后部和侧面为砖墙承重的模式。这些建筑模式缺乏规范的设计和施工, 随意性比较大。砖混结构房屋在地震中

发生很严重的破坏, 主要破坏现象有: 房屋倒塌、房屋扭转倾斜、墙体开裂构造柱剪断、相邻房屋碰撞破坏、楼梯间破坏、屋面凸出部分破坏, 以及底层框架柱或砖柱破坏、女儿墙掉落等 (图 2)。

1.2.2 房屋震害特点及原因分析

砖混结构是灾区应用较多的一种房屋类型, 但在本次地震中抗震的表现并不好, 虽然没有造成大的人员伤亡, 但房屋的破坏程度却比较严重, 数量也比较多。总体看, 砖混房屋底层破坏较其他层严重、后墙比前墙严重、楼梯间破坏较多。主要原因有:

(1) 底层框架设置不合理。大多数底部框架结构形式混乱, 墙体与框架混合承重, 且结构水平刚度分布不均匀, 导致整体受力不合理, 易发生地震破坏。楼梯间刚度较大, 承受了较大的水平



图 2 砖混结构房屋典型地震破坏

Fig. 2 Typical seismic failure of masonry structures

荷载,这也是造成楼梯间破坏较多的原因之一。相反,一些建造规范的砖混房屋抗震表现良好,破坏非常轻微,甚至未发生破坏。

(2) 为了扩大空间,底框架结构的首层墙体较少,降低了该层的刚度,结构竖向刚度不均匀,导致地震破坏主要集中在底层,底层甚至发生倒塌,如图 2b、c 所示。

(3) 抗震构造措施不足。部分砖混结构墙体缺少构造柱(图 2e),或构造柱能力不足(图 2f)。特别是一些老旧砖混房屋,砂浆和混凝土强度不高,导致墙体整体性不好。

1.3 木结构

1.3.1 房屋建造特点及震害现象

根据地震现场调查结果,泸定地震灾区有部分木结构房屋,约占房屋总量的 20%。木结构房屋多为单层或二层,主要是木屋架承重,土、石、砖等材料做围护墙。大多数房屋建设年代比较久远,现状比较差,特别是磨西镇的老街,是老旧木结构房屋的集中区。在这次地震中,有部分木结构发生破坏,主要破坏现象有房屋倒塌、屋盖坍塌、局部倒塌、围护墙倒塌和屋盖溜瓦梭瓦等(图 3)。



图 3 典型木结构房屋震害照片

Fig. 3 Typical seismic failure of timber houses

1.3.2 木结构房屋震害特点及原因分析

木结构房屋总体震害并不严重,以墙体破坏为主,屋顶梭瓦溜瓦现象比较普遍。个别老旧木结构房屋因年久失修,发生倒塌或局部倒塌。房屋多因年代久远且缺少维护,主体承重木构件受侵蚀较严重,维护墙体破损开裂,降低了房屋整体承载能力,导致木结构房屋出现震害。

1.4 砖(石)木结构

1.4.1 房屋建造特点及震害

泸定地震灾区还有部分砖(石)木结构房屋,多为 20 世纪 80 年代之前建造,占比约在 10% 以

内。房屋为单层或二层,砖墙或石墙承重,硬山搁檩式结构体系,檩条直接搁置在砖(石)墙上,檩条上设椽子,然后直接挂瓦。因建设年代较早,大多数砖(石)木房屋现状不佳,抗震性能较差。根据现场调查的情况,仍有少部分砖(石)木房屋为当地居属居住使用。在这次地震中,砖(石)木房屋遭到了严重的破坏,主要破坏现象有房屋倒塌、木屋架屋面破坏塌落、墙体开裂和墙体外鼓开裂、屋面溜瓦掉瓦等(图 4)。

1.4.2 房屋震害特点及原因分析

灾区砖(石)木结构房屋数量较少,但严重



图 4 砖（石）木房屋典型震害

Fig. 4 Typical seismic failure of masonry and wood structure buildings

破坏和毁坏的比例较高，破坏程度普遍较重。以墙体开裂和屋盖破坏为主，溜瓦现象也比较普遍。主要原因是：房屋本身抗震能力弱，墙体粘结强度差，缺少抗震构造措施，且年久失修、缺少维护等。

2 房屋震害矩阵及易损性分析

为更好地掌握本次地震中房屋总体破坏情况，笔者根据磨西镇、燕子沟镇、得妥镇、德威镇、王岗坪乡、新民乡等地共 186 栋房屋的现场调查数据，结合前人调查实例（潘毅等，2023；董孝曜等，2023；彭志桢等，2024），统计得到各类房屋的震害矩阵，并与一些专家学者建立的震害矩阵进行了对比，回归得到砖混结构的地震易损性模型。

2.1 砖混结构

砖混结构房屋是灾区使用较多的一种房屋类型，分布也比较广泛，调查数据相对比较丰富，故单独对其进行分析。笔者通过对调查数据的统计，给出了砖混结构在遭遇Ⅶ~Ⅸ度破坏下的震害矩阵，见表 1，并与孙柏涛和张桂欣（2012）、李建亮等（2023）、张莹等（2024）的统计结果进行了对比，如图 5 所示。

表 1 泸定地震砖混结构房屋震害矩阵（%）

Tab. 1 Seismic damage matrix of masonry buildings in the Luding earthquake – affected area

烈度	基本完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏	毁坏
Ⅶ度	13/48.2	10/37.0	3/11.1	1/3.7	0/0
Ⅷ度	2/11.8	4/23.5	7/41.2	3/17.5	1/5.8
Ⅸ度	3/4.5	11/16.7	17/25.8	30/45.5	5/7.6

注：表中斜线左侧是房屋数量，右侧为统计百分比（%）。

孙柏涛和张桂欣（2012）基于汶川地震震害数据统计得到的震害矩阵，数据量比较大；本文利用的是设防和未设防砖混结构破坏概率的均值。李建亮等（2023）的结果融合了汶川地震、芦山地震、九寨沟地震等 6 次地震中的部分调查数据，通过统计得到震害矩阵。张莹等（2024）则基于长宁地震、泸县地震等结果进行统计。通过对比，发现Ⅸ度破坏时，本文统计结果与孙柏涛和张桂欣（2012）的结果差别较小，而李建亮等（2023）与张莹（2024）的结果在轻微破坏和严重破坏时有较大的差异，本文结果在各破坏等级的破坏概率都未超过其他学者的结果的变化范围。Ⅷ度时，本文结果与其他学者的结果出现了一定的差异，特别是在中等破坏等级，本文结果比较偏大，但与

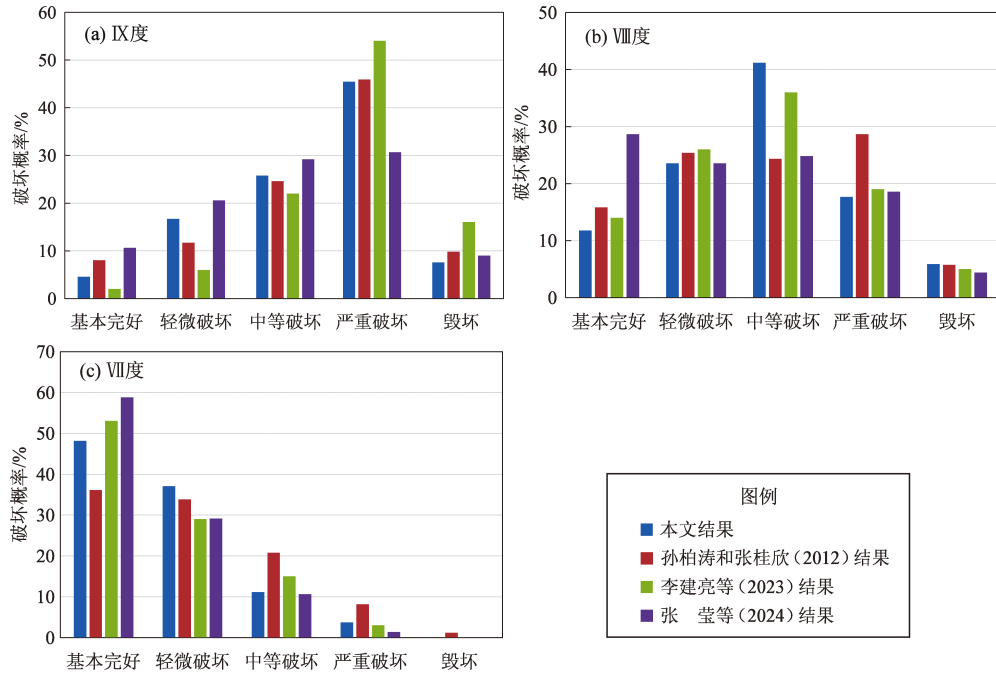


图5 砖混结构震害矩阵对比

Fig. 5 Comparison of seismic damage matrices of masonry buildings provided by different researchers

李建亮等 (2023) 的结果更接近, 这可能是因为本文在Ⅷ度区的调查数据比较少, 导致统计结果具有较大随机性。Ⅶ度时, 本文统计结果与其他学者的结果在各个破坏等级都相差不大。总体上看, 本文统计的砖混结构震害矩阵与其他学者的统计结果相差不大, 绝大多数都处在其他学者们统计结果的浮动范围内, 说明砖混结构的震害矩阵具有一定的可信度。

为了增加统计结果的可用性, 需要进一步建立砖混结构的地震易损性模型。利用砖混结构房屋的震害矩阵数据, 通过叠加得到各破坏等级对应的超越概率。参考《中国地震烈度表》中烈度与 PGA 的对应关系, 将烈度转化为 PGA , 可由震害矩阵得到一系列 PGA 和超越概率的离散点对。在假设易损性曲线符合双参数对数正态分布函数的基础上, 通过极大似然估计对易损性函数的模型参数进行估计:

$$P_f = \Phi \left[\frac{1}{\beta_i} \ln \left(\frac{PGA}{\lambda_i} \right) \right] \quad (1)$$

式中: P_f 表示结构破坏的超越概率; $\Phi(\cdot)$ 为标准正态分布函数; λ_i 是第 i 破坏等级易损性曲线的中位值; β_i 是第 i 破坏等级易损性曲线的对数标准差。

通过参数回归得到砖混结构的地震易损性模型参数, 再给出易损性曲线, 如图6所示。利用该易损性模型, 可以将震害矩阵扩展为连续模型, 能够获得不同强度地震作用下超越某个破坏等级的概率。

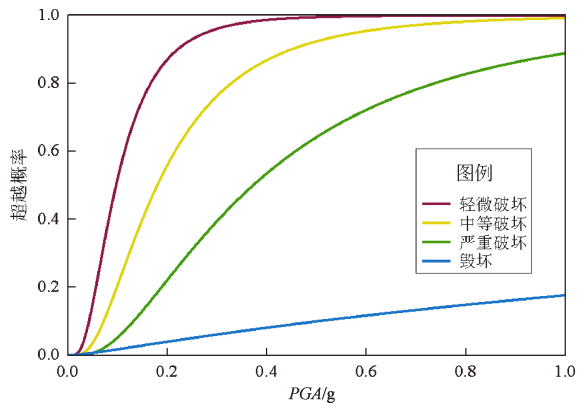


图6 砖混结构地震易损性曲线

Fig. 6 Seismic fragility curves of masonry structures

2.2 其他结构

在现场考察过程中, 因在Ⅸ度区以外获取的数据比较稀少, 除了砖混结构以外的其他结构房屋数据更少, 导致其他烈度下的样本不足, 故震害矩阵只包含Ⅸ度的情况。表2是框架结构、砖木结构以及木结构房屋在Ⅸ度下的震害矩阵。同样,

为了增加对统计结果可信度的认识，本文将统计结果与其他学者的结果进行了对比（郑山锁等，2015；费扬，陈龙伟，2023；杨晓鑫等，2017；李建亮等，2023），如图 7 所示。

表 2 泸定地震其他类型房屋震害矩阵

Tab. 2 Damage statistics matrix of other types of buildings in Luding earthquake – affected area %

	基本完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏	毁坏
框架结构	2/8.7	5/21.7	10/43.5	5/21.7	1/4.3
砖木结构	0/0.0	2/13.3	3/20.0	6/40.0	4/26.7
木结构	1/2.6	12/31.6	14/36.8	7/18.4	4/10.5

注：本矩阵仅为烈度为Ⅸ度时的情况，表中斜线左侧是房屋数量，右侧为统计百分比（%）。

由图 7a 可以看出，对于框架结构，本文统计得到的震害矩阵与郑山锁等（2015）、费扬和陈龙伟（2023）的结果差别较小，在各破坏等级下的差异都不足 5%，说明本文统计结果具有较好的可靠度。同样，砖木结构的统计结果与杨晓鑫等（2017）、李建亮等（2023）的统计结果差异也不大，如图 7b 所示，只是在严重破坏等级的破坏概

率有一定的离散，主要是因为这二者的统计结果本身就存在较大的差异，而本文结果处于二者之间，更接近杨晓鑫的结果。对于木结构，本文结果与杨晓鑫等（2017）、李建亮等（2023）的统计结果产生了较大的差异，特别是在轻微破坏和中等破坏等级，本文结果远远大于二者的结果，而在严重破坏和毁坏等级则偏低很多，最大差异甚至达到 20%，如图 7c 所示。这可能与木结构震例较少，统计结果具有偶然性有关，也可能是因为泸定地震灾区木结构的抗震性能比较优良。这种现象不是偶然，潘毅等（2023）的研究，同样有相似的结论，因木结构采用榫卯连接，具有半刚性特点，具有一定减震耗能作用，且自重轻，承受地震力较小，极大地削弱了地震破坏程度。

本文得到的地震易损性矩阵和曲线模型，从本质上来说是一种基于实际震害数据的经验统计模型，是针对特定地区的某一次地震作用下的结果，在其他地区应用时应进行必要的论证。与其他学者的易损性模型存在一定差异也是必然的，这是各种不确定性综合作用的结果。其原因一方面源自地震现场调查数据在时间空间方面的差异性，

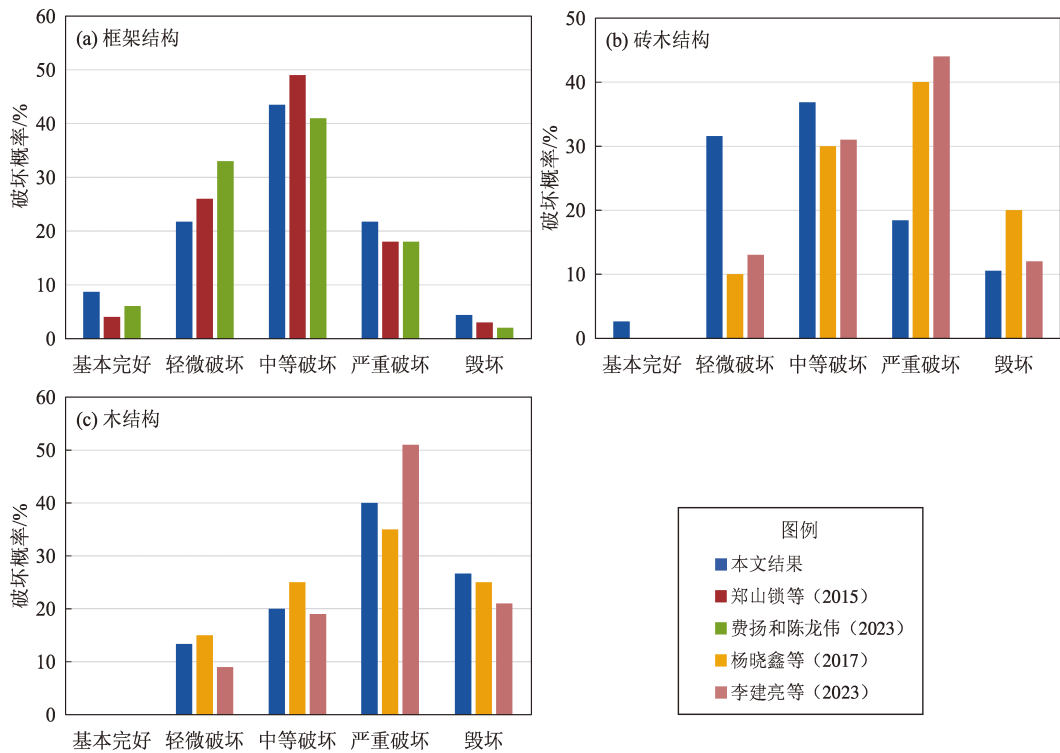


图 7 其他类型房屋震害统计结果对比

Fig. 7 Comparison between the statistical results of other types of buildings

包括房屋的建造工艺、施工习惯、设防标准、建造年代、材料性能等,比如孙柏涛和张桂欣(2012)采用的是汶川地震中5 000多栋房屋的数据,样本相对较充足,覆盖区域多,但年代较早。而本文的数据虽然较新,但只有近200栋房屋的数据,样本较少且地域主要集中在泸定县附近。张莹等(2024)统计的主要是川南地区的房屋,与川西地区有所不同;另一方面不同地区之间地震地质构造也存在很大的差异,导致不同地区的地震动特性具有很大的随机性,如李建亮等(2023)采用的是川西地区多次地震中的样本,对地震动本身的不确定性有一定的考虑。

3 结论

本文根据泸定6.8级地震现场4类典型结构房屋及其震害特点的考察结果,分析了各类房屋的建造特点及震害原因,统计得到了各类房屋的震害矩阵,并与部分专家学者的研究成果进行了对比,给出了砖混房屋的地震易损性曲线,得到以下结论:

(1) 本次地震中房屋破坏总体比较严重。钢筋混凝土框架结构在Ⅸ度区中等破坏(含)以上的比例达到69.5%,砖混结构在Ⅷ度和Ⅸ度中等破坏(含)以上的比例分别为64.5%和78.9%,而砖木结构在Ⅸ度区中等破坏(含)以上的比例更是达到了86.7%。相对来说,木结构房屋的破坏比较轻,Ⅸ度内中等破坏(含)以上的比例为65.7%,毁坏和严重破坏的比例较低。

(2) 钢筋混凝土框架结构的破坏主要发生在底层,少数房屋发生了结构性的严重破坏,围护墙的开裂破坏非常普遍。砖混结构房屋,底层比其他楼层破坏严重、后墙比前墙破坏重、楼梯间破坏比较严重、构造柱或底层框架柱破坏现象多、部分楼屋盖坍塌、女儿墙和外墙装饰破坏比例较多。木结构房屋总体破坏相对较轻,主要以墙体破坏、梭瓦溜瓦为主,个别老旧木结构房屋因年久失修,发生倒塌或局部倒塌。砖(石)木结构房屋多为老旧房屋,总体破坏严重,部分砖(石)木结构房屋因年久失修,发生倒塌或局部倒塌。

(3) 除了木结构房屋,本文得到本次地震的震害矩阵,与业内专家学者的研究成果差异不大,大多数情况下差异在10%之内,个别情况下达到20%左右。本次地震中木结构房屋的整体表现较好,可能与当地木结构房屋以榫卯结构的建造方式有关,导致木结构房屋震害矩阵出现较大差异。然而,限于本文的震害数据尚不是很丰富,调查区域也有一定局限性,得到的震害矩阵的稳健性可能存在一定不足,在应用时需要慎重考虑。

基于上述结论,给出了提升房屋抗震能力的一些建议:

(1) 进一步推进现有房屋,特别是农村地区房屋抗震能力鉴定和抗震加固工作。对于应用较多的底框架结构房屋,鉴于其底层薄弱的特性,可采用加强底层刚度的方式,如增加墙体厚度、增大框架柱截面、纤维布加固等措施。对于老旧土木、砖(石)木房屋可以考虑拆除重建。

(2) 加强对新建房屋抗震设防,包括抗震设计和施工方面的管理和指导,提升新建房屋的抗震能力。在设计阶段要避免结构刚度的不对称,特别是自建底层框架结构,应尽量按照标准的框架结构进行设计,使整个框架刚度均匀协调,形成整体受力模式,同时在施工时加强梁柱节点处混凝土的浇筑和振捣,保证箍筋的绑扎质量。

(3) 进一步开展房屋抗震的相关科学研究,包括当地地质构造和地形地貌对地震动及其破坏力的影响,对房屋抗震能力的影响,不同设防水平的建筑结构的抗震能力研究,屋面凸出结构及附属结构的抗震研究等,在此基础上提出更加安全、经济、适合区域特殊性的房屋抗震措施和方法。

参考文献:

- 董孝曜,郭迅,罗若帆,等. 2023. 泸定6.8级地震震害调查及结构受力分析[J]. 建筑结构学报,44(S2):11-19.
- Dong X Y, Guo X, Luo R F. 2023. Seismic damage investigation and structural force analysis of Luding M_s 6.8 earthquake[J]. Journal of Building Structures,44(S2):11-19. (in Chinese)
- 费扬,陈龙伟. 2023. 基于OpenSees的场地条件对RC框架结构易损性影响初探[J]. 建筑结构,53(S2):724-729.
- Fei Y, Chen L W. 2023. Analysis of the influence of site conditions on the fragility of RC frame structures based on OpenSees program[J]. Building Structure,53(S2):724-729. (in Chinese)
- 李建亮,王世元,李福海. 2023. 基于震害资料的川西农居地震易损

- 性研究[J]. 震灾防御技术, 18(4): 780–789.
- Li J L, Wang S Y, Li F H. 2013. Study on the seismic vulnerability of Western Sichuan rural buildings based on seismic damage data[J]. Technology for Earthquake Disaster Prevention, 18(4): 780–789. (in Chinese)
- 潘毅, 袁家聪, 林拥军, 等. 2023. 泸定6.8级地震农村居住建筑震害调查与分析[J]. 防灾减灾工程学报, 43(6): 1200–1214.
- Pan Y, Yuan J C, Lin Y J, *et al.* 2023. Seismic damage investigation and analysis of rural residential buildings in M_s 6.8 Luding Earthquake [J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 43(6): 1200–1214. (in Chinese)
- 彭志桢, 吴小宾, 潘毅, 等. 2024. 泸定6.8级地震城镇居住建筑典型震害及启示[J]. 建筑结构, 54(7): 13–20.
- Peng Z Z, Wu X B, Pan Y, *et al.* Typical seismic damage of urban residential buildings in M_s 6.8 Luding earthquake and its enlightenment [J]. Building Structure, 54(7): 13–20. (in Chinese)
- 孙柏涛, 张桂欣. 2012. 汶川8.0级地震中各类建筑结构地震易损性统计分析[J]. 土木工程学报, 45(5): 26–30.
- Sun B T, Zhang G X. 2012. Statistical analysis of the seismic vulnerability of various types of building structures in Wenchuan M_s 8.0 earthquake [J]. China Civil Engineering Journal, 45(5): 26–30. (in Chinese)
- 杨晓鑫, 杨建荣, 车文庆, 等. 2017. 云南省不同烈度区内房屋建筑震害易损性对比研究[J]. 价值工程, 36(12): 229–232.
- Yang X X, Yang J R, Che W Q, *et al.* 2017. Seismic vulnerability study of buildings in different enforcing zones in Yunnan Province [J]. Value Engineering, 36(12): 229–232. (in Chinese)
- 张莹, 郭红梅, 尹文刚, 等. 2024. 川南地区砖混结构房屋典型震害及地震易损性研究[J]. 地震工程学报, 46(2): 358–368.
- Zhang Y, Guo H M, Yin W G, *et al.* 2024. Typical damage and seismic vulnerability of brick–concrete structural buildings in south Sichuan [J]. China Earthquake Engineering Journal, 46(2): 358–368. (in Chinese)
- 郑山锁, 马德龙, 刘洪珠. 2015. 汶川地区震后钢筋混凝土框架结构的地震易损性研究[J]. 地震工程学报, 37(1): 131–137.
- Zheng S S, Ma D L, Liu H Z. 2015. Seismic vulnerability of post earthquake reinforced concrete frame structures in the Wenchuan area [J]. China Earthquake Engineering Journal, 37(1): 131–137. (in Chinese)
- GB 50011—2010, 建筑抗震设计规范[S].
- GB 50011—2010, Code for seismic design of buildings[S]. (in Chinese)

Seismic Damage to Buildings in the Luding M_s 6.8 Earthquake – hit Area, Sichuan Province

SUN Lu^{1,2}, LIU Jinlong³

(1. Huzhou Vocational & Technical College, Architectural Engineering Institute, Huzhou 313000, Zhejiang, China)

(2. Huzhou Key Laboratory of Green Building Technology, Huzhou 313000, Zhejiang, China)

(3. Key Laboratory of Earthquake Engineering and Engineering Vibration, Institute of Engineering Mechanics, China Earthquake Administration, Harbin 150080, Heilongjiang, China)

Abstract

At 12:52 on September 5, 2022, a 6.8-magnitude earthquake occurred in Luding County, Ganzi Prefecture of Sichuan Province. Based on the field investigation data in the disaster area, the main structural types and characteristics of the buildings in the area are summarized. The typical seismic damage to each type of buildings is introduced, and the causes which lead to the damage are analyzed. Through the statistics of damage data, the seismic damage matrix of various types of structures in this earthquake-disaster area is established. By comparing with the previous research results in the related field, the distribution characteristics of each damage grade of various types of buildings are analyzed. The seismic fragility curve of the masonry building is established. Finally, according to the damage characteristics of buildings in the disaster area, some suggestions for improving the earthquake resistance of buildings in the disaster area are presented.

Keywords: the Luding M_s 6.8 earthquake; buildings; seismic damage; aseismic capability