

# 2021年云南漾濞 $M_s$ 6.4地震房屋震害与烈度评定\*

杨健强, 叶阳, 卢永坤, 刘绍昌, 于江

(云南省地震局, 云南昆明 650224)

**摘要:** 根据云南省漾濞县 $M_s$ 6.4地震现场调查资料, 详细阐述了本次地震的烈度分布和房屋震害, 计算出各烈度区各类房屋结构的平均震害指数, 并与《中国地震烈度表》和2014年云南鲁甸6.5级、景谷6.6级地震进行了对比分析。结果表明: ①漾濞地震灾区土木结构和框架结构房屋的震害现象较为明显, 砖混结构房屋震害较轻, 而砖木结构房屋因数量较少, 没有调查到太多的震害现象; ②各烈度区各类房屋平均震害指数与烈度对应关系良好, 表明本次地震烈度评定结果符合国家标准和云南地区地震烈度分布规律; ③对比分析云南省两次震级相近地震的各类房屋平均震害指数, 发现本次地震房屋震害整体偏轻。

**关键词:** 漾濞 $M_s$ 6.4地震; 房屋震害; 烈度评定; 平均震害指数

**中图分类号:** P315.94

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2021)03-0439-07

## 0 引言

地震宏观烈度是地震引起的地面震动及其影响的强弱程度, 它既综合反映了地震作用的大小, 也体现了地震破坏的强弱程度。《中国地震烈度表》(GB/T 17742—2020)规定当烈度为Ⅵ~Ⅹ度时, 评定宏观烈度应以房屋震害为主要评定依据。由于不同调查人员对同一震害的定性描述不一样, 使得震害结果的评定很难统一, 胡聿贤等提出了以0.0~1.0的实数作为震害指数来定量描述结构震害, 并给出了平均震害指数计算方法, 采用平均震害指数确定调查点的烈度(孙柏涛等, 2019)。将烈度值相等的相邻调查点连成的闭合曲线称为烈度等值线。破坏性地震发生后, 尽快完成地震灾害调查与烈度评定、提供地震烈度图, 能够为震后恢复重建规划制定、恢复重建范围划定提供重要依据(周光全, 2013)。

2021年5月21日21时48分, 云南省漾濞县(25.67°N, 99.87°E)发生 $M_s$ 6.4地震。地震发生后, 云南省地震局、四川省地震局、中国地震局工程力学研究所等单位的专家组成40人的灾评科考组开展了为期5天的地震灾害现场调查, 共调查了218个居民点、39件生命线工程及行业设施设

备、32个教育、卫生院所、8处宗教场所、10家工信企业、6处文化旅游景区和文物古迹的震害, 获得了较为翔实的震害资料。同时, 灾源科考组结合强震记录、震源机制解以及余震分布、仪器烈度等资料, 确定了本次地震的烈度分布。本文结合漾濞 $M_s$ 6.4地震烈度分布, 着重从地震现场房屋震害现象、各调查点不同结构类型房屋的平均震害指数与地震烈度对应关系两个方面分析了地震烈度评判依据。

## 1 地震烈度分布

震区位于云南省西北部, 断裂构造复杂, 发育有NW向和NE向两组断裂, 主要有NW向的澜沧江断裂、兰坪—云龙断裂、红河断裂、维西—乔后断裂, NE向的龙蟠—乔后断裂等。地震序列沿维西—乔后断裂西侧呈NW向展布。

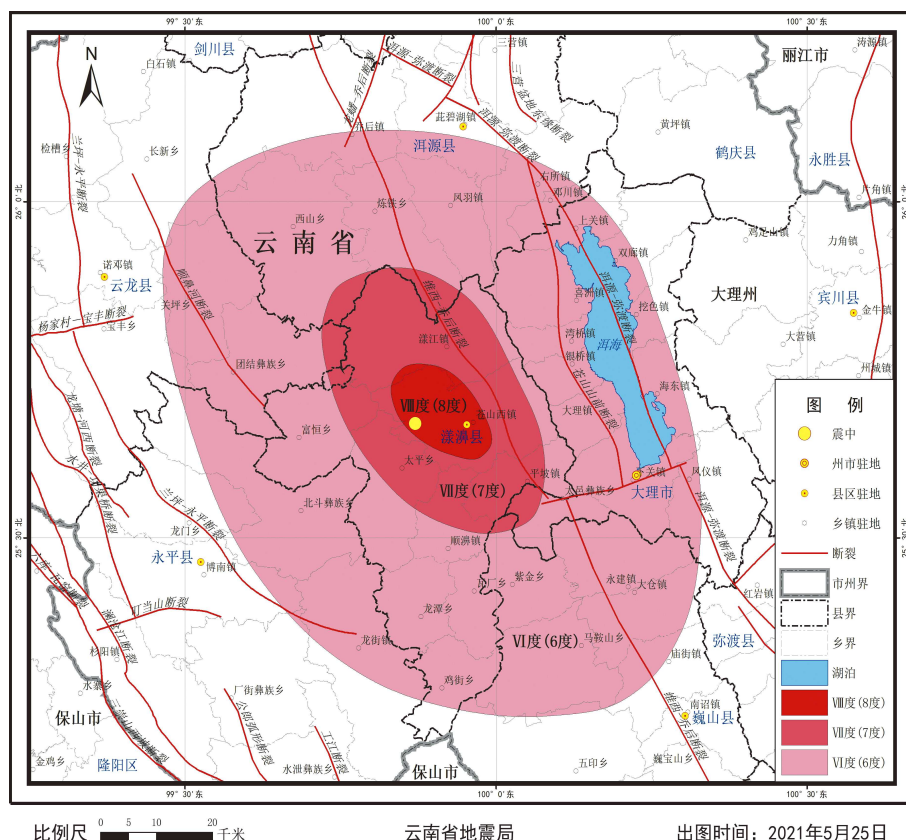
灾评科考组依据《中国地震烈度表》(GB/T 17742—2020)、《地震现场工作第三部分: 调查规范》(GB/T 18208.3—2011)、《地震烈度图制图规范》(GB/T 38226—2019)相关要求与方法调查了218个居民点的震害。根据各调查点震害情况, 参考震区构造背景、震源机制解、余震序列分布、强震加速度记录等科技资料, 确定了本次地震的烈度分布(图1)。

\* 收稿日期: 2021-06-10.

基金项目: 云南省典型震例现场震害调查评估资料收集项目资助.

第一作者简介: 杨健强(1990-), 助理工程师, 主要从事地震灾害调查、烈度评定与损失评估工作.

E-mail: 1271897301@qq.com.

图1 漾濞  $M_s 6.4$  地震烈度图Fig. 1 Seismic intensity map of the Yangbi  $M_s 6.4$  earthquake

由图1可见,此次地震最高烈度为Ⅷ度,Ⅵ度区及以上面积约为  $6\,600\text{ km}^2$  (含洱海),共涉及大理州6个县(市)。Ⅷ度区东起漾濞县苍山西镇河西村,西至苍山西镇大烂坝;南自苍山西镇沙河村,北达漾江镇弯坡村—桑不老村一带,面积约为  $170\text{ km}^2$ ,主要涉及漾濞县苍山西镇、漾江镇、太平乡3个乡镇。Ⅶ度区东起大理市太邑乡外红岩小组,西至云龙县团结乡门神小组,南自漾濞县顺濞镇哈蜡左村—大理市太邑乡恩祖场小组,北达漾濞县漾江镇抱荷岭,面积约为  $930\text{ km}^2$ ,主要涉及漾濞县苍山西镇、漾江镇、富恒乡、太平乡、顺濞镇、平坡镇,云龙县团结乡,洱源县西山乡、炼铁乡,巍山县紫金乡,大理市太邑乡,共11个乡镇。Ⅵ度区东起大理市凤仪镇江西村,西至云龙县关坪乡大甸子,南自漾濞县鸡街乡政府所在地,北达洱源县乔后镇花坪—乔后村一带,面积约为  $5\,500\text{ km}^2$ ,主要涉及漾濞县、洱源县、云龙县、永平县、巍山县、大理市,共42个乡镇和2个街道办事处。漾濞县城区位于Ⅷ度区。

## 地震烈度图说明

2021年5月21日21时48分在云南漾濞县(北纬  $25.67^\circ$ , 东经  $99.87^\circ$ )发生  $6.4$  级地震。此次地震最高烈度为Ⅷ度(8度),Ⅵ度(6度)区及以上面积约  $6600$  平方公里(含洱海),共涉及大理州6县市。

Ⅷ度(8度)区面积约  $170$  平方公里,主要涉及漾濞县苍山西镇、漾江镇、太平乡3个乡镇。东起漾濞县苍山西镇河西村,西至苍山西镇大烂坝,南自苍山西镇沙河村,北达漾江镇弯坡村—桑不老村一带。

Ⅶ度(7度)区面积约  $930$  平方公里,主要涉及漾濞县苍山西镇、漾江镇、富恒乡、太平乡、顺濞镇、平坡镇,云龙县团结乡,洱源县西山乡、炼铁乡,巍山县紫金乡,大理市太邑乡,共11个乡镇。东起大理市太邑乡外红岩小组,西至云龙县团结乡门神小组,南自漾濞县顺濞镇哈蜡左村—大理市太邑乡恩祖场小组,北达漾濞县漾江镇抱荷岭。

Ⅵ度(6度)区面积约  $5500$  平方公里,主要涉及漾濞县、洱源县、云龙县、永平县、巍山县、大理市,共42个乡镇。东起大理市凤仪镇江西村,西至云龙县关坪乡大甸子,南自漾濞县鸡街乡政府所在地,北达洱源县乔后镇花坪—乔后村一带。

此外,位于Ⅵ度(6度)区之外的部分地区也受到波及,个别老旧房屋出现破坏受损现象。

## 本图涉及烈度解释

Ⅷ度(8度):木构架房屋个别柱脚位移,少数墙体倒塌,部分局部倒塌,多数开裂、墙体外闪,普遍掉瓦;砖混房屋部分墙体开裂;框架房屋部分墙柱、墙梁结合部位开裂,少数剪裂。

Ⅶ度(7度):木构架房屋个别墙体倒塌,部分开裂、掉瓦;砖混房屋、框架房屋少数墙柱、墙梁结合部位开裂。

Ⅵ度(6度):木构架房屋少数墙体开裂、掉瓦;框架房屋个别墙柱、墙梁结合部位开裂。

## 2 房屋震害

## 2.1 震区房屋特点

震区房屋建筑按结构类型可分为土木结构、砖木结构、砖混结构、框架和框架剪力墙结构4种类型。农村地区主要以土木、砖木和砖混结构为主,漾濞县城和大理市区主要以砖混结构和框架结构为主。土木和砖木结构是当地传统民居结构,以穿斗木屋架结构为主,木屋架承重,榫卯方式连接,土坯墙、夯土墙或砖墙围护,房屋整体性较好,以两层为主,人字形瓦屋顶,一层用于居住,另一层用于储物,楼板多为木板。砖混结构大多为  $1\sim 5$  层,层高  $2.6\sim 3.0\text{ m}$ 。老旧砖混结构多设砖柱,无圈梁构造柱,主要分布在城乡结合部和经济不发达的山区;新建砖混结构为现浇钢筋混凝土楼盖屋盖,砌块、水泥砂浆砌筑墙体,设有钢筋混凝土圈梁、构造柱,整体抗震能力较好,但因大多都是房主自己设计施工,存

在设计不合理、平立面不规则、房屋开间大、窗洞数量及尺寸设计不合理等问题。框架结构由钢筋混凝土梁柱构成承重体系, 各类砌体砌筑的墙体起围护和分隔作用, 该结构经过正规抗震设防设计, 抗震性能较好; 主要为学校、医院、政府单位等公用房屋, 以及漾濞县城和大理市区内的商品房和住宅。

## 2.2 各烈度区房屋震害情况

Ⅷ度区内土木结构房屋个别柱脚位移、穿斗木构架损坏 (图 2a-1), 少数墙体倒塌, 部分局

部倒塌, 多数开裂、墙体外闪, 普遍梭瓦掉瓦; 砖混结构房屋部分墙体开裂, 少数剪裂 (图 2a-2); 框架结构房屋部分墙柱、墙梁结合部位开裂。

Ⅶ度区内土木结构房屋个别墙体倒塌 (图 2b-1), 部分开裂、梭瓦掉瓦; 砖混结构房屋、框架结构房屋少数墙柱、墙梁结合部位开裂 (图 2b-2)。

Ⅵ度区内土木结构房屋少数墙体开裂、梭瓦掉瓦、开天窗 (图 2c-1); 砖混结构、框架结构房屋个别墙柱、墙梁结合部位开裂 (图 2c-2)。



图2 漾濞  $M_s6.4$  地震各烈度区房屋震害

Fig. 2 Earthquake damages to the houses in various intensity areas of the Yangbi  $M_s6.4$  earthquake

## 2.3 平均震害指数对比分析

烈度评定方法为综合运用宏观调查和仪器测定的多指标方法。《中国地震烈度表》(GB/T 17742—2020) 给出了评定地震烈度时的 5 类依据, 即房屋震害、人的感觉和器物反应、生命线工程震害、其他震害现象和地震观测仪器测定。房屋震害程度是一种定性评定烈度的方法, 不能

过于依赖现场调查人员的经验, 评定地震烈度时, 应以灾区占比较高的房屋结构类型的震害作为主要依据, 并通过计算平均震害指数定量评定地震烈度 (卢永坤等, 2019)。本文通过计算各烈度区各类房屋结构的平均震害指数, 并与《中国地震烈度表》(GB/T 17742—2020) 给出的地震烈度与房屋平均震害指数的对应关系做对比分

析，研究烈度评定的依据。

2.3.1 各烈度区平均震害指数计算

根据《中国地震烈度表》（GB/T 17742—2020），某一类结构的平均震害指数为各级震害的房屋占比与其相应的震害指数的乘积之和：

$$D = \sum d_i \times \lambda_i \tag{1}$$

式中： $D$  为某调查点（或区域）某一类房屋建筑平均震害指数； $\lambda_i$  为该类结构的破坏等级为  $i$  的房屋面积（或栋数）占比（%）； $d_i$  为该类房屋破坏等级为  $i$  对应的震害指数。

本次地震中，简易房屋破坏等级分为毁坏、破坏、基本完好 3 个等级，各破坏等级对应的震害指数分别为 0.65，0.29，0；非简易房屋破坏等级

分为毁坏、严重破坏、中等破坏、轻微破坏和基本完好 5 个等级，各破坏等级对应的震害指数取值分别为 1，0.7，0.4，0.2，0（中国地震年鉴委员会，1998；周光全，2011；明小娜等，2018）。结合各烈度区调查点资料，计算出各烈度区不同结构类型的平均震害指数，见表 1、2。

2.3.2 与《中国地震烈度表》平均震害指数的对比分析

《中国地震烈度表》（GB/T 17742—2020）给出了地震烈度与房屋平均震害指数的对应关系（表 3）。结合地震现场调查情况来看，本次地震土木结构与砖木结构房屋基本可与表 3 的 A2 类房屋对应，砖混结构房屋基本可与 C 类房屋对应，所有框架结构均可对应 D 类房屋。

表 1 简易房屋平均震害指数

Tab. 1 Average earthquake damage indexes of simple houses

烈度区	结构类型	毁坏/m <sup>2</sup>	破坏/m <sup>2</sup>	基本完好/m <sup>2</sup>	平均震害指数
Ⅷ	土木结构	7 700	31 700	1 000	0.35
	砖木结构	400	1 700	0	0.36
Ⅶ	土木结构	2 400	25 350	28 940	0.16
Ⅵ	土木结构	750	10 850	59 450	0.05
	砖木结构	0	4 700	36 600	0.03

表 2 非简易房屋平均震害指数

Tab. 2 Average earthquake damage indexes of non-simple houses

烈度区	结构类型	毁坏/m <sup>2</sup>	严重破坏/m <sup>2</sup>	中等破坏/m <sup>2</sup>	轻微破坏/m <sup>2</sup>	基本完好/m <sup>2</sup>	平均震害指数
Ⅷ	框架结构	0	600	2 400	5 550	12 810	0.12
	砖混结构	0	7 100	10 600	32 740	112 920	0.10
Ⅶ	砖混结构	0	0	0	1900	5 700	0.05
Ⅵ	框架结构	0	0	600	28 380	355 320	0.02
	砖混结构	0	0	500	44 580	956 120	0.01

表 3 地震烈度与房屋平均震害指数的对应关系

Tab. 3 Corresponding relation between earthquake intensity and average earthquake damage indexes of buildings

建筑类型	平均震害指数			
	Ⅵ	Ⅶ	Ⅷ	Ⅸ
A1	0.02 ~ 0.17	0.15 ~ 0.44	0.42 ~ 0.62	0.60 ~ 0.90
A2	0.01 ~ 0.13	0.11 ~ 0.31	0.29 ~ 0.46	0.44 ~ 0.62
B	0.00 ~ 0.11	0.09 ~ 0.27	0.25 ~ 0.50	0.48 ~ 0.69
C	0.00 ~ 0.06	0.05 ~ 0.18	0.16 ~ 0.35	0.33 ~ 0.54
D	0.00 ~ 0.04	0.04 ~ 0.16	0.14 ~ 0.27	0.25 ~ 0.48

对比表 1 与表 3 发现，研究区Ⅷ度简易房屋土木结构平均震害指数为 0.35，砖木结构平均震害指数为 0.36，接近表 3 中Ⅷ度区 A2 类房屋平均震害指数范围值中间值；研究区Ⅶ度区土木结构平均震害指数为 0.16，接近表 3 中Ⅶ度区 A2 类房屋平均震害指数范围值的下限值 0.11；研究区Ⅵ度区土木结构平均震害指数为 0.05，砖木结构平均震害指数为 0.03，接近表 3 中Ⅵ度区 A2 类房屋平均震害指数范围值的下限值 0.01。

对比表 2 与表 3 发现，研究区Ⅷ度区非简易房

屋框架结构平均震害指数为 0.12, 略低于表 3 中Ⅷ度区 D 类房屋平均震害指数范围值的下限值 0.14; 研究区Ⅷ度砖混结构平均震害指数为 0.1, 低于表 3 中Ⅷ度区 C 类房屋平均震害指数范围值的下限值 0.16; 研究区Ⅶ度砖混结构平均震害指数为 0.05, 等于Ⅷ度区 C 类房屋平均震害指数范围值的下限值 0.05; 研究区Ⅵ度区框架结构平均震害指数为 0.02, 接近表 3 中Ⅵ度区 D 类房屋平均震害指数范围值的下限值 0, Ⅵ度区砖混结构平均震害指数为 0.01, 接近表 3 中Ⅵ度区 C 类房屋平均震害指数范围值的下限值 0。

综合上述对比情况发现, 本文研究区Ⅷ度区土木和砖木结构平均震害指数与表 3 规定的范围值较为一致, Ⅶ度、Ⅵ度区不同结构类型的平均震害指数均处于表 3 规定值的下限, 说明此次地震震害偏轻。结合实地调查, 认为其原因有 3 方面: 一是研究区抗震设防标准烈度为Ⅷ度, 市区和县城以框架结构和砖混结构为主, 房屋基本经过正规抗震设防; 二是该区域为地震多发区, 居民抗震设防意识比较强, 自建砖混采用现浇楼板且均设有完整的圈梁和构造柱体系, 加强了房屋的整体抗震性能; 三是该区域为白族、彝族少数民族聚居地, 其传统民居以穿斗木结构为主, 穿斗木架构承重, 土坯墙、夯土墙或砖墙围护, 抗震性能良好; 加之近年来在脱贫攻坚工作中的危房改造、抗震安居加固等项目, 让农村地区房屋的整体质量有了较大提升, 特别是针对穿斗木结构房屋实施纵向张拉钢绳配合铁件加固节点的抗震加固技术和钢架拖换加固技术, 在本次地震中发挥出特别明显的效果, 经加固后的穿斗木构架及钢架的抗震性能整体表现良好。

### 2.3.3 相近震级地震对比分析

为进一步分析本次地震房屋震害的特征, 将其与 2014 年云南鲁甸  $M_s6.5$  地震、景谷  $M_s6.6$  地震进行对比分析。选取这两次震例主要有两个原因: 一是 3 次地震的震级较为接近; 二是 3 次地震分别发生在云南省的西北部、东北部和南部地区, 3 个地区的房屋结构具有明显的区域特征, 房屋结构的差异直接决定了房屋震害特征的差异。房屋平均震害指数是研究房屋震害的重要依据 (卢永坤等, 2014), 因此将这 3 次地震的房屋平均震害指数进行对比分析, 结果见表 4、5。

表 4 3 次地震简易房屋平均震害指数对比

Tab. 4 Comparison of average seismic damage indexes of simple houses in three earthquake events

烈度区	结构类型	鲁甸 $M_s6.5$ 地震 平均震害指数	景谷 $M_s6.6$ 地震 平均震害指数	漾濞 $M_s6.4$ 地震 平均震害指数
Ⅷ	土木结构	0.54	0.34	0.35
	砖木结构	0.54	0.32	0.36
Ⅶ	土木结构	0.26	0.23	0.16
Ⅵ	土木结构	0.07	0.07	0.05
	砖木结构	0.07	0.05	0.03

表 5 3 次地震非简易房屋平均震害指数对比

Tab. 5 Comparison of average seismic damage indexes of non-simple houses in three earthquake events

烈度区	结构类型	鲁甸 $M_s6.5$ 地震 平均震害指数	景谷 $M_s6.6$ 地震 平均震害指数	漾濞 $M_s6.4$ 地震 平均震害指数
Ⅷ	框架结构	0.15	0.25	0.12
	砖混结构	0.37	0.25	0.10
Ⅶ	砖混结构	0.16	0.20	0.05
Ⅵ	框架结构	0.02	0.02	0.02
	砖混结构	0.05	0.03	0.01

对比鲁甸  $M_s6.5$  地震和本次漾濞地震, 可以看出漾濞地震各烈度区对应的各类房屋平均震害指数均小于鲁甸地震, 在高烈度区差别更为明显, 说明漾濞地震房屋震害显著轻于鲁甸地震。从房屋结构类型来分析, 鲁甸地区土木和砖木结构房屋基本上为硬山搁檩式房屋, 屋盖直接置于夯土墙上, 由夯土墙承重, 抗震性能极差, 夯土墙抗剪、抗弯、抗拉强度低, 延性较差, 在地震反复作用下纵横墙结合部和梁、檩下产生竖向裂缝, 纵横墙相互碰撞导致墙体局部倒塌或整体倒塌; 而漾濞地区土木和砖木结构房屋则大多数为穿斗木构架结构, 抗震性能良好, 加之经过抗震设防加固, 使整个结构的整体性更好、更稳定, 进一步提升了其抗震性能。

对比景谷  $M_s6.6$  地震和本次漾濞地震, 可以看出 2 次地震简易房屋各烈度区对应的各类房屋平均震害指数相差不大。这是因为景谷地区和漾濞地区的土木和砖木结构房屋均为穿斗木结构, 在震级相近的情况下震害情况也相似, 这也从侧面反映了滇西北和滇南地区的简易房屋抗震性能要普遍强于滇东北地区, 主要就是房屋结构在地域

上的区别。另外在对比中发现,景谷地震非简易房屋各烈度区对应的各类房屋平均震害指数要高于漾濞地震,特别是在高烈度区差别较大。这是因为景谷地震震区所处的思茅—普洱地区是云南省乃至全国破坏性地震活动最活跃的区域之一,仅自 20 世纪 70 年代以来,已发生 9 次 6 级以上地震。频繁的地震活动对该区域的大多数建筑,特别是年代较早的建筑造成了一定影响或损害,致使该地区存在大量过去未被纳入地震恢复重建或加固范围的建筑物,积累的震害不断加重,虽然房屋倒塌较少,但墙体开裂现象较为明显,因此景谷地震非简易房屋震害要比漾濞地震的重一些。

### 3 结论

本文结合漾濞  $M_s 6.4$  地震烈度分布,着重从地震现场房屋震害现象、各调查点不同房屋结构类型的平均震害指数与地震烈度对应关系两个方面分析了地震烈度评判的依据,还通过与云南地区发生的震级相近地震进行对比分析,得到以下结论:

(1) 本次地震烈度评定主要以房屋平均震害指数为依据,结合生命线工程破坏情况,同时参考了震区构造背景、震源机制解、余震序列分布、强震加速度记录等资料。结果显示现场调查结果与各项科技支撑成果形成较好的一致性,表明本次地震烈度评定过程严谨、依据充分。

(2) 按云南地区地震烈度分布的一般规律(国家地震局,国家统计局,1996;苏有锦等,2001;周光全等,2006), $M_s 5.8 \sim 6.2$  地震极震区烈度可达Ⅷ度,Ⅵ度区以上面积范围为  $900 \sim 5\,500 \text{ km}^2$ 。漾濞地震Ⅵ度区以上面积为  $6\,600 \text{ km}^2$ ,相对偏大,与此次地震余震的频度和强度相关。截至

2021 年 5 月 29 日 8 时,本次地震序列记录到  $6.0 \sim 6.9$  级地震 1 次, $5.0 \sim 5.9$  级地震 3 次, $4.0 \sim 4.9$  级地震 13 次。中强地震频发导致一定程度的震害叠加效应,导致影响范围较大。从各烈度区面积占比来看,Ⅷ、Ⅶ度区占比小,Ⅵ度区占比大,表明本次地震总体震害较轻。

(3) 根据现场调查的房屋震害情况,结合各烈度区各类房屋结构的平均震害指数,并与 2014 年云南鲁甸  $M_s 6.5$  地震、景谷  $M_s 6.6$  地震进行对比分析,得出本次地震房屋震害整体偏轻,这主要与区域内传统民居的结构类型和抗震加固等情况有关。

### 参考文献:

- 国家地震局,国家统计局. 1996. 中国大陆地震灾害损失评估汇编(1990—1995 年)[M]. 北京:地震出版社.
- 卢永坤,张建国,宋立军,等. 2014. 2014 年云南鲁甸 6.5 级地震烈度分布与房屋震害特征[J]. 地震研究,37(4):549—557.
- 卢永坤,周洋,代博洋,等. 2019. 2018 年云南墨江 5.9 级地震房屋震害特征与烈度评定[J]. 地震研究,42(2):172—178.
- 明小娜,周洋,卢永坤. 2018. 云南砖混结构房屋震害矩阵修正研究[J]. 地震研究,41(4):605—612.
- 苏有锦,李忠华,刘祖荫,等. 2001. 20 世纪云南地区  $M_s \geq 5.0$  级地震活动的基本特征[J]. 地震研究,24(1):1—9.
- 孙柏涛,闫佳琦,李山有. 2019. 宏观地震烈度发展与其用途的演变[J]. 地震工程与工程振动,39(2):1—8.
- 周光全. 2011. 云南地区简易房屋的震害指数研究[J]. 地震研究,34(1):88—95.
- 周光全. 2013. 云南震害损失评估与恢复重建规划主要技术指标[J]. 地震研究,36(2):207—214.
- 周光全,施伟华,非明伦,等. 2006. 云南地震烈度分布面积的统计特征[J]. 地震研究,29(4):193—196.
- 中国地震年鉴委员会. 1999. 中国地震年鉴(1998)[M]. 北京:地质出版社.
- GB/T 18208.3—2011,地震现场工作第三部分:调查规范[S].
- GB/T 17742—2020,中国地震烈度表[S].
- GB/T 38226—2019,地震烈度图制图规范[S].



## Damage and Intensity Assessment of Buildings in the 2021 Yangbi, Yunnan $M_s6.4$ Earthquake Area

YANG Jianqiang, YE Yang, LU Yongkun, LIU Shaochang, YU Jiang  
(Yunnan Earthquake Agency, Kunming 650224, Yunnan, China)

### Abstract

According to the field survey of the  $M_s6.4$  earthquake in Yangbi County, Yunnan Province, the intensity distribution and buildings' damage caused by this earthquake are elaborated, and the average hazard index of various building structures in each intensity area is calculated and compared with the *China Earthquake Intensity Table*. Further, a comparative analysis of the buildings' damage was carried out with the aid of the buildings' damage by the Ludian  $M_s6.5$  earthquake and the Jinggu  $M_s6.6$  earthquake in Yunnan in 2014. The results show: ① The damage to civil – structure houses and frame – structure houses in the disaster area in Yangbi is obvious. The damage to brick – concrete structure houses is relatively light. The brick – wood structure houses is few, so a little earthquake damage has been found; ② In each intensity area, the average hazard indexes of houses are in good accordance with and the intensity, indicating that the seismic intensity evaluation of this earthquake conforms to the national standards and complies with the distribution law of the earthquake intensity in Yunnan; ③ Compared with the average damage index of the houses in the other two earthquake events in Yunnan, it is concluded that the overall damage in this Yangbi  $M_s6.4$  earthquake event was relatively light.

**Keywords:** the Yangbi  $M_s6.4$  earthquake; building damage; intensity evaluation; the average earthquake – damage index