

2021年云南漾濞 M_s 6.4 地震震害特征*

刘绍昌¹, 卢永坤¹, 周洋^{1♣}, 代博洋², 杨健强¹, 于江¹, 叶阳¹

(1. 云南省地震局, 云南昆明 650224; 2. 中国地震应急搜救中心, 北京 100043)

摘要: 通过对2021年5月21日云南漾濞 M_s 6.4地震开展实地灾害评估调查和震害资料收集, 确定灾区人员伤亡情况, 建筑物、生命线工程及水利设施震害特征和地震地质灾害特征, 给出灾区房屋建筑物震害矩阵, 并与省内同级别历史地震震害进行对比研究, 对其震害特征原因进行初步分析, 最后针对其震害特征提出相关应急处置建议。

关键词: 漾濞 M_s 6.4 地震; 震害特征; 震害成因

中图分类号: P315.94 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0666(2021)03-0452-09

0 引言

破坏性地震发生后, 及时进行地震震害特征总结和震害成因分析, 能够为震后快速有效地开展灾害治理和恢复重建工作提供科学依据。因此, 通过分析研究每一次破坏性地震震害特征和成因, 对提高灾区防震减灾和地震应急救援能力, 具有重要意义。对于云南震害特征, 许多学者做过大量的研究, 如周光全等(2003)系统性研究了震级与灾区面积、受灾人口、人员死亡、经济损失等震害指标的关系; 李永强(2012)研究了1900年以来云南地震人员伤亡特征; 张方浩等(2020)对云南地区地震灾害特征行了对比分析研究; 杜浩国等(2019)对云南省红河县城城区房屋地震灾害进行三维仿真模拟, 得出不同烈度下城区房屋的破坏程度及分布情况。

本文根据漾濞 M_s 6.4地震现场灾害损失评估小组实地调查和灾区相关部门提供的震害资料, 对灾区震害情况进行总体概括, 并就灾区的人员伤亡、建筑物、生命线工程及水利设施、地震地质灾害等震害特征进行分析, 旨在为灾区的恢复重建提出具有针对性的建议和应对措施, 以期为提高滇西北地区的防灾减灾救灾能力提供有效依据。

1 灾区地质构造背景、主震峰值加速度与地震烈度

漾濞地震震区位于唐古拉—昌都—兰坪—思茅褶皱系(I级构造单元)兰坪—思茅褶皱带(II级构造单元)与昌都—云岭褶皱带(II级构造单元)的交汇部位(云南省地质矿产局, 1990)。李传友等(2021)认为本次漾濞地震的发震断裂是一条位于维西—乔后断裂西侧具有右旋走滑活动方式的NW向的隐伏次生断裂; 王光明等(2021)认为发震断层并非区域上的维西—乔后断裂, 而是北西走向具有早期逆左旋走滑的草坪断裂。本次地震极震区烈度圈长轴方向为NW向, 与这些学者认为的发震断裂走向方向基本一致。

本次地震云南数字强震台网永平县台、月溪井与漾濞县固定台获得主震记录, 最大加速度见表1。

表1 震区各观测点获得的主震最大加速度

Tab. 1 The maximum acceleration of the main shock at each observational point in the seismic region

测点	震中距/ km	最大加速度/Gal		
		东西	北南	垂直
永平县	41.33	44.9	65.1	-201.0
月溪井	31.14	116.3	108.1	90.9
漾濞县	8.02	379.5	719.6	447.9

* 收稿日期: 2021-07-13.

基金项目: 云南省地震局青年地震科学基金“龙陵—瑞丽断裂带北段断层泥石英微形貌特征研究”(2020K01)资助.

第一作者简介: 刘绍昌(1987-), 工程师, 硕士研究生, 主要从事地震灾害损失评估、活动构造的研究.

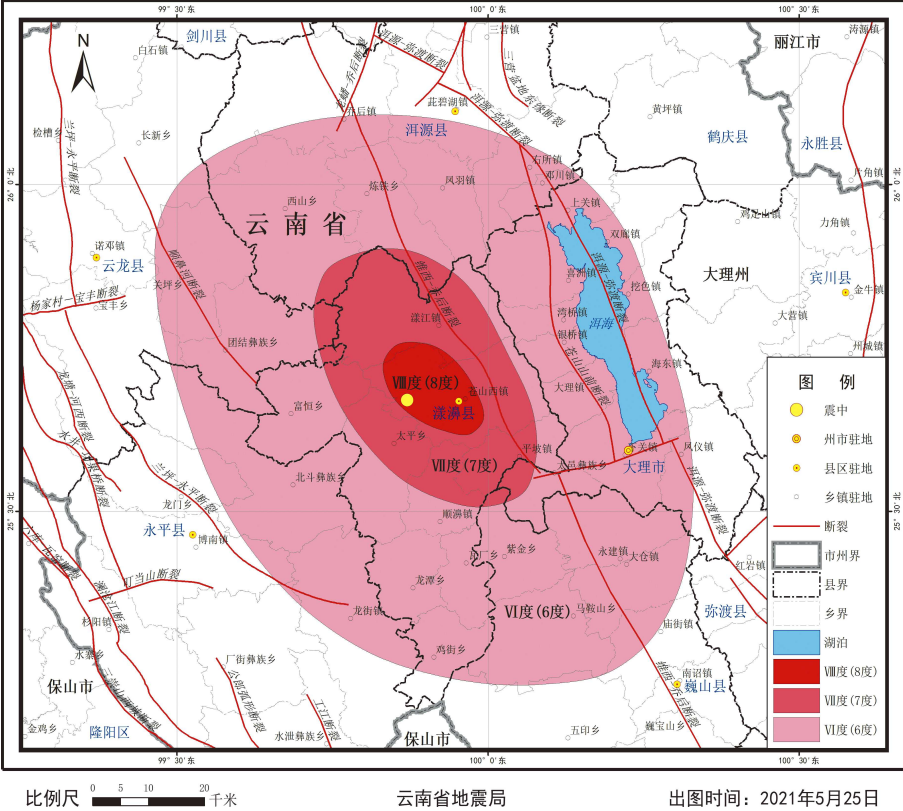
E-mail: 857347512@qq.com.

♣ 通讯作者简介: 周洋(1986-), 工程师, 主要从事地震灾害损失评估、烈度评定等研究工作.

E-mail: 19695535@qq.com.

此次地震极震区烈度为Ⅷ度，宏观震中位于苍山西镇秀岭村一带，等震线形状呈椭圆形，长轴走向为NW向（图1），灾区总面积为

6 600 km²，其中Ⅷ度区面积约170 km²；Ⅶ度区面积约930 km²，Ⅵ度区面积约5 500 km²（云南省地震局，2021a）。



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度,东经99.87度)发生6.4级地震。此次地震最高烈度为Ⅷ度(8度),Ⅵ度(6度)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、漾濞镇、太平乡3个乡镇。东起漾濞县苍山西镇河西村,西至苍山西镇大坝坝,南自苍山西镇沙河村,北达漾濞江镇弯坡村—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、漾濞镇、富恒乡、太平乡、顺源镇、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,南自漾濞县顺源镇哈腊左村—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。

图1 云南漾濞 $M_s6.4$ 地震烈度分布图(云南省地震局,2021a)

Fig.1 Isoseismal map of the Yangbi $M_s6.4$ Earthquake (Yunnan Earthquake Agency, 2021a)

2 人员伤亡特征

本次地震造成3人死亡,其中漾濞县2人,永平县1人;34人受伤,其中漾濞县31人,永平县2人,大理市1人。与云南同级别历史地震相比,本次地震人员伤亡数相对较少。

地震伤亡人员中,被滚石或坠物砸死砸伤占比最大,其次为避震时摔伤、扭伤。死亡人员中,2人被滚石或重物掉落砸死,1人在地震后因突发性疾病猝死,此次地震没有因房屋建筑物倒塌而造成的死亡。受伤人员中,有22人被地震造成重物掉落或滚石砸伤,有10人在避险时摔伤或扭伤,1人避险时发生车祸受伤,1人因地震惊吓过度(表2)。

从伤亡人员性别分布看,男性伤亡人数均高于女性。死亡的3人中2人为男性,一人为女性,

受伤的34人中,21人为男性,13人为女性。

从伤亡人员年龄分布看,本次地震死亡人员年龄分布于40~79周岁,主要集中在40~59周岁;受伤人员年龄分布于10~90周岁,最小年龄为10周岁,最大年龄为90周岁,平均年龄为48周岁,受伤人员年龄分布主要集中在30~49周岁(表3)。

表2 漾濞 $M_s6.4$ 地震受伤人员

Tab.2 Statistics of the death reasons in the Yangbi $M_s6.4$ earthquake event

统计参数	被坠落物砸伤	避震时摔伤	从高处跌落受伤	避险时发生车祸	地震惊吓过度
重伤员	8	1	0	0	0
轻伤员	14	8	1	1	1
占比	64.70%	26.60%	2.90%	2.90%	2.90%

表 3 漾濞 $M_s6.4$ 地震伤亡人员年龄分布

Tab. 3 Statistics of the age distribution of injured people in the Yangbi $M_s6.4$ earthquake event

统计参数	10 ~ 19 岁	20 ~ 29 岁	30 ~ 39 岁	40 ~ 49 岁	50 ~ 59 岁	60 ~ 69 岁	70 ~ 79 岁	80 ~ 89 岁	90 ~ 99 岁
死亡人数	0	0	0	1	1	0	1	0	0
受伤人数	3	1	8	9	3	5	3	1	1
死亡人员占比	0	0	0	33.30%	33.30%	0	33.30%	0	0
受伤人数占比	8.82%	2.94%	23.53%	26.48%	8.82%	14.71%	8.82%	2.94%	2.94%

3 建筑物震害特征

本次地震灾区建筑物中土木结构房屋受损相对严重,表现为房屋承重结构受损、墙体倒塌、梁柱折断、墙体普遍贯穿性开裂等,砖混结构房屋和框架结构房屋受损较轻,表现为墙体不同程度的开裂。

3.1 建筑物结构特点

根据灾区相关部门提供的房屋建筑基础资料(表4)和现场灾评调查结果,灾区房屋按结构类型可分为土木结构、砖木结构、砖混结构和框架结构。灾区农村房屋以土木、砖木结构房屋为主,砖混结构房屋次之,框架结构房屋最少。城区房屋以砖混、框架结构房屋为主,土木、砖木房屋占比较小。因此在本次地震宏观烈度评定中,以灾区农村土木结构房屋的震害特征作为农村房屋建筑物烈度评定的主要宏观判定依据,以砖混、框架结构房屋的震害特征作为城区烈度评定的宏观判定依据。

土木结构房屋:灾区农村的主要民房,穿斗木构架承重,土坯墙围护,人字形瓦屋顶。

砖木结构房屋:灾区传统民房,在农村和城市有少部分存在。穿斗木构架承重,砖墙围护,人字形瓦屋顶。

砖混结构房屋:灾区农村和城市部分自建房屋,砖砌墙体承重,普遍设置钢筋混凝土圈梁、

构造柱、现浇楼(屋)盖。

框架结构:灾区城市住宅小区,政府、企业办公大楼,医院、学校公共建筑房屋。钢筋混凝土梁柱承重,现浇屋盖或楼板。

3.2 房屋建筑震害矩阵

根据云南历次地震经验和《地震现场工作第4部分:灾害直接损失评估》(GB/T 18208.4—2011)规定,土木结构与砖木结构房屋归为简易房屋,其破坏等级划分为基本完好、破坏、毁坏3个等级,其对应的震害指数权系数取值分别为0.65、0.29、0;砖混结构房屋和框架结构房屋归为非简易房屋,破坏等级划分为基本完好、轻微破坏、中等破坏、严重破坏、毁坏5个破坏等级,其震害指数权系数取值分别为1.0、0.7、0.4、0.2、0(周光全,2011)。

房屋建筑破坏比与平均震害指数是定量研究调查点房屋建筑震害或某烈度区的重要依据,也是判定烈度的量化指标(卢永坤等,2014,2019)。本次漾濞地震灾区各烈度区的各类结构房屋的破坏比和平均震害指数汇总见表5、6。本次地震Ⅷ区处于漾濞县境内,包含漾濞县城区和农村两部分;Ⅵ度区包含大理市城区和漾濞、洱源、大理、云龙、永平、巍山6县(市)的农村部分;Ⅶ度区主要为以上6县(市)的农村,没有涉及城区。

表 5 简易房屋破坏比与平均震害指数 (%)

Tab. 5 Summary of the damage ratios and average damage indexes of simple buildings (%)

烈度区	结构类型	毁坏	破坏	基本完好	平均震害指数
Ⅷ度区农村	土木结构	14.29	82.74	2.97	0.34
	砖木结构	19.05	80.95	0	0.41
Ⅷ度区城市	土木结构	31.65	68.35	0	0.44
	土木结构	4.23	44.72	51.05	0.16
Ⅶ度区	砖木结构	0	11.38	88.62	0.03
	土木结构	1.06	15.27	83.67	0.05

表 4 灾区各类房屋建筑面积

Tab. 4 Basic data of all kinds of buildings in the disaster areas

房屋结构 类型	农村/m ²		县城/m ²	
	民房	公房	民房	公房
土木	4 317 076	38 894	184 260	3 218
砖木	2 386 695	32 422	116 194	23 472
砖混	2 115 405	167 170	5 036 990	479 728
框架	375 798	60,931	2 025 088	1 362 628
合计	9 194 974	299 417	7 362 532	1 869 046

表6 非简易房屋破坏比与平均震害指数 (%)

Tab. 6 Summary of the damage ratios and average damage indexes of non – simple buildings (%)

评估区	结构类型	毁坏	严重破坏	中等破坏	轻微破坏	基本完好	平均震害指数
Ⅷ度区农村	砖混结构	0	0	0	58.30	41.70	0.12
	框架结构	0	2.81	11.24	25.98	59.97	0.12
Ⅷ度区城区	砖混结构	0	4.60	6.87	17.77	70.76	0.14
	框架结构	0	0	0	8.37	91.63	0
Ⅶ度区	砖混结构	0	0	0	25.00	75.00	0.05
	框架结构	0	0	0	6.62	93.38	0.01
Ⅵ度区农村	砖混结构	0	0	0	8.37	91.63	0.02
	框架结构	0	0	0.17	7.45	92.38	0.02
Ⅵ度区城区	砖混结构	0	0	0.05	4.22	95.73	0.01

《中国地震烈度表》(GB/T 17742—2020)给出了地震烈度与房屋震害指数的相互对应关系(表7)。表7中A1为未经抗震设防的土木、砖木、石木等房屋,A2为穿斗木构架房屋,B为未经抗震设防的砖混结构房屋,C为按照Ⅶ抗震设防的砖混结构房屋,D为按照Ⅶ抗震设防的钢筋混凝土框架结构房屋。由本次地震灾区房屋结构类型特征可知,农村的土木、砖木结构房屋为A2类建筑,砖混结构房屋为B类建筑,框架结构房屋为D类建筑;城区砖混、框架结构房屋分别为C类建筑、D类建筑,土木、砖木结构房屋为A2类建筑。

表7 地震烈度与房屋震害指数对应关系

Tab. 7 Correspondence between seismic intensity and earthquake – damage indexes

地震烈度	类型	平均震害指数
Ⅵ	A1	0.02 ~ 0.17
	A2	0.01 ~ 0.13
	B	≤0.11
	C	≤0.06
	D	≤0.04
Ⅶ	A1	0.15 ~ 0.44
	A2	0.11 ~ 0.31
	B	0.09 ~ 0.27
	C	0.05 ~ 0.18
	D	0.04 ~ 0.16
Ⅷ	A1	0.42 ~ 0.62
	A2	0.29 ~ 0.46
	B	0.25 ~ 0.50
	C	0.16 ~ 0.35
	D	0.14 ~ 0.27

表5所示简易房屋中,城区与农村的土木结构、砖木结构房屋的平均震害指数与表7的房屋震害指数对应关系较好;表6所示非简易房屋在Ⅷ度、Ⅶ区农村与城市的框架与砖混结构房屋的震害指数与表7对应关系较差。Ⅵ度区农村、城市框架与砖混结构房屋的对应关系较好,主要是由于Ⅷ度、Ⅶ区农村虽然砖混、框架结构房屋较少,但抗震能力均好,受损轻。城区砖混、框架结构房屋基本为按照Ⅶ抗震设防的房屋,因此房屋整体抗震性好,受损较轻。

4 生命线工程及水利设施震害特征

4.1 电力系统震害特征

本次地震造成漾濞县、大理市9个供电所配管所房、6座变电站、56台变低压出线房屋、8条10 kV线路、配电网及设备不同程度受损。震害特征表现为杆路倾斜、倒塌(图2a),线路损坏,变电站线路线闸、配电变压器及入户电表等设备受损,部分变电站、发电站、供电所办公楼和业务用房墙体开裂。

4.2 通信系统震害特征

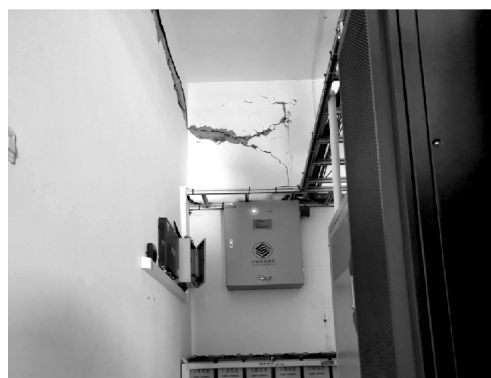
地震造成漾濞县112个基站、7个杆塔、12个机房、48站电力线路、15个设备机架、2 200皮长公里通信光缆、26台通信网交换和接入设备不同程度受损。震害特征表现为杆塔倾斜,线路损毁、基站设备受损、移位,机房墙体开裂等(图2b)。

4.3 交通系统震害特征

地震造成漾濞县、大理市、洱源县、巍山县、云龙县、永平县等地总计2条高速公路、4条国道、9条省道、18条县乡公路、127条农村公路、



(a) 电杆受损



(b) 通信机房墙体开裂



(c) 高速公路挡墙受损



(d) 省道边坡塌方



(e) 雪山河三大桥桥台与主梁接触部位开裂



(f) 苍山西镇大浪坝水塘坝顶表面出现裂缝

图2 生命线工程及水利设施震害图片

Fig. 2 Earthquake damage to lifeline engineering and water conservancy facilities

25 个公路管理所、1 个客运站点、13 座桥梁、58 处涵洞不同程度受损。震害特征表现为路面破坏、路基下沉、开裂、塌方、挡墙损坏 (图 2c)、边坡塌方 (图 2d)、滚石致沥青、水泥路面开裂, 桥梁、隧道、涵洞开裂受损等。

4.4 市政设施震害特征

地震造成漾濞县、大理市、洱源县、巍山县、云龙县、永平县等地共计 1 座污水处理厂、1 座自来水处理厂、3 座垃圾处理场、8 座城市桥梁、31 个城市公厕及洗手设施、20 条城区主次干道 (共

计 23 km)、22.5 km 供水主管网、58 km 城市污水管网等市政设施不同程度受损。震害特征表现为垃圾处理厂、污水处理厂建筑墙体、地面开裂、池体底部出现轻微渗漏, 生活垃圾中转站压缩设备不同程度损坏; 桥梁桥墩出现裂缝、桥台与主梁接触处开裂破损 (图 2e)、桥梁老旧裂缝宽度加大, 市政道路路面出现裂缝, 排水设施出现断裂、渗漏, 管道受损。

4.5 水利工程震害特征

地震造成漾濞县、大理市、洱源县、巍山

县、云龙县、永平县等地水利工程结构不同程度受损,造成10座水库、11座水电站、41处塘坝、2 789处水窖、28座蓄水池、190 km管道、21处排水沟渠、11处供水设施等不同程度损坏。震害特征表现为水库坝体开裂(图2f)、沟渠、输水管道开裂渗漏及原有渗漏加大、堤防与沟渠开裂渗水、水池水窖开裂,乡村集中供水设施损坏等。

5 其它震害特征

5.1 地震地质灾害特征

本次地震未发生大规模的地震地质灾害,据相关部门截至5月28日的排查统计,灾区原有地质灾害隐患点211处,本次地震后新增50处。共59处出现灾情,按规模等级分为中型20起、小型39起,按灾害类型划分为滑坡46起、

崩塌6起、泥石流7起。本次地震引发的地质灾害主要受控于发震断裂和公路等线性工程,沿发震断裂NW向呈线状分布,主要集中分布于Ⅷ度区、Ⅶ度区内,少数分布于Ⅵ度区内。地震地质灾害往往多发于人类工程活动区,地震诱发灾区多条公路边坡出现大量的滑坡、崩塌等地质灾害(图3)。

5.2 评估区外震害特征

本次地震还造成评估区外宾川县大营镇、宾居镇、鸡足山镇、金牛镇等3个乡(镇)部分土木结构房屋、卫生院、桥梁、公路等基础设施受损。土木结构房屋受损情况表现为部分房屋墙体贯穿性开裂、老裂缝加宽、墙皮脱落,卫生院墙柱结合部出现裂缝、非承重墙发育裂缝;桥梁受损情况表现为桥梁和道路连接部位出现裂纹;公路受损情况为公路边坡发育地面裂缝、路面下沉等受损情况。



(a) 灾区公路边坡滑坡



(b) 灾区公路边坡崩塌

图3 漾濞 $M_s6.4$ 地震地质灾害

Fig. 3 Seismogeological disasters

6 近年来云南相近震级地震震害特征对比

依据历次地震灾害损失评估报告,将本次地震与2009年姚安 $M_s6.0$ 地震、2014年盈江 $M_s6.1$ 地震、鲁甸 $M_s6.5$ 地震、景谷 $M_s6.6$ 地震对应的人员伤亡、灾区面积、不具修复价值房屋面积占比、失去住所人数、经济损失、平均震害指数等情况进行对比研究(表8、9),得出以下结论(云南省地震局,2009,2014a, b, c, 2021b; 张彦琪等,2017):

(1) 与云南省同级别历史地震相比,本次地震人员伤亡总人数相对较低,受伤人员中,重伤员、轻伤员人数皆低于同级别历史地震人数,但死亡人数仅低于鲁甸地震死亡人数。

(2) 根据云南地区地震烈度分布规律(周光全等,2006),本次地震灾区受灾总面积及各烈度区(Ⅷ度区、Ⅶ度区、Ⅵ度区)面积占比均小于云南同级别历史地震,说明本次地震受灾规模相对小。

(3) 灾区不具修复价值房屋面积占比和失去住所人数在一定程度上可以反应灾区房屋的整体破坏情况。本次地震灾区不具修复价值房屋面积

占比和失去住所人数皆小于同级别历史地震，灾区房屋整体破坏情况相对轻，房屋整体抗震性相对较好。

(4) 从直接经济损失来看，本次地震房屋建筑直接经济和其它经济损失较景谷 $M_s6.6$ 地震、鲁甸 $M_s6.5$ 地震轻，与盈江 $M_s6.1$ 地震、姚安 $M_s6.0$ 地震总损失（房屋建筑直接经济、其它经济损失）相比损失较重；从人均直接经济损失来看，

本次地震人均直接经济损失最小。

(5) 从平均震害指数来看，本次地震Ⅷ度区、Ⅶ度区、Ⅵ度区内 4 种结构类型房屋平均震害指数整体普遍小于云南同级别历史地震。主要原因是近年大力实施的农危改工程提升了我省民房抗震能力，除土木结构房屋墙体整体倒塌或局部倒塌外，其余结构类型房屋抗震能力表现良好，所以本次地震平均震害指数要低于以往同级别历史地震。

表 8 云南相近震级历史地震对比

Tab. 8 Comparison of historical earthquakes with the similar magnitude in Yunnan

地震事件	伤亡人数				Ⅷ度区 面积/ km ²	Ⅶ度区 面积/ km ²	Ⅵ度区 面积/ km ²	灾区 面积/ km ²	最高 烈度	灾区 人口 密度	直接经济损失（万元）			人均直 接经济 损失/ （万元/ 人）	不具修 复价值 房屋面 积占比 （%）	失去 住所 人数
	死亡 人数	重 伤	轻 伤	伤亡总 人数							房屋 建筑	其他	总损失			
姚安 $M_s6.0$ 地震	1	31	341	373	230	883	5 845	6 958	Ⅷ	115	170 630	44 580	215 210	1.00	26	149 990
盈江 $M_s6.1$ 地震	0	13	47	60	250	1 040	1 860	3 150	Ⅷ	74	128 310	51 750	180 060	0.66	23	36 589
鲁甸 $M_s6.5$ 地震	617	0	3 143	3 760	290	1 580	8 390	10 350	Ⅸ	272	1 343 450	1 014 360	2 357 810	1.31	39	287 809
景谷 $M_s6.6$ 地震	1	0	331	332	400	1 750	9 780	11 930	Ⅷ	39	352 900	158 120	511 020	0.89	29	78 394
漾濞 $M_s6.4$ 地震	3	9	25	37	170	930	5 500	6 600	Ⅷ	57	211 890	114 620	326 510	0.35	21	21 902

表 9 云南相近震级历史地震平均震害指数对比

Tab. 9 Comparison of average damage indexes of the historical earthquakes with the similar magnitude in Yunnan

地震事件	Ⅷ度区				Ⅶ度区				Ⅵ度区			
	砖木	土木	框架	砖混	砖木	土木	框架	砖混	砖木	土木	框架	砖混
姚安 $M_s6.0$ 地震	0.28	0.41	0.15	0.19	0.17	0.20	0.09	0.12	0.08	0.11	0.06	0.06
盈江 $M_s6.1$ 地震	0.41	0.11	0.14	0.30	0.10	0.09	0.03	0.08	0.05	0.04	0.01	0.02
鲁甸 $M_s6.5$ 地震	0.54	0.54	0.15	0.37	0.26	0.26	0.09	0.16	0.07	0.07	0.02	0.05
景谷 $M_s6.6$ 地震	0	0	0.20	0.30	0.26	0.30	0.24	0.09	0.05	0.07	0.03	0.03
漾濞 $M_s6.4$ 地震	0	0.35	0.12	0.10	0	0.16	0.01	0.05	0.03	0.05	0.02	0.01

7 震害特征分析与讨论

(1) 本次地震最高烈度为Ⅷ度，Ⅵ度及以上受灾面积为 6 600 km²，与云南省同级别历史地震相比，本次漾濞 $M_s6.4$ 地震受灾规模相对较小，经济损失相对较轻，一是因为灾区房屋建筑与基础设施整体抗震能力有所提高；二是因为灾区没有发生大规模的次生灾害。

(2) 本次地震造成 3 人死亡，34 人受伤（重伤员 9 人，轻伤员 25 人），与云南省同级别历史地震相比，人员伤亡数相对较低。一是建筑震害较轻，是该次地震与省内同等强度地震造成人员伤

亡少的主要因素；二是因为 $M_s6.4$ 主震前，一系列 4 级以上前震起到很好的警示效果；三是灾区人口密度与云南省同级别历史地震灾区相比相对较低。四是地震发生在晚上 9 点，人员在室率高，室外被滚石等砸死砸伤人员较少。

(3) 本次地震灾区土木结构房屋受损相对严重，表现为部分房屋承重结构受损、墙体倒塌、梁柱折断、墙体普遍贯穿性开裂等，如Ⅷ度区内农村土木结构房屋 2~3 面山墙整体倒塌毁坏比列达 14.29%，破坏比列达 82.74%。砖混结构房屋和框架结构房屋受损较轻，仅表现为墙体出现不同程度的裂缝。一是灾区农村土木结构房屋占比大，部分此类房屋年久失修，抗震能力弱；二是

灾区砖混结构房屋和框架结构房屋普遍按抗震设防标准建造, 抗震性较好。

(4) 本次地震灾区生命线工程及水利设施受损相对严重。一是本次地震震级大, 震源浅, 波及面广, 震中离漾濞县城近; 二是灾区部分生命线工程及水利设施建设年代久远且建设水平相对落后, 抗震能力弱。

(5) 本次地震灾区地震地质灾害相对较轻。一是因为灾区生态环境相对较好, 森林覆盖率达83.97%, 有效降低了大规模地震地质灾害的发生和地震地质灾害造成人员伤亡的风险; 二是因为地震发生时间未在雨季, 未出现大规模降雨天气, 降低了发生大规模次生地质灾害风险的概率。

(6) 一系列中强地震频发导致了一定程度的灾情叠加效应。截至5月29日8时, 本次地震系列记录到1次6.0~6.9级地震, 3次5.0~5.9级地震, 13次4.0~4.9级地震, 频度和强度在云南省历史地震记录中均少见。一系列中强地震的频发, 导致本次地震灾区人员伤亡、各类建筑和生命线工程的震害累积效应。

8 结论与建议

漾濞 $M_s6.4$ 地震与云南同级别历史地震相比具有受灾规模相对较小, 经济损失相对较轻, 地震伤亡人数相对较少, 房屋建筑物和工程结构损坏相对较轻的震害特点, 本文根据其震害特点, 给予以下建议:

(1) 灾区农村存在大量的土坯墙围护型土木结构房屋, 该类房屋在本次地震中损坏严重。随着当地经济的发展, 该类房屋应在恢复重建中尽量拆除, 或将土坯墙换成砖墙, 以提高其抗震能力, 消除地震安全隐患。

(2) 灾区地质构造复杂, 发育有多组活动性断裂, 这些活动断裂曾发生过多古地震和地质灾害事件。在灾区恢复重建和城市发展中, 应该科学选址, 有效避开活动断层和地质灾害易发区。

(3) 有关部门应加大灾区地震科普宣传和地震应急救援演练, 强化防震减灾意识与应急避险技能, 提高灾区应急备震、应急救援能力。

本文照片资料均来自于云南漾濞 $M_s6.4$ 地震现场灾评工作队。感谢云南漾濞 $M_s6.4$ 地震现场全体工作人员的辛勤工作。

参考文献:

- 杜浩国, 陈亮, 林旭川, 等. 2019. 云南红河州城区房屋地震灾害三维仿真模拟方法[J]. 地震研究, 42(2): 218-229.
- 李传友, 张金玉, 王伟, 等. 2021. 2021年云南漾濞 $M_s6.4$ 地震震害构造分析[J]. 地震地质 34(3): 706-721
- 李永强. 2012. 云南地震人员伤亡研究[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 $M_s6.5$ 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.
- 王光明, 吴中海, 彭关灵, 等. 2021. 2021年5月21日漾濞 $M_s6.4$ 地震的发震断层及其破裂特征: 地震序列的重定位分析结果[J]. 地质力学学报, 27(4): 662-678
- 云南省地震局. 2009. 2009年云南姚安 $M_s6.0$ 地震灾害直接经济损失评估报告[R].
- 云南省地震局. 2014a. 2014年云南盈江 $M_s6.1$ 地震灾害直接经济损失评估报告[R].
- 云南省地震局. 2014b. 2014年云南鲁甸 $M_s6.5$ 地震灾害直接经济损失评估报告[R].
- 云南省地震局. 2014c. 2014年云南景谷 $M_s6.6$ 地震灾害直接经济损失评估报告[R].
- 云南省地震局. 2021b. 2021年5月21日云南漾濞 $M_s6.4$ 地震灾害直接经济损失评估报告[R].
- 云南省地质矿产局. 1990. 云南省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社.
- 云南省地震局. 2010. 云南漾濞 $M_s6.6$ 地震灾害评估报告[R].
- 云南省地震局. 2021a. 云南漾濞 $M_s6.6$ 地震震害周发布[EB/OL]. (2021-05-25) [2021-07-01]. <http://www.yndzj.gov.cn/yndzj/-300599/-300651/629959/index.html>.
- 张方浩, 卢永坤, 邓树荣, 等. 2020. 云南地区区域地震灾害特征[J]. 地震研究, 43(1): 134-143.
- 张彦琪, 陈维锋, 卢永坤, 等. 2017. 2014年云南3次 $M_s > 6$ 地震灾害特征对比分析[J]. 地震研究, 40(1): 144-152.
- 周光全, 施伟华, 毛燕, 等. 2003. 云南地区地震灾害损失的基本特征[J]. 自然灾害学报, 12(3): 81-86.
- 周光全, 施伟华, 李明伦, 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.
- 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
- GB/T 17742—2020, 中国地震烈度表[S].
- GB/T 18208.4—2011, 地震现场工作第4部分: 灾害直接损失评估[S].

Characteristics of Earthquake Damage Caused by the 2021 Yangbi, Yunnan $M_s6.4$ Earthquake

LIU Shaochang¹, LU Yongkun¹, ZHOU Yang¹, DAI Boyang², YANG Jianqiang¹, YU Jiang¹, YE Yang¹

(1. *Yunnan Earthquake Agency, Kunming 650224, Yunnan, China*)

(2. *National Earthquake Response Support Service, Beijing 100043, China*)

Abstract

We firstly conducted a field investigation of the seismic damage in the area stricken by the Yangbi $M_s6.4$ earthquake in Yunnan Province on May 21, 2021, and acquired the disaster information about casualties, damage to buildings, damage to lifeline engineering and water conservancy facilities, seismogeological hazards, etc. We analyzed the characteristics of the seismic damage in the disaster area. Then we calculated the earthquake – damage matrix of buildings. Further, we compared the earthquake damage by the Yangbi earthquake with the ones by the historical earthquakes with the similar magnitude in Yunnan, and analyzed the characteristics and causes of the earthquake damage by the Yangbi earthquake, and on this basis we put forward suggestions of the emergent disposal of the Yangbi earthquake.

Keywords: the Yangbi $M_s6.4$ earthquake; characteristics of earthquake damage; causes of earthquake damage