

宴金旭,肖本夫,张露露,等. 云南漾濞 $M_s6.4$ 级地震土木结构房屋震害分析[J]. 华南地震, 2021, 41(3): 71-75. [YAN Jinxu, XIAO Benfu, ZHANG Lulu, et al. Seismic Damage Analysis of Civil Structure Buildings in Yangbi $M_s6.4$ Earthquake in Yunnan[J]. South China journal of seismology, 2021, 41(3): 71-75]

云南漾濞 $M_s6.4$ 级地震土木结构房屋震害分析

宴金旭, 肖本夫, 张露露, 周 琪, 赵雪慧, 格桑扎西

(四川省地震局, 成都 610000)

摘要: 通过对云南漾濞 $M_s6.4$ 级地震影响区范围内房屋震害调查发现, 区域内土木结构房屋破坏较其他结构严重, 主要分为“穿斗式”和“墙抬梁式”两种类型, 两者在地震中的破坏虽有相同, 但也各有特点。文章从两种类型土木结构房屋破坏比较明显的主体架构、屋顶、墙体和地基部位进行震害特点分析, 结合调查情况发现造成房屋受损严重的主要原因为房屋自身结构缺陷抗震性能差、地震频发加重房屋震害、地形条件造成不均匀沉降。

关键词: 漾濞 $M_s6.4$ 级地震; 土木结构房屋; 震害分析

中图分类号: P315.9

文献标示符: A

文章编号: 1001-8662(2021)03-00071-05

DOI: 10.13512/j.hndz.2021.03.10

Seismic Damage Analysis of Civil Structure Buildings in Yangbi $M_s6.4$ Earthquake in Yunnan

YAN Jinxu, XIAO Benfu, ZHANG Lulu, ZHOU Qi,
ZHAO Xuehui, GESANG Zhaxi

(Sichuan Earthquake Administration, Chengdu 610000, China)

Abstract: Through the investigation of the earthquake damage of buildings in the affected area of Yunnan Yangbi $M_s6.4$ earthquake, it is found that the damage of civil buildings in the area is more serious than other structures, which can be divided into two types: “bucket through” and “wall lifting beam”. Although the damage of the two types in the earthquake is the same, they also have their own characteristics. This paper analyzes the characteristics of earthquake damage from the main structure, roof, wall and foundation parts of two types of civil structures. Combined with the investigation, it is found that the main causes of serious damage are the poor seismic performance of the house's own structural defects, frequent earthquakes, and uneven settlement caused by topographical conditions.

Keywords: Yangbi $M_s6.4$ earthquake; Civil structure house; Earthquake damage analysis

收稿日期: 2021-06-30

基金项目: 国家重点研究计划课题(2018AAA0102205)中国地震局地震应急青年重点任务(CEA_EDEM-202116); 四川省地震局地震科技专项(LY2108); 四川省地震局科技创新团队项目(201902)联合资助

作者简介: 宴金旭(1989-), 男, 工程师, 主要从事地震应急方面工作。

E-mail: 939986413@qq.com.

通信作者: 肖本夫(1986-), 男, 工程师, 主要从事地震应急方面工作。

E-mail: xiaobf_1986@163.com.

0 引言

2021年5月21日21时48分在云南大理州漾濞县发生 M_s 6.4级地震,震源深度8 km,震中位于 25.67°N , 99.87°E 。据本次地震烈度图显示,震区最高烈度为Ⅷ度,地震影响区范围内的房屋遭到不同程度的破坏,其中土木结构房屋破坏较为严重,调查发现该地区土木结构房屋主要包括“穿斗式”和“墙抬梁式”两种结构类型,与滇西北迪庆地区藏式民居、德宏地区傣族民居、宁蒗地区木楞房等房屋结构类型和抗震性能有所不同^[1],具有明显的地域特点。

震区“穿斗式”和“墙抬梁式”土木结构房屋,所占比例较高,为该地区典型的房屋类型之一,在本次地震中震害现象比较明显,特别是主体架构、屋顶、墙体和地基等具体部位破坏具有一定的特点。此类房屋主要分布于农村、乡镇和城乡结合部的位置,建设年代相对比较久远,以上世纪80年代建造为主,整体抗震性能较差,且房屋主要为居民用房,日常生活中人员在室率比较高,若在地震作用力的影响下导致房屋受损,会严重威胁到房屋内居民的人身安全。

因此,笔者选择震区比较典型的“穿斗式”和“墙抬梁式”土木结构房屋,从房屋的主体架构、屋顶、墙体和地基等具体部位进行震害分析,总结出两种结构类型土木结构房屋每个受损部位的震害特点及产生的震害原因,为指导该地区加强“穿斗式”和“墙抬梁式”土木结构房屋的抗震性能提供参考。

1 震区土木结构类型

震区的土木结构房屋架构主要以“穿斗式”和“墙抬梁式”结构为主,建筑材料多采用木材、石料和土料。“穿斗式”土木房屋瓦屋面主要以木屋架和青瓦铺设构成,自重比较轻,一般以1~2层为主,房屋主体木架构采用榫接,整体性较好,围护墙在柱子外围,主要为夯土墙或土坯墙,墙体与主体木架构缺少连接措施,墙体厚度一般为50~70 cm,在遭遇地震时,由于墙体在木架构的外侧,容易向外倾倒^[1]。“墙抬梁式”土木结构房屋瓦屋面与“穿斗式”类似,不同的是墙体作为主要承重构件,墙体以土坯墙或夯土墙为主,厚度约50~70 cm,自重较大,梁条直接搁在山墙或

者围护墙上,梁条、檩条与墙体接触位置缺少可靠的固定措施,在地震中破坏的主要部位为墙体,相较于“穿斗式”土木结构,“墙抬梁式”土木结构房屋在本次地震中破坏较为严重,笔者在调查中分别选取了数个相同调查点的40栋“穿斗式”和“墙抬梁式”土木结构房屋,按照《中国地震烈度表》(GB/T 17742-2020)平均震害指数 D 进行计算,具体公示如式(1):

$$D = \sum_{i=1}^5 d_i \lambda_i \quad (1)$$

式(1)中: D 为平均震害指数; d_i 为房屋破坏等级为 i 的震害指数; λ_i 破坏等级为 i 的房屋破坏比,用破坏建筑面积与总建筑面积之比或破坏栋数与总栋数之比表示。

通过统计计算其震害指数发现,“墙抬梁式”土木结构房屋震害指数明显高于“穿斗式”土木结构房屋如表1所示,说明在遭遇同样地震作用力的影响下,“穿斗式”土木结构房屋抗震性能要优于“墙抬梁式”土木结构房屋。

表1 不同结构类型土木结构类型房屋的震害指数
Table 1 Seismic damage index of buildings with different civil structures

序号	结构类型	震害指数	
1	穿斗式 土木结构	平均震害指数	0.029
		最小值	0.013
		最大值	0.058
2	墙抬梁式 土木结构	平均震害指数	0.038
		最小值	0.024
		最大值	0.054

2 土木结构震害特点

笔者在调查中统计“穿斗式”和“墙抬梁式”土木结构房屋受损的部位发现,主要集中于主体架构、屋顶、墙体和地基处,其中主体架构部位受损占比约43.18%,屋顶部位受损占比约67.05%,墙体部位受损占比约77.28%,地基部位受损占比约10.23%,表明墙体和屋顶是“穿斗式”和“墙抬梁式”两种土木结构房屋受损的主要部位和薄弱环节。

2.1 “穿斗式”土木结构

2.1.1 主体架构

本次地震中,震区“穿斗式”土木结构房屋

主体架构破坏较轻,主要源自于其主体架构为“穿斗式”木屋架,房屋自重轻,各节点采用榫卯结构链接,整体性较好,在地震中房屋主体架构主要以不同程度的变形为主(图1)。

2.1.2 屋顶部位

震区“穿斗式”土木结构房屋屋顶主要由木屋架、檩条、椽子和青瓦组成,檩条放置在穿斗木架上,椽子设置在檩条上,青瓦按照檩条的方向铺设在椽子上面,瓦与瓦之间采用石灰砂浆调扣,摩擦系数较小。在地震作用力的影响下,竖向作用力容易使原本脆性材料的青瓦产生松动,在水平作用力的影响下由于青瓦、檩子、墙体三者材质不同,其惯性和相位差不一致,容易导致屋顶出现梭瓦^[2](图2)。



图1 房屋主体出现变形
Fig.1 The deformation of main
body of the house



图2 房屋屋顶梭瓦
Fig.2 Roof tiles of house

2.1.3 墙体部位

震区“穿斗式”土木结构房屋墙体主要以土胚墙或夯土墙为主,墙与木架结构之间未设有可靠连接措施,在墙体和木架交接处,由于两者在地震作用力的作用下相位差不一致,且木架结构整体性较好,在交界处会出现墙体和木架主体分离的情况,墙体主要向外侧倾倒(图3)。

2.1.4 地基部位

震区地形地貌崎岖不平,由于部分“穿斗式”土木结构房屋在建设时缺少地质勘查,地下某些不良地质如暗洪、边坡等未作处理,在地震作用力的影响下地基的不均匀沉降被进一步放大,导致墙体、主体架构榫卯连接处、地基地面出现拉裂(图4)。



图3 主体架构与墙体分离
Fig.3 Separation of main
structure and wall



图4 地基沉降造成房屋拉裂
Fig.4 House cracks caused by
foundation settlement

2.2 “墙抬梁式”土木结构

2.2.1 主体架构

震区“墙抬梁式”土木结构主体架构由木屋架和墙体组成,其对墙体的依赖性较强,容易受墙体的损坏而出现不同程度的破坏,在本次地震中有部分该类房屋主体架构由于山墙或者围护墙的倾倒出现垮塌或局部垮塌的现象(图5)。

2.2.2 屋顶部位

“墙抬梁式”土木结构房屋屋顶与“穿斗式”类似,主要由木屋架、檩条、椽子和青瓦组成,瓦与瓦之间摩擦系数较小,屋顶直接架设与墙体上,且“墙抬梁式”土木结构墙体自重大,檩条与墙体缺少有效连接,在地震作用力的影响下,青瓦、檩子、墙体三者惯性和相位差差异较大,梭瓦现象更为明显(图6)。

2.2.3 墙体部位

“墙抬梁式”土木结构房屋墙体主要以土胚墙

或夯土墙为主,墙体抗弯、抗剪能力较差,且纵横墙之间未设有可靠连接措施。当地震作用方向与房屋纵向一致时,纵向墙体受剪,纵墙容易产生在剪力破坏,此时横墙受弯而产生压弯破坏,出现开裂、倾倒等,尤其是墙体的上端^[3](图7)。

2.2.4 地基部位

震区“墙抬梁式”土木结构房屋地基与“穿斗式”采取的施工工艺类似,主要以人工夯实的方式打造,建设时缺少地质勘查,很多房屋的建造地点选择不稳定的边坡上,当连续性破坏地震发生时,容易出现一定程度的不均匀沉降,导致墙体和房屋地面出现开裂(图8)。

3 震害原因分析

3.1 房屋结构自身缺陷

震区的“穿斗式”和“墙抬梁式”土木结构房屋,在建筑材料选取上主要以木材、石料和土为



图5 主体局部垮塌
Fig.5 Local collapse of main body



图6 房屋屋顶梭瓦现象
Fig.6 Roof tile phenomenon



图7 房屋墙体开裂、倾倒
Fig.7 Cracking and toppling
of house wall



图8 房屋地面开裂
Fig.8 Cracks on the floor of
the house

主, 限于建筑材料和施工工艺水平, 房屋整体抗拉和抗剪能力相较于设防房屋较差, 同时由于土木结构房屋屋顶材质、主体架构和墙体材质不同, 在地震作用的影响下出现相位差, 容易导致屋顶梭瓦; 在建造年代上该类房屋建造比较久远, 房龄多为30年以上的为主, 由于长期的腐蚀, “穿斗式”和“墙抬梁式”土木结构房屋的整体架构受到损坏, 受地震作用力的影响更容易遭到破坏; 在主体架构上“穿斗式”和“墙抬梁式”主体结构墙体之间缺少有效的连接措施, 特别是“墙抬梁式”土木结构多采用“硬山搁檩”的方式直接架设在土质墙上, 墙体自重较大, 受地震作用力的影响容易外闪、开裂或者倒塌, 从而影响房屋的整体性。

3.2 地震频发加重房屋震害

据中国地震台网测定, 2021年5月18日至2021年5月23日, 漾濞县累计发生3级以上地震40次, 其中3~3.9级24次, 4~4.9级12次, 5~

5.9级3次, 6~6.9级1次, 震中周边200 km内近5年来发生3级以上地震共102次, 最大地震是2021年5月21日21时48分发生6.4级地震(图9)。自1900年以来, 震中100 km范围内发生5级以上地震34次, 其中5.0~5.9级29次, 6.0~6.9级4次(图10), 最大地震为1925年3月16日的云南大理7.0级地震, 已有研究表明, 短时间内地震连发, 房屋震害叠加, 震害累积效应明显, 致使灾害范围广、破坏重^[4], 鉴于土木结构房屋抗震性能较差, 在多次有感地震作用力的连续作用下更容易出现震害叠加的情况。

3.3 地形地质条件影响

该地区地势不平、高程差较大(图11)、地质环境复杂, 部分土木结构房屋在建造时限于建造地点、经费、勘察技术等因素, 在选址上未能避开地质条件不稳的地区, 很多房屋建设在地基不稳的边坡、湖泊周围, 使得房屋地基不稳, 在外力的作用下容易出现不均沉降。

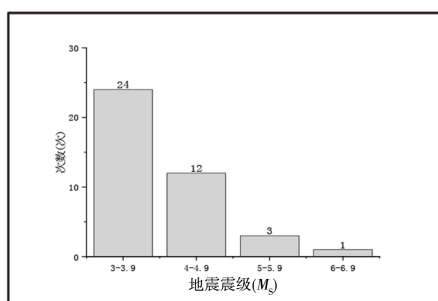


图9 漾濞3级以上地震次数(2021年5月18日至2021年5月23日)
Fig.9 The number of earthquakes with $M_s \geq 3$ in Yangbi from May 18th to May 23rd, 2021

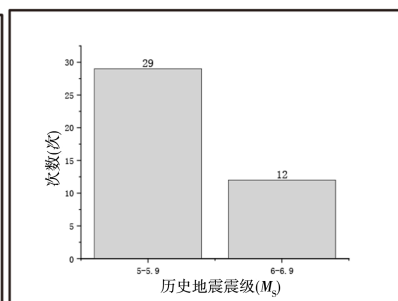


图10 自1900年以来震中100公里范围内发生5级以上地震次数
Fig.10 The number of earthquakes with $M_s \geq 5$ within 100 km of the epicenter since 1900

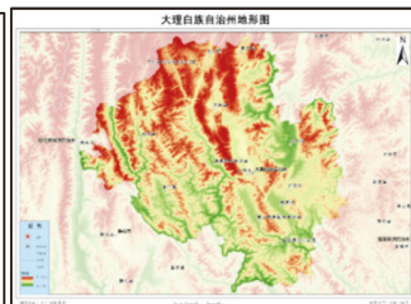


图11 震区地形图
Fig.11 Topographic map of earthquake area

4 讨论与建议

通过对本次地震震区土木结构的震害特点分析,震区“穿斗式”和“墙抬梁式”土木结构房屋主体架构、屋顶、墙体和地基都出现不同程度的破坏,且主要以墙体和屋顶的破坏为主,尽管“穿斗式”相较“墙抬梁式”破坏较轻,但整体与砖木、砖混和框架相比震害现象较严重。建议该地区可从以下方面加强土木结构房屋的抗震水平:

(1)结合相关的政策,开展老旧房屋加固。当地政府或者防震减灾部门可根据“九大工程”项目或房屋加固工程等,加强对当地土木结构房屋的风险排查,摸清土木结构房屋的风险底数,对部分需要紧急加固的老旧土木结构房屋,特别是“墙抬梁式”土木结构房屋,结合当地实际情况采取必要的加固措施。例如将屋顶的青瓦,更换成整体性较好,便于固定的彩钢瓦或者石棉瓦,对墙体采取一定的固定、支撑措施或在条件允许的情况下将土质墙体更换成重量轻、强度高、整体性强的新型墙体等,在主体架构上使用简易的固定措施对木架连接

处进行固定等。

(2)加大地震科普宣传,提升民众抗震设防意识。通过地震科普宣传活动,加大对该地区抗震设防方面的宣传^[5],倡导新建房屋要合理选址,强化地基的稳定性,对于部分可能存在不均匀沉降的地区在建设房屋时适当设置沉降缝,夯实地基避免影响邻近土木结构房屋的地基,在材料的选择上选取抗震性能更好的建材或者房屋结构类型,逐渐减少土木结构房屋的建造。

参考文献

- [1] 明小娜,周洋,卢永坤,等.滇西北地区房屋建筑特征和抗震能力评价[J].地震研究,2017,40(04):646-654.
- [2] 郑桂兰.云南农村民居梭瓦震害现象研究[J].建筑科技与经济,2012(2).
- [3] 李成煜.丽江地震土木结构房屋震害分析[J].云南工业大学学报,1996(04):1-3+12.
- [4] 肖本夫,毛利,罗安元,等.四川筠连 $M_s4.9$ 地震震害特征及致灾因素分析.地震工程学报,2017,39(S1):202-208.
- [5] 汤筱麒,卢永坤,张方浩.云南省地震灾害特点和对策分析[J].城市与减灾,2019(06):52-58.