

侯兆熔, 季静. 基于实地调研的纳西族民居抗震性能分析[J]. 华南地震, 2018, 38 (1):114-119. [HOU Zhaorong, JI Jing. Seismic Performance Analysis of Naxi Dwelling Based on Field Research[J]. South China journal of seismology, 2018, 38(1):114-119.]

基于实地调研的纳西族民居抗震性能分析

侯兆熔¹, 季静^{1,2}

(1. 华南理工大学土木与交通学院, 广州 510640; 2. 华南理工大学亚热带建筑科学国家重点实验室, 广州 510640)

摘要: 云南省丽江市是一个地震频发地区, 近几十年来频繁遭受地震影响, 损失惨重。对丽江市大研古城和白沙镇等地进行实地调研, 通过走访当地居民和有关单位了解情况, 根据纳西族传统民居围护墙体材料的差异将其木构架房屋分为土木结构、砖木结构和石木结构等; 深入调查丽江历史上最为严重的1996年2月3日7.0级地震发生以来的真实情况, 研究各类原生房屋受地震影响的状况及其发展和演变过程。在此基础上提出民居抗震加固保护的措施和意见。

关键词: 纳西族民居; 木构架民居; 实地调研; 抗震加固与保护

中图分类号: TU352.11 文献标志码: A 文章编号: 1001-8662 (2018) 01-0114-06

DOI: 10.13512/j.hndz.2018.01.016

Seismic Performance Analysis of Naxi Dwelling Based on Field Research

HOU Zhaorong¹, JI Jing^{1,2}

(1. School of Civil Engineering and Transportation, Guangzhou 510640, China; 2. State Key Laboratory of Subtropical Building Science, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: This paper made some detailed field research in Dayan Town and Baisha Town through visiting the local and the relative departments. The wooden framework dwellings are divided into soil-wood structure, brick-wood structure and stone-wood structure depending on their enclosure wall materials. The paper studies the real situation since the most serious earthquake in Lijiang's history with M_L 7.0 on Feb 3rd, 1996 in depth, and investigates the seismic performance as well as the evolution process of different dwelling types. Finally, the paper puts forward some measures and opinions on dwelling seismic reinforcement and protection.

Keywords: Naxi dwelling; Wooden framework dwelling; Field research; Seismic reinforcement and protection

收稿日期: 2017-05-11

作者简介: 侯兆熔(1993-), 男, 主要从事高层建筑结构抗震方面的研究。

E-mail: ron_hou0711@163.com.

0 引言

丽江是云南省辖的一座地级市,地处我国西南边陲,位于云南省西北部云贵高原与青藏高原的连接部位,是一个地震频发的地区。据1900年以来的数据统计,云南平均每年发生3次5.0~5.9级地震,每3年发生2次6.0~6.9级地震,每8年发生1次7级以上地震^[1],其中以1996年发生的7.0级地震损失最为惨重^[2]。丽江是一个少数民族聚居地,拥有中国唯一一个纳西族自治县,县内居民以纳西族为主,兼有白族、彝族、傈僳族、普米族等少数民族^[3]。此外,丽江具有丰富的森林、矿产、水能、土地、生物等自然资源。其中古城区有林业用地1008.597 km²占全区总面积的80.3%,森林覆盖率为54%,且大多数树木以松木为主;区内不乏铁矿、锰矿、铜矿、铝土矿、粘土、陶瓷土、无烟煤、水泥原料石灰矿、建筑用砂矿、页岩等矿产资源^[4]。

近年来,我国地震频发,造成了严重的经济损失和人员伤亡。国内外学者对于钢筋混凝土结构,尤其是高层建筑结构抗震性能的研究已较为深入,但对我国广大农村地区原生民居的研究却

少之又少。这类房屋普遍未经抗震设防,在遭受地震灾害时后果不堪设想,因此,加大对乡村原生建筑抗震性能的调查和研究是十分必要的。本文的调研对象云南省丽江市纳西族原生民居具有一定的代表性。

1 丽江纳西族民居主要形式及其抗震性能

随着城市现代化建设规模的扩大,目前丽江市保留有纳西族传统民居的地区已不多见,较有代表性的尚有大研古城(即丽江古城)和白沙镇、白华镇等地。

1.1 民居的主要建造材料

丽江民居建筑所采用的木材主要是当地出产的松木等,这些木材用于屋顶的檩条和椽子、房屋梁柱木构架等丽江传统民居建筑的结构体系之中(图1)。此外,多数房屋面向庭院外的围护墙的二层部分采用木质围护墙;面向庭院内的部分墙体以木格栅代替。在房屋内部,地板、天花、隔墙以及少数加装于土坯墙的顺墙板也是以当地所产的松木为材料建造的(图2)。



图1 木构架施工过程

Fig.1 Construction process of the wooden framework



图2 民居木质墙板内景

Fig.2 Interior view of the wooden walls

年代久远的纳西族传统民居多采用附近山上带粘性的纯红土作为建筑材料,用于砌筑民居面向庭院外的围护墙体,如夯土墙、土坯墙和挂泥墙等。

丽江地区丰富的石材资源也在古建民居建筑中得到了广泛的利用。民居中所采用的石材主要是产自玉龙雪山脚下的红色角砾岩(俗称五花石),主要用作民居外围护墙的墙基、勒脚、台阶、基础等。

1.2 民居的主要形式及分布

丽江古建民居基本为木结构房屋,通常由木质梁柱和檩椽等组成穿斗式或抬梁式木构架房屋作为结构承重体系,墙体主要起到围护的作用。根据围护墙体所用材料的差异,将丽江木结构民居分为土木结构,砖木结构和石木结构三类。

采用土木结构的房屋,以土坯墙作为围护体系,是最为传统的纳西族民居。丽江民居房屋多

为三开间的两层楼房，面向庭院外的围护墙体的一层部分多为敦实厚重的土坯墙、夯土墙或挂泥墙等，二层部分多为木围护墙；面向庭院的墙体（围墙除外）多采用木格栅。石木结构，围护墙用料石或毛石砌筑。在丽江古建民居建筑中，纯粹的石木结构属于少数，更为广泛的做法是在沿街立面采用三段式的围护墙体，房屋一层下部采用石墙基，上



图3 纳西族土木结构民居

Fig.3 Naxi soil-wood structure dwelling

砖木结构是近十几年出现的，以木构架作为承重体系，围护墙以砖砌代替土坯砌筑的房屋。与土木结构相比，这类房屋的特点是建造方便，安全可靠。目前大研古城、束河古镇等地的房屋基本都是砖木结构，原因之一是随着近些年丽江旅游业的发展，上述地区已被开发为旅游景点，遗留下来的民居主要用作商铺使用，由承包商统一进行修缮改造，经过十几年的发展，古城的原始风貌有所变化，虽然延续了纳西族木构架民居的整体风格，但是墙体已不采用村民自制的土坯，转而使用材料易得、砌筑方便的砖材。另一个重要原因是1996年发生的7.0级地震中，伤亡情况严重，社会各界意识到土木结构民居可能存在的安全隐患，转而使用强度更高的砖墙。此外，不容忽视的是，随着丽江城市化进程的推进，由于砌砖市场利润巨大，丽江当地砖厂加大砌砖供应，当地政府也积极组织 and 引导城外企业优质砌砖进入丽江市场，砌砖市场不断吞噬着土坯原本占有的市场。各种材料本身性能的优劣以及外界政策、市场导向等原因，决定了丽江民居建筑结构类型的发展趋势。

1.3 纳西族民居地震受灾情况

在丽江地震历史上，属1996年的7.0级地震

部采用土坯或砖材砌筑，有时对墙面进行抹灰处理；房屋二层多采用木质墙板加以局部开窗。房屋两端山墙一层用石材砌筑，二层采用土材或砖材。图3和图4分别为纳西族特色的土木结构民居和石木结构民居。目前这类房屋主要分布在白沙镇、白华镇等民风淳朴、商业化程度低的原始村落，经济条件较好的村民会选择石木或土石木的形式建房。



图4 纳西族石木结构民居

Fig.4 Naxi stone-wooden structure dwelling

最为强烈，造成的人员伤亡、财产损失最为惨烈，民居破坏情况最为严重。在此之后，虽然丽江也不断遭受大小地震的影响，但其强度和毁灭性都远未达到1996年的程度。研究丽江纳西族民居抗震性能，一个重要的部分就是去了解当地传统民居在1996年02月03日丽江地震的影响下所表现出的破坏形态和抵抗能力。

通过发放问卷了解到，1996年丽江7.0级地震对丽江传统民居的破坏程度不尽相同。部分房屋基本没有受损，甚至屋顶没有掉瓦；部分房屋出现轻微破损，简单修缮即可继续使用；部分房屋出现墙体倒塌、屋顶垮塌等严重破坏现象；甚至有部分民居整体倒塌，对居民的生命和财产安全造成巨大影响⁹。丽江市地震局提供的资料反映了当时(1996年)丽江县城各类房屋的震害情况，见表1。从表中提取有用信息，绘制成图5、图6。

图5反映了震害中各类结构房屋的受损程度，用“震害指数”表达，指数越大，说明受到震害影响越大；折线图表示各类结构形式在统计样本中的占比，大致反映丽江县城的房屋结构形式分布情况。

图6主要反映了两类纳西族原生民居受到震害影响后各自的破坏程度分布情况，颜色越深代表破坏越严重。

表1 1996年7.0级地震丽江县城各类房屋的震害分布率和震害指数

Table 1 Earthquake damage distribution rate and damage index of various types of buildig under Lijiang $M_L7.0$ earthquake in 1996

震害程度和 震害指数	建筑面积/(m ²) 和震害分布率/(%)					调查房屋合计
	民族土木	民族砖木	砖木	砖混	钢筋混凝土结构	
基本完好 0	3 115 2.42	3 645 16.41	3 207 6.05	38 778 30.62	52 319 24.77	101 064 18.64
轻微破损 0.2	14 090 10.92	8 895 40.04	8 653 16.33	31 287 24.70	99 061 46.89	161 986 29.88
中等破损 0.4	19 135 14.84	9 030 40.65	16 102 30.38	38 922 30.73	49 955 23.65	133 144 24.56
严重破损 0.6	26 770 20.75	300 1.35	11 792 22.19	14 265 11.26	9 926 4.70	63 023 11.63
部分倒塌 0.8	64 384 49.92	345 1.55	6 068 11.45	3 405 2.69	0 0.00	74 202 13.69
全毁倒平 1.0	1 487 1.15	0 0.00	7 208 13.60	0 0.00	0 0.00	8 695 1.60
调查房屋总数	128 981 23.79	22 215 4.10	53 000 9.78	126 657 23.36	211 261 38.97	542 114 100
震害指数	0.62	0.26	0.51	0.26	0.22	0.35

注:表中民族土木结构是指木构架土坯墙结构;民族砖木结构是指木构架砖墙结构;砖木结构是指砖墙承重木楼盖、木屋盖的房屋。

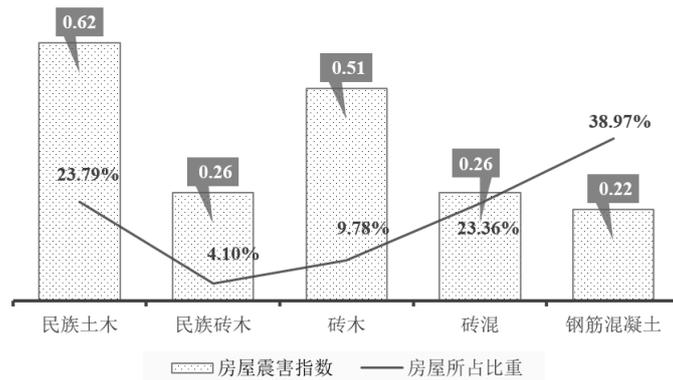


图5 丽江县城各类房屋比重及震害指数

Fig.5 Proportion of various types of building and earthquake damage index of Linjiang county

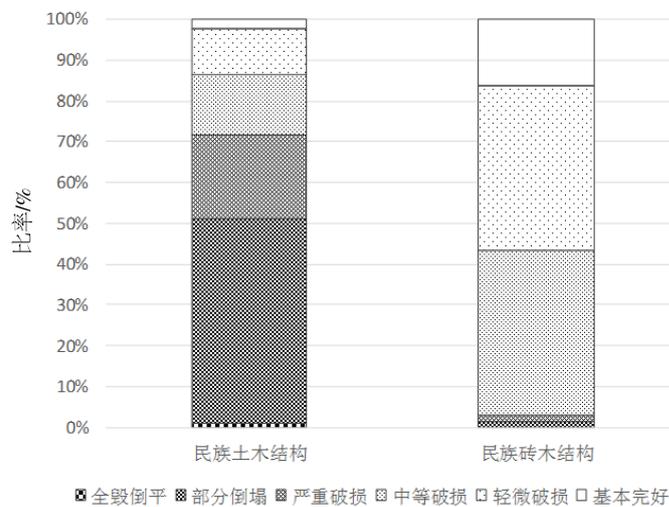


图6 纳西族原生民居房屋破损情况分布

Fig.6 The distribution of damage degree of two kinds original dwellings

由表 1, 图 5、图 6 结果可见, 民族土木结构的房屋破坏情况最为严重, 近半数房屋出现部分倒塌, 发生中等破损和严重破损的占 30% 以上, 而全毁倒平的却很少, 只占 1.15%; 民族砖木结构的抗震性能则要优越很多, 轻微破坏和中等破坏的情况占 80%, 房屋出现严重破坏的只占 1.35%, 根本没有出现整体倒塌的现象; 其他结构类型, 砖木、砖混、钢筋混凝土结构由于不是本次调研的对象, 不再赘述。

由于丽江地震中, 以民族土木结构为主体的丽江原生民居的建造相对随意, 没有经过抗震方面的考虑, 因此受灾严重。民族土木结构的房屋整体垮塌的并不多, 换句话说, 木框架本身一般没有问题, 很少出现木框架倒塌的现象, 而发生破坏的往往是墙体等围护结构开裂、倾斜或倒塌, 或是屋面掉瓦, 梁柱搭接处局部断榫、脱榫、柱脚发生滑移等^[6]。也有少量施工质量比较好的房屋, 即使是处在震害严重的地段, 房屋仍可保持屹立不倒, 甚至鲜有破损。相比之下, 民族砖木结构的房屋受灾情况就没有那么严峻, 破坏程度较轻。1996 年以前, 原生民居多是民族土木结构, 使用砖墙的相对较少。从表 1 可以看出, 在所调查的房屋中, 有 23.79% 是民族土木房屋, 而民族砖木房屋只有 4.10%。地震之后, 人们意识到土木房屋抗震性能的薄弱, 才有越来越多的砖墙替代了土墙用于房屋修缮, 于是出现了如今大研古城内的景象。

此外, 国内外对土木结构传统民居的抗震性能的分析研究尚少, 大都停留在地震现场实地观察描述及土坯墙结构力学性能分析研究的基础之上^[7-12], 对于采用数值模拟分析土坯墙结构在地震作用时的应力分析及运动特点并总结其抗震机理的研究几乎没有。

当前, 对钢筋混凝土结构、砌体结构、钢结构等现代常用结构体系的计算分析和抗震设计已相对成熟。在中国广大农村, 诸如丽江传统民居“木构架土坯墙”等原生建筑广泛存在, 但相关研究却少之又少, 不被专家学者重视。每当灾害发生时, 此类建筑往往首当其冲。因此, 对我国乡村原生建筑震害的研究与调查势在必行, 如何在广大贫困地区实现“安筑”这一目标, 是每个建筑行业从业者值得思考, 也理应思考的一个问题。

2 民居抗震加固措施及建议

调研中了解到, 即使经历了 1996 年丽江 7.0

级地震的惨痛教训, 当地居民的抗震安全意识仍有待加强。多数居民, 尤其是生活在白沙乡、拉市乡等相对贫困地区的原住居民, 对抗震设防的概念缺乏认识, 认为小震不怕、大震即使发生了也只能听天由命, 因此在建造房屋时往往忽视了对房屋进行抗震设防的重要性。在丽江这样地震频发的地区, 相关部门有必要对当地居民进行培训教育, 使他们认识到抗震设防措施的重要性。此外, 地震发生后, 丽江市建筑设计研究院曾牵头出版过一本关于丽江民居抗震加固的规范图集, 丽江市地震局也曾整理过相关的资料, 但由于各种原因部分珍贵的抗震保护档案资料已经丢失。因此, 建立档案资料管理机制来合理地管理和保存当地各项档案资料文献是丽江市相应部门亟需进行的一项工作。

地震中房屋发生倒塌或者损害, 往往是由于施工方法不合理或者施工监理不严格导致房屋施工质量低下而造成的。因此, 今后修建房屋时可以从以下几个方面着手提高房屋的整体稳定性, 加强房屋的抗震性能^[13]。

2.1 新型制坯技术

土坯墙本身是抗震能力薄弱的砌体, 因此有必要针对传统土坯墙技术的不足, 提出改进意见, 提高土坯墙体的抗震能力^[14]。

传统土坯采用黏土为主要制坯原料, 必要时掺加麦秸、松针等提高土坯抗裂性。新型土坯制备技术进一步扩大制坯原料范围, 沙性土、建筑固体废弃物、纤维、水泥、乳化沥青等也可用来生产土坯。

在不改变原生民居风貌的基础上, 搅拌工艺和养护方法上可适当创新, 如采用强制式搅拌机, 土坯养护中进行淋水、覆盖薄膜等。

2.2 新型构造技术

整体性差是传统土坯墙抗震能力差的主要原因。设置圈梁、构造柱^[15]是提高砌体结构民居整体性的最基本措施, 而白沙镇、白华镇等原始村落在建房时均未考虑这一点。

可沿外墙高每 1 m 左右加一道木圈梁与木柱连牢, 嵌于墙体内表面。并沿墙体每隔一段距离增设一个构造柱。此外, 在土坯墙或土筑墙转角处使用竹片作拉结筋^[16]亦可增强外墙体稳定性, 使外墙体在地震时只能往外倒塌, 不伤及室内人员。

为增强房屋的纵向稳定性, 可在屋盖房架大

叉以上加纵向支撑,如在两端间及隔间中柱顶部加木剪刀撑或木斜撑。为减少柱脚滑移,可在木柱脚处加锁脚枋(地脚),以加强木柱脚处锚固^[7]。

2.3 改善施工方法

采用平砌土坯墙,要求墙体水平及竖向灰缝饱满均匀,土坯错缝搭接。

同时应做好木构件的防腐及防虫处理。凡木构件与土坯墙体接触的隐蔽部位应涂防腐剂,可用煤焦油刷两道,木构件表面应刷油漆。对于已损坏的木构件,应及时更换。

3 结语

(1) 丽江传统民居是典型的木构架房屋,根据围护墙体材料的不同可以分为土木结构、石木结构、砖木结构等。

(2) 木构架承重房屋的震害形态通常是围护墙体的破坏,表现为不同程度的墙体开裂、倾斜或倒塌,木构架则大多基本完好或轻微破坏,仅出现局部断榫、脱榫或柱脚滑移等,但屋架并未倒塌,表现出良好的抗震性能。

(3) 砖木结构的抗震性能较土木结构有较显著的提高。

(4) 目前国内外对土木结构传统民居的抗震性能的分析研究尚少,大都停留在地震现场实地观察描述及土坯墙结构力学性能分析研究的基础之上,对于采用数值模拟分析土坯墙结构在地震作用时的应力分析及运动特点并总结其抗震机理的研究几乎没有,有较大研究发展空间。

(5) 可采用新型制坯技术、构造措施和施工方法等对纳西族原生民居进行抗震加固和保护。

参考文献:

- [1] 孟萍,潘文,黄海燕. 云南地区村镇木结构房屋震害分析及补救措施[J]. 工程抗震与加固改造, 2005, 28(S1): 202-205.
- [2] 李永强. 云南人员震亡研究[D]. 合肥:中国科学技术大学, 2009.
- [3] 王西琴,陈茜,张远,等. 丽江市城市化与经济增长关系研究[J]. 生态经济. 2009, 25(07): 142-145.
- [4] 于维维. 浅析云南民居的原生特色[J]. 沈阳建筑大学学报(社会科学版), 2006, 28(04): 337-340.
- [5] 谷军明. 村镇木结构房屋建筑抗震构造研究[D]. 昆明:昆明理工大学, 2006.

- [6] 王强. 砖木结构房屋抗震性能评价方法研究[D]. 北京:中国地震局兰州地震研究所, 2009.
- [7] 周铁钢,胡昕,余长霞. 新疆石膏-土坯墙民居抗震试验与工程实践[J]. 地震学报. 2008, 30(03): 315-320.
- [8] 周铁钢,杨华,胡昕. 石膏-土坯墙民居抗震性能试验研究[J]. 世界地震工程. 2009, 25(03): 130-134.
- [9] 陶忠,潘兴庆,潘文,等. 云南农村民居土坯墙单块土坯力学特性试验研究[J]. 工程抗震与加固改造. 2008, 31(01): 99-104.
- [10] 韩少渊,王宝卿,薛圣广. 土坯墙体裂缝分析及加固方法探析[J]. 陕西建筑, 2007, 33(11): 15-18.
- [11] 王生荣,曹凯. 黄土土坯墙墙体抗剪强度的试验研究[J]. 工程抗震. 1987, 10(01): 31-35.
- [12] 刘挺. 生土结构房屋的墙体受力性能试验研究[D]. 西安:长安大学, 2006.
- [13] 葛学礼,朱立新,王亚勇,等. 村镇建筑震害与抗震技术措施[J]. 工程抗震, 2001, 24(01): 43-48.
- [14] 柏文峰,苏何先. 抗震土坯墙技术[J]. 城市建筑, 2014, 11(25): 41-43.
- [15] 谷军明. 村镇木结构房屋建筑抗震构造研究 [D]. 昆明:昆明理工大学, 2006.
- [16] 王建卫. 既有村镇生土结构房屋承重土坯墙体加固试验研究[D]. 西安:长安大学, 2011.
- [17] 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, 11(04): 1-3.