

中国木结构建筑分布及其震害

陆伟东, 邓大利, 居兴鹏, 程小武, 杨会峰

(南京工业大学现代木结构研究所, 江苏 南京 211816)

摘 要:我国木结构建筑历史悠久,除了古代木结构建筑,在广大的农村地区还存在许多木结构承重建筑.这些建筑大多没有经过正规的抗震设计,抗震性能较差,历次地震也表明此类建筑震害较为严重,往往造成了大量的人员伤亡及经济财产损失.对我国木结构主要分布情况进行了归纳整理,着重分析了西南、西北地震高烈度地区的木结构形式,并对木结构建筑的主要震害进行了总结.西南、西北地区存在着量大面广、危险性大的木构架承重建筑,威胁人民生命财产安全,急需进行加固修复.

关键词:木结构;西南、西北地区;震害;抗震性能

中图分类号:TU366;TU311.1

文献标志码:A

文章编号:1006-7930(2011)04-0464-06

我国木结构建筑历史悠久,散布区域辽阔.自上古时期原始木屋,发展到今天的现代木结构,木结构建筑形式不断地变化.我国现存的木结构建筑主要分为三类:一是历史悠久的古代木结构建筑,如宫殿、庙宇等;二是分布最广的传统民居;三是新兴的现代木结构建筑.

木结构传统民居主要包括:木结构、砖木架结构和土木结构等木构架承重建筑.这些建筑大多没有经过正规抗震设计,在地震中往往造成了大量的人员伤亡及经济财产损失.本文在归纳作者和相关学者震害调查的基础上,对我国木结构的主要分布情况、结构形式及震害进行归纳整理,为木结构建筑的抗震和加固研究提供依据.

1 中国木结构建筑分布情况

1.1 传统木结构民居结构形式及特点

中国古代木结构建筑以木构架为房屋骨架,墙体仅为围护结构.就其结构形式而言,古代木结构建筑的主要形式有以下三种:

1. 抬梁式或梁柱式:抬梁式建筑以垂直木柱为房屋的基本支撑,木柱顶端沿着房屋进深方向架起数层叠架的木梁.木梁由下至上,逐层缩短,层间垫短柱或木块,最上层梁中间立小柱或三角撑,形成三角形梁架,在相邻的屋架之间架上檩,檩上架椽,形成屋面下凹的两坡屋顶骨架.梁柱式是使用最广的古代木结构建筑形式,古代宫廷建筑基本都使用抬梁式,华中、华北、西北、东北等地区均有采用该建筑形式.典型的抬梁式建筑如图 1(a)所示.

2. 穿斗式:穿斗式建筑将每间进深方向上的各柱随屋顶坡度升高,直接承檩,另用一组穿枋联系,构成两坡屋顶的骨架.其它构件与抬梁式基本相同.主要流行于华东、华南和西南等地区.典型的穿斗式建筑如图 1(b)所示.

3. 密梁平顶式:密梁平顶式建筑用纵向柱列承檩,檩间架水平的椽,构成平屋顶.主要流行于新疆、西藏、内蒙古等地区,以西藏拉萨的布达拉宫为代表.典型的密梁平顶式建筑如图 1(c)所示.

*收稿日期:2010-05-28 修改稿日期:2011-07-15

基金项目:国家科技支撑计划资助项目(2009BAJ28B02)

作者简介:陆伟东(1970-),男,浙江湖州人,教授,主要研究方向为工程木结构、结构抗震减震.



图 1 典型木结构民居形式

Fig. 1 Typical forms of wooden houses

1.2 传统木结构民居分布情况

中国传统木结构民居因地域不同,结构形式也大不相同.南方民居主要以穿斗木结构为代表,北方民居中以抬梁式结构居多.因其结构形式多样,在全国范围分布广泛,按地区分述如下:

1.2.1 西北地区民居

新疆是我国的一个多震地区,地震活动频度高、强度大、分布广.当地居民根据地域特点,建造了富有特色的木结构建筑.碉房作为新疆等地区广泛采用的建筑形式,主要分为木框架承重式碉房、墙承重式碉房、墙柱混合承重式碉房等类型,其中木框架承重式碉房是数量较多,最具代表性的结构形式^[1].

甘肃省有 4/5 的面积处于 7 度以上的高烈度区,且地震活动频繁.木构架承重房屋是甘肃南部地区的主要民居类型,具有较为成熟的施工工艺.木构架承重房屋俗称“四梁八柱”,由梁柱檩构成了主体承重木构架,墙体仅起到围护作用.汶川地震后甘肃地区的灾害调查表明木框架承重结构占到农村房屋的 60%~86%,其震害严重^[2].

陕西、甘肃、宁夏等黄土地区存在大量土木结构建筑,其中分布较广的是木架承重土墙围护房屋,其中围护墙体的破坏和倒塌是造成经济损失和人员伤亡的主要原因.另外有部分土木混合承重房屋,其抗震性能欠佳^[3].

1.2.2 西南地区民居

汶川地震后,大量研究人员对四川地区的各种结构震害进行了调研归纳,四川村镇地区木结构建筑结构形式主要包括土木结构、木构架承重结构和砖木结构三类^[4].其中以木构架结构形式居多,土木结构和砖木结构数量相对较少.而分布较多的穿斗木构架房屋普遍存在围护墙体破坏、倒塌现象.

云南省传统民居的特点是建筑结构简单、造价低廉、因地制宜、就地取材、经济实用.其中可分为以下几种主要结构类型:木构架承重结构体系,砌体承重结构体系以及生土墙承重结构体系等.昆明理工大学的研究人员对云南地区村镇建筑进行的研究表明:农村房屋中土木结构约占 60%~80%,且抗震性能欠佳^[5].

西南地区还存在大量少数民族木结构民居,由于当地的地理环境和民俗原因,大多采用木构架承重式木结构房屋.

1.2.3 华南地区民居

广西侗族地区的木建筑是其民族传统文化表现形式,其木结构属于典型的干栏式建筑.其木结构建筑以风雨桥、鼓楼为代表,民居以鼓楼为中心棋盘式散落,多为三层木构架建筑,图 2 为侗族木结构民居.

1.2.4 华中地区民居

湖南丘陵地区,因其起伏的地势与多变的地形使得木结构建筑更具优势.在湖南湘西等地区存在着大量的吊脚楼,如图 3 所示.

湖北农村地区木结构的主要结构形式有土木结构和砖木结构,其中砖木结构占农村建筑的 60%左

右. 20 世纪 80 年代以前建造的大多为土木结构, 该类房屋为木构架承重, 土坯墙作围护墙, 房屋高度一般不超过 3 m. 20 世纪 80~90 年代, 农村民居多数采用的是砖木结构建筑, 使用木结构的屋架和烧结砖砌筑的墙体, 一般无混凝土构造柱和圈梁.



图 2 广西侗族木结构民居

Fig. 2 Wooden houses of Dong in GuangXi



图 3 湖南吊脚楼民居

Fig. 3 Hunan residential houses on stilts

1.2.5 华东地区民居

江浙地区因其历史地位及经济情况, 保存着较多的历史民居, 其中木构架结构建筑可以大体归纳为抬梁式、穿斗式、混合式三类. 随着时间的推移, 农村木结构民居中的土木结构、砖木结构已逐渐被其他结构形式取代.

1.2.6 华北及东北地区民居

山西地区农村民居的主要结构形式分为窑洞、砖木结构、土木结构、石木结构及砖混结构等, 其中砖木类结构占全部建筑的 60%.

东北地区由于其林业资源丰富, 气候寒冷等地域因素, 分布着一定数量的原木结构建筑, 该类型结构建造粗犷, 牢固耐用, 但木材用量大.

1.3 现代木结构建筑

木结构建筑在国外已有一百多年的发展历史, 主要包括轻型木结构建筑和胶合木公共建筑, 我国的现代木结构建筑近十几年来有了长足的发展.

1.3.1 轻型木结构建筑

2004 年, 中国林科院木材工业研究所分别与日本松美公司、加拿大悦庐公司合作, 正式启动建造两幢示范性房屋的项目. 2000 年以来, 轻型木结构建筑在北京、上海等地的房地产开发项目得到一定应用, 另外木结构屋顶在上海市旧房平改坡项目中得到广泛使用, 并取得了良好的效果.

汶川地震后, 轻型木结构因其良好的抗震性能成为灾后重建首选的结构形式. 四川省青川县将现代轻型木结构建筑推广运用到民房重建项目中. 都江堰向峨小学在重建过程全部采用木结构建筑, 成为中国首个全木结构的学校. 图 4 为重建后的向峨小学木结构食堂.

1.3.2 胶合木结构建筑

公共建筑因其结构形式大多采用了胶合木结构建筑, 云南玉龙雪山收费站是近年来木结构交通建筑的典范. 成都蒲江建成了国内体量最大的现代木结构图书馆, 该建筑于 2009 年 07 月初封顶, 大楼分三层共 5300 平方米. 另外, 在大量古建筑的重建及修复工作中也部分使用了现代木结构形式, 上海法华学问道寺、杭州香积寺重建项目就是其中典型例子, 图 5 为杭州香积寺木结构建筑. 在上海世博会中也涌现了不少胶合木结构建筑, 如温哥华馆、瑞典馆和挪威馆等.



图 4 向峨小学木结构食堂

Fig. 4 The wood dining of Xiang'e Primary



图 5 杭州香积寺木结构建筑

Fig. 5 Hangzhou Xiangji temple wooden structure

2 木结构主要震害及其原因分析

木结构的震害与其结构形式、支撑情况、杆件之间的连接、节点构造以及围护墙体的构造等因素有关^[6-7]. 具体的破坏形式主要有:

2.1 承重构件破坏

地震中木构架房屋由于其构件强度不足,或因梁柱连接处截面削弱过大引起应力集中,从而导致破坏. 此类型破坏的房屋中,构件断面大多偏小或立柱对接,从而导致构件强度不足,地震时立柱容易折断、房屋楼盖以上倾倒或倒塌.

2.2 节点连接破坏

木结构房屋节点多采用榫卯结合,地震过程中容易产生拔榫、折榫现象,导致木构架局部破坏或全部塌落. 木结构中节点的破坏往往造成严重的震害及人员伤亡. 图 6 为震损的榫卯节点.

2.3 屋面破坏

屋面破坏包括溜瓦,屋架震塌或破坏,脊兽、吻兽等震坏、跌落. 木构架柱细而梁粗,头重脚轻,地震反应大,导致屋面破坏严重. 穿斗木构架在地震时常出现溜瓦和墙倒顶塌. 图 7 为震后的屋面落瓦破坏.



图 6 榫卯节点破坏

Fig. 6 Destruction of Mortise-tenon joint



图 7 屋面破坏

Fig. 7 Destruction of roof

2.4 墙体破坏

木构架房屋的围护墙多为土坯墙、土筑墙、外砖里坯墙或空斗墙。它们同柱的联系在构造上有全包柱、半包柱两种形式,但连接均较弱。由于墙体与木构架的自振特性不同,在地震中产生的位移也不相同,在动荷载作用下极易开裂、酥散,故在地震作用下普遍发生开裂、倾斜以至倒塌的震害。图 8 为震后墙体倒塌。

2.5 柱脚滑移

部分木结构建筑立柱安置于柱础上,柱础与木柱柱脚无连接,地震中由于水平晃动容易引起柱脚错位,严重时柱脚滑脱,导致木柱失效引起构架倒塌。图 9 为震后柱脚滑移。



图 8 墙体破坏

Fig. 8 Destruction of walls



图 9 柱脚滑移

Fig. 9 Column base slipping

2.6 结构体系破坏

木构架房屋的榫结合节点强度和刚度都很低,如未采取斜撑、水平撑等抗侧力措施,稍有松动即退化为铰接点,仅靠榫卯和檩条连接,不能形成刚性节点,从而使骨架变成了几何可变体系,当地震作用较大时,构架就会倾斜甚至倒塌;穿斗木构架虽然横向较坚固,但缺乏有效的纵向支撑,地震时容易产生纵向破坏。

木结构优越的抗震性能,主要是依赖于木结构构件之间的滑移摩擦耗能。但与此同时,地震中木结构的大变形也会导致其结构的破坏,尤其是榫卯节点的破坏,严重的会导致房屋整体倒塌。

3 结 语

随着我国经济的发展和人民生活水平的不断提高,人们更加注重居住环境的改善。现代木结构因其良好的抗震性能,低碳环保的环境亲和力必将得到广泛的应用。与此同时,在广大农村的传统民居中,还存在大量木结构建筑。西南、西北地震高烈度地区还存在着量大面广、危险性大的木构架承重建筑,威胁人民生命财产安全,应尽快进行抗震鉴定和相应加固修复。

参考文献 References

- [1] 王及宏,张兴国. 康巴藏区木框架承重式碉房的类型研究[J]. 重庆建筑大学学报,2008,30(6): 17-21.
WANG Ji-hong, ZHANG Xing-guo. The type research of the blockhouse with load bearing wood frameworks in the Khampa Tibetan region[J]. Journal of Chongqing Jianzhu University, 2008, 30(6): 17-21.
- [2] 王 强,王兰民,袁中夏,等. 陇南地区农村民房遭受汶川 8.0 级地震震害分析及启示[J]. 世界地震工程. 2008, 24(3): 20-24.
WANG Qiang, WANG Lan-min, YUAN Zhong-xia, et al. The features and earthquake damage lessons on the rural

- buildings of Longnan suffered from Wenchuan 8.0 earthquake[J]. World Earthquake Engineering. 2008, 24(3): 20-24.
- [3] 郑山锁,王沛钦,曾磊,等. 土木混合承重农房抗震性能初探[J]. 工业建筑, 2008, 38(3): 48-51.
ZHENG Shan-suo, WANG Pei-qin, ZENG Lei, et al. Investigation of seismic behaviour of earth wall-timber frame structure in rural areas[J]. Industrial construction, 2008, 38(3): 48-51.
- [4] 李钢,李宏男,刘晓宇. 汶川地震村镇建筑结构震害调查与分析[J]. 大连理工大学学报, 2009(05): 724-730.
LI Gang, LI Hong-nan, LIU Xiao-yu. Seismic damage investigation and analysis on rural buildings in Wenchuan earthquake[J]. Journal of Dalian University of Technology, 2009(5): 724-730.
- [5] 谷军明,缪升,杨海名. 云南地区穿斗木结构抗震研究[J]. 工程抗震与加固改造, 2005(s1): 205-210.
GU Jun-ming, MIAO Sheng, YANG Hai-ming. Study on Seismic performance of through type timber frame in Yunnan[J]. Earthquake Resistant Engineering and Retrofitting, 2005(s1): 205-210.
- [6] 何玲,潘文,杨正海,等. 村镇木结构房屋震害及抗震技术措施[J]. 工程抗震与加固改造, 2006, 28(6): 94-101.
HE Ling, PAN Wen, YANG Zheng-hai, et al. Seismic damage and seismic countermeasures of timber houses in villages and towns[J]. Earthquake Resistant Engineering and Retrofitting, 2006, 28(6): 94-101.
- [7] 谢启芳,赵鸿铁,薛建阳,等. 汶川地震中木结构建筑震害分析与思考[J]. 西安建筑科技大学学报:自然科学版, 2008, 40(5): 658-661.
XIE Qi-fang, ZHAO Hong-tie, XUE Jian-yang, et al. Analysis and investigation on the seismic damage of timber buildings in Wenchuan earthquake[J]. J. Xi'an Univ. of Arch. & Tech.: Natural Science Edition, 2008, 40(5): 658-661.

Distribution of timber structures in China and seismic damages analysis

LU Wei-dong, DENG Da-li, JU Xin-peng, CHEN Xiao-wu, YANG Hui-feng

(Modern Timber Structure Institute, Nanjing University of Technology, Nanjing 211816, China)

Abstract: The history of wooden architecture in China is very long. In addition to the ancient wooden structure, there are still many load-bearing wood construction preserved in the vast rural areas. These buildings are mostly without formal seismic design, so there seismic performance is poor. The earthquake damages of these buildings in previous earthquakes are more serious. People's lives and property are in great loss. The distribution of timber structures in China is presented in this paper. The timber structures in the Southwest and Northwest of China are emphatically analyzed, associated with seismic damages analysis. There are many timber structures distributed throughout the Southwest and Northwest of China, frequently stricken by the earthquake. People's lives and property are in danger. Strengthening and repairing should be employed immediately in these places.

Key words: timber structures; Southwest and Northwest of China; seismic damages; seismic behavior