

西北地区农村房屋结构细化分类及抗震性能分析*

钟秀梅^{1,2}, 袁中夏³, 常想德⁴, 谭明⁴, 李娜², 宋立军⁴

(1. 中国地震局黄土地震工程重点实验室, 甘肃 兰州 730000; 2. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000;
3. 兰州理工大学土木工程学院, 甘肃, 兰州 730000; 4. 新疆维吾尔自治区地震局, 新疆 乌鲁木齐, 830001)

摘要: 根据结构形式、构造措施、材料强度的差异, 对西北地区典型农村房屋结构类型进行细分, 并分别介绍了各类农村房屋的建筑特色、屋盖组成、分布区域等。通过计算各类农村房屋结构的平均震害指数, 将西北地区典型农居抗震性能分为较好、中等、较差3个等级, 分别对其抗震性能进行了评价。结果表明: 西北地区农村房屋可分为6大类、15小类, 抗震性能较差的是土坯墙土木结构、石结构和泥浆砌筑砖木结构房屋, 抗震性能中等的是夯土墙土木结构、砂浆砌筑砖木结构、土围护木架结构和老旧砖混结构房屋, 抗震性能较好的是砖围护木架结构和新建砖混结构房屋。

关键词: 农村房屋; 建筑结构; 震害指数; 抗震性能; 西北地区

中图分类号: P315.925 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0666(2019)02-0151-07

0 引言

在抗震救灾指挥体系的建设过程中, 常常遇到的一大难题是如何迅速获取适应地震应急要求的各类基础数据。从科学决策的意义上讲, 地震应急基础数据库是地震部门开展应急工作的基础, 是政府履行地震应急指挥职能的基本保障。地震应急基础数据库的缺乏和不完善极大地制约了各级地震应急指挥系统的功能, 甚至使部分指挥体系失效(方雅申, 2015; 帅向华等, 2009; 单德华等, 2010; 明小娜等, 2017), 因此, 地震应急数据库的完备和完善具有重要的现实意义。

根据历史地震资料记载, 从公元1038年至今, 我国境内死亡人数达万人以上的地震有25次, 平均约40年就有1次严重的地震灾害(郑雷纲, 李亮, 2007)。西北地区是我国地震最为活跃的地区之一, 几乎每年都会发生5级以上地震。有历史记录以来, 西北地区发生的破坏性地震, 8级以上有10次、7~7.9级38次(石玉成等, 2004; 王兰民, 袁中夏, 2011; 周光全, 2007), 均居全国之首。地震造成西北地区农村

经济损失占总经济损失的80%以上(王兰民, 林学文, 2006; 谭明等, 2010; 明小娜等, 2018), 如2010年青海玉树7.1级地震, 2013年甘肃岷县漳县6.6级地震和2016年青海门源6.4级地震, 也包括2008年汶川8.0级特大地震, 给西北农村地区造成了严重的经济损失。我国农村的地震防御水平较低, 相同震级下的地震灾害损失明显较城镇更高。但与地震损失偏高的现实情况严重不符的是由于经济发展水平低、建筑数据分散、交通不便等诸多因素制约, 农村房屋相关数据库亟待建立和完善。

随着新农村建设、灾后恢复重建等工作的推进, 西北地区经过统一规划、设计、选址和施工, 具备抗震设防能力的房屋数量日趋增长, 但旧式自主修建、没有经过抗震设计的房屋依然占有一定的比例。目前地震灾害评估工作中农村房屋的主要类型分为土木结构、砖木结构、砖混结构和框架结构4种。但农村房屋的种类多而庞杂, 该分类稍显粗糙。依据该分类标准, 同一结构类型的房屋抗震性能相差颇大, 在地震作用下破坏的情况相差甚远。首先, 农村木构架夯土墙房屋占有一定比例, 在灾害损失评估中分类是土木结构,

* 收稿日期: 2019-01-02.

基金项目: 国家重点研发计划项目课题(2017YFC1500900)、应急救援司地震应急青年重点任务(CEA-EDEM-201716, CEA-EDEM-201618)及国家自然科学基金项目(51778590, 51408567)联合资助。

但是历次地震表明其抗震性能远远优于一般的夯土墙、土坯房等土木结构房屋；其次，新农村建设中采用统一规划设计施工的带圈梁构造柱的砖木结构的抗震性能和老旧自建砖墙木屋顶的砖木结构差异也很大；第三，同样是砖混结构房屋，2008 年之后统一规划设计建造的有圈梁构造柱的砖混结构和老旧自建的砖混结构房屋，在地震中遭遇的破坏情况也相差很大。

综上所述，现有地震应急数据库中西北地区农村房屋分类和震害矩阵不太适用于农村的大部分房屋，且对地震应急、灾害损失评估工作的准确度有较大的影响。因此本文通过实地调查，研究西北地区，包括甘肃、青海和陕西农村房屋的结构细化，并进行抗震性能分析。

1 农村房屋结构细化分类

根据农村房屋的建筑材料、建筑年代、胶结材料、承重构件等因素，将西北地区农村房屋细分为 6 大类：窑洞、土木结构、木架结构、石结构、砖木结构和砖混结构。

1.1 窑洞

窑洞主要分布在甘肃省庆阳市农村地区和陕北地区，在青海省海东市乐都区有零星分布。根据建造场地、开洞方式、建造方式和建筑材料的不同，可以分为黄土窑洞和拱窑（又叫箍窑，独立式窑洞）。黄土窑洞是修建在黄土中的住人洞穴，又分为地坑窑（也叫地窑、下沉式窑洞、天

井式窑洞）和崖窑；拱窑是仿照窑洞形式建造的特殊墙体承重结构房屋，根据建材不同又分为土拱窑、砖拱窑和石拱窑。目前，西北地区窑洞数量较少。

1.2 土木结构

由于取材方便，土木结构是西北地区农村房屋普遍采用的建筑结构形式，一些年代久远的土木结构房屋已无人居住，多转为储藏室、库房。根据墙体材料、砌筑方式和承重构件的不同，将土木结构细分为夯土墙、土坯墙及混合承重土木结构 3 小类。

1.2.1 墙体承重土木结构

夯土墙土木结构房屋的承重主体为夯土墙（图 1a），土坯墙土木结构房屋的承重主体为土坯墙（图 1b），一般不设置柱，采用木屋盖。房屋的大梁或檩子直接搭放在夯土墙上，俗称“土搁梁”或者“硬山搁檩”。梁或檩与承重墙体之间，一般无固定措施，墙体承受屋盖系统全部荷载。木屋盖也相对简单，设有梁和椽的房屋，椽直接横搭在梁上，俗称“滚椽”。而简易的墙体承重土木结构房屋直接将椽子搭在墙上。

1.2.2 混合承重土木结构

混合承重土木结构房屋的墙体和简单木架或砖柱共同承担屋顶重量。此类房屋设有简易木柱或者砖柱。简易木柱多较细且仅承担部分屋盖重量。柱子多为“墙包柱”，檩子仍然搭在土墙上。砖柱土坯墙是为了好看和提高墙体承重能力而在墙角等部位设置的（图 2）。



(a) 夯土墙



(b) 土坯墙

图 1 墙体承重土木结构房屋

Fig. 1 Photos of civil structure buildings with wall bearing



(a) 木柱墙体



(b) 砖柱墙体

图2 混合承重土木结构房屋

Fig. 2 Photos of civil structure buildings with compound bearing

1.3 木架结构

木架承重土木平房的屋盖重量由木架承担。木架由梁、檩、椽构成，相互之间多以榫、铆连接，木架具有较高的弹性变形范围，整体性好，即便墙体破坏，房屋也不容易倒塌。非承重的墙体仅起分隔和填充的作用。该类房屋抗震性能好，多分布在甘肃和青海省。根据墙体材料、承重构件的不同，木架结构细分为土围护木架结构（图3a）和砖围护木架结构（图3b）2小类。

1.4 石结构

石结构房屋从外面看不见一根木头，以石砌墙，窗户少而小，俗称“墙包房广”（图4）。除

甘肃南部和青海地区的寺院建筑以外，这种形式的房屋已逐渐减少。

1.5 砖木结构

砖木结构房屋是指由砖砌墙体承重和围护，屋顶采用木质椽、檩、瓦片等构筑的一坡水或两坡水房屋（图5）。该类房屋的墙体承受屋顶荷载，砖砌墙体强度大，施工工艺简单，但其抗裂性能和抗变形能力较差。这类房屋由于其施工工艺简易、造价低、耐久性好、取材方便，在西北地区广泛分布。根据建造年代、砌筑材料的不同和有无抗震措施，砖木农村房屋主要分为泥浆砌筑、砂浆砌筑和抗震砖木结构3小类。



(a) 土围护



(b) 砖围护

图3 木架结构房屋

Fig. 3 Photos of wood frame structure buildings

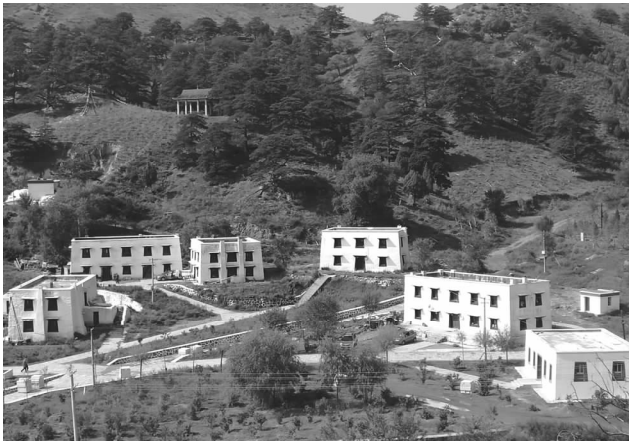


图4 石结构房屋
Fig. 4 Photo of stone building



(a) 泥浆砌筑



(b) 砂浆砌筑



(c) 抗震

图5 砖木结构房屋
Fig. 5 Photos of brick-wood buildings

1.6 砖混结构

砖混结构房屋使用木材很少或者不使用木材，它是木材稀缺地区农民建造新房的优先选择。砖混结构一般为墙体承重，根据建筑年代、墙体砌筑粘结材料又分为老旧和新建砖混结构 2 小类 (图 6)。老旧砖混结构多修建于 2008 年之前，楼板基本采用预制板，抗震构造措施较少或者没有设置。新建砖混结构多建于 2008 年以后，一般都设置有抗震措施，尤其是统一规划建设的新农村、异地搬迁、灾后重建的房屋，大多数楼板和屋盖采用钢筋混凝土现浇而成。



(a) 老旧



(b) 新建

图6 砖混结构房屋

Fig. 6 Photos of masonry-concrete structure buildings

2 抗震性能分析

根据前人对各类房屋结构震害矩阵 (朴永军, 2013; 李慧明等, 2010; 徐国栋等, 2008; 邱淑睿, 高慧瑛, 2015; 陈波等, 2018) 的研究, 利

用中国地震烈度表（GB/T 17742—2008）各细化结构的平均震害指数进行计算：

$$D = \sum d_i \lambda_i$$

(1)

式中： d 为震害指数； λ 为破坏比； i 为破坏等级。
各破坏等级下震害指数的取值参考姜绍飞等（2011）的研究（表 1），各细化农村结构房屋平均震害指数的计算结果如表 2 所示。

表 1 震害指数与破坏等级的关系
Tab. 1 The relations between damage index and gradation of earthquake damage

| 破坏等级 | 震害指数 | 震害指数计算取值 |
|----------------|------------------------|----------|
| 基本完好 ($i=1$) | $d_i < 0.1$ | 0 |
| 轻微破坏 ($i=2$) | $0.1 \leq d_i < 0.3$ | 0.2 |
| 中等破坏 ($i=3$) | $0.3 \leq d_i < 0.55$ | 0.4 |
| 严重破坏 ($i=4$) | $0.55 \leq d_i < 0.85$ | 0.7 |
| 毁坏 ($i=5$) | $0.85 \leq d_i < 1$ | 1 |

表 2 各细化农村房屋结构平均震害指数

Tab. 2 Summary of the mean damage index of the rural buildings

| 结构类型 | 地震烈度 | | | | |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | VI | VII | VIII | IX | X |
| 土坯墙土木结构 | 0.159 | 0.395 | 0.671 | 0.814 | 0.979 |
| 夯土墙土木结构 | 0.124 | 0.265 | 0.499 | 0.735 | 0.901 |
| 混合承重土木结构 | 0.129 | 0.342 | 0.595 | 0.789 | 0.967 |
| 土围护木架结构 | 0.076 | 0.197 | 0.441 | 0.636 | 0.733 |
| 砖围护木架结构 | 0.046 | 0.154 | 0.330 | 0.545 | 0.649 |
| 泥浆砌筑砖木结构 | 0.252 | 0.382 | 0.643 | 0.738 | 0.958 |
| 砂浆砖木结构 | 0.089 | 0.206 | 0.429 | 0.664 | 0.868 |
| 石结构 | 0.224 | 0.386 | 0.601 | 0.824 | 0.908 |
| 老旧砖混结构 | 0.028 | 0.068 | 0.254 | 0.499 | 0.880 |
| 新建砖混结构 | 0.027 | 0.084 | 0.228 | 0.437 | 0.711 |

图 7 为各细化农村房屋结构平均震害指数三维柱状图。如图所示，在地震烈度为 VI 度时，泥浆砌筑砖木结构、石结构、土坯墙土木结构、混合承重土木结构和夯土墙土木结构房屋为轻微破坏，砖混结构、木架结构和砂浆砌筑砖木结构房屋表现为基本完好；在地震烈度为 VII 度时，2 种砖混结构房屋均为基本完好，夯土墙土木结构、木架结构和砂浆砌筑砖木结构房屋表现为轻微破坏，土坯墙土木结构、泥浆砌筑砖木结构、石结构和混合承重土木结构表现为中等破坏；在地震烈度为

VIII 度时，2 种砖混结构房屋均为轻微破坏，夯土墙土木结构、2 种木架结构和砂浆砌筑砖木结构房屋表现为中等破坏，土坯墙土木结构、混合承重土木结构、泥浆砌筑砖木结构和石结构房屋表现为严重破坏；在地震烈度为 IX 度时，2 种砖混结构和砖围护木架结构房屋表现为中等破坏，其余农村结构房屋均表现为严重破坏；在地震烈度为 X 度时，2 种木架结构和新建砖混结构房屋表现为严重破坏，其余农村结构房屋均表现为毁坏。

根据以上分析可得，西北地区典型农村房屋结构中，抗震性能较差的是土坯墙土木结构、石结构和泥浆砌筑砖木结构房屋，抗震性能中等的是夯土墙土木结构、砂浆砌筑砖木结构、土围护木架结构和老旧砖混结构房屋，抗震性能最好的是砖围护木架结构和新建砖混结构房屋。

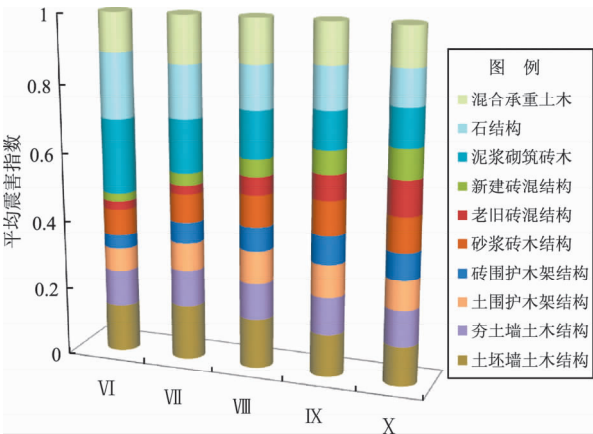


图 7 各细化农村房屋结构平均震害指数柱状图
Fig. 7 Histogram of the mean damage index of the rural buildings

3 结论与讨论

根据结构形式、构造措施、材料强度等，将西北地区典型农村房屋结构类型细化为 6 大类、15 小类。根据计算所得平均震害指数将西北地区典型农村抗震性能分为较好、中等、较差 3 类。抗震性能较好的是砖围护木架结构和新建砖混结构；抗震性能中等的是夯土墙土木结构、砂浆砌筑砖木结构、土围护木架结构和老旧砖混结构；抗震性能较差的是土坯墙土木结构、石结构和泥浆砌筑砖木结构。

地震应急数据库中城市和农村的建筑物采用同一分类：土木结构、砖木结构、砖混结构、框

架结构和其它结构,对于农村地区该分类稍显粗糙,例如同属于土木结构的土坯墙土木结构和土围护木架结构,其在地震中的破坏特征和抗震性能均存在较大的差距。因此,建议对地震应急数据库中农村房屋结构分类进行细化研究,并进一步详细调查各地区各细化类型所占比例,以供建筑物灾害损失评估修正使用。

地震应急数据库中震害矩阵只根据地域进行区分,但是地震现场调查显示,对于城市和农村的房屋建筑,其结构类型和抗震性能均有较大区别,在相同地震烈度影响下同属一类的农村房屋的破坏更为严重,可能造成的人员伤亡和财产损失会更大。因此,同一地域内城市和农村采用同一震害矩阵进行震后灾害损失评估,可能会造成较大的误差,建议同一地域内给出单独的农村地区建筑物的震害矩阵,以提高地震灾害损失评估的准确度。

中国地震台网中心帅向华研究员、南京工业大学吴志坚教授、中国地震局工程力学研究所林均岐研究员对房屋细化分类提出过宝贵意见,青海省地震局杨理臣和内蒙古自治区地震局杨智升提供了诸多意见和帮助,在此一并表示感谢。

参考文献:

陈波,温增平,赵文哲. 2018. 基于地震动参数的房屋震害矩阵曲线化分析方法[J]. 地震研究, 41(4): 613-621.
方雅申. 2015. 城市地震应急数据库的设计与实现[J]. 大众科技, 17

(192): 12-15.

- 姜绍飞,艾武福,李宁,等. 2011. 群体砌体建筑的易损性分析及震害预测[J]. 福建大学学报, 39(5): 738-747.
李慧明,崔杰,朱勇,等. 2010. 陇南地区房屋震害调查与易损性矩阵的建立[J]. 震灾防御技术, 5(1): 138-144.
明小娜,周洋,陆永坤,等. 2017. 滇西北地区房屋建筑特征和抗震能力评价[J]. 地震研究, 40(4): 646-654.
明小娜,周洋,陆永坤,等. 2018. 云南省砖混结构房屋震害矩阵修正研究[J]. 地震研究, 41(4): 605-612.
朴永军. 2013. 云南省青海省房屋地震易损性研究[D]. 哈尔滨: 中国地震局工程力学研究所.
邱淑睿,高慧瑛. 2015. 青海省安居地震灾害易损性研究[J]. 震灾防御技术, 10(4): 969-978.
单德华,杨红艳,孙鸿雁,等. 2010. 大型数据平台搭建技术在地震行业中的应用与研究[J]. 地震研究, 33(2): 234-237.
石玉成,王兰民,林学文,等. 2004. 黄土生土建筑震害预测研究[J]. 西北地震学报, 26(3): 206-211.
帅向华,杨天青,马朝晖,等. 2009. 国家地震应急指挥技术系统[M]. 北京:地震出版社.
谭明,李洋,胡伟华等. 2010. 青海玉树 7.1 级地震房屋建筑震害调查和分析[J]. 内陆地震, 24(2): 173-179.
王兰民,林学文. 2006. 农村民房的震害破坏特征与震害预测[J]. 震灾防御技术, 4(1): 337-344.
王兰民,袁中夏. 2011. 西北安居抗震设防技术指南[M]. 北京:地震出版社.
徐国栋,方伟华,史培军,等. 2008. 汶川地震损失快速评估[J]. 地震工程与工程振动, 28(6): 74-83.
郑雷纲,李亮. 2007. 村镇房屋抗震措施浅析[J]. 山西建筑, 33(1): 54-55.
周光全. 2007. 简易房屋的地震灾害经济损失评估[J]. 地震研究, 30(3): 265-270.
GB/T 17742—2008, 中国地震烈度表[S].

Structure Refinement and Seismic Performance Analysis of Rural Houses in Northwest China

ZHONG Xiumei^{1,2}, YUAN Zhongxia³, CHANG Xiangde⁴, TAN Ming⁴, LI Na², SONG Lijun⁴

(1. Key Laboratory of Loess Earthquake Engineering, China Earthquake Administration, Lanzhou 730000, Gansu, China)

(2. Lanzhou Institute of Seismology, China Earthquake Administration, Lanzhou 730000, Gansu, China)

(3. College of Civil Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730000, Gansu, China)

(4. Earthquake Agency of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011, Xinjiang, China)

Abstract

According to the difference of structural form, structural measures and material strength, we subdivided the typical structure types of rural houses in Northwest China, and introduced the architectural characteristics, roof composition and distribution areas of various rural houses respectively. By calculating the average seismic damage index of various rural houses, we divided the seismic performance of typical rural houses in Northwest China into three grades such as the better, in general and poor, and evaluated their seismic performance respectively. The results show that the rural houses in Northwest China can be divided into 6 categories and 15 sub-categories. The poor ones include civil structure with rammed earth wall, the brick-wood building with mortar masonry, the wood frame construction with earth enclosure and old masonry-concrete structures is in general. The better ones is wood frame construction with brick enclosure wall and newly-built brick-concrete structure.

Keywords: rural houses; structure refinement; seismic damage index; seismic performance; the northwest China