

山东省典型民居抗震性能调查研究

马小燕*, 马亚楠, 范丽霞, 王 聪

青岛城市学院, 山东 青岛
Email: *xiaoyan.ma@qdc.edu.cn

收稿日期: 2021年8月24日; 录用日期: 2021年9月20日; 发布日期: 2021年9月27日

摘 要

本文结合最新版抗震设计规范和山东省《农村房屋建筑抗震技术标准(DB37/T 5091-2017)》，制定了纸质调查问卷和线上调查问卷，以山东省典型民居为研究对象，以土木工程类学生节假日返乡为契机，分别从场地选址、建筑选型、结构设计与施工和抗震构造措施四个维度开展调研，获得山东省16地市既有民居的基础数据。依据资料分析了目前我省民居房屋抗震性能现状和不足，最后给出村镇级房屋抗震设防的建议，为促进我省民居安居工程的提升提供参考。

关键词

民居, 抗震技术, 抗震设防

Investigation and Study on Seismic Performance of Typical Dwellings in Shandong Province

Xiaoyan Ma*, Yanan Ma, Lixia Fan, Cong Wang

Qingdao City University, Qingdao Shandong
Email: *xiaoyan.ma@qdc.edu.cn

Received: Aug. 24th, 2021; accepted: Sep. 20th, 2021; published: Sep. 27th, 2021

Abstract

In this paper, based on the latest seismic design code and Shandong Province's Technical Standard for Seismic Resistance of Rural Housing Construction (DB37/T 5091-2017), offline and online questionnaires were developed in this paper. Typical residential houses in Shandong Province were taken as the research object, and civil engineering students returning home during holidays

were taken as an opportunity. The basic data of existing residential houses in 16 cities of Shandong Province were obtained from four dimensions of site selection, building selection, structural design and construction and seismic structural measures. Based on the data, this paper analyzes the present situation and shortcomings of seismic performance of residential houses in our province, and finally gives some suggestions on seismic fortification of village-level houses, providing reference for promoting the improvement of residential housing projects in our province.

Keywords

Residence, Seismic Technology, Seismic Fortification

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 概述

地震具有突发性大、破坏力强的特征，几乎每一次地震的发生都会导致不同程度的房屋倒塌和人员伤亡，其中农村房屋结构破坏严重，且人员伤亡比重较大。基于以上情况，美、日等发达国家率先重视民居的地震安全问题。一方面，通过各种立法和建设规范严格实施民房抗震设防；另一方面，以政府补贴和低息贷款的方式，鼓励和推动民房的抗震设防和加固。2004年国务院召开全国防震减灾工作会下发《国务院关于加强防震减灾工作的通知》(国发〔2004〕25号)，启动《农村民居地震安全工程》。

目前国内地震工程工作者也极其重视关于农村民居的抗震性能的研究，主要集中于实地调研，找出各地典型民居的抗震薄弱部位，并提出改善建议。如2019年黄艳基于黑龙江省民居进行调研，提出了较为实用的抗震技术[1]；付亚男等对三峡库区农村砌体民居进行了深入的调研分析，并提出了切实可行的抗震加固措施[2]；还有部分学者[3]-[10]对于山东西北、天津地区、广西挂东、青海、河北张家口的民居进行了易损性与抗震能力评估，为新建民居提出了较可行的建议。

山东省是地震灾害多发省份，境内断裂分布密集且具有较强活跃性，其中郯庐断裂带、临沭断裂带和聊城-兰考地震带上曾发生过较大的破坏性地震[4] [11]。因此山东省省委、省政府高度重视农村民居抗震防灾工作，通过实施农村危房改造、农村抗震改造和农村民居地震安全工程，抗震防灾工作取得了显著的效果[12]。十三五期间，山东省颁布《农村房屋建筑抗震技术标准(DB37T 5091-2017)》，同时山东省地震局联合山东省住建厅大力推进省级农村民居地震安全示范工程，目前共完成省级示范项目二十余项，起到了很好的引领作用。

随着国家规范和省级地方级抗震指导技术标准的不断完善，民居抗震能力显著提升，但仍有部分民居未按照相关规范的建议建造房屋，且又没有有效的监管强制措施。因此村镇级建筑场地选址、建筑设计、建造过程和政策落实方面还存在些诸多问题。笔者依托学院土木类师生节假日返乡契机，结合最新版国家规范和地方法则，对山东省16地市村镇民居进行较为全面的民居资料统计收集，为引导农民建造更安全、适用的住房，助力“乡村振兴”政策的落实提供参考。

2. 调查依据与调研方式

2.1. 调研依据

本次调研民居是指适用于山东省农村抗震设防烈度为6~8度地区，建筑层数为一、二层的一般民居。

本次调研参照《建筑抗震设计规(GB50011-2010)》和山东省《农村房屋建筑抗震技术标准(DB37/T 5091-2017)》，结合山东省最新版地震区划图制定了基本覆盖民居抗震设计要求的调查问卷，以籍贯在省内的本学院土木类专业农村学生作为调研对象，以确保本次调研项目的科学性和针对性，调研项目主要涉及场地选址、结构选型、抗震构造措施共计三十余项，见表 1。考虑山东省行政辖区内地震动峰值加速度值 0.10 g 及以上(相当于地震烈度 VII 度及以上)地区占全省国土面积的 79%，因此在涉及设防烈度调查选项时，取 VII 度设防要求。

Table 1. List of structural measures for residential houses in detail

表 1. 民居抽样详查结构措施清单

民居调查信息登记表		
地点():	GPS 地标: 经度: 纬度: 海拔: 米	
结构形式: A. 砖混结构、B. 砖木结构 C. 砌块砌体结构 D. 混凝土结构	调查日期: 年月日	
层数: 建筑面积:	施工单位:	
农房建设时间:	农房建造性质: <input type="checkbox"/> 自建 <input type="checkbox"/> 集体 <input type="checkbox"/> 统规自建	
调查人:	结构施工图: <input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 无	
注: 砖混结构: 墙、柱采用砖, 屋盖采用混凝土的结构。 砌块砌体结构: 墙柱采用混凝土砌体砌筑的结构。 石木结构: 墙、柱采用料石, 屋盖采用木材料的结构。		
检查内容	在此栏中划勾	说明
开阔平坦的坚硬土或中硬土	是 否	
场地 选址	若为坡边建筑, 是否满足地震安全距离	注 1: 破边建筑为选址建造于临近边坡、山崖的建筑, 要求地震安全距离 B 应大于坡高 H。
	本建筑选址是否建造在地震时容易发生火灾、爆炸、污染等次数灾害的工厂、仓库等建筑物的上风向或河流上游, 并留有足够的防灾间距。	注: 风先吹到的地方为上风向, 后吹到的为下风向, 因华北地区夏季与冬季主要风向呈东南与西北对向, 故工业及居住区一般可布置在盛行风向的两侧。(若本民居与容易产生次生减灾的工厂为主要风向对侧分布, 选“是”, 否则选“否”)
房屋 高度	房屋总高度: 实心砖墙 240 mm 厚, 7 度设防区是否 ≤ 7.2 m; 8 度设防区是否 ≤ 6.6 m	房屋高度指从室外地坪到主要屋面板板顶的距离。砌体结构若为坡屋顶, 算至山墙的 1/2 高度处。
	单层砖砌体房屋层高是否 ≤ 3.9 m	
	两层房屋各层层高是否 ≤ 3.6 m	两层房屋底层层高从室外地面起至二层楼板板顶的距离
门 窗 洞 口	横墙和内纵墙上的洞口宽度 ≤ 1.5 m	从整个建筑平面图出发, 长方向的墙称为纵墙, 短方向的墙称为横墙。
	外纵墙上洞口宽度 ≤ 1.5 m 或开间尺寸的一半	房屋的开间研究是一个房间, 在结构平面图中与门平行方向为开间, 与门垂直方向为进深。
	门窗过梁嵌入墙体支座长度是否达到 240 mm	
	是否现浇板, 其他请备注	
楼 盖	楼板厚度是否 ≥ 80 mm 且大于楼板窄边尺寸的 1/30	楼板尺寸取房间最大的楼板来统计数据
	楼板受力钢筋直径是否 $\geq \Phi 8$ 间距且 ≤ 200 mm; 分布钢筋直径是否 $\geq \Phi 6$ 间距且 ≤ 250 mm	

Continued

砌 砖	地梁以上是否采用 M5 水泥砂浆或混合砂浆砌筑	
	烧结普通砖是否强度等级 \geq MU10	
	砌筑是否横平竖直	
墙 体	墙厚是否为 240 mm	
	窗间墙长度 \leq 800 mm 时, 是否采取加强措施	窗间墙是指窗户与窗户、窗户与门之间的距离。
	构造柱和墙体间是否设置马牙槎	
	拉接筋是否 \geq 2 Φ 6@500, 伸入墙体 1 米	
基 础 选 材	A. 砖基础	基础可理解为基础圈梁(俗称地梁)以下的部分。
	B. 石基础	
	C. 混凝土基础	混凝土桩与基础圈梁组合体
	D. 其他	
基 础	基础埋置深度是否 \geq 500 mm	注: 基础埋置深度是指基础底面到地表的垂直距离。
	砖基础是否采用 M5 水泥砂浆, 砖的强度等级是否 \geq M15	
	基础顶面所有的总横墙是否有设置基础圈梁	
圈 梁	楼盖、屋盖处所有的纵墙是否设置圈梁	
	上部结构圈梁纵筋是否 \geq 4 Φ 10	
	基础圈梁纵筋是否 \geq 4 Φ 12, 砼标是否 \geq C20	
构 造 柱	外墙四角是否有构造柱	
	每隔一个横墙, 横墙与外纵墙接处是否设置构造柱	
	构造柱截面是否 \geq 180 \times 240 mm, 配置 4 Φ 12	
	若为二层, 楼梯间四角、大房间内外墙连接处是否设置构造柱。	

2.2. 调研方式

此次调研工作采用实地调查形式, 课题组先进行被调研学生培训后, 返回家乡时深入现场以纸质问卷形式进行调研, 并采用测量和拍照方式收集样本详细数据资料; 2020 年新冠疫情期间, 因防疫要求改为线上问卷方式进行。利用寒暑假学生回乡, 根据籍贯发放问卷三次, 利用腾讯问卷平台问卷星线上问卷调研一次。

为保证样本采集的科学性, 一方面调研对象为本学院具有工民建专业背景的学生, 具备一定的结构设计及施工的技能, 能够较好落实调研项目的考察与采集, 并且课题组对被调研学生进行了集中的问卷培训。另一方面, 课题组随机抽取回收问卷, 并进行了现场实地复核, 复核结果与答卷基本一致。综合上述两点, 确保了本次样本采集的科学性和结果的准确性。

3. 调研结果分析



Figure 1. Distribution of survey samples
图 1. 调查样本分布图

自 2019.4~2020.1 月，累计发放问卷四次，收回有效问卷 105 份，初步建立覆盖山东省 16 地市民居样本数据库，见图 1；其中线上问卷回收 86 份，扣除无效问卷 5 份，有效问卷 81 份。从答卷信息初步统计显示，本次答卷样本建设年代由 1978 年至 2021 年，其中 2000 年后建设的样本超过一半，同时覆盖山东省 16 地市，且结构形式以砖混结构为主，这一结果与目前山东民居整体形势基本相符，表明本次调研结果具有一定的代表性和合理性。

3.1. 基本信息

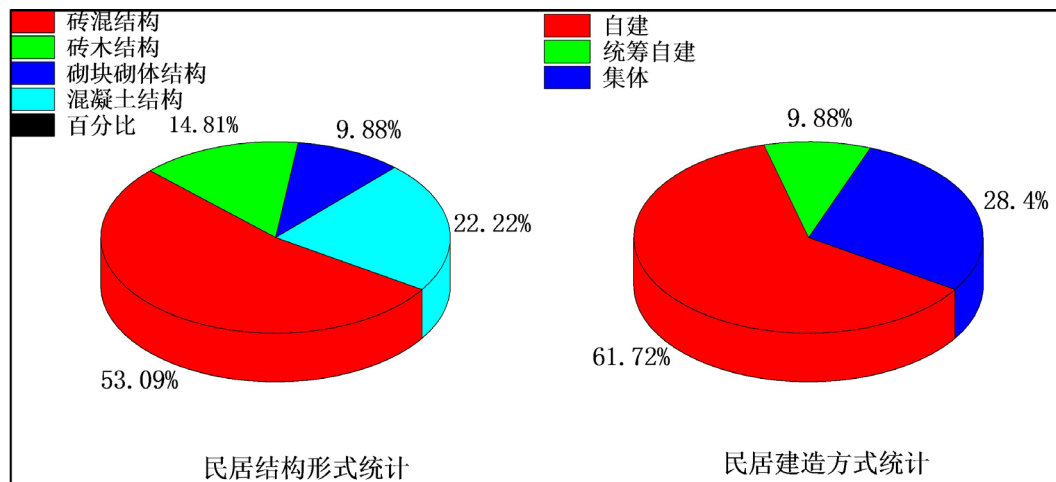


Figure 2. Statistical chart of residential structures and construction methods
图 2. 民居结构与建造方式统计图

在民居建设方式方面，农村房屋建设主要有以下三种形式：自建房、统筹自建房和集体建设房三种。其中农村自建房是指农村村民为改善自身居住条件，并以村民户为决策单元，在符合相关法规规章的前提下，自主决策房屋的选址、建筑形式、投资规模等方面而建成的居住场所[13]。统筹自建房是指：地方行政部门基于改善乡村生活环境的目的，统一推行的村庄规划导向性政策，对于场地选址、建造风格和结构形式进行了行政干预。村民在符合政策要求的前提下，委托施工队伍施工，建设完成的房屋。集体建造民居：以乡镇或行政村为单位，在农村集体土地上建设的房屋。

调查结构显示, 见图 2, 自建房目前仍是我省农村民居的主要建造方式。结构形式方面, 仍然主要采用砌体结构, 占比为 78.78%。随着城镇化进程的不断推进, 以及地方经济水平的提高与政策引导, 混凝土结构形式的民居也不断增加, 多为集体承建, 占统计样本的 22.22%, 此类民居抗震性能大大改善。根据结构形式调研结果, 本文主要以量大面广的砖混结构为研究对象, 进行分析。

3.2. 总体分析与个体分析

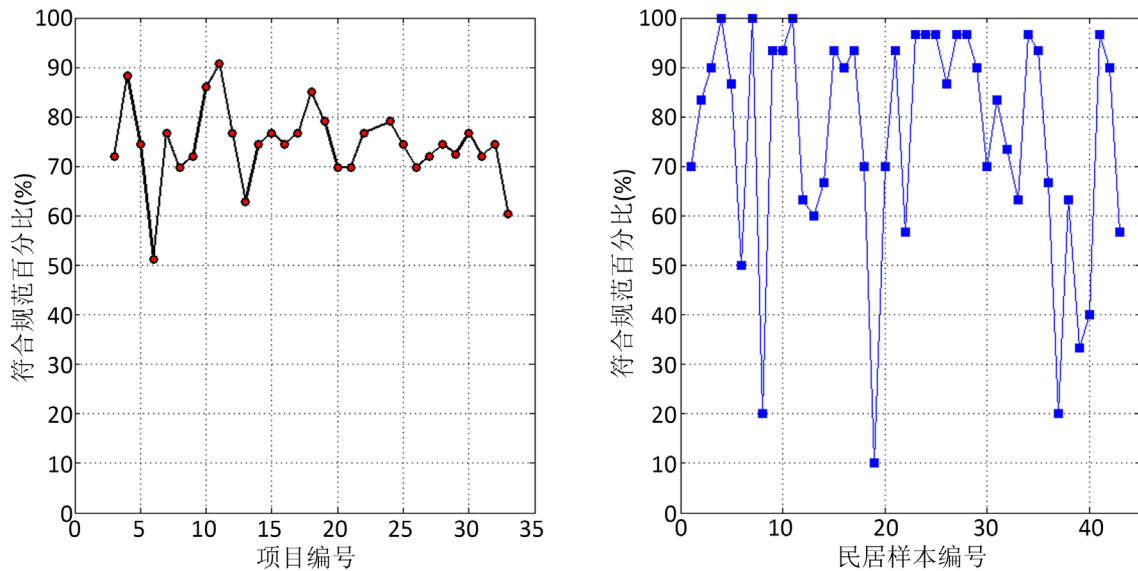


Figure 3. Statistical results of individual and single building conforming to the code

图 3. 单项与单幢符合规范统计结果图

对砖混结构作为研究对象(有效样本 43 个), 主要进行建筑设计、地基基础、抗震构造措施方面的统计分析。

图 3 左显示, 每一项目符合规范要求比例均在 70% 左右, 表明绝大多数房屋在场地选址、建筑选型、

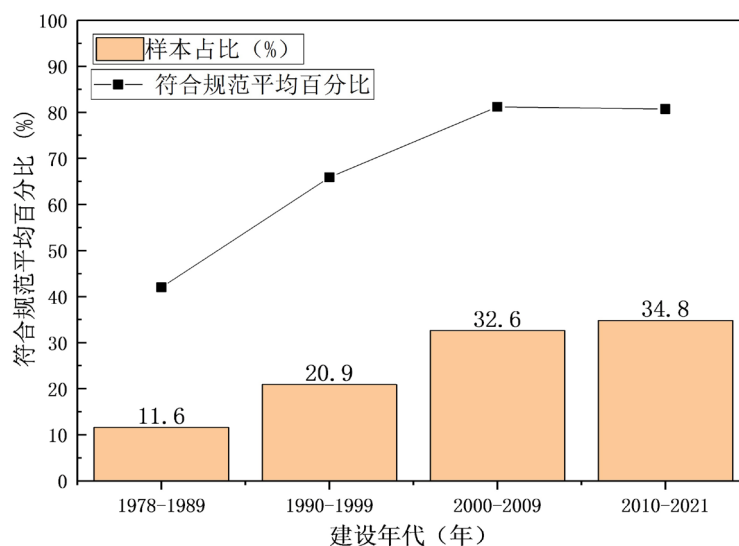


Figure 4. Statistical table of the proportion of housing construction years and codes

图 4. 房屋建设年代与规范符合比例统计表

结构设计与施工以及抗震构造措施方面满足规范设计要求。其中项目六统计比例低于 60%，说明民居场地选址尤其是对于次生灾害防灾距离方面亟待提升。

图 3 右统计的是单个样本符合规范百分比，统计样本 43 幢，统计范围 30 项，结果出乎意料，仅有 3 幢房屋完全符合规范要求，分别位于济宁市梁山县拳铺镇(2009 年建)、济南市济阳县(2013 年建)、菏泽市巨野县董庄屯镇(2013 年建)。这表明，民居仅在某些部分调研项目符合规范要求，但由于缺乏系统的抗震设计，完全满足规范要求的比例不足百分之十。

从样本建造年代分布来看(图 4)，涉及上世纪 70 年代至今，2000 年以后样本占比达到 67.4%，因此样本具有一定的代表性。从图中可以看出，符合规范百分比随着建造年代不断提升，但 2000 年后该比例稳定在 80% 左右。初步推断，民居自建房的抗震设计与建造技术均有了一定提升，但因缺乏专业指导，达到瓶颈状态，与规范要求仍有一定差距。

3.3. 现场调研

为了提高的样本的可靠性，调查小组还抽取部分样本进行了实地复核，经过复核问卷样本与实际房屋建造情况基本一致。民居自建主要存在问题：

1、建筑选型不当：开洞过大、层高太高

根据《抗规》7.1 条，砌体房屋建筑选型主要涉及：房屋层数与高度、房屋局部尺寸限值、平立面布置等，通过实地调研部分民居自建房存在层高过高、开洞太大、建筑布局任意的问题。如图 5 所示，村民为追求采光将纵墙开窗过大，同时在进深不断增大的情况下，横墙开门过多，而结构上未能进行相应的抗震验算或抗震加强措施。同时，因民居多为单层或两层，为追求外观，砖混结构民居单层层高大于 3.9 米，如图 6 所示，不满足抗震规范要求。

2、抗震构造措施：圈梁和构造柱未设置或设置不够

砌体结构造价低廉且性能优越，故在民居建筑中广泛采用，但砌体结构抗震性能不佳，在经历地震时容易整体性不足而破坏。因此砌体结构必不可少的抗震构造措施就是圈梁和构造柱，二者相结合能够形成一个“弱框架”，能有效改善墙体变形能力，提高结构整体性。



Figure 5. The problem of too large holes in vertical and horizontal walls of residential houses

图 5. 民居存在纵横墙开洞过大问题



Figure 6. The height of residential buildings is too high
图 6. 民居存在层高过高的问题

调查结果显示, 70%左右的调查房屋能够按照规范在基础顶面所有横墙和楼盖、屋盖处所有纵墙上设置圈梁, 并能进行合理的配筋。但仍有近三成调查方面未圈梁设置不足或圈梁设置不足, 如图 7, 部分砖混结构存在圈梁和构造柱未设置或设置不够的情况, 尤其对于地梁和楼屋盖圈梁的配筋, 都是按照工人师傅的经验配置, 未能及时结合最新规范要求进行更新。

关于构造柱设置, 绝大多数调查民居能够在外墙四角、每隔一个横墙, 横墙与外纵墙连接处设置构造柱, 且构造柱尺寸配筋满足规格最低要求施工时能够预留马牙槎, 但拉近钢筋预留偏短。但一些老旧砖混结构, 未设置构造柱, 如图 7。同时随着人们生活水平的不断提高, 二层或三层民居不断新建, 受工人施工经验制约, 楼梯四角构造柱设置比例偏低, 急需专业的技术指导。



Figure 7. Insufficient seismic structural measures exist in residential buildings
图 7. 民居存在抗震构造措施不足问题

4. 总结

本文对山东省内民居结构进行了线上问卷调查与实地考察, 对问卷结果的分析获得如下**调查结论**:

- 1、随着国民经济水平的提高, 民居整体设计不断加强, 特别是 2000 年以来, 单项规范符合率达到 70%;
- 2、整体符合率不足 10%, 民居抗震设计亟待加强;
- 3、主要存在如下问题: 自建和统筹自建民居在修建时未考虑专业的抗震设计。表现在场地选址方面, 村民对地震安全避让距离和防灾间距不能很好地量化取值, 导致房屋避险能力不足; 建筑设计方面存在

建筑布局任意、层高过高、开洞太大的问题；结构设计方面，村镇级施工队对材料强度选用、梁柱截面尺寸确定概念模糊，因此材料强度和梁柱截面尺寸只能由材料商家笼统确定，且受业主经济成本控制因素影响较大，导致材料强度和截面尺寸随意；抗震构造措施方面存在圈梁和构造柱未设置或设置不够的情况，一旦发生强烈地震，结构存在较大安全隐患。

针对调研发现的问题，为满足我省民居安居工程需要，提出**如下建议**：

1) 在广大农村房屋建设未能完全监管的情况下，建议地方行政单位结合当地地质条件，根据场地条件和村民需求，由专业设计院设计房型若干，让村民结合经济能力雇佣施工队依图建造房屋，同时配以适度行政监管。这样既能保证民居地震安全性，又能实现村镇统一规划的目标。在现行农村房产证办理流程中，加入技术验收环节，加强政策的落实。

2) 建议地方住建部门利用网络资源，建立公众号或者视频资源库，展示三维房屋建筑设计、结构设计和施工模式，快速普及农村民居房屋实用技术。同时推行施工队成员培训与职业资格证政策，提高村镇级施工队技术水平。

3) 搭建高校、设计院公共服务平台，让专业人士为自建房用户提供技术指导。

后续，课题组将选取典型民居结构，建立模型，进行抗震性能计算，针对抗震设计薄弱环节，为民居抗震改进提供参考建议。

基金项目

本文课题来源：2019年度青岛理工大学琴岛学院科学技术课题“山东省典型民居抗震性能调查研究”，课题编号 QY19KB06。

致谢

感谢青岛城市学院土木工程系同事们和同学们对本次调研工作的支持与帮助！

参考文献

- [1] 黄艳, 李江伟, 马小燕. 农村民居实用抗震技术研究展望[J]. 防灾科技学院学报, 2019, 21(1): 16-22.
- [2] 付亚男, 等. 三峡库区农村砌体民居的抗震加固研究[J]. 科学咨询(科技·管理), 2019(3): 35-36.
- [3] 何超, 罗奇峰. 山东西北部某县农村房屋抗震性能分析[J]. 结构工程师, 2010, 26(1): 50-55.
- [4] 王召进. 山东省村镇建筑抗震能力分析及其抗震措施研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东建筑大学, 2015.
- [5] 杨钦杰, 高鹏飞, 赵修敏, 刘华贵. 桂东农村民居抗震性能调查[J]. 工程建设与设计, 2018(20): 30-32.
- [6] 姚新强, 孙柏涛, 陈宇坤, 杨绪连. 我国农居抗震能力研究现状[J]. 建筑结构, 2017, 47(S1): 578-582.
- [7] 姚新强. 天津农居易损性与抗震能力分布研究[J]. 国际地震动态, 2017(4): 45-46.
- [8] 梁增飞. 西北砖土混合承重民居安全性能提升技术与示范[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安建筑科技大学, 2017.
- [9] 温和萍, 唐丽华, 等. 新疆农村民居抽样调查与抗震能力初步分析[J]. 内陆地震, 2016, 30(4): 293-305.
- [10] 贾晓辉, 等. 张家口西部山区农村民居抗震性能调查与分析[J]. 地震工程学报, 2016, 38(S1): 128-133.
- [11] 季同仁. 山东地区地震活跃性特征[J]. 地震研究, 1986, 9(3): 289-297.
- [12] 山东省住房和城乡建设厅, 山东省地震局. 山东省农村民居建筑抗震技术导则(修订版) [M]. 北京: 地震出版社, 2016.
- [13] 钱明辉. 上海市村民自建房政府监管研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 华东政法大学, 2017.