

# 张家口地区农村房屋建筑特征和抗震能力评价\*

刘晓丹<sup>1,2</sup>, 刘志辉<sup>1♣</sup>, 刘 龙<sup>1</sup>, 马旭东<sup>1</sup>, 刘贾贾<sup>1</sup>, 关恒瑜<sup>1</sup>, 左丽娟<sup>1</sup>

(1. 河北省地震局, 河北 石家庄 050022; 2. 中国科学技术大学, 安徽 合肥 230026)

**摘要:** 基于河北省张家口市 13 个县(区) 630 个调查点的实地调查结果, 总结了砖混、砖木、土木和土窑洞 4 类房屋的建筑特征和震害特征。采用专家经验法, 结合历史地震资料 and 各类房屋比例, 建立了该地区农村房屋抗震性能指数, 并以县为单位, 绘制了该地区农村抗震能力评价图。结果表明: 张家口地区农村房屋以砖木结构和土木结构为主, 占 95%; 砖混结构和土窑洞均不足 3%; 且不同地域的房屋结构类型差别很大。该地区农村房屋抗震能力整体较差, 主要是由土木结构房屋的抗震性能较差所导致。

**关键词:** 农村房屋; 震害特征; 抗震能力; 张家口

**中图分类号:** P315.925

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2019)02-0158-08

## 0 引言

张家口位于河北省西北部, 地质构造复杂, NNE—NE 向山西地震构造带、NWW—NW 向的张家口—蓬莱地震构造带和 NE 向华北平原地震构造带在此交汇。在该地区历史上有记载的 5 级以上破坏性地震共 18 次, 其中最大震级地震为 1720 年河北沙城 6 $\frac{3}{4}$  级地震, 最近的一次为 1998 年河北张北 6.2 级地震, 次年该地又发生了 5.6 级强余震。近年来该地区地震活跃, 先后发生 2002 年怀来 4.4 级地震, 2014 年涿鹿 4.3 级地震(冉勇康等, 1992; 蔡华昌等, 1997; 李海孝等, 2003)。该地区地形复杂, 经济欠发达, 仍有相当一部分人居住在农村, 农村房屋多为自建, 基本不设防, 结构设计不合理, 选址不恰当, 致使该地区的民居抗震能力明显不足, 每次地震均造成房屋不同程度破坏。以 1998 年张北地震为例, 地震共造成 49 人死亡, 4 万多人失去住所, 房屋毁坏约 8.7 万间、严重破坏 9 万多间, 直接经济损失超过 8 亿元。和同等强度地震相比, 此次地震造成的人员伤亡多, 房屋破坏严重, 财产损失巨大, 其中毁坏和破坏的房屋均为农村房屋, 死亡人员均分布

在农村(蔡华昌等, 1998; 张启富等, 1999)。

房屋的破坏是造成人员伤亡与经济损失的主要原因。我国农村地区由于历史、经济等原因, 房屋抗震能力普遍较差, 是破坏性地震人员伤亡和房屋破坏的重灾区。前人(贾晓辉等, 2016; 吕国军等, 2016; 张合等, 2017)对张家口地区农村房屋抗震性能进行了调查研究, 但由于调查样本不足等原因, 只对该地区房屋的抗震性能进行了简单定性评价, 无法进行量化。本文收集了张家口地区历史地震资料及震害情况并进行实地调查, 总结了该地区农村各类房屋的建筑特征, 分析震害特征, 给出抗震性能指数, 建立了该地区农村房屋抗震性能指数。

## 1 农村房屋调查及建筑特征

### 1.1 调查点设置及调查内容

本文依据张家口的行政区划均匀设置了调查点。张家口共有 16 个县(区), 其中桥东区、桥西区、下花园区和宣化区的一部分是张家口市所在地, 农村民居房屋较少, 未列入调查范围。余下 13 个县(区)共有 210 个乡镇, 每个乡镇选 3 个自然村进行调查, 共设置 630 个调查点。该地

\* 收稿日期: 2018-10-18.

基金项目: 河北省地震科技星火计划项目重点项目(DZ20160621075)和面上项目(DZ20170511074)联合资助.

♣ 通讯作者: 刘志辉(1971-), 高级工程师, 主要从事地震应急管理、地震风险评估和地震应急保障等工作.  
E-mail: 55156916@qq.com.

区乡镇政府所在地已初具小城镇规模，故本调查不包括乡镇政府所在地。调查点的选取原则为紧靠乡镇政府所在地1个，最偏远地区1个，介于两者之间1个，且在整个乡镇均匀分布，见图1。

本次调查包括初查和普查2种形式。初查主要通过现场询问、填写信息表格、房屋拍照等方式开展，确定该地区农村房屋主要结构类型及影响抗震能力的因素。该地区农村房屋以砖混结构、砖木结构、土木结构和土窑洞为主，其他类型房屋很少；根据以往震害经验，对该地区农村房屋抗震能力有影响的主要因素为房屋结构类型、房

屋建筑年代、房屋地基基础、抗震措施及房屋所处场地条件等（孙柏涛，胡少卿，2005；王强，2009；刘莉，2010；卜永红，2013；GB50011—2010）。普查是对各调查点初查得到的影响抗震能力的因素进行详细调查，每个调查点填写一张表格，主要包括调查点的地形地貌、场地条件和各类结构的占比等。同时对每个调查点随机抽取各类结构类型房屋各1栋，共抽取了1 790栋，更加详细地调查抽样房屋的各项信息，记录房屋结构类型、建造年代、用途等，形成房屋抗震能力调查表（刘珍等，2018）。

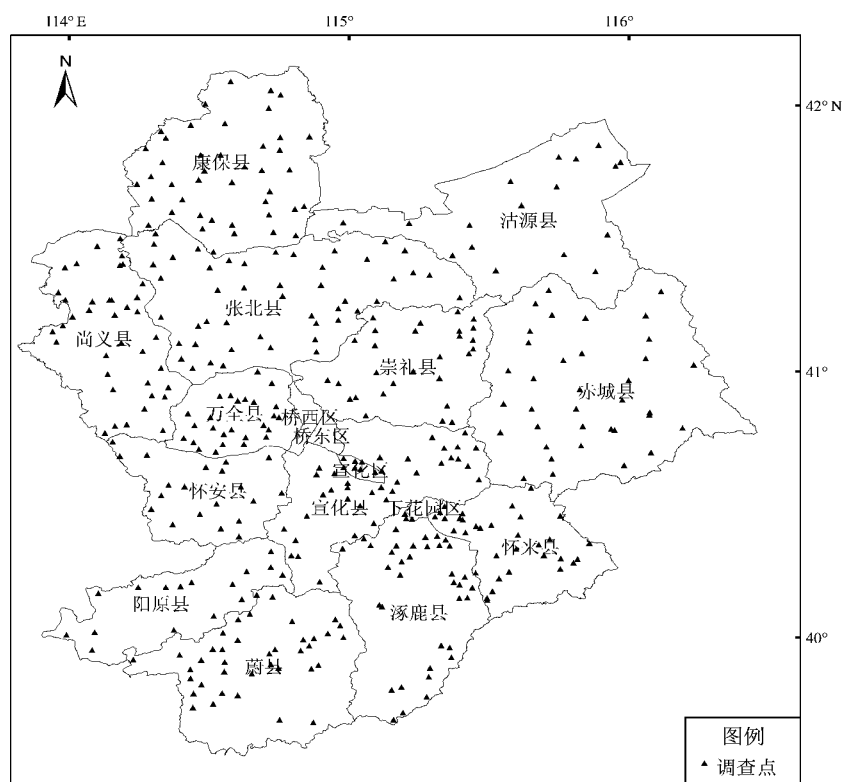


图1 张家口地区调查点分布图

Fig. 1 Distribution map of survey points in Zhangjiakou area

## 1.2 调查结果

调查统计得到张家口地区农村房屋各结构类型占比（表1）。该地区农村房屋以砖木结构和土木结构房屋为主，两者之和近95%；砖混结构房屋和土窑洞均不足3%；普查发现尚有少量的框架结构和毛石结构房屋，框架结构忽略不计，毛石结构类型并入土木结构。不同地域的房屋结构类型差别很大，在北部的张北县砖木结构房屋超过55%，土木结构房屋超过40%；在东部的怀来县

砖木结构房屋为74%，土木结构房屋只有15%，砖混结构房屋达11%，并有少量的框架结构房屋；在南部的蔚县土木结构房屋超过50%，砖木结构房屋不足40%，并存在一定数量的毛石结构房屋；在西部的阳原县砖木结构房屋不足30%，土木结构房屋超过50%，土窑洞达到17.8%；在张家口市区附近的宣化区砖木结构房屋达80%以上，砖混结构房屋也接近10%。以上数据表明具有地域性代表的建筑类型主要是由当地的经济水平以及

表 1 张家口地区农村房屋各结构类型占比

Tab. 1 Proportion of various structural types  
of rural housings in Zhangjiakou area

编号	县名	各类结构房屋占比 (%)			
		砖混结构	砖木结构	土木结构	土窑洞
1	张北	1.9	55.3	42.8	0.0
2	尚义	1.1	50.2	48.7	0.0
3	康保	1.6	49.1	49.3	0.0
4	沽源	1.1	44.7	54.2	0.0
5	赤城	0.7	33.9	63.2	2.2
6	崇礼	0.9	40.6	55.5	3.0
7	怀来	11.0	74.0	15.0	0.0
8	涿鹿	1.7	51.9	46.4	0.0
9	宣化	9.7	81.4	8.9	0.0
10	蔚县	1.7	37.5	53.0	7.8
11	万全	0.1	62.2	37.7	0.0
12	怀安	1.0	30.8	54.1	14.1
13	阳原	1.1	27.7	53.4	17.8
平均值		2.8	49.5	44.8	2.9

自建房就地取材的建筑材料所决定的。

1.3 房屋建筑特征分析

根据调查结果，总结了该地区农村各结构类型房屋的建筑特征，典型照片见图 2。

1.3.1 砖混结构房屋

此类结构房屋广泛分布，但总体数量不多，占比不足 3%。主要分为 2 类：一为办公、学校、卫生所等公用建筑；二为少部分用于居住的自建房，大多为 2000 年后建造。此类房屋采用纵横墙混合承重，墙体采用普通黏土砖和水泥砂浆砌筑，外墙厚为 24 cm，内墙厚为 24 cm 或者 12 cm；多为砌体基础，基础普遍埋深为 60 ~ 100 cm；前墙开门窗，门窗上设有混凝土过梁，未见圈梁；屋盖为现浇混凝土屋盖，部分地区存在的抗震改造房为轻屋盖体系，人字坡形，以钢屋架上覆敷彩钢瓦方式建造。此类房屋多有混凝土梁以及圈梁，存在一些预制板屋顶。此类结构房屋虽大多未经抗震设计，但地基基础好、砌筑质量较高、墙体刚度大，抗震能力相对较好，但由于构造措施缺失、节点相对较弱、前墙开洞过大等原因，致使整体稳定性和抗剪能力仍不高。

1.3.2 砖木结构房屋

此类结构房屋广泛分布，是主要的房屋类型，

占比约 50%，大多建造于 20 世纪 90 年代，主要用于生活居住，均为自建平房。横墙作为承重墙，纵墙侧向支撑横墙以保证房屋的整体性和侧向稳定性，墙体采用普通黏土砖和水泥砂浆或砂土泥浆砌筑，部分内墙为土坯墙；地基多为石头或砖砌基础，普遍基础埋深为 20 ~ 50 cm；前墙开门窗，门窗上一般设有混凝土或木制过梁，后墙多开通风小窗；屋盖为木屋盖体系，多为人字坡形，单坡屋面占一定比例，属于硬山搁檩。此类结构房屋未经抗震设计，均未采取有效的抗震构造措施，墙体粘结度较差、砌筑不规范、砖墙承重等因素致使房屋整体稳定性和抗剪能力不足，抗震能力一般。

1.3.3 土木结构房屋

此类结构房屋分布面较广，是第二主要的房屋类型，总体数量庞大，占比约 45%，均为 20 世纪 90 年代前建造，尚有大量用于生活居住。横墙承重，墙体由夯土或土坯砌筑，常见在土墙外加包一层砖的情况（俗称“两重皮”），主要为了美观以及防止后墙外闪，对结构整体抗震无任何有利作用。外墙厚为 37 cm 或 50 cm；部分土坯墙内埋置竖向木柱以支撑前墙开洞；地基一般为夯土或者石头基础，普遍基础埋深为 20 ~ 50 cm；屋盖多为人字坡形式，以檩上搁椽、椽上铺草、草上盖瓦方式建造。此类结构房屋墙体刚度不足，砌筑质量差，连接处未作处理，地基埋深浅，致使整体稳定性和抗剪能力差，抗震能力较差。

1.3.4 土窑洞

土窑洞尚有一定数量，占比不足 3%，均为 20 世纪 80 年代前修建，现主要用于仓房，极少量用于生活居住。土窑洞分独立式和非独立式 2 种。独立式由生土夯制加土质屋盖，土墙厚度超过 100 cm，屋盖为生土加茅草，厚度超过 60 cm，危房改造中进行了部分加固，在前墙外砌筑一层黏土砖或在屋盖上加一层轻钢屋顶。非独立式是依山而建，内墙厚为 60 ~ 90 cm，前墙开拱形门窗。独立式土窑洞墙体厚，具有一定稳定性，但由于屋盖重，没有做相应的地基处理和必要的抗震措施，且年代久远，受雨水的浸泡，抗震能力极差；非独立式土窑洞由于倚靠山体而建，整体稳定性好于独立式土窑洞。

1.3.5 其它结构类型房屋

在个别调查点分布有框架结构房屋，为 2010

年以后建造,经过正规抗震设计,抗震性能良好,主要用于宾馆酒店等商业用途,占比很小,在抗震能力分析中忽略不计。此外,在贫困山区尚存在一定数量的毛石结构房屋,均为20世纪90年代前建造,和土木结构房屋类似,只是承重墙由毛石和砂土泥浆砌筑而成。由于毛石不规整,砌筑的墙体稳定性差,抗震性能还不及土木结构房屋,现普遍用于仓房,基本无人居住,抗震能力分析中也忽略不计。

调查表明,农村中一些年代较早的土窑洞和土木结构房屋因施工质量差、材料强度低等原

因,已很少有人居住,逐渐被淘汰;抗震性能一般的砖木结构房屋普遍使用,随着城市化进程的加快,此类房屋也逐渐失去其用于长期居住的功能;质量相对较好的砖混结构房屋开始出现,个别地方出现了经过正规抗震设计的框架结构房屋。农村房屋由土窑洞、土木结构和砖木结构逐渐向砖混结构发展,甚至向框架结构过渡,整体抗震能力逐步提升。但由于农村地区房屋点多量大,抗震性能差的房屋将在很长一段时期内存在,并为人居住使用,农村地区的防震减灾工作依然任重道远。



(a) 砖混结构



(b) 砖木结构



(c) 土木结构



(d) 土窑洞(加砖前脸)

图2 张家口地区农村主要房屋结构类型照片

Fig. 2 Photos of main structure types of rural housing in Zhangjiakou area

## 2 农村房屋抗震能力评价

### 2.1 历史地震震害特征

根据张家口地区及附近河北张北、山西大同

—阳高等6次地震的烈度分布及灾害损失评估报告等资料,结合各类结构房屋建筑特征,并参照历年中国大陆地震灾害损失评估资料(中国地震局震灾应急救援司,2010,2015;中国地震局监测预报司,2001),总结了该地区农村各类房屋的

震害特征<sup>①</sup>:

(1) VI度影响区:土窑洞部分后墙开裂甚至垮塌,其他墙体原有裂缝加宽、加长;土木结构房屋部分墙体开裂,少数后墙外闪,部分掉瓦,少数局部坍塌;砖木结构房屋部分墙体开裂,个别后墙外闪,少数掉瓦;砖混结构房屋个别墙体出现明显裂缝,部分墙体出现细微裂缝。

(2) VII度影响区:土窑洞前墙部分开裂甚至垮塌,独立式土窑洞后墙大多数外闪,其他墙体原有裂缝明显加宽、加长;土木结构房屋大多数墙体开裂,大多数后墙外闪,部分房屋整体坍塌;砖木结构房屋个别山墙倒塌,部分后墙外闪,多数掉瓦;砖混结构房屋少部分墙体开裂,多数掉瓦,部分烟囱倒塌。

(3) VIII度影响区:土窑洞大多数整体坍塌;土木结构房屋绝大多数整体坍塌;砖木结构房屋大部分墙体外闪,屋顶部分塌落;砖混结构房屋大部分墙体开裂,但不会大面积倒塌。

## 2.2 抗震能力评价方法

房屋的抗震能力与抗震设防情况、建筑年代、建筑结构类型、施工质量及场地条件等有关,而农村房屋抗震能力主要与所处场地条件、结构类型、有无抗震措施、建筑年代长短及施工质量等因素有关。林世铨等(2011)加入区域地震危险性,运用 Push-over 分析方法建立了建筑物抗震性能指标,研究了群体建筑物的抗震能力;明小娜等(2017)通过房屋结构比例及区域设计基本加速度值,建立了区域房屋抗震性能指数,用于量化表达区域房屋抗震能力;甄盟和杨斌(2015)通过量化房屋结构类型、建筑年代和地基基础等参数,建立了区域房屋的抗震性能参数,用于量化房屋的抗震能力。笔者通过深入调查研究,发现农村地区房屋均为自建,选址随意性大,没有统一的标准和规划,做工、用材因地制宜,抗震措施根据经济条件设置,建筑年代跨度大,影响房屋抗震能力的因素很难量化,房屋抗震能力离散性很大。因此,可仅考虑张家口地区农村房屋结构类型比例,建立区域房屋抗震性能指数,用于表达特定区域房屋的抗震能力,该方法计算简单,参数通过统计调查和专家判断得到,可表

示为:

$$I = P_{zh} \times I_{zh} + P_{zm} \times I_{zm} + P_{lm} \times I_{lm} + P_{yd} \times I_{yd} \quad (1)$$

式中:  $I$  表示以县为区域的房屋抗震性能指数;  $P_{zh}$ ,  $P_{zm}$ ,  $P_{lm}$ ,  $P_{yd}$  分别指以县为单位的砖混结构、砖木结构、土木结构和土窑洞房屋所占比例;  $I_{zh}$ ,  $I_{zm}$ ,  $I_{lm}$ ,  $I_{yd}$  分别指以县为单位的砖混结构、砖木结构、土木结构和土窑洞房屋的抗震性能指数,采用专家经验法获得。

专家经验法就是震害经验丰富的专家根据调查得到的数据,结合实践经验为每个调查点的每类结构房屋打分,并将打分结果作为该调查点每类房屋的抗震性能指数,综合考虑各县的每个调查点的打分情况,确定各县各结构类型房屋的抗震性能指数。张家口地区设计基本加速度值为  $0.05 \sim 0.20 \text{ g}$ , 抗震设防烈度为 VI, VII, VIII度。专家打分时认定房屋未设防时,打分为低于 0.049;房屋在 VI 度影响下不至于严重破坏或倒塌时,打分为  $0.05 \sim 0.089$ ;房屋在 VII 度影响下不至于严重破坏或倒塌时,打分为  $0.90 \sim 0.179$ ;在 VIII 度影响下不至于严重破坏或倒塌时,打分为高于 0.18。考虑专家经验法和专家自身经验关系很大,特邀请 5 位专家独立打分,平均后得到各县各结构类型房屋的抗震性能指数(表 2)。从表 2 可看出,砖混结构、砖木结构和土木结构房屋抗震性能指数分别为  $0.16 \sim 0.20$ ,  $0.08 \sim 0.14$  和  $0.05 \sim 0.09$ ,因各县房屋场地条件、施工质量、是否采取抗震措施、门窗开口大小及房屋长宽比等诸多因素影响,同一类型房屋其抗震性能指数存在一定差异。

将计算得到的区域房屋抗震性能指数分为 0.18 以上,  $0.09 \sim 0.18$ ,  $0.05 \sim 0.09$  和 0.05 以下 4 档,分别代表屋抗震能力较好、一般、较差和差(表 3)。

## 2.3 抗震能力评价结果

按照式(1),根据调查得到的张家口地区各县各结构类型房屋占比数据(表 1)以及抗震性能指数(表 3),计算出该地区各县农村房屋的抗震性能指数,并依据表 2 划定了各县农村房屋抗震能力等级(图 3、表 3)。

<sup>①</sup> 河北省地震局地震灾害损失评估组. 1998. 张北 6.2 级地震灾害损失评估报告.

表 2 张家口地区农村房屋抗震能力计算结果

Tab. 2 Seismic capacity calculation results of rural housings in Zhangjiakou area

编号	县名	各类结构房屋抗震性能指数（专家经验法）				区域抗震性能指数	抗震能力等级
		砖混结构	砖木结构	土木结构	土窑洞		
1	张北	0.18	0.10	0.07	无	0.088	较差
2	尚义	0.18	0.10	0.07	无	0.086	较差
3	康保	0.17	0.09	0.06	无	0.076	较差
4	沽源	0.16	0.10	0.06	无	0.079	较差
5	赤城	0.16	0.08	0.05	0.04	0.060	较差
6	崇礼	0.18	0.09	0.07	0.04	0.078	较差
7	怀来	0.20	0.14	0.09	无	0.139	一般
8	涿鹿	0.19	0.12	0.08	无	0.103	一般
9	宣化	0.20	0.14	0.08	无	0.141	一般
10	蔚县	0.16	0.10	0.05	0.04	0.068	较差
11	万全	0.17	0.11	0.07	无	0.095	一般
12	怀安	0.16	0.09	0.06	0.04	0.067	较差
13	阳原	0.16	0.09	0.06	0.04	0.066	较差

表 3 张家口地区农村房屋抗震能力评估结果

Tab. 3 Evaluating standard of seismic capacity of rural housings in Zhangjiakou area

编号	区间	抗震能力等级	不同地震烈度抗震能力
1	$I \geq 0.18$	较好	达到Ⅷ度影响时，房屋少量损坏，但不至于大面积损毁
2	$0.09 \leq I < 0.18$	一般	达到Ⅶ度影响时，房屋少量损坏，但不至于大面积损毁
3	$0.05 \leq I < 0.09$	较差	达到Ⅵ度影响时，房屋少量损坏，但不至于大面积损毁
4	$I < 0.05$	差	达到Ⅵ度影响时，房屋大面积损坏

由计算结果得知，张家口地区农村房屋抗震能力整体较差，主要是由土木结构房屋的抗震性能较差所导致。怀来县、涿鹿县、宣化区和万全区位于永定河上游，大部分村落位于河谷谷地，地势平坦，场地条件较好；怀来县和涿鹿县紧靠北京，万全区和宣化区紧靠张家口市区，经济较发达，房屋建筑质量较好，砖木结构房屋较多，并且有一定比例的砖混结构房屋存在，整体抗震能力一般，稍好于其它县（区）。崇礼区离张家口市区较近，且将举办冬奥会，农村老旧房屋逐步淘汰重建，抗震能力得到了提升；张北、尚义、康保和沽源 4 个县位于坝上地区，相当一部分房屋

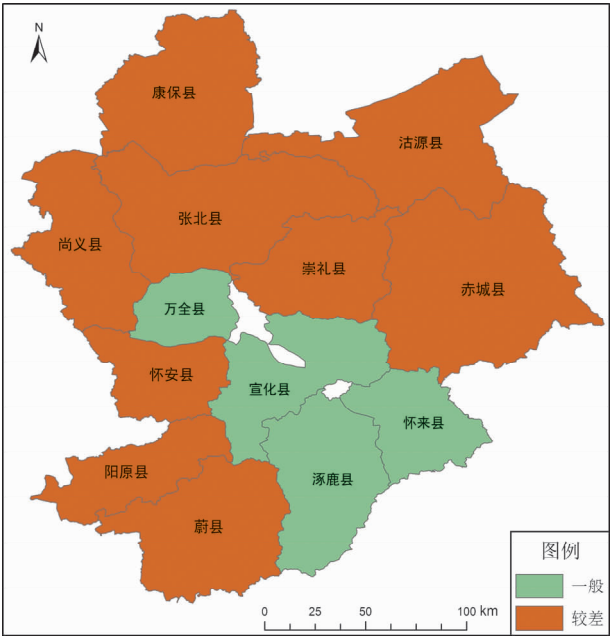


图 3 张家口地区农村房屋抗震能力评价图

Fig. 3 Seismic capacity evaluation diagram of rural housings in Zhangjiakou area

为张北地震后重建，房屋的抗震能力有了提升；但这 5 个县（区）仍有大量的砖木结构和土木结构房屋存在，整体抗震能力仍较差。蔚县、阳原、怀安和赤城地处偏远山区，房屋建筑质量差，存有大量土木结构房屋，且有一定比例的土窑洞，整体抗震能力差。

怀来等抗震能力一般的 4 个县(区)当遭受Ⅶ度的地震影响时,张北等抗震能力较差的 9 个县(区)遭遇Ⅵ度的地震影响时,除个别土窑洞和土木结构房屋集中的地区外,农村房屋不至于大面积损毁,也不会造成巨大的损失。但是怀来和涿鹿设防基本烈度为Ⅷ度,康保和沽源设防基本烈度为Ⅵ度,其他各县设防基本烈度为Ⅶ度,由此看来,张家口地区农村房屋抗震能力仍然不足。

### 3 结论

为了宏观评价张家口地区农村房屋的抗震能力,笔者对该地区农村房屋进行了详细抽样调查,总结了砖混、砖木、土木和土窑洞 4 类房屋的建筑特征,并分析了其震害特征,在此基础上计算房屋抗震性能指数,评价了农村房屋的抗震能力,绘制了该地区农村抗震能力评价图。结果表明,张家口地区农村房屋抗震能力整体较差,地震灾害风险很大。为了提升当地农村房屋的抗震能力,建议加大资金扶持力度,做好新农村整体规划,加强防灾减灾宣传,切实提升当地的防震减灾能力。

#### 参考文献:

卜永红. 2013. 村镇生土结构房屋抗震性能研究[D]. 西安:长安大学.  
 蔡华昌,刁桂苓,刁建新,等. 1998. 张北 6.2 级地震考察和震害损失[J]. 华北地震科学,16(1):48-54.  
 蔡华昌,张四昌,李祥春,等. 1997. 1337 年河北怀来 $\frac{1}{2}$ 级地震研究

[J]. 华北地震科学,15(3):61-66.  
 贾晓辉,李皓,李姜,等. 2016. 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,38(增刊1):128-133.  
 李海孝,张常慧,宋晓冰,等. 2003. 2002 年 8 月 3 日沙城 4.4 级地震震源特征[J]. 地震地磁观测与研究,24(6):13-17.  
 林世斌,谢礼立,公茂盛,等. 2011. 城市建筑物抗震能力评估方法[J]. 自然灾害学报,20(4):31-37.  
 刘莉. 2010. 城市防震减灾能力标定及可接受风险研究[J]. 国际地震动态,373(1):37-38.  
 刘珍,文彦君,薛界兰,等. 2018. 宝鸡农村地区地震灾害房屋脆弱性空间变化[J]. 华北地震科学,36(4):25-32.  
 吕国军,张合,孙丽娜. 2016. 张家口地区农村房屋抗震性能调查分析研究[J]. 地震工程学报,38(增刊1):302-307.  
 明小娜,周洋,卢永坤,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.  
 冉勇康,方仲景,李志义,等. 1992. 河北怀来—涿鹿盆地北缘活断层的古地震事件与断层分段[J]. 中国地震,8(3):74-85.  
 孙柏涛,胡少卿. 2005. 基于已有震害矩阵模拟的群体震害预测方法研究[J]. 地震工程与工程振动,25(6):102-108.  
 王强. 2009. 砖木结构房屋抗震性能评价方法研究[D]. 兰州:中国地震局兰州地震研究所.  
 张合,吕国军,孙丽娜. 2017. 邢台市重要建筑中砖混结构震害预测[J]. 华北地震科学,35(1):73-77.  
 张启富,兰青龙,孟雁英. 1999. 河北张北 6.2 级地震中农村房屋破坏特征分析[J]. 山西地震,97(2):36-38.  
 甄盟,杨斌. 2015. 基于抽样调查的山西省农村民居抗震性能分析研究[J]. 山西地震,164(4):33-39.  
 中国地震局监测预报司. 2001. 中国大陆地震灾害损失评估汇总(1996—2000)[M]. 北京:地震出版社.  
 中国地震局震灾应急救援司. 2010. 2001—2005 年中国大陆地震灾害损失评估汇编[M]. 北京:地震出版社.  
 中国地震局震灾应急救援司. 2015. 2006—2010 年中国大陆地震灾害损失评估汇编[M]. 北京:地震出版社.  
 GB 50011—2010,建筑抗震设计规范[S].

## Features and Seismic Capacity Evaluation of Rural Houses in Zhangjiakou Area

LIU Xiaodan<sup>1,2</sup>, LIU Zhihui<sup>1</sup>, LIU Long<sup>1</sup>, MA Xudong<sup>1</sup>, LIU Jiajia<sup>1</sup>, GUAN Hengyu<sup>1</sup>, ZUO Lijuan<sup>1</sup>

(1. *Hebei Earthquake Agency, Shijiazhuang 050022, Hebei, China*)

(2. *School of Earth and Space Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, Anhui, China*)

### Abstract

Based on the field survey results of 630 survey sites in 13 counties (districts) of Zhangjiakou City, Hebei Province, we summarize the houses characteristics and seismic damage of the four types of houses, such as brick-concrete, brick-wood, civil houses and loess cave dwellings. Combining historical seismic data and the proportion of various buildings, we established the aseismic performance index by the expert experience method, and drew an evaluation map of seismic capacity of rural houses in the study area. The results show that the rural houses are dominated by brick-wood and soil-wood structures, the proportion of them account for 95%, while the proportion of brick-concrete structure and loess cave dwellings are less than 3%, and the house structures are different in different regions. The seismic capacity of the rural houses is low, because of the poor seismic performance of civil structure houses.

**Keywords:** rural houses; earthquake damage characteristic; seismic capacity; Zhangjiakou