

# 青海玉树 7.1 级地震灾后重建地区房屋 地震易损性研究<sup>①</sup>

杨理臣, 卢 宁, 樊光洁, 郭 鹏

(青海省地震局, 青海 西宁 810001)

**摘要:**玉树 7.1 级地震已过去 6 年时间, 重建后的玉树焕然一新。尤其是房屋建筑, 与震前相比, 新玉树房屋建筑的地震易损性发生了巨大变化。本文通过对玉树 7.1 级地震的震害情况以及玉树灾后恢复重建地区的地理状况, 房屋建筑结构类型进行调查, 采用类比方法对玉树地区重建后房屋建筑的易损性矩阵进行了修正。以期得到可适用于该地区的房屋破坏概率矩阵, 为未来震灾快速评估和辅助决策提供必要支持。

**关键词:** 易损性; 玉树地震; 灾后恢复重建; 建筑结构类型

中图分类号: P315.9

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2016)增刊 2-0314-05

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2016.Supp.2.0314

## The Analysis of Vulnerability of Reconstruction Buildings in the Area Stricken by Yushu 7.1 Earthquake, Qinghai

YANG Li-chen, LU Ning, FAN Guang-jie, GUO Peng

(Earthquake Administration of Qinghai Province, Xining 810001, Qinghai, China)

**Abstract:** It's been almost six years since Yushu 7.1 earthquake in 2010, and the rebuilt Yushu takes on an entirely new look, especially in buildings. Compared the vulnerability of buildings before the earthquake and the vulnerability of reconstruction buildings after the earthquake, great changes have taken place. In this paper, the disaster caused by Yushu 7.1 earthquake is reviewed briefly first. Second, the information about the vulnerability of the reconstruction buildings was acquired by field investigation. Finally, an analogy method was employed to modify the Damage Probability Matrixes of buildings which are similar to them in construction technique and materials. The modified Damage Probability Matrixes can reflect the vulnerability of the rebuilt buildings.

**Key words:** vulnerability; Yushu earthquake; restoration and reconstruction after disaster; building structure type

### 0 引言

青海是一个多震的省份, 地震活动比较频繁, 据中国地震台网中心数据统计, 2000—2016 年初青海省共发生 5 级以上地震 62 次, 6 级以上地震 10 次。其中 2010 年 4 月 14 日发生的玉树 7.1 级地震造成 269 8 人遇难, 270 人失踪, VI 度及以上受灾面积达

25,123 km<sup>2</sup>, 受灾人口约 23 万, 直接经济损失 228.47 亿元<sup>[1]</sup>。房屋建筑的倒塌是造成人员伤亡如此惨重和经济损失如此巨大的最主要因素。随着三年灾后恢复重建任务的完成, 玉树各类新建和加固房屋建筑的抗震性能显著提高, 同时, 在恢复重建区外

① 收稿日期: 2016-12-02

基金项目: 地震应急青年重点任务(CEA\_EDEM-201510)

作者简介: 杨理臣(1982—), 男, 工程师, 主要从事地震应急关键技术研究。E-mail: m18297108539@163.com。

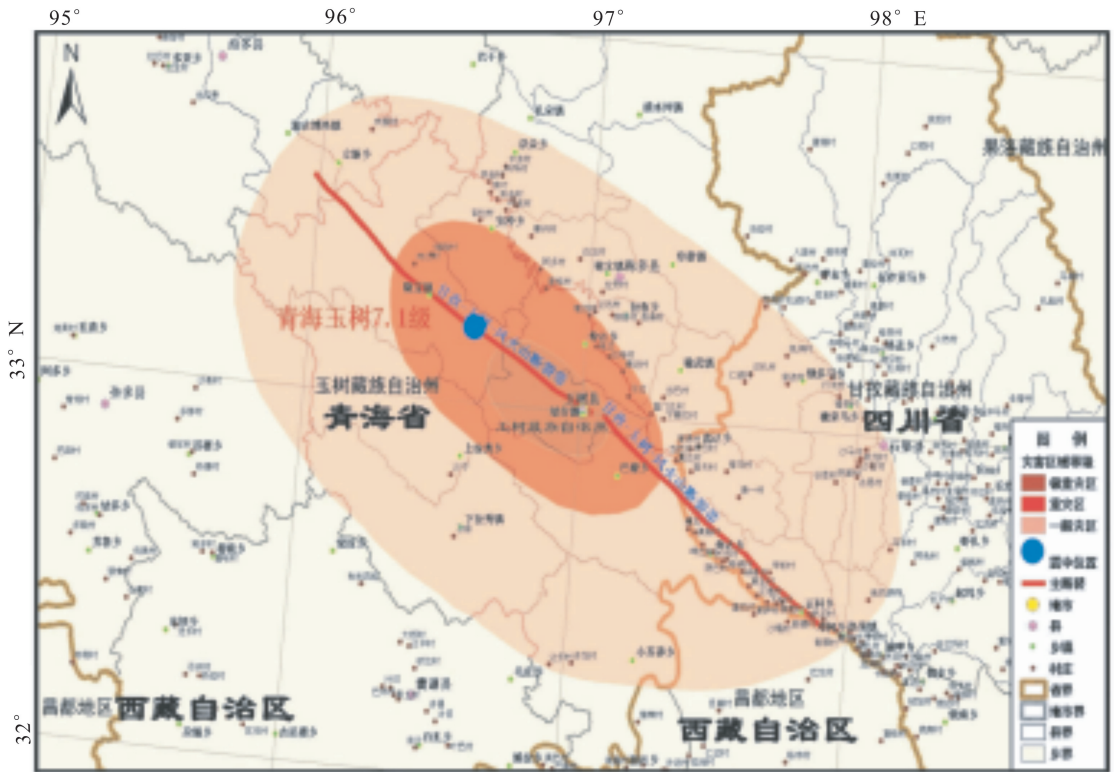
仍有部分旧式民宅有待改造。总体而言,玉树地区震前的地震易损性矩阵已不再适用。因此,有必要对玉树地区房屋建筑的现状进行详细调查和研究,包括房屋结构类型、各类型比例、地震易损性等。这不仅为地震应急基础数据库的更新提供了基础数据,而且对于未来震灾快速评估和辅助决策等具有重要意义。

### 1 青海玉树 7.1 级地震灾害概况

玉树 7.1 级地震发生于 2010 年 4 月 14 日,震源深度 14 km,仪器震中位于 96.6°E,33.2°N<sup>[2]</sup>。宏观震中位于玉树县结古镇隆洪达附近(96.85°E、33.06°N)。玉树 7.1 级地震的发震断裂为甘孜—玉树断裂带<sup>[3-5]</sup>。地震产生了两段同震地表破裂带,总体

走向 310°~320°,总长约 65 km,实测最大水平位移约 1.8 m<sup>[3,6]</sup>。

该地震属浅源强震,造成玉树州结古镇、隆宝镇、巴塘镇房屋大面积倒塌,市政基础设施和生命线工程严重破坏,极震区烈度达Ⅷ度。此次地震是青海省近 20 年以来破坏最为严重的一次地震,也是继 2008 年汶川地震后,国内发生的破坏最为严重的地震<sup>[7]</sup>。中国地震局玉树 7.1 级地震现场应急工作队根据地震灾区人口分布、受灾严重程度等,将地震灾区分为极重灾区、重灾区和一般灾区<sup>[8]</sup>(图 1)。本文所涉及的恢复重建区为青海省玉树藏族自治州玉树、称多、治多、杂多、囊谦、曲麻莱县 6 个市县 19 个乡镇。



(引自中国地震局玉树 7.1 级地震现场工作队材料)

图 1 青海玉树 7.1 级地震受灾区域范围

### 2 玉树震前房屋建筑及其地震易损性

玉树 7.1 级地震检验了震前玉树灾区房屋地震易损性状况。根据玉树 7.1 级地震现场工作队的调查资料,玉树灾区房屋结构类型主要分为土木结构、砖木结构、空心砌体/砖混结构和框架结构,各结构类型房屋比例见表 1。除框架结构房屋破坏较少

外,其他各类结构房屋在地震中均出现了不同程度的破坏(表 2)。

表 1 2010 年青海玉树 7.1 级地震灾区房屋建筑结构比例

结构类型	土木结构	砖木结构	砌体结构	砖混结构	框架结构
比例/%	44	18	33	4	1

在各结构类型房屋中,破坏最为严重的是土木结构房屋。这类房屋主要为农村民房,未经过正规

设计,就地取材,无任何抗震设防措施,基本不具备抗震能力。极重灾区结古镇的土木结构房屋全部毁坏,重灾区发生严重和毁坏的土木结构房屋达到90%以上。砖木结构房屋的墙体主要用砖、片石,或组合砌筑,木屋架。其抗震性能较土木结构好,但仍未经过正规设计,缺少抗震措施,在重灾区和极重灾区破坏严重。由于灾区无条件自给粘土砖,而空心砌块可就地取材,成本较粘土砖低很多。因此,灾区绝大部分砌体结构房屋采用空心砌块砌筑墙体,预制空心板作为屋盖。这两类房屋中,只有公共用房(所占比例很小)按Ⅶ度设防,全部的民房都未采用相应的抗震设防措施,在极重灾区和重灾区破坏严重,这类房屋也是造成人员伤亡的主要类型。整体而言,玉树地区震前房屋抗震能力差,易损性高。

表2 2010年青海玉树7.1级地震各评估子区各类房屋的破坏比

评估区	结构类型	不同等级破坏比/%				
		毁坏	严重破坏	中等破坏	轻微破坏	基本完好
极重灾区	土木结构	100	0	0	0	0
	砖木结构	45	11	15	2	27
	砌体/砖混结构	0	5	15	20	60
重灾区	土木结构	41	50	9	0	0
	砖木结构	36	23	20	2	19
	砌体/砖混结构	0	0	61	0	39
一般灾区	土木结构	28	47	20	5	0
	砖木结构	10	2	17	24	47
	砌体/砖混结构	0	0	13	20	67

### 3 重建后房屋建筑情况调查

#### 3.1 灾后重建概况

震后,在灾害评估、资源环境承载能力综合评价和房屋及建筑物受损程度鉴定的基础上,经过科学评估、专家论证,国务院于2010年6月出台了《玉树地震灾后恢复重建总体规划》。规划范围包括极重灾区、重灾区的各项恢复重建内容,以及一般灾区中受损居民住房和学校、医院等公用设施,在青海省涉及玉树州玉树、称多、治多、杂多、囊谦、曲麻莱县等6个县市的19个乡镇(表3)。

根据科学选址、集约节约用地的原则,灾区城镇和大部分农牧区居民点就地重建,局部避让活动断层和地质灾害隐患点,少数农牧区居民点进行异地重建。在进行居民点恢复重建时,按以下标准设立了避让带:地震断裂带两侧各避让100m,滑坡和崩塌区避让50~100m,泥石流地段避让200~500m。在避让带内,严禁建公共和民用建筑设施,达到

充分安全避让,确保居民安全。其中隆宝镇因镇区有断裂带经过,避让带为15km<sup>2</sup>[9]。

表3 青海省玉树州恢复重建规划范围

受损程度	县	乡镇	受灾面积/km <sup>2</sup>	受灾人口/人
极重灾区	玉树	结古镇	992	106 642
重灾区	玉树	隆宝镇、仲达乡、安冲乡、巴塘乡	7 030	46 910
	玉树	上拉秀乡、下拉秀镇、小苏莽乡	22 423	69 624
一般灾区	称多	称文镇、拉布乡、歇武镇、杂朵乡、珍秦镇		
	治多	加吉博洛镇、立新乡		
	杂多	萨呼腾镇、昂赛乡		
	囊谦	毛庄乡		
	曲麻莱	巴干乡		
合计	7个县	19个乡镇	30 445	223 176

#### 3.2 灾后重建房屋结构类型

在玉树7.1级地震中,框架结构和设防砖混结构房屋表现出了良好的抗震性能,在极重灾区这两种结构的房屋建筑虽有损坏,但倒塌很少,而其他结构房屋均有不同程度的倒塌,其中土木结构、砖木结构和空心砖砌体结构房屋损毁严重。因此,在灾后重建工程中,当地高度重视房屋的防灾减灾能力,严格执行抗震设防标准和建设规范。新建房屋全部采用钢筋混凝土框架结构(图2)和砖混结构(图3),一般建筑按Ⅶ度设防,学校、医院等重要建筑提高一度设防。砖混结构房屋全部设置了上下圈梁和构造柱,墙体采用8孔砖进行砌筑(图4),在建造方法采用“三一”灌浆砌砖法,即一铲灰、一匹砖、一揉压、再增加一灌缝的操作[10],进一步提高了其抗震性能;屋盖为现浇水泥混凝土。根据当地居民的生活习惯调整了住房建筑面积标准,户均建筑面积在120m<sup>2</sup>以内,以此来避免房屋结构开间较大导致抗震性能下降。同时,新建民居的建筑风格还突出了地域和民族特色。



图2 在建中的框架结构居民建筑



图 3 在建中的砖混结构居民建筑



图 4 8 孔砖作为填充砌体

从 2015 年 11 月至 2015 年 12 月,笔者调研了灾区重建和加固房屋的情况。经与当地政府部门座谈和实地抽样调查,得到灾后重建各结构类型房屋比例如下表 4 所示:

表 4 玉树 7.1 级地震恢复重建后房屋建筑结构比例

结构类型	设防砖混结构	框架结构	其他结构(土木、砖木、砌体)
比例/%	51	42	7

其他结构是指玉树地震后离震中较远的部分重建区域内基本完好的土木、砖木、砌体房屋,由于震后群众防震减灾意识的提升,这部分房屋建筑除少部分还有人居住外,基本都另作他用。

#### 4 玉树灾后重建地区房屋建筑地震易损性分析

由于玉树地区恢复重建范围较大,震前的老旧房屋除极少数基本完好和轻微破坏程度的房屋还有少部分人使用外,其他房屋建筑都已推倒重建,因此玉树地区土木结构、砖木结构、空心砖砌体结构的房

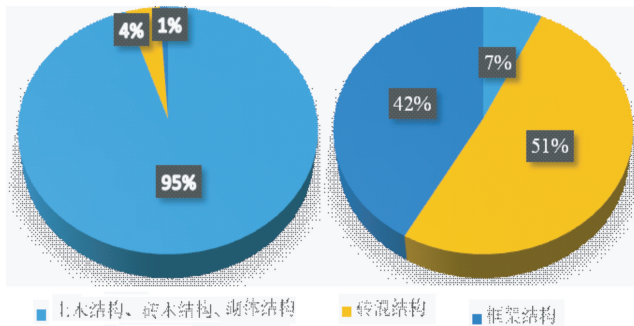


图 5 玉树地震前后灾区房屋建筑结构比例变化 (左图为地震前,右图为地震后)

屋建筑地震易损性矩阵不必再作调整,可沿用之前的易损性矩阵。玉树地区地震记载资料丰富,但是震后有房屋建筑震害损失的资料只有 2010 年 4 月 14 日的玉树 7.1 级地震,因此无法使用历史震害统计的方法统计回归给出易损性矩阵,本文采取类比的方法,参考 2008 年汶川地震灾后重建结束后四川省地震局研究得出的四川中北部地区的易损性矩阵,从重建区域房屋的建筑结构、地形坡度、工程地质等 3 个方面进行类比分析。

#### 4.1 重建区建筑结构

在建筑结构方面,四川中北部地区与玉树地区的房屋建筑结构类型基本相同,只多出一类穿斗木结构的房屋,在灾后重建中两省均高度重视房屋的防灾减灾能力,严格执行抗震设防标准和建设规范,新建房屋多采用设防砖混和框架结构的结构体系,建筑结构类型较为相近。

#### 4.2 重建区地形坡度

从地形坡度上来看,四川中北部重建区分为:地形起伏、地形崎岖两种类型。而玉树地区重建区则分为:地形平缓、地形起伏两种类型。两个地区的地形坡度比较如下表 5:

表 5 玉树灾后重建区域与汶川灾后重建区域坡度类型比较

	类型	地形坡度特征	面积/km <sup>2</sup>	比重/%
汶川灾后重建地区	地形平缓	<8°,比重>35%; >25°,比重<10%	20 717	15.71
	地形起伏	<8°,比重<30%; 8°-25°,比重>35%; >25°,比重<45%	28 130	21.34
	地形崎岖	<8°,比重<10%; >25°,比重>45%	82 999	62.95
玉树灾后重建地区	地形平缓	<8°,比重>20%; >25°,比重<20%	17 232	47.26
	地形起伏	<8°,比重<20%; >25°,比重<20%	19 234	52.74

从上表可看出,玉树灾后重建区域的坡度总体小于汶川地震灾后重建区域中四川中北部地区的坡度,房屋多建在地形平缓和地形起伏的地区,综合斜坡稳定性分析,同类房屋建筑的地震易损性在仅考虑坡度影响的情况下,玉树地区灾后重建房屋的地震易损性低于四川中北部地区房屋的地震易损性。

#### 4.3 工程地质

根据汶川、玉树地震资源环境承载能力资料显示,四川中北部重建区域和玉树重建区域除极个别乡镇的房屋建筑工程地质较差,其余大部分新建房屋选址均在工程地质条件良好的区域。

#### 4.4 玉树灾后重建地区的房屋建筑地震易损性

综合以上三种因素,结合玉树 7.1 级地震的震害资料以及玉树当地影响易损性矩阵的各种因素进行调整后,给出了灾后恢复重建后玉树地区设防砖混和框架结构的房屋建筑地震易损性矩阵。

表 6 新玉树地区房屋建筑易损性矩阵

结构类型破坏等级	不同地震烈度下的破坏比/%				
	VI	VII	VIII	IX	X
基本完好	80	70	50	9	0
轻微破坏	20	20	30	25.2	2.3
设防砖混中等破坏	0	10	20	47.1	28.4
严重破坏	0	0	10	21.3	44.6
毁坏	0	0	0	5.4	24.7
基本完好	95	90	80	55	29.5
轻微破坏	5	10	15	35.5	35
框架中等破坏	0	0	5	8.5	27
严重破坏	0	0	0	1	5.8
毁坏	0	0	0	0	2.7

从房屋建筑易损性矩阵来看,新玉树的居民住房条件发生质的飞跃,房屋建筑的抗震性能有了显著的提高,钢筋混凝土框架结构和设防砖混结构的地震易损性较之其他地区的同类结构有了明显的下降。

## 5 结论与展望

本文以青海省玉树灾后重建地区为例,在结合实地调查和历史震害经验基础上,对玉树灾后重建

地区的房屋建筑的结构类型和易损性进行了研究,体现了新玉树房屋建筑抗震能力的提升,可为实现该地区地震发生后进行房屋建筑震害和经济损失的快速评估提供依据和参考<sup>[11]</sup>。

在玉树重建中,由于考虑到少数民族风俗习惯,为了方便居民后期房屋改建,建筑单位在原有的框架房屋顶部都预留出一部分钢筋,以便居民后期以原有的建筑结构加盖,但由于经济条件的制约,部分居民没有沿用框架结构的房屋,而是以砌体的形式直接再原有房屋的基础上加盖了二层建筑,这就形成了底框结构,该结构上刚下柔,抗侧力构件不连续、不均匀,使其地震易损性远高于砖混结构的房屋,因此在提高民众的防震抗震意识的同时,还应加快当地的经济的发展。双管齐下,才能提高当地的防震减灾能力。

## 参考文献

- [1] 郑通彦,李洋,侯建盛,等.2008年中国大陆地震灾害损失述评[J].灾害学,2010,25(2):96-101.
- [2] 中国地震台网中心.青海省玉树县7.1级地震余震目录[DB/OL].2010.
- [3] 陈立春,王虎,冉勇康,等.玉树 $M_s7.1$ 地震地表破裂与历史大地震[J].科学通报,2010,55(13):1200-1205.
- [4] 陈正位,杨攀新,李智敏,等.玉树7.1级地震断裂特征与地震地表破裂带[J].第四纪研究,2010,30(3):628-631.
- [5] 李金臣,潘华,张志中.青海玉树7.1级地震构造背景[J].国际地震动态,2010,5:1-5.
- [6] 孙鑫喆,徐锡伟,陈立春,等.青海玉树 $M_s7.1$ 地震两个典型地点的地表破裂特征[J].地震地质,2010,32(2):338-344.
- [7] 秦松涛,李智敏,谭明,等.青海玉树7.1级地震震害特点分析及启示[J].灾害学,2010,25(3):65-70.
- [8] 谭明,李洋,胡伟华,等.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,2010,24(2):173-179.
- [9] 樊杰.玉树地震灾后恢复重建:资源环境承载能力评价[M].北京:科学出版社,2010:19-20.
- [10] 付庭茂.玉树灾后重建农牧民房多孔砖砌体质量控制措施浅谈[J].建筑与文化:学术版,2013(8):12-13.
- [11] 孙柏涛,陈洪富,闫培雷,等.南北地震带房屋建筑抗震能力分区特征研究——以四川省为例[J].土木工程学报,2014(S1):6-10.