

梁厚朗, 申源, 毛利, 等. 芦山  $M_s7.0$  与九寨沟  $M_s7.0$  地震灾区房屋震害特征对比研究[J]. 华南地震, 2019, 39 (3): 14–22. [LIANG Houlang, SHEN Yuan, MAO Li, et al. Comparison of Building Damage Characteristics of the Lushan  $M_s7.0$  and Jiuzhaigou  $M_s7.0$  Earthquakes[J]. South China journal of seismology, 2019, 39(3): 14–22]

## 芦山 $M_s7.0$ 与九寨沟 $M_s7.0$ 地震灾区房屋 震害特征对比研究

梁厚朗, 申 源, 毛 利, 肖本夫  
(四川省地震局, 成都 610041)

**摘要:** 通过实地调研“4.20”芦山 7.0 级地震灾区和“8.8”九寨沟 7.0 级地震灾区建筑物破坏情况, 对灾区内框架结构、砖混结构和简易结构三种类型的建筑物震害特征进行了对比。结果表明: 两次地震中相同结构类型的建筑物在同级别地震作用下其破坏程度不同, 其中砖混结构和简易结构震害特征差异性较大, 分析认为除地震本身作用外, 灾区房屋的抗震性能不同也是造成两次地震建筑物震害特征差异较大的原因。最后提出了建议以供灾区恢复重建、农村民居安全建设等借鉴和参考。

**关键词:** 芦山地震; 九寨沟地震; 建筑物震害特征; 抗震性能

**中图分类号:** TU746; P315.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8662(2019)03-0014-09

**DOI:** 10.13512/j.hndz.2019.03.003

## Comparison of Building Damage Characteristics of the Lushan $M_s7.0$ and Jiuzhaigou $M_s7.0$ Earthquakes

LIANG Houlang, SHEN Yuan, MAO Li, XIAO Benfu  
(Sichuan Earthquake Agency, Chengdu 610041, China)

**Abstract:** Based on the field investigation in the earthquake zone of Lushan  $M_s7.0$  Earthquake on 20<sup>th</sup> April and Jiuzhaigou  $M_s7.0$  Earthquake on 8<sup>th</sup> August, the paper compared the seismic damage characteristics of three types of buildings in the earthquake zone including frame structure, concrete structure and simple structure. The results show that in the two earthquakes, the degree of damage under the same magnitude earthquake to the same type of building structure is different, there is a large otherness between concrete structure and simple structure damage characteristic. The analysis shows that in addition to the earthquake itself, difference of seismic performance of the building in the earthquake zone is also a reason which caused the large difference of

**收稿日期:** 2018-12-19

**基金项目:** “十三五”国家重点研发计划项目课题“基于现场实时信息的损失动态评估技术及应用示范”(2017YFC1500906)、中国地震局地震科技星火计划项目(XH17027Y)和四川省地震科技创新团队专项“地震紧急信息服务创新团队”(201801)共同资助

**作者简介:** 梁厚朗(1986-), 男, 工程师, 主要从事地震现场灾害评估、地震震害特征研究。E-mail: 745705940@qq.com.

**通信作者:** 申源(1985-), 男, 工程师, 主要从事地震灾害风险相关研究及应用、地震标准化及手机应用程序研发。

E-mail: 352048209@qq.com.

seismic damage characteristics of buildings in these two earthquakes. Finally, some suggestions are put forward for the reference of restoration and reconstruction, the earthquake safety project of rural buildings etc.

**Keywords:** Lushan earthquake; Jiuzhaigou earthquake; Building damage characteristics; Seismic performance

## 0 引言

2013年4月20日08时02分,四川省雅安市芦山县(北纬 $30.3^\circ$ ,东经 $103.0^\circ$ )发生7.0级地震,震源深度13 km。地震造成196人死亡、13 486人受伤、室外避难人数约63万人,房屋直接经济损失约3 050 742万元<sup>①</sup>;2017年8月8日21时19分,四川省阿坝藏族羌族自治州九寨沟县境内(北纬 $33.20^\circ$ ,东经 $103.82^\circ$ )发生7.0级地震,震源深度20 km。地震造成25人死亡、525人受伤、室外避难人数约2.75万人。房屋直接经济损失约262062万元<sup>②</sup>。

对比两次地震不难发现,同级别的地震造成的人员伤亡和房屋经济损失却存在较大差距。有学者研究表明九寨沟地震地震动衰减速度比芦山地震的地震动衰减速度要快,房屋震害普遍偏轻。笔者有幸参与了两次地震现场灾评工作,收集了两次地震现场不同结构类型房屋的震害照片,对比分析了框架结构、砖混结构、简易结构三种结构类型的房屋震害特征,探究了两次地震震害程度不同的其他原因。同时在灾后恢复重建、农村民居抗震设计等方面提出了一些思考和建议。

## 1 灾区基本情况

### 1.1 地震影响范围

芦山地震此次地震的最大烈度为IX度,等震线长轴呈北东走向分布,VI度区及以上总面积为18 682 km<sup>2</sup>。灾区包含芦山县,宝兴县,天全县,雅安市雨城区,荥经县,雅安市名山区,邛崃市,洪雅县,汉源县,丹棱县,乐山市金口河区,浦江县,石棉县,泸定县,夹江县,大邑县,甘洛县,峨眉山市,眉山市东坡区,康定县,峨边县等21个县(市、区)。九寨沟地震最大烈度为IX度(9度),等震线长轴总体呈北北西走向,VI度(6

度)区及以上总面积为18 295 km<sup>2</sup>,共造成四川省、甘肃省8个县受灾,包括四川省阿坝藏族羌族自治州九寨沟县、若尔盖县、红原县、松潘县,绵阳市平武县;甘肃省陇南市文县,甘南藏族自治州舟曲县、迭部县等8个县。

### 1.2 灾区建筑物结构特点及比例

实地调研中,主要是针对灾区框架结构、砖混结构和简易结构(按照地震行业标准《地震现场工作第四部分:灾害直接损失评估(GB/T 18208.4—2011)》规定:木结构、土木结构、砖木结构可归为简易结构)的房屋建筑特点、数量占比等进行了描述和统计分析。

(1)灾区建筑物结构特点。芦山地震灾区砖木结构的房屋多为木结构屋盖的砖砌体房屋,部分采用木屋架体系,部分采用硬山搁檩体系,还存在一定数量的穿斗木屋架房屋,“人”字形瓦屋顶或混凝土现浇屋面板。砖混结构的房屋中一类为经正规设计的房屋,此种房屋多为3~5层,平面矩形,布置规则,结构主要以横墙承重,设置钢筋混凝土圈梁、构造柱和现浇楼(屋)盖;另一类为自建的非标准砖房,房屋2~4层居多,平立面布局不规则、不设圈梁和构造柱、预制空心楼板端部无连接。框架结构的房屋所占比例相对较少,其中部分典型框架结构的房屋,为满足临街使用需求,其填充墙布置不规则,从而造成了整个结构的刚度分布不均匀。

九寨沟地震灾区砖木结构的房屋主要为木结构承重,墙体为夯土或片石维护,房顶由木梁或瓦片组成。砖混结构多数为平面矩形,布置规则,主要由砖墙承重,钢筋混凝土浇注楼板(也有少部分的预制板楼板)和屋顶。框架结构的房屋由梁和柱以钢接或铰接相连接而成的,构成承重体系的结构,其抗震性能好。

(2)各结构类型建筑物面积及比例。根据灾区政府提供的房屋基础数据结合现场调查结果,统

① 2013年4月20日四川芦山7.0级地震灾害损失评估报告.四川:四川省地震局,2013.

② 2017年8月8日四川九寨沟7.0级地震灾害直接损失评估报告(四川省部分).四川:四川省地震局,2017.

计得出芦山地震灾区和九寨沟地震灾区各房屋结构类型比例见表 1。从统计的房屋面积结果看，芦山地震灾区房屋建筑面积相比较九寨沟地震灾区 10 倍还要多；从统计的房屋比例结果看，九寨沟地震灾区框架结构、砖混结构的房屋占比较多，芦山地震灾区主要以木结构、土木结构、砖木结构等简易结构的房屋居多。

表 1 两次地震灾区各类型结构房屋面积及所占比例

Table 1 Proportion of various types of building structure in disaster area of Lushan  $M_s7.0$  and Jiuzhaigou  $M_s 7.0$  Earthquakes

灾区房屋 结构类型及占比	芦山地震灾区		九寨沟地震灾区	
	房屋面积/ m <sup>2</sup>	比例/(%)	房屋面积/ m <sup>2</sup>	比例/(%)
框架结构	6 923 436	5.76	920 912	9.15
砖混结构	33 237 754	27.68	4 048 879	40.23
简易结构	79 929 860	66.56	4 048 879	50.62
合 计	120 091 050		10 065 339	

2 灾区建筑物震害特征

2.1 框架结构

(1)芦山地震灾区。灾区内钢筋混凝土框架结构的房屋总体震害较轻，主要表现为维护构件和附属构件的破坏，个别也出现了梁柱、楼梯等结

构构件的破坏现象。在Ⅶ、Ⅷ度区内震害特征主要表现为填充墙、女儿墙的震损破坏(如开裂、破损甚至整体倒塌)，其中Ⅷ度区相当一部分汶川地震后新建的框架结构出现了较为严重的填充墙及附属构件的震损破坏。在县城城区有少量新建或在建的框架剪力墙结构房屋，在本次地震中基本未见破坏(图 1)。具体震害特征如下：



图 1 芦山地震灾区框架结构房屋震害特征

Fig.1 Earthquake damage characteristics of frame structure building in disaster area of Lushan



① 主体完好,非结构构件轻微破坏。宝兴县蜂桶寨小学位于芦山地震极重灾区,建于汶川地震后,两栋教学楼格按照框架结构抗震设防标准进行建设,黏土实心砖填充墙砌筑密实,地震时主体结构构件基本完好,破坏集中于非结构构件墙体涂料轻微开裂和吊顶脱落。

② 填充墙破坏。震中附近的龙门乡民居房屋,填充墙遭到多处破坏,部分墙体出现 X 型开裂,主体结构基本无损伤。

③ 主体基本完好,填充墙中等破坏。天全县中学教学楼位于极重灾区,严格按照框架结构抗震设防标准进行建设,黏土实心砖填充墙砌筑密实。由于离震中比较近。地震时填充墙与构造梁之间出现横向开裂,主体结构未遭到严重破坏。

(2)九寨沟地震灾区。灾区内框架结构的房

屋震害程度与芦山地震灾区总体相同,框架结构房屋的破坏现象主要集中在震中漳扎镇。在烈度为Ⅷ、Ⅸ度区的框架结构房屋震害表现为部分房屋出现构造柱位错及梁柱结合部出现较大纵向、横向裂缝,少数出现断裂现象,填充墙部分出现 X 型裂缝贯通,墙体开裂普遍(图 2)。具体震害特征表现为:

① 主体结构基本完好,非承重构件严重破坏。九寨沟天堂国际酒店由于结构设计不合理,导致结构受力不均衡,非承重构造遭受破坏而垮塌,造成多人死亡和重大财产损失。属于典型框架结构非承重构件的破坏。

② 主体轻微破坏,非承重墙体严重开裂。漳扎镇框架结构房屋多为 2008 年汶川地震灾后恢复重建房屋,此次地震中个别房屋出除个别主体结构遭到破坏外,多数建筑结构表现出良好的抗震性能。



图2 九寨沟地震灾区框架结构房屋震害特征

Fig.2 Earthquake damage characteristics of frame structure building in disaster area of Jiuzhaigou

## 2.2 砖混结构

(1)芦山地震灾区。灾区内砖混结构房屋包括经专业图纸设计、具备抗震设防措施的标准砖房和农民自建的非标准砖房。标准砖房平面形式多

为矩形,布置规则,刚心质心基本上重合,结构主要以采用横墙承重的承重方式,纵墙自承重起到维护作用,结构层沿外墙楼屋盖处设置钢筋混凝土圈梁,并在外墙四角、楼梯间四角以及部分

纵横墙交接处设置了钢筋混凝土构造柱。非标准砖房二层的前纵墙一般砌筑在悬挑梁上,造成结构竖向刚度突变,形成“大头结构”,质量分布不均匀,上层重底层轻,平面形状多为矩形,底层两端由砖墙承重;结构属于混合传力体系,传力复杂且影响结构的整体抗震性能。

上述两种砖混结构的房屋在此次地震高烈度区(Ⅷ、Ⅸ度)震害表现差异较大:正规设计的标准砖房震害表现多为底层受剪开裂,女儿墙开裂或跌落,个别有纵横墙交接处竖向裂缝、内墙多见抹灰层开裂或墙体裂缝。非标准砖房因其建设随意性强、墙体较薄、底层多空旷、因悬挑刚度有变等,其在Ⅸ度区中等、严重及倒塌的震损率大致为 50%~60%;其在Ⅷ区中等、严重的震损率大致为 30%~40%;Ⅶ、Ⅵ度震损率逐渐降低。具体震害特征表现为(图 3):

①非标准砖房倒塌、损毁。震中附近的芦山县龙门乡,受经济条件制约,该地区砖混结构房屋多为农村自建房屋,未经过正规的抗震设防设计,在此次地震中损毁严重。

②标准砖房整体结构基本完好。标准砖房在此次地震中基本上未造成严重破坏。在极重灾区,其震害表现良好,主要震害现象为纵横墙交接处竖向裂缝、内墙多见抹灰层开裂或墙体裂缝。

③非标准砖房墙体严重开裂、破坏。离震中不足 10 km 芦山县宝盛乡,该地区房屋也多数为非标准砖房,由于未经过正规的抗震设防设计,且填充墙砌筑砂浆质量差,在强烈地震的作用下,震害特征主要以严重破坏为主。

④非结构构件破坏、开裂。灾区内非结构构件由于与结构体系没有采用拉结措施,很容易造成破坏,其震害表现为填充墙砂浆面脱落、吊顶掉落、女儿墙垮落等。

(2)九寨沟地震灾区。灾区内砖混结构房屋多为汶川地震、芦山地震后的重建房屋,新建房屋基本上都经专业图纸设计、具备抗震设防措施的标准砖房,绝大多数维修加固的房屋也按照抗震设防要求进行了加固,仍有部分房屋属于农民自建,抗震设防措施不到位。灾区内房屋墙体开裂现象较普遍,在Ⅸ度区有个别房屋被毁坏,多数房屋填充墙部分出现 X 型裂缝贯通。具体震害特征表现为(图 4):

①非标准砖房部分倒塌、损毁。房屋损毁主要集中在Ⅸ度区,遭受破坏的房屋多数为 2008 年汶川地震之前修建,无构造柱、圈梁且墙体由砖、石、土构成,导致承重墙体刚性减弱,抗震性能非常差。



图 3 芦山地震灾区砖混结构房屋震害特征

Fig.3 Earthquake damage characteristics of concrete structure building in disaster area of Lushan





图4 九寨沟地震灾区砖混结构房屋震害特征

Fig.4 Earthquake damage characteristics of concrete structure building in disaster area of Jiuzhaigou

② 标准砖房基本完好。九寨沟县城在汶川地震后,大多数新建和在建的砖混结构房屋均按照当地设防标准修建,此次地震中房屋主体结构破坏较轻。

③ 非标准砖房墙体开裂,非承重构件破坏严重。此类震害现象主要集中在Ⅷ度、Ⅸ度等高烈度地区,此类房屋结构柱、圈梁基本完好。遭受破坏的房屋多为自建房屋,由于未经过正规的抗震设防设计,建筑材料强度也很难达到设防标准,因此房屋墙体开裂现象较为普遍,部分房屋非承重构件表现为破坏严重。

### 2.3 简易结构

(1) 芦山地震灾区。灾区内简易结构房屋中砖木结构的房屋震害主要表现为砖墙、石墙的破损,砖墙连接处的破坏,木屋盖体系的破坏以及山墙破坏引起的木屋架垮塌,甚至整体房屋倒塌等。穿斗木屋架房屋其结构基本完好,极灾区内(Ⅸ度)未见中等以上破坏,主要震害表现为溜瓦、堆瓦;维护墙及填充墙开裂、倒塌;木构件破损断

裂以及由此引起的结构倒塌破坏;木构架倾斜;柱脚移位等现象。具体震害特征表现为(图5):

① 部分简易结构房屋倒塌、损毁。简易结构房屋损毁集中在极重灾区内容,受到强震作用砖木、土木结构容易出现围护墙倒塌或整体垮塌等损毁现象。

② 墙体开裂普遍。灾区内墙体开裂现象比较普遍,主要集中在Ⅶ、Ⅷ、Ⅸ度区。

③ 木构件破坏。房屋主体结构破坏较轻,多为木构架倾斜、柱脚移位、梭瓦掉瓦等。

(2) 九寨沟地震灾区。灾区内房屋破坏主要为简易房屋破坏,其破坏面积约占破坏总建筑物面积的53%。在Ⅸ度区内,少数木结构房屋倒塌毁坏,维护墙多数倒毁,墙体贯穿性开裂现象普遍;Ⅷ度区内,部分墙体出现倒塌、倾斜、变形现象;Ⅵ度、Ⅶ度区内房屋墙体普遍出现裂缝,个别墙体倒塌,部分墙体局部倒塌。具体震害特征表现为(图6):

① 房屋倒塌、损毁。灾区内房屋损毁主要集中在震中漳扎镇,此类房屋大多数为2008年汶川



地震之前修建,基本没有抗震设防措施,此次地震中垮塌、损毁现象比较普遍。

②墙体严重损坏。此类破坏主要集中在Ⅶ、Ⅷ、Ⅸ度区,简易结构房屋中穿斗木木结构房屋

占比较大,虽然房屋墙体受到严重损坏,但是主体结构还基本保持完好。

③墙体普遍开裂。墙体开裂现象贯穿整个灾区,主要以墙体横向、竖向、斜向、X型贯通型裂缝为主。



图5 芦山地震灾区简易结构房屋震害特征

Fig.5 Earthquake damage characteristics of simple structure building in disaster area of Lushan



图6 九寨沟地震灾区简易结构房屋震害特征

Fig.6 Earthquake damage characteristics of simple structure building in disaster area of Jiuzhaigou

### 3 震害特征对比分析

根据芦山地震灾区、九寨沟地震灾区房屋震害特征对比情况来看,九寨沟地震灾区震害程度较低。其中框架结构的房屋除了九寨沟地震灾区个别典型的建筑物损坏严重外(如九寨沟天堂酒店附属构件垮落),两个灾区的框架结构房屋震害程度相当,其震害特征的差异主要体现在砖混结构和简易结构两类型的房屋。主要原因分析如下:

(1)九寨沟地震能量衰减比芦山地震快。根据中国地震局工程力学研究所专家学者关于九寨沟地震衰减特征分析的研究结果:九寨沟地震动衰减速度比芦山地震衰减速度要快,且九寨沟地震比芦山地震震源深度要深 7 km(九寨沟地震震源深度 20 km,芦山地震震源深度 13 km),这意味着更多的地震能量衰减,这是九寨沟地震灾害房屋震害程度低的原因之一。

(2)建筑物抗震性能差异大。芦山地震灾区简易房屋是农村地区的主要建筑形式,约占灾区房屋总面积 66.7%,该结构房屋均为自建房屋,绝大多数没有设防措施。该类型房屋在此次地震中震害特征是破坏区域广、程度深、难修复。芦山地震灾区砖混结构房屋只有少数有抗震设防措施,多数为老旧砌体房屋、农村自建房屋。有设防砖混结构房屋在此次地震中主体结构基本无损伤,震后可修复居住;老旧砌体房屋及农村自建房屋的材料强度、抗震措施大多数未达到国家抗震设防要求,在此次地震中遭受破坏比较严重,尤其在高烈度地区出现了房屋倒塌、墙体损毁、结构破坏等现象。

九寨沟灾区内简易房屋约占灾区房屋总面积的 50.6%。农村简易房屋多为穿斗木结构,抗震性能较好;只有极少数的砖木结构和石木结构的房屋因抗震性能一般,缺少抗震设防措施,在此次地震中震存在部分严重破坏和整体垮塌的现象。砖混结构和框架结构的房屋是灾区主要的建筑结构形式,多数房屋具有抗震设防措施,抗震性较好,整体满足抗震设防要求。

由此可见,九寨沟灾区房屋整体的抗震性能要比芦山灾区强得多。

#### 3.3 民众防震减灾意识差异大

九寨沟县属于旅游区,当地居民收入较高。同时,九寨沟县属于汶川地震的重灾区,灾后恢复重建过程中在当地政府的引导下,绝大多数新

建的房屋能按照当地设防要求(房屋建筑Ⅷ度设防)施工建设。此外,地方各级政府和地震部门近年来持续组织常态性的地震应急演练和防震减灾宣传,公众防震避险意识较强。

相比较芦山县当地居民主要靠种养茶叶、猕猴桃、竹等经济作物作为主要的经济来源,收入较低。在汶川地震后,当地民众防震减灾意识有所增强,但受限于经济收入农村地区的大部分房屋抗震性能仍然不高,存在大量无构造柱、无圈梁和使用预制板楼层修建的房屋建筑,这类建筑加大了地震致死性的风险。同时居民居住较为分散,不利于民众防震减灾宣传工作的开展,公众防震避险意识较弱。

### 4 结语

中国西南地区的地震震情形式依然非常严峻,破坏性地震往往具有不确定性和复杂性的特点,在目前科技手段和理论知识无法达到准确预测地震的情况下,提高建筑物的抗震性能可有效减少因建筑物倒塌造成的人员伤亡和经济损失。综上所述,得出以下几个方面建议:

(1)合理抗震设计和构造措施。根据现场调查反馈,灾区多数房屋存在房屋设计和构造措施不合理的现象。比如平立面布局不规则、多层建筑刚性不一、无构造柱与圈梁、附属结构无保护措施等,受到地震作用,其薄弱部位很容易发生破坏。所以,在房屋设计方面应注重考虑建筑抗震设计的合理性和构造措施的抗震性能,比如平立面布局、楼梯间布置、构造柱设置、钢筋的配比率等都要有详细的标准和规则。

(2)农村自建房屋应给予规范和管理。农村自建房屋由于受到经济技术条件的约束,绝大多数房屋未经过正规的抗震设计,且使用时间长、结构体系紊乱、墙体材料强度低、抗震构造措施缺失或不完善、自行建造施工质量差等原因<sup>[7-8]</sup>。农村自建房屋以就地取材为主,建筑风格体现出不同的地域特点,在此基础上,地方管理部门应结合当地的地域特点,按照“因地制宜,就地取材、简易有效、经济合理”的原则,对自建房屋的建设进行规范管理,给予必要的建设建议,并对建筑工匠进行房屋抗震知识培训,由专业技术人员指导监督施工,逐步提高农村自建房屋抗震性能。

(3)注重建筑附属结构构件的保护措施。建筑附属结构破坏属于非结构构件的破坏,包含女儿



墙、雨棚、装饰构件等。长期以来,附属结构的可靠性设计没有引起充分的重视,往往在强震的作用下,附属结构是建筑的薄弱环节,易造成垮塌、掉落从而造成人员伤亡。此次九寨沟地震震中附近的九寨沟天堂酒店(框架结构)因屋顶构件掉落,附属结构的倒塌,造成一定的人员伤亡,根本原因就是没有对附属结构进行可靠性的抗震设计,忽视了对建筑附属结构的措施保护,从而造成重大的伤亡事故。对于附属结构构件的保护措施,应对构件进行抗震计算,对于不同功能的构件,应满足相应的承载能、变形能力要求,并应具有适应主体结构变形的能力,再采取相应的连接、锚固的保护措施。

致谢:感谢芦山地震、九寨沟地震现场灾评组提供的地震灾害损失资料,感谢审稿专家提出中肯的修改意见和建议。

#### 参考文献:

- [1] 胡进军,孙健,刘璠,等. 四川九寨沟  $M_s 7.0$  地震的地震动分布和衰减特征初步分析[J]. 震灾防御技术,2017,(4): 797-802.
- [2] 李志强,李亦纲,林均岐,等. 四川九寨沟 7.0 级地震灾害特点分析[J]. 中国应急救援,2017(5):4-7.
- [3] 国家质量技术监督局.GB/T 18208.4—201 地震现场工作第四部分:灾害直接损失评估[S]. 北京:中国标准出版社,2011.
- [4] 和嘉吉,卢永坤,代博洋,等. 鲁甸  $M_s 6.5$  与景谷  $M_s 6.6$  地震灾区房屋抗震能力差异分析[J]. 地震研究,2015,38(1):137-142.
- [5] 叶肇恒,宴金旭,毛利,等. 川滇交界东部地区房屋震害特征研究[J]. 华南地震,2017,37(1):89-96.
- [6] 李静,侯建盛,许建华,等. 四川九寨沟 7.0 级地震漳扎镇房屋震害情况分析[J]. 四川地震,2018,(1):19-24.
- [7] 黄世敏,康艳博,于文,等. 芦山地震建筑物震害及思考(一)[J]. 建筑科学,2013,29(9):1-7.
- [8] 康艳博,黄世敏,于文,等. 芦山地震建筑物震害及思考(二)[J]. 建筑科学,2014,30(1):1-6.
- [9] 余世舟. 四川九寨沟 7.0 级地震震害调查的几点启示[J]. 四川地震,2018(1):25-30.