

# 2016年云龙5.0级地震民房震害对比分析\*

代博洋<sup>1</sup>, 吴波<sup>2</sup>, 卢永坤<sup>1</sup>, 周洋<sup>1</sup>

(1. 云南省地震局, 云南 昆明 650224; 2. 云南省建设投资控股集团有限公司, 云南 昆明 650501)

**摘要:**近年来,随着地震恢复重建工作的不断深入,云南省地震灾区农村房屋抗震性能得到了极大的改善。2016年云龙5.0级地震灾区覆盖部分2013年“3·03”洱源地震恢复重建区。通过对比分析洱源地震恢复重建区域内外5组抽样点数据,结果显示经维修加固的简易房屋在云龙地震中遭受的破坏相对较轻,洱源地震恢复重建工作取得了预期效果。

**关键词:**震害;恢复重建;抗震设防;云龙5.0级地震

**中图分类号:** P316.01

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2017)02-0271-06

## 0 前言

2016年5月18日00时48分47秒,云南省大理州云龙县(26.10°N, 99.53°E)发生5.0级地震,震源深度15 km,震中烈度Ⅵ度,宏观震中位于长新乡多衣树一花三地一带,等震线长轴方向呈NNW向,灾区总面积约790 km<sup>2</sup><sup>①</sup>。

在2016年云龙5.0级地震灾区20 km范围内,2013年曾先后发生“3·03”洱源5.5级、“4·17”洱源—漾濞5.0级2次破坏性地震。2014年2月,洱源地震恢复重建工作全面完成。本文通过对震后恢复重建范围内外部分抽样点房屋破坏数据进行对比,重点分析“3·03”洱源5.5级地震恢复重建房屋在此次云龙5.0级地震中震害情况。

## 1 洱源、云龙地震灾区分布

2013年3月3日13时41分15秒,云南省大理州洱源县(25.9°N, 99.7°E)发生5.5级地震,震源深度9 km,震中烈度Ⅶ度,等震线长轴走向北西向。灾区总面积2 081 km<sup>2</sup>,主要涉及洱源、漾濞、云龙3县,西边界至云龙县关坪乡温坡村—

长新乡丕登村一带<sup>②</sup>。2013年4月17日9时45分54秒,洱源县(25.9°N, 99.8°E)再次发生5.0级地震,震源深度11 km。由于2次地震灾区重叠,震害叠加,新生震害与已有震害难以精确区分。因此,依据《地震现场工作第4部分:灾害直接损失评估》(GB/T 18208.4—2011)中续发地震损失评估办法对2次地震的震害进行综合调查和评估。2次地震综合震中烈度Ⅶ度,等震线长轴走向北西向,灾区综合面积2 388 km<sup>2</sup>,主要涉及洱源、漾濞、云龙3县,西至云龙县长新乡新松村—长新乡丕登村一带<sup>③</sup>。

2016年云龙5.0级地震灾区与2013年洱源2次地震灾区部分重合,其中,3次地震灾区重叠面积,即2016年云龙地震灾区涉及2013年洱源恢复重建区的面积为270 km<sup>2</sup>。由于位于云龙县境内的“4·17”洱源地震新增灾区恢复重建力度小,故将2016年云龙地震灾区中“3·03”洱源地震恢复重建范围外区域统称为未经恢复重建区,总面积为526 km<sup>2</sup>(图1)。

云龙5.0级地震微观震中及4.6级余震震中均位于洱源5.5级地震灾区内,宏观震中在长新乡多衣树村,位于洱源5.5级地震灾区西边界。云龙

\* 收稿日期: 2016-08-01.

基金项目: 中国地震局工程力学研究所基本科研业务专项资助项目(2017QJGJ05-06)。

① 云南省地震局. 2016. 2016年5月18日云龙5.0级地震直接灾害损失评估报告。

② 云南省地震局. 2013. 2013年4月17日洱源—漾濞5.0级地震直接灾害损失评估报告。

③ 云南省地震局. 2013. 2013年3月3日洱源5.5级地震直接灾害损失评估报告。

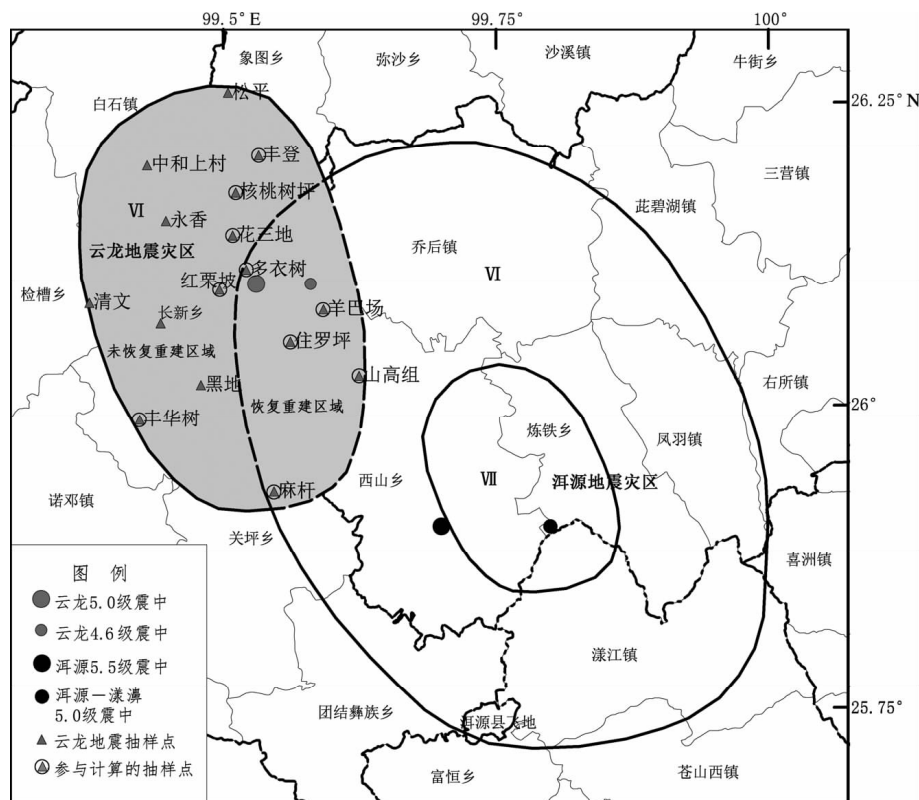


图1 云龙5.0级地震烈度与洱源5.5级地震烈度对比分区图

Fig. 1 Yunlong  $M_s5.0$  earthquake intensity map compared with Eryuan  $M_s5.5$  earthquake intensity map

5.0级地震灾区呈不对称分布,西部衰减较缓,东部衰减较快,微观震中距洱源5.5级地震灾区西边界最近距离15.5 km,距东边界最近距离8.8 km。云龙灾区西半部分为2013年洱源地震恢复重建范围外区域,面积是2013年恢复重建区域面积的2倍。4.6级余震震中位于云龙5.0级地震东部,考虑到余震的破坏叠加效应,笔者认为2013年地震恢复重建工作提高了灾区房屋抗震性能,进而减轻了房屋在云龙地震中的破坏。

## 2 洱源地震恢复重建情况及成效

震后恢复重建规划范围为Ⅵ度区范围。“3·03”洱源地震中,云龙县关坪、团结、长新3个乡镇的部分村民小组受灾较重,圈定在Ⅵ度区范围内。诺邓、白石2个乡镇虽有个别破坏,但由于破坏量少且分布过于分散,未达到Ⅵ度异常区和区外评估标准,未被划入Ⅵ度区范围内(周光全,2013)。

“4·17”洱源地震中宝丰乡房屋破坏数量较

多,作为区外评估损失240万元,但未纳入震后恢复重建规划<sup>①</sup>。

洱源2次地震恢复重建规划范围小于民房实际破坏范围,部分民房破坏后未处理或由农户自行维修。在云龙5.0级地震中,这部分民房破坏较重。

2014年2月,“3·03”洱源地震灾区民房维修加固、恢复重建工作全面完成。云龙地震灾区位于“3·03”地震恢复重建范围内的面积为270 km<sup>2</sup>,占灾区总面积的1/3多。云龙地震灾区范围内的长新乡新松组为洱源地震恢复重建集中安置点。

“3·03”洱源地震恢复重建工作具体措施主要表现在以下方面(王瑛等,2005;黄海燕等,2005):

(1) 重建民房多为砖混结构,个别为砖木结构,极少数(在交通极为不便的在山区)民房为土木结构,结构选型上基本杜绝了抗震能力较差的房屋结构类型,极大提高了抗震能力。

(2) 重建的砖混结构房屋户型由住建部门根

① 云南省发展和改革委员会. 2013. 洱源“3·03”地震灾后恢复重建规划.

据抗震设计规范设计, 提出多种适用于当地户型方案, 征求当地农户意见修改完善后, 确定户型方案编订成标准图集供农户选择。要求结构在平面布置上简单规则, 竖向保持均匀与连续, 确保结构的刚度中心与质量中心尽可能接近, 增强结构抗震性能, 并设计梁、柱位置, 加强结构连接, 提高结构整体性 (Chen *et al.*, 2016)。农户可根据自身状况选择相应的户型, 对于经济条件相对较差的农户可选择面积较小的单层户型, 但必须满

足当地的抗震设防标准, 在保证农户有房住的前提下提高房屋抗震性能。新建砖混结构房屋在云龙地震中几乎无破坏。

(3) 地震恢复重建过程中, 成立专门机构负责指导和管理。同时注重加强宣传教育, 增强农户的抗震意识, 并培训一批当地有经验的工匠, 提高工匠的抗震意识和技术水平。相关技术人员现场指导施工, 并负责房屋验收工作, 以保证房屋的抗震性能及施工质量 (图2)。



图2 “3·03”洱源地震灾区恢复重建房屋

Fig. 2 The houses in “3·03” Eryuan earthquake restoration and reconstruction area

(4) 对木构架承重体系房屋的抗震加固, 主要包括基础、墙体、主体结构和屋面瓦片加固4个方面。其中主体结构的加固, 包括梁柱节点加固、屋面水平支撑、纵向剪刀撑等措施, 有效增强了

房屋结构的整体性, 从而提高房屋的抗震性能。经“3·03”地震恢复加固的房屋在此次云龙地震中抗震能力表现良好 (何玲等, 2006; 孟萍等, 2005; 谷军明等, 2005) (图3)。



图3 “3·03”地震灾区维修加固房屋在云龙5.0级地震中表现良好

Fig. 3 “3·03” Eryuan earthquake maintenance houses are well in Yunlong  $M_s 5.0$  earthquake

(5) “3·03”洱源地震恢复重建工作结束后,灾区政府要求自建砖混结构新房的农户必须按恢复重建时期住建部门设计的标准户型建造,若经济条件有限可选择砖木结构,不同意新建土木结构房屋。考虑到砖木结构房屋的木构架梁、柱间连接除采用榫结合外无其它连接,地震时房屋连接处不仅承受

水平力,还要承受拉扭作用,节点处容易产生拉榫、折榫现象,导致木构架局部破坏或全部倒塌,因此要求新建砖木结构房屋时木构架节点处必须按维修加固标准样式加固钢夹板(潘明辉,缪昇,2004;居兴鹏等,2011)。新建砖木结构房屋在云龙地震中表现良好,几乎无破坏(图4)。



图4 云龙5.0级地震灾区新建砖木结构房屋木构架节点加固

Fig. 4 Reinforce new brick structure building frame node in Yunlong  $M_s$ 5.0 earthquake disaster area

### 3 洱源地震恢复重建范围内外的房屋破坏对比

为检验“3·03”洱源地震恢复重建工作的成效,以“3·03”洱源地震等震线为界,将云龙地震灾区分为两部分,即洱源地震恢复重建区与未经地震恢复重建区。通过对比分析这2个区域内抽样点房屋破坏数据,分析抽样点的具体破坏情况,总结恢复重建维修加固措施对减轻房屋震害的成效。

在恢复重建与未恢复重建2个区域内分别选取2个震中距相近的抽样点为1组进行对比,考虑云龙4.6级余震的影响,余震发生的区域,即恢复重建区内抽样点的震中距可适当加长。由于包含砖混结构、框架结构的抽样点均仅有1个,且本次云龙地震对砖混结构和框架结构房屋影响不大,这两类结构房屋是否经过恢复重建不具有对比性,故仅选取土木结构与砖木结构房屋数据进行对比。

云龙地震抽样点16个,空间分布均匀,同时兼

顾各类房屋结构类型。其中5个抽样点位于恢复重建区内,在未经恢复重建区域内选取震中距相近的5个抽样点作为5组数据进行对比,详见表1、2。

参考云南省历次地震现场房屋破坏经验统计,计算简易房屋破坏比时,取毁坏的全部及破坏的40%。破坏比结果见表1、2。

由表1可见,土木结构房屋的5组抽样点数据中,4组未恢复重建区的抽样点破坏比大于恢复重建区破坏比。其中花三地的破坏比最大为24.07%,主要是因为花三地距“3·03”洱源地震恢复重建区边界仅2 km,受2次洱源地震影响,有个别房屋出现破坏却未维修加固,且花三地为云龙地震的宏观震中,在几次地震叠加作用下破坏最重。

表1中,恢复重建区的抽样点(多衣树)破坏比大于未恢复重建区的抽样点(红栗坡),主要是因为多衣树为本次云龙地震的宏观震中,灾情严重。

由表2可见,未经恢复重建区的抽样点破坏比大于恢复重建区的破坏比,但相差不大。主要是

因为此次云龙地震震级相对较小，抽样点距云龙地震震中较远，且均位于洱源地震及云龙地震烈度圈边界，受地震影响相对较小，砖木房屋整体破坏相对较轻。

表 1 土木结构房屋抽样点破坏面积汇总表  
Tab. 1 Civil structure building sampling point damage area

序号	抽样点 名称	破坏面积/m <sup>2</sup>			震中距 /km	是否经过恢复 重建维修加固	破坏比 (%)	破坏比变化量 (%)	破坏比提高相对 比率 (%)
		毁坏	破坏	基本完好					
1	红栗坡		900	2 800	3.3	否	9.73	-6.74	69.27
	多衣树		700	1 000	1.6	是	16.47		
2	花三地	300	2800	2 800	4.9	否	24.07	19.27	401.46
	羊巴场		600	4 400	6.2	是	4.80		
3	核桃树坪		500	2 400	8.5	否	6.90	2.69	38.99
	住罗坪		400	3 400	6.2	是	4.21		
4	丰登	100	1500	7 900	11.8	否	7.37	0.7	10.49
	山高组		400	2 000	12.6	是	6.67		
5	丰华树		600	2 100	16.5	否	8.89	2.89	48.17
	麻杆		300	1 700	19.1	是	6.00		

表 2 砖木结构房屋建筑抽样点破坏面积汇总表  
Tab. 2 Damage area of brick structure building sampling point

抽样点名称	破坏面积/m <sup>2</sup>			震中距/ km	是否经过恢复重建 维修加固	破坏比 (%)	破坏比变化量 (%)
	毁坏	破坏	基本完好				
丰华树		100	600	16.5	否	5.71	0.71
麻杆		100	700	19.1	是	5.00	

4 结论

云南省多次遭遇 5.0 级以上破坏性地震，一些灾区重复遭遇地震破坏，震害叠加现象明显，房屋破坏严重。随着近年来地震恢复重建工作逐年深入，狠抓落实，不断积累成功经验，极大地提高了农村地区民房的整体抗震性能，减轻人员伤亡和地震损失。总结经验主要包括（王墩，吕西林，2010）：

- （1）地震恢复重建工作由住建部门根据抗震设计规范，设计多类标准户型供农户选择，满足当地的抗震设防要求，在保证农户有房住的前提下提高房屋的整体抗震性能。
- （2）地震恢复重建过程中成立专门机构负责指导管理。加强抗震知识宣传，培训工匠以提高其抗震意识和技术水平，相关技术人员现场指导施工，并负责最后验收工作，以保证房屋的抗震

- 性能及施工质量。
- （3）在异地恢复重建过程中，由国土、住建等部门联合负责异地重建的选址工作，有效避开不稳定斜坡、陡崖、陡坎及较为活动的地质断层，选在地质较为平坦开阔、土质硬实的地方，保证农户的生命财产安全。
  - （4）“3·03”洱源地震恢复重建工作结束后，当地政府规定，农户自建新房必须按照恢复重建标准，满足当地的抗震设防要求。砖混结构选择恢复重建时期住建部门设计的标准户型，砖木结构要求木构架节点处加固钢夹板。不允许再建抗震性能差的土木房屋，逐步提高农村地区房屋整体抗震水平。
  - （5）经地震现场实地调查，维修加固后土木房屋抗震性能明显提高。对比同类房屋，加固后有效增强了土木房屋木构架的整体性，震害更多表现为老裂加宽加大。

## 参考文献:

- 谷军明, 缪升, 杨海名. 2005. 云南地区穿斗木结构抗震研究[J]. 工程抗震与加固改造, (增刊1): 205–210.
- 何玲, 潘文, 杨正海, 等. 2006. 村镇木结构房屋震害及抗震技术措施[J]. 工程抗震与加固改造, 28(6): 94–101.
- 黄海燕, 叶燎原, 缪升. 2005. 云南地区村镇建筑的抗震设防对策研究[J]. 工程抗震与加固改造, (增刊1): 200–204.
- 居兴鹏, 陆伟东, 邓大利. 2011. 村镇木结构房屋震害分析及抗震减灾措施[J]. 建筑结构, (增刊2): 466–468.
- 孟萍, 潘文, 黄海燕. 2005. 云南地区村镇木结构房屋震害分析及补救措施[J]. 工程抗震与加固改造, (增刊1): 196–199.
- 潘明辉, 缪昇. 2004. 从云南省大姚县 6.2 级地震看我国小城镇和村镇房屋存在的抗震问题[J]. 世界地震工程, 20(4): 85–89.
- 王墩, 吕西林. 2010. 预制混凝土剪力墙结构抗震性能研究进展[J]. 结构工程师, 26(6): 128–135.
- 王瑛, 史培军, 王静爱. 2005. 中国农村地震灾害特点及减灾对策[J]. 自然灾害学报, 14(1): 83–88.
- 周光全. 2013. 云南震害损失评估与恢复重建规划主要技术指标[J]. 地震研究, 36(2): 207–214.
- CHEN H, XIE Q, DAI B. 2016. Seismic damage to structures in the  $M_s 6.5$  Ludian earthquake [J]. Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 15(1): 173–186.
- GB/T 18208.4—2011, 地震现场工作第 4 部分: 灾害直接损失评估[S].

## Seismic Analysis and Comparison of Houses in 2016 Yunlong $M_s 5.0$ Earthquake

DAI Boyang<sup>1</sup>, WU Bo<sup>2</sup>, LU Yongkun<sup>1</sup>, ZHOU Yang<sup>1</sup>

(1. Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650224, Yunnan, China)

(2. Yunnan Construction Investment Holding Group Co., Ltd, Kunming 650501, Yunnan, China)

### Abstract

With the post – earthquake rehabilitation and reconstruction deeply in recent years, the seismic performance of rural buildings are improved greatly in Yunnan province. The disaster areas of Yunlong  $M_s 5.0$  earthquake and the rehabilitation and reconstruction area of “3 · 03” Eryuan earthquake are overlapping partly. By comparing and analyzing the buildings damage data of 5 groups of sample points inside and outside of Eryuan earthquake rehabilitation and reconstruction area, we found that the simple houses with maintenance and reinforcement were damaged lightly in Yunlong  $M_s 5.0$  earthquake, so the Eryuan earthquake rehabilitation and reconstruction achieved the good results.

**Keywords:** seismic disaster; rehabilitation and reconstruction; seismic fortification; Yunlong  $M_s 5.0$  earthquake