

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*

和嘉吉, 卢永坤, 代博洋, 庞卫东, 贺素歌, 非明伦

(云南省地震局, 云南 昆明 650224)

摘要: 介绍 2014 年鲁甸 M_s 6.5 与景谷 M_s 6.6 地震灾区房屋概况, 对两次地震灾区房屋的震害特征进行阐述, 从房屋建筑材料、结构选型、场地条件等方面对比分析两次地震灾区的房屋抗震能力, 进一步分析景谷灾区房屋抗震性能优于鲁甸灾区的原因, 并强调抗震概念设计的重要性, 提出建议以供恢复重建、农村民居地震安全工程、新农村建设等借鉴参考。

关键词: 震害特征; 房屋抗震设防; 鲁甸地震; 景谷地震

中图分类号: P315.9

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2015)01-0137-06

0 引言

2014 年 8 月 3 日 16 时 30 分 10 秒, 云南省昭通市鲁甸县 (27.1°N, 103.3°E) 发生 6.5 级地震。极震区烈度达 IX 度, VI 度区及以上总面积约为 10 350 km², 涉及云南省灾区面积为 8 490 km²。地震造成 617 人死亡、112 人失踪、3 143 人受伤、失去住所人数 287 809 人, 直接经济总损失 2 357 810 万元^①。

时隔 64 天, 2014 年 10 月 7 日 21 时 49 分 39 秒, 云南省普洱市景谷县 (23.4°N, 100.5°E) 发生 6.6 级地震。极震区烈度达 VIII 度, VI 度区及以上总面积约为 11 930 km²。地震造成 1 人死亡、331 人受伤、失去住所人数 78 394 人, 直接经济总损失 511 020 万元^②。

两次地震震级相当, 但地震造成的灾害和损失却有很大的差异。笔者针对这两次地震现场震害调查结果, 从房屋结构类型、建筑材料、场地条件等角度对两个地震灾区的房屋抗震性能进行分析, 探究产生震害差异的原因, 以期能对灾区恢复重建及农村民居地震安全工程、新农村建设等提供借鉴依据。

1 房屋概况

1.1 鲁甸灾区房屋类型

鲁甸灾区房屋建筑结构类型主要可以分为 4 类: 土木结构、砖木结构、砖混结构和框架结构房屋。土木结构房屋以夯土墙或无砂浆石砌墙承重, 墙抬木梁, 人字形瓦屋顶或混凝土现浇屋面板, 多为两层。砖木结构房屋砖墙承重, 墙抬木梁, 人字形瓦屋顶, 部分墙体采用水泥空心砖、石块砌筑, 多为两层。砖混结构房屋主要有两类, 一类为砖砌墙体承重, 设置钢筋混凝土圈梁、构造柱和现浇楼(屋)盖的混合结构; 另一类为自建房, 平、立面不规则的情况较为突出, 部分房屋一层为石砌墙体、二层及以上为砖砌体的混合结构形式。框架结构房屋主要为经过正规设计的由钢筋混凝土梁柱组成的框架体系承重, 现浇楼板(屋)盖(非明伦等, 2004)。

1.2 景谷灾区房屋类型

景谷灾区房屋结构类型同样分为土木结构、砖木结构、砖混结构和框架结构房屋 4 类, 但具体的结构形式与鲁甸灾区有所不同。土木结构房屋以穿斗木构架承重, 土坯墙围护, 人字形瓦屋顶, 多为

* 收稿日期: 2014-11-07.

基金项目: 云南地震灾害调查系统项目(20140401)资助.

① 云南省地震局. 2014. 2014 年 8 月 3 日云南鲁甸 6.5 级地震灾害直接经济损失评估报告(云南灾区).

② 云南省地震局. 2014. 2014 年 10 月 7 日云南景谷 6.6 级地震灾害直接经济损失评估报告.

一层。砖木结构房屋以穿斗木构架承重,砖墙围护,部分房屋砖墙承重,人字形瓦屋顶,瓦面多为石棉瓦或琉璃瓦,与椽子的连接较为牢靠,多为一层。砖混结构房屋以砖砌墙体承重,设置钢筋混凝土圈梁、构造柱和现浇楼(屋)盖的混合结构,结构的平、立面总体较为规则,农村自建的砖混房建筑高度普遍较低。框架结构房屋主要为经过正规设计的由钢筋混凝土梁柱组成的框架体系承重,现浇楼板(屋)盖(卢永坤等,2007)。

1.3 不同结构类型房屋比例

按《地震现场工作第四部分:灾害直接损失评估》(2011)规定:土木结构与砖木结构归为简易房屋;砖混结构与框架结构归为非简易房屋。

根据灾区政府填报的房屋基础数据,结合实地调查结果,笔者统计了鲁甸灾区和景谷灾区农村民居房屋各结构类型所占比例(图1)。从统计结果看,两个灾区非简易房屋所占比重相差不大(鲁甸灾区18.15%,景谷灾区18.86%),主要差异在简易房屋中土木结构和砖木结构房屋所占的比例,鲁甸灾区中土木结构房屋是农村房屋的主要结构类型,占比高达80.44%,景谷灾区土木结构房屋占比32.6%;而景谷灾区砖木结构房屋的占比为48.54%,为当地农村房屋的主要结构类型。

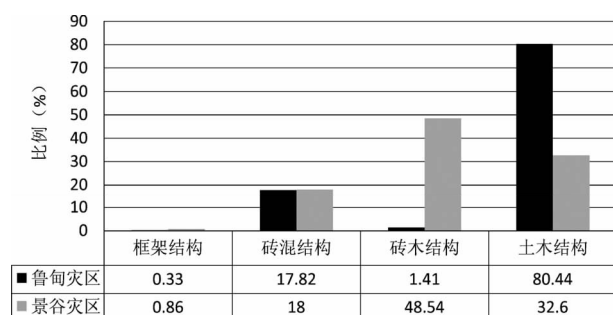


图1 两次地震灾区房屋各类结构所占比例

Fig. 1 Proportion of various types of building structure in disaster area of Ludian $M_s6.5$ and Jinggu $M_s6.6$ earthquakes

2 房屋震害特征

2.1 鲁甸灾区

鲁甸灾区土木结构房屋倒毁严重,特别是IX度区毁坏率高达91.08%,主要震害特征为部分房屋完全倒塌或局部倒塌,多数房屋屋架坍塌或墙体严重开裂,普遍墙体开裂、梭掉瓦等。砖木结构房屋破坏也较为严重,IX度区毁坏率达

78.18%,主要震害特征为少数房屋整体倒塌或局部倒塌,部分屋架倒塌,墙体开裂,普遍梭瓦、掉瓦。砖混结构房屋在IX度区的震害较为明显,个别房屋完全倒塌或底层座平,部分构造柱剪断酥裂,纵墙外闪、局部倒塌,多数表现为承重墙出现“X”型剪切裂缝或水平裂缝。框架结构房屋在此次地震中也遭受了不同程度的破坏,尤其是在IX度区,“强梁弱柱”的破坏形式比较明显(陆新征等,2014),底层框架柱柱脚、柱中、柱头等不同位置出现剪切破坏、弯剪破坏、压弯破坏等,填充墙开裂普遍,出现穿透性裂缝(图2、3)。

2.2 景谷灾区

景谷灾区土木结构与砖木结构房屋即使在VIII度区倒房率也很低,主要震害现象为普遍梭掉瓦、开天窗,土坯墙倒塌或局部倒塌,墙体开裂、外闪等。少数砖混结构房屋出现“X”型剪切裂缝或水平裂缝,门头、窗角或窗间墙开裂等。框架结构房屋个别梁柱构件开裂,少数填充墙水平开裂或“X”裂缝(图4、5)。



图2 鲁甸地震VIII度区二层土木房屋(a)和IX度区二层砖木结构房屋(b)毁坏

Fig. 2 Destroy of the two-storey clay-wood structure building in VIII (a) and two-storey brick-wood structure building in IX (b) areas of Ludian $M_s6.5$ earthquake



图3 鲁甸地震灾区IX度区砖混结构房屋毁坏 (a) 和框架结构房屋严重破坏

Fig. 3 Destroy of brick concrete structure building (a) and the serious damage of the frame structure building (b) in IX area of Ludian $M_s6.5$ earthquake



图4 景谷地震VIII度区单层土木结构 (a) 和砖木结构 (b) 房屋破坏

Fig. 4 Damage of the single layer clay-wood structure (a) and the brick-wood structure building (b) in VIII area of Jinggu $M_s6.6$ earthquake

3 房屋抗震性能对比分析

根据地震现场调查掌握的资料分析, 两个地震灾区的房屋, 特别是简易房屋, 从建筑取材、结构选型、场地条件等方面存在很大的差异。

3.1 房屋建筑取材对比分析

鲁甸灾区木材匮乏、交通不便, 当地居民在建房时大多就地取材, 取生土、石料及截面尺寸较小的木料作为建筑材料。由生土强夯而成的夯土墙, 抗剪能力弱, 自重大, 抗震性能极差。夯土墙的抗剪强度主要取决于其土体的黏性, 灾区各地建房用土含砂率不一, 黏性有差异, 抗剪强度也不同。烧砖的木材、煤等燃料稀缺, 故鲁甸灾区砖木结构房屋较少, 部分砖混结构房屋的底层墙体就地取材使用石砌墙体来承重, 二层及以上采用砖砌体, 此类房屋底层石砌墙体黏结较差, 地震中极易酥裂, 另外, 由于竖向传力体系材料不一, 导致变形不协调, 侧向刚度突变, 不利于抗震。而景谷灾区植被好, 丰富的木材原料为当地建筑木料以及烧砖燃料提供了保障, 故当地建



图5 景谷地震VIII度区砖混结构房屋严重破坏 (a) 和框架结构房屋中等破坏 (b)

Fig. 5 The serious damage of the brick concrete structure building (a) and moderate damage of the frame structure building (b) in VIII area of Jinggu $M_s6.6$ earthquake

筑材料以木料、烧结砖为主。木料作为建筑材料,在保证强度的情况下,具有良好的塑性和延性,同时容重小,自重轻,具有良好的抗震性能,土坯、烧结砖仅作围护墙,不承重。

3.2 房屋建筑结构选型对比分析

鲁甸灾区的简易结构房屋主要以夯土墙、砖墙抬梁(即硬山搁檩)式结构为主,夯土墙或砖墙承重。夯土墙自重大、抗剪能力弱、墙梁连接不牢靠、承载力低、整体性差,特别是土墙加混凝土楼板式的房屋,上部自重极大,导致“头重脚轻”,抗震性能极弱;砖墙承重式结构抗震性能相对较好,但在灾区分布较少(仅占1.41%)。夯土墙倒塌破坏后,碎粒成份多,在压埋人员周围形成近似密闭的空间,且粉尘大,易使压埋人员窒息而亡,生还率低;鲁甸灾区民房习惯建两层,建筑高度相对较高(总高度近6 m),地震作用增大,而承重的夯土墙抗剪能力弱,这也是房屋破坏加重的原因之一。

景谷灾区的简易房屋以穿斗木构架承重,砖墙或土坯墙围护。此类建筑以力学性能较为优良的木材为承重构件,自重轻、塑性和延性较好;木构架梁柱节点为榫接,榫接属于介于刚接和铰接的半刚性连接,具有较好的塑性变形能力和一定的消能减震效果;穿斗木构架的梁柱以榫接方式形成一榀榀框架,再通过穿枋、连梁连接成空间结构,整体性好;景谷灾区的木构架房屋木柱较多(一般每榀5根柱子),进一步强化了其稳定性;围护土坯墙或砖墙砌筑在梁柱外侧,呈外包状,地震时受到木柱及木屋架抵挡而外倒,有效的保护室内人群,再者景谷灾区的民房大多都为了一层,建筑高度在3~4 m,高度相对较低,地震作用小,抗震能力好。

3.3 房屋建筑场地条件对比分析

鲁甸灾区受地形限制,人口密度大,大多数居民点沿河谷、峡谷分布,房子大都建在洪积扇、冲积扇、堆积扇、软土层、古滑坡体、断层破碎带、半山坡等抗震不利或危险地段,场地放大效应、边坡效应、软土效应、滚石、滑坡致灾明显。另外,受有限的场地限制,为了充分利用场地,多数建筑高宽比过大,平、立面不规则,对抗震不利。而景谷灾区地广人稀,有足够的场地选择空间,有富余的场地建占地面积大而建筑高度低

的房屋,景谷灾区的居民点大多分布在小坝子或开阔地带等有利场地,避开了可能由地质灾害致灾的地段。

在平均场地条件下,鲁甸震区的设防烈度Ⅶ度,设计地震基本加速度值为0.10 g,而景谷震区的设防烈度Ⅶ度,设计地震基本加速度值为0.15 g(建筑抗震设计规范,2010);设计基本加速度的差异对经正规设计的非简易房屋在遭受同等强度地震动时,其抗震能力是不同的。

3.4 对比分析结果

建筑的抗震概念设计是基于历史地震灾害和工程建设经验等形成的基本设计原则和设计思想,对建筑和结构总体布置及细部构造进行宏观的控制(建筑抗震设计规范,2010)。通过鲁甸灾区和景谷灾区房屋抗震能力的对比分析,可得以下4个方面认识:一是要确保结构的整体性。穿斗木结构房屋通过榫接把梁、柱、枋连接成一个空间结构,整体性好;墙抬梁式房屋墙梁连接不牢靠,整体性差。二是结构类型的选择要与建筑材料的抗震性能相匹配。用承载力低、抗剪能力差的夯土墙来承重,且建筑高度偏高,违反了抗震概念设计的原则;而穿斗木结构房屋采用延性好、强度与容重比值大的木材作为承重构件,抗剪能力较弱的土坯墙、砖墙仅起围护作用,充分发挥了材料特性;建筑材料是建筑物具备抗震能力的物质基础,不同的材料具备着不同的抗震能力(施伟华等,2011),但建筑取材受地域限制,特别是农村地区为了节约成本,往往就地取材,因此结构选型的过程中必须考虑建筑材料的性能,比如鲁甸灾区夯土墙承重的土木房屋可通过控制建筑高度来提高其抗震性能。三是建筑平面、立面上,结构的布置要力求使几何尺寸、质量、刚度、延性等均匀、对称、规整(胡聿贤,2006),避免因结构形式的变化和构件材料的变化而使侧向刚度突变;控制刚重比,避免因屋盖等上部结构太重,而承重构建薄弱,导致“头重脚轻”而倾覆等。四是建筑场地应尽量选择开阔、平坦,具有密实、均匀的土层或稳定基岩等抗震有利地段;避开有可能滑坡、崩塌、泥石流及活动断裂、地下溶洞等危险地段;在软弱土、陡坡、河岸、半填半挖地基等抗震不利的地段上建房时应先处理地基,后建房(尚守平,周福霖,2010)。基于以上

分析可知, 景谷灾区的传统民居建筑中渗透了许多抗震概念设计的理念, 极大的提升了房屋的抗震能力, 而鲁甸灾区传统民居建筑中极少体现抗震的思想, 有些甚至违背抗震原则。

4 建议与讨论

(1) 应高度重视抗震概念设计在提高民房抗震能力中的重要性。在地震时地面运动的复杂性及对结构的复杂影响尚未被掌握之前, 一个合理的抗震设计, 在很大程度上取决于良好的“概念设计”(尚守平, 周福霖, 2010)。在经济条件及技术推广能力有限的情况下, 在指导广大农村地区民房自建过程中应重视抗震概念设计更具实效性和可行性; 特别是像土木结构、砖木结构等简易房屋的加固和改造更需抗震概念设计理论的指导。

(2) 传统民居建筑也有具备良好抗震性能的, 比如景谷灾区大量分布的穿斗木结构的房屋, 它本身主体结构的抗震性能很好, 再加上外包式的墙体以及合理的建筑高度(习惯建一层楼), 使抗震性能进一步提升。景谷灾区传统民居的建筑理念值得云南其他农村地区在安居工程、危房改造以及新农村建设过程中借鉴和学习。

(3) 鲁甸灾区农村存在着大量的墙抬梁式土木结构房屋, 此类房屋抗震性能极差, 建议相关部门加大改造力度。

(4) 农村地区缺少专业施工力量, 农村工匠的不良习惯做法对房屋抗震不利(赵党书等,

2006)。建议相关部门结合当地实际情况, 充分考虑经济条件和当前可用资源, 提出切实可行的农居抗震设防的具体措施, 并派专业人员到施工现场进行指导。

(5) 本文仅从房屋建筑抗震性能方面简要分析两个灾区震害差异的原因, 可能还有更多的因素, 比如地震动本身的特性(峰值、持时、频谱成份)对不同结构类型的作用等, 有待进一步分析研究。

本文成稿得到云南鲁甸 6.5 级地震现场工作队和云南景谷 6.6 级地震现场工作队的支持和帮助, 谨此表示诚挚的感谢!

参考文献:

- 非明伦, 付正兴, 谢英情, 等. 2004. 云南鲁甸 5.1、5.0 级地震震害分析[J]. 防灾减灾工程学报, 24(4): 432-440.
- 胡聿贤. 2006. 地震工程学(第二版)[M]. 北京: 地震出版社.
- 卢永坤, 曾应青, 周光全, 等. 2007. 2007 年 6.4 级地震震害综述[J]. 地震研究, 30(4): 364-372.
- 陆新征, 林旭川, 田源, 等. 2014. 汶川、芦山、鲁甸地震极震区地面运动破坏力对比及其思考[J]. 工程力学, 31(10): 1-7.
- 尚守平, 周福霖. 2010. 结构抗震设计[M]. 北京: 高等教育出版社.
- 施伟华, 陈坤华, 卢永坤, 等. 2011. 盈江 2011 年 $M_s5.8$ 与 2008 年 $M_s5.9$ 地震的震害差异及原因[J]. 地震研究, 34(4): 518-524.
- 赵党书, 曹净, 赵惠敏, 等. 2006. 云南农村建筑的抗震问题探讨[J]. 四川建筑科学研究, 32(5): 161-163.
- GB 50011—2010, 建筑抗震设计规范[S].
- GB/T 18208.4—2011, 地震现场工作第 4 部分: 灾害直接损失评估[S].

Analysis of Difference of Seismic Capacity of Buildings between Ludian $M_s6.5$ and Jinggu $M_s6.6$ Earthquakes Disaster Areas in Yunnan

HE Jia-ji, LU Yong-kun, DAI Bo-yang, PANG Wei-dong, HE Su-ge, FEI Ming-lun
(*Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650224, Yunnan, China*)

Abstract

Firstly, we briefly introduced the basic situation of the buildings and the damages characteristics of the buildings in Ludian $M_s6.5$ and Jinggu $M_s6.6$ earthquakes disaster areas in Yunnan in 2014. Secondly, according to the building materials, structural types, site condition etc., we compared and analyzed the seismic capacity of the buildings in these two earthquakes disaster areas. Furthermore, we discussed the reason of the seismic capacity of the buildings in Jinggu $M_s6.6$ earthquake disaster area is better than that in Ludian $M_s6.5$ earthquake disaster area, and emphasized on the importance of seismic design. Finally, we put forward the suggestions for the reference of restoration and reconstruction, the earthquake safety project of rural buildings, New Countryside Construction etc..

Key words: characteristics of earthquake disaster; seismic fortification of building; Ludian $M_s6.5$ earthquake; Jinggu $M_s6.6$ earthquake