

贺秋梅, 李方杰, 吕红山, 鄢家全, 李小军, 2007. 宁洱 6.4 级地震房屋建筑震害调查与分析. 震灾防御技术, 2 (3): 279—284.

宁洱 6.4 级地震房屋建筑震害调查与分析¹

贺秋梅¹⁾ 李方杰¹⁾ 吕红山¹⁾ 鄢家全¹⁾ 李小军²⁾

1) 中国地震局地球物理研究所, 北京 100081

2) 中国地震局工程力学研究所, 哈尔滨 150080

摘要 2007年6月3日云南省普洱市宁洱县发生 $M_S 6.4$ 级地震, 在震区内各类建筑物遭受了不同程度的地震破坏。本文结合地震灾害调查结果, 对几种典型建筑物的震害现象进行了详细介绍, 分析了震害现象和产生的原因, 并总结出了一些值得借鉴的经验教训。

关键词: 宁洱地震 震害调查 震害现象

前言

2007年6月3日云南省普洱市宁洱县发生 $M_S 6.4$ 级地震。宏观震中位于宁洱县宁洱镇般海村至同心乡前进村一带, 基于地震灾害调查结果初步确定极震区烈度为Ⅷ度。这次地震震源深度仅有 5km, 且为近城市直下型地震, 因此对城市的基础设施和生命线工程造成较严重的破坏(苗崇刚, 2007)。

云南省地震局的统计数据显示, 在震区 50km 范围内, 自 1970 年以来共发生了 6 次 6.0—6.9 级地震, 是一个地震相对活跃的地区。其中震级最大的一次地震为 1979 年 3 月 15 日普洱(磨黑镇) 6.8 级地震, 震中烈度Ⅸ度; 最近的一次 6 级以上地震为 1993 年 1 月 27 日普洱(同心乡) 6.3 级地震, 震中烈度Ⅷ度。鉴于当地地震频发, 开展震区建筑的震害特性分析以提出有效的抗震措施是值得关注的问题。本文结合实例重点介绍了本次地震中几类典型建筑物的震害状况, 并对其震害现象进行了初步分析, 为今后提高地震多发区房屋抗震能力, 减轻地震灾害提供可借鉴的资料。

1 各类房屋建筑震害特征

震区房屋按结构类型可分为砖(土)木结构、砖混结构、钢筋混凝土框架结构三大类。分析不同建筑的震害对于研究如何提高建筑的抗震性能是十分有益的。下面结合典型的建筑分别介绍震害现象并对其震害特征进行初步分析。

1.1 砖(土)木结构建筑

因为可以就地取材, 造价较低, 在当地经济欠发达的农村多采用砖木结构或土木结构的

1 中国地震局地球物理研究所中央级公益性科研院所基本科研业务专项项目 DQJB06A01 资助。

[收稿日期] 2007-08-10

[作者简介] 贺秋梅, 女, 生于 1978 年。在读博士研究生。主要研究领域: 地震工程。E-mail: heqiumei06@126.com

建筑。当地农村房屋主要为穿斗木构架砖墙（土坯墙）房屋，为由木构架承重的坡瓦屋顶多开间（多为三开间）的两层或单层结构形式。还有少数砖墙“人”字木架的房屋，该类房屋由砖柱、砖墙承重。因为当地穿斗木构架房屋的分布较为广泛，因此本文重点介绍其震害情况。

这次地震中，大多数穿斗木构架房屋有梭瓦、掉瓦现象。穿斗木构架的竖向木架柱和水平向木梁之间采用榫接，形成了整体受力体系，而且其木榫结点在水平地震力作用下变形可容度大，自身又是一个耗能构件，因此这类结构抵抗地震作用的能力较强（那向谦等，1991）。这次地震中大多数木构架基本完好，节点榫头未见拔出，只是在柱角处有移位现象，少数年久失修的木构架发生歪斜。然而，围护砖墙大多有斜裂缝或水平裂缝，位于震中区域的太达村一些砖墙开裂、变形或局部倒塌，土坯墙大多严重开裂或整体倒塌。图1为太平寨一栋被破坏的土木结构房屋，图2为新平乡一栋砖木结构房屋，两栋建筑木构架基本完好，但墙体严重破坏。值得庆幸的是，由于围护墙体设置在木构架外部，在地震中均为向外倾倒，而当时人们都在房屋中睡眠，所以造成的人员伤亡较少。

根据穿斗木构架房屋震害现象，笔者认为穿斗木构架在地震频发的当地还是比较适合的，然而修缮加固被破坏的墙体对于当地灾民也是一笔较大的开销，因此如何提高围护砖墙体的抗震性能，以及如何选取更适合当地的墙体建筑材料是值得进一步研究的问题。

1.2 砖混结构

砖混结构主要分布在城区，大多为住宅楼，一般3—6层。这次地震中，Ⅷ度区砖混结构多数墙体开裂明显，部分房屋墙体出现“X”型贯通裂缝，少数构造柱断裂、墙体错位；Ⅶ度区多数墙体出现斜裂缝，部分墙体开裂明显，个别墙体出现“X”型贯通裂缝；Ⅵ度区多数墙体出现细微裂缝，少数墙体出现斜裂缝，极个别墙体出现贯通裂缝。

经调查，近些年建造的砖混结构房屋在这次地震中大部分基本完好。震害现象较为明显的多为上个世纪八、九十年代建造的房屋建筑，这些建筑在1993年1月27日普洱（同心乡）6.3级地震中因无明显损坏，基本上未进行加固，只做了原样修复，所以震害积累可能是导致这些房屋建筑震害较大的原因。例如，民贸公司住宅楼，三层、砖混结构、四角设有构造柱，建于1982年，共三栋；1993年1月27日普洱（同心乡）6.3级地震后均未加固；这次地震中这三栋建筑都发生了中等破坏。由于南北向内外纵向墙开洞较多，强度削弱大，造成纵向抗震性能较差，地震作用时，主拉应力导致纵墙上出现了贯通的“X”型裂缝（见图3）。部分横墙过梁下出现贯通的水平裂缝，非承重墙开裂严重。柱角节点处出现了横向裂缝，其中一栋的东南角柱在一、二层的节点处出现断裂（见图4）。

1.3 钢筋混凝土框架结构

钢筋混凝土框架结构基本为办公用房，一般3—6层。在这次地震中，Ⅷ度区多数填充墙上部与框架梁交接位置裂缝明显，部分填充墙出现剪切裂缝，个别框架梁柱开裂；Ⅶ度区部分填充墙开裂、抹灰层脱落，个别承重构件产生轻微裂缝；Ⅵ度区部分填充墙开裂，极个别承重梁可见细微裂纹。

近些年来建设的框架结构房屋在这次地震中多数基本完好，表现出了较好的抗震性能。例如军供宾馆、县青少年校外活动中心等。但也有一些框架结构房屋建筑因不同的原因发生了较严重的破坏，下面按照破坏原因分别讨论。

1.3.1 不利场地条件的影响

在这次地震中，发现了几栋由于场地条件不利或者地基处理不当，导致发生严重破坏



图1 太平寨一栋被破坏的土木结构房屋
Fig. 1 A damaged house in mud-wood structure in Taiping village



图2 新平乡一栋被破坏的砖木结构房屋
Fig. 2 A damaged house in brick-wood structure in Xinpin village



图3 民贸公司住宅楼墙体的破坏
Fig. 3 Damage on the wall of the building of Minmao company



图4 民贸公司住宅楼构造柱的破坏
Fig. 4 Damage on the column of the building of Minmao company

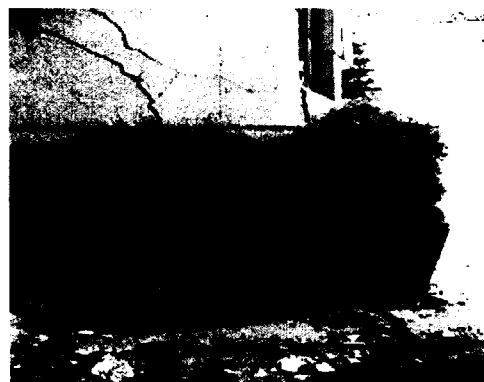


图5 新平小学教学楼地基的不均匀沉降
Fig. 5 Uneven sink of the base of the teching building in Xinping Elementary School



图6 新平小学教学楼构造柱的破坏
Fig. 6 Damage on structure pole of the teching building in Xinping Elementary School

的建筑。例如县新平乡完全小学三层框架结构教学楼，为1993年1月27日普洱6.3级地震后新建楼房。该建筑为“一”字型，建筑造型简单、结构对称，共9个开间，长35m，进深5.7m，外侧有一宽1.8m走廊。据建筑图纸的说明中记载：由于经费有限，该工程未进行地

质勘查。在这次地震中,该建筑地基有不均匀沉降(见图5),柱角处有横向裂缝,底层墙体出现了贯通的“X”型裂缝,底层外廊转角处构造柱中的纵向钢筋被压弯(见图6),震害随楼层的增加而递减。地震中建筑地基的不均匀变形是导致房屋结构破坏较重的主要原因,另外,该教学楼建于一孤立的小山上,场地地形对地震动的放大效应影响也可能是一个重要原因。

1.3.2 刚度突变及与附属建筑碰撞的影响

底部框架上部砖混的混合结构在这次地震中破坏较为突出,也有一些建筑因附属物和主体结构碰撞而导致破坏。例如宁洱县人民法院办公楼,为底部框架上部砖混的混合结构,建于1991年,按《建筑抗震设计规范(GBJ11-89)》中Ⅷ度设防,主体结构四层,南侧有一单层框架审判大厅(见图7)。1993年1月27日普洱6.3级地震中轻微破坏,经加固后继续使用。2001年重新装修后在主体顶层又加盖一层作为会议室和办公用房。这次地震中刚度突变的过渡层二层的各横墙均出现贯通的斜裂缝或“X”型裂缝,三至五层的横墙均有斜裂缝或“X”型裂缝,但震害随楼层增高而逐渐减轻。审判大厅屋顶和主体结构相接处,因碰撞导致主体结构南侧纵墙发生了严重错位(见图8)。

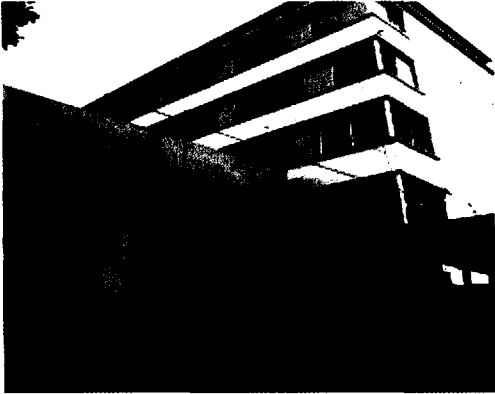


图7 人民法院办公楼

Fig. 7 Office building of People's Courthouse



图8 人民法院办公楼墙体的破坏

Fig. 8 Damage on the wall of the office building of People's Courthouse

1.3.3 防震缝的影响

现行《建筑抗震规范(GB50011-2001)》(中华人民共和国建设部,2001)规定:框架结构房屋的防震缝宽度,当高度不超过15m时可采用70mm;超过15m时,Ⅵ度、Ⅶ度、Ⅷ度和Ⅸ度相应每增加高度5m、4m、3m和2m,宜加宽20mm。然而,这次地震中发现了几例防震缝设置满足规范要求,但也发生碰撞破坏的建筑。例如宁洱县公安局办公大楼,建于2000年,框架结构,主体部分5层,局部6层,高21m,结构造型为“L”型,在结构转角处设有150mm宽变形缝。按现行《建筑抗震规范(GB50011-2001)》规定,当地应按Ⅶ度设防,则该建筑变形缝宽度符合规范,而在这次地震中变形缝两侧发生了严重碰撞破坏,主体结构基本完好。

2 房屋建筑破坏原因及经验总结

通过对震区房屋建筑震害的调查,作者认为有以下几点经验教训值得考虑。

2.1 加强对农村地区房屋建筑的抗震指导

应提高农村地区人们的防震减灾意识,进行房屋抗震知识的宣传教育,加强直观、通俗、易懂、便于农民掌握使用的符合当地条件的抗震型民居示范工程建设,并适时推广。针对穿斗木屋架房屋建筑有以下几点建议:①木柱与围护墙体之间以加设连接小构件等措施进行适当的固定连接,以提高木柱和墙体的整体性;②土坯或砖咬槎砌筑,在墙的拐角处加拉筋,以提高围护墙体的整体性;③提高泥浆强度和粘结力,适当加配茅草、竹筋等连接材料,采用正确的砌筑方法进行砌筑,以提高墙体本身的抗震性能;④墙体建筑材料应尽量采用轻质材料,例如,用木板、竹篱笆做围护墙,或者在墙体下半部分做土坯或砖墙,在墙体上半部分做轻质墙(陆鸣等 2006)。

2.2 注意震害累积的问题

因为震区地震频发,震害累积是当地不少旧房屋建筑严重破坏的一个主要的原因。很多建筑在以前的地震后尽管没有发生明显破坏,维修加固后继续使用,然而维修加固部位往往成为再次地震的安全隐患。当地震再次作用时,损伤将进一步加重,进而导致建筑物的严重破坏。因此,在地震频发的地区,对于震后“可修”的建筑,如果其建筑年代较早,结构形式老化,抗震能力较差,虽然其位于“中震可修”的范围,也可以考虑将其推倒,重建抗震性能好的建筑;而不采用“加固”的策略。这一点从长远来看,也是符合建筑安全与经济要求的。

2.3 注意场地条件的问题

前文提到的新新乡完全小学教学楼的破坏比同类型其他建筑的破坏要严重很多,不利的场地条件以及地基处理不当是其发生破坏的主要原因。因震区地形较复杂,在规划建设中一定要注意场地条件的选取,应首先考虑避开抗震不利的地段,如确实无法避开,则应加强对场地的勘查工作,并对地基进行有效的处理。

2.4 注意结构刚度突变处及附属建筑的设计

前文提到的县人民法院办公楼破坏最严重的地方是结构刚度突变处,且与附属结构的碰撞也进一步加重了震害。因此对于刚度突变的结构,在设计中应加强对突变过渡层的构造措施及抗震验算,使其抗震性能得到很好的保证。附属建筑也是经常发生破坏的部位,在日本新潟县中越大地震中也发生了不少类似的震害现象(李宏男,2005)。因此,附属建筑的设计也应给予足够的重视。

2.5 抗震缝的设置有待进一步研究

在这次地震中,不少建筑虽然抗震缝的宽度满足现行规范的要求,但是变形缝两侧结构仍然发生了碰撞破坏,如前文中提到的公安局办公大楼。因此,现行规范中规定的抗震缝宽度有待进一步研究,尤其是在类似的多震区,抗震缝的设置问题值得进一步讨论。

应该强调的是,上面所提到的震害实例中,建筑材料质量较差、施工质量低下也是这些建筑发生严重破坏的一个不可忽视的原因。在考察中我们发现凡是严格按照国家标准规范进行设计、严格要求施工质量的工程,在地震中大多数表现了较好的抗震性能,未受到严重破坏。而那些使用较差质量的建筑材料,施工质量低下的工程即使外观漂亮、结构合理,仍然没能经受住地震的检验。例如在现场我们就观察到不少墙体水泥标号较低,甚至可以用手捏碎,也有一些以水泥砂浆勾外缝、黄泥勾内缝的现象,且勾缝不饱满,在一些构造柱中石子颗粒级配不合理,这样的建筑材料和施工质量显然难以保证建筑的抗震性能。地震是对工程

质量最直接的检验,因此,严把建筑材料、施工质量关是提高建筑抗震性能的基础,也是灾区重建过程中需强调的问题。

3 结语

本文介绍了宁洱 6.4 级地震房屋建筑的震害情况,结合典型的建筑工程初步分析了震害影响因素,考虑当地地震频发的特点,对灾区房屋重建及加固维修提出了一些建议,希望能对灾区重建家园和其他类似地区的抗震研究等相关工作有参考价值。

致谢: 在考察过程中得到了宁洱县教育局、宁洱县人民法院等单位的大力协助,在此谨致谢意。

参考文献

- 陆鸣等, 2006. 农村民居抗震指南. 北京: 地震出版社.
- 李宏男, 赵衍刚, 2005. 日本新潟县中越大地震震害调查及分析. 自然灾害学报, **14** (1): 165—174.
- 苗崇刚, 胡永龙, 周光全, 候建盛, 2007. 云南宁洱 6.4 级地震应急行动及灾害特征. 国际地震动态, 6 期: 5—11.
- 那向谦, 周锡元, 刘志刚, 1991. 云南澜沧—耿马地震中建筑物的震害调查. 建筑结构学报, **12** (4): 62—71.
- 中华人民共和国建设部, 2001. 建筑抗震规范 (GB50011-2001). 北京: 中国建筑工业出版社.

Investigation and Analysis of Building Damage of Ning'er M_S 6.4 Earthquake

He Qiumei¹⁾, Lu Hongshan¹⁾, Li Fangjie¹⁾, Yan Jiaquan¹⁾ and Li Xiaojun²⁾

1) Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100081, China

2) Institute of Engineering Mechanics, China Earthquake Administration, Harbin 150080, China

Abstract In Ning'er county, some buildings with different structure styles were damaged in varying degrees by M_S 6.4 earthquake on June 3, 2007. This paper emphasized on the description of the damage phenomena of some typical kinds of building structures and analyzed some of their failure reasons based on the on-site investigation of the earthquake damage. Finally, some valuable lessons learned from this earthquake are presented.

Key words: Ning'er earthquake; Investigation of earthquake damage; Damage phenomena