

甘肃省农村各种结构类型房屋的地震破坏机理

刘红玫^{1,2}, 林学文²

(1. 中国地震局预测研究所兰州科技创新基地, 甘肃 兰州 730000;

2. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘要:地震造成房屋倒塌是我国农村地区的主要震害和人员伤亡重大的直接原因。本文基于对甘肃省农村民房的调查结果,按不同结构对农村房屋进行了分类,分述了各种结构类型房屋的地震破坏机理。对今后农村房屋的改造与新建具有一定的借鉴意义。

关键词:甘肃; 农村房屋; 地震破坏; 结构类型

中图分类号: P315.9; TU352.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-0844(2007)01-0075-04

Structure Types of the Rural House and Seismic Destroying Mechanism in Gansu Province

LIU Hong-mei^{1,2}, LIN Xue-wen²

(1. Lanzhou Base of Institute of Earthquake Prediction, CEA, Lanzhou 730000, China;

2. Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The house collapse caused by earthquakes is main earthquake disaster and direct reason of people death in China rural area. In this paper, based on the investigation result of rural building in Gansu province. The houses in rural area are classified according to the structure types, and the seismic destroying mechanism for every type of house are discussed. The result is significant to reconstructing of old houses and design of new buildings in future.

Key words: Gansu; Rural house; Seismic destroying; Structure type

1 甘肃省农村民房类型划分

按照农村民房的结构承重体系整体的强度和稳定性,可将甘肃省农村民用房屋划分为五大类型^[1]:

- (1) 木架承重型房屋;
- (2) 墙体承重型房屋;
- (3) 混合承重型房屋;
- (4) 黄土崖窑;
- (5) 砖、砖混结构类型房屋。

2 各种类型农村民房的地震破坏机理

地震过程中,引起建筑、构筑物破坏的因素很多,其中建筑、构筑物自身具有的结构强度、整体稳定性和动力特性等是主要的内部因素;地震强度、持时、地震波频谱性状特征及场地诸多因素,是建筑、

构筑物破坏的主要外部因素。下面分别对各种结构类型民房的主要震害表现和破坏机理作一陈述。

2.1 木架承重房屋

木架承重房屋是西北地区及甘肃省农村民居房屋的主要类型之一,具有较高的抗震强度。木架房各结点的牢固程度和梁、柱、檩(椽)构架整体的稳定性和强度是其抗震性能好坏的关键。

木架结构房屋的动力特点是柔性较强。但由于木架房榫头处的强度一般较弱,在较强地震力作用下就会形成菱形几何变形体,从而使结构的自振周期变长。随着地震动的进一步加强,逐渐引起构架的倾斜、拔榫、折榫甚至倒塌或散落。

屋盖系统比较多见的震害是屋檐、屋脊砖或瓦

收稿日期:2006-05-12

基金项目:甘肃省科技攻关项目(2GS035-A45-081);中国地震局兰州地震研究所论著编号:LC20070011

作者简介:刘红玫(1971-),女(汉族),甘肃敦煌人,高级工程师,主要从事黄土地震工程及试验研究。

闪落,甚至屋顶局部梭瓦。如果年久失修,亦可发生屋顶局部塌落现象。

作为墙体建筑材料的黄土其粗粒及粉粒成份多、粘粒成份少,这是造成黄土成型建材强度极低的根本原因,土坯强度试验结果已证实了这一点^[2]。另一个主要原因是房屋主体结构的梁、柱与墙体的接合部位没有牢固的拉结措施,木柱一般是砌在围护墙与内隔墙接合部的端部。当以水平地震力为主时,墙体沿墙包柱部位产生竖向上宽下窄的裂缝;以竖向地震力为主时,墙体极易产生水平裂缝、断裂、甚至酥裂或倒塌;当水平地震力很强时,则墙体将产生“X”型或近45°的斜裂缝,或沿墙角、隔墙及山尖处发生竖向闪裂乃至闪落、闪倒。由于夯土墙的厚度及质量均比土坯墙大,所产生的地震惯性力也大,地震过程中破坏亦愈重。

扶墙烟囱及屋顶烟囱在地震中多为顶部倾斜,甚至倾倒,这种破坏明显是水平地震力所致;竖向地震力为主时,则可引起烟囱顶部断裂;在水平与竖向地震力共同作用下,可使烟囱产生一定角度的扭动、错动、倾斜或倾倒。墙内及扶壁烟道的主要震害则为局部开裂、塌落或掉头。

2.2 墙体承重房屋

墙体承重房屋屋盖系统的檩子或大梁与承重墙体接触部位,承受着屋盖系统的全部重量,因此造成局部荷载集中、压强很大的现象。地震过程中墙体承受的地震力等于墙体质量及屋盖系统所产生的惯性力的总合。这类房屋的抗震性能主要取决于承重墙体强度、墙体与屋盖系统搭接处有无固定措施及其强度的大小。

由于西北地区黄土的成型材和土坯墙沟缝泥浆的强度很低,土墙的刚度虽然较大但延性很差,所以极易发生剪切脆性破坏。在水平地震力作用下,墙体交接处与屋盖系统的运动不同步,屋盖的运动滞后于墙体。这时若两者搭接不牢或强度不够,在竖向地震力的作用下,将使墙体产生竖向裂缝或酥裂、甚至塌落。在水平地震力作用下,纵横墙体的交接处极易产生竖向裂缝;当水平地震力很强时,承重墙体将产生“X”型的剪切斜裂缝和“V”形塌落。同时由于屋盖系统的梁、檩与承重墙体地震运动的惯性力和相位差,极易引起梁檩与墙体搭接处的冲撞、冲砸作用;特别是在梁、檩不出檐或外伸长度不够时,是造成梁、檩拔出及落架的重要原因。当竖向与水平向地震力兼有时,由于地震惯性力很大,所以造成的破坏更为严重(图1)。

墙体承重房屋中的砖柱土坯墙房屋在水平地震力作用下,由于砖柱与土坯墙之间没有拉结措施,极易造成砖柱倾斜或产生断裂,甚至倾倒,而引发屋顶局部塌落或房屋倾倒。当砖柱与梁檩固定不牢时,会因地震过程中两者运动的不同步,而产生屋盖系统对砖柱乃至土坯墙体的撞击,因而加剧砖柱及房屋的破坏过程。从这类房屋抗震强度及整体稳定性而言,较土墙承重房屋要低。

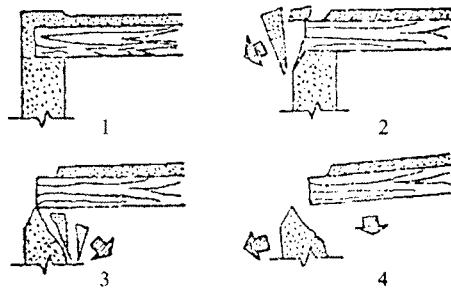


图1 承重墙体的破坏过程

Fig. 1 Destroying process of main wall.

有的地方承重墙体为石墙或下部为碎石或砾石堆砌,上部为土坯砌筑,而且一般石砌部分多以黄泥浆或灰泥沟缝,因此墙体强度极低。在水平地震力作用下极易产生破坏性变形或坍塌,造成房屋的破坏。石筑墙与土坯墙、夯土墙的强度相比,其抗震性能相差很大(照片1)。

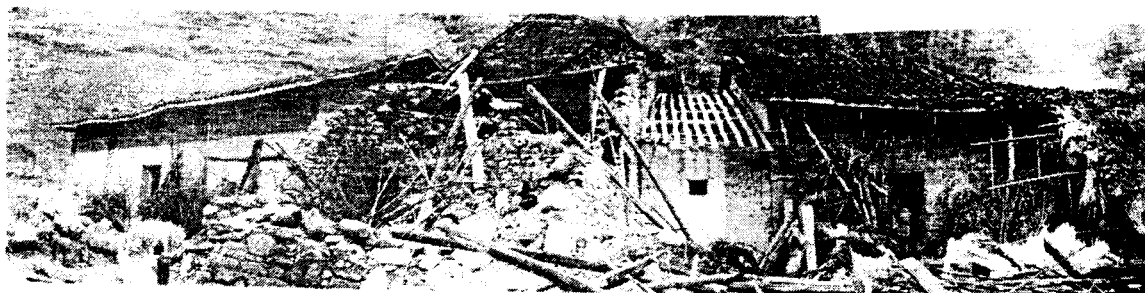
2.3 混合承重房屋

混合承重房屋屋顶重量分别由木架和墙体两种不同承重类型体系共同承担。房屋两种结构类型过渡处的墙体承受了主要的地震力,随着地震力的增强,梁、檩及屋盖系统与承重墙体接触部位由于两者运动相位差,使墙体产生竖向裂缝、局部酥裂,或局部塌落、梁檩拔出,甚至引起屋架倾落。木架承重部分因受上述破坏的影响,使与墙体承重部分过渡的边跨部位的梁、檩产生一定扭动错位,甚至使混合承重部位屋顶局部或整体落架。

由于两种结构类型过渡处是抗震强度最低和最易遭受破坏的部位,从这方面讲,这种类型房屋既不如墙体承重型房屋,更不如木架承重型房屋。

2.4 土坯拱窑与黄土崖窑

拱窑顶部呈圆弧形,通常状态下拱顶荷载通过拱脚传到墙体。当水平地震力主方向与窑体长轴近于垂直时,墙体在水平地震力及拱顶水平推力共同作用下产生水平位移,这时拱顶曲率变小,沿拱顶长轴方向产生的压张应力是拱顶沿长轴方向产生严重开裂乃至拱顶坍塌的主要原因;当地震力主方向与



照片1 夯土墙与石筑墙抗震性能比较(7°区石墙承重房屋倒塌,夯土墙承重房屋仅梁下出现裂缝)

Pho. 1 Comparing of earthquake resistant feature between pounded earth-making wall and stone-making wall.

窑体长轴近于平行时,窑体以前后墙体破坏或倒塌为主。窑体的侧墙即拱脚是拱窑稳定的基础,而土坯拱窑多为夯土墙体,由于夯土墙多为分层、分段夯筑,又各不拉结,再加上个别地方的连拱窑为了生活方便,在其侧墙留有门窗洞,因此大大降低了侧墙的抗震强度。当窑体侧墙强度不够而发生地震变形或局部倒塌时,就会引发拱顶严重破坏、局部或整体坍塌,甚至在竖向地震力很强时亦可产生相似的破坏(图2)。拱顶顶泥过厚所造成的地震惯性力增大也是引起拱窑破坏的重要原因。

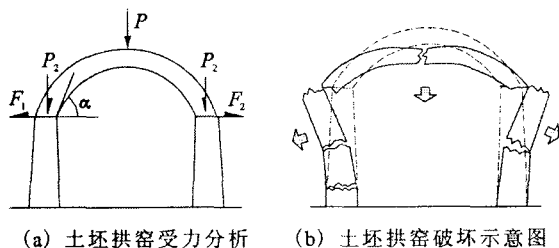


图2 土坯拱窑受力与破坏

Fig. 2 Stress distributing and destroy of earth-making vaulted cave-house.

黄土崖窑多开挖在黄土崖坡前或平地挖坑后再挖窑体。地震过程中,当地震波到达黄土崖坡前时将产生反射、折射,对突出地形或低凹及山拗地带将产生波的反射、散射、干涉。如处在山嘴或小山包前沿的崖窑在地震过程中由于地震波的反射作用使窑脸及窑壁局部产生应力集中而加大,或由散射作用而使应力相对较小。通常状态下仅在窑脸、窑顶出现局部塌落、掉块。1920年海原8.5级地震中,在IX度和X度地震区内分别出现了35%、70%左右的窑脸坍塌,X度区还出现有部分窑顶塌实的现象;而VII度区则仅有窑顶局部掉土或窑脸局部开裂现象^[3]。

在1976年内蒙古和林格尔发生 $M_s 6.3$ 地震时,罗文豹等对VI度、VII度、VIII度区内的木架房、土坯拱窑及黄土崖窑的震害作了鉴定,结果如图3^[4]。

可以看出,在地震烈度VII度、VIII度情况下,黄土崖窑的抗震性能远优于木构架房屋。总体来说,崖窑的抗震性能优于墙体承重房屋和混合承重房屋,可与简单木架房屋甚至正规木架房和砖结构平房相媲美。

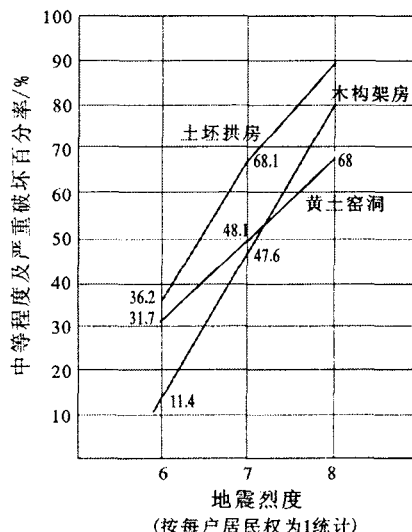


图3 1976年和林格尔地震农村房屋中等破坏以上的百分率(据文献[4])

Fig. 3 Destroy percent of different rural houses in Helingeer earthquake in 1976.

2.5 砖及砖混结构类型房屋

砖墙承重的砖平房和砖混结构类型多层楼房抵御地震力的关键是承重墙体强度和主体结构的整体稳定性。地震造成这类结构类型房屋破坏的主要原因多数在于没有或没有完全按照国家颁布的相关规范、规程标准进行设计与施工。

2.5.1 砖平房

其墙体与屋盖连接的强度和房屋结构整体稳定性是其抗震强度的关键。地震过程中,极震区地面运动的垂直分量远大于水平分量,在强大竖向地震力和水泥预制板屋顶惯性力共同作用下,当砖及沟缝砂浆强度很低,砖砌体之间及墙体与屋盖之间没

有拉结、或拉结强度低于竖向拉应力时,墙体就会发生水平裂缝,甚至产生酥裂、乃至散落,引起屋顶局部塌落或倒塌。在距极震区较远或以水平地震力为主时,在水平地震力反复剪切作用下,在内外墙体底部及窗间墙部位就会产生近 45° 、宽度不同的斜裂缝或交叉裂缝;或因纵横墙体之间无拉结、或拉结不牢,或没有同时咬岔砌筑,引起纵横墙体交接处发生上宽下窄的竖向裂缝,或山墙外闪,乃至局部塌落或倒塌,引起屋盖塌落。

当水泥预制板屋盖与墙体之间无拉结固定措施、或强度不足,或搭放长度不够时,在水平地震力作用下极易引起屋盖滑移、墙体顶部破坏及屋顶局部或全部塌落。门窗洞口之间的预留宽度不够会使墙体抗地震力的强度降低,或在门窗洞上部不设配筋砖过梁,或墙体顶部没有设置配筋砖圈梁、或无钢筋混凝土圈梁时,则在烈度较低情况下也会导致墙体发生破坏。局部突出或附属建筑部位的出屋面烟囱、高门脸、女儿墙等,是最易发生破坏的部位。

上述新建砖房的破坏,主要是结构存在一些不合理现象,以及房屋施工质量差,砂浆标号未达设计标准等。若能注意上述几个方面的问题,这些震害现象是完全可以避免或减轻到最少程度的,所以砖结构平房完全可以抗Ⅷ度地震。

2.5.2 多层砖混结构房屋

在竖向地震力作用下,一般先在墙体上出现斜向或交叉裂缝;随着竖向地震力的增强,裂缝的发展逐渐使墙体发生滑移、错位、破碎、散落,直至丧失竖向承载能力而坍塌。在水平地震力作用下,一般多在楼盖的梁板附近沿砖砌体灰缝出现水平裂缝。随着水平地震力的增加,在墙体与预制板之间没有拉结或拉结固定强度不够的情况下,将产生滑移或错动,导致部分预制板的塌落现象。发生在细高窗间及门间墙体上下两端的破坏,多呈水平裂缝形式并伴有受压崩裂现象。

建在软土地基上的多层砖房,由于建筑场地破坏所引发的房屋破坏,一是地裂缝穿越房基,引起墙体出现竖向或斜向裂缝,使建筑物严重破坏、局部倒塌。二是因地基沉降量的差异,使纵向墙体出现上窄下宽或倒“八”字形斜裂缝,或从窗台处,出现水平贯通裂缝。

地震力是由承重墙体传递到建筑物的各个部位,承重墙体与屋盖系统及楼板之间的联接点是结构受力的主要部位。这些部位有足够的强度时,就能确保建筑物的安全。在Ⅷ度烈度区应增设加筋构

造柱和加筋圈梁,可以提高外纵墙的稳定性和结构的整体性。在高烈度区或当楼板层刚度弱时,更应注意圈梁与隔墙间的拉结。在调查中发现,不按照抗震设计规范的现象比较多见,是引发震害的主要原因之一。如承重墙端至门洞、窗洞的边距过小、层高超限等。有的多层砖房顶层大房间楼板直接搭放在屋面梁上。在地震过程中,当墙体内主拉应力超过砌体强度时,便发生剪切破坏,造成顶层墙体出现“X”形或“V”形开裂及斜裂缝;梁下墙体则出现“八”形开裂。

单侧外廊多层砖房较一般多层砖房抗震性能差的主要原因,是由于沿房屋纵向刚度分布不均匀及廊柱断面小和刚度不够。仅在前墙设有门窗洞,后墙及横墙均不开洞,所以在纵向水平地震力作用下,因应力集中而造成后墙及横墙产生严重开裂。当水平地震力的方向垂直于纵墙时,纵墙墙面向外弯曲,沿窗的下方墙体易出现贯穿性水平裂缝。

局部突出屋面的塔楼、屋顶间、烟囱、女儿墙及阶状建筑等,由于立面复杂、平面尺寸和侧向刚度的突变,再加上地震过程中的“鞭梢效应”,造成这些部位变形集中且受高振型影响显著,比一般相同部位的地震力要大 $1\sim 3$ 倍^①,其中尤以顶层间的震害更为突出,甚至在Ⅵ度区都可能发生较严重的破坏。

不按规范设计和施工,当受到水平地震力作用时,相邻两边建筑的侧墙因水平位移而产生冲撞,导致封缝处墙体的破坏,也是震害中常见到的现象。

砌体材料砂浆的强度是影响建筑结构破坏的重要因素。影响砂浆强度的主要因素有:砂浆骨料级配不合理,料质不好或配料比例不当。在抗压及抗拉和抗剪强度方面,混合砂浆较水泥砂浆可分别高出 15% 和 25% ,表现出较好的抗震性能。

(下转 83 页)

① 国家建委建筑科学院,云南省基建局,原国家建委第五工程局建筑科学研究所,云南通海地震房屋震害调查,1971。

的定位和旅游形象的设计,采取政府主导、企业运作的管理经营模式,注意经济效益和生态效益相结合。

[参考文献]

- [1] 国家地震局兰州地震研究所. 1920 年海原大地震[M]. 北京:地震出版社,1980.
- [2] 张振中. 黄土地震灾害预测[M]. 北京:地震出版社,1999.
- [3] 袁丽侠. 宁夏地震诱发黄土滑坡[M]. 银川:宁夏人民出版社,2005.
- [4] 单鹏飞. 宁夏西吉地区滑坡灾害地貌的成因分析[J]. 地理学报,1996,51(6):535-542.
- [5] 聂高众,高建国,邓砚. 地震诱发的堰塞湖初步研究[J]. 第四纪研究,2004,24(3):293-301.
- [6] 单鹏飞. 宁夏南部山区滑坡灾害地貌的环境效应[J]. 地理科学,1992,12(2):161-168.
- [7] 崔中兴,杨作栋. 黄土地区滑坡的机理分析及防治对策[J]. 水土保持通报,1994,14(6):48-52.
- [8] 张振中,郑恒利,王兰民. 黄土随机振动强度参数在地震滑坡分析中的应用[J]. 西北地震学报,1991,13(3):45-49.
- [9] 周本刚,张裕明. 中国西南地区地震滑坡的基本特征[J]. 西北地震学报,1994,16(1):95-103.

(上接 78 页)

3 结语

本文主要对甘肃省农村民用房屋按结构承重体系整体的强度和稳定性,将其划分为五大类,并分别对各种类型房屋的震害表现及其地震破坏机理进行了讨论。总体来看,农村民房由于在建房时缺乏统一的规划管理与必要的监管措施,使得一些原本按照相关规范建造的能够达到本地区地震防御标准的房屋在地震时却遭受了不同程度的破坏,造成了不必要的人员和财产损失。建议政府相关部门在今后必须严格加强村镇建设方面的规划与管理,广泛深入地进行防震减灾科普宣传教育工作,使广大农民群众认识到在民房建设中抗震问题的重要性,引导

农民建设地震安全民居,以便最大程度地减轻地震灾害损失。

[参考文献]

- [1] 林学文,宋福堂. 民用房屋的抗震[M]. 兰州:甘肃省人民出版社,1980.
- [2] 王峻. 黄土地区农村民房生土建筑土墙材料抗震性能的试验研究[J]. 西北地震学报,2005,27(2):158-162.
- [3] 魏英祖,郭金贵. 西北地区农村房屋抗震设防现状及对策研究[J]. 西北地震学报,2005,27(4):351-356.
- [4] 国家地震局兰州地震研究所,宁夏回族自治区地震队. 一九二〇年海原大地震[M]. 北京:地震出版社,1980.
- [5] 罗文豹. 黄土窑洞的抗震问题[J]. 工程抗震,1985,(4):11-15.