

洪海春, 杨伟林, 彭小波, 范小平, 顾勤平, 2013. 江苏高邮、宝应 $M_S4.9$ 级地震现场震害调查与破坏原因研究. 震灾防御技术, 8(3): 283—291.

江苏高邮、宝应 $M_S4.9$ 级地震现场震害调查与破坏原因研究¹

洪海春 杨伟林 彭小波 范小平 顾勤平

(江苏省地震工程研究院, 南京 210014)

摘要 江苏高邮、宝应 $M_S4.9$ 级地震在极震区造成了数10间农村民居不同程度和不同方式的破坏, 出现人员伤亡。震后对地震灾害现场进行震害调查与破坏原因研究, 典型的震害特征包括砖砌体、砖木和砖混结构房屋局部倾倒、墙体贯通开裂、房顶瓦片掀翻和烟囱倒塌等。农村民居遭到破坏的主要因素包括: 选址不当、施工质量较差、砂浆强度不够、缺少圈梁和构造柱等。同时, 分析了竖向地震作用和鞭梢效应等地震效应, 讨论了砖砌体和砖混结构抗震设计的加固方法和改善抗震性能的构造措施等, 为农村民居的抗震设防和减轻震害损失等提供参考。

关键词: 高邮、宝应 $M_S4.9$ 级地震 震害调查 破坏原因 竖向地震作用 鞭梢效应

引言

2012年7月20日20时11分在江苏省扬州市的高邮市、宝应县交界处($N33.0^\circ, E119.6^\circ$)发生了 $M_S4.9$ 级地震, 震源深度5km。地震发生时, 江苏省全省普遍有感, 周边省、市也有部分地区有感。这次地震是1990年常熟 $M_S5.1$ 级地震以来江苏省陆地发生的最大地震, 地震发生后江苏省地震局立即启动应急预案, 20时40分起陆续派出三支地震现场工作队赶赴震区。根据华东协作区应急联动方案, 上海、安徽、浙江等地部分地震现场工作人员也在震后当晚赶赴震害现场, 进行了地震烈度调查、震灾评估、地震科考和流动监测等(洪海春等, 2011)。

高邮、宝应 $M_S4.9$ 级地震发生在仲夏的晚上, 地震时许多村民刚吃过晚饭, 准备洗澡、纳凉或者看电视, 感觉到地震后都纷纷外跑, 绝大多数居民避免了被掉落块体和倒塌墙体砸伤。根据地震灾后的调查结果, 高邮、宝应两地共有6个乡镇不同程度受灾, 此次地震微观震中位于高邮市周巷镇、宏观震中位于宝应县夏集镇(两地相距约8km), 极震区震中烈度为VI度, 地震造成1人死亡、2人受伤, 数10间房屋以不同的程度和方式被破坏。这是在中强地震活动背景下中强地震成灾的典型案列(高孟潭等, 2010), 从而引起省、市(县)、镇

1 基金项目 国家自然科学基金青年科学基金项目(51208234); 中国地震局地震科技星火计划青年项目(XH12021Y)

[收稿日期] 2013-03-28

[作者简介] 洪海春, 男, 生于1977年。博士, 高级工程师。主要从事地震岩土工程、地震灾害预防和地震应急救援方面的研究。E-mail: haichunhong@126.com

各级政府领导和中央电视台等新闻媒体的关注。

本文基于地震现场震害调查与破坏原因研究,分析了部分农村民居出现砖砌体房屋局部倾倒、墙体贯通开裂、房顶瓦片掀翻和烟囱倒塌等的典型震害特征,以及竖向地震作用和鞭梢效应等,讨论了砖砌体和砖混结构抗震设计的加固方法和改善抗震性能的构造措施等,可为农村民居的抗震设防和减轻震害损失等提供参考。

1 地震现场震害调查

高邮、宝应 $M_S4.9$ 级地震震害的主要特点为:震中区破坏较强烈,影响范围较大,极震区相对集中,主要分布于高邮市周巷镇和宝应县夏集镇。应当说,地震灾区部分房屋没有经受住此次 $M_S4.9$ 级中强地震的考验(洪海春等,2011)。根据地震现场灾评小组评定和专家鉴定:此次地震造成高邮市周巷镇和宝应县夏集镇等部分房屋开裂、局部倒塌,总体的地震损失相对较轻,对人民群众正常生产生活影响较小。根据中国地震动参数区划图,高邮市的抗震设防烈度为Ⅶ度,设计基本地震动峰值加速度为 $0.10g$,而宝应县的抗震设防烈度为Ⅵ度,设计基本地震动峰值加速度为 $0.05g$ (中华人民共和国国家标准,2001)。根据工程地质资料显示,受灾区域的覆盖土层较薄(约 $50m$),其场地卓越周期接近于砖砌体结构的自振周期,致使房屋晃动比较剧烈,出现倒塌开裂、错位和少量贯穿型“X”裂缝(洪海春等,2011),个别房屋建筑破损程度属于中等破坏,经济损失较大。地表没有出现严重变形或破坏,地震裂缝、地震塌陷(形成陷坑、溶洞陷落)、砂土液化等地表变形或破坏现象均未明显出现。

1.1 墙体局部倒塌破坏

在高邮市周巷镇和宝应县夏集镇2000年以前修建的房屋约占75%,当地大多数房屋以2层砖砌体结构为主,采用混合砂浆勾缝较常见,以墙为承重主体,采用承重柱、构造柱、圈梁等抗震措施不足,纵横墙连接部位不牢固,房屋结构不合理,所以抗震能力较差、出现局部倒塌,如图1所示。砖砌体的抗压强度随着块体和砂浆强度等级的提高而提高,而块体的外形越规则、越平整,则砌体的抗压强度越高。在地震现场调查中发现,砌体中灰缝的厚度不够规范,混合砂浆的厚度较大,水泥砂浆和石灰砂浆的厚度较小,这可能是房屋建筑过程中考虑经济因素较多造成的(混合砂浆的成本较低)。采用水泥砂浆和石灰砂浆可以改善受力特性和达到防潮要求,同时,这两者的粘结力较大和耐久性较好。为保证砖砌体均匀受力和使砌体紧密结合,要求砌筑后灰缝饱满,厚薄均匀,否则,砖砌体受力后容易弯曲而断裂(彭小芹等,2002)。建筑材料和施工质量是保证建筑物抗震性能的主要因素。在此次地震的极震区少数农村民居墙体厚度较薄,不符合国家相关规范的要求(中华人民共和国行业标准,2008),导致墙体局部倒塌破坏。

砖砌体的抗压性能较好,而抗剪性能较差,设置钢筋混凝土构造柱和圈梁能提高墙体和房屋的整体性。构造柱的作用主要表现是增加砌体房屋的抗剪强度,提高墙体高厚比限值,对砌体起到约束作用,使其变形能力有较大提高。圈梁的作用主要表现是提高楼盖的水平刚度,增强纵、横墙的连接,减小墙体的自由长度,减轻地基不均匀沉降对房屋的影响(彭小芹等,2002)。2000年以前修建的房屋基本没有设置构造柱和圈梁,这是在中强破坏性地震近场较强震动荷载作用力下,出现整面墙体倒塌的主要原因。然而,最近10年修建的房屋绝大多数是2层砖混结构,部分房屋设置了构造柱和圈梁,在此次地震后其主体结构基本完好,未造成实质性的损伤。

1.2 墙体开裂破坏

房屋墙体开裂破坏主要表现在纵横墙连接处开裂和墙体“X”形剪切裂缝，个别甚至出现内外墙体大型贯通裂缝等，如图 2 所示。纵横墙连接处未进行特殊处理，整面墙体未设置拉结钢筋或者拉结铁丝网片的抗震构造措施（中华人民共和国行业标准，2008），因此，容易产生墙体开裂破坏现象。空斗墙具有用料省、造价低、自重轻和隔热、隔声性能好等优点，但是，在土层较厚或土质软弱的地基且可能引起建筑物不均匀下沉时，不宜采用空斗墙砌筑。相对实心砖墙而言，空斗墙的纵横墙连接处抗震性能更低。纵横墙连接处由于受到两个水平方向和垂直方向地震力的共同作用，受力情况特别复杂，容易产生应力集中效应（彭小芹等，2002）。总体上说，空斗墙是一种非均质砌体，坚固性较实砌墙差，因而墙体的重要部位须砌成实体，例如：纵横墙交接处、门窗洞口的两侧等。因此，在农村民居砌体房屋中，应尽量采用实心砖墙提高房屋的抗震性能。

墙体“X”形交叉斜裂缝是典型的剪切裂缝。墙体抗剪承载力不够，地震发生时在承受水平荷载状况下，墙体受到的剪力超过墙体的抗剪强度，就容易产生“X”形交叉斜裂缝。裂缝交叉点基本上在墙体中心位置，在地震荷载作用下，裂缝交叉位置出现贯穿情况，属于破坏严重的部位（周云等，2009）。墙体“X”形剪切裂缝对墙体内部和整体损伤较大，开裂处的砖块被剪断，有的砖块劈裂、剪压破碎，通常这类房屋可采用高标号水泥砂浆灌缝，在墙体外表面裂缝处（剔除装饰层）铺一层钢板网或钢丝网并抹高标号水泥砂浆修复和加固。

在此次地震的极震区，个别砖砌体房屋出现垂直于墙面方向的错动，其错距最宽处超过 3cm，这使得墙体的强度和稳定性显著降低，对于此类墙体应视具体情况将其拆除重新修建。

1.3 窗间墙墙体开裂

在地震荷载作用下，极震区大部分房屋窗间墙周边的砌体墙容易发生开裂和破坏，窗户玻璃振裂甚至振碎，窗户的四周出现裂缝且上部裂缝宽于下部裂缝，最大宽度约 5cm，如图 3 所示。窗间墙在地震中开裂破坏主要包括两方面的原因：一是窗户洞口的设置使墙体横截面积突然减少，在地震破坏作用力下，墙体受到的剪力超过墙体的抗剪强度，以致产生不同程度的斜裂缝或水平裂缝；二是窗户洞口上未采用钢筋混凝土过梁或钢筋砖过梁，有的已设置过梁，但厚度不够或配筋不足，不能起到过梁的构造加固作用，有的采用卧砌（眠砖）方法过梁，墙体本身强度较低，在地震荷载作用下，造成局部应力集中，产生洞口上部、角部墙体出现斜裂缝（洪海春等，2011；周云等，2009）。相对而言，空斗墙的斜裂缝比实心砖墙要宽一些。

因此，对于农村民居的窗间墙墙体要按照规范要求进行合理设计和施工，采用钢筋混凝土过梁或钢筋砖过梁。当门窗洞口采用钢筋砖过梁时，其纵向钢筋配筋量、砂浆层的厚度和强度等级等要满足规范要求（中华人民共和国行业标准，2008）。

1.4 其他破坏现象

除了极震区或与地震地质环境影响有关的农村民居破坏较重以外，按农村民居图集进行正规设计、施工的房屋，均经受住了这次地震的考验。土木结构是当地大多数厨房、仓库、畜棚的房屋建筑形式，少部分土木结构为居民住宿使用（洪海春等，2011）。土木结构建筑由木柱、木梁和墙体承重，整体性相对较差、抗震能力较弱（中华人民共和国行业标准，2008），在地震破坏作用下，存在墙体开裂、墙皮脱落、房屋掉土块或者歪斜等现象，但木构架基本完好、节点榫头未见拔出，只是在柱角处有移位现象，这存在一定的安全隐患。在经济条件

许可的情况下,应尽量避免居住在土木结构房屋内(都昌庭等,2006)。在地震灾害较重的村镇,部分房屋受到损坏,其中大多数是2000年及其以前修建的砖砌体结构平房、少数是楼房遭到破坏。此外,部分农村民居的天花板出现粉刷水泥块体或者石灰块体掉落(洪海春等,2011)。

2 地震效应分析

2.1 竖向地震作用

随着人们对地震破坏机理的深入研究和国内外的(特)大地震的震害调查,发现竖向地震作用不容忽视,收集到的地震动加速度资料表明,竖向地震作用对建筑物的破坏状态和破坏过程的影响是重要因素。当竖向地震加速度达到一定数值时,竖向地震荷载与结构自重叠加时,其最大压力值将不在建筑物的底部而是在中上部,导致房屋结构在中上部破坏(杨春田等,1993)。在高邮、宝应 $M_S4.9$ 级地震的极震区,少数房屋的上部破坏比下部严重,烟囱整体倒塌破坏,如图4和图5所示,这说明除水平地震作用外,对于震中地区的房屋,竖向地震作用的影响不可忽视。从近年来的国内外震害经验来看,竖向地震作用有时甚至起主要作用,此时表现为房屋的破坏上重下轻、烟囱整体倒塌和顶部塌落等。

在地震现场灾害调查中发现,部分农村民居的上部结构破坏相比下部结构而言要更严重,如图4所示。从图4(a)中可以看出,砖混结构房屋的上层是空斗墙,其整面墙体基本倒塌,而下层实心砖墙基本完好,墙体轻微裂缝也很少出现。从图4(b)中可以看出,砖砌体结构房屋的上部墙体较薄,但却是实心砌筑,砖墙沿着墙厚变化的搭接部位倒塌,而下层实心墙体基本完好。同时,有部分沿街的门面房基本完好或者轻微破坏,但其上部用于安装或者加固广告牌匾的附属建筑,则出现倒塌、开裂或者变形破坏等。在地震现场灾害调查中发现,部分居民家中的烟囱出现倒塌破坏现象,有的烟囱从灶台底部至顶部整体倒塌,有的烟囱只是顶部出现塌落,如图5所示。此次高邮、宝应 $M_S4.9$ 级地震中出现烟囱倒塌破坏的房屋均为附近地区上世纪90年代左右的老旧房屋或简易房屋,绝大多数为砖木结构。试验和理论分析结果表明,烟囱结构的震害是由水平和竖向地面运动共同作用引起的,在弹性振动阶段,水平输入地震动应力大于竖向地震动应力;但是,进入塑性阶段以至破坏阶段时,由于烟囱结构很柔,周期的延长使得竖向动力响应超过水平方向,使得烟囱在地震力作用下的主要破坏形式为在其中上部的拉裂和折断(陈健云等,2005)。因此,计算高柔结构和特定条件下某些结构的竖向地震作用有其必要性,有利于烟囱结构的安全和稳定。

通常情况下,位于极震区的建筑物,水平地震作用和竖向地震作用共同对建筑结构产生不利影响。汶川地震的震害经验表明,多层房屋建筑的竖向地震效应,要小于高耸竖筒形结构,但水平构件刚度偏大时,对房屋结构的抗震性能是不利的(曲淑英等,2001;高志兵等,2009)。竖向地震作用的破坏效应,主要取决于结构刚度、墙体重量和特征周期值等。结构刚度大、墙体重量偏重、特征周期偏长,竖向地震作用的效应越显著,对抗震不利(刘爱文等,2006)。

2.2 地震鞭梢效应

鞭梢效应是指在地震作用下,高层建筑或其他建(构)筑物顶部或突出物的振幅剧烈增大的现象,其发生的原因主要是由于突出物自振频率与地面运动干扰频率相等或相近(曲淑英等,2001),地震波动过程中,建筑物在摆动方向转换瞬间,突出部位在惯性作用下继续按

原来运行轨迹发展，而下部主体结构已经朝相反的方向摆动，突出部位形成较大的加速度，导致突出部分地震作用迅速增加，从而形成结构薄弱部位。

在国内外多次较为严重的破坏地震的震害调查中发现，突出屋面部分的震害普遍严重。本文针对出屋面的建（构）筑物的鞭梢效应，综合规范和震害破坏做了分析比较。在极震区有少部分房屋的屋顶边缘或屋脊的瓦片被掀翻，如图 6 所示。这是鞭梢效应产生震害的典型案例，由于极震区高层或小高层建筑较少，鞭梢效应震害多集中于低矮建筑上，地震中顶部甩动位移过大，部分瓦片从屋顶边缘或屋脊掉落。

总体而言，鞭梢效应造成顶部突出物结构破坏。当突出部位的基本频率与整体结构的固有频率接近，并与地面扰频接近时，容易发生鞭梢效应（曲淑英等，2001）。因此，按照相关规范和要求进行建筑抗震设计，通过适当调整结构的刚度或质量分布使突出物的基本自振频率与整体结构的低阶频率差值增大，可减少鞭梢效应的影响，从而为建筑结构设计 and 安全提供更可靠的依据。

3 造成地震灾害的原因研究

根据地震特点和现场调查结果，本次地震造成人员伤亡和经济损失的主要原因为（高孟潭等，2010；洪海春等，2011）：①震源深度浅。地震所释放的能量传到地面的距离较短、地震造成的地面运动较强、地震动的持续时间较长；②部分房屋选址不当。由于在河道、池塘和耕地附近修建的房屋建筑覆盖土层比较软弱，地震反应较大而可能加重震害；③房屋建筑抗震性能较差。部分房屋建筑未采取抗震措施，房屋的结构型式、建筑材料、砌筑方法等均不利于抗震；④防震减灾意识不强。极震区的抗震设防烈度较低，相关部门重视防震减灾工作程度有限，而居民的防震减灾意识也比较薄弱。

由于场地条件不利或者地基处理不当（刘爱文等，2006），导致少部分房屋建筑发生的破坏比较严重。通常情况下，基岩埋深较浅的工程场地，上覆土层较薄，对地震波的放大作用较小，因此，地震灾害相对较轻；反之，上覆土层较厚，建筑物自振周期附近频段的地震波的放大作用较大，地震灾害就较重（冯建林等，2007；洪海春等，2009）。在此次地震中，河道和耕地附近建筑物原本可能存在的地基不均匀沉降和变形是导致房屋结构破坏较重的主要原因，场地地形对地震动的放大效应影响也可能是重要原因。当遭遇地震波时，场地对地震波具有明显的放大效应，可能加剧房屋地基不均匀沉降、纵横墙开裂、墙体错动等较为严重的破坏现象。由于农村居民经费有限，工程场地通常不进行地震工程地质条件勘测，这样的场地其地基和基础存在一定的安全隐患，农村民居的安全性难以得到保证（冯建林等，2007；洪海春等，2009）。因此，在农村民居选址时，应进行场地条件勘察，宜选择对建筑抗震有利的地段、避开不利地段，为农村民居建设选址、确定抗震目标等提供依据（冯建林等，2007；洪海春等，2009）。

在地震发生时，竖向地震作用和鞭梢效应有时是近场区房屋破坏的主要因素，应使房屋的结构型式、布置方式、结构反应和动力特性等有利于提高其抗震性能（高志兵等，2009），刚度突变、附属建筑突出等容易产生应力集中，导致地震荷载作用下房屋破坏。在地震灾后农村民居的加固、修建以及新建民居的设计、施工中，要尽可能弱化竖向地震作用和鞭梢效应的不利作用。



(a) 河道附近民居墙体局部倒塌



(b) 耕地附近民居墙体局部倒塌

图 1 农村民居墙体局部倒塌

Fig. 1 Partial collapse of wall of the rural buildings



(a) 纵横墙连接处开裂



(b) 墙体“X”形裂缝

图 2 墙体开裂图

Fig. 2 Fractures on the wall



(a) 实心砖窗间墙墙体开裂



(b) 空斗砖窗间墙墙体开裂

图 3 窗间墙墙体开裂

Fig. 3 Cracks between wall pier



(a) 上部墙体倒塌下部完好



(b) 上部局部倒塌下部基本完好

图 4 房屋上部破坏比下部破坏严重

Fig. 4 Upper parts are more damaged than lower parts of buildings



(a) 烟囱整体倒塌



(b) 烟囱顶部塌落

图 5 烟囱倒塌破坏

Fig. 5 Damage of chimney



(a) 屋顶边缘瓦片被掀翻



(b) 屋脊瓦片被掀翻

图 6 房屋瓦片被掀翻

Fig. 6 Damage of tiles of roof

农村地区经济发展水平相对较低,农村民居纳入规范建设管理较少,导致农村民居抗震能力较低。摒弃在房屋建设过程中要求跨度大、开间宽、层数高的陋习,同时,在装修上尽量减少支出,将有限的经费用于提高抗震性能的构造措施上(洪海春等,2009)。一般而言,在农村民居建设过程中,较少使用抗震设计图集,在农村工匠带领下由亲戚朋友帮助建筑房屋,施工队伍技术水平较低,施工质量难以保证。但是,近10年来修建的砖混结构、框架结构房屋在这次地震中大多数基本完好,表现出了较好的抗震性能。

4 结论

(1) 结合相关规范,适当开展场地条件勘察,为农村民居建设选址、合理提高抗震能力等提供依据。在农村民居建设选址时,要尽量避开地震活动断裂、抗震不良场地和沉降、塌陷等灾害易发地段。同时,征求相关部门的建议和意见,确保有利的场地可以有效地缓解地震波的破坏作用。

(2) 部分房屋墙体厚度不够,施工质量较差、砂浆强度不够、缺少圈梁和构造柱等构造措施。因此,应严格按照镇(乡)村建筑抗震有关技术规定、政府核准的图集等进行设计、施工,改善房屋抗震性能。

(3) 在农村民居砖砌体房屋中,应尽量减少空斗墙并采用卧砌(眠砖)的砌筑方法,建议推广使用实心砖墙提高房屋的抗震性能。

(4) 当地农村居民应改变烟囱修建较高的建筑习惯,在尽可能低的位置条件下,推荐先砌筑一段烟囱再采用管道将厨房烟雾排出。

(5) 震害调查和研究表明,宣传防震减灾科普知识和抗震设防技术方法,提高广大农民群众的防震减灾意识,可避免人员伤亡和减少财产损失。

致谢:感谢中国地震局华东协作区现场指挥部的领导和专家等提供的帮助。本文部分资料来源于江苏省防震减灾信息网和媒体报道。

参考文献

- 陈健云,周晶,马恒春等,2005. 高耸烟囱结构竖向地震响应的模型试验研究及分析. 建筑结构学报, **26**(2): 87—95.
- 都昌庭,李文巧,卢宁等,2006. 2006年青海玉树5.0、5.6、5.4级地震灾害损失及震害特点. 震灾防御技术, **1**(4): 371—377.
- 冯建林,李德庆,秦建增等,2007. 河南范县 M_L 4.7级地震的启示. 震灾防御技术, **2**(4): 432—433.
- 高孟潭,肖和平,燕为民等,2010. 中强地震活动地区地震区划重要性及关键技术进展. 震灾防御技术, **3**(1): 1—7.
- 高志兵,陶小三,孔建国等,2009. 北川县城汶川地震震害特征及其成因探讨. 防震减灾工程学报, **29**(1): 114—118.
- 洪海春,杨伟林,黄伟生等,2009. 江苏省农村民居抗震措施与加固方法研究. 震灾防御技术, **4**(2): 223—232.
- 洪海春,侯康明,谭慧明等,2011. 安徽安庆 M_S 4.8级地震现场调查启示与震害特征分析. 震灾防御技术, **6**(4): 471—477.
- 刘爱文,常宝林,李雨生等,2006. 2006年7月4日河北省文安5.1级地震震害分析. 震灾防御技术, **1**(3):

278—282.

彭小芹, 马铭彬, 2002. 土木工程材料. 重庆: 重庆大学出版社.

曲淑英, 王心健, 曲乃泗等, 2001. 结构的鞭梢效应分析. 烟台大学学报, **14** (1): 55—59.

杨春田, 于淑琴, 1993. 竖向地震作用对震害的影响. 建筑结构, (7): 25—30.

周云, 邹征敏, 张超等, 2009. 汶川地震砌体结构的震害与改进砌体结构抗震性能的途径和方法. 防灾减灾工程学报, **29** (1): 109—113.

中华人民共和国标准, 2001. 中国地震动参数区划图 (GB 18306-2001). 北京: 中国标准出版社.

中华人民共和国行业标准, 2008. 镇 (乡) 村建筑抗震技术规程 (JGJ 161-2008). 北京: 中国建筑工业出版社.

Field Investigation and Research on Damage Cause of Gaoyou-Baoying $M_S4.9$ Earthquake in Jiangsu Province

Hong Haichun, Yang Weilin, Peng Xiaobo, Fan Xiaoping and Gu Qiping

(Institute of Earthquake Engineering of Jiangsu Province, Nanjing 210014, China)

Abstract 2012 Gaoyou-Baoying $M_S4.9$ earthquake in Jiangsu province caused various damages involving tens of rural buildings, and seismic casualty is appeared in meizoseismic area. Based on the field investigation and research on damage post-earthquake, we found that the typical damage characteristics mainly includes local collapse of brick masonry, brick wood and brick concrete structure, through fracture of wall, tiles of roof tilting, and chimney collapse. The main factors causing the damage of the rural buildings are improper construction site, poor qualities of the buildings, inadequate mortar strength, and lack of ring beam and constructional column. Meanwhile, the seismic effect of vertical seismic action and whipping effect are analyzed. Both seismic design reinforced methods of brick masonry and concrete structure and constitution in order to improve anti-seismic capacity for rural buildings are discussed. Finally, our results can offer reference to the earthquake fortification and the reduction of damage loss.

Key words: Gaoyou-Baoying $M_S4.9$ earthquake; Field damage investigation; Damage cause; Vertical seismic action; Whipping effect