

中国村镇民居的建造习惯与抗震性能评析

王毅红,卜永红,韩 岗,李 丽,周 珏,薛 源

(长安大学 建筑工程学院,陕西 西安 710061)

摘 要:针对中国新农村建设和抗震救灾、农房重建、加固改造等工作中缺乏反映农村民居现状基础数据的问题,在全国 19 个省、市、自治区 68 个行政村,对 354 户村镇民居建筑开展抗震性能的调研。运用分类归纳总结的方法分析调研数据,研究不同结构形式村镇民居建筑的建造习惯与施工工艺,讨论民居建筑在正常使用时和地震后的典型破坏特征,评析中国既有村镇民居建筑抗震性能现状,指出村镇民居在抗震设计、构造、施工中存在的问题,并剖析其原因;提出一些提高村镇建筑抗震性能的措施和建议,为村镇民居建筑的建设、加固改造工作提供参考。

关键词:建筑工程;村镇民居建筑;建造习惯;抗震性能

中图分类号:TU241.5;TU352 **文献标志码:**A

Assessing on construction habituation and seismic behavior of village and town buildings in China

WANG Yi-hong, BU Yong-hong, HAN Gang, LI Li, ZHOU Jue, XUE Yuan

(School of Civil Engineering, Chang'an University, Xi'an 710061, Shaanxi, China)

Abstract: Because of being lack of basic data for the status of the rural residential areas in new rural construction, and rebuilding, reinforcing and earthquake rescuing rural houses, this paper investigated the figures from 354 households of 68 administrative villages in national 19 provinces, cities or autonomous regions, summarized the construction habituation and technology process of different structural forms, discussed the typical damage feature of buildings in normal use and the typical damage features caused by earthquakes, assessed the seismic behavior of the buildings, pointed out the problems on designing and construction, and proposed some measures to strengthen the seismic performance in order to make a reference for constructing or strengthening the village and town buildings. 1 tab, 19 figs, 6 refs.

Key words: construction engineering; village and town building; construction habituation; seismic behavior

0 引 言

中国村镇建筑多为自筹自建,不进行正规设计,抗震性能普遍偏低,受地震损坏程度较城市建筑严

重^[1]。针对中国新农村建设和抗震救灾、农房重建、加固改造等工作中缺乏反映农村民居现状基础数据的问题,为获得中国村镇民居建筑的现状资料,在全国范围内开展随机抽样的散点调研,以入户调查的

方式,收集了 19 个省、市、自治区 68 个行政村的 354 户农村民居建筑、结构、施工等资料。本文依据调研资料,归纳出中国村镇民居的典型结构形式和其相应的建造习惯,对不同结构形式房屋抗震性能方面存在的问题进行评析,并提出改进意见。

1 调研概况

本次调研资料显示,中国村镇民居建筑主要有砌体、木、生土、石结构 4 种形式(表 1)。其中,砌体结构房屋占到 60%以上,是中国各地区村镇建筑中应用最多的结构形式;生土结构的房屋占 23.73%,位居第 2。

表 1 各种结构形式房屋在各地区的分布情况

类型			结构形式					调查 总计
			砌体 结构	木 结构	生土 结构	石 结构	其他	
调 查 区 域	华北	数量/户	25	2	3	3	2	35
		比例/%	11.01	22.22	3.57	12.50	20.00	9.89
	东北	数量/户	15	0	5	0	0	20
		比例/%	6.61	0	5.95	0	0	5.65
	华东	数量/户	50	4	13	1	6	74
		比例/%	22.03	44.44	15.48	4.17	60.00	20.90
	中南	数量/户	28	1	5	1	0	35
		比例/%	12.33	11.11	5.95	4.17	0	9.89
	西南	数量/户	7	2	6	5	0	20
		比例/%	3.08	22.22	7.14	20.83	0	5.65
	西北	数量/户	102	0	52	14	2	170
		比例/%	44.93	0.00	61.90	58.33	20.00	48.02
调查	数量/户	227	9	84	24	10	354	
累计	比例/%	64.12	2.54	23.73	6.78	2.82	100	

从表 1 可看出,61.90%的生土结构房屋分布在中国西北广大农村地区。依据 2009 年 4 月住房和城乡建设部颁布的《农村危险房屋鉴定技术导则(试行)》中介绍的房屋危险性鉴定方法,对本次调研的 354 户农房分别进行危险性评定,划分等级为:满足正常使用要求的 A 级房屋占 20%左右,其中也包括一些符合鉴定标准,而实际缺少抗震构造措施的房屋,地震时仍有可能出现问题;B 级房屋,即个别构件处于危险状态,但不影响主体结构安全,基本满足正常使用要求,而在地震时会出现问题的房屋,占 40%左右;约 30%的 C 级房屋部分承重结构出现险情,不能满足正常使用要求,急需维修加固;对存在较大安全隐患的 D 级危险房屋,承重结构已不能满足正常使用要求,整体出现险情,占 10%以上,需拆除重建。而调研中仅靠房屋表面现象,根据房屋抗

震构造措施是否合理来评定危险性等级,实际仍有很多潜在危险性因素,仅凭肉眼难以鉴定。因此,本次调研房屋中危房或局部危房实际比例应比统计结果还要高。

本文从场地和地基基础、生土墙承重房屋、砌体结构房屋、木结构房屋、屋盖体系 5 个方面,分析农村民居的建造习惯,评析结构的抗震性能,并提出改进意见。

2 场地、地基基础

农村场地条件复杂,但农民建房时很少考虑场地条件对房屋的影响,对地质灾害、地震灾害的防范意识不足,不少农房建在抗震不利地段或地震时有可能发生滑坡、崩塌、泥石流等灾害的危险地段。下面列举一些农民建房时的常见不良习惯,并给出改进措施。

2.1 地基简单处理或不处理

村镇建筑多地处山区,软弱地基、新近填土地基及不均匀土层在村镇民居地基条件中比例很高。农民缺少地基性能判断的手段,一般按当地经验对地基简单处理或不处理。较好的处理方法是,开挖一定深度后原土分层夯实回填;较差的处理是,天然地基原土表面平整夯实,因地基处理简单,夯实质量没有保证,导致地基存在先天缺陷。一些新建房屋,因地基未能很好处理,导致墙体多处开裂。

改进措施:当地基有淤泥、可液化土、膨胀土或严重不均匀土层时,应采取垫层换填方法进行处理,如砂垫层、砂石垫层、灰土或素土垫层等。

2.2 毛石墙下条形基础施工工艺粗糙

民居建造多为就地取材,基础以条形砖基础、毛石基础和卵石基础居多。调研显示,农村民居施工较随意,基础施工工艺粗糙。下页图 1 所示为干垒毛石基础,以大毛石为骨架,中间堆砌填充小石块,石块之间不使用水泥砂浆粘结,一些基础采用较薄片石干垒,或采用卵石加少量砂浆(下页图 2)。这种毛石基础的稳定性很差,极易在地震时瞬间垮塌。

改进措施:平毛石基础砌体的第一皮块石应坐浆,并将大面朝下;料石基础砌体的第一皮应坐浆丁砌;当采用卵石砌筑基础时,应将其凿开使用。

2.3 坡地半挖半填地基

下页图 3 为建造在坡地上的房屋,采用半挖半填方法,形成局部平地。填方一般采用毛石砌体,砌体灰缝无砂浆,或砂浆不饱满。该种房屋在地震作用和地质灾害发生时,安全没有保障;即使在静力荷



图1 干垒毛石基础

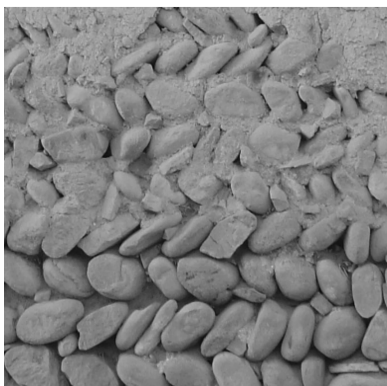


图2 卵石基础



图3 半挖半填平整场地

载作用下,也可能发生地基不均匀沉降,都会危及上部结构安全。

改进措施:同一结构单元的基础不宜设置在土性明显不同的地基土上;同一结构单元不宜采用不同类型的基础。山区坡地应选择在坡度较缓的稳定山体处建房,并宜采用整体性好的钢筋混凝土基础。

2.4 不设置基础圈梁

农村民居一般为墙下条形基础,除少数砖基础设置基础圈梁外,大多数基础不设圈梁;在地质条件较好、地势平坦的1、2层民居中,不设基础圈梁尚可,但对坡地建筑不均匀土层上的建筑,基础圈梁对减轻地基不均匀沉降对房屋的影响效果显著。

改进措施:在农村民居的基础中建议设置圈梁,圈梁形式多样,可根据房屋具体情况设置钢筋混凝土圈梁、钢筋砖圈梁或配筋砂浆带,与基础防潮层结合,实现防潮、安全两项功能。

2.5 房屋外墙不设散水、勒脚,或散水宽度过小

调研中发现,相当多的农村民居不设外墙勒脚、散水等必需的防水构造。墙体受地面水、雨水剥蚀,影响耐久性,在湿陷性黄土地区,足够宽度和有效防渗的散水,对防止地面水渗入地基有重要的作用。

改进措施:房屋室外沿外墙四周应做散水,散水面层可采用砖、片石及碎石三合土等。

3 生土墙承重房屋

生土墙主要有土坯墙承重、夯土墙承重和二者混合承重3种类型。调研的生土结构民居多为20世纪80年代前建造,新建生土房屋较少。本文简述土坯墙和夯土墙的常见民间制作工艺,并列举了生土房屋存在的一些不良建造习惯及其改进措施。

3.1 制作工艺

3.1.1 土坯制作工艺

承重土坯墙体的块材为生土坯,制作工艺分干打土坯和湿托土坯2种。干打土坯在制作时,夯制土坯所用土料的制备与夯土墙所用的土料类似,为一般的粘土,但土坯的土料要求捣得更细些,土块不应大于“枣状”,所加水量稍多些。夯制土坯是将模具固定好,放在平整的石板上,加土夯实后,立即脱模,晾干后使用。湿托土坯一般用黄土加麦草和水搅拌后,放入木模具自然晾干脱模形成,湿土坯的厚度比干打土坯的厚度大。土坯制作工艺中质量的关键控制点是生土的含水量,干打坯生土的含水量接近最优含水量,才能保证土坯的密实度。经验控制方法为,原土“手握成团,落地开花”;此外,干打坯夯打的遍数和边角位置的夯筑也十分重要。

3.1.2 土坯的砌筑工艺

土坯墙体采用泥浆砌筑土坯而成,民间习惯干打土坯多采用立砌,较厚的湿土坯多采用平砌^[2]。立砌的土坯间泥浆灰缝不饱满是普遍现象,下页图4所示的立砌土坯墙体竖向灰缝基本无泥浆,墙体通透性大,竖向静力荷载作用下强度一般满足要求,但水平作用下强度和稳定性很差。土坯墙作为非承重隔墙时也有采用裱砌(下页图5),该种砌法稳定性较差。下页图6为平砌土坯墙,由图6可见,水平灰缝和竖向灰缝均不饱满。砌体灰缝的切向粘结强度是影响墙体抗剪、抗弯的关键因素,因此,民间土



图 4 立砌土坯墙



图 5 裱砌土坯墙



图 6 平砌土坯墙

坯墙的施工工艺直接影响房屋的抗震性能。

3.1.3 夯土墙的夯筑工艺

夯土墙是将一定含水量的原状生土放入木板模或圆木模之间,逐层人工夯实形成,俗称“板筑法”,模板如图 7 所示。试验研究显示,夯土墙层间接缝处是水平荷载作用的薄弱环节;震害调查显示,夯土墙纵横墙交接处震害较重^[3-4]。在夯筑土墙时,建议分段夯筑的水平接缝和竖向接缝分别错开,或在水平分层处加竖向木楔、竹片等作为竖向销键;在生土墙 L 形、T 形转角处,加设水平拉结韧性条材(图 8),增加墙体整体性。调研中还发现民间一些较好

的做法,例如用刨刀刨毛层面交界处,增加层间结合面的抗剪强度。

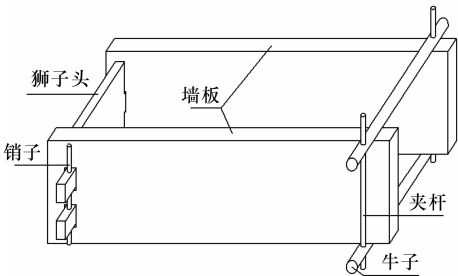


图 7 夯土墙专用模板

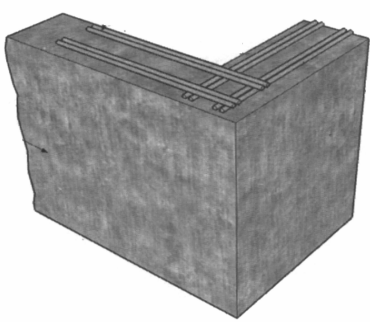


图 8 L 形转角处拉结

3.2 不良建造习惯

3.2.1 使用混合承重墙体

调研中发现,承重生土墙体有多种组合法,例如:下面为砖砌体,上部为土坯砌体,或左边为夯土墙体,右边为砖砌体,形成竖向通缝;更有甚之,下面为夯土墙体,上部为砖砌体(图 9)。这些混合承重的墙体受力性能很差。



图 9 混合砌筑墙体

改进措施:建议承重墙体采用同一材料砌筑。

3.2.2 “房子半边盖”,形成单坡屋顶

中国西北地区村镇院落中,两侧房屋多为单坡屋顶(下页图 10),是地方民居的一种形式。生土结构房屋采用此种体系问题较多。首先,房屋前墙、后墙高差为 1.5~2.0 m,地震时位移不同,可能造成



图 10 单坡屋顶

房顶的坍塌。再则,房屋后墙下半部分往往利用夯土院墙,上半部分采用土坯或砖砌筑墙体,不同材料界面没有拉接措施,地震时易倒塌。

改进措施:生土结构房屋应尽量避免单坡形式;若采用,宜使用木屋架屋盖形式,墙体采用相同承重材料,并应加强拉结,注意错缝。

3.2.3 不采取外墙防护措施

生土墙受潮风化是造成墙体强度不足的一个因素,对村镇民居地面防潮措施进行调查,发现农村防潮措施简陋,生土墙墙根存在剥落现象(图 11);生土结构房屋一般仅在新建时用草泥浆涂抹外墙体,以防止雨水冲刷,之后很少维护,墙体风化,剥落严重(图 12)。



图 11 砖砌墙根

改进措施:建议生土外墙做草泥浆饰面,加强墙根保护。

4 砌体结构房屋

调研的砌体结构房屋中,大部分都采取了一些基本的抗震构造措施,尤其是近年来新建的房屋,不同程度的设置了圈梁、构造柱,但也存在不少问题。

4.1 结构体型上天下小

近年建造的 2 层砌体结构民居上天下小的体型非常普遍(图 13),尤其在道路两侧的房屋,为扩大

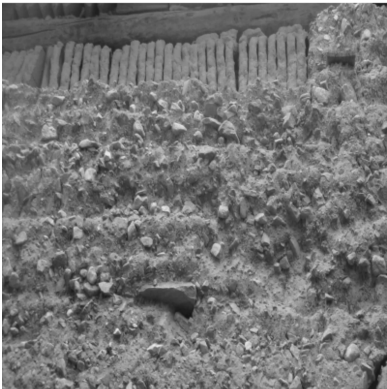


图 12 风化墙体

房屋使用面积,2 层挑出,底层纵墙在楼板处中断,2 层的外墙设在挑出板的端部,墙体没有加强和拉结措施,甚至采用 120 mm 单砖墙或 240 mm 空斗墙。上大下小的房屋体形对抗震不利,外挑部分的纵墙无加强措施,更使房屋抗震性能降低。



图 13 上大下小的 2 层砌体结构

改进措施:建议 2 层砌体结构民居体型尽量避免上大下小,采用体型规则的建筑结构。

4.2 门窗洞口间墙或洞口边墙截面过小

图 14 为一幢 2 层砌体民居,其门窗洞口间墙宽及洞边墙宽较小,即房屋立面开大洞口严重削弱墙体,在洞口边角处出现若干条裂缝。有时狭窄的洞间墙上还支承屋面钢筋混凝土大梁,结构的静力荷载下和地震作用下的安全均得不到保障。



图 14 门窗洞口间墙

改进措施:建议砌体民居在抗震设防烈度为 6、7 度时,门窗洞口间墙宽度及洞边墙宽不小于 0.8 m;抗震设防烈度为 8 度时,不小于 1 m;烈度为 9 度

时,不小于 1.3 m。

4.3 不重视构造柱、圈梁设置

调研中发现,相当多的砌体结构房屋不设构造柱、圈梁,或设置数量不足、位置不当。构造柱、圈梁对提高砌体结构抗震性能作用显著^[5]。

改进措施:建房时增加少量投资,合理设置圈梁、构造柱,将会大幅度提高房屋的抗震性能。

4.4 悬挑梁与楼面板、梁、圈梁不拉结

图 15 中挑梁与楼面梁板有 60 mm 的高差,两者各自独立受力。若将两者用钢筋混凝土连成一体,对挑梁的抗倾覆和房屋的整体性都有利。此外,构造柱不伸至女儿墙部分,女儿墙较高,不设置压顶的做法也十分普遍。

改进措施:构造柱应伸至女儿墙墙顶,与压顶圈梁可靠拉结。

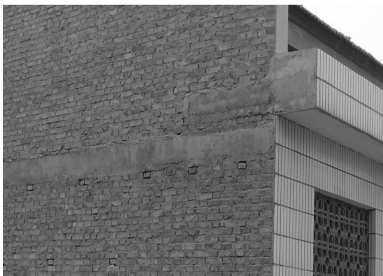


图 15 挑梁与圈梁不拉结

4.5 石砌体采用石柱、石梁和石板承重

调研中的石结构民居大多数比较简陋,山区中的石结构房屋完全就地取材,除石砌墙体做竖向承重构件外,用石砌体柱做竖向承重构件,少数跨度不大的房屋采用石条梁承重,在陕西南部山区大量存在石板房屋(图 16)。房屋的屋面由大小不一的石板叠拼而成,石板既为水平承重构件,又为屋面覆盖层。石板之间、石板与梁、墙之间没有拉结措施,屋面自重较大,地震时屋面很容易滑落,将造成房屋整体坍塌。

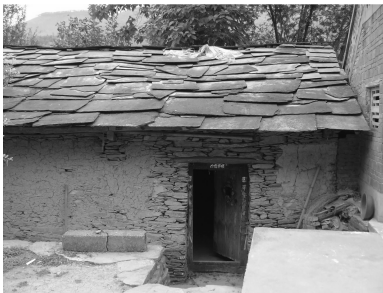


图 16 石板房屋

改进措施:该种结构形式在地震区不应采用;石料脆性明显,不应用作受弯构件。

4.6 石砌体墙干垒

图 17 中的石板房墙体为片石干垒,承受水平荷载、振动荷载的能力较差。

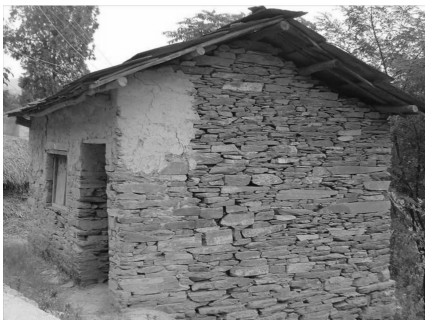


图 17 片石干垒墙体

改进措施:建议在地震区不采用干垒石砌体墙。

5 木结构房屋

木结构民居承重体系有穿斗木构架、木柱木屋架和木柱木梁 3 种,制作工艺成熟、合理,自重轻,变形能力强,抗震性能较好。与上述结构形式相比,抗震方面的问题相对较少,但木结构民居多数建造年代较早,年久失修,存在一些安全隐患。

5.1 围护墙体与承重木构架连接薄弱

木结构房屋承重构架的节点多为榫卯连接,地震作用下可发生较大变形,若房屋非承重围护墙体为砖、生土砌体,墙体与木构架之间没有拉结措施,变形差异异常导致围护墙体倒塌。

改进措施:建议对木结构房屋应特别注意承重构架与围护墙体的连接。

5.2 柱脚石面积偏小

木结构房屋的木柱直接放置在柱脚石上,图 18 是汶川地震后的照片(该照片由西安建筑科技大学姚继涛教授拍摄),承重木柱几乎从石柱脚上滑落。

改进措施:保证木构架在地震作用下的安全,应适当扩大柱脚石的面积,或在柱脚石上留浅槽,也可在柱脚石与木柱之间加设销键。



图 18 汶川地震灾害照片

5.3 木构件不进行防护处理

一些木结构民居承重柱、梁、屋架不做防护处理,存在潮湿、腐朽、虫蛀等病害,危及结构安全。

改进措施:建议对承重柱、梁、屋架等木构件进行防潮、防腐处理。

6 屋盖体系

村镇民居建筑的楼屋盖形式主要有 3 种:钢筋混凝土现浇或预制楼屋盖、木屋架-檩条屋盖和硬山搁檩屋盖。下面逐一列举了屋盖设计时容易忽视的常见问题,并给出改进建议。

6.1 钢筋混凝土现浇楼、屋盖不进行专业设计

凭经验确定楼、屋盖的板厚和配筋,存在的问题是可靠度低,且浪费材料。因不根据房屋结构布置和荷载进行计算,板厚与钢筋用量不准确,钢筋不严格按受力需要配置。有的楼屋盖一律双向等配,有的则构造筋不足,甚至忽略了必需的构造钢筋。

改进措施:钢筋混凝土现浇楼、屋盖应根据房屋结构布置和荷载进行专业设计计算。

6.2 忽视楼、屋面预制板与墙体的抗震构造

调研中发现,预制楼、屋盖绝大多数是简单搁放在支承墙体或大梁上。

改进措施:采用板与圈梁的拉结、板与板的拉结、板与墙体的拉结、板底坐浆等有效且不明显增加造价的做法。

6.3 木屋架间不设连接杆件

各开间的木屋架之间没有纵向连接措施,在承受纵向水平作用时,房屋整体性差,不能形成共同抵抗水平力的空间结构体系。

改进措施:试验研究表明,木屋架之间设垂直剪刀支承,或在上下弦节点处设水平系杆,对房屋抗震性能有明显的提高^[6]。

6.4 不注意墙体的局部承压能力

民居建筑仅当开间、进深很小、屋面荷载较轻的情况下,屋架、大梁、檩条可直接支承在不小于 240 mm 厚的砖墙上,有可能满足砌体局部承压的要求。很多不满足上述条件的民居建筑,也将楼、屋盖构件直接放在墙上。调研中发现,大量墙体在集中荷载作用下,出现局部承压破坏裂缝。

改进措施:村镇民居建筑应验算墙体局部承压强度,在屋架支承处、檩条支承处采用加壁柱,设刚性垫块或柔性垫梁等措施;对生土墙体采用在支座处加设木垫块、木卧梁等措施。

6.5 木屋盖构件之间联系薄弱

木屋盖檩条与屋架(或墙体)、檩与椽条之间一般用扒钉、圆钉连接,望板(或苇席)与檩条、屋面与望板(或苇席)之间常为简单搁置,地震中,覆盖基层和屋面瓦普遍容易滑落。

改进措施:建议屋面木构件之间采用铁件、扒钉和铁丝等连接牢固,可有效提高屋盖系统的整体性,较大幅度地提高房屋的抗震能力。

6.6 硬山搁檩体系,端檩不出檐

图 19 为调研中拍到的生土民居山墙与檩条的关系,在水平地震作用下,生土墙檩条可能拔出,造成屋盖的塌落。



图 19 檩条不出檐

改进措施:在硬山搁檩体系中,檩条应伸出山墙外 500 mm 左右。檩条出檐不仅对受力有利,亦可形成山墙挑檐,防止雨水对墙体的侵蚀,增加结构的耐久性。

7 结 语

(1)中国村镇民居主要的结构形式是砌体结构、木结构和生土结构,绝大多数按照传统工艺建造,由中华民族几千年传承留下的传统建造工艺有很多科学合理的经验,但对房屋结构抗震性能考虑较少,因此,村镇民居建筑的抗震能力普遍偏低。

(2)中国村镇民居在安全性、耐久性方面存在问题较多,应通过研究制定适合村镇民居设计、构造和施工的技术标准,对村镇民居建设进行规范,全面提高村镇民居建筑的抗震能力。

(3)考虑到目前存在大量问题的村镇民居不可能全部拆除重建的事实,研究制定不同结构形式的村镇民居加固补强设计、施工标准,是村镇建设可持续发展的有效途径。

(4)开展村镇建筑防震减灾的科普安全教育宣传,将最新的村镇建筑抗震研究成果及时推广到基层技术人员和农村工匠,提高房屋使用者的抗震设防意识,是提高村镇民居抗震性能的长远策略。

References :

- [4] 于文,葛学礼,朱立新.四川汶川8.0级地震都江堰周边村镇房屋震害分析[J].工程抗震与加固改造,2008,30(4):45-49.
- YU Wen,GE Xue-li,ZHU Li-xin. Damage analysis on buildings in towns and villages around Dujiangyan of Wenchuan ms 8.0 earthquake[J]. Earthquake Resistant Engineering and Retrofitting,2008,30(4):45-49.
- [5] 袁中夏,谭明,马占虎.汶川大地震四川省青川县砖混结构村镇房屋震害分析[J].西北地震学报,2008,30(4):317-325.
- YUAN Zhong-xia,TAN Ming,MA Zhan-hu. Damages on brick-concrete rural buildings in Qingchuan county Sichuan Province during the great Wenchuan earthquake[J]. Northwestern Seismological Journal,2008,30(4):317-325.
- [6] 葛学礼,朱立新,申世元,等.村镇木构架土坯围护墙房屋足尺模型振动台实验研究[C]//第七届全国地震工程学术会议组委会.第七届全国地震工程学术会议论文集.北京:地震出版社,2006:56-61.

[9] 彭 献,刘子建,洪家旺. 匀变速移动质量与简支梁耦合系统的振动分析[J]. 工程力学, 2006, 23(6): 25-29.

- PENG Xian, LIU Zi-jian, HONG Jia-wang. Vibration analysis of a simply supported beam under moving mass with uniformly variable speeds[J]. Engineering Mechanics, 2006, 23(6): 25-29.
- [10] 曾庆元. 弹性系统动力学总势能不变值原理[J]. 华中理工大学学报, 2000, 28(1): 1-3.
- ZENG Qing-yuan. The principle of total dynamic potential energy with stationary value in elastic system dynamics[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology, 2000, 28(1): 1-3.
- [11] Sun Lu, Deng Xue-jun. Predicting vertical dynamic loads caused by vehicle-pavement interaction[J]. Journal of Transportation Engineering, 1998, 124(5): 470-478.
- [12] 翟婉明. 车辆-轨道耦合动力学[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2001.