

# 农村砖木结构住宅抗震加固新方法对比分析研究

魏建友, 刘辉, 胡亮霞

(北京市房地产科学技术研究所, 北京 100021)

**[摘要]** 农村砖木结构体系中,四梁八柱硬山搁檩的承重体系的柱最初柱以木柱为主,后来由于木柱易腐朽、白蚁啃食等问题,木柱逐渐被石柱、砖柱、混凝土柱等所代替。在对以木柱作为竖向承重体系的结构进行结构抗震技术优化研究的基础上,本文对混凝土柱作为竖向承重体系的典型结构进行了结构抗震技术优化研究,研究结果表明,对于既有无抗震构造措施的农村砖木结构,抗震加固技术优化后的结构体系不仅能够满足本区域的抗震设防要求,而且经济效果明显。

**[关键词]** 农村; 砖木结构; 抗震加固; 技术优化

中图分类号: TU362 文献标识码: A 文章编号: 1002-848X(2014)S1-0569-05

## Comparative analysis study on new seismic strengthening method of the rural brick-wood house

Wei Jianyou, Liu Hui, Hu Liangxia

(Beijing Institute of Real Estate Science and Technology, Beijing 100021, China)

**Abstract:** System in rural brick-wood structure, the eight columns, four beams and the purlin resting on the gable load-bearing system, the wood pillars as column for the main, initially. Later, due to the issues of easy rot, termites chewing on wood columns, the wood column were replaced by stone columns, brick columns, concrete columns, gradually. On the basis of the structural seismic technical optimize study about the structure of the wood columns as vertical load-bearing system, the structural seismic technology optimize study on the typical structure of concrete column as the vertical load-bearing system in this thesis, the study results shows that for the no seismic design existing rural brick-wood structure, the structure system by the seismic reinforcement technology optimization is able to meet the seismic requirements of the region, and the economic effect is obvious too.

**Keywords:** rural; brick-wood structure; seismic strengthening; technology optimize

## 0 引言

北京市地处燕山地震带与华北平原中部地震带的交汇处,又紧邻汾渭地震带和郯庐深大断裂地震带,是一个地震多发区,历史上曾遭受过多次强烈地震的破坏和影响。自2002年1月1日至2009年4月30日,首都圈地区(北纬 $38.50^{\circ} \sim 41.00^{\circ}$ ,东经 $114.00^{\circ} \sim 120.00^{\circ}$ )ML1.8级以上(其中北京和天津地区ML0.8级以上)地震共计6103次。由此可见单从北京地区来说,建筑抗震形势非常严峻,尤其是对于90年代以前建造的无抗震设防措施的农村住宅建筑。

依据对北京市房山、大兴、顺义、海淀、怀柔、昌平、门头沟等十余个区县的农村既有农村住宅的调研,建于20世纪八九十年代的木结构(木柱+木托梁)或砖木结构(混凝土柱+木托梁+砌体山墙)双坡顶单层住宅,约占北京现有农村住宅的70%。这类住宅没有采取任何抗震措施,房屋抗震能力较差,需要通过抗震加固技术来提高其抗震能力<sup>[1]</sup>。

## 1 农村砖木结构房屋

### 1.1 农村砖木结构房屋存在的主要结构问题<sup>[2-4]</sup>

#### (1) 房屋平面刚度偏心

前檐部分承重构件截面面积小,双向刚度小;后纵墙和山墙刚度大,稳定性好,由于房屋前后刚度不均匀,地震中存在扭转效应,对抗震不利,屋面产生出平面变形,易导致前檐的倾覆,从而使屋面垮塌。

#### (2) 结构整体性差

结构中没有设置基本的抗震构造措施,内外墙交接处连接构造差,纵横墙连接或靠近连接处容易出现竖向裂缝或竖向齿形裂缝,导致承重墙体缺乏平面外支撑,从而使墙体外倾甚至倒塌。

#### (3) 屋架缺乏平面外支撑

屋架与屋架之间或者屋架与山墙之间没有竖向或者水平支撑,在水平荷载作用下,容易发生平面外失稳,导致屋面倾覆、坍塌。

## 1.2 地震作用下砖木结构房屋变形及破坏机理

长期以来,由于经济等原因,砖木结构的房屋在我国农村被广泛应用,其主要形式以木柱或混凝土柱、木椽、檩条等作为承重体系;以土坯、砖、石材等作

作者简介:魏建友,硕士,工程师,一级注册结构工程师,Email: weijianyou\_21391@sohu.com。

为围护结构。

砖木结构具有其独特的结构性能和破坏机理:1)木结构对于瞬间冲击荷载和周期性疲劳破坏具有良好的延展性,当房屋在地震中晃动时,木结构仍然可以保持结构的稳定和完整性,其破坏过程是一个渐变的屈服过程;其次,木材的密度小,使整体结构的自重相对来说比较轻,因此,地震作用的响应相对较小,同等条件下造成的破坏也就较小,整个房屋的破坏是围护结构先破坏(开裂、外倾、倒塌),主体结构后破坏或者不破坏,这都能给人员撤离提供时间和空间;2)由于木结构的榫接,使结构除其本身的柔性外,还具有了节点柔性的特点,可提供较大变形空间,吸收较多的地震能量,在较大或特大地震作用下,从围护结构裂缝、倾覆破坏到主体结构倾覆破坏需要一个相对较长的时间,这不仅可以减少或者延缓地震作用对建筑物的冲击破坏,还可以避免脆性破坏的出现,这也给人员撤离提供了时间;3)木结构房屋恢复弹性变形的能力好;4)木结构房屋本身的振动周期长,不容易和具有坚实的土壤地基基础发生共振,即使在设防烈度内的地震中围护结构产生了坍塌,结构也不会出现倒塌的现象<sup>[5]</sup>,因此,对于竖向混凝土柱承重的木结构房屋来说,混凝土柱的可靠性成为整个结构稳定的关键所在。

### 1.3 抗震加固技术

粘钢、粘贴碳纤维布、增大截面法、增加抗震构造措施等新抗震加固技术作为既有建筑物的增强其抵抗地震作用破坏的工程技术手段,在多高层既有建筑中被广泛应用。其计算方法、工艺、技术等已被试验或者实际的地震灾害所验证和检验,而且大多数已形成相关的规范、技术规程或导则,其母体(既有被加固体)与加固体之间的协同作用有待于进一步的研究和规范,这涉及到不同材料、不同强度和龄期混凝土、不同部位以及不同受力状态之间两部分结构的协同作用问题。这些还需要加固技术、检测方法、分析方法、计算手段的不断进步和完善,才能进一步提升二者(加固体和母体)之间协同作用的能力,以期使加固体和母体达到最佳协同作用,进而充分发挥联合体所能提供的抵抗地震作用的最大能力。

目前,《砌体结构加固设计规范》(GB 50702—2011)(简称砌体规范)中编入了经过实践检验和试验验证的一些加固方法,如:钢筋混凝土面层加固法、钢筋网水泥砂浆面层加固法、外包型钢加固法等等,这些方法适合所有砌体结构。但是,就农村单层砖木结构的自身特点来说,需要研究有针对性的加固方法。

## 2 砖木结构住宅抗震加固技术对比研究

目前,我国尚无针对北方农村住宅进行抗震加固的设计标准,因此农村住宅的抗震加固设计只能参考相关的规范与标准。

本文以北京市既有农村住宅综合改造某试点工程为例,就农村住宅主要套用砌体规范的加固方法及通过研究得出的新加固方法从技术上做一对比研究,试点工程的结构形式为单层砖木结构,开间 2.8m,进深 7.85m,房屋始建于 1989 年,总建筑面积为 108.00m<sup>2</sup>。

### 2.1 砌体规范加固方法

砌体规范加固方法是指目前我国现有的针对砌体结构的加固方法。

#### 2.1.1 山墙加固

坡屋顶两侧、檐口高度处采用圈梁加固,山墙前后端均采用 L 形构造柱进行加固,形成由压顶圈梁、檐口圈梁及 L 形构造柱组成的封闭套箍,增强山墙的整体抗震性能。圈梁截面尺寸为 200mm × 200mm,纵筋采用 4φ12,箍筋采用 φ6@200;L 形构造柱截面尺寸为 700mm × 700mm × 200mm,纵筋采用 12φ12,箍筋采用 φ6@200,如图 1 所示。圈梁及构造柱均采用 C20 混凝土。

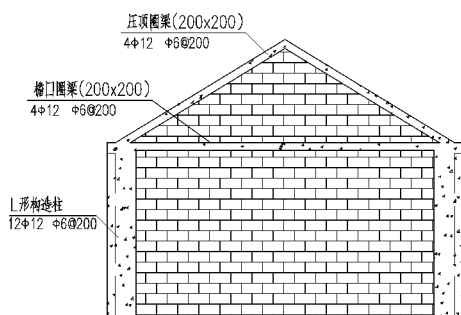


图1 山墙加固示意图

#### 2.1.2 后纵墙加固

檐口高度处采用圈梁加固,在后纵墙跨中设置构造柱,形成由圈梁、L 形构造柱、跨中构造柱组成的封闭套箍,增强后纵墙的整体抗震性能。圈梁截面尺寸为 200mm × 200mm,纵筋采用 4φ12,箍筋采用 φ6@200;跨中构造柱截面尺寸为 200mm × 200mm 矩形截面,纵筋采用 4φ12,箍筋采用 φ6@200。

#### 2.1.3 前纵墙加固

檐口高度处采用圈梁加固,在前纵墙原有混凝土柱外加混凝土围套,形成由圈梁、L 形构造柱、加强柱组成的封闭套箍,增强前纵墙的整体抗震性能,如图 2 所示。圈梁截面尺寸为 200mm × 200mm,纵筋采用 4φ12,箍筋采用 φ6@200;混凝土围套做法如图 3 所示。

#### 2.1.4 增设抗震墙及细部连接加固

在房屋纵墙跨中进深方向增设一道抗震墙,以增

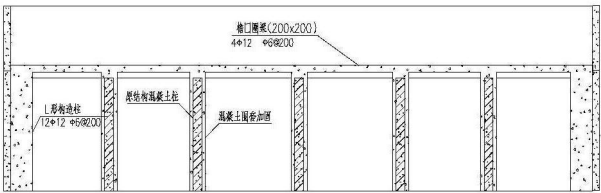


图 2 前纵墙加固示意图

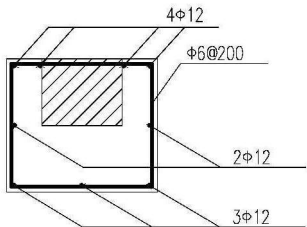


图 3 混凝土构造柱加固示意图(阴影部分为原混凝土柱)

强房屋抗震性能,同时增加前纵墙平面外的稳定性。新增抗震墙的墙体配筋采用构造配筋,竖向和水平向钢筋均采用  $\phi 10@250$ ;新增抗震墙与原墙之间通过“构造柱+螺栓”方式连接,以保证新增抗震墙与原结构之间的有效连接和整体性;在隔墙、木柅与原结构纵墙连接处均设置钢拉杆,以保证隔墙、木柅与原结构纵墙之间有效连接和整体性;新增构造柱与原墙体之间在楼层 1/3 和 2/3 高处同时设置拉结筋和销键,以保证构造柱与原墙体能共同工作,提高抗震承载力;在屋架之间增设剪刀撑以增强屋架部分沿纵向的整体性,提高抗震性能,见图 4。

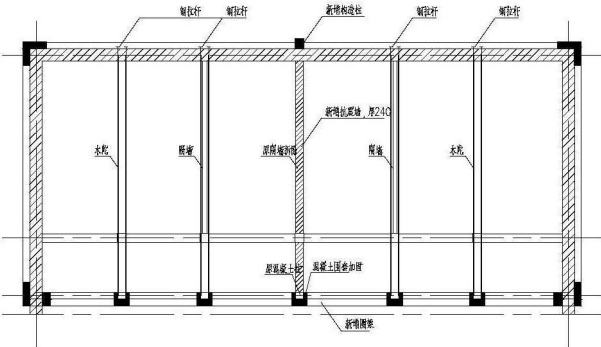


图 4 新增抗震墙及细部连接加固示意图

2.2 新加固方法<sup>[6-9]</sup>

采用通过针对农村住宅的试验研究得出的新加固方法,对试点工程采用的加固设计方案如下:

2.2.1 山墙加固

经现场检测,原有砌块及砂浆强度较高,故只对山墙与前纵墙交接处角部内侧及外侧进行加强,钢筋网水平钢筋采用  $\phi 6@200$ ,纵向钢筋采用  $\phi 10@300$ ,外抹 40mm 厚的水泥砂浆面层。加强区域为山墙角部 600mm 范围,且山墙内外侧均加固。钢筋网采用  $\phi 6$  的 S 形对穿锚筋,用水泥砂浆固定在墙体上,锚筋间距为 600mm。由于前纵墙刚度较小,故在地震作

用下前纵墙与山墙交接处会产生很大的地震响应,对该部位的加强可明显提高该部位的延性及抗震承载能力,其作用相当于配筋砌体柱。

2.2.2 增设圈梁

在山墙及后纵墙上采用  $100 \times 8$  的钢板圈梁,并通过焊接将钢板圈梁上的钢筋与前檐木卧檩相连,形成一个闭合的整体圈梁,以增强房屋在地震作用下的整体性和抗倒塌能力,与砂浆钢筋网圈梁相比,钢板圈梁具有施工方便、施工周期短的优点。钢板圈梁与墙体之间采用  $\phi 12$  螺栓对拉连接,螺栓间距为 800mm,并沿圈梁中线布置。圈梁加固示意图如图 5 所示。

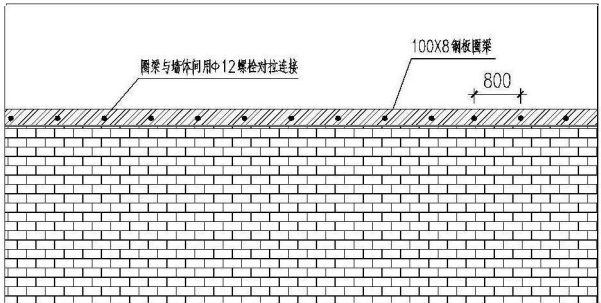


图 5 后纵墙圈梁加固示意图

2.2.3 前纵墙加固

由于前纵墙开洞较多,其刚度与后纵墙相比小很多,所以在纵向地震作用下前纵墙很容易破坏,故采用增设混凝土门框的方法对前纵墙进行加固。采用截面尺寸均为  $200 \times 200$  的混凝土梁和柱对门框进行加强,其中混凝土强度等级为 C20,梁纵筋采用  $4\phi 12$ 、箍筋采用  $\phi 6@200$ ,柱纵筋采用  $6\phi 12$ 、箍筋采用  $\phi 6@300$ ,窗口高度处箍筋加密为  $\phi 6@150$ ;后加混凝土柱与原混凝土柱之间通过  $\phi 12$  螺纹钢筋连接;后加混凝土梁与前檐木卧檩间通过混凝土梁中伸出的钢筋与木卧檩相连。前纵墙整体加固示意图如图 6 所示。

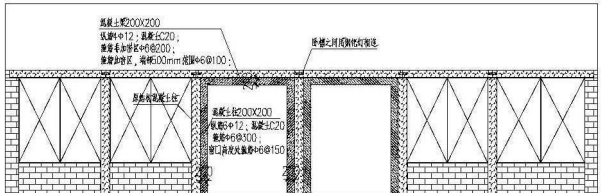


图 6 前纵墙加固示意图

2.2.4 细部连接加固

木柅与圈梁交接处采用  $2\phi 10$  将二者进行拉结,以增加木屋盖与墙体的整体性,防止地震作用下的整体垮塌;内隔墙与纵墙交接处采用  $L75 \times 5$  的角钢将二者进行连接,以增强内隔墙与外纵墙的整体性,防止内隔墙侧向整体倒塌;前檐木卧檩之间采用钢钎钉相连,以增强其整体性。细部连接加固布置如图 7 所示。

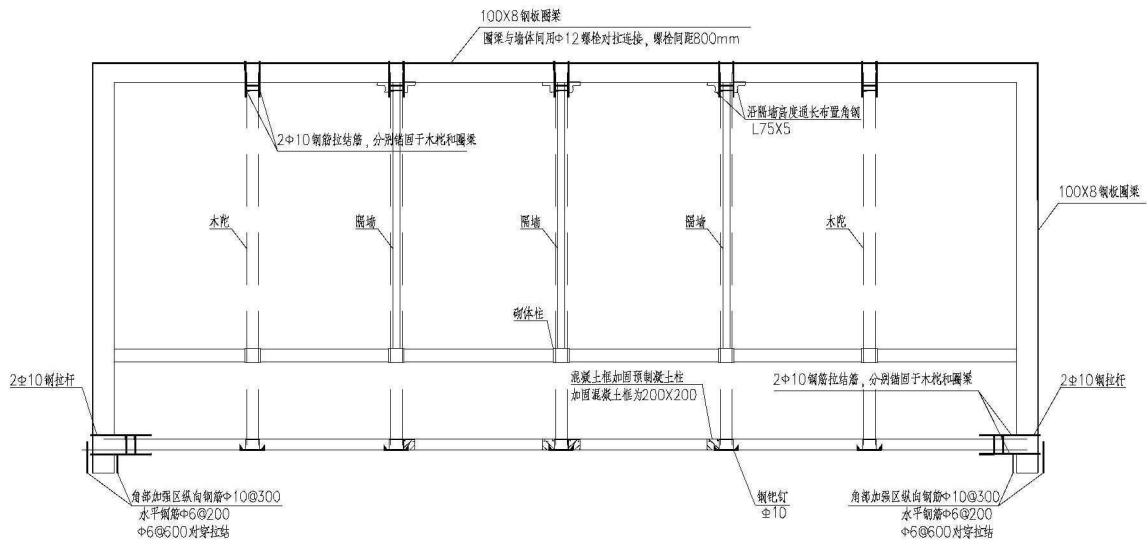


图 7 细部连接加固平面布置图

2.3 两种方法的对比分析

2.3.1 新加固方法的优点

与砌体规范的传统加固方法相比,新加固方法具有以下优点:

(1)加固针对性强

传统加固方法采用在原结构外围增设混凝土构造柱、圈梁的方式以达到增强房屋抗震整体性能的目的;而新加固方式是针对农村住宅在地震中的所表现出的问题进行有针对性的设计,比如针对地震中山墙容易外倾、开裂,采取在山墙增设水泥砂浆钢筋网的加固方式,如原结构墙砂浆强度较高,则可以只针对山墙角部采用局部水泥砂浆钢筋网加固的方式进行加固;针对农村住宅在地震作用下整体性差的特点,在农村住宅檐口高度处增设钢板圈梁,并与前檐木卧檩相连,形成闭合的套箍,有效地提升了房屋的整体性;针对前纵墙抗侧刚度差的特点,在前纵墙局部洞口增设混凝土框,以达到增加前纵墙抗震性能的目的。

(2)施工便利、施工周期短、施工作业面小

传统加固方法需要设置压顶混凝土圈梁,所以其现场绑扎钢筋网、混凝土浇筑的工作量较大;同时由于需要增设抗震横墙,现场需要支模、浇筑和养护,使得改造周期较长,需要较大施工作业面,施工便利性差,现场施工周期也会比较长。而新加固方式采用钢板圈梁、钢筋网砂浆局部加强砖墙等加固方式,缩短了施工周期、提升了施工的便利性、提高了施工效率,平均缩短施工周期 50% 以上。

2.3.2 经济效果对比分析

砌体规范加固方法与新加固方法的定额预算造价见表 1,2。从表 1 中可以看到,砌体规范加固方法的定额预算造价为 70974.96 元,折合每平方米单价为

砌体规范加固方法的定额预算造价 表 1

序号	费用名称	计算公式	费率/%	金额/元
1	直接费(人工费)			43726.02(25162.27)
2	规费	人工费×费率	43	10819.78
3	企业管理费	人工费×费率	57	14342.49
4	利润	(1+2+3)×费率	7	4822.18
5	税金	(1+2+3+4)×费率	3.4	2506.16
6	工程造价	1+2+3+4+5		70974.96

新加固方法的定额预算造价 表 2

序号	费用名称	计算公式	费率/%	金额/元
1	直接费(人工费)			15813.49(7960.03)
2	规费	人工费×费率	43	3422.81
3	企业管理费	人工费×费率	57	4537.22
4	利润	(1+2+3)×费率	7	1664.15
5	税金	(1+2+3+4)×费率	3.4	864.88
6	工程造价	1+2+3+4+5		26302.55

657 元。从表 2 中可以看到,新加固方法的定额预算造价为 26302.55 元,折合每平方米单价为 244 元。

经比较容易看出:试点工程的实际加固方案(新加固方法)的工程造价则仅为传统加固方案(砌体规范加固方法)的 37%,节省工程造价 60% 以上,对比分析见图 8,9。同时,与文献[10]中的试点工程进行比较,说明本文提出的新加固方法针对性更强,对于砌筑砂浆强度较高的房屋,能节省更多的工程造价。

此外,如采用传统加固方案,室内作业量较大,如开挖地坪、拆卸吊顶、墙面抹灰等,一方面需要住户腾空房间,寻找周转房寄宿;另一方面还会产生大量的后期恢复的费用,如色差过大导致墙面整体重新粉

刷、地砖重铺等。因此,如果考虑此部分费用,传统加固方案的工程造价还会大大增加。

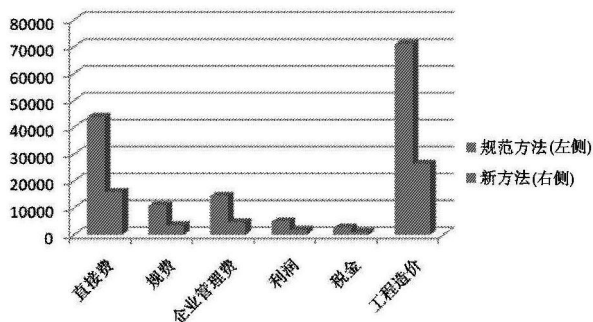


图8 工程造价对比

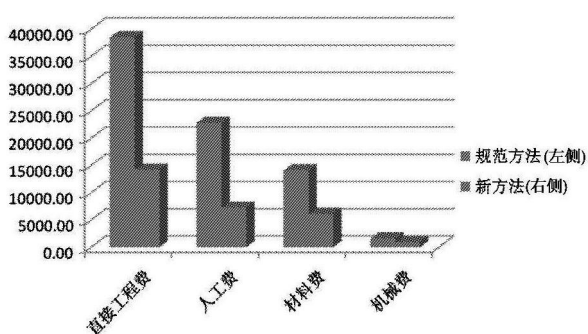


图9 直接工程费及人材机费用对比

### 3 结语

砌体规范加固方法对于多高层砌体结构比较实用,但对于农村住宅这种特殊结构形式,全部照搬不仅存在浪费,还存在效果不佳的问题。因此,有必要针对农村住宅这一特殊的结构形式进行深入的研究,寻求更加有针对性的节约型的新加固方法。

从本文的技术、经济两方面对比分析来看,对于混凝土柱作为竖向承重体系,木屋架作为屋面结构的结构体系来说,文中所述及的新加固方法不但能够满足改变结构整体刚度不均匀的现象,也能满足本地区抗震设防的要求(课题通过试验进行了验证)。从施工角度来说,也适合农村住宅的特点,具有加固针对性强、施工便利、施工周期短、施工作业面小等诸多优点。

另外,同一试点工程两种加固方法的经济性分析结果表明:文中所提出的针对于农村住宅的新加固方法的工程造价仅为传统加固方法的37%,节省工程造价60%以上,具有很大的经济优越性。

本文所述新加固方法不仅可运用于北京市的农村住宅综合改造,也可以给其他地区农村住宅综合改造的提供借鉴。

### 参 考 文 献

- [1] 北京市农村住宅安全普查与农村民宅抗震加固改造试验项目(PXM2010-161102-096238).
- [2] 周铁钢,王庆霖,胡昕. 新疆砖木结构民居抗震试验研究与对策分析[J]. 世界地震工程, 2008, 24(4): 120-124.
- [3] 罗靛,刘本玉,牛征昊. 木结构建筑的结构体系及其抗震性能研究[J]. 混凝土结构, 2010, 40(S1): 121-127.
- [4] KHAN SHAHZADA, AKHTAR NAEEM KHAN, AMR S ELNASHAI, et al. Shake table test of confined brick masonry building[J]. Advanced Materials Research, 2011, 255-260: 689-693.
- [5] 谷军明. 村镇木结构房屋抗震构造研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2006.
- [6] 杨仕升,申志敏,谢开仲,等. 我国村镇砌体房屋震害分析与抗震加固研究进展[J]. 华南地震, 2012, 32(3): 1-10.
- [7] 王满生,杨威,陈俞,等. 北京地区农村砖木结构振动台试验研究[J]. 地震工程与工程振动, 2012, 32(1): 128-133.
- [8] 王满生,刘辉. 钢筋网水泥砂浆加固砖墙的抗侧承载力和刚度计算[J]. 工程抗震与加固改造, 2011, 33(6): 116-119.
- [9] YANG WEI, WANG MANSHEG. A comparative study on seismic reinforcement test of Beijing rural brick building[J]. Advanced Material Research, 2011, 194-196: 1951-1957.
- [10] 农村砖木结构住宅抗震加固新方法对比分析与研究[J]. 施工技术, 2013, 42(22): 48-51.