

DOI:10.13409/j.cnki.jdpme.201906051

双层打包带加固村镇砖墙的抗震性能试验研究*

王 贇^{1,2}, 熊仲明¹, 张 波²

(1. 西安建筑科技大学土木工程学院, 陕西 西安 710055; 2. 陕西理工大学土木工程与建筑学院, 陕西 汉中 723000)

摘要: 为了提高村镇砖墙的抗震性能, 对2片双层打包带加固墙体和2片未加固对比墙进行拟静力试验, 研究0.35 MPa和0.6 MPa竖向应力的作用下, 墙体的破坏形态、水平承载力、滞回性能和耗能等抗震性能。试验结果表明原墙体均发生剪切破坏, 加固后墙体在0.35 MPa竖向应力作用下, 发生弯曲破坏, 在0.6 MPa竖向应力作用下, 发生剪切破坏, 加固减轻墙体破坏程度, 减小了裂缝宽度, 破坏时加固层和墙体整体性较好; 加固后墙体的开裂和极限荷载均得以提高, 竖向应力大时的墙体提高幅度大; 加固后墙体的滞回曲线更为饱满, 试件延性和耗能能力都有提高, 竖向应力较小时, 加固墙体水平荷载—顶点位移骨架曲线的下降阶段更为平缓, 试件延性提高了50%, 耗能能力提高了447%。双层打包带加固法可明显减轻墙体的破坏, 有效提高墙体抗震性能, 尤其对承受较小的竖向应力时效果更好, 研究成果为打包带加固方法的发展和村镇砖墙实地加固提供参考。

关键词: 砖墙; 双层打包带; 拟静力试验; 抗震性能

中图分类号: TU362 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-2132(2021)03-0568-05

Experimental Study of Seismic Performance of Rural Brick Walls Reinforced with Double-layer Packing Belt

WANG Yun^{1,2}, XIONG Zhongming¹, ZHANG Bo²

(1. Department of Civil Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China;

2. School of Civil Engineering & Architecture, Shaanxi University of Technology, Hanzhong 723000, China)

Abstract: In order to improve the seismic performance of rural brick walls, pseudo-static tests on two brick walls strengthened by two double-layer packing belts and two unreinforced brick walls was performed. Seismic performance such as the failure mode, horizontal bearing capacity, hysteretic performance, and energy dissipation was studied under the vertical stress of 0.35 MPa and 0.6 MPa. The test results show that the two original walls were in shear failure, and the reinforced wall was in bending failure under the vertical stress of 0.35 MPa and was in shear failure under the vertical stress of 0.6 MPa. The reinforcement reduced the damage degree and the crack width of the wall, and the reinforcement layer and integrity of the wall were good when the wall was damaged. The cracking and ultimate load of the wall increased after reinforcement, and increased greatly when the vertical stress was large. After reinforcement, the hysteretic curve of the wall was more full, and the ductility and energy dissipation capacity of the specimens was improved. When the vertical stress was small, the descending stage of the horizontal load-peak displacement skeleton curve of the strengthened wall was more gentle, and the ductility of the specimens was increased by 50% and the energy dissipation capacity

* 收稿日期: 2019-06-23; 修回日期: 2019-09-05

基金项目: 陕西省科学技术厅社会发展科技攻关项目(2016SF-420)资助

作者简介: 王贇(1977—), 女, 副教授, 博士研究生。主要从事工程结构抗震与加固研究。E-mail: wangyun411@126.com

was increased by 447%. The double-layer packing belt reinforcement method can significantly reduce the wall damage, and effectively improve the wall seismic performance, especially when in a small vertical stress. The research results can provide reference for the development of rural brick walls reinforcement and in practical engineering.

Keywords: brick walls; double-layer packing belt; pseudo-static test; seismic performances

引言

我国大量村镇位于地震高烈度区,房屋破坏的几率较大,砖混结构作为村镇建筑中主要的结构形式,由于分配的地震作用大,破坏的程度更大。村镇建筑大多自筹自建,缺乏设计理论指导,缺乏建设监管力度等加大破坏的概率^[1],目前相当多的建筑已经进入中老年期,人们对建筑物的性能要求不断提高,建筑建设标准也不断地提升,故提高村镇房屋建筑的安全性迫在眉睫。

打包带价格便宜、抗拉强度大和耐久性好,将条状或加工成网格的打包带围箍在墙体上对砌体房屋或墙体进行加固的方法在国内外已引起重视。Navaratnarajah先后对拱顶砖砌体房屋^[2]、木屋架石砌体结构^[3]和两层砌体房屋^[4]用PP打包带网格进行加固,振动台试验表明打包带加固均提高了房屋延性和耗能能力。曾银枝等^[5]用角钢和间隔20 cm水平塑钢打包带加固砖墙,通过低周往复荷载试验发现加固后墙体的抗剪承载力提高了29%,墙体的极限位移、延性、耗能均提高。姚新强^[6]用振动台试验发现单层打包带网提高了房屋整体性,增强了墙体变形恢复力,减缓裂缝开展,使震害明显减轻。研究表明打包带是适合村镇经济条件和施工特点的加固方法,但打包带较小的弹性模量易使加固层和墙体脱离,降低加固效果,故提出设置小尺寸构造木柱和角钢圈梁形成增强骨架,骨架两面设置内外双层打包带加固墙体的方法,并对加固墙体进行拟静力试验研究其抗震性能。

1 试验概况

1.1 墙体试件的设计与制作

按照缩尺比例,并考虑砖墙的组砌尺寸,用1 740×960×240(mm×mm×mm)墙体试样模拟5 400×3 000×240(mm×mm×mm)实际墙体,采

用强度等级为MU10的烧结普通砖,自拌M5混合砂浆按一顺一丁方式制作4片墙体,其中2片为对比墙,2片为加固墙,分别受0.35 MPa和0.6 MPa竖向应力作用。墙体按标准砌筑方式施工,养护1周后进行加固。

加固墙体时,先沿墙体表面设置内层打包带网,再沿着墙体上下设置L40×3型角钢,上下角钢之间延墙体长度均匀设置三根30×50(mm×mm)木龙骨,角钢和木龙骨形成增强骨架,M10水泥砂浆抹30 mm厚,在水泥砂浆层外设置外层打包带,外层打包带外抹10 mm厚水泥砂浆粉面,打包带和墙体,两层打包带之间通过螺杆和带孔钢板连接,打包带采用市售塑钢打包带(PET),截面尺寸19×1(mm×mm),打包带网格尺寸为125×125(mm×mm),墙体尺寸及加固如图1所示。

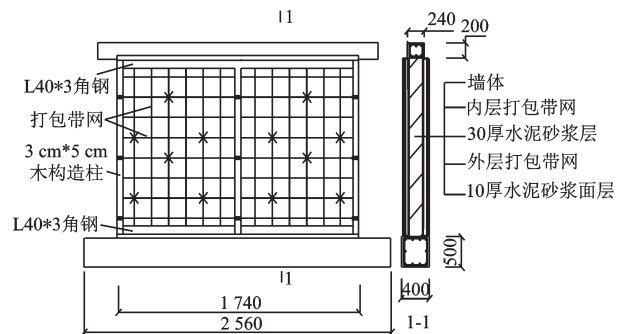


图1 墙体试件尺寸及加固

Fig.1 Dimensional details of the specimens and reinforcement

1.2 试验加载

本试验采用《建筑抗震试验规程》^[7]中荷载一位移双控制加载,加载时先施加竖向荷载,通过油压千斤顶在顶梁上跨中对4片墙体施加竖向压力,竖向压力在整个试验过程中保持恒定。加载前先施加20 kN水平荷载,进行预推,并重复2次。墙体开裂前,用荷载控制,原墙和加固墙每级分别按15 kN和20 kN加载,墙体开裂后,采用变形控制,变形值取开裂时试件的位移值,并以该位移值的倍数为级差进行控制加载,最终当荷载下降到极限荷载的85%以下时,停止加载。

2 试验结果分析

2.1 试件破坏过程及破坏形态

HQ-1墙体当水平拉力达到75 kN时,南面西侧上部墙体第1、2皮砖有细小齿状裂缝,当水平推力达到105 kN时,南面西侧墙底与地梁相交处开始出现一条长约7 cm细小水平裂缝,墙体中部偏上出现西上向东下发展的连续齿状裂缝。当水平推力达到104 kN时,西上向东下的齿状裂缝贯通,当水平拉力达到119 kN时北面墙体出现东上向西下基本贯通的齿状裂缝。随着荷载的增大,斜裂缝加宽,破坏时,裂缝最大宽度达3 cm,最终发生剪切破坏和斜压破坏,破坏如图2(a)所示。

HQ-2墙体当水平推力达到75 kN时,西侧墙脚第1皮砖与地梁相交处开始出现一条长约7 cm细小水平裂缝,当水平拉力达到105 kN时,北面东侧第1皮砖与地梁相交处开始出现一条长约11 cm细小水平裂缝,随着荷载增加,水平裂缝发展,当水平拉力达到150 kN时,墙体开始出现斜向裂缝,当水平推力为168.254 kN时,第9皮砖以下西上向东下墙中的斜裂缝贯通,第5皮砖以下东下墙角斜裂缝贯通,当水平拉力达到148.188 4 kN时,第9皮砖以下东上向西下墙脚的斜裂缝贯通,在加载过程中西下和东下区域墙体出现数条斜裂缝。墙体破坏时斜裂缝最大宽度达到1.5 cm,裂缝围成的三角块错动2.4 cm,最终发生剪切破坏,破坏如图2(b)所示。

JHQ-1加固墙体当水平拉力达到80 kN时,南面东侧墙体出现一条长约10 cm细小水平裂缝,当水平推力达到100 kN时,北面西侧墙底与地梁相交处开始出现长约12 cm细小水平裂缝,当水平拉力达到134 kN时,南面墙底与地梁相交水平裂缝贯通,在加载过程中,墙体挣裂声明显,在墙体出现水平、竖向和少量斜向裂缝,当水平推力达到148 kN时,东端墙下角高度约15 cm墙体开裂外移,东端木柱开裂,当水平拉力降到134 kN时,西端墙下角高度约20 cm墙体开裂外移,西端木柱开裂,至破坏时,底部水平裂缝明显,墙角上抬达1.3 cm,东西墙角砖外移达2.5 cm,并压碎,两端木柱倾斜明显,柱脚压裂显著,发生墙体整体弯曲和墙角压碎破坏,破坏如图2(c)所示。

JHQ-2加固墙体当水平拉力达到140 kN时,南

面东侧墙底与地梁相交处开始出现长约5 cm细小水平裂缝,当水平推力达到180 kN时,南面和北面东侧墙底与地梁相交处均出现细小水平裂缝,在加载过程中,墙体挣裂声明显,墙底与地梁相交处水平裂缝延伸加宽,墙角出现斜裂缝。当水平推力达到263 kN时,墙体中部至东下出现较长斜裂缝,在后期加载中墙体斜裂缝扩展,出现少量水平和斜向裂缝,至破坏时,墙面裂缝宽度最大3 mm,墙角砂浆压碎,东西墙角外移,墙体发生整体剪切破坏和墙角压碎破坏,破坏如图2(d)所示。由墙体破坏发现加固后墙体推迟了开裂,减轻墙体破坏程度,减小了裂缝宽度,墙体的破坏时整体性良好。

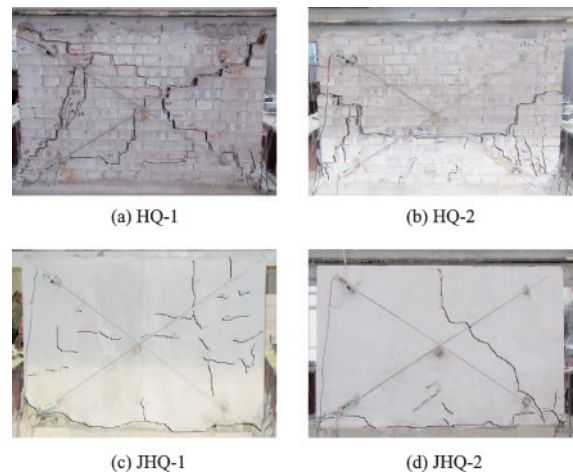


图2 墙体试件破坏形态

Fig.2 Failure mode of the specimens

2.2 抗震性能分析

2.2.1 承载力分析

砖墙不同受力性能下水平承载力见表1,从表1可以看出加固墙体承载力高于原墙的承载力,竖向应力为0.35 MPa和0.6 MPa时,开裂荷载分别提高了32%和41%,极限荷载分别提高了26%和57%,表明竖向荷载较大的墙体加固后荷载的提高率较高。

2.2.2 滞回特性

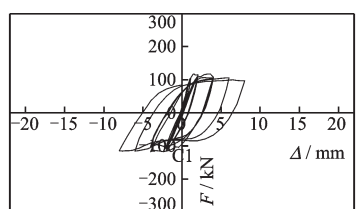
滞回曲线能够反映墙体在反复受力过程中的变形特征、刚度退化及能量耗散等情况,墙体试件滞回曲线如图3所示。从图3可以看出,加固后墙体的滞回曲线较未加固墙体更为饱满,说明加固后墙体的抗震性能和耗能能力比未加固墙体有较大提升。

竖向压应力的改变对墙体试件的极限荷载、破坏类型和延性都会产生影响。竖向应力越小,随位

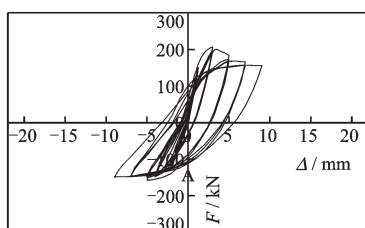
表 1 墙体水平承载力

Table 1 Horizontal bearing capacity of the specimens

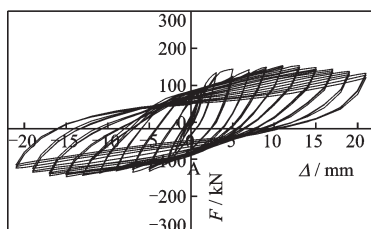
试件编号	开裂荷载/kN		提高率/%	屈服荷载/kN		提高率/%	极限荷载/kN		提高率/%
	推	拉		推	拉		推	拉	
HQ-1	60.42	-59.94	—	106.72	-105.74	—	116.36	-119.78	—
HQ-2	119.85	-105.00	—	176.72	-135.57	—	206.68	-158.02	—
JHQ-1	79.87	-79.23	32	137.30	-129.92	26	153.57	-143.62	26
JHQ-2	179.50	-138.68	41	242.51	-240.22	57	281.50	-280.19	57



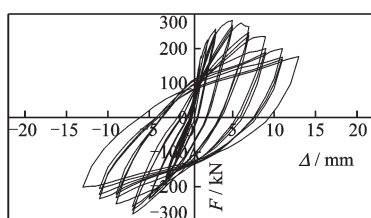
(a) HQ-1



(b) HQ-2



(c) JHQ-1



(d) JHQ-2

图 3 墙体试件滞回曲线

Fig.3 Load-displacement hysteretic curves of the wall specimens

移的增加,荷载下降趋势更为平缓,曲线斜率越来越小,滞回曲线越饱满,说明墙体延性和耗能越好,滞回环有些捏拢,说明受到滑移影响,竖向压应力越大,随位移的增加,承载力达到极限值后下降速度更快,曲线斜率变小,但降低幅度小,滞回曲线的

饱满度降低,说明墙体延性和耗能较小,延性变差,更容易发生剪切破坏。

2.2.3 骨架曲线

墙体试件水平荷载-顶点位移骨架曲线如图 4 所示。墙体试件的骨架曲线经历了弹性阶段、弹塑性阶段和下降阶段。加固前后墙体骨架曲线形状基本相似,加固后极限水平荷载明显高于未加固墙体,墙体加固后试件从开裂达到极限水平荷载和下降阶段均有延长,且骨架曲线下降阶段的斜率减少幅度变小。表明墙体加固加强了墙体的强度、刚度、延性、耗能等特性。

未加固墙体骨架曲线相近,竖向压应力越高,试件的水平承载力也越高。加固后墙体,竖向压应力越高,极限水平荷载提高幅度越大,但下降阶段荷载下降迅速,竖向压应力越低,下降阶段越平缓,试件延性提高幅度大。

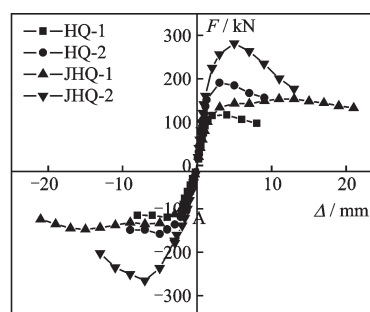


图 4 墙体试件骨架曲线

Fig.4 Skeleton curves of the wall specimens

2.2.4 刚度退化

墙片的刚度采用割线刚度来表示^[7],刚度退化曲线如图 5 所示。位移较小时,初始刚度下降剧烈;随着位移的增加,刚度退化幅度减小最后趋于稳定。加固后墙体的刚度均高于未加固墙体,竖向应力较小的墙体由于墙底发生与未加固墙体相同的滑移破坏,因此其刚度衰减曲线同未加固曲线相差不大,竖向应力较大的墙体,在位移较大时,刚度衰减较慢。

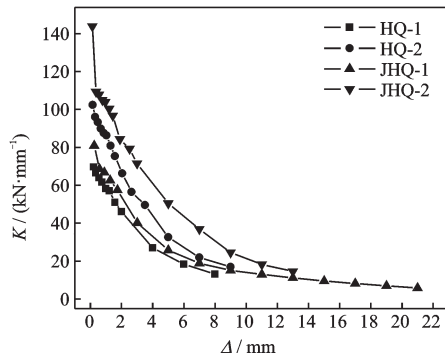


图5 刚度退化曲线

Fig.5 Stiffness degradation curves

2.2.5 耗能能力

4片砖墙试件的累积耗能见表2。

由表2可知,加固后砖墙在不同性能水平下的耗能都高于未加固砖墙的,竖向为0.35 MPa和0.6 MPa时,加固后墙体耗能分别提高了447%和128%,竖向荷载较小时该方法加固的墙体耗能提高明显。

表2 试件在不同破坏水平下的累积耗能

Table 2 Cumulative energy dissipation of the specimens at various damage levels

试件 编号	累积耗能/(kN·mm)			总耗能/ (kN·mm)	提高率/ %
	屈服 荷载	极限 荷载	破坏 荷载		
HQ-1	688	1 470	6 797	6 797	—
HQ-2	1 714	3 064	7 883	11 421	—
JHQ-1	2 976	16 161	37 172	37 172	447
JHQ-2	3 360	10 324	20 533	26 074	128

2.2.6 变形性能

由《建筑抗震试验规程》^[7]得出各个墙体试件平均延性系数和极限位移角见表3。原墙体破坏时位移角接近文献[8]建议的严重破坏和倒塌的位移角限制,而加固墙体破坏时位移角较大,且墙体裂缝细小,加固后墙体延性系数和极限位移角提高,表明墙体抗震性能和塑性变形能力提高,特别对竖向荷载较小的墙体提高程度越高。

表3 墙体试件延性

Table 3 Ductility of the wall specimens

试件 编号	屈服位移/mm		极限位移/mm		延性系数		平均延 性系数	极限位移角
	推	拉	推	拉	推	拉		
HQ-1	1.20	-2.28	6.01	-3.99	5.02	1.75	3.39	1/206
HQ-2	2.01	-3.08	5.01	-7.00	2.49	1.63	2.06	1/169
JHQ-1	3.47	-5.10	21.02	-21.01	6.05	4.12	5.08	1/47
JHQ-2	2.56	-5.21	8.99	-11.01	3.52	2.11	2.82	1/100

3 结 论

打包带加固在村镇房屋的加固中有应用前景。本文通过拟静力试验研究了设置骨架的双层打包带加固砖墙抗震性能,得到以下主要结论:

(1) 双层打包带加固减轻墙体破坏程度,减小了裂缝宽度,破坏时加固层和墙体整体性较好。

(2) 双层打包带加固提高了墙体的承载力,使滞回曲线更饱满,提高了耗能和变形性能,提高了墙体的抗震性能。

(3) 双层打包带加固能明显提高较大竖向应力墙体的承载力,对耗能和变形能力的改善一般,但能明显改善较小竖向应力墙体的耗能和变形能力,提高墙体的承载力,可见双层打包带加固对承受较小竖向应力墙体如村镇建筑更为适合。

参考文献:

- [1] 王毅红,韩岗,卜永红. 村镇既有砌体结构民居建筑抗震性能现状分析[J]. 建筑结构, 2010, 40(2): 101-104.
Wang Y H, Han G, Bu Y H. Existing research on seismic behavior of masonry structure in village buildings[J]. Building Structure, 2010, 40(2): 101-104. (in Chinese)
- [2] Sathiparan Navaratnarajah, Meguro Kimiro. Seismic behavior of low earthquake-resistant arch-shaped roof masonry houses retrofitted by pp-band meshes[J]. Practice Periodical on Structural Design and Construction, 2012, 17(2): 54-64.
- [3] Sathiparan Navaratnarajah, Sakurai Kotaro, Numada-Muneyoshi, et al. Experimental investigation on the seismic performance of PP-band strengthening stone masonry houses[J]. Bulletin of Earthquake Engineering, 2013, 11(6): 2177-2196.

(本文责编:苏泽云)

(下转第 585 页)