

整片墙体抗剪强度试验研究

刘云涛¹, 王欣荣², 高树凯³, 郑博¹, 黄河¹

(1. 河北省建筑工程质量检测中心有限公司, 雄安 071800; 2. 泊头市住房和城乡建设局, 泊头 062150;
3. 石家庄市鹿泉区建筑业服务中心, 石家庄 050200;)

摘要: 为了解墙体抗剪强度的变化规律, 设计了 5 片尺寸为 1 500 mm×1 500 mm×240 mm 的试验墙体, 在考虑不同高宽比及竖向压应力下, 对试验墙体进行了水平对角加载试验, 获得了不同参数下试验墙体的破坏过程和裂缝发展变化, 分析了墙体的破坏形态、荷载-位移曲线及抗剪强度的变化规律, 并与理论计算抗剪强度进行了对比。结果表明: 试验墙体的破坏过程主要分为两个阶段, 弹性阶段和破坏阶段, 无明显屈服点, 脆性破坏特征明显; 墙体破坏后沿对角开裂形成阶梯状斜裂缝, 按破坏形态分为弯剪破坏和剪压破坏两种; 在相同竖向压应力下, 试验墙体的抗剪强度随高宽比的降低而逐渐增大, 而在相同高宽比下, 试验墙体抗剪强度的变化随竖向压应力的增大先上升后下降; 与理论计算抗剪强度相比, 试验计算抗剪强度偏高, 其相对比值在 1.1~1.4 之间。研究结果要为相关工程提供参考。

关键词: 整片墙体; 抗剪强度; 墙体高宽比; 竖向压应力; 破坏形态

中图分类号: TU522 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-8249 (2026) 03-0145-06

DOI: 10. 19860/j. cnki. issn1005-8249. 2026. 03. 024

Experimental Study on the Shear Strength of the Entire Wall under Different Aspect Ratios and Vertical Compressive Stresses

LIU Yuntao¹, WANG Xinrong², GAO Shukai³, ZHENG Bo², HUANG He²

(1. Hebei Construction Engineering Quality Inspection Center Co., Ltd., Xiong'an 071800, China;
2. Botou City Bureau of Housing and Urban-Rural Development, Botou 062150, China;
3. Shijiazhuang Luquan District Construction Industry Service Center, Shijiazhuang 050200, China)

Abstract: In order to understand the variation law of the shear strength of the entire wall, five test walls with dimensions of 1 500 mm × 1 500 mm × 240 mm were designed. Considering different aspect ratios and vertical compressive stresses, horizontal diagonal loading tests were carried out on the test walls. The failure processes and crack development and changes of the test walls under different parameters were obtained. The failure modes, load-displacement curves and variation laws of the shear strength of the walls were analyzed, and a comparison was made with the theoretically calculated shear strength. The results show that: the failure process of the test walls is mainly divided into two stages, namely the elastic stage and the failure stage, with no obvious yield point and obvious brittle failure characteristics; after the walls are damaged, diagonal cracks are formed

项目来源: 河北省建设科技研究计划项目 (2023-2122)。

作者简介: 刘云涛 (1985—), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向: 工程质量检测鉴定及加固设计。

通信作者: 高树凯 (1975—), 男, 本科, 高级工程师, 研究方向: 建筑工程施工。

收稿日期: 2025-01-09

建筑结构

along the diagonal to form stepped oblique cracks, and the failure modes are divided into two types: flexural-shear failure and shear-compression failure; under the same vertical compressive stress, the shear strength of the test walls gradually increases as the aspect ratio decreases, while under the same aspect ratio, the change in the shear strength of the test walls first increases and then decreases with the increase in the vertical compressive stress; compared with the theoretically calculated shear strength, the experimentally calculated shear strength is relatively higher, and the relative ratio is between 1.1 and 1.4. The research results can provide reference for relevant engineering projects.

Key words: the whole wall; shear strength; aspect ratio of the wall; vertical compressive stress; failure mode

0 引言

砌体抗剪强度是影响砌体结构抗震性能的重要指标,随着时代变迁和生活居住条件的不断提升,城镇居民居住水平不均衡的问题日益突出,老旧砌体住宅已经无法满足抗震要求,急需改造升级^[1-2]。在改造升级之前,往往需要对原结构进行抗震鉴定,而砌体的抗剪强度对结构抗震性能的评定至关重要。

基于主拉应力和库伦抗剪强度理论,国内研究人员提出了众多砌体抗剪强度公式^[3]。刘桂秋等^[4-6]采用有限元法分析了不同高宽比和竖向压应力下墙体的应力分布、裂缝形成,提出了墙体的受剪承载力计算公式,建立了剪压复合作用下砌体破坏准则;吕伟荣等^[7]引入模糊数学中模糊理论,推导出相应的砌体在剪压复合作用下的抗剪强度公式;蔡勇^[8]采用不同的计算方法对各种工况的砌体材料进行算例计算,证明了以最小耗能原理为理论基础建立的砌体抗震抗剪强度计算公式较为合理;信任等^[9]采用单向加载获取了不同应力比下砌体的3种破坏形态,揭示了不同剪压复合应力状态下砌体抗剪强度的破坏规律;郑煌典等^[10]选择X形置换砂浆的方式,对6片墙体试件进行了拟静力试验,证明了置换砂浆能有效提高墙体的抗剪承载力;王欣等^[11]通过3面不同高宽比的面层加固砌体墙进行了低周往复荷载试验,验证了高宽比是影响墙体破坏模式的重要因素;赵成文等^[12]通过低周往复水平荷载试验,分析了3片蒸压粉煤灰砖的破坏特征,结果表明蒸压粉煤灰实心砖素墙片在拟静力作用下为脆性破坏,抗剪承载力较高,抗震性能较差;张凤亮等^[13]对8片缩尺墙体进行了拟静力试验,提出了单面聚丙烯网聚合物砂浆砌体墙的受剪承载力计算方法。李保德等^[14]通过带构造柱混凝土多孔砖墙片在低周往复荷载作用下的拟静力试验,表明构造柱和圈梁的设置

能有效提高混凝土多孔砖墙片的承载力、刚度、延性、耗能和抗倒塌能力;周洋等^[15]以3组缩尺砌体墙片模型进行了拟静力试验,结果表明设置构造柱提高了墙体的初裂位移、侧向刚度和极限承载力,抑制了墙体水平通缝的出现;乔崎云等^[16]通过对3片不同竖向压应力及砌筑砂浆强度构造柱约束烧结普通砖砌体墙的试验研究,揭示了构造柱约束烧结普通砖砌体墙损伤演化过程及退化机理,为砌体结构的合理化设计提供指导。

综上,在剪压复合作用下砌体抗剪强度的理论研究较为成熟,而在抗剪强度试验方面,尤其是对于足尺寸或者整片墙体的抗剪强度试验研究较少。基于此,以整片墙体为试验对象进行抗剪强度试验,研究不同高宽比及不同竖向压应力下墙体的破坏过程、破坏形态、荷载-位移曲线及抗剪强度的变化规律,为既有砌体结构的抗震性能评定及加固设计提供依据。

1 试验概况

1.1 原材料及力学性能试验

采用MU10烧结普通砖,规格尺寸为240 mm×115 mm×53 mm,采用M5.0中等强度等级混合砂浆,由P32.5级的普通硅酸盐水泥、中砂、石灰膏和水现场拌制而成。砂浆配合比根据JGJ/T 98—2010《砌筑砂浆配合比设计规程》要求进行配置,砂浆强度设计配合比见表1。

表1 砂浆强度设计配合比
Table 1 Design mix ratio of mortar strength

设计强度	水泥	石灰膏	中砂	水
	/ (kg/m ³)			
M5.0	214	136	1 400	200

1.1.1 砖抗压强度

砖块抗压强度试验方法依据GB/T2542—2012《砌墙砖试验方法》中有关规定进行,并依据GB 5101—2003《烧结普通砖》进行强度评定,试验

结果及强度等级评定结果见表 2。

表 2 砖抗压强度试验及强度等级评定结果
Table 2 Results of brick compressive strength tests and strength grade evaluations

抗压强度平均值/MPa	标准差/MPa	变异系数	评定等级
10.8	1.31	0.08	MU10

1.1.2 砂浆抗压强度

在制作墙体试件时，每片墙体预留 1 组砂浆立方体试块，每组 6 块，与墙体试件同条件养护。砂浆试块抗压强度试验方法依据 JGJ/T 70-2009《建筑砂浆基本性能试验方法标准》的有关规定进行，试验结果见表 3。

表 3 砂浆抗压强度试验结果
Table 3 Test results of mortar compressive strength

墙体编号	W1	W2	W3	W4	W5
强度平均值/MPa	5.24	4.86	5.78	5.37	5.12

1.2 试件设计及制作

共设计 5 片无筋试验墙体，试件设计尺寸为 1 500 mm×1 500 mm×240 mm，几何尺寸如图 1 所示。制作墙体试件时，采用同一盘砂浆并由一名瓦工按照 GB/T 2542—2012《砌墙砖试验方法》一顺一丁的方式进行砌筑，为便于试验，在墙体下端设置混凝土底梁。墙体试件在室内养护，28 d 后进行抗剪强度试验。

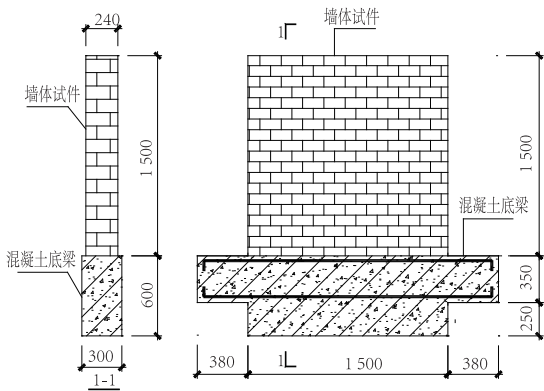


图 1 试件设计尺寸 单位：mm
Fig. 1 Design size of test specimen

1.3 试验方案

为得到不同高宽比及竖向压应力下试验墙体的抗剪强度结果，在 5 片试验墙体中，选其中 3 片（W1~W3）在墙顶施加 0.4 MPa 的竖向压应力，通过调整水平作用点位置的变化，获得不同高宽比下试验墙体的抗剪强度结果。在剩余的 2 片试验墙体

（W4~W5）中，控制墙体高宽比为 0.6，通过改变墙顶的竖向压应力值，得到不同竖向压应力下试验墙体的抗剪强度结果。墙体试验设计参数见表 4。

表 4 试验设计参数
Table 4 Experimental design parameters

墙体编号	设计高宽比	竖向压应力/MPa	砂浆强度等级
W1	0.60	0.4	M5
W2	0.32	0.4	M5
W3	0.12	0.4	M5
W4	0.60	0.5	M5
W5	0.60	0.6	M5

1.4 加载装置及数据采集

1.4.1 加载装置

采用自主研发的一体式自平衡砌体整体抗剪试验装置^[17]对墙体试件进行加载试验。竖向荷载由置于墙体顶部的两台 200 kN 液压千斤顶提供，墙顶设有型钢垫梁，千斤顶与型钢垫梁之间采用滚珠连接，以减少竖向荷载对墙片水平侧移的约束。水平荷载由墙体一侧 500 kN 液压千斤顶提供，另一侧采用型钢进行支顶，提供反力。竖向荷载采用匀速连续加载方法，加载至预估荷载后施加水平荷载，水平荷载采用分级加载，每级加载值为预估破坏荷载的 20%。

1.4.2 数据采集

试验数据主要采集各级荷载下墙体试件的水平位移、墙体的开裂荷载及破坏荷载。墙体试件的水平位移由固定在墙体上的千分表采集，千分表分布在试件两侧的顶部、中部及下部，每施加一级荷载，进行一次读数。开裂荷载及破坏荷载由加载设备显示器上的力值确定。试验完成后，记录墙体的破坏荷载及裂缝发展变化。

2 试验过程

W1 试件，在加载初期，试件表面无任何变化，当水平荷载加载至 102.6 kN 时墙体开裂，开裂位置位于墙体中下部，裂缝呈水平方向，此时墙顶水平位移为 5.75 mm，随着水平荷载的继续增加，裂缝逐渐水平向右发展，当水平荷载加载至 128.2 kN 时，墙体突然破坏，失去承载能力，破坏时墙顶累计水平位移为 12.62 mm。墙体破坏后，按裂缝的发展分为两部分，前半部分为水平裂缝，长度为 672 mm，

建筑结构

后半部分为阶梯状斜裂缝。墙体的开裂荷载为极限荷载的 80%左右。

W2 试件, 在整个加载过程中试验墙体一直未出现可见裂缝, 当水平荷载加载至 142.6 kN 时, 墙体突然发出“蹦”的声响, 墙体试件破坏, 破坏时墙顶累计水平位移为 5.24 mm。墙体破坏后, 沿整个墙体高度形成阶梯状斜裂缝。

W3~W5 试件的破坏过程及破坏特征与 W2 试件相同, 当水平荷载达到极限荷载时, 墙体突然破坏, 破坏后沿整个墙体高度形成阶梯状斜裂缝。破坏时, W3 试件的破坏荷载为 167.5 kN, 墙顶累计水平位移为 4.43 mm; W4 试件的破坏荷载为 148.6 kN, 墙顶累计水平位移为 5.45 mm; W5 试件的破坏荷载为 132.5 kN, 墙顶累计平水位移为 4.63 mm。

3 试验结果分析

3.1 破坏形态分析

根据墙体的破坏特征, 墙体试件共发生 2 种破坏形态。当高宽比较大且竖向压应力较小时, 试件发生弯剪破坏, 反之, 试件发生剪压破坏。试件的破坏形态如下:

W1 试件在加载过程中, 墙体先产生水平裂缝, 开裂位置位于受力点以下, 即墙体先发生弯曲受拉破坏, 随着荷载的进一步增加, 墙体最终形成阶梯状斜裂缝, 发生剪切破坏。因此, W1 试件的破坏形态为弯剪破坏。

W2~W5 试件墙体破坏后, 均形成阶梯状斜裂缝, 并贯穿整个墙体的受力高度。因此, W2~W5 试件的破坏形态为剪压破坏。

W1~W5 试件的受力模式及破坏形态如图 2 所示。

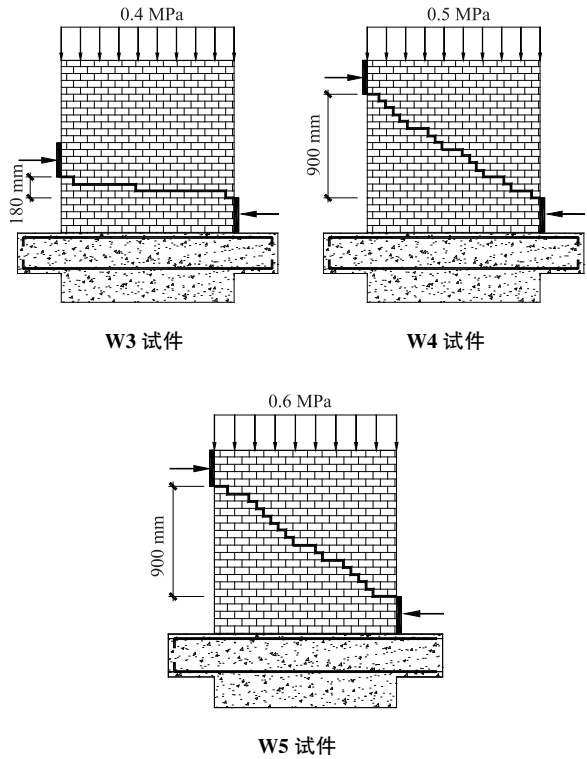


图 2 墙体试件的受力模式及破坏形态

Fig. 2 The stress patterns and failure modes of wall specimens

3.2 荷载-位移曲线分析

由图 3、4 可知, 墙体试件的破坏过程主要经历两个阶段, 弹性阶段和破坏阶段, 无明显屈服点, 墙体脆性破坏特征明显。在试件加载初期, 水平荷载不大时, 试件表面无任何变化, 荷载-位移曲线基本呈线性关系, 此时试件处于弹性阶段, 随着荷载的继续增大, 荷载-位移曲线继续呈线性关系增长。当水平荷载达到极限荷载时, 进入破坏阶段, 裂缝急剧开展, 荷载-位移曲线斜率由正变负, 试件最终失去承载能力, 墙体发生破坏。

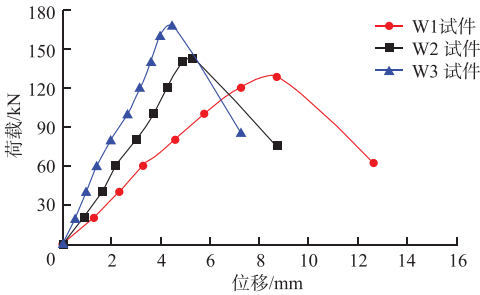


图 3 不同高宽比下墙体试件荷载-位移曲线

Fig. 3 Load-displacement curves of wall specimens under different aspect ratios

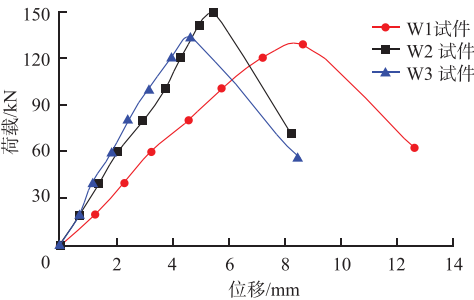


图 4 不同竖向压应力下墙体试件荷载-位移曲线
Fig. 4 Load-displacement curves of wall specimens under different vertical compressive stresses

3.3 抗剪强度分析

结合材料基本力学性能试验，依据砌体结构设计规范的计算方法，计算墙体试件的理论抗剪强度。并根据试验抗剪强度计算结果，与理论抗剪强度进行对比分析。

3.3.1 砌体抗压强度平均值

依据 GB50003—2011《砌体结构设计规范》中附录 B.0.1-1 公式进行计算。具体砌体抗压强度平均值计算结果见表 5。

表 5 砌体抗压强度平均值计算结果
Table 5 Calculation result of the average compressive strength of masonry

墙体编号	砖强度等级	砂浆抗压强度平均值/MPa	砌体抗压强度平均值/MPa
W1	MU10	5.24	3.371
W2	MU10	4.86	3.306
W3	MU10	5.78	3.465
W4	MU10	5.37	3.394
W5	MU10	5.12	3.351

3.3.2 砌体抗剪强度平均值

依据 GB50003—2011《砌体结构设计规范》中附录 B.0.1-2 公式进行计算。具体砌体抗剪强度平均值计算结果见表 6。

表 6 砌体抗剪强度平均值计算结果
Table 6 Calculation result of the average shear strength of masonry

墙体编号	砂浆抗压强度平均值/MPa	砌体抗剪强度平均值/MPa
W1	5.24	0.286
W2	4.86	0.276
W3	5.78	0.301
W4	5.37	0.290
W5	5.12	0.283

3.3.3 墙体理论抗剪强度

依据 GB50003—2011《砌体结构设计规范》中

5.5.1 条公式进行计算。具体墙体试件理论抗剪强度参数取值及计算结果见表 7。

表 7 理论抗剪强度计算结果
Table 7 Calculation results of theoretical shear strength

墙体编号	α	σ_0 /MPa	f /MPa	μ	f_{t0} /MPa	f_v /MPa
W1	0.64	0.4	3.371	0.111	0.286	0.315
W2	0.64	0.4	3.306	0.109	0.276	0.303
W3	0.64	0.4	3.465	0.115	0.301	0.330
W4	0.64	0.5	3.394	0.083	0.290	0.316
W5	0.64	0.6	3.351	0.051	0.283	0.302

表中 α 为修正系数； σ_0 为平均压应力； f 为砌体抗压强度平均值； μ 为剪压复合受力影响系数； f_{t0} 为砌体抗压强度平均值； f_v 为剪压复合作用下砌体抗剪强度理论计算值。

3.3.4 墙体试验抗剪强度

试验抗剪强度根据 GB50003—2011《砌体结构设计规范》第 5.5.1 条公式进行计算，因砌体竖缝抗剪强度低，将阶梯型截面近似按其水平投影的截面进行计算。具体墙体试件试验抗剪强度计算结果见表 8。

表 8 试验抗剪强度计算结果
Table 8 Calculation results of experimental shear strength

墙体编号	破坏荷载/kN	受剪面积/ m^2	抗剪强度/MPa
W1	128.2	0.36	0.356
W2	142.6	0.36	0.396
W3	167.5	0.36	0.465
W4	148.6	0.36	0.413
W5	132.5	0.36	0.368

由图 5、图 6 可知，在相同竖向压应力下，墙体试件的抗剪强度随高宽比的降低而逐渐增大；在相同高宽比下，墙体试件抗剪强度的变化随竖向压应力的增大先上升后下降。

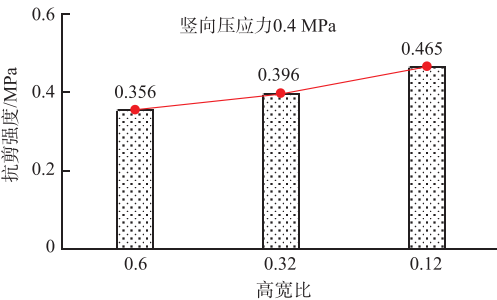


图 5 不同高宽比下墙体试件抗剪强度变化曲线
Fig. 5 Shear strength variation curves of wall specimens under different aspect ratios

建筑结构

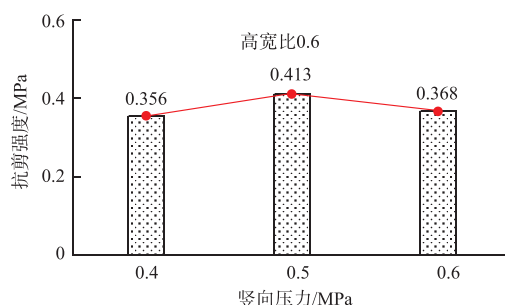


图6 不同竖向压应力下墙体试件抗剪强度变化曲线
Fig. 6 Shear strength variation curves of wall specimens under different vertical compressive stresses

3.3.5 抗剪强度对比

根据上述计算结果,将墙体试验计算抗剪强度与理论计算抗剪强度进行对比,得出在相同砂浆强度等级下,试验计算抗剪强度与墙体理论计算抗剪强度的比值,计算结果见表9。

表9 墙体抗剪强度对比结果

墙体编号	理论抗剪强度/MPa	试验抗剪强度/MPa	相对比值
W1	0.315	0.356	1.1
W2	0.303	0.396	1.3
W3	0.330	0.465	1.4
W4	0.316	0.413	1.3
W5	0.302	0.368	1.2

在不同高宽比及竖向压应力下,试验抗剪强度均比理论计算抗剪强度偏高,其相对比值在1.1~1.4之间。

4 结论

通过5片墙体的抗剪强度试验研究,分析了不同高宽比及竖向压应力下墙体的破坏形态和破坏过程,并对试验抗剪强度与理论抗剪强度进行了对比。主要得到以下结论:

(1) 不同高宽比及竖向压应力下,墙体的裂缝发展规律和破坏形态不同,随着高宽比的减小或竖向压应力的增大,水平裂缝逐渐向阶梯状斜裂缝发展,破坏形态由弯剪破坏逐渐向剪切破坏转变。

(2) 墙体的破坏过程主要分为弹性阶段和破坏阶段,无明显屈服阶段,对于高宽比较大且竖向压应力较小的墙体存在开裂阶段,开裂荷载为极限荷载的80%左右。

(3) 在相同竖向压应力下,墙体的抗剪强度随

高宽比的减小而逐渐增大,而在相同高宽比下,随竖向压应力的增大,墙体抗剪强度的变化趋势先上升后下降;与理论计算抗剪强度相比,试验抗剪强度偏高,其相对比值在1.1~1.4之间。

参考文献

- [1] 马凤燕,田时雨.广州市老旧小区结构抗震加固技术应用研究[J].广州建筑,2024,52(5):7-10.
- [2] 赵东军.老旧小区改造中的建筑结构加固设计策略探讨[J].住宅与房地产,2024,(13):123-125.
- [3] 蒋济同,何生魁.剪-压复合受力状态下砌体墙抗剪强度研究成果的评述[J].建筑结构,2016,46(增刊):476-480.
- [4] 刘桂秋,施楚贤,周万能,等.无筋砖墙的受剪性能分析[J].建筑结构,2003,33(12):55-59.
- [5] 刘桂秋,施楚贤,吕伟荣.砌体剪力墙的受剪性能及其承载力计算[J].建筑结构,2005,26(5):81-90,117.
- [6] 刘桂秋,施楚贤,黄靓.对砌体剪-压破坏准则的研究[J].湖南大学学报,2007,34(3):19-23.
- [7] 吕伟荣,施楚贤,刘桂秋.剪压复合作用下砌体的静力与抗震抗剪强度[J].工程力学,2020,25(4):158-164.
- [8] 蔡勇.砌体在剪-压复合作用下抗震抗剪强度分析[J].建筑结构,2011,41(2):74-77.
- [9] 信任,王美瑶,王庆霖,等.砌体剪压复合强度的试验研究[J].西南交通大学学报,2021,56(5):1043-1049.
- [10] 郑煌典,石建光,谢益人,等.竖向压应力及高宽比对置换砂浆加固砖墙体的抗震性能研究[J].工程抗震与加固改造,2020,42(3):69-75.
- [11] 王欣,高永超,陈浩,等.HFMRPC加固不同高宽比砌体窗间墙抗震性能试验研究[J].防灾减灾工程学报,2023,43(5):1057-1066,1111.
- [12] 赵成文,尚义明,周康,等.蒸压粉煤灰砖墙片抗震性能试验[J].沈阳建筑大学学报,2010,26(1):57-61.
- [13] 张凤亮,马东,刘祖强,等.单面聚丙烯网聚合物砂浆加固砖砌体墙抗震性能试验研究[J].建筑结构学报,2024,45(12):137-147.
- [14] 李保德,王兴肖,孙健.带构造柱混凝土多孔砖墙片抗震性能试验研究[J].水电能源科学,2010,28(2):95-99.
- [15] 周洋,郭讯,孙丽,等.钢筋混凝土构造柱约束砖砌体墙片抗震性能试验研究[J].地震工程与工程振动,2014,34(6):160-168.
- [16] 乔崎云,杨璟,刘宏波,等.构造柱约束烧结普通砖砌体墙抗震性能试验研究[J].自然灾害学报,2020,29(5):48-55.
- [17] 庞文忠,路彦兴,商冬凡,等.一体式自平衡砌体整体抗剪试验装置.ZL201922069011.6[P].2020-07-14.