

文章编号:1671-6833(2010)06-0019-04

HPFL 加固空斗墙砌体抗压强度试验研究

尚守平, 刘一斌, 姜巍, 徐梅芳

(湖南大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410082)

摘 要: 高性能水泥复合砂浆钢筋网薄层(HPFL)加固法是一种新型的结构加固补强技术. 通过 2 组对比试件和 3 组加固试件在分级加载下的轴压试验, 研究了 HPFL 对空斗墙砌体的抗压加固效果. 实验结果表明, 单面加固极限承载力提高 41.7%, 双面加固不仅极限承载力提高 50%~53.8%, 开裂荷载也提高约 21.3%~27%. 笔者通过实验数据拟合了空斗墙受压应力-应变曲线, 并提出 HPFL 加固空斗墙砌体承载力计算方法, 供加固设计时参考.

关键词: 高性能复合砂浆; 抗压强度; 加固; 空斗墙

中图分类号: TU362

文献标识码: A

0 引言

空斗墙作为一种承重结构, 具有节约用砖, 减轻结构自重等优点^[1]. 但空斗墙都是由两侧扁砌的砖靠丁砖联系成整体, 竖缝高 12 cm, 砂浆不易饱满, 加上收缩影响, 易成缝隙, 在荷载作用下, 丁砖易转动, 稳定性较差, 抗压承载力不足现象较普遍. 目前针对砌体房屋的加固方法, 国内外均做过一些试验研究, 但是, 对于广大农村地区的空斗墙房屋的加固研究却很少. 因此, 研究经济有效的空斗墙抗压加固方法具有重要的实用价值. 高性能水泥复合砂浆钢筋网薄层是以钢筋网增强材料, 高性能复合砂浆为基材组成的薄层结构, 使其与构件共同作用、整体受力, 以提高结构承载力. 由于强度高、收缩小、施工便捷、耐火性及耐久性好、对结构形状外观影响不大等优点受到国内外加固行业的青睐, 应用日趋广泛. 应用高性能复合砂浆钢筋网加固混凝土构件能有效提高构件的承载力、刚度、抗裂性和延性^[2-4]. 为了解高性能复合砂浆钢筋网加固空斗墙结构的抗压性能, 笔者对 HPFL 加固的空斗墙试件在完全卸载状态下的抗压强度进行了试验研究.

1 试验概况

1.1 试件设计

本试验共制作 5 组(每组 3 个相同的试件, 共

15 个)空斗墙砌体试件, 试件截面尺寸为 240 mm × 370 mm, 高度 806 mm, 砖强度等级为 MU10, 砌体砂浆采用 M1.0 和 M2.5 混合砂浆, 加固用高性能水泥复合砂浆强度等级为 M35, 加固层厚度为 25 mm, W1 和 W3 组试件为对比试件, W2 组试件为单面加固试件, W4 和 W5 组试件为双面加固试件. 钢筋网选用 $\phi 4$ 冷轧带肋钢筋, 平均极限抗拉强度为 840 MPa, 钢筋网与空斗墙砌体间用 L 型剪切销钉连接, 剪切销钉植入深度为 60 mm. 为提高空斗墙砌体与加固面层之间的粘结性, 在抹复合砂浆之前先在砌体加固面涂刷一层由水泥基复合的无机界面剂. 试件基本情况见表 1, 试件尺寸见图 1.

表 1 试件基本情况

Tab. 1 The basic situation of the specimens

组号	试件数量	砌体砂浆实测强度/MPa	复合砂浆实测强度/MPa	加固情况
W1	3	1.8	—	不加固
W2	3	1.8	36.7	单面加固
W3	3	1.8	36.7	双面加固
W4	3	3.4	—	不加固
W5	3	3.4	36.7	双面加固

1.2 加载装置与加载制度

试验是在湖南大学结构实验室 1 000 kN 反力架上进行, 对比试件及加固试件均采用 1 000 kN 油压千斤顶分级加载直至破坏. 加载装置见图 2.

收稿日期: 2010-06-20; 修订日期: 2010-07-27

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAJ03A10); 湖南省自然科学基金项目(07jj5098)

作者简介: 尚守平(1953-)男, 山东黄县人, 湖南大学教授, 博士生导师, 主要从事新型材料及其在结构加固中的应用研究与地基基础与上部结构相互动力作用研究, E-mail: sps@hnu.cn.

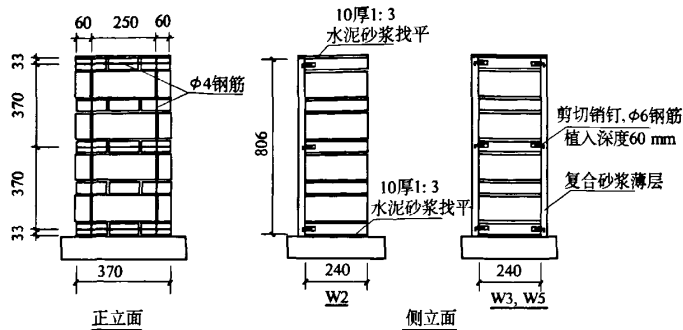
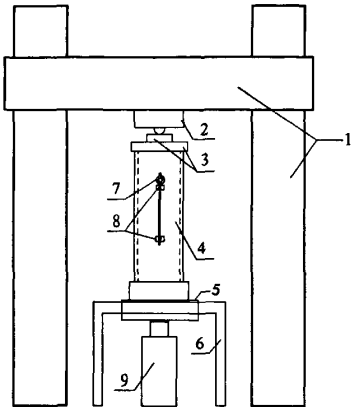


图 1 试件尺寸图

Fig.1 Size and characteristics of specimens



1—反力架;2—传感器;3—压力分布板;4—试件;5—下压板;6—滑轮架;7—百分表;8—脚标;9—千斤顶

图 2 加载装置图

Fig.2 Loading device

首先对试件施加预估破坏荷载的 5%，检查仪表的灵敏性和安装的牢固性，然后采用分级施加荷载的方法，每级荷载为 20 kN，并在 1~1.5 min 内均匀加完，每级加载完后，恒压 1~1.5 min，然后施加下一级荷载。加荷至预估破坏荷载的 80% 后，连续加载直至试件破坏。在实验过程中主要测试试件的开裂荷载和极限荷载，并观察试件的破坏过程及最后的破坏形态，对比各参数对试件抗压加固的效果。在试件的 4 个表面均贴有百分表用来测量试件竖向变形，在试件正立面还贴有百分表用来测量试件的横向变形。

2 试验结果及分析

2.1 普通砖空斗砌体试件受压破坏过程

W1 组试件当加载至极限荷载的 49%~61% 时，首先在砖墙正立面顶部第一匹眠砖和其下的斗砖竖向灰缝处开始产生裂缝，随着荷载的加大，裂缝沿纵向向试件底部不断发展，此时不增加荷

载，裂缝不会扩大；当荷载达到极限荷载的 80%~90% 后，裂缝很快加长加宽，继续加大荷载，试件轴向变形迅速发展，此时不增大荷载，变形也会增加。当荷载达到某一值，传感器读数往回走，但试件变形急剧增加，最后试件破坏并完全丧失承载力，这时可看到试件正立面上有 2 条主要的竖向裂缝。在整个加载过程中，试件侧立面破坏相对较小，在试件顶部会产生竖向裂缝和灰缝处的水平裂缝。W4 组试件破坏过程与 W1 组破坏过程相似，开裂荷载为极限荷载的 47%~68%。W4 组典型试件破坏形态如图 3 所示。

2.2 单面加固普通砖空斗砌体试件受压破坏过程

W2 组试件在加载到极限荷载的 37%~40% 时，在砖墙未加固正立面顶部首先出现竖向裂缝，当加载到极限荷载的 54%~57% 时，在试件上部加固面层与砖墙界面出现界面微裂缝，几乎同时在加固面层上部会产生一条水平裂缝，试件呈明显偏压特征，当荷载继续增加，未加固侧竖向裂缝和界面微裂缝加宽和向下延伸，当荷载达到极限时，试件变形急剧发展，荷载也随之急剧下降，最后“嘭”的一声，未加固侧砖墙被压坏，加固面层在试件上部折断，新增 1~2 条水平裂缝，加固面层与砖墙剥离。W2 组典型试件破坏形式如图 4 所示。

2.3 双面加固普通砖空斗砌体试件受压破坏过程

W3 组试件在加载到极限荷载的 31%~56% 时，首先在试件上部出现界面微裂缝，继续加载，则由于局压影响加固面层顶部出现裂缝，同时未加固侧也出现竖向裂缝，界面裂缝有加宽和向下延伸的趋势。当加载到极限荷载时，加固面层一侧上部被压坏，与砖墙严重剥离；另一侧加固面层在试件中部折断，新增 1~2 条水平裂缝，这是由于试件物理中心和几何中心不重合，使试件呈现一定的偏压特性所致。W5 与 W3 组试件破坏过

程非常相似,W5 组开裂荷载为极限荷载的 40%~51%,W5 组典型试件破坏形式如图 5 所示.

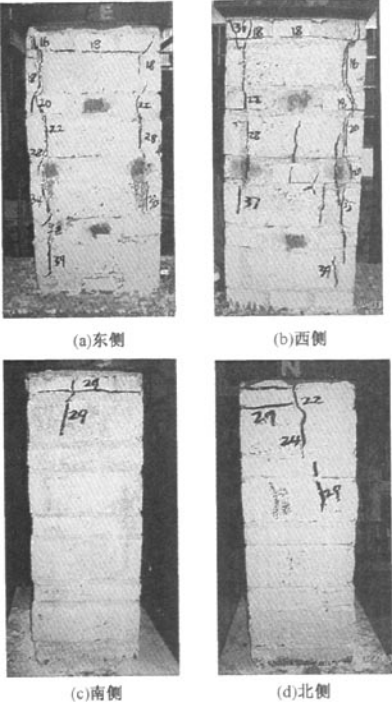


图 3 W4 组典型试件破坏图
Fig.3 Typical failure of W4

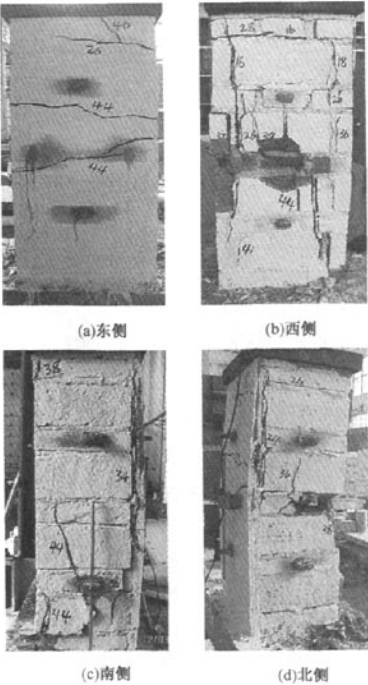


图 4 W2 组典型试件破坏图
Fig.4 Typical failure of W2

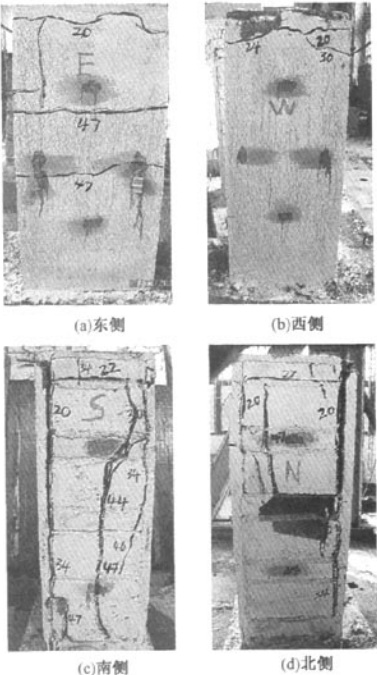


图 5 W5 组典型试件破坏图
Fig.5 Typical failure of W5

2.4 应变分析

2.4.1 普通砖空斗砌体应变分析

砌体受压时,随着应力的增接而应变增加,且应变增长的速度大于应力增长的速度,国内外对普通砖砌体,混凝土砌块砌体等受压应力-应变关系有比较成熟的研究,受压应力-应变表达式有对数函数型、指数函数型、多项式及改进对数型等^[5].作者采用改进对数型对空斗墙受压应力-应变关系进行拟幌,改进对数型表达式如下:

$$\varepsilon = -\frac{1}{\xi \sqrt{f_m}} \ln(1 - \frac{\sigma}{1.1 f_m}) \tag{1}$$

式中: f_m 为砌体抗压强度平均值; ξ 为不同种类砌体的系数,由实验数据用最小二乘法拟合得普通砖空斗墙砌体 $\xi = 719$,普通砖空斗墙砌体应力应变曲线如图 6 所示.

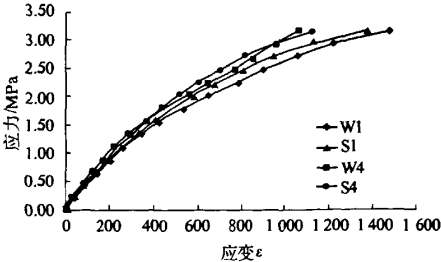


图 6 空斗砌体应力应变关系
Fig.6 Stress - strain correlation of row - lock cavity masonry

图 6 中 W1 和 W4 为 W1 组和 W4 组典型试件的实测应力应变关系, S1 和 S4 为根据式(1)并分别取 W1 组和 W4 组试件的平均抗压强度得到的曲线, 从图中可知, 实测曲线与拟合曲线较接近, 说明空斗砌体的应力应变关系较好的符合改进对数型关系. 且可以看出, 在应力相同的情况下, 砌筑砂浆强度等级越高, 应变越小.

2.4.2 单面加固普通砖空斗砌体应变分析

W2 组典型试件的竖向应变, 如图 7(a) 所示, 由图可知, 加固侧砂浆表面的竖向应变较小, 加载初期为压应变且随荷载的增大而增大, 继续加载到一定阶段后, 砂浆表面竖向压应变逐渐减小以至转为拉应变, 未加固侧竖向应变为压应变, 且随荷载的增大而应变增长速度加快, 这与实验过程中单面加固试件未加固侧竖向压缩大, 试件呈偏压特性的实验现象一致. W2 组典型试件的水平应变如图 7(b) 所示, 由图可知, 在试件加荷前期, 各水平应变变化都很小, 当加载至试件开裂后, 未加固侧水平应变开始出现较明显的拉应变, 继续加载, 则未加固侧水平应变开始急剧增大, 加固侧水平应变较复杂.

2.4.3 双面加固普通砖空斗砌体应变分析

W3 和 W5 两组双面加固试件应变类似, W3 组典型试件的应变, 如图 8 所示. 由图 8(a) 可知,

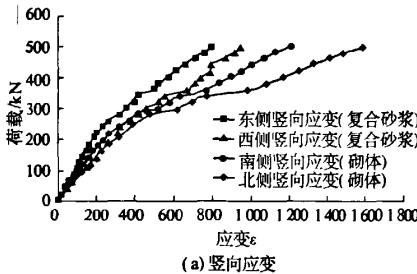


图 8 W3 组典型试件应变图

Fig.8 Typical strain curves of W3

2.5 受压承载力对比

试验得到的平均开裂荷载和平均破坏荷载对比, 如表 2 所示.

表 2 主要实验结果

Tab.2 Main experimental results

组号	开裂荷载/ kN	破坏荷载/ kN	开裂荷载提 高幅度/%	破坏荷载提 高幅度/%
W1	173	303	—	—
W2	167	430	-3.9	41.7
W3	220	467	27.0	53.8
W4	180	323	—	—
W5	227	485	21.3	50.0

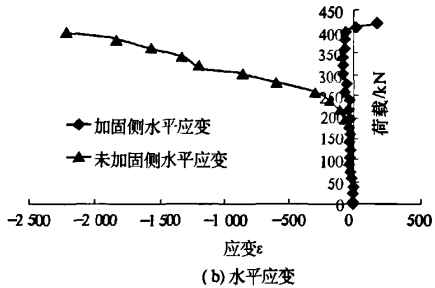
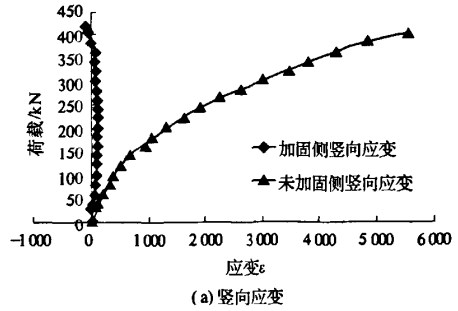
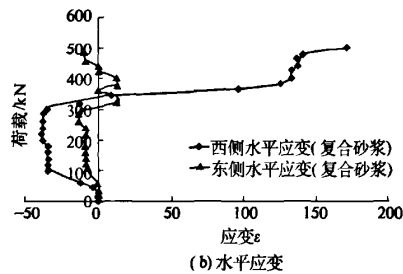


图 7 W2 组典型试件应变图

Fig.7 Typical strain curves of W2

在加载前期, 加固层与砌体应变较一致, 随着荷载的增加, 由于复合砂浆弹性模量大, 加固层应变滞后于砌体应变, 荷载越大, 这种滞后越明显. 双面加固试件加固层水平应变较复杂, 典型试件的水平应变如图 8(b) 所示.



由表 2 可知, 采用单侧高性能水泥复合砂浆加固的试件 (W2) 的开裂荷载与对比试件 (W1) 无明显差别, 但受压承载力提高 41.7% 左右. 采用双侧钢筋网水泥砂浆加固试件 (W5, W3) 的开裂荷载分别较对比试件 (W4, W1) 提高约 21.3% 和 27.0%, 受压承载力分别提高约 50% 和 53.8%.

3 HPFL 加固空斗墙砌体承载力计算

高性能水泥复合砂浆钢筋网加固砖墙的承载力由原砖墙、高性能砂浆和钢筋网 3 部分组成^[4],

HPFL加固空斗墙砌体的竖向承载力设计值可按式(2)进行计算。

$$N = \varphi \cdot [f \cdot A + \alpha \cdot (f_c \cdot A_c + \eta_s f_s' \cdot A_s')] \quad (2)$$

式中: N 为加固砖墙竖向承载力设计值; φ 为加固砖墙稳定系数,按文献[6]取用; f 为空斗墙砌体抗压强度设计值; A 为空斗墙砌体截面面积; α 为HPFL加固层与砖墙共同工作系数; f_c 为高性能复合砂浆轴心抗压强度设计值,可按同强度等级混凝土的70%取用; A_c 为高性能复合砂浆受压面积; η_s 为受压钢筋的强度系数; f_s' 为钢筋抗压强度设计值; A_s' 为钢筋受压面积。根据本次试验参数,可得双面加固 $\alpha = 0.51$, $\eta_s = 0.67$,单面加固 $\alpha = 0.78$, $\eta_s = 0.67$ 。

4 结论

(1)采用高性能水泥复合砂浆钢筋网面层加固空斗墙砌体,有效的提高了原砖墙的极限抗压承载力,单面加固提高约41.7%,双面加固提高约50%~53.8%。采用双侧HPFL加固空斗墙砌体,能有效提高墙体的开裂荷载,提高幅度约为21.3%~27%。

(2)根据试验结果,采用改进对数型对空斗

墙受压应力-应变曲线进行了拟合,拟合公式与试验结果符合较好。

(3)采用本次试验结果,提出了HPFL加固空斗墙砌体承载力设计值计算公式,可供加固设计时参考。

参考文献:

- [1] 廖娟,陈龙珠,田世民.空斗墙采用钢板网片加固试验及应用[J].建筑技术,2001,32(6):373-374.
- [2] 尚守平,蒋隆敏,张毛心.钢筋网高性能复合砂浆加固RC偏心受压柱的实验研究[J].建筑结构学报,2005,30(4):13-23.
- [3] 尚守平,罗杰,余德军.高性能水泥复合砂浆钢筋网加固RC受剪梁的高温性能试验研究[J].建筑结构学报,2009,30(4):102-107.
- [4] 蔡勇,余志武.高性能砂浆-钢丝(筋)网加固砖砌体抗压强度试验研究[J].铁道科学与工程学报,2007,4(5):1-5.
- [5] 施楚贤.砌体结构理论与设计[M].2版.北京:中国建筑工业出版社,2003.
- [6] GB 50003—2001,砌体结构设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2002.

Experimental Investigation on Row-Lock Cavity Masonry Strengthened with HPFL

SHANG Shou - ping, LIU Yi - bin, JIANG Wei, XU Mei - fang

(College of Civil Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: High - performance ferrocement laminate (HPFL) is a kind of new structure reinforcement technology. According to a compressive strength test acted on grading load using three groups of strengthened specimens and two groups of compared specimens, this paper analyzes the compressive property of row - lock cavity masonry strengthened with HPFL. The experiment results show that the single - face strengthened row - lock cavity masonry limit capacity is improved by 41.7% , and double - faced strengthened row - lock cavity masonry limit capacity is improved by 50% ~ 53.8% with cracking load increases by 21.3% ~ 27% . The stress - strain correlation of row - lock cavity masonry was fitted through experiment data in this article, and a calculation method was presented for predicting the design carrying capacity of row - lock cavity masonry strengthened with HPFL, which can provide reference to the strengthening engineering design.

Key words: high - performance ferrocement laminate (HPFL); compressive strength; strengthening; row - lock cavity masonry