织物增强混凝土增强砖砌体抗剪性能研究*

田稳苓[1,2]　魏延凯[1]　孟毅远[1]

(1. 河北工业大学土木与交通学院，天津　300401;
2. 河北工业大学，河北省土木工程技术研究中心，天津 300401)

摘　要: 通过对 6 组 18 个 TRC 增强砖砌体试件进行通缝截面抗剪试验，分析 TRC 中纤维编织网排布方式、层数、表面黏砂及基体中加入短切 PVA 纤维改性等因素对砖砌体抗剪性能的影响。试验结果表明: 用 TRC 增强砖砌体可明显提高砌体抗剪强度; 经向纤维与竖向灰缝夹角为 90°的排布方式的试件平均抗剪强度提高了 15.4%，斜向的排布方式的试件平均抗剪强度提高了 21.7%; 在一定范围内，增加纤维编织网的层数可以提高砖砌体抗剪强度; 在纤维编织网表面黏砂可以提高砖砌体的延性; TRC 基体中加入短切 PVA 纤维对提高砖砌体抗剪强度有影响，但影响程度较小。基于定滑轮原理，并考虑摩擦力，给出了 TRC 增强砖砌体的抗剪强度公式，计算结果与试验结果吻合较好。

关键词: TRC; 增强; 砖砌体; 通缝截面抗剪试验; 抗剪强度

DOI: 10.13204/j.gyjz201807013

RESEARCH ON SHEAR PERFORMANCE OF BRICK MASONRY REINFORCED WITH TRC

TIAN Wenling[1,2]　WEI Yankai[1]　MENG Yiyuan[1]

(1. School of Civil and Transportation Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China;
2. Technology and Research Center of Civil Engineering, Hebei Province, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China)

Abstract: The tests of masonry shear strength along mortar joints on 6 groups of 18 TRC reinforced brick masonry specimens were carried out. The effects of textile arrangement, the layer number of textile, textile covered with sands and TRC substrate that was modified by adding PVA chopped fiber on brick masonry shear performance were investigated. The results showed that: the strength of brick masonry strengthened by TRC had significantly improved. The average shear strength of brick masonry that angle of longitude fibers in TRC and vertical mortar joint was 90° increased by 15.4% and the shear strength specimens that oblique arrangement increased by 21.7%. In a certain range, increasing the layer number of textile could improve the shear strength of brick masonry. The textile covered with sands could improve the ductility of brick masonry. It had a little effect on masonry shear strength when added PVA chopped fiber into TRC substrate. The shear strength formula of TRC strengthen brick masonry was put forward based on the principle of fixed pulley and considering the friction. The results of the calculation were in good agreement with that of experiments.

Keywords: TRC; reinforced; brick masonry; test of shear strength along mortar joints; shear strength

0　引　言

砖砌体由砖和砂浆砌筑而成，这两种力学性能相差较大材料的简单组合必然导致砖砌体的抗剪性较差。为提高既有砖砌体房屋抗剪性能，需对其进行增强加固，常规方法有以下几种: 1) 灌浆法，灌浆法施工复杂且周期较长; 2) 黏贴 FRP 法，该方法造价高且不耐高温; 3) 喷射短纤维聚合物法，短纤维聚合物性能受纤维掺量影响较大等。纤维编织网增强混凝土(TRC)[1-2]是一种新型的以精细混凝土为基体的纤维增强复合材料，在结构增强加固方面优势显著。近年来，众多学者对 TRC 增强加固钢筋混凝土结构的性能进行了研究，如荀勇[3]、T C Triantafillou[4]、A Brückner[5-6]等国内外学者研究了 TRC 加固 RC 梁的抗剪性能; 薛亚东[7]、L Ombres[8]等学者研究了 TRC 约束混凝土柱的抗压性能等。上述研究表明: 经 TRC 增强加固后，RC 梁的抗剪性

* 河北省自然科学基金(E2014202178)。

第一作者: 田稳苓，女，1961 年出生，博士，教授，博士生导师。
电子邮箱: wltian126@126.com

收稿日期: 2018-01-15

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

能和混凝土柱的抗压性能均得到有效提高。

与钢筋混凝土结构相比，TRC 在砌体结构增强加固方面的研究目前还相对较少。本文用 TRC 对砖砌体结构进行增强，通过通缝截面抗剪试验对纤维编织网排布方式、层数、表面黏砂及 TRC 基体改性等因素进行了分析，并基于定滑轮原理，同时考虑摩擦力，给出了 TRC 增强砖砌体的抗剪强度公式。

1 试验概况

1.1 纤维编织网增强混凝土

试验采用的是玄武岩纤维编织网，实测网格间距为 6.5 mm，经向纤维由两股纤维相互缠绕而成，纬向无捻复丝在正交点处插入经向纤维束中，如图 1 所示。试验实测纤维力学性能指标如表 1 所示。

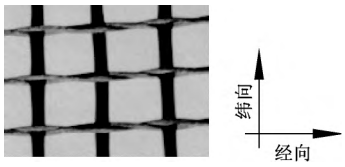


图 1 玄武岩纤维编织网

Fig. 1 Basalt-textile

表 1 实测纤维力学性能指标

Table 1 Measured mechanical properties of fiber

纤维类型	纤维方向	抗拉强度/MPa	弹性模量/GPa	极限应变/%	理论面积/mm^2	密度/($g \cdot mm^{-3}$)
玄武岩纤维	经向	1 636.96	73.18	2.4	0.163	2.75
	纬向	965.88	52.20	2.5	0.127	2.75

TRC 基体为精细混凝土，配合比参考文献[9]，如表 2 所示。

表 2 TRC 基体配合比

Table 2 Mix proportion of matrix kg/m^3

水泥	Ⅰ级粉煤灰	硅灰	细砂	粗砂	减水剂	水灰比
472	168	35	460	920	3.25	0.4

1.2 方案设计

按 GB/T 50129—2011《砌体基本力学性能试验标准》[10] 所规定的由 9 块砖组成的通缝截面抗剪强度试验方法，制作 6 组 18 个抗剪试件，尺寸为 180 mm × 240 mm × 370 mm，如图 2 所示。增强方法为在砖砌体竖向灰缝所在两侧面（窄侧面）整片浇筑黏贴 TRC 增强层，使之成为一个整体。TRC 中纤维排布方式如图 3 所示，图 3a 为未做增强，图 3b 为纤维横向排布（经向纤维与竖向灰缝夹角为 90°），图 3c 为纤维斜向排布（TRC 中每层纤维包含两片纤维编织网，其中一片黏贴在砌体窄侧面左2/3 处，经向纤维与竖向灰缝夹角为 45°；另一片对称黏贴在砌体窄侧面右 2/3 处，经向纤维与竖向灰缝夹角为 −45°；两片纤维在砌体窄侧面中间 1/3 处重叠），增强方案如表 3 所示。试件所用砌块为 M10 普通实心黏土砖，实测黏土砖抗压强度平均值为 10.26 MPa，水泥砂浆抗压强度平均值为 5.8 MPa。试件砌筑完成，养护龄期达 28 d 后进行试验。

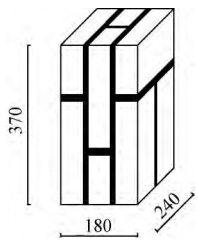
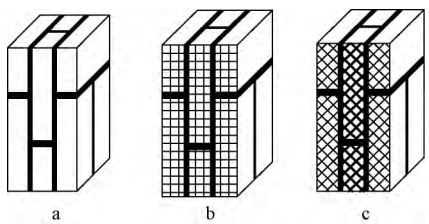


图 2 试件尺寸

Fig. 2 Specimen size



a—未增强；b—纤维横向排布；c—纤维斜向排布。

图 3 纤维排布方式示意

Fig. 3 Arrangements of textile

表 3 试件基本参数

Table 3 Parameters of specimens

试件分组	纤维排布方式	纤维编织网层数	纤维编织网表面是否黏砂	TRC 基体是否加入短切 PVA 纤维
S_0				
S_1	横向	1	否	否
S_2	斜向	1	否	否
S_3	斜向	2	否	否
S_4	斜向	1	是	否
S_5	斜向	1	否	是

注：S_0 组为未做增强的对比组；纤维横向排布方式示意如图 3b 所示；纤维斜向排布方式示意如图 3c 所示；纤维编织网表面黏砂为粒径 0 ~ 0.6 mm 细砂；TRC 基体加入的短切 PVA 纤维体积掺量为 0.5%。

1.3 试验加载

试验在电子万能试验机上进行，按 GB/T 50129—2011 所规定的方法进行加载，如图 4 所示。加载前在试件上、下与试验机接触部位垫 10 mm厚的钢垫板，采用连续均匀加载方式，保证在 1 ~ 3 min 内加载完毕。记录每组试件所能承受的最大荷载，观察试件在加载过程中的变化及破坏情况。

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

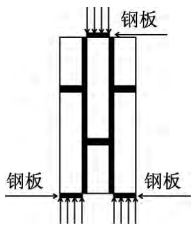


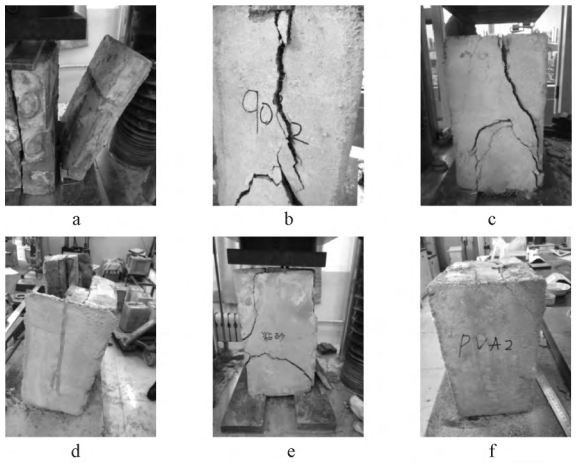
图4　试验加载示意

Fig. 4　Text set-up and loading diagram

2　试验结果及分析

2.1　试件破坏模式

S_0 组在加载过程中一旦达开裂荷载，试件很快就丧失承载力，沿砂浆通缝分离成三部分，为典型的双剪脆性破坏模式，如图 5a 所示。各增强组在加载初期无明显变化，当加载到临近开裂荷载时，可以明显听到 TRC 增强层中纤维因受拉而发出的噼啪声，试件增强层开始产生竖向或斜向的裂缝；荷载继续增加，纤维发出的声音逐渐变大，增强层裂缝也逐步扩展，直到试件到达极限承载力，发生剪切破坏。TRC 增强层的存在改变了试件破坏模式和最终破坏形态，所有增强组试件都表现出了一定的延性，破坏时有黏连，没有彻底分离，如图 5b—图 5e 所示。



a—S_0 组；b—S_1 组；c—S_2 组；d—S_3 组；e—S_4 组；f—S_5 组。

图5　各组试件典型破坏

Fig. 5　Typical faihre modes of specimens

除上述破坏模式外，还有几组特殊破坏模式，其中 S_3 组破坏时增强层仅有轻微裂缝，增强层带着砌块和砂浆从试件中间呈阶梯状分离成两部分，如图 5d 所示；S_5 组破坏时增强层产生的裂缝较细密，如图 5f 所示，且 S_5 组部分试件有增强层整体剥离现象。

2.2　抗剪强度试验结果

抗剪强度试验结果如表 4 所示，图 6 为各组平均抗剪强度柱形图。

表4　试验结果

Table 4　Text results of specimens

分组	试件编号	截面尺寸/mm 高	截面尺寸/mm 宽	剪力/kN	抗剪强度/MPa	平均抗剪强度/MPa	平均抗剪强度提高率/%
S_0	S_0-1	344	220	36.841	0.243	0.253	—
	S_0-2	343	224	39.055	0.254		
	S_0-3	345	223	40.349	0.262		
S_1	S_1-1	343	223	44.964	0.294	0.292	15.4
	S_1-2	342	223	49.393	0.324		
	S_1-3	343	224	39.605	0.258		
S_2	S_2-1	341	224	51.213	0.335	0.308	21.7
	S_2-2	342	230	46.704	0.297		
	S_2-3	344	225	45.213	0.292		
S_3	S_3-1	340	223	61.548	0.406	0.396	56.5
	S_3-2	341	229	58.491	0.375		
	S_3-3	339	226	62.509	0.408		
S_4	S_4-1	341	226	48.430	0.314	0.311	22.9
	S_4-2	340	224	48.735	0.320		
	S_4-3	339	225	45.407	0.298		
S_5	S_5-1	340	224	48.957	0.321	0.325	28.5
	S_5-2	338	225	49.555	0.326		
	S_5-3	340	227	50.607	0.328		

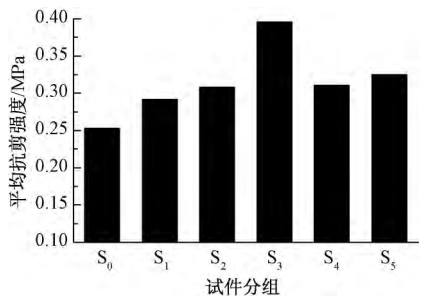


图6　各组平均抗剪强度

Fig. 6　Average shear strength of each specimen

由表 4 及图 6 可知：

1) 与未做增强处理的 S_0 组试件相比，各增强组试件在纯剪状态下的平均抗剪强度均有不同程度的提高，提高幅度为 15.4% ~56.5%，S_3 组的提高幅度最大；

2) S_1 组试件平均抗剪强度为 0.292 MPa，小于 S_2 组试件平均抗剪强度 0.308 MPa，说明在提高砌体抗剪强度方面，斜向排布方式优于横向排布方式；

3) S_4 组试件平均抗剪强度为 0.311 MPa，与 S_2 组的 0.308 MPa 几乎相同，说明在纤维表面黏砂对提高砌体抗剪强度几乎没有影响；

4) S_5 组试件平均抗剪强度为 0.325 MPa，比 S_2 组的 0.308 MPa 略有提高，说明在 TRC 基体中加入短切 PVA 纤维对提高砌体抗剪强度有影响，但影响程度较小。

2.3　增强效果影响因素分析

由图 7 可知，各组试件的剪力 - 位移曲线可分为三个阶段，分别是初始加载阶段，带裂缝工作阶段

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

与破坏阶段。初始加载阶段内，各组试件的剪力－位移曲线基本重合，TRC 的增强作用发挥较小；由于砌体砂浆内部有细小孔隙，且无法保证仪器加载端与试件完全紧密贴合，故初始阶段内在剪力变化不大的情况下位移有较快增长，随着位移的增大，砂浆内部孔隙逐渐被压实，砂浆内部会出现细微的肉眼不可见的裂缝。第二阶段为带裂缝工作阶段，该阶段内各组试件曲线斜率开始变大，剪力－位移曲线基本呈线性增长，试件表面开始出现肉眼可见裂缝；对于增强组试件，随着裂缝的扩展，位移的增大，TRC 承担的由试件内部传来的荷载也逐渐变大，其发挥的增强作用也越来越明显，故该阶段内，在位移相同的情况下，各增强组试件的荷载要大于未增强组。第三阶段为破坏阶段，其中 S_3 组和 S_4 组曲线破坏阶段较明显，破坏阶段内试件产生的裂缝已经很大，剪力增长幅度变得很小，主要是裂缝的扩展，当裂缝扩展到一定程度后试件发生破坏。

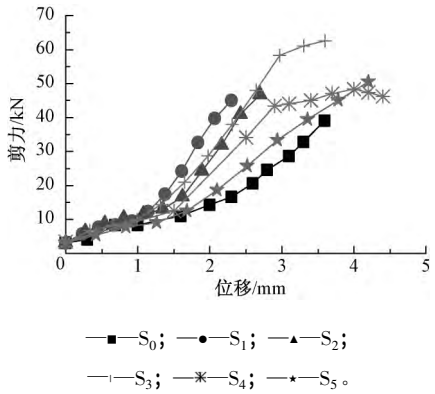


图 7　各组典型试件剪力－位移曲线

Fig. 7　Shear force-displacement curves of typical specimens

下面对影响砖砌体抗剪增强效果的各个因素进行分析：

2.3.1　纤维编织网排布方式

对于纤维横向排布的 S_1 组，砌体受剪时，增强层中只有经向纤维直接参与受力（TRC 基体开裂后退出工作，仅作为媒介传递剪力，其承担的剪力不予考虑），纬向纤维与剪力方向平行，仅通过纤维编织网节点间接受力，该间接力较小，可忽略。对于 S_2 组，由于纤维有一定的倾斜角度，故经向和纬向纤维都可直接参与受力。而在计算高度内，S_1 组经向纤维根数要多于 S_2 组经向纤维，故试验结果中 S_2 组平均抗剪强度仅在一定程度内大于 S_1 组。

2.3.2　纤维编织网层数

表 4 试验结果表明，试件抗剪强度随纤维编织网层数的增加得到了提高。试验中发现，S_3 组破坏时增强层仅有轻微裂缝，纤维性能未得到充分发挥。由图 7 中 S_3 组曲线可知，在带裂缝工作阶段内，剪力－位移曲线基本呈线性增长，TRC 承担的由试件内部传来的荷载也逐渐增加；当试件竖向灰缝最薄弱截面处的界面黏结力达到最大时，试件会沿着该薄弱截面发生滑移，此时，试件进入破坏阶段，曲线斜率开始变小，在剪力增幅较小的情况下位移有较大增长；当灰缝处滑移量达到最大时，TRC 承担的由试件内部传来的荷载达到最大，但并未达到 TRC 本身所能承受的极限荷载，试件的抗剪强度取决于灰缝最薄弱截面处的滑移。文献［11］用 FRP 加固砖墙试验结果表明，当纤维加固量超过一定限值时，会引起试件破坏形态的改变，继续增加纤维用量对提高试件的强度作用不大。所以，仅在一定范围内，增加纤维编织网的层数可以提高砖砌体抗剪强度。

2.3.3　纤维表面黏砂

S_4 组纤维表面黏有粒径 0～0.6 mm 的细砂，由试验结果可知，黏砂对提高砌体抗剪强度没有影响。由图 7 可知，在临近极限荷载时，S_4 组曲线十分平缓，表现出了较好的延性。由于纤维表面黏有细砂，使得纤维表面粗糙度增大，从而极大地增加了纤维与基体间的化学黏着力和机械咬合力[12]，故 S_4 组曲线在极限荷载附近仍有较缓慢增长，此过程中位移随荷载逐步增加，纤维表面的细砂逐渐剥落，直到试件达到极限承载力，发生破坏。

2.3.4　TRC 基体中加入的短切 PVA 纤维

由表 4 试验结果可知，用短切 PVA 纤维对 TRC 基体改性会在一定范围内提高砌体的抗剪强度。这是由于短纤维的加入改善了纤维编织网和基体之间的应力传递，使得纤维网的增强作用得到更好发挥。此外，短纤维的加入还会影响试件的破坏情况：一方面，短切纤维在裂缝处的桥联作用延缓了裂缝发展，降低了裂缝宽度[13]，从而使增强层产生的裂缝较细密，整体性较强；另一方面，短切纤维的加入会弱化 TRC 基体与砌体结构界面间的黏结性，使得部分试件的增强层与砌体结构发生剥离。

3　TRC 增强砖砌体抗剪强度分析

3.1　TRC 增强砖砌体抗剪强度计算

计算抗剪强度时，认为增强砖砌体的抗剪强度符合叠加原理，即：

$$V = V_b + V_{bf} \tag{1}$$

式中：V 为增强砖砌体抗剪承载力；V_b 为未增强砖砌体抗剪承载力；V_{bf} 为 TRC 增强层承担的抗剪承载力。

3.1.1　未增强砖砌体抗剪承载力 V_b 的计算

V_b 按最新版 GB 50003—2011《砌体结构设计规

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

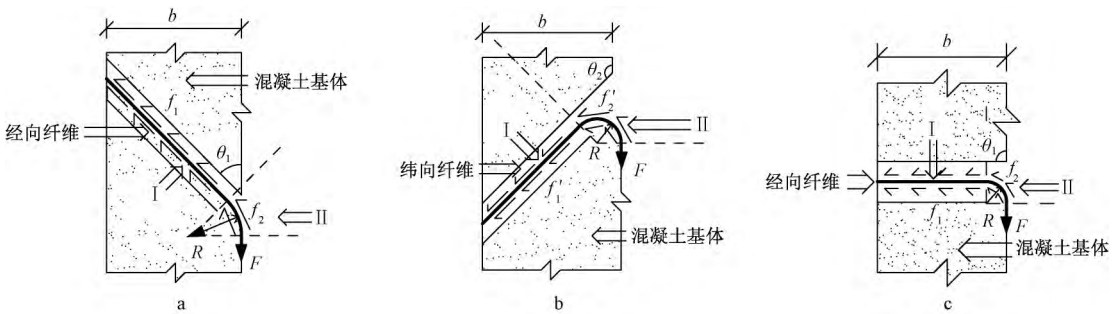
范》[14] 中的公式进行计算，因本次试验没有在竖向灰缝处施加垂直压应力，则有：

$$V_b = 2f_vA \tag{2}$$

式中：f_v 为砌体抗剪强度设计值；A 为受剪面积。

3.1.2 TRC 增强层承担的抗剪承载力 V_{bf} 的计算

假设 TRC 增强层与原结构黏结良好，仅考虑纤维受力，则 V_{bf} 由两部分组成：经向纤维承担的剪力 V_{bf1} 与纬向纤维承担的剪力 V_{bf2}。对竖向通缝靠近左侧砖块处的纤维增强层进行受力分析，如图 8 所示，其中 b 为单块砖厚度。



a—斜向排布经向纤维受力；b—斜向排布纬向纤维受力；c—横向排布经向纤维受力。

图 8 纤维受力分析

Fig. 8 Stress analysis of fiber

纤维是一种柔性材料，不能承受弯矩和剪力，仅承受拉力。对于图 8，剪力作用下试件在竖向通缝截面处会产生竖向位移，故增强层中横跨竖向通缝的纤维在通缝截面处也会产生竖向位移，该位移使纤维产生竖向拉力 F，F 由两部分组成：埋入混凝土基体中的纤维（图 8 中所示第 Ⅰ 部分）提供的摩擦力及纤维与竖向通缝截面相交处（图 8 中所示第 Ⅱ 部分）因纤维受力方向改变从而挤压混凝土基体产生的摩擦力，该处类似一个表面不光滑的定滑轮，一方面改变纤维受力方向，一方面为纤维提供摩擦力。

设纤维与竖向通缝夹角为 θ，埋入混凝土部分纤维（图 8 中所示第 Ⅰ 部分）长为 L，挤压混凝土部分纤维（图 8 中所示第 Ⅱ 部分）长为 C，挤压部分圆弧倒角半径为 R。则有：

$$L = \frac{b - R(1 - \cos\theta)}{\sin\theta} \tag{3}$$

$$C = R\theta \tag{4}$$

试验过程中纤维与混凝土基体黏结良好，假设纤维在埋入混凝土部分（图 8 中所示第 Ⅰ 部分）各点处所受摩擦力是均匀的，经向纤维各点所受摩擦力记为 f_1，纬向纤维记为 f_1'；同样假设纤维在挤压混凝土部分（图 8 中所示第 Ⅱ 部分）各点处所受摩擦力也是均匀的，经向纤维各点所受摩擦力记为 f_2，纬向纤维记为 f_2'。若试件在高度 h 范围内共有 n_1 根经向纤维，n_2 根纬向纤维；经向纤维周长记为 H_1，纬向纤维周长记为 H_2，则抗剪强度按式（5）计算。

经向纤维（图 8a、图 8c）：

$$V_{bf_1} = n_1(L_1H_1f_1 + C_1H_1f_2) \tag{5a}$$

纬向纤维（图 8b）：

$$V_{bf2} = n_2(L_2H_2f_1' + C_2H_2f_2') \tag{5b}$$

横向排布方式下的纬向纤维与剪力方向平行，纬向纤维仅通过纤维编织网节点间接受力，此间接力较小，不予考虑。

结合式（1）—式（5）可得 TRC 增强砖砌体的抗剪强度式，见式（6）。

纤维横向排布：

$$V = 2f_vA + n_1H_1\left[\frac{b - R(1 - \cos\theta_1)}{\sin\theta_1}f_1 + R\theta_1f_2\right] \tag{6a}$$

纤维斜向排布：

$$V = 2f_vA + n_1H_1\left[\frac{b - R(1 - \cos\theta_1)}{\sin\theta_1}f_1 + R\theta_1f_2\right] + n_2H_2\left[\frac{b - R(1 - \cos\theta_2)}{\sin\theta_2}f_1' + R\theta_2f_2'\right] \tag{6b}$$

由式（6）可看出，TRC 增强砖砌体的抗剪强度与未增强砖砌体抗剪强度 f_v、计算高度内受力纤维的根数 n、纤维周长 H、试件几何尺寸 b、圆弧倒角半径 R、纤维与混凝土基体的摩擦力 f 及纤维与竖向灰缝夹角 θ 等因素有关。

3.2 计算值与试验值的对比

式（6）有较多未知数，故做如下假设：忽略挤压混凝土部分弧长，统一按 L 计算纤维埋长；纤维在基体中各点所受摩擦力 f_1 和 f_1' 是均匀的；纤维周长 H 按纤维理论面积计算；f_v 按本次试验测得的平均抗剪强度 0.253 MPa 进行取值。式（6）经变换后的式子如下。

纤维横向排布：

$$V = 2f_vA + n_1L_1H_1f_1 \tag{7a}$$

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

纤维斜向排布:

$$V = 2f_vA + n_1L_1H_1f_1 + n_2L_2H_2f_1' \quad (7b)$$

式(7)中,只有 f_1 和 f_1' 是未知数,其计算步骤如下:将 S_1 组试验数据代入式(7a)可得到 f_1,式(7)中 f_1 近似以 S_1 组试验数据算出的 f_1 均值代替;将根据 S_1 组试验数据计算出的 f_1 及 S_2 组试验数据代入式(7b)可算出 f_1',式(7b)中 f_1' 近似以算出的 f_1' 均值代替。

在纤维表面黏砂及在基体中加入短纤维都会影响 f_1 和 f_1' 取值,故仅对 S_0,S_1,S_2,S_3 组试件进行计算。表5给出了试件抗剪强度计算值与试验值的对比情况,试验数据基本吻合。

表5 计算值与试验值的对比

Table 5 Comparison of calculated values and experimental values

试件编号	V_b/kN	V_{bf1}/kN	V_{bf2}/kN	V_u/kN	V_{ut}/kN	V_u/V_{ut}
S_0-1	38.294	0	0	38.294	36.841	1.039
S_0-2	38.877	0	0	38.877	39.055	0.995
S_0-3	38.929	0	0	38.929	40.349	0.965
S_1-1	38.703	5.932	0	44.635	44.964	0.993
S_1-2	38.591	5.932	0	44.532	49.393	0.901
S_1-3	38.877	5.932	0	44.809	39.605	1.131
S_2-1	38.650	5.969	2.535	47.154	51.213	0.921
S_2-2	39.802	5.969	2.535	48.306	46.704	1.034
S_2-3	39.164	5.969	2.535	47.668	45.213	1.054
S_3-1	38.365	11.615	4.932	54.912	61.548	0.892
S_3-2	39.513	11.937	5.069	56.519	58.491	0.966
S_3-3	38.767	11.615	4.932	55.314	62.509	0.885

注:V_b 为未增强砖砌体承担的剪力;V_{bf1} 为经向纤维承担的剪力;V_{bf2} 为纬向纤维承担的剪力;V_u 为按式(7)计算出的抗剪承载力;V_{ut} 为实际测得的抗剪承载力。

4 结束语

1)用 TRC 增强砖砌体可有效提高其抗剪强度,其平均抗剪强度提高幅度为 15.4% ~56.5%,且各增强组试件都表现出了一定的延性。

2)砖砌体抗剪强度与 TRC 中纤维编织网排布方式有关,斜向排布方式优于横向排布方式。

3)仅在一定范围内,增加纤维编织网的层数可以提高砖砌体抗剪强度,当纤维用量超过一定限值时,增加纤维用量对提高抗剪强度作用不大。

4)在纤维表面黏砂对提高砖砌体抗剪强度几乎没有影响,但可明显改善砖砌体延性。

5)用短切 PVA 纤维改性 TRC 基体可在一定范围内提高砖砌体抗剪强度,延缓裂缝发展,但短纤维的加入会弱化 TRC 基体与砌体结构界面间的黏结性,可能会引起增强层的整体剥离。

6)根据定滑轮原理,同时考虑摩擦力,给出了 TRC 增强砖砌体的抗剪强度公式,并进行了计算,计算值与试验值吻合较好。

参考文献

[1] 戴清如,沈玲华,徐世烺,等. 纤维编织网增强混凝土基本力学性能试验研究[J]. 水利学报,2012(增刊1):59-70.

[2] 艾姗霞,尹世平,徐世烺. 纤维编织网增强混凝土的研究进展及应用[J]. 土木工程学报,2015,48(1):27-40.

[3] 肖保辉,支正东,苟勇. 织物增强混凝土加固钢筋混凝土方形短柱轴压承载力试验研究[J]. 建筑结构学报,2009(增刊2):238-242.

[4] TRIANTAFILLOU T C, PAPANICOLAOU C G. Shear Strengthening of Reinforced Concrete Members with Textile Reinforced Mortar (TRM) Jackets[J]. Materials and Structures, 2006, 39(1):93-103.

[5] BRÜCKNER A, ORTHLEPP R, CURBACH M. Textile Reinforced Concrete for Strengthening in Bending and Shear[J]. Materials and Structures, 2006, 39(8):741-748.

[6] BRÜCKNER A, ORTLEPP R, CURBACH M. Anchoring of Shear Strengthening for T-beams Made of Textile Reinforced Concrete (TRC)[J]. Materials and Structures, 2008, 41(2):407-418.

[7] 薛亚东,刘德军,黄宏伟,等. 纤维编织网增强混凝土侧面加固偏压短柱试验研究[J]. 工程力学,2014,31(3):228-236.

[8] OMBRES L. Concrete Confinement with a Cement Based High Strength Composite Material[J]. Composite Structures, 2014, 109: 294-304.

[9] 徐世烺,李赫. 碳纤维编织网和高性能细粒混凝土的粘结性能[J]. 建筑材料学报,2006(2):211-216.

[10] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 砌体基本力学性能试验方法标准:GB/T 50129—2011[S]. 北京:

[11] 温利明. 芳纶纤维加固砖砌体的抗震性能试验研究[D]. 泉州:华侨大学,2003.

[12] 尹世平,徐世烺,王菲. 纤维编织网在细粒混凝土中的黏结和搭接性能[J]. 建筑材料学报,2012,15(1):34-42.

[13] 尹世平,徐世烺. 提高纤维编织网保护层混凝土抗剥离能力的有效方法[J]. 建筑材料学报,2010,13(4):468-474.

[14] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 砌体结构设计规范:GB 50003—2011[S]. 北京:2011.

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net