

引用本文:尹亚运,刘川琦,李书进,等.纤维橡胶砂浆的力学性能与砌体轴压试验[J].建筑科学与工程学报,2023,40(2):19-25.

YIN Yayun, LIU Chuanqi, LI Shujin, et al. Mechanical properties of fiber rubber mortar and axial compression test of masonry[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2023, 40(2): 19-25.

DOI:10.19815/j.jace.2021.10072

纤维橡胶砂浆的力学性能与砌体轴压试验

尹亚运¹, 刘川琦¹, 李书进¹, 毛 羚¹, 王振洋²

(1. 武汉理工大学 土木工程与建筑学院, 湖北 武汉 430070; 2. 武汉地铁集团有限公司, 湖北 武汉 430030)

摘要:为提高橡胶砂浆的力学性能和适用性,通过单掺聚乙烯醇(PVA)纤维或钢纤维、复掺PVA-钢纤维对橡胶砂浆进行改性,探讨其对超声波传播速度、抗折强度和抗压强度的影响。将普通水泥砂浆、20%橡胶砂浆、复掺PVA-钢纤维橡胶砂浆分别与环保压缩砖结合制作砌体,通过试验研究轴心抗压强度和弹性模量。结果表明:掺入PVA纤维或复掺PVA-钢纤维降低了超声波在橡胶砂浆中的传播速度;掺入PVA纤维或钢纤维提高了橡胶砂浆的抗折强度;复掺一定量的PVA纤维和钢纤维能有效提高橡胶砂浆的抗压强度;20%橡胶砂浆的抗压强度比普通水泥砂浆降低了46%,对应砌体的破坏荷载降低了12.8%;复掺PVA-钢纤维橡胶砂浆的抗压强度比20%橡胶砂浆提高了14.9%,对应砌体的开裂荷载和破坏荷载分别提高了63.4%和4.5%;掺入适量PVA纤维和钢纤维能改善橡胶砂浆的强度明显低于普通水泥砂浆的缺点,将复掺PVA-钢纤维橡胶砂浆应用于砌体工程能改善结构的隔音性,延缓试件的开裂,提高橡胶砂浆砌体的抗压强度。

关键词:橡胶砂浆;力学性能;轴心受压;纤维;砌体

中图分类号:TU528.58

文献标志码:A

文章编号:1673-2049(2023)02-0019-07

Mechanical properties of fiber rubber mortar and axial compression test of masonry

YIN Yayun¹, LIU Chuanqi¹, LI Shujin¹, MAO Ling¹, WANG Zhenyang²

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, Hubei, China;

2. Wuhan Metro Group Co., Ltd, Wuhan 430030, Hubei, China)

Abstract: In order to improve the mechanical properties and applicability of rubber mortar, the rubber mortar was modified by single-doped polyvinyl alcohol (PVA) fiber or steel fiber, and PVA-steel fiber, then the influences on ultrasonic propagation speed, flexural strength, and compressive strength were discussed. Ordinary cement mortar, 20% rubber mortar and PVA-steel fiber rubber mortar were combined with environmentally friendly compressed bricks to make masonry, and the axial compressive strength and elastic modulus were studied. The results show that adding PVA fiber or PVA-steel fiber reduces the propagation speed of ultrasonic waves in rubber mortar. Adding PVA fiber or steel fiber improves the flexural strength of rubber mortar. A certain amount of PVA fiber and steel fiber can effectively improve the compressive strength of rubber mortar. The compressive strength of 20% rubber mortar is 46% lower than that of

收稿日期:2021-10-22

基金项目:国家自然科学基金项目(51808419)

作者简介:尹亚运(1990-),女,实验师,E-mail:yinyy@whut.edu.cn。

ordinary cement mortar, and the failure load of masonry is reduced by 12.8%. The compressive strength of PVA-steel fiber rubber mortar is 14.9% higher than that of 20% rubber mortar, and the cracking load and failure load of the corresponding masonry are increased by 63.4% and 4.5% respectively. Adding a proper amount of PVA fiber and steel fiber can improve the strength of rubber mortar, which is obviously lower than ordinary cement mortar. Applying compounded PVA-steel fiber rubber mortar to masonry engineering can improve the sound insulation of the structure, delay the cracking of specimen, and improve the compressive strength of the rubber mortar masonry.

Key words: rubber mortar; mechanical property; axial compression; fiber; masonry

0 引言

水泥砂浆在墙体砌筑、建筑装饰、装修抹灰等工程应用中发挥着不可替代的作用,而水泥砂浆的破坏过程呈现出明显的脆性^[1-2]。废弃橡胶作为一种高分子弹性材料,具有难熔、耐热且不易在自然状态下分解的特点,如果不妥善处理,会占用大量土地资源,在高温下释放出有害气体,污染环境。目前众多对橡胶砂浆的研究表明,橡胶的掺入增加了砂浆的韧性,但降低了砂浆的强度^[3-6],需探索出有效的方法提高橡胶砂浆的强度,加强橡胶砂浆在工程中的适用性和提高橡胶砂浆的利用率。

聚乙烯醇(PVA)纤维是一种抗拉强度和弹性模量较高的材料,与钢纤维都是纤维混凝土中常见的外掺纤维,它们不仅能提高混凝土的延性^[7-8],而且对提高材料的强度有利^[9]。针对橡胶砂浆的强度明显低于普通水泥砂浆的缺点,在橡胶砂浆中掺入PVA纤维或钢纤维,从橡胶砂浆在砌体工程中的应用展开研究。试验对比普通水泥砂浆、20%橡胶砂浆、PVA纤维橡胶砂浆、钢纤维橡胶砂浆和复掺PVA-钢纤维橡胶砂浆的超声波传播速度、抗折强度和抗压强度。根据超声波在各组砂浆中的传播速度,研究纤维对提高橡胶砂浆隔音性的有效性。根据各组砂浆的力学性能,选取普通水泥砂浆、20%橡胶砂浆、复掺PVA-钢纤维橡胶砂浆作为砌筑砂浆,分别与环保压缩砖结合制作砌体,通过砌体的轴心受压试验,研究砌体的延性、轴心抗压强度和弹性模量,探索纤维橡胶砂浆在砌体工程中的应用,从而解决橡胶制品废弃后难以处理的困境,节约砂石等材料,可以产生巨大的经济效应和环保贡献。

1 试验原料及配合比设计

1.1 试验原料

选用P.O42.5普通硅酸盐水泥。为实现橡胶

颗粒等体积取代砂子,使砂子的粒径与橡胶颗粒的粒径一致,选用粒径5 mm的砂,堆积密度为 $1\,492\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$,表观密度为 $2\,564\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。选用的橡胶颗粒粒径为3~5 mm,堆积密度为 $439\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$,表观密度为 $1\,212\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。为使橡胶颗粒与水泥基体间有更好的黏结力,对橡胶颗粒进行改性^[10-11],将橡胶颗粒在质量分数为5%的NaOH溶液中浸泡2 h后用大量清水冲洗,自然晒干。选用聚羧酸系高效减水剂。选用3、6、9 mm三种长度的PVA纤维。选用长度为10~20 mm的钢纤维,密度为 $7\,800\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。选用废弃骨料生产的环保压缩砖,尺寸为 $200\text{ mm}\times 90\text{ mm}\times 50\text{ mm}$,这种砖不需经过高温煅烧,也不消耗宝贵的黏土资源。

1.2 配合比设计

选用基准配合比为:水灰比 $W/C=0.6$,灰砂比 $C/S=1/3$ 。橡胶砂浆中橡胶体积为普通水泥砂浆中砂体积的20%。普通水泥砂浆(Ref1)、橡胶砂浆(Ref2)、PVA纤维橡胶砂浆(DP1~DP12)、钢纤维橡胶砂浆(DG1~DG4)和复掺纤维橡胶砂浆MIX1~MIX8的配合比见表1,每组制作3个试件。

2 砂浆基本性能试验

2.1 超声波试验

超声波在普通水泥砂浆(Ref1)和橡胶砂浆中的传播速度平均值分别为 $3\,933.1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $3\,639.6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,单掺橡胶颗粒降低了超声波的传播速度。图1为超声波在其他组试件中的传播速度平均值。可以看出,掺入PVA纤维进一步降低了超声波的传播速度,掺入钢纤维使超声波在橡胶砂浆中的传播速度略有增加,复掺PVA-钢纤维降低了超声波在橡胶砂浆中的传播速度。超声波在介质中的传播是一种高频率机械振动,橡胶是一种弹性材料,加入橡胶颗粒增强了砂浆的韧性,当超声波的传播路径中包含橡胶颗粒时,会引起橡胶粒子振动,消耗能

表 1 砂浆的配合比

Table 1 Mix proportion of mortar

试件组编号	各材料用量/(kg·m ⁻³)					
	水泥	水	砂	橡胶	PVA 纤维	钢纤维
Ref1	540	324	1 620.00			
Ref2	540	324	1 295.49	153.12		
DP1	540	324	1 295.49	153.12	1.62(长 3 mm)	
DP2	540	324	1 295.49	153.12	3.24(长 3 mm)	
DP3	540	324	1 295.49	153.12	4.86(长 3 mm)	
DP4	540	324	1 295.49	153.12	6.48(长 3 mm)	
DP5	540	324	1 295.49	153.12	1.62(长 6 mm)	
DP6	540	324	1 295.49	153.12	3.24(长 6 mm)	
DP7	540	324	1 295.49	153.12	4.86(长 6 mm)	
DP8	540	324	1 295.49	153.12	6.48(长 6 mm)	
DP9	540	324	1 295.49	153.12	1.62(长 9 mm)	
DP10	540	324	1 295.49	153.12	3.24(长 9 mm)	
DP11	540	324	1 295.49	153.12	4.86(长 9 mm)	
DP12	540	324	1 295.49	153.12	6.48(长 9 mm)	
DG1	540	324	1 295.49	153.12		1.62
DG2	540	324	1 295.49	153.12		3.24
DG3	540	324	1 295.49	153.12		4.86
DG4	540	324	1 295.49	153.12		6.48
MIX1	540	324	1 295.49	153.12	1.62(长 3 mm)	3.24
MIX2	540	324	1 295.49	153.12	3.24(长 3 mm)	3.24
MIX3	540	324	1 295.49	153.12	1.62(长 6 mm)	3.24
MIX4	540	324	1 295.49	153.12	3.24(长 6 mm)	3.24
MIX5	540	324	1 295.49	153.12	4.86(长 6 mm)	3.24
MIX6	540	324	1 295.49	153.12	6.48(长 6 mm)	3.24
MIX7	540	324	1 295.49	153.12	4.86(长 9 mm)	3.24
MIX8	540	324	1 295.49	153.12	6.48(长 9 mm)	3.24

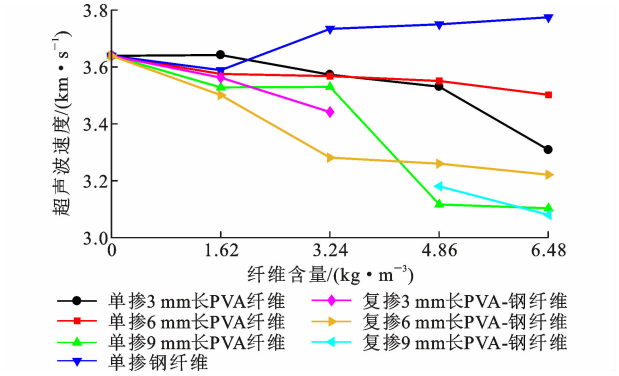


图 1 超声波在橡胶砂浆试件中的传播速度

Fig. 1 Propagation velocity of ultrasonic wave in rubber mortar specimen

量,故橡胶砂浆能有效地起到隔音效果^[12-13]。PVA 纤维是一种高强度、高模量的材料,能消耗超声波在传播过程中的能量,从而降低超声波在橡胶砂浆中的传播速度。超声波在钢纤维中的传播速度大于在

水泥砂浆中的传播速度,因此超声波在钢纤维橡胶砂浆中的传播速度会略有增加。

2.2 抗折抗压试验

按照《水泥胶砂强度检验方法(ISO 法)》(GB/T 17671—1999),普通水泥砂浆(Ref1)和橡胶砂浆的抗折强度平均值分别为 6.32 MPa 和 3.59 MPa,其他组试件的抗折强度平均值见图 2。可以看出,单掺橡胶颗粒降低了砂浆的抗折强度,掺入 PVA 纤维或钢纤维提高了橡胶砂浆的抗折强度,复掺两种纤维对增强橡胶砂浆的抗折强度起到了良好的效果。在水泥砂浆中承受外荷载的主要是砂子,橡胶不能代替砂子承受压力,且橡胶与浆体之间的黏结强度很低^[14]。橡胶砂浆受力时,易发生局部形状突变,造成应力集中,使试件的强度降低。PVA 纤维在受力时与浆体紧密的摩擦耗能可以延缓微小裂缝的产生,延长力的传递路径。较长的纤维在搅拌时

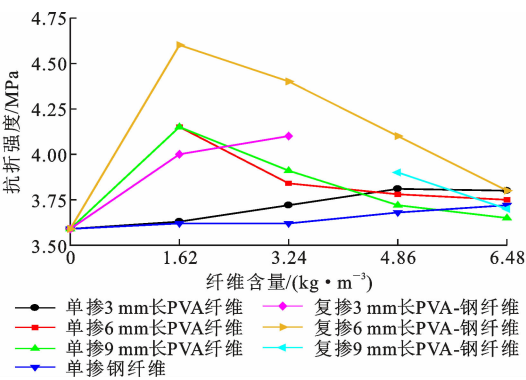


图2 橡胶砂浆试件的抗折强度

Fig. 2 Flexural strength of rubber mortar specimen

更容易成团,导致分布不均匀,从而使试件的抗折强度随着 PVA 纤维的长度和掺量的增加而下降。

普通水泥砂浆(Ref1)和橡胶砂浆的抗压强度平均值分别为 45.3 MPa 和 20.6 MPa,其他组试件的抗压强度平均值见图 3。可以看出单掺橡胶颗粒降低了砂浆的抗压强度,除了 DP1 组外,掺入 PVA 纤维降低了橡胶砂浆的抗压强度,掺入钢纤维提高了橡胶砂浆的抗压强度。

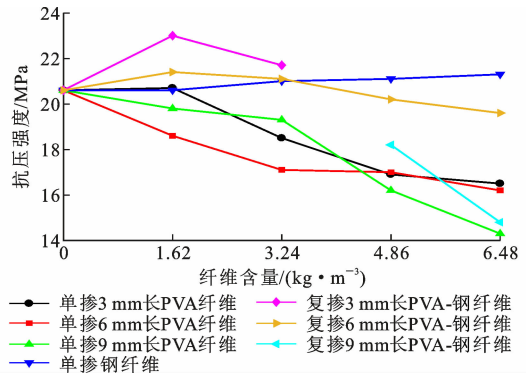


图3 橡胶砂浆试件的抗压强度

Fig. 3 Compressive strength of rubber mortar specimen

PVA 纤维的长度越长、掺量越大,抗压强度下降越明显,因为较少掺量和较短长度的 PVA 纤维容易均匀分布在浆体中形成网状薄膜,抑制裂缝的产生,提高砂浆的力学性能,而 PVA 纤维掺量过大会增加浆体的孔隙率,降低砂浆的密实性和力学性能^[15]。复掺一定量的 PVA 纤维和钢纤维能有效增强橡胶砂浆的抗压强度,掺量超过一定范围会使橡胶砂浆的抗压强度降低,这与整个体系的孔隙率有关。在砂浆的制作过程中发现,PVA 纤维的掺量越大,试件表面越容易出现“小孔”,因为较大的纤维掺量会引入更多的空气^[16],20%橡胶颗粒的加入使浆体的孔隙率增大,再掺入过量的纤维不仅不能起到增强抗压强度的效果,反而由于更难搅拌均匀、更容

易成团而带来抗压强度方面的负面影响。
20%橡胶颗粒砂浆(Ref2)对比普通水泥砂浆(Ref1)抗折强度降低了 43.2%,抗压强度降低了 54.4%;复掺 1.62 kg·m⁻³ PVA 纤维(3 mm 长)和 3.24 kg·m⁻³ 钢纤维的橡胶砂浆(Mix1)对比 20%橡胶颗粒砂浆(Ref2),抗折强度提高了 11.4%,抗压强度提高了 11.7%。

3 砌体轴压试验

3.1 砌体试件制作

根据砂浆的基本性能试验可知,Mix1 组能有效提高橡胶砂浆的力学性能。为加强橡胶砂浆在工程中的适用性并提高橡胶砂浆的利用率,选取 Ref1、Ref2 和 Mix1 作为砌体的 3 组砌筑砂浆,研究砌体的轴心抗压强度。按照《建筑砂浆基本性能试验方法标准》(JGJ/T 70—2009),砌筑砌体时将 3 组砂浆留样测试立方体抗压强度,试验结果为:普通水泥砂浆的抗压强度平均值为 37.2 MPa,达到 M30 级;20%橡胶水泥砂浆的抗压强度平均值为 20.1 MPa,达到 M20 级;复掺纤维橡胶砂浆的抗压强度平均值为 23.1 MPa,达到 M20 级。按照《砌墙砖试验方法》(GB/T 2542—2012),随机选择 10 块环保压缩砖进行抗压试验,测得平均抗压强度为 12.82 MPa,达到 MU10 级。

按照《砌体基本力学性能试验方法标准》(GB/T 50129—2011),由于本试验使用的砖为非标准砖,若竖向灰缝的宽度为 10 mm,则砖砌体的厚度为 190 mm,小于砖的长度。根据石建光等^[17]的试验结果可知,20 mm 灰缝厚的试件承载力与 10 mm 灰缝厚的试件相差较小。为使砌体的外表面平整,竖向灰缝的厚度设为 20 mm,水平灰缝的厚度设为 10 mm。受压试件的尺寸为 200 mm×310 mm×650 mm,高厚比为 3.25。3 组砌体试件的描述见表 2,图 4 为砌体试件示意图。

表2 砖砌体试件的描述

Table 2 Description of brick masonry specimen	
试件编号	描述
A1, A2	砂浆: Ref1
	块体: 环保压缩砖
B1, B2	砂浆: Ref2
	块体: 环保压缩砖
C1, C2	砂浆: Mix1
	块体: 环保压缩砖

3.2 加载方案

图 5 为试验布置图,试件两侧的位移传感器用

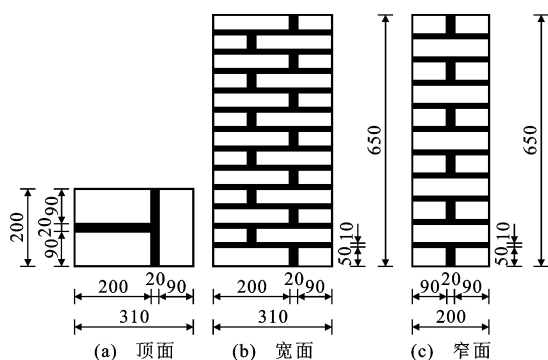


图4 砌体试件示意图(单位:mm)

Fig. 4 Schematic diagram of masonry specimen (unit:mm)

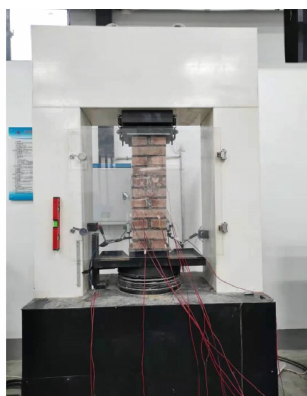


图5 试验布置

Fig. 5 Test layout

于采集试件的轴向位移。按照《砌体基本力学性能试验方法标准》(GB/T 50129—2011),为使试件达到轴心受压的效果,在完成试件几何对中后进行预压,荷载目标值为预估破坏荷载值的10%,加载速率为 $30 \text{ kN} \cdot \text{min}^{-1}$,反复预压3次,对比2个位移计的读数,通过调整试件位置和垫平试件,将位移计的相对误差控制在10%以内,完成试件的物理对中。预压后卸载,记录初始读数,逐级施加荷载,分级荷载为预估破坏荷载值的10%,加载速率为 $30 \text{ kN} \cdot \text{min}^{-1}$,每完成一级荷载持荷1 min,观察裂缝开展情况,采集试验数据,记录试验现象,当加载至预估破坏荷载值的80%时,连续加载直至试件破坏。

4 试验结果与分析

4.1 试验现象和破坏机理

通过观察试验现象,可将砌体的轴心受压破坏分为如下3个阶段^[18]。

第一阶段(弹性阶段):从试件承压开始,随着荷载增大,两侧位移计的示数同步增加,持荷时位移不增加,试件轴向变形小,此时试件处于弹性阶段。压力达到一定值时,有细微的开裂声,试件外表面无明

显裂纹。当位移计示数有较大突变时,试件外表面产生第一批裂缝,裂缝位于砌体窄面中部竖向灰缝与砖的接触面上,此时荷载为开裂荷载。

第二阶段(带裂缝工作阶段):保持加载速率不变,砌体表面的裂缝数量增多,试件的轴向刚度降低,中部竖向裂缝沿灰缝往上、下持续发展,裂缝宽度不断增大,形成一条贯穿试件上下端的通缝,且在持荷状态下继续开展,此时试件处于弹塑性阶段。

第三阶段(破坏阶段):随着荷载的增加,试件发出更为尖锐的开裂声,伴有材料剥落,在接近破坏荷载时,试件的轴向变形急剧增大,原先慢慢扩张的裂缝形成数条竖向贯穿整个试件的通缝,失去承载能力,达到了破坏荷载。

图6为砌体试件破坏后的典型形态,试件破坏时,在4个侧面上均有一条竖向通缝和数条稍短的裂缝,试件被这几条通缝分割成几个独立的竖向小立柱。从3组环保压缩砖砌体的破坏现象可知,在砂浆中掺入橡胶或纤维不会改变砖砌体的破坏形态。



图6 砌体试件的破坏形态

Fig. 6 Failure mode of masonry specimen

4.2 力-位移曲线

普通水泥砂浆压缩砖砌体 A1、橡胶砂浆压缩砖砌体 B1 和复掺纤维橡胶砂浆压缩砖砌体 C1 的力-位移曲线见图7。在达到开裂荷载前,试件处于弹性阶段,复掺纤维橡胶砖砌体试件的轴向变形最大,刚度最小,普通水泥砂浆砖砌体试件的轴向变形最小,刚度最大,橡胶砂浆砖砌体的轴向变形和刚度介于两者之间,且与复掺纤维橡胶砖砌体刚度大小接近。开裂后,复掺纤维橡胶砂浆砖砌体的刚度大于橡胶砂浆砖砌体,因为 PVA 纤维和钢纤维能在浆体内乱向分布形成一张张小“网格”,抑制裂缝的开展,导致试件在开裂后刚度下降不明显。

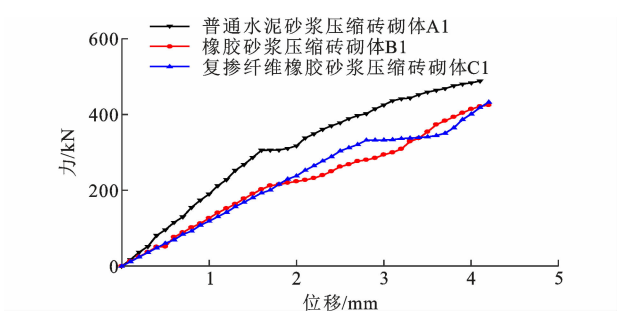


图 7 砌体的力-位移曲线

Fig. 7 Force-displacement curves of masonries

4.3 砌体轴心受压试验结果

砌体轴压试验结果见表 3,其中 N_{cr} 为开裂荷载, N_u 为破坏荷载, f_{cr} 为开裂强度, $f_{c,i}$ 为轴心抗压强度, f'_m 为轴心抗压强度平均值。

表 3 砌体轴压试验结果

Table 3 Axial compression test results of masonries

试件编号	N_{cr}/kN	N_u/kN	f_{cr}/MPa	$f_{c,i}/\text{MPa}$	f'_m/MPa
A1	310.6	490.9	5.01	7.92	7.91
A2	295.2	489.8	4.76	7.90	
B1	210.4	424.6	3.39	6.85	6.90
B2	199.6	430.2	3.22	6.94	
C1	329.5	440.0	5.31	7.10	7.20
C2	340.2	453.2	5.49	7.31	

普通水泥砂浆砖砌体的开裂荷载为破坏荷载的 60%~63%,橡胶砂浆砖砌体的开裂荷载为破坏荷载的 47%~49%,复掺纤维橡胶砂浆砖砌体的开裂荷载为破坏荷载的 75%。橡胶砂浆的抗压强度比普通水泥砂浆降低了 46%,对应砌体的破坏荷载降低了 12.8%。复掺纤维橡胶砂浆的抗压强度比橡胶砂浆提高了 14.9%,对应砌体的破坏荷载提高了 4.5%。复掺纤维橡胶砂浆砖砌体的开裂荷载与破坏荷载的比值远大于橡胶砂浆砖砌体,且复掺纤维橡胶砂浆砖砌体的开裂荷载平均值比橡胶砂浆砖砌体提高了 63.4%,说明复掺纤维橡胶砂浆砖砌体的抗裂性能优于橡胶砂浆砖砌体,复掺 PVA 纤维和钢纤维可以延缓试件的开裂。

根据《砌体结构设计规范》(GB 50003—2011)附录 B 给出的砌体轴心抗压强度计算公式得到的抗压强度计算值 f_m 和实测抗压强度平均值 f'_m 见表 4。

普通水泥砂浆砖砌体的抗压强度平均值比计算值低 11%,橡胶砂浆砖砌体的抗压强度平均值比计算值高 16%,复掺纤维橡胶砂浆砖砌体的抗压强度平均值比计算值高 12%,采用规范公式计算掺有橡胶颗粒的砂浆环保压缩砖砌体较为安全。

表 4 抗压强度计算值与试验值
Table 4 Calculated and experimental values of compressive strength

砌体类型	f_m/MPa	f'_m/MPa	f'_m/f_m
普通水泥砂浆压缩砖砌体	8.89	7.91	0.89
橡胶砂浆压缩砖砌体	5.94	6.90	1.16
复掺纤维橡胶砂浆压缩砖砌体	6.45	7.20	1.12

4.4 弹性模量

一般认为,当砌体所受荷载在破坏荷载的 40% 范围内时,尚未形成初始裂缝,可以类比于弹性体,假定处于弹性阶段。试验中所有组别的开裂荷载都大于破坏荷载的 40%,符合这一假定。弹性模量可用来评价砌体结构在弹性阶段抵抗变形能力的强弱,反映砌体应力-应变关系,同时也是有限元模拟时的必要参量。根据《砌体基本力学性能试验方法标准》(GB/T 50129—2011)中单个标准砌体受压试件的弹性模量 E 的计算公式,计算出砌体的平均弹性模量 E_1 见表 5。

表 5 砌体的弹性模量

Table 5 Elastic modulus of masonries

试件编号	E/MPa	E_1/MPa
A1	1 981	1 988
A2	1 994	
B1	1 329	1 334
B2	1 338	
C1	1 247	1 252
C2	1 257	

5 结 语

(1) 橡胶砂浆、PVA 纤维橡胶砂浆和复掺 PVA-钢纤维橡胶砂浆都能降低超声波在砂浆中的传播速度,改善结构的隔音性。橡胶砂浆的抗折强度和抗压强度均明显低于普通水泥砂浆,掺入 PVA 纤维或钢纤维能提高橡胶砂浆的抗折强度,PVA 纤维的掺量越大,橡胶砂浆的抗压强度越低。复掺一定量的 PVA 纤维和钢纤维能有效提高橡胶砂浆的抗压强度。

(2) 掺入 20% 橡胶颗粒使砌体的破坏荷载降低了 12.8%。复掺 PVA-钢纤维橡胶砂浆砌体的开裂荷载和破坏荷载比橡胶砂浆砌体分别提高了 63.4% 和 4.5%,可延缓试件的开裂。

(3) 20% 橡胶砂浆环保压缩砖砌体的抗压强度试验平均值比规范公式计算值高 16%,复掺 PVA-钢纤维橡胶砂浆环保压缩砖砌体的抗压强度试验平均值比规范公式计算值高 12%,采用规范公式计算

掺有橡胶颗粒的砂浆环保压缩砖砌体较为安全。

参考文献:

References:

- [1] HANNAWI K, PRINCE W, BERNARD S K. Strain capacity and cracking resistance improvement in mortars by adding plastic particles[J]. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2013, 25(11): 1602-1610.
- [2] LI Y, DONG J X, ZHANG S, et al. Analysis of crack resistance for hybrid fiber mortar[J]. *Advanced Materials Research*, 2013, 779-780: 222-225.
- [3] PEDRO D, DE BRITO J, VEIGA R. Mortars made with fine granulate from shredded tires[J]. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2013, 25(4): 519-529.
- [4] TURKI M, BRETAGNE E, ROUIS M J, et al. Microstructure, physical and mechanical properties of mortar-rubber aggregates mixtures[J]. *Construction and Building Materials*, 2009, 23(7): 2715-2722.
- [5] NA O, XI Y P. Mechanical and durability properties of insulation mortar with rubber powder from waste tires[J]. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 2017, 19: 763-773.
- [6] TURATSINZE A, BONNET S, GRANJU J L. Mechanical characterisation of cement-based mortar incorporating rubber aggregates from recycled worn tyres[J]. *Building and Environment*, 2005, 40(2): 221-226.
- [7] 谢建和, 李自坚, 孙明炜. 硅粉对纤维橡胶再生混凝土抗压性能影响试验[J]. *建筑科学与工程学报*, 2016, 33(3): 72-77.
- XIE Jianhe, LI Zijian, SUN Mingwei. Experiment about influence of silica fume on compressive performance of fiber reinforced rubber recycled concrete [J]. *Journal of Architecture and Civil Engineering*, 2016, 33(3): 72-77.
- [8] 刘喜, 吴涛, 杨雪, 等. 纤维增韧高强轻骨料混凝土力学性能与微观结构[J]. *建筑材料学报*, 2019, 22(5): 700-706, 713.
- LIU Xi, WU Tao, YANG Xue, et al. Mechanical properties and microstructure of fiber reinforced high-strength lightweight aggregate concrete[J]. *Journal of Building Materials*, 2019, 22(5): 700-706, 713.
- [9] WANG J Q, DAI Q L, SI R Z, et al. Investigation of properties and performances of polyvinyl alcohol (PVA) fiber-reinforced rubber concrete [J]. *Construction and Building Materials*, 2018, 193: 631-642.
- [10] 何亮, 黄勇, 冯畅, 等. 橡胶混凝土性能及胶粉表面改性研究进展[J]. *硅酸盐通报*, 2018, 37(8): 2483-2489, 2496.
- HE Liang, HUANG Yong, FENG Chang, et al. Research progress on properties of rubberized concrete and the surface modification of crumb rubber[J]. *Bulletin of the Chinese Ceramic Society*, 2018, 37(8): 2483-2489, 2496.
- [11] MOHAMMADI I, KHABBAZ H, VESSALAS K. Enhancing mechanical performance of rubberised concrete pavements with sodium hydroxide treatment [J]. *Materials and Structures*, 2016, 49: 813-827.
- [12] 史巍, 张雄, 陆沈磊. 橡胶粉水泥砂浆隔声功能研究[J]. *建筑材料学报*, 2005, 8(5): 553-557.
- SHI Wei, ZHANG Xiong, LU Shenlei. Sound insulation function of cement mortar modified with crumb rubber[J]. *Journal of Building Materials*, 2005, 8(5): 553-557.
- [13] CORREDOR-BEDOYA A C, ZOPPI R A, SERPA A L. Composites of scrap tire rubber particles and adhesive mortar - noise insulation potential [J]. *Cement and Concrete Composites*, 2017, 82: 45-66.
- [14] ELDIN N N, SENOUCI A B. Observations on rubberized concrete behavior [J]. *Cement, Concrete and Aggregates*, 1993, 15(3): 74-84.
- [15] FAN J, LI G Y, DENG S J, et al. Mechanical properties and microstructure of polyvinyl alcohol (PVA) modified cement mortar [J]. *Applied Sciences*, 2019, 9(11): 2178.
- [16] HAQUE M A, CHEN B, AHMAD M R, et al. Evaluating the physical and strength properties of fibre reinforced magnesium phosphate cement mortar considering mass loss [J]. *Construction and Building Materials*, 2019, 217: 427-440.
- [17] 石建光, 郑雪锋, 林树枝, 等. 灰缝厚度及水泥砂浆抹面对历史建筑砌体结构性能的影响 [J]. *建筑科学与工程学报*, 2020, 37(1): 67-74.
- SHI Jianguang, ZHENG Xuefeng, LIN Shuzhi, et al. Influence of mortar thickness and cement mortar surface strengthening on behavior of masonry structure in historical buildings [J]. *Journal of Architecture and Civil Engineering*, 2020, 37(1): 67-74.
- [18] 王凤池, 丁军胜, 刘凤起, 等. 橡胶混凝土砖砌体力学性能试验 [J]. *沈阳建筑大学学报(自然科学版)*, 2013, 29(1): 50-55.
- WANG Fengchi, DING Junsheng, LIU Fengqi, et al. The experiment of basic mechanical properties of CRB masonry [J]. *Journal of Shenyang Jianzhu University (Natural Science)*, 2013, 29(1): 50-55.