

化学处理对混凝土中聚丙烯纤维加固效果的影响

房海棠, 颜婷婷, 赵超

(南通大学 纺织服装学院, 江苏 南通 226019)

摘要:通过对聚丙烯(PP)纤维进行多孔化处理及聚醋酸乙烯酯(PVAC)涂层,按不同配比掺入水泥基砂浆制得复合材料,进而探究改性处理对纤维增强水泥基复合材料力学性能的影响。结果表明:当 $\text{Br}_2+\text{H}_2\text{O}$ 体积浓度为5 mL/L、PVAC涂层处理5 s、纤维掺量为 0.7 kg/m^3 、PP纤维长度为9 mm时,用其制得的复合材料力学性能最好。

关键词:复合材料;聚丙烯纤维;涂层处理;聚醋酸乙烯酯;多孔化处理;纤维增强;水泥砂浆

中图分类号: TU528.572

文献标识码: B

文章编号: 1001-2044(2018)09-0032-04

Effect of chemical treatment on reinforcing effect of polypropylene fiber in concrete

FANG Haitang, YAN Tingting, ZHAO Chao

(School of Textile and Clothing, Nantong University, Nantong 226019, China)

Abstract: Through the porous PP fiber and the PVAC coating, the composite is prepared by mixing cement based mortar in different proportions, and the mechanical properties of the modified fiber reinforced cement matrix composites are investigated. The experiment shows that the flexural, compressive and tensile properties of the composites are the best under conditions of $\text{Br}_2+\text{H}_2\text{O}$ of 5 mL/L, PVAC coating for 5 s, fiber content of 0.7 kg/m^3 , and the fiber length of 9 mm.

Key words: composite material; polypropylene fiber; coating finish; PVAC; porous treatment; fiber reinforcement; cement mortar

作为一种重要的建筑材料,水泥砂浆得到了广泛应用,但其易于收缩,拉伸强度低,抗冲击韧性低^[1-3],因此使用受到了限制。纤维增强混凝土^[4]可以克服传统水泥砂浆的缺陷,在近几十年迅速发展起来,其中聚丙烯(PP)纤维因具有质量轻、强度高、弹性好、耐磨、耐腐蚀等优点^[5],在世界各地被广泛使用。聚丙烯表面光滑,纤维在水泥中易滑脱,为提高纤维与水泥界面性能,对纤维进行化学改性,其原理为:通过纤维表面的孔洞,与水泥砂浆进行更大面积的接触,利用物理摩擦,使水泥砂浆的内部结构更为稳定^[6-7]。

本文通过对长度9、12 mm的聚丙烯进行多孔化处理,以提高纤维基界面性能。在此基础上对其表面进行聚醋酸乙烯酯(PVAC)涂层。将制得的改性纤维掺入水泥基中制得纤维增强水泥基复合材料。首先通过纤维拉拔试验研究已处理和未处理的纤维在纤维水泥基体的界面性能的变化,讨论化学处理对聚丙烯纤维的影响,然后分别进行力学性能试验,研究其对抗压强度、抗折强度以及抗拉强度的影响。

1 试验

1.1 试验器材及原料

试验器材:40 mm×40 mm×160 mm 模具(沧州路

鑫试验仪器有限公司),8字型抗拉模具(南通市建筑工程质量检测中心),FA2104N型电子秤,TCS型电子台秤(赛多利斯科学仪器有限公司),GKC型数显控温水浴锅(上海苏进仪器设备厂),101AB型电热恒温鼓风干燥箱(上海华联试验设备仪器公司),SHBY-40A型水泥标准养护箱(天津市津安瑞仪器仪表有限公司)。

试验原料:聚丙烯纤维(南通新帝克单丝科技股份有限公司),液溴、氨水、PVAC(南通默克药品有限公司),硅酸盐水泥、沙子(南通长江水泥贸易有限公司)。

1.2 制备方法

水泥:砂子:水:石膏粉:分散剂=1:1.42:0.42:2.23:0.015,采用 $0.5、0.7、0.9\text{ kg/m}^3$ 3种纤维掺量,通过湿拌法将纤维掺入水泥砂浆中,再将初样倒入模具填满,放在振动台上振动2 min,将保鲜膜覆盖在初样上并贴好标签纸,放入阴凉处。2 d后脱模,放入水泥养护箱养护28 d后得到测试试件。

1.3 纤维改性

1.3.1 多孔化处理

将单丝浸渍于5 mL/L、10 mL/L和15 mL/L的 $\text{Br}_2+\text{H}_2\text{O}$ 溶液中,放置在集热式磁力搅拌器上搅拌24 h,温度为20℃。用蒸馏水洗净后,放入浓度为1.0 mol/L氨水溶液中1 h,温度为40℃,取出后于室温下干燥,备用。这种处理方法有助于使纤维表面粗糙

收稿日期:2018-05-30

作者简介:房海棠(1994—),女,江苏宿迁人,硕士研究生,主要从事非织造工艺与产品性能方面的研究。

通信作者:颜婷婷。E-mail:864980950@qq.com。

多孔,增加了纤维的比表面积。

1.3.2 PVAC 涂层处理

将经 5 mL/L Br₂+H₂O 处理后的单丝放入质量分数为 5% 的 PVAC 乳液中 5、10、15 s,温度为 70℃,然后放在通风口处晾干。该处理通过 PVAC 涂层实现了聚丙烯纤维和水泥基质之间更好的黏合,达到纤维表面均匀涂层的目的。

1.4 测试方法

1.4.1 改性纤维力学性能的测试

使用等速伸长(CRE)型单纤维强力仪,按照国家标准 GB/T 3916—1997《纺织品卷装纱 单根纱线断裂强力和断裂伸长率的测定》进行测试。隔距 10 mm,拉伸速度 10 mm/min,温度 22℃,相对湿度 71%。

1.4.2 单纤维拔出测试

单纤维拔出试验是表征纤维基体界面性能的常用方法之一^[8]。本文对经处理和未处理的聚丙烯纤维在微试验机上进行了单纤维拔出试验。将制好的试样固定在测试平台上,纤维通过环氧树脂粘在活塞上,以 2 mm/min 的标准速率拉出。试验所用纤维长度为 19 mm,直径为 0.76 mm。纤维嵌入长度控制在 12 mm。

1.4.3 抗折性能测试

根据国家标准 GB/T 50081—2002《普通混凝土力学性能试验方法标准》,采用三点弯曲试验法测试抗折性能。用微机控制压折一体试验机,加荷速度 0.5~0.8 MPa/s。试件的抗折强度 f_b 的计算式见式(1):

$$f_b = \frac{3FL}{2bh^2} \quad (1)$$

式中: f_b ——纤维增强水泥基复合材料的抗折强度,MPa;

F ——试件承受的平均破坏载荷,N;

L ——支撑点间距,mm;

b ——试件宽度,mm;

h ——试件高度,mm

1.4.4 抗压性能测试

采用微机控制压折一体试验机对抗压试件进行承压测试,加荷速度 0.5~0.8 MPa/s。混凝土(砂浆)的抗压强度计算式见式(2):

$$f_{cc} = \frac{F}{A} \quad (2)$$

式中: f_{cc} ——混凝土(砂浆)抗压强度,MPa;

F ——试件承受平均载荷,N;

A ——水泥基体试件的截面积,mm²

1.4.5 抗拉性能测试

采用 CMT 型微机控制电子万能试验机对砂浆试件进行测试。砂浆试件的抗拉强度公式见式(3):

$$f_t = \frac{F}{ab} \quad (3)$$

式中: f_t ——纤维增强水泥基复合材料的抗拉强度,MPa;

F ——试件承受的平均破坏载荷,N;

a ——横截面的长度,mm;

b ——横截面的宽度,mm

2 试验结果与讨论

2.1 纤维断裂强力

纤维经 5、10、15 mL/L Br₂+H₂O 溶液浸渍和经 5 mL/L Br₂+H₂O 溶液浸渍后并在 PVAC 乳液中处理 5、10、15 s,纤维断裂强力分别为 42.26、40.49、38.72、39.85、34.55、50.44 N。相比纤维改性前断裂强力 57.01 N,改性后纤维强力是下降的。多孔化处理后的纤维表面有许多孔洞,导致纤维结构的均匀性受到一定程度的损坏,所以随着溴水浓度的增加,纤维强力逐渐降低。经 PVAC 涂层的纤维表面存在一些节点,所以强度也比未改性纤维低,且呈现出不规律的状态。浸渍 PVAC 乳液 15 s 的纤维强力突然升高,是因为表面涂层过厚使强力提高,但是此时纤维弹性会有所下降。

2.2 多孔化处理对纤维的影响

2.2.1 电镜测试

多孔化处理纤维 SEM 电镜图片见图 1。

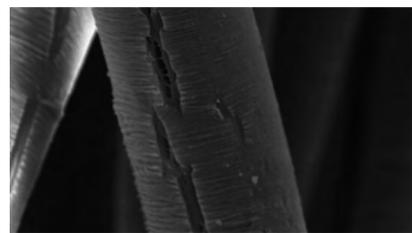


图 1 多孔化处理纤维 SEM 电镜图片

由图 1 可见,经过溴水处理的聚丙烯纤维表面形成了许多孔洞,达到了预期效果。

2.2.2 失重率

多孔化处理后纤维表面产生了许多孔洞,这是造成纤维失重的主要原因。经过 5、10、15 mL/L 溴水处理后的纤维,其失重率分别为 0.33%、0.44%和 0.48%。其中用 5 mL/L 溴水处理的纤维失重率最低,且溴水浓度越高失重率越高,说明随着溴水浓度增加,纤维表

面的孔洞增多。

2.2.3 吸湿性能

吸湿率采用(吸湿前干重-吸湿后干重)/吸湿前干重的方法来计算。经5、10、15 mL/L 溴水处理后的纤维吸湿率分别为1.85%、1.70%和1.79%，未改性纤维的吸湿率为1.06%，可见，改性后纤维的吸湿性能有了较大幅度的提高，其中经5 mL/L 溴水处理的纤维吸湿性最好。

吸湿性越高，纤维的亲水性越好，纤维与水泥基界面性能越好，且纤维表面孔洞越多，纤维断裂强力越低，进而会影响水泥砂浆的力学性能，因此选用浓度为5 mL/L 溴水处理的聚丙烯纤维进行PVAC涂层处理，且选择该浓度处理下的纤维进行纤维增强水泥基复合材料的制备。

2.3 PVAC 涂层处理纤维的相关性能

2.3.1 吸附率

吸附率的计算方法采用(PVAC处理前干重-PVAC处理后干重)/PVAC处理前干重的方法来计算。

纤维经5、10、15 s 涂层后，其吸附率分别为2.6%、3.4%和4.9%。可见，涂层处理5 s 时纤维的吸附率最低，之后随着处理时间的增加，吸附率增加，因此纤维的质量逐渐提高。

2.3.2 吸湿性能

经过5、10、15 s 处理的纤维吸湿率分别为3.68%、3.29%和2.58%。可见，涂层处理5 s 时纤维的吸湿性最好，之后随着PVAC处理时间的增加，纤维吸湿率降低。相比未经PVAC涂层处理纤维1.85%的吸湿性而言，纤维亲水性能获得了较大的提高。

考虑到处理5 s 时纤维吸湿性能最高，且其断裂强力与5 mL/L 溴水处理的纤维接近，因此选用涂层处理5 s 的PP纤维进行纤维增强水泥基复合材料的制备。

2.4 单纤维拔出强力

作为衡量纤维增强水泥砂浆的另一个重要指标，本文还测量了单纤维的拔出强力。经5 mL/L 溴水处理、PVAC涂层5 s 以及未改性纤维的拔出强力分别为0.552 91、0.497 71、0.464 04 N。

可见，两种改性方法均能提高单纤维的拔出强力，证明改性后的纤维与水泥界面的黏结能力得到提升。从拔出强力的角度来看，多孔化处理的纤维拔出强力更大，说明多孔化处理得到的聚丙烯纤维与水泥界面

的黏结能力最好，这是因为其纤维表面存在更多孔洞，与水泥表面接触面积更大。

2.5 抗折强度

在进行抗折强度试验时，样品中部受到的载荷逐渐增大，当超出承受极限时，样品发生断裂，但是未完全分离，原因是裂缝处横跨的纤维开始承受外力作用，即主要以纤维的桥联力抵抗外力。

纤维增强水泥基复合材料的抗折强度见图2。图2中，A1为9 mm 多孔化处理聚丙烯纤维样品，A2为12 mm 多孔化处理聚丙烯纤维样品，B1为9 mm PVAC表面涂层的聚丙烯纤维样品，B2为12 mm PVAC表面涂层的聚丙烯纤维样品，C1为未改性9 mm 聚丙烯纤维样品，C2为未改性12 mm 聚丙烯纤维样品。

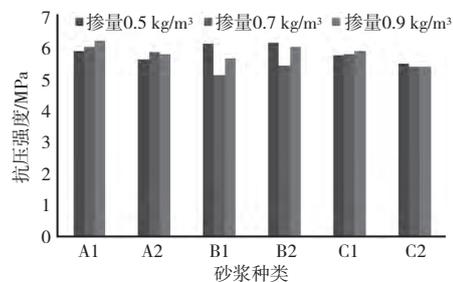


图2 纤维增强水泥基复合材料的抗折性能

由图2可知，混有改性纤维的试样抗折性能高于混有未改性纤维的试样。A1、A2组试样中，纤维长度为9 mm，掺量为0.9 kg/m³的样品抗折性能最好。B1、B2组试样中，掺量为0.5 kg/m³的两种纤维长度的样品抗折性能较好。其原因可能是裂缝处横跨的纤维数不同，即主要以纤维的桥联力抵抗外力的能力不同。

2.6 抗压强度

抗压强度试验后，从样品破坏形态来看，水泥砂浆的两端受到载荷，达到极限时试样从承压板的边缘开裂，最终样品完全损坏。纤维增强水泥基复合材料的抗压性能见图3。

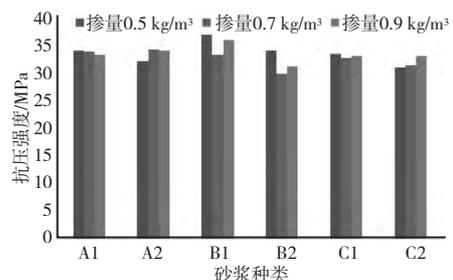


图3 纤维增强水泥基复合材料的抗压性能

由图3可知，A1、A2组样品的抗压性能均比未改性纤维样品高。掺量0.7、0.9 kg/m³的试样中，长度

9 mm纤维对应样品的抗压性能低于长度 12 mm 纤维对应的样品。B1、B2 组试样中,掺量 0.5 kg/m^3 纤维对水泥抗压性能有较为明显的提升,其中纤维长度为 9 mm 时,样品的抗压性能最好。

2.7 抗拉强度

掺入纤维的砂浆所需的断裂时间较长,且断裂过程缓慢,断裂后的截面有纤维相互连接,所以表面只有轻微裂痕。这是由于砂浆内部有加筋材料——纤维。当砂浆受到拉力作用时,砂浆中的纤维也受到拉力作用,纤维的抗拉性能提高了砂浆的抗拉性能。纤维增强水泥基复合材料的抗拉性能见图 4。

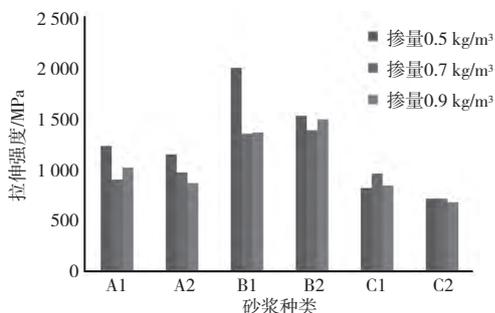


图 4 纤维增强水泥基复合材料的抗拉性能

由图 4 可知, A1、A2 组试样中,由于其纤维表面具有多孔结构,因而增强了样品的抗拉性能,掺量 0.5 kg/m^3 时抗拉性能增加较为明显。B1、B2 组试样的抗拉性能比 A1、A2 组要好,原因可能是 PVAC 处理纤维的亲水性能更好,其中纤维长度 9 mm 掺量为 0.5 kg/m^3 的情况下试样的抗拉性能最好。

总体上混入改性后纤维对纤维增强水泥基复合材料的力学性能有较大的提高,尤其是抗拉性能。经综合考虑,最优的处理条件是 PP 纤维长度 9 mm, $\text{Br}_2 + \text{H}_2\text{O}$ 溶液体积浓度 5 mL/L 、PVAC 涂层处理 5 s,纤维掺量 0.5 kg/m^3 。

3 结 语

通过使用不同方法对 PP 纤维进行改性,研究纤维增强水泥基复合材料的力学性能,得出以下结论:

(1) $\text{Br}_2 + \text{H}_2\text{O}$ 体积浓度为 5 mL/L 时,纤维与水泥基界面性能最好。

(2) 多孔化处理及 PVAC 涂层改性 PP 纤维,有助于提高纤维增强水泥基复合材料的力学性能。

(3) 当 $\text{Br}_2 + \text{H}_2\text{O}$ 体积浓度为 5 mL/L ,在 PVAC 中涂层处理 5 s,纤维掺量为 0.5 kg/m^3 、PP 纤维长度为 9 mm 时,用其制得的复合材料力学性能最好。

参考文献:

- [1] DARMANIN T, GUITTARD F. Wettability of conducting polymers: From superhydrophilicity to superoleophobicity [J]. Progress in Polymer Science, 2014, 39: 656–682.
- [2] FISCHERA G, LI V C. Effect of fiber reinforcement on the response of structural members [J]. Engineering Fracture Mechanics, 2007(1/2): 258–272.
- [3] 杨继强. 改性聚丙烯纤维砂浆性能的研究 [J]. 产业用纺织品, 2015(9): 12–15.
- [4] MORA-RUACHO J, GETTU R, AGUADO A. Influence of the shrinkage-reducing admixtures on the reduction of plastic shrinkage cracking in concrete [J]. Cement and Concrete Research, 2009, 39(3): 141–146.
- [5] 伏利鹏, 杨建森. 聚丙烯纤维与胶粉复掺对砂浆强度和韧性的影响 [J]. 中国科技论文, 2014, 9(11): 1320–1323.
- [6] ALY T, SANJAYAN J G, COLLINS F. Effect of polypropylene fibres on shrinkage and cracking of concretes [J]. Smart Materials and Structures, 2008, 41(10): 1741–1753.
- [7] 闫晓娜. 聚丙烯纤维对水泥砂浆干缩开裂的影响 [J]. 价值工程, 2016(10): 137–138.
- [8] MOHEBBY B, GHOTBIFAR A, KAZEMI-NAJAFI S. Influence of maleic anhydride polypropylene (MAPP) on wettability of polypropylene/wood flour/glass fiber hybrid composites [J]. Journal of Agricultural Sciences Technology, 2011(13): 877–884.

上海中纺物产发展有限公司

竹纤维是以取自大自然的常青植物——竹子为原料生产的纤维,是一种健康的、环保的纺织纤维,广泛应用于棉纺、精纺、半精纺、粗纺、无纺布等各个纺织领域。云竹(SOFTBAMBOO)是上海中纺物产发展有限公司竹浆纤维的注册商标。经过多年来的研究、开发,上海中纺物产发展有限公司已逐步拥有了具有自主知识产权的竹纤维产品,产品通过了国际生态纺织品 Oeko-Tex Standard 100 的认证,成为国内第一个获此认证的同类产品。经过几年来不断的技术研发和市场推广,“云竹”已经成长为享有市场美誉的品牌,而且“云竹”纤维也切实推动了家纺用品、针织面料、卫生用品、服装等新产品链的发展,海外市场从过去单一的日本市场扩展到了美国、巴西、韩国等国。