

文章编号: 1673-3851 (2011) 04-0505-05

短切芳纶纤维增强水泥砂浆准静态下力学性能研究

胡海涛, 李 妮, 熊 杰

(浙江理工大学先进纺织材料与制备技术教育部重点实验室, 杭州 310018)

摘 要: 采用二步法制备不同纤维掺量的短切芳纶纤维增强水泥砂浆试样, 研究添加剂羧甲基纤维素钠 (CMC) 和硅微粉对复合材料力学性能的影响。结果表明: 羧甲基纤维素钠能够有效地促进纤维在水中的分散, 进而促进其在水泥砂浆中的分散; 掺加一定量的硅微粉能够进一步提高试样的压缩强度。当纤维体积分数为 5% 时, 试样的力学性能最好, 弯曲强度从 2.6 MPa 提高到了 8.3 MPa, 压缩强度也从 29.5 MPa 提高到了 54.3 MPa。

关键词: 纤维增强水泥砂浆复合材料; 芳纶纤维; 外加剂; 弯曲强度; 压缩强度

中图分类号: TU506 **文献标识码:** A

0 引 言

水泥基材料至今仍然是全世界用量最大, 应用范围最广的建筑材料之一。全世界水泥年产量达到 22 亿 t 以上, 混凝土年耗量已超过 55 亿 m^3 ^[1]。普通水泥基材具有很高的抗压强度, 较大的刚度与较好的长期耐久性, 但存在凝结与硬化过程中收缩大、抗弯拉强度低、极限延伸率小等缺点。水泥基材料的上述缺点是本质性的, 难以通过本身材质的改良来解决, 只有通过“复合化”的技术途径, 由此开发出了一系列的水泥基复合材料^[2]。

芳纶纤维因其高强、质轻、耐腐蚀、抗冲击性能好等优点, 成为一种较好的水泥砂浆增强材料。目前针对芳纶纤维增强水泥砂浆、水泥混凝土的研究, 大部分集中在将芳纶纤维片材贴覆于建筑构件表面, 以提高结构承载能力等方面^[3-5], 传统的连续纤维片材或板材在纤维方向有较好的增强效果, 在垂直纤维方向却很弱, 在结构加固和修复方面有优异的表现, 但有些情况下试样承受的应力状态是无法预测的, 同时在多个方向上承受应力, 这时使用连续纤维的增强效果就会受到制约, 试样不能得到有效的增强, 纤维的利用率也会较低。在试样中直接掺入短切纤维, 由于纤维在试样中随机均匀分布, 同时纤维的数目很大, 可以对来自不同方向上的应力进行有效地分担, 从而能够最大限度地增强试样, 同时也极大地提高了纤维的利用率^[6-7]。本文将研究短切芳纶纤维直接掺入水泥砂浆对其准静态下弯曲强度和压缩强度的影响。

1 实验部分

1.1 实验材料

P·C325 复合硅酸盐水泥 (杭州海狮水泥有限公司); ISO 标准砂 (厦门艾思欧标准砂有限公司); 芳纶 (Kevlar® 964C 纤维), 其主要性能指标见表 1; 硅微粉 (1250 目, 浙江中新新材料发展有限公司); N 型高效减水剂 (60 目, 北京新中岩建材科技有限公司); 羧甲基纤维素钠 (300~800 mPa·s, 国药集团化学试剂有限公司); 磷酸三丁酯 (化学纯, 广东光华化学厂有限公司); 水 (普通自来水)。

表1 Kevlar® 964C纤维的主要性能

单丝直径/ μm	密度/ (g/cm^3)	抗拉强度/MPa	杨氏模量/GPa	极限伸率/%	熔点/ $^{\circ}\text{C}$
12	1.30	3 040~3 100	71~77	4.2~4.4	500

1.2 试样制备

采用二步法^[8]来制备短切芳纶纤维增强水泥砂浆试样,使短切芳纶纤维最大限度地均匀分散到水泥砂浆中。

a) 预分散:切好的短切芳纶纤维(长度为5~8 mm)放入羧甲基纤维素钠的水溶液中(水的用量为试样总用水量的3/5),同时用玻璃棒搅拌2 min后,继续超声振动10 min,加入2滴磷酸三丁酯消除振动过程中产生的大量气泡,静置10 min。

b) 试样制备:硅微粉和N型高效减水剂加入到水泥中混合均匀,把第一步预分散好的芳纶纤维加入并用玻璃棒搅拌3 min后,放入行星式球磨混合机中混合均匀,混合时间为15 min,加入标准砂继续搅拌均匀后浇注入模具,振动压实后放入养护室(温度 $(20\pm 3)^{\circ}\text{C}$,相对湿度90%以上)固化24 h,试样从模具中取出,继续放入恒温恒湿室(温度 $(20\pm 3)^{\circ}\text{C}$,相对湿度60%以上)养护28 d。

1.3 试样的性能测试

力学性能测试按照标准GB/T 15231—2008测试。

a) 弯曲强度:试样尺寸250 mm \times 50 mm \times 10 mm,每组5块。

制备长260 mm \times 宽260 mm \times 厚10 mm的试样板材,在温度 $(20\pm 3)^{\circ}\text{C}$,相对湿度60%以上的养护室养护28 d后取出,从该板材的中间部位切取测试试件,将其放在通风良好的常温室放置48 h,使之处于气干状态,然后在RGM-200A型微机控制电子万能试验机上进行四点弯曲测试。

b) 压缩强度:试样为10 mm \times 10 mm \times 10 mm,每组5块试样。

试样制备成100 mm \times 100 mm \times 10 mm的板材,在温度 $(20\pm 3)^{\circ}\text{C}$,相对湿度60%以上的养护室养护28 d后取出,从该板材切取标准试件,将其放在通风良好的常温室放置48 h,使之处于气干状态,然后在RGM-200A型微机控制电子万能试验机上进行压缩强度测试。

2 结果与讨论

2.1 添加剂的加入对水泥砂浆试样的影响

2.1.1 羧甲基纤维素钠(CMC)的加入对纤维分散和试样压缩强度的影响

芳纶纤维表面光滑且憎水,难以均匀分散在水泥砂浆中,而纤维分散对水泥砂浆的力学性能有很大影响。CMC的加入能够有效地促进芳纶纤维在水中的分散,从而有助于其在水泥砂浆中的分散^[9-10]。由于CMC是一种有效的表面活性剂,能够极大地降低芳纶纤维的表面张力,同时CMC溶于水后形成胶状透明液体,可以使芳纶纤维稳定地悬浮在水溶液中而不集结成束。

为了进一步研究CMC的加入对短切芳纶纤维增强水泥砂浆复合材料力学性能的影响,本文研究了纤维分散对试样压缩强度的影响,其结果如图1所示。图1可以看出,当纤维在试样中均匀分散时,试样的压缩强度随着纤维掺量的增加明显提高;而当纤维未能均匀分散到水泥砂浆中时,试样的压缩强度明显下降,而且随着纤维掺量的增加下降越来越严重。这主要是因为纤维不良分散时,在试样的制备过程中纤维容易成团,导致试样中出现了大量的空洞和气泡,空洞和气泡的存在严重影响了试样的压缩强度。随着纤维掺量的增加,纤维在基体内的成团现象愈来愈严重,试样的压缩强度下降幅度相应也愈大。

2.1.2 硅微粉的加入对水泥砂浆试样的力学性能的影响

硅微粉是在冶炼硅铁合金和工业硅时产生的 SiO_2 和Si

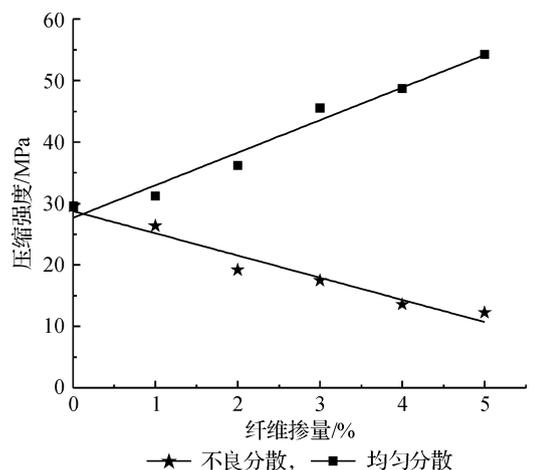


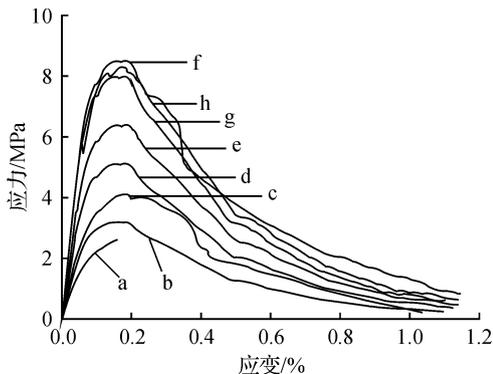
图1 纤维分散对短切芳纶纤维增强水泥砂浆复合材料压缩性能的影响

气体与空气中的氧气迅速氧化,并冷凝而形成的一种超细硅质粉体材料。其粒径极小,平均粒径为 $0.1\sim 0.15\ \mu\text{m}$,比表面积大,相当于水泥比表面积的 $54\sim 58$ 倍。从图2可以看出,试样的压缩强度随着硅微粉掺量的增加先提高后下降。压缩强度提高的主要原因是硅微粉在纤维增强水泥砂浆有两方面作用^[11]:首先是火山灰作用,硅微粉中的无定形 SiO_2 与水泥中 C_3S 与 C_2S 水化生成的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 反应生成CSH凝胶,使水泥基材中的空隙被堵塞或细化,有利于基材强度的提高,由于 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的减少与被转化为CSH,还有利于纤维与水泥基材间界面粘结;其次是填充作用,由于硅微粉的平均粒径只有水泥平均粒径的 $1/100$,硅微粉可以填充于水泥集体的空隙中。以上两方面的作用都使水泥砂浆试样的密实度提高,减少了试样中空洞的数量,试样的压缩强度得以提高。但在纤维增强水泥砂浆的制备过程中,硅微粉掺量的增加,使拌和料的需水量增大,水灰比也相应提高,水灰比过高导致试样的压缩强度反而下降^[1]。

2.2 纤维掺量对水泥砂浆试样力学性能的影响

2.2.1 弯曲性能

纤维掺量对水泥砂浆弯曲性能的影响见图3。从图3可以看出,当纤维体积分数从0增加到5%时,试样的弯曲强度从 $2.6\ \text{MPa}$ 增加到 $8.3\ \text{MPa}$;继续增加纤维的体积分数试样的弯曲强度趋于稳定。这主要是因为当纤维在水泥砂浆试样中均匀分散时,纤维的主要作用是在试样承受应力出现裂缝的时候,纤维可以分担一部分应力,延缓裂缝在水泥基材中的扩散,从而提高试样的弯曲强度。纤维的掺量越大,参与分担试样应力的纤维的数目越多,试样的弯曲强度相应也越大,但当纤维掺量继续增加,因纤维难以均匀分布于水泥基材中而发生团聚,或因水泥基材难以包裹所有纤维的外表面等原因,试样的弯曲强度不再随纤维掺量的增加而增加。



注:体积分数(a)0%, (b)1%, (c)2%, (d)3%, (e)4%, (f)5%, (g)6%, (h)7%

图3 纤维掺量对短切芳纶纤维增强水泥砂浆复合材料弯曲性能的影响

2.2.2 压缩性能

纤维掺量对水泥砂浆压缩性能的影响见图4。从图4可以看出,试样的压缩强度随着纤维掺量的增加先升高后下降。当纤维体积分数从0增加到5%时,试样的压缩强度也从 $29.5\ \text{MPa}$ 增加到 $54.3\ \text{MPa}$ 。纤维体积分数在3%之前,试样的压缩强度提高得并不明显。这主要是因为对于纤维增强水泥基复合材料而言,存在一个临界纤维体积分数^[11],试样中纤维的含量未达到此临界值前,纤维所能起到的分担应力和延缓裂缝扩展的作用未能充分体现,而当纤维的体积率超过临界纤维体积率之后,纤维能够最大限度地分担试样所承受的应力,延缓裂缝的扩展或新裂缝的产生,压缩强度得以明显提高。然而对于纤维增强水泥基复合材料而言,其又存在一个最大允许纤维体积分数,该值又因所采用的制备工艺不同而有较大的出入。纤维的体积分数超过允许纤维体积分数时,则因纤维难以均匀分布于水泥基材中而发生团聚,在水泥基体中形成类似

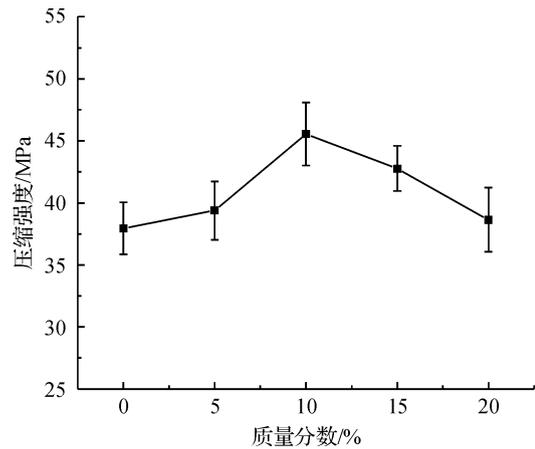
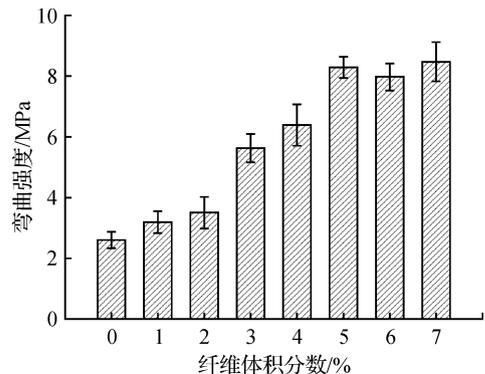
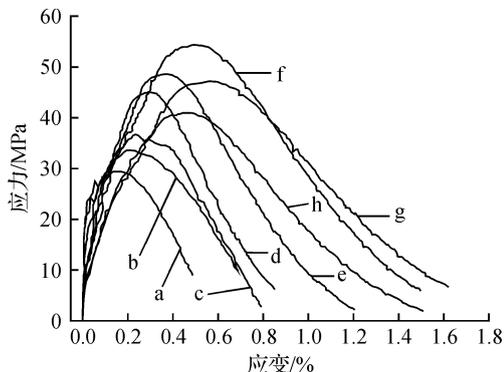


图2 硅微粉的掺量对短切芳纶纤维增强水泥砂浆复合材料压缩性能的影响

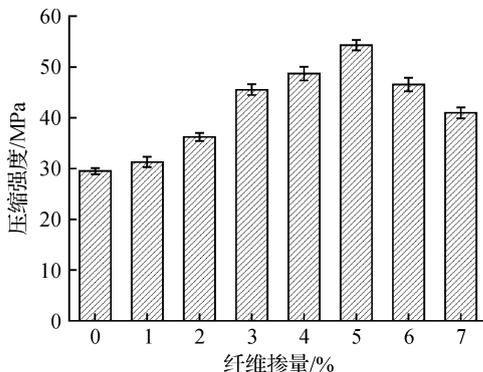


于孔洞的缺陷,纤维增强水泥基复合材料的压缩强度反而下降。这也正是试样压缩强度在纤维体积分数超过5%之后反而降低的原因所在。



注:纤维体积分数(a)0, (b)1%, (c)2%, (d)3%, (e)4%, (f)5%, (g)6%, (h)7%

图4 纤维掺量对短切芳纶纤维增强水泥砂浆复合材料压缩性能的影响



3 结论

a)羧甲基纤维素钠的加入能够有效地促进纤维在水中的分散,进而促进其在水泥砂浆中的分散;硅微粉的加入量在10%以内,能够提高试样的压缩强度。

b)纤维掺量对水泥砂浆试样的力学性能影响很大。当纤维体积分数增加到5%时,试样的弯曲强度从2.6 MPa增加到8.3 MPa,压缩强度也从29.5 MPa增加到54.3 MPa;继续提高纤维掺量,试样的弯曲强度不再随纤维掺量的增加而增加,而压缩强度反而下降,综合考虑试样的弯曲和压缩性能,纤维掺量取5%最佳。

参考文献:

- [1] 沈荣熹,崔琪,李清海,等. 新型纤维增强水泥基复合材料[M]. 北京:中国建材工业出版社,2004:10,50-53.
- [2] 沈荣熹,王璋水,崔玉忠,等. 纤维增强水泥与纤维增强混凝土[M]. 北京:化学工业出版社,2005:3-9.
- [3] 熊杰,萧庆亮,唐菊,等. 纤维表面处理对FRP-水泥砂浆抗弯性能的影响[J]. 建筑材料学报,2004,7(3):275-280.
- [4] 赵彤,谢剑. 碳纤维布补强加固混凝土结构新技术[M]. 天津:天津大学出版社,2001:21-25.
- [5] 曾祥蓉,江永世,王薇,等. 预应力碳纤维布加固混凝土梁非线性有限元分析[J]. 湖南科技大学学报:自然科学版,2004,19(3):63-66.
- [6] 梅迎军,王培铭,梁乃兴,等. 纤维增强聚合物水泥砂浆耐磨损及抗冲击性能的试验研究[J]. 重庆交通学院学报,2006,25(5):54-57.
- [7] 袁海根,王汝敏,艾涛. 表面处理对Kevlar纤维复合材料界面结合强度的影响[J]. 化学推进剂与高分子材料,2005,3(5):38-41.
- [8] Wang Chuang, Li Ke-zhi, Li He-jun, et al. Effect of carbon fiber dispersion on the mechanical properties of carbon fiber-reinforced cement-based composites[J]. Materials Science and Engineering A, 2008, 487: 52-57.
- [9] 李克智,王闯,石振海,等. 碳纤维增强水泥基复合材料的发展与研究[J]. 材料导报,2006,20(5):85-88.
- [10] Chung D D L. Carbon fiber reinforced cement mortar improved by using acrylic dispersion as admixture[J]. Cement and Concrete Research, 2001(31):1633-1637.

Research on Quasi-static Mechanical Properties of Short Cut Aramid Fiber-Reinforced Cement Mortar

HU Hai-tao, LI Ni, XIONG Jie

(The Key Laboratory of Advanced Textile Materials and Manufacturing Technology (Zhejiang Sci-Tech University), Ministry of Education, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Cement mortar reinforced with different volume fraction of aramid fiber is prepared by two-step dispersions of aramid fibers, the mechanical properties of composites materials are researched when adds cement additives sodium carboxymethylcellulose(CMC) and silicon powder. Result shows that sodium carboxymethylcellulose can improve fibers dispersion effectively. Silicon powder can improve samples' compression strength. The samples' bending strength is increased from 2.6 MPa to 8.3 MPa, and the compression strength increased from 29.5 MPa to 54.3 MPa, when the volume fraction of aramid fiber is 5vol%.

Key words: fiber reinforced cement mortar composites; aramid fiber; cement additive; bending strength; compression strength

(责任编辑:张祖尧)

(上接第 504 页)

Study on the Rheological Properties of Fluorinated Polyimide Spinning Solution

WANG Jin-chang, CHEN Wen-xing, LÜ Wang-yang, YAO Yu-yuan

(The Key Laboratory of Advanced Textile Materials and Manufacturing Technology (Zhejiang Sci-Tech University), Ministry of Education, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Polyimide is synthesized from 2, 2'-bis(3, 4-dicarboxyphenyl)hexafluoropropane dianhydride and 2, 2'-Bis [4-(4-aminophenoxy)phenyl]hexafluoropropane by one-step solution polycondensation in N-Methyl pyrrolidone. The rheological behavior of the polyimide spinning solution is studied by rotary rheometer. The results reveal polyimide spinning solution is a typical pseudo plastic fluid. The apparent viscosity of the spinning solution decrease with the elevating of temperature and increase with the increasing of solution concentration. The elevating of temperature and decreasing of concentration makes non-Newtonian exponent increased and structural viscosity index decreased. The viscous activation energy increase with the increasing of solution concentration.

Key words: polyimide; spinning solution; rheological behavior; shear thinning

(责任编辑:许惠儿)