

文章编号:1007-9629(2005)03-0239-05

# 聚丙烯纤维参数对水泥砂浆抗干缩开裂性的影响

刘丽芳, 王培铭, 杨晓杰

(同济大学材料科学与工程学院, 上海 200092)

**摘要:** 利用圆环法测试研究了聚丙烯纤维掺量、长度、几何形状等参数对水泥砂浆在硬化阶段抗干缩开裂性能的影响。实验结果表明:三叶形聚丙烯单丝纤维的掺加能明显改善水泥砂浆在硬化阶段的抗干缩开裂性能,且其掺加的量越多,水泥砂浆的抗干缩开裂性越好;聚丙烯纤维横截面形状不同,其对水泥砂浆抗干缩开裂性的作用效果也不同,其中横截面为三叶形的聚丙烯单丝纤维对水泥砂浆抗干缩开裂性的作用效果较好;掺入的三叶形聚丙烯单丝纤维长度越长,水泥砂浆的抗干缩开裂性越好;三叶形聚丙烯单丝纤维经表面处理,其对水泥砂浆抗干缩开裂性的影响有所增大。

**关键词:** 纤维增强水泥砂浆; 抗干缩开裂性能; 纤维参数

**中图分类号:** TU528.58 **文献标识码:** A

## Effects of Characteristics of Polypropylene Fiber on Anti-dry-shrinkage Cracking Property of Cement Mortar

LIU Li-fang, WANG Pei-ming, YANG Xiao-jie

(School of Materials Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** The effects of volume fraction, length and geometric shape of polypropylene fiber on the anti-dry-shrinkage cracking property of cement mortar were tested by the ring test method. The experimental results show that trefoil polypropylene filament fiber can obviously increase the anti-dry-shrinkage cracking property of cement mortar in hardening stage. The more the fiber is mixed, the better the anti-dry-shrinkage cracking property of cement mortar are improved. Polypropylene fibers with different shapes of cross-section have different effects on the anti-dry-shrinkage cracking of cement mortar. The cracking width of cement mortar reinforced by polypropylene fiber with trefoil cross-section is smaller. The longer the length of trefoil polypropylene filament fiber, the better the anti-dry-shrinkage cracking property of cement mortar. The mortars reinforced by trefoil polypropylene filament fibers treated with different surface-modifications have better anti-dry-shrinkage cracking property, in which the anti-dry-shrinkage cracking property of cement mortar reinforced by the polypropylene fiber treated with oxidant is best.

**Key words:** fiber reinforced cement mortar; anti-dry-shrinkage cracking property; fiber characteristics

水泥砂浆(以下简称砂浆)、混凝土等抗压强度高、成本低廉,是应用最广泛的建筑材料之一,但

收稿日期:2004-05-13; 修订日期:2004-06-09

作者简介:刘丽芳(1975-),女,山东人,同济大学博士后。

这类材料同时也兼有抗拉强度低、抗冲击性和抗渗性差、易开裂等缺点.改善砂浆的抗裂、抗渗性主要有改变砂浆组分、改变砂浆养护方式、添加聚合物及掺入纤维等方法<sup>[1~4]</sup>.

纤维不仅具有施工方便、成本低廉、质优、耐化学腐蚀等优点<sup>[5~7]</sup>,而且当其作为增强材料掺入砂浆中时,可以有效提高砂浆的抗拉强度、抗渗性,减少砂浆在硬化过程中产生微裂纹并阻止其扩展,增加砂浆的断裂韧性<sup>[7~9]</sup>.因此,研究用纤维改善水泥基材料性能的技术引起了世界各国科学工作者的广泛关注.在我国,马一平等<sup>[10]</sup>曾研究探讨了聚丙烯纤维参数对砂浆塑性收缩开裂性能的影响,认为纤维长度、细度、横截面形状等对砂浆的塑性收缩开裂均有一定的影响.但是有关砂浆在硬化以后,纤维对其干缩开裂性的影响的研究还少见报道.砂浆在塑性阶段和硬化阶段的结构形式不同,纤维与水泥基材料的粘结界面也有所不同.为此,本文在前人研究的基础上,采用圆环形实验装置测试分析了聚丙烯纤维参数对砂浆在硬化阶段抗干缩开裂性能的影响.

## 1 实验

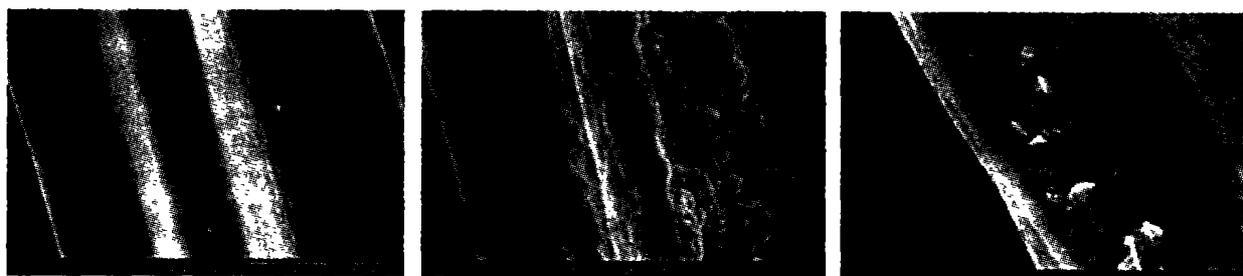
### 1.1 实验原材料

水泥:江苏省嘉新京阳水泥有限公司 32.5 普通硅酸盐水泥;砂:上海福莱造型材料公司闽江牌优质铸造硅砂,级配良好,细度模数 2.3;粉煤灰:低钙粉煤灰;纤维:纤维的种类及主要物理性能如表 1 所示,其中长度为 15 mm 的三叶形聚丙烯单丝纤维还分别经过了氧化剂及酸碱化处理.图 1 为处理后纤维的表面形貌.

表 1 聚丙烯纤维的种类及主要物理性能

Table 1 Kinds and physical properties of polypropylene fibers

Kind	Shape of cross-section	Length /mm	Diameter / $\mu\text{m}$	Density / $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	Elastic modulus /GPa	Tensile strength /MPa	Elongation /%
Filament fiber	Trefoil	15	48	0.91	8	400	8
	Trefoil	8	48	0.91	8	400	8
	Round	15	48	0.91	8	400	8
Film fiber	Rectangle	15		0.91	8	400	8



(a) Without modification

(b) Treated with oxidant

(c) Treated with acidification and basification

图 1 经不同表面处理三叶形聚丙烯单丝纤维的表面形貌

Fig. 1 Surface morphology of trefoil polypropylene filament fiber after different surface modifications

### 1.2 实验方法

本实验的胶砂比<sup>1)</sup>为 1:1,水胶比 0.38,粉煤灰掺量 10%.实验用的模具由 2 个圆环组成.内圆环内径 254 mm、外径 304 mm;外圆环直径 374 mm,厚度忽略不计,圆环高度为 140 mm(见图 2).

实验时先将模具涂上脱模剂,将内环用钉子固定在木板上,然后安装外环.外环和内环之间的宽度控制在 35 mm,外环也用钉子固定.将新拌的砂浆注入内、外环间的空隙中,用捣棒捣实,然后用刮刀把多余砂浆刮去.参照 Mirosław 等的研究<sup>[11]</sup>,将成型好的砂浆置于温度 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ 、相对湿度 100%的条件下养护 4 d,然后脱去外环.在温度 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ 、相对湿度 $(65 \pm 5)\%$ 的条件下观察试

1) 文中涉及的胶砂比、掺量等除特别说明外均为质量比或质量分数.

件开裂情况. 当试件出现裂缝时,用 JC4-10 型读数显微镜测量裂缝宽度,每天测量 3 次,取平均值. 裂缝宽度测试位置为试件中部及离上、下边缘约 1/6 处,取 3 点平均值.

## 2 实验结果与讨论

### 2.1 聚丙烯纤维掺量对砂浆抗干缩开裂性能的影响

实验采用长度 15 mm、直径 48  $\mu\text{m}$  的三叶形聚丙烯单丝纤维,其体积分数分别为 0, 0.10%, 0.20%, 0.30%. 图 3 为掺不同掺量三叶形聚丙烯单丝纤维砂浆干缩裂缝宽度随时间的变化曲线.

从图 3 可以看出,加入三叶形聚丙烯单丝纤维后,砂浆出现裂缝的时间较晚(素砂浆在 7 d 后出现裂缝,而掺三叶形聚丙烯单丝纤维砂浆在 8 d 后才出现裂缝);掺三叶形聚丙烯单丝纤维砂浆的裂缝宽度较素砂浆小,并且到 21 d 龄期时,其裂缝宽度基本不再增加. 其原因是:当纤维掺入砂浆后,其乱向分布大大减小了砂浆干缩应力,砂浆干缩产生的能量被分散到大量抗拉强度高而弹性模量相对较低的纤维单丝上,从而有效地增强了砂浆的韧性,抑制了微细裂缝的产生和发展. 同时,无数纤维单丝在砂浆内部形成的乱向撑托体系可以有效阻碍骨料的离析,保证砂浆早期均匀的泌水性,从而阻止了沉降裂纹的形成.

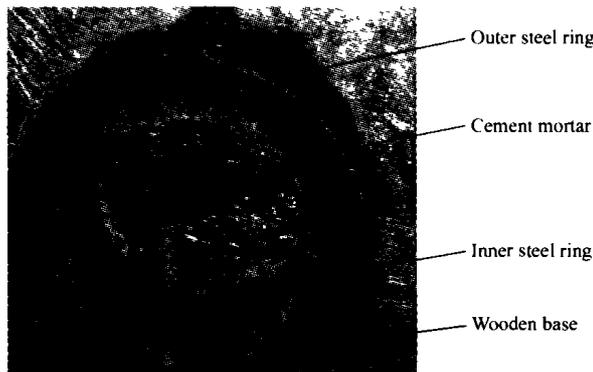


图 2 圆环法测试装置图

Fig. 2 Set-up of the ring test method

此外,图 3 中的数据还表明,随着三叶形聚丙烯单丝纤维掺量的增大,砂浆的干缩裂缝宽度也逐渐减小. 在 21 d 龄期时,三叶形聚丙烯单丝纤维掺量为 0.10% 和 0.30% 的砂浆分别比素砂浆的干缩裂缝宽度减少了 48.3% 和 73.3%. 之所以出现这种现象,是因为随着所用纤维掺量的增大,单位体积中纤维的根数也逐渐增多,能够更充分地吸收和传递砂浆承受的收缩应力,所以其对砂浆抗干缩开裂性能的改善效果也更好.

### 2.2 聚丙烯纤维横截面形状对砂浆抗干缩开裂性能的影响

实验采用横截面分别为矩形、三叶形和圆形的聚丙烯纤维,它们的长度均为 15 mm. 其中矩形聚丙烯膜裂纤维的横截面长、宽分别为 320, 30  $\mu\text{m}$ ; 三叶形和圆形聚丙烯单丝纤维的直径均为 48  $\mu\text{m}$ . 3 组聚丙烯纤维的体积分数均为 0.20%. 图 4 为掺不同横截面形状聚丙烯纤维砂浆干缩裂缝宽度随时间的变化曲线.

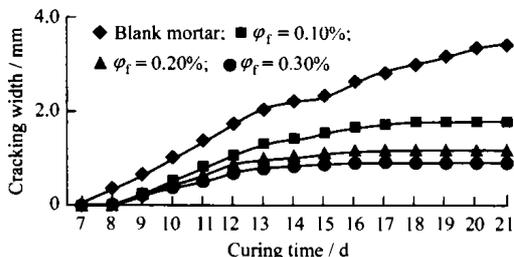


图 3 不同掺量三叶形聚丙烯单丝纤维砂浆的裂缝宽度

Fig. 3 Cracking width of trefoil polypropylene filament fiber reinforced mortar with different fiber volume fraction

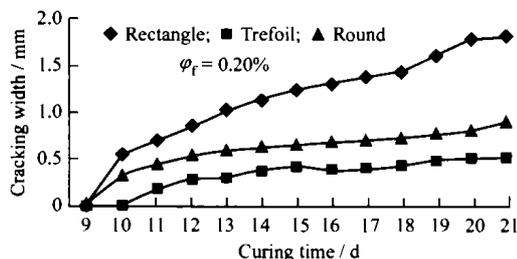


图 4 掺不同横截面形状聚丙烯纤维砂浆的裂缝宽度

Fig. 4 Cracking width of polypropylene fiber reinforced mortar with different cross-section shape of fibers

从图4可以看出,3组砂浆虽然均掺加了等量的聚丙烯纤维,但因为纤维的横截面形状不同,故砂浆的抗干缩开裂性能也不相同,其中掺三叶形聚丙烯单丝纤维砂浆的抗干缩开裂性最好,而掺矩形聚丙烯膜裂纤维砂浆的抗干缩开裂性最差(前者在21 d龄期时的裂缝宽度仅为后者的29%),由此可见,聚丙烯纤维横截面形状对砂浆的抗干缩开裂性也有显著影响.这是因为,在纤维长度和当量直径相同的情况下,纤维横截面形状的变化会导致其比表面积发生改变,从而影响到纤维与水泥基材料的界面粘结强度.三叶形聚丙烯单丝纤维的比表面积最大,其砂浆抗干缩开裂性最好;而矩形聚丙烯膜裂纤维虽然比表面积比圆形聚丙烯单丝纤维大,但因其相邻的基本单元易粘连在一起(矩形聚丙烯膜裂纤维的形貌图见图5),当其掺入砂浆后即使搅拌也很难分散均匀,因而影响了其对砂浆抗干缩开裂性的作用效果.

### 2.3 聚丙烯纤维长度、表面粗糙度对砂浆抗干缩开裂性能的影响

实验采用未经处理的长度分别为15 mm和8 mm的三叶形聚丙烯单丝纤维,以及分别经氧化剂、酸碱化处理后的长为15 mm的三叶形聚丙烯单丝纤维,纤维的直径均为48  $\mu\text{m}$ .图6为掺不同长度和不同表面粗糙度聚丙烯单丝纤维砂浆干缩裂缝宽度随时间的变化曲线.

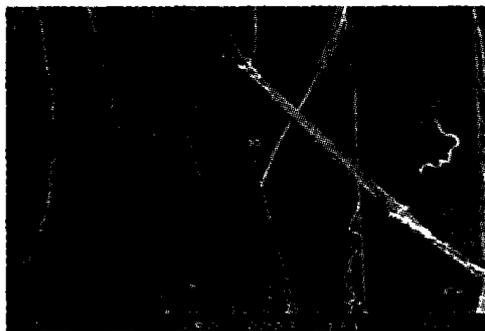


图5 矩形聚丙烯膜裂纤维形貌图

Fig. 5 Morphology of rectangle polypropylene film fiber

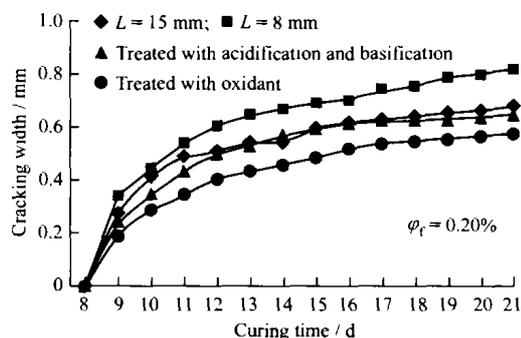


图6 掺不同长度和表面粗糙度三叶形聚丙烯单丝纤维砂浆的裂缝宽度

Fig. 6 Cracking width of trefoil polypropylene filament fiber reinforced mortar with different fiber length and surface coarseness

从图6可以看出:所掺纤维的长度越长,砂浆的抗干缩开裂性能越好;掺经表面处理纤维的砂浆的抗干缩开裂性能均优于掺未经表面处理纤维的砂浆,特别是掺经氧化剂处理纤维的砂浆.由此可见,三叶形聚丙烯单丝纤维长度和表面粗糙度对砂浆的抗干缩开裂性能都有影响.

## 3 结论

1. 三叶形聚丙烯单丝纤维的掺加能明显增大砂浆的抗干缩开裂性能,且在一定范围内其掺量越大,砂浆的抗干缩开裂性越好.

2. 掺入的聚丙烯纤维的横截面形状不同,相应砂浆的抗干缩开裂性能也不同.在本文的实验条件下,掺三叶形聚丙烯单丝纤维砂浆的裂缝宽度比掺矩形聚丙烯膜裂纤维砂浆减少了71%.

3. 三叶形聚丙烯单丝纤维长度对砂浆的抗干缩开裂性能也有影响.在21 d时,掺长度为15 mm的三叶形聚丙烯单丝纤维砂浆的裂缝宽度比掺长度为8 mm的三叶形聚丙烯单丝纤维砂浆减少了18%.

4. 三叶形聚丙烯单丝纤维经表面处理,其表面粗糙度变大,相应砂浆的抗干缩开裂性能也有所增强.其中掺经氧化剂处理纤维砂浆的抗干缩开裂性最好.

5. 综合文献[10]与本文实验结果,可说明无论砂浆处于塑性阶段还是硬化阶段,聚丙烯纤维的掺入都能够改善其抗干缩开裂性,而纤维掺量、长度、几何形状等参数对砂浆抗干缩开裂性也均

有不同程度的影响。

#### 参考文献:

- [1] QI C, WEISS J, OLEK J. Characterization of plastic shrinkage cracking in fiber reinforced concrete using image analysis and a modified weibull function[J]. *Materials and Structures*, 2003, 36(260):386—395.
- [2] ANTONIADES K K, SALONIKIOS T N, KAPPOS A J. Cyclic tests on seismically damaged reinforced concrete walls strengthened using fiber-reinforced polymer reinforcement[J]. *ACI Structural Journal*, 2003, 100(4):510—518.
- [3] NAJM H, BALAGURU P. Effect of large-diameter polymer fibers on shrinkage cracking of cement composites[J]. *ACI Materials Journal*, 2002, 99(4):345—351.
- [4] LAWLER J S, WILHELM T, ZAMPINI D, et al. Fracture processes of hybrid fiber-reinforced mortar[J]. *Materials and Structures*, 2003, 36(257):197—208.
- [5] NELSON P K, LI V C, KAMADA T. Fracture toughness of microfiber reinforced cement composites[J]. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2002, 14(5):384—391.
- [6] SANJUAN M A, ANDRADE C, BENTUR A. Effect of crack control in mortars containing polypropylene fibers on the corrosion of steel in a cementitious matrix[J]. *ACI Materials Journal*, 1997, 94(2):134—141.
- [7] BAYASI Z, ZENG J. Properties of polypropylene fiber reinforced concrete[J]. *ACI Materials Journal*, 1993, 90(6):605—610.
- [8] 袁震宇,吴慧敏,杨建西. 聚丙烯纤维对砂浆抗裂性能影响的试验研究[J]. *混凝土与水泥制品*, 1999, (6):41,42.
- [9] RINGOT E, OLLIVIER J P, MASO C. Characterization of initial state of concrete with regard to microcracking[J]. *Cement and Concrete Research*, 1987, 17:411—419.
- [10] 马一平,朱蓓蓉,谈慕华. 纤维参数对水泥砂浆塑性收缩开裂性能的影响[J]. *建筑材料学报*, 2002, 5(3):220—224.
- [11] MIROSLAW G, SURENDRA P S. Shrinkage cracking of fiber reinforced concrete[J]. *ACI Materials Journal*, 1990, 87(4):340,341.