

# 聚丙烯纤维对砂浆早期干缩性能影响的试验研究

杨继强

(天津城市建设学院 土木工程系, 天津 300384)

**摘要:**通过聚丙烯纤维砂浆早期干燥收缩性能试验,研究了不同掺加量、不同长度的聚丙烯纤维和搅拌方式对砂浆早期干燥收缩性能的影响.试验表明,在砂浆中加入聚丙烯纤维能有效控制砂浆的早期干燥收缩率,当加入量为 $0.9 \text{ kg/m}^3$ 时,干缩率降低了31.6%.同时研究了聚丙烯纤维对砂浆强度的影响,发现其抗拉强度和抗压强度分别提高了27.4%和12.1%.

**关键词:**聚丙烯纤维砂浆;掺入量;纤维长度;搅拌方式;干燥收缩

中图分类号:TU528.572

文献标识码:A

文章编号:1006-6853(2004)02-0125-04

纤维砂浆是由胶凝材料(水泥或石灰)加细集料为基体,并且用纤维增强或改善某些性能的砂浆复合材料,大面积砂浆在施工后,表面在材料硬化前往往会失水收缩引起拉应力,因而产生不可恢复的干缩,这是由于砂浆表面水的蒸发速率超过内部水渗透到表面的速率,以及砂浆的早期抗拉强度达不到砂浆收缩所产生的应力造成的<sup>[1]</sup>.

为了减少砂浆产生干缩,可采取在新拌砂浆中加入纤维的方法<sup>[2]</sup>.纤维的掺入,对砂浆早期干缩有明显的影响,使早期收缩受到抑制,并使砂浆劈裂抗拉强度有明显的提高,对砂浆的抗压强度也有不同程度的提高.笔者对聚丙烯纤维砂浆早期干缩性能进行了试验研究,研究了不同掺量、不同长度的聚丙烯纤维和搅拌方式对砂浆性能的影响.

## 1 试验原材料

### 1.1 改性聚丙烯纤维

试验采用的改性聚丙烯纤维,由天津欣晟建筑纤维有限公司提供.纤维由一束长丝剪断成平均长度为19~30 mm的短丝,单丝直径约为 $48 \mu\text{m}$ ,纤维类型束状单丝,纤度为 $(15 \pm 3) \text{ g/9000 m}$ ,体积质量为 $0.91 \text{ t/m}^3$ ,拉伸极限为 $(23 \pm 8)\%$ ,抗拉强度大于500 MPa,弹性模量大于4 500 MPa,无吸水性,熔点为165~173

℃,导热性极低,具有良好的电绝缘性,安全无毒,在浓盐酸、浓硫酸、浓硝酸中其强度无影响,在浓NaOH溶液、浓氨水中强度不降低,抗老化、抗紫外线能力强,裸丝自然寿命大于10年.

### 1.2 其它原材料

水泥:山东淄博水泥32.5普通硅酸盐水泥,3 d、28 d抗压强度分别为19.4 MPa, 42.9 MPa,其质量符合GB175-99标准.

砂:细砂细度模数为1.89,表观密度为 $2.65 \text{ g/cm}^3$ ,堆积密度为 $1450 \text{ kg/m}^3$ ,其质量符合JGJ52-92标准.

石:粒径5~25 mm连续级配,表观密度为 $2.70 \text{ g/cm}^3$ ,堆积密度为 $1520 \text{ kg/m}^3$ ,其质量符合JGJ53-92标准.

拌合水:自来水.

## 2 试验方法

### 2.1 试件设计

砂浆配合比设计参照JGJ/T98-96《砌筑砂浆配合比设计规程》,砂浆的其它性能依据JGJ70-90《建筑砂浆基本性能试验方法》进行.对两种聚丙烯纤维掺量( $0.9 \text{ kg/m}^3$ ,  $1.2 \text{ kg/m}^3$ )的砂浆30余组试件进行实验,并对不同长度(19 mm, 30 mm)的聚丙烯纤维砂浆

的影响作了对比。

## 2.2 试件制作及试验设备

试件尺寸为 40 mm × 40 mm × 160 mm 棱柱体,试件的拌制采用 UJZ-15 型砂浆搅拌机,聚丙烯纤维在砂浆中掺加工工艺有两种方法,第一种方法是先将水泥与砂子搅拌,在搅拌水泥与砂子时将纤维与水的混合物倒入搅拌机,将这种方法称为湿拌法;第二种方法是先将纤维与水泥、砂子干拌,然后再加入拌合水,将这种方法称为干拌法。对搅拌均匀后的砂浆进行稠度测定,把达到所需稠度的砂浆装入试模中,采用人工插捣振动密实,置于(20 ± 5)℃的预养室中,隔 4 h 之后将砂浆表面抹平,砂浆带模在标准养护条件,即在温度为(20 ± 3)℃,相对湿度为 90%以上进行养护,7 d 后拆模

编号,标明测试方向,笔者对两种砂浆搅拌方式进行了对比性试验研究。

砂浆抗收缩试验采用 SP-175 型立式砂浆收缩仪,力学指标测试采用 NYL-50 压力试验机。

## 3 试验结果及讨论

未掺入或掺入 19 mm 和 30 mm 聚丙烯纤维条件下,配合比均相同,水泥 340 kg/m<sup>3</sup>,砂 1 450 kg/m<sup>3</sup>,水 330 kg/m<sup>3</sup>,稠度值控制在 80 ~ 90 mm,砂浆强度等级为 M15,搅拌方式采用干拌法。各个龄期收缩值见表 1。

表 1 纤维砂浆抗干缩试验结果

| 试件类型   | 纤维长度 /mm | 纤维掺量 / (kg · m <sup>-3</sup> ) | 7 d 收缩 平均值/% | 14 d 收缩 平均值/% | 21 d 收缩 平均值/% | 28 d 收缩 平均值/% | 42 d 收缩 平均值/% | 56 d 收缩 平均值/% | 6 个龄期收 缩平均值/% |
|--------|----------|--------------------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 0/0    | 0        | 0                              | 0.12         | 0.16          | 0.19          | 0.20          | 0.22          | 0.23          | 0.19          |
| 19/0.9 | 19       | 0.9                            | 0.04         | 0.03          | 0.04          | 0.21          | 0.23          | 0.24          | 0.13          |
| 19/1.2 | 19       | 1.2                            | 0.06         | 0.07          | 0.14          | 0.18          | 0.21          | 0.22          | 0.15          |
| 30/0.9 | 30       | 0.9                            | 0.20         | 0.34          | 0.39          | 0.40          | 0.41          | 0.43          | 0.36          |
| 30/1.2 | 30       | 1.2                            | 0.05         | 0.14          | 0.19          | 0.20          | 0.22          | 0.22          | 0.17          |

### 3.1 试验结果

从表 1 试验结果可知,掺入纤维对抵抗砂浆收缩有明显作用,尤其对早期砂浆收缩有明显的改善效果。这是由于纤维的加入改善了砂浆的保水性能,减少试件表面的水分蒸发,改性聚丙烯纤维由于直径细,纤维长度适中,经过搅拌后分散均匀,在砂浆试体中成三维乱向分布,纤维呈弯曲状态,增大了纤维与砂浆之间的粘接强度,抑制了砂浆中的颗粒下沉,从而减少了砂浆中水溢出而形成的毛细通道,延缓了裂缝的产生并控制裂缝的发展<sup>[1-3]</sup>。

### 3.2 聚丙烯纤维掺量对砂浆干缩性能的影响

根据表 1 的试验结果,可以得到图 1、图 2。为便于分析和比较,以每一组试件的素砂浆为基准,定义值为 100%,以相同条件下纤维砂浆试件平均干缩率占其百分比作为衡量纤维砂浆收缩效果的指标,对比的结果见图 1、图 2。

图 1、图 2 表明砂浆中掺入 0.9 kg/m<sup>3</sup> 聚丙烯纤维,纤维长度在 19 mm、30 mm 的情况下,干缩率分别降低了 31.6%和上升了 10.5%,掺入 1.2 kg/m<sup>3</sup> 的聚丙烯纤维时,在两种纤维长度的情况下,干缩率分别降低

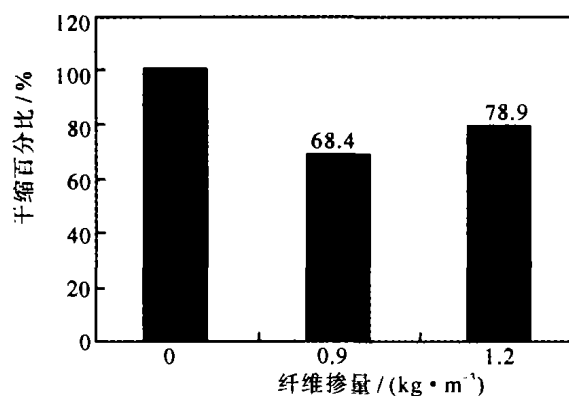


图 1 纤维长 19 mm,纤维掺量对砂浆干缩性能的影响

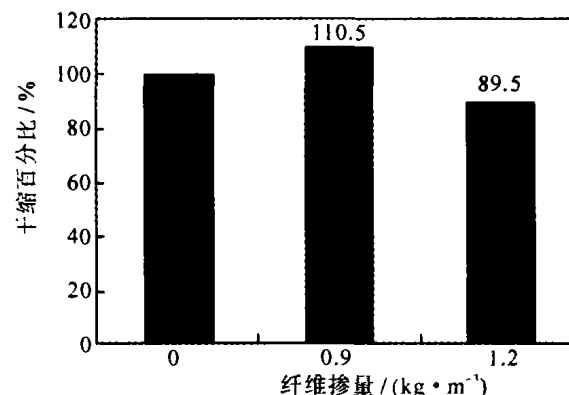


图 2 纤维长 30 mm,纤维掺量对砂浆干缩性能的影响

了 21.1% 和 10.5%, 砂浆中掺入  $0.9 \text{ kg/m}^3$  聚丙烯纤维对砂浆干缩的控制效果更好些。

### 3.3 聚丙烯纤维长度对砂浆干缩性能的影响

图 1、图 2 给出了聚丙烯纤维长度对砂浆收缩率的影响, 表明在砂浆中聚丙烯纤维掺量为  $0.9 \text{ kg/m}^3$  时, 长度为 19 mm 的纤维比长为 30 mm 的纤维控制得更好, 改善幅度很大。从图 2 还可以看到, 长 30 mm 纤维掺量为  $0.9 \text{ kg/m}^3$  时, 收缩率上升了 10.5%, 不适合使用。

### 3.4 聚丙烯纤维的搅拌方式对砂浆性能的影响

选择正确的搅拌方式对改善纤维砂浆的质量具有至关重要的作用。搅拌过程中要防止纤维分布不均匀, 避免引起纤维起球。聚丙烯纤维的掺加工艺流程如下:

(1) 水泥 + 砂子—搅拌 + 水和纤维(将纤维置于一定量的水中)—搅拌—砂浆(湿拌法)。

(2) 水泥 + 砂子 + 纤维—搅拌 + 水—搅拌—砂浆(干拌法)。

干拌法制备的砂浆强度比湿拌法高, 干拌法中纤维在水泥砂子中被强烈分散, 从而分散性好; 湿拌法中纤维吸水润湿, 后为水泥浆包裹, 因而易结团, 影响了纤维在砂浆中的均匀分散<sup>[4]</sup>。掺入 19 mm 长度纤维、掺量为  $0.9 \text{ kg/m}^3$  的同一种砂浆在不同搅拌方式下的试验结果见表 2。以 28 d 抗压强度比较为例, 干拌法为 13.1 MPa, 湿拌法为 9.4 MPa, 其干拌法比湿拌法的抗压强度提高了 39.4%, 效果明显。

表 2 纤维砂浆搅拌方式对抗压强度的影响试验结果

| 试件类型   | 搅拌方式 | 7 d 抗压强度 /MPa | 对比增长 /% | 14 d 抗压强度 /MPa | 对比增长 /% | 28 d 抗压强度 /MPa | 对比增长 /% |
|--------|------|---------------|---------|----------------|---------|----------------|---------|
| 19/0.9 | 湿拌法  | 6.4           | 0       | 7.4            | 0       | 9.4            | 0       |
| 19/0.9 | 干拌法  | 7.7           | 20.3    | 11.0           | 48.6    | 13.1           | 39.4    |

### 3.5 聚丙烯纤维砂浆的其它力学性能的影响

砂浆的配合比为: 水泥,  $280 \text{ kg/m}^3$ ; 砂子,  $1450 \text{ kg/m}^3$ ; 水,  $310 \text{ kg/m}^3$ , 强度等级为 M10。搅拌方式采用干拌法。纤维砂浆力学性能见表 3。

表 3 纤维砂浆的抗压强度、劈裂抗拉强度与素砂浆的对比

| 类型     | 抗压强度 /MPa | 对比增长 /% | 劈裂抗拉强度 /MPa | 对比增长 /% |
|--------|-----------|---------|-------------|---------|
| 0/0    | 13.7      | 0       | 0.95        | 0       |
| 19/0.9 | 16.1      | 17.5    | 1.21        | 27.4    |
| 19/1.2 | 15.0      | 9.5     | 1.30        | 36.8    |
| 30/0.9 | 15.0      | 9.5     | 1.15        | 21.1    |
| 30/1.2 | 15.3      | 11.7    | 1.18        | 24.2    |

从表 3 数据可知, 纤维砂浆的抗压强度和劈裂抗拉强度的均值分别提高了 12.1% 和 27.4%, 这是由于改性聚丙烯纤维具有亲水性强等特点, 与水泥基料能保持良好的粘接力。在改性聚丙烯纤维掺量为  $0.9 \text{ kg/m}^3$  时, 长 19 mm 的纤维比 30 mm 的纤维对抗压强度的增长更好一些, 纤维砂浆的劈裂抗拉强度增长大于抗压强度的增长, 说明聚丙烯纤维在抑制砂浆的开裂方面效果更好。其原因在于每  $\text{m}^3$  砂浆中加入  $0.9 \sim$

$1.2 \text{ kg/m}^3$  的改性聚丙烯纤维, 经过搅拌后分散成单丝, 每  $\text{m}^3$  砂浆中约有 600 万 ~ 800 万根细小短纤维<sup>[5]</sup>。纤维以单位体积内这么大的数量均匀分布于砂浆内部, 微裂缝在发展过程中必然受到纤维的阻挡, 很难进一步发展扩大, 从而阻断了裂缝, 起到了抗裂的作用。同时砂浆在收缩过程中, 如果试体受到约束, 将产生收缩应力, 极易引起裂缝。因此, 减少其收缩应力是避免裂缝产生的有效途径<sup>[6]</sup>。

综上所述, 砂浆收缩主要是塑性状态和硬化状态的收缩, 其原因主要是由于砂浆表面水分流失, 水泥中的毛细孔失水产生塑性收缩应力, 从而导致形成微裂缝。随着水泥砂浆的硬化, 裂缝将进一步扩展, 最终导致砂浆开裂。欣晟纤维的加入可以降低水泥砂浆的塑性干缩和硬化状态的收缩开裂。

欣晟纤维具有良好的化学稳定性和自分散性, 均匀分散的纤维在砂浆中呈现三维网络结构<sup>[7]</sup>, 起到了支撑集料的作用, 其效果是阻止细集料的沉降, 减少了砂浆表面析水和离析。析水和离析不仅影响砂浆的均质性, 同时因砂浆表面存在较多的水泥净浆, 使得表面失水迅速而发生收缩, 从而导致砂浆表面出现裂缝。由于欣晟纤维的加入可以有效防止和抑制砂浆表面析水和离析。

改性聚丙烯纤维在砂浆内部可起到传递应力的作用, 承受由基材收缩引起的内应力, 同时, 纤维可以压

挤毛细管<sup>[8]</sup>,甚至将其阻塞,这样又使砂浆表面失水面积有所减少,水分迁移困难,从而使毛细管失水形成的张力有所降低.纤维在砂浆中平均间距较小,单位体积砂浆中纤维根数较多,与水泥基体粘接面积大,纤维与水泥基体之间界面粘接力会增加砂浆抵抗收缩变形开裂的能力,因此,在砂浆中加入聚丙烯纤维,可以有效改善水泥砂浆的抗干缩开裂性能.

#### 4 结 论

(1)在砂浆中加入聚丙烯纤维能有效控制砂浆的早期干缩,聚丙烯纤维对砂浆的干缩主要影响因素是纤维的掺量,砂浆中加入 $0.9 \text{ kg/m}^3$ 的聚丙烯纤维时,干缩率降低了31.6%.

(2)聚丙烯纤维的长度对砂浆的干缩有一定影响,砂浆中加入 $0.9 \text{ kg/m}^3$ 时,长19 mm的纤维比长30 mm的纤维干缩率控制更好.

(3)聚丙烯纤维在砂浆中搅拌方式适合采用干拌法,且易于在砂浆中均匀分散,干拌法比湿拌法的抗压强度提高了39.4%.

(4)聚丙烯纤维能有效地提高砂浆的抗拉强度,对抗压强度也有一定的提高.

#### 参考文献:

- [1] 戴建国,刘明,黄乘逵.聚丙烯纤维混凝土和砂浆的塑性收缩试验研究[J].沈阳建筑工程学院学报,2000,(3):195-198.
- [2] 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].混凝土水泥制品,1999,(6):41-42.
- [3] 崔江余,王显耀,孙钰.聚丙烯纤维增强水泥砂浆的弯曲性能试验[J].石家庄铁道学院学报,1994,(1):65-69.
- [4] 赵晶,赵亚丁,张桂敏.改性聚丙烯纤维在混凝土中的应用研究[J].混凝土,2000,(9):59-61.
- [5] 湖南大学,天津大学,同济大学,东南大学.土木工程材料[M].北京:中国建筑工业出版社,2002.148-149.
- [6] 廖宪廷,倪建华,王依民.改性聚丙烯纤维在水泥混凝土中的应用[J].江苏纺织,1999,(10):9-11.
- [7] 龚益,沈荣熹,李清海.杜拉纤维在土建工程中的应用[M].北京:机械工业出版社,2002.106-107.
- [8] 张礼和,谈慕华,马一平,等.PP纤维水泥界面粘接与抗干缩开裂性能研究[J].建筑材料学报,2001,(1):17-21.

### Experimental research on influence of polypropylene fiber on mortar early dry shrinkage property

YANG Ji-qiang

(Department of Civil Engineering, TIUC, Tianjin 300384, China)

**Abstract:** Through the polypropylene fiber mortar early period test of dry shrinking performance, the influence of different mixing amount, different lengths of the polypropylene fiber and mixing method are investigated. The experiment indicates that mixing polypropylene fiber in mortar can control early dry shrinkage rate of the mortar effectively. When mixing amount arrives at  $0.9 \text{ kg/m}^3$ , the early dry shrinkage decreases 31.6%. The influence of polypropylene fiber on the intensity of the mortar is investigated, It is found that the tensile strength and compressive strength are improved by 27.4% and 12.1% separately.

**Key words:** polypropylene fiber mortar; mixing amount; fiber length; mixing method; dry shrinkage