

# 硅烷偶联剂改性对聚丙烯纤维抗裂效果的影响\*

罗玲<sup>1</sup>, 彭家惠<sup>2</sup>, 瞿金东<sup>2</sup>

(1. 新疆大学 建筑工程学院, 乌鲁木齐 830008; 2. 重庆大学 材料学院, 重庆 400045)

**摘要:**采用乙烯基三乙氧基硅烷偶联剂(SCA-1613)对聚丙烯纤维分别进行浸泡和表面接枝改性,并研究了最佳改性工艺条件;通过对开裂指数和断裂能的测试,研究了偶联剂改性对聚丙烯纤维在砂浆中的抗裂性能的影响。结果表明,与未改性纤维相比,经硅烷浸泡处理后的纤维,可明显提高水泥基材料的抗塑性开裂性能,其最佳的纤维体积掺量为0.08%,改性效果较突出。

**关键词:**聚丙烯纤维;表面改性;硅烷偶联剂;水泥砂浆;塑性收缩开裂;断裂能

**中图分类号:**TU502.6 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7329(2007)04-0118-03

## Modification of Polypropylene Fiber by Silane Coupling Agent and Its Influence on the Anti-crack Property of Cement Mortar

LUO Ling, PENG Jia-hui, QU Jin-dong<sup>2</sup>

(1. College of Construction Engineering, Xinjiang University, Xinjiang 830008, China; 2. College of Materials Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China)

**Abstract:** In this paper, the surface of polypropylene (PP) fiber was modified by SCA-1613 impregnating and grafting, and the optimal modifying process was studied. Through the testing on relative cracking index and energy at break, the effect of silane coupling agent modification on the plastic shrinkage cracking resistance of PP fiber in cement mortar was also investigated. Results show that, in comparison with unmodified fiber, the PP fiber impregnated with silane coupling agent can obviously improve plastic shrinkage cracking. The optimal addition of polypropylene fiber is 0.08%.

**Keywords:** PP fiber; surface modification; silane coupling agent; cement mortar; plastic shrinkage cracking; energy at break

掺加聚合物纤维是抑制水泥基材料塑性开裂的有效手段<sup>[1~3]</sup>。聚丙烯纤维是水泥基材料中常用的抗裂纤维,但由于聚丙烯纤维表面能低,分子链上缺少活性官能团,且表面疏水,以至于纤维在新拌水泥浆体中不易分散,与水泥基体界面结合不理想,故对纤维表面进行改性就成为提高聚丙烯纤维改性效果的关键。

采用乙烯基三乙氧基硅烷偶联剂对聚丙烯纤维(简称PP纤维)表面进行改性处理,研究了经不同改性方法处理后的纤维对水泥基材料抗裂性能的影响,确定出抗裂效果较好的改性方法。

### 1 实验部分

#### 1.1 试验原料

过氧化二异丙苯,上海化学试剂站;乙烯基三乙氧基硅烷(SCA-1613),张家港市国泰华荣化工新材料

有限公司;无水乙醇,重庆川东化工有限公司化学试剂厂;水泥采用重庆腾辉地维有限公司生产的地维牌32.5普通硅酸盐水泥;砂采用细度模数为0.89的特细砂;未改性聚丙烯纤维,(长度为14mm)其物理性能见表1。

#### 1.2 砂浆配合比

塑性开裂实验按水泥:砂:水=1:1.5:0.5(质量比);纤维体积掺量(%)分别为0、0.04、0.08、0.18。

表1 聚丙烯纤维物理性能

指标	数据	指标	数据
材料类型	束状单丝	拉伸极限	15%
比重	0.90 g/cm <sup>3</sup>	弹性模量	3 793 MPa
直径	40 μm	抗拉强度	276 MPa

#### 1.3 试验方法

##### 1.3.1 纤维表面改性

1)硅烷偶联剂浸泡处理。将硅烷偶联剂SCA-

\* 收稿日期:2007-01-15

作者简介:罗玲(1979-),女,新疆阿克苏人,讲师,主要从事功能材料研究。

1613 分散在一定浓度的乙醇水溶液中,然后将纤维浸泡其中。浸渍完成后取出纤维,用丙酮反复清洗去除纤维表面多余偶联剂,烘干即得改性产物。改性工艺条件主要考察浸渍时间和乙醇浓度两个工艺参数。

2) 表面接枝乙烯基三乙氧基硅烷(SCA-1613)。在装有回流冷凝管和温度计的 250 mL 三颈烧瓶中放入精确称量的聚丙烯纤维,以 150 mL 浓度 10% 的乙醇水溶液为分散介质,加入设计用量的硅烷偶联剂 SCA-1613 充分分散均匀。然后加入适量过氧化二异丙苯作引发剂,加热至适当温度进行表面接枝反应。反应完成后取出纤维,用蒸馏水反复洗涤、过滤,再用丙酮萃取 4 h,取出后烘干即得改性产物。

1.3.2 砂浆抗裂性能测试 按照圣·乔治州立大学的 Paul P. Kraai 教授所提出的砂浆及混凝土干燥收缩裂缝试验方法进行试验。本实验中的抗裂性能采用 500 mm×350 mm×20 mm 的木模,模板底部衬一层聚氯乙烯塑料薄膜,以减小底模对试件收缩变形的影响<sup>[4]</sup>。木模的四周钉有一圈铁钉,用于限制砂浆自由收缩变形。每一组实验成型四个试件,其中均包括一个素砂浆(空白样)试件,四个试件并排摆放。在试件浇注成型后立即开启电风扇和碘钨灯,连续吹、烤 4 小时后,测量试件表面的裂缝宽度及相应的长度,据此以评定聚丙烯纤维对砂浆抗裂性能的影响。

#### 1.4 纤维表面改性效果表征

1.4.1 纤维吸附率的测定  $\text{吸附率} = (\text{纤维吸附后的质量} - \text{纤维吸附前的质量}) / \text{纤维吸附前的质量} \times 100\%$ 。

1.4.2 纤维接枝率的测定  $\text{接枝率} = (\text{纤维接枝后的质量} - \text{纤维接枝前的质量}) / \text{纤维接枝前的质量} \times 100\%$ 。

1.4.3 纤维吸湿率的测定 将各样品在温度 20℃,湿度 90% 以上的养护室内放置 24 h 后取出称重,计算吸湿率,用来表征改性后纤维表面润湿性能改善的效果评价。

$\text{吸湿率} = (\text{吸湿后纤维质量} - \text{干燥纤维质量}) / \text{干燥纤维质量} \times 100\%$

1.4.4 断裂能的测定 三点弯曲试验测试规格为 40 mm×40 mm×160 mm 的砂浆试件,试验在 Instron-1346 试验机上进行,加载速度 1 mm/6 min。断裂能实验采用的灰砂比为 W:C:S=0.5:1:1.5;纤维体积掺量(%)分别为 0.035、0.070、0.100、0.150。

## 2 实验结果与讨论

### 2.1 聚丙烯纤维表面改性的研究

2.1.1 用 SCA-1613 的水/乙醇溶液浸渍处理后纤

维的吸附率和吸湿率

表 2 纤维吸附率和吸湿率随处理条件的变化

项目	1	2	3	4	5	6
浸渍时间/h	24	24	24	48	48	48
乙醇浓度/g·L <sup>-1</sup>	0	10%	20%	0	10%	20%
吸附率/%	0.22	2.56	2.76	0.31	2.62	2.75
吸湿率/%	0.08	0.37	0.36	0.08	0.38	0.41

表 2 可看出,乙醇浓度对改性纤维吸附率的影响较大。主要是由于硅烷偶联剂不溶于水,在水中会发生水解,故硅烷偶联剂一般要用水和乙醇配成溶液,以改善溶解性和促进水解。当乙醇浓度增大时,硅烷溶液的饱和浓度增大,则与纤维发生吸附作用的几率也相应增加。对于浸渍时间,当达到 24 h 后,继续延长长时间,吸附率可能有一定的增加,但增加幅度很小。吸湿率的数据反映了与吸附率类似的规律。因此根据以上分析,同时考虑到技术经济条件,较合适的试验条件应该是浸渍时间采用 24 h、乙醇浓度采用 10%。

### 2.1.2 表面接枝 SCA-1613 处理后纤维的接枝率

表 3 不同因素处理条件下纤维接枝率的结果

试验号	时间	温度	单体浓度	引发剂浓度	接枝率/%
1	(1)	(1)	(1)	(1)	0.30
2	(1)	(2)	(2)	(2)	0.80
3	(1)	(3)	(3)	(3)	1.50
4	(2)	(1)	(2)	(3)	0.70
5	(2)	(2)	(3)	(1)	1.00
6	(2)	(3)	(1)	(2)	2.80
7	(3)	(1)	(3)	(2)	2.00
8	(3)	(2)	(1)	(3)	2.00
9	(3)	(3)	(2)	(1)	0.60
均值 1	0.867	1.000	1.700	0.633	
均值 2	1.500	1.267	0.700	1.867	
均值 3	1.533	1.633	1.500	1.400	
极差	0.666	0.633	1.000	1.234	

从试验结果极差的分析可以看出,影响接枝率各因素主次顺序是引发剂浓度、单体浓度、反应时间、反应温度。综合四种因素对接枝率的影响,为获得较理想接枝率,其最佳试验条件为:反应时间 30 min、反应温度 90~95℃、单体浓度 0.1 mol/L、引发剂浓度  $25 \times 10^{-3}$  mol/L。

### 2.2 改性聚丙烯纤维的抗裂性能研究

圣·乔治州立大学的 Paul P. Kraai 教授根据裂缝宽度把裂缝分为四级,每一级对应着一个权值(表 4),每级宽度的裂缝长度分别乘以其相应的权值,再相加所到的总和称为开裂指数,据此来衡量开裂程度<sup>[4,5]</sup>。

在本试验中,我们也采取了类似的方法,按裂缝产生的实际情况对裂缝级别进行划分,并规定相应的权值(表 5),规定开裂指数的计算方法与 Kraai 的相同。

2.2.1 不同纤维掺量对塑性收缩开裂相对开裂指数的影响 由于不同组的实验条件并不完全一样,为了

使所有试件的实验结果具有可比性,所以在计算评价指标时,均把空白样作为基准,其值设为1,再用同组内其它试件的相应指标与其相比。

表4 Kraai采用的权值

裂缝宽度 W/mm	权值
$W \geq 3$	3
$3 > W \geq 2$	2
$2 > W \geq 1$	1

表5 本实验采用的权值

裂缝宽度 W/mm	权值
$W \geq 3$	3
$3 > W \geq 2$	2
$2 > W \geq 1$	1
$W < 1$	0.5

表6 纤维种类、掺量对相对开裂指数影响

纤维体积掺量/%	相对开裂指数			相对最大裂缝宽度		
	未改性	浸泡改性	接枝改性	未改性	浸泡改性	接枝改性
0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.04	0.85	0.55	0.73	0.94	0.72	0.86
0.08	0.87	0	0.43	1.04	0	0.80
0.18	0.46	0	0.02	0.65	0	0.23

从表6可以看出,纤维单丝长度为14mm、体积掺量达到0.18%时,未改性纤维水泥基材料开裂情况仍比较严重,而加入经改性的纤维,水泥基材料则未出现开裂现象。当纤维掺量较大时,纤维表面接枝硅烷改性的阻裂效果比较明显。由试验数据分析可知,与未改性纤维相比,硅烷浸泡改性的纤维在较低掺量时就可以显著地改善水泥基材料抗塑性开裂性能。

图1给出了纤维单丝长度为14mm时未改性纤维和浸泡SCA-1613处理纤维砂浆平板裂缝宽度分布随掺量变化的直方图。

从图1可以看出,空白样试件的裂缝宽度主要分布在1~3mm之间,而掺入纤维后,裂缝宽度有减少的趋势,当体积掺量为0.04%时,裂缝宽度主要分布在0.5~2mm之间,随着掺量的增加,这种趋势更加明显。当未改性纤维掺量为0.18%时,试件仍出现开裂,但浸泡SCA-1613处理纤维的掺量达到0.08%时,试件就不再开裂了。

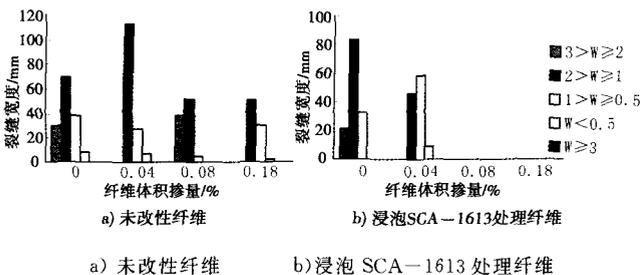


图1 裂缝宽度随纤维体积掺量的变化

2.3 改性纤维对水泥砂浆断裂能的影响

断裂能是材料裂缝完全扩展单位面积所消耗的

功,它反映了材料的韧性,在数值上可以近似地用应力-应变曲线所包围面积来表示。硅烷浸泡处理纤维可以较明显地抑制材料中原生裂缝的发生和发展,改善了材料内部的微观结构,这可以从表7中的断裂能实验结果间接反映出来。加入改性纤维后,砂浆的韧性得到较显著的改善,而且随着纤维掺量的增大,这种效果更加明显,这与前面裂缝实验结果是相符的。

表7 断裂能实验结果

纤维种类	纤维体积掺量/%	断裂能/ $J \cdot m^{-2}$	最大挠度/mm
空白试样	0	72.44	0.60
未改性纤维	0.035	179.53	3.27
	0.070	294.65	3.48
	0.100	346.72	4.51
	0.150	415.93	4.92
	0.035	210.92	4.08
硅烷浸泡处理	0.070	389.80	3.30
	0.100	528.34	4.90
	0.150	543.53	5.02

3 结论

1) 硅烷浸泡处理的聚丙烯纤维和接枝硅烷处理纤维有助于改善纤维在水泥基材料中的分散性能,并增强纤维-基体间的粘结性能。

2) 硅烷浸泡处理的纤维和表面接枝硅烷处理的纤维在抑制水泥基材料塑性开裂方面均比未改性纤维有显著改善;在低掺量的情况下,聚丙烯纤维水泥基材料抗塑性开裂性能随纤维掺量的增大而改善,且硅烷浸泡处理的纤维效果较明显;当纤维单丝长度为14mm时,对水泥基材料的塑性开裂抑制效果较好;硅烷浸泡处理纤维的最佳体积掺量为0.08%。

参考文献:

[1] MIROSLAW GIZYBOWSKI, SURENDRA P. Shah, Shrinking Cracking of Fiber Reinforced Concrete[J]. ACI Materials Journal, March-April 1990, 87(2): 138-148.

[2] YOUJIANG WANG, VICTOR C. LI, STANLEY BACKER. Tensile Properties of Synthetic Fiber Reinforced Mortar[J]. Cement and Concrete Composites, 1990, (12): 29-40.

[3] 马一平, 谈慕华. 聚丙烯纤维对水泥基复合材料物理力学性能研究(I)-抗塑性干缩开裂性能[J]. 建筑材料学报, 2003, (1): 48-53.

[4] P. P. KRAAI. A Proposed Test to Determine the Cracking Potential Due to Drying Shrinkage of Concrete[J]. Concrete Construction, 1985, 775-778.

[5] 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.