

测试

改性聚丙烯纤维的性能 测试与分析

周蓉 张洪第

李存兵

(青岛大学纺织服装学院 青岛 266071) (青岛建设兵团置业有限公司)

[摘要] 通过对当前市场上应用广泛的改性聚丙烯纤维进行有关性能测试和分析, 进一步认识和了解聚丙烯纤维经改性后的性能变化和工程适用性, 为今后聚丙烯纤维的改性处理和应用提供借鉴。

关键词: 改性聚丙烯; 纤维性能; 工程性能; 测试; 分析

中图分类号: TS102.52⁺⁶ TS102.6 **文献标识码:** B **文章编号:** 1002-3348(2004)03-0053-04

现有的用于增强、增韧水泥或混凝土的纤维有低弹模纤维如聚丙烯 (PP) 纤维, 纤维素 (Cellulos) 纤维和高弹模纤维如高强高模聚乙烯 (PE) 纤维、钢纤维、玻璃纤维、芳香聚酰胺 (Kevlar) 纤维及碳纤维等一系列合成纤维^[1]; 上述纤维中尽管碳纤维、芳纶纤维的粘结要比改性的聚丙烯好, 但因它们的价格太高 (约为聚丙烯的 20 倍), 难以在工程上推广应用; 而钢纤维比重大, 不易分散, 易锈蚀; 玻璃纤维耐久性差; 石棉纤维最近已被世界卫生组织确定为致癌物; 玻璃纤维在新浇混凝土中不易乱向混合并易受损伤, 从而降低混凝土强度, 同时也有污染环境的问题^[2]。因而改性聚丙烯纤维以其低廉的成本、良好的力学性能及和水泥较好的亲和性成为目前建筑界应用最广泛的增强混凝土用纤维。

聚丙烯纤维虽然具有很好的力学性能, 耐化学侵蚀, 无虫蛀, 但也有一些致命弱点, 存在光氧化、热氧老化、高温失效、低温冻脆破坏等问题^[3], 改性就是对聚丙烯纤维进行异形化、原纤化等改性处理以改善聚丙烯纤维存在的一些缺点。较之普通的聚丙烯纤维, 改性聚丙烯有着更好的力学性能, 如与水泥基体的粘结要比未改性的聚

丙稀纤维和高强高模聚乙烯纤维更好; 纤维的弹性模量有所增加; 纤维较刚挺光亮。改性还增加了纤维的刚度, 同时短切的改性纤维在水中也有一定的分散悬浮性, 与水泥的易拌和性得到了改善^[4], 因此对聚丙烯纤维的改性处理及改性后的性能测试分析是当前纤维混凝土研究领域关注的焦点之一。

1 性能测试

纤维试样规格如表 1:

表 1

试 样	细度 (tex)	长度 (mm)	密度 (g/cm ³)
普通聚丙烯	0.605	112	0.9
改性聚丙烯	1.67	15	0.9

1.1 纤维性能测试及分析

1.1.1 纤维结构

通过切片及纤维摄影, 改性前后聚丙烯纤维的纵横截面形态如图 1~4。

观察两种纤维的横向切片, 可以看出: 普通聚丙烯纤维的截面呈规则圆形, 而改性聚丙烯纤维的截面呈不规则三角形。改性聚丙烯纤维的异型截面

收稿日期: 2003-12-10

作者简介: 周蓉 (1968-) 女, 成都市人, 讲师、硕士, 主要从事产业用纺织品研究及开发。

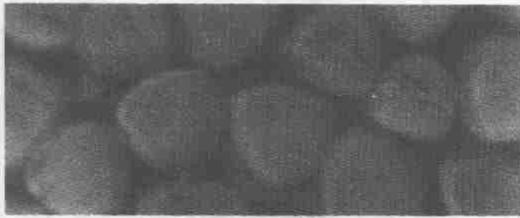


图1 改性聚丙烯纤维横向切片

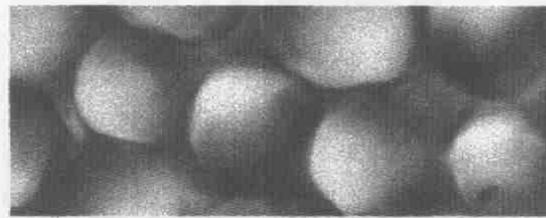


图2 普通聚丙烯纤维横向切片

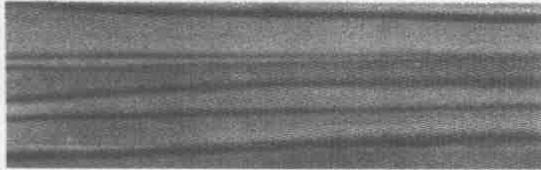


图3 普通聚丙烯纤维纵向形态

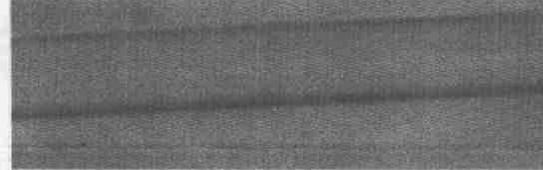


图4 改性聚丙烯纵向形态

增加了其比表面积,使改性聚丙烯纤维与混凝土的接触面积增大,二者的结合更紧密,这样就使混凝土的抗压、抗裂性能和强度增强。

观察两种纤维的纵向形态,可以看出:普通聚丙烯纤维的纵向表面光滑,无裂纹;而改性聚丙烯纤维的纵向表面有大量凹槽。改性聚丙烯纤维的粗糙表面增加了纤维与混凝土间的握裹力,可握裹更多的基料,与水泥基体有更紧密的结合力,提高了混凝土的极限拉伸率。

1.1.2 长度、细度分析

普通聚丙烯纤维的长度为112mm,改性聚丙烯纤维的长度为15mm,改性聚丙烯纤维的长度比普通聚丙烯纤维的长度短,在浆砂中更容易分散混合,同水泥基料的结合力更强,使混凝土的韧性、抗裂抗渗能力显著提高,但搅拌时间也略有延长。

1.1.3 拉伸性能

采用Y161型水压式单纤维强力仪测试得到改性聚丙烯纤维的干强为3.7克力/旦,断裂伸长率为41.6%,湿强为3.7克力/旦,断裂伸长率为41.1%。

1.1.4 摩擦系数

试验采用Y151型纤维摩擦系数测定仪,普通聚丙烯纤维的动摩擦系数为0.36。由于改性聚丙烯纤维表面上分布满了小凹槽,而普通聚丙烯纤维的表面光滑,所以改性聚丙烯纤维的动摩擦系数比普通聚丙烯纤维大,当纤维与混凝土结合时,二者的握裹力更大,使纤维与混凝土基料结合更紧密,使混凝土的构成更趋于一个整体,因此混凝土的抗裂增韧作用更为明显。所以,加入改性聚丙烯纤维的混凝土抗裂增韧性能比加入普通聚丙烯纤维的混凝土更好,更适合于现代的建筑要

求。

1.1.5 软化点、熔点测试

试验仪器:日本MP-S3微量熔点仪、100—200℃的温度计。试验采用显微镜法,这种方法是借助于显微镜观察样品的熔融过程,在观察样品熔融时可同时观察熔融时的温度,能测得较准确的结果。

试验结果:普通聚丙烯纤维的软化点为144℃,熔点为162℃;改性聚丙烯纤维的软化点为146℃,而熔点为166℃。

当纤维到达软化点后,将纤维冷却,再进行单纤维强力试验,测得普通聚丙烯纤维的强度为4.3克力/旦,改性聚丙烯纤维的强度为3.54克力/旦。

结果分析:由于两种聚丙烯纤维软化点都在140℃左右,一般情况下环境温度不会超过软化点,所以环境温度对增强混凝土用聚丙烯纤维的强度影响不大。当温度达到纤维的软化点时,由试验数据可以看出,软化后的普通和改性聚丙烯纤维在温度下降后,其强度变化不大,温度下降后,聚丙烯纤维仍能基本恢复原性能,这点对于特殊方面用的混凝土有重要意义。但对于特殊用途的混凝土或在特殊情况下的混凝土,当温度超过聚丙烯纤维的软化点时,聚丙烯纤维将失去原有作用,但混凝土中的聚丙烯纤维在受热融化后,堵塞了混凝土中微小孔隙,减少了混凝土热崩裂破坏程度。

1.1.6 纤维的耐酸碱碱性试验

试剂:浓度为75%的硫酸、浓度为5%的氢氧化钠溶液。

说明:本试验一方面是测定改性与普通聚丙烯

纤维是否溶于酸碱溶液；另一方面测定经过酸碱浸泡后的改性与普通聚丙烯纤维的强力保留率，以此反映两种纤维的耐酸碱性。

试验结果：

(1) 改性与普通聚丙烯纤维的耐酸性试验。两种纤维分别在常温下的硫酸溶液中浸泡 30 小时，在沸腾的氢氧化钠溶液中浸泡 4 小时，观察发现改性与普通两种聚丙烯纤维都不溶解，说明这两种纤维都不溶于强酸和碱液。

(2) 两种纤维的强力保留率试验。普通聚丙烯纤维经硫酸浸泡后的强度为 4.46 克力/旦，强力保留率达到 97%；经氢氧化钠浸泡后强度为 4.5 克力/旦，强力保留率达到 98%。改性聚丙烯纤维经过强酸浸泡后强力为 4.55 克力/旦，强力保留率为 99%，强力基本没有什么损失；经氢氧化钠浸泡后的纤维强力为 4.51 克力/旦，强力保留率为 98%。

通过试验可以看出两种纤维既不溶于酸和碱，而且经过浸泡后强力也基本不损失。掺入此种纤维的混凝土在特殊的应用时（例如海堤等方面应用的混凝土）有更好的耐久性。

1.2 工程性能测试（与砂浆结合的各种实验）

1.2.1 纤维水泥附着性测试试验

本试验目的是评估两种纤维的水泥附着性能力的高低。试验方法是将纤维长度为 10cm 试样浸泡在水灰比为 0.5 的静浆中，搅拌 3 分钟后用镊子在一头取出，滴干水，用滤纸吸掉附在纤维末端的水滴，称重，计算纤维的水泥附着量。每种纤维测试 10 个试样，计算平均值^[5]。

试验数据如表 2：

表 2

试 样	普通聚丙烯纤维	改性聚丙烯纤维
单根纤维水泥吸附量 (mg/10cm)	313.7	345.8

试验结果及分析：由试验可以看出来，经过改性的聚丙烯纤维吸附的水泥量比普通的聚丙烯纤维多，其与水泥的结合力更强。掺入改性聚丙烯纤维的混凝土的抗折性能与抗弯性能更强。

1.2.2 掺加聚丙烯纤维对混凝土早期抗裂性的影响

试模：试验采用外圆 25cm，内圆 19cm，高 5cm 的有底圆环，试模内圆为无缝钢管，外圆模为二个半模。静浆配合比如表 3：

表 3

类 别	水灰比	水 (g)	水泥 (g)
未掺纤维的	0.476	1000	2100
掺聚丙烯纤维的	0.476	1000	2100

试样制备：试样的拌制是采用水泥胶砂搅拌机拌和，先在搅拌锅中加入一定量的水泥和纤维，干拌半分钟，缓慢加入一定量的水，将拌和料拌匀，搅拌 3 分钟，将物料取出浇入模中，等初凝后即松开外模及底模，置于常温、湿度为 65% 的条件下；用风扇吹风 24 小时观察裂缝发展情况。

实验结果及分析：在水灰比 0.476 时，未掺入纤维的静浆在成型后 2 小时即产生数条裂缝，掺有改性聚丙烯纤维的静浆经几昼夜风吹均未产生裂缝。可见在加入聚丙烯纤维后，混凝土的抗裂性能大有提高。

1.2.3 抗裂性能测试试验

测试方法：采用单位面积开裂指数检验阻裂能力。将试件浇筑在试模中，不养护，立即以风扇连续吹试件表面 24 小时，再测定试件表面的裂缝宽度和长度，用每级裂缝宽度对应的权值计算开裂指数。

试样配合比：灰砂比 = 2：1、水灰比 = 0.33
测试结果如表 4：

表 4

	未掺加聚丙烯纤维的混凝土对比样	掺加(0.9kg/m ³ 混凝土)普通 pp 纤维的混凝土试样	掺加(0.9kg/m ³ 混凝土)改性 pp 纤维的混凝土试样
开裂指数	174	84.6	46.3

实验结果：掺加 0.9kg/m³ 普通聚丙烯纤维的混凝土试样的裂缝减少率为 51.4%，而掺加同样的改性聚丙烯纤维的混凝土试样的裂缝减少率为 73.4%。

作用机理：在混凝土中聚丙烯纤维呈乱向分布，这种分布形式不仅可以大大削弱混凝土塑性收缩及冻融时的应力，而且可以产生一种有效的加强效果，使混凝土的构成更趋于一个整体。收缩时的能量被分散到每立方米几千万根，且具有抗拉强度较高而弹性模量相对较低的纤维单丝上，从而极为有效地增强了混凝土的韧性，抑制了微细裂缝的产生和发展。

1.2.4 掺加聚丙烯纤维的混凝土模块的力学性能实验

试样配合比：水灰比 = 0.30、纤维掺量 = $0.9\text{kg}/\text{m}^3$ 混凝土。混凝土配比：水泥：砂：石子：粉煤灰：减水剂 = 286:644:1349:71:5.71

检测内容：检测掺聚丙烯纤维模块的力学性能，测试结果见表 5：

表 5 单位：mPa

混凝土模块	抗压强度		劈拉强度		极限拉伸值 $\times 10^4$	弹性模量 $\times 10^4$	
	7d	28d	7d	28d	28d	7d	28d
普通模块	38.1	58.2	1.78	2.61	0.95	3.12	3.42
掺入普通 pp 纤维的模块	42.4	60.7	2.11	2.38	1.05	3.19	3.38
掺入改性 pp 纤维的模块	46.0	63.4	2.38	3.34	1.12	3.11	3.33

实验结果：掺加聚丙烯纤维后混凝土构件的强度变化不大，混凝土的极限拉伸率有较大幅度提高，构件的弹性模量有所降低，这是掺加聚丙烯纤维使构件韧性提高所致。且干缩率随时间的增长变化不大，这对减少早期塑性收缩裂缝有极大好处。

总之：从实验结果可以看出，掺聚丙烯纤维的模块其抗压强度、劈拉强度、极限拉伸值都优于不掺纤维的混凝土模块，而掺加改性聚丙烯纤维的水泥模块的这些特点更明显，效果比掺加普通聚丙烯纤维的还好。而弹性模量、干缩率测试值相接近，使掺加改性聚丙烯纤维的混凝土模块各项属性有了明显改善。

1.2.5 两种纤维在砂浆中的分散性试验

将普通聚丙烯纤维和改性聚丙烯纤维混入砂浆中，搅拌 3 分钟后分批取样目测法及取等体积小量混凝土小样洗后数纤维根数与理论值进行比较。

试样配合比：灰砂比 = 1: 1.5、水灰比 = 0.44

测试结果：经测试可知普通聚丙烯纤维长度过长，易绞成团不易分散，分散性较差；而改性聚丙烯纤维长度为 15mm，与浆砂混合并经搅拌后，纤维分散呈均匀单丝状态，与混凝土结合较好，且分布均匀彻底，故能在混凝土内部构成一种均匀的三维乱向的支撑体系，从而产生一种有效的加强效果，使混凝土的构成更趋于一个整体，因此可使混凝土的抗裂增韧效果更明显。

2 结论

通过实验可以看出改性聚丙烯纤维各方面的属性都比普通聚丙烯纤维高，掺入聚丙烯纤维后能减少混凝土干缩约 7%，减少开裂指数约 60%，提高极限拉伸率约 8%，降低弹性模量约 9%，提高弯曲韧性系数约 35%，抗冻、防渗能力也有大幅提高。上述数据表明，掺加改性聚丙烯纤维的混凝土可以明显减少混凝土收缩和开裂，改善混凝土的变形性能和提高耐久性。改性聚丙烯纤维在技术性能上明显优于普通聚丙烯纤维混凝土和普通混凝土。

在适合混凝土用方面可以看出经过改性处理的聚丙烯纤维性能更为优越，它的抗老化能力、在砂浆中的分散性能、摩擦系数、力学性能、纤维砂浆吸附率都比普通的聚丙烯纤维要好，更适于现代高性能、高标准的混凝土与建筑要求。

参考文献

- [1] 戴建国, 黄承逵. 网状聚丙烯纤维混凝土的试验研究[J]. 混凝土与水泥制品, 1999, (4)
- [2] 刘兰强, 曹诚. 聚丙烯纤维在混凝土中的阻裂效应研究[J]. 公路, 2000, (6)
- [3] 谷章昭, 倪梦象, 樊钧等. 合成纤维混凝土的性能及其工程应用[J]. 建筑材料学报, 1999, (2)
- [4] 陈绍华. 聚丙烯混凝土增强纤维网的优良特性和应用[J]. 产业用纺织品, 2003, (2)
- [5] 卫亚明译. 纤维环增强混凝土[J]. 产业用纺织品, 2002, (6)

节约用水 人人有责