

改性聚丙烯纤维砂浆和混凝土的性能试验

李顺凯, 蔡安兰, 严 生

(南京工业大学 材料科学与工程学院, 江苏 南京 210009)

摘 要: 试验采用 P. P. Kraai 提出的砂浆及混凝土干燥收缩裂缝测试方法、混凝土力学性能试验、抗冻等耐久性能试验方法, 研究了改性聚丙烯纤维对砂浆和混凝土性能的影响。结果表明, 在混凝土中掺入一定量的改性聚丙烯纤维, 混凝土的抗压强度略有下降; 纤维在混凝土中形成的乱向支撑体系, 产生了有效的增强效果, 减少了裂缝的产生, 提高了混凝土的抗折、抗拉强度, 从而改善了混凝土抗裂、抗渗、抗冲击和抗冻等性能。

关键词: 聚丙烯纤维; 改性; 混凝土; 砂浆

中图分类号: TU528.572

文献标识码: A

文章编号: 1671-7643(2004)02-0058-04

混凝土作为十分广泛的建筑材料, 种类繁多, 其性能得到不断改善, 但由于混凝土材料本身的缺陷, 如易塑性开裂, 抗拉强度低, 韧性差等, 限制了其在工程中更广泛的使用^[1]。在混凝土中掺入一定量的非连续的短纤维, 由于纤维随机地分布于混凝土中, 起到了配筋和约束裂缝发展的作用, 达到增强的目的。

纤维混凝土一般分为钢纤维、玻璃纤维和聚合物纤维混凝土等几种类型。钢纤维搅拌时易结团, 分散均匀性差, 不易施工, 且掺量大, 成本增加较高; 而玻璃纤维由于在混凝土碱性介质中与碱起化学反应, 其耐久性差^[2]。国内目前在混凝土中使用的普通聚丙烯纤维多是切割后的短而细的纤维, 或将纤维编织成网状, 它们与混凝土的握裹力较弱^[3]。

改性聚丙烯纤维是在纺丝过程中添加聚丙烯晶系成核剂, 产生不稳定的 β 晶, 并在拉伸时发生 β 晶向 α 晶转变, 导致体积缩小而产生微孔, 这些孔隙使得原来光滑表面变得粗糙。改性聚丙烯纤维具有良好的化学稳定性, 耐腐蚀, 表面疏水, 搅拌时不易成团, 与水泥混凝土之间的粘着力较强。本文通过两种不同的改性聚丙烯纤维, 在不同掺量的情况下, 对混凝土和砂浆的性能影响进行研究。

1 实 验

1.1 主要原料

水泥: 江苏龙潭水泥厂生产的 42.5 级普通硅酸

盐水泥。

粗集料: 5 ~ 31.5 mm 级配的碎石, 其表观密度为 2.70 g/cm³。

细集料: 河砂, 其表观密度为 2.65 g/cm³, 细度模数 2.78。

纤维: (1) 通盛纤维, 江苏中银公司生产的白色短切纤维, 相对密度 0.9, 抗拉强度 295 MPa, 长度为 19 mm; (2) 杜拉纤维, 美国杜拉公司生产的白色短切纤维, 相对密度 0.91, 抗拉强度 276 MPa, 长度为 19 mm。

水: 自来水。

1.2 砂浆抗裂性能试验方法

试验按照 P. P. Kraai 教授所提出的砂浆及混凝土干燥收缩裂缝测试方法进行^[4]。实验采用 914 mm × 610 mm × 19 mm 的木模; 木模四周钉有用于限制收缩的铁丝网; 在砂浆中加入通盛和杜拉两种改性聚丙烯纤维, 加入量分别为 0.45 kg/m³、0.68 kg/m³, 编号及配合比见表 1; 将砂浆沿木模边缘螺旋式向试模中心进行浇注, 直至拌和料自动流满整个木模, 即用长木条刮平试件表面。成型后即打开风速为 5 m/s 的电风扇。连续吹 24 h 后, 采用直筒显微镜测量裂缝的宽度, 按裂缝宽度分段测量裂缝的长度。

1.3 混凝土配合比和测试方法

混凝土设计相应的配合比为 $m(\text{水泥}):m(\text{砂}):m(\text{石}):m(\text{水}) = 352:732:1\ 146:190$, 纤维的掺量为

表 1 试验配合比

Table 1 Experimental mix proportions

试件编号	$m(\text{水泥}):m(\text{砂})$	水灰比(W/C)	纤维掺量/ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
S1	1:1.5	0.5	0
S2	1:1.5	0.5	0.45(通盛)
S3	1:1.5	0.5	0.45(杜拉)
S4	1:1.5	0.5	0.68(通盛)
S5	1:1.5	0.5	0.68(杜拉)

(1)0.68 kg/m^3 (2),0.90 kg/m^3 。试验前先测定砂、石的含水率,并从总用水量中扣除,采用强制式搅拌机。采用干拌法,搅拌时先将水泥、砂、石一起投入搅拌机内开始干拌,再将纤维用手捻开,逐渐撒到搅拌机内,以保证纤维在混凝土中分散得均匀,最后加入拌合水,搅拌均匀后出料,测定混凝土的坍落度,装模成型,养护。测试混凝土试验的各种性能按 GBJ81-85, GBJ82-85 规范进行。用光学显微镜观察混凝土试样断裂后的微观结构。

2 试验结果与分析

2.1 改性聚丙烯纤维对砂浆抗裂性能的影响

改性聚丙烯纤维砂浆抗裂性能采用开裂指数,据此评价其开裂程度。试验采用 Kraai 关于计算开裂指数的方法,把裂缝宽度分为 4 级,分别有对应的代表值,见表 2^[4];开裂指数为每级宽度的裂缝长度分别乘以其相应的代表值。

表 2 本试验采用的代表值^[4]

Table 2 The typical value in the study

裂缝宽度 d/mm	代表值
$d \geq 3$	3
$3 > d \geq 2$	2
$2 > d \geq 1$	1
$d < 1$	0.5

试验中发现,纤维砂浆的试件表面的塑性收缩裂缝分布广而微细,而素砂浆的裂缝比较宽,而且较长,其结果见表 3。由表 3 可见,砂浆的抗裂性能有了明显的改善,其裂缝减少分别达到 60%,62% 和 83%,82%;随着纤维量的增加,开裂指数大幅度下

降,其裂缝的趋势是由宽到窄,由大到小,即大裂缝逐渐减少,小裂缝逐渐增多。可见改性聚丙烯纤维在低含量的范围内可有效地控制砂浆塑性裂缝的产生,降低裂缝的宽度。

表 3 纤维砂浆的塑性收缩

Table 3 Plastic shrinkage of mortar with fibers

编号	裂缝宽度范围类的裂缝长度/cm				开裂指数
	$d \geq 3$	$3 > d \geq 2$	$2 > d \geq 1$	$d < 1$	
S1	21	83	56	36	301
S2	0	20	59	43	121
S3	0	17	64	35	116
S4	0	0	36	29	51
S5	0	0	31	46	54

2.2 改性聚丙烯纤维对混凝土力学性能的影响

改性聚丙烯纤维混凝土的力学性能试验结果见表 4。可以看出,改性纤维混凝土的抗压强度比不掺纤维的混凝土的抗压强度在 28 d 时略有下降,而且随着纤维掺量的增大而下降得越多,但各龄期的抗折强度和抗拉强度都增加了,其增加幅度为 5%~10% 左右。图 1 为不掺纤维的混凝土断裂表面形貌,图 2 为纤维在混凝土中的分布与混凝土断裂表面形貌特征。由图 2 可知,纤维在混凝土基体中分布是乱向的。

表 4 改性聚丙烯混凝土的力学性能试验结果

Table 4 Experimental results of mechanical properties

试验编号	坍落度/cm	抗压强度/MPa			抗折强度/MPa			劈裂抗拉/MPa
		3 d	7 d	28 d	3 d	7 d	28 d	
W-0	8	13.8	21.3	32.0	1.8	2.2	3.8	1.9
T-1	6	13.0	21.1	31.2	2.1	3.0	4.0	2.0
T-2	5	12.4	20.6	30.2	2.2	2.9	4.2	2.1
D-1	6	14.0	21.5	31.5	2.2	2.8	4.1	2.1
D-2	6	13.1	21.0	29.8	2.1	2.7	4.1	2.2

注:W-0 为没有掺纤维,T 指通盛纤维,D 指杜拉纤维,1 指掺量为 0.68 kg/m^3 ,2 指掺量为 0.90 kg/m^3 。

混凝土从理想状态来说,其抗压强度与抗折强度的增长应该是基本一致的,但由于混凝土内部存在不同程度的微裂缝,而微裂缝对抗折强度的影响远大于抗压强度,所以改性聚丙烯纤维混凝土抗压强度提高幅度低于抗折强度。需要指出的是:在掺入纤维后,混凝土的抗压强度有所下降。国外学者

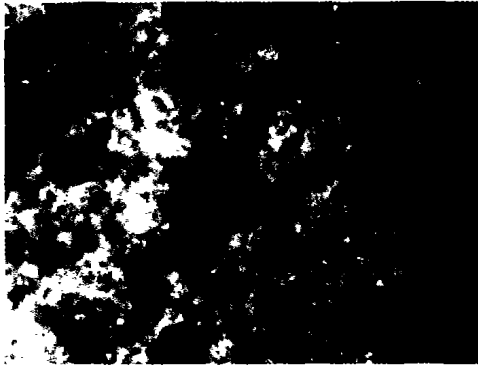


图1 不掺纤维的混凝土断裂形貌

Fig.1 Micrograph of concrete faults without fibers

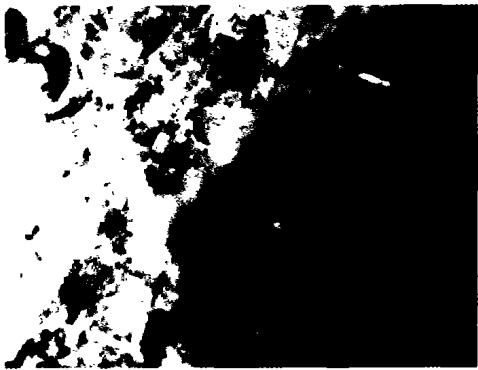


图2 纤维在混凝土中的分布与混凝土断裂形貌

Fig.2 Micrograph of fibers distribution in concrete and fibers concrete faults

把这种现象归于聚丙烯纤维较低的弹性模量。作者通过研究认为,掺入纤维后,由于改性聚丙烯纤维疏水性,引入的纤维会产生纤维-水泥石薄弱界面,也是原因之一;在试验过程中发现,纤维混凝土的含气量有所增加,这也导致混凝土抗压强度的下降。而混凝土的抗折和抗拉强度与混凝土内部的微裂缝有很大关系,改性聚丙烯纤维混凝土的抗折和抗拉强度提高的主要原因在于纤维的抑制裂缝形成的能力,在混凝土结构形成时,由于纤维的乱向作用,阻止裂缝的引发与扩展,从而能提高混凝土的抗折和抗拉强度。

2.3 改性聚丙烯纤维对混凝土抗冻性能的影响

改性聚丙烯纤维混凝土的抗冻性试验采用25次冻融循环,试验结果如表5所示。从表5可得,混凝土中掺0.68 kg/m³改性聚丙烯纤维,经25次冻融循环后混凝土的强度损失率分别为7.0%和6.2%,质量损失率为1.1%和0.8%;而在混凝土中掺0.90

kg/m³改性聚丙烯纤维,强度损失率分别为3.8%和4.1%,质量损失率均为0.5%。可见,掺入一定量的改性聚丙烯纤维后,纤维乱向分布形式有助于减少混凝土砂浆的塑性裂缝,混凝土的抗冻性明显提高。

表5 混凝土抗冻试验结果

Table 5 Experimental results of frost heave-resistance

编号	W-0	T-1	D-1	T-2	D-2
强度损失/%	11.0	7.0	6.2	3.8	4.1
质量损失/%	2.0	1.1	0.8	0.5	0.5

2.4 改性聚丙烯纤维对混凝土抗冲击特征的影响

材料在一次或多次迅速施加荷载(冲击荷载)的作用下,抵抗疲劳破坏的能力为材料的抗冲击能力。抗冲击试验采用落锤法进行(锤质量2 kg,锤的下端为球面,落高68 cm,试件尺寸为边长15 cm的立方体),混凝土的抗冲击性能以试件在落锤的反复冲击作用下,混凝土表面出现第一条裂纹时单位体积所耗的功来表示^[5,6]。试验结果见表6。

表6 混凝土抗冲击试验结果

Table 5 Experimental results of impact-resistance

编号	W-0	T-1	D-1	T-2	D-2
相对抗冲击强度/%	100	113	118	132	129

从表6的试验结果看,在混凝土中掺入0.68 kg/m³改性聚丙烯纤维,混凝土的抗冲击性能分别提高13%和18%,而掺入量为0.9 kg/m³时,抗冲击性能分别提高32%和29%。由于在混凝土受力时,力由混凝土通过纤维与混凝土的界面传递给纤维,纤维具有较大的吸收能量的能力,从而纤维与混凝土一起承受力的作用,防止结构的破坏,因此,混凝土的抗冲击性能明显提高。

2.5 改性聚丙烯纤维对混凝土渗透性能的影响

混凝土试件在标准养护28 h后进行抗渗试验,保持水压0.8 MPa,持续8 h,然后劈裂,测试渗透高度,结果见表7。

表7 混凝土抗渗试验结果

Table 6 Experimental results of impermeability

编号	W-0	T-1	D-1	T-2	D-2
渗透高度/mm	82	57	60	38	44

从表7可见,由于均匀分布在混凝土的纤维减少了混凝土微裂缝产生,并且纤维在混凝土中起到了支撑作用,降低了混凝土骨料的沉降,使得混凝土微孔隙含量大大下降。纤维混凝土的抗渗能力明显好于不掺纤维的混凝土,并随着纤维掺量的增加,混凝土渗透高度减小。

3 结 论

(1)掺入一定量的改性聚丙烯纤维减低混凝土的坍落度,但影响不是很大。

(2)混凝土中掺入一定量的改性聚丙烯纤维,可以有效地控制裂缝的产生,从而提高混凝土的抗渗,抗冻等性能。

(3)改性聚丙烯纤维乱向分布改善混凝土的韧性,提高混凝土的抗折和抗拉强度。

(4)纤维有着较强的吸收能量的能力,掺入一定量的纤维能提高混凝土的抗冲击性能。

参考文献:

- [1] 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].混凝土与制品,1999,(6):41-42.
- [2] 庞京春,周建林,段立元.PP改性纤维在水泥混凝土路面中的应用研究[J].山东建材学院学报,1998,12(4):374-375.
- [3] 赵晶,赵亚丁,张桂敏.改性聚丙烯纤维在混凝土中的应用[J].混凝土,2000,(3):59-61.
- [4] Kraai P P. A proposed test to determine the cracking potential due to drying shrinkage of concrete[J]. Concrete Construction,1985,22(9):775-778.
- [5] 李光伟,杨元慧.聚丙烯纤维混凝土性能的试验研究[J].水利水电科技进展,2001,21(5):14-16.
- [6] Alhozaimy A M. Mechanical properties of polypropylene fiber reinforced concrete and the effects of pozzolanic materials[J]. Cement & Concrete Composite,1996,18(1):85-92.

Research on performance of modified polypropylene fiber reinforced mortar and concrete

LI Shun-kai, CAI An-lan, YAN Sheng

(College of Materials Science and Engineering, Nanjing University of Technology, Nanjing 210009, China)

Abstract: Effects of Polypropylene fiber on performance of concrete were studied experimentally applying mortar and concrete drying shrinkage crack test methods proposed by P. P. Kraai, mechanical properties and durability test methods. The results indicate that mixing a certain amount of fibers into concrete reduces compressive strength of concrete. Fibers in concrete offer an effective reinforcing effect of the random-oriented supporting system to decrease shrinkage cracks, increase flexural and tensile strength of concrete, and improve crack-lock performance, impermeability, impact-resistance and frost-heave-resistance.

Key words: polypropylene fiber; modify; concrete; mortar