

# 聚丙烯纤维混凝土力学性能分析

陈磊, 陈太林

(空军后勤学院, 江苏徐州 221000)

**摘要:** 本文通过对聚丙烯纤维混凝土静力性能和抗冲击性能的分析, 得出掺入聚丙烯纤维对混凝土的准静载强度无显著影响, 却能使混凝土的抗冲击能力和抗疲劳能力显著提高。

**关键词:** 混凝土; 力学性能; 纤维

**中图分类号:** TQ528.4 **文献标识码:** B **文章编号:** 1004-1672(2004)05-0057-03

**Analysis of Mechanical Properties of Polypropylene Fiber Reinforced Concrete / Chen Lei et al // The Air Force Logistics College of PLA**

**Abstract:** By way of analysis of static performance and impact resistance for polypropylene fiber reinforced concrete, it was made clear that addition of polypropylene fiber would exert no remarkable effects on quasi static strength of concrete whereas markedly enhance impact resistance and fatigue resistance.

**Key words:** concrete, mechanical property, fiber

## 1 前言

聚丙烯纤维是一种新型的混凝土增强纤维, 被称为混凝土的“次要增强筋”。随着复合材料科学的发展, 聚丙烯纤维开始被运用于土木工程中。70年代美国开始大力开发丝束相连的膜裂聚丙烯纤维, 用来代替钢筋网片以控制混凝土的收缩。80年代中期, 美国工兵ROBERT工程协会为解决其军事工事的混凝土结构在炮弹、炸弹的轰击下易碎裂的问题, 研制开发了聚丙烯纤维混凝土, 并申请了产品专利, 由美国纤维网公司投入生产并推向全球, 目前已在60多个国家和地区推广应用<sup>[1]</sup>。

90年代以来, 我国开始对聚丙烯纤维增强混凝土的特性进行研究, 并且逐渐将其投入了道路、水利及建筑专业的实际工程中。目前我国市场上几种聚丙烯纤维产品按规格可分为两类: 一类是呈束状网形式的聚丙烯纤维, 如美国的纤维网(fiber mesh); 另一类是以束状单丝提供的聚丙烯纤维如美国的杜拉纤维(dura fiber)、丹麦的克裂速(cem fiber)以及国产的“丹强丝”等。

## 2 聚丙烯纤维混凝土的静力性能

对于短纤维增强复合材料, 纤维与基体弹性模量的比值对其力学性能有非常大的影响。中科院力学所唐春安<sup>[2]</sup>等人曾利用材料破坏过程分析程序MFPA2D对不同弹模纤维的增强复合材料静力破坏过程进行数值模拟, 得到的荷载-加载步曲线如图1

所示(模型I为基材, 模型II的纤维与基体弹模和强度比为3, 模型III的纤维与基体弹模和强度比为6)。由该图可以看出高弹模纤维可以明显增加复合材料的破坏强度, 但对韧性的提高不是很大, 低弹模纤维使复合材料强度略有减小, 但大大增加了其延性和韧性。

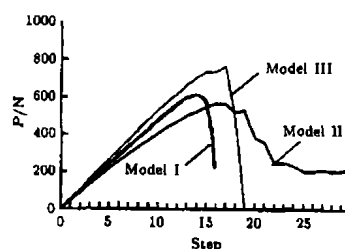


图1 荷载-加载步曲线

表1给出了聚丙烯纤维混凝土与素水泥混凝土各项物理力学指标值<sup>[3]</sup>, 从中可见其弹模约为混凝土的1/10, 为低弹模纤维混凝土。

表1 物理力学指标对比表

	聚丙烯纤维	素水泥混凝土
比重	0.91	2.3~2.4
抗拉强度(MPa)	300~450	1~4
杨氏模量(MPa)	3.5~5	30~40
极限延伸率(%)	15~18	0.01~0.02

此外, 聚丙烯纤维具有一定的增稠和弱界面效应, 这些都是对混凝土强度不利的因素。但是一方面由于聚丙烯纤维在混凝土中常用的掺量很低, 另

一方面它能够大大减少混凝土早期裂缝,提高混凝土质量,因此实际上掺入聚丙烯纤维后会略微提高其强度。

美国某实验室曾做过对比试验,混凝土试件与纤维增强混凝土试件采用相同配比,聚丙烯纤维掺量为 $0.68\text{ kg/m}^3$ ,测试结果如表2所示。

表2 聚丙烯纤维对混凝土强度影响测试结果

	抗压强度		抗折强度		劈裂抗拉		弹性模量
	(ASTM C-39, MPa)		(ASTM C-78, MPa)		(ASTM C-496, MPa)		(ASTM C-496, MPa)
龄期(d)	7	28	7	28	7	28	28
聚丙烯纤维混凝土	15.205	24.375	2.84	3.915	2.28	3.135	18065
混凝土	14.825	23.86	2.655	3.685	2.175	2.900	18754
增值(%)	2.56	2.16	6.97	6.24	4.83	8.10	-3.67

从表中可以看出,低弹模聚丙烯纤维的加入降低了复合材料的弹模,但其抗压、抗折、抗拉强度均有所提高,其中抗压强度提高的幅值最小(一般认为其抗压强度没有提高),抗折与抗拉强度提高相对较大。以往大量抗爆结构参数的研究曾指出抗爆阻力正比于板厚与材料强度(抗折/抗剪)之积,从这一点看,聚丙烯纤维混凝土的静力特性有利于其抗爆炸性能的提高。

国内外学者用不同方法对其静力性能进行了研究。姚武<sup>[4]</sup>的研究表明聚丙烯纤维比石棉纤维更能吸收能量,当体积掺量少于1%时,虽不能提高混凝土强度,却能大幅度提高其抗弯韧性;当掺量较高时,不仅能减小复合材料的脆性,而且能增加水泥基体的极限强度。Zheng Z H与Feldman D.<sup>[5]</sup>对不同强度混凝土的增强效果进行了对比,结果表明:高强混凝土的剪切强度提高了17%,而普通混凝土的剪切强度无明显提高,但其剪切变形和延性大大提高(是原来的14倍)。华渊<sup>[6]</sup>等人发现聚丙烯纤维的加入能有效提高高强度混凝土的断裂变形能力,当其体积掺量在0.7%~0.9%之间而其它条件基本相同时,聚丙烯纤维混凝土配筋梁的断裂韧性、初裂荷载、裂纹平均间距分别是基准混凝土配筋梁的18~24倍、1.32~1.37倍和56%~64%。

### 3 聚丙烯纤维混凝土的抗动力冲击性能

混凝土中加入纤维后,有利于防止并控制微裂的产生和发展,增强混凝土的韧性;同时由于有效改善了泌水性,对于早期养护大有帮助。实践证明,水泥固化早期,纤维混凝土比普通混凝土可保持更多的水分,水泥的水化反应更彻底,骨料离析减少,级配更加均匀,使其表面强度较之普通混凝土更强。纤维的独特的表面处理工艺使得纤维可以和水水泥基料紧密地结合在一起,极大地保持了混凝土整体强度,有助于提高混凝土受冲击时所吸收的动能,在混凝土受冲击荷载作用时,纤维可阻碍混凝土中裂

缝的迅速扩展,从而有效地增强了其抗冲击能力。

对于聚丙烯纤维混凝土的抗冲击性能,国内外均做过相关测试试验。美国南达科大矿业工学院曾做过落重锤测试试验<sup>[3]</sup>(美国混凝土学会规范ACI-544),该试验中的聚丙烯纤维掺量为每立方米( $0.7645\text{ m}^3$ )添加量。所有实验在28天内完成,结果为三次实验的平均值。测试结果显示第一次破裂锤击次数及试件粉碎锤击次数随纤维含量增加而增加,结果见表3。

表3 美国落重锤试验测试结果

	第一次破裂 锤击次数	粉碎锤 击次数
未加纤维	30	37
加入1磅纤维( $0.594\text{ kg/m}^3$ )	89	98
加入1.5磅纤维( $0.889\text{ kg/m}^3$ )	103	114
加入3磅纤维( $1.779\text{ kg/m}^3$ )	148	166

我国国家建筑材料测试中心曾采用GB/T5231.5-94方法,对聚丙烯混凝土进行了摆锤冲击试验。试件尺寸为 $120\text{ mm} \times 50\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ ,砂浆配比:水泥:砂=1:2,水灰比=0.38,测试结果见表4。

表4 摆锤冲击试验测试结果

	无纤维 对比组	聚丙烯纤维试块 (体积掺量0.05%)	聚丙烯纤维试块 (体积掺量0.1%)
抗冲击强度	$1.98\text{ kJ/m}^2$	$2.33\text{ kJ/m}^2$	$2.49\text{ kJ/m}^2$
相对比值	100%	117.7%	125.8%

## 4 结语

聚丙烯纤维的弹性模量低(约为混凝土的1/10)、具有一定的增稠作用和弱界面效应,都是对混凝土强度不利的因素,但由于聚丙烯纤维在混凝土中常用的体积掺量很低,以上不利因素对混凝土强度的影响并不显著。试验结果表明:虽然掺入聚丙烯纤维对混凝土的准静载强度无显著影响,却能使混凝土的抗冲击能力和抗疲劳能力显著提高。

纤维对混凝土强度的影响程度和纤维在混凝土中的体积率有关, 由于价格和工艺等原因, 常用的纤维掺量一般较低(体积率一般不大于2%), 且纤维处于三维乱向分布的状态, 增强的效率很低。因此, 正常情况下纤维均不能使混凝土裂前的抗拉强度有明显提高。混凝土基体裂后, 可通过纤维继续承担荷载。当纤维掺量达到一定水平时, 纤维能在混凝土裂后承担超过混凝土裂前的荷载水平, 表现为提高了混凝土的极限抗拉强度。而在进行抗折强度测试时, 由于混凝土在裂后通过纤维保持了一定的抗拉能力, 使受试小梁的中性轴得以提高, 混凝土的抗折强度由此得以较大幅度的增长。由于聚丙烯纤维自身的弹性模量较低, 即使通过提高纤维掺量使混凝土裂后保持一定的抗拉强度, 但过大的变形也使其实用的意义很小。因此, 通常不采用高掺量聚丙烯纤维来提高混凝土抗拉(抗折)强度的作法。而大量工程实践证实的纤维混凝土优良的使用效果, 实际上是纤维提高了混凝土的抗冲击、抗疲劳能力所致, 这是通过掺入纤维使混凝土板的整体性、连续性得到改善的结果。

(上接第56页)

SAP1>SAP3>SAP2, SAP1的吸水能力达1600倍; 在生理盐水和水泥浆析出液中的吸收能力都是SAP2>SAP3>SAP1, SAP2能吸水123倍的生理盐水或43倍的水泥浆析出液。三种高吸水树脂的吸收速度都很快, 10分钟都能吸水五百倍以上的蒸馏水。

(2) 在建筑砂浆中掺加高吸水树脂, 造成流动性能的下降。SAP1和SAP3的影响程度较小, 掺加0.50%的树脂, 稠度分别减小17%和23%; 而SAP2的影响程度很大, 掺加0.50%的树脂, 稠度减小了42%。

(3) 高吸水树脂的加入, 有效地减小了砂浆的分层度。在水泥砂浆中掺加0.10%的三种高吸水树脂, 砂浆分层度就能减小60%、40%、53%。高吸水树脂在水泥砂浆中的效果要比在水泥石灰混合砂浆中的效果好。高吸水树脂掺量不应超过0.3%, 因为更多的加入也不能取得更好的效果。

(4) 在砂浆中掺加少量的高吸水树脂可以提高其粘结强度。在水泥砂浆中掺入0.10%的三种高吸水树脂, 分别使水泥砂浆的粘结强度提高了36%、5%、15%。增强效果SAP1>SAP3>SAP2。随着高吸

聚丙烯纤维的作用机理是通过消除或减小原生裂隙的数量和尺度, 使材料介质的连续性得以提高, 以及有机材料对冲击能的吸收能力, 使混凝土的抗冲击、抗疲劳性能得以改善的。在美国的一些公路和机场道面中, 正尝试采用聚丙烯纤维混凝土制作超薄白色罩面, 对旧路进行改造, 正是利用了聚丙烯纤维混凝土优良的抗冲击、抗疲劳性能。

#### 参考文献:

- [1] 陈锋. 聚丙烯纤维喷混凝土在黎南复线的试验应用[J]. 西部探矿工程, 2001, (3) 3-5.
- [2] 唐春安, 傅宇方, 等. 短纤维增强复合材料破坏过程的数值模拟[J]. 力学学报, 2000, (3) 373-377.
- [3] HILL BROTHERS CHEMICAL CO, 美国杜拉纤维产品手册.
- [4] 姚武, 马一平, 等. 聚丙烯纤维水泥基复合材料物理力学性能研究(II)力学性能[J]. 建筑材料学报, 2000, 3(3) 235-238.
- [5] Zheng Z H, Feldman D. Synthetic fiber reinforced concrete[J]. Progress in Polymer Science, 1995, 20(2) 185-210.
- [6] 华渊, 刘容华, 等. 纤维增韧高性能混凝土的试验研究[J]. 混凝土与水泥制品, 1998(3) 80-83.

收稿日期: 2004-04-16

作者简介: 陈磊(198-), 男, 硕士研究生, 从事军事防护工程研究; 陈太林(1956-), 男, 教授, 硕士研究生导师, 系主任; 单位地址: (221000) 徐州市空军学院五系; 联系电话: (0516)7837304.

水树脂掺量的继续增大, 粘结强度开始迅速减小。

(5) 综合考虑三种高吸水树脂对建筑砂浆性能的影响, 掺加0.10%的SAP1改性效果最好。

#### 参考文献:

- [1] O. M. Jensen, P. F. Hansen. Water-entrained cement-based materials 1. Principles and theoretical background[J]. Cement and Concrete Research, 2001, 31: 648-654.
- [2] 鞠丽艳, 张雄. EJ系列建筑砂浆稠化粉的性能研究[J]. 房材与应用, 2002, 30(1) 13-16.
- [3] 陈继盛, 曲忠兰. 加气混凝土砌筑灰浆和饰面中间体的研究[J]. 房材与应用, 1997, 3: 17-19.
- [4] 林文修. 灰沙(空心)砖含水率对砌体性能的影响[J]. 硅酸盐建筑制品, 1994, 2: 16-20.
- [5] JGJ70-90, 建筑砂浆基本性能试验方法[S].
- [6] 王元, 郭佩玲, 陈翠红, 王春波. SL砂浆灰在建筑砂浆中的应用研究[J]. 粉煤灰综合利用, 1994, 3: 38-42.
- [7] Yukio Mizutani. Superabsorbent poly(acrylic acid) complex[J]. Journal of Applied Polymer Science, 1996, 61 (5) 735-739.
- [8] JGJ98-2000, 建筑砂浆配合比设计规程[S].

收稿日期: 2004-04-13

作者简介: 张宇(1978-), 男, 硕士研究生, 主要从事高吸水树脂及混凝土外加剂的研究; 单位地址: (510640) 广州华南理工大学材料学院2001级硕士甲班; 联系电话: (020) 33305926.