

文章编号: 1007-9629(2000)03-0235-05

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

TU528.58

⑧
235-239

姚武, 马一平, 谈慕华, 吴科如

(同济大学混凝土材料研究国家重点实验室, 上海 200092)

摘要: 研究了采用不同工艺制作的3种几何形态的聚丙烯纤维在不同掺量情况下对水泥基材料力学性能的影响, 结果表明: (1) 当掺量 $\varphi_f \leq 1.0\%$ 时, 拉丝PP纤维和膜裂I PP纤维虽然不能提高混凝土的强度, 但却能大幅度提高混凝土的抗弯韧性; (2) 低掺量 ($\varphi_f = 0.05\%$) 时, 膜裂II PP纤维对混凝土的力学性能无不良影响, 并可使砂浆抗冲强度、混凝土抗弯韧性指数明显提高. 另外, 还分析了聚丙烯纤维对混凝土力学性能的作用机理.

关键词: 聚丙烯纤维; 水泥基材料; 混凝土; 力学性能

中图分类号: TU 528 **文献标识码:** A

在混凝土基材中掺加纤维是提高混凝土韧性的一条有效途径^[1~7]. 聚丙烯纤维是一种低弹模人工合成纤维, 具有强度高、延性好、耐久性优良和价格低廉等特点, 故而在混凝土制品领域中具有广阔的应用前景. 尽管聚丙烯纤维对水泥基材料力学性能的影响已有一些研究报告^[8~10], 但不同几何形态的聚丙烯纤维在不同掺量下对水泥基材料力学性能的影响尚未见系统研究报告, 因此笔者开展了这些方面的研究, 以求为在水泥基材料中掺加聚丙烯纤维提供理论指导依据.

1 实验原材料及实验方法

1.1 实验原材料

水泥采用425普通硅酸盐水泥; 砂为黄砂, 中砂; 石子为5~30 mm碎石; 外加剂采用FDN和SN-II高效减水剂; 聚丙烯纤维采用东华大学提供的用膜裂工艺制作的聚丙烯膜裂I型纤维(简称膜裂I PP纤维)、聚丙烯膜裂II型纤维(简称膜裂II PP纤维)和用拉丝工艺制作的聚丙烯拉丝纤维(简称拉丝PP纤维). 3种聚丙烯纤维的外观形貌和物理力学性能见本文(I)^[11].

1.2 力学性能实验方法

力学性能实验采用混凝土和砂浆试件进行, 基准混凝土配合比—— $m(\text{cement}):m(\text{sand}):m(\text{stone}):m(\text{water}):m(\text{FDN})=1:1.32:2.44:0.44:0.005$, 基准砂浆配合比—— $m(\text{cement}):m(\text{sand}):m(\text{water}):m(\text{SN-II})=1:1.5:0.42:0.005$, 以掺加聚丙烯纤维前后混凝土和砂浆力学性能的变化评定纤维作用. 抗压强度和劈拉强度采用100 mm×100 mm×100 mm混凝土试件, 在NYL-2000型液压试验机上按照GBJ 81—85进行测定; 抗弯强度及荷载-挠度曲线采用100 mm×100 mm×515 mm混凝土试件, 在Instron 8501试验机上根据ASTM C1018进行测定; 抗弯韧性指数同样按ASTM C1018进行计算; 抗冲强度采用10 mm×20 mm×80 mm砂浆试件, 在Charpy X CJ-50抗冲试验机上进行测定.

收稿日期: 1999-11-15

基金项目: 上海市教育委员会重点学科研究项目

作者简介: 姚武(1966-), 男, 江苏人, 同济大学副教授.

2 实验结果及分析

2.1 聚丙烯纤维对水泥基材料抗压强度、劈拉强度的影响

笔者研究了在纤维掺量为0.5% (体积分数,下同)和1.0%时膜裂I PP纤维和拉丝PP纤维对水泥混凝土抗压强度、劈拉强度的影响,结果列于表1。

表1 聚丙烯纤维混凝土的抗压强度、劈拉强度(28 d)

Table 1 Compressive and splitting tensile strengths of polypropylene fiber reinforced concrete(28 d)

Type of fiber	Compressive strength/MPa			Splitting tensile strength/MPa		
	0 %	0.5 %	1.0 %	0 %	0.5 %	1.0 %
Fibrillated film I PP fiber	39.4	33.9	29.0	4.01	3.16	3.25
PP fiber by drawing wire	39.4	36.7	41.3	4.01	3.25	3.34

由表1可见,在水泥混凝土中掺加0.5%膜裂I PP纤维后,其28 d抗压强度出现一定程度的下降,降幅约为14%,当纤维掺量提高至1.0%,28 d抗压强度下降幅度增大至约26%,这说明在混凝土中掺加膜裂I PP纤维对抗压强度有一定的不利影响,其原因一方面是由于聚丙烯纤维属于低弹模纤维,难以在基体材料中承担应力,另一方面则由于膜裂I PP纤维在水泥基材中的分散效果不佳,混凝土密实度有所下降(尤其当纤维掺量提高时更加明显),导致混凝土抗压强度随之下降.当在水泥混凝土中掺加0.5%和1.0%拉丝PP纤维后,由于该纤维分散效果较好,对混凝土密实度影响较小,从而使掺加此种纤维的混凝土28 d抗压强度未出现明显下降。

另由表1还可见,2种聚丙烯纤维以不同的掺量掺入混凝土中,28 d劈拉强度均出现下降现象,其中膜裂I PP纤维混凝土的平均劈拉强度(3.21 MPa)又低于拉丝PP纤维混凝土的平均劈拉强度(3.30 MPa),这符合复合材料的混合定律。

2.2 聚丙烯纤维对抗弯强度及抗弯韧性指数的影响

笔者研究了在纤维掺量为0.5%和1.0%时,膜裂I PP纤维和拉丝PP纤维对混凝土抗弯强度及韧性指数的影响,结果列于表2,图1给出了试验所得荷载-挠度曲线。

表2 聚丙烯纤维混凝土的抗弯强度及抗弯韧性指数(28 d)

Table 2 Flexural strength and toughness index(I_n) of polypropylene fiber reinforced concrete(28 d)

Type of fiber	Flexural strength/MPa			$\varphi_1=0\%$			$\varphi_1=0.5\%$			$\varphi_1=1.0\%$		
	0 %	0.5 %	1.0 %	I_5	I_{10}	I_{30}	I_5	I_{10}	I_{30}	I_5	I_{10}	I_{30}
	Fibrillated film I PP fiber	5.25	4.33	4.07	3.83	5.93	9.89	5.03	8.78	16.86	5.29	9.66
PP fiber by drawing wire	5.25	4.17	3.59	3.83	5.93	9.89	4.49	8.03	16.76	4.33	8.31	21.29

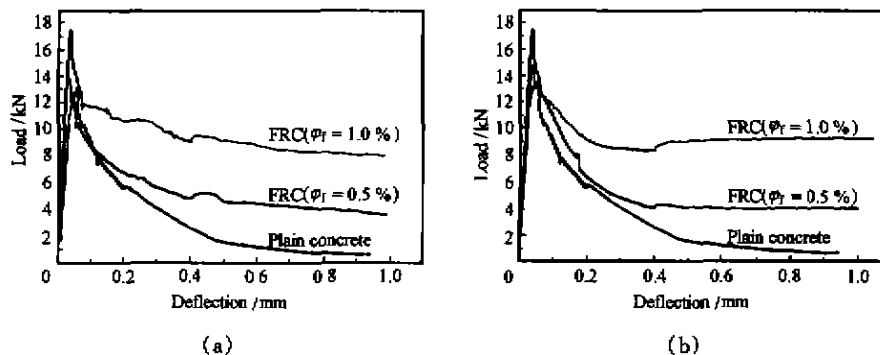


图1 不同品种聚丙烯纤维混凝土的抗弯荷载-挠度曲线

Fig. 1 Load-deflection curves of polypropylene fiber reinforced concrete

(a) PP fiber by drawing wire; (b) Fibrillated film I PP fiber

由表2可见,在混凝土中掺加膜裂I PP纤维、拉丝PP纤维后,纤维混凝土的抗弯强度较之基准混凝土略有减小,但不论掺量多少,2种纤维混凝土的韧性指数均比基准混凝土有较明显的增加.聚丙烯纤维混凝土韧性的提高得益于纤维的阻裂作用.由于聚丙烯纤维的强度和延性都远高于基准混凝土,因此当混凝土基材出现宏观裂纹扩展时,纤维横跨在裂缝之间起桥接作用,使得裂缝的扩展阻力增加,提高了材料的断裂能.从图1可以看到,基准混凝土在峰值荷载后,随梁跨中挠度的增加,承载能力迅速下降.而掺入聚丙烯纤维后,混凝土峰值荷载后的承载能力下降趋势较平缓,尤其是聚丙烯膜裂纤维混凝土,在挠度达0.4 mm后,出现了较高水平(最大荷载的40%~70%)的承载平台,显示了这种复合材料的良好韧性.

2.3 低掺量聚丙烯纤维对水泥基材料力学性能的影响

当聚丙烯纤维在较低掺量(0.05%~0.10%)时,本文(I)^[11]研究表明,它对水泥基材料的抗塑性干缩开裂性能有较明显的改善作用,但对水泥基材料力学性能的影响尚不太清楚.为此,笔者采用了生产方便、价格低廉且抗塑性干缩开裂性能较好的膜裂II PP纤维,在纤维掺量为0.05%情况下,研究测试了其对水泥基材料力学性能的影响,结果见表3,图2示出相应的抗弯荷载-挠度曲线.

表3 低掺量膜裂II PP纤维对水泥基材料力学性能的影响(28 d)

Table 3 Effects of low addition fibrillated film II PP fiber on mechanical properties of cement matrix materials(28 d)

Addition of fiber/%	Compressive strength/MPa	Splitting tensile strength/MPa	Impacting strength/(kJ·m ⁻²)	Flexural strength/MPa	I_5	I_{10}	I_{30}	I_{100}
0	36.4	2.9	5.7	3.99	3.61	5.71	9.81	11.04
0.05	36.9	3.1	18.0	3.84	3.70	6.08	12.10	27.30

由表3可见,在水泥基材料中掺加少量膜裂II PP纤维后,其抗压强度、劈拉强度和抗弯强度基本未受影响,但抗弯韧性指数有明显增加,其中 I_{100} 较之基准混凝土提高了约1.4倍,另外,由表3还可看出,掺加少量纤维后,纤维砂浆的抗冲击强度有明显提高(较之基准砂浆提高约2.2倍),表明纤维在受冲击过程中,由基材中拔出时需消耗能量.考虑到低纤维掺量所具有的经济性,在实际工程中,往水泥基材料中掺加少量膜裂II PP纤维,既具有较好的抗塑性干缩开裂性能,又不恶化水泥基材料的力学性能,并且还可使其韧性有所改善,呈现出较好的技术经济性能.

3 聚丙烯纤维对水泥基材料力学性能作用机理

聚丙烯纤维属低弹性模量合成纤维,当将其掺入水泥基材料后,依靠纤维与水泥基材的界面粘结,在未开裂的低应力水平下共同承受外力.由于纤维的弹性模量低于水泥基材,当受外部拉力作用时,纤维产生的变形大于水泥基材,在水泥基材未开裂前,纤维对基材变形难以起到限制作用,故该纤维水泥基复合材料初裂抗拉强度难以得到提高.若纤维掺量小至其不足以承担基材开裂而传递过来的荷载,则极限抗拉强度便很难提高,抗压强度、抗弯强度同样也是如此.但当基材开裂后,由于纤维跨接于裂缝两边,纤维水泥基材料不会发生类似基材那样的脆断,而是由于纤维拉断或自基材中的拔出产生破坏.究竟是纤维拉断还是纤维拔出,则主要取决于纤维与水泥基材间的粘结力和裂缝中纤维断面上所能承受拉力大小的比较,若前者大于后者,则纤维将被拉断,反之则纤维将自基材中拔出.短切纤维多属于纤维拔出破坏,当纤维几何形状确定后,纤维与水泥基材间的界面剪切粘结强度的大小主要决定了纤维水泥基材料开裂后的性能.若粘结强度较高,

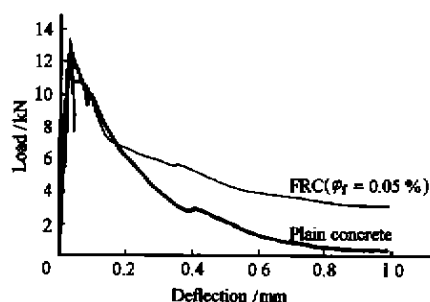


图2 低掺量($\varphi_f=0.05\%$)膜裂II PP纤维混凝土荷载-挠度曲线

Fig. 2 Load-deflection curve of low addition ($\varphi_f=0.05\%$) fibrillated film II PP fiber reinforced concrete

则开裂后的应力水平保留率较高,反之则较低;若粘结强度一定,则纤维掺量越大,其裂后应力水平保留率也越高.图1和图2抗弯荷载-挠度曲线尾部情况即可用上述原理解释,因而纤维水泥基材料的抗弯韧性指数随纤维量增大而提高,随弯曲挠度增大而增大.对于冲击荷载作用情况,则属于加荷速率较高的情况,原理基本同上.

由上述分析可知,短切纤维水泥基材料的性能(尤其是裂后性能)与纤维自水泥基材中的拔出破坏有关,而对这一破坏过程的影响因素较多,如需要考虑纤维与水泥基材间界面剪切粘结强度的大小、脱粘破坏的具体过程、脱粘后纤维与水泥基材间的滑动摩阻力、纤维在水泥基体中的取向排列、加荷速率的大小等等,笔者对此已做了进一步研究.

4 结论

1. 由于聚丙烯纤维是一种低弹模纤维,并且纤维的掺入导致混凝土空隙率增大,因而在一定的掺量下聚丙烯纤维对混凝土的强度有负面影响.本文研究表明,当纤维掺量为0.5%和1.0%时,拉丝PP纤维混凝土的抗压强度无明显变化,但膜裂I PP纤维混凝土的抗压强度比基准混凝土分别下降了14%和26%.当纤维掺量低于1.0%时,上述2种纤维混凝土的平均劈拉强度比基准混凝土分别降低了18%和20%,平均抗弯强度分别下降了26%和20%.

2. 当纤维掺量为0.5%和1.0%时,拉丝PP纤维和膜裂I PP纤维均可明显提高混凝土的抗弯韧性,尤其当纤维掺量为1.0%时,上述2种纤维混凝土的各项韧性指数分别比基准混凝土提高了13%~115%和38%~139%.

3. 在水泥基材料中掺加0.05%的膜裂II PP纤维,不仅不会对混凝土强度造成不良影响,反而会使其抗弯韧性、抗冲击强度得到明显改善.结合文献[11]的结论,可以得出,在水泥基材料中掺加少量($\varphi_f=0.05\%$)膜裂II PP纤维,在对力学性能不造成不良影响的情况下,能大幅度改善水泥基材料抗塑性干缩开裂性能,因此该法不失为一条既经济又有效的改善途径.

参考文献:

- [1] 姚武. 碳纤维高强混凝土的力学性能研究[J]. 新型建筑材料, 1999, (10): 18, 19.
- [2] 姚武. 竹材在建筑结构中的应用[J]. 上海建材, 2000, (1): 26, 27.
- [3] 姚武, 李宗津. 竹板-纤维增强水泥基复合材料的力学性能研究[J]. 房材与应用, 2000, (1): 10-12.
- [4] Akers S A S, Studinka J B, Meier P, et al. Long term durability of PVA reinforcing fibers in a cement matrix[J]. International J of Cement Composites & Lightweight Concrete, 1989, 11(2): 79-91.
- [5] Banthia N, Foy C. Marine curing of steel fiber composites[J]. J of Materials in Civil Engineering, 1989, 1(2): 86-96.
- [6] Malhotra V M, Garette G G, Bilodeau A. Mechanical properties and durability of polypropylene fiber reinforced high-volume fly ash concrete for shotcrete applications[J]. ACI Materials Journal, 1994, 91(5): 478-486.
- [7] Saadatmanesh H. Fiber composites for new and existing structures[J]. ACI Structural Journal, 1994, 91(3): 346-354.
- [8] Fahmy M F, Lovata N L. Chemical treatments of polypropylene fiber surfaces used in fiber reinforced concretes[J]. Transportation Research Record, 1989, (1226): 31-35.
- [9] Barr B, Newman P D. Toughness of polypropylene fiber reinforced concrete[J]. Composites, 1985, 16(1): 48-53.
- [10] Elser M, Tschegg E K, Stanzl-Tschegg S E. Fracture behavior of polypropylene-fiber-reinforced concrete under biaxial loading: An experimental investigation[J]. Composites Science and Technology, 1996, 56: 933-945.
- [11] 马一平, 谈慕华. 聚丙烯纤维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, 2000, 3(1): 48-52.

Effects of Polypropylene Fibers on the Physical and Mechanical Properties of Cement Based Composites (II)

——Mechanical Properties

YAO Wu, MA Yi-ping, TAN Mu-hua, WU Ke-ru

(State Key Lab. of Concrete Materials Research, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: In present paper, the effects of different geometrical shapes and different additions (by volume) of polypropylene fibers on mechanical properties of cement matrix materials were researched. The results showed that: (1) the addition of PP fiber less than 1.0 % reduced the mechanical properties of concrete. However, it was observed that the toughness of PP fiber reinforced concretes increase obviously than that of unreinforced concrete. (2) low addition ($\varphi_f = 0.05\%$) of fibrillated film II PP fiber would not affect mechanical properties of concrete, but could increase impacting strength and toughness indexes of concrete. Moreover, the mechanism of effects of polypropylene fibers on the mechanical properties of concrete was also discussed.

Key words: polypropylene fiber; cement matrix material; concrete; mechanical propertie

cu.3 “新型引气剂的研制与应用”成果简介 ②

在混凝土中掺加微量(水泥用量的万分之几)引气剂是提高混凝土耐久性,特别是抗冻性和抗盐冻剥蚀性最有效的技术措施之一。

同济大学材料科学与工程学院材料工程研究所最近研制成功了 SJ-2 新型引气剂(成果属国家“九五”重点科技攻关项目),这种新型引气剂可以提高混凝土抗冻性 10 倍以上,其它耐久性也有较大提高;在相同水泥用量和坍落度的条件下,当混凝土含气量小于 4 % 时,混凝土抗压强度不因引气而降低,抗折强度不仅不降低,且有较大幅度的提高(15 % ~ 20 %);当含气量在常用值 4 % ~ 6 % 左右时, SJ-2 引气剂引起的每单位含气量混凝土抗压强度损失率小于 3 %,抗折强度仍有提高。

经查新和国际权威学者,瑞典 LUND 大学 Fagerlund 教授的实验室检测后确认,该引气剂就化学组成而言,属于一个新的系列,其性能达到国际先进水平。

由于 SJ-2 新型引气剂在应用时,只需掺水泥用量的万分之二左右就可达到其效果,因此可在不增加混凝土造价或增加很少的情况下,大幅度提高混凝土结构物的耐久性和使用寿命。目前该产品已实现批量生产。

(杨全兵供稿)